

A várható klímaváltozás elemzése a Föld különböző régióiban

SZAKDOLGOZAT
FÖLDTUDOMÁNYI ALAPSZAK
METEOROLÓGUS SZAKIRÁNY



Készítette:

Csobolya Krisztina

Témavezető:

Dr. Pongrácz Rita

ELTE TTK, Meteorológiai Tanszék

Eötvös Loránd Tudományegyetem
Földrajz- és Földtudományi Intézet
Meteorológiai Tanszék

Budapest, 2015

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés.....	4
2. Az éghajlatváltozás vizsgálatának keretei.....	7
2.1. Az IPCC története, működési szerkezete.....	7
2.2. A klímamodellek összehasonlítása	8
2.3. A jelentősebb üvegházhatású gázok változásai	9
2.3.1. Detektált változások napjainking	9
2.3.2. A jövőben várható változások a 21. század végéig.....	11
3. Néhány régió várható klímaváltozásának elemzése	15
3.1. Alaszka	15
3.1.1. A hőmérséklet és a csapadék változása a múltban.....	15
3.1.2. A hőmérséklet és a csapadék várható változása a 21. század végére.....	16
3.1.3. Az éghajlatváltozás hatása a helyi bioszférára.....	18
3.2. Antarktisz	19
3.2.1. A hőmérséklet és a csapadék változása a múltban.....	20
3.2.2. A hőmérséklet és a csapadék várható változása a 21. század végére.....	22
3.2.3. A klímaváltozás hatása a kontinensen.....	24
3.3. Ausztrália.....	27
3.3.1. A hőmérséklet és a csapadék változása a múltban.....	27
3.3.2. A hőmérséklet és a csapadék várható változása a 21. század végére.....	29
3.3.3. A klímaváltozás várható hatása a környező területekre	31
3.4. India	32
3.4.1. Hőmérséklet- és csapadék-változások a múlt században	33
3.4.2. Hőmérséklet és csapadék várható változásai 2100-ig	34
3.4.3. A klímaváltozás hatása a környező bioszférára	36
3.5. Száhel-övezet	36

3.5.1. Az elmúlt század hőmérséklet- és csapadékváltozása	37
3.5.2. Várható éghajlatváltozás a 21. század végéig	38
3.5.3. Várható hatások a környezetben és a gazdasági tevékenységekben	40
4. Összefoglalás	42
Köszönetnyilvánítás.....	44
Irodalomjegyzék	45

1. Bevezetés

A globális klímaváltozás problémaköre mára már általánosan elterjedt a köztudatban, hiszen jelentős változások figyelhetők meg a múlt század óta - különösen az utóbbi néhány évtizedben - ezáltal egyre több embert foglalkoztat éghajlatunk jövője. Az éghajlat minél pontosabb megismerésére számos tudományág nyújt segítséget. A paleoklimatológiai kutatásokkal a régmúlt korok időjárásáról kapunk képet, míg a klimatológiai modellezés az időjárási viszonyokban esetlegesen bekövetkező változási tendenciákat jelzi. A modellezés során számolnunk kell az éghajlati rendszer belső tulajdonságaiból, kölcsönhatásaiból adódó bizonytalansággal, melyet a modellekben alkalmazott közelítések, nagyságrendi értékelések tovább növelhetnek (*Bartholy és Pongrácz, 2013*). A globális klímaváltozás egyik fő okaként az emberi tevékenységekből származó anyagok légköri koncentrációjának megnövekedését kell említeni. Az antropogén eredetű különféle kibocsátások az ipari forradalom óta jelentősen fokozódnak, így egyre növekszik a kibocsátott gázok légköri jelenléte. A nagyléptékű klímaváltozás másik lehetséges oka a vulkáni működésekből eredő gázok időről időre történő feldúsulása.

A tudomány mai állása szerint 95%-ban bizonyos, hogy az 1950-től napjainkig tartó hőmérséklet-emelkedést az emberiség okozta (*IPCC, 2013*). Az emberi tevékenységekből eredő globális szén-dioxid kibocsátás hatására a szén-dioxid légköri koncentrációja már több mint 40%-kal magasabb volt 2008-ban, mint az ipari forradalom előtt. A globális hőmérséklet-növekedés mértéke pedig évtizedente mintegy 0,2 °C-kal növekszik. A hőmérséklet fokozódó emelkedésére utal például az Északi-sark körüli jégtakaró csökkenése. Az egyre gyarapodó bizonyítékok, detektált változások elgondolkodásra, mielőbbi cselekvésre kényszeríthetik az emberiséget. A sokrétű nemzetközi kutatások (*IPCC, 2014*) azt jelzik, hogy mindenképpen jelentős változtatásokra van szükség a gazdaság számos területén, s az emberek mindennapi életvitelében is. Tény azonban, hogy az emberiség tart a változásoktól, a döntéshozók megpróbálják kivárni azt a végső időpontot, ameddig az eddigi formában működtethető a gazdaság, a társadalom.

Szakdolgozatom a globális felmelegedés következményeit elemzi: öt kiválasztott régióban mutatom be részletesebben a várható éghajlatváltozás mértékét, amelyhez az alapot az IPCC¹ legújabb helyzetértékelő jelentése (*IPCC, 2013*) nyújtotta. Az öt vizsgált

¹ Intergovernmental Panel on Climate Change - Klímaváltozási Kormányközi Testület

régió – Alaszka, Antarktisz, Ausztrália, India, és a Száhel-övezet – kiválasztása az éghajlati adottságok figyelembe vételével történt. Ez azért is lényeges, mivel a Föld különböző helyein eltér a regionális felmelegedés mértéke. Vannak olyan területek ahol a globális átlaghoz képest fokozottabb hőmérséklet növekedés történik.

A globális felmelegedésre már számos megfigyelés utal. A rendszeres műszeres mérések tanúsága szerint a regisztrált legmelegebb 13 év a 21. században következett be az 1880-as évek óta. A kontinentális jégtakaró folyamatosan csökken, és a tavak, folyók jege is korábban kezd olvadni. A mérsékelt éghajlati övben a 30. és a 70. szélességi fokok között az elmúlt 20 évben folyamatosan korábban kezdődött a tavaszi hóolvadás. Az Északi-sark jege elvékonyodott, mérete 10-15%-kal csökkent (*IPCC*, 2013), míg a magashegységek gleccserei is visszahúzódnak. A vegetációs időszak hossza megnövekedett és a virágzási korszak kezdete is korábbra tolódott. A költöző madarak tavasszal korábban érkeznek, míg a megszokott élőhelyek a magasabb szélességek felé tolódtak. Ezek a változások Alaszka területén a leginkább szembetűnőbbek. Az Amerikai Egyesült Államok egész területén ebben a térségben növekedett legnagyobb mértékben a hőmérséklet. Az elmúlt évtizedekben a globális hőmérséklet emelkedés következtében Szibérián kívül itt történtek a legjelentősebb átalakulások az időjárás elemeiben. Az *IPCC* (2013) globális éghajlati becslései szerint a hőmérséklet akár 10 °C-ot is emelkedhet a 21. század végére a legkedvezőtlenebb forgatókönyv bekövetkezése esetén. Az Antarktison, a déli félgömb legnagyobb krioszféra-területén hasonló jellegű regionális klímaváltozás valószínűsíthető. Alaszkához hasonlóan itt is csökken a jégmennyiség, azonban a hőmérséklet-emelkedés mégsem annyira szembetűnő. Itt nagyobb befolyást gyakorolnak az óceáni légtömegek hatásai, melyek a jégtömbök olvadását eredményezik a térségben (*Ding et al.*, 2011). A századvégre 2 °C-os emelkedés bekövetkezése a legvalószínűbb, ami átlagosnak tekinthető. Ugyancsak 2 °C-os hőmérséklet-növekedés valószínűsíthető Ausztrália délnyugati részén, ahol Indiához hasonlóan monszunesőzések uralják az éghajlatot. A klímaváltozás mértéke ebben a térségben is várhatóan fokozódik a század végére, ami azonban nem feltétlenül a hőmérséklet nagymértékű változásában fog megmutatkozni. Ezeken a területeken ugyanis az amúgy is magas hőmérséklet mellett nagyobb szerepet játszik a csapadék várható módosulása. A klímamodellek az aszályok növekedését jelzik mindkét területen a század végére. A Szahara mentén található Száhel-övezetben az 1970-es évektől a 21. század elejéig történt változások tükrözik vissza leginkább a felmelegedés mértékét. Az ebben a térségben bekövetkezett elsivatagosodás nem feltétlenül a hőmérséklet emelkedése miatt jelentkezett, azonban jelentős környezeti

hatása nem vitatott. A 2000-es évektől a csapadékmennyiségben a korábbiakhoz képest kevésbé alacsony értékek jelentkeztek (Sarr, 2012), így nem lehet egyértelmű következtetéseket levonni hosszú távú folyamatos tendenciákra vonatkozóan. Egyes kutatók szerint (Sarr, 2012) itt a felmelegedés periodikusan ismétlődik, így a közeljövőben nem várható nagyobb mértékű felmelegedés, viszont a 21. század végére ismét erősödni fog a térség aszályhajlama.

A dolgozatban először a globális klímaváltozással foglalkozó nemzetközi szervezet rövid bemutatására kerül sor, majd ezt követi a globális klímamodelleket összehasonlító nemzetközi projekt rövid áttekintése. Az antropogén hatás fokozódásának hatását részletezi a 2.3 fejezet, melyben az üvegházhatású gázok koncentrációváltozásai és a jövőre vonatkozó legújabb becslések alapjául szolgáló ún. RCP-forgatókönyvek olvashatók részletesebben. A kiválasztott öt régió végighaladva a regionális éghajlatváltozás és ennek következményeit foglaljuk össze a 3. fejezetben. Végül a legfontosabb következtetéseket összegezzük a lezáró, 4. fejezetben.

2. Az éghajlatváltozás vizsgálatának keretei

2.1. Az IPCC története, működési szerkezete

Az Éghajlatváltozási Kormányközi Testület (IPCC) 1988-ban Torontóban a Meteorológiai Világszervezet (WMO²) és az ENSZ Környezetvédelmi Programja (UNEP³) összefogásával alakult meg. Ugyanebben az évben az ENSZ Közgyűlése jóváhagyta a szervezet működését.

Az IPCC története visszanyúlik az 1979. évi Éghajlati Világkonferenciára, ahol szorgalmazták egy olyan szervezet létrehozását, amely az üvegházhatású gázok légkörben való tartózkodásának következményeivel foglalkozik, az alkalmazkodás és a megfékezés lehetőségeit kutatja. A szervezet egyik fő célja a világ különböző kutatóhelyein elért tudományos eredmények összegyűjtése, integrált közreadása. Az IPCC mindenki számára átlátható tudományos, technikai, valamint társadalmi és gazdasági információkat nyújt az éghajlat változásával kapcsolatban. Elsősorban az emberi tevékenységek által meghatározott folyamatokra, hatásokra fókuszál. Az összeállított jelentések alapkövetelménye a politikailag semlegesség [1].

A tudományos bizonyítékokat, magyarázatokat egybe gyűjtő Első helyzetértékelő jelentés (FAR⁴) 1990-ben jelent meg, mely egyértelműen kiemelte a klímaváltozással kapcsolatosan a nemzetközi együttműködés szükségességét. Ezért döntő szerepet játszott a létrehozásában az Egyesült Nemzetek Éghajlatváltozási Keretegyezménye (UNFCCC⁵), ami a legfontosabb nemzetközi szerződés volt a globális felmelegedés csökkentésére és az éghajlatváltozás következményeivel való megbirkózásra. A második jelentés 1996-ban, a harmadik 2001-ben, a negyedik pedig 2007-ben látott napvilágot. A nemrégiben kiadott, ötödik jelentés munkálatait már 2008-ban elkezdték szervezni, és 2014-ben fejezték be a teljes összegzést. Ezek az átfogó, helyzetértékelő jelentések egyértelmű, naprakész tudományos ismereteket adnak az éghajlatváltozásról, annak okairól, továbbá tartalmazzák

² World Meteorology Organisation - Meteorológiai Világszervezet

³ United Nations Environment Programme - ENSZ környezetvédelmi Programja

⁴ First Assessment Report - Első Helyzetértékelő Jelentés

⁵ United Nations Framework Convention on Climate Change - Egyesült Nemzetek Éghajlatváltozási Keretegyezménye

a jövőre vonatkozó becsléseket, felvetik a szükséges és lehetséges válaszstratégiákat. 2007 végén az IPCC szervezete kiemelkedő munkájáért elnyerte a Nobel-békedíjat [1].

Az IPCC három munkacsoportba szerveződve végzi munkáját. Az 1. munkacsoport (WG1) az éghajlati rendszer fizikai tulajdonságait vizsgálja, többek között az üvegházhatású gázok és az aeroszolok koncentrációját elemzi. Foglalkozik a léghőmérséklet és a csapadék változásával a szárazföld és az óceánok felett egyaránt, a gleccserek és jégtakarók által okozott tengerszint-változással. Paleoklimatológiai módszerek segítségével, valamint klímamodellek futtatásával vizsgálja a globális klímaváltozást. A 2. munkacsoport (WG2) az éghajlatváltozás pozitív és negatív következményeivel, valamint a társadalmi-gazdasági és a természeti rendszerekre gyakorolt hatásokkal foglalkozik. A 3. munkacsoport (WG3) az éghajlatváltozás mérséklésének lehetőségeivel foglalkozik, valamint az alkalmazkodás kérdéskörével. Ezen belül elemzi az üvegházhatású gázok antropogén kibocsátásának korlátozásait, a különböző gazdasági szektorok – többek között az ipari, mezőgazdasági, közlekedési, kereskedelmi, erdőgazdálkodási és hulladékgazdálkodási ágazatok – lehetséges válaszait, fejlesztéseit [1].

2.2. A klímamodellek összehasonlítása

A WCRP⁶ keretein belül alakult meg a CMIP⁷, amely a 20. és a 21. századra végzett modellszimulációkból kapott eredményeket értékeli, és különböző szempontok szerint készít összehasonlításokat [2]. Az IPCC Negyedik helyzetértékelő jelentésében (IPCC, 2007) közölt eredmények a CMIP3 fázison alapulnak. Az Ötödik helyzetértékelő jelentésben (IPCC, 2013) található újabb következtetések pedig már a CMIP5 fázisból származnak. A modellfuttatások eredményeit a PCMDI⁸ keretében gyűjtötték egybe (Sillmann *et al.*, 2013). Az éghajlati modelleket a múltira és a jövőre vonatkozóan is futtatták és szisztematikusan összehasonlították 2004 körül az IPCC előző jelentés (IPCC, 2007) alapját képező CMIP3 klímaszcenáriók futtatásával, melyek a jövőt a SRES⁹ forgatókönyveken (Nakicenovic és Swart, 2000) keresztül tekintik. Ezek figyelembe veszik

⁶ World Climate Research Programme - Éghajlatkutatási Világprogram

⁷ Coupled Model Intercomparison Project - Csatolt Modellek Összehasonlító Projektje

⁸ Program for Climate Model Diagnosis and Intercomparison - Klímamodell Vizsgálatok és Összehasonlítások Programja

⁹ Special Report on Emission Scenarios - Tematikus Jelentés a Kibocsátási Forgatókönyvekről

a különböző társadalmi, gazdasági, technológiai fejlődéseket, illetve a becsült demográfiai változásokat a 21. század végéig [2].

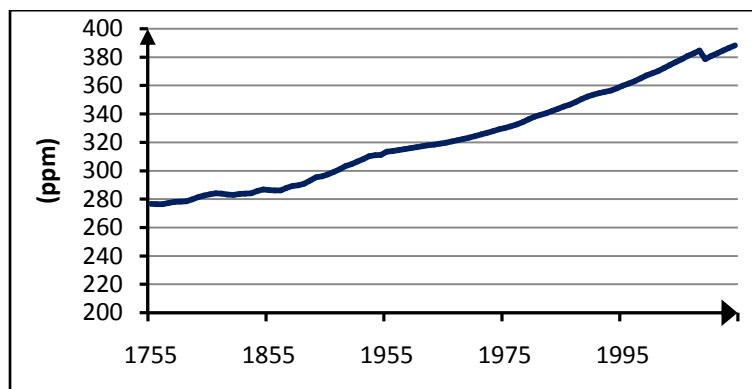
Az Ötödik helyzetértékelő jelentés (*IPCC*, 2013) előkészületeinek folyamata 2008-ban vette kezdetét Budapesten, az *IPCC* Bizottság 28. ülésén. A jelentésben a CMIP5 fázisban előállított és összehasonlított szimulációs eredmények jelennek meg. Ezek a modellfuttatások a jövőre vonatkozóan új forgatókönyveket vizsgáltak, melyek részletesebb bemutatására a következő fejezetben kerül sor.

2.3. A jelentősebb üvegházhatású gázok változásai

Az üvegházhatású gázok átengedik a Nap által kisugárzott rövidhullámú sugarakat, míg a földfelszín felől érkező hosszuhullámú sugárzás nagy részét elnyelik, ezáltal melegítve a felszínközeli légköri rétegeket. Ilyen hatással rendelkeznek a vízgőz, a szén-dioxid, a metán, a dinitrogén-oxid, a halogénezett szénhidrogének és az ózon. A vízgőz kivételével az emberi tevékenység hatására jelentős koncentráció-változásokat figyelhetünk meg a földi légkörben. Ezek a tendenciák nagy valószínűséggel a jövőben is folytatódni fognak, számszerű becslésük alapvető információt nyújt az éghajlati modelleknek. A légköri üvegházhatású gázok antropogén eredetű kibocsátásának fokozódása, és az ennek hatására megnövekedő koncentráció nagymértékben befolyásolja a globális éghajlati rendszert és a regionális éghajlati viszonyokat.

2.3.1. Detektált változások napjainkig

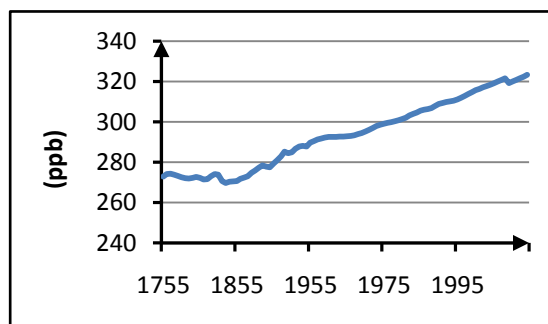
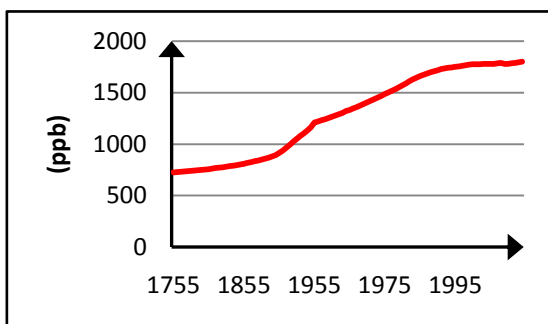
A legfontosabb antropogén eredetű kibocsátással rendelkező üvegházhatású gáz a légkörben a szén-dioxid (CO_2). Az iparosodás előtt mennyisége 280 ppm volt, mára viszont csaknem eléri a 400 ppm-t (1. ábra). Ez a növekedés 1755-től napjainkig mintegy 40%-os mértékű változást jelent. E jelentős globális koncentráció emelkedés elsődleges oka a fosszilis energiahordozók felhasználása (elégetése), valamint a cementgyártás. A mezőgazdasági művelésre alkalmassá tett területek növelésével – melyet elsősorban tömeges erdőirtásokkal hoznak létre – szintén fokozták a gáz koncentrációjának növekedését (*Bartholy és Pongrácz*, 2013).



1. ábra: A CO₂ globális átlagos koncentrációjának növekedése az IPCC (2013) adatai alapján, 1755-2013

A metán (CH₄) koncentráció napjainkban 150%-kal nagyobb az ipari forradalom előtti időszakhoz képest, mivel mennyisége 715 ppb-ről 1824 ppb-re változott (2/a ábra). A természetes úton is légkörbe jutó gáz forrása például a mocsarak kigőzölése. Antropogén forrás a mezőgazdaság (szarvasmarha-tenyésztés, rizstermesztés), valamint a hulladék-gazdálkodás. Az emberi tevékenységekből eredő kibocsátás a teljes légkörbe kerülő mennyiség mintegy 65%-át teszi ki (Bartholy és Pongrácz, 2013).

A dinitrogén-oxid (N₂O) koncentráció növekedése mintegy 20%-os: az 1755-ben jellemző 271 ppb-ről napjainkra 326 ppb-re változott (2/b ábra). A gáz légköri mennyiségének megváltozását a talajban és az óceánokban végbemenő nitrifikációs és denitrifikációs reakciók egyensúlyának eltolódása okozta. Az elmúlt két évtizedben mennyisége folyamatosan növekedett, amit főleg a műtrágya elterjedt használata, a fosszilis tüzelőanyagok fokozódó felhasználása és a különböző ipari folyamatok eredményeztek (Bartholy és Pongrácz, 2013).



a) CH₄ koncentráció

b) N₂O koncentráció

2. ábra: A CH₄ és az N₂O gáz koncentrációjának változása az IPCC (2013) adatai alapján, 1755-2013

2.3.2. A jövőben várható változások a 21. század végéig

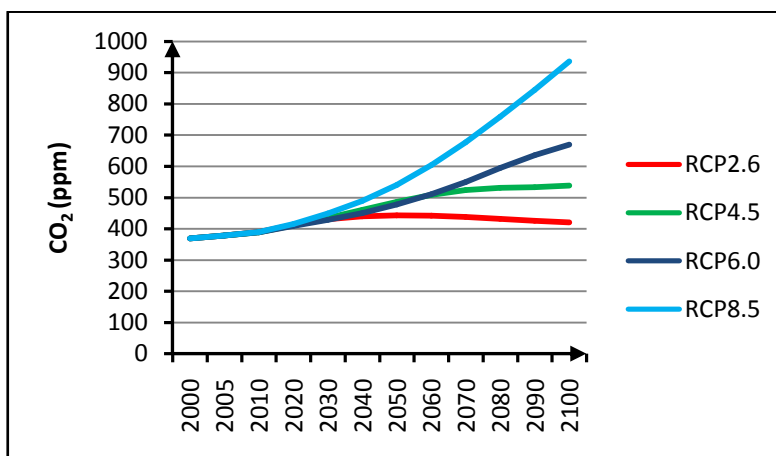
A legfontosabb üvegházhatású gázok kibocsátására és a jövőbeni koncentráció változására vonatkozóan különböző becslések születtek. A legutóbb megjelent, Ötödik Helyzetértékelő Jelentésben (IPCC, 2013) alkalmazott újonnan létrehozott forgatókönyvekhez egy-egy sugárzási kényszer érték kapcsolódik. Ha a légkör egyensúlyi állapota megbomlik, akkor a felszínközeli légrétegek energiaháztartása számára energiatöbbletet eredményező pozitív, vagy energiavesztéséget jelentő negatív hőáram alakul ki. Ez a sugárzási kényszer azt fejezi ki, hogy egy adott gáz légköri koncentrációjának megemelkedésével mennyivel változik a felszínközeli légkör energiaháztartása. Az új típusú forgatókönyvek esetében a 2100-ra becsült változást adják meg az ipari forradalom előtti évekhez képest, amikor még elhanyagolható volt az antropogén eredetű kibocsátás hatása a légkörben. A sugárzási kényszer változását, klímamódosulást a természetes és az antropogén eredetű éghajlat-alakító tényezők, illetve a rendszer belső szabályzó mechanizmusából fakadó nemlineáris kapcsolatok, visszacsatolások válthatnak ki.

Az RCP2.6 scenárió esetén a 21. század közepére a sugárzási kényszer eléri a $3,1 \text{ W/m}^2$ -t, majd 2100-ra $2,6 \text{ W/m}^2$ -re mérséklődik (van Vuuren *et al.*, 2011). A becslések szerint ennek megvalósulásához a mai szinthez képest az üvegházhatású gázok kibocsátása 70%-kal kell, hogy csökkenjen 2050-re, és a század végéig folytatódnia kell a csökkenő kibocsátási tendenciának (van Vuuren *et al.*, 2011). Ahhoz, hogy ezen a szinten maradjon a sugárzási kényszer, a gázok koncentrációjának is csökkennie kell.

Mind az RCP4.5, mind az RCP6.0 stabilizációs scenárió, melyek az üvegházhatású gázok koncentrációjának stabilizálódásával számolnak, s ezáltal a sugárzási kényszer $4,5 \text{ W/m}^2$, illetve 6 W/m^2 értéken történő stabilizálódását feltételezik (van Vuuren *et al.*, 2011). Ahhoz, hogy ez megtörténhessen, az üvegházhatású gázok antropogén kibocsátásának csökkentésére van szükség. Az RCP6.0 forgatókönyv megvalósítása érdekében a 21. század második felében el kell kezdeni az emberi tevékenységekből adódó globális kibocsátás csökkentését, az RCP4.5 esetén pedig már a század közepe előtt. Az RCP8.5 forgatókönyv közelítése szerint 2100-ra $8,5 \text{ W/m}^2$ értéket ér el az üvegházhatású gázokhoz kapcsolódó sugárzási kényszer, ami csak az antropogén kibocsátás-növekedés lassulását feltételezi. Ebben az esetben az üvegházhatású gázok koncentrációja a jelenlegi ütemben tovább nő (van Vuuren *et al.*, 2011).

A négy forgatókönyvhöz kapcsolódóan a szén-dioxid koncentrációjának becsült alakulását illusztrálja a 3. ábra. Az RCP2.6 scenárió becslései szerint 2100-ra várhatóan 450 ppm körüli globális átlagos koncentrációra számíthatunk, ami a 22. század során valószínűsíthetően tovább csökken. Az RCP4.5 és az RCP6.0 scenárió esetén a feltételezések szerint a légköri szén-dioxid koncentráció növekedésének lassulása várható, mely 2100-ra rendre 550 ppm, illetve 700 ppm körüli lehet, s a koncentráció stabilizálódása csak később következhet be. Az RCP8.5 a szén-dioxid szintjének folyamatos emelkedését valószínűsíti, ezzel egyértelműen a legmagasabb koncentráció értékeket jelezve.

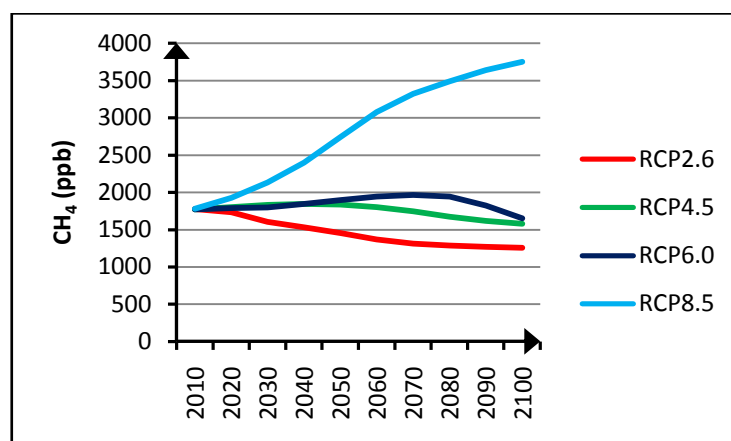
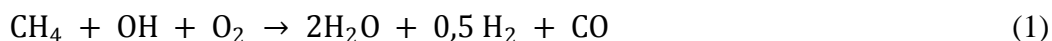
A becslések szerint az óceán szén-dioxid felvétele növekedni fog, míg a szárazföldre vonatkozó feltételezések nagyobb bizonytalanságúak. A különböző kutatási eredmények azt jelzik, hogy a melegebb éghajlatú térségekben kevesebb szén fog tárolódni. Továbbá a hőmérséklet növekedése, az óceáni cirkuláció változása csökkenteni fogja a szén-felvételt a déli óceánokban és az Atlanti-óceán északi részén. Egyes vizsgálatok arra utalnak, hogy a magasabb földrajzi szélességeken a felmelegedés növeli a széntárolást (IPCC, 2014).



3. ábra: A CO₂ becsült globális koncentrációja 2000-2100 időszakban a modellszimulációkban alkalmazott forgatókönyvek szerint, az IPCC (2013) alapján

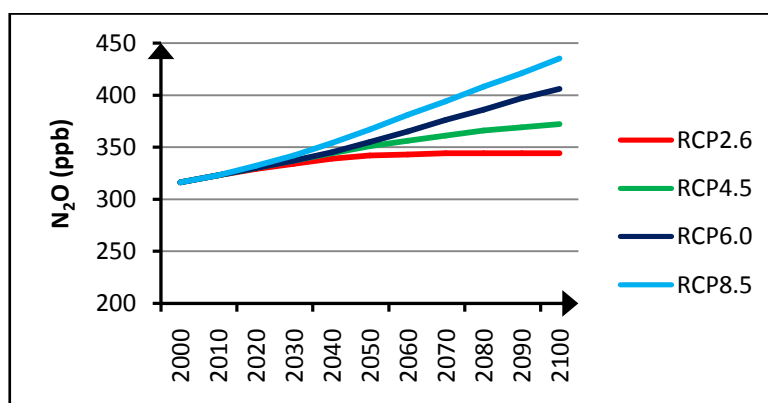
Az RCP8.5 scenárióra vonatkozó becslések szerint a metán antropogén kibocsátása növekedni fog az elkövetkezendő években a melegebb éghajlatú vízesebb területeken, ami a koncentrációban is növekedő tendenciával fog együtt járni (4. ábra). Az egész Földet tekintve a többi scenárió esetén a metán légköri koncentrációjának csökkenésével számolhatunk a 21. század végére. Ennek oka elsősorban a hidroxil-gyök

(OH) megnövekedése a troposzférában. A globális felmelegedés következtében nő a légkörben a vízgőztartalom, ezáltal növekszik a hidroxil-gyök is, aminek következtében csökken a metán koncentrációja (1). A talaj metán felvétele és a halogénezett vegyületek jelenléte ugyancsak befolyásolják a gáz jelenlétét a légkörben (IPCC, 2013).



4. ábra: A CH₄ becslött globális koncentrációja a 2000-2100 időszakban a modellszimulációkban alkalmazott forgatókönyvek szerint, az IPCC (2013) adatai alapján

A feltételezések szerint a dinitrogén-oxid légköri mennyisége nagy valószínűséggel növekedni fog a 21. század során (5. ábra). Az antropogén eredetű – a mezőgazdasághoz és a fosszilis tüzelőanyagok használatához kapcsolódó – kibocsátásból származó dinitrogén-oxid a teljes légköri mennyiség 30-45%-át teszi ki.



5. ábra: A N₂O becslött globális koncentrációja a 2000-2100 időszakban a modellszimulációkban alkalmazott forgatókönyvek szerint, az IPCC, (2013) adatai alapján

Az üvegházhatású gázok koncentrációjának növekedése a sugárzási kényszeren keresztül nagymértékben meghatározza a globális légköri hőmérséklet emelkedését. A légköri komponensek különböző hosszúságú tartózkodási ideje miatt egy bizonyos mértékű melegedésre akkor is számítanunk kellene, ha hirtelen az összes antropogén kibocsátás megszűnne a Földön. A klímamodellek a hőmérséklet egyértelmű növekedését jelzik a 21. századra: az RCP2.6 scenárió esetén a legkisebb mértékű emelkedés, az RCP8.5 scenárió esetén pedig a legnagyobb melegedés valószínűsíthető. A kisebb sugárzási kényszerhez tartozó forgatókönyv esetén a 2100-ra becsült hőmérséklet-növekedés maximális értéke egyes helyeken elérheti akár a 4 °C-ot is az 1970-1999 referencia időszakhoz viszonyítva. Az RCP8.5 forgatókönyvet tekintő modellszámítások szerint a 21. század végére becsült regionális melegedés mértéke akár 8 °C is lehet bizonyos térségekben (*IPCC*, 2013).

A globális átlaghőmérséklet változása az óceánok hőmérsékletére is kihatással van. A legjelentősebb növekedés a pólusok közelében figyelhető meg, főként az Északi-sark térségében, ahol nagyobb mértékű volt a jég olvadása az elmúlt évtizedekben. Ezen tendenciák jövőbeli folytatódása következtében az óceánok vízszintje is emelkedni fog (*IPCC*, 2013). Mivel a melegebb levegő több vízgőzt képes befogadni, a párolgás mértéke is megnövekszik. A csapadék mennyisége ugyanakkor globális mértékben csökkenni fog. Regionális skálán különböző előjelű csapadékváltozások valószínűsíthetők (*IPCC*, 2014). Nem csak az egyes térségekben várható a csapadékviszonyok eltérő jellegű változása, hanem az egyes évszakok várható csapadékváltozásai is különböző előjelűek lehetnek. A pólusok közelében például a jelenleginél több csapadék fog hullani a modellbecslések alapján, míg az alacsonyabb szélességeken szárazabb éghajlatra számíthatunk a század végére. A szélsőséges időjárási események száma összességében várhatóan növekedni fog (*IPCC*, 2012). Habár a fagyos napok számának csökkenését valószínűsítik a modelleredmények, a forró, száraz napok számának emelkedése várható a 21. század során.

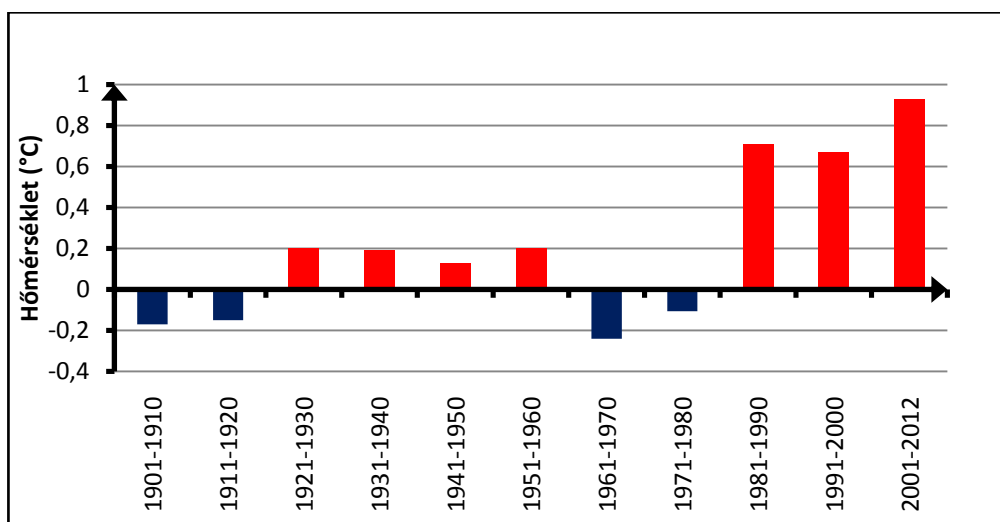
3. Néhány régió várható klímaváltozásának elemzése

3.1. Alaszka

Alaszka az Amerikai Egyesült Államok 49. tagállama, amely a kontinens északnyugati részén helyezkedik el, az ország sarkvidéki részén. Jelentős energiatermelés kapcsolódik a vízenergiához, a kőolaj- és földgáz lelőhelyekhez, mely több ezer embernek biztosít munkát. Növény- és állatvilága igen változatos: számos sarkkörü élőlénynek, valamint vándorló madárnak biztosít otthont. A félsziget északi részén a tundra, míg a többi területen boreális éghajlat uralkodik.

3.1.1. A hőmérséklet és a csapadék változása a múltban

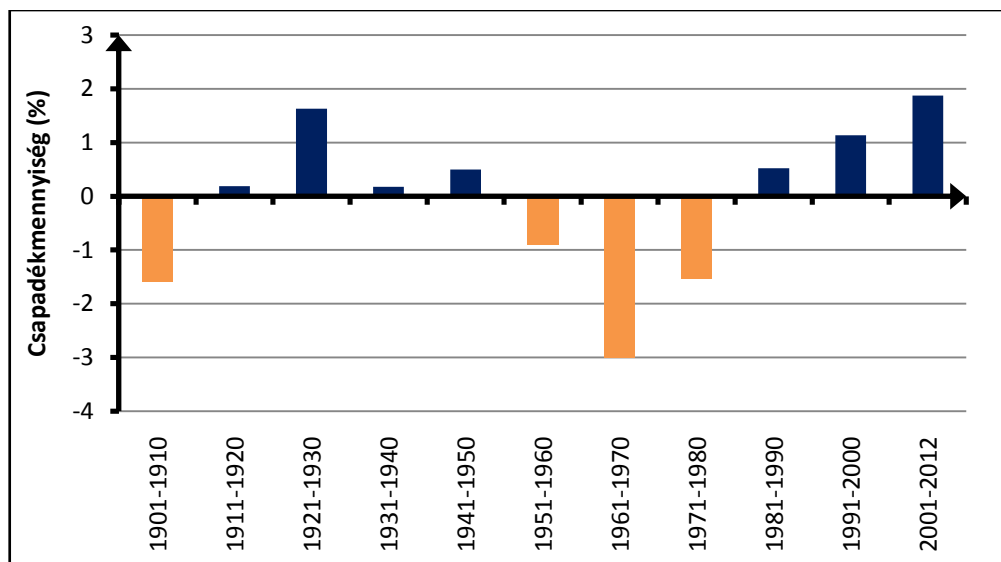
A terület évi átlaghőmérséklete jelenleg $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$. Az elmúlt 50 év átlagos hőmérséklet emelkedése $1,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ volt. A globális átlaghőmérséklet alakulásához hasonlóan 1940-ig folyamatos emelkedés volt tapasztalható, amelyet egy 30 éves alacsonyabb hőmérsékletű időszak követett. Ezután ismét egy növekedési fázis következett, amely még a mai napig is tart (6. ábra). A legmelegebb év 2012-ben volt [5]. Az évszakok közül a téli melegedés volt a legnagyobb [3].



6. ábra: Az évtizedenkénti hőmérséklet eltérések 1901 és 2012 között

Alaszkában, a „Cooperative Institute for Climate and Satellites” adatai alapján [4]. A vízszintes tengelyen az egyes évtizedek átlagos évi hőmérsékleti anomáliái láthatók az 1901-1960 referencia időszakhoz viszonyítva

A csapadékmennyiség évtizedenkénti átlagos évi változásai a hőmérsékletváltozáshoz hasonló tendenciát mutatnak (7. ábra). A 20. század közepén, az 1940-es évektől az 1970-es évek közepéig a csapadék alakulásában is csökkenést figyelhettünk meg [5]. Ezután a csapadék fokozatos emelkedési tendenciája következett.

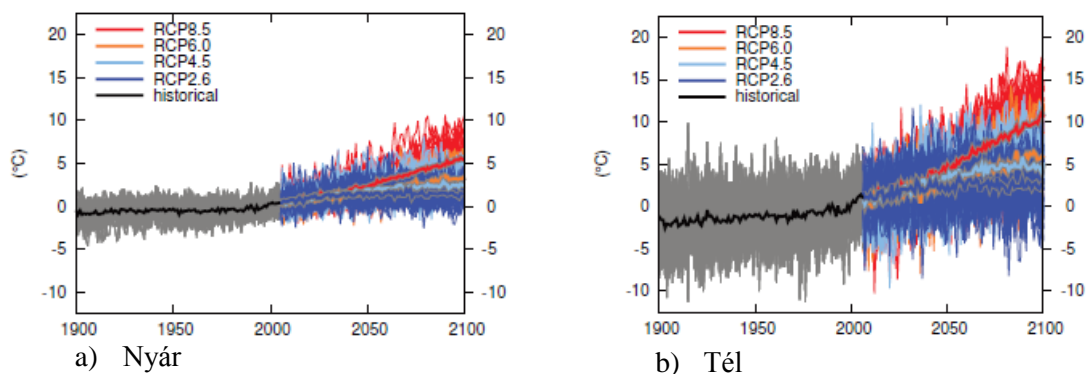


7. ábra: Az évtizedenkénti csapadékmennyiség eltérések 1901 és 2012 között Alaszkában, a „Cooperative Institute for Climate and Satellites” adatai alapján [4]. A vízszintes tengelyen az egyes évtizedek átlagos évi csapadékanomáliái láthatók az 1901-1960 referencia időszakhoz viszonyítva.

3.1.2. A hőmérséklet és a csapadék várható változása a 21. század végére

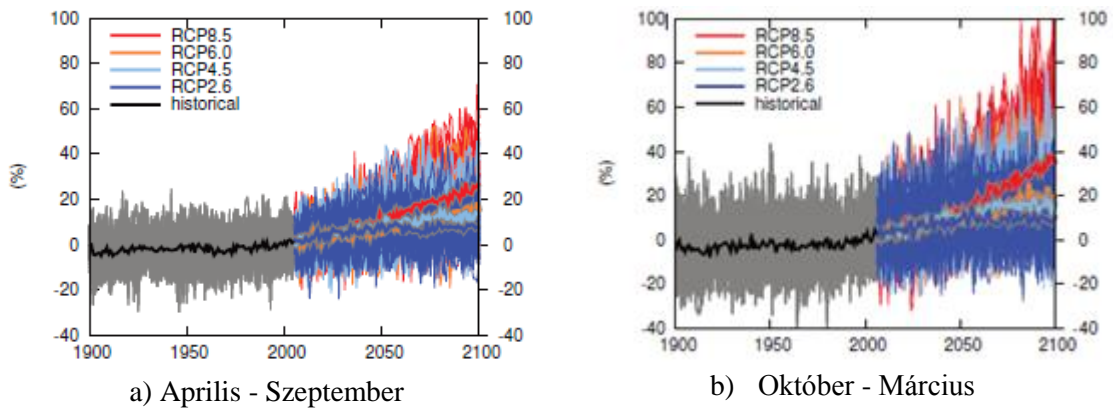
A jövőre vonatkozóan a különböző scenáriókra eltérő eredmények születtek. Az RCP4.5 scenáriot figyelembe vevő modellszimulációk eredményei alapján a hőmérséklet-változás 2050-re elérheti a 4 °C-ot, míg a század végére ez az érték a duplájára is nőhet. A becült trendek azt jelzik, hogy a tél nedvesebb lesz, a nyár szárazabb, s a levegő páratartalma növekedni fog. Az RCP2.6 scenárióra ennél kisebb hőmérsékletemelkedést jeleznek a modellszimulációk, azonban ez a forgatókönyv csak akkor valósulhat meg, ha az üvegházhatású gázok antropogén kibocsátása a század végéig folyamatosan csökkenni fog. Az RCP8.5 scenáriot tekintő modellfuttatások azt feltételezik, hogy a hőmérséklet akár 10 °C-kal is magasabb lehet a téli hónapokban 2100-ra, ha az antropogén kibocsátás mértéke az eddigi ütemben fog tovább növekedni (IPCC, 2014). A modelleredmények egyértelműen azt jelzik, hogy az országban itt a legnagyobb a hőmérséklet emelkedése. Ha

évszakokra lebontva tekintjük a változás mértékét, a scenáriók azt feltételezik, hogy télen nagyobb lesz a változás mértéke, mint nyáron (8. ábra). A növekedés következtében csökkenni fog a fagyos napok száma, míg a nyári napok száma, illetve a meleg évszakhoz kapcsolódó szélsőséges időjárási események gyakorisága növekedni fog [5].



8. ábra: A múltra és a jövőre vonatkozó modellszimulációk eredménye a becült hőmérséklet-változás mértékére Alaszkára 1900-2100 időszakban, referencia időszak: 1986-2005 (IPCC, 2013)

A csapadékmennyiség változásában az elmúlt évekhez képest növekedés valószínűsíthető. Ez a növekedés azonban területenként különböző lehet. A legnagyobb mértékben az északi területeken várható intenzívebb csapadéknövekedés. Mind a négy scenárió esetén a modellbecslések a csapadék mennyiségének egyértelmű növekedését feltételezik (9. ábra). A jelenlegihez képest 30%-kal is több csapadék hullhat, ha az üvegházhatású gázok koncentrációja tovább növekszik. A növekedés várhatóan leginkább a téli csapadék mennyiségében fog bekövetkezni, illetve a heves téli viharok fokozódására kell számítani. A szélsőbesség 1985 óta folytonos emelkedést mutat, ami nagymértékben befolyásolja a szélsőséges időjárási eseményeket. Az éghajlati becslések alapján Észak-Amerika egész területén a heves esőzések intenzitása megnő, és gyakoribbak lesznek a 21. század végére (Stegall és Zhang, 2012). Az RCP2.6 scenárió szerint a szélsőségesen csapadékos napok száma akár megkétszereződhet a jelenlegihez képest, míg az RCP8.5 forgatókönyv szerint akár az ötszörösére is növekedhet 2100-ig [5].



9. ábra: A múltra és a jövőre vonatkozó modellszimulációk eredménye a becstült csapadék-változás mértékére Alaszka 1900-2100 időszakban, referencia időszak: 1986-2005 (IPCC, 2013)

3.1.3. Az éghajlatváltozás hatása a helyi bioszférára

A globális hőmérséklet-emelkedés számos következményt von maga után a vizsgált területen. Ezek a változások hatással lesznek a növény- és az állatvilágra egyaránt. Egyik fő probléma, hogy a hőmérséklet növekedésével az északi sarkvidék szárazföldi hó- és jégtakarója folyamatosan olvad, s ennek hatására megemelkedik a vízszint. A tengeri jég olvadásának következményeképpen a tengerek, óceánok kémiai összetételében is változás várható. A vízszintemelkedés következtében a part menti erózió mértéke megnövekedik, valamint az árvizek gyakorisága is fokozódik. Tavasszal korábban kezdődik a hóolvadás időszaka, már most is csaknem egy hónappal korábbra tehető, mint 50 évvel ezelőtt. A nyarak végén, főként a szeptemberi hónapban 11,5%-kal csökkent a jégkoncentráció a vizekben az 1979-es átlaghoz képest, és nagy valószínűséggel 2030-ra teljesen jégmentesek lesznek az Alaszka környéki tengerek (Mcnabb et al., 2012). A jég csökkenésével az óceán sokkal több energiát tud elnyelni, aminek hatására a víz hőmérséklete növekszik, így ősszel és télen erősebb az óceánok hőátadása a légkör felé. Ez vezet a hőmérséklet növekedéséhez a térségben. A párolgás mértéke ugyancsak nő, aminek következtében több vízgőz kondenzálódik, s ez okozza a csapadékmennyiség növekedését a nyugati területeken. Mindez kihatással lesz a terület állatvilágára. A jégkedvelő élőlények kénytelenek lesznek északabbra húzódní. Ezáltal az ott lakó emberek életmódjában is változás fog bekövetkezni, mivel a környéken megforduló állatok táplálékot nyújtanak számukra. Fontos pozitív gazdasági jelentősége is van a jégolvadásnak, mivel megkönnyíti az kőolaj és a földgáz kitermelését, a hajózást, ezáltal javul a tengeri infrastruktúra, és új lehetőségek nyílnak a kereskedelemben [3].

Az elmúlt 60 évben Alaszkában kétszer olyan gyorsan növekedett a hőmérséklet, mint az Amerikai Egyesült Államok más területein. A becslések szerint nem csak a tengeri jég kiterjedése fog jelentősen lecsökkenni, hanem a szárazföldi gleccserek nagysága is. Nagy valószínűséggel a gleccserolvadás 20-30% közötti mértékben járul majd hozzá a tengerek vízszint-emelkedéséhez.

Alaska 80%-a permafroszt terület. Ez olyan felszíni talajréteget jelent, amely 0,3-0,6 m mélységbe nyúlik le és állandóan fagyott állapotban marad. A várható melegedés következtében ez a terület olvadásnak indul, ezáltal a talajszint fokozatosan süllyed (*IPCC*, 2014). Az olvadás kárt tesz a talaj szerkezetében, illetve megbénítja a szárazföldi infrastruktúrát, mivel vasutak, közutak épültek ezekre az eddig fagyott talajokra. A valószínűsíthető olvadás ugyancsak problémát okoz a lakóházak esetében, ami sok embert érinthet a jövőben.

A modellbecslések alapján a nyári aszályok gyakorisága növekedni fog, amely számos természeti katasztrófát fog maga után vonni. A tundra éghajlat fái kiszáradnak, kisebb valószínűséggel erdőtüzek léphetnek fel egy adott területen. A tenyészidőszak hossza 45%-kal nőtt az elmúlt évszázadban, és ez a növekedési tendencia várhatóan folytatódni fog több héttel, akár hónapokkal is megnövekedhet, ha az antropogén széndioxid kibocsátás nem fog mérséklődni, sőt csökkenni az elkövetkezendő évtizedekben. Ez ugyan javítja a természet növények fejlődésének körülményeit, ám a magasabb hőmérséklet miatt a párolgás mértéke is nagyobb lesz, aminek következtében a növények vízhiánnyal küszködhetnek [3].

3.2. Antarktisz

A hetedik kontinens Földünk leghidegebb része, amelynek mintegy 95%-át jég és hó borítja. Ebből következik, hogy a térség albedója rendkívül magas. Mivel a téli időszakban e terület kiesik a Nap sugárzási szögéből, 4-6 hónapon keresztül sötétség uralkodik. Ekkor napfény hiányában csak kisugárzás történik, ami tovább hűti az amúgy is hideg kontinenst. Domborzatára egyaránt jellemzők a hegyvonulatok, síkságok és medencék (10. ábra). Növény- és állatvilága a partvonalai szakaszra koncentrált a nagyon alacsony hőmérsékletek miatt. A térséget klímaváltozás szempontjából két részre

lehet osztani. A melegebb Nyugat-Antarktiszra és a hidegebb Kelet-Antarktiszra. Számos kutatóállomás található a kontinensen, amelyeken többek között meteorológiai méréseket is folytatnak. A legtöbbről 1950 óta vannak adataink, amelyekből fontos következtetéseket lehet levonni a múlt éghajlatára vonatkozóan, és a jövőbeli becslésekhez kiindulási alapot szolgáltatnak. Éghajlata rendkívül hideg, az évi átlagos középhőmérséklet $-49\text{ }^{\circ}\text{C}$, míg az átlagos csapadékmennyisége 150-200 mm évente, ami hó formájában jelenik meg. A szél hófúvásokban teljedik ki, ami a 400 m-től az 1000 m magasságot is elérheti a légkörben. Az évi átlagos szélesség 2,5-5 m/s közötti értéket vesz fel (Casey et al., 2014).



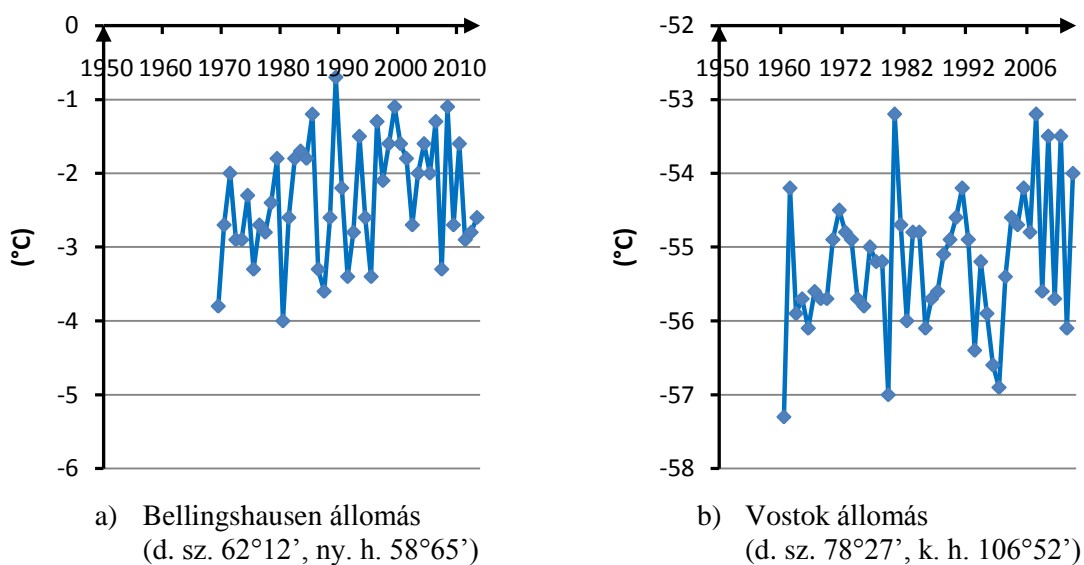
10. ábra: Az Antarktisz térképe, néhány fontosabb kutatóállomás megjelölésével [6]

3.2.1. A hőmérséklet és a csapadék változása a múltban

Általánosságban elmondható, hogy minden szárazföldi régióban jelentős mértékben hozzájárultak az emberi tevékenységből származó hatások a 20. század közepe óta detektált hőmérséklet emelkedéséhez, ez alól kivételt képez ez a térség. Az 1950-től regisztrált megfigyelések alapján a kutatóállomásokon növekedett a hőmérséklet, azonban ez a növekedés területenként különböző, illetve időszakonként sem egységes. A múltira vonatkozó modellszimulációk eredményei nem bizonyítják egyértelműen, hogy az

antropogén hatások lettek volna meghatározók a detektált melegedésben. Az elmúlt 20 év megfigyelései alapján a kontinens nyugati részén a nyári hónapokban a hőmérséklet emelkedett, s Nyugat-Antarktisz a Föld egyik leggyorsabban melegedő régiója (*Bromwich, et al., 2013*). Az Antarktisz keleti régióiban viszont csökkent a hőmérséklet.

A déli sarkvidék hőmérsékletét nagymértékben befolyásolják az óceáni áramlatok, valamint a sztratoszféra ózonkoncentrációjának csökkenése. Az Atlanti-óceán felől érkező nedves légáramlatok a Weddell-tengeren keresztül befolyásolják a terület időjárását, míg a Csendes-óceán felől áramló hő- és csapadékmennyiségek a Ross-tengeren át éreztetik hatásukat. Az iparosodás óta az évi középhőmérséklet értéke összességében 2 °C-kal emelkedett, és a jövőre vonatkozó modellszimulációk további melegedést jeleznek (*Casey, 2014*). A csendes-óceáni trópusi légáramlat hatására az elmúlt 30 évben jelentősen megnövekedett a hőmérséklet. A trópusi légtömeg főként télen és kis mértékben kora tavasszal érezteti hatását. E terület hő- és nedvességszállítása jelentős a belső régiók felé .

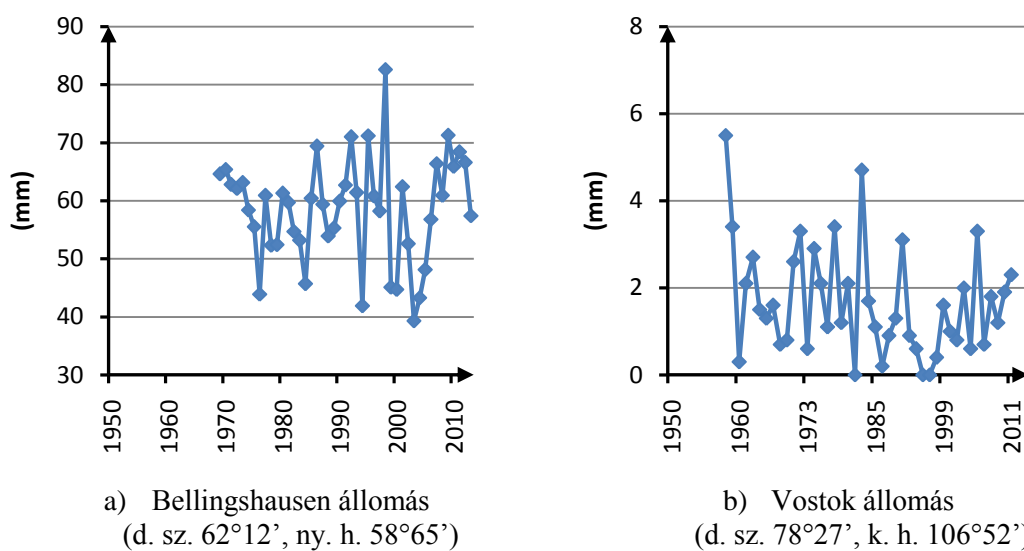


11. ábra: Az évi középhőmérséklet alakulása a 20. század második felétől napjainkig az Antarktiszon a két állomás mérései alapján [7], [8]

A 11. ábrán megfigyelhető, hogy az évi középhőmérsékleti értékek jelentősen eltérnek egymástól a két kutatóállomáson, ez jelzi az Antarktiszon belüli éghajlati különbségeket. Bellingshausen állomás az Antarktisz nyugati partszakaszán található, ahol lényegesen

melegebb klíma jellemző, mint a Vostok kutatási területen, ami a kontinens keleti oldalán lévő belsőbb területen helyezkedik el.

Az elmúlt évtizedek csapadékmennyiségét befolyásolták a különböző légáramlatok és az ennek hatására jelentkező hőmérséklet-emelkedés. A későbbiekben (3.2.3.) hosszabban lesz szó a jégveszteség csökkenéséről, aminek a hatására emelkedik a tengerek, óceánok vízszintje. Emellett a magasabb hőmérsékleti viszonyok között több vízgőz képes kondenzálódni, s ez több csapadékot eredményez. A kontinens nyugati részén lényegesen magasabb a csapadék évi mennyisége, mint a keleti oldalon, ahol a hőmérséklet is alacsonyabb értéket vesz fel. Az Antarktisz alapvetően jóval szárazabb keleti részén a lehullott hó mennyisége valamelyest megnövekedett az utóbbi évtizedekben. A két különböző állomáson mért értékek alapján elmondható, hogy a csapadék mennyisége a 2000-es évektől növekedő tendenciát mutat (12. ábra).

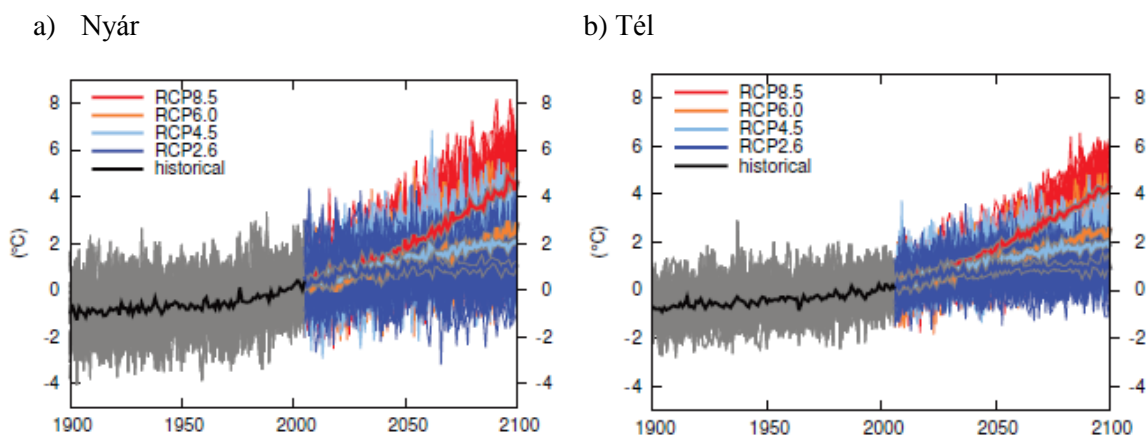


12. ábra: Az évi átlagos csapadékösszeg a 20. század második felétől napjainkig az Antarktiszon a két kutatóállomás mérései alapján [7], [8]

3.2.2. A hőmérséklet és a csapadék várható változása a 21. század végére

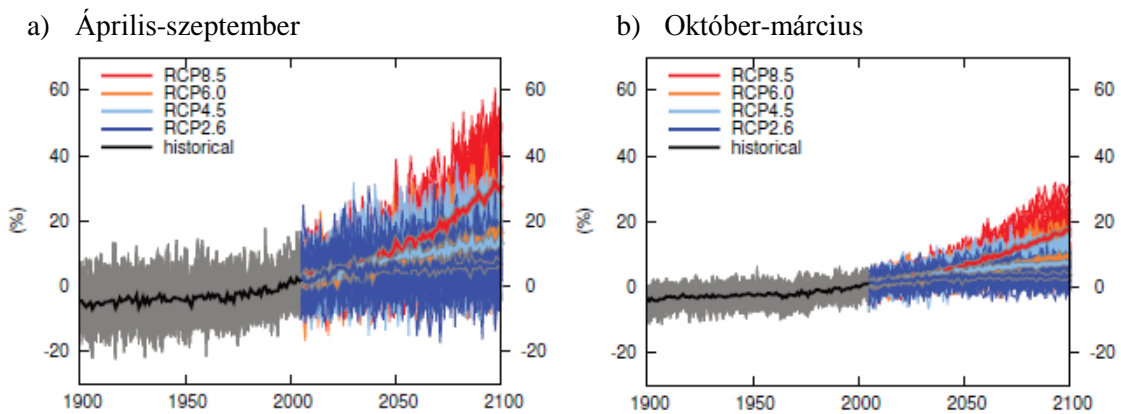
A jövőbeli hőmérséklet alakulását külön kell vizsgálni e területen szárazföldi és tengeri részre bontva, mivel a tengereken a különböző légköri áramlatok jelentős hatást fejtenek ki. Az Antarktisz térségére vonatkozó CMIP5 modellfuttatási eredmények között kisebb az eltérés, mint ahogy azt Alaszkában megfigyelhettük. Az RCP2.6 scenárió esetére kapott modellezési eredmények szerint a felszínközeli léghőmérséklet télen 1,5 °C

és 2 °C között fog növekedni a század végére. Az RCP8.5 scenárió esetén a becült melegedés 4 °C és 6 °C közötti a téli időszakban (13. ábra). A tengeri területek felett kisebb lesz a felmelegedés mértéke: a modelleredmények azt jelzik, hogy a téli középhőmérséklet maximális változásának értéke 2 °C körül fog alakulni (IPCC, 2014). A nyári időszakban is sokkal nagyobb hőmérséklet-emelkedésre számíthatunk a szárazföldi területek esetén. Az RCP8.5 scenáriót tekintő modellszámítások jelzései alapján 5 °C és 7 °C közötti hőmérséklet-növekedés várható, míg az RCP2.6 scenárió esetén maximum 2 °C és 3 °C közötti regionális melegedés valószínűsíthető. A tengerek feletti hőmérséklet-változás ehhez viszonyítva valamelyest kisebb lesz a szimulációs eredmények alapján. Az elmúlt évszázad megfigyelt hőmérsékleti értékeihez képest egyértelműen hőmérséklet-növekedés várható a századfordulóra (13. ábra).



13. ábra: A múltra és a jövőre vonatkozó modellszimulációk eredménye a becült évszakos hőmérséklet-változás mértékére az Antarktiszra 1900-2100 időszakban, referencia időszak: 1986-2005 (IPCC, 2013)

A csapadékmennyiségre vonatkozó becslések a téli és a nyári félévre is növekedést jeleznek a térségben (14. ábra). A két félév közül egyértelműen az áprilistól szeptemberig terjedő időszakban jeleznek nagyobb csapadéknövekedést a modellszimulációk. Az RCP8.5 scenárióra kapott eredmények szerint a szárazföldi régiókban a várható változás mértéke akár 40%-os is lehet a nyári félévben a 21. század végére, míg a tengerek felett alig éri el 20%-ot. Az októbertől márciusig terjedő téli félévben a becült változás mértéke jóval alacsonyabb, 20% körüli a szárazföldön és a tengeren egyaránt. Az RCP2.6 scenárióra mind a két esetben kisebb – mintegy feleakkora – változások valószínűsíthetők, mint az RCP8.5 scenárió esetén.



14. ábra: A múltira és a jövőre vonatkozó modellszimulációk eredménye a becsült féléves csapadék-változás mértékére az Antarktiszra 1900-2100 időszakban, referencia időszak: 1986-2005 (IPCC, 2013)

3.2.3. A klímaváltozás hatása a kontinensen

A hőmérséklet és a csapadék eddigi megváltozásának már jelentős következményei voltak az elmúlt században is, amelyek tovább fokozódhatnak, ha nem történik jelentős csökkentés az emberi tevékenységekben és az ezekhez kapcsolódó üvegházhatású gázok kibocsátásban. A leginkább észrevehető a szárazföldi és a tengeri jégtakaró mennyiségének csökkenése. Az elmúlt két évtizedben Grönland mellett az Antarktisz vesztette legnagyobb mennyiségét jeges vidékeiből. A jég vesztesége 30 Gt-ról 147 Gt-ra növekedett 2002 és 2012 között a térség északi részén az Antarktisi-félszigeten, illetve nyugati területein főként az Amundsen-tengernél, ahol a hőmérsékleti értékek is magasabbak. A globális hőmérséklet-növekedés következtében nagy valószínűséggel tovább fog csökkenni a jégtömeg koncentrációja a 21. század végére. A gleccserek csökkenése főként az 1960-as évek óta jelentős az Antarktison, 1990-ig átlagosan 0,76 mm/év ütemű veszteséget detektáltak. Azóta ennek mértéke megnövekedett 0,83 mm/év-re. A modellbecslések szerint nagyságuk 5-55% közötti értékben fog csökkenni az RCP2.6 scenárió esetén, míg 35-85% közötti veszteség is felléphet az RCP8.5 scenárió esetén. A kontinens alapköze a tengerszint alatt található, aminek következtében a jégtakaró lejt az óceán felé. Az óceáni hőmérséklet-növekedés hatására a jég az alsóbb rétegekben elolvad, és letörhet, mivel az óceán mélyebb részein magasabb hőmérsékleti értékek uralkodnak (IPCC, 2014). Az antarktisi jégtakaró nagy valószínűséggel a globális óceáni felmelegedés miatt csökkent az elmúlt évszázadokban. Az IPCC Negyedik helyzetértékelő jelentésének megállapításai között szerepel, hogy a jégtakaró csökkenése jelentős mértékben hozzájárult az óceánok

szintjének növekedéséhez (IPCC, 2007). 1971 és 2010 között átlagosan évi 0,25-0,99 mm közötti változást regisztráltak. Az Antarktisz körül a tengerek mélyebb vizei az 1992 és 2005 közötti időszakban egyértelműen melegek az uralkodó légáramlatok hatására. A legnagyobb mértékű hőmérséklet-emelkedést a Ross-tengeren, az Amundsen- és a Bellingshausen-tengeren figyelték meg. 1979 óta a jégtömeg nagysága 1999-ig nem változott jelentős mértékben, a nagyobb változások 1999-től kezdődtek. A Ross-tengerben növekedést detektáltak, főként ősszel, míg az Amundsen-tengeren és a Bellingshausen-tengeren csökkent a jégtömegek nagysága. Az Antarktisi-félszigeten végzett geokémiai és ökológiai vizsgálatok azt bizonyítják, hogy az El Nino események és a nyári besugárzás befolyásolja leginkább a jégtakaró változását az óceáni légtömegek helyett (Pike et al., 2013). Fontos megjegyezni azonban, hogy a nyári besugárzás hatása lassabban jelentkezik, míg az óceánhoz köthető folyamatok hatása azonnal érezhető hatású.

Ding et al. (2011) vizsgálatai szerint a jég csökkenésének oka a sztratoszférikus ózon koncentráció csökkenése, mely az utóbbi néhány évtizedben elsősorban az Antarktisz környékén jelentkezett. Az ózonréteg elvékonyodásához főként az emberi tevékenység által kibocsátott halogénezett szénhidrogén-vegyületek vezetnek. A montreali egyezmény [14] óta ezeknek a fluor- és klórtartalmú vegyületeknek a kibocsátása jelentősen lecsökkent, és az ózon mennyiség stabilizációja is megindult. Mivel a jövőbeni nyári időszakokban a modellek számításai alapján a tengerek nagyobb mértékben jégmentessé válnak, ezáltal albedójuk csökken, s így az infravörös sugárzás abszorpciója meg fog nőni ezeken a területeken.

A partok mentén egyre több ún. polynia alakul ki. A polynia olyan jeges terület, amit víz vesz körül. Kialakulásának két oka lehet. Az egyik, hogy a mélyebb rétegekből feltörő melegebb hő kilyukasztja a jeget, így könnyebben elválhatnak egymástól, a másik pedig, hogy a szelek is mozgatják a jégtömegeket. Nagyon kevés százalékuk éli túl a nyarat. 1979 és 2012 között a jégkiterjedés változásának üteme 1,2%-ról 1,8%-ra nőtt évtizedente (Parkinson és Cavalieri, 2012). Ez a növekedés területenként változó, és nem általánosítható minden régióra. Az újabb, gravitációs módszerrel végzett mérések már pontosabb becsléseket adnak, mint amelyek alapján a Negyedik helyzetértékelő jelentés (IPCC, 2007) készült. Ezek a mérések nagy bizonyossággal azt jelzik, hogy az Antarktisi-félsziget jégtakarója egyre kisebb kiterjedésű. A modellszimulációk eredményei alátámasztják az elmúlt két évtizedben megfigyelt jégcsökkenést. Az elmúlt években ugyan jelentős csapadéknövekedés volt tapasztalható az Antarktisi-félsziget területén, ez

azonban nem ellensúlyozta a fellépő jégvesztéséget. A növekvő felszínközeli léghőmérséklet növeli az olvadás mértékét, ezáltal nagyobb lesz a légkör nedvességbefogadó kapacitása. Ennek következtében több vízgőz kerülhet a sarkvidéki levegőbe, s így a csapadék mennyisége is megnövekedik (a fagypont alatti hőmérséklet miatt ez továbbra is havazás formájában történik). A lehulló hó csak az egyik eleme a krioszférának, mely szoros összefüggésben van a többi elem – a gleccserek és a jégtakarók – képződésével. A hóval borított felszín két legfontosabb tulajdonsága a magas albedó és a kis hővezetési képesség.

A kontinens egésze permafroszt állapotú, azaz fagyott talajú. Ennek fizikai állapotát a jégtartalma és a hőmérséklete határozza meg. Az Antarktkisz esetében a permafroszt réteg átlaghőmérséklete $-23,6\text{ }^{\circ}\text{C}$, s ez az utóbbi három évtizedben a legtöbb területen növekedett. A hidegebb területeken nagyobb hőmérséklet-emelkedés történt, mint a melegebb éghajlatú régiókban (IPCC, 2014).

A klímaváltozás várható hatásai módosítják a sarkvidéki régiót, amely azonban erős térbeli heterogenitást mutat a társadalmi rendszerek és a hozzá kapcsolódó tényezők miatt. Az Antarktisi-félszigeten végbemenő fizikai változások megváltoztatják a környező ökoszisztémát. Nagy bizonyossággal kimondható, hogy az olvadó hó és permafroszt területek olvadása hatással van a földi és az édesvízi ökoszisztémákra, valamint közepes bizonyossággal a csapadék-párolgásra is. Az Antarktison felgyülemlett CO_2 koncentráció miatt az óceánok további savasodása valószínűsíthető, ami hatással van a környező növény- és állatvilágra. A növekvő hőmérséklet nagy hatással lesz a vízi világra. A leginkább veszélyeztetett édesvízi rendszerek az Antarktisi-félszigeten, illetve a tengeri kis szigeteken vannak, ahol egy kisebb mértékű hőmérséklet-emelkedés is relatíve óriási változást okoz. A területre jelentős mennyiségű, nem őshonos növényt és állatot terveznek betelepíteni (Convey et al., 2009), amelyek pusztító következményekkel járhatnak a már meglévő ökoszisztémára nézve. Az antropogén hatások befolyásolhatják a regionális klímaváltozást a térségben. Az itt élő fajok többségére nagy hatással van a megfigyelt változási folyamat. Például a császárpingvinek fennmaradása szorosan kapcsolódik a jeges területek olvadásához: ha a Föld globális átlaghőmérséklete több mint $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ -kal fog nőni az iparosodás előtti éghajlati viszonyokhoz képest, akkor a becslések szerint olyan nagymértékű jégolvadás várható, hogy az a pingvinállomány 40%-ának eltűnését eredményezheti (IPCC, 2014).

3.3. Ausztrália

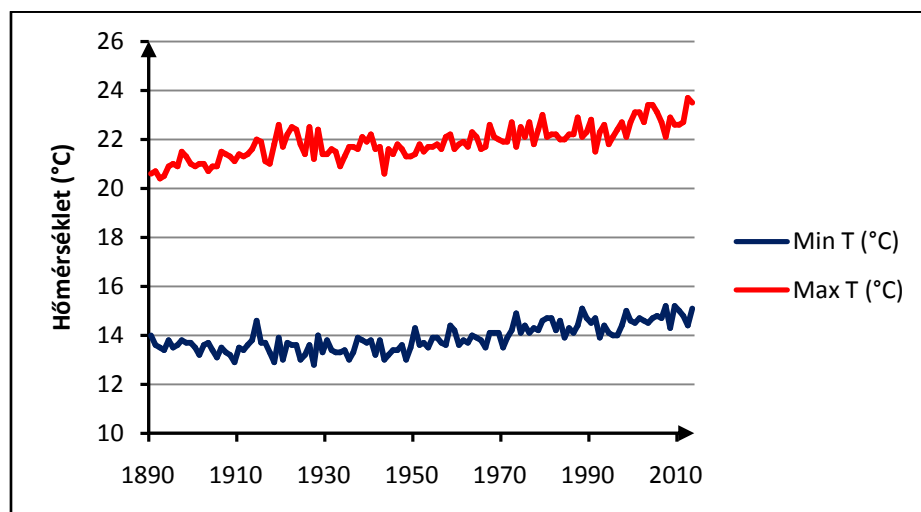
A legkisebb kontinens a Földön, változatos éghajlatával, növény- és állatvilágával. Az ország északi fele a forró éghajlati övben helyezkedik el, míg a déli része a mérsékelt éghajlati övben található. Hosszanti terjeszkedését tekintve különböző éghajlati típusok jelennek meg a térségben. Ausztrália éghajlat szempontjából sokféleséget mutat. Megtalálható a nedves trópusi monszuntól kezdve a száraz és mérsékelt nedves monszun, illetve a hegyvidéki éghajlat is. A terület éghajlatára nagy befolyása van az Ázsia déli részén uralkodó monszunnak, a délkeleti passzát szélnek és a trópusi ciklonoknak Ausztrália északi részén. Dél-Ausztráliában pedig a szubtrópusi ciklonok befolyásolják az éghajlatot. A Baktérítő környékén sivatagi éghajlat uralkodik, míg déli területeken a mediterrán éghajlat is helyet foglal. A változatos éghajlatú területeket több tényező befolyásolja. A csapadékmennyiség szempontjából a monszunos területeken nagy hatást gyakorol az El Nino/Déli oszcilláció jelenség (*Nicholls*, 2008), ami jelentős csapadékot szállít a területre novembertől áprilisig. Az Ázsia felől érkező szubtrópusi, trópusi ciklonok által szállított csapadék az évi csapadékmennyiség 60%-át adja. Az északi, nyugatias szelek és az Indiai-óceán légtömegei szintén befolyásolják a térség csapadékmérlegét. A SAM¹⁰ jelentős szerepet játszik a déli területek csapadék növelésében nyáron [15].

3.3.1. A hőmérséklet és a csapadék változása a múltban

Az elmúlt évtizedekben ezen a területen detektált klímaváltozás szintén az antropogén hatásokra vezethető vissza, azonban az Ausztráliában történt felmelegedés Alaszkához és az Antarktiszhoz képest kisebb mértékű volt. Az elmúlt 50 évben a hőmérséklet 0,4-0,7 °C között emelkedett. A legújabb kutatások [9] szerint a déli óceáni térségek CO₂ tárolása az óceáni víz savasodásához vezet. A kontinens körüli óceáni területek mellett, Ausztrália szárazföldi térsége is rendkívül nagy mennyiségű szénat képes elnyelni növényzetével és talajaival. Az aeroszol kibocsátás csökkenése ugyancsak befolyásolja a térség melegedését, mivel a kevesebb légköri aeroszol mennyiség hatására a hőmérséklet tovább növekszik. Az északi félgömb növekvő aeroszol mennyisége hozzájárult a déli félgömbön a szubtrópusi áramlás gyengüléséhez, ami az üvegházhatású gázok hatásának erősödését eredményezte a légkörben.

¹⁰ Southern Annular Mode – Dél Gyűrűs Mód

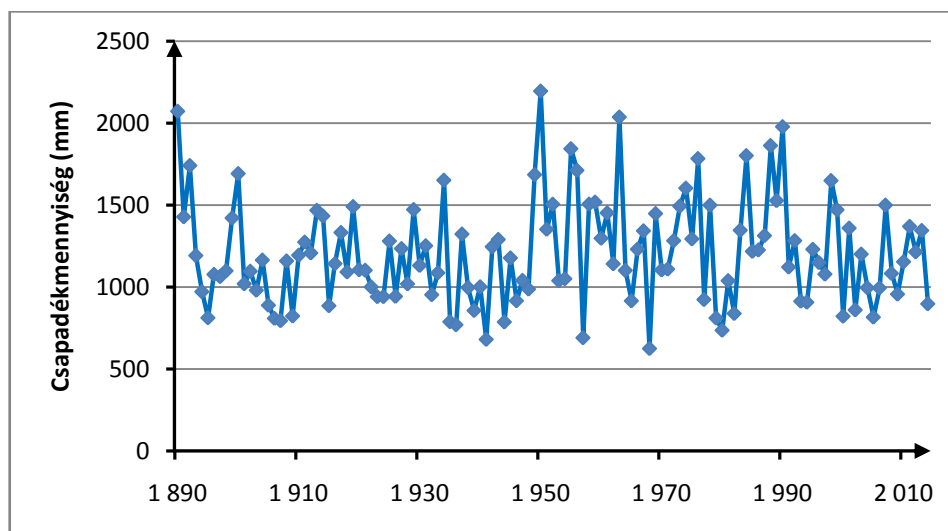
A 20. században megemelkedtek az éjszakai hőmérsékleti értékek, növekedett a hosszabb hóhullámok gyakorisága, és összességében szárazabbá vált az éghajlat. A meleg napok száma nőtt, a fagyos napok száma viszont csökkent az ország egész területén. Példaként a 15. ábra a délkeleti régióban található Sydney hőmérsékleti viszonyait illusztrálja. A hőmérséklet-növekedés miatt gyakoribbak az aszályok a térségben, azonban az északnyugati területen csökkent a gyakoriságuk és intenzitásuk 1950 óta (*Alexander és Arblaster, 2009*). A hóhullámok növekedéséhez hozzájárulnak az anticiklonális helyzetek, amelyek megnövelik a szárazság valószínűségét. 1957 és 2012 között jelentős mértékben csökkent a téli évszak végén a hegyvidéki hótakaró vastagsága. Az IPCC Negyedik helyzetértékelő jelentésében kiemelték a csökkenő kádpárolgási értékeket, melynek oka a csökkenő felszíni napsugárzás, a növekvő specifikus nedvesség, a megnövekedett felhőzet illetve a szélesebb csökkenése (*IPCC, 2007*). A Csendes-óceán szubtrópusi hatása felerősödött az elmúlt két évtizedben Kelet-Ausztráliában és a Tasman-tengeren. Közepes bizonyossággal a nyugati szelek mértéke növekedett az 1980-as évek óta az óceán déli részén, amihez a SAM is hozzájárult. A rádiószondák mérései alapján a relatív nedvesség csökkent az utóbbi évtizedekben.



15. ábra: Havi minimum és maximum hőmérséklet átlagok változása a 19. század közepétől napjainkig Sydneyben (d. sz. 33°51', k. h. 151°12') az Observatory Hill adatai alapján [10]

Csapadékmennyiség szempontjából változatos képet mutat az ország. A partvidékek mentén nagyobb a csapadékmennyiség, míg a szárazföld belseje felé haladva száraz, sivatagi területeket találunk. 1950-től átlagosan 70 mm-t növekedett a mennyisége,

melyhez számos tényező hozzájárult. A CRU¹¹, GHCN¹², GPCC¹³ csapadék adatbázisok alapján egyaránt megállapítható, hogy 1901 és 2008 között a csapadéknövekedés statisztikailag szignifikáns. A trendek azt mutatják, hogy a szárazság csökkent Északnyugat-Ausztráliában, ami az extrém csapadékok növekedésének tudható be (Alexander, L.V. 2009). A monszun hatására a nyári csapadék több mint 50%-kal megnövekedett, míg az északkeleti részen 1980 óta markánsan csökkentő esőzések figyelhetők meg. A déli területeken az utóbbi 10 évben csökkent az extrém csapadékos napok száma, és a teljes csapadékösszeg is csökkenő tendenciát mutat, elsősorban ősszel (16. ábra). A délnyugati és a nyugati régióban a téli csapadék csökkent az 1960-as évek végétől, ami összefüggésbe hozható a tengerszinti légnyomás változásával (IPCC, 2014).



16. ábra: Az évi csapadékösszegek alakulása Sydneyben (d. sz. 33°51', k. h. 151°12') az Observatory Hill adatai alapján [10]

3.3.2. A hőmérséklet és a csapadék várható változása a 21. század végére

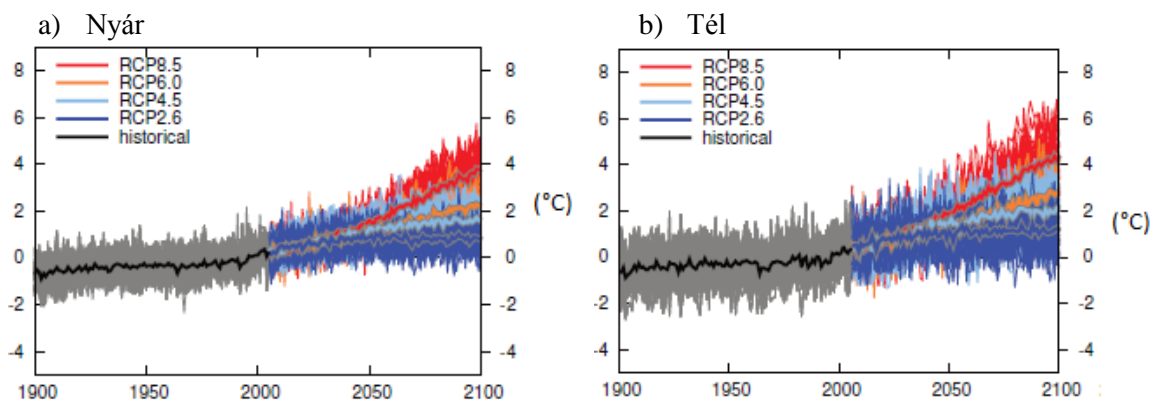
A modellszimulációk azt jelzik, hogy a 21. század folyamán az eddigi tendencia folytatódni fog a hőmérséklet-változás tekintetében. Ausztráliára vonatkozóan az RCP2.6 scenárió esetén a modellfuttatások mintegy 2 °C-os emelkedést jeleznek a 21. század végére, az RCP8.5 scenárió esetén már 2050-re 2-3 °C-os emelkedés várható, a 21. század végére pedig 4-5 °C-os melegedés valószínűsíthető. Dél-Ausztráliában a téli és nyári időszakokra várható hőmérséklet-növekedés között nincs jelentősebb elérés (17. ábra). Az

¹¹ Climate Research Unit – Éghajlatkutatói Részleg

¹² Global Historic Climatology Network – Globális Történelmi Éghajlati Hálózat

¹³ Global Precipitation Climatology Centre – Globális Csapadékklimatológiai Központ

északkeleti régióra vonatkozó becslések nagyobb bizonytalansággal terheltek az ENSO¹⁴ hatása miatt, a modellszimulációk összességében gyakoribb forró nappalokat és melegebb éjszakákat, valamint ritkább hideg nappalokat és éjszakákat valószínűsítenek más területekhez képest (Sillmann, J. et al., 2013). Az extrém események időtartama várhatóan rövidebb lesz, bár az intenzitásuk növekedni fog. Ennek következtében az aszály mértéke várhatóan növekedni fog a század végére. A szélsőséges hőmérsékleti események változásai a belsőbb szárazföldi területeken nagyobb mértékű melegedést eredményeznek Dél-Ausztráliában, mint a közeli óceáni térségekben. A légnyomásemelkedés következtében a szubtrópusi régiókban gyakori nyári szárazságra kell felkészülni (Alexander és Arblaster, 2009). Nagy bizonyossággal az ENSO befolyása a 21. században növekedni fog. A párolgás mértéke a modellbecslések alapján csökkenni fog a század végére.

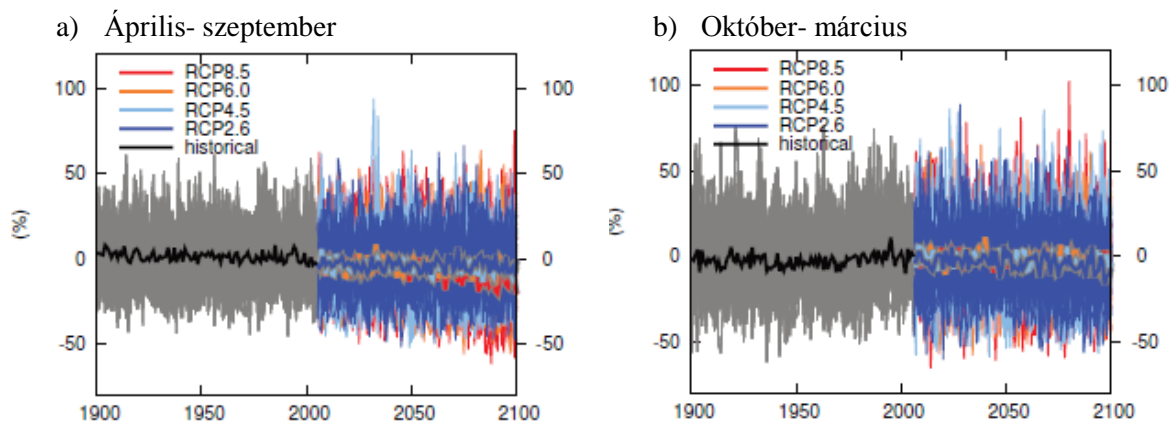


17. ábra: A múltra és a jövőre vonatkozó modellszimulációk eredménye a becsült évszakos hőmérséklet-változás mértékére Ausztráliára 1900-2100 időszakban, referencia időszak: 1986-2005 (IPCC, 2013)

A modellszimulációk Ausztráliára összességében a csapadék növekedését jelzik a 21. század végére. Azokon a területeken, ahol a csapadék korábban is növekedett, ott további növekedésre lehet számítani, ahol pedig csökkenést tapasztaltunk, a továbbiakban is csökkenés várható. A monszun által érintett területeken nagyobb változás valószínűsíthető, mint Ausztrália más éghajlatú térségeiben. A trópusi ciklonok hatása továbbra is jelentősen érvényesülni fog, várhatóan intenzív viharokat, extrém csapadékos napokat fog eredményezni, azonban a nyári csapadékmennyiség

¹⁴ El Nino Southern Oscillation – El Nino Déli Oszcilláció

összmenyisége kevesebb lesz ezekben a régiókban. A becslések alapján az ENSO hatása nőni fog a térségben, míg a ciklonok kismértékű csökkenésére, illetve változatlan gyakoriságára számíthatunk a jövőben. Az RCP8.5 scenárió esetén a monszunesőzésekből 5-20%-kal több csapadék várható a mostanihoz képest. A déli területeken, ahol főként csak a keleti oldal számíthat esőzésre, a modellszimulációk féléves csapadékösszeg becslései rendkívül nagy változékonysággal rendelkeznek, s így nem jeleznek szignifikáns csapadék-változást a század végére (18. ábra). A modellbecslések szerint az északi térségben a monszun kialakulásában és visszavonulásában egyaránt mintegy hét napos eltolódást jeleznek (Kim *et al.*, 2008). A 21. század végére a csapadék mennyisége valószínűleg nőni fog a monszunesőzések miatt, viszont a monszunhoz kapcsolódó cirkulációs hatások ezt gyengíteni fogják a hosszabb egybefüggő száraz időszakok által. A hegyvidéki hőtömegek további csökkenésére számíthatunk (IPCC, 2013).



18. ábra: A múltra és a jövőre vonatkozó modellszimulációk eredménye a becsült féléves csapadék-változás mértékére Ausztráliára 1900-2100 időszakban, referencia időszak: 1986-2005

(IPCC, 2013)

3.3.3. A klímaváltozás várható hatása a környező területekre

A globális klímaváltozás következményei kihatnak a természeti ökoszisztémákra és a lakosságra egyaránt. Jelentős változásokat jeleznek a kutatások a korallzátonyok esetén (Hoegh-Guldberg, 1999). Az emelkedő hőmérséklet és a tengerek, óceánok savasodása a megnövekvő CO₂ koncentráció miatt egyértelműen káros hatással van a térségben található koralltelepekre. Az árvizek gyakorisága, illetve intenzitásának növekedése kárt tesz a

települések infrastruktúrájában, valamint a lakóközösségek életében. A tengerszint emelkedés nagy veszélyt jelent a part menti lakosságra, valamint az itt élő ökoszisztémákra. Sok faj – főként madarak, pillangók és növények – genetikai változásokon is átesett a helyi klíma, a földhasználat és a környezetszennyezés miatt. A folyók vízhozamában összességében csökkenés detektálható az 1970-es évek óta. Néhány vizes élőhely el is tűnt Ausztrália délkeleti területeiről, ami szintén a hőmérséklet-változáshoz köthető (*Bond et al.*, 2008). Számos bozóttűz is kialakult, melyek rengeteg gazdasági problémát okoznak. 1950-től a hőhullámok növekedése figyelhető meg a kontinensen, ami negatív hatással van az emberek egészségére.

Dél-Ausztráliában az elmúlt két évtizedben jelentős tengerszint emelkedés ment végbe [16]. Az édesvízi készletek várhatóan csökkenni fognak. A klímaváltozás hatására a gazdaságnak át kell állnia olyan növények termesztésére vagy más típusú földhasználatra, amelyet a növekvő hőmérsékleti viszonyok lehetővé tesznek. A hűvösebb régiókban várhatóan növelhetők az erdők, valamint a legelők kiterjedése, és a tenyészidőszak is meghosszabbodhat. A felmelegedés miatt a hegyvidékek hóhatárai magasabban fognak elhelyezkedni, ezért néhány őshonos faj magasabb régióba kényszerül. A hűvösebb régiókban a rendkívüli esőzések mértéke továbbra is bizonytalan, míg a déli területeken a szárazság növekedése miatt vízkészlet megszorításokra lesz szükség (*IPCC*, 2014).

3.4. India

India a világ második legnépesebb országa, Ázsiában több mint 3,2 millió km²-en fekszik. Éghajlatát a monszun szabályozza, ami főként az északi területen jelent nagyobb csapadékmennyiséget a középső és déli országrészekkel szemben. A Himalája közelsége miatt hegyvidéki éghajlat is megjelenik a magasabban fekvő területeken. A középső és déli részeken az országot szárazság jellemzi, ezért az északi régió időjárása tűnik a legváltozatosabbnak az országban. A befolyásoló tényezők közé tartozik a térségben az ENSO hatása, amely Indiában a szárazságok mintegy 60%-áért felelős. További meghatározó tényező a térség meleg tengeráramlatai. A globális felmelegedés ezt a térséget is érintette, s itt az antropogén hatások jobban érvényesülnek, mint más területen. A növekvő népesség, a gazdaság fejlődése, az urbanizáció folyamatai mind hozzájárultak az üvegházhatású gázok nagymértékű növekedéséhez az utóbbi évtizedekben. Mindez

kihatással van az éghajlat változására, a hőmérséklet növekedésére és a csapadékmennyiség csökkenésére egyaránt (*Pathak et al.*, 2005).

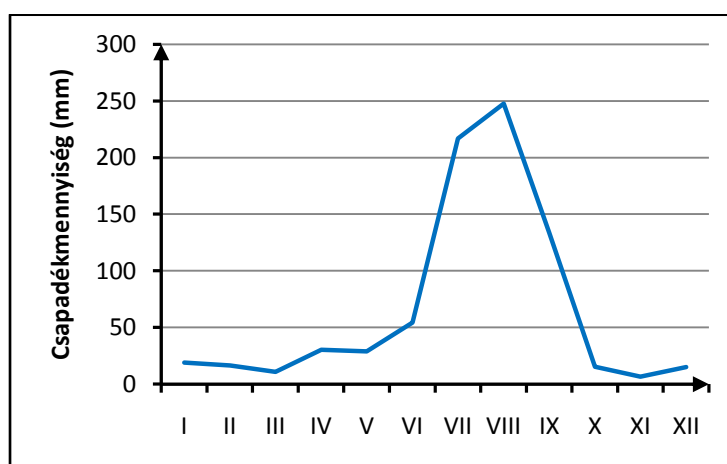
India északi térségének jelentős részén szubtrópusi éghajlat uralkodik. Az átlaghőmérséklet a régióban 5-30 °C között változik egy év alatt, az átlagos relatív páratartalom pedig 70-85% közötti értéket éri el. Januártól februárig tart a tél, majd márciustól májusig ún. előmonszun jellemzi a térséget, ami a tavasznak felel meg. Júniustól szeptemberig nyári monszun, októbertől decemberig pedig ún. utómonszun uralkodik, ami az őszi időszakot jelenti (*IPCC*, 2013).

3.4.1. Hőmérséklet- és csapadék-változások a múlt században

Az északi területek hőmérséklete összességében növekedett az elmúlt század folyamán. A maximum hőmérséklet jobban növekedett, mint a minimum hőmérséklet. A maximum hőmérséklet 1901 és 1987 között 0,6 °C-ot emelkedett, ami főként a tavaszi és a nyári hónapokban volt megfigyelhető, míg a minimum hőmérséklet 0,1 °C-ot csökkent főként a monszunos időszakban, azonban a monszun előtti hónapokban növekedést figyelhettünk meg (*Pal és Al-Tabbaa*, 2009). A Himalája területén ezek az értékek nagyobb változást mutattak, mint más részeken. A szélsőséges események gyakorisága főként télen volt jellemző a térségben. Itt a domborzat hatására jelentős eltérések mutatkoznak a hőmérsékleti és csapadékviszonyok detektált változási tendenciáiban. Ebben a térségben a felhőborítottság fontos befolyásoló tényező a hőmérséklet alakulásában. A felhőzet mennyisége növekedett az elmúlt században, aminek következtében csökkent a napsugárzás mértéke: 1981 és 2004 között 0,17-1,44 W/m² közötti értékben (*Kumari et al.*, 2007). Az átlaghőmérséklet nem mutatott szignifikáns változást a területen. Megnövekedett a meleg napok száma, illetve csökkent a szélsőségesen hideg napok száma (*Jain és Kumar*, 2012). A La Nina események fontos befolyásoló tényezői a térség hőmérséklet emelkedésének, azonban az elmúlt évtizedekben hatásuk gyengült.

Az indiai csapadékmennyiség több mint 80%-át a monszunesőzések adják. A heves esőzések legnagyobb része a júniustól szeptemberig tartó időszakban zajlik (19. ábra). Az elmúlt évszázadban 6-8%-kal csökkent a monszunokból származó csapadékmennyiség az északi, főként az északkeleti vidékeken. A csapadékos napok száma csökkent, míg a Himalája környékén 1901 és 1984 között az évi átlagos csapadékmennyiség növekedett,

azonban ezt a növekedést nem a monszunesőzések adták. A nyári csapadékmennyiség csökkenésével ellentétben az őszi és téli hónapokban növekedés volt tapasztalható. Az északi területeken a csapadék csökkenésének következtében a vízrendszerek mennyisége is lecsökkent. A párolgás mennyisége legalacsonyabb télen és legmagasabb nyáron. A csapadék mennyiségének változása arányos a párolgás változásával. A monszunesőzések gyakorisága csökkent, azonban az extrém csapadékok megnövekedtek a térségben (IPCC, 2013).

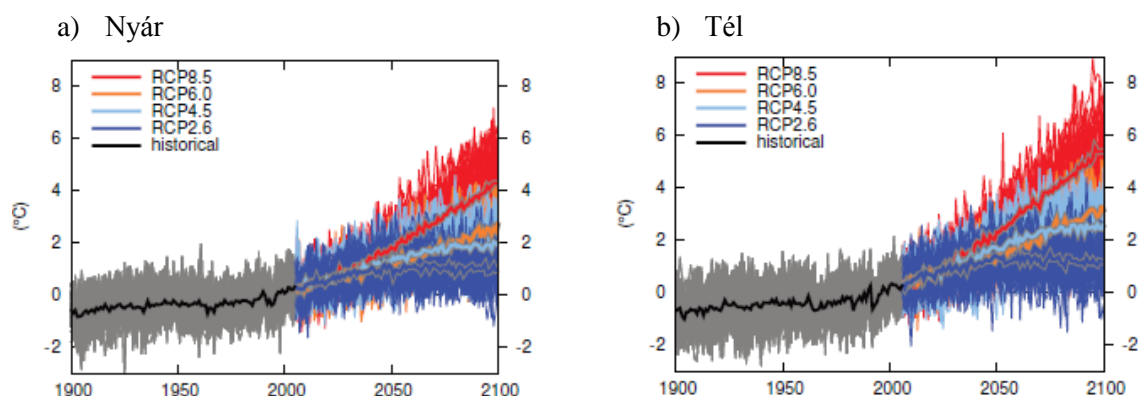


19. ábra: Új-Delhi (é. sz. 28° 38', k. h. 77° 13') átlagos havi csapadékmennyiségének évi menete 1956-2000 időszakban [11]

3.4.2. Hőmérséklet és csapadék várható változásai 2100-ig

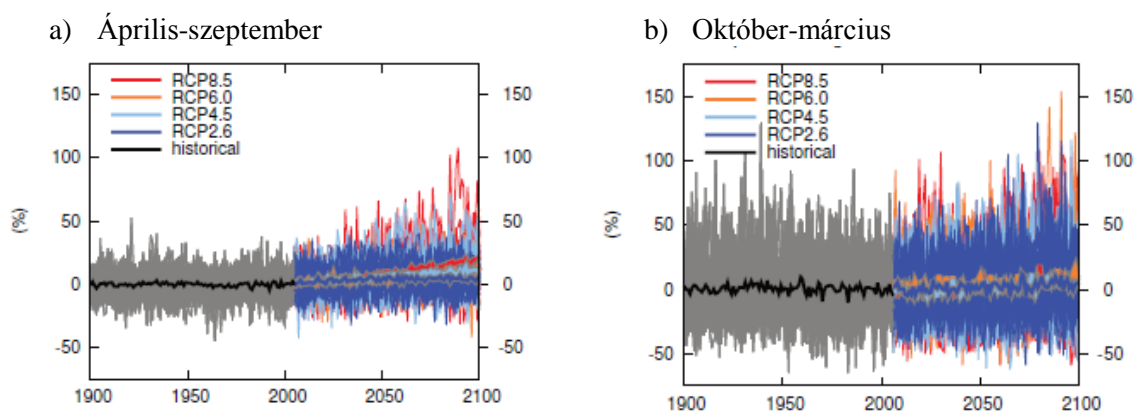
A modellbecslések India egész területére a hőmérséklet emelkedését jelzik, főként télen, ekkor a várható éjszakai növekedés nagyobb mértékű, mint a nappali. Az RCP2.6 scenárió esetén 0,8 °C-os melegedés várható a század végére, míg az RCP8.5 scenárió esetén 3,2 °C-os hőmérséklet növekedés valószínűsíthető a térségben. Dél-Ázsiában a legkedvezőbb scenárió 2 °C-os emelkedést mutat, míg az RCP8.5 szerint akár a 6 °C-os növekedés is bekövetkezhet (20. ábra). Nyáron a szélsőségesen meleg nappalok és éjszakák számában is emelkedés várható. A modellbecslések alapján az éjszakai hőmérsékleti értékek összességében nagyobb ütemben fognak nőni, mint a nappali hőmérsékletek. Ugyanakkor a napi maximumhőmérsékletek nagyobb ütemű növekedése valószínűsíthető a minimumhoz képest. Az északkeleti részen kisebb arányú emelkedés várható, mint az északnyugati részeken. A hideg napok számának további csökkenését jelzik a modellszimuációk 2100-ra. A nyári hónapok monszunesőzései, illetve a

felhőborultság növekedése következtében a téli időszakhoz képest a nyári hőmérséklet kisebb mértékű emelkedése várható 2100-ra (IPCC, 2014).



20. ábra: A múltira és a jövőre vonatkozó modellszimulációk eredménye a becült évszakos hőmérséklet-változás mértékére Dél-Ázsiára 1900-2100 időszakban, referencia időszak: 1986-2005 [12]

Az RCP6.0 és RCP8.5 scenáriók esetén a szélsőséges csapadék növekedése várható Indiában a 21. század végére. Az RCP2.6 esetén mintegy 5%-os, míg az RCP8.5 esetén ennél nagyobb – kb. 20%-os – csapadékváltozás valószínűsíthető 2100-ra (21. ábra). Nagy valószínűséggel a nyári monszun csapadéka csökkenni fog, de a légköri nedvesség növekedése esetleg képes lesz ellensúlyozni ezt a csökkenést. Az indiai monszun szélsőséges eseményei erősödni fognak a modellbecslések szerint, de a monszunhoz kapcsolódó cirkuláció gyengülése valószínűsíthető a század során. A Himalája közelében a csapadék mennyiségében csökkenés várható (IPCC, 2014).



21. ábra: A múltira és a jövőre vonatkozó modellszimulációk eredménye a becült csapadék-változás mértékére Dél-Ázsiára 1900-2100 időszakban, referencia időszak: 1986-2005 [12]

3.4.3. A klímaváltozás hatása a környező bioszférára

A különböző kutatási eredmények (*Wagholikar et al., 2014*) azt jelzik, hogy gyakoribbak és intenzívebbek lesznek a zivatarok, viharok India egész területén. Az árvízveszély növekedni fog, míg a tavaszi hóolvadásból származó árvizek csökkenni fognak, ami annak köszönhető, hogy a hó mennyisége is várhatóan kevesebb lesz. A megnövekedett CO₂- és O₃-koncentráció miatt a mezőgazdasági növénytermesztésben (gabonanövények) 10%-os visszaesés figyelhető meg az ipari forradalom óta. A modellbecslések és hatásvizsgálatok alapján a hőmérséklet emelkedésére és a viharok számának növekedésére kell felkészülni a térségben, továbbá a folyók összetételében is módosulás várható.

1970 és 2010 között jelentős népesség növekedés volt tapasztalható a térségben, ami szintén hőmérséklet-emelkedést eredményezett az urbanizáció következtében. A jövőben valószínűsíthető vízhiány számos problémát fog okozni a térségben a népesség növekedés miatt. A természetes növénytakaró a felmelegedés hatására módosulni fog. A szélsőséges időjárási események egyre nagyobb hatással lesznek az emberekre, a gazdaságra, a biztonságra. Az aszályok várható gyakoribbá és intenzívebbé válása súlyosbítja a szegénységet. Az áradások ugyancsak nagy veszélyt jelentenek a térségben. A párolgás várható csökkenése kihat a teatermesztésre és az erdőgazdálkodásra az északi régióban (*Jhajharia et al., 2009*).

Az óceán mellett a krioszféra is kiemelt fontosságú összetevője a globális klímaváltozásnak, az édesvízkészlet 75%-át adja. A Himalája a világ legmagasabb hegysége. Gleccserei fontos szerepet játszanak a globális és regionális klímaváltozásban egyaránt. Jelentős mennyiségű hőtömegek olvadtak el az utóbbi évtizedekben, amelyek hatására egyre gyakoribb árvizek vonultak le az indiai folyókon (*IPCC, 2014*).

3.5. Száhel-övezet

Afrika legveszélyeztetettebb területei az éghajlatváltozás szempontjából a sivatagok. Ezek közül is a legkiemelkedőbb a Száhel-övezet, ami a Szahara déli részén helyezkedik el az Atlanti-óceán partjától Szenegálon, Mauritánián keresztül, a Vörös-tenger partjáig. Havi átlagos maximumhőmérséklete 33-36°C közötti értékkel jellemezhető, míg a havi minimumhőmérsékletek átlagosan 18-21°C között alakulnak. A

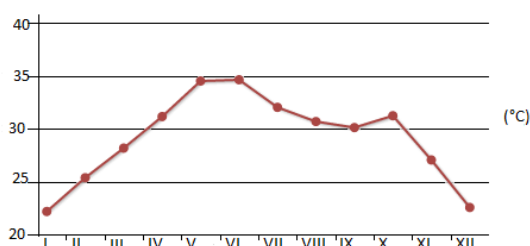
csapadékmennyiség évi átlagos értéke 200-600 mm között alakul, ami főként nyáron a legjelentősebb a májustól szeptemberig tartó nyugat-afrikai monszun miatt. A legfontosabb éghajlat alakító hatások: az ENSO, a monszun, az Indiai- és az Atlanti-óceán felől érkező csapadék. A térségbe az Egyenlítő felől érkező passzátszél száraz légáramlatot hoz, gyakori anticiklonokkal (*Giannini et al.*, 2008).

3.5.1. Az elmúlt század hőmérséklet- és csapadékváltozása

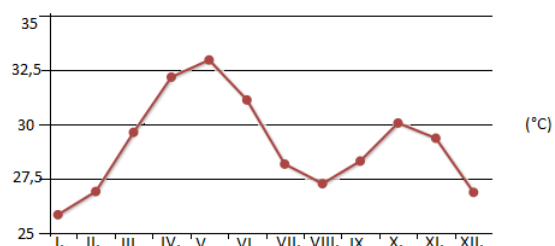
A területen jelentős változások mentek végbe az elmúlt században. Ezek a változások részben a megnövekedett hőmérséklet miatt, részben pedig a felelőtlen gazdasági tevékenységek hatására jelentkeztek. Az antropogén tevékenységekből származó hatások egyértelműen erősödtek az elmúlt 50-100 évben. Az ipari forradalom óta világszerte tapasztalható az elsivatagosodás jelensége, ami ebben a térségben a legszembetűnőbb. A Száhel-övezet jelenleg 30%-kal szárazabb, mint az ipari forradalom előtti időkben (*Biasutti és Giannin*, 2006). A Szahara viszonylag hirtelen változott át teljes sivataggá, amit a paleoklimatológiai kutatások is bizonyítanak (*De Menocal et al.*, 2000). Ezek alapján a Száhel-térség jelenlegi elsivatagosodása nem feltétlenül a globális felmelegedés következménye. Igaz, hogy az időről időre történő esőzések mellett szokatlanul száraz időszakok jelentkeztek a térségben az 1970-es években, ennek ellenére a terület sivatagosodását elsősorban az ott élő csoportok nem átgondolt gazdasági tevékenysége idézte elő. A nem megfelelő földhasználat, a túllegeltetés kimerítette a földterületeket, amelyek eredményeképpen a talaj veszített tápanyagtartalmából és elszikenedés lett a következménye. *Fu et al.* (2012) rámutattak arra, hogy az elsivatagosodáshoz két ok vezetett: az egyik az emberek által okozott közvetlen környezeti hatások, a másik pedig a helyi klíma változása. Valószínűsíthetően a trópusi óceán melegedése is hozzájárult az övezet aszályosabbá válásához (*Shindell et al.*, 2012). Különösen az Indiai-óceán és az Atlanti-óceán déli részén történő felmelegedés befolyásolja a terület éghajlatát. A 2-7 évenként ismétlődő El Nino szárazságot eredményez a térségben, a La Nina pedig jelentősebb csapadékot hoz a területre (*Giannini et al.*, 2008).

Az 1990-es évek végéig tartó csapadékszegényebb időszak után úgy tűnik, hogy újból a korábbi csapadékviszonyokhoz hasonló éghajlati feltételek jellemzik a térséget. Az övezet keleti oldalán nagyobb a nyári középhőmérséklet (22. ábra). Ennek oka, hogy a

nyári monszun lényegesen befolyásolja a térség hőmérsékletét. Amikor az esőzések maximuma figyelhető meg, akkor a hőmérséklet lecsökken.



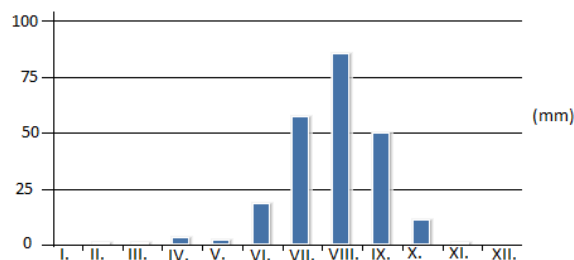
a) Tintane, Mauritánia
(é. sz. 16°23', ny. h. 10°10')



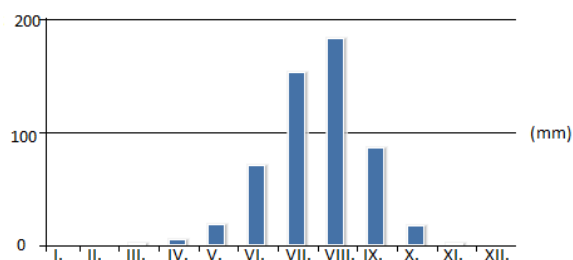
b) Gedaref, Szudán
(é. sz. 14°2', k. h. 35°22')

22. ábra: A havi középhőmérsékletek átlagos évi menete a CRU adatai alapján, 1900-2009 [13]

A csapadékmennyiség az elmúlt évszázadban a hőmérséklet emelkedésével arányosan csökkent. Az 1970-es évekkel kezdődően a nyári évszakban a csapadék mennyisége 150-200 mm volt, míg az évi átlagos mennyiség 371 mm volt (ez kb. feleannyi, mint amit az 1970-es évek előtti időszakban mértek). A csapadék csökkenése mellett az intenzitás és a csapadékos napok száma is csökkent. A legtöbb csapadék a kelet-afrikai monszunnak köszönhető, így a térség ezen része sokkal nedvesebb éghajlatú, mint a nyugati régió (23. ábra) – ez a különbség elsősorban nyáron jelentkezik. A térségre nagy befolyással bír az Atlanti- és az Indiai-óceán felszínének hőmérséklet emelkedése, amelyek áramlatai csapadékot generálnak a szárazföldön (IPCC, 2013).



a) Tintane, Mauritánia
(é. sz. 16°23', ny. h. 10°10')



b) Gedaref, Szudán
(é. sz. 14°2', k. h. 35°22')

23. ábra: Havi átlagos csapadékmennyiség évi menete a CRU adatai alapján, 1900-2009 [13]

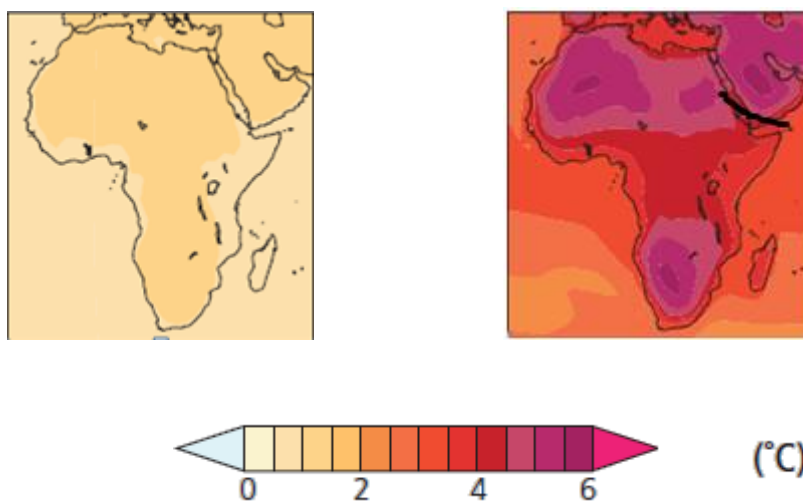
3.5.2. Várható éghajlatváltozás a 21. század végéig

A modellbecslések alapján a hőmérséklet-emelkedés a jövőben folytatódni fog a térségben. Az éves átlagos növekedés a 20. század végi értékekhez képest 2050-re

meghaladja a 2 °C-ot. A 21. század végére 6 °C-ot is növekedhet a hőmérséklet az RCP8.5 scenárió esetén, míg az RCP2.6 esetén csak 2 °C-os változást jeleznek a modellszimulációk (24. ábra). 1989 és 2009 között átlagosan 40-50 forró nap fordult elő évente, mely várhatóan nőni fog a 21. század végére. Gyakoribbak lesznek a hőhullámok, s várhatóan több lesz a melegebb éjszakák száma is a jövőben (Sarr, 2012). A többi régióhoz hasonlóan a hideg napok és éjszakák számának csökkenése valószínűsíthető. A modellszimulációk alapján 2100-ig a minimumhőmérséklet gyorsabban fog növekedni, mint a maximumhőmérséklet. Nagyobb hőmérséklet emelkedés várható a nyári időszakban, mint télen. Az RCP4.5 scenárió esetén a nyári melegedés elérheti a 4 °C-ot.

a) RCP2.6

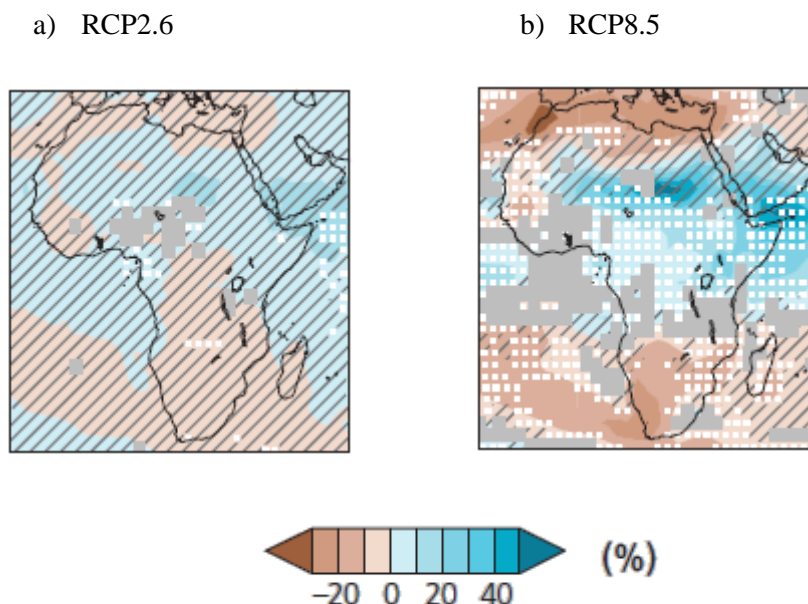
b) RCP8.5



24. ábra: A globális modellek hőmérséklet-változás becslése Afrika térségében a 21. század végére: a) RCP2.6 scenárió által becsült hőmérséklet-változás, b) RCP8.5 scenárió által becsült hőmérséklet-változás. Referencia időszak: 1986-2005 (IPCC, 2013)

A várható csapadék-változás tekintetében a modellbecslések között jelentősebb eltérések vannak. A modellek egy része a csapadék jövőbeli csökkenését jelzi Nyugat-Afrikában. Ennek várható mértéke 2100-ra az 1960-1990 időszakhoz hasonló csapadékviszonyokat jelent. Cook és Vízny (2005) vizsgálatai alapján viszont a modellbecslések többsége arra utal, hogy a csapadék növekedni fog a nyári hónapokban. Az RCP2.6 scenárió 10%-os növekedés mutat a század végére, míg az RCP8.5 scenárió 30%-os megváltozást eredményezett, főként a keleti területen (25. ábra). A jövőben nem

lesznek gyakoribbak az intenzív ENSO események a térségben (Hulme et al., 2001). Növekedni fog a zivatarok, heves esőzések száma (Sarr, 2012).



25. ábra: A globális modellek 2100-ra vonatkozó csapadék-változás becslése Afrika térségében: a) RCP2.6 scenárió esetén, b) RCP8.5 scenárió esetén. Referencia időszak: 1986-2005 (IPCC, 2013)

3.5.3. Várható hatások a környezetben és a gazdasági tevékenységekben

A térségben várható klímaváltozás érinti az ökoszisztémát, a mezőgazdasági földhasználatot, a fajok természetes életritmusát, a tengerek savasodását, valamint a növekvő CO₂ által megváltoztatja az óceáni bioszféra összetételét is. Az övezet országai a fejlődő országok közé tartoznak. Ennek következtében számos probléma merül fel mind az éhezés, mind az egészségügyi ellátás tekintetében. Az éhezés mértékét a jövőben várhatóan fokozza a növekvő hőmérséklet és a mezőgazdasági ágazatot gyengítő csökkenő termelékenység. A térségben valószínűsíthető száraz időszakok jelentik az egyik legmeghatározóbb éghajlati hatást. A rendelkezésre álló ivóvíz mennyiségének csökkenése számos problémát okoz a gazdasági és a mindennapi életben egyaránt. A felerősödő szárazság a vízkészletek elfogyásához vezethet és a gazdaság hanyatlásához. A szél hatásai és az így szállított por a talajnedvesség csökkenése által a talaj degradációjához vezet. Ugyanakkor a mezőgazdaságra pozitív hatással lehet a porlerakódás. A helyi termelőknek a gazdálkodás különböző fázisait várhatóan kb. egy hónappal későbbre szükséges eltolniuk. A mezőgazdasági termelés a csapadék csökkenése miatt a század közepére összességében akár 20-50%-kal visszaeshet. Ezért mindenképpen fontos a térségben a

megfelelő talajvízvédelmi technikák alkalmazása, illetve az esővíz megfelelő összegyűjtése a szárazabb időszakokra (*IPCC*, 2014).

4. Összefoglalás

A dolgozatban öt kiválasztott területre mutattam be a globális felmelegedés részeként az elmúlt században detektált regionális klímaváltozást, valamint az éghajlati modellbecslések alapján a jövőben várható tendenciákat. A globális átlagos hőmérséklet-emelkedés a 20. század elejétől napjainkig mintegy 1 °C, azonban a Föld egyes régióiban ez jelentősen eltérő. A klímaváltozás mértékét befolyásolja a földrajzi elhelyezkedés, az óceánok hatása és a domborzat. Összességében elmondható, hogy a magasabb szélességeken nagyobb mértékű felmelegedés történt. A meleg napok száma nőtt, a hideg napok száma csökkent.

A vizsgált öt régió közül a legnagyobb változást Alaszkában tapasztalhattunk. Itt történt a legnagyobb mértékű melegedés, és a jövőben az egyes RCP scenáriók is erre a térségre jelzik a legnagyobb hőmérséklet-emelkedéseket. A növekedés mértéke akár a 10 °C-ot is elérheti a térségben a 21. század végére, ami a helyi ökoszisztémákban rendkívüli változásokat eredményezne. Jelentős szerepet kapnak ebben a folyamatban az óceáni áramlatok, amelyek felgyorsítják a jégolvadást a régióban. Az óceáni felmelegedés mellett az állandóan fagyott talaj hőmérsékletének növekedése okozza a legnagyobb problémát.

Az óceáni áramlatok hatásai következtében az Antarktisz közelében is csökkent a tengeri jég mennyisége az elmúlt évszázadban – hasonlóan Alaszka környező tengereihez. A hőmérséklet-változás viszont eltérő mértékű volt a két térségben. Míg Alaszkában átlagosan 3,4 °C-os melegedést detektáltak, addig a Déli-sarkon átlagosan csupán 2 °C-ot növekedett az évi középhőmérséklet. Az Antartiszra a 21. század végére várható melegedés mértéke is pár °C-kal kisebb, mint az Alaszka régiójára becsült hőmérséklet-növekedés. A csapadékmennyiség mindkét sarkvidéki területen – Alaszka és az Antarktisz térségében egyaránt – valószínűsíthetően növekedni fog a jövőben.

Ausztráliában a nyári felmelegedés igen erős, azonban a kontinens keleti oldalán a monszunesőzések révén elviselhetőbb hőmérsékleti viszonyok jellemzőek. A 20. század második felében detektált hőmérséklet-emelkedés 0,4-0,7 °C között volt, ami lényegesen kisebb, mint a vizsgált sarkvidéki területeken. A kontinenst körülvevő óceánok áramlatai jelentősen befolyásolják az éghajlati viszonyokat. Az ENSO jelentős mennyiségű csapadékszállítását novembertől ápriliséig tart, míg a Dél-Ázsia felől érkező trópusi ciklonok

a monszun csapadékaival adják a térség legnagyobb csapadék forrását. Az 1200 mm mennyiségű csapadék legnagyobb része télen és a tavaszi hónapok elején hullik a keleti partvidékre. Indiában, a Himalájától délre eső területen szintén a nyári hónapokban lezúduló monszunesőzések okozzák a csapadékmennyiségben jelentkező változásokat.

A 21. század végére mind Ausztráliára, mind Indiára a becsült regionális melegedés mértéke az RCP2.6 scenárió esetén az átlagos globális melegedéshez hasonlóan várhatóan 2 °C lesz, míg az RCP8.5 scenárió esetén az átlagos hőmérséklet-emelkedés mértéke 4 °C. Mindkét térségben nehézséget okozhat az arid területek növekedése, ami a leginkább a mezőgazdasági lehetőségek szempontjából jelent majd problémát.

Az elmúlt évtizedekben jelentős szárazsággal kellett megküzdeni a Száhel-övezetben. Az elsivatagosodási tendencia a nem megfelelő gazdasági tevékenység, a csapadékcsökkenés és a hőmérséklet jelentősebb növekedésének egyidejű hatására jelentkezett a térségben. A 21. század elején az éghajlati viszonyok újból csapadékosabbá váltak, ami az övezet gazdasági problémáit valamelyest mérsékelte. Az egyes RCP scenáriók esetén a jövőben várható hőmérsékleti tendenciák az ausztráliai és indiai térséghez képest valamelyest nagyobbak, a vizsgált sarkvidéki régiókhöz képest kisebbek lesznek.

A globális hőmérséklet-emelkedés hatására tehát a különböző földrajzi szélességeken eltérő mértékű melegedés, illetve csapadékváltozás várható. A modellfuttatások alapján az antropogén hatások az éghajlati rendszerben határozottan érzékelhetővé váltak, és a 21. század során egyre nagyobb jelentőségűek lesznek. Az éghajlat-módosulás hatásait az emberiség kétféle módon élheti túl: egyrészt alkalmazkodik a megváltozott környezeti feltételekhez, másrészt csökkenti az antropogén kibocsátást. Ehhez szükség van a fosszilis tüzelőanyagok égetésének csökkentésére, valamint a felhasznált energiamennyiség mérséklésére. Az energiaigényünket megújuló energiával kellene fedeznünk, elsősorban nap, szél, víz, biomassza és geotermikus energiával.

Köszönetnyilvánítás

Ezúton is szeretnék köszönetet mondani témavezetőmnek, Dr. Pongrácz Rita Tanárnőnek a dolgozat megírásához nyújtott hasznos tanácsaiért, támogatásáért és töretlen bizalmáért. Természetesen köszönettel tartozom családomnak, akik mindenben mellettem álltak tanulmányaim alatt, és páromnak, aki mindvégig támogatott, és készségesen a segítségemre volt a szakdolgozatom elkészítésének teljes ideje alatt.

Irodalomjegyzék

- Alexander, L.V., Arblaster, J.M., 2009: Assessing trends in observed and modelled climate extremes over Australia in relation to future projections. *International Journal of Climatology*, 29, pp. 417–435.
- Bartholy, J., Pongácz, R., szerk. 2013: Klímaváltozás. Eötvös Loránd Tudományegyetem, Budapest. 180p.
- Biasutti, M., Giannin, A., 2006: Robust Sahel drying in response to late 20th century forcings. *Geophysical Research Letters*, 33, L11706
- Bond, R.N., Lake, P.S., Arthington, H.A., 2008: The impacts of drought on freshwater ecosystems: an Australian perspective. *Hidrobiologia* 600, pp. 3-16.
- Bromwich, David H., Nicolas, Julien P., Monaghan, Andrew J., Lazzara, Matthew A., Keller, Linda M., Weidner, George A. and Wilson, Aaron B., 2013: Central West Antarctica among the most rapidly warming regions on Earth. *Nature Geoscience* 6, pp. 139–145.
- Casey, K.A., Fudge, T.J., Neumann, T.A., Steig, E.J., Cavitte, M.G.P., Blankenship, D.D., 2014: The 1500m South Pole ice core: recovering a 40 ka environmental record. *Annals of Glaciology*, 55, pp. 137–146.
- Convey, P., Bindschadler, R., Di Prisco, G., Fahrbach, E., Gutt, J., Hodgson, D.A., Mayewski, P.A., Summerhayes, C.P., Turner, J., and the ACCE Consortium, 2009: Review: Antarctic climate change and the environment. *Antarctic Science*, 21, pp. 541-563.
- Cook, K.H., Vizy, E.K., 2005: Coupled Model Simulations of the West African Monsoon System: 20th and 21st Century Simulations. *Journal of Climate*, 19, pp. 3681-3703.
- De Menocal, P., Ortiz, J., Guilderson, T., Adkins, J., Sarnthein, M., Baker, L., Yarusinsky M., 2000: Abrupt onset and termination of the African Humid Period: rapid climate responses to gradual insolation forcing. *Quaternary Science Reviews* 19, pp. 347-361.

- Ding Q., Steig, E.J., Battisti, D.S., Küttel, M., 2011: Winter warming in West Antarctica caused by central tropical Pacific warming. *Nature Geoscience* 4, pp. 398–403.
- Fu, Q., Banerjee, A., Liess, S., and Snyder, P.K., 2012: Drought detection of the last century: An MRF-based approach. In: *Proceedings of the 2012 SIAM International Conference on Data Mining*: pp. 24-34.
- Giannini, A., Biasutti, M., Verstraete, M.M., 2008: A climate model-based review of drought in the Sahel: Desertification, the re-greening and climate change. *Global and Planetary Change*, 64, pp. 119–128.
- Hoegh-Guldberg, O., 1999: Climate change, coral bleaching and the future of the world's coral reefs. *Marine and Freshwater Research*, 50, pp. 839 – 866.
- Hulme, M., Doherty, R., Ngara, T., New, M., Lister, D., 2001: African Climate Change. *Climate Research*, 17, pp. 145–168.
- Kim, H., Wang B., Ding, Q., 2008: The Global Monsoon Variability Simulated by CMIP3 Coupled Climate Models. *Journal of Climate*, 21, pp. 5271-5294.
- 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*. Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K., Tignor, M., Miller, H.L. (szerk.) Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 996p.
- IPCC, 2012: *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Field, C.B., Barros, V., Stocker, T.F., Dahe, Q., Dokken, D.J., Plattner, G.-K., Ebi, K.L., Allen, S.K., Mastandrea, M.D., Tignor, M., Mach, K.J., Midgley, P.M. (szerk.) Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 582p.
- IPCC, 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*. Stocker, T.F., Qin, D., Plattner, G.-K., Tignor, M., Allen, S.K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V., Midgley, P.M. (szerk.) Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 1535p.

- IPCC, 2014: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Field, C.B., Barros, V.R., Dokken, D.J., Mach, K.J., Mastrandrea, M.D., Bilir, T.E., Chatterjee, M., Ebi, K.L., Estrada, Y.O., Genova, R.C., Girma, B., Kissel, E.S., Levy, S. MacCracken, A.N., Mastrandrea, P.R., White, L.L. (szerk.) Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1132p.
- Jain, K.S., Kumar, V., 2012: Trend analysis of rainfall and temperature data for India. *Current Science*, 102, pp. 37-49
- Jhajharia, D., Shrivastava, S.K., Sarkar, D., Sarkar S., 2009: Temporal characteristics of pan evaporation trends under the humid conditions of northeast India. *Agricultural and Forest Meteorology*, 149, pp. 763-770.
- McNabb, R.W., Hock, R., O'neel, S., Rasmussen, L.A., Ahn, Y., Braun, M., Conway, H., Herreid, S., Joughin, I., Pfeffer, W.T., Smith, B.E., Truffer, M., 2012: Using surface velocities to calculate ice thickness and bed topography: a case study at columbia glacier, Alaska, USA. *Journal of Glaciology*, 58, pp. 1151-1164.
- Nakicenovic N., Swart R.(Eds.), 2000: Special Report on Emissions Scenarios, IPCC, Cambridge University Press, Cambridge, UK. 570 p.
- Nicholls, N., 2008: Recent trends in the seasonal and temporal behaviour of the El Niño Southern Oscillation. *Geophysical Research Letters*, 35, L19703.
- Padma Kumari, B., Londhe, A.L., Daniel, S., Jadhav, D.B., 2007: Observational evidence of solar dimming: Offsetting surface warming over India. *Geophysical Research Letters*, 34, L21810.
- Pal, I., Al-Tabbaa, A., 2009: Long-term changes and variability of monthly extreme temperatures in India. *Theoretical and Applied Climatology*, 100, pp. 45-56.
- Parkinson, C.L., Cavalieri, D.J., 2012: Antarctic sea ice variability and trends, 1979–2010. *The Cryosphere*, 6, pp. 871-880.

- Pathak, H., Li, C., Wassmann, R., 2005: Greenhouse gas emissions from Indian rice fields: calibration and upscaling using the DNDC model. *Biogeosciences*, 2, pp. 113–123.
- Pike, J., Swann, G. E. A., Leng M.J., Snelling, A.M., 2013. Glacial discharge along the west Antarctic Peninsula during the Holocene. *Nature Geoscience* 6, pp. 199-202.
- Sarr, B., 2012: Present and future climate change in the semi-arid region of West Africa: a crucial input for practical adaptation in agriculture. *Atmospheric Science Letters*, 13, pp. 108–112.
- Shindell, D.T., Voulgarakis, A., Faluvegi, G., Milly, G., 2012: Precipitation response to regional radiative forcing. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 12, pp. 6969–6982.
- Sillmann, J., Kharin, V.V., Zwiers, F.W., Zhang, X., Bronaugh, D., 2013: Climate extremes indices in the CMIP5 multimodel ensemble: Part 2. Future climate projections. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 118, pp. 2473–2493.
- Stegall, S.T., Zhang, J., 2012: Wind Field Climatology, Changes, and Extremes in the Chukchi–Beaufort Seas and Alaska North Slope during 1979–2009. *Journal Climate*, 25, pp. 8075–8089.
- Van Vuuren, D.P., Edmonds, J., Kainuma, M., Riahi, K., Thomson, A., Hibbard, K., Hurtt, G.C., Kram, T., Krey, V., Lamarque, J.-F., Masui, T., Meinshausen, M., Nakicenovic, N., Smith, S.J., Rose, S.K., 2011: The representative concentration pathways: an overview. *Climatic Change*, 109, pp. 5-31.
- Waghlikar, N.K., Sinha Ray, K.C., Sen, P.N., Pradeep Kumar, P., 2014: Trends in seasonal temperatures over the Indian region. *Journal of Earth System Science*, 123, pp. 673-687.

Internetes oldalak

- [1] - Organization - <https://www.ipcc-wg1.unibe.ch/index.html>
- [2] - CMIP3, CMIP5 - http://www-pcmdi.llnl.gov/ipcc/about_ipcc.php
- [3] - <http://www.epa.gov/climatechange/impacts-adaptation/alaska.html>

- [4] - Figure 2.7, Figure 2.12 - <http://www.cicsnc.org/about/tsu/nca3-data>
- [5] - <http://nca2014.globalchange.gov/report/regions/alaska>
- [6] - <https://thelastdegrees.wordpress.com/glossary/>
- [7] - <http://www.aari.aq/data/data.asp?lang=0&station=6#ttt.txt>
- [8] - <http://www.aari.aq/data/data.asp?lang=0&station=0>
- [9] - http://cawcr.gov.au/projects/climatechange/docs/ACCSP_AnnualReport_2012-13_WEB.pdf
- [10] - <http://www.bom.gov.au/climate/data/>
- [11] - <http://www.imd.gov.in/section/nhac/mean/Delhi%20Palam.htm>
- [12] - http://www.academia.edu/2251266/Multimodel_climate_change_projections_for_India_under_Representative_Concentration_Pathways
- [13] - http://sdwebx.worldbank.org/climateportal/index.cfm?page=country_historical_climate&ThisRegion=Africa&ThisCCCode=ZAF
- [14] - https://treaties.un.org/doc/Treaties/1989/01/19890101%200325%20AM/Ch_XXVII_02_ap.pdf
- [15] - <http://www.bom.gov.au/climate/enso/history/In-2010-12/SAM-what.shtml>
- [16] - <http://www.environment.gov.au/climate-change/climate-science/climate-change-future/sea-level>