



Földrajzi analógia alkalmazása klímaszcenáriók elemzésében és értékelésében

Doktori (PhD) értekezés

Horváth Levente

Témavezető:

Dr. Harnos Zsolt, MHAS, egyetemi tanár

BCE, Kertészettudományi Kar, Matematika és Informatika Tanszék

**Budapesti Corvinus Egyetem, Kertészettudományi Kar,
Matematika és Informatika Tanszék,
2008.**

A doktori iskola

- megnevezése:** Tájépítészet és Döntéstámogató Rendszerek
- tudományága:** Gazdálkodás- és szervezéstudományok
- vezetője:** Prof. Dr. Harnos Zsolt, MHAS, egyetemi tanár
BCE, Kertészettudományi Kar, Matematika és Informatika Tanszék
- Témavezető:** Prof. Dr. Harnos Zsolt, MHAS, egyetemi tanár
BCE, Kertészettudományi Kar, Matematika és Informatika Tanszék

Szakmai konzulens:

Dr. Hufnagel Levente, PhD, tudományos főmunkatárs
MTA-BCE Alkalmazkodás a Klímaváltozáshoz Kutatócsoport.

Dr. Gaál Márta, CSc, egyetemi docens
BCE, Kertészettudományi Kar, Matematika és Informatika Tanszék

A jelölt a Budapesti Corvinus Egyetem Doktori Szabályzatában előírt valamennyi feltételnek eleget tett, az értekezés műhelyvitájában elhangzott észrevételeket és javaslatokat az értekezés átdolgozásakor figyelembe vette, ezért az értekezés nyilvános vitára bocsátható.

.....
Az iskolavezető jóváhagyása

.....
A témavezető jóváhagyása

A Budapesti Corvinus Egyetem Élettudományi Területi Doktori Tanács 2008. Június 10-i határozatában a nyilvános vita lefolytatására az alábbi bíráló Bizottságot jelölte ki:

BÍRÁLÓ BIZOTTSÁG:

Elnöke:

Láng István, MHAS

Tagjai:

Bartholy Judit, DSc

Csemez Attila, DSc

Fekete András, DSc

Jolánkai Márton, DSc

Opponensek:

Mika János, DSc

Tőkei László, CSc

Titkár:

Ladányi Márta, PhD

Tartalomjegyzék	oldal
1. Bevezetés és célkitűzések	5
2. Irodalmi áttekintés	10
2.1. Földrajzi analógia meghatározására irányuló kutatások	10
2.2. A klímaváltozás fenológiai hatásai	15
2.3. A klímaváltozás hatásait vizsgáló programcsomagok	18
2.4. Diverzitás, diverzitási mutatószámok	21
3. Anyag és módszer	22
3.1. Jelenlegi klímánkra vonatkozó adatok	22
3.2. Jövőbeli klímánkra vonatkozó adatok, klímaváltozási forgatókönyvek (scenáriók)	22
3.3. Európai régiókat jellemző statisztikai adatok	25
3.4. Régiók összehasonlításához használt diverzitási mutatószámok, NMDS	28
3.5. További felhasznált adatbázisok és szoftverek	30
3.6. Földrajzi analógia módszertana	31
3.6.1. Rang módszer	32
3.6.2. Climex módszer	33
4. Eredmények	35
4.1. Climex módszer módszertani továbbfejlesztése	36
4.1.1. A λ változó beállítási lehetőségei	38
4.1.2. Az elmúlt időszakok vizsgálata	41
4.2. Az analóg régiók meghatározása	42
4.3. Debrecen analóg régiói	46
4.3.1. Az analóg régiók földhasználati adatainak elemzése	47
4.3.2. Az analóg régiók növénytermesztési adatainak elemzése	50
4.3.3. Lengyel régiók földhasználati és növénytermesztési adatainak elemzése	56
4.3.4. Az analóg régiók természetes vegetációval fedett területeinek elemzése	61
5. Tézisek	68
6. Diskusszió	70
7. Fogalomtár	74
8. Köszönetnyilvánítás	76
9. Irodalomjegyzék	77

10. Mellékletek	oldal
1. Havi átlaghőmérsékleti adatok (°C/hó)	90
2. Havi csapadék adatok (mm)	92
3. A vizsgált városok bázisidőszakra (1961-1990) vonatkozó analóg területei	93
4. Debrecen és Győr analóg területei a régebbi scenáriók alapján	94
5. Debrecen analóg területei a SRES scenáriók alapján	95
6. Győr analóg területei a SRES scenáriók alapján	96
7. Pécs analóg területei a SRES scenáriók alapján	97
8. Szeged analóg területei a SRES scenáriók alapján	98
9. Budapest analóg területei a SRES scenáriók alapján	99
10. Miskolc analóg területei a SRES scenáriók alapján	100

Ábrajegyzék	oldal
1. ábra Parry et al. által meghatározott analóg területek (Parry et al., 1988)	10
2. ábra Párizs analóg területei (Hallegatte et al., 2007)	11
3. ábra Magyarország analóg területei különböző globális hőmérséklet emelkedések alapján (Molnár és Mika, 1997)	13
4. ábra Szántóföld és a jelentősebb termesztett növények területének változása (IMAGE 2.2 programcsomag eredményei)	19
5. ábra Termesztett növények termése (IMAGE 2.2 programcsomag eredményei)	20
6. ábra A vegetációs időszak hosszának és átlaghőmérsékletének változása (IMAGE 2.2 programcsomag eredményei)	20
7. ábra Szenárió családok (IPCC, 2001)	22
8. ábra A hőmérséklet lehetséges változása a különböző scenárióknál (IPCC, 2007)	23
9. ábra NMDS, Shepard diagram	29
10. ábra Debrecen analógjai 3 °C-os hőmérséklet emelkedés esetén a Climex szoftver alapján	31
11. ábra CMI értéke a hőmérséklet különbség függvényében	34
12. ábra Analóg területek különböző λ értékekre (hasonlóság %)	37
13. ábra Debrecen analóg régiói különböző időszakokra (hasonlóság %-ban megadva)	41
14. ábra Debrecen analóg területei a 2070-2100 időszakra	42
15. ábra Analóg régiók (2011-2040) klimatikus adottságai	43

16. ábra <i>Analóg régiók (2041-2070) klimatikus adottságai</i>	44
17. ábra <i>Analóg területek a vizsgált időszakokra (hasonlóság %)</i>	45
18. ábra <i>Debrecen lehetséges analóg NUTS2 régiói a vizsgált időszakokra</i>	46
19. ábra <i>A földhasználati területek relatív adatainak hasonlósági mintázata és az NMDS-hez tartozó Shepard-diagram</i>	48
20. ábra <i>Szántóföld aránya a régió területéhez képest</i>	48
21. ábra <i>Földhasználat diverzitási indexei (sötétebb területek értéke nagyobb)</i>	50
22. ábra <i>A termesztett növények relatív területének hasonlósági mintázata és az NMDS-hez tartozó Shepard-diagram</i>	51
23. ábra <i>Kukorica termőterületének aránya a szántóföldhöz képest</i>	52
24. ábra <i>Búza termőterületének aránya a szántóföldhöz képest</i>	53
25. ábra <i>Napraforgó termőterületének aránya a szántóföldhöz képest</i>	53
26. ábra <i>Termesztett növények diverzitási indexei (sötétebb területek értéke nagyobb)</i>	55
27. ábra <i>Analóg területek adatainak hasonlósági mintázata és az NMDS-hez tartozó Shepard-diagram</i>	57
28. ábra <i>Termesztett növények területének abszolút adatainak hasonlósági mintázata</i>	59
29. ábra <i>A természetes vegetáció relatív területarányának hasonlósági mintázata</i>	62
30. ábra <i>Európa flóratérképe (Soó, 1932)</i>	64
31. ábra <i>Európa biogeográfiai régiói (EEA, Biogeographical regions, 2005)</i>	65
32. ábra. <i>Európa ökológiai régiói (EEA, Digital map of European ecological regions, 2003)</i>	66
33. ábra <i>Természetes társulástípusok és természetközeli ökoszisztémák előfordulási viszonyai a CORINE 2000 alapján</i>	67

Táblázatjegyzék	oldal
1. táblázat <i>Az analóg régiók abszolút földhasználati adatai (1000 ha)</i> <i>(déli analóg területek)</i>	26
2. táblázat <i>Az analóg régiók termesztett növényeinek termőterülete (1000 ha)</i> <i>(déli analóg területek)</i>	26
3. táblázat <i>Az analóg régiók abszolút földhasználati adatai (1000 ha)</i> <i>(északi analóg területek)</i>	27
4. táblázat <i>Az analóg régiók termesztett növényeinek termőterülete (1000 ha)</i> <i>(északi analóg területek)</i>	27
5. táblázat <i>Objektumok koordinátái</i>	29
6. táblázat <i>Különböző csapadékokhoz tartozó hasonlósági indexek</i>	34
7. táblázat <i>A szcenáriók által jelzett hőmérséklet, ill. csapadékkülönbségek</i>	35
8. táblázat <i>Különböző ökológiai tényezők szerepe</i>	39
9. táblázat <i>Különböző szántóföldi és kertészeti növények termésének várható változása</i>	39
10. táblázat <i>A λ változó meghatározása</i>	40
11. táblázat <i>Az analóg régiók relatív földhasználati adatai (%)</i>	47
12. táblázat <i>Földhasználati adatok diverzitási indexei</i>	49
13. táblázat <i>Termesztett növények termőterületének megoszlása (%)</i>	51
14. táblázat <i>Termesztett növények területének diverzitási indexei</i>	54
15. táblázat <i>Termesztett növények termésátlagai (t/ha)</i>	56
16. táblázat <i>Földhasználati területek relatív nagysága (%)</i>	57
17. táblázat <i>Analóg területek diverzitási indexei</i>	58
18. táblázat <i>Termesztett növények relatív területe (%)</i>	58
19. táblázat <i>Termesztett növények területének diverzitási indexei</i>	60
20. táblázat <i>Termesztett növények termésátlagai (t/ha)</i>	60
21. táblázat <i>Természetes vegetációtípusok területének aránya a régió területéhez képest (%)</i>	61

1. Bevezetés és célkitűzések

Az időjárás egy meghatározott helyen és időszakban értelmezett „szokásos alakulását”, amit az egyes meteorológiai paraméterek várható értékeivel jellemezhetünk, az adott terület és időszak klímájának nevezzük. Ez az a keret, amelyen belül ott a folyton változó időjárás megmarad és lefolyik (Réthly, 1944). A klíma alapvetően meghatározza a kérdéses földrajzi terület ökológiai létviszonyait, jellemző potenciális vegetációtípusát, flóráját és faunáját, az ott hosszabbtávon kialakuló talajtípusokat és azok aktuális állapotát, valamint (részben az előbbieken keresztül is) az adott területen lehetséges emberi tevékenységek kereteit is. A kérdéses területen történetileg kialakult emberi tevékenységek a társadalomnak a klímához való alkalmazkodását fejezik ki.

A klímaváltozás korunk egyik legfontosabb és legnagyobb hatású ökológiai problémája. Fontosságát és hatását az adja, hogy a globális társadalom egészének létfeltételeit érinti. A klímaváltozással kapcsolatos kihívások és az ehhez kapcsolódó feladataink a társadalom és a gazdaság szinte minden szegmensét befolyásolják. A klímapolitika magában foglalja többek között a mezőgazdaság és élelmiszertermelés, a tájhasználat, az energetika, az ipar és közlekedés, a környezet- és természetvédelem, a közegészségügy számos kérdését, de szociológiai, oktatási, kommunikációs, sőt biztonságpolitikai és külpolitikai vonatkozásai is vannak.

A főbb társadalmi szintű emberi tevékenységek többsége valamilyen mértékben függ az uralkodó klímától, de ezek klímaérzékenysége jelentősen eltér egymástól. A klímára leginkább érzékeny tevékenységeknek az alábbiakat tekinthetjük:

1. mezőgazdaság,
2. erdőgazdálkodás,
3. vízgazdálkodás,
4. környezet- és természetvédelem,
5. humán- és állategészségügy.

Ezek a különösen klímaérzékeny tevékenységek ugyanakkor döntő mértékben meghatározzák egy terület földhasználatát (land use), amely számtalan más természeti és társadalmi folyamatot is jelentős mértékben befolyásol. Természetesen vannak olyan tényezők is, mint a domborzat ill. társadalmi szokások, amelyek szintén befolyásolhatják egy-egy terület földhasználatát. Fentiek alapján világosan érthető, hogy egy terület klímájának megváltozása és annak ökológiai, környezeti hatásai alapvetően érintik a természeti, valamint a társadalmi és gazdasági folyamatokat, így azok megismerésének

tudományos és társadalmi jelentősége is mindenki számára nyilvánvalóvá válik.

A klímaváltozás a Föld klímájának, éghajlatának tartós és jelentős mértékű megváltozását jelenti, helyi vagy globális szinten. A klímaváltozás jelentheti a klíma változékonyságának módosulását is. A klíma változékonysága, tehát a hosszabb időintervallumokban (több évtized) megnyilvánuló klímastabilitás hiánya (és annak mértéke) meghatározó jelentőségű valamennyi földi ökoszisztéma állapota és állapotváltozásai szempontjából. A klíma változékonyságának mértéke (klímametrikák alakulásának együttes variabilitása) önmagában is jelentős heterogenitást mutat úgy térben (regionálisan), mint időben (vizsgálati időablakok szerint). További módszertani problémát jelent az a tény, hogy nemcsak a hatótényező (esetünkben a klíma változékonysága), hanem a különböző természetes és ember által befolyásolt ökoszisztémák (mint a hatást fogadó rendszerek), szintén alapvető heterogenitást mutatnak a hatással szembeni érzékenységük szempontjából. Az ökoszisztémák, mint szabályozási folyamatokra képes rendszerek nem egyszerűen passzív „elszenvedői” a hatásoknak, hanem azokra különböző mértékű és jellegű alkalmazkodással, visszacsatolással reagálnak. Az ember által befolyásolt ökoszisztémák esetén az alkalmazkodás, a humán tevékenység és a beavatkozások optimalizálását igényelné, amely ma még gyakorlatilag megoldhatatlan feladatot jelent.

Mindezek a viszonyok – úgy a klimatikus hatás, mint az ökoszisztémák reakciói, illetve az emberi tevékenység – alapvető és meghatározó szerepet játszanak az ökoszisztémák fenntarthatóságában, és az ezzel szemben megnyilvánuló kockázatokban.

A klímaváltozás kérdéskörének háttérében, az emberi tevékenységből származó üvegházhatású gázok kibocsátásán túl, úgy az okok, mint az okozatok tekintetében döntően ökológiai folyamatok húzódnak meg. Hiszen a kibocsátás csökkentés után lényegében csak az ökológiai folyamatok szabályozásával befolyásolhatjuk a klímaváltozás mértékét. Meglepőnek látszhat, de tény, hogy a klímaváltozással összefüggő számos hazai és nemzetközi projekt, valamint az összegyűlt sok könyvtárnyi szakirodalom ellenére ezekről az ökológiai folyamatokról még nagyon keveset tudunk.

Az IPCC jelentések (IPCC, 2007), az EU 7 keretprogram célkitűzései, valamint a hazai VAHAVA program zárójelentése (Láng et al., 2007) alapján egyaránt időszerűnek és sürgetőnek tűnik az alábbi kérdések minél pontosabb megválaszolása:

1. A nemzetközileg leginkább elfogadott klímaváltozási forgatókönyvek (klímaszcenáriók) alapján milyen közvetlen következmények körvonalazhatók a természetes vegetációtípusok, a mezőgazdaság, és a földhasználat tekintetében?

2. Ugyanezen klímaszcenáriók alapján milyen közvetlen hatásokra lehet számítani az élőhelyek diverzitása kapcsán?
3. A klímahatásra megváltozó földhasználat milyen közvetett hatást gyakorolhat a biodiverzitásra?
4. Mindezen kérdések fényében, milyen stratégiai megfontolások adódnak az adaptáció vonatkozásában?

A klímaváltozás lehetséges ökológiai, gazdasági és társadalmi hatásainak hazánkra vonatkozó elemzésében és előrejelzésében alapvetően az alábbi módszertani lehetőségek kínálóknak:

- szakirodalmi szintézisen alapuló megközelítések,
- meglévő adatbázisok idősorainak statisztikai elemzése,
- szimulációs modellezésen alapuló esettanulmányok,
- földrajzi analógián alapuló módszerek,
- illetve, ezek kombinációja.

A szakirodalmi szintézisen alapuló megközelítések minden kutatómunka számára nélkülözhetetlenek, de alapvetően új gondolatokat csak nagyon speciális esetekben eredményeznek. A meglévő adatbázisok idősorainak statisztikai elemzésével a klímaváltozás lehetséges hatásairól csak abban a szűk tartományban nyerhetünk információt, amely a historikusan már ismert és regisztrált klímaváltozékonyság körében értelmezhető. A szimulációs modellezésen alapuló esettanulmányok roppant fontosak, de ezek csak azon részrendszerek esetében alkalmazhatók amelynek kölcsönhatás-viszonyait már kellő részletességgel ismerjük, ezért a szimulációs modelleket jelenleg csak egy-egy populáció lokális viszonyaira tudunk fejleszteni, de regionális léptékű komplex természeti és társadalmi viszonyok szimulációja ma még nem reális lehetőség. Emellett a klímaváltozási forgatókönyvek a század végére olyan mértékű változást mutatnak, hogy a klimatikus paraméterek értékei az eddig használt szimulációs modellek értelmezési tartományán kívülre eshetnek.

A klíma megváltozásának nagyobb régiókra és komplex folyamatokra vonatkozó reális következményeit tehát jelenleg leginkább a földrajzi analógiák keresése által próbálhatjuk meg körvonalazni. A földrajzi analógia módszerével olyan területeket kereshetünk, amelyek jelenlegi klímája olyan, mint a vizsgált célterületé a jövőben. A földrajzi analógiák módszere lehetőséget ad arra, hogy az általunk vizsgált régió jövőbeli lehetséges viszonyainak értékelésében, a leginkább valószínűnek tűnő klímaszcenáriók

alapján, más régiók jelenlegi viszonyait és az ott összegyűlt adaptációs tapasztalatokat hasznosítsuk.

A földrajzi analógiák hasznosításának alapvetően három fő iránya lehetséges:

1. Az analóg területek térinformatikai ábrázolásával a különböző klímaszcenáriók és modellfuttatások outputjai vizualizálhatók, megnyitva a lehetőséget a lényegkiemelésre, csoportosításra és a scenáriók által jellemzett változások nagyságának érzékeltetésére.
2. A kérdéses terület adott klímaszcenárió szerinti analógja lehetőséget ad arra, hogy az ottani viszonyokról adatokat gyűjtve a célterület egy lehetséges jövőjéről véleményt alkothassunk. Ennek segítségével hipotéziseket generálhatunk az adaptációs stratégia kialakításához.
3. Az előző megközelítés fordítottja éppen ilyen fontos, hiszen ha megkeressük, hogy mely jelenlegi területek jövőbeli analógja a mi célterületünk, akkor arról kapunk információt, hogy a jelenlegi természeti és társadalmi körülményeinkről való információinkat, termelési tapasztalatainkat, a hazai meglévő tudásbázisunkat, mely területen tudjuk a későbbiekben hasznosítani. (Pl.: hol nyílhatnak meg új piacok a hazánkban nemesített növény és állatfajták számára, hova exportálhatunk hazai technológiákat, eljárásokat, módszereket, hol lehet szükség tanácsadói, szakértői tevékenységünkre.)

A földrajzi analógiák módszere számos fontos kérdés megválaszolásának egy lehetséges módja. Ennek ellenére a módszer számos veszélyt is rejt magában, aminek következtében egy felületes interpretációt számos jogos kritika érhet. Közismert hasonlattal élve, a hasonlat olyan, mint egy íj, ha nem feszítik meg eléggé, akkor nem hatásos, ha viszont túlfeszítik, akkor elszakad.

A földrajzi analógiák kapcsán „túlfeszítést” okozhat, ha az összehasonlításba olyan tényezőket is bevonunk, amelyek nem klímfüggők, vagy amelyek klímfüggők ugyan, de a klímfüggés más tér-időbeli skálán értelmezhető, mint az általunk vizsgált scenárió. A természetes vegetáció típusa például egyértelműen és erősen klímfüggő, ennek ellenére helytelen volna azt feltételezni, hogy a klimax növénytársulás és az annak megfelelő talajtípus néhány évtizedben mérhető időskálán kicserélődhet, hiszen ezek dinamikája néhány ezer éves skálán zajlik és a legkisebb már észlelhető állapotváltozások is legalább százéves léptékben értelmezhetők.

Fontos szempont ugyanakkor a földrajzi analógiák értékelésében, hogy a kérdéses terület jövőbeli analógja csupán azon változók szerint analóg, amelyet a vizsgálatba

bevontunk. Az időjárási-rendszer átalakulásával például a napi hőmérsékleti és csapadékviszonyok nyilvánvalóan átalakulnak, de például a nappalhosszúság éves dinamikája és ezzel összefüggésben a sugárzási viszonyok jelentős része továbbra is a földrajzi szélességtől függ, ami nem fog megváltozni. Ehhez hasonlóan a domborzati és geológiai viszonyok megváltozása sem várható az általunk vizsgált időbeli skálán. Fontos megállapítani, hogy a földrajzi analógia módszere nem veszi figyelembe a légkör CO₂-szintjének változását, hiszen a vizsgált területek jelenlegi klímáit hasonlítja össze. Problémát jelenthetnek a társadalmi folyamatok tehetetlenségével összefüggő kérdések is, hiszen a hagyományok, termelési tapasztalatok, bevezetett fajok és fajták hatása nem hagyható figyelmen kívül.

A lehetséges módszertani problémák és bizonytalanságok ellenére számos fontos kérdés egyik lehetséges megközelítési módja a földrajzi analógia lehet, így az ily módon nyert információk hasznosításától még akkor sem tekinthetünk el, ha azok első látásra inadekvátnak tűnnek. Nyilvánvaló, hogy még egy bizonytalan becslés, vagy gyengén tesztelt és esetleg vitatható vagy ellentmondásos hipotézis is jobb, mint az információ teljes hiánya.

Jelen tanulmányhoz vezető kutatómunka során az alábbi konkrét kutatási és fejlesztési célokat tűztük ki:

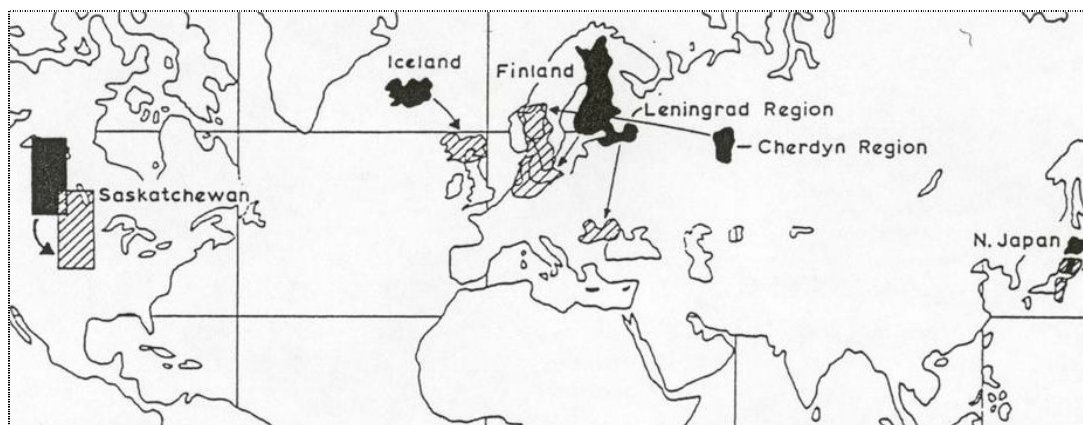
1. A földrajzi analógia módszerének klímaváltozással kapcsolatos alkalmazására vonatkozó hazai és nemzetközi szakirodalom célra orientált módszertani szintézise.
2. A szakirodalmi szintézis birtokában az analógiakeresés és értékelés módszertani keretrendszerének kialakítása.
3. A kidolgozott módszertani keretrendszer birtokában néhány nemzetközileg elismert klímaszcenárió hazánkra vonatkozó földrajzi analógjainak azonosítása és térinformatikai megjelenítése.
4. Azon területek azonosítása ugyanezen módszerekkel, amelyek jövőbeli (klímaszcenárió szerinti) analógja éppen hazánk jelenlegi klímája.
5. Az analóg területekkel kapcsolatos nyilvános, és a vizsgálat szempontjából értékelhető vegetációs és élőhelyi vonatkozású statisztikai adatok összegyűjtése, elemzése és értékelése.

2. Irodalmi áttekintés

2.1. Földrajzi analógia meghatározására irányuló kutatások

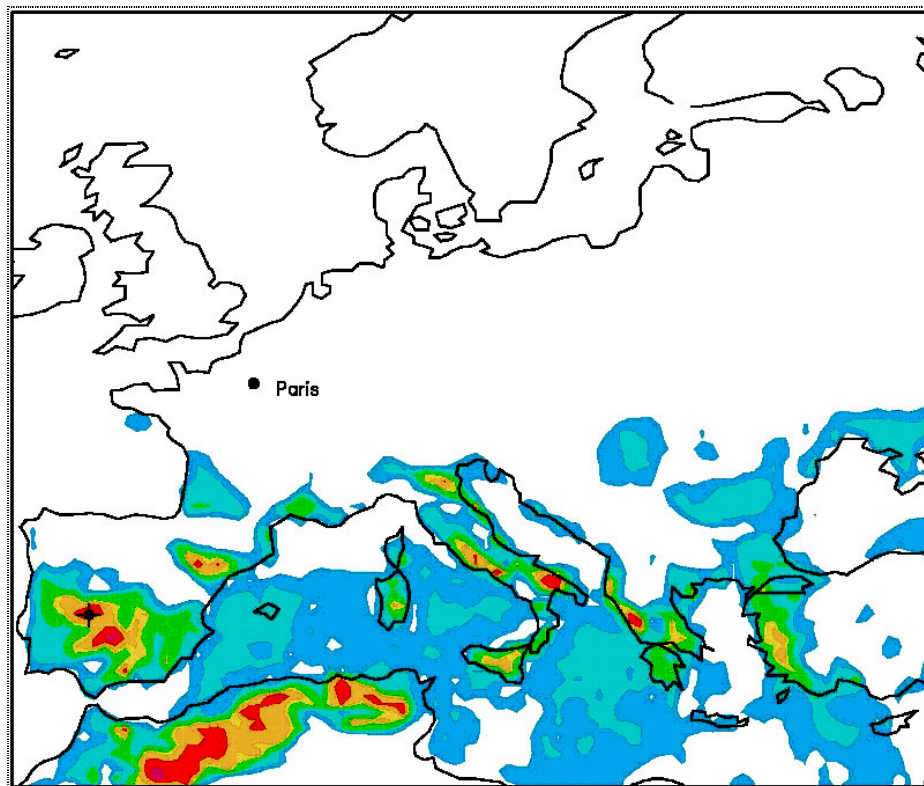
A földrajzi analógia az eltérő gazdasági struktúrájú és/vagy eltérő gazdasági lehetőségű országok és területek klimatikus, természeti és földrajzi sajátosságaiban meglévő hasonlóságot tárja fel. A hasonlóság bizonyítható megléte esetén az adott ország vagy terület fejlesztésére következtetések vonhatók le, de e következtetések megfogalmazásakor nem lehet figyelmen kívül hagyni a gazdasági, földrajzi és társadalmi tényezőket. Például, valamely termelési ág vagy mezőgazdasági termék meghonosíthatósága kutatásakor a földrajzi feltételeken kívül azok fogyasztói igényeit és értékesíthetőségi lehetőségeit is fel kell tárni. A földrajzi analógia a nagyobb gazdasági egységek (esetleg regionális körzetek vagy országok) erőforrásai jövőjének kutatásában is kiemelkedő szerephez juthat (Tóth, 2003).

A földrajzi analógia módszerével olyan területeket kereshetünk, amelyek a bázisidőszakban (1961-1990) megfigyelt klimatikus adottságai azonosak a vizsgált terület jövőbeli klímájával. A nyolcvanas években jelentek meg az első ilyen elemzések, amelyek a klímaváltozás lehetséges hatásainak feltárásához a földrajzi analógia módszerét használták. Az első elemzésekben csak az évi középhőmérsékleteket vették figyelembe, ezek alapján keresték meg az analóg területeket. Régebbi klímaszcenáriók (GISS 2xCO₂) alapján Parry et al. (1988a, 1988b) megállapította, hogy Izland analógja Skócia, Finnországé Dánia, ill. Szentpétervár régiója a Kárpátok térségével lesz klimatikusan hasonló (1. ábra). Ugyanilyen irányú analóg párokat találtak Amerikában és Japánban is. Kiemelik, hogy pusztán csak az évi átlaghőmérsékletek összehasonlítása nem elegendő, további elemzésekhez figyelembe kell venni más klimatikus paramétereket is (Carter et al., 1994).



1. ábra Parry et al. által meghatározott analóg területek (Parry et al., 1988)

Hasonló eredményre jutottak más kutatók is (Bergthorsson et al., 1987; Kettunen et al., 1987; Aittoniemi, 1992) a Skandináv területek vizsgálatakor, azaz Izland és Skócia, ill. Finnország és Dánia alkotnak klimatikus analóg párokat. Hallegatte és társai (2007) Párizs analóg területeit keresték (2. ábra), és kimutatták, hogy az analóg területek Európa mediterrán térségében találhatóak, Párizstól több száz km-re délre, és jelentős hasonlóságot mutatnak az Észak-Afrikai területek is. Megállapításaik szerint Párizs klímája az évszázad végére (2070-2100) Córdoba (Spanyolország) klímájához lesz hasonló, így a spanyol régió klímaadottságához való alkalmazkodási technikákat kell tanulmányozniuk.



2. ábra Párizs analóg területei (Hallegatte et al., 2007)

Duckworth (2000) nem adott konkrét analóg párokat, de meghatározta a klimatikus eltolódás mértékét. Megállapítása alapján 2°C-os globális hőmérséklet emelkedés esetén Európában az analóg területek minimum 100 km-re délebbre lesznek a vizsgált területekhez képest, ami a vegetáció határának északi irányú elmozdulásában is meg fog mutatkozni.

Können (2001) kutatásai alapján, 6 fokos globális hőmérsékletemelkedés esetén Hollandia analóg területei Spanyolországban találhatóak, de megemlíti, hogy ilyen mértékű változás esetén ez az analóg terület nem elfogadható, mert az túlságosan messze van, és az ottani klímát létrehozó meteorológiai tényezők teljesen különböznek a hollandtól, és nem

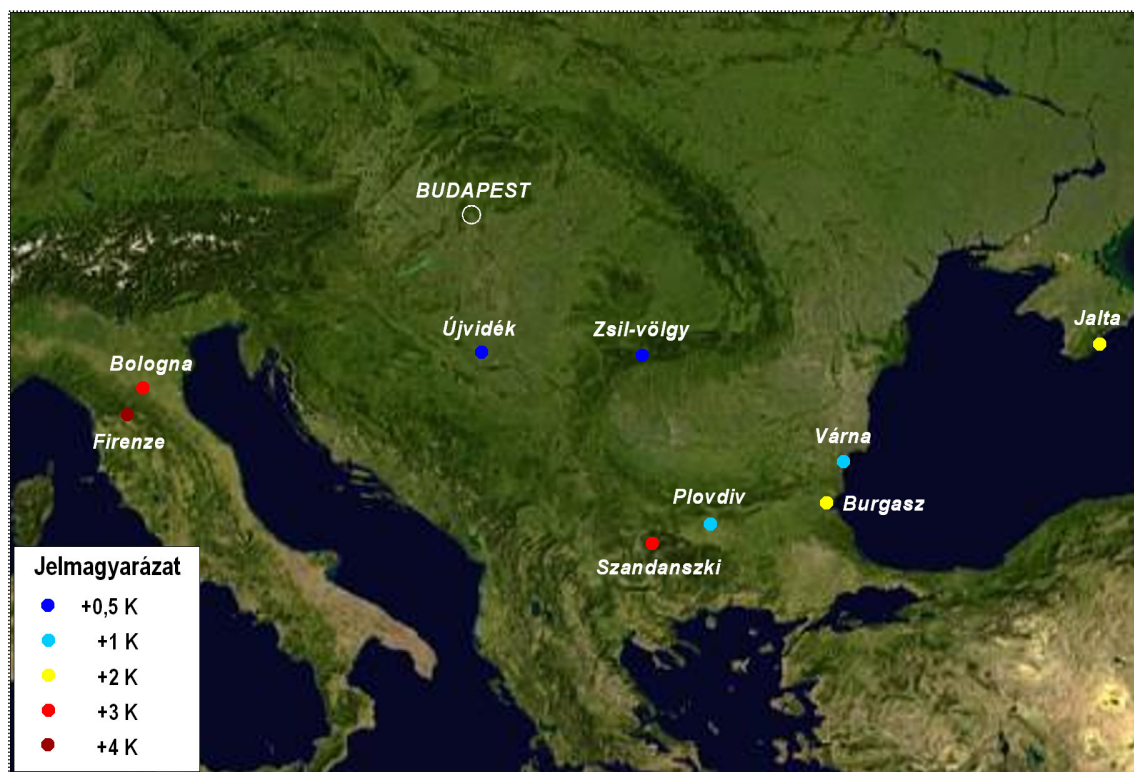
kapcsolhatók össze a Hollandia éghajlatát létrehozó légáramokkal.

Hasonló eredményeket kaptak angol kutatók is (Maynard, Expert Group on Climate Change and Health in the UK, 2001) az évi középhőmérsékletek elemzésekor, ők 2 °C-os változás esetén Dél-Anglia analóg területének Bordeaux régióját találták. Ők is kiemelik, hogy csupán csak a hőmérsékleti analógia nem elegendő, tovább kell vizsgálandni, mind az éven belüli változásokat, mind a földrajzi adottságokat is figyelembe kell venni. Az eddigi tapasztalataik azt mutatják, hogy több paraméter összehasonlítása alapján nagy valószínűséggel ez az analógia pár elfogadható.

A földrajzi analógok meghatározásához több klimatikus változót is be lehet és kell vonni. Fronzek és társai (2007) az évi középhőmérsékletet, a kontinentalitási indexet, a tenyészidőszak hosszát és az évi csapadékmennyiséget használták, és globálisan kerestek analóg régiókat európai városokhoz a BAMBU scenárióra (2071-2100). Vizsgálataik szerint Helsinki analóg területei Dél-nyugat Kanadában és Észak-Pakisztánban, Róma analógjai Argentínában és Dél-kelet Ausztráliában, valamint Rotterdam analóg területei Dél-Ausztráliában és Új-Zélandon találhatóak. Elemzésüket az ALARM projekt keretében végezték, az analóg területek vizsgálatával azt keresték, hogy milyen invazív növények európai megjelenésére, ill. elterjedésére kell felkészülnünk.

Magyarországon is folytak kutatások a földrajzi analógia módszerével. Mika és társai kétfajta elemzést is végeztek. Keresték a földrajzi analóg párokat Magyarországon belül, és Magyarország analóg párjait Európában (Molnár és Mika, 1997; Mika et al., 2002; Huszár et al., 1999). Ők is több paramétert vettek figyelembe az analóg párok meghatározáshoz: a nyári és a téli félév átlaghőmérsékletét, valamint az éves csapadékmennyiséget, bázis időszakként az 1961-1990 közötti 30 éves adatsort használták. A magyarországi vizsgálatban fél fokos hőmérsékletemelkedéshez keresték az analóg párokat, de az elemzésbe bevont 49 állomás közül csak kilenc állomáspár mutatott megfelelő hasonlóságot. Ilyen volt például Pécsely és Pápa (Pécsely jövőbeli klímája hasonlít leginkább Pápa jelenlegi klímájára), de ők is arra a következtetésre jutottak, hogy a hasonlóság elfogadásához a nem klimatikus paramétereket is figyelembe kell venni. Nem biztos, hogy a féléves átlagokban való térbeli megfelelés garantálja a finomabb időbeli statisztikák időbeli extrapolálhatóságát. A vizsgálatokba bevont mérőhelyek további elemzésében megállapították, hogy 1 fokos hőmérséklet emelkedéshez ugyanúgy található analóg párok, de az előbbieknél kevesebb, összesen hét pár felelt meg. Megállapították, hogy a különböző helyzetű állomások csak kis része vonható be sikerrel a földrajzi analógia alapján álló hatásvizsgálatba.

Hasonló elemzést végeztek el nem csak magyarországi, hanem európai mérőállomásokra: fél, 1, 2, 3, 4 fokos félgömbi hőmérsékletemelkedést feltételezve (Molnár és Mika, 1997). Eredményként, Magyarország jövőbeli klímájához fél fokos hőmérséklet emelkedés esetén Újvidéket és a Zsil völgyét; 1 fokos emelkedés esetén Várnát és Plovdivot; 2 fokos emelkedés esetén Burgaszt; 3 fokos emelkedésnél Szandanszkit, és 4 fokos emelkedés esetén Firenzét találták analógnak (3. ábra). Megállapították, hogy az analógia kézenfekvő lehetőséget teremt a balkáni térség és hazánk összekapcsolására, sőt akár az ottani gazdálkodási, életmódbeli tapasztalatok majdani itthoni átvételére, de ezzel a lehetőséggel óvatosan kell bánni, az eredmények csak első közelítésnek tekinthetők. Nyilvánvalóan semmi nem garantálja, hogy bárhol a Földön napjainkban létezzen olyan éghajlat, mint ami a jövőben Magyarország egyes tájain várható.



3. ábra Magyarország analóg területei különböző globális hőmérsékletemelkedések alapján (Molnár és Mika, 1997)

Az agrárium válasza a klímaváltozásra már most megfigyelhető a mért adatokban, mind a biofizikai és ökonómiai hatásokban (Mendelsohn et al., 1994; Chen et al., 2000; Darwin et al., 1995, 1999, 2001). A földrajzi analógia módszertanának alkalmazásával megkerülhetők a bonyolult termésbecslési modellek, így közvetlenül figyelhetjük meg a klímaváltozás hatását és az arra adott gazdasági válaszokat (McCarl, 2001).

A térbeli analógiával való becslések alapvetően esettanulmányok kidolgozására alkalmasak, figyelembe véve melegebb és hidegebb régiókat, azt vizsgálva, hogyan tudja a hidegebb régió adaptálni a melegebb régióban használt eljárásokat. Statisztikai eljárásokkal megállapíthatók, mely tényezők befolyásolják a termésbeli különbségeket a vizsgált területeken. Ezen tényezők ismeretében a termelők konkrét lépéseket tehetnek a klímaváltozás negatív hatásainak enyhítésére. Ezzel a statisztikai megközelítéssel olyan tényezőket is megvizsgálhatunk, amelyek hatása nem kapcsolható össze a klímaváltozás hatásával, például a talajtípus és talajminőség hatása (Schimmelpfennig et al., 1996). Mendelsohn et al. (1996) megállapította, ahogy a klíma melegszik, a termelők gazdálkodási szokásokat (mint a természszerkezet vagy az agrotechnika) vehetnek át a melegebb területeken gazdálkodóktól. De nagyobb változás hatására az ökonómiai változások, mint például a termés ár vagy a termelés költsége miatt ez a típusú alkalmazkodási lehetőség nem feltétlenül a legelőnyösebb.

Adams et al. (1998) megállapítása alapján a földrajzi analógia egy implicit alkalmazás, amely mentesíti a felhasználót attól, hogy a klímaváltozás hatásait csak régió-specifikus növényeken vizsgálja. Lehetséges, és kell olyan vizsgálatokat is végezni, amelyek egy adott területen teljesen szokatlan természszerkezetet és földhasználatot feltételeznek. Kiemeli, hogy természetesen mindezen vizsgálatokat megfelelő ökonómiai feltételekkel együtt szabad csak elvégezni, például, ha a területen azelőtt csak szárazságtűrő növényeket termesztettek, áttérni az öntözésre nagyobb anyagi ráfordítást igényel, mint amennyit új növények alkalmazásával el lehet érni. Éppen ezért a termelőknek folyamatosan figyelemmel kell kísérni a klímaváltozás hatásait és az analóg területeken végbemenő változásokat és a változásokra adott válaszokat, így a termelő időben felkészülhet az őt érő hatásokra (Mendelsohn et al., 1999; Adams et al., 1998). Az USA-ban végzett elemzések kimutatják, hogy ha a termelők a földrajzi analógia módszerét alkalmaznák a lehetséges változásokhoz való alkalmazkodáshoz, akkor több tíz milliárd \$-ral kevesebbe kerülne a klímaváltozás káros hatásának enyhítése, akár csak pár fokos hőmérséklet emelkedés esetén is (Adams et al., 1998).

Előnye még a földrajzi analógoknak, hogy megvizsgálhatjuk, hogyan alkalmazkodhat a természetes vegetáció különböző klímákhoz (Parry et al., 1988a, 1988b; Mendelsohn et al., 1994). Az analógia módszerével könnyebben megérthetjük és megjósolhatjuk a klímaváltozás lehetséges hatásait, enyhíthetjük a kedvezőtlen hatásokat, megismerhetjük az éghajlat tér és időbeli változékonyságát (Kunkel et al., 1998).

A földrajzi analógiának vannak hátrányai is. Ha úgy döntünk, hogy a földrajzi analógiát alkalmazzuk, tudatunk kell, hogy az analógia keresésekor nem vesszük

figyelembe az üvegházhatású gázok mennyiségi változását (Carter et al., 1999) és a klímaszcenáriók távoli időpontokban vett bizonytalansága miatt hosszú távú előrejelzéseknél a módszer csalóka eredményt adhat. Habár a Földön sokféle klíma megtalálható, elképzelhető, hogy nem találunk megfelelő analóg területeket. Ennek ellenére ez az egyik olyan elemzési módszer, amivel tesztelhetjük szimulációs modelljeinket, de nem ajánlott az eredményeket megfelelő validálás nélkül elfogadnunk (Barrow and Lee, 2003; Carter et al., 1999), hiszen a földrajzi analóg területek éghajlatát más tényezők is befolyásolhatják, ilyen a domborzat, szélességi körön való elhelyezkedés vagy a tengertől, óceántól vett távolság.

2.2. A klímaváltozás fenológiai hatásai

Az eddigi kutatások mind azt mutatják, hogy egy-egy régió földrajzi analógja töle melegebb, délebbre eső területekre mutat, azaz a klímánk „délebbre mozdul”, ezzel együtt az analóg területeken lévő ökoszisztémák határai északra. Azt nem állíthatjuk, hogy az ökoszisztémák helyet változtatnak, inkább átalakulnak. Sok kutatási eredmény számol be arról, hogy a különböző növénytakasulások elterjedési határa változik, és arról, hogy hogyan változik.

A klímaváltozás hatása így nem csak a földrajzi analógia módszerével vizsgálható, a klimatikus eltolódás ugyanúgy megfigyelhető a vegetáció típusok határainak elmozdulásával. Ez az elmozdulás általában északi irányú, ill. magasabb tengerszint feletti magasságokba mutat. Megfigyelhetők a fenológiai változások is, a vetési időpontok korábbra tolnak, ill. a vegetációs időszak meghosszabbodik (Menzel et al., 2006; Nabuurs et al., 2003; Shvidenko and Nilsson, 2003; Boisvenue and Running, 2006; Alcamo et al., 2007), ezzel együtt a természetett növényeket ért stressz hatások a melegebb és szárazabb nyarakon növekednek (Viner et al., 2006).

A BIOME (Prentice et al., 1992) modell eredményei szerint Európában a természetes vegetációk elterjedési határai északra húzódnak. A tűlevelű erdők déli határa 5 szélességi fokkal húzódik északra, ugyanennyivel változik a lombhullató erdők északi határa is. A füves területek, rét legelők területe Észak-Európában hozzávetőlegesen 50%-kal növekedhet (Kohlmaier et al., 1995; Weng és Zhou, 2005). Az agroklimatikus zónák és a természetett növények természetethetőségi határai is elmozdulnak (Bacsi, 1991). Például a búza természetethetőségi határai is északra mozdulnak, Észak-Európában nagyobb termésátlagokat érhetnek majd el (Iglesias és Minguez, 1997). Ilyen irányú

elmozdulásokkal együtt az északabbi területek diverzitása egyre inkább növekszik, több új faj jelenhet meg, de a növények alkalmazkodóképessége miatt a természetes növényzet nem tűnik el teljesen (Shafer et al., 2001). Az északabra való tolódással a természeti kockázatok is növekednek (Parry és Carter, 1985).

A klímaváltozás lehetséges, Európában termesztett növényekre való hatásaira is számos elemzés készült. A termőhely, földhasználat kontinentális szinten jelentősen változhat a klímaváltozás függvényében. Számítások szerint 1 °C-os globális hőmérsékletemelkedés 150–250 km-rel tolja el a természeti zónákat a sarkok felé. Ez például Magyarországra azt jelenti, hogy már 2 °C-os hőmérsékletemelkedés is teljesen megváltoztatja a klimatikus feltételeket, s a mediterrán jellegű klíma a jelenlegitől lényegesen eltérő termőföldhasználatot tesz csak lehetővé (Harnos, 2003; Harnos et al., 2000). Számíthatunk arra, hogy a kukorica termésterülete és a termeszthetőség határa az évszázad végére – több fokos hőmérsékletemelkedés esetén – akár 1000 km-rel is északabra húzódhat (Olesen and Bindi, 2004), ez azt jelenti, hogy a skandináv területeken is reális lehet a kukorica termesztése. Ezzel együtt várhatóan a kukoricaöv déli határa is északra mozdul el (Potter et al., 1991). Várható a búza termeszthetőségének javulása is, köszönhetően a CO₂ szint növekedésének és új termőterületek megjelenésének Észak-Európában. Ugyanígy a szőlő vegetációs időszaka is növekszik, javulhat az előállítható bor minősége (Jones and Davis, 2000; Duchene and Schneider, 2005).

A jövőbeli európai földhasználati szokások és környezeti hatások is változhatnak, éppen ezért nagy hangsúlyt kell fektetni az adaptációs módszerekre. A klímaváltozás kedvezőtlen hatásait kezdetben a technikai fejlesztésekkel még megelőzhetjük. Arnell és munkatársai (2002) szerint a termésátlagok növekedése csak a technológiai fejlesztések következményeként évi maximum 1%-ra tehető. Várhatóan, Európában a gabonatermés – a CO₂-szint változásnak köszönhetően – maximum 20–50%-kal fog nőni az évszázad végére (McKenney et al., 1991; Ewert et al., 2005), a klímaváltozási scenárióktól függően. Ez egy kicsit csalóka, mert a klíma változásával azon észak-európai területek is bekapcsolódhatnak a termelésbe, amelyeken eddig az éghajlatuk miatt nem volt lehetséges a növénytermesztés (Hildén et al., 2005; Olesen et al., 2007), viszont Dél-Európában ellehetetlenülhet, vagy akár meg is szűnhet a hagyományos gazdálkodás a változó klíma miatt (Audsley et al., 2006).

Az évszázad végére Európában a gabonatermő területek nagysága akár 50%-kal is csökkenhet, hiszen a feltételezett technológiai fejlesztéseknek köszönhetően kisebb terület is elegendő lesz a kellő mennyiségű élelmiszer előállításához, ezzel párhuzamosan a védett természeti területek és erdők területe, rét-legelők és az energianövények termesztési

területe növekedhet (Schröter et al., 2005; Rounsevell et al., 2006). Ilyen jellegű változások inkább csak az évszázad második felétől várhatók (van Meijl et al., 2006), úgy, mint az energia növények nagyarányú elterjedése. A klímaváltozásnak köszönhetően ez is inkább Európa északi felén (Tuck et al., 2006).

Nem szabad figyelmen kívül hagynunk, hogy ezek az eredmények nem veszik figyelembe a kockázati hatásokat. A jövőben egyre több extrém időjárási esemény befolyásolhatja a termést. Magyarországon nőni fog a termesztés kockázata (Bartholy és Dunkel, 2006), a nyári magas hőmérséklet és a szárazság miatt várhatóan a gabona termés csökkenésével is számolnunk kell (Meehl and Tebaldi, 2004; Schär et al., 2004; Beniston et al., 2007; Jones et al., 2003). A mediterrán térségben a várható hőhullámok, a hosszú csapadékmentes időszakok még inkább kockázatosabbá teszik a termelést. Az eddigi termesztési területeken a klímaváltozás hatására olyan új kórokozók és kártevők is megjelenhetnek, amelyek eddig a téli hidegek miatt nem voltak jelen Európában (Wittmann and Baylis, 2000; Mellor and Wittmann, 2002; Colebrook and Wall, 2004; Gould et al., 2006), ezek szintén növelik a termesztés kockázatát. Ezért a jövőben hosszú távú adaptációs stratégiát kell kidolgozni az EU-ban (Olesen and Bindi, 2002), csökkenteni kell a termesztés kockázatait (Metzger et al., 2006) és új technológiák bevezetését kell támogatni.

Az Európai Unió kiemelt kutatási témái közé tartozik a klímaváltozás hatásainak elemzése. Az Európai Környezetvédelmi Ügynökség (EEA) jelentésében (EEA, 2004) kiemeli, hogy a klímaváltozás hatása más lesz Európa déli és északi részén. Északon inkább javulnak a termesztési feltételek, míg délen a melegezés és a csapadékcsökkenés miatt jelentősen csökkenő terméssel kell számolni. A déli területeken akár 30%-os termés csökkenéssel lehet számolni a közeljövőben, északon pedig megjelenhetnek eddig nem honos kórokozók és kártevők. Megállapításuk alapján, az agrárterületek 1 °C-os hőmérséklet emelkedés esetén 100–150 km-rel húzódnak északra, ezzel párhuzamosan a vegetációs időszak is 10–20 nappal növekedhet. A legnagyobb probléma a mezőgazdasági területek vízellátottságával lesz, s ezzel együtt az extrém események számának növekedése is negatív hatással lesz a termelésre.

2.3. A klímaváltozás hatásait vizsgáló programcsomagok

ATEAM

A Potsdam Institute for Climate Impact Research (PIK) által fejlesztett ATEAM (Advanced Terrestrial Ecosystem Analysis and Modelling) (Schröter et al., 2005) célja, hogy felbecsülje az ökoszisztéma sebezhetőségét a globális klímaváltozás tükrében. Előrejelzést ad a lehetséges szocio-ökonómiai változásokra, a földhasználat változásra és a klímaváltozásra a 2020-as, 2050-es és 2080-as évekre európai regionális léptékben. Az eredmények térképes formában érhetők el.

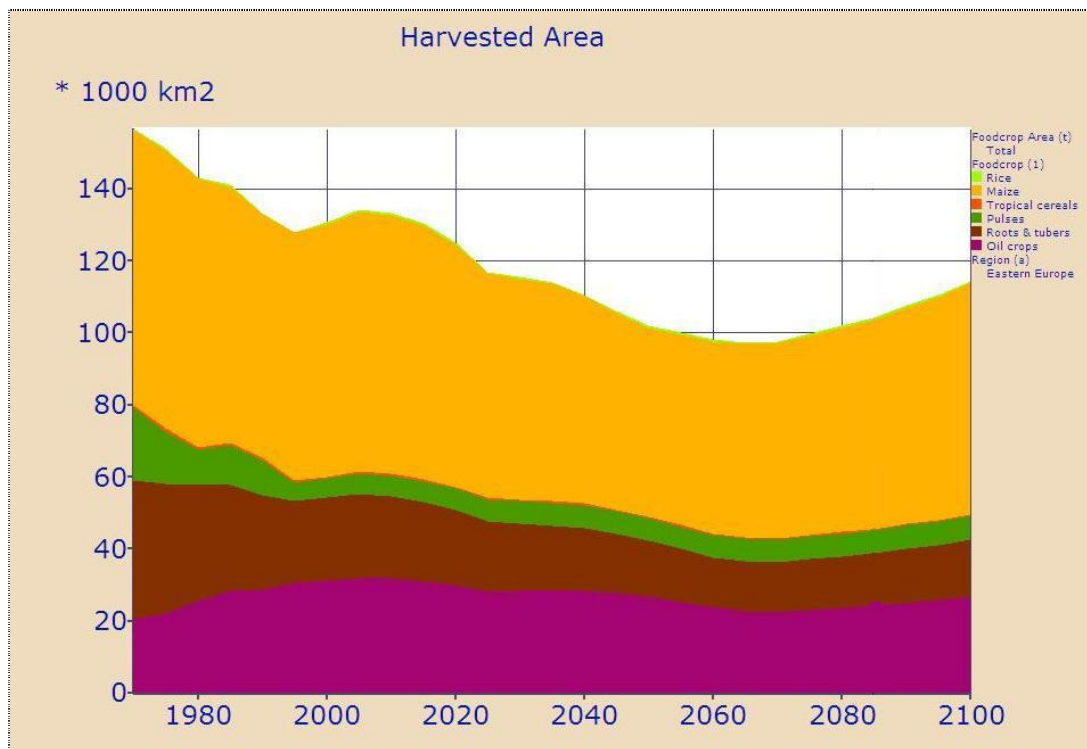
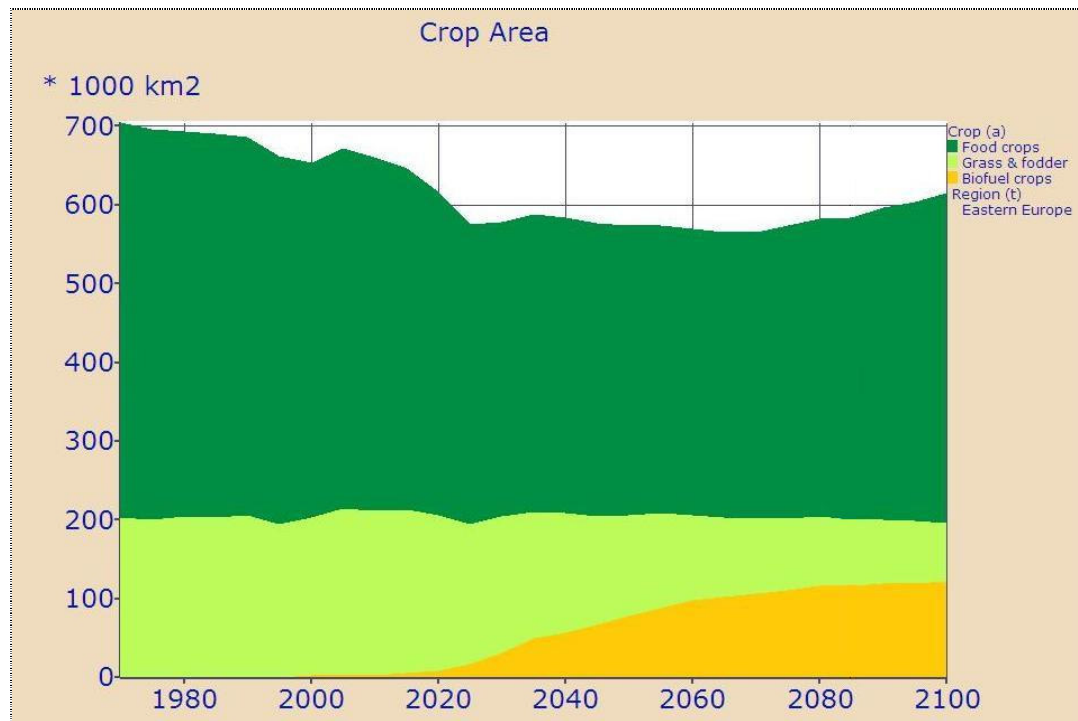
CAPRI modell

A FAOSTAT és az European Environmental Agency által támogatott projekt (Britz et al., 1997) végeredménye a CAPRI modell (Common Agricultural Policy Regionalised Impact analysis), mellyel a 2010-es és a 2020-as évekre tudunk becslést adni a mezőgazdaságban várható változásokról, mind a különböző növények termésterület nagyságának, mind várható termésátlagának változásában.

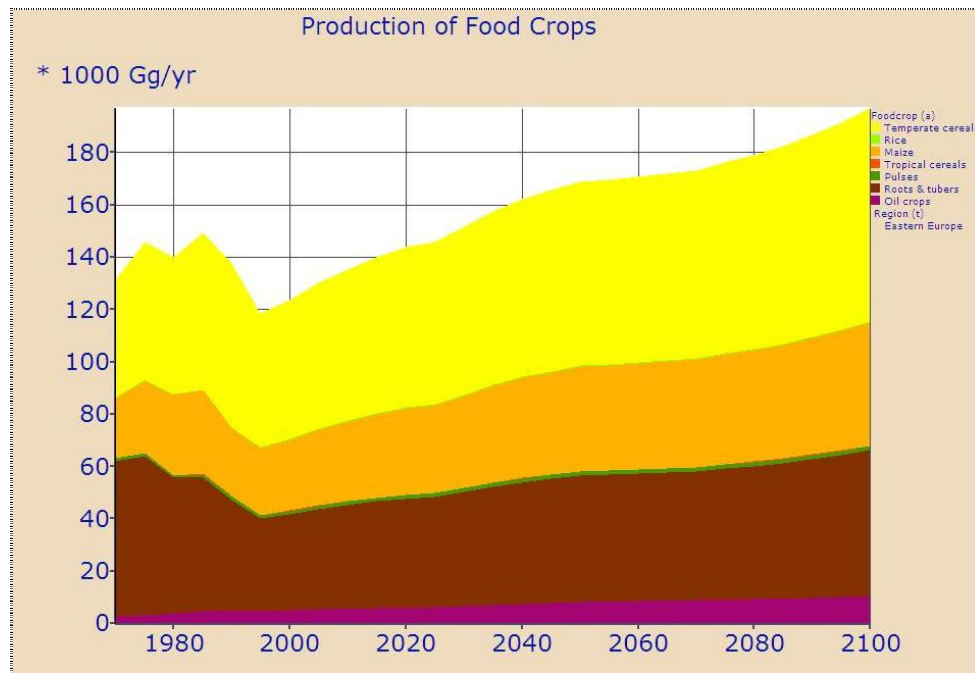
IMAGE 2.2

A Netherlands Environmental Assessment Agency (Leemans et al., 1998) által fejlesztett IMAGE 2.2 (Integrated Model to Assess the Global Environment) modell csomaggal a klímaváltozás lehetséges hatásait modellezhetjük, felhasználva az IPCC által meghatározott klíma scenáriókat. 1970-2100-ig éves lépésben követhetjük a gazdasági, ökológiai, földhasználati változásokat.

Az eredmények alapján a kelet-európai régióra nézve a mezőgazdasági területek nagysága 10%-kal csökken, ezzel együtt az évszázad közepétől jelentősen nőhet az energianövények termesztési területe, a rét-legelők területe pedig csökken (4. ábra). Ezzel együtt a CO₂ szint emelkedésének és a várható agrotechnikai fejlesztéseknek köszönhetően a termésátlagok növekedését várhatjuk (5. ábra).

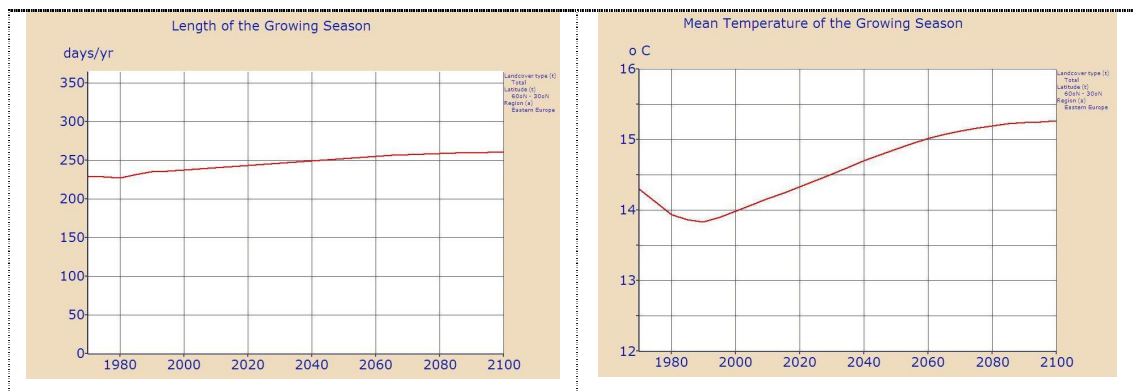


4. ábra Szántófield és a jelentősebb termesztett növények területének változása Kelet-Európában (IMAGE 2.2 programcsomag eredményei)



5. ábra Termesztett növények termése (IMAGE 2.2 programcsomag eredményei)

A klímaváltozás hatásaként az évszázad végére várhatóan – akár 50 nappal is – növekedni fog a vegetációs időszak, s ezzel együtt a vegetációs periódus átlaghőmérsékletének 1–2 fokos növekedésére is számíthatunk (6. ábra). Ez a csökkenő csapadékkal együtt komoly kockázatot jelent a termelésre. Növekvő arányt mutatnak az olajos növények a gabonafélék és a kukorica is, mindez az agrotechnikai fejlesztéseknek és a légkör széndioxid-szintjének növekedésének köszönhetően. De nem szabad elfelejtenünk, hogy a növekvő termés és a csökkenő termesztési terület jelentős termésátlag növekedést jelent, de a modell nem veszi figyelembe a növekvő számú és intenzitású extrém időjárási eseményeket, amelyek jelentősen befolyásolhatják a termésátlagokat.



6. ábra A vegetációs időszak hosszának és átlaghőmérsékletének változása (IMAGE 2.2 programcsomag eredményei)

2.4. Diverzitás, diverzitási mutatószámok

A diverzitás (magyar nyelvű szinonimával változatosság) egy alapfogalom, amely nyelvi értelemben nem szorul magyarázatra (Izsák, 2001). A biológiai diverzitás (röviden biodiverzitás) köznyelvi fogalmát csak akkor definiáljuk pontosabban, ha statisztikai ökológiai elemzések céljából számszerűsíteni kell. Ekkor viszont a diverzitás konkrét szövegösszefüggésben értelmezett jelentését, maga a diverzitási mérőszám, vagy más diverzitási mutató (pl. diverzitás-rendezés) definiálja. Általánosságban elmondható, hogy bármilyen diszjunkt kategóriákba sorolható, tömegesen előforduló objektum-rendszer (tetszőleges fészeségeinek) diverzitása értelmezhető. A diverzitás leggyakoribb (általánosan használt) mérőszámai a fészeségek mintabeli vagy alapsokaságbeli előfordulási gyakoriságainak (vagy előfordulási valószínűségeinek) halmazán (tehát általában nem valamilyen rendezett sorozaton) értelmezett számértékű függvények (Izsák, 2001).

A diverzitási elemzések során az alábbi szempontok (diverzitást meghatározó tényezők) vehetők figyelembe:

- a megkülönböztethető fészeségek száma,
- a fészeségek relatív gyakoriságaiban megnyilvánuló egyenletesség mértéke,
- a fészeségek különbözőségének mértéke,
- a fészeségek tér-időbeli eloszlási mintázatában megnyilvánuló skálafüggő heterogenitás,
- a fészeségek közötti tér-időbeli szomszédsági vagy más kölcsönhatásokból származó funkcionális mintázat (Juhász-Nagy, 1993).

A fenti szempontok közül a legismertebb (és legáltalánosabban használt) indexek csak az első kettőt veszik figyelembe különböző súlyozásokkal. Az ökoszisztéma feletti szint (pl. régió, biom, kontinensek) biodiverzitásának meghatározásában az esetleges történeti és biogeográfiai szempontok mellett a fizikai környezet változatossága játsza a fő szerepet. A fizikai környezet, tehát a lehetséges élőhely-típusok változatossága döntő fontosságú tényező egy terület biodiverzitásának kialakulásában (Wilson és Bossert, 1981; Pásztor és Oborny, 2007). A magasabb biodiverzitás a magasabb élőhelydiverzitáshoz hasonlóan javítja az ökológiai rendszerek működésének (többek között klímaszabályozó szerepüknek) a megbízhatóságát. A természetes élőlényközösségek és ökológiai rendszerek magas fokú biológiai diverzitást tartanak fenn, ami jóval meghaladja az agrár-, vagy ember által befolyásolt egyéb ökoszisztémák diverzitását. Ez a túlélést biztosító természetes biodiverzitási stratégia a bioszféra több milliárd éves evolúciója során bevált, sikeresnek bizonyult, bár részleteit teljességében még nem értjük.

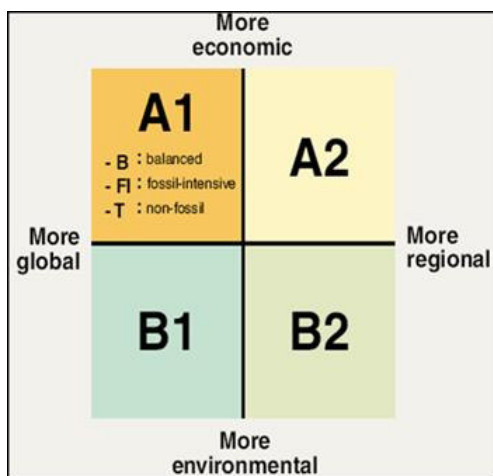
3. Anyag és módszer

3.1. Jelenlegi klímákra vonatkozó adatok

A World Meteorological Organization (WMO) ajánlása alapján a földrajzi analógia módszeréhez, összehasonlításra az 1961-1990 bázis időszakot választottuk. A vizsgált városokra (Debrecen, Győr, Budapest, Pécs, Szeged, Miskolc) vonatkozó havi átlaghőmérséklet és csapadékösszegek az Országos Meteorológiai Szolgálat (OMSZ) adatbázisából származnak. Az Európára jellemző havi adatokat az International Panel on Climate Change Data Distribution Center (IPCC DCC) Climatic Research Unit (CRU) TYN CL 2.0 adatbázisából vettük (New et al., 2002). Ebből szintén az 1961-1990 időszak havi hőmérsékleti átlagait és csapadékösszegeit dolgoztuk fel (Solymosi et al., 2007; Szenteleki, 2007). Az adatbázis 10 szögperces térbeli felbontása megfelelő a földrajzi analógia módszerének. Az adatbázist az Európában található közel 20000 meteorológiai mérőállomás adatait felhasználva a földrajzi szélesség, hosszúság és magassági adatok függvényeként interpolálással állították elő. Ellenőrzésként összehasonlították a valós havi átlagokkal (New et al., 1999).

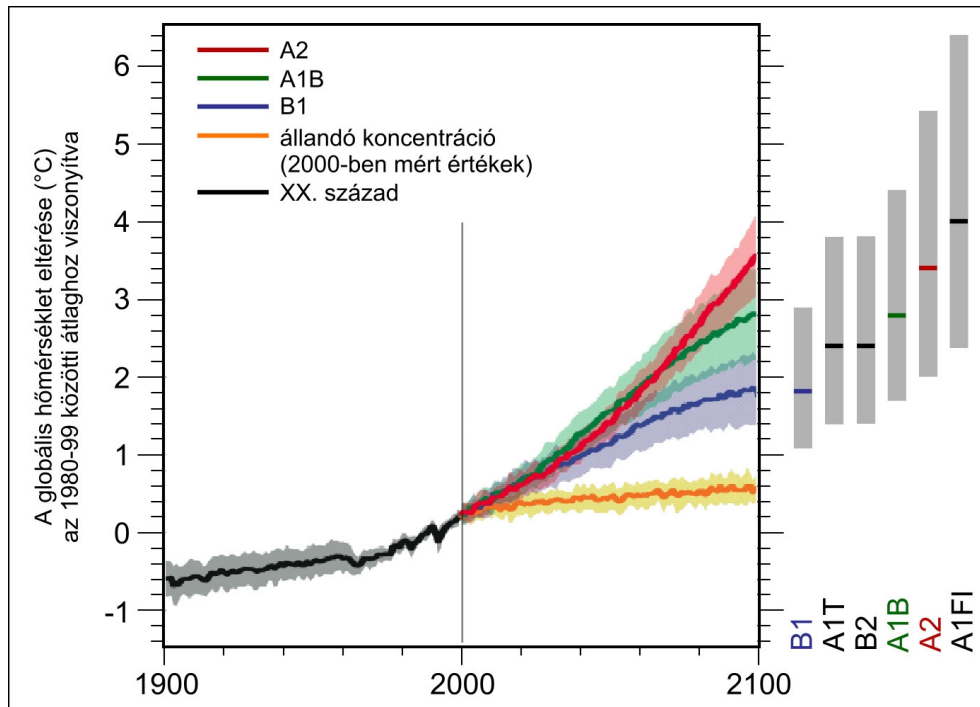
3.2. Jövőbeli klímákra vonatkozó adatok, klímaváltozási forgatókönyvek (scenáriók)

A scenárió egy forgatókönyv, amely a világ egy lehetséges jövőbeli állapotának leírása. Nem egy előrejelzés, hanem inkább a jövő egy alternatív képe. Az IPCC által lefektetett alapelvek alapján 4 főbb scenárió-családot különböztethetünk meg, alapvetően a gazdasági növekedés és az emberi populáció növekedésének függvényében (7. ábra).



7. ábra Scenárió családok (IPCC, 2001)

Ezen forgatókönyvek hatásainak különbözősége a hozzájuk tartozó klímaszcenáriókban mutatkozik meg. Ez a hatás legfőképp a klímaszcenáriók által mutatott várható globális hőmérsékletváltozásban figyelhető meg (8. ábra). Látszik, hogy az évszázad végére ezek között nagy különbségek figyelhetők meg, de az idő előrehaladtával ezek bizonytalansága is nő. Az évszázad végére 1,4 és 5,8 °C hőmérsékletemelkedésre számíthatunk. A változás a Kárpát-medencében ettől jelentősebb lehet (Bartholy, 2007).



8. ábra A hőmérséklet lehetséges változása a különböző scenárióknál (IPCC, 2007)

Az elemzésekben több klímaszcenáriót vizsgáltunk meg. A klímaszcenáriók GCM (General Circulation Models) modellek végeredményei. Általában 250–600 km felbontású rácshálón, 10–20 függőleges rétegre bontott cellákra felírt Navier–Stokes parciális differenciálegyenlet-rendszerek megoldásai, figyelembe véve az energia és tömegmegmaradás törvényeit. Ezen differenciálegyenlet-rendszerek megoldása, bonyolultságuk és méretük miatt, csak nagyteljesítményű számítógépekkel lehetséges, ezért csak a nagyobb intézetek foglalkoznak ilyen modellek futtatásával. Megfigyelhető, hogy hiába azonosak a kiindulási paraméterek a különböző modellekben, más és más eredményeket kaphatunk (Bartholy, 2006), ezért a dolgozatban a UK Met Office Hadley Centre és a Geophysical Fluid Dynamics Laboratory modellfuttatásait vizsgáltuk.

A vizsgált városokra vonatkozó scenárió előállítására többféle módszerrel lehetséges:

- Statisztikai leskálzás esetén a nagyobb rácsháló adatait statisztikai módszerekkel átszámolják az adott pontra (Wigley et al., 1990).
- Beágyazott modellekkel, amelyek kisebb, 50 vagy akár 10 km-es rácsfelbontáson futtatott RCM-ek, figyelembe véve a nagyfelbontású rács adatait, mint kezdeti feltételt (Whetton et al., 1997).
- Ill. lehetséges ezek együttes használata is (Zhang és Foufoula-Georgiou, 1997).

A földrajzi analóg területek meghatározásához az alábbi adatbázisokat és modelleket használtunk fel:

UK Met Office (UKMO) Hadley Centre által készített klímaadatbázisok:

- TYN SC 1.0 adatbázis, amely a HadCM3 modell 10 szögperces térbeli felbontású, 100 éves havi átlagadatait tartalmazza a 2001-2100 időszakra, az A1FI, A2, B1 és B2 scenáriókra (Mithcell et al., 2003, 2004, 2005). Az adatok Európa szárazföldi területét fedik le.
- UKTR (1992): tranziens modell, évenkénti 1%-os CO₂ szint növekedéssel számol egymás utáni évekre, a 2066-2075 közötti időszakban. Modellfuttatási eredmények leskálzása csak Győrre és Debrecenre érhető el.

Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (USA) által készített klímaadatbázisok:

- GFDL2534 (1991): csatolt óceán-levegő modell, a 2025-2034 közötti éveket jellemző 30 év adatsora.
- GFDL5564 (1991): csatolt óceán-levegő modell, a 2055-2064 közötti éveket jellemző 30 év adatsora. Szintén Győrre és Debrecenre leskálzva.

Az utóbbi modellekben (UKTR, GFDL5564, GFDL2534) az évek egységesen 12 db 30 napos hónapból állnak. Az UKTR, GFDL2534 és a GFDL5564 scenáriók adatainak a magyarországi régiókra érvényes leskálzása a CLIVARA (CLimate Change, Climatic VARIability and Agriculture in Europe) project keretében készült.

A TYN SC 1.0 adatbázisból a vizsgált városokra vonatkozó klímascenáriók adatainak meghatározásához, a városokhoz legközelebbi rácspont adatait használtuk fel, kiszámítva a 2011-2040, 2041-2070 és a 2071-2100 30 éves idősorok átlagait (1.-2. melléklet).

3.3. Európai régiókat jellemző statisztikai adatok

1970-ben a statisztikai felmérések megkönnyítésére az EUROSTAT Európa országait földrajzi és adminisztratív szempontokat is figyelembe véve régiókra (NUTS) osztotta. A régiók felosztásának 4 szintje van.

- NUTS0: országok, pl.: Magyarország (HU)
- NUTS1: országon belüli nagyobb régiók, pl.: Alföld és Észak-Magyarország (HU3), itt a lakosság száma 3 millió és 7 millió közé esik
- NUTS2: kisebb régiók, a nagyobb régiók továbbosztása, pl.: Észak-alföld (HU32) lakosság száma 800 000 és 3 millió közé esik
- NUTS3: kisebb régiók legkisebb egysége, pl.: Hajdú-Bihar megye (HU321) lakosság száma 150 000 és 800 000 közé esik.

Az EUROSTAT adatbázisából az 1997-2006-es időszakra az alábbi, régiókat jellemző statisztika adatokat dolgoztuk fel:

1. Földhasználati adatok (1000 ha) (1., 3. táblázat)
(mezőgazdasági területek, szántóföld, erdő, magánkertek, rét, legelő, zöldtakarmány termeszto terület, ugar, olíva termő terület, ültetvény, szőlő)
2. Termesztett növények termőterülete (1000 ha) (2., 4. táblázat) és a hektáronkénti termésátlaga (t/ha)
(búza, szemes kukorica, takarmánykukorica, napraforgó, árpa, rozs, cukorrépa, burgonya, gyapot, len, repce, rizs, szója, olajos magvak, száraz hüvelyesek, olíva, dohány, gyümölcsös, szőlő)

A régiófelosztások nem csak az EU régebbi tagállamaira lettek kidolgozva, hanem az újonnan csatlakozó országokra is, a már EU tag Bulgáriára és Romániára is. Mivel a földrajzi analógok nem csak az EU27 országaira mutathatnak, így a hiányzó országok, Svájc, Norvégia, Horvátország, Szerbia, Bosznia és Hercegovina, Macedónia, Albánia és Moldávia hasonló adatait a helyi statisztikai hivatal honlapjáról és évkönyveiből kerestük meg. Sajnos előfordultak hiányzó adatok, ezeket a helyi statisztikai hivatal adatbázisából pótoltuk. Megfigyelhető volt az EUROSTAT és a KSH adatai közötti különbözőség, így a HU32 régió adatait mindkét adatbázis szerint is feldolgoztuk.

1. táblázat Az analóg régiók abszolút földhasználati adatai (1000 ha)(déli analóg területek)

	KSH- HU32	HU32	YU003	RO03	RO04	BG11	BG12	BG22	GR12
Szántóföld	993,7	1006,7	1345	1965,7	1248,4	373,7	677	705,9	599,6
Ugar	76,5	67,8	45,8	58,7	58,1	142,5	71,9	172	27,4
Erdő	202,6	200,2	102	675,8	852,4	229,7	484,3	1127,3	183,8
Konyhakert	14,6	11,2	0	0	0	7,6	13,8	28,9	25,7
Rét, legelő	235,5	251,7	450,2	381,6	464,6	184,7	306,6	454,2	165,1
Zöldtakarmány	24,7	24,7	113,3	179,2	95,4	32	64,1	38,1	3
Olíva- és olívaültetvények	0	0	0	0	0	0	0	0	30,4
Gyümölcsös	40,8	39,3	36,7	105,4	111,6	22,3	33	65,6	108,1
Szőlő	4,2	5,8	16,8	44,5	42,7	14,5	16,8	35,6	5,9
Egyéb területek	223,8	209	40,2	34,4	47,8	61	107,5	121,4	765
Régió területe	1816,4	1816,4	2150	3445,3	2921	1068	1775	2749	1914

2. táblázat Az analóg régiók termesztett növényeinek termőterülete (1000 ha) (déli analóg területek)

	KSH- HU32	HU32	YU003	RO03	RO04	BG11	BG12	BG22	GR12
Búza	225,42	226,32	352,99	527,59	371,87	121,05	210,28	208,73	308,96
Rozs	13,2	17,9	0,85	0,16	3,12	0,5	0,27	8,57	2,86
Árpa	44,16	44,27	53,65	75,98	32,28	23,13	57,61	68,52	34,91
Szemes kukorica	241,8	239,52	659,87	625,92	464,88	62,09	111,87	26,66	49,54
Rizs	1,02	1,41	0	0,94	0,1	3,93	14,96	3,31	18,34
Takarmánykukorica	23,9	29,17	5,2	10,34	9,56	1,41	4,11	10,36	2,42
Burgonya	7,5	12,5	23,84	22,8	16,4	1,93	3,63	18,2	2,63
Száraz hüvelyesek	6,4	9,71	0	12,03	4	0,08	2,39	3,66	0,6
Cukorrépa	20,6	26,67	70,9	6,87	2,38	69,28	124,52	0,41	15,08
Repce	10,8	9,53	0	16,56	3,5	0	0	0,95	0
Napraforgó	118,7	113,36	140,47	287,56	106,98	68,48	123,38	76,06	6,83
Szójabab	0,6	0,43	67,22	32,29	3,37	1,05	3,63	0,05	0
Len	0	0	0	0,02	0	0	0	0,03	0
Gyapot	0	0	0	0	0	0	0,13	8,63	100,36
Dohány	4,4	4,92	3,53	1,52	5,31	0,62	1,48	21,13	29,48
Gyümölcsös	40,8	33,47	11,5	48,24	43,52	1,84	16,47	21,61	67,45
Szőlő	4,2	5,82	16,8	44,52	42,72	14,5	16,79	35,63	5,86
Olíva	0	0	0	0	0	0	0	0	30,4

3. táblázat Az analóg régiók abszolút földhasználati adatai (1000 ha) (északi analóg területek)

	KSH- HU32	HU32	PL11	PL43	PL41	PL61	PL12	PL31
Szántóföld	993,7	1006,7	996,3	403,7	1560,4	994,8	1713,9	1317,6
Ugar	76,5	67,8	90,7	122,4	71,7	52,9	185,4	90,8
Erdő	202,6	200,2	370,4	685,4	760,5	405	785,9	555,2
Konyhakert	14,6	11,2	2,2	1	5,8	2,9	3,9	6,2
Rét, legelő	235,5	251,7	206,2	132,6	291,5	134,1	538,9	319,5
Zöldtakarmány	24,7	24,7	48,3	10,2	88,6	56,1	91,2	46,9
Olíva termő területek	0	0	0	0	0	0	0	0
Gyümölcsös	40,8	39,3	29,5	3,5	18,1	10,1	81,8	41,5
Szőlő	4,2	5,8	0	0	0	0	0	0
Egyéb területek	223,8	209	78,3	39,7	186	141,1	157,9	133,7
Régió területe	1816,4	1816,4	1821,9	1398,5	2982,6	1797	3558,9	2511,4

4. táblázat Az analóg régiók termesztett növényeinek termőterülete (1000 ha) (északi analóg területek)

	KSH- HU32	HU32	PL11	PL43	PL41	PL61	PL12	PL31
Búza	225,42	226,32	110,18	55,28	229,68	208,26	164,13	309,04
Rozs	13,2	17,9	261,31	59,4	310,92	136,91	431,28	158,42
Árpa	44,16	44,27	40,18	34,52	150,88	128,94	70,41	115,99
Szemes kukorica	241,8	239,52	4,41	7,01	22,8	8,62	8,22	6,67
Rizs	1,02	1,41	0	0	0	0	0	0
Takarmánykukorica	23,9	29,17	9,1	5,22	47,32	15,08	13,14	7,04
Burgonya	7,5	12,5	144,34	14,77	100,5	51,5	210,13	127,91
Száraz hüvelyesek	6,4	9,71	4,22	1,67	8,84	11,96	12,27	16,72
Cukorrépa	20,6	26,67	14,58	5,8	61,21	59,88	29,48	56,4
Repce	10,8	9,53	4,76	16,57	55,02	38,11	9,02	16,08
Napraforgó	118,7	113,36	0,16	0,06	0,02	0	0,12	0,04
Szójabab	0,6	0,43	0	0	0,1	0	0	0
Len	0	0	0,02	0,08	0,36	0,09	0,07	3,32
Gyapot	0	0	0	0	0	0	0	0
Dohány	4,4	4,92	0	0,04	0	1,32	0,57	5,48
Gyümölcsös	40,8	33,47	26,68	3,78	18,4	13,11	79,1	35,97
Szőlő	4,2	5,82	0	0	0	0	0	0,01
Olíva	0	0	0	0	0	0	0	0

3.4. Régiók összehasonlításához használt diverzitási mutatószámok, NMDS

A földhasználat és a vetésszerkezet diverzitásának mérésével fontos információt szerezhetünk egy adott terület alkalmazkodóképességének, ill. veszélyeztetettségének megítéléséhez. Természetesen csak akkor, ha a diverzitási viszonyokat körültekintően, többféle mutatót alkalmazva, megalapozott összehasonlításokban alkalmazzuk. A földhasználat, a természetett növények területének és a természetes vegetáció diverzitásának kiszámításához a PAST programcsomag segítségével több diverzitási indexet kiszámítottunk, köztük a Shannon és a Berger-Parker indexeket. A diverzitáspárok összehasonlításához a permutációs Shannon t-tesztet, a hasonlósági mintázatok feltárásához NMDS-t használtunk.

- Shannon index: $H = -\sum_i p_i \cdot \ln p_i$

Ahol p_i az adott elem aránya az összes elemhez képest. Ez a leginkább használt diverzitási index a sokféleség mérésében. Ennek az előnye az, hogy ez számításba veszi a vizsgált elemek számát és azok egyenletességét. Az index értékét növelik a további egyedülálló elemek, vagy a nagyobb egyenletesség.

- A Berger-Parker index: $\max p_i$

A Berger-Parker indexet a domináns elem dominanciájának kifejezésére használjuk, egyszerűen a domináns elem aránya az egészhez képest.

- Permutációs Shannon t-teszt

Két diverzitáspár Shannon indexének összehasonlítására szolgáló t-próba. Az összehasonlítást több megbízhatósági szinten is elvégeztük. ($\alpha = 0,1; 0,05; 0,01$)

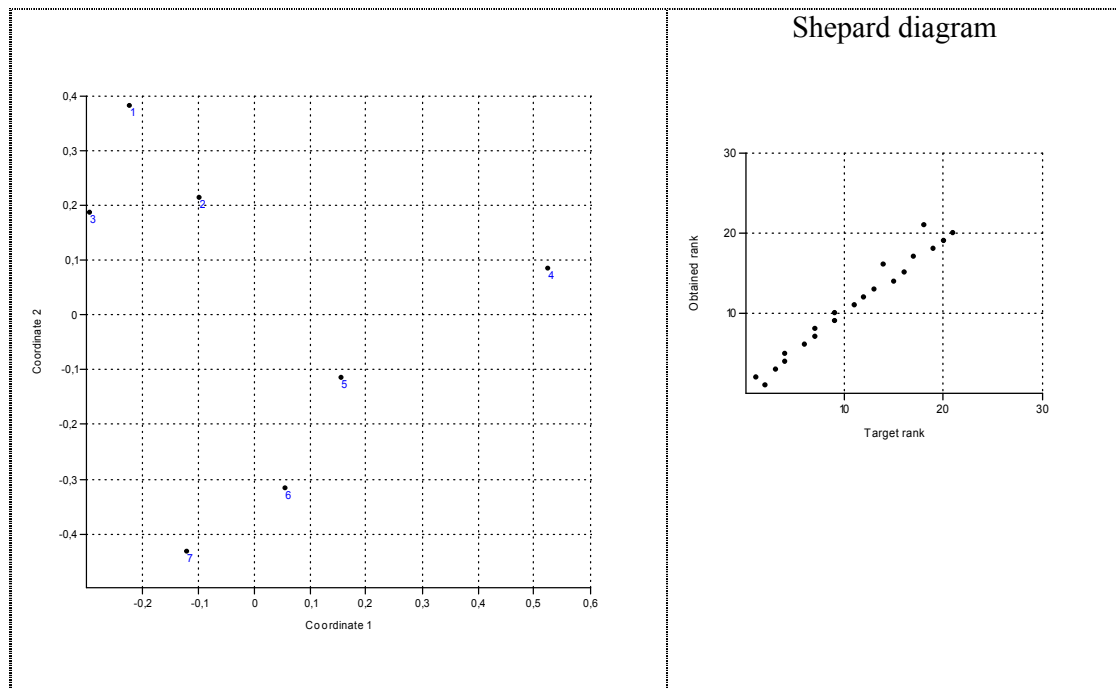
- NMDS: Non-metric Multidimensional Scaling (nem metrikus többdimenziós skálázás)

Az NMDS olyan adatelemzési módszer, amely az objektumok egy halmazát a térben elhelyezett pontok formájában reprezentálja. A pontok közötti távolság mutatja a pontok által jelzett objektumok közötti hasonlóság mértékét. Ezen ponthalmaz nem metrikus skálázásával további elemzésekhez két dimenzióban ábrázolhatjuk az objektumokat, így azok könnyebben összehasonlíthatóak.

Például, adott hét objektum egy 4 dimenziós térben (5. táblázat), ezeket szeretnénk 2 dimenzióban ábrázolni. Ezekhez úgy határozunk meg új koordinátákat (Coordinate 1, 2) a kétdimenziós térben, hogy az objektumok páronkénti euklideszi távolsága (target rank) és a kétdimenziós térben mért távolságuk (obtained rank) korreláljon egymással. Ezt a korrelációt a Shepard-diagram mutatja (9. ábra). Nyilván a dimenzióredukcióval információt veszünk, de ha a Shepard diagrammon a távolságok közel egy egyenesen helyezkednek el, akkor a kétdimenziós elhelyezkedés jól írja le az objektumok egymástól való távolságát.

5. táblázat *Objektumok koordinátái*

Objektumok	1	2	3	4	5	6	7
Koordinátáik							
x1	2	3	4	5	6	7	8
x2	2	5	1	4	3	5	4
x3	2	3	2	7	5	3	2
x4	4	5	3	2	5	4	6
Coordinate 1	-0,22	-0,10	-0,29	0,53	0,16	0,05	-0,12
Coordinate 2	0,38	0,21	0,19	0,08	-0,12	-0,32	-0,43



9. ábra *NMDS, Shepard diagram*

3.5. További felhasznált adatbázisok és szoftverek

CORINE 2000 adatbázis (CLC2000 ver.2007/9)

A CORINE (Coordination of Information on the Environment) az egységes Európa környezeti információs rendszere. Európa felszínborításának jellemzésére standard módszertant dolgoztak ki. A háromszintes szerkezetben definiált 44 osztály az alábbi öt fő csoportba tartozik:

- (1) mesterséges felszínek
- (2) mezőgazdasági területek
- (3) erdők és közel-természetes területek
- (4) vízenyős területek
- (5) vizek

A választott méretarányban (1:100.000) a legkisebb térképezett terület mérete 25 hektár, és a legkisebb vonalas elem szélesség 100 méter. A CORINE felszínborítási adatbázis – más területi adatokkal együtt – elsősorban az országos, ill. regionális környezeti politika kialakításában, továbbá környezeti modellek létrehozásában és a regionális tervezésben használható, de alaptérképként hasznos lehet a környezetet jellemző változók térképi ábrázolásában is.

TETYN, KLIMA-KKT

A klimatikus adatok feldolgozásához és az adatok klímaszcenárió-adatbázisokból való kiolvasásához és kezeléséhez a TETYN (Solymosi et al., 2007) és a KLIMAKKT (Szenteleki, 2007) adatbázis kezelő szoftvereket használtuk.

Az adatok további feldolgozásához és a számításokhoz a Microsoft Office Excel programcsomagját, a statisztikai elemzésekhez a PAST szoftvercsomagot (Hammer et al., 2001) használtuk.

A földrajzi analógok és a különböző térbeli adatok megjelenítéséhez az ESRI ArcGIS szoftvercsomagját használtuk.

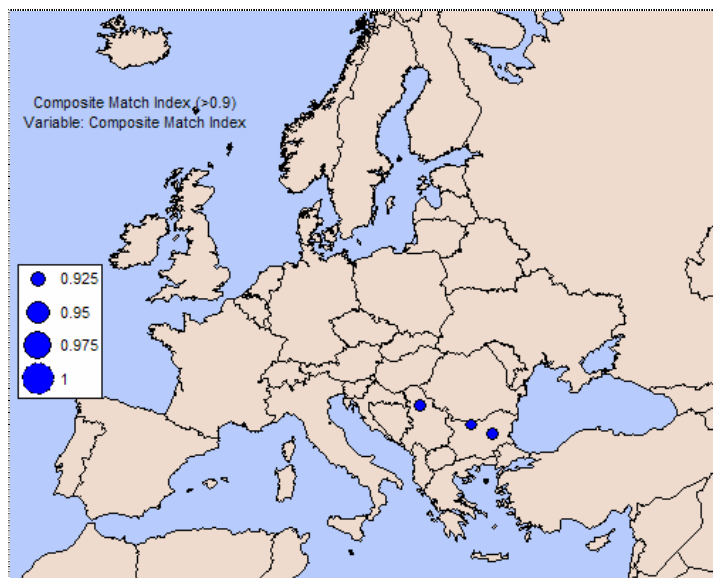
3.6. Földrajzi analógia módszertana

A földrajzi analógia módszerének a célja, hogy a vizsgált területre vonatkozó klímaszcenárió alapján meghatározzuk a hozzá tartozó analóg régiókat. Egy-egy terület analógjának nevezzük azt a régiót, amelynek mostani klímája (1961-1990) leginkább hasonlít a vizsgált célterület klímaszcenárió által mutatott jövőbeli klímájára.

A földrajzi analógia meghatározásához két módszert használtunk, a Rang módszert (De Pauw, 2002) és a Climex módszert (Sutherst és Maywald, 1998; Young et al., 1999). Mindkét módszernél a havi hőmérséklet és csapadék adatokat használták.

A Rang módszernél az összehasonlításra a megfigyelt adatsorok és a scenáriók euklideszi távolságát vették figyelembe, és ezt a távolságot rangsorolták. A legkisebb távolság mutatja a legnagyobb hasonlóságot (100%), a legnagyobb távolság a legkisebbet (0%). A módszer sajátosságából adódik, hogy a földrajzilag analógnak mondott terület, lehet, hogy klimatikusan egyáltalán nem hasonlít a vizsgált terület jövőbeli klímájára, hiszen mindig van 100%-os és 0%-os egyezés. Kétséges az is, hogy két terület hasonlósága függ a vizsgált pontok számától. Ezt a hátrányt küszöböli ki a Climex módszer, amely a vizsgált pontok számától függetlenül határozza meg két adatsor hasonlóságát.

Mindkét módszer hátránya, hogy a vizsgálatba csak városok klimatikus adatait vonták be (10. ábra), így földrajzi analógnak csak városokat kaphatunk, s lehetséges, hogy a valódi analóg területet nem mutatják. Az összehasonlítás alapját kiterjesztve dolgozatunkban nem városok adatait, hanem az IPCC CRU adatbázisát használtuk összehasonlítási alapként, amely az 1961–1990 bázisidőszak 30 éves adatsor adatait tartalmazza 10 szögperces térbeli felbontásban. (Horváth és Gaál, 2006; Horváth, 2007).



10. ábra Debrecen analógjai 3 °C-os hőmérséklet esetén a Climex szoftver alapján

3.6.1. Rang módszer

Ezzel a módszerrel (De Pauw, 2002) a TYN CL 2.0 (New et al., 2002) adatbázis 31143 rácspontját állítottuk sorrendbe aszerint, hogy mely ponthoz tartozó klíma hasonlít legjobban a scenárió adataihoz. Ez egy ordinális skálán való elhelyezkedést mutat, így arról nem tudunk mondani semmit, hogy a hasonlóság valójában milyen mértékű. Európában sokféle klímájú terület van, így nagy valószínűséggel a leginkább hasonló pont adatai nagyban megegyeznek a scenárió adataival, de a nagyobb változásoknál, az évszázad vége felé a hasonlóság már megkérdőjelezhető.

Az analóg területek rang módszerrel való meghatározása a következő:

$$T_{rj} = \sum_{i=1}^{12} (TEMP_{ji} - T_i)^2$$

$$P_{rj} = \sum_{i=1}^{12} (PREC_{ji} - P_i)^2$$

$$T_{sj} = 100 * \left[1 + \frac{1 - \text{rank}T_{rj}}{N - 1} \right]$$

$$P_{sj} = 100 * \left[1 + \frac{1 - \text{rank}P_{rj}}{N - 1} \right]$$

$$S_j = \sqrt{\frac{T_{sj}^2 + P_{sj}^2}{2}}$$

Ahol

- j : a rácspont sorszáma ($j=1-31143$)
- i : hónapok száma ($i=1-12$)
- $TEMP_{ji}$: a j -ik rácspont i havi átlaghőmérséklete
- T_i : a vizsgált területre vonatkozó scenárió i havi átlaghőmérséklete
- $PREC_{ji}$: a j -ik rácspont i havi csapadékösszege
- P_i : a vizsgált területre vonatkozó scenárió i havi csapadékösszege
- T_{rj} : a j -ik rácspont hőmérsékleti távolsága a scenáriótól
- P_{rj} : a j -ik rácspont csapadékösszeg szerinti távolsága a scenáriótól
- T_{sj} : a j -ik rácspont rangja a hőmérsékleti távolságot tekintve
- P_{sj} : a j -ik rácspont rangja a csapadékösszeg szerinti távolságot tekintve
- S_j : j -ik rácspont hasonlósága a scenárióhoz (0-100)

3.6.2. Climex módszer

A rang módszerhez képest a Climex módszerrel (Sutherst és Maywald, 1998; Young et al., 1999) a klímák közötti eltérést már két adatsor esetén is kifejezhetjük. A hasonlóság mértéke a Rang módszerrel ellentétben, nem függ a pontok számától, így az ismert és a földrajzi analógia meghatározásához használt módszerek közül a továbbiakban ezt használtuk. Az analóg területek Climex módszerrel való meghatározása a következő:

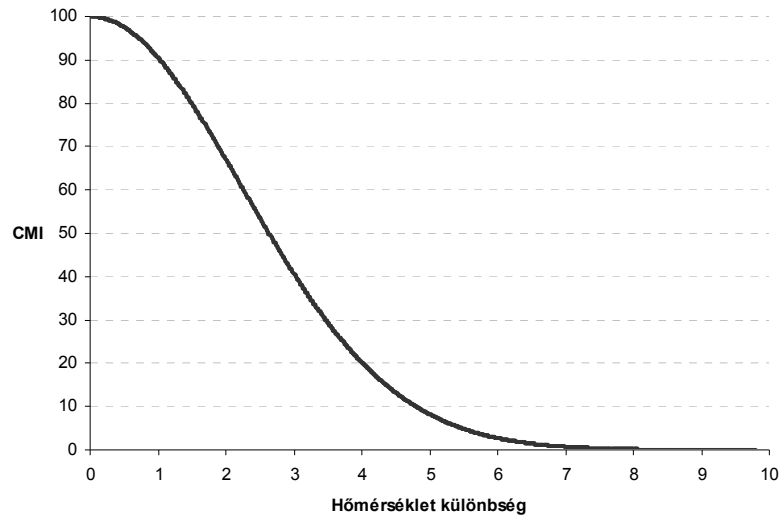
$$T_{dj} = \frac{1}{12} \cdot \sum_{i=1}^{12} |TEMP_{ji} - T_i|$$
$$P_{dj} = \frac{1}{12} \cdot \sum_{i=1}^{12} \frac{|PREC_{ji} - P_i|}{1 + a \cdot (PREC_{ji} + P_i)}$$
$$I_{Tj} = e^{-k_T \cdot T_{dj}}$$
$$I_{Pj} = e^{-k_P \cdot P_{dj}}$$
$$CMI_j = \sqrt{I_{Tj} \cdot I_{Pj}}$$

Ahol

- j : a rácspont sorszáma ($j=1-31143$)
- i : hónapok száma ($i=1-12$)
- $TEMP_{ji}$: a j -ik rácspont i havi átlaghőmérséklete
- T_i : a vizsgált területre vonatkozó scenárió i havi átlaghőmérséklete
- $PREC_{ji}$: a j -ik rácspont i havi csapadékösszege
- P_i : a vizsgált területre vonatkozó scenárió i havi csapadékösszege
- T_{dj} : hőmérsékletek abszolút eltérésének átlaga
- P_{dj} : csapadékösszeg eltérések átlaga
- a : a csapadék szempontjából nem szabad csak az abszolút eltéréseket vizsgálni, hiszen azonos csapadékeltérések jelentősebbek alacsony csapadékösszegeknél, mint magasaknál. A számításoknál az $a=0,05$ értéket használtuk
- I_{Tj} : j -ik rácspont hőmérséklet szerinti egyezése a scenárióval (értéke: 0-1, teljes egyezés esetén $I_{Tj}=1$)
- I_{Pj} : j -ik rácspont csapadékösszeg szerinti egyezése a scenárióval (értéke: 0-1, teljes egyezés esetén $I_{Pj}=1$)
- k_T : felhasználó által tetszőlegesen megválasztható érték, $k_T=0,1$ esetén 1°C -os

eltérésre az egyezés $I_T=90\%$, az analógia területek meghatározásánál ezt az értéket használtuk használtuk (11. ábra)

- k_p : felhasználó által tetszőlegesen megválasztható érték, hasonlóan mint a k_T -t, a $k_p=0,1$ használtuk
- CMI_j : „Composite Match Index”, a vizsgált rácspont és a scenárió egyezésének mértéke (0-1), teljes egyezés esetén $CMI=1$



11. ábra CMI értéke az átlagos hőmérséklet különbség függvényében

Különösen fontos jellemzője a módszernek az „a” értékének használata, mivel a csapadékok abszolút különbségéből nem következtethetünk a csapadékok hasonlóságára. A dolgozatban az irodalmi ajánlások alapján az $a=0,05$ értéket használtuk. A 6. táblázatban néhány példával bemutatjuk a csapadék szerinti hasonlósági indexet, ha a havi csapadékok közötti különbség átlagosan 10 mm. Látszik, hogy a 10 mm különbség alacsony havi csapadékoknál jelentős eltérést jelent, szinte nincs hasonlóság, nagy havi csapadékoknál ugyanez kevésbé jelentős, a hasonlósági érték már magas.

6. táblázat Különböző csapadékokhoz tartozó hasonlósági indexek

P1 (mm)	P2 (mm)	Hasonlóság I_{p_i}
0	10	0,0115
10	20	0,2019
100	110	0,9272
200	210	0,9786

4. Eredmények

Meghatároztuk az egyes klímaszcenáriókhöz és modellfuttatásokhoz tartozó változásokat hőmérséklet és csapadék szempontjából (7. táblázat, a hőmérsékletváltozás szerint sorba rendezve). Látható, hogy a modellek szerint a legnagyobb melegedés nyárra várható, s ekkor lesz a legnagyobb a csapadék csökkenése is.

Az IPCC irányelve alapján, globális 2 °C-os hőmérsékletemelkedés még kezelhető. Magyarországon ezt a határt már a következő évtizedekben elérhetjük (0,8-2,1 °C fokos melegedés), és várhatóan az évszázad közepére ezt meg is haladjuk (2,3-4,1 °C fokos melegedés). Egy régebbi, az UKTR scenárió erre az időszakra kisebb melegedést mutat. Általánosságban megállapítható, hogy a nyári és az őszi hőmérséklet várhatóan jobban emelkedik, mint a téli és tavaszi. A csapadék éves szinten várhatóan nem, vagy csak kis mértékben változik, viszont az éven belüli eloszlása jelentősen eltérhet az eddig megfigyelttől, a téli időszakban növekszik és nyáron jelentősen csökken. Ez a hőmérséklet növekedésével még nagyobb vízhiányhoz vezethet. Megfigyelhető, hogy régebbi scenáriók (UKTR, GFDL) csapadékváltozás szempontjából eltérnek az újabbaktól, csökkenést mutatnak éves szinten és az őszi időszakban is.

7. táblázat A scenáriók által jelzett hőmérséklet, ill. csapadékváltozások

	Hőmérsékletváltozás (°C, 1961-1990 időszakhoz képest)					Csapadékváltozás (%, 1961-1990 időszakhoz képest)				
	Éves	Tél	Tavaszi	Nyár	Ősz	Éves	Tél	Tavaszi	Nyár	Ősz
GFDL 2534	0,8	0,0	0,6	1,2	1,4	-7	20	14	-30	-18
2011-2040 B1	1,5	1,6	0,7	1,9	1,7	2	10	13	-19	20
2011-2040 A2	1,7	1,5	1,1	2,2	2,0	5	12	17	-14	20
UKTR	1,8	2,5	0,8	1,3	2,6	-12	23	7	-31	-32
2011-2040 A1	1,8	1,6	1,1	2,5	2,2	3	16	14	-19	18
2011-2040 B2	2,1	1,6	1,4	2,8	2,5	4	19	17	-18	15
GFDL 5564	2,3	1,8	2,1	1,6	3,5	0	12	18	-6	-21
2041-2070 B1	2,4	2,2	1,2	3,5	2,7	-4	28	0	-29	7
2041-2070 A2	3,3	2,5	2,2	4,6	3,7	0	35	9	-27	4
2041-2070 B2	3,4	2,2	2,4	5,0	4,1	0	44	7	-28	-2
2041-2070 A1	4,1	3,2	2,5	5,9	4,7	-4	49	3	-40	-1

4.1. A Climex módszer módszertani továbbfejlesztése

A Climex módszerrel eredetileg a hőmérsékletet és a csapadékot azonos súllyal kell figyelembe venni. Ahhoz, hogy meghatározzuk csak a hőmérsékleti vagy csak a csapadék szerinti hasonlóságot, vagy adott súlyokkal vegyük őket figyelembe, módosítottuk CMI kiszámítását. A módszert továbbfejlesztve, egy λ változó bevezetésével meghatározhatjuk hogy a hőmérsékletet és a csapadékot milyen súllyal vegyük figyelembe. Az általunk fejlesztett, módosított számítási mód a következő:

$$I_{Tj} = e^{-\lambda \cdot k_T \cdot T_{dj}}$$

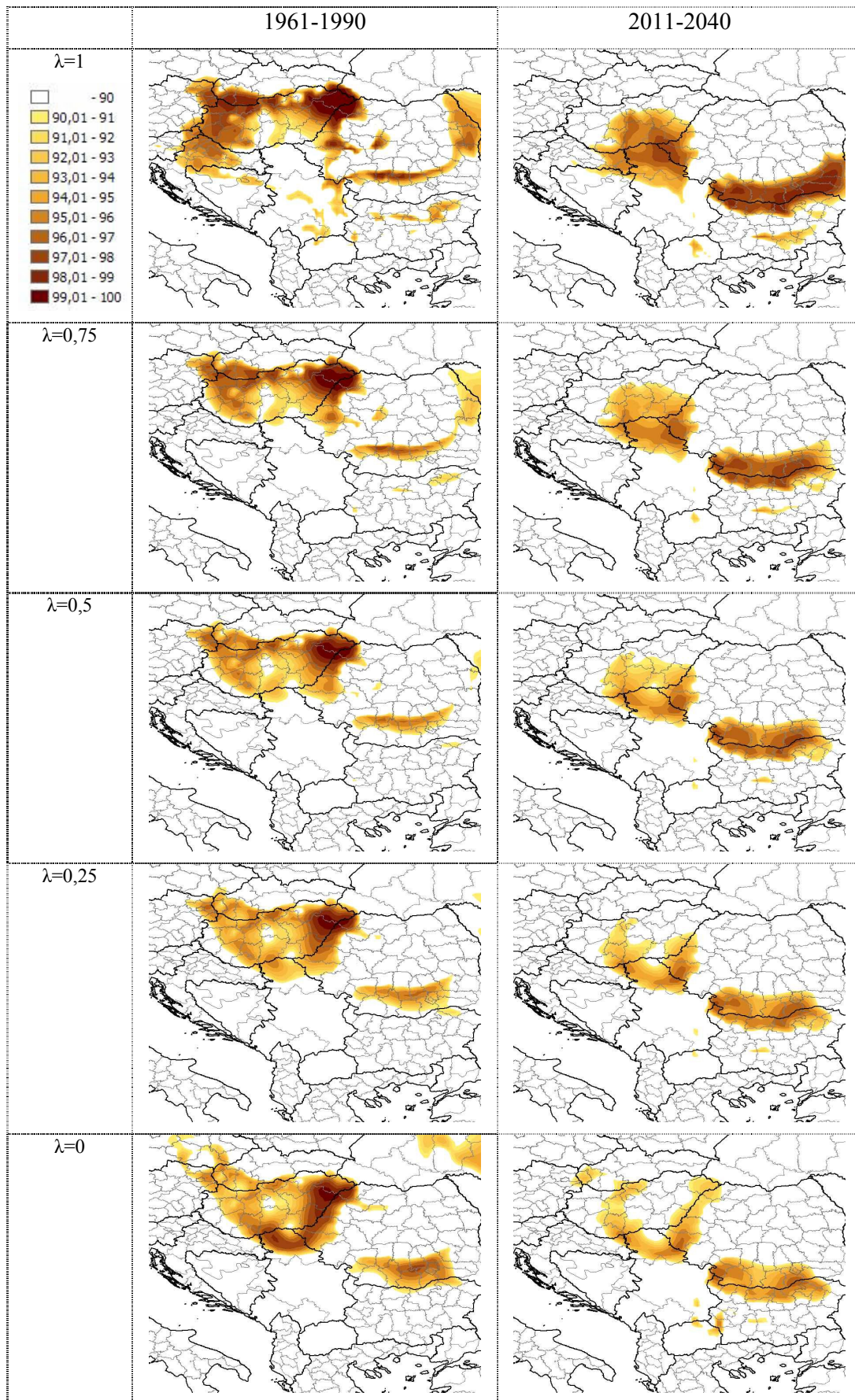
$$I_{Pj} = e^{-(1-\lambda) \cdot k_P \cdot P_{dj}}$$

$$CMI_j = I_{Tj} \cdot I_{Pj}$$

Ha λ értékét 0,5-re állítjuk, visszakapjuk az eredeti CMI-t, ha $\lambda=1$ akkor a hőmérséklet szerinti, ha $\lambda=0$ akkor a csapadék szerinti hasonlóságot kapjuk. Ezzel tetszőleges súlyozásokat is meghatározhatunk, attól függően, hogy a vizsgálatba bevont két paraméter mennyire fontos az adott vizsgálatban.

Az analóg területek meghatározásánál a felhasználóra van bízva, hogy milyen hasonlósági értéktől tekinti analógnak a kapott területeket. Önkényes választással csak a 90%-nál nagyobb egyezést mutató területeket neveztük analógnak, hiszen ennél az értéknél a hőmérsékletek átlagos eltérése kisebb, mint 1 °C. Az analóg térképeken a sötétebb területek mutatnak nagyfokú egyezést.

Hat várost vizsgáltunk (Debrecen, Győr, Budapest, Pécs, Szeged, Miskolc), és megkerestük ezek analóg területeit a vizsgált időszakokra (4-10. melléklet). A módszer ellenőrzéseként, megkerestük az analóg területeket a bázisidőszakhoz (1961–1990) is, ekkor – az elvárásainknak megfelelően – a vizsgált célterületet kaptuk analóg területként. A 3. melléklet ábráin megfigyelhető, hogy igen nagy egyezéssel ($\approx 100\%$) visszakapjuk a célterületeinket. Miskolcra az egyezés kicsit kisebb, de így is magas. Részletesebb elemzéseket csak Debrecenre végeztünk, de módszertanilag hasonlóképpen kell eljárni a többi vizsgált városnál is. Megvizsgáltuk a módosított Climex módszert különböző λ értékekre, a bázisidőszakot és a 2011–2040-es időszakot figyelembe véve. Mivel a klímaszenáriók között ebben az időszakban nincs nagy eltérés, ezért most csak az A2 szenárió HadCM3 modelleredményét mutatjuk be (12. ábra).



12. ábra Analóg területek különböző λ értékekre (hasonlóság %)

4.1.1. A λ változó beállítási lehetőségei

A λ változó beállításával növény-specifikusan határozhatjuk meg, hogy milyen súllyal vegyük figyelembe a hőmérsékletet és a csapadékot. Célszerű szakértői véleményeket figyelembe véve megadni a súlyozást. Problémát jelent, hogy a növények különböző fenofázisaiban hol az egyik, hol a másik tényező a fontosabb. Varga-Haszonits (2000) szerint az intenzív fajták termesztésekor egyre csökken az 1 kg biomassza előállításához szükséges vízmennyiség. A hőmérséklet kisebb emelkedésével nagyobb termésátlag érhető el, de túl nagy emelkedés esetén a termés drasztikusan is csökkenhet. Ebből következhet, hogy a csapadékot kevésbé vegyük figyelembe, de a klímaszcenáriók alapján a növekvő hőmérséklettel együtt a nyári csapadékok csökkenésére számíthatunk.

Például a búzánál, ha elegendő a talajnedvesség akkor a hőmérséklet határozza meg a növekedés ütemét. Hazánkban a vegetációs periódusa vízellátottság szempontjából kedvező. A búza optimum hőmérséklete 20–25 °C, de 35 °C feletti hőmérséklet a megfelelő mennyiségű vízellátottság mellett is kedvezőtlen. A kukorica szubtrópusi növény, ezért nagy a hőigénye, így a melegebb klíma pozitív hatást jelenthet a termesztésben, viszont a vízigényes növények közé tartozik, így a csökkenő csapadékkal ez a két hatás kiolthatja egymást. A júliusi maximális vízigény után a növény vízszükséglete folyamatosan csökken. Sajnos, a jövőben pont a nyári időszakra várhatjuk a legnagyobb csapadék csökkenést. A napraforgó melegkedvelő, szárazságtűrő növény. A 22–27 °C közötti hőmérséklet kedvezően hat rá, de nagy termések csak akkor várhatóak, ha elegendő víz áll a rendelkezésére. A szőlő a mérsékelt égöv növénye. Különösen kedvezően hat a minőség alakulására a száraz, meleg nyár és a hosszú, napsütéses ősz. Közepes vízigényű növény, így jól tud a változó klímához alkalmazkodni.

Az öntözött kultúrák esetében, zöldségeknél gyümölcsöknél, talán a csapadék szerinti hasonlóság helyett inkább a hőmérsékleti hasonlóságot érdemes előtérbe helyezni, mivel a szükséges vízmennyiséget a csökkenő csapadékok ellenére is megkaphatják.

Láng (1984) megállapította, hogy jelenlegi körülmények között a különböző ökológiai tényezők szerepe (%) hogyan hat a gyümölcsstermő növények termőképességére (8. táblázat). A talaj hatásától eltekintve az alma, körte, szilva, szamóca és málna termőképességére nagyobb hatást gyakorol a csapadék; a cseresznye, meggy, kajszibarack és őszibarack esetében a pedig a hőmérséklet hatása jelentősebb.

8. táblázat *Különböző ökológiai tényezők szerepe (%)*

Gyümölcsfaj	Csapadék	Hőmérséklet	Talaj
Alma	60	10	30
Körte	55	20	25
Cseresznye, meggy	20	40	40
Szilva	50	20	30
Kajszi	15	65	20
Őszibarack	20	60	20
Málna	55	15	30
Szamóca	30	20	50

Varga-Haszonits (2006) összefoglalta, hogy a lehetséges klímaváltozás milyen hatással lehet különböző szántóföldi és kertészeti növények várható termésére (9. táblázat). Megállapította, hogy a kalászos gabonák számára a teljes fejlődési időszak csapadékösszege nem korlátozó tényezője a termésnek. A rövidebb időszakok nedvességi viszonyai (például a talajnedvesség) viszont jelentősen hatottak a hozamokra.

9. táblázat *Különböző szántóföldi és kertészeti növények termésének várható változása*

Növény	2 °C-os hőmérsékletnövekedés	20%-os csapadék csökkenés
Őszi búza	5–15%	-2–3%
Őszi árpa	-4–16%	0–3%
Tavaszi árpa	-7–0%	2–4%
Rozs	0–3%	0–3%
Kukorica	-33–22%	-5–2%
Cukorrépa	-18–1%	-9–3%
Napraforgó	-27–1%	-5–4%
Burgonya	-46–21%	-4–24%
Lucerna	-33–20%	-8–6%
Szőlő	0–14%	5–7%
Borsó	-20–15%	-5–2%
Paradicsom	-12–14%	1–6%

A 9. táblázat alapján ajánlásokat adtunk, hogy az analógia kereséskor milyen λ tényezőt vegyünk figyelembe a különböző növények szempontjából, figyelembe véve a klímaváltozás során az időjárási paraméterekhez tartozó várható termésváltozásokat.

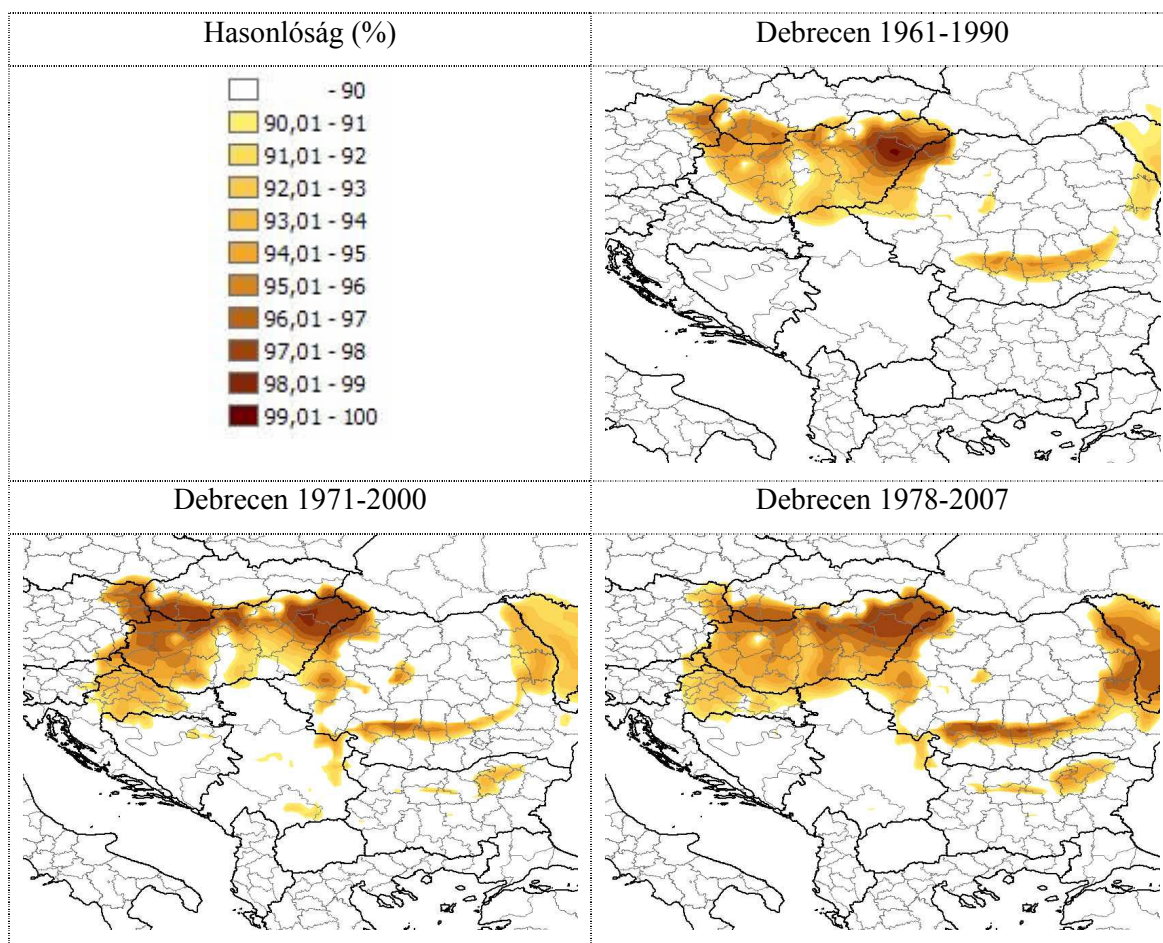
10. táblázat λ változó meghatározása

Növények	λ				
	1	0,75	0,5	0,25	0
Őszi búza	X	X	X		
Őszi árpa		X	X		
Tavaszi árpa	X	X	X		
Rozs		X	X	X	
Kukorica	X	X	X		
Cukorrépa		X	X	X	
Napraforgó	X	X	X		
Burgonya	X	X	X		
Lucerna	X	X	X		
Szőlő		X	X	X	
Borsó	X	X	X		
Paradicsom		X	X		
Alma, körte, szilva, szamóca, málna			X	X	X
Cseresznye, meggy, kajszibarack	X	X	X		
Öntözött kultúrák	X	X			
Értékesebb kertészeti kultúrák (öntözött)	X	X			

Mivel a számítások gyorsan elvégezhetőek, ajánlott több λ értéket is megvizsgálni. Eddig eredményeink alapján megfigyelhető, hogy a különböző súlyozással közel azonos területeket kapunk analógnak, de mind a hőmérsékletnél, mind a csapadéknál találunk olyan területeket, amelyek az egyik változó szerint nagy hasonlóságot mutatnak, a másik szerint nem. Ezen területek közötti átfedés igen nagy, így a további elemzésekben, konkrét szakértői javaslatok hiányában, csak a $\lambda=0,5$ értékkel dolgoztunk, azonos súllyal figyelembe véve a hőmérsékletet és a csapadékot.

4.1.2. Az elmúlt időszakok vizsgálata

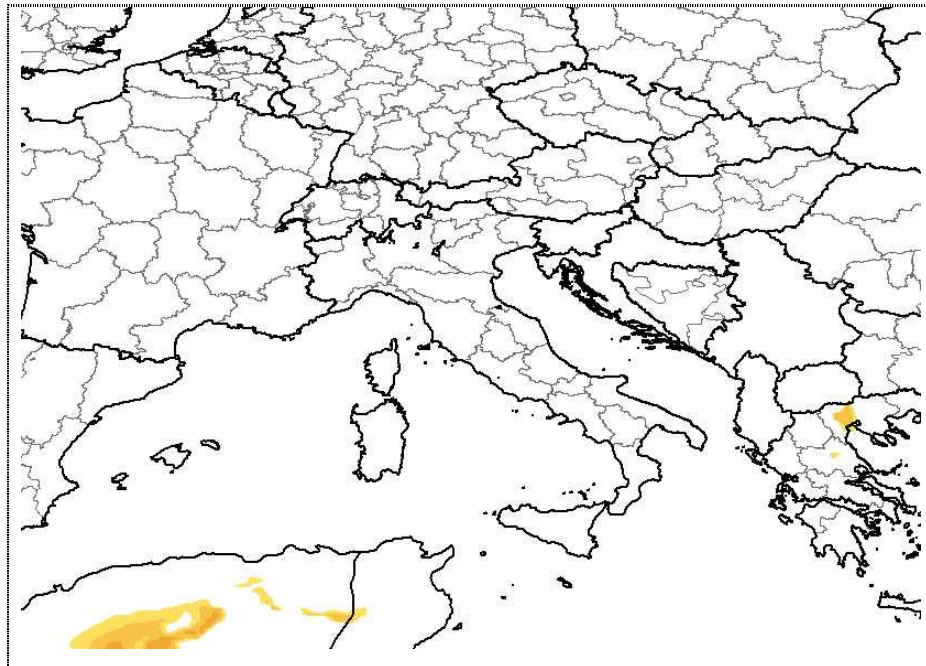
Az elmúlt tíz évben voltak az eddig mért legmelegebb évek, ezért megvizsgáltuk, hogy az 1961-1990-es bázisidőszakhoz képest megfigyelhető-e valamilyen változás az azóta eltelt időszakban. Megkerestük az 1971-2000 és 1978-2007 időszakhoz tartozó analóg területeket is (13. ábra). Míg az 1961-1990-es időszak jól adja vissza Debrecen régióját, addig a másik két időszakban megfigyelhető, hogy Debrecen régiója kicsit kisebb, a dél-romániai terület egyre nagyobb hasonlóságot mutat a bázisidőszakhoz képest, és megjelentek a dél-magyarországi klimatikusán hasonló területek is. Az eredmény azt mutatja, hogy az analógia számításához használt módszer kellően érzékeny, már ki tudja mutatni az utóbbi tíz évben tapasztalt melegedést is.



13. ábra Debrecen analóg régiói, különböző időszakokra (hasonlóság %-ban megadva)

Debrecen analóg területeit – a különböző klímascenáriók és vizsgált időszakok esetén – az 5. melléklet mutatja. A 2011–2040-es időszakra Debrecenről délebbre lévő területeket kaptunk analógnak, a 2041–2070-es időszakra ez az eltolódás már nagyobb, de

az egyezés mértéke már nem mindenhol elfogadható (<90%). Az évszázad végére (2071–2100-es időszakra) Európában lényegében nem található elfogadható analóg terület, hasonló klímájú területek Észak-Afrikában vannak (14. ábra).



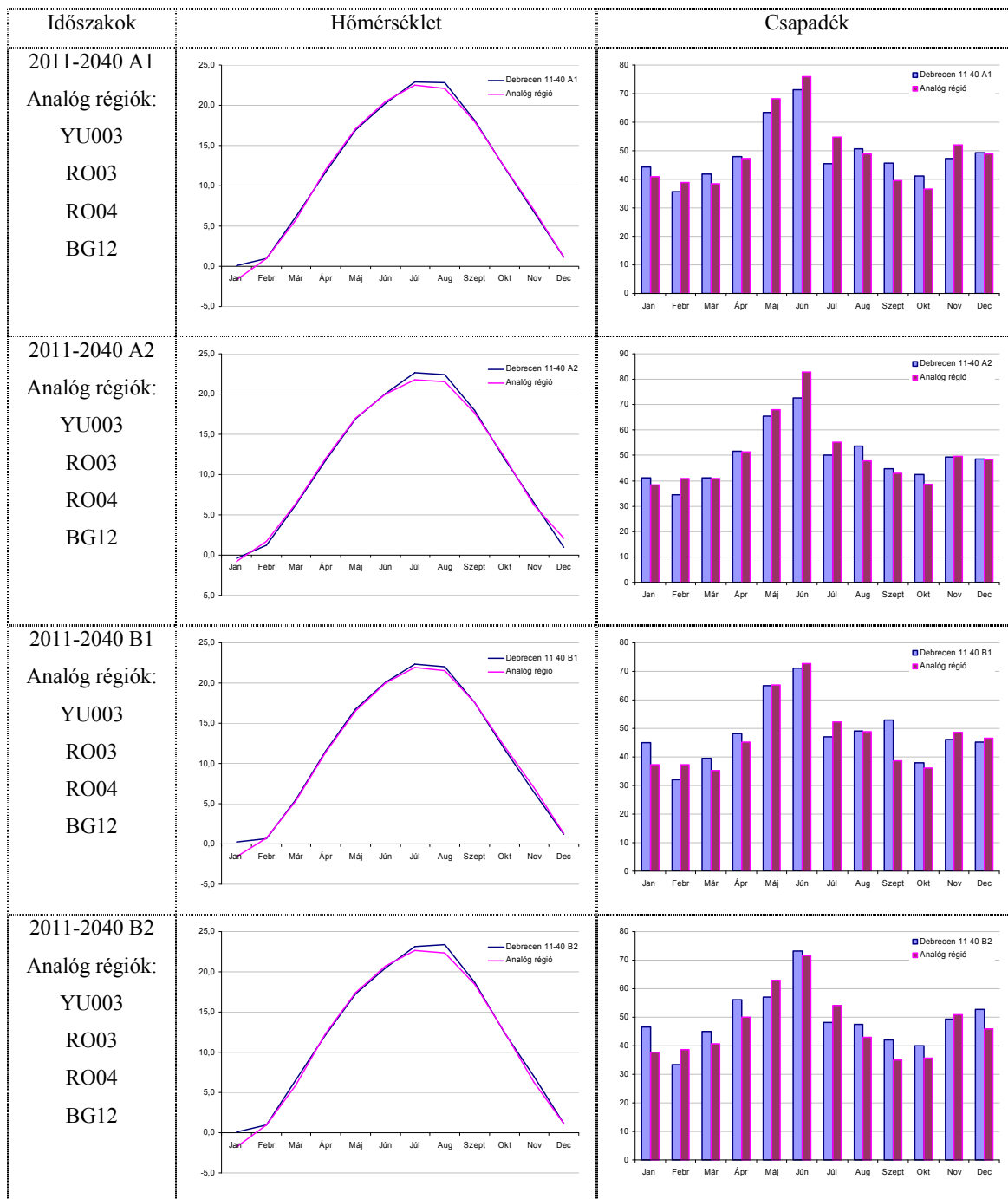
14. ábra Debrecen analóg területei a 2071-2100 időszakra

Ezért a továbbiakban csak a 2070-ig tartó két időszakot vizsgáltuk (2011–2040 és 2041–2070), hiszen csak ezekhez az időszakokhoz vannak olyan analóg területek Európában, amelyek megbízhatóan (90%<) mutatnak analógiát. Hasonló eltolódásokat figyelhetünk meg a különböző városok analóg területeiben is. Észak- és Dél-Magyarország analóg területei között is megmaradnak a mostani különbségek, így a 2011-2040 időszakban Budapest, Győr és Miskolc analóg területei dél-magyarországi területeket adnak vissza.

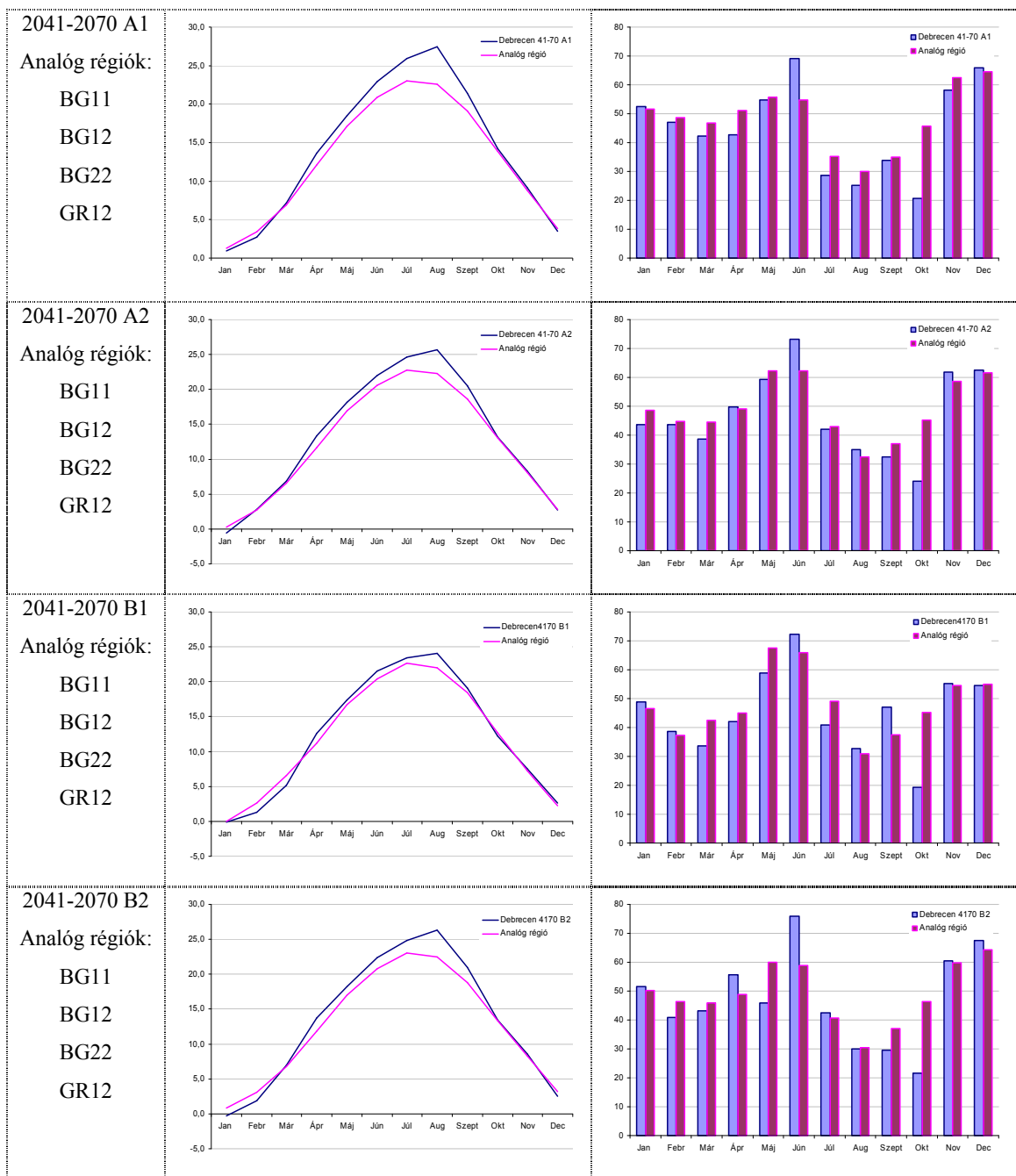
4.2. Az analóg régiók meghatározása

Az analógia módszere alapján beazonosítottuk, hogy a különböző klímaszenáriók mely NUTS2 régiókkal mutatnak analógiát Debrecen jövőbeli klímájához. Ahhoz, hogy lássuk, hogy a földrajzilag analóg régiók tényleg hasonló klímájúak, célszerű megvizsgálni a Debrecenre vonatkozó scenáriók és az analóg területek klímáját is. A 15. és 16. ábrán az analóg régiók, a legnagyobb hasonlóságot mutató terület és Debrecen jövőbeli éghajlati

diagramjai láthatók. A diagramokon látható, hogy a 2011-2040 időszakban mind a hőmérséklet, mind a csapadék igen hasonló. Kisebb egyezést kapunk a 2041-2070 időszakban, az eltérések a nyári hőmérséklet különbségekből adódik. A nagyobb eltérések nyárvégi átlaghőmérsékletben és a júniusi és őszi csapadékokban figyelhetők meg.



15. ábra Analóg régiók (2011-2040) klimatikus adottságai



16. ábra *Analog régiók (2041-2070) klimatikus adottságai*

A vizsgálataink során megállapítottuk, hogy a nagy hasonlósági indexű pontok közelében szintén magas hasonlóságú pontok helyezkednek el. Így megbizonyosodtunk, hogy az analógia keresésekor nem csak szétszórt pontok hasonlóságát találtuk, hanem statisztikailag értelmezhető régiókat. Ez az időjárás térbeli eloszlásának tulajdonságából is adódik. A 2011-2040 időszakra látszik, hogy az egyezés igen nagyfokú, az analóg területek klímája nagyban hasonlít a jövőbeli klímához, de a 2041-2070 időszakra ez az egyezés már

kisebb, az évszázad végére egyáltalán nem is található Európában elfogadható hasonlóságú terület. Megállapítottuk, hogy a klímaváltozás előrehaladtával az analóg területek egyre messzebb, délebbre találhatók, a következő évtizedekben ez az eltolódás 250–450 km, az évszázad közepére ez több, akár 450–650 km is lehet.

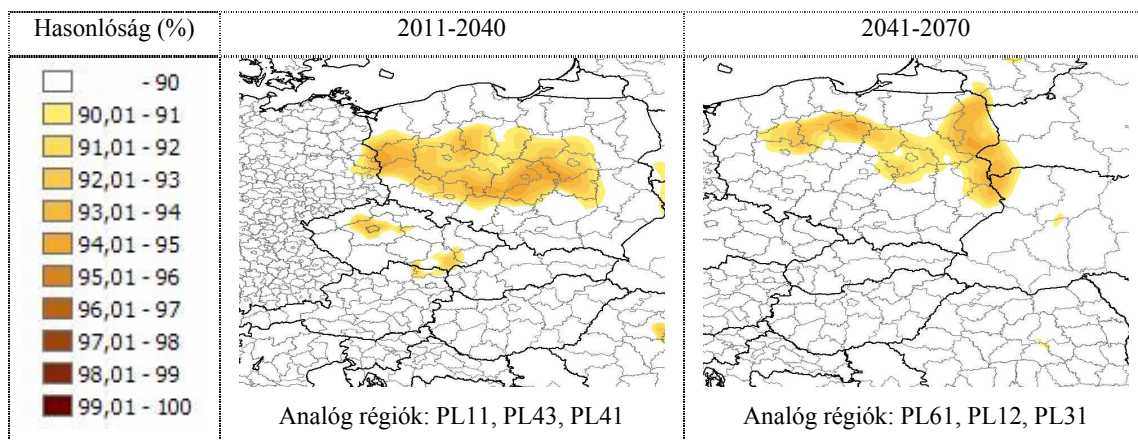
A hasonlósági térképeken (4.-10. melléklet) látszik, hogy egy időablakban a különböző scenáriók különböző területeket mutathatnak hasonlóknak, viszont vannak olyan területek, amelyek mindegyik klímascenárió szerint analógok. Ez abból adódik, hogy a forgatókönyvek az első évtizedekben közel hasonló változást mutatnak, s csak az évszázad végére különülnek el lényegesebben.

Érdeemes megvizsgálni, hogy hol vannak Európában azok a területek, amelyek jövőbeli analógja Debrecen lesz. Ezt az előzőekben is vizsgált időszakokra határoztuk meg. A számításhoz szintén a Climex módszert alkalmaztuk, és a $\lambda=0,5$ értéket használtuk, csak az bázisidőszakok szerepe felcserélődik.

A bázisidőszaknak a 2011-2040, ill. a 2041-2070 időszakokat választottuk, attól függően, hogy melyik időszakhoz keressük az analóg területeket. Ezen jövőbeli klímát mutató térképen kerestük meg Debrecen 1961-1990 időszakhoz tartozó klímájának analóg területeit (17. ábra).

A kapott területek Debrecentől északra, főleg Lengyelországban helyezkednek el. Az analógok elhelyezkedése egybecseng azzal, hogy a jövőbeli melegedés több száz kilométeres eltolódással járhat együtt, csak itt tőlünk északabbra lévő területek „csúsznak” le hozzánk.

Az analógia módszere alapján beazonosítottuk, hogy a különböző klímascenáriók alapján Debrecen klímája mely NUTS2 régiókkal mutat analógiát, ill. melyek azok a régiók, amelyen jövőbeli analógja Debrecen régiója lesz. (18. ábra)



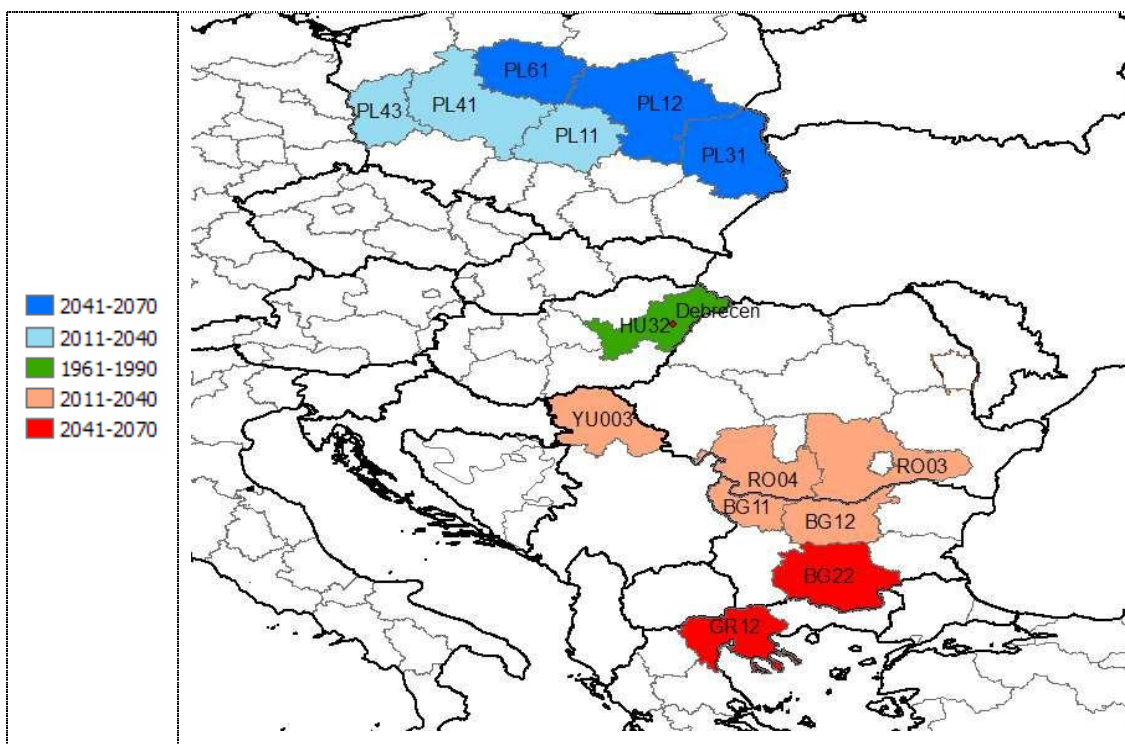
17. ábra Analóg területek a vizsgált időszakokra (hasonlóság %)

4.3. Debrecen analóg régiói

Debrecen jövőbeli klímájával analóg régiókat több, a földhasználat, a természetű növények és a természetes vegetáció szempontjából is elemeztük. A földhasználati és a természetű növényekre vonatkozó adatok az EUROSTAT adatbázisából származnak. A természetes vegetációra vonatkozó adatokat a CORINE 2000 adatbázisból vettük.

Debrecen analóg régióit két időszakra vizsgáltuk, a 2011-2040 és a 2041-2070 időszakra. Az évszázad végére (2071-2100) Európában lényegében nem találtunk megfelelő hasonlóságot mutató régiókat. Debrecen analóg régiói a 2011-2040 időszakra a Vajdaságban, Dél-Romániában és Észak-Bulgáriában, az évszázad közepére (2041-2070) Közép-Bulgáriában és Észak-Görögországban találhatóak. Az analóg régiókat és EUROSTAT kódjait a 18. ábra mutatja.

Az analóg területek és régiók összehasonlításához alapként Debrecen régióját, a HU32 (Észak-alföld) régiót használtuk.



18. ábra Debrecen lehetséges analóg NUTS2 régiói a vizsgált időszakokra

4.3.1. Az analóg régiók földhasználati adatainak jellemzése

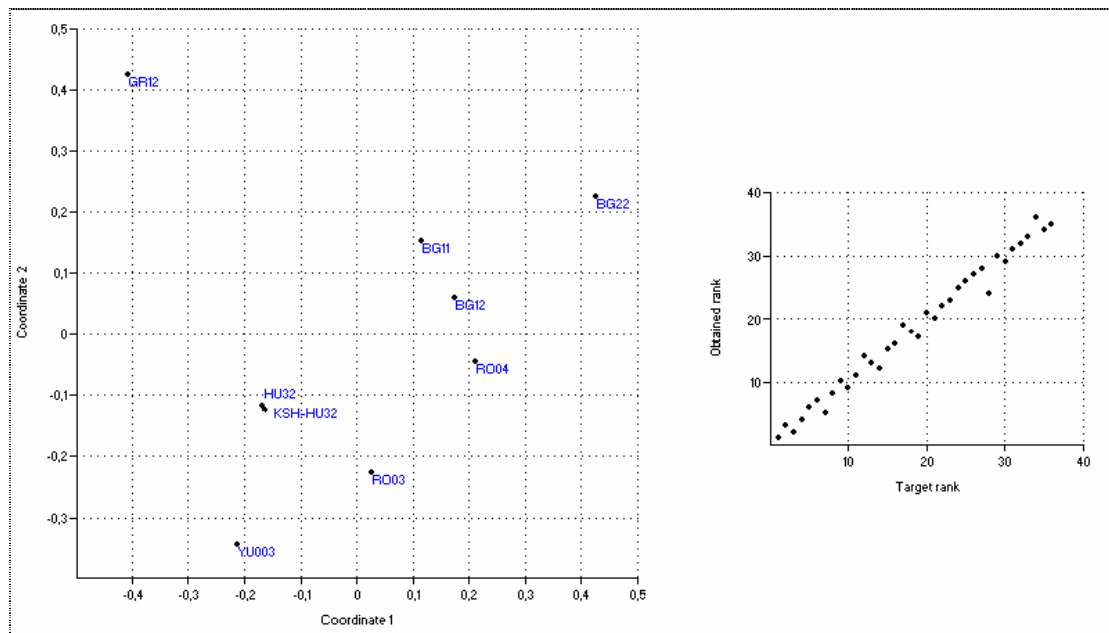
Az analóg régiók jellemzéséhez az EUROSTAT adatbázisból az elérhető utolsó tíz év átlagadatait használtuk (1997-2006). A 11. táblázat a földhasználati típusok területének arányát mutatja a régió területéhez képest. A táblázatban egyszerre mutatjuk be a lehetséges analógokat, balról jobbra haladva találhatjuk az egyre távolabbi időszakokhoz tartozó hasonló területeket.

11. táblázat Az analóg régiók relatív földhasználati adatai (%)

	KSH- HU32	HU32	YU003	RO03	RO04	BG11	BG12	BG22	GR12
Szántóföld	54,7	55,4	62,6	57,1	42,7	35,0	38,1	25,7	31,3
Ugar	4,2	3,7	2,1	1,7	2,0	13,3	4,1	6,3	1,4
Erdő	11,2	11,0	4,7	19,6	29,2	21,5	27,3	41,0	9,6
Konyhakert	0,8	0,6	0,0	0,0	0,0	0,7	0,8	1,1	1,3
Rét, legelő	13,0	13,9	20,9	11,1	15,9	17,3	17,3	16,5	8,6
Zöldtakarmány	1,4	1,4	5,3	5,2	3,3	3,0	3,6	1,4	0,2
Olívatermő területek	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,6
Gyümölcsös	2,2	2,2	1,7	3,1	3,8	2,1	1,9	2,4	5,6
Szőlő	0,2	0,3	0,8	1,3	1,5	1,4	0,9	1,3	0,3
Egyéb területek	12,3	11,5	1,9	1,0	1,6	5,7	6,1	4,4	40,0

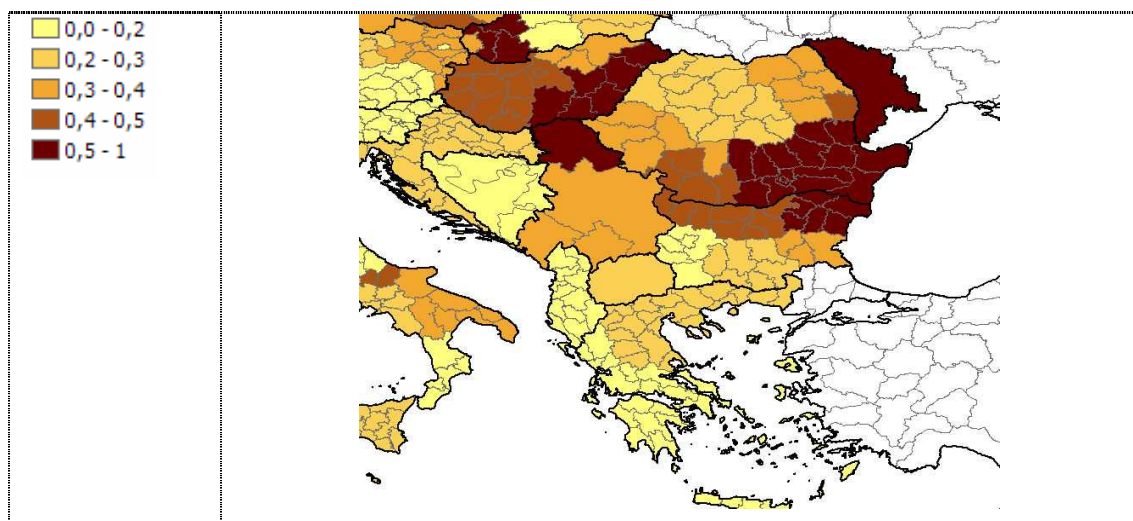
A táblázatban látható, hogy az EUROSTAT és a KSH adatai nem egyeznek meg, de statisztikailag nincs közöttük különbség ($p_{\text{egyezés}}=0,966$).

Az egyes területek relatív (%) adatainak hasonlósági mintázatát euklideszi távolságon alapuló NMDS segítségével elemeztük (19. ábra). Megállapítható, hogy a magyarországi adatsor „köztes” helyet foglal el az analóg területek hasonlósági mintázatában, vagyis a lehetséges változások a hasonlósági mintázat szempontjából nem feltétlenül egy irányba mutatnak. Látható, hogy Debrecen régiójához legközelebb a RO03 és YU003 régió található és az időben távolabbi analóg területek rendre távolabb. Az irányok vizsgálatában észrevehető egy egyfajta irányultság is, az egyre távolabbi időpontokban analóg régiók a földrajzi elhelyezkedéssel együtt egymást követve helyezkednek el. Közelebb a YU és RO régiók, majd őket követve a BG és GR régiók. A Shepard-diagram alapján láthatjuk, hogy a NMDS-t sikeresen használhatjuk, mivel a dimenzióredukció által az objektumok távolsága megmarad.



19. ábra A földhasználati területek relatív adatainak hasonlósági mintázata és az NMDS-hez tartozó Shepard-diagram

A megfigyelt mintázat hátterét legfőképp a szántóföldi hasznosítás aránya alapján érthetjük meg, hiszen ez az érték a YU003 és RO03 régiókban magasabb, mint hazánkban, a BG és GR12 régiókban viszont jóval alacsonyabb. Az erdőterületek aránya a domborzati viszonyok miatt eltérő, a YU003 régió főként síkság, ez megmutatkozik a szántóföld területének nagyobb arányában (11. táblázat, 20. ábra), míg a RO03 régió egy része hegység, ezen nagyobb az erdő aránya. A szántóföldi hasznosítás mintázatáról később, a termesztett növények elemzésekor kaphatunk világosabb képet.



20. ábra Szántóföld aránya a régió területéhez képest

A földhasznosítás vonatkozásában fontos kiemelni, hogy az analóg területek többségében (a nagyon extrém klímaváltozás esetére utaló GR-t kivéve) a hazainál sokkal jelentősebb a rét-legelő és az erdőgazdálkodás (a domborzati viszonyokból adódóan). Ezen extenzívebb művelési ágak arányának növelése hazánkban is előnyös lenne, úgy a környezet- és természetvédelem, mint a tájgazdálkodás és a természeti erőforrások megőrzése szempontjából. Nagyon látványos, bár az előzőekhez képest kisebb jelentőségű a szőlővel hasznosított területek arányának alakulása, amin megfigyelhető, hogy a klímaváltozás hatására „belecsúszunk” a szőlőnek kedvezőbb sávba és még a legradikálisabb klímaváltozás (GR12 régió) esetén is legfeljebb a mai arányokra való visszaesés („túlcsúszás”) várható.

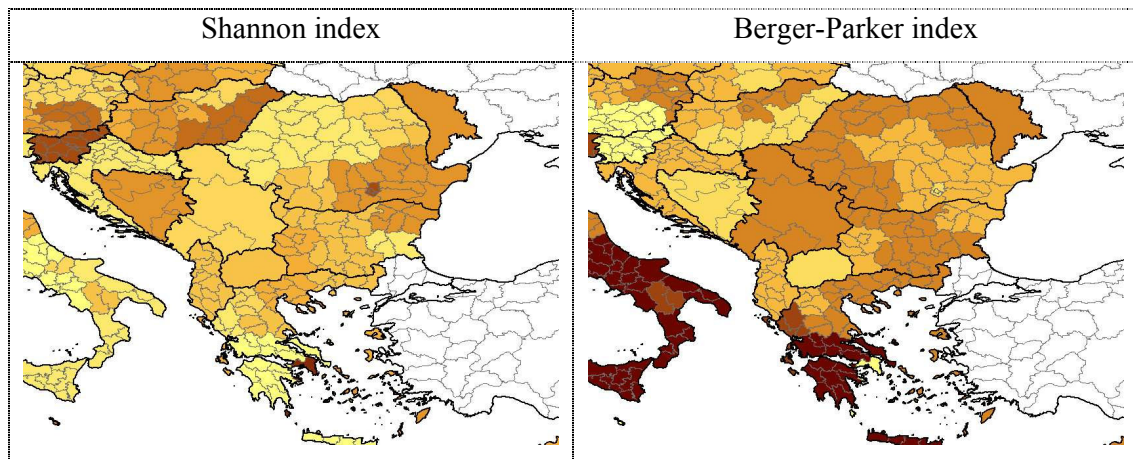
Az adatok további elemzéséhez célszerű megvizsgálni ezen régiók földhasználati típusainak diverzitási indexeit is (12. táblázat).

A természetközeli vagy ember által nagyobb mértékben befolyásolt, de mindenképpen vegetációval fedett területek földhasználati típusainak diverzitása fontos alkalmazkodási stratégia lehet változékony időjárási feltételek mellett, különösen pedig egy jelentős klímaváltozás folyamatában. A „több lábón állás” gazdasági kockázatsökkentő hatásán kívül, a magasabb földhasználati típus diverzitás egyúttal magasabb tájszintű élőhely diverzitással is jár, amelynek biodiverzitás megőrzési és általános természetvédelmi szerepe is kiemelkedő. A klímaváltozékonyasághoz való ilyen alkalmazkodás egy olyan különleges szituáció, ahol a gazdasági érdekek és a környezetvédelem stratégiai érdekei egy irányba mutatnak.

12. táblázat Földhasználati adatok diverzitási indexei

	KSH- HU32-	HU32	YU003	RO03	RO04	BG11	BG12	BG22	GR12
Taxa S	9	9	8	8	8	9	9	9	10
Individuals	1818	1817	2150	3446	2921	1069	1776	2749	1914
Dominance D	0,35	0,35	0,44	0,38	0,30	0,22	0,26	0,27	0,28
Shannon H	1,43	1,41	1,18	1,32	1,46	1,71	1,60	1,58	1,54
Simpson 1-D	0,65	0,65	0,56	0,62	0,70	0,78	0,74	0,73	0,72
Evenness e^H/S	0,46	0,45	0,41	0,47	0,54	0,62	0,55	0,54	0,47
Menhinick	0,21	0,21	0,17	0,14	0,15	0,28	0,21	0,17	0,23
Margalef	1,07	1,07	0,91	0,86	0,88	1,15	1,07	1,01	1,19
Equitability J	0,65	0,64	0,57	0,63	0,70	0,78	0,73	0,72	0,67
Fisher alpha	1,23	1,23	1,05	0,98	1,00	1,35	1,24	1,16	1,38
Berger-Parker	0,55	0,55	0,63	0,57	0,43	0,35	0,38	0,41	0,40

Ezen megfontolások alapján rendkívül jelentőségteljes és sokatmondó az a tény, hogy a 2011-2040-es időszakban valamennyi analóg terület földhasználati diverzitása kisebb hazánk jelenlegi mutatóinál, és a 2041-2070-es időszakban magasabb. A Shannon-diverzitás és a Berger-Parker index együttes viselkedése alapján (21. ábra) jól látható, hogy a kisebb diverzitás mögött nem a földhasználati típusok (féleségek) csökkenő száma, hanem ugyanazon féleségek gyakorisági eloszlásának kisebb egyenletessége áll, később pedig pont ezek fordítottja, a féleségek gyakorisági eloszlásának nagyobb egyenletessége áll. Ennek elérése tehát a domináns földhasználati típusok arányának csökkentésével érhető el. A Shannon-diverzitás eltéréseinek páronkénti tesztelésére a permutációs Shannon t-tesztet alkalmaztuk. Ezek alapján megállapítható, hogy valamennyi diverzitás-pár eltérése szignifikáns minden ésszerű valószínűségi szinten ($p \approx 0$).



21. ábra Földhasználat diverzitási indexei (a sötétebb területek értéke nagyobb)

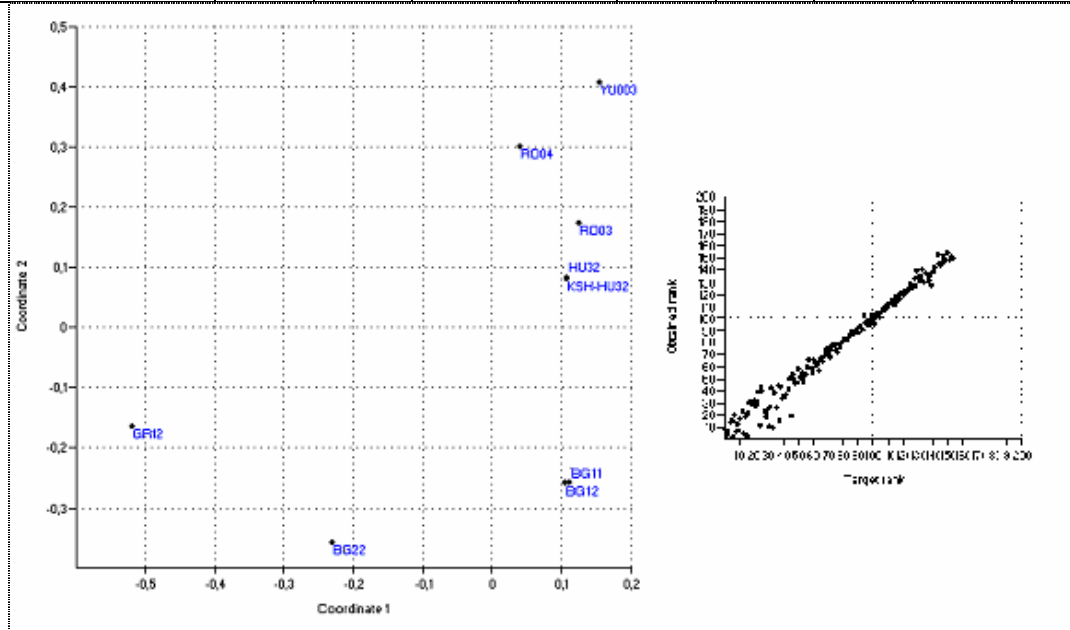
4.3.2. Az analóg régiók növénytermesztési adatainak elemzése

Az 13. táblázat mutatja a növénytermesztési területek arányát a szántóföldhöz képest. Itt is megfigyelhető, hogy az EUROSTAT és a KSH adatok nem azonosak, de statisztikailag itt sincs közöttük különbség ($p_{\text{egyezés}}=0,999$). A termesztett növények szántóföldhöz viszonyított relatív területének hasonlósági mintázatait szintén az euklideszi távolságon alapuló NMDS segítségével elemeztük. Ez az elemzés a földhasználati típusok között dominánsnak mutató szántóföldi növénytermesztés mélyrehatóbb elemzésére és a földhasználatban megfigyelt mintázatok mögött megbúvó okok pontosabb feltárására ad lehetőséget. Az NMDS eredményeként kapott hasonlósági mintázatok (22. ábra) sokkal jobban értelmezhetők, mint a földhasználati típusok esetén. Az relatív területeloszlás alapján az egyes régiók világosan elkülönülnek és sorba rendeződnek. Magyarország itt is átmeneti helyet foglal el a kifejezetten déli (BG és GR) valamint a kevésbé déli (RO és

YU) területek között.

13. táblázat *Termesztett növények termőterületének megoszlása (%)*

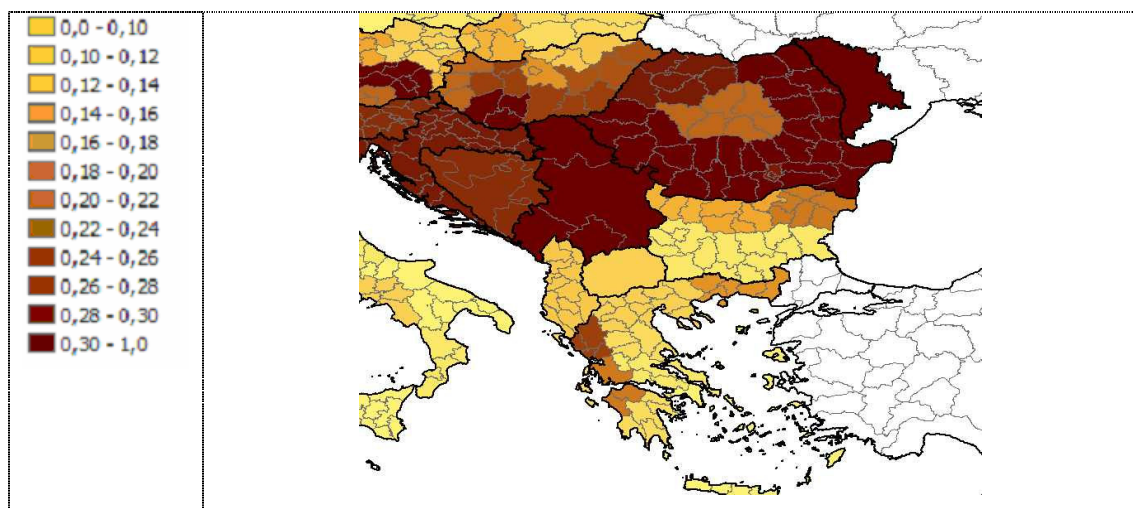
	KSH- HU32	HU32	YU003	RO03	RO04	BG11	BG12	BG22	GR12
Búza	29,5	29,2	25,1	30,8	33,5	32,7	30,4	40,7	45,7
Rozs	1,7	2,3	0,1	0,0	0,3	0,1	0,0	1,7	0,4
Árpa	5,8	5,7	3,8	4,4	2,9	6,3	8,3	13,4	5,2
Szemes kukorica	31,7	30,9	46,9	36,5	41,9	16,8	16,2	5,2	7,3
Rizs	0,1	0,2	0,0	0,1	0,0	1,1	2,2	0,6	2,7
Takarmánykukorica	3,1	3,8	0,4	0,6	0,9	0,4	0,6	2,0	0,4
Burgonya	1,0	1,6	1,7	1,3	1,5	0,5	0,5	3,6	0,4
Száraz hüvelyesek	0,8	1,3	0,0	0,7	0,4	0,0	0,3	0,7	0,1
Cukorrépa	2,7	3,4	5,0	0,4	0,2	18,7	18,0	0,1	2,2
Repce	1,4	1,2	0,0	1,0	0,3	0,0	0,0	0,2	0,0
Napraforgó	15,5	14,6	10,0	16,8	9,6	18,5	17,8	14,8	1,0
Szójabab	0,1	0,1	4,8	1,9	0,3	0,3	0,5	0,0	0,0
Len	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Gyapot	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,7	14,9
Dohány	0,6	0,6	0,3	0,1	0,5	0,2	0,2	4,1	4,4
Gyümölcsös	5,3	4,3	0,8	2,8	3,9	0,5	2,4	4,2	10,0
Szőlő	0,6	0,8	1,2	2,6	3,8	3,9	2,4	7,0	0,9
Olíva	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,5



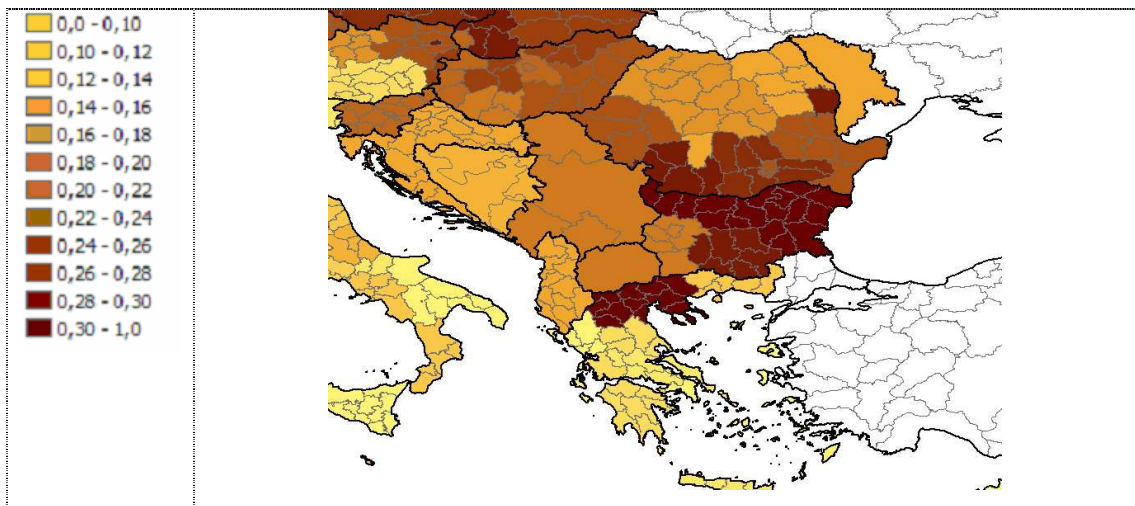
22. ábra *A termesztett növények relatív területének hasonlósági mintázata és az NMDS-hez tartozó Shepard-diagram*

A relatív adatok vizsgálatánál megfigyelhető, hogy az analóg területek közül a YU003 és a RO régiók közelebb helyezkednek el, a BG és GR régiók nagyobb különbözőségeket mutatnak. A déli csoportból a valós topográfiai helyzetnek megfelelően a BG régiók közelebb, míg a GR12 terület távolabb helyezkedik el Debrecen régiójától. A kevésbé déli területek csoportja bár irányultságában ellentétes tendenciát mutat a hasonlósági mintázat állapotterében, de a RO és YU003 területek elhelyezkedése a topográfiai viszonyoknak megfelelő (a három régió területei közel egy egyenesen helyezkednek el). A kapott hasonlósági mintázat okait jól illusztrálja a kukorica vetésterület arányának alakulása (23. ábra). Jól megfigyelhető a kukorica öv, mivel a kukorica termesztési feltételeinek jobban megfelel a délebbi régiók klímája, viszont a sokkal délebbi GR régió már nem. Hasonlóan megfigyelhető, hogy a Duna vonalában a délebbi területeken nagyobb arányban használják a termőterületeket a búza termesztésére (24. ábra), mint a debreceni régióban. Hasonló figyelhető meg a napraforgó termesztési területeiben (25. ábra), de GR területeken a napraforgó termesztési területe más okok miatt is csökkenhet. Azokon a területeken az olívaolajt részesítik előnyben a napraforgóval szemben, hiába lehetnek jobbak a napraforgó termesztési feltételei.

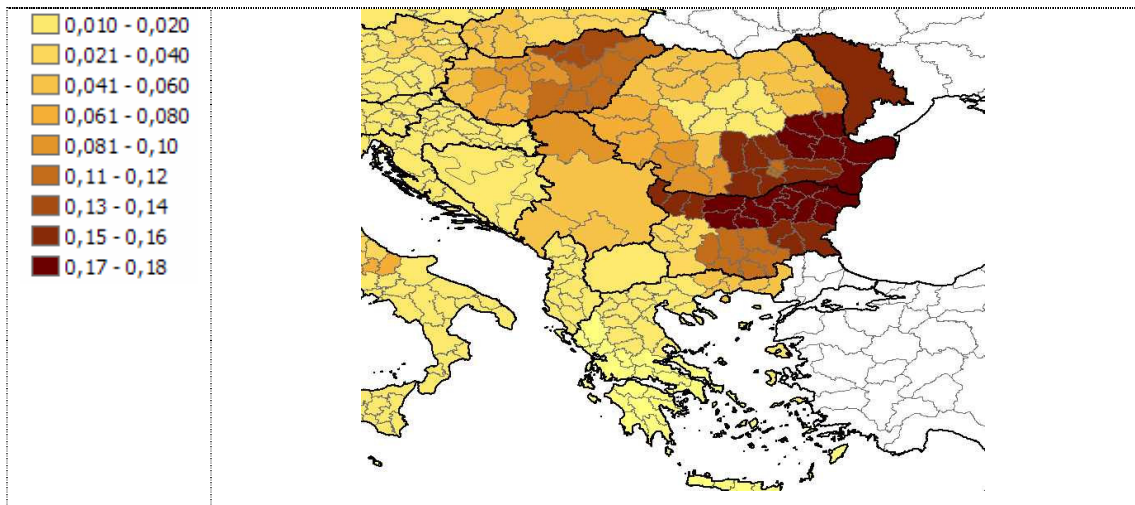
Egy kisebb mértékű klímaváltozás, amely YU003 és RO területi analógiákkal jellemezhető, a kukoricaövbbe való mélyebb „becsúszást” eredményezné, ami a vetésterület nagyságának (és arányának) növekedésével járna. Ha azonban a klímaváltozás folyamata továbbhalad, akkor a maihoz képest extrémebb BG és GR analógok válnak aktuálissá, ami már a kukoricaövből való déli irányú „kicsúszást” eredményezné.



23. ábra Kukorica termőterületének aránya a szántóföldhöz képest



24. ábra *Búza termőterületének aránya a szántóföldhöz képest*



25. ábra *Napraforgó termőterületének aránya a szántóföldhöz képest*

A relatív adatok alapján (13. táblázat, 23.-25. ábra) ugyanaz az alapvető hasonlósági mintázat figyelhető meg. Az adatok áttekintése nyomán az alábbi részletesebb megállapítások tehetők:

1. A kukorica aránya a kukoricaövbe való északi belépésnek köszönhetően növekszik, majd a déli kilépésnek megfelelően csökken.
2. A búza aránya egyértelmű tendenciaként növekszik.
3. Az árpa a kukoricával ellentétesen viselkedik, azaz a kukoricaövbe érve aránya csökken, majd azt elhagyva újra növekszik, és csupán a GR12 régióban esik vissza ismét.
4. A rizs termesztése egyértelműen csak a jóval délibb területeken jellemző, hazánkban tehát csak a klímaváltozási folyamat második szakaszában merülhet fel komoly formában, ha az áraztatáshoz megfelelő vízmennyiség rendelkezésre áll.

5. A burgonya, mivel alacsonyabb hőigényű növény, a klímaváltozás analógokkal jelzett irányában többé-kevésbé csökkenő tendenciát mutat (kivéve a BG22 régiót), ami megfelel a várakozásoknak.
6. A napraforgó termőterületének aránya csak a GR analógon csökken jelentősen, ugyanakkor a dohány, olíva és a gyapot csak ott „javul” érdemben. A hegyes köves területek (GR) inkább az olíva termesztésnek kedveznek, emellett a napraforgó és olíva területek változása a dél-európai társadalmi szokásokkal is magyarázható, azokon a területeken inkább az olíva olaj használata jelentősebb, mint a napraforgóé.

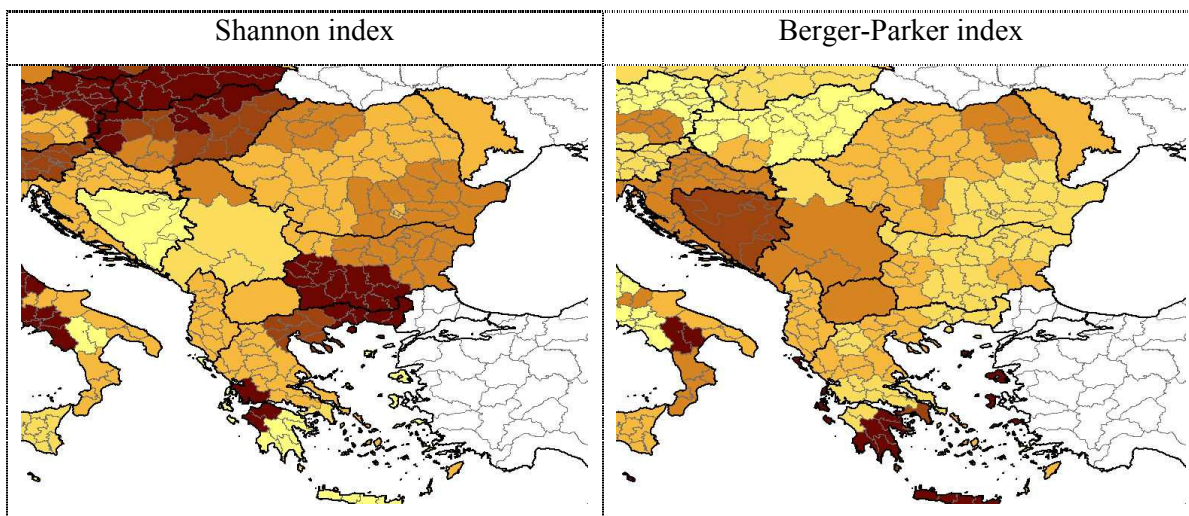
Mint a földhasználati adatok elemzésénél, célszerű ugyanúgy a termesztett növények termőterületének diverzitását is vizsgálnunk (14. táblázat).

A termesztett növények területarányainak diverzitását tekintve a Berger-Parker index (26. ábra) vonatkozásában ugyanazt mondhatjuk el, ill. erősíthetjük meg, mint a földhasználati típusok esetében, azaz a debreceni régión alkalmazott diverzitásnál minden analóg terület diverzitása magasabb, ami jobb kockázatkerülési stratégiára utal. Ez azonban elsősorban a domináns növényfaj alacsonyabb (így kedvezőbb) diverzitása szempontjából igaz. A Shannon index (24. ábra) a klímaváltozással először csökkenést mutat, majd csak a legdélebbi területeken emelkedik újra. Ez a jelenség jelentős részben a kukoricaövbbe való be- és kilépéssel magyarázható.

14. táblázat *Termesztett növények területének diverzitási indexei*

	KSH- HU32	HU32	YU003	RO03	RO04	BG11	BG12	BG22	GR12
Taxa S	15	15	12	16	15	14	15	17	15
Individuals	763	774	1407	1715	1110	370	691	514	675
Dominance D	0,21	0,21	0,30	0,26	0,31	0,21	0,20	0,21	0,27
Shannon H	1,81	1,89	1,55	1,63	1,53	1,75	1,87	1,93	1,85
Simpson 1-D	0,79	0,79	0,70	0,74	0,69	0,79	0,80	0,79	0,74
Evenness e ^{H/S}	0,41	0,44	0,39	0,32	0,31	0,41	0,43	0,41	0,42
Menhinick	1,49	1,50	1,20	1,59	1,51	1,40	1,51	1,69	1,52
Margalef	3,03	3,04	2,39	3,25	3,05	2,82	3,05	3,47	3,05
Equitability J	0,67	0,70	0,63	0,59	0,57	0,66	0,69	0,68	0,68
Fisher alpha	4,85	4,89	3,56	5,35	4,92	4,43	4,92	5,85	4,94
Berger-Parker	0,31	0,31	0,47	0,37	0,42	0,33	0,30	0,41	0,47

A Shannon-diverzitás eltéréseinek páronkénti tesztelésére ez esetben is a permutációs Shannon t-tesztet alkalmaztuk. Ezek alapján itt is megállapítható, hogy valamennyi diverzitás-pár eltérése szignifikáns minden ésszerű valószínűségi szinten ($p \approx 0$).



26. ábra Termesztett növények diverzitási indexei (sötétebb területek értéke nagyobb)

Nagyon érdekes eredményeket kapunk, ha a területhasználati arányok mellett megvizsgáljuk a termesztett növények termésátlagait is (15. táblázat). A termésátlagok alakulása gyakran éppen ellentétes mintázatot mutat, mint a termesztési területek. Kukorica esetében például megfigyelhető, hogy éppen a „kukoricaöbven” alacsonyabbak a termésátlagok, mint annak szélein. A gabonafélék, köztük a búza is, dél felé mutatnak csökkenő termésátlagokat. Ez háromféle lehetséges okra is visszavezethető:

- Ahol a klimatikus adottságok kedveznek egy növény termesztésének, ott a talajtanilag vagy más szempontból kevésbé alkalmas területeken is próbálkoznak termesztéssel, ami a termésátlagokat lenyomja. (Ez nyilvánvalóan nem követendő példa, inkább egyfajta alkalmazkodási tehetetlenségnek tekinthető.)
- Úgy a kukorica, mint a búza fontos népelelmezési és takarmányozási szerepet betöltő növények, ezért ha rosszabbak a termésátlagok, akkor nagyobb területen termelik őket. (Ez még az előzőnél is kedvezőtlenebb szituáció, hiszen ez esetben nyilvánvalóan egészen más növényekkel kellene kiváltani az alkalmatlan fajokat vagy fajtákat.)
- Ahol a klimatikus adottságok kedvezőek, ott kisebb agrotechnikai ráfordítással lehet kukoricát termesztani, így alacsonyabb termésátlag mellett is gazdaságos a termelés. (Ez az egyetlen pozitív kicsengésű interpretáció.)

15. táblázat *Termesztett növények termésátlagai (t/ha)*

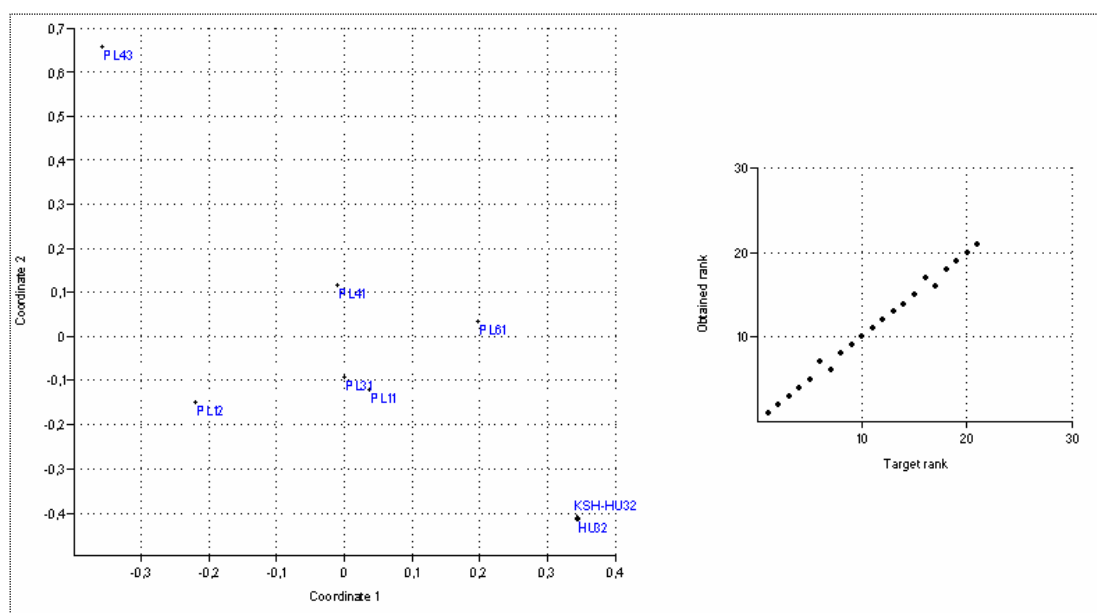
	KSH- HU32	HU32	YU003	RO03	RO04	BG11	BG12	BG22	GR12
Búza	3,7	3,6	4,3	2,6	2,3	2,3	2,7	2,6	2,2
Rozs	2,95	2	2,5	1,5	1,1	1,7	1,5	1,3	2,1
Árpa	2,2	2,9	3,4	2,9	2,5	2,3	2,7	2,6	2,4
Szemes kukorica	5,3	5,1	5,3	3	2,9	2,8	3,1	3,9	10,1
Rizs	3,3	2,8	n.a.	3,2	0,5	2,8	2,8	3,6	7,2
Takarmánykukorica	20,9	20,1	24,3	11,5	8,5	7,7	9,6	11,4	36,5
Burgonya	19,4	17,4	11,6	11,3	11,1	10,2	8,7	12,6	22,3
Száraz hüvelyesek	1,53	1,9	0	1,2	1,3	0,9	1,1	1	1,8
Cukorrépa	46,8	40,1	45,2	16,8	13,5	10,5	18,1	11,2	60,8
Repce	1,7	1,6	0	1,2	0,8	0,7	0	1,3	0
Napraforgó	1,8	1,6	2	1,2	0,9	1	1,2	0,9	1,1
Szójabab	1,65	1,5	2,1	1,7	1,1	0,8	0,7	1,5	0
Len	0	0	0	2	0	0	0	1	0
Gyapot	0	0	0	0	0	0	1	1,1	3,3
Dohány	1,9	1,7	1,4	1,2	1,1	1,4	1,1	1,3	1,8
Szőlő	4,6	4	3,7	4,2	4,4	3,4	4,4	5,2	10,8
Olíva	0	0	0	0	0	0	0	0	2,2

4.3.3. Lengyel régiók földhasználati és növénytermesztési adatainak elemzése

Az előzőekben használt elemzéseket elvégeztük azokra a régiókra is, amelyeknek Debrecen az analógja. Balról jobbra haladva egyre későbbi időszakokhoz tartozó analóg területeket találhatunk. A 16. táblázatban ezen területek relatív nagysága található. A földhasználati típusok arányát NMDS euklideszi távolság alkalmazásával vizsgálva (27. ábra) megállapítható, hogy valamennyi olyan terület, amelynek analógja Debrecen, a hasonlósági mintázatban tőlünk egy irányban távolodva helyezkedik el. Itt tehát az előző fejezetben tárgyalt övezetes jelenségekkel nem kell számolnunk. A szántóföld aránya mindenhol kisebb vagy egyenlő, mint hazánkban, ugyanakkor az erdő mindenhol jelentősen nagyobb. Látványosan elkülönül a PL43 régió, ami a sokkal jelentősebb erdőterületekkel magyarázható. Ültetvények, magánkertek és a rét-legelő gazdálkodás is kisebb jelentőségű, mint hazánkban.

16. táblázat Földhasználati területek relatív nagysága (%)

	KSH- HU32	HU32	PL11	PL43	PL41	PL61	PL12	PL31
Szántóföld	54,7	55,4	54,7	28,9	52,3	55,4	48,2	52,5
Ugar	4,2	3,7	5,0	8,8	2,4	2,9	5,2	3,6
Erdő	11,2	11,0	20,3	49,0	25,5	22,5	22,1	22,1
Konyhakert	0,8	0,6	0,1	0,1	0,2	0,2	0,1	0,2
Rét, legelő	13,0	13,9	11,3	9,5	9,8	7,5	15,1	12,7
Zöldtakarmány	1,4	1,4	2,7	0,7	3,0	3,1	2,6	1,9
Olívatermő területek	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Gyümölcsös	2,2	2,2	1,6	0,3	0,6	0,6	2,3	1,7
Szőlő	0,2	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Egyéb területek	12,3	11,5	4,3	2,8	6,2	7,9	4,4	5,3



27. ábra Analóg területek adatainak hasonlósági mintázata

Az adatok további elemzéséhez meghatároztuk a régiók földhasználati típusainak diverzitási indexeit (17. táblázat). A környezet- és természetvédelmi szempontból kedvezőbb földhasználati viszonyok (erdők nagyobb aránya), a földhasználati módok szerinti élőhely-diverzitásban nem mutatkoznak egyértelműen. A Shannon index a hazaihoz hasonlóan alakul (PL11, PL12, PL31, PL43 magasabb, PL41, PL61 alacsonyabb), bár a számértékek közötti különbségek minden párnál szignifikánsak. A Berger-Parker index szerinti diverzitás mindenhol alacsonyabb, mint hazánkban, ami megfelel az előző fejezetben már tárgyalt észak-dél irányú mintázatnak.

17. táblázat *Analóg területek diverzitási indexei*

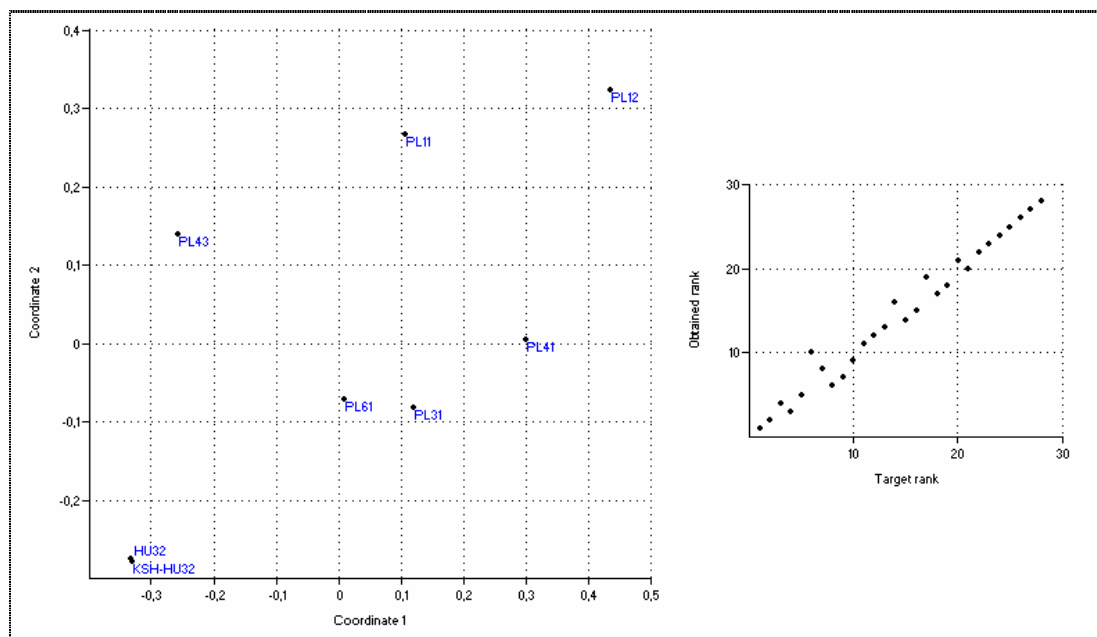
	KSH-HU32	HU32	PL11	PL43	PL41	PL61	PL12	PL31
Taxa S	9	9	7	7	7	7	7	7
Individuals	1818	1817	1742	1358	2798	1656	3401	2378
Dominance D	0,34	0,35	0,39	0,36	0,40	0,43	0,34	0,38
Shannon H	1,42	1,40	1,23	1,21	1,16	1,12	1,33	1,23
Simpson 1-D	0,65	0,64	0,61	0,64	0,60	0,57	0,66	0,62
Evenness e ^{H/S}	0,46	0,45	0,49	0,48	0,46	0,44	0,54	0,49
Menhinick	0,21	0,21	0,17	0,19	0,13	0,17	0,12	0,14
Margalef	1,06	1,06	0,80	0,83	0,76	0,81	0,74	0,77
Equitability J	0,64	0,64	0,63	0,62	0,60	0,58	0,68	0,63
Fisher alpha	1,2	1,2	0,93	0,97	0,87	0,94	0,84	0,89
Berger-Parker	0,54	0,55	0,57	0,50	0,56	0,60	0,50	0,55

Az előzőekhez hasonlóan megvizsgáltuk a termesztett növények területét és azok arányát a szántóföldhöz képest (18. táblázat).

18. táblázat *Termesztett növények relatív területe (%)*

	KSH-HU32	HU32	PL11	PL43	PL41	PL61	PL12	PL31
Búza	29,5	29,2	17,8	27,1	22,8	30,9	16,0	36,0
Rozs	1,7	2,3	42,2	29,1	30,9	20,3	42,0	18,4
Árpa	5,8	5,7	6,5	16,9	15,0	19,1	6,8	13,5
Szemes kukorica	31,7	30,9	0,7	3,4	2,3	1,3	0,8	0,8
Rizs	0,1	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Takarmánykukorica	3,1	3,8	1,5	2,6	4,7	2,2	1,3	0,8
Burgonya	1,0	1,6	23,3	7,2	10,0	7,6	20,4	14,9
Száraz hüvelyesek	0,8	1,3	0,7	0,8	0,9	1,8	1,2	1,9
Cukorrépa	2,7	3,4	2,4	2,8	6,1	8,9	2,9	6,6
Repce	1,4	1,2	0,8	8,1	5,5	5,7	0,9	1,9
Napraforgó	15,5	14,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Szójabab	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Len	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4
Gyapot	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Dohány	0,6	0,6	0,0	0,0	0,0	0,2	0,1	0,6
Gyümölcsös	5,3	4,3	4,3	1,9	1,8	1,9	7,7	4,2
Szőlő	0,6	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Olíva	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

A termesztett növények terület arányai szerinti NMDS (28. ábra) hasonló mintázatot mutat a földhasználathoz abban a tekintetben, hogy a debreceni régióhoz képest minden más terület egy irányban helyezkedik el.



28. ábra *Termesztett növények területének hasonlósági mintázata*

A lengyel területeknek hazánktól való eltérését leginkább a kukorica, olajos magvak és napraforgó sokkal alacsonyabb részesedésével magyarázhatjuk (18. táblázat), ezzel párhuzamosan a rozs, az árpa és a burgonya termőterülete nagyobb. A búza termőterületének aránya a délebbi régiókban kisebb, az északiakban nagyobb, mint Magyarországon. Klímaváltozás esetén az előbbieket termőterülete növekedhet Lengyelországban. További elemzésekhez meghatároztuk ezen területek diverzitási indexeit is (19. táblázat).

A termesztett növények termésátlagait elemezve (20. táblázat), itt is megfigyelhető a termesztési területek és a termésátlagok anomáliájával kapcsolatos, korábbi fejezetben már tárgyalt jelenség. A területhasználatban kevésbé elterjedt növényeket jobb termésátlaggal termelik. Jóval nagyobb termésátlagokat ér el a takarmánykukorica. Nagyobb arányban használják a termőterületeket a rozs, és a burgonya termesztéséhez, ezek termésátlaga közel megegyezik a hazaival vagy annál kicsit kisebb. A búza és cukorrépa termésátlaga megegyezik a hazaival, vagy annál valamivel kisebb.

19. táblázat *A termesztett növények területének diverzitási indexei*

	KSH-HU32	HU32	PL11	PL43	PL41	PL61	PL12	PL31
Taxa S	15	15	12	13	13	12	13	14
Individuals	774	763	619	205	1005	674	1026	858
Dominance D	0,21	0,22	0,27	0,20	0,19	0,19	0,26	0,21
Shannon H	1,89	1,89	1,58	1,84	1,89	1,88	1,66	1,83
Simpson 1-D	0,79	0,78	0,73	0,80	0,81	0,81	0,74	0,79
Evenness e ^H /S	0,44	0,42	0,41	0,48	0,51	0,55	0,40	0,44
Menhinick	0,54	0,54	0,48	0,91	0,41	0,46	0,41	0,48
Margalef	2,11	2,11	1,71	2,25	1,74	1,69	1,73	1,93
Equitability J	0,70	0,68	0,64	0,72	0,74	0,76	0,65	0,69
Fisher alpha	2,64	2,65	2,11	3,09	2,11	2,07	2,10	2,38
Berger-Parker	0,31	0,32	0,42	0,29	0,31	0,31	0,42	0,36

A termesztett növények területi eloszlása szerinti Shannon diverzitás alacsonyabb, mint hazánkban, a különbség minden párnál szignifikáns ($p \approx 0$).

20. táblázat *Termesztett növények termésátlagai (t/ha)*

	KSH-HU32	HU32	PL11	PL43	PL41	PL61	PL12	PL31
Búza	3,7	3,6	3	3,1	3,4	3,8	3	3
Rozs	2,95	2	2,2	2,3	2,6	2,5	2,2	2,3
Árpa	2,2	2,9	2,7	2,7	3,4	3,1	2,7	2,9
Szemes kukorica	5,3	5,1	5,3	4,7	5,9	5,5	5,4	5,5
Rizs	3,3	2,8	0	0	0	0	0	0
Takarmánykukorica	20,9	20,1	43,6	35,5	42,4	42,6	42	43,2
Burgonya	19,4	17,4	17,2	19,2	19,3	18,9	17,3	17,8
Száraz hüvelyesek	1,53	1,9	1,4	1,9	2	2,2	1,4	1,9
Cukorrépa	46,8	40,1	35,2	35,9	39,8	38,2	34,4	38,9
Repce	1,7	1,6	2,1	1,8	2,3	2,3	2,2	2,2
Napraforgó	1,8	1,6	1,7	1,3	1	0	1,6	1,5
Szójabab	1,65	1,5	0	0	1	0	0	0
Len	0	0	2,5	2,6	2,5	1,6	2,4	2,5
Gyapot	0	0	0	0	0	0	0	0
Dohány	1,9	1,7	1,9	1	1,5	2,3	1,8	2,1
Szőlő	4,6	4	0	0	0	0	0	n.a.
Olíva	0	0	0	0	0	0	0	0

4.3.4. Az analóg régiók természetes vegetációval fedett területeinek elemzése

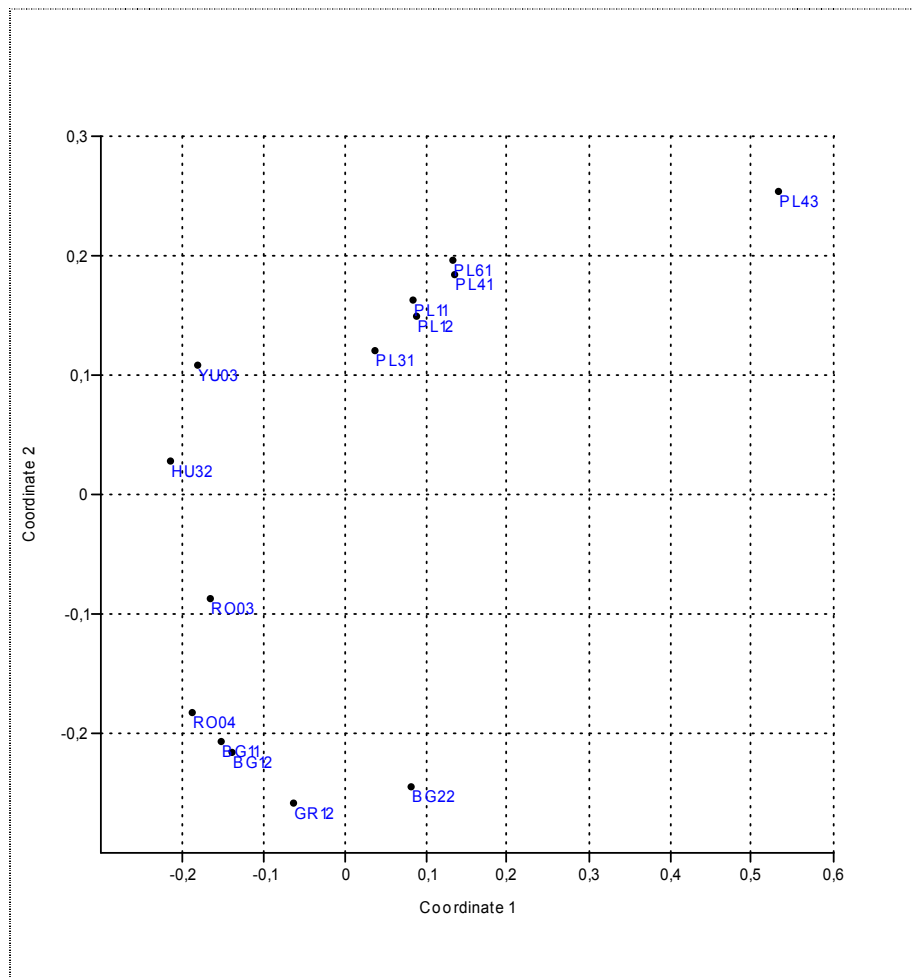
Az analóg régiókban található természetes vegetációtípusok területének arányát a régió területéhez képest a CORINE 2000 adatbázis alapján a 21. táblázat mutatja.

21. táblázat Természetes vegetációtípusok területének aránya a régió területéhez képest (%)

CLC2000	PL11	PL43	PL41	PL61	PL12	PL31	HU32	YU003	RO03	RO04	BG11	BG12	BG22	GR12
243	4,87	2,31	2,77	4,04	6,08	6,11	1,35	1,66	2,33	5,88	8,73	9,68	9,15	8,61
244	0	0	0	0	0	0	0	1,06	0	0	0	0	0	0
311	2,44	4,69	3,05	2,15	3,85	4,71	8,04	4,01	15,22	19,97	18,53	18,79	19,49	17,81
312	14,28	38,68	17,98	18,48	14,95	11,04	0,23	1,16	1,92	0,39	0,27	0,45	9,88	1,97
313	4,35	6,92	4,78	2,84	4,15	7,41	0,57	1,02	2,64	1,92	1,25	4,53	9,24	3,87
321	0	0,3	0,06	0,25	0	0	5,18	1,65	1,69	0,99	2,31	1,27	3,83	3,8
322	0	0	0	0	0	0	0	0,68	0,56	0,09	0,02	0,13	0,07	0,22
323	0	0	0	0	0	0	0	0,68	0	0	0	0	0	9,47
324	0,57	1,01	0,64	0,57	0,65	0,31	1,14	0,76	1,04	2,01	5,33	4,78	9,28	5,24
411	0,02	0,02	0,02	0	0,04	0,07	0,01	0,21	0	0	0	0	0	0
412	0	0	0	0	0	0	0	0,16	0	0	0	0	0	0,32
Összesen	26,53	53,93	29,3	28,33	29,72	29,65	16,52	13,05	25,4	31,25	36,44	39,63	60,94	51,31

A táblázatban szereplő vegetáció típusok:

- 243 Elsődlegesen mezőgazdasági területek, jelentős természetes növényzettel
- 244 Telepített erdők
- 311 Lomblevelű erdők
- 312 Túlevelű erdők
- 313 Vegyes erdők
- 321 Természetes gyeppek, természetközeli rétek
- 322 Láp, mocsár
- 323 Szklerofil vegetáció
- 324 Átmeneti erdős-cserjés területek
- 411 Szárazföldi mocsarak
- 412 Tőzezlápok

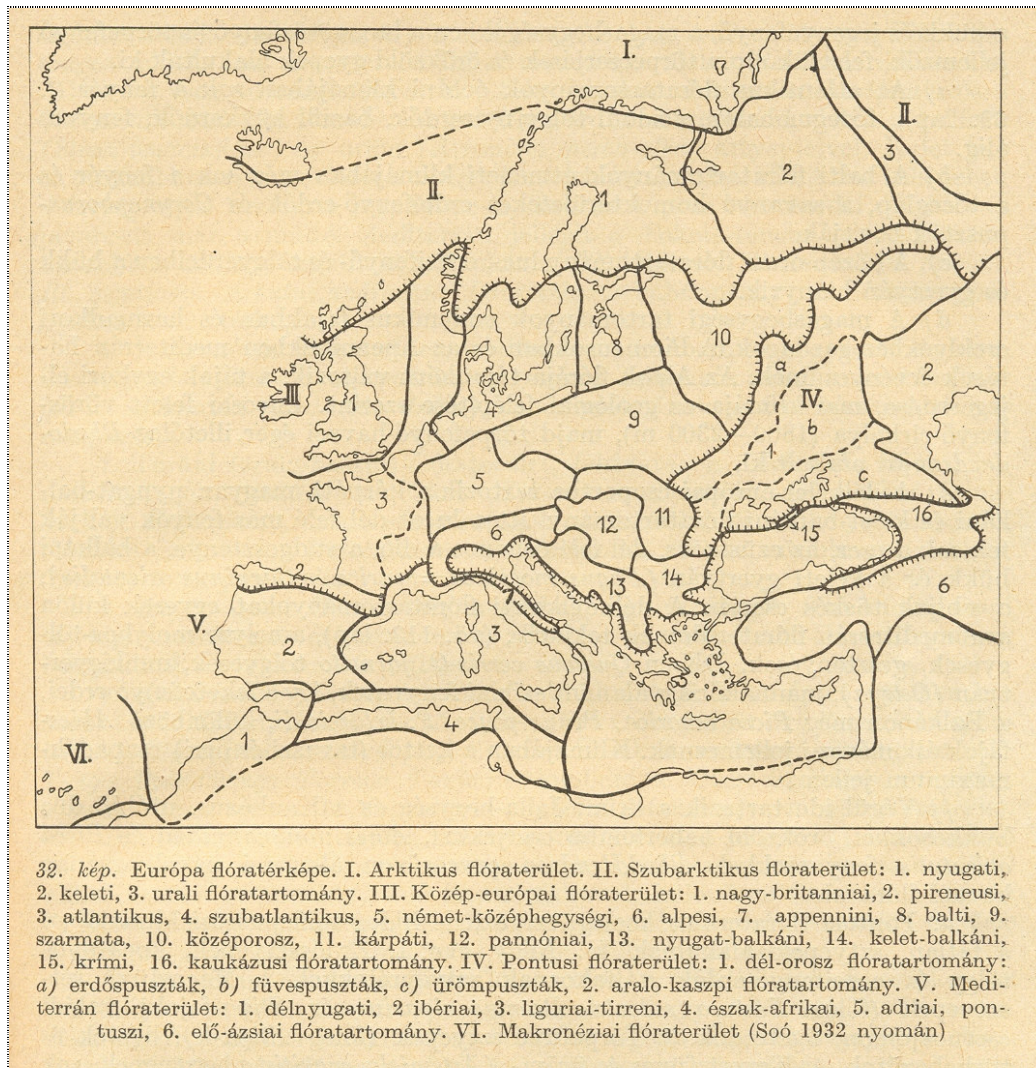


29. ábra A természetes vegetáció relatív területarányának hasonlósági mintázata

Az NMDS, euklideszi távolság módszereket alkalmazva megállapítható, hogy a várakozásnak megfelelően az egyes országokhoz tartozó területek egymás közelében találhatóak (29. ábra). Az y tengely mentén egyfajta Dél–Észak irányú elhelyezkedés figyelhető meg. A lengyelországi területek a túlevelű erdők magas arányával, míg a görög, bolgár és román területek a lombos erdők nagyobb arányával jellemezhetők. Debrecen régiója és Észak-Szerbia ebből a szempontból átmenetinek tekinthető. Szklerofil vegetációban és tőzeglápokban Görögország tűnik ki. A magyar és a szerb terület hasonlósága az ábra és a táblázat alapján is szembeszökő, ebben a két régióban a legkisebb a természetes vegetáció területe, amely – a domborzati tulajdonságok miatt (síkság) – a jelentősebb szántóföldi területekkel magyarázható.

Ha a hasonlósági mintázatot az ökológia régió térképpel (32. ábra) együtt szemléljük, akkor jól látható, hogy az ordinációban élesen elkülönülő lengyel területek a túlevelű erdők és részben a lombos erdők övébe esnek, míg a vajdasági, román, bolgár és magyar területek az eredeti erdős-sztyepp zóna részei, csupán a Kárpátok magashegységi

intrazonális hatása vágja ketté az idetartozó területeket. Érdekes, hogy a görögországi terület, amely valójában már a mediterrán keménylombú és babérlombú övébe tartozna, és így jelentősen el kellene térnie a többi területtől, nem határolódik el élesen, aminek oka sajnos az eredeti vegetáció emberi hatásra történő visszaszorulásával magyarázható. A görög terület egyébként nemcsak a vegetációtípus fiziognómiai sajátosságai alapján, hanem florisztikailag is nagyon különböző jelleget mutat (30. ábra). Látszik, hogy az analóg területek a közép-európai flóratereleten (III.) találhatóak, a pannóniai és kelet-balkáni flóratartományban. Csak a görög régió különbözik ezektől lényegesen, ez a V. típusú, mediterrán flóratereletre esik. Ez azonban az elemzett adatokban nem tükröződik. A III.-al jelzett közép-európai flóratereletet mérsékelt klímájú lombos erdők, bükkösök és tölgyesek jellemzik, keleti részein a szárazabb, hűvös telű, kontinentálisabb éghajlatot kedvelő tölgy, luc, erdeifenyő, a nyugatabbi nedvesebb, atlantikus, enyhébb telű klímát jellemző bükk, nyír, fenyérek, tőzegmohalápok jellemzik. A védettebb pannóniai és a kitettebb kelet-balkáni flóratartomány nem válik el élesen, mindössze arról van szó, hogy utóbbiban bizonyos szubmediterrán hatások is észlelhetők. A V.-el jelzett mediterrán flóraterelet viszont az előzőektől alapvetően eltér. Jellemző növényzeti típusa a trópusok és a mérsékelt öv érintkezésénél, széles sávban valósul meg. Mivel az egyik évszakra trópusi a másikra mérsékelt éghajlati viszonyok jellemzőek, így összességében szubtrópusnak tekintjük. Hegyvidékein mérsékelt meleg és nedves körülményeket igénylő babérlombú fák és cserjék, szárazabb sík és dombvidékein keménylombú örökzöldek uralkodnak. A babérlombú erdőket félkemény, pergamenhez hasonló, kis levelű fák alkotják, a keménylombú erdők pedig a mediterrán fenyveseket váltják le alacsonyabb térszíneken. Itt örökzöld tölgyesek vagy fenyőerdők jellemzőek. Mivel ősi kultúrterületről van szó, gyakoriak az erdő helyett megjelenő macchia-cserjések és molyhos levelű lágyszárúak, törpecserjések. Jellemző kultúrnövénye az északabbról hiányzó olajfa, de jellemző a füge, gránátalma, mirtusz, oleander, illatos fűszer- és gyógynövények és orchideák. Ennek megfelelően tehát a 28. ábrán látható florisztikai, a 32. ábrán megfigyelhető vegetációs típus mintázatok, valamint a biogeográfiai térkép (31. ábra) egymást alátámasztva mutatják a változás ugrásszerű jellegét. A CORINE ökológiai régiók térképén (33. ábra) viszont ez a határvonal nem ismerhető fel.

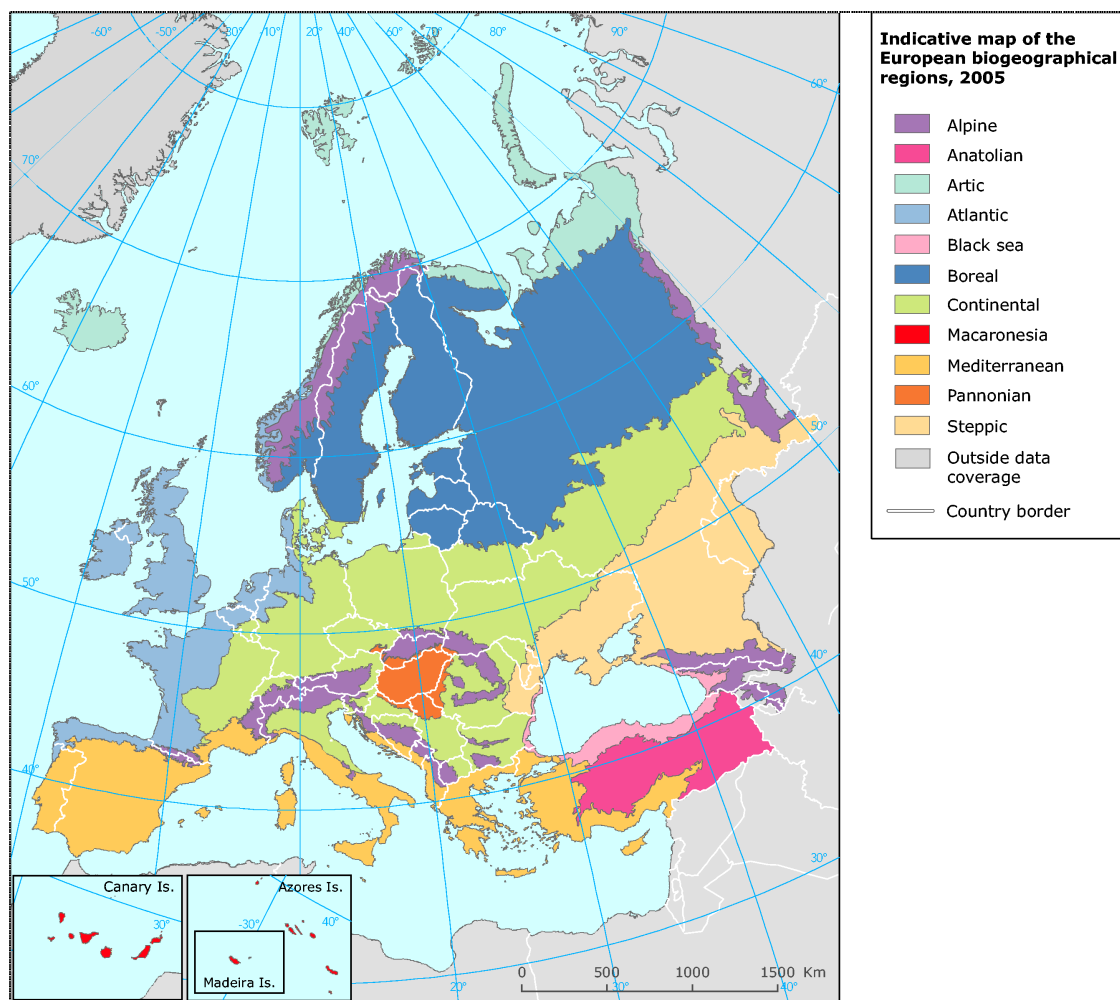


30. ábra Európa flóratérképe (Soó, 1932)

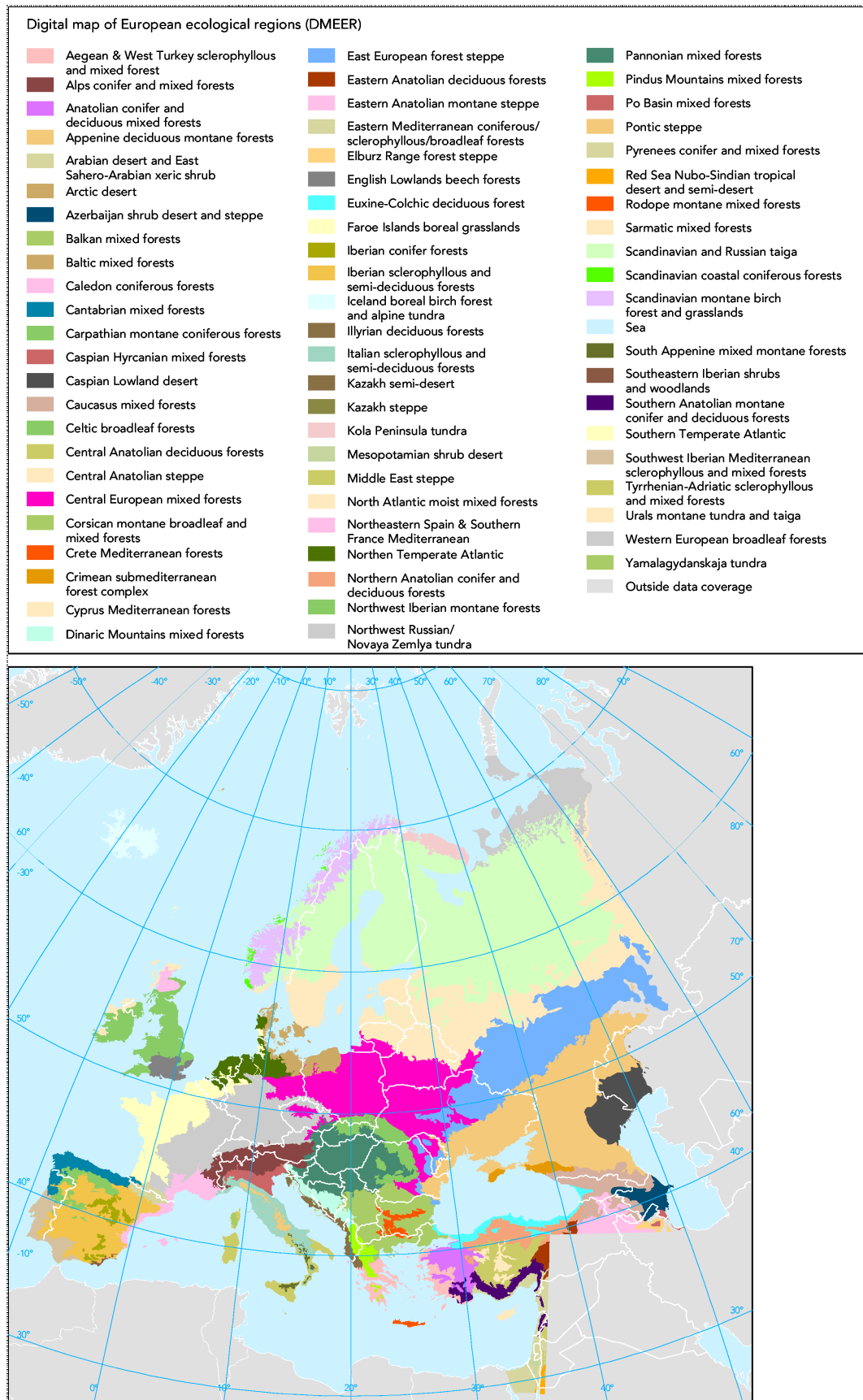
További fontos információhoz jutunk, ha mindezen eredményeinket egy másik osztályozás szerint (EEA), Európa ökológiai régióival (30. ábra) és Európa biogeográfiai régióival (31. ábra) is összevetjük. Ezen térképek alapján megállapítható, hogy hazánk területe ökológiai sajátosságait és biogeográfiai jellegét tekintve is szigetként – Kárpát-medence – helyezkedik el Európa térképén. A nálunk megfigyelhető állapot – kivéve a szerb területet – nem hasonlít az analóg területekhez. Ebből következően, hazánkban egy lehetséges klímaváltozás hatása mindenképpen alapvető átstrukturálódásban, az állapotok gyökeres megváltozásában nyilvánulna meg, amely felhívja a figyelmet a természetvédelmi és általánosabb értelemben biodiverzitás-megőrzési alkalmazkodás jelentőségére, ezen feladatok súlyára és fontosságára. A kapott eredmények természetvédelmi jelentősége akkor válik nyilvánvalóvá, és az eddigieknél is árnyaltabbá,

ha az eddig elemzett potenciális, ill. historikus térképi információkat a valós jelenlegi helyzetképpel vetjük össze a CORINE adatbázis alapján (33. ábra). Az ábra készítésekor, az adatbázisból csak a térképi jelmagyarázatban szereplő természetes élőhelytípusokat válogattuk le, minden más területet fehérén hagyva.

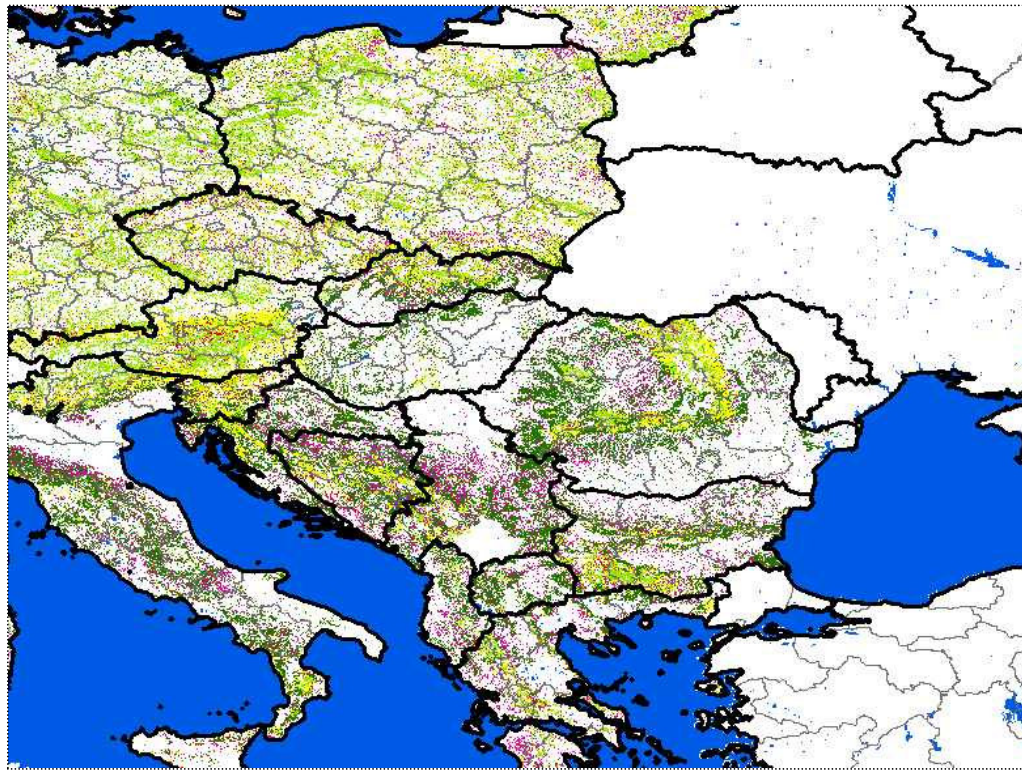
A térképsorozat alapján megállapítható, hogy hazánk természeti értékei már ma is nagyon szűk területre szorultak vissza – sok a fehérén maradt, nem természetes terület –, és veszélyeztetettségük klímaváltozás nélkül is drámai. Megfigyelhető továbbá, hogy az analóg területek természetes vegetációtípusai hasonlóan rossz állapotban vannak. A biodiverzitás megőrzése szempontjából legjobb helyzetben az lengyel analóg területek vannak. Ezek a tények felhívják figyelmünket a gyors és hatékony cselekvés szükségességére és ráirányítják a figyelmet fokozott felelősségünkre.



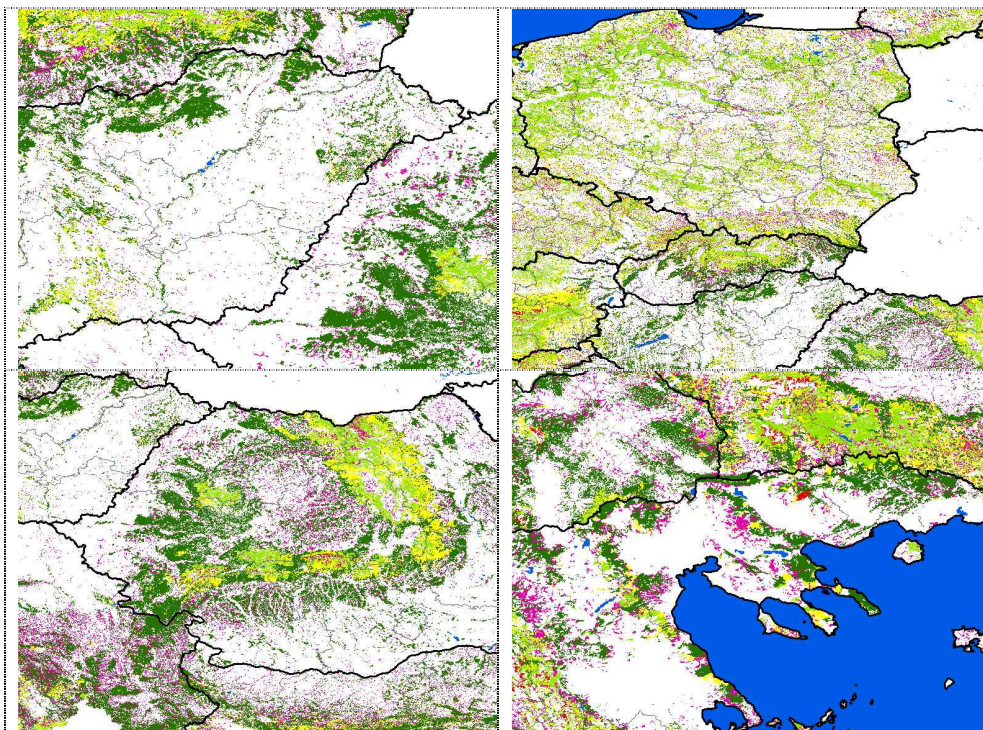
31. ábra Európa biogeográfiai régiói (EEA, Biogeographical regions, 2005)



32. ábra Európa ökológiai régiói (EEA, Digital map of European ecological regions, 2003)



- Telepített erdő
- Lomblevelű erdő
- Tülevelű erdő
- Vegyes erdő
- Természetes gyepek, rétek
- Szklerofil vegetáció



33. ábra Természetes társulástípusok és természetközeli ökoszisztémák előfordulási viszonyai a CORINE 2000 alapján

5. Tézisek

1. A dolgozat célkitűzéseinek megvalósításához kidolgoztuk a földrajzi analógia meghatározásának egy új módszerét, amely a Climex módszer általánosítása egy λ súlyozási változó segítségével. Az új módszer lehetőséget ad arra, hogy a klímaparamétereket eltérő súllyal vegyük figyelembe, így a módszer növény specifikusan, célorientáltan optimalizálható. Bevezettük azt a módszert, mellyel azon területeket tudjuk megkeresni, szintén a Climex módszer segítségével, amelyek földrajzi analógja a vizsgált célterületünk lesz.
2. Megállapítottuk, hogy Debrecen régiójának, a 2011–2040 időszakra jellemző analóg régiói (a hőmérséklet és a csapadék adatokat azonos súllyal figyelembe véve, $\lambda=0,5$) Európa területén nagy biztonsággal azonosíthatók. Ezen régiók a scenáriótól függően Szerbia, Románia és Bulgária meghatározott területeire esnek. (YU003, RO03, RO04, BG11, BG12). A 2041–2070-es időszak európai analógjai már csak az előzőeknél kevésbé erős egyezéssel mutathatók ki. Ezen régiók scenáriótól függően Bulgária és Görögország meghatározott területeire esnek (BG22, GR12). A 2071–2100 időszakhoz tartozó analóg területek nagy megbízhatósággal csak Észak-Afrikában találhatóak.
3. Megállapítottuk, hogy azon területek, amelyek analógja Debrecen régiója, Lengyelországban találhatóak, a 2011–2040-es időszakra az analóg régiók: PL11, PL41, PL43. A 2041–2070-es időszakra nézve pedig a PL61, PL12, PL31 régiók. Megállapítottuk, hogy a különböző scenáriók korai időszakokra vonatkozó predikciói az analógia szempontjából nem térnek el egymástól érdemben, az idő előrehaladtával a scenáriók különbözősége az analóg területekben is megmutatkozik. Az analóg területek az idő előrehaladtával egyre délebbre találhatóak, az eltolódás a közeli évtizedekben 250-450 km közé, az évszázad közepére viszont 450-650 km esik.
4. Az analóg területek földhasználati eloszlását a debreceni régió területével összehasonlítva megállapítottuk, hogy az analóg területek többségében (a nagyon extrém görög területet kivéve) a hazainál sokkal jelentősebb a rét-legelő és az erdőgazdálkodás. Az analóg területek földhasználati típusainak diverzitását a magyarországi területtel összehasonlítva megállapítottuk, hogy az analóg területek

mindegyikében a hazaival közel megegyező vagy magasabb a földhasználati diverzitás. Az analóg területek termesztett növényeit a magyarországgal összehasonlítva megállapítottuk, hogy a búza- és a kukorica termőterülete a 2011–2040-es időszakban nagyobb, majd 2041-től kisebb területarányt mutat, az analógia csökkenő mértéke szerint. Általában megállapítható, hogy a nagyobb területarányú növények termésátlaga kisebb, míg a kisebb területarányú növények termésátlaga nagyobb az analóg régiókban. Az analóg területek földhasználatát és növénytermesztési területeit összehasonlítva, azok csak általános tendenciák megfogalmazására alkalmasak, az egyes növényfajok termesztésére vonatkozó prognózisok felállítása további kutatásokat igényel. Természetesen az eredmények értékeléskor és értelmezésekor nem hagyhatók figyelmen kívül az analóg régiókon kialakult termesztési hagyományok, földrajzi és domborzati viszonyok sem

5. A Debrecen régiójával analóg területek természetes vegetációs viszonyait elemezve megállapítottuk, hogy az analóg régiókban a természetes vegetációval fedett területek aránya mind nagyobb, mint Debrecen régiójában. Az északi analóg területeken a tűlevelű erdők, míg a déli területeken a lombos erdők mutatnak nagyobb területarányt. Csupán a nagyon extrém klímaváltozást jelentő görög terület tartozik a mediterrán kemény és babérlombú erdők övébe. Az ökológia zonalitást figyelembe véve megállapítottuk, hogy az analóg területek, a vajdasági régiótól eltekintve, mind más ökológiai besorolásba esnek, rávilágítva a Kárpát-medence természetes vegetációjának a klímaváltozással szembeni sérülékenységére.

6. Diszkusszió

A földrajzi analógia meghatározásának általunk kidolgozott új módszere, a Climex módszer általánosítása egy λ súlyozási változó segítségével. Megfigyelhető, hogy a különböző súlyozásokat használva az analóg területek kissé eltérnek egymástól, bár az alapvető mintázatok és tendenciák nem változnak meg. Mind a hőmérsékletnél, mind a csapadéknál találunk olyan területeket, amelyek az egyik változó szerint nagy hasonlóságot mutatnak, a másik szerint viszont nem. Az analógiakeresést minden konkrét esetben úgy célszerű elvégezni, hogy meteorológiai paraméterként azokat a tényezőket vonjuk be a vizsgálatba, amelyek a vizsgálat célrendszere szempontjából limitálóak. Ezen belül is meg kell határozni a paraméterek súlyozási prioritásait, amit a súlyozással adhatunk meg. Az új módszer lehetőséget ad a klímaparaméterek különböző súllyal való figyelembevételére, így a módszer célra orientáltan optimalizálható. Ez akkor lehet igazán hatékony, ha előzetesen rendelkezünk valamilyen szakértői információval arról, hogy milyen súlyozási intervallum jöhet egyáltalán szóba.

A földrajzi analógiával kapcsolatban egy új szemléletű elemzési módszert vezettünk be. Ennek alkalmazása során azt a területet keressük meg, amelynek klímaszcenárió szerinti analógja éppen a célterületünk jelenlegi (historikus vagy bázis) állapota. Ennek segítségével fel lehet tární azon területeket, ahol a jelenleg meglévő ökológiai tudásunk és hazai termelési tapasztalataink a jövőben hasznosíthatók. Véleményünk szerint ez az elemzési megközelítés fontos szerepet játszhat az aktív természetvédelem tevékenységeiben, valamint a mezőgazdasági fajtanemesítés és fajtaalkalmazás területén.

Földrajzi analógia módszere több irányba is továbbfejleszhető. Az analógiakeresésbe bevonhatunk más klimatikus paramétereket is, mint a minimum és maximum hőmérsékletet vagy a felhőborítottság, ill. más nem klimatikus paramétereket, például a talajtulajdonság. Minél több paraméter szerint keressük az analógokat, nagy valószínűséggel annál kevesebb megfelelően hasonló területet kapunk. Egy másik továbbfejlesztési lehetőség, természetesen szempontjából a hónapok eltérő súlyozással való figyelembevétele. Illetve lehetséges ezen két fejlesztési irány együttes figyelembevétele, amellyel növény specifikus analóg területeket kereshetünk.

Egy régió agrárterületeinek, területhasználati típusainak és így élőhelyeinek magas diverzitása, különösen változó körülmények között, jelentős szerepet játszhat a kérdéses régió ökológiai működőképességének fenntartásában. Ennek gazdasági jelentősége is nyilvánvaló, hiszen az egymástól eltérő klimatikus igényű növények termesztése, termelési

módok alkalmazása nyilvánvalóan csökkenti annak esélyét, hogy egy kedvezőtlen időjárású év az egész régió gazdasági működését megsemmisítse, míg alacsony diverzitás esetén ez nagyon is valószínű. A magas diverzitás fenntartása tehát, a klímaváltozáshoz való alkalmazkodásnak is fontos eszköze lehet.

A vizsgálatok alapján lényegében scenáriótól függetlenül világossá vált, hogy az évszázad közeli évtizedeiben a változásokhoz való adaptáció déli szomszédaink termelési és földhasználati tapasztalatainak hasznosításával képzelhető el. Ez az időszak inkább csak fajtaváltásokat, diverzebb földhasználati módokat és klímavédelmi intézkedéseket (erdőtelepítés, ésszerűbb vízgazdálkodás, radikális emisszió csökkentés és általános takarékoság) követel meg. A 2041–2070 közötti időszak azonban már alapvetően más jellegű. Ebben az időszakban az alkalmazkodás már radikális faj-, ill. fajtaváltásokat, új termelési módok bevezetését, aktív természetvédelmi beavatkozásokat igényel. A 2071 utáni időszak alkalmazkodási stratégiái a leginkább bizonytalanok, ezen kérdések megválaszolása a jelen dolgozat keretei között már nem képzelhető el. Az Európán kívüli analógiák feltérképezése nem képzelhető el az ismertett módszerek nagyobb adatbázisra való egyszerű alkalmazásával, hanem újabb módszertani fejlesztéseket is igényel, mivel a nagyobb változások esetében az analóg területen tapasztalható klímát teljesen más tényezők határozzák meg.

A földrajzi analógiák elemzése jelen dolgozatban elsősorban olyan eredményeket tárt fel, amelyek a mezőgazdaság és földhasználat, valamint a környezet- és természetvédelem területén hasznosíthatók, és elsősorban ugyanezen területeken mutatnak rá a további kutatások fontosságára is.

A hazai mezőgazdaság vonatkozásában a következtetések részben az alkalmazkodás (adaptation) lehetséges stratégiáihoz vezetnek közelebb, részben feltárják azokat a földhasználati lehetőségeket is, amelyek a megelőzés és klímavédelem (mitigation) céljait szolgálhatják. Az alkalmazkodás útja a földhasználati és növénytermesztési szerkezet analógiák szerinti megváltoztatását, a mezőgazdasági támogatási rendszer átalakítását és a szükséges faj- és fajtaváltásokat jelenti. A klímavédelmi tevékenységet leginkább az ún. klímaerdők telepítése jelentheti az intenzív mezőgazdasági termelésből kivonandó területeken.

A dolgozat eredményei egyértelműen arra utalnak, hogy a természetvédelmi szektor területén alapvető paradigmaváltás vált szükségessé. A jelenleg uralkodó „in situ konzerváció”, vagyis a fennálló ökológiai állapotok jelenlegi élőhelyeken való megőrzése helyett a természetvédelem célja csakis a bioszféra működőképességének, önszabályozó kapacitásának és biológiai sokféleségének megőrzése lehet. Ennek megvalósítása a

károsító antropogén hatások megakadályozásával és az ökológiai rendszerek természetes alkalmazkodási folyamatainak aktív segítségével lehetséges. Magyarország élővilág-védelmi helyzete ebben a vonatkozásban jelentősen eltér Európa többi országának helyzetétől. Ennek következtében az ott kidolgozott megoldások és stratégiák nem feltétlenül importálhatók könnyen. A mi esetünkben a természetes menekülési utak hiánya jelenti a fő problémát. A probléma megoldásában az „eco-engineering” jellegű aktív természetvédelmi munka nem kerülhető el. Ez a munka alapvetően két részfeladatra bontható:

- Hazánk megváltozó (tehát jövőbeli) éghajlatának megfelelő (ahhoz adaptált) természetes és természetközeli élőlényközösségek létrejöttének elősegítése,
- a jelenleg hazánkban élő és annak megváltozó ökológiai feltételeihez alkalmazkodni képtelen élőlény-együttesek menekülési útvonalának biztosítása.

A meglévő természetvédelmi területeinken elsődleges cél a klímától független károsító hatások (zavarás, szennyezés, fragmentáció) mainál hatékonyabb kiküszöbölése, de a megváltozó éghajlat hatásaira bekövetkező szerkezeti átstrukturálódásokat és az új fajok spontán megtelepedését nem szabad akadályozni. Ez azonban önmagában nagyon kevés. Elengedhetetlenül szükséges, hogy más művelési ágakból kivont területeken aktív telepítésekkel segítsük elő a mi jövőbeli klímánkhoz más területen már adaptálódott természetközeli társulások kialakulását. Ehhez a földrajzi analógia módszere úgy nyújthat segítséget, hogy megkereshetjük hazánk jövőbeli klímájának jelenlegi analógiáit és ezen területek flóráját és faunáját, valamint természetes vegetációtípusait és talaját kell mintaként és propagulum-forrásként tekintetbe vennünk. (Ezek a területek többnyire hazánktól délre a Balkán-félszigeten található). A másik feladat az alkalmazkodásra képtelen fajok megőrzése, ami szintén a földrajzi analógián alapuló területkeresés és transzlokáció segítségével oldható meg, de itt azon területek megkeresése a cél, amelynek jövőbeli klímája éppen hazánk jelenlegi, ill. historikus éghajlata. (Nagyrészt lengyelországi területek jöhetnek elsősorban szóba.) Ezen aktív természetvédelmi beavatkozások megvalósítása csakis a természetvédelmi hatóságok nemzetközi együttműködésével valósítható meg, amelyben a diplomáciai és nemzetközi jogi eszközök alkalmazása nélkülözhetetlen. A dolgozatban elért eredmények rámutatnak arra is, hogy a földrajzi analógiák módszerét probléma-specifikusan kell alkalmazni, a felvetett kérdésekhez adekvát meteorológiai paraméterekre, és azok adekvát súlyozása által.

Az aktív környezet- és természetvédelmi beavatkozások, valamint a tudományos kutatómunka kiszélesítése és elmélyítése egyaránt felvet financiális kérdéseket is. Ezek kapcsán különböző emberi tevékenységek és szektorok látszólagos érdekei ütközhetnek, ami szükségessé teszi a hatások és következmények pénzbeli kifejezését. Erre az ökológiai közgazdaságtan eszközei nyújtanak lehetőséget. A bioszféra-szolgáltatások idő- és területegységre eső pénzbeli értékét többféle megközelítéssel lehet becsülni, ill. közelíteni. Ebből a szempontból kiemelendő Constanza és munkatársai 1997-ben a Nature-ben megjelent cikke, amelynek az óta számos továbbfejlesztője és bírálója is akadt. A természeti tőke és a bioszféra-szolgáltatások pénzbeli értékelését ellenzők leginkább attól félnek, hogy ez az értékelési mód azt sugallja, mintha a bioszféra megvásárolható, vagy funkciói pénzzel kiválthatók lennének. Természetesen nem erről van szó, csupán arról, hogy a pénzt, mint általános értékmérőt és „mértékegységet” arra használjuk, hogy a különböző élőhely-típusokat és azok szolgáltatásainak jelentőségét, hatásait összehasonlításra alkalmas módon kezelhetővé tesszük. Ez az értékelési rendszer alapját képezheti a hazai agrártámogatási rendszer klíma- és természetvédelmi szempontú átdolgozásának, valamint új lehetőségeket nyit a gazdaság szabályozásához is. A széndioxid emisszió-kereskedelem mintájára bevezethetők olyan piacbarát megoldások, amelyek a klímaváltozással kapcsolatos mitigációban és az adaptációban is fontos szerepet játszhatnának. A klímavédelmi célú erdőtelepítések, a természetvédelmi célú transzlokációs projektek, a földterületeknek az intenzív művelésből való kivonása, vagy éppen az ökológiai feltételeknek megfelelő mezőgazdaság kialakítása ezen eszközök segítségével lendíthető fel. A Nemzeti Éghajlatváltozási Stratégia természetvédelmi részének korrekt költség-haszon elemzése más módon nem is képzelhető el, e nélkül viszont a Stratégia megvalósítása gyenge lábakon állna. Mindezekhez kiváló módszertani segítséget nyújthat a földrajzi analógiák módszere.

7. Fogalmak és rövidítések

Analog terület: *Olyan terület, melynek jelenlegi klímája megegyezik a célterületünk jövőbeli klímájával; vagy olyan terület, amelynek jövőbeli klímája megegyezik a célterületünk jelenlegi klímájával.*

Climex módszer: *Az a módszer, amellyel megkereshetjük az analog területeket.*

Corine: *Felszínborítottsági adatbázis*

CRU: *Az 1961–1990 időszak klímaadatbázis*

Diverzitás: *Sokféleség*

EEA: *Európai Környezetvédelmi Ügynökség*

EUROSTAT: *Az Európai Unió statisztikai hivatala*

Földrajzi analógia: *Különböző területek hasonlóságán alapuló, az azokat összekapcsoló módszertan*

GCM: *Globáli Cirkulációs Modell*

GFDL: *Geophysical Fluid Dynamics Laboratory*

IPCC: *Intergovernmental Panel on Climate Change/ Éghajlat-változási Kormányközi Testület*

Klímaszcenárió: *A jövő egy lehetséges klímáját leíró rendszer, nem előrejelzés*

KSH: *Központi Statisztikai Hivatal*

Land use: *Földhasználat*

NMDS: *Euklideszi távolságon alapuló nem metrikus skálázás, dimenzióredukció*

NUTS: *A EUROSTAT területi statisztikai egységei*

Rang Módszer: *Földrajzilag analóg területek meghatározására használt módszer*

Szcenárió: *A jövő egy lehetséges képét leíró rendszer, nem előrejelzés*

TYN SC 1.0: *Klímaszcenáriók adatbázis*

UKTR: *UK Met Office tranziens klímaszcenárióját tartalmazó adatbázis*

VAHAVA: *Változás–Hatás–Válaszadás, projekt a klímaváltozás következtében felmerülő környezeti problémák hazai hatásainak felmérése*

Vegetációs periódus: *A növénytermesztés számára megfelelő időintervallum*

WMO: *World Meteorological Organisation*

λ : *Földrajzi analógia meghatározásánál használt mérőszám, értékével megfelelő arányban vehetjük figyelembe a hőmérsékletszerinti és a csapadék szerinti hasonlóságot*

8. Köszönetnyilvánítás

Köszönettel tartozom mindazoknak, akik a dolgozat elkészítésében és az azt megelőző kutatómunkában segítségemre voltak.

Első sorban tisztelettel szeretném megköszönni Harnos Zsolt akadémikus úrnak, hogy diplomám megszerzése után szárnyai alá vett, kutatómunkámat és oktatási munkámat figyelemmel kísérte, pártfogolta. Messzemenő erkölcsi és szakmai támogatást nyújtott.

Köszönettel tartozom Dr. Gaál Mártának és Dr. Hufnagel Leventének, konzulenseimnek, hogy szakmai segítségükkel és támogatásukkal sikerült elkészítenem dolgozatomat.

Köszönetemet fejezem ki társszerzőimnek, Erdélyi Évának, Dr. Ladányi Mártának, Révész Andrásnak és Dr. Senteleki Károlynak, akikkel a kutatómunkám során együtt dolgoztam.

Külön köszönet illeti a Corvinus Egyetem, Kertészettudományi Kar Matematika és Informatika Tanszékének minden munkatársát, hogy a dolgozat elkészítéséhez erkölcsi támogatást nyújtottak és minden segítséget megadtak.

Nem utolsó sorban szeretném megköszönni családomnak, hogy idáig eljuthattam.

9. Irodalomjegyzék

- [1] Adams R M., Brian H., Lenhart S., Leary N. (1998): Effects of global climate change on agriculture: an interpretative review. *Climate Research* (11) 19-30. p.
- [2] Aittoniemi K. (1992): Influences of climate change in the Finnish energy economy. *Nordisk Hydrologisk Konferens 1992 (NHK-921, NH-rapport nr 30. Nordisk Hydrologisk Program, Oslo, 75-84. p.*
- [3] Alcamo J., Moreno J.M., Nováky B., Bindi M., Corobov R., Devoy R.J.N., Giannakopoulos C., Martin E., Olesen J.E., Shvidenko A. (2007): Europe. *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* In: M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 541-580. p.
- [4] Arnell N.W., Cannell M.G.R., Hulme M., Kovats R.S., Mitchell J.F.B., Nichols R.J., Parry M.L., Livermore M.T.J., White A. (2002): The consequences of CO₂ stabilisation for the impacts of climate change. *Climate Change* (53) 413-446. p.
- [5] Audsley E., Pearn K.R., Simota C., Cojocaru G., Koutsidou E., Rounsevell M.D.A., Trnka M., Alexandrov V. (2006): What can scenario modelling tell us about future European scale agricultural land use, and what not. *Environmental Science* (9) 148-162. p.
- [6] Bacsi Z., Thornton P. K., Dent J. B. (1991): Impacts of future climate change on Hungarian crop production: An application of crop growth simulation models. *Agricultural Systems* (37) 435-450. p.
- [7] Barrow E.M., Lee R.J. (2003): *Climate Change and Environmental Assessment - Part 2: Climate Change Guidance for Environmental Assessments.* The Canadian Institute for Climate Studies, Victoria, British Columbia. 111 p.

- [8] Bartholy J., Dunkel Z. (2006): A növénykultúrák fejlődést befolyásoló éghajlati paraméterek tendencia elemzése KLÍMAVÁLTOZÁS KOCKÁZATA: KIHÍVÁSOK ÉS TEENDŐK. MTA Budapest – 2006. október 20.
- [9] Bartholy J., Pongrácz R., Gelybó, Gy. (2007): Regional climate change expected in Hungary for 2071-2100. *Applied Ecology and Environmental Research* 5(1), 1-17 p.
- [10] Beniston M., Stephenson D.B., Christensen O.B., Ferro C.A.T., Frei C., Goyette S., Halsnaes K., Holt T., Jylhä K., Koffi B., Palutikof J., Schöll R., Semmler T., Woth K. (2007): Future extreme events in European climate: an exploration of regional climate model projections. *Climatic Change* (81) 71-95. p.
- [11] Bergthorsson P., Bjornsson H., Dyrmondsson S., Guamundsson B., Helgadóttir A., Jonmundsson J. V. (1987): The effect of climatic variations on agriculture in Iceland. *The impact of climatic variations on agriculture, Vol 1. Assessments In cool temperate and cold regions.* Reidel, Dordrecht, 381-509. p.
- [12] Boisvenue C., Running S.W. (2006): Impacts of climate change on natural forest productivity-evidence since the middle of the 20th century. *Global Change Biology*, (12), 862-882. p.
- [13] Britz W. (1997): Regionalization of EU-data in the CAPRI Project, CAPRI Working Paper 97-02, University of Bonn
- [14] Carter T.R., Parry M.L., Harasawa H., Nishioka S. (1994): IPCC Technical Guidelines for Assessing Climate Change Impacts and Adaptations. Department of Geography, University College, London.
- [15] Carter T.R., Hulme M., Lal M. (1999): Guidelines on the Use of Scenario Data for Climate Impact and Adaptation Assessment. Intergovernmental Panel on Climate Change, Version 1. 69 p.

- [16] Chen C.C., McCarl B.A., Schimmelpfennig D. (2000): Yield Variability as Influenced by Climate: A Statistical Investigation, report under USGCRP Assessment <http://ageco.tamu.edu/faculty/mccarl/climchg.html> .
- [17] Colebrook E., Wall R. (2004): Ectoparasites of livestock in Europe and theMediterranean region. *Vet. Parasitol.* (120) 251-274. p.
- [18] Costanza R., d'Arge R., de Groot R., Farber S., Grasso M., Hannon B., Limburg K., Naeem S., V. O'Neill R., Paruelo J., Raskin R. G., Sutton P., van den Belt M. (1997): The value of the world's ecosystem services and natural capital, *Nature* (387) 253 – 260. p.
- [19] Darwin R.F., Tsigas M., Lewandrowski J., Ranases A. (1995): World Agriculture and Climate Change - Economic Adaptations, U.S. Department of Agriculture, Washington, D.C., 703. p.
- [20] Darwin R.F. (1999): A FARMer's View of the Ricardian Approach to Measuring Agricultural Effects of Climatic Change, *Climatic Change*, 41 (3-4), 371-411. p.
- [21] Darwin R.F., Tol R.S.J. (2001): Estimates of the Economic Effects of Sea Level Rise, *Environmental and Resource Economics*, (19) 113-129. p.
- [22] Duckworth J. C., Bunce R. G. H., Malloch A. J. C. (2000): Modelling the potential effects of climate change on calcareous grasslands in Atlantic Europe *Journal of Biogeography* 27 (2), 347–358. p.
- [23] De Pauw E. (2002): An agroecological exploration of the Arabian Peninsula. ICARDA, Aleppo, Syria, 77 p.
- [24] Duchene E., Schneider C. (2005): Grapevine and climatic changes: a glance at the situation in Alsace. *Agron. Sust. Dev.*, 25, 93-99. p.
- [25] EEA: Impacts of Europe's changing climate (2004): EEA Report No 2/2004

- [26] Ewert F., Rounsevell M.D.A., Reginster I., Metzger M.J., Leemans R., (2005): Future scenarios of European agricultural land use I. Estimating changes in crop productivity. *Agr. Ecosyst. Environ.*, (107) 101-116. p.
- [27] Fronzek S., Carter T. R., Heikkinen R. (2007): Global bioclimatic analogue analysis ALARM milestone report work package 3.2.
- [28] Gould E.A., Higgs S., Buckley A., Gritsun T.S. (2006): Potential arbovirus emergence and implications for the United Kingdom. *Emerg. Infect. Dis.*, 12, 549-555. p.
- [29] Hallegatte S., Hourcade J., Ambrosi P. (2007): Using climate analogues for assessing climate change economic impacts in urban areas. *Climate Change* vol 82. 47-60. p.
- [30] Hammer Ř., Harper D.A.T., Ryan P.D. (2001): PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica* 4(1): 9 p. http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm
- [31] Harnos N. (2003): A klímaváltozás hatásának szimulációs vizsgálata az őszi búza termelésére. *AGRO-21 füzetek* vol 31. 56-73 p.
- [32] Harnos Zs., Bussay A., Harnos N. (2000): Modelling climate change impacts on wheat and potato in Hungary (Ch. 19.) In: *Climate change, climatic variability and Agriculture in Europe* (Eds.) Downing, T.E., Harrison, P.A., Butterfield, R.E., Lonsdale, K.G., Environmental Change Unit. University of Oxford 2000 349-367 p.
- [33] Hildén M., Lehtonen H., Bärlund I., Hakala K., Kaukoranta T., Tattari S., (2005): The Practice and Process of Adaptation in Finnish Agriculture. *FINADAPT Working Paper 5*, Finnish Environment Institute Mimeographs 335, Helsinki, 28 p.

- [34] Horváth L., Gaál M. (2006): Spatial analogies in service of climate change analysis, 6th Annual Meeting of the EMS / 6th ECAC 4 - 8 September 2006, Ljubljana, Slovenia, abstract CD-ROM ISSN 1812-7053
- [35] Horváth L. (2007): Földrajzi analógia meghatározásának néhány módszere és alkalmazási lehetősége KLIMA 21 Füzetek 54-62 p.
- [36] Horváth L., Gaál M., Solymosi N. (2007): Use of the spatial analogy to understand the effects of climate change, in Environmental And Social Issues Of The Southeast Pannonian Region: Multidisciplinary Approaches, The Scientific World, 2007
- [37] Huszár T., Mika J., Lóczy D., Molnár K., Kertész Á. (1999): Climate change and soil moisture: A case study Phys. Chem Earth vol 24, No. 10. 905-912. p.
- [38] Iglesias A., Minguez M. I. (1997): Modelling crop-climate interactions in Spain: Vulnerabilizy and adaptation of different agricultural systems to climate change, Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, vol 1 273-288 p.
- [39] IPCC (2007): The Fourth Assessment Report "Climate Change 2007" Cambridge University Press 2008 ISBN-13:9780521705974
- [40] Izsák J. (2001): Bevezetés a biológiai diverzitás mérésének módszertanába. Scientia, Budapest
- [41] Jones G.V., Davis R. (2000): Climate influences on Grapewine phenology, grape composition, and wine production and quality for Bordeaux, France. Am. J. Enol. Vitic., 51, 249-261. p.
- [42] Jones P.D., Lister D.H., Jaggard K.W., J.D. Pidgeon (2003): Future climate impact on the productivity of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) in Europe. Climatic Change, 58, 93-108. p.

- [43] Juhász-Nagy P. (1993): Az eltűnő sokféleség. A bioszféra-kutatás egy központi kérdése. Scientia Kiadó, Budapest.
- [44] Kettunen L. Mukula J, Pohjonen V, Rantanen O., Varjo U (1987): The effect of climatic variations on agriculture in Finland. In: Parry ML, Carter TR, Konijn NT (eds) The impact of climatic variations on agriculture, Vol 1, Assessments in cool temperate and cold regions. Reidel, Dordrecht, 511-614. p.
- [45] Kohlmaier G.H., Hager Ch., Nadler A., Würth G., Lüdeke M.K.B (1995): Global carbondynamics os higher latitude forests during an anticipated climate change: Ecophysiological versus biome-migration view, Water, Air and Soil Pollution vol 82 455-464 p.
- [46] Können G.P. (2001): Climate scenarioss for impact studies in the Netherlands Royal Netherlands Meteorological Institute (KNMI), De Bilt, Netherlands <http://www.knmi.nl/onderzk/klimscen/scenarios/Scenarios2001.pdf>
- [47] Kunkel K.E., Changnon S.A., Croley T.E., Quinn F.H. (1998): Transposed climates for study of water supply availability on the Laurentian Great Lakes. Climate Change 38, 387-404. p.
- [48] Láng I., Csete L., Jolánkai M. (eds) (2007): VAHAVA A globális klímaváltozás: hazai hatások és válaszok, A VAHAHA jelentés. Szaktudás Kiadó Ház, Budapest, 2007
- [49] Láng I. (1984) – In: Gyúró Ferenc (szerk) (1986): Gyümölcsstermesztés II., Általános és részletes gyümölcsstermesztés, KÉE, Budapest (egyetemi jegyzet)
- [50] Leemans R., Kreileman E., Zuidema G., Alcamo J., Berk M., van den Born G.J., den Elzen M., Hootsmans R., Janssen M., Schaeffer M., Toet S., de Vries B. (1998): The IMAGE User Support System: Global Change Scenarios from IMAGE 2.1. CD-ROM publication 4815006, National Institute for Public Health and the Environment, Bilthoven.

- [51] Maynard R L., Expert Group on Climate Change and Health in the UK (2001): Health effects of climate change in the UK. Department of Health 2001
- [52] McCarl B. A., Schneider U. A. (2001): Greenhouse Gas Mitigation in U.S. Agriculture and Forestry Science Vol. 294. no. 5551, 2481–2482 p.
- [53] McKenney M.S., Easterling W.E., Rosenberg N.J. (1991): Simulation of crop productivity and response to climate change in the year 2030: the role of future technologies, adjustment and adaptation, Agricultural and Forest Meteorology vol 59, 103-127. p.
- [54] Meehl G.A. , Tebaldi C. (2004): More intense, more frequent, and longer lasting heatwaves in the 21st Century. Science, 305, 994-997. p.
- [55] van Meijl H., van Rheenen T., Tabeau A. , Eickhout B. (2006): The impact of different policy environments on agricultural land use in Europe Agriculture, Ecosystems & Environment Volume 114, Issue 1, 21-38. p.
- [56] Mellor P.S. , Wittmann E.J. (2002): Bluetongue virus in the Mediterranean Basin 1998-2001. Vet. J., 164, 20-37. p.
- [57] Mendelsohn R.O., Neumann J. (eds). (1994): The Impacts of Climate Change on the U.S. Economy. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom.
- [58] Mendelsohn R.O., Nordhaus W.D., Shaw D. (1996): Climate Impacts of Aggregate Farm Value: Accounting for Adaptation, Agricultural and Forest Meteorology, 80, 55-66. p.
- [59] Mendelsohn R.O., Nordhaus W., Shaw D. (1994): The impact of global warming on agriculture: A Ricardian analysis. American Economic Review 84(4):753-771. p.

- [60] Mendelsohn R.O., Nordhaus W.D., Shaw D. (1999): The Impact of Climate Variation on U.S. Agriculture, In *The Impact of Climate Change on the United States Economy*, R.O. Mendelsohn & J.E. Neumann, eds., Cambridge University Press, Cambridge, 55-74. p.
- [61] Menzel A., Sparks T.H., Estrella N., Koch E., Aasa A., Ahas R., Alm-Kübler K., Bissoli P., Braslavská O., Briede A., Chmielewski F.M., Crepinsek Z., Curnel Y., Dalh A., Defila C., Donnelly A., Filella Y., Jateczak K., Mage F., A. Mestre, Nordli O., Penuelas J., Pirinen P., Remisová V., Scheifinger H., Striz M., Susnik A., VanVliet A., Wielgolaski F.-E., Zach S., Zust A., (2006): European phenological response to climate change matches the warming pattern. *Glob. Change Biology*, 12, 1969-1976. p.
- [62] Metzger M.J., Rounsevell M.D.A., Acosta-Michlik L., Leemans R., Schröter D. (2006): The vulnerability of ecosystem services to land use change. *Agr. Ecosyst. Environ.*, 114, 69–85. p.
- [63] Molnár K., Mika J. (1997): Climate as a changing component of landscape: recent evidence and projections for Hungary *Z. Geomorph* 185-195. p.
- [64] Molnár K., Mika J., Kertész Á., Lóczy D. (2002): A földrajzi analógia alkalmazhatósága a feltételezett klímaváltozás hatásainak vizsgálatára OTKA (T022463) 1997-2001 szakmai zárójelentés.
- [65] Mitchell T.D., Carter T.R., Jones P.D., Hulme M., New M.. (2003): A comprehensive set of high-resolution grids of monthly climate for Europe and the globe: the observed record (1901-2000) and 16 scenarios (2001-2100). *Journal of Climate*
- [66] Mitchell T.D, Carter T.R, Jones P.D., Hulme M., New M. (2004): A comprehensive set of high-resolution grids of monthly climate for Europe and the globe: the observed record (1901-2000) and 16 scenarios (2001-2100). Tyndall Centre Working Paper 55, University of East Anglia, Norwich, UK

- [67] Mitchell T.D., Jones P.D. (2005): An improved method of constructing a database of monthly climate observations and associated high-resolution grids. *Int. J. Climatol.* 25: 693–712
- [68] Nabuurs G.J., Shelhaus M.J., Mohren G.M.J., Field C.B. (2003): Temporal evolution of the European forest sector carbon sink from 1950 to 1999. *Glob. Change Biol.*, 9, 152-160. p.
- [69] New M., Hulme M., Jones P.D. (1999): Representing twentieth century space-time climate variability. Part 1: development of a 1961-90 mean monthly terrestrial climatology. *Journal of Climate* 12, 829-856. p.
- [70] 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 p.
- [71] Olesen J.E., Bindi M. (2002): Consequences of climate change for European agricultural productivity, land use and policy. *Eur. J. Agron.*, 16, 239-262. p.
- [72] Olesen J.E., M. Bindi (2004): Agricultural impacts and adaptations to climate change in Europe. *Farm Policy Journal*, 1, 36-46. p.
- [73] Olesen J.E., Carter T.R., Díaz-Ambrona C.H., Fronzek S., Heidmann T., Hickler T., Holt T., Mínguez M.I., Morales P., Palutikof J., Quemada M., Ruiz-Ramos M, Rubaek G., Sau F., Smith B., Sykes M. (2007): Uncertainties in projected impacts of climate change on European agriculture and terrestrial ecosystems based on scenarios from regional climate models. *Climatic Change*, 81, 123-143. p.
- [74] Parry M.L., Carter T.R. (1985): The effect of climatic variations on agricultural risk, *Climatic Change*, vol 7, 95-110 p.
- [75] Parry M.L., Carter T.R., Konijn N.T. (Eds). (1988a): *The Impact of Climatic Variations on Agriculture. Volume 1. Assessments in Cool Temperate and Cold Regions.* Kluwer, Dordrecht, The Netherlands. 876 p.

- [76] Parry M.L., Carter T.R., Konijn N.T. (Eds). (1988b): The Impact of Climatic Variations on Agriculture. Volume 2. Assessments in Semi-Arid Regions. Kluwer, Dordrecht, The Netherlands.
- [77] Pásztor E., Oborny B. (2007): Ökológia, Nemzeti Tankönyvkiadó.
- [78] Potter J., Parry M. L., Carter T R. (1991): The potential effects of climatic change on agricultural insect pests, *Agricultural and Forest Meteorology*, vol 57 221-240 p.
- [79] Prentice I. C., Cramer W., Harrison S. P., Leemans R., Monserud R. A., Solomon A. M. (1992): A global biome model based on plant physiology and dominance, soil properties and climate. *J. Biogeogr* 19: 117-134 p.
- [80] Réthly A., Lassovszky K. (1944): Csillagászati és meteorológiai lexikon. Franklin kiadó, Budapest
- [81] Rounsevell M.D.A., Reginster I., Araújo M.B., Carter T.R., Dendoncker N., Ewert F., House J.I., Kankaanpää S., Leemans R., Metzger M.J., Schmidt C., Smith P., Tuck G. (2006): A coherent set of future land use change scenarios for Europe. *Agr. Ecosyst. Environ.*, 114, 57-68. p.
- [82] Schär C., Vidale P.L., Lüthi D., Frei C., Häberli C., Liniger M.A., Appenzeller C. (2004): The role of increasing temperature variability in European summer heatwaves. *Nature*, 427, 332-336. p.
- [83] Schimmelpfennig D., Lewandrowski J., Reilly J., Tsigas M., Parry I. (1996): Agricultural Adaptation to Climate Change Issues of Longrun Sustainability Agricultural Adaptation to Climate Change / AER-740 68 p.
- [84] Schröter D., Cramer W., Leemans R., Prentice I.C., Araújo M.B., Arnell N.W., Bondeau A., Bugmann H., Carter T.R., Gracia C.A., de la Vega-Leinert A.C., Erhard M., Ewert F., Glendining M., House J.I., Kankaanpää S., Klein R.J.T., Lavorell S., Linder M., Metzger M.J., Meyer J., Mitchell T.D., Reginster I., Rounsevell M., Sabaté S., Sitch S., Smith B., Smith J., Smith P., Sykes M.T.,

- Thonicke K. , Thuiller W., Tuck G., Zaehle S., Zierl B. (2005): ATEAM Ecosystem service supply and vulnerability to global change in Europe. *Science*, 310, 1333 -1337 p.
- [85] Shafer S.L., Bartlein P.J. , Thompson R.S. (2001): Potential changes in the distribution of Western North America tree and shrub taxa under climate scenarios, *Ecosystem* vol 4, 200-215 p.
- [86] Shvidenko A., Nilsson S. (2003): A synthesis of the impact of Russian forests on the global carbon budget for 1961-1998. *Tellus*, 391-415. p.
- [87] Szenteleki K. (2007): A Környezet-Kockázat- Társadalom (KLIMAKKT) Klímakutatás adatbázis kezelő rendszerei, *Klíma21 füzetek* vol51. 89-115 p.
- [88] Solyosi N., Kern, A. Horváth L., Maróti-Agócs Á., Erdélyi K. (2008): TETYN: An easy to use tool for extracting climatic parameters from Tyndall datasets, *Environmental Modelling and Software* 948-949 p.
- [89] Soó R. (1932): A magyar flóra elemzése. Flóraelemek, endemizmusok, reliktumok. Tihany
- [90] Sutherst R.W. ,Maywald G.F. (1998): CLIMEX - A bio-geographical approach to entomology. In Zalucki, M.P., Drew, R.A.I. & White, G.G. (Eds) *Pest Management Future Challenges. Proc. 6th Australasian Applied Entomological Research Conference University of Queensland, Brisbane.* 344-345 p.
- [91] Tóth A. (2003): Előrejelzések és jövőképek. Szöveggyűjtemény <http://mek.oszk.hu/04600/04673>
- [92] Tuck G., Margaret J. G., Smith P., Housec J. I., Wattenbach M. (2006): The potential distribution of bioenergy crops in Europe under present and future climate *Biomass and Bioenergy* Volume 30, Issue 3, 183-197 p.

- [93] Varga-Haszonits Z., Varga Z., Lantos Zs., Vámos O., Schmidt R. (2000): Magyarország éghajlati erőforrásainak agroklimatológiai elemzése, Lóripriint, Mosonmagyaróvár.
- [94] Varga-Haszonits Z., Varga Z., Lantos ZS., Enzsölné Gerencsér E. (2006): Az éghajlati változékonyság és az agroökoszisztémák, Nyugat-Magyarországi Egyetem, Mosonmagyaróvár.
- [95] Viner D., Sayer M., Uyarra M., Hodgson N. (2006): Climate Change and the European Countryside: Impacts on Land Management and Response Strategies. Report Prepared for the Country Land and Business Association., UK. Publ., CLA, 180 p.
- [96] Weng E., Zhou G. (2005): Modelling distribution changes of vegetation in China under future climate change, Environmental Modelling and Assessement, vol 11, 45-58. p.
- [97] Whetton P.H., Katzfey J.J., Nguyen K., McGregor J.L., Page C.M., Eliot T.I., Hennessy K.J. (1997): Fine Resolution Climate Change Scenarios for New South Wales. Part 2: Climatic Variability. Climate Impact Group, CSIRO Sivision of Atmospheric Reserach, Apendale, Victoria, Australia, 51 p.
- [98] Wigley T.M.L., Jones P.D., Briffa K.R, Smith G. (1990): Obtaining sub-grid-scale information from coarse resolution General Circulation Model output. Journal of Geophysical Research, 95, 1943-1954. p.
- [99] Wilson E. O., Bossert W. H. (1981): Bevezetés a populációbiológiába, Gondolat, Budapest.
- [100] Wittmann E.J., Baylis M. (2000): Climate change: Effects on Culicoides-transmitted viruses and implications for the UK. Vet. J., 160, 107-117 p.
- [101] Zhang S., Foufoula-Georgiou E. (1997): Subgrid-scale rainfall variability and its effects on atmospheric and surface variable predictions. Journal of Geophysical Research, 102, D16, 19559- 19573. p.

- [102] Young A.M., Blackshaw B., Maywald G.F. and Sutherst R.W. (1999):
CLIMEX for Windows 1.1. Tutorials. CSIRO Melbourne 49 p.

10. Mellékletek

1. Havi átlaghőmérséklet adatok (°C/hó)

	jan	feb	már	ápr	máj	jún	júl	aug	szept	okt	nov	dec
1961-1990 Debrecen	-2,6	0,2	5,1	10,7	15,8	18,7	20,3	19,6	15,8	10,3	4,5	-0,2
1961-1990 Győr	-1,1	1,3	5,8	10,8	15,5	18,6	20,3	19,9	16,2	10,9	5,1	0,7
1961-1990 Budapest	-1,6	1,1	5,6	11,1	15,9	19,0	20,8	20,2	16,4	11,0	4,8	0,4
1961-1990 Pécs	-1,4	1,3	5,6	10,7	15,5	18,6	20,5	20,1	16,6	11,3	5,1	0,6
1961-1990 Szeged	-1,8	0,9	5,6	11,1	16,2	19,2	20,8	20,2	16,5	11,0	5,1	0,6
1961-1990 Miskolc	-3,3	-0,5	4,4	10,3	15,2	18,3	19,9	19,1	15,2	9,4	3,7	-1,1
2011-2040 a1 Debrecen	0,1	1,0	6,1	11,7	16,9	20,3	22,9	22,8	18,1	12,2	6,8	1,1
2041-2070 a1 Debrecen	0,9	2,7	7,1	13,6	18,5	23,0	25,9	27,5	21,4	14,2	9,2	3,5
2011-2040 a2 Debrecen	-0,4	1,2	6,2	11,8	16,9	20,1	22,6	22,5	18,0	12,0	6,6	1,0
2041-2070 a2 Debrecen	-0,5	2,8	6,8	13,4	18,1	22,0	24,6	25,7	20,5	13,1	8,2	2,7
2011-2040 b1 Debrecen	0,2	0,7	5,5	11,5	16,8	20,1	22,3	22,0	17,6	11,8	6,4	1,2
2041-2070 b1 Debrecen	-0,1	1,3	5,2	12,6	17,4	21,6	23,4	24,0	19,0	12,3	7,5	2,6
2011-2040 b2 Debrecen	0,0	1,0	6,5	12,2	17,2	20,5	23,1	23,4	18,7	12,4	7,0	1,1
2041-2070 b2 Debrecen	-0,3	1,9	6,9	13,7	18,2	22,3	24,8	26,4	20,9	13,4	8,6	2,5
UKTR Debrecen	1,3	4,3	5,6	12,4	16,1	19,6	21,3	21,6	18,7	12,8	6,9	-0,8
GFDL5564 Debrecen	0,3	0,7	7,7	13,2	17,0	20,3	21,9	21,3	20,4	12,8	7,8	1,8
GFDL2534 Debrecen	-0,8	-0,6	6,4	11,4	15,7	19,7	21,7	20,8	17,9	12,5	4,5	-1,1
2011-2040 a1 Győr	0,9	2,1	6,7	11,5	16,5	19,9	22,7	22,8	18,4	12,5	6,8	1,8
2041-2070 a1 Győr	1,5	3,3	7,5	13,4	18,0	22,1	25,4	26,6	21,4	14,7	8,5	3,6
2011-2040 a2 Győr	0,5	2,0	6,7	11,3	16,4	19,6	22,5	22,4	18,1	12,0	6,5	1,6
2041-2070 a2 Győr	0,2	3,2	7,3	13,0	17,4	21,1	24,1	25,0	20,4	13,5	7,5	2,9
2011-2040 b1 Győr	0,8	1,5	6,0	11,1	16,3	19,6	22,2	22,0	17,8	11,9	6,3	1,8
2041-2070 b1 Győr	0,3	1,9	5,7	12,1	16,7	20,6	22,9	23,5	19,1	12,7	6,9	2,7
2011-2040 b2 Győr	0,7	1,8	7,0	11,7	16,8	20,1	23,0	23,4	18,9	12,5	6,8	1,8
2041-2070 b2 Győr	0,2	2,5	7,3	13,2	17,7	21,5	24,3	25,7	21,1	13,8	7,6	2,7
UKTR Győr	-0,7	5,5	5,2	11,5	16,2	19,9	21,7	22,4	17,8	13,4	7,0	-0,5
GFDL5564 Győr	0,8	1,5	7,4	13,1	16,8	20,3	22,2	21,1	19,8	13,1	8,1	2,5
GFDL2534 Győr	-0,3	0,2	6,1	11,3	15,5	19,7	22,0	20,6	17,3	12,8	4,8	-0,4
2011-2040 a1 Budapest	0,9	1,9	6,5	11,4	16,6	19,9	22,7	22,6	18,1	12,4	6,7	1,7
2041-2070 a1 Budapest	1,7	3,1	7,3	13,3	18,0	22,3	25,5	26,8	21,4	14,7	8,8	3,7
2011-2040 a2 Budapest	0,4	2,0	6,6	11,4	16,5	19,6	22,5	22,3	18,0	12,1	6,4	1,5
2041-2070 a2 Budapest	0,2	3,0	7,1	12,9	17,5	21,3	24,2	25,2	20,5	13,7	7,8	3,0
2011-2040 b1 Budapest	1,0	1,6	5,9	11,2	16,3	19,6	22,1	22,0	17,6	11,9	6,3	1,7
2041-2070 b1 Budapest	0,6	1,8	5,4	12,1	16,8	20,8	23,0	23,7	19,1	12,8	7,0	2,8
2011-2040 b2 Budapest	0,8	1,8	6,9	11,8	16,8	20,1	23,0	23,4	18,8	12,6	6,8	1,7
2041-2070 b2 Budapest	0,4	2,2	7,1	13,2	17,6	21,7	24,4	26,1	21,1	14,0	7,9	2,8
2011-2040 a1 Pécs	1,1	2,2	6,9	11,7	16,6	20,3	23,2	23,2	18,7	13,0	7,2	1,9
2041-2070 a1 Pécs	1,9	3,4	7,4	13,5	18,3	23,0	26,2	27,5	21,9	15,1	9,2	3,9
2011-2040 a2 Pécs	0,6	2,2	6,9	11,6	16,5	20,0	22,9	22,9	18,6	12,8	6,9	1,8
2041-2070 a2 Pécs	0,3	3,2	7,2	13,2	17,7	22,0	24,9	25,9	20,8	14,1	8,1	3,2
2011-2040 b1 Pécs	1,2	1,8	6,2	11,4	16,3	20,0	22,6	22,5	18,3	12,5	6,8	1,8
2041-2070 b1 Pécs	0,8	2,0	5,6	12,3	16,9	21,2	23,5	24,3	19,6	13,2	7,4	2,8
2011-2040 b2 Pécs	1,0	2,1	7,3	12,0	17,0	20,5	23,5	24,1	19,4	13,3	7,4	2,0
2041-2070 b2 Pécs	0,5	2,5	7,4	13,4	18,0	22,2	25,1	26,9	21,5	14,5	8,4	3,1
2011-2040 a1 Szeged	0,9	2,0	7,2	12,6	17,6	21,2	24,0	24,0	19,4	13,6	7,8	2,0
2041-2070 a1 Szeged	1,9	3,6	7,9	13,9	18,5	23,4	26,2	27,7	22,1	15,4	9,4	4,2
2011-2040 a2 Szeged	0,5	2,1	7,3	12,6	17,5	21,1	23,7	23,7	19,2	13,3	7,6	1,9
2041-2070 a2 Szeged	0,3	3,4	7,8	14,1	18,7	22,9	25,8	27,1	21,9	14,8	9,1	3,6
2011-2040 b1 Szeged	1,0	1,6	6,6	12,3	17,3	21,0	23,4	23,3	18,9	13,1	7,4	1,9

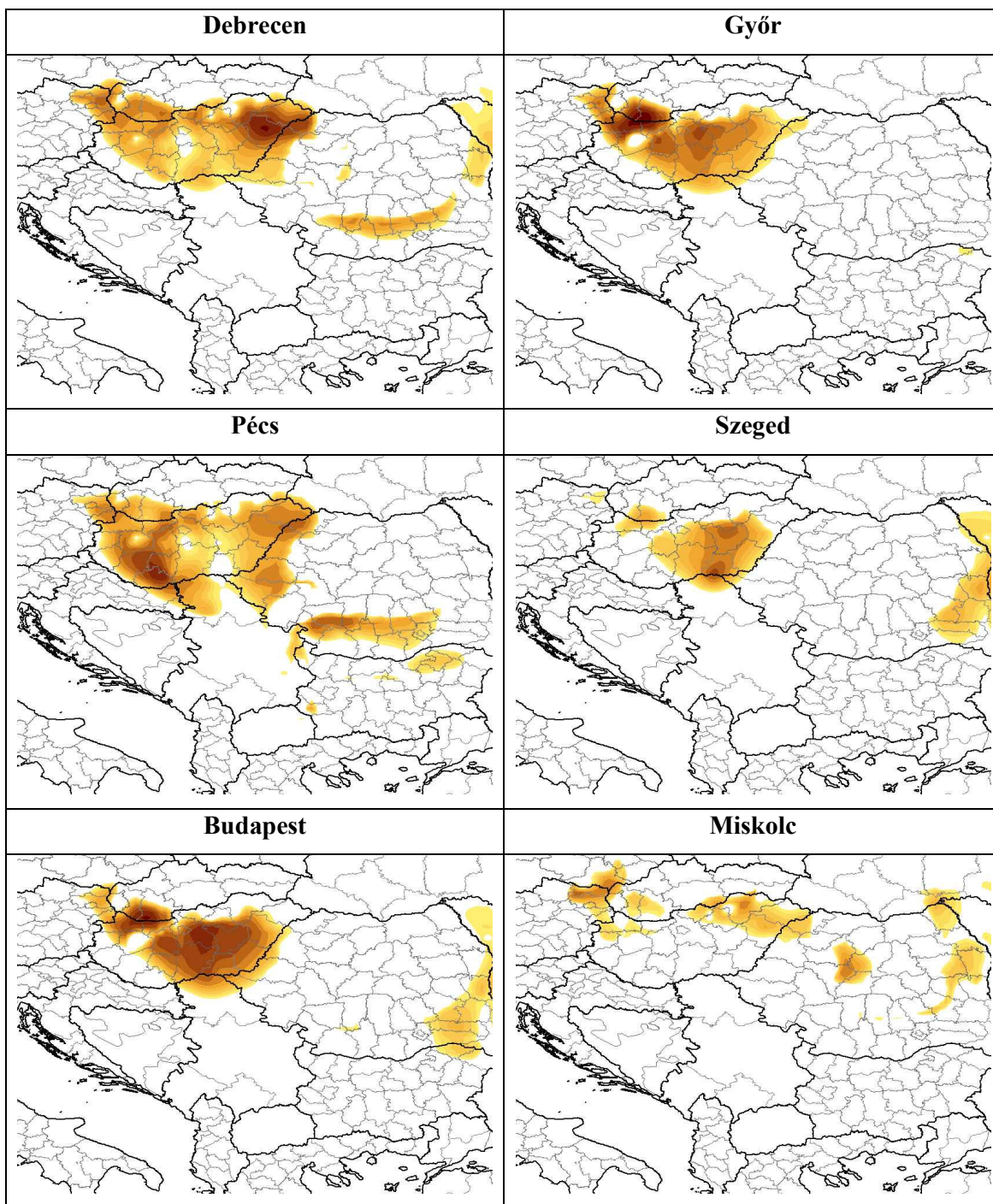
2041-2070 b1 Szeged	0,7	2,1	6,2	13,3	17,9	22,2	24,4	25,4	20,6	13,9	8,4	3,1
2011-2040 b2 Szeged	0,8	1,9	7,6	12,9	17,9	21,6	24,3	25,0	20,0	13,8	8,0	2,2
2041-2070 b2 Szeged	0,5	2,7	7,9	14,4	19,0	23,3	26,1	28,2	22,5	15,1	9,4	3,6
2011-2040 a1 Miskolc	-0,5	0,6	6,1	11,5	16,7	19,9	22,9	22,5	18,0	12,0	6,0	0,6
2041-2070 a1 Miskolc	0,3	2,3	7,2	13,4	18,1	22,5	25,7	26,8	21,2	14,1	8,2	2,8
2011-2040 a2 Miskolc	-0,9	0,8	6,1	11,6	16,6	19,7	22,6	22,1	17,8	11,8	5,8	0,5
2041-2070 a2 Miskolc	-1,2	2,3	6,8	13,1	17,7	21,6	24,5	25,1	20,2	13,0	7,2	2,1
2011-2040 b1 Miskolc	0,0	0,7	5,7	11,7	16,9	20,1	22,2	22,2	17,6	11,6	6,2	1,1
2041-2070 b1 Miskolc	-0,8	0,9	5,2	12,2	16,9	21,0	23,2	23,6	18,8	12,1	6,5	1,9
2011-2040 b2 Miskolc	-0,5	0,6	6,4	12,0	17,0	20,2	23,0	23,0	18,5	12,3	6,1	0,6
2041-2070 b2 Miskolc	-1,0	1,6	6,9	13,3	17,8	21,9	24,5	25,7	20,7	13,3	7,4	1,9

2. Havi csapadék adatok (mm)

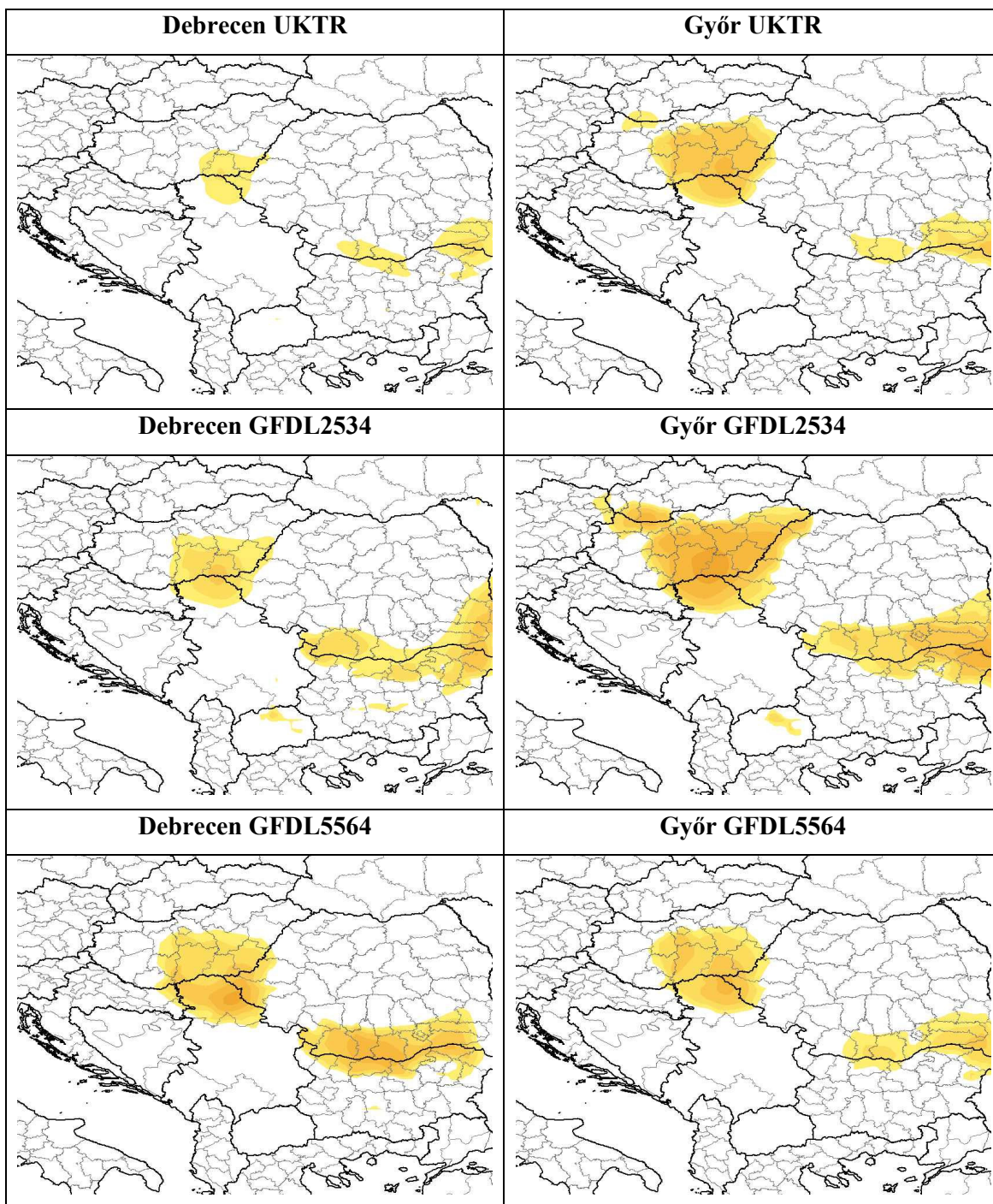
	jan	feb	már	ápr	máj	jún	júl	aug	szept	okt	nov	dec
1961-1990 Debrecen	37	30	34	42	59	80	65	61	38	31	45	44
1961-1990 Győr	32	33	28	38	55	64	53	65	38	35	53	38
1961-1990 Budapest	32	31	29	38	55	63	52	51	40	33	52	40
1961-1990 Pécs	39	32	38	55	63	84	61	63	47	37	56	44
1961-1990 Szeged	29	25	29	41	51	72	50	57	34	26	41	40
1961-1990 Miskolc	27	28	32	40	65	83	60	65	41	34	43	36
2011-2040 a1 Debrecen	44	36	42	48	63	71	45	51	46	41	47	49
2041-2070 a1 Debrecen	53	47	42	43	55	69	29	25	34	21	58	66
2011-2040 a2 Debrecen	41	35	41	52	65	72	50	54	45	42	49	49
2041-2070 a2 Debrecen	44	44	39	50	59	73	42	35	33	24	62	62
2011-2040 b1 Debrecen	45	32	39	48	65	71	47	49	53	38	46	45
2041-2070 b1 Debrecen	49	39	34	42	59	72	41	33	47	19	55	55
2011-2040 b2 Debrecen	47	33	45	56	57	73	48	47	42	40	49	53
2041-2070 b2 Debrecen	52	41	43	56	46	76	43	30	30	21	60	67
UKTR Debrecen	53	27	32	48	64	50	50	42	19	27	31	57
GFDL5564 Debrecen	47	30	34	65	60	67	78	49	26	37	27	47
GFDL2534 Debrecen	52	27	51	55	48	55	46	44	32	28	33	54
2011-2040 a1 Győr	41	33	36	37	62	61	45	61	46	48	52	49
2041-2070 a1 Győr	46	44	44	33	53	63	43	38	31	37	69	57
2011-2040 a2 Győr	38	32	35	44	62	61	49	61	45	50	51	49
2041-2070 a2 Győr	38	40	41	48	55	63	55	43	30	43	64	55
2011-2040 b1 Győr	43	30	34	42	61	61	47	60	49	45	51	46
2041-2070 b1 Győr	46	36	38	43	55	65	56	44	37	35	64	49
2011-2040 b2 Győr	43	32	37	46	56	62	45	58	43	46	54	52
2041-2070 b2 Győr	45	41	43	50	45	66	51	40	27	37	70	59
UKTR Győr	39	22	26	40	40	44	59	76	30	36	44	49
GFDL5564 Győr	39	27	25	44	43	56	82	65	27	41	39	46
GFDL2534 Győr	44	25	37	37	34	46	48	58	34	31	49	53
2011-2040 a1 Budapest	43	38	41	45	67	67	42	54	48	51	60	51
2041-2070 a1 Budapest	51	49	42	38	49	66	33	29	34	35	75	64
2011-2040 a2 Budapest	41	36	40	50	67	66	46	55	47	53	59	50
2041-2070 a2 Budapest	45	45	40	50	50	66	46	33	33	40	73	61
2011-2040 b1 Budapest	44	34	39	47	67	66	44	53	51	48	59	48
2041-2070 b1 Budapest	49	42	37	44	51	68	47	33	40	32	71	55
2011-2040 b2 Budapest	44	37	42	52	61	67	42	51	45	51	62	54
2041-2070 b2 Budapest	50	46	41	51	40	69	42	30	30	36	77	65
2011-2040 a1 Pécs	41	37	40	47	69	74	50	61	57	53	56	56
2041-2070 a1 Pécs	53	54	45	47	49	66	37	38	48	33	68	69
2011-2040 a2 Pécs	40	34	40	53	69	73	54	62	56	55	57	55
2041-2070 a2 Pécs	48	47	43	58	51	67	50	41	46	39	68	66
2011-2040 b1 Pécs	43	33	41	51	69	73	52	60	61	49	57	52

2041-2070 b1 Pécs	52	45	42	56	53	70	50	42	56	29	67	58
2011-2040 b2 Pécs	45	37	44	54	62	73	48	58	54	52	59	59
2041-2070 b2 Pécs	55	52	48	60	41	70	44	37	44	34	70	71
2011-2040 a1 Szeged	35	27	37	39	52	61	38	50	36	36	44	46
2041-2070 a1 Szeged	45	43	40	32	37	54	24	23	29	19	61	60
2011-2040 a2 Szeged	33	25	37	45	52	61	41	51	35	38	44	45
2041-2070 a2 Szeged	40	38	37	44	40	55	35	26	27	23	59	56
2011-2040 b1 Szeged	36	24	37	44	52	60	40	49	40	32	44	41
2041-2070 b1 Szeged	44	35	37	42	42	56	35	26	38	15	58	47
2011-2040 b2 Szeged	38	27	41	46	45	60	36	46	33	35	47	49
2041-2070 b2 Szeged	47	40	42	45	30	57	29	22	27	19	63	61
2011-2040 a1 Miskolc	34	33	40	49	68	78	50	57	52	49	50	41
2041-2070 a1 Miskolc	48	43	43	43	62	79	41	32	37	27	65	60
2011-2040 a2 Miskolc	31	32	40	53	69	79	54	61	51	51	51	41
2041-2070 a2 Miskolc	40	41	40	54	65	82	55	42	36	32	65	57
2011-2040 b1 Miskolc	35	30	38	50	69	78	52	58	57	46	49	38
2041-2070 b1 Miskolc	45	35	35	47	65	83	55	43	47	26	62	50
2011-2040 b2 Miskolc	36	31	43	56	62	80	51	56	49	48	52	45
2041-2070 b2 Miskolc	47	38	44	56	53	85	53	39	33	29	67	62

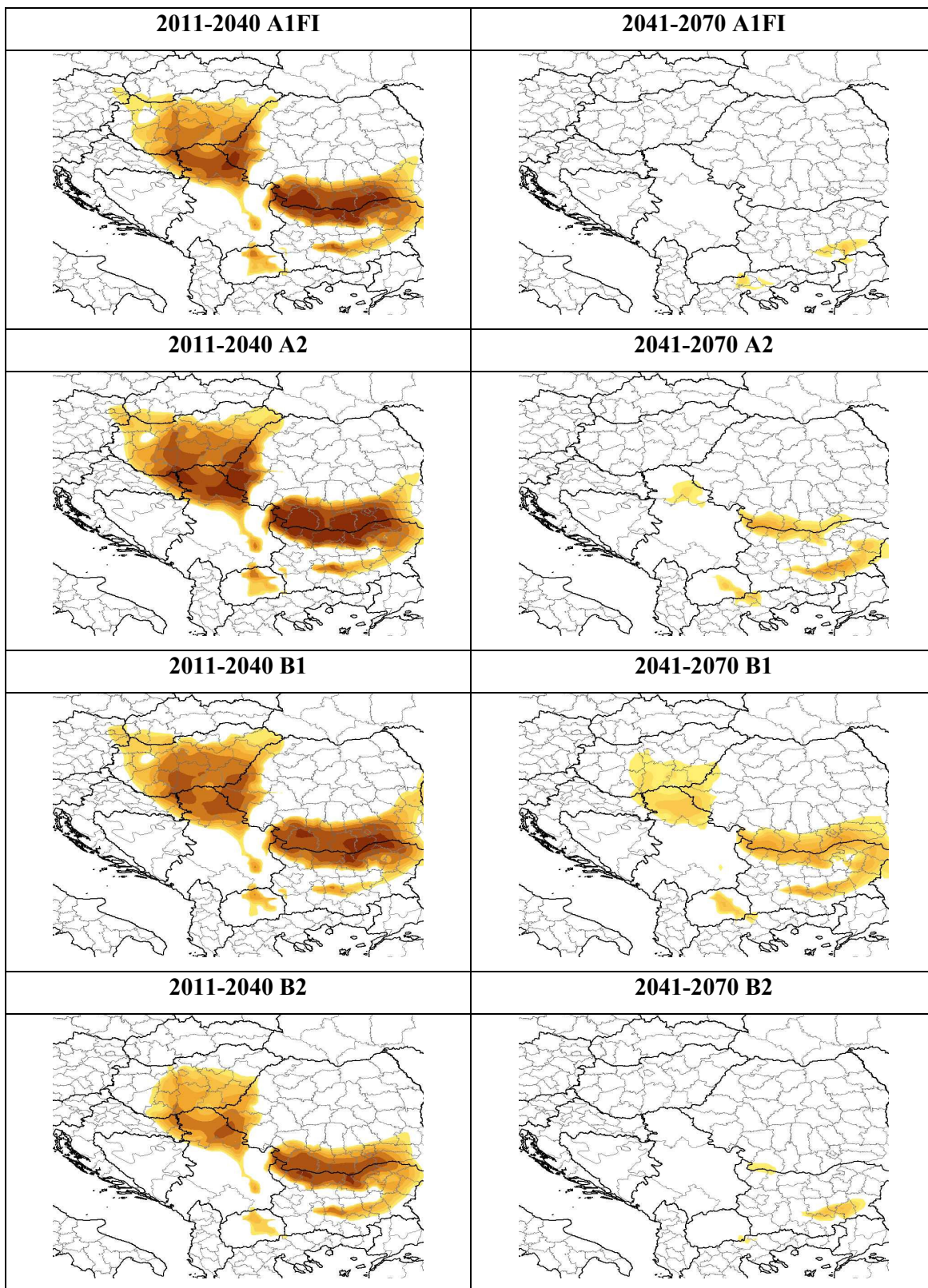
3. A vizsgált városok bázisidőszakra (1961-1990) vonatkozó analóg területei (a módszer ellenőrzése)



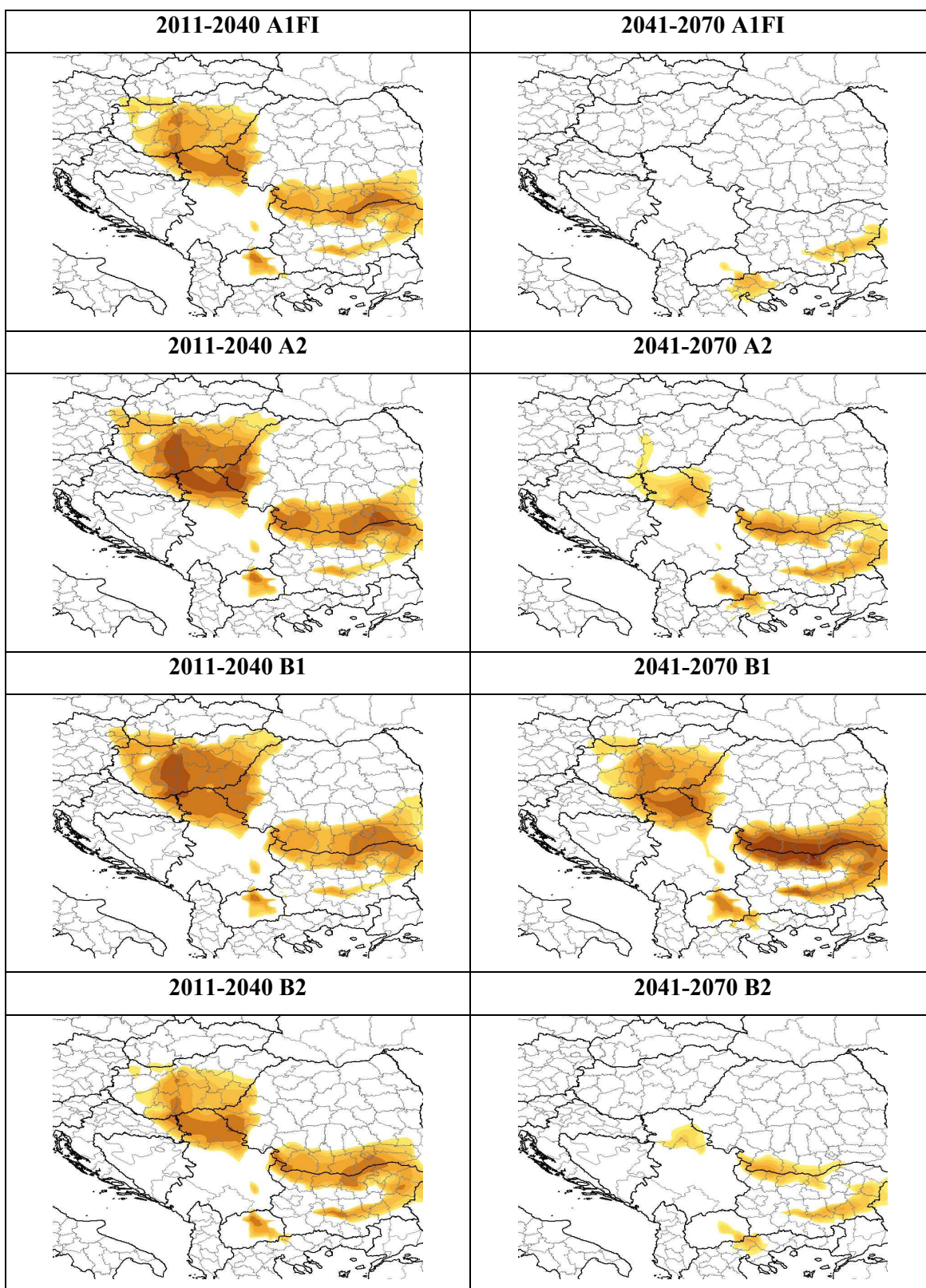
4. Debrecen és Győr analóg területei a régebbi szcenáriók alapján



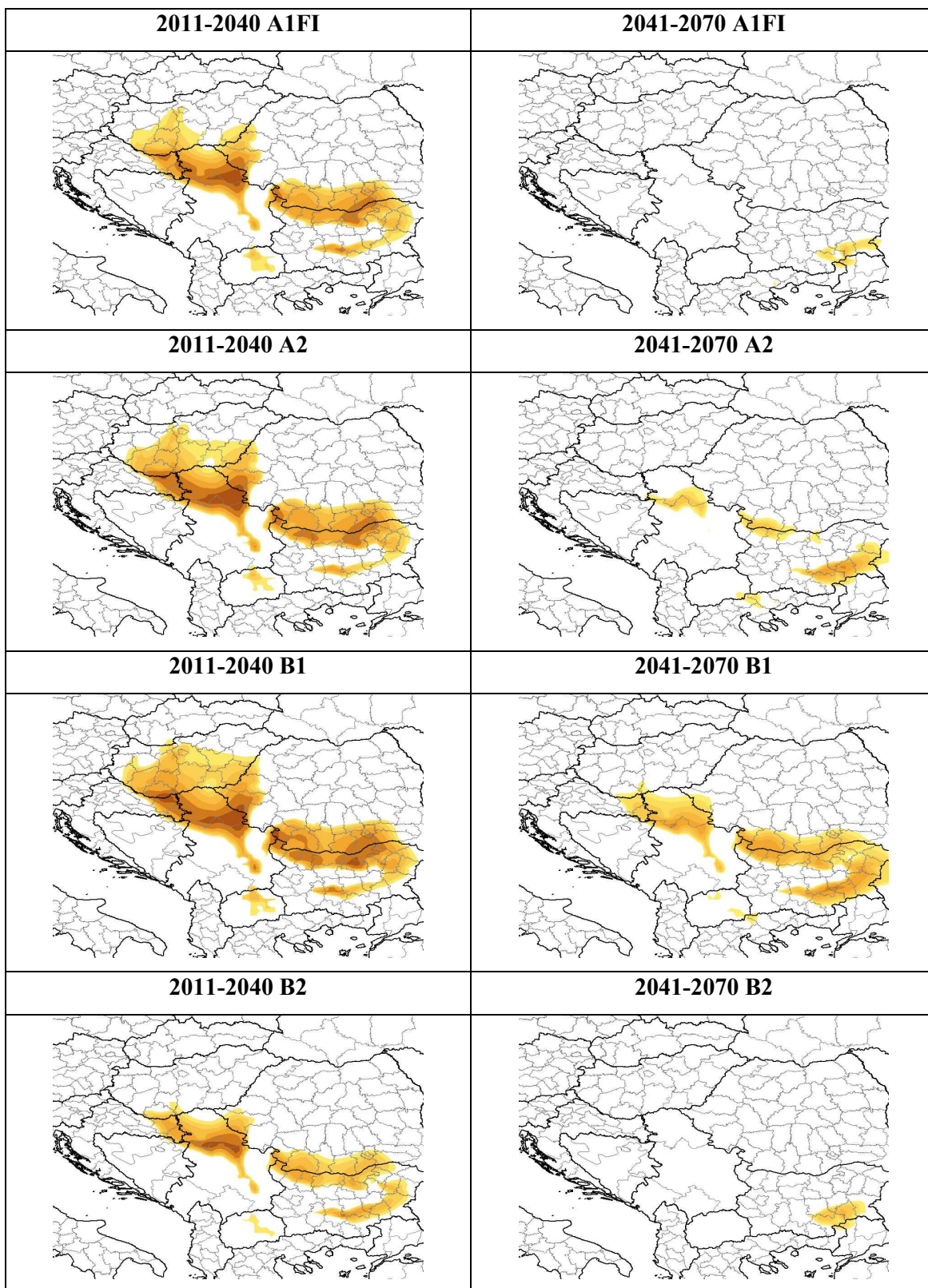
5. Debrecen analóg területei a SRES scenáriók alapján



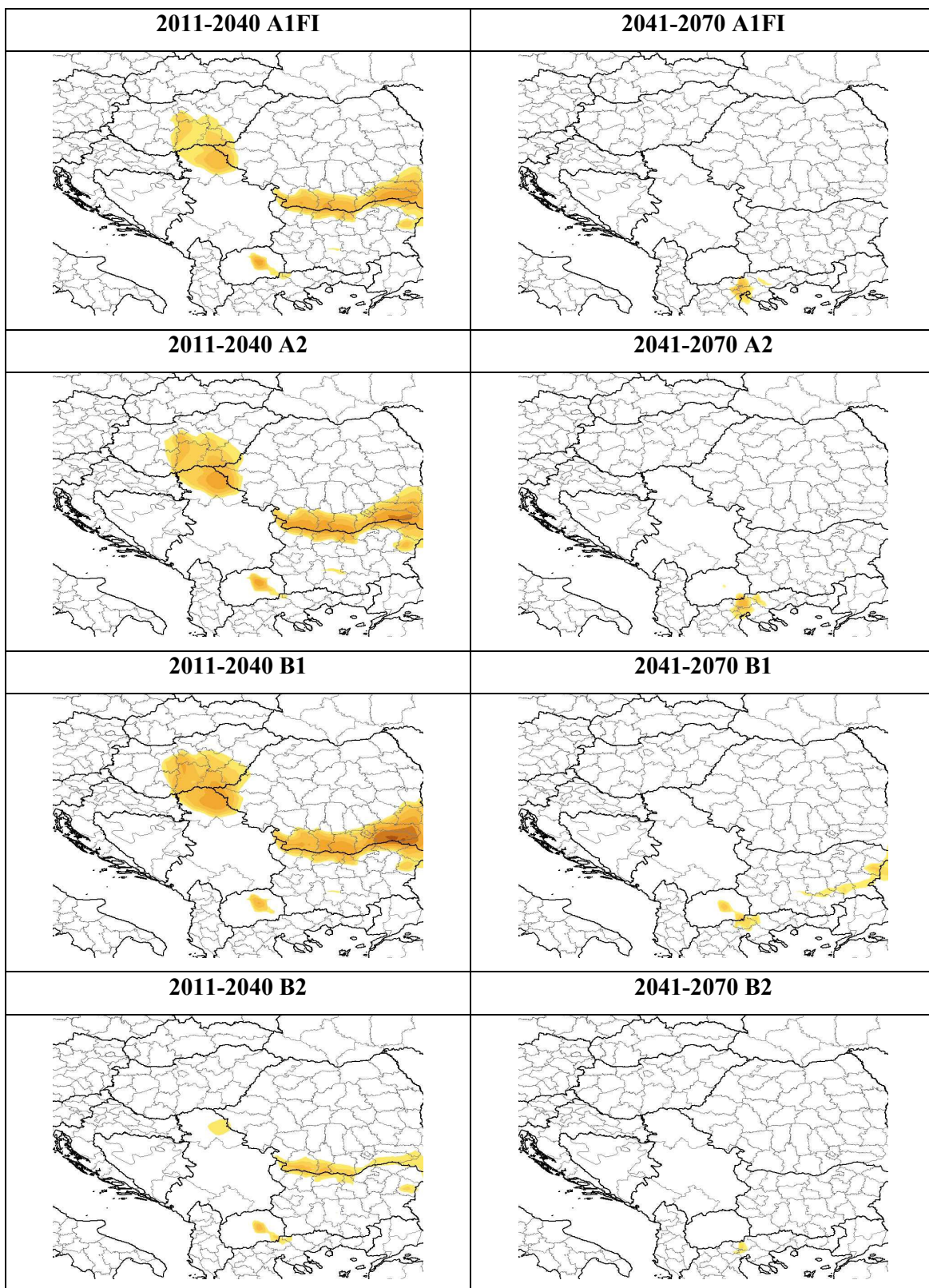
6. Győr analóg területei a SRES scenáriók alapján



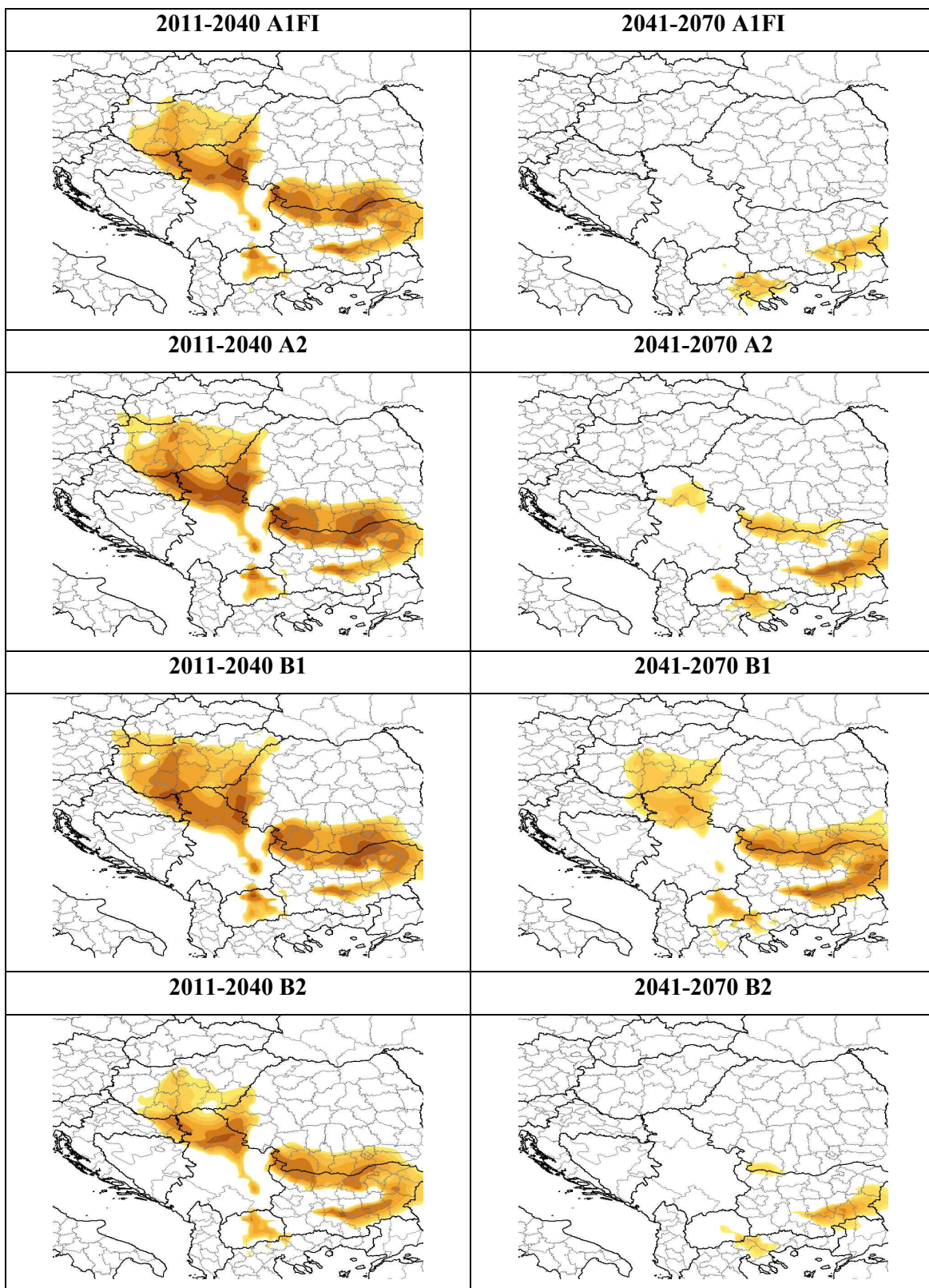
7. Pécs analóg területei a SRES scenáriók alapján



8. Szeged analóg területei a SRES scenáriók alapján



9. Budapest analóg területei a SRES scenáriók alapján



10. Miskolc analóg területei a SRES scenáriók alapján

