

Kovács Ferenc<sup>1</sup>

## A KLÍMAVÁLTOZÁS FÖLDRAJZI HATÁSAINAK ÉRTÉKELÉSE TÁVÉRZÉKELÉSI MÓDSZEREKKEL<sup>2</sup>

### BEVEZETÉS

Az elmúlt 30-35 évben a Duna-Tisza közén az emberi tevékenység és a klíma változásának hatására jelentős víztelenedési folyamat figyelhető meg (Kovács 2006, Ladányi 2010, Rakonczi 2011). A szárazodásnak elnevezett jelenség folyamatai hosszú periódusúak, a tájakra jellemző komplex felépítés miatt mindenre kiterjedők, így jelen esetben tájdegradációval számolhatunk.

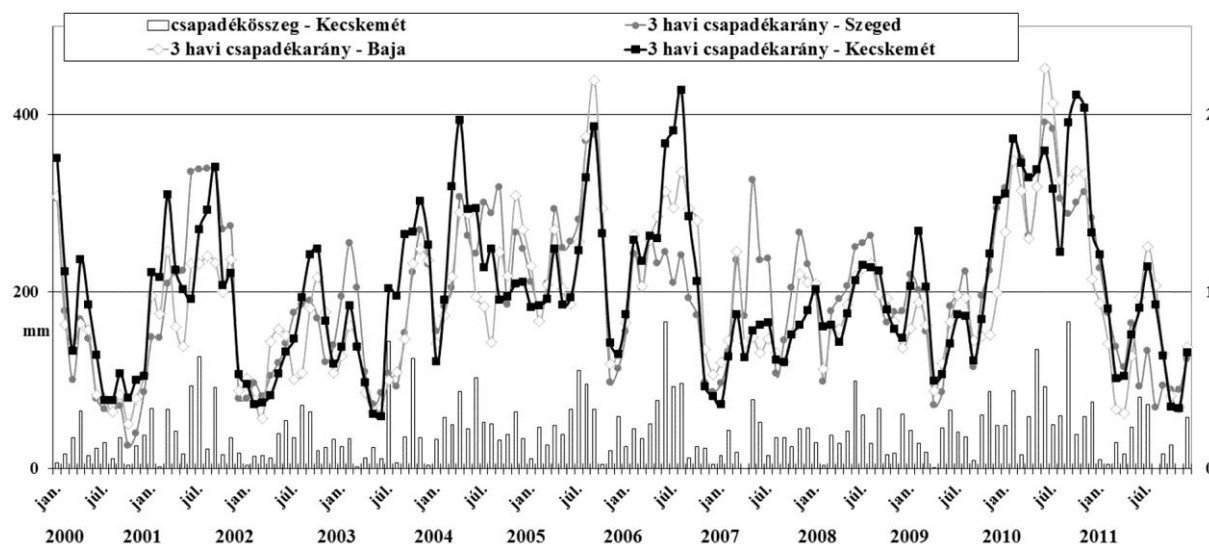
A Duna-Tisza közén a vízutánpótlást biztosító talajvíz és csapadék mennyisége az élet feltétele. A közeljövőben a degradáció felgyorsulása várható és a tájatalakulást illetően a kedvezőtlen folyamatok hatásai gyorsabbak, mint a regeneráció. Olyan területfejlesztésnek lesz realitása, amely figyelembe veszi az ariditás fokozódásából származó körülményeket.

Felmerül a kérdés: milyen mértékben kockáztatjuk értékeinket? A választ a felszíni elemek nagy időfelbontású, különböző tér- és időléptékű vizsgálatával adhatjuk meg. Így értékelhető a folyamatok mértéke, tér- és időbeli szerkezete. Fontos a térbeli információ és a változás intenzitásának a meghatározása, a táji dinamika megértése.

Célszerű kiválasztani egy-két uralkodó szerepű tényezőt, melyek dinamikája kifejezheti a változó táji folyamatokat. Ezek a tényezők tanulmányunkban a vegetáció, illetve a felszíni vizek, melyeket különböző léptékben vizsgálunk a Duna-Tisza közén

### A KUTATÁS HÁTTERE

Az 1970-es évek második felétől az 1990-es évek közepéig tartó száraz időszak után Baja, Budapest, Kecskemét, Kiskunhalas és Szeged adatai alapján az utóbbi 12 évben hét évben az átlagnál kevesebb csapadék hullott; ez a csökkenés 4 évben 20 %-nál is több (1. ábra). 1999 és 2010. év kiemelkedő, koncentrált csapadéértékei statisztikailag sok mindent egyenlíthetnek, de földrajzi hatásait tekintve egy-egy év nem szüntethet meg hosszabb folyamatokat.



1. ábra A havi csapadék és csapadékarány alakulása 2000–2011 között 3 állomás alapján

<sup>1</sup> Dr. Kovács Ferenc: Szegedi Tudományegyetem, Természeti Földrajzi és Geoinformatikai Tanszék

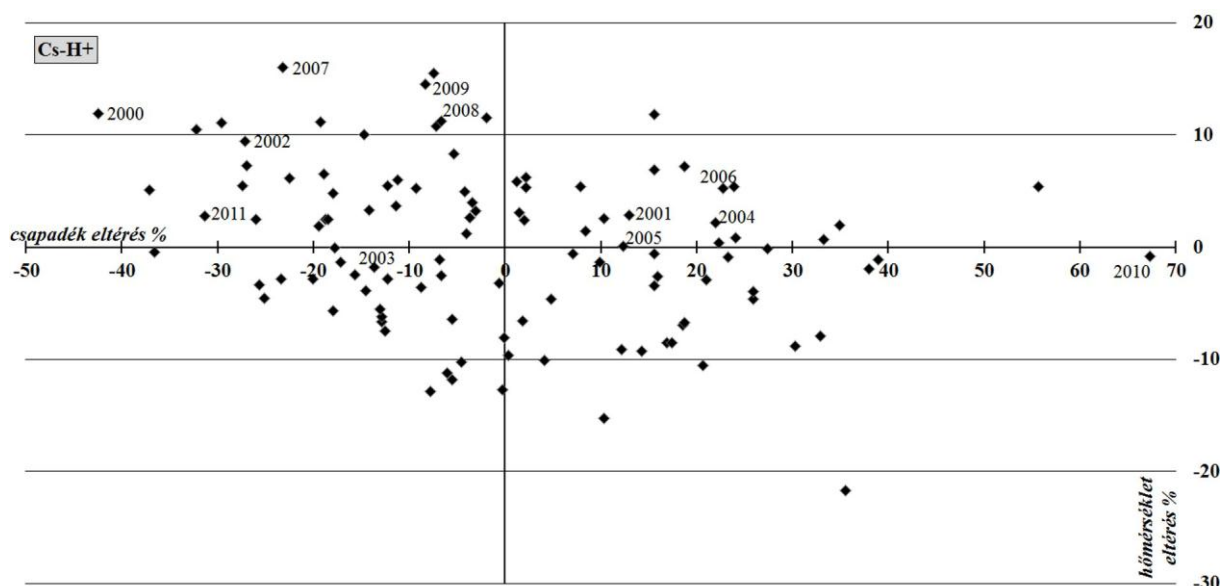
E-mail: kovacs@geo.u-szeged.hu

<sup>2</sup> A kutatást az OTKA PD 78349 számú pályázata támogatta.

Az éghajlati normálértéket figyelembe véve Kecskeméten az utóbbi 30 év során 9 évben a csapadékösszeg az átlagos csapadék kevesebb, mint 80 %-át mutatta. A vízhiány 1981–2010 közötti időre több, mint 300 mm; ez 1971–2000 között több, mint 500 mm volt! Az adatok alapján a mintaterület északi és déli peremén egyáltalán nem normalizálódik a helyzet. Kis-kunhalason például a csapadékos 2006. évben is átlagon aluli értéket mértek.

Baja, Kecskemét és Szeged csapadékarányai alapján 2000–2011 között az átlagtól való eltérést tekintve több a negatív irányú különbség, mind a pozitív irányú. Az átlagos havi csapadékösszegektől való eltéréseket összegezve Szegedre és Bajára a vízhiány jellemző. A vízben leggazdagabb idők a 2001. évre, 2004 februártól 2006 októberéig, illetve 2009 november-től 2011 januárig terjednek ki. 2001 decembertől 2003 júliusáig, 2007 januártól 2008 májusáig és egész 2011-ben gyakorlatilag folyamatosan az átlagnál kevesebb csapadék hullott.

Az éghajlatváltozás a különböző elemek (hőmérséklet és csapadék) egyidejű változásából ismerhető fel. A Duna-Tisza közén 1,3–1,5 °C-os melegedés jellemző az utóbbi 30 évben. 1901-től nézve a hőségnapok száma 6 nap/109 éves trend jellegű változást mutat az országban; és a Duna-Tisza köze az egyike a legtöbb ilyen nappal bíró területeknek az országban<sup>3</sup>. A szárazodás szempontjából érdekes „átlag feletti hőmérséklet, átlag alatti csapadék (CS-,H+),” együttes előfordulási lehetősége a normál 25 % helyett a Duna-Tisza közén a sokéves átlag alapján eleve 30 %, de ez az utóbbi 30 év alapján 35 %-ra nőtt (2. ábra). Ennek ismeretében jelentős az elmúlt 12 év, amikor 6 alkalommal az átlagnál kevesebb csapadék hullott és az átlagnál melegebb volt az idő, és a többi csapadékosabb évben is melegedés látható.



2. ábra Hőmérséklet és csapadék átlagtól való eltérése 1901–2011 között Kecskeméten<sup>4</sup>

A 2000–2011 közötti idő havi értékeit hasonló elven vizsgálva Kecskeméten az év 12 hónapját, illetve a nyári félév 6 hónapját tekintve több, mint 40 %-a aridifikációra utal („H+Cs-„), és a hónapok több, mint 2/3-a melegszik („H+Cs-„, vagy „H+Cs+”). Nyáron, májusban az idő ¾-ében, augusztusban a 60 %-ában kifejezetten szárazodó.

A lokális léptékű hidrogeográfiai vizsgálat csapadékmérő állomása szerint (Izsák) a sokéves átlagokhoz képest az utóbbi 30 évben januárban, áprilisban, augusztusban, szeptemberben, októberben, novemberben és decemberben is lényegesen kevesebb eső (hó) eshet.

<sup>3</sup> [http://www.met.hu/eghajlat/eghajlatvaltozas/megfigyelt\\_valtozasok/Magyarország/](http://www.met.hu/eghajlat/eghajlatvaltozas/megfigyelt_valtozasok/Magyarország/)

<sup>4</sup> adatok: OMSZ napi jelentése, OGIMET

1977-től 2004-ig csak három évben volt az átlagot 10 %-al meghaladó, míg az időszak felében 10 %-al is kevesebb éves csapadékösszeg volt jellemző!

Az elmúlt 80 évben előforduló rendkívüli aszályok fele az utóbbi 20 évben fordult elő (9 db év). PÁLFAI (2011) szerint 1931–2000-es időszakhoz képest a Duna–Tisza közén az aszályhajlam napjainkig fokozódott, ami jól látható LADÁNYI (2010) Pálfa-féle aszályossági index értéksorán is.

### ANYAG ÉS MÓDSZER

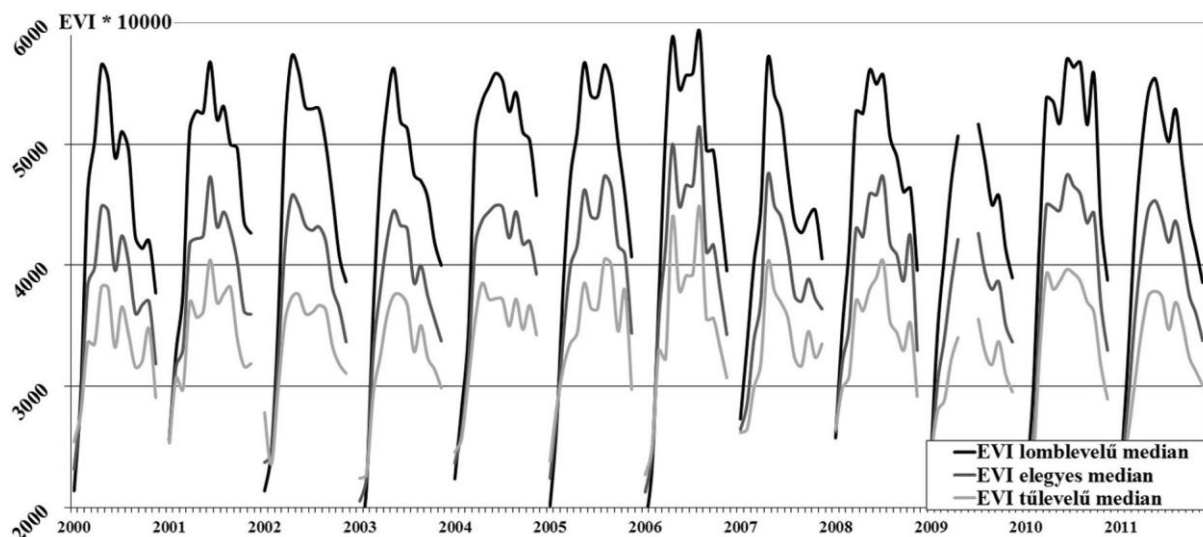
A vegetációs dinamika értékelésének fő célja, hogy a természetes vízellátottság változásának vannak-e felismerhető következményei az erdők biomassa mennyiségében? Az értékelést tizenkét évre vonatkozóan végeztük el, mert a nagy mintaterületre vonatkozó nagy időfelbontású vizsgálathoz szükséges adatok 2000 óta állnak rendelkezésre. Az USGS adattárából<sup>5</sup> szabadon letölthető 250 m-es MODIS 16 napos kompozit felvételeket a márciustól októberig tartó félévre töltöttük le a 2000–2011-es időszakra (12 felvétel/év). A multispektrális módszerekkel előállított NDVI és EVI index értékeket használtuk fel a vegetációs dinamika térbeli időbeli értékelésére a Duna-Tisza köze lomblevelű, tűlevelű és elegyes erdeire.

Multispektrális módszereket (LANDSAT felvételeken) alkalmaztunk a vizes élőhelyek vízzel való fedettségének hosszú időtartamú vizsgálatához is, kiegészítve azokat térképi adatokkal. Így a XIX. század végétől napjainkig 13 időpont alapján állapítottuk meg 230 év változását a szigorúan védett Felső-Kiskunsági tavak területén. Változáselemzés esetén fontosak azok a területek, amelyek a változékonyság-értékelés szempontjából stabilak. Veszélyesebb lehet egy folyamat, ha az állandóbb jelenségeket is veszélyezteti. A változékonyság megállapítása az 1999–2003 között készült 22 db LANDSAT kép segítségével történt.

### EREDMÉNYEK

#### A vegetáció állapotának jellemzése az 2000–2011 közötti időtartamban

Az EVI, NDVI havi átlagokat tartalmazó adatsorban jellemzően a legkisebb értékekkel a fenyőerdő rendelkezik, majd elegyes erdő, lombos erdő a növekvő sorrend; a különböző fajok görbéi hasonló futásúak (3. ábra).



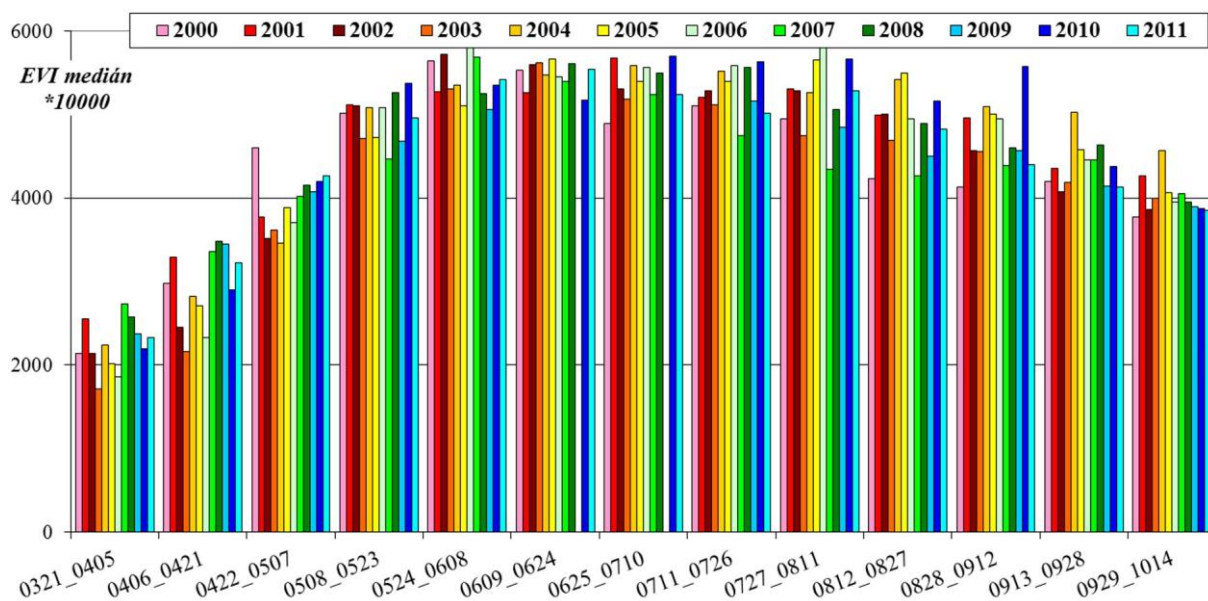
3. ábra EVI átlagok alakulása 2000–2011 között

Az NDVI szélesebb értéktartományban található (0,37–0,85) és magasabb átlagértékekkel bír, míg az EVI adatai nagyobb szórást mutatnak és a fajok közötti különbség is jelentő-

<sup>5</sup> <http://e4eil01u.ecs.nasa.gov:22000/WebAccess/drill?attrib=esdt&esdt=MOD13Q1.5&group=MOLT>

sebb. A szűk értéktartományok előrevetítik az első látásra csekélynek tűnő pár tizedes változások jelentőségét. EVI értékek érzékenyebbek a növényzeti változásokra, a külső hatásokra. Az EVI, NDVI havi átlagokat tartalmazó adatsorban a 2004 márciustól jellemző csapadékosabb állapot (főleg az NDVI-nél) kiemelkedik, de 2007-re gyorsan lecsökken. 2010 egyedülálló évként nem mutat kiugró eredményeket. EVI csökkenés jelei 2001–2004, illetve 2006–2009 között mutatkoznak, de elegyes- és fenyőerdőket nézve utóbbi inkább 2006–2011!

A vizsgált 12 éves időtartamban az egyes hónapokra nézve az EVI, NDVI lomblevelű erdő tavasszal egyre magasabb értékeket mutat; igazolódhatna az egyre korábbi kiszáradást jósoló elmélet (4. ábra). De az őszi adatokon a melegedéssel meghosszabbodó vegetációs időszak elmélete már nem jellemző. Feltűnő a 2006-07, illetve 2010-11 hasonló időszaka (július, augusztus) közötti jelentős különbség. Az aszályhajlam fokozódásával egyre több, a 2007, 2011. évhez hasonló helyzet alakulhat ki. A hirtelen csökkenés a jellemző vízhiányt mutatja; csapadékosabb évek után következő száraz év hatása azonnal visszaveti a zöldtömeget.



4. ábra 16 napos EVI átlagértékek lomblevelű erdőkön havi bontásban (2000 – 2011)

A teljes mintaterület NDVI és EVI értékeit összeadva kaphatjuk meg a az adott vegetációra jellemző biomassza produktumot. Az indexérték összegeknek a száraz években jellemző hirtelen csökkenésével jól látszódik a rövid időtartamon belüli sérülékenysége: 2000, 2003, 2007, 2011. Az aszályosabb időkben nyár végére a csúcserték 20-25%-os csökkenése jellemző (általában 10-13 %). Ez a szélsőséges éveknek az átlagtól való eltérését is mutatja. A klímaváltozás szempontjából kifejező lehet, hogy a havi összegek időszora kiegyensúlyozott, a 2004–2006., illetve 2010. évi csapadékértékek ellenére sem növekszik a biomassza. Összességében a lomblevelű területeken figyelhető meg a legnagyobb biomassza-produktum, de ha területegységre lebontva nézzük, akkor hektáronként az elegyes erdőn a legtöbb a vegetáció mennyisége! Éves összegeket tekintve 3-4 éves periódusok jellemzőek, amikor 2001–2003, illetve 2004–2007 csökkenő időszakok.

A biomassza térbeli eloszlásának alakulásánál természetesen az erdő állapotát meghatározó négy hónap (május, június, július, augusztus) a mérvadó. Az NDVI-t tekintve a lomblevelű produkció csúcsa július, míg az elegyes és a tűlevelű június. Az EVI értékekre júniusban jellemző a 0,5–0,6-os tartomány magasabb részaránya; májushoz képest júniusra háromszorozódik a részarány, ami viszont radikálisabban csökken augusztusra (kb. 1/3-ra), mint az NDVI. Az EVI szerint június a lomblevelű produkció csúcsa, míg a fenyőké inkább a július, de a változás mértéke kisebb, mint a másik két erdőnél. Vagyis a legjelentősebb biomassza-

sza-produkció időpontját illetően eltérés tapasztalható a különböző indexeknél. A változékonnyabb kép mellett a folyamatok gyorsasága, intenzitása erőteljesebb az EVI esetében.

Az átlagos állapotokat tekintve eleve veszélyeztetettek az Illancs elegyes erdői, a Kecs-keméttől délre lévő túlevelűek jelentős része hiszen már az átlagot tekintve is alacsony értéket mutatnak. A Kiskunsági-homokhát érzékeny örökzöld területein a MÉTA természetességi adatok szerint értékesebb túlevelűek is vannak. Az indexértékeket befolyásoló erdőgazdálkodás (fakivágás, beépítés) és az alacsony vegetációs index értékek átfedése összességében nagyon alacsony, körülbelül 6 %. Térbeni együttes megjelenés az Illancs elegyes erdeinél, illetve a Kiskunsági-homokhát túlevelűinél jellemző.

Az átlagtól, mint referenciaszinttől való eltérés időbeli és térbeli vizsgálata segíti az időszakos és tartós biomasszamennyiség-csökkenés miatt veszélyben lévő területek kijelölését (5. ábra). Összességében a negatív különbségek jellemzőek. 2000, 2002, 2003, 2007, 2009, 2011 (vagyis az évek fele) mind negatív eltéréseket mutató évek, valamennyi erdő esetében.

Az EVI eltérések térbeliségét valamennyi időszak eltérésének összeadásával mutathatjuk be. Az így kapott eredményt 154 kép (ennyi 16 napos periódus van a vizsgált 12 évben) összegével kaptuk meg, vagyis az így kapott képen csak az a terület (az a pixel) mutat pozitív (vagy negatív) képet, amely a 12 év alatt az átlagosnál döntően nagyobb (vagy kisebb) mennyiségű biomasszát tudott produkálni.

Az összterületet tekintve az erdők  $\frac{1}{4}$ -e mutat negatív eltérést az EVI szerint, mondhatjuk 25 %-a veszélyeztetett a klímaváltozás által, míg 75 % nem. Ezeken a területeken figyelhető meg a legnagyobb csökkenés kedvezőtlen klimatikus körülmények esetén. 15 %-nál az eltérés jelentősebb; több, mint -0,15 EVI. 7 %-nál ez az eltérés több, mint -0,25 EVI. A terület 16 %-a átlagos. Az NDVI alapú eltérések átlagosabb értékeket mutatnak, és kisebb negatív eltéréseket, de a pozitív eltérések jobbak az EVI esetében, vagyis az NDVI-nél tapasztalható kép szerint a klímaváltozási érzékenység nem kedvezőbb, mint az EVI-nél. Az összterületet tekintve az erdők 16 %-a mutat negatív eltérést. 5 %-nál az eltérés jelentősebb (több, mint -0,15 NDVI). Az EVI-nél tapasztalt 16 %-os átlagos kép az NDVI-nél 44 %!

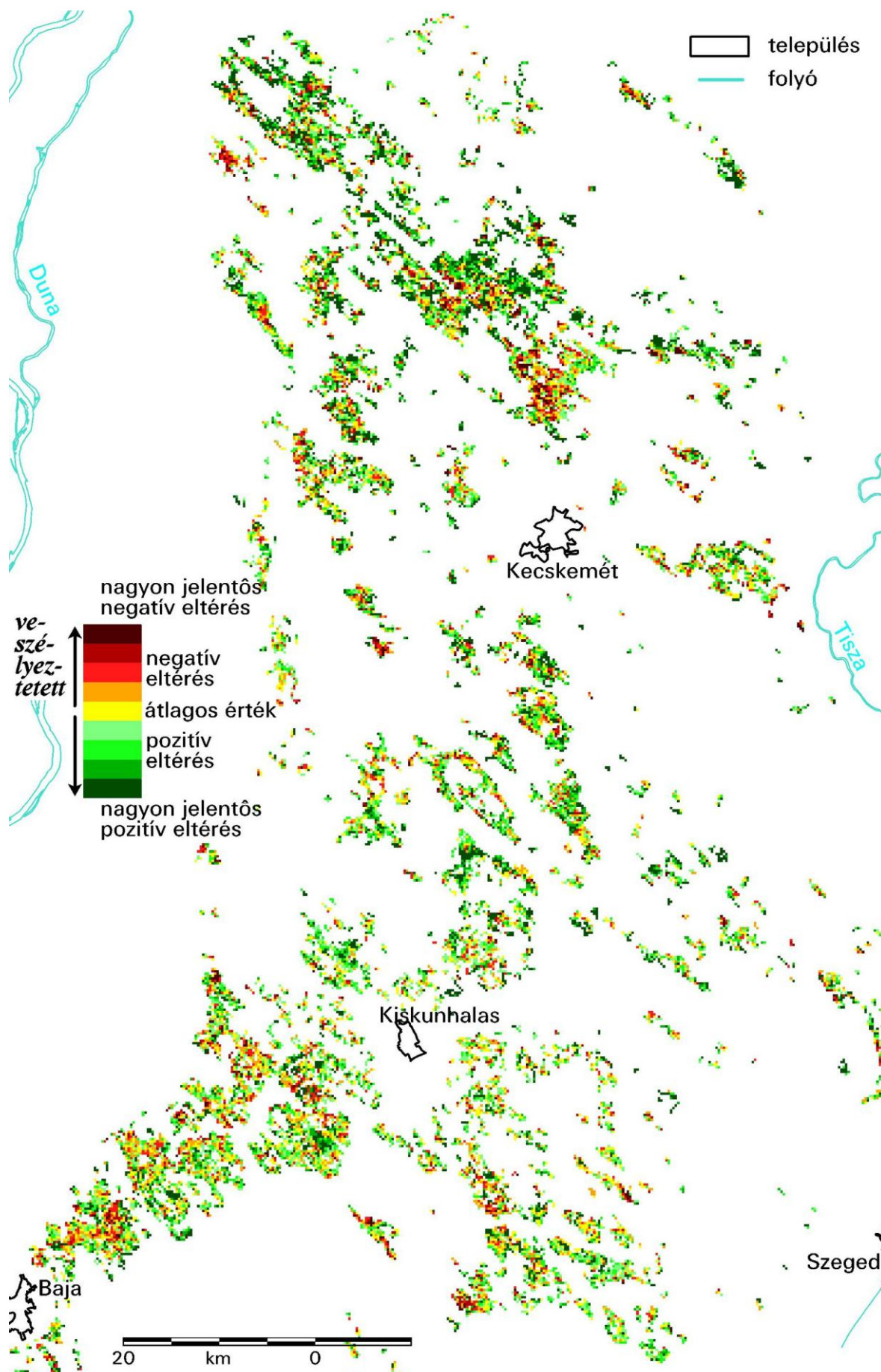
Ha a jelentősebb negatív eltérésekről szót ejtettünk, akkor beszélhetünk a jelentősebb pozitív eltérésekről is, vagyis ezek a területek nagyobb ellenálló képességgel rendelkeznek, a klímaváltozás kevésbé hat rájuk. A pozitív eltérés a terület 42 %-án jelentősebb; több, mint +0,15 EVI. 19 % nagyon jelentős pozitív eltéréssel bír; több, mint +3,5! Az NDVI-nél az eleve pozitív eltérést mutatók aránya 40 % és csak 19 % mutat jelentősebb pozitív eltérést (+0,15 NDVI).

A lomblevelű erdők 20 %-a veszélyeztetett az EVI szerint (NDVI: 14 %). 12 %-nál az eltérés jelentősebb. A túlevelűek hasonló képet mutatnak (bár az összterület miatt ez nagyobb lomblevelű veszteséget jelent). Legrosszabb az elegyes erdők helyzete, ahol a negatív eltérés a terület 38 %-án figyelhető meg (az NDVI szerint is 30 %). Összterülete révén a lomblevelű erdő mutatja a legnagyobb eltéréseket, de ha területegységre vizsgálódunk, akkor az elegyes erdő reagál a legérzékenyebben a környezeti változásokra.

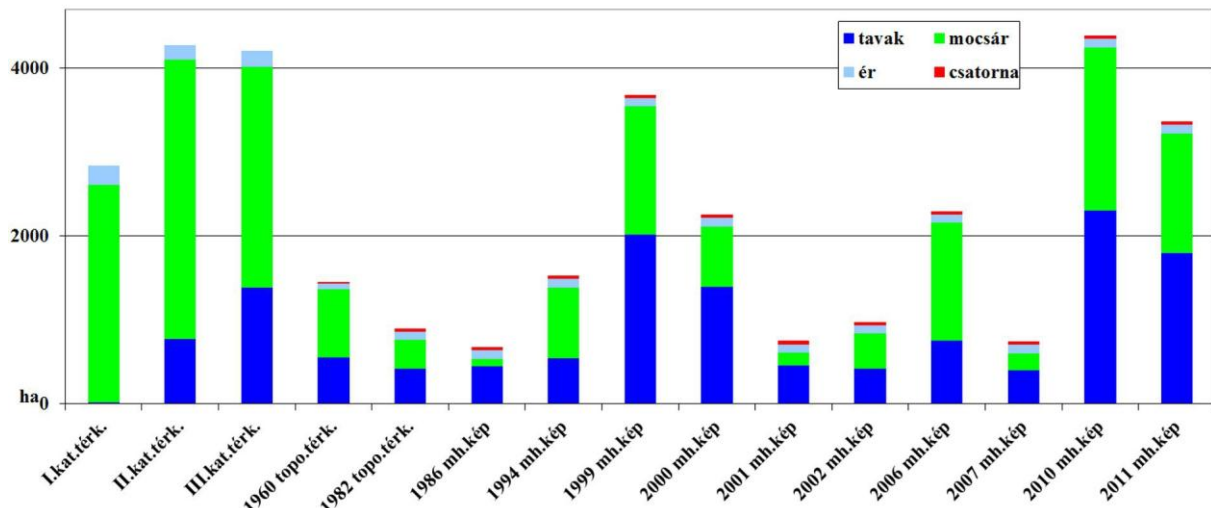
### Vizes élőhely változása

A vizes-vizenyős területek kiterjedését mutató adatsoron jól látható, hogyan nehezíti egy változási folyamat felismerését a 13.000 ha-os terület változékonysága. Megállapíthatunk évek közötti különbséget, de elég egy rövidebb kedvező időszak és a „semmiből” visszaállhat a régi rend (6. ábra).

A legfeltűnőbb változás az 1880-as éveket követő 100 évben jellemző, amikor a vízben gazdag területek 84 %-a eltűnt, ami a XX. sz-i belvízrendezés hatásait idézi. 2010-ben hidrogeográfiai értelemben gyakorlatilag aktivizálódott a természetközeli állapot. A referenciaállapothoz hasonló vizes állapot csupán az éghajlat alakulására jelent meg, igaz ehhez különösen extrém csapadékmennyiségre volt szükség.



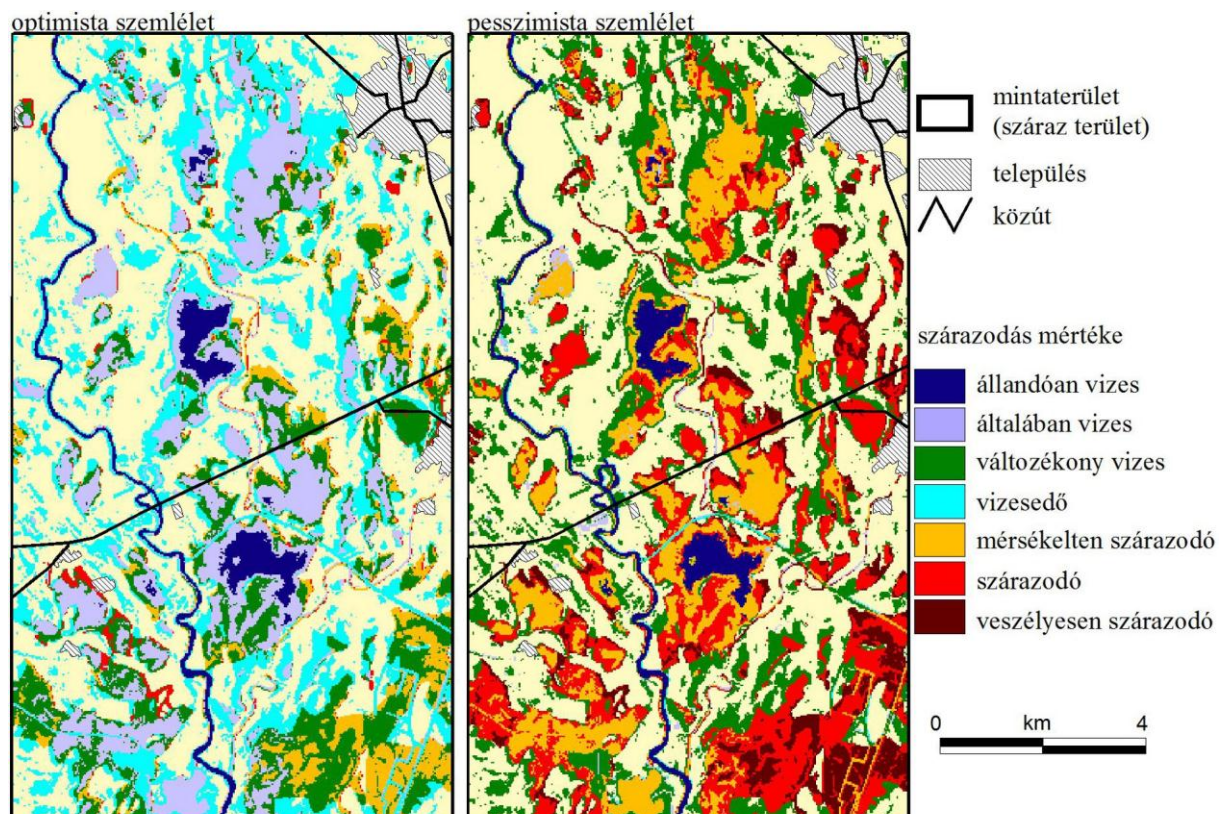
5. ábra Klimatikus érzékenység térbelisége EVI index alapján a 2000-2011 időszak alapján



6. ábra Vizes élőhelyek hidrogeográfiai változása a XVIII. századtól napjainkig

Ellenben az 1999-2000-es évek, illetve a 2006. év nagy belvizeit követő években rövid idő alatt újra az 1980-as évek alacsony elöntés értékeit tapasztalhatjuk. Kellő vízutánpótlás hiányában két év alatt, 2001-re a sok víz  $\frac{3}{4}$ -e eltűnt és tartósan így is maradt. Feltűnő a 2006–2007 közötti különbség, amikor egy év alatt a nyílt vizek körülbelül 50 %-a, a mocsaras részek 85 %-a szűnt meg. Látható, hogy egy-egy kedvezőbb év hatása nem elég a '70-es évek óta tartó kedvezőtlen folyamatok megszüntetésére.

A sok időpont és a különbségek jellege miatt a szárazodás előfordulásának, vagy mértékének a kérdése a térbeli elemzésben több nehézségbe is ütközik (7. ábra).

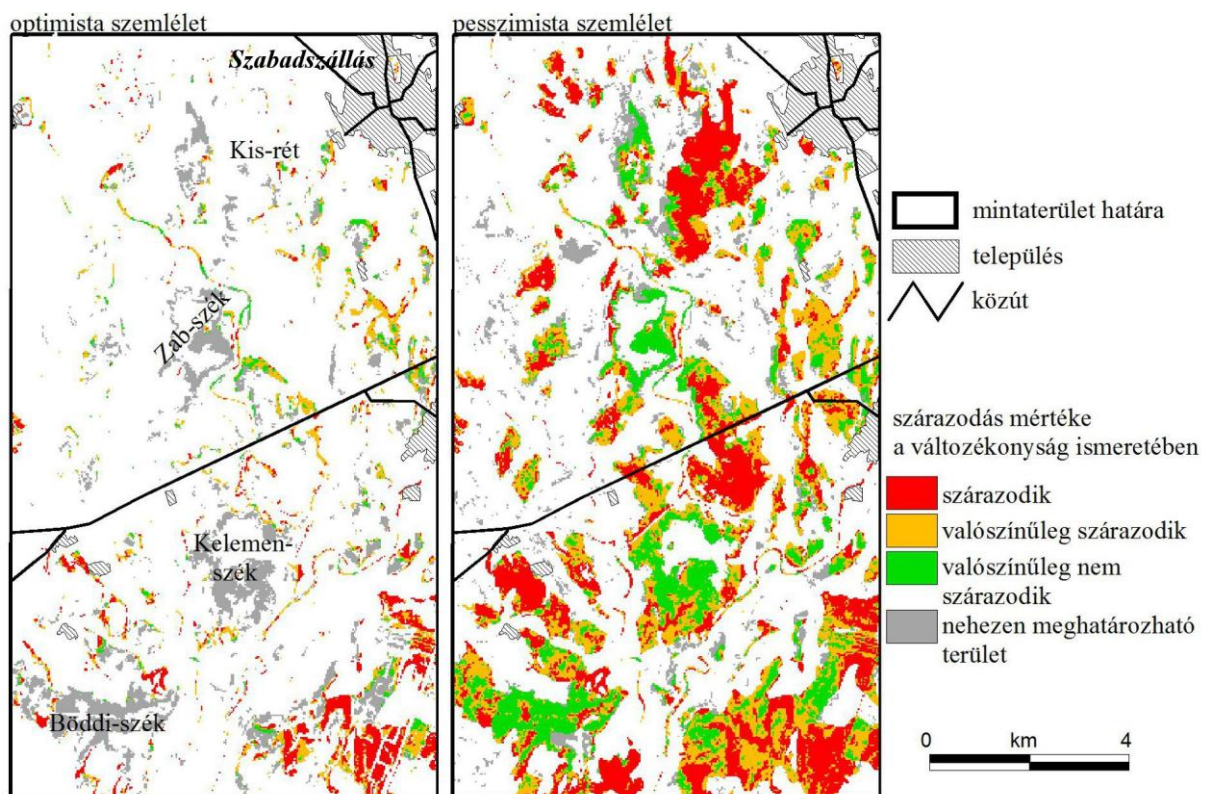


7. ábra A szárazodás térbelisége optimista és pesszimista szemlélet szerint

Az 1962. évekig jellemző referenciaállapothoz viszonyítva a napjainkig tartó megfigyelésben több olyan elem is előfordul, melyeket nehéz egyértelműen besorolni egy hosszú folyamatba (pl. a felszín egyszer nyílt vizes, másszor csak vizenyős, vagy száraz). Az „állandóan vizes” területek mindig vizes-vizenyős foltok voltak. „Általában vizes”-ek az átlagos évek szerinti foltok, míg a csak nagyvizek által elöntött rész a „változékony vizes”. A „mérsékelt szárazodó” kategória a mára elmocsarasodott állóvizeket és a kiszáradt egykori mocsarakat gyűjti egybe, illetve ide sorolhatók a csak nagy elöntéseknél megjelenő egykori vizek. A „szárazodó” osztályba az utóbbi évtizedekben általában szárazon maradó régi vizenyős foltok kerültek. „Veszélyesen szárazodó” az a terület, amely egykoron vizes volt, de a '80-as évek óta már nem az. A degradációs folyamat megítélésénél – a kérdéses területeknél – két eredményt, egy optimista és egy pesszimista szemléletet adtunk meg. Az optimista esetben a kérdéses foltoknál mindig a kedvezőbb, vizesebb meghatározást, a pesszimista esetben a szárazabb állapotot vettük alapul.

Meghatározásunk alapján a közel 130 éves adatsorban a pesszimista szemlélet szerint a terület 33,5 %-a szárazodik, míg az optimista szemléletnél ez 6,5 %. A rosszabb forgatókönyv esetében területünk 6,3 %-a veszélyesen szárazodó.

Változáselemzés esetén fontosak azok a területek, amelyek a változékonyságvértékelés szempontjából stabilak. A változékony területeken nehezebb változást regisztrálni, illetve veszélyesebb lehet egy folyamat, ha az állandóbb jelenségeket is veszélyezteti. A hosszú időtartamú elemzésben lehatárolt optimista, illetve pesszimista szemléletű eredményeket pontosítottuk a változékonyság térbeli eredményeivel és csak a kis változékonysággal bíró foltokon előforduló eredményeket hagytuk meg (8. ábra).



8. ábra A szárazodás térbelisége a változékonyság ismeretében

A pontosabb térkép szerint a pesszimista szemlélet szárazodási értéke 24,7%-ra csökkent, az optimista szemlélet 5,6%-ra redukálódott. A terület délnyugati, délkeleti és keleti részén, illetve a Zab-szék környezetében még a legkedvezőbb kép is problémákat jelez. A csa-



padék és hidrogeográfia kapcsolatát látva, a környezetben tapasztalt földrajzi folyamatokat ismerve elsősorban a pesszimista vélemény alkalmazhatósága a valószínűbb.

### **ÖSSZEGZÉS**

A szárazodás, az aszályhajlam fokozódásával várható problémák mértéke jól értékelhető a vizsgált tájalkotó tényezőkkel. Hiba lenne ha a rendkívül változékony mintaterületeken csak egy álláspontot fogadnánk el. Egyfajta keretet adhatunk a tájváltozást illetően. A nagy területű, rendkívül változékony területek folyamatos térképezése csak távérzékelési módszerekkel oldható meg.

A szárazabb 1980-as évek után a '90-es évek végétől jelentkező csapadékosabb évek hatása kedvező, de pozitív hatása nem általános. A területek nagy része a csapadék hatására is csak részben és rövid időre képes újraéledni.

### **Köszönetnyilvánítás**

A kutatást az OTKA támogatja (PD 78349).

Köszönöm az SZTE Éghajlattani- és Tájföldrajzi Tanszék meteorológiai adatszerzésben nyújtott segítségét.

### **FELHASZNÁLT IRODALOM**

- KOVÁCS, F. 2006. Tájváltozások értékelése geoinformatikai módszerekkel a Duna-Tisza közén különös tekintettel a szárazodás problémájára. Doktori (Ph.D.) értekezés, SZTE Természeti Földrajzi és Geoinformatikai Tszk. Szeged, p.106.
- LADÁNYI, ZS. 2010. Tájváltozások értékelése a Duna-Tisza közti Homokhátság egy környezet- és klímaérzékeny kistáján, az Illancson. Doktori (PhD) értekezés. SZTE Természeti Földrajzi és Geoinformatikai Tszk. Szeged. p.129.
- PÁLFAI, I. 2011. Aszályos évek az Alföldön 1931–2010 között. In. RAKONCZAI J.(szerk.) Környezeti változások és az Alföld. Nagyalföld Alapítvány kötetei 7. Békéscsaba: 87–96.
- RAKONCZAI, J. 2011. Effects and Consequences of Global Climate Change in the Carpathian Basin. In. Blaco, J.; Kheredmand, H. (eds.) Climate Change - Geophysical Foundations and Ecological Effects. Intech Open Access Publisher: 297–322.

### **WEB HIVATKOZÁSOK:**

[http://www.met.hu/eghajlat/eghajlatvaltozas/megfigyelt\\_valtozasok/Magyarország/](http://www.met.hu/eghajlat/eghajlatvaltozas/megfigyelt_valtozasok/Magyarország/)

<http://e4eil01u.ecs.nasa.gov:22000/WebAccess/drill?attrib=esdt&esdt=MOD13Q1.5&group=>

MOLT