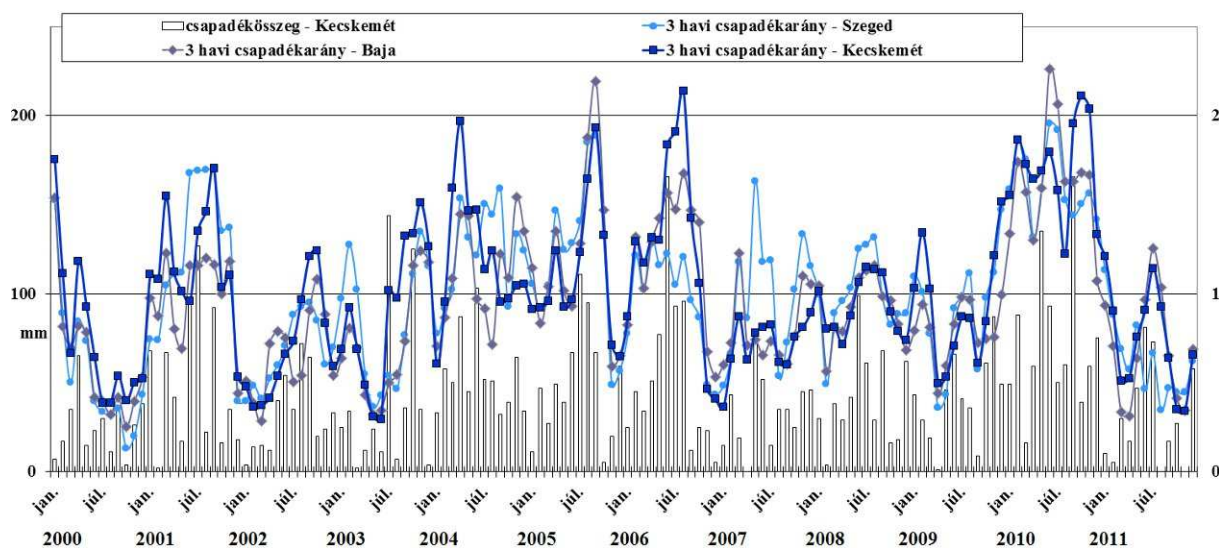


A KLÍMAVÁLTOZÁS FÖLDRAJZI HATÁSAINAK ÉRTÉKELÉSE TÁVÉRZÉKELÉSI MÓDSZEREKKEL

Kovács Ferenc – SZTE Természeti Földrajzi és Geoinformatikai Tszk.

1. Klimatológiai helyzet

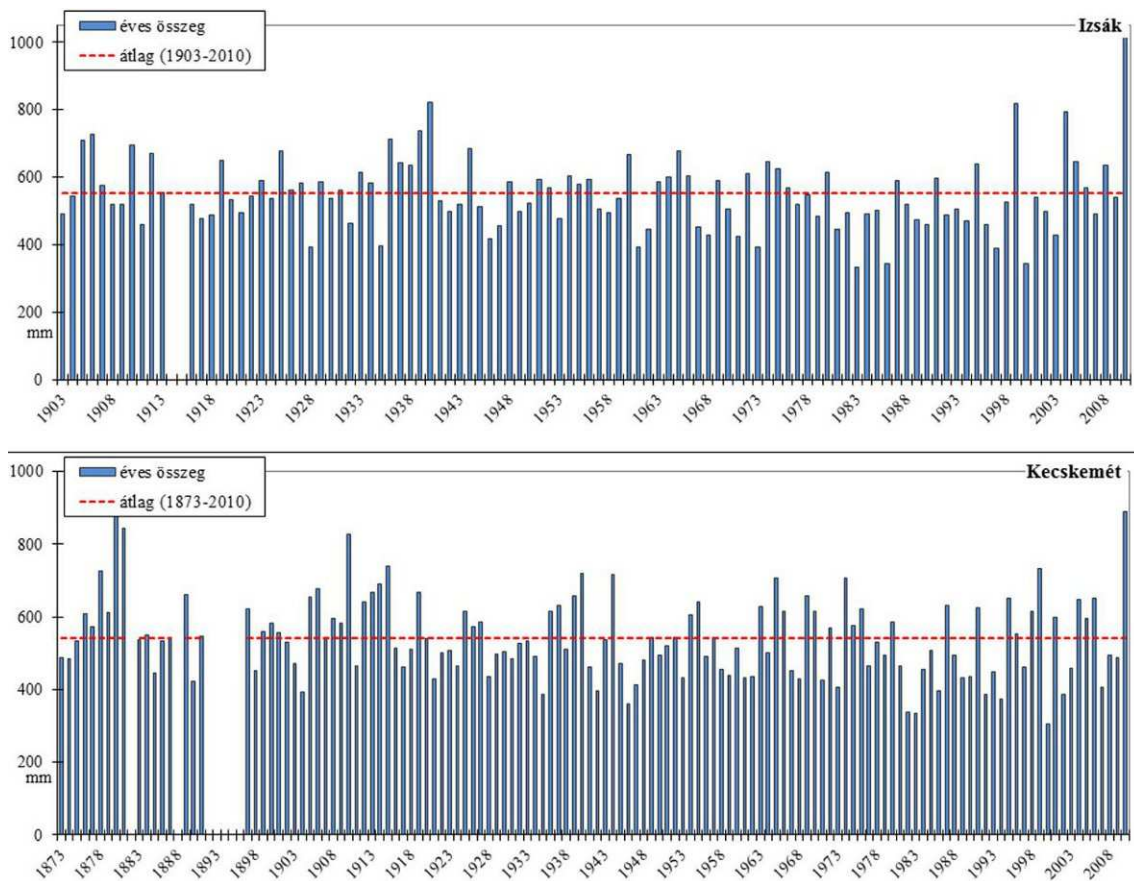
A kutatásunk számára fontos csapadékeloszlást a hosszú klimatikus időszorral rendelkező állomások alapján értékeltük; elsősorban Baja, Budapest, Kecskemét és Szeged alapján. Figyelembe vettük Cegléd, Izsák, Kiskunhalas adatait is. A vizsgált 12 éves időtartamon belül hét évben hullott az átlagosnál kevesebb csapadék; 4 évben 20 %-nál több ez a csökkenés (1.ábra). A 2004–2006-os időszaknak, illetve 2010-nek köszönhetően az utóbbi 50 évre vonatkozóan nem jellemző a csökkenő trend jelleg. *1999 és 2010. év kiemelkedő, és koncentrált csapadéértékei statisztikailag sok mindent kiegyenlíthetnek, 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

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 a méréseink szerint 1981–2010 közötti időre -327 mm, miközben a sokéves átlag 520 mm! A különbség 1971–2000 között is -560 mm volt! Szegeden még feltűnőbb a vízhiány! Baján 1971–2000 között és az utóbbi 30 évben egyaránt -800 mm a hiány, az átlag 603 mm ismeretében! Ez Budapesten -940–980 mm az 570 mm-es átlag mellett! *Vagyis a mintaterület északi és déli peremén egyáltalán nem normalizálódik a helyzet.* Kiskunhalason 1981–2010-re súlyosbodott az átlagtól való eltérés (-540 mm). Itt még 2006 is átlagon aluli értékkel bír.

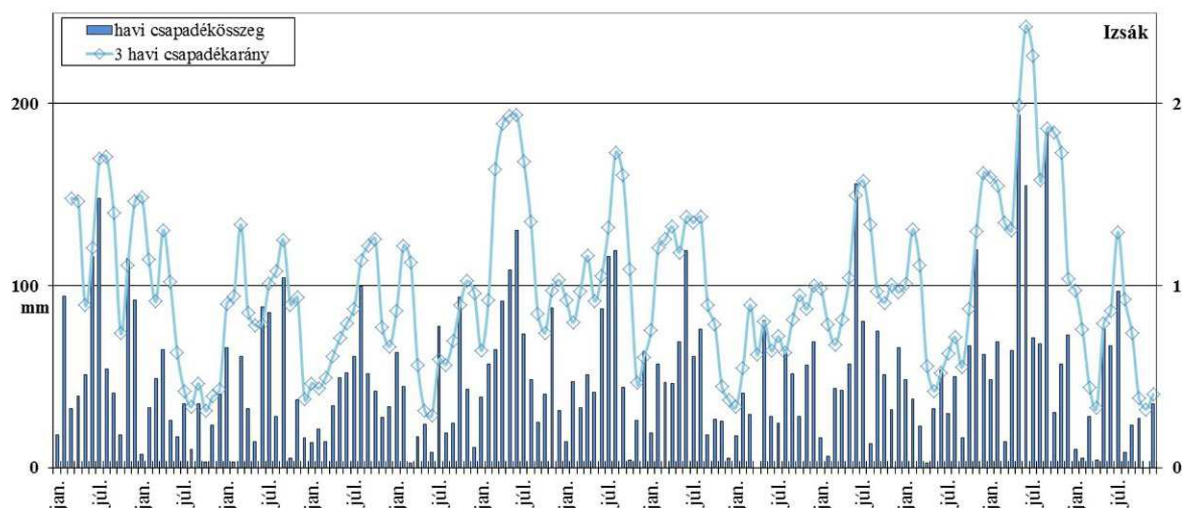
A lokális vizsgálatban fontos Izsákon 1971–2000 között két évnyi csapadék tűnt el, igaz ez az utóbbi 30 évre harmadára csökkent (2. ábra). Itt a sokéves havi átlagértékekhez képest az utóbbi 30 évben – még az extrém csapadékos 2010. év adatait figyelembe vevő átlagok mellett is – januárban, áprilisban, augusztusban, szeptemberben, októberben, novemberben és decemberben is lényegesen kevesebb eső, vagy hó eshet. Országos vizsgálatok szerint a tavaszi csapadékcsökkenés a legnagyobb mértékű. A vízutánpótlást biztosító téli félévben a hatból négy hónapban jelentős, 13–20 %-os a csökkenés (februárban és márciusban is csökkenést tapasztalhatunk, csak kisebb mértékben). Említésre méltó, nagyon kis növekedés csak júniusban figyelhető meg (ez az egyetlen hónap, ahol országosan enyhe növekedés jellemző). Az éghajlati normálértéket adó *1961–1990-es időszak átlagai a 110–130 éves elemzéshez képest már 15–40 mm-el kevesebb értéket mutatnak* (ami egy hónap csapadékösszege is lehet). De a szintén 30 éves, *1981–2010-es átlagértékek sem közelítik meg a hosszú időtartam 540–590 mm-es értékeit.*



2. ábra Éves csapadékösszegek hosszú időtartamú alakulása a mintaterületen (adatok: OMSZ, VITUKI) (Izsák 2010. évi értékeit Soltvadkert állomás adataival pótoltuk)

Az 1970-es évek második felétől két évtizeden át tartó csapadékszegény időszak után (a teljes adatsor három legkisebb értéke: 1983, 1986, 2000) a térségben az utóbbi 15 évben már csak 3-4 évben volt a normálértéknél 10 %-al kevesebb csapadék. A mintaterületen 1977-től 2004-ig csak három évben volt az átlagot 10 %-al meghaladó éves csapadékösszeg, míg az időszak felében a megszokottnál 10 %-al, a negyedében 20 %-al is kevesebb csapadék volt jellemző. Az 1999. évnél, a 2004–2006-os időszaknak, illetve 2010-nek köszönhetően az utóbbi 50 évre vonatkozóan nem jellemző a csökkenő trend jelleg. 1999 és 2010. év kiemelkedő (van ahol az átlagérték duplája hullott le), de *koncentrált csapadékértékei statisztikailag sok mindent kiegyenlíthetnek, de földrajzi hatásait tekintve egy-egy év nem szüntethet meg hosszabb folyamatokat*, mert a klímaváltozás igazi földrajzi veszélye nem a jóslat melege, hanem az, hogy a pozitív visszacsatolások miatt a folyamat nem áll meg, gyorsuló jelleggel folytatódik. A vízhiány problémájára jellemző, hogy 1999 előtt és után is 3-4 száraz év figyelhető meg, illetve 2011. év első négy hónapjában is a megszokott csapadék csupán 1/3-a hullott le (3. ábra).

Az utóbbi 11 év csapadékértékeinek részletesebb bemutatása segít a későbbi, nagy időfelbontású műholdkép-elemzés értelmezésében. A 3 havi csapadék összeg aránya a felvételezési hónap és azt megelőző két hónap csapadék összegének, valamint az 1903–2010 között azonos hónapokra mért csapadékátlag összegének az aránya. A *visszatekintő index (az ismert SPI-hez hasonló megelőző index)*, jól mutatja a fő vízutánpótlás és a felszíni vízmennyiség kapcsolatát. Látható, hogy az amúgy aszályos 2000. év nagy vízborításának az oka a képkészítést megelőző időszak folyamatos és magas csapadékaránya. Alapvetően rossz időszak a 2001. októbertől 2004. februárig, illetve 2006 szeptemberétől 2008 májusáig terjedő idő. Jó vízutánpótlással bír a 2004. márciustól 2006. szeptemberig, illetve 2009. novembertől 2011. januárig bíró idő.



3. ábra Havi csapadéértékek és arányuk 1999 januártól 2011 áprilisig (adatok: VITUKI) (2010-11. évi értékeket Soltvadkert állomás adataival pótoltuk)

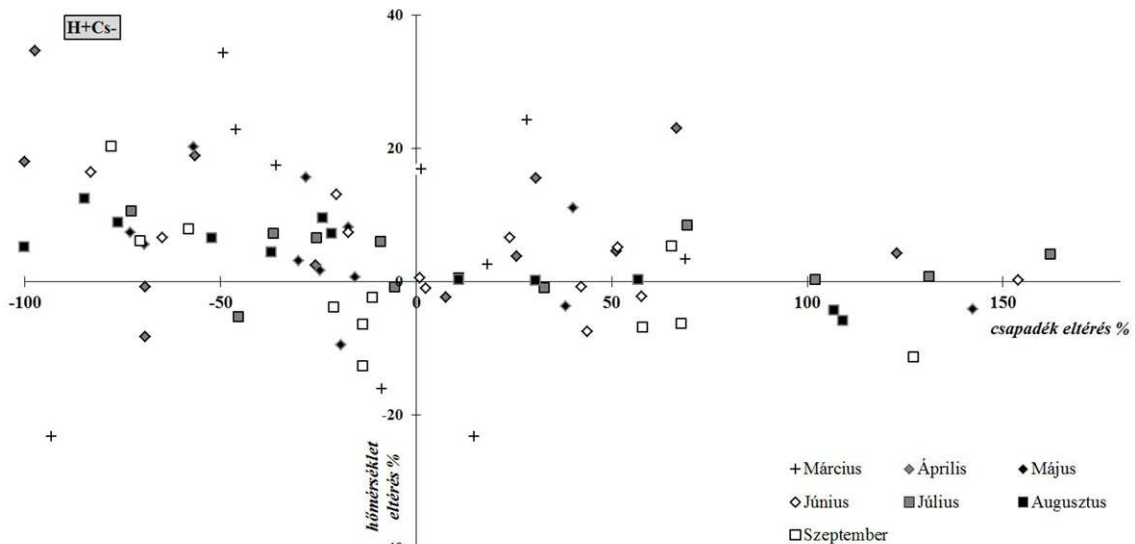
A klímaváltozást erősítik az elmúlt évtizedben előforduló extrém események. 1999-2000, illetve 2010-2011-ben kiugró csapadéértékeket rendkívül száraz év követ (a különbség mindkét esetben majdnem 2,5-szeres).

Baja, Kecskemét és Szeged csapadékarányai alapján 2000–2011 között az átlagtól való eltérést tekintve több a negatív irányú különbség, mind a pozitív irányú (Bajánál majdnem kétszeres a különbség). A vízben leggazdagabb idők a 2001. évre, 2004 februártól 2006 októberéig, illetve 2009 novembertől 2011 januárig terjednek ki. 2001 decembertől 2003 júliusáig, 2007 januártól 2008 májusáig és egész 2011-ben gyakorlatilag folyamatosan az átlagosnál 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. 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. A szárazodás szempontjából érdekes „átlag feletti hőmérséklet, átlag alatti csapadék (CS-,H+), együttes előfordulási lehetősége a Duna-Tisza közén a sokéves átlag alapján eleve 30 %, de ez az utóbbi 30 év alapján 35 %-ra nőtt. Ennek ismeretében jelentős az elmúlt 12 év, amikor 6 alkalommal az átlagnál kevesebb csapadék hullott és az átlagnál melegebb volt az idő, és még a maradék, csapadékosabb években is melegedés látható. A vízpótlást segítő „Cs+, H-, állapotban ekkor igazából egy időpontot sem találunk.

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+”) (4. ábra). Nyáron, májusban az idő 3/4-ében, augusztusban a 60 %-ban kifejezetten szárazodó. Szegeden csak pár %-al kisebbek ezek az értékek, és a kedvező „H-Cs+” állapot legalább nyáron 20 % fölé került.

1931 óta tíz súlyos aszály közül hat az 1990–2003 közötti volt és megnőtt a szorosán egymás után következő aszályos évek száma is (pl. 1981–1997-es időszak). Kiskunhalas itt is kiemelhető (2000–2009 között: 6 aszályos év)!



4. ábra Hőmérséklet és csapadék átlagtól való eltérése a nyári hónapokban 2001–2011 között Kecskeméten (adatok: OMSZ, OGIMET)

2. Biomassza produktum értékelése A Duna-Tisza közti síkvidéken 2000–2011 között

2.1. Bevezetés – A képiértékelés előkészítése

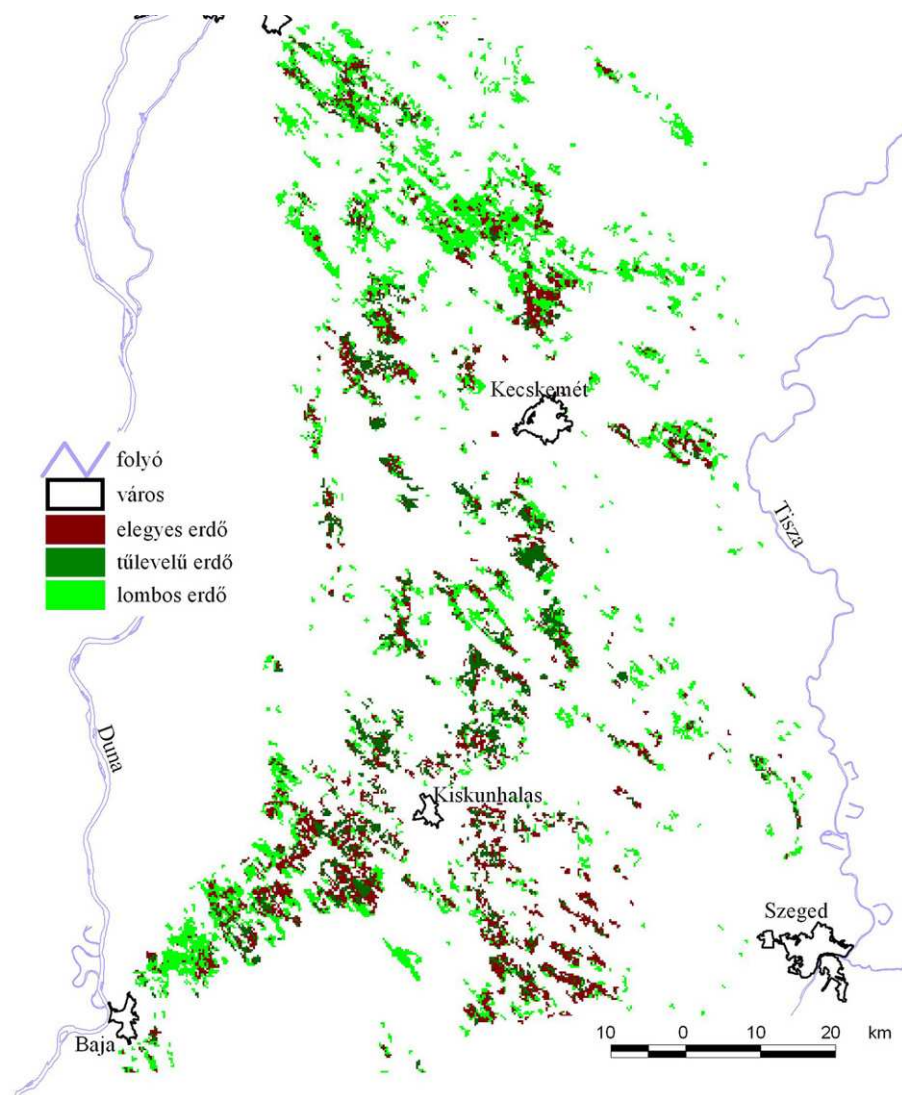
Célunk a természetes vízellátottság megfigyelése volt a Duna-Tisza közti síkvidék erdeire összpontosítva, a 2000–2011 közötti időtartam nyári féléveire (5. ábra).

A nagy időfelbontással bíró MODIS felvételekre mindenképpen szükségünk volt a vegetációs dinamika kiértékeléséhez. Az USGS Data Pool adatbázisából letölthető 250 m-es részletességű, 16 napos összegzésű vegetációs index képeken (NDVI, EVI indexek) a CLC50 térkép alapján határoztuk le az erdőterületeket.

A Duna-Tisza közének rendkívül heterogén területhasználata az alkalmazott képek mellett nem engedte meg a nagyon részletes faj- és fajta elkülönítéseket, így alapvetően háromféle felszínfedettség elemzésére került sor. A kis geometriai felbontású képek cellái közül csak az ún. „mintapixel”-ket, azaz a szempontunkból fontos felszínfedettség által legalább 60–65 %-ban fedett pixeleket figyeltük meg. Az erdők osztályát lombhullató, tűlevelű és vegyes erdő kategóriák alkotják 65.725 ha, 23.931 ha és 37.150 ha területi értékekkel; ez összesen 126.806 ha. Így mintaterületünkön 14 %-os erdősültségről beszélhetünk; a 11 vizsgált kistérségben az erdőterület 2/3-át: sorrendben Pilis-Alpári homokhát, Bugaci-homokhát, Illancs, Kiskunsági-homokhát. Az Illancs összterületének 38 %-a erdő.

A MÉTA hatszög adatok alapján a természetességi fok átlaga a lomblevelű erdőnél 6 %, a vegyes erdőkben 7,1 %, a tűlevelűnél 7,8 %. A legmagasabb természetességi fok értékkel (20–32 %) a lomblevelűek 4,2 %-a, az elegyes erdők 3 %-a, míg a tűlevelű erdők 7,8 %-a rendelkezik. A természetközeli erdők a mintaterület középső részén helyezkednek el.

A nagy területet érintő változásokat (erdőgazdálkodás, fanövekedés) azonban az 1:100.000 alapú CLC2000 és 2006. évek közötti térképezések alapján tudtuk elvégezni, ami természetesen pontatlanabb, mint az 1:50.000 méretarányú lehatárolás. A számunkra érdekes 2000–2006 közötti időben csak azokat a MODIS cellákat néztük, ahol az erdős cellánk legalább 10 %-a változott (min. 6250 m²). A változás mértéke így összességében 24 %. A csökkenés a mintaterületünk 11 %-át érinthette, ekkor a korábbi erdő teljes mértékben átmeneti erdős-cserjés folt lett. A cellák 1,5 %-ában csökkenés és növekedés is előfordulhatott. A felszínfedettség változások térbeli lehatárolásait az eredmények pontosításánál figyelembe vettük.



5. ábra Erdők területi elhelyezkedése a MODIS 250 m-es raszterháló alapján

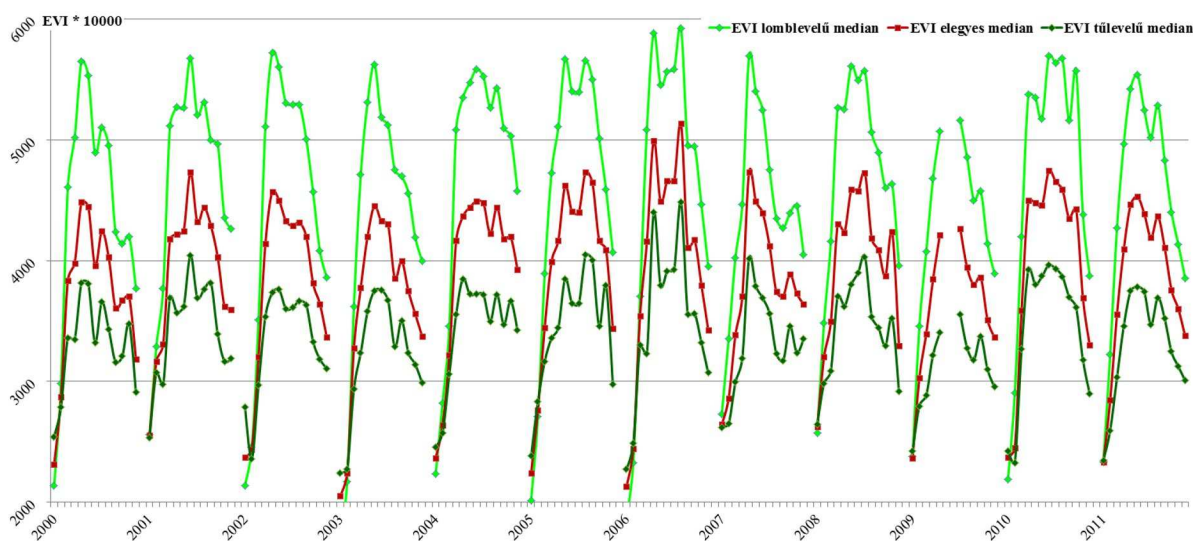
2.2. A vegetáció állapotának jellemzése az 2000–2011 közötti időtartamban

A statisztikai eredmények mellett a területi lehatárolás volt a fő szempont.

Az EVI, NDVI havi átlagokat tartalmazó adatsorban jellemzően legkisebb értékekkel a fenyőerdő rendelkezik, majd elegyes erdő, lombos erdő a növekvő sorrend; a különböző fajok görbéi hasonló futásúak (6. ábra). Az NDVI – a kora tavaszi alacsony értékek miatt – szélesebb értéktartományban található (0,37–0,85) és magasabb átlagértékekkel bír, míg az EVI adatai nagyobb szórást mutatnak és a fajok közötti különbség is jelentősebb, mint az NDVI-nél. A szűk értéktartományok előrevetítik az első látásra csekélynek tűnő pár tizedes változások jelentőségét. A különböző erdők EVI, illetve NDVI indexérték görbéinek alakulásában nincs jelentős különbség, de *az EVI értékek sokkal változékonyabbak. Érzékenyebbnek tűnnek a növényzeti változásokra, a külső hatásokra, amire jó példa a többszűcsű görbék gyakori megjelenése.* A vegetáció mennyisége általában június elejére-közepére éri el csúcst, ami az EVI esetében egyértelműbb. Júliusban több esetben is egy hullámvölgy tapasztalható a görbén, amit augusztusi növekedés követ.

Az NDVI medián a lomblevelűnél 0,4–0,85, az elegyes erdőnél 0,45–0,8, a fenyőnél 0,5–0,75 között jellemző. Ehhez képest a 0,2–0,6-es EVI értéktartományban csak a maximumokban van különbség (elegyes erdőnél 0,46-ig, fenyőnél 0,4-ig nő a medián). Vagyis az örökzöldek tavaszi „zöldsége” jobban látszódik az NDVI esetében. A kora nyári hirtelen NDVI növekedés az egyes időpontok között kicsit nagyobb (+ 0,14–0,2) ütemet is mutat a +0,1–0,15-

es EVI- hez képest és általában júniusban éri el a csúcspontot. Az éven belüli NDVI csökkenések sokkal kisebb mértékűek; egyedül 2007-ben látható -0,1-es éven belüli változás, de az is 2 hónap alatt történt. A növekedéshez hasonló EVI csökkenés a nyári félv második felében csak egy-egy évben (pl. 2006, 2010) tapasztalható. Ez még a legkiegyensúlyozottabb értékekkel bíró lombos erdő esetében is látható. A lombkorona megjelenésével a lomblevelű és elegyes, illetve az elegyes és a tűlevelű NDVI között is kb. 0,05-0,08 átlagérték különbségek fedezhetők fel és a görbék futása is hasonló. A lomblevelű és elegyes EVI között kb. 0,1-0,11, az elegyes és a tűlevelű között kb. 0,07-0,08 különbségek fedezhetők fel (NDVI-nél jelentősebb). A tavaszi EVI indexérték hátrányból nyárra a lomblevelű legalább 0,15-ös előnyre tesz szert a tűlevelűekkel szemben. A késő nyári másodlagos csúcsértékek a lomblevelű NDVI adatoknál általában 0,03–0,05-al (az EVI esetében 0,1-el) maradnak el a júniustól. Csapadékosabb augusztus-szeptemberben tapasztalhatunk júniusi, vagy annál magasabb értékeket.



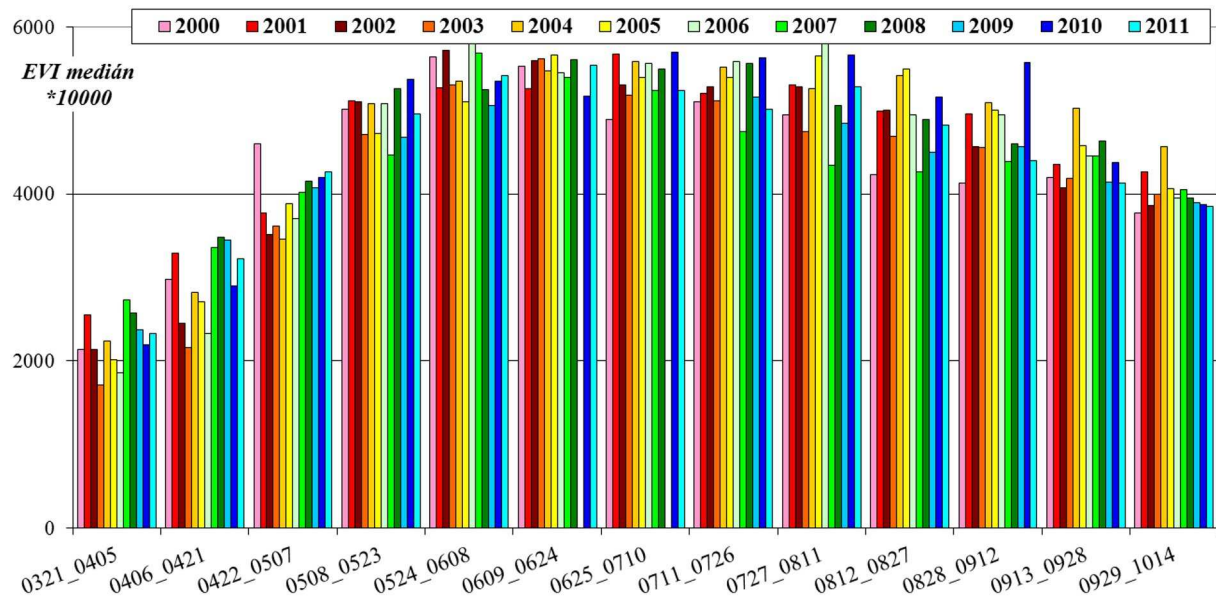
6. ábra EVI medián alakulása 2000–2011 között

A 2004 márciustól jellemző kedvező, *csapadékosabb állapot főleg az NDVI-nél emelkedik ki szigetszerűen, de 2007. évre gyorsan lecsökken. 2010 hiába döntött rekordokat csapadékosan, egyedülálló nedvesebb évként nem mutat kiugró eredményeket.* A tűlevelűek térnyerésével az éven belüli EVI ingadozás nőhet, lásd. 2000, 2006. évek elegyes- és tűlevelű erdőit, ill. a 2000–2001, 2004–2006-os időszakokat. Az NDVI medián értékek futása, alakulása a lomb- és tűlevelűtől független. Legváltozékonyabb NDVI évek ebben az esetben 2003 és 2007. Az NDVI-nél az évek közötti különbségek jobban látszódnak (pl. 2000-2001).

EVI csökkenés jelei 2001–2004, illetve 2006–2009 között mutatkoznak, de elegyes és fenyőerdőket nézve utóbbi inkább 2006–2011! Érdekes, hogy 2005. év NDVI medián értékei kedvezőbbnek tűnnek, mint 2006! Így 2005. évtől kezdődik a csökkenés, amit a 2008. évi magasabb értékek megszakítanak. *A fenyőnél mondható ki az NDVI 2005–2009-es csökkenés.* A tűlevelű erdő EVI és NDVI átlagai a 2004–2006, illetve a 2010. év hatásai ellenére sem mutatnak pozitív jellegű trendet a 12 év alatt.

Az egyes hónapokra nézve az EVI, NDVI lomblevelű *március végétől április közepéig* lévő időszakot 3-4 évente kiugró (2001, 2004, 2007) EVI értékek jellemzik, amelyek utána évről-évre csökkennek (7. ábra). A magasabb értékek egyre magasabbak, vagyis *igazolódhatnak a melegedés miatt egyre korábbi kizöldülést prognosztizáló elemzések.* *Április végén (és május elején)* 2002–2011 között elsősorban a lomblevelű EVI (és a vegyes erdő EVI) mutat növekedést; 0,35-ről 0,43-ra. A lomblevelű NDVI váltakozó képet mutat, egyik év zöldebb, a másik kevésbé, igaz az *alacsonyabb értékek (2001, -03, -05, -07, -09, -11) évről-évre alacsonyabbak.* Ezzel szemben 2000–2006 között a lomblevelű NDVI értékek csökkennek, majd

2010-ig növekvőek. A vegyes- és a tűlevelű erdő értékeiben március-áprilisban alapvetően az 1-2 éves szárazabb-zöldebb periódusok váltják egymást.



7. ábra Lomblevelű EVI medián értékek alakulása a 2000–2011 közötti időszakban

Májusban az EVI értékek enyhe változékonyságot mutatnak, de alapvetően stabilak, vagy inkább növekvők, a több kiugró értékű év miatt. Az NDVI esetében némi biomassza produktum hiány fedezhető fel, a legtöbb a lomblevelűnél.

Az EVI szempontjából június közepe, az NDVI-nél az ezt megelőző 05.24.–06.09. a legkiegyensúlyozottabb időszak, nagyon kicsi az évek közötti különbség. Az NDVI június végén enyhe növekedést mutat. Az évek közötti EVI változékonyság júliusra megnő. A tűlevelű EVI értékek mutatnak enyhe csökkenést. A 07.27–08.11. időszak a legváltozékonnyabb mindkét indexnél (különösen a lomblevelű és elegyes EVI esetén). 2003–2006 és 2007–2009 között az időszak jól láthatóan EVI indexnövekedést mutat, jelentősebb biomassza produktum hiányok megjelenésével (2003, 2007(!), 2009). 2006-2007 hasonló 16 napos időszaka között 0,12-0,16 EVI, illetve 0,1-es NDVI csökkenés jellemző. Hasonló, évek közötti különbséget 2010 és 2011 késő nyári értékek között láthatunk. Ez azért is érdekes, mert az aszályhajlam fokozódásával egyre több, a 2000, 2007, illetve 2011. évhez hasonló helyzet alakulhat ki. *A hirtelen csökkenés a területre jellemző vízhiányt is mutatja; csapadékosabb évek után következő száraz év hatása azonnal visszaveti a zöldtömeget.*

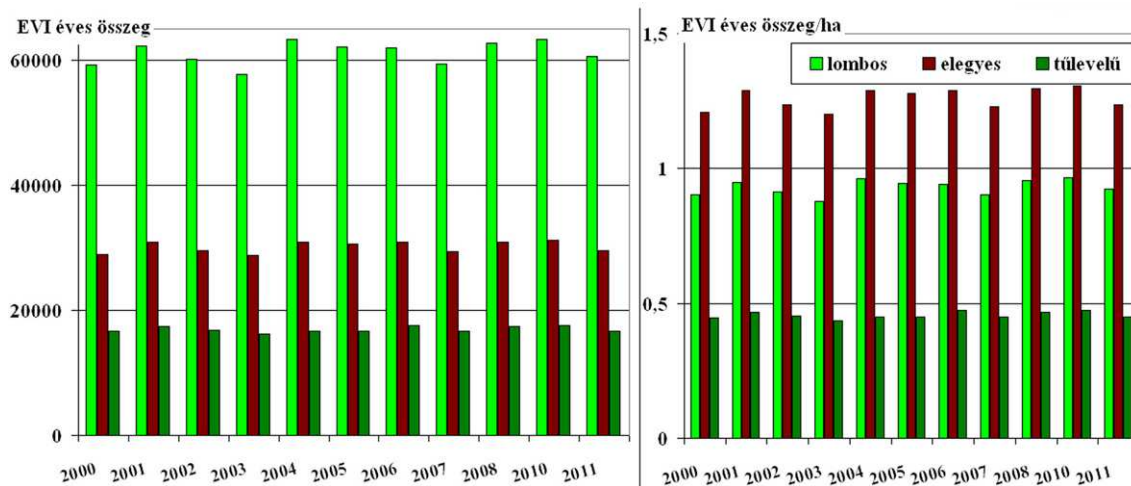
Az éves csapadékösszeget ismerve az éven belüli csapadékeloszlás miatt a szeptember eleji időszakban az EVI és NDVI lomblevelű 2004-től 2009-ig csökkenő, míg szeptember közepe és vége 2004-től napjainkig csökkenő. A melegedéssel meghosszabbodó vegetációs időszak elmélete itt nem igazolódik. Ez a folyamat az elegyes- és fenyőerdő esetében nem ennyire egyértelmű, de tartós biomassza-produktum növekedésről nem beszélhetünk. Az elegyes és a tűlevelű erdő NDVI értékei nőnek az ősszel, de csak 2000–2006 között. Kiugró értékekkel az olyan szélsőséges évek bírnak, mint 2000 (pl. az április), vagy 2010 (augusztus).

A teljes mintaterület NDVI és EVI értékeit összeadva kaphatjuk meg a az adott vegetációra jellemző biomassza produktumot. Ha az elegyes erdőhöz viszonyítjuk, akkor az arányok az NDVI esetében: lomblevelű-elegyes-tűlevelű: 1,8-1-0,6; míg az EVI-nél: 2,1-1-0,6. Az éves összeg három-négy éves periódus szerint ingadozik (4–9 %-os különbség a magasabb és alacsonyabb rész között). Jellemzően 2010-ben voltak a legnagyobb értékek, az NDVI-nél esetenként 2006-ban. *A havi összegek időszora teljesen kiegyensúlyozott képet mutat, ami a klímaváltozás szempontjából kifejező is lehet, hiszen a magasabb 2004–2006, illetve 2010 csapadékértékek ellenére sem növekszik a biomassza.*

Az éveken belüli adateloszlást nézve a lomblevelű erdőknél a kora nyári időszakban egy hónapon belül kétszeresére is nő a vegetációs mennyiség az EVI szerint. A legtöbb zöld általában a június közepére jellemző. Ugyanez a növekedés az elegyes erdőnél 70 %, a tűlevelű csak 30-40 % körüli. Az NDVI mérsékelt; lomblevelű 30-40 %, a tűlevelű 20 %. NDVI összegek szerint a 06.26.-07.11-ei időszakra nő meg igazán a zöldtömeg.

A nagy változékonyság a vegetációnak a környezeti hatásokra adott gyors válaszát feltételezi. Ezek az évközi változások egy évtizedes időtávban kiegyenlítődhetnek és hosszú távon ugyan stabil állapotúnak tűnik de valójában rövid időtartamon belül rendkívül sérülékeny, aszályra hajlamos időszak. Ez az évek esetében 2000, 2003, 2007, 2011-nél, a hónapoknál április, július és augusztus esetében jól látszódik. Az aszályosabb időkben nyár végére a csúcserték 20-25%-os csökkenése jellemző a biomassza-terméket jelző index összérték szerint (ez általában 10-13 %). Ez az összehasonlító érték a szélsőséges éveknél az átlagtól való eltérést is mutatja.

A lomblevelű területeken figyelhető meg a legnagyobb biomassza-termék; általában az elegyes erdők több, mint kétszerese jellemző (8. ábra). Területegységre lebontva hektáronként az elegyes erdőnél a legtöbb a vegetációs mennyiség! Éves összegeket tekintve 3-4 éves periódusok jellemzőek, amikor 2001–2003, illetve 2004–2007 csökkenő időszakok.



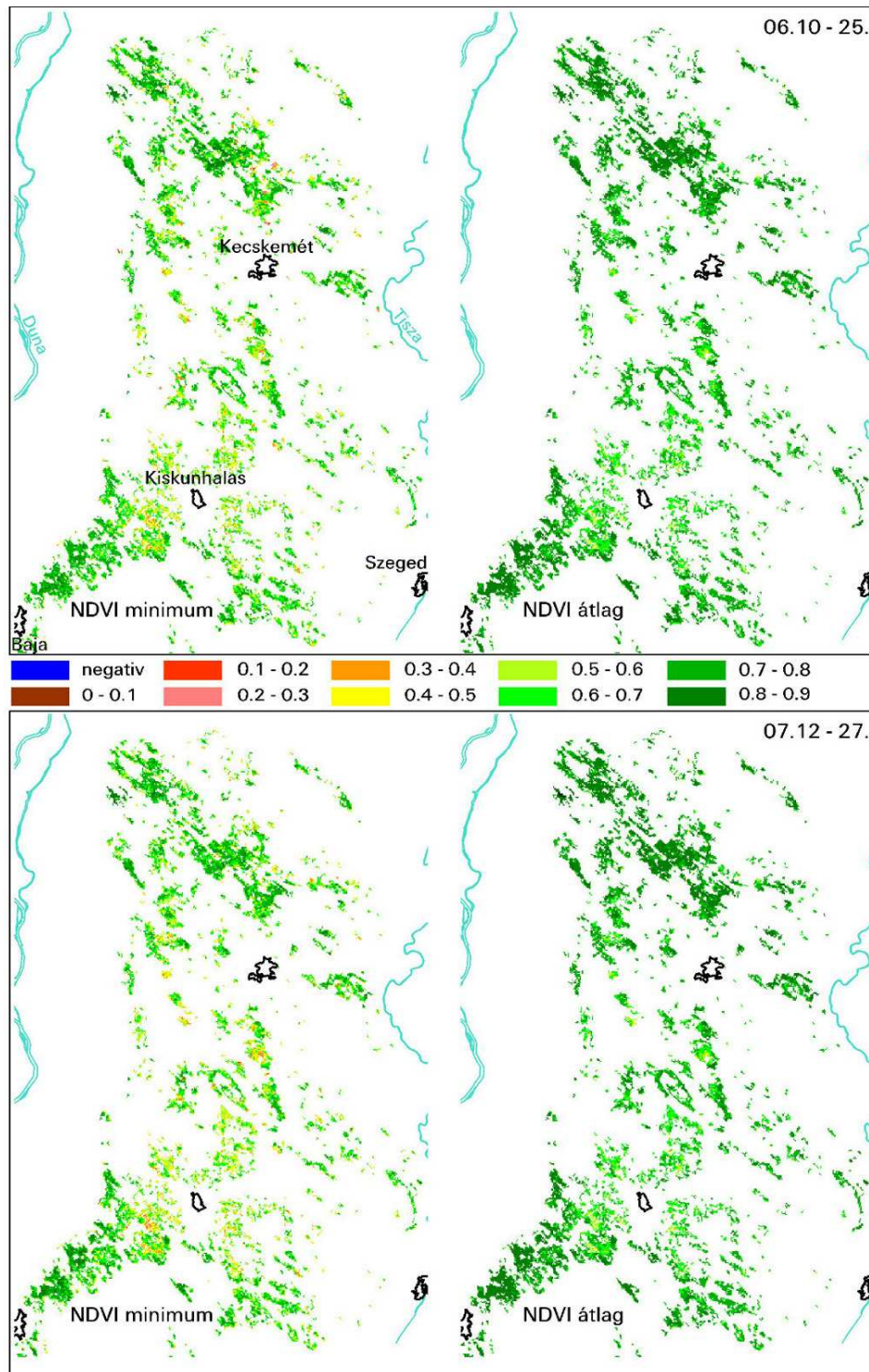
8. ábra A biomassza-termék összege és területegységre eső alakulása

A biomassza térbeli eloszlásának alakulásánál természetesen az erdők állapotát meghatározó négy hónap (május, június, július, augusztus) a mérvadó. Az NDVI értékek több, mint 95 %-a egy három tizednyi értéktartományban található. A lomblevelű és elegyes erdőben 0,7–0,8 között, a tűlevelű 0,6–0,7 közötti tartomány jellemző a területek felén; ez a legstabilabb értéktartomány. A gyors, kiteljesedő zöldülést a nyár folyamán egy lassú csökkenés jellemez. A legmagasabb biomasszát jelző 0,8–0,9-es tartomány májusi részaránya júniusra az elegyes erdőnél megnégyszereződik, a lomblevelűnél megduplázódik. Ez a részarány a lomblevelűnél tovább nő, míg az elegyes öszig csökkenő. A fenyők esetében is gyors kora nyári növekedést látunk. A lomblevelű NDVI termelés csúcsa július, míg az elegyesé és a tűlevelűé június.

Az EVI elegyes erdőknél a 0,4–0,5 tartomány képviseli a területek felét és júniusban jellemző a 0,5–0,6-os tartomány magasabb részaránya; májushoz képest júniusra háromszorozódik, ami viszont radikálisabban csökken augusztusra (kb. 1/3-ra), mint az NDVI. A 0,4–0,5 tartomány azonban végig a legnagyobb részarányú. Az EVI érzékenysége a vegetációs változásaira itt is feltűnő. A lomblevelű júniusra a 0,6–0,7-es tartományban is elfoglal 20 %-ot. Ez viszont gyorsan lecsökken, már júliusra is és az alacsonyabb kategóriák erősödnek, vagyis az EVI szerint június a lomblevelű termelés csúcsa. A 0,4–0,5, illetve a 0,5–0,6 tartomány egymáshoz képest a vegetációs fejlődésnek megfelelően változik, de itt nincs domináló tartomány. A tűlevelű esetében az előzőekben is megszokott egy tizedes eltolódás jellemző, vagyis

0,2–0,5 tartományban vagyunk; a 0,3–0,4 dominál (57-67 %). A fenyők produkciócsúcsa inkább a július, de a változás mértéke a többi erdőnél kisebb. A legjelentősebb biomassza-produkció időpontját illetően eltérés tapasztalható a különböző indexeknél. A változékonyabb kép, a folyamatok intenzitása erőteljesebb az EVI esetében.

A legalacsonyabb értékek a egyes erdő területein jelentkeznek. Az aszályveszély a magas hőmérsékletű július-augusztusban a legjelentősebb (9. ábra).



9. ábra Átlag és szélsőség térbelisége az erdőnövekedés szempontjából fontos időszakokban

A Majsai-homokhát egésze (különösen az ÉÉK-i része), az Illancs ÉK-i csücske és a Dorozsma-Majsai-homokhát legnyugatabbi részei, a Kiskunsági-homokhát középső része a legveszélyeztetettebb az aszályok által; ezek elsősorban elegyes- és tűlevelű erdőkre vonatkoznak. Aszályveszélyes lomblevelű erdőket főleg a Pilis-Alpári-homokhát közepén találhatunk. A minimum érték térképek alapján az Illancs középső és DNY-i részei, a Pilis-Alpári-homokháton és a Kiskunsági-homokháton az É-i részek, DDNY-i Dorozsma-Majsai-homokhát a legkevésbé aszályveszélyes területek.

Az átlagos állapotokat tekintve (eleve alacsony értékek) veszélyeztetettek az Illancs elegyes erdői, a Kecskeméttől délre lévő tűlevelűek jelentős része. A Kiskunsági-homokhát érzékeny örökzöld területein a MÉTA adatok szerint értékeesebb tűlevelűek is vannak.

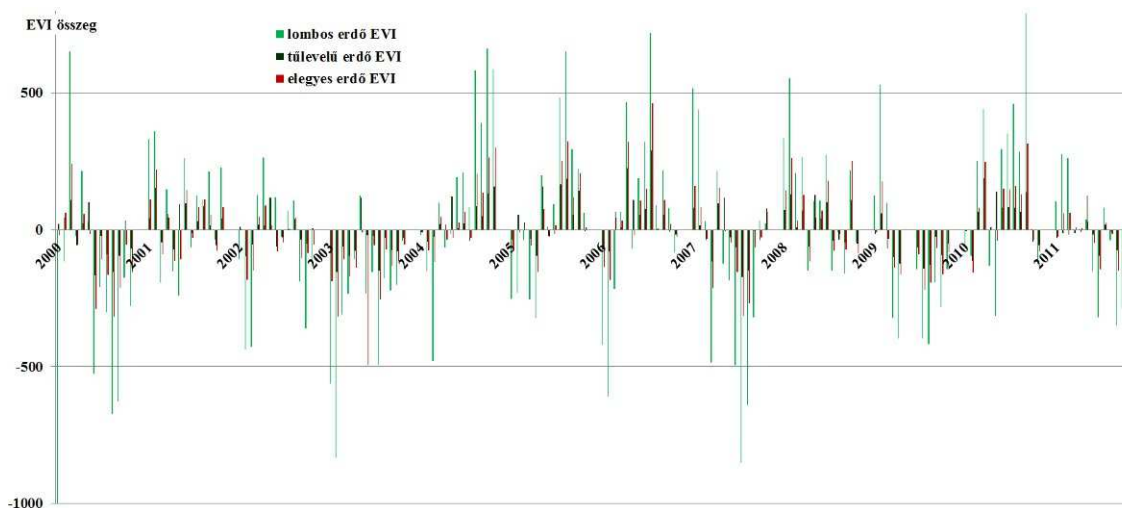
Az erdőgazdálkodás (fakivágás, beépítés) és az alacsony vegetációs index értékek átfedése nagyon alacsony, körülbelül 6 %, az Illancs elegyes erdeinél, illetve a Kiskunsági-homokhát tűlevelűinél jellemző.

2.2.1. Az átlagtól való eltérés vizsgálata térben és időben

A teljes 12 év 16 napos NDVI és EVI képei alapján úgynevezett átlagképeket készítettünk az egyes felszínfedettségi osztályokra. A pixelenkénti átlagértékek figyelembe vételével a helyi hatások is szerepet kapnak. A referenciaszinttől való eltérés időbeli és térbeli vizsgálata ki-fejező lehet a vegetációs dinamika alakulásában és segíti a biomasszamennyiség-csökkenés miatt veszélyben lévő területek kijelölését.

Az átlaghoz viszonyított különbségek megmutatják mely területek erdei érzékenyebbek. Az eltérések, mint veszélyeztetettségi szintek a kedvezőtlen, potenciálisan csapadékszegény klímaváltozás hatására adott vegetációs válaszként prognosztizálhatók.

Az átlagtól való eltérés idősorában összességében a negatív különbségek jellemzőek, igaz a különbség nem meggyőző (a 16 napos időszakokat összesítve 52–56 % a negatív eltérést mutatók aránya) (10. ábra). Csak a lombos erdő NDVI-nél jellemző, hogy többször átlag feletti az eltérés a 16 napos időszakokban (összeadva itt is negatív az eltérés), míg az EVI tűlevelű esetében hiába van több átlag alatti időszak, az eltérések összege pozitív. EVI 16 napos periódusokat megvizsgálva augusztustól októberig a negatív eltérés jellemzőbb, míg április-május a pozitív eltérésekben jellemzőbb. Június-július vegyes képet mutat.



10. ábra EVI eltérések összege 2000–2011 között a különböző fásszárúak esetében

2000, 2002, 2003, 2007, 2009, 2011 (vagyis az évek fele) mind negatív eltéréseket mutató évek, valamennyi erdő esetében. Az NDVI-nél 2002-ben csak a tűlevelű, 2011-ben csak a lomblevelű mutat pozitív eltérést. 2000 és 2003 negatív eltérése kiemelkedő, míg 2007 és 2009 az EVI esetében sokkal markánsabb negatív eltérést mutat. Pozitív irányban 2004–2006, mint három jó év emelhető ki, de 2010 a sok csapadék ellenére sem mutat kiugró értékeket!

Nem jellemző a tisztán pozitív, vagy negatív év. Hosszabb periódus a 2002 augusztus végétől 2004 május elejéig tartó EVI és NDVI negatív eltérés. Az alapvetően pozitív eltérésű éveknél a negatív eltérések tavasszal a jellemzőek. A kiugró eltérések mértéke NDVI esetben nagyobb negatív irányban (2000, 2003 és 2007 nyarán, 2006 tavasszal), míg az EVI esetében ez kiegyenlítősebb (a negatívok ellensúlyozására 2006 és 2010 nyara említhető meg). Az a terület, amelyik az átlagolás ellenére negatív értékkel bír a vizsgált időszak alatt, az a klímaváltozás szempontjából veszélyeztetettnek mondható.

Legnagyobb negatív és pozitív eltérések július-augusztus hónapokban és tavasszal vannak. Legnagyobb pozitív, ill. negatív eltérés ugyanazon időszakban 2006.07. ill. 2007.07 között!

Az EVI eltérések térbeliségét valamennyi időszak eltérésének összeadásával mutathatjuk be. Az így kapott eredményt a 154 kép összegével kaptuk meg. Egy-egy időszak hatása kiegyenlítősebb az átlagos éveken, de ha folyamatosan negatív hatások érik a felszínt, akkor negatív irányban fog eltérni a területi érték. *Klimatikusan érzékenyebb a terület, ha a folyamatos negatív eltérések minél nagyobb mértékben meghaladják az átlagos értékeket.*

Az összterületet tekintve az erdők 1/4-e mutat negatív eltérést az EVI szerint, mondhatjuk 25 %-a veszélyeztetett a klímaváltozás által (11. ábra), itt figyelhető meg a legnagyobb csökkenés kedvezőtlen klimatikus körülmények esetén. A negatív eltérést mutató pixelek térbeni egyezést mutatnak a talajvízszint-csökkenéssel jellemezhető területekkel¹. 15 %-nál az eltérés jelentősebb; több, mint -0,15 EVI. 7 %-nál 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 (12. ábra). Az összterületet tekintve az erdők 16 %-a mutat negatív eltérést. 5 %-nál az eltérés jelentős. Az átlagos kép itt 44%!

A jelentősebb pozitív eltérésű területek nagyobb ellenállóképességgel 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.

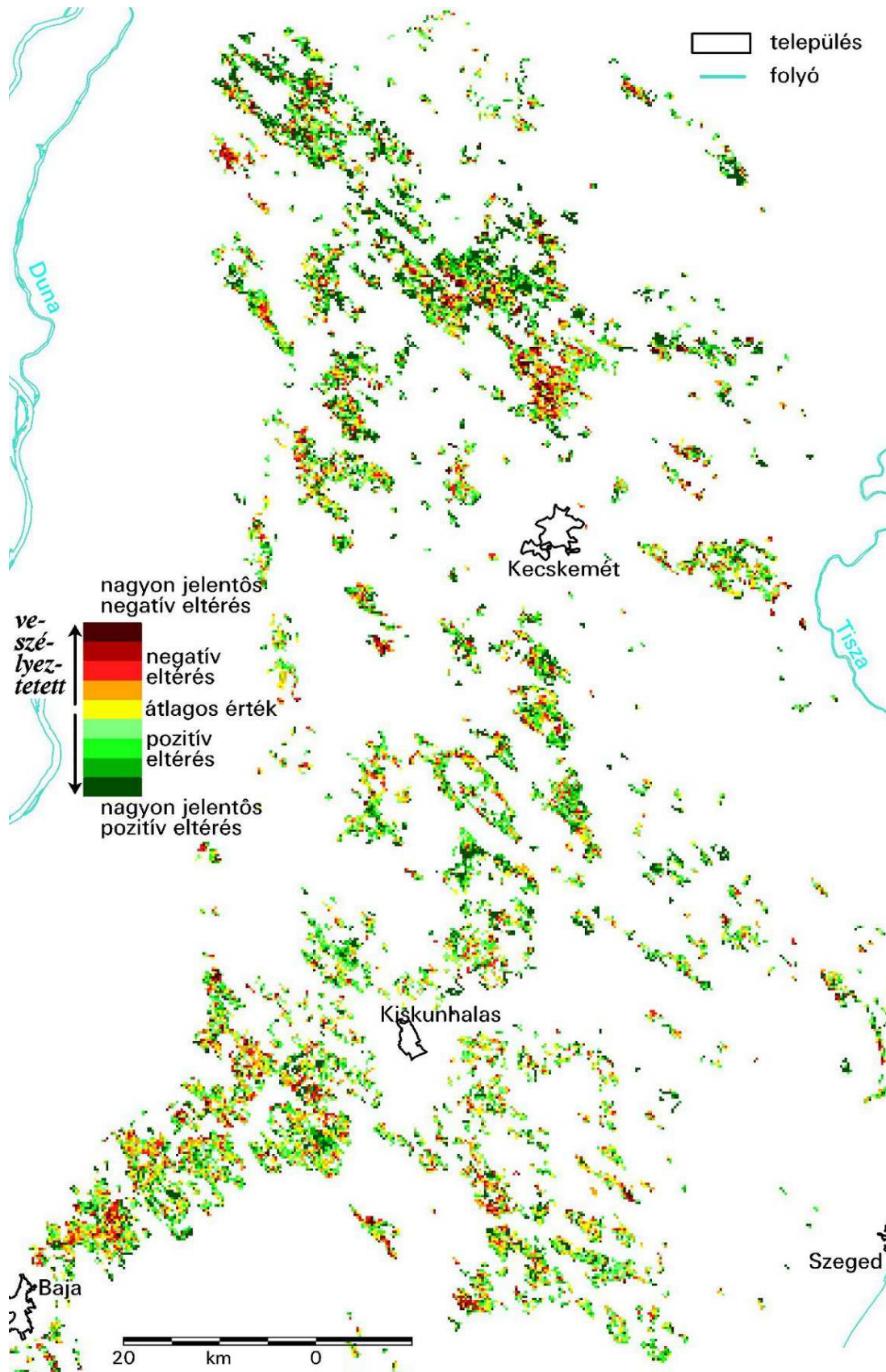
A lomblevelű erdők 20 %-a veszélyeztetett az EVI szerint. 12 %-nál az eltérés jelentősebb. A terület 70 %-a pozitív-, 22 %-a nagyon jelentős pozitív eltéréssel bír. A tűlevelűek hasonló képet mutatnak. Legrosszabb az elegyes erdők helyzete, ahol a negatív eltérés a terület 38 %-án figyelhető meg. Az átlagos értékek 24 %-ot foglalnak el (ez a másik két erdőnél csak 12 %). A pozitív eltérés 38 %. *Összterülete révén a lomblevelű erdő mutatja a legnagyobb eltéréseket, de ha területegységre vizsgálódunk, akkor feltűnő az elegyes erdő elsősége, vagyis ez reagál a legérzékenyebben a környezeti változásokra.*

Összesen 17.944 ha-on van a jelentősnél és annál nagyobb negatív EVI eltérés, ami 14,1 %-os arány. Bár az átlagtól való eltérés vizsgálatában a különböző hatások figyelembevétele miatt igyekeztünk az átlagot minden egyes cellánál a teljes időtartamra számolni, azért nyilvánvalóan befolyásolhatják a negatív értékek megjelenését a fakivágások, beépítések. Az előbbi 14,1 %-os arányt mutató negatív EVI eltérés térképet és az antropogén eredetű tartós (beépítés) és ideiglenes (erdőgazdaság) erdőcsökkenést mutató térképet metszve 20 %-os közös fedettséget találunk. Ha ezzel módosítjuk az előbbi eredményt, akkor *14.269 ha van a legnagyobb veszélyben, ami 11,3 %*. Az Illancson például az erdőterület 18 %-a veszélyeztetett, míg például a Bugaci-homokhát helyzete jónak mondható.

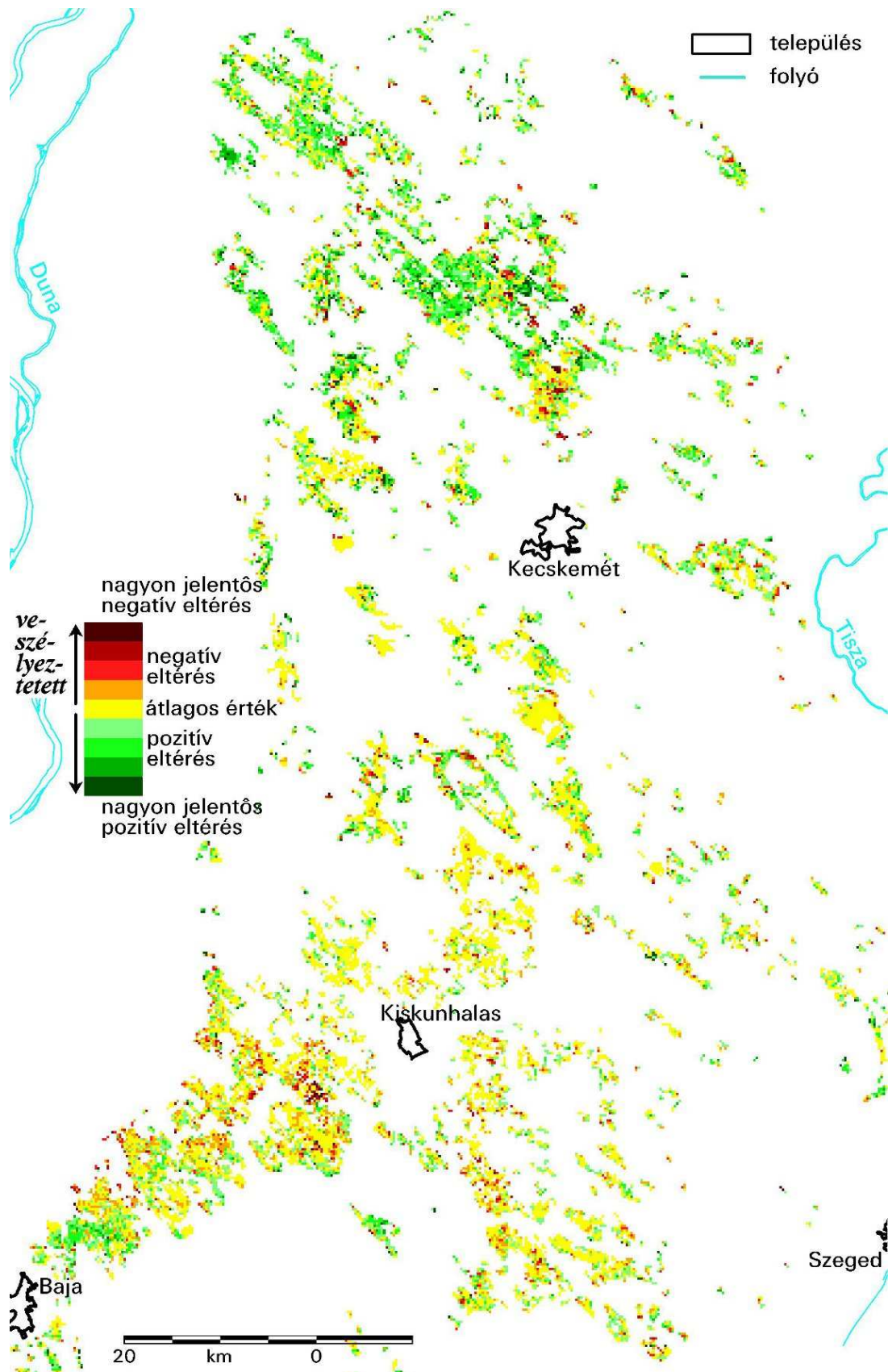
A lomblevelű erdők 14 %-a veszélyeztetett az NDVI szerint. 5 %-on jelentősebb negatív eltérés tapasztalható. 66% szerint a pozitív -, 36 % szerint a jelentős pozitív eltérés jellemző. Ezekkel az értékekkel *a lomblevelűek az NDVI szerint kevésbé veszélyeztetettek, mint az EVI szerint* A tűlevelűek teljes területe átlagos kategóriába esik, nincs sem pozitív, sem negatív eltérés a területükön. *Legrosszabb itt is az elegyes erdők helyzete, ahol a negatív eltérés a terület 30 %-án figyelhető meg (9 %-on jelentősebb negatív eltérés).* Az átlagos értékek 51 %-ot fog-

¹ Rakonczai 2006. A globális változások hatásai a Duna-Tisza köze vízháztartására. In.: Kertész et al. (szerk.) A III. Magyar Földrajzi Konferencia közleményei. CD kiadvány. MTA FKI, Budapest. p.8.

lálnak el (ez a lomblevelű erdőnél csak 20 %). Pozitív eltérés 20 %-on, jelentősebb pozitív eltérés mindössze 3 %-on jellemző. Összterülete révén a lomblevelű erdő mutatja a legnagyobb eltéréseket, de ha területegységre vizsgálódunk, akkor feltűnő az elegyes erdő elsősége.



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



12. ábra Klimatikus érzékenység térbelisége NDVI index alapján a 2000-2011 időszak alapján

Kísérletet tettünk arra, hogy kapcsolatot találjunk a MODIS 250 m-es cellaértékei és a 30 m felbontású LANDSAT TM (2003.08.21., 09.06.; 2006.07.12., 07.28.; 2007.07.31.), illetve

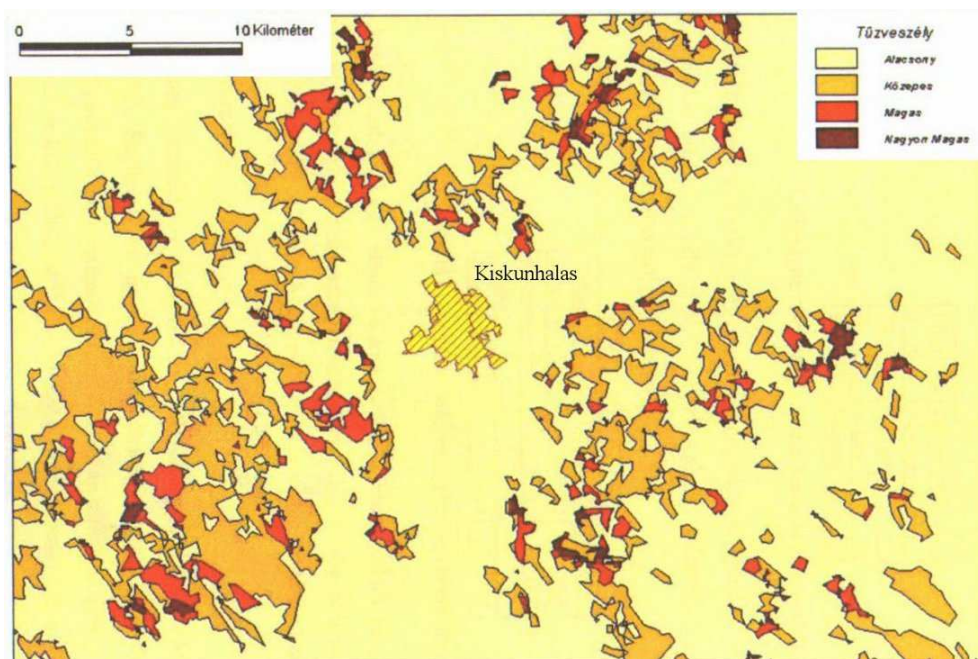
5 m-es RapidEye (2011.06.22) műholdképek NDVI értékei között. Az elv szerint megfelelő korrelációval a sok, ingyenes, aktuális adattal bíró MODIS alapján nagyobb részletességű térbeli eredményeket is kaphatnánk. A kutatás jelenlegi fázisában a gyenge korreláció miatt nem találtunk megfelelő algoritmust az NDVI átszámításához.

2.3. Erdőtűzveszély-kockázat

Erdőtűz vizsgálatokat kezdtünk, melynek keretében egy egyszerű tűzkockázati kiértékelést végeztünk Kiskunhalas 10-15 km-es övezetére. Landsat TM felvételekből interpretált felszínfedettségi térképen elkülönítettük a nem tűzveszélyes és a tűzveszélyes területeket (pl. vízfelület ill. túlevelű erdők). Az emberi tényezőt a DTA-50 térkép alapján számolt távolsági övezetekkel elemeztük. A domborzati tényezővel terepmodell alapján számoltunk. A megadott rétegek (növényzet, települések, utak, domborzat) az alábbiak szerint lettek súlyozva² (1. táblázat). A részeredmény képeket súlyozva összeadtuk: tűzveszély = 10N+2T+2U+3L (13. ábra).

1. táblázat Az adatok csoporton belüli súlyozása

Adatcsoport:	Osztályok:	Súlyok:	Tűzveszélyesség:
Növényzet típusa (N)	Túlevelű erdő	8	nagyon magas
	Vegyes erdő	7	nagyon magas
	Lomlevelű erdő	6	magas
	Erdős cserjés terület	5	magas
	Természetes gyepek	3	közepes
	Mezőgazdasági terület	2	alacsony
	Ritkás növényzet	2	alacsony
Településtől való távolság (T)	<1000 m	7	nagyon magas
	1000-2000 m	5	magas
	2000-3000 m	2	alacsony
Utaktól való távolság (U)	<100 m	8	nagyon magas
	100-200 m	7	nagyon magas
	200-300 m	5	magas
	300-400 m	3	közepes
Lejtőkategória (L)	0-3%	2	alacsony
	3-5%	3	közepes
	5-10%	4	közepes
	10-15%	5	magas
	15-35%	6	magas
	>35%	10	nagyon magas



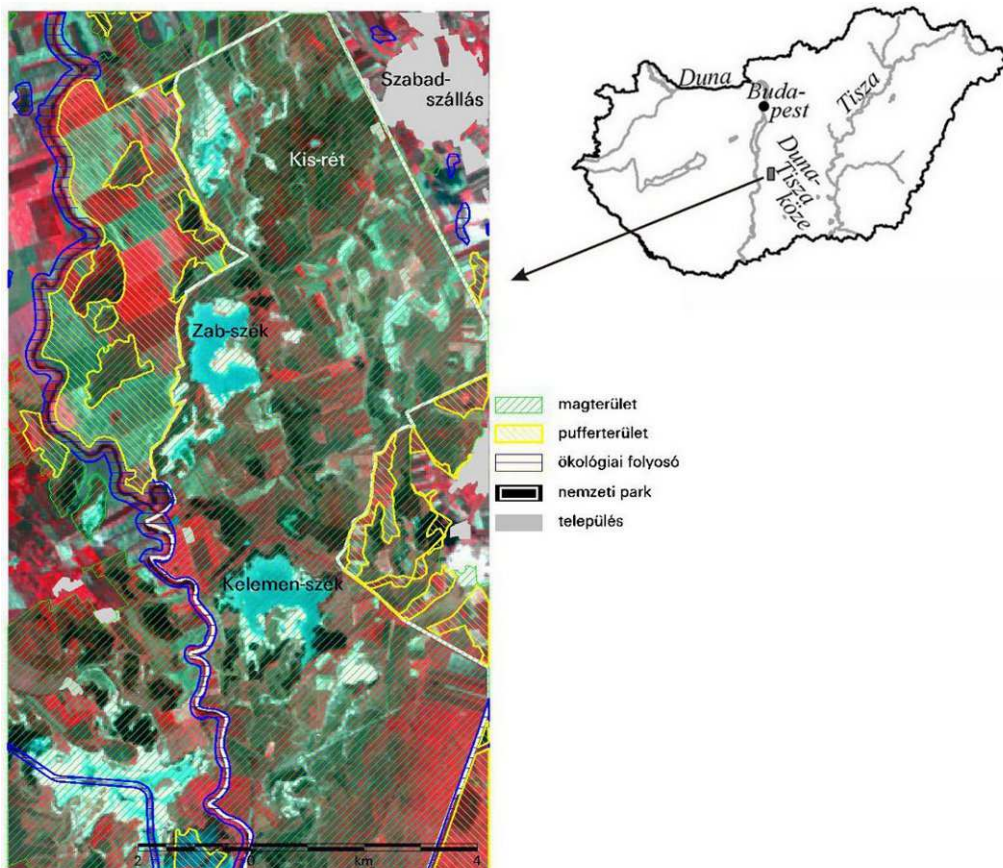
13. ábra Kiskunhalas környékének tűzkockázati térképe

² Jaiswal et al. 2002. Forest fire risk zone mapping from satellite imagery and GIS. *I.J. of Appl. E. Obs.* 4(1.) pp.1-10.

3. Hidrogeográfiai változásvizsgálat rövid és hosszú időtartamok összehasonlításával

3.1. Bevezetés – A vizes élőhelyek átalakulása

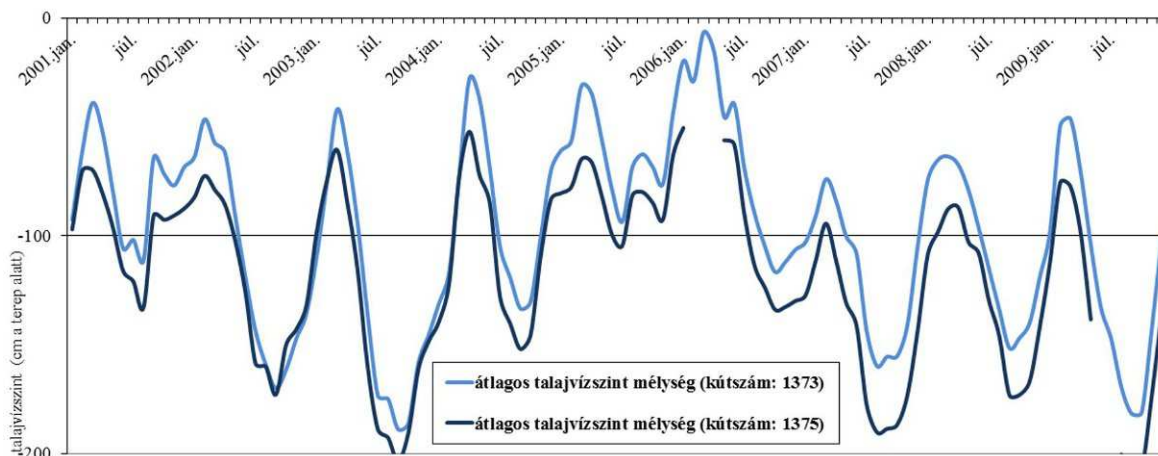
Az időszakos és állandó vizeknek az Alföldre jellemző csökkenését, eltűnését a Duna-Tisza közén fekvő, szigorúan védett Felső-Kiskunsági tavak területén értékeltük (14. ábra). A mintegy 13.000 ha-os mintaterület 85 %-a a Nemzeti Ökológiai Hálózat (Natura 2000) része, 2/3-a magterület, de a vizes foltok 50 m-es övezetének 1/3-a a CLC50 adatok szerint nem természetközeli felszín. A terület 44 %-át foglalják el a szikes tavak (4 %), mocsarak (10 %) és gyepek (23 %), illetve szikes felszínek (7 %). A vízborítottság dinamikája kulcsfontosságú a táji degradációs folyamatokban.



14. ábra A Felső-Kiskunsági tavak védett terület és környezete (háttér: LANDSAT TM)

3.1.1. Talajvíz

A lokális, hidrogeográfiai elemzésnél külön vizsgáltuk a vízutánpótlásban szerepet játszó talajvíz szintjének csökkenését. Ez a folyamat elsősorban a Duna-Tisza köze homokhátsági, magasabb területein jellemző, a Duna menti síkságon már korántsem ilyen egyértelmű. Természetes, a csapadékmennyiséggel összefüggő vízszintingadozás megfigyelhető, de határozott változás – jöllehet a magasabb helyzetű területekről érkező felszín alatti víz mennyisége csökken – nincs (15. ábra).



15. ábra Talajvízszint alakulása a mintaterületen 2001–2009 között (adatok: VITUKI)

A felszínalatti víz a csapadékkal egyenlő nagyságrendet mutat, azonban nagy különbség, hogy táplálóként és fogyasztóként egyaránt szerepelhet, így a szerepe éves viszonylatban másodlagos. Különleges szerepe lehet az Ágasegyháza-tavat tápláló csapadék és talajvíz eredetű, részben a Kolon-tó által közvetített hozzáfolyásnak.

3.2. Anyag és módszer

A táji átalakulás meghatározó tényezőjének, a vizes területek kiterjedtségének alakulásában a legkorábbi, pontos térképi adatokból kiindulva az időnként rendelkezésre álló térbeli adatokat (topográfiai térképek, műholdképek) együttesen dolgozzuk fel. Az időszakonkénti állapotok közötti különbségek mértéke és az így kirajzolódó folyamat sebessége dönthet a változásról (1. táblázat). A felmérések pontossága miatt azonban csak az 1880-as évektől térképezhetünk és a megelőző 100 évet informáló jellegűnek értékeltük.

Az egyébként is ritka térképi adatok nem feltétlenül a mi szempontunkból érdekes időszak alapján mutatják az évszakosan eltérő tájat. A történeti térképeknél átlagos képet kapunk a területről, mivel 1859-es felvételezést megelőzően 1856-57-ben figyeltek meg jelentős aszályt, míg az 1882. évi III. katonai felmérésig csak az 1863-as országos aszály említhető meg. A meteorológiai adatsor szerint ekkor átlagot meghaladó csapadéktételeket találunk. 1959-60-ban a sokéves átlagnál is kevesebb volt az évi és téli félévi csapadék, míg az 1981-82-es idő egy több éves, átlag alatti időszak részeként figyelhető meg. Az aszály ugyan hozzátartozik a mintaterület klímájához, de a kiszáradási probléma akkor a legsúlyosabb, ha már a kora nyári időszakban sincs víz a területen. A vizes élőhelyek helyzete kritikusnak mondható, ha ez az optimális állapot is rossz képet mutat. *A távérzékelési adatszerzés előnyeit kihasználva a mintaterület szempontjából az elvileg legkedvezőbb – legvízesebb – állapotokat elemeztük minden vizsgált év esetében, ezért lehetőség szerint júniusi felvételeket vettünk fel az adatsorunkba* (1. táblázat). A tanulmány egyik újszerűsége ezen adatoknak az adott célú vizsgálathoz történő felhasználásában rejlik.

A kedvező időjárási körülményeknek és az U.S. Geological Survey (GLOVIS), illetve az SZTE Természeti Földrajzi és Geoinformatikai Tanszék adattárának köszönhetően a hosszabb időtartamú változásvizsgálat keretében 1986 és 2011 között 10 időpontból álltak rendelkezésre LANDSAT TM és ETM+ multispektrális felvételek. A teljes adatsor – 13-15 állapot – alapján mintegy 220 év változásait is értékelhetjük, de lehetőség van a szárazodás szempontjából fontos utóbbi 30 év részletesebb elemzésére is.

Kérdés, hogy a változások jellege milyen, hiszen valamilyen szinten minden környezeti változó mutat például ciklikus ingadozást. A mély fekvésű tavak, mocsarak szezonálisan rendkívül változékonyság, ami a tényleges változások feltárását nehezíti. A pontos változásvizsgálathoz nélkülözhetetlen változékonyság értékelését a nagy időfelbontással és nagyobb

térbeli felbontással készülő elemzések teszik lehetővé. A változékonyság mértékének ismerete befolyásolhatja a változsról kialakított véleményünket is, hiszen minél nagyobb egy foltra vonatkozó változékonyság, annál kérdésesebbé válik a változás. Egy-egy földrajzi jelenségre jellemző felvehető értéktartomány meghatározásához a szélsőséges helyzetek elemzése adhat támpontot. A klímaváltozás helyi hatásai között szerepel a rövid idő alatt lehulló csapadékok gyakoriságának, illetve az aszály megjelenési gyakoriságának a növekedése. Számolhatunk a meder gyors feltöltődésének, illetve a gyors és tartós kiszáradásának a lehetőségével is. Ezek alapján az időbeni analógia módszere szerint a közeljövőre nézve egy szélsőséges időszak nagy időfelbontású vizsgálata jó referenciaként alkalmazható. A 2000-ben, mint extrém évben megjelenő folyamatok a klímaváltozást figyelembe véve a közeljövőben jellemzőek lehetnek, ezért is térképeztük a változékonyságot ebben az időszakban. 1999. július és 2003. október közötti rövid időre 22 darab műholdfelvétel áll rendelkezésünkre (2. táblázat). A vizsgálat azért is érdekes, mert a hosszabb távon kedvezőtlen (szárazodó) időszakon belül egy rövidebb, csapadékos évekkel jellemezhető időköz hatása elemezhető.

2. táblázat A hosszú időtartamú és a nagy időfelbontású vizsgálat alapadatai

Hosszú időtartamú változásvizsgálat		Nagy időfelbontású vizsgálat	
térképek (méterarány)	műholdképek (szenzor)	műholdképek (szenzor)	
1783 (1:28.800)			
1859 (1:28.800)			
1882 (1:25.000)			
1960 (1:10.000)			
1982 (1:10.000)			
	1986 június (LANDSAT TM)		
	1994 június (LANDSAT TM)		
	1999 július (LANDSAT ETM+)		1999.júl.17. (LANDSAT ETM+) 1999.aug.09. (LANDSAT ETM+) 1999.okt.28. (LANDSAT ETM+)
	2000 június (LANDSAT TM)		2000.ápr.14. (LANDSAT TM) 2000.jún.08. (LANDSAT ETM+) 2000.júl.10. (LANDSAT ETM+) 2000.aug.11. (LANDSAT ETM+) 2000.aug.20. (LANDSAT ETM+) 2000.okt.14. (LANDSAT ETM+)
	2001 június (LANDSAT ETM+)		2001.márc.07. (LANDSAT ETM+) 2001.máj.03. (LANDSAT ETM+) 2001.jún.27. (LANDSAT ETM+) 2001.aug.30. (LANDSAT ETM)
	2002 június (LANDSAT ETM+)		2002.febr.22. (LANDSAT ETM) 2002.jún.23. (LANDSAT ETM) 2002.aug.26. (LANDSAT ETM)
			2003.márc.22. (LANDSAT ETM) 2003.ápr.14. (LANDSAT ETM) 2003.máj.16. (LANDSAT ETM) 2003.júl.20. (LANDSAT TM) 2003.szept.06. (LANDSAT TM) 2003.okt.15. (LANDSAT TM)
	2006 június (LANDSAT TM)		
	2007 június (LANDSAT TM)		
	2010 június (LANDSAT TM)		
			2011 június (RapidEye) 2011 július (LANDSAT TM)

A multispektrális, 30 m-es geometriai felbontású LANDSAT képek maximum 1:50.000-es térképezést tesznek lehetővé. Referencia- és kiegészítő vizsgálatokra az 1979. évi, 80 m-es

felbontású LANDSAT MSS képet, 2000. február 29-ei 1 m felbontású légifotókat és a 2011. évi 5 m-es RapidEye műholdképet is felhasználtuk, melyek alátámasztották eredményeinket. A geometriai korrekciót 1:50.000 és 1:10.000-es térképekkel, 0,5–0,9-es RMS hibával hajtottuk végre a radiometriailag korrigált képekre, vagy csak a mintaterületre vonatkozó kivágatot transzformáltuk át az ortokorrigált felvétel UTM vetületéből (Reproject funkció) <0,1 RMS mellett. A monitoring jellegű megfigyelést nehezítő paraméterek hatásait (atmoszférikus viszonyok, szenzorok, fenológiai fázisok, napmagasság) az egy felvételező műszer használatával, azonos felvételezési hónapok megfigyelésével, illetve nagyon sok és jó minőségű felvétel alkalmazásával próbáltuk csökkenteni.

A XIX. század végén készített – geometriai szempontból legjobb történeti térkép – III. katonai felmérésen a pontatlanságot maximum 30 m-ben állapíthatjuk meg.

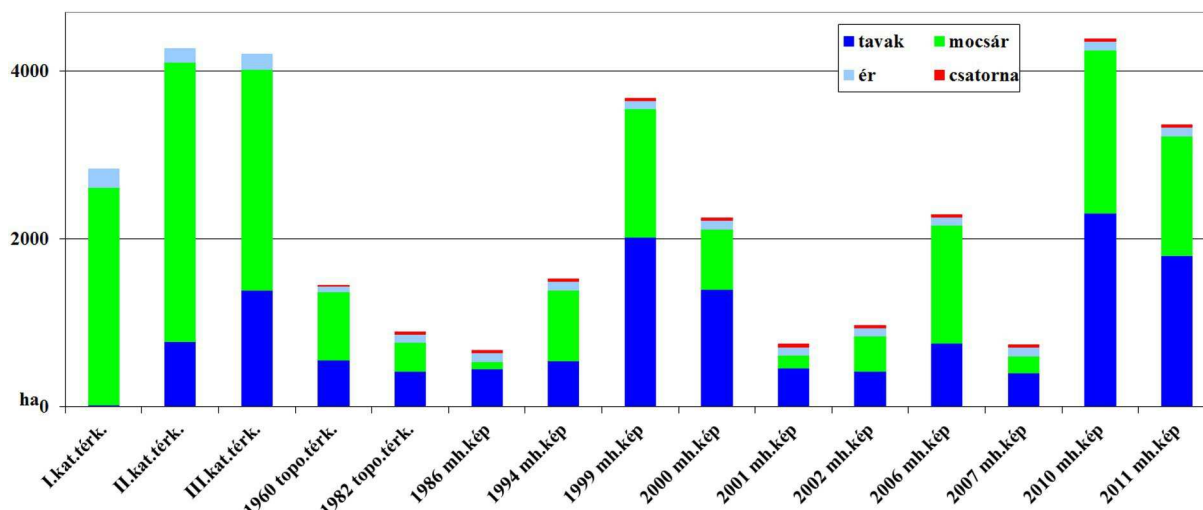
Több távérzékelési módszer alapján detektálhatunk változásokat: kivonhatjuk egyik képből a másikat, vagy számolhatjuk a képek sávarányát, vektorizált képi adatokat, vagy klasszifikált műholdképeket hasonlíthatunk össze, képi transzformációkkal is számolhatunk.

A víztartalom a multispektrális képek infravörös tartományában jól lehatárolható, így automatikus osztályozást alkalmaztunk, ahol a kapott 30 osztályt vizuális értelmeztük. A mennyiségi, minőségi paraméterek megadására spektrális indexeket is használtunk, de ezek szerepe kiegészítő volt (Tasseled Cap Wetness, NDVI, WaterMAsk).

A „nyílt víz és nagy víztartalmú terület“, „vizenyős terület“, „száraz felszín“ osztályokkal bíró térképeket összetett lekérdezések alapján hoztuk létre. Az említett osztályokat a topográfiai térképeken azok digitalizálása során a jelmagyarázatuk alapján azonosítottuk.

3.3. Hosszú időtartamú változás értékelése a Felső-Kiskunsági tavak területén

Az első pontos térképünk a III. katonai felmérés ugyan az árvíz-védekezési munkálatok megkezdése után körülbelül 8-10 évvel készült, de látva a hasonlóságot a II. katonai térképi értékekkel és ismerve az I. katonai térkép pontatlanságait egy természetközeli referenciaállapotnak tekinthetjük (16. ábra). Mintaterületünk 1/3-a vizes-vizenyős felszínborítást mutatott.



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

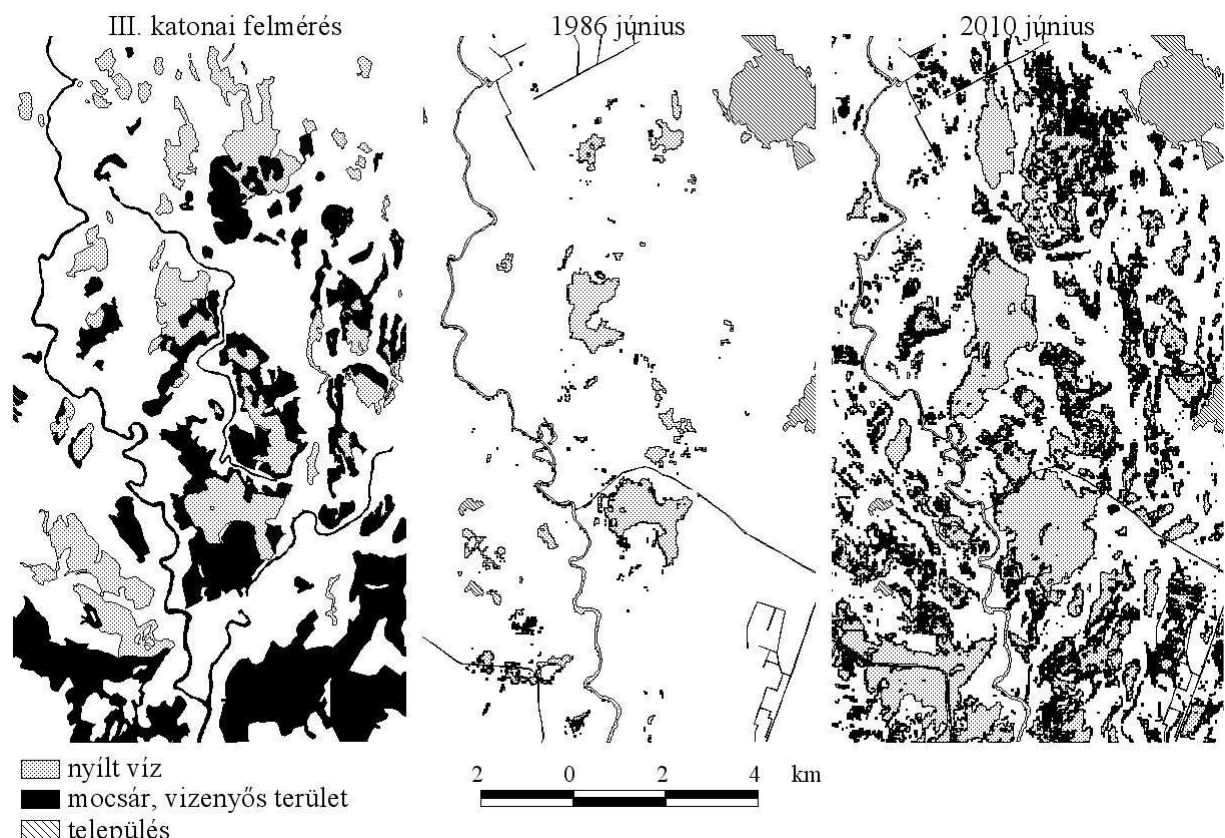
Az adatsoron jól látható, hogyan nehezíti egy változási folyamat felismerését a terület változékonysága. Megállapíthatunk évek közötti különbséget, de elég egy rövidebb kedvező időszak és a „semmitől” visszaállhat a régi rend.

A XIX. sz-tól kezdődő vízrendezésnek, majd a '70-es évek második felétől jellemző csapadékcsökkenésnek köszönhetően a vizes élőhelyek legfeltűnőbb változása az 1880-as éveket követő 100 évben jellemző, amikor a vízben gazdag területek 84 %-a eltűnt és az összterület

csupán 5 %-át nevezhetjük vizenyősnek! A mocsarak kiterjedése ez időszakban 96 %-al redukálódott, míg a nyílt állóvizek területe 1960. évre 60 %-al csökkent, majd lényegesen nem változott. A csapadéértékek alakulásában nem látható olyan mértékű csökkenés, ami ezt alátámasztaná. A diagramm szerint 1960-ra tapasztalt jelentős változást elsősorban az 1870-es években kezdődő ármentesítést követő XX. sz-i belvízrendezés hatásai idézik elő. 1994-ben az átlagot meghaladó hidrológiai félévi csapadéértékeknek köszönhetően főleg a vizenyős-mocsaras területek növekedtek; újra a 30 évvel korábbi értékek tapasztalhatók.

Igazán nagy mértékű a '90-es évek második felétől jelentkező *csapadékos évek hatása, ami az 1999-2000, 2006, 2010-11. évi adatokon jól látható. Az összes víztartalom kiterjedése a tavalyi és idei évekre már óriási, az eddig ismert előtételeket meghaladó értékeket mutat. Talán még fontosabb, hogy a nyílt vízfelületek aránya nőtt; amellett, hogy 1999-ben és 2010-ben meghaladja az összes elöntés felét, a katonai térképnél, vagyis a referenciaértékeknél tapasztalt területek több mint másfélszeresét láthatjuk. 2010-ben hidrogeográfiai értelemben gyakorlatilag aktivizálódott a természetközeli állapot (17. ábra). A referenciaállapothoz hasonló vizes állapot az ármentesítés után, csupán az éghajlat alakulására jelent meg, igaz ehhez egy különösen extrém csapadékhelyzet és csapadékmennyiségre volt szükség. Megfigyelhető a tavak közötti vízforgalom, ami a '80-as évekre megszűnt illetve a Kelemen-szék, Zab-szék, Büdös-szék, Böddi-szék esetében a nyílt víz kiterjedése soha nem volt ekkora. Az egykor legnagyobb állóvízű Kis-rét mára elsősorban csak mocsaras.*

A III. katonai felméréstől napjainkig vizsgált időpontok térbeli elemzése szerint a mintaterület fele potenciálisan vizes-vizenyős elöntés alá kerülhet.



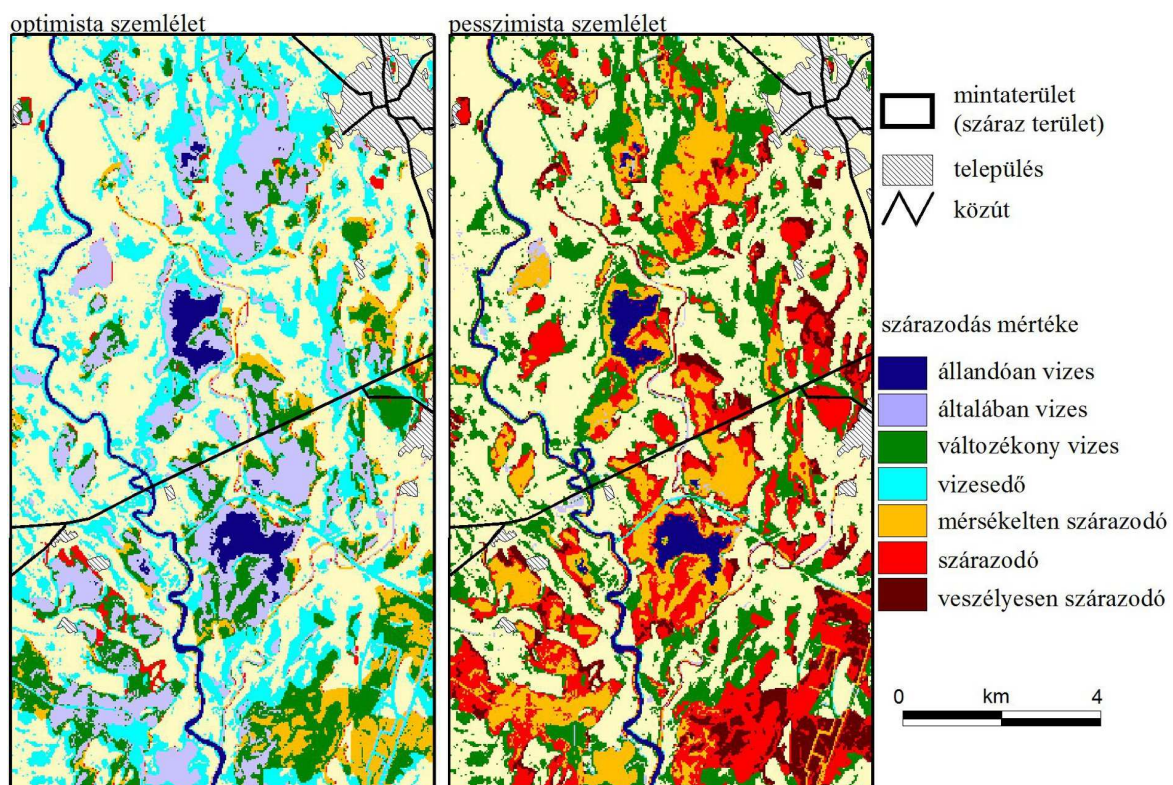
17. ábra Vizek és vizenyős területek térbelisége egy-egy jellegzetes időpontban

Ellenben az 1999-2000-es évek után, 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. Különösen fel-

tűnő a 2006–2007 közötti különbség, amikor a kedvezőtlen csapadékviszonyok miatt egy év alatt a nyílt vizek körülbelül 50 %-a, a mocsaras részek 85 %-a szűnt meg. Jól látható, hogy egy-egy kedvezőbb év hatása nem elég a '70-es évek óta tartó kedvezőtlen, trendszerű folyamatok megszüntetésére. Az idei 2011-es vizenyős értékek is a megelőző év rekordnagyságú csapadékának köszönhetők, bár a nyílt vizek 1/5-e és a mocsaras területek 1/4-e is felszáradt 2011 első félévi esőtlen időszaka miatt (igaz még így is megközelíti 1999 rekordértékeit).

A monitoring szerint egy, a csapadékosabb időben időszakosan aktivizálódó, de egyébként kiszáradó terület prognosztizálható a Felső-Kiskunsági tavaknál.

A sok időpont és a különbségek jellege miatt a legfőbb problémának a szárazodás előfordulásának, vagy mértékének a kérdése a térbeli elemzésben több nehézségbe is ütközik (18. ábra). Az 1882. és az 1962. évek alapján megadott 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). A 8. ábra kategóriái közül az „állandóan vizes” területek a 130 éves időtartamban mindig vizes-vizenyős foltok voltak. „Általában vizes”-ek az átlagos csapadékos évek szerint lehatárolt foltok, míg a csak nagyvizek által elöntött rész a „változékony vizes”. A „mérsékelten szárazodó” kategória az egykori állóvizek mára elmocsarasodott részeit, illetve a mára kiszáradt egykori mocsarakat gyűjti egybe, valamint ide sorolhatók azok az egykori vizek, amelyek mára csak a nagy elöntéseknél kerültek víz alá. A „szárazodó” osztályba az utóbbi évtizedekben általában szárazon maradó régi vizes-vizenyős foltok kerültek. „Veszélyesen szárazodó” az a terület, amely egykoron vizes volt, de a '80-as évek óta már nem az. Ellentétes folyamatot mutat a „vizesedő” kategória, ahol régen száraz, de ma már vizes felszíneket találunk. A degradációs folyamat megítélésénél – különösen a kérdéses területeknél – két eredményt, egy optimista és egy pesszimista szemléletet adtunk meg. Az optimista esetben a kérdéses foltoknál (pl. „változékony vizes” és „mérsékelten szárazodó” kategóriák közötti átfedések) mindig a kedvezőbb, vagyis a vizesebb meghatározással számoltunk, míg a pesszimista szemlélet szerint a kedvezőtlenebb szárazabb állapotot vettük alapul.



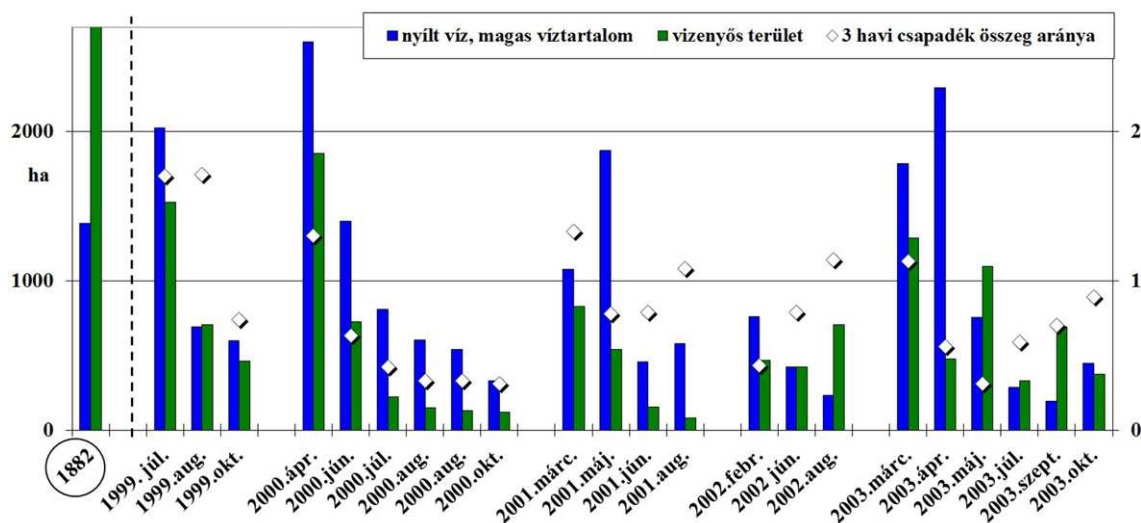
18. ábra A szárazodás térbelisége optimista és pesszimista szemlélet szerint

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 jobb esetben nincs is veszélyesen szárazodó felszínünk, de ha a rosszabb forgatókönyvet vesszük alapul akkor a területünk 6,3 %-a ilyen, valamint 15,5 % a szárazodó kategóriában fekszik. Újabb eredményeink kedvezőbben, annak ismeretében, hogy az 1882–2002 közötti felméréseket felhasználva még a mintaterület 40 %-át nyilvánítottuk az aridifikáció által veszélyeztetettnek.

Az egykor nagyobb kiterjedésű vizek, mint a Kis-rét, illetve a Kelemen- és Zab-széket is összekötő Fehér-szék veszélyeztetettségének lehatárolása azért is fontos, mert egy-egy tó eltűnése sérti az ökológiai hálózatot. Ökológiai folyosók szűnnek meg a vizes kapcsolatok kiszáradásával. Négy nagyobb vizes folt kivételével valamennyi egykori tó megszűnt mind állóvíz (ráadásul a Böddi-szék a '80-as térképen sem jelölik tónak).

3.4. Változékonyság – nagy időfelbontású vizsgálat

A 19. ábra jól mutatja; *alapvetően a csapadék jelenti a fő vízutánpótlást.* A 3 havi csapadék összeg arány visszatekintő index alacsonyabb értékei megmagyarázzák az év során csökkenő vízmennyiséget (pl. 2000), vagy a nyáron is növekvő nyílt vizes-mocsaras felületeket (pl. 2001, 2002, 2003). 2002. év kivételével rendkívüli változékonyság jellemzi a területet; még az alapvetően száraz évnak tartott 2003-ban is az őszi értékek háromszorosa jellemző tavasszal. 2003-ban egy őszi csapadékos hónap is elég volt arra, hogy több, mint 200 ha nyílt víz jelenjen meg a felszínen. 1999–2003 időszak alapján a minimális és maximális előntéseket tekintve átlagosan 2225 ha-t, vagyis a terület körülbelül 1/6-át érinti az éves vízforgalom.



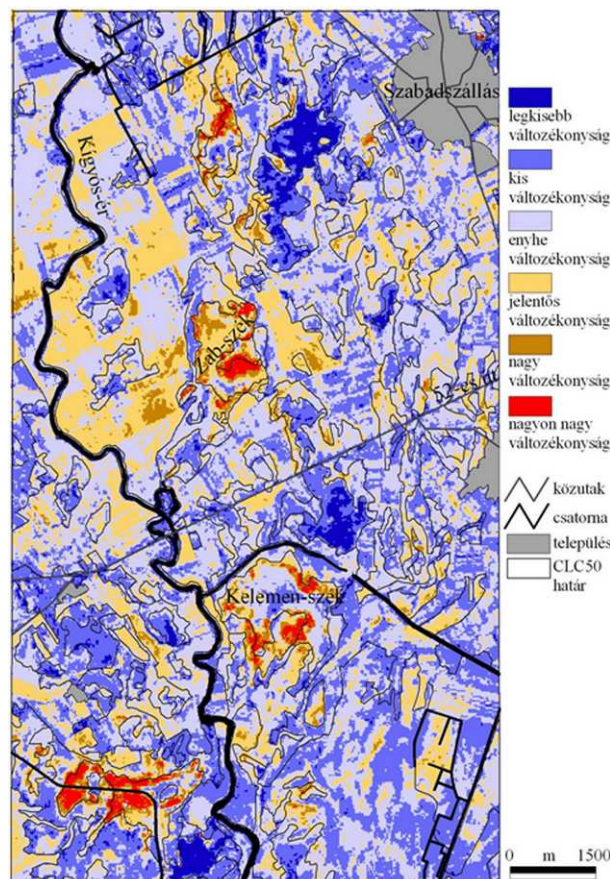
19. ábra Vizes felszínek kiterjedése és a csapadék kapcsolata (az 1882. évi adatok információ jellegű referenciaértékek)

Klasszikus vízforgalom figyelhető meg az időbeli analógiát tekintve referenciaévnak megadott, belvíz és aszály szempontjából is jelentős 2000-ben. A maximális víztartalomnál a mintaterület több, mint 1/3-a előntés alatt áll. A meteorológiai tényezőknek köszönhetően az áprilisi értékek rövid idő alatt lecsökkentek (ez évben a havi középhőmérsékletek 3/4-e átlag feletti volt). Júniusra fele akkora kiterjedés jellemző, majd júliusra ez az érték is megfeleződik és végül október a pár hónappal korábbi maximális előntési területek csupán 10 %-át mutatja. Körülbelül 4000 ha vizes felület tűnt el április és október között vagyis több mint 22 ha/napos az átlagos csökkenés. Ez, egy sekély, például 30 cm-es átlagmélységgel számolva 120.000 m³ víz elpárolgását, elszivárgását feltételezi! *Ez sokkal nagyobb, mint a területről eddig ismert, egy évre vonatkozó vízhiány, vagy -többlet.* A táj mozaikossága azt a reményt kelti,

hogy a szárazodási folyamatok nem irreverzibilisek; a Kelemen-szék és a Zab-szék között felszíni vizes kapcsolat éledt újjá.

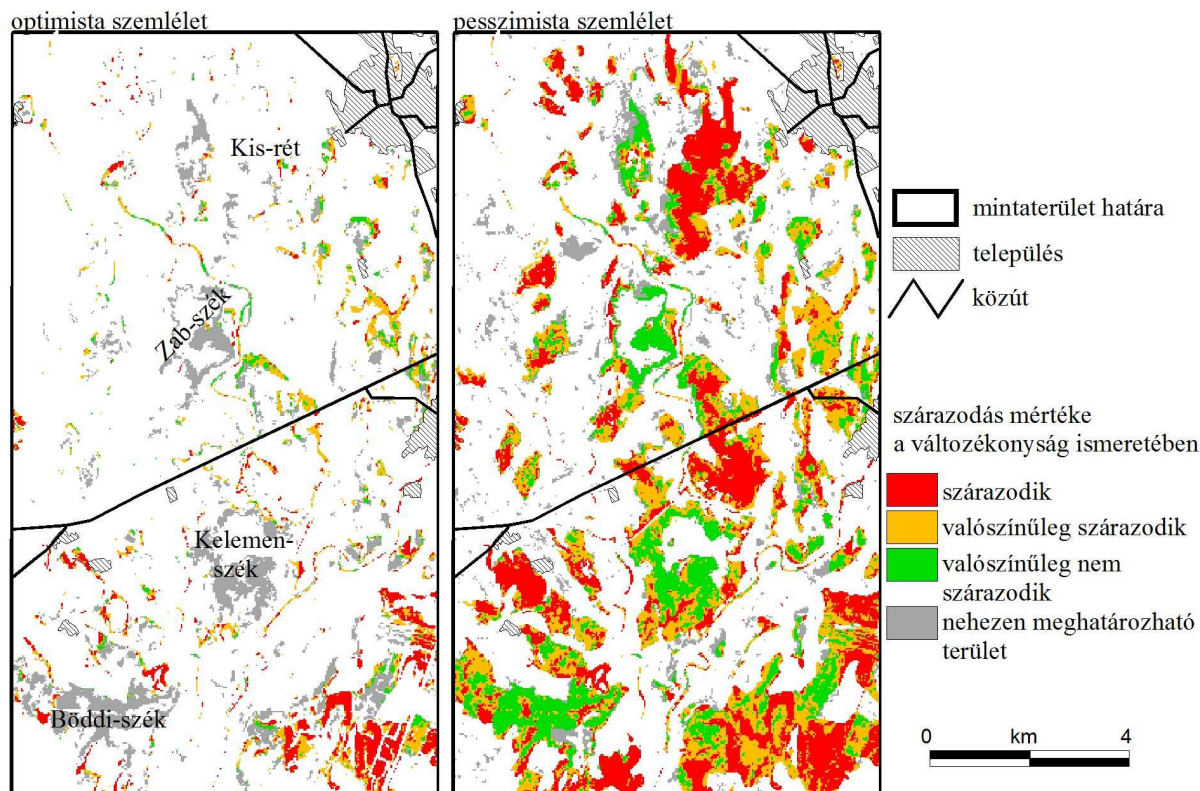
Ennek ellenére több egyéb jellemző is alátámasztja a változásnál tapasztalt, alapvetően csökkenő jellegű trendet. 2000. II. félévére, valamint az előző fejezetekben említett 2001. októbertől 2004. februárig tartó csapadékszegény idő miatt hiába találunk 2001. májusában, illetve 2003. áprilisában sok vizet, ez másfél hónap alatt, kora nyárra már 1/3–1/4-ére csökken. A 2001. évi júniusi felvételen a kedvező csapadékkal bíró első félév ellenére is csak az egy évvel korábbi elöntés negyedét találjuk és 2002. évben ugyanekkor is csak az ideiglenes mocsarak területe nagyobb. A késő nyári-őszi időben még a csapadékos 1999-ben is csak az ideiglenes vízenyős térszíneknél van lényeges különbség, mert a nyílt vízfelület értékek csak kicsit magasabbak a rákövetkező 2000, 2001 éveknél. 2002-2003-ban tovább csökken a nyílt víz, viszont megnő az ideiglenes elöntés.

Az 1999–2003 közötti időszak térbelisége alapján a terület 22 %-a víztartalom szempontjából változékony, igaz ennek döntő hányada közepes mértékű (20. ábra). Az ábrán alapján jól lehatárolhatók a világosabb, azaz az időszakosan elöntött területek.



20. ábra A víztartalom változékonyasága 1999–2003 alapján

Változáselemzés esetén fontosak azok a területek, amelyek a változékonyaságvértékelés szempontjából stabilak. A változékony területeken nehezebb pontos változást regisztrálni, illetve veszélyesebb lehet egy folyamat, ha az állandóbb jelenségeket is veszélyezteteti. A *hosszú időtartamú elemzésben lehatárolt optimista, illetve pesszimista szemléletű eredményeket pontosítottuk a változékonyaság térbeli eredményeivel* és csak a kis változékonyasággal bíró foltokon előforduló eredményeket hagytuk meg (21. ábra).



21. ábra A szárazodás térbelisége a változékonyság ismeretében

A pontosabb térkép szerint a pesszimista szemlélet 33,5%-os szárazodási értéke 24,7%-ra csökkent. Így a mintaterület 20 %-a maradna vizes élőhely. Az optimista szemlélet szerint megállapított 6,5%-os érték 5,6%-ra redukálódott. A Kis-rét, a Zab-szék déli része, a Fehér szék, a Kelemen-szék északi és déli környezete, a Kő-halomi-szék, a Böddi-szék és északi környezete különösen veszélyeztetett területek.

Az eredmény 21. ábrát látva megfogalmazódik a kérdés, melyik szemlélet mutathatja a valós folyamatokat? A hosszú időtartamú megfigyelésben látható kisebb előntés adatok, illetve a nagyvizek utáni gyors kiszáradási folyamat mellett biztos, hogy a tavak az optimista véleménynél nagyobb veszélyben vannak. A terület délnyugati, délkeleti és keleti részén, illetve a Zab-szék környezetében még a legkedvezőbb kép is problémákat jelez. A pesszimista kép ellenben nem tükrözi azt az utóbbi pár évben látható kedvező képet, amit a sok csapadék esetén tapasztalhattunk. A csapadék és hidrogeográfia kapcsolatát látva, valamint a dolgozat első felében részletezett klimatológiai csökkenő trendet és a környezetben tapasztalt földrajzi folyamatokat ismerve elsősorban a pesszimista vélemény alkalmazhatósága a valószínűbb.

4. Összegző gondolatok

A „fenyegető” klímaváltozás földfelszínen tapasztalható hatásait illetően a borúlátó jóslatok általában hatásosabb eszközt adnak a média, vagy a döntéshozás kezébe. A dolgozatban jellemzett kulcsindikátorok igazolják a pesszimista, borúlátó előretekintést is. Véleményünk szerint hiba lenne ha ezen a változékonny mintaterületen csak egy álláspontot fogadnánk el, ami az objektív értékeléséből is kiderül. *Teljesen egyértelmű képet nem is, de egyfajta keretet adunk a tájváltozást illetően.* A rendkívül változékonny vegetáció, illetve a szikes tavak nagy területű folyamatos térképezése csak távérzékelési módszerekkel oldható meg.

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

ja sem egyértelmű, de az értékek alakulása általában a hosszú időtartamú aridifikációs folyamatokat igazolja.

A jelenlegi átalakulások statisztikus elemzéséből kirajzolódó trendek nem biztos, hogy jövőre is érvényesek, de *térben be lehet határolni a problémát ezért az objektív tervezésnek is a nagy időfelbontású monitoring vizsgálatokra alapuló változásértékelés ajánlható.* A szárazodó Alföldön az időnkénti változékonysági térképezéssel határozhatjuk meg a változás-elemzésben is fontos értéktartomány esetleges eltolódását, ami alapján kimondhatjuk a tényleges változást.