

SZEGEDI TUDOMÁNYEGYETEM

TDK DOLGOZAT

Gulácsi András

Szeged

2014

SZEGEDI TUDOMÁNYEGYETEM
TERMÉSZETTUDOMÁNYI ÉS INFORMATIKAI KAR
TERMÉSZETI FÖLDRAJZI ÉS GEOINFORMATIKAI
TANSZÉK

**Az aszályosság vizsgálata MODIS
műholdképekből számított spektrális
indexekkel Magyarországon**

TDK DOLGOZAT

Készítette:
Gulácsi András
Környezettudomány MSc
szakos hallgató

Témavezető:
Dr. Kovács Ferenc
egyetemi adjunktus

Szeged
2014

Tartalomjegyzék

Tartalomjegyzék	2
Tartalmi összefoglaló.....	3
1. Bevezetés	4
2. Irodalmi áttekintés	6
2.1. Az aszály fogalma, fajtái és kialakulása	6
2.2. Az aszály néhány mutatószáma, az aszályérzékenység	9
3. Adatok.....	15
3.1. A felhasznált adatok.....	15
3.2. Az adatok előkészítése	18
4. Módszerek.....	21
4.1. A DWI-DVI és az NDWI-NDVI közötti kapcsolat jellemzése	23
4.2. Az aszályossági kategóriák meghatározása klaszteranalízis segítségével	24
4.3. Az aszályindexek számítása során felmerült problémák	27
5. Eredmények	28
5.1. Statisztikai értékelés és térképi megjelenítés	28
5.2. Az eredmények érvényesítése és összevetése referenciaadatokkal.....	31
5.3. A vizsgált spektrális aszály-, vegetáció- és vízindexek összehasonlítása.....	34
5.4. A júniusi időpontok vizsgálata és összehasonlítása a júliusi eredményekkel.....	40
5.5. Az NDWI és az EVI összehasonlítása az erdőségeink területén júliusban.....	45
6. Következtetések	48
Irodalomjegyzék	50
Melléklet	53
1. Függelék.....	62

Tartalmi összefoglaló

A tanulmányban egy új távérzékelésen alapuló aszálymutató, a differenciált aszályindex (Difference Drought Index, DDI) került bemutatásra. A DDI-t a Terra műhold MODIS szenzora által felvételezett felszíni reflektanciaadatokra számítottam, a látható vörös (hullámhossz, $\lambda=645$ nm), a közeli infravörös ($\lambda=858$ nm) és a középső infravörös ($\lambda=2130$ nm) spektrális sávok használatával.

A növényzet biofizikai állapotának jellemzésére vegetáció- és vízindexeket képeztem, melyekből aszályindex számítható. A spektrális vegetációindexek közül a DVI-t (Difference Vegetation Index, differenciált vegetációindex), az NDVI-t (Normalized Difference Vegetation Index, normalizált differenciált vegetációindex) és az EVI-t (Enhanced Vegetation Index, továbbfejlesztett vegetációindex), a vízindexek közül a DWI-t (Difference Water Index, differenciált vízindex) és az NDWI-t (Normalized Difference Water Index, normalizált differenciált vízindex), valamint az aszályindexek közül a DDI mellett az NDDI-t (Normalized Difference Drought Index, normalizált differenciált aszályindex) is vizsgáltam.

A differenciált aszályindex alkalmazhatónak bizonyult az aszály intenzitásának számszerűsítésére, azonban a referenciaadatokkal történő összehasonlítás során az NDWI összességében jobban teljesített a többi indexnél.

A vizsgálat során megerősítést nyert, hogy a vízindexek érzékenyebben reagálnak az aszályos körülményekre, mint a vegetációindexek, azaz a növényzet levélzetének vízvesztése nagyobb, mint a kloroplaszt klorofilltartalmának csökkenése aszály idején. A jövőben ezért várhatóan előtérbe kerülnek majd azok az indexek, amelyek segítségével a vegetáció víztartalmában bekövetkező biofizikai változásokat nagyobb érzékenységgel lehet majd szemmel kísérni.

További vizsgálatok szükségesek a növényzet biofizikai változásainak NDWI-vel való nyomon követésére, valamint visszamenőleg, a rendelkezésre álló műholdképeket is fel kellene dolgozni, hogy az így nyert nagy mennyiségű információt fel lehessen használni az aszályok rövid távú előrejelzésére Magyarországon.

Kulcsszavak:

aszály, Terra, MODIS, monitoring, biofizikai változó

1. Bevezetés

Napjaink egyik megoldásra váró környezeti problémája Magyarországon az időszakos nyári vízhiány, amely súlyosan érinti a mezőgazdaságot. Az aszály a vízhiány időszakos fennállását jelenti. Vízhiányról akkor beszélünk, ha a társadalmi és az élővilág támasztotta igényeket alulmúlja a rendelkezésre álló vízkészlet. Ezt okozhatja a rendelkezésre álló erőforrások szűkössége, azok elégtelen kihasználtsága, vagy a társadalmi igények megnövekedése, illetőleg ezek együttesen.

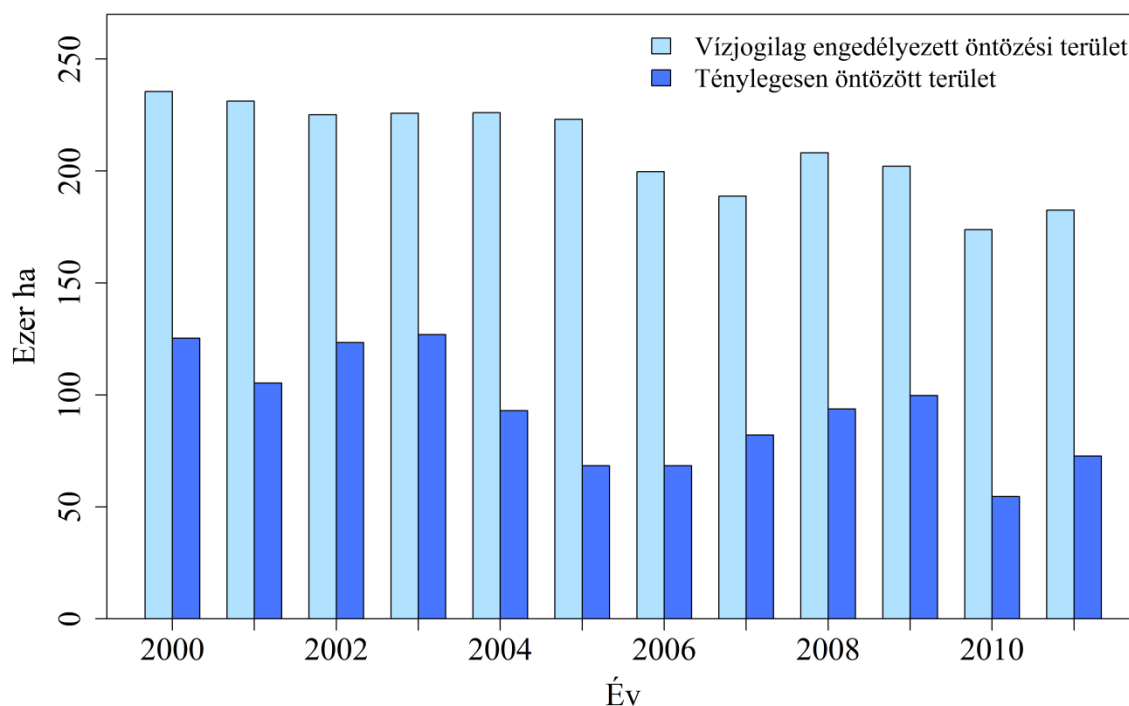
A vízgazdálkodás szerepe napjainkban világszerte felülértékelődik, ezzel szemben hazánkban a rendszerváltás óta nem sok előrelépés történt a vízügyeink terén, hiszen a legutolsó nagy beruházás, a nagymarosi vízlépcső is a felelőtlen politika áldozatává vált. A jövőben mind inkább be fog bizonyosodni a vízügyi létesítmények (duzzasztóművek, vízlépcsők, szivattyús tározós erőművek) és infrastruktúra (víztározók és csatornák, mint a Duna-Tisza-csatorna) bővítésének elengedhetetlen szükségszerűsége, amely nélkül nem növelhető a vízpotenciál, nem elégíthető ki sem a mezőgazdasági, sem pedig az ökológiai vízigény. Itt mindenképpen megemlítendő a magyar vízenergia-potenciál hasznosításának nagy környezetvédelmi, energetikai, gazdasági és geopolitikai jelentősége is.

E tanulmányban az aszályok MODIS műholdképeken alapuló észlelésével, rövid távú változásainak nyomon követésével foglalkoztam, ami a vízügyi szervezetek működését segítené az operatív munkában. Az aszály gyors és költséghatékony előrejelzésével lehetővé válhatna a vízvisszatartás rugalmasságának növelése, ugyanis fel lehetne készülni a szárazságra megfelelő mennyiségű öntözési és ökológiai célú víztöbblet előre betárolásával. Ezen felül a vízelosztást optimalizálni lehetne, annak megfelelően, hogy hol van nagyobb szükség az öntözővízre vagy az ökológiai célú vízre. De mindaddig, amíg ennek műszaki feltételei nem lesznek biztosítva, továbbra is szinte teljesen kiszolgáltatottak maradunk az aszály gazdasági és környezeti kártételeivel szemben.

2000 és 2011 között a szántóterületek (átlagosan 4 millió 778 ezer ha)¹ mindössze 4,7 %-a volt öntözhető (vízjogilag engedélyezett öntözési terület, átlagosan

¹ KSH: Földhasználat művelési ágak és gazdaságcsoportok szerint, május 31. (1990-): http://www.ksh.hu/docs/hun/xstadat/xstadat_eves/i_omf001a.html (letöltve: 2014-11-08)

210 ezer ha).² A ténylegesen öntözött terület ezzel szemben még kisebb, legtöbbször kevesebb, mint a fele a lehetségesnek (2000-2011 átlaga: 43,74 %, 1. ábra). 2005-től kezdődően kis mértékben csökkent az öntözhető területek nagysága (2000-2005 átlaga: 227,8 ezer ha, míg 2005-2011 középértéke 192,5 ezer ha).



1. ábra: Az öntözhető és a ténylegesen öntözött terület nagysága 2000 és 2011 között (KSH)³

² KSH: Mezőgazdasági vízfelhasználás (2000–):
http://www.ksh.hu/docs/hun/xstadat/xstadat_eves/i_uw001.html (letöltve: 2014-10-06)

³ KSH: Mezőgazdasági vízfelhasználás (2000–):
http://www.ksh.hu/docs/hun/xstadat/xstadat_eves/i_uw001.html (letöltve: 2014-10-06)

2. Irodalmi áttekintés

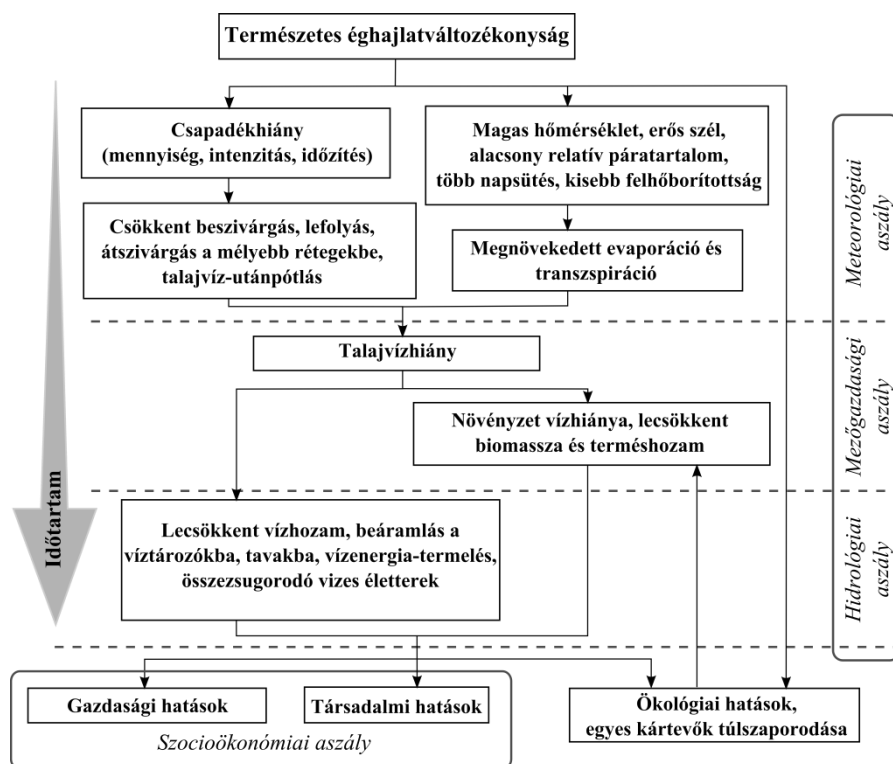
2.1. Az aszály fogalma, fajtái és kialakulása

Az aszály fogalmát talán legösszefogottabban a Nemzetközi Öntözési és Vízrendezési Szövetség (International Commission on Irrigation and Drainage, ICID)⁴ Útmutatója határozza meg: „olyan mértékű csapadékhiány a várthoz, illetve a normálshoz képest, amelynek következtében – amennyiben a tenyészidőre vagy hosszabb időszakra kiterjed – a csapadék nem képes kielégíteni a vízigényeket. Ez gazdasági, szociális és környezeti károkat okozhat. Úgy kell tekinteni, mint visszatérő időjárási jellegzetességet. Az aszály sokkal inkább relatív, mint abszolút állapot, amelyet minden régióban és minden élőlénycsoportra külön kell értelmezni. Minden aszály különbözik a másiktól erősségben (intenzitásban), tartamában és területi kiterjedésében. Mezőgazdasági szempontból az aszály egy adott szántóföldi, illetve erdőterületen lévő növényállomány tartós és jelentős mértékű vízhiánya, ami nagymértékben behatárolja a növény életfolyamatait. Növény nélkül az aszály nem értelmezhető, mert a különböző növények különbözőképpen reagálnak az azonos mértékű szárazságra” (VERMES L. 2000).

Az aszályt elsődlegesen az adott terület felett hosszan megmaradó magas nyomású légköri képződmény (anticiklon) okozza, amelyben a felszín felé irányuló leáramlás megakadályozza a csapadékhullást, illetve az alacsony felhőborítottság fokozza a földfelszín rövidhullámú sugárzásából származó energia bevétele, ami fokozottabb párolgáshoz vezet. Az aszálynak számos fajtája ismert – légköri, hidrológiai, mezőgazdasági és a talajaszály –, melyek gyakran együttesen jelentkeznek. A légköri aszályt a sokévi átlagnál lényegesen kevesebb lehullott csapadékmennyiség jellemzi, ehhez párosul az átlagot meghaladó léghőmérséklet és az alacsony relatív nedvességtartalom. A talajaszály idején a talajnedvesség-tartalom a hasznosítható vízkapacitás tört részére csökken. A hidrológiai aszályt a talajvíz, valamint a tavak és a folyók alacsony vízszintje jellemzi, míg a mezőgazdasági aszály legtöbbször szemmel és műholdról látható a növények fiziológiai állapotán, és jelentősen csökkentheti a termés mennyiségét (Magyar Nagylexikon 2. kötete In. PÁLFAI I. 2004, módosítva).

⁴ ICID: <http://www.icid.org>

Az aszály kialakulásának mechanizmusa szerint (2. ábra) valamennyi aszály között alapvető a csapadék hosszabb idejű negatív anomáliája (meteorológiai aszály). A meteorológiai aszály hosszától és erősségétől függően a talajnedvesség lecsökken (rövidebb időszak alatt), de akár a talajvízszint is leeshet (hosszabb időszak alatt). Ez közvetlenül érinti a mezőgazdasági termelést (mezőgazdasági aszály). A víz egy adott területen tárolókban, tavakban és folyókban gyűlik össze (vízgyűjtő terület). Ha a vízgyűjtőt meteorológiai aszály sújtja, akkor a tározók, tavak és folyók vízszintje, illetve vízhozama lecsökken (hidrológiai aszály) (SZALAI S. 2012).



2. ábra: A különböző aszálytípusok kialakulásának folyamata (National Drought Mitigation Center alapján módosítva)⁵

WILHITE, D.A. – GLANTZ, M. H. (1985) a meteorológiai, mezőgazdasági, a hidrológiai aszályon felül megkülönböztet szocioökonómiai aszályt is. Ez utóbbi a kereslet és a kínálat tekintetében követi nyomon az időszakos vízhiány hatásainak továbbgyűrűződését a társadalmi-gazdasági rendszereken keresztül. Az aszály társadalmi-gazdasági meghatározása az egyes gazdasági javak kínálatát és keresletét összekapcsolja a meteorológiai, a hidrológiai és a mezőgazdasági aszály elemeivel. A

⁵ National Drought Mitigation Center, University of Nebraska-Lincoln, Egyesült Államok: http://drought.unl.edu/portals/0/user_image/basics/climvarBW.JPG (letöltve: 2014-09-29)

víz (ivóvíz, öntözővíz, hűtővíz és egyéb ipari célú víz), takarmány, étkezési célú gabona, hal, és vízenergiával előállított áram, stb. kínálata erősen függ az időjárástól. Az éghajlat (időjárás) természetes változékonysága miatt a vízellátás némely évben bőséges, más években viszont képtelen az emberi és környezeti igényeknek megfelelni. Szocioökonómiai aszály akkor következik be, ha a gazdasági javak iránti kereslet, a vízellátásban bekövetkező, időjáráshoz kötődő természetes deficit eredményeképpen, meghaladja a kínálatot.

Ha az aszály annyi ideig fennáll, hogy az adott terület lakosságának az életkörülményei veszélybe kerülnek, akkor az emberek már társadalmi szinten is érzik az aszály hatásait (SZALAI S. 2012). Ekkor a tetemes gazdasági és társadalmi károk jelentkeznek. Például a termésátlagok drasztikus csökkenése miatt a mezőgazdasági termények iránti kereslet megnő, ami jelentős árdráguláshoz vezet, vagy ahol víztározókból oldják meg a lakossági ivóvízellátást, vízhasználati korlátozásokat vezetnek be a fejlett országokban. De a fejletlen afrikai országokban akár tömeges elvándorlást is okozhat a tartós szárazság.

A magyar gazdaságot és környezetet szinte éves rendszerességgel sújtja mesterségesen fenntartott szocioökonómiai aszály, amelynek oka a víz(energia)potenciál kihasználatlansága. Az ebből eredő komoly pénzügyi és környezeti veszteségek pedig tovább halmozódnak, úgy mint az adósságállomány.

Az aszályokat esetenként egyes kártékony emlős- (például mezei pocok) és rovarfajok (például sáska) túlszaporodása kísérheti, ami a termés elpusztításával ráerősíthet a fennálló szárazság pusztító hatásaira. Az ideai súlyos mezőgazdasági károkkal járó alföldi pocokfelszaporodás jó példa a kártevők gradációjával kísért aszályra.⁶ Az 1. ábrán az ökológiai hatásokhoz vettem a kártevők időjárás elősegítette elszaporodását. Az állati kártevők lényegesen befolyásolják az aszályok súlyosságát, ezért javaslom a mezőgazdasági aszálynál figyelembe venni a gradációk ráerősítő hatását is.

A mezei pocok (*Microtus arvalis*) túlszaporodásának (gradációjának) legfőbb oka „az aránylag száraz időjárásban és a hó nélkül szűkölködő telekben keresendő. (...) A nyári száraz időjárás és a hótalan tél azért kedvez a mezei pocok elszaporodásának, mert ivadéka a kedvező viszonyok között hosszú időszakon át szaporodik. A bőséges

⁶ Nemzeti Élelmiszerlánc-biztonsági Hivatal 2014: Egyre több a mezei pocok. A cikk megjelent: 2014-06-03-án. https://www.nebih.gov.hu/aktualitasok/hirek/06_03_mezei_pocok.html (letöltve: 2014-09-29)

táplálék és a száraz, meleg idő lehetővé teszik, hogy az amúgy is szapora természetű pocok egészségben, erőben érje el a telet és a következő évben azután olyan számra szaporodjék fel, amely az egyszerű észjárású emberre nézve szinte érthetetlen” (JABLONOWSKI J. 1913).

Sáskajárás akkor következik be, ha egy esős periódust aszályos időszak követi. A nedves időszakban a sáskapopuláció robbanásszerűen megnő, mivel bőséges az élelemforrásuk. De mikor az aszály során a táplálék szűkössé válik, és ahogy a sáskák legelőterülete fokozatosan elfogy, a sáskák egyre kisebb és kisebb területen zsúfolódnak össze. Egy bizonyos populációsűrűség elérésekor a magányos sáskák viselkedésének megváltozását előidéző szerotonin (egy neurotranszmitter, idegsejtek közti ingerületátvivő anyag) felszabadul és a sáskákat új, zöld legelők utáni keresésre, rajzásra készíti (ANSTEY, M. L. et al. 2009). A sáskajárások szerencsére visszaszorultak a fejlett országokban, melynek oka a mezőgazdasági művelésű területek expanziója és a rovarirtó szerek széles körű alkalmazása lehet.

2.2. Az aszály néhány mutatószáma, az aszályérzékenység

Az aszályosság téridőben való nyomon követésére számos meteorológiai (statisztikai) és távérzékelési módszereken alapuló mérőszám létezik, továbbá az aszályérzékenység kvantitatív elemzésére statikus modelleket dolgoztak ki.

A Palmer-féle aszályossági index (Palmer Drought Severity Index, PDSI), amely csapadék, hőmérséklet és talajnedvesség adatokból számítható (PALMER, W. C. 1965).

A standardizált csapadék index (Standardized Precipitation Index, SPI) számításához kizárólag csapadék adatsorra (legalább 30 év hosszú) van szükség. Elsőnek meg kell határozni az adatsor empirikus valószínűségi eloszlását, majd erre gamma eloszlást illeszteni, amit végül standard normál eloszlássá ($\mu=0$, $\sigma=1$) kell transzformálni – a valószínűségek lesznek az SPI értékei (McKEE, T. B. et al. 1993).

Aszályossági index (Drought Severity Index, DSI), amely az evapotranspiráció és a potenciális evapotranszspiráció hányadosából (ET/PET), illetve az NDVI-ből számítható. MU, Q. et al. (2013) a Terra-MODIS szenzorokra alkalmazták a módszert, méghozzá a MOD16 ET/PET (MODIS párolgásadatok, ET/PET: az evapotranszspiráció és a potenciális evapotranszspiráció hányadosa) és a MOD13 NDVI (léggörileg korrigált MODIS adatokból származtatott növényzeti indexek, Normalized Difference

Vegetation Index, normalizált differenciált vegetációindex) produktumok felhasználásával.

Hazánkban általánosságban elterjedt a Pálfai-féle aszályindex, amely meteorológiai (napi hőmérséklet és napi csapadék) adatsorokból képezhető. Elsőnek az index alapértékét kell meghatározni, majd azt három korrekciós (empirikus) tényezővel megszorozva kapjuk meg a tényleges aszályindex-értéket (PÁLFAI I. 1989, 2004):

$$PAI_0 = (t_{IV-VIII} / p_{X-VIII}) \times 100 \quad (2.2-1)$$

ahol:

PAI_0 : az aszályindex alapértéke [$^{\circ}C/100$ mm],

t : a levegő középhőmérséklete az április-augusztus közötti időszakban [$^{\circ}C$],

p : az október és augusztus közötti időszak súlyozott csapadékösszege [mm].

A súlyozott csapadékösszeg a növények a hónapok során változó vízigénye szerint számolható. A súlyozó tényezők: október: 0,1; november: 0,4; december-április: 0,5; május: 0,8; június: 1,2; július: 1,6; augusztus: 0,9. Az augusztusi csapadékösszeget célszerű dekádokra bontani: az első dekád csapadékát 1,5-szeres, a középső dekádét változatlan, a harmadikat pedig 0,5-szeres értékkel számításba venni. Az aszály küszöbértéke 6, vagyis $PAI > 6$ esetben tekinthető egy év aszályosnak.

A módosított aszályindex a korrekciós tényezőkkel korrigálva (PÁLFAI I. 2004):

$$PAI_1 = k_t \times k_p \times k_{gw} \times PAI_0 \quad (2.2-2)$$

ahol:

PAI_1 : a korrigált aszályindex [$^{\circ}C/100$ mm],

k_t : a hőmérsékleti korrekciós tényező,

k_p : a csapadék-korrekciós tényező,

k_{gw} : a talajvizes korrekciós tényező.

A hőmérsékleti korrekciós tényező számítása:

$$k_t = \sqrt[6]{(n + 1) / (N + 1)} \quad (2.2-3)$$

ahol:

k_t : a hőmérsékleti korrekciós tényező,

n: a hőségnapok⁷ száma a június-augusztusi időszakban,

N: a hőségnapok számának sokévi országos átlaga (16) a június-augusztusi időszakban.

A csapadék-korrektíós tényező számítási módja:

$$k_p = \sqrt[4]{(\tau_{\max} / T_{\max})} \quad (2.2-4)$$

ahol:

k_p : a csapadék-korrektíós tényező,

$\tau_{\max}$: a leghosszabb csapadékszegény időszak tartama jún. közepe és aug. közepe között,

$T_{\max}$: az előbbinek a sokéves országos átlaga (20 nap).

A talajvizes korrektíós tényező kiszámításának módja:

$$k_{gw} = \sqrt{(h / H)} \quad (2.2-5)$$

ahol:

k_{gw} : talajvizes korrektíós tényező,

h: a talajvízszint közepes mélysége a terepszint alatt a november-augusztusi időszakban (m),

H: az előbbinek az adott helyen érvényes sokévi átlaga (m).

Az aszály fokozatai a Pálfai-féle aszályindex esetében (PÁLFAI I. 2004):

1. PAI=6-8 C°/100 mm: mérsékelt aszály,
2. PAI=8-10 C°/100 mm: közepes erősségű aszály,
3. PAI=10-12 C°/100 mm: súlyos aszály,
4. PAI>12 C°/100 mm: rendkívül súlyos aszály.

Itt megemlítenéd, hogy a közelmúltban kidolgozták a PAI nemzetközi használatra szánt módosított változatát, a PaDI-t (Palfai Drought Index, Pálfai aszályindex) amely havi csapadékösszeg és hőmérséklet adatsorokra számítható. Előnye, hogy egyszerűbb formájú és kisebb adatigényű, mint a PAI.⁸

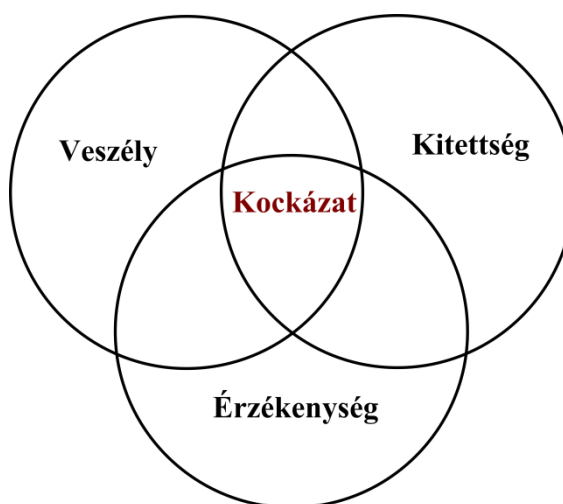
A legfontosabb aszály-mérőszám az aszályérzékenység. Az aszályérzékenység fogalmának tisztázásához és az aszály-hatásmechanizmusok vizsgálatához elengedhetetlen a kockázat fogalmának és összetevőinek ismerete.

⁷ Ha a maximális mért hőmérséklet meghaladja a 30 °C-ot.

⁸ http://wahastrat.vizugy.hu/terkep/terkep_padi.aspx (letöltve: 2014-10-16)

A kockázat (risk) „egy esemény (veszély) bekövetkezési valószínűségének és annak káros következményeinek az elegye” (UNISDR 2009).⁹ A kockázat a veszély, az érzékenység és a kitettség metszete (3. ábra). A metszet halmazművelet a szorzásnak felel meg, innen a képlet (2.2-6):

$$\text{Kockázat} = \text{Veszély} \times \text{Kitettség} \times \text{Érzékenység} \quad (2.2-6)$$



3. ábra: A veszély, az érzékenység és a kitettség metszete adja meg a kockázatot¹⁰

A veszély, az érzékenység, a kitettség és az alkalmazkodó képesség meghatározásai (UNISDR 2009, megjegyzésekkel kiegészítve):

- **Veszély (hazard):** „Egy veszélyes (környezetből származó) jelenség, anyag, emberi tevékenység vagy körülmény, ami halált, sérülést vagy egyéb egészségügyi hatást, tulajdonban (birtokban) esett kárt, megélhetés és szolgáltatások elvesztését, társadalmi és gazdasági bomlást...”, egyszóval környezeti károsodást okoz. Nem csupán antropocentrikus a veszély, hanem az egész ökoszisztémára vonatkozik.
- **Érzékenység (vulnerability):** „Egy közösség, rendszer vagy vagyontárgy azon jellemzői és körülményei, melyek azokat egy veszély károsító hatásaival

⁹ UNISDR 2009: Terminology on Disaster Risk Reduction. http://www.unisdr.org/files/7817_UNISDRTerminologyEnglish.pdf (letöltve: 2014-10-16)

UNISDR: United Nations International Strategy for Disaster Reduction (az ENSZ Katasztrófacsökkentés Nemzetközi Stratégiája)

¹⁰ <https://www.niwa.co.nz/natural-hazards/hazards/risk-and-vulnerability> (letöltve: 2014-10-16)

szemben érzékennyé teszik.” Az érzékenység inverze az alkalmazkodó képességnek.

- Kitétség (exposure): „A veszélyövezetben jelen lévő személyek, tulajdon, rendszerek vagy egyéb elemek, melyek ennél fogva lehetséges veszteségek alanyai.” Az aszályal érintett terület esetén például a mezőgazdasági termény mennyisége.
- Alkalmazkodó képesség (coping capacity): „Emberek, szervezetek és rendszerek (a környezet a legtágabb ilyen rendszer) azon képessége, hogy felhasználva a rendelkezésre álló készségeket és erőforrásokat, szembeszálljanak és megbirkózzanak a kedvezőtlen körülményekkel, vészhelyzetekkel vagy katasztrófákkal.” Például a növények aszályal szembeni tűrőképessége (toleranciája).

A mezőgazdasági művelésre alkalmas területek aszályos helyzetekkel szembeni érzékenysége rendkívül nagy fontossággal bír. Az aszályérékenység ismerete segít a helyes agrotechnika megválasztásában, a megfelelő vetőmagok kiválasztásában, támpontot ad az öntözőrendszerek tervezéséhez (NÉMETH Á. et al. 2004). Ezzel csökkenteni lehet az érzékenységet (növelni az alkalmazkodó képességet), ami az aszálykockázatot csökkenti.

NÉMETH Á. et al. (2004) az aszályérékenységet Somogy megye területére vizsgálták. A vizsgálatukhoz a kiindulópontot WILHELMI, O. V. – WILHITE, D. A. (2002) munkája adta. Az érzékenység megállapításához súlytényezőket határoztak meg. Ez szubjektív módon, az egyes tényezők aszályt elősegítő, illetve az aszályt csökkentő volta szerint történt. A súlytényezőket egy ötfokozatú skála szerint osztályozták. A legkevésbé fontos paraméterek 1-es, az aszályérékenység szempontjából kiemelt jelentőséggel bírók 5-ös súlytényezőt kaptak. Az aszályérékenységi térkép készítése során az alábbi környezeti tényezőket vették figyelembe: az évi csapadékösszeg sokévi átlaga, a talajvíz mélysége, a lejtőkitettség és a lejtőszög, a talajtani jellemzők (mint a talajok vízgazdálkodási jellemzői, genetikai talajtípus, fizikai féleség, termőréteg-vastagság és szervesanyag-készlet) és a földhasználat. A paramétereket az érzékenység függvényében újraosztályozták és összegezték. A magasabb értékek nagyobb aszályérékenységet jeleznek (NÉMETH Á. et al. 2004).

Az aszályérékenység az ország teljes területére vagy a földrajzi tájakra külön-külön meghatározható. Azonban a példaként felhozott módszer távérzékelési adatokkal

kiegészítésre szorul. Az ebben a tanulmányban vizsgált, multispektrális szenzorok adataira támaszkodó differenciált aszályindex (illetve a többi vizsgált spektrális index) alkalmas lehet az ilyen irányú vizsgálatokhoz is, kis és nagy léptékben egyaránt.

További gyors és egyszerű lehetőséget kínálnak a vegetációindexek az aszályosság és az aszályérzékenység, valamint a biomassza-produktivitás változásainak vizsgálatához. Ezekre példa a normalizált differenciált aszályindex (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI) és a továbbfejlesztett vegetációindex (Enhanced Vegetation Index, EVI).

KOVÁCS F. (2012) az erdők természetes vízellátottságának megfigyelésére alkalmazta az NDVI-t és az EVI-t a Duna-Tisza közén 2000-2011 között, MODIS 250 méteres részletességű, 16 napos összegzésű kompozitképekre¹¹ (MOD13Q1 EVI és MOD13Q1 NDVI).

¹¹ A kompozitképek a MODIS esetén 8 vagy 16 napos időszakból származó felvételekből tevődnek össze. Az eredeti műholdképek pixeleinek optimális kiválasztása alapján (a minőségfájlok, metaadatok alapján számítógépes algoritmus végzi) az új kompozitkép cellaértékei mindig a legjobb adatminőségű képpontokból fognak állni. A legkedvezőbb kiválasztás egyaránt kiterjed a megfigyelési- és megvilágítási geometriára, a légkör állapotára és a felhőzet mennyiségére, vagyis a zavaró hatásokra. Ezzel a származtatott adatok minősége lényegesen magasabb lesz (KERN A. et al. 2014).

3. Adatok

A MODIS Terra műholdképekre számított aszályindexek alkalmasnak bizonyulhatnak az aszály rövidtávú téridőbeli változásainak a nyomon követésére, nagyobb földrajzi (országos, regionális) léptékben. Az aszályosság vizsgálatára július első fele a legalkalmasabb időpont: „legnagyobb súlya a júliusi csapadéknak van, mert ekkor igénylik a növények a legtöbb vizet, s ráadásul ez a leginkább aszályra hajlamos hónapunk” (PÁLFAI I. 2004). Aratás után viszont már nem célszerű időpontot választani, mert a learatott földek is aszályosnak osztályozódhatnak. Egy júniusi és egy júliusi időpontot választottam a vizsgálat céljára.

3.1. A felhasznált adatok

A nagy időfelbontással bíró, közepes méretarányú MODIS (Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer, közepes méretarányú leképező spektrométer) távérzékeléses adatokat a NASA EOS programja keretén belül felfűtött Terra és Aqua műholdakra szerelt multispektrális szenzorok mérései szolgáltatják. Az adatok feldolgozásából számos gyárilag előre kalibrált terméket állítanak elő. A MODIS adatokat az USGS (az USA Földtani Szolgálat) Global Visualization Viewer (Glovis) amerikai kormányzati oldalról töltöttem le.¹²

Ezek közül ebben a tanulmányban a MOD09A1 felszíni reflektanciával (MODIS Surface Reflectance) és a MOD13A1 EVI vegetációindexszel foglalkoztam. A MODIS műholdképek különösen a nagy földrajzi léptékű (regionális vagy országos szintű) vizsgálatokhoz alkalmazhatók. A nagy időbeli felbontás lehetővé teszi a gyors környezeti változások vizsgálatát. Az aszályindex számításához a MOD09A1 (Collection 5) 8 napos, 500 méteres felbontású felszíni reflektancia kompozitképeket (MODIS Terra Surface Reflectance 8-Day L3 Global 500m SIN Grid) használtam. A MOD09A1 adatok spektrális sáv kiosztását az 1. táblázat, míg a felhasznált felvételek kódjait, illetve készítési dátumait a 2-3. táblázat tartalmazza. A sávok értékei be vannak szorozva 10000-el, amin a számítások során nem változtattam. A választott júniusi időpont: 9-16. (illetve 10-17.). A választott júliusi műholdfelvételek döntő része a 12-

¹² Glovis: <http://glovis.usgs.gov>

19. (illetve 11-18.) közötti időszakból származnak. Azonban több esetben kénytelen voltam nyolc nappal előtt készült felvételeket használnom a felhőborítás miatt.

Az 16 napos összesítésű, 500 méteres részletességű EVI (Enhanced Vegetation Index, továbbfejlesztett vegetációindex) kompozitképeket készen kapjuk MOD13A1 EVI néven (MODIS Terra Vegetation Indices 16-Day L3 Global 500m SIN Grid). Az 5-ös adatkollekcióból valók a letöltött szelvények, hasonlóan a MOD09A1-hez. Az EVI értékek szintén be vannak szorozva 10000-rel, a MOD09A1 felszíni reflektancia értékekhez hasonlóan. A 16 napos kompozitképek június 9-24. (illetve 10-25.), valamint július 11-26. (illetve 12-27.) közötti, 16 napos időintervallumból valók (4-5. táblázat).

1. táblázat: A MOD09A1 8-napos felszíni reflektancia kompozitkép spektrális sávjai (VERMOTE, E. F. – KOTCHENOVA, S. Y. 2008)

MOD09A1 sávok	hullámhossz (nm)
1 (vörös)	620-670
2 (közeli infravörös)	841-876
3 (kék)	459-479
4 (zöld)	545-565
5 (SWIR 0)	1230-1250
6 (SWIR 1)	1628-1652
7 (SWIR 2)	2105-2155

* SWIR: short-wave infrared, közepső infravörös

2. táblázat: A vizsgálat során felhasznált júniusi felvételek (MOD09A1)

Időpont	Műholdfelvétel
2000. június 1-8.	MOD09A1.A2000153.h19v04.005.2006282061101.hdf
2001. június 2-9.	MOD09A1.A2001153.h19v04.005.2007032064442.hdf
2002. június 10-17.	MOD09A1.A2002161.h19v04.005.2007159202900.hdf
2003. június 10-17.	MOD09A1.A2003161.h19v04.005.2007331035615.hdf
2004. június 9-16.	MOD09A1.A2004161.h19v04.005.2007286111312.hdf
2005. június 10-17.	MOD09A1.A2005161.h19v04.005.2008036203430.hdf
2006. június 10-17.	MOD09A1.A2006161.h19v04.005.2008234012911.hdf
2007. június 10-17.	MOD09A1.A2007161.h19v04.005.2007176013535.hdf
2008. június 9-16.	MOD09A1.A2008161.h19v04.005.2008171214132.hdf
2009. június 10-17.	MOD09A1.A2009161.h19v04.005.2009178020241.hdf
2010. június 10-17.	MOD09A1.A2010161.h19v04.005.2010170151126.hdf
2011. június 10-17.	MOD09A1.A2011161.h19v04.005.2011173034221.hdf
2012. június 9-16.	MOD09A1.A2012161.h19v04.005.2012170080701.hdf
2013. június 10-17.	MOD09A1.A2013161.h19v04.005.2013170135552.hdf
2014. június 10-17.	MOD09A1.A2014161.h19v04.005.2014170232201.hdf

3. táblázat: A vizsgálat során felhasznált júliusi felvételek (MOD09A1)

Időpont	Műholdfelvétel
2000. július 3-10.	MOD09A1.A2000185.h19v04.005.2006291143835.hdf
2001. július 12-19.	MOD09A1.A2001193.h19v04.005.2007039074739.hdf
2002. július 4-11.	MOD09A1.A2002185.h19v04.005.2008246040620.hdf
2003. július 12-19.	MOD09A1.A2003193.h19v04.005.2007345131953.hdf
2004. július 3-10.	MOD09A1.A2004185.h19v04.005.2007294183834.hdf
2005. július 12-19.	MOD09A1.A2005193.h19v04.005.2008047113641.hdf
2006. július 12-19.	MOD09A1.A2006193.h19v04.005.2008137151238.hdf
2007. július 12-19.	MOD09A1.A2007193.h19v04.005.2007207061058.hdf
2008. július 11-18.	MOD09A1.A2008193.h19v04.005.2008203063800.hdf
2009. július 12-19.	MOD09A1.A2009193.h19v04.005.2009203181427.hdf
2010. július 12-19.	MOD09A1.A2010193.h19v04.005.2010202225526.hdf
2011. július 12-19.	MOD09A1.A2011193.h19v04.005.2011203192222.hdf
2012. július 3-10.	MOD09A1.A2012185.h19v04.005.2012209000732.hdf
2013. július 4-11.	MOD09A1.A2013185.h19v04.005.2013194135136.hdf
2014. július 12-19.	MOD09A1.A2014193.h19v04.005.2014202225926.hdf

4. táblázat: A vizsgálat során felhasznált júniusi felvételek (MOD13A1)

Időpont	Műholdfelvétel
2000. június 9-24.	MOD13A1.A2000161.h19v04.005.2008194225433.hdf
2001. június 10-25.	MOD13A1.A2001161.h19v04.005.2007035081802.hdf
2002. június 10-25.	MOD13A1.A2002161.h19v04.005.2008241124327.hdf
2003. június 10-25.	MOD13A1.A2003161.h19v04.005.2008312210848.hdf
2004. június 9-24.	MOD13A1.A2004161.h19v04.005.2008252081831.hdf
2005. június 10-25.	MOD13A1.A2005161.h19v04.005.2008039033747.hdf
2006. június 10-25.	MOD13A1.A2006161.h19v04.005.2008234031839.hdf
2007. június 10-25.	MOD13A1.A2007161.h19v04.005.2007183114308.hdf
2008. június 9-24.	MOD13A1.A2008161.h19v04.005.2008178193343.hdf
2009. június 10-25.	MOD13A1.A2009161.h19v04.005.2009180074559.hdf
2010. június 10-25.	MOD13A1.A2010161.h19v04.005.2010178084422.hdf
2011. június 10-25.	MOD13A1.A2011161.h19v04.005.2011179145823.hdf
2012. június 9-24.	MOD13A1.A2012161.h19v04.005.2012178051916.hdf
2013. június 10-25.	MOD13A1.A2013161.h19v04.005.2013178115404.hdf
2014. június 10-25.	MOD13A1.A2014161.h19v04.005.2014178041817.hdf

5. táblázat: A vizsgálat során felhasznált júliusi felvételek (MOD13A1)

Időpont	Műholdfelvétel
2000. július 11-26.	MOD13A1.A2000193.h19v04.005.2008274154140.hdf
2001. július 12-27.	MOD13A1.A2001193.h19v04.005.2007040023155.hdf
2002. július 12-27.	MOD13A1.A2002193.h19v04.005.2007178175534.hdf
2003. július 12-27.	MOD13A1.A2003193.h19v04.005.2008314154731.hdf
2004. július 11-26.	MOD13A1.A2004193.h19v04.005.2007299052140.hdf
2005. július 12-27.	MOD13A1.A2005193.h19v04.005.2008215180341.hdf
2006. július 12-27.	MOD13A1.A2006193.h19v04.005.2008137090810.hdf
2007. július 12-27.	MOD13A1.A2007193.h19v04.005.2007213095642.hdf

2008. július 11-26.	MOD13A1.A2008193.h19v04.005.2008210171025.hdf
2009. július 12-27.	MOD13A1.A2009193.h19v04.005.2009211203358.hdf
2010. július 12-27.	MOD13A1.A2010193.h19v04.005.2010211165954.hdf
2011. július 12-27.	MOD13A1.A2011193.h19v04.005.2011210101747.hdf
2012. július 11-26.	MOD13A1.A2012193.h19v04.005.2012212125051.hdf
2013. július 12-27.	MOD13A1.A2013193.h19v04.005.2013213123400.hdf
2014. július 12-27.	MOD13A1.A2014193.h19v04.005.2014210161120.hdf

3.2. Az adatok előkészítése

Az adatok előkészítését, az adatelemzéseket, az eredmények statisztikai értékelését és megjelenítését a System for Automated Geoscientific Analyses¹³ (SAGA GIS, verzió: 2.1), a Quantum GIS¹⁴ (QGIS, verzió: 2.4, Python verzió: 2.7.5), a Geospatial Data Abstraction Library¹⁵ (GDAL, verzió: 1.11.0, QGIS-be integrálva), a Geographic Resources Analysis Support System¹⁶ (GRASS GIS, verzió: 6.4.3, QGIS-be integrálva) nyílt forráskódú térinformatikai programok és eszköztárak, a szintén ingyenes R statisztikai szoftver, a MODIS Reprojection Tool¹⁷ segédprogram (verzió: 4.1, ingyenesen elérhető a NASA Land Processes Distributed Active Archive Center (LP DAAC) weboldalán), valamint az LDOPE Tools¹⁸ (MODIS Land Data Operational Products Evaluation Tools, verzió: 1.7) eszköztár segítségével végeztem el.

A MODIS adatok szinuszoszoidális vetületi rendszerben, Hierarchical Data Format (HDF) fájlformátumban vannak, amit a könnyebb használhatóság érdekében átalakítottam geoTIFF kiterjesztésbe, majd UTM zone 34N (alapfelületi ellipszoid: WGS84) vetületi rendszerbe transzformáltam át. Átmintázásra a legközelebbi szomszéd (nearest neighbor) módszert alkalmaztam, mivel az nem változtatja meg az eredeti felszíni reflektancia értékeket. A művelet elvégzésére a MODIS Reprojection Tool-t használtam.

A MOD09A1 spektrális sávokhoz is készítenek minőségellenőrző és állapot sávokat (Quality Control és State Flag) is, amelyek pixelenkénti információt

¹³ SAGA GIS: <http://www.saga-gis.org>

¹⁴ QGIS: <http://www.qgis.org/en/site/>

¹⁵ GDAL: <http://www.gdal.org/>

¹⁶ GRASS GIS: <http://grass.osgeo.org/>

¹⁷ MODIS Reprojection Tool: https://lpdaac.usgs.gov/tools/modis_reprojection_tool

¹⁸ LDOPE Tools: https://lpdaac.usgs.gov/tools/ldope_tools

szolgáltatnak az adatok minőségéről, pontosságáról és következetességéről, amit külső tényezők befolyásolnak. Ilyen faktorok lehetnek a felhőborítás és -árnyékolás, hibás detektor (az értékek interpolációból származnak), extrém kiugró érték, amit a legnagyobb megengedhető értékre leszorítottak, az aeroszolk mennyisége, a nap zenitszöge, stb.. A minőség- és az állapotsávok az adatokat decimális számokként tárolják. Ezeket az értékeket át kell konvertálni 32, illetve 16 bites bináris sorozatokká, hogy kinyerjük belőle a képpontok kiértékeléséhez szükséges fontos információkat.

A MODIS adatokat használatuk előtt az említett sávok segítségével ellenőrizni kell, és a vizsgálatból kizárni a hibás, pontatlan vagy következtelen értékekkel rendelkező képpontokat. A minőség, a felhőborítás és a felhőárnyék maszk kinyerése a 32/16 bites bináris minőség- és állapotsávokból a C programozási nyelven írt LDOPE Tools eszköztár segítségével történt. Az eszközök egy részét a MODIS szárazföldi minőségértékelő csoportja bocsátotta a felhasználó közösség rendelkezésére (ROY, D.P. et al. 2002). A műveletek elvégzésére parancssori szkriptet írtam. Általános szabály, hogy a kisebb értékek jobb minőséget (0 a legjobb), míg a magasabb értékek rosszabb minőséget jelölnek.

Ezt követően, az elkészült maszk fájlok használatával a helytelen pixelértékeket átírtam a nincs adat értékre, amit nullára állítottam. A művelet elvégzésére, szintén C nyelven, egy egyszerű programot írtam MODIS Quality Control Tool néven, ami ARC/INFO ASCII GRID formátumban olvassa be a sávok adatait (a forrásfájl csatolva az 1. mellékletben). Az alábbi biteket vettem figyelembe és az alábbi feltételek mellett (zárójelben) fogadtam el helyesnek a pixeleket (a többit átírtam a nincs adat értékre):

1. State Flags (állapotsáv):
 - a. bit: Cloud State (felhőállapot) (=0)
 - b. bit: Cloud Shadow (felhőárnyék) (=0)
2. Quality Control (minőségellenőrző sáv):
 - a. 2-5. bit: az első sáv adatminősége (=0)
 - b. 6-9. bit: a második sáv adatminősége (=0)
 - c. 26-29. bit: a hetedik sáv adatminősége (=0).

A MOD13A1 adatoknál is hasonlóan jártam el, azonban a minőségértékelő sávok eltérnek a MOD09A1-hez képest. Továbbá néhány helyen módosítanom kellett az 1. mellékletben csatolt segédprogram forrásfájlját. Az alábbi biteket figyelembe

véve, és az alábbi feltételek mellett fogadtam el helyesnek a pixeleket (a többit átírtam a nincs adat értékre):

1. VI Quality detailed QA (a minőségsáv):
 - a. 0.bit: VI Quality (MODLAND QA bitek) (≤ 1)
 - b. 2-5. bit: VI Usefulness (használhatóság) (≤ 4)
 - c. 15. bit: Possible shadow (lehetséges árnyék) ($= 0$)
2. Pixel reliability QA summary (a pixelek megbízhatósága) (≤ 1).

A meghatározott feltételek szigorúsága hasonló a MOD09A1 és a MOD13A1 esetén.

A műholdképeket Egységes Országos Vetületi Rendszerbe (HD72/EOV, IUGG67-es ellipszoid) transzformáltam át, majd a szelvényekből kivágtam a Magyarországra eső területet. A vetületi transzformáció elvégzésére a GDAL Warp (reproject), míg a vágásra a GDAL Clip raster by mask layer modulokat használtam.

Itt fontos kitérni arra, hogy javítani kell a HD72/EOV vetület beállításait, mivel a Quantum GIS által használt beállítások nem elég pontosak, ugyanis 100 méter körüli hibát okoznak a vetületi átszámítások során. A QGIS a PROJ.4 könyvtár vetületi definícióit használja. A javított Egységes Országos Vetület PROJ.4 definíciója:

```
+proj=somerc +lat_0=47.1443937222222 +lon_0=19.04857177777778 +k_0=0.99993 +x_0=650000  
+y_0=200000 +ellps=GRS67 +towgs84=57.01,-69.97,-9.29,0,0,0,0 +units=m +no_defs
```

A towgs84 paraméter egy három vagy hétparaméteres transzformáció állandóit tartalmazza. Ezzel a módosítással 1-2 méter körüli pontosságot érhetünk el az átszámítások során (SIKI Z. 2010, SZATMÁRI J. 2010).

4. Módszerek

A MOD09A1 adatokkal történő aszálylehatárolásnak eddig egyetlen létező módszere a normalizált differenciált aszályindex (Normalized Difference Drought Index, NDDI). Az NDDI az NDVI és az NDWI spektrális indexekből származtatható, az alábbi képlet segítségével számítható (GU, Y. et al. 2007):

$$\text{NDDI} = (\text{NDVI} - \text{NDWI}) / (\text{NDVI} + \text{NDWI}) \quad (4-1)$$

ahol:

$$\text{NDVI} = (\text{NIR}_{858 \text{ nm}} - \text{vörös}_{645 \text{ nm}}) / (\text{NIR}_{858 \text{ nm}} + \text{vörös}_{645 \text{ nm}}),$$

$$\text{NDWI} = (\text{NIR}_{858 \text{ nm}} - \text{SWIR}_{2130 \text{ nm}}) / (\text{NIR}_{858 \text{ nm}} + \text{SWIR}_{2130 \text{ nm}}),^{19}$$

NIR: near-infrared, közeli infravörös,

SWIR: short-wave infrared, rövidhullámú infravörös.

A normalizált differenciált vegetációindex (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI) a növényzetborítás biofizikai állapotának jellemzésére használatos (ROUSE, J. W. et al. 1973). Az NDVI a kloroplaszt klorofilltartalmának (a látható vörös sugárzás elnyelésén keresztül) és a szivacsos alapszövet (a visszavert közeli infravörös sugárzáson keresztül) változásait méri a növények leveleiben. Magasabb NDVI-értékek a levélzet nagyobb életerejét és fotoszintetikus kapacitását jelzik (GU, Y. et al. 2007). A növényzet fényvisszaverése nagyon erőteljes a közeli infravörös tartományban, ezért reflektanciájuk ebben a hullámhossz-tartományban magas. Ezzel szemben a látható vörös tartományban elnyelik a napsugarakat, azaz gyenge a visszaverés. Minél nagyobb a két érték közti különbség, annál sűrűbb és egészségesebb a növényzet. Másképpen: minél több látható fényt abszorbeál a növény, annál több közeli infravörös sugárzást reflektál.

A normalizált differenciált vízindex (Normalized Difference Water Index, NDWI) a növényzet lombozatának nedvességtartalmának jellemzésére való. A spektrális index a közeli infravörös és a középső infravörös sávokból számolható, ami a víztartalomban (SWIR sugárzás abszorpciója) és a szivacsos alapszövetben bekövetkező változásokat hűen tükrözi (GAO, B. C. 1996, GU, Y. et al. 2007). A növényekben található víz abszorpciója a 858 nm körüli tartományban elhanyagolható.

¹⁹ Ez a vízindex nem a McFEETERS, S. K. (1996) vagy a XU H. (2006) által kifejlesztett változat.

Ezzel szemben, a 2130 nm közötti hullámhossz-tartományban a víz abszorpciója magas. Ha csökken a víztartalom, akkor ebben a tartományban megnő a reflektancia. A vízindex alkalmas a növényzet víztartalmának meghatározására. CHEN, D. et al. (2005) MODIS műholdak használatával kukorica és szójabab nedvességtartalmának becslésére használták a $NIR_{858\text{ nm}}$ és a $SWIR_{1640\text{ nm}}$, illetve $SWIR_{2130\text{ nm}}$ sávokra számított spektrális indexeket. Mindkettő lehetőséget mutatott a vegetáció-nedvességtartalom becslésében.

GU, Y. et al. (2007) a MODIS 8 napos, 500 méteres felbontású felszíni reflektancia adataira (MOD09A1, Collection 4) támaszkodott. Az NDWI a víztartalmat, az NDVI pedig a klorofilltartalmat mutatja. Az NDWI erősebben reagált az aszályos állapotokra, mint az NDVI. Nagyobb volt tehát a növényzet vízvesztesége, mint a klorofilltartalmának csökkenése. Az amerikai mintaterületükön (a Prérin, Kansas és Oklahoma államok területén elterülő Flint Hills Ökológiai Régió) aszályos körülmények között mindkét változó értéke alacsonyabb volt ($NDVI \sim 0,5$ és $NDWI \sim 0,3$), mint aszálymentes viszonyok között ($NDVI > 0,6$ és $NDWI > 0,4$) nyáron.

A normalizált differenciált aszályindex számítása során szélsőségesen kiugró értékek is keletkeznek, ami statisztikai elemzéseknél komoly hátrányt jelent. Ennek oka, hogy többszörös normalizált differencia indexet kell számítani, melynek során az értékek nagy része -1 és $+1$ közötti intervallumba transzformálódik. Azonban ezres-tízezres nagyságrendű kiugró értékek (abszolút rekord 2002-ben: $-152859,27$ és 2011-ben: $+88003,55$) is keletkeztek az index számításakor, annak ellenére, hogy a minőség- és állapotsávok segítségével kizártam a helytelen pixeleket, tehát nem ez okozhatta az említett jelenséget (később kitérek erre a problémára).

A differenciált aszályindex (DDI, Difference Drought Index) használatával relatív értelemben lényegesen kisebb kiugró értékek keletkeznek, mint az NDDI-nél, ugyanis ez esetben egy széles értéktartományba esnek az értékek. Ezért javaslom, hogy a normalizált differencia index helyett egyszerűen csak differencia indexet számítsunk:

$$DDI = (DVI - DWI) \quad (4-2)$$

ahol:

$$DVI = NIR_{858\text{ nm}} - \text{vörös}_{645\text{ nm}},$$

$$DWI = NIR_{858\text{ nm}} - SWIR_{2130\text{ nm}}.$$

Az új, optimalizált indexek, mint amilyen a továbbfejlesztett vegetációindex (EVI, Enhanced Vegetation Index) is, hibridként egyesítik más mérőszámok jellemzőit. Az EVI az NDVI korrekciós tényezőkkel ellátott változata (KOVÁCS F. 2013). Az EVI

minimalizálja a légköri zavaró hatásokat és eltávolítja a talaj-fényesség indukálta változásokat (SOLANO, R. et al. 2010). A 4-3 képlet alapján számolható:

$$EVI = G \times (NIR_{858nm} - vörös_{645nm}) / (NIR_{858nm} + C_1 \times vörös_{645nm} + C_2 \times kék_{469nm} + L) \quad (4-3)$$

ahol:

NIR/vörös/kék sávok: légkörileg helyesbített felszíni reflektancia értékek,

L: lombzat háttér igazítás a nem lineáris, differenciális közeli infravörös és látható vörös, levélen keresztül történő sugárzási átvitel korrigálására,

C₁ és C₂: együtthatói az aeroszol-ellenállás tagnak (ami a látható kék sávot használja a légköri aeroszokok zavaró hatásainak az ellensúlyozására a látható vörös sávban) és

G: erősítés vagy skálázási tényező.

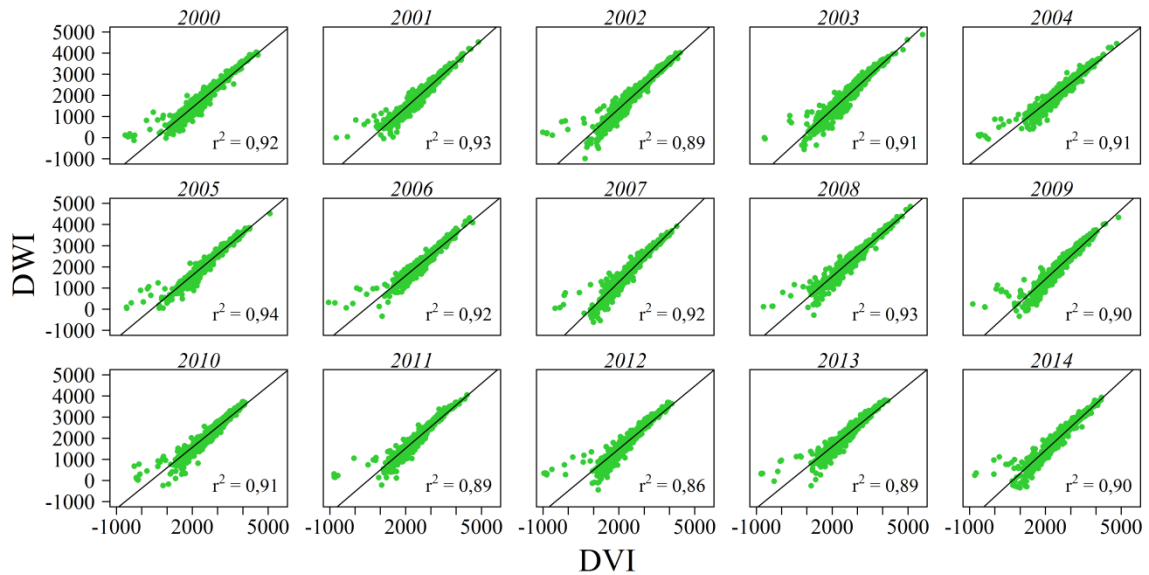
Az együtthatók értékei: L=1, C₁=6, C₂=7,5 és G=2,5.

4.1. A DWI-DVI és az NDWI-NDVI közötti kapcsolat jellemzése

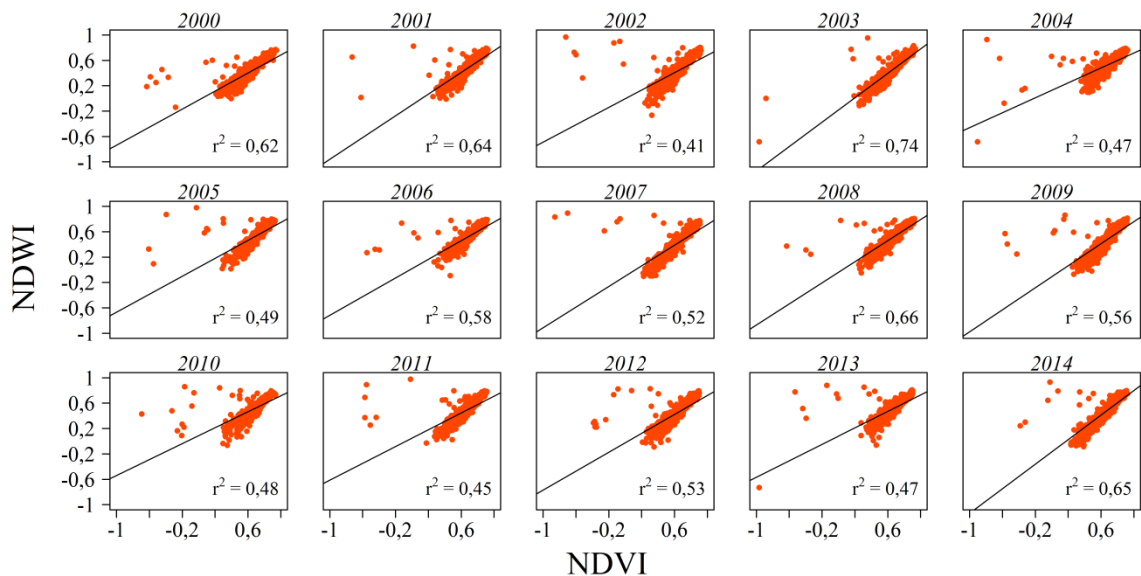
A differenciált vegetációindex (Difference Vegetation Index, DVI, TUCKER, C. J. 1979) és a differenciált vízindex (Difference Water Index, DWI) közötti kapcsolat szorosságának megállapítására lineáris regressziót számítottam. A regressziót nem az összes pixelre futtattam le, hanem egy véletlen mintára. A random mintavételt az R szoftverrel végeztem. Körülbelül 500-600 elemű mintákat készítettem. A sample() függvénynek ezerelemű mintát állítottam be, mivel az eredményül kapott minta tényleges minta elemszáma mindig alacsonyabb lesz, aminek az oka, hogy a program beválogat nincs adat értékű pixeleket is a mintába. Továbbá, a felhőmaszk és a minőségmaszk használatával is sok képpontot átírtam a nincs adat értékre, melynek következménye a vizsgált raszterállományonként eltérő mintaelemszám (n): 555 <= n <= 589. Minden egyes raszterállomány esetén ugyanazokat a pixeleket válogattam le, hogy egymással összehasonlíthatók legyenek az eredmények.

A DWI és a DVI közötti rendkívül erős kapcsolat áll fenn, a korrelációs együtthatók értékei 0,86 és 0,94 között mozognak (4. ábra). A két változó között fennálló lineáris összefüggés 2007-ben: DWI=+1,1692×DVI–1051,4394, és 2005-ben: DWI=+0,99595×DVI–395,68545. Megfigyelhető, hogy az aszályos években, például 2007-ben, nagyobb az egyenes meredeksége, mint nedves években, például 2005-ben. Ebből az következik, hogy az aszályos állapotokra a DWI érzékenyebben reagál, mint a

DVI, vagyis nagyobb a növényzet vízvesztése, mint a klorofillvesztése. Ezzel szemben, az NDVI és az NDWI között lényegesen gyengébb kapcsolat (r^2 -értékek 0,41 és 0,74 között) figyelhető meg a vizsgált időpontokban (5. ábra).



4. ábra: A differenciált vegetáció- és vízindex közötti kapcsolat a vizsgált júliusi időpontokban



5. ábra: A normalizált differenciált vegetáció- és vízindex közötti kapcsolat a vizsgált júliusi időpontokban, 2000 és 2014 között

4.2. Az aszályossági kategóriák meghatározása klaszteranalízis segítségével

Az aszályindexek kiszámítása után a SAGA GIS Cluster Analysis for Grids moduljával klaszteranalízist futtathattam a DDI-re. A klaszterelemzésre FORGY, W. E.

(1965) minimális spektrális távolságok módszerét választottam. Beállítottam, hogy a program a klaszterezés előtt a pixelértékeket normalizálja a szórással. Nyolc kimenő osztály esetén hozott legjobb eredményt az eljárás. A differenciált aszályindexre futtatott klaszteranalízis során egymástól jól elkülönülő, hasonló mértékben aszályos pixeleket tartalmazó osztályok jöttek létre.

Az aszályos éveket úgy határoztam meg, hogy a DDI átlagát kiszámítottam az összes vizsgált időpontra. Az időpontonként vett átlagokat szintén átlagoltam ($DDI_{\text{átlag}}=516,15$). Ha a DDI középértéke meghaladta ezt a küszöbértéket, akkor aszályosnak tekintettem az évet.

Ezután az így meghatározott aszályos évekre (2000-2003, 2007, 2009, 2012 és 2014) kiszámoltam a DDI átlagait és számtani átlagot képeztem belőlük ($DDI_{\text{átlag}}=581,09$). Így megkaptam a DDI a vizsgált júliusi időpontokra vonatkozó küszöbértékét. Így azok az osztályok, melyek osztályközepei meghaladták ezt a küszöbértéket, aszályosnak tekinthetők. A különböző időpontokból származó osztályokat az osztályközepek alapján megfeleltettem egymásnak, és így négy aszálykategória volt elkülöníthető egymástól. A 4. táblázatban összefoglaltam az aszályos klaszterek klaszterközepeit, melyekből számtani átlagot számítottam a kialakított aszálykategóriák szerinti bontásban. A nem aszályos években legtöbbször csak három, míg az aszályos években, 2007 és 2012 kivételével (rendre három és öt), négy aszályos klaszter volt jellemző. Az aszályossági kategóriák közti határokat ezek az átlagértékek jelölik ki, az 5. táblázatban foglaltak szerint.

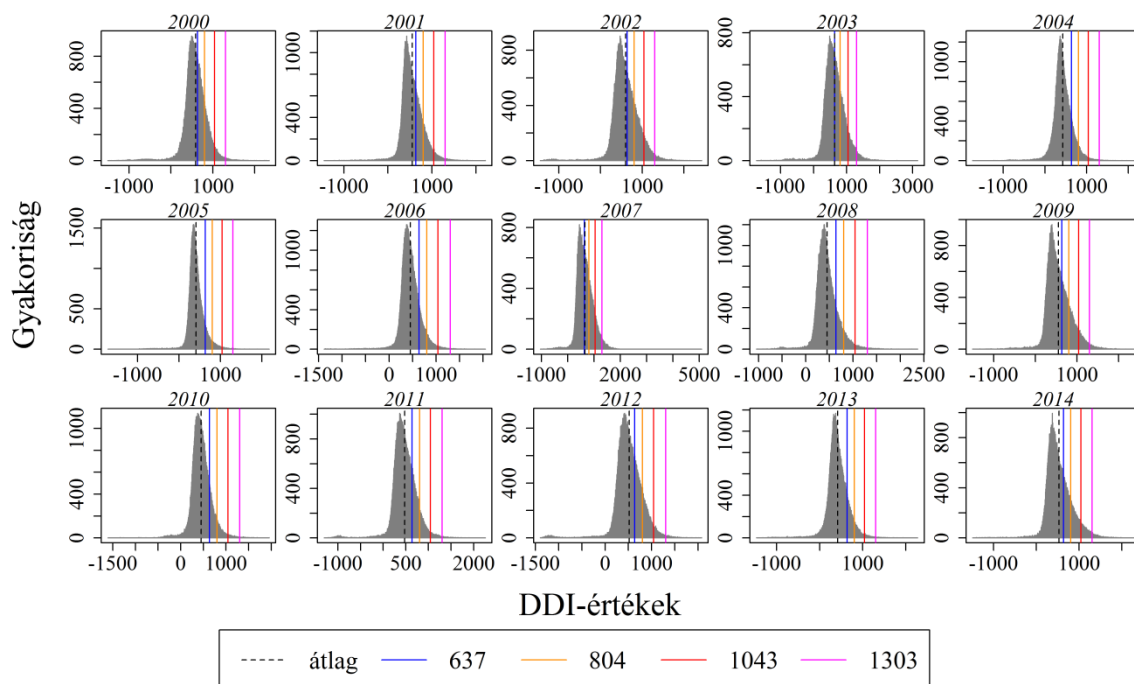
A 6. ábrán gyakorisági hisztogramok láthatók, ahol az x tengelyen a DDI-értékek, az y tengelyen pedig az értékek előfordulási gyakorisága van feltüntetve. A szaggatott vonal a számtani átlagot jelöli, míg a kék, narancssárga, piros és lila színű függőleges vonalak az aszályossági kategóriák értékhatárait jelölik (637, 804, 1043 és 1303). Megfigyelhető, hogy az aszályos és nem aszályos DDI-értékek közti határérték ($DDI=637$) sokszor magasabb az átlagértéknél. Ez különösen szembetűnő a hűvös-nedves években (2004-2006, 2008, 2010-2011 és 2013). Ha a számtani átlagon felüli pixelértékeket tekintettem volna aszályosnak, akkor túlbecsültem volna az aszályok kiterjedését a nem aszályos években.

6. táblázat: A DDI-re futtatott klaszteranalízis eredményeképpen előálló klaszterek klaszterközepei

Gyenge aszály	Közepes aszály	Erős aszály	Igen erős aszály
594	741	905	1211
595	755	926	1216
597	767	940	1226
604	768	1012	1314
615	770	1023	1325
620	776	1036	1360
624	779	1038	1373
630	796	1053	1397
634	797	1057	
652	822	1073	
658	826	1088	
662	834	1092	
674	871	1103	
693	873	1130	
707	878	1161	
Átlagok:			
637	804	1043	1303

7. táblázat: A kialakított aszályossági kategóriák

DDI-kategóriák	Leírás
$DDI < 0$	Nedves, vízborítás
$0 \leq DDI < 637$	Nem aszályos
$637 \leq DDI < 804$	Gyenge aszály
$804 \leq DDI < 1043$	Közepes aszály
$1043 \leq DDI < 1303$	Erős aszály
$1303 \leq DDI$	Igen erős aszály



6. ábra: A műholdképekre futtatott DDI gyakorisági hisztogramjai a vizsgált júliusi időpontokban, az aszályossági kategóriák értékhatárainak feltüntetésével

A klaszterközepek átlagolásából nyert értékhatárok jobban elkülönítik egymástól a különböző aszálykategóriákat, mintha egyszerűen a számtani átlagnál nagyobb értékeket mondjuk négy egyenlő intervallumra osztottam volna. A klaszteranalízis előnye, hogy magukból az adatokból nyerem ki az információt, és nem szubjektíven különítek el pixeleket egymástól.

4.3. Az aszályindexek számítása során felmerült problémák

Összefoglalásképpen pontokba szedtem, hogy milyen problémák léptek fel az NDDI és a DDI számítása során:

1. Az NDDI esetén nagy vízfelületek is aszályosnak osztályozódhatnak (különösen a Balatonnál szembetűnő).
2. A SWIR sáv használata miatt a DDI-nél és az NDDI-nél is felléphet sávós hatás (banding effect) (megfigyelhető 2000-ben a Dél-Alföldön, 8. ábra).
3. Az NDVI és az NDWI közti korreláció lényegesen rosszabb, mint a DVI és a DWI közti korreláció.
4. Az NDDI esetén a nagy kiugró értékek lehetetlenné teszik a klaszteranalízis használatát, ugyanis az alacsony értékű képpontok mindenképpen egy klaszterbe kerülnek, mivel az extrém értékek mindegyike külön klaszterbe sorolódik.
5. A differenciált aszályindex esetén klaszteranalízis segítségével határoztam meg az aszálykategóriák értékhatárait, vagyis magukból az adatokból nyertem ki az információkat, ami sokkal objektívebb. Ellenben az NDDI-re nem használható klaszteranalízis, így az aszályossági kategóriák értékhatárainak meghatározása szubjektív lehet.
6. A DDI esetén nincs normalizálás, amely kiküszöbölné a különböző megvilágításból, lejtésből, kitettségéből adódó sugárzásbeli eltéréseket. Ennek ellenre ez nem okoz túlzottan nagy gondot, mivel az aszályosságot elsősorban a szántóterületeken vizsgálom, síkvidéken. A referenciaadatok is a mezőgazdasági területekre vonatkoznak (gabona termésátlagok, terméshozamok, öntözővíz-felhasználás). A hegyvidékeken viszont a domborzatból eredő hatások jelentősek lehetnek, ami a differenciált aszályindex hátránya.
7. Általánosságban véve nem sok különbség adódott a normalizált differenciált aszályindex és az egyszerű differenciált index eredményei között.

5. Eredmények

5.1. Statisztikai értékelés és térképi megjelenítés

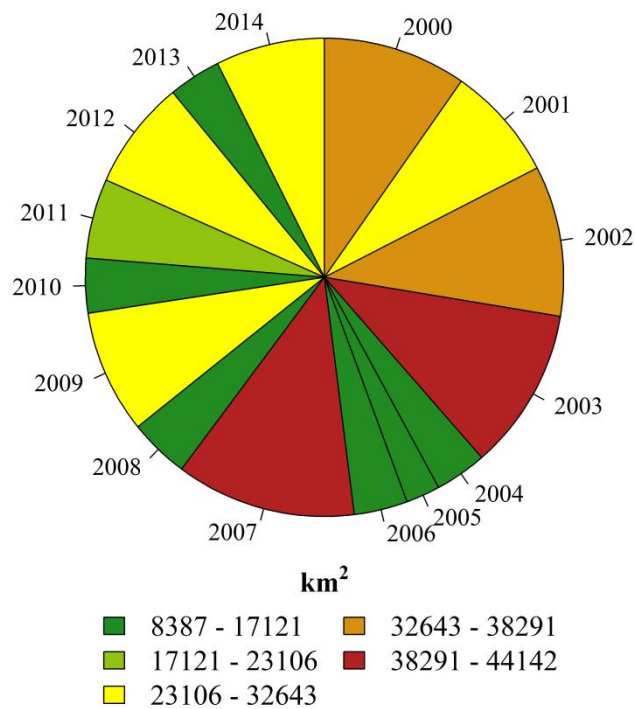
Az aszályos években (2000-2003, 2007, 2009, 2012 és 2014) a DWI átlagértéke 1849, míg a hűvös és nedves években (2004-2006, 2008, 2010-2011 és 2013) 2184 volt, a kettő különbsége 335. A DVI értéke az aszályos évek átlagában 2431-ot, míg a nem aszályos éveknél 2626-ot tett ki. A kettő különbsége csak 196. Nagyobb különbség mutatkozott meg a DWI esetén az aszályos és nem aszályos évek között, mint a DVI-nél. Ez arra utal, hogy a differenciált vízindex erősebben reagál az aszályos állapotokra, mint a differenciált vegetációindex. Mint már említettem korábban, aszály esetén nagyobb a növényzet víztartalmának csökkenése, mint a klorofilltartalomé. A vizsgált időszakban a differenciált aszályindex értéke 516,15-ot, aszályos években 581,09-ot, valamint hűvös-nedves években 441,94-ot tett ki. Az aszályos-nem aszályos évek átlagai közti különbség tehát 139,15 volt.

A műholdképek kialakított aszálykategóriák szerinti újraosztályozása (SAGA GIS Reclassify Grid Values modul) után meghatároztam az egyes aszályossági kategóriákba eső pixelek területét (GRASS r.stats modul). Az aszályal érintett területek nagyságát az aszálykategóriák szerinti bontásban a 6. táblázatban foglaltam össze.

8. táblázat: Az aszályal érintett területek nagysága a vizsgált időpontokban

Időpont	Terület (km ²)				
	Gyenge aszály	Közepes aszály	Erős aszály	Igen erős aszály	Összesen
2000. július 3-10.	20 727	11 703	2 283	397	35 110
2001. július 12-19.	16 845	9 005	1 830	377	28 057
2002. július 4-11.	17 516	13 714	4 646	971	36 847
2003. július 12-19.	18 708	14 440	5 239	1 348	39 735
2004. július 3-10.	8 816	3 196	530	105	12 647
2005. július 12-19.	5 602	2 181	487	117	8 387
2006. július 12-19.	9 236	3 179	552	107	13 073
2007. július 12-19.	18 979	16 595	6 654	1 914	44 142
2008. július 11-18.	9 267	4 309	906	272	14 753
2009. július 12-19.	14 602	10 775	3 780	1 019	30 175
2010. július 12-19.	9 529	3 203	545	121	13 398
2011. július 12-19.	12 858	5 430	999	201	19 488
2012. július 3-10.	15 276	9 153	1 928	375	26 732
2013. július 4-11.	8 855	3 326	603	123	12 908
2014. július 12-19.	12 995	9 267	3 493	969	26 723

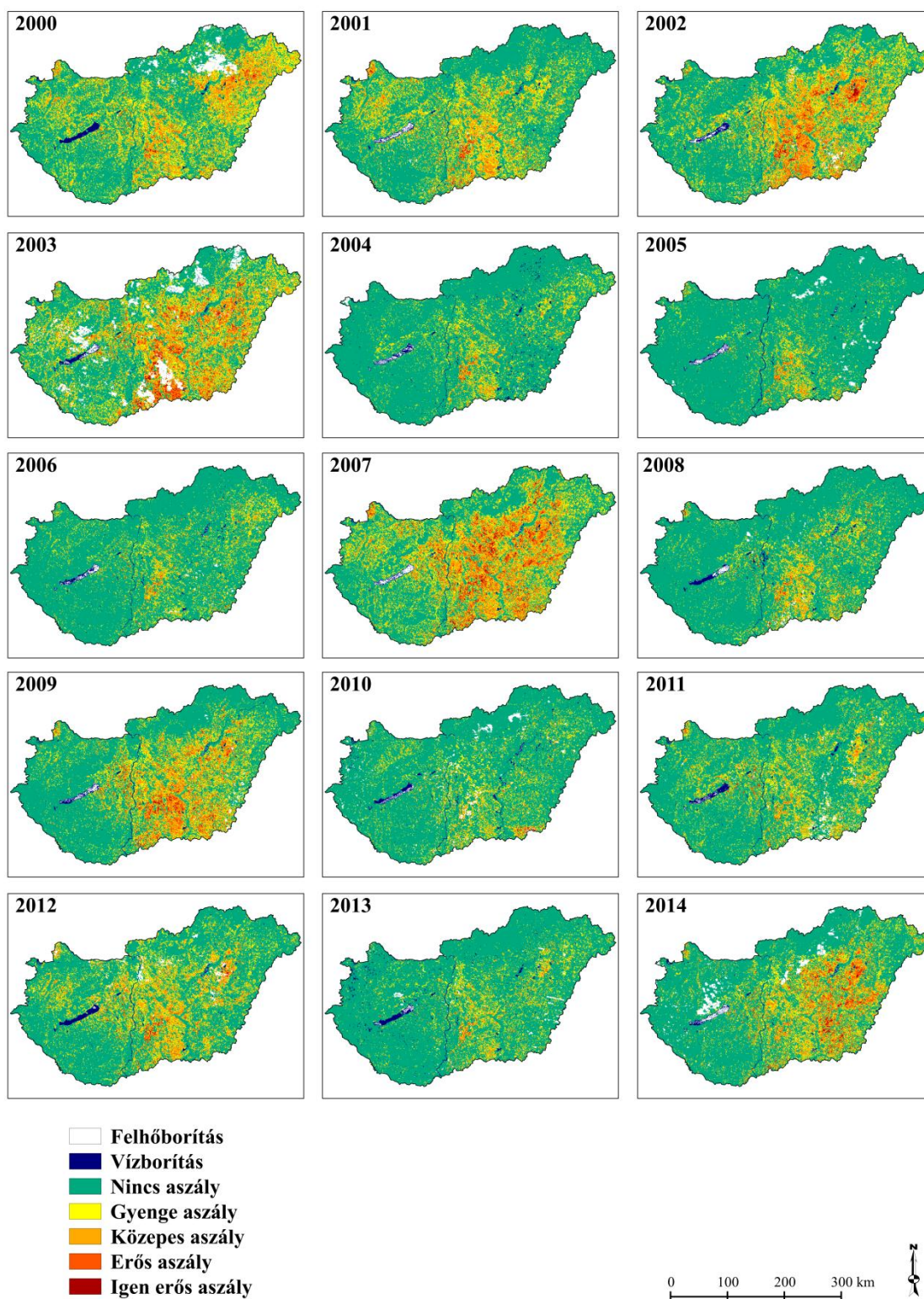
A jobb összehasonlíthatóság kedvéért kördiagramon is ábrázoltam az aszályos területek nagyságát (7. ábra). Az R-ben a `classInt` könyvtárból elérhető `classIntervals()` töréspontokat generáló függvénnyel egy adatsort fel lehet osztani egymástól elkülönülő intervallumokra.²⁰ Hierarchikus klaszterezéssel öt kategóriára osztottam az aszályok nagysága szerint a vizsgált időpontokat. A vizsgált időszakban az aszály kiterjedése átlagosan 24 145 km² volt (2000-2003-ben, 2007-ben, 2009-ben, 2012-ben és 2014-ben meghaladta a középértéket).



7. ábra: Az aszály területi kiterjedése (km²) a vizsgált júliusi időpontokban színfokozatos kördiagramon

A 8. ábrán a vizsgált júliusi időpontokban ábrázoltam az aszályosság földrajzi eloszlását, az 5. táblázatban megadott DDI-kategóriáknak megfelelően. A fehér foltok a térképeken a vizsgálatból felhőborítás, felhőárnyék és egyéb okok miatt kizárt pixeleket jelentik. Jól megfigyelhető a Duna-Tisza köze eleve aszályos jellege.

²⁰ A `classInt` programcsomag leírása: <http://cran.r-project.org/web/packages/classInt/classInt.pdf> (letöltve: 2014-11-10)



8. ábra: Az aszályos területek földrajzi eloszlása a vizsgált júliusi időpontokban

2007. július 12-19. között volt a legnagyobb ($44\,142\text{ km}^2$), míg 2005. július 12-19. között volt a legkisebb ($8\,387\text{ km}^2$) az aszály területi kiterjedése. Amíg a közepesen, az erősen és az igen erősen aszályos területek nagysága 2007-ben csúcsosodott, addig a

gyengén aszályos területek kiterjedése 2000. július 3-10. között volt a legmagasabb. 2004. július 3-10. között volt legkisebb (105 km^2) az igen erősen aszály sújtotta terület kiterjedése, viszont a másik három aszálykategória esetén legkisebb értékek 2005-ben jelentkeztek. A július 3-19-i műholdképeket tekintve, a legaszályosabb 2007-et a rangsorban 2003, 2002 és 2000 követi. Az idén júliusban jelentkezett aszály kiterjedésében ($26\,723 \text{ km}^2$) szinte teljesen megegyezik a 2012. évvel ($26\,732 \text{ km}^2$). Habár 2014-ben a súlyosabb aszálykategóriába eső pixelek összterülete nagyobb volt, viszont a gyengén aszályos területek nagysága 2012 júliusában volt a magasabb. A hűvös-nedves években az aszályos területek nagysága 10000 km^2 körül mozgott (2004-2006, 2008, 2010 és 2013), 2011 júliusában azonban majdnem elérte a 20000 km^2 -t.

5.2. Az eredmények érvényesítése és összevetése referenciaadatokkal

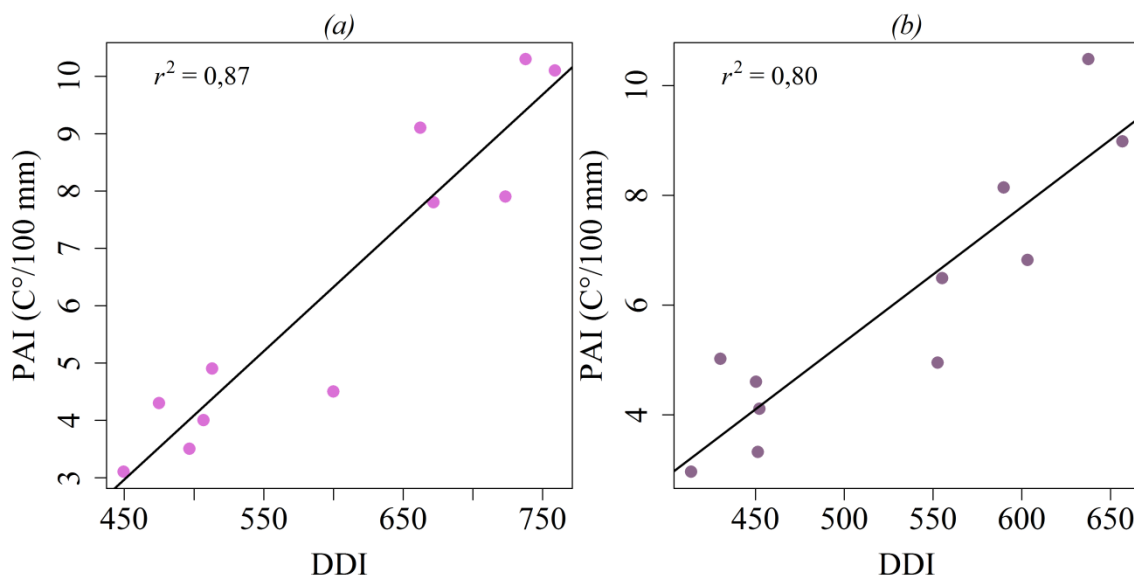
A differenciált aszályindex érvényességének megállapítására a Pálfi-féle aszályindex (PAI) értékeit használtam fel. Az alföldi éves PAI-értékek forrása PÁLFI I. (2011) munkája, az országos PAI-t a Nemzeti Aszálystratégia vitaanyagából kaptam meg.²¹ Megvizsgáltam az ország teljes területén és az Alföldön (a Duna vonaláig) a DDI és a PAI kapcsolatát. Az Alföld határait a földrajzi kistájkezelésből vettem (MAROSI S. – SOMOGYI S. 1990). A nagytáj nyugati határát módosítottam a Google Earth műholdképek alapján (QGIS Open Layers modul segítségével) és a Duna középvonalában húztam meg.

A DDI igen erős kapcsolatot mutat a PAI-val mind az Alföldön ($p < 0,0001$, $r^2 = 0,87$), mind pedig az ország egész területén ($p < 0,0001$, $r^2 = 0,80$). A differenciált aszályindex jó alkalmazhatósága az aszály érzékelésére és a változások nyomon követésére ezzel megerősítést nyert (9. ábra). A DDI és a PAI között fennálló lineáris összefüggések az Alföldön (5.2-1) és az ország területén (5.2-2) 2000-2010 között:

$$\begin{aligned} \text{DDI} &= +39,543 \times \text{PAI} + 349,806 \\ \text{PAI} &= +0,022375 \times \text{DDI} - 7,099032 \end{aligned} \tag{5.2-1}$$

²¹ Vidékfejlesztési Minisztérium 2012: Az aszály kezelésének hosszú távú koncepciójáról. Konzultációs anyag, <http://2010-2014.kormany.hu/download/7/0a/90000/Aszalystrategia.pdf> (letöltve: 2014-09-29)

$$\begin{aligned} \text{DDI} &= +33,460 \times \text{PAI} + 326,349 \\ \text{PAI} &= +0,024560 \times \text{DDI} - 6,948130 \end{aligned} \quad (5.2-2)$$



9. ábra: A differenciált aszályindex és a Pálfi-féle aszályindex kapcsolata 2000-2011 között **(a)** az Alföldön (nyugaton a Duna vonalával határolva), és **(b)** az ország teljes területén

Ezt követően, a gabonafélék²² termésátlagának (2000-2013 között), a búza és a kukorica termésmennyiségének (2000-2012 között), illetőleg a mezőgazdasági öntözővíz-felhasználásnak (összes értékesített víz öntözésre, beleértve a rizstermelést, 2000-2011 között) DDI-től való függését vizsgáltam meg lineáris regresszió segítségével. Az adatok forrása a Központi Statisztikai Hivatal.²³

A statisztikai adatok csak a mezőgazdasági területekre vonatkoznak, ezért először ki kellett vágni a DDI-adatokból a szántóföldekre eső területeket. A

²² Gabonafélék: búza (őszi-, tavaszi- és tönkölybúza), durum búza, rozs, árpa (őszi és tavaszi), zab, triticales, kukorica (májusi morzsoltban), kétszeres, rizs, egyéb kalászosok (indián rizs, köles, kanárimag, cirok, és pohánka). <http://www.ksh.hu/docs/hun/modsz/modsz41.html> (letöltve: 2014-11-09)

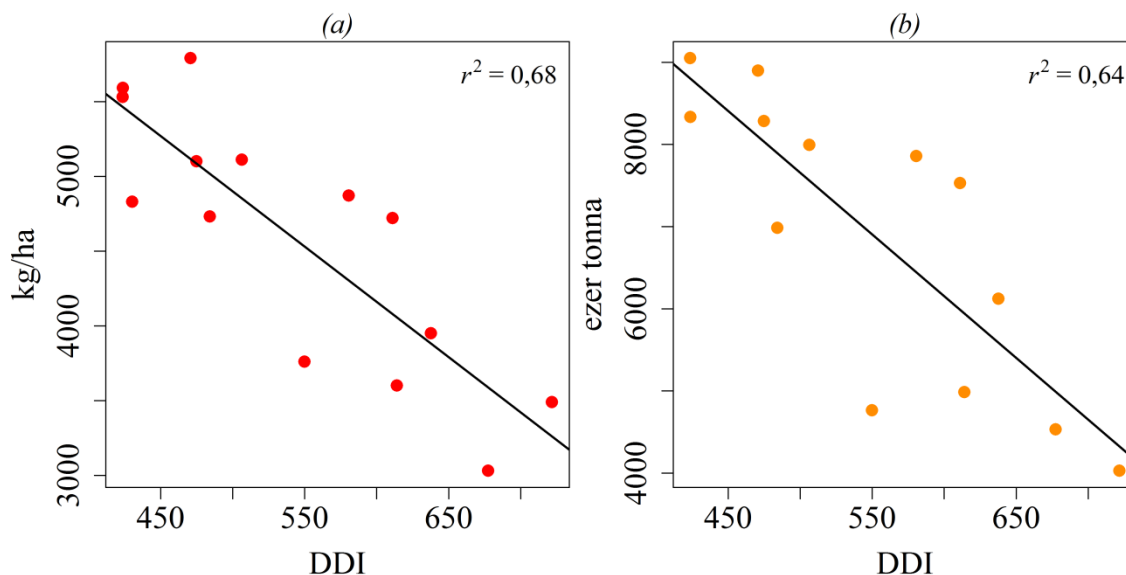
²³ KSH: Mezőgazdasági vízfelhasználás (2000–): http://www.ksh.hu/docs/hun/xstadat/xstadat_eves/i_uw001.html (letöltve: 2014-10-06),
KSH: A fontosabb szántóföldi növények betakarított területe, összes termése és termésátlaga (1990–): http://www.ksh.hu/docs/hun/xstadat/xstadat_eves/i_omn007.html (letöltve: 2014-10-06),
KSH: Mezőgazdaság (1960–): http://www.ksh.hu/docs/hun/xstadat/xstadat_hosszu/h_omf001b.html (letöltve: 2014-10-06)

tájhasználati kategóriákat a Corine Land Cover 2006 (EEA-ETC/SIA 2013)²⁴ felszínborítási adatbázis kategóriáinak újraosztályozásával hoztam létre a 7. táblázatban foglaltak szerint. Mivel nem volt más adatom, ezért a búza, a kukorica, illetve a gabona termésterületeket mindig ugyanahhoz a területhez (a szántóföldekhez) viszonyítottam.

9. táblázat: A CLC06-adatbázisból újraosztályozással (SAGA GIS Reclassify Grid Values) nyert felszínborítási (tájhasználati) kategóriák

Felszínborítás (tájhasználat)	CLC-kód (<i>pixelértékek</i>)	Új érték
Vízfelszín	511, 512 (40, 41)	1
Gyümölcs, bogyósok és magvasok	222 (16)	2
Rét és legelő	231, 321, 324, 333 (18, 26, 29, 32)	3
Szántó	211, 213, 242, 243 (12, 14, 20, 21)	4
Szőlő	221 (15)	5
Nádas	411, 412 (35, 36)	6
Erdő	311, 312, 313 (23, 24, 25)	7
Beépítés, ipari és lakóövezet	111-112, 121-124, 131-133, 141-142 (1-11)	8

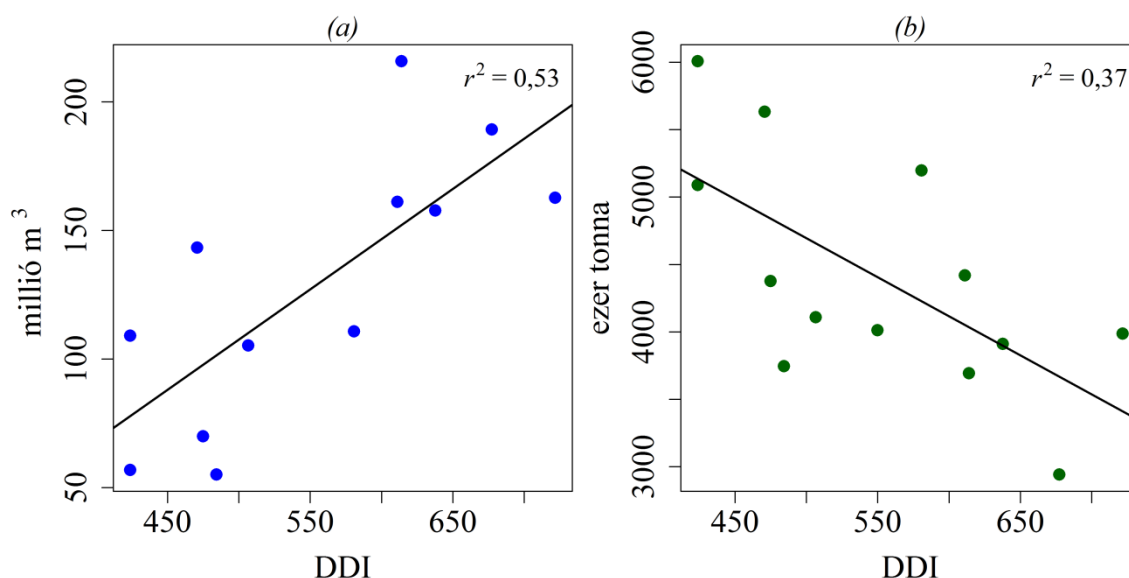
A gabonafélék termésátlaga (kg/ha) és a DDI-átlag között közepesen erős kapcsolat áll fenn ($p < 0,001$, $r^2 = 0,68$). A regressziós egyenes szigorúan monoton csökkenő trendet mutat. A lineáris regresszió a kukoricatermés és a differenciált aszályindex között gyengébb kapcsolatot jelez ($p < 0,001$, $r^2 = 0,64$), monoton csökkenő trenddel (10. ábra).



10. ábra: (a) A gabonafélék termésátlaga (kg/ha) és a DDI közötti kapcsolat ($y = -7,391x + 8594,871$), **(b)** A kukoricatermés (ezer tonna) és a DDI kapcsolata ($y = -15,02x + 15167,40$)

²⁴ European Environment Agency – The European Topic Centre on Spatial Information and Analysis 2013: Corine Land Cover 2006 raster data. Version 17 (2013/12). http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/ds_resolveuid/SH04UZP80M (letöltve: 2014-10-12)

A DDI és a mezőgazdasági vízfelhasználás (millió m³) között valós, de viszonylag gyenge kapcsolat áll fenn, monoton csökkenő trenddel ($p < 0,01$, $r^2 = 0,53$). Az aszályosság mértékének a növekedésével egyenesen arányosan nő a vízfelhasználás mértéke. A kukoricával ellentétben, az éves búzatermés (ezer tonna) nagyon gyenge kapcsolatot mutatott a differenciált aszályindexszel ($p < 0,05$, $r^2 = 0,37$). Ez arra utalhat, hogy a kukorica érzékenyebben reagál az aszályra, mint a búza, illetve más tényezők nagyobb szerepet játszanak a búza termésmennyiségének változásában (11. ábra).



11. ábra: (a) A mezőgazdasági vízfelhasználás (millió m³) és a DDI közötti kapcsolat ($y = +0,3906x - 87,7087$), (b) A búzatermés (ezer tonna) és a DDI kapcsolata ($y = -5,786x + 7587,730$)

5.3. A vizsgált spektrális aszály-, vegetáció- és vízindexek összehasonlítása

A tanulmányban vizsgált spektrális indexek teljesítő képességének értékelésére, összevetettem őket a KSH referenciaadataival az 5.2. fejezetben leírtak szerint. A vizsgált vegetációindexek a DVI, az NDVI és az EVI; a vízindexek a DWI és az NDWI, illetve az ezekből képzett aszályindexek: a DDI és az NDDI. Az aszályindex és a PAI értékek között monoton növekvő, míg a vegetáció- és vízindexek értékei és a PAI értékek között monoton csökkenő trend figyelhető meg. Az aszályindexek és a termésadatok között fordított arányosság áll fenn, míg öntözővíz-használattal egyenes arányosságban állnak a számított indexek. A vegetáció- és vízindexeknél éppen fordított a helyzet: a termés és a spektrális indexek között egyenes arányosság, illetőleg az öntözővíz-használat esetén fordított arányosság figyelhető meg. Ennek oka, hogy az aszályindexek növekvő értékei nagyobb aszályt jeleznek, ezzel szemben a spektrális

víz- illetve növényindexeknél a nagyobb értékek dúsabb és vízben gazdagabb vegetációra utalnak.

Általánosságban megállapítható, hogy a normalizált differenciált indexek erősebb kapcsolatot mutatnak a statisztikai adatokkal, mint a különbségindexek, leszámítva a DDI-t, ami az NDDI-hez hasonlóan teljesített (az NDDI korábban részletezett hátrányai nélkül, ami a „túlnormalizálásból” fakad).

Az eredmények meglepetésként érték, mivel korrelációs együtthatók alapján legjobban nem az aszályindexek teljesítettek, hanem az NDWI (8. táblázat). A NDWI-PAI kapcsolat erőssége az Alföldön $r^2=0,9$, míg országosan $r^2=0,8$. A mezőgazdasági területeken a gabonatermés-NDWI és a kukorica termésátlag-NDWI kapcsolatok szintén erősek (0,81 és 0,78). A búza-NDWI esetén gyengébb korreláció figyelhető meg ($r^2=0,47$), de így is, a többi indexhez képest, csúcstartó. Az öntözővíz-használat és az NDWI között meglepően erős kapcsolatot áll fenn ($r^2=0,65$). A DWI is hasonlóan jól teljesített, mint a normalizált társa, habár az öntözővíz esetén gyengébben szerepelt ($r^2=0,54$).

A vegetációindexek közül a DVI és az EVI a Pálfi-féle aszályindex esetén a többi indexhez képest gyengébben teljesített a vizsgálat során, azonban a gabona termésmennyiségével, illetve hozamokkal, illetve kukorica és búza termésátlagaival erősebb a kapcsolatuk, mint a DDI vagy az NDDI esetén. Egyedül az öntözővíz-felhasználással mutat gyengébb kapcsolatot (DVI $r^2=0,44$, EVI $r^2=0,36$).

Az NDVI és a PAI között erősebb kapcsolat áll fenn ($r^2=0,78$ az Alföldön, illetve $r^2=0,71$ országosan). A gabona termésmennyiségével, a kukorica és a búza terméshozamával hasonló erősségű kapcsolatot mutat, mint a DVI. A mezőgazdasági öntözővíz-felhasználás és az NDVI közötti kapcsolat erőssége, holtversennyel az NDWI-vel, a legnagyobb a vizsgált indexek közül ($r^2=0,65$).

10. táblázat: A vizsgált indexek teljesítményének összevetése a korrelációs együtthatók (r^2) értékei alapján. * Az NDDI-nél ki kellett zárni egy extrém kiugró értéket (−152859,27) 2002-ben, ami rendkívül torzította volna az eredményeket.

	Index	PAI _{Alföld}	PAI _{ország}	Gabona	Kukorica	Búza	Öntözővíz
MOD09A1	DDI	0,87	0,80	0,68	0,64	0,37	0,53
	NDDI	0,86	0,85*	0,66	0,66	0,32	0,50
	DWI	0,81	0,75	0,79	0,77	0,46	0,54
	NDWI	0,90	0,80	0,81	0,78	0,47	0,65
	DVI	0,60	0,62	0,69	0,69	0,41	0,44
	NDVI	0,78	0,71	0,73	0,73	0,44	0,65
MOD13A1	EVI	0,63	0,67	0,81	0,76	0,41	0,36

A vízindexek minden tekintetben felülmúlják a spektrális vegetáció- és aszályindexeket. A vegetációindexek a PAI esetén rosszabbul teljesítettek, mint az aszályindexek, azonban a mezőgazdasági adatokkal erősebb kapcsolatot mutatnak, mint a DDI vagy az NDDI.

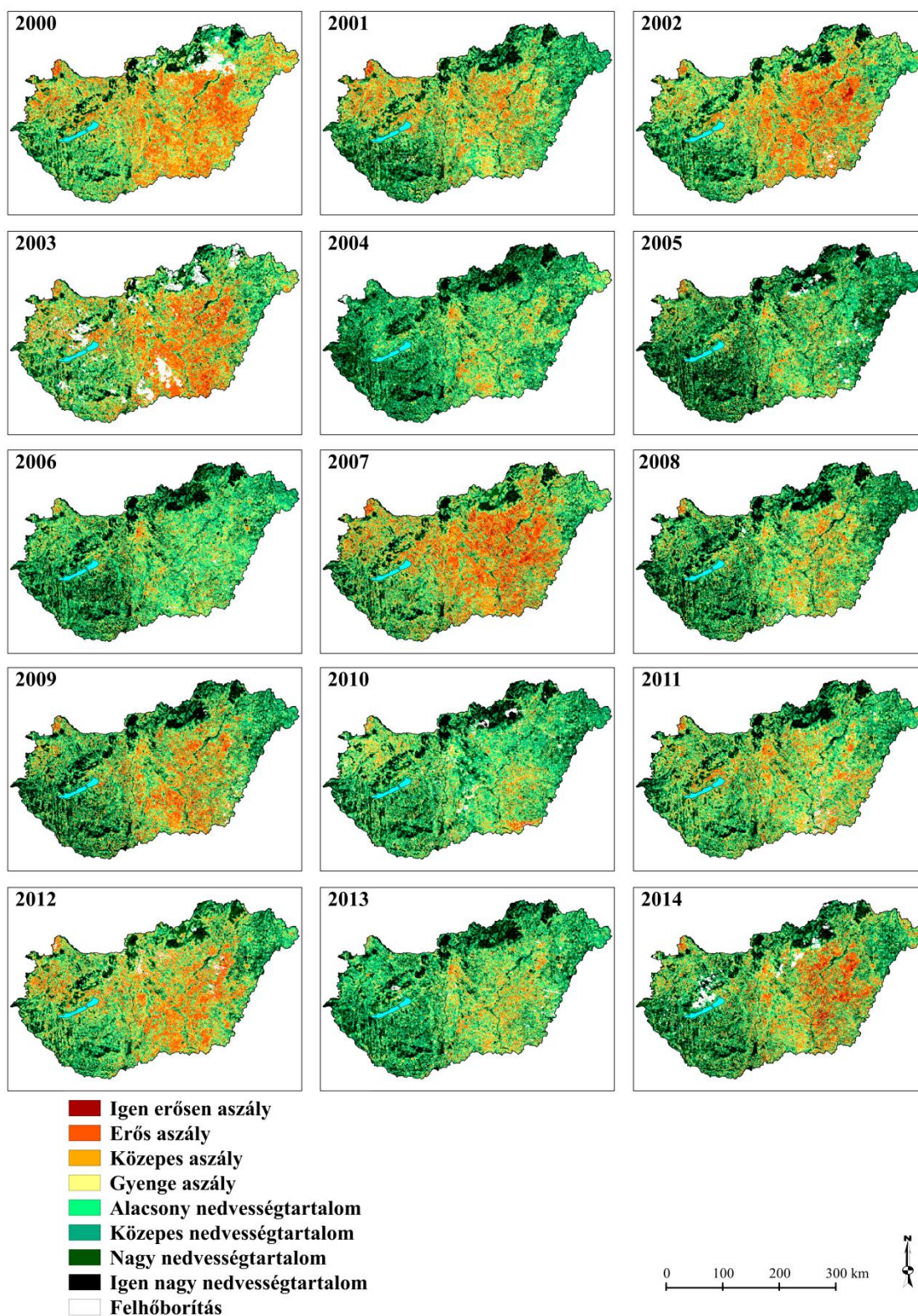
Az NDWI bizonyult a legjobbnak a vizsgált spektrális indexek közül, ezért a DDI-hez hasonlóan, a 4. fejezetben leírtak szerint, klaszteranalízis segítségével, meghatároztam az aszályossági kategóriák értékhatárait azzal a különbséggel, hogy a nem aszályos területeket is felosztottam a nedvességtartalom nagysága szerint (9. táblázat).

Az NDWI-értékeket a létrehozott kategóriáknak megfelelően újraosztályoztam, majd az eredményeket a 12. ábrán jelenítettem meg. A fehér foltok a térképeken a vizsgálatból felhőborítás, felhőárnyék és egyéb okok miatt kizárt pixeleket jelentik. A normalizált differenciált aszályindex egyedüli hátrányaként lehet számon tartani, hogy a nagy vízfelszínek esetén, így a Balaton területén, hamis eredményeket adhat, ugyanis aszályosnak is osztályozódhatnak egyes részek. Ez a nagy vízfelületek kizárásával könnyedén orvosolható. A térképen egy világoskék színű poligonnal fedtem le a Balatont. A DDI-hez hasonlóan, itt is minden képen megfigyelhető a Duna-Tisza köze aszályos jellege.

A 10. táblázatban pedig összefoglaltam az aszályos területek nagyságát az aszálykategóriáknak megfelelően. Szemléltetésképpen, a 13. ábrán színfokozatos kördiagramon hasonlítottam egymáshoz a különböző időpontokat (az 5 kategória meghatározása hierarchikus klaszterezéssel történt). Végül ki kellett hagynom a gyenge aszály kategóriát, ugyanis azzal túlbecsültem volna az aszály kiterjedését. Ennek megfelelően, az NDWI esetén a 0,3-nél kisebb értékű cellák aszályosak. Így egészen jól egybevágh a DDI és az NDWI által meghatározott aszályos terület nagysága (14. ábra).

11. táblázat: A kialakított NDWI nedvességtartalom-aszályossági kategóriák

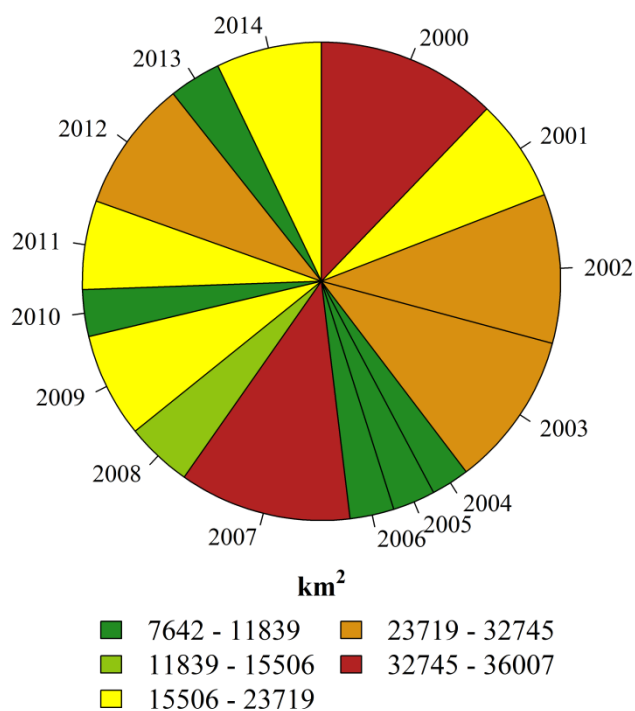
NDWI-kategóriák	Leírás
$0,7 \leq \text{NDWI}$	Igen nagy nedvességtartalom
$0,6 \leq \text{NDWI} < 0,7$	Nagy nedvességtartalom
$0,6 \leq \text{NDWI} < 0,5$	Közepes nedvességtartalom
$0,4 \leq \text{NDWI} < 0,5$	Alacsony nedvességtartalom
$0,3 \leq \text{NDWI} < 0,4$	Gyenge aszály
$0,2 \leq \text{NDWI} < 0,3$	Közepes aszály
$0 \leq \text{NDWI} < 0,2$	Erős aszály
$\text{NDWI} < 0$	Igen erős aszály



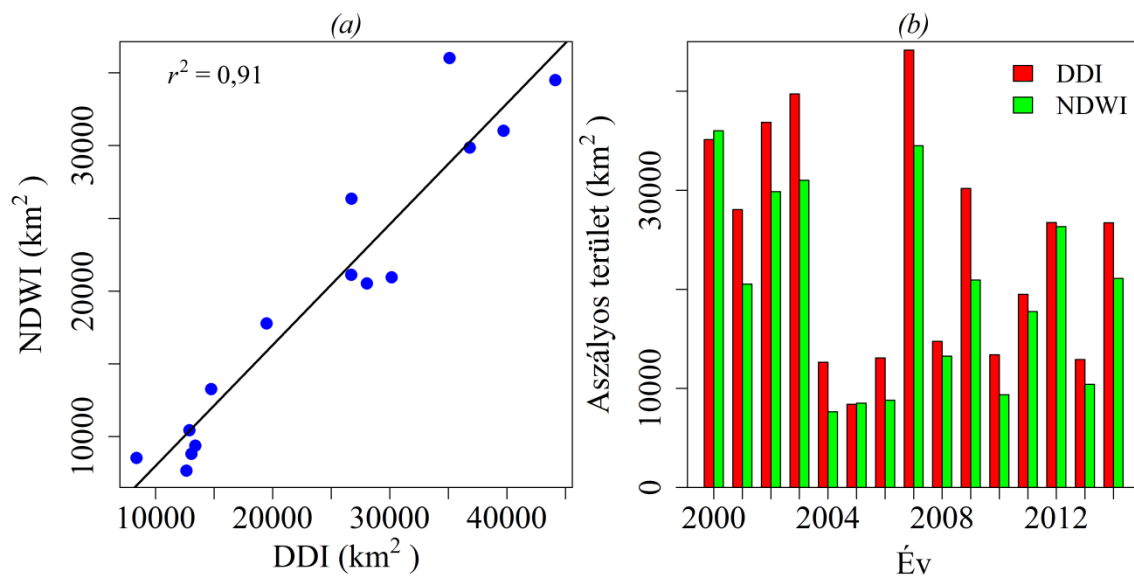
12. ábra: Az aszályos területek földrajzi eloszlása az NDWI alapján, a vizsgált júliusi időpontokban

12. táblázat: Az aszályal érintett területek nagysága a vizsgált időpontokban

Időpont	Terület (km ²)			Összesen
	Közepes aszály	Erős aszály	Igen erős aszály	
2000. július 3-10.	20 792	14 713	503	36 007
2001. július 12-19.	12 363	7731	424	20 518
2002. július 4-11.	14 826	13 972	1055	29 853
2003. július 12-19.	14 739	15 227	1037	31 003
2004. július 3-10.	5544	1975	123	7642
2005. július 12-19.	5358	2957	203	8517
2006. július 12-19.	6241	2413	157	8811
2007. július 12-19.	14 432	17 525	2530	34 486
2008. július 11-18.	8778	4260	216	13 254
2009. július 12-19.	10 448	9367	1119	20 935
2010. július 12-19.	6628	2589	149	9366
2011. július 12-19.	11 240	6222	297	17 759
2012. július 3-10.	14 890	11 101	340	26 331
2013. július 4-11.	7492	2791	141	10 425
2014. július 12-19.	9883	9507	1716	21 106

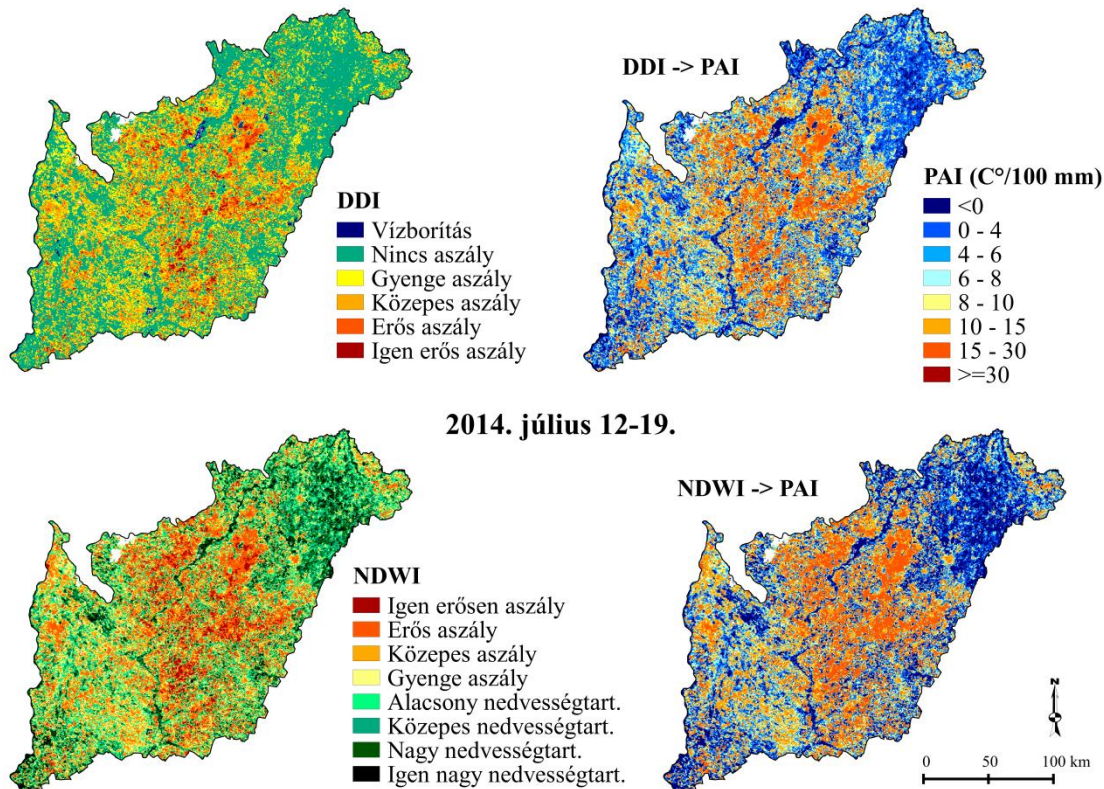


13. ábra: Az aszály területi kiterjedése (km²) a vizsgált júliusi időpontokban színfokozatos kördiagramon. 2000-ben és 2007-ben volt a legnagyobb az aszály kiterjedése az NDWI szerint.



14. ábra: (a) Az aszályos területek nagysága (km²) közötti kapcsolat az NDWI-DDI esetén ($r^2=0,91$), (b) az aszályos területek a vizsgált időpontokban az NDWI és a DDI szerint

A 15. ábrán a DDI-t összehasonlítottam az NDWI-vel a 2014. júliusi szelvény alföldi kivágatán. Látható, hogy jó egyezést mutatnak az indexek által lehatárolt aszályos területek. A spektrális indexek értékeit átszámítottam a Pálfai-index értékeire.



15. ábra: A DDI és az NDWI, valamint a belőlük számított Pálfai-féle aszályindex-értékek a 2014. július 12-19-i műholdkép alföldi kivágatán (nyugaton a Duna vonaláig), nedvességtart. – nedvességtartalom

A Pálfai-féle aszályindex kategóriáit a felállított lineáris összefüggések alapján számítottam. A DDI esetén az (5.2-1) összefüggés alapján számoltam, míg az NDWI-PAI között az alábbi összefüggések állnak fel (5.3-1):

$$\begin{aligned} \text{NDWI} &= -0,025261 \times \text{PAI} + 0,55815 \\ \text{PAI} &= -36,085 \times \text{NDWI} + 20,700 \end{aligned} \quad (5.3-1)$$

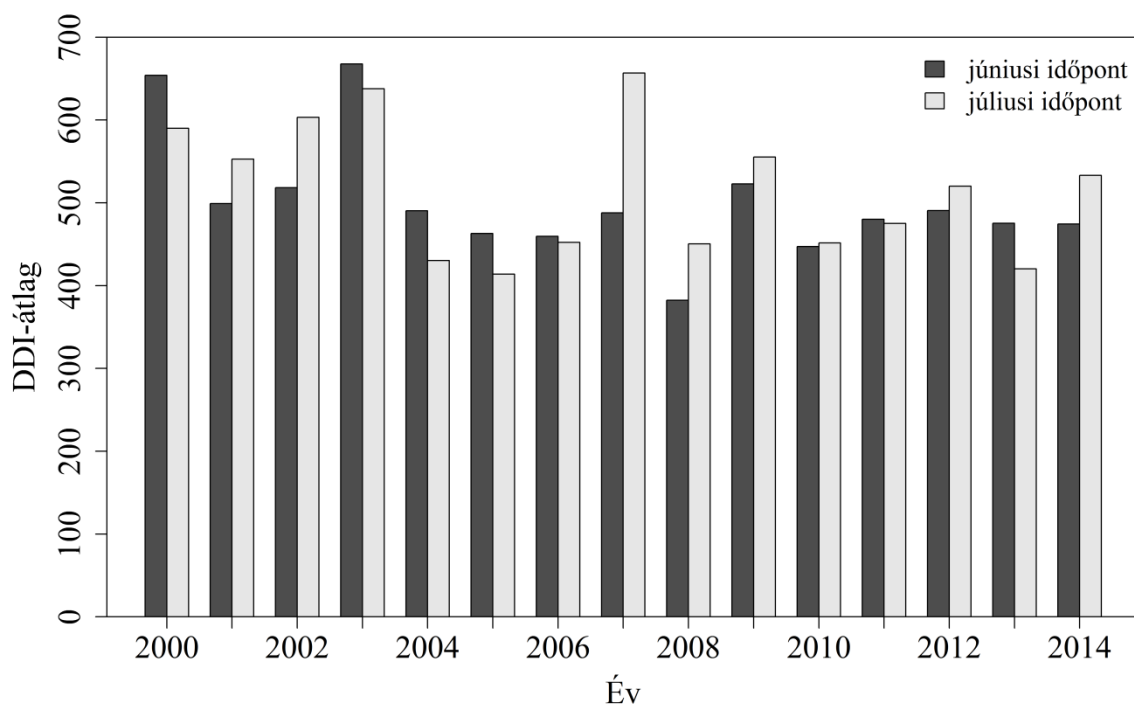
Kitűnően átfedik egymást az általam, a DDI és az NDWI esetén, kialakított aszályossági osztályok és a PAI-kategóriák.²⁵

5.4. A júniusi időpontok vizsgálata és összehasonlítása a júliusi eredményekkel

A júniusi időpontok vizsgálata is megerősítette, hogy nagyobb különbség mutatkozik meg a DWI esetén az aszályos és nem aszályos évek között, mint a DVI-nél: a DVI aszályos átlaga 2613, aszálymentes átlaga 2681; a kettő különbsége csak 68. A DWI-átlag aszály esetén 2023, míg aszály hiányában 2213; a differencia pedig 190. Megerősítést nyert, hogy a vízindexek aszályra érzékenyebbek, mint a vegetációindexek (hasonlóan a júliusi időpontoknál). Továbbá a DWI-DVI közötti kapcsolat itt is szorosabb (r^2 0,87 és 0,94 között), mint az NDWI-NDVI között ($r^2=0,49-0,80$).

A júniusi szelvények közül átlag feletti (DDI=500,85) aszályos időpontnak bizonyult a 2000., a 2002-2003. és a 2009. évi. A aszályos időpontok átlaga 590,69-ot tesz ki. Ezzel szemben a nem aszályos júniusok (2001, 2004-2008, 2010-2014) átlaga csak 468,18-nak adódik. A két érték közötti eltérés 122,51, ami a júliusi eredményekhez (139,15) nagyon hasonló. A 16. ábra a vizsgált júniusi és júliusi időpontok DDI-átlagát hasonlítja össze egymással. Kiemelkedik a 2000. és a 2003. év a júniusi, illetve a 2003. és a 2007. év a júliusi időpontok közül. Nagy különbséget mutatnak a differenciált aszályindex középértékei 2007-ben, ami arra utal, hogy az az évi súlyos aszály júliusban jelentkezett először. Ezzel szemben, a 2003-as aszály már júniusban is erősen érzékelhető volt.

²⁵ A PAI kategóriák forrása: http://wahastrat.vizugy.hu/terkep/terkep_padi.aspx (letöltve: 2014-11-11)



16. ábra: A vizsgált júliusi időpontok DDI-átlagának összehasonlítása

A referenciaadatokkal való összevetés rámutatott, habár a választott júliusi időpontokban jól teljesítettek a vizsgált spektrális indexek, ez nem mondható el a júniusi műholdképekre (11. táblázat). Ennek lehetséges okaira is rátérek majd.

A Pálfai-féle aszályindexszel fennálló kapcsolatok is gyengének bizonyultak, mind országosan, mind csak az Alföld területére nézve. Itt az összetett aszályindexek (DDI, NDDI) teljesítettek valamivel jobban (DDI-országos PAI között $r^2=0,55$, míg az NDDI-alföldi PAI között $r^2=0,52$). A termésadatokkal fennálló korrelációk is gyengék, leszámítva a búza évi termésmennyisége és az EVI között fennálló kapcsolatot ($r^2=0,65$). A DWI a többi indexhez képest jobban teljesített, kivéve a PAI és az öntözővíz-felhasználás esetén. Viszont itt is erősebb a júliusihoz képest a búza termésmennyiségével való kapcsolat ($r^2=0,62$).

13. táblázat: A spektrális indexek és a referenciaadatok közötti korrelációk a vizsgált júliusi időpontokban

	Index	PAI _{Alföld}	PAI _{ország}	Gabona	Kukorica	Búza	Öntözővíz
MOD09A1	DDI	0,50	0,55	0,47	0,29	0,35	0,26
	NDDI	0,52	0,35	0,47	0,32	0,38	0,25
	DWI	0,36	0,13	0,52	0,41	0,62	-
	NDWI	0,41	0,26	0,46	0,31	0,53	0,1
	DVI	0,14	-	0,39	0,33	0,56	-
	NDVI	-	-	0,16	-	0,35	-
MOD13A1	EVI	0,30*	0,20	0,51*	0,38*	0,65*	0,12*

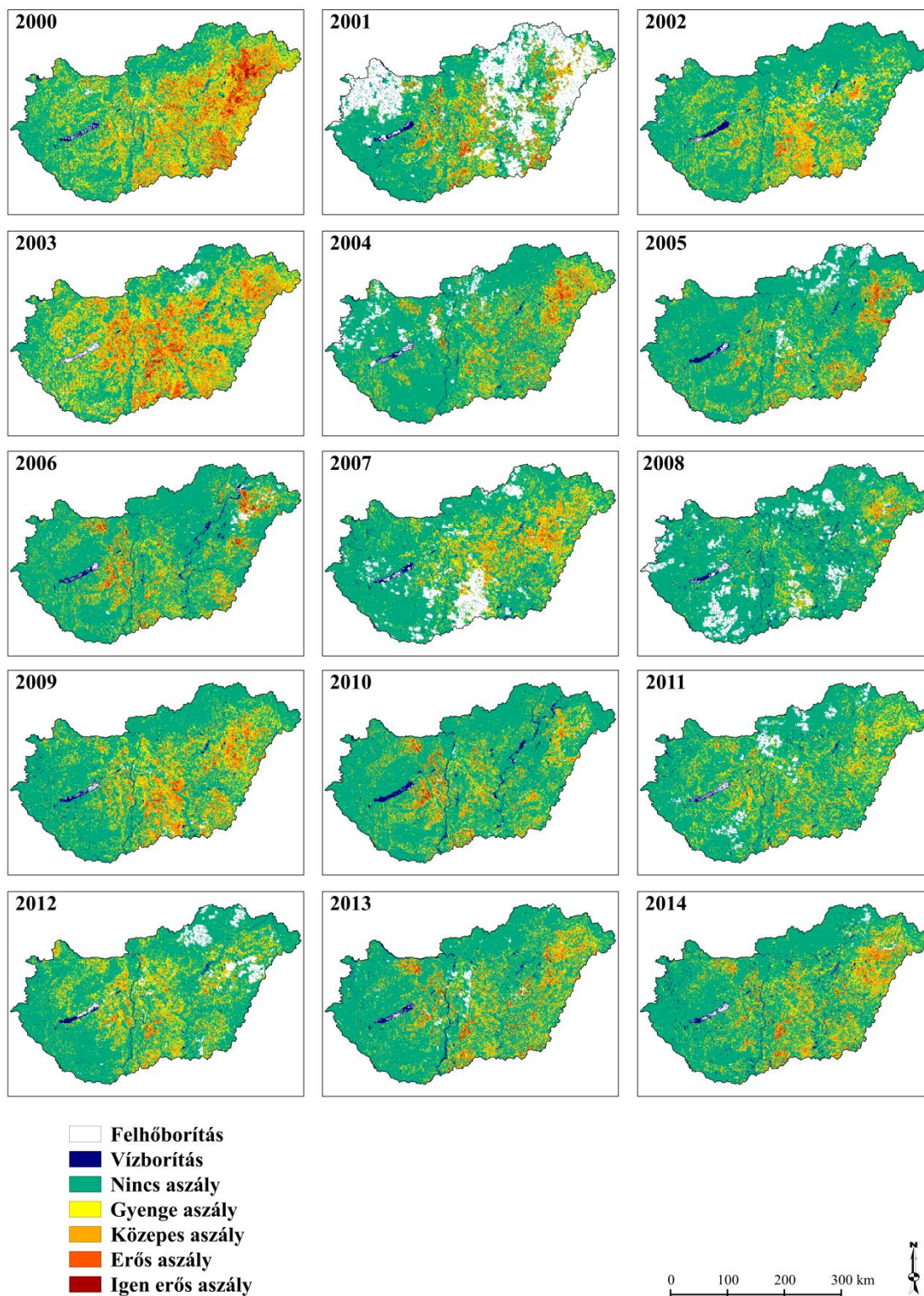
A kihúzott mezőknél a korrelációs együttható nulla, míg a *-gal jelölt értékeknél, az EVI esetén a 2001-es időpontot kihagytam a túl nagy felhőborítás miatt, ami különösen az alföldi-kisalföldi gabonatermő területeket érintette. A rossz adatminőség nagyon kiugró átlagot produkált a szántóterületeken ebben az időpontban.

A júliusi műholdképek búza termésadatokkal történő összehasonlítása során felmerült, hogy egy korábbi, júniusi időpontra is el kellene végezni az elemzést. A búza aratásának ideje Magyarországon június végétől július közepéig tart (általában Péter-Pál napján, június 29-én kezdődik az aratás, de néha korábban, illetőleg az aszály késleltetheti is). A július közepi időpontban nagyrészt már bizonyos, hogy lezajlott az aratás, így előfordulhat, hogy a learatott táblák spektrális index-átlagait hasonlítom a búza termésmennyiségéhez a júliusi időpontokban, holott magát a búza aratás előtti állapotát (pl. nedvesség- vagy klorofilltartalmát) szeretném viszonyítani a referenciaadatokhoz. Ezért terjesztettem még ki utólag a vizsgálatot egy júniusi időpontra is.

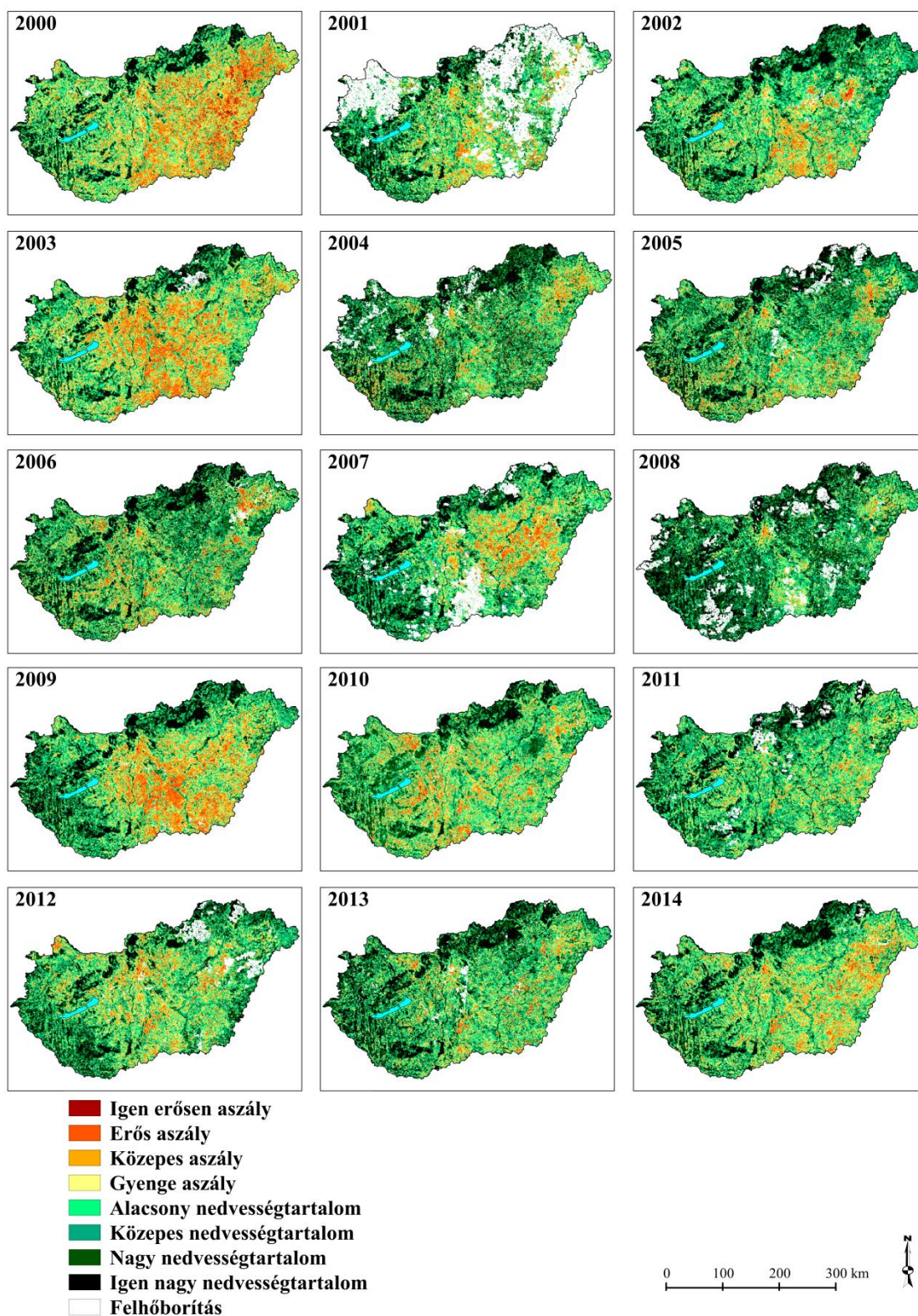
Nagyon fontos itt kitérni arra is, hogy a termésátlagokat az aszályon kívül számtalan egyéb környezeti tényező befolyásolja. Az aratás időpontja nem állandó, hanem évről-évre változik (attól függően, hogy mikor jön a tavasz, mennyi csapadék hullik, mekkora hőösszeget kapnak a növények, stb., de még fajonként is eltér). Nem csak az aszály, hanem a hűvös, csapadékos idő is károsíthatja a beérő termést. Egy-egy szélsőséges időjárási esemény (komoly felhőszakadás, jégverés) is jelentős károkat okozhat a terményben. A növények alkalmazkodóképessége is eltérő, így másképpen reagálnak az aszályos körülményekre. A talaj termékenysége, vízgazdálkodási jellemzői is befolyásolják a termésátlagokat. A spektrális indexek értékei a talaj minőségi jellemzőit is tükrözik. Évenként és területenként is különböző erősségű lehet a spektrális indexek és a termésmennyiségek közötti kapcsolat. Sőt egyes hónapok is meghatározóbbak lehetnek a terméshozam kialakításában, mint a többi.

Tanulságosnak bizonyult a júliusin felül júniusi időpontokra is elvégezni a számításokat. A jövőben az egész tenyészedőszakra ki kell terjeszteni az elemzést, hogy teljesebb képet kapjunk a vizsgált biofizikai indikátorok jellemzőiről, viselkedéséről, valamint az indexeknek a gabonafélék érettségi és nedvességi állapotával fennálló összefüggéseinek a részletesebb feltárására. A júniusi időpontot a júliusi időponthoz hasonlítottam (nem vesződtem külön klaszteranalízissel). Sokat dolgoztam volna főlegesen, mert az egész tenyészedőszakra (360 db műholdkép átlagára) meg fogom majd határozni az aszálykategóriák értékhatárait a jövőben. A célom itt csak az

összevetés volt. A DDI és az NDWI aszálykategóriákat a 17-18. ábrán térképen jelenítettem meg a júliusi időpontokhoz hasonlóan (7. és 11. táblázat).



17. ábra: Az aszályos területek földrajzi eloszlása a DDI alapján, a júniusi időpontokban

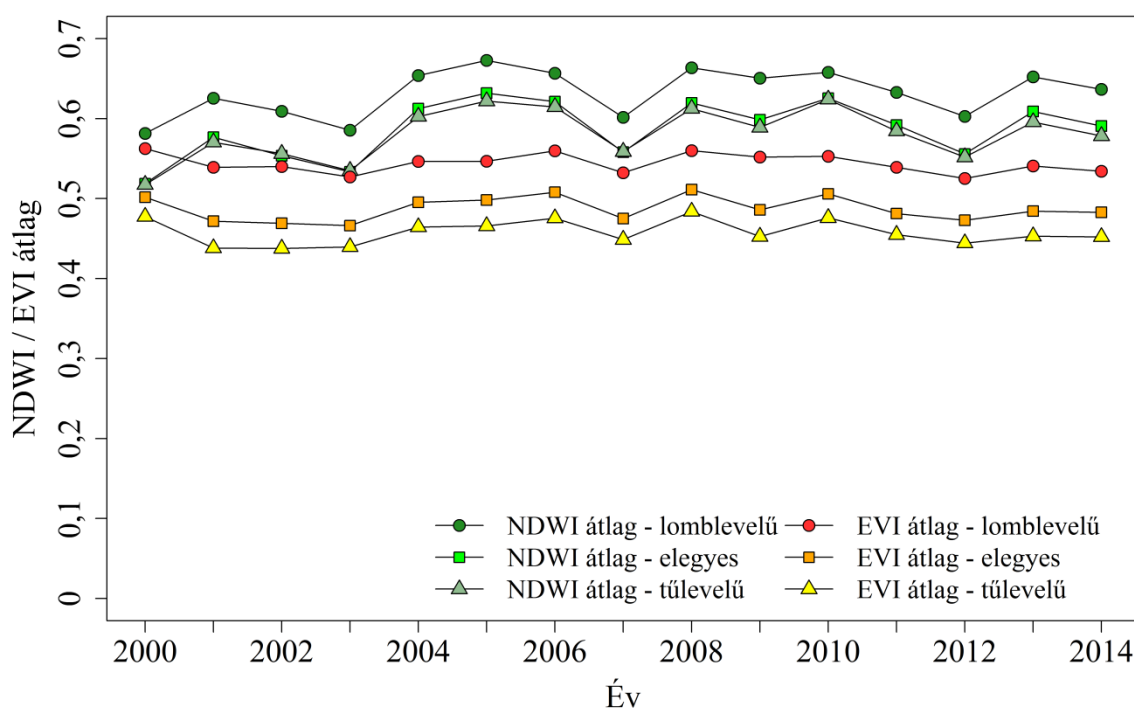


18. ábra: Az aszályos területek földrajzi eloszlása az NDWI alapján, a júniusi időpontokban

5.5. Az NDWI és az EVI összehasonlítása az erdőségeink területén júliusban

Mivel a differenciált aszályindex lényegesen rosszabbul teljesített, mint a normalizált differenciált vízindex, ezért itt nem foglalkozok vele tovább, helyette összehasonlítottam egymással az NDWI-t az EVI-vel, hazánk erdővel borított területein, méghozzá lomblevelű, tűlevelű és elegyes erdők szerinti bontásban, a Corine felszínborítási adatok alapján (CLC kategóriák: 311 – lombhullató erdők, 312 – tűlevelű erdők és 313 – vegyes erdők).

A 19. ábrán az NDWI és az EVI átlagait jelenítettem meg közös tengelyen (az EVI értékeket leosztottam tízezerrel). Rögtön szembetűnik, hogy az NDWI átlagértékek kicsivel magasabbak az EVI számtani átlagánál. Az NDWI átlagok 0,5 felettiek, és a hűvös-nedves években meg is közelítik a 0,7-et, viszont az EVI átlagértékei nem érik el a 0,6-et, valamint a vízindex átlagaiban nagyobb ingadozás mutatkozik meg az aszályos és a hűvös-nedves évek között: az aszályos júliussal bíró években nagyobb hullámvölgyek láthatók (2003, 2007 és 2009) az NDWI esetén, ezzel szemben az EVI átlagok kicsi eltéréseket mutatnak. Mind az NDWI, mind pedig az EVI esetén a lomblevelű erdők átlaga volt a legmagasabb. Az NDWI-nél szinte teljesen megegyezik a tűlevelű és az elegyes erdők számtani átlaga. Ez az EVI-re nem volt jellemző: itt az elegyes erdőknél magasabb volt a vegetációindex átlaga a tűlevelű erdőségekhez képest.



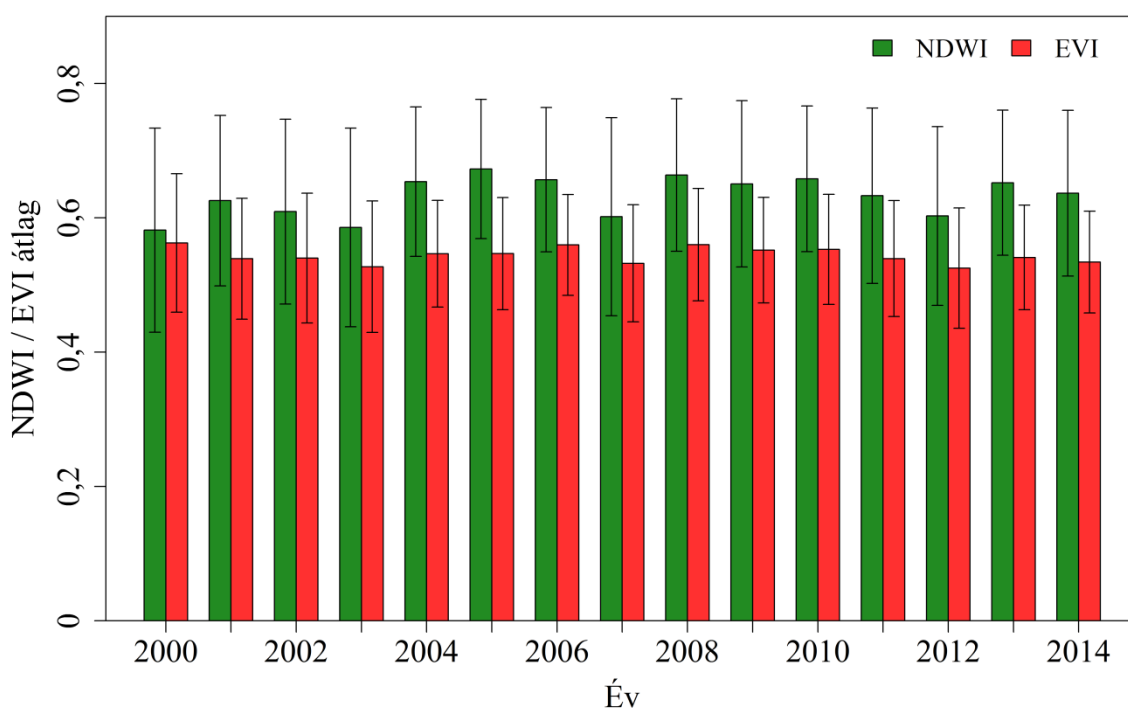
19. ábra: Az NDWI és az EVI átlagainak összehasonlítása a lomblevelű, elegyes és tűlevelű erdőknél

Végezetül, erdőtípusonként külön is diagramon ábrázoltam az NDWI-EVI átlagok eltéréseit (20-22. ábrák).

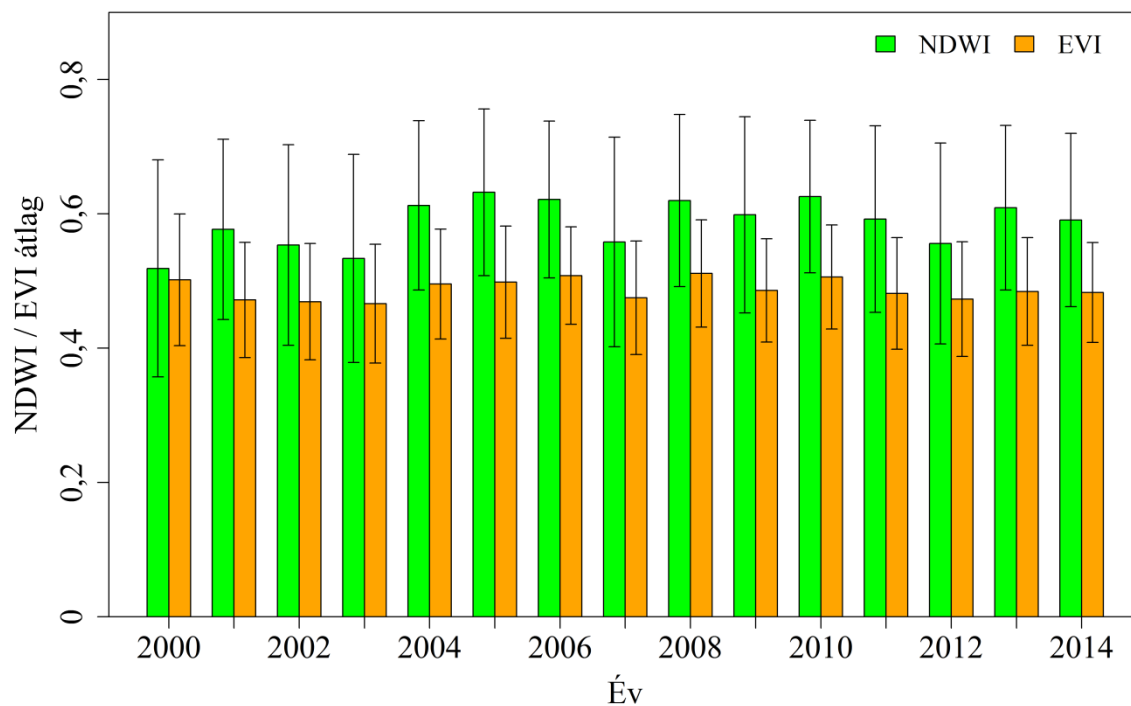
Bebizonyosodott, hogy sem a lomblevelű, sem az elegyes, sem pedig a tűlevelű erdők esetén nem mutatkozott meg jelentős eltérés az NDWI és az EVI között, hiszen az egyszeres szórásértékek minden esetben jelentősen átfedik egymást. Azonban az előzőekhez hasonlóan, az NDWI nagyobb varianciát mutat az évek során, amihez nagyobb szórásértékek is tartoznak, illetve az EVI átlagai kis mértékben ingadoznak és kisebb szórásértékek tartoznak hozzájuk.

A lomblevelű erdőségek területén az NDWI és az EVI jobban megközelítette egymást (20. ábra), viszont a tűlevelű és az elegyes erdőknel nagyobb eltérések voltak megfigyelhetők (21-22. ábrák). A tűlevelű erdők esetén például az EVI átlagai alig haladták meg a 0,4, míg az NDWI 2004-2006 között, 2008-ban és 2010-ben elérte, illetve egy kicsit meghaladta a 0,6-et.

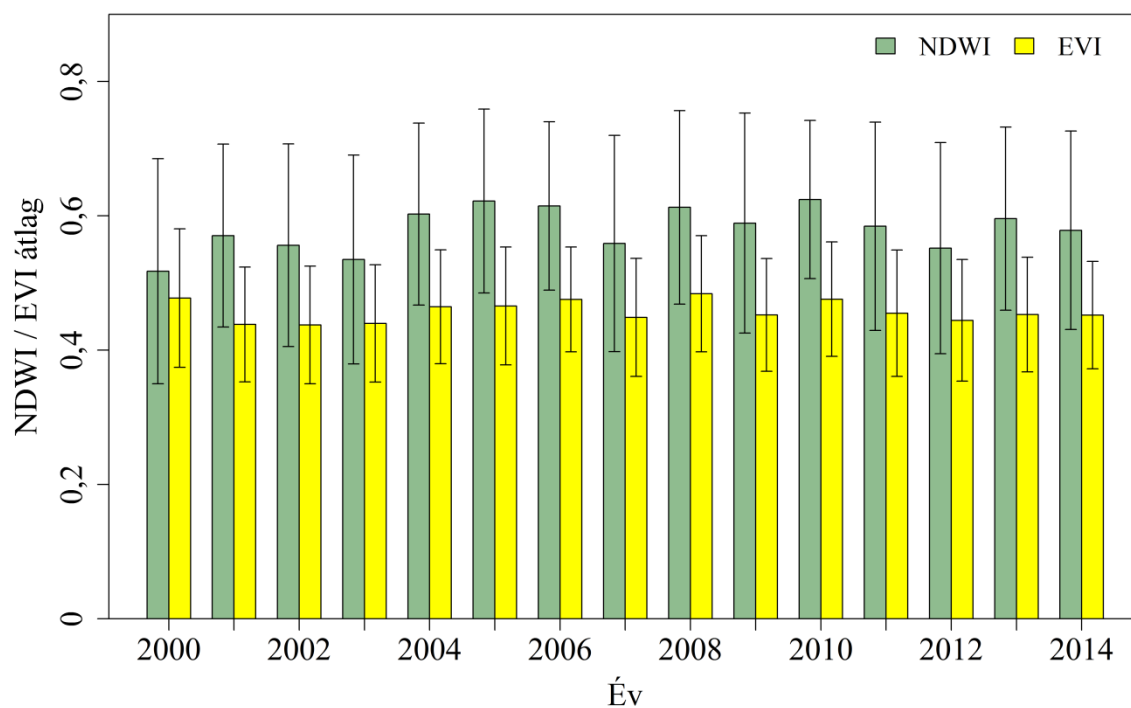
Az eredményekből a jövőre vonatkozó előrejelzéseket tenni nem célszerű, hiszen csak egy-egy júliusi időpontra végeztem el a vizsgálatokat, illetve a MODIS adatok még csak egy másfél évtizedes időszakot fednek le. Ennek ellenére a nagy időfelbontás hatalmas előnyük, mert így lehetővé vált a növényzetben lezajló rövid távú biofizikai változások nyomon követése, ami a Landsat műholdak multispektrális szenzorjaival nem volt kivitelezhető a rosszabb időbeli felbontás miatt.



20. ábra: Az NDWI és EVI átlagai és egyszeres szórásértékei a lomblevelű erdőknel



21. ábra: Az NDWI és EVI átlagai és egyszeres szórásértékei az elegyes erdőknél



22. ábra: Az NDWI és EVI átlagai és egyszeres szórásértékei a tűlevelű erdőknél

6. Következtetések

Egy új távérzékelésen alapuló aszályindex, a differenciált aszályindex (DDI) került bemutatásra ebben a tanulmányban. A DDI várakozáson felül teljesített a vizsgálat során, amit bizonyít a Pálfa-féle aszályindexszel fennálló nagyon szoros kapcsolata. Ennek ellenére nem szabad elsiklani az a tény felett, hogy a korrelációs együtthatók értékei mégsem elég magasak (az Alföld esetén 0,87 és országosan 0,80), vagyis a megfigyelt varianciának egy részét nem magyarázzák a felállított lineáris összefüggések. Bizonyos években a lineáris egyenestől nagyobb eltérés mutatkozott meg. Az alacsonyabb korreláció hátterében az alábbi okok állhatnak:

1. A DDI inkább a mezőgazdasági aszályt érzékeli a növények biofizikai változásain keresztül, amihez természetesen párosulhat az állati kártevők túlszaporodásával járó biomassa-veszteség is.
2. A PAI inkább a meteorológiai aszályt érzékeli, hiszen a meteorológiai állomások csapadékmennyiség- és léghőmérséklet-adatsorait viszonyítja egymáshoz.
3. A meteorológiai mérőállomások egymástól vett távolsága nagy (akár több 10 km), ezért az adatok geometriai felbontása lényegesen kisebb, mint az 500 méteres részletességű MOD09A1 felszíni reflektancia adatok esetén. A térbeli felbontás nagy különbségei befolyásolhatták a lineáris illesztés szorosságát.
4. A MODIS szelvények esetén a légköri zavaró hatások miatt sok képpontot ki kellett zárni a vizsgálat köréből, ami az eredmények bizonytalanságát növelheti. A vizsgálat során éppen ezért igyekeztem olyan műholdképeket választani, amelyek tiszta, felhőmentes időben készültek. A légköri hatásokból eredő hibákat így a lehető legalacsonyabb szinten tudtam tartani.

A differenciált aszályindex és a termés hozamok, illetve a kukorica termésmennyisége közti korreláció közepesen erős volt, azonban a DDI a mezőgazdasági öntözővíz-használat és a búza termésmennyisége esetén gyengén teljesített.

A tanulmányban szereplő többi spektrális indexszel való összehasonlítás rámutatott, hogy habár a DDI megfelelően teljesített az aszály érzékelésében, korántsem a legjobb választás. Az aszályindexek hiába kombinálták a víz- és vegetációindexeket,

mégsem teljesítettek jobban az NDWI-hez képest, ami a ma létező legjobb nedvességtartalom (víz) index. A terméstartalomnál az NDVI is jobban teljesített, mint a DDI vagy az NDDI, viszont a Pálfi-féle aszályindexszel közepes erősségű korrelációt mutatott. Az EVI, annak ellenére, hogy egy optimalizált index, az NDVI korrekciós tényezőkkel módosított változata, nem teljesített jobban, mint az NDVI.

A DDI-PAI, illetve az NDWI-PAI között felállított erős lineáris összefüggések ($r^2=0,87$ és $r^2=0,90$ rendre az Alföldön) lehetővé teszik az említett spektrális indexek a Pálfi-féle aszályindexre történő átszámítást, így rövid távon is nyomon lehet kísérni az aszály alakulását a PAI-val is, kielégítő pontossággal. Így lehetővé vált a 8 napos PAI-értékek meghatározása a MODIS műholdképekből.

A júniusi és a júliusi eredmények referenciaadatokkal való összevetése rámutatott, hogy egyes hónapok meghatározóbbak lehetnek a termés hozam kialakításában, mint a többi, amire a lényegesen alacsonyabb júniusi korrelációk utalnak. Kivéve a búza termésmennyisége esetén, ugyanis ott magasabb volt a korreláció júniusban. A termésátlagokat az aszályon kívül meghatározhatja a belvíz, a hosszan tartó hűvös és csapadékos idő, szélsőséges időjárási esemény, a talajok jellemzői, kártevők pusztításai stb. (az 5.4. alfejezetben már részleteztem).

A jövőben várhatóan előtérbe kerülnek majd azok az indexek, amelyek a növényzet víztartalmában bekövetkező változásokat érzékelik, ugyanis aszály esetén nagyobb a növényzet vízvesztése, mint a klorofilltartalmukban bekövetkező csökkenés, ezért a vízindexek érzékenyebben követik a biofizikai változásokat a levélzetben. A hagyományos NDVI-nek viszont továbbra is meghatározó szerepe lehet a növényzet vizsgálatában vagy a termésbecslésben, különösen nagy méretarányban.

A továbbiakban tervezem, hogy az egész tenyésztési időszakon keresztül nyomon fogom követni a növényzet biofizikai változásait az NDWI segítségével, valamint visszamenőleg fel fogom dolgozni a MODIS műholdképeket. Az NDWI (és a belőle számított PAI) alkalmazásával történő rövid távú, legfeljebb egy-két hónapos, aszály-előrejelzés is lehetőségeket rejthet magában, amit szintén kutatni szándékozok a jövőben.

Irodalomjegyzék

- ANSTEY, M. L. – ROGERS, S. M. – OTT, S. R. – BURROWS, M. – SIMPSON, S. J. 2009: Serotonin Mediates Behavioral Gregarization Underlying Swarm Formation in Desert Locusts. – *Science* 323. 5914. pp. 627-630.
- CHEN, D. – HUANG, J. – JACKSON, T. J. 2005: Vegetation water content estimation for corn and soybeans using spectral indices derived from MODIS near- and short-wave infrared bands. – *Remote Sensing of Environment* 98. pp. 225-236.
http://www.rsma.su.miami.edu/personal/jhuang/ChenHuangJackson2005_RSE_SMEEX02_NDWIvsVWC.pdf
- FORGY, W. E. 1965: Cluster analysis of multivariate data: Efficiency versus interpretability of classification. – *Biometrics* 21. pp. 768-769.
- GAO, B. C. 1996: NDWI – A Normalized Difference Water Index for Remote Sensing of Vegetation Liquid Water From Space. – *Remote Sensing of Environment* 58. pp. 257-266.
<http://sites.udel.edu/delaware-water-watch/files/2014/06/NDWI-A-Normalized-Difference-Water-Index-for-Remote-Sensing-of-Vegetation-Liquid-Water-From-Space-1ko95nn.pdf>
- GU, Y. – BROWN, J. F. – VERDIN, J. P. – WARDLOW, B. 2007: A five-year analysis of MODIS NDVI and NDWI for grassland drought assessment over the central Great Plains of the United States. – *Geophysical Research Letters* 34. doi:10.1029/2006GL0291
http://www.gisagmaps.com/storage/Gu_et_al_2007.pdf
- JABLONOWSKI J. 1913: A mezei pockok (egerek) ellen való védekezés tekintettel kötelező tavaszi irtásukra. Pallasz Részvénytársaság Könyvkiadója, Budapest. 106 p.
<http://mek.oszk.hu/11500/11594/11594.pdf>
- KERN A. – BOGNÁR P. – PÁSZTOR SZ. – TIMÁR G. – LICHTENBERGER J. – FERENCZ CS. – STEINBACH, P. – FERENCZ O. 2014: Közvetlen vételi MODIS adatok alkalmazásai Magyarország térségére. – *Távérzékelési Technológiák és Térinformatika* 2014/1.
http://www.rsgis.hu/RS&GIS_2014-1_Kernel.pdf
- KOVÁCS F. 2012: MODIS műholdkép alapú vegetáció-monitoring 2000-2011 között. – In. LÓKI J. (szerk.): Az elmélet és a gyakorlat találkozása a térinformatikában. – III. Térinformatikai konferencia és szakkiallítás, 2012. május 24-25. Debreceni Egyetemi Kiadó, Debrecen. pp. 223-229.
http://geogis.detek.unideb.hu/TKonferencia/2012/Terinfo_kotet%202012.pdf
- KOVÁCS F. 2013: Indexek a környezeti informatikában. – In. KOVÁCS F. et al.: Környezeti informatika. Elektronikus jegyzet. SZTE Természeti Földrajzi és Geoinformatikai Tanszék, Szeged.
http://www.geo.u-szeged.hu/~feri/kornyezeti_informatika/ch10.html
- MAROSI S. – SOMOGYI S. 1990: Magyarország kistájainak katasztere I-II. – MTA FKI, Budapest.
- MCFEETERS, S. K. 1996: The use of Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. – *International Journal of Remote Sensing* 17. 7. pp. 1425-1432.
<http://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/01431169608948714>
- McKEE, T. B – DOESKIN, N. J. – J. KIEIST, J. 1993: The Relationship of Drought Frequency and Duration to Time Scales. – *Proceedings of 8th Conference on Applied Climatology*, Boston. pp. 179-184.
- MU, Q. – ZHAO, M. – KIMBALL, J. S. – MCDOWELL, N. G. – RUNNING, S. W. 2013: A Remotely Sensed Global Terrestrial Drought Severity Index. – *Bulletin of the American Meteorological Society* 94. 1. pp. 83-98. http://secure.nts.g.umn.edu/publications/2013/MZKMR13/Mu_et_al_BAMS_2013.pdf
- NÉMETH Á. – BELLA SZ. – SZALAI S. 2004: A térinformatika alkalmazhatósága az aszályérzékenység vizsgálatában. – II. Magyar Földrajzi Konferencia, 2004. szeptember 2-4., Szeged. 11 p.
http://geography.hu/mfk2004/mfk2004/cikkek/nemeth_bella_szalai.pdf
- PÁLFAI I. 1989: Az Alföld aszályossága. – *Alföldi Tanulmányok* 13. MTA Regionális Kutatások Központja, Alföldi Kutatócsoport, Békéscsaba. pp. 7-25.
- PÁLFAI I. 2004: Az aszály definíciói, befolyásoló tényezői és mérőszámai. – In. PÁLFAI I. (szerk.): *Belvizek és aszályok Magyarországon. Hidrológiai Tanulmányok. Közlekedési Dokumentációs Kft., Budapest.* pp. 255-263.

- PÁLFAI I. 2011: Aszályos évek az Alföldön 1931-2010 között. – In. RAKONCZAI J. (szerk.): Környezeti változások és az Alföld. Nagyalföld Alapítvány Kötetei 7., Békéscsaba. pp. 87-96.
http://www.geo.u-szeged.hu/sites/default/files/14Kiadvanyok/egyeb/Kornyezeti_valtozasok_az_Alfoldon/10-p%E1lfai.pdf
- PALMER, W. C. 1965: Meteorological Drought. Research Paper No. 45. U.S. Department of Commerce Weather Bureau, Washington, D.C.. 58 p.
- ROUSE, J. W. – HAAS, H. R. – SCHELL, A. J. – DEERING, W. D. 1973: Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. – Third ERTS Symposium, NASA SP-351 1. pp. 309-317.
- ROY, D.P. – BORAK, J.S. – DEVADIGA, S. – WOLFE, R.E. – ZHENG, M. – DESCLOITRES, J. 2002: The MODIS Land Product Quality Assessment Approach. – Remote Sensing of Environment 83. pp. 62-76.
- SIKI Z. 2010: Vetületek és vetületi átszámítások a QGIS-ban (1.5 verzió).
<http://www.agt.bme.hu/gis/qgis/proj.pdf>
- SOLANO, R. – DIDAN, K. – JACOBSON, A. – HUETE, A. 2010: MODIS Vegetation Index User's Guide (MOD13 Series). – The University of Arizona Vegetation Index and Phenology Lab. 38 p.
http://vip.arizona.edu/documents/MODIS/MODIS_VI_UsersGuide_01_2012.pdf
- SZALAI S. 2012: Az aszály definíciói. – In. BIHARI Z. (szerk.): Délkelet-Európai Aszálykezelési Központ – DMCSEE projekt. Összefoglaló a projekt eredményeiről. – Országos Meteorológiai Szolgálat. pp. 7-10. http://www.met.hu/doc/DMCSEE/DMCSEE_zaro_kiadvany.pdf
- SZATMÁRI J. 2010: Egységes Országos Vetület (EOV) megadása és vetületi transzformációk a Quantum GIS (v1.6) programban. http://www.geo.u-szeged.hu/~joe/pub/QGIS/Qgis_EOV_segedlet.pdf
- TUCKER, C. J. 1979. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. – Remote Sensing of Environment 8. pp. 127–150.
http://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/NTRS-PDF/19780024582_1978024582.pdf
- VERMES L. (szerk.) 2000: Hogyan dolgozzuk ki az aszály csökkentési stratégiáját? ICID Útmutató. – ICID – Európai Regionális Aszály Munkacsoport, Budapest.
- VERMOTE, E. F. – KOTCHENOVA, S. Y. 2008: MOD09 (Surface Reflectance) User's Guide. Version 1.1. – MODIS Land Surface Reflectance Science Computing Facility. 29 p.
http://www.gscloud.cn/userfiles/file/MOD09_UserGuide.pdf
- WILHELMI, O. V. – WILHITE, D. A. 2002: Assessing Vulnerability to Agricultural Drought: A Nebraska Case Study. – Natural Hazards 25. pp. 37 – 58.
- WILHITE, D.A. – GLANTZ, M. H. 1985: Understanding the Drought Phenomenon: The Role of Definitions. – Water International 10. 3. pp. 111–120.
- XU H. 2006: Modification of normalized difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. – International Journal of Remote Sensing 27. 14. pp. 3025-3033.
ftp://ftp.eri.ucsb.edu/pub/org/swim/WTLDS/Encyclopedia_Wetlands/papers/Xu_2006_MNDWI.pdf

Internetes források

- A classInt programcsomag leírása: <http://cran.r-project.org/web/packages/classInt/classInt.pdf> (letöltve: 2014-11-10)
- European Environment Agency – The European Topic Centre on Spatial Information and Analysis 2013: Corine Land Cover 2006 raster data. Version 17 (2013/12). http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/ds_resolveuid/SH04UZP80M (letöltve: 2014-10-12)
- GDAL: <http://www.gdal.org/>
- Glovis: <http://glovis.usgs.gov>
- GRASS GIS: <http://grass.osgeo.org/>
- http://wahastrat.vizugy.hu/terkep/terkep_padi.aspx (letöltve: 2014-10-16)
- <https://www.niwa.co.nz/natural-hazards/hazards/risk-and-vulnerability> (letöltve: 2014-10-16)
- ICID: <http://www.icid.org>

KSH: A fontosabb szántóföldi növények betakarított területe, összes termése és termésátlaga (1990–): http://www.ksh.hu/docs/hun/xstadat/xstadat_eves/i_omn007.html (letöltve: 2014-10-06)

KSH: Földhasználat művelési ágak és gazdaságcsoportok szerint, május 31. (1990–): http://www.ksh.hu/docs/hun/xstadat/xstadat_eves/i_omf001a.html (letöltve: 2014-11-08)

KSH: Mezőgazdaság (1960–): http://www.ksh.hu/docs/hun/xstadat/xstadat_hosszu/h_omf001b.html (letöltve: 2014-10-06)

KSH: Mezőgazdasági vízfelhasználás (2000–): http://www.ksh.hu/docs/hun/xstadat/xstadat_eves/i_uw001.html (letöltve: 2014-10-06)

LDOPE Tools: https://lpdaac.usgs.gov/tools/ldope_tools

MODIS Reprojection Tool: https://lpdaac.usgs.gov/tools/modis_reprojection_tool

National Drought Mitigation Center, University of Nebraska-Lincoln, Egyesült Államok. http://drought.unl.edu/portals/0/user_image/basics/climvarBW.JPG (letöltve: 2014-09-29)

Nemzeti Élelmiszerlánc-biztonsági Hivatal 2014: Egyre több a mezei pocok. A cikk megjelent: 2014-06-03-án. https://www.nebih.gov.hu/aktualitasok/hirek/06_03_mezei_pocok.html (letöltve: 2014-09-29)

PAI kategóriák: http://wahastrat.vizugy.hu/terkep/terkep_padi.aspx (letöltve: 2014-11-11)

QGIS: <http://www.qgis.org/en/site/>

SAGA GIS: <http://www.saga-gis.org>

UNISDR 2009: Terminology on Disaster Risk Reduction. http://www.unisdr.org/files/7817_UNISDRTerminologyEnglish.pdf (letöltve: 2014-10-16)

Vidékfejlesztési Minisztérium 2012: Az aszály kezelésének hosszú távú koncepciójáról. Konzultációs anyag. – Vidékfejlesztési Minisztérium, Budapest. <http://2010-2014.kormany.hu/download/7/0a/90000/Aszalystrategia.pdf> (letöltve: 2014-09-29)

Melléklet

1. melléklet: A Modis Quality Control Tool program C forrásfájlja

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <malloc.h>
#include <time.h>
#include <ctype.h>
#include <string.h>

#define SIZE 100
#define N 20

/* egy ArcInfo ASCII grid allomany (.asc) fejlece (header) */
typedef struct metaadat
{
    /* az oszlopok es a sorok szama */
    int ncols, nrows;

    /* a bal also sarok X es Y koordinatai WGS84 UTM Zone 34N-ben */
    double xllcorner, yllcorner;

    /* a cellameret meterben */
    double cellsize;

    /* nincs adat ertekek */
    int nodata_value;
} META;

/* ASCII grid header beolvasasa
argumentumok sorrendben:
fejlec (megfelelo, a bemeno fajlnev */
void read_head(META *, char *);

/* barmilyen grid beolvasasa .asc formatumbol
argumentumok sorrendben:
fejlec, a tomb, amit feltolt ertekekkel, a bemeno fajlnev */
void read_bands(META *, int **, char *);

/* a rossz pixelek feltoltese a nincs adat ertekekkel
argumentumok sorrendben:
fejlec, 1., 2. es 7. savok gridjei, minoseg gridek (1.,2.,7.),
felhoboritas grid, felhoarnyek grid, nincs adat ertekek, pillanatnyi ev a ciklusban
*/
void correct_with_qc_state_500m(META *, int **, int **, int **, int **, int **, int **, int **, int **,
int, int);
```

```

/* ASCII grid irasa fajlba
argumentumok sorrendben:
fejlec, kiirando grid, kimeno fajlnev, nincs adat ertekek */
void write_to_grid(META *, int **, char *, int);

int main()
{
    printf("*****\n");
    printf(" Modis Quality Control Tool_1.3_szerzoje_Gulacsi Andras, 2014\n");
    printf("*****\n\n");

    srand(time(NULL));

    int i, nodata;
    /* a pillanatnyi ev a ciklusban */
    int lepes;

    META b1, b2, b7, qc1, qc2, qc7, cloud_cover, cloud_shadow;
    META *pb1, *pb2, *pb7, *pqc1, *pqc2, *pqc7, *pcloud, *pshadow;
    META *ptr;

    pb1=&b1;
    pb2=&b2;
    pb7=&b7;
    pqc1=&qc1;
    pqc2=&qc2;
    pqc7=&qc7;
    pcloud=&cloud_cover;
    pshadow=&cloud_shadow;

    /* figyelmeztetes: nincs fejlec ellenorzes */
    ptr=pb1;

    /* fajlnevek generalasahoz karaktertombok inicializalasa */
    char osszefuz_ev[SIZE];
    char osszefuzb1[SIZE];
    char osszefuzb2[SIZE];
    char osszefuzb7[SIZE];
    char osszefuzqc1[SIZE];
    char osszefuzqc2[SIZE];
    char osszefuzqc7[SIZE];
    char osszefuzcc1[SIZE];
    char osszefuzcs2[SIZE];

    char a[]="a";
    char mod[]="MOD09A1.A";
    char bn1[]=".sur_refl_b01.asc";
    char bn2[]=".sur_refl_b02.asc";
    char bn7[]=".sur_refl_b07.asc";
    char qcn1[]=".sur_refl_qc_500m_bits_2-5.asc";
    char qcn2[]=".sur_refl_qc_500m_bits_6-9.asc";
    char qcn7[]=".sur_refl_qc_500m_bits_26-29.asc";

```

```

char stn1[]=".sur_refl_state_500m_bits_0-1.asc";
char stn2[]=".sur_refl_state_500m_bits_2.asc";

nodata=0; /* a nincs adat ertekek beallitasa */
int kezdoev;
int zaroev;
char dayofyear[4];

printf("Add meg az ev napjat (3 karakter): ");
gets(dayofyear);
printf("Add meg a nincs adat ertekek (alapertelmezett a 0): ");
scanf("%d", &nodata);
printf("Add meg a kezdo evet: ");
scanf("%d", &kezdoev);
printf("Add meg a befejezo evet: ");
scanf("%d", &zaroev);
printf("\n\nAz alapertelmezett nincs adat ertekek a %d.\n\n", nodata);

/* A kezdoev es a zaroev kozotti adatokat feldolgozo ciklus, a megadott 8 napos idoszakban */
for(lepes=kezdoev; lepes<=zaroev; lepes++)
{
    /* a fajlnevek eloallitasa a karaktertombok osszefuzesevel */
    /* ev es az ev napjanak osszefuzese */
    /* KULON FELTETEL, AMI KIVEHETO */
    if(lepes==2000 || lepes==2001)
    {
        snprintf(osszefuz_ev, sizeof(osszefuz_ev), "%d%s", lepes, "153");
        puts(osszefuz_ev);
    }
    else
    {
        snprintf(osszefuz_ev, sizeof(osszefuz_ev), "%d%s", lepes, dayofyear);
        puts(osszefuz_ev);
    }
    snprintf(osszefuzb1, sizeof(osszefuzb1), "%s%s%s", mod, osszefuz_ev, bn1);
    puts(osszefuzb1);
    snprintf(osszefuzb2, sizeof(osszefuzb2), "%s%s%s", mod, osszefuz_ev, bn2);
    puts(osszefuzb2);
    snprintf(osszefuzb7, sizeof(osszefuzb7), "%s%s%s", mod, osszefuz_ev, bn7);
    puts(osszefuzb7);
    snprintf(osszefuzqc1, sizeof(osszefuzqc1), "%s%d%s", a, lepes, qcn1);
    puts(osszefuzqc1);
    snprintf(osszefuzqc2, sizeof(osszefuzqc2), "%s%d%s", a, lepes, qcn2);
    puts(osszefuzqc2);
    snprintf(osszefuzqc7, sizeof(osszefuzqc7), "%s%d%s", a, lepes, qcn7);
    puts(osszefuzqc7);
    snprintf(osszefuzcc1, sizeof(osszefuzcc1), "%s%d%s", a, lepes, stn1);
    puts(osszefuzcc1);
    snprintf(osszefuzcs2, sizeof(osszefuzcs2), "%s%d%s", a, lepes, stn2);
    puts(osszefuzcs2);
}

```

```

/* fejlecek beolvasasa */
read_head(pb1, osszefuzb1);
read_head(pb2, osszefuzb2);
read_head(pb7, osszefuzb7);
read_head(pqc1, osszefuzqc1);
read_head(pqc2, osszefuzqc2);
read_head(pqc7, osszefuzqc7);
read_head(pcloud, osszefuzcc1);
read_head(pshadow, osszefuzcs2);

/* helyfoglalasok */
int **band1=malloc(ptr->nrows * sizeof(int *));
for(i=0;i<ptr->nrows;i++)
    band1[i]=malloc(ptr->ncols * sizeof(int));

int **band2=malloc(ptr->nrows * sizeof(int *));
for(i=0;i<ptr->nrows;i++)
    band2[i]=malloc(ptr->ncols * sizeof(int));

int **band7=malloc(ptr->nrows * sizeof(int *));
for(i=0;i<ptr->nrows;i++)
    band7[i]=malloc(ptr->ncols * sizeof(int));

int **qcband1=malloc(ptr->nrows * sizeof(int *));
for(i=0;i<ptr->nrows;i++)
    qcband1[i]=malloc(ptr->ncols * sizeof(int));

int **qcband2=malloc(ptr->nrows * sizeof(int *));
for(i=0;i<ptr->nrows;i++)
    qcband2[i]=malloc(ptr->ncols * sizeof(int));

int **qcband7=malloc(ptr->nrows * sizeof(int *));
for(i=0;i<ptr->nrows;i++)
    qcband7[i]=malloc(ptr->ncols * sizeof(int));

int **cloudband=malloc(ptr->nrows * sizeof(int *));
for(i=0;i<ptr->nrows;i++)
    cloudband[i]=malloc(ptr->ncols * sizeof(int));

int **shadowband=malloc(ptr->nrows * sizeof(int *));
for(i=0;i<ptr->nrows;i++)
    shadowband[i]=malloc(ptr->ncols * sizeof(int));

/* adatbeolvasasok */
read_bands(ptr, band1, osszefuzb1);
read_bands(ptr, band2, osszefuzb2);
read_bands(ptr, band7, osszefuzb7);
read_bands(pqc1, qcband1, osszefuzqc1);
read_bands(pqc2, qcband2, osszefuzqc2);
read_bands(pqc7, qcband7, osszefuzqc7);
read_bands(pcloud, cloudband, osszefuzcc1);
read_bands(pshadow, shadowband, osszefuzcs2);

```

```

    /* a rossz minosegu pixelek feltoltese nincs adat ertekekkel a qc alapjan */
    correct_with_qc_state_500m(ptr, band1, band2, band7, qcband1, qcband2, qcband7, cloudband,
    shadowband, nodata, lepes);

```

```

    /* a lefoglalt tarhelyek felszabaditasa... */
    for(i=0; i<ptr->nrows; i++)
        free((void *)band1[i]);
    free((void *) band1);

    for(i=0; i<ptr->nrows; i++)
        free((void *)band2[i]);
    free((void *) band2);

    for(i=0; i<ptr->nrows; i++)
        free((void *)band7[i]);
    free((void *) band7);

    for(i=0; i<ptr->nrows; i++)
        free((void *)qcband1[i]);
    free((void *) qcband1);

    for(i=0; i<ptr->nrows; i++)
        free((void *)qcband2[i]);
    free((void *) qcband2);

    for(i=0; i<ptr->nrows; i++)
        free((void *)qcband7[i]);
    free((void *) qcband7);

    for(i=0; i<ptr->nrows; i++)
        free((void *)cloudband[i]);
    free((void *) cloudband);

    for(i=0; i<ptr->nrows; i++)
        free((void *)shadowband[i]);
    free((void *) shadowband);
}

```

```

/* befejezes */
time_t now;
time(&now);
printf("\n\n..... %s", ctime(&now));
printf("\n");
system("PAUSE");
return 0;
}

```

```

void read_head(META *p, char *s)
{
    char *junk;
    int c, count=0;
    FILE *fp, *fopen();

    printf("-----\n");
    printf("-- ArcInfo ASCII Grid metaadainak beolvasasa --\n");
    printf("-----\n\n\t");
    fp=fopen(s, "r");
    if (fp==NULL)
    {
        printf("read_head(): Hiba! A %s nevu fajl nem nyithato meg.\n", s);
        exit(1);
    }
    c=getc(fp);
    while (c!=EOF)
    {
        if(isupper(c) || islower(c) || c=='_' || c=='\n')
            count++;
        putc(c,fp);
        c=getc(fp);
    }
    junk= (char *)malloc(count*sizeof(char));
    fclose(fp);

    fp=fopen(s, "r");
    fscanf(fp, "%s %d\n%s %d\n%s %lf\n%s %lf\n%s %lf\n%s %d\n", junk, &p->ncols, junk, &p->nrows,
junk, &p->xllcorner, junk, &p->yllcorner, junk, &p->cellsize, junk, &p->nodata_value);
    printf("\tNCOLS = %d, NROWS = %d\n", p->ncols, p->nrows);
    printf("\tXLLCORNER = %lf, YLLCORNER = %lf\n", p->xllcorner, p->yllcorner);
    printf("\tCELLSIZE = %lf, NODATA_VALUE = %d\n", p->cellsize, p->nodata_value);
    fclose(fp);
    free(junk);
    printf("read_head(): A metaadatok %s forrasbol sikeresen beolvasva.\n", s);
}

void read_bands(META *p, int **q, char *s)
{
    char *junk;
    int c, count=0;
    int i, j;
    FILE *fp, *fopen();
    fp=fopen(s, "r");
    printf("\n-----\n");
    printf("-- A grid elemeinek beolvasasa --");
    printf("\n-----\n\n\t");
    if (fp==NULL)
    {
        printf("read_bands(): Hiba! A %s nevu fajl nem nyithato meg.\n", s);
        exit(1);
    }
    c=getc(fp);

```

```

while (c!=EOF)
{
    if(isupper(c) || islower(c) || c=='_' || c=='\n')
        count++;
    putc(c,fp);
    c=getc(fp);
}
junk= (char *)malloc(count*sizeof(char));
fclose(fp);

fp=fopen(s, "r");
fscanf(fp, "%s %d\n%s %d\n%s %lf\n%s %lf\n%s %lf\n%s %d\n", junk, &p->ncols, junk, &p->nrows,
junk, &p->xllcorner, junk, &p->yllcorner, junk, &p->cellsize, junk, &p->nodata_value);
free(junk);
for(i=0;i<p->nrows;i++)
{
    for(j=0;j<p->ncols;j++)
        fscanf(fp,"%d ", &q[i][j]);
}
fclose(fp);
printf("read_bands(): A %s nevu grid elemei beolvasva.\n\n", s);
}

void write_to_grid(META *p, int **q, char *s, int nodata)
{
    int i, j;
    FILE *fp, *fopen();
    fp=fopen(s, "w");
    if (fp==NULL)
    {
        printf("write_to_grid(): Hiba! A fajl nem hozhato létre.\n");
        exit(1);
    }
    fprintf(fp,"%s %d\n", "ncols", p->ncols);
    fprintf(fp,"%s %d\n", "nrows", p->nrows);
    fprintf(fp,"%s %.16lf\n", "xllcorner", p->xllcorner);
    fprintf(fp,"%s %.16lf\n", "yllcorner", p->yllcorner);
    fprintf(fp,"%s %.1lf\n", "cellsize", p->cellsize);
    fprintf(fp,"%s %d\n", "NODATA_value", nodata);
    for(i=0;i<p->nrows;i++)
    {
        for(j=0;j<p->ncols;j++)
            fprintf(fp,"%d ", q[i][j]);
    }
    fclose(fp);
    printf("write_to_grid(): A fajl sikeresen létrehozva.\n\n");
}

```

```

void correct_with_qc_state_500m(META *ptr, int **a, int **b, int **c, int **qc1, int **qc2, int **qc7,
int **cloud_cover, int **cloud_shadow, int nodata, int ev)
{
    int i, j;
    char band1[]=".b1corr.asc";
    char band2[]=".b2corr.asc";
    char band7[]=".b7corr.asc";
    char kimenet1[N];
    char kimenet2[N];
    char kimenet7[N];

    /* helyfoglalások */
    int **aa=calloc(ptr->nrows,sizeof(int *));
    for(i=0;i<ptr->nrows;i++)
        aa[i]=calloc(ptr->ncols,sizeof(int));

    int **bb=calloc(ptr->nrows,sizeof(int *));
    for(i=0;i<ptr->nrows;i++)
        bb[i]=calloc(ptr->ncols,sizeof(int));

    int **cc=calloc(ptr->nrows,sizeof(int *));
    for(i=0;i<ptr->nrows;i++)
        cc[i]=calloc(ptr->ncols,sizeof(int));

    snprintf(kimenet1, sizeof(kimenet1), "%d%s", ev, band1);
    puts(kimenet1);
    snprintf(kimenet2, sizeof(kimenet2), "%d%s", ev, band2);
    puts(kimenet2);
    snprintf(kimenet7, sizeof(kimenet7), "%d%s", ev, band7);
    puts(kimenet7);

    for(i=0;i<ptr->nrows;i++)
    {
        for(j=0;j<ptr->ncols;j++)
        {
            if(qc1[i][j]==0 && qc2[i][j]==0 && qc7[i][j]==0 && cloud_cover[i][j]==0 &&
cloud_shadow[i][j]==0)
            {
                aa[i][j]=a[i][j];
                bb[i][j]=b[i][j];
                cc[i][j]=c[i][j];
            }
            else
            {
                aa[i][j]=bb[i][j]=cc[i][j]=nodata;
            }
        }
    }
    write_to_grid(ptr,aa,kimenet1, nodata);
    write_to_grid(ptr,bb,kimenet2, nodata);
    write_to_grid(ptr,cc,kimenet7, nodata);

    /* a lefoglalt tarhelyek felszabaditasa... */
}

```

```
for(i=0; i<ptr->nrows; i++)
    free((void *)aa[i]);
free((void *) aa);

for(i=0; i<ptr->nrows; i++)
    free((void *)bb[i]);
free((void *) bb);

for(i=0; i<ptr->nrows; i++)
    free((void *)cc[i]);
free((void *) cc);

printf("A correct_with_qc_state_500m() sikeresen lefutott.\n");
}
```

1. Függelék

A tanulmányom a spektrális indexekkel történő aszály-monitoring megvalósításának magyarországi előkészítését tűzte ki célul. Mindeddig sajnos még nem valósult meg rendszeres aszály-monitoring közepes méretarányban, nyolc napos időfelbontásban a MODIS szenzor adatai alapján, Magyarországon.

Számos spektrális indexet vizsgáltam, beleértve a normalizált differenciált aszályindexet (NDDI), amit még Magyarországon ez idáig rajtam kívül senki sem alkalmazott, illetve az általam javasolt differenciált aszályindexet (DDI).

A spektrális vegetáció-, víz- és aszályindexeket összevetettem egymással a júniusi és a júliusi időpontokban, majd lineáris regressziók számításával meghatároztam indexátlagok és a referenciaadatok (Pálfai féle-aszályindex, termésadatok) közötti kapcsolatok erősségét.

Klaszteranalízisen alapuló módszerrel aszályossági kategóriákat határoztam meg a DDI és az NDWI esetén egyaránt, majd térképen jelenítettem meg az eredményeket.

Röviden összehasonlítottam az NDWI és az EVI viselkedését a lomblevelű, elegyes és tűlevelű erdőségek esetén.

A MODIS műholdképek automatizált feldolgozását szabad forráskódú statisztikai és térinformatikai szoftverekhez írt szkriptek segítségével végeztem.

Az adatok a minőségsávok használatával történő minőségkorrekciójára a C programozási nyelven egy egyszerű segédprogramot írtam.

Egy nagy mennyiségű MODIS távérzékelte adat gyors és olcsó feldolgozására alkalmas kizárólag nyílt forráskódú programok használatán alapuló rendszert hoztam létre. Annak ellenére, hogy a kereskedelmi szoftverek általánosságban elterjedtek és hatalmas funkcionalitással bírnak, mégis meg lehet valósítani rengeteg feladatot az szabad forráskódú alternatívák és a programozás segítségével is, viszont nehezebben.

Az alkalmazott módszerek példával szolgálnak az ingyenes szoftverek szkriptek segítségével megvalósuló használatára, ami oktatási célból is jelentőséggel bírhat.