

KLÍMAVÁLTOZÁS SZEMPONTÚ, MULTISPEKTRÁLIS MONITORING MEZŐGAZDASÁGI- ÉS ERDŐTERÜLETEKEN¹

KOVÁCS FERENC – GULÁCSI ANDRÁS

Dr. Kovács Ferenc, egyetemi adjunktus SZTE TTIK Természeti Földrajzi és Geoinformatikai Tanszék, 6722 Szeged, Egyetem utca 2-6. e-mail: kovacs@geo.u-szeged.hu

Gulácsi András, doktorandusz hallgató, SZTE TTIK Természeti Földrajzi és Geoinformatikai Tanszék, 6722 Szeged, Egyetem utca 2-6. e-mail: gulandras90@gmail.com

Abstract

In this study a new remote sensing indexes was introduced. They were calculated from the Terra satellite's MODIS sensor surface reflectance data using visible red, near-infrared and short-wave-infrared spectral bands. The following spectral indices were examined: Difference Vegetation Index (DVI), Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Enhanced Vegetation Index (EVI), Difference Water Index (DWI), Normalized Difference Water Index (NDWI), Difference Drought Index (DDI) and Normalized Difference Drought Index (NDDI). The Difference Drought Index was proven applicable in quantifying the effects of climate change; f.i. drought intensity. However, after comparison with reference data NDWI performed better than the other indices examined in this study, the water indices are more sensitive to changes in drought conditions than the vegetation ones. All the available MODIS satellites images have to be processed in order to extract large enough information to forecast droughts in short term in Hungary.

Keywords: drought, MODIS, monitoring, remote sensing, spectral index

Bevezetés

Napjaink egyik megoldásra váró környezeti problémája a Kárpát-medencében a vízhiány, amely különösen a mezőgazdaságnak okoz károkat az aszályos években (RAKONCZAI J. 2011). Amikor a víz-igényt a csapadék nem képes kielégíteni, mert a várthoz képest nagy hiány jellemző, amely a tenyészidőre vagy hosszabb időszakra is kiterjed, akkor – International Commission on Irrigation and Drainage szerint – aszályról beszélhetünk. A klímaváltozási prognózisok az éghajlati szélsőségek növekedését jelzik előre, ezért fontos, hogy a jelenleg a tájban zajló folyamatok – így az aszály – tér- és időbeliségét értékeljük, mert a klímaváltozás ritkán érvényesül az országok fejlesztési elképzeléseiben (MIKA J. 2014), pedig a területi tervezésnek már most készülnie kell. Jelenleg „csak” koncepció ismert; a II. Nemzeti Éghajlat-változási Stratégia.

Az aszály nehezen definiálható; nehezen meghatározható a kezdete, a vége, nehéz számszerűsíteni a hatásait. Inkább relatív állapot, amely régióként, élőlényenként külön értelmezhető. Ráadásul az aszályok különböznek egymástól intenzitásban, időtartamban, kiterjedésben, hatását helyi sajátosságok is módosítják. A légköri aszályt a sokévi átlagnál lényegesen kevesebb lehullott csapadék jellemzi, amihez párosul az átlagot meghaladó léghőmérséklet és az alacsony relatív nedvességtartalom. Ez közvetlenül érinti a mezőgazdasági termelést (mezőgazdasági aszály), amely legtöbbször szemmel és műholdról látható a növények fiziológiai állapotán. Hossz és erősség függvényében a talajnedvesség-tartalom a hasznosítható vízkapacitás tört részére csökken (talajaszály). Ha a vízgyűjtőt meteorológiai aszály sújtja, akkor a tározók, tavak és folyók vízszintje, illetve vízhozama lecsökken (hidrológiai aszály) (PÁLFAI I. 2004).

Az 1901–2013. évi adatsor alapján mért országos +1,11 °C-os melegedés mellett a nyári melegedés a legjelentősebb. Az utóbbi 30 évben az Alföld +2,2 °C-os változást is mutat nyáron, és egyes területeken a hőhullámos érték 2 napról több mint 19 napra nőtt. Az egyre hosszabbodó száraz időszakok jellemzőek (LAKATOS M. ET AL. 2014). Az 1961–1990 közötti normálértékhez képest 2050-ig +1,1–1,9 °C-al nőhet az átlaghőmérséklet, ami nyáron például 2,6 °C is lehet. A csapadékindexek várható alakulása szerint hazánk klímája szárazabbá válik, a nyári és az őszi száraz időszakok nö-

¹ A tanulmány a Bolyai János Kutatási Ösztöndíj támogatásával készült.

vekedése várható (BARTHOLY J. ET AL. 2011). A csapadéktendencia nagyobb bizonytalanságú, de a hőmérsékleti emelkedés miatt növekszik a párolgás, így fokozottabb vízigény alakul ki (MEZŐSI G. ET AL. 2016).

Az aszály érzékelésére alkalmazott adatok és módszertan

Az aszályosság téridőben való nyomon követésére több meteorológiai (statisztikai) és távérzékelési módszereken alapuló mérőszám ismert (ZARGAR, A. 2011). A Magyarországon általánosságban elterjedt Pálfai-féle aszályindex (PAI) térinformatikai feldolgozásával FIALA K. ET AL. (2014) elemez magyar és szerb területeket. KOVÁCS F. (2012) csupán multispektrális vegetációindexek szerinti biomassza-produktivitás időSORA alapján határolt le aszályveszélyes területeket, míg GULÁCSI A.–KOVÁCS F. (2015) MODIS műholdkép alapú elemzésében már 15 éves adatsor szerint határozza meg az aszály mértékét egész Magyarországra többféle spektrális vegetációs-, víztartalom- és aszályindexek alapján.

A nagy időfelbontású MODIS műholdképekre számított aszályindexek alkalmasak az aszály rövid távú téridőbeli változásainak nyomon követésére, nagy területre, közepes földrajzi léptékben. Az adatfeldolgozás során gyárilag előre kalibrált termékeket állítanak elő, melyek ingyenesen elérhetőek. A kompozitképek az eredeti műholdkép-pixelek optimális kiválasztása alapján 8 vagy 16 napos időszakból származó felvételekből tevődnek össze. Az időpontot illetően július első fele az egyik legalkalmasabb időpont (PÁLFAI I. 2004), viszont aratás után nem célszerű időpontot választani.

Az aszályindex számításához a MOD09A1 (5) 8 napos, 500 m-es felbontású felszíni reflektancia kompozitképeket (Surface Reflectance 8-Day L3 Global 500m SIN Grid), valamint a MOD13Q1 (5) 16 napos, 250 m-es felbontású vegetációs index kompozitképeket (Vegetation Indices 16-Day L3 Global 250m) használtuk. A sávok értékei meg vannak szorozva 10.000-el, amin általában nem változtattunk. A MODIS katalógus H/V 19/4 (Lat/Long 45/21,2) felvételeit töltöttük le az adatbázisból. Ha csak az időpontokat nézzük minimum 600 felvétel feldolgozására került sor. A MODIS szárazföldi minőségértékelése alapján, GULÁCSI A. (2015) feldolgozása szerint kizártuk a pontatlan értékekkel rendelkező képpontokat (ROY, D.P. ET AL. 2002). A feldolgozást nyílt forráskódú térinformatikai program környezetben végeztük el: SAGA GIS 2.1, QGIS 2.4 (Python 2.7.5), GDAL 1.11.0, GRASS GIS 6.4.3, R statisztikai szoftver, MODIS Reprojection Tool, LDOPE Tools 1.7.

A MOD09A1 adatokkal történő aszálylehatárolás egyik módszere a normalizált differenciált aszályindex (NDDI) (1. képlet) (GU, Y. ET AL. 2007):

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

ahol:

$$\begin{aligned} \text{NDVI} &= (\text{NIR}_{858 \text{ nm}} - \text{vörös}_{645 \text{ nm}}) / (\text{NIR}_{858 \text{ nm}} + \text{vörös}_{645 \text{ nm}}), \\ \text{NDWI} &= (\text{NIR}_{858 \text{ nm}} - \text{SWIR}_{2130 \text{ nm}}) / (\text{NIR}_{858 \text{ nm}} + \text{SWIR}_{2130 \text{ nm}}), \\ \text{NIR:} & \text{ közeli infravörös, SWIR: rövidhullámú infravörös.} \end{aligned}$$

Magasabb NDVI a levélzet nagyobb fotoszintetikus kapacitását jelzi.

Az NDWI a növénylombozat nedvességtartalmának jellemzésére való. Ha csökken a víztartalom, akkor ebben a tartományban megnő a reflektancia (GAO, B.C. 1996).

Az egyszerűbb differencia indexszel is számolhatunk (2. képlet):

$$\text{DDI} = \text{DVI} - \text{DWI} \quad (2. \text{ képlet})$$

ahol:

$$\begin{aligned} \text{DVI (differenciált vegetáció index)} &= \text{NIR}_{858 \text{ nm}} - \text{vörös}_{645 \text{ nm}}, \\ \text{DWI (differenciált víz index)} &= \text{NIR}_{858 \text{ nm}} - \text{SWIR}_{2130 \text{ nm}}. \end{aligned}$$

Az új, optimalizált indexek, mint amilyen az EVI is, hibridként egyesítik más mérőszámok jellemzőit. Az EVI az NDVI korrekciós tényezőkkal ellátott változata, minimalizálja a zavaró hatásokat (3. képlet) (SOLANO, R. ET AL. 2010):

$$\text{EVI} = G \cdot ((\text{NIR}_{858 \text{ nm}} - \text{vörös}_{645 \text{ nm}}) / (\text{NIR}_{858 \text{ nm}} + C_1 \cdot \text{vörös}_{645 \text{ nm}} + C_2 \cdot \text{kék}_{469 \text{ nm}} + L)) \quad (3. \text{ képlet})$$

ahol:

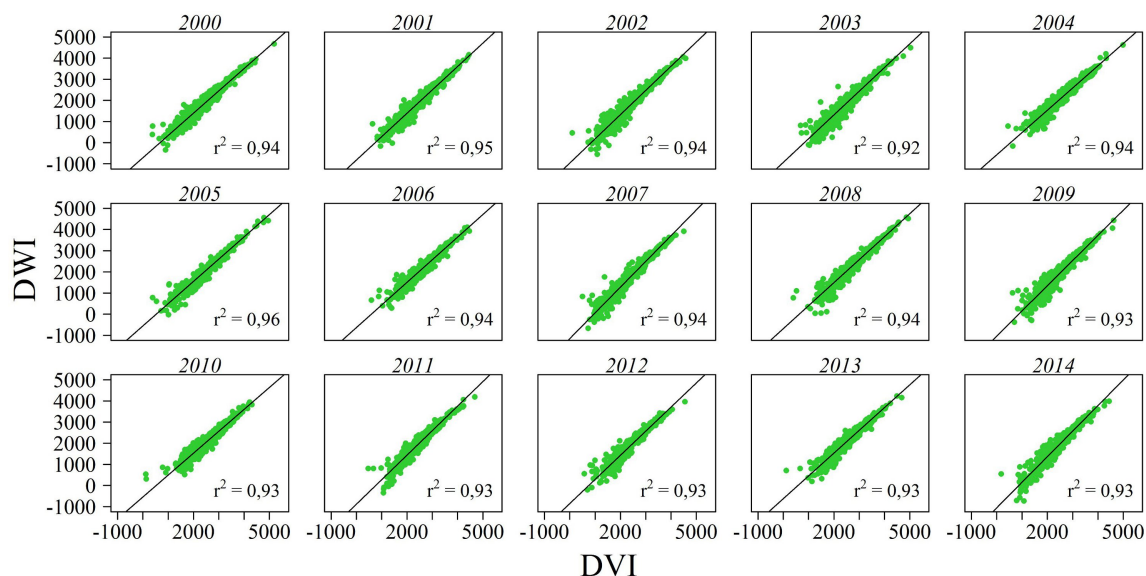
L: lombzat háttér igazítás

C₁, C₂: aeroszol-ellenállás együtthatók

G: erősítés vagy skálázási tényező.

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

A DWI és a DVI között rendkívül erős kapcsolat áll fenn, a korrelációs együtthatók értékei a júniusi és júliusi műholdképek alapján például 0,88–0,96 közötti (1. ábra). Az NDWI–NDVI közötti kapcsolat önmagában validálja a vízindexeket, így az aszály vizsgálatára alkalmas az NDWI és a DWI is, bár nem elterjedt a használatuk.



1. ábra A differenciált vegetáció- és vízindex közötti kapcsolat a júliusi időpontban.

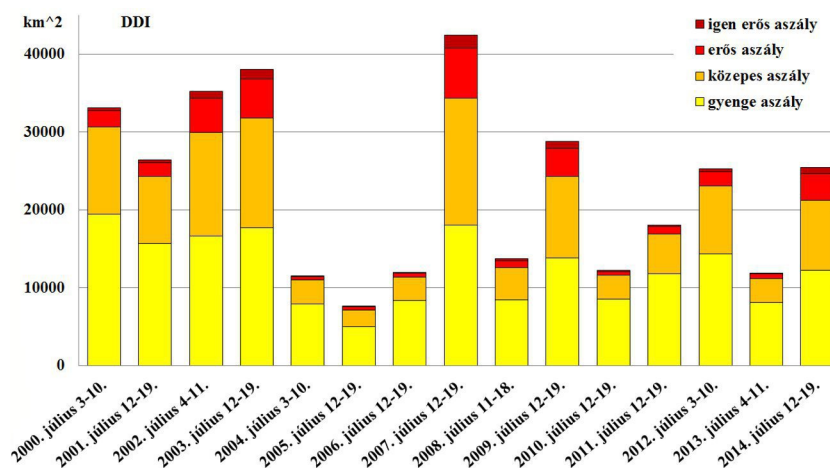
Az aszály kiterjedésének meghatározása és összevetése referenciaadatokkal

A DDI átlagot számoltunk a vizsgált időpontokra (pl. $DDI_{\text{június}}=505,67$) és ha a DDI középértéke meghaladja ezt a küszöbértéket, akkor az év aszályosnak tekinthető; 2000–2003, 2007, 2009, 2012 és 2014. Az aszályos évek DDI átlagértékeiből számtani átlagot képezve megkapható a DDI küszöbértéke (pl. $DDI_{\text{június}}=578,86$). Adott osztály aszályos, ha osztályközepe meghaladja ezt a küszöbértéket. A különbségek alapján a DWI jobban reagál az aszályos állapotokra, vagyis a vízindexek érzékenyebbek az aszályra, mint a vegetációindexek. Az aszályos éveket tekintve a DDI általában több aszályos területet mutat (2. ábra).

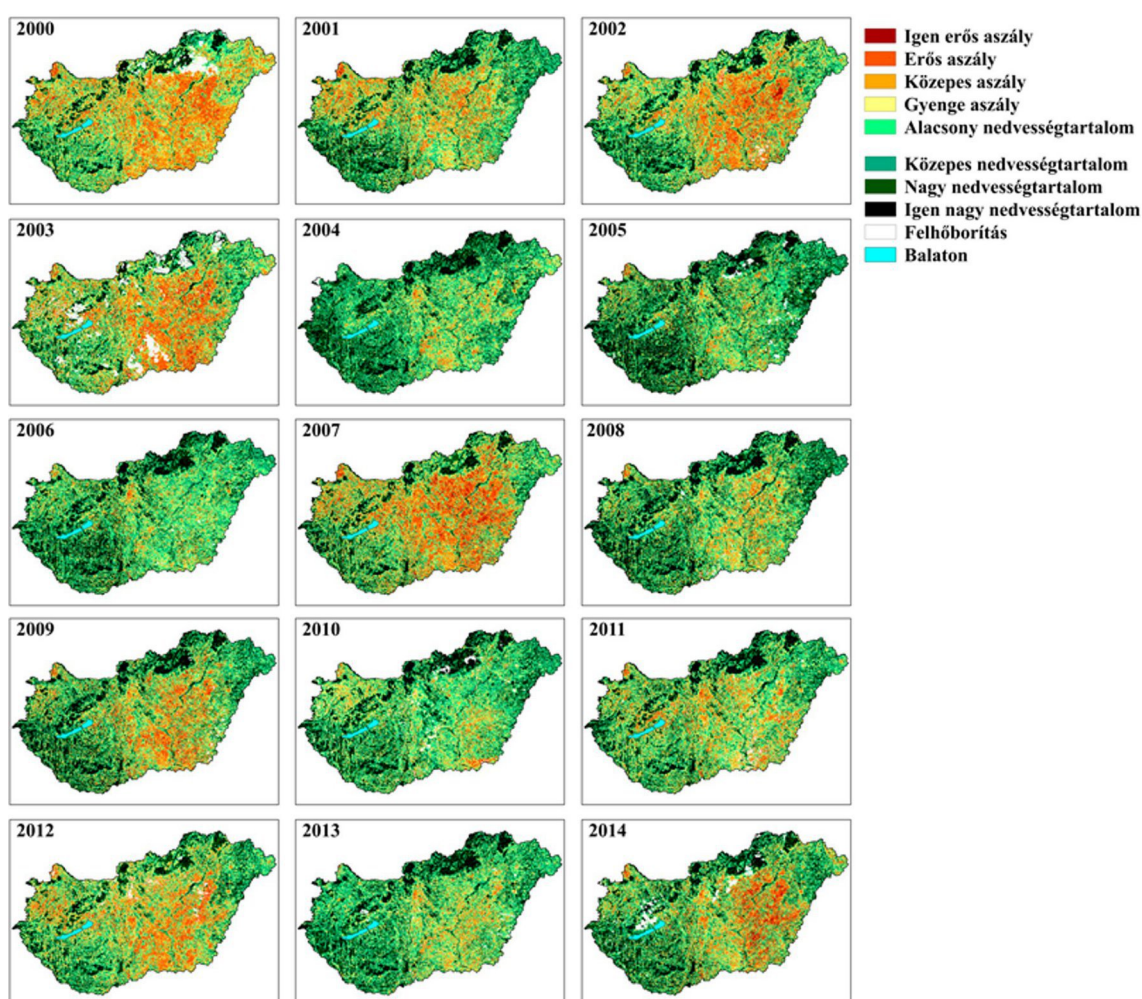
A DDI és NDWI eredmények jól egybevágnak. DDI szerint az aszály kiterjedése a vizsgált időszak júliusában átlagosan 22.778 km² volt, a várakozásnak megfelelően 2000–2003, 2007, 2009, 2012. és 2014. években haladta meg ezt a középértéket. A legnagyobb aszály, a 2007. évi DDI alapján 42.452 km²-t érintett. NDWI esetében a 2000. év volt az aszályosabb, de az erősen aszályos területek nagysága itt is 2007-ben csúcsosodott ki. A legaszályosabb évek rangsorában 2003 és 2002 következik. Egymást követő évek közötti különbség szempontjából kiemelhetők a 2003–2004, valamint 2006–2007 ikerévek.

A júliusi időpontok NDWI alapú aszályosságának földrajzi eloszlását mutatja a 3. ábra, ahol jól látható a Duna-Tisza köze eleve aszályos jellege.

A spektrális indexek érvényességének megállapítása Alföld-i meteorológiai aszályt jelző PAI értékek alapján történt (VIDÉKFEJLESZTÉSI MINISZTERIUM 2012), valamint a CORINE Land Cover 2012 adatbázis segítségével a "nem-öntözött szántóföldek" kategória területeit összevetettük KSH adatok alapján a gabonafélék termésátlagával, búza- és kukorica termésmennyiségével, öntözővíz felhasználással (1. táblázat).



2. ábra Az aszályal érintett területek nagysága a júliusi időpontokban, a DDI szerint.



3. ábra Az aszályos területek földrajzi eloszlása az NDWI alapján, a júliusi időpontokban.

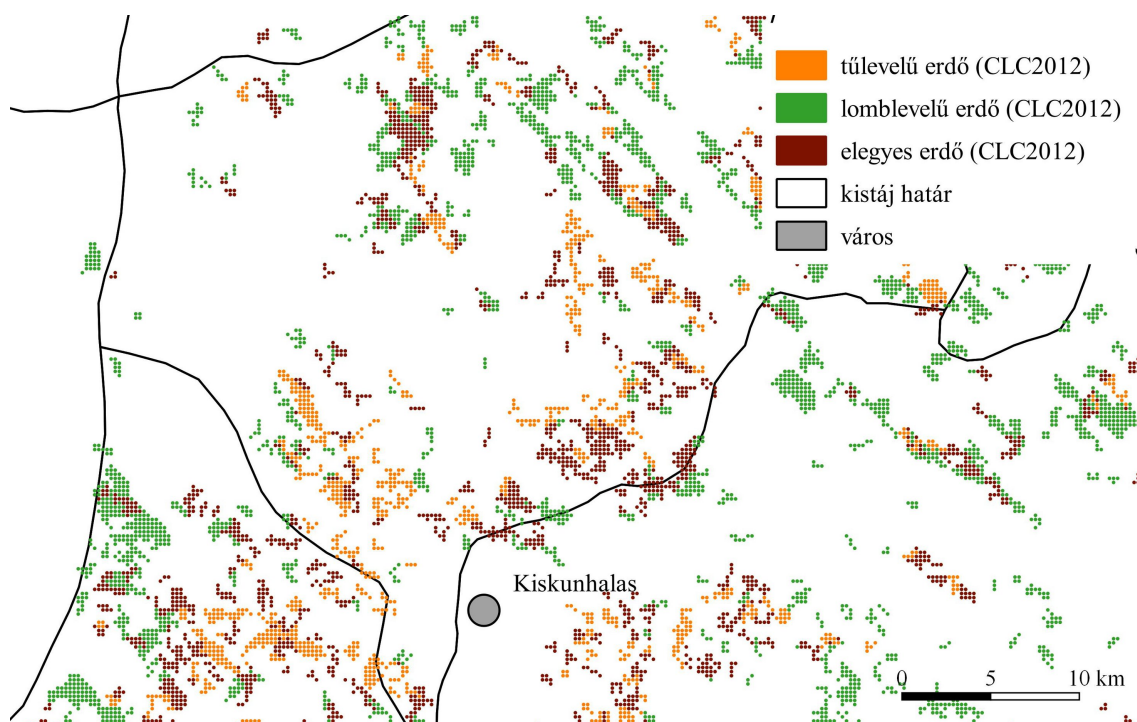
A júliusi korrelációs együtthatók alapján az NDWI teljesített a legjobban. A DDI, az NDDI és a PAI értékek között monoton növekvő, míg a vegetáció- és vízindex értékek és a PAI értékek között monoton csökkenő trend figyelhető meg. A vegetáció- és vízindexeknél a termés és a spektrális indexek között egyenes arányosság, illetőleg az öntözővíz-használat esetén fordított arányosság figyelhető meg. A normalizált differenciált indexek erősebb kapcsolatot mutatnak a statisztikai adatokkal, mint a különbségindexek; leszámítva a DDI-t.

1. táblázat Az indexértékek korrelációs együtthatói (r^2) a júliusi adatsor szerint.

	Index	PAI _{Alföld}	Gabona [kg/ha]	Kukorica [kg/ha]	Öntözővíz [millió m ³]
MOD09A1	DDI	0,87	0,67	0,63	0,51
	NDDI	0,85	0,65	0,64	0,48
	DWI	0,81	0,79	0,77	0,52
	NDWI	0,90	0,80	0,78	0,64
	DVI	0,60	0,69	0,68	0,42
	NDVI	0,78	0,72	0,73	0,64
MOD13A1	EVI	0,63	0,81	0,76	0,35

Biomassza produktum értékelése a Duna-Tisza közti síkvidék erdőire 2000–2016 között

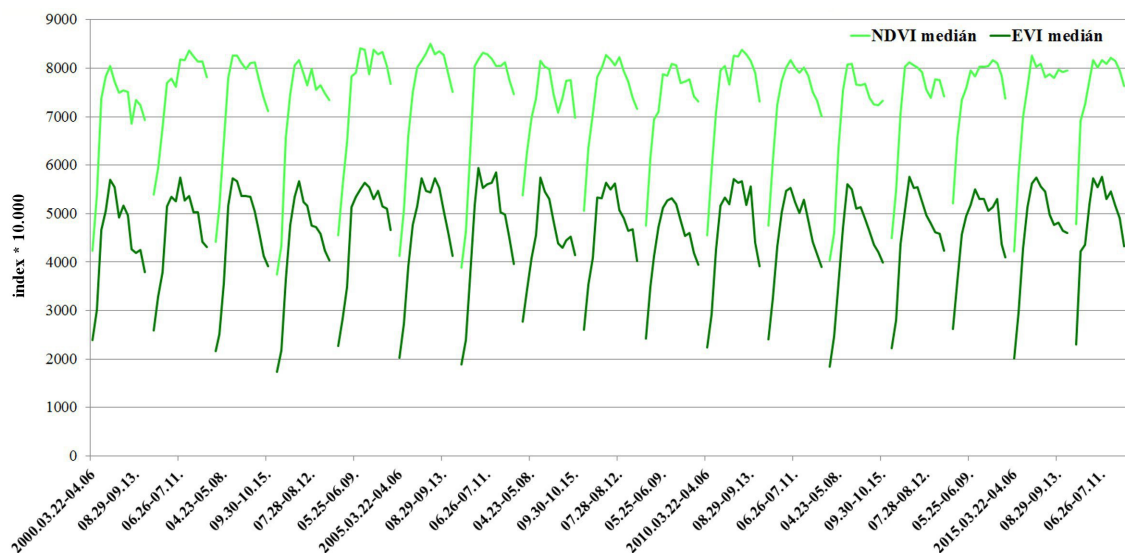
Célunk a természetes vízellátottság megfigyelése a Duna-Tisza közti síkvidék erdeinek megfigyelése alapján, amely jelenleg a 2000–2016 közötti időtartam nyári féléveire történik. A 250 m-es cellaháló szerinti, 66%-os fedettségű és minimum 3 db összefüggő pixelből álló foltok kerülnek elemzésre a Corine Land Cover 2000, 2006, 2012. adatok alapján (4. ábra). Jellemző, hogy a lomblevelűek aránya 52%-ról 63%-ra nőtt, míg az elegyes 35-ről 28%-ra csökkent. A 2012. évi erdők 49%-a hasonló felszínfedettségű 2000 óta.



4. ábra Minimum 66%-os fedettség alapján megfigyelt erdőcellák leválogatása a Duna-Tisza közén

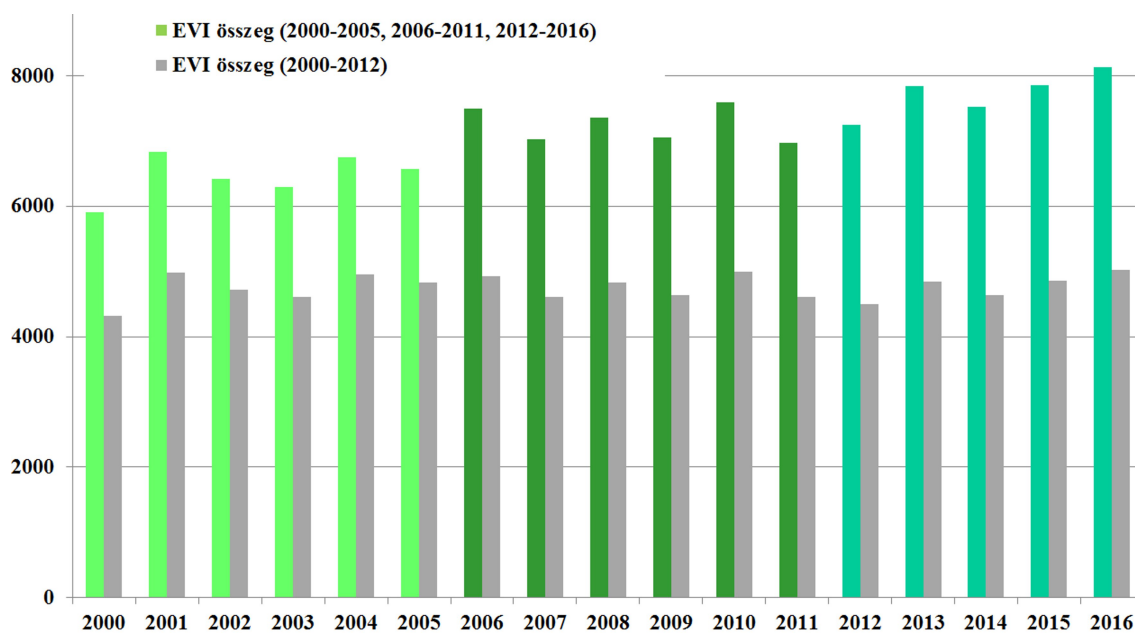
A 2000–2016 közötti, lomblevelűeket jellemző NDVI és EVI átlagértéket mutató adatsorban trend nem mutatható ki (5. ábra).

Az évek közötti különbségre jellemző, hogy a 2012, 20003 és 2000. évi átlagosan legalacsonyabb értékek és a 2016, 2014, 2001. évi átlagosan magas értékek között mindössze 0,05-nyi indexkülönbség jellemző. A legmagasabb értékeket a 2006. évben találjuk, ami a 2004 márciustól jellemző kedvező, csapadékosabb időszak csúcserképe. Jellemző, hogy ez a 2007. évre gyorsan lecsökken. 2010. évre is hiába jellemző, hogy rekordokat döntött csapadéértékben, egyedülálló nedvesebb évként nem mutat kiugró indexeredményeket. A változásokat tekintve feltűnő a 2006–2009 közötti csökkenés. A 2006. és 2010. évek változékonyságán is jól látható a csapadék és a spektrális indexek közötti kapcsolat.



5. ábra Lomblevelű erdő EVI és NDVI medián értékei 2000–2016 között.

A biomassza-termék, index összeg szerinti értéke, az erdők változó kiterjedése miatt a 17 éves adatsorban megbontva vizsgálható (6. ábra). Az állandó erdős felszínnek értékei alapján a 2000. év óta nincs trendszerű változás, de a változékonyság mértéke egy-egy év között akár a 9%-ot is meghaladja. A lomblevelű felszínnek az ezredforduló óta kb. 15%-os növekedést mutatnak, de ennek a biomassza-termék növekedése már 38%.



6. ábra Lomblevelű erdők EVI összeg értéke a CLC szerinti időbeosztásban, illetve az állandóan erdős cellák alapján

Összefoglalás

Az új távérzékelésen alapuló aszályindexek várakozáson felül teljesítettek a vizsgálat során, ezt bizonyítja a referenciaértékkel, a Pálfi-féle aszályindexszel fennálló nagyon szoros kapcsolat.

A jövőben várhatóan előtérbe kerülnek majd azok az indexek, amelyek a növényzet víztartalmában bekövetkező változásokat érzékelik (lásd NDWI), mivel aszály esetén gyorsabban következik be a növényzet vízvesztése, mint a klorofill tartalom csökkenése.

Az összehasonlító értékelés során számításba kell vennünk, hogy a termésátlagokat az aszályon kívül számtalan egyéb környezeti tényező befolyásolja (aratás időpontja, belvíz, kártevők).

A MODIS nagy időfelbontású termékei lehetővé teszik az egész tenyészidőszakra kiterjedő elemzést. Ezen keresztül teljesebb képet kaphatunk a biofizikai indikátorok jellegéről, az indexeknek a gabonafélék fotoszintetikus aktivitásával és nedvességi állapotával fennálló összefüggéseiről.

Az előrejelzések az éghajlati szélsőségek növekedését prediktálják, ezért fontos, hogy a jelenleg a tájban zajló folyamatok tér- és időbeliségét monitorozzuk. Úgy véljük, hogy a közeljövőben egy kiépítendő aszálymonitoring rendszer keretében, spektrális indexek alapján dinamikusan lehatárolhatóak a legsúlyosabban érintett térségek. Meghatározott területekre tájhasználat váltást, vagy vízta-
karékos csepegtető öntözést lehetne szorgalmazni.

Irodalom

- BARTHOLY J.–HORÁNYI A.–KRÜZSELYI I.–PIECZKA I.–PONGRÁCZ R.–SZABÓ P.–SZÉPSZÓ G.–TORMA Cs. 2011. A várható éghajlatváltozás dinamikus modelleredmények alapján. – In.: BARTHOLY J.–BOZÓ L.–HASZPRA L. (szerk.) Klímaváltozás – 2011, Klímaszcenáriók a Kárpát-medence térségére. pp.170-235.
- FIALA K.–BLANKA V.–LADÁNYI Zs.–SZILASSI P.–BENYHE B.–DRAGAN, D.–PÁLFAI I. 2014. Drought severity and its effect on agricultural production in the Hungarian-Serbian cross-border area. – *Journal of Environmental Geography* 7. 3-4. pp.43-51.
- 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.
- 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.
- GULÁCSI A. 2015. Az aszályosság vizsgálata MODIS műholdképekkel számított spektrális indexekkel Magyarországon. Kézirat, OTDK dolgozat, SZTE. p.62.
- GULÁCSI A.–KOVÁCS F. 2015. Drought monitoring with spectral indices calculated from MODIS satellite images in Hungary. – *Journal of Environmental Geography* 8. 3-4. pp.11-19.
- KOVÁCS F. 2012: MODIS műholdkép alapú vegetáció-monitoring 2000-2011 között. – In: LÓKI J. (szerk.) Az elmélet és a gyakorlat találkozása a térinformatikában: III. Debreceni Egyetemi Kiadó, Debrecen. pp. 223-229.
- LAKATOS M.–BIHARI Z.–SZENTIMREY T. 2014. A klímaváltozás magyarországi jelei. – *Légekör* 59. 4. pp.158-163.
- MEZŐSI G.–BLANKA V.–LADÁNYI Zs.–BATA T.–URDEA, P.–FRANK, A.–MEYER, B. 2016. Expected mid- and long-term changes in drought hazard for the South-Eastern Carpathian Basin. – *Carpathian Journal of earth and environmental sciences* 11. 2. pp. 355-366.
- MIKA J. 2014. Szünetelő melegedés – kihívások és következtetések az IPCC jelentéseiben (2013-2014). – In: SANSUM-NÉ MOLNÁR J.–SISKÁNÉ SZILASI B.–DOBOS E. (szerk.) VII. Magyar Földrajzi Konferencia kiadványa, Miskolc. pp.421-428.
- 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.
- RAKONCZAI J. 2011. Effects and consequences of global climate change in the Carpathian Basin. – In: BLANCO, J.–KHERADMAND, H. (eds.) *Climate change – Geophysical foundations and ecological effects*: Intech, Rijeka. pp.229-232.
- 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.
- 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. p.38.
- VIDÉKFEJLESZTÉSI MINISZTERIUM 2012: Az aszály kezelésének hosszú távú koncepciójáról. Konzultációs anyag. Budapest, p.88. <http://2010-2014.kormany.hu/download/7/0a/90000/Aszalystrategia.pdf> (utolsó letöltés: 2016.10. 28.)
- ZARGAR, A.–SADIQ, R.–NASER, B.–KHAN, F. I. 2011. A review of drought indices. – *Environmental Reviews* 19. pp.333-349.