

**DEBRECENI EGYETEM**  
**KERPÉLY KÁLMÁN NÖVÉNYTERMESZTÉSI ÉS KERTÉSZETI**  
**TUDOMÁNYOK DOKTORI ISKOLA**

Doktori Iskola vezető:

**Prof. Dr. Nagy János**  
az MTA doktora

Témavezető:

**Prof. Dr. Blaskó Lajos**  
egyetemi tanár, az MTA doktora



**ASZÁLY ÉS BELVÍZ JELENSÉGEK ÖSSZEHASONLÍTÓ ÉRTÉKELÉSE**

Készítette:

**Gálya Bernadett**  
doktorjelölt

Debrecen, 2018.

## ASZÁLY ÉS BELVÍZ JELENSÉGEK ÖSSZEHAISONLÍTÓ ÉRTÉKELÉSE

Értekezés a doktori (PhD) fokozat megszerzése érdekében a növénytermesztési és kertészeti tudományok tudományágban készült

Írta: Gálya Bernadett környezetgazdálkodási agrármérnök

Készült a Debreceni Egyetem **Kerpely Kálmán Doktori Iskolája** Növénytermesztés és kertészeti tudományok doktori programja keretében

Témavezető: Dr. habil Blaskó Lajos DSc., egyetemi tanár

A doktori szigorlati bizottság:

|        | név                | tud. fokozat |
|--------|--------------------|--------------|
| elnök: | Dr. Kátai János    | DSc          |
| tagok: | Dr. Szabó József   | PhD          |
|        | Dr. Harsányi Endre | PhD          |

A doktori szigorlat időpontja: 2016. december 19.

Az értekezés bírálói:

| név   | tud. fokozat | aláírás |
|-------|--------------|---------|
| ..... | .....        | .....   |
| ..... | .....        | .....   |

A bírálóbizottság:

|         | név   | tud. fokozat | aláírás |
|---------|-------|--------------|---------|
| elnök   | ..... | .....        | .....   |
| tagok   | ..... | .....        | .....   |
|         | ..... | .....        | .....   |
|         | ..... | .....        | .....   |
| titkár: | ..... | .....        | .....   |

Az értekezés védésének időpontja: 20.. ..

## Tartalomjegyzék

|          |                                                                                                                            |    |
|----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1.       | Bevezetés .....                                                                                                            | 4  |
| 1.1.     | A téma jelentősége, aktualitása .....                                                                                      | 4  |
| 1.2.     | A kutatás célkitűzései.....                                                                                                | 6  |
| 2.       | Irodalmi áttekintés .....                                                                                                  | 7  |
| 2.1.     | A klímaváltozás hatásai Magyarországon.....                                                                                | 7  |
| 2.2.     | Az aszály jellemzése .....                                                                                                 | 8  |
| 2.2.1.   | Az aszály fogalma, típusai, kialakulása .....                                                                              | 8  |
| 2.2.2.   | Az aszály jelenségének térbeli és időbeli lehatárolása .....                                                               | 11 |
| 2.3.     | A belvíz jellemzése .....                                                                                                  | 19 |
| 2.3.1.   | A belvíz fogalma, típusai, kialakulásának feltételei .....                                                                 | 20 |
| 2.3.2.   | A belvíz térbeli és időbeli jellemzése .....                                                                               | 23 |
| 3.       | Anyag és módszer .....                                                                                                     | 30 |
| 3.1.     | Mintaterületek bemutatása .....                                                                                            | 32 |
| 3.1.1.   | Alföld .....                                                                                                               | 32 |
| 3.1.2.   | Szolnok–Túri-sík .....                                                                                                     | 33 |
| 3.1.3.   | Nyírség.....                                                                                                               | 34 |
| 3.1.4.   | Észak-Nyírség (Nyírbátor).....                                                                                             | 34 |
| 3.2.     | Felhasznált adatok, szoftverek, adatelőkészítési módszerek bemutatása.....                                                 | 35 |
| 3.2.1.   | Felhasznált adatok ismertetése.....                                                                                        | 35 |
| 3.2.2.   | A kutatás során felhasznált szoftverek bemutatása.....                                                                     | 39 |
| 3.2.3.   | A kutatás során alkalmazott adatelőkészítési módszerek bemutatása .....                                                    | 41 |
| 3.3.     | Meghatározó aszályindex számítása különböző földrajzi régiókban .....                                                      | 44 |
| 3.3.1.   | Aszályindexek számításának bemutatása .....                                                                                | 44 |
| 3.3.2.   | Normalizált hibrid aszályindexek számításának módja.....                                                                   | 46 |
| 3.4.     | Aszály folyamatok értékelésére biomassza vizsgálatok alkalmazásával,<br>idősoros műholdas spektrális adatok alapján.....   | 47 |
| 3.5.     | A belvizek összegyülekezési és lefolyási viszonyainak értékelési módszerei. 49                                             |    |
| 3.5.1.   | Belvízzel veszélyeztetett területek leválogatása idősoros radar távérzékelési<br>adatok alkalmazásával .....               | 49 |
| 3.5.2.   | Belvízzel veszélyeztetett területek leválogatása különböző forrásból<br>származó domborzatmodellek alkalmazása esetén..... | 49 |
| 3.5.2.1. | Belvízzel veszélyeztetett területek leválogatása digitalizálással készült<br>DEM esetében.....                             | 50 |

|                                                                                                                                                                     |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 3.5.2.2.    Belvizzel veszélyeztetett területek leválogatása LiDAR felvételezésből származtatott DEM alapján.....                                                   | 50  |
| 4. Eredmények .....                                                                                                                                                 | 52  |
| 4.1. Meghatározó aszályindexek eredményeinek kiértékelése különböző földrajzi régiókban .....                                                                       | 52  |
| 4.1.1.    Aszályindexek kiértékelése a Szolnok–Túri-sík és a Nyírség esetében ...                                                                                   | 52  |
| 4.1.2.    NDVI értékek kiértékelése a Szolnok–Túri Síkon és a Nyírségben.....                                                                                       | 59  |
| 4.1.3.    Normalizált Hibrid Aszályindex eredményeinek ismertetése az Alföld, Szolnok–Túri-sík és a Nyírség esetében .....                                          | 63  |
| 4.1.3.1.    Normalizált hibrid aszályindex eredményeinek kiértékelése a Szolnok-Túri-sík és a Nyírség esetében.....                                                 | 63  |
| 4.1.3.2.    Normalizált hibrid aszályindex eredményeinek kiértékelése a Nyírség esetében                                                                            | 65  |
| 4.1.3.3.    Normalizált hibrid aszályindex térbeli megjelenítése az Alföldön ...                                                                                    | 66  |
| 4.2.    Aszály folyamatok értékelése biomassa vizsgálatok alkalmazásával, idősoros műholdas spektrális adatok alapján a Szolnok-Túri-sík és a Nyírség esetében..... | 68  |
| 4.3. Belvizzel kapcsolatos vizsgálati eredmények és azok kiértékelése.....                                                                                          | 69  |
| 4.3.1.    Belvizzel veszélyeztetett területek leválogatásának eredményei idősoros radar távérzékelési adatok alapján a Szolnok–Túri-sík esetében.....               | 69  |
| 4.3.2.    Belvizzel veszélyeztetett területek leválogatása különböző forrásból származó domborzatmodell alkalmazásának kiértékelése a Nyírség esetében .....        | 74  |
| 4.3.2.1.    Belvizes területek leválogatása digitalizálással készült DEM esetében                                                                                   | 74  |
| 4.3.2.2.    Belvizes területek lehatárolásának eredményei a légi LiDAR alapján előállított DEM alapján a Nyírség esetében .....                                     | 75  |
| 4.2.2.3. A domborzatmodellek összehasonlító vizsgálata .....                                                                                                        | 82  |
| Következtetés, javaslatok.....                                                                                                                                      | 87  |
| Új tudományos eredmények .....                                                                                                                                      | 89  |
| Összefoglalás (magyar nyelven).....                                                                                                                                 | 91  |
| Összefoglalás (angol nyelven) .....                                                                                                                                 | 96  |
| Irodalom (felhasznált irodalom) .....                                                                                                                               | 101 |
| Mellékletek .....                                                                                                                                                   | 131 |

# **1. Bevezetés**

## **1.1. A téma jelentősége, aktualitása**

A termőhely megismerése a gazdasági termelés alapvető feltétele. A termőhelyi adottságok gyorsan változó folyamatok eredményeként módosulhatnak, mivel az agráriumot több paraméter határozza meg, ezek közül kiemelkedő az éghajlat. A természeti erőforrásokban, a természeti környezetben a klímaváltozás és a szélsőséges időjárás súlyos károkat okozhat.

Magyarországon a mezőgazdaság jelentős szerepet játszik az élelmiszer ellátásban, a társadalmi fenntarthatóság kialakításában és munkahelyteremtésben egyaránt. Hazánk természeti adottságai mezőgazdasági termelés szempontjából az átlagosnál kedvezőbbek. A mezőgazdasági termelésre alkalmas, művelhető földterület > 5,7 millió ha.

A természeti erőforrások védelme a mező- és erdőgazdaság kiemelkedő feladata, azonban ezeket több kockázati faktor befolyásolhatja. A kockázatokat többféleképpen lehet csoportosítani: termelési-, pénzügyi -, piaci vagy árkockázat-, intézményi-, vagy személyi kockázat. Ez a csoportosítás jelenleg az Európában széles körben elfogadott kockázati osztályozás.

A termelési kockázat közé tartoznak a növénytermesztési tevékenységek kockázatai és bizonytalanságai. A termékek mennyiségi és minőségi jellemzőit különböző tényezők határozhatják meg, többek között aszály, csapadék, betegségek (SZÉKELY és PÁLINKÁS, 2008).

A termőképességet csökkentheti: a csapadékhiány, a felmelegedés, továbbá az időjárási szélsőségek gyakoriságának növekedése. A különböző mezőgazdaságban hasznosítható erőforrások fenntartható használatában fontos szerepet játszik a klímaváltozásra való felkészülés (TAMÁS, 2013).

A klímaváltozás kockázatát tekintve a vízhez kapcsolódó kockázatok jelentik az egyik fő veszélyt a mezőgazdasági termelésre. Hazánkban 10 év átlagában rendszeresen 2-3 év belvizes, míg 2-3 év aszályos. Ezek gyakran azonos évben és nagyrészt azonos régióban következnek be, máskor térben és időben egyaránt nagyon változók lehetnek a kárpát-medencei alföldeken, ahol a jövőben egyre gyakoribbak lehetnek (VÁRALLYAY, 2008). Az utóbbi évtized tapasztalatai megerősítik, hogy a Kárpát-medencében az egyre gyakoribb aszályok mellett is számolni kell az ár- és belvíz kockázatával (LÁNG et al., 2006; BLASKÓ, 2011).

Hazánkban az aszályos évek is egyre gyakoribbá váltak az utóbbi időszakban (2003, 2007, 2009, 2012), amely a termésátlagok csökkenésében is megmutatkozik. Magyarország területének jelentős része aszályal veszélyeztetett. Aszálymentesnek csupán az ország nyugati, délnyugati része tekinthető. Az aszály közvetlen kiváltó oka a természetes tényezők eredménye (SZALAI, 2012). Az aszály kialakulását nagymértékben befolyásolja a változó éghajlat, a növekvő hőmérséklet, a kevesebb csapadék, a párolgás mértéke, valamint a talaj nedvességtartalma, vízraktározó képessége. Gyakrabban alakul ki aszály olyan területeken, ahol a domborzati viszonyoknak köszönhetően lejtős terep jellemző, hiszen ebben az esetben a csapadék jelentős része lefolyik, nem szivárog be a talajba (VARGA et al., 2005). Az aszály kiértékelése nehézségekbe ütközik, mivel a térbeli és időbeli lehatárolása egyaránt problémaként jelentkezik. Az aszály jellemzésére az aszály indexek széles körben elterjedtek, azonban nincs egységes módszer az aszályok karakterizálására. A különböző indexek eltérő bementi adatokkal, időbeli léptékkel rendelkeznek, illetve eltérő módon jelzik az aszályt, ezért a dolgozatomban egy egységes aszályosztályozási rendszer kialakítására helyezem a hangsúlyt, de azt is szeretném kiemelni, hogy az aszály jelenség vizsgálatát a térbeli átfedések miatt célszerű a belvízzel együtt kezelni, ezért a mintaterületeimen mindkét jelenséget vizsgáltam.

A dolgozatom másik felében a belvízzel kapcsolatos vizsgálataimat és ezek eredményeit mutatom be. A természeti csapások közül az egyik legjelentősebb a belvíz okozta elöntés, azonban a térbeli és időbeli lehatárolása szintén problémaként jelentkezik a gyakorlatban. A belvízi jelenség általában sík vidékekre jellemző, így Magyarország területének több mint a fele belvízzel veszélyeztetett, kiemelten igaz a belvívészélyeztetettség az Alföldre (PÁLFAI, 1994).

A síkvidéki vízrendezés, a belvízrendezés hazánkban a XIX. század közepén kezdődött el, a nagyszabású árvízmentesítési munkákat követően (THYLL, 1997). A nyolcvanas és kilencvenes évek sorozatos aszályos évei - és a jelentkező gazdasági nehézségek - ismét háttérbe szorították a belvízrendszerekkel kapcsolatos tevékenységeket, így a karbantartást, fejlesztést, kutatást. THYLL és BÍRÓ (1999) szerint azonban a csapadékeloszlás ciklusosságát ismerve nem szabad megfeledkezni a csapadékmaximumok újabb, akár éveken keresztül jelentkező előfordulásáról. A belvíz az ezredforduló tájékán többször és nagy területi kiterjedéssel jelentkezett (PÁLFAI, 2008). Napjainkban a veszélyeztetett terület aránya az európai országok között hazánkban a legnagyobb. A belvíz a hazánk területének 45%-át kitevő lefolyástalan területeken okoz

károkat főként a mezőgazdaságban, de településeket, közlekedési útvonalakat és iparterületeket is veszélyeztethet (KVASSAY JENŐ TERV, 2015).

A belvizek megjelenéséhez számos főleg természetes eredetű tényező járul hozzá, amelyek hatását az emberi tevékenység felerősítheti vagy csökkentheti (PÁLFAI, 2004). A földhasználatban bekövetkezett változások az érintett térségek lefolyási és összegyülekezési folyamatait kedvezőtlen irányba módosíthatják, ezzel felerősítve a belvíz kialakulásának kockázatát is (THYLL, 1999).

## **1.2.A kutatás célkitűzései**

A mezőgazdaságot érintő szélsőséges vízgazdálkodási helyzetek (aszály, belvíz) egyre nagyobb kihívást jelentenek világszerte, így Európában és Magyarországon is. Az éghajlatváltozás következtében ezek előfordulásának gyakorisága növekszik, ami miatt a problémák súlyosabbá válnak. Az aszály és belvíz időbeli és térbeli lehatárolása jelenti a vizsgálatok során az egyik fő bizonytalansági tényezőt.

A kutatásaim fő célkitűzése az aszály és a belvíz, mint mezőgazdaságot érintő legnagyobb klimatikus kockázati tényezők időbeli és térbeli változékonyságának vizsgálati módszerét tovább fejlesztve az eddigieknél pontosabb, összehasonlíthatóbb eredmények elérése érdekében.

### **Részletesebb kutatási célkitűzések:**

- néhány meghatározó aszályindex alkalmazhatóságának értékelése hidrológiailag eltérő mintaterületeken, valamint egy normalizált hibrid aszályindex kidolgozása és alkalmazhatóságának vizsgálata különböző referencia területeken,
- aszály folyamatok értékelésére biomassa alkalmassági vizsgálatok alkalmazása, idősoros műholdas spektrális adatok alapján,
- módszertan kidolgozása belvizek összegyülekezési és lefolyási viszonyainak értékelésére, idősoros radar távérzékelési adatok alkalmazásával, valamint különböző forrásból származó digitális domborzatmodelleken.

## **2. Irodalmi áttekintés**

Az aszály és a belvíz témakörét illetően rendkívül szerteágazó irodalom áll rendelkezésre, ezért az alábbi sorrendben kívánom tárgyalni az irodalmi fejezetet, mivel ezek kapcsolódnak szorosan a kutatási témához: a klímaváltozás hatásai Magyarországon; valamint az aszály és belvíz jellemzői, térbeli és időbeli lehatárolása.

### **2.1. A klímaváltozás hatásai Magyarországon**

Magyarország éghajlatát a kontinentális, mediterrán és óceáni klíma együttesen határozza meg, amelyek változékony éghajlatot eredményeznek, a Kárpát-medence domborzati hatásaival együtt. A szélsőséges időjárási helyzethez köthetjük a természeti katasztrófák egy részét (LÁNG, 2006).

A klímaváltozásról alkotott nézetek, illetve az erről készült forgatókönyvek eltérőek egymástól. Azonban tény, hogy a XXI. század nagy kihívása a globális klímaváltozás következményeinek kezelése, illetve a várható regionális változásokra való felkészülés, azokhoz való alkalmazkodás (BARTHOLY et al., 2011).

A Magyar Tudományos Akadémia VAHAVA projektjének (LÁNG, 2005) jelentése alapján a legeggyöntetűbb változások a hőmérséklet tendenciájában tapasztalhatók (BIHARI et al., 2008). A hőmérsékleti átlagot tekintve hazánk követi a globális változásokat, azonban évszakosan már nagyobb különbségek mutatkoznak (LÁNG et al., 2006), illetve nőtt az aszályok és árvizek gyakorisága (BARTHOLY és PONGRÁCZ, 2013).

A meteorológiai elemek közül hazánkban a csapadék nagyon változékony, amely térben és időben egyaránt megmutatkozik (KONKOLYNÉ et al., 2008), továbbá elmondható, hogy Magyarországon az éves csapadékmennyiség csökkenése figyelhető meg (BARTHOLY, 2011). Egyes vizsgálatok szerint az éves lefolyás éven belüli átrendeződéséhez vezethet a csapadék térbeli és időbeli változékonysága (NOVÁKY, 2000; STAROSOLSKY, 1994).

LÁNG et al. (2006) ismertették, hogy az aszályos és belvizes évek eltérőek gyakoriság, területi kiterjedés és az okozott károk tekintetében. A 2012-ben megjelent ASZÁLYSTRATÉGIA szerint (I1) azonban az aszály az árvizekhez, belvizekhez hasonló nagyságú területeket érint, és az aszály által okozott károk meghaladják az árvizek és a belvizek által okozott károk nagyságát. SZINAY (2009) elemezte a két vízgazdálkodási szélsőséget 1951. és 2007. között. Elemzése alapján a fenti időszakban 32 év volt

aszálymentes, és belvízmentesnek 10 év volt tekinthető. A belvizes évek száma összesen 11, amelyek közül 3 volt a rendkívül belvizes évek száma, valamint 7 volt a nagyon erősen belvizes évek száma. LÁNG et al. (2006) szerint az aszály jelenti a fő veszélyt a mezőgazdaságra, de véleményük szerint egyaránt fel kell készülni a belvízre, árvízre, fagykárokra, jégverésre, helyi özönvizekre, zivatarokra, ezek lehetséges megelőzésére, a károk csökkentésére. SZALAI és LAKATOS (2010) kijelentették, hogy hazánk aszályhajlama növekszik, ami kiterjedtebb monitoring tevékenységet igényel. A hatások vizsgálata összehangolt, nemzeti tevékenységet tesznek szükségessé.

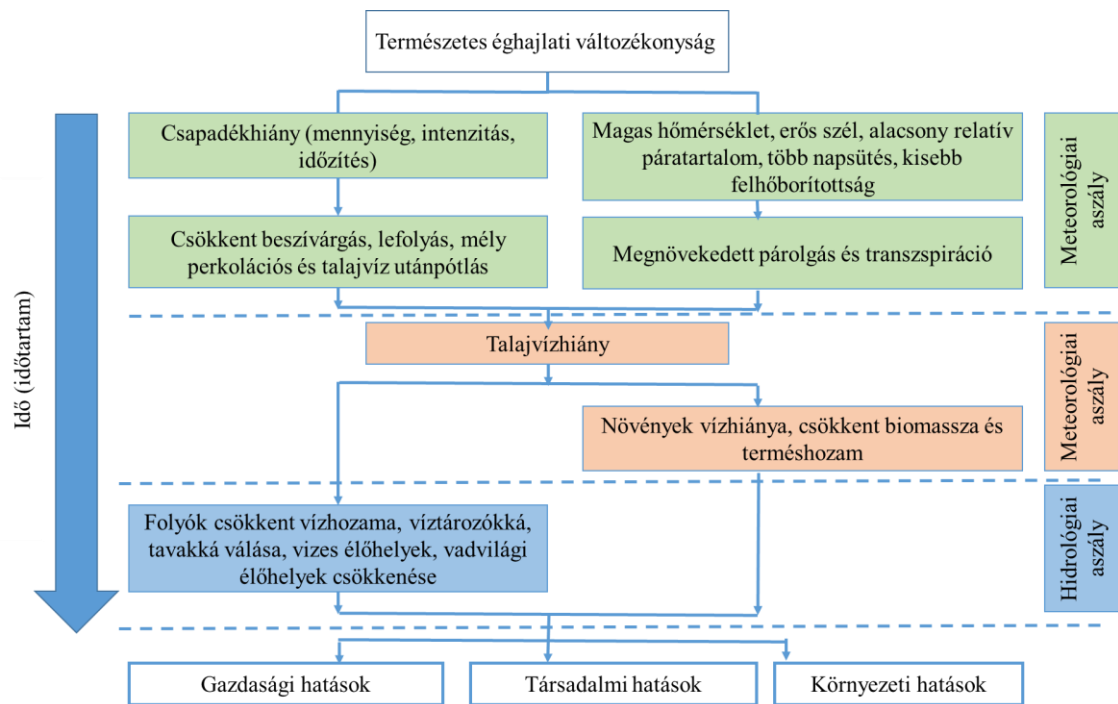
A szakirodalmi áttekintés következő fejezeteiben az aszály és a belvíz fogalmát, típusait, kialakulásának folyamatait valamint térbeli és időbeli lehatárolásának módjait ismertetem.

## **2.2. Az aszály jellemzése**

### **2.2.1. Az aszály fogalma, típusai, kialakulása**

Az aszály jellemzése, valamint az egyes területek aszályérzékenységének meghatározása fontos feladat (BELLA, 2003), hiszen jelentős eltéréseket tapasztalhatunk az aszály fogalmi rendszerére vonatkozóan (WHITMORE, 2000). A KVASSAY JENŐ TERVBEN (2015) az alábbi fogalmat használják az aszály leírására: az aszály összetett jelenség, mint vízhiányos állapot alapvető indikátora a hazai vízválságnak.

WILHITE és GLANTZ (1985) több, mint száz definíciót gyűjtött össze az aszály fogalmának leírására, amelyek közül kiemelték, hogy az aszály a tartós csapadékhiány és a kialakult magas hőmérséklet együttesét jelenti. Az aszályokat az alábbi csoportokba sorolhatjuk: meteorológiai, mezőgazdasági, hidrológiai, társadalmi - gazdasági aszály (1. ábra).



**1. ábra:** Különböző aszálytípusok közötti kapcsolat (saját szerk. BIHARI et al., 2012 nyomán)

*Meteorológiai aszály* alatt azt értjük, amikor a csapadékhiány a tartósság és/vagy intenzitás szempontjából átlaghoz viszonyítva hosszú időn keresztül, esetenként többéves időszakban előfordul, illetve amikor hosszabb-rövidebb időn át kevesebb a csapadék mennyisége, mint a területre jellemző átlagérték (vagy %-os érték). Különböző időpontokban lehetővé válik a szélsőségek erősségének, kiterjedésének, időtartamának az eltérő területeken történő összehasonlíthatósága (BELLA, 2003). A meteorológiai aszály mérése jelentős bizonytalansággal terhelt. Az adatok használatát megnehezíti, hogy az idősoros adatokban nagyon sok heterogenitás fordul elő (LAKATOS et al., 2013). A *mezőgazdasági aszály* az a vízhiányos állapot, amikor a vízhiány miatti termés kiesés eléri vagy meghaladja a sokévi átlag 25%-át. Hatásai széleskörűek, melyek több tényezőtől függenek, ezeket részletesen megismerhetjük WHITMORE (2000) anyagából. TAMÁS et al., (2015); RICZU et al., (2016) szerint a növénytermesztés vízgazdálkodási kiszolgáltatottsága jelentősen megnőtt, ezért a megelőzés irányába szükséges elmozdulni az aszálykár elhárítása szempontjából. A *hidrológiai aszály* definíciója BUSSAY (1999) szerint, amikor a vízkészletek mennyisége a tartós csapadékhiány miatt jelentősen csökken. *Gazdasági-társadalmi aszályról* akkor beszélhetünk, amikor a fizikai vízhiány hatással van az egészségre, jólétre, életminőségre, illetve amikor veszélybe kerül egy gazdasági termék előállításához szükséges vízellátás. A csökkenő vízellátás mérhető

hatása a társadalomra, pl. termelés-kiesés, a vízi úton történő szállítás korlátozása, az ivóvíz ellátás korlátozása (ASZÁLYSTRATÉGIA, 2012).

A vízgyűjtőkön a természetes és a mesterséges vízelvezetést követő csapadékhányos időszakban, a talajban tárolt vízmennyiség csak rövid ideig tudja növényzet vízigényét kielégíteni. Így a belvizes vagy túlnedvesedett területek nagy részén komoly aszálykárok jelentkezhetnek – akár ugyanabban az évben is (VÁRALLYAY, 2002; TAMÁS, 2016). Az intenzív esőzések formájában lehulló csapadék a hidrológiai ciklus intenzívebbé válásának következtében alakulhat ki, amely az éves csapadékmennyiség csökkenése esetében is bekövetkezhet (LÁNG, 2005).

A párolgást a meteorológia alapvetően légköri, illetve környezeti paraméterekből származtatható mennyiségként írja le. Alkalmazási területe széles, számos index alapja (SZÁSZ, 1988). Fontos mutató lehet többek között a növénytermesztés potenciális termelékenységeinek becslésében (LEITH, 1975), valamint a klímaváltozás hatásainak leíró modellezésében (ANTAL, 2000). A lefolyási és párolgási viszonyokat a domborzat, a talajadottságok és a földhasználat módja befolyásolja. A rendszerváltozást követően földhasználatban bekövetkezett változások kedvezőtlen irányba módosíthatották a lefolyási és összegyülekezési folyamatokat, felerősítve ezzel a belvíz kialakulásának kockázatát (THYLL, 1999). A legjobb talajadottságú gyepeket feltörték – a földhasználat változás következtében-, a megmaradó gyepek talajára pedig gyenge tápanyag szolgáltató-képesség, rossz víz- és levegőgazdálkodás jellemző (ZSIGRAI, 2012). A különböző típusú felszínborítási, földhasználati kategóriák fontossága eltérő a belvízképződés szempontjából (KÖRÖSPARTI et al., 2009).

Az aszályproblémák kezelésére való felkészülés esetében szükséges az aszály számszerűsítése. Az aszály mérési gyakorlata nem egységes, illetve az összehasonlíthatóság hazai és nemzetközi korlátokba ütközik (LAKATOS et al., 2013).

A jobb adathozzáférés érdekében olyan indexek alkalmazása lehet indokolt, amelyekhez rendelkezésre állnak részletesebb adatbázisok. Az utóbbi időben javult a távérzékelési szenzorok spektrális és tér/időbeli felbontása, amely újabb indexek bevezetését teszi lehetővé (TAMÁS, 2016).

Az aszály monitoring elengedhetetlen része a korai megfigyelés, valamint a megfelelő intézkedések elvégzése a várható károk enyhítésére (WILHITE et al., 2005; WILHITE 2009; BORDI és SUTERA, 2007). Az aszály elemzésében a fő változó a csapadék (TSAKIRIS et al., 2008). Az aszály monitoring rendszer kialakításához szükséges, hogy

rendelkezésre álljanak archív klimatikus adatsorok az adott területre, míg az új adatoknak folyamatosnak kell lennie, havi részletességgel (TSAKIRIS és PANGALOU, 2009).

Az időskála és a mintaterület kiválasztása rendkívüli jelentőséggel bír, amivel akár egyéves időskálán az aszály hatását vízgyűjtő vagy rezervoár szintjén lehet vizsgálni, addig a rövidebb időskálán (például havi vagy három havi időszakra) a mezőgazdaságra gyakorolt hatását lehet nyomon követni (TIGKAS et al., 2014).

Dolgozatomban főként a meteorológiai aszály regionális vizsgálatával foglalkoztam, mivel a meteorológiai aszály következtében lép fel a mezőgazdasági aszály.

### 2.2.2. Az aszály jelenségének térbeli és időbeli lehatárolása

Aszerint, hogy az aszály mennyi időn keresztül áll fenn, az aszály időbeli kiterjedéséről beszélhetünk. Fontos meghatározni, hogy az aszály az év melyik időszakában, milyen hosszú időn keresztül, és milyen intenzitással jelentkezik (MARACCHI, 2000).

Általánosságban megállapítható, hogy az aszály természetes jelenség, azonban a klímaváltozás különösen felerősíti a kialakulásának kockázatát. Hazánkban az aszályos időszakok előfordulása nőtt, főleg a gördülő aszály jelenség jelent problémát, ami azt jelenti, hogy az egymást követő aszályos évek halmozódása fokozza a káros hatásokat (PÁLFAI, 1992).

Az aszály megjelenését alapjában véve a globális időjárási jelenségek befolyásolják. HORÁNYI et al. (2011) szerint Magyarországon a több évig tartó, aszályos időszakok gyakrabban fordulnak majd elő. Egyes becslések szerint a közeljövőben a Kárpát-medence félsivatagi területté válhat a regionális éghajlati modellek alapján, melyek miatt az aszály kiterjedése és gyakorisága is növekedni fog (BARTHOLY et al., 2007). Továbbá jellemző lehet, hogy ezeket az időszakokat, nagy intenzitású csapadékos periódusok szakíthatják meg. Ezért fontos a megelőzés szempontjából, hogy lokálisan és globálisan a hidrológiai folyamatok kapcsolatrendszerét pontosabban feltárjuk (LEHNER et al., 2006). A regionális klímamodellek egyértelmű melegedést irányoznak elő a XXI. századra a Kárpát-medence térségére, minden évszak és modell esetében statisztikailag szignifikáns módon, különös tekintettel az ország keleti és déli részein (ASZÁLYSTRATÉGIA, 2012). Magyarországon az átlagos éghajlati vízhiány 200-250 mm (SOMLYÓDY, 2011).

Az aszály súlyosságát tekintve az Alföld veszélyeztetettsége a legnagyobb, azonban az ország területének 90%-át érinti (PÁLFAI et al., 1999).

Az aszály időbeli jellemzése elsősorban egy terület szárazságának a kimutatására szolgál a korábbi adatok alapján, alkalmas lehet az aszály térbeli és időbeli ábrázolására. Az aszály térbeli leírásának az alapja sok esetben egy hidrológiai terület (DALEZIOS et al., 2012; KANELLOU et al., 2008).

Az aszály jellemzése jelentős lehet a jövőbeni aszályok kockázat elemzésében, illetve az aszály hatásainak meghatározásában a különböző szektorokban (gazdaság, környezet, társadalom stb), valamint felkészülési tervek készítésében is (ROSSI et al., 1992). Az aszály számszerűsítésére többféle módszer áll rendelkezésre, az aszályindexek számításától a műholdas eljárásokig. Lehetővé válik ezáltal, hogy az aszályok mértékét térben és időben összehasonlítsuk. Az aszályindexek nagy részét számszerűsített meteorológiai elemekből számíthatjuk, majd pedig térképi ábrázolást követően lehetővé válik az aszály monitoringja.

A különböző típusú aszályok és az eltérő éghajlati régiók vizsgálatára különböző indexeket fejlesztettek ki, ezért általánosan kifejlesztett index nincs (BIHARI et al., 2012).

A célkitűzéseim között szerepelt néhány meghatározó meteorológiai aszályindex kiszámítása és magyarországi alkalmazásának vizsgálata. Az indexeket a WMO-GWP (World Meteorological Organisation and Global Water Partnership) Aszályindexek és indikátorok kézikönyvéből (GWP HANDBOOK OF DROUGHT INDICATOR AND INDICES, 2016) választottam ki. Az egyszerű indikátorok tipikusan a gyakorlatban alkalmazhatóak, szabadon elérhetőek, mind helyi, regionális és nemzeti szinten (SIVAKUMAR et al., 2011).

A továbbiakban a nemzetközi használatban lévő index közül az Ellenberg Indexet, az SPI-t (*Standardized Precipitation Index - Standardizált Csapadék Index*), az RDI-t (*Reclamation Drought Index- Aszályfelismerési Indexet*), valamint a hazai gyakorlatban alkalmazott Pálfai-féle ariditási indexet, illetve a távérzékelési indexek közül a Normalizált Differenciál Vegetációs Indexet (NDVI) mutatom be.

Az *Ellenberg-féle klímahányadost* ELLENBERG (1988) dolgozta ki a csapadék és a hőmérséklet tendenciáinak ökológiai szempontú vizsgálatára.

A *Standardizált Csapadék Index* az egyik legelterjedtebb, a nemzetközi gyakorlatban használt csapadékindex, amelyet MCKEE et al. (1993, 1995) dolgozott ki. Az index tulajdonképpen az adott időszak csapadék előfordulási valószínűségét adja meg. Bemenő paraméter a csapadék mennyisége. 2009-ben a WMO ajánlotta az SPI-t, mint a fő meteorológiai aszályindexet, amelyet az országoknak használnia kellene, hogy

megfigyeljék és nyomonkövessék az aszályok állapotát. A Délkelet-Európai Aszálykezelési Központ (DMCSEE) az SPI alapján működtet aszálymonitoring rendszert (BIHARI et al., 2012). Mivel az SPI egy normalizált érték, így száraz és nedves klíma esetén is használható. THOM (1958) megállapította, hogy gamma eloszlással jól leírhatóak a klimatikus csapadék idősorok (1. egyenlet). A gamma eloszlás pedig gyakorisági vagy valószínűségi függvénnyel írható le:

**1. egyenlet:** A gamma eloszlás leírása

$$g(x) = \frac{1}{\beta^{\alpha} \tau_{(\alpha)}} x^{\alpha-1} e^{-x/\beta}, x > 0$$

Ahol:

- $\alpha$  és  $\beta$  forma és skála paraméterek
- $x$ - csapadék összeg
- $\tau_{(\alpha)}$  gamma függvény

Az  $\alpha$  és  $\beta$  paraméterek különböző helyeken és időközönként vizsgálhatóak (1, 3, 6, 9, 12 hónap). Legnagyobb valószínűség becslés a következőképpen számítható a paraméterekre (2. egyenlet):

**2. egyenlet:** Legnagyobb valószínűség becslés leírása

$$\alpha = \frac{1}{4A} \left( 1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}} \right)$$

$$\beta = \frac{\bar{x}}{\alpha}, \text{ ahol } A = \ln(\bar{x}) - \frac{\sum \ln(x)}{n}$$

Ahol az  $n$  a megfigyelések számát jelöli. Az így kapott paraméterek alkalmasak rá, hogy a kumulált valószínűséget meghatározzák a vizsgált csapadék eseményre adott hónapra és időskálára a vizsgált helyen.

Mivel a gamma függvény nincs értelmezve nullára, és a csapadék eloszlása is tartalmazhat nullát, így a kumulatív valószínűség az alábbi módon fejezhető ki (3. egyenlet):

**3. egyenlet:** Kumulatív valószínűség kiszámítása

$$H(x) = q + (1 - q)G(x)$$

Ahol:

$q$  - a nulla csapadék valószínűsége

$G(x)$  – a hiányos gamma függvény kumulatív valószínűsége

A  $H(x)$  kumulatív valószínűség átalakítható standard, normál változóvá (ABRAMOVITZ és STEGUN, 1965), így megkapható az SPI érték. Minél alacsonyabb az SPI érték, annál nagyobb a szárazság. Általában -1 és +1 érték között tekintjük a helyzetet normálisnak, felette nedves, alatta száraz időszakról beszélünk. A különböző időtartamú SPI-vel végzett kutatások azt mutatják, hogy a szárazodás elsősorban a hosszabb időléptékben jelenik meg, azaz a havi csapadékösszegekben kevésbé figyelhető meg egy szárazodási tendencia, mint nagyobb, féléves, éves vagy még hosszabb időtávban (TAMÁS, 2013). Az adott helyre történő SPI-számítás egy kívánt periódusra vonatkozó sokéves csapadék adatokra alapozódik (TSAKIRIS és VANGELIS, 2004). Ezeket a sokéves adatokat egy gyakorisági eloszláshoz igazítják, majd normál eloszlás szerint alakítják, így az adott helyre és a kívánt időszakra vonatkozó átlagos SPI érték nulla lesz. Mivel az SPI normalizált mutató, a nedvesebb és a szárazabb időjárás ugyanígy jellemezhető, és a nedves periódusok szintén jelezhetőek az index segítségével. Az egyhavi SPI használata esetében a talajnedvesség értékekről kaphatunk rövid távú információt, ha 3 havi értékeket használunk, akkor a meteorológiai, ha 6 hónapra, akkor mezőgazdasági, ha 12 hónapra számítjuk, akkor hidrológiai hatások vizsgálatára alkalmas (GUTTMAN, 1998; 1999; WMO, 2012; WU et al., 2005). Az 1. táblázat az SPI-3 értékeit és az ehhez kapcsolódó aszály osztályozási értékeit tartalmazza.

**1. táblázat:** Az aszály osztályozása az SPI-3 értékek alapján

| SPI-3 érték          | Kategória           |
|----------------------|---------------------|
| 2 vagy több          | extrém nedves       |
| 1,50 és 1,99 között  | nagyon nedves       |
| 1,00 és 1,49 között  | mérsékeltlen nedves |
| -0,99 és 0,99 között | közel normális      |
| -1 és -1,49 között   | mérsékeltlen száraz |
| -1,5 és -1,99 között | erősen száraz       |
| -2,00 vagy kevesebb  | extrém száraz       |

(saját szerk. BIHARI et al., 2012 nyomán)

VERMES (2000) szerint aszály következik be minden esetben, amikor az SPI értéke folyamatosan negatív, és az aszály intenzív szakaszba lép, amikor az SPI értéke -1 vagy ennél kisebb. Az esemény akkor ér véget, amikor az SPI értéke ismét pozitív lesz. Ezzel a mutatóval minden aszály eseménynek meghatározható tehát a kezdete és a vége, valamint az intenzitása minden hónapban, ameddig az aszályos időszak tart. Az aszály

éven belüli változásainak kimutatására az SPI kellő információt nyújthat (ASZÁLYSTRATÉGIA, 2012). Előnyei közé tartozik a világszerte elterjedt használat, a mérsékelt adatidény és a számolások megbízhatósága (BIHARI et.al., 2012).

Az aszályfelismerési Indexet (*Reclamation Drought Index - RDI*) az Amerikai Egyesült Államokban fejlesztették ki az 1990-es évek közepén. Segítségével meg lehet határozni az aszály súlyosságát, valamint az időtartamából meg lehet becsülni az aszály időszakának kezdetét és végét. Vízigyűjtő szinten alkalmas a nedves és a száraz időszakok kiszámítására (WEGHORST, 1996). Az RDI-t a vízhiány pontosabb becslésére fejlesztették ki, egyfajta mérleg a bemeneti és kimeneti paraméterek között a vízrendszerben (TSAKIRIS és VANGELIS 2005; TSAKIRIS et al., 2007). Halmazott csapadék adatokon (P) és potenciális evapotranszspiráció (PET) adatokon alapul a számítása. Az RDI értéket az alábbi képlet alapján lehet kiszámítani (4. egyenlet):

**4. egyenlet:** RDI érték kiszámítása

$$\alpha_k^{(i)} = \frac{\sum_{j=1}^k P_{i,j}}{\sum_{j=1}^k PET_{i,j}}, i = 1(1)N \text{ és } j = 1(1)k$$

Ahol:

- $P_{ij}$  és  $PET_{ij}$  a  $i$ -edik év  $j$ -edik hónapjának csapadék és potenciális evapotranszspiráció adatai
- $N$  az összes év rendelkezésre álló adata

Az  $\alpha_k$  értéke logaritmusosan és gamma eloszlásban is megadható, széles körűen alkalmas a jelenségek leírására térben és időben (TIGKAS, 2008; TSAKIRIS et al., 2008). Logaritmusos eloszlás alkalmazása esetén az alábbi 5. egyenlet használható az  $RDI_{st}$  érték kiszámítására:

**5. egyenlet:** RDI st érték kiszámítása logaritmikus eloszlás esetén

$$RDI_{st}^{(i)} = \frac{y^{(i)} - \bar{y}}{\widehat{\sigma_y}}$$

Ahol:

- $y^{(i)}$  a  $\ln(\alpha_k^{(i)})$
- $\bar{y}$  a számtani átlag
- $\widehat{\sigma_y}$  a szórás

Gamma eloszlás alkalmazása esetén, az  $RDI_{st}$  számítása a gamma valószínűségi sűrűség funkció (probability density function (pdf)) alkalmazásával lehetséges, az  $\alpha_k$  leírásával (TSAKIRIS et al., 2008; TIGKAS, 2008). A pozitív  $RDI_{st}$  értékek nedves időszakot, míg a negatív értékek száraz időszakot jeleznek. Az index alapján az aszályt hét csoportra osztják (2. táblázat).

**2. táblázat:** Az aszály osztályozása az RDI értékek alapján

| RDI érték    | Aszályossági kategória |
|--------------|------------------------|
| <-2          | extrém száraz          |
| -1.50- -1.99 | nagyon száraz          |
| -1.00- -1.49 | közepesen száraz       |
| -0.99 – 0.99 | közel normális         |
| 1.00 – 1.49  | közepesen nedves       |
| 1.50 – 1.99  | nagyon nedves          |
| 2.00 <       | extrém nedves          |

(saját szerk. KANELLOU, 2008 nyomán)

Az RDI és az SPI-3 meteorológiai aszály meghatározására alkalmasak, mivel a bemeneti paraméterként csapadék adatot igényelnek (TSAKIRIS et al., 2010).

Az RDI alkalmazható az aszály hatásának a gazdaságra, társadalomra, környezetre (például növénytermesztésre, ivóvíz készletek és vízhozam változásra) gyakorolt hatásának vizsgálatára (TIGKAS et al., 2013).

A *Pálfai-féle ariditási indexet* (*Palfai aridity index- PAI*) főként Magyarországon és a Kárpát-medencében való használatra fejlesztették ki (PÁLFAI, 1990; NIEMEYER, 2008), amely Magyarországon az elmúlt néhány évtizedben az egyik leggyakrabban használt aszályindex (ASZÁLYSTRATÉGIA, 2012). Az arid helyzetek (szárazság) súlyosságát kifejező érték, melynek számításához csak hőmérséklet és csapadék adatokra van szükség. Az index az aszályt egy számértékkel jellemzi, ami kifejezi a párolgási (hőmérsékleti) és csapadékviszonyokat, mégpedig a növények időben változó vízigénye szerint, és a talajvízszint helyzetére is tekintettel van. A közelmúltban kidolgozták ennek az indexnek a nemzetközi használatra szánt változatát is (PaDI) (ASZÁLYSTRATÉGIA, 2012).

A felsorolt indexeket két alföldi referencia területre (Szolnok–Túri-sík és Nyírség) számítottam ki. Az indexek esetében összehasonlító vizsgálatokat végeztem regresszió analízis segítségével, hogy kiértékeljem az indexek alkalmazhatóságát a két területen. A regresszió analízis alkalmazását számos hazai és nemzetközi aszályal kapcsolatos kutatásban publikálták. A változók közötti kapcsolat jellegét, valamint minőségi jellemzőit a regressziószámítás vizsgálja, amelynek SPSS alkalmazásáról HUZSVAI és VINCZE (2012) készített leírást.

Az általam vizsgált indexek, habár hasonló bemeneti adatokkal rendelkeznek, jelentős térbeli bizonytalanságokkal bírnak. A digitális térképi adatbázisok térbeli bizonytalanságait vizsgálta GOODCHILD és GOPAL (1989). A hibaterjedési folyamatokat és ezek hatását az adatminőségre BURROUGH (1986), STOMS (1987) elemezte, FISHER (1991) pedig a meghatározható térbeli bizonytalanságokat írta le részletesen a fuzzy algebrával kapcsolatosan (TAMÁS, 1997).

EASTMAN (1993) szerint kevés szakirodalom áll rendelkezésre a valószínűségi illetve a fuzzy döntéshozatali lehetőségekről. ZADEH (1965) dolgozta ki a kontinuum végtelen értékészletű fuzzy-logika elvét. KÓCZY és TIKK (2001) fogalta össze az elméleti alapjait a térbeli elemzések bizonytalanságának kezelésére. A fuzzyfikáció során a Boolean algebra döntési feltételeiről eltérhetünk, és egy puhább megközelítést használhatunk. A fuzzy rétegekkel végzett kutatásokat számos kutató ismertette többek között BIER (1992), GILES (1976), valamint BELLMAN és GIERTZ (1973).

A bizonytalanságok kezelésére egy másik megoldás lehet a távérzékelési módszerek alkalmazása, mivel a távérzékelés egyre szélesebb körben terjedt el az aszálykutatási feladatok során, azonban a technikai fejlődés ellenére a vizsgált jelenségek azonosítása országos viszonylatban továbbra is jelentős bizonytalansággal terhelt.

Az elmúlt évtizedekben számos vegetációs indexet hoztak létre. Ezek közül néhány, a Vörös Él Normalizált Vegetációs Index, Normalizált Víztartalom Index, és a Normalizált Differenciál Vegetációs Index. A továbbiakban a műholdas aszályindexek közül a Normalizált Differenciál Vegetációs Indexet (NDVI) ismertetem, mivel ez az egyik leggyakrabban alkalmazott index, széles körben használják (ROUSE et al. (1974), sok adat áll rendelkezésre, azonban a hátrányai között érdemes megemlíteni, hogy csak a növényzet felső rétegére adnak információt, a vegetáció struktúrájára nem. A szárazföldi növényzet mennyisége, illetve állapota és az általa visszavert vörös és közeli infravörös tartományú sugárzás mértéke között kapcsolat áll fenn (COLWELL, 1974). Ennek fizikai alapja a felszínt alkotó elemek eltérő spektrális tulajdonsága, ami lehetőséget ad a

különböző felszíntípusok megkülönböztetésére és azok vizsgálatára. Az NDVI vegetációs index előállítása két hullámhossz-tartományra (NIR, RED) vonatkozó reflektancia különbségének normalizálásával történik (ROUSE et al., 1974).

A növényzet állapotának és produktivitásának előbbiekben részletezett változásától nem áll messze a klimatikus hatásokhoz való kapcsolása sem. ICHII et al. (2002) 1982- 1990 közötti NDVI adatokat hőmérsékleti és csapadékadatokkal vetettek össze. Eredményül határozott kapcsolatot kaptak az évenkénti NDVI és hőmérsékleti értékek között, míg a félsivatagi területeken a csapadékkal is kapcsolatot találtak. KERN et al. (2007) mutattak ki az éves NDVI értékek, illetve éves átlaghőmérséklet- és csapadékösszeg anomáliák közötti kapcsolatot a Kárpát-medencére vonatkozóan. A vegetációs indexek jól alkalmazhatók a szélsőséges időjárási események vegetációra gyakorolt hatásának vizsgálatához is. ZAITCHIK et al. (2006) a 2003-as Nyugat-Európai hóhullám növényzetre gyakorolt káros hatását tanulmányozták MODIS NDVI adatok alapján.

Az NDVI értékek termésbecslésre, terméshozam előrejelzésre és ezek analízisére is jól használható (QUARMBY et al., 1993; HOCHHEIM et al., 1998). PRASAD et al. (2006) NDVI adatok és más meteorológiai változók felhasználásával, REN et al. (2008) MODIS NDVI adatok alapján becsült termést. A termésbecslés azonban más indexeken is alapulhat (FERENCZ et al., 2004).

A dolgozatomban a spektrális adatokat szolgáltató műholdak közül a MODIS NDVI aszálykutatásban történő alkalmazását vizsgáltam. Az aszály folyamatok értékelésére idősoros műholdas spektrális adatok alapján biomassa vizsgálatokat végeztem. BRUZZONE et al. (2003) szerint a távérzékeléssel kapcsolatos kutatások egyik központi kérdése az idősorok eredményes elemzésének kifejlesztése. Többek között PETTORELLI et al. (2005), TUCKER és SELLERS (1986) és HALL-BEYER (2003) megállapította, hogy főként az NDVI-ra épülő idősorok nagy fontossággal bírnak a vegetáció vizsgálatában. GUPTA (1991) szerint az adatok mennyiségének csökkentése miatt végezhető főkomponens analízis a multispektrális vagy idősoros felvételek elemzése esetében. A módszer során lehetőség nyílik a sávok közötti korrelációs összefüggések feltárására (VERŐNÉ, 2010). A többdimenziós intenzitásvektorok eloszlást jellemző kovarianciamátrix segítségével meghatározzák az sajátvektorokat, sajátértékeket (JUNG, 2005) és az eredeti felvétel intenzitásait a sajátvektor által meghatározott koordináta-rendszerbe transzformálják (VERŐNÉ, 2010). Főkomponens segítségével azt tudjuk megmondani, hogy a több változó közül melyek azok, amelyek a legnagyobb

információtartalommal bírnak a többihez képest (BELÉNYESI et al., 2013). A főkomponens analízisről MÓRI (1999) közölt részletes ismertetőt.

A szakirodalmi feldolgozás során összefoglaltam az aszály térbeli és időbeli lehatárolásának jellemzőit, és az ezeket terhelő bizonytalanságokat. Az aszály időbeli kiterjedésének vizsgálatakor főleg a meteorológiai aszály vizsgálatára helyeztem a hangsúlyt, mivel az aszály leggyakoribb kiváltója a csapadékhiány, és ezért gyakran a meteorológiai aszályból fejlődik ki a többi aszálytípus is (ASZÁLYSTRATÉGIA, 2012).

Az irodalmak alapján elmondható, hogy a különböző aszályindexek eltérő céllal lettek kifejlesztve (különböző aszályok illetve régiók vizsgálatára), azonban nincs egy egységes index, amely segítségével a különböző aszályindexek értékeit összeségében lehetne értelmezni, illetve egy egységes aszályosztályozási rendszert lehetne létrehozni, amely hazai és nemzetközi szinten egyaránt alkalmazható lenne.

### 2.3. A belvíz jellemzése

Az aszály és a belvíz gyakran azonos évben és nagyrészt azonos régióban jelentkeznek, azonban más-más tényezők befolyásolják ezek kialakulását.

A belvíz kialakulását elsősorban a meteorológiai, a talajtani és a domborzati viszonyok határozzák meg. A belvízképződés olyan összetett folyamat, hogy a jelenlegi ismereteink, adataink, és eszközeink nem teszik lehetővé a 2-5 napnál hosszabb idejű előrejelzést.

Az ellene való védekezés nagyterjedésű, összefüggő területeken történik, ezért nehéz az erre való felkészülés. Az eredményes beavatkozás így a prevenció irányába mutat. A belvizek kártételei elleni védelem hatékonyságának növelésére jó eszköz lenne a belvízveszélyes környezeti állapotok jelzése (pl. kockázati térképezéssel), a várható meteorológiai helyzet alapján pedig veszély-jelzés (figyelmeztetés, riasztás). Ennek megvalósítása azonban nagyszámú adat beszerzését, a meglévőkhöz való ingyenes hozzáférést, azok feldolgozását és az eredmények mindenki számára történő elérhetővé tételét, megismerésének biztosítását tenné szükségessé. Az új technológiai eszközök adta lehetőségeket ki kell használni a belvízvédelemben (BÍRÓ, 2016). Ezek tükrében a belvizek összegyülekezési és lefolyási viszonyainak értékelését végeztem idősoros radar távérzékelési adatok alkalmazásával, valamint különböző digitális domborzatmodelleken, melyek alkalmasak a belvízi elöntések lehatárolására.

### 2.3.1. A belvíz fogalma, típusai, kialakulásának feltételei

PÁLFAI (2001)-ben megjelent cikkében mintegy ötven definíciót említ, és a következőképpen foglalja össze a belvíz fogalmát: a belvíz a sík vidékek időszakos, de meglehetősen tartós és viszonylag nagy területre kiterjedő jelensége, sajátos vízfajtája. RAKONCZAI et al. (2011) szerint a belvíz olyan többletvíz, amely valamely terület felszínén, vagy a felszínközeli képződmények hézagjaiban jelenik meg, ezáltal akadályozza a növényzet fejlődését, illetve károsítja az emberi létesítményeket.

A belvizek keletkezésével kapcsolatban számos elmélet és fogalom ismert. A belvíz lehetséges okainak nagy számát mutatja az is, hogy NAGY et al. (2002) a kedvezőtlen vízgazdálkodási állapotok okaival foglalkozó tanulmányukban 12 fő befolyásoló tényezőt és 47 paramétert azonosítottak. VÁMOSI (2002) összetett folyamatábrán ismerteti a belvíz szűkebb és tágabb értelemben vett hatótényezőit, ezek száma hasonlóan magas.

A belvízképződést természetes faktorként hidrometeorológiai (gyakori csapadék, víztárolás hó vagy jég formájában, alacsony párolgás, fagyott talaj), geomorfológiai és topográfiai (helyi mélyedések, hordalékkúp szegélye), hidrogeológiai (vízzáró és víztározó rétegek elhelyezkedése), illetve talajtulajdonságok befolyásolják. A mesterséges tényezők között a víz-kezelés infrastruktúráját (csatornahálózat, gátak), a területhasználatot és a megfelelő agrotechnika hiányát kell megemlíteni.

A különböző kiváltó okok többféleképpen csoportosíthatók:

- eredet szerint:
  - természetes: éghajlat és időjárás, domborzat, talaj, földtani közeg;
  - mesterséges: területhasználat, vonalas létesítmények, védekezés;
- időbeliség szerint:
  - statikus (évtizedes léptékben közel állandó): domborzat, talaj, földtani közeg;
  - dinamikus (rövidebb, éves, de akár napos-órás léptékben változó): területhasználat és vegetáció állapota, meteorológiai viszonyok (csapadék, hőmérséklet, relatív nedvességtartalom, globális sugárzás, felhőborítottság, szél, stb.), talajvízszint, talajtelítettség, védekezés;
- jelentőség szerint (PETRASOVITS, 1982; PÁLFAI, 2011).

Egy másik csoportosítás alapján a belvíz kialakulásának okai lehetnek természetes és antropogén eredetűek. A természetes okok közé tartoznak a hidrolmeteorológiai, geomorfológiai és domborzati, hidrogeológiai tényezők valamint a talaj összetétele és szerkezete. A *hidrometeorológiai okok* közé tartozik a nagy csapadék, annak kedvezőtlen

eloszlása, halmozódása, valamint a párolgás lecsökkenése. Altalajrétegek is megakadályozhatják a beszivárgást, és a felszínen gyakran alakulnak ki vízborítások (KOZMA, 2013). *Geomorfológiai és domborzati okok* esetében a belvizek a felszín mélyedéseiben gyűlnek össze (KÖRÖSPARTI et al., 2007). A *hidrogeológiai tényezők* közé tartozik a felszín közelében vízzáró vagy rossz vízvezető képességű kőzetek vannak, továbbá fontos a talajvíz elhelyezkedése és kapcsolatrendszere (GIEGER és MUCSI, 2005). A negyedik ok *a talaj összetétele, szerkezete*, amely esetében fontos tényező a talaj vízáteresztő, illetve tározó képessége. Az antropogén okok esetében a belvizek képződését, kedvezőtlen hatások kifejtését gyakran emberi beavatkozások segítik. Ilyenek a vízrendezési létesítmények, a beépítések (BARTA és SZATMÁRI, 2010; KOZÁK, 2011) és a helytelen agrotechnika.

A belvizek típusukat tekintve lehetnek összegyülekezési, feltörő vagy felszivárgó, illetve elvezetés által generáltak (RAKONCZAI et al., 2011).

*Az összegyülekezési belvizek* kialakulásakor a talajfelszín geomorfológiai tulajdonságok következtében a csapadék összegyülekezik, aminek a területre hulló hirtelen nagy mennyiségű csapadék az oka. Az egyik legfontosabb tényező a belvíz kitalakulásában a domborzat (BAUKÓ et al., 1981; RAKONCZAI et al., 2003), ami szoros összefüggésben van a terület geomorfológiájával. A morfológiai háttér számos módon képes befolyásolni a belvízképződést.

Sík területeken döntően a talajtulajdonságok, illetve az időjárási viszonyok, valamint a mikrodomborzat okozza a belvízképződést. A belvíz általában a mélyebb részekben alakul ki, így a hagyományos topográfiai térképek nem használhatóak.

*A feltörő, felszivárgó belvizek* esetében a talajvíz emelkedik a felszín fölé.

*Az elvezetés által generált belvizek* esetében az elöntéseket a belvizek elvezetésére kialakított csatornák okozzák. A belvizek megjelenésének oka, hogy a feleslegesnek tartott vizeket a kialakított csatornarendszerek összegyűjtik a belvízvédkezés során, majd folyókba emelik át szivattyúkkal. Számos esetben előfordul, azonban hogy a belvízképződés mértéke nagyobb, mint a szivattyúk kapacitása (VÁGÁS, 1989).

Sík területeken a folyók meanderezése jellemző geomorfológiai folyamat. A korábbi, elhagyott meanderek sokszor nem is láthatóak, belvízelöntéskor azonban könnyen azonosíthatóvá válnak (RAKONCZAI et al., 2011).

A geomorfológiai tényezők a belvízfoltok alakját is befolyásolják. PATAY és MONTVAJSZKI (2011) öt olyan geometriai alakot különített el, melyek a felszín

geomorfológiájával vannak közvetlen kapcsolatban. A belvízfoltok geometriai típusai MONTVAJSZKI et al. (2011) szerint az alábbiak lehetnek:

- barázda-típusú: a szántás következtében kialakuló hosszú, keskeny és párhuzamos mélyedések, melyeket víz tölt ki,
- árok-típusú: hosszú, elnyúlt, hirtelen lealacsonyodó területek (gyakran feltöltött árkok, csatornák helyén),
- medence-típusú: kör vagy ovális alakú mélyedések egy központi legmélyebb ponttal,
- ikermedence-típusú: ha egymás mellett medence-típusú folt összeér, és egybefüggő vízfelületet alkot,
- fűzér-típusú: medencék láncolata, mely általában régi folyómedrekben, holtágak vonalában alakul ki (BALÁZS, 2015).

A talaj fizikai paraméterei és jellegzetességei nagy szerepet játszanak a belvíz kialakulásában (FILEP, 1999). A nagy agyag és duzzadó agyagásvány-tartalom a belvíz-képződésre is nagy hatással van (STEFANOVITS, 1999).

BIRKÁS (2001) szerint a tartós vízállás károsan befolyásolja a talaj kémiai és biológiai tulajdonságait. Belvízképződés szempontjából nagy jelentősége van a talajok víznyelő és vízvezető képességének, valamint vízkapacitásának. A belvizek kialakulását elősegíti a gyenge vízvezető képesség (FILEP, 1999). A talajtani tulajdonságok főleg az összegyülekezési belvizek képződésében játszanak fontos szerepet (BIRKÁS, 2005).

A belvíz leggyakrabban a nehéz mechanikai összetételű, azaz nagy agyagtartalmú réti talajokon, a mélyben sós vagy mélyben szolonyeces réti csernozjom talajváltozatokon, illetve a szolonyeces réti talajokon alakul ki. Ezek a duzzadó talajok víztelített állapotban makropórus nélküliek (VÁRALLYAY, 2002).

A belvíz kialakulásában szerepet játszó litológiai okok nehezen választhatók szét a talajtani tényezőktől, hiszen általában az alapkőzet textúrájának sajátosságai öröklődnek át a rajta kialakult talajtakaróra is. Általánosságban elmondható, hogy az alföldi területeket felépítő laza üledékeknek elsősorban a szemcseösszetétele, fizikai félesége határozza meg a belvízi veszélyeztetettséget. A fizikai féleség alapvetően befolyásolja az üledékek vízvezető képességét (MARTON, 2009; VÁRALLYAY et al., 1980). Tehát litológiai szempontból a legkedvezőbb helyzetben homokvidékeink vannak (Nyírség, Duna-Tisza köze), ahol belvízveszély csak azokon a területeken jelentkezik, ahol közel van a felszínhez a talajvíztükör, vagy ahol finomabb szemcseösszetételű üledékréteg van

a felszín közelében. Tovább csökkenti a belvízveszélyt ezeken a területeken az is, hogy a homok általában sokkal kevésbé érzékeny az antropogén eredetű tömörödéssre, mint más üledékek (KUN, 2011).

Regionális léptékbe helyezve a talajvíztükör és a belvízgyakoriság összefüggéseit, érdemes hazánk hidrológiai rezsimeit is megvizsgálni. Ezek alapján elmondható, hogy a feláramlási zónákban lényegesen nagyobb belvízgyakoriságot tapasztalhatunk, mint a beszivárgási területeken. Olyan helyzetek is előfordulnak, amikor lényeges domborzati változás nem mutatja az adott hidrológiai rezsím határát (BAUKÓ et al., 1981; VÖLGYESI, 2004; BOZÁN et al., 2004).

A csapadék eredetű (összegyülekezési) belvíz szempontjából a felszín szerepe a relatív domborzaton keresztül közelítendő meg (PÁSZTOR et al., 2006). Ebben az esetben a domborzat (geomorfológia) azoknak a mélyedéseknek a helyzetét mutatja meg, amelyek alkalmasak a belvíz összegyűjtésére és megtartására (PATCHETT és WILHELM, 1999; BACH et al., 2000).

A fenti fejezetben ismertettem a belvíz fogalmát, típusait és kialakulásának feltételeit, véleményem szerint a szakirodalmak alapján a kialakulás feltételei között a talajtani okok mellett, a domborzati tulajdonságok is jelentős szerepet játszanak, így a következő fejezetben a térbeli és időbeli jellemzés során erre szeretném a hangsúlyt fektetni.

### 2.3.2. A belvíz térbeli és időbeli jellemzése

NOVÁKY (2003) szerint a hidrológiai adottságokat két tényező, az ember és az éghajlat módosítja, azonban ennek a két tényezőnek az egymásra való hatása bizonytalansággal terhelt.

A legvalószínűbb éghajlati forgatókönyvek szerint a jövőben várhatóan csökken az évi csapadék mennyiség, emelkedik a levegő hőmérséklete, a csapadék éven belüli eloszlása átrendeződik a téli időszak javára, csökken az átlagos évi lefolyás, viszont növekszik a tél végi, döntően hóolvadásból eredő árhullámok száma és a lefolyásban játszott szerepe, amely megmutatkozik a belvíz kialakulásában is (SZLÁVIK, 2005).

A belvízjárásos területek közel az ország felét (47%-át), a művelt területnek pedig csaknem 61 %-át teszik ki. Ezen belül nagyságrendileg az ország 10%-a közepesen vagy erősen veszélyeztetett terület (TOMOR, 2007; KOZMA, 2013).

Sík vidéken a területi- és települési vízrendezés feladatainak meghatározásához, és megoldásához elengedhetetlen a belvízzel veszélyeztetett területek lehatárolása, és

veszélyeztetettségük mértékének ismerete. Hazánkban többek között Pálfai foglalkozott részletesen a belvíz és aszály előfordulásnak kérdéseivel (TAMÁS, 2013), emellett jelentősek az ezredforduló tájékán THYLL (1999); THYLL és BÍRÓ (1994) a belvíz témakörével kapcsolatos kutatásai. A belvizek területi kiterjedésének jellemzésének legelterjedtebb módja a térképi ábrázolás (KÖRÖSPARTI et al., 2007). A belvív-veszélyeztetettségi térkép alapján bármilyen lehatárolt térség (vízgyűjtő terület, közigazgatási egység stb.) belvízi veszélyeztetettségét egyetlen mérőszámmal jellemzik (6. egyenlet).

**6. egyenlet:** Belvízi veszélyeztetettség területi mutatószámának leírása

$$BV = \frac{0,001A_1 + 0,075A_2 + 0,150A_3 + 0,400A_4}{A_1 + A_2 + A_3 + A_4} 100$$

ahol:

BV: a belvízi veszélyeztetettség területi mutatószáma,

A1 .... A4 : az egyes veszélyeztetettségi kategóriákhoz tartozó terület km<sup>2</sup>-ben, vagy bármely más területi dimenzióban (3.táblázat) (KOZMA, 2013).

**3. táblázat:** Belvív-veszélyeztetettségi kategóriák

| Veszélyeztetettségi kategória | Az előtér relatív gyakorisága | Szöveges minősítés                               |
|-------------------------------|-------------------------------|--------------------------------------------------|
| 1.                            | < 0,05                        | Belvízzel nem, vagy alig veszélyeztetett terület |
| 2.                            | 0,05-0,10                     | Belvízzel mérsékelten veszélyeztetett terület    |
| 3.                            | 0,11-0,20                     | Belvízzel közepesen veszélyeztetett terület      |
| 4.                            | > 0,20                        | Belvízzel erősen veszélyeztetett terület         |

(Forrás: KOZÁK, 2006).

A belvív-veszélyeztetettségi mutatóra annál szélsőségesebb értéket kapnak, minél kisebb a vizsgált terület. A belvív-veszélyeztetettségi mutató az egyes területek belvízi veszélyeztetettségének számszerű jellemzésén túl, alkalmas az összehasonlításra is. A

BV-mutatónak a digitális belvíz-veszélyeztetettségi térképről meghatározott országos értéke 8,0 (KÖRÖPARTI et al., 2007).

Magyarország belvízveszélyeztetettségi térképét az 1. melléklet tartalmazza. Főleg a folyóvölgyek legmélyebb részein találhatóak a belvízzel erősen veszélyeztetett területek (4. zóna), amelyek összterülete 2300 km<sup>2</sup>, ez a teljes síkvidéki terület 5%-át teszi ki. A belvízzel közepesen veszélyeztetett térség (3. zóna) jóval nagyobb területet érint, amely összesen 11 800 km<sup>2</sup>-t jelent. A teljes síkvidéki 26%-a. A belvízzel mérsékelten veszélyeztetett területek közé (2. zóna) tartozik Duna-Tisza közí hátság jelentős része, amely 12 900 km<sup>2</sup>, így a teljes terület 29%-át teszi ki. 18 000 km<sup>2</sup>-t tesz ki a belvízmentes vagy belvízzel alig veszélyeztetett terület (1. zóna), ami 40%-át jelenti a teljes síkvidéki területnek. Ezen a területen foltokban erősebben veszélyeztetett területeket is találunk (PÁLFAI, 1999, 2004; SZLÁVIK et al., 2003).

A belvívveszélyes területek kijelölhetők a belvizet kiváltó talajfizikai, hidrológiai, domborzati és egyéb tényezők együttes vizsgálatával is, ám valós belvívterképet leginkább a „mértékadónak tekinthető” valós belvívelöntések rögzítésével lehet készíteni.

A hagyományos módon, helyszíni bejárással készülő belvívterkép azon túl, hogy időigénye nagy, számos hibalehetőséget is rejt magában. Ezek fő okai az egyes területrészek megközelítésének nehézségei, valamint a felvételező személyétől nagyban függő pontosság és részletesség (NEMZETI VÍZSTRATÉGIA, 2012-2020). Több szerző (LICSKÓ, 2009; RAKONCZAI et al., 2011; VAN LEEUWEN, 2012) is rámutatott a 90-es évek végéig szinte kizárólag terepi bejárással nyert elöntési adatok számottevő (akár 50-100 %-os) bizonytalansága.

A belvív – akár terepi, akár távérzékeléses - mérése az egzakt mennyiségi jellemzés szempontjából országos viszonylatban jelentős bizonytalansággal terhelt (PÁLFAI, 2004). Az elmúlt 15 évben óriási előrelépés történt a távérzékeléses mérés technika, valamint a légi és műhold felvételekre alapuló belvív térképezés terén.

Nagy területre (belvívrendszerekre, térségekre) kiterjedő, pontos és részletes belvívelöntési térképek - kellő hatékonysággal történő - előállítására csak távérzékelési módszerek alkalmazhatók. BACH et al. (2000) szerint elsőként meg kell keresni a kapcsolatot a geomorfológiai formák és a létrehozott digitális domborzat modell között. A közepes felbontású műholdfelvételek pontossága is jelentősen romlik a geomorfológiai okok miatt változatos területeken (RAKONCZAI et al., 2003). A pontos domborzatmodellek még hiányoznak Magyarországon a meglévő belvív-veszélyeztetettségi térképek pontosításához (PÁSZTOR et al., 2006).

Szabad vízfelületek azonosítása a reflektancia alapján elméletileg a műholdfelvételeken könnyen elvégezhető (BELÉNYESI et al., 2008). Azonban a gyakorlati alkalmazás során csak reflektancia-tulajdonságok alapján az objektumok elkülönítése nem lehetséges, mert ezeket más tényező is befolyásolja (BUITEN, 1993; TIKÁSZ et al., 1995; LICSKÓ, 2009; BALÁZS, 2009).

RAKONCZAI et al. (2003) és VAN LEEUWEN (2012) több jelentős pontatlanságot mutattak ki a távérzékeléses adatok esetében is. A domborzat szerepének kutatásával pontosabban lehet a belvizes területeket jellemezni.

A fenti kutatások eredményei alapján elmondható, hogy a talajtani összefüggéseket jól feltárták, a domborzati okokat kevésbé, ezért kiemelt területe a dolgozatnak a radar adatok alapján, valamint a hagyományos (analóg alapadatok digitalizálásával) és a távérzékelte (nagy térbeli sűrűségű LiDAR) adatok alapján készült digitális domborzatmodellek alkalmazhatóságának vizsgálata belvizes területeken, amelyet az alkalmazott távérzékelési módszerek fejezetben ismertetek. A továbbiakban az ezekkel kapcsolatos irodalmakat mutatom be.

A belvizek légi felmérésnek módszertani kutatása a VITUKI-hoz kötődött (LICSKÓ et al., 1993). A hidrológiai helyzetek hagyományos felmérései egyre gyakrabban kerülnek kiegészítésre műholdképek elemzésével, amely fontos szerepet játszik a Kopernikus Program is (WESTERHOFF, 2013, GÁLYA et al., 2016).

Egyik lehetséges megoldás lehet a belvízi jelenségek nyomon követésére, illetve előfordulási kockázatának jellemzésére a mikrohullámú távérzékelés alkalmazása. A belvízi elöntések nagyfelbontású műholdas (elsősorban radar) felvételezéseivel a belvizek dinamikájának kiismeréséhez még közelebb kerülhetünk és egyben a hidrológiai modelleredmények is hitelesíthetők (BÍRÓ, 2016). A mikrohullámú távérzékelés esetében az elektromágneses spektrum hullámhossz tartománya 0,5 mm-1 mm-ig terjedhet. A légkör hatása ebben a tartományban elhanyagolható, így gyakorlatilag minden időjárási körülmény között használható, amely előny a belvíztérképezés során. Az aktív mikrohullámú érzékelő rendszerek közé tartoznak a radarok, amelyekre jellemző, hogy az érzékelő berendezés maga bocsátja ki az energiát. A radar és a vizsgált felszín távolsága a kibocsátott és a visszavert jel visszaérkezése alapján határozható meg. A (műhold) radar interferometria a radar alkalmazásának egyik legkorszerűbb módja, amikor nem közvetlenül a visszatérkezési időt határozza meg a radar, hanem az ebben fellépő fáziskülönbségeket, vagyis hogy a visszavert radarjel hullámai egymáshoz képest mekkora időbeli elcsúszást mutatnak a két, kismértékben eltérő elhelyezésű vevőben

(TELBIŠZ et al., 2013). BAMLER (1998) megfogalmazásában az interferometriás SAR (InSAR) a különböző műholdas pálya helyzetből és / vagy különböző időpontokban szerzett legalább két komplex értékű SAR-kép fázisbeli különbségeiből adódik. Ezáltal a földfelszín kismértékű változásai is nyomon követhetőek, így nagy felbontásban és pontossággal lehet monitorozni a földfelszín változásait (I2).

Az Európai Űrügynökség (ESA) a Kopernikus Program keretén belül, vállalta az Európai Radar Megfigyelőközpont (European Radar Observatory) fejlesztését, amely a két műholdas szintetikus apertúrájú radar (SAR - Synthetic Aperture Radar) rendszer szolgáltatási és alkalmazási fejlesztését foglalja magába (RUIZ et al., 2012). A SAR adatok különböző hullámhosszon, polarizáción és időpontban érhetőek el. Az általam használt adatok a Sentinel 1 műholdról származtak, amelynek jellemzőit RUIZ et al. (2012) taglalja részletesen.

A digitális domborzatmodellek hidrológiai szempontú alkalmazásainak vizsgálata és bemutatása rendkívül aktuális napjainkban (BÓDIS, 2008), mivel a nagyfelbontású DEM-ek (pl. LiDAR alapú) és a globálisan elérhető DEM-ek (pl. inSAR SRTM) rendelkezésre állása miatt egyre több lehetőség nyílik a hidrológiai információk modellezésére (SCHUMANN et al., 2007). A domborzat modellezése -mivel ez a táj egyik legmeghatározóbb eleme (MEZŐSI és BÓDIS, 1999) - a környezeti kutatásokban alapvető fontosságú lett (MOORE et al., 1991; TÓTH et al., 2004), illetve a belvízképződés szempontjából az egyik legmeghatározóbb tényező (BÍRÓ, 2016).

A domborzatmodell-előállító technika alapján három fő forrást különíthetnek el a digitális domborzatmodellek esetében (KERTÉSZ, 1997; HUTCHINSON és GALLANT, 1999; NELSON et al., 2007), amelyek az alábbiak:

- magassági adatok térképi szintvonalak és a völgyvonalak alapján
- a domborzat meghatározó pontjainak magassági adatai
- távérzékeléssel nyert magassági adatok:
  - fotogrammetria (MÉSZÁROS et al., 2008; CZIMBER, 2001; HUTCHINSON és GALLANT, 1999),
  - mikrohullámú távérzékelés (MUCSI, 2004; ASSMAN et al., 2008)
  - légi lézerszkennelés (SZATMÁRI, 2004; JONES, 2004; DEWALS et al., 2008).

A dolgozatomban az analóg alapadatok digitalizálásával, és a légi LiDAR (Light Detection and Ranging) alapján előállított domborzatmodellezés eredményeit vetettem össze, ezért a továbbiakban ezeket a technológiákat ismertetem röviden.

A térképi szintvonalak és a további, kiegészítő magassági információk (pl. földmérési háromszögelési pontok, csúcsok) alapvető fontosságúak a digitális domborzatmodellek előállításában (HUTCHINSON, 1988; CARRARA et al., 1997; HUTCHINSON és GALLANT, 1999). A domborzatmodellek létrehozása esetében fontos lépések a szkennelés, a digitalizálás és az interpoláció. Az interpolációs eljárások arra épülnek, hogy a térben egymáshoz közelebb lévő adatok értékei hasonlóbbak egymáshoz, mint az egymáshoz távolabb lévőké. Az interpoláció lehet determinisztikus és sztochasztikus. Az előbbi esetében a nem ismert pontok magassági adatait meghatározott matematikai függvények segítségével számítjuk ki, míg az utóbbi esetében a magasság kiszámításához használt függvényeket az adatpontok statisztikai elemzését figyelembe véve határozzuk meg (pl.: Krieglés).

Az interpolációs eljárások egy közös elve, hogy a szomszédos pontok alapján egyfajta súlyozott átlagot számítanak. Matematikailag ez a súlyozott átlag a következő egyenlettel (7. egyenlet) írható le:

**7. egyenlet:** Súlyozott átlag számítás az interpolációs eljárások során

$$\hat{z}(P) = \sum_{i=1}^n w_i * z(P_i)$$

ahol:

$\hat{z}(P)$  – becsült magasságérték a felszín egy pontjában,

$w_i$  – súlytényező,

$n$  – a figyelembe vett pontok száma;

$z(P)$  – mért magasságérték a felszín egy pontjában;

$P_i$  – egy adott pont, melynek vízszintes koordinátái:  $x_i, y_i$ ;

A leggyakrabban használt négy determinisztikus eljárást az alábbiakban ismertetem, amelyek a következők: legközelebbi szomszéd, TIN, természetes szomszéd, IDW. A legközelebbi szomszéd eljárás esetében, a magasság kiszámításához csak 1 pontot vesz figyelembe, így egy gyors eljárásról beszélhetünk. Minden ponthoz azt a magassági értéket adja ami hozzá legközelebb esik. A TIN eljárás során a meghatározandó pont magasságát a pontot magába foglaló háromszög csúcsainak magassága alapján adja meg, lineáris eljárással. A természetes szomszéd eljárás esetében minden szomszédos poligon pontjának értéke meghatározó, az ezekhez tartozó súlyozó tényezők arányosak a területtel, amit a meghatározni kívánt alapponthoz tartozó poligon kisért a szomszédosakból. A negyedik eljárás az IDW (Inverse Distance Weighting-Távolsággal

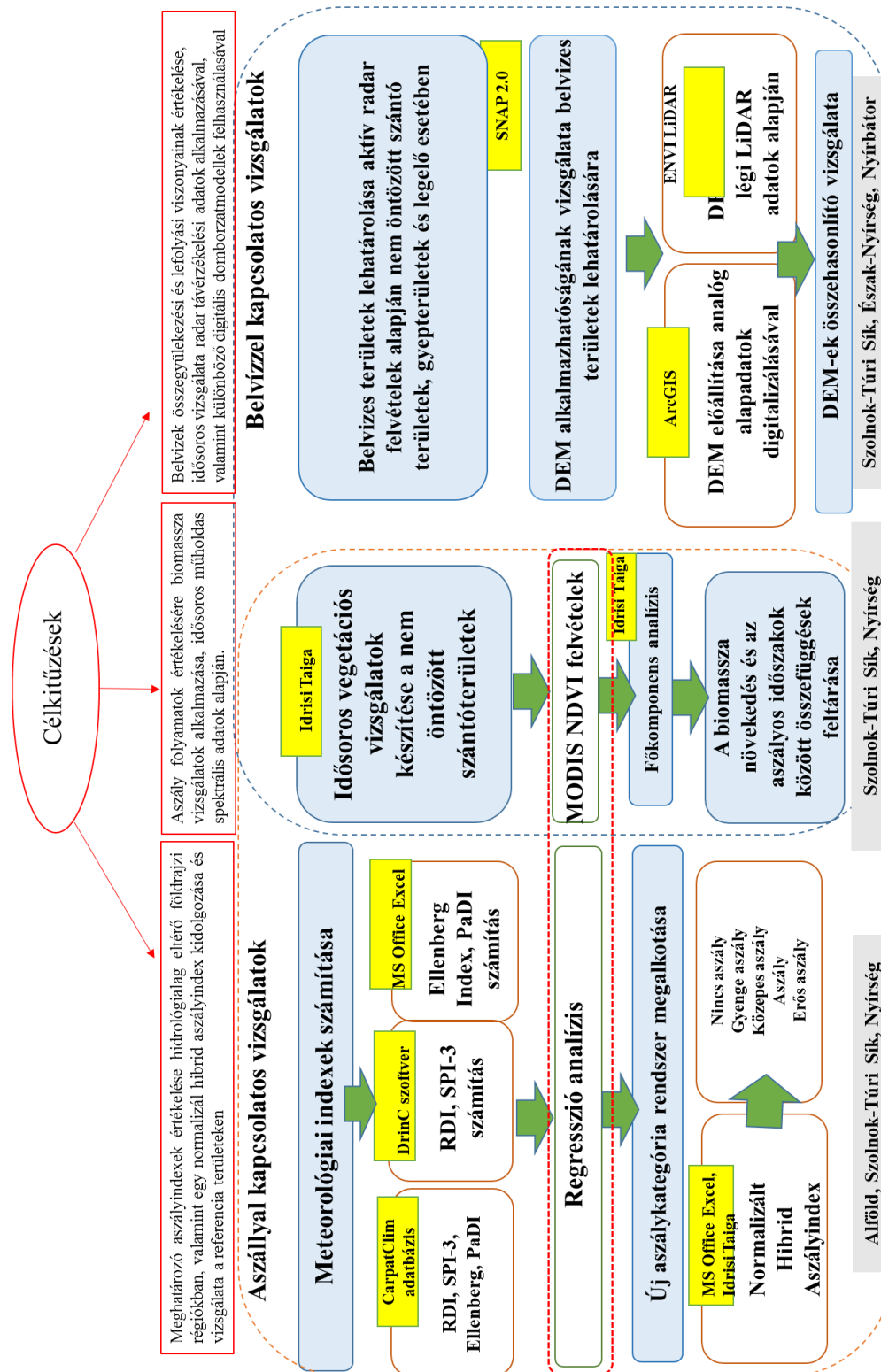
fordítottan arányos súlyozás), ahol minél messzebb van egy pont, annál kevésbé számít az értéke a vizsgálati pont meghatározásában. A sztochasztikus eljárások közül a krigelést emeltem ki, amely során a főbb lépések a trend meghatározása, aztán a szemivariogram meghatározása, majd az interpoláció elvégzése. Ebben az esetben a szemivariogram alapján történik meg a súlyok meghatározása (TELBISZ et al., 2013).

Ma már rendelkezésre állnak azok a technológiák, amelyek alkamasak nagy területek levegőből történő magassági viszonyainak felmérésére (BÍRÓ, 2016). A légi LiDAR a felszín leképezésének egyik legpontosabb módszere, amely esetében a műszer lézersugarat bocsát ki a földfelszín felé, és a visszaverődés idejét méri a szenzor, amelyből meghatározható a távolság. Ha pontosan ismerjük a szenzor helyzetét, a lézerszkenner egy mérésből is meghatározza a koordinátát (SZATMÁRI, 2004, MÜCKE et al., 2012). A detektorba visszaérkező lézernyaláb többszörös visszaverődésnek köszönhetően az echo hullámformájának (full waveform) elemzéséhez megfelelő CAD szoftverháttér megléte szükséges, mely segítségével további objektumok (épületek, hidak, villanyvezetékek, stb.) is detektálhatók a lézerpontok szűrése után (CHAUVE et al., 2007; MALLET és BRETAR, 2009; VOSSELMAN és DIJKMAN, 2002; TÓVÁRI és PFEIFER, 2005). Az Amerikai Fotogrammetriai és Távérzékelési Társaság (American Society of Photogrammetry and Remote Sensing – ASPRS) 2001-ben elkészítette a LASer (LAS) 1.0 formátumot (ASPRS, 2003). A lézeres pontfelhőből minél több adat kinyeréséhez a LAS fájltypus fejlődésen ment át, jelenleg a LAS 1.4 formátum a legfrissebb. A lézerimpulzusokkal végzett felszínletapogatás vertikális pontosságának fokozásával a síkvidéki területek mikrodomborzata is térképezhető. Tekintettel a víz sugárzáselnyelési tulajdonságaira, a látható és az infravörös tartományban működő multispektrális szenzorok alkalmazása vált elterjedté a belvizek térképezésében (BÍRÓ, 2016).

A belvízzel kapcsolatos szakirodalmi adatok alapján megállapítottam, hogy a belvíz kutatásban eddig még kevésbé alkalmazott aktív radar távérzékelési technológia, valamint a különböző forrásokból származó digitális domborzatmodellek alkalmasak lehetnek a belvizek detektálására.

### 3. Anyag és módszer

A kutatás során különböző módszereket alkalmaztam az aszály és a belvíz térbeli és időbeli lehatárolása céljából a mintaterületek esetében. A kutatásban alkalmazott módszereket és azok kapcsolatrendszerét a 2. ábrán mutatom be.



2. ábra: A kutatásban alkalmazott módszerek és azok kapcsolata

**1. Meghatározó aszályindexek értékelése hidrológiailag eltérő mintaterületeken, valamint egy normalizált hibrid aszályindex kidolgozása és vizsgálata a referencia területeken (3.3. fejezet)**

- Néhány meghatározó meteorológiai index (Ellenberg Index; Standardizált Csapadék Index, Aszályfelmérési Index) magyarországi alkalmazhatóságát vizsgáltam, illetve a hazai gyakorlatban használt Pálfi-féle ariditási indexet számítottam ki. Az index értékek és a PaDI közötti kapcsolat vizsgálatára regresszió analízist alkalmaztam. A mintaterület a Szolnok-Túri-sík és a Nyírség volt (3.3.1. fejezet).
- Egy normalizált hibrid aszályindexet dolgoztam ki a mintaterületek esetében (Alföld, Szolnok-Túri-sík, Nyírség). Az adatok két forrásból származtak, meteorológiai állomások és a CarpatClim adatbázisából, utóbbi alapján térben tudtam ábrázolni a hibrid index értékeket. Végül egy egységes aszály értékelési módszert dolgoztam ki, amely hazai és nemzetközi gyakorlatban egyaránt alkalmazható (3.3.2. fejezet).

**2. Aszály folyamatok értékelése biomassza vizsgálatok alkalmazása, idősoros műholdas adatok alapján (3.4. fejezet)**

- A spektrális adatokat szolgáltató műholdak közül a MODIS NDVI felvételeket használtam fel az aszály folyamatok értékelésére májusi és augusztusi időszakokban, a Szolnok-Túri-síkon és Nyírségben egyaránt a Corine 2012-es adatbázisa alapján a nem öntözött szántóterületekre (3.4. fejezet).
- Főkomponens analízist végeztem, hogy a biomassza növekedés összefüggéseit megvizsgáljam az aszályos időszakok között a Szolnok-Túri-síkon és a Nyírségben egyaránt (3.4. fejezet).

**3. Belvizek összegyűlekezési és lefolyási viszonyainak értékelésére, idősoros radar távérzékelési adatok alkalmazásával, valamint különböző digitális domborzatmodelleken (3.5. fejezet)**

- Belvízzel veszélyeztetett területek leválogatását végeztem el idősoros radar távérzékelési adatok alkalmazásával a Szolnok-Túri-síkon 2015-ös évben (3.5.1. fejezet)
- Belvízzel veszélyeztetett területek leválogatása történt meg különböző forrásból (hagyományos analóg adatok digitalizálásából és nagyfelbontású LiDAR felmérésből) származó domborzatmodellek alkalmazása esetén az Észak-Nyírségben, Nyírbátor közelében (3.5.2. fejezet)

### 3.1. Mintaterületek bemutatása

A mintaterületek megválasztásának szempontja az is volt, hogy a különböző jelenségeket eltérő léptékben (nagy-táj-középtáj-kistáj szinten) tudjam értékelni. A mintaterületek esetében különválasztottam azokat aszályvizsgálati és belvízvizsgálati mintaterületekre, amelyet a 4. táblázatban ismertetek.

**4. táblázat:** Mintaterületek bemutatása aszály és belvíz vizsgálat szerint

|                                  | Aszályvizsgálati<br>mintaterület | Vizsgálati<br>módszer                | Belvízvizsgálati<br>mintaterület | Vizsgálati módszer                                                 |
|----------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| Alföld<br>(nagy-táj)             | ✓                                | Normalizált<br>hibrid<br>aszályindex | x                                | -                                                                  |
| Szolnok-<br>Túri-sík<br>(kistáj) | ✓                                | Normalizált<br>hibrid<br>aszályindex | ✓                                | Idősoros szintetikus<br>apertúrájú radar<br>adatok alkalmazása     |
| Nyírség<br>(középtáj)            | ✓                                | Normalizált<br>hibrid<br>aszályindex | x                                | -                                                                  |
| Észak-<br>Nyírség<br>(kistáj)    | x                                | -                                    | ✓                                | Különböző forrásból<br>származó<br>domborzatmodellek<br>vizsgálata |

Magyarázat: ✓-igen, x –nem

A mintaterületek meteorológiai illetve talajtani adatainak összefoglaló táblázatát a 2- 3. melléklet tartalmazza.

#### 3.1.1. Alföld

Az ország területének csaknem felét kitevő nagy-tájunk, az Alföld a Kárpát-medence központi fekvésű síksága (MARTONNÉ, 2001), amely domborzatilag illetve klimatikusan a legegységesebb. Általános jellemzőit tekintve klímája kontinentális, de jelentősek a

szélsőségek. Az országon belül a legtöbb napfénytartam, a legkevesebb csapadék jellemzi. Az Alföld egyik tájtípusai a futóhomokos hordalékkúp síkságok, amelyek közé tartozik a Nyírség, illetve a lösszel fedett hordalékkúp síkságok, amelyek közé tartozik olyan alacsony löszös síkságú terület, mint a Nagykunság (I3). Az Alföld esetében a napfényes órák száma 2100 óra, az éves középhőmérséklet 10 °C, az évi csapadékmennyiség pedig 500-550 mm. Az Alföld talajtípusait tekintve jellemző, hogy a réti talajok (13%), réti csernozjomok (12%), réti öntéstalajok (9%), futóhomok (7%), humuszos homok (7%)-os arányban fordulnak elő a területen. A fizikai féleségek közül 35%-ban vályog, 21%-ban agyagos vályog illetve 21%-ban homok található. Vízgazdálkodási kategóriák közül a legnagyobb arányban a jó víznyelésű és vízvezető-képességű, jó vízraktározó-képességű, jó víztartó talajok fordulnak elő (26%), ezt követik a gyenge víznyelésű, igen gyenge vízvezető-képességű, erősen víztartó, igen kedvezőtlen, extrémén szélsőséges vízgazdálkodású talajok (22%).

### 3.1.2. Szolnok–Túri-sík

A terület Jász-Nagykun-Szolnok megyéhez tartozik, teljes területe 1700 km<sup>2</sup> (MAROSI és SOMOGYI, 1990). Az Alföld rónáin belül a Nagykunság – térképészeti szempontból – az egyik legrégebben és legalaposabban vizsgált terület (BLASKÓ et al., 2011), amelyről az első részletes térképet Mikoviny Sámuel készítette 1731-ben (BLASKÓ, 2005).

A területre jellemzőek a szélsőséges éghajlati viszonyok, ez különösen a mezőgazdaságban okoz problémát. Az éves napfénytartam 1970-2010 óra. A napsütéses órák száma nyáron 810-820 óra, míg télen 190 óra körül alakul. Az évi csapadék 510- 540 mm. A vegetációs időszak csapadéka 300 mm körül van. Az ország legszárazabb vidéke ez a terület (MAROSI és SOMOGYI, 1990).

A domborzatot és a talajtanát tekintve az alábbiak jellemzőek: a felszín több mint 50%- a az alacsony ármentes síkság (MAROSI és SOMOGYI, 1990). A területre jellemző, hogy löszös anyag, lösziszap borítja a felszínét. A legnagyobb arányban (12 és 34%) alföldi mészlepedékes és réti csernozjomok találhatók a területen. 4%-ot a mélyben sós réti csernozjomok, 2%-ot a mélyben szolonyeces réti csernozjomok foglalnak el. A területen 9%-ban réti szolonyec, 8% -ban az igen gyenge termékenységű sztyeppesedő réti szolonyec, valamint 13 %-ban a szolonyeces réti talajok találhatók. A talajok fizikai tulajdonságait vizsgálva a terület legnagyobb részére (65 %) az agyagos vályog, a vízgazdálkodási kategóriákat figyelembe véve az alábbiak szerint alakulnak. A terület

nagy része (60,6 %) a jó víznyelésű és vízvezető-képességű, igen nagy vízraktározó-, és víztartó-képességű talajok kategóriába esik. Jelentős területen jelenik meg továbbá az igen gyenge víznyelésű, szélsőségesen gyenge vízvezető-képességű, igen erősen víztartó, kedvezőtlen vízgazdálkodású talajok (23,9 %).

Földhasználati szempontból a kistáj területének 80 %-a tartozik mezőgazdasági területek közé, amelyeknek 70%-a szántó (TÓTH et al., 2014). A jellemző földhasználati módokat a 4. melléklet tartalmazza.

### 3.1.3. Nyírség

Nyírség területe 5100 km<sup>2</sup> (SZABÓ, 2012), az Alföld ÉK-i, legmagasabb fekvésű tájegysége (SZANYI, 2004). A XIX. század közepén a Nyírség területének mintegy 21%- a (930 km<sup>2</sup>) az év egészében vagy egy részében vízzel borított terület volt. A Nyírség nagyobb része az ármentesítő és belvízlecsapoló munkálatok megkezdése előtt lefolyástalan terület volt (TÚRI-SZABÓ, 2012). A Nyírség kistájit más-más homokformák formálták egyedivé (MARTONNÉ, 2001). A napfényes órák száma 1975 óra, az éves középhőmérséklet 9,6-9,7 °C, az éves csapadékmennyiség 510-540 mm között alakul. A Nyírség talajtanát tekintve legnagyobb arányban kovárványos barna erdőtalaj (34%) fordul elő, illetve 28%-ban található a területen futóhomok. A fizikai féleséget figyelembe véve a legnagyobb kiterjedésben homok található a területen (71,87 %). Vízgazdálkodási tulajdonságokat tekintve a terület nagy része a nagy víznyelésű és vízvezető-képességű, közepes vízraktározó-képességű, gyengén víztartó talajok közé tartozik (51%). Ezen kívül a második legnagyobb arányban az igen nagy víznyelésű és vízvezető-képességű, gyenge vízraktározó-képességű, igen gyengén víztartó talajok találhatók (37%).

### 3.1.4. Észak-Nyírség (Nyírbátor)

Az Észak- Nyírség kistáj (ahol Nyírbátor található), Szabolcs-Szatmár-Bereg megye területén helyezkedik el. Tájképileg a legmozgalmasabb a Nyírség kistájai közül, ahol a mély barázdák és a deflációs mélyedések 20 m-re is felmagasló garmadákkal és garmadamezőkkel váltakoznak (MARTONNÉ, 2001). Területe 950 km<sup>2</sup> (a középtáj 20,7%- a, a nagytáj 1,9%-a). Éghajlatát tekintve a nyári időszakban a 760-780 óra, téli időszakban 165-170 óra között alakul a napsütéses órák száma. A területen az éves

csapadékmennyiség 610- 630 mm, északon 650-660 mm, amely a vegetációs periódusban 350-360 mm (MAROSI és SOMOGYI, 1990).

A terület déli és északnyugati részén jelentkeznek nagyobb domborzat értékek. A Nyírség hazánk második legnagyobb futóhomok-területe (SZABÓ, 2012). A talajtípusokat figyelembe véve legnagyobb arányban kovárványos barna erdőtalaj található a területen (46%), ezt követi a futóhomok, amely 21%-on található. Fizikai féleséget tekintve a terület 73%-a homok, 18%-a homokos vályog kategóriába esik. Vízgazdálkodási tulajdonságok szempontjából a nagy víznyelésű és vízvezető-képességű, közepes vízraktározó-képességű, gyengén víztartó talajok fordulnak elő legnagyobb arányban (55%), ezt követik az igen nagy víznyelésű és vízvezető-képességű, gyenge vízraktározó-képességű, igen gyengén víztartó talajok (26%).

A földhasználat tekintetében az Észak-Nyírség (ahol a kisebb mintaterületek találhatóak) gyenge minőségű szántó és jelentős erdőterület (homok megkötésére- akác, erdei és fekete fenyő) alkotja (I4). A területhasználati arányokat az 5. melléklet tartalmazza.

### **3.2. Felhasznált adatok, szoftverek, adatelőkészítési módszerek bemutatása**

#### **3.2.1. Felhasznált adatok ismertetése**

##### *Meteorológiai adatok*

Az aszályindexek számításához szükséges hőmérsékleti és csapadék adatok 1983-2012. közötti időszakra a Szolnok-Túri-sík területére a Debreceni Egyetem, Agrártudományi Központ, Karcagi Kutatóintézetéből, míg a Nyírség esetében 2002-2012. között a Debreceni Egyetem AKIT Nyíregyházi Kutatóintézetéből származtak. A PaDI számítása esetén egy 1983-tól rendelkezésre álló referencia időszakra volt szükség, így a hiányzó adatokat az Országos Meteorológiai Szolgálat (OMSZ) biztosította a mintaterületre (Nyíregyháza-Sóstó és Nyíregyháza-Napkor meteorológiai állomásról) 1983. és 2002. között.

##### *Normalizált differenciál vegetációs index (NDVI)*

Az NDVI egy dimenziómentes mérőszám, amely vegetációs aktivitást fejezi ki egy adott területre vonatkozóan.

A területre jellemző növényzet klorofill tartalmával korrelál. Az NDVI index kiszámítására az alábbi képletet alkalmazzák (8. egyenlet):

**8. egyenlet:** NDVI értékek kiszámítása

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

Ahol:

NDVI: - vegetációs index;

NIR: - a visszavert fény intenzitása a közeli infravörös tartományban;

RED: - a visszavert fény intenzitása a látható vörös tartományban.

Az egyenlettel definiált vegetációs index mindig -1 és +1 közötti eredményt határoz meg. A nullához közeli érték a növényzet hiányát jelzi. Ilyenek például a sziklás, köves, vagy hóval fedett területek. A 0,2 és 0,3 körüli értékek füves, bokros területet jelentenek, míg a 0,8-0,9 értékek sűrű zöld növényzetre utalnak, mint például a trópusi és mérsékelt övi erdők (KOGAN, 1995; TARPLEY et al., 1984).

A meteorológiai aszály index értékek és az NDVI értékek közötti összefüggés vizsgálata alapján határoztam meg az indexek relatív megbízhatóságát és készítettem súlyozást a normalizált hibrid index esetében, továbbá az index értékeket felhasználva idősoros vizsgálatot, illetve főkomponens analízist végeztem a biomassa és az aszály folyamatok közötti kapcsolatok feltárására.

*Corine Land Cover 2012 adatbázis*

A Corine Land Cover 2012-es adatbázisának segítségével a nem öntözött szántó területen vizsgáltam az NDVI értékek alakulását 2002-2012 között a Szolnok-Túri Sík esetében, illetve szintén ezen a mintaterületen az idősoros radar távérzékelési adatok alapján leválogatott belvizes területeket összevetettem a földhasználati kategóriákkal az adatbázis alapján. Az adatbázis 1:100 000-es méretarányú, amelyben öt fő csoportban 44 felszínborítási osztály található (HEYMANN, 1993). 1994-től a CORINE adatbázissal kapcsolatos tevékenységet az EEA (European Environment Agency) koordinálja (MARI-MATTÁNYI, 2002). A legkisebb interpretált objektumok mérete 25 ha, vonalas elemeknél a legkisebb szélesség 100 m volt. Jelenleg a 2018-as verzió a legfrisebb (I5).

### *Agrotopo adatbázis*

A Szolnok-Túri-sík esetében a talajtani adottságok közül az alábbi három kategóriát vizsgáltam a belvizes területek vizsgálata során az AGROTOPO adatbázis alapján: talajtípus, fizikai féleség és vízgazdálkodási kategóriák. Az adatbázis jellemzőit részletesen taglalja az MTA TAKI Környezetinformatikai Osztályának leírása (I6).

### *Carpatclim adatbázis*

A Carpatclim (Climate of the Carpathian Region) adatbázis létrejöttének célja volt, hogy a térséget lefedő jó minőségű, homogenizált, interpolált, napi skálájú meteorológiai paraméterek rácsponti adatbázisának létrehozása, illetve a Kárpát-medence klímájáról – részletes tér- és időbeli vizsgálat alapján – adatok szolgáltatása (I7).

A Carpatclim napi felszíni megfigyelési adatokat tartalmazó adatbázis, melyet speciálisan meteorológiai célokra kifejlesztett homogenizációs és interpolációs módszerek (SZENTIMREY, 2008; SZENTIMREY - BIHARI, 2007) alkalmazásával állítottak elő egy 10 km-es felbontású, a Kárpát-medencét és Magyarországot lefedő rácson. A Magyarországra vonatkozó validációs vizsgálatok során kiemelt szerepe van, hiszen a lehető legtöbb állomási adatsor felhasználásával készült (I8). Az adatbázisból letöltöttem a vizsgált indexeket (Ellenberg, PaDI, SPI-3 és RDI-3) 2002. és 2010. között, amelyek a normalizált hibrid index bemeneti paraméterei voltak, így térben tudtam ábrázolni az Alföld, Szolnok-Túri-sík és a Nyírség esetében is.

### *Sentinel 1 adatok*

A vizsgálathoz szükséges Sentinel 1 adatokat az Európai Űrügynökség (European Space Agency, ESA) honlapjáról töltöttem le (I2) 2015. január 1-től 2015. december 31-ig terjedő időszakra vonatkozóan. A Sentinel-1 egy C-sávú (középfrekvencia: 5.405 GHz) sark körüli pályán keringő műhold, bármely időjárási körülmény között, éjjel-nappal működő és folyamatosan adatokat szolgáltató műholdradar képalkotó rendszer (I2). A C-sáv az elektromágneses spektrum egy része a mikrohullámú frekvenciatartományban, 4,0 - 8,0 GHz között. A felvételek segítségével idősoros felvételek alapján vizsgáltam a belvizes területek kiterjedését a Szolnok-Túri-sík esetében.

### *Légi LiDAR adatok*

A légi LiDAR felmérés a Víz-és Környezetgazdálkodási Intézet és az Eurosense Kft. közös felméréséből származott. A folyamat lépései az alábbiak voltak: repüléstervezés, repülés, fotogrammetriai feldolgozás, zajsűrés valamint a szegmentálás.

A felmérés két helyszíne egy 15,6 ha-os legelő és egy 85,55 ha-os szántó, valamint annak közvetlen környezete volt. A lézeres felmérést az Eurosense Kft. hajtotta végre, IGI LiteMapper rendszer segítségével, LM 6800-400 LiDAR mérőkamerával. Az LM 6800 típusú műszer maximálisan 400000 pontmérést képes végezni másodpercenként (lézer PRR: 400 kHz), amely mellé 20 mm-es pontosság társul. A szkennert, illetve a hozzá tartozó feldolgozó szoftverek (RiANALYZE 6.0.2., RiWORLD 4.3.7., TerraScan v16., TerraMatch) segítségével a hullámalak elemzés is végezhető. Ez azt jelenti, hogy a lézernyaláb elérve az objektumot, több utas terjedésben halad tovább, így más távolságokból érkezik a detektorba a visszaverődő lézernyaláb. Ennek a többszörös visszaverődésnek köszönhetően az echo hullámforma analízise elvégezhető, mellyel, az egyes földi objektumok automatikusan szeparálhatók lesznek. A hullámalak-elemzés egyik fontos mérőszáma a lézernyaláb széttartása; ez a divergencia érték 0,5 mrad (100 m-en 50 mm az adott lézer széttartása) a használt eszköz esetében.

### *Talajtani adatok Nyírbátor*

A talajtani adatok a Víz -és Környezetgazdálkodási Intézet 2017-es évi felvételezéséből származtak. A mintavétel során az előzetesen rendelkezésre álló talajtani és a domborzati adatokat figyelembe vették, 30 és 60 cm-es zónákból vettek bolygatatlan talajmintákat. A talajminták vizsgálata részben a Víz-és Környezetgazdálkodási Intézet, részben a Karcagi Kutatóintézet laboratóriumában történt. A későbbi vizsgálatok során a K tényező, diszponibilis víz és szabadföldi vízkapacitás értékeket elemeztem. A szerves széntartalom és Arany-féle kötöttségi vizsgálatok esetében a talajtani adatok a gyepterület esetében 0-20, 20-40, 40-60 cm-es mélységből vett talajmintavételezésből származtak.

### 3.2.2. A kutatás során felhasznált szoftverek bemutatása

#### *DrinC*

A szoftver segítségével számítottam ki az SPI-3 és az RDI értékeket a meteorológiai adatok alapján. A szoftverrel kapcsolatos általános ismereteket és a módszertani alapokat TIGKAS et al. (2014) publikálta. A beépített indexek kiválasztásánál figyelembe vették, hogy olyan régióban is használható legyen, ahol kevés az adat, illetve hogy az eredmények közvetlenül és hatékonyan legyenek felhasználhatóak. Az adatok lehetnek havi, éves és szezonális bontásban, és közvetlenül is importálhatók MS Excel fájlokból (.xls).

#### *Global Mapper*

A szoftver alkalmas teljes körű adatkonvertálásra, online adatbázis hozzáférésre (SRTM, ASTER GDEM, DigitalGlobe, Landsat 7, stb.). A segítségével az alábbi műveletek végezhetőek el: csoportos adatkonvertálás, automatizálás; rétegek kombinálása; transzformálás, georeferálás; vektorgrafikus térképezés, alakzatok; határvonal, puffer zóna generálás; rácsháló, tetszőleges rácsközü, tetszőleges tájolású raszter kihelyezése, rétegek összevonása és szétválasztása, vízszintes elöntés modell (I9). A Sentinel 1-es havi felvételeket, Corine Land Cover 2012-es nem öntözött szántóterületeket illetve Carpatclim weblapjáról publikusan beszerezhető térképek \*.ASC formátumú fájljait a Global Mapper 15 szoftverkörnyezetben alakítottam át.

#### *IDRISI Taiga*

Az IDRISI- Tajga egy raszter alapú, professzionális szintű földrajzi információs megjelenítő rendszer, melyet a Clark egyetem (USA) kutatói fejlesztettek ki 1987-ben. A térinformatikai és képelemző szoftver közel 300 modult foglal magába, amelyek közé tartozik az adatbevitel, adattárolás, elemzés, megjelenítés és a modellépítés (I10). A kutatás során a szoftver segítségével feldolgoztam a MODIS NDVI felvételeket, idősoros vizsgálatot és főkomponens analízist végeztem. A CarpatClim adatbázisából letöltött index értékek alapján normalizált hibrid aszályindexet hoztam létre az Alföldre, Szolnok-Túri-síkra és Nyírségre egyaránt. A Sentinel 1 adatok alapján leválogatott belvizes foltok pontos területi kiterjedését tudtam meghatározni a szoftver segítségével.

## *SNAP 2.0.*

A Sentinel Application Platform (SNAP) újraegyesíti az összes Sentinel eszköztárat, hogy a legösszetettebb platformot kínálja a felhasználók számára. Az alapfunkció magában foglalja: termék megnyitását, a termékösszetevők, mint például a sávok, maszkok, rácsok feltérképezését (I2). A program támogatja a főbb SAR adatformátumokat. A Sentinel 1 adatok feldolgozását, vizes és nem vizes területek leválogatását a szoftver segítségével végeztem el.

## *ArcGIS*

Az ArcGIS az Environmental Systems Research Institute (ESRI) cég szoftvere. Ez az egyik legelterjedtebb GIS szoftver világszerte. Az ArcMap az ArcGIS központi eleme, amivel az összes térképalapú feladat elvégezhető, köztük a térképek készítése, elemzése és szerkesztése (I11). A szoftver segítségével végeztem el az analóg adatok alapján készült DEM feldolgozási folyamatát.

## *ENVI LiDAR*

Az ENVI LiDAR segítségével a pontfelhőket különböző rétegekké alakíthatjuk át, amelyek számos kimeneti formátumba exportálhatók. A szoftver a pontok topológiai elhelyezkedését alapul véve, automatikusan osztályozza be az egyes objektumokat (fák, épületek, villanyoszlopok, domborzat, stb.), így a pontfelhő-adatfeldolgozás gyors és egyszerű módon elvégezhető (I12). A szántó és gyepterület esetében a pontfelhő kivágatokat és a digitális domborzatmodellt a szoftverben készítettem el.

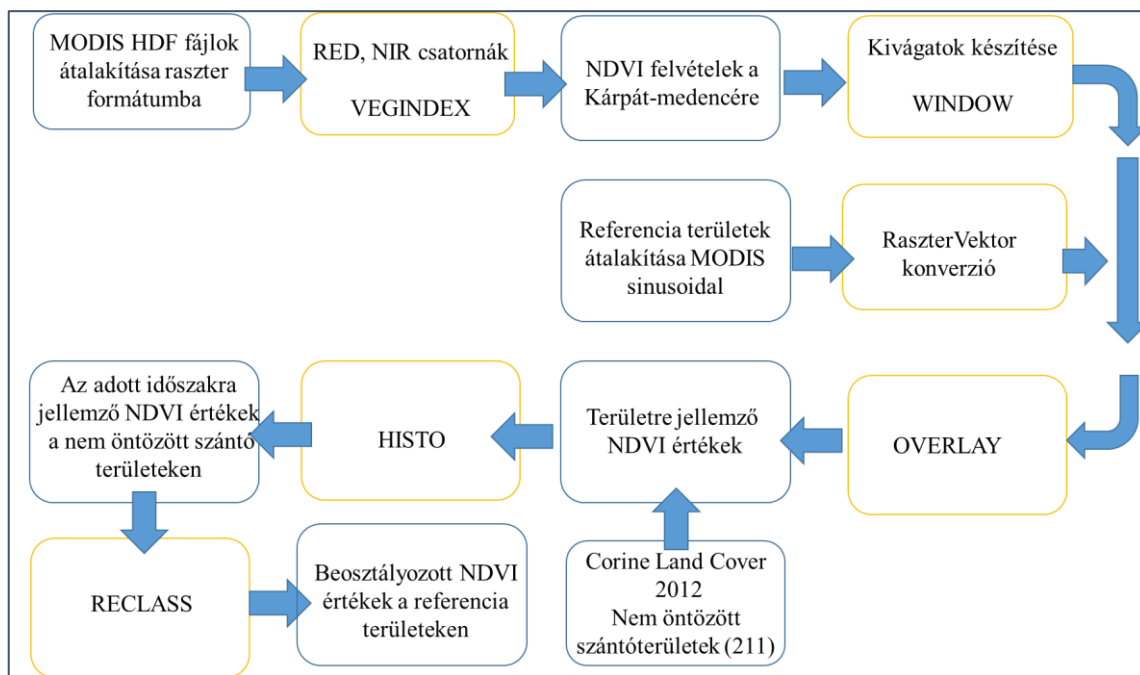
## *Surfer 13*

A Surfer egy általános célú térképszerkesztő, felületmodellező alkalmazás, melynek segítségével a geoinformatikai feladatok széles körét lehet megoldani. A pontszerűen mért adatok térképi megjelenítésére alkalmazható. A fő feladatköre, hogy különféle térbeli eloszlású bemeneti ponthalmazból matematikai módszerek segítségével egyenkénti rácshálót képes létrehozni, melyből ál-háromdimenziós felületet, izovonalas, drótváz, vagy vektor térképet készíthetünk. Az elkészült felületekkel különböző műveleteket, spektrális elemzéseket hajthatunk végre (I13). A Surfer 13 programban került sor az előfeldolgozott légi LiDAR adatok térképezésére.

### 3.2.3. A kutatás során alkalmazott adatelőkészítési módszerek bemutatása

#### *NDVI értékek számítása a mintaterületekre*

Az elemzések során használt MODIS felvételeket a USGS (United States Geological Survey) honlapjáról töltöttem le 2002-2012 közötti időszakra, amely alapján meghatároztam a területekre (Szolnok-Túri-sík, Nyírség) jellemző NDVI értéket. Az adatelőkészítés lépéseit a 3. ábra tartalmazza.



**3. ábra:** MODIS NDVI felvételek feldolgozásának folyamata

Megjegyzés: A sárga keretbe foglalt műveletek az IDRISI Taiga szoftverben alkalmazott operátorok (Forrás: saját szerkesztés)

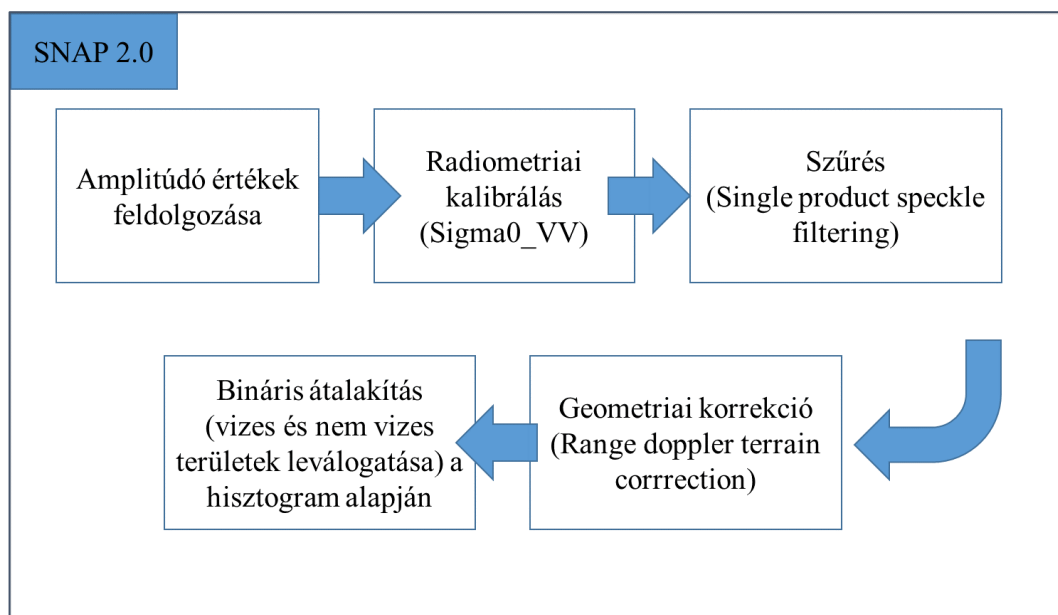
A feldolgozás lépései során először átalakítottam a MODIS HDF fájlokat IDRISI Taiga szoftver környezetben, majd a MODIS felvételekből VEGINDEX művelet segítségével előállítottam a raszteres fájlokat, amelyek már a területre jellemző NDVI értékeket tartalmazták. A referencia területek (Szolnok–Túri-sík és Nyírség) shape fájlját átalakítottam MODIS Sinusoidal vetületbe, majd pedig ezeket raszterre. Ezt követően kivágatot készítettem a MODIS felvételekből, valamint hozzáadtam a mintaterületeket, így megkaptam az azokra jellemző NDVI értékeket. A továbbiakban a nem öntözött szántóterületek esetében vizsgáltam az NDVI értékeket. Ehhez a Corine Land Cover 2012-es adatbázisából kiválogattam a nem öntözött szántóterületeket (211-es kategória) Global Mapperben, majd pedig IDRISI Taiga szoftverkörnyezetben a megfelelő lépések

után ezt a kivágotat hozzáadtam a mintaterület NDVI térképéhez, így megkapva a mintaterületeken található nem öntözött szántóterületek NDVI értékeit.

#### *Sentinel 1 radar adatok feldolgozásának folyamata*

A kutatás során a radar felvételeket az ESA Sentinel Application Platform (SNAP) 2.0 szoftverkörnyezetben dolgoztam fel. Minden polarizáció 2 sávban van rögzítve (amplitúdó és intenzitás).

A radar adatok feldolgozásának lépései a 4. ábrán láthatóak.



**4. ábra:** A SAR adatok feldolgozás lépései (Forrás: saját szerkesztés)

A feldolgozási folyamat utolsó lépéseként elkészítettem a terület hisztogramját, ami alapján kiválasztottam egy küszöbértéket, aminek a segítségével el tudtam különíteni egymástól a vízzel borított, valamint a vízzel nem borított területeket. Ez a határérték  $2.21E^{-2}$  volt (9. egyenlet).

**9. egyenlet:** A szegmentálás során alkalmazott összefüggés

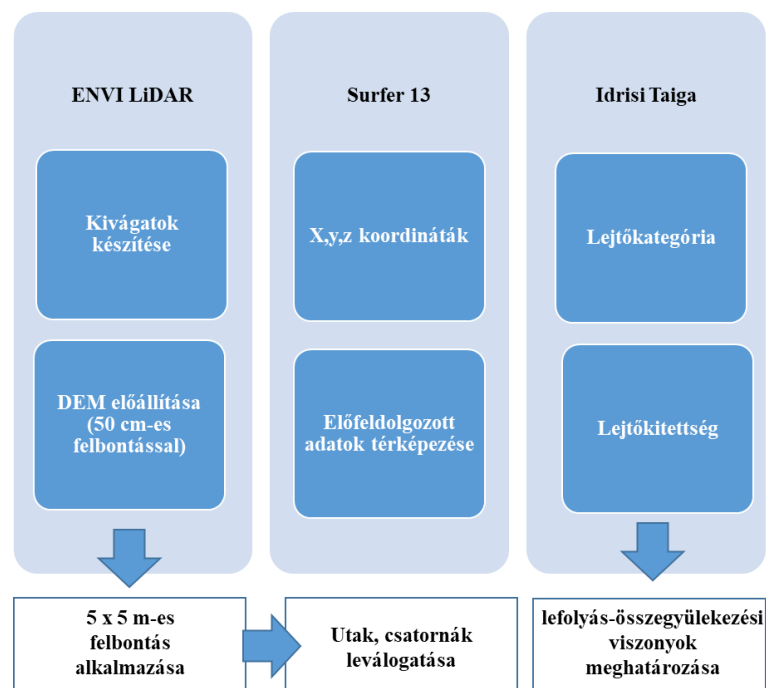
$$255 * (Sigma0_{VV} < 2,21E^{-2})$$

A kifejezés  $Sigma0_{VV} < 2,21E^{-2}$  logikai értékként szerepelt. A  $2,21E^{-2}$ -nél kisebb érték lesz az igaz (vagyis 1-es érték -> vizes), míg az ennél nagyobb értékek hamisak lesznek (vagyis 0-s értéket kapnak -> nem vizes). A határérték megválasztásának alapját egy gyakorlati leírás adta, amelyben árvíz detektálás során alkalmazták a fenti összefüggést (I14). GULÁCSI (2017) megállapította, hogy egy megfelelő belvíz-küszöbérték megadása

nehéz, a műholdképek térbeli felbontása durva a belvíz léptékéhez mérve, ill. sekélyebb/átlátszó a víz a kicsit mélyebb tavakhoz és csatornákhöz képest.

### *LiDAR adatok feldolgozásának lépései*

A feldolgozás során első lépésként kivágtam a szántó és a gyep területek pontfelhőit (ENVI LiDAR szoftverben), illetve a légi LiDAR felvételtől elkészítettem a két referencia területre a digitális domborzatmodell, 50 cm-es felbontással. A domborzatmodellek metaadatait az 6. melléklet tartalmazza. A feldolgozás lépéseit az 5. ábra tartalmazza.



**5. ábra:** LiDAR adatok feldolgozásának lépései (Forrás: saját szerkesztés)

Az elemzést követően tudtam elkészíteni a megfelelő „minőségű”, nagy felbontású terepmodell. A szoftver lehetőséget teremtett arra (a pontok topológiai kapcsolatrendszere révén), hogy a pontfelhőben lévő beazonosíthatatlan, „zajnak” minősülő pontokat elszeparáljam a domborzattól. A domborzati adatokat text formátumban exportáltam ki, amely tartalmazta az x és y koordinátákat, valamint a magassági értékeket is.

Ezt követően a Surfer 13 programban került sor az előfeldolgozott adatok térképezésére, majd a geostatisztikai elemzést az IDRISI Taiga szoftver segítségével végeztem el (5. ábra).

### 3.3. Meghatározó aszályindex számítása különböző földrajzi régiókban

#### 3.3.1. Aszályindexek számításának bemutatása

##### *Az Ellenberg Index számításának a menete*

Az index értékeit a meteorológiai állomás hőmérséklet és csapadék adatai alapján számítottam ki az alábbi képlettel (10. egyenlet):

**10. egyenlet:** Ellenberg Index számítása

$$El = \frac{\text{júliusi átlag középhőmérséklet}}{\text{éves csapadék mennyiség}} * 1000$$

Az index értékek nincsenek skálázva, minél nagyobb az érték annál nagyobb az aszály (ELLENBERG, 1988).

##### *Az SPI-3 és az RDI számításának menete*

A vizsgálat során a SPI-3 és az RDI indexek értékeit a DrinC (Drought Indices Calculator) szoftver segítségével számítottam ki a mintaterületre.

A kalkuláció mindkét referencia terület esetében havi bontásban történt az időszak hidrológiai éveire vonatkoztatva (októbertől szeptemberig), 2002-2012-ig. A számítás során a bemeneti paramétereken kívül a koordinátákat is szükséges megadni. Az indexek bemeneti adatait az 5. táblázat tartalmazza.

**5. táblázat:** Az indexek bemeneti paraméterei

| Index rövidítése | Bemeneti paraméter               |
|------------------|----------------------------------|
| <b>RDI</b>       | Csapadék, PET (vagy hőmérséklet) |
| <b>SPI-3</b>     | Csapadék                         |

(Forrás: TIGKAS et al., 2014).

A szoftver segítségével lefuttattam mindkét index számítását. Az SPI számítása havi sorrendben történhet (McKEE et al., 1993), általában öt futtatandó intervallumban: 1-, 3-, 6-, 9- és 12 hónap), amiből a három havit választottam. Az RDI a hidrológiai évet alapul véve különböző referencia időszakokra számítható (például 3, 6, 9 és 12 hónap) (TSAKIRIS et al., 2007c), amelyek közül szintén három havi időszakra kalkuláltam. Alkalmasak lehetnek ezáltal bizonyos időszakok összehasonlítására. Az eredményeket minden aszályindex esetében lehet elemezni havonta vagy egy időszakra vonatkoztatva,

amely lehetővé teszi a közvetlen összehasonlítást a szárazság súlyosságáról egy év meghatározott időszakaiban.

#### *A PaDI számításának menete*

Az index számításához szükséges hőmérsékleti és csapadék adatok a korábban említett állomásokról származtak. Az adatok rendezését követően, a korrekciós tényezők bevonásával módosított Pálfai aszályindex  $PaDI_0$  értékét számítottam ki a 2002-2012. időszakra. A PaDI számítása esetében első lépésként az alapértéket, ez követően pedig a korrekciós tényezők segítségével a tényleges aszályindex értékeit kell kiszámolni. Az index alapértéke az április-augusztusi középhőmérséklet és az októbertől augusztusig számított súlyozott csapadékösszeg hányadosa. Az index esetében havi súlyozó tényezőkkel számoltam, amelyek 0,1-1,6 között alakultak. A korrekciós tényezők esetében a hőségnapokat, csapadékszegény időszakok hosszát és talajvízszint mélységet kell figyelembe venni. A számítás módját PÁLFAI (1990); BIHARI, (2012); VERMES (2000); KOZÁK et al. (2012) taglalja részletesen.

#### *Az NDVI értékek számítása*

A vegetáció aktivitását 10 éves idősorban elemeztem mindkét mintaterület esetében. A vizsgálat során 2002-2013 közötti májusi és augusztusi MODIS felvételeket dolgoztam fel a Corine 2012-es adatbázisa alapján nem öntözött szántóterületen. A mezőgazdaság szempontjából legfontosabb a májusi, augusztusi időszak (PÁLFAI, 2004), hiszen ezek a vizsgálati területen található búza, őszi árpa, tritikálé, valamint a kukorica virágzásának és termésképződésének időszakait fedik le. A feldolgozás eredményeképpen megkaptam a területre jellemző NDVI értékeket, amely esetében az osztályozási kategóriákat a 6. táblázat tartalmazza.

**6. táblázat:** NDVI osztályozási kategóriák

| Kategória | NDVI<br>érték |
|-----------|---------------|
| 1         | 0-0.2         |
| 2         | 0.2-0.4       |
| 3         | 0.4-0.6       |
| 4         | 0.6-0.8       |
| 5         | 0.8-1         |

A vizsgálatok során a meteorológiai aszály indexek kiszámítását követően elemeztem a hazai és a nemzetközi indexek közötti összefüggéseket, amelyet lineáris regresszió analízissel végeztem. Az Ellenberg-PaDI, SPI-3- PaDI, RDI-PaDI közötti analízist az MS Office Excel program segítségével végeztem el. Az összefüggéseket linárison kívül más típusú függvénnel is vizsgáltam, de egyik sem jelzett szorosabb összefüggést, minden esetben a lineárishoz hasonló eredményeket kaptam.

### 3.3.2. Normalizált hibrid aszályindexek számításának módja

A számított aszályindexek eltérő években jeleztek aszályt, illetve eltérő mértékben, szükségesnek tartottuk egy új Hibrid Index megalkotását az általam számított aszályindexek értékei alapján. Ezzel egy egységes osztályozási rendszer került kidolgozásra, amely nemzetközi és hazai szinteken is alkalmazható.

A pontszerű meteorológiai állomás adatai alapján is kiszámítottam a hibrid indexet mind a Szolnok-Túri Síkra, mind pedig a Nyírségre. A számítás módja a korábban ismertetett lépésekben történt MS Office Excel segítségével. A súlyozási tényezők a következők szerint alakultak a PaDI esetében 0,77, SPI-3 és RDI esetében 0,3, míg az Ellenberg esetében ez az érték 0,06 volt a Szolnok-Túri-síkon végzett számítások alapján. A nyírségi adatok alapján PaDI esetében 0,76, az Ellenberg esetében 0,69, az SPI-3 esetében 0,38 illetve az RDI esetében 0,23. A fenti értékek az index értékek és augusztusi NDVI értékek közötti vizsgálatok során kapott determinisztikus együttható értékek voltak.

A további vizsgálataim célja volt, hogy az aszály jelenségeket térben is megvizsgáljam. Ebben a mintaterület az Alföld volt, illetve ehhez tartozóan a két kisebb mintaterületre (Szolnok–Túri-sík, Nyírség) is elvégeztem a számításokat. Az Ellenberg és a PaDI esetében éves értékeket kaptam, míg az SPI-3 és az RDI-3 esetében havi értékeket tudtam kinyerni. Végül átosztályoztam a vizsgált területet, így térben tudtam meghatározni az aszály jelenségek alakulását, valamint a két mintaterület (a Szolnok–Túri-sík és a Nyírség) esetében is térben tudtam vizsgálni az aszály alakulását 2002-2010 között. Első lépésként az IDRISI Taiga szoftverkörnyezetben ImageCalculator segítségével az általam kiválasztott, a CarpatClim adatbázisából letöltött négy meteorológiai indexek (Ellenberg, SPI-3, RDI-3, PaDI) értékeit egy 0-1 közé eső skálába képeztem át. Ezt követően az index értékeket súlyoztam. A súlyozást az augusztusi NDVI index értékek és az index értékek közötti összefüggés vizsgálat során kapott

determinisztikus együttható értékek átlaga alapján végeztem. A PaDI esetében ez az érték 0,76; SPI-3 és az RDi esetében 0,3, míg az Ellenberg esetében 0,37 volt a súlyozási érték. Ezeket az értékeket kumuláltam, osztottam az indexek számával, majd egy százalékos skálára számítottam át, egy újraosztályozást követően pedig az aszály térbeli megjelenését tudtam ábrázolni.

A feldolgozás során első lépésként a Global Mapper 15 szoftverkörnyezetben átalakítottam a Carpatclim weblapjáról publikusan beszerezhető térképek \*.ASC formátumú fájljait IDRISI raszterekké, majd pedig az IDRISI Taiga-ban végeztem a további műveleteket. A vizsgálataimat az Alföld területére végeztem el, mivel a célom volt, hogy regionális léptékben is megvizsgáljam az egyes index értékeket. Az SPI-3 és az RDI-3 esetében RasterCalculator segítségével átlagoltam a havi adatokat pixel szinten, éves adatokká. Ezt követően az indexek értékeit átalakítottam fuzzy művelettel, amely segítségével értékelni tudtam annak a valószínűségét, hogy az egyes pixel értékek mely fuzzy tagságba tartoznak. A PaDI esetében a vezérlési pontok értéke 0 és 50 volt, míg az Ellenberg esetében ez az értéke 0 és 130 volt. Az Ellenberg esetében nincs felső határérték, azonban a Kárpát-medencében 130 volt a legnagyobb előforduló érték az általam vizsgált időszakban, ezért választottam ezt felső értéknek. Mindkét index esetében a kimeneti skála 0 és 1 közé esett. Az SPI- 3 és az RDI-3 értékek esetében más maszkot alkalmaztam, mivel ezen függvényeknél az indexek értéke -2 és 2 között alakulhat, valamint ezen két index esetében a RasterCalculator segítségével normalizáltam az éves értékeket. Pixel szinten megkaptam az adott értékeket, ezeket átszámítottam százalékos értékke. Ezeket osztályoztam, így megkaptam a területre jellemző index értékeket.

### **3.4. Aszály folyamatok értékelésére biomassza vizsgálatok alkalmazásával, idősoros műholdas spektrális adatok alapján**

A vizsgált NDVI felvételekből idősort hoztam létre IDRISI Taiga szoftver környezetben. Az idősor néhány fájlból állt, amely tartalmazta az aktuális idősort, valamint egy dokumentációs fájlt, amely a sorozat időbeli jellemzőit írta le. A dokumentációs fájlok \*.TSF kiterjesztéssel rendelkeznek, és egységes formátumúak, függetlenül az idősor jellegétől.

A raszterképek idősorai idő-tér kockákat (time-space cubes) alkotnak. Ezekben az esetekben a raszteres csoportfájl (\*. RGF) leírja a képsorozatot, és a \*.TSF fájl dokumentálja annak jellemzőit. A tér-idő kocka nézet egy speciálisan csökkentett felbontású adatfájlból származik.

A kutatás során elkészítettem a mintaterületekre az idő-tér kockákat a májusi és az augusztusi időszakokra egyaránt. Ezt követően főkomponens analízist (Principal Component Analyses - PCA) végeztem IDIRISI Taiga szoftverkörnyezetben az NDVI felvételek esetében 2002-2012 közötti időszak májusi és augusztusi felvételein, mindkét mintaterületre időben (T-mode) és térben (S-mode) egyaránt. A főkomponens analízis egy speciális esete, amikor több különböző felvételen dolgozunk. Ennek alapfeltétele, hogy a felvételek geometriailag összevethetők legyenek. Az ilyen elemzések legegyszerűbb esete a válzotás vizsgálatokban jól használható főkomponens analízis (BELÉNYESI et al., 2013), ezért választottam a főkomponens analízist az idősoros vizsgálataink elemzésére.

A főkomponens transzformáció első lépése az un. sajátérték transzformáció volt, amely során a program a kovarianciamátrix alapján kiszámította az un. sajátvektortokat, és az eredeti felvételt intenzitás-értékeit a sajátvektorok által meghatározott koordinátarendszerbe transzformálta. Az egymással korreláló sávok lineáris transzformációját végezte el, úgy hogy a kapott főkomponensek egymással korrelálatlanok legyenek. Az új komponens sávok sorrendben egyre csökkenő mértékű variáciát tartalmaznak. Az eljárás matematikai hátterét nem ismertetem, mivel a főkomponens analízis a legtöbb térinformatikai szoftverben így az IDRISI Selvában is be van építve. A főkomponens analízis lehet standardizált és nem standardizált. A vizsgálatok során a nem standardizált elemzést választottam, mert ez nyújt információt arról, hogy melyik kép adja a legfontosabb információt az adatokról.

A T-módú folyamat során minden képsávot (időbeli) változóként elemeztem, ami új főkomponens-képeket hozott létre (ezek egymással nem korrelálnak). A komponensek táblázata és az irányvektorok is kimeneti fájlként jelentek meg. Ezzel ellentétben az S-módú folyamat minden pixelhelyet az eredeti képsávokban (térbeli) változóként kezelt. Ennek eredményeként új képeket állított elő, amelyek a bemeneti sorozatok transzformációjának komponensei és irányvektorai voltak. A létrehozott kimenő táblázat tartalmazta a létrejött korrelálatlan főkomponens értékeit.

### **3.5. A belvizek összegyülekezési és lefolyási viszonyainak értékelési módszerei**

#### **3.5.1. Belvízzel veszélyeztetett területek leválogatása idősoros radar távérzékelési adatok alkalmazásával**

A célkitűzéseim között szerepelt módszertan kidolgozása a belvizek összegyülekezési és lefolyási viszonyainak értékelése, radar távérzékelési adatok alkalmazásával, mivel ez az egyik lehetséges megoldás lehet a belvízi jelenségek nyomon követésére, illetve előfordulási kockázatának jellemzésére.

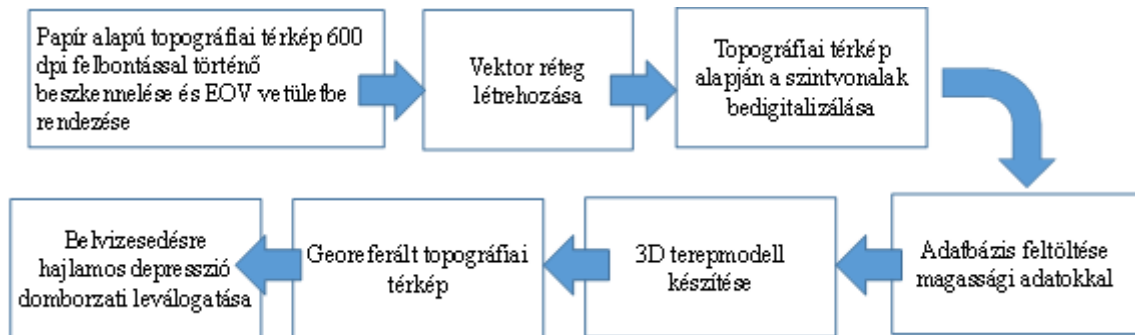
A korábban bemutatott szegmentálási egyenlet alapján elkülönítettem egymástól a vizes és nem vizes területeket 2015. januártól decemberig a Szolnok–Túri-sík területén. Corine Land Cover 2012-es adatbázis felhasználásával megkaptam számszerűsítve a belvizes területek nagyságát (ha-ban kifejezve) a nem öntözött szántó területek, a gyepterületek és a legelők esetében. A következő lépésként a Corine Land Cover 2012-es adatok segítségével lehatároltam a belvízfoltokat a nem öntözött szántóterületeken. Első lépésként a Sentinel 1-es havi felvételeket beimportáltam IDRISI Taiga szoftverkörnyezetbe és újraosztályoztam a felvételeket. Global Mapper 15-ös szoftverkörnyezetben azonos sor és oszlop számot adtam meg a két felvételnek, hogy a későbbiekben műveletbe tudjam hozni őket. A Corine Land Cover 2012-es adatok alapján bedigitalizáltam a tavakat, tározókat, hogy ezt a későbbiekben figyelmen kívül hagyjam a számítási folyamatból. A talajtani tulajdonságok és a belvizes területek kialakulása közötti összefüggések vizsgálatakor AGROTOPO adatbázis alapján leválogattam a mintaterületen a talajtípusokat, fizikai féleséget és vízgazdálkodási kategóriákat Global Mapper 15 szoftverkörnyezetben.

#### **3.5.2. Belvízzel veszélyeztetett területek leválogatása különböző forrásból származó domborzatmodellek alkalmazása esetén**

A kutatás során az Észak-Nyírségben kiválasztottam a tájra jellemző két kisebb mintaterületet, amelyek Nyírbátor közelében találhatóak. A két referencia terület egy 15,6 ha-os legelő és egy 85,55 ha-os szántó, valamint annak közvetlen környezete volt.

### 3.5.2.1. Belvízzel veszélyeztetett területek leválogatása digitalizálással készült DEM esetében

A feldolgozás lépéseit a 6. ábra tartalmazza.



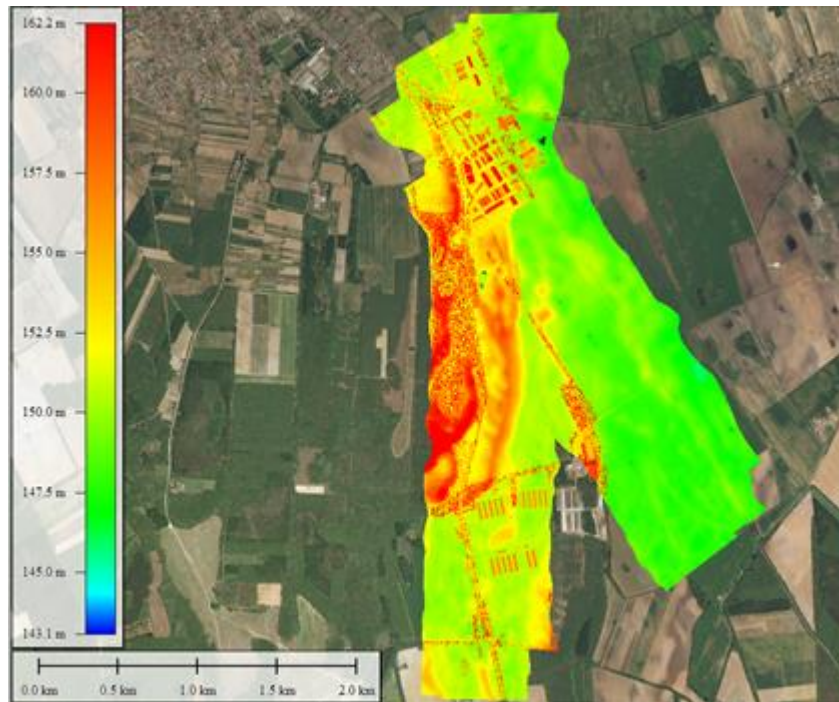
**6. ábra:** Az analóg adatok alapján készült DEM feldolgozási folyamata

A területen a legalacsonyabb tengerszint feletti magasság 141 m, míg a legmagasabb 170 m volt. Ezen a területen összesen 25 372 magassági adatot hordozó vertex pont került bevitelre, melyből ArcGIS 10 szoftver segítségével, Kriging interpolációs módszerrel 3D kontúr felszínt generáltam. A domborzatmodell alapján elvégeztem a belvizesedésre hajlamos területek lehatárolását. Ehhez elsőként a lefolyási irányokat és a részvízgyűjtők kiterjedését kellett meghatározni. Ezt a műveletsort az ArcGIS szoftver hidrológiai elemzési alkalmazásai tették lehetővé. Az alapadatok létrehozása után az úgynevezett „sink” modul segítségével sikerült lefolyástalan területeket leválogatni, ezt követően elkészítettem a lejtőkategória térképeket.

### 3.5.2.2. Belvízzel veszélyeztetett területek leválogatása LiDAR felvételezésből származtatott DEM alapján

A LiDAR felmérést az adott kultúrnövények betakarítása után, illetve a következő kultúrnövények vetése előtt időzítették. A gyepterületen pedig a legkisebb gyepterület időpontjában történt a mérés. Az így rendelkezésre álló körülmények jó lehetőséget biztosítottak a területek domborzatának megismerésére, a mikrodomborzati különbségek értékelésére. A nagy pontosságú felmérés 107,8 ha-t fedett le. Összesen 129 072 937 pontból épült fel a terület.

A LiDAR adatpontok felbontása 14,58 pont/m<sup>2</sup>, amely megfelelő a nagy pontosságú modellek elkészítéséhez (7. ábra).



**7. ábra:** A LiDAR rendszerrel felmért terület elhelyezkedése

A fotogrammetriailag feldolgozott lézeres pontfelhő a GlobalMapper szoftverben került előfeldolgozásra. A pontfelhő statisztikai adatait a 7. melléklet tartalmazza.

A szoftverben már előzetes domborzatprofil-elemzést is végrehajtottam a szántó - és gyepterületen. A LiDAR felvétel alapján készítettem el a területek domborzatmodelljeit, majd a korábbi vizsgálatokhoz hasonlóan elkészítettem a lejtőkategória és lejtőkitettség térképeket is, végül pedig lehatároltam a területeken található belvíz foltokat.

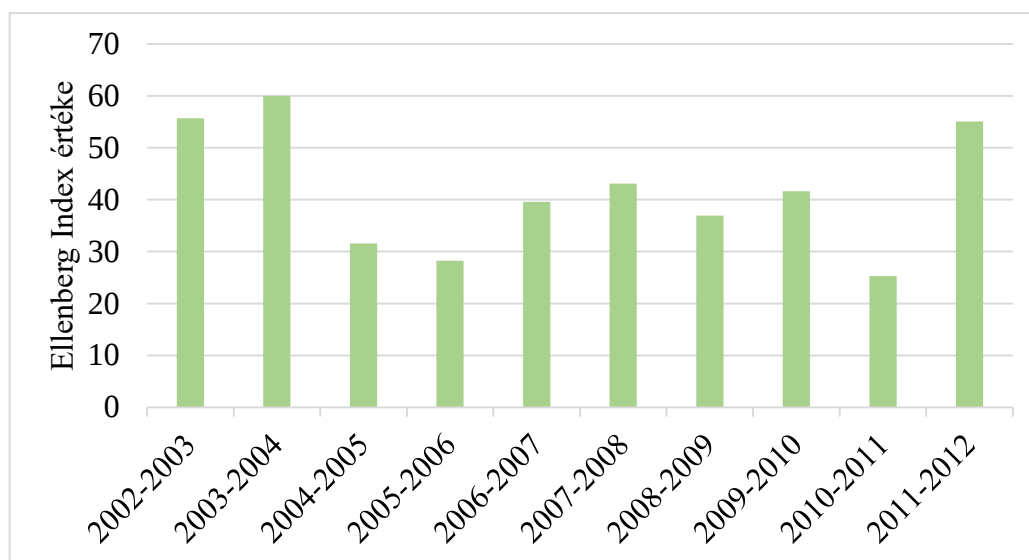
Az analóg adatok alapján készített (hagyományosnak mondható) DEM feldolgozásának lépéseihez hasonló módon elemeztem ki a nagyfelbontású LiDAR adatok alapján készült domborzat modellt is. A feldolgozás során különböző pixel aggregációs optimalizálást végeztem el. Ezt követően leválogattam az utakat, csatornákat és a tározókat. A továbbiakban a lejtésviszonyok alapján megvizsgáltam a lefolyás-összegyülekezési viszonyokat. Ezt követően a lézeres felmérés intenzitás értékeit elemeztem ki. Az infravörös tartományban működő LiDAR lézernyalábjai elnyelődnek a vízben, így kisebb visszatérési pont sűrűség biztosítja az alapot a káros felszíni víztöbbletek térbeli lehatárolására (ZANEVELD és PEGAU, 1993). Végezetül összehasonlítottam a hagyományos és a LiDAR felvétel alapján készült digitális domborzatmodellek alkalmazhatóságát a belvíz térképezés során.

## 4. Eredmények

### 4.1. Meghatározó aszályindexek eredményeinek kiértékelése különböző földrajzi régiókban

#### 4.1.1. Aszályindexek kiértékelése a Szolnok–Túri-sík és a Nyírség esetében

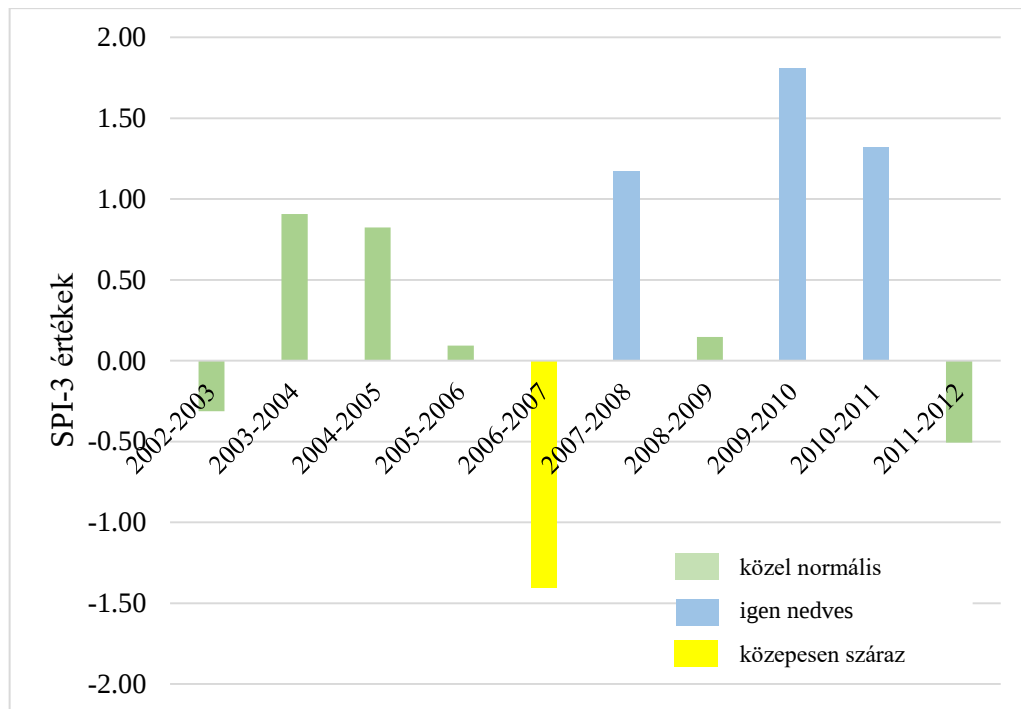
A meteorológiai indexek (Standardizált Csapadék Index - Standardized Precipitation Index-SPI; az Aszályfelismerési Index - Reclamation Drought Index – RDI; az Ellenberg Index és a Pálfai-féle Ariditási Index-Pálfai Drought Index-PaDI) alapján az alábbi eredményeket kaptam a Szolnok-Túri-sík esetében. Az Ellenberg Index értékeit a 8. ábrán mutatom be.



**8. ábra:** Az Ellenberg Index értékeinek alakulása a Szolnok–Túri-sík területén 2002-2012 között

Az Ellenberg Index értékei alapján aszályos év volt a 2002-2003, 2003-2004, 2007-2008, 2009-2010 valamint a 2011-2012-es év.

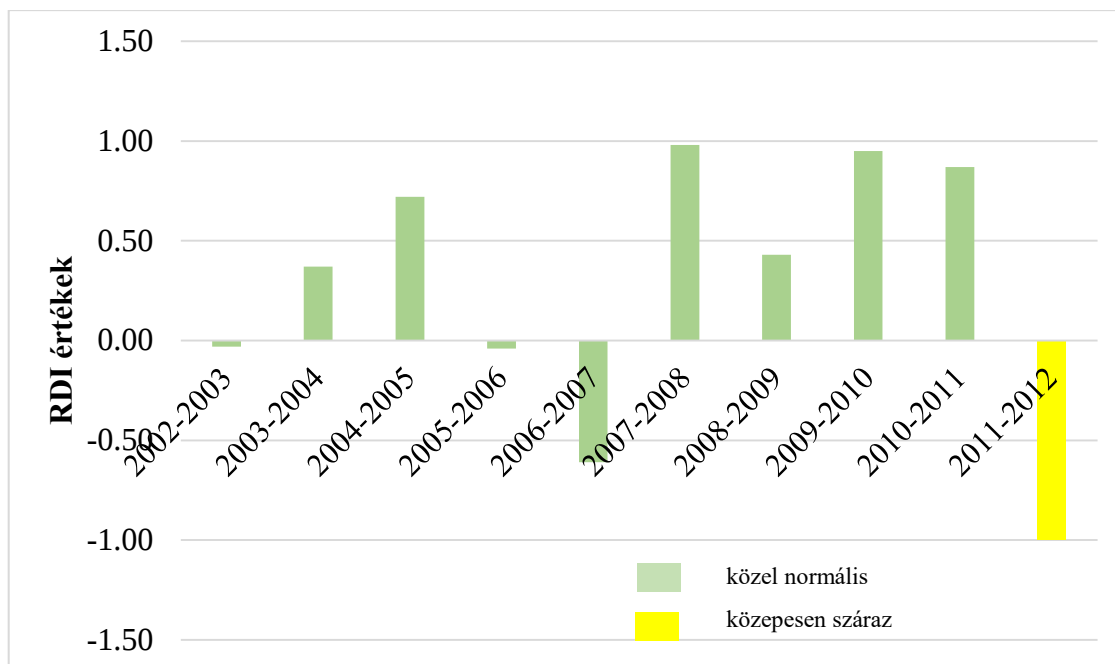
A kiválasztott második index az SPI-3 volt, amelyet 2009-ben a WMO ajánlott, mint a fő meteorológiai aszályindexet, amit az országoknak használnia kellene, hogy megfigyeljék és nyomonkövessék az aszályhelyzeteket. Az általam kapott SPI-3 értékeket a 9. ábrán ismertetem. Az indexhez tartozó osztályozási kategóriákat a 8. melléklet tartalmazza.



**9. ábra:** Az SPI-3 értékek alakulása a Szolnok–Túri-sík területén 2000-2012 között

Aszály helyzet következik be, ha az SPI-3 értéke folyamatosan negatív. Az aszály intenzív szakaszba lép, amikor az SPI-3 értéke  $-1,0$  vagy ennél kisebb. Az aszály esemény akkor ér véget, amikor az SPI-3 értéke ismét pozitív lesz. Ezek alapján enyhébb aszály volt 2002-2003, illetve 2011-2012-es években (közel normális), közepesen száraz volt a 2006-2007-es év (9. ábra).

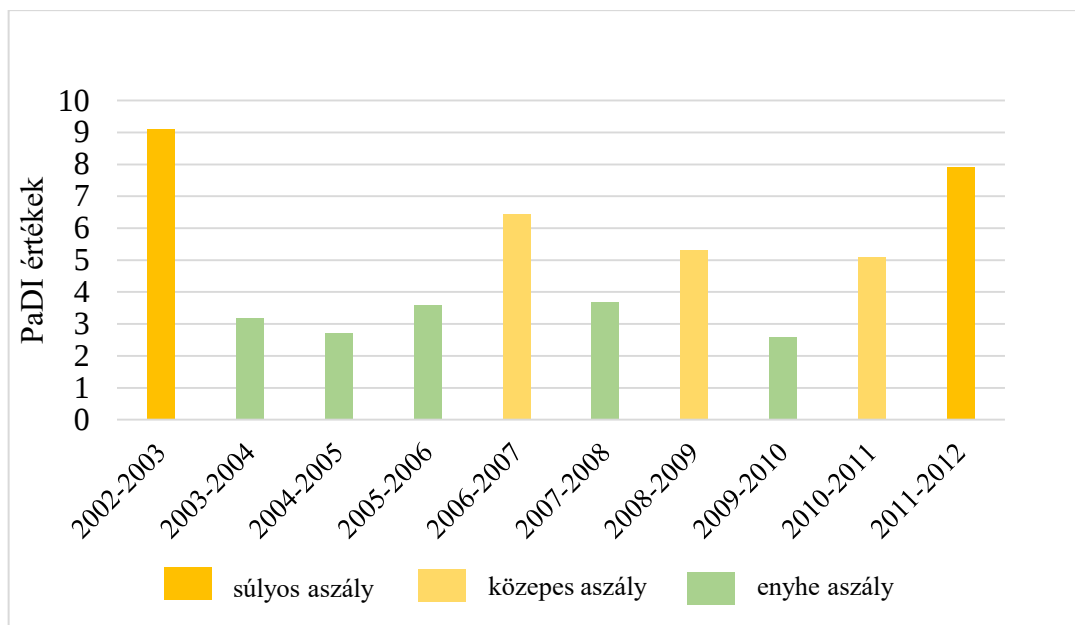
Az RDI esetében a kapott értékeket a 10. ábrán jelenítettem meg. Az index alapján hét aszályossági csoportot hoztak létre, amelyeket színekkel jelöltem. Az indexhez tartozó osztályozási kategóriákat a 8. melléklet tartalmazza.



**10. ábra:** Az RDI értékek alakulása a Szolnok –Túri-sík esetében 2002-2012 között

A pozitív RDI értékek nedves időszakot, míg a negatív értékek száraz időszakot jeleznek. Megállapítottam, hogy a 2006-2007-es, valamint a 2011-2012-es évek szárazak voltak. Utóbbi a csoportosítás szerint a közepesen száraz kategóriába esett.

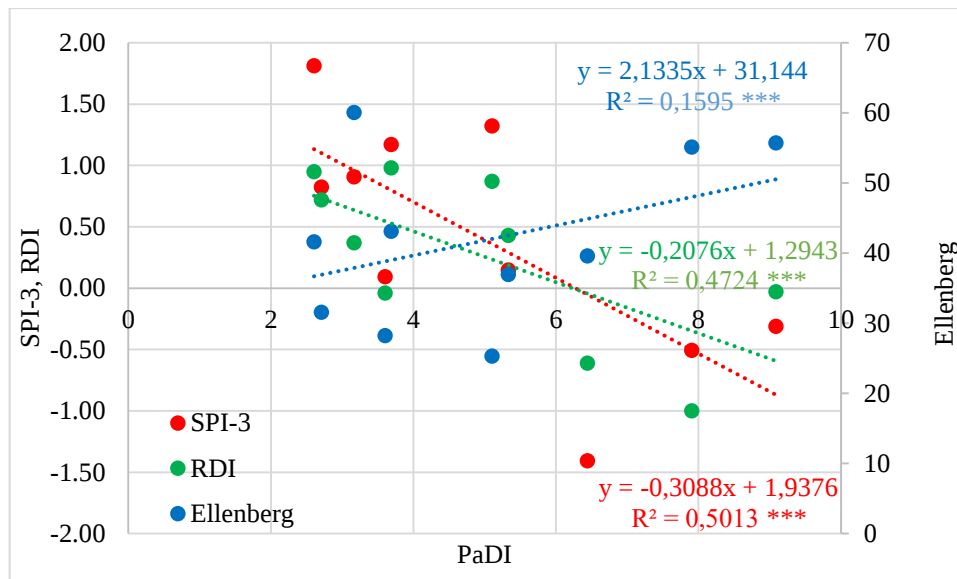
A Pálfai-féle ariditási index – számos tényező miatt – a könnyen használható indexek közé tartozik, a PaDI a PAI index nemzetközi használatra szánt változata, így összehasonlíthatósága könnyebb a felsorolt indexekkel, ezért a fentiek mellett kiszámítottam az index értékeit a mintaterületekre. A 2002-2012. közötti időszakra általam számított értékeket a 11. ábrán ismertetem. Az index alapján az aszályt hét csoportra osztják, amelyeket színekkel jelöltem. Az indexhez tartozó osztályozási kategóriákat a 8. melléklet tartalmazza.



**11. ábra:** A Pálfai-féle ariditási index értékeinek alakulása a Szolnok- Túri Síkon 2002-2012. között

Az értékek alapján súlyos aszály volt jellemző 2002-2003-as, 2011-2012-es években, míg közepes erősségű aszály volt megfigyelhető a 2006-2007, 2008-2009, valamint a 2010-2011-es években. A PaDI használható pl. országhatárokon átnyúló vizsgálatoknál vagy az aszály előrejelzésénél, illetve az SPI-vel egymást kiegészítő, együttes és összehangolt alkalmazása a hazai igényeket minden bizonnyal kielégíti (ASZÁLYSTRATÉGIA, 2012). Az egyes indexek évjáratonkénti értékeit a 9. melléklet tartalmazza a Szolnok-Túri-sík esetében.

A kutatás során célom volt, hogy az általam vizsgált meteorológiai indexeket összehasonlítsam, hazai alkalmazhatóságát vizsgáljam. Az aszályindexek Ellenberg, az SPI-3 és az RDI közötti összefüggések eredményeit a 12. ábra segítségével mutatom be.

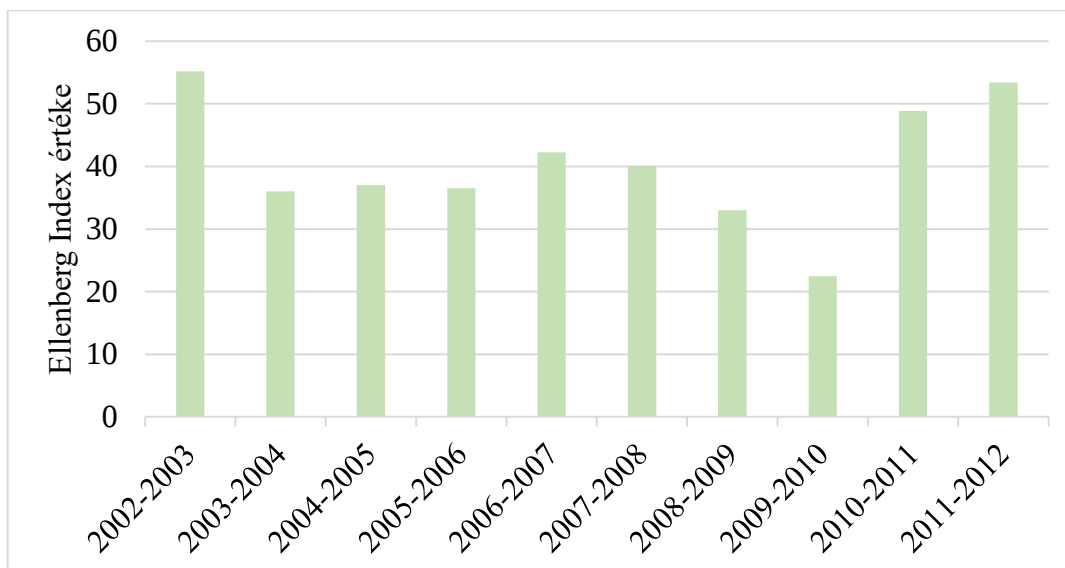


**12. ábra:** Az Ellenberg, SPI-3, RDI és a PaDI index értékek közötti összefüggések vizsgálata

(Jelmagyarázat: \* $p < 10\%$ , \*\*  $p < 5\%$ , \*\*\* $p < 1\%$ , \*\*\*\* $p < 0,1\%$  )

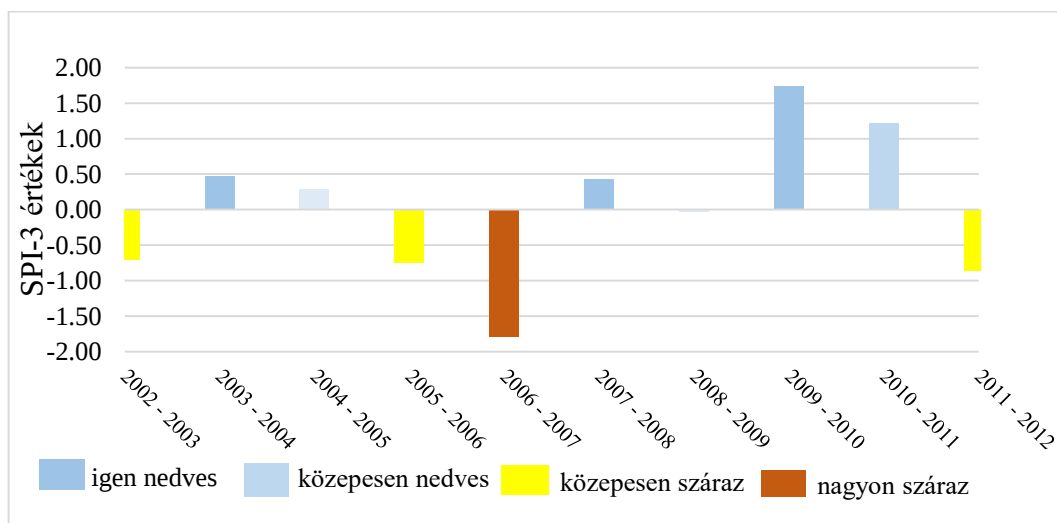
Az Ellenberg Index és a PaDI között 0,38-as lineáris korreláció figyelhető meg, ami gyenge korrelációt jelent, az SPI-3 és a PaDI között 0,70-es lineáris korreláció figyelhető meg ( $p1\%$ -os szinten megbízható), ami közepes korrelációt, jelentős kapcsolatot jelent, az RDI és a PaDI között 0,68-as lineáris korreláció figyelhető meg, ami szintén közepes korrelációt, jelentős kapcsolatot jelent ( $p1\%$ -os szinten megbízható) (12. ábra). A Szolnok–Túri-síkon számított indexek közötti végzett lineáris korreláció vizsgálatok összegzésképpen megállapítottam, hogy az Ellenberg és PaDI között szoros volt a korreláció, míg a SPI-3 és a PaDI valamint az RDI és PaDI közötti összefüggés közepes volt. Ezek alapján mindhárom index hazai használatra alkalmazható.

A kutatás során célkitűzésem volt a meghatározó aszályindexek értékelése a Nyírség területére is. A meteorológiai indexek közül elsőként az Ellenberg Index eredményeit mutatom be, ahol minél nagyobb az index értéke, annál nagyobb az aszály. Az eredményeket a 13. ábra szemlélteti.



**13. ábra:** Az Ellenberg Index értékek alakulása a Nyírség esetében 2000-2002 között

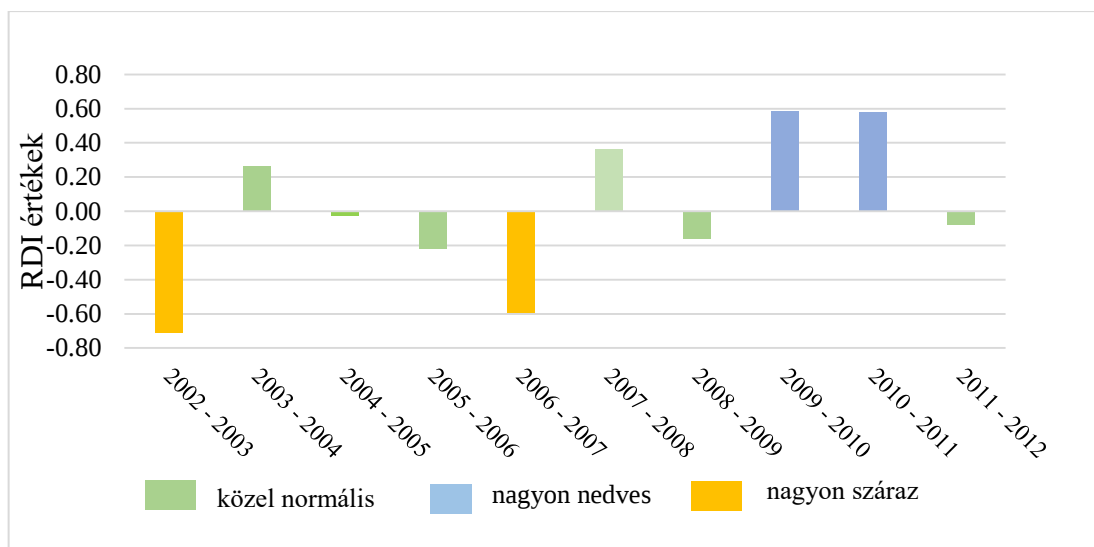
Az Ellenberg Index értékek alapján megállapítottam (13. ábra), hogy a 2002-2003, 2006-2007, 2010-2011, illetve a 2011-2012-es év volt aszályos. Az SPI-3 értékek alakulása a Nyírség esetében a 14. ábrán láthatóak.



**14. ábra:** Az SPI-3 értékek alakulása a Nyírség esetében 2000-2012. között

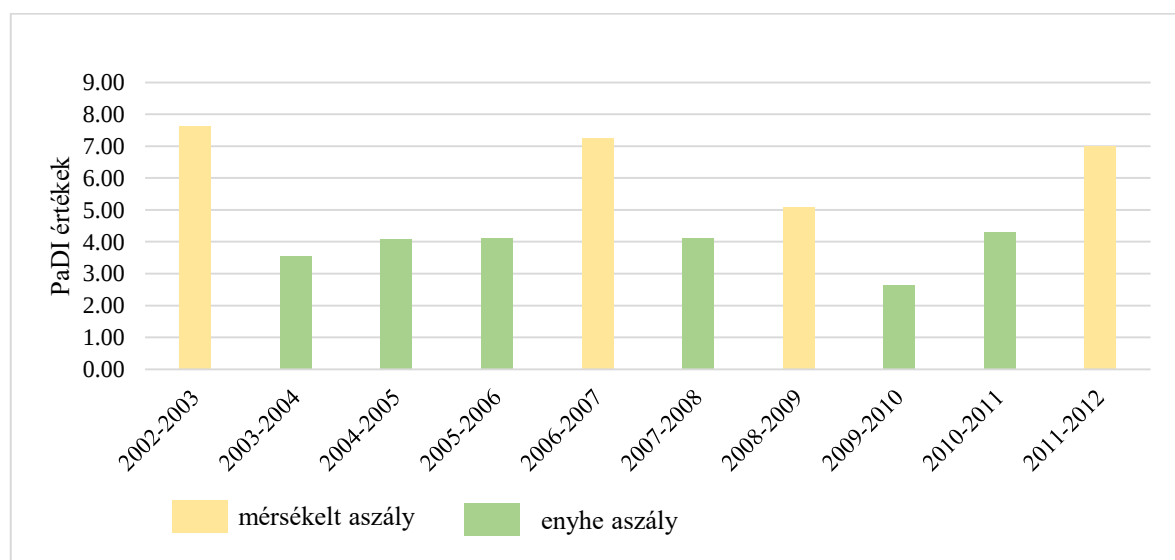
Aszály következik be, amikor az SPI-3 értéke folyamatosan negatív, és az aszály intenzív szakaszba lép, amikor az SPI-3 értéke -1,0 vagy ennél kisebb. Az aszály esemény akkor ér véget, amikor az SPI-3 értéke ismét pozitív lesz. Ezek alapján közepesen száraz év volt a 2002-2003, a 2005-2006, illetve a 2011-2012-es, és nagyon száraz év volt a 2006-2007-es. Az indexhez tartozó osztályozási kategóriákat a 8. melléklet tartalmazza.

Az RDI értékek alakulását a Nyírség esetében a 15. ábrán jelenítettem meg. Az index alapján az aszályt hét csoportra osztják, amelyeket színekkel jelöltem. Az indexhez tartozó osztályozási kategóriákat a 8. melléklet tartalmazza.



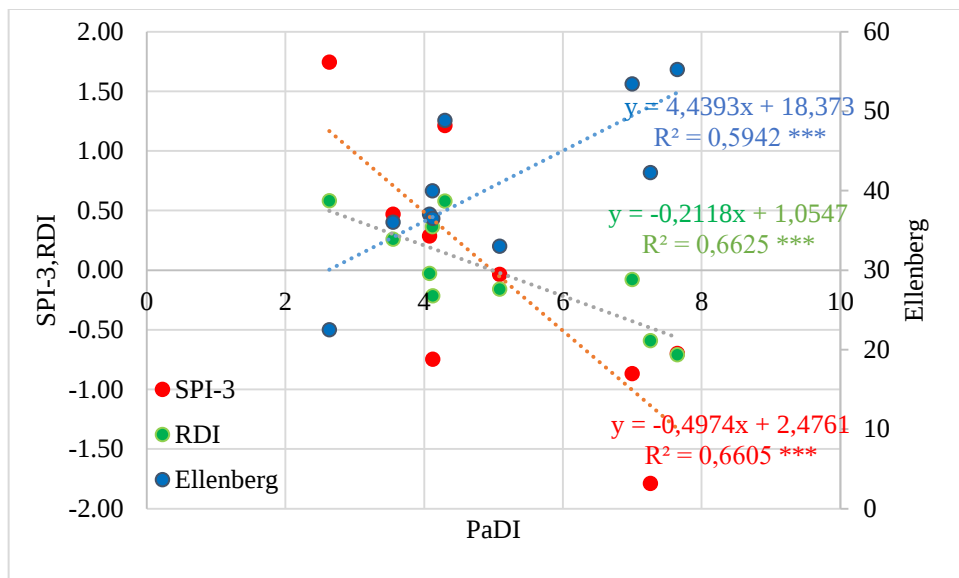
**15. ábra:** RDI értékek alakulása a Nyírség esetében 2002-2012. között

A pozitív RDI értékek nedves időszakot, míg a negatív értékek száraz időszakot jeleznek, ezek alapján a 2002-2003-as és a 2006-2007-es év nagyon száraz volt. A Pálfai-féle ariditási index értékeit 2002-2012 között a 16. ábrán jelenítettem meg, az index alapján az aszályt hét csoportra osztják, amelyeket színekkel jelöltem. Az indexhez tartozó osztályozási kategóriákat a 8. melléklet tartalmazza.



**16. ábra:** A Pálfai-féle ariditási index értékeinek alakulása a Nyírség esetében 2002- 2012 között

Mérsékelt aszály volt jellemző a 2002-2003, 2006-2007, 2011-2012-es évben, valamint enyhe aszály volt 2008-2009-ben (16. ábra). Az egyes indexek évjáratonkénti értékeit a 10. melléklet tartalmazza a Nyírség esetében. Az Ellenberg-PaDI, SPI-3- PaDI, RDI-PaDI közötti lineáris regresszió számítás eredményeit a 17. ábra tartalmazza.



**17. ábra:** A PaDI és az Ellenberg, SPI-3, RDI index közötti összefüggések vizsgálata

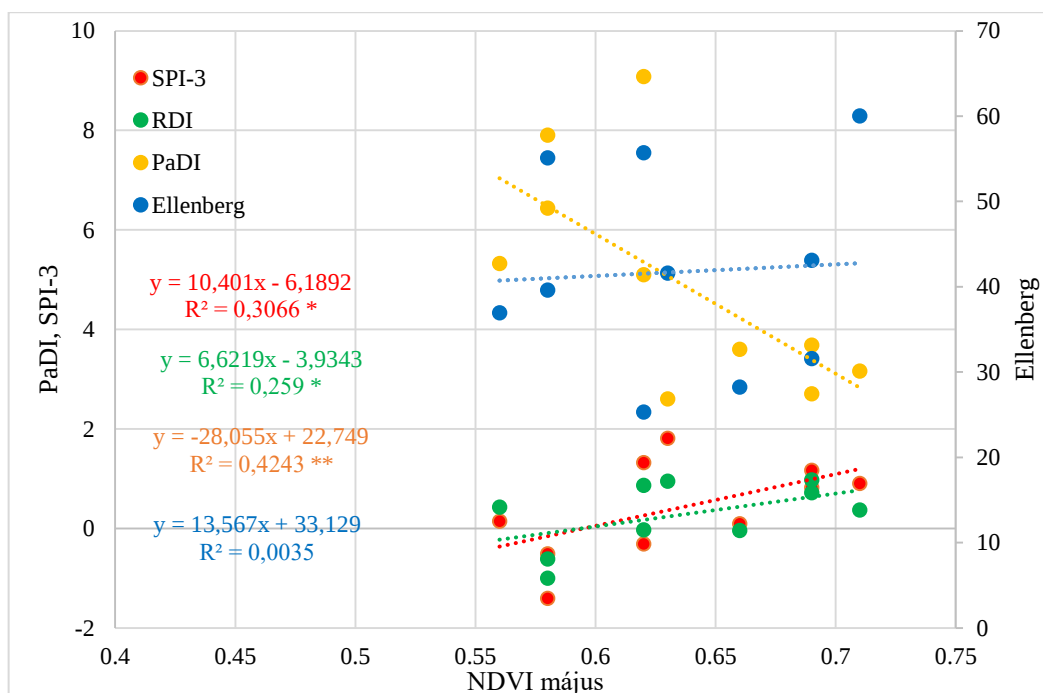
(Jelmagyarázat: \* $p < 10\%$ , \*\*  $p < 5\%$ , \*\*\* $p < 1\%$ , \*\*\*\* $p < 0,1\%$  )

A 17. ábra alapján megállapítottam, hogy az Ellenberg és a PaDI között 0,76-os lineáris korreláció volt megfigyelhető ( $p1\%$ -os szinten megbízható), ami magas korreláció, erős függő kapcsolatot jelöl, aminek feltehetően az volt az oka, hogy mindkét index bemeneti paraméterei között szerepel hőmérséklet és csapadék adat egyaránt. Az SPI-3 és a PaDI között 0,81-es lineáris korreláció volt megfigyelhető ( $p1\%$ -os szinten megbízható), ami magas korreláció és erős függő kapcsolatot jelöl, az RDI és a PaDI közötti összefüggés esetében is. A fentiek alapján mindhárom nemzetközi gyakorlatban alkalmazott index alkalmas lehet a hazai aszályjelenségek vizsgálatára.

#### 4.1.2. NDVI értékek kiértékelése a Szolnok-Túri Síkon és a Nyírségben

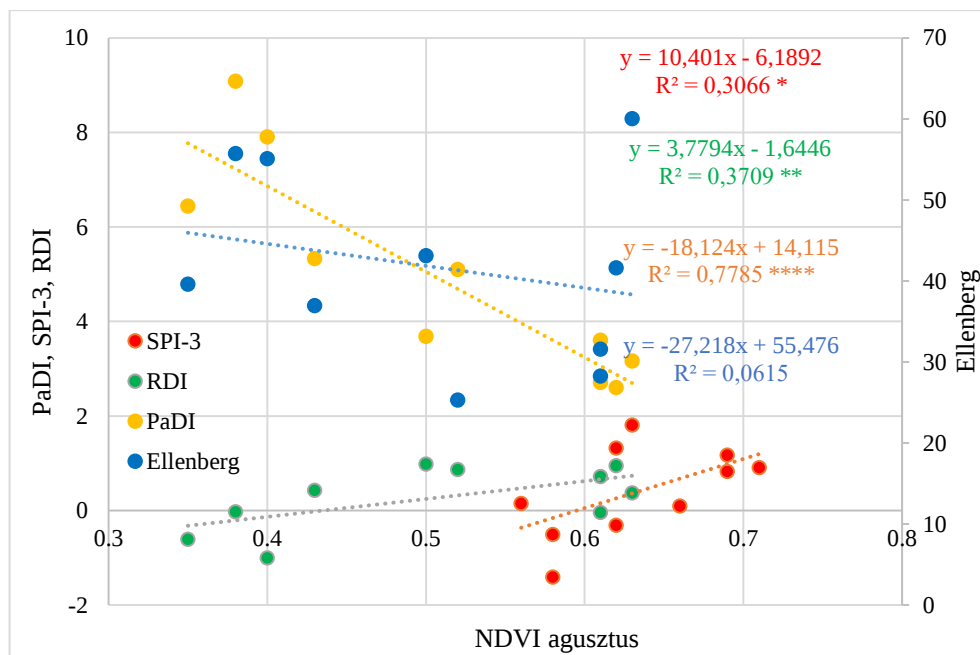
A meteorológiai indexeken kívül, a műholdas indexek közül az NDVI index értékek eredményeit ismertetem. A Szolnok-Túri-sík esetében a májusi felvételezési adatok alapján megállapítottam, hogy a 2003, 2007, 2009 és 2012-es évek aszályosak voltak, ami megmutatkozik az alacsonyabb NDVI értékekben, míg a 2004, 2005, 2008 esetében pedig magasabb NDVI értékek figyelhetők meg (11. melléklet). Az augusztusi adatok alapján a 2003, 2007, 2009 és 2012-es évek aszályosak voltak, ami megmutatkozik az

alacsonyabb NDVI értékekben, míg a 2004, 2005, 2008, 2010 esetében pedig magasabb NDVI értékek figyelhetők meg (12. melléklet). Az aszályindexek közötti vizsgálatok esetében szoros illetve közepes összefüggéseket kaptam, így megvizsgáltam az aszályindexek és az NDVI értékek közötti összefüggések alakulását is, amely eredményeit a 18. ábra tartalmazza.



**18. ábra:** Meteorológiai indexek és a májusi NDVI értékek közötti kapcsolat vizsgálata  
(Jelmagyarázat: \* $p < 10\%$ , \*\* $p < 5\%$ , \*\*\* $p < 1\%$ , \*\*\*\* $p < 0,1\%$  )

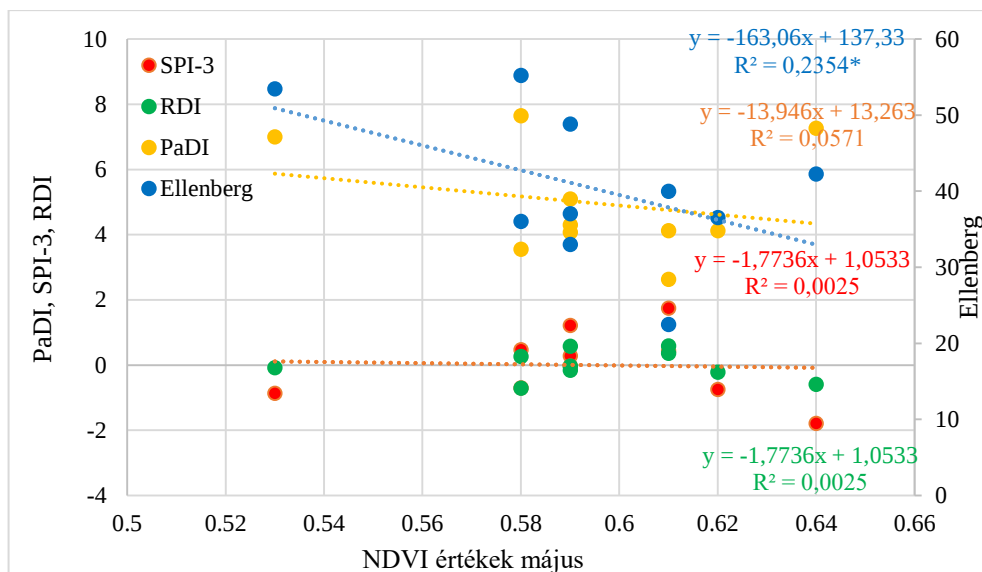
A 18. ábra alapján megállapítottam, hogy az NDVI és az SPI-3 illetve RDI közötti összefüggés közepes volt ( $r=0,54$ ;  $p < 10\%$ -os szinten megbízható). A PaDI és az NDVI értékek között szintén közepes korreláció volt a májusi időszakban ( $r=0,64$ ;  $p < 5\%$ -os szinten megbízható), azonban ez volt a legerősebb az index értékeket vizsgálva. Az Ellenberg esetében nagyon gyenge kapcsolat volt a két változó között ( $r=0,059$ , nem volt szignifikáns kapcsolat). Az augusztusi NDVI értékek és a meteorológiai indexek közötti összefüggések eredményeit a 19. ábrán mutatom be.



**19. ábra:** Meteorológiai indexek és az augusztusi NDVI értékek közötti kapcsolat vizsgálata (Jelmagyarázat: \* $p < 10\%$ , \*\*  $p < 5\%$ , \*\*\* $p < 1\%$ , \*\*\*\* $p < 0,1\%$ )

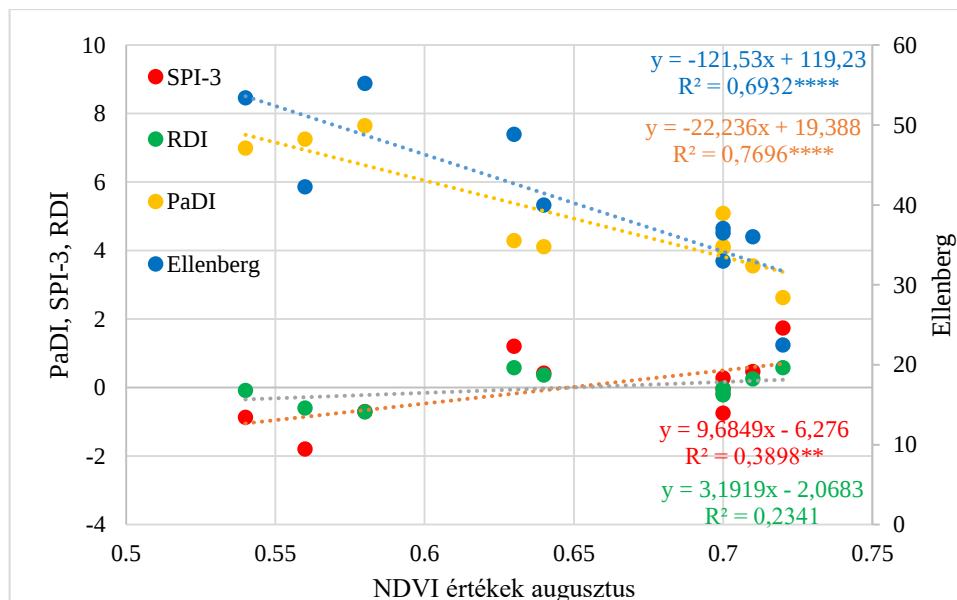
Az augusztusi felvételeket vizsgálva az NDVI értékek és a PaDI között volt a legszorosabb kapcsolat ( $r=0,87$ ,  $p<0,1\%$ -os szinten megbízható), ezt követte az RDI, amely az  $r$  érték ( $0,60$ ;  $p<0,5\%$ -os szinten megbízható) alapján közepes összefüggést mutatott, illetve az SPI-3 és az NDVI esetében az  $r$  érték  $0,54$  volt ( $p<10\%$ -os szinten megbízható) ami szintén közepes kapcsolatot jelölt. Ebben az esetben is az Ellenberg index és az NDVI érték között gyenge volt a kapcsolat ( $r=0,24$ , nincs szignifikáns kapcsolat). Statisztikailag erősebben igazolt összefüggéseket kaptam (19. ábra).

A Nyírség esetében kapott májusi NDVI értékek eredményei alapján megállapítottam, hogy a 2003, 2004, 2005, 2009 és 2012-es évek aszályosak voltak, ami megmutatkozik az alacsonyabb NDVI értékekben, míg a 2006, 2007 és 2010 esetében pedig magasabb NDVI értékek figyelhetők meg (13. melléklet). Az augusztusi felvételek alapján a 2003, 2007, 2012-es évek voltak aszályosak, 2004, 2005, 2006, 2009, 2010 esetében pedig magasabb NDVI értékek figyelhetők meg (14. melléklet). A meteorológiai index értékeiket összevettem a májusi (20. ábra) és az augusztusi (21. ábra) NDVI értékekkel.



**20. ábra:** A meteorológiai indexek és a májusi NDVI értékek közötti összefüggések (Jelmagyarázat: \* $p < 10\%$ , \*\*  $p < 5\%$ , \*\*\* $p < 1\%$ , \*\*\*\* $p < 0,1\%$  )

A vizsgálat során megállapítottam, hogy az Ellenberg index esetében volt a legszorosabb összefüggés,  $r=0,47$  ( $p10\%$ -os szinten megbízható), amely közepes kapcsolatot jelölt. A PaDI és az NDVI értékek között gyenge kapcsolat volt ( $r=0,23$ ), míg az SPI-3 és RDI között nem volt kapcsolat ( $r$  érték= $0,05$ ). A PaDI, SPI-3, RDI és az NDVI értékek között azonban nem volt szignifikáns kapcsolat.



**21. ábra:** A meteorológiai indexek és az augusztusi NDVI értékek közötti összefüggések vizsgálata (Jelmagyarázat: \* $p < 10\%$ , \*\*  $p < 5\%$ , \*\*\* $p < 1\%$ , \*\*\*\* $p < 0,1\%$  )

Az augusztusi NDVI értékeket és a meteorológiai indexeket vizsgálva (21. ábra), megállapítottam, hogy a PaDI és az NDVI értékek között magas  $r$  érték ( $0,87$ ,  $p0,1\%$ -os szinten megbízható) erős kapcsolatot jelölt, ezt követte az Ellenberg index érték, amely

esetében szintén erős kapcsolatot találtam az NDVI értékekkel ( $r=0,83$ ,  $p$  0,1%-os szinten megbízható). Az SPI-3 és az NDVI értékek között közepes kapcsolat volt ( $r$  érték=0,61,  $p$ 5%-os szinten megbízható), míg az RDI és az NDVI értékek között az  $r$  érték 0,47 volt, amely szintén közepes kapcsolatot jelölt, azonban nem volt szignifikáns kapcsolat a két érték között.

A fenti eredmények alapján meghatároztam az indexek relatív megbízhatóságát, amely az alábbiak szerint alakult PaDI, Ellenberg, SPI-3, RDI. Az aszályhelyzetek vizsgálatánál problémaként jelentkezik, hogy a külföldi indexek kategória határai nincsenek összhangban a hazai indexekkel (ASZÁLYSTRATÉGIA, 2012). Ezt megerősítik LAKATOS et al. (2013), akik szerint az aszály mérési gyakorlata nem egységes, illetve az összehasonlíthatóság hazai és nemzetközi korlátba ütközik. A fentiek alapján tartottam szükségesnek egy egységes, nemzetközi gyakorlatban használható hibrid aszályindex megalkotását, amely során a súlyozási tényezők az augusztusi NDVI értékek és a meteorológiai aszályindexek összehasonlító vizsgálata során kapott determinisztikus együttható értékei voltak.

#### 4.1.3. Normalizált Hibrid Aszályindex eredményeinek ismertetése az Alföld, Szolnok–Túri-sík és a Nyírség esetében

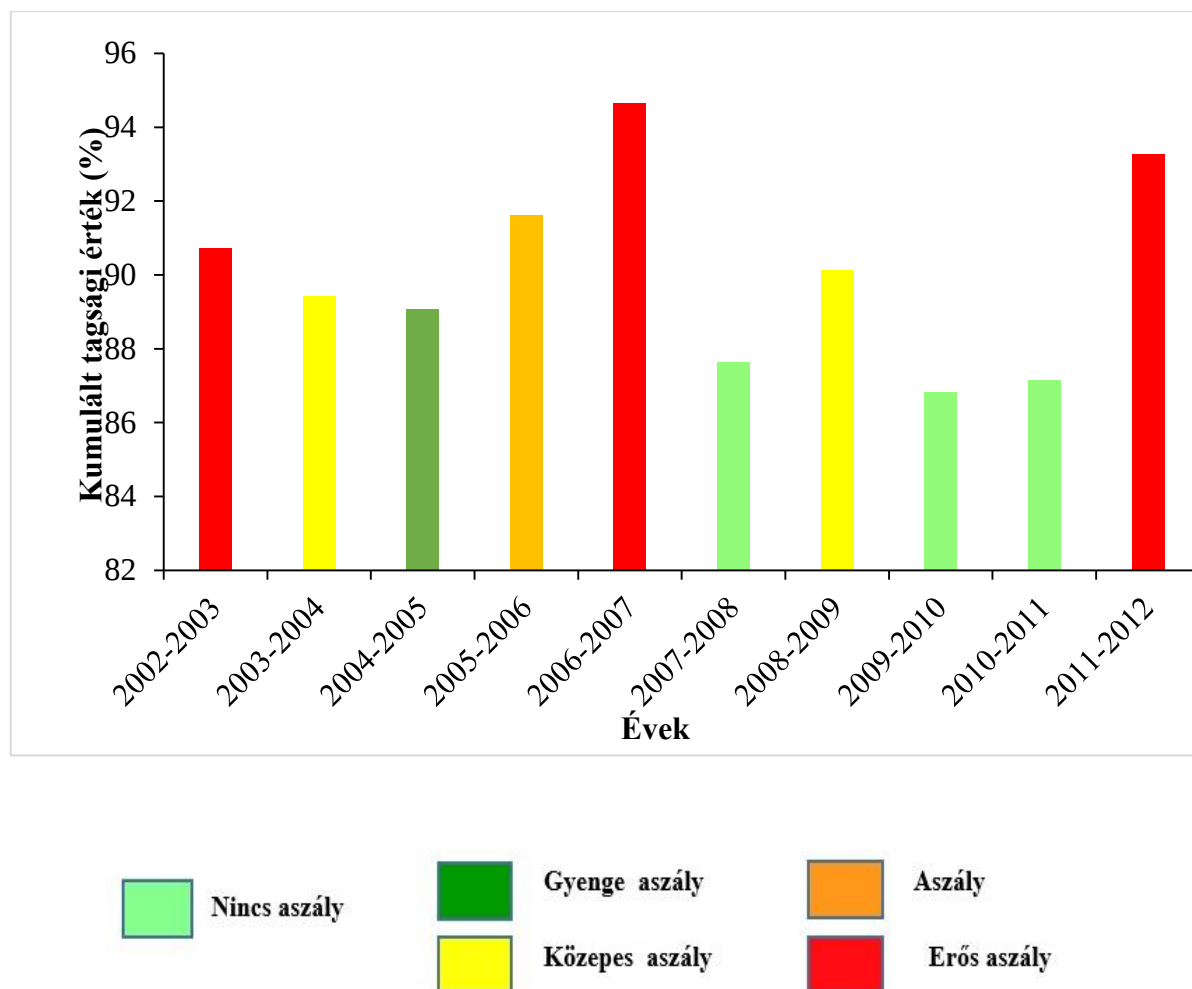
##### 4.1.3.1. Normalizált hibrid aszályindex eredményeinek kiértékelése a Szolnok-Túri-sík és a Nyírség esetében

A normalizált hibrid aszályindex eredményeit mutatom be a következőekben a referencia területeken. Egy új aszálykategória rendszert hoztam létre, amelyet a 7. táblázat tartalmaz (a kategória rendszer megválasztása a hisztogramm alapján történt).

**7. táblázat:** Normalizált hibrid aszályindex kategóriái

| Index értéke | Kategória      |
|--------------|----------------|
| <92,8        | nincs aszály   |
| 92,8-93,2    | gyenge aszály  |
| 93,2-93,6    | közepes aszály |
| 93,6-94,4    | aszály         |
| 94,4<        | erős aszály    |

A kategóriák alapján osztályoztam az egyes éveket az aszály erőssége szempontjából mindkét mintaterület esetében. A Normalizált Hibrid Aszályindex eredményeit a 22. ábra tartalmazza a Szolnok-Túri-sík esetében.



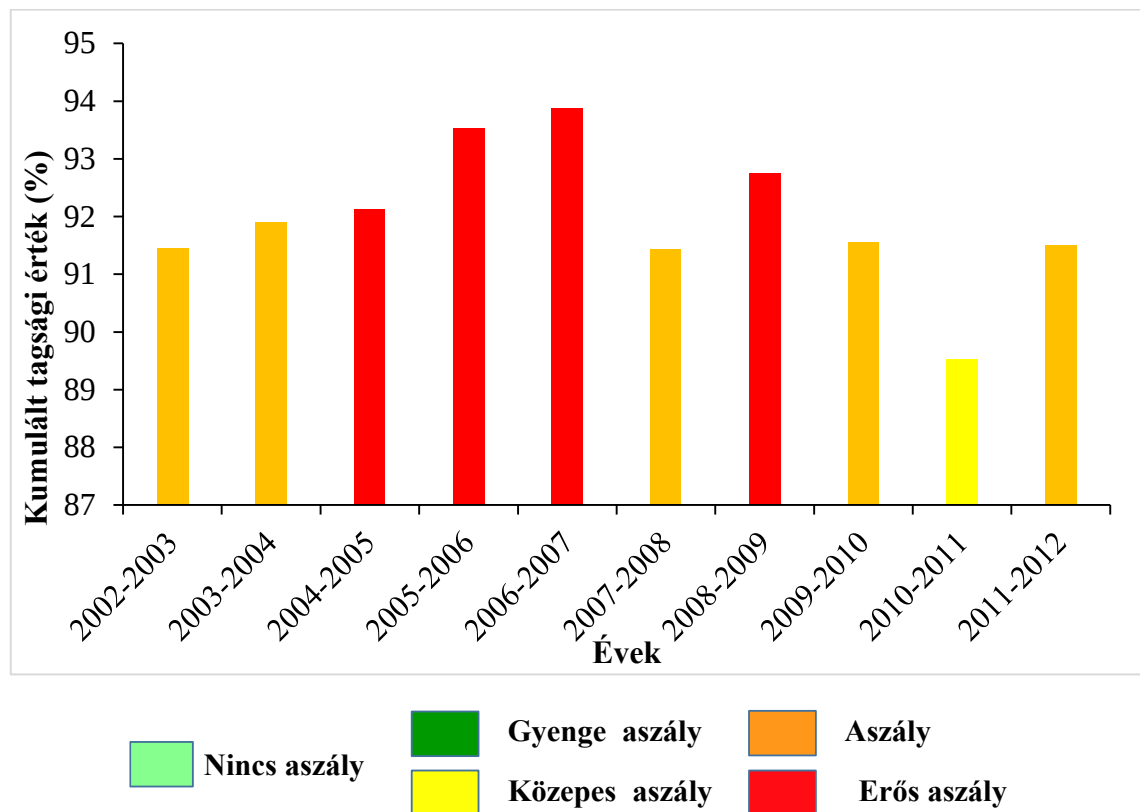
**22. ábra:** A vizsgált évjáratok aszályosságai besorolása a normalizált hibrid aszályindex alapján a Szolnok–Túri-sík esetében 2002-2012. között

A 22. ábra alapján megállapítottam, hogy a 2002-2012. közötti időszakban három év volt aszálymentes (2007-2008, 2009-2010, 2010-2011), illetve az erős aszály volt 2002- 2003, 2006-2007, valamint a 2011-2012-es évben. Közepes aszály volt a 2003-2004-es és a 2008-2009-es évben, aszály pedig 2005-2006-ban. A 2004-2005 pedig gyengén aszályos év volt a normalizált hibrid aszályindex alapján. HUANG et al. (2016) kifejlesztettek egy többváltozós aszályindexet, mivel véleményük szerint egy aszályindex alkalmazásával nem lehet pontosan leírni egy aszályjelenséget. Vizsgálataik során összehasonlították az eredményeiket SPI adatokkal, amely esetben szoros korrelációt találtak. ZHU et al. (2018) meteorológiai, hidrológiai és mezőgazdasági információkat

használva alkottak hibrid aszály indexet fuzzyfikációval, amelyet sikeresen alkalmaztak az aszály jelenségek pontosabb leírása érdekében Kína Észak-nyugati területein.

#### 4.1.3.2. Normalizált hibrid aszályindex eredményeinek kiértékelése a Nyírség esetében

A normalizált hibrid aszályindex eredményeit a Nyírség esetében a 23. ábra tartalmazza.



**23. ábra:** A vizsgált évek aszályossági besorolása a normalizált hibrid aszályindex alapján a Nyírségben 2002-2012. között

A 23. ábra alapján megállapítottam, hogy a Nyírség esetében a vizsgált időszakban egyik év sem volt aszálymentes, illetve gyengén aszályos. Közepesen aszályos kategóriába egy év esett, amely a 2010-2011-es év volt. Aszályosak voltak a 2003-2004, 2004-2005, 2007-2008, 2009-2010 valamint a 2011-2012- es évek. Az erősen aszályos kategóriába a 2004-2005, 2005-2006, 2006-2007, 2008-2009-es éveket soroltam be a normalizált hibrid aszályindex alapján.

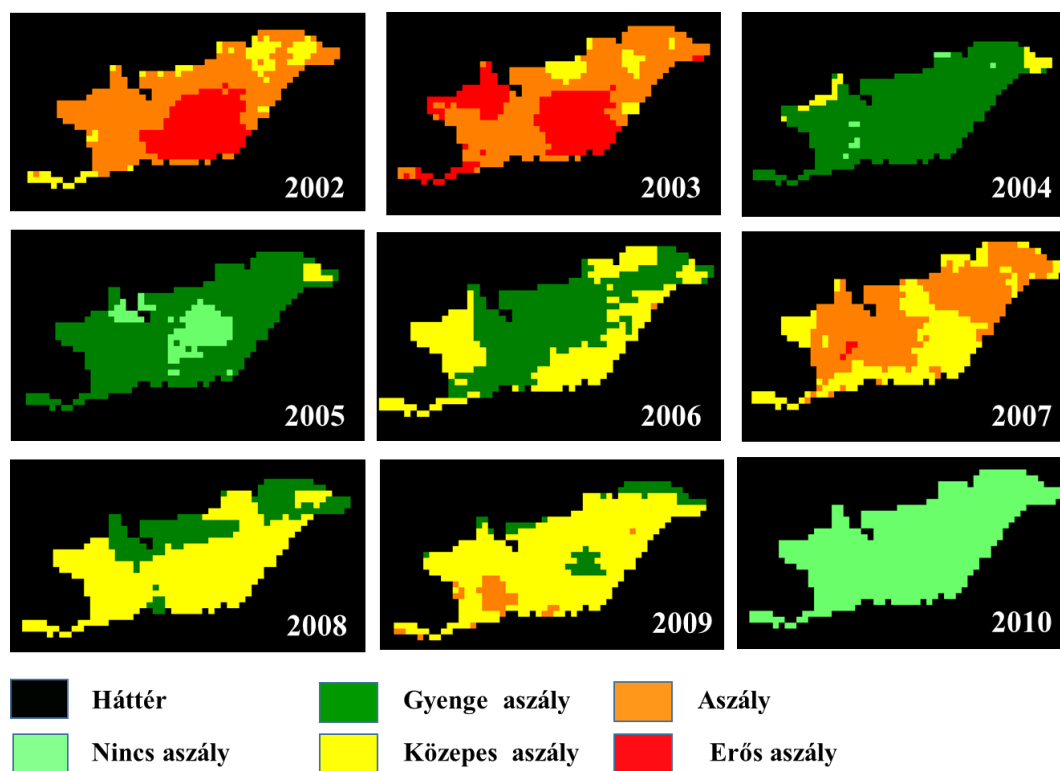
#### 4.1.3.3. Normalizált hibrid aszályindex térbeli megjelenítése az Alföldön

A továbbiakban az Alföld esetében térben ábrázolt négy index (PaDI, Ellenberg, SPI-3, RDI-3) alapján készített hibrid index eredményeit mutatom be a 2002-2010 közötti időszakban. Az új aszálykategória rendszert a 8. táblázat tartalmazza, a kategóriák megválasztása a hisztrogramm küszöbértékek alapján történt. A meteorológiai állomások adataiból és a Carpatclim adataiból származtatott index értékek eltértek egymástól, így két külön kategória rendszert alkalmaztam.

**8. táblázat:** Aszálykategóriák a hibrid index esetében

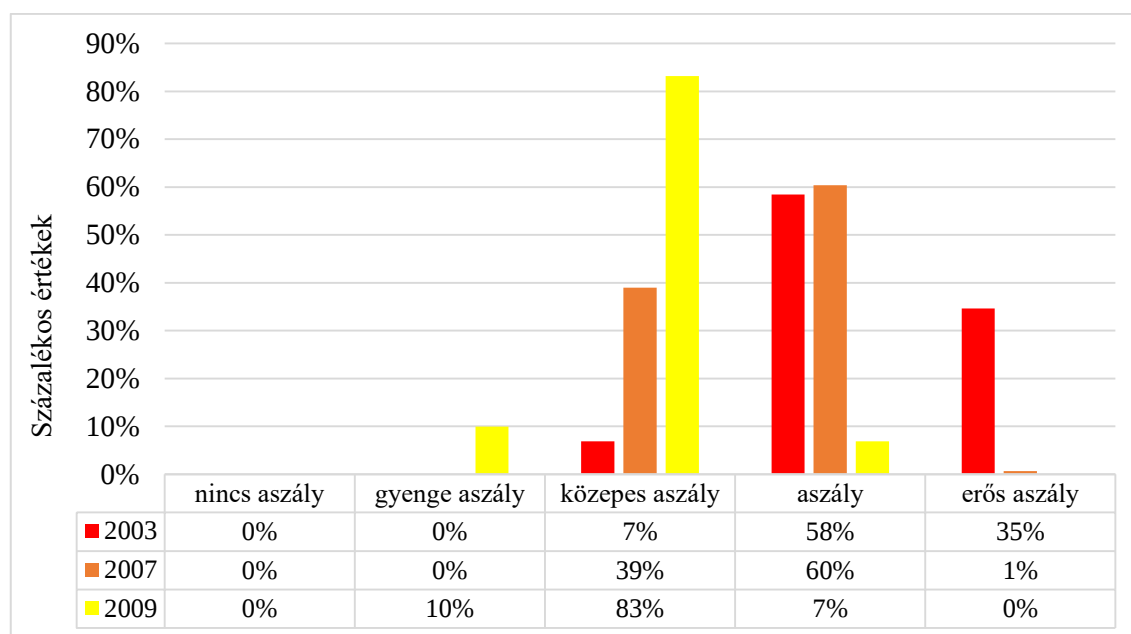
| Index értéke | Kategória      |
|--------------|----------------|
| < 20         | Nincs aszály   |
| 20-25        | Gyenge aszály  |
| 25-30        | Közepes aszály |
| 30-35        | Aszály         |
| 35<          | Erős aszály    |

A kapott eredménytérképeket a 24. ábrán szemléltetem.



**24. ábra:** Aszály alakulása a normalizált hibrid index értékei alapján az Alföldön

A normalizált hibrid index értékei alapján a 2002-2003-as év bizonyult a leginkább aszályos évnak, amely során erős aszály jelentkezett az Alföld egyes területein. A 2007- es évben az aszály kategória volt a legmagasabb, de a terület nagy részén közepes aszály alakult ki. A 2009-es év esetében pedig legnagyobb arányban közepes aszály volt a területen. A 2010- es év extrém csapadékos volt, ami megmutatkozik a normalizált hibrid index értékei alapján is, hiszen az Alföld teljes területe a nincs aszály kategóriába esett (24.ábra). Az egyes aszályossági kategóriák pontos területi kiterjedésének eredményeit a 25. ábra tartalmazza.



**25. ábra:** Az aszályos területek nagyságának alakulása az Alföldön a normalizált hibrid index alapján

A 25. ábra alapján elmondható, hogy a 2003-as évben az Alföldön területének 35%- án fordult elő erős aszály, 58,8%-on aszály volt jellemző, valamint közepes aszály volt a terület 7 %-án. A 2007-es év esetében megállapítottam, hogy közepes aszály (39%), aszály (60%), valamint erős aszály (1%) volt detektálható a területen. A 2009- es évben pedig gyenge aszály volt megfigyelhető a terület 10%-án, továbbá közepes aszály volt jellemző 83%-on, illetve 7%-ban volt aszály.

A továbbiakban az aszályos években vizsgáltam a referencia területek esetében az aszály mértékének alakulását. Elsőként a Szolnok–Túri-sík vizsgálata során kapott eredményeket mutatom be. A normalizált hibrid aszályindex eredményeit 2003-ban, 2007-ben és 2009- ben a Szolnok–Túri-sík esetében a 15. melléklet tartalmazza. Megállapítottam, hogy a 2003-as évben a Szolnok–Túri-sík esetében legnagyobb arányban az erős aszály kategória volt megfigyelhető (26 213 ha), kisebb mértékben az

aszály (15786 ha). 2007-ben a mintaterületen 26213 ha-on volt aszály illetve közepes aszály volt 15786 ha területen. Az eredmények alapján megállapítottam, hogy az aszályos években az aszály jelenség eltérő mértékben, de ugyanazokat területeket sújtja, azonban az aszály hatása más területekre is áthelyeződik. 2009-es évben a normalizált hibrid index alapján a Szolnok–Túri-sík 6002 ha gyengén aszályos, 35 997 ha közepesen aszályos kategóriába esett. A DMCSEE projekt keretében készített aszályérzékenységi térkép a Szolnok-Túri-sík esetében változatos képet kaptak, a terület egyes részei az erősen érzékeny kategóriába esettek, illetve érzékeny és közepesen érzékeny területek fordultak elő nagyobb foltokban (BIHARI et.al., 2012).

A normalizált hibrid aszályindex eredményeit 2003-ban, 2007-ben és 2009-ben a Nyírség esetében a 16. melléklet tartalmazza, amely alapján megállapítottam, hogy 2003- ban a Nyírség esetében a legnagyobb arányban aszály (373 612 ha) volt jellemző, valamint közepes aszály (76486 ha) is megtalálható a területen. A 2007-es évben a Nyírségben legnagyobb arányban aszály volt jellemző (370 564 ha), míg kisebb területen jelent meg közepes aszály volt (79534 ha). A 2009-es évben a hibrid aszályindex alapján a Nyírség legnagyobb arányban a közepes aszály (420 954 ha) kategóriába esett, míg kisebb területen a gyenge aszály volt jellemző (20 827 ha), valamint 8317 ha-on erős aszály volt. Az eredményeket összevetettem a DMCSEE projekt keretében készített aszályérzékenységi térképpel. A térkép alapján a Nyírség szintén változatos képet mutat, a déli területeken kissé illetve nem érzékeny kategóriával szerepelnek, míg a nyugati és északi területeken erősen illetve közepesen érzékeny területeket találunk (BIHARI et al.,2012).

#### **4.2. Aszály folyamatok értékelése biomassza vizsgálatok alkalmazásával, idősoros műholdas spektrális adatok alapján a Szolnok-Túri-sík és a Nyírség esetében**

A kutatás során a célkitűzéseim között szerepelt idősoros műholdas spektrális adatok alapján nyert biomassza adatok elemzése az aszály folyamatok értékelése céljából. Ennek érdekében főkomponens analízist végeztem az NDVI felvételek alapján, így két különböző időpontban készült felvétel esetében elemezhettem a változásokat. A főkomponens analízis eredményeképpen n kimenő sáv jött létre, amelyben az első néhány sáv tartalmazta a teljes adatfájl információtartalmának csaknem 100%-t az adatok nagy varianciája miatt. A főkomponensek elemzése után azonosítani tudtam azt a felvételt,

amely a legfontosabb információt nyújtja az adatokról. Gyakran az első kettő vagy három komponens, amely az összes varianciára vonatkozik és meghatározza a felvételek közötti korrelációs összefüggéseket.

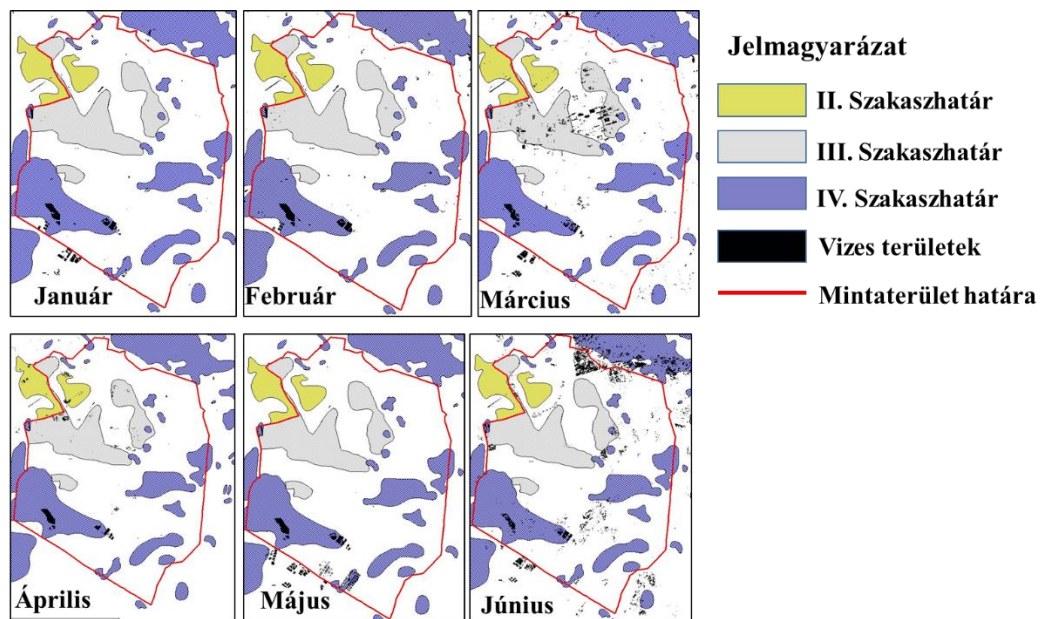
Elsőként a Szolnok–Túri-sík esetében a májusi és az augusztusi felvételeket feldolgozása során kapott eredményeket mutatom be. A Szolnok–Túri-sík esetében májusi időszakban összvariancia 96.99%-át az első komponens hozta létre, ami a 2003-as évi májusi felvétel volt, az augusztusi időszakban az összvariancia 96.67%-át az első komponens hozta létre, ami a 2008-as évi augusztusi felvétel volt.

Nyírség esetében szintén a májusi és az augusztusi felvételeket dolgoztam fel a főkomponens analízis segítségével. A Nyírségben májusi időszakban az összvariancia 97,79%-át az első komponens hozta létre, ami a 2008-as évi májusi felvétel volt, valamint az augusztusi időszakban az összvariancia 98,66%-át az első komponens hozta létre, ami a 2013-as évi augusztusi felvétel volt. Az NDVI értékek változékonyságának több oka lehet. A területeken legnagyobb arányban szántó és gyep földhasználati kategória található meg, így a fenti eredmények oka az lehetett, hogy feltehetően a vetésszerkezet módosító hatással van az NDVI értékekre, ezért az adott vizsgálati területeken fontos megvizsgálni, hogy a kultúrák milyen vetésszerkezettel bírnak és milyen fenológiai fázisban vannak a vizsgálati időpontokban.

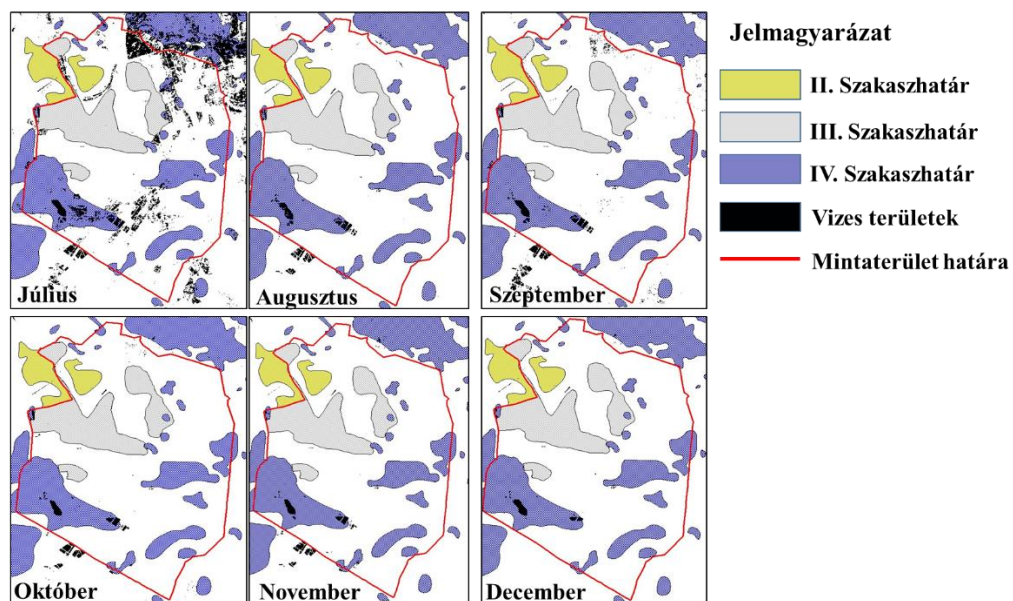
### **4.3. Belvízzel kapcsolatos vizsgálati eredmények és azok kiértékelése**

#### **4.3.1. Belvízzel veszélyeztetett területek leválogatásának eredményei idősoros radar távérzékelési adatok alapján a Szolnok–Túri-sík esetében**

A kutatásom egyik célkitűzése volt, hogy a belvizek összegyülekezési és lefolyási viszonyainak idősoros radar adatok alapján történő értékelését elvégezzem a Szolnok–Túri-sík esetében. A Földmérési és Távérzékelési Intézet (FÖMI) SAR technikát alkalmazott a közelmúltban a belvizek térképezésére, azonban a jelenleg alkalmazott technológia csak a nyílt belvíz elkülönítését teszi lehetővé. A nagy tér – és időbeli felbontással végzett távérzékelés a belvízi lefolyások, összegyülekezések dinamikájára is választ adhat (BÍRÓ, 2016). A 2015-ös évre vonatkozóan lehatárolt vizes területeket és a Kvassay-tervben használt belvíz szakaszhatárokat 26-27. ábrákon jelenítettem meg.



**26. ábra:** A Sentinel 1 adatok alapján leválogatott belvíz foltok elhelyezkedése 2015. januártól júniusig



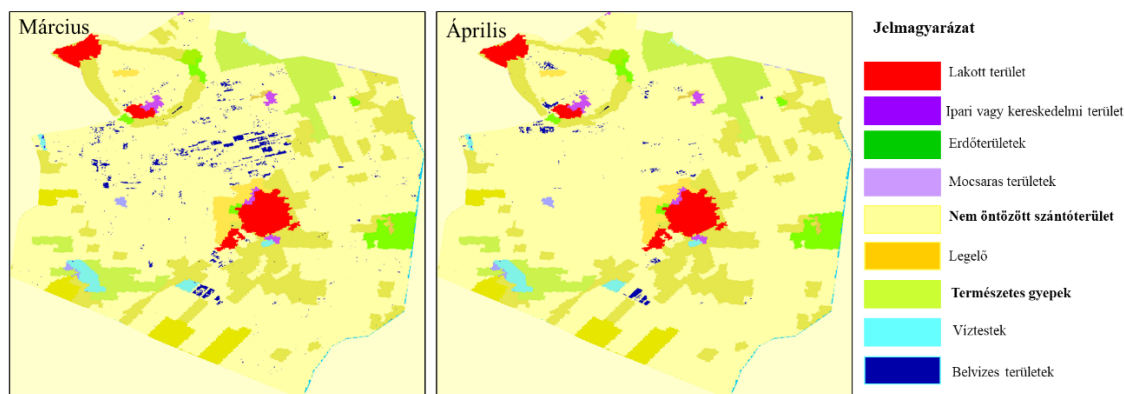
**27. ábra:** A Sentinel 1 adatok alapján leválogatott belvíz foltok elhelyezkedése 2015. júliustól decemberig

Ezt követően az IDRISI Taiga szoftverkörnyezetben számszerűsítettem a belvizes foltok területét a nem öntözött szántó, valamint a gyepterület és a rét/legelő területek esetében a Corine Land Cover alapján. A vizsgálat eredményeit a 9. táblázat tartalmazza.

**9. táblázat:** Belvizes területek nagysága (ha) a Szolnok–Túri-síkon a nem öntözött szántóterületek, gyepterületek és a rét/legelők esetében 2015-ben

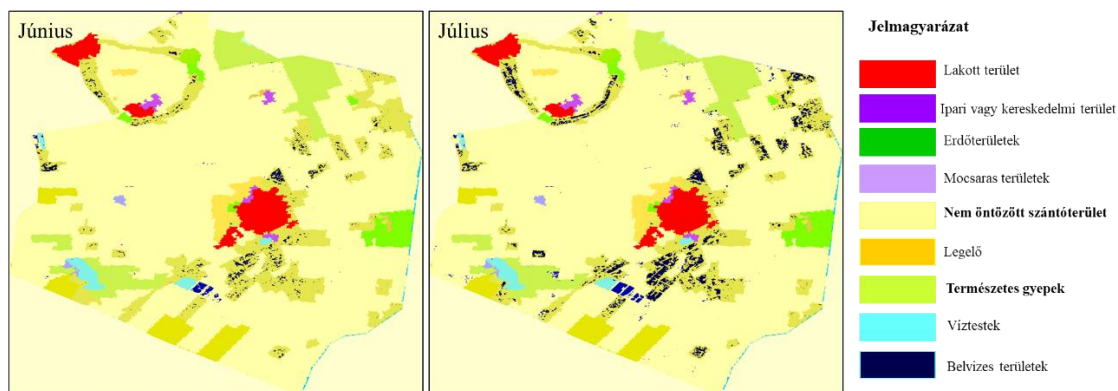
| Hónapok    | Belvizes területek a nem öntözött szántóterületeken (ha) | Belvizes területek a gyepek (ha) |
|------------|----------------------------------------------------------|----------------------------------|
| január     | 14,06                                                    | 15,87                            |
| február    | 40,61                                                    | 13,92                            |
| március    | 507,52                                                   | 3,28                             |
| április    | 161,23                                                   | 3,49                             |
| május      | 17,37                                                    | 3,28                             |
| június     | 29,87                                                    | 337,14                           |
| július     | 105,95                                                   | 1113,67                          |
| augusztus  | 42,08                                                    | 10,25                            |
| szeptember | 50,53                                                    | 16,35                            |
| október    | 34,85                                                    | 23,20                            |
| november   | 29,07                                                    | 8,05                             |
| december   | 17,15                                                    | 10,60                            |

A 9. táblázat adatai alapján elmondható, hogy a nem öntözött szántó kategória esetében a legnagyobb elöntés márciusban volt a területen (507,52 ha), ezt követte az áprilisi érték, amely 161,23 ha volt, amelyek területeket térképen is megjelenítettem (28. ábra)



**28. ábra:** A belvizes területek térképi megjelenítése a nem öntözött szántó területeken és gyepterületek esetében márciusban és áprilisban

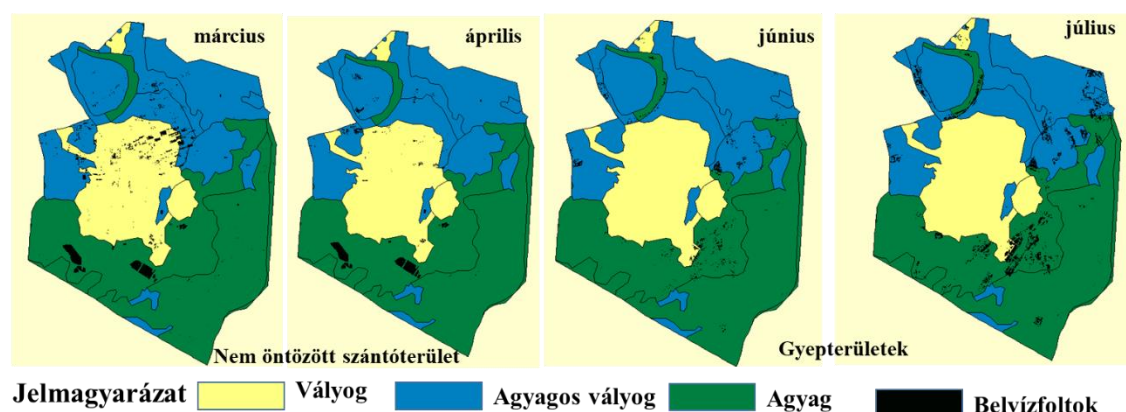
Szintén kiemelkedő a júliusi érték, amely esetében a területen 105,95 ha volt belvizes a radar adatok alapján történt leválogatás eredményei alapján. A gyepek esetében a vizsgált év összes hónapjában jelentkezett belvíz, amelyek közül kiemelkedő volt a júliusi hónap (1113,67 ha), ezt követte 337,14 ha-os területtel a júniusi hónap, amelyek térképi ábrázolását a 29. ábra szemlélteti.



**29. ábra:** A belvizes területek térképi megjelenítése a nem öntözött szántó területeken és gyepterületek esetében júniusban és júliusban

GULÁCSI (2017)-ben végzett kutatásában megállapította, hogy a Sentinel-1 radarfelvételek alkalmazhatóak a vízborítás lehatárolására nagy időbeli és térbeli felbontással, valamint az időjárástól függetlenül történő detektálására.

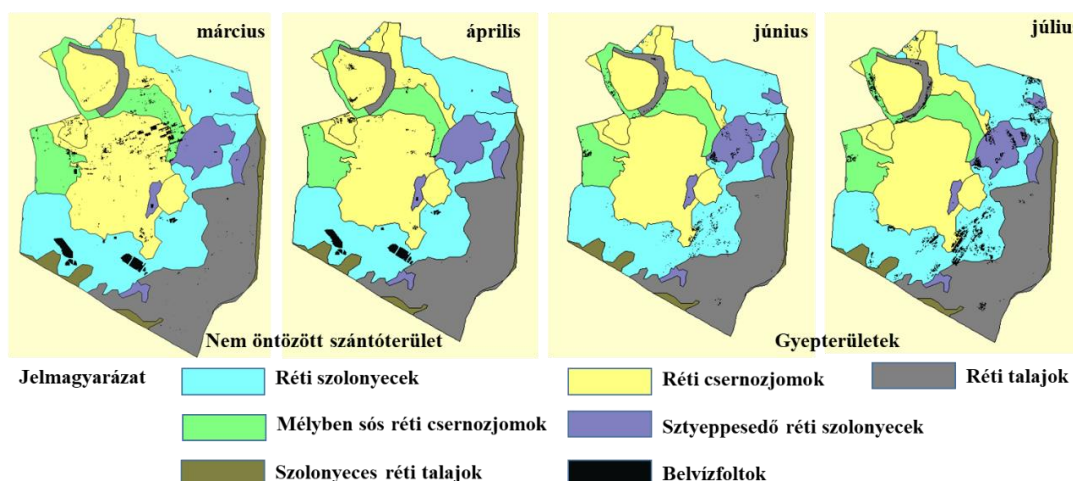
A belvizes területeket illetve a belvíz kialakulásában szerepet játszó talajtani tulajdonságokat (úgy mint talajtípus, fizikai féleség, vízgazdálkodási tulajdonságok) jelenítettem meg a nem öntözött szántóterületek, gyepterületek esetében március, április, június, július hónapokban (30. ábra, 31. ábra, 32. ábra). MARTON (2009); VÁRALLYAY et al. (1980) általánosságban megállapították, hogy az alföldi területeket felépítő laza üledékeknek elsősorban a szemcseösszetétele, fizikai félesége határozza meg a belvízi veszélyeztetettséget. A fizikai féleség alapvetően befolyásolja az üledékek vízvezető képességét.



**30. ábra:** Különböző fizikai féleségek és belvízfoltok megjelenítése nem öntözött szántó és gyepterületeken

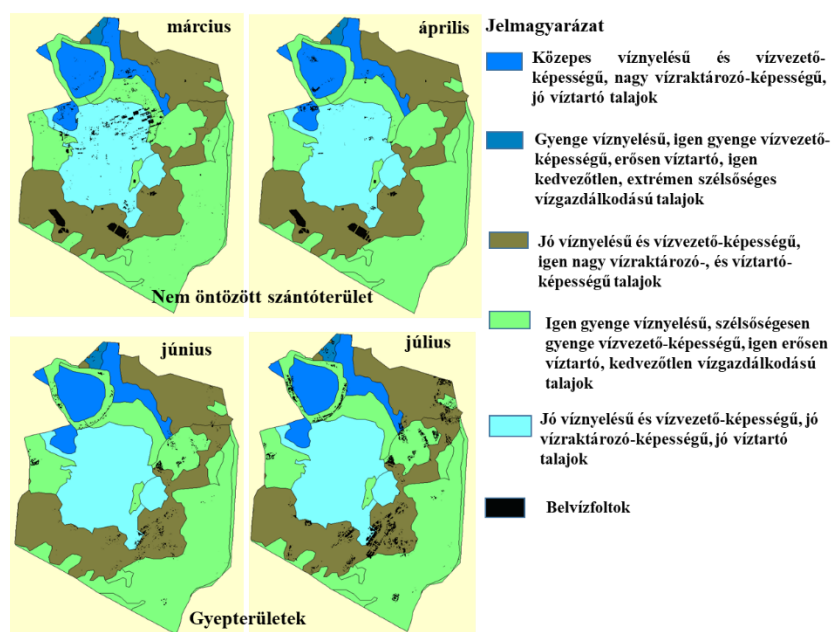
A 30-31. ábra alapján megállapítottam, hogy a hasznosítás alkalmazkodik a talaj fizikai féleséghez és a talajtípushoz. A szántók túlnyomó többsége agyagos vályog, vályog fizikai féleségű talajon illetve réti csernozjom és kisebb arányban mélyben sós réti

csernozjomon, réti szolonyecen. Nagyon kis arányban mélyfekvésű réti talajon található. A felszín morfológiai különbségeiből adódóan a csernozjom jellegű talajok mikrodomborzattal tagoltak, míg a réti jellegűek felszíne sík, így az összegyülekezési belvíz képződésének feltételei másak.



**31. ábra:** Különböző talajtípusok és belvízfoltok megjelenítése nem öntözött szántó és gyepterületeken

BIRKÁS (2001) szerint a belvízképződés szempontjából nagy jelentősége van a talajok víznyelő és vízvezető képességének, valamint vízkapacitásának.



**32. ábra:** Különböző vízgazdálkodási kategóriák és belvízfoltok megjelenítése nem öntözött szántó és gyepterületeken

A csernozjom jellegű és réti szolonyec talajok mikrodomborzattal tagoltak, és a jó vízgazdálkodási tulajdonságokat felül írja a mikrodomborzat, ami kedvez az összegyülekezési belvizek keletkezésének. A talaj vízgazdálkodási tulajdonságok és a belvízképződés közötti ellentmondások és a mikrodomborzat szerepének feltárása még további vizsgálatokat igényel.

#### 4.3.2. Belvízzel veszélyeztetett területek leválogatása különböző forrásból származó domborzatmodell alkalmazásának kiértékelése a Nyírség esetében

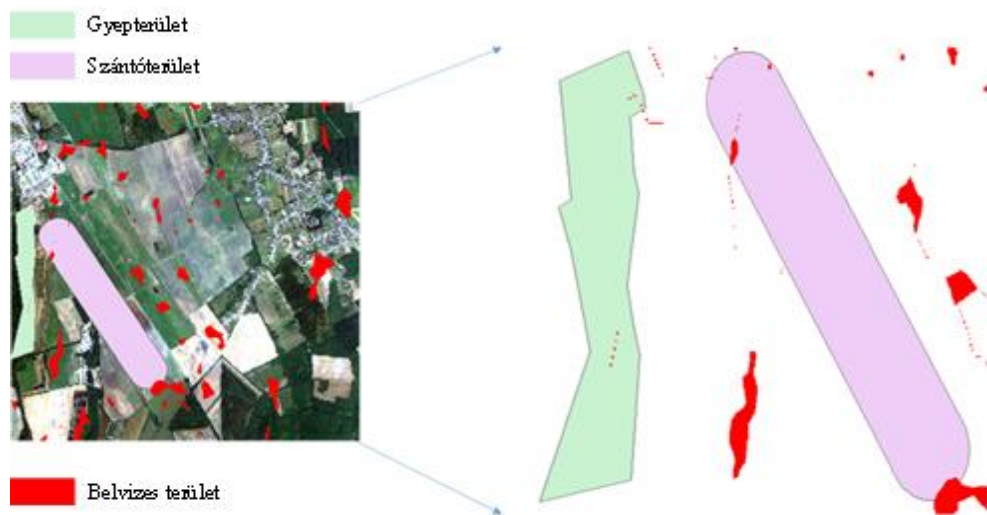
A fenti radaros elemzés is rámutatott a térbeli felmérés pontosságának fontosságára, ezért elemeztem a továbbiakban egy ma elérhető nagy felbontású technológiát regionális léptékben.

A vizsgálati területek domborzati sajátosságait a rendelkezésre álló topográfia felvételekből történő analóg alapadatok digitalizálásával és domborzatmodell készítésével, valamint légi LiDAR-ból készült domborzatmodell alkotással mértem fel, amelyek felbontásuknál fogva nagy hatékonysággal térképezik a terület egyes részeit, továbbá összehasonlítottam ezek alkalmazhatóságát a belvizes területek azonosítására.

A Nyírség esetében két kisebb referencia területet választottam (egy 15,65 ha-os gyepet és egy 85,5 ha-os szántót), amelyek a tájra jellemző tulajdonságokat hordozzák.

##### 4.3.2.1. Belvizes területek leválogatása digitalizálással készült DEM esetében

A szántóterület esetében a szintkülönbség 7 m, a gyepterület esetében a szintkülönbség 20 m volt az analóg alapadatok digitalizálásával készült domborzatmodell alapján. Ezt követően a digitális domborzatmodell alapján elkészítettem a referencia területek lejtő kategória térképét. A lejtő kategóriai térkép alapján megállapítottam, hogy a vizsgált szántó terület 90,8%-a sík, 5% alatti lejtés mellett. A gyep terület a szántóhoz hasonlóan a legnagyobb arányban síknak mondható. Ezt követően a domborzatmodell alapján elvégeztem a belvizesedésre hajlamos területek lehatárolását (33. ábra).



**33. ábra:** A lefolyástalan, belvizesedésre hajlamos területek elhelyezkedése a mintaterületek megjelölésével

Ez alapján a vizsgált terület 4,46%-a (4822-ha-ból mintegy 215,5 ha) lefolyástalan, belvizesedésre hajlamos. Az 1:10000-es méretarányú topográfiai térkép alapján számolt eredmények alapján sem a gyep, sem a szántóterület kizárólag a domborzat alapján belvízzel nem veszélyeztetett. Azonban ennek ellentmondanak az előzetes terepbejárás során látott, valamint a légi lézeres felvételeken lehatárolható, a szántó területen található belvizes foltok. Ennek oka részben talajtani, hidrológiai lehet, valamint az, hogy a domborzatmodell 10 m-es felbontást enged meg, amellyel a mikrodomborzat változásai csak korlátozottan nyomonkövethetőek.

#### 4.3.2.2. Belvizes területek lehatárolásának eredményei a légi LiDAR alapján előállított DEM alapján a Nyírség esetében

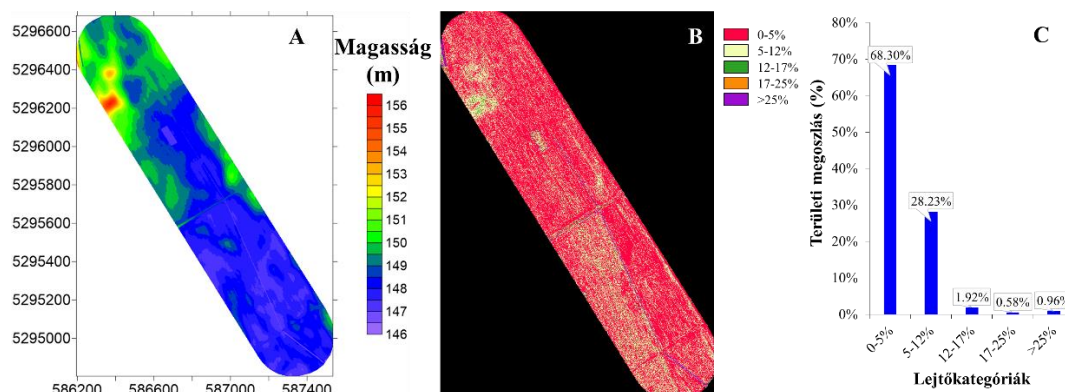
Az előző vizsgálatokhoz hasonlóan a Nyírség esetében ugyanazt a két kisebb referencia területet, a 15,65 ha-os gyepet és a 85,5 ha-os szántót vizsgáltam a légi LiDAR alapján készült DEM segítségével.

A szántóterületről készült lézeres pontfelhő több, mint 13 millió pontot tartalmazott, ez azt jelenti, hogy átlagosan 26,68 pont/m<sup>2</sup> volt a lézerszkennelés „felbontása”, amely pontos domborzatmodellezést tett lehetővé.

Légi LiDAR felvétel alapján elkészítettem a szántó és a gyep területről készült digitális domborzat modellt 50 cm-es felbontással ENVI LiDAR szoftverkönyezetben.

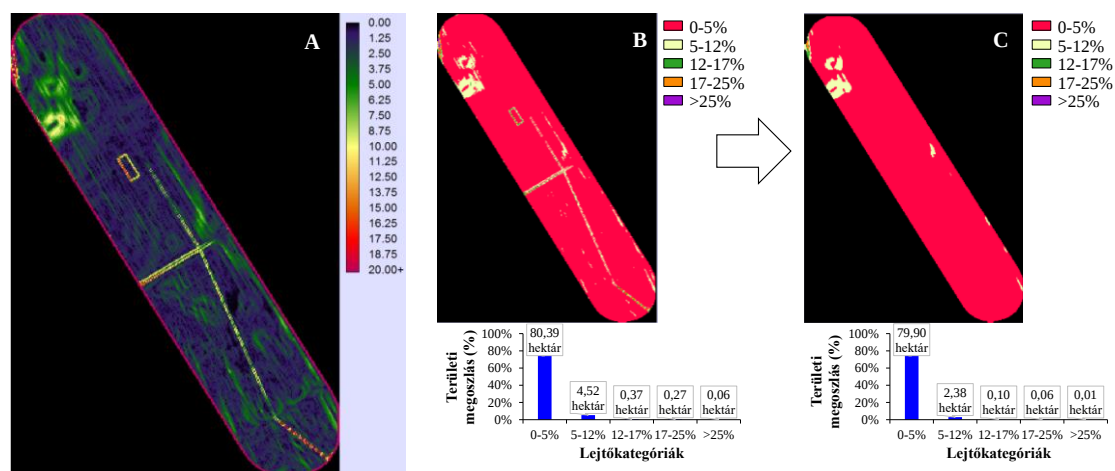
Elkészítve a lejtőkategória térképet (0-5%, 5-12%, 12-17%, 17-25%, >25%) megállapítottam, hogy nagy a „lejtőkategória-elaprózódás”, aminek feltehetően a nagy

felbontás az oka, ugyanakkor a mikrodomborzati tulajdonságok is elemezhetők ilyen mértékű felbontás mellett. Így a terület 68,30%-a tekinthető síknak (0-5%), 28,23%-a pedig 5-12%-os lejtőkategóriába tartozik, azonban az előzőekben már bemutatott adatok alapján a több mint 80 ha-os területen mindösszesen 7 m-es szintkülönbség volt (34. ábra).



**34. ábra:** A szántóterület digitális domborzatmodellje (A), a lejtőkategóriák szerint beosztályozott modell (B), valamint a lejtőkategóriák területi megoszlása (C)

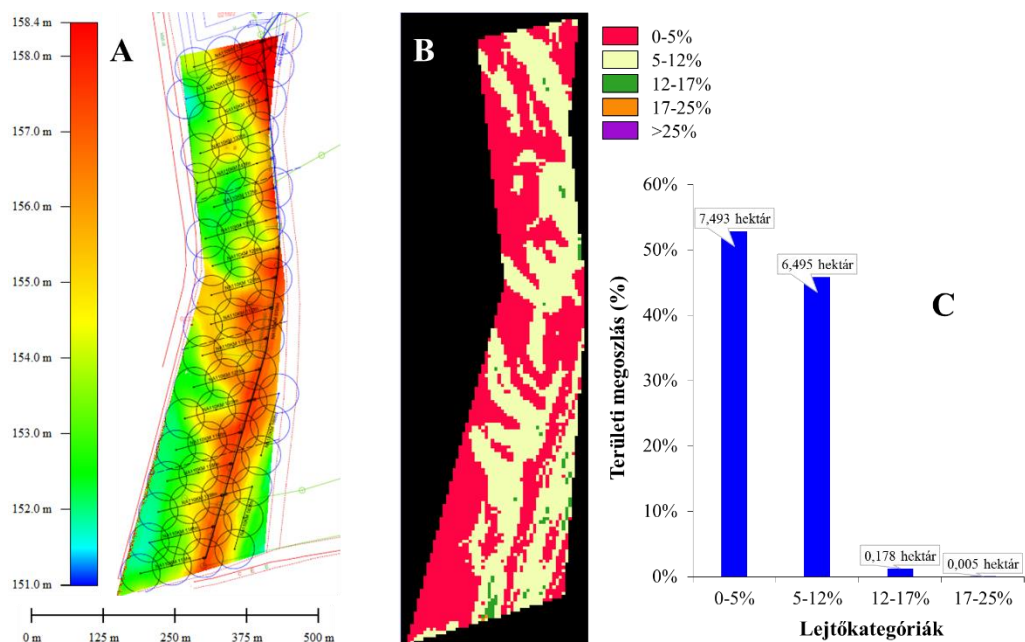
A nagy felbontás miatt a területen végzett szántóföldi művelés nyomai (keréknyom, barázdaszelet, stb.) is jelentősen befolyásolják a lejtőkategória-térkép végeredményét. Ezeknek a hibáknak a kiküszöbölése érdekében kisebb felbontást (10x10 m) választottam. Még a felbontás „mesterséges rontása” után is találtam a területen 12- 17%- os, 17-25%-os, illetve >25% lejtőkategóriát, igaz, hogy kisebb mennyiségben (0,37, 0,27 és 0,06 ha). Ezt követően leválogattam az utakat, a csatornákat és a tározókat (35. ábra).



**35. ábra:** A 10x10 m-es felbontásúra transzformált terület lejtőtérképe (A), a lejtőkategória-térképpel (B), valamint a „zavaró” objektumok nélküli lejtőkategória-térkép (C)

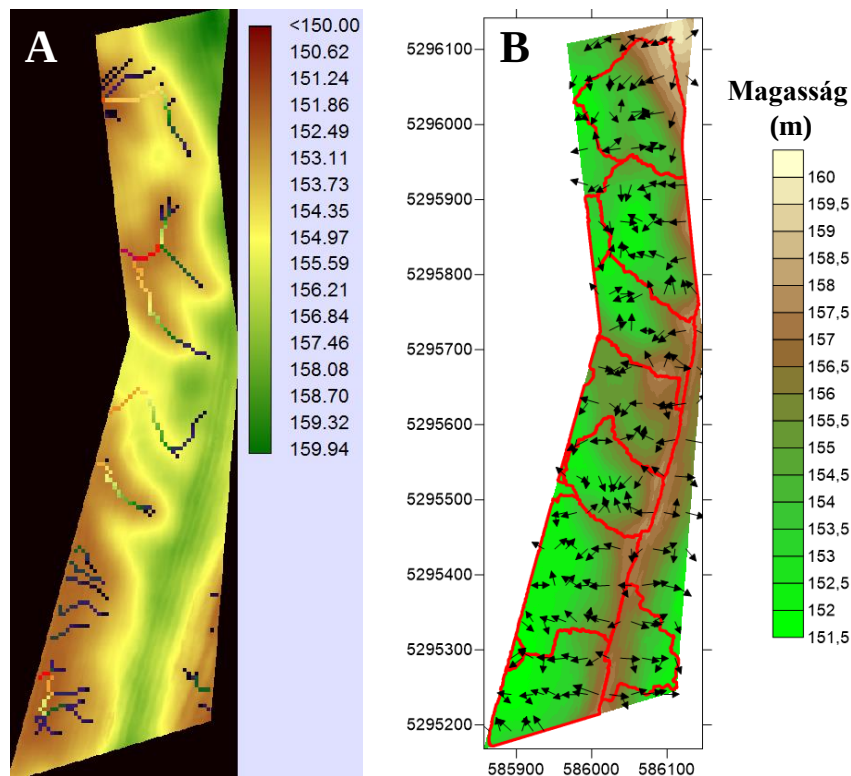
A kiszűrt „zavaró” objektumok nélküli térkép alapján a 0-5%-os (síknak tekinthető) lejtő kategóriába sorolható a terület 93,90%-a, míg a 5-12%-os lejtőkategóriába a terület 5,28%-a. A hagyományos (analóg adatok digitalizálásával készített) domborzatmodellel összehasonlítva a lézeres adatokból létrehozott DEM-et, megállapítottam, hogy a terület É-ÉNy-i területén található 5-12%-os lejtőkategóriába eső területek megegyeznek, bár az átfedés nem teljes, ami az eltérő adatforrásoknak, illetve felbontásnak is köszönhető.

Hasonlóan a szántóterületen lefuttatott szimulációkhoz, a gyepterületen is elvégeztem a modellezéseket. A gyepterület egy 15,65 ha-os terület (valamivel több, mint 5 millió pont, 31,97 pont/m<sup>2</sup>), amely – hasonlóan a többi gyepterülethez – domborzati szempontból igen heterogén (36. ábra/A).



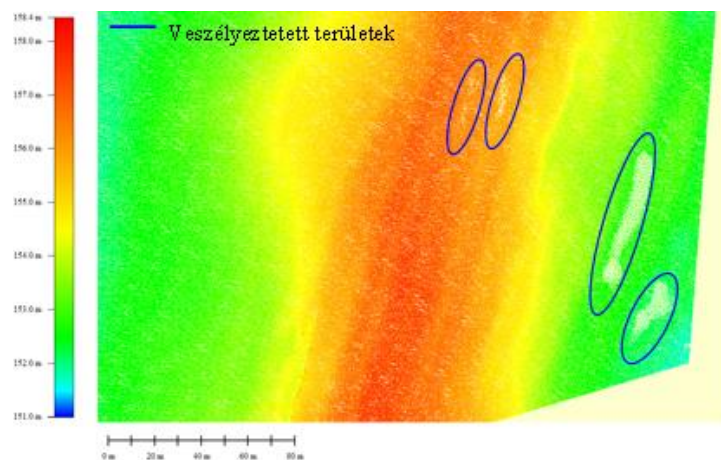
**36. ábra:** A vizsgált gyepterület domborzatmodellje (A) és lejtőkategóriái (B és C)

A 36. ábra/A jól mutatja, hogy a területet hosszában csaknem kettévágja egy domb, ami a csapadék felszíni lefolyását vagy összegyülekezését jelentősen meghatározza. Az említett domb mintegy 5 m magasban emelkedik a legalacsonyabban fekvő pontok fölé és ez a domborzati kiemelkedés egyfajta vízgyűjtőhatárként is szolgál. Ezt tovább segítették a felszíni elfolyást ábrázoló összegyülekezési vonalak (37. ábra/A). A 37. ábra/B-n láthatók a lefolyási vektorok, amely tulajdonképpen az elfolyó víz irányultságát mutatják. A vektorok segítségével lehatároltam az egyes összegyülekezési pontokat a területen.



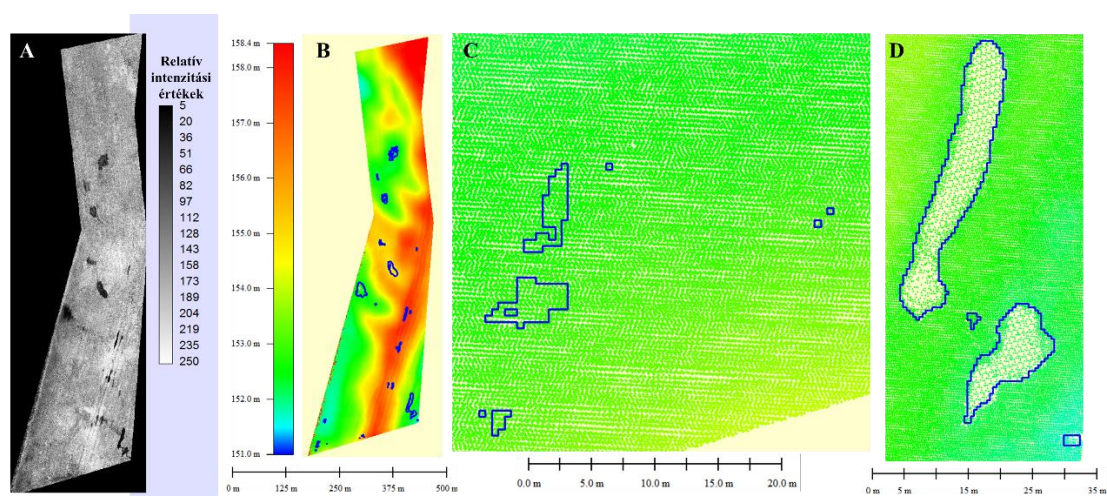
**37. ábra:** A gyepterület domborzati modellje a leflyási vonalakkal (A), valamint a vízgyűjtő területek bemutatása és a leflyási vektorvonalak (B)

A leflyási vonalak adatai alapján megállapítható, hogy a mélyebb katlanokban összegyülekezik a víz (nagy mennyiségű, illetve intenzitású csapadék vagy hóolvadás esetén), ezért megvizsgáltam a lézeres felmérés intenzitásértékeit. Mivel a légi LiDAR rendszer infravörös tartományban mért, így a felszíni víztöbbletekben a lézervfény elnyelődik, ennek eredményeként az esetleges káros felszíni víztöbbletek térképezésére alkalmas lehet (38. ábra).



**38. ábra:** A lézeres pontfelhőn fellelhető ritkább pontsűrűségű területek, ami káros felszíni víztöbbletre utal

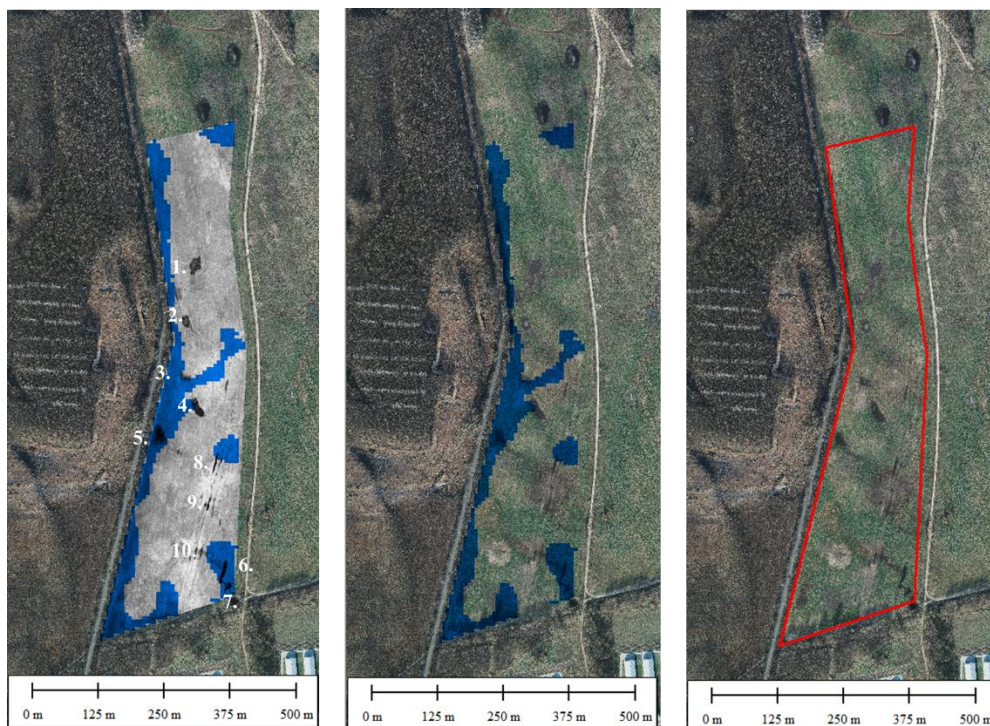
Az intenzitási értékek leválogatása során a területen 45 db kisebb-nagyobb kiterjedésű káros felszíni víztöbbletet detektáltam, melynek összterülete közel 0,2 ha volt (39. ábra/A és B).



**39. ábra:** A reflektált lézerezintenzitás alapján készült térkép (A), a leválogatási folyamat eredményeként készített belvíztérkép (B), valamint a hibás módon (C) és a megfelelően leválogatott belvízfoltok (D)

A területek között találhatók olyanok, amelyek a leválogatás során hibaként kerültek az adott kategóriába (elsősorban a déli területek találhatók ilyen,  $15 \text{ m}^2$ -nél kisebb területek) (39. ábra/C és D). Ezeket a területeket leválogatva, mindössze 13 db nagyobb kiterjedésű összefüggő belvizes terület volt található, melyeknek több, mint a fele  $100 \text{ m}^2$ -nél kisebb; a legnagyobb összefüggő belvízfolt mérete pedig  $512,5 \text{ m}^2$  volt. THOMAS et al. (2017)-ben megjelent cikkében a hidrológiailag érzékeny területek vizsgálatával foglalkozott digitális domborzatmodellek alapján. Az eredményeik szerint a legjobb felbontás 1-2 m, amellyel a microtopográfiai jellemzők jól vizsgálhatóak. YANG et al. (2014) kutatásuk során vizsgálták, hogy a LiDAR alapján készített digitális domborzatmodell milyen hatással van a nagyléptékű vízgyűjtő modellezés során. Az eredményeik azt mutatták, hogy a nagyfelbontású LiDAR-ból származtatott DEM segítségével a hidrológiai helyzetek jobban nyomon követhetőek.

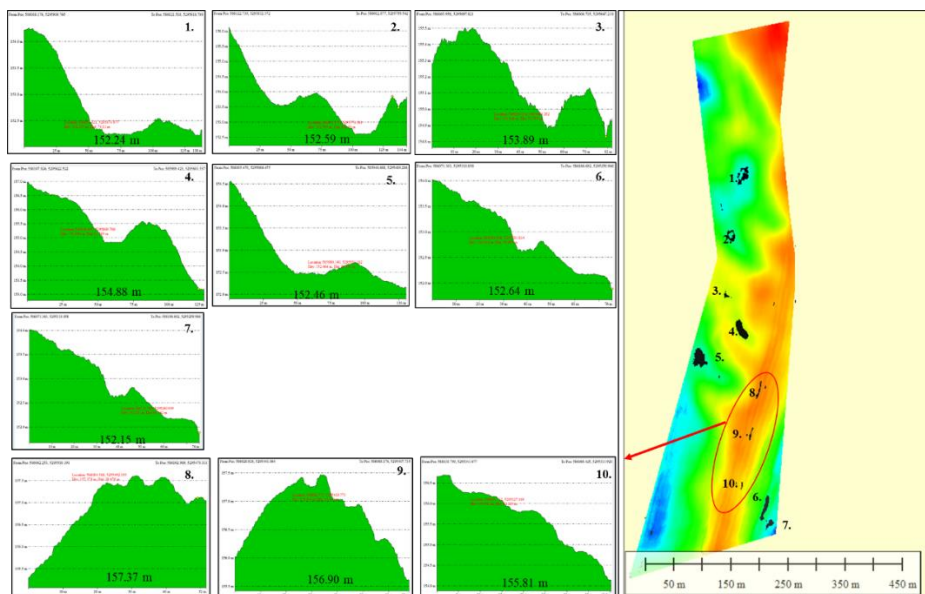
A belvizes területek validálását Sentinel 1 adatok, illetve CIR és RGB felvételek alapján végeztem el (40. ábra).



**40. ábra:** Belvizes területek validálása Sentinel 1 adatok alapján

Az 40./A. ábrán jelenítettem meg a területről készült lézer alapú bitmap-et illetve a Sentinel 1 műholdfelvételtől készített kivágatot, amelyet kék színnel jelöltem. A Sentinel 1 adatok alapján jól kirajzolódtak a vizes foltok, amelyek esetében a terület középső részén található 5. számú folt illetve a terület déli részén található 6. és 7. foltokat ez alapján tudtam validálni. Azonban a területen található többi belvizes folt esetében nem volt egyértelműen kimutatható az egyezés, ennek feltehetően az volt az oka, hogy a Sentinel 1 adatok esetében 10 m-es volt a felbontás. Emiatt megvizsgáltam a területről készült CIR illetve RGB (40./B., C. ábra) felvételeket is, amelyek térbeli felbontása 0,5 m volt, így ezek alapján pontosan tudtam azonosítani a lézeres adatok alapján leválogatott belvíz foltokat.

A továbbiakban vizsgáltam a belvizes foltok kialakulásának okait a terület domborzati lefolyás-összegyülekezési illetve talajtani viszonyai alapján.



**41. ábra:** A gyep terület esetében azonosított belvíz foltok 3D domborzati metszetei

A területről kiválasztottam 10 nagyobb belvizes foltot, amelyeket a 41. ábrán jelöltem, megjelenítettem ezek 3D metszetét, illetve a legmélyebb pontjaik magassági adatait. Ezek alapján a területen el tudtam különíteni a természetes tényező, illetve antropogén tevékenységből adódó katlanokat, amelyekben összegyülekezett a víz. Az 1.,2.,3.,4.,5.,6.,7. foltok alacsonyabb reliefű területeken találhatók (152,24-154,88 m), amelyeknél a belvizek kialakulása a domborzati viszonyokkal van összefüggésben, hiszen az alacsonyabb területeken összegyülekezhet a felesleges víztöbblet. A 8., 9.,10.-es foltok esetében pedig, amelyek magasabb fekvésű területek (155,81-157,37 m) a belvizes foltok megjelenésének okai a művelésből adódhatnak, így ezek antropogén eredetűek. Ennek ellemondanak KUN (2011) kutatásai, amely szerint a homok területek általában sokkal kevésbé érzékenyek az antropogén eredetű tömörödéssre, mint más üledékek.

BAUKÓ et al. (1981); RAKONCZAI et al. (2003) szerint az egyik legfontosabb tényező a belvíz kialakulásában a domborzat. PÁSZTOR et al. 2006-os cikkében szintén megerősíti, hogy az összegyülekezési belvíz szempontjából a felszín szerepe a relatív domborzaton keresztül közelítendő meg. VÁGÁS (1989) azonban megállapította, hogy sík területeken döntően a talajtulajdonságok, illetve az időjárási viszonyok, valamint a mikrodomborzat okozza a belvízképződést. A belvíz általában a mélyebb részekben alakul ki, így a hagyományos topográfiai térképek nem használhatók. A vizsgálataim eredményei a domborzat meghatározó szerepét hangsúlyozó szerzőkével esnek egybe.

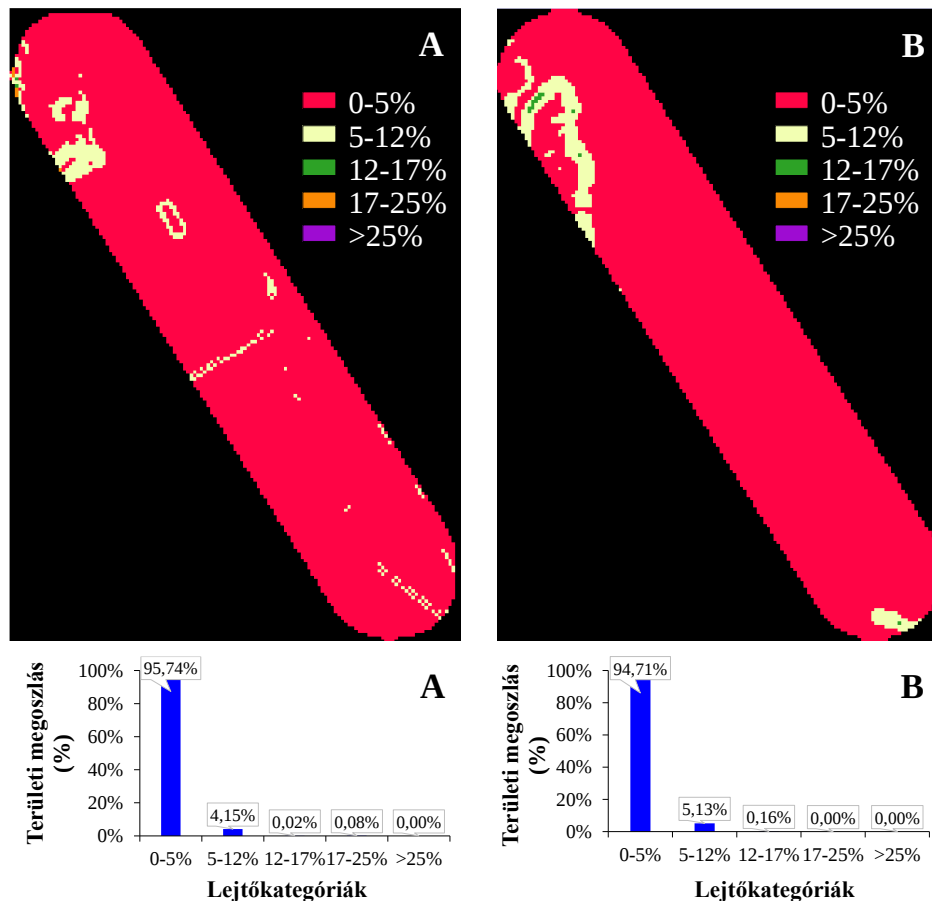
A továbbiakban vizsgáltam a belvizek kialakulásában részt vevő egyéb természetes tényezők okait, így a talajtani tényezők közül a telített vezetőképesség (K tényező) illetve

a szabadföldi vízkapacitás és diszponibilis víztartalom értékeit vizsgáltam a gyepterületen (30 és 60 cm-es mélysében). A K tényező esetében a hisztogram értékeit vizsgálva megállapítottam, hogy nem mutatkozott különbség a gyepterület illetve a belvizes területek átlag értékeit között, így arra a következtetésre jutottam, hogy a belvizes foltok is nagy volt a beszivárgási érték. A szabadföldi vízkapacitás értékeit elemzve azonban, eltérés mutatkozott a gyepterület és a belvizes területek értékei között, ennek feltehetően az volt az oka, hogy a nagyobb a kolloidtartalom a mélyebb fekvésű területeken. A diszponibilis vízkapacitás esetében az eredmények alapján megállapítottam, hogy a mélyebb területeken nagyobb értékek fordultak elő, mint a magasabb reliefű területeken. Összeségében azonban megállapítottam, hogy a gyepterületen a belvizek kilakulásának elsődleges oka a domborzat illetve a lefolyás-összegyülekezési tényezők. A vizsgált esetben a talaj vízgazdálkodási tulajdonságok szerepe (BIRKÁS, 2005) kevésbé érvényesült, aminek feltehetően az volt az oka, hogy ezek a tényezők nem mutattak nagy varianciát.

#### 4.2.2.3. A domborzatmodellek összehasonlító vizsgálata

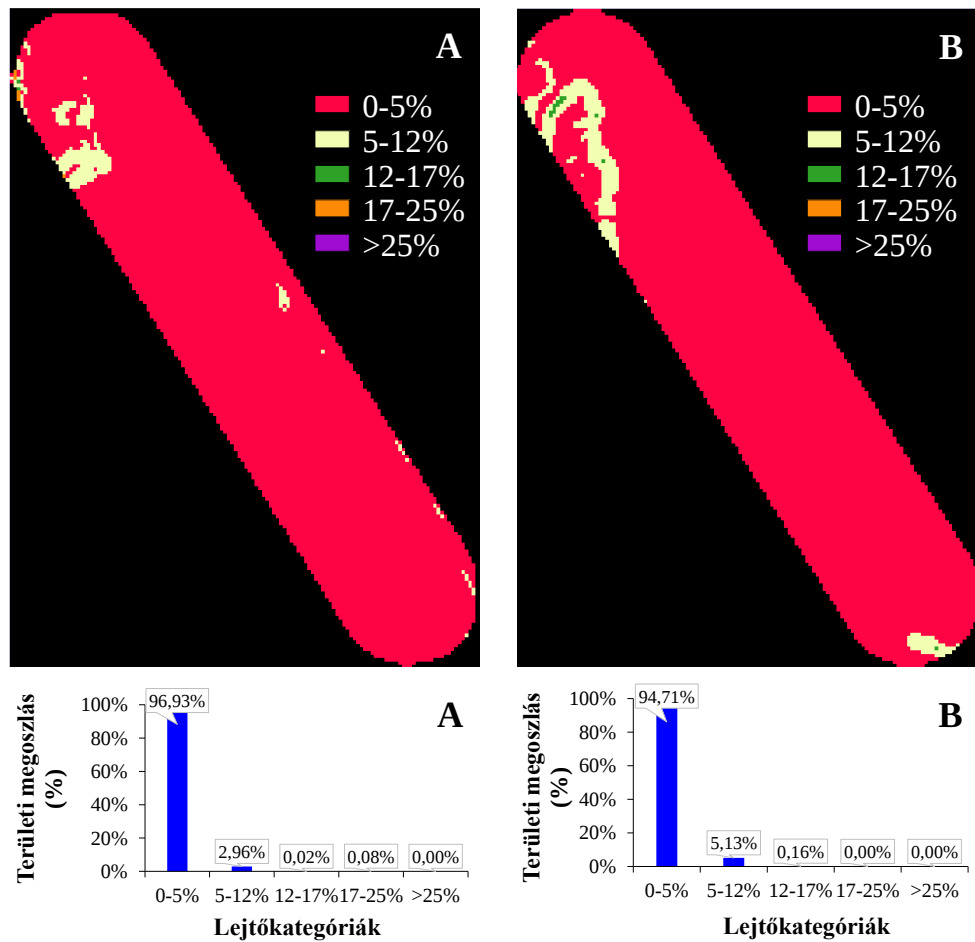
A hagyományos módon, az analóg adatok digitalizálásából előállított domborzatmodellt és a légi LiDAR-ból származó DEM-et összehasonlító elemzésnek vetettem alá mind a szántó, mind pedig a gyepterületen.

A szántó terület esetében a hagyományos (analóg adatok digitalizálása) alapján készített 10x10 m-es felbontású, valamint a LiDAR felvételezésből mestreségesen visszarontott 10x10 m-es felbontású DEM-eket, illetve az azokból készült lejtőkategória térképeket hasonlítottam össze (42. ábra).



**42. ábra:** A LiDAR alapú (A) és a hagyományos (analóg adatok digitalizálásával készített) (B) DEM lejtőkategóriáinak összehasonlító elemzése

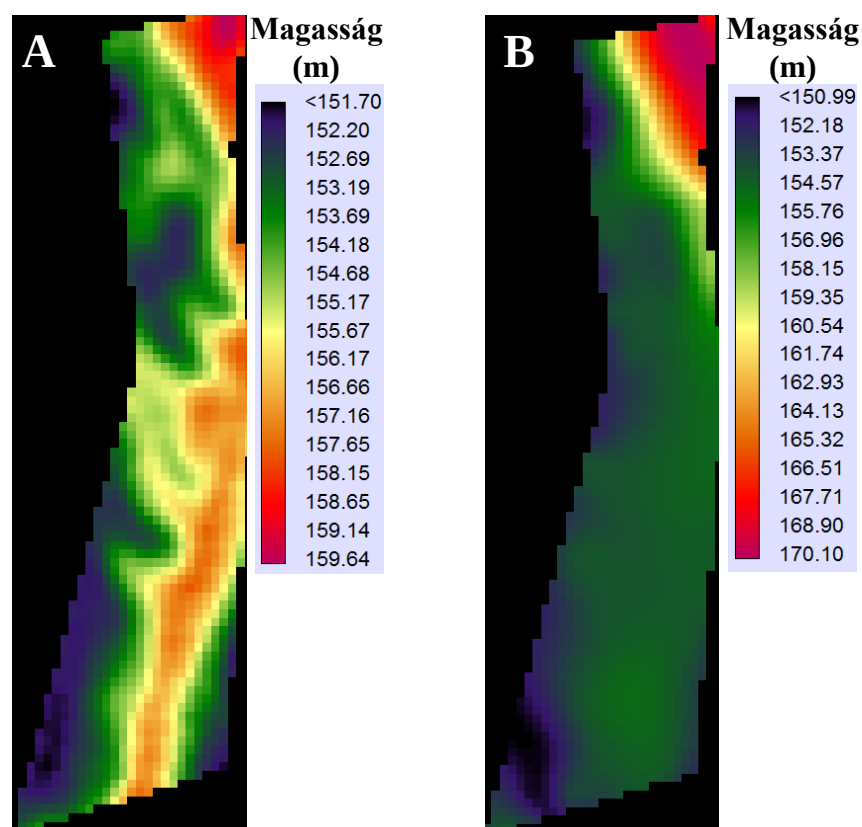
Mindkét adatbázis alapján a terület javarészt (átlagosan 95,2%-ban) síknak tekinthető, viszont a LiDAR adatok alapján a terület 4,15%-a, az analóg adatok alapján pedig a terület 5,13%-a az 5-12%-os lejtőkategóriába esik, a többi kategória elhanyagolható. A LiDAR adatok alapján készült lejtőkategória térképet erősen torzítják a tározók és belvízelvezető csatornák rézsűi. Ezek ugyan befolyásolják a lefolyási-összegyülekezési-tározási folyamatokat, viszont a hagyományos (analóg adatok digitalizálásával készített) domborzati térkép nem tartalmazza ezeket az objektumokat, így a további elemzések során figyelmen kívül hagytam azokat (43. ábra).



**43. ábra:** A LiDAR alapú (A) és a hagyományos (analóg adatok digitalizálásával készített) (B) DEM lejtőkategóriáinak összehasonlító elemzése a LiDAR alapú térképen csatorna és a tározó rézsűjének figyelmen kívül hagyásával

A módosított lejtőkategória térképen látható, hogy a síknak mondható területek aránya 1,19%-kal növekedett, ami közel 1 ha-on (0,987 ha-on) módosította a lejtőkategóriát.

A gyepterület esetében megegyező felbontással készült domborzatmodellek között is jelentősek a különbségek (44.ábra).



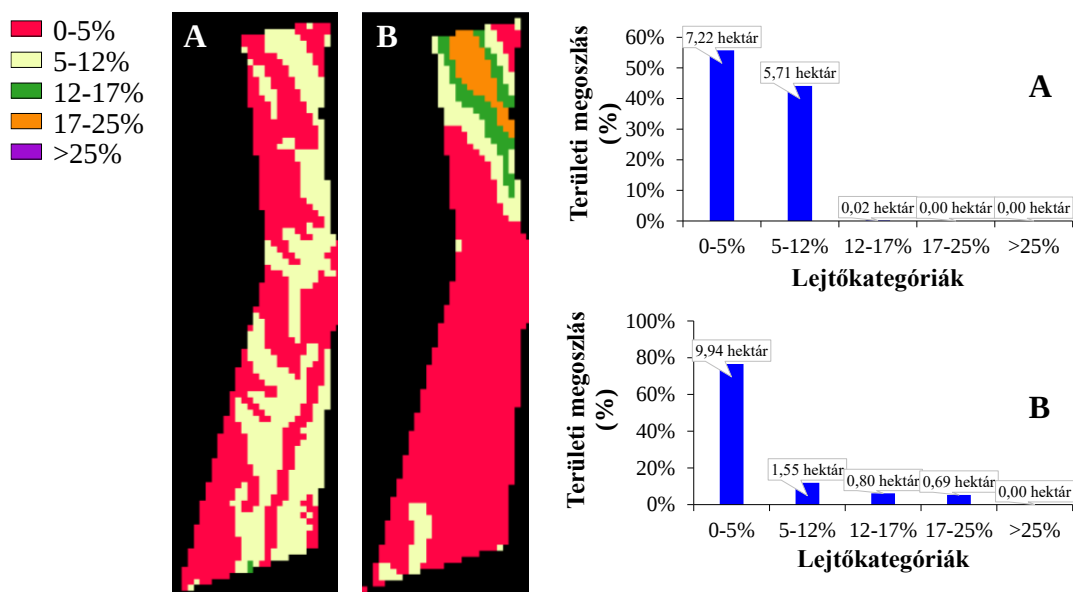
**44. ábra:** A magassági értékek alakulása a 10x10 m-es térbeli felbontású adatbázisok alapján

A – Légi LiDAR alapú lézeres adatokból származó lejtőkategória térkép

B – Hagyományos (analóg adatok digitalizálásával készített) DEM lejtőkategória térképe

Míg a lézeres adatok szerint a 7,94 m a területen a szintkülönbség, addig a hagyományos (analóg adatok digitalizálásával készített) DEM alapján 19,11 m-es szintkülönbséget mutattam ki. Megállapítottam, hogy a terület északkeleti részén figyelhető meg a domborzat jelentősebb változása, emellett szintén hasonlóságok figyelhetők meg a legmélyebb pontok elhelyezkedése kapcsán. A legfőbb különbség, hogy a terület közepén futó magasabb terület, valamint a lejtő irányába futó eróziós mintázat nem rajzolódik ki a hagyományos (analóg adatok digitalizálásával készített) DEM-en (44. ábra). SCHUMANN et.al. (2007) LiDAR alapján, szintvonalas térkép alapján és SRTM alapján készült digitális domborzatmodelleket hasonlítottak össze hidrológiai modellezés céljából. Az eredményeik alapján megállapították, hogy a LiDAR alapján készült DEM volt a legjobb, ezt követte az SRTM, majd pedig a szintvonalak alapján készült DEM.

A jelentős mezodomborzati különbségek az ugyanolyan felbontás mellett a lejtőkategória térképen is tükröződnek (45. ábra).



**45. ábra:** A lejtőkategória értékek alakulása a 10x10 m-es térbeli felbontású adatbázisok alapján

A – Légi LiDAR alapú lézeres adatokból származó lejtőkategória térkép

B – Hagyományos (analóg adatok digitalizálásával készített) DEM lejtőkategória térkép

A LiDAR alapú DEM-en is jól látható, hogy mindössze három lejtőkategória (0-5%, 5-12%, 12-17%) figyelhető meg, viszont a 12-17%-os kategória az összterületnek csupán a 0,15%-át teszi ki, legnagyobb arányban a 0-5%-os (55,75%), majd az 5-12%-os (44,10%) kategória a jellemző. Ezzel szemben a hagyományos (analóg adatok digitalizálásával készített) adatok alapján készített lejtőkategória térképen megjelenik a 17-25%-os (5,3%-os részesedési arányban) lejtő a terület északkeleti részén. Ahogy a domborzati viszonyok sem mutatták a mezodomborzati különbségeket, úgy a lejtőkategóriák is homogenitást mutattak a terület középső részén.

Az egyes lejtőkategóriák közötti elemzések esetében a szerves széntartalom és az természetes domborzati és összegyülekezési okok miatt kialakult belvizes területeket vizsgáltam. A mikrodomborzat mélyebb fekvésű részein széntartalom és kötöttségi szám növekedést mutattam ki (17. melléklet), ezek vízgazdálkodási kapcsolatának feltárására további vizsgálatokat tervezek.

## Következtetés, javaslatok

A fő kutatási célkitűzésem volt az aszály és a belvíz, mint mezőgazdaságot érintő legnagyobb klimatikus kockázati tényezők elemzésére alkalmas vizsgálati módszerek tovább fejlesztése, az eddigieknél pontosabb, összehasonlíthatóbb eredmények elérésére érdekében. Az eredményeim alapján levont következtetéseket a célkitűzések sorrendjében mutatom be.

Az aszályindexek értékelése alapján az alábbi következtetések vonhatók le. Az eredményeim alapján megállapítottam, hogy mind az Ellenberg, SPI-3 és az RDI alkalmas hazai alkalmazásra, mivel ezek szoros illetve közepes összefüggést mutattak a PaDI-val. Az NDVI értékek kiértékelése során megállapítottam, hogy ezek alapján jól nyomon követhetőek az aszályos időszakok. A vizsgálatok alapján arra a következtetésre jutottam, hogy az augusztusi NDVI értékek és a meteorológiai index értékek között szoros kapcsolat volt, ami alapján felállítottam az index értékek relatív megbízhatóságát, amelyek az alábbiak voltak: PaDI, Ellenberg, SPI, RDI.

A normalizált hibrid aszályindex komplexebben írja le az aszály jelenségeket a mintaterületeken, így pontosabban lehatárolható az aszályal különböző mértékben sújtott terület nagysága és nyomon követhető a területi ismétlődése és áthelyeződése. A hibrid aszályindex alkalmazásával egy nemzetközi projekttel (DMCSEE) összevethető eredményekre jutottam. Az eredményeim alapján megállapítottam, hogy az általam létrehozott normalizált hibrid aszályindex egy egységes aszályosztályozás alapja lehet, mind nemzetközi, mind pedig hazai viszonylatban.

Az idő és térsoros vizsgálatok alkalmasak az aszály jelenségek nyomon követésére kistájak esetében, azonban figyelembe kell venni, hogy az NDVI értékek változékonyságának több oka lehet. A területeken legnagyobb arányban szántó és gyepterületek találhatók meg, így az eredmények feltehetően annak köszönhetőek, hogy a vetésszerkezet módosító hatással van az NDVI értékekre, ezért az adott vizsgálati területeken fontos megvizsgálni, hogy a kultúrák milyen vetésszerkezettel bírnak és milyen fenológiai fázisban vannak a vizsgálati időpontokban.

Radar távérzékelési adatok alkalmazásával jól meghatározható és nyomon követhető a belvizek területének időbeli alakulása hasznosítási típusonként az időjárási körülményektől függetlenül.

A hagyományos analóg alapadatok digitalizálásával készült domborzatmodellek eredményei alapján arra a következtetésre jutottam, hogy sem a gyepterület, sem a szántóterület

kizárólag a domborzat alapján belvízzel nem veszélyeztetett. Azonban ennek ellentmondanak az előzetes terepbejárás során látott, valamint a légi lézeres felvételeken lehatárolható, a szántóterületen található belvizes foltok. Ennek oka részben talajtani, hidrológiai lehet, valamint az, hogy a domborzatmodell 10 m-es felbontást enged meg, amellyel a mikrodomborzat változásai csak korlátozottan nyomonkövethetőek.

A légi LiDAR felvétel alapján készült domborzatmodell segítségével az intenzitási értékek leválogatása alapján belvizes foltok azonosíthatóak. A domborzat és a talajtani tényezők vizsgálati eredményei alapján arra a következtetésre jutottam, hogy az egyik legfontosabb tényező az összegyülekezési belvizek kialakulásában a domborzat.

A különböző forrásból származó domborzatmodellek összehasonlítása során megállapítottam, hogy a légi LiDAR felvétel alapján a mikrodomborzati különbségek jobban nyomon követhetőek, hiszen mind a domborzat, mind pedig a lejtőkategória térkép alapján pontosabb, heterogénebb képet kaptam, holott mindkét forrásból származó DEM esetében 10x10 m-es felbontást alkalmaztam.

## Új tudományos eredmények

1. Nemzetközi és hazai gyakorlatban meghatározó aszályindexeket értékeltem (Ellenberg Index, SPI-3, RDI, PaDI) két hidrológiailag eltérő magyarországi földrajzi régióban. Eredményeim alapján megállapítottam az aszály indexek relatív megbízhatóságát: PaDI>>Ellenberg>>SPI-3>>RDI.
2. Új módszert dolgoztam ki a különböző skálájú aszályindexek összehasonlító értékelésére, amely során egy normalizált hibrid aszályindexet hoztam létre, amely alapja lehet egy egységes aszályosztályozási rendszernek, hazai és nemzetközi szinten egyaránt.
3. Az idő és térsoros erőforrásfigyelő műholdas adatok (VIS-NIR) vizsgálata alkalmas az aszály jelenségek nyomon követésére a kistájak esetében.
4. Módszert dolgoztam ki az új típusú aktív radar távérzékelési adatok alapján a belvízjelenségek térbeli lehatárolására.
5. A Nyírségben, légi LiDAR precíziós fotogrammetriai adatfeldolgozás alapján a belvizek összegyülekezési, lefolyási viszonyait értékeltem. 13 db nagyobb összefüggő belvizes területet határoltam le az eddigieknél pontosabban.

## **Gyakorlatban alkalmazható eredmények**

1. Földrajzi régiók szintjén az általam kidolgozott normalizált hibrid aszályindex alkalmazási lehetőséget nyújt az aszály jelenségek egységesebb értékelésére.
2. A vegetációs index segítségével az aszály növénytermesztési következményei pontosabban előrejelezhetők.
3. A belvízgazdálkodás során a bemutatott új aktív radar távézékelési adatok alkalmazása belvizes területek lehatárolásának pontosításában biztosít segítséget még rossz időjárási viszonyok között is.
4. A nagyfelbontású légi LiDAR adatokból származó digitális domborzat és felszín modell segítségével a belvizek lefolyási és összegyülekezési viszonyai értékelhetők, amelyek használhatóak a belvíz károk csökkentésére és a földhasználati módok optimalizálására irányuló tervek kidolgozásában.

## Összefoglalás (magyar nyelven)

Számos szakirodalom alátámasztja, hogy a klímaváltozás kockázatát tekintve a vízhez kapcsolódó kockázatok jelentik az egyik fő veszélyt a mezőgazdasági termelésre. Hazánkban 10 év átlagában rendszeresen 2-3 év belvizes, míg 2-3 év aszályos. Ezek gyakran azonos évben és nagyrészt azonos régióban következnek be, máskor térben és időben egyaránt nagyon változóak lehetnek a kárpát-medencei alföldeken, ahol a jövőben egyre gyakoribbak lehetnek.

A kutatás során eltérő léptékű és hidrológiai helyzetű mintaterületeken végeztem aszályal és belvízzel kapcsolatos vizsgálatokat, a mintaterületeimen közé tartozott az Alföld, Szolnok-Túri-sík, Nyírség és az Észak-Nyírségben két kisebb (szántó, gyepterület, amelyek Nyírbátor közelében találhatók.

Az aszályal kapcsolatos vizsgálataim célja volt meghatározó aszályindexek értékelése hidrológiailag eltérő földrajzi régióban. 2002-2012 időszakra vonatkozóan az Ellenberg-Index, Standardizált Csapadék Index (Standardized Precipitation Index-SPI), Aszályfelismerési Index (Reclamation Drought Index-RDI), valamint Pálfai-féle Ariditási Index (Pálfai Drought Index-PaDI) számítását végeztem el a mintaterületeken (Szolnok-Túri-sík, Nyírség), és vizsgáltam a köztük lévő összefüggéseket. Megállapítottam, hogy a vizsgált indexek bár hasonló bemeneti adatokkal rendelkeznek, eltérő mértékben és eltérő években jelezték az aszályt. A meteorológiai indexeken kívül, a műholdas indexek közül az NDVI indexet (Normalizált Differenciál Vegetációs Index) számítottam ki a mintaterületekre a májusi és augusztusi időszakokra nem öntözött szántóterületekre vonatkoztatva. Vizsgáltam az NDVI index értékek és a meteorológiai index értékek közötti összefüggéseket, amelyek mindkét mintaterület esetében az augusztusi NDVI értékekkel mutattak szorosabb kapcsolatot. Az összefüggés vizsgálat során kapott eredmények alapján megállapítottam az aszály indexek relatív megbízhatóságát: PaDI >> Ellenberg >> SPI-3 >> RDI.

Az általam feldolgozott szakirodalmak alapján megállapítottam, hogy az aszályhelyzetek vizsgálatánál problémaként jelentkezik, hogy a külföldi indexek kategória határai nincsenek összhangban a hazai indexekkel, illetve hogy az aszály mérési gyakorlata nem egységes, az összehasonlíthatóság hazai és nemzetközi korlátba ütközik. A fentiek alapján tartottam szükségesnek egy egységes, hazai és nemzetközi gyakorlatban

használható hibrid aszályindex megalkotását, amely során a súlyozási tényezők az augusztusi NDVI értékek és a meteorológiai aszályindexek összehasonlító vizsgálata során kapott determinisztikus együttható értékei voltak.

A normalizált hibrid index alapja a korábban számított négy index értéke volt. A számítás során az általam kiválasztott négy meteorológiai index (Ellenberg, SPI-3, RDI-3, PaDI) értékeit egy 0-1 közé eső skálába képeztem át. Ezeket az értékeket súlyoztam, kumuláltam, osztottam az indexek számával, majd egy százalékos skálára számítottam át. A helyi meteorológiai adatokból készített hibridindex esetében a Szolnok–Túri-síkon megállapítottam, hogy a 2002-2012. közötti időszakban három év volt aszálymentes (2007-2008, 2009-2010, 2010-2011), illetve az erős aszály volt 2002-2003, 2006-2007, valamint a 2011-2012-es évben. Közepes aszály volt a 2003-2004-es és a 2008-2009-es évben, aszály pedig 2005-2006-ban. A 2004-2005 pedig gyengén aszályos év volt a normalizált hibrid aszályindex alapján. A Nyírség esetében a vizsgált időszakban egyik év sem volt aszálymentes, illetve gyengén aszályos. Közepesen aszályos kategóriába egy év esett, amely a 2010-2011-es év volt. Aszályosak voltak a 2003-2004, 2004-2005, 2007-2008, 2009-2010 valamint a 2011-2012-es évek. Az erősen aszályos kategóriába a 2004-2005, 2005-2006, 2006-2007, 2008-2009-es éveket soroltam be a normalizált hibrid aszályindex alapján. A normalizált hibrid index értékeit térben is ábrázoltam, aminek eredményeképpen számszerűsíteni tudtam a különböző aszály kategóriák térbeli kiterjedését az Alföldön, illetve a Szolnok-Túri-síkon és a Nyírségben egyaránt. Ebben az esetben az index értékeket a Carpatclim adatbázisából töltöttem le, és a fentiekhez hasonló módon végeztem a számításokat. A normalizált hibrid index értékei alapján 2003-as évben az Alföld területének 35%-án fordult elő erős aszály, 58,8%-on aszály volt jellemző, valamint közepes aszály volt a terület 7 %-án. A 2007-es év esetében megállapítottam, hogy közepes aszály (39%), aszály (60%), valamint erős aszály (1%) volt detektálható a területen. A 2009-es évben pedig gyenge aszály volt megfigyelhető a terület 10%-án, továbbá közepes aszály volt jellemző 83%-on, illetve 7%-ban volt aszály. A továbbiakban az aszályos években vizsgáltam a referencia területek esetében az aszály mértékének alakulását. Megállapítottam, hogy a 2003-as évben a Szolnok–Túri-sík esetében legnagyobb arányban az erős aszály kategória volt megfigyelhető (26 213 ha), kisebb mértékben az aszály (15786 ha). 2007-ben a mintaterületen 26213 ha-on volt aszály illetve közepes aszály volt 15786 ha területen. 2009-es évben a normalizált hibrid index alapján a Szolnok–Túri-sík 6002 ha gyengén aszályos, 35 997 ha közepesen aszályos kategóriába esett.

A normalizált hibrid aszályindex eredményei alapján megállapítottam, hogy 2003-ban a Nyírség esetében a legnagyobb arányban aszály (373 612 ha) volt jellemző, valamint közepes aszály (76486 ha) is megtalálható a területen. A 2007-es évben a Nyírségben legnagyobb arányban aszály volt jellemző (370 564 ha), míg kisebb területen jelent meg közepes aszály (79534 ha). A 2009-es évben a hibrid aszályindex alapján a Nyírség legnagyobb arányban a közepes aszály (420 954 ha) kategóriába esett, míg kisebb területen a gyenge aszály volt jellemző (20 827 ha), valamint 8317 ha-on erős aszály volt.

Az eredményeim alapján megállapítottam, hogy az általam létrehozott normalizált hibrid aszályindex egy egységes aszályosztályozás alapja lehet, mind nemzetközi, mind pedig hazai viszonylatban.

A kutatás során értékeltem az aszályos időszakok és a biomassa alakulásának összefüggéseit idősoros műholdas spektrális adatok alapján. Mindkét terület esetében a vegetáció aktivitását 10 éves idősorban (2002-2012) elemeztem. A vizsgálat során 2002- 2013. közötti májusi és augusztusi MODIS NDVI felvételeket dolgoztam fel a Corine 2012-es adatbázisa alapján a nem öntözött szántóterületre vonatkozóan, amely időpontok a vizsgálati területeken található búza, őszi árpa, tritikálé, valamint a kukorica virágzás és termés képződés időszakait fedik le. Az eredmények alapján megállapítottam, hogy az NDVI értékek alakulása alapján jól nyomon követhetőek az aszályos időszakok. Az NDVI térképeket felhasználva idősoros vizsgálatot és főkomponens analízist végeztem, hogy kiértékeljem mely évek voltak meghatározóak a 10 éves időszakban a biomassa alakulása szempontjából. A vizsgálataim során kimutattam, hogy a Szolnok- Túr-síkon a májusi NDVI értékek közül a 2003, az augusztusi értékek közül a 2008, míg a Nyírség esetében a májusi NDVI értékek közül a 2008, az augusztusi értékek közül a 2013 volt meghatározó. Az idő és térsoros vizsgálatok alkalmasak az aszály jelenségek nyomon követésére kistájak esetében, azonban az NDVI értékek változékonyságának több oka lehet. A területeken legnagyobb arányban szántó és gyep földhasználati kategória található meg, így a fenti eredmények feltehetően annak köszönhetőek, hogy a vetésszerkezet módosító hatással van az NDVI értékekre. Az biomassa alapú aszályvizsgálatok során kapott eredmények alapján arra a következtetésre jutottam, hogy további vizsgálatokra van szükség a vetésszerkezet és a területeken található növénykultúrák fenológiai fázisaival együtt.

A célkitűzéseim között szerepelt a belvizek összegyülekezési és lefolyási viszonyainak értékelése idősoros radar távérzékelési adatok alkalmazásával, mivel az egyik lehetséges megoldás lehet a belvízi jelenségek nyomon követésére illetve előfordulási kockázatának

jellemzésére a radar felvételek kiértékelése. A 2015-ös évre vonatkoztatva Sentinel 1 adatok alapján lehatároltam a vizes területeket, és ezeket összevettem a földhasználati kategóriákkal a Corine Land Cover 2012-es adatbázisa alapján, hogy kiértékeljem a területi összefüggéseket a Szolnok–Túri-sík esetében. A radar adatok alapján a Szolnok–Túri- síkon vizsgált 2015-ös év esetében márciusban 507,52 ha, áprilisban 161,23 ha, júliusban pedig 105,95 ha volt a belvizes területek nagysága a nem öntözött szántó területeken. A gyepterületek esetében a vizsgált év összes hónapjában jelentkezett belvíz, amelyek közül kiemelkedő volt a júliusi hónap (1113,67 ha), ezt követte 337,14 ha-os területtel a júniusi hónap. Az eredményeket talajtani tulajdonságok vizsgálatával vettem össze, amely alapján megállapítottam, hogy a hasznosítás alkalmazkodik a talaj fizikai féleséghez és a talajtípushoz. A szántók túlnyomó többsége agyagos vályog, vályog fizikai féleségű talajon illetve réti csernozjom és kisebb arányban mélyben sós réti csernozjomon, réti szolonyecen. Nagyon kis arányban mélyfekvésű réti talajon található. A felszín morfológiai különbségeiből adódóan a csernozjom jellegű talajok mikrodomborzattal tagoltak, míg a réti jellegűek felszíne sík, így az összegyülekezési belvíz képződésének feltételei másak. A jó vízgazdálkodási tulajdonságokat felülírja a mikrodomborzat, ami kedvez az összegyülekezési belvizek keletkezésének. A talaj vízgazdálkodási tulajdonságok és a belvízképződés közötti ellentmondások és a mikrodomborzat szerepének feltárása még további vizsgálatokat igényel.

Az Észak-Nyírség esetében a vizsgálati területek domborzati sajátosságait a rendelkezésre álló topográfia felvételekből történő analóg alapadatok digitalizálásával és domborzati modell készítésével, valamint légi LiDAR-ból készült domborzati modell alkotással mértem fel, amelyek felbontásuknál fogva nagy hatékonysággal térképezik a terület egyes részeit, továbbá összehasonlítottam ezek alkalmazhatóságát. Két kisebb referencia területet választottam ki Nyírbátor közelében (egy 15,65 ha-os gyepet és egy 85,5 ha-os szántót), amelyek a tájra jellemző tulajdonságokat hordozzák.

A hagyományos analóg alapadatok digitalizálásával készült domborzatmodellek eredményei alapján arra a következtetésre jutottam, hogy sem a gyep, sem a szántóterület kizárólag a domborzat alapján belvízzel nem veszélyeztetett. Azonban ennek ellentmondanak az előzetes terepbejárás során látott, valamint a légi lézeres felvételeken lehatárolható, a szántó területen található belvizes foltok. Ennek oka részben talajtani, hidrológiai lehet, valamint az, hogy a domborzatmodell 10 m-es felbontást enged meg, amellyel a mikrodomborzat változásai csak korlátozottan nyomonkövethetőek.

A gyepterület esetében a légi LiDAR felvétel alapján készült domborzatmodell alapján megállapítottam, hogy egy nagy intenzitású csapadék, vagy nagy intenzitású hóolvadás következtében a mélyebb összegyülekezési katlanokban megállhat a víz, ezt bizonyítandó megvizsgáltam a lézeres felmérés intenzitásértékeit. Mivel a légi LiDAR rendszer infravörös tartományban mért, így az esetleges káros felszíni víztöbbletek térképezésére alkalmas lehet. Az intenzitási értékek leválogatása során 13 db nagyobb összefüggő belvizes terület volt található, melynek több, mint fele  $100 \text{ m}^2$ -től kisebb; a legnagyobb összefüggő belvízfolt pedig  $512,5 \text{ m}^2$ . A domborzat és a talajtani tényezők vizsgálati eredményei alapján arra a következtetésre jutottam, hogy a domborzat az egyik legfontosabb tényező az összegyülekezési belvizek kialakulásában.

A hagyományos módon, az analóg adatok digitalizálásával előállított domborzatmodellt és a légi LiDAR-ból származó DEM-et összehasonlító elemzésnek vetettem alá mind a szántó, mind pedig a gyepterületen. Az összehasonlítás során megállapítottam, hogy a légi LiDAR felvétel alapján a mikrodomborzati különbségek jobban nyomon követhetőek, hiszen mind a domborzat, mind pedig a lejtőkategória térkép alapján pontosabb, heterogénebb képet kaptam, holott mindkét forrásból származó DEM esetében  $10 \times 10 \text{ m}$ -es felbontást alkalmaztam.

A kutatási eredményeim összegzéseként megállapítottam, hogy az általam kidolgozott normalizált hibrid aszályindex lehetőséget nyújthat az aszály egységes értékelésére különböző földrajzi régiók esetében. A vegetációs index segítségével az aszályfolyamatok értékelhetőek a kistájak esetében, azonban a vizsgálati eredmények változékonysága alapján megállapítottam, hogy további vizsgálatokra van szükség a vetésszerkezet és a területeken található növénykultúrák fenológiai fázisainak figyelembe vételével. A radar távézékelési adatok alkalmazása belvizes területek lehatárolásának pontosításában nyújthat segítséget a szakembereknek, és döntéshozóknak belvízgazdálkodási tervezés során. A nagyfelbontású légi LiDAR adatokból származó domborzatmodell segítségével a belvizek lefolyási és összegyülekezési viszonyai értékelhetőek, amelyek használhatóak a belvíz károk csökkentésére, a földhasználati mód és a birtokszerkezet optimalizálására.

## Összefoglalás (angol nyelven)

Many of the literature support that regarding the risk of climate change, water-related risks are one of the main threats to agricultural production. In our country, the average of 10 years is regularly 2-3 years appears inland water, while 2-3 years appears drought. They often occur in the same year and in the same region. In the Carpathian Basin. These can become more and more common in the future.

During the research I have done tests on drought and inland water in different scale and hydrological locations. The Great Hungarian Plain, Szolnok-Túri Plain, Nyírség and two smaller (arable land, grassland) areas in the North-Nyírség which are close to Nyírbátor were included as sample areas.

The aim of my research on drought was to evaluation major drought indices in hydrologically different geographical regions. For the 2002-2012 period, the Ellenberg-Index, the Standardized Precipitation Index (SPI), the Reclamation Drought Index (RDI), and the Pálfaí Drought Index (PaDI) were calculated in the sample areas (Szolnok- Túri- Plain, Nyírség) and I investigated the relationships between them. I found that the investigated indices have similar input data but droughts were reported differently in the sampling period. In addition, the NDVI index (Normalized Differential Vegetation Index) were calculated in the sample areas for May and August periods on not irrigated arable lands. I tested the correlations between the NDVI index values and the meteorological index values which showed closer relationship with the NDVI values in August in both sample areas. On the basis of the results of the correlation study I established the relative reliability of drought indices:, which were the following PaDI>>Ellenberg>>SPI- 3>>RDI.

Based on the literature I have elaborated that the cathegories of the internationally used drought indeces is not similar to the hungarian indices and drought measurement has no uniform practice, which is occur a problem in comparing different drought phenomenon in national and internation level. Based on the above I found it necessary to create a hybrid drought index that can be used in both national and international practice where the weighting factors were deterministic coefficient values (from the August NDVI values and from the meteorological drought index comparative test). The normalized hybrid index was based on the value of the previously calculated four indexes. During the calculation, I formed the values of the four meteorological indexes (Ellenberg, SPI-3, RDI-3, PaDI) to a scale of 0-1. These values were weighted, cumulated, divided by the

number of indices, and then calculated for one percent scale. In the case of the hybrid index from the local meteorological data I found on the Szolnok-Túr Plain that 2002- 2012. I cannot detected drought in three years (2007-2008, 2009-2010, 2010-2011) and extreme droughts were between 2002-2003, 2006, 2006-2007, 2011-2012. There was moderate drought in 2003-2004, 2008-2009 and drought in 2005-2006. 2004-2005 was mild drought year based on the normalized hybrid drought index. In the case of Nyírség, none of the years was drought-free and I cannot detected mild drought during the examined period. There was one year 2010-2011 which belonged to moderate drought category. The 2003-2004, 2004-2005, 2007-2008, 2009-2010 and 2011-2012 years were droughts. In the 2004-2005, 2005-2006, 2006-2007, 2008-2009 years, the extreme drought category were classified according to the normalized hybrid drought index. I also illustrated the values of the normalized hybrid index in the space and as a result of it I could quantify the spatial extent of different drought categories in the Great Hungarian Plain, in Szolnok-Túr Plain and in the Nyírség also. In this case, I downloaded the index values from the CarpatClim database and I did the calculations in the same way as above. Based on the values of the normalized hybrid index in 2003, 35% of the Great Plain region had extreme drought, 58.8% drought and 7% moderate drought in the area. I found that moderate drought (39%), drought (60%) and extreme drought (1%) were detected in the case of 2007. In the year 2009, mild drought was observed in 10% of the area, moderate drought was 83% and drought was 7%. Then I investigated the rate of drought developing for the reference areas in the drought years. The extreme drought category was observed in the Szolnok-Túr Plain in 2003 (26,213 ha) and lesser extent the drought category (15786 ha). In the sample area there was drought on 26213 ha and moderate drought on 15786 ha. Based on the normalized hybrid index, in 2009, mild drought was 6002 ha and moderate drought was 35,997 ha in Szolnok-Túri Plain.

The results of the normalized hybrid drought index in 2003, 2007 and 2009 in Nyírség, I found that in 2003 the highest proportion was drought (373,612 ha) and moderate drought (76486 ha) can be found in the area. In 2007, the highest proportion in Nyírség was drought (370 564 ha), while in a smaller area there was moderate drought (79534 ha). In 2009, according to the hybrid drought index, the highest proportion of Nyírség dropped in moderate drought (420 954 ha). while in smaller areas there was a mild drought (20,827 ha) and 8317 ha extreme drought. Based on my results, I have found that the normalized hybrid drought index can be the basis for a uniform drought classification, both national and international level.

During the research I evaluated the correlations between the drought periods and the biomass development on the basis of time-based satellite spectral data. In both areas vegetation activity was analyzed in 10-year time series (2002-2012). During the investigation I processed May and August MODIS NDVI recordings from 2002-2013 based on the Corine 2012 database for non-irrigated arable land, which covers the periods of flowering and yielding of wheat, winter barley, triticale and maize. On the basis of the results, I found that the development of NDVI values can be well traced the drought periods. Using NDVI maps, I conducted time series and principal component analysis to evaluate which years were decisive in the 10-year period for the development of biomass. The investigation showed that the following values were outstanding: 2003 (May NDVI) and 2008 (August NDVI) in Szolnok-Túr Plain, while in the case of Nyírség, in May the values of 2008 and in August the values of 2013 were decisive. Series analyses in time and space could be appropriate to analyse the biomass change because of the drought phenomenon, however the variability of NDVI values are coming from many reasons. The highest part of the investigated areas are arable lands and grasslands, thus the above results are likely to be due to the crop structure modifying the NDVI values. On the basis of the results of biomass-based drought investigation, I have come to the conclusion that further studies are needed with detected crop structure and the phenological phases of the crops in the areas.

One of the main objective of my studies was to evaluate the runoff parameters of inland water using radar remote sensing technologies. In case of Szolnok-Túr-Plain, the water patches were isolated in 2015, these areas were correlated with land use categories of Corine Land Cover database to compare and evaluate the spatial extent of these. Based on the radar data, the areas of inland water were 507,52 hectares in March, 161,23 hectares in April and 105,95 hectares in July in the case of non-irrigated arable lands. Furthermore, I examined the ratio of inland water in the certain pastures and grasslands. For pastures, the area of inland water were 0,42 hectares in March and 0,43 hectares in April. In the other period there was no inland water on the sample area. In case of grasslands, inland water were occurred in the whole examine period, among these especially July (1113, 67 hectares) and June (337,14 hectares) were outstanding. The results were compared with the soil properties, which determined that the utilization adapts to the soil's physical density and soil type. The vast majority of arable lands are clay loam, and loam soils, considering the soil types meadow chernozem and meadow chernozem salty depths, meadow solonetz is also located in the area. It is found in very

low proportion on low-lying soils. Due to the surface morphological differences, the chernozem soils are divided into micro relief, while the surface of the meadows is flat, thus the conditions for the formation of the inland waters are different. Good water management properties are overwhelmed by the microdomain, which favors the formation of inland water bodies. Examining the contradictions of the soil's water management properties and inland water formation, further investigation is required to determine the role of microrelief.

In the case of North-Nyírség, the terrain properties of the sample area were examined based on a “traditional digital elevation model” and using LiDAR technologies, furthermore I compared the adaptability of these models to detect inland water in the test area. Two smaller sample areas were chosen in the Nyírség (15, 56 hectares of grassland and 85,5 hectares of arable land), which areas are located Nyírbátor and its surrounding. Based on the results of the traditional digital elevation model, neither the grasslands nor the arable land is not threatened by inland water due to the relief. However, this is contradicted by the inland patches seen in the preliminary field survey. The reason for this is partly hydrological and partly soil parameters, as well as the fact that the relief model resolution was 10 m, with which changes in the micro relief can only be partially monitored. In case of LiDAR data, the intensity values of the laser survey were evaluated. Due to the airborne LiDAR system measured in the infrared channel, it may be suitable for mapping inland water. During the selection of intensity values, I detected 13 smaller and larger inland water patches in the area, more than half of them were less than 100 m<sup>2</sup>; the largest inland water body was 512.5 m<sup>2</sup>. On the basis of the results of the terrain and the soil factors, I have come to the conclusion that the relief is one of the most important factors in the development of inland waters. I compared the DEMs produced by digitized analogue data and LiDAR data in both arable land and grassland. During the comparison I concluded that based on the LiDAR DEM, the differences of micro relief can be better analysed which was shown by DEM and slope category map. These maps had more accurate and heterogeneous values, while I applied 10x10 m resolution for both.

Summarizing the results of my research I found that the normalized hybrid index can provide a unique opportunity to assess drought in different geographic regions. Using the vegetation index, drought processes can be evaluated, which allows the optimization of crop production. However on the basis of the results, it was concluded that further studies are needed with detected crop structure and the phenological phases of the crops in the areas. Using of radar remote sensing data can provide assistance to specialists and

decision-makers in inland water management planning to clarify the delineation of inland areas. The digital elevation model from the high-resolution airborne Lidar data allows to evaluate and optimize the runoff conditions of inland waters, which can be used to reduce inland water damage.

## **Irodalom (felhasznált irodalom)**

1. Abramovitz, M. – Stegun, I.: 1965. Handbook of mathematical functions. National bureau of standards, applied mathematics series. 55. 470.
2. Antal E.: 2000. A növényi vízellátottság hazai kérdőjelei a jövő évtizedeiben a globális éghajlatváltozás tükrében [In: Dr. sen. Berényi Dénes születésének centenáris jubileumi ülése. Konferencia kiadvány]. Debreceni Egyetem, Debrecen, 119-145.
3. ASPRS.: 2003. ASPRS LiDAR data exchange format standard version 1.0. ASPRS, Bethesda, Maryland. 9.
4. Assmann, A. – Krischke, M. – Höppner, E.: 2008. Risk maps of torrential rainstorms, Flood Risk Management: Research and Practice. Taylor & Francis, London. 19.
5. Bach, E. – Peter, C. – Stuart, N.: 2000. Modelling river floodplain inundation with high resolution digital elevation models. 4th International Conference on Integrating GIS and Environmental Modeling (GIS/ EM4): Problems, Prospects and Research Needs. Banff, Alberta, Canada. September 2-8.
6. Balázs B.: 2009. Belvizes területek felmérése geoinformatikai módszerekkel. Geoinformatika és domborzatmodellezés 2009. A HunDEM 2009 és a GeoInfo 2009 konferencia és kerekasztal válogatott tanulmányai. 11.
7. Balázs B.: 2015. Belvíz – veszélyeztetettség vizsgálata alföldi mintaterületeken. Egyetemi doktori (PhD) értekezés tézisei. Debrecen. 21.
8. Bamler, R.: 1998. Synthetic aperture radar interferometry. Inverse Problems. 14. 6.
9. Bányai L. – Szűcs E. – Kalmár J. - Eperné Pápai I. – Bán D.: 2014. Az InSAR technológia alapjai és a reflektáló felületek jellemzői. Geometriai közlemények XVII. 59-68.
10. Barta K. – Szatmári J. 2010: Antropogén hatások a belvíz-képződésben. Esettanulmány az M5 autópálya szatymazi szakaszának talajvízáramlásban betöltött szerepéről. – Hidrológiai Közlöny, 90/2. pp. 23–25.
11. Bartholy J. - Pongrácz R. - Gelybó Gy.: 2007. Regional climate change expected in Hungary for 2071-2100. Applied Ecology and Environmental Research. 1-17.

12. Bartholy, J. - Bozó L.- Haszpra L.: 2011. Klímaváltozás - 2011. Klímaszcenáriók a Kárpás-medence térségére. Budapest. 287.
13. Bartholy J. – Pongrácz R.: 2013. Klímaváltozás. Eötvös Lóránd Tudományegyetem. 186.
14. Baukó T. – Dövényi Z. - Rakonczai J.: 1981. Természeti és társadalmi tényezők szerepe a belvizek kialakulásában a Maros hordalékkúp keleti részén. Alföldi Tanulmányok. 35-39.
15. Belényesi M. – Kristóf D. – Magyar J.: 2008. Távérzékelés a környezetgazdálkodásban. Egyetemi jegyzet. Gödöllő. 99.
16. Belényesi M. – Burai P. – Czímber K. – Király G. – Kristóf D. – Tanács E.: 2013. Távérzékelési adatok és módszerek erdőtérképezési célú felhasználása. Megvalósítási tanulmány. An Anugur Kft. Budapest. 146.
17. Bella Sz.: 2003. Magyarország egyes tájainak aszályérzékenysége. Diplomadolgozat. Budapest. 63.
18. Bellman, R. R. – Giertz, M.: 1973. On the analytical formalism of the theory of fuzzy sets. Information Sciences. 149-156.
19. Bier, V. M.: 1992. Fuzzy set theory, probability theory, and truth functionality, on: Ayyub B.M. – Gubta M. M. – Canal L.N. analysis and management of uncertainty: theory and application. Elsevier Science. 39. 65-78.
20. Bihari Z. – Lakatos M. – Szalai S. – Szentimrey T.: 2008. Magyarország néhány éghajlati jellemzője a 2005 - 2007 időszakban. OMSZ. Budapest. 15.
21. Bihari Z. – Gauzer B. – Gnandt B. – Gregorič, G. – Herceg Á. – Kovács T. – Kozák P. – Lakatos M. – Mattányi Zs. – Nagy A. – Németh Á. – Pálfai I. – Szalai S. – Szentimrey T. – Vincze E.: 2012. Délkelet-Európai Aszálykezelési Központ – DMCSEE projekt jelentés. OMSZ. Budapest. 44.
22. Birkás M.: 2001. Talajművelés a fenntartható gazdálkodásban. AKAPRINT 91-93, 144-145.
23. Birkás M.: 2005. A talaj minőségének javítása, fenntartása. In: Stefanovits P., Michéli E.(szerk.): A talajok jelentősége a 21. században. MTA Társadalomkutató Központ, Budapest. 245-266.
24. Bíró T.: 2016. A hazai belvízkutatás néhány időszerű kérdése. Hidrológiai Közlöny. 96.évf. 2. sz. 5-13.
25. Bódis K.: 2008. Digitális domborzatmodellek és alkalmazási lehetőségeik az árvízi kockázatkezelésben. Doktori (PhD) értekezés. Szeged. 131.

26. Bordi, I. – Sutura, A.: 2007. Drought monitoring and forecasting at large scale. In: Rossi G. et al. (eds.). Methods and tools for drought analysis and management. Springer 3–27.
27. Bozán Cs. - Körösparti J.- Pálfai I.: 2004. A földárja szerepe a belvízvédelemben és a tájgazdálkodásban. Elemző tanulmány. Készült az FVM Vízgazdálkodási Önálló Osztály megbízásából. 47.
28. Blaskó L.: 2005. Talajromlási folyamatok és mérséklési lehetőségeik a Tiszántúl kötött talajain. MTA Doktori Értekezés. 9.
29. Blaskó L.: 2011. Talajvédelem és talajhasználat belvizes területeken.[In: Sitkei Gy., Tamás J., Birkás M., Rajkai K., Blaskó L., Győri Z., Sárvári M., Patay I., Tóth Z. Patay I. (szerk.) Belvíz: Okok, következmények, megoldások.] Budapest,: MTA Agrártudományok Osztálya, 39-51.
30. Blaskó L. – Czibalmos R. –Őri N. – Lengyel H.: 2011. Domborzattól függő C-készlet alakulása a szikes gyep talajában. [In: Lóki J (szerk.) Az elmélet és a gyakorlat találkozása a térinformatikában:] II. Térinformatikai Konferencia és Szakkiállítás. 2011.05.19-2011.05.20. Debrecen. 35-41.
31. Bruzzone, L. – Smits, P.C. – Tilton, J.C. :2003. Foreword special issue on analysis of multitemporal remote sensing images. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. 41. 2419–2422.
32. Buiten, H. J.: 1993. General View of Remote Sensing as a Source of Information. [In: Buiten, H. J. - Clevers, J. G. P. W. (szerk.): Land Observation by Remote Sensing - Theory and Applications. Overseas Publishers Association] Amsterdam. 9-26.
33. Burrough, P. A.: 1986. Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment (Monographs on Soil Resources Survey). Oxford University Press, New York. 54.
34. Bussay A.- Szinell Cs.- Szentimrey T.: 1999. Az aszály előfordulásainak vizsgálata és mérhetősége. Éghajlati és agrometeorológiai tanulmányok. 7.
35. Carrara, A. – Bitelli, G. – Carla, R.: 1997. Comparison of Techniques for Generating Digital Terrain Models from Contour Lines. International Journal of Geographical Information Science 451-473.
36. Chauve, A. – Mallet, C. – Bretar, F. – Durrieu, S. – Pierrot-Deseilligny, M. – Puech, W.: 2007. Processing full waveform LiDAR data: modellig raw signals. [In.

- Rönnholm P. – Hyypä H. – Hyypä J. (szerk.): Proceedings of the ISPRS Workshop – Laser Scanning 2007 and SilviLaser 2007]. Espoo, Finland. 102-107.
37. Colwell, J. E.: 1974. Vegetation canopy reflectance. *Remote Sens. Environ.* 175-183.
  38. Czímber K.: 2001. *Geoinformatika*. III.8. Digitális fotogrammetria. 30.
  39. Dalezios, N. R. – Blanta, A. – Spyropoulos N. V.: 2012. Assessment of remotely sensed drought features in vulnerable agriculture. *Nat Hazards Earth Syst Sci.* 3139 – 3150.
  40. Dewals, B.J. – Detrembleur, S. – Archambeau, P. – Erpicum, S. – Piroton, M.: 2008. Detailed 2D flow simulations as an onset for evaluating socio-economic impacts of floods, *Flood Risk Management: Research and Practice* – Samuels et al. (Eds.), © 2009 Taylor & Francis Group, London. 125-135.
  41. Eastman, J.R. – Kyem, P. – Toledano, J. – Jin, W.: 1993. *UNITAR Exploration in GIS Technology, GIS and Decision Making*. 33.
  42. Ellenberg, H.: 1988. *Vegetation Ecology of Central-Europe*. Cambridge University Press, Cambridge, New York. 756.
  43. Fensholt, R. – Rasmussen, K.- Nielsen T. T. – Mbow C.: 2009. Evaluation of earth observation based long term vegetation trends — Intercomparing NDVI time series trend analysis consistency of Sahel from AVHRR GIMMS, Terra MODIS and SPOT VGT data. *Remote Sensing of Environment*. 113. 9: 1886-1898.
  44. Ferencz Cs. – Bognár P. – Lichtenberger J. – Hamar D. – Tarcsai Gy. – Tímár G. – Molnár G. – Pásztor Sz. – Steinbach P. – Székely B. – Ferencz O. E. - Ferencz-Árkos I.: 2004. Crop yield estimation by satellite remote sensing. *Int. J. Remote Sens.*, 20: 4113- 4149.
  45. Filep Gy.: 1999. A talaj fizikai tulajdonságai. In: Stefanovits P. (szerk.): *Talajtan* Mezőgazda Kiadó, Budapest. 433.
  46. Fisher, P.F.: 1991. First experiments in viewshed uncertainty. The accuracy of the viewshed area. *Photogrammetric engineering and remote sensing*. 57. 10, 1321-1327.
  47. Gálya B.- Riczu P.- Blaskó L. – Tamás J.: 2016. Belvíz érzékenység vizsgálata radar adatok alapján. 7. Térinformatikai Konferencia és Szakkiállítás Az elmélet és a gyakorlat találkozása. Debrecen. 6.

48. Geiger J. – Mucsi L. 2005: A szekvenciális sztochasztikus szimuláció előnyei a talajvízszint kisléptékű heterogenitásának térképezésében. – Hidrológiai Közlöny. 85/2. pp. 37–47.
49. Giles, R.: 1976. Locasiewicz logic and fuzzy theory. Internatioal Journal match. stud. 313-323.
50. Goodchild, M.F. – Gopal, S. 1989.: Accuraxy of spatial databases. Taylor and Francis, London. 192.
51. Gulácsi A.: 2017. A vizes élőhelyek vízborítottságában bekövetkező változások vizsgálata radarfelvételekkel a Google Earth Engine használatával. Interdiszciplináris Táj kutatás A XXI. Században. A VII. Magyar Tájökológiai Konferencia Tanulmányai. Szeged, 2017. 05. 25-27.188-199.
52. Gupta, R.P. : 1991. Remote Sensing Geology, Springer, Germany. 627.
53. Guttman, N. B.: 1998. Comparing the Palmer Drought Index and the Standardized Precipitation Index. Journal of the American Water Resources Association 34. 113–121.
54. Guttman, N. B.: 1999. Accepting the Standardized Precipitation Index: a calculation algorithm. Journal of the American Water Resources Association. 35: 311–322.
55. GWP Handbook of Drought Indicators and Indices.: 2016. [http://www.droughtmanagement.info/literature/GWP\\_Handbook\\_of\\_Drought\\_Indicators\\_and\\_Indices\\_2016.pdf](http://www.droughtmanagement.info/literature/GWP_Handbook_of_Drought_Indicators_and_Indices_2016.pdf)
56. Hall-Beyer, M.: 2003. Comparison of single-year and multiyear NDVI time series principal components in cold temperate biomes, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing 41, 2568–2574.
57. Heymann, Y.: 1993. CORINE land cover Technical guide - EUR 12585. Office for Official Publications of the European Communitics. Luxembourg. 136.
58. Hochheim, K. P. – Barber, D. G.: 1998. Spring Wheat Yield Estimation for Western Canada Using NOAA NDVI Data. Canadian J. Remote Sens. 24: 18-27.
59. Horányi A. – Bartholy J. – Krüzselyi I. – Pieczka L. – Pongrácz R. – Szabó P. – Szépszó G. – Torma Cs.: 2011. A hazai regionális klímamodellek eredményeinek együttes kiértékelése. 36. Budapest. Meteorológiai Tudományos Napok, beszámolókötet.9.

60. Huang, S.- Huang, Q.-Leng, G.-Chang, J.: 2016. A Hybrid Index for Characterizing Drought Based on a Nonparametric Kernel Estimator. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*. 1377-1389.
61. Hutchinson, M. F.: 1988. Calculation of hydrologically sound digital elevation models. *Proceedings of Third International Symposium on Spatial Data Handling*, August 17-19, Sydney. Columbus, Ohio: International Geographical Union. 117-133.
62. Hutchinson, M. F. – Gallant, J. C.: 1999. Representation of terrain. In: Longley P. A. - Goodchild M. F. - Maguire D. J. - Rhind D.W. (Eds.). 1999, *Geographical Information Systems: Principles and Technical Issues*. Wiley, New York. 105-124.
63. Huzsvai L. – Vincze Sz.: 2012. *SPSS-könyv*. Debreceni Egyetem, Debrecen. 325.
64. Ichii, K. – Kawabata, A. – Yamaguchi, Y.: 2002. Global correlation analysis for NDVI and climatic variables and NDVI trends: 1982-1990. *Int. J. Remote Sens.* 23. 3873-3878.
65. Jones, J. L.: 2004. Mapping a Flood... Before It Happens, USGS Fact Sheet 2004-3060, June 2004, U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey, <http://pubs.usgs.gov/fs/2004/3060/>
66. Jung A.: 2005. *Spektrális információk alkalmazása a városklíma-kutatásban*. Doktori értekezés. Budapest. 134.
67. Kanellou, E. – Domenikiotis, C. – Blanta, A. – Hondronikou, E. – Dalezios, N. R.: 2008. Index-based drought assessment in semi-arid areas of Greece based on conventional data. *Eur Water*. 23/24. 87–98.
68. Kern A. – Barcza Z. – Bartholy J. – Pongrácz R. – Fassang Á.: 2007. NDVI adatsorok klimatikus vizsgálatai a Kárpát-medencére. "Klíma-21 füzetek", *Klíma-változás-Hatások-Válaszok*, 49: 26-37.
69. Kertész Á.: 1997. *A térinformatika és alkalmazásai*. Holnap Kiadó, Budapest.
70. Kóczy T. L. – Tikk D.: 2001. *Fuzzy rendszerek. – Alkalmazott matematika*, Budapest. 250.
71. Kogan, F. N.: 1995. Droughts of the late 1980s in the United States as derived from NOAA polarorbiting satellite data. *Bulletin of the American Meteorology Society*, 76(5): 655–668.
72. Konkolyiné Bihari Z. – Lakatos M. – Szalai S. (szerk.): 2008. *Magyarország éghajlatáról, Változás, változékonyság térben és időben*. OMSZ. Budapest. 23.

73. Kozák P. 2011: Belvízi jelenségek az Alsó-tiszai vízgyűjtőkön az 1955–2010. közötti időszakban. – In: RAKONCZAI J. (szerk.): Környezeti változások és az Alföld. Nagyalföld Alapítvány Kötetei, 7. Békéscsaba. pp. 227–236.
74. Körösparti J. – Bozán Cs. – Pálfi I. – Orlóczy I. – Kuti I. – Pásztor L.: 2007. A belvív-veszélyeztetettség térképezésének fejlődése. TSF Tudományos Közlemények, 2007. Tom. 7.sz. 1.3 kötet: 611-615.
75. Körösparti J. – Bozán Cs. – Pásztor L.- Kozák P.- Kuti L.-Pálfi I.: 2009. GIS alapú belvíveszélyeztetettség térképezés a Dél-Alföldön. In: Magyar Hidrológiai Társaság XXVII. Országos Vándorgyűlés. Baja. Kiadvány. 14.
76. Kozák P.: 2006. A belvízjárás összefüggéseinek vizsgálata az Alföld délkeleti részén, a vízgazdálkodás európai elvárásainak tükrében. Doktori (PhD) dolgozat. Szeged. 30-32.
77. Kozák P. – Pálfi I. – Herceg Á.: 2012. Délkelet-Európai Aszálykezelési Központ – DMCSEE projekt. OMSZ kiadvány. Budapest.80.
78. Kozma Zs.: 2013. Belvízi szélsőségek kockázatalapú értékelésének és modellezési módszertanának fejlesztése. Doktori (PhD) értekezés. Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem. 160.
79. Kun A.: 2011. A belvízfoltok szerepe a talajdegradációban. Diplomamunka, Szeged. 37.
80. Kvassay Jenő Terv.:2015.  
[https://www.vizugy.hu/vizstrategia/documents/CE3BFF09-6D1B-4C8F-88B3-CDF70D2AF133/KJT\\_151120.pdf](https://www.vizugy.hu/vizstrategia/documents/CE3BFF09-6D1B-4C8F-88B3-CDF70D2AF133/KJT_151120.pdf) Oldal megtekintésének ideje: 2017.05.02. 9:51.
81. Lakatos M. – Szentimrey M. – Bihari Z. - Szalai S.: 2013. Creation of a homogenized climate database for the Carpathian region by applying the MASH procedure and the preliminary analysis of the data. Időjárás. OMSZ. 117:1, 143–158.
82. Láng I.: 2005. Bevezető gondolatok a klímaváltozás kockázatához. Magyar tudomány. 7. 789-890.
83. Láng I. – Csete L. – Jolánkai M.: 2006. Felkészülés a globális klímaváltozás hazai hatásaira. Budapest. 261.
84. Lehner, B. – Böll, P. – Alcamo, J. – Henrichs, T. – Kaspar, F.: 2006. Estimating the impact of global change on flood and drought risks in Europe: A continental, integrated analysis. Climatic Change. 75. 273–299.

85. Leith, H.: 1975. Modeling the primary productivity of the world. (In: Leith H. – Whittaker R. H. (szerk.) Primary productivity of the biosphere. Ecological studies). Springer-Verlag New York. 14: 237-263.
86. Licskó B.-Morvay K.-Vekerdy Z. (1993): Application of remote sensing techniques at VITUKI between 1986-1990. In: Remote sensing for monitoring the changing environment of Europe: Proceeding of the 12<sup>th</sup> EARSeL Symposium. Eger. Hungary. 8-11. September 1992.
87. Licskó B.: 2009. A belvizek légi felmérésének tapasztalatai. Magyar Hidrológiai Társaság. XXVII. Országos Vándorgyűlés. 4. szekció, Baja. 10.
88. Mallet, C. – Bretar, F.: 2009. Full-waveform topographic LiDAR: State-of-the-art. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. 64. 1-16.
89. Maracchi, G.: 2000. Agricultural drought- a particular approach to definition, assessment and mitigation strategies, in Drought and Drought Mitigation in Europe edited by Vogt Jürgen V. and Somma Francesca. Netherland. Kluwer Academic Publishers. 39.
90. Mari L. - Mattanyi Zs. - Maucha G.: 2001. Úrfelvételek alapján szerkesztett, különböző méretarányú felszínborítási térképek összehasonlítása a CORINE Land Cover program alapján - A földrajz eredményei az új évezred küszöbén. A Magyar Földrajzi Konferencia tudományos közleményei. Szeged. 1-17.
91. Marosi S.- Somogyi S. (szerk.): 1990. Magyarország kistájainak katasztere I-II. MTA Földrajzkutató Intézet, Budapest. 91.
92. Marton L.: 2009. Alkalmazott hidrogeológia. ELTE Eötvös Kiadó, Budapest. 14.
93. Martonné Erdős K.: 2001. Magyarország tájföldrajza. Egyetemi jegyzet. Debreceni Egyetem. 61-62.
94. McKee, T. B. – Doesken, N. J. – Kleist, J.: 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scale. In proceedings of the eighth conference on applied climatology, American meteorological society. Anaheim (CA), 17–22 January 1993. AMS. 179–184.
95. McKee, T. B. – Doesken, N. J. – Kleist, J.: 1995. Drought monitoring with multiple time scales. Proceedings of the Ninth Conference on Applied Climatology. Amer Meteor Soc Boston. 233–236.
96. Mészáros M. – Szatmári J. – Tobak Z. - Mucsi L.: 2008. Extraction of digital surface models from corona satellite stereo images. Journal of Environmental Geography. 1-2. 5-10.

97. Mezősi G. – Bódis K.: 1999. Statistical Evaluation of Landscape Units. In: Kovar P. (Editor). Nature and culture in landscape ecology. Karolium, Prague. 170-183.
98. Montvasjszki M.- Patay I. – Gombos B.: 2011. Belvíztestek geometriája. 29. MHT Országos Vándorgyűlés.
99. Moore, I. D. – Grayson, R. B- Ladson, A. R.: 1991. Digital terrain modelling: A review of hydrological, geomorphological, and biological applications, Hydrological Processes. Volume 5 Issue 1: 3 - 30. és In: Beven K. J. - Moore I. D. (Eds.). 1995. Terrain analysis and distributed modelling in hydrology (Advances in Hydrological Processes), John Wiley & Sons. 7-34.
100. Móri T.: 1999. Főkomponens- és faktoranalízis. Eötvös Lóránd Tudományegyetem. Budapest. 14.
101. Mücke, W. – Hollaus, M. – Pfeifer, N.: 2012. Identification of dead trees using small footprint full-waveform airborne laser scanning data. SilviLaser Conference. Vancouver, Canada. 1-9.
102. Mucsi L.: 2004. Műholdas távérzékelés. Libellius, Szeged. 238.
103. Nagy L. – Orlóci I. – Körösparti J. – Bozán Cs.: 2002. Mezőgazdaságilag művelt területek kedvezőtlen vízgazdálkodási állapotát előidéző tényezők értékelése a Békés-Csanádi löszháton (Elemző tanulmány). Készült az FVM Vízgazdálkodási Önálló Osztály megbízásából. 144.
104. Nelson, A. – Reuter, H. I. – Gesser, P.: 2007. DEM Production Methods and Sources, Chapter 3: 853 eqsay 65-85, In: Hengl T. - Reuter H. I. (Eds.). Geomorphometry - Concepts, Software, Applications. Elsevier.765.
105. Nemzeti vízstratégia: 2012-2020. A vízgazdálkodásról, öntözésről és aszálykezelésről. 2013. Vidékfejlesztési Minisztérium. <http://2010-2014.kormany.hu/download/9/92/11000/NVS%202013%20nov%206.pdf>
106. Niemeyer, S.: 2008. New drought indices European Commission, DG Joint Research Centre, Institute for Environment and Sustainability, T. P. 261, JRC-IES, I-21020 Ispra (VA), Italy.16.
107. Nováky B.: 2000. Az éghajlatváltozás vízgazdálkodási hatásai. Vízügyi Közlemények. 3–4.
108. Nováky B.: 2003. Éghajlatváltozás és víz: bizonyságok és bizonytalanságok. Vízügyi Közlemények. 4.

109. Palfai Drought Index (PaDI).: A Pálfai-féle aszályindex (PAI) alkalmazhatóságának kiterjesztése a Dél-Kelet Európai régióra. [http://www2.ativizig.hu/projektx/dmcsee/ThePalfaiDroughtIndex\\_PaDI\\_Extension.pdf](http://www2.ativizig.hu/projektx/dmcsee/ThePalfaiDroughtIndex_PaDI_Extension.pdf)
110. Pálfai I.: 1988. A mértékadó belvízhhozam számítási módszerei. Vízügyi Műszaki Gazdasági Tájékoztató. 165.sz. 45.
111. Pálfai I.: 1990. Description and forecasting of droughts in Hungary. Proceedings 14th International Congress on Irrigation and Drainage. Rio de Janeiro, Brazil. 151-158.
112. Pálfai I.: 1992. Aszályok a Tisza-völgyben. In: Fejér L. - Kaján I. szerk. Mérlegen a Tisza-szabályozás. MHT – OVF. Budapest. 33–40.
113. Pálfai I.: 1994. Az Alföld belváz-veszélyeztetettségi térképe. Vízügyi Közlemények. 12.
114. Pálfai I. – Boga, T. L. – Sebesvári, J.: 1999. Adatok a magyarországi aszályokról 1931-1988. Éghajlati és Agrometeorológiai Tanulmányok. 7. OMSZ. Budapest. 67-76.
115. Pálfai I.: 1999. Az 1999. évi rendkívüli belvízvédkezés néhány tanulsága a belvízrendezés kialakítása szempontjából. Hidrológiai Tájékoztató.13.
116. Pálfai I.: 2001. A belváz definíciói. Vízügyi Közlemények. 83. évf. 3. szám: 376.
117. Pálfai I.: 2004. Belvizek és Aszályok Magyarországon. Hidrológiai Tanulmányok. VITUKI, Budapest.15.
118. Pálfai I.: 2008. A 2006. évi belváz kialakulásának okai és sajátosságai. Definíciói. Hidrológiai Közöny 88. évf. 5. sz.12.
119. Pálfai I.: 2011. Belvizek és aszályok, mint a magyar Alföld sajátosságai, különös tekintettel a 2010–2011. évi rendkívüli belvázjárásra. Hidrológiai Tájékoztató. Budapest. 104-107.
120. Pásztor L. – Pálfai I. – Bozán Cs. – Körösparti J. – Szabó J. – Bakacsi Zs. – Kuti L.: 2006. Spatial stochastic modelling of inland inundation hazard. 9th AGILE Conference on Geographic Information Science. Visegrád, Hungary.501.
121. Patchett, J. M. – Wilhelm, S. G.: 1999. The ecology and culture of water. In: Great Cities Institute. Illinois-In- diana Sea Grant College Program. Urban Water Resources Conference Proceedings. 80-105.
122. Petrasovits I.: 1982. Sík vidéki vízrendezés – és gazdálkodás. Mezőgazdasági kiadó. Budapest.332.

123. Pettorelli, N. – Vik, J.O. – Mysterud, A.- Gaillard, J.M. - Tucker, C.J.- Stenseth, N.C.: 2005. Using the satellite-derived NDVI to assess ecological responses to environmental change. *Trends in Ecology and Evolution*. 20. 503–510.
124. Prasad, A. K. – Chai, L. – Singh, R. P. - Kafatos M.: 2006. Crop yield estimation model for Iowa using remote sensing and surface parameters. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.* 8. 26-33.
125. Quarmby, N. A. – Milnes, M. – Hindle, T. L. – Silleos, N.: 1993. The Use of Multi-temporal NDVI Measurements from AVHRR Data for Crop Yield Estimation and Prediction. *Int. J. Remote Sens.* 14: 199-210.
126. Vágás I.:1989. A belvíz elvezetése – *Hidrológiai Közlöny* 2. pp. 77–82.
127. Westerhoff, R. S. – Kleuskens, M. P. H. – Winsemius, H. C. – Huizinga, H. J. – Brakenridge, G. R. – Bishop, C.: 2013.: Automated global water mapping based on wide-swath orbital synthetic-aperture radar. *Hydrology and Earth System Sciences*. 17. 651-653.
128. Rakonczai J. – Csató Sz. – Mucsi L. – Kovács F. – Szatmári J.: 2003. Az 1999. és 2000. évi alföldi belvízöntözések kiértékelésének gyakorlati tapasztalatai. In: Szilávik L. (szerk.) *Vízügyi Közlemények Különszám: Tiszavölgyi árvizek és belvizek a XX. és XXI. Század fordulóján*, VITUKI 2003. 4. kötet: 317-336.
129. Rakonczai J. – Farsang A. – Mezösi G. – Gál N.: 2011. A belvízképződés elméleti háttere (Theoretical background of inland excess water formation). *Földrajzi Közlemények*. 135. 339-350.
130. Ren, J. – Chen, Z. – Zhou, Q. – Tang, H.: 2008. Regional yield estimation for winter wheat with MODIS-NDVI data in Shandong, China. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.* 10. 403-413.
131. Riczu P. – Nagy I. – Tamás J.: 2016. Airborne LIDAR point cloud based agricultural and pond culture modellin. In: *Proc. WCCA-EFITA 2016. ICT for Future Agriculture*. (Zazueta, F. eds.). South-Korea, University of Suncheon. 1-6.
132. Rossi, G. – Benedini, M – Tsakiris, G. – Giakoumakis, S.:1992. On regional drought estimation and analysis. *Water Resource Managing*. 6. 249–277.
133. Rouse, J. W. – Haas, R. H. – Deering, D. W. – Schell, J. A. – Harlan, J. C.: 1974. Monitoring the Vernal Advancement and Retrogradation (Green Wavemss Effect) of Natural Vegetation. NASA/GSFC Type III Final Report. Greenbelt, MD. 371.

134. Ruiz, A.M.-Sousa, J.-Hanssen, R.F.-Avilés, M.: 2012. Application of SAR interferometry for land subsidence monitoring. Konferencia Kiadvány. Jaén. Spanyolország. 25.
135. Schumann, G. – Matgena, P.- Cutler, M.E.J.- Black, A.- Hoffmanna, L.- Pfister L.: 2008. Comparison of remotely sensed water stages from LiDAR, topographic contours and SRTM. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. Vol.63.Iss.3.: 283-296.
136. Sivakumar, M. V. K. – Motha, R. P. – Wilhite, D. A. – Wood, D. A.: 2011. Agricultural Drought Indices. Proceedings of a WMO/UNISDR Expert Group Meeting on Agricultural Drought Indices. Murcia, Spain. 2–4 June 2010. (AGM-11, WMO/TD No. 1572; WAOB-2011).205.
137. Somlyódy L. (szerk.): 2011. Magyarország vízgazdálkodása: helyzetkép és stratégiai feladatok. MTA. Budapest. 336.
138. Starosolszky Ö.: 1994. Az éghajlatváltozás hatása a hidrológiai és vízminőségi paraméterekre (OTKA 716/90. sz. téma). VITUKI Tanulmányok és kutatási eredmények, 59. kötet, Budapest.178.
139. Stefanovits P.: 1999. A talaj ásványi alkotórészei. In: Stefanovits P. (szerk.) Talajtan. Mezőgazda Kiadó, Budapest. 433.
140. Stoms, D. 1987.: Reasoning with unvertainty in intelligent geographic information systems. Proceeings. GIS '87. 692-700.
141. Szabó G.: 2012. A Sustainability Index model kidolgozása és alkalmazása a Nyírségben és a Biharhegységben. 20-30.
142. Szalai S.: 2012. Az aszály definíciói 7-9. Délkelet-Európai Aszálykezelési Központ- DMCSEE. Összefoglaló a projekt eredményeiről, Szerk.: Bihari Zita. Budakeszi. Országos Meteorológiai Szolgálat.44.
143. Szalai S. – Lakatos M.: 2010. Az éghajlatváltozás és az aszály. In: Változó éghajlat és a következményei a Kárpát-medencében. Szerk: Lakatos Mónika. 36. Meteorológiai Tudományos Napok. 147-156.
144. Szanyi J.: 2004. A felszín alatti víztermelés környezeti hatásai a Dél-Nyírség példáján. PhD értekezés. Szeged. 4.
145. Szász G.: 1988. Általános és speciális agrometeorológia. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest. 362.

146. Szatmári J.: 2004. Fotogrammetria. In: Bódis K. (szerk.). Térinformatika döntés előkészítőknél és döntéshozóknak. Phare HU00008-02-01-0023 képzési program, CD kiadvány.34.
147. Szentimrey T. 2008.: Development of MASH homogenization procedure for daily data. Proceedings of the Fifth Seminar for Homogenization and Quality Control in Climatological Databases. Budapest. 123–130.
148. Szentimrey T. - Bihari Z. 2007.: Mathematical background of the spatial interpolation methods and the software MISH (Meteorological Interpolation based on Surface Homogenized Data Basis). Proceedings of the Conference on Spatial Interpolation in Climatology and Meteorology. 17–28.
149. Székely Cs.- Pálincás P.: 2008. Kockázatkezelés az európai mezőgazdasági vállalkozásokban. Agrofórum. 1. 5-8.
150. Szilávik L. – Pálfi I. – Varga Gy. – Kling Z. – Tornay E.: 2003. Az 1999–2000. évi belvizek kiváltó okai és sajátosságai. Vízügyi Közlemények 1998–2001. évi árvízi külön füzet. II. kötet. 65.
151. Szilávik L.: 2005. Szélsőséges hidrológia helyzetek és az árvízi-belvízi biztonság. Magyar tudomány. 7. 819-850.
152. Tamás J. 1997.: Térinformatikai és környezeti modellezés. Wageningen/Debrecen ICER TEMPUS Kiadó. Debrecen. 109.
153. Tamás J.: 2013. Gazdálkodás belvizes és aszályos területeken. Szaktudás Kiadóház Zrt. Debrecen. 152.
154. Tamás J. – Riczu P. – Nagy A. – Lehoczy É.: 2015. Evaluation of surface runoff conditions by high resolution terrestrial laser scanner in an intensive apple orchard. In: Proc. Soil Water Assessment Tool – SWAT Conference: Hydrology, (Srinivasan, R. ed.). Italy, Sardinia. 1-5.
155. Tamás J.: 2016. Kihívások az aszálykutatás területén. Hidrológiai közlöny. 2. 13-21.
156. Tarpley, J. D. – Schneider, S. R. – Money, R. L.: 1984. Global vegetation indices from the NOAA-7 meteorological satellite. Journal of Climate and Applied Meteorology. 23: 491–494.
157. Telbisz T. – Székely B. – Timár G.: 2013. Digitális terepmodellek. Adat, látvány, elemzés. Eötvös Lóránd Tudományegyetem, Budapest. 80.
158. Thom ,H. C.: 1958. A note on the gamma distribution. Mon Weather Rev. 86. 117–122.

159. Thomas, L.A.- Jordan, P.- Shine, O.-Fenton, O.-Mellander, E.-Dunlop, P.: 2017. Defining optimal DEM resolution and point densities for modelling hydrologically sensitive areas in agricultural catchments dominated by microtopography. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 38-52.
160. Thyll Sz.: 1997. Síkvidéki vízrendezés. (Fejezet a "Vízgazdálkodás" című könyvből, szerk.: Vermes L.). Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó. Budapest.
161. Thyll, Sz.: 1999. A földvédelmet szolgáló belvíz-veszélyeztetettségi regionális kataszteri rendszer kidolgozása. FVM Témazáró beszámoló jelentés. Debrecen. 55.
162. Thyll Sz.-Bíró T.: 1994. A belvíz-veszélyeztetettség térképezése. *Vízügyi Közlemények*. 4. 709-718.
163. Tigkas, D.: 2008. Drought characterisation and monitoring in regions of Greece. *Eur Water* 23/24. 29–39.
164. Tigkas, D. – Vangelis, H. – Tsakiris, G.: 2013. The RDI as a composite climatic index. *Eur Water* 41. 17–22.
165. Tigkas, D. – Vangelis, H. – Tsakiris, G.: 2014. DrinC: a software for drought analysis based on drought indices. *Earth Science Informatics*. 8. 697–709.
166. Tikász E. - Krauter A. - Ugrin N. - Csornai G.: 1995. A digitális térkép geometriai alapjai. Műegyetemi Kiadó, Budapest. 160.
167. Tomor T.: 2007. Térinformatika alkalmazási lehetőségei a környezeti konfliktusok kezelésében. Doktori (PhD) disszertáció, Debreceni Egyetem, Debrecen.160.
168. Tóth G. – Debreczeni K. – Gaál Z. – Hermann T. – Makó A. – Máté F. – Vass J. – Várallyay Gy.: 2004. Land use planning decision support based on land evaluation and Web-GIS modeling: an integrated approach in Hungary. In: Kertész et al. (Eds.). 4th International Congress of the European society for Soil Conservation (ESSC) 25-29 May 2004, Budapest, Hungary. *Proceedings Volume, Hungarian Academy of Sciences*, 21-24.
169. Tóth G. – Rajkai K. – Bódis K. – Máté F.: 2014. Magyarországi kistájak földminősége a D-e-METER szántóminősítési eljárás szerint. *Tájökológiai Lapok*. 12. 183-195.
170. Tóvári, D. – Pfeifer, N.: 2005. Segmentation based robust interpolation - a new approach to laser data filtering. *Proceedings of the ISPRS Workshop "Laser Scanning 2005"*. Enschede, The Netherlands. 79-84.
171. Tsakiris, G. – Vangelis, H.: 2004. Towards a Drought Watch System based on Spatial SPI-3. *Water Resources Management*. 18. 1-12.

172. Tsakiris, G. – Vangelis, H.: 2005. Establishing a drought index incorporating evapotranspiration. *Eur Water*. 9/10. 3–11.
173. Tsakiris, G. – Tigkas, D. – Vangelis, H. – Pangalou, D.: 2007. Regional drought identification and assessment–case study in Crete. In: Rossi G. et al (eds.). *Methods and tools for drought analysis and management*. Springer, The Netherlands. 169–191.
174. Tsakiris, G. – Nalbantis, I. – Pangalou D. – Tigkas D. – Vangelis H.: 2008. Drought meteorological monitoring network design for the reconnaissance drought index (RDI). In Franco Lopez A. (ed.), *Proceedings of the 1st International Conference “Drought Management: scientific and technological innovations”*. Zaragoza, Spain: Option Méditerranéennes, Series A, No. 80, 12–14 June 2008. 57–62.
175. Tsakiris, G. – Pangalou D.: 2009. Drought characterisation in the Mediterranean. In: A. Iglesias et al. (eds.). *Coping with drought risk in agriculture and water supply systems*. Springer Science & Business Media B.V. 69–80.
176. Tsakiris, G. – Vangelis, H. – Tigkas, D.: 2010. Drought impacts on yield potential in rainfed agriculture. In: *Proceedings of 2nd International conference on drought management ‘economics of drought and drought preparedness in a climate change context’*. 4–6 March 2010. Istanbul, Turkey. 191–197.
177. Tucker, C.J. – Sellers, P.J.: 1986. Satellite remote sensing of primary production, *International Journal of Remote Sensing*. 7. 1395–1416.
178. Túri Z.- Szabó G.: 2012. A Nyírség felszíni hidrológiai viszonyainak térképezése kvantitatív adatbázisok és űrfelvételek alapján. VI. Magyar Földrajzi Konferencia. 921-930.
179. Vámosi Sz.: 2002. A belvizek hatása az alföldi régiók fejlesztésére. Doktori (PhD) értekezés. Debrecen. 74.
180. Van Leeuwen, B.: 2012. Mesterséges neurális hálózatok és földrajzi információs rendszerek használata a belvízosztályozásban. Doktori (PhD) értekezés. Szegedi Tudományegyetem, Szeged.160.
181. Vangelis, H. – Tigkas, D. – Tsakiris, G.: 2013. The effect of PET method on reconnaissance drought index (RDI) calculation. *J Arid Environ*. 88. 130–140.
182. Várallyay Gy.- Szűcs L. – Rajkai K. – Zilahy P. – Murányi A.: 1980. Magyarországi talajok vízgazdálkodási tulajdonságainak kategóriarendszere és 1:100000-es méretarányú térképe. *Agrokémia és Talajtan*. 29. 77-112.

183. Várallyay Gy.: 2002. A mezőgazdasági vízgazdálkodás talajtani alapjai. MTA Talajtani és Agrokémiai Kutatóintézet. Budapest.164.
184. Várallyay Gy.: 2008. A talaj szerepe a csapadék-szélsőségek kedvezőtlen hatásainak mérséklésében. „Klíma-21” Füzetek. 52: 57-71.
185. Varga H. Z. – Lantos Zs. – Gerencsér E.: 2005. Az 1951–2000 közötti időszak szélsőséges nedvességi értékeinek agroklimatológiai elemzése. „Agro-21” Füzetek, 46: 26–37.
186. Vermes L.: 2000. Hogyan dolgozzuk ki az aszály csökkentési stratégiát? ICID Útmutató. Budapest.30.
187. Veróné Wojtaszek M.: 2010. Fotointerpretáció és távérzékelés 5. Egyetemi jegyzet. Nyugat-magyarországi Egyetem Geoinformatikai Kara. Székesfehérvár. 11.
188. Völgyesi I.: 2004. A Maros-hordalékkúp felszín alatti vízháztartása, kitermelhető vízkészlete. Hidrológiai Tájékoztató. 74-77.
189. Vosselman, G. – Dijkman, S.: 2002. 3D building model reconstruction from point clouds and ground plans. In. Hofton, M. A. (szerk.). Land surface mapping and characterization using laser altimetry.] International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing. 33 (3/W4): 37-43.
190. Weghorst, K.: 1996. The Reclamation Drought Index: Guidelines and Practical Applications. Bureau of Reclamation, Denver.300.
191. Whitmore, J. S.: 2000. Drought management on farmland. Netherlands. Kluwer Academic Publishers. Whittles Publishing, CRC Press. 336.
192. Wilhite, D. A. – Glantz, H. M.:1985. Understanding the Drought Phenomenon: The Role of Definitions. Water International. 10. 111-120.
193. Wilhite, D. A. – Svoboda, M. D. – Hayes, M. J.: 2005. Monitoring drought in the United States. Status and trends. In: Boken VK et al (eds). Monitoring and predicting agricultural drought: a global study. Oxford University Press, New York. 121–131.
194. Wilhite, D. A.: 2009. Drought monitoring as a component of drought preparedness planning. In: A. Iglesias et al. (eds.). Coping with drought risk in agriculture and water supply systems. Springer Science & Business Media B.V. 3–19.
195. World Meteorological Organization: 2012. Standardized Precipitation Index User Guide (WMO-No. 1090). Geneva. Meteorology handbook of drought indicators and indices 15.

196. Wu, H. – Hayes, M. J. – Wilhite, D. A. – Svoboda, M. D.: 2005. The effect of the length of record on the Standardized Precipitation Index calculation. *International Journal of Climatology*. 25. 505–520.
197. Yang, P.-Ames, D.P. – Fonesca, A.- Anderson, D.-Shrestha, R.-Glenn, N.F.- Cao, Y.: 2014. What is the effect of LiDAR-derived DEM resolution of large-scale watershed model results? *Environmental Modelling & Software*. 58. 48-57-
198. Zadeh, L. A.: 1965. Fuzzy sets. *Information and Control*. 8. 338–353.
199. Zaitchik, B. F. – Macalady, A. K. - Bonneau L. R. - Smith R. B.: 2006. Europe's 2003 heat wave: A satellite view of impacts and land-atmosphere feedbacks. *Int. J. Climatol*. 26. 743-769.
200. Zaneveld, J. R., Pegau, W. S. 1993.: Temperature-dependent absorption of water in the red and near-infrared portions of the spectrum. *Limnology and Oceanography*. 38 (1): 188-192.
201. Zhu J.-Zhou L.-Huang S.: 2018. A hybrid drought index combining meteorological, hydrological, and agricultural information based on the entropyweight theory. *Arabian Journal of Geosciences*. 11.91.
202. Zsigrai, Gy.: 2012. A gyepek fogalma, a gyepterületek magyarországi helyzetének értékelése. In: Kozák Lajos (szerk.) *Természetvédelmi élőhelykezelés. Mezőgazda Kiadó, Budapest*. 272.

### **Internetes hivatkozások**

- I1: Aszálystratégia 2010-2014. Konzultációs anyag.:2012. Az aszály kezelésének hosszú távú koncepciójáról. <http://2010-2014.kormany.hu/download/7/0a/90000/Aszalystrategia.pdf>
- I2: <https://scihub.copernicus.eu/> Megtekintve: 2016.09.15. 10:12
- I3:<http://egyetemi.hu/fajlok/foldrajz/8.%20%C3%A9vfolyam/25.%20Legnagyobb%20t%C3%A1j%20az%20Alf%C3%B6ld.pdf> .Megtekintve:2018.03.08. 9:22.
- I4:[http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop412A/2011-0085\\_foldhasznalat\\_es\\_tajgazdalkodas/ch08s02.html](http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop412A/2011-0085_foldhasznalat_es_tajgazdalkodas/ch08s02.html) Megtekintve: 2017.05.15. 8:58
- I5: <http://www.fomi.hu/portal/index.php/termekeink/felszinboritas-corine> Megtekintve: 2016.09.15. 10:15

- I6: <http://www.mta-taki.hu/hu/osztalyok/kornyezetinformatikai-osztaly/agrotopo>  
Megtekintve: 2016. 04.16. 9: 35I7: <https://www.usgs.gov/> Megtekintve: 2016. 09.13.  
14:25
- I7: [http://www.met.hu/omsz/palyazatok\\_projektek/carpatclim/bevezeto/](http://www.met.hu/omsz/palyazatok_projektek/carpatclim/bevezeto/) Megtekintve:  
2018.03.06. 10:22.
- I8: <http://www.met.hu/omsz/tevekenysegek/klimamodellezes/modellkiserletek/>  
Megtekintve: 2018.03.06. 10:45.
- I9: <http://www.interspect.hu/index.php/global-mapper.html> Megtekintve:2018. 03.12.  
14:25
- I10:[http://www.gisopen.hu/archiv/2010/eloadasok/ppt/sz\\_a\\_verone.pdf](http://www.gisopen.hu/archiv/2010/eloadasok/ppt/sz_a_verone.pdf).  
Megtekintve:2018.04.02. 10:52.
- I11: [http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0027\\_TEI14/ch01s03.html](http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0027_TEI14/ch01s03.html).  
Megtekintve:2018. 03. 28. 11:25.
- I12: <http://www.harrisgeospatial.com/docs/IntroductionLidar.html> Megtekintve:  
2018:03.18. 15:40.
- I13:[http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0033\\_SCORM\\_MFGFT6008T/sco\\_05\\_02.htm](http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0033_SCORM_MFGFT6008T/sco_05_02.htm). Megtekintve:2018.03.18. 16:00
- I14:[http://www.cazalac.org/mwar\\_lac/fileadmin/imagenes2/Remote\\_Sensing/S3A2\\_lig ht.pdf](http://www.cazalac.org/mwar_lac/fileadmin/imagenes2/Remote_Sensing/S3A2_lig ht.pdf). Megtekintve:2018. 03.09. 11:55.
- I15: <http://slideplayer.hu/slide/2236921/> Megtekintve:2017. 05.12. 9:30
- I16: [http://ktvktvf.zoldhatosag.hu/vasarhelyi/Bivaly\\_to/Bivaly\\_to\\_06.htm](http://ktvktvf.zoldhatosag.hu/vasarhelyi/Bivaly_to/Bivaly_to_06.htm) Megtekintve:  
2016. 05.15. 8:28
- I17: <http://geoiq.hu/2017/10/04/friss-program-tervezet-feny-ter-kep-2017/> Megtekintve:  
2017.11.02. 12:31

## **Rövidítés jegyzék**

**AGROTOPO** – Agrotopográfiai adatbázis

**AKIT**- Agrárkutatóintézet

**ASPRS**- American Society of Photogrammetry and Remote Sensing

**COA** - Center of area; Geometriai középpont módszer

**COG** - Center of gravity; Súlypont módszer

**DEM**- Digital Elevation Model; Digitális Domborzatmodell

**DrinC** -Drought Indices Calculator)

**EDO** - European Drought Observatory; Európai Aszályközpont

**ESA**- European Space Agency ; Európai Űrügynökség

**FAO** - Food and Agriculture Organization

**IDW**- Inverse Distance Weighting; Távolsággal fordítottan arányos súlyozás

**LiDAR** - Light Detection and Ranging

**MTA TAKI** – Magyar Tudományos Akadémia, Talajtani-és Agrokémiai Kutatóintézet

**NDVI** – Normalized Difference Vegetation Index; Normalizált Differenciál Vegetációs Index

**OMSZ** - Országos Meteorológiai Szolgálat

**P** – Precipitation; Csapadék

**PAI**- Palfai aridity index; Pálfai-féle ariditási index

**PCA** - Principal Component Analyses; főkomponens analízis

**PET**-potencioális evapotranszspiráció

**RDI**- Reclamation Drought Index - Aszályfelismerési Index

**rgf**- raster group file

**S** – Snow; Hótakaró

**SAR**- Syntetic Aperture Radar; Szintetikus Apertúrájú Radar

**Sat**- Satellite; Műhold

**SF** –Streamflow; Vízhóram

**SNAP** - Sentinel Application Platform

**SPI** - Standardized Precipitation Index; Standardizált Csapadék Index

**T**- Temperature; Hőmérséklet

**TIN** - Triangulated irregular network; Háromszögelési hálózat

**USGS** - United States Geological Survey

**VAHAVA**-Változás Hatás Válasz

**WMO-GWP** -World Meteorological Organisation- Global Water Partnership

## Ábrajegyzék

|                                                                                                                                                                                               |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>1. ábra:</b> Különböző aszálytípusok közötti kapcsolat (saját szerk. BIHARI et al., 2012 nyomán) .....                                                                                     | 9  |
| <b>2. ábra:</b> A kutatásban alkalmazott módszerek és azok kapcsolata .....                                                                                                                   | 30 |
| <b>3. ábra:</b> MODIS NDVI felvételek feldolgozásának folyamata .....                                                                                                                         | 41 |
| <b>4. ábra:</b> A SAR adatok feldolgozás lépései (Forrás: saját szerkesztés) .....                                                                                                            | 42 |
| <b>5. ábra:</b> LiDAR adatok feldolgozásának lépései (Forrás: saját szerkesztés) .....                                                                                                        | 43 |
| <b>6. ábra:</b> Az analóg adatok alapján készült DEM feldolgozási folyamata .....                                                                                                             | 50 |
| <b>7. ábra:</b> A LiDAR rendszerrel felmért terület elhelyezkedése .....                                                                                                                      | 51 |
| <b>8. ábra:</b> Az Ellenberg Index értékeinek alakulása a Szolnok–Túri-sík területén 2002-2012 között .....                                                                                   | 52 |
| <b>9. ábra:</b> Az SPI-3 értékek alakulása a Szolnok–Túri-sík területén 2000-2012 között... 53                                                                                                |    |
| <b>10. ábra:</b> Az RDI értékek alakulása a Szolnok –Túri sík esetében 2002-2012 között .. 54                                                                                                 |    |
| <b>11. ábra:</b> A Pálfai-féle ariditási index értékeinek alakulása a Szolnok- Túri Síkon 2002-2012. között .....                                                                             | 55 |
| <b>12. ábra:</b> Az Ellenberg, SPI-3, RDI és a PaDI index értékek közötti összefüggések vizsgálata .....                                                                                      | 56 |
| <b>13. ábra:</b> Az Ellenberg Index értékek alakulása a Nyírség esetében 2000-2002 között 57                                                                                                  |    |
| <b>14. ábra:</b> Az SPI-3 értékek alakulása a Nyírség esetében 2000-2012. között .....                                                                                                        | 57 |
| <b>15. ábra:</b> RDI értékek alakulása a Nyírség esetében 2002-2012. között .....                                                                                                             | 58 |
| <b>16. ábra:</b> A Pálfai-féle ariditási index értékeinek alakulása a Nyírség esetében 2002-2012 között .....                                                                                 | 58 |
| <b>17. ábra:</b> A PaDI és az Ellenberg, SPI-3, RDI index közötti összefüggések vizsgálata 59                                                                                                 |    |
| <b>18. ábra:</b> Meteorológiai indexek és a májusi NDVI értékek közötti kapcsolat vizsgálata (Jelmagyarázat: * $p < 10\%$ , ** $p < 5\%$ , *** $p < 1\%$ , **** $p < 0,1\%$ ) .....           | 60 |
| <b>19. ábra:</b> Meteorológiai indexek és az augusztusi NDVI értékek közötti kapcsolat vizsgálata (Jelmagyarázat: * $p < 10\%$ , ** $p < 5\%$ , *** $p < 1\%$ , **** $p < 0,1\%$ ) .....      | 61 |
| <b>20. ábra:</b> A meteorológiai indexek és a májusi NDVI értékek közötti összefüggések (Jelmagyarázat: * $p < 10\%$ , ** $p < 5\%$ , *** $p < 1\%$ , **** $p < 0,1\%$ ) .....                | 62 |
| <b>21. ábra:</b> A meteorológiai indexek és az augusztusi NDVI értékek közötti összefüggések vizsgálata (Jelmagyarázat:* $p < 10\%$ , ** $p < 5\%$ , *** $p < 1\%$ , **** $p < 0,1\%$ ) ..... | 62 |
| <b>22. ábra:</b> A vizsgált évjáratok aszályossági besorolása a normalizált hibrid aszályindex alapján a Szolnok–Túri-sík esetében 2002-2012. között .....                                    | 64 |
| <b>23. ábra:</b> A vizsgált évek aszályossági besorolása a normalizált hibrid aszályindex alapján a Nyírségben 2002-2012. között .....                                                        | 65 |
| <b>24. ábra:</b> Aszály alakulása a normalizált hibrid index értékei alapján az Alföldön .....                                                                                                | 66 |
| <b>25. ábra:</b> Az aszályos területek nagyságának alakulása az Alföldön a normalizált hibrid index alapján .....                                                                             | 67 |
| <b>26. ábra:</b> A Sentinel 1 adatok alapján leválogatott belvíz foltok elhelyezkedése 2015. januártól júniusig .....                                                                         | 70 |

|                                                                                                                                                                                                                                            |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>27. ábra:</b> A Sentinel 1 adatok alapján leválogatott belvíz foltok elhelyezkedése 2015. júliustól decemberig.....                                                                                                                     | 70 |
| <b>28. ábra:</b> A belvizes területek térképi megjelenítése a nem öntözött szántó területeken és gyepterületek esetében márciusban és áprilisban .....                                                                                     | 71 |
| <b>29. ábra:</b> A belvizes területek térképi megjelenítése a nem öntözött szántó területeken és gyepterületek esetében júniusban és júliusban .....                                                                                       | 72 |
| <b>30. ábra:</b> Különböző fizikai féleségek és belvízfoltok megjelenítése nem öntözött szántó és gyepterületeken .....                                                                                                                    | 72 |
| <b>31. ábra:</b> Különböző talajtípusok és belvízfoltok megjelenítése nem öntözött szántó és gyepterületeken .....                                                                                                                         | 73 |
| <b>32. ábra:</b> Különböző vízgazdálkodási kategóriák és belvízfoltok megjelenítése nem öntözött szántó és gyepterületeken .....                                                                                                           | 73 |
| <b>33. ábra:</b> A lefolyástalan, belvizesedésre hajlamos területek elhelyezkedése a mintaterületek megjelölésével .....                                                                                                                   | 75 |
| <b>34. ábra:</b> A szántóterület digitális domborzatmodellje (A), a lejtőkategóriák szerint beosztályozott modell (B), valamint a lejtőkategóriák területi megoszlása (C) .....                                                            | 76 |
| <b>35. ábra:</b> A 10x10 m-es felbontásúra transzformált terület lejtőtérképe (A), a lejtőkategória-térképpel (B), valamint a „zavaró” objektumok nélküli lejtőkategória-térkép (C) .....                                                  | 76 |
| <b>36. ábra:</b> A vizsgált gyepterület domborzatmodellje (A) és lejtőkategóriái (B és C) ...                                                                                                                                              | 77 |
| <b>37. ábra:</b> A gyepterület domborzati modellje a lefolyási vonalakkal (A), valamint a vízgyűjtő területek bemutatása és a lefolyási vektorvonalak (B) .....                                                                            | 78 |
| <b>38. ábra:</b> A lézeres pontfelhőn fellelhető ritkább pontsűrűségű területek, ami káros felszíni víztöbbletre utal.....                                                                                                                 | 78 |
| <b>39. ábra:</b> A reflektált lézerezési intenzitás alapján készült térkép (A), a leválogatási folyamat eredményeként készített belvíztérkép (B), valamint a hibás módon (C) és a megfelelően leválogatott belvízfoltok (D).....           | 79 |
| <b>40. ábra:</b> Belvizes területek validálása Sentinel 1 adatok alapján .....                                                                                                                                                             | 80 |
| <b>41. ábra:</b> A gyepterület esetében azonosított belvizi foltok 3D domborzati metszetei .                                                                                                                                               | 81 |
| <b>42. ábra:</b> A LiDAR alapú (A) és a hagyományos (analóg adatok digitalizálásával készített) (B) DEM lejtőkategóriáinak összehasonlító elemzése.....                                                                                    | 83 |
| <b>43. ábra:</b> A LiDAR alapú (A) és a hagyományos (analóg adatok digitalizálásával készített) (B) DEM lejtőkategóriáinak összehasonlító elemzése a LiDAR alapú térképen csatorna és a tározó részsűjének figyelmen kívül hagyásával..... | 84 |
| <b>44. ábra:</b> A magassági értékek alakulása a 10x10 m-es térbeli felbontású adatbázisok alapján.....                                                                                                                                    | 85 |
| <b>45. ábra:</b> A lejtőkategória értékek alakulása a 10x10 m-es térbeli felbontású adatbázisok alapján .....                                                                                                                              | 86 |

## Táblázatjegyzék

|                                                                                                                                                                  |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>1. táblázat:</b> Az aszály osztályozása az SPI-3 értékek alapján .....                                                                                        | 14 |
| <b>2. táblázat:</b> Az aszály osztályozása a RDI értékek alapján .....                                                                                           | 16 |
| <b>3. táblázat:</b> Belvíz-veszélyeztetettség kategóriák.....                                                                                                    | 24 |
| <b>4. táblázat:</b> Mintaterületek bemutatása aszály és belvíz vizsgálat szerint .....                                                                           | 32 |
| <b>5. táblázat:</b> Az indexek bemeneti paraméterei .....                                                                                                        | 44 |
| <b>6. táblázat:</b> NDVI osztályozási kategóriák.....                                                                                                            | 45 |
| <b>7. táblázat:</b> Normalizált hibrid aszályindex kategóriái.....                                                                                               | 63 |
| <b>8. táblázat:</b> Aszálykategóriák a hibrid index esetében .....                                                                                               | 66 |
| <b>9. táblázat:</b> Belvizes területek nagysága (ha) a Szolnok–Túri-síkon a nem öntözött szántóterületek, gyepterületek és a rét/legelők esetében 2015-ben ..... | 71 |

## Egyenletek jegyzéke

|                                                                                      |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>1. egyenlet:</b> A gamma eloszlás leírása .....                                   | 13 |
| <b>2. egyenlet:</b> Legnagyobb valószínűség becslés leírása .....                    | 13 |
| <b>3. egyenlet:</b> Kumulatív valószínűség kiszámítása.....                          | 13 |
| <b>4. egyenlet:</b> RDI érték kiszámítása.....                                       | 15 |
| <b>5. egyenlet:</b> RDI st érték kiszámítása logaritmikus eloszlás esetén .....      | 15 |
| <b>6. egyenlet:</b> Belvízi veszélyeztetettség területi mutatószámának leírása ..... | 24 |
| <b>7. egyenlet:</b> Súlyozott átlag számítás az interpolációs eljárások során .....  | 28 |
| <b>8. egyenlet:</b> NDVI értékek kiszámítása.....                                    | 36 |
| <b>9. egyenlet:</b> A szegmentálás során alkalmazott összefüggés .....               | 42 |
| <b>10. egyenlet:</b> Ellenberg Index számítása .....                                 | 44 |

## Mellékletek jegyzéke

|                                                                                                                                      |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>1. melléklet:</b> Magyarország belvíz-veszélyeztetettségi térképe .....                                                           | 131 |
| <b>2. melléklet:</b> A mintaterületek meteorológiai adatai.....                                                                      | 132 |
| <b>3. melléklet:</b> A mintaterületek talajtani adatai (talajtípus, fizikai féleség, vízgazdálkodási kategóriák) .....               | 133 |
| <b>4. melléklet:</b> Területhasználati módok százalékos aránya a szolnoki kistérségben.....                                          | 134 |
| <b>5. melléklet:</b> Területhasználati arányok az Észak-Nyírségben .....                                                             | 135 |
| <b>6. melléklet:</b> Digitális domborzatmodell metaadatai .....                                                                      | 136 |
| <b>7. melléklet:</b> A pontfelhő statisztikai adatai.....                                                                            | 137 |
| <b>8. melléklet:</b> Az egyes aszályindexek osztályozási értékei.....                                                                | 138 |
| <b>9. melléklet:</b> Az egyes index értékek évjáratonkénti értékei a Szolnok-Túri-sík esetében .....                                 | 139 |
| <b>10. melléklet:</b> Az egyes index értékek évjáratonkénti értékei a Nyírség esetében .....                                         | 139 |
| <b>11. melléklet:</b> NDVI értékek a Szolnok–Túri-sík esetében 2002-2013 májusi időszakban között (Forrás: saját készítés) .....     | 140 |
| <b>12. melléklet:</b> NDVI értékek a Szolnok–Túri-sík esetében 2003-2013 augusztusi időszakban között (Forrás: saját készítés) ..... | 141 |

|                                                                                                                                            |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>13. melléklet:</b> NDVI értékek a Nyírség esetében 2002-2013 májusi időszakban között<br>(Forrás: saját készítés) .....                 | 142 |
| <b>14. melléklet:</b> NDVI értékek a Nyírség esetében 2002-2013 augusztusi időszakban<br>között (Forrás: saját készítés) .....             | 143 |
| <b>15. melléklet:</b> Normalizált Hibrid Aszályindex térbeli jellemzői a Szolnok–Túri-sík<br>esetében 2003-ban, 2007-ben és 2009-ben ..... | 144 |
| <b>16. melléklet:</b> A Normalizált Hibrid Aszályindex térbeli jellemzői a Nyírség esetében<br>2003-ban, 2007-ben és 2009-ben.....         | 145 |
| <b>17. melléklet:</b> Szerves széntartalom és Arany-féle kötöttség vizsgálata különböző<br>lejtőkategóriák esetében.....                   | 146 |



**DEBRECENI  
EGYETEM**

**DEBRECENI EGYETEM  
EGYETEMI ÉS NEMZETI KÖNYVTÁR**

H-4002 Debrecen, Egyetem tér 1, Pf.: 400  
Tel.: 52/410-443, e-mail: publikaciok@lib.unideb.hu

Nyilvántartási szám: DEENK/404/2017.PL  
Tárgy: PhD Publikációs Lista

Jelölt: Gálya Bernadett  
Neptun kód: AXLJ77  
Doktori Iskola: Kerpely Kálmán Doktori Iskola  
MTMT azonosító: 10045411

### A PhD értekezés alapjául szolgáló közlemények

#### Magyar nyelvű könyvrészletek (1)

1. **Gálya, B.**, Riczu, P., Jóvér, J., Nagy, A., Tamás, J., Blaskó, L.: Aszálykockázat becslése alföldi referencia területen.  
In: A talajok gyógyítója: Blaskó Lajos 70 éves. Szerk.: Tamás János, Zsembeli József, Debreceni Egyetem Mezőgazdaság, Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási Kar, Debrecen, 113-128, 2017. ISBN: 9789634739661

#### Magyar nyelvű tudományos közlemények hazai folyóiratban (2)

2. **Gálya, B.**, Riczu, P., Blaskó, L., Bákonyi, V., Tamás, J.: Szélsőséges vízháztartási helyzetek (belvíz, aszály) kialakulásának vizsgálata környezetinformatikai eszközökkel.  
*Agrártud. közl.* 69, 79-86, 2016. ISSN: 1587-1282.
3. **Gálya, B.**, Nagy, A., Blaskó, L., Dályai, B., Tamás, J.: Pálfai-féle aszályossági index és a Normalizált Csapadék Index összehasonlítása az Észak-Alföldi Régióban.  
*Agrártud. közl.* 63, 59-64, 2015. ISSN: 1587-1282.

#### Magyar nyelvű konferencia közlemények (1)

4. **Gálya, B.**, Riczu, P., Blaskó, L., Tamás, J.: Belvíz érzékenység vizsgálata radar adatok alapján.  
In: Az elmélet és a gyakorlat találkozása a térinformatikában VII. : Térinformatikai Konferencia és Szakkiállítás. Szerk.: Balázs Boglárka, Debreceni Egyetemi Kiadó, Debrecen, 161-168, 2016. ISBN: 9789633185704

#### Idegen nyelvű konferencia közlemények (1)

5. **Gálya, B.**, Tamás, J., Baranyi, B., Nagy, S., Petis, M., Blaskó, L.: Risk assessment of drought management by land use changes in on the sandy soils of Nyírség Region.  
In: Value changes in a transforming economy : Challenges in the Carpathian Basin : 12th Annual International Conference on Economics and Business 5-6th of June, 2015 Csíkszereda, Seklerburg, Miercurea Ciuc. Ed.: Andrea Csata, Gergely Fejér-Király, Otília György, János Kassay, Benedek Nagy, Levente-József Tánczos, Risoprint, Cluj-Napoca, 229-238, 2015. ISBN: 9789735315665



Idegen nyelvű absztrakt kiadványok (1)

6. **Gályas, B.**, Blaskó, L., Riczu, P., Tamás, J.: Risk assessment of drought impacted areas in Great Plain of Hungary.  
In: Agriculture, Ecology & Water Abstracts, Eighth Annual International Symposium on Agriculture, Third Annual International Conference on Ecology, Ecosystems and Climate Change & Third Annual International Forum on Water 13-16 July 2015, Athens, Greece. Ed.: Gregory T. Papanikos, Athens Institute for Education and Research, Athens, 58, 2015. ISBN: 9789605980207

**További közlemények**

Magyar nyelvű könyvek (2)

7. Juhász, C., Bozsik, É., Riczu, P., Tuba, G., **Gályas, B.**: Talaj- és vízvédelmi program: Vezetői segédlet. Tudomány a Környezetünkért Közhasznú Alapítvány, Debrecen, 28 p., 2015. ISBN: 9786155602184
8. Juhász, C., Bozsik, É., Riczu, P., Tuba, G., **Gályas, B.**: Talaj- és vízvédelmi program: Útmutató fiatalok számára. Tudomány a Környezetünkért Közhasznú Alapítvány, Debrecen, 68 p., 2015. ISBN: 9786155602177

Magyar nyelvű könyvrészletek (4)

9. Herdon, M., Tamás, J., Burriel, C., Várallyai, L., Blaskó, L., **Gályas, B.**, Riczu, P., Lengyel, P., Pancsira, J., Botos, S.: Agrárerdészet oktatásfejlesztése európai dimenzióban.  
In: A talajok gyógyítója: Blaskó Lajos 70 éves. Szerk.: Tamás János, Zsembeli József, Debreceni Egyetem Mezőgazdaság, Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási Kar, Debrecen, 140-149, 2017. ISBN: 9789634739661
10. Riczu, P., Kovács, C., **Gályas, B.**, Csiha, I., Tamás, J.: LiDAR eljárással végzett felületmodellezés szárazodó termőhely erdészeti célú vízkormányzásának megalapozásához.  
In: Alföldi Erdőkért Egyesület Kutatói Nap / felelős szerk. Csiha Imre; szerk. Kamandiné Végh Ágnes, Nagy Angelika, Alföldi Erdőkért Egyesület, Lakitelek, 199-201, 2017. ISBN: 9786158059411
11. Tamás, J., Kovács, C., Riczu, P., **Gályas, B.**, Herdon, M., Csiha, I.: Új szemléletű vízkormányzás az alföldi erdők klímaadaptációs vízgazdálkodásában.  
In: Alföldi Erdőkért Egyesület Kutatói Nap / felelős szerk. Csiha Imre; szerk. Kamandiné Végh Ágnes, Nagy Angelika, Alföldi Erdőkért Egyesület, Lakitelek, 14-22, 2017. ISBN: 9786158059411



12. Riczu, P., **Gálya, B.**, Gombosné Nagy, I., Blaskó, L., Tamás, J.: A Tisza-tó vizsgálata légi LiDAR adatok alapján.  
In: Az elmélet és a gyakorlat találkozása a térinformatikában. Szerk.: Balázs Boglárka, Debreceni Egyetemi Kiadó, Debrecen, 405-411, 2016. ISBN: 9789633185704

Magyar nyelvű közlemények hazai folyóiratban (1)

13. Bozsik, É., Riczu, P., **Gálya, B.**, Tamás, J., Deák, B., Burriel, C., Heilmeier, H.: Fásítási lehetőségek modellezése.  
*Agrártud. közl.* 63, 35-41, 2015. ISSN: 1587-1282.

Idegen nyelvű közlemények hazai folyóiratban (3)

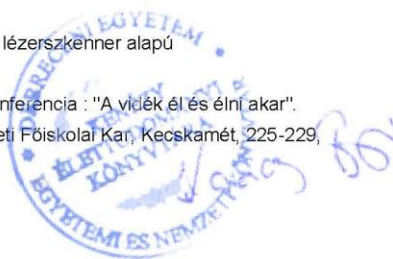
14. Tamás, J., Bozsik, É., Riczu, P., **Gálya, B.**, Herdon, M., Nistor, S., Fehér, J., Burriel, C., Heilmeier, H.: Integrated HS and ALS Remote Sensing Data Sources to Develop Green Corridors in Sopron Mountains.  
*J. Agricult. Inf.* 5 (2), 19-25, 2014. ISSN: 2061-862X.
15. Riczu, P., Nagy, A., Bozsik, É., **Gálya, B.**, Mesterházi, P. Á., Tamás, J.: Complex vegetation survey in a fruit plantation by spectral instruments.  
*J. Agricult. Inf.* 4 (2), 37-42, 2013. ISSN: 2061-862X.
16. Riczu, P., Bozsik, É., **Gálya, B.**, Rásó, J., Csiha, I., El Shal, A. M., Nyéki, J., Tamás, J.: Volumetric estimation of an intensive apple orchard with GIS.  
*Int. J. Hortic. Sci.* 19 (3-4), 7-10, 2013. ISSN: 1585-0404.

Idegen nyelvű közlemények külföldi folyóiratban (2)

17. Nagy, A., Riczu, P., **Gálya, B.**, Tamás, J.: Spectral estimation of soil water content in visible and near infra-red range.  
*Eurasian J. Soil Sci.* 3 (3), 163-171, 2014. ISSN: 2147-4249.
18. Riczu, P., Nagy, A., Fórián, T., Bozsik, É., **Gálya, B.**, Lehoczky, É., Tamás, J.: Weed biomass evaluation in an intensive apple orchard by remote sensing instruments.  
*Anal. Univ. Oradea Fac. Pretext. Med.* 21 (18), 269-273, 2013. ISSN: 1224-6255.

Magyar nyelvű konferencia közlemények (2)

19. Riczu, P., **Gálya, B.**, Csihon, Á., Nagy, G., Tamás, J.: 3D lézerszkennér alapú gyümölcsdetektálás egy intenzív almaültetvényben.  
In: II. Gazdákodás és Menedzsment Tudományos Konferencia : "A vidék él és élni akar". Szerk.: Ferencz Árpád, Kecskeméti Főiskola Kertészeti Főiskolai Kar, Kecskemét, 225-229, 2015. ISBN: 9786155192333





20. **Gálya, B.**, Bozsik, É., Szöllősi, N., Riczu, P., Blaskó, L., Tamás, J., Deák, B., Heilmeier, H., Burriel, C.: Sótartalom területi modellezése LiDAR adatok alapján egy NATURA 2000-es területen.  
In: VII. Magyar Földrajzi Konferencia Kiadványa. Szerk.: Kóródi Tibor, Sansumné Molnár Judit, Siskáné Szilasi Beáta, Dobos Endre, Miskolci Egyetem, Földrajz-Geoinformatika Intézet, Miskolc, 139-145, 2014. ISBN: 9789633580639

Idegen nyelvű konferencia közlemények (7)

21. **Gálya, B.**, Tamás, J., Nagy, A., Riczu, P., Stelian, N., Fehér, J., Bozsik, É., Blaskó, L.: GIS supported available water content calculation for watershed in drought impacted areas.  
In: Proceedings of the 14th International Conference on Environmental Science and Technology Rhodes, Greece, 3-5 September 2015. Ed.: T. D. Lekkas, University of the Aegean, Rhodes, 1-5, 2015. ISBN: 9789607475527
22. Nagy, A., Riczu, P., Bökfi, K., **Gálya, B.**, Tamás, J.: Pilot study on the evaluation of the spectral properties of animal protein meal.  
In: Proceedings of the 14th International Conference on Environmental Science and Technology Rhodes, Greece, 3-5 September 2015. Ed.: T. D. Lekkas, University of the Aegean, Rhodes, 1-4, 2015. ISBN: 9789607475527
23. Bozsik, É., Riczu, P., **Gálya, B.**, Tamás, J., Herdon, M., Burriel, C., Heilmeier, H.: The Modelling of Agroforestry Site Selection.  
In: Proceedings of the 14th International Conference on Environmental Science and Technology Rhodes, Greece, 3-5 September 2015. Ed.: T. D. Lekkas, University of the Aegean, Rhodes, 1-5, 2015. ISBN: 9789607475527
24. **Gálya, B.**, Bozsik, É., Riczu, P., Tamás, J., Blaskó, L., Herdon, M., Keserű, Z., Csiha, I., Rásó, J., Burriel, C., Heilmeier, H.: Black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) - an invasive alien species or potentially species plantation of agroforestry in Pannonian ecoregion.  
In: 2nd European Agroforestry Conference : Integrating Science and Policy to Promote Agroforestry in Practice : Book of Abstracts. Ed.: João H. N. Palma, European Agroforestry Federation (EURAF), [s.l.], 127-130, 2014. ISBN: 9789729787447
25. Bozsik, É., **Gálya, B.**, Riczu, P., Tamás, J., Herdon, M., Burriel, C., Heilmeier, H.: Modeling of agroforestry in Natura 2000 habitat site in Hungary.  
In: 2nd European Agroforestry Conference : Integrating Science and Policy to Promote Agroforestry in Practice : book of abstracts. Ed.: João H. N. Palma, European Agroforestry Federation (EURAF), [s.l.], 44-47, 2014. ISBN: 9789729787447
26. **Gálya, B.**, Bozsik, É., Szöllősi, N., Riczu, P., Blaskó, L., Tamás, J., Deák, B., Bökfi, K., Heilmeier, H.: Modelling of soil properties in a NATURA 2000 habitat site in the Carpathian Basin.  
In: Proceedings of the International Workshop on Remote Sensing and GIS for Monitoring of Habitat Quality. Ed.: Norbert Pfeifer, Zlinszky András, Department of Geodesy and Geoinformation, Vienna University of Technology, [Vienna], 113-116, 2014. ISBN: 9783200037274



27. Tamás, J., Bozsik, É., Riczu, P., **Gálya, B.**, Herdon, M., Burriel, C., Heilmeier, H.: The Modelling of Agroforestry Site Selection to Develop Green Corridor.  
In: CIGR Proceedings, 2014 World Congress on Computers in Agriculture / CIGR, CIGR, San Jose, [1-8], 2014.

Magyar nyelvű absztrakt kiadványok (1)

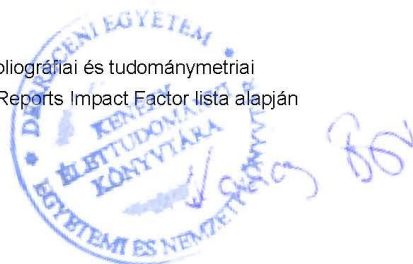
28. **Gálya, B.**: Don toxin csírázásra gyakorolt ökotoxikológiai hatása.  
In: Tudományos diákköri konferencia, 2011/2012. tanév őszi félév : Debrecen, 2011. október 20. : meghívó és programfüzet

Idegen nyelvű absztrakt kiadványok (4)

29. Kiss, N. É., Riczu, P., Bódi, E., **Gálya, B.**, Tamás, J.: Innovative application of LiDAR technology in cattle grazing areas.  
In: 2nd World Conference on Innovative Animal Nutrition and Feeding - Abstract Book, AKCongress, Budapest, 23-24, 2017.
30. Szöllősi, N., Blaskó, L., Bozsik, É., **Gálya, B.**, Riczu, P., Mézes, L., Tamás, J., Petis, M., Borbély, J.: Adsorption of ammonia generated in poultry manure.  
In: Book of Abstracts : ORBIT 2016 : Organic Resources & Biological Treatment : 10th International Conference on "Circular Economy and Organic Waste" 25th - 28th of May 2016, Herakleion, Crete, Greece. Ed.: Katia Lasaridi, Thrassyvoulos Manios, [s.n.], Heraklion, 122, 2016. ISBN: 9789609381499
31. Tamás, J., Lehoczky, É., Fehér, J., Fórián, T., Nagy, A., Bozsik, É., **Gálya, B.**, Riczu, P.: Airborne hyperspectral and LiDAR data integration for weed detection.  
*Geophysical Research Abstracts*. 16, 1, 2014. ISSN: 1029-7006.
32. Tamás, J., Nistor, S., Fehér, J., Fórián, T., Nagy, A., Bozsik, É., **Gálya, B.**, Riczu, P.: Surface runoff evaluation on a flat salt NATURA 2000 habitat site.  
*Geophysical Research Abstracts*. 16, 1, 2014. ISSN: 1029-7006.

A DEENK a Jelölt által az iDEa Tudóstérbe feltöltött adatok bibliográfiai és tudományometriai ellenőrzését a tudományos adatbázisok és a Journal Citation Reports Impact Factor lista alapján elvégezte.

Debrecen, 2017.11.27.



## NYILATKOZAT

Ezen értekezést a Debreceni Egyetemen, a Kerpely Kálmán Doktori Iskola keretében készítettem, a Debreceni Egyetem doktori (Ph.D.) fokozatának elnyerése céljából.

Debrecen, 2018. április 4.

.....

a jelölt aláírása

## NYILATKOZAT

Tanúsítom, hogy Gálya Bernadett doktorjelölt 2013-2016 között a fent megnevezett Doktori Iskola keretében irányításommal/irányításunkkal végezte munkáját. Az értekezésben foglalt eredményekhez a jelölt önálló alkotó tevékenységével meghatározóan hozzájárult, az értekezés a jelölt önálló munkája. Az értekezés elfogadását javaslom/javasoljuk.

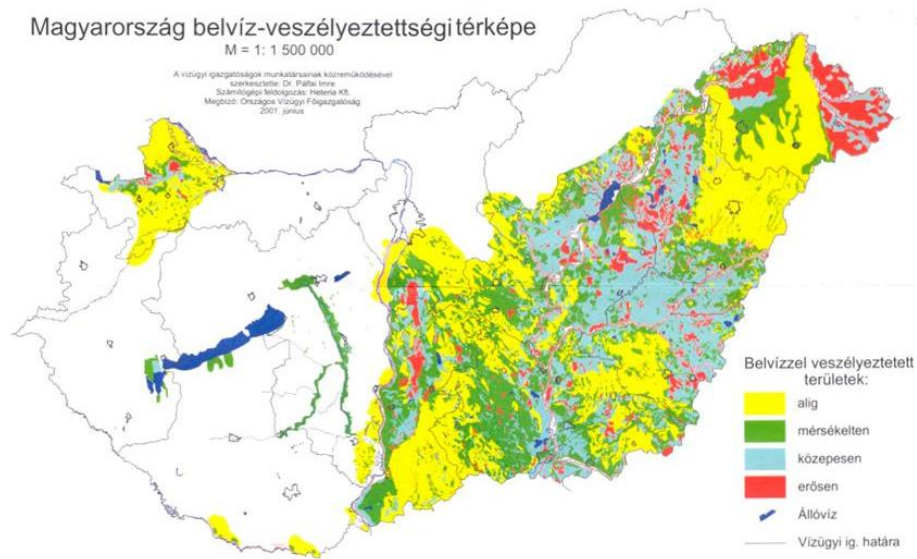
Debrecen, 2018. április 4.

.....

a témavezető(k) aláírása

## Mellékletek

### 1. melléklet: Magyarország belvíz-veszélyeztetettségi térképe



(Forrás: I15)

**2. melléklet:** A mintaterületek meteorológiai adatai

| Mintaterület neve   | Táj típusa | Kitejedés             | Meteorológiai adatok |                        |                       |
|---------------------|------------|-----------------------|----------------------|------------------------|-----------------------|
|                     |            |                       | napfényes órák száma | éves közép-hőmérséklet | évi csapadékmennyiség |
| Alföld              | nagyáj     | 52000 km <sup>2</sup> | 2100 óra             | 10 °C                  | 500-550 mm            |
| Nyírség             | középtáj   | 5100 km <sup>2</sup>  | 1975 óra             | 9,6-9,7 °C             | 583 mm                |
| Szolnok-Túri Sík    | kistáj     | 1700 km <sup>2</sup>  | 1970-2010 óra        | 9,9-10,0 °C            | 510-540 mm            |
| Észak-Kelet Nyírség | kistáj     | 950 km <sup>2</sup>   | 1930 óra             | 9,5 - 9,7 °C           | 610-630 mm            |

**3. melléklet:** A mintaterületek talajtani adatai (talajtípus, fizikai féleség, vízgazdálkodási kategóriák)

| Mintaterület neve   | Táj típusa | Kitejedés              | Talajtani jellemzők                                                                                                                                                                                                                              |                                                 |                                                                                                                                                                                                                                              |
|---------------------|------------|------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                     |            |                        | talajtípusok                                                                                                                                                                                                                                     | talajfizikai jellemzők                          | vízgazdálkodási tulajdonságok                                                                                                                                                                                                                |
| Alföld              | nagyaj     | 52 000 km <sup>2</sup> | Réti talajok (13%), réti csernozjomok (12%), réti öntéstalajok (9%), futóhomok (7%), humuszos homok (7%)                                                                                                                                         | Vályog (35%), agyagos vályog (21%), homok (21%) | Jó víznyelésű és vízvezető-képességű, jó vízraktározó-képességű, jó víztartó talajok (26%), Gyenge víznyelésű, igen gyenge vízvezető-képességű, erősen víztartó, igen kedvezőtlen, extrémén szélsőséges vízgazdálkodású talajok (22%)        |
| Nyírség             | középtáj   | 5100 km <sup>2</sup>   | Kovárványos barna erdőtalaj (34%), futóhomok (28%)                                                                                                                                                                                               | Homok (71,87%).                                 | Nagy víznyelésű és vízvezető-képességű, közepes vízraktározó-képességű, gyengén víztartó talajok (51%) z igen nagy víznyelésű és vízvezető-képességű, gyenge vízraktározó-képességű, igen gyengén víztartó talajok találhatóak (37%)         |
| Szolnok-Túri Sík    | kistáj     | 1700 km <sup>2</sup>   | Alföldi mészlepedékes és réti csernozjomok (12 és 34%), 4% mélyben sós réti csernozjomok, 2% mélyben szolonyeces réti csernozjomok, 9% réti szolonyec, 8% igen gyenge termékenységű sztyeppesedő réti szolonyec, 13 % a szolonyeces réti talajok | Agyagos vályog (65%)                            | Jó víznyelésű és vízvezető-képességű, igen nagy vízraktározó-, és víztartó-képességű talajok (60,6 %), igen gyenge víznyelésű, szélsőségesen gyenge vízvezető-képességű, igen erősen víztartó, kedvezőtlen vízgazdálkodású talajok (23,9 %). |
| Észak-Kelet Nyírség | kistáj     | 950 km <sup>2</sup>    | Kovárványos barna talaj (46 % ), futóhomok (21%)                                                                                                                                                                                                 | homok (73%), homokos vályog (18%)               | Nagy víznyelésű és vízvezető-képességű, közepes vízraktározó-képességű, gyengén víztartó talajok (55%), Igen nagy víznyelésű és vízvezető-képességű, gyenge vízraktározó-képességű, igen gyengén víztartó talajok (26%)                      |

**4. melléklet:** Területhasználati módok százalékos aránya a szolnoki kistérségben

| Területhasználati módok       | Százalékos aránya |
|-------------------------------|-------------------|
| Rizsföldek                    | 1%                |
| Intenzív legelők              | 4%                |
| Állandó növényi kultúrák      | 1 %               |
| Komplex művelési szerkezet    | 1 %               |
| Természetes gyepek            | 3%                |
| Erdő ültetvények              | 4 %               |
| Folyóvizek                    | 2%                |
| Természetes erdők             | 2%                |
| Természetes tavak             | 0,43 %            |
| Halastavak, mesterséges tavak | 1 %               |
| Szárazföldi mocsarak          | 1 %               |
| Kistáblás szántóföld          | 20 %              |
| Beépített terület             | 7 %               |
| Nagytáblás szántóföld         | 50%               |

(Forrás: I16)

**5. melléklet:** Területhasználati arányok az Észak-Nyírségben

| Területhasznosítás:                    | %    | hektár |
|----------------------------------------|------|--------|
| belterület                             | 6,8  | 6 460  |
| szántó                                 | 67,6 | 64 220 |
| kert                                   | 6,0  | 5 700  |
| szőlő                                  | 2,6  | 2 470  |
| rét, legelő                            | 3,3  | 3 135  |
| erdő                                   | 12,7 | 12 065 |
| vízfelszín                             | 0,6  | 570    |
| ártér, elhagyott terület, bányaterület | 0,4  | 380    |
| a fentiekből védett terület            | —    | —      |

(Forrás: MAROSI-SOMOLYI, 1990)

## 6. melléklet: Digitális domborzatmodell metaadatai

| Metadata (dem.rst)                |                                                    |
|-----------------------------------|----------------------------------------------------|
| Metadata   Histogram   Projection |                                                    |
| Attribute Name                    | Attribute Value                                    |
| FILENAME                          | D:\GINOP\Kivágatok_UTM\Eőszerű öntözés\Products\de |
| DESCRIPTION                       | dem.rst                                            |
| UPPER LEFT X                      | 585856.500                                         |
| UPPER LEFT Y                      | 5296856.500                                        |
| LOWER RIGHT X                     | 586186.500                                         |
| LOWER RIGHT Y                     | 5295166.500                                        |
| WEST LONGITUDE                    | 22° 08' 47.8843" E                                 |
| NORTH LATITUDE                    | 47° 49' 09.5825" N                                 |
| EAST LONGITUDE                    | 22° 09' 04.9568" E                                 |
| SOUTH LATITUDE                    | 47° 48' 14.6940" N                                 |
| UL CORNER LONGITUDE               | 22° 08' 49.0894" E                                 |
| UL CORNER LATITUDE                | 47° 49' 09.5825" N                                 |
| UR CORNER LONGITUDE               | 22° 09' 04.9568" E                                 |
| UR CORNER LATITUDE                | 47° 49' 09.4236" N                                 |
| LR CORNER LONGITUDE               | 22° 09' 03.7470" E                                 |
| LR CORNER LATITUDE                | 47° 48' 14.6940" N                                 |
| LL CORNER LONGITUDE               | 22° 08' 47.8843" E                                 |
| LL CORNER LATITUDE                | 47° 48' 14.8527" N                                 |
| PROJ_DESC                         | UTM Zone 34 / WGS84 / meters                       |
| PROJ_DATUM                        | WGS84                                              |
| PROJ_UNITS                        | meters                                             |
| EPSG_CODE                         | EPSG:32634                                         |
| COVERED AREA                      | 0.558 sq km                                        |
| LOAD TIME                         | 0.06 s                                             |
| NUM COLUMNS                       | 33                                                 |
| NUM ROWS                          | 169                                                |
| NUM BANDS                         | 1                                                  |
| PIXEL WIDTH                       | 10.313 meters                                      |
| PIXEL HEIGHT                      | 10.06 meters                                       |
| MIN ELEVATION                     | 150.553 meters                                     |
| MAX ELEVATION                     | 159.796 meters                                     |
| ELEVATION UNITS                   | meters                                             |
| BIT DEPTH                         | 32                                                 |
| SAMPLE TYPE                       | 32-bit Floating Point                              |

**7. melléklet:** A pontfelhő statisztikai adatai

| Fájl neve      | LiDAR pontok száma | LiDAR pont denzitás (pont/m <sup>3</sup> ) | Pont távolság (m) |
|----------------|--------------------|--------------------------------------------|-------------------|
| 710-123-44.las | 4,081,966          | 53.757                                     | 0.1655            |
| 710-124-33.las | 17,589,679         | 31.139                                     | 0.1364            |
| 710-141-22.las | 3,236,797          | 19.974                                     | 0.1792            |
| 710-141-24.las | 1,866,090          | 23.192                                     | 0.2238            |
| 710-141-42.las | 1,950,463          | 21.96                                      | 0.2076            |
| 710-141-44.las | 655,217            | 53.366                                     | 0.2134            |
| 710-142-11.las | 36,679,262         | 33.508                                     | 0.1369            |
| 710-142-13.las | 35,351,774         | 19.908                                     | 0.1728            |
| 710-142-14.las | 2,658,751          | 37.397                                     | 0.2241            |
| 710-142-31.las | 19,699,303         | 19.975                                     | 0.1635            |
| 710-142-32.las | 2,130,365          | 28.514                                     | 0.2237            |
| 710-142-33.las | 3,173,270          | 28.514                                     | 0.1873            |
|                | <b>Átlag</b>       | <b>30.93366667</b>                         | 0.186183333       |
|                | <b>Szórás</b>      | <b>30.93366667</b>                         | 0.031008462       |

(Forrás: I17)

**8. melléklet:** Az egyes aszályindexek osztályozási értékei

| SPI értékek          | Osztályozás      |
|----------------------|------------------|
| 2,0 és ennél nagyobb | különösen nedves |
| 1,5 – 1,99           | igen nedves      |
| 1,0 – 1,49           | közepesen nedves |
| -0,99 – 0,99         | közel normális   |
| -1- -1,49            | közepesen száraz |
| -1,5 - 1,99          | nagyon száraz    |
| -2,0 és ennél kisebb | különösen száraz |

| RDI érték     | Aszályossági kategória |
|---------------|------------------------|
| <-2           | extrém száraz          |
| -1.5- -1.99   | nagyon száraz          |
| -1.00 - -1.49 | közepesen száraz       |
| -0.99 – 0.99  | közel normális         |
| 1.00 – 1.49   | közepesen nedves       |
| 1.50 – 1.99   | nagyon nedves          |
| 2.00 <        | extrém nedves          |

| PaDI, °C/100 mm | Minősítés               |
|-----------------|-------------------------|
| < 4             | aszálymentes év         |
| 4 – 6           | enyhe aszály            |
| 6 – 8           | mérsékelt aszály        |
| 8 – 10          | közepes erősségű aszály |
| 10 – 15         | súlyos aszály           |
| 15 – 30         | nagyon súlyos aszály    |
| > 30            | extrém erősségű aszály  |

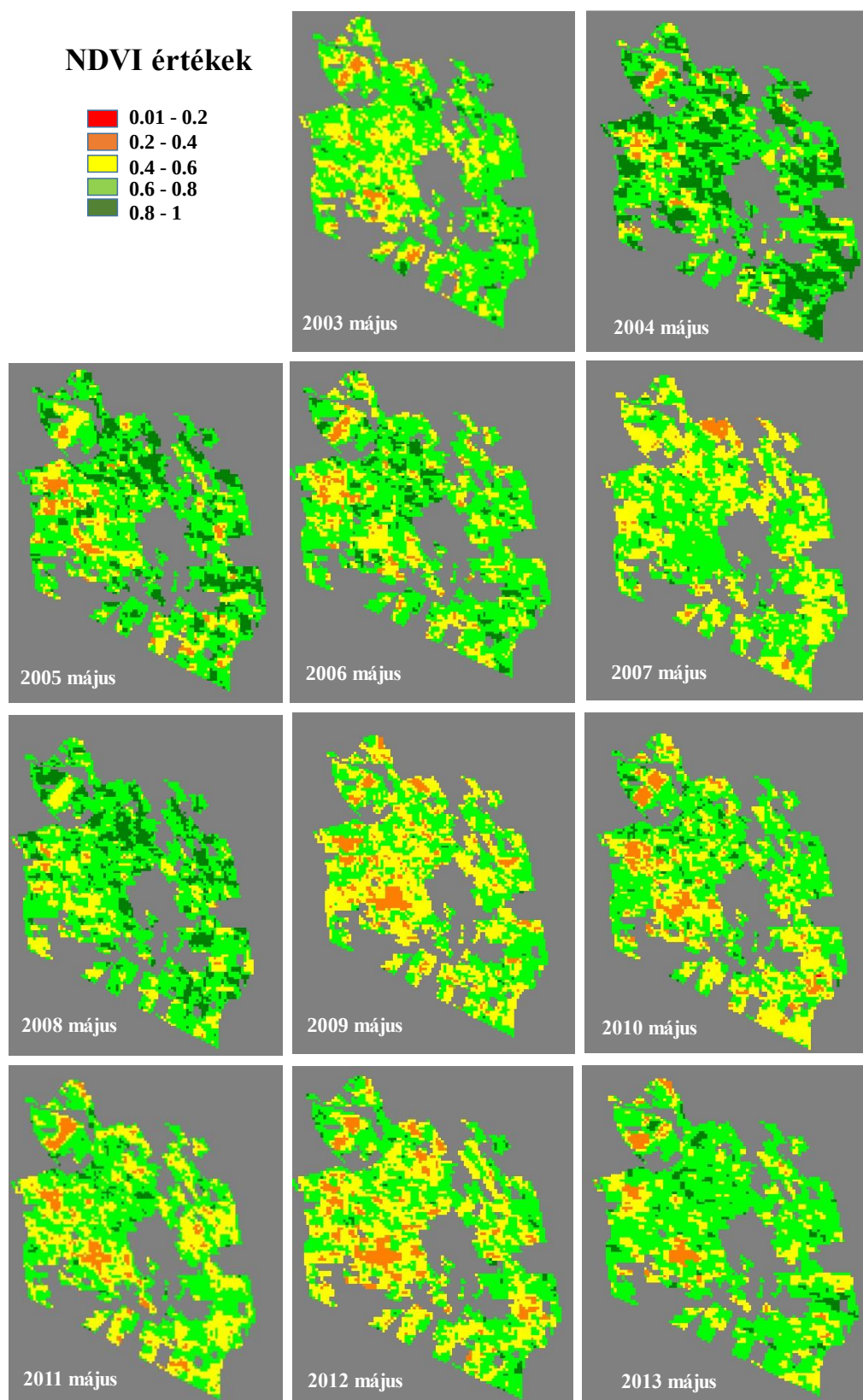
**9. melléklet:** Az egyes index értékek évjáratonkénti értékei a Szolnok-Túri-sík esetében

|           | <b>Ellenberg</b> | <b>SPI-3</b> | <b>RDI</b> | <b>PaDI</b> |
|-----------|------------------|--------------|------------|-------------|
| 2002-2003 | 55.73            | -0.31        | -0.03      | 9.08        |
| 2003-2004 | 60.04            | 0.91         | 0.37       | 3.17        |
| 2004-2005 | 31.58            | 0.82         | 0.72       | 2.71        |
| 2005-2006 | 28.26            | 0.09         | -0.04      | 3.60        |
| 2006-2007 | 39.61            | -1.41        | -0.61      | 6.44        |
| 2007-2008 | 43.12            | 1.17         | 0.98       | 3.68        |
| 2008-2009 | 36.94            | 0.15         | 0.43       | 5.33        |
| 2009-2010 | 41.62            | 1.81         | 0.95       | 2.60        |
| 2010-2011 | 25.31            | 1.32         | 0.87       | 5.10        |
| 2011-2012 | 55.10            | -0.51        | -1.00      | 7.90        |

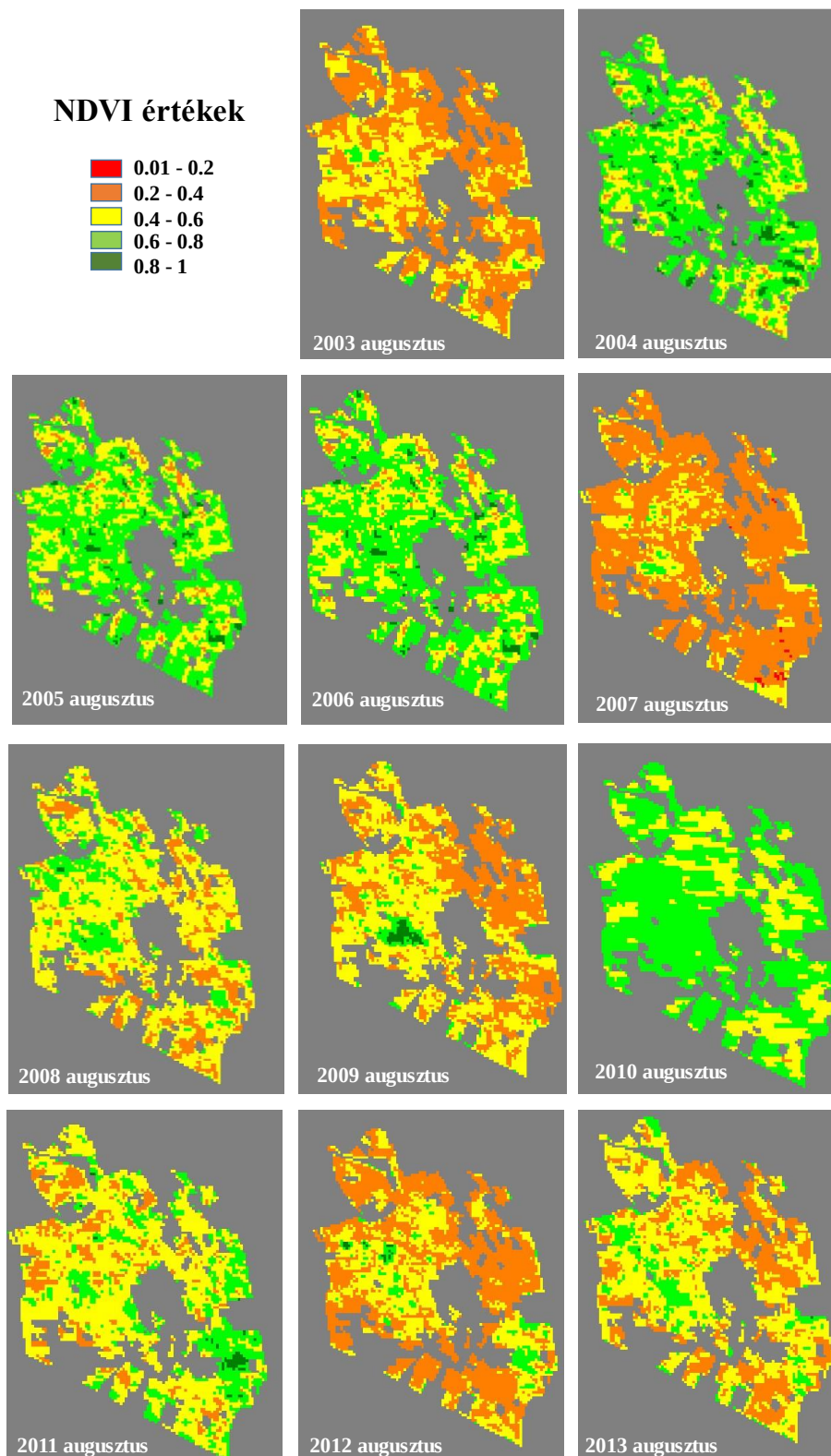
**10. melléklet:** Az egyes index értékek évjáratonkénti értékei a Nyírség esetében

|           | Ellenberg | SPI-3 | RDI   | PaDI |
|-----------|-----------|-------|-------|------|
| 2002-2003 | 55.21     | -0.70 | -0.71 | 7.65 |
| 2003-2004 | 36.01     | 0.47  | 0.26  | 3.55 |
| 2004-2005 | 37.04     | 0.29  | -0.03 | 4.08 |
| 2005-2006 | 36.52     | -0.75 | -0.22 | 4.12 |
| 2006-2007 | 42.27     | -1.79 | -0.59 | 7.26 |
| 2007-2008 | 39.98     | 0.43  | 0.36  | 4.12 |
| 2008-2009 | 32.99     | -0.04 | -0.16 | 5.09 |
| 2009-2010 | 22.48     | 1.74  | 0.58  | 2.63 |
| 2010-2011 | 48.83     | 1.21  | 0.58  | 4.30 |
| 2011-2012 | 53.42     | -0.87 | -0.08 | 7.00 |

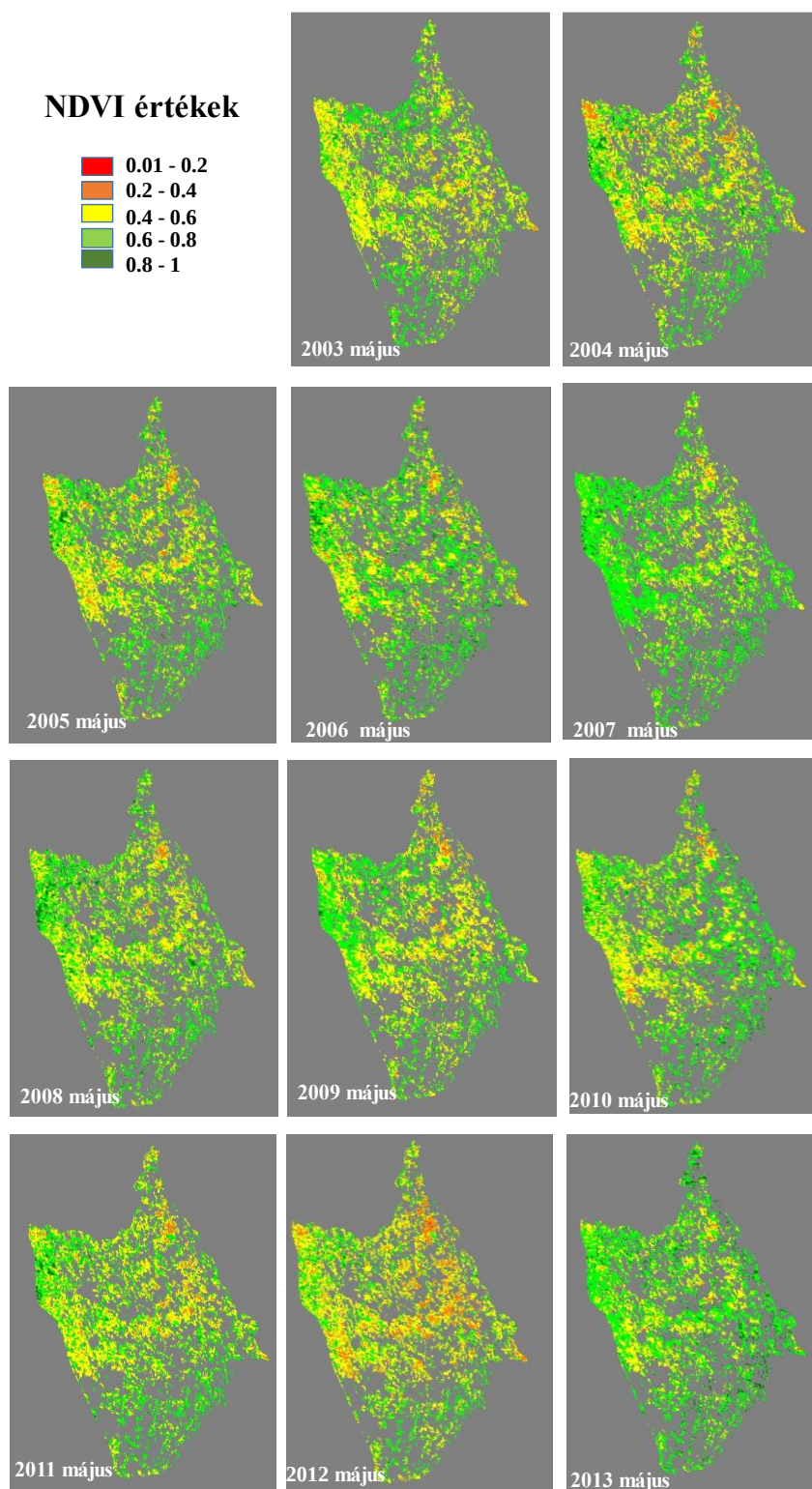
**11. melléklet:** NDVI értékek a Szolnok–Túri-sík esetében 2002-2013 májusi időszakban között (Forrás: saját készítés)



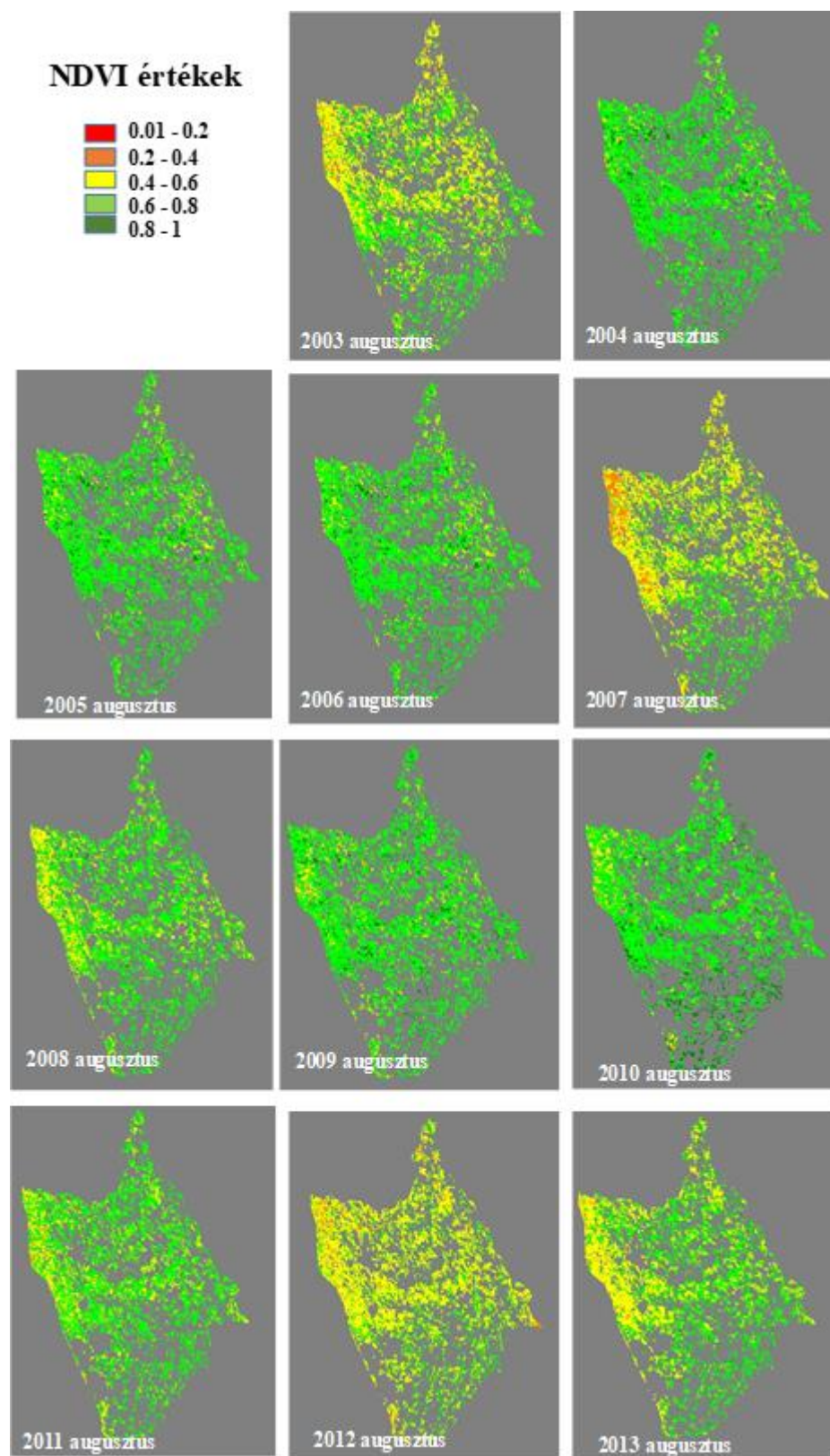
**12. melléklet:** NDVI értékek a Szolnok–Túri-sík esetében 2003-2013 augusztusi időszakban között (Forrás: saját készítés)



**13. melléklet:** NDVI értékek a Nyírség esetében 2002-2013 májusi időszakban között  
(Forrás: saját készítés)

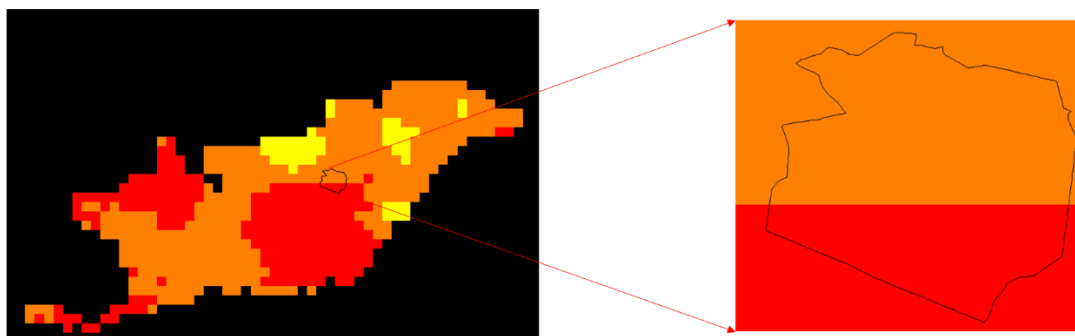


**14. melléklet:** NDVI értékek a Nyírség esetében 2002-2013 augusztusi időszakban között (Forrás: saját készítés)

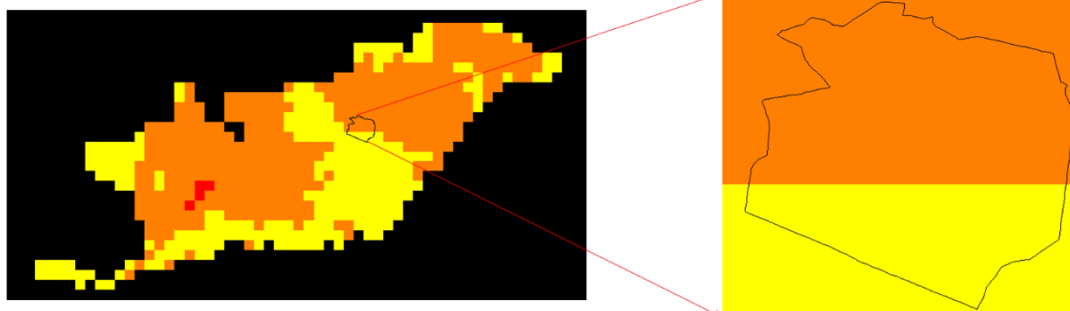


**15. melléklet:** Normalizált Hibrid Aszályindex térbeli jellemzői a Szolnok–Túri-sík esetében 2003-ban, 2007-ben és 2009-ben

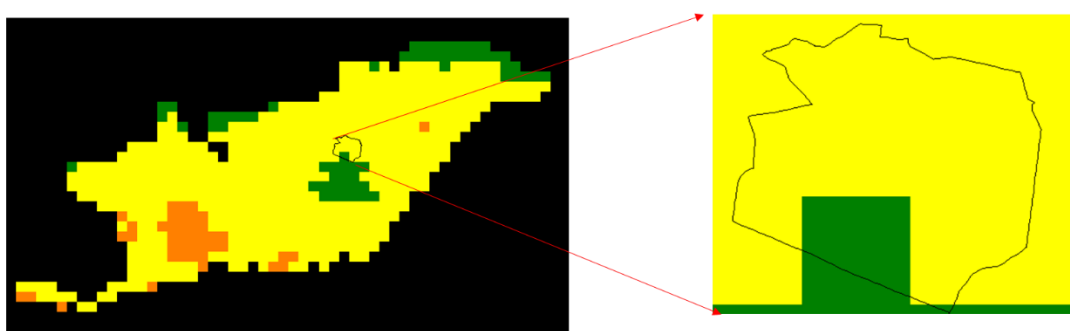
**2003**



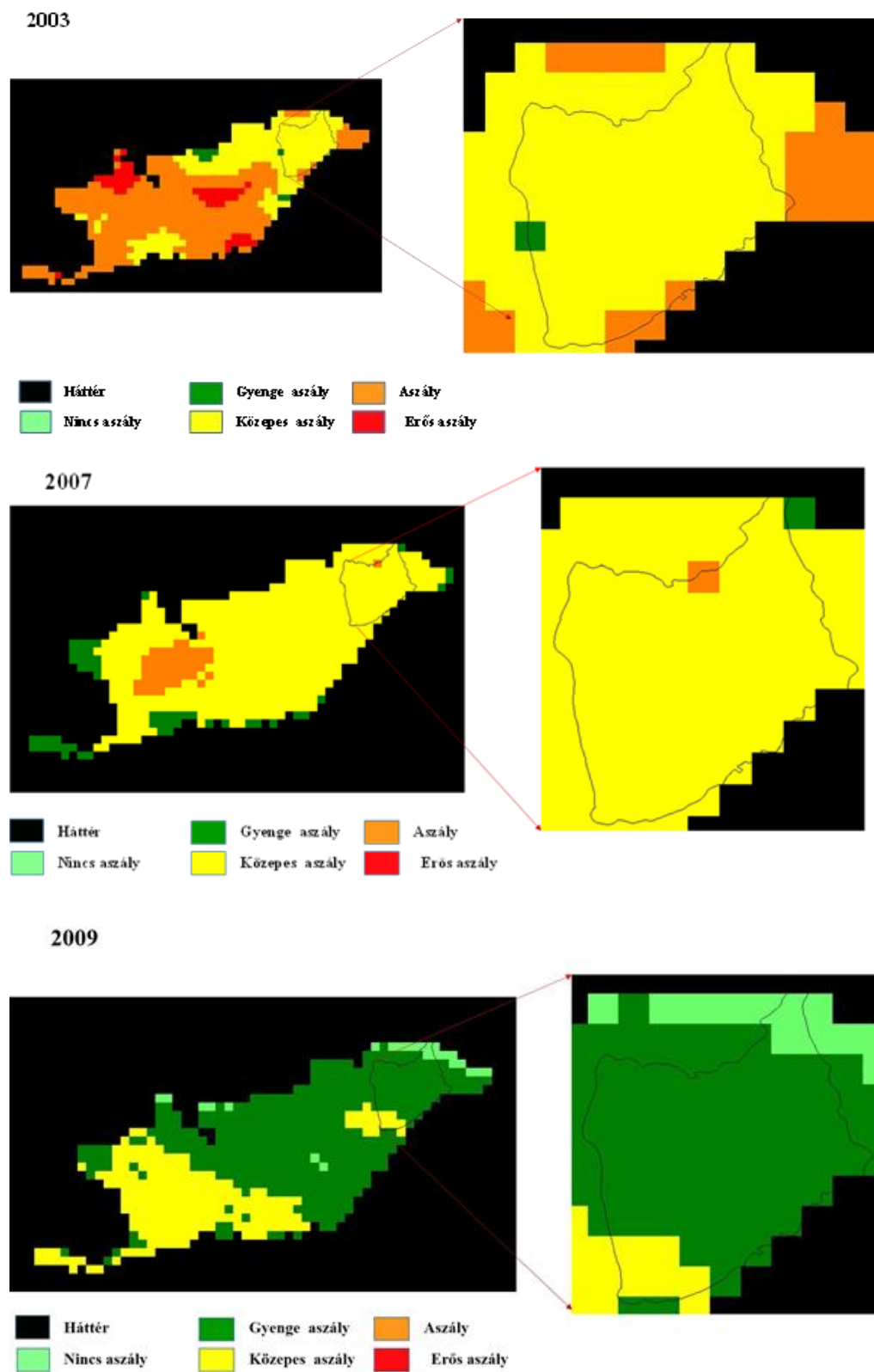
**2007**



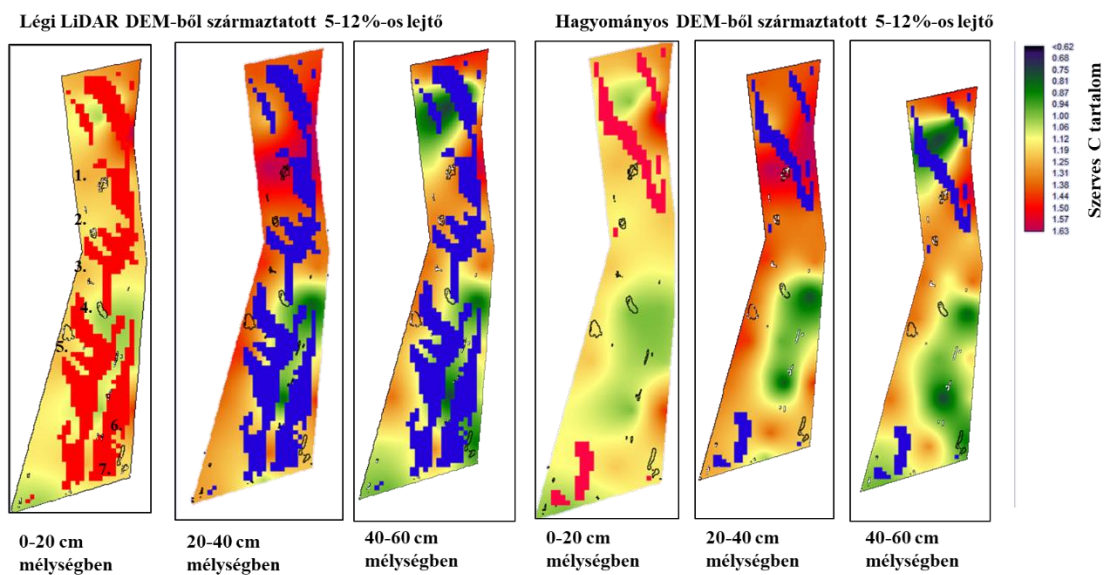
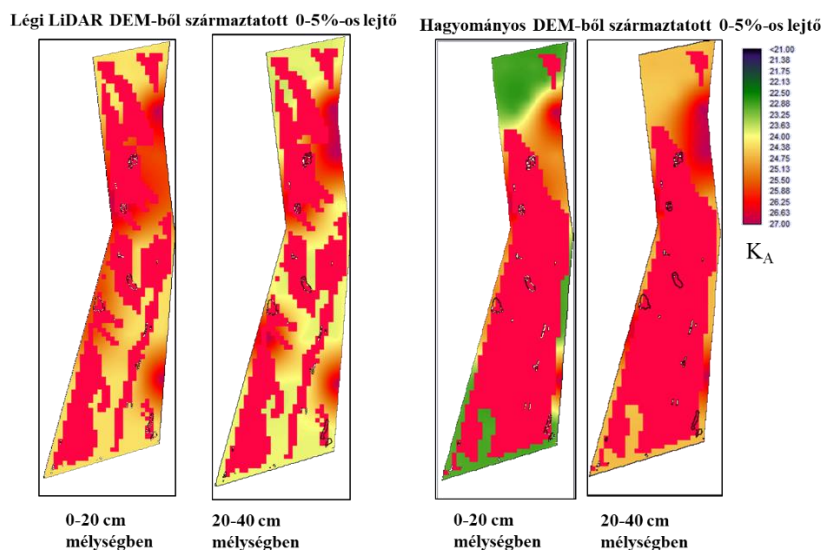
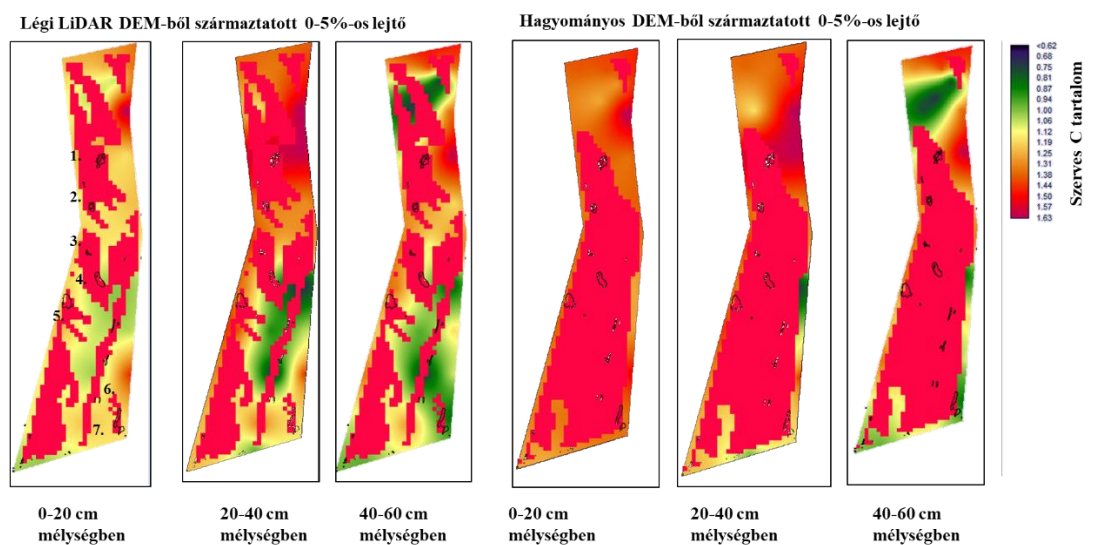
**2009**



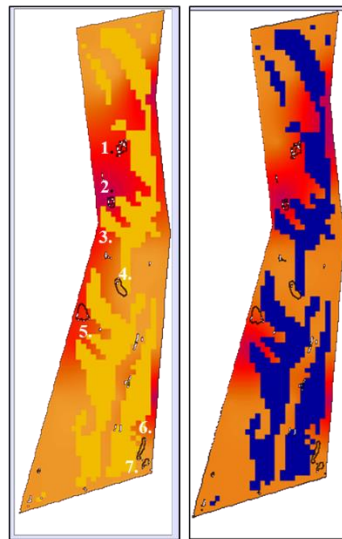
**16. melléklet:** A Normalizált Hibrid Aszályindex térbeli jellemzői a Nyírség esetében 2003-ban, 2007-ben és 2009-ben



## 17. melléklet: Szerves szénttartalom és Arany-féle kötöttség vizsgálata különböző lejtőkategóriák esetében



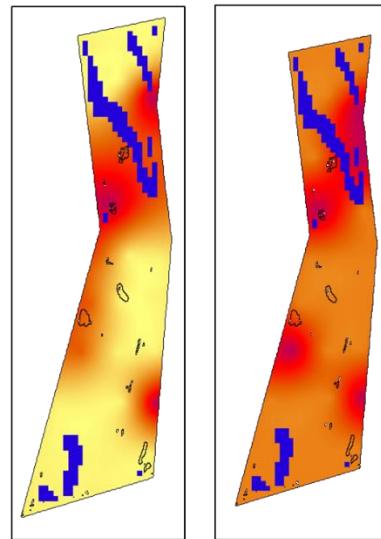
**Légi LiDAR DEM-ből származtatott  
5-12%-os lejtő**



**0-20 cm  
mélységben**

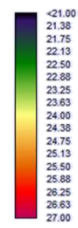
**20-40 cm  
mélységben**

**Hagyományos DEM-ből származtatott 5-12%-os  
lejtő**



**0-20 cm  
mélységben**

**20-40 cm  
mélységben**



**K<sub>A</sub>**

## **Köszönetnyilvánítás**

Szeretnék köszönetet mondani témavezetőmnek, Dr. Blaskó Lajos professzor úrnak, aki lehetőséget biztosított számomra és mindvégig támogatott a doktori kutatásom lefolytatása során, köszönöm támogatását, és értékes javaslatait, amelyek alapvető mértékben hozzájárultak a dolgozat illetve a tudományos közlemények megszületéséhez.

Továbbá szeretnék köszönetet mondani Prof. Dr. Tamás János, intézetvezető úrnak, aki lehetőséget adott számomra, hogy kutatást elvégezzem. Szeretném megköszönni tanácsait, építő jellegű kritikáit, amelyek nélkül nem készült volna el a dolgozatom.

Ezúton szeretnék köszönetet mondani Dr. Tóth Gergelynek és Dr. Zsigrai Györgynek opponensi észrevételeit és segítő szakmai javaslatait mellyel hozzájárultak a doktori értekezés végleges formájának elkészítéséhez.

Köszönettel tartozom Dr. Zsembeli Józsefnek, a Debreceni Egyetem, Agrártudományi Központ, Karcagi Kutatóintézet igazgatójának, valamint Dr. Zsombik Lászlónak, Debreceni Egyetem, Agrártudományi Központ, Nyíregyházi Kutatóintézet igazgatójának, akik rendelkezésemre bocsátották az indexek számításához szükséges meteorológiai adatokat. Továbbá köszönetemet szeretném kifejezni az Országos Meteorológiai Szolgálatnak, hogy a kutatáshoz szükséges adatokat rendelkezésemre bocsátották.

Köszönetemet szeretném kifejezni Dr. Nagy Attilának, Dr. Riczu Péternek és Jóvér Jánosnak, akik nagy segítséget nyújtottak a dolgozat elkészülésében, valamint köszönettel tartozom a Víz- és Környezetgazdálkodási Intézet valamennyi dolgozójának, akik a kutatás és a dolgozat elkészítése alatt nyújtottak segítséget és támogatták munkámat.

Szeretnék köszönetet mondani azoknak a szakdolgozó és diplomadolgozó hallgatóimnak, akik aktívan részt vettek kutatásom különböző fázisaiban.

Hálás köszönetem fejezem ki családom önzetlen támogatásáért, türelméért és megértéséért; biztató szavaik mindig előrébb vittek értekezésem elkészítésében.