



A talaj és a növény vízellátottságának mérési lehetőségei távérzékelési módszerekkel

Veronika Dr. Wojtaszek Malgorzata

Óbudai Egyetem, Alba Regia Műszaki Kar, Geoinformatikai Intézet, Székesfehérvár

Dr. Szabó Virág

gazdálkodó, Sárkeszi

Kauszer Jakab

K-Prec Kft., Piliscsaba

A növények növekedése és szaporodása erősen függ a környezettől, így minden olyan környezeti állapotváltozás, amely eltér az optimálistól, stresszesnek tekinthető. A víz nagyon fontos tényező a mezőgazdaságban, és alapvető szerepet játszik a növénytermesztésben a vegetáció teljes hosszában. Vízre van szükség a vetőmag csírázásához, és amint a növekedés megkezdődik, az ásványi tápanyagok eloszlásához is. A biomassa előállítása elválaszthatatlanul kapcsolódik a vízigényhez, ahogy az ennek részét képező biokémiai reakciók döntő többsége is, mint például: a légzés és a fotoszintézis. Transzspiráció során a növények számára elérhető, gyökérszónában lévő víz felszívódik, majd a növényi test ennek legnagyobb részét vízgőz formájában a légkörbe bocsátja. Ha a talaj víztartaléka nem elegendő a növény transzspirációs szükségleteinek kielégítéséhez, a vízstressz hatására leáll a fotoszintézis és a növekedés. A vízhiány hátrányosan befolyásolja az élettani folyamatokat, ami külső tünetekkel is jár, mint pl. a levelek hervadása, a biomassa csökkenése, ami végeredményben a hozam és a minőség csökkenéséhez, ill. romlásához vezet. A vegetációmentes időszakban a talaj is vízvesztésnek van kitéve. A talajból történő párolgást a talaj felszínét elérő napsugárzás mennyisége nagymértékben meghatározza.

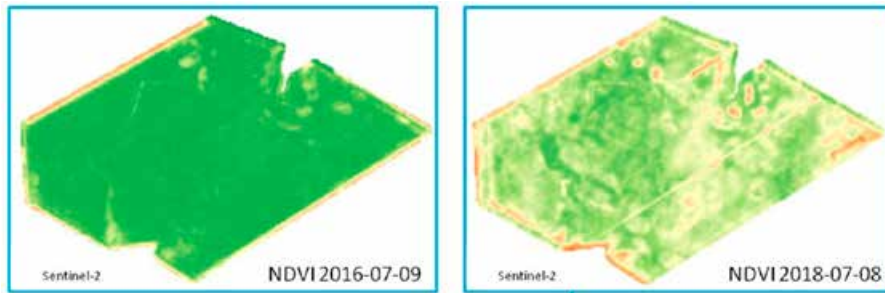
A növényi vízstressz megfigyelése alapvetően fontos lépés a mezőgazdasági termelésben, mert a növény optimális teljesítményének eléréséhez szükséges vízellátására vonat-

kozóan ad információt. Ez felhasználható a precíziós öntözés tervezésekor. A vízmegtakarítás, valamint a fenntartható mezőgazdasági termelés érdekében elengedhetetlen a megfelelő ütemezésű és térben differenciált öntözés alkalmazása, amely megköveteli a vízstressz korai felismerését mielőtt az visszafordíthatatlan károkat és termésvesztéseket okozna.

A vízstressz mérésére különféle módszerek léteznek, ezek közül néhány a talaj nedvességtartalmának mérését célozza, míg mások, például a vegetációs indexek, az evapotranszspiráció vagy a talaj vízmérlegének számításán alapulnak. A vízstressz nyomon követésének szokásos módszerei a terepen végzett talajnedvességi méréseken és meteorológiai megfigyeléseken alapulnak. A növényvíz állapotának kimutatására szolgáló egyéb módszerek magukban foglalják a talaj vízmérlegének számítását, valamint a növényvíz állapotának közvetlen és közvetett mérését a vezetőképesség és a levél vízpotenciálja révén. A terepen végzett, mintavételezésen alapuló mérések hátránya, hogy ezek a módszerek eszköz- és időigényesek, illetve pontinformációkat eredményeznek, amelyek legtöbbször nem biztosítanak megfelelő térbeli lefedettséget a terület (tábla) állapotának jellemzésére annak heterogenitása miatt. Annak ellenére, hogy a rendelkezésre álló földi technikák közül több megbízható és pontos eredményt ad, a fent említett hátrányok korlátozzák azok tényleges alkalmazhatóságát.

A távérzékelési technológiák használatának lehetőségei

Napjainkban egyre jobban terjed a távérzékelés használata minden szakterületen, így a mezőgazdaságban is. A technológia fejlődésének eredményeként egyre jobb spektrális, térbeli és időbeli felbontású adatok állnak rendelkezésre. A nagyfelbontású (10-30 m) műholdfelvételek közül szabadon hozzáférhetőek az amerikai Landsat és az ESA Sentinel műholdak több időpontú és többsávú űrfelvételei, melyek hatékonyan alkalmazhatóak a szántóterületek monitorozásában. Kutatások bizonyítják, hogy *a távérzékelés használható a talajnedvesség és a növényzet víztartalmának mérésére*. A gyakorlatban is eredményesen alkalmazott módszerek azon a tényen alapulnak, hogy a talajról az elektromágneses energia visszaverődése az optikai és a mikrohullámú spektrumtartományban, valamint a hőkibocsátás szorosan korrelál a talaj nedvességtartalmával. Számos módszert fejlesztettek ki a *talajnedvesség optikai, termális és mikrohullámú távérzékelési adataira* alapozva. A látható és a közeli infravörös spektrális tartományban mért visszaverődés értékek alapján számított mutatók (például NDVI: Normalized Difference Vegetation Index, RDVI: Renormalized Difference Vegetation Index, OSAVI: Optimized Soil Adjusted Vegetation Index) alkalmasak a lombkorona vízstressz okozta változásainak jelzésére (1. ábra). Más mutatók pedig (pl. PRI: Photochemical Reflectance Index) érzékenyek a nem meg-



1. ábra Kukoricamező: termésszámítás különböző aszályos körülmények között. A vegetációs index (NDVI) értékei jól tükrözik az adott év csapadékviszonyait (aszályos évben az NDVI értékek jóval alacsonyabbak, valamint a táblán belüli eltérések nagyobbak) (Forrás: <http://www.igik.edu.pl/pl/teledetekcja-monitorowanie-suszy-rolniczej>)

felelő vízellátás okozta fotoszintézis-pigment változásokra, továbbá a közeli és a közép infravörös tartományok alkalmasak az úgynevezett vízindexek vagy nedvességindexek számítására.

A leggyakrabban alkalmazott indexek viszonylag egyszerűen számíthatók, azonban vannak olyan modellek, melyek bonyolultabb algoritmusokon alapulnak és az alkalmazásuk komolyabb szaktudás igényel. Az úgynevezett trapéz vagy háromszög típusú modell az egyik legszélesebb körben alkalmazott módszer a talaj nedvességtartalmának meghatározására, mely az optikai és a termális adatokat használja fel. A modell (TOTRAM) a pixelek térbeli eloszlás értelmezésén alapszik a talajfelszíni hőmérséklet-vegetáció index terében. Ezt a módszert és számos módosított változatot sikeresen használják felszíni talajnedvesség becslésére. Az egyik módosított modell, az úgynevezett Optical TRApézoid Model (OPTRAM) a talaj nedvességtartalma és a rövidhullámú infravörös visszaverődés közötti kapcsolaton alapszik.

Jelen közlemény a vegetációs és vízindexeket mutatja be, az OPTRAM modell elméleti alapjait és gyakorlati alkalmazását pedig egy következő cikkben ismertetjük.

Mezőgazdaságban használható indikátorok előállításának lehetőségei

A precíziós gazdálkodás térnyerésével egyre nagyobb szerepe van a távérzékelési technológiák me-

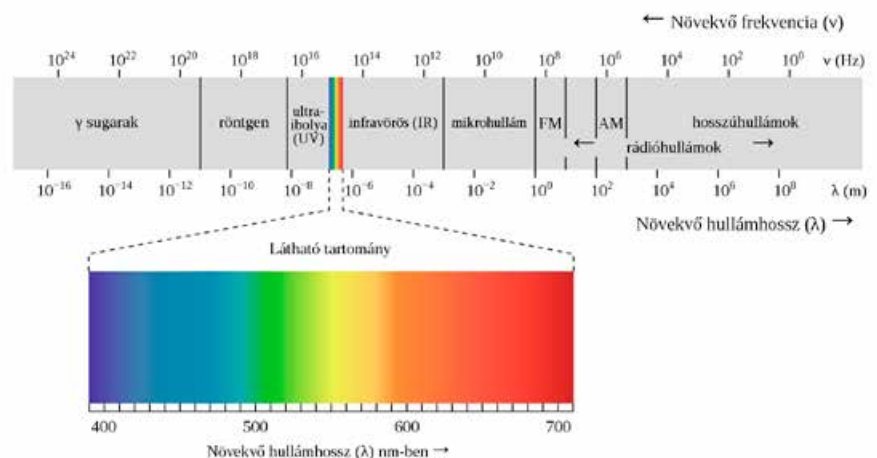
zőgazdasági felhasználásának. A távérzékelés segítségével olyan információkat tudhatunk meg a mezőgazdasági tábláinkról, amelyek megalapozhatják, illetve elősegíthetik a növény számára optimális technológia kialakítását. A felvételekből nyert információ pontossága és megbízhatósága nagymértékben függ a kiértékelést végző interpretátor térinformatikai és mezőgazdasági tudásától, valamint az alkalmazott osztályozási, kiértékelési eljárásoktól.

Műholdas és légi felvételek kiértékelésében fontos szerepe van a képi információt növelő eljárásoknak. Ilyenkor az eredeti sávértékekkel való számolás helyett használjuk a sávok különböző függvényeit, kombinációit, az ún. indexeket. Lényegkiemeléssel csökkenthető a később osztályozandó elemi adatok dimenziója, ezzel együtt a feldolgozandó

adatok mennyisége is, valamint új információ állítható elő.

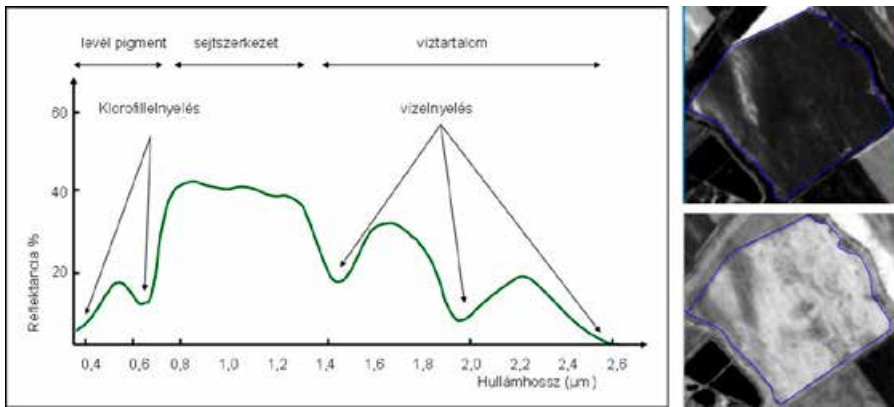
A növényzet- vagy nedvességmutatók (indexképek) meglehetősen egyszerűen állíthatók elő két vagy több spektrális sáv közötti matematikai műveletek elvégzésével. Az indexek előállításához szükséges ismerni, hogy egyes spektrumtartományokban mért elektromágneses energiának (2. ábra) a visszaverődése a talaj vagy vegetáció milyen tulajdonságaival függ össze. Az ezekből a mutatókból nyert információk rendkívül értékesek a mezőgazdaság szempontjából. Megfelelő időben és az adott célnak megfelelően kiválasztott indexképek alapján fel lehet mérni a tábla variabilitását, meg lehet különböztetni a táblán belül a talaj állapotát vagy a növényfejlődési eltéréseket. Ezek az eltérések számszerűsíthetőek és természetesen térben ábrázolhatóak. Általánosan használt vegetációs indexek mellett (pl. NDVI) vannak azonban olyan speciális mutatók is, melyek a növény- vagy talajnedvesség térképezésére alkalmasak.

Az indexek lehetnek különbség és hányados képek, melyek az eredeti felvétel sávjai között elvégzett aritmetikai műveletek eredményei. Az eljárás alkalmas két vagy több sáv információjának bizonyos mértékű összevonására, az eltérések kimutatására, normalizációra és különböző időpontban készült felvételek feldolgozására. A sávok között számított úgynevezett vegetációs indexek a növényzet jelenlétének



2. ábra Az elektromágneses spektrumtartományok (Forrás: Vágó és munkatársai, 2011)





3. ábra Az egészséges növényzet reflektanciáját meghatározó tényezők a 0,4-2,6 µm hullámhossz tartományban. A látható fény vörös tartományába eső sávban klorofill abszorpció miatt alacsony a visszaverődés (sötét tábla), míg a közeli infravörös sávban magas a visszaverődés (világos tábla)

kimutatására és állapotának jellemzésére használhatóak, illetve a növényzet monitoringjához nyújtanak kedvező feltételeket. A vegetációs indexek számításához általában a spektrális csatornák közül a látható fény vörös (Red) tartományába eső sávot és a közeli infravörös (NIR) sávot használjuk. Ebben a két tartományban legnagyobb a reflektancia különbsége (3. ábra). A reflektancia az adott felszínre belépő és arról visszavert energia hányadosát mutatja meg egy adott hullámhosszon, legtöbbször %-ban kifejezve.

Vegetációs indexek

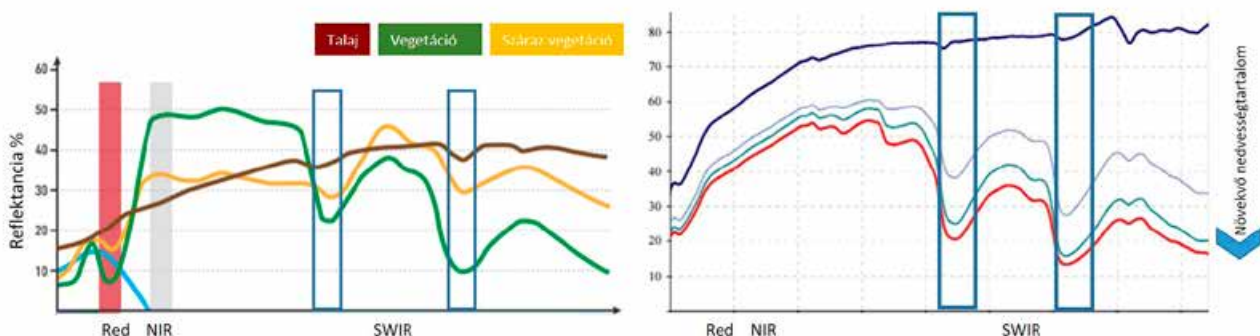
Egyes biológiai folyamatok során (pl. fotoszintézis) a növény felhasználja a Naptól származó energiát, ami azt jelenti, hogy az elektromágneses energia egyes tartományait nagyobb mértékben nyeli el, másokat pedig visszaver. Az egészsé-

ges növény levelei erősen elnyelik a kék és a vörös fényt, míg a zöld tartományban sugárzott energiát nagyobb mértékben verik vissza. Mivel a látható tartomány zöld sávjában legnagyobb a visszaverés, ezért a szemünk az egészséges vegetációt zöld színben látja. Ha egy növény valamilyen káros hatástól szenved, (betegség, szárazság) akkor csökken a fotoszintézis üteme és lelassul a növekedése, ami a növényzet spektrális tulajdonságainak változását eredményezi. A hosszabb ideig tartó stressz hatását szemmel is láthatjuk – a levelek sárgulnak, vagyis a vörös és a zöld fény hasonlóan verődik vissza. A közeli infravörös tartományban a reflektancia (visszaverődés) ugrásszerű megemelkedése a levelek sejtszerkezetének tulajdonítható. A közép infravörös tartományban (SWIR) tapasztalt elnyelődés a levelekben lévő vízabszorpció következménye (4. ábra). Ismerve a növény spekt-

rális tulajdonságait, olyan spektrális tartományok választhatók ki, amelyben az adott jelenség vizsgálható. Bármilyen külső befolyás (pl. betegség, szárazság) ezeknek a jellegzetes pontoknak a változását eredményezi. Környezeti terhelés hatására nemcsak a növény vitalitása változik, de a növény spektrális tulajdonságai is, ami műholdak vagy repülőgépek fedélzetén elhelyezett szenzorokkal detektálható, majd ezután megjeleníthető és számszerűsíthető. A növényi stressz hatásának korai felismerése nagyon fontos a hatékony kezelési stratégia kidolgozásához.

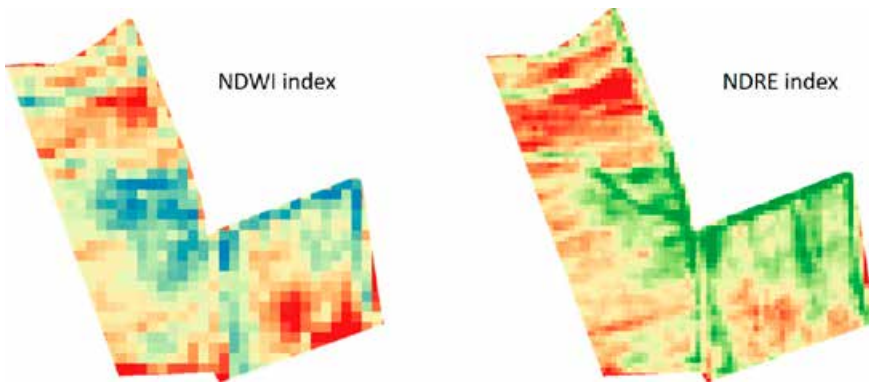
A károsodott, a környezeti stressz hatásoknak kitett növényzet összetételében, szerkezetében vagy tömegében bekövetkezett bármilyen változás a reflektancia viszonyok megváltozását vonja maga után (4. ábra). Ennek következtében a károsodott növények az egészséges állománytól elkülöníthetők.

Az egészséges és a beteg állományok reflektancia viszonyai között a legjelentősebb eltérés a közeli infravörös tartományban (NIR) tapasztalható. A károsodott növények reflektanciája ebben a hullámhossztartományban jelentős mértékben csökken. A látható spektrum tartomány klorofill elnyelés sávjában (0,6-0,7 µm) ekkor reflektancia növekedés tapasztalható. A hiányos vízellátás nemcsak a fotoszintézist gátolja (ezáltal reflektancia növekedést eredményez a látható spektrum tartományban), hanem a közép infravörös tartományban a vízelnyelési sávok lokális minimumainak nagymértékű változását is



4. ábra A bal oldali ábrán a talaj, a zöld és száraz növényzet, a jobb oldali ábrán pedig a különböző nedvességtartalmú talajminták reflektancia görbéi láthatóak.

A víztartalom növekedése a reflektancia csökkenésével jár (fentről lefelé sötétkék görbe: száraz, világos kék görbe: 4%, zöld görbe: 8%, piros görbe: 12% nedvességtartalmú talajminta)



5. ábra NDWI (Normalized Difference Water Index) és NDRE (Normalized Difference Red Edge Index) változása egy táblán belül. A piros szín gyengébb vízellátására és gyengébb fejlődésű növényzet jelenlétére utal. A pixelméret különbség az input adatok térbeli felbontás eltéréséből adódik (Forrás: Varga, 2009)

eredményezi. A közeli infravörösben rögzített adatok már a betegség vagy károsodás korai stádiumában kimutathatók. A növények természetes életfolyamatai már korábban megváltoznak, mielőtt még a szemmel látható tünetek megjelenének. Ennek a jelenségnek különösen a betegségek előrejelzésében van jelentősége. Mindez elősegíti a védekezés megszervezését és a betegség terjedésének megakadályozását.

Víz- vagy nedvesség indexek

A közép infravörös (SWIR) spektrum tartományban több ún. víz abszorpciós sáv látható. Ezek a tartományok a gyökérszóna talajnedvessége és a vegetáció állapota közötti összefüggések vizsgálatára használhatók. A víz és nedvesség indexek számításához a SWIR sávok mellett a látható vörös (Red) és a közeli infravörös (NIR) használható ennek az összefüggésnek a számszerűsítésére. A talaj nedvességtartalma hatással van a vegetációs víz állapotára, és így megváltoztatja a vegetáció spektrális jellemzőit. Az 1300-2500 nm-nél a víz abszorpciós sávok mutatják a legnagyobb érzékenységet a levélvíz koncentrációjára. Ez a tartomány nagyon érzékeny a felszínben lévő vízre, függetlenül attól, hogy talajról vagy növényzetről van szó (4. ábra). Az NDWI (normalizált különbség vízindex) az ilyen típusú vizsgálatok egyik népszerű mutatója. Segítségével meghatározhatók azok a területek,

ahol a vízellátásban eltérések vannak.

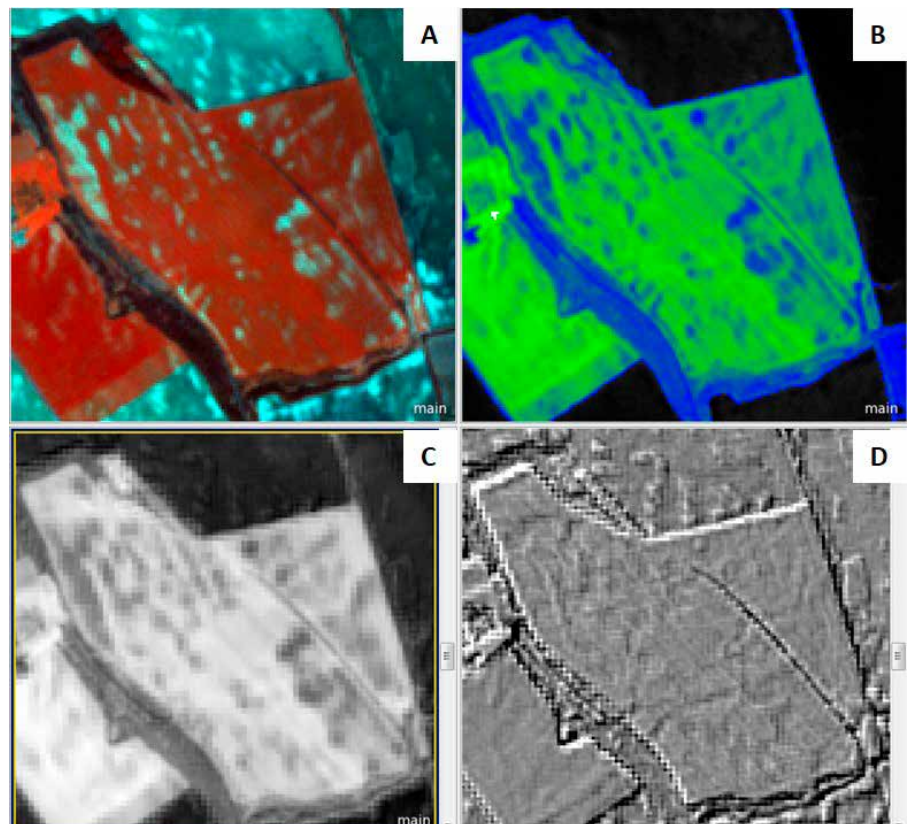
Az 5. ábrán látható, hogy az NDWI index térbeli variabilitása nagymértékben összhangban van az ún. normalizált vörös él (NDRE: Normalized Difference Red Edge Index) index-szel. Az NDRE index a közeli infravörös és vörös él sáv kombinációjából számítható. A vörös él egy átmenet a vörös és a közeli infravörös spektrumtartomány között. Az NDRE index a növényzet

egészségi állapotának térképezésére, valamint a nitrogénfelvétel jellemzésére alkalmas mérőszám. Tapasztalatok azt mutatják, hogy a növény későbbi növekedési fázisában több és megbízhatóbb információt biztosít az egészségi állapotról, mint az NDVI, amely a megnövekedett biomassza- és klorofilltartalom miatt telítődik, vagyis az NDVI érték túlzottan megnövekedik (valóságban heterogén tábla homogén területként jelenik meg).

A levél vízpoteenciáljának mérésére használható további indexek: SRWI (Simple Ratio Water Index) vagy WI (Water Index).

Összegzés

Az indexek gyakorlati felhasználásának lehetőségeit véletlenszerűen kiválasztott mezőgazdasági területeken végeztük. Az alábbi képek jól szemléltetik, hogy milyen összefüggések mutathatók ki az indexek segítségével egy búzatábla áprilisi felvételén (6. ábra). Az NDVI index (zöld: erősebb vegetáció, kék: gyengébb vegetáció) kiválóan alkalmas a táblán belüli problémák kimutatá-



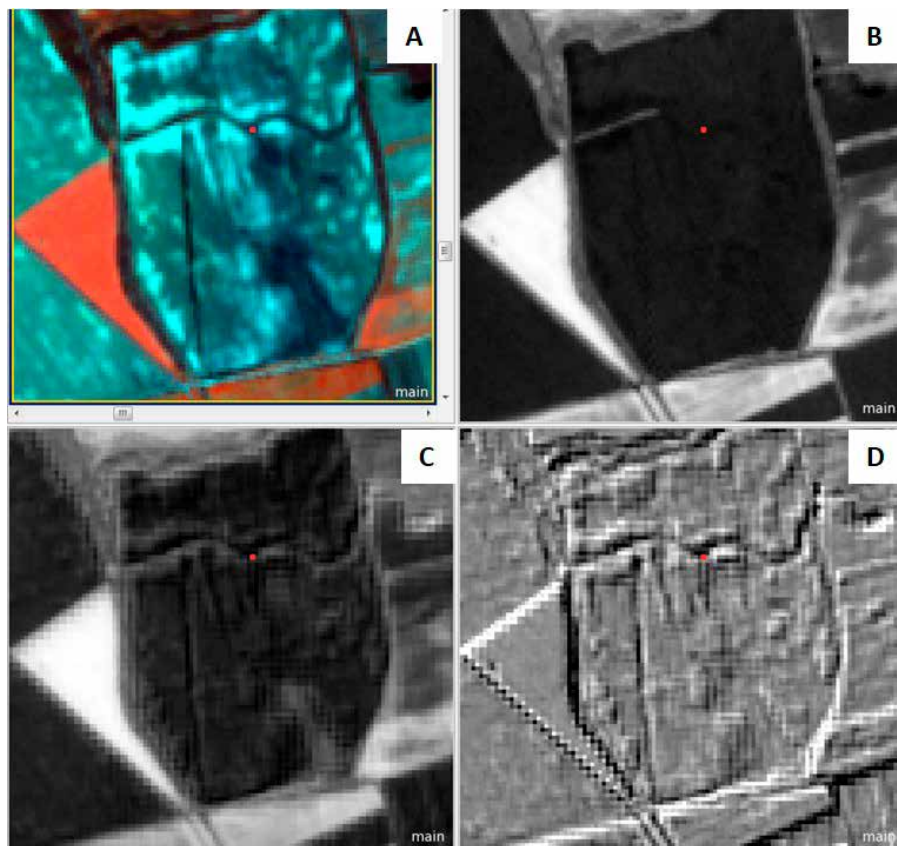
6. ábra A: Hamis színes felvétel (Sentinel 2), B: NDVI, C: NDWI, D: NDRE index képek



sára, térképezésére. Az index segítségével nem csak a növényhiány, de a vegetációminőségi problémák is kimutathatók. Az NDWI (víz index) érték képet elemezve (világosszürke árnyalat: magasabb víztartalom, sötétszürke: alacsonyabb víztartalom) megállapítható, hogy vegetációhiányos területekre alacsonyabb érték jellemző, vagyis a tábla azon részein, amely búzával kevésbé fedett, alacsonyabb a víztartalom is. Az NDRE index képen látható szürkességi árnyalatok szintén a táblán belüli eltérésekre utalnak.

A 7. ábrán arra láthatunk példát, amikor a vizsgált terület vegetációmentes. Ebben az esetben az NDVI index kevésbé alkalmas a terület variabilitásának kimutatására (közel homogénnek és feketének látszó tábla), ezzel szemben az NDWI (víz index) értékek változékonysága egyértelműen összefüggést mutat a talaj nedvességtartalmával (hamis színes felvételen sötét kék szín, az NDWI képen világos szürke). Az NDRE index - annak ellenére, hogy a területen nincs növény - szintén érzékeny a pixel értékeinek változására.

A 8. ábrán belvizes területet vizsgáltunk. A hamis színes felvételen sötét színnel jelenik meg a belvíz, amely az NDVI képen is látható (sötét szín, alacsony érték). Az NDWI (víz index) képen a belvizes területeket a legvilágosabb részek mutat-

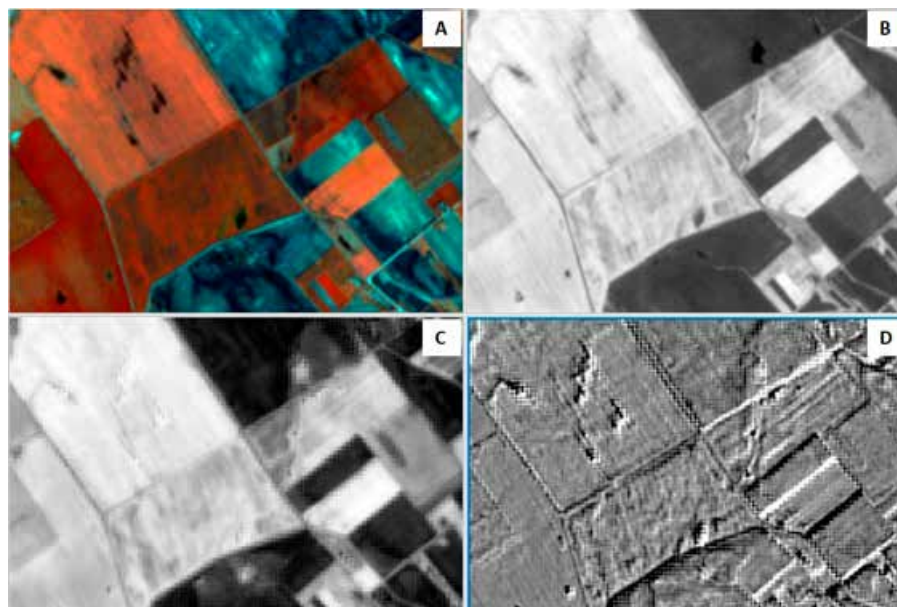


7. ábra A: Hamis színes felvétel (Sentinel 2), B: NDVI, C: NDWI, D: NDRE indexek

ják (legmagasabb érték), ugyanakkor az NDRE képen emelkedik ki legerőteljesebben a belvíz területe. Az alatta lévő táblán szintén jól látszik, hogy a vegetáció víztartalma magasabb, mint a vegetációhiányos területé.

Irodalom

- 📖 H. Feng, C. Chen, H. Dong, J. Wang, Q. Meng: Modified shortwave infrared perpendicular water stress index: a farmland water stress monitoring method. *J. Appl. Meteorol. Climatol.* 52 (9), 2024-2032 (2013)
- 📖 M. Sadeghi, S.B. Jones, W.D. Philpot: A linear physically-based model for remote sensing of soil moisture using short wave infrared bands. *Remote Sens. Environ.* 164, pp. 66-76 (2015)
- 📖 O. S. Ihuoma, Ch. A. Madramootoo: Recent advances in crop water stress detection. *Comp. Electron. Agric.*, 141, pp. 267-275 (2017)
- 📖 Vágó J.-Seres A. -Hegedűs A. (2011): Alkalmazott térinformatika. https://regi.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0033_SCORM_MFG-GT218/sco_02_02.htm
- 📖 Varga K. (2019): OE AMK, szakdolgozat
- 📖 Veróné Wojtaszek M. (2010): Fotointerpretáció és távérzékelés 1., A távérzékelés fizikai alapjai. https://regi.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0027_FO11/ch01s06.html <http://www.igik.edu.pl/pl/teledetekcja-monitorowanie-suszy-rolniczej>



8. ábra A: Hamis színes felvétel (Sentinel 2), B: NDVI, C: NDWI, D: NDRE indexek