

# A TALAJNEDVESSÉG KISZÁMÍTÁSA PASSZÍV TÁVÉRZÉKELÉSI ADATOK ALAPJÁN

*van Leeuwen Boudewijn – Szécsényi Ákos*

## 1. Bevezetés

A klímamodellek a Kárpát-medencére egyszerre jeleznek növekvő átlaghőmérsékleteket és csökkenő nyári csapadékmennyiséget, ami a régiót a jövőben az aszályok által veszélyeztetettebbé teszi. A talaj nedvességtartalmának csökkenése az aszály egyik fontos indikátora, ezért is nagy jelentőségű egy olyan módszer kidolgozása, ami regionális léptékben lehetővé teszi a paraméter dinamikus modellezését.

Jelen kutatás a műholdas alapú talajnedvesség becslést in situ terepi mérésekkel kombinálja. A MODIS műholdfelvételek látható és közeli infravörös sávjait felhasználva normalizált vegetációs index (NDVI) térképet készítettünk a mintaterületről, majd azt 10 kategóriába újraosztályoztuk. Ezekre a területekre ugyanazon időpontban készült MODIS felvétel hőtartományú infravörös csatornája alapján számított felszínhőmérséklet (LST – Land Surface Temperature) is rendelkezésünkre állt. Ezzel minden egyes osztályra hőmérsékleti statisztikát kaptunk, majd felszínhőmérséklet és a talajnedvesség értékek között lineáris kapcsolatot definiáltunk, feltételezve, hogy adott növényzeti osztály esetében a felszín hőmérséklete elsősorban a talaj nedvességtartalmától függ. Ennek eredményeképpen megkaptuk az adott időpontra vonatkozó talajnedvesség indexet (SMI – Soil Moisture Index).

A Dél-Alföldön és Vajdaságban 16 mérőállomásból álló hálózatot hoztunk létre. A mérőállomások talajnedvesség méréseit felhasználva regresszió analízissel kalibráltuk a műholdadatokból számított SMI értékeket.

Az SMI értékek folyamatos számításából a talajnedvesség változására vonatkozó trendek rajzolhatók ki, melyek segítségünkre lehetnek a jövőbeli aszályos periódusok előrejelzésében.

## 2. A talajnedvesség távérzékeléses mérési módszerei

Annak ellenére, hogy mennyire fontos a talajnedvesség a gyakorlat számára és hány különböző folyamatot befolyásol, nagyon nehéz dolgunk van, ha erről pontos adatokat szeretnénk gyűjteni, hiszen maga a mérési folyamat összetett, drága és csak kevés olyan állomás található, ami képes megfelelő adatot szolgáltatni (nincsenek állandó mérések). Nagy szükség van tehát egy olyan széleskörű, globális mérési programra, amely minden kérdésre választ ad. Kis mértékekben megfelelőek lennének a helyszínen végzett mérések, de ha nagyobb területet szeretnénk vizsgálni, akkor másféle módszereket kell alkalmaznunk. A műholdas mérési technikák fejlődésével a kutatók a távérzékelésre támaszkodnak, ha nagyobb mennyiségű adatot szeretnének nyerni, de a számítás menetére még mindig nincs egy egységes algoritmus, így sokféle próbálkozás és tanulmány látott már napvilágot a probléma megoldása érdekében (Mallick et al. 2009).



A talajnedvesség távérzékeléses mérési módszerein belül két fő irányt lehet megkülönböztetni. Az egyik a mikrohullámú műszeres méréseken alapszik, a másik, pedig a radiometrikus mérési technikával gyűjti az adatokat, infravörös sugárzást használva (Vicente-Serrano et al. 2004).

### 3. A mikrohullámú műszeres távérzékelés

Az elektromágneses spektrum mikrohullámú sávjában gyűjtött adatok jelentősége ugrásszerűen megnövekedett az 1980-as években. A mikrohullám hullámhossza a látható fény hullámhosszánál 2,5 milliószor nagyobb. A hullámhosszának tartománya 1mm-től 1m-ig terjed. A mikrohullámú energia áthatol a ködön, felhőkön, füstön és a földfelszín teljesen másként viselkedik a mikrohullámok visszaverődésekor és elnyelésekor, mint a látható fény tartományban. Ezek a tulajdonságok, pedig lehetővé teszik, hogy ezeket az elektromos hullámokat felhasználjuk a távérzékelésben (Mucsi 2004).

Ez a technika a talajfelszín 2-5, maximum 10 cm-es mélységében tud mérni és a talajok dielektromos értékeinek mérésén alapszik (ez a paraméter a különböző tárgyak reflektivitásával és vezetőképességével van összefüggésben). Nagy kontraszt van ugyanis a folyékony víz és a száraz talaj dielektromos értékei között, melyet ezzel a módszerrel lemérhetünk (Schmugge 1990).

A mikrohullámú mérési technikának azonban megvannak a hátrányai is. Az egyik az, hogy a kapott képek gyenge felbontásúak, így kisebb területeken nehezebb őket felhasználni. Ezen kívül még a vegetáció és a talaj egyenetlenségei is hátrányosan befolyásolhatják a mérések eredményeit (Patel et al. 2009, Wang et al. 2007).

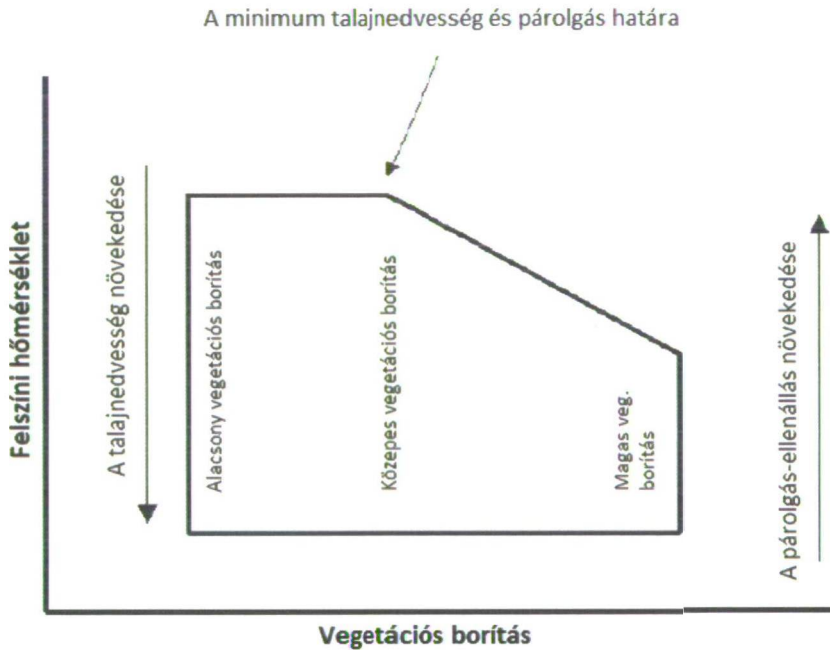
A legjelentősebb és legismertebb mérési technika ezen belül a radaros mérés. A radar egy aktív mikrohullámú szenzor, mely a saját energiaforrását használja a mérés során. Ez különösen jól kopár talajokon működik, a vegetáció negatívan befolyásolja a pontosságot (Mucsi, 2004).

### 4. A háromszög módszer

A fent felsorolt eredménytelenséget és pontatlanságot okozó hibák miatt több kutató (Patel et al. 2009, Wang et al. 2007) inkább az úgynevezett háromszög módszert választott annak érdekében, hogy meghatározza egy adott terület talajnedvesség értékeit.

Ez az eljárás radiometrikus mérési technikán alapszik és a látható, közeli infravörös (NDVI) és a termális infravörös sugárzást (LST) használja. Ezekből következtet a terület felszíni hőmérsékleti értékeire és vegetációs indexére, majd ezt használja fel annak érdekében, hogy kiszámítsa a talajnedvességet. A neve azért háromszög módszer, mert, amennyiben egy koordináta-rendszerben ábrázoljuk egy adott terület pixelértékeit ahol az x-tengely az NDVI-értékeket, míg az y-tengely a talajfelszín hőmérsékletét, az LST-t ábrázolja, akkor a térben kirajzolódik egy „felhő” ami alapján megállapítható egy nedves és egy száraz él (1. ábra). Ez a két él, pedig egy háromszöghöz hasonló alakzatot alkot (Mallick et al. 2009).





1. ábra. A felszíni hőmérséklet és a vegetációs borítás kapcsolatának ábrázolása (Serrano et al. 2004 alapján)

A háromszög átfogója reprezentálja a száraz élet, amely olyan pontokból épül fel, melyeknek alacsony a felszíni talajnedvessége, míg a háromszög alapja mutatja a nedves élet, ahol a pixeleknek maximális a talajnedvesség értéke. Látható, hogy amint a zöld vegetáció növekszik a x-tengely mentén, úgy csökken a maximális talajhőmérséklet. Azonban az elméleti és a mért adatok a valóságban mindig eltérnek egymástól, hiszen a száraz él zéró talajnedvességet és párolgást mutat, valamint egy maximális talajfelszín-hőmérsékletet. Nyilvánvaló, hogy nagyon ritkán fordul elő az, hogy egy területen ne legyen párolgás, illetve, hogy nulla legyen a talajnedvesség. Következésképpen, pedig a felszíni hőmérséklet is alacsonyabb lehet a feltételezettnél. Az LST-NDVI megközelítés akkor a legmegbízhatóbb, amikor mind a minimum, mind a maximum talajnedvesség érték megtalálható a vizsgált területen. A módszer sikerességének céljából szintén szükség van egy viszonylag heterogén területre, egységes atmoszférikus körülmények mellett (Mallick et al. 2009).

A háromszög módszerben azonban lehetnek olyan tényezők, melyek hátrányosan befolyásolják a mérések pontosságát. Ilyen például a mérőműszer látószögének figyelmen kívül hagyása, vagy az a tény, hogy amennyiben a vizsgált területen nem található meg minden fajta felszín-típus, akkor gyengébb eredményeket kaphatunk. Előfordulhatnak hibák a műholdas távérzékelés során, vagy a felhőborítás is ronthatja az eredményeket. Hiba forrása lehet a mélyebb rétegek hatása a felsőbb rétegekre, amelyekkel szintén nem tudunk számolni, valamint a felszín domborzati jellegéből adódó különbségek is befolyásolhatják méréseinket (Mallick et al. 2009).

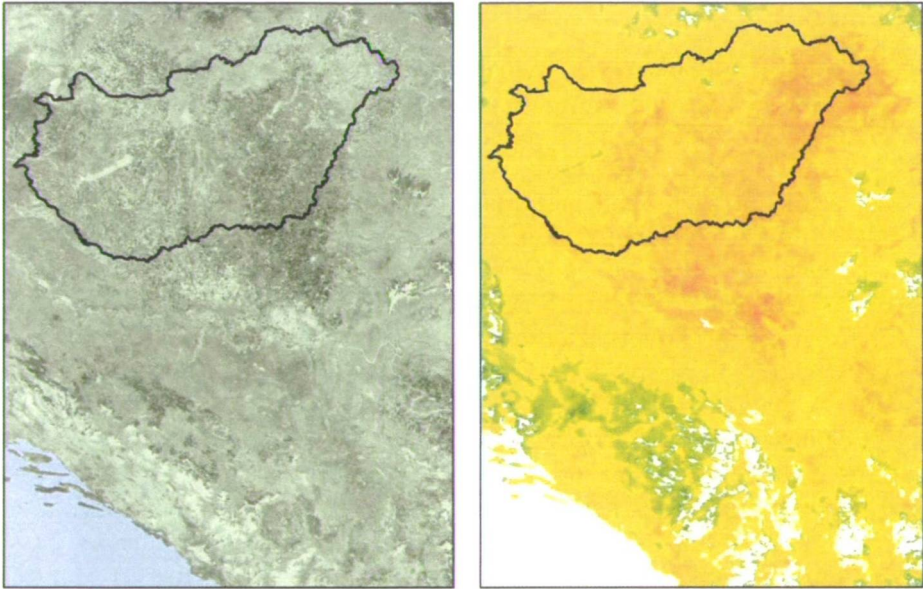
## 5. Adatforrások

Sok tudomány foglalkozik a földi vegetáció vizsgálatával nagyobb, globális méretekben. Az NDVI, azaz Normalized Difference Vegetation Index egy széles körben alkalmazott mutató, mellyel hiteles adatokat kaphatunk a különböző területek vegetációs borítottságáról. A kapott információktól a kutatók többek között azt várják, hogy jobban megértsék a Földet, mint egész rendszert. Ehhez viszont vizsgálnunk kell, hogy hogyan oszlik el a vegetáció típusok alapján, valamint, hogy ezeknek a típusoknak milyen biofizikai tulajdonságaik vannak. A távérzékelés lehetőséget ad arra, hogy vizsgáljuk a nagyobb változásokat a vegetációban, melyből következtethetünk többek között az emberi tevékenység okozta változások méretére vagy a klímaváltozás miatt kialakult eltérések nagyságára. A vegetáció hatással van az energiaegyensúlyra, a klímára, a hidrológiai és biogeokémiai körforgásokra, valamint felhasználható, mint indikátor a klimatikus változások és az emberi beavatkozások nagyságának mérésére. A vegetáció folyamatos mérésével továbbá következtethetünk mezőgazdasági aktivitásra, vizsgálhatjuk a föld felszínén keletkező elváltozásokat (vulkáni aktivitás), előrejelzéseket készíthetünk a szárazságról, vagy megjósolhatjuk egy éhínséges időszak eljövetelét (Huete et al. 1999).

Az LST, azaz a Land Surface Temperature egy kulcsparamétere a talaj felszínén lejátszódó folyamatoknak regionális és globális szinten egyaránt. Az LST adatokat a felszíni energiaegyensúly és az üvegházhatás indikátorának is tartják emiatt. Segítségével tanulmányozhatóak többek között a földfelszín és az atmoszféra között lejátszódó folyamatok, így felhasználják több klímakutatásról vagy hidrológia, ökológiai, biogeokémiai vizsgálatról szóló tanulmányban is (Wang 1999).

Kutatásunk során a MODIS MOD11A1 és a MOD13Q1 ingyenes termékeket használtuk, melyeket az USGS Earth Explorer honlapjáról töltöttük le (2. ábra). Az első adatforrásból (MOD11A1) egy adott terület LST értékeit tudhatjuk meg, a 31. és 32. spektrális sávban. Ezek térbeli felbontása 1000 m-es. A kapott adat tartalmazza többek között az LST réteget és egy minőségi adatot, mely arra alkalmas, hogy segítségével a pontatlan vagy hibás adatokat kiszűrjük. A második adatforrásból az NDVI értékeket kaptuk meg. Ez egy kompozit adat, amit 16 napos intervallumok napi maximum NDVI értékeiből számolnak ki. Így a 16 napos periódus valamely napjáról nagy valószínűséggel a terület minden pixelére rendelkezésünkre áll egy használható NDVI érték, akkor is, ha közben előfordultak felhős időszakok. Kutatásunkban nem jelent problémát, ha nem minden napról van mért NDVI adatunk, hiszen egy területen az NDVI értéke nem változik olyan gyorsan, mint a hőmérséklet vagy egyéb paraméterek. Az MOD13 termék tartalmaz a 16 naponta mért NDVI értékeken kívül egy minőségi réteget, mellyel kiválogathatjuk, hogy melyik pixelek nem alkalmasak arra, hogy felhasználjuk őket. Ennek az adatforrásnak a térbeli felbontása 250 m-es. (Wang 1999, Huete et al. 1999).



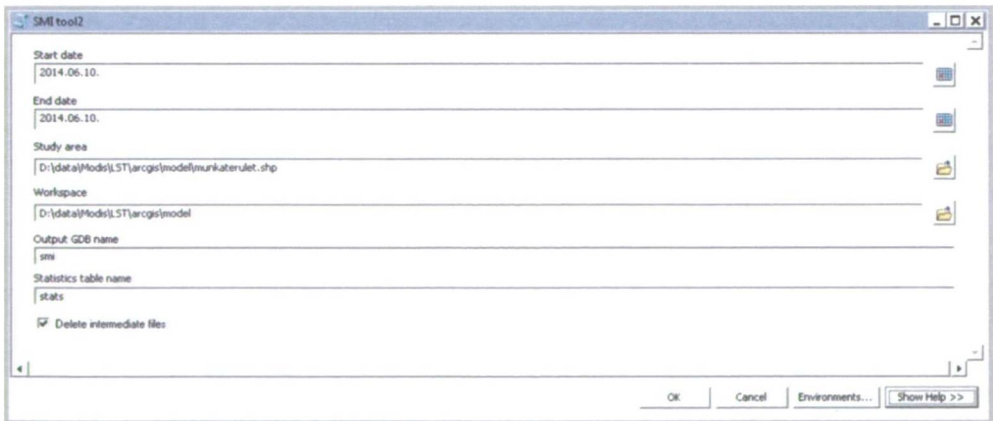


2. ábra. Egy MODIS vegetációs index kép (bal) és egy talajhőmérsékletet ábrázoló kép (jobb)

## 6. Munkafolyamat

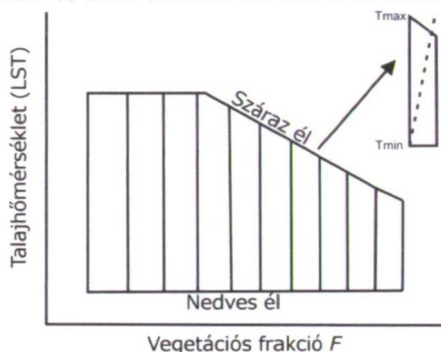
A munkafolyamat 4 fő lépésből áll: (1) az adatok letöltése, (2) az NDVI adat feldolgozása, (3) a talajhőmérséklet adat feldolgozása, (4) az LST-NDVI háromszög létrehozása és (5) az SMI térkép számítása.

(1) Az első lépésben, egy saját fejlesztésű ArcGIS eszköz felhasználásával - melyben inputként meg kell adnunk a kezdő és végső dátumokat, illetve a térbeli kiterjedést - letöltjük a MOD11A1 és MOD13Q1 adatokat az USGS Earth Explorer adatbázisból. Az eszköz egy Python skriptet futtat, mely automatikusan kiválasztja és letölti a megfelelő LST adatokat és ezekhez kapcsolódó NDVI fájlokat (3. ábra).



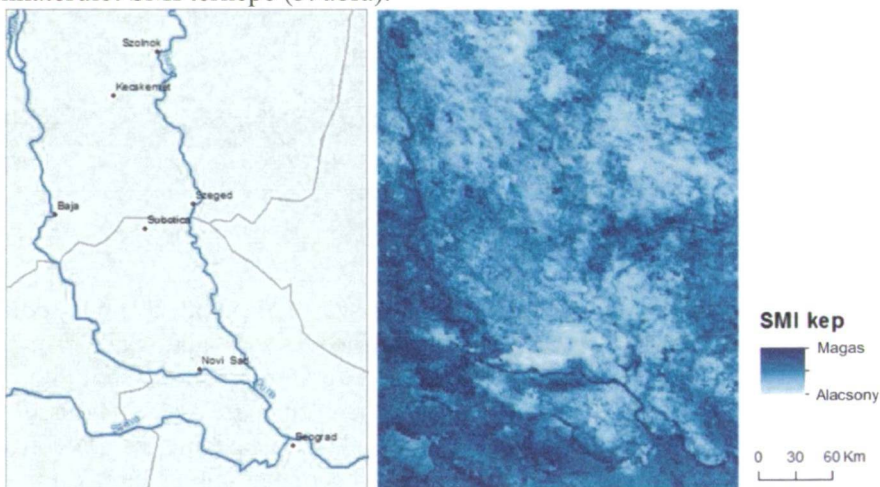
3. ábra. Az SMI számításhoz szükséges adatok letöltése ArcGIS eszközzel

- (2) A NDVI adat feldolgozásának kezdő lépésében egy maszkot hozunk létre a MOD13 minőségi réteg alapján. Így kivonjuk a megfelelő minőségű adatot az eredeti adatbázisból. Az eredmény adatokból létrehozunk egy térbeli részadathalmazt, amit úgy kalibrálunk, hogy -1-től 1-ig terjedő adatintervallumot kapjunk. Végül ezeket az értékeket normalizáljuk és így kiszámoljuk az úgy nevezett  $F$  vegetációs frakciót.
- (3) A talajhőmérséklet adatot is kimaszkoljuk a minőségű réteg alapján, majd a kivont adatból kivágunk és kalibrálunk egy részadathalmazt. Az következő lépésben átmintázzuk az 1000 méteres LST adatot, hogy térbeli felbontása igazodjon a vegetáció adat 250 méteres felbontásához.
- (4) A vegetáció frakció adathalmazt 10 egyforma szélességű osztályba soroljuk. A talaj hőmérséklet réteg alapján minden vegetáció osztályba tartozó pixelhalmazhoz meghatározzuk a minimum és maximum LST értékeket. Ezután minden osztályon belül kiszámítjuk az LST és SMI értékek közötti a lineáris kapcsolatot (4. ábra).



4. ábra. az LST és SMI értékek közötti a lineáris kapcsolat

- (5) A lineáris kapcsolat alapján a 10 vegetáció osztály minden pixelének kiszámoljuk a talajnedvesség index (SMI) értékét. A 10 külön SMI térképből összeáll a teljes munkaterület SMI térképe (5. ábra).



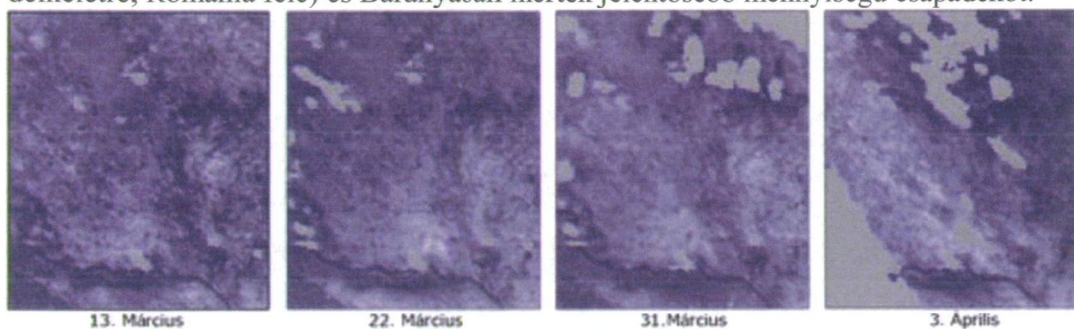
5. ábra. SMI eredménytérkép



## 7. Eredmények

Az eredmény SMI térképek 1 x 1 km felbontásban relatív skálán (0-1 értékek) adják meg a talaj nedvességtartalmát, ahol 0 a legalacsonyabb, míg 1 a legmagasabb talajnedvességet jelöli. Ezek a térképek tehát a mintaterület talajnedvességének relatív eltéréseit mutatják be. A lenti példán a folyók vonalas futása, a szárazabb homoktalajok és az erdős területek jól kirajzolódnak. A kimeneti adatokon gyakran látható "lyukakat" a felhőborítás - vagy a jó minőségű adatgyűjtést akadályozó egyéb probléma - következtében jelentkező termális adathiány okozza.

Az elkészült képeken jól látszanak a talajnedvességbeli különbségek (5. és 6. ábra). Észrevehető, hogy a folyók (különösen a Duna mentén) igen nagy SMI értékeket kaptunk. Ezen kívül még az átlagtól magasabb értékeket tapasztalhatunk Bajától nyugatra, a hármas határnál, valamint a horvát területeken. Feltűnően alacsony értékek vannak Újvidéktől észak-északnyugatra, a szerb-román határ mentén, valamint Magyarországon Békés-megye és Kecskemét-Szolnok környékén. A kapott eredmények helyességének leellenőrzésére érdemes egy pillantást vetni a területen február 27-től március 6-ig lezajló időjárási eseményekre. Ezen belül különösen a csapadékmennyiség ismerete fontos. Ebben az időszakban a vizsgált területen változó időjárás volt tapasztalható. Február 28-án voltak kisebb esőzések az ország közepén, illetve Baranyában, Bajától keletre. Március elsején viszonylag sok csapadék esett a Duna-Tisza közén, valamint ismételt Baranyában. Az ezt követő három napban kevés csapadék esett, azonban Baranya és Szeged környékén ismét mértek pár milliméter esőt. A következő csapadékosabb nap március 6-a. Ekkor ismét Szeged környékén (a várostól délkeletre, Románia felé) és Baranyában mértek jelentősebb mennyiségű csapadékot.

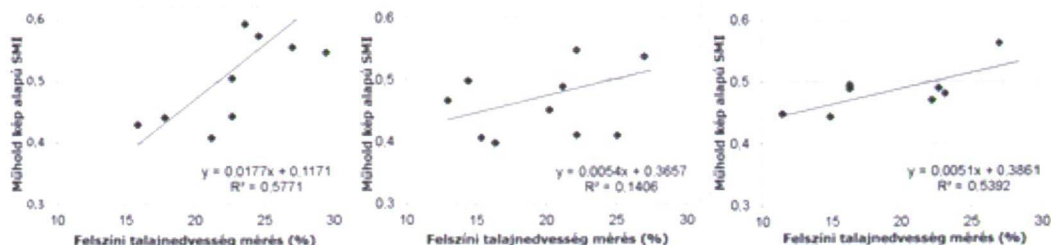


6. ábra. SMI eredmény idősor

## 8. Validáció

Az SMI térképek értékeléséhez azokat össze kell vetni a mintaterületről, a felvételezéssel egyidőben gyűjtött terepi talajnedvesség adatokkal. Az újvidéki partnerünkkel, a Dél-Alföldön és a Vajdaságban, egy 16 mérőállomásból álló hálózatot hoztunk létre. A mérőállomások talajnedvesség méréseit regresszió analízissel vetettük össze a műholdadatokból számított SMI értékekkel. A két adathalmaz között azonban sajnos csak gyenge korrelációs kapcsolatot sikerült kimutatnunk (7. ábra). Ennek oka a méretarányban mutatkozó nagy eltérés, a talajnedvesség mérések mélysége és azok

időbeli eltérése, illetve az a tény, hogy a mérőállomások nem jól reprezentálják tágabb környezetüket. Az értékelés pontosításához további elemzésekre van szükség.



7. ábra. A validáció eredményei

## 9. Következtetések

Ez idáig sajnos csak gyenge korrelációt sikerült találni a műholdas adatokból származtatott és a terepi talajnedvesség értékek között. Amíg erre megoldást nem találunk, a terepi mérések nem használhatók az SMI térképek kalibrációjához, így azokból abszolút talajnedvesség értékek nem számíthatók. Lehetőség van azonban a fenti módszerrel a talajnedvesség relatív változásának folyamatos monitorozására. Az abszolút talajnedvesség idősorok fontos szerepet játszhatnak a jövőbeli aszályos periódusok előrejelzésében.

## Irodalom

- Huete A., Justice C., van Leeuwen W. (1999): MODIS vegetation index (MOD 13) algorithm theoretical basic document 1-6
- Mallick K., Bhattacharya B.K., Patel N.K. (2009): Estimating volumetric surface moisture content for cropped soils using a soil wetness index based on surface temperature and NDVI. *Agricultural and Forest Meteorology*, 149, 8, 1327 - 1342.
- Mucsi L. (2004): Műholdas távérzékelés, Libellus Kiadó, Szeged, 136-142.
- Patel N.R., Anapashsha R., Kumar S., Saha S.K., Dadhwal V.K. (2009): Assessing potential of MODIS derived temperature/vegetation condition index (TVDI) to infer soil moisture status. *Int. J. of Remote Sensing*, 30, 1, 23 - 39.
- Schmugge T. (1990): Measurements of surface soil moisture and temperature, In: Hobbs, R.J. and Mooney, H.A.(Eds.), *Remote Sensing of Biosphere Functioning*, Springer-Verlag, New York.
- Vicente-Serrano S.M., Pons-Fernandez X., Cuadrat-Prats J.M.(2004): Mapping soil moisture in the central Ebro river valley (northeast Spain) with Landsat and NOAA satellite imagery: a comparison with meteorological data. *Int. J. of Remote Sensing*, 25, 20, 4325-4350.
- Wang Z. (1999): MODIS Land Surface Temperature Algorithm Theoretical Basis Document (LST ATBD) 2-6.