Válasz Szabó Szilárd bírálatára

A bírált MTA doktori disszertáció:
Optikai és mikrohullámú földmegfigyelési adatok integrációja és agrohidrológiai értékelése

Szerző:
Vekerdy Zoltán

2022. április

Köszönöm Professzor Dr. Szabó Szilárdnak a mélyreható és részletes bírálatot. Az alábbiakban, követve bírálatának szerkezetét, igyekszem legjobb tudásom szerint reagálni észrevételeire és megválaszolni kérdéseit.

A Bíráló által csoportosított témakörök szerint haladva, azok címeit megtartva, először az általános észrevételekre reagálok, majd kérdéseit/megjegyzéseit szó szerint idézve adom meg rájuk válaszaimat és reakcióimat.

A dolgozat felépítése, stílusa, arányai és eredetisége

Köszönöm Bíráló támogató értékelését.

Disszertációm szerkezete nem hagyományos, ami a témaválasztás következménye: dolgozatomban egy multidiszciplináris szakterület (műholdas agrohidrológia) integrációra törekvő megközelítését mutatom be két példán keresztül. A szerteágazó szakterületek „összefésülése" nem kis veszélyt is rejt magában: nehéz pontosan eltalálni az alapok arányait. Ezért igyekeztem azokra a részletekre korlátozni a tudományos háttér ismertetését, amelyeket a munkám megértéséhez feltétlenül szükségesek, míg a további részletekhez kapcsolódóan szakirodalmi forrásokra hivatkoztam.

A magyar szaknyelv a tudomány fejlődésével bővül, változik. Örömmel tölt el, hogy Bíráló is támogatóan értékelte az új szakkifejezések magyar megfelelőinek megtalálásáért folytatott erőfeszítéseimet. Tudom, hogy az eredmény nem tökéletes, de remélem, hogy hozzájárul szaknyelvünk életben tartásához, talán még fejlesztéséhez is.

A disszertáció 14. oldalán szereplő mondatban „*További bizonytalanságot okoz, hogy a felszín definíciója sokszor, például növényborítás esetén, nem egyértelmű.*" a „*felszín definíciója*" kifejezés tényleg pontatlan. A következő mondat pontosabb: „*További bizonytalanságot okoz, hogy az energiaátadás felülete sokszor, például növényborítás esetén, nem határozható meg egyértelműen.*"

Bíráló vörös éllel kapcsolatos megjegyzése helytálló, azaz hogy a Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) nem pontosan jelzi a vörös élt. Az NDVI egy általánosan megfogalmazott arányszám, aminek pontos értéke a számításba bevont űrfelvétel sávjainak tulajdonságaitól (sávok hullámhossz-tartománya, az érzékelő spektrális válaszfüggvénye) is függ. A Normalized Difference Red Edge index (NDRE) egy általánosságban nem könnyen használható index, mivel a vörös él hullámhosszán (715 nm körül) mért reflektancia értéket tartalmazza, ami azonban nem minden űrfelvétel esetén, csak nagy spektrális felbontású, hiperspektrális szenzorok felvételei esetén állhat rendelkezésre. Emiatt az NDVI az NDRE gyakorlatban általánosabban alkalmazható közelítésének tekinthető.

A lidaros mélységméréssel kapcsolatos információt köszönöm.

Az illusztrációk aláírásaival kapcsolatos, Bíráló által említett szabállyal alapjaiban igen, de részleteiben nem tudok teljesen egyetérteni, de ennek megvitatása túlmutat a disszertációm keretein.

Az eredmények újszerűsége és tartalmi értékelése

Vízstressz és párolgás SEBS modell alapú monitorozása

Bíráló 1. kérdése/megjegyzése: *Mennyiben fogadható el a mért relatív páratartalomból aktuális páranyomást számolni egy hatodfokú polinom függvénnyel (37. oldal)? A kérdésem oka az, hogy a hivatkozott módszert 1992-ben publikálták (ettől még persze lehet, hogy nincs újabb és jobb), de a hatodfokú polinomnál felmerülhet a túlillesztés kérdése, illetve a mért pontokon túl a reziduális hibák túlságosan megnőhetnek.*

Válaszom: A Bowen állomáson relatív páratartalmat mértünk, amiből az aktuális páranyomás számításához szükség van a telítési páranyomás értékére. Mivel ennek függése a hőmérséklettől erősen nem lineáris a meteorológiai szakirodalomban számos magas fokszámú poligonon alapuló közelítő számítást publikáltak. Mi a számításainkat Flatau, Walko, & Cotton (1992) hatodfokú polinomjával végeztük. Túlillesztési probléma a gyakorlatban előforduló hőmérsékleti tartományban (pl. -50 – +100 °C) nem fordul elő, mert a függvény folytonos és monoton növekvő.

Bíráló megjegyzésével egyetértek: a magas fokszámú poligon illesztése ismeretlen monotonitású függvényekre (pl. feszínközeli léghőmérséklet térbeli változása) túlillesztési illetve extrapolációs veszélyt hordoz magában, emiatt tanítványaimat mindig eltanácsolom ilyen polinomok interpolációra vagy illesztőpontos képtranszformációra való alkalmazásától.

Bíráló 2. kérdése/megjegyzése: *A TRMM és a terület csapadékmérő állomások adatainak korrelációját csak ismerteti a Szerző, de érdekes lett volna a részleteket is megmutatni (44. oldal). Lehet tudni a többváltozós regresszió RMS-hibáját és az R2 értékét? Illetve arról is írt, hogy az adatok az összegzési időlépcső növelésével egyre jobban korrelálnak: ez mit jelentett a gyakorlatban?*

Válaszom: A TRMM és a csapadékmérő állomások adatainak összevetését részletesebben publikáltuk a Journal of Hydrometeorology (Q1) szaklapban (Gokmen, Vekerdy, Lubczynski, et al., 2013). A hó-víz egyenérték és a magasság és a havas napok száma közti összefüggés determinációs együtthatója R^2=0,68 volt.

Az egyes csapadékmérő állomások és a TRMM csapadékadatok determinációs együtthatója a nyári félévben R^2=0,39, míg a téli félévben R^2=0,58 volt a vizsgált időszakban. A különbség az egyes időszakokban jellemzően előforduló csapadékfajták különbségében keresendő: Tesztterületünkön, a Konya-medencében télen jellemzően nagyobb térbeli és időbeli autokorrelációjú frontális, míg nyáron a sokkal lokálisabb, kis térbeli és időbeli autokorrelációjú konvektív csapadékok fordulnak elő. Így télen nagyobb a valószínűsége, hogy a pontszerű csapadékmérő állomás és a 25 km-es térbeli felbontású, területileg átlagolt TRMM adat statisztikailag jobban összefügg, mint nyáron.

Az összegzési időlépcső növelésével a hibák kiegyenlítődnek.

Bíráló 3. kérdése/megjegyzése: *A talajvízkutak vízszintcsökkenésénél fő okként az öntözést említi. A kérdésem az, hogy az akár 20 m-t (?!) is meghaladó csökkenés oka mi volt? Az öntözött mezőgazdasági terület nőtt meg, ami ennyire megnövelte a kitermelést?*

Válaszom: A kérdés pontos megválaszolása további kutatásokat igényelne, hisz az időtényezőt (mikor mekkora területet öntöztek, és mennyi volt ekkor ezeken a párolgási többlet) nagyobb részletességgel és hosszabb időszakra kéne figyelembe venni. Kutatásunk eddigi eredményeiből azt feltételezzük, hogy a felszínalatti vízszintek csökkenésének oka az utóbbi tíz évben nem feltétlenül az öntözött terület növekedése (az valószínűleg korábban történt), hanem a fúrt kutak számának, és ezáltal az egységnyi területre kiöntözött víz mennyiségének a növekedése volt. Az általunk vizsgált időszakban az űrfelvételek nem mutattak jelentős növekedést az öntözött területekben.

Bíráló 4. kérdése/megjegyzése: *Az éves és ötéves vízmérlegek esetében úgy fogalmaz, hogy a hosszabb idő átlagából számított vízmérleg kisebb hibával terhelt (49. oldal). Ezzel teljesen egyetértek, mivel a hosszabb idő feltehetően nagyobb varianciát is eredményezett, ami a modell számára jobb input adat volt, mint az évenkénti, esetlegesen kis varianciájú adatok esetében. A „hosszabb idő átlagából" számolva is igaz, hogy átlagolt adatok alkalmazása során a modellek illeszkedése jobb, mint az összes „nyers" adat esetén. Ez pontosan melyik megoldás volt (5 év együttes vizsgálata vagy átlagok alkalmazása)? A szövegben csak rövid utalást találtam erre vonatkozóan.*

Válaszom: Az öt év idősorát egyben vizsgáltuk, nem alkalmaztunk időszakonkénti átlagokat. A kisebb hibához a különböző hidrológiai folyamatok eltérő sebességéből származó térbeli és időbeli vízkészletváltozás-különbségek (hidrológiai emlékezet) hosszabb idő alatt történő kiegyenlítődése vezet.

Bíráló 5. kérdése/megjegyzése: *A 3-12. ábra esetében jó lett volna látni a területhasználatot a térképen is, főleg a változást. A trend milyen módszerrel lett meghatározva és miért $p<0.1$ volt az alkalmazott szignifikancia határ? A trend a vizsgált 5 évre vonatkozik? Elegendő hosszúságú adat ez (azzal együtt, hogy értem, hogy erre terjedt ki a vizsgálat)?*

Válaszom: A felszínborítottsági térkép a 3-9. ábrán látható. Ez is hasznos összehasonlítást tenne lehetővé valóban, ha a 3-12-es ábra mellett szerepelne. Sajnos területhasználati térkép nem áll rendelkezésre.

A vizsgált időszak tíz évet ölelt át (2000–2010, hidrológiai években). Ez klimatológiai értelemben nem elegendően hosszú (legalább 30 évet kellene figyelembe venni), de ennyi adat állt rendelkezésre (a Terra műholdat 2000-ben bocsájtották fel). A szignifikancia határt emiatt a szokásos $p<0{,}05$ helyett $p<0{,}1$-ben határoztuk meg (Gokmen, Vekerdy, Verhoef, et al., 2013).

Bíráló 6. kérdése/megjegyzése: *További kérdésem, részben a területhasználathoz kapcsolódva a domborzat kérdése/megjegyzése: akár a felszínborítás/területhasználat, akár a párolgás és egyéb meteorológiai tényezők (csapadék, szél, hőmérséklet) függ a magassági viszonyoktól, ez igaz még a kis relatív magasságkülönbségű Magyarországra is. A dolgozatban a domborzat csak a meteorológiai adatok interpolációja kapcsán kerül elő (SRTM modell). Azt értem, hogy az alkalmazott modell nem igényli a felszínmagasságot, de ez elemzésnél lehetséges, hogy jó magyarázó változó lehetett volna akár a derivátumaival együtt (pl. kitettség, lejtőmeredekség), mivel a relatív különbségek meghaladják az 1000 m-t is, és a becslés nincs leszűkítve a mezőgazdasági területekre.*

Válaszom: A 3-12. ábrán bemutatott trendek a párolgásra vonatkoznak. A párolgás felszíni energiamérlegen alapuló számításához a SEBS-SM determinisztikusan figyelembe veszi egy DEM alapján a magasságviszonyokat.

Bíráló 7. kérdése/megjegyzése: *Mennyiben látja megoldhatónak, hogy más területre is működhessen a modell? Másként fogalmazva: speciális adatigényű modellről van szó, speciális szaktudást igényel, ugyanakkor láthatóan jól működik és az eredmény hasznos lehet. Hol lát esélyt arra, hogy mások is alkalmazzák? Ennek mi lehet az az anyagi és gyakorlati előkészítési háttere? Mit gondol arról, hogy a modell jól működhet-e olyan területen (nemzetközi vagy hazai viszonylatban), ahol nem belső lefolyású a terület.*

Válaszom: Két részre kell bontanom a választ:

- A SEBS-SM paraméterezése nem teljesen területfüggetlen. Az SF transzformációs függvény paraméterezése hely- és felszínborítás-függő, bár a modell érzékenységét a különböző valós paraméterezésekre még részletesen meg kell vizsgálni.
  Az egyforrású felszíni energiamérleg modellek, beleértve a SEBS-SM-et is, helyfüggetlen paraméterezése általában problémás. Ez a párolgással szembeni ellenállások komplexitásából, és azok egy hipotetikus referenciaszintre való vonatkoztatásából ered. Ezt a problémakört tárgyalja a disszertáció 3.5 alfejezete és illusztrálja az F4 függelék.

- A felszíni párolgás (evapotranszspiráció) területi eloszlásának figyelembevétele a regionális vízmérlegszámításhoz egy általánosságban használható módszer. Más szerzők is alkalmazták különböző részmegoldásokkal (pl. Karimi, Bastiaanssen, Molden, et al., 2013; Hunink, Simons, Suárez-Almiñana, et al., 2019). Alkalmazhatóságát a rendelkezésre álló adatok befolyásolják. Lefolyástalan (belső lefolyású) medencében egyszerűbb a „vízelszámolás" (water accounting), míg a lefolyásos (rész)vízgyűjtőkön a lefolyásról rendelkezésre álló adatok függvényében komplikáltabb/bizonytalanabb lehet.

Bíráló 8. kérdése/megjegyzése: *A mérési adatok ismertetésénél kimaradtak az EC-tornyok, a kutatásban való szerepükről csak az eredmények alfejezetében esik szó.*

Válaszom: A Naivasha-tó medencéjében végzett kutatásainkból a felszínhőmérsékleti adatok leskálázását mutattam be. A SEBS lépéseinek sorában ez egy adatelőkészítő részfeladat, és tárgyam szempontjából nem volt szükség az egész kutatás részletezésére, így csak a leskálázásra koncentráltam. Többek között, kimaradt az EC toronyból végzett mérések disszertációm szempontjából kevésbé fontos adatainak részletes ismertetése. Részletesebb információkat a teljes kutatásról két diákom interneten hozzáférhető szakdolgozatai (Njuki, 2016; Kyalo, 2017) tartalmaznak.

Bíráló 9. kérdése/megjegyzése: *A Sentinel-2A-t 2015 június 23-án bocsátották pályára, a szöveg szerint a MODIS-Sentinel leskálázást 2015-re vonatkozóan végezték. Ezt érdemes lenne pontosítani. A 3-14. ábra 10 m felbontású része Sentinel adat (vö. 2015. január-március)?*

Válaszom: Teljesen jogos észrevétel. A disszertációban sajnos rosszul adtam meg az évet: a Sentinel-2 alapú leskálázást valójában 2016-os felvételek felhasználásával végeztük.

Bíráló 10. kérdése/megjegyzése: *3.5.2 fejezet érdekes kitekintés, de jelen formában csak szakirodalmi kiegészítés. A kérdésem az, hogy a Szerző is végzett ehhez kapcsolódó munkát?*

Válaszom: Igen, a teljesség kedvéért ez a fejezet áttekinti a szakirodalom alapján, hogy a mi kutatásaink eredményei milyen tudományos környezetben értelmezendők. Egyúttal azt is bemutatja, hogy az egyforrású felszíni energiamérlegen alapuló párolgásmodellek pontatlansági és paraméterezési problémáit milyen különböző módszerekkel lehet megközelíteni.

A közelmúltban én nem az észlelési modell fejlesztésén, hanem a párolgásmonitorozás eredményeinek vizes élőhelyek integrált modellezésében való alkalmazásain dolgoztam.

Belvízmegfigyelés és modellezés

Bíráló 11. kérdése/megjegyzése: *A belvízelöntések gyakorisága és mértéke valóban egyedi Magyarországon, ugyanakkor nem csak nálunk fordul elő (vö. pluvial ponding).*

Válaszom: Két országot ismerek ebből a szempontból alaposabban: Hazánkat és Hollandiát. Ez utóbbiban is jelentős belvízelöntések keletkeznek, de való igaz, tartósságuk nem vethető teljesen össze a magyarországi belvizekkel. Az azonosságok és különbségek elemzése meghaladná a jelen válaszom kereteit. Felületesebb ismereteim vannak belvizes jelenségekről még Indiából, Argentínából és Indonéziából is.

Érdemes megjegyezni azonban, hogy az angol szaknyelvben többféle kifejezést is használnak a belvízre: excess water ponding, ponding, pluvial flooding, stb. Ez a bizonytalanság is mutatja, hogy a belvíz kevésbé centrális probléma a legtöbb országban.

Bíráló 12. kérdése/megjegyzése: *A 4-2. ábra áradásnak tűnik, nem belvízborításnak, de a megjelenített kategóriákkal egyetértek, hasonlóan nézhet ki belvíz esetén is.*

Válaszom: Elgondolkoztató észrevétel. A földeken megjelenő belvízfoltok kialakulásának módjait alapjában véve két csoportra oszthatjuk: felszíni eredetű és felszínalatti vizekből származó belvizek. A felszíni eredetűek kisebb-nagyobb környezetről (vízgyűjtőről) származó csapadék vagy olvadékvizek összefolyásából alakulnak ki. A 4-2. ábra egy tipikus „tyúk vagy a tojás" probléma: azt kellene eldönteni, hogy a kép előterében látható folyó (holtág?) az elöntés forrása, vagy azért olyan magas benne a vízállás, mert a környékről nem tudja elvezetni a felesleges vizet...

A következő képaláírás pontosabban adja meg az ábra tartalmát:

...Mezőgazdasági táblákon kialakuló elöntések megjelenési formái. Egybefüggő vízborítás (A), részleges elöntésű fedetlen táblák (B) és részleges elöntésű lágyszárú növényzettel borított táblák (C)...

Bíráló 13. kérdése/megjegyzése: *A DJI Phantom 4 UAS-sel készült felmérés során mennyi volt horizontális pontosság, illetve hogyan validálták a vertikális pontosságot? RTK drónt használtak, vagy RTK GPS-szel bemért GCP-ket, vagy csak a drón nem RTK GPS-ét? Saját tapasztalatunk az, hogy a drón nem RTK saját GPS-ének használata a DSM készítésénél nagy hibákat eredményez, beleértve a torzított domborzatot, főleg a felmért terület határán.*

Válaszom: Mivel kötőpontok nélkül mértünk, RTK sem állt rendelkezésünkre, az abszolút átlaghibát nem ismerjük pontosan. GPS-es mérési tapasztalataink alapján 1–3 m körüli vertikális hibát feltételezünk. A két szomszédos raszterpont közötti relatív vertikális hiba ennél egy-két nagyságrenddel kisebb: a mozaik közepén cm-es nagyságrendű lehet. A szélek felé ez növekszik, ami a 4-22. ábrán is erősen valószínűsíthető. A relatív hiba nagyságrendje, valamint a belvízfolt elhelyezkedése lehetővé tette, hogy az elöntés köbtartalmát a kívánt pontossággal meg tudjuk határozni.

Bíráló 14. kérdése/megjegyzése: *Mennyiben látja a HYDRUS modell eredményét általánosíthatónak? A vizsgálat tudományos alaposságú, eredménye fontos, de felmerül a kérdés, hogy hol lehet felhasználni ezeket az eredményeket, következtetéseket.*

Válaszom: A HYDRUS modellezés a függőleges mentén vizsgálta a víz mozgását. A modellezés megadta az adott területen a beszivárgás sebességét, és bizonyította,

hogy a horizontális folyamatok igen fontosak a belvízkialakulásban. Megközelítésünk lényege, hogy a helyi folyamatok szimulációjából kiindulva igyekszünk a nagyobb területeken lezajló belvízösszegyülekezést befolyásoló tényezőket azonosítani, majd a távérzékelési adatok alapján a területi kiterjesztést megoldani.

Eredményeinket semmiképp sem tekintem véglegesen kiforrottnak. Szükség lenne a belvizes területek jellemző talajszelvényeinek szisztematikus, hasonló módszerekkel történő modellezésére. Az így előálló adatokat többféle módon lehet hasznosítani, például:

- Regionális determinisztikus elöntésmodellek paraméterezéséhez.
- Többváltozós keresési táblázatok (lookup tables) összeállításához belvizi elöntések előrejelzéséhez. A legfontosabb független változók: talajtani adatok, meteorológiai adatok, DEM, távérzékelési adatok alapján meghatározott paraméterek: növényzeti indexek, talajnedvesség, elöntés.
- Neurális hálózatokon alapuló előrejelző algoritmusok tanításához.

A kutatás továbblépési lehetőségeinek ismertetését én nagyon fontosnak tartom. Szerintem nincs olyan eredmény, ami után ne lehetne újabb célokat kitűzni, és ezt mindenképp a bemutatott kutatás tapasztalataira kell építeni. Az 5. fejezet ezt célozza. Hogy az öt oldal túl hosszú-e, nem tudom pártatlanul eldönteni. „*Eddigi tapasztalataink szerint – hiszen ezért szép és izgalmas a tudományos kutatás – minden megválaszolt kérdés tíz és száz és akárhány újat vet fel.*” (Szentpétery, 2012, 1251. oldal)

Tézisek

A tézisfüzet szerkesztésével kapcsolatos észrevételeket köszönöm.

Az első tézis fogalmazása tényleg kiegészítendő. (A teljes tézist idézem, aláhúzással jelölve a kiegészítő részt.)

1 Tézis: A SEBS modellben alkalmazott, a felszíni energiamérleg számításánál a hőszállítással szembeni ellenállást kifejező kB–1 paramétert egy talajnedvességtől függő szigmoid transzformációval pontosítottam. A talajnedvességet mikrohullámú műholdadatok alapján integráltam a modellbe. A módosított SEBS-SM modell ritka sztyepp növényzet felett, vízhiányos körülmények között 40%-os javulást eredményezett a szenzibilis hő számításánál az eredeti modellhez képest. Ez a teljes teszt terület, a Konya-medence területére 30%-os csökkenést eredményezett az aktuális párolgásban az eredeti modellel végzett számításokhoz képest. Az eredmény helyességét helyszíni mérések és vízmérlegszámítások bizonyították.

A harmadik tézisben szereplő „termális élezés” kifejezés tényleg az angol „thermal sharpening” kifejezés fordítása. Meggondolandó, hogy az élezés vagy az élesítés a

megfelelő szó. Remélem, hogy közös erővel találunk egy még találóbb magyar megfelelőt.

Összefoglalva...

Köszönöm Professzor Dr Szabó Szilárd alapos kritikáját és támogató szavait. Remélem, hogy válaszaim megfelelően tisztázták a felmerült kérdéseket.

Enschede, 2022. április 10.

Vekerdy Zoltán

Hivatkozások

Flatau, P. J., Walko, R. L., & Cotton, W. R. (1992). Polynomial fits to saturation vapor pressure. *Journal of Applied Meteorology*, *31*, 1507–1513.

Gokmen, M., Vekerdy, Z., Lubczynski, M. W., Timmermans, J., Batelaan, O., & Verhoef, W. (2013). Assessing groundwater storage changes using remote sensing-based evapotranspiration and precipitation at a large semiarid basin scale. *Journal of Hydrometeorology*, *14*(6), 1733–1753. https://doi.org/10.1175/JHM-D-12-0156.1

Gokmen, M., Vekerdy, Z., Verhoef, W., & Batelaan, O. (2013). Satellite-based analysis of recent trends in the ecohydrology of a semi-arid region. *Hydrology & Earth System Sciences*, *17*(10), 6193–6235.

Hunink, J., Simons, G., Suárez-Almiñana, S., Solera, A., Andreu, J., Giuliani, M., ... Bastiaanssen, W. (2019). A simplified water accounting procedure to assess climate change impact on water resources for agriculture across different European river basins. *Water (Switzerland)*, *11*(10). https://doi.org/10.3390/w11101976

Karimi, P., Bastiaanssen, W. G. M., Molden, D., & Cheema, M. J. M. (2013). Basin-wide water accounting based on remote sensing data: an application for the Indus Basin. *Hydrology and Earth System Sciences*, *17*(7), 2473–2486. https://doi.org/10.5194/hess-17-2473-2013

Kyalo, D. K. (2017). *Sentinel-2 and MODIS land surface temperature-based evapotranspiration for irrigation efficiency calculations*. University of Twente, Enschede, the Netherlands. Retrieved from http://www.itc.nl/library/papers_2017/msc/wrem/kyalo.pdf

Njuki, S. M. (2016). *Assessment of Irrigation Performance by Remote Sensing in the Naivasha Basin , Kenya. ITC MSc Thesis*. University of Twente, Enschede, the Netherlands. Retrieved from http://www.itc.nl/library/papers_2016/msc/wrem/njuki.pdf

Szentpétery, P. (2012). A trónfosztás – vagy csak behunyt szemmel a trón előtt? Hozzászólás Brendel Mátyás A nagy trónfosztás című írásához. *Magyar Tudomány*, *10*, 1248–1251. Retrieved from http://www.matud.iif.hu/2012/10/08.htm