

Fodor Nándor: Modellek az agrárium szolgálatában című MTA doktori értekezésének bírálata

Nagy érdeklődéssel vettem kezembe Fodor Nándor értekezését. Statisztikus modellezőként elsősorban a modellek felépítése, kódolása, a háttér munka részletei kötöttek le. Lenyűgözött az a folyamat, ahogy a kisebb modellekből 20 évet alig meghaladó idő alatt egy hatalmas, moduláris felépítésű keretrendszer született a Jelölt kezei alatt.

Fodor Nándor Kovács Géza professzor iskolateremtő modellező munkájába igen fiatalon kapcsolódott be, 2002-ben Kovács professzor úr vezetése alatt szerezte meg doktori fokozatát, 2001-ben szintén vele dolgozta ki az akkor igen neves CERES modell továbbfejlesztését, 2003-ban pedig kiadták az 4M modell első verzióját más fiatal kutatókat is bevonva a munkába. Ezen munkák mindegyikében a Jelölt már akkor első szerzőként szerepelt.

Az értekezésben szereplő 142 hivatkozásból 15 a Jelölt a témában megjelent első szerzős cikke, 10-ben társszerző.

Az értekezés célkitűzése igen egyszerű, világos és figyelemfelkeltő:

az alapkutatástól kiindulva egészen a gyakorlati alkalmazásokig terjedően kívánta bemutatni a szárazföldi ökoszisztéma modellezés történetét, alapelveit, problémáit, kihívásait, valamint a benne rejlő lehetőségeket. Az értekezés egészét figyelmesen elolvastva megállapítom, hogy a célkitűzés minden eleme kétséget kizáróan teljesült.

Rengeteg kérdésem merült fel az értekezés olvasása során. Ezek egy részére választ kaptam a tovább olvasás során, egy részére úgy kaptam választ, hogy a megjelölt hivatkozásoknak utánanézve a részletekbe is sikerült bepillantást nyernem. Természetesen érthető, hogy egy ilyen nagy volumenű és hosszú évek kutatásait összefoglaló mű nem bonthatja ki teljes mértékben a részleteket a kíváncsi olvasó részére. A kérdéseim maradék részét bírálatom közben fogom feltenni. Mivel sok kérdésem lesz, a Jelöltet arra kérem, hogy ezekre lehetőség szerint nagyon röviden válaszoljon.

Az egyes fejezetek arányait a Szerző jól választotta meg: az 5 oldalnyi bevezetést fogalmi áttekintés követi 28 oldal terjedelemben. Ebben a fejezetben közérthető módon és kellő részletességgel ismerteti a szimulációs modellezés alapjait, az ehhez szükséges példákat és szemléltetéseket a saját munkáiból meríti, számos esetben utalva a későbbi, az eredményeket bemutató fejezetek tartalmára. Ez a fejezet betekintést enged a műhelymunkába, olyan fogalmakat tárgyal, mint a paraméterek meghatározása méréssel, becsléssel, kalibráció, validáció, a modellek értékelése, érzékenységvizsgálata, a bizonytalanság becslése, illetve a nagy volumenű rendszerek fejlesztésének elengedhetetlen követelménye: az átláthatóság, továbbá a fejlesztés lehetőségei, irányai, valamint a hibakezelés.

1. *Kérdés: Az E. 2.4. képlet szerint a kukorica szemtermés várható értékének a kijuttatott N műtrágya mennyiségének függvényében való bizonytalansága lineáris függvénye az N-nek. Miből következtetett a bizonytalanságnak az N-től való éppen lineáris függvényére?*
2. *Kérdés: Az ökoszisztéma modellek paramétereinek méréssel történő meghatározása a mért értékek bizonytalansága miatt jelentős mértékű lehet. Erre példaként a  $K_s$  -sel jelölt, a talaj hidraulikus vezetőképességének a példáját hozza fel a Szerző. Ezután a paraméterek regresszióval történő becslését mutatja be. Igen ám, de ha például a talaj hidraulikus vezetőképességét ilyen nagy hibával tudjuk mérni, akkor miből tudhatjuk, hogy egy ugyanezt a paramétert becslő regresszió mennyire pontos?*

Itt kiemelném azt az öröndetes tényt, hogy a Szerző megemlíti, hogy a becsléshez gépi tanulási módszerek is alkalmazhatóak, ám ezek a módszerek nagy mennyiségű adatot igényelnek. Hangsúlyozza ezzel kapcsolatban azt a sokak által nem ismert problémát, hogy az agrártudományi kutatások egyes területein a nagy mennyiségű adat előállításának költséges, időigényes, némely esetben egyenesen megvalósíthatatlan.

Az ökoszisztémák modellezésének történeti áttekintése egy múzeumi tárlat érdekes stílusában 7 oldal tesz ki.

Ezután következik az értekezés eredmény része *Modellek az agrárium szolgálatában* címmel, 58 oldal terjedelemben, és ebből a legfontosabb rész, az utolsó alfejezet 44 oldal terjedelemben mutatja be az AgroMo keretrendszert.

Elsőként az ökoszisztéma modellek használatát támogató alkalmazásából hárommal ismerkedhetünk meg: elsőként a szakirodalomban a talaj vízháztartását leíró számos modell egy platformra hozásával magyar nyelven kidolgozott TALAJTANonccal, illetve az angol nyelven kiadott SOILariummal, egy, a talajfizikai analógiára épülő, és így a szakirodalmi modelleket jelentősen javító globálsugárzás-becslő eljárással, valamint a 2010-ben publikált MV-WG időjárás-generátorral, mely az 1998-ban Semenov által kidolgozott és addigra már széleskörűen használt LARS-WG időjárásgenerátort számos tekintetben jelentős mértékben felülmúlta. Egy jól működő időjárásgenerátor a további szimulációs modellezés elengedhetetlen eszköze. E három modell tehát a későbbi, nagyobb volumenű alkalmazások eszköztárának nélkülözhetetlen elemei.

Az első alfejezetet követő Statisztikus modellek alfejezetben, a 2007. évi Innovációs Nagydíjat, 2021-ben nemzeti Minőség-Innováció díjat majd 2022-ben nemzetközi Minőség-Innováció díjat nyert Proplanta környezet- és költségkímélő trágyázási szaktanácsadási rendszer került bemutatásra, amely 82 szántóföldi növényre, 45 szántóföldi zöldségnövényre, valamint 22 gyümölcsfajra, illetve szőlőre, összesen tehát 150 növényfajra nyújt szaktanácsot. A rendszer hasonló modellekkel összehasonlítva kevesebb hatóanyag kijuttatásával magasabb hektáronkénti bevételt tudott felmutatni.

A következő térbeli modell egy kiterjedt nemzetközi együttműködés eredményeképpen született esettanulmány az Egyesült Királyság tejtermelésének jövőjéről, a várható tejhozamkiesés kockázatának mértékéről.

3. *Kérdés: „A szakirodalomban található THI és ML modellek kombinációjával 18 modellt alkottunk, amelyek a hőmérséklet és a relatív páratartalom alapján számítják ki a tejhozam csökkenést egyetlen tehénre vonatkozóan.”*

*A 18 modellt összehasonlították-e? Ezek jóságáról mit tudni? Egyforma súllyal kerültek be az előrejelzésbe? Felmerült-e a súlyozás kérdése?*

4. *Kérdés: Nagyon röviden össze tudná foglalni, miben különbözött a bemenő adatként használt 10 klímaprojekció?*

A harmadik alfejezet a magyarországi kukoricatermelés jövőjét előre jelző, 6 modelltől álló modellcsalád. Az egyes modellekben a termés a függő változó, a magyarázó változók különböző hőösszeg-, csapadék-, sugárzásadatokból készült indikátorok valamely halmaza, illetve a talaj kémhatása, homok-, illetve szervesanyag-tartalma.

5. *Kérdés: A Szerző szerint „A függő változó és a független változók között lineáris regressziós egyenletekkel teremtettünk kapcsolatot.” – Tapasztalatom szerint nagyszámú környezeti paraméter – mint a fentebb felsoroltak is – nagy mértékben korrelálnak, azaz fellép a kollinearitás problémája. Ilyen esetben a többszörös lineáris*

*regresszió eredménye erősen torzított lehet. Találkozott-e ezzel a problémával e modellfejlesztések során, és ha igen, hogyan kezelte?*

6. *Kérdés: Ebben a modellezési munkában hogyan választotta meg a validációs adatbázist?*
7. *Lehet-e tudni, mi okozhatta az 1980-as évekbeli alul-, míg az 1990-es évekbeli felülbecslést?*

Az ezután következő fejezet tárgyalja az AgroMo modellezési keretrendszert, melynek megvalósítása

(1) egy interdiszciplináris kísérleti környezet kiépítéséből, és

(2) egy ún. Integrált Modellrendszer szoftver létrehozásából áll,

ezzel egy felbecsülhetetlen értékű eszközt nyújt a hazai mezőgazdaság fenntartható és klímabarát fejlesztéséhez. E keretrendszer modulszerűen beépített modelljeivel nem hozzáértő felhasználók számára is elérhető módon képes számszerűsíteni a hazai mezőgazdasági termelés jövőbeli alakulását a klímaváltozási és agrárközgazdasági forgatókönyvek függvényében.

Itt szeretném a hallgatóság figyelmét felhívni arra, hogy az AgroMo keretrendszer az Agrártudományi Kutatóközpont és az Eötvös Loránd Tudományegyetem Természettudományi Kara által létrehozott konzorcium 2016 decemberében elnyert az "Interdiszciplináris Kutatóműhely Létrehozása a Klímaadaptív és Fenntartható Mezőgazdaságért" című GINOP pályázat keretében valósult meg 56 kutató bevonásával. A Jelölt e pályázatban konzorciumvezetőként irányította a munkát. Ennél egyszerűbben nem is lehetne igazolni a téma időszerűségét és fontosságát.

8. *Kérdés: Az AgroMo rendszerben a becsléseket tíz eltérő (5 RCP4.5 és 5 RCP8.5 alapú) klímaprojekció alapján számolták két időintervallumra: 2040-60-re és 2060-2100-ra. Az öt-öt RCP4.5 és RCP8.5 klímaprojekció miben különbözött?*
9. *Kérdés: Az AgroMo SQL moduljára vonatkozik. A Szerző itt bemutatta, hogy az egyes lekérdezésekhez olyan lekérdező mondat sablont fűztek, hogy a felhasználó SQL hozzáértése nélkül is képes legyen egyszerű lekérdezéseket indítani. Előfordulhat-e, hogy a felhasználó olyan nagy volumenű lekérdezést indít el, amelynek lefutása igen hosszadalmas lesz? Ha igen, kap-e erre figyelmeztetést a felhasználó?*
10. *Kérdés: Az AgroMo látványosan tudja kompenzálni a klímaváltozás negatív hatásait adaptációs módszerekkel (korábbi vetés, jobb vízhánytűrő fajta, öntözés). Egy korábbi fejezetben említésre került egyéb adaptációs módszer is (növénynevelés, technikai fejlődés: gépesítés és hatékonyabb anyagok stb.). Ezeket, illetve ehhez hasonló pozitív antropogén hatásokat a jövőben terveznek-e beépíteni a keretrendszerbe?*

Az AgroMo rendszer ismertetése után kezdődik egy rövid, ám igen fontos, és az értekezés értékét tovább növelő alfejezet, amely a fejlesztési lehetőségeket taglalja. George Box (1919 – 2013) angol statisztikus volt, aki maradandót alkotott a statisztikai modellezés világában, és akit méltán neveznek a 20. század egyik legnagyobb statisztikus lángelméjének. Tőle származik az az idézet, hogy "Statisticians, like artists, have the bad habit of falling in love with their models." Ezért is öröndetes olvasni, hogy a Szerző nem nyugszik meg a munka e fázisában, látja a mégoly gazdagon felhasználható keretrendszerének azon pontjait, ahol az továbbfejleszhető. Ezúton kívánok neki és munkatársainak ehhez sok sikert.

Az utolsó, 4. fejezetben a legfontosabb tudományos eredményeket foglalja össze a Jelölt 6 pontban. Ezek mindegyikét maradék nélkül elfogadom.

Megjegyzem, hogy a

4.1 pontban: „Ökoszisztéma modellek használatát támogató alkalmazásokat fejlesztettem, amelyek segítségével fontos bemenő adatok határozhatók meg, mért értékek hiányában.” Ezen alkalmazásokat érdemes lett volna név szerint felsorolni.

A 4.4. pontban az AgroMo keretében létrehozott kísérleti platformot említi, ide egy évszám is kínálkozott volna.

A téziszűzet az értekezés egy remekül összeállított, lényegre törő összefoglalása, szerkezete megegyezik az értekezés felépítésével. A legfontosabb eredmények táblázat, valamint ábra formájában is megjelennek, ezek jól szemléltetik az eredmények újdonságát és értékét.

Apró gépelési hibák, javítanivalók csak imitt-amott voltak az értekezésekben, ezeket rövid megjegyzések formájában a Szerző rendelkezésére bocsátom.

Nyilatkozat:

A doktori munka hiteles adatokon alapul, a benne bemutatott tudományos eredmények mélységüknél, mennyiségüknél és nemzetközi visszahangjuknál fogva maximálisan kielégítik az MTA doktora cím elvárásait. Ennélfogva a nyilvános védés kitűzését, valamint a fokozat odaítélését messzemenően támogatom.

2024. április 28.



---

Ladányi Márta

Rövid megjegyzések a Szerző számára:

“Az előrejelzések szerint 2050-re Földünk lakossága eléri a 9 milliárdot, az élelmiszer- és takarmányigény akár 70%-os növekedést is mutathat majd a jelenlegi szinthez képest.” Itt megfelelő citáció(ka)t hiányoltam.

50. oldal, 6 növény felsorolása után még két kukoricánövényt említ

2.1 ábra A vastag ill. vékony vonalak nehezen kivehetőek.

Itt érdekes lehetett volna valamely s-(logisztikus) illesztés is, az ilyen függvények a környezet eltartóképességét is jól szemléltetik/becsülik.

3.2 ábra kétféle szürke színe nem jól kivehető.

3.3 ábrán a Talajerő Kkt nem értelmezhető (ProPlanta).

E2.5 typo ( $\mu$ tf az exponenciális kitevő)