

Egyetemi doktori (PhD) értekezés tézisei

**A HAJDÚSÁGI LÖSZHÁT VÍZKÉSZLET-
GAZDÁLKODÁSI FEJLESZTÉSÉNEK
TÉRINFORMATIKAI ÉRTÉKELÉSE**

Gombosné Nagy Ildikó

Témavezető: Prof. Dr. habil Tamás János
MTA doktora



DEBRECENI EGYETEM
Kerpely Kálmán Doktori Iskola

Debrecen, 2009

1. BEVEZETÉS

Az éghajlat a mezőgazdasági termelésnek egyrészt feltételrendszere és erőforrása, másrészt kockázati tényezője; az éghajlat éven belüli és évek közötti változékonysága jelentősen hat a mezőgazdasági termelésre. A Kárpát-medence kontinentális éghajlati viszonyai között a kedvezőtlen környezeti feltételeken elsősorban az alacsony vagy magas hőmérsékletet, valamint a víz hiányát vagy bőségét értjük. A csapadék szélsőséges mennyisége és eloszlása növekvő tendenciát mutat Magyarországon, melynek negatív hatása megmutatkozik a szántóföldi növények terméseredményeiben.

A térinformatika, ezen belül pedig a távérzékelés igen nagy segítséget nyújt az agrár-környezetvédelemmel kapcsolatos feladatok elvégzéséhez. A távérzékelte adatok felhasználása az egyik legkorszerűbb és leghatékonyabb eszköze a közvetlen környezetünkben, a mezőgazdaság által érintett szférákban (talaj, víz, levegő) lezajló bonyolult, térben és időben folyamatosan változó jelenségek megfigyelésének, elemzésének megértéséhez, a különböző környezeti paraméterek változásának követéséhez, monitoringjához. A környezeti problémák megértéséhez a környezeti modellezéssel juthatunk közelebb. A környezeti modellezés, mint az agrár-környezetvédelem egyik fontos területe, és a térinformatika mára egy jól kidolgozott, elfogadott és alkalmazott kutatási és gyakorlati területté vált, amelyeknek összekapcsolódása napjainkban kézenfekvő.

Magyarországon a szélsőséges időjárási jelenségek (hosszan tartó aszályos időszakok, árvizek, szélviharok) előfordulási valószínűsége térben és időben nőtt. A különböző klimatikus modellek többféle eredményt mutatnak a téren, hogy a jövőben milyen sűrűn fognak e jelenségek megisméltódni. A számítások megbízhatóságának javításához szükség van egy olyan adatforrásra, mely napi szinten képes bemenő adatokat szolgáltatni, nemcsak a klimatikus modelleknek, hanem más számításoknak (hidrológia, vízgazdálkodás, térinformatika stb.) egyaránt.

A csapadék az egyik legváltozékonyabb környezeti elem. A mezőgazdaság szempontjából térbeli és időbeli eloszlása rendkívül meghatározó. A csapadékatatok megfelelő kezelésének legfőbb problémája a földi mérőállomások hiánya, emiatt a mért adatok csupán a meglévő meteorológiai állomás szűk környezetére adnak megbízható értéket, de nem adnak konzekvens információt azon területekről, ahol nincsenek csapadékmérő-állomások.

Hazánkban a rendszerváltást követően a meteorológiai mérőállomások sűrűsége 50 km-ről 150 km-re csökkent. Az állomások által szolgáltatott adatok nem elégségesek ahhoz, hogy mérjék és előre jelezzék a regionális időjárási anomáliákat, melyeket a nagyobb városok

mikroklímája, vagy a gyorsan változó földhasználati mód okoz. A földi adatgyűjtés (gravimetrikus, TDR, pF tenziométer) időigényes, költséges, és az eredmények pontszerű, így nem georeferált adatok lesznek. A dinamikus változásokat csakis gyorsan frissülő mérési adatbázissal lehet lefedni, mely az egész vizsgált területet lefedi. Szükségessé vált tehát a felső légkör vizsgálata is. Erre a feladatra a meteorológiai ballonok, majd pedig a műholdképek váltak igazán alkalmassá. A műholdas felvételekből nyert adatok segítségével pótolhatjuk a korábbi adathiányt, mivel ezek hasznos eszközzé váltak a napi átlagos területi csapadék-bebecslésben.

2002. augusztus 28-a óta szolgáltat adatokat az EUMETSAT (European Organization for the Exploitation of Meteorological Satellites – Meteorológiai Műholdak Hasznosításának Európai Szervezete) által működtetett MSG-1 (Meteosat Second Generation) időjárás-előrejelző műhold. Ez az általánosan elterjedt NOAA AVHRR műholdképekhez képest jobb minőségű adatnyerésre alkalmas, mert a felvételek készítésének ideje gyakoribb (15 perc), több csatornát vizsgál (12), és térbeli felbontása is jobb (1, ill. 3 km). A műholdak érzékelik a felhőborítottságot, a levegő páratartalmát, a légmozgásokat, valamint a felszíni hőmérsékletet. Az így nyert adatok a Föld éppen aktuális állapotát jellemzik, melyeket azonban fel lehet használni az időjárás előrejelzéséhez is.

Az MSG meteorológiai előrejelző műhold adatai inputként szolgálhatnak az agrár-környezetvédelemmel kapcsolatosan végzett kutatásokban. A folyamatos fejlesztéseknek köszönhetően a katasztrófával fenyegető helyi felhőszakadások, forgószelek és más váratlan természeti csapások néhány órával megelőzően előre jelezhetők lesznek. A belvizes és árvízveszélyes területeket folyamatosan megfigyelhetjük. Az egyik – véleményem szerint minden léptékben jelentős – környezeti elem, a csapadék mennyiségének, tér- és időbeni eloszlásának minél pontosabb felderítése elengedhetetlen fontosságú a fenntartható mezőgazdasági szemlélet tükrében.

2. A KUTATÁS CÉLKITŰZÉSEI

A vízkészlet-gazdálkodás fejlesztésére irányuló vizsgálataimhoz a Hajdúsági löszhát száraz, szeszélyes csapadékeloszlású, de jó vízgazdálkodású területét választottam. Vizsgálataimmal a regionális vízkészlet-gazdálkodási koordinálást és a lokális farmszintű beavatkozást kívántam megalapozni. A főbb tudományos célkitűzések az alábbiak:

- I. Regionális komplex vízgazdálkodási koncepcionális modell elkészítése.

- II. Különböző interpolációs eljárásokon alapuló Digitális Magassági Modellek alkalmazhatósági vizsgálata a vízgazdálkodásban.
- III. Csapadék adatokon alapuló térbeli interpolációs eljárások alkalmazhatósági vizsgálata.
- IV. Egy GPS alapú helymeghatározáson és távérzékelésen alapuló vízgazdálkodási modell integráció precíziós gazdálkodásban történő alkalmazhatósági előnyeinek vizsgálata.
- V. Lefolyási viszonyok vizsgálata Digitális Magassági Modell felhasználásával.
- VI. METEOSAT műholdképek alkalmazhatóságának vizsgálata a napi átlagos területi csapadékbecslésben:
 - a. A METEOSAT műholdképek térinformatikai szoftverekkel történő feldolgozási módszerének ismertetése.
 - b. A távérzékelte felvételek három csatornáján statisztikai elemzések elvégzése.
 - c. A METEOSAT képek relatív reflektanciájának meghatározása a földi csapadékmérő állomások környezetében.
 - d. A METEOSAT képek átlagos napi területi csapadékbecslésben való alkalmazhatóságának vizsgálata a földi csapadékmérő állomások adataival történő összefüggés-vizsgálat alapján.

3. A KUTATÁS MÓDSZEREI

3.1. A vizsgálati terület általános jellemzése

A vizsgálatok térkerete a Hajdúhát kistérségjében belül a Hajdúsági löszhát volt. A Hajdúsági löszháton a talajtakaró löszös üledéken képződött. Ezek túlnyomó többsége igen jó mezőgazdasági tulajdonságú és termékenységgű, a legnagyobb területi részarányban az alföldi mészlepedékes csernozjomok fordulnak elő. Száraz, szeszélyes csapadékeloszlású vidék, a csapadék évi összege 530-570 mm. Az éghajlata mérsékelt meleg és száraz, az évi középhőmérséklet 9,7-10,0 °C.

3.2. Regionális komplex vízgazdálkodási koncepcionális modell tervezése

Magyarország évi átlagos csapadékmennyisége nem elegendő ahhoz, hogy biztonságos termelést folytassunk. Az aszályos évek magas aránya megköveteli az öntözés szükségességét olyan szántóföldi kultúrákban, mint a cukorrépa, burgonya, vagy a csemegekukorica. A Hajdúsági löszhát vízszegény terület, az itt található kiváló minőségű csernozjom talajokon történő növénytermesztés vízigényét öntözés útján szükséges biztosítani. A vízellátás biztonságának növelése a jövőben a vízigény- és vízkészlet-szabályozás integrált stratégiáját

igényli. Az integrált vízkészlet-gazdálkodás jó keret a vízgazdálkodás éghajlatváltozáshoz való alkalmazkodásának tervezésében.

A Hajdúsági löszhát vizsgálataim alá vont területére elkészítettem a komplex vízgazdálkodási rendszer 5 fázisra bontható koncepcionális modelljét, amelyet alapvetően meghatároz az adatgyűjtés során nyert adatok egységes adatbázisba történő integrálása és a beavatkozásokhoz szükséges jól megalapozott, modellekre is támaszkodó döntéstámogatási rendszer.

3.3. Hidro-geoinformációs rendszer kiépítésének folyamata

A rendszer kialakításának első lépéseként komplex adatfelvételezést végeztem az egykori cukorgyár, az Eastern Sugar Rt. kabai termeltetési körzetében. Az adatfelvételezés egyik mérföldköve az általános termelési színvonal vizsgálata volt. Az összesen 15 termelő adatait egységes adatbázisba integráltam. Elvégeztem a talajtani viszonyok feltérképezését is táblatörzskönyv alapján. Ezt követően az adatokat összesítettem cégenként, majd településenként.

A kabai termeltetési körzetet 39 térképszelvény fedte le, melyeket georektifikáltam. A vetületbe illesztett térképeken bedigitalizáltam a cukorgyár azon termelőinek szántóterületeit, amelyek a kabai körzetben lévő 4 legnagyobb területi kiterjedéssel rendelkező alkörzetbe (balmazújvárosi-, ebesi-, hajdúszoboszlói-, nagyhegyesi-alkörzetek) tartoztak. Az egymás mellett lévő, azonos céghez tartozó területeket blokkosítottam. A meglévő természetstechnológiai adatok, kiegészülve a meteorológiai állomások adataival képezik annak a domborzati, kataszteri adatokon nyugvó adatbázisnak az alapját, melyből egységes tematikus vektoros és raszteres környezetben, digitális formában integrált geoinformációs rendszert alakítottam ki. A rendszert a hidrológiai adatok birtokában létrehozott hidrogeoadatbázissal is kiegészítettem.

A hidro-geoinformációs rendszerben a termőterületek ismeretében kiválogattam a mennyiségileg és minőségileg megfelelő adatokkal szolgáló termelőket, majd a hozzájuk tartozó parcellák attribútum tábláit feltöltöttem a nyilvántartás adataival. Az így létrehozott geoadatbázist korszerű térinformatikai és statisztikai módszerekkel elemeztem ESRI/ArcMap, ill. ArcView környezetben.

3.4. Különböző interpolációs eljárásokon alapuló Digitális Magassági Modellek alkalmazhatósági lehetőségei a vízgazdálkodásban

A Hajdúsági löszháton elterülő 19 ha-os mintaterület digitális magassági modelljét 2 darab 1:10 000-es topográfiai térkép magassági pontjainak bedigitalizálásával állítottam elő. A TIN-modell alapul szolgált a lejtő-, a kitétség- és a domborzat-árnyékolás térkép elkészítéséhez.

A TIN-modellből rajzolt szintvonalak simításával térbeli interpolációs eljárással végeztem becslést a rendelkezésre álló magassági értékek által meghatározott térség értékkel nem rendelkező pontjaiban. Az interpolációs eljárások közül a távolsággal fordítottan arányos súlyozott interpoláció (IDW), a krigelés, és a simítási (spline) technikával történő módszereket alkalmaztam.

A krigeléssel és az IDW technikával nyert interpolációs felszínre elkészítettem a lejtő- és kitétség-térképet, valamint a domborzat-árnyékolás térképet. Ezt követően a legjobb eredményt adó interpolációs technikára geostatistikai elemzést hajtottam végre.

3.5. Csapadék adatokon alapuló térbeli interpolációs eljárások vizsgálata

Az elemzéseket három eltérő csapadékmennyiségű nap (2006.03.31. – 12,3 mm; 2006.04.11. – 53,7 mm; 2006.05.17. – 106,0 mm) adataira végeztem el.

Jelen vizsgálat a térbeli interpolációs technikák kiértékelésére irányult, ahol 13 csapadékmérő állomás adatain alapuló, különböző térbeli interpolációs módszereket hasonlítottam össze. A csapadékmérő-állomások adataiból generált becsléseket 30 méteres output cellaméretet beállítva végeztem el. A vizsgálatban alkalmazott interpolációs módszerek a következők: távolsággal fordítottan arányos súlyozott interpoláció (Inverse Distance Weighted – IDW) (változó keresési sugár); spline interpoláció (rendezett és feszített opció); krigelés (általános: szférikus, cirkuláris, exponenciális, Gauss, lineáris).

3.6. Távérzékelés alapú táblaszintű precíziós vízgazdálkodás

Elemeztem a Hajdúsági löszháton fellelhető 19 hektáros cukorrépa tábla vízgazdálkodási rendszerét. Az agrotechnológiai adatokat ArcGIS környezetben dolgoztam fel. A növény párologtató felületét ADC AM100 típusú levélfelület mérő készülékkel kalkuláltam a különböző fenológiai fázisokban, és egyúttal mértem a talaj aktuális nedvességtartalmát 20 cm-enként egészen 1,5 m mélységig, TDR elven működő Trime FM talajnedvesség mérővel. A mintavételek helyét GPS-szel regisztráltam.

A mintavételi pontokat geostatistikai becslés alapján választottam ki, melynek alapjául az 1:10 000 méretarányú digitális magassági TIN modell és digitális talajtérképek szolgáltak. Az

idősorokat 9 különböző Landsat felvételből számoltam ki, amelyek az egész mintaterületet és a teljes fenológiai fázist lefedték. A Landsat felvételekből NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) indexet számoltam.

A farmszintű öntözési modell alapvető input tényezője a növényi együttható (K_c), amelyet a levélfelület alapján határozhatunk meg. A levélfelület ismeretében következtethetünk a transzspiráció nagyságára a fenológiai változások függvényében. A FAO CROPWAT öntözés tervezési és kezelési számítógépes program az adott tábla klimatikus, talajtani és vízgazdálkodási tulajdonságait és adatait használja input paraméterekként, s a K_c értéket 3 pont alapján becsli, ám ez a becslés viszonylag nagy hibával terhelt. A szoftver segítségével a Penman-Monteith egyenlet alapján kiszámítható a potenciális evapotranszspiráció (ET_o). A tényleges evapotranszspiráció (ET_c) a potenciális evapotranszspiráció (ET_o) és a növényi együttható (K_c) szorzataként adható meg.

A növényi együttható értéke 0,3 és 1,2 között van a természetű növénytől függően, így az átlagos becslési hibája elérheti akár a 200-300%-ot. Mivel az aktuális növényi vízigény a K_c aktuális értékétől jelentős mértékben függ, a hibaterjedés befolyásolja az egész modell megbízhatóságát, a modell érzékenységi elemzésére tekintettel. Kutatásom egyik célja ezen paraméterek pontosságának fokozása távérzékelte adatforrások felhasználásával.

Tekintettel a lefolyási irányra, az effektív csapadék mennyiségét D8 lefolyási algoritmus alapján számoltam a digitális magassági modellből. A statisztikai és a képelemzéseket különböző szoftvercsomagok segítségével hajtottam végre. A főkomponens analízist az SPSS 12 statisztikai program használatával végeztem el, a térbeli statisztikai becslést klaszterezéssel az IDRISI Andes és az ENVI 4.2 felhasználásával vittem véghez.

3.7. Lefolyási viszonyok vizsgálata Digitális Magassági Modell felhasználásával

A lefolyástalan területek lehatárolásához és az összegyülekezési pontok kijelöléséhez a lefolyás irányainak ismerete szükséges. E feladatok megoldásához a vizsgált terület részletes digitális magassági modellje jelenti a kiindulási adatbázist. A Hajdúsági löszhát 2 db 1:10.000-es topográfiai térképszelvény által lefedett területének digitális magassági modelljét a térképek szintvonalainak és magassági pontjainak bedigitalizálásával állítottam elő. Az ArcView 3.3 szoftverben elkészített *.shp* kiterjesztésű fájlokat XYZ formátummá alakítottam, majd az interpolációt krigeléssel, a SURFER 8.0 szoftverrel végeztem el.

A programmal létrehoztam a mintaterület lejtő- és kitettség térképét. A térfelület deriválásával elkészítettem a mintaterület összegyülekezés-térképét, amelyről megállapítható a konvergencia és divergens területek elhelyezkedése. A számítás a horizontális síkban mért terep kitettség-

változásának mértékén alapul. Az összegyülekezés-térképből leválogatva azon térrészeket, ahol a víz a felszínen fokozatosan a természetes mélyedések felé tart, olyan térképet kaptam, amely a belvíz-érzékeny területeket tartalmazza. A folytonos felszín valamennyi cellájára kiszámolt értékek alapján - annak interpolációjával - elkészítettem az el- és hozzáfolyás különbségén alapuló vízmérleg térképet.

3.8. Napi átlagos területi csapadékbecslés távérzékelt felvételekből

A METEOSAT űrfelvételekből történő napi átlagos területi csapadékbecslési elemzésekhez 2 óránkénti felvételek látható (VIS, 2. csatorna), infravörös (IR, 3. csatorna) és vízpára (WV, 6. csatorna) csatornáit használtam fel. A távérzékelt képekből származó napi átlagos csapadék értékek becslési módszerének validálásához az Alföldön elhelyezkedő hat meteorológiai állomás (Balmazújváros, Derecske, Hajdúszoboszló, Kaba, Orosháza, Szarvas) napi csapadék adatait használtam. Az elemzést a 2006. augusztus 21. és 2006. szeptember 08. közötti időszakra végeztem el, ahol a földi csapadékmérő állomásokból származó csapadékbecsléseket szinkronba hoztam a rászteres műholdas távérzékelt adatokkal. Elvégeztem a műholdas felvételek georeferálását, majd a rektifikált képek további feldolgozását az IDRISI Andes térinformatikai szoftver segítségével.

Az átlagos relatív reflektancia értékek csapadékadatokkal történő összehasonlításához a műholdfelvételen a hat mérőállomást jelző pont körüli pixel értékeket csatornánként leátlagoltam. A hat földi csapadékmérő-állomás csapadék adataiból szintén átlagot számítottam és az értékeket, a további feldolgozás végett, az átlagos pixelértékekkel történő összehasonlításra használtam fel. A megfelelő értékpárokból diagramokat készítettem és a kapott eredményeket kiértékeltem. Elemeztem a különböző csatornák képeit, főkomponens analízist és regresszió-számítást végeztem.

4. AZ ÉRTEKEZÉS FŐBB MEGÁLLAPÍTÁSAI

4.1. Regionális vízgazdálkodási rendszer koncepcionális modellje

A Hajdúsági löszháton elterülő, 23450 ha kiterjedésű vizsgálati területre kidolgoztam a regionális komplex vízgazdálkodási koncepcionális modellt, melyet 5 fázisra bontottam.

1. fázis: Kiindulási állapot tervezése

A szükségletek felmérése után meghatározzuk a célokat és feladatokat. A modell korlátok figyelembe vételével előzetes modellkonceptiót végzünk.

2. fázis: Adatgyűjtés, adatbázis kialakítás és adatintegráció

Ez a fázis a következő szakaszokra bontható: földi adatgyűjtés (talajtani, növényi, klimatológiai, termesztéstechnológiai paraméterek felmérése); dinamikus adatszerzés távérzékeléssel (feladat a megbízhatósági vizsgálatok elvégzése); egyéb információk begyűjtése (vonatkozó törvények, előírások, szervezeti adatok); vízmérleg készítés (dinamizmus (csapadékeloszlás, -ingadozás, talajvízjárás, evapotranszspiráció változékonysága, időszakos lefolyás)); öntözés lehetőségének felmérése; öntözési stratégiák vizsgálata (vízkészletre, időpontra, költségre); öntözés-modellezés (CROPWAT).

3. fázis: Döntéstámogatási rendszer, alternatívák kidolgozása, modell tényezők lefuttatása

A vízgazdálkodási beavatkozásokhoz megalapozott, erőforrásként adat- és analízis modelleket felhasználó, számítógép alapú rendszer segíti a döntéshozót a direkt beavatkozási lehetőségek közül a legmegfelelőbb döntés meghozatalában. A döntéstámogatás három legfontosabb eleme az információtechnológia, az értékelési technológia és a döntéshozók. Az alternatívák kidolgozását a modell tényezők lefuttatása követi. A tervezés során igen nagy jelentőséggel bír a szakemberekkel való kapcsolattartás. Meg kell vizsgálni, hogy a döntéshozó csoport elégedett-e a kidolgozott alternatívákkal. Az erre a kérdésre adott válasz két irányba tereli a tervezés folyamatát. Amennyiben a kidolgozott alternatívákat a kapcsolattartók nem találják megfelelőnek, úgy a vízgazdálkodási tervezés folyamatát az új alternatívák kidolgozásának stádiumába kell visszavezetni, és újra kell gondolni a projekt meghatározását, optimalizálást, és különböző elemzéseket elvégezve, valamint a kapcsolattartók folyamatos együttműködését fenntartva. A kidolgozott alternatívákkal való megelégedettség esetén a tervezés folyamata a negyedik fázisba lép át.

4. fázis: A projekt részletes meghatározásának kidolgozása

A végső fázis kidolgozása során a projekt részletes meghatározása kerül kidolgozásra, amelyet a modell építése és elemzése követ. Az elemzést követően megtervezzük a szerkezeti paramétereket. A modell építéssel és elemzéssel párhuzamosan a költség-, hozam- és kockázat-elemzést is elvégezzük. Természetesen a működési szabályok és modellek áttanulmányozását a modell-építés előtt elvégezzük. Mindezek teljesítése után elérünk a projekt tervek kiválasztásához, amely pont a megvalósíthatósági tanulmány végét jelenti.

5. fázis: Tervezés

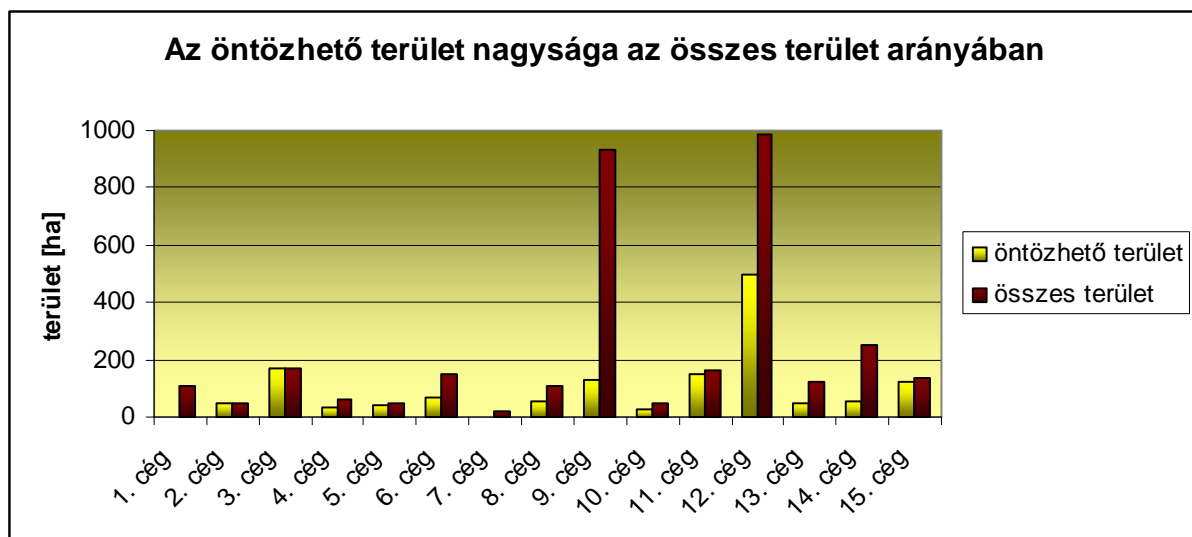
Az ötödik fázis a tervezésé, amelyben a letisztázást követően elkezdődhet a kivitelezés, majd, folyamatos monitoring mellett, a működés.

4.2. Hidro-geoadatbázisba integrált faktorok elemzése és összefüggés-vizsgálata

A kabai termelési körzet szántóterületeinek nagysága alkörzetek szerinti megoszlásban a következő: balmazújvárosi alkörzet: 1904,4 ha; ebesi alkörzet: 351,9 ha; hajdúszoboszlói alkörzet: 3991,5 ha; nagyhegyesi alkörzet: 834,4 ha.

A birtokomban lévő termesztéstechnológiai adatok feldolgozása után elvégeztem az egyes termelési alkörzetek termésátlagainak kiértékelését és összehasonlítottam a 2004-es évi országos termésátlagokkal. Az egyes alkörzetekre a 8 fő termesztett növény (csemegekukorica, takarmány kukorica, kalászosok, cukorrépa, burgonya, napraforgó, repce, pillangós takarmány) termésátlagait dolgoztam fel. Az ebben a körzetben termelők eredményei a cukorrépa és a burgonya esetében jelentősen, a napraforgó, a kalászosok és a pillangósok esetében kis mértékben meghaladta az országos termésátlagokat, viszont a csemegekukorica, a takarmány kukorica és a repce alatta maradtak annak. A vizsgált cégek cukorrépa termésátlaga 51,9 t/ha, standard szórása 6,71.

Felmérést végeztem a termelők öntözhető termőterületeinek nagyságára vonatkozóan (1. ábra). A kabai körzetben termelő 15 cég közül kettő esetében az összes területének 100%-a öntözhető. Szintén két cégnél fordul elő ennek az ellenkezője, vagyis esetükben egyáltalán nincsenek meg az öntözéshez szükséges feltételek. A további cégek közül 7-nél magas, több mint 50%-os az öntözhető területek aránya az összes területre vonatkozóan. Mindössze négy cégnél fordul elő 50%-nál kisebb arány.



1. ábra. Az Eastern Sugar Rt. kabai termelési körzetében lévő termelők öntözhető területeinek nagysága az összes terület arányában

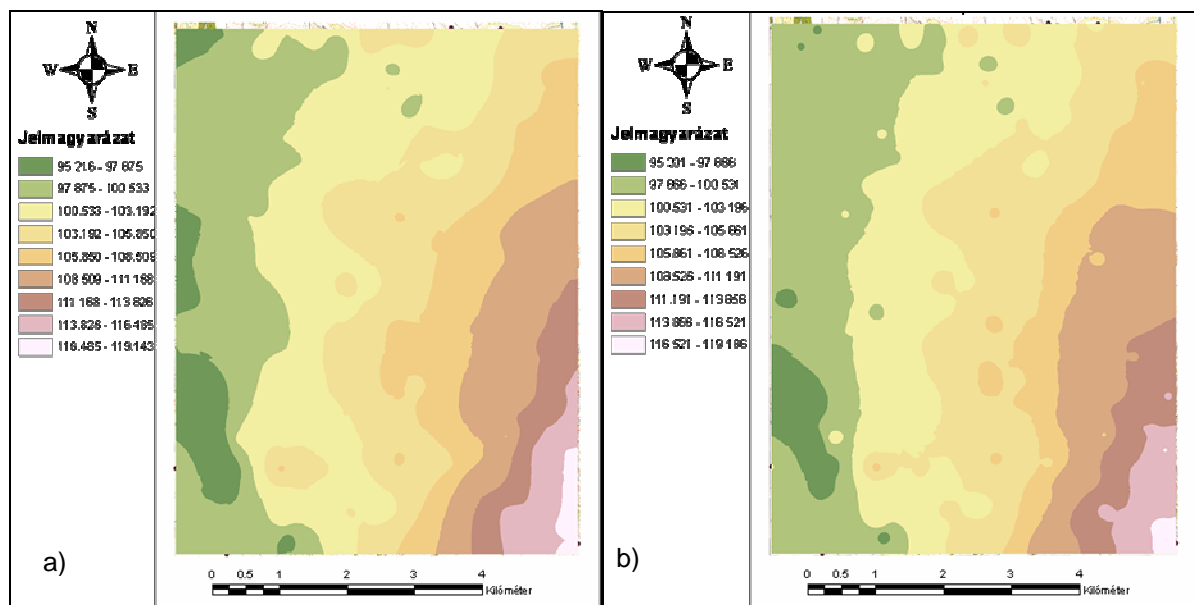
A főbb termesztéstechnológiai tényezőkre Pearson-féle korreláció analízist végeztem. A figyelembe vett faktorok a következők: termésátlag (t/ha); tápanyagvisszapótlás (N (kg/ha), P (kg/ha), K (kg/ha)); talajfertőtlenítés (szer neve: Counter, dózis: l/kg/ha); levéltrágyázás (Bór: szer neve: Solubor, dózis: l/kg/ha; MgSO₄: szer neve: keserűs, dózis: l/kg/ha); öntözés (dózis: mm/ha).

A tényezőpáronkénti korrelációs számítások eredményei szerint az öntözés szoros ($r = 0,824$, $P = 5\%$) kapcsolatot mutat a termésátlag alakulásával. Szignifikáns összefüggést a termésátlag és egyéb tényezők között nem tudtam megállapítani. A korreláció analízis eredménye alátámasztja az öntözés igen nagy jelentőségét a nagyobb hozamok elérése érdekében.

4.3. Magassági pontok digitalizálásán alapuló Digitális Magassági Modell készítése

A hajdúsági löszháti 19 ha-os mintaterületre elkészítettem a Digitális Magassági Modellt véletlenszerű háromszögelési eljárással (TIN), melynek 2 db 1:10 000-es topográfiai térkép magassági pontjainak bedigitalizálásával nyert pont típusú shapefile szolgált alapjául. A TIN-modellre elkészítettem a lejtő-, a kitettség- és a domborzat-árnyékolás térképet.

A magassági értékek folytonos adattípusnak tekinthetők, ezáltal alkalmasak arra, hogy belőlük becsülni tudjuk olyan helyeken is az értékeket, amelyek nem esnek egybe a mintavételi pont halmazzal. Ezeket az ismeretlen értékeket az öt körülvevő adott értékek alapján számíthatjuk a térbeli interpoláció segítségével. Összehasonlításképpen a krigelés (2.a ábra), az IDW (2.b ábra) és a spline interpolációs módszereket alkalmaztam.



2. ábra. a) A krigeléssel végrehajtott interpoláció eredménye hajdúsági löszháti mintaterületre; b) Az IDW (Inverse Distance Weighted) technikával végrehajtott interpoláció eredménye

Az ismertetett eljárások közül a Spline módszert kevésbé találtam alkalmasnak a magassági adatokból történő felszínbecsléshez. A módszer elvetésének döntő indoka, hogy a vizsgálati területen belül nagy a magassági értékek abszolút ingadozása (a két szélső érték között mintegy 24 méter), vagyis kis horizontális távolságon belül a bementi pontok értékeinek változatossága, így a görbületi értékük is magas. Azokon a vizsgálati felületeken, ahol a magassági értékek változékonysága magas és a pontok közötti felület lejtése kevésbé mérsékelt, a Spline interpolációs eljárás nem ad megfelelő értékeket. Miközben a módszer minimalizálja a felszín teljes görbületét, a magassági értékek két szélső értékét alul-, ill. túlbecsli.

A krigelés során a magassági értékek térbeli változatossága a felszínen mindenütt statisztikailag homogénnek vett (a felszín minden részén ugyanaz a mintavariáció figyelhető meg). Az eredeti mérési adatokból származó variogramok teljesen stabilnak tekinthetők, mivel a szakirodalom legalább 50-100 adatpont esetén tekinti megbízhatónak a variogramot, a vizsgálatom alapjául pedig 167 db mérési pont szolgált.

Az IDW módszer a bemeneti pontok mintája alapján végzett lineárisan súlyozott kombinációval határozza meg a kimeneti cellaértékeket. A súly az inverz távolság egy funkciója; a felszín egy helytől függő változó interpoláltja.

Összességében elmondható, hogy a krigelés és az IDW interpoláció részletgazdagabb, mint a Spline eljárással készült interpoláció. Mindazonáltal, a krigelési súlyok a környező mért pontokra sokkal szofisztikáltabbak, mint az IDW súlyok.

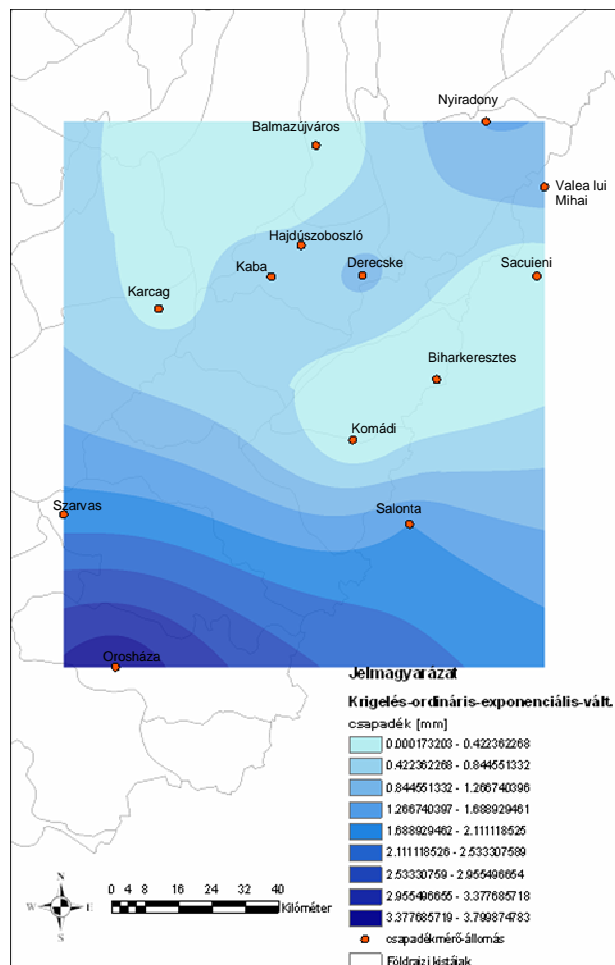
A vizsgálatok eredményeként megállapítottam, hogy adott terület magassági pontjainak bedigitalizálásával előállított pont típusú shape fájl kiválóan alkalmas a véletlenszerű háromszögelési hálózat (TIN) módszerével történő digitális magassági modell előállítására, továbbá térbeli interpolációs eljárásokkal történő értékbecslésre az adattal nem rendelkező pontokban. Három vizsgált interpolációs technika eredményei alapján arra a következtetésre jutottam, hogy a túlzott simítás miatt a spline interpolációs eljárás kevésbé alkalmas adott térség magassági értékeinek becslésére. Ezzel szemben mind a krigelés, mind az IDW interpolációs technika megfelelően, jó eredménnyel alkalmazható becslésre. Ez utóbbi két eljárással nyert interpolációs felszínből készített lejtő- és kitettség-térkép részletgazdag információt nyújt a térség lejtési és fekvési viszonyairól.

4.4. Csapadék adatokon alapuló térbeli interpolációs eljárások értékelése

A csapadékmérő-állomások 2006. évi adatsorából kiválasztottam 3 eltérő csapadékmennyiségű napot és ezen időpontokra 8 különböző interpolációs módszerrel

végeztem becslést. Az elemzésekhez kiválasztott időpontok a következők voltak: 2006.03.31.; 2006.04.11.; 2006.05.17.. A márciusi időpont egy alacsony csapadékmennyiségű nap volt (12,3 mm), az áprilisi közepes (53,7 mm), a májusi napon pedig nagyobb mennyiségű (106,0 mm) csapadék hullott.

A 13 mérési ponton alapuló csapadék-interpolációs vizsgálatból kitűnik, hogy egy kis sűrűségű csapadékmérő-hálózattal rendelkező térség csapadék-mennyiségének és -eloszlásának becslésére a legjobb közelítés az exponenciális szemivariogramot és változó keresési sugárt használó ordináris krigeléssel (3. ábra) érhető el. A krigelés módszere hű értékvisztaadást biztosít az adott pontokban. A környező mért értékekből súlyoz annak érdekében, hogy olyan területekre is kapjunk adatot, ahol ténylegesen nem történt mérés, ennek következtében a kontúrvonalak megfelelőbben követik a trendet és nincs olyan mértékű alul-, ill. túlbecslés, mint a többi módszer esetében. Kevésbé szofisztikált, de közelítőleg jó eredményt ad még a távolsággal fordítottan arányos súlyozott interpoláció – változó keresési sugárral.



3. ábra. A csapadék adatokon alapuló ordináris-exponenciális krigelés eredménye a 2006.03.31. napra vonatkozóan

A legjobb eredményt adó exponenciális krigelésre és az IDW technikára geostatistikai elemzést hajtottam végre. Mind a krigelés, mind az IDW interpoláció során a legalacsonyabb csapadékmennyiségű nap csapadék-interpolációja során tapasztaltam a legkisebb becslési hibát (1. és 2. táblázat).

1. táblázat. A 2006.03.31-i csapadék adatok kereszt validációs eredményei a krigeléses interpolációra vonatkozóan

Csapadékmérő-állomás helye	Mért érték	Becsült érték	Standard hiba	Hiba	Standardizált hiba	Normál érték
Szarvas	1,9	1,9249	1,0001	0,0249	0,0249	0,0000
Orosháza	3,8	1,4003	1,0613	-2,3997	-2,2611	-1,7688
Karcag	0,3	0,9900	0,9323	0,6900	0,7401	0,6151
Kaba	0,7	0,4797	0,6349	-0,2203	-0,3470	-0,1940
Hajdúszoboszló	0,5	0,6644	0,5905	0,1644	0,2784	0,1940
Balmazújváros	0,0	0,7331	0,8852	0,7331	0,8282	0,8694
Komádi	0,0	1,0602	0,7988	1,0602	1,3272	1,7688
Derecske	1,0	0,3368	0,7274	-0,6632	-0,9117	-0,8694
Salonta	1,7	0,6061	0,9129	-1,0939	-1,1982	-1,1984
Biharkeresztes	0,0	0,5352	0,8063	0,5352	0,6638	0,3957
Nyíradony	1,3	0,7044	0,8488	-0,5956	-0,7017	-0,6151
Sacuieni	0,0	0,8136	0,8242	0,8136	0,9871	1,1984
Valea lui Mihai	1,1	0,6729	0,7639	-0,4271	-0,5591	-0,3957

2. táblázat. A 2006.03.31-i csapadék adatok kereszt validációs eredményei az IDW interpolációra vonatkozóan

Csapadékmérő-állomás helye	Mért érték	Becsült érték	Hiba
Szarvas	1,9	1,5693	-0,3307
Orosháza	3,8	1,1182	-2,6818
Karcag	0,3	0,8069	0,5069
Kaba	0,7	0,5203	-0,1797
Hajdúszoboszló	0,5	0,6604	0,1604
Balmazújváros	0,0	0,6815	0,6815
Komádi	0,0	0,7796	0,7796
Derecske	1,0	0,4699	-0,5301
Salonta	1,7	0,4027	-1,2973
Biharkeresztes	0,0	0,5943	0,5943
Nyíradony	1,3	0,6750	-0,6250
Sacuieni	0,0	0,8009	0,8009
Valea lui Mihai	1,1	0,6065	-0,4935

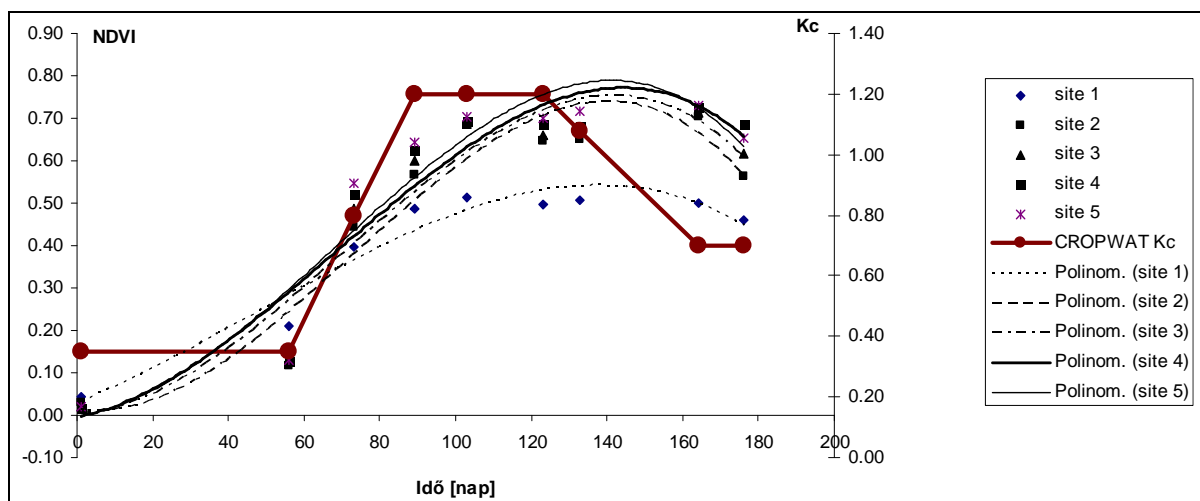
Statistikailag definiáltam az interpolálás pontosságát, meghatároztam a tesztalmezben a valódi és az interpolálással nyert értékek különbségét. Mindegyik interpolálásnál megvizsgáltam a becslés és a mért adatok eltérését. Az eltérések négyzetösszege alapján számított hibák a kiválasztott tesztmintánál azt mutatták, hogy a krigelés és az inverz távolság módszerek közel azonos értéket adtak. A krigelt értékek jóságát meghatároztam az egyes

napokon: $RMSE_{kriget2006.03.31.} = 0,9238$; $RMSE_{kriget2006.04.11.} = 2,262$; $RMSE_{kriget2006.05.17.} = 2,935$. Az IDW módszer esetében az értékek a következők: $RMSE_{IDW2006.03.31.} = 0,972$; $RMSE_{IDW2006.04.11.} = 2,184$; $RMSE_{IDW2006.05.17.} = 3,234$.

A kereszt validációban a kiugróan rossz hibaértéket az orosházai mérőállomás adataiból történő becslés adta, ami azzal magyarázható, hogy ez a csapadékmérő hely esik a vizsgálati területen belül a legdélebbre, vagyis adott rácstávolságon belül kevés a mért érték, - mivel ezen ponthoz esnek legtávolabb a környező mért értékek – így a becslés tehát nagyobb hibával terhelt.

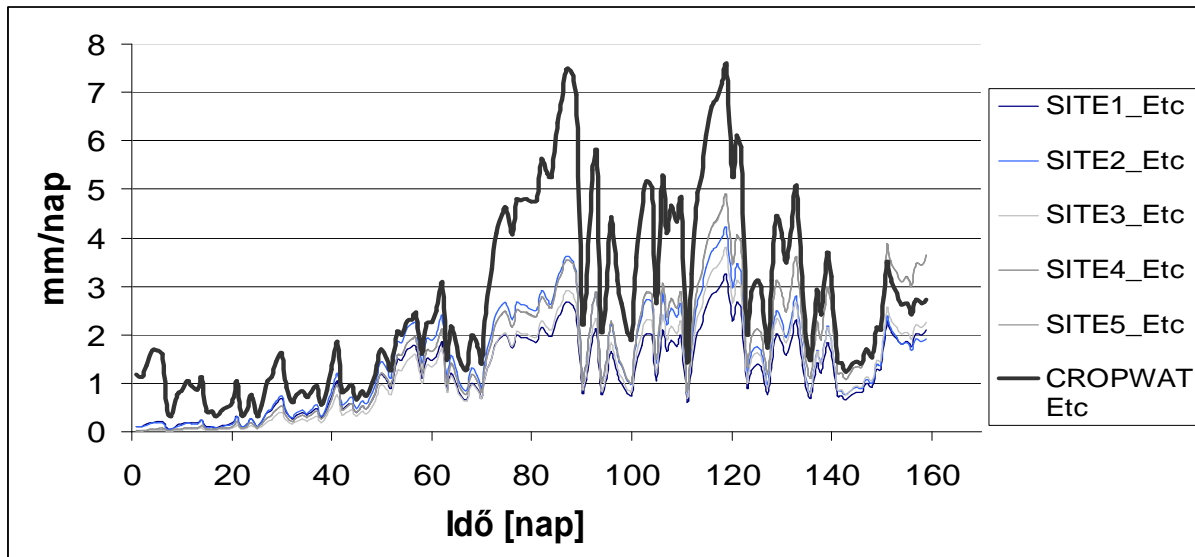
4.5. Távérzékelés alapú táblaszintű precíziós vízgazdálkodás kialakíthatóságának elemzési eredményei

Vizsgáltam egy GPS alapú helymeghatározáson és távérzékelésen alapuló vízgazdálkodási modell integráció precíziós gazdálkodásban történő alkalmazhatósági előnyeit. A Landsat idősorokból főkomponens analízist végeztem. Klaszterezéssel 5 homogénnek tűnő területet válogattam le a kísérleti területből az első főkomponens kép alapján. A Landsat TM idősoros képekből számítottam NDVI-t, amelyből kalkuláltam a K_c növényi együttható értékeit (4. ábra). Az elemzési eredményei azt mutatták, hogy a távérzékelte képekből kalkulált növényi együttható értékek sokkal megbízhatóbbak, mint a CROPWAT öntözés-tervezési modell által becsült K_c értékek. Az NDVI-ből számított K_c értékek figyelembevételét javaslom az öntözés megtervezése során, mivel alkalmazásával kiküszöbölhető az a 200-300%-os átlagos becslési hiba, amely a CROPWAT-modell használatakor a növényi együttható értékének tág intervallumából ered.



4. ábra. A növényi együttható (K_c) és az NDVI értékek közötti kapcsolat, valamint a harmadfokú egyenletek az 5 leválogatott területre

A potenciális evapotranszpiráció mérési eredményeket felszorzottam egy c konstans tényezővel (átlagos értéke 0,76), s az így módosított potenciális evapotranszpiráció (ET_o) értékeket megszorozva a növényi együtthatóval (K_c), kiszámoltam a tényleges evapotranszpirációt (ET_c) az 5 leválogatott területre (5. ábra).



5. ábra. Az 5 területre számított tényleges evapotranszpiráció (ET_c) értékek, és a CROPWAT által becsült ET_c értékek

Az NDVI és a LAI, valamint a LAI és a K_c közötti korreláció vizsgálataim szorosnak bizonyultak. Az űrfelvételekből származó elemzéseket alkalmasnak találtam a potenciális evapotranszpiráció (ET_o) számítására. A CROPWAT modell által becsült ET_o és növényi vízigény értékek meghaladják a mért adatokon alapuló számított értékeket. A kapott eredmények alapján a mért adatok használatát javaslom a gyakorlatban. A modell nemcsak a természetes csapadékon alapuló vízgazdálkodási stratégiák fejlesztésére alkalmas, hanem a különböző öntözési variánsokra is, mint pl. az öntözési időrend és a vízelosztás technikai optimalizációja.

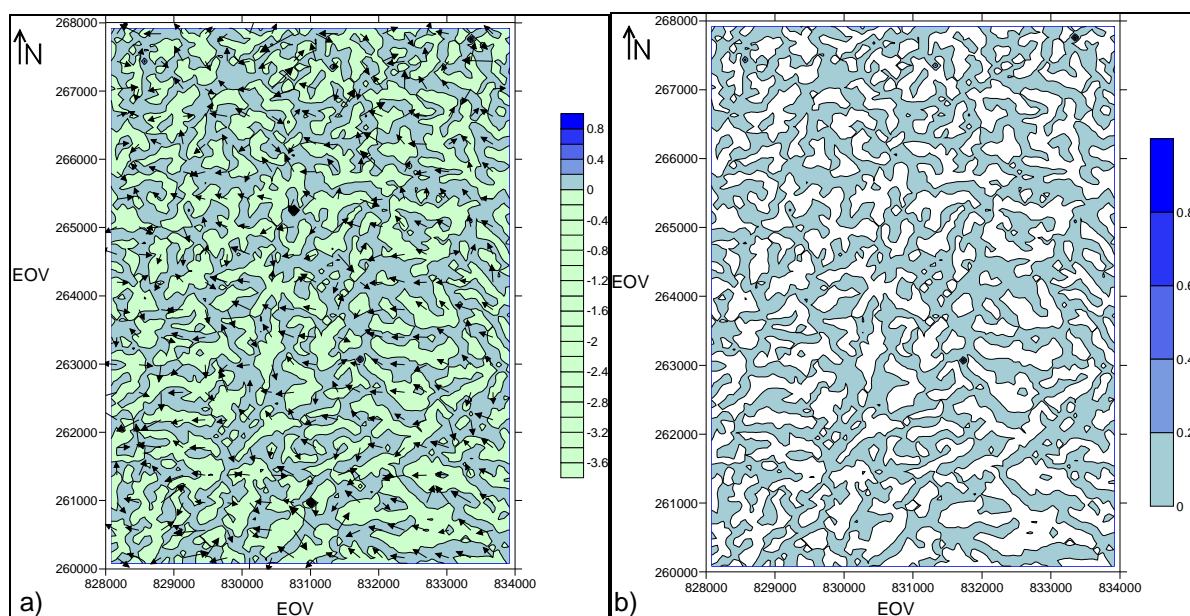
Kiszámítottam a növényi öntözővíz szükségletet, a nettó tervezett öntözővíz szükségletet mm nap^{-1} , $1 \text{ s}^{-1} \text{ ha}$ és 1 s^{-1} mértékegységben, az öntözött területet a teljes tervezett öntözési terület százalékában, és az öntözési szükségletet $1 \text{ s}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ -ban a ténylegesen öntözött területen belül. Meghatároztam a növény vízigényét és megállapítottam, hogy a módszer alkalmas az öntözési szükséglet optimalizálására.

A GPS alapú helymeghatározáson és távérzékelésen alapuló vízgazdálkodási modell integráció alkalmasnak bizonyult a környezeti vízgazdálkodási stratégiák hatékonyságának

elemzésére csakúgy, mint a természetes csapadékból és a mesterséges vízutánpótlásból származó vízmennyiség hatékony hasznosulásának fejlesztésére, továbbá a költségcsökkentés és a víztakarékosság szempontjából is nagy jelentőséggel bír. Alacsony inputokkal a különböző természetű növény fajok/fajták alatti vízkészlet vizsgálatára és a precíziós talajművelési alternatívák tesztelésére is alkalmazható a modell.

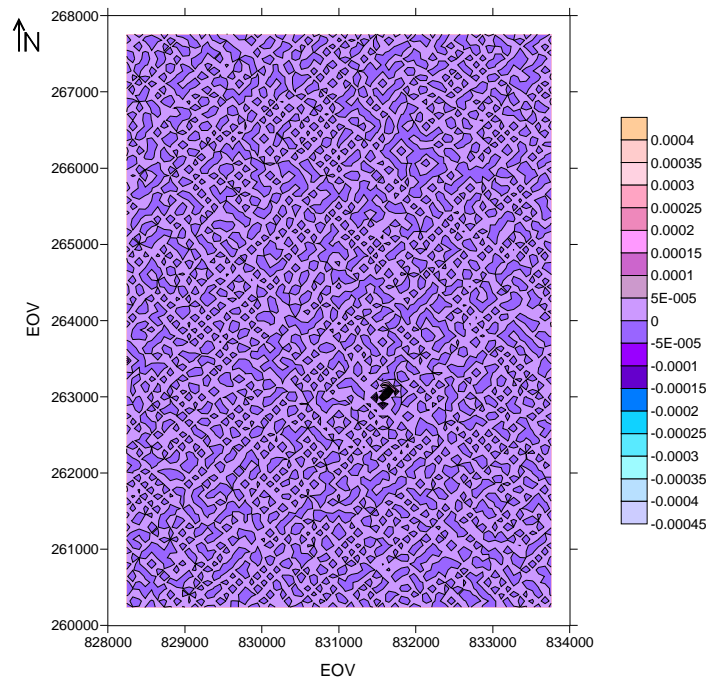
4.6. A Hajdúsági löszhát vízviszonyainak domborzati elemzése

Vizsgáltam a Hajdúsági löszhát lefolyás-összegyülekezési viszonyait Digitális Magassági Modell készítésével. Összegyülekezés-térképezést végeztem, melynek során a vizsgált terület 3D-s magassági modelljén ábrázoltam a lefolyási irányokat. A lefolyási irányok konvergenciája, ill. divergenciája megmutatta az összegyülekezés mértékét és a lehetséges belvízfoltok helyét. Elkészítettem a terület lejtő- és kitettség-térképét. A terepesésnek megfelelő lefolyási irányoknak megfelelően meghatároztam a konvexitás értékeit. Térképen ábrázoltam a mintaterület azon térrészeit, ahonnan a felszíni vizek szétterülnek, továbbá azokat a területeket, ahol a vizek összegyülekeznek (konvexitás) (6.a ábra). A konvergens területek lehatárolásával elkészítettem azt a térképet, amely a mintaterület túlnedvesedésre, belvízre hajlamos térrészeit mutatja (6.b ábra). Az ezen foltokat ábrázoló térképet a Surfer 8.0 szoftverből ArcView 3.3-ban feldolgozható, *.shp* kiterjesztésű fájlba exportáltam az eredmények számszerűsítése végett. A területszámításra szolgáló ESRI script lefuttatásával kiszámítottam valamennyi folt területét. Összegezve az eredményeket, azt kaptam, hogy az összesen 4570 ha nagyságú terület csaknem fele (49,63%) hajlamos túlnedvesedésre.



6. ábra. a) A konvexitás értékei a hajdúsági löszhát mintaterületre; b) A leválogatással kapott konvergens területek lehatárolása a hajdúsági löszhát mintaterületre

A terepi térrészeken hozzáfolyás és elfolyás egyaránt megfigyelhető. A folytonos felszín valamennyi cellájára kiszámolt értékek alapján - annak interpolációjával – megszerkesztettem az el- és hozzáfolyás különbségén alapuló vízmérleg térképet (7. ábra).



7. ábra. Az el- és hozzáfolyás vízmérlegének térképe a hajdúsági löszháti mintaterületre

Az elkészített digitális adatállomány hozzájárulhat a vízgazdálkodási beavatkozások ésszerű megtervezéséhez, a művelési ágak átszervezéséhez. Nagyobb összefüggő, belvízre hajlamos foltok esetén a gazdálkodó egységek segítséget kaphatnak a termelésből kivonandó terület kijelöléséhez, a termesztés optimalizálásához.

4.7. METEOSAT műholdképek napi átlagos területi csapadékbecslésben való alkalmazhatóságának értékelése

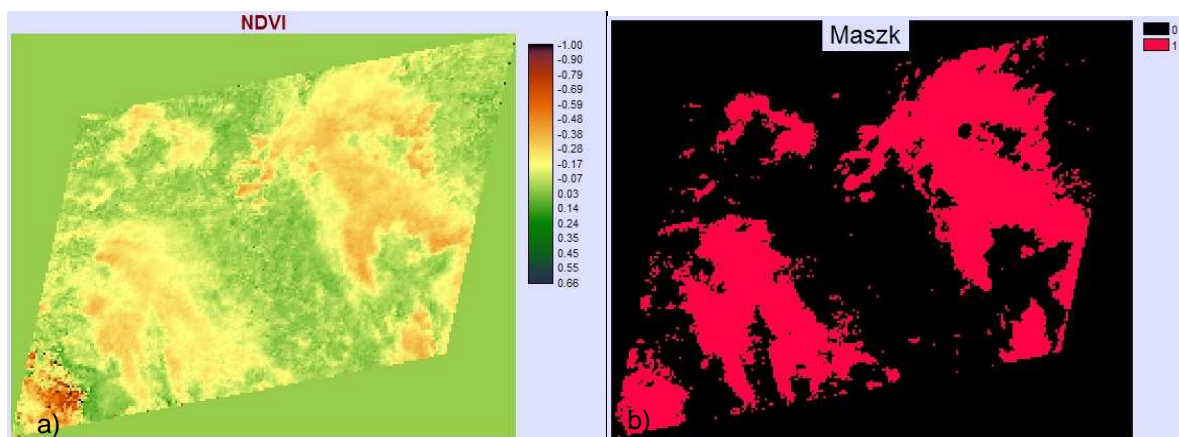
A távérzékelt képeket többlépcsős képfeldolgozási eljárásnak vettem alá. Az ENVI 4.3 szoftverben elvégeztem a lényeges információt hordozó terület (ROI – Region of Interest) kivágását és *.tiff* kiterjesztésű képként történő mentését, majd az ArcMap9.2 szoftverben elvégeztem a műholdkép EOV vetületbe illesztését, a DTA 50 állomány vektorrétegeihez történő rektifikálás alapján. A teljes idősorra vonatkozóan összesen 19 nap, napi 6 időpontjának és időpontonként 3 csatornájának felvételein hajtottam végre ezt a jelentős időigényű képfeldolgozási műveletet.

A nagyszámú rektifikált kép feldolgozását a továbbiakban az IDRISI Andes szoftverben folytattam tovább. E szoftverbe beimportálható a geotiff, ám a szoftveres feldolgozás annak

.rst kiterjesztésű raszterre konvertálását igényli. Valamennyi képen elvégeztem ezt az átalakítást, így a relatív reflektancia értékek meghatározásának akadálya elhárult.

Mindeközben elkészítettem a 6 földi csapadékmérő állomás EOV koordinátái alapján a shape fájlt az ArcView 3.3 térinformatikai szoftverben, ami lehetővé tette a mérőállomások földrajzi elhelyezkedésnek térképi ábrázolását. Ezt a shape fájlt szintén szükséges volt az Idrisi szoftver nyelvére „lekódolni”, vagyis vektorrá konvertálni.

Elvégeztem a VIS, IR és WV csatornák idősorainak főkomponens analízisét, ami kimutatta, hogy a csapadékesemény tekintetében a 12, 14 és 16 óra volt a legmeghatározóbb. Az NDVI kép elkészítését követően (8.a ábra) a vizsgálat térbeli leszűkítése érdekében maszkot készítettem a felhők leválogatásával (8.b ábra). A küszöbértéket 0,15-nél határoztam meg. Ezt követően vizsgáltam a különböző csatornák közötti összefüggés szorosságát kereszt-korreláció számításával. A kereszt-korreláció számítása során az irodalmi adatokkal egybecsengő korrelációs értéket kaptam (WV-IR: $r = 0,619$; VIS-IR: $r = 0,867$; VIS-WV: $r = 0,644$; ahol r a kereszt-korrelációs koefficiens).



8. ábra. a) Normalizált differenciált vegetációs index (NDVI); b) Az NDVI képből készített maszk

A meteorológiai állomások koordinátáit tartalmazó vektor réteget ráillesztettem a raszteres műholdképekre. A vetületi rendszer egyezőségének köszönhetően a mérőállomásokat jelző pontok körüli 3x3-as pixel terület relatív reflektancia értéke pontosan leolvasható volt. Az értékeket a Microsoft Excel programban jegyeztem fel mérőállomásonként, időpontonként és csatornánként. Az adatrögzítés végén a relatív reflektancia értékeket átlagoltam és a valamennyi mérőállomásra meglévő napi átlagos csapadék-adatokkal összehasonlítottam és diagramon ábrázoltam (9. ábra).

A VIS, az IR és a WV csatornák között lévő kapcsolatot regresszió-vizsgálat alapján fejeztem ki. A kereszt-korrelációs érték 0,61 lett a szimulált és a tapasztalt értékek között. Az

A térbeli átlagok időbeli variabilitásának értékelése során megállapítottam, hogy a műholdképek relatív reflektancia értékeinek vizsgálata és átlagolt értékeinek összehasonlítása a földi csapadékmérő állomások napi átlagos csapadék értékeivel, megbízható információt nyújt adott terület (régió) napi átlagos csapadékeseményének becslésekor.

A VIS, IR és WV csatornákra végzett regresszió vizsgálat eredménye alapján igazoltam, hogy a METEOSAT képekből származó információk hasznosak egy régió átlagos pontszerű csapadékeseményének hosszabb időszakra vonatkozó következtetésére.

Eredményeim alapján megállapítottam, hogy rövid idősorok esetén a kereszt-korrelációs érték jelentősen visszaesik, egyetlen nap átlagos csapadék értékének vizsgálatakor csaknem felére csökken.

Összességében a műholdképek csapadékmérő állomások körüli átlagos pixel értéke és a földi csapadékmérő állomásokból származó csapadék értékek közötti vizsgálatok alapján megállapítható, hogy egy hosszabb időszak vizsgálata jobb korrelációs értéket ad, ezért a műhold-alapú csapadékbecslési módszer használatát elsősorban nem napi becslésre, hanem hosszabb időszak csapadékesemény becslésére javaslom a pontosabb adatnyerés érdekében.

Dolgozatomban az agrár-környezetvédelmi feladatok szűk szejletére terjedt ki vizsgálatom. Mindazonáltal, az ismertett eredmények alapján úgy gondolom, hogy a hatékony vízkészlet-gazdálkodási fejlesztéshez ma már elengedhetetlen a térinformatika segítségével hívása. A távérzékelte adatok felhasználása nagyban hozzásegíthet a mezőgazdaság által érintett szférákban lezajló bonyolult folyamatok jobb megismeréséhez és az egyes környezeti paraméterek változásának monitoringjához. Vizsgálati eredményeim olyan megoldásokra mutatnak rá, amelyek hatékony eszközként szolgálhatnak nemcsak a természet optimalizálásában, hanem a vízgazdálkodási beavatkozások megfelelő időbeni és térbeli elvégzésében egyaránt.

5. AZ ÉRTEKEZÉS ÚJ, ILLETVE ÚJSZERŰ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEI

- 1) Létrehoztam egy hidro-geoinformációs adatbázist, egységes tematikus vektoros és raszteres környezetben természetstechnológiai-, klimatológiai-, és domborzati kataszteri adatokon. Optimalizáltam a Digitális Magassági Modellek vízgazdálkodásban történő alkalmazhatósági lehetőségeit.
- 2) Összehasonlító elemzést végeztem 8 interpolációs technikára egy kis sűrűségű csapadékmérő-hálózattal rendelkező térség csapadék-mennyiségének és -eloszlásának

térbeli becslésére vonatkozóan. Igazoltam, hogy a legjobb közelítés az exponenciális szemivariogramot és változó keresési sugárt használó ordináris krigeléssel érhető el.

- 3) Igazoltam egy GPS-RS alapú vízgazdálkodási modell precíziós gazdálkodásban történő alkalmazhatósági előnyeit.
- 4) Paramétereztem fizikai spektrális Landsat TM – NDVI idősorok alapján kalkulált K_c növényi együttható értékeket.
- 5) Megállapításaim alapján a CROPWAT modell irodalmi ET_o értékei 7-12%-kal meghaladják a mért spektrális adatokból számított ET_o értékeket.
- 6) A térbeli átlagok időbeli variabilitásának értékelése során a METEOSAT SG1 műhold látható-, infravörös- és vízpára csatornáinak adatait felhasználva napi átlagos területi csapadékbecslést kalibráltam. A csatornákra végzett főkomponens analízis eredményei alapján megállapítottam, hogy a csapadékesemény tekintetében a 12, 14 és 16 óra volt a legmeghatározóbb.

6. AZ EREDMÉNYEK GYAKORLATI HASZNOSÍTHATÓSÁGA

1. Meghatároztam a vízgazdálkodásban megbízhatóan alkalmazható Digitális Magassági Modellen alapuló értékbecslési eljárások körét.
2. Igazoltam, hogy a csapadék eloszlásának és intenzitásának vizsgálatára az exponenciális krigelés módszere a legalkalmasabb.
3. A GPS-RS-WMM modell integráció a környezeti vízgazdálkodási stratégiák hatékonyságának elemzésében effektíven alkalmazható csakúgy, mint a természetes csapadékból és a mesterséges vízutánpótlásból származó vízmennyiség hatékony hasznosulásának fejlesztésében.
4. Az űrfelvételekből számított NDVI-ből kalkulált K_c értékek az empirikus becsült K_c értékek 200-300%-os becslési hibáját nagyságrenddel képes csökkenteni.
5. Az űrfelvételek alapján történő ET_o és vízigény számítások jelentősen kisebb hibával terheltek, mint a CROPWAT modell által becsült értékek.
6. A földközeli távérzékelési adatforrások kielégítik a dinamikus változó input modell paramétereiből származó adathiányt, amelyek a robusztus pontszerű vízgazdálkodási modellek esetében tapasztalhatók. Hosszabb időszak (legalább néhány hét) vizsgálata esetén a METEOSAT műholdképek felhasználása megbízható információval szolgál az átlagos csapadékbecslésekre vonatkozóan.

7. AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉBEN MEGJELENT PUBLIKÁCIÓK

Tudományos közlemény magyar nyelvű lektorált folyóiratban:

- Nagy I. – Tamás J.:* 2005. Regionális mezőgazdasági vízgazdálkodási rendszer koncepcionális modellje. *Acta Agraria Debreceniensis*. 16. 199-209.
- Nagy I. – Tamás J.:* 2005. Cukorrépa (*Beta vulgaris* L.) termelési kvóták denzitásának optimalizálása pontszerű geostatisztikai módszerekkel. *Acta Agraria Debreceniensis*. 18. 46-50.
- Tamás J. – Buzás I. – Nagy I.:* 2005. A mintapontok folytonos GIS térbeli elemzése a cukorrépa (*Beta vulgaris* L.) termésének és minőségének vizsgálata során. *Acta Agraria Debreceniensis*. 18. Debreceni Egyetem. 56-61.
- Nagy I. – Takács P.:* 2006. Cukorgyári termeltetési rendszer térinformatikai értékelése. *Acta Agraria Kaposváriensis*. 10. 13-20.
- Nagy I. – Bíró T. – Tamás J.:* 2007. Lefolyási viszonyok vizsgálata Digitális Magassági Modell felhasználásával. *Acta Agraria Debreceniensis*. 26. 124-129.
- Tamás J. – Buzás I. – Nagy I.:* 2006. A mintapontok térinformatikai pontszerű elemzése a cukorrépa (*Beta vulgaris* L.) termésének és minőségének vizsgálata során. *Acta Agraria Debreceniensis*. 19. 32-37.

Tudományos közlemény idegen nyelvű lektorált folyóiratban:

- J. Tamás – I. Nagy – P. Burai:* 2006. Dynamic data exchange in agricultural water management strategy. *Cereal Research Communications*. 34. 57-61. (IF: 1,037)
- J. Tamás – Cs. Lénárt – I. Nagy:* 2007. Evaluation of cropfield water supply by remote sensing method. *Cereal Research Communications*. 35. 1189-1192. (IF: 1,190)
- P. Burai – E. Kovács – Cs. Lénárt – A. Nagy – I. Nagy:* 2009. Quantification of vegetation stress based on hyperspectral image processing. *Cereal Research Communications*. 37. 581-584. (IF: 1,190)

Idegen nyelvű lektorált konferencia kiadvány:

- I. Nagy – Cs. Lénárt – J. Tamás:* 2006. Advanced hydroinformatical technology: one solution for the creation of sustainable water management practice. [In: Maghiar T.T., Nagy J., Bara V., Kátai J., Csép N. I., Jávora A., Tamás J. (eds.) *Natural resources and sustainable development.*] University of Oradea Publishing House, Oradea, 803-810.

I. Nagy – P. Burai – P. Takács – J. Tamás: 2006. Field size precision water management based on time series analysis of satellite images. [In: Suarez J., Márkus B. (eds.) Shaping the Future of Geographic Information Science in Europe.]. College of Geoinformatics, University of West Hungary, Székesfehérvár, 151-160.

Magyar nyelvű nem lektorált konferencia kiadvány:

Nagy I. – Burai P. – Tamás J.: 2006. Távérzékelés alapú táblaszintű precíziós vízgazdálkodás. [In: XX. Országos Környezetvédelmi Konferencia és Szakkiállítás, Tanulmány kötet.] MTESZ, Balatonfüred, 135-143.

Tamás J. – Thyll Sz. – Juhász Cs. – Bíró T. – Lénárt Cs. – Kovács E. – Pregun Cs. – Burai P. – Kovács E. – Kovács N. – Takács P. – Nagy I. – Nagy A.: 2006. Integrált vízgazdálkodás a szántóföldi táblától a vízgyűjtőig. [In: Proc. Láng I., Jolánkai M., Csete L. (szerk.) A globális klímaváltozás: hazai hatások és válaszok, „VAHAVA” Project.] KvVM – MTA, Budapest, 1-4.

Az értekezés témaköréhez szorosan nem kapcsolódó publikációk

Tudományos közlemény idegen nyelvű lektorált folyóiratban:

J. Zsembeli – G. Tuba – Cs. Juhász – I. Nagy: 2005. CO₂-measurements in a soil tillage experiment. Cereal Research Communications. 33. 137-140. (IF: 0,32)

Magyar nyelvű lektorált konferencia kiadvány:

Zsembeli J. – Nagy I.: 2004. Talajművelési technológiák hatása a széndioxid emisszióra. [In: Kalmár I. (szerk.) IV. Alföldi Tudományos Tájgazdálkodási Napok.] Tessedik Sámuel Főiskola, Mezőgazdasági Főiskolai Kar, Mezőtúr, 130.

Nagy I.: 2005. Adatok a talajhasználat és a széndioxid emisszió összefüggéseinek feltárásához. [In: Kelemen É., Kobza R. (szerk.) XXVII. Országos Tudományos Diákköri Konferencia Agrártudományi Szekció előadásainak magyar nyelvű összefoglalója.] Tessedik Sámuel Főiskola, Mezőgazdasági Víz és Környezetgazdálkodási Főiskolai Kar, Szarvas, 201.