

DEBRECENI EGYETEM  
**Agrár- és Műszaki Tudományok Centruma**  
Mezőgazdaságtudományi Kar  
Víz- és Környezetgazdálkodási Tanszék

**KERPELY KÁLMÁN DOKTORI ISKOLA**

Doktori Iskola vezető:  
Prof. dr. Nagy János  
MTA doktora

Témavezető:  
**Prof. Dr. habil Tamás János**  
MTA doktora, tanszékvezető egyetemi tanár

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

Készítette:  
**Gombosné Nagy Ildikó**  
doktorjelölt

Debrecen  
2009

## A HAJDÚSÁGI LÖSZHÁT VÍZKÉSZLET-GAZDÁLKODÁSI FEJLESZTÉSÉNEK TÉRINFORMATIKAI ÉRTÉKELÉSE

Értekezés a doktori (Ph.D.) fokozat megszerzése érdekében  
a Növénytermesztés és kertészet tudományágban

Írta: Gombosné Nagy Ildikó okleveles környezetgazdálkodási agrármérnök

Készült a Debreceni Egyetem Kerpely Kálmán doktori iskolája  
(Környezetgazdálkodás programja) keretében

Témavezető: Prof. Dr. habil Tamás János, MTA doktora

A doktori szigorlati bizottság:

	Név	Tud. fokozat
Elnök:	Dr. habil Juhász Csaba	e. docens, Ph.D.
Tagok:	Dr. habil Prokisch József	e. docens, Ph.D.
	Dr. Bukovinszky László	f. tanár, CSc

A doktori szigorlat időpontja: 2007. szeptember 07.

Az értekezés bírálói:

	Név	Tud. fokozat
	Dr.	
	Dr.	

A bírálóbizottság:

	Név	Tud. fokozat	Aláírás
tagjai:	Dr.		
	Dr.		
	Dr.		
titkár:	Dr.		

Az értekezés védésének időpontja: 200... . . . . .

## TARTALOMJEGYZÉK

<b>1. Bevezetés.....</b>	<b>5</b>
<b>2. Irodalmi áttekintés .....</b>	<b>8</b>
<b>2.1. A vízkészlet-gazdálkodási fejlesztések lehetőségei és kihívásai .....</b>	<b>8</b>
2.1.1. Korlátozott és felértékelődő vízkészletek .....	8
2.1.2. A növény vízigénye és öntözővízigénye .....	12
2.1.3. A Hajdúsági löszhát komplex vízigénye az Eastern Sugar Rt. termeltetési rendszerében és a Civaqua-program tükrében.....	17
<b>2.2. Térségi vízkészlet-gazdálkodási feladatok informatikai lehetőségei.....</b>	<b>20</b>
2.2.1. Informatika a vízgazdálkodásban .....	20
2.2.2. Távérzékelte felvételek a vízgazdálkodással összefüggő vizsgálatok szolgálatában .....	22
<b>2.3. Digitális Magassági Modellek (DEM) .....</b>	<b>24</b>
<b>2.4. Térbeli interpolációs módszerek.....</b>	<b>26</b>
2.4.1. Távolsággal fordítottan arányos súlyozott interpoláció (Inverse Distance Weighted –IDW) .....	27
2.4.2. Krigelés (Kriging).....	28
2.4.3. Spline interpoláció.....	30
<b>2.5. A távérzékelés jelentősége a klimatikus tényezők vizsgálatában .....</b>	<b>31</b>
2.5.1. Geostacionárius műholdak .....	31
2.5.2. Poláris műholdak.....	33
2.5.3. Az MSG műholdak felhasználási területei .....	33
2.5.4. Űrfelvétel alapú csapadékbecslési módszerek.....	34
<b>3. Anyag és módszer.....</b>	<b>36</b>
<b>3.1. A vizsgálati terület általános jellemzése.....</b>	<b>36</b>
<b>3.2. Regionális komplex vízgazdálkodási koncepcionális modell tervezése.....</b>	<b>37</b>
<b>3.3. Hidro-geoinformációs rendszer kiépítésének folyamata.....</b>	<b>38</b>
<b>3.4. Komplex vízgazdálkodási rendszer adatfeltöltéséhez alkalmazható eszközök .....</b>	<b>42</b>
3.4.1. Talajnedvesség-mérő eszközök .....	42
3.4.2. Meteorológiai állomások .....	43
3.4.2.1. Agromet típusú, fix telepítésű agrometeorológiai állomások .....	43
3.4.2.2. Lambrecht-típusú meteorológiai állomás .....	44
3.4.3. Párolgásmérő kád.....	45
3.4.4. Liziméter .....	45
3.4.5. Sap Flow System - Növényi nedváramlást mérő műszer .....	46
3.4.6. Automata porométer .....	47
3.4.7. Levélfelület-mérő készülék.....	47
3.4.8. Infrahőmérő .....	47
<b>3.5. Különböző interpolációs eljárásokon alapuló Digitális Magassági Modellek alkalmazhatósági lehetőségei a vízgazdálkodásban.....</b>	<b>48</b>
<b>3.6. Csapadék adatokon alapuló térbeli interpolációs eljárások vizsgálata .....</b>	<b>49</b>
<b>3.7. Távérzékelés alapú táblaszintű precíziós vízgazdálkodás.....</b>	<b>50</b>

<b>3.8. Lefolyási viszonyok vizsgálata Digitális Magassági Modell felhasználásával</b>	<b>51</b>
<b>3.9. Napi átlagos területi csapadékbecslés távérzékelt felvételekből.....</b>	<b>52</b>
3.9.1. <i>A napi átlagos területi csapadék meghatározása METEOSAT műholdképekből</i> .....	52
3.9.2. <i>A napi átlagos területi csapadék becslésére alkalmazott módszer</i> .....	53
3.9.2.1. <i>A képfeldolgozás folyamata</i> .....	53
3.9.2.2. <i>Fájlműveletek az ArcView 3.3 és az IDRISI Andes szoftverben</i> .....	54
3.9.2.3. <i>Az átlagos relatív reflektancia értékek összehasonlítása a csapadékadatokkal</i> .....	56
<b>4. Eredmények.....</b>	<b>57</b>
<b>4.1. Regionális vízgazdálkodási rendszer koncepcionális modellje.....</b>	<b>57</b>
<b>4.2. Hidro-geoadatbázisba integrált faktorok elemzése és összefüggés-vizsgálata</b>	<b>63</b>
<b>4.3. Magassági pontok digitalizálásán alapuló Digitális Magassági Modell készítése.....</b>	<b>67</b>
4.3.1. <i>TIN-modellek térbeli elemzése</i> .....	67
4.3.2. <i>Az interpolált felszínre készített lejtő-, kiettség-, és domborzat-árnyékolás térképek</i> .....	70
4.3.3. <i>Geostatistikai elemzések</i> .....	72
4.3.3.1. <i>Hisztogram</i> .....	72
4.3.3.2. <i>Normal QQ plot</i> .....	74
4.3.3.3. <i>Trend analízis</i> .....	75
4.3.3.4. <i>Voronoi térkép</i> .....	75
4.3.3.5. <i>Szemivariogram/kovariancia felhő</i> .....	75
<b>4.4. Csapadék adatokon alapuló térbeli interpolációs eljárások értékelése .....</b>	<b>75</b>
<b>4.5. Távérzékelés alapú táblaszintű precíziós vízgazdálkodás kialakíthatóságának elemzési eredményei.....</b>	<b>80</b>
<b>4.6. A Hajdúsági löszhát vízviszonyainak domborzati elemzése .....</b>	<b>87</b>
<b>4.7. METEOSAT műholdképek napi átlagos területi csapadékbecslésben való alkalmazhatóságának értékelése .....</b>	<b>92</b>
4.7.1. <i>A VIS, IR és WV csatornák idősorainak főkomponens analízise</i> .....	92
4.7.2. <i>NDVI és maszk készítése</i> .....	94
4.7.3. <i>Kereszt-korreláció számítása a VIS, IR és WV csatornák között</i> .....	94
4.7.4. <i>A térbeli átlagok időbeli variabilitása</i> .....	96
<b>5. Következtetések és javaslatok.....</b>	<b>98</b>
<b>6. Új és újszerű tudományos eredmények .....</b>	<b>104</b>
<b>7. Összefoglalás .....</b>	<b>105</b>
<b>8. Summary .....</b>	<b>108</b>
<b>9. Publikációs jegyzék .....</b>	<b>111</b>
<b>10. Publikációk az értekezés témakörében.....</b>	<b>123</b>
<b>Mellékletek .....</b>	<b>125</b>

## 1. BEVEZETÉS

Magyarország - fekvése folytán - Európa vizekben egyik leggazdagabb országa. A Kárpát-medence vízrendszere a területen lehulló csapadéktöbbletet szinte maradéktalanul hazánkban keresztül vezeti el. Ez a helyzet a vízkinccsel való bölcs gazdálkodás szerteágazó lehetőségeit teremti meg, amire várhatóan egyre nagyobb szükségünk lesz.

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 (*Varga-Haszonits és Varga, 2004*). 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 (*Veisz és Selleyi, 2004*).

Hazánkban a térben és időben megnövekedett előfordulási valószínűségű szélsőséges időjárási jelenségek (hosszan tartó aszályos időszakok, árvizek, szélviharok) jövőbeni megismétlődésének sűrűségéről a különböző klimatikus modellek többféle eredményt mutatnak (*Nováky, 2000*). 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 csapadékadatok 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 (*Takács és Tamás, 2005*). 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.

A térinformatika, ezen belül pedig a távérzékelés igen nagy segítséget nyújt a vízgazdálkodással kapcsolatos feladatok elvégzéséhez. Egyrészt képes nagytömegű adatok rendezett feldolgozására, valamint információnyerésre is kiválóan alkalmas, mindezt úgy, hogy az adatok földrajzi koordinátákhoz kötött információit megőrzi és kezeli. 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 (Cihlar, 2000).

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 (Goodchild et al., 1996). A legtöbb környezetvédelmi probléma rendelkezik térbeli dimenziókkal. Ezeket a környezeti problémákat a környezeti modellezéssel próbáljuk megérteni, és megoldást találni. Másrészt a földrajzi információs rendszerek képesek összegyűjteni, integrálni, kezelni, elemezni a georeferenciával rendelkező térbeli adatokat (Tamás, 2005).

2002. augusztus 28-a óta szolgáltat adatokat az EUMETSAT (European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites – Meteorológiai Műholdak Hasznosításának Európai Szervezete) által működtetett MSG-1 (Meteosat Second Generation) időjárás-előrejelző műhold (Németh, 2004). 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 az épp aktuális állapotát jellemzik a Földnek, melyeket azonban fel lehet használni az időjárás előrejelzéséhez is. Az MSG meteorológiai előrejelző műhold adatai inputként szolgálhatnak a vízgazdálkodással kapcsolatosan végzett kutatásokban. A folyamatos fejlesztéseknek köszönhetően a katasztrófával fenyegető helyi felhőszakadások 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.

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.

## **2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS**

### **2.1. A vízkészlet-gazdálkodási fejlesztések lehetőségei és kihívásai**

A környezet védelme, a természeti értékek megőrzése napjainkra a társadalmi-gazdasági élet meghatározó részévé vált. Ennek alapvető oka egyrészt, a hosszú távon nem fenntartható gazdálkodás következtében, a természeti erőforrások egyre gyorsabb ütemű felhasználása, másrészt a gazdasági tevékenységek hatásaként a környezetbe kibocsátott szennyező anyagok növekvő mennyisége. Mindezek eredményeképpen, szinte minden környezeti elem állapota romlott, és ez már a használatok egyértelmű korlátozásával is együtt jár.

A fenntartható mezőgazdasági fejlesztés egyik döntő alapelve a természeti erőforrások hosszú távú védelmének biztosítása (*Tar, 2001*). Ez nemcsak a nemzetközi egyezményekből (Agenda 21), az Európa Tanács, OECD és WTO tagságunkból, valamint a vonatkozó EU szabályozások harmonizációs feladataiból és a környezet védelméről szóló törvényből származó kötelezettség, hanem piaci versenyképességünk növelésének egyik fontos tényezője.

Az Európai Unió vízgazdálkodás területén követett célkitűzéseit a vízpolitika terén a közösségi fellépés kereteinek meghatározásáról szóló, 2000. október 23-i 2000/60/EK európai parlamenti és tanácsi irányelv határozza meg, amelynek teljes körű végrehajtására a 2010 és 2012 közötti időszakban kerül sor. A mezőgazdaság és az erdőgazdálkodás a víz és a vízkészletek legfőbb felhasználóiként elsődleges szerepet játszanak a mind mennyiségi, mind minőségi szempontból fenntartható vízgazdálkodásban. A vízgazdálkodás egyre fontosabb szerepet tölt be az immár elkerülhetetlen éghajlatváltozás kezeléséhez szükséges alkalmazkodási stratégiában (*Milly et al., 2008*). *Varga-Haszonits* (2003) szerint alapvető fontosságú lesz fenntarthatóbb vízgazdálkodási gyakorlatok alkalmazása a mezőgazdaságban annak biztosítása érdekében, hogy a jövőben megfelelő mennyiségű és minőségű víz álljon rendelkezésre, és alkalmazkodni lehessen az éghajlatváltozásnak a vízkészletekre gyakorolt várható hatásaihoz.

#### **2.1.1. Korlátozott és felértékelődő vízkészletek**

A világ édesvízkészletei egyre inkább keresett hiánycikké, stratégiai jelentőségű tényezővé válnak (*Vörösmarty et al., 2000*). A vízfelhasználás határfokának növelése tehát parancsoló feladat, amelynek nincs alternatívája. Különösen érvényes ez akkor, ha

figyelembe vesszük, hogy a vízkészletek közvetlen jelentőségén túlmenően az emberiség létét biztosító biomassza-termelést akadályozó tényezők jelentős része is a vízháztartással kapcsolatos, annak oka vagy következménye.

Magyarország természeti adottságai között is nagy biztonsággal előrejelezhető, hogy az életminőség javítását célzó társadalmi fejlődésnek, a mezőgazdaság-fejlesztésnek és a környezetvédelemnek egyaránt a víz lesz egyik meghatározó tényezője, a vízfelhasználás hatékonyságának növelése, illetve ennek érdekében a talaj vízháztartás-szabályozása pedig megkülönböztetett jelentőségű kulcsfeladata – írja *Várallyay* (1989; 1995; 1997) több tanulmányban.

Vízkészleteink ugyanis korlátozottak. A lehulló csapadék a jövőben sem lesz több (sőt, a prognosztizált globális felmelegedés következtében esetleg kevesebb), mint jelenleg, s nem fog csökkenni tér- és időbeni változékonysága sem (*Várallyay, 1994*). Hazánkban – elsősorban a Magyar Alföldön – pedig éppen ennek van megkülönböztetett jelentősége (*Szesztay, 2000*). Az átlagos 550 mm évi csapadékmennyiség ugyanis többnyire szeszélyes időbeni és területi megoszlásban hull le (*Bassa et al., 1989*), gyakran csupán szerény hányada jut el a növényig. Több kutató, így *Petrasovits* (1982); *Szalai* (1989); *Várallyay* (1987); *Alföldi et al.* (1994) felhívta rá a figyelmet, miszerint ezért adódik azután rendszerint zavar a növények vízellátásában, s van, vagy lenne szükség a hiányzó víz utánpótlására, illetve a káros víztöbblet eltávolítására – esetleg ugyanabban az évben, ugyanazon a területen. A legfájdalmasabb példát erre épp a kilencvenes években egymást követő száraz évek utáni csapadékosabb periódus, illetve – még szélsőségesebben – a nagyon csapadékos 1999. évi őszt és 2000. évi tavaszt követő nyári-kora őszi, szinte csapadékmentes periódus szolgáltatta pusztító árvizeket, belvizeket, talaj-túlnedvesedést, illetve aszályt és komoly aszálykárokat eredményezve. A 85-90%-ban szomszédos országokból érkező felszíni vizeink mennyiségének növekedésére sem lehet számítani, különösen nem a kritikus „kisvízi” időszakokban. Felhasználhatóságuk mértékét nemzetközi egyezmények szabályozzák, az országból kilépő vízfolyások garantálandó vízminőségével együtt. „A víz nem ismeri az országhatárokat, ezért mint közös forrás, természeti kincs, nemzetközi együttműködést tesz szükségessé.” – olvasható az Európai Víz Charta-ban (1. melléklet). Különböző okok miatt nem lehet mesterséges víztározó-kapacitásunk jelentősebb növekedésére sem számítani. Felszín alatti vízkészleteink ugyancsak nem termelhetők ki korlátlanul súlyos környezeti következmények nélkül, mint erre az utóbbi években a már-már

katasztrófális következményekkel járó és „sivatagosodási tüneteket” okozó Duna-Tisza közti talajvízszint-süllyedés hívta fel a figyelmet (*Alföldi, 1999*).

A növekvő igények és a csökkenő készletek közötti ellentmondás csak új vízkészletek feltárásával és/vagy a vízfelhasználás határfokának növelésével oldható fel. Megfelelő minőségű új vízkészletek feltárására Magyarországon kevés lehetőség van. *Szalai* (1989) a mezőgazdasági vízellátás feladatát a vízfelhasználás hatékonyságának javításában, határfokának növelésében határozta meg. A fokozott mértékű felhasználással óhatatlanul romló vízminőség újabb és újabb vízkészleteket zár ki a növénytermesztési vízfelhasználásból. Egyértelműen levonható az a következtetés, hogy a biotermelés növekvő vízigényét a jövőben Magyarországon (is) csökkenő vízkészletekből kell kielégíteni. Hasonlóan, mint a világ számos más területén.

Az intenzív és egyre fokozódó vízhasználat minden igényt kielégítő összehangolása alapos szakértői megfontolást kíván. *Orlóczy I.* (1991) mutatott rá, miszerint „nem a vízföldrajzi adottságok változtak meg, hanem a társadalom vízzel kapcsolatos igényeiben és technológiáiban következett be érdemi, esetenként minőségi változás. Korunkban a készletek korlátozottságából ered számos új probléma, amit tovább súlyosbít a vízkészletek minőségéhez kapcsolódó globális konfliktushelyzet.” A vízrendezéseket követően kibontakozott gazdasági-társadalmi fejlődés képessé teszi a társadalom józan elemeit a tárgyilagos felmérésre és az egyértelműen káros folyamatok elszigetelésére, megállapítására, esetenként a környezeti károsodás regenerálására is (*Várallyay, 2000*).

A csapadék az egyik legváltozékonyabb környezeti elem (*Mikulec és Stehlová, 2006; Bíró et al., 2001*). A mezőgazdaság szempontjából térbeli és időbeli eloszlása rendkívül meghatározó (*Tamás et al., 2004; Farkas et al., 2005*). A szélsőséges csapadékesemények valószínűségének mennyisége és eloszlása megnövekedett Magyarországon (*Nagy, 1995; Várallyay, 2000*), mint ahogyan arról *Láng* (2003) beszámol a VAHAVA (Változás – Hatás – Válaszadás) projektben, amelyet a globális klímaváltozás vizsgálatára hoztak létre.

A rendszertelen időjárási helyzetek, valamint a gyakran mozaikosan tarka talajtakaró kombinációi változatos aszálykövetkezményeket, aszálykárokat eredményez(het)nek Magyarországon, elsősorban a Magyar Alföld változatos mikrodomborzatú, talajtakarójú és talajvízű területein, mint ezt az elmúlt évek tudományos igényű aszályelemzéseik meggyőzően igazolták (*Alföldi et al., 1994; Baráth et al., 1993; Cselőtei és Harnos, 1994; Várallyay, 1988*). Márpedig a korszerű – fenntartható –

biomassza-termelésben megkülönböztetett jelentősége van a termésbiztonságnak, a termesztési kockázatok csökkentésének, a szélsőséges vízháztartási és ökológiai stresszhelyzetek megelőzésének, kiküszöbölésének, mérséklésének.

*Cholnoky* (1911) felhívta a figyelmet az alföldi mikroformák óriási gazdagságára. *Tóth* (2000) tájformákkal foglalkozó munkájában az egész alföldön a döntően vízzel borított és hátsági területek átlagos szintkülönbségeit 5-7 m-ben állapítja meg. A Nagy- és Kis-Sárréten, a Bodroghözben, a Szatmári-síkon ez 3-4 méter, míg a Nagykunsági és Hortobágy – Hajdúsági löszhát esetében ez alig 0,3-0,6 m. *Blaskó et al.* (2003) karcagi vizsgálati területén 0,5‰-es térszín esés mellett is mért a belvizek kialakulása szempontjából igen jelentős vízgazdálkodási eltérést. *Jolánkai* (2001) megállapítja, hogy ezeken a sík területeken készített domborzati modellek az elégtelen térbeli felbontás vagy modellhiba miatt alkalmatlanok a lokális folyamatok leképezésére és ez a térinformatikai-hidrologiai modellezés szempontjából jórészt megoldatlan probléma.

A belvízi jelenség kialakulása síkvidéki körülmények között számos tényező által befolyásolt folyamat (*Bíró et al.*, 2002). *Várallyay* (1992) megállapítja, hogy a felszíni vízmozgás mellett, a gyakran kötöttebb talajokon a lassú vertikális beszivárgás miatt a felső művelt rétegben az esést követő vízszivárgás (hypodermikus elfolyás) is gyakori folyamat. Nagyobb vízvezető képességű talajokon a csapadék beszivárgó, a talajvizet elérő része a felszín alatti elfolyást követően más tereprészekben, felszín közelében felszíni elöntést is okozhat. *Kienitz* (1972) a síkvidéki összegyülekezési folyamatot négy részre osztotta fel: az első szakasz a mikrovízgyűjtőn a csapadékvíz (vagy hóolvadás) hatására meginduló tócsásodás; második szakasz a nagyobb terepmélyedésekben gyülekező néhány tíz, ill. száz négyzetméteres, egy-két deciméteres mélységű belvízfolt; a harmadik fázisban kialakul a belvízfoltlánc; a negyedik fázis a csatornabeli vízmozgás. *Pálfai* (1986) a felszín domborzati sajátosságait tekinti a belvízképződés döntő tényezőjének a síkvidéki területeken. *Tóth et al.* (2004) hasonlóképpen vélekednek; megállapították, hogy a belvízfoltok megjelenésének konkrét helyét a mikro- és mezorelief jelöli ki. A domborzat meghatározza a területről történő elemi felszíni lefolyások irányait, valamint az összegyülekezés pontjait. A felszíni vizek elfolyása a terepfelszín kis esése miatt korlátozott, azok a helyi mélyületekben gyűlnek össze. Ezekből a megállapításokból következik, hogy a mikrodomborzat meghatározása a síkvidéki vízgazdálkodás egyik nehezen mérhető, de fontos alapinformációja.

A vízháztartás-szabályozási beavatkozások szükségességének elbírálásához, elemeinek kiválasztásához, várható hatásának előrejelzéséhez, racionális sorrendjének

megállapításához, ütemezéséhez, kivitelezéséhez, bekövetkező hatásának regisztrálásához, nyomon követéséhez, ellenőrzéséhez, karbantartásához, maximális hatékonysággal történő kihasználásához megfelelő talajtani információanyag szükséges, mégpedig a beavatkozások minden szintjén (országos, regionális, üzemi és táblaszinten) és minden fázisban (döntéshozatal, tervezés, kivitelezés, ellenőrzés) (Várallyay, 2000). Mind a fejlettebb országok vízgazdálkodási gyakorlata, mind pedig az Európai Unió követelményei (Víz Keretirányelv) a környezetvédelmi és természetvédelmi szempontok nagyobb érvényesülésének szükségességét bizonyítják a vízgazdálkodás területén. Az EU vízügyi politikája a fenntartható fejlődést állítja a középpontba. Cél az egészséges ivóvízellátás, a racionális vízigények kielégítése, az ökoszisztémák megőrzése és a kockázatok megelőzése, elhárítása vagy csökkentése. A kezelendő problémák három nagy csoportja: a vízszennyezés, a vízhiányok, illetve a nem körültekintő vízhasználatok, és az emberi beavatkozások egyéb hatásai. Az alapelvek tartalmazzák a védelmet és elővigyázatosságot, a megelőzést és a károk elhárítását a keletkezés helyén, a „szennyező fizet” koncepciót, a költségek és hasznok mérlegelését, az integrációt, a szubszidiaritást és a nemzetközi együttműködést. A vízgazdálkodás sajátos szempontjai között megjelennek a szennyvízkibocsátási határértékek, vagy a befogadók (folyók, tavak stb.) vízminőségi célok szerinti szabályozása, az „övezetek” és a vízgyűjtő-igazgatás fontossága.

A fenti alapelvek képezik valamennyi meglévő EU-jogszabály alapját. A megvalósítás fontos eleme a vízre vonatkozó tíz irányelv (amelyek például a felszíni vizekre, a veszélyes anyagokra, a halászatra, a felszín alatti vizekre, az ivóvizekre és a települési szennyvizek tisztítására vonatkoznak). Ezeket kapcsolódó irányelvek teszik teljessé (a szennyvíziszap elhelyezése, az integrált szennyezés-megelőzés, a környezeti hatások vizsgálata stb.). A fentiekén túl egyéb szabályozások sokasága igyekszik biztosítani azt, hogy „minden” vízre vonatkozó tevékenység hatását és vízigényét egységes, integrált vízgazdálkodási rendszerbe lehessen foglalni.

### **2.1.2. A növény vízigénye és öntözővízigénye**

A kielégítő mennyiségű víz a növényi életfolyamatok, a fejlődés és a termésképzés elengedhetetlen feltétele (Steudle, 2000). A növények jó vízellátottsága egyik fontos tényezője a termésbiztonságnak és a minőségnek. A víz adja többek között a fotoszintézis egyik alapanyagát, biztosítja a növény testének megfelelő hűtését és a talajból a tápanyagok kivonását, szállítását (Lawlor és Cornic, 2002).

A növénytermesztés lehetőségeit és eredményét alapvetően meghatározza a termőhelyet jellemző vízállapot. A rendelkezésre álló vízkészlet értékelhető többek között a termőhelyi adottságokkal (átlagos csapadék, talajvíz mélysége, talaj fizikai tulajdonságai, domborzat), illetve a termőhely vízháztartásának dinamikájával (csapadékeloszlás, -ingadozás, talajvízjárás, evapotranszpiráció változékonysága, időszakos lefolyás).

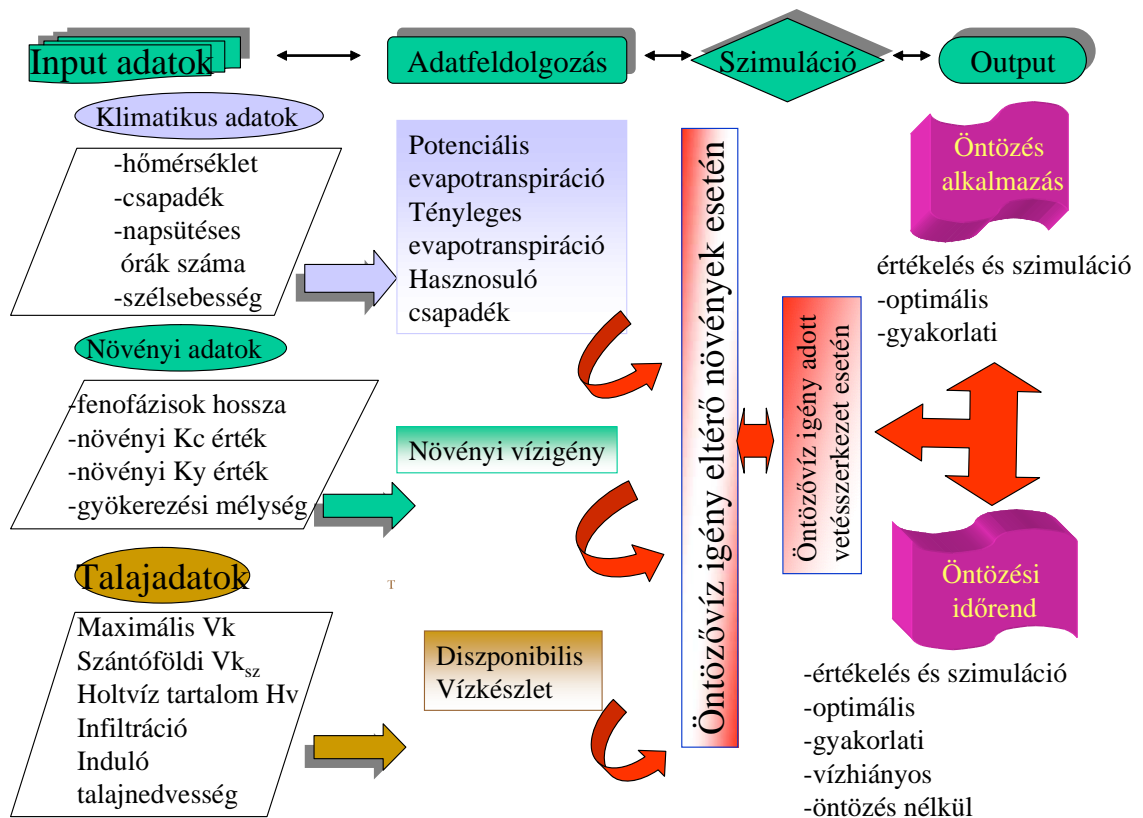
A növénytermesztés természetes vízigénye – a csapadék – csaknem mindig kevesebb a kívánt termés eléréséhez szükséges mennyiségnél (*Dawson, 1993*). A csapadékhiány a jelenlegi vetésszerkezet figyelembevételével fokozódik, így újlag felmerül a víztakarékos gazdálkodás széleskörű kiterjesztése és továbbfejlesztése. A termések fokozatosan emelkedő tendenciát mutattak az elmúlt évtizedekben, miközben a csapadék fokozatosan kisebbedett, ennek következtében a szántóföldi növények természetes vízhasznosulása egyre kedvezőbbé vált, amennyiben a vízhasznosulási együttható (WUE = water use efficiency, kg/mm) értékeinek alakulását tekintjük alapul. *Johnson és Henderson (2002)* vizsgálataira támaszkodva megállapítható, hogy a csapadék csökkenésével a természetes vízhasznosulás kedvezőtlenül növekszik, amely azonos a termések csökkenésével. Részletesen vizsgálva a különböző termést meghatározó tényezők idősorainak variabilitását megállapítható, hogy míg a csapadék relatív változékonysága szerény mértékben nagyobbodik, a vízhasznosulási érték a termések idősorára vonatkoztatva jelentősen megnövekedett. Ez annak a következménye, hogy a vízellátottság a jelenlegi technológiai szinthez viszonyítva közelíti a minimális értéket. *Vaux és Pruitt (1983)* vizsgálataik alapján megállapítják, hogy a klimatikus okokra visszavezethető vízhiány és a vele egyidejűleg kialakuló viszonylag nagy vízigényű szántóföldi növénytermesztés egyidejű bekövetkezésével a termés nagyságában megnyilvánuló kockázat egyre fokozódik, s ebből levonható az a következtetés, hogy a vízzel való gazdálkodás tényleges megvalósítására egyre nagyobb figyelmet kell fordítani, illetve olyan intézkedések megtétele válik szükségessé, melynek segítségével a termelési kockázat bizonyos mértékig enyhíthető.

*Deardorff (1978)* és *Seneviratne et al. (2006)* beszámolnak a csapadék és a hőmérséklet egyidejű alakulásának mind klimatológiai, mind pedig agroökológiai feltételek tekintetében eltérő vízháztartási helyzetet eredményező hatásáról. Mivel az eddigi vizsgálatok szerint ezeknek aránya lényegesen eltér 25%-tól, szükségszerűen az a variáns határozza meg a vízellátottság jellegét, amely a leggyakrabban fordul elő. Hazánk szélsőséges éghajlatára jellemző – főként az ország keleti felében –, hogy a

magas hőmérséklet – kevés csapadék variáns következik be a nyári félévben a legnagyobb gyakorisággal.

Az időjárástól és növényfajtól függően a termesztett haszonnövények az évek többségében mesterséges vízutánpótlásra, öntözésre szorulnak (Knox et al., 1996). A talajok csökkenő vízkészletének nyomon követése és a növények öntözővíz-szükséglete megérzés, pusztán ránézés alapján nem ítéhető meg pontosan.

A FAO Talaj- és Vízkészlet Osztályán kifejlesztett CROPWAT öntözés-tervezési és kezelési számítógépes program (Smith, 1992) az adott tábla klimatikus, talajtani és vízgazdálkodási tulajdonságait és adatait használja input paraméterekként (Tamás, 2002). A modellt a növényi vízigény és az öntözővíz-igény számítására fejlesztették ki, magyarországi tesztelésének eredményeiről Tamás és Nagy (1996) számolnak be, ezen kívül számos talajfizikai összehasonlító modell-bebecslési tanulmány is készült (Várallyay és Rajkai, 1989; Sziki et al., 1994; Juhász, 1991; Juhász et al., 1997; Blaskó és Zsigrai, 2003). A program lehetőséget biztosít különböző gazdálkodási körülmények között az öntözési rend kialakítására, és az öntözési norma számítására a különböző termesztett növényeknek megfelelően. A program az alábbi koncepcionális modellen alapszik (1. ábra) (FAO series No. 56.):



1. ábra. A CROPWAT program adatáramlási modellje

A szoftver segítségével a Penman-Monteith egyenlet alapján kiszámítható a potenciális evapotranszpiráció ( $ET_o$ ). Az egyenlethez a következő változókra van szükség: minimum-maximum hőmérséklet, légnedvesség, szélsébség és a napfényes órák száma.

A különböző növények transzspirációja több, bonyolult növény fiziológiai tulajdonságtól függ, melyről számos szerző publikált (*Petrsovits, 1988; Chunmei et al., 2008*). A vízmérleg számítást alapul véve a tényleges evapotranszpiráció közvetetten kiszámítható az alábbi egyenlet segítségével, ahol a vízháztartási egyenlet a talajnedvesség napi csökkenésére van rendezve:

$$SMD_i = SMD_{i-1} + ET_c - P_{tot} - Irr.Appl. + RO + DP \quad (1)$$

ahol

$SMD_i$  = napi talajnedvesség csökkenés [ $mm\ d^{-1}$ ]

$ET_c$  = tényleges evapotranszpiráció [ $mm\ d^{-1}$ ]

$P_{tot}$  = teljes csapadék [ $mm\ d^{-1}$ ]

$Irr.Appl.$  = a kijuttatott öntözővíz mennyisége [ $mm\ d^{-1}$ ]

$RO$  = a felszíni lefolyás [ $mm\ d^{-1}$ ]

$DP$  = mélybe szivárgás [ $mm\ d^{-1}$ ]

A tényleges evapotranszpiráció ( $ET_c$ ), kiszámítható a potenciális evapotranszpiráció ( $ET_o$ ) és a növényi együttható ( $K_c$ ) szorzataként:

$$ET_c = K_c * ET_o \quad (2)$$

ahol

$ET_c$  = tényleges evapotranszpiráció [ $mm\ d^{-1}$ ],

$K_c$  = növényi együttható [dimenzió nélküli érték],

$ET_o$  = potenciális evapotranszpiráció [ $mm\ d^{-1}$ ].

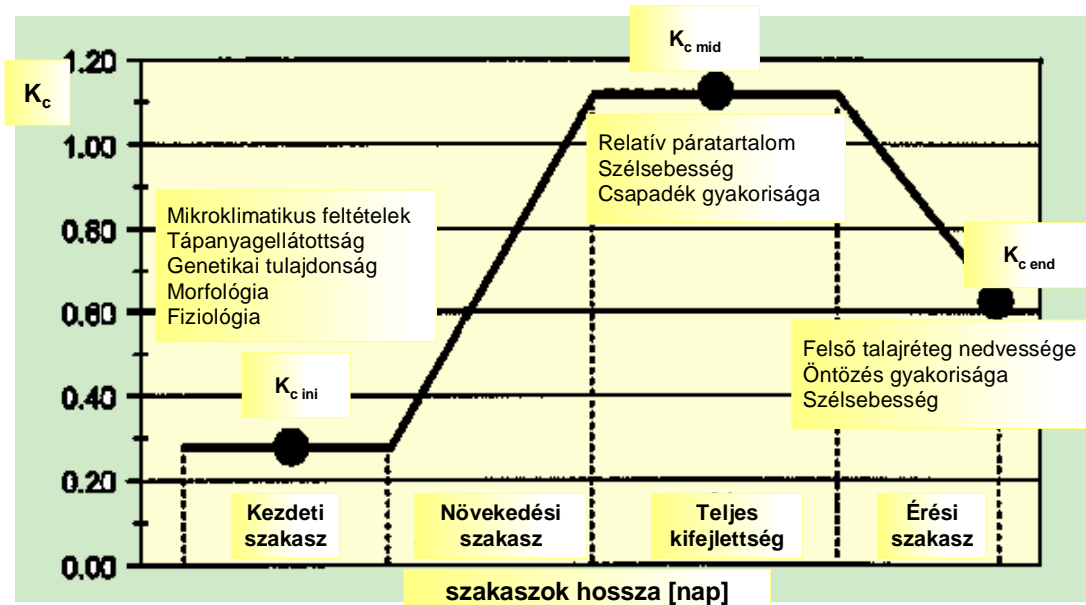
Amennyiben a talaj nedvességkészlete bőséges, s így a vízhiány nem korlátozó tényező, akkor a növényzet által elpárologtatott vízmennyiség a rendelkezésére álló sugárzási energia mennyiségétől, a levegő hőmérsékletétől és páratartalmától, valamint a szélétől függ. A kifejlett és jó vízellátottságú növényállományok közel ugyanannyi, vagy több vizet párologtatnak el, mint a szabad vízfelszín (*Fuchs et al., 1987*). E nem korlátozott vízfogyasztás mértéke jól becsülhető a potenciális párolgással, amely csak meteorológiai tényezők függvénye. A növényállományok optimálisnak tekinthető vízellátottság mellett is – főként a növekedési időszak elején és végén – a fejlődéséhez kevesebb víz szükséges, s ezért a növényállomány kevesebb vizet párologtat el, mint amekkora a potenciális párolgás értéke (*Allen et al., 1998*). A növény tényleges

vízigénye általában kisebb, mint a potenciális párolgás és értéke egy időben változó  $k$  növényi tényező alkalmazásával határozható meg.

A növények párolgtatása fejlődésük során 4 jellemző szakaszra osztható, 125 tenyésznapra számolva (Tóth, 2004):

- Kezdeti szakasz (kb.: 10%-os talajfedettség, 20 nap)  $k_c = 0,35$ .
- Növekedési szakasz (kb.: 70-80%-os talajfedettség, 35 nap)  $k_c = 0,35-1,25$ .
- Teljes kifejltség (teljes talajfedettség, 40 nap)  $k_c = 1,25$ .
- Érés szakasz (30 nap)  $k_c = 0,60$ .

A  $K_c$  meghatározása rendkívül bonyolult a számos befolyásoló tényező integrált hatásának eredményeként (2. ábra).



2. ábra. A legfontosabb befolyásoló tényezők a növényi együttható ( $K_c$ ) meghatározásában

A növény adott vízellátottság melletti párolgtatási viszonyairól többek között *Anda és Burucs* (1991); *Jones* (1992); *Gáspár* (1994) publikált. *Rajkai* (2004) felhívja a figyelmet a talajjellemzők korszerű, megfelelő pontosságú mérési módszereinek kialakítására és alkalmazására a talaj aktuális állapotára jellemző vízgazdálkodási jellemzők megismerése érdekében. *Szalai* (1989) ismerteti a talaj-növény-légkör rendszerben lejátszódó vízkészlet-változási folyamatok vizsgálatához szükséges vízgazdálkodási vizsgálati tér lehatárolását, amely alapján képet kaphatunk a hidrológiai körfolyamat elemei által befolyásolt vízkörforgásról.

A termőhelyek vízforgalmának elemzése a kutatások egyik sarokpontjának tekintendő (*Petrasovits és Vajdai*, 1982). A vízforgalmi vizsgálatok keretében szükségszerűvé

válk annak a vízmérlegnek a megállapítása és dinamikájának megismerése, amelynek birtokában rekonstruálható a ténylegesen fennálló vízhiány a gyökérszónában, a lehulló csapadékmennyiség, az abból történő elpárolgás, illetve evapotranszpiráció, továbbá a víznek a mélyebb rétegekbe való elvezetése, illetve a mélyből kapillárisan felemelkedő víznek a tömege. A vízháztartási egyenlet egyes tagjainak aránya diagnosztikus paraméternek tekinthető, melynek alapján az öntözés szükségessége, illetve felesleges volta egyértelműen a kívánt biztonsággal megállapítható.

### ***2.1.3. A Hajdúsági löszhát komplex vízigénye az Eastern Sugar Rt. termeltetési rendszere és a Civaqua-program tükrében***

Az Eastern Sugar cukorrépa feldolgozással foglalkozó vállalatcsoport volt. A cég elsődleges üzleti tevékenysége EU minőségű cukor előállítása volt a helyi fogyasztói szükségletek kielégítésére. Az Eastern Sugar Csoport az egykori kabai Hajdúsági Cukorgyár felvásárlásával alakult 1991-ben. Két fő cukorrépa termeltetési körzete a Hajdúsági löszhát (ún. kabai termelési körzet) és a Békés-Csanádi löszhát (ún. békési termelési körzet) terület. A közelmúltban még 5 gyárat működtetett 3 országban (egyet Magyarországon (Kabán), melynek bezárását 2006 őszén jelentette be és kapuit 2007. január 31-én zárta be végérvényesen), egyet Szlovákiában (Dunaszerdahelyen) és hármat Csehországban (Nemcice nad Hanou-ban, Kojetin-ben és Hrochuv Tynec-ben). Az Eastern Sugar a kabaival együtt az összes kelet-európai gyárára lakatot tett, s visszaadta a termelési-értékesítési uniós kvótát: kivonult Szlovákiából és Csehországból is (Gyüre, 2006).

A Hajdúsági löszhát löszös üledéken képződött talajtakaró túlnyomó többsége igen jó mezőgazdasági tulajdonságú és termékenységű. A jó vízgazdálkodású alföldi mészlepedékes csernozjomok uralta vidék csapadékeloszlása szeszélyes, a csapadék évi összege 530-570 mm (Ambrózy et al., 1990). A hagyományos termesztési rendszerben átlagosan 200-250 mm vízhiánnyal kell a régióban számolni. A termékek stabilitása csakis a vízhiányt kiegészítő öntözéssel valósítható meg, amely elsősorban a nagy értékű végterméket biztosító növényfeleségeknél alkalmazható eredményesen (Kang et al., 2003). A régió hátsági területként felszíni vizekben szegény. Magyarországon az összes szántóterület 2%-a van öntözésre berendezkedve (250-300 ezer ha). Ebből ténylegesen 100-150 ezer ha területet öntöznek. Hazánkban a csapadék vegetációs időszakon belüli egyenetlen, kiszámíthatatlan eloszlása és a cukorrépa nagy termesztési ráfordításai megkövetelik a kiegyenlített vízellátást, ami az évek többségében csak

öntözéssel biztosítható. Az okszerűen végrehajtott öntözéssel a fajták hozam és minőségi mutatói, valamint egyedi jellemzőik jelentős mértékben befolyásolhatók.

A hiányzó vízkészletek pótlására két fő megoldás kínálkozik:

1. A meglévő vízkészletek optimális felhasználása.
2. Felszíni csatorna sűrűség növelése és a rétegvizekre alapozott kutak alkalmazása.

A legközelebbi víznyerésre alkalmas vízfelület a Keleti-főcsatorna, amely vizének öntözési célú felhasználása vidékfejlesztési szempontból kiemelt jelentőségű lenne. Részben e probléma megoldását is szolgálná a Debrecen Önkormányzata és a Tiszántúli Vízügyi Igazgatóság kezdeményezésében kidolgozásra került alföldi ökotérség fejlesztési program, az ún. Civaqua-program. A „CIVAQUA Debrecen Térségi Vízügyi Beruházás” összetett program „Hajdúhátsági Többcélú Vízgazdálkodási Rendszer (HTVR) továbbfejlesztése” megnevezéssel indult ([www.tivizig.hu/civaqfull/civaqua](http://www.tivizig.hu/civaqfull/civaqua)). A HTVR beruházás célja a Keleti-főcsatorna – melyet elsődlegesen a Tiszántúl öntözővízzel való ellátására építettek – vizének a Hajdúhátság és Balmazújváros-Hajdúböszörmény földterületeinek öntözővízzel való ellátását irányozta elő. A csatorna vizének öntözésre való felhasználását jelentősen akadályozta az, hogy a magasabb fekvésű hajdúhádi területek öntözését gravitációs úton megoldani nem lehet. A kiváló talajadottságok intenzívebb hasznosítása a hetvenes évek elején egyre sürgetőbbé tették a Tiszalóki Öntözőrendszer hajdúhádi kiterjesztését. A TIVIZIG 1973-ban vetette fel a HTVR kiépítésének szükségességét. 1977-ben elkezdődött a HTVR I. építési ütemének megvalósítása, ám a projektet az 1981-es évi félbehagyást követően 1982-ben hivatalosan leállították. A későbbi években több kísérlet történt a projekt folytatására. A kilencvenes évek végén a fokozódó társadalmi igények, s az aszályos évek miatt kétségbeesett gazdálkodók jelentős lobby-tevékenységbe kezdtek a HTVR folytatása, illetve befejezése érdekében. A korábban domináló öntözési célú felhasználásról a fő hangsúlyok eltolódtak az ökológiai, jóléti, településfejlesztési, területfejlesztési stb. hasznosítás irányába.

Jelenleg 6 ezer hektár öntözhető terület van a térségben. A nádudvari KITE felmérése szerint a terület gazdálkodói első ütemben 4,5 ezer, a következő ütemben 4 ezer hektár föld öntözhetővé tételében érdekeltek, ami azt jelenti, hogy rövid idő alatt további 8,5 ezer hektárral nőne az öntözhető terület elsősorban a Hajdúhátságon. Az öntözővíz biztosításával elérhetjük a Hajdúhát jelentős mezőgazdasági területein a termelés biztonságossá tételét, az átlaghozamok nagymérvű emelését és a földhasznosítás

intenzifikálását. Lehetővé válik a kertészeti kultúrák széleskörű elterjedése, s a térség mezőgazdasági termékkibocsátásának jelentős növelése.

Hajdú-Bihar-megye mezőgazdasági területe 2004-ben 463 085 ha volt. Az öntözés helyzetét a 2004-es évben Hajdú-Bihar-megyében a 2. *melléklet* ismerteti.

Magyarországon a szántóföldi növénytermesztés termésmennyisége és termésbiztonsága az utóbbi húsz évben elsősorban az időjárástól függő vízellátás szerint alakult (*Várallyay, 1988; Cselőtei és Harnos, 1994; Várallyay, 2001*), azonban az öntözés a nagyértékű, intenzív növényi kultúrák (pl. cukorrépa, burgonya, csemegekukorica) és termesztési célok (pl. vetőmagtermesztés) esetében a termesztéstechnológia szerves, elválaszthatatlan részévé vált.

Az öntözés racionális továbbfejlesztése természetesen csak akkor valósítható meg, ha már ismerjük a termőhelyek vízforgalmának sajátos részfolyamatait és az azok között fennálló kölcsönhatásokat. Ezen folyamatok megismeréséhez a modellezés eszközei nyújtanak segítséget (*Tamás, 2005*). A komplex vízgazdálkodási rendszer koncepcionális modelljének kiemelt fontosságú lépése az öntözés lehetőségének vizsgálata során a vízkészlet-gazdálkodás megtervezése. Erre valós idejű modellt alkalmazunk. A valós idejű problémákat mindig az aktuális szituációban kívánjuk megoldani, és ez alapján végzünk valamilyen előrejelzést (*WMO, 1988*). A hidrológiai folyamatok ellenőrzésében és monitoring rendszerében a valós idejű modellek számos feladatot ellátnak (*Tamás, 2002*). Összegyűjtik a valós idejű adatokat, megfigyeléseket és egyéb információkat, valamint tárolják azokat a vizsgált hidrológiai rendszerek input adatainak megállapításához, tehát alapadatokat gyűjtenek valós időben különböző paraméterekre, úgy, mint a vízminőség, a csapadék, hőmérséklet stb.. Különböző időtartamú valós idejű előrejelzést hajtanak végre. Elvégzik a vízkészletekkel kapcsolatos hidrológiai folyamatok, illetve alapállapotok valós idejű ellenőrzését, valamint a különböző célú vízvisszatartási feladatok kontrollálását. Az alapadatgyűjtés, az előrejelzés és az ellenőrzés a valós idejű modellekben hierarchikus sorrendben követik egymást.

Az öntözési lehetőségek biztosításán túlmenően, a HTVR továbbfejlesztését motiváló főbb területfejlesztési igények Debrecen környezeti állapotának javítása, a porszennyezés csökkentése, elhárítása, a Debreceni Nagyerdő vízháztartási helyzetének javítása, az Erdőpusztai jóléti tőrendszer vízpótlása (*Csatári, 2000*). A CIVAQUA-projekt, mint komplex vízszolgáltató rendszer egyszerre biztosítja a természetvédelem, a mezőgazdaság, az ipar és a lakosság gazdasági-, valamint idegenforgalmi, sport és

rekreációs igényeinek kielégítését és fejlesztését. A Keleti-főcsatorna vizének felhasználására számos igény jelentkezik, melyeket tömören a 3. melléklet foglal össze.

## **2.2. Térségi vízkészlet-gazdálkodási feladatok informatikai lehetőségei**

Becslések szerint az összes információ 85%-a kapcsolódik közvetlenül, vagy közvetve a föld felszínéhez. Ezek alapján érthető, hogy a térinformatika az információ technológia egyik leggyorsabban fejlődő ága napjainkban. A térinformatika magába foglalja a térbeli adatok gyűjtésének, adatok digitális előállításának, integrálásának és elemzésének folyamatát, illetve az elemzések megjelenítését (*Maidment, 1993*). Mind a környezeti modellezés, mind a térinformatika napjainkra egy jól kifejlesztett, elterjedt és alkalmazott kutatási és gyakorlati területté vált, így evidens ezen alkalmazások összekapcsolódása.

Az EU tagországaiban jelentős fejlesztéseket tettek az agrárium informatikai rendszereinek kifejlesztésére. Az Európai Bizottság az úgynevezett „Zöld könyvben” (*EC, 1985*) hangsúlyozta: „A környezetvédelmi politikának ki kell jelölnie azokat a kereteket, amelyek között a mezőgazdasági termelés folyik.”

### **2.2.1. Informatika a vízgazdálkodásban**

A legtöbb környezetvédelmi probléma rendelkezik térbeli dimenziókkal. Ezeket a környezeti problémákat a környezeti modellezéssel próbáljuk megérteni, és megoldást találni. Másrészt a földrajzi információs rendszerek képesek összegyűjteni, integrálni, kezelni, elemezni a georeferenciával rendelkező térbeli adatokat.

A hagyományos tudományokban az egyes komplex jelenségeket egymástól elkülönítve kellett vizsgálni, míg a térinformatika ezek komplex egymásra hatásában tudja elemezni az egyes jelenségeket. A térinformatikai modellek rendkívül jól tudják támogatni a különböző döntéshozatali folyamatok megértését és szimulálását. *Tamás (2001)* szerint egy egyszerű adatbázis lekérdezés eredményeként gyakran a döntéshozó nem megfelelő információval rendelkezik a döntés előkészítéséhez. Egy komplex döntéstámogatási rendszer viszont, ahol a döntéshozatali szempontoknak megfelelő többtényezős feltételrendszert és elfogadható kockázati szinteket tudunk beépíteni a környezeti modellbe, megalapozottabb, és jóval alacsonyabb döntési kockázattal járó döntési alternatívát hozhatunk, mint egy egyszerű lekérdezés révén.

A környezeti adatállománnyal kapcsolatos műveleteket feloszthatjuk az adatgyűjtés, adatnyerés, adattárolás, adatintegrálás, adatelemzés és metaadat kezelés szintjére (Roadknight et al., 1997).

Az adatgyűjtés, adatnyerés elsősorban a feldolgozatlan, nyers környezeti adatok, mint pl. idősorok felmérése, légifotózás, stb. célját szolgálja. Az adatnyerést annak megfelelően, hogy közvetlen a környezeti objektum fizikai, kémiai, biológiai paramétereinek meghatározásával foglalkozik-e, elsődleges adatnyerésként, vagy már valamilyen előzetes adatbázis további feldolgozásával, pl. térképek, légi vagy űrfelvételek révén, másodlagos adatfeldolgozásra oszthatjuk.

Az adatgyűjtés során nyert nagytömegű adatok tárolása és kezelése általában már megkívánja, hogy valamilyen előzetes adatfeldolgozást végezzünk, amelynek célja az adatok előzetes szűrése, illetve tömörítése a későbbi információszerzés céljából. Elsősorban nagy adattömeget képviselő raszteres adatállományok esetében van erre szükség. Az adatgyűjtés során a távérzékelést is segítségül hívva az adatfeldolgozás egyszerűbbé válik. A hidrológiai folyamatok összetett jellege különböző módszerek integrálását igényli. Ahogy azt *Bíró* (1998) leírta, ehhez az integrációhoz a hidrológiai elemek és törvényszerűségek kódolása szükséges, amely értelemzhetővé teszi azokat a különböző felhasználásokhoz. Az adatállomány térinformatikai elemzésével a pontszerű adathalmaz térben és időben való becslése a cél, amely alapot adhat a természeti jelenségeknek a vizsgálati cél szempontjából megfelelő leírására (*Lénárt, 2000*).

Egy rendszer építésekor a minőségi szempontok betartására ügyelni kell, ezzel kapcsolatban van néhány kritikus feltétel. *Detrekői és Szabó* (1995) a következő szempontokat tartja nagyon fontosnak a GIS (Geographic Information System) rendszerekben: integritás, biztonság, megbízhatóság, hitelesség, hozzáférhetőség, könnyű kezelhetőség, eredményesség. Ezek közül az integritás, a hozzáférhetőség és a könnyű kezelhetőség a fő faktorok, amelyeknek fontos befolyásuk lehet a vízgazdálkodási rendszerekre. E rendszerekben az adat-minőség kritikus faktorai az adat eredete, a geometriai hibák, az attribútum adatok hibái, a topológiai hiba, az adatok teljessége, valamint az adatok frissessége.

A geoadatbázis készítésének két módját különböztetjük meg (*MacDonald, 1999 után, ArcMap help*): 1. Új geoadatbázis létrehozása a kiinduló helyzetből; 2. Létező adatok migrálása a geoadatbázisba. Bármelyik módszert alkalmazzuk, a geoadatbázis készítésekor a következő hibákat kell kielemezni:

1. Hibák a GIS rendszerben, amelyek nem függnek a működéstől:

- az elsődleges adatgyűjtés technikájának hibái (használt eszközök, mérési módszer, stb.),
- a másodlagos adatgyűjtés technikájának hibái (műveletek térképekkel, stb.),
- a valóság megváltoztatása,
- az adatgyűjtés nem megfelelő mértékű kiterjesztése.

## 2. A GIS rendszer működésének hibái:

- hibás adatbevitel (a digitalizálás hibái, attribútum adatok hibái),
- adattárolási hiba (pl. Winchester),
- az adatkezelés és adatelemzés hibái (raszter-vektor és vektor-raszter párbeszéd, interpoláció, adatelemzés),
- adat, információ-szolgáltatás hibái (plotterek hibái, adat-közvetítő eszközök hibái).

## 3. Eljárások hibái:

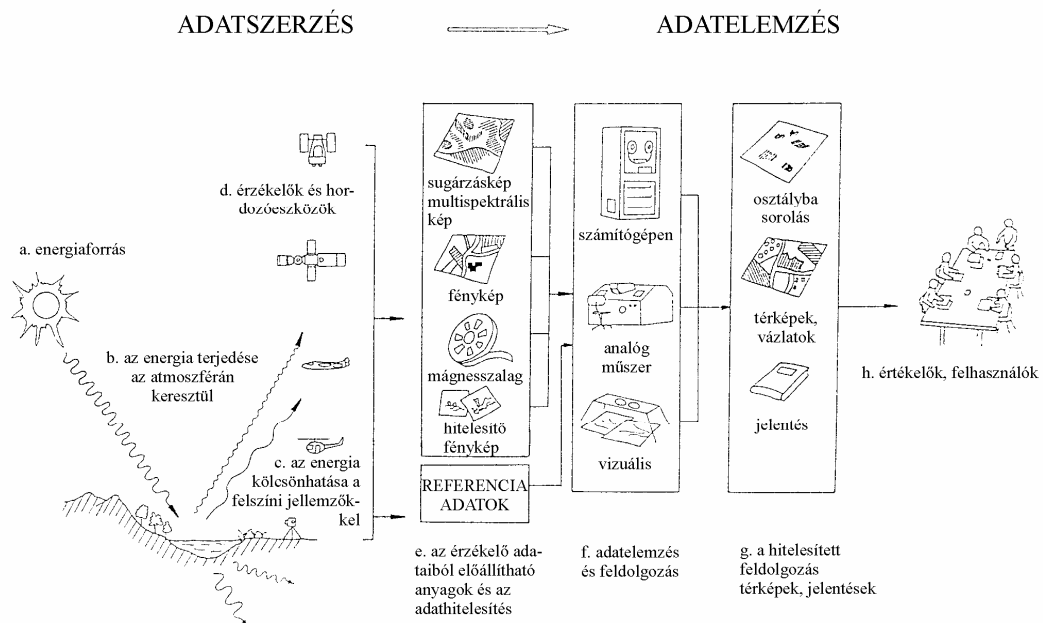
- az adatsűrűség nem megfelelő,
- az adat osztályok és adat sajátágok (features) meghatározása rossz,
- nincs elegendő szakértői ismeret az adatgyűjtéshez.

A vízgazdálkodással kapcsolatos adatok rendkívül heterogének (*Wilson, 1999*), nem csak tartalmukban, hanem informatikai formájukat tekintve is, és nagyon komplexek. Ezért az egységes környezetben történő feldolgozásuk nagyon speciális adatstruktúrát és adatfeldolgozási algoritmusok alkalmazását igényli. A jól felépített adatbázis hatékony segítséget nyújthat a vízgazdálkodással kapcsolatos modellezési feladatok elvégzéséhez és ez alapján a tényleges vízgazdálkodási beavatkozások végrehajtásához.

### ***2.2.2. Távérzékelte felvételek a vízgazdálkodással összefüggő vizsgálatok szolgálatában***

A távérzékelés legnagyobb potenciális felhasználója a mezőgazdaság. Ez azzal magyarázható, hogy a mezőgazdaság használja fel a legtöbb megújuló természeti erőforrást (*Lóki, 1996*). A távérzékelés fizikai alapja a többnyire szoláris eredetű elektromágneses sugárzás spektrális eloszlásának, illetve a sugárzás változásának detektálása. A felszínre érkező elektromágneses sugárzást a felszín anyagi tulajdonságaitól és geometriai szerkezetétől függően bocsátja ki, vagy veri vissza (*Zilinyi, 1995*). Különböző spektrumú és felbontású távérzékelte adatforrásokat használhatunk fel a vízgazdálkodással összefüggő vizsgálatok értékelésére a precíziós hiperspektrális felvételektől kezdve a globális meteorológiai folyamatokat vizsgáló

műholdfelvételekig (Singh, 1989; Burai és Lénárt, 2006). A sokcsatornás, nagy felbontású adatforrások a reflektancia ismeretében pontos környezeti állapotfelmérésre is alkalmasak, míg a meteorológiai és erőforrás-figyelő műholdak adatait nagyobb területek hosszútávú folyamatainak megfigyelésére használják (Ducros-Gambart és Gastellu-Etchegorry, 1984). A távérzékelés folyamatait a 3. ábra szemlélteti.



**3. ábra. A távérzékelés folyamatai**

A GPS alapú precíziós mezőgazdasági technológiák között az öntözés fejlesztésére eddig kevés figyelem fordítódott (Marques da Silva és Alexandre, 2003). Számos oka van ennek, de ki kell hangsúlyozni a dinamikusán változó input modell paraméterek hiányát, mint pl. a növényi és éghajlati tényezők. Az űr- és légi felvételek, valamint a földközeli távérzékelési adatforrások lehetnek azok a kiegészítő paraméterek, amelyek pótolhatják a fennálló adathiányt.

A széles körben használt robusztus pontszerű vízgazdálkodási modellek legfőbb hátránya az, hogy nem képesek megfelelő információkat szolgáltatni a gazdálkodók számára azokról a paraméterekről, amelyek dinamikusán változnak időben és farm szinten, így az integrált vízgazdálkodás több elemének szabályozása ütközik korlátokba (Kovar és Nachtnebel, 1996).

Előnye a távérzékeléssel nyert adatoknak, hogy nagy területre általánosíthatók, és így a megfigyelés költségei jelentősen csökkenthetők. A távérzékelés nemcsak a földhasználat értékelésére, a talajok vizsgálatára, a termesztett növények elkülönítésére alkalmazható, hanem a biomassza meghatározására és termésbecslésre is, továbbá

különböző vegetációs indexek számítására (*Jenson, 1996*). A vegetációs indexek főleg a diszkrét vörös (R) és közeli infravörös (NIR) csatornák reflektancia adataiból származnak. Működésük alapjául az R csatornában lévő klorofill pigment abszorpció intenzitása és a NIR csatornában a növényi anyagok magas reflektanciájának szembeállítása szolgál. Csakúgy, mint a Normalizált Vegetációs Index (NDVI – Normalized Difference Vegetation Index) esetében (*Rouse et al., 1973*), amely a legszélesebb körben alkalmazott vegetációs index, különösen abban az esetben, amikor szatellit platformból származó adatokat vizsgálunk. Az NDVI az alábbi képlet alapján számítható:

$$NDVI=(NIR-R)/(NIR+R) \quad (3)$$

ahol

NIR = közeli infra csatorna (Near Infra Red),

R = vörös csatorna (Red).

A vízgazdálkodási beavatkozások egyik nagy problémája a talaj-növény-légkör rendszer naprakész állapotának hiányos ismerete. Az adatfrissítés a legtöbb esetben költséges és az alkalmazott módszerek gyakran csak pontszerű adatokat szolgáltatnak. A távérzékeléssel lehetőség nyílik e rendszerről a térben folyamatos, valós idejű információhoz hozzájutni úgy, hogy közben a vizsgált közegben semmilyen változást nem idézünk elő.

### **2.3. Digitális Magassági Modellek (DEM)**

A környezet igen fontos tulajdonsága a domborzat. Ezért fontos jellegzetességeinek az elemzés célját kielégítő pontos leírása (*Buttenfield és Mackaness, 1991*). A digitális magassági modellek (Digital Elevation Model – DEM) a földfelszín elemzésének rendkívül hasznos és igen szemléletes eszközei, a Föld fizikai felszínét digitális magassági adatokkal írják le (*Kertész, 1997*). A térinformatikai modellalkotásban különösen nagy jelentősége van a harmadik típusú implementációs modellnek, mellyel bonyolult térbeni mintázatok, illetve gyakran sztochasztikusan változó térbeni jelenségek modellezhetőek. Ezen függvénytér típusú koncepcionális modelleknek első, gyakorlatban is elterjedt implementációs modelljei a terepmagasságok modellezésével kapcsolatban alakultak ki (*Ebner és Eder, 1992*). A modellek kialakításakor a vizsgált területet szabályos vagy szabálytalan idomokkal, általában négyzetekkel (formája a rács (grid)), illetve háromszögekkel (TIN – Triangulated Irregular Network – véletlenszerű háromszögelési eljárás) lefedik, s a lefedéshez használt idomok csúcspontjainak

magasságát meghatározzák (*Detrekői és Szabó, 1995*). A módszerek részletes leírását és alkalmazásukat hidrológiai kutatásokban megtaláljuk többek között *Tamás (2003)*; *Závoti (1993)*; *Goodchild és Kemp (1990)*; *Pfannenstein és Reinhardt (1993)* munkáiban.

A digitális magassági modellek kialakulásakor kezdetben az egyszerűbb kezelhetőség kedvéért elsősorban szabályos négyzet raszterben tárolták a magassági információt. Az esetek túlnyomó többségében azonban a mérések által meghatározott magasságok nem estek egybe a rácspontokkal, ezért a rácspontok magasságát interpolációval kellett meghatározni (*Goodchild és Lam, 1980*). Az alkalmazott interpolációs eljárások (ezekről a későbbiekben részletesen lesz szó) vagy explicit függvények együtthatóivá, vagy szabályos rácsbeli értékekké transzformálják a szórt pontok adatait. Maguk az explicit függvények is felhasználhatók rácsadatok levezetésére – közli *Cressie (1991)* –, de valódi előnyük inkább az előzetes geostatistikai analízis végrehajtásában (számításában) van. *Green (1990)* és *Mitasova (1993)* ismertetik a függvényekkel történő interpolálás előnyeit és hátrányait. *Mackanness és Beard (1993)* a modellezett jelenségekkel kapcsolatos mérések jellemzőiről tájékoztatnak. A közvetlen méréshez képest a legjobb interpoláció is információ veszteséggel jár. *Fritsch és Pfannenstein (1992)* a mért magasságú pontok tárolására a Delaunay háromszögelés elvét ismeretik a digitális magassági modellekben. *Lee (1991)*, valamint *Weibel és Heller (1993)* munkáiban a két modell közti különbségekről olvashatunk.

A digitális magassági modell létrehozásával meghatározhatjuk a víz felszínén történő mozgását, a lefolyást. A lejtőkategória-térkép megmutatja a terepfelszín egyes pontjain a lejtőhajlás mértékét (*Mitasova és Jaroslav, 1993*). A terep-lejtés a legmeredekebb lejtő vagy emelkedő irányán alapul egy adott pontban. Számítása az alábbi egyenleten alapul:

$$S_T \approx \frac{360}{2\pi} * \arctan \left[ \sqrt{\left(\frac{Z_E - Z_W}{2\Delta x}\right)^2 + \left(\frac{Z_N - Z_S}{2\Delta y}\right)^2} \right] \quad (4)$$

ahol

$S_T$  = lejtésszög [fok];

$x, y$  = a két síkbeli irány;

$Z_{E,W,N,S}$  = a magasság értékek a keleti, nyugati, északi és déli irányban.

A felszín tájolásának megismerésére kitettség-térkép készíthető. A kitettséget az az irány határozza meg, amely merőleges a kontúr vonalakra a felszínen, és lényegében

ellentétes a lejtés iránnyal (Moore et al., 1993). A kitettség-számítás egyenlete a következő:

$$A_T \approx 270 - \frac{360}{2\pi} * a \tan 2 \left[ \frac{Z_N - Z_S}{2\Delta y}, \frac{Z_E - Z_W}{2\Delta x} \right] \quad (5)$$

ahol

$A_T$  = a terep kitettsége;

$x, y$  = a két síkbeli irány;

$Z_{E,W,N,S}$  = a magasság értékek a keleti, nyugati, északi és déli irányban.

A domborzat-árnyékolás elemzésével pedig, ahol az árnyékolás lényege, hogy a domborzatot fény-árnyék hatásokkal kiemeljük úgy, mintha a felszín egy irányból megvilágítva lenne, a meredekebb és a lankásabb részek jól elkülöníthetők, a domborzat plasztikussá válik, mivel minél meredekebb a domborzat, annál sötétebb.

A digitális magassági modell segítséget nyújt az összegyülekezés számításához (Burai et al., 2003), amely a horizontális síkban mért terep kitettség-változásának mértékén alapul.

$$K_H = \frac{\left( \frac{\partial^2 z}{\partial x^2} \right) \left( \frac{\partial z}{\partial y} \right)^2 - 2 \left( \frac{\partial^2 z}{\partial x \partial y} \right) \left( \frac{\partial z}{\partial x} \right) \left( \frac{\partial z}{\partial y} \right) + \left( \frac{\partial^2 z}{\partial y^2} \right) \left( \frac{\partial z}{\partial x} \right)^2}{p^{3/2}} \quad (6)$$

ahol

$$p = \left( \frac{\partial z}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial z}{\partial y} \right)^2 \quad (7)$$

#### 2.4. Térbeli interpolációs módszerek

A mintákat jellemző paraméterek legtöbbször a területen elszórva és különböző gyakorisággal vett mintákból kerülnek meghatározásra. A pontszerű értékekből a teljes vizsgálati területet lefedő folyamatos adatfelszint, leggyakrabban valamilyen adatrácsot alakítunk ki interpoláció segítségével (Waters, 1988). Ennek megfelelően a térbeli interpoláció az az eljárás, amely a rendelkezésre álló megfigyelések által meghatározott térség mintavétellel nem rendelkező pontjaiban becslést ad a vizsgált tulajdonságok értékére, a megfigyelt pontok tulajdonságai és térbeli helyzete alapján. A térbeli interpoláció azon a feltevésen alapul, hogy a térben egymáshoz közel elhelyezkedő pontok értéke nagyobb valószínűséggel hasonló, mint az egymástól messze levő pontoké (Tobler törvénye). Ennek alapja, hogy a legtöbb esetben a tulajdonságot

jellemző értéknek egy meghatározott intervallumba kell esnie, vagy egy meghatározott értékkel vett hányadosát kell tekinteni (Lénárt és Tamás, 1999). Lam (1983) ismerteti az interpolációs eljárások főbb csoportosítási módjait. Az alábbiakban csupán az elemzéseim során alkalmazott interpolációs módszerek bemutatására térek ki.

#### **2.4.1. Távolsággal fordítottan arányos súlyozott interpoláció (Inverse Distance Weighted –IDW)**

A távolsággal fordítottan arányos interpoláció egy nagyon gyors, súlyozási módszer. Az IDW interpolációs módszer a távolságon alapuló egyszerű algoritmust használ, a cella értékeit az adatpontokat tartalmazó szomszédos cellák értékeinek átlagolásával becsli (Bartier és Keller, 1996). Minél közelebb van egy pont a becsült cella közepéhez, annál nagyobb súllyal szerepel az átlagolásban. A súlyérték hatása a vizsgálati távolsággal csökken. Ez azt jelenti, hogy minden más tényező egyezése esetén, minél közelebb van egy adatpont a keresett ponthoz, annál nagyobb súllyal számít a  $Z$  érték meghatározásában.

Adott  $N$  adat érték:  $\{Z_1, Z_2, \dots, Z_N\}$

Az interpolált érték bármely rácspontnál (legyen  $G_j$ ) kiszámítható, mint az adat pont értékek súlyozott átlaga:

$$G_j = \sum_{i=1}^N w_{ij} Z_i \quad (8)$$

ahol

$G_j$  = az interpolált rácspont érték a  $j$  pontnál

$N$  = az adatpontok száma minden rácspont interpolációjánál

$Z_i$  = a  $Z$  érték az  $i$ -edik adatpontnál

$w_{ij}$  = a  $G_j$  számításakor az  $i$ -edik adatponthoz kapcsolódó súly

A  $w_{ij}$  súly 0 és 1,0 között változik minden adatpontra, melyet az interpoláció során számba veszünk. Azon adatpontok, melyekhez nagyobb súly tartozik, az 1,0-hez közelebb eső súlyfaktorhoz íródnak, míg azok, melyekhez kisebb súly tartozik, a 0-hoz közelebbi súlyfaktorhoz íródnak (Mitas és Mitsova, 1988).

A rácslapú módszerek közötti különbség a matematikai algoritmusban van, mellyel kiszámítjuk a súlyokat a rácspont interpoláció során. Minden módszer a meglévő adatok más és más ábrázolását eredményezi. A távolsággal fordítottan arányos (IDW) összefüggés esetén a számítás alapja a következő:

$$Z_j = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{Z_i}{h_{ij}^\beta}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{h_{ij}^\beta}} \quad (9)$$

ahol 
$$h_{ij} = \sqrt{d_{ij}^2} + \delta^2 \quad (10)$$

$h_{ij}$  = effektív vizsgálati távolság  $j$  rácspont és  $i$  szomszédpont között

$Z_j$  =  $j$  rácspont interpolált értéke

$Z_i$  = szomszédos pontok  $j$  rácspont  $i$  szomszédos pontja közti távolság

$\beta$  = súlyérték

$\delta, d_{ij}$  = simító paraméterek

Az előző összefüggésből belátható, hogy ha a simító paraméter értéke 0, akkor egzakt interpolátorként alkalmazhatjuk az összefüggést. 0-1 között megadott érték esetén különböző mérvű simítást lehet elérni.

Az egzakt művelet esetén a kapott eredményben gyakran találkozunk „ökörsem” jelenséggel, azaz közel koncentrikus szintvonalakat kapunk a lokális jelleg erős figyelembe vétele miatt. *Efron és Tibshirani (1993)* beszámol e jelenség simítással történő mérséklési módszeréről.

#### **2.4.2. Krigelés (Kriging)**

A krigelés a paramétereknek ismeretlen pontban, geostatistikai alapokon nyugvó meghatározására alkalmas a környező mérési értékek alapján (*Cressie, 1990*). A módszer alapvetően egy súlyozott átlagszámítás. Az alkalmazott átlagszámítási súlyokat geostatistikai alapokon variogram-függvények segítségével határozhatjuk meg. A variogramokat számos szakirodalom tárgyalja részletesen (*Curran, 1988; Wackernagel, 1995; Grohmann és Steiner, 2008*), ezért jelenleg csupán a variogram-modellek típusait és számításukat mutatom be az *1. táblázat* segítségével.

1. táblázat. Variogram-modellek típusai és számításuk

Variogram-modell típusa	Matematikai függvény	Feltétel
Szférikus modell	$\gamma(h) = C \left( \frac{3h}{2H} - \frac{1h^3}{2H^3} \right)$ $\gamma(h) = C$	$0 \leq h \leq H$ $h > H$
Gauss-modell	$\gamma(h) = C \left[ 1 - e^{-\left(\frac{h}{a}\right)^2} \right]$	
Exponenciális modell	$\gamma(h) = C \left[ 1 - e^{-\frac{h}{a}} \right]$	
Köbös modell	$\gamma(h) = C \left[ 7 \left( \frac{h}{H} \right)^2 - 8,75 \left( \frac{h}{H} \right)^3 + 3,5 \left( \frac{h}{H} \right)^5 - 0,75 \left( \frac{h}{H} \right)^7 \right]$ $\gamma(h) = C$	$0 \leq h \leq H$ $h > H$
Összetett modell: lineáris és szférikus modell kombinációja	$\gamma(h) = K_1 h + C \left( \frac{3h}{2H_{szférikus}} - \frac{1h^3}{2H_{szférikus}^3} \right)$ $\gamma(h) = K_1 h + C$	$0 \leq h \leq H_{szférikus}$ $h > H_{szférikus}$

A súlyozott átlagszámításon alapuló interpolációk során a vizsgált pont környezetében található  $n$  db legközelebbi pontban észlelt  $z$  értékek súlyozott átlaga alapján számítjuk ki az interpolált értéket. Súlyozott átlagszámítás esetén az átlagot az alábbi függvénnyel számítjuk:

$$p = \frac{\sum_{i=1}^{n_p} w_i p_i}{\sum_{i=1}^{n_p} w_i} \quad (11)$$

ahol  $w_i$  az adott értékre vonatkozó súly-érték (Kovács és Szanyi, 2005).

A krigelést optimális interpolációként is szokta a szakirodalom emlegetni (Burrough és McDonell, 1988). Mára főleg Matheron (1965) nyomán, az eredeti egyszerű krigelésnek számos változata terjedt el, melyek közül alapvetőek a pont és a blokk krigelés.

A pont krigelés esetén a térbeli becslés alapja a pont értéke a vizsgálati rácpontban, míg a blokk krigelés a vizsgálatba vont rács cellák méretét és alakját veszi figyelembe, ennek megfelelően a blokkon belül átlagol, és nem vizsgálja a pontok értékeit. Így simító jellegű interpolátornak tekinthető.

### 2.4.3. Spline interpoláció

A Spline-módszer egy olyan interpolációs eljárás, amely a felszín görbületét minimalizáló matematikai funkció segítségével végez értékbecslést, eredményként pedig a bemeneti pontokra tökéletesen illeszkedő, sima felszínt állít elő. A minta pontjait összesűríti egy adott magassági tartományba, amelyet a minták alapján képez, ezzel felületet feszít a bemeneti pontokra, miközben minimalizálja a felszín teljes görbületét (Franke, 1982).

A Spline görbület interpolációs eljárás („sík felület interpoláció”) két alapvető feltételt szab a bemeneti felülettel szemben:

- A felszínnek pontosan kell illeszkednie az adatokat hordozó térbeli pontokra.
- A felszín minden egyes pontjának kell, hogy legyen minimum görbületi értéke (a felszín második deriváltjának kumulált négyzetösszege).

A módszer egyszerre biztosít sima (folyamatos és differenciálható), valamint összefüggő, ún. első derivált felszínt. Előfordulhatnak a szomszédos pontok között jelentős emelkedő, vagy lejtő eltérések, ezért ez a modell nem alkalmas a második derivált becslésére (Lam, 1983).

A módszer ún. rendezett opciója egy sima, fokozatonként változó felszínt eredményez, ahol az értékek kívül helyezkedhetnek el a bemeneti adatokon. A módszer módosítja a minimalizációs feltételt, tehát a harmadik derivált tagok beépülnek a minimalizálási feltételbe. A súlyozási értéket meg kell határozni a minimalizálás során. Ennek magasabb értékei simább felszínt eredményeznek; 0 és 0,5 közötti értékek használhatóak. A rendezett opció használata együttesen biztosítja a sima felszínt a sima, első derivált felszínnel.

A módszer ún. feszített opciója a modellezett jelenség jellegének megfelelően ellenőrzi a felszín merevségét. Az eredmény egy kevésbé sima felszín a mintaadatok tartományához közel szorított értékekkel. Ez a módszer szintén módosítja a minimalizációs feltételt, tehát az első derivált tagok beépülnek a minimalizálási feltételbe. A súlyozási értéket meg kell határozni a minimalizálás során. Magasabb súlyérték használata csökkenti a felület merevségét. Az interpolált felszín sima. Az első derivált értékek folyamatosak, de nem simák.

A Spline eljárás az alábbi képletet használja az interpoláció során:

$$S(x, y) = T(x, y) + \sum_{j=1}^N \lambda_j R(y_j) \quad (12)$$

ahol

$$j = 1, 2, \dots, N$$

$N$  = elemszám (bemeneti pontok száma)

$\lambda_j$  = lineáris egyenletek rendszeréből számolt koefficiens

$r$  = az  $(x, y)$  ponttól a  $j$  pontig tartó távolság

$T(x, y)$  és  $R(r)$  = különféleképpen definiált értékek, értékük a választott opciótól függ

A „rendezett” és a „feszített” opció esetében módosult képlet leírása megtalálható *Franke* (1982) munkájában.

Számítási célként az output raszter fedvényt egyenlő cellarácsú térrészekre, blokkokra bontjuk. A cellák  $x$  és  $y$  irányban megegyező számúak és mindegyik négyzet formájú. A bemeneti pontok száma alapján meghatározott érték felosztja a bementi pontok teljes mennyiségét, ami meghatározza a keletkező cellák számát. A kevésbé egyenletesen elosztályozott adatok esetében a cellák tartalmazhatnak szignifikánsan különböző számú, egyenetlen átlagú pontot. Amennyiben valamelyik cellában a pontok száma 8-nál kevesebb, a cella mérete addig növekszik, amíg nem tartalmaz legalább 8 pontot.

## **2.5. A távérzékelés jelentősége a klimatikus tényezők vizsgálatában**

Az adatok gyűjtése, tárolása a számítógépeknek köszönhetően ma már nem jelent gondot. Az utóbbi években egyre több olyan alkalmazás látott napvilágot, aminek az alapját a térinformatika jelenti. A felszíni állomáshálózat méréseinek kiegészítésére, illetve a globális, vagy a regionális folyamatok figyelemmel kíséréséhez szükséges a különböző távérzékelési módszerek alkalmazása (*Németh, 2004*).

### **2.5.1. Geostacionárius műholdak**

Az ESA (European Space Agency – Európai Űrügynökség) közel harminc éve építi a geostacionárius pályán működő METEOSAT sorozatot. Az első startra 1977-ben került sor. A kezdeti sikerek nyomán alakították meg 1986-ban a független EUMETSAT (European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites) szervezetet, amely átvette a mesterséges holdak működtetésének és az adatok hasznosításának a feladatát. Az ESA és az EUMETSAT közösen fejlesztette a további holdakat, amelyek folyamatosan képekkel látják el a meteorológusokat, segítve ezzel az időjárás-előrejelző munkát. Jelenleg a régi holdak lecserélése folyik: az első új generációs METEOSAT (MSG-1, a sorozatba illő nevén Meteosat-8) 2002 augusztusában állt pályára, és 2004 januárjától teljes mértékben működőképes. Az MSG térben, időben és spektrálisan is

jobb felbontású képeket állít elő, mint a korábbi műhold. Félóra helyett negyedóránként, 5 ill. 2,5 km helyett 3 és 1 km-es térbeli felbontásban, 3 sáv helyett 12 sávban készülnek a felvételek. A csatornakiosztást a 2. táblázat szemlélteti. A műhold 4 csatornája a látható tartományba esik, ezek felbontása pixelenként 1 kilométer, míg a többi nyolc csatorna a közeli infra és infra tartományba esik, felbontásuk 3 kilométer. Az MSG hold tehát folytatja az első generációs Meteosat műholdak 25 éves sikeres tevékenységét. Az első generációs holdaknál kialakított rendszer biztosítja a zökkenőmentes operatív áttérést. A 2005 végén indított MSG-2-vel a szolgáltatás folytatása további évekre biztosítható. Alkalmazási területei a meteorológiai kutatás és időjárás-előrejelzés mellett a hidrológia, a mezőgazdaság, a környezetvédelem, a katasztrófa-megelőzés területére is kiterjednek (Frey, 2005).

2. táblázat. A SEVIRI műszer sávjainak jellemzői és fő alkalmazási területeik

Csatorna	A tartomány jellemzői ( $\mu\text{m}$ )			Fő alkalmazási lehetőségek
	$\lambda_{\text{cen}}$	$\lambda_{\text{min}}$	$\lambda_{\text{max}}$	
1. VIS 0.6	0.635	0.56	0.71	Felszín, felhők, szélmezők
2. VIS 0.8	0.81	0.74	0.88	Felszín, felhők, szélmezők
3. NIR 1.6	1.64	1.50	1.78	Felszín, felhő-fázis
4. IR 3.9	3.90	3.48	4.36	Felszín, felhők, köd, szélmezők
5. WV 6.2	6.25	5.35	7.15	Vízgőz, magas szintű felhők, légköri instabilitás
6. WV 7.3	7.35	6.85	7.85	Vízgőz, légköri instabilitás
7. IR 8.7	8.70	8.30	9.1	Felszín, felhők, légköri instabilitás
8. IR 9.7	9.66	9.38	9.94	Ózon
9. IR 10.8	10.8	9.80		
10. IR 12.0	12.0	11.0	13.00	
11. IR 13.4	13.4	12.4	14.40	Cirrus felhők magassága, légköri instabilitás
12. HRV	Szélessávú látható (kb. 0.4 – 1.1 $\mu\text{m}$ )			Felszín, felhők

A második generációs METEOSAT műholdak alkalmazása a rövidtávú előrejelzésektől a numerikus időjárás előrejelzésig és éghajlati kutatásokig terjed. Elsődleges feladatuk a Föld folyamatos megfigyelése (felhőzet, felszínhőmérséklet, vízgőztartalom, ózonkoncentráció). A 15 perces gyakoriság lehetőséget nyújt az olyan gyorsan változó jelenségek megfigyelésére is, mint az erős konvekció (zivatarfelhő képződés). A szélmezők számítása, amelyhez a felhőzet, a vízgőz és az ózonaloszlás alakzatainak változását kell nyomon követni, szintén megbízhatóbbá vált (Putsay et al., 2004).

A képi adatok valós időben érkeznek a fő fogadóállomásra. A 32-bites adatokat korrigálják általános geostacionárius rendszerbe, a kép sarkairól kiveszik a világűr adatait, a hibás adatok helyén interpolációt vagy maszkolást végeznek és az utolsó

lépésben 10 bitre kerekítik a pixelértékeket. A képek mérete 3712\*3712 pixel, a HRV sávban 11136\*5568 pixel. A felvételeken a Föld fele jól látható.

Az MSG földi sugárzást mérő egysége (GERB – Geostationary Earth Radiation Budget) a földi klímaváltozás megértésében segít, ez egy pásztázó radiométer, ami két sávban gyűjti az adatokat. Méri a Napról a Földre érkező sugárzás mennyiségét és méri a földfelszín reflektanciáját, a hősugárzást is beleértve.

### **2.5.2. Poláris műholdak**

Az EUMETSAT másik fő adatforrása a poláris (a sarkok fölött elhaladó pályán keringő) műholdak – 1992-től már szintén digitális – felvételeinek sorozata. A „hagyományos” eszköz erre a célra az Egyesült Államok NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) műholdcsaládja volt. A sorozat olyannyira él, hogy a jövő évezredben – közli *Farkas* (1999) – újabb nemzedék kerül pályára kifejezetten EUMETSAT-célokra, az EPS (Eumetsat Polar System). Ennek már hazánk is teljes jogú hasznélvezője és fenntartója lesz. A rendszer kínálta lehetőségek – ezek részben már ma is megvannak – rövidtávú időjárási előrejelzések nagy pontosságú kiszolgálása; éghajlati figyelő (monitoring); a környezeti és éghajlati viszonyok folyamatos figyelése: termésbecslés, aszálykárok felmérése, öntözővízigény becslése, belvizek figyelemmel kísérése, időjárási veszélyek (zivatar, erős szél, nagy csapadék, hószakadás stb.) jelzése és felmérése.

### **2.5.3. Az MSG műholdak felhasználási területei**

Az időjárás analízisében és néhány órás előrejelzésében (nowcasting) rengeteg új lehetőséget jelent az eddiginél több spektrális sáv kihasználása, például a különbség és kompozit képek készítésével különböző lényegkiemelő eljárásokat lehet kidolgozni hó és felhődetektálásokra, zivatarfelhők korai felismerésére vagy jég és folyékony halmazállapotú felhőtétők elkülönítésére (Végi, 2005). A 8,7 mm-es infravörös sáv egy teljesen új csatorna, többek között Cirrus (magasszintű) felhők azonosításánál és nagy műholdzenitszögek esetén alacsony felhők, ködök detektálásánál is segít.

*Diószeghy et al.* (2005a.) beszámolnak az új műholdképek úgynevezett konceptuális modellekben történő alkalmazásának a módszer pontosságában és automatizálhatóságában megnyilvánuló eredményeiről, továbbá a csapadék mennyiségére, illetve intenzitására vonatkozó adatok műholdképekből történő becslési módszerének előrelépéséről.

A különböző európai országokban összegyűlt tapasztalatok összegzésére – tájékoztatnak *Diószeghy et al.* (2005b.) – az EUMETSAT elindított többféle nemzetközi együttműködést, az úgynevezett SAF-okat (Satellite Application Facility), hogy az új típusú adatokból meteorológiai, klimatológiai, és az óceánkutatóban fontos paramétereket származtató számítógépes algoritmusokat és programcsomagokat hozzanak létre. A nyers műholdadatokból olyan produktumcsoportokat állítanak elő, mint pl. a felhőmaszk, csapadékot adó felhő, csapadékkoncentráció (konvektív felhők esetén), kihullható vízmennyiség a különböző rétegekben, vagy a gyorsan fejlődő zivatarfelhők nyomonkövetése.

#### **2.5.4. Űrfelvétel alapú csapadékbecslési módszerek**

Számos olyan technika létezik, amely az űrfelvételek látható (visible – VIS) és infravörös (infrared – IR) tartományait alkalmazza a csapadékbecsléshez. Ezek a technikák azon a tényen alapulnak, hogy a sugárzás (legalább is ezeken a hullámhosszokon) nem hatol át a felhőn. Ezért, a felhő alsó részéről történő csapadék-hullás közvetlenül becsülhető a sugárzásból, amely a felhő tetejéről és/vagy oldaláról érkezik, a megfigyelő műszer geometriájától függően. A becslési módszer közvetett, mivel a felhő fényessége összefügg a csapadékkal, ami közvetlenül nem érzékelhető (*Tsintikidis et al., 1999*).

*Barrett és Martin* (1981) négy kategóriát javasolt a csapadékbecslésre a VIS és IR felvételek használatával:

- felhő-indexálás;
- felhő-életciklus;
- felhő-modell;
- bi-spektrál módszer.

#### *Felhő-indexálás*

A felhő indexálási technika (felfedezője *Barrett, 1970*) alapvető előfeltétele azon a tényen alapul, hogy a felhőtípusok azonosítása és osztályozása viszonylag könnyű az űrfelvételeken, és, következésképpen, a csapadék mértéke meghatározható valamennyi felhőtípusra. Ez a módszer alkalmazható a nagy térbeli felbontású havi csapadékbecslések bemutatására csakúgy, mint napi csapadékbecslésekre nagy térbeli kiterjedésű területek felett.

### *Felhő-életciklus*

Az élet-történet technikák a felhők életciklusán alapulnak. Ezen célból geostacionárius űrfelvételek sorozatára van szükség. Ennek során egy felhő (pl. cirrus anvil) területi változásának időaránya és a zivatarból eredő csapadékmérték közötti kapcsolatot vizsgálják. Ez a módszer az űrfelvételeken túl radar-méréseket vagy földi csapadékméréseket is igényel (*Stout et al., 1979*).

### *Felhő-modell*

A felhő-modell technika, amint a neve is sugallja, magában foglalja a fizikai tulajdonságait. Létezik néhány felhő-modell (1-, 2- vagy 3D), amelyek képesek a konvekció, vagy kapcsolódó felhőtető hőmérsékletek paraméterezésére a megfigyelt csapadékmértékekre, vagy tartalmaznak felhő mikrofizikát (csepp-alak, cseppegyesülés, párolgás), hogy csak néhány megközelítést említsek. A felhő modell megközelítések tipikus jellemzői *Adler és Mack (1984)*, valamint *Adler és Negri (1988)* írásaiban olvashatóak.

### *Bi-spektrál módszer*

A bi-spektrális technika szabályok egész csoportját ötvözi, amelyek alkalmasak azon felhők előrejelzésére, amelyekből a legvalószínűbben várható csapadék-hullás. Azok a felhők, amelyek a VIS csatornában világosak, sokkal valószínűbb, hogy csapadékot produkálnak, mint a sötétebb felhők, mivel a világosság összefügg az optikai-, és következésképpen a felhő-vastagsággal. Azok a felhők, amelyek az IR csatornában hidegek, szintén nagyobb valószínűséggel produkálnak csapadékot, mint a meleg felhők, mert a hideg felhőknek a meleg felhőkénél magasabb a felhőtetőjük. Vannak azért kivételek a fent említett előfeltételekben. A rétegfelhők világosak, de sem olyan sok, sem olyan gyakori esőt nem produkálnak, mint a zivatarfelhők. A cirrus felhőkből (pehelyfelhők), habár hidegek, nem hull annyi eső, mint más melegebb felhőből. A fentiek azt eredményezik, hogy mindig megfontoltnak kell lenni, amikor a bi-spektrális technikával becsülünk csapadékot (*Kidder és Vonder Haar, 1995*).

### 3. ANYAG ÉS MÓDSZER

#### 3.1. A vizsgálati terület általános jellemzése

A kutatáshoz szükséges méréseket az Alföldhöz tartozó, kevésbé tagolt síksági területen, a Hajdúhát kiváló termőhelyi adottságokkal rendelkező hajdúsági löszhát területén végeztem el.

#### *Hajdúhát*

A kistáj 93 és 162 m közötti tszf-i magasságú, lösszel, lösziszappal fedett egykori hordalékkúp-síkság peremi részén, a Nyírség és a Hortobágy között helyezkedik el. „Szigetszerű” megjelenését a Ny-i oldalán helyenként éles tereplépcső hangsúlyozza. Az alacsonyabb É-i rész a kis relatív reliefű, max. 5-7 m magas futóhomok-felhalmozódásokkal, a magasabb részeken löszös homokkal, lösszel takart enyhén hullámos síkság. A magasabb fekvésű D-i rész vertikálisan ugyancsak gyengén tagolt, de a lösszel fedett felszín pleisztocén végi holocén eróziós-deráziós völgyek tagolják (futásirányuk Ny-i és D-i) alföldi viszonylatban nagy sűrűségben.

A kistáj felszín közeli képződményei egy hordalékkúp-peremi helyzetet valószínűsítenek. A középpleisztocénig szárazulati felszínű Hajdúhátat elérő folyók üledéke helyenként lösszel fogazódik össze. Az É-i részekén futóhomok-rnozgas történt a würm végén, de a főként aprószemű homokból álló 2-4 m vastag öszlet keveset szállítódott, tiszta futóhomok jelenleg nincs a felszínen, valamennyit befedi a feltehetően felsőpleisztocén lösz, löszös homok. A D-i részeket 2-10 m vastag lösz, ill. az iszapos folyóvízi üledékekből diagenetizálódott ártéri infúziós lösz fedí. Ehhez jelentős agyagelőfordulások kapcsolódnak.

Mérsékelt meleg és száraz kistáj. É-ról D felé 1950 órától 2000 óráig nő az évi napsütés összege. Az évi középhőmérséklet 9,7-9,9 °C. A táj nagy részén a csapadék évi összege csak 530-550 mm, de É-on ennél több (570-590 mm). A tenyészidőszakban É-on 350-360 mm, máshol csak 320-330 mm esőre számíthatunk. A hótakarós napok száma évente 38-40, és az átlagos maximális vastagsága 16-18 mm. Az ariditási index értéke 1,28-1,33, É-on 1,19-1,24. Kb. azonos gyakorisággal lehet számítani ÉK-i, É-i és DNy-i szélre. Az átlagos szélesség 2,5-3,0 m/s között van. Száraz, szeszélyes csapadékeloszlású vidék, és ez elsősorban csak a szárazságtűrő növényfajok természetét teszi gazdaságossá.

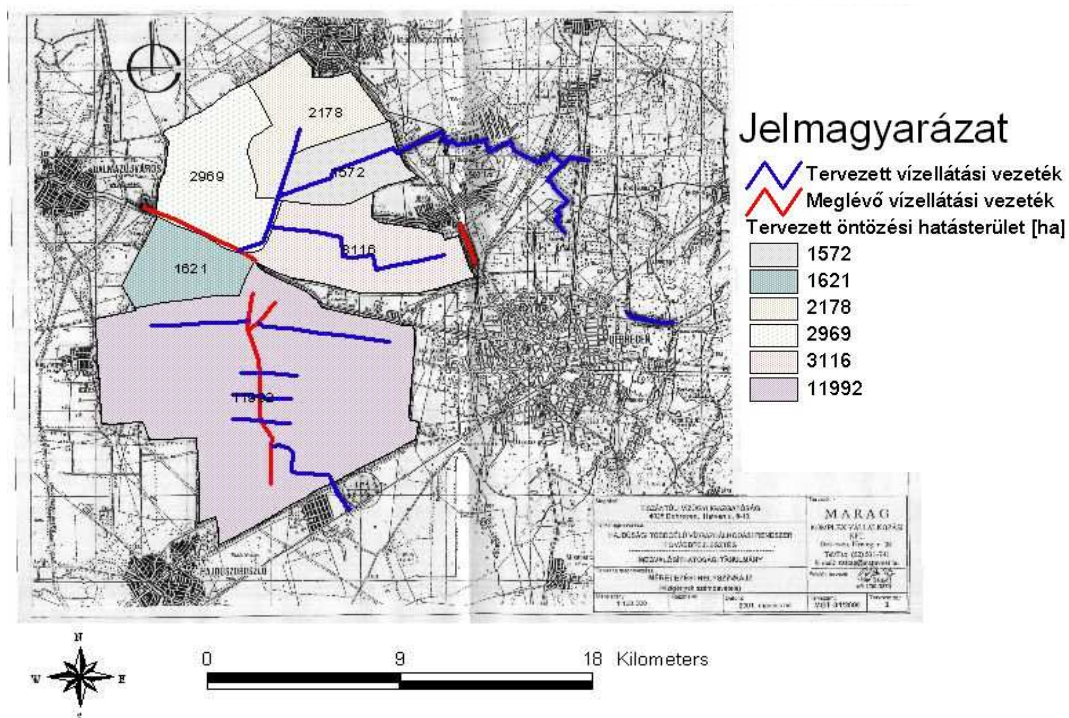
Vízrajzát tekintve É-on a Tisza-völgy Balsa - Rakamaz - Tiszalök közötti szakaszára, majd folytatásában a Keleti-főcsatornára (110 km) támaszkodik, amely a kistáj Ny-i peremén halad. A természetes vízfolyások Ny-nak lejtve bújthatóval haladnak át alatta és a Hortobágyba folynak. Vízháztartását szárazság, gyér lefolyás és vízhiány jellemzi. A vízfolyásokban állandó jelleggel csak csapadékos időszakokban van víz. Máskor csak tavasszal jelentkeznek árhullámok. Az állóvizek száma kevés. Két kis természetes tava együtt nem éri el a 7 ha-t. A mesterséges tározók már nagyobbak. A hat ilyen állóvíz felszíne közel 260 ha. A talajvíz mélysége 2-4 m között van a táj nagyobb részében, de Hajdúböszörménytől D-re 6 cm alá mélyül. Mennyisége jelentéktelen.

A talajtakaró 95%-a löszös üledékeken képződött. Ezek túlnyomó többsége igen jó mezőgazdasági tulajdonságú és termékenységű. Közülük a legnagyobb területi részarányban (72%) az alföldi mészelepedékes csernozjomok fordulnak elő (*Ambrózy et al., 1990*).

### **3.2. Regionális komplex vízgazdálkodási koncepcionális modell tervezése**

A Hajdúhát déli részén fekvő területet Ny-on a Keleti-főcsatorna, K-en a Derecskei-Kálló vízgyűjtő területe határolja. Déli oldalon Hajdúszoboszló, míg északi oldalon Hajdúböszörmény tekinthető a kutatási terület határának.

A KITE Rt. rendelkezésemre bocsátott egy 1:100 000 méretarányú térképet, amelyen az ESRI/ArcView GIS 3.3 térinformatikai szoftverrel elvégeztem a CIVAQUA-programban tervezett öntözési hatásterületek, a meglévő-, valamint a tervezett vízellátási vezetékek digitalizálását. A szoftver számos futtatható programmal rendelkezik, melyek közül a területszámításra szolgáló scriptet lefuttatva végeredményképpen megkaptam a 6 részre osztott, tervezett öntözési hatásterület nagyságát hektárban. A 6 részterület összesen mintegy 23 450 ha kiterjedésű. A meglévő öntözőtelepek digitalizálását elvégezve kiderült, hogy a 23 450 ha területből csaknem 2 130 ha a jelenleg öntözött terület, ami alig több, mint 9%-a a teljes területnek. A vizsgálati terület digitalizált képét mutatja a *4. ábra*.



4. ábra. Az öntözés-fejlesztés szempontjából a Hajdúsági löszháton lehatárolt terület digitalizált képe

Kutatásaim a Hajdúsági löszhát vízgazdálkodási lehetőségeinek fejlesztésére irányulnak. A Hajdúsági löszhát intenzív mezőgazdasági terület. A területen egyre növekvő vízigények kielégítése azonban nem megoldott. Feltérképezve a térségben jelentkező vízigényeket, egységes keretbe foglalva kidolgoztam egy regionális vízkészlet-gazdálkodási logikai modellt. A munkát az adatgyűjtéssel kezdtem és egy öt fázisra bontható valós idejű modellben foglaltam össze a vízkészlet-gazdálkodás tervezését.

A vizsgálatok során a térinformatika eszközeit is segítségül hívtam a hidrológiai paraméterek tér- és időbeli változásának alaposabb megismeréséhez. A különböző döntéshozatali folyamatok megértése és szimulálása érdekében, valamint a megfelelő döntési alternatíva kiválasztásához döntéstámogatási rendszert építettem ki a térinformatikai adatok felhasználásával.

### 3.3. Hidro-geoinformációs rendszer kiépítésének folyamata

A rendszer kialakításának első lépéseként komplex adatfelvételezést végeztem az egykori cukorgyár, a kabai Eastern Sugar Rt. termeltetési körzetében.

Az adatfelvételezés egyik mérföldköve az általános termelési színvonal vizsgálata volt. Alapjául az Eastern Sugar Rt. kabai gyárának munkatársával közösen kidolgozott, a CIVAQUA-program keretében készített kérdőív szolgált. Összesen 15 termelő adatait vizsgáltam meg. A kérdőívekből az alábbi adatokat dolgoztam fel a kabai körzetből és rendeztem adatbázisba: termelő neve; tábla neve, helyrajzi száma; szántóterület nagysága; öntözhető terület nagysága; talaj típusa; pH; tápanyagvisszapótlási adatok; vetési adatok; gyomirtási adatok; lombvédelmi adatok; levéltrágyázási adatok; öntözési adatok; egyéb adatok (talajlazítás, kultivátorozás); termésátlag; műszaki háttér; foglalkoztatottak száma, végzettsége. Elvégeztem a talajtani viszonyok feltérképezését is táblatorzskönyv alapján. Ezt követően az adatokat összesítettem cégenként, majd településenként.

A térinformatika rohamos fejlődésének köszönhetően az Eastern Sugar Rt. is belépett azon felhasználók sorába, akik termeltetési adataikat térinformatikai eszközök segítségével kívánták feldolgozni. Ennek egyik kiemelkedő oka a megnövekedett információ mennyiség, valamint az adatok helyhez kapcsolhatósága. Vizsgálataimhoz 1:10 000 méretarányú kataszteri térképek adatait használtam fel. Az adatszolgáltatásban az Eastern Sugar Rt. volt segítségemre. A cukorgyár 2 fő termeltetési körzetre volt bontható: az ún. kabai és a békéscsabai termelési körzetre. Vizsgálataimat a kabai körzetre terjesztettem ki, ezt a termeltetési körzetet 39 térképszelvény fedte le. Ezen a termelői körzeten belül a cukorgyárnak beszállító cégek területei eloszlásuk szerint 6 településre terjedtek ki (Balmazújváros, Debrecen, Ebes, Hajdúböszörmény, Hajdúszoboszló, Nagyhegyes).

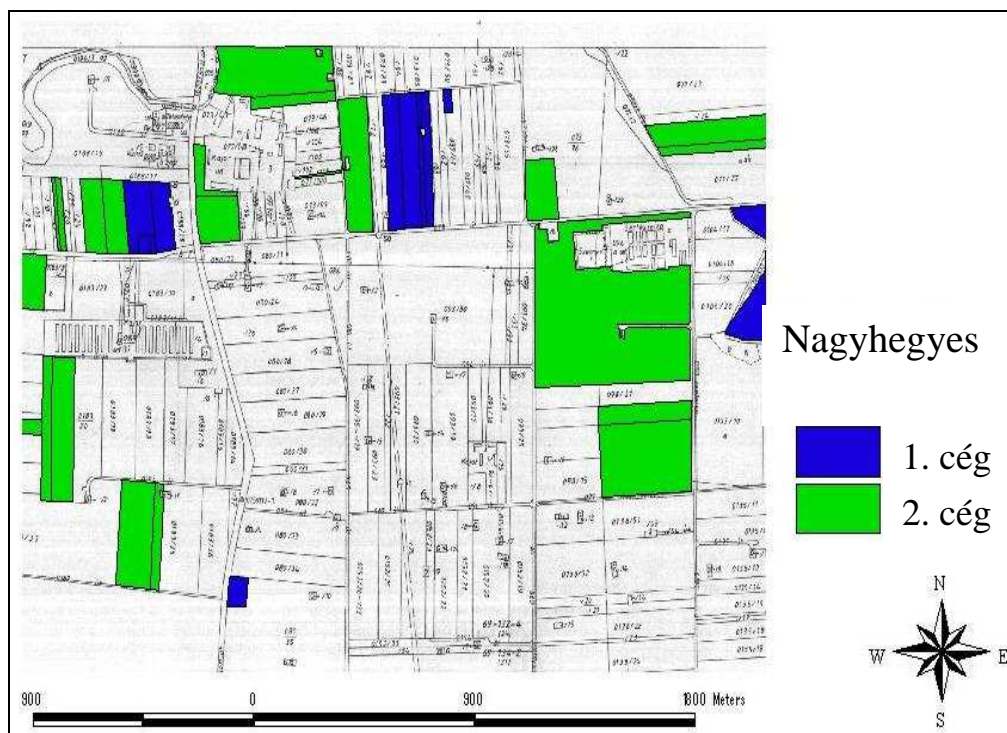
Elvégeztem a 39 db A1 méretű, 1:10 000 méretarányú kataszteri térkép szkennelését szürke színskálában, 150 dpi felbontásban. A kabai termelői körzetet az alábbi megoszlásban fedték le a térképszelvények:

- Balmazújváros: 7 db térképszelvény
- Debrecen: 10 db térképszelvény
- Ebes: 4db térképszelvény
- Hajdúböszörmény: 5 db térképszelvény
- Hajdúszoboszló: 5 db térképszelvény
- Nagyhegyes: 8 db térképszelvény

A feldolgozott területek nagysága összesen 7089,9571 hektár.

A beszkenelt térképszelvényeket georektifikáltam, azaz a képi adatokat vetületi rendszerhez illeszttem, és vetületi koordinátákkal láttam el. A vonatkoztatási rendszer az Egységes Országos Vetület (EOV) volt. A képtranszformáció során kiválasztottam az illesztőpontokat (GCP) a DTA-50 állományt alapul véve.

A georektifikálást követően, a 39 db vetületbe illesztett térképen bedigitalizáltam a cukorgyár azon termelőinek termőterületeit, amelyek a kabai körzetben lévő 4 legnagyobb területi kiterjedéssel rendelkező alkörzetbe (balmazújvárosi-, ebesi-, hajdúszoboszlói-, nagyhegyesi-alkörzetek) tartoztak. Mintaként az 5. ábra a nagyhegyesi termelői alkörzet kataszteri térképén mutatja a termelők cukorrépa termőterületeinek elhelyezkedését. A leválogatásukhoz a parcellák helyrajzi számát vettem alapul. A cégek nevét adatvédelmi okokból nem áll módomban közölni, ezért azokat számkódolással láttam el. Ezt követően meghatároztam az ily módon felosztott területek nagyságát az ArcView 3.3 szoftver segítségével. A szántóterületek nagyságát először cégenként, majd termelői alkörzetenként összesítettem. A térképszelvények összehasonlítását követően a cégenként szíkulccsal ellátott képen átfogó képet kaptam a cégek termőterületeinek eloszlásáról. Az egymás mellett lévő, azonos céghez tartozó területeket blokkosítottam. A meglévő természetstechnológiai adatok képezik annak az adatbázisnak az alapját, melyből digitális formában integrált geoinformációs rendszert alakítottam ki.



5. ábra. Nagyhegyes egyik kataszteri térképének részlete, rajta a gazdálkodók cukorrépa termőterületeinek elhelyezkedésével

A vizsgálatom alá vont területen több reprezentatív pontra (Balmazújváros, Derecske, Hajdúszoboszló, Kaba, Orosháza és Szarvas területén) a cukorgyár meteorológiai állomást telepített, melyek mérték a hőmérsékletet, a csapadék mennyiségét, a páratartalmat, valamint a leveledvességet. Ezen kívül a karcagi mérőállomás adatait is rendelkezésemre bocsátotta a DE AMTC Karcagi Kutatóintézete.

A geoinformációs rendszerben a termelők termőterületeinek ismeretében kiválogattam a mennyiségileg és minőségileg megfelelő adatokkal szolgáló termelőket, majd a hozzájuk tartozó parcellák attribútum tábláit feltöltöttem a nyilvántartás adataival (tábla nagysága, talajtípus, talajmunkák, vetési adatok, növényvédelem, termés mennyiségi és minőségi mutatói stb.). Az így létrehozott geoadatbázist korszerű térinformatikai és statisztikai módszerekkel elemeztem ESRI/ArcMap, ill. ArcView környezetben. Munkám során arra kerestem a választ, hogy milyen térbeli és statisztikai összefüggés állítható fel a termesztéstechnológia egyes elemei, és a termés nagysága között.

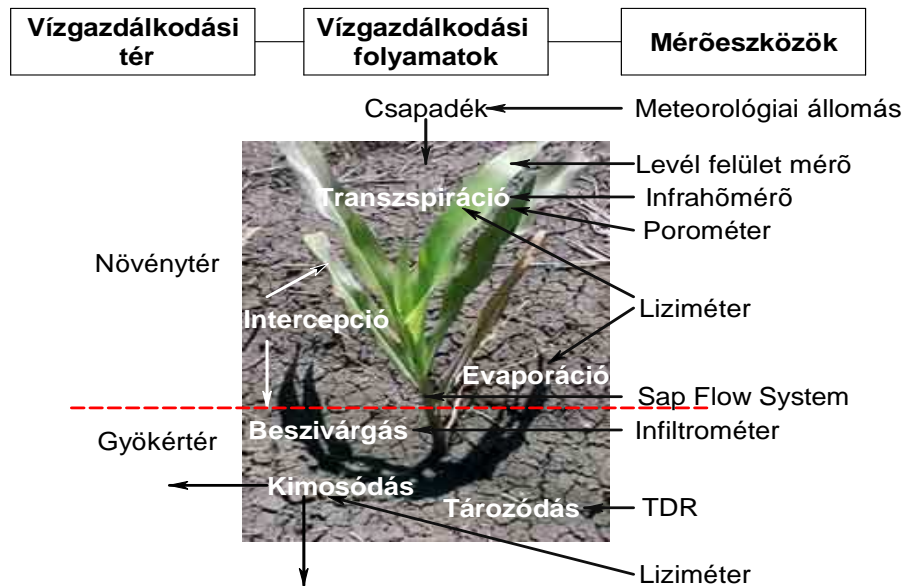
A kialakított adatbázis alapján lehatároltam egy szűkebb területet a vizsgálataim céljára. Ez a 19 hektáros tábla a Hajdúböszörményi Mezőgazdasági Rt. kezelésében áll. A terület talajtípusa mély humuszos rétegű, vályog mechanikai összetételű csernozjom.

Az adatok térképi rögzítését követően logikai földrajzi modellt készítettem, majd elemzést hajtottam végre. A kitűzött cél érdekében szükséges adatforrások meghatározását követően azok térképi rétegekre való bontását végeztem el és annak meghatározását, hogy az egyes rétegekben milyen objektum típusokat fogok elhelyezni. Elvégeztem a szükséges adatintegrációt az egységes vektoros és raszteres környezet kialakításához. A meglévő adatok birtokában hidro-geoadatbázist hoztam létre.

A geoadatbázis készítésének módjai közül a kiinduló helyzetből történő új geoadatbázis létrehozásának módszerét alkalmaztam, amely esetben az ArcMap térinformatikai eszközben az ArcCatalog-ot használtam. Az ArcCatalog-ot alkalmazva a következő adatokat hoztam létre: feature adattáblák (datasets), táblázatok, geometriai hálózatok, adat osztályok (Feature Class), összefüggés osztályok. A geoadatbázis hidrografikus komponense tartalmazza a pont features-t (Hidro Pont), mint műszaki létesítményeket, topografikus térképekből elkészítve, és monitoring pontokat (mérő- és mintavételi pontok). Az *Y* és *X* koordináták vagy szélességi fokok és ezek földrajzi hosszúság attribútumai a pont feature-k helyének meghatározására szolgálnak.

### 3.4. Komplex vízgazdálkodási rendszer adatfeltöltéséhez alkalmazható eszközök

Ha a vízgazdálkodási teret két részre, a gyökértérre és a növénytérre osztjuk, a 6. ábra segítségével szemléletes képet kapunk az itt lejátszódó vízgazdálkodási folyamatokról. Mint az az ábrán is látszik, számos eszköz szolgál a vízmérleg egyes elemeinek mérésére. A következőkben csupán a kutatásom során általam használt eszközök bemutatására térek ki részletesen, illetve röviden említést teszek az egyéb alkalmazásokról.



6. ábra. A vízgazdálkodási térben lejátszódó folyamatok és a vízmérleg egyes elemeinek mérésére szolgáló eszközök

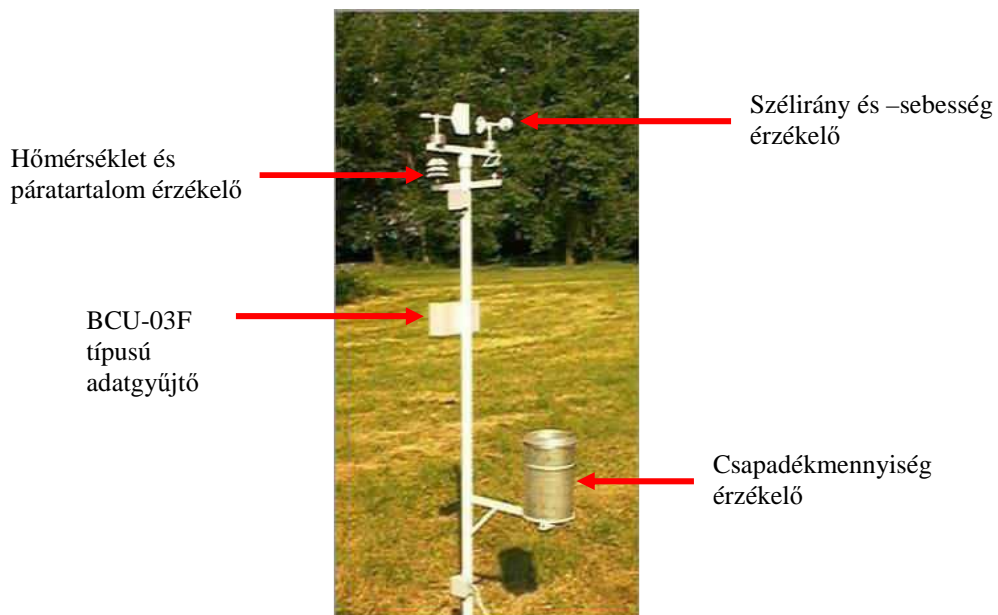
#### 3.4.1. Talajnedvesség-mérő eszközök

A növénytermesztési térben végbemenő vízkészlet-változási folyamatok mérése évtizedek óta foglalkoztatja a kutatókat. A talaj vízgazdálkodási tulajdonságainak mérési módszerei az 1950-es évek óta jelentős fejlődésen mentek keresztül. A 4. melléklet a napjainkban alkalmazott főbb módszereket és azok sajátosságait mutatja be. A vizsgálati területemen Trime FM talajnedvesség-mérő műszerrel végeztem talajnedvesség-mérést, amely egy mobil, terepi használatra kifejlesztett hordozható nedvességmérő készülék. A talaj víztartalmát elektromos kapacitás mérésén alapuló módszerrel határozza meg. A műszer közvetlenül térfogat%-ban jelzi ki a talaj nedvesség-tartalmát és a TDR (Time Domain Reflectometry) szintet, melynek elvéről olvashatunk többek között Dalton és Van Genuchten (1986), valamint Rajkai és Rydén (1992) munkáiban.

### 3.4.2. Meteorológiai állomások

#### 3.4.2.1. Agromet típusú, fix telepítésű agrometeorológiai állomások

A fix telepítésű agrometeorológiai állomások (7. ábra) a következő általános működési alapelveknek felelnek meg: a BCU-03 adatgyűjtő egy 2 m hosszú póznán helyezkedik el különböző érzékelőkkel egyetemben. Az adatgyűjtő az automata meteorológiai állomás központi berendezése. Feladata az egyes eszközök egységes rendszerbe szervezése, a mérések önálló irányítása, az eredmények eltárolása és továbbítása a vele kapcsolatban álló számítógép felé. Az adatgyűjtő belső órája szerint a memóriájában tárolt eszköz-tábla alapján elvégzi a mérésvezérléshez szükséges funkciókat, azaz az előírt időpontokban mérés-indítási, mérés-végzési, állapot-információ-küldési és karbantartó parancsokat küld az egyes szenzorok felé, illetőleg fogadja, és belső memóriájában tárolja a válaszul kapott mérési- és állapotinformációkat. Ezen információkat a központi számítógép kérésére annak továbbítja esemény-rekordok formájában (kitől-mikor-mennyit formában). A mérési adatok az adatgyűjtőből helyi csatlakozással vagy távlekéréssel nyerhetőek ki ([www.boreas.hu](http://www.boreas.hu)).



7. ábra. Agromet típusú, fix telepítésű agrometeorológiai állomás

#### Csapadékmennyiség érzékelő

A BES-01 típusú csapadékmennyiség érzékelő eszköz a lehullott (szilárd vagy cseppfolyós) csapadék meghatározására szolgál. A csapadékmérő szabványos 200 cm<sup>2</sup>-es felületen gyűjti a csapadékot, melyet a gyűjtőedény belsejében elhelyezett billenőkanalas mechanika mér meg 2 ml-es egységenként. A teljesen szimmetrikus

billenőkanál minden egyes átbillenését permanens mágnessel működtetett Reed-kontaktusok jelzik, az így keletkezett elektromos impulzusokat az adatgyűjtő összegzi. A billenőkanál aktivált felületű fém, így gyakorlatilag kiküszöbölhető az algák és moszatok megtelepedése miatti pontosságromlás.

#### Hőmérséklet és páratartalom érzékelő

Az érzékelő kombinált hőmérséklet-páratartalom-mérést valósít meg. A felhasznált precíziós érzékelőfej kapacitív elven méri a levegő nedvességét. Hőmérsékletmérésre Pt-1000 platina ellenállást használ. A jelfeldolgozó és erősítő áramkörök a szenzor nyelébe integráltnak helyezkednek el. A platina ellenállás az érzékelő chip legfelső szintjén helyezkedik el, így a hőmérséklet és a páratartalom mérése azonos helyen és időben történik. Ez a merev termikus együttfutás biztosítja a rendkívül stabil és pontos páratartalom méréseket.

#### Szélirány és -sebesség érzékelő

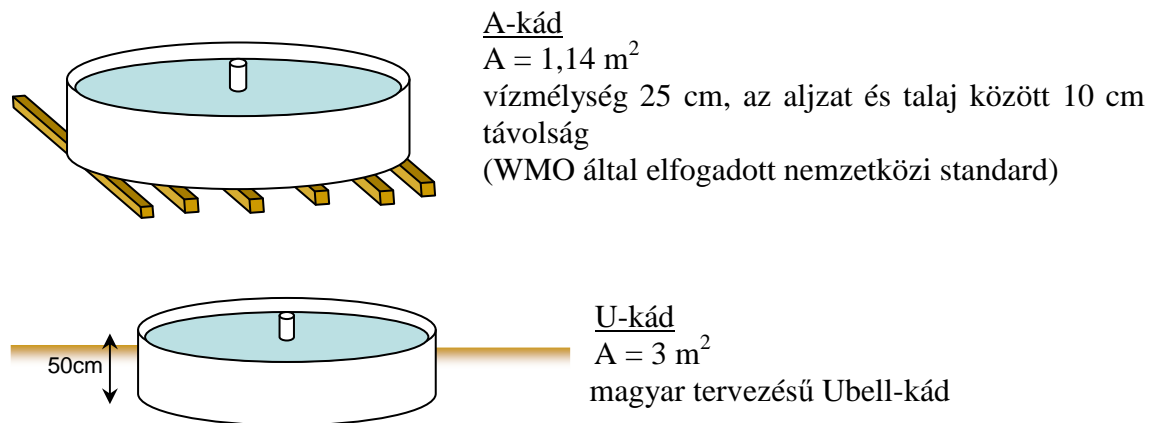
Az érzékelő szélirány és -sebesség mérést valósít meg. A klasszikus felépítésű kanalas anemométer és szélzászló külön házban helyezkedik el. Az anemométer házában infravörös opto-szaggató (chopper) a szélesebbeséggel arányos frekvenciájú négyszögjelet ad le, míg a szélzászló házában elhelyezett infravörös optikai érzékelő Gray-kódolású tárcsával határozza meg az aktuális irányt. A sebesség- és irányjelek feldolgozására az eszköz a szélzászló házában elhelyezett önálló mikrokontrollert tartalmaz, mely a pillanatnyi adatok mérését, a mérési periódusidő alatti átlagolásokat és az adatgyűjtővel történő kapcsolattartást végzi.

#### *3.4.2.2. Lambrecht-típusú meteorológiai állomás*

Kutatásom során a Karcagi Kutató Intézet területén található Lambrecht-típusú meteorológiai állomás adatait is felhasználtam. A csapadékmennyiség meghatározását automata csapadékmérő végzi. A mérés elve, hogy a 200 mm átmérőjű gyűjtő hengerből a csapadékvíz, vagy az elolvasztott hó egy billenő edénybe folyik, ahol egy adott mennyiség összegyülekezése után az edény átbillen. Egy mágneses kapcsoló érzékeli a billenést, és jelet küld az adatgyűjtőnek. Egy billenés 0,1 mm csapadéknak felel meg. A billenések számlálásával és azok tízperces rögzítésével nem csak a csapadék összes mennyiségét lehet meghatározni, hanem a csapadékkintenzitást is nagy pontossággal lehet mérni.

### 3.4.3. Párolgásmérő kád

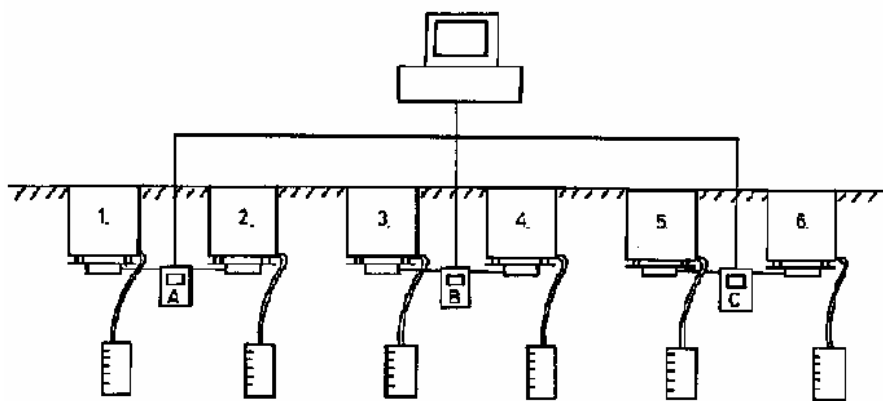
A párolgást mm-ben (folyadékoszlop-magasságban) mérik. Globális átlagban évente 900-1000 mm a párolgási veszteség - hazánkban éves viszonylatban meghaladja a csapadékból adódó mennyiséget. A párolgásmérés alapeszköze a párolgásmérő kád. Ezek a kádak lényegében kör alakú víztartályok, amelyeket vagy a talajfelszínen vagy meghatározott mélységben a talajban helyeznek el. A párolgásmérő kádak vízszintjét naponta kétszer, reggel és este 7 órakor megméri, csapadékmentes időben a két mérés közötti vízszint különbsége adja az elpárolgott vízmennyiséget milliméterben. Csapadékos időben a csapadék nagyságát is figyelembe kell venni. Télen a párolgásmérő kád nem üzemel, mert a benne lévő víz megfagy(na) (Szesztay, 1963). A hazánkban legelterjedtebb két kádtípust a 8. ábra mutatja be.



8. ábra. Az A- és U-típusú párolgásmérő kádak

### 3.4.4. Liziméter

Az evapotranszpiráció mérésére a talaj felszínére helyezett, vagy földbe süllyesztett, a valóságos állapotokat lehetőség szerint nem befolyásoló módon kialakított liziméterek (9. ábra) szolgálnak (Zsembeli, 2003). A liziméterek a növényállományban elhelyezett tenyészedenyek, amelyek a hozzáfolyást kizárják, az elfolyás és a nedvességkészlet változásának a mérését pedig lehetővé teszik.



9. ábra. A liziméter vázlatos rajza

Mivel a potenciális evapotranspiráció csak nehezen mérhető légköri tulajdonság, számos módszer terjedt el számítás alapján történő meghatározására (Tamás *et al.*, 2004). A főbb módszereket a 3. táblázat foglalja össze.

3. táblázat. A potenciális evapotranspiráció gyakoribb számítási módszerei

Mértékegység: mm/nap

Számítási eljárás	Képlet	Magyarázat
Thorntwaite-módszer	$PET=1,6\left(\frac{10T}{I}\right)^a$	T=havi középhőmérséklet (°C) I=hőindex a=tapasztalati állandó
Penman-módszer	$PE_0=\frac{\Delta S_0 / P_E + \gamma E_a}{\Delta + \gamma} = \frac{2\Delta(S_0 / P_E) + E_a}{2\Delta + 1}$	$\gamma$ =a telítési görbe hajlásának mértéke (Hgmm/°C) $S_0$ =a felszín sugárzási mérlege $E_a$ =aerodinamikai párolgási érték
Antal-féle módszer	$PET=0,74*(E-e)^{0,7}(1+\alpha T)^{4,8}$	E=telítési párányomás (mbar) e=napi átlagos párányomás (mbar) $\alpha$ =a levegő hőkitágulási együtthatója T=napi középhőmérséklet
Szász-féle módszer	$PE_0=\beta[0,0095(T-21)^2(1-R)^{2/3}f(v)]$	T=napi középhőmérséklet R=telítési hányad (e/E) F(v)=a szélesség hatásfüggvénye B=oázishatás kifejezésére szolgáló tényező

### 3.4.5. Sap Flow System - Növényi nedvaramlást mérő műszer

A műszer a növényi szárban történő nedvaramlást méri (G. Van Bavel, 1993). Egy növény óránkénti vízhasználat mértékének folyamatos feljegyzésével a nedvaramlást mérő műszer képes bármilyen, a transzspiráció napi menetében bekövetkező változás rögzítésére, amely feltárja a vízhiányt és a talajnedvesség készlet utánpótlásának szükségességét. A növény-növekedési modellek, amelyek meteorológiai adatokból szimulálják a vízhasználatot, alátámaszthatók és sokkal precízebben elvégezhetők a nedvaramlási információk segítségével.

#### **3.4.6. Automata porométer**

A transzspiráció folyamán a növényi sejtek nedvszívó ereje és a gyökéryomás által a talajból felvett víz a gyökéren, majd a száron át a levélfelületig, a levélfelületen elhelyezkedő gázcserenyílásokig, a sztómáig áramlik. A növényi leveleken keresztüli vízvesztés a sztómák szabályozzák. Nyitott sztómák esetén kialakul a vízfelület és a légtér találkozási, s az azokat elválasztó határfelületen a párolgás végbemegy. A növények a párolgással szemben ellenállást fejtenek ki, ami függ a levegő CO<sub>2</sub>-koncentrációjától is (Petrasovits, 1988). A CO<sub>2</sub> abszorpció szükséges a fotoszintézishez, ez a növények fiziológiai feltételeinek egy fontos indikátora. A sztómák nyitása úgy is értelmezhető, mint a gáz diffúzióval való ellenállás (s/cm-ben), és ez mérhető a porométerrel.

#### **3.4.7. Levélfelület-mérő készülék**

A termesztett növények, gyümölcsfák levelei felületének mérésére több módszer létezik. A mérés elvégezhető a levél begyűjtése nélkül, helyszíni méréssel, vagy a levelek levágását követően, ex situ.

Az AM100 egy hordozható mérőeszköz, amely a levélfelület meghatározására szolgál (ADC, 1994). A mérés egy egyszerű szkennelési eljárás alapján történik. Az eszköz két részből áll: egy kézi szkennerből, és a letapogató felületbe épített ellenőrző egységből. A mérés kezdetén a megméréndő levelet a műszertáblára, egy átlátszó fedőlap alá kell helyezni, majd a szkennert végighúzva a levélen, a mérés eredménye a kijelzőről leolvasható. A szkennert apró pontokra osztja fel a képet. Mindegyik pont lehet akár fekete, akár fehér; az AM100 csupán a fekete pontokat számolja. Ebből az következik, hogy a felület nem függ a mért hosszúsági és szélességi értékektől. Hátrányként jelentkezik viszont ebből kifolyólag, hogy a levélen lévő kosz és árnyék miatt a beolvasás eredményeként magasabb felület értéket fogunk kapni, így a reprezentativitás biztosítása nehézkes.

#### **3.4.8. Infrahőmérő**

Az infrahőmérés két nagy területre osztható: adott felület átlaghőmérsékletének a mérésére, ill. a teljes hőtérkép készítésére és elemzésére (hőkamera). Az infrahőmérők a valódi testekről jövő hőmérsékleti sugárzást érzékelik. A fizikai törvények szerint az anyagok fényelnyelésével (emissziós tényező) kiegészítve adják meg az összefüggést a sugárzás infrahőmérő által mért jellemzője és a test valódi, termodinamikai hőmérséklete között.

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

További vizsgálataim céljára a Hajdúböszörményi Mg. Rt. területén jelöltem ki egy 19 hektáros táblát. A Hajdúsági löszháton elterülő mintaterület digitális magassági modelljét (TIN) 2 darab 1:10 000-es topográfiai térkép (2 szelvény: 79-323-as és 79-341-es szelvények) magassági pontjainak bedigitalizálásával állítottam elő. A magassági modell elkészítéséhez az ArcGIS/ArcMap 9.2 térinformatikai szoftver 3D analyst (3D elemzés) alkalmazását használtam. A 2 térképszelvény metaadat-állományát a 4. táblázat tartalmazza.

4. táblázat. A 79-323-as és a 79-341-es térképszelvények metaadat-állománya

Raszter információ	79-323-as térképszelvény	79-341-es térképszelvény
Oszlopok száma	7086	7086
Sorok száma	4724	4724
Csatornák száma	1	1
Cellaméret (X,Y)	0.84674; 0.84674	0.84674; 0.84674
Formátum	TIFF	TIFF
Forrás típusa	discrete	discrete
Pixel típus	Unsigned integer	Unsigned integer
Pixel mélység	8 Bit	8 Bit
<b>Kiterjedés</b>		
Északi befoglaló koordináta	268000	264000
Nyugati befoglaló koordináta	828000	828000
Keleti befoglaló koordináta	834000	834000
Déli befoglaló koordináta	264000	260000

A TIN-modell alapul szolgált a lejtő-, ill. a kitétségtérkép elkészítéséhez. A magassági modellre elkészítettem továbbá a domborzat-árnyékolás térképet. A domborzat-árnyékolás képet pusztán a domborzat érzékeltetése, és nem a pontos, mérhető ábrázolás céljából készítettem.

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 az IDW, a krigelés, és a simítási (spline) technikával történő módszereket alkalmaztam.

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

### 3.6. Csapadék adatokon alapuló térbeli interpolációs eljárások vizsgálata

Számos környezeti, vízgyűjtő-gazdálkodási és tervezési térinformatikai modell igényli a csapadékadatokat input alapadatokként. Jelen vizsgálat a térbeli interpolációs technikák kiértékelésére irányul, 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, az ArcGIS térinformatikai szoftver Spatial Analyst (térbeli elemzés) kiterjesztését alkalmazva. A vizsgálatban alkalmazott interpolációs módszerek a következők: távolsággal fordítottan arányos súlyozott interpoláció (IDW – változó keresési sugárral); spline interpoláció (rendezett és feszített opció); krigelés (általános: szférikus, cirkuláris, exponenciális, Gauss, lineáris).

Az interpolációkat 13 csapadékmérő-állomás reprezentatív adataira végeztem el; az állomások koordinátáit az 5. táblázat tartalmazza. Az állomások közül 6 az egykori Eastern Sugar Rt. kabai gyárának tulajdonában volt, egy állomás a Karcagi Kutatóintézet területén helyezkedik el, a maradék 6 állomás közül 3 a keleti országhatár mentén található (Hajdú-Bihar-megye), 3 pedig Románia területére esik (Bihar-megye). Ez utóbbiak adatait Dr. Radócz László, a DE AMTC MTK Növényvédelmi Tanszékének egyetemi docense bocsájtotta rendelkezésemre (adatforrás: Térségi növény-egészségügyi prognosztikai- és szaktanácsadó-rendszer – NOFKA, Interreg projekt).

5. táblázat. A csapadékmérő-állomások lokalizációja

Csapadékmérő-állomás	EOV_X	EOV_Y
Orosháza	779126,140300	132224,291200
Szarvas	766732,210100	168729,159800
Kaba	816333,915400	225468,989400
Derecske	838096,489900	225805,046100
Hajdúszoboszló	823466,218700	232972,010900
Balmazújváros	826994,532600	256847,865900
Karcag	789381,950700	217802,771400
Salonta (Nagyszalonta)	849379,566400	166337,389900
Komádi	835832,783200	186495,850200
Biharkeresztes	855836,582800	200914,169900
Nyiradony	867631,820900	262542,848900
Sacuieni (Székelyhid)	879780,400200	225583,135000
Valea lui Mihai (Érmihályfalva)	881591,728400	246889,720700

### 3.7. Távérzékelés alapú táblaszintű precíziós vízgazdálkodás

Jelen vizsgálatom egy GPS alapú helymeghatározáson és távérzékelésen alapuló vízgazdálkodási modell integráció precíziós gazdálkodásban történő alkalmazhatósági előnyeinek elemzésére irányult.

Vizsgálataim során egy 19 hektáros cukorrépa tábla vízgazdálkodási rendszerét elemeztem a Hajdúsági löszháton (10. ábra). A mintaterület talajának típusa mészlepedékes csernozjom. 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 (Rajkai, 2004). A mintavételek helyét GPS-szel regisztráltam. A kísérleti terület legfőbb talaj jellemzőit a 6. táblázat tartalmazza.



10. ábra. A Hajdúsági löszháton elterülő mintaterület elhelyezkedése

6. táblázat. A mintaterület fontosabb talaj jellemzői

Talajszint	pH	Arany-féle kötöttség	Össz só%	AL oldható K <sub>2</sub> O ppm	AL oldható P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ppm
Asz	6,7-7,3	38-39	0,03-0,04	202-214	27-29
A <sub>1</sub>	7,6-8,3	39-41	0,04-0,05		
B	7,8-8,4	37-39	0,03-0,04		
C <sub>1</sub>	8,4-8,8	36-40	0,05-0,06		
C <sub>2</sub>	8,6-8,9	33-36	0,06-0,07		

A mintavételi pontokat geostatisztikai becslés alapján választottam ki, melynek alapjául 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 felvételek forrása: *Földmérési és Távérzékelési Intézet, 2005*). A Landsat felvételekből NDVI-t számítottam.

A farmszintű öntözési modell alapvető input tényezője a növényi együttható ( $K_c$ ), melynek értéke 0,3 és 1,2 között van a termesztett 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.

### 3.8. 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 löszháton elterülő mintaterület (7. táblázat) digitális magassági modelljét az 1:10 000-es topográfiai térképek (2 szelvény) 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.

7. táblázat. A vizsgálati mintaterület metaadat-állománya

	X	Y	Z
<b>Minimum</b>	827999.31033	259999.15068	93
<b>Maximum</b>	834003.00259	268001.22803	119.5
<b>Sorok száma</b>	250		
<b>Oszlopok száma</b>	368		
<b>Vetület</b>	Egységes Országos Vetületi Rendszer (EOV)		

A programmal létrehoztam a mintaterület lejtő-, és kiettség-térképét. A térfelület deriválásával elkészítettem a mintaterület összegyülekezés-térképét, amelyről megállapítható a konvergens és divergens területek elhelyezkedése.

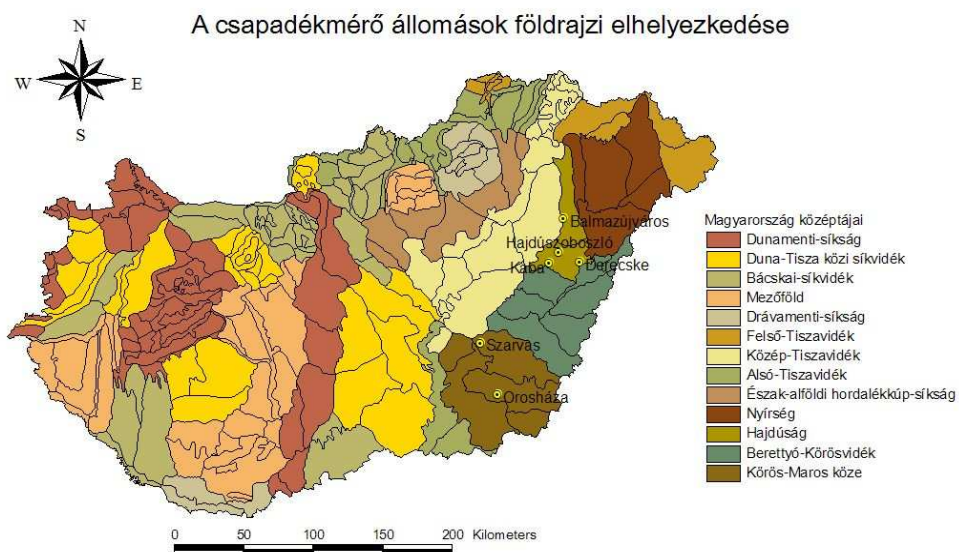
Az összegyülekezés-térképből leválogatva azon térrészeket, ahol a víz a felszínen fokozatosan a természetes mélyedések felé tart, olyan térképet kaptam, amely a belvíz-érzékeny területeket tartalmazza. Az így létrejött digitális adatállomány jól használható a földhasználat ésszerű kialakítása során.

### 3.9. Napi átlagos területi csapadékbecslés távérzékelt felvételekből

A Debreceni Egyetem Víz- és Környezetgazdálkodási Tanszéke a 2005. év első negyedévében felállított egy vevőállomást, amely a METEOSAT-8 időjárás-előrejelző műhold által sugárzott jeleket veszi és dolgozza fel. A vevőrendszer kiépítése után megkezdődött a felvételek rögzítése és kiértékelése, így ezek hasznos háttér-információkat szolgáltatnak a tanszék, az egyetem, vagy akár az egész régió számára.

#### 3.9.1. A napi átlagos területi csapadék meghatározása METEOSAT műholdképekből

Az elemzésekhez 2 óránkénti képek 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. A mérőállomások földrajzi elhelyezkedését a 11. ábra, Magyarország kistáj-, középtáj- és nagytáj-rendszerében való elhelyezkedésüket a 8. táblázat szemlélteti.



11. ábra. A napi átlagos csapadék értékek becslési módszerének validálására szolgáló csapadékmérő-állomások földrajzi elhelyezkedése

Az elemzést a 2006. augusztus 21. és 2006. szeptember 08. közötti időszakra végeztem el, ahol a földi csapadékmérő-állomásokból származó csapadék-bebecsléseket szinkronba hoztam a rászteres műholdas távérzékelt adatokkal. Sajnos a vizsgálati időszak 19 napja alatt viszonylag kevés csapadék hullott a hat csapadékmérő-állomás környezetében, azonban a rendelkezésemre álló archív adatok közül ezen adatsort megfelelőnek találtam a vizsgálatok elvégzéséhez, lévén néhány kiugróan magas csapadékeseményű nap, amely a relatív reflektancia értékekkel történő összevetésnél érzékelhető kapcsolatot mutathat.

**8. táblázat. A csapadékmérő-állomások földrajzi elhelyezkedésének besorolása Magyarország nagytáj-, középtáj- és kistáj-kategóriába**

Csapadékmérő- állomás helye	Nagytáj	Középtáj	Kistáj
Balmazújváros	Alföld	Hajdúság	Hajdúhát
Hajdúszoboszló			Dél-Hajdúság
Derecske			
Kaba		Körös-Maros köze	Békési-sík
Szarvas			Békési-hát
Orosháza			

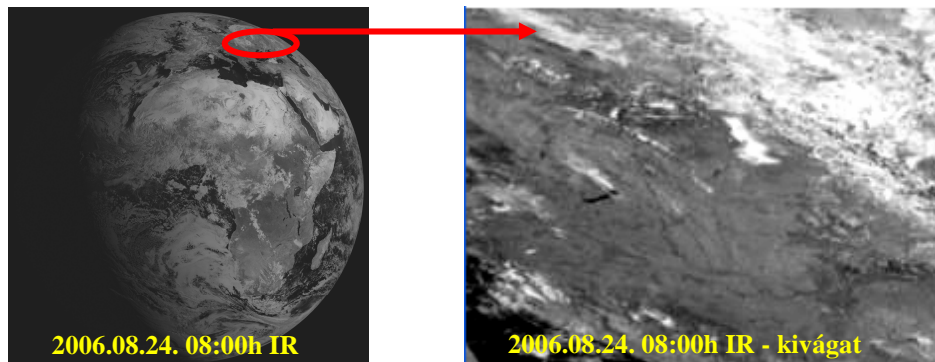
### 3.9.2. A napi átlagos területi csapadék becslésére alkalmazott módszer

#### 3.9.2.1. A képfeldolgozás folyamata

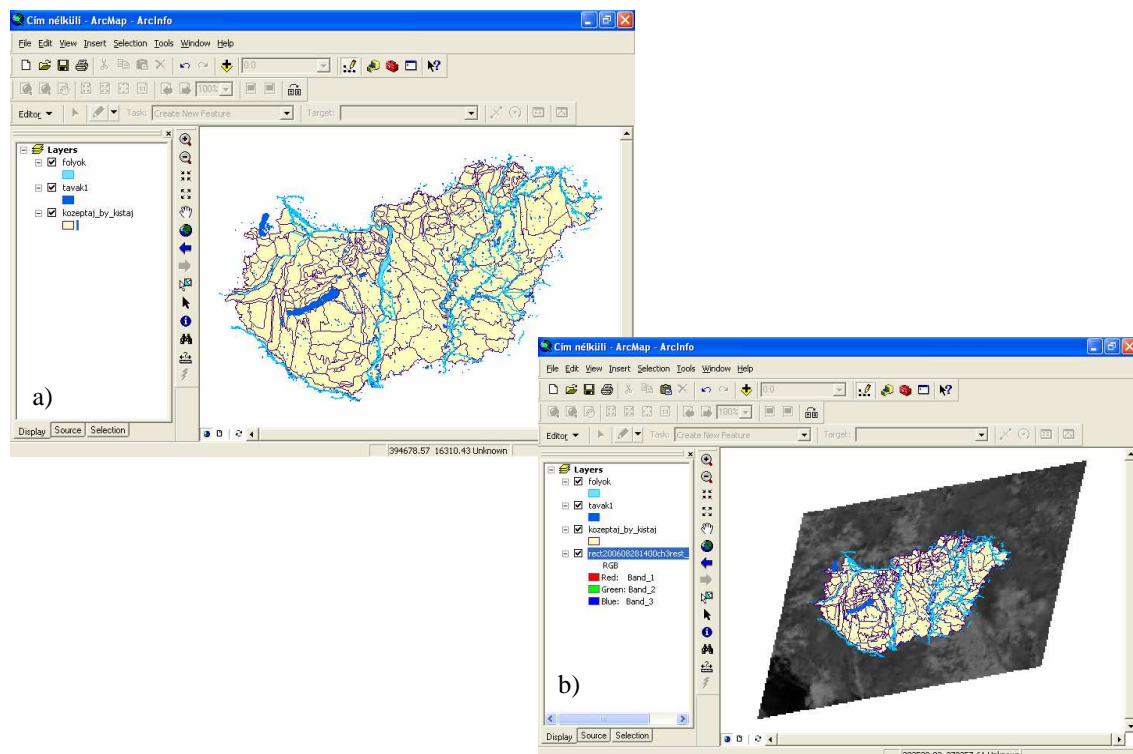
A napi átlagos területi csapadék becsléséhez szükséges kétféle adatforrás közül a METEOSAT műholdképek feldolgozása vett igénybe több időt.

Az elemzések megkezdése előtt a műholdas felvételek georeferálására volt szükség. A művelet elvégzéséhez két térinformatikai szoftvert alkalmaztam, az ENVI 4.3-t és az ESRI család ArcGIS/ArcMap 9.2 szoftverét. Az Európát és Afrikát lefedő távérzékelt felvételből első lépésben egy kivágatot készítettem a számomra lényeges területről (ROI – Region of Interest) (12. ábra), így sokkal kisebb sor és oszlopszámú képhez jutottam. A később referenciaként szolgáló képet úgy választottam meg, hogy azon a könnyen beazonosítható objektumok (pl. Balaton, Duna, Tisza) tisztán látszódjanak, tehát viszonylag felhőmentes képet kerestem. Ennek a kritériumnak a 2006. augusztus 24-i nap 8 órás felvételének 3. csatornájában készített felvétele alkalmasnak bizonyult. Míg az eredeti távérzékelt kép mérete 3712 (oszlopok száma) x 3712 (sorok száma) x 3 (csatornák száma) volt, a kivágat 242 x 176 x 3 méretűre csökkent. A kivágatot Tagged Image File formátumban (.tiff kiterjesztésű képként) mentettem, majd megnyitottam az ArcMap szoftverben. A projekció nélküli képet a DTA50 állomány vektorrétegeihez rektifikáltam be (13. ábra). Az így koordinátahelyessé tett kép ezt követően referenciaként szolgált valamennyi feldolgozásra váró képnek. A vizsgálati időszak

során összesen 19 nap, 6 időpontjának (06:00h, 08:00h, 10:00h, 12:00h, 14:00h és 16:00h), és időpontként 3 csatornájának (VIS, IR, WV) adatait dolgoztam fel. Esetenként előfordult, hogy az adatszolgáltatás akadozása miatt néhány időpont adatai elvesztek, így ezen értékek a feldolgozásból kimaradtak. Valamennyi kép feldolgozása során a rektifikált kép sarokpontjainak megadásával végeztem el a képek EOVS koordinátába illesztését.



12. ábra. a) Európát és Afrikát ábrázoló Meteosat kép; b) A Magyarországot lefedő kivágat



13. ábra. a) A DTA50 állomány vektorrétegei; b) A rektifikált METEOSAT kép egy fedvénybe illesztése a vektor-rétegekkel

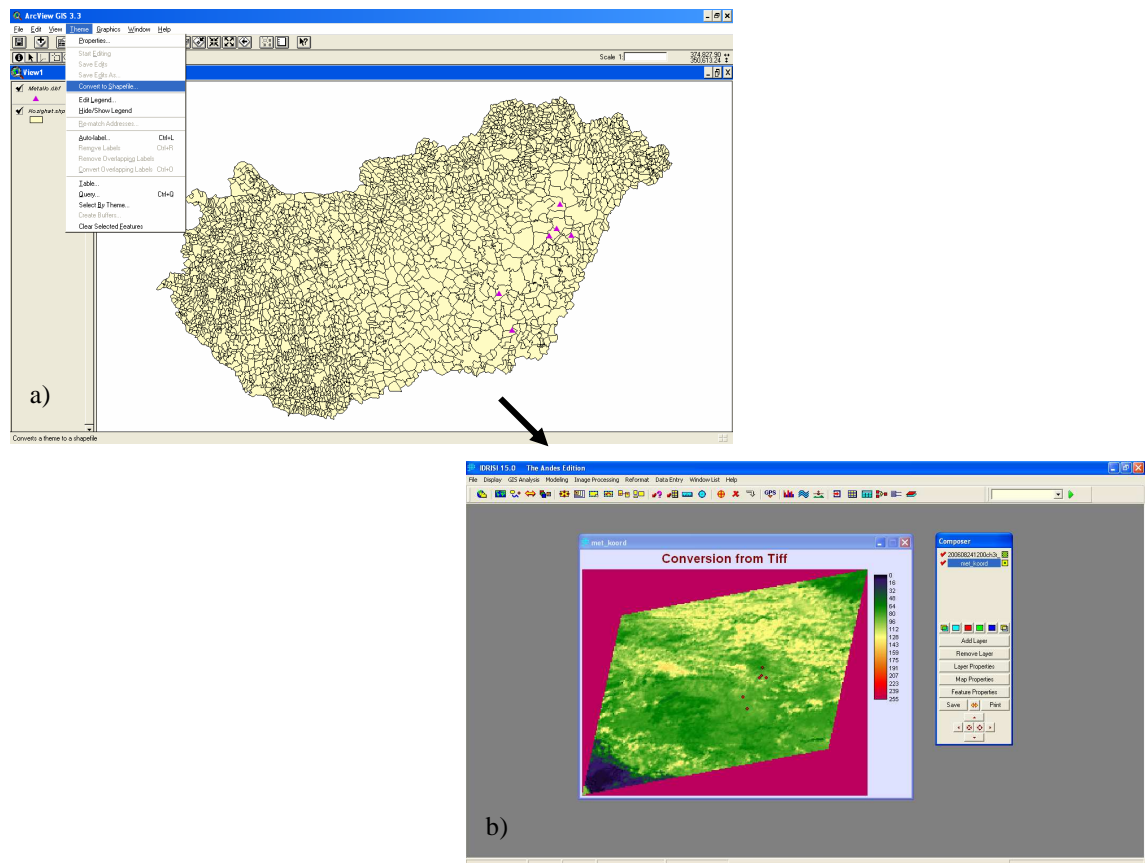
### 3.9.2.2. Fájlműveletek az ArcView 3.3 és az IDRISI Andes szoftverben

A rektifikált képek további feldolgozását az IDRISI Andes térinformatikai szoftver segítségével végeztem el. A .tiff kiterjesztésű képeket raszterre alakítottam. Célom a raszter képekre vektorként illesztett földi csapadékmérő-állomások helyét jelző pontok

körül 3x3-as pixel területen a relatív reflektancia meghatározása volt. Rendelkezésemre állt a 6 földi csapadékmérő-állomás EOY koordinátája (9. táblázat), melynek alapján térképen ábrázolható *.shp* kiterjesztésű shape fájl készítem az ArcView 3.3 szoftver segítségével. Ezt a shape fájl beimportáltam az IDRISI Andes szoftverbe és elvégeztem a vektorra konvertálást. Ilyen módon lehetővé vált a raszter képen a 6 földi csapadékmérő-állomás vektor rétegének megjelenítése (14.a, b ábra). Ehhez annak a feltételnek kellett teljesülnie, hogy mindkét réteg (a raszteres és a vektoros is) EOY koordinátákkal rendelkezzen.

9. táblázat. A csapadékmérő-állomások EOY XY koordinátái

Csapadékmérő-állomás	EOY_X	EOY_Y
Orosháza	779126,140300	132224,291200
Szarvas	766732,210100	168729,159800
Kaba	816333,915400	225468,989400
Derecske	838096,489900	225805,046100
Hajdúszoboszló	823466,218700	232972,010900
Balmazújváros	826994,532600	256847,865900



14. ábra. a) Shape fájl készítése ArcView 3.3 szoftverben a csapadékmérő-állomások koordinátái alapján; b) Az Idrisi Andes szoftverben vektorra alakított földi mérőállomások megjelenítése a raszteres műholdképen

A raszter és a vektor réteg közös fedvényben történő ábrázolásakor előfordult, hogy a mérőállomások valamelyike a raszter kép alacsonyabb pixelértékű területére esett és emiatt az alapértelmezett UniRed paletta szimbólum fájl (2-es méret, vörös szín) nem volt látható. A megfelelő észlelés érdekében ezért a program „symbol workshop” menüjében létrehoztam egy új szimbólum fájlt, amelynek méretét 8-asra, színét élénkpirosra állítottam be. A későbbiekben valamennyi hasonló esetben az általam készített *szimbol.sm0* szimbólum fájl használtam a csapadékmérő-állomások helyének jobb láthatósága végett.

#### *3.9.2.3. Az átlagos relatív reflektancia értékek összehasonlítása a csapadékadatokkal*

A raszter-rétegre illesztett, a csapadékmérő-állomásokat tartalmazó vektor réteg lehetővé tette a relatív reflektancia értékek valamennyi mérőállomás helyét jelző pont körüli egyértelmű megállapítását és feljegyzését a vizsgálati időszak teljes terjedelmére, naponként 6 időpontra és időpontonként 3 csatornára vonatkozóan. Az értékeket a Microsoft Excel programban, táblázatos formában rögzítettem. 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. A kapott eredményekről a következő fejezetben számolok be részletesen.

## 4. EREDMÉNYEK

### 4.1. Regionális vízgazdálkodási rendszer koncepcionális modellje

A vizsgálati területre kidolgoztam a regionális komplex vízgazdálkodási koncepcionális modellt (15. ábra). A komplex döntéstámogatási vízgazdálkodási rendszert öt-fázisos modellben terveztem meg, szakaszait ennek megfelelően ismertetem.

#### *1. fázis: Kiindulási állapot tervezése*

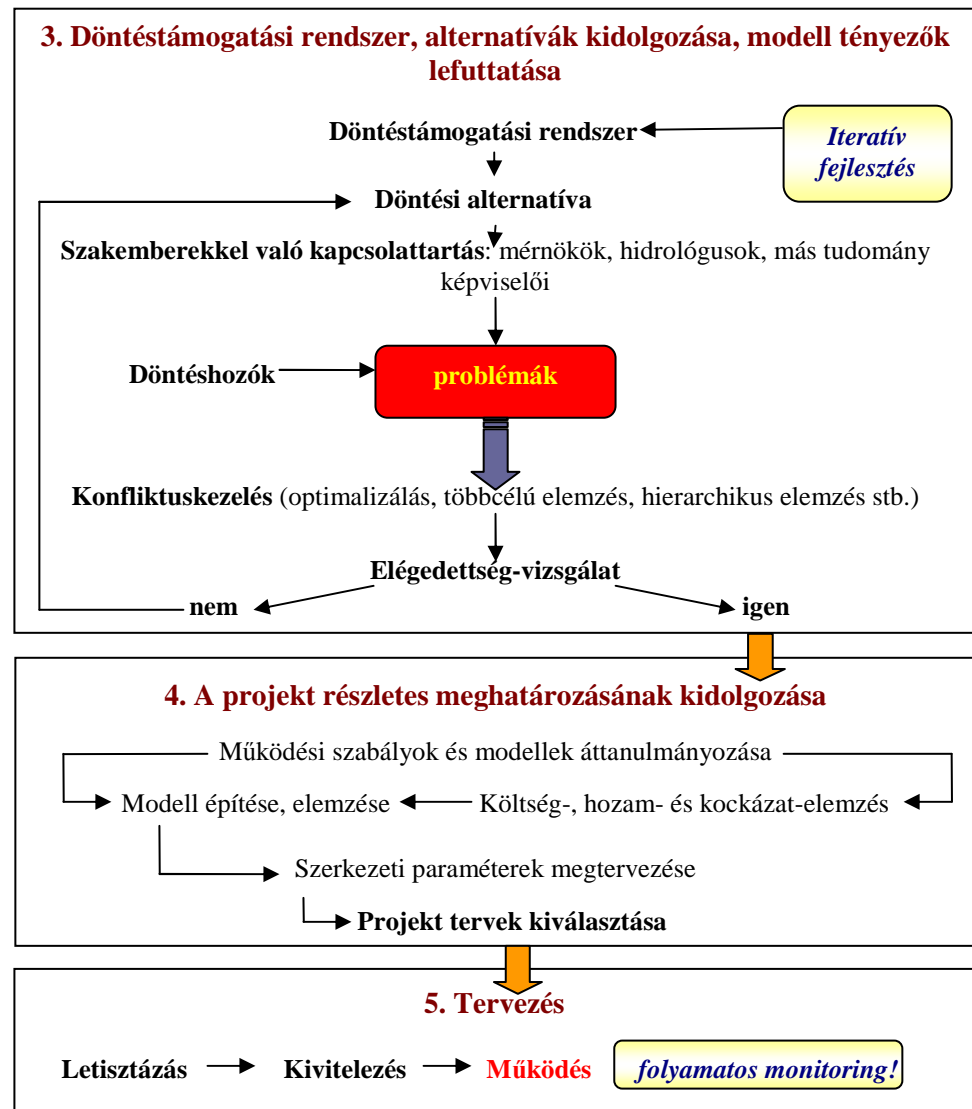
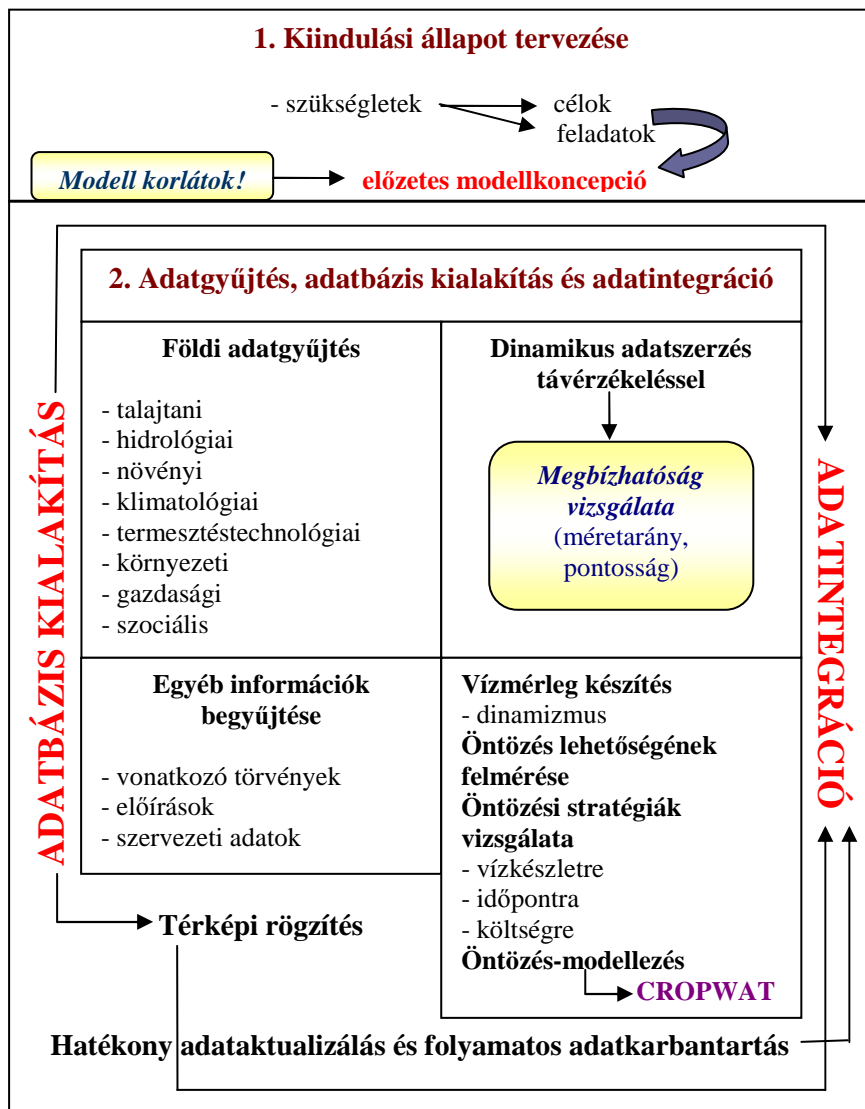
A vízkészlet-gazdálkodás tervezés első fázisa a kiindulási állapot tervezése. A szükségletek felmérése után meghatározzuk a célokat és feladatokat. A modell korlátok figyelembe vételével előzetes modellkoncepciót végzünk.

#### *2. fázis: Adatgyűjtés, adatbázis kialakítás és adatintegráció*

- a) Földi adatgyűjtés
- b) Dinamikus adatszerzés távérzékeléssel
- c) Egyéb információk begyűjtése
- d) Vízmérleg készítés
- e) Öntözés lehetőségének felmérése
- f) Öntözési stratégiák vizsgálata
- g) Öntözés-modellezés

A földi adatgyűjtés alkalmával kerül sor a talajtani (genetikai talajtípus, talajképző közet, fizikai talajféleség, agyagásvány összetétel, kémhatás és mészállapot, szervesanyag készlet, termőréteg vastagsága, talaj vízgazdálkodási tulajdonságai stb.), a növényi (faj, fajta, termőhely-igény, vízigény stb.), a klimatológiai (csapadék, léghőmérséklet, páratartalom, levélborítottság, napfénytartam, potenciális párolgás stb.), és a természetstechnológiai (vetés, tápanyagvisszapótlás, gyomirtás, lombvédelem, levéltrágyázás, öntözés stb.) paraméterek felmérésére.

A dinamikus adatszerzésre a légi és műholdas távérzékelés számos lehetőséget biztosít. A multi- és hiperspektrális felvételek különböző csatornái olyan elemzésekhez nyújtanak segítséget, mint pl. a vegetációs indexek (pl. NDVI) számítása, osztályozási műveletek végrehajtása, stb. Az űrfelvételek különböző típusa megfelelő alapul szolgálhat a célunk eléréséhez szükséges vizsgálatokhoz (pl. Landsat, SPOT, MODIS), meteorológiai műholdak (METEOSAT, NOAA (AVHRR)). Legfőbb előnyük, hogy a dinamikus változó input modell paraméterek biztosítására ad lehetőséget.



15. ábra. Komplex vízgazdálkodási rendszer 5 fázisos koncepcionális modellje

A távérzékeléssel történő adatszerzés folyamán ügyelni kell arra, hogy elvégezzük a szükséges megbízhatósági vizsgálatokat. A digitális képeket terhelő hibaforrások a következők: légköri zavaró hatások (szóródás, átlátszóság, hőmérsékletkülönbségek, páratartalom stb.); a felvevő rendszer torzításai (geometriai, radiometriai); a műhold mozgásának szabálytalanságai, a keringési pálya alakja; a felszín domborzatának a reflektanciát és a felvételi geometriát megváltoztató hatása, a szomszédos területekről az átsugárzás. A felhasználás előtt el kell végezni a szükséges előfeldolgozási műveleteket, vagyis a rendszerkorrekciót, az intenzitás-korrekciót és a geometriai korrekciót.

A második fázisban kerül sor a vízkészlet-gazdálkodási felmérésre és tervezésre, amely a komplex vízgazdálkodási rendszer koncepcionális modelljének kiemelt fontosságú lépése az öntözés lehetőségének vizsgálata során. A valós idejű modellek mellett a matematikai hidrológiai modellek jelentős csoportját képviseli az előrejelzésre, tervezésre használt modellek kategóriája. Bármely program, amely a vízkészlet-felhasználáshoz kapcsolódik, részletes elemzést kíván a vízkészlet állapotáról függetlenül attól, hogy az vízellátási, környezetvédelmi, árvízvédelmi, energiatermelési vagy öntözési célokat szolgál.

A vízkészlet-gazdálkodás kiemelten fontos pillére a mennyiségi és minőségi szempont szerinti fenntarthatóság. E fenntartható interaktív tervezési eljárás a tervezés szintjén két fázisra bontható a hidrológiai szempontok alapján. A tervezés első fázisában a hidrológiai paraméterek hosszú távú becslésére van szükség, amikkel idősorok alapján jellemezni lehet a különböző extrém hidrológiai helyzeteket, mint pl. az árvíz vagy aszály kialakulásának gyakorisága stb.. Ebben a fázisban olyan határfeltételeket vehetünk figyelembe, miszerint adott klimatikus és hidrológiai feltételeket elfogadva extrapolációt végzünk a bekövetkezendő hidrológiai helyzetről időben és térben, miközben azzal a feltételezéssel élünk, hogy a megfigyelt időszak statisztikai jellemzői a jövőben bekövetkező eseményekre kivetíthetők lesznek. A tervezés második fázisában a hidrológiai ciklust befolyásoló vízi építményeket különböző szempontok alapján tervezzük meg. Különböző vízfelhasználási célok alapján, vagy vízfelhasználási csoportok, vagy kategóriák alapján elsősorban az ipari, mezőgazdasági, energiatermelési és öntözési célú alkalmazások, környezetvédelmi és vízminőségvédelmi művek tervezése. A második fázis természetesen minden esetben feltételezi az első tervezési fázis meglétét. Az alkalmazott matematikai modell összetettsége és a vizsgálat komplexitása nagyban függ a vizsgált vízkészlet rendszer speciális

tulajdonságaitól (vízfelhasználási célok, különböző monitoring rendszerek), a vizsgált alternatívák számától (vízi építmények kivitelezési alternatívái, vízi építmények helyszínekiválasztásának alternatívái, különböző földhasználati változások stb.), a rendelkezésre álló input adatok és információk mennyiségétől és minőségétől.

A vízkészlet-gazdálkodási modell áttekinthetővé teszi a komplex vízhasználati igények rendszerét. Ennek tükrében már megtervezhető az öntözés. Ennek elvégzésére rendkívül hatékony segítség, és a gyakorlatban is jól bevált a CROPWAT-program. A program célja az öntözési rend kialakításának elemzése, az öntözés gyakorlatának értékelése, az öntözött termék, növényi termék, illetve a kiegészítő öntözés elemzése, valamint az öntözési deficit előfordulásának megállapítása. A program során kalkulálni lehet az evapotranszspiráció mértékét a Penman-Monteith formula alapján, a növényi vízigényt a tényleges csapadék- és öntözési igény szerint, elvégezhetjük az öntözési rend kalkulációját, valamint a vízellátási séma kalkulációját, továbbá a különböző technikai perifériális és adatelérési beállításokat. Az input adatok három csoportját a talaj, növény és klíma paraméterek megadásával kell feltölteni. Az input adatok feldolgozása alapján a vízmérleg egyes elemeit kell kiszámítani, amely alapját képezi a különböző szimulációs elemzések elvégzésének.

Szükségünk van hidrológiai, gazdasági, környezeti, szociális alapadatokra is, de nem mellőzhetjük a vonatkozó törvények, előírások, szervezeti adatok begyűjtését és áttekintését sem. Az összegyűjtött adatokat egységes rendszerbe integráljuk.

Az agrár-környezetgazdálkodási kutatások során nagymennyiségű adatok keletkeznek. Ezeket az adatokat egységes adatbázisba kell foglalni. Cél, hogy minden adat egyszer legyen tárolva, a redundancia elkerülése végett. Az adatokhoz való hozzáférés megfelelően legyen szabályozva. Nagyon fontos, hogy az adatbázis állapota naprakész legyen, ami gyakran széleskörű és folyamatos adatgyűjtést jelent. Éppen ezért elengedhetetlen a hatékony adataktualizálás és folyamatos adatkarbantartás.

Az adatok térképi rögzítésére a megfelelő koordinátákkal ellátott adatok esetében van mód. Ez biztosítja egy egységes geoinformációs rendszer kialakításának lehetőségét. A keletkezett nagy értékű – napjainkban elsősorban digitális – mérési és bejelentéseken alapuló, gyűjtött adatok, eredmények kiemelt szerephez jutnak napjainkban a környezetvédelemmel kapcsolatos kutatásokban. A feladatok volumene elengedhetlenné teszi a számítógépes adatbázisok használatát.

Az adatbázisba valamennyi földi és távérzékelte forrásból származó adat bekerül. A redundancia elkerülése végett adatszinkronizációval történő ellenőrzés szükséges. A

minőségi szempontok érdekében kiemelten kell kezelni az integritás, biztonság, megbízhatóság, hitelesség, hozzáférhetőség, könnyű kezelhetőség, eredményesség kérdéskörét.

A megfelelő döntéstámogatási rendszer kialakításához 3 fő adatbázis megkülönböztetésére van szükség, ezek az alábbiak:

- a földi adatfelmérés körében létrejött adatokból kialakított adatbázis,
- a távérzékeléssel nyert adatokból épített adatbázis,
- a földrajzi helyhez kötés alapjául szolgáló térképi adatbázis.

Az adatbázisban az adatoknak jól felépítettnek kell lennie, hogy az adatbázis kezelő rendszerekkel a szükséges információt egyszerűen ki lehessen nyerni. Az adatokat úgy kell adatbázisba integrálni, hogy egyszerre több adatbázist is össze tudjunk kapcsolni egyetlen lekérdezésben.

### *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. Az agrár-környezetgazdálkodási döntések megalapozásában kiemelt szerepe van a környezeti-termesztési feltételrendszer komplex feltárásának és a lehetséges alternatívák megfogalmazásának. Az új lehetőségek a korábban kidolgozott matematikai-számítógépes modellek és az utóbbi időben nagy számban kiépített számítógépes adatbázisok összekapcsolásában rejlenek. A döntéstámogatási rendszer csupán irányt mutat, a minőségi döntést a döntéshozónak kell meghoznia céljainak megfelelően, s ezen nem kvantifikálható adatokat csak közvetett módon építhetjük be a számítógépes modelljeinkbe. Minden döntés a jövőre vonatkozik, s az adatorientált döntések hatékonysága az időtáv növekedésével egyre nagyobb kockázatot rejt magában.

A döntéstámogatás három legfontosabb eleme az információtechnológia, az értékelési technológia és a döntéshozók.

Az információtechnológia olyan számítógépes rendszert jelent, amely a döntési folyamat szempontjából leglényegesebb adatok tárolását, rendezését, feldolgozását és elemzését egyaránt lehetővé teszi. Az utóbbi években egyre inkább a több célra felhasználható adattárak megvalósítása került előtérbe. Az értékelés technológiája mindazon eljárásoknak, számítógépes programoknak és modelleknek az összessége,

amelyek révén lehetőség nyílik a különböző célok preferenciáinak eldöntéséhez szükséges szubjektív értékítéletek feltárására, a döntési alternatívák kidolgozására és rangsorolására, a gazdasági kockázat becslésére, illetve a döntési változatok érzékenységvizsgálatára és elemzésére. A döntéshozók a döntési folyamat kulcsszereplői, ők ismerik fel a döntési helyzetet, a változtatás szükségességét, a változás végrehajtásának ütemezése és irányítása is a kezükben van, így integrálásuk a döntési folyamathoz kikerülhetetlen.

Az alternatívák kidolgozását a modell tényezők lefuttatása követi. A tervezés során igen nagy jelentőséggel bír a szakemberekkel való kapcsolattartás. A tervezés folyamán a mérnökök, hidrológusok, más tudomány képviselői, valamint a döntéshozók tárgyalásokat folytatnak és a konfliktuskezelés folyamán különböző módszerekkel (optimalizálás, többcélú elemzés, hierarchikus elemzés stb.) kezelik a felmerülő problémákat. Ezen a ponton merül fel egy rendkívül fontos kérdés, amely az egész további tervezési folyamatot befolyásolja. 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.

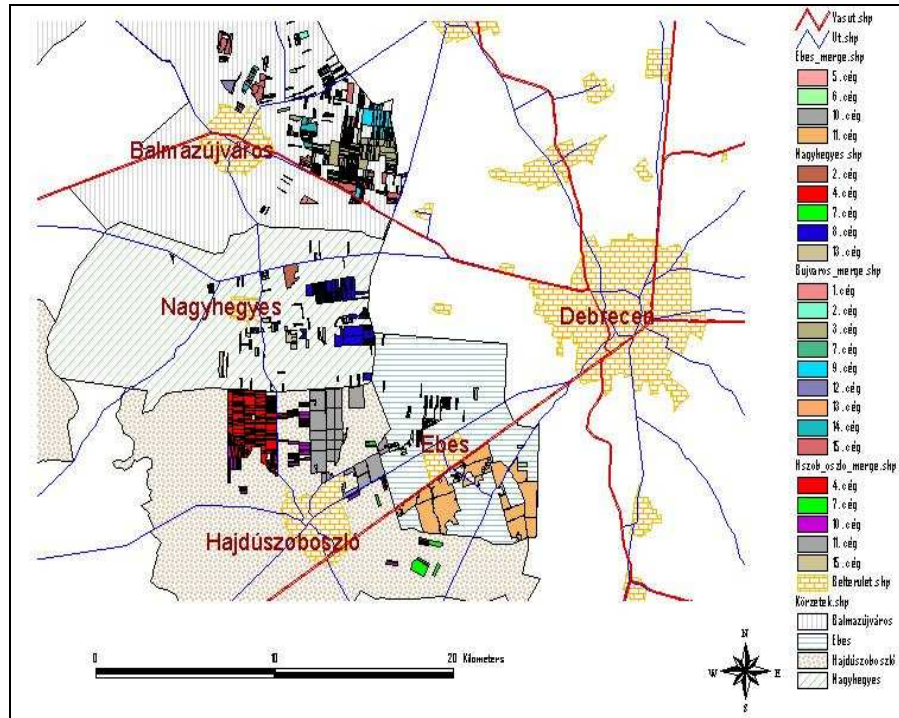
Minden vízgazdálkodási beavatkozást megelőzően környezeti hatásvizsgálatot kell végezni. A tanulmány tartalmazza a tervezett tevékenység leírását, a környezeti állapot leírását, a hatótényezőket és hatásfolyamatokat, valamint javaslatokat.

A fent vázolt modell a regionális vízgazdálkodási beavatkozásokhoz szükséges feladatokat, intézkedéseket veszi számba. Kutatásaim során számos földi adatgyűjtést (talajtani, hidrológiai, növényi, klimatológiai, termesztéstechnológiai) végeztem el, felhasználtam távérzékelte forrásból származó felvételeket elemzéseimhez és elvégeztem a szükséges megbízhatósági vizsgálatokat, elemzéseket végeztem a vízkészlet-gazdálkodási felmérésre és tervezésre vonatkozóan, továbbá öntözés-modellezést hajtottam végre a CROPWAT-program segítségével. Elvégeztem az adatok adatbázisba tömörítését az egységes adatintegráció révén, valamint térképen rögzítettem a vetülettel rendelkező adatokat. Az adatbázist folyamatosan aktualizáltam és ügyeltem a redundancia elkerülésére. Modellezéseket hajtottam végre és az egyes modell tényezők alapján döntéstámogatási rendszert építettem ki. Az emített folyamatokról további eredményeim közt számolok be részletesebben. A koncepcionális modell általam elvégzett egyes részfolyamataim túlmenően, a modellt szükséges volt a *15. ábrán* feltüntetett további feladatokkal kiegészíteni, a hatékony vízgazdálkodási beavatkozások elvégezhetősége érdekében.

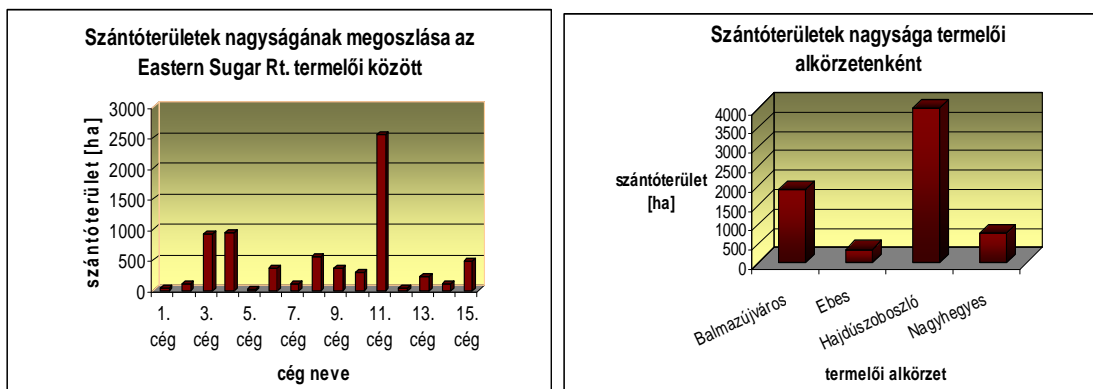
A vízgazdálkodás a mai napig számos olyan környezet- és természetvédelmi problémát idézett elő, amelynek orvoslását úgyszintén vízgazdálkodási beavatkozásokkal vélték megvalósítani. Mivel ez nem minden esetben volt sikeres, ezért óriási a felelősségünk, hogy adott esetben ne csak újabb problémákat, hanem valódi megoldásokat találjunk a megfelelő, hosszú távú vízgazdálkodási beavatkozások során.

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

Az Eastern Sugar Rt. kabai termelési körzetének alkörzeteiben tevékenykedő cégek szántóterületeinek elhelyezkedését a *16. ábra* mutatja. A geoadatbázisba integrált nyilvántartási adatok alapján diagramba foglalva mutatom be a cukorgyár kabai termelési körzetében lévő termelők szántóterületeinek nagyságát (*17.a ábra*) és a körzeten belüli alkörzetek szerint összesített szántóterület nagyságot (*17.b ábra*). Adatvédelmi okból a termelő cégeket nem áll módomban megnevezni, helyette számkódokat használok.



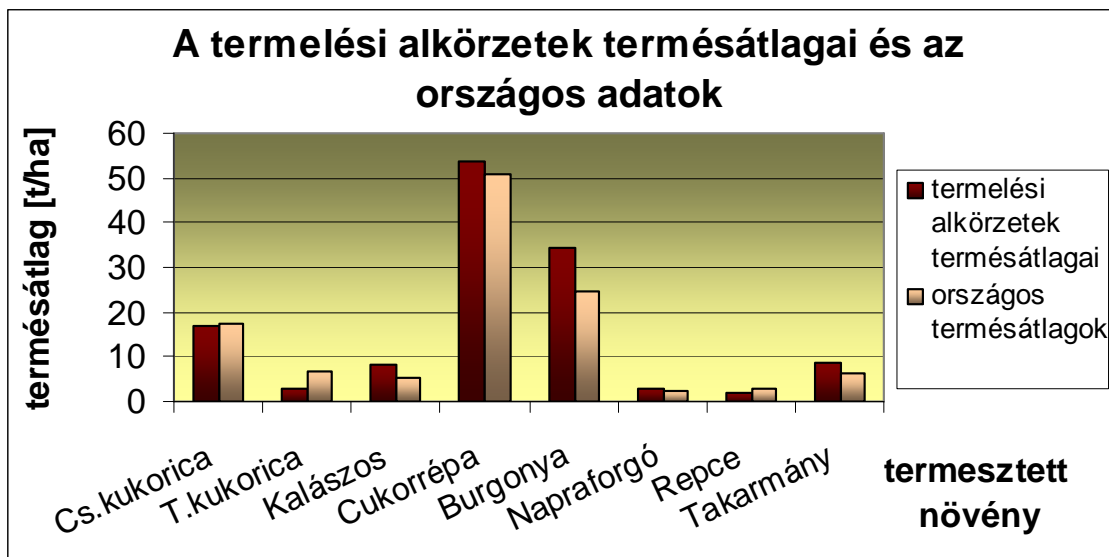
16. ábra. Az Eastern Sugar Rt. kabai termelési körzetének termelési alkörzetei és szántóterületeik



17. ábra. a) Az Eastern Sugar Rt. termelőinek szántóterület nagysága; b) Szántóterületek nagysága termelői alkörzetenként

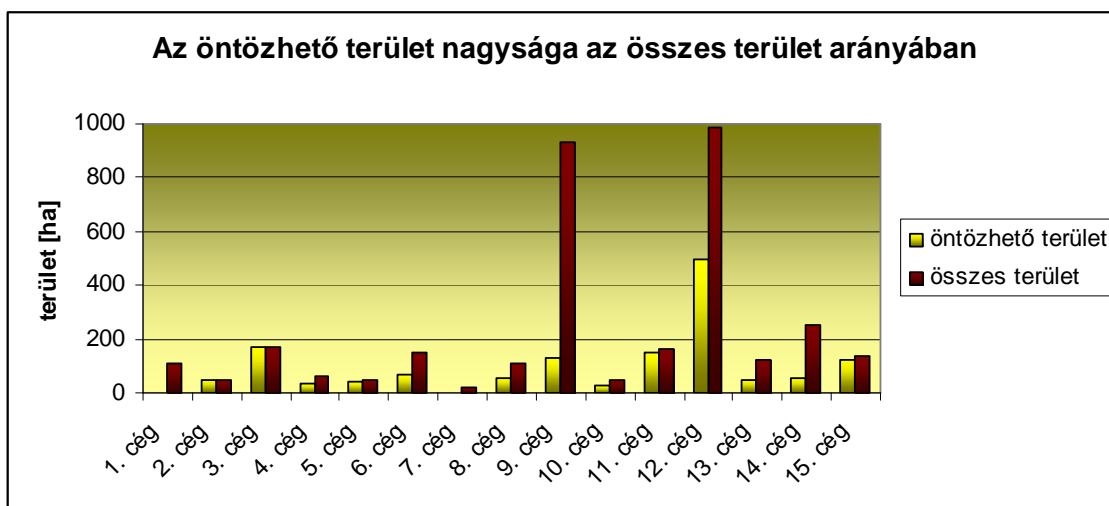
A birtokomban lévő adatok feldolgozása után elvégeztem az egyes termelési alkörzetek termésátlagainak kiértékelését és összehasonlítottam a 2004-es évi országos termésátlagokkal (18. ábra). Az egyes alkörzetekre a 8 fő termesztett növény (csemegekukorica, takarmány kukorica, kalászosok, cukorrépa, burgonya, 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.



18. ábra. Az Eastern Sugar Rt. termelési alkörzetei termésátlagainak összehasonlítása az országos termésátlagokkal

Felmérést végeztem az Eastern Sugar Rt. kabai termelői körzetében lévő termelők öntözhető termőterületeinek nagyságára vonatkozóan (19. ábra). A 15 cég közül kettő esetében az összes területének 100%-a öntözhető. Szintén két cég esetében 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.



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

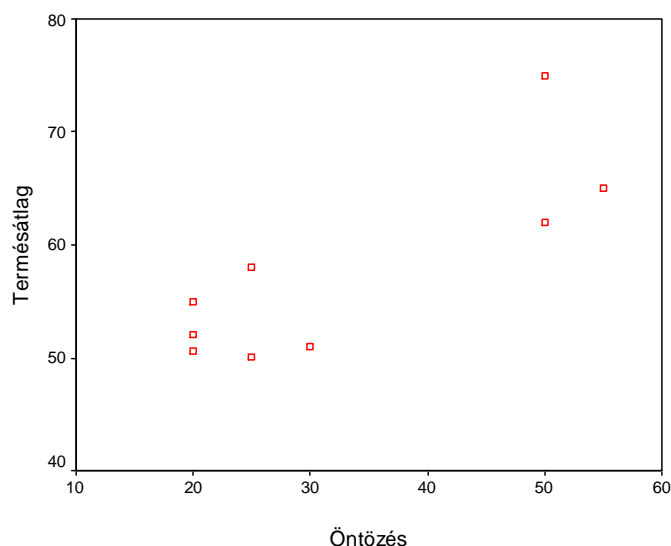
A főbb termesztéstechnológiai tényezőkre Pearson-féle korreláció analízist végeztem (10. táblázat). A figyelembe vett faktorok a következők: termésátlag (t/ha); tápanyagvisszapótlás (N (kg/ha), P (kg/ha), K (kg/ha)); talajfertőtlenítés (szer neve: Counter, dózis l/kg/ha); levéltrágyázás (Bór: szer neve: Solubor, dózis l/kg/ha; MgSO<sub>4</sub>: 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.

A scatter plot ábra is jól szemlélteti a két változó (x tengelyen az öntözés, y tengelyen a termésátlag) közötti szoros korrelációt (20. ábra).

10. táblázat. A cukorrépa termés és néhány termesztéstechnológiai faktor korrelációs értéke

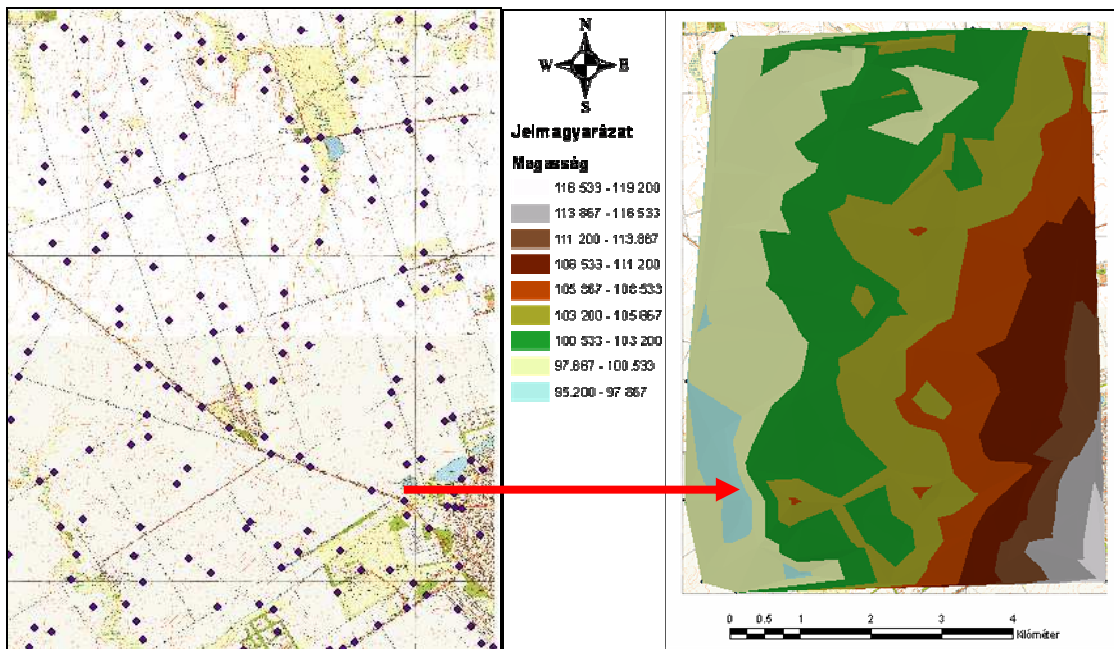
	Termésátlag	N	P	K	Talajfertőtlenítés	Bór	MgSO <sub>4</sub>	Öntözés
Termésátlag	1,000	-,238	,042	,033	-,005	-,101	-,016	,824
N	-,238	1,000	,787	,013	-,322	-,088	,092	,177
P	,042	,787	1,000	-,019	-,168	-,075	,059	,190
K	,033	,013	-,019	1,000	-,631	-,110	-,468	,390
Talajfertőtlenítés	-,005	-,322	-,168	-,631	1,000	-,119	,000	-,657
Bór	-,101	-,088	-,075	-,110	-,119	1,000	,728	,205
MgSO <sub>4</sub>	-,016	,092	,059	-,468	,000	,728	1,000	,336
Öntözés	,824	,177	,190	,390	-,657	,205	,336	1,000



20. ábra. A termésátlag és az öntözés közötti korreláció scatter plot ábrája

### 4.3. Magassági pontok digitalizálásán alapuló Digitális Magassági Modell készítése

A modell alapjául az 1:10 000-es topográfiai térképek (2 szelvény) szolgáltak. Új réteggént pont típusú shapefile-t hoztam létre, majd elvégeztem valamennyi magassági pont bedigitalizálását. A létrejött 167 ponthoz hozzárendeltem a megfelelő értékeket a shapefile attribútum táblájában. A vizsgálati mintaterületre elkészítettem a Digitális Magassági Modellt, a véletlenszerű háromszögelési eljárással (TIN). A magassági pontok elhelyezkedését a 2 térképszelvényen és a TIN-modellt a 21. ábra szemlélteti.



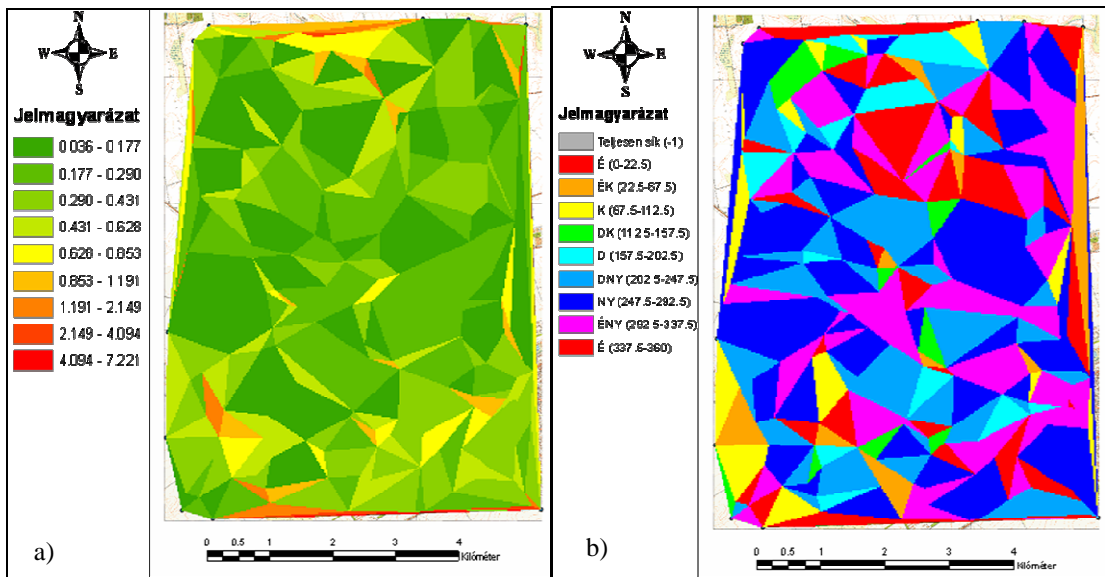
21. ábra. A bedigitalizált magassági pontok elhelyezkedése a hajdúsági löszháti mintaterületet lefedő 2 térképszelvényen és az ezeken alapuló TIN-modell

#### 4.3.1. TIN-modellek térbeli elemzése

A TIN-modellre elkészítettem a lejtőtérképet (22.a ábra) a terület lejtőirányainak megismerése végett. A beállítás során a lejtőhajlás értékét fokban adtam meg. A kitétségi-térképet (22.b ábra) szintén elkészítettem a magassági modellre. Itt az alábbi 10 kategória került megkülönböztetésre (11. táblázat):

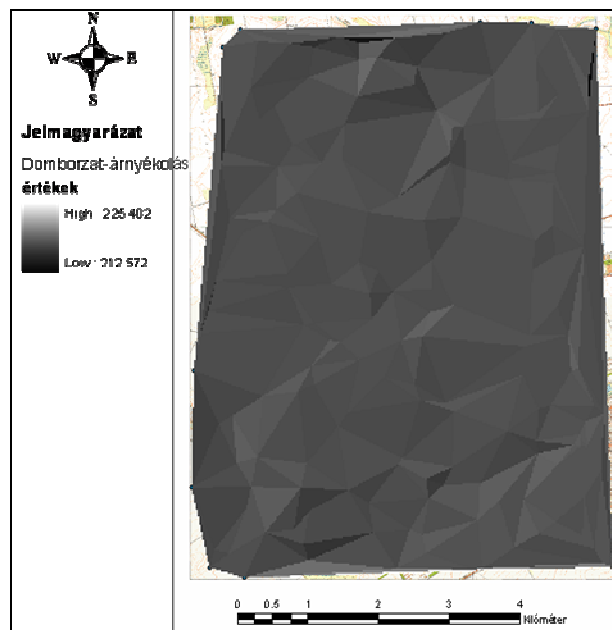
**11. táblázat. Kitétségi-kategóriák**

Kitétség	Érték [fok]
Flat (Teljesen sík terület)	-1
North (Északi kitétség)	0-22,5
Northeast (Északkeleti kitétség)	22,5-67,5
East (Keleti kitétség)	67,5-112,5
Southeast (Délkeleti kitétség)	112,5-157,5
South (Déli kitétség)	157,5-202,5
Southwest (Délnyugati kitétség)	202,5-247,5
West (Nyugati kitétség)	247,5-292,5
Northwest (Északnyugati kitétség)	292,5-337,5
North (Északi kitétség)	337,5-360



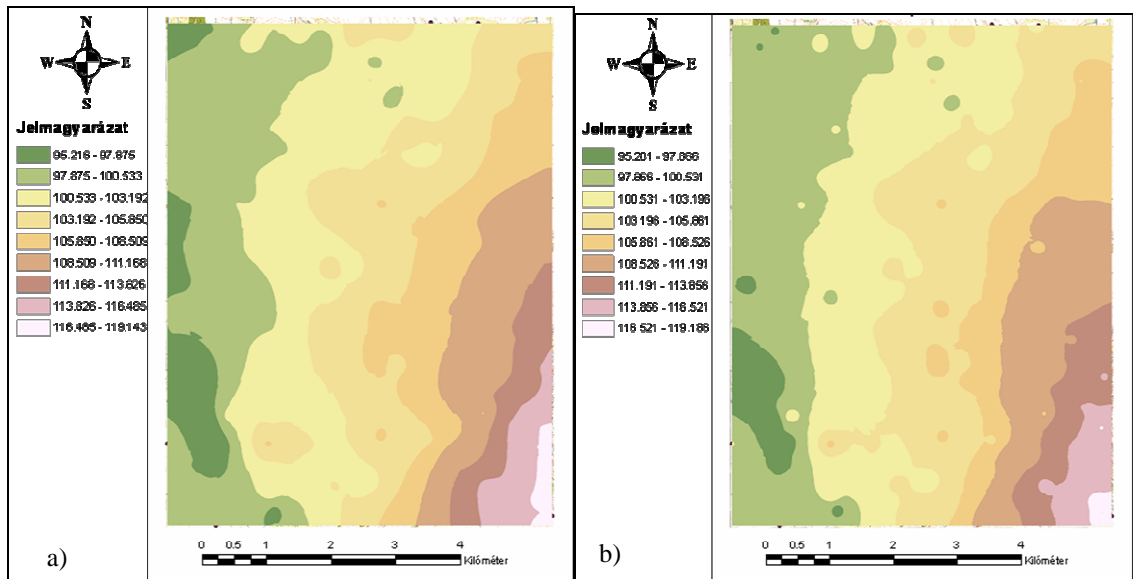
22. ábra. a) A TIN-modellre létrehozott lejtő-térkép; b) A TIN-modellre létrehozott kitétség-térkép

A magassági modellre készített domborzat-árnyékolás térkép (23. ábra) esetén az azimut értéket  $315^\circ$ -ra, a magasság értéket  $45^\circ$ -ra állítottam be.

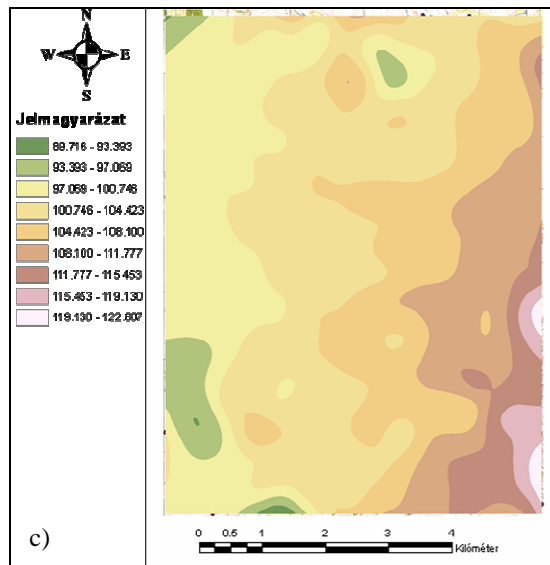


23. ábra. A TIN-modellre létrehozott domborzat-árnyékolás térkép

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. Összehasonlítóképpen a krigelés, az IDW és a spline interpolációs módszereket alkalmaztam (24.a, b, c ábra).



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



24. ábra. c) A spline technikával végrehajtott interpoláció eredménye

Az ismertett 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. Ezt támasztja alá az összehasonlításképpen elkészített, spline

technikával végrehajtott interpoláció eredménye. Miközben a módszer minimalizálja a felszín teljes görbületét, a magassági értékek két szélső értékét alul-, ill. túlbecsli.

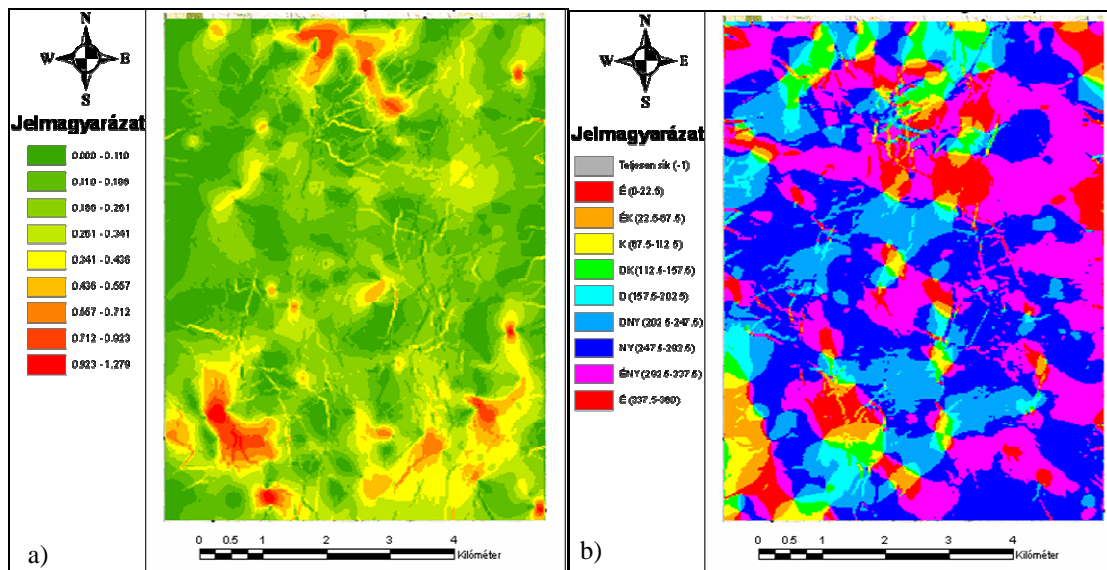
A krigelés során a magassági értékek térbeli változatossága a felszínen mindenütt statisztikailag homogénnek vett (a felszín minden részén ugyanaz a mintavariáció figyelhető meg). Az eredeti mérési adatokból származó variogramok teljesen stabilnak tekinthetők, mivel a szakirodalom legalább 50-100 adatpont 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 függvénye; a felszín egy helytől függő változó interpoláltja.

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

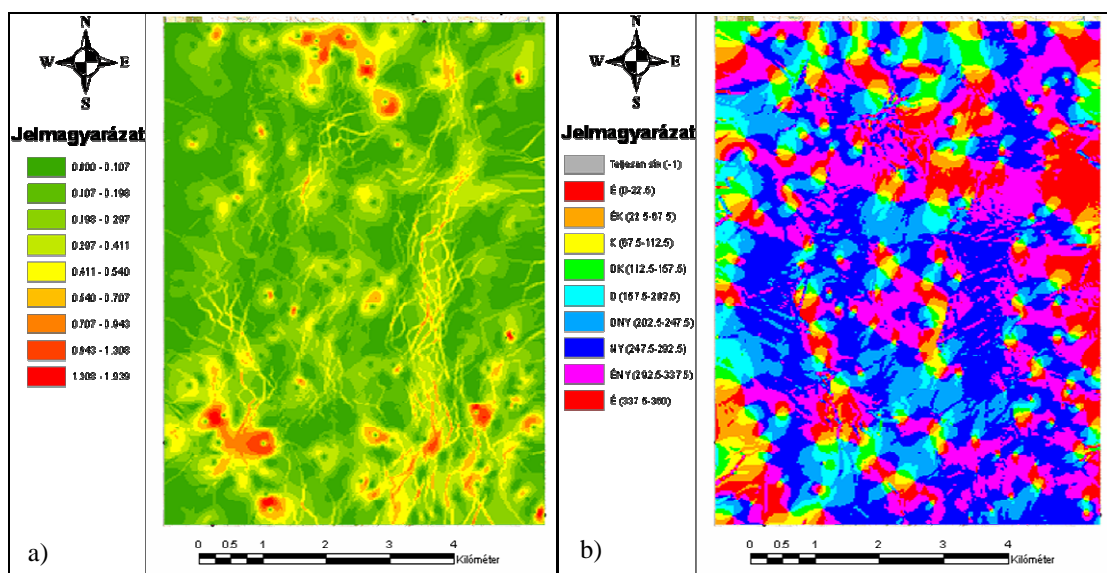
Az eredmények tükrében a további elemzéseket csak a krigeléses és az IDW interpolációs felszínre végeztem el.

#### ***4.3.2. Az interpolált felszínre készített lejtő-, kitettség-, és domborzat-árnyékolás térképek***

Elsőként elkészítettem a krigeléssel interpolált felszínre a lejtő- (25.a ábra) és a kitettség-térképet (25.b ábra), továbbá a domborzat-árnyékolást (27.a ábra). Összehasonlításuként elkészítettem az IDW technikával interpolált felszínre is a lejtő- (26.a ábra) és a kitettség-térképet (26.b ábra), valamint a domborzat-árnyékolást (27.b ábra).

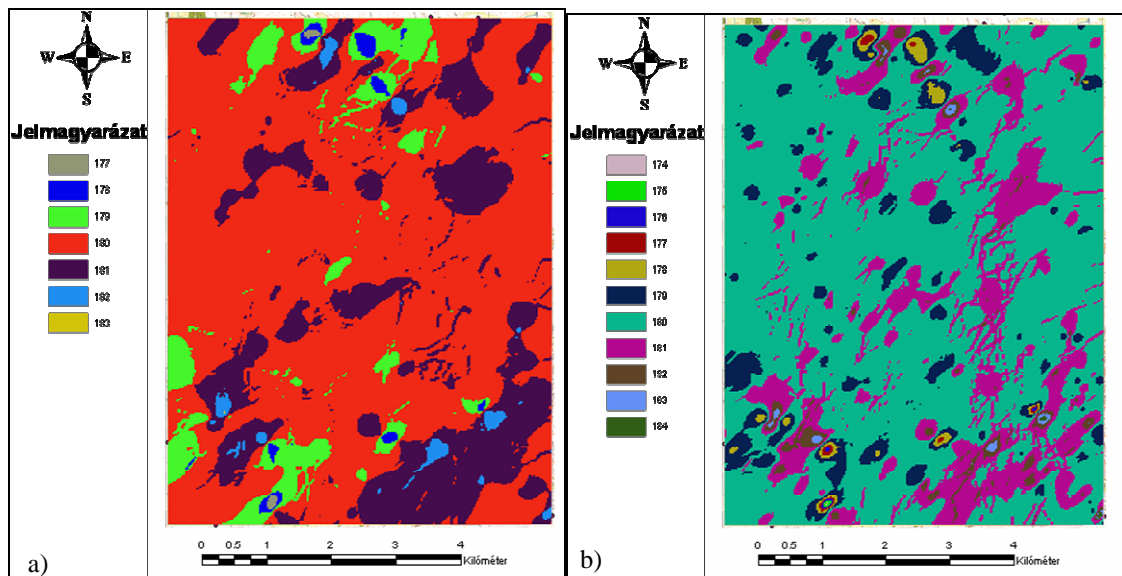


25. ábra. a) A hajdúsági löszháti mintaterületre krigeléssel interpolált felszínre készített lejtő-térkép; b) A krigeléssel interpolált felszínre készített kitétség-térkép



26. ábra. a) A hajdúsági löszháti mintaterületre IDW technikával interpolált felszínre készített lejtő-térkép; b) Az IDW technikával interpolált felszínre készített kitétség-térkép

Szimulálhatjuk a DMM megvilágítottságát adott Nap azimut ( $260 - 290^\circ$ ) és magassági szög ( $0 - 90^\circ$ ) mellett. Az analitikus domborzatárnyékolás algoritmikus alapja egyszerűen kombinálja a lejtőt, lejtőirányt és zenitszöget tartalmazó trigonometriai összefüggéseket. Az árnyalt képek csak szemléltetési célokat szolgálnak.



27. ábra. a) A krigeléssel interpolált felszínre készített domborzat-árnyékolás térkép; b) Az IDW technikával interpolált felszínre készített domborzat-árnyékolás térkép

A vizsgálatok eredményeként összességében elmondható, 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 megállapítottam, 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.

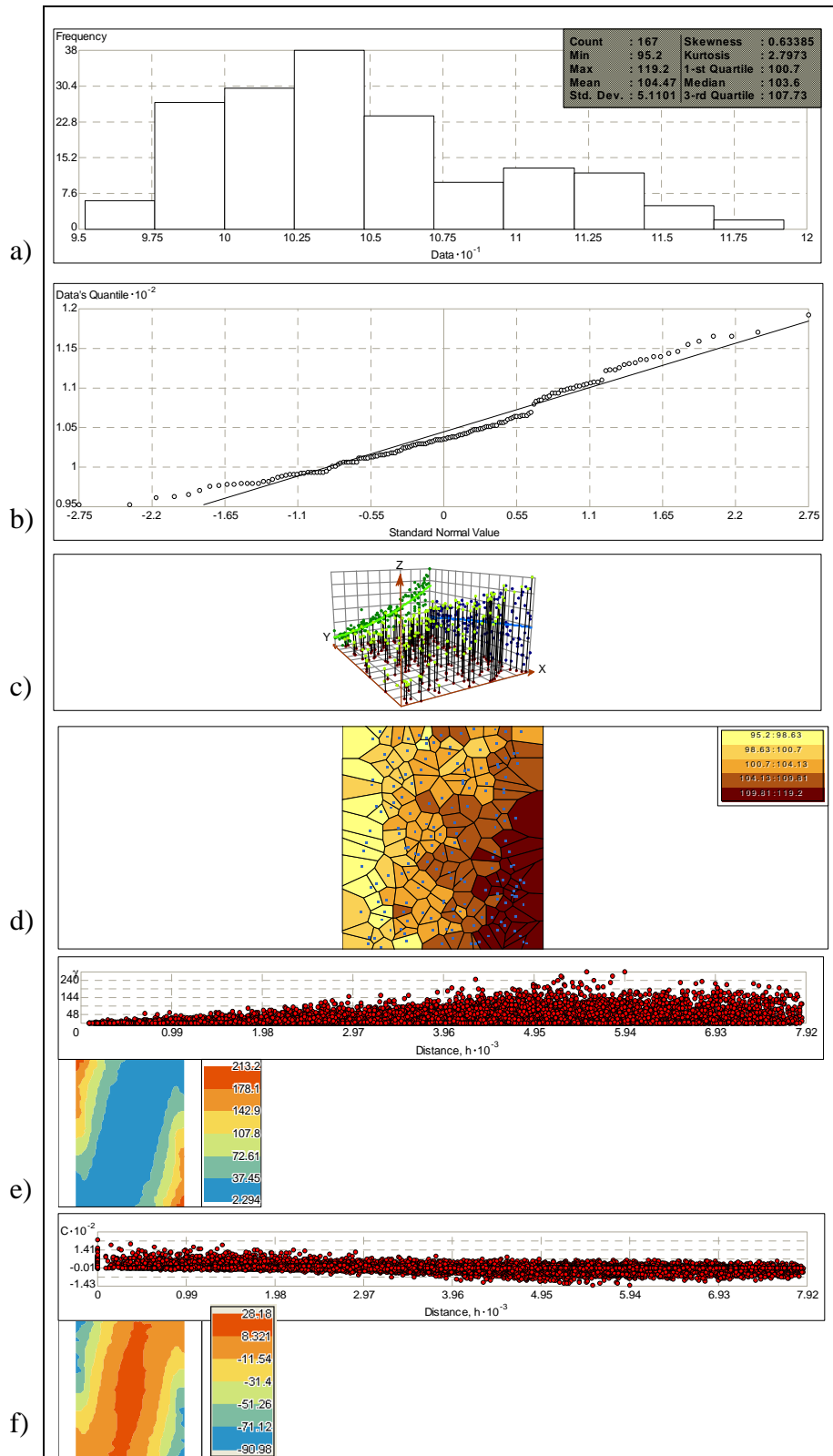
#### 4.3.3. Geostatistikai elemzések

A 79-323-as és a 79-341-es térképszelvényen bedigitalizált magassági pontokra geostatistikai elemzéseket végeztem az ArcMap 9.2 szoftver Geostatistical analyst (Geostatistikai elemző) moduljával.

##### 4.3.3.1. Hisztogram

Az adatkészlet gyakoriság eloszlását hisztogram készítésével ábrázoltam. A gyakoriság eloszlás egy olyan oszlopdiaagram, amely megmutatja, hogy milyen gyakorisággal esnek

a vizsgált értékek bizonyos intervallumokba vagy osztályokba. 10 osztályközbe soroltam az adatokat (28.a ábra).

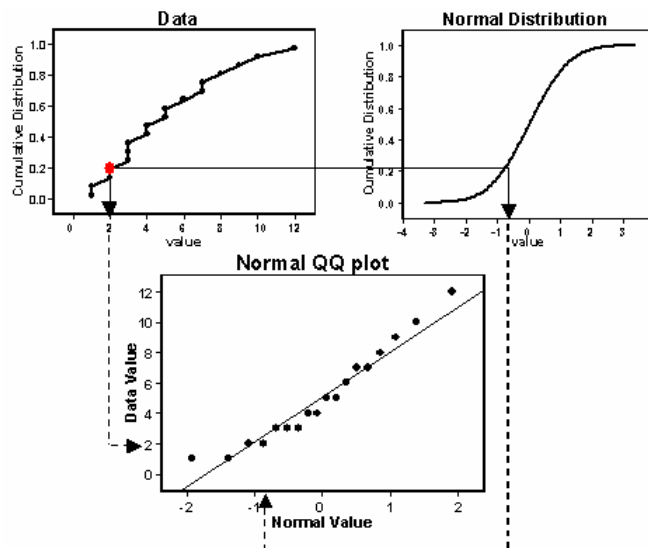


28. ábra. A hajdúsági löszháti mintaterület geostatistikai elemzési eredményei. a) Hisztogram; b) Normal QQ Plot; c) Trend analízis; d) Voronoi térkép; e) Szemivariogram felhő; f) Kovariancia felhő

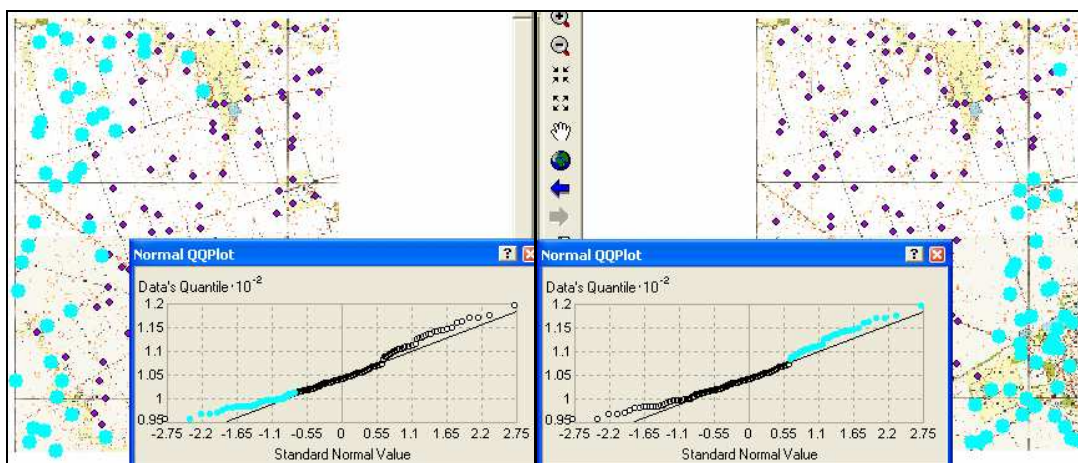
Az ábra összegző statisztikai eredményeket is mutat. A 167 magassági pont legalacsonyabb magassági értéke 95,2 m, a legmagasabb érték 119,2 m. Az átlagmagasság 104,47 m. A medián 103,6. A standard szórás 5,1101, a ferdeség 0,63385, a csúcsosság 2,7973.

#### 4.3.3.2. Normal QQ plot

A QQ plot (normális QQ diagram) a tapasztalati és a hipotetikus eloszlás kvantiliseit hasonlítja össze grafikusán (28.b ábra). A diagram az adat értékek ábrázolásával és egy standard normál érték ábrázolásával készül, ahol a kumulatív eloszlásuk egyenlő. Sémáját a 29. ábra mutatja. A görbére nem illeszkedő értékek az átlagtól eltérő értékek, kijelölésükkel pontos térképi ábrázolás keretében ismerhetjük meg ezen alacsonyabb, ill. magasabb magassági értékek térbeli elhelyezkedését (30. ábra).



29. ábra. A normal QQ plot képzése



30. ábra. A görbére nem illeszkedő értékek kijelölése és ezen pontok elhelyezkedése a térképen, a hajdúsági löszháti mintaterületen. a) A kijelölt pontok az alacsonyabb magassági értékeket mutatják; b) A kijelölt pontok a magasabb magassági értékeket mutatják

#### 4.3.3.3. Trend analízis

A trend analízis (28.c ábra) az adatok 3 dimenziós ábrázolását teszi lehetővé, ahol a mintapontok elhelyezkedése az  $x,y$  síkban került ábrázolásra. Minden egyes pont felett, az érték egy „pálcika” magasságával van megadva a  $z$  dimenzióban.

#### 4.3.3.4. Voronoi térkép

A Voronoi sokszögek, más elnevezéssel Dirichlet cellák a 3 dimenziós tér 2 dimenziós redukálásával jöttek létre, de napjainkban egyre gyakrabban találkozhatunk az elméleti és gyakorlati irodalomban a módszer  $n$  dimenziós általánosításával. A Voronoi térkép (28.d ábra) a mintapontok körül kialakult poligonok sorozatából épül fel. A Voronoi poligonok úgy jönnek létre, hogy minden pont köré szerkeszthető egy olyan sokszög, melynek belső pontjai (összes pontja a határát alkotó pontok kivételével) közelebb vannak a kérdéses ponthoz, mint az összes többi ponthoz. Az ilyen tulajdonsággal rendelkező sokszögek konvexek és folytonosan töltik ki a síkot. A meghatározásból következik, hogy a sokszög oldalai merőlegesek a körülvevő pontot a többi ponttal összekötő egyenesekre és felezik azokat.

Az ábrából kitűnik, hogy a mintaterület keleti, délkeleti irányában vannak a magasabban fekvő területek, míg nyugat felé haladva egyre alacsonyabb térszín következik.

#### 4.3.3.5. Szemivariogram/kovariancia felhő

A szemivariogram/kovariancia felhő (28.e,f ábra) megmutatja a tapasztalati szemivariogramot és kovarianciát egy adatkészleten belül a pontok elhelyezkedésének párojaira, és két pont elhelyezkedése között a távolság függvényében ábrázolja őket.

A szemivariogram függvény arra ad információt, hogy egy mintavételi ponttól milyen távolságban ( $\alpha$ ) tekinthető az ott mért érték kiterjeszhetőnek. A szemivariogram függvény ismeretében lehetőség van a terület nem mintázott pontjaira a mintavételi pontok mért értékei alapján becslést adni.

A kovariancia megadja két egymástól különböző változó együttmozgását.

### 4.4. Csapadék adatokon alapuló térbeli interpolációs eljárások értékelése

A csapadékmérő-állomások 2006. évi adatsorából kiválasztottam 3 eltérő csapadékmennyiségű napot és ezen időpontokra alkalmaztam a távolsággal fordítottan arányos súlyozott interpolációt (változó keresési sugár), a spline interpolációt (rendezett és feszített opció) és az általános krigelés (szférikus, cirkuláris, exponenciális, Gauss,

lineáris) módszereit. Az elemzésekhez kiválasztott időpontok a következők voltak: 2006.03.31. (5. melléklet a-h ábra); 2006.04.11. (6. melléklet a-h ábra); 2006.05.17. (7. melléklet a-h ábra). 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.

Az interpolációs módszereket összehasonlítva, miközben számos technika jól mutatja a trendet, van néhány, amely kevésbé alkalmas a becslésre. A két kimagasló módszer az IDW változó keresési sugárral, és az ordináris krigelés exponenciális szemivariogrammal és változó keresési sugárral.

A március 31-i legkisebb csapadékú nap esetében, a legtöbb módszer jóval túlbecsülte a kis mennyiségű csapadékot. Azonban a legtöbb probléma mindegyik interpolációs módszer esetében a legnagyobb csapadékú, május 17-i dátum esetében fordult elő, ahol valamennyi interpolációs eljárás alulbecsülte a nagy mennyiségű csapadékot. Összességében elmondható, hogy a krigelési módszerek a legkisebb és a legnagyobb csapadékú nap esetében jobb eredményt mutattak, mint az IDW és a spline. A krigelési módszerek közül is az exponenciális közelítette legpontosabban az értékeket. Az átlagos csapadékmennyiségű április 11-i napot vizsgálva viszont az IDW interpoláció bizonyult a legjobbnak.

Vizsgálataim eredményeképpen megállapítható, 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 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. Az IDW definíciója szerint egy simító technika, ami gyakorlati, eredmények nélküli számításokhoz vezet, felületesen kezelve lényeges értékeket.

Mindazonáltal általánosságban elmondható, hogy a krigelés jobb eredményt adott, mint az IDW és a spline. A módszer további előnye, hogy a krigelés megadja az eredő hibát is a számításban.

A legjobb eredményt adó exponenciális krigelésre és az IDW technikára geostatisztikai elemzést hajtottam végre. Az elemzéseket mindhárom vizsgált időpontra (2006.03.31., 04.11. és 05.17.) elvégeztem. A csapadékmennyiség becslési hibáját a krigelés során a 12. táblázat, az IDW interpolációs becslési hibát a 16. táblázat mutatja.

A kereszt validációs (cross validation) táblák megmutatják az interpolációval becsült értékek standard hibáját, a hiba nagyságát, és a standardizált hiba értékét (13., 14., 15., 17., 18., 19. táblázat).

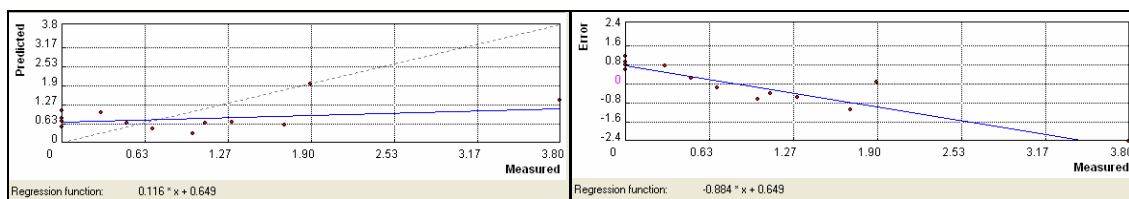
Mind a krigelés, mind az IDW interpoláció során a legalacsonyabb csapadékmennyiségű nap csapadék-interpolációja során tapasztaltam a legkisebb becslési hibát, ezért csupán a 2006.03.31-i nap krigelés eljárás és IDW interpoláció mérésére és hibáira vonatkozó validációs értékeinek ábrázolását mutatom be (31.a,b és 32.a,b ábrák), a többi időpontra vonatkozó eredmények szemléltetésétől eltekintek területi okokból.

**12. táblázat. A csapadékmennyiség becslési hibája az exponenciális krigelés során**

Időpont	Átlag	Négyzetes középérték	Átlagos standard hiba	Standardizált átlag	Standardizált négyzetes középérték
2006.03.31.	-0,106	0,9238	0,8397	-0,08686	0,992
2006.04.11.	-0,1133	2,262	1,93	-0,04046	1,151
2006.05.17.	-0,1478	2,935	3,212	-0,03952	0,8963

**13. táblázat. A 2006.03.31-i csapadék adatok kereszt validációs (cross validation) 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



a)

b)

31. ábra. a) A 2006.03.31-i nap krigelés eljárás méréseire vonatkozó validációs értékei; b) A 2006.03.31-i nap krigelés eljárás hibáira vonatkozó validációs értékei

14. táblázat. A 2006.04.11-i csapadék adatok kereszt validációs (cross validation) eredményei a krigeléses interpolációra vonatkozóan

Csapadékmérő-állomás helye	Mért érték	Becsült érték	Standard hiba	Hiba	Standardizált hiba	Normál érték
Szarvas	6,7	2,1767	2,2873	-4,5233	-1,9775	-1,1984
Orosháza	2,4	4,3213	2,4250	1,9213	0,7923	0,8694
Karcag	3,0	3,6526	2,1358	0,6526	0,3056	-0,1940
Kaba	3,7	2,6807	1,4783	-1,0193	-0,6895	-0,6151
Hajdúszoboszló	2,6	3,6435	1,3797	1,0435	0,7563	0,6151
Balmazújváros	2,3	3,3956	2,0303	1,0956	0,5397	0,1940
Komádi	0,0	1,9845	1,8374	1,9845	1,0801	1,1984
Derecske	4,3	1,9530	1,6781	-2,3470	-1,3986	-0,8694
Salonta	1,4	0,8650	2,0926	-0,5350	-0,2556	-0,3957
Biharkeresztes	0,3	1,3607	1,8537	1,0607	0,5722	0,3957
Nyíradony	5,4	0,9822	1,9513	-4,4178	-2,2640	-1,7688
Sacuieni	0,0	0,8784	1,8957	0,8784	0,4634	0,0000
Valea lui Mihai	0,0	2,7322	1,7629	2,7322	1,5498	1,7688

15. táblázat. A 2006.05.17-i csapadék adatok kereszt validációs (cross validation) eredményei a krigeléses interpolációra vonatkozóan

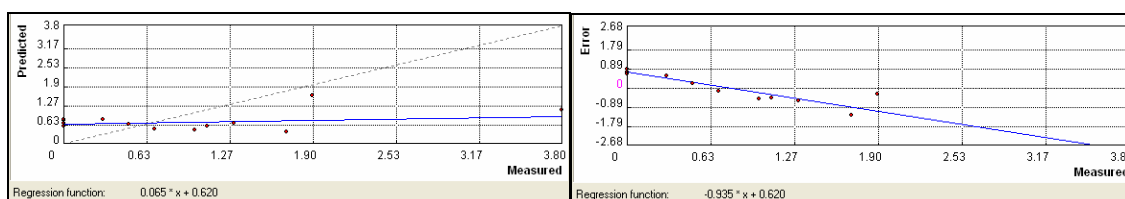
Csapadékmérő-állomás helye	Mért érték	Becsült érték	Standard hiba	Hiba	Standardizált hiba	Normál érték
Szarvas	0,8	3,9638	3,2595	3,1638	0,9706	1,1984
Orosháza	8,2	2,7235	3,3259	-5,4765	-1,6467	-1,1984
Karcag	9,6	2,6315	3,2576	-6,9685	-2,1392	-1,7688
Kaba	1,1	2,1540	3,0750	1,0540	0,3428	0,6151
Hajdúszoboszló	1,5	2,0429	3,0716	0,5429	0,1768	0,0000
Balmazújváros	1,4	1,5522	3,3051	0,1522	0,0461	-0,1940
Komádi	0,0	1,7635	3,1473	1,7635	0,5603	0,8694
Derecske	1,3	0,9449	3,0986	-0,3551	-0,1146	-0,6151
Salonta	0,4	4,2996	3,2958	3,8996	1,1832	1,7688
Biharkeresztes	0,0	0,6039	3,2223	0,6039	0,1874	0,1940
Nyíradony	2,4	0,9764	3,2903	-1,4236	-0,4327	-0,8694
Sacuieni	0,0	1,0779	3,1852	1,0779	0,3384	0,3957
Valea lui Mihai	1,0	1,0441	3,2008	0,0441	0,0138	-0,3957

16. táblázat. A csapadékmennyiség becslési hibája az IDW interpoláció során

Időpont	Átlag	Négyzetes középérték
2006.03.31.	-0,2011	0,972
2006.04.11.	-0,1187	2,184
2006.05.17.	-0,547	3,234

17. 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



a) b)  
32. ábra. a) A 2006.03.31-i nap IDW eljárás méréseire vonatkozó validációs értékei; b) A 2006.03.31-i nap IDW eljárás hibáira vonatkozó validációs értékei

18. táblázat. A 2006.04.11-i csapadék adatok kereszt validációs eredményei az IDW interpolációra vonatkozóan

Csapadékmérő-állomás helye	Mért érték	Becsült érték	Hiba
Szarvas	6,7	2,2434	-4,4566
Orosháza	2,4	3,8933	1,4933
Karcag	3,0	3,1473	0,1473
Kaba	3,7	2,6407	-1,0593
Hajdúszoboszló	2,6	3,3637	0,7637
Balmazújváros	2,3	2,8827	0,5827
Komádi	0,0	1,8693	1,8693
Derecske	4,3	2,2615	-2,0385
Salonta	1,4	1,1409	-0,2591
Biharkeresztes	0,3	1,7657	1,4657
Nyíradony	5,4	1,1011	-4,2989
Sacuieni	0,0	1,6254	1,6254
Valea lui Mihai	0,0	2,6223	2,6223

19. táblázat. A 2006.05.17-i csapadék adatok kereszt validációs eredményei az IDW interpolációra vonatkozóan

Csapadékmérő-állomás helye	Mért érték	Becsült érték	Hiba
Szarvas	0,8	4,6497	3,8497
Orosháza	8,2	1,4455	-6,7545
Karcag	9,6	1,2953	-8,3047
Kaba	1,1	2,0035	0,9035
Hajdúszoboszló	1,5	1,4596	-0,0404
Balmazújváros	1,4	1,7443	0,3443
Komádi	0,0	1,0478	1,0478
Derecske	1,3	1,3912	0,0912
Salonta	0,4	1,0000	0,6000
Biharkeresztes	0,0	0,9872	0,9872
Nyíradony	2,4	1,0976	-1,3024
Sacuieni	0,0	1,2021	1,2021
Valea lui Mihai	1,0	1,2656	0,2656

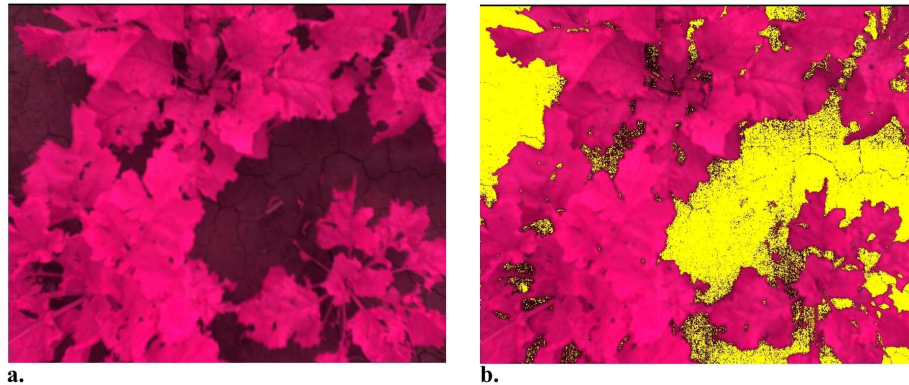
Statisztikailag definiáltam az interpolálás pontosságát, meghatároztam a tesztalomban a valódi és az interpolálással nyert értékek különbségét. Mindegyik interpolálásnál megvizsgáltam a becült és a mért adatok eltérését. Az eltérések négyzetösszege alapján számított hibák a kiválasztott tesztmintánál azt mutatták, hogy a krigelés és az inverz távolság módszerek közel azonos értéket adtak. A krigelt értékek jóságát meghatároztam az egyes napokon:  $RMSE_{krigelt2006.03.31.} = 0,9238$ ;  $RMSE_{krigelt2006.04.11.} = 2,262$ ;  $RMSE_{krigelt2006.05.17.} = 2,935$ . 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 rács távolságon belül kevés a mért érték, - mivel ezen ponthoz esnek legtávolabb a környező mért értékek – így a becslés tehát nagyobb hibával terhelt.

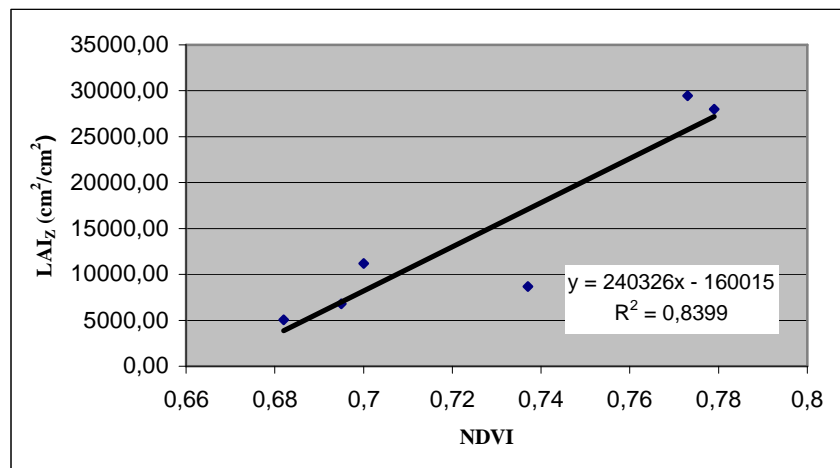
#### 4.5. Távérzékelés alapú táblaszintű precíziós vízgazdálkodás kialakíthatóságának elemzési eredményei

A  $K_c$  növényi együtthatót, amely a növény egyes fejlődési szakaszaihoz tartozik, az NDVI index alapján becsültem a Landsat TM idősoros felvételekből. A levélfelület indexet (LAI) szintén mértem, amely szoros korrelációban van az NDVI-vel, amint azt *Burai és Tamás* (2004) Látóképen végzett vizsgálatai is alátámasztanak, ahol cukorrépa levélfelület indexét számították és hasonlították össze az NDVI-vel, amit 3 m magasságból TETRACAM ADC digitális multispektrális kamerával készített felvételek

alapján számoltak. A kamerának 3 csatornája van: zöld (520-600 nm), vörös (620-750 nm), közeli infra (750-950 nm). A cukorréparól készített földközeli képet mutat a 33. ábra. A közeli infra és vörös csatornák reflektancia értékeiből számított NDVI a biomassa monitoringozására szolgált. Kiszámították a zöld, fotoszintetikusan aktív levélfelületet ( $LAI_z$ ) a levélfelület mérések alapján. Szoros korrelációt találtak az NDVI és LAI között, majd elvégezték a lineáris függvény-illesztést (34. ábra).

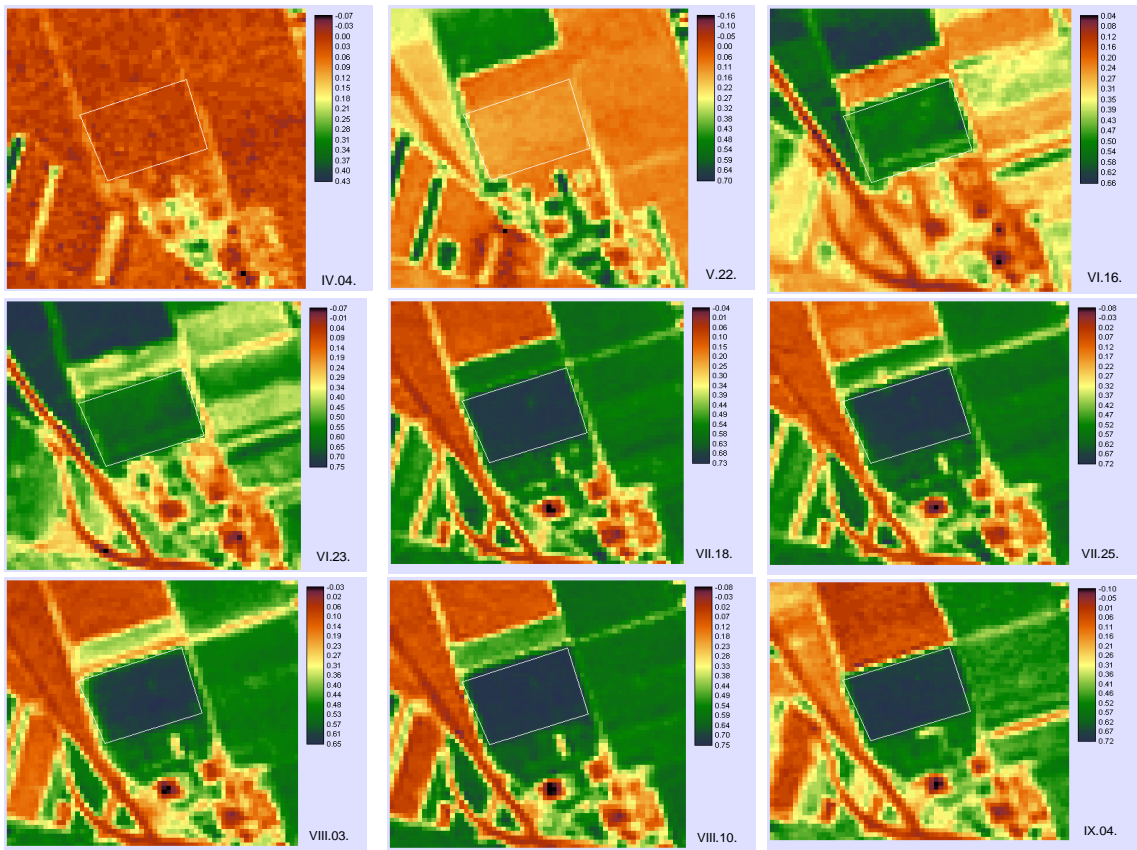


33. ábra. Cukorrépa földközeli felvétele. a) hamisszínes (r: közeli infra, g: vörös, b: zöld csatorna) felvétel; b) számított felszínborítás (canopy = 74,8%)

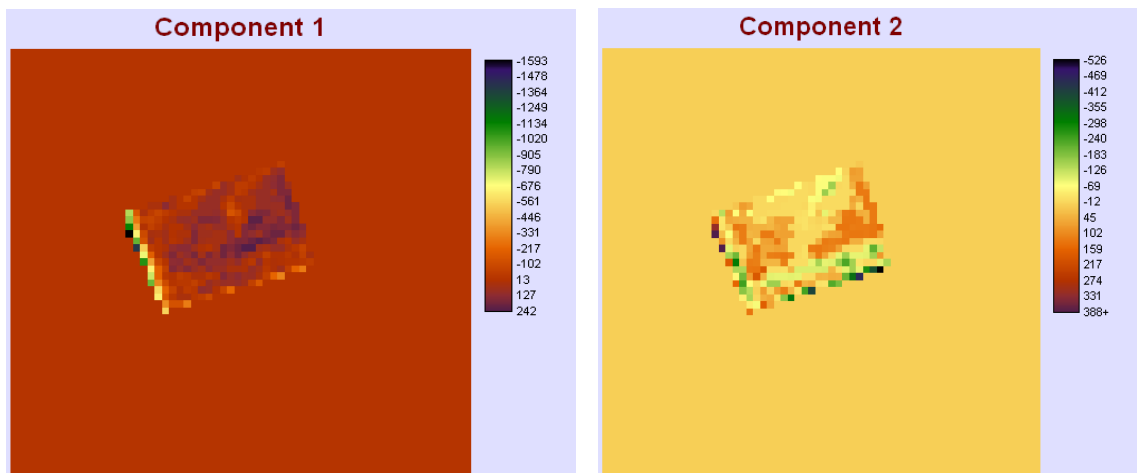


34. ábra. Regresszió az NDVI és a levél felület index (LAI) között cukorrépa kutatásokban

Miután elkészítettem az idősorokat a Landsat felvételekből (35. ábra), főkomponens analízist végeztem belőlük az IDRISI Andes térinformatikai szoftver segítségével. Az 1. és 2. főkomponens képet a 36. ábra szemlélteti. A számított átlag és standard szórás értékeket a 9 különböző időpontra a 20. táblázat mutatja.



35. ábra. A Landsat vörös spektrumú 3. csatornából (RED) és a 4. csatornából (NIR) számított NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) idősorok

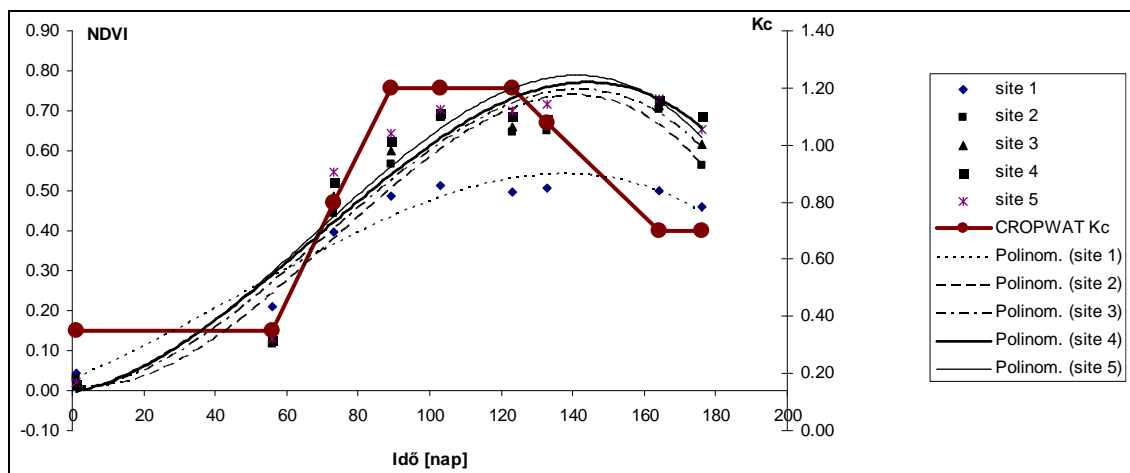


36. ábra. A hajdúsági löszháti kísérleti területet lefedő Landsat felvételek főkomponens analíziséből eredő első és második főkomponens kép

20. táblázat. A 9 különböző időponthoz tartozó főkomponens analízis eredményei a 19 ha-os kísérleti területen

Időpont	04. 04.	22. 05.	16. 06.	23. 06.	18. 07.	25. 07.	03. 08.	10. 08.	04. 09.
Átlag	0,0206	0,1354	0,5223	0,6223	0,6929	0,6768	0,6024	0,7181	0,6819
Standard szórás	0,053	0,063	0,065	0,065	0,064	0,073	0,074	0,063	0,058

Következő lépésben klaszterezést végeztem az első főkomponens képből, és ennek alapján 5 homogénnek tűnő területet válogattam le a kísérleti területből. A klaszterezés eredményeként az első terület nagysága 1,5 ha, a másodiké 0,5 ha, a harmadik 1,8 ha, a negyedik 7,1 ha és az ötödik 8,1 ha lett. Ezt követően ROI-t képeztem (Region Of Interest), mely lefedte mind az 5 területet. A ROI-kkal fedett átlagos NDVI értékek a 9 időléptékből lettek kiszámítva. Egy területnek 9 átlagos NDVI értéke van. Regressziós egyenletet illesztettem ezekre az átlagos értékekre, meghatározva a paramétereket és a korreláció szorosságát. A CROPWAT modellben cukorrépára megadott növényi együttható értékeit szintén ábrázoltam (37. ábra).



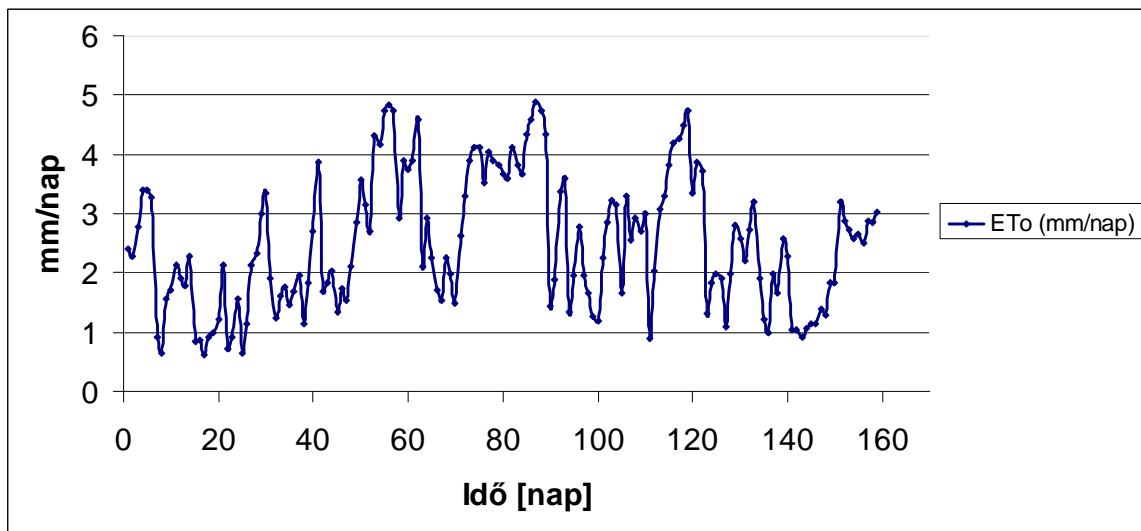
37. ábra. A növényi együttható ( $K_c$ ) és az NDVI értékek közötti kapcsolat, valamint a harmadfokú egyenletek az 5 leválogatott területre

A regressziós egyenlet segítségével becsülhetjük az NDVI értékeket 2 mérési időpont között. Mint korábban említettem, az NDVI szoros korrelációban van a LAI-val, és a LAI szoros korrelációban van a  $K_c$ -vel. A harmadfokú egyenlet napi értékeit ráillesztettem a  $K_c$  értékekre. Mivel a  $K_c=1,2$  egyenlő a harmadfokú egyenlet maximumával, az NDVI értéket hozzárendeltem a  $K_c$  értékekhez aránypáros megfeleltetéssel (21. táblázat).

21. táblázat. Harmadfokú egyenletek az 5 leválogatott területre

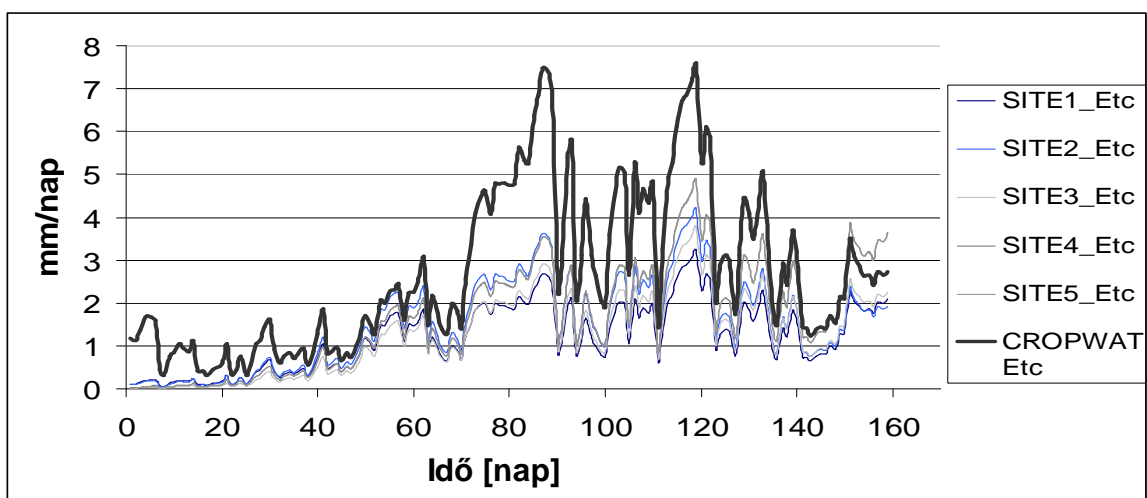
	Polinom egyenlet	$r^2$ érték
1. terület	$y = -2E-07x^3 + 3E-05x^2 + 0,0035x + 0,0342$	0,9427
2. terület	$y = -6E-07x^3 + 0,0001x^2 - 0,0012x + 0,0139$	0,9142
3. terület	$y = -5E-07x^3 + 0,0001x^2 + 0,0004x + 0,0028$	0,9079
4. terület	$y = -4E-07x^3 + 9E-05x^2 + 0,0017x - 0,0039$	0,8997
5. terület	$y = -4E-07x^3 + 9E-05x^2 + 0,0017x - 0,0042$	0,8997

Rendelkezésemre állt egy mobil agrometeorológiai állomás A-típusú kád párolgási adatai alapján a potenciális evapotranspiráció mérési eredménye a teljes területre. Hogy kiterjeszthessem ezen adatokat a szabad vízfelszín párolgására, használnom kellett egy  $c$  konstans tényezőt. E tényező átlagos értéke 0,76. Megszorozva a napi kádpárolgás adatokat ezzel a  $c$  faktorial, megkaptam a helyes adatokat. Az így módosított  $ET_o$  értékeket mutatja a 38. ábra.



38. ábra. A 19 hektáros kísérleti terület  $c$  faktorial módosított potenciális evapotranspiráció ( $ET_o$ ) értékei

Miután megkaptam a helyes értékeket, kiszámoltam a tényleges evapotranspirációt ( $ET_c$ ) az 5 leválogatott területre (39. ábra), megszorozva a módosított potenciális evapotranspirációt ( $ET_o$ ) a növényi együtthatóval ( $K_c$ ).



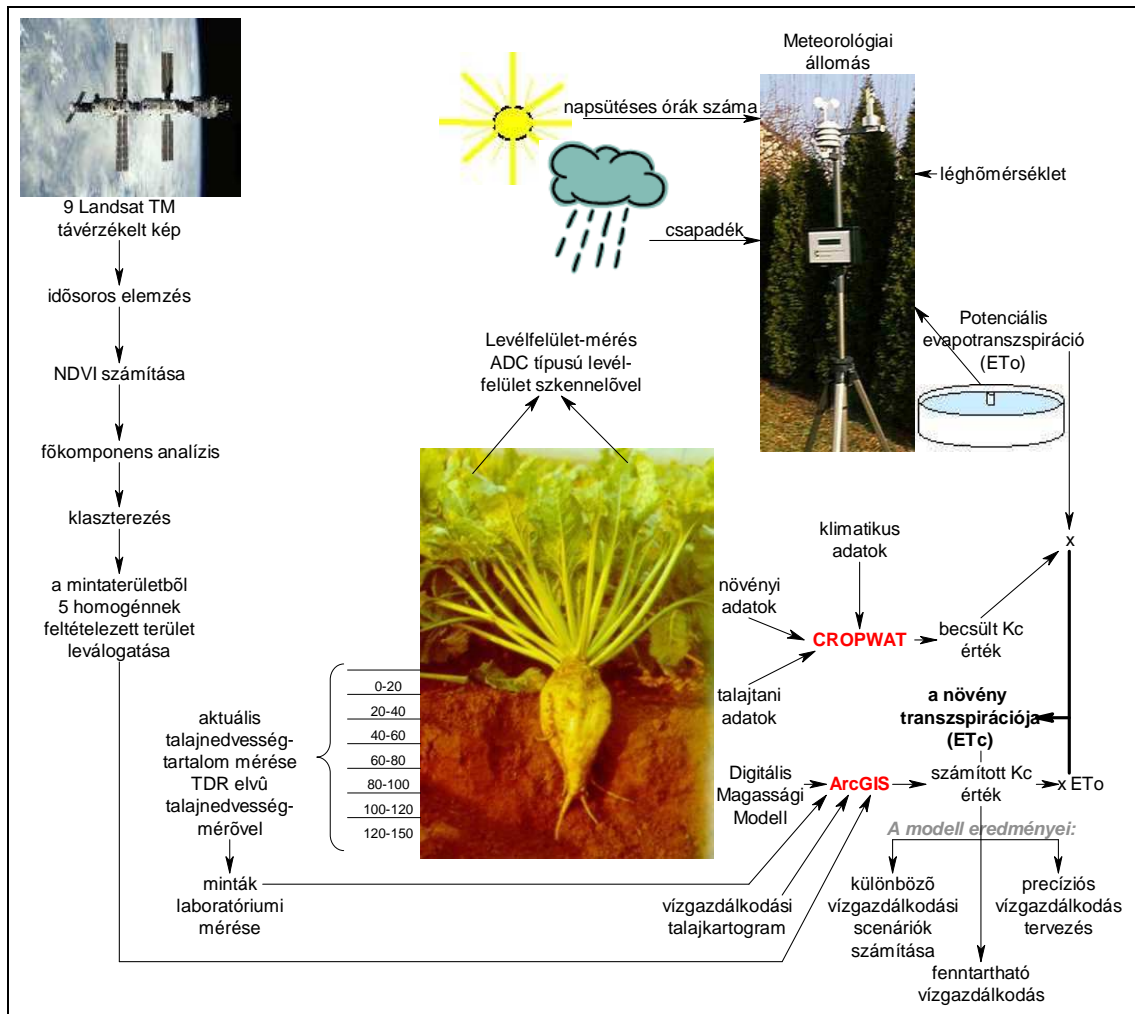
39. ábra. Az 5 leválogatott területre számított tényleges evapotranspiráció ( $ET_c$ ) értékek, és a CROPWAT-program által becsült  $ET_c$  értékek

A modellbe bevitettem az aktuális vízellátottság adatokat a talaj kartogramok, valamint a gyökerezési mélységet figyelembe vevő terepi mérések eredményei alapján. A cukorrépa vízigényének kiszámításához öt homogén terület aktuális vízkészletét vettem alapul, csapadékos körülmények között. A teljes csapadék mennyiségét módosítottam a lefolyás mértékével, és kiszámítottam a maximális csapadékbeszivárgási rátát. A szárazanyag produkció és az egyes növekedési szakaszok hossza a területen meg lett mérve. A kezdeti szakasz a 25. napon fejeződött be, a növény növekedési szakasza 35 napig tartott, a teljes kifejllettség szakasza, valamint az érési szakasz 50-50 nap volt. Meghatároztam a növényi együtthatókat ( $K_c$ ) és az aszály következtében beálló termés-csökkenést mutató faktort ( $K_y$ ), valamint mértem a gyökerezési mélységet. A  $K_c$  és a  $K_y$  faktorokat minden egyes növekedési szakaszhoz megadtam.

Megvizsgáltam a különbséget a Penman-Monteith egyenlet alapján a CROPWAT modell által becsült  $ET_o$ , és a számított  $ET_o$  értékek között, amelyek az A-típusú kádpárolgáson alapuló meteorológiai állomás által gyűjtött adatokból kerültek kiszámításra. Vizsgálati eredményeim azt mutatták, hogy a becsült  $ET_o$  értékek 7-12%-kal meghaladják a számított  $ET_o$  értékeket. Az öt területen a növényi vízigényben lévő különbségeket szintén összehasonlítottam a CROPWAT program által becsült értékekkel, tekintettel a napi talajnedvességre az egyes gyökerezési mélységekben. Megállapítottam, hogy a CROPWAT modell a kezdeti szakaszban közel 100%-osan túlbecsli a vízigényt a ténylegesen kiszámított vízigényhez képest. A növény növekedési szakaszában jól korrelál. A teljes kifejllettség szakaszában a becsült vízigény értékek ismét magasabbak kb. 30-50%-kal. Az érési szakaszban a CROPWAT modell túlbecslése kisebb mértékű, kevesebb, mint 10%. A kapott értékek az egyes szakaszokban előforduló szélsőséges klímával magyarázhatók, mert a hőmérséklet alacsonyabb volt a fent említett időszakokban általánosan jellemzőnél.

Vizsgálatom célja az öntözés és az esővíz hatékony hasznosulásának elemzése volt. A modell eredményei gyakorlati segítséget nyújthatnak a gazdálkodók számára a természeti erőforrásokkal való hatékony és fenntartható gazdálkodásban az agrár-környezetvédelmi követelményekkel és szabályozásokkal összhangban. A modell segítségével fejleszthető az öntözés és az esővíz hatékonysága és új vízgazdálkodási stratégiát dolgozhatunk ki a precíziós gazdálkodásban.

A precíziós öntözéses vízgazdálkodás elemeit az alábbi, 40. ábrán foglaltam össze:



40. ábra. A távérzékelés alapú táblaszintű precíziós vízgazdálkodás kialakításának folyamatai

A Landsat TM idősoros képekből számított NDVI-ből kalkulált  $K_c$  értékek sokkal pontosabbnak bizonyultak, összehasonlítva a CROPWAT öntözés-tervezési modell által becsült  $K_c$  értékekkel. Az NDVI-ből számított  $K_c$  értékek alkalmazásával kiküszöbölhetjük azt a 200-300%-os becslési hibát, amely a CROPWAT modell használatából ered.

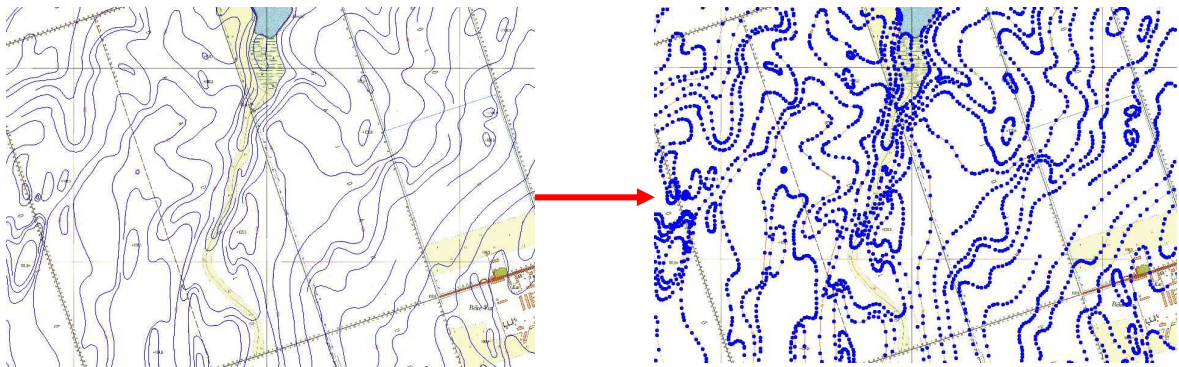
Szoros korrelációt találtam az NDVI és a LAI, valamint a LAI és a  $K_c$  között. Az űrfelvételekből származó elemzések alkalmasnak bizonyultak a potenciális evapotranspiráció ( $ET_0$ ) számítására. A CROPWAT modell által becsült  $ET_0$  és növényi vízigény értékek meghaladják a mért adatokon alapuló számított értékeket. Az eredmények alapján a mért adatok használatát javaslom a gyakorlatban.

A GPS alapú helymeghatározáson és távérzékelésen alapuló vízgazdálkodási modell integráció alkalmasnak bizonyult környezeti vízgazdálkodási stratégiák hatékonyságának vizsgálatára, valamint a természetes csapadékból és a mesterséges

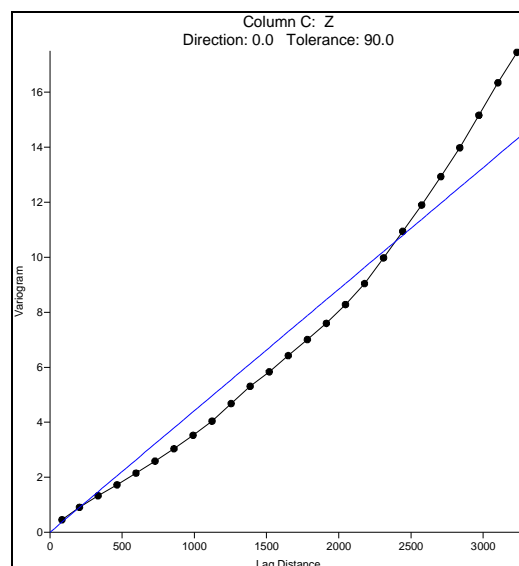
vízutánpótlásból származó vízmennyiség hatékony hasznosulásának fejlesztésére is, melynek révén nemcsak víztakarékosság, hanem költségcsökkenés is realizálható. Alacsony inputokkal a különböző természetű növény fajok/fajták alatti vízkészlet vizsgálatához és precíziós talajművelési alternatívák kiválasztásához is segítséget nyújt a modell.

#### 4.6. A Hajdúsági löszhát vízviszonyainak domborzati elemzése

Az 1:10 000 topográfiai térképek szintvonalainak bedigitalizálásával, majd a vonalak pontokká történő konvertálásával (41. ábra) és az XY koordináták hozzárendelésével a SURFER 8.0 szoftverben feldolgozható adatállományhoz jutottam. Krigeléssel interpolációt hajtottam végre, ahol az interpolációt egy 80x80 m-es felbontású rácshálóra illesztettem. A felbontás mértéke a bemenő adatbázis térbeli sűrűségének függvénye. A krigeléshez alkalmazott lineáris variogram-modellt a 42. ábra szemlélteti.

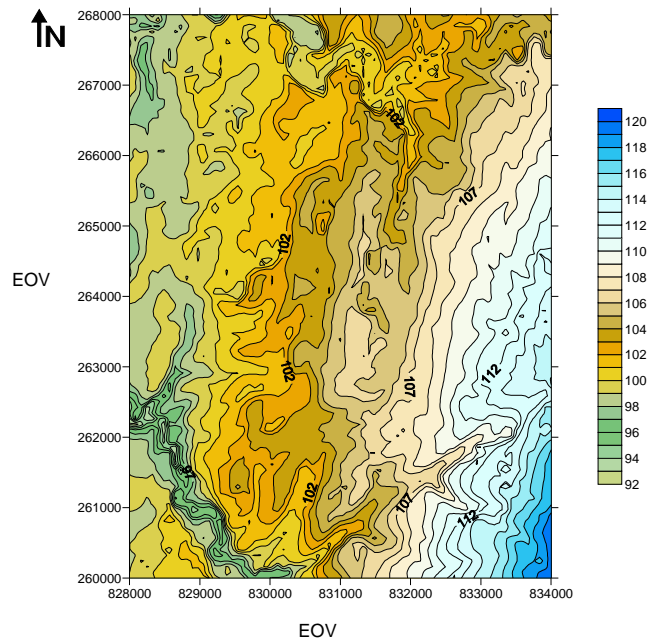


41. ábra. a) 1:10 000-es topográfiai térképek szintvonalai bedigitalizálva; b) A digitalizálással előállított shape fájl XYZ formátumúvá alakítva



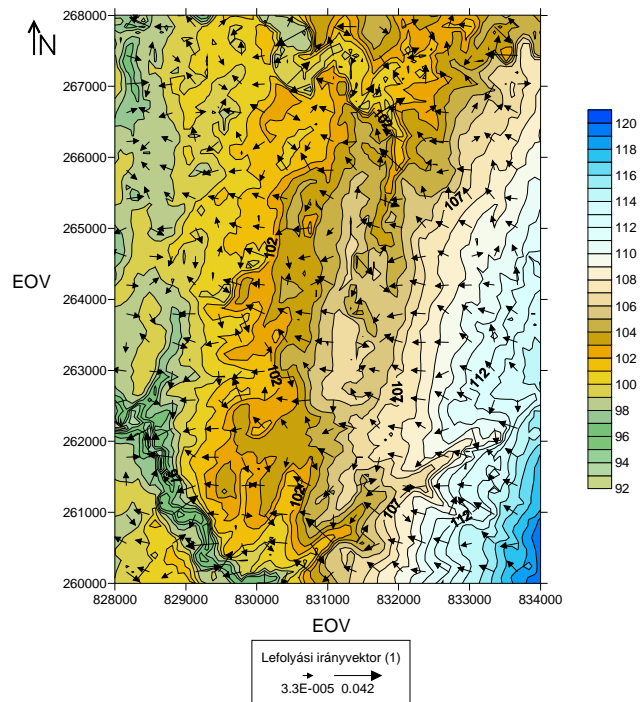
42. ábra. A krigeléshez használt lineáris variogram-modell

Az interpolációt követően a kontúrvonalas térkép szintvonalainak simítását hajtottam végre (43. ábra).

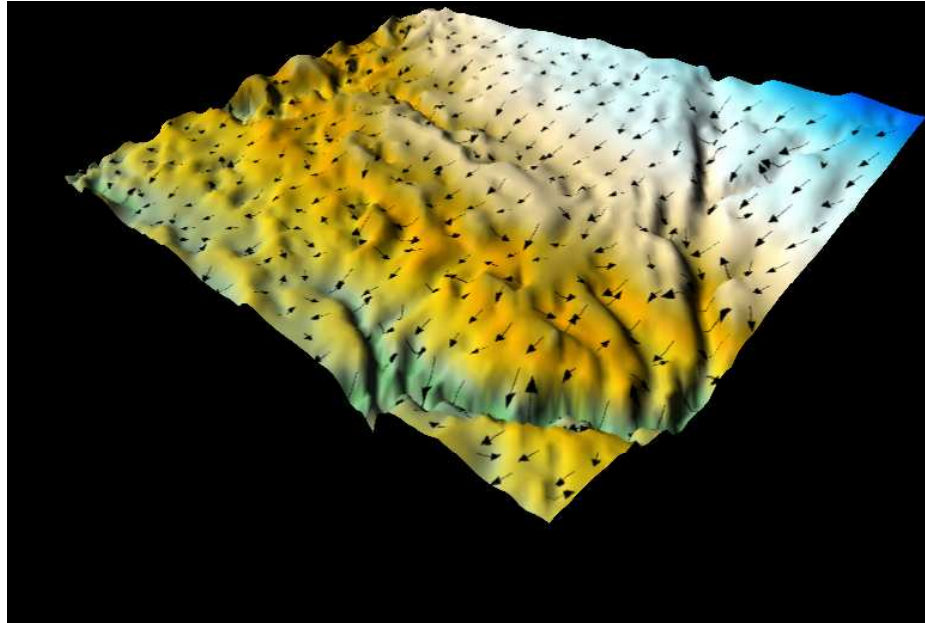


43. ábra. A Hajdúsági löszháton elterülő mintaterület digitális magassági modellje simítással

A terület véges elemszámú térrészekre felosztva, megállapíthatjuk a térrészek lejtéseinek irányait. A mintaterületre kiszámított lejtésirányok vizualizációja a 44. ábrán, a terület 3D-s ábrázolása a 45. ábrán látható.

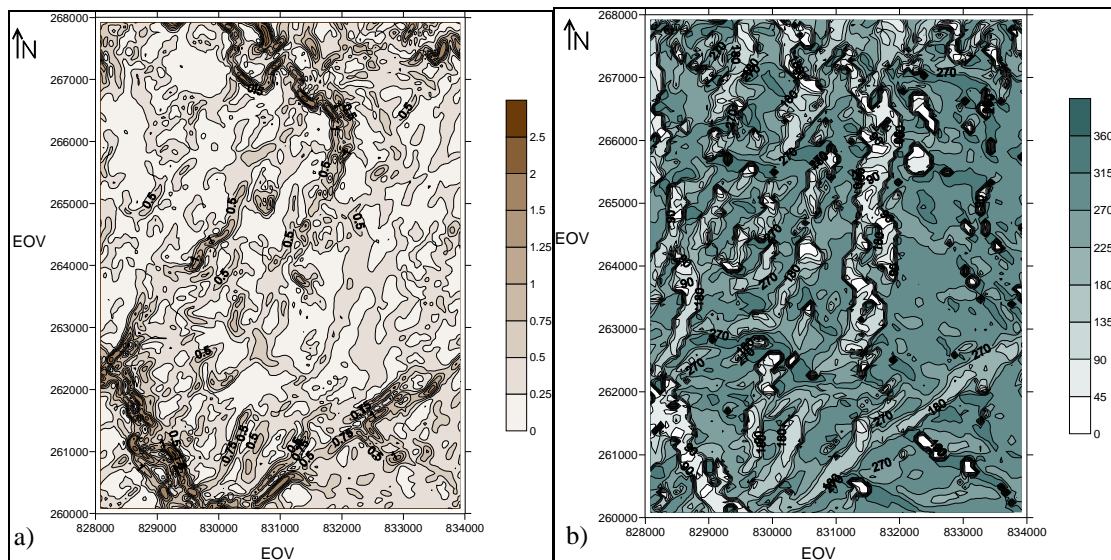


44. ábra. A lefolyási irányok térképi ábrázolása a hajdúsági löszháti mintaterületre



45. ábra. A hajdúsági löszháti mintaterület 3D-s magassági modellje a lefolyási irányokkal

A térfelület deriválásával elkészítettem a mintaterület lejtő- és kitettség-térképét. A lejtő hajlását 0 és 90 fok közötti szöggel jellemezzük. A létrehozott kontúr térkép az állandó meredekségű lejtők izovonalait mutatja (46.a ábra). A kitettséget az északi iránytól mért szögekkel (azimut) jellemezzük (0 fok az északi irányt mutatja, a 90 fok a keleti, a 180 fok a déli, a 270 fok a nyugati kitettséget jellemzi) (46.b ábra).



46. ábra. a) A hajdúsági löszháti mintaterület lejtő-térképe; b) A hajdúsági löszháti mintaterület kitettség-térképe

A kétszeri deriválással kapott lefolyási irányok értékei az összegyülekezés modellezésének alapjai. Az irányok változása térben az adott útvonalon valamely folyamat felfokozódását jelentik.

A vertikális síkon való értelmezés elsősorban a víz sebességére és gyorsulására ad választ, amelynek eróziós jelenségek modellezésénél van jelentősége elsősorban dombvidékeken. A horizontális síkon történő irányváltás a lefolyási irányok konvergenciáját, ill. divergenciáját fejezi ki, vagyis az összegyülekezés folyamán az elemi térrészek esésirányainak vízszintes felületen történő összetartását, illetve távolodását (konvexitás).

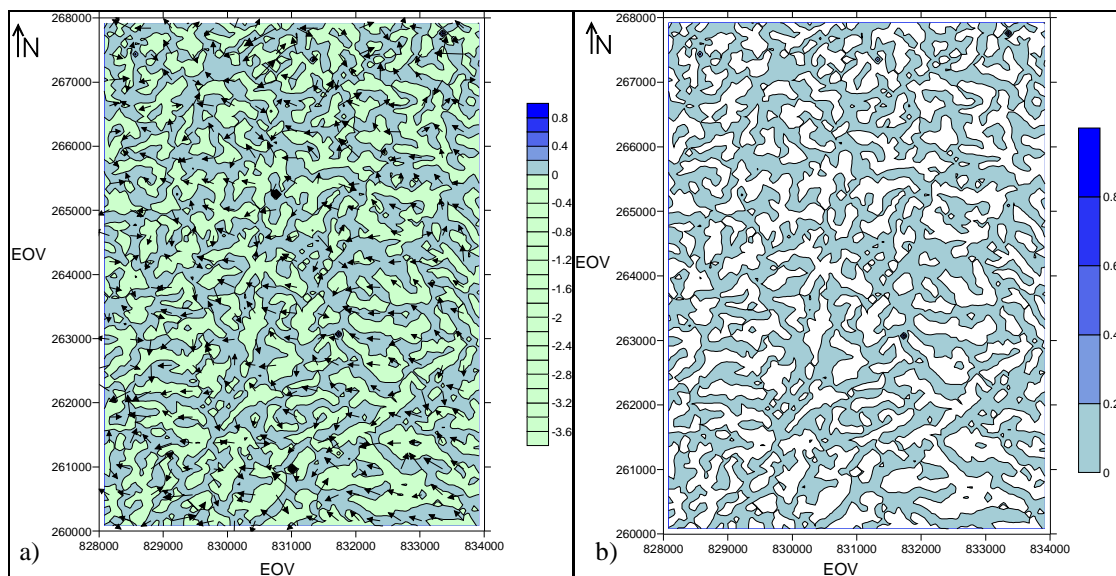
Az összegyülekezés fokozódásának - nemcsak a sebességét értve ez alatt, hanem a vizsgált elemi térrészhez (mélyedéshez) való közelséget is - egyik biztos jele a konvergencia növekedése. A konvexitás mértékét úgy lehet számszerűsíteni, hogy az eredeti irányhoz képest való irányszög-váltást százalékban vagy abszolút értékben kifejezzük. Ha az azonos irányváltozású elemi térrészeket izometrikus vonalakkal összekötjük, akkor a konvergencia, ill. a divergencia mértékét tudjuk vizuálisan megjeleníteni.

Amíg az elemi térrészről lefolyó víz irányai párhuzamosak egymással, az összegyülekezés kezdeti szakaszaként értelmezhető a folyamat. Vagyis az adott útvonalon haladó és kumulálódó víz nem gyarapszik a szomszédos térrészekből lefolyó vizek mennyiségével. Abban az esetben, ha a lejtő szintvonalai domborúak a lefolyási irányra nézve, az irányok a görbület tetejéről lefelé haladva folyamatosan széttartanak, azaz távolodnak egymástól, így a lefolyó vízmennyiség is széttart (divergencia). Ha viszont az összegyülekezés a felszín természetes mélyedései felé közelít, a lefolyási irányok fokozatosan összetartanak, vagyis egyre több cella tartalma összpontosul 1-1 egységbe (konvergencia). A konvergencia annál kifejezettebb, minél határozottabb a lefolyás irányának változása. A lefolyási irányokhoz viszonyított homorú izometrikus vonalakra állított merőlegesek összetartása geometriailag jól példázzák ezt a helyzetet.

Az elkészített modellt a rácsháló értékeinek kétszeri második deriváltjaként értelmezhetjük, amely az egységnyi távon fellépő szögváltozás hányadost (iránygradiens) jelenti.

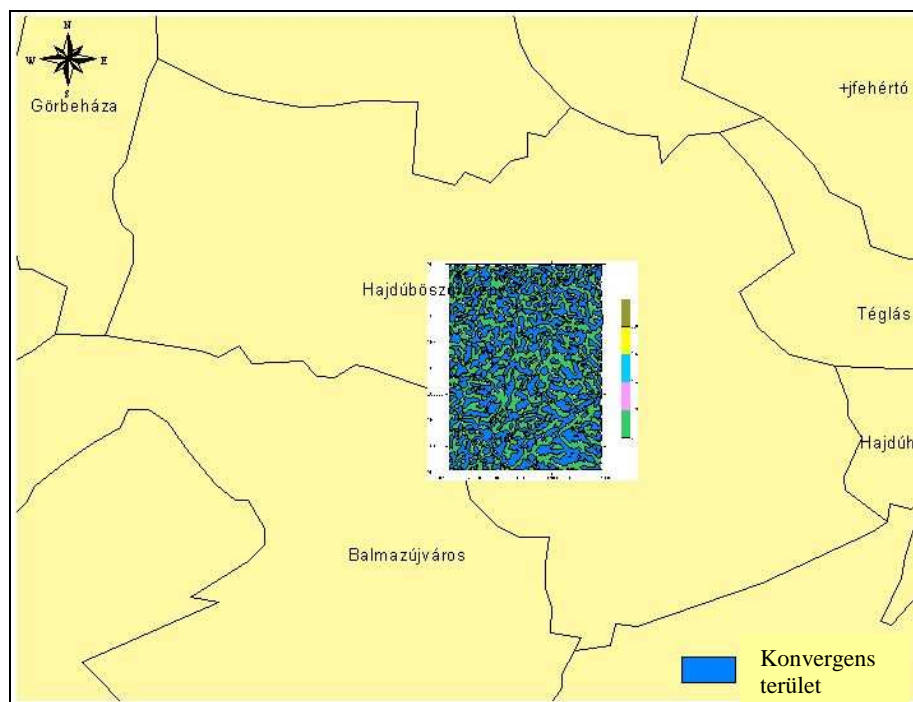
A lefolyás-irányok változása tehát az akkumulációs jelenséget pontosan jellemzi és ezáltal alkalmas a belvízfoltok legvalószínűbb helyzetének meghatározására. A konvexitás térképezésével tehát jellemezhetjük az adott térség belvíz-veszélyeztetettségét a topográfia szempontjából (47.a ábra).

Ha a konvexitás térképről leválogatjuk a konvergens - víztöbblettel rendelkező – térrészeket, egy újabb lépéssel jutunk közelebb a túlnedvesedésre hajlamos területek lehatárolásában (47.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 4 570 ha nagyságú terület csaknem fele (49,63%) hajlamos túlnedvesedésre.



**47. ábra. a) A konvexitás értékei a hajdúsági löszháti mintaterületre; b) A leválogatással kapott konvergens területek lehatárolása a hajdúsági löszháti mintaterületre**

A vizsgálati terület térképi elhelyezkedéséből (48. ábra) látható, hogy a vizsgálatom csupán Hajdúböszörmény közigazgatási határán belül egy kis részre terjedt ki. Mélyebb következtetések levonására nagyobb, összefüggő terület vizsgálatára lenne szükség. Jelen munkámban csupán a Digitális Magassági Modell vízgazdálkodási vizsgálatokban való alkalmazhatóságára szerettem volna felhívni a figyelmet, amely számos további elemzés alapjául szolgálhat.



48. ábra. A hajdúsági löszhát mintaterület konvergens területeinek ArcView 3.3 szoftverben leválogatott foltjai és a teljes terület térképi elhelyezkedése

#### 4.7. METEOSAT műholdképek napi átlagos területi csapadékbecslésben való alkalmazhatóságának értékelése

A vizsgálatok során a METEOSAT műholdképek 3 csatornájának idősoraiból végeztem főkomponens analízist, ezt követően NDVI-t számoltam és maszkot készítettem. A 3 vizsgált csatornára kereszt-korrelációs számítást végeztem, végül vizsgáltam a térbeli átlagok időbeli variabilitását.

##### 4.7.1. A VIS, IR és WV csatornák idősorainak főkomponens analízise

A METEOSAT műholdas képek 3 csatornájából (VIS, IR, WV) 6 időpontból álló idősort dolgoztam fel. A variabilitást főkomponens analízissel határoztam meg, amelyet a látható (VIS), infravörös (IR) és vízpára (WV) csatornák idősoraira futtattam le. Ennek alapján megállapítottam, hogy az egyes információk mely időpontokhoz kapcsolódnak leginkább. Az időben átlagolt pontszerű csapadéokra és az átlagos területi csapadéokra vonatkozó regressziós algoritmust szintén vizsgáltam. Az eredmények hozzájárulnak és lehetővé teszik a napi átlagos csapadék becslését. Ez nagy fontossággal bír a távérzékelte forrásokból származó pontos adatszerzésben azokra a területekre is, ahol nincs csapadékmérő-állomás, és emiatt nem kaphatunk megfelelő információt a csapadékesemények tekintetében, és nem utolsósorban, az elkövetkező klímaváltozásról.

A VIS, IR és WV csatornák idősorainak főkomponens analízisének elvégzését követően kiderült, hogy az első komponens kép hordozza a legnagyobb információt. Megvizsgáltam, mely időpontoknak van a legfőbb befolyásoló szerepe ennek meghatározásában (az eredményeket a 22., 23. és 24. táblázat mutatja).

**22. táblázat. A főkomponens analízis eredménye a látható (VIS) csatornában**

Komponens képek száma (CMP)	CMP 1	CMP 2	CMP 3	CMP 4	CMP 5	CMP 6
Variancia %	81.552652	15.702860	1.063102	0.768273	0.517913	0.395201
Időpont						
<b>06:00h</b>	0.270278	-0.962761	0.003823	-0.00072	0.003149	-0.00411
<b>08:00h</b>	0.983116	0.026805	-0.12741	-0.01576	-0.12041	0.042249
<b>10:00h</b>	0.979958	0.061304	-0.14882	0.025915	0.107166	-0.04028
<b>12:00h</b>	0.978797	0.061611	0.080352	-0.17531	0.029678	0.009634
<b>14:00h</b>	0.983599	0.070647	0.09899	0.061027	-0.05346	-0.10563
<b>16:00h</b>	0.98375	0.044719	0.095593	0.103534	0.036641	0.095061

**23. táblázat. A főkomponens analízis eredménye az infravörös (IR) csatornában**

Komponens képek száma (CMP)	CMP 1	CMP 2	CMP 3	CMP 4	CMP 5	CMP 6
Variancia %	69.007469	29.414662	0.57506	0.403792	0.334696	0.26432
Időpont						
<b>06:00h</b>	0.971874	-0.201774	-0.05478	-0.03293	-0.06494	-0.08035
<b>08:00h</b>	0.418603	0.901679	-0.01755	-0.10322	0.008992	0.026496
<b>10:00h</b>	0.440473	0.891135	0.013407	0.104456	-0.0087	-0.02637
<b>12:00h</b>	0.970736	-0.178663	0.159194	-0.01471	-0.01016	0.00955
<b>14:00h</b>	0.970825	-0.204749	-0.03766	0.009041	0.117535	-0.01605
<b>16:00h</b>	0.970481	-0.207792	-0.06523	0.035763	-0.04231	0.087504

**24. táblázat. A főkomponens analízis eredménye a vízpára (WV) csatornában**

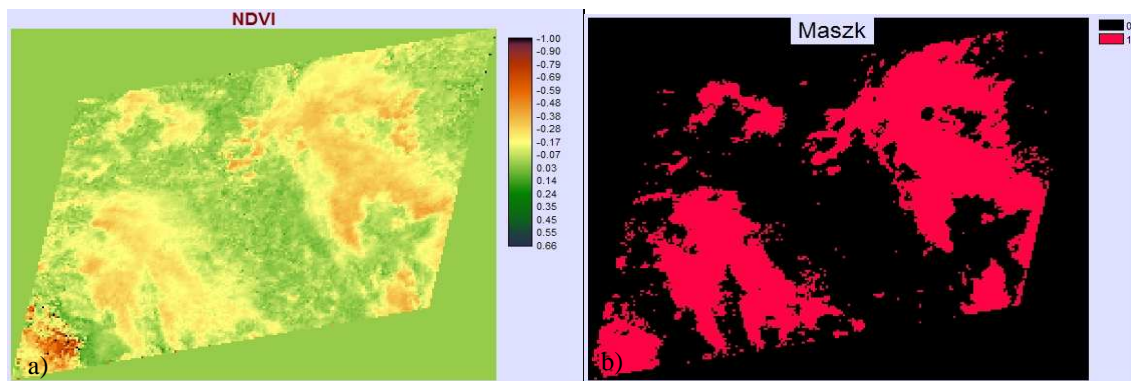
Komponens képek száma (CMP)	CMP 1	CMP 2	CMP 3	CMP 4	CMP 5	CMP 6
Variancia %	91.419120	3.993786	2.440005	1.205911	0.641612	0.299558
Időpont						
<b>06:00h</b>	0.960944	-0.22443	0.091177	0.088978	-0.05829	-0.08122
<b>08:00h</b>	0.97044	-0.20852	0.036275	0.05025	-0.01263	0.103746
<b>10:00h</b>	0.966275	-0.14477	-0.11703	-0.12539	0.123883	-0.02429
<b>12:00h</b>	0.948931	0.139443	-0.26249	-0.02284	-0.10323	0.000085
<b>14:00h</b>	0.946048	0.26989	0.021818	0.155401	0.086716	-0.00302
<b>16:00h</b>	0.94383	0.180382	0.231726	-0.1467	-0.03763	0.003829

A csapadékesemény tekintetében a 12, 14 és 16 óra volt a legmeghatározóbb. Elvégeztem a komponens súlyok térbeli becslését a három csatorna első komponens képén, az Orosháza-Nyíregyháza tengelyen. Ezt idősorokra szintén elvégeztem.

#### 4.7.2. NDVI és maszk készítése

Normalizált differenciált vegetációs index (Normalized Difference Vegetation Index – NDVI) idősorokat szintén készítettem a távérzékelte felvételekből (49.a ábra). A vegetációs indexek főként a vörös és közeli infra csatornák reflektancia adataiból származnak. Az NDVI mutató a fotoszintetikus aktivitást méri, és jól egybeesik a vegetáció sűrűségével és életképességével. Az index a vörös csatornában mért nagyfokú klorofill pigment abszorpció és a közeli infra csatornában mért növényi anyagok magas reflektanciájának összehasonlítása révén működik. Az NDVI index a legelterjedtebben alkalmazott index, különösképpen a műholdas felvételekből történő elemzések elvégzésekor.

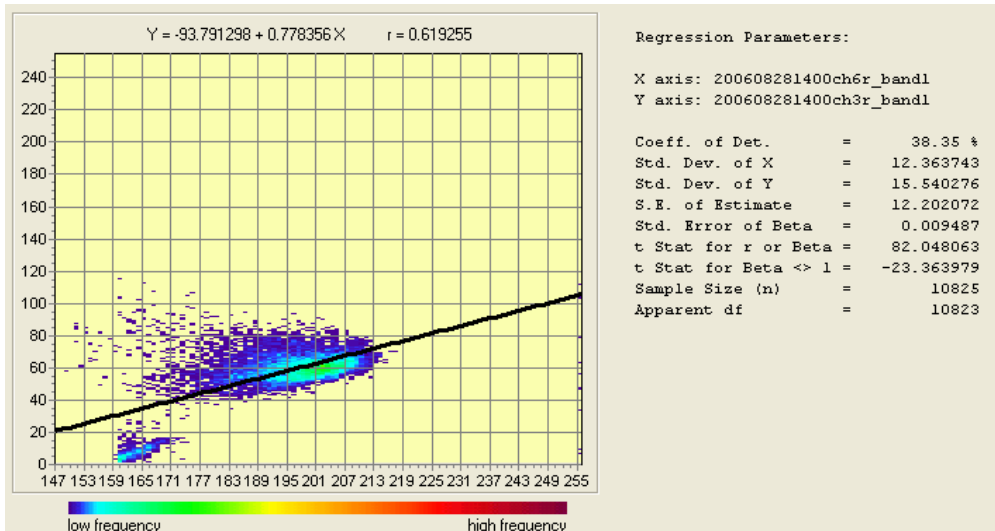
Az IDRISI Andes szoftverben maszk készítésével elvégeztem a vizsgálat térbeli leszűkítését (49.b ábra). A maszkot az NDVI képen készítettem a felhők leválogatására, majd értékeltem a kép hisztogramját. Ennek megfelelően a küszöbértéket 0,15-nél határoztam meg. Korrelációt számítottam a VIS, IR és WV képek között. Végül, megvizsgáltam a regressziós algoritmust a 3 csatorna átlagos pixel értékeire a 6 csapadékmérő-állomás körül és az eredményeket összehasonlítottam a földi csapadékmérő-állomásokból származó adatokkal.



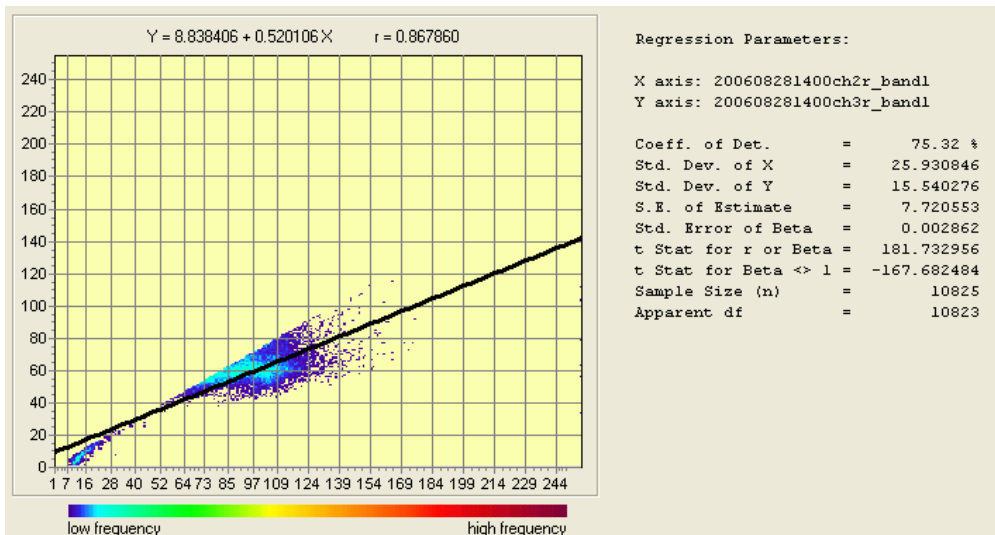
49. ábra. a) Normalizált differenciált vegetációs index (NDVI); b) Az NDVI képből készített maszk

#### 4.7.3. Kereszt-korreláció számítása a VIS, IR és WV csatornák között

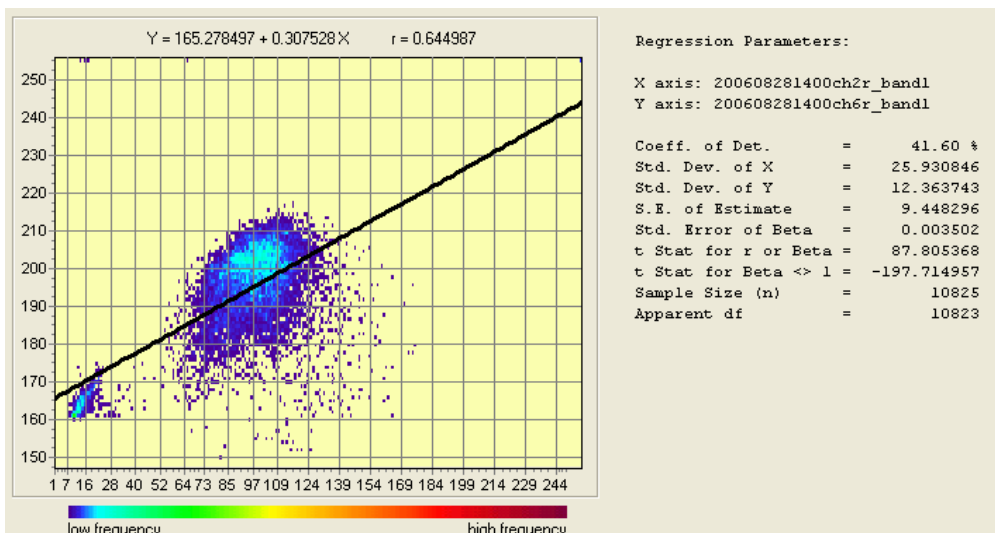
Korrelációt számoltam a képek között. Összehasonlítva az idősorok 3 tábláját egyértelművé vált, hogy nagymértékű kapcsolat áll fenn bármely két idősor között. A kereszt-korrelációs koefficiens a WV-IR (50. ábra), VIS-IR (51. ábra) és a VIS-WV (52. ábra) között és az időbeli átfedésben, sorrendben 0,61, 0,86 és 0,64.



50. ábra. A kereszt-korreláció eredménye a WV-IR csatornák között



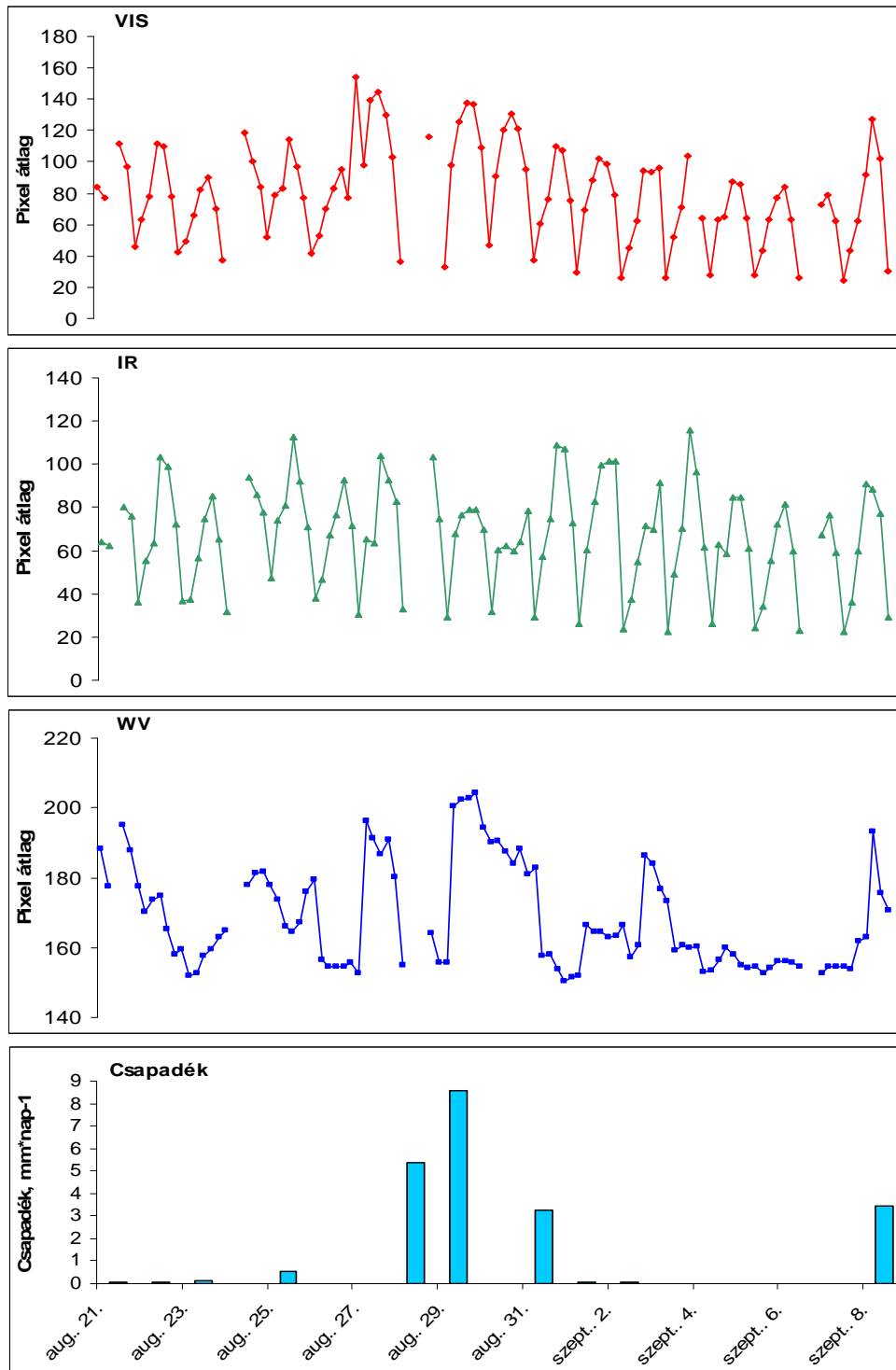
51. ábra. A kereszt-korreláció eredménye a VIS-IR csatornák között



52. ábra. A kereszt-korreláció eredménye a VIS-WV csatornák között

#### 4.7.4. A térbeli átlagok időbeli variabilitása

Megvizsgáltam a térbeli átlagok időbeli variabilitását. Az 53. ábra a térbeli átlagok VIS, IR és WV idősorait mutatja az Alföld területén, a 2006. augusztus 21 – szeptember 08. közötti időszakra.



53. ábra. VIS, IR, WV és napi csapadék idősorok, mint térbeli átlagok az Alföldön elhelyezkedő 6 csapadékmérő-állomás környezetében

Az IDRISI Andes térinformatikai szoftverben raszterre alakított műholdképek mindegyikén feljegyeztem és a Microsoft Excel programban táblázatba foglaltam a hat csapadékmérő-állomás körüli 8 és a központi pixel értékét. Településenként és időpontoként átlagoltam a pixel értékeket és összehasonlítottam őket a hozzájuk tartozó napi átlagos csapadéértékekkel. Ezt a műveletet mind a VIS, az IR és a WV csatornákra is elvégeztem. A közöttük lévő kapcsolatot regresszió-vizsgálat alapján fejeztem ki. A kereszt-korrelációs érték 0,61 lett a szimulált és a tapasztalt értékek között hosszabb időszakot tekintve, ami azt jelzi, hogy a METEOSAT képekből származó információk hasznosak egy régió átlagos pontszerű csapadékeseményének hosszabb időszakra vonatkozó következtetésére. Mindazonáltal, a kereszt-korrelációs érték 0,34-re esik vissza abban az esetben, amikor ugyanezt a műveletet végzem el napi átlagos csapadék értékekre valamennyi csapadékmérő helyen.

## 5. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

Korunk fejlett technológiájának köszönhetően ma már számos eszköz áll rendelkezésünkre a környezetünkben zajló folyamatok megfigyelésére, mérésére. Segítségükkel olyan folyamatokról kaphatunk értékes információkat, mint a talajbani vízmozgás, a párolgás, vagy éppen a növényen belüli nedváramlás. A mérőkészülékek széleskörű választéka lehetővé teszi az ember életterének alapos feltérképezését, hozzájárulva az itt előforduló események megértéséhez és közvetve a tudomány fejlődéséhez. Erre pedig szükségünk van, hiszen az ember létezésének feltétele, hogy a környezetével együtt élni, és benne élni tudjon.

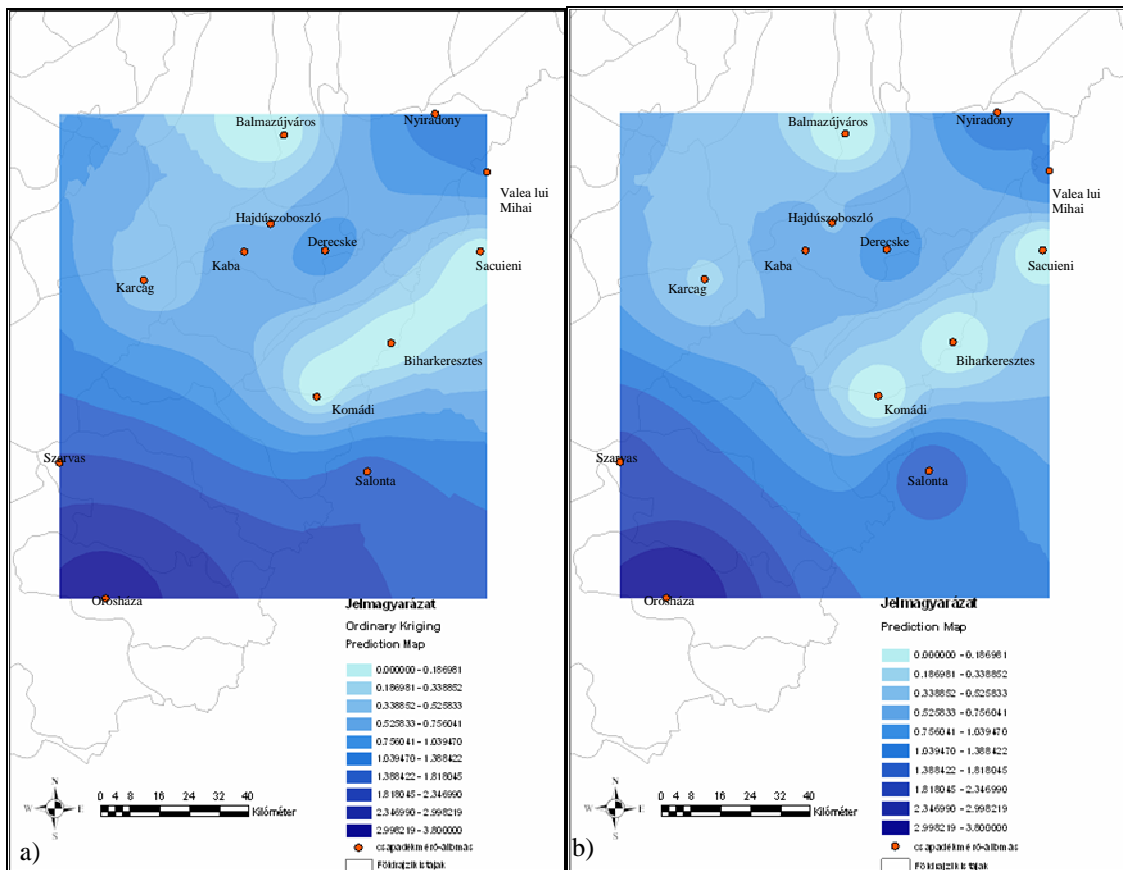
Magyarország évi átlagos csapadékmennyisége nem elegendő ahhoz, hogy biztonságos termelést folytassunk. Az aszályos évek magas aránya megköveteli az öntözés szükségességét olyan szántóföldi kultúrákban, mint a cukorrépa, burgonya, vagy a csemegekukorica. A Hajdúsági löszhát vízszegény terület, az itt található kiváló minőségű csernozjom talajokon történő növénytermesztés vízigényét öntözés útján szükséges biztosítani. A mezőgazdaság öntözővíz-igényén túl azonban számos vízhasználati igény jeletkezik nemcsak az ipar, hanem a lakosság és a természetvédelem részéről is.

Mindezen komplex vízigények kielégítéséről csak akkor tudunk megfelelő módon gondoskodni, ha jól megfontolt, gondosan kidolgozott vízkészlet-gazdálkodási modellt alkotunk. E modellek nagy segítségünkre lesznek a jövőben egyre nagyobb mértékben igényelt hidrológiai folyamatok pontosabb térbeli és időbeli leírásában, a különböző emberi tevékenységek vízminőségre és a hidrológiai ciklus változására gyakorolt hatásának meghatározásában, és nem utolsósorban a széles körben terjedő távérzékelte adatok használatában, amelynek segítségével a föld felszínéhez kapcsolódó hidrológiai paramétereket és jellemzőket pontosabban és gyorsabban le tudjuk írni és meg tudjuk határozni.

Pontszerű értékekből – magasság adatokból – a teljes vizsgálati területet lefedő folyamatos adatfelszín alakítottam ki interpoláció segítségével. A különböző interpolációs eljárásokon alapuló Digitális Magassági Modellek vízgazdálkodásban történő alkalmazhatósági lehetőségeinek vizsgálata során arra a következtetésre jutottam, hogy a krigelés és a távolsággal fordítottan arányos súlyozott interpoláció (IDW) sokkal részletgazdagabb eredményt adott, mint a Spline eljárással készült interpoláció. A Spline interpoláció a magassági értékek két szélső értékét alul-, ill.

túlbecsülte. Ennek tükrében a magassági pontokon alapuló térbeli elemzésekhez a krigelés és a távolsággal fordítottan arányos súlyozott interpolációs eljárások alkalmazását javaslom.

A 13 mérési ponton alapuló csapadék-interpolációs vizsgálatból kitűnik, hogy az exponenciális szemivariogramot és változó keresési sugárt használó ordináris krigelés a legjobb megközelítés az egyedi variációk ábrázolására az adatkészleteken belül, míg a másik járható alternatíva az IDW – változó keresési sugárral (54. ábra). A csapadék eloszlásának és intenzitásának vizsgálatára alkalmas a krigeléses interpolációs módszer. A krigelés módszere az aktuális adatok súlyozott becslésén alapszik, ennek következtében a kontúrvonalak sokkal jobban követik a trendet és nem hagyják figyelmen kívül a kis mennyiségű csapadékot sem, nem úgy, mint a többi módszer. Általánosságban, a krigelés jobb eredményt adott, mint az IDW és a spline. A módszer további előnye, hogy a krigelés megadja az eredő hibát is a számításban. Az IDW definíciója szerint egy simító technika, ami gyakorlati, eredmények nélküli számításokhoz vezet, felületesen kezelve lényeges értékeket.



54. ábra. A 2006.03.31-i csapadékadatokból számított becslési térképek. a) Ordináris krigelés; b) IDW interpoláció

A távérzékelés alapú táblaszintű precíziós vízgazdálkodás kialakíthatóságának elemzési eredményei azt mutatták, hogy a Landsat TM idősoros képekből számított, NDVI-ből kalkulált növényi együttható ( $K_c$ ) 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.

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 evapotranszspiráció ( $ET_o$ ) 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  $\text{mm nap}^{-1}$ ,  $1 \text{ s}^{-1} \text{ ha}$  és  $1 \text{ s}^{-1}$  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.

Vizsgáltam a Hajdúsági löszháton kijelölt mintaterület lefolyás-összegyülekezési viszonyait Digitális Magassági Modell készítésével. 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. A konvergens területek lehatárolásával

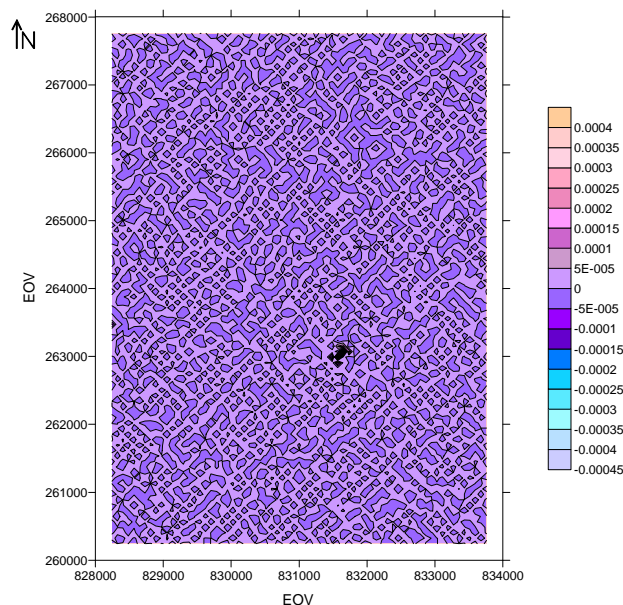
elkészítettem azt a térképet, amely a mintaterület túlnedvesedésre, belvízre hajlamos térrészeit mutatja.

A terepi térrészeken hozzáfolyás és elfolyás egyaránt megfigyelhető. Ritka jelenség a két folyamat közül az egyik kizárólagossága (pl. belvízfolt, vízválasztó). A lefolyás dinamikáját tekintve lényeges annak ismerete, hogy a két egyenleti elem közül melyik a meghatározó, vagyis egyenlegük a többlet vagy a hiány irányába tolja el a területrészt vízháztartási egyensúlyát.

Matematikai úton a nettó vízmérleg ugyanakkor kiszámítható:

$$\nabla^2 Z = \frac{\partial^2 Z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 Z}{\partial y^2} \quad (13)$$

Ez gyakorlatilag a két síkbeli irány (x,y) négyzetegységére eső magasságderiváltak összege (Laplace-egyenlet). A folytonos felszín valamennyi cellájára kiszámolt értékek alapján - annak interpolációjával - az el- és hozzáfolyás különbségén alapuló vízmérleg térkép szerkeszthető (55. ábra).



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

A belvíz-jelenség hazánk csaknem 50%-án okoz problémát. A mezőgazdasági termelésnek elsődlegesen helyet adó síkvidéki területek túlnedvesedésre hajlamos területeinek vizsgálata ezért elengedhetetlen. 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 termelés optimalizálásához.

A METEOSAT műholdképek napi átlagos területi csapadébecslésben való alkalmazhatóságának vizsgálatára irányuló kutatásommal adatokat szolgáltatam a METEOSAT műholdképekből történő napi átlagos területi csapadébecslés és a földi csapadékmérő-állomások napi átlagos csapadék-értékeivel történő összehangolt elemzéséhez.

A METEOSAT távérzékelte felvételek látható (VIS – 2. csatorna), infravörös (IR – 3. csatorna) és vízpára (WV – 6. csatorna) csatornáit alkalmasnak találtam a napi átlagos területi csapadébecslés elemzésére. A képek térinformatikai szoftverekkel történő feldolgozására az ENVI 4.3 és az ArcMap 9.2 szoftvereket használtam. A vizsgálatomnak megfelelő célú képfeldolgozási módszertan a szakirodalomból nem ismert, az általam alkalmazott eljárás megfelelőnek bizonyult.

A georeferáláshoz használt DTA50 állomány vektor rétegei megfelelő pontossággal biztosították a távérzékelte kép koordináta helyességét. A megfelelő referenciapontok láthatósága érdekében ehhez egy viszonylag felhőmentes műholdképre volt szükség.

Megállapítottam, hogy a METEOSAT műholdképek statisztikai elemzéseinek elvégzéséhez az IDRISI Andes térinformatika szoftver alkalmas. E szoftver igazoltan használható a *.tiff* kiterjesztésű műholdképek raszterre, valamint az ArcView 3.3 szoftverben előállított shape fájl vektorra konvertálására.

A VIS, IR és WV csatornákra végzett főkomponens analízissel kimutattam a 6 időpontból álló idősor variabilitását. Az eredmények alapján megállapítottam, hogy a csapadékesemény tekintetében a 12, 14 és 16 óra volt a legmeghatározóbb.

NDVI-t számítottam, majd az NDVI képre maszk készítésével elvégeztem a vizsgálat térbeli leszűkítését. A hisztogram kiértékelése során megállapítottam, hogy a felhők leválogatására alkalmas küszöbérték 0,15-nél határozható meg.

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).

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 egy viszonylag csapadékszegényebb idősor adatait elemeztem. A pontosabb információnyerés érdekében javaslom nagyobb csapadékeseményű időszakok vizsgálatát.

Javaslom továbbá más távérzékelt adatforrások alkalmazhatósági vizsgálatát és egyéb forrásokból (pl. radaradatok) származó csapadékadatokkal történő összevetését. Véleményem szerint a hasonló adatfeldolgozások jelentős mértékben hozzájárulhatnak a bonyolult, térben és időben folyamatosan változó jelenségek megfigyeléséhez és jobb megértéséhez, a változások nyomon követéséhez.

## 6. ÚJ ÉS ÚJSZERŰ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

- 1) Elkészítettem egy regionális vízgazdálkodási döntéstámogatási rendszer koncepcionális modelljét, és értékeltem annak input adatminőségét.
- 2) 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.
- 3) Összehasonlító elemzést végeztem 8 interpolációs technikára egy kis sűrűségű csapadékmérő-hálózáttal 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.
- 4) Igazoltam egy GPS-RS alapú vízgazdálkodási modell precíziós gazdálkodásban történő alkalmazhatósági előnyeit.
- 5) Paramétereztem fizikai spektrális Landsat TM – NDVI idősorok alapján kalkulált  $K_c$  növényi együttható értékeket. Ez az eljárás az empirikus becsült  $K_c$  értékek 200-300%-os becslési hibáját nagyságrenddel képes csökkenteni.
- 6) Megállapításaim alapján a CROPWAT modell irodalmi  $ET_o$  értékei 7-12%-kal meghaladják a mért spektrális adatokból számított  $ET_o$  értékeket.
- 7) A Hajdúsági löszhát vízviszonyainak értékelése során digitálisan lehatároltam a túlnedvesedésre hajlamos térrészeket. A folytonos felszín valamennyi cellájára kiszámoltam az el- és hozzáfolyás különbségén alapuló vízmérleget.
- 8) 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.

## 7. ÖSSZEFOGLALÁS

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 vizsgálatok térkerete a Hajdúhát kistérségjén belül a Hajdúsági löszhát volt. 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.

Térbeli statisztikai elemzéseket hajtottam végre a különböző interpolációs eljárásokon alapuló Digitális Magassági Modellek vízgazdálkodásban történő alkalmazhatósági lehetőségeinek vizsgálatára vonatkozóan, ahol a krigelés és a távolsággal fordítottan arányos súlyozott interpolációs eljárások bizonyultak a legmegfelelőbbnek.

13 csapadékmérő-állomás csapadék adatainak felhasználásával 8 különböző interpolációs eljárással végeztem becslést a mért adattal nem rendelkező térrészekre. A kis sűrűségű csapadékmérő-hálózattal rendelkező térség csapadék-mennyiségének és -eloszlásának becslésére a legmegbízhatóbb eredményt – statisztikai számításokkal alátámasztva – az exponenciális szemivariogramot és változó keresési sugárt használó ordináris krigelés adta.

Vizsgáltam egy GPS alapú helymeghatározáson és távérzékelésen alapuló vízgazdálkodási modell integráció precíziós gazdálkodásban történő alkalmazhatósági előnyeit. Landsat TM idősoros képekből számítottam NDVI-t, amelyből kalkuláltam a  $K_c$  növényi együttható értékeit. Az ezzel a módszerrel történő  $K_c$  érték meghatározás sokkal pontosabbnak bizonyult, mint a CROPWAT öntözés-tervezési modell általi  $K_c$  érték becslés. Szoros korrelációt találtam az NDVI és a LAI, valamint a LAI és a  $K_c$  között. Az űrfelvételekből származó elemzések alkalmasnak bizonyultak a potenciális evapotranszspiráció ( $ET_o$ ) számítására. Megállapítottam, hogy a CROPWAT modell által becsült  $ET_o$  és növényi vízigény értékek meghaladják a mért adatokon alapuló számított értékeket, ebből kifolyólag gyakorlati alkalmazásra a mért adatok használata javasolt.

A célkitűzésekben megfogalmazottaknak megfelelően vizsgáltam a Hajdúsági löszhát vízviszonyait. Domborzati elemzés során összegyűlekezés-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, meghatároztam a konvexitás értékeit, és lehatároltam a túlnedvesedésre hajlamos területeket. Ezen túlmenően, a terepi térrészek hozzáfolyás-elfolyás vizsgálata alapján megszerkesztettem a terület vízmérleg-térképét.

Elemzéseket végeztem a METEOSAT műholdképekből történő napi átlagos területi csapadék meghatározás alkalmazhatóságának vizsgálatára irányulóan az Alföld területén, a látható (VIS – 2. csatorna), az infravörös (IR – 3. csatorna) és a vízpára (WV – 6. csatorna) csatornákból. A METEOSAT műholdképek gyűjtésére a Debreceni Egyetem Víz- és Környezetgazdálkodási Tanszékén nyílt lehetőségem, ahol a 2005. év első negyedévében lett felállítva egy vevőállomás, amely a METEOSAT-8 időjárás-előrejelző műhold jeleit veszi és dolgozza fel. Az adatgyűjtés a 2006-os évben részleges volt, így az archív adatokból csupán egy viszonylag alacsonyabb csapadéértékekkel bíró 19 napos idősort tudtam kiválasztani, amelyre végül az elemzések elvégzését alkalmasnak találtam. A vizsgált időtartam METEOSAT képeiből az elemzések során kinyert információkat 6 földi csapadékmérő-állomás (Balmazújváros, Derecske, Hajdúszoboszló, Kaba, Orosháza, Szarvas) adataival hasonlítottam össze.

A távérzékelte képeket többlépcsős képfeldolgozási eljárásnak vettem alá. A szakirodalomban a számomra lényeges elemzések megkezdéséhez szükséges képfeldolgozási módszertani leírást nem találtam, így 2 térinformatikai szoftver segítségét vettem igénybe: az ENVI 4.3 szoftverben elvégeztem a lényeges információt hordozó terület (ROI – Region of Interest) kivágását és *.tiff* kiterjesztésű képként történő mentését, majd az ArcMap 9.2 szoftverben elvégeztem a műholdkép EOVI vetületbe illesztését, a DTA 50 állomány vektorrétegeihez történő rektifikálás alapján. A teljes idősorra vonatkozóan összesen 19 nap, napi hat 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 akadályai elhárult. Mindeközben elkészítettem a 6 földi csapadékmérő-állomás EOVI 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.

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, időpontként és csatornánként. Az adatrögzítés végén a relatív reflektancia értékeket átlagoltam és a valamennyi mérőállomásra meglévő napi átlagos csapadék-adatokkal összehasonlítottam és diagramon ábrázoltam.

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 eredmény alapján elmondható, hogy a METEOSAT műholdképek alkalmasak egy régió átlagos pontszerű csapadékeseményének hosszabb időszakra vonatkozó következtetésére. Elvégezve a regresszió vizsgálatot 1 napi átlagos értékekre megállapítottam, hogy a kereszt-korrelációs érték 0,34-re esik vissza. Ennek következtében a METEOSAT műholdképek felhasználását átlagos csapadékbecslésekre csupán hosszabb időszak (legalább néhány hét) vizsgálata esetén javaslom a megbízhatóbb információszerzés érdekében.

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 a vizsgálat térbeli leszűkítése érdekében maszkot készítettem a felhők leválogatásával. A küszöbértéket 0,15-nél határoztam meg. Ezt követően vizsgáltam a különböző csatornák közötti összefüggés szorosságát kereszt-korreláció számításával. Az eredmények a szakirodalomnak megfelelő értéket adták.

Dolgozatomban az agrár-környezetvédelmi feladatok szűk szeletére terjedt ki vizsgálatom. Mindazonáltal, az ismertett eredmények alapján úgy gondolom, hogy a hatékony vízkészlet-gazdálkodási fejlesztéshez ma már elengedhetetlen a térinformatika segítségül 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 termesztés optimalizálásában, hanem a vízgazdálkodási beavatkozások megfelelő időbeni és térbeli elvégzésében egyaránt.

## 8. SUMMARY

Rising of security of water supply requires integrated strategy of water need- and water supply-regulation in the future. Integrated water supply management is a good frame in planning of adaptation of water management to climatic changes.

The research area was Hajdúsági loess ridge, which takes place on Hajdúhát. 5 phase conceptual model of complex water-management system was created for the research area of Hajdúsági loess ridge, which was basically determined by the integration of data into solid database origins from data collection and by the decision making system, which is well based, lean on models and is required for interventions.

Spatial statistical analyses were performed concerning to the inquiry of applicability possibilities of Digital Elevation Models based on different interpolation methods, where kriging and Inverse Distance Weighted interpolation methods appeared the most appropriate.

Using of data of 13 agrometeorological stations, evaluation was performed by 8 different interpolation methods for those areas, which had no measured data. For evaluation of moisture amount and dispersion of area with low density moisture-measurement network the best result was given by ordinary kriging using exponential semivariogram and variable search radius, confirmed by statistical calculations.

Applicability advantages of water-management model integration based on GPS based location determination and remote sensing in precision farming were analyzed. The sample plot was a 19 ha sugar beet plot. NDVI was calculated from Landsat TM time series images, from which  $K_c$  values were calculated.  $K_c$  value determination by this method appeared far accurate, than  $K_c$  evaluation by CROPWAT irrigation planning model. Close correlation was found between NDVI and LAI, and between LAI and  $K_c$ . Analyzes from remote sensing data are suitable for calculation of potential evapotranspiration ( $ET_o$ ).  $ET_o$  evaluated by CROPWAT model and plant water requirement values are overestimate the calculated values based on measured data, so usage of measured data is suggested in practice.

As it was fixed in the aims, water relations of Hajdúsági loess ridge were analyzed. Accumulation mapping was performed by relief analyzing and runoff directions were illustrated on 3D elevation model of the sample plot. Convergence and divergence of runoff directions showed the extent of accumulation and the location of the possible inland water spots. Slope- and aspect map of the area was created, values of convexity

were determined, and areas tend to overmoisturing were impounded. Beyond that, water balance-map of the area was created by the assay of positive water and negative water movements of the terrain areas.

Analyses were performed for the acceptability assay of daily average aerial moisture determination from METEOSAT satellite images in the are of the Great Plain, from the visible (VIS – 2. channel), Infrared (IR – 3. channel) and water vapour (WV – 6. channel) channels. Collection of METEOSAT satellite images were performed at University of Debrecen, Department of Water- and Environmental Management, where a receiver station was set up in the first quarter of year 2005, which receives and processes the signs of METEOSAT-8 weather-forecast satellite. Data collection was partial in 2006, so a 19 day time series could be chosen with relatively lower moisture values, for which performing of analyses was found appropriate finally. Analyzed information originate from METEOSAT images of the examined time period was compared with the data of 6 ground-based agrometeorological stations (Orosháza, Szarvas, Kaba, Derecske, Hajdúszoboszló, Balmazújváros).

Remote sensed images were processed by a multi-part image processing method. Image processing methodology description for the inception of essential analyzes were not found in the literature, so the help of 2 GIS softwares was required: excision of area, which contains essential information (ROI – Region of Interest) was fulfilled in ENVI 4.3 software and was saved as an image with a *.tiff* extension, than fitting of satellite image to EOVS projection was performed in ArcMap 9.2 software by the rectification to DTA 50 substance vector layers. This significant time-pretensed image processing procedure was performed to the images of 19 days, daily 6 date and 3 channels by date concerning to the whole time-series.

Process of numerous rectificated images was continued in IDRISI Andes software. Geotiff can be imported to this software; however, conversion to raster with *.rst* extension is required by the software process. This conversion was fulfilled in all images, so the difficulty of the determination of relative reflectance was over.

During this, shape file was created in ArcView 3.3 GIS software by the EOVS coordinates of the 6 ground-based agrometeorological stations, which made possible the map illustration of the geographical location of stations. This shape file was also need to „code” for the language of Idrisi software, so the conversion to vector was required.

Vector layer, which contains the coordinates of the agrometeorological stations, was fitted to raster satellite images. Relative reflectance value of the 3x3 pixel area over the points that sign the stations could be read accurately, thanks for the arrangement of projection system. Values were recorded in Microsoft Excel by stations, date and channels. At the end of data fixation, relative reflectance values were averaged, and compared to the daily average moisture data origins from the stations and were illustrated on a diagram.

Connection between VIS, IR and WV channels was expressed by regression examination. Cross-correlation value was 0,61 between the simulated and experienced values. By the results, METEOSAT satellite images were found appropriate for the longer period conclusion of the average pointwise moisture events of a region. Performing regression test for 1 day average values, cross-correlation value fall back to 0,34. Therefore, usage of METEOSAT satellite images for average moisture evaluation is suggested to the examination of longer period (at least some weeks), in the interest of more reliable information getting.

Principal component analysis was performed for the time period of VIS, IR and WV channels, which showed that 12, 14 and 16 hour was the most determinative in respect of moisture event. After preparing NDVI image, mask was created by the overlap of clouds, on behalf of the terrain restriction of the inquiry. Threshold was determined at 0,15. Following this, tightness of relationship was examined between the different channels by cross-correlation calculation. Results gave the values appropriate to literature.

In my essay, inquiry was expanded to a narrow part of agro-environmental tasks. However, by the delineated results it is thought that help of GIS is indispensable nowadays for the development of the effective water supply management. Usage of remote sensed images can help for the better cognition of difficult processes in spheres affected by agriculture and monitoring of change of the similar environmental parameters. The results of the inquiry point at such solutions, which are effective instruments in not only the optimization of cultivation, but in the performing of the appropriate temporal and spatial water management interventions as well.

## 9. PUBLIKÁCIÓS JEGYZÉK

- 1) *ADC*: 1994. Area meter AM100 User Guide. Hertfordshire, England.
- 2) *Adler R. F. – Mack R. A.*: 1984. Thunderstorm Cloud Height Rainfall Rate Relations for use with Satellite Rainfall Estimation Techniques. *Journal of Climate and Applied Meteorology*. 23. 280-296.
- 3) *Adler R. F. – Negri A. J.*: 1988. A Satellite Infrared Technique to Estimate Tropical Convective Stratiform Rainfall. *Journal of Climate and Applied Meteorology*. 27. 30-51.
- 4) *Alföldi L.*: 1999. A vízgazdálkodás jelenének, jövőjének kérdőjelei. Ezredforduló (Stratégiai kutatások a Magyar Tudományos Akadémián) 1. 3-8.
- 5) *Alföldi L. – Starosolszky Ö. – Várallyay Gy.*: 1994. Az aszály jelenség hidrológiai vonatkozásai Magyarországon. [In: Cselótei L., Harnos Zs. (szerk.) Éghajlat, időjárás, aszály.] MTA Aszály Bizottság. Budapest. 105-129.
- 6) *Allen R. G. – Pereira L. S. – Raes D. – Smith M.*: 1998. Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper (FAO) 56. 300.
- 7) *Ambrózy P. – Galambos J. – Kozma F. – Mezősi G. – Rajkai K. – Somogyi S.*: 1990. Magyarország kistájainak katasztere. MTA Földrajztudományi Kutató Intézet, Budapest. 268-275.
- 8) *Anda A. – Burucs Z.*: 1991. A növény és víz kapcsolata a talaj-növény-légkör rendszerben. PATE Nyomda. Keszthely.
- 9) *Baráth Cs-né – Győrffy B. – Harnos Zs.*: 1993. Aszály, 1983. Akaprint, Budapest.
- 10) *Barrett E. C.*: 1970. The estimation of monthly rainfall from satellite data. *Mon. Wea. Rev.* 101. 215-222.
- 11) *Barrett E. C. – Martin D. W.*: 1981. The Use of Satellite Data in Rainfall Monitoring. Academic Press. New York.
- 12) *Bartier P. M. – Keller C. P.*: 1996. Multivariate interpolation to incorporate thematic surface data using inverse distance weighting (IDW). *Computers and Geosciences*. 22. 795-799.
- 13) *Bassa L. – Beluszky P. – Berényi I. – Pécsi M.* (szerk.): 1989. Magyarország Nemzeti Atlasza. Kartográfiai Vállalat. Budapest.

- 14) *Bíró T.*: 1998. A vízrendezési célú beavatkozások megalapozásához szükséges fontosabb környezeti paraméterek vizsgálata. PhD értekezés. Debreceni Agrártudományi Egyetem, Debrecen. 4-7.
- 15) *Bíró T. – Tamás J. – Lénárt Cs. – Tomor T.*: 2002. A belvíz-veszélyeztetettség térbeli elemzése. *Acta Agrária Kaposváriensis*. 139-152.
- 16) *Bíró T. – Tamás J. – Thyll Sz. – Lénárt Cs.*: 2001. Mapping of surplus water risk. 19<sup>th</sup> European Regional Conference of ICID. Brno, Czech Republic. 60-61.
- 17) *Blaskó L. – Tamás J. – Czibalmás R.*: 2003. Szikes talajon folyó tartamkísérlet értékelése térinformatikai módszerekkel. *Agrárgazdaság, vidékfejlesztés és agrárinformatika az évezred küszöbén*. 204-205.
- 18) *Blaskó L. – Zsigrai Gy.*: 2003. Műtrágyázás, talajsavanyodás és meszezés összefüggései az OMTK kísérlethálózat talajain. *Karcag-Keszthely*. 343-365.
- 19) *Burai P. – Lénárt Cs.*: 2006. Növénytermesztési tartamkísérletek vizsgálata földközeli és légi távérzékelési technológiával. *Acta Agraria Kaposvariensis*. 10. 1-11.
- 20) *Burai P. – Tamás J.*: 2004. Hyper- and multispectral remote sensing technologies in precisional agricultural water management. [In: Proc. III. Alps-Adria scientific workshop.] Croatia, Dubrovnik. 54-58.
- 21) *Burai P. – Tomor T. – Bíró T. – Lénárt Cs.*: 2003. Mértékadó belvízhozam meghatározása térinformatikai eszközökkel. *Erdei Ferenc II. Tudományos Konferencia, Kecskemét*. 342-345.
- 22) *Burrough A. P. – McDonnell A. R.*: 1988. Principles of Geographical Information Systems. Spatial Information Systems and Geostatistics. Oxford University Press, Oxford. 132-161.
- 23) *Buttenfield B. P. – Mackaness W. A.*: 1991. „Visualization.” [In: Maguire D. J., Goodchild M. F., Rhind D.W. (eds.) *Geographical Information Systems: principles and applications.*]. Essex: Longman Scientific & Technical. 1. 427-443.
- 24) *Cholnoky J.*: 1911. Az Alföld természetrajza. Budapest.
- 25) *Chunmei W. – Pengxin W. – Xiangming Z. – Wenjuan Z. – Hesong Y. – Xuebao N. G.*: 2008. Estimations of evapotranspiration and surface soil moisture based on remote sensing data and influence factors. (*Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*). 24. 127-133.

- 26) *Cihlar J.*: 2000. Land cover mapping of large areas from satellites: status and research priorities. *International Journal of Remote Sensing*. 21. 1093-1114.
- 27) *Cressie N.*: 1990. The Origins of Kriging. *Mathematical Geology*. 22. 239-252.
- 28) *Cressie N.*: 1991. Geostatistics: A Tool for Environmental Modellers. *ENVMOD* 91. 414-421.
- 29) *Curran P. J.*: 1988. The semivariogram in remote sensing: An introduction. *Remote Sensing of Environment*. 24. 493-507.
- 30) *Csatári B.*: 2000. Tisza-vidék kutatás-fejlesztési program 2000. Adalékok a Tisza-vidék komplex fejlesztési programjához. MTA RKK Alföldi Tudományos Intézet, Kecskemét. 8.
- 31) *Cselőtei L. – Harnos Zs. (szerk.)*: 1994. Éghajlat, időjárás, aszály. I. MTA Aszálybizottság. Budapest.
- 32) *Dalton F. N. – Van Genuchten M.*: 1986. The time-domain reflectometry method measuring soil water content and salinity. *Geoderma*. 38. 237-250.
- 33) *Dawson T. E.*: 1993. Hydraulic lift and water use by plants: implications for water balance, performance and plant-plant interactions. *Oecologia*. 95. 565-574.
- 34) *Deardorff J. W.*: 1978. Efficient Prediction of Ground Surface Temperature and Moisture, With Inclusion of a Layer of Vegetation. *J. Geophys. Res.* 83(C4). 1889-1903.
- 35) *Detrekői Á. – Szabó Gy.*: 1995. Bevezetés a térinformatikába. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest.
- 36) *Diószeghy M. – Gróbné Szenyán I. – Kerényi J. – Putsay M.*: 2005a. Az új Meteosat műholdak magyarországi használata – 1. rész. Időjárás-előrejelzés. Nyereség a kontinensnek. Orsz. Meteorológiai Szolgálat - 2005.05.06.
- 37) *Diószeghy M. – Gróbné Szenyán I. – Kerényi J. – Putsay M.*: 2005b. Az új Meteosat műholdak magyarországi használata. 2. (befejező) rész. Időjárás-előrejelzés. Nyereség a kontinensnek. Orsz. Meteorológiai Szolgálat - 2005.05.09.
- 38) *Ducros-Gambart D. – Gastellu-Etcheberry J. P.*: 1984. Automatic analysis of bitemporal Landsat data: an application to the study of the evolution of vegetation-covered areas in a tropical region. [In: Proc. Guyenne T. D., Hunt J. J. (eds.) IGARSS Symposium.]. 187-192.
- 39) *Ebner H. – Eder K.*: 1992. State-of-the-art in Digital Terrain Modelling. EGIS.

- 40) *EC*: 1985. Perspectives for the common agricultural policy. Communication of the Commission to the Council and the Parliament. COM(85) 333.
- 41) *Efron B. – Tibshirani R. J.*: 1993. An Introduction to the Bootstrap. Chapman and Hall, Inc., New York.
- 42) *Farkas C. – Hagyó A. – Tóth E.*: 2005. Evaluation of the soil water regime of an irrigated maize field. *Acta Agronomica Hungarica*. 53. 161 – 175.
- 43) *Farkas L. I.*: 1999. Meteorológia: EUMETSAT-szerződés. *Élet és Tudomány*. 33.
- 44) *Franke R.*: 1982. Smooth interpolation of scattered data by local thin plate splines. *Comp & Maths. with Appls. Nagy-Britannia*. 8. 273-281.
- 45) *Fritsch D. – Pfannenstein A.*: 1992. Conceptual Models for Efficient DTM Integration into GIS. *EGIS 92*. 701-710.
- 46) *Fuchs M. – Cohen Y. – Moreshet S.*: 1987. Determining transpiration from meteorological data and crop characteristics for irrigation management. *Journal of Irrigation Science*. 91-99.
- 47) *G. Van Bavel M.*: 1993. Flow 2 Sap Flow System Installation and Operation manual. Dynamax Inc. Houston, Texas.
- 48) *Gáspár Z.*: 1994. Kultúrnövény állományok vízháztartási jellemzői. *Növénytermelés*. 43. 253-262.
- 49) *Goodchild M. F. – Kemp K. K.*: 1990. NCGIA Core Curriculum in GIS. National Center for Geographic Information and Analysis. University of California, Santa Barbara, CA.
- 50) *Goodchild M. F. – Lam N.*: 1980. Areal Interpolation: Variant of the Traditional Spatial Problem. *Geo-Processing*, I.
- 51) *Goodchild M. F. – Steyaert L. T. – Parks B. O. – Johnston C. – Maidment D. R. – Glendinning S. – Crane M.*: 1996. GIS and environmental modeling: Progress and research issues. *John Wiley and Sons*. 504.
- 52) *Green M.*: 1990. Statistical Models for Aerial Interpolation. *EGIS 90*. Vol. I. 392-399.
- 53) *Grohmann C. H. – Steiner S. S.*: 2008. SRTM resample with short distance-low nugget kriging. *International Journal of Geographical Information Science*. 22. 895-906.
- 54) *Gyüre J.*: 2006. Savanyú cukor. *Heti Válasz*. 6. évfolyam 43. szám.

- 55) *Jenson J. R.*: 1996. Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective. 2nd ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.
- 56) *Johnson B. L. – Henderson T. L.*: 2002. Water Use Efficiency. *Agronomy Journal*. 94. 1437-1443.
- 57) *Jolánkai G.*: 2001. Introduction to the Tisza River project real-life scale integrated catchment models for supporting water- and environmental management decisions. In: Proc. International conference on water and nature conservation in the Danube-Tisza river Basin. Debrecen. 193-199.
- 58) *Jones H. G.*: 1992. Plants and microclimate. A quantitative approach to environmental physiology. 2nd ed. Cambridge University Press.
- 59) *Juhász Cs.*: 1991. Drénhatás vizsgálata a kiskörei víztározó térségében öntés-réti talajon. Doktori értekezés, Debrecen.
- 60) *Juhász Cs. – Blaskó L. – Tamás J. – Zsembeli J.*: 1997. Hidrológiai határfeltételek szimulációja integrált számítógépes modellek alapján. "A Debreceni Agrártudományi Egyetem a Tiszántúl Mezőgazdaságáért" Tudományos Napok. Karcag.
- 61) *Kang S. – Hu X. – Jerie P. – Zhang J.*: 2003. The effects of partial rootzone drying on root, trunk sap flow and water balance in an irrigated pear (*Pyrus communis L.*) orchard. *Journal of Hydrology*. 280. 192-206.
- 62) *Kertész Á.*: 1997. A térinformatika és alkalmazásai. Holnap Kiadó, Budapest.
- 63) *Kidder S. Q. – Vonder Haar T. H.*: 1995. Satellite Meteorology. Academic Press. San Diego, CA. 466.
- 64) *Kienitz G.*: 1972. A termés eredmények és a vízrendezés kapcsolata. *Vízügyi Közlemények*. LIV. 144-149.
- 65) *Knox J. W. – Weatherhead E. K. – Bradley R. I.*: 1996. Mapping the spatial distribution of volumetric irrigation water requirements for maincrop potatoes in England and Wales. *Agricultural Water Management*. 31. 1-15.
- 66) *Kovar K. – Nachtnebel H. P. (eds.)*: 1996. Application of geographic information systems in hydrology and water resources management. IAHS Publication. No. 235. IAHS Press. Wallingford, UK. 711.
- 67) *Kovács B. – Szanyi J.*: 2005. Hidrodinamikai és transzportmodellezés II. Miskolci Egyetem, Műszaki Földtudományi Kar, Miskolc. 213.
- 68) *Lam N.*: 1983. Spatial Interpolation Methods: A Review. *The American Cartographer*. 10. 129-149.

- 69) *Lawlor D. W. – Cornic G.:* 2002. Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. *Plant, Cell & Environment*. 25. 275-294.
- 70) *Láng I.:* 2003. Bevezető gondolatok „A globális klímaváltozással összefüggő hazai hatások és az arra adandó válaszok” című MTA-KvVM közös kutatási projekthez. „Agro-21” Füzetek, Az agrárgazdaság jövőképe. 31. 3-8.
- 71) *Lee J.:* 1991. Comparison of existing methods for building triangular irregular network models of terrain from grid digital elevation models. *International Journal of Geographical Information Systems* V. 267-285.
- 72) *Lénárt Cs.:* 2000. A térinformatika szerepe a környezeti hatásvizsgálatok értékelésében. PhD értekezés. Debreceni Agrártudományi Egyetem, Debrecen. 81-100.
- 73) *Lénárt Cs. – Tamás J.:* 1999. Térinformatikai alapú környezeti hatásvizsgálatok Debrecen város vízbázisának védelme érdekében. *Agrárinformatika '99*. Debrecen. 149-153.
- 74) *Lóki J.:* 1996. Távérzékelés. Kossuth Egyetemi Kiadó, Debrecen.
- 75) *MacDonald A.:* 1999. ArcGIS 8 Geodatabase workbook. ESRI Redlands. 255.
- 76) *Mackaness W. – Beard K.:* 1993. Visualization of Interpolation Accuracy. *Proc Auto Carto 11*. Minneapolis. 228-237.
- 77) *Maidment D. R.:* 1993. GIS and hydrological modeling. [In: Goodchild M. F., Parks B. O., Steyaert L. T. (eds.) *Environmental Modeling with GIS*.]. Oxford University Press, New York. 147-167.
- 78) *Marques da Silva J. R. – Alexandre C.:* 2003. The spatial variability of irrigated corn yield in relation to field topography. [In: Stafford J., Werner A. (eds.) *Precision agriculture*.]. Wageningen Academic Publishers, The Netherlands. 385-391.
- 79) *Matheron G.:* 1965. *La Theorie des Variables Regionalisees et ses Applications*. Masson, Paris. 1-65.
- 80) *Mikulec V. – Stehlová K.:* 2006. Application of the climate change scenarios on selected meteorological characteristics for the purposes of water content course prognosis in time horizons 2010, 2030 and 2075. *Cereal Research Communications*. 34. 145-149.

- 81) *Milly P. C. D. – Betancourt J. – Falkenmark M. – Hirsch R. M. – Kundzewicz Z. W. – Lettenmaier D. P. – Stouffer R. J.:* 2008. Climate change: Stationarity Is Dead: Whither Water Management? *Science Magazine*. 319. 573-574.
- 82) *Mitas L. – Mitasova H.:* 1988. General variational approach to the interpolation problem. *Comp. Math. Appl.* 16. 983-992.
- 83) *Mitasova H.:* 1993. Multidimensional Interpolation. Analysis and Visualisation for Environmental Modelling. GISLIS.
- 84) *Mitasova H. – Jaroslav H.:* 1993. Interpolation by Regularized Spline with Tension: II. Application to Terrain Modeling and Surface Geometry Analysis. *Mathematical Geology*. 25. 657-669.
- 85) *Moore I. – Grayson R. – Ladson A.:* 1993. Digital terrain modelling: a review of hydrological, geomorphological and biological applications. [In: Beven K., Moore I. (eds.) *Terrain analysis and distributed modelling in hydrology*.]. John Wiley & Sons, Chichester. 7-30.
- 86) *Nagy J.:* 1995. Yield of maize (*Zea mays* L.) as effected by soil cultivation, fertilizers, density and irrigation. *Növénytermelés*. 44. 251-260.
- 87) *Németh Á.:* 2004. A térinformatika gyakorlati alkalmazása az Országos Meteorológiai Szolgálatnál. XIV. Országos Térinformatikai Konferencia, Szolnok.
- 88) *Nováky B.:* 2000. Az éghajlatváltozás vízgazdálkodási hatásai. *Vízügyi Közlemények*, LXXXII. 3-4. 419-444.
- 89) *Orlóczy I.:* 1991. Rendszerelvű kutatások a Tisza hazai vízgyűjtőjén. *Hidrológiai Közlöny* 4.
- 90) *Pálfai I.:* 1986. Síkvidéki területeink hidrológiai vizsgálata. *Hidrológiai Közlöny*. 66. 65-72.
- 91) *Petrasovits I. (szerk.):* 1982. Síkvidéki vízrendezés és gazdálkodás. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.
- 92) *Petrasovits I.:* 1988. Az agrohidrológia főbb kérdései. Akadémiai Kiadó, Budapest. 228.
- 93) *Petrasovits I. – Vajdai I.:* 1982. A termőhelyi víztöbbletek termelést korlátozó hatásai. [In: Petrasovits I. (szerk.) *Síkvidéki vízrendezés és gazdálkodás*.]. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest. 19-36.

- 94) *Pfannenstein A. – Reinhardt W.*: 1993. Data Analysis in Geographical Information Systems in Combination with Integrated Digital Terrain Models. EGIS 93. 1340-1345.
- 95) *Putsay M. – Kerényi J. – Diószeghy M. – Gróbné Szenyán I.*: 2004. Új meteorológiai műhold. Nyereség az országnak. Országos Meteorológiai Szolgálat. Időjárás-előrejelzés - 2004.11.02.
- 96) *Rajkai K.*: 2004. A víz mennyisége, eloszlása és áramlása a talajban. MTA Talajtani és Agrokémiai Kutatóintézet, Budapest. 208.
- 97) *Rajkai K. – Rydén B. E.*: 1992. Measuring areal soil moisture distribution by the TDR method. Geoderma. 52. 73-85.
- 98) *Roadknight C. M. – Balls G. R. – Mills G. E. – Palmer-Brown D.*: 1997. Modeling complex environmental data. IEEE Transactions on Neural Networks. 8. 852-862.
- 99) *Rouse J. W. – Haas R. H. – Shell J. A. – Deering D. W.*: 1973. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. [In: Third ERTS Symposium, NASA SP-351]. NASA, Washington, DC. 1. 309-317.
- 100) *Seneviratne S. I. – Lüthi D. – Litschi M. – Schär C.*: 2006. Land-atmosphere coupling and climate change in Europe. Nature. 443. 205-209.
- 101) *Singh A.*: 1989. Digital change detection techniques using remotely-sensed data. International Journal of Remote Sensing. 6. 989-1003.
- 102) *Smith M.*: 1992. CROPWAT. A computer program for irrigation planning and management 5.7. Irrigation and Drainage Paper, FAO series 46. Rome. 1-51.
- 103) *Steudle E.*: 2000. Water uptake by roots: effects of water deficit. Journal of Experimental Botany. 51. 1531-1542.
- 104) *Stout J. E. – Martin D. W. – Sikdar D. N.*: 1979. Estimating GATE rainfall with Geosynchronous satellite images. Mon. Wea. Rev. 107. 585-598.
- 105) *Szalai Gy.*: 1989. Az öntözés gyakorlati kézikönyve. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.
- 106) *Szesztay K.*: 1963. Hidrológia I-II. Tankönyvkiadó, Budapest.
- 107) *Szesztay K.*: 2000. Az Alföld vízháztartása. [In: Pálfai I. (szerk.) A víz szerepe és jelentősége az Alföldön.]. Nagyalföld Alapítvány, Békéscsaba. 7-15.
- 108) *Sziki G. – Papp G. – Bíró T.*: 1994. Nedvességszabályozási eljárások hatékonyságának számítógépes értékelése vízgazdálkodási és talajfizikai

- paraméterek alapján. Kárpát-medence vízkészlete és vízi környezetvédelme. MHT Konferencia, Eger. 790-799.
- 109) *Takács P. – Tamás J.:* 2005. Újabb típusú multispektrális erőforrás-figyelő műholdak alkalmazhatósága az agrár-környezetvédelemben. Agrártudományi Közlemények. 16. 282-289.
- 110) *Tamás J.:* 2001. Precíziós mezőgazdaság. Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó, Budapest.
- 111) *Tamás J.:* 2002. Vízkészlet-modellezés. Debreceni Egyetem, Debrecen.
- 112) *Tamás J. (szerk.):* 2003. Térinformatika és CAD szakmai ismeretek – Általános térinformatikai alapok. Miskolci Egyetem, Miskolc.
- 113) *Tamás J.:* 2005. Környezetinformatika az agrár-környezetvédelemben. Szaktudás Kiadó, Budapest.
- 114) *Tamás J. – Nagy J.:* 1996. Evaluation of irrigation schedules by CROPWAT FAO model for maize species in Hungary. [In: Book of Abstracts, 4<sup>th</sup> ASA-congress.]. Veldhoven - Wageningen, The Netherlands. 1. 122-124.
- 115) *Tamás J. – Takács P. – Juhász Cs.:* 2004. Integrated field scale water management technology. [In: Proc. III. Alps-Adria Scientific Workshop.]. Dubrovnik, Croatia. 112-117.
- 116) *Tar F.:* 2001. Az EU agrár-környezetvédelmi rendelkezéseinek alkalmazása Magyarországon – a Nemzeti Agrár-környezetvédelmi Program bevezetése. Szaktudás Kiadó Rt., Budapest.
- 117) *Tóth A.:* 2000. A víz tájformáló szerepe az Alföldön. [In: Pálfai I. (szerk.) A víz szerepe és jelentősége az Alföldön.]. A Nagyalföld Alapítvány Kötetei 6. Békéscsaba. 46-51.
- 118) *Tóth Á.:* 2004. Az öntözési rend. Agrárágazat, Mezőgazdasági havilap. 2004. április. Horizont Média Kft.
- 119) *Tóth K. – Tamás J. – Bíró T.:* 2004. Síkvidéki domborzatelemzés alkalmazhatóságának vizsgálata a belvíz előfordulás gyakoriságának értékelésében. [In: Proc. Herdon M. (szerk.): Agrárinformatikai Nyári Egyetem és Fórum.]. Gödöllő. 1-10.
- 120) *Tsintikidis D. – Georgakakos K. P. – Artan G. A. – Tsonis A. A.:* 1999. A feasibility study on mean areal rainfall estimation and hydrologic response in the Blue Nile region using METEOSAT images. Journal of Hydrology. 221. 97-116.

- 121) *Várallyay Gy.*: 1987. Environmental relationships of soil water management. Proc. 2nd International Seminar on Soil, Plant and Environment Relationships. Debrecen. Current Plant and Soil Science in Agriculture. No. 1-2. 7-32.
- 122) *Várallyay Gy.*: 1988. Talaj, mint a biomaszatermelés aszályérzékenységének tényezője. *Vízügyi Közlemények*. LXX. évf. (3) 46-68.
- 123) *Várallyay Gy.*: 1989. Az öntözéses gazdálkodás talajtani alapjai. [In: Szalai Gy. (szerk.) *Az öntözés gyakorlati kézikönyve*.]. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest. 27-99.
- 124) *Várallyay Gy.*: 1992. A Tisza-szabályozás és Alföld talajviszonyai. – „Mérlegen a Tiszaszabályozás” c. vitaülés anyag. *Hidrológiai Közöny*. 73. 24-27.
- 125) *Várallyay Gy.*: 1994. A talaj vízgazdálkodása és a környezet. (Akadémiai székfoglaló kibővített összefoglalója.) MTA Agrártud. Oszt. Tájékoztatója. Akadémiai Kiadó, Budapest. 65-72.
- 126) *Várallyay Gy.*: 1995. A fenntartható mezőgazdaság és a talaj vízgazdálkodása. „A fenntartható fejlődés időszerű kérdései a mezőgazdaságban” c. XXXVII. Georgikon Napok, Keszthely (1995. szeptember 14-15.) kiadvány II. kötet. 181-193.
- 127) *Várallyay Gy.*: 1997. A talaj vízgazdálkodása és a környezet. Tiszántúli Mezőgazdasági Tudományos Napok (1997. jún. 12-13.) kiadványa. DATE Kutató Intézet, Karcag. 14-22.
- 128) *Várallyay Gy.*: 2000. A múlt századi vízrendezési munkálatok és a mai ökológiai környezet talajtani vonatkozásai. [In: Somogyi S. (szerk.) *A XIX. századi folyószabályozások és ármentesítések földrajzi és ökológiai hatásai*.]. MTA Földrajztudományi Intézet, Budapest. 236-246.
- 129) *Várallyay Gy.*: 2001. A talaj vízgazdálkodása és a környezet. *Magyar Tudomány*. 7. 799-815.
- 130) *Várallyay Gy.* – *Rajkai K.*: 1989. Model for the estimation of water (and solute) transport from the groundwater to overlying soil horizons. *Agrokémia és Talajtan*. 38. 641-656.
- 131) *Varga-Haszonits Z.*: 2003. Az éghajlatváltozás mezőgazdasági hatásának elemzése, éghajlati scenáriók. „Agro-21” Füzetek, Az agrárgazdaság jövőképe. 31. 9-28.
- 132) *Varga-Haszonits Z.* – *Varga Z.*: 2004. Az éghajlati változékonyság és a természetes periódusok. „Agro-21” Füzetek – Agroökológia. 37. 23-32.

- 133) *Vaux H. J. – Pruitt W. O.*: 1983. Crop-Water Production Functions. Advances in Irrigation. 2. Academic Press, New York. 61-97.
- 134) *Veisz O. – Sellyei B.*: 2004. Klimatikus szélsőségek hatásának tanulmányozása őszi kalászosokon. „Agro-21” Füzetek – Agroökológia. 37. 77-88.
- 135) *Végi A.*: 2005. Műholdak felhasználási területe. Szakdolgozat. Szegedi Tudományegyetem, Természettudományi Kar, Kísérleti Fizikai Tanszék.
- 136) *Vörösmarty C. J. – Green P. – Salisbury J. – Lammers R. B.*: 2000. Global Water Resources: Vulnerability from Climate Change and Population Growth. Science. 289. 284-288.
- 137) *Wackernagel H.*: 1995. Multivariate geostatistics. Springer-Verlag. Heidelberg, Germany. 256.
- 138) *Waters N. M.*: 1988. Expert System and Systems of Experts. [In: Coffey W.J. (ed.) Geographical Systems and Systems of Geography: Essays in Honour of William Warntz.] Department of Geography, University of Western Ontario. London, Ontario.
- 139) *Weibel R. – Heller M.*: 1993. Digital Terrain Modelling. [In: McGuire D. J., Goodchild M. F., Rhind D. W. (eds.) Geographical Information Systems.]. Essex, UK Longman.
- 140) *Wilson J. P.*: 1999. Local, regional, and global applications of GIS in agriculture. [In: Longley P. A., Goodchild M. F., Maguire D. J., Rhind D. W. (eds.) Geographical Information Systems, Vol. 2: Management Issues and Applications.]. Wiley, New York. 981-998.
- 141) *WMO*: 1988. Hydrological Operational Multipurpose Subprogramme. Reference Manual. Geneva.
- 142) *Závoti J.*: 1993. A TIN modell. [In: Márkus B. (szerk.) Bevezetés a térinformatikába.]. NCGIA Core Curriculum, magyar változat. Budapest.
- 143) *Zilinyi V.*: 1995. Természetes felszínek spektrális reflexiós tulajdonságai, és hasznosításuk az optikai távérzékelés interpretációjában. Doktori értekezés. DATE, MTK, Debrecen.
- 144) *Zsembeli J.*: 2003. Súlyliziméteres vízmérleg vizsgálatok a nedvességtakarékos és talajvédő talajművelés tudományos megalapozására. Talajjavítás–talajvédelem. Debrecen. 85-90.

**Internetes források:**

- 145) *Automata meteorológiai mérőrendszerek:* [www.boreas.hu](http://www.boreas.hu)
- 146) *CIVAQUA – Debrecen Térségi Vízügyi Beruházás:*  
[www.tivizig.hu/civaqfull/civaqua](http://www.tivizig.hu/civaqfull/civaqua)
- 147) *CROPWAT model, FAO series No. 56.:*  
<http://www.fao.org/docrep/X0490E/X0490E00.htm>
- 148) *Frey S.: 2005. Új Meteosat-indítás az év végén. Időjárás-előrejelzés, Nyereség a kontinensnek, METEOSAT - 2005.09.10.*  
<http://www.urvilag.hu/article.php?id=1352>

## 10. PUBLIKÁCIÓK AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉBEN

### 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 geostatistikai 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., Csépi 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. CO<sub>2</sub>-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.

## **MELLÉKLETEK**

**1. melléklet. EURÓPAI VÍZ CHARTA – Európa Tanács (Strasbourg)**

1.	Víz nélkül nincs élet. A víz érték és létfontosságú környezeti elem.
2.	Az édesvíz készletek nem kimeríthetetlenek. Ezeket meg kell őrizni, védeni.
3.	A víz szennyezése veszélyes az ember és más vízfüggő élőlény számára.
4.	A víz minőségének ki kell elégítenie a különböző használatok igényeit, különösen az emberi egészség szempontjából lényeges követelményeket.
5.	A használt vizek természetes vagy mesterséges vízfolyásokba vezetésével a víz minősége nem akadályozhatja annak további személyes vagy termelési célú használatát.
6.	A vízkészletek megőrzése szempontjából a növényvilág, különösen az erdők szerepe igen nagy.
7.	A víz közös tulajdon, melynek értékét mindenkinek fel kell ismernie. Az egyének kötelessége a víz célszerű és gazdaságos használata.
8.	A vízvédelem szükségessé teszi a szakoktatás, a tudományos kutatás és a nyilvánosság tájékoztatásának intenzifikálását, állandó fejlesztését.
9.	A vízforrásokat meg kell őrizni.
10.	A vízügyi hatóságoknak meg kell tervezniük a helyes vízgazdálkodást.
11.	A vízgazdálkodást természetes vízgyűjtő területek és nem politikai, adminisztratív határok keretében kell megvalósítani.
12.	A víz nem ismeri az országhatárokat, ezért mint közös forrás, természeti kincs, nemzetközi együttműködést tesz szükségessé.

2. melléklet. Az öntözés helyzete Hajdú-Bihar-megyében 2004-ben

	<b>Vízjogilag engedélyezett öntözhető terület [ha]</b>	<i>ebből: megöntözött</i> <b>alapterület [ha]</b>	<b>Kiöntözött vízmennyiség [1000 m<sup>3</sup>]</b>
Öntözés összesen	36 254	18 668	48 516
Szántóföldi növények összesen	24 139	14 794	6 419
Gyümölcsösök összesen	110	0	
Gyep összesen	1 997		
Egyéb (erdő, fásítás, halastó) összesen	10 008	3 874	42 097

Forrás: Agrárgazdasági Kutató Intézet (AKI) Statisztikai Osztály

Megjegyzés: A megöntözött alapterület az év folyamán többször megöntözött azon területet jelenti, amelyet csak egyszer kell elszámolni. A kiöntözött vízmennyiség halmozott vízmennyiséget jelent, az öntözési idény kezdetétől 2004. október 05-ig kiöntözött vízmennyiséget adja meg.

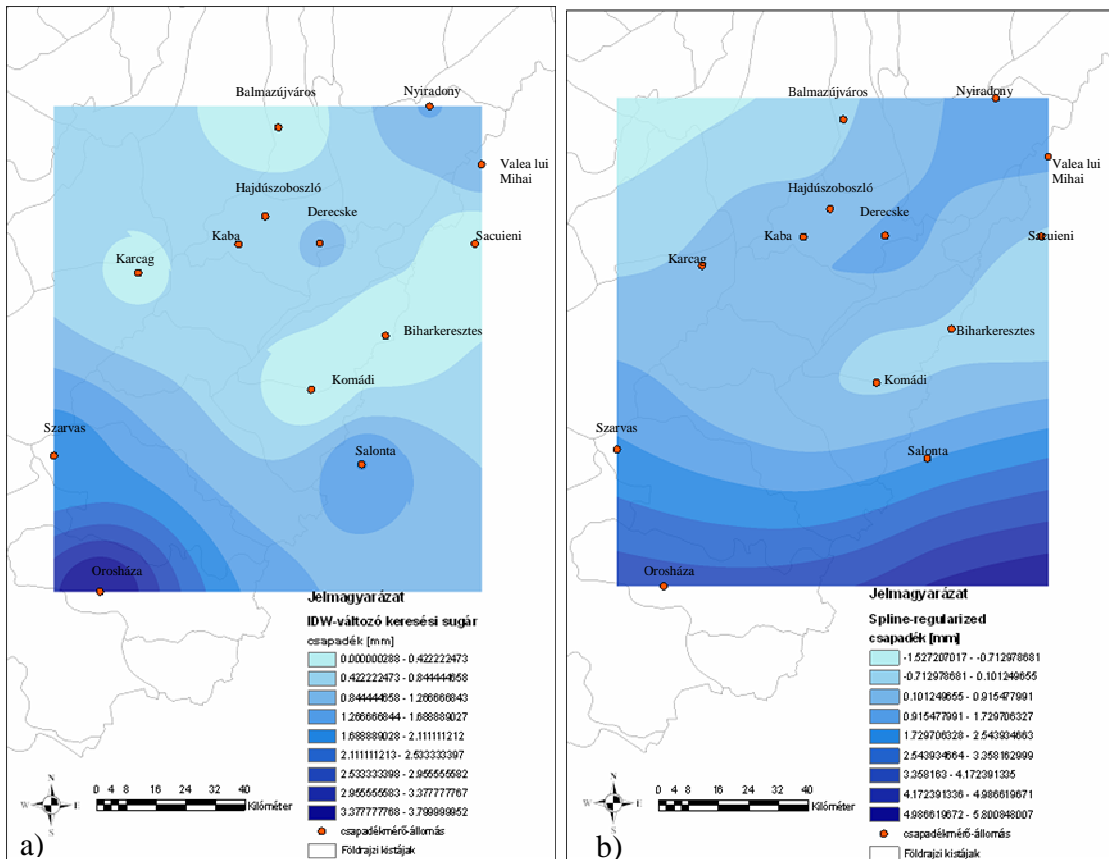
3. melléklet. Lakossági elvárások a CIVAQUA-programmal szemben

<b>Rekreációs igények kielégítése</b>	<b>Vízfelületek, nedves élőhelyek kiterjedésének növelése</b>	<b>Erdőpuszták biztonságos vízellátása</b>	<b>Öntözővíz biztosítása</b>
Jóléti-szabadidős helyszínek fejlesztése	Erdők felújítása	Fancsikai-tavak állapotának helyreállítása	Termelés biztonságossá tétele
Intenzívebb haltelepítés	Jóléti vízfelületek jelentős növelése	Vekeri-tavi vízi szabadidőközpont	Átlaghozamok növelése
Kerékpárút létesítése		Turisztikai infrastruktúra	Földhasznosítás intenzifikálása

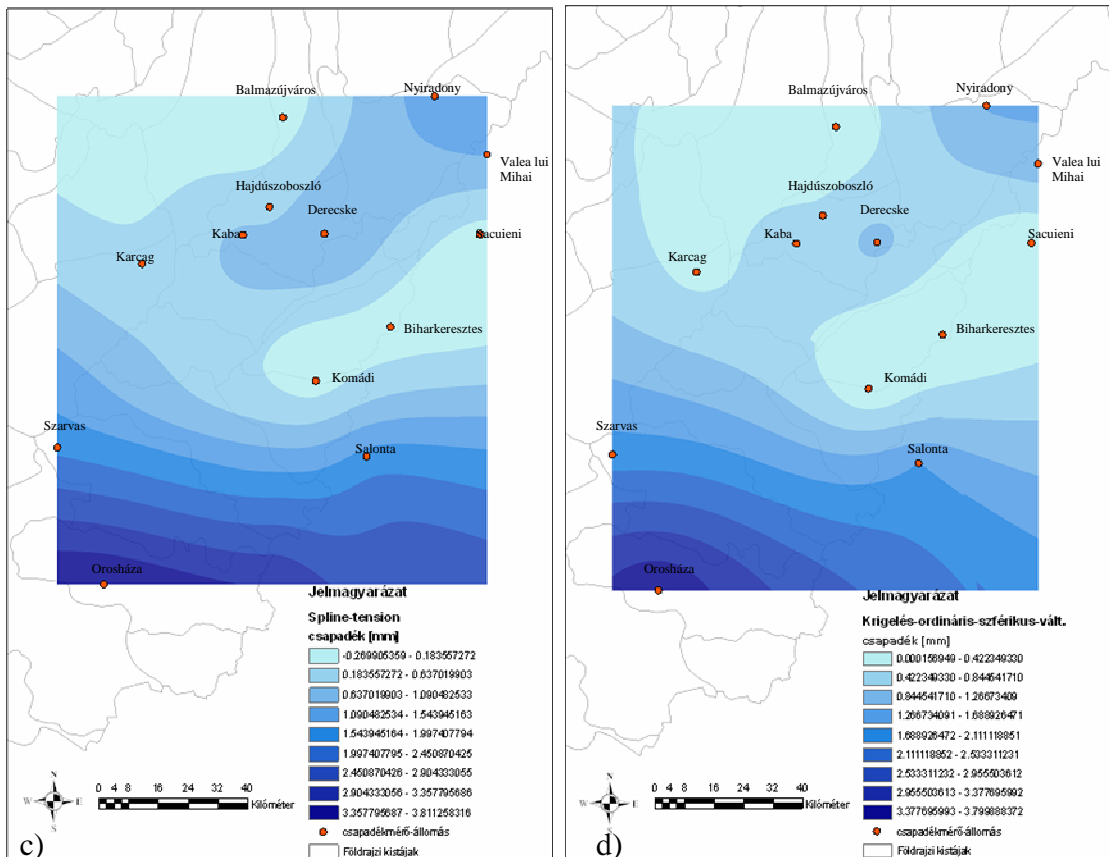
#### 4. melléklet. Talajnedvesség-mérő eszközök és jellemzésük

A talaj víztartalmának mérési módszerei	Mérőeszköz	Mérés elve	Előnyei	Hátrányai
Gravimetriás módszer	Szárító-szekrény	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bolygatott talaj-mintavétel</li> <li>- 105 °C-on tömegállandóságig szárítjuk a mintákat</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- a teljes nedvességtartományban használható</li> <li>- hőmérsékletre és sótartalomra nem érzékeny</li> <li>- pontos eredményt ad</li> <li>- olcsó mérési eljárás</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- a mintavétel a talaj bolygatásával jár</li> <li>- munkaigényes</li> <li>- több ismétlésben kell mérni (mintavételi hibák)</li> <li>- nem reprodukálható</li> <li>- a vízpotenciál csak közvetve számítható</li> <li>- az interpretáció és a mintavétel közt eltelt idő viszonylag hosszú</li> </ul>
Neutronszóródásos módszer	Neutronos nedvességmérő készülék	<ul style="list-style-type: none"> <li>- indirekt víztartalom mérés</li> <li>- sugárforrása által kibocsátott gyors neutronok a talajt alkotó részecskékkel ütköznek, energia-vesztés, lefékeződés, termikus neutronok sűrűségét detektor méri.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- nagy pontosságú</li> <li>- adott helyre vonatkozik</li> <li>- azonnal ad információt</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- telepíteni kell a szondákat</li> <li>- kalibrációt igényel</li> <li>- költséges mérési mód</li> </ul>
Elektromos ellenálláson alapuló módszer	Elektromos ellenállást mérő készülék	<ul style="list-style-type: none"> <li>- talajba helyezett elektródák segítségével a nedvességtartalom ellenállásként való mérése</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- mérés során a talajt nem kell bolygatni</li> <li>- hosszabb időre is elhelyezhető</li> <li>- egyszerű módszer</li> <li>- az adatok elektronikusan könnyen rögzíthetőek</li> <li>- olcsó</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- a talaj változó nedvességi állapota mellett nehéz a megfelelő érintkezést biztosítani</li> <li>- minden egységet kalibrálni kell</li> <li>- a talaj sótartalma és hőmérséklete befolyásolja a mérést</li> <li>- pontossága nedvességtartalom függő</li> </ul>
Elektromos kapacitás mérésén alapuló módszer	TDR (Time Domain Reflectometry)	<p>A nagyfrekvenciás módszer a talaj dielektromos tulajdonságait használja ki. A talaj dielektromos állandóságának a kimérése a talaj nedvességtartalmáról ad információt, minthogy a víz dielektromos állandója 20 °C-on 81, a levegőé 1, a teljesen száraz, 105 °C-on szárított talajé pedig 3 és 5 közötti.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- mérés során a talajt nem kell bolygatni</li> <li>- a dielektromos állandó meghatározását a talajoldat elektrolit- és sótartalma nem befolyásolja</li> <li>- azonnal ad információt</li> <li>- gyors, egyszerű módszer</li> <li>- az adatok elektronikusan könnyen rögzíthetőek</li> <li>- olcsó</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- a talaj sótartalma 0,3% összes sótartalom felett és térfogatváltozása befolyásolja a mérést</li> <li>- kalibrációt igényel</li> </ul>

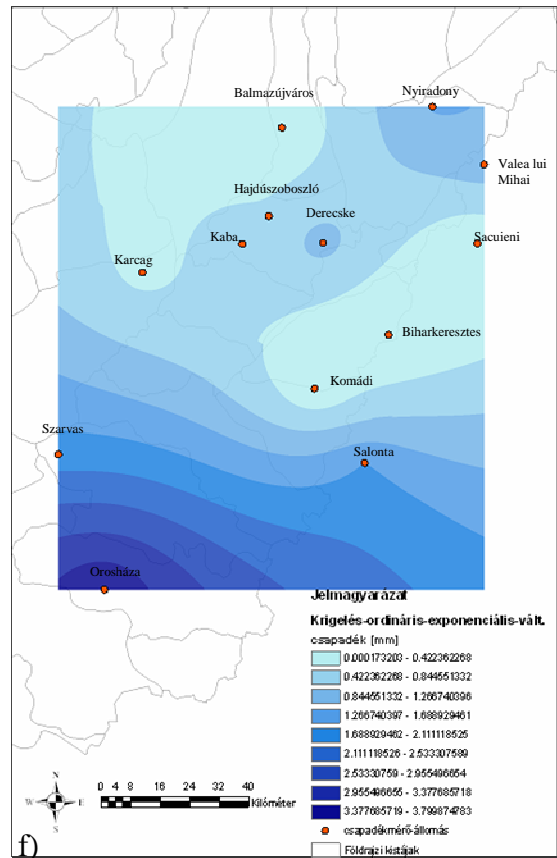
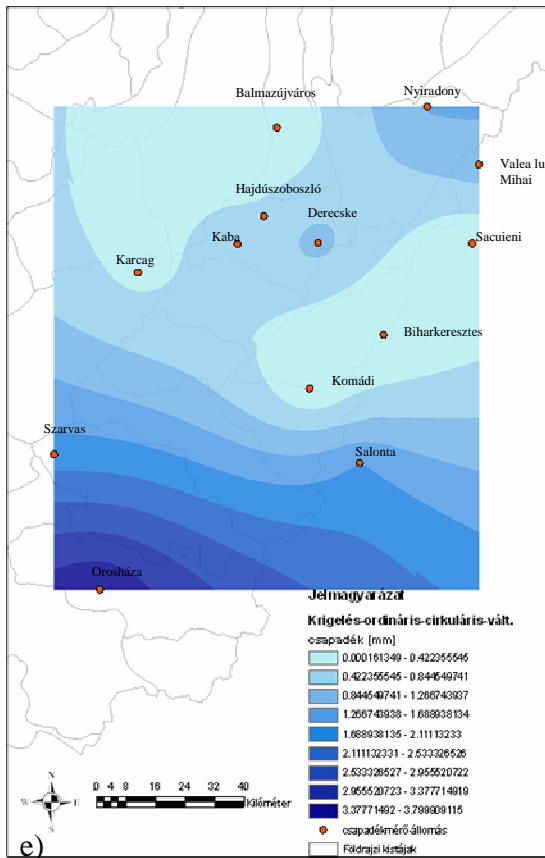
5. melléklet. A csapadék adatokon alapuló térbeli interpoláció eredménye a 2006.03.31. napra vonatkozóan



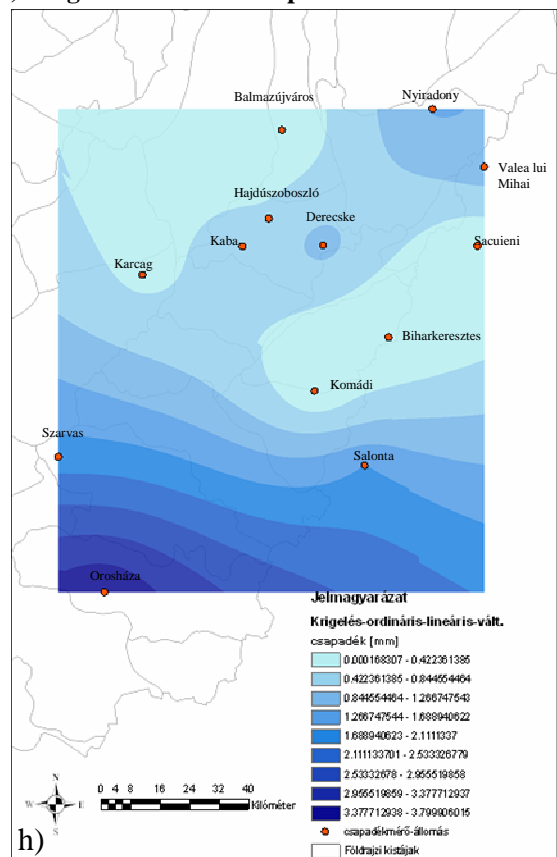
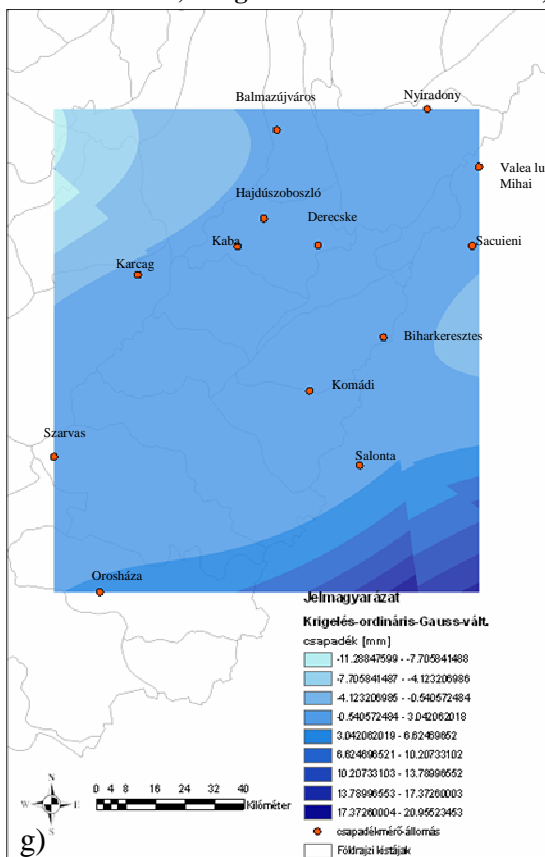
a) IDW – változó keresési sugár; b) Spline – regularized (rendezett opció)



c) Spline – tension (feszített opció); d) Krigelés – ordináris-szférikus

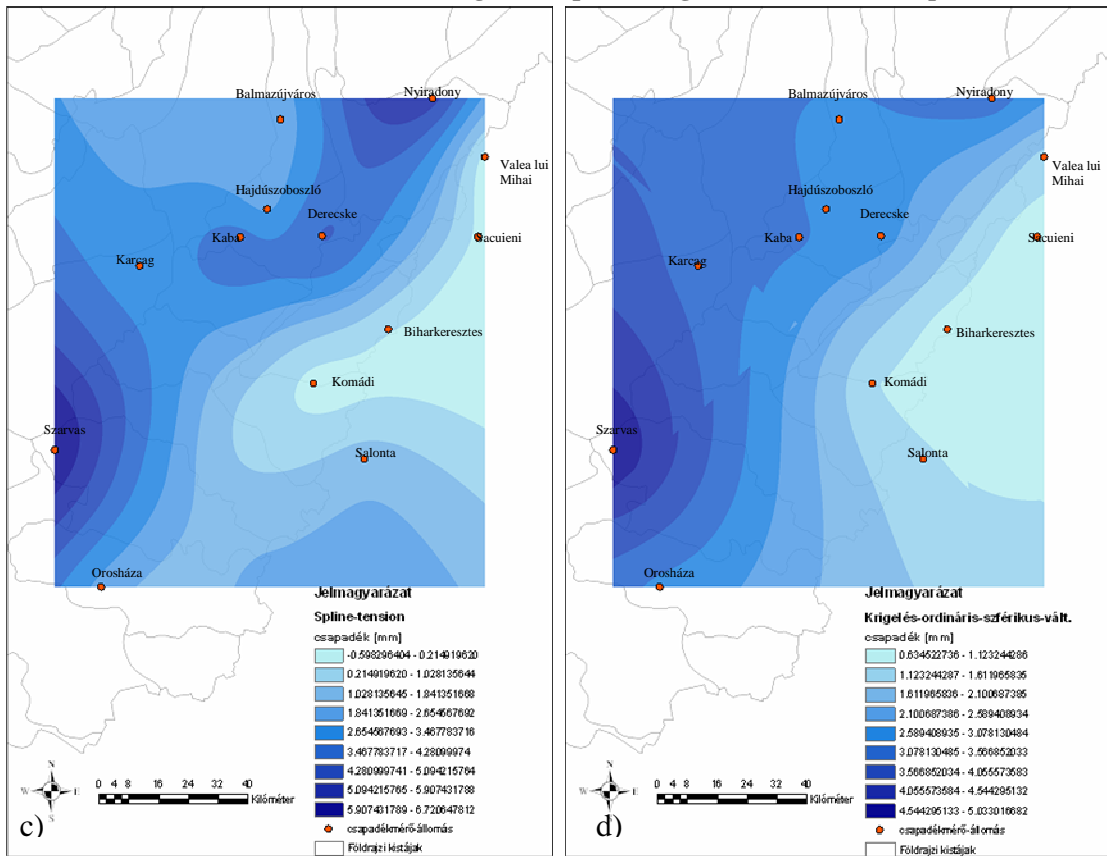
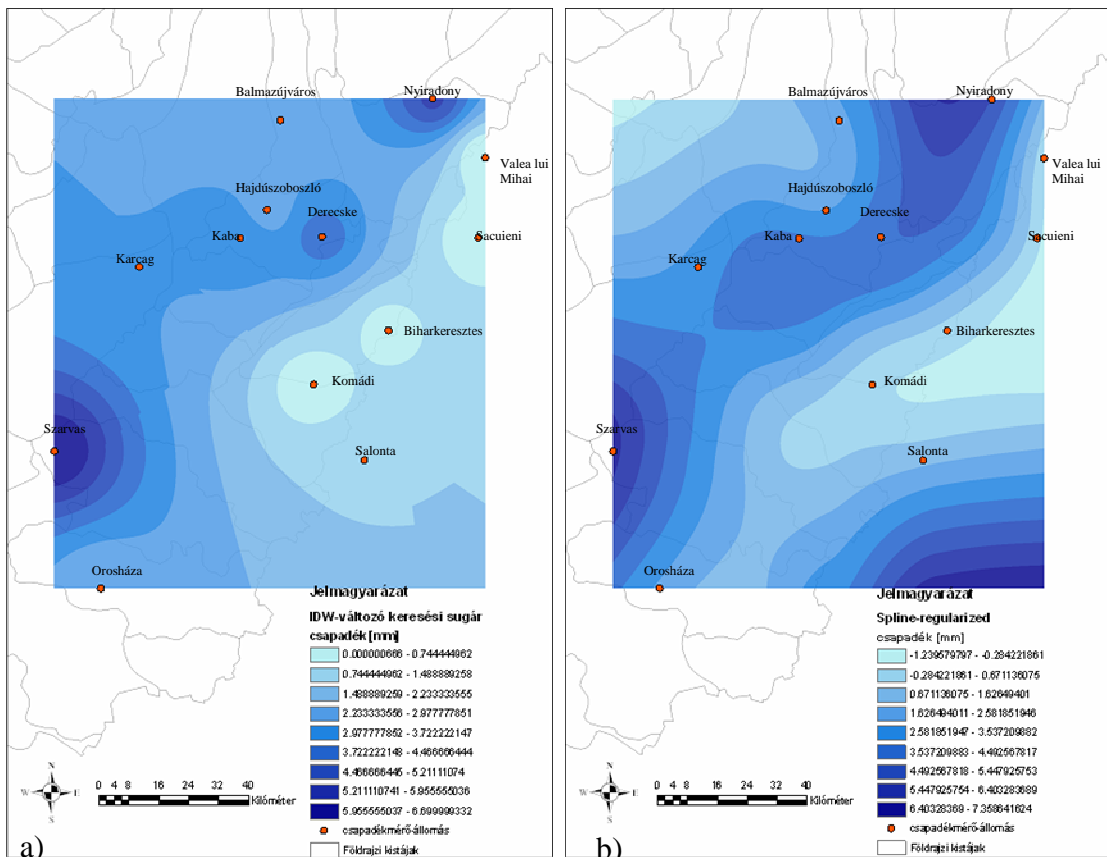


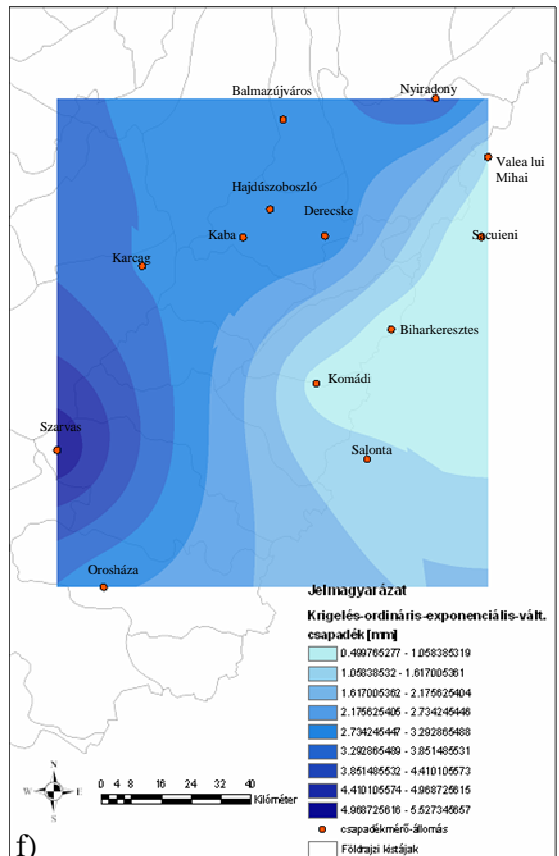
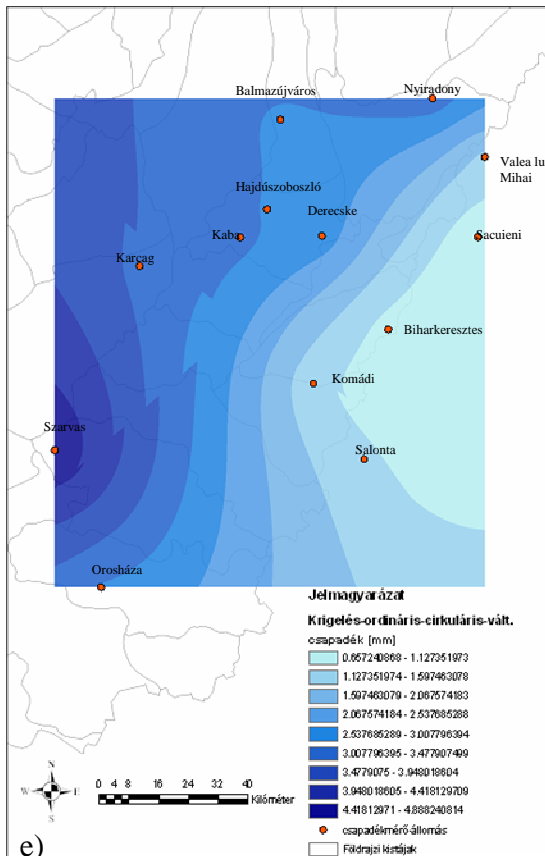
e) Krigelés – ordináris-cirkuláris; f) Krigelés – ordináris-exponenciális



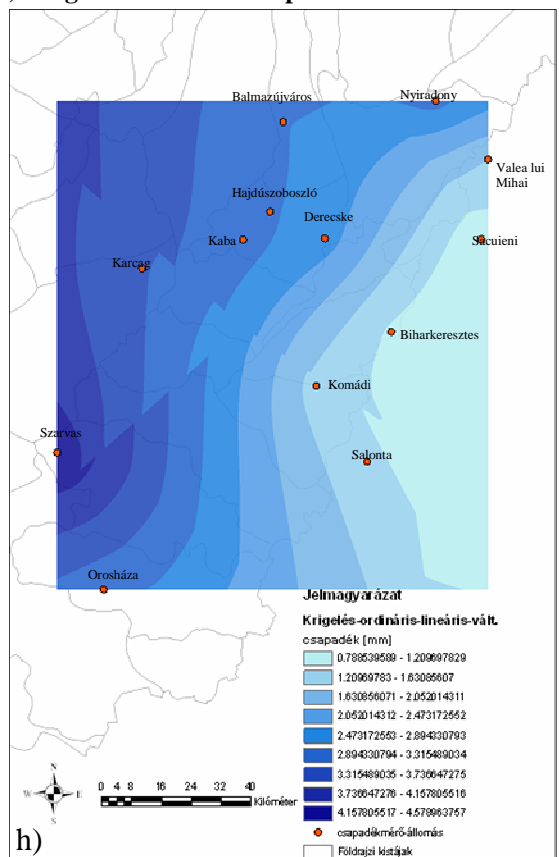
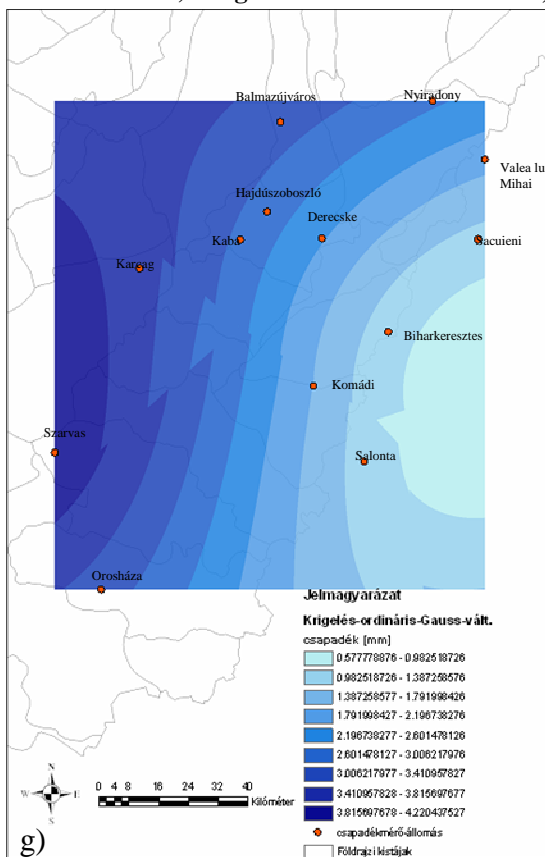
g) Krigelés – ordináris-Gauss-féle; h) Krigelés – ordináris-lineáris

6. melléklet. A csapadék adatokon alapuló térbeli interpoláció eredménye a 2006.04.11. napra vonatkozóan



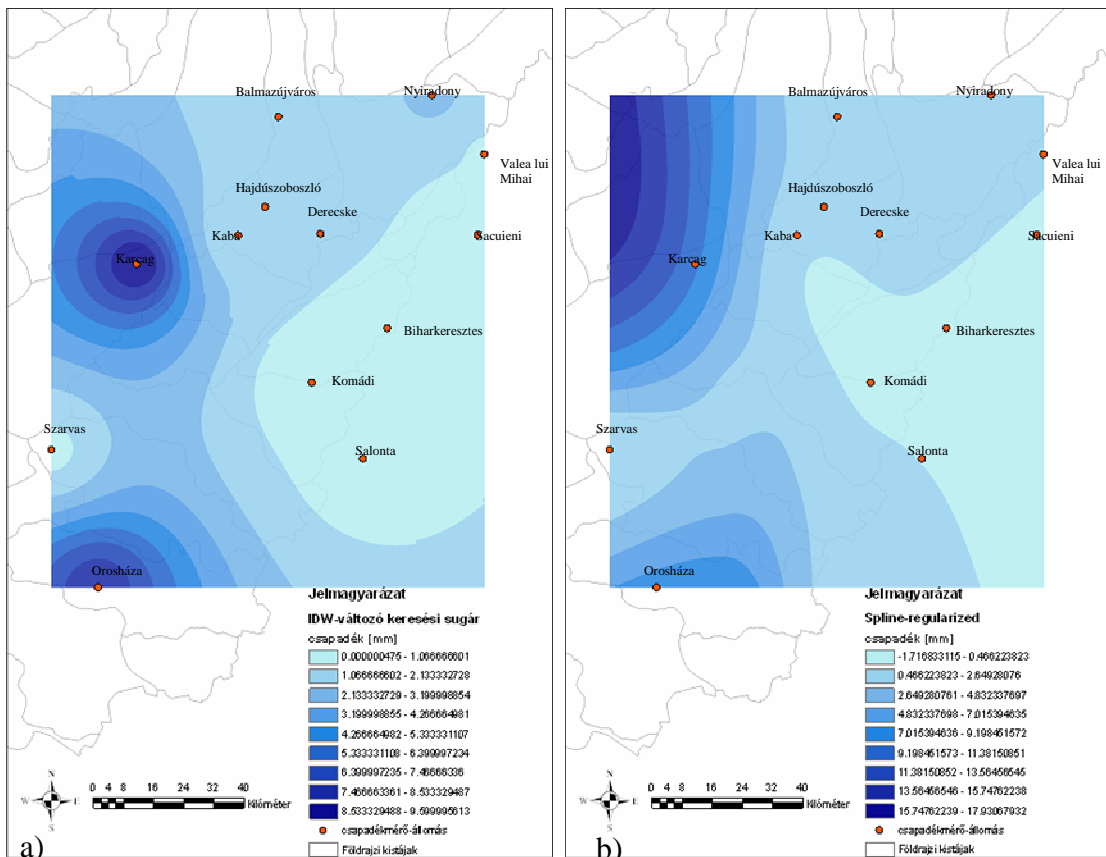


e) Krigelés – ordináris-cirkuláris; f) Krigelés – ordináris-exponenciális

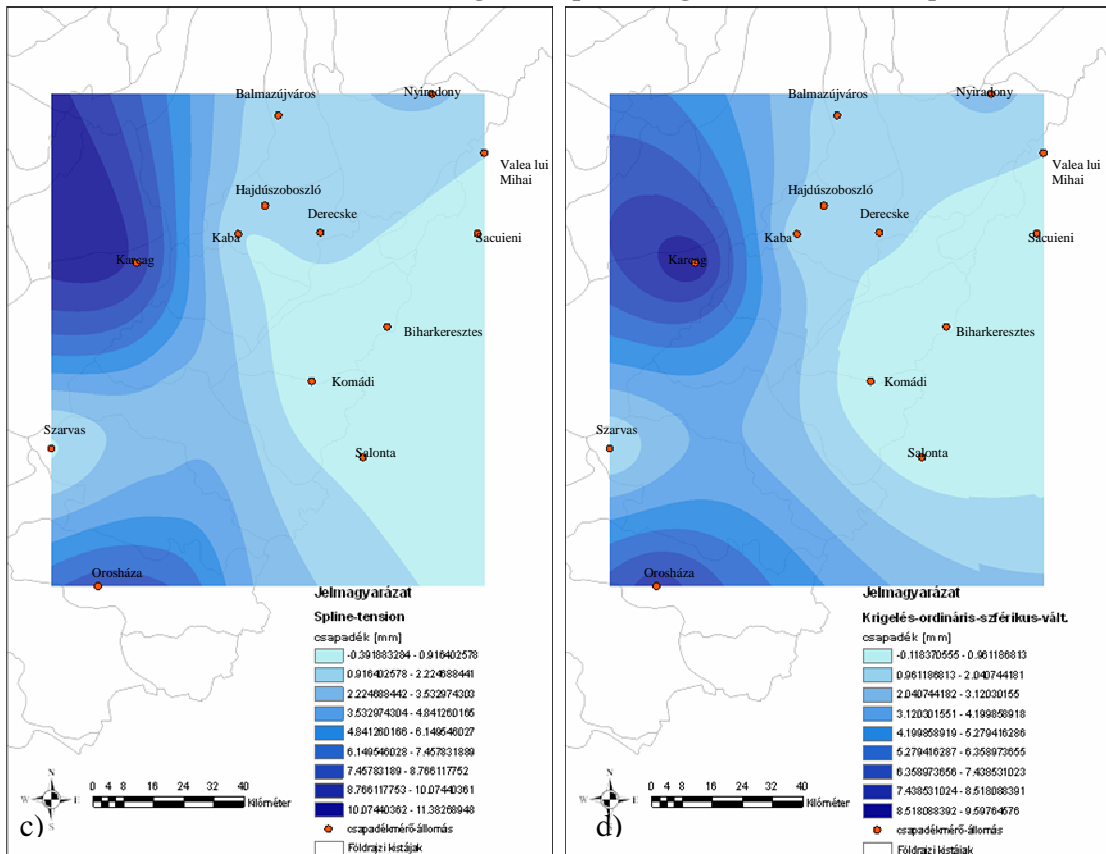


g) Krigelés – ordináris-Gauss-féle; h) Krigelés – ordináris-lineáris

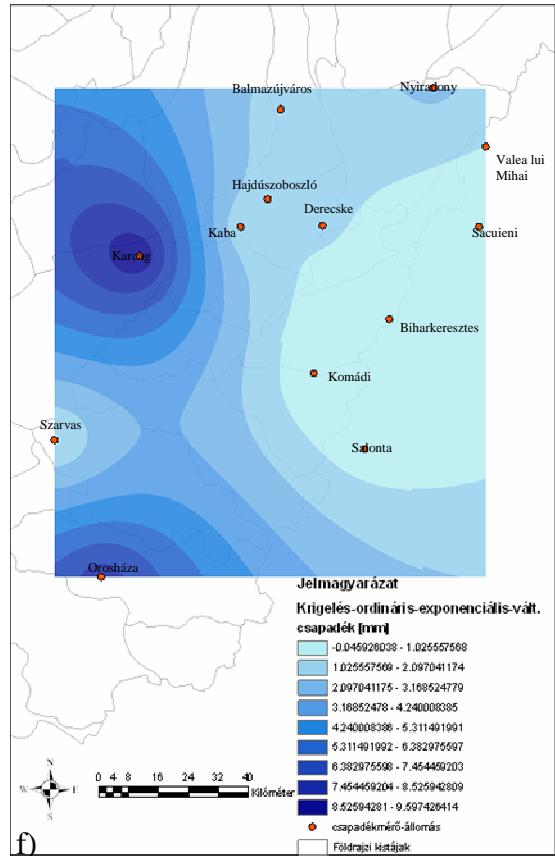
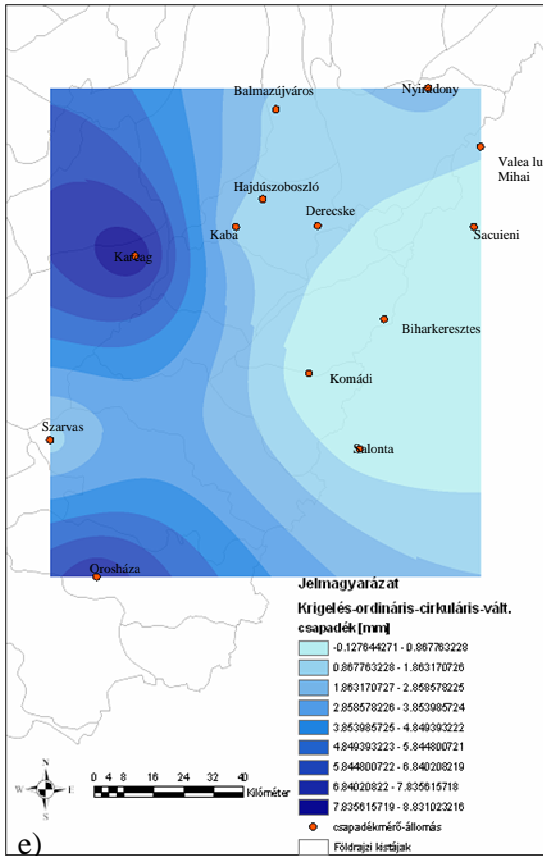
7. melléklet. A csapadék adatokon alapuló térbeli interpoláció eredménye a 2006.05.17. napra vonatkozóan



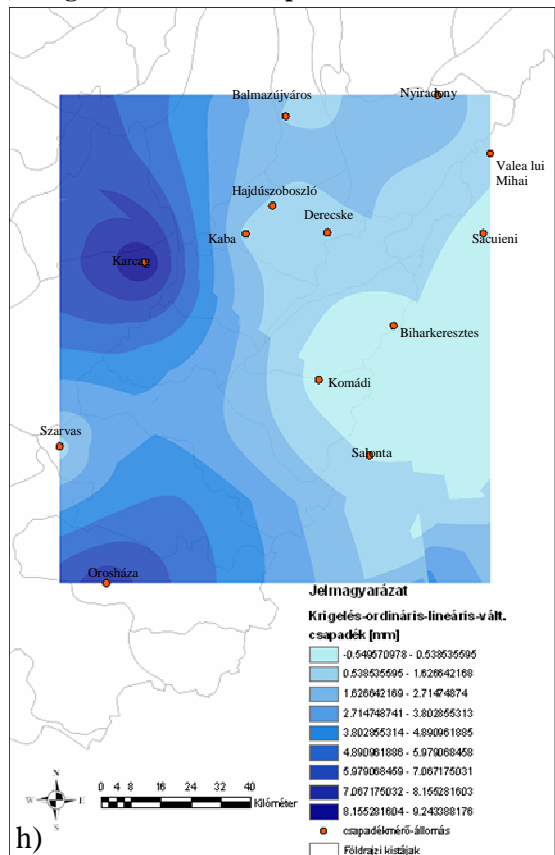
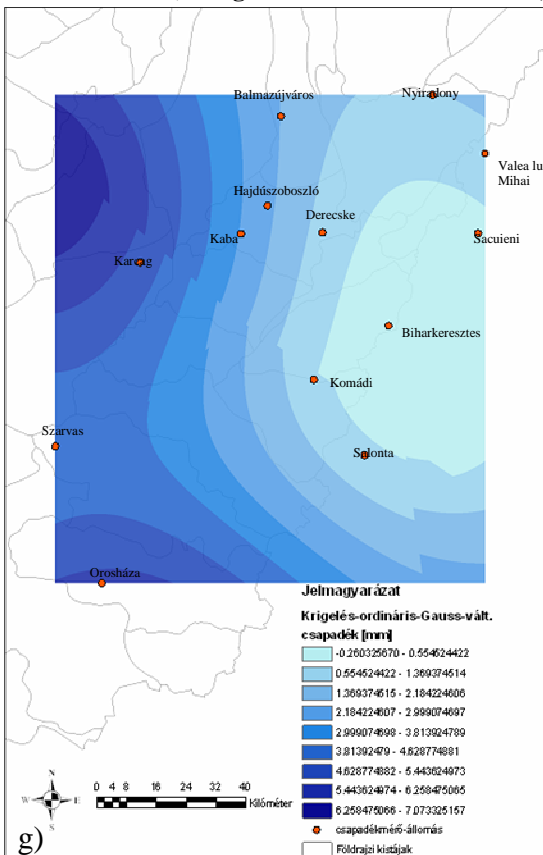
a) IDW – változó keresési sugár; b) Spline – regularized (rendezett opció)



c) Spline – tension (feszített opció); d) Krigelés – ordináris-szférikus-vált.



e) Krigelés – ordináris-cirkuláris; f) Krigelés – ordináris-exponenciális



g) Krigelés – ordináris-Gauss-féle; h) Krigelés – ordináris-lineáris

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

*Köszönetemet szeretném kifejezni témavezetőmnek, Prof. Dr. habil Tamás Jánosnak, aki szakmai útmutatásával és kritikai észrevételeivel segítette és támogatta munkámat a dolgozat elkészítésében.*

*Köszönöm a Víz- és Környezetgazdálkodási Tanszék és témavezetőm, Prof. Dr. habil Tamás János által nyújtott lehetőséget, miszerint alkalmam nyílt a DE AMTC MTK Víz- és Környezetgazdálkodási Tanszékén a kutatás végrehajtására, valamint az értekezés megírására.*

*Köszönetet mondok az Eastern Sugar Rt.-nek a kutatáshoz biztosított Ph.D. ösztöndíj alapításáért. Személyesen Madarász László vezérigazgató úrnak, Berényi Sándor mezőgazdasági igazgató úrnak és Najat Attila projekt managernek a rendelkezésre bocsátott adatokért és az értékes szakmai tanácsaikért.*

*Köszönöm Dr. habil Juhász Csaba és Dr. Bukovinszky László opponenseimnek a szakszerű és korrekt bírálatát.*

## NYILATKOZAT

Ezen értekezést a Debreceni Egyetem Agrár és Műszaki Tudományok Centruma Mezőgazdaságtudományi Karán a Kerpely Kálmán Doktori Iskola keretében készítettem el a Debreceni Egyetem AMTC MTK doktori (PhD) fokozatának elnyerése céljából.

Debrecen, 2009.

-----  
a jelölt aláírása

## NYILATKOZAT

Tanúsítom, hogy Gombosné Nagy Ildikó doktorjelölt 2004-2007 között a fent megnevezett Doktori Iskola keretében irányításommal végezte munkáját. Az értekezésben foglalt eredményekhez a jelölt önálló alkotó tevékenységével meghatározóan hozzájárult, az értekezés a jelölt önálló munkája. Az értekezés elfogadását javaslom.

Debrecen, 2009.

-----  
a témavezető aláírása