DEBRECENI EGYETEM Agrártudományi Centrum Mezőgazdaságtudományi kar Víz- és Környezetgazdálkodási Tanszék

INTERDISZCIPLINÁRIS AGRÁR- ÉS TERMÉSZETTUDOMÁNYOK DOKTORI ISKOLA

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

Témavezető: Dr. Tamás János egyetemi tanár, MTA doktora

Távérzékelési módszerek összehasonlító elemzése mezőgazdasági mintaterületeken

Készítette: Burai Péter doktorjelölt

Debrecen 2007

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés	3	
1.1 A téma aktualitása		
1.2 Általános és részletes célkitűzések		
2. Szakirodalmi áttekintés	5	
2.1 A távérzékelés tudományos hátterének áttekintése		
2.1.1 A légkör hatásai		
2.1.2 A felszín optikai tulajdonságai	9	
2.2. Szenzorok, távérzékelt adatok áttekintése adatforrások	14	
2.3. Adatfeldolgozás, értékelés módszertana		
2.3.1 A felvételek előfeldolgozása	19	
2.3.1.1 Radiometriai korrekció	19	
2.3.1.2 Geometriai korrekció	22	
2.3.2 Képi jelerősítés és csatornaszelekciós eljárások	24	
2.3.3 Képelemzési eljárások	29	
2.3.4 Képosztályozás eredményeinek értékelése		
2.3.5 Változásvizsgálatok		
2.4 A távérzékelés gyakorlati alkalmazásai		
2.4.1 Talajtani vizsgálatok		
2.4.2 Vegetációelemzés, földhasználat vizsgálat		
2.4.3 Távérzékelés alkalmazása a vízgazdálkodásban	42	
3. Anyag és módszer	44	
3.1. A vizsgálati területek bemutatása	44	
3.2. A vizsgálatok során alkalmazott távérzékelt adatok	49	
3.2.1 Földközeli távérzékelés (TETRACAM ADC)	50	
3.2.2 Hiperspektrális légifelvétel (DAIS 7915)	56	
3.2.3 Űrfelvételek (SPOT-5, LANDSAT ETM+, MODIS)	58	
3.3 Egyéb térképi adatforrások	62	
3.4 Terepi mintavételi adatok		

4. Eredmények	66
4.1 Növényborítottság és levélfelület(LAI) összefüggés vizsgálata	
földközeli távérzékelés alkalmazásával	66
4.2 Talajdegradációs folyamatok vizsgálata légi multispektrális és	
hiperspektrális felvételek értékelésével	69
4.3 Nagyparcellás lombvédelmi kísérletek hiperspektrális vizsgálata	76
4.4 Gyomborítás vizsgálata földközeli távérzékelés és idősoros multi-	
spektrális felvételekkel	82
4.5. Mezőgazdasági terület parcella szintű vegetáció vizsgálata multi-	
és hiperspektrális felvételekkel	83
4.6 Mezőgazdasági területek regionális szintű vegetáció vizsgálata integ	rált
GIS-RS rendszerben	91
5. Következtetések és javaslatok	101
6. Új tudományos és a gyakorlatban hasznosítható eredmények	104
7. Összefoglalás	106
8. Summary	108
MELLÉKLETEK	
Felhasznált Irodalom	113
Publikációs jegyzék	127
Függelékek	131
Köszönetnyilvánítás	142
Nyilatkozatok	143

1. Bevezetés

1.1 A téma aktualitása

Napjaink gyors információ-technológiai fejlődése, olyan módszereket ad a kezünkbe, mint a globális helymeghatározás, térinformatika, távérzékelés, amikkel a földfelszín élő- és élettelen részeit gyorsan, pontosan, olcsón és nagy területeken tudjuk vizsgálni. A távérzékeléssel lehetőségünk nyílik a hagyományos pontszerű földi mintavételi adatok mellett (helyett) nagy területekről egyidejűleg információt nyerni. Néhány éve még csak egy viszonylag szűk réteg alkalmazta a távérzékelt adatokat, napjainkban azonban bővültek a hozzáférési lehetőségek és az alkalmazások.

Napjainkban az informatikához hasonlóan a távérzékelésben is jelentős fejlődés tapasztalható Növekszik az adatforrások információtartalma, amelyek segítségével olyan tulajdonságokat is vizsgálhatunk, amelyeket a korábbi eszközökkel még nem volt lehetőség. Új távérzékelési célú űreszközök és, egyre nagyobb geometriai és radiometriai felbontású felvételek jelennek meg, amelyek közül egyes típusok a globális és meteorológiai folyamatok megfigyelésére, mások a precíziós technikákban alkalmazhatóak. A multispektrális szenzorokkal felszerelt műholdak a látható tartományon kívül a közeli- és a középinfra tartományban is tudnak közepes és nagy felbontású felvételeket készíteni. Az elmúlt évtizedben a hiperspektrális távérzékelés és képelemzés a távérzékelés egyik leggyorsabban fejlődő területévé vált. A földközeli és légi szenzorok mellett megjelentek olyan műholdak, amelyek nagy radiometriai és geometriai felbontású felvételek készítésére alkalmas hiperspektrális szenzorokkal vannak felszerelve (pl. HYMAP). A multi- és hiperspektrális távérzékelés esetében a szenzorok tulajdonságainak fejlesztésén túl legalább akkora kihívás az adatfeldolgozás és az adatértékelés.

A környezeti monitoring, és modellek, a precíziós mezőgazdaság egyre pontosabb talajés vegetáció térképeket igényelnek, amelyek adatigényét a nagy mintaszám gyors és olcsó elemzésével valamint a távérzékeléssel készített felvételek értékelésével elégíthetjük ki. Az Európai Unióban az űrfelvételek a precíziós mezőgazdaság (pl. FARMSTAR program) és a mezőgazdasági területek ellenőrzésének (MARS) nélkülözhetetlen alapadatai, amelyek hazai alkalmazásaival a FÖMI által koordinált mezőgazdasági parcella azonosító rendszer (MEPAR) és a növénymonitoring (NÖVMON) programban találkozhatunk.

A távérzékelt eszközök rohamos fejlődésével újabb adatforrások és adatfeldolgozási módszerek alkalmazására van lehetőségünk, amelyek számos olyan előnyöket és alkalmazási korlátokat hordoznak magukban, amiket tudományos igényű elemzéssel kell alátámasztani. Az értekezés témaválasztását ez a szakmai kihívás indokolta, remélve, hogy az eredmények hozzájárulnak a szakterület fejlődéséhez.

1.2 Általános és részletes célkitűzések

A dolgozatban alföldi mintavételi területeken készített különböző távérzékelt adatokat és módszereket alkalmaztunk, amelyekkel kapcsolatos általános vizsgálati szempontokat az alábbi pontokban határoztuk meg:

- Milyen alkalmazási lehetőségei és korlátai vannak az egyes távérzékelt adatforrásoknak?
- Mely képfeldolgozási módszerrel illetve modellel lehet a pontos adatokat nyerni az általunk alkalmazott felvételek feldolgozása alkalmával?
- Hogyan lehet javítani az alkalmazott távérzékelt adatfeldolgozó módszerek pontosságát és hatékonyságát?
- Melyek azok a vízgazdálkodási paraméterek, amelyek vizsgálhatóak távérzékelt adatforrások alapján?
- Hogyan lehet integrálni a távérzékelt adatokat a különböző GIS adatbázisokkal, vízgazdálkodási modellekkel?

A kutatásunk során cél volt, hogy különböző típusú, geometriai felbontású távérzékelt adatokat alkalmazzunk, mezőgazdasági területek vizsgálatára az alábbi részletes célkitűzések figyelembevételével:

- Az alkalmazott távérzékelt felvételek milyen radiometriai és geometriai tulajdonságokkal rendelkeznek?
- A földközeli távérzékeléssel milyen megbízhatósággal mérhető a különböző növényfajok, illetve gyomosodott állományok borítottsága és levélfelülete, az alkalmazott módszereknek milyen alkalmazási korlátai vannak?

- Intenzív művelésű mezőgazdasági területről készített távérzéket felvételek spektrális információi alapján hogyan becsülhetőek az agroökológiai és termesztési tulajdonságokat meghatározó biofizikai és talajtulajdonságok térbeli változásai?
- Mely módszerek alkalmasak az alkalmazott adatforrások elemzésével a mezőgazdasági területek kvantitatív vizsgálatára az egyes földhasználati kategóriák parcella szintű meghatározásához?
- Milyen módon lehet a képelemzés osztályozási eredményeinek parcella szintű értékelését végrehajtani úgy, hogy terület alapú információt kapjunk?
- Milyen módszerrel lehet idősoros felvételek képfeldolgozásából nyert adatsorait integrálni nagyobb felbontású távérzékelt adatokkal és más adatbázisokkal?

2. SZAKIRODALOMI ÁTTEKINTÉS

2.1. A távérzékelés tudományos hátterének áttekintése

Lillesand et al. (2004) szerint azokat a vizsgálati módszereket jelöljük a távérzékelés gyűjtőfogalmával, amelyekkel a közelünkben vagy tágabb környezetünkben található tárgyakról vagy jelenségekről úgy gyűjtünk adatokat, hogy az adatgyűjtő (általában szenzornak nevezett berendezés) nincs közvetlen kapcsolatban a vizsgált tárggyal vagy jelenséggel. Lóki (1996) a távérzékelés fogalmába nem csak az adatgyűjtését lehetővé tevő eszközöket, hanem a kapott adatok feldolgozását, és értékelését is csoportosítja. Sabins (1996) megállapítása szerint a távérzékelés a felvétel készítésének, elemzésének és interpretálásának tudománya, amelyek közül kiemeli az adatelemzést.

Csató (2000) a modern távérzékelés kezdetének az űrkutatás kezdetét és az erőforrásmegfigyelő műholdak pályára állításának időpontját jelöli. Landgrebe (2003) szerint a távérzékelés az 1957. októberben Szovjetunió által felbocsátott Sputnik műhold pályára állításával, majd az 1958-ban létrehozott NASA (National Aeronautics and Space Administration) működésével kezdődött meg. A távérzékelés fejlődését az 1972-ben felbocsátott első LANDSAT műhold pályára állítása, és az adatainak polgári célú felhasználása gyorsította (Mucsi, 2004). A távérzékelés szót kezdetben a földfelszínt pásztázó vagy fényképező műholdakra szerelt berendezések munkába állítása kapcsán kezdték használni, és csak ezután terjesztették ki a rokon adat-felvételezési technikákra is. A korábbi katonai célú felvételeket készítő műholdak polgári célú alkalmazása és a nagy felbontású multi- és hiperspektrális felvételek készítésének engedélyezése dinamikus változást okozott a távérzékelt technológiák fejlődésében és a felvételek minél szélesebb körű alkalmazásában.

A távérzékelés ismertetése során Sárközy (1991) elsősorban az űr-távérzékelés jelentőségét emeli ki, amely előnyeit három pontban foglalja össze:

- Országoktól független, nagy területeket érintő, gyakran globális méretű, automatikusan földrajzi helyhez kötött, naprakész leíró adatbázisok létrehozásának lehetősége
- 2. Adatnyerés sebessége, gyors információgyűjtés és feldolgozás.
- Új adatok gyűjtésének lehetősége, melyek megszerzésére hagyományos eszközökkel nincs lehetőség.

Czimber (1997) munkájában a távérzékelés előnyeit az alábbiakban foglalta össze:

- olcsó és automatizálható adatnyerés
- gyors, naprakész adatgyűjtés
- jó térbeli, időbeli mintavételezés
- nagy területről kapunk homogén adatrendszert
- a digitális felvételek számítógéppel feldolgozhatók

Az előnyök mellett hátrányként a kiértékelésben rejlő nehézséget említi.

Csornai és Dalia (1991) szerint passzív távérzékelésről beszélünk, ha nem használunk külső energiaforrást csak érzékelőket, míg külső elektromágneses sugárforrás használata esetén aktív távérzékelésről beszélhetünk.

2.1.1 A légkör hatásai

A Föld felszínére érkező elektromágneses sugárzás túlnyomórészt a Napból érkezik (extrateresztrikus sugárzás). A passzív távérzékelés során a Napból eredő és a felszín által visszavert (reflektált) sugárzást és a felszín által kibocsátott (emittált) sugárzást mérjük. A Nap egységnyi felületére eső összes sugárzási teljesítményt a napállandó fejezi ki, amely a különböző szakirodalmak szerint: 1350-1370 Wm² (Heinrich és Hergt, 1994, Almár, 1996). A Nap a legnagyobb sugárzási intenzitását 550nm hullámhosszon, míg a Föld 10 µm azaz a hőinfra tartományban sugározza, azonban a kisugárzott energia csak töredéke a Napénak.

A Büttner (1996) az infravörös tartományt (*infrared* - IR) a 720nm-es hullámhossztól a 15µm-es távoli infravörös tartományig az alábbiak szerint csoportosította:

- Közeli infravörös tartomány (near infrared NIR): 0,72-1,3 μm
- Középső infravörös tartomány (middle infrared MIR): 1,3-3 μm
- Távoli infravörös tartomány (thermal infrared –TIR): 3-15 μm

A elektromágneses hullám a légkör felső határát elérve kölcsönhatásba lép vele, melynek következtében az energia részben visszaverődik (reflexió, r), részben elnyelődik (abszorció, ε) vagy átengedi (transzmisszió, t). Ha a beeső és a visszaverődő hullám haladási iránya azonos szöget zár be a beesési merőlegessel tükrös reflexióról, ha a beesési merőlegessel szöget zárva valamely irányba verődik vissza diffúz reflexióról beszélünk (Janseen és Huurneman, 2001) Általában az alacsonyabb hullámhossz-tartományban nagyobb a szórás mértéke.

Sabins (1996) az atmoszferikus szórást a légkört alkotó gázok szerint két csoportba sorolta:

- 1. a szelektív szórást elsősorban az O₂, NO_x, CO₂ gázok, míg
- 2. a nem szelektív szórást a légkör páratartalma, felhők okozzák

A földi objektumok és a szenzor közötti légréteg zavaró hatású lehet a vizsgált tárgy reflektanciájának értékelése során. Azokat a hullámhossz-tartományokat, ahol a legkisebb a szóródás és az elnyelődés mértéke, légköri ablaknak nevezzük (Csornai és Dalia, 1991). Meg kell különböztetni *optikai ablakot* (λ =0,30-14 µm) illetve

mikrohullámú ablakot (λ =0,1-70 cm). A visszaverődés a légkörben található vízcseppeken, szennyezőanyagokon történik. Az ózon és az atmoszferikus gázok csaknem teljesen elnyelik az ultraibolya sugárzást, ezért ez a tartomány kevésbé alkalmazható a távérzékelésben. A legjelentősebb abszorbens a vízgőz, így felhős, ködös időben szinte lehetetlen a megfigyelés az optikai ablakon keresztül. A légkörben található szén-dioxid, főleg az infravörös sávban abszorbeál (*1. ábra*).



1. ábra Az atmoszférán átjutó sugárzás a látható és az infravörös tartományban a jelentősebb abszorbensekkel és légköri ablakokkal (Sabins, 1996)

Az atmoszférában az elektromágneses sugárzás szóródását a részecskék nagysága, polarizálhatósága alapján három nagyobb csoportra oszthatjuk (Csató, 2000):

- Rayleigh- szóródás: Kis méretű, a hullámhossz 1/10-nél kisebb méretű dipólusos molekulákról történő szóródás. Mértéke a hullámhossz negyedik hatványával fordítottan arányos.
- Mie- szóródás: A nagyobb méretű (0,1-10 µm) aeroszolok esetében jellemző, kis mértékben hullámhosszfüggő szóródás.
- Nem-szelektív típusú szóródás: A nagy méretű részecskékről (vízcsepp, jégkristályok) történő szóródás.

A légkörben található anyagok az elnyelés és szórás miatt a felvételek radiometriai tulajdonságait változtatják meg. A nagy magasságból készített távérzékelt felvételeknél számolni kell a légköri inhomogenitás hatásával, ami a felvételek geometriáját

változtathatja meg. Az idősoros felvételekből számított kvantinatív tulajdonságok összehasonlításának egyik problémája a légkörben található gázok változékonysága.

2.1.2 A felszín optikai tulajdonságai

A föld felszínének eltérő reflektancia értékeit a megvilágítás és az anyagi sajátosság okozza. A visszavert (reflektált), az elnyelt (abszorbeált), az áthaladó (transzmittált) és a kisugárzott (emittált) energia aránya a sugárzástól, az anyag típusától és állapotától függ (Sabins, 1996).

A beeső sugárzás intenzitása akkor a legnagyobb, ha a beesési szög 90 fok. Pontszerű fényforrás esetében a megvilágítás erőssége egyenesen arányos a fényforrás erősségével, fordítottan arányos a köztük lévő távolság négyzetével, és függ a fény beesési szögétől (α), amelyet az alábbi képlet fejez ki (Holics, 1998):

$$E = \frac{1}{r^2} \cdot \cos \alpha$$

E = megvilágítás [lux]

r = a fényforrás és a megvilágított felület távolsága

 α = a fény beesési szöge

A napsugárzás meghatározásához az időbeli változások mellett ismerni kell a térbeli helyzetet (szélesség, hosszúság és domborzat). A fenti esetben azonban nem vettük figyelembe a légköri hatásokat, amelyek jelentősen módosíthatják a megvilágítást. A fenti okok miatt a távérzékelt adatok feldolgozás során kiemelt feladat a légköri hatások korrekciója. A kedvező megvilágítás miatt a műholdak pályáit úgy állították be, hogy a felvételek viszonylag magas napállás mellet készüljenek. A LANDSAT és TERRA-MODIS műholdak hazánk területéről 09:00-10:30 óra (GMT) közötti időszakban készítenek felvételeket (ESA, 2002).

A megvilágítás változékonysága mellett a visszavert sugárzás heterogenitása okozza a felvételek készítésének problémáját. A természetben a felszínről a sugárzás nem egyenletesen – *anizotróp* módon - verődik vissza. A visszavert sugárzás csak az izotróp tárgyak esetében függ a beeső sugárzás intenzitásától és a beesési szögtől kizárólag. Az ilyen tulajdonsággal rendelkező idealizált tárgyakat Lambert-féle reflektornak nevezzük

(pl. fehér etalon lap). A természetben ilyen tulajdonságú a tiszta hófelszín. Az idealizált tárgyat használhatjuk referencia felületként, amely segítségével a reflektanciaszázalékot (0-100 %) és a reflektancia faktort (0-1) tudjuk meghatározni.

A távérzékelt felvételek elemzésénél figyelembe kell venni a domborzat radiometriai és geometriai torzító hatását is. Elsősorban a nagyobb magasságkülönbségű területeken jellemző a domborzat geometriai hatása, amelyet Kraus (1988) az alábbiakban definiált:

$$\Delta \rho = \Delta Z \left(\rho / Z_0 \right)$$

ahol:

 $\Delta \rho$ = radiális képtorzulás mértéke

 $\Delta Z = az$ adott földfelszíni pont magasságkülönbsége az elméleti tárgysíkhoz képest

 ρ = az adott képpont távolsága a képfőponttól

Z₀: a felvételező eszköz távolsága a földfelszíntől

Mivel a vizsgálati területeink alföldi mintaterületek voltak, ahol kis magasságkülönbség jellemző, a domborzat radiometriai és geometriai hatása az alkalmazott terepi felbontás mellett elhanyagolható.

Különböző anyagi tulajdonságú felszínek estében az egyes hullámhossztartományokban eltérő reflexióértékeket tapasztalhatunk. Ha a tárgynak vagy a felszínrésznek a spektrális visszaverődési értékeit grafikonon ábrázoljuk, spektrális görbét kapunk, amely a reflektált (3 µm alatt) és emittált (3 µm felett) sugárzás értékeit tartalmazza különböző hullámhossz-tartományokban. Ez a spektrális görbe jól szemlélteti a különböző felszínek eltérő reflexiós és anyagi tulajdonságait, segítségével meghatározhatjuk azokat a hullámhossz-tartományokat, amellyel az adott tulajdonság a legjobban vizsgálható.

A továbbiakban a talaj és növény visszaverési viszonyait külön ismertetem, a növényzet hatásával az élettani, botanikai, növényvédelmi vizsgálatok, míg a talajjal a talajtani kutatások foglalkoznak részletesen.

A növényzet optikai sajátosságai

A növényzet távérzékelő eszközökkel való vizsgálatánál figyelembe kell venni azt, hogy a reflektanciát a borítás nagysága, a növény(ek) típusa, fejlettségi foka, állapota és a talaj együttesen határozza meg. A növényzet visszaverési tulajdonságainak kialakításában az egyed (egyedek) teljes felszíne részt vesz. A magasabb rendű növényekben a fotoszintetikus pigmentek elsősorban a levélben, valamint a fiatal termésben, valamint a külső szárszövetben találhatóak (Asner, 1988).

Egy-egy terület reflektancia tulajdonságát a fotoszintézisben legnagyobb részt vállaló és a legnagyobb felszínt alkotó levélfelület alakítja ki. A levelek alacsony reflexiós értékét a vörös sávban a fotoszintetikus pigmentek fényelnyelése okozza (Blackburn, 1998). A növényi kloroplasztiszok abszorciós maximuma 680 és 700 nm, illetve a kék sávban 450nm-nél található (Heinrich és Hergt, 1994) míg a közeli-infra magas reflexióját a sejtfal lignin tartalmával és a parenchima-szövet szerkezetével magyarázzák (Gates et al., 1965). Zwiggelaar (1998) szántóföldi növények és gyomfajok pigmentjeit és kémia összetevőit vizsgálta, ahol a klorofilok esetében a kék és a vörös csatornák (435, 480, 650, 670-680, 740 nm), a karotinoidoknál a kék tartományban (420-480 nm), míg a víz esetében a közeli infra (970 nm) és közép-infra (145, 1944 nm) tartomány mutatott szoros korrelációt a vizsgált tulajdonsággal. A vörös tartomány abszorpciós maximuma 682 nm körül fordul elő, mivel ez a klorofill abszorpció tetőpontja (Gates et al., 1965; Elvidge, 1990). A levelek klorofill összetételének változásának vizsgálatára, gyakran alkalmazzák az un. vörös-él pozíciót (red edge), amelynek a hosszabb hullámhossz felé történő elmozdulása a klorofill-tartalom növekedését jelzi (Vogelmann, 1993; Gitelson és Merzylak, 1996).

A reflektancia válasz a pigmentek fényelnyelési tulajdonságai mellett, függ a növényi szövet szerkezetétől annak fizikai struktúrájától (Vogelmann, 1993). A reflektancia értékeket nagyban befolyásolja a sejtfal szerkezete, a levélszövet víz- és levegő tartalma (Gausman, 1977). Szója, kukorica, cirok növények spektrális tulajdonságainak vizsgálata során Carlson et al. (1995) erős pozitív korrelációt tapasztaltak a levél-

víztartalom növekedése és a reflektancia között. Jacquemond és Barret (1990) által fejlesztett PROSPECT modellben a reflektanciát leginkább meghatározó tényezőket, azaz a levél mezofilium struktúráját, pigment és víz tartartalmát használta input paraméterként.

A növénytakaró által elnyelt energia a zöldtömeg nagyságával arányos, és az eddigi szakirodalmi tapasztalatok alapján a legalkalmasabb mutató a levélfelület index (*Leaf Area Index - LAI*), amely az 1 m² talajfelületre jutó levélfelületet (m²) fejezi ki (Szász, 1988). A LAI egy biofizikai állapotjelző, amely szoros kapcsolatban van a biomassza mennyiséggel, a fotoszintézis és a transpiráció mértékével (Running, 1989). A levélfelület mérésnek vannak direkt és indirekt módszerei, azonban a terepi mérések az állományban nehezen értelmezhető, pontszerű adatokat ad és költséges (Gower at al., 1999; White at al., 2000). A térbeli és idősoros vizsgálatokra széles körben elterjedt a távérzékelt adatok elemzése, mivel a LAI számos biogeokémiai modell elengedhetetlen input adata, amelyre térkép formátumban van szükség (Reich et al., 1999). Elterjedt, és praktikus módszer a levélfelület vizsgálatra a különböző növényi indexek és a LAI között számított regressziós modellek használata (Turner at al., 1999). A reflektancia értékeket azonban nem csak a növényi felület, és a növényi pigmentek nagysága, hanem a levelek alakja és térbeli elhelyezkedése is befolyásolja (Clevers és Verhoef, 1993).

A növényállományok elnyelő képességét a levelek átbocsátási együtthatója és az elnyelő növényi tömeg határozza meg (Szász, 1988). De Boer (1993) modellje a felszín optikai tulajdonságai a növényi felület mellett a biofizikai és strukturális tulajdonságaiból, valamint a talaj reflektanciájából számítja:

$$\rho_{\lambda} = f(C_w, C_{ab}, m, LAI, \theta_l, Z, N_i, \rho_s)$$

 ρ_{λ} = az adott hullámhosszon mért spektrális reflektancia

 C_w = a levelek víztartalma

 C_{ab} = a levelek a- és b-klorofill-tartalma

m = a kisebb jelentőségű abszorbensek (cellulóz, keményítő) koncentrációja

- *LAI* = levélfelület index (*Leaf Area Index*)
- θ_l = a beesési szög eloszlása a levelekre

Z = a levelek elhelyezkedése 3 dimenzióban $N_i =$ a levél mezofillum-struktúrájának indexe $\rho_s =$ a talaj reflektanciája

Már a korai spektroradiometriai vizsgálatok alkalmával szoros korrelációt állapítottak meg a vörös és a közeli infra tartomány transzmittancia hányadosa és a mért levélfelület index (LAI) között (Jordan, 1969). A természetben a növénnyel borított felszín reflektancia értékeit a talaj és a vegetáció együtt határozza meg. Levélfelület növekedésével egyre kisebb szerepe van a talaj hatásának a reflektanciára (Zilinyi, 1995).

Számos kutató vizsgálta a növények tápanyagtartalma és a reflektancia értékek közötti kapcsolatot. A korai laboratóriumi spektroszkópos vizsgálatok a látható tartományban mutattak ki adszorpciós csúcsokat (Thomas és Gausman, 1977). A további vizsgálatok is igazolták ezt a teóriát, és az 550nm-es tartományt találták a leginformatívabbnak a kukorica levelek N-tartalmának a vizsgálata során (Chappelle et al., 1992; Blackmer et al., 1994). Yoder és Pettigrew-Crosby (1995) a látható és infra tartományban vizsgálták a levél klorofill és nitrogén tartalmának változását.

A talaj optikai sajátosságai

A különböző talajtípusok, illetve az eltérő talajállapotok specifikus tartománnyal és értékekkel jellemezhetőek. Éppen ezért lehetőség nyílik a távérzékelés segítségével az elkülönítésükre és felismerésükre. Baumgardner et al. (1985) kutatása alapján a talajok spektrális reflexióját leginkább a szilárd váz kémiai összetétele, humusztartalma, szemcseösszetétele, felületének érdessége befolyásolja. Mucsi (2004) szerint ezek a tényezők komplexek, változékonyak és kölcsönhatásban vannak egymással.

A korai kutatások a laboratóriumban mért spektroszkópiás vizsgálatokkal mérték a talaj reflexiós tulajdonságát. A talajalkotókra vonatkozóan Obukhov és Orlov (1964) a Szovjetunió területén gyűjtött talajmintákat vizsgálva megállapította, hogy a vasoxid tartalom növekedésével csökkenő reflektancia mérhető. A talaj szervesanyag tartalmának, szemcseösszetételének és nedvességtartalmának hatását a spektrális jellemzőkre széles körben vizsgálta Stoner et al. (1980). Stoner és Baumgartner (1981) a talajok spektrális reflexiója esetében kiemelik a talajok szilárd vázának kémiai

összetevőinek, ezen belül a vasoxid tartalomnak, a szemmegoszlásnak és felületi érdességnek a szerepét. A vizsgálati intervallumon belül egyes sávokban mért spektrális jellemzők, és a talajtulajdonságok kapcsolatrendszere különös fontsággal bír. A spektrofotometriás vizsgálatuk során Dalal és Henry (1986) a közeli infravörös tartományban olyan tulajdonságokat számszerűsített, mint a nedvességtartalom, szerves anyag és az összes nitrogén tartalom. A talajnedvességi vizsgálatokra Engman (1991) a NIR, TIR csatorna kombinációkat javasolta alkalmazni. Henderson et al. (1989) laboratóriumi körülmények között végzett vizsgálatok esetében a 850 - 980 nm közötti tartományban tapasztaltak nagyobb valószínűségi értéket a szervesanyag tartalom meghatározásában. Price (1994) négy spektrális tartományt különít el, amelyek alkalmasak lehetnek a talajtulajdonságok vizsgálatára a látható és infra tartományban (NIR, MIR): 1. 630-740 nm; 2. 930-1130 nm; 3. 1610-1800 nm; 4. 2030-2310 nm. Zilinyi (1995) reflexiós spektrométerrel (SM-1, SM-2) vizsgálta különböző talajminták és növénnyel borított felszínek reflexiós tulajdonságait, ahol számos talajparaméternél mutatott statisztikus, néhány esetben determinisztikus kapcsolatot a vizsgált tulajdonság és a reflexió között. A Thenkabail et al. (1999) kutatásai alátámasztják, hogy a talaj hatása jól definiálható az ún. "talaj vonallal", a zöld és vörös, valamint a vörös és a közeli infra hullámhosszok között.

2.2 Szenzorok, távérzékelt adatok áttekintése

A távérzékelt felvételeket többféle szempont szerint is csoportosíthatjuk (Mucsi, 2004). A távérzékeléssel foglalkozó szakirodalmakban az alábbi csoportosítási módszerek a leggyakoribbak:

- a felvétel készítésének magassága
- hullámhossz-tartomány
- csatornaszám
- szenzor működési elve
- geometriai felbontás
- az adatgyűjtés célja

A távérzékelt **felvételek készítésének magassága** szerint lehet *földközeli-*, *légi-* és *műholdas távérzékelés* (600-1500 km). Földközeli alkalmazás során maximum néhány méter magasságban, legtöbbször kézben elhelyezett készülékkel készítenek felvételeket, amelyre példákat találhatunk a gyomkutatásban alkalmazott multispektrális (Nagy és

Kalmár, 2001; Aitkenhead et al., 2003; Tamás, 2005), és hiperspektrális (Kardeván et al., 2004) technikák alkalmazásával és a növényi kórokozók kutatásában (Laudien et al., 2003). A repülőgépről készített hagyományos légifotózás (Winkler, 2001) mellett egyre inkább teret nyernek a hiperspektrális alkalmazások (Treitz és Howarth, 1999).

A műholdas távérzékelés széles körben elterjedt távérzékelési technológia, amelynek előnyei: nagy képméret, olcsó üzemeltetés, folyamatos képkészítésre és idősoros felvételek készítése való alkalmasság. A fenti tulajdonságok miatt alkalmasak nagy kiterjedésű globális folyamatok megfigyelésére (Morisette et al., 2002). Mucsi (2004) részletesen ismerteti a napjainkban általánosan elterjedt műholdcsaládok specifikációját és az egyes adatforrások elérhetőségét.

A detektált **hullámhossz-tartomány** szerint megkülönböztethetünk optikai sávú és mikrohullámú távérzékelést. A multispektrális felvételeknél az optika sávokat úgy helyezték el, hogy azok a légköri ablakokban helyezkednek el és a felszín jellegzetes spektrális tulajdonságainak detektálására legyenek alkalmasak. Ezen tulajdonságok figyelembe vételével alakították ki a LANDSAT TM műholdak csatornáit (*1. táblázat*).

Csatorna és hullámhossz- tartomány (µm)	Alkalmazási terület
1. (0,45-0,515)	Tengerparti vizek térképezése, víztestek felszíni részének vizsgálata, talaj és vegetáció- térképzés.
2. (0,525-0,605)	A vegetáció reflektancia görbéjén jelentkező két klorofill (klorofill-a és klorofill-b) elnyelési pont közötti csúcs megfigyelése.
3. (0,63-0,69)	Klorofill abszorpciós csatorna vegetáció elkülönítésére.
4. (0,75-0,90)	Vegetációtérképezés, biomassza-mennyiség meghatározás, víztestek lehatárolása.
5. (1,55-1-75)	A vegetáció és a talaj nedvességtartalmának meghatározása, hó és felhők elkülönítése.
6. (10,40-12,50) *60x60m –es felbontás	Talajok nedvességtartalmának meghatározása, hőtérképezés, vegetáció stressz-analízis
7. (2,09-2,35)	Kőzettípusok elkülönítése, hidrotermális térképezés.
PAN (0,52-0,90)	Térképészeti alkalmazások

1. táblázat LANDSAT-5 TM műhold spektrális sávjai és alkalmazási területek (ESA, 2002)

A mikrohullámú szenzorokat elsősorban geológiai elemzésre, térképészeti alkalmazásban, légkör összetételének vizsgálatára és óceánkutatásban alkalmazzák (Sabins, 1996). A mikrohullámú rendszerek nagy előnye, hogy a napszaktól és időjárási helyzettől függetlenül is képesek felvételeket készíteni, és a légkör vízpáratartalma sem zavarja a felvétel készítését, azonban a bonyolult adatfeldolgozást és a kis geometriai felbontás miatt korlátozott az alkalmazási lehetősége. Az ERS-2 SAR és RADARSAT felvételek magyarországi alkalmazását az ár-és a belvízfelmérésben Csekő (2003) ismerteti.

Csatornaszám alapján megkülönböztetünk egy csatornás pankromatikus (PAN), több csatornás multispektrális (MSS) és kis sávszélességű (2-10 nm), nagy csatornaszámú hiperspektrális felvételeket. A pankromatikus felvételek általában nagy geometriai felbontásúak és a látható és a közeli infravörös tartomány integrálásával hozzák létre. A multispektrális felvételek több szélesebb sávszélességű csatornát tartalmaznak. Gyakran több szenzor együttes működése szükséges, hogy a különböző hullámhossztartományokban (VIS-NIR-MIR-TIR) azonos időben tudjanak felvételt készíteni. Sabins (1996) szerint a hiperspektrális felvételek nagy csatornaszámúak és szűk sávszélességűek (0,01 µm). Jacguez et al. (2002) nagy felbontású hiperspektrális felvételnek (HSRH- High Spatial Resolution Hyperspectral) a kisebb, mint 5m terepi felbontású és több mint 64 csatornájú felvételt definiálták. A pásztázott terület szélessége a terepi látőszöggel adható meg (IFOV- Instantaneous Field of View) amely kisebb, mint a hagyományos felvételek esetében, ennek következtében a képfeldolgozás nagy erőforrás igényű. Hiperspektrális felvételeken valamennyi pixel reflektanciája sok keskeny, de egymással határos hullámhossz tartományú értékkel jellemezhető, amely folyamatos reflektancia -görbével írható le. A hiperspektrális szenzorokat általában repülőgépekbe építik be (AVIRIS, DAIS, AISA, HYMAP, stb.), azonban néhány újgenerációs műholdban már alkalmaznak hiperspektrális szenzorokat, mint pl. a 220 csatornás HYPER szenzor. Számos tanulmányban (Treitz, 1999; Mucsi, 2004) az olyan többcsatornás, kis felbontású szenzorokat, mint pl. MODIS, ASTER, MERIS is a hiperspektrális szenzor típusba sorolják, amelyek a hagyományos multispektrális szenzorokhoz (pl. LANDSAT TM) képest több (14-36) és keskenyebb csatornát tartalmaznak, azonban nem teljes mértékben fedik le a spektrális tartományt és kis geometriai felbontásúak (pl. MODIS: 250-500-1000m).

A szenzor működési elve szerint kamera (framing system), és pásztázó rendszerek (scannig system). A távérzékelés kezdeti szakaszában kizárólag analóg kamerával készített felvételeket alkalmaztak, majd a kis-és közepes felbontású erőforrásmegfigyelő műholdak terjedtek el, amelyeket napjainkba fokozatosan felváltják a nagy felbontású digitális rendszerek. A műholdakon elhelyezett szenzorok többségét valamilyen pásztázó rendszerrel látják el. A pásztázó rendszereknél a pásztázási irány merőleges a felvétel készítésének irányára. A pásztázó rendszer lehet keresztsávos (cross-track), köríves (circular), sávmenti (along-track), oldalra tekintő (sidescanning) (Mucsi, 2004). A pásztázó rendszereknek előnyük a nagy terepi látőszög (Instantaneous Field of View, IFOV), ami miatt nagyobb képméret érhető el, mit a hagyományos kamerákkal. A keresztsávos rendszereknek egyszerűbb az optikai rendszere, nagyobb spektrális tartományt tud lefedni egy detektor és szélesebb képméret érhető el, mint a sávmenti pásztázással, azonban a bonyolult mechanikai rendszer gyakran okoz nem szisztematikus hibát. A sávmenti pásztázás kisebb képméretet, de jobb geometriai felbontást és jel/zaj arányt eredményez (Sabins, 1996). A LANDSAT műholdak keresztsávos pásztázást alkalmaznak, ahol a TM és ETM az ún "whiskbroom" rendszert alkalmazza (NASA). A nagyobb felbontású felvételek esetében a sávmenti pásztázás az elterjedt. A SPOT-1 műhold alkalmazta az első ilyen, un "pushroom" típusú szkennelési eljárást, ahol a sugárzást egy érzékelő detektorsor (Charge Couple Device, CCD) rögzíti. Ma már a nagy felbontású multispektrális szenzorok, mint a SPOT, IKONOS, QUICKBIRD, stb. és az olyan hiperspektrális képalkotó rendszerek, mint az AISA (Specim), is ezt a technikát alkalmazzák.

A geometriai felbontás alapján lehetnek: *kis*- (100 méter felett) *közepes* (1-100m) és *nagy geometriai felbontású* (1m-nél kisebb) felvételek. A kis felbontású felvételeket a meteorológiai műholdak (pl. NOAAA, METEOSAT) és a globális folyamatok megfigyelésére alkalmas műholdakon (pl. EOS TERRA és AQUA) működő szenzorok készítik. A technika fejlődésével egyre nagyobb geometriai felbontású szenzorokat alkalmaznak, így a korai szakirodalmakban még nagy felbontásúnak számító LANDSAT MS műhold, ma már a közepes felbontású kategóriába tartozik. A közepes geometriai felbontású műholdak a leggyakrabban alkalmazott felvételek a természeti erőforrás kutatásban (vegetáció térképezés, termésbecslés, geológiai-, környezetvédelmi megfigyelések) és (LANDSAT, SPOT, IRS). Az új generációs műholdakon elhelyezett szenzorok közül között számos olyat találhatunk (IKONOS, QUICKBIRD, ORBVIEW,

stb.), amelyek nagy geometriai felbontásúak (1m alatt) Ezeket a felvételek korábban csak a katonai alkalmazásban használták. A nagy felbontású műholdakból származó adatok a polgári használatban a térképészetben, műszaki és precíziós mezőgazdasági alkalmazásban terjedtek el. Általában jellemző, hogy a nagyobb hullámhossztartományban kisebb a távérzékelt felvételek térbeli felbontása, mert a nagyobb hullámhossz fordítottan arányos az energiával, így a minimálisan detektálható energiamennyiséghez nagyobb területre van szükség (Lillesand et al., 2004).

A távérzékelési eredmények megbízhatóságát elsősorban a térbeli és a spektrális felbontás határozza meg (Condit, 1970), azonban a felhasználhatóságát a felvételek nagysága, hozzáférhetősége, visszatérési idő nagyban befolyásolja (Metternicht és Zinck, 2003).

2.3 Adatfeldolgozás, értékelés

Ahhoz, hogy a vizsgált területről készített távérzékelt adatokból számszerűsíthető adatokat nyerjünk több lépcsős adatfeldolgozási mechanizmust kell alkalmazni, amely függ az adatminőségtől (multi- és hiperspektrális), az adatfeldolgozás módszerétől (vizuális interpretáció, vagy automatizált osztályozás), illetve a vizsgálat céljától (kvalitatív vagy kvantitatív vizsgálat). Rendkívül sok adatfeldolgozási módszer ismert az adatok előfeldolgozására, elemzésére és értékelésére egyaránt. A távérzékelt digitális felvételek feldolgozásának célját Czimber (1997) az alábbiakban foglalta össze: különböző időpontban és különböző felvevőrendszerekkel készített felvételek alapján a földfelszínt térképezzük, a felszínborítási kategóriákat minél jobban megismerjük és megbízhatóan becsüljük.

Az adatfeldolgozási mechanizmust Landgrebe (2003) az alábbiak szerint csoportosította:

- 1. Előfeldolgozás (preprocessing)
- adatbeállítás, adatellenőrzés
- geometriai és radiometriai korrekció
- 2. Osztályok meghatározása (class definition and traning)
- osztályképzés, tematikus kategóriák meghatározása különböző klaszterezési és csoportosítási módszerekkel

- osztályok, alosztályok és a tanítóterületek meghatározása, és az osztályok statisztikai elemzése
- 3. Jelerősítés, képi információnövelés (feature determination)
- informatív adatok előállítása, előzetes számítások, jelerősítés
- 4. Osztályozás (classification)
- megfelelő osztályozási módszer kiválasztása, osztályozás
- előzetes becslés, amennyiben szükséges a számítási módszer megváltoztatása
- 5. Utófeldolgozás (post classification processing)
- adatértékelés, pontosságvizsgálat, információnyerés és az eredmények interpretációja

Az előfeldolgozással előkészített felvételek osztályozási műveleti között Czimber (1997) megemlíti a tanító és tesztterületek használatát, a spektrális jellemzők vizsgálatát, a tesztterületek konzisztencia vizsgálatát, és az osztályozás pontosságának vizsgálatát.

2.3.1 A felvételek előfeldolgozása

2.3.1.1 Radiometriai korrekció

A távérzékelt felvételek egzakt értékelésének egyik kritikus pontja, hogy a felvételek eltérő időpontban, eltérő megvilágítási és légköri körülmények között készülnek és a szenzorok tulajdonságai idővel változhatnak. A Napból eredő és a felszínre érkező időben változó energiájú elektromágneses sugárzást matematikai modellek alapján kiszámíthatjuk, azonban az időben és térben eltérő légköri tulajdonságok, illetve a szenzor adat-felvételezéséből eredő hibák közvetlenül nem számíthatóak. A légkör okozta hatások csökkentését végezhetjük el különböző atmoszférikus korrekciós eljárásokkal.

Az *atmoszferikus korrekciót* Conghe et al. (2001) az alkalmazott módszerek szerint döntően két nagy csoportra osztotta: abszolút és relatív. *Abszolút korrekció* alatt azt értjük, hogy a felvétel számértékét (*Digital Number*, DN) korrigáljuk a felszínen mért

reflektancia értékkel, míg a *relatív korrekció* esetében ismert, illetve állandó reflektancia tulajdonságú területtel hasonlítjuk össze adatainkat.

Az atmoszférikus korrekciók közül gyakran alkalmazott a Kaufmann és Sendra (1988) által leírt módszer (*Dark Object Substraction*, DOS), ahol felszíni rekflektancia és a szenzornál mért radiancia között, ha a felszín Lamberti reflektorként viselkedik és a felvétel felhőmentes időszakban készült, az alábbi összefüggést feltételezzük:

$$L_{sat} = L_p + \frac{\rho F_d T_v}{\pi (1 - s\rho)}$$

$$\begin{split} L_{sat} &= a \; szenzornál \; mért \; sugárzás \\ L_p &= a \; vizsgált \; sáv \; radiancia \; értéke \\ F_d &= a \; felszínt \; érő \; irradiancia \\ T_v &= \; atmoszférikus \; transzmittancia \; a \; céltárgy és a \; szenzor között \\ s &= a \; háttérsugárzás \; mértéke \\ \rho &= a \; felszín \; reflektanciája \end{split}$$

Az abszolút atmoszferikus korrekcióhoz, olyan a felvétel készítésének időpontjába készült bemeneti paramétereket kell alkalmazni, mint pl. terepi felszíni reflektancia mérések, a légköri paraméterek pontos megadása, stb., amelyek költségesek és az archív felvételek esetében utólag nem állíthatóak elő.

A szakirodalomban többféle eljárást találhatunk a *relatív atmoszférikus korrekcióra*, ahol a módszert kidolgozó szerzők stabil reflexiós tulajdonsággal rendelkező referenciaterületeket alkalmaznak az atmoszférikus hatások csökkentésére. Gordon (1978) tiszta vízfelszínt választottak ki referencia területnek a normalizációs számításokhoz. Kaufman et al. (1997) LANDSAT felvételek vizsgálata során a sűrű növényzetű (*Dense Dark Vegetation*-DDV) terület kék (TM1) és vörös (TM3) és a termális infravörös 2,2 µm (TM7) spektrumának reflektanciáját használták fel az atmoszferikus hatások kiküszöbölésére, az alábbi összefüggést feltételezve, az egyes TM csatornák között:

$$\rho_1 = \rho_7/4, \ \rho_3 = \rho_7/2$$

ahol, a ρ = felszíni reflektancia, míg az indexben szereplő számok a LANDSAT TM csatornáit jelentik

A módszer azon a törvényszerűségen alapszik, hogy a vörös és a kék sugárzás érzékeny az aeroszolokra, míg a termális infra tartományban mért értékeket elhanyagolható mértékben befolyásolja a légkörben található aeroszolok mennyisége. A fenti módszer továbbfejlesztett változata a módosított "sűrű sötét növényzet" (Modified Dense Dark Vegetation, MDDV) módszer és a Wen et al. (1999) által kifejlesztett "sáv radiancia" (Path Radiance, PARA) módszer. Coppin és Bauer (1994) LANDSAT TM idősoros felvételek vizsgálatánál tiszta oligotróf tónak a vízfelületét, sűrű vörösfenyő állományt, nagy méretű aszfalt és kaviccsal borított-felületet, illetve egy betonburkolatú repülőgép parkolót alkalmazott referencia területként. Abban az estben, ha több felvétel is rendelkezésre áll a vizsgált területről, akkor a statisztikai normalizációhoz hasonló módszerrel lehet kiegyenlíteni a szenzor, a megvilágítás és a légkör zavaró hatásait. A módszer alkalmazása során feltételezzük, hogy a radiometriai hatások eredője lineáris. A módszerek közül meg kell említeni a Hall et al. (1991) által alkalmazott módszert, ahol a referencia területnek egy időben stabil alacsony és egy magas reflektancia értékű területet (Dark and Bright Objects, DBO) választanak ki úgy, hogy a küszöbértéket manuálisan határozzák meg. Du et al. (2002) olyan eljárást dolgoztak ki, ahol az idősoros elemzésre főkomponens analízist alkalmaztak, a változatlan tulajdonágú objektumok leválogatására. A módszert Kristóf (2005) eredményesen alkalmazta szigetközi terület állapotváltozásának elemzése során alkalmazott LANDSAT felvételeknél és a módszer továbbfejlesztését javasolta. Idősoros felvételek vizsgálatánál, ha rendelkezésünkre áll egy időszakra az adatbázis a szenzor és a légkör tulajdonságairól, akkor közel abszolút korrekciót folytathatunk a többi felvételeken (Hall et al., 1991).

Fraser et al. (1977) igazolták, hogy az atmoszférikus korrekció alkalmazása minimális hatással van az osztályozott felvétel pontosságára. Song et al. (2001) 1988-1996 közötti időszakban LANDSAT Thematic Mapper (TM) felvételek segítségével különböző atmoszférikus korrekciós technikákat hasonlítottak össze. A vizsgálatok azt igazolták, hogy a képosztályozás és az idősoros elemzés eredményeit döntően nem javították a különböző korrekciós módszerek. Azonban, ha nagyobb területet vizsgálunk, illetve különböző időpontban készített felvételeket hasonlítunk össze azonos tanítóterület

adataival, kvantitatív vizsgálatoknál elengedhetetlen az atmoszférikus korrekció. Turner et al. (1999) LANDSAT-5 műholdak reflektancia adataiból számított spektrális vegetációs indexeket (SVI) terepi LAI eredményekkel összehasonlítva, azt tapasztalta, hogy az atmoszférikus korrekciót tartalmazó eredmények megbízhatóbbak voltak, mint a korrekciót nem tartalmazóak.

A hiperspektrális felvételek egyik nagy előnye, hogy néhány csatorna adatainak felhasználásával pontos atmoszférikus korrekciót eredményez minden egyes pixelre, amely a viszonylag kis területen nagy változékonyságot mutató légköri páratartalom esetében is hatékony (Lee et al., 2004). Az AVIRIS hiperspektrális felvételeknél a MODTRAN sugárzási transzfer kódot (*radiative transfer code*) alkalmazzák eredményesen az atmoszférikus korrekcióra. Az AVHRR és LANDSAT TM-nél szerzett tapasztalatok alapján Vermote és Vermeulen (1999) a MODIS felvételeknél definiálták az atmoszférikus korrekciót (ATBD).

A távérzékelt felvételek forgalmazói (pl. EURIMAGE) különböző feldolgozottsági szinten biztosítják a felvételeiket, ahol már alapszinten elvégzik az alapvető radiometriai korrekciót, például a szenzor okozta szisztematikus hibából, a szenzor helyzetéből és a megvilágításból eredő hibákat. További korrekció szükséges, ha ki akarjuk szűrni a térben és időben egyenlőtlen mennyiségben megtalálható atmoszférikus gázok okozta hatásokat. Igazán pontos értéket abszolút korrekció alkalmazásával kapunk, azonban a nagy térbeli változékonyság miatt ez sem adna a nagy méretű felvételekre pontos adatokat és technikailag nehezen kivitelezhető. Az alkalmazott légköri modellek közül a felvétel-alapú kombinált módszerek (pl. ATBD) a legelterjedtebbek és megbízhatóan alkalmazhatóak az idősoros felvételek atmoszférikus korrekciójához.

2.3.1.2 Geometriai korrekció

A távérzékelt felvételek geometriai torzulással, hibával terheltek. Ahhoz, hogy a felvétel képmátrixának valamely i és j koordinátájú képpontját geometriailag helyesen értelmezzük, szükséges a földfelszín x és y koordinátájú területéhez megfeleltetni. A távérzékelt felvételeket valamilyen geometriai referencia rendszerrel kell ellátni, ahhoz hogy azokat a térben helyesen tudjuk értelmezni, és más földrajzi információs rendszerhez (GIS) kapcsolni.

Sabins (1996) Landsat TM felvételek geometriai korrekciója során a képalkotó rendszer működéséből eredő torzításokat két csoportra osztotta. *Nem szabályos torzítások* (*nonsystematic distortions*) okai a Föld mozgása valamint a szenzor helyzetének, sebességének és magasságának szabálytalan változásai, amelyek a pálya (*track*) adatokból számíthatók. A műholdas távérzékelésnél a földi irányító-központok érzékelik az ilyen típusú változást és a torzításokat, amely hibákat utófeldolgozással tudják korrigálni. A MODIS felvételeknél észlelt leggyakoribb hibák részletes ismertetése az *Anyag és módszer 3.2.3* fejezetében fejtében található. A nem szabályos torzítások csökkentésére többféle eljárás is alkalmazható (Bernstein and Ferneyhough, 1975). A *szabályos torzítások* (*systematic distortions*) előre számíthatóak, általában a képalkotó rendszer működése okozza (pl. a forgó tükör időben egyenlőtlen sebessége, szögtorzulás). Nagysága számítható és a legtöbb rendszer esetében az alapfeldolgozottság szintjén megszüntetik ezeket a hatásokat.

A *geometriai transzformáció* során paraméteres és nem paraméteres eljárásokat alkalmaznak. *Paraméteres korrekciót* alkalmaznak abban az esetben, ha a szenzor belső tulajdonságai és a szenzor pontos pillanatnyi helyzete alapján számítják ki a torzítást. A műholdakkal készített felvételeket is ilyen módszerrel számítják, mint a MODIS szenzor esetében alkalmazott TDRSS (*Tracking Data Relay Satellite System*) fedélzeti navigációs rendszer (Folta et al., 1993). A paraméteres eljárások esetében is alkalmaznak külső azonosító pontokat (*Ground Control Points* - GCP's), a kalibrációs módszer ellenőrzése, pontosítása és a szenzor hibáinak megállapítása miatt (Emery és Ikeda, 1989). A paraméteres eljárásoknál a domborzatból eredő hibák kiküszöbölésére gyakran globális domborzatmodellt alkalmaznak (Wolfe et al., 2002).

A *nem paraméteres korrekciót* alkalmaznak, ha a távérzékelt felvételt valamilyen ismert földrajzi koordinátájú felvételhez próbáljuk illeszteni. A transzormációhoz alkalmazott referencia pontokat (GCP) gyűjthetjük ismert koordináta rendszerű térképről, egy másik már geokódolt felvételről, vagy olyan terepen mért pontokról, amelyek a felvételen is jól azonosíthatóak. A transzformáció közelítő függvények használatával zajlik (Sárközy, 1991). A transzformációk közül az egyik leggyakrabban a polinominális transzformációt alkalmazzák, amely kis számítási igényű és sík mintaterület esetében megbízható eredményt ad (Jensen, 1996). A transzformáció során

az újramintavételezési eljárások közül a lineáris, legközelebbi szomszéd módszert alkalmazzák. A jobb minőségű transzformációhoz Berke et al. (2004) a köbös interpoláció alkalmazását javasolja.

2.3.2 Képi jelerősítés (*image enhancement*)és csatornaszelekciós módszerek

A hagyományos távérzékelt adatfeldolgozási folyamatban az előfeldolgozás után, a felvételek további értékelésében a vizuális interpretáció és a különböző automatizált alakzatfelismerő rendszerek alkalmazása céljából szükséges a képpontok szürkeségi értékeinek megváltoztatása. Leggyakrabban alkalmazott módszerek a kontrasztfokozás, élkiemelés, intenzitás-, árnyalat- és telítettség-transzformáció. A képi jelerősítést képfeldolgozó szoftverek segítségével, leginkább az objektumok azonosítására térképészeti alkalmazásban használják (Berke et al., 2004).

A multi- és hiperspektrális elemzések esetében a képi jelerősítés a nagy számú adatmennyiség és a hibás csatornák csökkentésére, informatívabb adatok előállítására irányul. A módszer elengedhetetlen részét képezi a hiperspektrális felvételek előfeldolgozásának. A hiperspektrális felvételek feldolgozása során az előnyök mellet, számos problémával találkozhatunk, ilyenek a spektrális és térbeli felbontás beállítása, illetve az optimális csatornák kiválasztása (Price, 1994).

A multispektrális elemzések esetében nagy számú csatorna és ezek kombinációinak vizsgálatára van lehetőség. A *főkomponens analízis* használatával bizonyos csoportok között szoros összefüggést találunk, mert ezekhez a csoportokhoz tartozó változók valamely közös tényezőtől függnek. A transzformáció során az egymással korreláló sávok lineáris transzformációját végezzük el, úgy hogy a kapott főkomponensek egymással korrelálatlanok legyenek, úgy hogy a fokozatosan növekvő indexek egyre csökkenő varianciát jelentenek. (*2. ábra*). Az eljárást gyakran alkalmazzák a képi hibák javításában, zajszűrésben, idősoros felvételeknél a változás elemzésére.



2. ábra Koordináta transzformáció a főkomponens analízis során. PCA1, PCA2: főkomponensek; S1, S2, S3: eredeti koordináta rendszer; a,b,...,z: változók



A **minimális zaj,** vagy **MNF- transzformáció** (*Minimum Noise Fraction transformation*, MNF) egy fordított főkomponens analízis, amellyel a képi zajt csökkenthetjük. Az MNF transzformáció dekorrelál és "újra osztályozza" a zajt a vizsgált felvételen.

A hiperspektrális felvételek nagyobb csatornaszáma nyújtotta információnak elméletileg növelnie kellene az osztályozás pontosságát. Az előnyök mellet, azonban számolni kell azzal, hogy a nagy számú csatornából eredő variációk növelhetik a zajt és csökkenthet az osztályozás pontossága, ezért szükség lehet a csatornák számának csökkentésére. A **csatornaszelekciós módszerek**et Bajcsy és Groves (2004) két nagy csoportra osztotta: irányított és irányítatlan. Az irányítatlan (*unsupervised*) esetében tanítóterületek nélkül, míg az irányítottnál (*supervised*) tanítóterületek alapján végzi el a csoportosítást. Az *irányítatlan* módszernél elterjedt a vizsgált csatornákat a számított *entrópiájuk* (*information entropy*) alapján (Russ, 1999), és a szomszédos spektrumok *első* és *második deriváltjának* (*first and second specrtal derivative*) meghatározása szerinti szétválogatás (Price, 1994). További módszer a *korreláció mérés* (*correlation measure*), ahol az egymás mellett lévő csatornákból számítják az autokorrelációt és a

legkevésbé korreláló párokat válogatják ki az osztályozás céljára (Jia és Richards, 1994).

Az irányított esetében a tanítóterületek spektrális információja alapján először egy előzetes modell készül. Gyakran alkalmazott módszer a többváltozós regresszió számítása, ahol az a cél, hogy egy adott Y célváltozót, k db független determinisztikus $X_{1i}, X_{2i}, X_{3i}, ... X_k$ változó lineáris függvényével közelítsük. (Ketskeméty és Izsó, 2005) A legkisebb négyzetek módszerével határozható meg a regresszió egyenlet.

$$Y_i = Y_i' + \varepsilon_i = b_0 + b_1 \times X_{1i} + b_2 \times X_{2i} + \dots + b_k \times X_{ki} + \varepsilon_i$$

 Y_i -a célváltozó i-edik esete, Y_i ' - az előrejelzett érték, εi - az i-edik hibatag, b_0 , b_1 ..., b_k - a kapott regressziós együtthatók, X_{ij} -az *i*-edik változó *j*-edik esetét jelöli.

A legkisebb négyzetek módszere a négyzetösszeget minimalizálja az együtthatókban így határozhatjuk meg az elméleti regressziós együtthatóinak b_0 , b_1 ,..., b_k statisztikai becsléseit.

$$g(i) = \sum_{i=1}^{n} (Y_{i} - Y_{i}')^{2}$$

A távérzékelt felvételek csatornáinak reflektancia/radiancia értékeiből számított regresszió analízis mellett széles körben elterjedtek a csatornák kombinációiból és a különböző háttérértékeket figyelembe vevő növényi vegetációs indexek használata, amelyet elsősorban növényi biofizikai változók vizsgálatánál alkalmazzák. A vegetációs indexeket Baret és Guyot (1991) két nagy csoportra osztotta a *távolságon alapuló indexek*, amelyek többnyire összeg vagy különbség indexek, amelyek egy vagy több sáv lineáris kombinációjaként állíthatók elő (sDVI, GVI, PVI, DVI, WDVI) illetve a hányados típusú *meredekségen alapuló indexek* (RVI, NDVI, IPVI, TVI, SAVI, SAVI2, TSAVI, IMSAVI, EMSAVI, ARVI, SARVI). Az alábbiakban néhány vizsgálatainkban is alkalmazott meghatározó növényi vegetációs indexet ismertetünk.

A távolságon alapuló indexek közül a közeli infravörös és a vörös csatornák reflektancia értékeinek hányadosán alapuló *reflektancia viszonyszám index*et (*Ratio Vegetation Index*, RVI) zöld biomassza mennyiségének, levélfelületnek (LAI), klorofiltartalom mennyiségi meghatározására alkalmazták (Birth és McVey, 1968;

Tucker, 1979). Világszerte a legelterjedtebb vegetációs index a *normalizált vegetációs index* (*Normalized Difference Vegetation Index*, NDVI) amelyet levélfelület, zöld biomassza mennyiségének, a klorofiltartalomnak, növényi szövet víztartalmának meghatározására alkalmazzák (Tucker, 1979; Cihlar et al., 1991, Sellers et al., 1992, Goward et al., 1994). Az NDVI nagy területek biomassza-változásának idősoros elemzésére is előszeretettel alkalmazott univerzális mutatószám (Morisette et al., 2002).

Kogan (1990) vegetáció kondíció indexet (Vegetation Condition Index, VCI) alkalmazott, amely heterogén területeken jobban mutatta az időjárás dinamikája által okozott változásokat, mint az NDVI, mert kiküszöböli az olyan földrajzi hatásokat, mint a klíma, talaj, vegetáció, vagy a domborzat. Richardson és Wiegand (1977) a függőleges vegetációs index (Perpendicular Vegetation Index, PVI) használatát javasolta. A talaj hatását is bevonta a számításba így az alacsony levélfelület index (LAI) értékű területeken (száraz és félszáraz területek) a talaj által generált változások kiküszöbölésével nagyobb biztonsággal tudtak biofizikai paramétereket meghatározni. Clevers (1988) a PVI-nek egy matematikailag leegyszerűsített változatát a súlyozott vegetációs indexet (Weighted Difference Vegetation Index, WDVI) alkalmazta, amelynek továbbfejlesztett változata található a CLAIR-modellben (Clevers és Verhoef, 1993). Huete (1988) a talajjal korrigált vegetációs indexben (Soil Adjusted Vegetation Index, SAVI) egy korrekciós faktort (0-1) alkalmazott, hogy minimalizálja a talaj fényvisszaveréséből eredő varianciát, amit később eredményesen alkalmaztak nagy területek növényállományának vizsgálatára AVHRR felvételeknél (Huete és Tucker, 1991).

A SAVI továbbfejlesztett változata a *transzformált SAVI* (*Transformed Soil Adjusted Vegetation Index*, TSAVI) (Baret et al., 1989), ahol a talajspektrum mellett a megvilágítási viszonyokat is bevonják a változókba. A TSAVI indexszámítások több információt szolgáltattak, mint a többi talajspektrummal módosított index (Qi et al., 1994; Huete, 1988). A légköri aeroszolok okozta hatásások csökkentésére Kaufman és Tarné (1992) MODIS felvételeknél alkalmazta a *Légkörrel Korrigált Vegetációs Index*et (*Atmospherically Resistant Vegetation Index*, ARVI), és a talajspektrummal korrigált változatát, a *Talajjal és Légkörrel Korrigált Vegetációs Index*et (*Soil and Atmospherically Resistant Vegetation Index*, SARVI). A *Módosított Normalizált Vegetációs Index* (Modified Normalized Difference Vegetation Index, MNDVI) tovább

csökkenti az atmoszféra, valamint a talaj zavaró hatását azáltal, hogy talajkorrekciós, valamint a légköri ellenállási elméleteket egy visszacsatolás alapú egyenletben egyesít (Liu és Huete, 1995).

Regionális evapotranspiráció számításhoz, felszíni hőmérséklettel módosított NDVI-t alkalmazott Lambin és Ehrlich (1995) amelyet **vegetációs indexszám és földfelszín hőmérséklet** indexnek (*vegetation indices and surface temperature*) neveztek. Thenkabail et al. (1999) a derivált indexek használatánál kisebb szignifikanciát tapasztaltak, szántóföldi növények biofizikai tulajdonságait vizsgálva, mint az általuk alkalmazott keskeny sáv és a legtöbb széles sáv index esetében.

A talajspektrummal módosított vegetációs indexek használata és ezek számos módosítása a talajadottságból eredő hatások "beállításával" tovább javíthatja ezeknek az indexeknek a megbízhatósága (Qi et al., 1994). A szakirodalomban használt talaj hatását is figyelembe vevő, talajspektrummal módosított indexek addig a pontig eredményeztek pontosabb eredményeket, míg más biofizikai tényezők (pl. termés, szár, a levél különböző árnyalatai) hatása nem érvényesül a növények fejlődésében. A talajspektrummal módosított vegetációs indexek alkalmazása olyankor indokolt, amikor a mezőgazdasági terményeket eltérő tulajdonságú talajokon vizsgáljuk (Lawrence és Ripple, 1998).

Az egyes vegetációs indexek alkalmazása mellett elterjedt a spektrális sávok kombinációjából képzett *vörös-él pozíció* (*red-edge position*) módszere az olyan biofizikai változók meghatározásában, mint a növényi stressz (Blackburn, 2002), és a növények nitrogén tartalma (Zhao et al., 2005). Az eljárás lényege, hogy a hiperspektrális görbén mérhető vörös és közeli infra tartomány közötti (690- 750 nm) szakaszban (Filella és Peñuelas, 1994) található inflexiós pont helyzetéből következtethetünk a növények egyes fiziológiai állapotára (pl. klorofil tartalom, növényi biomassza). A számításhoz többféle módszert találhatunk a szakirodalomban. Guyot et al. (1989) a 670 nm és 740 nm közötti szakasz inflexiós pontját, négy csatorna reflektancia értékéből lineáris interpolációval határozták meg. A hiperspektrális felvételek elemzésénél az első és második derivált értékekből számított infexiós pont meghatározása bizonyult eredményes eljárásnak (Filella és Peñuelas, 1994, Smith et al., 2004). A vörös-él pozícióhoz hasonló a *klorofil abszorciós terület (Chlorophyll*

Absortions Integral- CAI) meghatározása Laudien et al.(2003) a vörös minimum és a közeli infra valamint a zöld csúcs által közrezárt terület számításával becsülik a klorofil tartalmat.

2.3.3 Képelemzési eljárások

A képelemzési eljárásokat alapvetően két nagy csoportra oszthatjuk: vizuális interpretáció és az automatizált osztályozási technikák. Mivel az értekezésben az automatizált technikák a meghatározóak, ezeket ismertetem nagyobb terjedelemben.

A *vizuális interpretáció* a legrégebben alkalmazott képelemzési technika. A képen található különböző objektumokat kontraszt, szín, textúra alapján szemmel osztályozzák. A különböző műveletek szubjektívek és élőmunka-igényesek. A képeket interpretátorok dolgozzák fel, akik munkáját segítik a különböző előfeldolgozással (*2.3.1 fejezet*) előkészített felvételek, illetve a multispektrális felvételből előállított különböző kompozitok. A módszert a légifényképezéssel készített és a digitális űrfelvételek feldolgozásánál egyaránt alkalmazzák, mint pl. a FÖMI által koordinált hazai Corine Land Cover (CLC-50) programban.

Az *automatizált technikák* széleskörű elterjedését elősegítette a számítástechnikai eszközök fejlődése, és az egyes algoritmusok megjelenése a képfeldolgozó szoftverekben. Számos tanulmányban részletesen olvashatunk az egyes képelemzési eljárásokban alkalmazott algoritmusokról és az alkalmazás lehetőségeiről (Sabins, 1999; Tso és Mather, 2001; Atkinson, 2004).

Az automatizált technikákat két nagyobb csoportba sorolhatjuk az alapján, hogy paraméteres osztályozás és nem paraméteres osztályozást folytatunk (Thomas et al., 1987). A paraméteres osztályozásnál a kevés csatornát tartalmazó multispektrális felvételek (pl. SPOT, LANDSAT) esetében statisztikai vizsgálattal, hisztogram elemzésen alapuló gyakorisági és szóródási diagrammok vizsgálatával, majd a különböző paraméterű normális eloszlási sűrűségfüggvény meghatározásával végzik a képek elemzését.

Az osztályozás típusait, az alapján hogy pixel alapján végezzük az osztályozása *pixel alapú* (*pixel-based classification*) vagy más néven *szigorú osztályozási* (*hard classification*) módszereket, illetve a szomszédos pixelek tulajdonságait is figyelembe vevő alapján *rugalmas osztályozási* (*soft classification*) módszereket különíthetünk el.

Ha a pixelek a vizsgált paraméterek közül több mint egy osztály spektrális tulajdonságát is tartalmazzák a pixeleket un. kevert pixelnek (mixed-pixel) nevezzük. A kis felbontású űrfelvételeknél gyakori az ilyen típusú probléma (pl. AVHRR), ilyenkor gyakran alkalmaznak, un. pixelen-belüli osztályozási módszereket (sub-pixel). Ha a vizsgált pixelek több tulajdonság információját keverten tartalmazzák (kevert pixelek), akkor nem lehet biztonsággal egy-egy tematikus osztályba besorolni azokat. Ebben az esetben különböző *rugalmas osztályozási* (*soft classification*) módszereket alkalmaznak, mint a fuzzy logikán (Zadeh et al., 1975) alapuló klaszterezés (fuzzy c-means) módszerét (Bezdek et al., 1984; Benz et al., 2004).

A multispektrális felvételek földhasználat elemzésénél a képosztályozásban gyakori a *pixel alapú (pixel-based classification)* vagy más néven *szigorú osztályozási módszerek* (*hard classification*) alkalmazása. Ha megfelelően nagy térbeli felbontású felvételt alkalmazunk, akkor könnyebb pixeleket besorolni egy-egy osztályba. Ebben az esetben gyakoribb problémát, a tematikus osztályok küszöbértékeinek helyes megválasztása jelentheti (Atkinson et al., 1997). A pixel alapú osztályozás fő problémája, hogy a pixel értékének kialakításában a szomszédos pixelek is szerepet játszanak. További problémát jelenthet, ha a szenzor érzékenységéből, atmoszférikus hatások és a szomszédos pixelek zavaró hatása miatt a különböző objektumok azonos, de a vizsgálat szempontjából hibás spektrális információt adnak (Blaschke et al., 2000).

alapú А pixel képelemzésben használatos osztályozási eljárásokat tovább csoportosíthatjuk ellenőrzött osztálybasorolásra és ellenőrizetlen osztálybasorolásra (Foody, 2002). Az ellenőrzött osztálybasorolás (supervised classification) alkalmával az osztályozandó területről előzetes információval rendelkezünk, amely az adott osztályokra jellemző paramétereket tartalmazza (tanítóterületek). Egy-egy objektumtípus akkor osztályozható viszonylag egyértelműen, ha a hisztogramban az egyes osztályokhoz tartozó szürkeségi értékek olyanmódon válnak külön, hogy az egyes

30

hisztogram részekre különböző paraméterű normális eloszlási sűrűségfüggvény illeszthető és e görbék összege jól közelíti az eredeti hisztogramot. (Sárközy, 1991).

Az ellenőrzött osztálybasorolás módszereit az alkalmazott algoritmusok alapján csoportosíthatjuk. A szakirodalomban eredményesen alkalmazott módszerek a **legnagyobb valószínűség osztályozás** (*maximum likelihood*, ML) (Molenaar, 1993), **legközelebbi középpontú osztályozás** (*minimum distance to mean classifier*), **"tégla"** vagy **"boksz" osztályozás** (*parallelepiped classifier*), **legközelebbi szomszéd osztályozás** (*nearest neighbour*, k-NN), (Dudani, 1976; Macleod et al. 1987). Carpenter et al. (1999) **neurális hálózat** (*neural network*) alkalmazásával végeztek vegetációtérképezést. Az alkalmazott módszer (ARTMAP) a hagyományos osztályozási folyamathoz képest kevesebb terepi munkával is hasonló eredményt ad, egyszerűbb és gyorsabb. Barsi (1997) a neurális hálózat és a fuzzy logika kombinációjával felépített osztályozási módszert alkalmazva pontosabb eredményt ért el, mint a hagyományos osztályozási módszerekkel.

Platt és Goetz (2004) város melletti külterületek ellenőrzött osztályozására AVIRIS és LANDSAT ETM+ felvételeket alkalmaztak és mindkét felvétel esetében a maximum likelihood módszert találták a legmegbízhatóbbnak. A vizsgált 8 osztályból 5 esetben megbízhatóbb eredményt mutatott a hiperspektrális felvétel, azonban 3 típusnál (víz, ugar és legelő) a LANDSAT ETM+ felvétel esetében tapasztaltak megbízhatóbb eredményt. A szerzők az eltéréseket azzal magyarázzák, hogy a hiperspektrális felvételek a növényzettel borított és beépített felületeknél mutatnak nagyobb spektrális eltérést, a homogén nem beépített és kisebb vegetációs különbségeket mutató területek esetében nem mutattak olyan jelentős spektrális különbséget.

Lewis et al (1999) azt tapasztalták, hogy a **legközelebbi szomszéd módszer**rel (*k-nearest neighbour*, k-NN) osztályozott felvételek pontossága hasonló, vagy több esetben jobb, mint a *neural network* tanító algoritmust alkalmazva vagy a legnagyobb valószínűség osztályozás (ML) esetében. Atkinson (2004) a legközelebbi szomszéd (k-NN) osztályozást térbeli súlyozással kiegészítve alkalmazta. A mintaterületen alkalmazott eljárás kis mértékben, mindössze 3%-al tudta javítani a nem súlyozott k-NN osztályozáshoz képest a pontosságot.

Ellenőrizetlen osztálybasorolás (unsupervised classification) esetében a csoportosítás során a számítógép a képpontokat az előre meghatározott osztályszám alapján rendezi a hasonló spektrális tulajdonságoknak megfelelően. A képfeldolgozó programok rendelkeznek olyan automatizált eljárással, amely háttérinformáció nélkül képeznek csoportokat. A csatornák kombinációval a megadott csoportszámnak megfelelően osztályozzák a távérzékelt felvételt. A művelet eredményeként a leginkább eltérő reflektanciájú területek szétválogatása történik, amely tájékoztató jellegű lehet, ha semmilyen információval nem rendelkezünk a területről, sőt bizonyos esetekben jobb eredményeket ad, mint az irányított osztálybasorolás. A csoportosítást az előre megadott csoportszámnak megfelelően végzi el a program. A létrejött csoportokat a felhasználó tovább osztályozhatja. A gyakorlatban a gyakrabban alkalmazott módszerek az ISODATA és a klaszter-középpont (K-means). Az ISODATA módszer (Iterative Self-Organizing Data Analysis Technique) algoritmus (Tou és Gonzalez, 1974) egyszerű spektrális távolságon alapuló döntési szabályra épül, amely többször végrehajtja az osztályozást, mindig az előző osztályozási folyamat eredményeit használva bemeneti adatként. Az osztályozás addig folyik, amíg az osztályátlag az adatstruktúrában az osztályok lehetséges középpontjába helyeződik. A klaszter-középpont módszer (Kmeans) olyan klaszterező eljárás, ahol a klaszter középpontját keresik meg és a pixeleket a legközelebbi klaszter-középponthoz sorolják. A távolságokat euklédeszi távolság alapján határozzák meg (Lillesand et al., 2004).

Az osztályozás pontosságának növelését érték el a térben súlyozott osztályozással (Atkinson, 2004). Az osztályozási eljárás során a tematikusan osztályozott kép a textúra alapján tovább csoportosítható, szegmentálható (Carr, 1996). Meinel és Neubert (2004) nagy felbontású IKONOS felvételen tesztelték a különböző szegmentációs eljárásokat alkalmazó programokat.

A *képszegmentáció* során a vizsgált felvételen található homogén, térben összefüggő pixeleket, amelyek a szomszédaitól jól elkülöníthető, térben lehatároljuk. Hagyományosan a hierarhikus adatstruktúrák és objektum-felismerés alkalmazása terjedt el. Bár az eljárás széles körben ismert, és a leghatékonyabb módszer a közvetlen adatnyerésre, azonban a speciális alkalmazások használata még korlátozott (Devereux et al., 2004). A szegmentációs módszereknél megkülönböztethetünk régió- és a kontúr

alapú szegmentációt, amelyeket pankromatikus- és multispektrális felvételeknél alkalmazzák.

A GIS módszerek elterjedése, és az erőforrások gyors növekedése lehetővé tette az objektum alapú adatelemzési módszerek elterjedését (Geneletti és Gorte, 2003). Az objektum-alapú képelemzési módszerben kulcsszerepet játszó képszegmentációs eljárások azonban kevésbé terjedtek el az egyes térinformatikai szoftverekben, mint azt elvárhatnánk. További előnye a képszegmentációnak a képosztályozási módszerekkel való integrált használata (Kristóf, 2005). Számos tanulmány foglalkozik a képszegmentáció gyakorlati felhasználási lehetőségeivel a parcella azonosítás és monitoringban (Pekkarinen, 2002), a talajnedvesség meghatározásban (Bosworth et al., 2003), és a trópusi esőerdők fajösszetételének vizsgálatában (Hill, 1999).

A *textúra elemzés (Texture)* során a képpontok szürkeségi értékeinek térbeli varianciáját vizsgáljuk, ami alapján a képpontok frekvenciájának változását adhatjuk meg. A térbeli frekvenciák vizsgálatában a gyakran alkalmazott módszer a Fourier-transzformáció és a mozgóablakos képszűrés. A Fourier-transzformáció során a pixelekből álló sorokból képzett f(x) egydimenziós függvény megfeleltethető valamilyen szinusz- és koszinusz komponensekből álló Fourier-sornak (Sárközy, 1991).

Hiperspektrális elemzések

A hiperspektrális felvételek elemezése során spektrálisan definiálható tulajdonságok keresésére gyakran alkalmazott eljárása a Kruse et al. (1993) által kidolgozott *spektrális szögek módszere* (*Spectral Angle Mapping*, SAM), ahol az eredeti és a célpixel vektorok által bezárt szög adja meg a spektrális szöget. Az eljárás során a multispekrális elemzésben is széles körben alkalmazott spektrális tengelyszögek térképezési (*Spectral Angle Mapping*, SAM) módszerét fejlesztették tovább. A spektrális szög kevésbé érzékeny a pixelek fényértékének változására, mert az intenzitás növekedése vagy csökkenése nem változtatja a vektorok irányultságát csak azok nagyságát (Shippert, 1995).

A sávok közötti kapcsolat jellemzésére szolgálnak a kovariancia és a korrelációs mátrixok. A kovariancia két sáv között a következőképp írható fel:

$$\operatorname{cov}(i,j) = \frac{1}{(R-1) \cdot (C-1)} \sum_{y=1}^{R} \sum_{x=1}^{C} (P_{ixy} - m_i) \cdot (P_{jxy} - m_j)$$

ahol: R,C : a kép sorainak és oszlopainak száma
P_{ixy} : a kép i-dik sávjának, xy pozíciójú pixelének intenzitásértéke
m_i, m_i : az i, illetve j-dik képsáv intenzitás értékeinek átlaga

A korreláció a kovariancia ismeretében számítható:

$$\operatorname{cor}(i,j) = \frac{\operatorname{cov}(i,j)}{s_i \cdot s_j}$$

,értéke -1...+1 között van

ahol: si,sj : az i, illetve j-dik képsáv intenzitás értékeinek szórása

A kovariancia és a korrelációs mátrix a főátlóra szimmetrikus. A korrelációs mátrix értékei az egyes sávok közötti lineáris kapcsolat szorosságára utalnak. A korrelációs mátrix alapján eldönthetjük, hogy mely sávokat rendeljük hozzá a színkomponensekhez a legnagyobb képi információ megjelenítése érdekében. A vizsgálat szempontjából az un. végálló (*endmember*) pixelek lehatárolása a fontos, hiszen ezeknél az autokorreláció valószínűsége a legkisebb. Így ezek nagy valószínűséggel "tisztán" tartalmazzák azokat a spektrális információkat amely az adott pontban és vizsgálati csatornákban az objektumot jellemzi. A dimenziók folyamatos elforgatásával interaktív módon lehet a végálló pixeleket az adott objektumosztályt jellemző minta fájlokba (*signature file*) vonni. Természetesen párhuzamosan nem csak a spektrális térben, de a földrajzi térben is folyamatosan ellenőrizhetjük a végálló pixelre jellemző objektumokat. A módszer részletes leírását Harsanyi és Chang (1994) adta meg. A módszer elsősorban az olyan irányított keresésre alkalmazzák, amikor egy-egy tulajdonság felismerése a cél, amennyiben a teljes területet szeretnénk osztályozni a hagyományos osztályozási technikák (mint pl. az ML) adnak pontosabb eredményt (Lumme, 2004).

A spektrális elemzések során gyakran használnak a *spektrális könyvtárakban* gyűjtött adatokat. A spektrális könyvtárak reflektancia spektrumok gyűjteményei, amiket ismert összetételű anyagból mértek, rendszerint a szabadban vagy laboratóriumban. Néhány referenciai adatokat tartalmazó spektrális könyvtár nyilvánosan is rendelkezésre áll (Clark et al., 1993; Elvidge, 1990).

2.3.4. A képosztályozás eredményeinek értékelése

Rendkívül sok változó befolyásolja а távérzékelt felvételek osztályozási módszerekeinek megbízhatóságát. A felvétel készítésének külső változói (pl. atmoszférikus zaj, látószög, stb.) a nem helyesen kiválasztott tanítóterület, a nem megfelelő tematikus kategóriák kiválasztása, helytelen generalizálás, stb. (Congalton, 1991). A távérzékelelt felvételek elemzéséről szóló korai tanulmányokban az eredmények mellett az osztályozás pontosságának megállapítása csak háttéradatként szolgált (Congalton és Green, 1993). A különböző adattípusok (geometriai felbontás, spektrális különbségek, eltérő tanítóterületek, stb.) alapján készített földhasználati térképek és ezek összehasonlítása/értékelése az egyik leggyakoribb adatértékelési hiba (Congalton, 1991).

Congalton és Green (1993) négy fő eljárást ír le az osztályozott terület pontosságának becslésében, az alábbi megállapításokkal:

- Az osztályozott terület és a valós adatok vizuális értékelése (igaz-hamis), amely gyakran szubjektív hibával terhelt
- Az osztályozott kép és a valós adatok mennyiségi összehasonlítása (km², %, stb.). Az előbbi eljárásnál objektívebb, azonban a kapott eredmények, még ha arányaiban helyesek, térben nem biztos, hogy megegyeznek a valós adatokkal.
- Az osztályozott területen a térbeli egyezőséget is elemzi (helyspecifikus elemzés). Megvizsgálja, hogy az osztályozással létrehozott kategóriák térben mennyire térnek el a valós adatoktól (*overall accuracy*).
- Az osztályozott terület és a valós adatoknál az összes osztály összehasonlítása, hibamátrix készítésével (error matrix, confusion matrix).

Az osztályozás pontosságának értékelése esetében különböző felhasználói igények és különböző adatforrások használata miatt szinte lehetetlen egyetlen olyan módszert kidolgozni, amely minden felhasználó igényét egyformán kielégíti (Lark, 1995; Brown et al., 1999). A hibamátrix a leggyakrabban alkalmazott hiba-értékelési eljárás, aminek előnye, hogy az egyes osztályok közötti kapcsolatokra is rámutat (Hay, 1988; Yuan, 1997). A hibamátrix átlós értékei mutatják azokat a pixel-értékeket, ahol helyes volt az osztályba sorolás. Szintén osztályonként értékelhettük a két fő osztályba sorolási hibát:
a téves osztálybasorolás (*comission*) és a téves osztályból kihagyást (*omission*) és teljes hibát.

A *Kappa-indexet* a mért és az osztályozott képek értékelésére széles körben használják, ahol a főátló mentén található értékek a tényleges megfigyelési értékek (p_0) és a Kappa (κ) az alábbiak szerint számolható (Rosenfield és Fitzpatric-Lins, 1986).

$$r = \frac{(p_0 - p_c)}{(1 - p_c)}$$
 and $p_0 = \sum_{i=1}^{c} p_i$ és $p_c = \sum_{i=1}^{c} p_i p_i$

2.3.5 Változásvizsgálatok

Azonos területről készített idősoros távérzékelt felvételek összehasonlítása során, a képelemek között változásokat fedezhetünk fel az idő függvényében. A változások okai eredhetnek a földfelszín tulajdonságainak változásából és a mérés körülményeinek megváltozásából egyaránt. Ez utóbbi egyik leggyakoribb formája az atmoszférikus viszonyok változása, amely hatás azonban a megfelelő atmoszférikus korrekcióval kiküszöbölhető. A változásvizsgálatokkal foglalkozó módszereket Hall és Hay (2003) pixel-, alakzat és objektum szintekre és ezen belül különböző módszerekre csoportosította. A pixel szintű módszerek közül leggyakrabban a két különböző időpontba készített felvétel pixel-mátrixának különbségei (Gong et al., 1992), - aránya (Todd, 1977), - regressziója (Jha és Unni, 1994) alapján számítanak változásvizsgálatot. További pixel szintű módszerek a változásvektor (change vector analysis) vizsgálat, ahol megkapjuk a változás nagyságát és irányát (Allen és Kupfer, 2000). A tulajdonság (feature) szintű módszerek tér- és alakzatbeli változásokat vizsgálnak. Gyakori módszer a képi jelerősítés (2.3.2. fejezet) során már ismertetett főkomponens analízis (Singh és Harrison, 1985) és annak egy speciális alkalmazása a Collins és Woodcock (1996) által kifejlesztett Tasseld-Cap-transzformáció. Számos példát találhatunk a vegetációs indexeken alapuló változásvizsgálatokra, mint pl. az előfeldolgozás során számított NDVI (Coppin és Bauer, 1994, Lyon et al., 1998). A legmagasabb szinten az objektum szintű változásvizsgálat áll. Idősoros felvételeknél az utóklasszifikáció során kapott eredmények összehasonlításával végeztek változásvizsgálatokat földhasználat változásra (Gordon, 1980) és vizes élőhelyek (Jensen et al., 1995, Munyati, 2000) vizsgálatára. Az objektum alapú vizsgálatok esetében meg kell említeni a gyakorlati alkalmazásba egyre inkább beépülő mesterséges neurális háló (artificial neural

networks) (Chan et al., 2001) és különböző *"intelligens" rendszerek* (*expert system*) (Stefanov et al., 2001) használatát. Coppin et al. (2004) a változásvizsgálatok esetében az idősoros felvételek esetében észlelt változásokat a változás mértéke alapján hirtelen, nagy mértékű (pl. erdőtűz) és kis mértékű változással jelentkező folyamatok (pl. az éves szukcesszió) kategóriába csoportosította.

2.4 A távérzékelés gyakorlati alkalmazásai

2.4.1 Talajtani tulajdonságok vizsgálata

A környezetállapot értékelés során a távérzékelést csak korlátozottan lehet alkalmazni az egyes talajparaméterek meghatározására (McBratney et al., 2003; Lee et al., 1988), mivel számos környezeti faktor befolyásolja a reflektancia értéket.

Rossel és McBartney (1998) talajminták spektroszkópiás vizsgálatánál megállapították, hogy a módszer gyors, olcsó, ismételhető, a minták nem roncsolódnak, és néhány esetben még pontosabb eredményt szolgáltat, mint a hagyományos laboratóriumi eszközök. A spektroszkópiás vizsgálatokat eredményesen alkalmazzák a talajok víztartalmának (Slaughter et al., 2001) és más fizikai-kémiai paramétereinek meghatározásában. A különböző talajok laboratóriumi spektroszkópiás vizsgálatánál elsősorban a közép infravörös (MIR) és a közeli infra (NIR) tartomány vizsgálatával tudták becsülni az egyes talajtani paramétereket (Rossel et al., 2006). A talajspektrummal módosított vegetációs index és ennek számos módosítása (Huete, 1988; Qi et al., 1994), a talajadottságból eredő hatások "beállításával" tovább javítható/növelhető ezeknek az indexeknek a megbízhatósága.

A korszerű, nagy tér és radiometriai felbontású távérzékelő eszközök lehetővé teszik, hogy nagy területről nyerjünk adatokat a talajok fizikai és kémiai minőségi jellemzőiről (Stenberg et al., 1995; Dwivedi, 2001). A nagy felbontású multi- és hiperspektrális felvételek elemzésével készített talajtérképezésről megjelent tanulmányok (Ray et al., 2004), azoknál a talajparamétereknél mutattak szoros kapcsolatot, amelyeket korábban a laboratóriumi spektroszkópiás vizsgálatok is igazoltak. Bajcsy és Groves (2004) 471-828 nm tartományú hiperspektrális kamerával vizsgáltak vegetáció nélküli mintaterület elektromos vezetőképességének változását, ahol a vörös és a zöld csatornák esetében tapasztaltak szoros korrelációt a vezetőképességgel, amelyet a talaj vastartalmának

elektromágneses tulajdonságával magyaráztak. A hiperspektrális ábrázolást a geológusok gyakran alkalmazzák ásvány térképezésre (Clark et al., 2003) és a talaj tulajdonságainak, mint a nedvesség, szervesanyag-tartalom és sótartalom kimutatására (Ben-Dor, 1999).

A szikesedési folyamatok tér és időbeli vizsgálatának egy lehetséges eszköze a távérzékelt adatok elemzése. A szikes talajok spektrális vizsgálata során tapasztalható, hogy az eltérő ásványi jellemzők jelentősen befolyásolják a spektrális tulajdonságokat (Mulders 1987). A különböző szikesedési kategóriák sikeresen meghatározhatók fedetlen talajok esetében (Csillag et al., 1992; Zilinyi, 1995), illetve natív vegetációk esetében az indikátor társulások meghatározásával (Tóth, 2002; Pechmann et al., 2003). A szántóföldi művelésbe vont területeken gyakran találkozhatunk foltszerű, gyakran a másodlagos szikesedés hatására (elsősorban az öntözés) kialakult, káros sótartalmú talajfoltokkal, ahol kedvezőtlen a talaj művelhetősége és a talajadottságok miatt kialakult kisebb terméseredmény szintén jól meghatározható (Datta, 1998).

A precíziós mezőgazdaság egyre pontosabb talajtérképeket igényel, amelyek adatigényét a nagy mintaszám gyors és olcsó elemzésével valamint távérzékeléssel készített felvételek értékelésével elégíthetjük ki. (Thomasson et al., 2001; Tamás, 2001). A talajtérképezés rendkívül összetett és erőforrásigényű feladat, várható, hogy a klasszikus talajtérképezési módszereket felváltják a távérzékelt felvételek, digitális domborzati modellek és a tematikus térképek alkalmazásai (Dobos et al., 2000).

2.4.2 Vegetációelemzés, földhasználat-vizsgálat

A távérzékelt adatok feldolgozásával lehetőségünk nyílik a növényzet állapotáról kvalitatív és kvantitatív adatokat nyerni. A biomassza vizsgálatok egyik általánosan elterjedt módszere a közei infra és a vörös csatornák reflektancia értékeiből számított vegetációs indexek számítása, ezek közöl a Normalizált Vegetációs Index (NDVI) használata a legelterjedtebb (David et al., 1999). A vegetáció elemzésére elsősorban a növények szöveti sajátosságaiból eredő látható (VIS) 380-720 nm és a közeli infra (NIR) 720-1300 nm tartományok alkalmasak (Cracknell és Hayes, 1993). A látható tartomány nagyon érzékeny a klorofill veszteségre, a barnulásra, érésre és az öregedésre (Idso et al., 1980), a különböző karotionidok típusokra, valamint a talajadottságok hatásaira (Blackburn, 1998; Blackburn és Steel, 1999, Brakke et al., 1993; Tucker,

1977). Gaö és Goetz (1995) AVIRIS felvételek elemzésével vizsgálták a levelek biokémiai tulajdonságainak változását.

Az egyik legáltalánosabban vizsgálat biofizikai mutató a LAI, amelyet hagyományosan közvetlen és közvetett levélfelület méréssel határoznak meg. A terepi levélfelület mérésére a lenyomatos, számításos, tömegmérésen alapuló, és planimetriás módszereket alkalmazzák a leggyakrabban (Ross, 1981). A távérzékelt felvételek elemzése során az NDVI a legáltalánosabb módszer a LAI becsléséhez (Cohen et al., 2003a). Az elmúlt három évtizedben a multispektrális felvételekből számított növényi indexeket, széles körben alkalmazták elsősorban olyan számításokhoz, mint a termésváltozók: a nedves biomassza (WBM), levélfelület index (LAI), szármagasság, terméshozam (Tucker, 1979; Wiegand et al., 1992). A levélfelület vizsgálata során Turner et al. (1999) a LANDSAT-5 műholdak felvételeiből számított növényi indexeket (NDVI, SR, SAVI), amelyeket különböző vegetáció típusok LAI értékeivel hasonlított össze. A mezőgazdasági területek levélfelület vizsgálatához jól alkalmazható az NDVI, azonban a nagy LAI értékű (LAI>5) területeknél (Clevers és Verhoef, 1993), és az erdőterületek vizsgálata esetében már alacsony szintű NDVI-LAI regressziót találhatunk a szakirodalomban (Lee et al., 2004; Cohen és Goward, 2004; Brown et al., 2000). Idősoros, kis felbontású űrfelvételek vizsgálatával Csornai (2001) mezőgazdasági növények termésbecslését végezte el. A felszín reflektancia viszonyaival foglalkozó szakirodalomban számos vegetációs indexet találhatunk, amelynek rövid áttekintése a 2.3.2. fejezetben található. Gilabert et al. (1996) szántóföldi növényeknél terepi spektrofotométerrel végzett mérések adataiból számított széles sávú növényi indexek megbízható eredményt adtak a növényfelület és a biomassza meghatározásra, azonban az NDVI és a LAI között exponenciális, míg a vörös-él pozíció és a biomassza között logaritmikus görbe illesztés adat a legjobb becslést. A különböző növényi indexek és a LAI közötti korrelációt a növény felülete mellett, azonban nagyban befolyásolja a levelekben található pigmentek típusa, a levél belső struktúrája, a levelek elhelyezkedése (Baret és Guyot, 1991; Williams, 1991; Yoder és Waring, 1994). Erdőterületeket vizsgálata esetében tovább nehezíti a méréseket, a különböző fajú és fejlettségű fafajok és a fák térbeli egyenlőtlensége (Guyot et al., 1989; Cohen et al., 1990; Leblon et al., 1996). А LAI meghatározásra leggyakrabban а reflektanciaértékekből számított regressziós modelleket alkalmazzák (Chen, 1996; Chen és Cihlar, 1996, Chen et al., 1997; Fassnacht et al., 1997; Gower et al., 1999; Turner et al., 1999, Lee et al., 2004).

A különböző radiometria és spektrális felbontású távérzékelt felvételek eltérő megbízhatósággal alkalmazhatóak a biofizikai paraméterek vizsgálatában. A széles sávú kis és közepes radiometriai és geometriai felbontású felvételek mellett megjelentek a nagyobb információtartalmú hiperspektrális felvételek. Számos tanulmány javasolja a nagyobb felbontású hiperspektrális felvételek fejlesztését és alkalmazását a növények biofizikai és biokémiai tulajdonságainak vizsgálatára (Asner és Heidebrecht, 2002; Wessman et al., 1988), valamint különböző fafajok (Martin et al., 1998) és növénytársulások meghatározására. Lee et al. (2004) szerint a kutatások többségének problémája, hogy egy biomtípust vizsgáltak és ezeket az eredményeket nehéz alkalmazni más ökológiai rendszerben.

Green et al. (1988) az AVIRIS felvétel két előnyét hangsúlyozták a LANDSAT ETM+al szemben a levélfelület meghatározása során: a LAI csak szűk spektrális régiók reflektancia értékeivel van szoros kapcsolatban, illetve magasabb a radiometriai felbontás (12bit). Lee et al. (2004) AVIRIS felvételek reflektancia értékeit, és AVIRISból számítottak széles csatornákat (LANDSAT ETM+ és MODIS sávkiosztás) hasonlítottak össze terepen mért LAI-val. A megfelelő adatfeldolgozással a keskeny sávú hiperspektrális felvételek nagyságrendekkel jobb eredményeket adtak, mint a széles sávú multispektrális felvételek, továbbá az NDVI index csak a mezőgazdasági területeken adott megbízható eredményt a LAI becslése során. A szerzők kiemelték az AVIRIS felvételek alkalmazásának további előnyeként a SWIR tartomány keskeny sávú csatornáinak szerepét a LAI meghatározásában. A növényzettel foglalkozó tudósok sikeresen alkalmazták a hiperspektrális ábrázolást a vegetáció fajainak azonosítására (Clark et al., 1997), növényi stressz kimutatására (Smith et al., 2004). A fent említett tanulmányokban a mennyiségi információnyerés típusai rendszerint a hiperspektrális ábrázolás pontos előfeldolgozását és pontos kiegészítő adatok gyűjtését igénylik.

Gyomkutatási célból különböző hazai mintaterületeken hiperspektrális méréseket végeztek Kardeván et al. (2004) új generációs kézi hiperspektrális szenzorral a parlagfű (*Ambrosia artemisiifolia*) meghatározására. Thenkabail et al. (2000) földközeli hiperspektrális méréseket folytatott különböző mezőgazdasági növényeken. A reflektancia értékekből számított keskeny csatornájú reflektancia optimum (OMNBR),

keskeny csatornájú NDVI, és SAVI indexxel hasonlították össze a minták biomassza tömegét, szármagasságát, levélfelületét és termését. A szerzők a biofizikai tulajdonságok értékelésre optimális értékelésére egy 12 keskeny csatornás érzékelő berendezést ajánlanak a 350 nm-től a 1050 nm-es tartományban.

A különböző növények távérzékelésen alapuló vizsgálatához elengedhetetlen az egyes fenológiai fázisok időtartalmának az ismerete. Szász (1988) az egyes fenológiai modellek összehasonlítása során megállapította, hogy a hőmérséklet rendkívül fontos szabályozófaktor a növények fejlődésében, de ennek a súlya növényenként és a fejlődés különböző szakaszaiban eltérő.

A faj vagy társulás szintű vizsgálatok mellett, a távérzékelés egyik legfontosabb felhasználási területe a földhasználat vizsgálata. A földhasználat változásának ismerete ökológiai és ökonómiai okokból is nagy jelentőséggel bír (Janssen et al., 1994). A parcella alapú vizsgálatok hozzásegítenek a tájökológiai elemzések tér és időbeli vizsgálatához, lehetővé téve a különböző régiók közötti ökológia zöldfolyosók meghatározását (Devereux at al., 2004). A globális klimatikus és ökológiai folyamatok jól indikálhatók a földborítás változásának nyomon követésével, amelynek korszerű és pontos eszköze a távérzékelés (DeFries és Townshed, 1994; Estes és Mooneyah, 1994). Számos tanulmányt találhatunk, amely az űrfelvételek megbízhatóságát vizsgálja a földhasználat értékelés és a biomassza mennyiségének meghatározására. Cohen et al. (2003b) észak-amerikai területeken vizsgálták a földhasználati kategóriák osztályozását és a levélfelület vizsgálatot. LANDSAT ETM+ és MODIS felvéteket dolgoztak fel és hasonlították össze terepi méréseikkel. Eredményeik bizonyították a jobb geometriai felbontású LANDSAT ETM+ előnyeit a földhasználat osztályozásánál, azonban a MODIS felvételek egyes biomok csoportosítása és a levélfelület változás vizsgálatában igen hatékony eszköznek bizonyultak, különös tekintettel a mezőgazdasági területek vizsgálata esetében.

Megállapítható, hogy a keskeny csatornákat tartalmazó hiperspektrális felvételek a megfelelő képfeldolgozási technikával a széles sávú multispektrális felvételekhez képest további értékes információkat biztosítanak a mezőgazdasági termények különböző biofizikai jellemzőinek kvalitatív és kvantitatív meghatározásához.

2.4.3 Távérzékelés alkalmazása a vízgazdálkodásban

A csapadék szélsőséges mennyisége és eloszlása növekvő tendenciát mutat Magyarországon, melynek negatív hatása megmutatkozik a szántóföldi növények terméseredményeiben (Varga-Haszonits és Varga, 2004). A széles körben használt robosztus pontszerű vízgazdálkodási modellek legfőbb hátránya az, hogy nem képesek megfelelő információkat szolgáltatni a gazdálkodók számára azokról a paraméterekről, amelyek dinamikusan változnak időben és farm szinten, így az integrált vízgazdálkodás több elemének szabályozása ütközik korlátokba (Kovar és Nachtnebel, 1996; Tamás, 2002).

A mezőgazdasági vízgazdálkodási tulajdonságok vizsgálatánál meg kell különböztetni olyan változókat, amelyeket közvetlenül és közvetett módon tudunk mérni távérzékeléssel.

A távérzékeléssel mérhető, vízgazdálkodási tulajdonságokat a reflektancia értékekből közvetlenül meghatározó változók:

- talaj vízgazdálkodási paraméterei: talajnedvesség (Coleman és Montgomery, 1987), belvíz-árvíz (Csekő, 2003), sótartalom (Tóth, 2002)
- domborzat (Kertész et al., 1997)
- felszíni hőmérséklet (Lucieer et al., 2000; Sobrino et al., 2006)
- növényi faj összetétel és LAI (Price és Bausch, 1995)

A közvetett módon mérhető tulajdonságok a fenti alkalmazások mellett egyéb mérésekből származó adatok integrálásával számítja az egyes paramétereket pl. az evapotranspiráció (Ray és Dadhwal, 2001; Mauser és Schadlich, 1998).

A különböző növények transzspirációja több, bonyolult növény fiziológiai tulajdonságtól függ, melyről számos szerző publikált (Petrasovits, 1988). Nicsiprovics (1961) a levéllemez hajlásszögének térbeli helyzete alapján 4 osztályba sorolta a növényfajokat, amelyek nagyban befolyásolják a reflektancia értéket is.

A növények vízháztartási tulajdonságai a növekedési időszak során jellemző szakaszokra osztható. A FAO Talaj- és Vízkezelési Osztályán kifejlesztett CROPWAT öntözés tervezési és kezelési program (Smith, 1992) az adott tábla klimatikus, talajtani és vízgazdálkodási tulajdonságait és adatait használja input paraméterekként, amelynek

egyik kritikus eleme a növényi együttható (Kc) meghatározása. A növényi együttható értéke 0,3 és 1,2 között van a termesztett növénytől függően, amelyet statikusan illesztenek a modellbe (Tamás, 2002). Nagy et al. (2006) cukorrépa állomány változásának vizsgálatát végezték el LANDSAT idősorból, ahol a számított és a becsült Kc értékek különbségét egyes időszakokban akár 200-300%-ra. Mivel az aktuális növényi vízigény a Kc aktuális értékétől jelentős mértékben függ, a hibaterjedés befolyásolja az egész modell megbízhatóságát, a modell érzékenységi elemzésére tekintettel.

A különböző felszínborítású területeket felszíni hőmérsékletváltozását vizsgálták DAIS 7915 felvétel feldolgozásával és a feldolgozott adatokat földközeli hiperspektrális méréssel (ASD FieldSpec), talaj és vegetáció adatokkal hasonlították össze. A kutatás során megállapították, hogy a felszín hőmérsékletváltozását elsősorban a helyi növényzet borítottsága határozza meg, így a látható és a közeli infra tartomány adatai is alkalmasak a közvetett hőmérsékletváltozás modellezésére. A DAIS felvétel hazai alkalmazása során Jung et al. (2005) városi klíma kutatása során alkalmazta a hiperspektrális adatokat. Sobrino et al. (2006) nagy felbontású AHS (Airborne Hyperspectral Scanner) fotométerrel készített hiperspektrális felvételek termális régióját (8-13 µm) alkalmazták a felszíni hőmérséklet vizsgálatára. A vizsgált felvételeken a (10,07-12,35 µm) tartomány mutatta a legnagyobb atmoszférikus transzmisszivitást és a legszorosabb korrelációt a felszíni hőmérsékletváltozással. Quattorchi and Luvall (1999) két fő okot említ, ahol a TIR adatok hozzájárulnak a földfelszín tulajdonságainak megismeréséhez: meghatározni a különböző felszínek biofizikai tulajdonságait, illetve a felszíni hőmérsékletet és az energia fluxust, amelyek a vízháztartási tulajdonságokat döntően befolyásolják.

Zhang és Wegehenkel (2006) 2001-2003 évek MODIS felvételeit alkalmazták a talaj víztartalmának és az evapotranspiráció modellezéséhez. Mauser és Schadlich (1998) evapotranspirációs modellek input paraméterének javasolták az idősoros LANDSAT műhold adatokat LAI meghatározásához. Fensholt és Sandholt (2003) a biofizikai változók vizsgálatához alkalmaztak MODIS felvételekből számított rövidhullám infravörös vízstressz indexet (*shortwave infrared water stress index*, SIWSI).

3. ANYAG ÉS MÓDSZER

3.1 A vizsgálati területek bemutatása

A vizsgálataink alkalmával különböző méretű és földrajzi elhelyezkedésű mintaterületen folytattuk vizsgálatainkat. A vizsgálatok túlnyomó többségét a tedeji puszta-területen (1500ha) és a Szolnok-Túri-sík mintaterületen (~100000 ha) végeztük, amelyek bemutatására részletesen kitérek. A harmadik kategóriába az egyéb mintaterületek tartoznak, ahol elsősorban kézi multispektrális kamerával mértünk különböző növényborítású területeken.

A tedeji Puszta-terület bemutatása

A mintaterület a Hajdúsági löszháton fekszik, azonban a nyugati határán található Hortobágy is érezteti hatását, amelyet a szikes pusztáira jellemző szoloncsák -szolonyec típusú talajok és szikes gyepek jelenléte igazol. Az éghajlat jellemzően száraz kontinentális, 9,9 °C éves átlaghőmérséklet és 580 mm évi csapadékátlag a jellemző (Marosi és Somogyi, 1990).

A Hajdúböszörmény mellett fekvő Tedej Rt. tulajdonában lévő 1500ha-os Puszta területről, rendelkezésre álltak a táblatörzskönyv adatok, nagy felbontású digitális talajtérkép, digitális terepmodell és a 2000-ben készített légifotók.

A táblatörzskönyv adatai és a terepbejárás alapján a felvétel készítésének időpontjában 43 fizikai blokkot különítettünk el a mintaterületen, amelyet 6 csoportba soroltunk: szántás, tarló (gabona-és lucerna), lucerna, kukorica, cukorrépa, gyep (*3. ábra*). A pontos lehatárolásra azért volt szükség, hogy az aktuális állapotot mutassuk be és a szegélyek, csatornák, műtárgyak, stb. spektrális zavaró hatását csökkentsük.



3. ábra A tedeji Puszta-terület a parcella kiosztással és a mintaterületekkel(1. P5 vizsgálati terület, 2. P8 vizsgálati terület, 3. cerkospóra vizsgálati terület)

További 2 vizsgálati területet jelöltünk ki a mintaterületen, az egyiket a P5-ös táblán, ahol egy 200×150 m-es területről készítettünk alacsony repülési magasságból felvételeket, a másikat a P8-as tábla DK-i területén elhelyezkedő nagyparcellás lombvédelmi kísérlet helyszínéül szolgáló területen, ahol 13 azonos méretű 12×50 m-es parcellán folytattak nagyparcellás lombvédelmi kezeléseket.

Szolnok-Túri-sík mintaterület

A mintaterület a Jász-Nagykun-Szolnok megyei Növényegészségügyi és Talajvédelmi Szolgálat (NTSZ) működési területén belül Mezőtúr, Túrkeve, Örményes közigazgatási területeket, illetve kis mértékben Fegyvernek és Kétpó területeket érinti. A mintaterület kijelölését az NTSZ munkatársai által 2003-ban felmért fizikai blokkok alapján határoztuk meg (*4. ábra*).



4. ábra Szolnok-Túri-sík mintaterület a vizsgált parcellákkal

A mintaterület 80 és 105 m közötti tszf-i magasságú, löszszerű üledékkel fedett hordalékkúp síkság. Az Alföldre jellemző sík terület, ahol relief átlagos értéke kicsi (2m/km²). Éghajlata mérsékelten meleg-száraz. Évi csapadékátlag 510-540 mm, évi középhőmérséklet 10-10,4°C. Az ariditási index magas 1,30-1,40, az ország egyik legszárazabb területe. Kora tavasszal a kötött talajú, mélyebb fekvésű területeken gyakori a belvizek kialakulása. Átlagos talajvíz mélység a terület nagy részén 6 m alatt van. A talajok közül a réticsernozjomok jellemzőek, azonban a mélyben sós és szolonyeces változatok is előfordulhatnak (Marosi és Somogyi, 1990).

A Jász-Nagykun-Szolnok megyei Növényegészségügyi és Talajvédelmi Szolgálat munkatársai GPS készülékkel lehatárolták az egyes parcellákat, az ott termesztett növényfajok alapján. A vegetációs időszakban készített terepi felmérés hozzájárult ahhoz, hogy aktuális és pontos táblaméreteket kapjunk a 2003-as évben. A felmérés során a táblán belül található egyéb képződmények, mint pl. a nagyobb méretű belvízfoltok, fás-cserjés társulások, stb. nem kerültek lehatárolásra. A felmért táblák növényi kultúránként történő területi összesítése a *2. táblázat*ban található.

Kultúra	Azonosító	Felmért tábla (db)	Terület (ha)	Megoszlás (%)
Napraforgó	1	59	1905,23	19,19
Kukorica	2	64	2731,96	27,52
Borsó	3	10	359,95	3,63
Őszi búza	4	72	3295,12	33,20
Olajtök	5	1	24,18	0,24
Tavaszi árpa	6	8	423,11	4,26
Lucerna	7	10	401,63	4,05
Gyep	8	2	143,27	1,44
Mustár	9	3	41,12	0,41
Cukorrépa	10	4	279,78	2,82
Zöldbab	11	1	22,19	0,22
Triticale	12	1	17,89	0,18
Legelő	13	1	44,67	0,45
Repce	14	1	56,26	0,57
Rizs	15	4	123,23	1,24
Erdő	16	2	36,87	0,37
Őszi árpa	17	1	19,25	0,19
Összesen	X	244	9925.71	100.00

2. táblázat A mintaterületen felmért táblák az egyes növényi kultúrák szerint csoportosítva

Egyéb mintaterületek

Fajtakísérleti és növényvédelmi kísérletek mintaterületeinek borítottság vizsgálataihoz készítettünk különböző helyszíneken felvételeket, amelyek fontosabb paramétereit az alábbiakban ismertetjük.

A Debreceni Egyetem Agrártudományi Centrum *Látóképi Növénytermesztési Kísérleti Telep* területén 6 kukoricahibridnek vizsgáltuk a levélfelületét. A kísérleti telepen több különböző növénytermesztési tartamkísérletet folytatnak, ahonnan 5 különböző kisparcellás kísérletbe állított hibridet választottunk ki a vizsgálat céljára, amelynek részletes ismertetése a *4.1 fejezetben* található.

A Pannon Egyetem Georgikon karának a *keszthelyi mintaterületén* beállított növényvédelmi kísérleti parcelláin készítettünk felvételeket. A mintaterületen vizsgálják a gyomosodottság összetételét (borítás és fajösszetétel), különböző hatóanyagtartalmú NPK műtrágyával és szervestrágyával kezelik a kukorica- őszi búza- őszi árpa vetésforgóba beállított parcellákat. A kezelések és a gyomfelvételezés részletes leírását Lehoczky et al. (2006) publikálta. A kukorica mintaterületen a gyomfelvételezést a Balázs-Újvárosi féle módszerrel (Ujvárosi, 1973; Reisinger, 2001) végezték, amellyel párhuzamosan TETRACAM ADC multispektrális kézi kamerával készítettünk felvételeket.

További növényvédelmi célú vizsgálatot folytattunk a Földmérési és Távérzékelési Intézet (FÖMI) 2005. évi "pollen információs rendszer program" referenciaterületeinek felvételezése alkalmával az Észak-Alföldi Régióban kijelölt *újfehértói mintaterületen*. A részletes gyomfelvételezés céljára egy, a régióra jellemző átlagos parcellaméretű, 7 ha-os gyomos napraforgó táblát jelöltünk ki, ahol a savanyú homoktalajon a parlagfű (*Ambrosia artemisiifolia*) volt az uralkodó gyomfaj. A részletes gyomfelvételezést 2005.06.18. végeztük el. A vizsgált mintaterület mellett található 6ha-os táblán azonos fajtával, módszerrel és időpontban vetették el a napraforgót, azonban itt több alkalommal fizikai gyomirtást végeztek, és a gyomfelvételezés időpontjában (2005.06.18) maximum 5% gyomosodottság volt becsülhető, ezért ezt a területet a továbbiakban kontroll területként alkalmaztuk LANDSAT felvételek vizsgálatához.

3.2. A vizsgálatok során alkalmazott távérzékelt adatok

Vizsgálataink alkalmával különböző geometriai és spektrális felbontású adatokat alkalmaztunk a földközeli szélessávú, 3 csatornát (kék, vörös és közeli infra) tartalmazó multispektrális TETRACAM ADC digitális kamerával készített felvételeken keresztül a kis geometriai felbontású MODIS űrfelvételekig. A kutatási alapanyagul szolgáló űrfelvételek többségénél archív alapanyagot dolgoztunk fel, a felvétel készítésének pontos időpontjában ezért in situ mintavételre nem minden alkalommal volt lehetőség. Az általunk alkalmazott TERTACAM ADC multispektrális kamera esetében a felvételekkel egyidejűleg lehetőség nyílt a terepi mintavételek pontos tervezésére és kivitelezésére.

A *3. táblázat* azoknak az adatforrásoknak az alapadatait tartalmazza, amelyeket a dolgozatban alkalmaztunk. A MODIS esetében csak a kutatás során alkalmazott, 250m-es terepi felbontású csatornákat ismertetem.

Távérzékelt	Képméret	Terepi	Radio-	Csatornák-	Csatornák	felvétel
felvétel	(km)	felbontás	metriai	száma	(μm)	készítés
			felbontás			időpontja
MODIS	2330 (sáv- szélesség)	250m 500m 1000m	12bit	36	1. 0,62-0,67 ¹ 2. 0,84-0,87 ¹	2003.03.01- 2003.09.30 időszak (30 db)
LANDSAT 7 ETM+	170×183	MS: 30m TIR: 60m PAN: 15m	8bit	7+1 (PAN)	1. 0,45-0,515, 5. 1,55-1-75 2. 0,525-0,605, 6. 10,40-12,50 3. 0,63-0,69, 7. 2,08-2,35 4. 0,75-0,90	2002. 08. 19
SPOT 5	60×60	MS: 10m PAN: 5/2,5 m	8bit	4	1. 0,50-0,59 2. 0,61-0,68 3. 0,78-0,89 4. 1,58-1,75	2003. 05. 08. 2003. 08. 11.
DAIS - 7915	3,99×8,73 ²	5m ²	11bit	80	132.: 0,40-1,00 (Si) ⁴ 3340.: 1,50-1,80 (InSb) ⁴ 4172.: 2,00 – 2,50 (InSb) ⁴ 73.: 3,00-5,00 (InSb) ⁴ 7479.: 8,00-12,60 (MCT) ⁴	2002. 08. 19
TETRACAM ADC	0,42×0,50 ³	0,5m ³	8bit	3	1. 0,52-0,60 2. 0,62-0,75 3. 0,75-0,95	-

3. táblázat A kutatás során alkalmazott távérzékelt adatforrások rövid ismertetője

1: A 250m-es terepi felbontású csatornák

3: 300m-es repülési magasságnál

2: 2000m-es repülési magasságnál

49

4: DAIS szenzortípusok

3.2.1 Földközeli távérzékelés (TETRACAM ADC)

A kutatásunk során alkalmazott **TETRACAM ADC** szélessávú multispektrális digitális kamera (*5. ábra*) főbb technikai paraméterei:

- csatornák: zöld (520-600 nm), vörös (620-750 nm), közeli infra (750-950 nm)
- digitális felbontás: 1280×1020 pixel = 1,3 Megapixel (Motorola CMOS)
- optika: 8,5 mm gyújtótávolság; fényerő:1:1,3



5. ábra TETRACAM ADC kamera

A kamerában használt CMOS szenzor működését tekintve a széles körben elterjedt CCD (Charged Coupled Device) szenzorokhoz hasonlít, azonban alacsonyabb ára, kisebb energia igénye, alacsony zajszintje, a felvételek előnyös geometriai és radiometriai tulajdonságai miatt, egyre inkább teret nyer a digitális képalkotás technológiában (Samadzadegan et al., 2004). A kamerában használt Motorola szenzor fejlett technikával előállított képérzékelő, melyet integráltak egy dupla mintavételezésre képes, programozható erősítésű erősítővel (PGA) és egy analóg digitális konverterrel (ADC). A 6×6 mikrométeres pontméterrel rendelkező szenzor 10 képkocka/másodperc maximális sebesség mellett 3 LUX fényérzékenységű. Az eszköz magába foglal egy integrált színes Bayer RGB szűrőt és több mikrolencsét is, melyek maximális érzékenység mellett tökéletes képminőséget nyújtanak.

A kamera kalibrációját a helyszínen kell elvégezni. Egy fehér színű etalon lapról kell referencia felvételt készíteni, amelyet később a gép szoftvere a képek kalibrációhoz használ. A digitális kamerával készített felvételeket, a készülék szoftverével (Briv 32) TIFF formátumban tudjuk az adatokat letölteni. Sajnos az eszköz kalibrációs eljárása zárt, ezért már az etalonlap kalibrációs értékeivel kódolt felvételeket tudjuk letölteni. A felvételek feldolgozására Briv32, ENVI és ArcGIS térinformatikai szoftvereket használtunk.

Mivel a kamera torzítási viszonyairól sem a forgalmazó cégnél, sem a szakirodalomban nem találtunk adatokat, a felvételek 2D lineáris torzítási viszonyainak vizsgálatára egy 11×13 pontból álló (5cm x,y távolságú) alaphálót használtunk. Az alaphálóról készített felvétel szomszédos pontjai között távolságmérést alkalmaztunk. Megmértük az x, y és átlós irányú (c) távolságokat, majd összehasonlítottuk a valódi x, y, c (standard) távolságokkal

A legnagyobb eltéréseket a standard távolságtól $(x_{max} - x_s), (y_{max} - y_s), (c_{max} - c_s)$ a képszéleken mértük (4. táblázat).

eltérés	Δt_{max} (cm)	Δt_{max} (%)
$(x_{\max} - x_s)$	0,13	11,50
$(y_{\rm max} - y_s)$	0,09	7,96
$(c_{\max} - c_s)$	0,49	30,81

4.	táblázat A	torzítás	vizsgálatának	statisztikai	eredményei
----	------------	----------	---------------	--------------	------------

A széles látószögű kamerákra jellemző eltéréseket tapasztaltunk a kép szélső területein, ezért a felvételek értékelésénél szükséges a geometriai korrekció alkalmazása. A geometriai torzítás minimalizálása céljából a felvételeket a nadírhoz minél közelebbi pozícióból kell elkészíteni. A földközeli felvételek esetében mintavételi keretként egy szabályos négyszög alakú 1×1m-es keretet alkalmaztunk. Mivel a gyakorlatban a nagy számú minta elemzésénél a felvételek gyors értékelése van szükség, amelyet a digitális fényképező saját fejlesztésű szoftverével tudunk elvégezni, célszerű úgy elhelyezni a fényképezőt, hogy a mintavételi kereten belül minimális legyen a torzítás mértéke, amely mértékét maximum 5 %-ban határoztuk meg. A kamera látószögének és a kép általános torzítási viszonyaink ismerete alapján trigonometrikus függvény felhasználásával meghatároztuk azt a távolságot, ahol a felvételt kell készíteni nadír helyzetben, ha azt akarjuk, hogy a maximális torzítás 5 %-nál kisebb legyen.

 $h = y / tg \alpha$

h: kamera magassága a felszín felett (cm)

y: a felvétel szélessége y irányban (cm)

 α : kamera látószöge (38°)

Az 1×1 m-es mintavételi keret esetében a legkisebb magasság 1,96 m, ahol fényképező berendezést nadír helyzetben célszerű elhelyezni. A földközeli mintavételeknél a szabályos mintavételi keret sarokpontjainak a koordinátáinak megadásával, illetve a kép szabályos kivágásával lehet a geometriai torzítást javítani. A felvételeket lehetőség szerint állványról, nadír helyzetben, a felszínre merőlegesen kell készíteni.

A kamerát nem csak földközeli de alacsony repülési magasságból készített légi felvételezésre is alkalmaztuk. A légi felvételek elemzése esetében földi azonosító pontokat használtunk (*Ground Control Point*, GCP) a geometriai korrekció során. Referencia értéknek földi illesztőpontok EOV koordinátáit adtuk meg, amelyek x,y pozícióját 0,60 m terepi felbontású felbontású légifotó alapján határoztuk meg. Mivel a vizsgált parcellák sík területen találhatóak (maximális szintkülönbség kisebb, mint 3m), és kis kiterjedésűek, jelentős domborzati hatással nem kellett számolni. A földi azonosító pontok egyenlőtlen eloszlása miatt a transzformáció során másodfokú polinominális transzformációt alkalmaztunk. A tedeji Puszta területről több alkalommal is készítettünk alacsony repülési magasságból (300-500 m) sárkányrepülőről felvételeket, azonban a dolgozatban a 2004. május 17.-én a P5-ös vizsgálati területről készített felvétel elemzését végeztük el. A geometriai transzformáció után a légifelvétel átlagos RMSE értéke az illesztőpontokon mérve = 0,6 m (RMSE_{min} = 0,49 m, RMSE_{max} =1,41 m).

Radiometriai és statisztikai elemzésre a tedeji 200×150 m-es mintaterületről 300 m-es repülési magasságból 2004. május 17.-én készített légi felvételt alkalmaztuk. A felvétel egy olyan búzatábláról készült, ahol homogén állományt (azonos fajta, sortáv, ezermagtömeg, kezelés, stb.) termesztettek olyan területen, ahol a feltalajban kis területen is jelentősen változik a sótartalom. A képfeldolgozás során megvizsgáltuk a légi felvétel általános statisztikai paramétereit. A csatornák hisztogram elemzése során a

vörös csatornánál erőteljes asszimetriát figyeltünk meg, a hisztogram lefutása a minimumértékek irányába nem egyenletes (*5. ábra*).



5. ábra A vörös(1) zöld(2) és közeli infra(3) csatornák hisztogramjai

Valószínűleg a kamera kalibrációja során a referencia lapról készített felvétel okozta azt, hogy a minimum értékek érzékenysége nem volt egyforma a három különböző spektrumú csatorna esetében, amit már utólagos korrekcióval nem lehet javítani. A közeli infra tartomány erőteljes szórást mutat, ami értékes információt szolgáltat a változó levélfelületű növényállomány vizsgálatában. A korrelációs mátrix a csatornák közötti statisztikai kapcsolatot mutatja meg. Szoros pozitív kapcsolat van a felvétel reflektancia értékeinek közeli infra és zöld csatornái között. A vörös és közeli infra és a vörös és zöld csatornák között negatív korreláció mérhető, bár ez utóbbi mértéke nem jelentős (*5. táblázat*).

Csatornák	Min	Max	Átlag	Stdev				
1	25	218	141,02	29,47				
2	0	66	9,38	9,56				
3	7	103	63,16	11,36				
	Kovar	incia m	átrix		Korrelációs mátrix			
Csatornák	1		2	3	Csatornák	1	2	3
1	868.7	5 -15	9,40	270,98	1	1,00	-0,56	0,81
2	-159,4	10 91	,47	-27,95	2	-0,56	1,00	-0,26
3	270,9	8 -2	7,95	129,05	3	0,81	-0,26	1,00

5. táblázat A TETRACAM ADC kamerával készített légifelvétel statisztikai adatai.

közeli infra (1) vörös(2) és zöld(3) csatornák

A borítás vizsgálatára egy és kétszikű gyomnövénnyel végeztünk felvételeket. A mezei aszat (*Cirsium arvense*) egy alacsony szármagasságú kétszikű gyomnövény, amelynek levele a talaj felszíne felett szétterül. A vizsgált területről a felvétel készítése után a növényeket begyűjtöttük és síkágyas (ADC) szkennerrel digitalizáltuk a levélfelületet, így képfeldolgozó szoftver (ENVI 4.1) segítségével könnyen meg tudtuk határozni a pontos területet. A mért tényleges levélterület 2633 cm² volt, amely ha egyenletesen borítja a mintaterületet, akkor 26,33 %-os borítást jelent. Mivel a *Cirsium arvense* levéllemezei nem fedték egymást, a fotoszintézis szempontjából a legkedvezőbb helyzetben álltak, ezért nem kellett számolni a levelek takarásával. A nadírban mért és a tényleges borítás között mindössze 1,78 %-ot tapasztaltunk, amit a kis levélfelületű állomány levéllemezeinek ideális térbeli elhelyezkedése és a megfelelően elhelyezett kamerával készített felvétel okozott. (*6. táblázat*).

6. táblázat A TETRACAM ADC-ból számított borítás (%) változása a látószög változásával *Cirsium arvense* állományban

minta	C _i (%)	kamera helyzete a nadírtól (fok)	C _i -C _s	Eltérés (%)
1	26,8	0	0,47	1,78
2	27,4	9,2	1,07	4,06
3	28	18,4	1,67	6,34
4	29,6	27,4	3,27	12,42
5	31,2	36,3	4,87	18,49

 $C_i = A$ különböző szögállásban készített felvételekből számított borítás %-ban kifejezve $C_s = A$ tényleges borítás, ha nincs takarás a levéllemezek nem takarják egymást (26,33%)

A nadír helyzetből való eltérés esetében azonban nő a különbség a tényleges és a TETRACAM ADC-ból számított borítás között. A mintavételi keret szélénél 18,4°-os pozícióban már 6,34 % eltérést tapasztaltunk a valós borítási értékhez képest (*6. ábra*). A vizsgált állomány alacsony levélfelületű, mindössze 26,33 %-os borítású volt, azonban egy struktúráltabb, fejlettebb levélborítású állomány esetében a nadírtól való távolság növekedésével hatványozottan növekszik az eltérés (Clevers és Verhoef, 1993).



6. ábra A nadír(a.) és a 36,5 fok helyzetben (b.) elhelyett TETRACAM ADC kamerával készített felvételek hamisszínes felvételei (red: nir, green: red, blue:green)

További felvételeket végeztünk egyszikű kakaslábfűvel (*Echinochloa crus-galli*), amelyre a kis borítás mellett nagy szármagasság (20-30 cm) a jellemző. A levélfelület mérést a *Cirsium arvense* növényhez hasonlóan oldottuk meg, így 18,01 %-os levélfelületet mértünk. A felvételek elemzésénél a TETRACAM ADC kamerával a nadír helyzetben készült felvételnél a mért értéknél alacsonyabbat számítottunk (14,00 %), amely a nadír helyzettől távolodva sem változott (7. *táblázat*).

7. táblázat A TETRACAM ADC-ból számított borítás (%) változása a látószög változásával *Echinochloa crus-galli* állományban

minta	C _i (%)	kamera helyzete a nadírtól (fok)	C _i -C _s	Eltérés (%)
1	14,00	0	-4,01	22,22
2	13,90	9,0	-4,11	22,82
3	13,77	18,6	-4,27	31,00
4	14,16	27,5	-3,84	27,11
5	14,20	36,7	-3,81	26,83

 $C_i = A$ különböző szögállásban készített felvételekből számított borítás %-ban kifejezve $C_s = A$ tényleges borítás, ha nincs takarás a levéllemezek nem takarják egymást (18,01%)

Mivel a számítást csak a mintavételi kereten belül lévő állományon végeztük el, a nagy szármagasságú állománynál a nadír helyzettől távolodva egyre inkább növekedett az olyan levélrészek aránya, amely "kilóg" a keretből. Mivel a felvételezést olyan helyen

végeztük, ahol a háttér is tartalmazott gyomnövényeket, nem tudtuk elkülöníteni ezektől a vizsgált növényi részeket.

3.2.2 Hiperspektrális légifelvétel (DAIS 7915)

A légi hiperspektrális távérzékelés első magyarországi alkalmazása a HYSENS 2002 projekt keretében valósult meg 2002. augusztus 18.-án. A projekt elsősorban a színesfém-bányászat és nehézfém-szennyezés környezeti hatásainak felmérésére irányult (Gyöngyösoroszi, Recsk, Sajó völgye), azonban lehetőség nyílt 2 alföldi mintaterületről (Tedej, Látókép) is felvételeket készíteni (Vekerdy et al., 2002; Hargitai et al., 2006). A nagy terepi felbontású (5 m) és nagy csatornaszámú (79) DAIS hiperspektrális felvételek különböző hazai alkalmazását találhatjuk a szakirodalomban (Pechmann et al., 2004; Jung et al., 2005; Burai, 2006; Hargitai et al., 2006).

A felvételeket a Német Űrkutatási és Távérzékelési Intézet (DLR) készítette DAIS 7915 (Digital Airborn Imaging Spectrometer) és ROSIS (Reflective Optics System Imaging Spectrometer) szenzorokkal. A különböző detektorokból álló DAIS 7915 képalkotó spektrométer műszaki paramétereit a *8. táblázat* tartalmazza.

Hullámhossz	Csatornák	sávszélesség	detektor	érzékenység
tartomány	(db)			
nm				
400 - 1000	32	15-30 nm	Si	$<0,025$ mW·cm ⁻² ·sr ⁻¹ · μ m ⁻¹
1500 - 1800	8	45 nm	InSb	$<0,025$ mW·cm ⁻² ·sr ⁻¹ · μ m ⁻¹
2000 - 2500	32	20 nm	InSb	$<0,025$ mW·cm ⁻² ·sr ⁻¹ · μ m ⁻¹
3000 - 5000	1	2.0 µm	InSb	<0,1 K
8000 -12600	6	0.9 µm	MCT	<0,1 K

8. táblázat A DAIS 7915 spektrális és radiometriai jellemzői (Chang et al., 1993)

A DAIS 7915 egy több detektorból álló légi spektrométer, ami a beérkező elektromágneses hullámokat egy összetett prizma-, tükör-, és lencserendszer segítségével válogatja szét, és az adatokat egy 16 bites érzékenységű digitális adathordozón rögzíti. A spektrométer a repülő alján elhelyezkedő nyitott padlóablakon keresztül készít felvételeket. Forgótükrös szkennelést alkalmaznak, egy sokszög alapú tükörtesttel, amelynek forgási tengelye a repülési irányba mutat. A beérkező sugárzást egy sugárnyalábosztó két részre osztja (3000 nm alatti és feletti tartomány), majd a

további elosztás után az elosztó alegységekeken keresztül kerülnek a megfelelő detektorokhoz. A hullámhossz elválasztáshoz a 3000 nm alatti tartományban hullámhosszbontó felületet, míg a 3000 nm feletti tartományban szűrőt alkalmaznak. A spektométerhez tartozik egy kalibráló berendezés, amely az átlagos energiaszint meghatározását végzi két külső kalibrációs egység (fekete test) segítségével. A szkennelési folyamat alkalmával először a normál állapotú fekete testet, ezután a földfelszínt, majd a meghatározott hőmérsékletre beállított fekete testet tapogatja le, végül a belső szkennelési folyamat következik. A kedvezőbb zaj-jel hányados miatt a szkennelés sebessége négyszer lassabb, így a zajszintje négyszer kisebb, és a zaj-jel hányadosa kétszer alacsonyabb, mint egy hagyományos síktükrös szkenner esetében (DLR, 2006).

Az előfeldolgozást a Német Űrkutatási és Távérzékelési Intézetben (DLR) végezték el. Az atmoszferikus jelkorrekcióra a MODTRAN, míg a geometriai transzformációra a PARGE programot használták. A felszíni hőmérséklet mérésére termális szenzorral egészítették ki a berendezést, amelynek értékekeit Celsius skálában, a 80. csatornában találjuk (DLR, 2006). A felvételeket BSQ (Band Sequential Format) formátumban kaptuk meg. A kapcsolódó HDR (header) fájl, a háttérinformációkat tartalmazza (fájl formátum, csatorna szám, térbeli felbontás, vetület, stb.).

A kép előfeldolgozását megelőzően vizuálisan megvizsgáltuk a hiperspektrális felvétel sávjait. A VIS és NIR tarományban a csatornák (1-40.) homogének voltak, azonban a SWIR tartományban csíkoltságot észleltünk, amelyet Strobl et al. (1996) a repülőgép okozta vibrációval magyaráz. A csatornákat szisztematikusan megvizsgáltuk és a B41.-B46. és a B57.-B72. csatorna esetében periodikus sávokat észleltünk. A zaj értéke magas volt, hogy a további vizsgálatokba felhasználjuk, ezért csak a B1.-B40., B47.-B56. és a B73.-B79. csatornákkal dolgoztunk. A csatornák hullámhossztartományainak technikai specifikációját a *függelék 1. táblázat* tartalmazza.

A DAIS 7915 felvételt UTM 34N vetületi rendszerbe kaptuk meg, amelyet ENVI 4.1 programmal EOV-ba transzformáltuk (Tímár et al., 2002). Nagy felbontású légifotó segítségével ellenőriztük a felvételt és pixel értéknél nagyobb geometriai eltérést tapasztaltunk, ezért további geometriai korrekciót végeztünk. A referenciapontok térbeli elhelyezkedése és a viszonylag sík terület miatt a korrekcióra másodrendű polinominális

transzformációt alkalmaztunk. A felvétel geometriai transzformációja után az illesztőpontokon mért átlagos RMSE értéke = 5,01 m (RMSE_{min} = 2,27 m, RMSE_{max} = 6,42 m).

3.2.3 Űrfelvételek (SPOT, LANDSAT, MODIS)

SPOT-5

A SPOT (Satellite Pour l'Observation de la Terre) programot 1978-ban indították be Franciaországban. A francia űrprogram keretében az első SPOT-1 nevű műholdat 1986. február 22.-én bocsátották fel, amelyet push-broom felvételező technikával láttak el. A SPOT 1 műholdat a SPOT-2,-3,-4, és SPOT-5 műholdak pályára állítása követte. Ma már csak a SPOT-4 és 5 műhold működik, amelyek a korábbi HRV (*High Resolution Vidicon*) szenzor továbbfejlesztett változatát a HRVIR (*High Resolution Visible and Infrared*) szenzort használják. A korábbi pankromatikus sávot kicserélték egy közepesinfra sávra (1,58-1,75 µm). A SPOT-5 fontosabb paramétereit a *9. táblázat* tartalmazza. A SPOT-4 és 5 műholdba beépítették a VEGETATION2 szenzort, amely kis geometriai felbontásssal (1000m) de nagy sávszélességgel (2250km) képes felvételeket készíteni a hasonló spektrális tartományokban, mint a HRVIR szenzor. Továbbá rendelkezik egy nagy pontosságú pályameghatározó rendszerrel (DORIS) illetve egy lézer alapú kommunikációs berendezéssel (PASTEL). A műhold 14 fordulatot tesz meg naponta, így a 35° szélességi körnél magasabbra fekvő szélességen található területekről naponkénti felvételezést tesz lehetővé (Mucsi, 2004).

A SPOT-5 műholdakat a földhasználati és vegetációs (Harvey és Hill, 2001) vizsgálatok mellett gyakran alkalmazzák domborzatmodellezésben (Krupnik, 2000). 1998-ban a SPOT-4 műhold programozásával 2,5 hónap alatt hazánk 85%-áról készült jó minőségű (közel felhő mentes) felvétel a hazai CORINE LAND COVER - 50 projekt számára.

A vizsgálatokhoz a Hajdú-Bihar megyei Növényegészségügyi és Talajvédelmi Szolgálattól kutatási célra kölcsönadott francia SPOT-5 műhold HRVIR szenzorával készített L1A feldolgozottsági szintű, azaz előzetes radiometriai korrekcióval feldolgozott űrfelvételeit alkalmaztuk. A felvételek geometriai korrekciót nem tartalmaztak, csak a CCD detektornak az érzékenységéből adódó intenzitás különbségeket egyenlítették ki normalizációval. A felvételhez csatolt metafile-ban megtalálhatjuk a kép széleinek a koordinátáit (WGS-84). Az első felvétel 2003. május 08.-án 10:08:26-kor, a második 2003. augusztus 11.-én 09:41:06-kor készült. A korábbi időpontban készült felvételt Scene02, míg a későbbit Scene01 elnevezéssel TIFF formátumban kaptuk meg, amely elnevezéseket a továbbiakban is alkalmazzuk (9.táblázat).

Jellemző paraméterek	Scene02	Scene01
A felvétel hivatalos elnevezése	SCENE 5 079-255	SCENE 5 078-255
	03/05/08 10:08:26	03/08/11 09:41:06
Felvétel dátum és időpontja	2003-05-08, 10:08:26	2003-08-11, 09:41:06
Megfigyelési szög:	26.08	-7.80
Nap azimut	168.46	152.31
Nap magasság	59.42	56.12
Oszlopok száma	6000	6000
Sorok száma	6000	6000
Kép-középpont koordinátái	20.887305	20.442601
(WGS-84)	47.039774	47.040109
Csatornák spektrális tulajdonságai	1. 0,50-0,59	1. 0,50-0,59
	2. 0,61-0,68	2. 0,61-0,68
	3. 0,78-0,89	3. 0,78-0,89
	4. 1,58-1,75	4. 1,58-1,75
Radiometriai felbontás (bit/pixel/sáv)	8	8
Geometriai felbontás (m)	10	10

9.	táblázat	Az alkalmazott	SPOT-5	felvételek	specifikációia
- •	*****		~ ~ ~ ~		

LANDSAT 7 ETM+

A távérzékelés történetének jelentős eseménye volt az első LANDSAT műhold pályára állítása (1972. július 23.). A LANDSAT program során 7 műholdat fejlesztettek és állítottak pályára. A legújabb generációjú LANDSAT-7 műholdba ETM+ szenzort alkalmaznak, amely sajátossága nagyobb térbeli felbontású (15 m) pan csatorna. Azonban technikai meghibásodás miatt jelenleg csak a LANDSAT-5 műhold adatai hozzáférhetőek. A LANDSAT program részletes ismertetése és az alkalmazások számos szakirodalomban megtalálhatóak. Az elmúlt három évtizedben a LANDSAT

TM-ből származtatott növényi vegetációs indexeket, elsősorban az NDVI-t széles körben alkalmazták olyan számításokhoz, mint pl. a biomassza, levélfelület index (LAI), szármagasság, terméshozam (Tucker, 1979; Wiegand et al., 1991, Price és Bausch, 1995). A növények biofizikai paramétereinek meghatározása mellett azonban számos geológiai és ásványtani kutatásnál, tektonikai folyamatok és a jégtakaró megfigyelésénél bizonyult eredményes eszköznek (Sabins, 1996).

A kutatás során alkalmazott felvételek alapvető radiometriai és geometriai korrekcióját a forgalmazó cég (EURIMAGE) elvégezte. A képeket a hazánkban alkalmazott egységes országos vetületi rendszerbe (EOV) transzformáltuk. A LANDSAT felvételeket UTM vetületi rendszerben kaptuk, amelyet ENVI 4.1 programmal EOV-ba transzformáltuk (Tímár et al., 2002). A vizuális ellenőrzés és a referenciapontokkal való összehasonlítás során geometriai eltérést tapasztaltunk, ezért további geometriai korrekciót végeztünk. A korrekcióra másodrendű polinominális transzformációt alkalmaztunk, mivel a mintaterület sík és viszonylag kis méretű. A transzformációhoz EOV vetületi rendszerű 1:10.000 léptékű topográfiai térképet alkalmaztunk. A LANDSAT felvétel esetében először kivágatot készítettünk, hogy azonos területtel dolgozzunk, mint a DAIS 7915 (3990 m×8735 m). A transzformáció során pixel közeli RMSE (Root Mean Square Error) értéket kaptunk. A LANDSAT ETM+ felvétel átlagos RMSE értéke (multispektrális csatornák) az illesztőpontokon mérve = 27,08 m (RMSE_{min} = 19,77 m, RMSE_{max} = 34,36 m).

TERRA-MODIS

Az EOS (*Earth Observing System*) nemzetközi kutatási program keretében 1999-ben felbocsátott TERRA műholdjának egyik szenzora a MODIS (*Moderate Imaging Spectroradiometer*), amely az AVHRR (*Advanced Very High Resolution Radiometer*) szenzor utódjának tekinthető (Mucsi, 2004). A MODIS szenzor előnyei, hogy 36 spektrális sávban 1-2 naponta teljes lefedettségben készít felvételeket a Föld felszínéről. Az adatok magas radiometrikus felbontásúak (12bit), 36 spektrális csatornát tartalmaznak a 0,4-14,4µm-es hullámhossztartományba. A terepi felbontásuk változó: 2 csatorna 250 m, 5 csatorna 500 m, míg 29 csatorna esetében 1000 m (Barnes et al., 1998). A MODIS felvételek sávszélessége 2340 km, ahol a nadírtól távolodva a felvétel széle felé nő a szkennelési szög, ami elhajlást eredményez (*8. ábra*).



8. ábra A MODIS szenzor adatfelvételezése (Wolf et al., 2002)

Ahhoz, hogy a felvétel szélein ne legyen terület kiesés a szomszédos sávokat legalább 50%-os átfedéssel készítik, egy földi pontot akár háromszor is szkennelhet a berendezés (Wolfe et al, 2002). A kép szélei felé a sávok elcsúszhatnak, amit "bow-tie" hatásnak hívnak Fleig et al. (1993), amely a széles látószögű whiskbroom szenzorok egyik leggyakoribb adatfelvételezési hibája, amely a MODIS 1B és 2 feldolgozottsági szintű felvételeken a nadírtól távolabbi területeken gyakran előfordul. A hiba korrigálására már fejlesztettek programokat, ilyen található az ENVI 4.3 verziójában a geometriai korrekció modulban. Gyakori hiba az adatok térbeli áthelyeződése, amely hiba a szenzor belső és külső tulajdonságaiból, a Föld görbületéből és a szkennelés szögéből adódik (Wolfe et al., 2002). A MODIS felvételekben tapasztalt hibákat Fleig et al. (1993) három típusba sorolta: oldalazás (yaw), bólintás (pitch) és dőlés (roll) illetve a hibákat okozó külső és belső tényezőket statikus és dinamikus komponensekbe csoportosította. Wolfe et al. (2002) a felvételek geometriai pontosságát vizsgálták, ahol bemutatták az egyes hibaforrások (külső és belső) várható nagyágát és megállapították, hogy a nadírban a geometriai pontosság megközelítőleg 150m, amelyet korrekciós eljárásokkal akár 50 m-ig lehet növelni. Vermote és Vermeulen (1999) tanulmányukban a MODIS-nál alkalmazott atmoszférikus korrekciót definiálják, majd földi mérésekkel és LANDSAT TM reflektancia adataival hasonlítanak össze idősoros MODIS adatokat, bizonyítva a módszer megbízhatóságát. Összességében megállapítható, hogy a 250 m-es terepi felbontású sávok (vörös és infravörös) a biofizikai állapotváltozók regionális idősoros vizsgálatában széles körben elterjedtek, és az egyes kutatási eredmények alátámasztják azok alkalmazási lehetőségeit.

3.3 Egyéb térképi adatforrások

A tedeji minaterületről rendelkezésre álltak a 79-112, 79-121, 89-334, 89-343 szelvényszámú 1:10000 méretarányú EOTR topográfiai térképek digitális változata illetve a 2000. évi légifelvételezés 60 cm terepi felbontású számú ortofotói. A területről 2000-ben készült el a megújított talajinformációs rendszer (Olvasztó, 2000). A mintaterületről a digitális talajtérkép készítésénél a mintavételi pontokat DTM alapján jelölték ki és 74 talajszelvényt tártak fel. A digitális talajtérkép tartalmazza a főbb fizikai és kémiai talajtulajdonságokat, amelyet a feltárt talajszelvények mintái alapján a Hajdú- Bihar Megyei Növényegészségügyi és Talajvédelmi Szolgálatnál vizsgálták be, majd az adatokból elkészítettek egy részletes talajgenetikus térképet. A felvételek osztályozásához és a kvalitatív vizsgálathoz ortofotó segítségével meghatároztuk a táblahatárokat. A táblatörzskönyv és a terep bejárása során gyűjtött adatokkal feltöltöttük a vektorizált állományt. A mintaterületről részletes GIS adatbázis állt rendelkezésünkre, amely tartalmazza a talajtani, növénytermesztési, tápanyagparamétereket. А Szolnok-Túri-sík gazdálkodási mintaterület geometriai korrekciójához, a GCP pontok meghatározásához DTA-50 digitális adatbázist alkalmaztunk. Az egyéb mintaterületeknél alkalmazott földközeli felvételekhez nem volt szükség más térképi adatbázisra.

3.4 Terepi mintavételi adatok

A *Látóképi Növénytermesztési Kísérleti Telep*en a földközeli felvételekhez a felületszámítást növényegyedenként Montgomery (Petrasovits, 1988) módszerrel végeztük el. A teljes levélfelület mellett megmértük a fotoszintetikusan aktív zöld és a száraz levélfelületet. Kutatásaink során korábban alkalmaztunk levélszkennert is, azonban az általunk alkalmazott eszköz nagyon pontatlan volt és a keményebb levéllemezzel rendelkező növények levélfelület mérését a növény sérülése nélkül nem tudtuk megoldani. 5 különböző kisparcellás kísérletbe állított hibridet választottunk ki a vizsgálat céljára, amelyek levélfelület értékeit a *4.1 fejezetben* ismertetek részletesen.

Az *újfehértói mintaterületen* a FÖMI által meghatározott szabályos 70×70 m-es kvadrátokon belül random módon jelöltük ki a vizsgálati pontokat. A pozíciókat szubméter pontosságú DGPS eszközzel jelöltük meg. A gyomfelvételezésre a Balázs-Újvárosi (Újvárosi, 1973) módszert alkalmaztuk és TETRACAM ADC kamerával készítettünk a kijelölt 1×1 m-es mintaterületeken felvételeket. A gyomfelvételezés eredményeit a *10. táblázat* tartalmazza.

Fajok	borítás (%)	megoszlás (%)
Helianthus annuus	5,74	24,7
Gyomok	17,56	75,3
Összesen	23,32	100
Chenopodium album L.	3,206	18,25081
Echinochloa crus galli L.	0,864	4,917473
Amaranthus retroflexus L.	0,006	0,037943
Equisetum arvense L.	0,220	1,255929
Polygonum aviculare L.	0,564	3,213811
Ambrosia artemisiifolia L.	12,706	72,32024
Összesen (gyomok)	17,56	100

10. táblázat A gyomfelvételezés eredményei

A pontszerű gyomfelvételezés eredményeiből krígeléssel, ArcGIS geostatisztikai algoritmusa alkalmazásával gyomtérképet készítettünk a kivágat és a LANDSAT pixel értékeinek megfelelően. A gyomösszetételt és borítási értékeket tartalmazó gyomtérképet a *függelék 2. ábra* tartalmazza.

További levélfelület vizsgálatot végeztünk különböző gyomfajokkal, ahol lehetőség volt a felvételek készítése után a levelek leszedésére és pontos felületmérésre síkágyas szkenner segítségével.

A *tedeji Puszta mintaterületen* (*3. ábra*) a földhasználat és vegetáció elemzés céljából kialakított parcellák és a táblatörzskönyvi adatokon kívül terepi mintákat is gyűjtöttünk. A *P5 vizsgálati területen* sótartalom-változás vizsgálatra vettünk talajmintákat, vizsgáltuk a növényzet egyes paramétereit, amelyet ellenőrzés céljából kiegészítettünk a korábban vizsgált *P8-as vizsgálati terület* adatival, és növény felület mérés céljából a P8-as táblán kialakított *cerkospóra vizsgálati terület* terepi felvételezésének adatait alkalmaztuk a kvantitatív vizsgálatoknál. A P5-ös táblán kijelölt 100×250 m-es vizsgálati területen az őszi búza állomány betakarítása után (2004. augusztus 02.) geodéziai mérést és talajmintavételt alkalmaztunk. A területet 10×10 m-es rácshálóra bontottuk, és a rácsháló pontjainak magassági értékeit szintező műszerrel mértük, az x,y koordinátákat Trimble DGPS készülékkel rögzítettük. A sótartalom meghatározására 0-0,3 m mélységből bolygatott talajmintát vettünk laboratóriumi elemzésre. A légszáraz darált talajmintákból 1:2,5 talaj:víz arányú szuszpenziót készítettünk és ebben mértük szabvány szerint a pH-t és az elektromos vezetőképességet (EC_{2,5}). A vezetőképesség értékekből Surfer 8.0 szoftver segítségével krígelés alkalmazásával vezetőképesség térképet interpoláltunk, amelynek értékei EOV vetületi rendszerben a *9. ábrán* láthatóak.



9. ábra A mintaterület vezetőképesség(µS/cm) térképe a digitális terepmodellel és mintavételi pontokkal

A vizsgálati területen a felszíni sótartalom eloszlása hasonló térszíni fekvést mutatott, mint a P8-as táblánál, ami megerősíti a Tóth (2002) munkájában részletesen ismertetett szikesedési jelenséget.

A P8-as cerkospóra vizsgálati területen folytatott nagyparcellás lombvédelmi kísérleteknél rizománia toleráns fajtát (Triplex), illetve azonos víz- és tápanyagpótlást

alkalmaztak minden egyes parcella esetében. A kísérlet a felhasznált szerek kezelési időpontjainak, kezelési számainak változtatásának, illetve különböző fungicidek alkalmazásának hatásait vizsgálta. A cerkospóra levélfoltosság (*Cercospora beticola*) megállapításának értékelésére bonitálást alkalmaztak, úgy hogy minden parcellánál. 10 m-es távolságokban értékelték az állományt, majd átlag értéket képeztek. A cerkospórával fertőzött állomány minél fertőzöttebb, úgy nő a foltok és elhalás aránya, csökken a levélfelület és az egészséges növényi részek aránya (Horváth, 1995). A fungicid kezelések adatait a *11. táblázat* tartalmazza.

	Kezelések	Időpont						Cerkospóra	
		07.08.	07.16	07.24.	08.01.	08.11	08.15	08.30	fertőzöttség (%)
1	preventív	+		+			+		50
2	időbeni 3×		+		+		+		25
3	időbeni 2×		+		+				52
4	időbeni 1×		+						80
5	megkésett 3×				+		+	+	70
6	megkésett 2×				+		+		95
7	megkésett 1×				+				87
8	BASF		+				+		62
9	DUPONT		+				+		58
10	Kwizda (száraz)		+		+	+			45
11	Kwizda (nedves)		+		+		+	+	23
12	Syngentta		+				+		18
13	BAYER			+				+	7

11. táblázat A nagyparcellás lomvédelmi kísérlet kezeléseink és értékelésének adatai

4. Eredmények

4.1 Növényborítottság és levélfelület(LAI) összefüggés vizsgálata földközeli távérzékelés alkalmazásával

A Debreceni Egyetem Víz- és Környezetgazdálkodási Tanszék TETRACAM ADC szélessávú multispektrális kamerájának segítségével földközeli és légi felvételeket készítettünk a kutatási területekről. A kamerának ez volt az első hazai alkalmazása, és a nemzetközi szakirodalomban is csak kevés hivatkozás és referencia található (Steltzer és Welker, 2006; Tamás és Lénárt, 2006) ezért először az optikai és a radiometriai tulajdonságokat vizsgáltuk meg (*3.2.1. fejezet*), ahol értékeltük a kamera optikai és radiometriai tulajdonságaiból adódó hibákat és azok lehetséges kiküszöbölését. A kamera eddigi alkalmazásánál elsősorban gyomosodott állományok borítás vizsgálatára használták, ahol a hagyományos szemrevételezési és bonitálási technikákkal hasonlították össze a felvételeket (Tamás, 2005).

Különböző fejlettségű egy- és kétszikű növények levélfelületeit vizsgáltuk TETRACAM ADC kamerával készített felvételeken. A földközeli távérzékelés eszközét több különböző helyszínen is alkalmaztuk, amelyek részletes ismertetései az *Anyag és Módszer 3.3. fejezet*ében találhatóak. Az anyag és módszer fejezetben a kamera radiometriai és geometriai tulajdonságainak vizsgálata során már két növényfaj (*Cirsium arvense, Echinochloa crus-galli*) esetében ismertettük a levélfelület és borítás (%) mérési eredményeket. A továbbiakban fajta- és gyomkísérleti területeken végzett kutatások eredményeit mutatjuk be.

A Látóképi Növénytermesztési Kísérleti Telep területén 6 kukoricahibridnek vizsgáltuk a levélfelületét. A felvételeket TETRACAM ADC kamerával (*3.2.1. fejezet*) létráról az állomány felett 1,5m magasról készítettük. A felvétel készítésénél nem kellett alkalmazni mintavételi keretet, mivel a mintaterület nagyobb volt, mint a teljes képméret, és 3 felvétel átlagából számítottuk az NDVI és a borítottság (%) értékeket (*12. táblázat*). A levélfelület mérésénél a száraz részeket tartalmazó teljes LAI és zöld levélfelületet mértük (LAI_z) Montgomery módszerrel (*3.3 fejezet*). Az NDVI és a mért levélfelület között lineáris korrelációt számítottunk, ahol a száraz részeket is tartalmazó LAI esetében alacsonyabb determinisztikus együtthatót kaptunk ($R^2 = 0,69$, n=6, p<0,05), mint a LAI_z ($R^2 = 0,84$, n=6, p<0,05) esetében (*10. ábra*).

Hibridalı	NDVI	LAI(z)	LAI		
піргіцек	NDVI	m^2/m^2	m^2/m^2		
Vilma	0,78	2,80	4,30		
Káma	0,77	2,94	4,52		
Debreceni 377SC	0,74	0,87	2,37		
Madona	0,70	1,12	2,47		
Uranus	0,69	0,68	2,07		
Szegedi SC352	0,68	0,51	2,86		

12. táblázat A TETRACAM ADC felvételekből számított NDVI és a mért LAI és LAIz értékek



10. ábra TETRACAM ADC felvételekből számított NDVI és LAI, LAIZ közötti lineáris regreszió

A legnagyobb levélfelületet a Káma fajtánál mértük (4,52 m²), azonban a zöld levélfelület csak 65%-a volt a levélfelületnek. A statisztkai értékelés esetében az ANOVA táblázat alapján is erős szignifikáns kapcsolatot feltételezhetünk a LAI_z esetében. A fenti méréseket bár kevés fajtával végeztük el, azonban az eredmények az NDVI-nek az egészséges levélfelületre történő nagyobb érzékenységét igazolják.

A keszthelyi mintaterületen (3.1.fejezet) különböző tápanyagtartalmú műtrágyával és szervestrágyával kezelt területek gyomosodottságának a vizsgálatát végeztük el. A kezelések és a gyomfelvételezés pontos leírása Lehoczky et al. (2006) munkájában található. A felvételezéshez 1×1 m-es mintakeretet alkalmaztunk, és a növényvédelmi szakemberek által a Balázs-Újvárosi (Újvárosi, 1973) módszerrel mért eredményeket hasonlítottuk össze a TETRACAM ADC felvételekből számított borítottság (%) és NDVI értékekkel.

Először a felvételekből számított NDVI és borítottság értékeket vizsgáltuk meg, ahol szoros lineáris regressziót számítottunk ($R^2 = 0.92$, n=17, p<0.05), a mért borítottság értéke 6.55-70.6% között változott. (*11. ábra*)



11. ábra TETRACAM ADC kamerából számított NDVI és a borítás(%) között a lineáris regresszió a keszthelyi mintaterületen

A TETRACAM ADC kamerával készített felvételekből számított borítást (%), összehasonlítottuk a vizuális felmérés értékeivel (*13. táblázat*).

Borítottság	NPK kezelések				NPK + szervestrágya kezelések					
vizsgálat	N ₀	N_1	N_2	N ₃	N_4	N ₀	N_1	N_2	N_3	N_4
TETRACAM- borítottság (%)	18,26	20,06	26,5	11,17	6,55	40,6	62,8	47,76	45,9	37,46
Vizuális borítottság (%)	9	14,82	20,9	8,18	5,77	55,05	43,26	45,56	36,06	28,06
TETRACAM- vizuális borítottság különbség	9,26	5,24	5,6	2,99	0,78	-14,45	19,54	2,2	9,84	9,4

13.1	táblázat A	TETRACAM	ADC és	vizuálisan	értékelt	borítottság	(%)	értékek
------	------------	----------	--------	------------	----------	-------------	-----	---------

Kezelések: N₀: -, N₁: 70kg N/ha , N₂: 140kg N/ha, N₃: 210kg N/ha, N₄: 280kg N/ha; szervestrágya: 35t/ha Minden kezelésnél 100kg P₂O₅ és 100kg K₂O adtak hektáronként

A 10 esetből 9 alkalommal a vizuális becslés alulbecsülte a borítást, egy esetben azonban (NPK-FYM N₀) felülbecsülte azt. A vizuális és TETRACAM borítottság közötti statisztikai kapcsolat mérésére lineáris regressziót számítottunk, ahol a determinisztikus együttható: $R^2 = 0,77$ (n=8, p<0,05), amely szoros összefüggést mutat.

Az **újfehértói mintaterületen** az elsősorban parlagfűvel gyomosodott napraforgó parcellán is készítettünk felvételeket a TETRACAM ADC kamerával a kijelölt mintavételi pontokon. A mintavételi pontokon a mért borítás értéke 3,76-68,3% között változott. Az NDVI és a borítás (%) között a lineáris regresszió regresszió ($R^2 = 0,93$), amely a *12. ábrán* látható.



12. ábra TETRACAM ADC kamerából számított NDVI és a borítás (%) között a lineáris regresszió az újfehértói mintaterületen

A felvételekből számított NDVI index igen szoros korrelációt mutatott a borítással, így jó mérőszám lehet a levélfelület meghatározása során tág térállású kultúrákban (kukorica, napraforgó).

4.2 Talajdegradációs folyamatok vizsgálata légi multispektrális és hiperspektrális felvételek értékelésével

Az alföldi kedvezőtlen talajadottságú területeken gyakori probléma a szikesedés. Hazánk mezőgazdaságilag művelt területeinek megközelítőleg 20% szikes terület. (Várallyay, 1981). Szikesedési folyamtok kedvezőtlen hatásait a kora tavaszi csapadékos időszakban a belvízfoltok megjelenése, később a kedvezőtlen vízgazdálkodási és tápanyag-gazdálkodási tulajdonságok miatt a növények fejletlen növekedése jelez. A szikesedési folyamatok tér és időbeli vizsgálatának egy lehetséges eszköze lehet a távérzékelt adatok vizsgálata. Kutatásunk során *tedeji puszta terület* P5 és P8-as parcellákon jelöltük ki a vizsgálati területeket (*3.1 fejezet 3. ábra*), ahol a szikesedési folyamatok jól megfigyelhetőek. A teljes P5 -ös vizsgálati területen a 2004. évben őszi búzát termesztettek, az állomány csak enyhén volt gyomos (<5%). A talajmintákból számított $EC_{2,5}$ térképen (9. *ábra*) megfigyelhető a sótartalom térbeli eloszlása, amely a mintaterület É-D tengelyében csökkenő tendenciájú. A vizsgálati területről készített légifelvétel É-D metszetének reflektancia értékeit vizsgálva látható a magasabb sótartalmú területek reflexiós értékének a változása, elsősorban a közeli-infravörös csatorna esetében (*13. ábra*).



13. ábra A közeli infra(1), zöld(2) vörös(3) és a csatornák reflektancia értékei a mintaterület É-D tengelyében

Alacsony repülési magasságból (300 m) készített légifelvételből számított NDVI értékeket összehasonlítottuk a 2004. júliusi terepi mintavétel (n=11) szemtermés (g/m²) értékeivel, ahol exponenciális illesztéssel kaptuk a legpontosabb becslést. A számított determinisztikus együttható szoros kapcsolatra utal az NDVI és a szemtermés között (R² = 0,90; p<0,05; n=11) (*14. ábra*).



14. ábra A búza állományról készített normalizált vegetációs index (NDVI) és szemtermés (g/m²) közötti összefüggés (n=11)

További vizsgálatokat végeztünk az egyik legáltalánosabban használt fenometriai jellemzőnek, a növénymagasság mérésére. A mintavételi pontoknál megmértük a növény növekedését legjobban kifejező szármagasságot (Szász, 1988), amely szoros összefüggésben van a levélfelülettel. Közvetlen levélfelület mérésre nem került sor, mivel a vékony levéllemezű kalászosok esetében ez a terepen és a laboratóriumban egyaránt nehezen kivitelezhető. A számított NDVI érték és a szármagasság között lineáris regressziót számítottunk ($R^2=0.76$; p<0,05; n=11) (*15. ábra*)



15. ábra A TETRACAM ADC-ból számított NDVI és a szármagasság közötti regresszió

A P5 vizsgálati területen véletlenszerűen 23db 2×2 m-es mintapontot jelöltünk ki, a légifelvételen és az elektromos vezetőképesség térképen. A mintapontok értékeit összehasonlítva látható, hogy a sótartalom-változás és a növény fenometriai tulajdonságait jól reprezentáló NDVI index értékei között szigorú statisztikai kapcsolat mutatható ki (*16.ábra*). A lineáris regresszió számítás során az exponenciális-függvény illesztéssel kaptuk a legnagyobb determinisztikus együtthatót (R²=0.94; p<0,05; n=23)


16. ábra A TETRACAM ADC-ból számított NDVI és a sótartalom közötti regresszió

A vizsgálati terület sótartalom változását a 2002.08.19. -én készített DAIS hiperspektrális felvétel alapján is értékeltük. Korábban Dr. Tóth Tiborral (MTA TAKI) végeztünk hasonló kísérletet a P8-as táblán található gyepterület vizsgálatával. A vizsgálatok egy szikes gyeptársulás sótartalmának és vegetációvizsgálatára terjedtek ki. A vizsgálatok a teljes spektrum tartományt bevonták a vizsgálatba, a szerzők külön nem alkalmaztak csatornaszelekciós eljárást (Pechmann et al., 2003). A felvétel értékelése rámutatott a csatornák jel/zaj arányának meghatározásának fontosságára, mivel néhány esetben magas zajszintet tapasztaltunk, vizsgálatainkban ezért külön kitérünk a hibaforrások elemzésére.

Mivel egy viszonylag kis terület vizsgálatáról volt szó a csíkoltság nem okozott számottevő eltérést a vizsgált területen, azonban nagyobb táblaméretnél már jelentős hatású lehet.

A P5-ös vizsgálati területen a mintavételi pontoknak megfelelően szabályos négyzetes kötésben 63 db 10×10 m-es mintát jelöltünk ki a hiperspektrális felvételen, amelyeket összevetettünk a digitális talajtérkép elektromos vezetőképesség (EC_{2,5}) adataival. A 2002. évben a mintaterület É-i részén bolygatott és kevert állományú gyeptársulás volt jellemző (1.-26. minta), míg a D-i területen lucernát termesztettek, amely a felvétel készítésekor fejlett növényállománnyal rendelkezett (27.-63. minta). Első lépésként megvizsgáltuk a DAIS csatornái és az EC_{2,5} értékek közötti regressziót (*17. ábra*). Minden csatornánál a lineáris regresszió mutatta a legpontosabb becslést, ezért minden esetben ezt alkalmaztuk számításaink során. Magasabb determinisztikus együtthatót

számítottunk 586nm-657nm (B6-B10) tartományban és a 4,315 μ m (B73), illetve a 8,570-11,012 μ m (B74-B77) hullámhossz tartomány esetében. Legmagasabb determinisztikus együtthatót a középinfra tartomány 4,3 μ m (B73) csatornájánál mértük (R² =0,613; p<0,05; n=63).



17. ábra A P5 vizsgálati terület EC_{2,5} és DAIS 7915 csatornák lineáris regressziójának determinisztikus együtthatói

A statisztikai elemzés célja az volt hogy a vizsgálati célból leginformatívabb hullámhossz tartományt válogassuk le, csökkentve a számításokhoz szükséges alacsony jel/zaj arányú csatornákat. A legjobban korreláló csatornák kiválasztására a szakirodalmi áttekintés (2.3.2.fejezet) során említett *stepwise* regressziót alkalmaztuk, 5%-os szignifikancia szinttel. A számítás során meghatározott modelleket, és azok statisztikai adatait a *14. táblázat* tartalmazza.

	R	R ²	Módosított R ²	A becslés hibája	A változások statisztikája				
Modell					R ²	F érték			Szignifikancia
					változás	változása	df1	df2	változás
1	,783	,613	,607	283,780	,613	96,644	1	61	,000
2	,830	,688	,678	256,905	,075	14,430	1	60	,000
3	,862	,744	,731	234,844	,056	12,802	1	59	,001
4	,891	,794	,780	212,306	,050	14,191	1	58	,000
5	,910	,829	,814	195,399	,035	11,471	1	57	,001
6	,918	,843	,826	188,656	,014	5,148	1	56	,027
7	,934	,873	,857	171,219	,030	12,987	1	55	,001
8	,939	,882	,864	166,644	,009	4,061	1	54	,049
9	,938	,881	,865	166,011	-,001	,583	1	54	,449
10	,943	,890	,874	160,933	,009	4,525	1	54	,038

14. táblázat A többváltozós stepwise regressszió összefoglaló statisztikai táblázata

Modell komponensek:

01: B73 02: B73, B74 03: B73, B74, B38 04: B73, B74, B38, B5 05: B73, B74, B38, B5, B48 06: B73, B74, B38, B5, B48, B23 07: B73, B74, B38, B5, B48, B23, B25 08: B73, B74, B38, B5, B48, B23, B25, B35 09: B73, B74, B5, B48, B23, B25, B35 10: B73, B74, B5, B48, B23, B25, B35, B20

A fenti iterációs sorozatot tanulmányozva látható, hogy többségében a termális (TIR) és középinfra (MIR), illetve a közeli infra (NIR) csatornák szerepelnek a komponensek között. A 4.-10. modellek a látható tartományból tartalmazzák a B5 csatornát (568 nm), illetve a 6.-10. modellek a NIR tartomány B23 (886 nm), B25 (921 nm) csatornáit, illetve a B20 (832 nm) a 10. modell esetében. A NIR csatornák a 6. modelltől szerepelnek a regresszió számításba, amelyek növelik a szignifikancia szintet.

A hiperspektrális felvétel egy másik hasonló célú előfeldolgozási módszerét a főkomponens analízist (PCA) is alkalmaztuk az adatfeldolgozási mechanizmusban. Az első főkomponens esetében tapasztaltunk gyenge statisztikai kapcsolatot (*18. ábra*) az első főkomponens értékek és az elektromos vezetőképesség között (R^2 = 0,577, p<0,05; n=63).



18. ábra Első főkomponens (PCA) és a sótartalom (EC_{2,5}) közötti exponenciális regresszió

A továbbiakban kiszámítottuk a biomassza vizsgálatoknál általánosan alkalmazott szélessávú, súlyozott átlag számítással előállított NDVI indexet, és regresszió számítást végeztünk SPSS programmal (19. ábra).



19. ábra Első főkomponens (PCA) és a sótartalom (EC2,5) közötti negatív exponenciális regresszió

A fenti összefüggés is alátámasztja, hogy a mintaterületen a vegetáció biomasszaváltozása okozta a legnagyobb varianciát, azonban a vizsgálatba bevont kevert fajösszetételű növényállomány esetében nem találtunk olyan egyértelmű kapcsolatot, mint a TETRACAM kamerával készített felvételnél, ahol homogén összetételű őszi búza állományt vizsgáltunk. A P5-ös vizsgálati terület EC értékei és a reflektancia és radianca értékekből számított többváltozós *stepwise* regresszió számítása során kapott modelleket (*13. táblázat*) ellenőrzésként alkalmaztuk a korábban vizsgált P8-as táblánál is. A modellek közül a vegetáció-változásra kevésbé érzékeny B73 és B74-es csatornákat tartalmazó 2. modell alkalmazásával kaptuk a legpontosabb becslést a talaj sótartalmának változására, azonban a magas sótartományban kapott értékek nagyságrendileg nagyobb értéket becsültek a mintapontokra (*20. ábra*).



20. ábra A P8-as vizsgálati területen mért és a becsült EC2,5 értékek közötti korreláció

Az eltérés oka lehet, hogy a számított modell input paraméterei a P5-ös táblán kijelölt vizsgálati területről származtak, ahol kevesebb volt a magas sótartalmú terület és a P8-as táblának elérő volt a vegetáció összetétele. További magyarázat lehet az, hogy a P8-as táblán a magasabb sótartalomnál sótűrő növények találhatóak, amelyek eltérő klorofill összetételűek mint a kultúrnövények. A talajminták feldolgozása is különböző helyszínen és módszerrel történt, azonban az megállapítható mindkét esetben, hogy a növekvő sótartalomra a B73 és B74-es csatornák radiancia értékei hasonló módon növekedtek a sótartalom változással, és a biomassza változásra indifferensek.

4.3 Nagyparcellás lombvédelmi kísérletek hiperspektrális vizsgálata

A tedeji P8-as táblán a 2002. évben nagyparcellás lombvédelmi kísérletet folytattak cukorrépa (*Beta vulgaris*) állományban, 13 parcellán különböző időpontokban és kezelési számokkal. A táblák méretei lehetőséget adtak, hogy a nagy felbontású

hiperspektrális felvétellel értékeljük a cerkospóra levélfoltossággal (*Cercospora beticola*) különböző mértékben fertőzött táblákat. A táblák méreteit és a kezeléseket a *3.3. fejezetben* részletesen ismertettük. A mintaterületen a parcellákon a növényvédelmi beavatkozáson kívül, a termesztési technológia azonos volt. A parcellák között puffer területeket nem hagytak, hogy elkerüljük a "szegélyhatást" a 25 m- széles parcellák szélső sorait nem vizsgáltuk, így továbbiakban három pixel szélességű 15m széles sávot maszkoltunk ki.

A szegélyhatás csökkentésével a geometriai hibából eredő hatásokat is kiküszöböltük. A parcellák homogenitásának vizsgálatának céljára főkomponens analízist számítottunk, majd a legnagyobb varianciát adó első komponens (V01) értékeit parcellánként vizsgáltuk, hisztogram elemzéssel. Feltételeztük, hogy az állományban a legnagyobb varianciát a cerkospóra fertőzöttség adhatja, ezért az egyes kezeléseknek hasonló hatásúnak kell lenni parcellán belül. A parcellák többségénél az értékek normál eloszlásúak voltak (*21. ábra*), azonban az 5. és 8. parcellák esetében (*22. ábra*) jól felismerhetően parcellán belül két különböző átlaggal és szórással jellemző populáció volt, amely térben is jól elkülönült egymástól.



21. ábra A 2. (a.) és 7. parcella (b.) PCA első komponensének értékeiből (v01) számított hisztogram



22. ábra Az 5. (a.) és 8. parcella (b.) PCA első komponensének értékeiből (v01) számított hisztogram

A táblán belüli értékek homogenitásának vizsgálatára t-próbát alkalmaztunk. Az első főkomponens értékekkel lefuttatott t-próba alapján az 5. és 8. parcella bizonyult szignifikánsan különbözőnek.

A terepi mérések cerkospóra fertőzöttség adatai és a csatornák reflektancia illetve radiancia értékei között regressziót számítottunk. A trendvonal illesztésénél minden esetben a lineáris regresszió mutatta a legnagyobb determinisztikus együtthatót. Az eredmények a 23. ábrán láthatóak.



23. ábra Cerkospóra fertőzöttség (%) és a DAIS csatornák determinisztikus együtthatója (R²)

A legnagyobb determinisztikus együtthatót a közeli infra tartomány "végén" a 1,668 µm tartományú B37-es csatorna esetében tapasztaltuk ($R^2 = 0,731$, p<0,05), de végig magas értékeket tapasztaltunk a NIR tartományban. A cerkospóra fertőzöttség a levélfelület és a növényi szövetek struktúrájának és víztartalmának változását okozza, és az előbb említett 1,668 µm-es tartomány érzékenységét a víztartalom változásra, már több szakirodalomi adat is alátámasztotta. A vizsgálati terület homogén talajtulajdonságokkal jellemezhető és azonos agrotechnikai beavatkozást alkalmaztak a teljes területen, ezért a reflektancia válasz is biofizikai sajátosságok változását mutatják. Ha összehasonlítjuk a változó feltalajú és P5-ös vizsgálati terület sótartalom ($EC_{2,5}$) értékeit és a cerkospórával fertőzött táblák determinisztikus együtthatóinak értékeit, akkor láthatjuk, hogy a vegetáció változásra a NIR csatornák, míg a sótartalom változására a vörös és a TIR tartomány csatornái mutattak szorosabb statisztikai kapcsolatot (*24. ábra*).



24. ábra Cerkospóra fertőzöttség (%), elektromos vezetőképesség (EC_{2,5}) és a DAIS csatornák determinisztikus együtthatója (R²)

A DAIS reflektancia értékekből a LANDSAT vörös B3 és közeli infra B4 csatorna széles sávú NDVI indexet számítottunk, amelyet összehasonlítottunk a fertőzöttség értékekkel (25. ábra).



25. ábra Növényi vegetációs index (NDVI) és a cerkospóra fertőzöttség (%) közötti regresszió

A vegetációvizsgálatában a távérzékelt felvételek feldolgozásánál, elsősorban a növényi stressz vizsgálatánál gyakran alkalmazott módszer a vörös-él pozíció, VEP (*Red Edge Position*, REP) és a klorofil abszorciós terület (*Chlorophyll Absortions Integral-* CAI) meghatározása (*26.ábra*) (Smith et al., 2004). A cerkospóra fertőzöttség meghatározására a Laudien et al.(2003) által használt REP módszert alkalmaztuk.



26. ábra Vörös él pozíció és a CAI (Chlorophyll Absortions Integral) meghatározása cukorrépa reflexiós görbén

A módszert a hiperspektrális felvételek görbéinek első deriváltjából számított értékek alapján a zöld reflexiós maximumot a B4 csatornánál (551nm), míg a közeli infra első csúcsát jelentő vörös él értéket a 780nm középértékű B17 csatornánál határoztuk meg.

A VEP meghatározása után regressziót számítottunk a táblák fertőzöttségi értékeivel (27. *ábra*).



27. ábra Vörös él pozíció és cerkospóra fertőzöttség (%) között számított regresszió

A determinisztikus együttható értéke valamivel magasabb ($R^2 = 0,663$) volt, mint az NDVI esetében, megfigyelhető a vörös él pozíció eltolódása az alacsonyabb értékek felé a fertőzöttség növekedésével. A legjobb becslést adó B36-os csatornából lineáris regresszió alapján kiszámítottuk a teljes vizsgálati területre a cerkospóra fertőzöttség térképet, amellyel a kezelések térbeli hatásait is vizsgálhatjuk (28. ábra).



28. ábra A B36-os csatorna reflektancia értékéből számított fertőzöttség térkép a parcellákkal

4.4 Gyomborítás vizsgálata földközeli távérzékelés és idősoros multispektrális felvételekkel

A FÖMI-től a 2005. évben idősoros LANDSAT felvételből készített kivágatot kaptunk az **újfehértói mintaterület**ről az allergén gyomnövények vizsgálati program keretében. Borítottság elemzésre a 7 csatornát tartalmazó felvétel 3. és 4. csatornáiból normalizált vegetációs indexet (NDVI) számítottunk. A terület idősoros értékelése során azt tapasztaltuk, hogy a 2005.06.10.-i sorközművelés hatására nem csökkent számottevően a biomassza mennyisége, a sorokban maradt gyomállomány így is számottevő, amelyet a 2005.06.18. gyomfelvételezés is bizonyított (*29. ábra*).



29. ábra A kontroll és a mitaterület NDVI értékeinek idősoros változása

(1. mintaterület NDVI maximum, átlag és minimum értékei; 2. kontroll terület NDVI átlag értékek)

A mintaterület NDVI adatait összehasonlítva a kontroll terület értékeivel azt tapasztaljuk, hogy leginkább a júniusi-júliusi időszakban nő a gyomos terület NDVI értéke, amelyet a nagy zöld levélfelületet képviselő *Ambrosia artemisiifolia* okozhat.

A 2005.06.18. gyomfelvételezést Reisinger Péterrel, a Nyugat-Magyarországi Egyetem kutatójával közösen végeztük az *Anyag és Módszer 3.3 fejezet*ben ismertetett Balázs Újvárosi módszerrel és TETRACAM ADC kamerával. A felvételezés adataiból gyomtérképet készítettünk (*függelék 1. ábra*), amely borítási értékeivel összehasonlítottuk a mintaterületről készített LANDSAT felvételek NDVI értékeit (*30. ábra*).



30. ábra A Landsat felvételből számított NDVI és a borítás (canopy) (%) lineáris regresziója (n=15) (a.), illetve az *Ambrosia artemisiifolia* borítási értékének lineáris regressziója (n=15) (b.).

A teljes gyomborítás esetében közepes determinisztikus együtthatót ($R^2 = 0,596$) számítottunk, míg a parlagfű - *Ambrosia artemisiifolia* borítás (%) esetében 5%-os szignifikancia mellett nem tapasztaltunk statisztikai kapcsolatot ($R^2 = 0,33$). Az *Ambrosia artemisiifolia* borítás adatait összehasonlítottuk egyenként a reflektancia értékekkel, majd többváltozós (*stepwise*) regressziót számítottunk, azonban itt sem tapasztaltunk statisztikai kapcsolatot, hasonlóan minta az NDVI index esetében. A teljes idősort alkalmazva sem tudtunk a mintaterületen belüli faj szintű gyomborítottsági különbségeket a LANDSAT értékekből becsülni (Tamás et al., 2006). Megállapítható, hogy a LANDSAT felvételek csak nagy bizonytalanság mellett alkalmasak a fajszintű gyom előrejelzésre, elősorban összes gyom-kultúrnövény biomassza meghatározásra alkalmasak.

4.5. Mezőgazdasági terület parcella szintű vegetáció vizsgálata multi- és hiperspektrális felvételekkel

A mezőgazdasági területek legkisebb térben homogén művelési egységét a parcellák jelentik, amelyek hasonló földművelési és növénytermesztési tulajdonságokkal rendelkeznek. A parcellákon belüli gyakran eltérő talajtani tulajdonságok és a nem megfelelően alkalmazott agrotechnikai beavatkozások gyakran olyan parcellán belüli változásokat okoznak, amelyek a növényzet fejődésében is megfigyelhetőek. A vizsgálatunk célja a növényállomány heterogenitás vizsgálata azonos időpontba készült, de különböző térbeli és spektrális felbontású távérzékelt felvételekkel. A vizsgálathoz a tedeji mintaterületről 2002. augusztus 19.-én készült DAIS 7915 és egy LANDSAT

ETM+ felvételt alkalmaztunk (*3.2.fejezet*). A növényállomány kvalitatív vizsgálatát különböző osztályozási módszerek alkalmazásával, míg a kvantitatív vizsgálatot a reflektancia-értékekből számított indexek segítségével végeztük el.

A LANDSAT ETM+ és a DAIS felvételek spektrális tulajdonságainak összehasonlítására 54 db mintavételi helyet jelöltünk ki a mintavételi területen. Az 54 db területet úgy határoztuk meg, hogy a kisebb geometriai felbontású LANDSAT felvétel esetében is homogén mintákat tudjunk venni. Az 54 mintatér 6 különböző egyenletes növényborítású (gabonatarló, lucernatarló, lucerna, kukorica, cukorrépa, gyep) területen, 10 különböző talajaltípuson található (*31. ábra*).



31.ábra A genetikus talajtérkép és a földhasználati kategóriák alapján kijelölt mintavételi pontok a tedeji Puszta-mintaterületen

A két különböző spektrális felbontású felvétel összehasonlítására, a nagy számú csatornát tartalmazó hiperspektrális felvétel csatornáit, a 30m-es terepi felbontású LANDSAT 6 csatornájával (B1-B5, B7) hasonlítottuk össze. Ahhoz, hogy az eltérő sávszélességű csatornákat össze tudjuk hasonlítani, a DAIS csatornáiból szélesebb sávú csatornákat képeztünk, majd kiszámítottuk ezek a LANDSAT spektrális tulajdonságai alapján súlyozott átlagát. Az így előállított szélessávú felvételek már hasonló spektrális tartományt fednek le, mint a LANDSAT TM, így ezek páronként összehasonlíthatóak. SPSS 12 programban lineáris regressziót alkalmaztunk, amelynek eredményei a *15. táblázatban* találhatóak

Összevont DAIS csatornák	hullámhossz- tartomány (µm)	LANDSAT csatorna	LANDSAT hullámhossz-tartomány (µm)	R ²
1-2	0,496-0,514	1	0,45-0,515	0,885
3-7	0,532-0,605	2	0,525-0,605	0,95
8-12	0,623-0,693	3	0,63-0,69	0,882
15-24	0,744-0,904	4	0,75-0,90	0,954
33-40	1,539-1,756	5	1,55-1-75	0,964
51-56	2,110-2,186	7	2,09-2,35	0,966

15. táblázat A számított szélessávú DAIS és LANDSAT ETM+ csatornák közötti lineáris regresszió

A regresszió analízis minden egyes csatornapárosításnál magas determinisztikus együtthatót mutatott. Az eredményekből arra következtethetünk, hogy a fenti csatornák alkalmazása során a kvalitatív vizsgálatoknál hasonló eredményeket kell kapnunk. Az eltérő szenzor-tulajdonságok és a felvétel készítésének magassága a kedvező légköri viszonyok között azonos időpontban készített felvételek esetében túlzott mértékben nem befolyásolta a mért reflektancia értékeket. (*32. ábra*). A vegetáció vizsgálatoknál általánosan alkalmazott NDVI indexeket számítottunk az 54 mintavételi helyre a LANDSAT ETM+ felvételből, és összehasonlítottuk a hiperspektrális csatornából számított NDVI-vel (*32.ábra*), ahol szoros regressziót tapasztaltunk (R^2 = 0,921, p<0,05; n=63).



32. ábra LANDSAT 7 ETM+ felvételből számított NDVI és DAIS 7915 csatornák reflektancia értékeiből számított szélessávú NDVI közötti lineáris regresszió

A LANDSAT ETM+ űrfelvétel 6. csatornája 10,4-12,5 μ m hullámhosszúságú termálisinfravörös tartományban rögzített sugárzási adatokat, míg a DAIS 7915 hiperspektrális felvétel a 8-12,6 μ m tartományban (74.-79. csatorna) radiancia értékeket, illetve a 80. csatorna a felszíni hőmérsékletre (°C×10) átszámított értékeket tartalmaz. A DAIS 7915 szenzor nagy előnye, hogy a 9-10 μ m tartományban abszorbens ózon a troposzférában alacsony koncentrációjú, így számottevően nem befolyásolja a detektornál mért radiancia értéket.

Megvizsgáltuk a DAIS 7915 felvétel B80-as csatornájából számított felszín közeli hőmérséklet és a LANDSAT B6 csatornák radiancia értékei közötti regressziót úgy, hogy a nagyobb felbontású hiperspektrális felvételből a 80×80 m pixelméretű LANDSAT B6 pixelek (n=27) területére átlagértéket számítottunk (*33. ábra*). A lineáris regresszió számítás eredménye (R² =0,66, n=27) közepes statisztikai kapcsolatot mutatott.



33. ábra A DAIS 7915-ből számított hőmérséklet (C°) és a LANDSAT ETM+ termális (B6) csatornája közötti lineáris regresszió

A továbbiakban a vizsgált parcellák hőmérsékleti vizsgálatához a DAIS 7915 B80 csatornájából számított hőmérsékleti értékeket használtuk. Megvizsgáltuk az 54 mintavételi pont és a biomassza mennyiségét jól reprezentáló NDVI index és a számított hőmérséklet kapcsolatát. A vizsgált időpontban az NDVI index növekedése a hőmérséklet csökkenését okozta a mintavételi pontokon (*34. ábra*).



A hiperspektrális vizsgálat esetében az előfeldolgozás során PCA analízist alkalmaztunk, ahol az első 3 főkomponens tartalmazta a variancia több mint 90%-át (*35. ábra*). Az első főkomponens esetében figyelhető meg a legnagyobb különbség a szürkeségi intenzitási értékekben a talaj és a növényzet között.



35. ábra: A főkomponens analízis (PCA) grafikus értékelése



36. ábra A vizsgált mintaterületek spektrális görbéi LANDSAT ETM+(a.) és DAIS 7915 B1-B40 (b.)

A mintaterület spektrális tulajdonságait SPSS programmal vizsgáltuk a hiperspektrális felvétel esetében, ahol azt kerestük, hogy mely sávok mutatják a legnagyobb varianciát. A legnagyobb varianciát a 623-657 nm (B8.-B10.csatorna) és 814-904 nm (B19.-B24. csatorna) sávoknál tapasztaltuk. Abban az esetben, ha csak növénnyel borított területeket vizsgáltuk a 762-886 nm (B16.-B23. csatorna) sávban tapasztaltunk magas variancia értéket (CV%=0,30-0,33). A DAIS 7915 hiperspektrális felvétel és a LANDSAT ETM+ esetében is a közeli infra és a látható tartományban tapasztaltuk a legnagyobb varianciát.

A kvalitatív vizsgálathoz alkalmazott ellenőrzött osztályozáshoz tanítóterületeket jelöltünk ki, a földhasználati típusok alapján. Hat földhasználati kategóriát különítettünk el a területen, amelyek térbeli kijelölését a táblatörzskönyv és a légifelvételből és a terepbejárási adatokból szerkesztett parcellák alapján határoltuk le. A tanítóterületek méretét a vizsgálat kategória terültének $5(\pm 1)$ %-ban határoztuk meg.

A felvételek osztályozására ellenőrzött és ellenőrizetlen osztálybasorolást alkalmaztunk ENVI 4.1 szoftverkörnyezetben. Az ellenőrizetlen osztálybasorolásra a "K-means"módszert alkalmaztuk (Tou et al, 1974). Az eredmények értékeléséhez hibamátrixot készítettünk. A hibamátrixot (*confusion matrix*) elsősorban az osztályozott területek ellenőrzésére alkalmazzák, abban az esetben, ha ismert referenciaterülettel rendelkezünk (Foody, 2002). A zavaró spektrális tulajdonságok csökkentését a terület maszkolásával oldottuk meg. A maszkkal kitakart kép osztályozásával már értékelhető csoportokat kaptunk, azonban a módszer megbízhatósága még mindig alacsony szintű volt. Az osztályozás pontosításához 10× iterációt használtunk, amivel már nagyobb pontosságot kaptunk. További iteráció növelés nem okozott számottevő pontosság javulást, azonban jelentősen növekedett a számítási időtartam. A DAIS 7915 esetében a korábban elkészített PCA-val számított felvétel legnagyobb variációs értékét tartalmazó csatornáival (az első 3 főkomponens) is elvégeztük az osztályozást. A számítási idő jelentősen csökkent és a pontosság 56,64%-ról 77,27%-ra nőtt. Az osztályozási sorozatban a terület földhasználati kategóriáinak megfelelően 6 csoportot alkalmaztunk osztályozásra.

Az ellenőrzött osztálybasorolást a kijelölt mintaterületek adatai alapján *maximum-likelihood* elemzéssel végeztük el, mivel a korábbi a szakirodalomban található adatok és saját tapasztalatink (Burai, 2006) alapján az ENVI 4.1 programba beépített modulok közül ez bizonyult a legpontosabb módszernek. A LANDSAT és a DAIS 7915 felvételeknél az ellenőrzött osztálybasorolásra a maximum likelihood módszert alkalmaztuk, azonos tanítóterületeket használatával. Az ellenőrzőterület és az osztályozott felvételekből számított hibamátrixokat a *függelék 2.* és *3. táblázata* tartalmazza. A maximum likelihood osztályozás képei a *37.* és *38. ábrán* láthatóak.



37. ábra Maximum likelihood módszerrel osztályozott LANDSAT ETM+ felvétel



38. ábra Maximum likelihood módszerrel osztályozott DAIS-7915 felvétel

A maximum likelihood osztályozás eredményei alapján megállapítható, hogy mindkét felvétel jól alkalmazható a mezőgazdasági táblák osztályozására. A LANDSAT felvétel átlagos pontossága alacsonyabb volt, amely a lucerna, gyep és cukorrépa esetén 70%-körüli, míg a többi osztály pontossága a hiperspektrális felvételhez hasonló értékeket mutatott (*16. táblázat*).

Osztályozási módszerek	Felvétel típusa	Pontosság	tarló	szántás	lucerna	gyep	kukorica	cukor- répa	Teljes pontosság	Kappa érték
K-Means *	LANDSAT	Production	89,04	73,44	50,65	0,69	92,52	0,15	66,97	0,56
+mask		User	96,85	10,46	83,49	15,72	71,95	0,89		
K-Means *	DAIS	Production	86,00	9,96	38,64	19,00	71,69	20,71	57,87	0,43
+mask		User	89,63	7,57	99,56	27,66	55,35	14,21		
K-Means **	LANDSAT	Production	96,29	35,79	59,84	72,43	98,84	92,26	74,97	0,68
+mask		User	45,73	16,89	93,55	98,24	53,01	96,68		
K-Means ** +mask	DAIS	Production	69,98	21,10	67,30	27,74	64,33	3,22	56.64	0.43
		User	91,48	9,77	95,38	21,30	59,70	2,15	50,04	0,45
K-Means ** +mask	DAIS (PCA)	Production	98,01	96,37	67,27	37,85	68,18	89,69	77 27	0.71
		User	97,67	41,01	94,27	10,76	88,34	80,34	11,21	0,71
Maximum likelihood	LANDSAT	Production	94,62	81,83	73,11	70,67	85,72	73,48	78.22	0.72
		User	95	85,55	98,85	97,5	14,55	99,88	76,22	0,72
Maximum likelihood	DAIS	Production	93,14	81,22	78,51	91,43	84,84	84,68	85.52	0.81
		User	98,84	100	99,7	20,28	99,01	99,89	05,52	0,01

16. táblázat Az osztályozott felvételek hibamátrixa

*ismétlés = 1, **ismétés = 10

4.6 Mezőgazdasági területek regionális szintű vegetáció vizsgálata integrált GIS rendszerben

Az EU mezőgazdasági földalapú támogatási rendszerében a távérzékelt adatok biztosítják az ellenőrzés alapját, amelyre különböző típusú űrfelvételeket alkalmaznak. A kutatás alkalmával a parcellaazonosítás során alkalmazott módszerek vizsgálatát végeztük el, majd a kijelölt parcellákon kis felbontású idősoros felvétel alapján vizsgáltuk különböző mezőgazdasági növények vegetáció dinamikáját.

A kutatáshoz a *3.2.3. fejezetben* ismertetett SPOT-5 műholdfelvételeket és idősoros MODIS felvételek 250 m-es terepi felbontású vörös és közeli infra csatornáit alkalmaztuk. A terepi mérési adatokat a Jász-Nagykun-Szolnok megyei Növényegészségügyi és Talajvédelmi Szolgálattól kaptuk, akik 2003-ban GPS-el felmérték a fizikai blokkok határait (*3.1. fejezet, 4. ábra*).

A képfeldolgozási folyamatot két részben végeztük el. Az osztályozásra használt kvalitatív vizsgálatokhoz, az atmoszférikus korrekció nélküli SPOT-5 felvételt alkalmaztunk. A 2003. 05. 08. és a 2003. 08. 11.-én készített felvételből először egyenként, majd a két felvétel összevonásával végeztük el az ellenőrzött és ellenőrizetlen osztályozást. Elsősorban a tavaszi időpontban készített felvételnél lehet kritikus, hogy milyen mértékben lehet megbecsülni a vegetációs időszak kezdeti fejlődési stádiumában lévő növényfajokat egyetlen felvételből. Az előfeldolgozás során a felvételek geometriai transzformációját EOV vetületi rendszerbe ENVI 4.1 szoftver segítségével végeztük el. A regisztrációhoz a referenciapontokat (*Ground Control Point*, GCP) digitális EOTR 1:10000 topográfiai térképekből és DTA-50 adatbázisból gyűjtöttük. A transzformáció paramétereit a *17. táblázat* tartalmazza.

felvétel	GCP pont	transzformáció	minimum RMSE (m)	maximum RMSE (m)	RMSE (m)
Samada	36	elsőfokú polinominális	6,55	52,51	33,43
Scene02	36	másodfokú polinominális	2,01	23,80	12,43
Seene01	51	elsőfokú polinominális	5,46	67,12	37,01
Sceneul	51	másodfokú polinominális	4,07	30,09	15,21

17. táblázat A SPOT-5 felvételek geometriai transzformációjának RMSE értékei

Az osztályozásra a fizikai blokkok terepi GPS méréseiből készített maszkot alkalmaztuk. Előzetesen alkalmazott maszk nélküli ellenőrizetlen osztályozás eredményei nem adtak értékelhető eredményt az osztályozás alkalmazásánál. A pixel alapú osztályozást az Anyag és módszer 3.1 fejezetében ismertetett 16 növényfajra végeztük el ENVI 4.1 szoftverkörnyezetben. A tanítóterületeket a fizikai blokkokból véletlenszerűen választottuk ki úgy, hogy a területük a vizsgált osztály 5%-nál ne legyen több. A legnagyobb valószínűség módszerrel (maximum likelihood) osztályoztuk a felvételeket, amelyet a két felvétel összevonásánál is alkalmaztuk. Az osztályozási hibamátrixok (confusion matrix) eredményeit a függelék 4.-9. táblázatai tartalmazzák. A kapott eredményeket összehasonlítva megállapíthatjuk, hogy a 2003. 08. 11. -én készült felvétel megbízhatóbb, mint a tavaszi időszakban (2003. 05. 08.) készített felvétel, azonban a teljes pontosság mindössze 52,85 %. A tavaszi időszak alapján készített osztályozás az őszi kalászos és tavaszi vetésű növények esetében is alacsony megbízhatóságú volt, kivétel a cukorrépa (80%) ami a vizsgált kevés (4db) és nagy méretű tábláknak a homogenitásával magyarázható. Az osztályozás teljes pontosságát a két felvétel összevonásával növeltük 66,37 %-ra.

Az ellenőrizetlen osztálybasorolásra a középpont-átlag (*K-means*) módszert alkalmaztuk, azonban a nagy osztályszám miatt nem kaptunk értékelhető eredményt. A legjobb párosítást alkalmazva a két SPOT felvétel együttes alkalmazásával a teljes pontosság legjobb eredményeként is, csak 12,07 %-ot kaptunk.

Néhány kultúra csak egy-egy táblával és viszonylag kis területtel szerepelt a vizsgálati mintaterületen, ezért ezeket kizártuk a vizsgálatból, ezek a következők: Olajtök, Mustár,

Zöldbab, Triticale, Legelő, Őszi árpa. Az osztályozásra hasonló módszerrel jelöltük ki a tanítóterületek, mint az ellenőrzött osztálybasorolásnál (*18. táblázat*).

Növányok	Azonosító	Tarülat (ha)	Tanító területek			
Novemyek	AZOHOSILO	Terulet (lia)	ha	Pixelszám		
Napraforgó	1	1905,23	95,26	4860		
Kukorica	2	2731,96	136,60	6969		
Borsó	3	359,95	18,00	918		
Őszi búza	4	3295,12	164,76	8406		
Tavaszi árpa	6	423,11	21,16	1079		
Lucerna	7	401,63	20,08	1025		
Gyep	8	143,27	7,16	365		
Cukorrépa	10	279,78	13,99	713		
Repce	14	56,26	2,81	143,52		
Rizs	15	123,23	6,16	314,36		
Összesen	X	9719,54	485,98	24792		

18. táblázat: A kijelölt 10 kultúra tanító területeinek területi jellemzői

A 10 szántóföldi növényre alkalmazott osztályozás eredményeit a *függelék 9.-12*. táblázatai tartalmazzák. Számottevő pontosság javulása nem figyelhető meg az eredmények értékelésénél, a legjobb eredményeket adó, a két felvételt együtt kezelő *maximum likelihood* osztályozással 66,37 %-ról 66,73 %-ra tudtuk növelni a teljes pontosságot.

Az osztályozás értékelésénél hibamátrixot alkalmaztunk, ahol az egyes osztályokra külön-külön megkaptuk a pontossági értékeket. Ahhoz, hogy a parcellák aktuális növényborítását meg tudjuk határozni, parcellánként kellene meghatározni az aktuális állapotot. Az eredményül kapott osztályozott rétegben egy-egy parcellán belül is megfigyelhetünk különböző borítást, amit elsősorban az egyes osztályok reflektancia értékei közötti kapcsolat okoz, továbbá a táblán belüli eltérő talajtulajdonságok, gyomfoltok, stb. miatt sok esetben egy parcellán belül is különböző típusú felszínborítást találunk, ezért szükség volt olyan statisztikai alapú osztályozásra, amely a parcellán belüli gyakoriságból megállapítja a tényleges kategóriát. Az osztályozott felvételnél a parcellák szegélyénél nagyobb hiba a jellemző, amely okai valószínűleg a fizikai blokkok kijelöléséből, a SPOT-5 felvételek felbontásából és a transzformációból eredő geometriai hibával, valamint a szegély eltérő növényborításával magyarázható. Az őszi búza esetében megvizsgáltuk a parcellák szegélyhatását és azt tapasztaltuk, hogy az 1 pixel, azaz 10m szélességű sávban az osztályozás pontossága rosszabb, a jól

osztályozott terület mindössze 46,53% a teljes területre számított 71,54%-kal szemben. Több esetben tapasztaltuk, hogy a parcelláknál a zavaró hatású pixelek a szegélyben koncentrálódnak, a táblán belül, pedig szórtan, esetleg foltszerűen jelentkeznek (*39. ábra*).



39. ábra Osztályozott őszi búza parcellák

A korábban is alkalmazott képelemzés értékelésére szolgáló hibamátrix és kappa-index mellett "parcella-alapú" képosztályozás értékelést alkalmaztunk. A hibamátrix és kappa-index hátrányai, hogy a teljes ellenőrző területet kategóriánként összefüggően kezeli, nem mutat rá a parcellán belüli osztályozás pontosságára. Az ellenőrzés során az osztályozott képet az ellenőrző terület parcellái szerint exportáltuk SPSS programba, és a kiértékelést is parcella szinten végeztük el. Az eredmények alapján meg lehet állapítani az osztályozás parcella szintű eredményeit. A *40. ábrán* látható hisztogram az osztályozás pontosságának eloszlását mutatja az őszi búza parcelláknál.



40. ábra Az őszi búza táblák osztályozásának pontossága

Abban az esetben, ha egy küszöbértéket állapítunk meg a parcellán belüli pontosság alapján, meghatározhatjuk azokat a parcellákat, amelyek teljesítik ezeket a feltételeket, a továbbiakban ezekeket, mint helyesen osztályozott területet kezelhetjük. Az őszi búzánál a fenti hisztogram (40. ábra) figyelembe vételével a küszöbértéket 60%-ban határoztuk meg, így a 71,54%-os pontosság 80,16%-ra változott. Az osztályozással nyert adatok parcella szintű kezeléséhez ACCESS adatbáziskezelő programot alkalmaztunk, ahol tábla szinten lehet lekérdezni az osztályozás eredményét, így a parcellák azonosító kódjával egyenként is megismerhetjük az osztályozás eredményeit.

Ahhoz, hogy a teljes vegetációs időszakban vizsgálni tudjuk a vegetáció változását, idősoros felvételre volt szükségünk. Az alkalmazott TERRA-MODIS műhold napi gyakorisággal készít felvételeket, és a gyors adatfeldolgozási mechanizmusa miatt a felvétel készítése után 2 nap múlva hozzáférhető. Bár a terepi felbontása elmarad a klasszikus erőforrásfigyelő műholdaktól, mint pl. a LANDSAT, azonban megbízható a radiometriai korrekciója és a szenzorhibából eredő hatások utólagos korrekciós lehetőségei, a gyakori ismétlésszám (Wolfe et al., 2002; Cohen et al., 2003b) indokolttá tenné az adatok szélesebb körű felhasználását. A legnagyobb terepi felbontású (250 m) B1.-B2. sáv vörös és közeli-infravörös csatornáit alkalmaztuk a vegetáció dinamikus változásának vizsgálatára.

A Szolnok-Túri mintaterület vegetációvizsgálatra 14 vizsgálati helyszínt választottunk ki nagy méretű mezőgazdasági táblákon, 6 különböző szántóföldi növény esetében,

ahol legalább 4 pixelnyi olyan területet volt lehatárolható, ahol a minták homogénnek tekinthetőek (*függelék 15. táblázat*).

A geometriailag transzformált 2003.03.01-2003.08.31. közötti 191 napos időszakból kiválasztott 30 db MODIS felvételt (*függelék 16. táblázat*) a Szolnok-Túri sík mintaterületeire leválogattuk (*3.2.3. fejezet*). A vizsgált időszakból közel heti rendszerességgel tudtunk értékelhető felvételeket letölteni, de előfordultak olyan időszakok, amikor szinte minden második nap volt értékelhető felvétel, illetve egy olyan alkalom, mikor 16 nap telt el két időpont között. A felvételek előfeldolgozása során a referencia (nem felhős) és a vizsgált felvételek vörös csatorna szórásdiagramján meghatároztuk a küszöbértéket (*41. ábra*), amely értéket meghaladó értékű pixeleket maszkoltuk a felvételeken (Du et al., 2002).



41. ábra A 2003.07.08 (x) felhős időszak és a 2003.08.02 (y) felhőtlen időszak MODIS vörös (B1) csatornáinak szórás diagramja (Y_{max}, X_{max}: maszkolási küszöbérték)

Az egyes felvételek időpontjait, és a számított felhősödés mértékét a *függelék 16. táblázat* tartalmazza. További problémát a felhők árnyékai okoztak, amelyet a két csatorna vizsgálatával meglehetősen nehéz elkülöníteni az egyéb objektumok reflektancia értékeitől.

Abban az esetben, ha a vizsgálati területek valamelyike a felhő maszkra esett, abban az időpontban ezeket kihagytuk a további vizsgálatból. A mintavételi területek

pixelértékeiből, minden felvételnél számtani átlagot számítottunk, majd meghatároztuk az NDVI értékeket (42. *ábra*).



42. ábra növényfajok NDVI változása a vegetációs időszakban.

Megvizsgáltunk azonos fajú de különböző területről származó adatok NDVI változását grafikonon ábrázolva. A Szolnok-Túri síkon a legnagyobb területen termesztett őszi búza területek NDVI értékeinek változását grafikonon ábrázoltuk (43. ábra), ahol megfigyelhető a fajra jellemző növekedési dinamika.



43. ábra Különböző területen elhelyezkedő búza táblák NDVI idősora

A 3 különböző vizsgálati területen lévő állomány reflektancia értékeiből számított NDVI páronként összehasonlítottuk, amelyek determinisztikus együtthatóinak adatait a *19. táblázat* tartalmazza.

vizsgálati	\mathbf{R}^2					
területek	04	06	08			
04	1,00	0,75	0,65			
06	0,75	1,00	0,82			
08	0,65	0,82	1,00			

19. táblázat Őszi búza parcellák idősorainak determinisztikus együtthatói

A determinisztikus együttható értékei alapján az egyes vizsgálati területek idősorai között a statisztikai kapcsolat bizonyítható. Hosszabb idősorok vizsgálatánál a szezonális változásokat trendvonal felvételével becsülhetjük. Az éves NDVI görbe a kalászosoknál a bokrosodás -szárba indulás- érés kezdeti szakaszáig növekszik, majd az éréstől a betakarításig csökkenő tendenciát mutat, mivel itt már a vízleadási folyamatok kerülnek előtérbe. Az őszi búza vizsgálati területek pixel értékeiből számtani átlagot képeztünk, majd elvégeztük a trendvonal felvételt (*44. ábra*). A trendfüggvény illesztésére a görbe jellege miatt harmadfokú polinom módszert alkalmaztuk, ahol a független változó az idő. Az illesztés jóságát négyzetes korrelációs együttható módszerével határozhatjuk meg. A harmadfokú polinom illesztés determinisztikus együttható értéke (R^2 =0,77) jó illesztést jelez.



44. ábra Őszi búza tábla NDVI változása a vizsgált időszakban

Gyakran tapasztalhatunk a növekedési időszakban is csökkenő szakaszokat, amiket feltehetőleg a légköri páratartalom változékonysága, a változó időjárási események, a maszkolás után maradt felhő árnyékok és a felvétel geometriai torzításai okoznak.

A kukorica állomány vizsgálata során megfigyelhető a gyors növekedési dinamika a júniusi időszakban, amely az öntözés szempontjából is kritikus időszak lehet (45. *ábra*).





A 46. *ábrán* karcagi meteorológiai adatokból számított napi csapadékmennyiség (mm) és az NDVI értékek szerepelnek. A 2003-as évben a kukorica számára kritikus virágzási időszak előtt jelentős mennyiségű csapadék hullott a területre.



46. ábra A MODIS felvételekből számított NDVI index és a mért napi csapadék adatok

A SPOT felvételekből készített osztályozott kép alapján határoztuk meg a földhasználati kategóriákat. A MODIS felvételek integrációjával az egyes növényfajok növekedési dinamikáját tudtuk meghatározni a vegetációs időszakban. További mért időjárási paraméterek (pl. a csapadék, hőmérséklet, szélsebesség, páratartalom, stb.) és a talajtani tulajdonságok ismeretével, az ismert hidrológiai számításokkal becsülhető a talaj vízkészletének változása a vegetációs időszakban. A SPOT és a MODIS felvételek adatfeldolgozási mechanizmusának vázlatát, valamint az adatintegráció lehetőségeit tartalmazza a *függelék 2. ábra*.

5. Következtetések és javaslatok

Mezőgazdasági mintaterületeken távérzékelt felvételekkel vizsgáltuk a növényzet biofizikai változóink a tér és az időbeni eltéréseit, amelyek a hagyományos mintavételi eljárásokkal szemben térbeli értékelésre ad lehetőséget. A vizsgálatok elsősorban a vízgazdálkodási tulajdonságokat leginkább meghatározó növényi levélfelület, biomassza, felszíni hőmérséklet, szikesedés, földhasználati tulajdonságok vizsgálatára terjedtek ki. A biofizikai változók és talajtani paraméterek vizsgálatánál hasonló jelenségeket tapasztaltunk, különböző geometriai és spektrális felbontású távérzékelt felvételek használatával, azonban az eltérő radiometriai és geometriai tulajdonságok különböző adatfeldolgozási módszereket igényeltek.

A TETRACAM ADC multispektrális kamerával készített földközeli felvételek, megfelelő alkalmazással, pontszerű vegetáció és kis területek légitérképezésében bizonyultak eredményesnek. A különböző növényfajokról készített felvételeknél, 5-80% tényleges borítottság között a borítottság (%) és NDVI között szoros pozitív regressziót tapasztaltunk. A kamera a gyomosodott állományok borítási vizsgálatában eredményes eszköz volt, amely a megfelelő kalibrációval gyors, pontos, és olcsó felvételezést tesz lehetővé. A módszer szélesebb körű használata kiegészítheti a hagyományos gyomfelvételezési és borítottság vizsgálatokat, csökkentve a vizuális felvételezés szubjektivitását.

A TETRACAM ADC multispektrális kamerával készített felvételek további feldolgozásával, különböző alakzat-felismerési eljárásokkal akár faj szintű értékelésre is sor kerülhet. A kamera szabványszerű alkalmazása javasolt a vegetáció vizsgálatban, mivel a felvételezés és az adatok feldolgozás gyors és pontos adatnyerésre alkalmas. A kamera légi alkalmazása során készített felvétellel mezőgazdasági parcella biomassza-változását vizsgálatuk, a közeli infra és vörös csatornák reflektancia értékeiből számított NDVI felhasználásával. Az NDVI index hatékony eszköznek bizonyult az őszi-búza állomány biofizikai paramétereinek (levélfelület, szármagasság és szemtermés) meghatározására, és közvetett módon a feltalaj vezetőképességének térképezésére. A feltalaj sótartalom növekedésével csökkent a növényi biomassza (növénymagasság, termés) mennyisége, amelyet az alacsony magasságból TETRACAM ADC multispektrális kamerával készített felvétel feldolgozásával meg tudtunk határozni. A

101

kamera új generációs, nagyobb felbontású változatait a precíziós mezőgazdaságban légi alkalmazás során nagyobb területek vizsgálatára is lehetne alkalmazni.

Abban az esetben, ha a növényzet és a bizonyos talajtani tulajdonságok a parcellán belüli térbeli változatosságát szeretnénk vizsgálni, a több csatornát tartalmazó és nagy térbeli felbontású felvételek alkalmazására van szükség. A kvantitatív vizsgálatoknál eredményes eszköznek bizonyultak a DAIS 7915 hiperspektrális felvétel feldolgozásából nyert adatok. Eredményeink rámutattak a helyes előfeldolgozás fontosságára. A vizsgált növényi indexek nem miden esetben adnak többlet információt a vizsgált tulajdonságról. Sok esetben egyetlen megfelelő csatorna kiválasztásával hasonló vagy jobb eredményt érhetünk el, mint az összes spektrum, vagy annak egy transzformált változatával.

Térben változó sótartalmú, kedvezőtlen vízgazdálkodási tulajdonságú szikesedett mezőgazdasági terület vizsgálatánál, megállapítottuk, hogy a hiperspektrális felvételek MIR és TIR tartományának bizonyos hullámhosszai kevésbé érzékenyek a vegetációváltozásra, így jobb becslést adnak akkor is, ha a feltalaj sótartalom változását a növényzet kevésbé indikálja. A reflektancia / radiancia értékekből számított regressziós modellek csak a vizsgált területen alkalmazva adnak pontos becslést a vizsgált tulajdonságról.

A tedeji mintaterületen nagyparcellás növényvédelmi kísérlet keretein belül vizsgáltuk a cukorrépa levélfelület térbeli változékonyságát. Az egyes lombvédelmi kezelések térbeli mintázatát meg tudtuk állapítani a főkomponens analízis során számított, a növényzet változékonyságát reprezentáló első főkomponens értékeiből. A regresszió számítás alkalmával megállapítottuk, hogy a NIR csatornák mindegyikével jól becsülhető a levélfelület változása, azonban a MIR és TIR tartomány kevésbé érzékeny a vegetációváltozásra. Több csatorna együttes használata, illetve a legnagyobb variációt mutató főkomponensek nem adtak jobb becslést, mint egy tetszőlegesen kiválasztott csatorna a NIR tartományból (0,71-1,72 μ m). Az NDVI és vörös él pozíciót (VEP) számítva becslésünk megbízhatósága nem haladta meg a legszorosabb regressziót mutató 1,668 μ m tartományból számított iterációs modell (R² =0,731, p<0,05) értékét.

A közepes felbontású LANDSAT ETM+ idősoros felvételek reflektancia adatai felhasználásával el tudtuk különíteni a gyomosodott, nagyobb biomassza értékű és gyommentes parcellát. A táblán belüli, pixel szintű vizsgálatnál a számított NDVI adatok és a teljes borítás között gyenge determinisztikus kapcsolatot számítottunk, azonban a növényzet faj szintű becslését a vizsgált parcellán nem lehetett LANDSAT adatokból számítani.

A különböző magasságból és felvételezési módszerrel készített, eltérő radiometriai és geometriai felbontású de azonos időpontban készített felvételek összehasonlítása során megállapítottuk, hogy a megfelelő atmoszférikus és geometriai transzformáció alkalmazásával az általunk vizsgált teljes spektrális sávban azonos módon változott a vizsgált felszín reflexió / radiancia értéke.

A DAIS 7915 felvételből számított felszíni hőmérséklet a vizsgált időpontban szoros korrelációt mutatott a növényzet változását indikáló NDVI-vel, a csökkenő biomassza mennyisége növelte a felszíni hőmérséklet értékeit a vizsgált területen. A LANDSAT ETM+ felvétel kis terepi felbontású TIR csatornája már kevésbé megbízhatóan jelezte a hőmérséklet változását.

A földhasználat vizsgálatnál a LANDSAT ETM+ felvételek osztályozása során közel hasonló pontosságot tapasztaltunk, mint a nagyobb geometriai és radiometriai felbontású DAIS-7915 felvételek elemzésével. Az osztályozások pontosságát a vizsgálatba bevont területek maszkolásával és a *K-means* módszernél az ismétlések számának emelésével tudtuk növelni. A hiperspektrális felvétel esetében az ellenőrzött osztálybasorolás során a főkomponens analízissel (PCA) számított főkomponensek alkalmazásával nem csak az adatfeldolgozás sebességét, hanem az osztályozás pontosságát (56,6 %-ról 77,27 %-ra) is tudtuk növelni. Az osztályozási módszerek közül a *maximum likelihood* módszer adta a legmegbízhatóbb eredményt, az átlagos pontosság a LANDSAT esetében 78,22% volt, míg a DAIS 7915 esetében 85,52%.

A Szolnok-Túri-sík mintaterületen regionális szintű földhasználat elemzést végeztünk. A vizsgálathoz egy tavaszi és egy őszi időszakban készített közepes felbontású SPOT-5 multispektrális felvételek alkalmaztunk. A felvételek osztályozásánál az ellenőrzött osztálybasorolással tudtuk a legpontosabb eredményt elérni. A két időpont közül a kora őszi időszak osztályozásával kaptunk pontosabb eredményt, amelyet a két időpont összevonásával tovább tudtunk növelni. Az osztályozott parcellák vizsgálatánál a hiba jelentős része a geometriai korrekcióból, a parcella méréséből és a szegélyhatásból származik. Az osztályozás értékelésére bevezettünk egy módszert, amely a hagyományosan alkalmazott hibamátrixszal szemben parcellánként vizsgálja az osztályozás pontosságát, és az eredmények parcellánként is lekérdezhetőek.

A regionális vizsgálatnál alkalmazott MODIS felvételből a felhős területek maszkolása után számított NDVI-ből a vegetációs időszakban a növényzet fejlődésének idősoros dinamikáját számítottuk. A kis felbontású MODIS felvételek az ismétlésszám és a gyors hozzáférhetőség miatt alkalmasak a nagyobb táblaméretű mezőgazdasági területek biomassza-változásának vizsgálatára, valamint a feldolgozott adatok beépíthetőek különböző vízgazdálkodási modellekbe.

6. Új tudományos és a gyakorlatban hasznosítható eredmények

Új és újszerű tudományos eredmények

Doktori munkám során elért eredmények alapján az alábbi új és újszerű tudományos eredményeket fogalmaztam meg:

- I. Meghatároztam a TETRACAM ADC digitális multispektrális kamera földközeli alkalmazási lehetőségeit és korlátait a növényborítás és a levélfelület (LAI) vizsgálatában.
- II. Az alacsony magasságban készült felvételekből számított NDVI index alapján az őszi-búza állomány egyes biofizikai paramétereit és közvetett módon a feltalaj vezetőképességének térképeztem.
- III. Megállapítottam, hogy az általam vizsgált közép-infra (MIR) és termális infra (TIR) spektrumokból, mely hullámhossz tartományok érzékenyek a talaj vezetőképességének a változására, abban az esetben is, ha a növényzet a látható (VIS) és a közeli-infra (NIR) tartományokban kevésbé jelzi azt.

- IV. Lombvédelmi kezelések hatásának térbeli mintázatának értékelése során megállapítottam, hogy a NIR csatornák mindegyikével jól becsülhető a levélfelület változása.
- V. Távérzékelt felvételek osztályozásának értékelésére kidolgoztott módszerem, a hagyományosan alkalmazott hibamátrixszal szemben parcellánként határozza meg az osztályozás pontosságát, parcellánként lekérdezhető módon.

Gyakorlatban hasznosítható eredmények

Doktori munkám során elért eredményeim alapján a következő, a gyakorlatban hasznosítható eredményeket fogalmaztam meg:

- I. Különböző távérzékelt felvételek összehasonlítása során értékeltem, hogy a megfelelően feldolgozott hiperspektrális felvételek pontosabb becslést adnak a vizsgált talajtani és vegetációs paraméterek estében, mint a közepes felbontású (LANDSAT ETM+) felvételek, ezért javaslom a szélesebb körben való alkalmazását az agrár-környezetvédelmi vizsgálatokban.
- II. Az adatfeldolgozás során eredményeim rámutattak a helyes előfeldolgozás fontosságára, azaz a megfelelő csatorna vagy csatornák kiválasztásával hasonló vagy jobb eredményt érhetünk el, mint az összes spektrum, vagy annak egy transzformált változatával.
- III. Megállapítottam, hogy a kis felbontású MODIS felvételekből számított növényi vegetációs indexekkel jól modellezhető a szántóföldi növények fejlődése a nagy táblaméretű mezőgazdasági területeken.

7. Összefoglalás

A disszertáció elkészítésénél általános célul tűztük ki, hogy különböző távérzékelt adatok és adatfeldolgozási módszerek alkalmazásával vizsgáljuk meg a mezőgazdasági gyakorlatban meghatározó talajtani paramétereket és a növényzet térbeli változékonyságának tulajdonságait. Az általános és részletes célkitűzéseket a bevezetés fejezetében fogalmaztuk meg.

A szakirodalmi áttekintésénél először a távérzékelés tudományos hátterét ismertettük. Az elektromágneses hullám fizikai tulajdonságai közül a távérzékelési folyamatokat leginkább meghatározó paramétereket mutattuk be a sugárforrástól a detektorig. Ismertettük a légkör és a természetes felszínek optikai tulajdonságait, különös tekintettel a talaj és a növényzetre. Csoportosítottuk és bemutattuk a szenzorokat a adatforrásokat a működési mechanizmusuk és a felvételek geometriai és radiometriai tulajdonságaik alapján. A távérzékelt adatok feldolgozását az előfeldolgozástól az eredmények értékeléséig lépésenként ismertettük. Részletesen foglalkoztunk a radiometriai és geometriai korrekció kérdésével, a képi jelerősítéssel, a képelemzési eljárásokkal, a eredményeinek értékelésével és idősoros képosztályozás az felvételek változásvizsgálatával. A távérzékelés gyakorlati alkalmazásai közül a talajtani vizsgálatokat, vegetációelemzés, földhasználat-vizsgálat és vízgazdálkodási szakterület szakirodalmát tekintettük át.

Az anyag és módszer fejezetben ismertettük a vizsgálati helyszínek alapvető klimatikus és térbeli paramétereit. A vizsgálatok során előállított és alkalmazott felvételeket a szenzorok alapján csoportosítottuk, és ismertettük azok technikai paramétereit. A földközeli és alacsony repülési magasságból készített légifelvételezésre alkalmazott TETRACAM ADC multispektrális kamerának megvizsgáltuk a geometriai paramétereit, majd meghatároztuk a gyors terepi felvételezés alkalmazásának lehetőségeit. A kamerával különböző növényfajokról készített felvételeknél, 5-80% borítottság között a felvételekből számított borítottság és NDVI között szoros pozitív regressziót tapasztaltunk. A kamera a gyomosodott állományok borítási vizsgálatában eredményes eszköz volt, amely gyors, pontos, és olcsó földközeli valamint kis területek légi felvételezését teszi lehetővé.

A kamera légi alkalmazása során készített felvétellel szikesedett területen őszi búza állományt vizsgáltunk. A felvételből számított NDVI index hatékony eszköznek bizonyult az őszi-búza állomány levélfelületének (LAI), szármagasságának és szemtermésének becslésében. A vizsgált mintaterületen az őszi búza jól indikálta a feltalaj vezetőképességének változását, így a számított NDVI indexből nem csak a növényállomány egyes biofizikai paramétereit, hanem a sótartalom térbeli változékonyságát is becsülni tudtuk. Megállapítottuk, hogy a feltalaj sótartalom növekedése csökkenti a növényi biomasszát (növénymagasság, termés).

Savanyú homoktalajon, parlagfűvel (*Ambrosia artemissifolia*) gyomosodott napraforgó táblában vizsgáltuk az állományon belüli borítás és gyomösszetétel változását. A mintavételi eredményeket LANDSAT ETM+ felvétel reflektancia adataival hasonlítottuk össze. A számított NDVI adatok és a teljes borítás között gyenge determinisztikus kapcsolatot számítottunk, azonban a gyomok fajszintű becslését csak nagy bizonytalanság mellett lehetett a LANDSAT adatokból számítani.

A szikesedési vizsgálatokat hipersektrális felvétel elemzésével is elvégeztük. A vizsgált mintaterület a felvétel készítésének idején kevert fajösszetételű növényállományt tartalmazott. Az általunk alkalmazott DAIS 7915 hiperspektrális felvételnek is csak néhány csatornának reflektancia /radiancia értékei mutattak statisztikai kapcsolatot a talaj sótartalmának változásával. A mintaterület vizsgálatánál megállapítottuk, hogy a hiperspektrális felvételek MIR és TIR tartományának bizonyos hullámhosszai alkalmazásával kaptuk a legpontosabb becslést a sótartalom változásra.

A tedeji mintaterületen nagyparcellás növényvédelmi kísérlet keretein belül cukorrépa levélfelület térbeli változékonyságát vizsgáltuk. A mintaterületen különböző növényvédelmi kezeléseket alkalmaztak, amelynek a levélfelületben jelentkező hatásait vizsgáltuk a DAIS7915 felvétel feldolgozásával. Az egyes lombvédelmi kezelések térbeli mintázatát főkomponens analízis alkalmazásával vizsgáltuk, a növényzet változékonyságát reprezentáló első főkomponens értékeiből. A regresszió számítás alkalmával megállapítottuk, hogy a NIR csatornák mindegyikével jól becsülhető a levélfelület változása, azonban a MIR és TIR tartomány kevésbé érzékeny a vegetáció változásra. A számítások során az előfeldolgozás során számított NDVI, VEP (*Red*
Edge Point, REP) értékeivel hasonlítottuk össze a levélfertőzöttség értékeit. A legszorosabb regressziót a 1,668 μ m tartományból számított iterációs modell (R² =0,731, p<0,05) tudtuk becsülni.

A tedeji Puszta-mintaterületen 6 földhasználati kategóriát vizsgáltunk LANDSAT DAIS-7915 ETM+ és felvételekkel. ahol ellenőrzött és az ellenőrizetlen osztálybasorolást alkalmaztunk. A pontosságot a vizsgálatba bevont területek maszkolásával és a hiperspektrális felvételnél az ismétlések számának emelésével tudtuk növelni. A hiperspektrális vizsgálatnál a csatorna szám csökkentésére alkalmazott főkomponens analízissel (PCA) számított főkomponensek alkalmazásával tudtuk növelni az osztályozás pontosságát. Az osztályozások pontosságát a vizsgálatba bevont területek maszkolásával és a K-means módszernél az ismétlések számának emelésével tudtuk növelni. Az osztályozási módszerek közül a maximum likelihood módszere adta a legmegbízhatóbb eredményt, az átlagos pontosság a LANDSAT esetében 78,22% volt, míg a DAIS 7915 esetében 85,52%.

A Szolnok-Túri-sík mintaterületen regionális szintű földhasználat elemzést végeztünk SPOT-5 multispektrális felvételek alkalmazásával. A felvételeket EOV vetületi rendszerbe transzformáltuk. A felvételek osztályozásánál az ellenőrzött osztálybasorolás *maximum likelihood* módszerével kaptuk a legpontosabb eredményt. A két időpont közül a kora őszi időszak osztályozásával kaptunk pontosabb eredményt, amelyet a két időpont összevonásával tovább javítottuk. Az osztályozott parcellák vizsgálatánál a hiba jelentős része a geometriai korrekcióból, a parcella méréséből és a szegélyhatásból származott. Az osztályozás értékelésére olyan módszert alkalmaztunk, amely a hagyományosan használt hibamátrixszal szemben parcellánként vizsgálja az osztályozás pontosságát, és az eredmények parcellánként is lekérdezhetőek.

A vegetáció idősoros vizsgálatához MODIS felvételeket alkalmaztunk, ahol térben homogén mintatereket jelöltünk ki a vizsgálat céljára. A felvételek geometriai transzformációja után felvétel-páronként végeztük el az atmoszférikus korrekciót, a felhős területek leválogatására. A regionális vizsgálatnál alkalmazott MODIS felvételből számított NDVI-ből a növényzet fejlődésének idősoros dinamikáját számítottunk, majd trendvonal felvételével meghatároztuk a vegetáció dinamikáját. A SPOT-5 osztályozásból számított parcellák és az idősoros MODIS adatokból kialakított

108

koncepcionális modell vázlatát dolgoztuk ki, amely további kutatásokkal alátámasztva alkalmazható regionális vízgazdálkodási modellek input paramétereként.

8. Summary

The general objective of the dissertation was the examination of decisive soil parameters in agricultural practice in addition to the spatial variability of vegetation characteristics through the application of different remote sensing data and data processing methods. The general and the specific objectives were defined in the introduction chapter.

The review of relevant literature contains the scientific background of remote sensing methods. Among the physical characteristics of electro-magnetic waves the primary parameters affecting remote sensing processes were presented from the radiance source to the sensor. The optical features of the atmosphere and natural surfaces were evaluated and reviewed with special regard to soil and vegetation. The introduction and categorization of sensors based on their data source, operation mechanisms and the geometric and radiometric features of the images were presented. Image processing of remotely sensed data, from pre-processing to the evaluation of the results, were reviewed. The problem of radiometric and geometric correction, feature determination and classification methods, as well as the valuation of classification and the analysis of time-series images were discussed comprehensively. Regarding the practical applications of remote sensing, the relevant literature of soil and vegetation analysis, land-use examinations and water management were reviewed.

The fundamental climatic and spatial parameters of the model/sample area were presented in the materials and methods chapter. Images taken in the course of investigation were categorized according to the applied sensors and their technical parameters were presented. The geometric parameters of the TETRACAM ADC multispectral camera - used for the near-surface and low altitude airborne imaging - were examined then its applicability for fast field measurements/surveying were determined. A strong positive regression between vegetation coverage and NDVI were detected - within the range of 5-80% coverage - on images taken on different plant

species with the camera. The camera proved to be a fast, accurate and cost-effective means of surveying weed infected crops with near-surface and low altitude airborne imaging.

The camera was used for the examination of winter wheat crop in a salt affected area with airborne imaging. The obtained NDVI, derived from the taken image, demonstrated its efficiency for the estimation of leaf-area index (LAI), stem height and seed production of winter wheat crop. Winter wheat indicates changes in the conductivity of the upper soil layer; therefore the calculated NDVI not only allows the estimation of certain biophysical parameters of the crop, but the spatial variance of the salt content of the soil, as well. It was concluded that the increasing salt content of the upper soil layer plant biomass (plant/stem height, seed production).

Changes in weed coverage and composition were investigated in sunflower crop infested with common ragweed (*Ambrosia artemisiifolia*) on acidic sandy soil. The results of sampling were compared with reflectance data of LANDSAT ETM+ images. Weak deterministic relationship were discovered between the calculated NDVI data and total coverage, however the identification/estimation of weeds at a species level from LANDSAT data could be performed only with a high level of uncertainty.

Examinations of salinization were also carried out by the analysis of hyperspectral images. At the time the image was taken the investigated model area was covered with a mixed composition of plant species. Only the value of a few reflectance/radiance bands of the applied DAIS 7915 hyperspectral image showed statistic connections with the changes in the salt content of the soil. Based on the examination of the model area it could be concluded that the most accurate estimations of salt content changes could be achieved with the application of certain wavelengths within the MIR and TIR range.

The examinations of the spatial variability of sugar beet leaf area were performed in the frame of a large scale field pest control experiment in the Tedej model area. The effects of different pest control treatments on leaf area - applied on the model area - were studied by processing DAIS 7915 images. The spatial pattern of each treatment was examined by principal component analysis using the values representing the variability of vegetation as the principal component.

Based on the regression analysis it could be concluded that each NIR channel is suitable for the estimation of leaf area changes, although MIR and TIR range is less sensible to vegetation changes. In the course of calculations NDVI, REP values were obtained from pre-processing and compared to values of leaf contamination/infestation. The highest regression rates could be estimated from the iteration model ($R^2 = 0,731$, p<0,05) calculated from the 1,668 µm range.

Six land-use categories were examined in the Tedej model area with LANDSAT ETM+ and DAIS-7915 images, where supervised and unsupervised classification was applied. Accuracy could be improved by masking sample areas and by increasing repetitions of hyperspectral images. The accuracy of classification in hyperspectral examinations could be improved by the application of principal components calculated with principal component analysis for the reduction of channel number. The accuracy of classification could be improved by masking sample areas and by increasing repetitions when using K-means method. Among the different classification methods the most reliable results were provided by the *maximum likelihood* method, average accuracy being 78,22% in case of LANDSAT and 85,52% in case of DAIS 7915.

In the Szolnok-Túri-Plain model area regional scale land-use analysis was performed with the application of SPOT-5 multispectral images. Images were transformed to the Hungarian national projection system (EOV). The most reliable results for the classification of the images were achieved by the *maximum likelihood* method with supervised classification. Between the two examined moments the early autumn date provided more accurate results, which could be further improved by merging/contracting the two moments. The majority of errors in the examination of classified plots could be linked to geometric correction, errors in plot measurement and border effect. For the evaluation of the classification such a method was used which - unlike the traditionally used error matrix - examined the accuracy of classification by plots and the results could be queried by plots, too.

For the time-series examination of vegetation MODIS images were used, where spatially homogenous sample areas were defined for the examinations. Atmospheric correction was carried out on image pairs after the geometric transformation of images in order to select cloudy areas. NDVI - calculated from MODIS images applied in the regional examinations – was used for calculating the time series of vegetation growth dynamics, then define the dynamics of vegetation by drawing trend lines. A draft concept model was developed - based on the plots computed from the SPOT-5 classification and the MODIS time series data - which could be applied as input parameter for regional water management models in case it is supported by further research.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- 1. Aitkenhead, M.J., Dalgetty, I.A., Mullins, C.E., McDonald, A.J.S., Strachan, N.J.C. (2003): Weed and crop discrimination using image analysis and artificial intelligence methods. Computers and electronics in Agriculture, 39, pp.157-171.
- Allen, T.R., Kupfer, J.A. (2000): Application of Spherical Statistics to Change Vector Analysis of Landsat Data: Southern Appalachian Spruce-Fir Forests. Remote Sensing of Environment, 74, pp.482-493.
- 3. Almár, I. (1996): Csillagászat a világűrből, pp.166.-180. In: Almár, I., Both, E., Horváth, A. (szerk): Űrtan SH Atlas, Springer Hungarica, 328 p.
- 4. Asner, G.P. (1998): Biophysical and biochemical sources of variability in canopy reflectance. Remote Sensing of Environment, 64, pp.234–253.
- 5. Asner, G.P., Heidebrecht, K.B. (2002): Spectral unmixing of vegetation, soil and dry carbon cover in arid regions: comparing multispectral and hyperspectral observations International Journal of Remote Sensing, 23 (19), pp.3939-3958
- 6. Atkinson, P.M., Cutler, M.E.J., Lewis, H. (1997): Mapping sub-pixel proportional land cover with AVHRR imagery. International Journal of Remote Sensing, 18, pp.917-935.
- 7. Atkinson, P.M. (2004): Spatially weighted supervised classification for remote sensing. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 5, pp.277-291.
- 8. Bajcsy, P., Groves, P. (2004): Methodology for Hyperspectral Band Selection. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. 70 (7), pp.793-802.
- Baret, F., Guyot, G., Major, D. (1989): TSAVI: a vegetation index which minimizes soil brightness effects on LAI or APAR estimating. Proceedings of International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS'89)/12th Canadian Symposium on Remote Sensing, July 10-14, Vancouver, pp.1355-1358.
- 10. Baret, F., Guyot, G., (1991): Potentials and limits of vegetation indices of LAI and APAR assessment. Remote Sensing of Environment, 35, pp.161-173.
- Barnes, W.L., Pagano, T.S., Salomonson, V.V. (1998): Pre-launch characteristics of Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) on EOS-AM1. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 36, pp.1088–1100.
- 12. Barsi, Á. (1997): Landsat-felvétel tematikus osztályozása neurális hálózattal. Geodézia és Kartográfia, 4, pp.21-28.
- 13. Baumgardner, M.F. Silva, L.F. Biehl, L.L. Stoner, E.R. (1985): Reflectance properties of soils, Adv. Agron., 38, pp.1-44.
- 14. Ben-Dor, E., Irons, J.R., Epema, J.F. (1999): Soil reflectance. In: Rencz, A.N. (1999): Remote sensing for the Earth Sience: Manual of Remote Sensing, 3th edition, 707p.
- Benz, U., Hofmann, P., Willhauck, G., Lingenfelder, I., Heynen, M. (2004): Multiresolution, objectoriented fuzzy analysis of remote sensing data for GISready information. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 58, pp.239-258.
- 16. Berke, J., Kelemen, D., Szabó, J. (2004): Digitális képfeldolgozás és alkalmazásai. Nyitott rendszerű képzés oktatási segédlete, Keszthely, 80 p.

- 17. Bernstein, R., Ferneyhough, D.G., (1975): Digital image processing, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 41, pp.1465-1476.
- 18. Bezdek, J.C., Ehrlich, R., Full, W. (1984): FCM: the fuzzy c-means clustering algorithm. Computing Geoscience 10, pp.191-203.
- 19. Birth, G.S., McVey, G. (1968): Measuring the color of growing turf with a reflectance spectrophotometer. Agronomy Journal, 60, pp.640-643.
- 20. Blackburn, G. A. (1998): Spectral indices for estimating photosynthetic pigment concentrations: A test using senescent tree leaves. Internal Journal of Remote Sensing, 19, pp.657–675.
- 21. Blackburn, G.A., Steel, C.M. (1999): Towards the remote sensing of matorral vegetation physiology: Relationships between spectral reflectance, pigment, and biophysical characteristics of semiarid bushland canopies. Remote Sensing of Environment, 70, pp.278-292.
- 22. Blackburn, G.A. (2002): Remote sensing of forest pigments using airborne imaging spectrometer and LIDAR imagery. Remote Sensing of Environment, 82, pp.311-321.
- 23. Blackmer, T.M., Schepers, J.S., Varvel, G.E. (1994): Light reflectance compared with other nitrogen stress measurements in corn leaves. Agronomical Journal, 86, pp.934–938.
- 24. Blaschke, T., Lang, S., Lorup, E., Strobl, J. Zeil, P. (2000): Object-oriented image processing in an integrated GIS/remote sensing environment and perspectives for environmental applications. In: Cremers, A., Greve, K. (Editors), Environmental Information for Planning, Politics and the Public II, Metropolis-Verlag, Marburg, pp.555–570.
- 25. Bosworth, J., Koshimizu, T., Acton, S.T. (2003): Multi-resolution segmentation of soil moisture imagery by watershed pyramids with region merging, 20, pp.741-760(20)
- 26. Brakke, T.W., Wergin, W.P., Erbe, E.F., Harnden, J.M. (1993): Seasonal variation in the structure and red reflectance of leaves from yellow poplar, red oak, and red maple, Remote Sensing of Environment, 43, pp.115–130.
- 27. Brown, L., Chen, J.M., Leblanc, S.G., Cihlar, J. (2000): A shortwave infrared modification to the simple ratio for LAI retrieval in boreal forest: An image and model analysis, Remote Sensing of Environment, 71, pp.16-25.
- Brown, M., Gunn, S.R., Lewis, H.G. (1999): Support vector machines for optimal classification and spectral unmixing. Ecological Modelling, 120, pp.167-179.
- 29. Burai, P. (2006): Földhasználat-elemzés és növény-monitoring különböző adattartalmú és térbeli felbontású távérzékelt felvételek alapján, Acta Agraria Debreceniensis, Debreceni Egyetem, 22, pp.7-12.
- 30. Büttner Gy. (1996): Távérzékelés a világűrből. pp. 168-169. In: Almár, I., Both, E., Horváth, A. (szerk): Űrtan SH Atlas, Springer Hungarica, 328 p.
- 31. Carlson, T.N., Capehart, W.J., Gillies, R.R. (1995): A new look at the simplified method for remote sensing of daily evapotranspiration. Remote Sensing of Environment, 54, pp.161-167.
- Carpenter, G.A., Gopal, S., Macomber, S., Woodcock, C.E., Franklin, J., (1999): A neutral network method for efficient vegetation mapping. Remote Sensing of Environment, 70, pp.326-338.
- 33. Carr, J.R. (1996): Spectral and textural classification of single and multiple band digital images. Computing Geosciences, 22, pp.849-865.

- 34. Chan, J.C.W., Chan, K.-P., Yeh, A.G.O. (2001): Detecting the nature of change in an urban environment: a comparison of machine learning algorithms. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 67, pp.213–225.
- 35. Chang, S., Westfield, M.J., Lehmann, F., Oertel, D., Richter, R. (1993): A 79-Channel Airborne Imaging Spectrometer, SPIE, 1937, pp. 164-172.
- 36. Chappelle, E.W., Kim, M.S., McMurtrey, J.E. (1992): Ratio analysis of reflectance spectra (RARS): An algorithm for the remote estimation of the concentrations of chlorophyll a, chlorophyll b, and carotenoids in soybean leaves. Remote Sensing of Environment, 39, pp.239–247.
- 37. Chen, J. M., Cihlar, J. (1996): Retrieving leaf area index of boreal conifer forests using Landsat TM images. Remote Sensing of Environment, 55, pp.153–162.
- 38. Chen, J. M. (1996): Evaluation of vegetation indices and a modified simple ratio for boreal applications. Canadian Journal of Remote Sensing. 22, pp.229-242.
- Chen, J. M., Rich, P.M., Gower, S.T., Norman, J. M., Plummer, S. (1997): Leaf area index of boreal forest: Theory, techniques and measurements. Journal of Geophysical Resources, 102, pp.29429-29443.
- 40. Cihlar, J., St-Laurent, L., Dyer, J.A. (1991): Relation between the normalized difference vegetation index and ecological variables. Remote Sensing of Environment, 35, pp.279-298
- 41. Clark, C.D., Ripley, H.T., Green, E.P., Edwards, A.J., Mumby, P.J. (1997): Cover mapping and measurement of tropical coastal environments with hyperspectral and high resolution data. International Journal of Remote Sensing, 18, 237-242.
- 42. Clark, R.N., Swayze, G.A., Gallagher, A.J., King, T.V.V., Calvin, W.M. (1993): The U. S. Geological survey, digital spectral library: Version 1: 0.2 to 3.0 microns, pp.93–592.
- 43. Clark, R. N., Swayze, G. A., Livo, K. E., Kokaly, R. F., Sutley, S. J., Dalton, J. B., et al. (2003). Imaging spectroscopy: Earth and planetary remote sensing with the USGS Tetracorder and expert systems. Journal of Geophysical Research, 108, 44p.
- 44. Clevers, J.G.P.W. (1988): The derivation of simplified reflectance model for the estimation of leaf area index. Remote Sensing of Environment, 25, pp.53-70.
- 45. Clevers, J.G.P.W., Verhoef, W. (1993): LAI Estimation by Means of the WDVI: A sensitivity analysis with a combined PROSPECT-SAIL model. Remote Sensing Reviews, 7, pp.43-64.
- 46. Cohen, W.B., Goward, S.N. (2004): Landsat's role in ecological applications of remote sensing. BioScience, 54, pp.535–545.
- 47. Cohen, W.B., Maierpserger, T.K., Gower, S.T., Turner, D.P. (2003a): An improved strategy for regression of biophysical variables and Landsat ETM+ data. Remote Sensing of Environment, 84, pp.561–571.
- 48. Cohen, W. B., Maiersperger, T. K., Yang, Z., Gower, S. T., Turner, D.P., Ritts, W.D., Berterretche, M., Running, W.S. (2003b): Comparisons of land cover and LAI estimates from ETM+ and MODIS for four sites in North America: a quality assessment of 2000/2001 provisional MODIS products. Remote Sensing of Environment, 88, pp.233-255.
- 49. Cohen, W.B., Spies, T.A., Bradshaw, G.A. (1990): Semivariograms of digital imagery for analysis of conifer canopy structure. Remote Sensing of Environment, 34, pp.167–178.
- 50. Coleman, T.L., and Montgomery, O.L. (1987): Soil moisture, organic matter and iron content effect on spectral characteristics of selected Vertisols and Alfisols

in Alabama. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 12, pp.1659-1663.

- Collins, J.B., Woodcock, C.E. (1996): An assessment of several linear change detection techniques for mapping forest mortality using multitemporal Landsat TM data. Remote Sensing of Environment, 56, 66–77.
- 52. Condit, L. (1970): The spectral reflectance of American soils, Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 36, pp.955-966.
- 53. Congalton, R.G. (1991): A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. Remote Sensing of Environment, 37, pp.35-46.
- Congalton, R.G., Green, K. (1993): A practical look at the sources of confusion in error matrix generation. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 59, pp.529-537.
- 55. Conghe, S., Woodcock, C.E., Seto K.C., Lenney, M.P., Macomber, S.A. (2001): Classification and Change Detection Using Landsat TM Data: When and How to Correct Atmospheric Effects? Remote Sensing of Environment, 75, pp.230–244.
- 56. Coppin, P R., Bauer, M.E. (1994): Processing of multi- temporal Landsat TM imagery to optimize extraction of for- subtraction cover change features. IEEE Transaction on Geoscience of Remote Sensing, 32 (4), pp.918–927.
- 57. Coppin, P.R., Bauer, M.E. (1994): Processing of multitemporal Landsat TM imagery to optimize extraction of forest cover change features. Geoscience and Remote Sensing 60 (3), pp.287–298.
- 58. Coppin, P.R., Jonckheere, I., Nackaerts, K., Muys, B. (2004): Digital change detection methods in ecosystem monitoring: a review. Internal Journal Remote Sensing, 25 (9), pp. 1565-1596.
- 59. Cracknell, A., P., Hayes, L.W.B. (1993): Introduction to remote sensing. Taylor and Francis, London, 279. pp.
- 60. Csató, É. (2000): Műholdadatok térképészeti alkalmazása. Doktori értekezés, Földrajz/Földtudomány Doktori Program keretében Eötvös Loránd Tudományegyetem Természettudományi Kar Térképtudományi Tanszék, Budapest
- 61. Csekő, Á. (2003): Árvíz- és belvízfelmérés radar felvételekkel. Geodézia és Kartográfia, 2, pp.16-22.
- 62. Csillag, F., Pasztor, L., Biehl, L. (1992): Spectral Band Selection for the Characterization of Salinity Status of Soils. Remote Sensing of Environment. 43, pp.1-20.
- 63. Csornai, G. (2001): Termésbecslés űrfelvételekkel. Természet Világa II. különszám, 132.évf. pp.5-9.
- 64. Csornai, G., Dalia, O. (1991): Távérzékelés, Főiskolai jegyzet. Erdészeti és Faipari Egyetem Földmérési és Földrendezői Főiskolai Kar, Székesfehérvár
- 65. Czimber, K. (1997): Geoinformatika. Soproni Műhely, Sopron, 119 p.
- 66. Dalal, R.C., Henry, R.J. (1986): Simultaneous determination of moisture, organic carbon, and total nitrogen by near infrared reflectance spectrophotometry, Soil Science of American Journal, 50, pp.120-123.
- 67. Datta K. K., Sharma V.P., Sharma D.P. (1998): Estimation of a production function for wheat under saline condition. Agricultural Water Management, 36, pp.85-94.
- 68. David P.T., Warren B.C., Robert E.K., Karin S.F., John M.B. (1999): Relationships between Leaf Area Index and Landsat TM Spectral Vegetation Indices across Three Temperate Zones Sites. Remote Sensing of Environment, 70, pp.52-68.

- De Boer, Th.A. (1993): Botanical Characteristics and Their Influence on Remote Sensing, p. 89-106. In: Buiten, H.J. & Clevers, J.G.P.W. (szerk.), Land Observation by Remote Sensing: Theory and Applications. Amsterdam: Overseas Publishers Association (OPA), 642 p.
- 70. DeFries, R.S., Townshend, J.R.G. (1994): NDVI-derived land cover classification at global scales, International Journal of Remote Sensing, 15, pp.3567-3586.
- 71. Devereux B. J, Amable G.S., Posada C.C. (2004): An efficient image segmentation algorithm for landscape analysis. Internal Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 6, pp.47-61.
- 72. DLR (2006): Abbildende Spektroskopie /DAIS 7915/ Characteristics. URL: http://dlr.de/caf/anwendungen/umwelt/abb_spektoskopie/dais7915/optical/ (2006.05.10)
- 73. Dobos, E., Michéi, E., Baumgardner, M.F., Biehl, L., Helt, T. (2000): Use of combined digital elevation model and satellite radiometric data for regional soil mapping. Geoderma, 97, 367-391.
- 74. Du, Y., Teillet, P.M., Cihlar, J. (2002): Radiometric normalization of multitemporal high-resolution satellite images with quality control for land cover change detection. Remote Sensing of Environment, 82, pp.123-134.
- 75. Dudani, S.A. (1976): The distance weighted k-nearest-neighbor rule. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernet. 6. pp.325-327.
- 76. Dwivedi, R.S. (2001): Soil resources mapping: A remote sensing perspective. Remote sensing Review, 20, pp.89-122.
- Engman, E.T. (1991): Application of microwave remote sensing of soil moisture for water resources and agriculture, Remote Sensing of Environment, 35, pp.213–226.
- 78. Elvidge, C.D. (1990): Visible and near infrared reflectance characteristics of dry plant materials. Internal Journal of Remote Sensing, 11, pp.1775-1795.
- 79. Elvidge, C.D., Chen, Z. (1995): Comparison of broad band and narrow-band red and near-infrared vegetation indices. Remote Sensing of Environment, 54, pp.38-48.
- 80. Emery, W.J., Ikeda, M. (1989): AVHRR image navigation: summary and review. Canadian Journal of Remote Sensing, 10, pp.46-56.
- 81. ESA (2002): Landsat TM Technical Documents: Full Resolution System Corrected Data. ESA Earthnet Online, URL: http://earth.esa.int/tmdocs (2006.03.10)
- 82. Estes, J. E., Mooneyah, D. W. (1994): Of maps and myths. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 60, pp.517-524.
- Fassnacht, K.S., Gower, S.T., MacKenzie, M.D., Nordheim, E.V., Lillesand, T.M. (1997): Estimating the leaf area index of north central Wisconsin forest using the Landsat Thematic Mapper. Remote Sensing of Environment, 61, pp.229-245.
- 84. Fensholt, R., Sandholt, I. (2003): Derivation of a shortwave infrared water stress index from MODIS near- and shortwave infrared data in asemiarid environment. Remote Sensing of Environment, 87, pp.111-121.
- 85. Filella, I., Peñuelas, J. (1994): The red edge position and shape as indicators of plant chlorophyll content, biomass and hydric status. International Journal of Remote Sensing, 15, 1459–1470.

- Fleig, A. J., Hubanks, P. A., Storey, J. C., Carpenter, L. (1993): An analysis of MODIS Earth Location Error, Version 2.0. Greenbelt, MD: NASA Goddard Space Flight Center.
- Folta, D.C., Elrod, B., Lorenz, M., Kapoor, A. (1993): Precise navigation for the Earth Observing System (EOS)-AM1 spacecraft using the TDRSS onboard navigation system (TONS). Advances in the astrononautical sciences, 84, pp.103–123.
- 88. Foody G.M. (2002): Status of land cover classification accuracy assessment: Remote Sensing of Environment, 80, pp.185-201.
- 89. Fraser, R.S., Bahethi, O.P., Al-Abbas, A.H. (1977): The effect of the atmosphere on the classification of satellite observation to identify surface features. Remote Sensing of Environment, 6, pp.229–249.
- 90. Gaö, B.C., Goetz, A.F.H. (1995): Retrieval of equivalent water thickness and information related to bio-chemical components of vegetation canopies from AVIRIS data. Remote Sensing of Environment, 51, pp.155–162.
- 91. Gates, D.M., Keegan, H.J., Schleter, J.C., Weidner, V.R. (1965): Spectral properties of plants. Applied Optics, 4, pp.11-20.
- 92. Gausman, H.W. (1977): Reflectance of leaf components. Remote Sensing of Environment, 6, pp.1-9.
- 93. Geneletti, D., Gorte B. (2003): A method for object –oriented land cover classification combining Landsat TM data and aerial photographs. Internal Journal of Remote Sensing, 24 (6), pp.1273-1286.
- 94. Gilabert, M.A., Gandía, S., Meliá, J. (1996): Analysis of Spectral-Biophysical Relationships for Corn Canopy. Remote Sensing of Environment, 55, pp.11–22.
- 95. Gitelson, A., Merzylak, M.N. (1996): Detection of red edge position and and chlorophyll content by reflectance measurements near 700nm, Journal of Plant Physiology, 148, pp.501-508.
- 96. Goel, N. (1988): Models of vegetation canopy reflectance and their use in estimation of biophysical parameters from reflectance data. Remote Sensing Reviews, 4, 1-212.
- 97. Gong, P., LeDrew, E.F., Miller, J.R., (1992): Registration-noise reduction difference images for change detection. Internal Journal of Remote Sensing, 13, pp.773-779.
- 98. Gordon, H.R. (1978): Removal of atmospheric effects from satellite imagery of the ocean. Applied Optics, 17, pp.1631-1636.
- 99. Gordon, S. (1980): Utilizing Landsat imagery to monitor land use change. Remote Sensing of Environment, 9, 189–196.
- 100. Goward, S.N., Haemmrich, K.F., Waring, R.H. (1994): Visible-near infrared spectral reflectance of landscape components in western Oregon. Remote Sensing of Environment, 47, pp.190-203.
- 101. Gower, S.T., Normann, J.M. (1999): Rapid estimation of leaf area index for forests using LI_COR LAI-2000. Ecology, 72, pp.1896-1900.
- 102. Gower, S.T., Kucharik, C.J., Normann, J.M. (1999): Direct and indirect estimation of leaf area index, fapar, and net primary production of terrestrial ecosystems. Remote Sensing of Environmental, 70, pp.29-51.
- 103. Green, A.A., Berman, M., Switzer, P., Craig, M.D. (1988): A transformation for ordering multispectral data in terms of image quality with implications for noise removal. Geoscience and Remote Sensing, 26 (1) pp.65–74.
- 104. Guyot, G., Guyon, D., Riom, J. (1989): Factors affecting the spectral response of forest canopies: a review. Geocarta International, 4, pp.3-18.

- 105. Hall, F.G., Strebel, D.E., Nickeson, J.E., Goetz, S.J. (1991): Radiometric Rectification: Toward a Common Radiometric Response Among Multidate, Multisensor Images. Remote Sensing of Environment. 35, pp.11-27.
- 106. Hall, O., Hay, G.J. (2003): A Multiscale Object-Specific Approach to Digital Change Detection. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 4, pp.311–327
- 107. Hargitai, H., Kardeván, P., Horváth, F. (2006): Az első magyarországi képalkotó spektrométeres repülés és adatainak elemzése erdőtípusok elkülönítésére. Geodézia és Kartográfia, 9, pp.21-33.
- 108. Harsanyi, J., Chang, C.,I., (1994): Hyperspectral image classification and dimensionality reduction: An orthogonal subspace projection approach. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 32 (4), pp.779-785.
- 109. Harvey, K.R., and Hill, G.J., (2001): Vegetation mapping of a tropical freshwater swamp in the Northern Territory, Australia: a comparison of aerial photography, Landsat TM and SPOT satellite imagery. International Journal of Remote Sensing, 22(15), pp.2911-2925.
- 110. Hay, A.M. (1988): The derivation of global estimates from a confusion matrix. International Journal of Remote Sensing, 9, pp.1395-1398.
- 111. Heinrich, D., Hergt, M. (1994): Ökológia SH Atlasz. Budapest, Springer Hungarica, 284 p.
- 112. Henderson, T.L., Szilagyi, A., M.F. Baumgardner, C.T., Chen, Landgrebe, D.A. (1989): Spectral Band Selectionfor Classification of Soil Organic Matter Content, Soil Sci. Sot. Am. J., 53 (6), pp.1778-1784.
- 113. Hill, R.A. (1999): Image segmentation for humid tropical forest classification in Landsat TM data. International Journal of Remote Sensing, 20, pp.1039-1044.
- 114. Holics L. (1998): Fizika összefoglaló. Typotex, Budapest, 486 p.
- 115. Horváth, J. (szerk.) (1995): A szántóföldi növények betegségei. Mezőgazda Kiadó, Budapest
- 116. Huete, A. R., (1988): A soil adjusted vegetation index (SAVI). International Journal of Remote Sensing, 9, pp.295-309.
- 117. Huete, A.R., Tucker, C.J. (1991): Investigation of soil influences in AVHRR red and near infrared vegetation index imaginery. International Journal of Remote Sensing, 12, pp.1223-1242
- 118. Idso, B., Pinter, P.J., Jackson, Jr.R.D., Reginato, R.J. (1980): Estimation of grain yields by remote sensing of crop senescence rates. Remote Sensing of Environment, 9, pp.87-91.
- 119. Jacquemond, S., Baret, F. (1990): PROSPECT: a model of leaf optical properties spectra. Remote Sensing of Environment, 34, pp.75-91.
- 120. Jacquez, G. Marcus, W.A. Aspinnal, R.J., Greiling, D.A. (2002): Exposure assessment using high spatial resolution hyperspectral (HSRH) imagery. Journal of Geographical Systems, 4, pp.15-29.
- 121. Janssen, L.L.F., van der Wel, F.J.M. (1994): Accuracy assessment of satellite derived land cover data: a review. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 60, pp.419-426.
- 122. Jensen, J.R., Rutchey, K., Koch, M.S., Narumalani, S., (1995): Inland wetland change detection in the Everglades water conservation area 2A using time series of normalized remotely sensed data. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 61, pp.199–209.
- 123. Jensen, J.R. (1996): Introductory digital image processing. A remote sensing perspective (2nd edition). New Jersey. 526 p.

- 124. Jha, C.S., Unni, N.V.M., (1994): Digital change detection of forest conversion of a dry tropical forest region. International Journal of Remote Sensing, 15, pp.2543–2552.
- 125. Jia, X., Richards, J.A. (1994): Efficient maximum likelihood classification for imaging spectrometer data sets. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 32, pp.274-281.
- 126. Jordan, C.F. (1969): Derivation of leaf area index from quality of light on the forest floor, Ecology, 50, pp.663-666.
- 127. Jung, A., Kardeván, P., Tőkei, L. (2005): Detection of urban effect on vegetation in less build-up Hungarian city by hyperspectral remote sensing, Physics and Chemistry of the Earth, 30, pp.255-259.
- 128. Kardeván, P., Jung, A., Reisinger, P., Nagy, S. (2004): A parlagfű (*Ambrosia artemisiifolia L.*) reflektancia spektrumainak meghatározása terepi mérésekkel, Magyar Gyomkutatás és Technológia, 5 (1), pp.15-31.
- 129. Kaufman, Y. J., Tarné, D. (1992): Atmospherically resistant vegetation index (ARVI) for EOS-MODIS. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 30, pp.261-270.
- 130. Kaufman, Y. J., Wald, A., Remer, L. A., Gao, B., Li, R., Schowengerdt, R. A., Flynn, L. (1997): The MODIS 2.1 μm channel-correlation with visible reflectance for use in remote sensing of aerosol. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 35, pp.1-13.
- 131. Kaufmann, Y. J., Sendra, C. (1988): Algorithm for automatic atmospheric correction to visible and near-IR satellite imagery. International Journal of Remote Sensing, 9, pp.1353-1381.
- 132. Kertész, A., Márkus, B., Tózsa, I. (1997): Land Use Change Analysis by GIS. In: Filep, Gy. (szerk.) Land Use and Soil Management, Debrecen, pp.265-283.
- 133. Ketskeméty, L., Izsó, L. (2005): bevezetés az SPSS programrendszerbe. Módszertani útmutató és feladatgyűjtemény statisztikai elemzésekhez. ELTE Eötvös Kiadó, Budapest, 459 p.
- 134. Kogan, F.N. (1990): Remote sensing of weather impacts on vegetation in nonhomogenous areas. International Journal of Remote Sensing, 11, pp.1405-1419.
- 135. Kovar, K., Nachtnebel, H.P. (1996): Application of Geographic Information Systems in Hydrology and Water Resources Management. Proceedings of the HydroGIS' 96 conference, Austria, IAHS Publication, 712p.
- 136. Kraus, K. (1988): Fotogrammetria. Budapest, 384 p.
- 137. Kristóf, D. (2005): Távérzékelési módszerek a környezetgazdálkodásban. Doktori (PhD) értekezés. Gödöllő, 146 p.
- 138. Krupnik, A., (2000): Accuracy Assessment of Automatically Derived Digital Elevation Models from SPOT Images. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 66 (8), pp.1017-1023.
- Kruse, F. A., Lefkoff, A.B., Boardman, J.B., Heidebrecht, K.B., Shapiro, A.T., Barloon, P.J., Goetz, A.F.H. (1993): The Spectral Image Processing System (SIPS) - Interactive Visualization and Analysis of Imaging spectrometer Data. Remote Sensing of Environment, 44, pp.145-163.
- 140. Lambin, E.F., Ehrlich, D. (1995): Combining vegetation indices and surface temperature for land-cover mapping at broad spatial scales. International Journal of Remote Sensing, 16, pp.573-579.
- 141. Landgrebe, D.A. (2003): Signal theory methods in multispectral remote sensing, Wile-Interscience, New Jersey, 503 p.

- 142. Lark, R.M. (1995): Components of accuracy of maps with special reference to discriminant analysis of remote sensing data. International Journal of Remote Sensing, 16, pp.1461-1480.
- 143. Laudien, R., Bareth, G., Doluschitz, R. (2003): Analysis of hyperspectral field data for detection of sugar beet diseases. EFITA 2003 Conference, Debrecen, pp.375-381.
- 144. Lawrence, R. L., Ripple W. J. (1998): Comparisons among vegetation indices and bandwise regression in a highly disturbed, heterogeneous landscape: Mount St. Helens, Washington. Remote Sensing of Environment, 64, pp.91–102.
- 145. Leblon, B., Gallant, L., Grandberg, H. (1996): Effects of shadowing types on ground-measured visible and near-infrared shadow reflectances. Remote Sensing of Environment, 58, pp.322–328.
- 146. Lee, K.S., Cohen, W.B., Kennedy, R.E., Maiersperger, T.K., Gower, S.T. (2004): Hyperspectral versus multispectral data for estimating leaf area index in four different biomes. Remote Sensing of Environment, 91, pp.508-520.
- 147. Lee, K.S., Lee, G.B., Tyler, E.J. (1988): Determination of soil characteristics from thematic mapper data of a cropped organic–inorganic soil landscape. Soil Science Society of America Journal, 52, pp.1100-1104.
- 148. Lehoczky, É., Tamás, J., Kismányoki, A., Burai, P. (2006): Comparative study of fertilization effect on weed biodiversity of long term experiments with near field remote sensing methods. Journal of Plant Diseases and Protection. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz. Special Issue XX, pp.801-807.
- 149. Lewis, H.G., Newland, F.T., Côté, S., Tatnall, A.R.L. (1999): Cloud motion analysis. pp. 35-39. In: P. Atkinson and N. Tate (szerk.) Advances in Remote Sensing and GIS Analysis, Chichester, John Wiley and Sons. 273p.
- 150. Lillesand, T.M., Kiefer, R.M., Chipman, J.W. (2004): Remote sensing and image interpretation. New York, 763 p.
- 151. Liu, H.Q., Huete, A.R. (1995): A feedback based modification of NDVI to minimize canopy background and atmospheric noise. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 33, pp.457-465.
- 152. Lóki, J., (1996): Távérzékelés. Kossuth Egyetemi Kiadó. Debrecen, 113 p.
- 153. Lucieer, A., Koster, E., Jong, S., Jetten, V. (2000): The DAIS La Peyne experiment: The optical and thermal DAIS bands survey and model the surface temperature. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, 33, GITC, Amsterdam.
- 154. Lumme, J.H. (2004): Classification of vegetation and soil using imaging spectrometer data. ISPRS XXth Congress, Istanbul, Proceedings (DVD)
- 155. Lyon, J.G., Yuan, D., Lunetta, R.S., Elvidge, C.D. (1998): A change detection experiment using vegetation indices. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 64, pp.143–150.
- 156. Macleod, J.E.S., Luk, A., Titterington, D.M. (1987): A re-examination of the distance weighted k-nearest-neighbour classification rule. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernet. 17, pp.689-696.
- 157. Marosi, S., Somogyi, S. (szerk.) (1990): Magyarország kistájainak katasztere. MTA Földrajztudományi Intézet. Budapest, 479 p.
- 158. Martin, M., Newman, S., Aber, J., Congalton, R. (1998): Determining forest species composition using high resolution remote sensing data. Remote Sensing of Environment, 65, pp.249–254.

- 159. Mauser, W., Schadlich, S. (1998): Modelling the spatial distribution of evapotranspiration on different scales using remote sensing. Journal of Hydrology. 212, pp.250-267.
- 160. McBratney, A.B., Mendonca Santos, M.L. Minasny, B. (2003): On digital soil mapping. Geoderma, 117, pp.3-52.
- 161. Meinel, G. Neubert, M. (2004): A compartion of segmentation programs for high resolution remote sensing data. ISPRS-Proceeding, Istanbul, DVD
- 162. Metternicht G.I., Zinck J.A. (2003): Remote sensing of soil salinity: potentials and constraints. Remote Sensing of Environment, 85, pp.1-20.
- 163. Miller, J.R., Freemantle, J., Belanger, M.J., Elvidge, C.D., Boyer, M.G. (1990): Potential for determination of leaf chlorophyll content using AVIRIS. In: Processing of the Airborne Visible/Infrared Spectrometer (AVIRIS) workshop, Pasadena, Jet Propulsion Laboratory
- 164. Molenaar, M. (1993): Remote Sensing as an Earth Viewing System. p. 27-42.
 In: Buiten, H. J., Clevers, J.G.P.W. (szerk.), Land Observation by Remote Sensing: Theory and Applications. Amsterdam: Overseas Publishers Association (OPA), 642 p.
- 165. Morisette, J., Privette, J., Justice, C. (2002): A framework for the validation of MODIS Land products. Remote Sensing of Environment, 83, pp.77-96.
- 166. Mucsi, L. (2004): Műholdas távérzékelés. Libellus kiadó, Szeged, 221 p.
- 167. Mulders, M. (1987): Remote sensing in soil science. Development in soil science. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands, 379 p.
- 168. Munyati, C. (2000): Wetland change detection on the Kafue Flats, Zambia, by classification of a multitemporal remote sensing image dataset. Internal Journal of Remote Sensing, 21, pp.1787–1806.
- 169. Nagy, S., Kalmár, S. (2001): A távérzékelés lehetőségei a gyomtérképen alapuló precíziós gyomszabályozásban. Magyar Gyomkutatás és Technológia, 2 (1), pp.15-27.
- 170. Nicsiporovics, A.A. (1961): Properties of plant crops as an optical system. Sow. Plant., 8. pp.428-435.
- 171. Obukhov, A.I., Orlov, D.S. (1964): Spectral reflectivity of major soil groups and the possibility of using diffuse reflection in soil investigation. Soviet Soil Science, 2, pp.174-184.
- 172. Olvasztó, L. (2000): GPS alapú digitalis talajtérképezési technikák. Debrecen. Szakdolgozat, 60 p.
- 173. Pechmann, I., Tóth, T., Tamás, J., Kardeván, P., Róth, L., Burai, P., Katona, Zs. (2003): Eltérő talajsótartalmú növényzeti foltok elkülönítése hiperspektrális technológiával. Földminősítés és földhasználati információ, Keszthely
- 174. Pechmann, I., Tamás, J., Kardeván, P., Vekerdy, Z., Róth, L., Burai, P., (2004): Hiperspektrális technológia alkalmazhatósága a mezőgazdasági talajvédelemben. in: Proceeding, EU Konform Mezőgazdaság és Élelmiszerbiztonság. Gödöllő, pp.98-103.
- 175. Pekkarinen, A. (2002) Image segment-based spectral features in the estimation of timber volume. Remote Sensing of Environment, 82, pp.349–359.
- 176. Petrasovits, I. (1988): Az agrohidrológia főbb kérdései. Akadémiai Kiadó, Budapest. 228 p.
- 177. Platt, R.V., Goetz, A.F.H. (2004): A comparison of AVIRIS and Landsat for Land Use Classification at the Urban Fringe. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 70 (7), pp.813-819.

- 178. Price, J.C., Bausch, W.C. (1995): Leaf Area Index Estimation from Visible and Near-Infrared Reflectance Data, Remote Sensing of Environment, 52, pp.55-65.
- 179. Price, J.C. (1994): Band selection procedure for multispectral scanners, Applied Optics, 33, pp.3281-3288.
- 180. Qi, J., Chehbouni, A., Huete, A.R., Kerr, Y.H. (1994): Modified soil adjusted vegetation index (MSAVI). Remote Sensing of Environment, 48, pp.119-126.
- 181. Quattordihci, D.A., Luvall, J.C. (1999): Thermal infrared remote sensing data for analysis of landscape ecological processes: Methods and applications. Landscape Ecology, 14 (6), pp.557-598.
- 182. Ray, S.S., Singh, J.P., Das, G., Panigrahy, S. (2004): Use of high resolution remote sensing data for generating site-specific soil management plan. ISPRS Processing, Istanbul, CD-ROM
- 183. Ray, S.S., Dadhwal, V.K. (2001): Estimation of crop evaportanspiration of irrigation command area using remote sensing and GIS. Agricultural Water Management, 49, pp.239-249.
- 184. Reich, P.B., Turner, D.P., Bolstad, P. (1999): An approach to spatially distributed modeling of Net Primary Production (NPP) at the landscape scale and its application in validation of EOS NPP products. Remote Sensing of Environment, 70, pp.69–81.
- 185. Reisinger, P. (2001): Weed surveys on farmlands in Hungary (1947-2000). Magyar Gyomkutatás és Technológia, 2 (1), pp.3-13.
- 186. Richardson, A.J., Wiegand, C.L. (1977): Distinguishing vegetation from soilbackground information. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 43, pp.1541-1542.
- 187. Rosenfield, G.H., Fitzpatrick-Lins, K. (1986): A coefficient of agreements as a measure of thematic classification accuracy. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 52, pp.223-227.
- 188. Ross, J. (1975): Radiative transfer in plant communities. pp. 13-55 In: Monteith (szerk.) Vegetation and the atmosphere. Acad. Press, London
- 189. Rossel, R.A.V., McBartney, A.B. (1998): Laboratory evalutaion of a proximal sensing technique simultaneous measurment of clay and water content. Geoderma, 85 (1), 19-39.
- 190. Rossel, R.A.V., Walvoort, D.J.J., McBartney, A.B., Janik, L.J., Skemstad, J.O. (2006): Visible, near infrared or combined diffuse reflectance spectoscopy for simultaneous of various soil properties. Geoderma, 131, pp.59-75.
- 191. Russ, J.C. (1999): The image Processing Handbook, Third Edition, CRC Press LLC, Boca Raton, Florida, 771 p.
- 192. Sabins, F. F., (1996): Remote Sensing. Principles and Interpretation. W. H. Freeman and Co. Los Angeles, 494 p.
- 193. Samadzadegan, F., Hahn, M., Sarpulaki, M., Mostofi, N. (2004): Geometric and radiometric evaluation of the potential of a high resolution CMOS – camera, Proceedings of ISPRS XXth Congress, Istanbul (DVD)
- 194. Sárközy, F. (1991): Térinformatika. Budapest interaktív oktatási anyag, URL: http://bme-geod.agt.bme.hu/tutor_h/ (2006.03.12.)
- 195. Sellers, P.J., Berry, J.,A., Collatz, G.J., Field, C.B., Hall, F.G. (1992): Canopy reflectance, photosynthesis and transpiration. III. A re-analysis using improved leaf models and a new canopy integration scheme. Remote Sensing of Environment, 42, pp.1-30.

- 196. Shippert, M.M., Walker, D.A., Auerbach, N.A., Lewis, B.E. (1995): Biomass and leaf-area index maps derived from SPOT images for Toolik Lake and Imnavait Creek areas, Alaska, Polar Record, 31, pp.147–154.
- 197. Singh, A., Harrison, A. (1985): Standardized principal components. Internal Journal of Remote Sensingm, 6, pp.883–896.
- 198. Smith, K.L., Steven, M.D., Colls, J.J. (2004): Use of hyperspectral derivative ratios in the red-edge region to identify plant stress responses to gas leaks. Remote Sensing of Environment, 92, pp.207-217.
- 199. Smith, M. (1992): CROPWAT a computer program for irrigation planning and management. FAO series 46. Rome, pp.1-51.
- 200. Slaughter, D.C., Pelletier, M.G., Upadhyaya, S.K. (2001): Sensing soil moisture using NIR spectroscopy. Applied Engineering in Agriculture, 17 (12), pp.241-247.
- 201. Sobrino, J.A., Jimenez-Muňoz, J.C., Zarco-Tejada, P.J., Sepulcre-Canto, G., Miguel, E. (2006): Land surface temperature derived from airborne hyperspectral scanner thermal infrared data. Remote Sensing of Environment, 102, pp.99-115.
- 202. Song, C., Woodcock, C.E., Seo, K.C., Lenney, M.P., Macomber, S.A. (2001): Classification and change detection using Landsat TM data: When and how to correct atmospheric effects? Remote Sensing of Environment, 75, pp.230-244.
- 203. Stefanov, W.L., Ramsey, M.S., Christensen, P.H. (2001): Monitoring urban land cover changes: an expert system approach to land cover classification of semiarid to arid urban centers. Remote Sensing of Environment. 77, pp.173– 185.
- 204. Steltzer, H. Welker, J. M. (2006): Modeling the effect of photosynthetic vegetation properties on the NDVI-LAI relationship. Ecology. 87, pp.2765–2772.
- 205. Stenberg, B., Nordkvist, E., Salmonsson, L. (1995): Use of near infrared reflectance spectra of soils for objective selection of samples. Soil Science, pp.159 (2), 109-114.
- 206. Stoner, E.R., Baumgardner, M.F. (1981): Characteristic variations in reflectance of surface soils, Soil Science American Journal, 45, pp.1161-1165.
- 207. Stoner, E.R., Baumgardner, M.F., Weismiller, R.A., Biehl, L.L Robinson, B.F. (1980): Extension of Laboratory-measured Soil Spectra to Field Conditions. Soil Science Society of America Journal. 44, 3, pp.572-574.
- 208. Strobl, P., Richter, R., Mueller, A., Lehmann, F., Oertel, D., Tischler, S., Nielsen, A. (1996): DAIS System Performance, First Results of the 1995 Evaluation Campaigns. In: Proceedings, pp.109-117.
- 209. Szász, G. (1988): Agrometeorológia, Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 462 p.
- 210. Tamás, J. (2001): Precíziós mezőgazdaság. Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó, Budapest. 144 p.
- 211. Tamás, J. (2002): Vízkészlet-modellezés. Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó, Budapest. 200 p.
- 212. Tamás, J. (2005): Széles spektrumú kézi kamera alkalmazhatósága a terepi gyomfelvételezésekre. Növényvédelem, 41 (2), pp.53-59.
- 213. Tamás, J., Lénárt, Cs. (2006): Analysis of a small agricultural watershed using remote sensing techniques. International Journal of Remote Sensing. 27, pp.3727-3738.
- 214. Tamás, J., Reisinger, P., Burai, P., David I. (2006): Geostatistical analysis of spatial heterogenity of Ambrosia artemisiifolia on Hungarian acid sandy soil.

Journal of Plant Diseases and Protection. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz. Special Issue XX, pp.227-232.

- 215. Thenkabail, P.S., Ronald B. Smith, R.B., Pauw, E.D. (2000): Hyperspectral Vegetation Indices and Their Relationships with Agricultural Crop Characteristics. Remote Sensing of Environment, 71, pp.158–182.
- 216. Thomas, I. L., Benning, V.M, Ching, N.P. (1987): Classification of Remotely Sensed Images, Adam Hilger, Bristol
- 217. Thomasson, J.A., Sui, R., Cox, M.S., Al-Rajehy, A. (2001): Soil reflectance sensing for determining soil properties in precision agriculture. Trans. ASAE, 44 (6), pp.1445-1453.
- 218. Timár, G., Molnár, G., Pásztor, Sz. (2002): A WGS84 és HD72 alapfelületek közötti transzformáció Molodensky-Badekas-féle (3 paraméteres) meghatározása a gyakorlat számára. Geodézia és Kartográfia, 54 (1), pp.11-16.
- 219. Todd, W.J., (1977): Urban and regional land use change detected by using Landsat data. Journal of Research by the US Geological Survey, 5, pp.527–534.
- 220. Tóth T. (2002): Szikes talajok tér- és időbeli változatossága. MTA Doktori Értekezés, Budapest, 187 p.
- 221. Tou, J.T., Gonzalez, R.C. (1974): Pattern Recognition Principles, Addison-Wesley Publishing Company, Reading, Massachusetts. 503 p.
- 222. Treitz, M.P.; Howarth, P, J. (1999): Hyperspectral remote sensing for estimating biophisical parameters of ecosystems. Progress in Physical Geography, 23, pp.359-390.
- 223. Tso, B., Mather, P.M. (2001): Classification Methods for Remotely Sensed Data, Taylor and Francis, London.
- 224. Tucker, C. J. (1977): Spectral estimation of grass canopy variables. Remote Sensing of Environment, 6, pp.11–26.
- 225. Tucker, C. J. (1979): Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. Remote Sensing of Environment, 8, pp.127–150.
- 226. Turner, D.P., Cohen, W.B., Kennedy, R.E., Fassnacht, K.S., Briggs, J.M. (1999): Relationships between Leaf Area Index and Landsat TM Spectral Vegetation Indices across three temperate zone sites. Remote Sensing of Environment, 70, pp.52-68.
- 227. Ujvárosi, M. (1973): Gyomnövények, gyomirtás. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 785p.
- 228. Varga-Haszonits, Z., Varga, Z. (2004): Az éghajlati változékonyság és a természetes periódusok. "Agro-21" Füzetek Agroökológia, 37. pp.23-32.
- 229. Várallyay, Gy. (1981): Extreme moisture regime as the main liminting factor of the fertility of salt-affected soils. Agrokémia és Talajtan. 30, pp.73-96.
- 230. Vekerdy, Z., Kardeván, P., Róth, L., Jordán, Gy., László, F. (2002): Hiperspektrális kísérleti mérések Magyarországon. GEO 2002 Magyar Földtudományi Szakemberek VI. Világtalálkozója. Sopron 2002. augusztus 21– 25. Kelet és Nyugat Határán. P10.
- 231. Vermote, E. F., Vermeulen, A. (1999): Atmospheric correction algorithm: spectral reflectances (MOD09). Algorithm Theoretical Background Document URL: http://modarch.gsfc.nasa.gov/MODIS/ATBD/atbd_mod08.pdf. (2006.05.10)
- 232. Vogelmann, T. C. (1993): Plant tissue optics. Annual review of plant physiology and plant molecular biology. 44, pp.231-251.

- 233. Warner, T., Steinmaus, K., Foote, H. (1999): An evaluation of spatial autocorrection-based feature selection. International Journal of Remote Sensing, 20 (8), pp.1601-1616.
- 234. Wen, G., Tsay, S., Cahalan, R. F., Oreopoulos, L. (1999): Path radiance technique for retrieving aerosol optical thickness over land. Journal of Geophysical Research, 104 (24):31, pp.321–332.
- 235. Wessman, C.A., Aber, J.D., Peterson, D.L., Melilo, J.M. (1988): Remote sensing of canopy chemistry and nitrogen cycling in temperature forest ecosystems. Nature, 335, pp.154-156.
- 236. White, M.A., Asner, G.P., Nemani, R.R., Privette, J.L., Running, S.W. (2000): Measuring fractional cover and leaf area index in arid ecosystems: Digital camera, radiation transmittance, and laser altimetry methods. Remote Sensing of Environment, 74, pp.45-75.
- 237. Wiegand, C.L., Mass, S.J., Aase, J.K., Hatfield, J.L., Pinter, P.J., Jr. Jackson, R.D., Kanemasu, E.T., Lapitan, R.L. (1992): Multisite analysis of spectralbiophysical data for wheat. Remote Sensing of Environment. 42, pp.1–21.
- 238. Wiegand, C.L., Richardson, A.J., Escobar, D.E., Gerbermann, A.H. (1991): Vegetation indices in crop assessment. Remote Sensing of Environment, 35, pp.105-119.
- 239. Williams, D.L. (1991): A comparison of spectral reflectance properties at the needle, branch, and canopy level for selected conifer species. Remote Sensing of Environment, 35, pp.79–93.
- 240. Winkler Péter (2001): Magyarország légifényképezése 2000, Geodézia és Kartográfia, 53 (07) URL: http://www.fomi.hu (2007.01.10.)
- 241. Wolfe, R.E., Nishihama, M., Fleig A.J., Kuyper, J.A., Roy, D.P., Storey J.C., Patt F.S. (2002): Achieving sub-pixel geolocation accuracy in support of MODIS land science. Remote Sensing of Environment, 83, pp.31-49.
- 242. Yoder, B. J., Waring, R. H. (1994): The normalized difference vegetation index of small douglas-fir canopies with varying chlorophyll concentrations. Remote Sensing of Environment, 49, pp.81-91.
- 243. Yoder, B.J., Pettigrew-Crosby, R.E. (1995): Predicting nitrogen and chlorophyll content and concentrations from reflectance spectra (400–2500 nm) at leaf and canopy scales. Remote Sensing of Environment, 53, pp.199–211.
- 244. Yuan, D. (1997): A simulation comparison of three marginal area estimators for image classification. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 63, pp.385-392.
- 245. Zadeh, L.A., Fu, K.S., Tanaka, K., Shimura, M. (1975): Fuzzy Sets and their Applications to Cognitive and Decision Processes. Academic Press, London.
- 246. Zhang, Y., Wegehenkel, M. (2006): Integration of MODIS data into a simple model for spatial distributed simulation of soil water content and evaportanspiration. Remote Sensing of Environment, 104, pp.393-408.
- 247. Zhao, D., Reddy, K.R., Kakani, V.G., Reddy, V.R. (2005): Nitrogen deficiency effects on plant growth, leaf photosystesis, and hyperpsectral reflectance properties of sorghum. European Journal of Agronomy, 22, pp.391–403.
- 248. Zilinyi, V., (1995): Természetes felszínek spektrális reflexiós tulajdonságai, és hasznosításuk az optikai távérzékelés interpretáciojában. Egyetemi Doktori Értekezes, DATE, MTK, Debrecen
- 249. Zwiggelaar, R. (1998): A review of spectral properties of plants and their potential use for crop/weed discrimination in row-crops. Crop Protection, 17 (3), pp.189-206.

PUBLIKÁCIÓS JEGYZÉK

Felsőoktatási tankönyv, jegyzet:

Burai P. (2005): Távérzékelt adatforrások alkalmazása az agrár-környezetvédelmi indikátorok meghatározásában. pp. 66-75. In: Tamás J., Németh T. (szerk.) Agrárkörnyezetvédelmi indikátorok elmélete és gyakorlati alkalmazásai. Debreceni Egyetem, Debrecen, 138 p.

Tudományos közlemény lektorált folyóiratban:

Burai P. (2006): Földhasználat-elemzés és növény-monitoring különböző adattartalmú és térbeli felbontású távérzékelt felvételek alapján, Agrárközlemények, Acta Agraria Debreceniensis, Debreceni Egyetem. 2006/22, pp. 7-12.

Burai P., Pechmann I. (2005): Talajdegradációs folyamatok vizsgálata nagy felbontású távérzékelt adatforrások alapján. Agrárközlemények, Acta Agraria Debreceniensis, Debreceni Egyetem. 2005/16, pp. 145-149.

Burai P., Pechmann I. (2003): Különböző spektrális felbontású távérzékelt adatforrások alkalmazási lehetőségei az agrár-környezetvédelemben. Agrárközlemények, Acta Agraria Debreceniensis, Debreceni Egyetem. 2004/13, pp. 123.-126.

Hazai lektorált konferencia kiadvány:

Burai P., Lénárt Cs. (2005): Növénytermesztési tartamkísérletek vizsgálata földközeli és légi távérzékelt technológiával. Acta Agraria Kaposvariensis. 10 (1), pp. 1-11.

Pechmann I., Tamás J., Kardeván P., Vekerdy Z., Róth L., *Burai P.* (2003): Hiperspektrális technológia alkalmazhatósága a mezőgazdasági talajvédelemben (EU Konform Mezőgazdaság és Élelmiszerbiztonság, Gödöllő, Hungary)

Burai P., Tomor T., Bíró T., Lénárt Cs. (2003): Mértékadó belvízhozam meghatározása térinformatikai eszközökkel. Erdei Ferenc II. Tudományos Konferencia, Kecskemét, pp. 342-345.

Bíró T., Lénárt Cs., Tamás J., *Burai P*. (2003): Belvízcsatornák hidraulikai modelljei. Erdei Ferenc II. Tudományos Konferencia, Kecskemét, pp. 359-364.

Hazai nem lektorált konferencia kiadvány:

Pechmann I., Tóth T., Tamás J., Kardeván P., Róth L., *Burai P.*, Katona Zs. (2003): Eltérő talajsótartalmú növényzeti foltok elkülönítése hiperspektrális technológiával. Földminősítés és földhasználati információ, Keszthely, pp. 309-320.

Tamás J., Katona Zs., *Burai P.*, Tanyi P. (2003): Hiperspektrális technológiák alkalmazása a vegetáció-térképezésben. "A környezetállapot értékelés korszerű módszerei" tudományos konferencia, Gyöngyösoroszi

Tomor T., *Burai P.* (2002): Integrált környezetvédelmi adatbázis megalapozása a Berettyó folyó vízgyűjtő területén. Nemzetközi Környezetvédelmi Szakmai Diákkonferencia kiadványkötet, Mezőtúr

Tomor T., *Burai P.* (2002): A környezetgazdálkodást támogató integrált térinformatikai rendszer kialakítása alföldi mintaterületen XI. Térinformatika a felsőoktatásban szimpózium, konferencia-kiadvány, CD

Idegen nyelvű lektorált konferencia kiadvány:

Nagy, A., Tamás, J., *Burai*, *P*. (2007): Application of advanced technologies for the detection of pollution migration. Cereal Research Communications 35, pp. 805-809.

Tamas, J, Nagy, I, *Burai, P.* (2006): Dynamic data exchange in agricultural water management strategy. Cereal Research Communications 34 (1), pp. 57-60.

Tamas, J., Reisinger, P., *Burai, P.*, David, I. (2006): Geostatistical analysis of spatial heterogenity of Ambrosia artemisiifolia on Hungarian acid sandy soil. Journal of Plant Diseases and Protection. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz. Special Issue XX, pp. 227-232.

Lehoczky, É., Tamas, J. Kismányoki, A., *Burai, P.* (2006): Comparative study of fertilization effect on weed biodiversity of long term experiments with near field remote sensing methods. Journal of Plant Diseases and Protection. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz. Special Issue XX, pp. 801-807.

Juhász, Cs., Tamás, J., Pechmann, I., *Burai. P.* (2005): Application of the life cycle analysis as an agri-environmental protection tool for the sustainable land use. Cereal Research Communications 33 (1), pp. 77-80.

Biro, T., *Burai, P.*, Lenart, Cs. (2005): Development of regional groundwater monitoring system based on integrated database in Bihar-Plain. Cereal Research Communications 34 (1), pp. 13-16.

Idegen nyelvű lektorált konferencia kiadvány:

Burai P., Tamas J., Lénárt Cs., Pechmann I. (2004): Usage of different spectral bands in agricultural environmental protection. ISPRS-Proceeding, Istanbul, CD

Tamás J. Lénárt Cs. *Burai P*. (2004): "Using Spatial Information Technology in Agri-Environmental Management to Protect Natural Resources in North-Eastern Hungary", CIGR International Conference Proceeding, Peking, CD

Burai P., Tamás J., Kovács E. (2004): Evaluation of erosion risk at abundant heavy metal mining site. IV. International Congress of the ESSC, Budapest, pp. 226-228.

Burai P., Tamás J. (2003): Hyper- and multispectral remote sensing technologies in precisional agricultural water management. III. Alps- Adria Scientific Workshop. Dubrovnik, pp. 54-57.

Juhász Cs., Tamás J., Burai P. (2003): Case study to evaluate good ecological status of Berettyó river watershed. III. Alps- Adria Scientific Workshop. Dubrovnik, pp. 58-61.

Függelékek

Függelék 1. ábra Az újfehértói mintaterület gyomtérképe a teljes borítással (%) és a fajonkénti eloszlással



Fajok	rövidítés	borítás (%)	megoszlás (%)
Helianthus annuus	HELAN	5,74	24,7
Gyomok		17,56	75,3
Összesen		23,32	100
Chenopodium album L.	CHEAL	3,206	18,25081
Echinochloa crus galli L.	ECHCO	0,864	4,917473
Amaranthus retroflexus L.	AMARE	0,006	0,037943
Equisetum arvense L.	EQUAR	0,220	1,255929
Polygonum aviculare L.	POLLA	0,564	3,213811
Ambrosia artemisiifolia L.	AMBEL	12,706	72,32024
Összesen (gyomok)		17,56	100



Függelék 2. ábra A MODIS és SPOT-5 felvételek adatfeldolgozási és adatintegrációs mechanizmusa

	Hullámhossz		Hullámhossz
Csatornák	(µm)	Csatornák	(µm)
1	0,4960	41	1,9580
2	0,5140	42	1,9760
3	0,5320	43	1,9910
4	0,5510	44	2,0060
5	0,5680	45	2,0200
6	0,5860	46	2,0360
7	0,6050	47	2,0520
8	0,6230	48	2,0680
9	0,6390	49	2,0840
10	0,6570	50	2,1000
11	0,6750	51	2,1150
12	0,6930	52	2,1300
13	0,7100	53	2,1450
14	0,7270	54	2,1580
15	0,7440	55	2,1730
16	0,7620	56	2,1860
17	0,7800	57	2,2000
18	0,7980	58	2,2150
19	0,8140	59	2,2320
20	0,8320	60	2,2470
21	0,8510	61	2,2620
22	0,8690	62	2,2750
23	0,8860	63	2,2900
24	0,9040	64	2,3030
25	0,9210	65	2,3170
26	0,9380	66	2,3300
27	0,9560	67	2,3440
28	0,9730	68	2,3580
29	0,9880	69	2,3720
30	1,0060	70	2,3850
31	1,0210	71	2,3980
32	1,0350	72	2,4120
33	1,5390	73	4,3150
34	1,5700	74	8,5700
35	1,6030	75	9,5100
36	1,6360	76	10,2960
37	1,6680	77	11,0120
38	1,6990	78	11,6770
39	1,7270	79	12,2960
40	1,7560	80	20,0000

Függelék 1. táblázat A DAIS 7915 hiperspektrális felvétel csatornáinak hullámhossz középértéke

Függelék 2. táblázat A maximum likelihood módszerrel osztályozott LANDSAT ETM+ felvétel hibamátrixa

Image: LANDSAT ETM+

Osztályok	tarló (%)	szántás (%)	lucerna (%)	gyep (%)	kukorica (%)	cukorrépa (%)
tarló	94,62	12,77	3,09	0,38	0,46	0,23
szántás	1,41	81,83	0	0	0	0
lucerna	0,01	0,14	73,11	0,36	1,55	0,06
gyep	0,12	0,8	0,32	70,67	12,27	0,23
kukorica	3,85	4,45	23,47	28,57	85,72	25,99
cukorrépa	0	0	0,01	0,02	0	73,48
Összesen	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Osztályok	Production Accuracy (%)	User Accuracy (%)
tarló	94,62	95
szántás	81,83	85,52
lucerna	73,11	98,85
gyep	70,67	97,5
kukorica	85,72	14,55
cukorrépa	73,48	99,88

Overall Accuracy = 78,22 %; **Kappa Coefficient** = 0,72

Függelék 3.táblázat A maximum likelihood módszerrel osztályozott hiperspektrális felvétel (DAIS 7915)hibamátrixa

Image: DAIS 7915

Osztályok	tarló (%)	szántás (%)	lucerna (%)	gyep (%)	kukorica (%)	cukorrépa (%)
tarló	93,14	10,29	0,03	0,03	0,01	0
szántás	0	81,22	0	0	0	0
lucerna	0,02	0	78,51	0,86	0,04	0,03
gyep	6,84	8,49	21,45	91,43	15,11	15,29
kukorica	0	0,01	0,02	7,44	84,84	0
cukorrépa	0	0	0	0,24	0,01	84,68
Összesen	100	100	100	100	100	100

Osztályok	Production Accuracy (%)	User Accuracy (%)
tarló	93,14	98,84
szántás	81,22	100
lucerna	78,51	99,7
gyep	91,43	20,28
kukorica	84,84	99,01
cukorréna	84.68	99.89

Overall Accuracy = 85,52 %; **Kappa Coefficient** = 0,814

										Őszi	Őszi			Tavaszi		
Kultúra	Borsó	Cukorrépa	Gyep	Kukorica	Legelő	Lucerna	Mustár	Napraforgó	Olajtök	árpa	búza	Repce	Rizs	árpa	Triticale	Zöldbab
Borsó	31,83	1,34	0,29	18,07	0,35	3,27	0,45	1,57	1,13	0,2	0,74	0,28	6,96	0,75	0	0
Cukorrépa	1,48	83,14	0	0,22	0	0	0	3,93	0	0	0,02	0	3,62	0	0	0
Gyep	0	0	66,51	0	1,52	0	0	0,24	0	0	0,01	0	0	0	0	0
Kukorica	4,13	3,35	0,03	56,05	0,09	6,25	5,37	23,97	3,14	0,2	3,96	11,8	19,82	5,53	0,23	0,8
Legelő	0,75	0,26	18,54	0,64	89,43	8,95	1,45	1,32	0,97	2,67	2,07	2,19	0,05	1,2	0,12	0
Lucerna	2,11	0,22	0,12	3,58	0,78	67,34	2,81	1,69	9,73	1,18	0,99	10,41	0	2,11	0	0
Mustár	5,11	0	0,9	0,11	0	1,37	63,34	0,29	0	0	3,34	0	0	1,98	2,08	19,18
Napraforgó	4,74	10,52	1,44	11,79	0,35	5,37	4,76	45,83	3,86	0,79	4,07	33,07	13,39	3,04	1,85	4,01
Olajtök	0,01	0	0	0,02	0	0	0	0,04	80,13	0	0,01	0	0	0	0	0
Őszi árpa	0,97	0,1	0,6	0,23	0	0,4	0	1,85	0	59,92	8,64	3,72	0	3,6	1,04	9,01
Őszi búza	28,89	0,79	6,23	3,28	1	3,34	15,5	9,38	0	9,18	52,25	1,43	0,11	31,2	46,76	21,23
Repce	0,1	0,13	0,35	0,49	0,09	0,82	0,1	0,91	0	12,24	0,98	31,92	0	0,73	0,23	0,62
Rizs	0,52	0,05	0	1,1	0	0,07	0	0,02	0	0	0,02	0	55,98	0	0,12	0
Tavaszi árpa	18,44	0,09	4,27	4,33	6,41	2,63	3,31	7,88	1,05	10,37	18,46	5,19	0,06	44,23	0,46	11,78
Triticale	0,26	0	0,49	0,02	0	0	0	0,55	0	3,06	2,42	0	0	1,5	46,99	0,09
Zöldbab	0,67	0	0,23	0,08	0	0,21	2,91	0,53	0	0,2	2,02	0	0	4,14	0,12	33,27
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Függelék 4.táblázat A irányított osztályba sorolással osztályozott SPOT 02 hibamátrixa

										Őszi	Őszi			Tavaszi		
Kultúra	Borsó	Cukorrépa	Gyep	Kukorica	Legelő	Lucerna	Mustár	Napraforgó	Olajtök	árpa	búza	Repce	Rizs	árpa	Triticale	Zöldbab
Borsó	42,60	0,84	5,71	2,35	0,82	4,53	0,00	1,53	0,16	27,64	11,09	1,95	0,05	2,13	6,25	0,80
Cukorrépa	13,43	80,00	0,00	14,11	0,00	0,05	0,00	10,14	2,41	2,27	4,21	0,73	10,85	0,49	0,12	0,54
Gyep	0,00	0,01	42,88	0,01	10,96	0,38	0,00	0,25	0,00	0,00	0,15	0,00	0,00	0,01	0,12	0,00
Kukorica	4,01	4,63	3,13	12,64	0,91	2,08	0,75	5,41	0,16	4,24	5,31	2,40	9,83	13,02	4,17	3,21
Legelő	0,00	0,07	25,87	0,07	76,83	0,94	0,00	0,15	0,00	0,00	0,30	0,00	0,00	0,03	1,16	0,00
Lucerna	1,13	0,14	9,08	2,03	7,97	66,96	0,45	1,74	0,00	0,20	9,30	0,10	0,06	1,04	19,10	2,32
Mustár	6,83	0,00	0,00	0,28	0,00	1,76	79,04	0,43	0,00	0,00	0,25	0,00	0,00	2,57	0,00	0,80
Napraforgó	10,40	3,23	0,01	34,01	0,00	8,09	12,69	28,93	4,67	5,43	4,87	21,02	3,00	7,77	1,04	14,99
Olajtök	0,48	4,35	0,00	12,70	0,00	0,94	0,25	10,29	78,36	0,39	0,85	12,29	0,00	1,82	0,00	6,24
Őszi árpa	0,21	0,20	0,00	0,05	0,00	0,02	0,00	0,13	0,00	30,70	0,07	0,07	0,06	0,01	1,04	0,00
Őszi búza	5,16	1,57	8,00	1,85	2,04	4,77	1,65	3,15	0,00	9,77	30,54	1,18	5,67	10,35	18,06	8,74
Repce	1,19	0,48	0,00	3,91	0,00	0,04	0,05	4,13	6,92	0,30	0,23	25,44	0,00	0,40	0,00	4,46
Rizs	0,10	3,78	0,03	2,41	0,00	3,08	0,30	15,47	0,08	0,10	1,95	0,10	69,34	1,20	0,46	0,00
Tavaszi árpa	9,43	0,40	1,74	0,93	0,13	3,33	2,36	8,01	0,00	2,96	28,40	1,88	1,12	57,68	1,39	12,76
Triticale	2,61	0,29	3,54	0,29	0,35	0,46	0,60	0,92	0,32	8,79	1,55	2,30	0,02	1,08	47,11	0,27
Zöldbab	2,43	0,01	0,00	12,37	0,00	2,56	1,86	9,32	6,92	7,21	0,93	30,53	0,00	0,39	0,00	44,87
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Függelék 5.táblázat A irányított osztályba sorolással osztályozott SPOT 01 hibamátrixa

										Őszi	Őszi			Tavaszi		
Kultúra	Borsó	Cukorrépa	Gyep	Kukorica	Legelő	Lucerna	Mustár	Napraforgó	Olajtök	árpa	búza	Repce	Rizs	árpa	Triticale	Zöldbab
Borsó	50,49	0,06	0,05	2,77	0	0,56	0	0,81	0,08	0	1,7	0	0,06	0,21	0	0
Cukorrépa	0	83,01	0	0,03	0	0	0	2,26	0	0	0,02	0	1,36	0	0	0
Gyep	0	0	62,18	0	1,86	0	0	0,23	0	0	0	0	0	0	0	0
Kukorica	3,87	7,74	0,59	64,43	1,99	7,98	2,86	18,86	4,02	3,55	7,05	5,33	29	12,21	4,17	14,72
Legelő	0	0,01	16,37	0,03	89,87	1,57	0	0,16	0	0	0,44	0	0	0,25	0	0
Lucerna	0,32	0,01	0,41	2,63	1,39	75,91	3,91	1,57	3,94	0,39	1,94	0,42	0,02	1,21	8,45	0,09
Mustár	5,05	0	0	0	0	0,03	64,39	0	0	0	0,06	0	0	0,26	0	1,61
Napraforgó	18,72	8,36	0,23	27,33	0,22	7,79	16,05	64,03	12,95	20,34	7,72	70,97	15,1	9,61	3,47	14,99
Olajtök	0	0	0	0	0	0	0	0,06	78,76	0	0	0	0	0	0	0
Őszi árpa	0,02	0,01	0	0	0	0	0	0	0	38,3	0,01	0,03	0	0	0	0
Őszi búza	17,63	0,74	18,15	1,64	4,07	2,5	10,43	7,83	0	32,68	71,06	1,67	0,05	17,93	44,68	28,99
Repce	0	0	0	0,08	0	0	0	0,2	0,08	0,3	0,04	20,26	0	0,03	0	0
Rizs	0,01	0,05	0	0,01	0	0	0	0,01	0	0	0	0	54	0	0	0
Tavaszi árpa	3,84	0,01	2,02	0,93	0,61	3,63	0,95	3,89	0,16	2,57	9,4	1,32	0,13	58,12	0,12	2,5
Triticale	0	0	0	0	0	0	0	0,01	0	1,48	0,13	0	0	0,02	39,12	0
Zöldbab	0,05	0	0	0,1	0	0,04	1,4	0,08	0	0,39	0,43	0	0	0,16	0	37,11
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Függelék 6.táblázat A irányított osztályba sorolással osztályozott SPOT 0102 hibamátrixa

Maximum likelihood	Pontosság	Borsó	Cukorrépa	Gyep	Kukorica	Legelő	Lucerna	Mustár	Napra- forgó	Olajtök	Őszi árpa	Őszi búza	Repce	Rizs	Tavaszi árpa	Triticale	Zöldbab	Teljes pontosság
SPOT 02	Production	31,83	83,14	66,51	56,05	89,43	67,34	63,34	45,83	80,13	59,92	52,25	31,92	55,98	44,23	46,99	33,27	52 85
3F01 02	User	16,54	71,95	94,37	68,8	17,98	58,71	13,63	60,14	92,65	3,27	75,79	19,66	67,27	16,12	7,4	6,74	52,85
SPOT 01	Production	42,6	80	42,88	12,64	76,83	66,96	79,04	28,93	78,36	30,7	30,54	25,44	69,34	57,68	47,11	44,87	30.98
51 01 01	User	23,28	22,32	78,89	46,95	38,29	38,72	31,56	30,99	3,06	43,44	81,82	6,58	15,8	17,21	7,26	1,65	50,90
SPOT	Production	50,49	83,01	62,18	64,43	89,87	75,91	64,39	64,03	78,76	38,3	71,06	20,26	54,31	58,12	39,12	37,11	66 37
0102	User	54,65	83,49	94,53	69,89	45,15	63,17	53,75	49,59	94,68	92,38	85,46	61,01	98,98	35,64	56,43	28,75	55,57

Függelék 7.táblázat A SPOT felvételek hibamátrixainak összesítő táblázata (16 osztály)

										Tavaszi
Kultúra	Borsó	Cukorrépa	Gyep	Kukorica	Lucerna	Napraforgó	Őszi búza	Repce	Rizs	árpa
Borsó	31,68	1,34	0,29	18,02	3,23	1,52	0,72	0,28	6,89	0,72
Cukorrépa	1,48	82,7	0	0,21	0	3,92	0,02	0	3,62	0
Gyep	0	0	69,14	0	0	0,25	0,02	0	0	0,02
Kukorica	4,06	3,34	0,03	55,85	6,1	23,74	3,92	11,8	19,26	5,3
Lucerna	2,21	0,31	0,53	3,82	75,11	2,2	1,39	12,18	0	2,58
Napraforgó	4,82	10,59	3,08	11,99	5,98	45,9	4,27	33,24	13,15	3,33
Őszi búza	36,04	0,65	19,31	3,57	4,46	12,34	68,03	3,06	0,05	38,19
Repce	0,1	0,14	0,4	0,5	0,97	1,1	1,21	34,01	0	0,79
Rizs	0,52	0,05	0	1,1	0,07	0,02	0,02	0	55,94	0
Tavaszi										
árpa	18,54	0,08	6,54	4,36	3,5	8,14	19,72	5,19	0,06	48,03
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Függelék 8.táblázat A irányított osztályba sorolással osztályozott SPOT 02 hibamátrixa (10 osztály)

Függelék 9.táblázat A irányított osztályba sorolással osztályozott SPOT 01 hibamátrixa (10 osztály)

							Őszi			Tavaszi
Kultúra	Borsó	Cukorrépa	Gyep	Kukorica	Lucerna	Napraforgó	búza	Repce	Rizs	árpa
Borsó	43,86	1,01	6,54	2,47	4,85	1,85	12,08	2,37	0,06	2,33
Cukorrépa	13,37	82,79	0	16,52	0,05	11,11	4,48	0,73	11,04	0,59
Gyep	0	0,01	62,22	0,01	0,55	0,34	0,24	0	0	0,02
Kukorica	4,01	4,73	4,45	12,69	2,22	5,52	5,43	2,44	9,9	13,13
Lucerna	2,19	0,2	17,1	2,24	67,84	1,94	9,56	0,28	0,08	1,47
Napraforgó	18,97	4,61	0	55,22	13,2	46,25	6,67	59,07	2,86	11,46
Őszi búza	5,54	1,64	7,89	1,94	4,86	3,28	30,65	1,88	5,66	10,41
Repce	1,27	0,77	0	5,56	0,05	5,94	0,36	30,82	0	0,73
Rizs	0,1	3,79	0,03	2,4	3	15,46	1,93	0,1	69,26	1,16
Tavaszi										
árpa	10,69	0,44	1,77	0,95	3,38	8,31	28,61	2,3	1,13	58,71
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

							Őszi			Tavaszi
Kultúra	Borsó	Cukorrépa	Gyep	Kukorica	Lucerna	Napraforgó	búza	Repce	Rizs	árpa
Borsó	50,51	0,06	0,04	2,76	0,56	0,81	1,71	0	0,06	0,22
Cukorrépa	0	83,26	0	0,03	0	2,26	0,02	0	1,37	0
Gyep	0	0	66,49	0	0	0,28	0	0	0	0
Kukorica	3,81	7,73	0,99	64,48	8,2	18,87	7,21	5,26	28,93	12,13
Lucerna	0,33	0,01	0,48	2,63	77,3	1,63	1,9	0,38	0,02	1,26
Napraforgó	22,47	8,32	0,22	27,48	7,68	64,08	8,17	71,09	14,77	9,95
Őszi búza	19,04	0,56	26,65	1,61	2,43	7,87	71,54	1,64	0,05	18,02
Repce	0	0	0	0,08	0	0,19	0,04	20,29	0	0,03
Rizs	0,01	0,05	0	0,01	0	0,01	0	0	54,7	0
Tavaszi										
árpa	3,83	0,01	5,13	0,92	3,83	3,98	9,41	1,32	0,1	58,4
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Függelék 10.táblázat Az irányított osztályba sorolással osztályozott SPOT 0102 hibamátrixa (10 osztály)

Függelék 11.táblázat A K-means osztályozással osztályozott SPOT 0102 hibamátrixa (10 osztály)

							Őszi			Tavaszi
Kultúra	Borsó	Cukorrépa	Gyep	Kukorica	Lucerna	Napraforgó	búza	Repce	Rizs	árpa
Borsó	26,17	0,02	6,97	0,37	4,9	0,9	27,62	0,03	0	10,89
Cukorrépa	34,89	86,66	0	14,87	4,73	4,16	0,07	0	26,59	0
Gyep	1,23	0,27	77,79	0,36	0,39	1,17	8,47	0,1	0	19,15
Kukorica	5,66	3,41	0	34,75	3,34	30,58	0,49	3,31	56,2	2
Lucerna	0,12	0,41	0,08	2,12	69,01	1,51	1,2	0,14	0,93	0,93
Napraforgó	0,65	0,55	0,15	21,82	5,68	32,43	4,26	59,94	9,91	5,31
Őszi búza	0,79	0,06	13,47	0,77	4,26	3,49	35,84	0,63	0,02	20,35
Repce	12,67	0,07	0,44	7,72	5	4,91	4,75	17,89	0,03	15,5
Rizs	15,07	0,32	1,09	2	1,36	10,85	14,87	13,88	0,02	24,02
Tavaszi										
árpa	2,75	8,22	0,03	15,22	1,33	10	2,44	4,08	6,31	1,85
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Osztályozás	Felvétel	Pontosság	Borsó	Cukorrépa	Gyep	Kukorica	Lucerna	Napraforgó	Őszi búza	Repce	Rizs	Tavaszi árpa	Teljes pontosság
	SDOT 02	Production	31,68	82,7	69,14	55,85	75,11	45,9	68,03	34,01	55,94	48,03	57 79
Maximum likelihood	01 01 02	User	16,52	71,66	94,4	68,68	57,15	59,09	76,54	18,59	67,18	16,54	01,10
	SPOT 01	Production	43,86	82,79	62,22	12,69	67,84	46,25	30,65	30,82	69,26	58,71	34,35
Maximum likelihood		User	22,47	20,92	84,03	46,7	37,58	31,18	81,94	5,7	15,73	17,24	
	SPOT	Production	50,51	83,26	66,49	64,48	77,3	64,08	71,54	20,29	54,7	58,4	66 72
Maximum likelihood	0102	User	54,67	83,43	94,66	69,96	64,21	49,34	85,84	61,33	98,95	35,37	66,75
	SPOT	Production	26.17	86.66	77.79	34.75	69.01	32.43	35.84	17.89	0.02	1.85	
K-Means	0102		,		,					,	0,02	.,	35,94
		User	8,5	26,72	21,96	56,82	67,6	42,66	84,72	1,67	0	1,04	

Függelék 12.táblázat A SPOT felvételek hibamátrixainak összesítő táblázata (10 osztály)

Függelék 13. táblázat

vizsgálati terület sorszám	növény	pixel (db)
1	csemegekukorica	9
2	tavaszi árpa	9
3	lucerna	6
4	őszi búza	4
5	cukorrépa	9
6	őszi búza	12
7	napraforgó	8
8	őszi búza	6
9	őszi búza	12
10	kukorica	10
11	kukorica	8
12	napraforgó	4
13	kukorica	9
14	lucerna	4

Függelék 14. táblázat

sorszám	időpont (hónap, nap)	napok	felhők (%)	sorszám	időpont (hónap, nap)	napok	felhők (%)	sorszám	időpont (hónap, nap)	napok	felhők (%)
1	03.22	1	0	11	05.30	70	0	21	08.11	143	0
2	03.27	6	0	12	06.05	76	16,25	22	08.18	150	0
3	04.02	12	0	13	06.12	83	0	23	08.24	156	0
4	04.09	19	21,13	14	06.24	95	1,36	24	09.07	170	0
5	04.21	31	10,02	15	07.01	102	0	25	09.14	177	5,45
6	04.25	35	0	16	07.08	109	20,08	26	09.19	182	0
7	04.30	40	0	17	07.16	117	0	27	09.21	184	0
8	05.04	44	0	18	07.28	129	5,04	28	09.23	186	0
9	05.07	47	0	19	08.02	134	10,08	29	09.25	188	2,35
10	05.23	63	21,31	20	08.08	140	0	30	09.28	191	2,85

Köszönetnyilvánítás

Szeretném megköszönni témavezetőmnek Prof. Dr. Tamás János tanszékvezetőnek a dolgozat elkészítésében nyújtott segítségét, és szakmai támogatását. Köszönöm kollégáimnak és barátaimnak támogatásukat és szakmai segítségüket. Köszönöm családomnak a dolgozat elkészítése során nyújtott segítségét és türelmét.

NYILATKOZAT

Ezen értekezést a Debreceni Egyetem Agrártudományi Centrum Mezőgazdaságtudományi Karán a Interdiszciplináris Agrár- és Természettudományok Doktori Iskola keretében készítettem el a Debreceni Egyetem ATC MTK doktori (PhD) fokozatának elnyerése céljából.

Debrecen, 2007. szeptember 21.

a jelölt aláírása

NYILATKOZAT

Tanúsítom, hogy **Burai Péter** doktorjelölt 2003 - 2006 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, 2007. szeptember 21.

a témavezető aláírása