

Doktori (PhD) értekezés tézisei

**Tájváltozási tendenciák vizsgálata
távérzékelte adatok alapján**

Thesis for the degree of Doctor of Philosophy (PhD)

**Analysis of land change tendencies
based on remotely sensed data**

Varga Orsolya Gyöngyi

Témavezető: Dr. Szabó Szilárd



DEBRECENI EGYETEM
Földtudományok Doktori Iskola

Debrecen, 2020

1. Bevezetés

A tájváltozás vizsgálata egy széles körben népszerű kutatási terület, amely sokrétű vizsgálati céllal és módszerekkel rendelkezik. A szakterület kutatói számos vizsgálatban és publikációban értekeztek a terület különböző aspektusairól (Abd El-Kawy et al., 2011; Kim, 2016; Mallinis et al., 2014; Mallupattu and Reddy, 2013). A tájváltozás modellezése a kutatási terület egy speciális része, melynek során a kutató célja a jövőbeni földhasználat/felszínborítás előrejelzése. Az ebből nyert információ számos célra alkalmazható, köztük a tájvédelemmel és tájtervezéssel kapcsolatos döntéshozás támogatására. Doktori kutatásom célja azoknak a tényezőknek a vizsgálata volt, amelyek befolyásolhatják a tájváltozási modellek hatékony előrejelzését, amit a tájváltozási tendenciák mélyebb vizsgálatával egészítettem ki.

Előzetes szakirodalmi kutatás alapján a következő hipotézisekből indultam ki:

- az ún. intenzitás-vizsgálat (intensity analysis) segítheti a modell validációjának folyamatát, mert ez egy olyan változásvizsgálati módszer, amely részletes betekintést nyújt a változások tulajdonságaiba;
- a helytelen modell validációs módszerek (Kappa egyezési index, teljes egyezés mutató) félrevezetik az interpretációt és szisztematikusan magas egyezési értékeket adnak, ha a mintaterületen magas a perzisztens területek aránya;
- a földhasználati/felszínborítási kategóriák összevonása nem befolyásolja a modell teljesítményét;
- a változások időbeli stabilitása befolyásolja a modell teljesítményét.

A kutatásom módszertani újszerűsége az volt, hogy (I) intenzitás-vizsgálatot használtam a modell teljesítmény mérésének folyamata során, (II) a kategória összevonások hatását vizsgáltam a modell teljesítményre vonatkozóan, illetve (III) a vizsgált változók és modell teljesítménye között szisztematikus összefüggéseket és jellegzetes hibákat kerestem nagyszámú CA-Markov modell futtatása alapján. A tézisek alapját a doktori fokozat megszerzésének követelményeként nemzetközi folyóiratokban publikált intenzitás-vizsgálat (Varga et al.,

2019) és a kategória összevonások hatásának (Varga et al., 2020) eredmények képezik.

2. Célkitűzések

A kutatásban az alábbi specifikus célokat szándékoztam megvalósítani:

- Intenzitás-vizsgálatot végeztem egy adott mintaterületen, valamint CA-Markov modellt futtattam annak érdekében, hogy különböző mérőszámokkal vizsgáljam a modell teljesítményét, majd feltárjam a tájban játszódó változások és a modell teljesítmény közti kapcsolatot.
- Nagyszámú CA-Markov modellt futtattam és különböző mérőszámokat számítottam ki a tájban lejátszódó változások mennyiségére, dinamikájára vonatkozóan, majd következtetéseket vontam le a modell működése és a modell teljesítménye közötti kapcsolatra vonatkozóan.
- Átfogó statisztikai vizsgálatot végeztem és következtetéseket vontam le a vizsgált mérőszámok és a modell teljesítmény kapcsolatára vonatkozóan.
- Egy elkülönített mintán kifejezetten terjedésszerű változásokat vizsgáltam szimulációs modell segítségével, majd következtetéseket vontam le a terjedésszerű jelenségek és a modell teljesítmény összefüggéseire vonatkozóan.

3. Anyag és módszer

A vizsgálatokhoz több mintaterületet is kijelöltem, melyek a céloknak alárendelten többféle szempontnak is, többek között a változás nagyságának és a terület felszínborítási változatosságának megfeleltek.

Az első mintaterületet Tokaj közvetlen környezetében jelöltem ki, ahol a Corine Land Cover (CLC) adatbázis 2000. és 2006. évi térképei alapján CA-Markov modellt futtattam. A CLC 2012. évi térképét referenciaként validációs célokra használtam. Intenzitás-vizsgálatot alkalmaztam a változások mélyebb feltárására a kalibrációs (referencia 2000 és referencia 2006 adatbázisok közti időszak), a validációs (referencia 2006 és referencia 2012 adatbázisok közti

időszak) és a szimulációs időszakokban (referencia 2006 és szimulált 2012 adatbázisok közti időszak). Az intenzitás-vizsgálat egy részletekbe menő változásvizsgálati módszer, amely többszintű betekintést tesz lehetővé (Aldwaik and Pontius, 2012). Egy átfogó mérőszámot alkalmaztam a modell teljesítményének mérésére, melyet *Figure of merit* mutatóként (FOM) hivatkoznak a szakirodalomban (Jolliffe and Stephenson, 2003; Klug et al., 1992; Perica and Foufoula-Georgiou, 1996; Pontius Jr, R. G. et al., 2011), és amelynek további komponensei betekintést engednek a szimuláció találatainak és hibáinak részleteibe.

A második mintaterület-csoport 8 európai területből állt és minden területen 3 nagyítási szintet (2500 – 15625 – 62500 ha) alkalmaztam. E területeken összesen 114 CA-Markov modellt futtattam CLC adatok (2000, 2006 és 2012 évekből) alapján, az első mintaterületnél ismertetett módszerrel. Négy típusú kategória összevonást alkalmaztam a CLC legrészletesebb, harmadik szintű sztenderd nomenklatúrájának megfelelő adaton (L3):

- a CLC nomenklatúra második szintje szerinti összevonás (L2);
- a CLC nomenklatúra első szintje szerinti összevonás (L1);
- a viselkedésalapú kategória összevonási módszer szerint, ahol a felhasználó határozza meg, hogy a lépésenként végrehajtott összevonás mely ponton fejeződik be (BB) (Aldwaik és Pontius, 2012);
- a határértékalapú összevonási módszer szerint, ahol a felhasználó egy kollektív kategóriába aggregálja azokat a kategóriákat, amelyek változásainak aránya nem ért el egy minimális önkényes határértéket.

A harmadik mintaterület-csoportban 6 db CA-Markov modell futtatása történt meg két mintaterületen Észak- és Dél-Amerikában, ezen belül az Atchafalaya-öbölben és Amazóniában. A felszínborítás-térképeket Landsat-felvételekből vezettem le, Amazónia esetében az 1990, 2000 és 2010 évekre vonatkozóan, az Atchafalaya-öböl esetében pedig az 1990, 2003 és 2016 évekre vonatkozóan. Ezekben az esetekben kifejezetten a terjedésszerű változások vizsgálatára fókuszáltam, és a második mintaterület-csoport tapasztalatai alapján és azokhoz viszonyítva értékeltem az eredményeit.

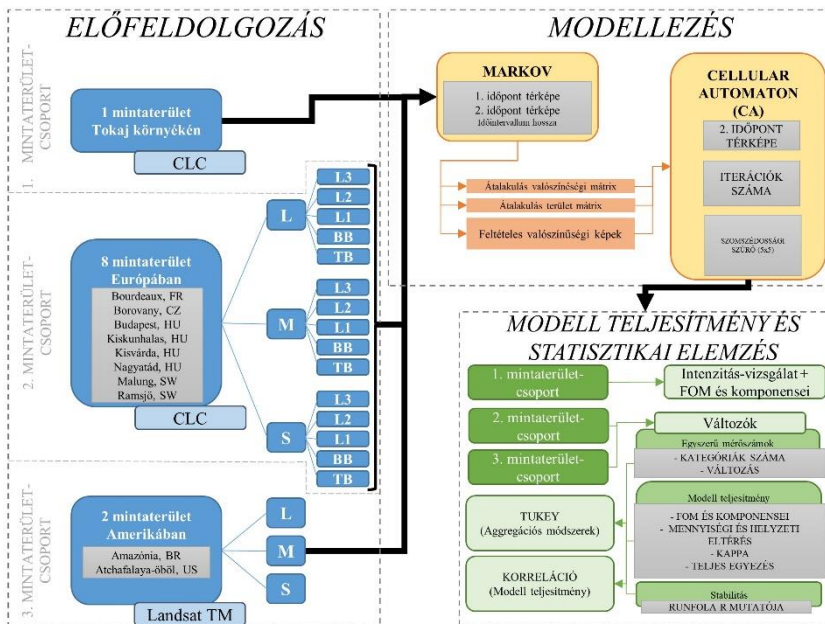
Minden esetben a CA-Markov nevű modellt futtattam Idrisi szoftverkörnyezetben, ahol a sejtautomata (cellular automaton = CA) komponens felel a változó pixelek elhelyezkedéséért, a Markov komponens pedig a változások mennyiségéért.

A második és a harmadik mintaterület-csoportban a következő változókat vizsgáltam:

- a változások mennyisége az összes vizsgált időintervallumban;
- a változások évenkénti mennyisége az összes vizsgált időintervallumban;
- a változások különbségei a vizsgált időintervallumok között;
- a változások időbeli stabilitása a kalibrációs és a validációs intervallumok között, illetve a kalibrációs és a szimulációs intervallumok között;
- a referencia és szimulált utolsó időpontok térképeinek összehasonlítása (Kappa egyezési index, teljes egyezés mutató)
- a modell teljesítményének mérésének mérőszámai a FOM és a FOM komponensei: *Találatok* = helyesen szimulált változások, *Helytelen találatok* = referencia változások szintén változó területként szimulálva helytelen célkategóriába, *Mulasztások* = referencia változás perzisztens területként szimulálva, *Téves riasztások* = referencia perzisztens terület változó területként szimulálva; illetve a szimuláció mennyiségi és helyzeti hibája. A FOM a *Találatok* és a FOM komponensek összegének hányadosaként számítandó.

A kategóriák számának kérdését a második mintaterület-csoporton végzett modellek segítségével vizsgáltam statisztikai módszerekkel (korreláció, ANOVA).

Az 1. ábrán a kutatás menetének folyamatát foglaltam össze.



1. ábra. A kutatás során alkalmazott módszerek áttekintő folyamatábrája.

1. Kutatási eredmények

1. tézis

Kimutattam, hogy az intenzitás-vizsgálat a modell validációját hatékonyan segítő módszer, mert feltárta a kalibrációhoz használt időszakban történt változásokat, valamint a valós és a szimulált változásokat, amelyeket egy átfogó mérőszám nem tárhatott volna fel. A kalibrációs és a validációs időszak változásainak összehasonlítása számottevően fontos információ a modell validálásának folyamata során.

Az első mintaterület-csoportban egy átfogó modell teljesítmény mérés valósult meg a FOM és komponenseinek kiszámításával és az intenzitás-vizsgálat segítségével. A vizsgált területen extrém alacsony volt a találati arány (0,02% a helyesen szimulált változások aránya a mintaterület teljes területéhez viszonyítva), valamint a modell teljesítményét jelző FOM mutató is (0,007%). Az intenzitás-vizsgálat

úgynevezett intervallum szintje kimutatta a változások lassuló tendenciáját a validációs és a szimulációs időszakban is, de az utóbbi lassulása erőteljesebb volt. Az intenzitás-vizsgálat úgynevezett kategória szintje kimutatta a validációs és a szimulációs időszakok részletes változási dinamikáját. E változások különbözők voltak a kategóriák változásainak intenzitását tekintve, tehát a kategóriák területnyerése és területvesztése más-más kategóriákban volt intenzívebb. A FOM ezt a dinamikát nem volt képes megragadni, mindössze egy általános jellemzést adott a modell teljesítményéről. Következésképpen az intenzitás-vizsgálat képes volt kimutatni, hogy a kalibrációs és a validációs időszak változásai markánsan eltértek egymástól, miközben a kalibrációs és a szimulációs időszak változásai számottevően hasonlóak voltak. Ez vezetett ahhoz a konklúzióhoz, hogy a modell által szimulált változások illeszkedtek a kalibrációhoz használt időszak változásaihoz, azonban a validációhoz használt időszak változásai nem illeszkedtek a kalibrációs időszak változásaihoz. Ez azt jelenti, hogy a modell részben azért volt sikertelen, mert a validációhoz használt változások nem illeszkedtek a kalibrációhoz használt változások mintázatához, tehát a szimuláció nem tudott volna magas modell teljesítményt produkálni akkor sem, ha a szimulált változások tökéletesen illeszkednek a betanításhoz használt változásokhoz, hiszen a későbbi valós változások nem követték a korábbi mintát. A FOM és komponensei nem lettek volna alkalmasak ennek a jelenségnek a feltárására, amellet sem, hogy megbízható jellemzést adnak a modell teljesítményéről.

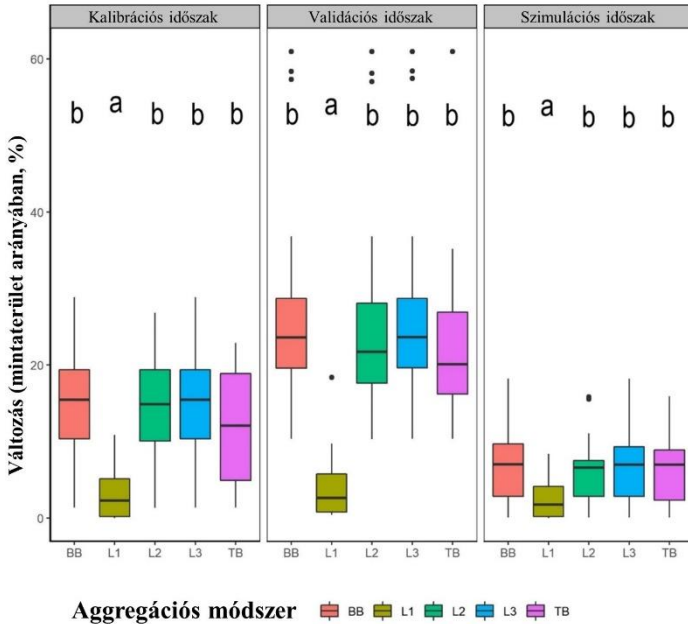
Ezt az eredményt egy olyan közleményben publikáltuk (Varga et al. 2019), amely az intenzitás-vizsgálat első alkalmazása volt modell validációs célokra. Az intenzitás-vizsgálat több szinten fedte fel a referencia és a szimulált változásokat, amely segített a modell teljesítmény mögött húzódó okok felderítésében.

2. tézis

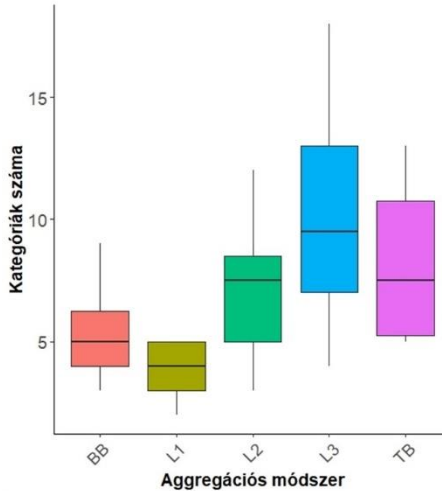
Megállapítottam, hogy a Corine Standard nomenklátúra 1. szintje szerinti kategóriák összevonása a kategóriák számának csökkentése mellett jelentős mértékben csökkentette a mintaterületen tapasztalható változásokat, emiatt az így végrehajtott összevonást nem javaslom. A javaslatom a viselkedésalapú kategória összevonási módszer, mely lehetőséget nyújt arra, hogy a változások ne csökkenjenek, ugyanakkor lényegesen csökkenti a kategóriák számát.

A 114 modell elemzése rámutatott, hogy az L1 csoportban mind közül a legkevesebb változás volt tapasztalható a mintaterületen, és az L1 csoport értékei szignifikánsan alacsonyabbak ($p < 0.05$) voltak a többi aggregációs módszerhez képest mind a kalibrációs, mind a validációs, mind a szimulációs időszakban (2. ábra).

A kategóriák száma az L1 csoportban volt a legalacsonyabb, míg a BB csoportban volt a második legalacsonyabb (3. ábra). Az L1 aggregáció 5 kategóriában maximálja a lehetséges kategóriák számát. A kategóriák csökkentésének lehetősége előnyös, mert egyszerűbbé teszi a kategóriák dinamikájának értékelését és csökkenti egy esetleges szimulációs modell számításának erőforrásigényét. Ugyanakkor, ha az aggregáció fontos változásokat fed el a mintaterületen, akkor a szimulációs modell az elfedett változásokat már nem lesz képes előrejelezni, tehát ezáltal a vizsgálat szempontjából kritikus információk vesznek el. Az L1 aggregáció eredményeként fontos változások vesztek el a mintaterületen, mivel az L1 csoport szignifikánsan kevesebb ($p < 0.05$) változást mutatott, mint a többi aggregációs csoport. Mindemellett a BB csoport egyáltalán nem fedett el változásokat, míg a kategóriák számát jelentősen csökkentette. Míg az L1 egy tematikus irányultságú kategória összevonási rendszer, addig a BB módszer arra koncentrál, hogy megtartsa a tájban tapasztalható változásokat, a lehetőségekhez és a felhasználó igényeihez mérten. Tájváltozásmoделlek futtatása esetén a felhasználó változásokat kíván előrejelezni, ezért a változások megléte vagy elfedése kritikus jelentőségű a vizsgálat szempontjából. Ennek megfelelően változáscentrikus vizsgálatokban az L1 (Corine standard nomenklátúra 1. szintje) szerinti aggregációt nem javaslom, míg a BB (behavior-based = viselkedésalapú) aggregációt javaslom alkalmazni.



2. ábra. A mintaterületen bekövetkezett változások a mintaterület arányában kifejezve, aggregációs módszerek szerint csoportosítva a (I) kalibrációs időszakban, azaz a referencia 2000 és referencia 2006 térképek között, (II) a validációs időszakban, azaz a referencia 2006 és referencia 2012 térképek között, valamint a (III) szimulációs időszakban, azaz a referencia 2006 és szimulált 2012 térképek között. (BB= viselkedésalapú aggregáció; L1 = CLC nomenklatúra 1. szintje szerinti aggregáció; L2 = CLC nomenklatúra 2. szintje szerinti aggregáció; L3 = CLC nomenklatúra 3. szintje szerinti aggregáció; TB = határérték alapú aggregáció).



3. ábra. *Kategoróriák száma a 2000 és 2006 évi térképeken, aggregációs módszer szerint csoportosítva. Number of categories as observed in reference 2000 and reference 2006 maps, grouped by aggregation method (BB= viselkedésalapú aggregáció; L1 = CLC nomenklatúra 1. szintje szerinti aggregáció; L2 = CLC nomenklatúra 2. szintje szerinti aggregáció; L3 = CLC nomenklatúra 3. szintje szerinti aggregáció; TB = határértékalapú aggregáció).*

Ezt az eredményt egy olyan közleményben publikáltuk (Varga et al. 2020), amely elsőként vizsgálta az aggregációs módszerek modell teljesítményre vonatkozó hatásait nagyszámú szimulációs modell példáján.

3. tézis

Kimutattam, hogy a vizsgált modellek esetében a mennyiségi eltérés jellemzően nagyobb volt a valós és a szimulált változások között, mint a helyzeti eltérés. Ennek alapján a vizsgált sejtautomata-Markov (CA-Markov) modell mennyiséget befolyásoló Markov algoritmus a több eltérést okozott, mint az allokációt befolyásoló sejtautomata algoritmus.

Altézis: A modell minden esetben lassuló változásokat szimulált, tehát szisztematikusan alábecsülte a változások mennyiségét.

Altézis: A változások mennyiségének alábecsülése a vizsgált modellek esetében nagyfokú mennyiségi hibát idézett elő, mert a mintaterületeken javarészt gyorsuló változás volt megfigyelhető.

Altézis: A vizsgálati eredmények igazolták azt a szakirodalomban fellelhető elképzelést, hogy a modell terjedő jellegű változás szimulálására inkább alkalmas.

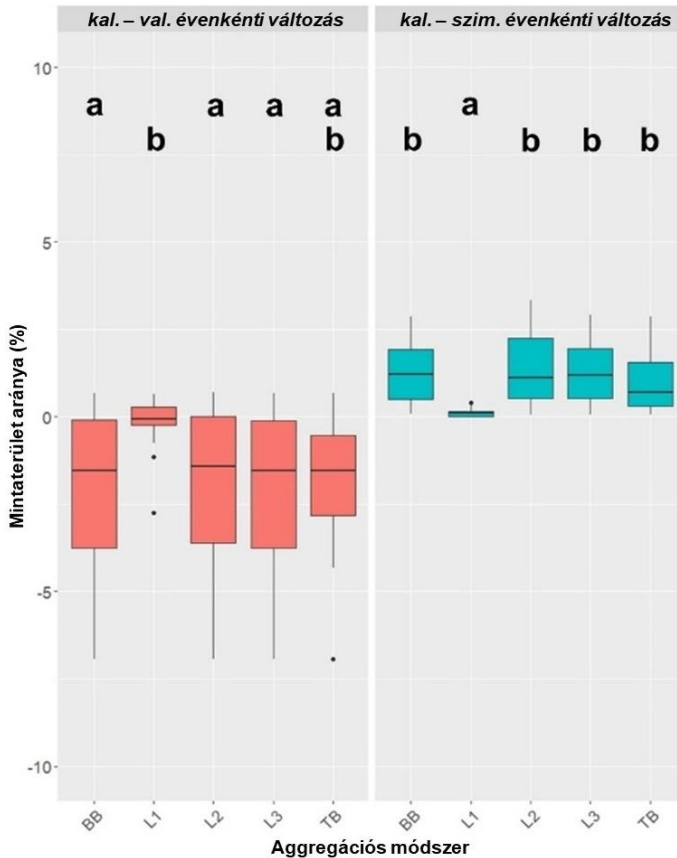
A 2. és 3. mintaterület-csoport évenkénti változásainak vizsgálata során a vizsgálat tárgya a kalibrációs és a validációs időszak közti, illetve a kalibrációs és szimulációs időszak közti változások lassuló vagy gyorsuló tendenciája volt. Ennek eredményeit a 4. ábrán mutatom be, amely rávilágít, hogy a kalibrációs időszakra a szimulációs időszakra minden esetben lassuló változás volt megfigyelhető, mert a kalibrációs időszak évenkénti változásainak mennyisége mindig nagyobb volt (pozitív esetek). Eközben a kalibrációs időszakra a validációs időszakra legtöbb esetben gyorsuló változás volt megfigyelhető (negatív esetek). Az L1 mediánja a nullához közelít, ami azt jelenti, hogy ebben a csoportban mindkét eset egyformán jellemző volt. Fontos adalék, hogy az L1 aggregáció nyomán a változások tendenciája is megfordult – nemcsak a változások megfigyelt össz mennyisége csökkent drasztikusan a vizsgált esetekben tekintve, hogy az L3 csoport általában gyorsuló változást mutatott a referencia időszakokban. A szimulációk mindig lassuló változást jeleztek, a valós változások pedig az esetek többségében gyorsulók voltak.

Az 5. ábra a mennyiségi és helyzeti eltérések összehasonlítását mutatja az egyedi eseteket tekintve, ahol a mennyiségi eltérések (Q_s) jellemzően magasabbak voltak, mint a helyzeti eltérések (A_s). Mivel a modell szisztematikusan alábecsülte a változások mennyiségét, ez egy felmerülő oka a magasabb mennyiségi eltéréseknek. A modell nem volt képes helyes mennyiségi becslésre, mert rendszeresen alábecsülte a változásokat. Ez a jelenség egy várható mennyiségi eltéréshez vezetett, mert a modell a kalibrációs időszak változásainak mennyiségét sem találta el a szisztematikus alábecslés miatt. Eszerint a modell akkor sem találná el a kalibrációs változások mennyiségét, ha egyébként más tényező nem befolyásolná. A változások tendenciája a kalibrációs és a validációs időszak között szoros korrelációs kapcsolatot mutatott a modell mennyiségi és helyzeti eltéréseinek különbségével. A validációs időszak változásainak gyorsulása még inkább hozzájárult a mennyiségi eltérések növekedéséhez. A modell tehát csak akkor képes eltalálni a gyorsuló vagy

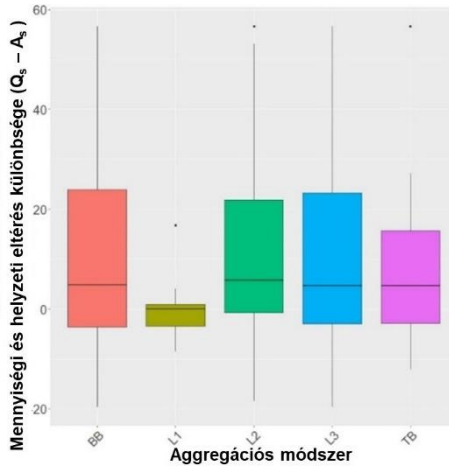
lassuló tendenciát, ha az valóban lassuló, hiszen a modell minden esetben lassuló tendenciát jelez.

A 3. mintaterület-csoportban a 2. mintaterület-csoport értékeinél jelentősen magasabb (28% körüli) FOM értékeket mutatott, és a FOM komponensek tekintetében a *Találatok* esetében is jelentősen magasabb értékeket eredményezett. A magasabb FOM értékek jobb modell teljesítményt jelentenek. A 3. mintaterület-csoportnál a terjedésszerű változások vizsgálatára fókuszáltam, ahol a változások az eredeti kategóriahatárokkal szomszédos területekre koncentráálódtak. A *Találat* értékek legtöbbször szintén az eredeti kategóriákkal szomszédos területeken helyezkedtek el, főként ott, ahol a terjedés valóban illeszkedett a szomszédos területekre. Mas et al. (2014) úgy vélte, hogy a CA-modell csak olyan jelenségek vizsgálatára alkalmas, ahol a változásokat speciális szomszédossági viszony uralja, mivel a modell főként városi növekedési modellek során történő alkalmazásra hivatott. A 3. mintaterület-csoport esetei olyan változásokat demonstráltak, amelyek összhangban vannak a szomszédossági szűrő logikájával. A *Találatok* koncentrációja és magasabb aránya bizonyítja, hogy a terjedésszerű változás a magasabb találati arány katalizátora volt. A többi FOM komponensben nem volt jelentős emelkedés a 2. mintaterület-csoport értékeihez képest, így a kiugróan magas *Találatok* a FOM számítási képletéből adódóan magasabb FOM értékeket is generáltak, amely jobb modell teljesítményt jelent. Ezt a megállapítást a 3. *altézisben* fogalmaztam meg.

Az 1., 2. és 3. *altézisek* a változások mennyiségével és elhelyezkedésével kapcsolatban tettek megállapításokat. Az *altézisek* alapján, és a tény alapján, hogy a mennyiségi eltérések magasabbak voltak, mint a helyzeti eltérések, a 3. *tézisben* összefoglalom, hogy a modellekben a mennyiséget kontrolláló Markov összetevő több hibát okoz, mint az elhelyezkedést kontrolláló sejtautomata összetevő.



4. ábra. Az évenkénti változások különbségei a mintaterület arányában kifejezve, a kalibrációs és validációs időszakok összehasonlítása alapján (kal.-val. évenkénti változás, bal oldalon), illetve a kalibrációs és szimulációs időszakok összehasonlítása alapján (kal.-szim.évenkénti változás, jobb oldalon), aggregációs módszerek szerint csoportosítva. A szignifikánsan eltérő mediánnal rendelkező csoportokat különböző betűk jelölik. (BB= viselkedésalapú aggregáció; L1 = CLC nomenklatúra 1. szintje szerinti aggregáció; L2 = CLC nomenklatúra 2. szintje szerinti aggregáció; L3 = CLC nomenklatúra 3. szintje szerinti aggregáció; TB = határértékalapú aggregáció).



5. ábra. A mennyiségi (Q_s) és helyzeti (A_s) eltérés különbségei, aggregációs módszer szerint csoportosítva. Ha az érték pozitív, Q_s értéke magasabb. Ha az érték negatív, A_s értéke magasabb. (BB= viselkedésalapú aggregáció; L1 = CLC nomenklátúra 1. szintje szerinti aggregáció; L2 = CLC nomenklátúra 2. szintje szerinti aggregáció; L3 = CLC nomenklátúra 3. szintje szerinti aggregáció; TB = határértékalapú aggregáció).

4. tézis

Nagy esetszámú vizsgálat segítségével bizonyítottam, hogy a mintaterületen bekövetkező változások és a távérzékelésben leggyakrabban validációra használt indexek (Kappa koefficiens, teljes egyezés mutató) értéke szoros kapcsolatban van. Minél alacsonyabb a változó területek aránya, annál magasabb az egyezés a szimulált kategória térkép és az azonos időpont kategória térképe között, ezért a validáció eredménye e módszer alkalmazásával félrevezető.

Egyes kutatók arra figyelmeztettek, hogy a szimulációs modellek esetében a nagyarányú perzisztens területek magas egyezéseket eredményezhetnek (Pontius Jr, R. G. et al., 2011; van Vliet, 2009). Az ajánlás ellenére számos kutató használ olyan módszereket a modell teljesítményének ellenőrzésére, amely nem tesz különbséget a perzisztens területek és a helyesen szimulált változások között, és ezek a módszerek általában a szimulált térkép és az ugyanahhoz az időponthoz tartozó referencia térkép összehasonlítására épülnek

(Keshtkar and Voigt, 2016; Mishra and Rai, 2016; Popovici et al., 2018; Singh et al., 2015; Yang, et al., 2014). A módszer egy átfogó mérőszámot eredményez a két térkép közötti egyezésre vonatkozóan, beleértve a perzisztens területeket is, annak ellenére, hogy a tájváltozás modellek célja nevéből adódóan is a változás helyes megragadása volna. Következésképpen egy ilyen mérőszám magas egyezést ad, ha a tájban magas a perzisztens területek aránya.

A 2. mintaterület-csoportban e logika mentén számítottam Kappa egyezési indexet és teljes egyezés mutatót a referencia és a szimulált 2012 évi térképek alapján, majd megvizsgáltam ezek összefüggéseit a tájban jelenlévő perzisztens területek és a helyesen szimulált perzisztens területek arányával. A 6. és 7. ábrák ezeket a változókat mutatják be.

Az ábrákon megfigyelhető, hogy az L1 csoport jellemzően magasabb értékeket adott vissza a Kappa egyezési index és a teljes egyezés esetében is, miközben jelentősen magasabb arányban voltak jelen perzisztens területek ebben a csoportban és a helyesen szimulált perzisztens területek aránya is magasabb volt a többi aggregációs módszerhez képest. A teljes egyezés és Kappa mutatók erős korrelációt mutattak a validációs időszak perzisztens területeinek arányával (teljes egyezés $R^2=0,92$; Kappa $R^2=0,85$) és a helyesen szimulált perzisztens területek arányával (teljes egyezés $R^2=0,96$; Kappa $R^2=0,87$). Ez azt jelenti, hogy statisztikai eredmény támasztja alá e mutatók és a perzisztens területek arányának szoros összefüggését.

Ezek az eredmények azt is demonstrálják, hogy a modell akkor is képes magas egyezést produkálni a Kappa és teljes egyezés mutatók alapján, ha egyébként a modell teljesítménye igen alacsony, mivel a vizsgált esetekben a FOM 3% alatti értékeket adott vissza. Ebből következően ezek az indexek valóban félrevezető eredményeket adhatnak abban az esetben, ha a modell teljesítmény mérésére alkalmazzák őket. A modell teljesítmény mérésének ezt a megközelítését, mint hibás koncepció, már publikálták korábban (Pontius et al. 2008, Pontius et al. 2011), ám az összefüggést nagyszámú modellen és statisztikai vizsgálat mentén még nem támasztották alá.

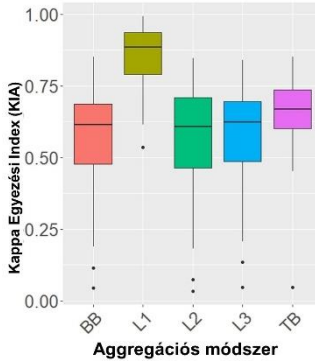
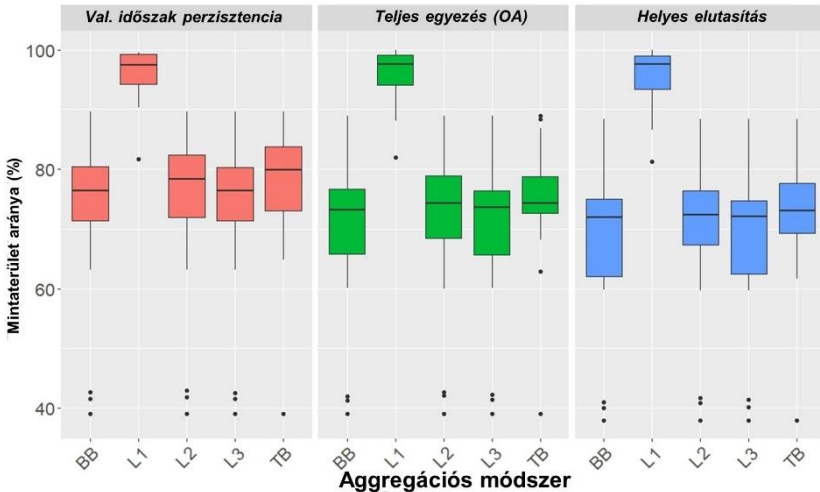


Figure 6. A Kappa egyezési index értékei, aggregációs módszer szerint csoportosítva. (BB= viselkedés-alapú aggregáció; L1 = CLC nomenklatúra 1. szintje szerinti aggregáció; L2 = CLC nomenklatúra 2. szintje szerinti aggregáció; L3 = CLC nomenklatúra 3. szintje szerinti aggregáció; TB = határérték-alapú aggregáció).



5. ábra. A perzisztens területek aránya a validációs időszakban (bal oldalon), teljes egyezés (középen) és a Helyes elutasítások aránya (jobb oldalon), aggregációs módszer szerint csoportosítva (BB= viselkedés-alapú aggregáció; L1 = CLC nomenklatúra 1. szintje szerinti aggregáció; L2 = CLC nomenklatúra 2. szintje szerinti aggregáció; L3 = CLC nomenklatúra 3. szintje szerinti aggregáció; TB = határérték-alapú aggregáció).



Nyilvántartási szám: DEENK/149/2020.PL
Tárgy: PhD Publikációs Lista

Jelölt: Varga Orsolya Gyöngyi
Neptun kód: ZL3H6L
Doktori Iskola: Földtudományok Doktori Iskola
MTMT azonosító: 10040098

A PhD értekezés alapjául szolgáló közlemények

Idégen nyelvű tudományos közlemények külföldi folyóiratban (4)

1. Varga, O. G., Pontius, R. G., Szabó, Z., Szabó, S.: Effects of Category Aggregation on Land Change Simulation Based on Corine Land Cover Data.
Remote Sens. 12, 1-16, 2020. EISSN: 2072-4292.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/rs12081314>
IF: 4.118 (2018)
2. Varga, O. G., Pontius, R. G., Singh, S. K., Szabó, S.: Intensity Analysis and the Figure of Merit's components for assessment of a Cellular Automata-Markov simulation model.
Ecol. Indic. 101, 933-942, 2019. ISSN: 1470-160X.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.01.057>
IF: 4.49 (2018)
3. Shimrah, T., Sarma, K., Varga, O. G., Szabó, S., Singh, S. K.: Quantitative assessment of landscape transformation using earth observation datasets in Shirui Hill of Manipur, India.
Remote Sens. Appl. 15, 1-9, 2019. ISSN: 2352-9385.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rsase.2019.100237>
4. Varga, O. G., Szabó, S., Túri, Z.: Efficiency assessments of GEOBIA in land cover analysis, NE Hungary.
Bull. Environ. Sci. Res. 3 (4), 1-9, 2014. ISSN: 2278-5205.

Magyar nyelvű konferencia közlemények (1)

5. Varga, O. G., Szabó, S.: A felszínborítás modellezésének pontosságvizsgálata Corine Land Cover rétegek alapján CA-Markov módszerrel.
In: Az elmélet és gyakorlat találkozása a térinformatikában VII. Szerk.: Balázs Boglárka, Debreceni Egyetemi Kiadó, Debrecen, 507-513, 2016. ISBN: 9789633185704





Magyar nyelvű absztrakt kiadványok (1)

6. Varga, O. G.: Felszínborítás változásának a vizsgálata CA-Markov modell és hibamátrix alkalmazásával.

In: Magyar Földrajzi Napok 2016 absztraktkötet : VIII. Magyar Földrajzi Konferencia : XVI. Geográfus Doktoranduszok Országos Konferenciája : Oktatás-módszertani és Földrajztanári Konferencia. Szerk.: Pajtókné Tari Ilona, Tóth Antal, Eszterházy Károly Egyetem : Agrár Geográfia Közhasznú Alapítvány, Eger, 111, 2016. ISBN: 9786158030717

Idégen nyelvű absztrakt kiadványok (1)

7. Varga, O. G., Szabó, S.: Conceptual flaws and solutions in land change model evaluation.

In: Az elmélet és gyakorlat találkozása a térinformatikában IX.. Szerk.: Molnár Vanda Éva, Debreceni Egyetemi Kiadó, Debrecen, 383-383, 2018. ISBN: 9789633187234

További közlemények

Magyar nyelvű könyvrészletek (1)

8. Szabó, L., Varga, O. G., Szabó, S.: Természetközeli vizes élőhelyek és városi területek változásának idősoros monitoringja: különbségek és hasonlóságok.

In: Tájak működése és arculata. Szerk.: Fazekas István, Lázár István, MTA DTB Földtudományi Szakbizottság, Debrecen, 209-212, 2019.

Idégen nyelvű hazai könyvrészletek (1)

9. Varga, O. G.: A Geoinformatical Method in Assistance to Tourism.

In: Turizmus ízei : V. Nemzetközi Turizmus Konferencia 2013 : Tanulmányok. Szerk.: Darabos Ferenc; Ivancsóné Horváth Zsuzsa, Nyugat-magyarországi Egyetem Apáczai Csere János Kar, Győr, 58-65, 2013. ISBN: 9789633341155

Idégen nyelvű tudományos közlemények hazai folyóiratban (3)

10. Varga, O. G., Gombosné Nagy, I., Burai, P., Tomor, T., Lénárt, C., Szabó, S.: Land cover analysis based on descriptive statistics of Sentinel-2 time series data.

Acta geogr. Debr., Landsc. environ. ser. 12 (2), 1-9, 2018. ISSN: 1789-4921.
DOI: <http://dx.doi.org/10.21120/LE/12/2/1>

11. Balla, D. Z., Varga, O. G., Bodroginé Zichar, M.: Accuracy assessment of different soil databases concerning WRB reference soil groups.

Acta Geogr. Debr., Landsc. Environ. Ser. 10 (1), 1-12, 2016. ISSN: 1789-4921.
DOI: <http://dx.doi.org/10.21120/LE/10/1/1>





12. Balla, D. Z., Varga, O. G., Barkóczy, N., Novák, T., Bodroginé Zichar, M., Karika, A.: Methods of processing and geovisualization of soil profiles.
J. Agricult. Inf. 7 (2), 11-18, 2016. ISSN: 2061-862X.

Magyar nyelvű konferencia közlemények (4)

13. Varga, O. G., Milics, G., Katona, Z.: Menedzsment zónák kijelölése szegmentáció segítségével.
In: Az elmélet és gyakorlat találkozása a térinformatikában IX.. Szerk.: Molnár Vanda Éva, Debreceni Egyetemi Kiadó, Debrecen, 377-382, 2018. ISBN: 9789633187234
14. Varga, O. G., Túrj, Z.: Eltérő táji adottságú mintaterületek vizsgálata objektum alapú képfeldolgozással.
In: Az elmélet és gyakorlat találkozása a térinformatikában VI.. Szerk.: Boda Judit, Debreceni Egyetemi Kiadó, Debrecen, 453-460, 2015. ISBN: 9789633184882
15. Varga, O. G., Túrj, Z.: A tájszerkezet vizsgálata objektum alapú megközelítéssel alföldi mintaterületeken.
In: Az elmélet és gyakorlat találkozása a térinformatikában V. : Térinformatikai konferencia és szakkiallítás 2014. Szerk.: Balázs Boglárka, Debrecen Egyetemi Kiadó, Debrecen, 403-410, 2014. ISBN: 9789633184349
16. Varga, O. G., Túrj, Z.: Turisztikai adatbázis kialakítása Hajdú-Bihar megyében.
In: Az elmélet és gyakorlat találkozása a térinformatikában IV. : Térinformatikai konferencia és szakkiallítás 2013. Szerk.: Lóki József, Debreceni Egyetemi Kiadó, Debrecen, 473-480, 2013. ISBN: 9789633183342

Idegen nyelvű konferencia közlemények (4)

17. Burai, P., Varga, O. G., Milics, G., Stratoulas, D., Lénárt, C., Nyéki, A., Neményi, M.: Evaluating the management zones using object-based image classification method.
In: Prega Science Scientific Conference on Precision Agriculture and Agro-Informatics.
Szerk.: Milics Gábor, Agroinform Média Kft., Budapest, 50-51, 2018. ISBN: 9786150030449
18. Balla, D. Z., Bodroginé Zichar, M., Barkóczy, N., Varga, O. G.: Cognitive interpretation of different spatial databases in web environment.
In: 6th IEEE Conference on Cognitive Infocommunications CogInfoCom 2015 : Proceedings, October 19-21, 2015, Széchenyi István University Győr, Hungary, IEEE, Danvers, 159-162, 2015. ISBN: 9781467381284
19. Balla, D. Z., Kovács, Z., Varga, O. G., Bodroginé Zichar, M., Novák, T.: Terepi adatfelvétel és geovizualizáció Androidos platformon.
In: Az elmélet és a gyakorlat találkozása a térinformatikában VI.: Térinformatikai konferencia és szakkiallítás. Szerk.: Boda Judit, Debreceni Egyetemi Kiadó, Debrecen, 39-43, 2015. ISBN: 9789633184882





20. Varga, O. G., Túrj, Z.: Application of GIS to Present Rural Touristic Values of Bihar-Hajdú-Bihar Euroregion.
In: Agriculture Informatics 2013 International Conference. Szerk.: Herdon Miklós, Szilágyi Róbert, Magyar Agrárinformatikai Szövetség, Debrecen, 23-28, 2013. ISBN: 9786155094095

Magyar nyelvű absztrakt kiadványok (6)

21. Szabó, S., Bertalan, L., Varga, O. G., Novák, T.: A számszerűsített felszínborítás-változás módszertani kérdései.
In: Magyar Földrajzi Napok 2016: Absztraktkötet : VIII. Magyar Földrajzi Konferencia : XVI. Geográfus Doktoranduszok Országos Konferenciája : Oktatás-módszertani és Földrajztanári Konferencia. Szerk.: Pajtókné Tari Ilona, Tóth Antal, Magyar Földrajzi Társaság, Eger, 105-106, 2016. ISBN: 9786158030717
22. Varga, O. G.: A tájszerkezet vizsgálata hortobágyi, hajdúhátai és dél-nyirérségi tájablakokon objektum alapú képfeldolgozással.
In: XIV. Országos Felsőoktatási Környezettudományi Diákkonferencia : Pécs, 2014. április 23-25. : konferencia-kötet : program és előadás-összefoglalók. Szerk.: Kovács Mónika, Schmidt Petra, Publikon ; Pécsi Tudományegyetem Természettudományi Kar Földrajzi Intézet, Pécs, 54, 2014.
23. Varga, O. G.: Turisztikai adatbázis kialakítása és továbbfejlesztése a HajdúBihar-Bihar eurorégióban.
In: Az elmélet és a gyakorlat találkozása a térinformatikában V.. Szerk.: Balázs Boglárka, Debreceni Egyetemi Kiadó, Debrecen, 445-446, 2014. ISBN: 9789633184349
24. Varga, O. G.: Tematikus túraútvonalak kialakítása Androidos alkalmazáshoz Hajdú-Bihar megyében.
In: XXXI. OTDK Országos Tudományos Diákköri Konferencia Fizika Földtudományok és Matematika Szekciójának Kivonatkötet. Szerk.: Erdei Gábor, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Budapest, 337, 2013.
25. Varga, O. G.: Tematikus túraútvonal kiépítése a Hortobágyon geoinformatikai eszközökkel.
In: Az elmélet és a gyakorlat találkozása a térinformatikában III.. Szerk.: Lóki József, Debreceni Egyetemi Kiadó, Debrecen, 478-479, 2012. ISBN: 9789633182185





26. Körmöndi, B., Mecser, N., Varga, O. G.: Toscanai turistatérképek kiépítése ArcMap 10 alkalmazásával.

In: Az elmélet és gyakorlat találkozása a térinformatikában II.. Szerk.: Lóki József, DE TTK Földrajzi Tanszékcsoport, Debrecen, 485-485, 2011. ISBN: 97896331811164

A közlő folyóiratok összesített impact faktora: 8,608

A közlő folyóiratok összesített impact faktora (az értekezés alapjául szolgáló közleményekre): 8,608

A DEENK a Jelölt által az iDEa Tudóstérbe feltöltött adatok bibliográfiai és tudományometriai ellenőrzését a tudományos adatbázisok és a Journal Citation Reports Impact Factor lista alapján elvégezte.

Debrecen, 2020.05.25.



1. Introduction

Land change analysis is a widely popular research field with multiple analysis purposes and methods. Scientists examine land change in a pretty wide range of researches and publications (Abd El-Kawy et al., 2011; Kim, 2016; Mallinis et al., 2014; Mallupattu and Reddy, 2013). Land change modelling is a special topic of land change analysis, where the scientist aim to simulate future land change and this information can be used for a variety of purposes like decision making concerning landscape protection or landscape planning issues. In my dissertation I aimed to investigate factors that influence land change model performance and via a detailed analysis of land change I aimed to reveal reasons for model performance as well.

I had the following hypotheses based on a preliminary literature study:

- intensity analysis could help the validation process as it is a detailed analysis of land change, thus gives opportunity for a deep insight into the changes in the landscape;
- wrong model performance approaches (Kappa Index of Agreement and Overall Accuracy) mislead the interpretation, and return high agreement values systematically, if the ratio of persistent areas is high in the landscape;
- aggregation of land use/land cover categories does not affect model performance;
- the temporal stability in the reference and simulated data affect model performance.

The innovation of my research from a methodological point of view was that (I) I used intensity analysis for a deep insight into land change in the landscape during the process of model performance assessment, (II) I investigated the effects of category aggregation on model performance, and (III) I search for systematic phenomena and relationships based on a large set of CA-Markov models. Based on the results of the research conducted, I developed my theses. I have published partial results of this research concerning the application of intensity analysis in model validation process (Varga et al., 2019) and the effect of aggregation methods on model performance (Varga et al.,

2020) as part of my Ph.D. publication requirements, that can be regarded as bases for my theses.

2. Aims of the research

In this research I had the following specific purposes:

- I performed intensity analysis in a particular study site while I measured model performance by specific metrics, and investigated relationship between changes and model performance.
- I ran a large set of CA-Markov models and measured model performance while I calculated indices characterizing change from different aspects, and various other metrics. I drew conclusions about the operation of the model and its effects on model performance.
- I performed a comprehensive correlation analysis between the metrics and model performance, and I drew conclusions about the relationship between the metrics and model performance.
- I analyzed a separate set of models representing sprawl-like changes and drew conclusions about model performance in this term.

3. Materials and methods

In order to meet these ambitions, I assigned three group of study sites, and performed three slightly different analysis in each group.

The first study site group consisted of exactly one study site around Tokaj, where a CA-Markov model was run based on Corine Land Cover (CLC) datasets from 2000 and 2006. The CLC data concerning 2012 was used for the validation of the model. Intensity analysis was used for investigating the changes in the calibration interval (reference map 2000 – reference map 2006), validation interval (reference map 2006 – reference map 2012) and simulation interval (reference map 2006 – simulation map 2012). Intensity analysis is a comprehensive tool for change analysis that is able to give insight into multilevel change dynamics (Aldwaik and Pontius, 2012). An overall metric for measuring model performance was used, called the Figure of

merit (FOM) (Jolliffe and Stephenson, 2003; Klug et al., 1992; Perica and Foufoula-Georgiou, 1996; Pontius Jr, R. G. et al., 2011), and its further components gave insight into more details of the errors and agreements of the simulation.

The second study site group consisted of 114 cases and CA-Markov models were run in these cases as well. The study sites were located in 8 different sites across Europe with 3 zoom levels applied. These models were also based on CLC datasets, with the same calibration, validation and simulation interval settings, as in study site group 1. Four types of aggregation were applied for the most detailed CLC standard nomenclature Level 3 data (L3), as follows:

- CLC nomenclature Level 2 category scheme (L2);
- CLC nomenclature Level 1 category scheme (L1);
- behavior-based aggregation, where the user performs a stepwise aggregation of the categories (BB) (Aldwaik and Pontius, 2015);
- threshold-based aggregation, where the user would aggregate categories into a collective category if the change in the study area did not reach the level determined by a minimal arbitrary threshold (TB).

In the third study site group, 6 CA-Markov simulation models in two study sites located in North and South America, in the Atchafalaya Bay and Amazonia exactly. The land cover maps were derived from Landsat images from 1990, 2000 and 2010 in case of Amazonia, and from 1990, 2003 and 2016 in case of the Atchafalaya Bay. These cases focused on sprawl-like change dynamics specifically. The differences related to study site group 2 were enhanced.

In all cases CA-Markov model was run in Idrisi software environment. This model is a cellular-automaton (CA) Markov model, where the Markov component is responsible for the quantity of simulated changes, and the cellular automaton is responsible for the allocation of changes.

In study site group 2 and 3, the following metrics were calculated:

- quantity of changes in all examined time intervals;

- quantity of annual changes in all examined time intervals;
- difference of changes between time intervals;
- temporal stability between the calibration and validation interval changes, and between the calibration and simulation interval changes;
- comparison of reference and simulated time #3 maps (Overall Agreement, Kappa Index of Agreement);
- model performance metrics: FOM, FOM components (Hits = correctly simulated changes, Wrong Hits = reference change simulated as change to wrong category, Misses = reference change simulated as persistence, False Alarms = reference persistence simulated as change), quantity and allocation disagreement of the simulation. FOM is calculated as dividing Hits by the sum of all FOM components.

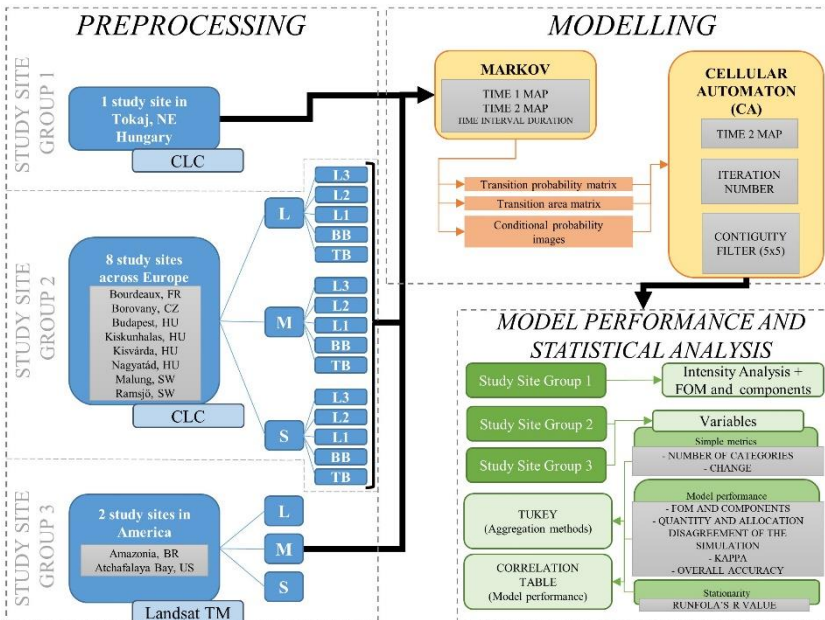


Figure 1. Full summary of the workflow of the research.

Moreover, number of categories were discussed in the context of changes in study site group 2. A further comprehensive statistical analysis was conducted based on the results of study site group 2, where a correlation matrix was set up in order to reveal the correlation between the calculated metrics and model performance. Category aggregation issues were investigated by ANOVA and Tukey pairwise comparison methods, with a purpose of revealing the statistically significant differences of aggregation methods in terms of the calculated metrics. *Figure 1* supports a comprehensive understanding of the analysis workflow.

4. Scientific results

Thesis statement 1.

I demonstrated that intensity analysis contributed to the model validation process substantially, because it revealed patterns of calibration, validation and simulation land change, therefore also revealed possible reasons for model unsuccess that an overall metric could have not revealed. I revealed that the similarities in the changes of calibration and validation data is a critical piece of information throughout the model validation process.

In study site group 1, an overall measurement of model performance was conducted by calculating FOM and FOM components along with a deep insight into the changes by intensity analysis. Study site group 1 results showed that the ratio of correctly simulated changes (0.02%, expressed as a ratio of the study area) and model performance (FOM=0.007%) were extremely low. Intensity analysis' interval level revealed that the changes decelerated in both the validation and simulation intervals, but the simulation interval changes decelerated more. Intensity analysis' category level revealed the change dynamics of either validation or simulation intervals. The validation and simulation interval changes were different in terms of category-level change dynamics, meaning category gains and losses could be observed in different categories concerning the reference and simulated changes. The FOM was not able to reveal these dynamics, only gave a general characterization of model performance, while intensity analysis showed the dynamics of changes in the area. Consequently, intensity analysis

revealed the fact that calibration and validation intervals had remarkably different dynamics of changes, while calibration and simulation intervals had remarkably similar changes. It led to the conclusion that the model simulated changes that matched the calibration interval changes, while the validation interval changes did not match the calibration interval changes. It means that the model was unsuccessful partly because the validation interval changes did not match the calibration interval changes. Therefore, the simulated changes would have not showed agreement with the real changes in the landscape, even if the simulation had perfectly matched the calibration changes, because the validation interval changes did not match the change pattern used for calibrating the model. The FOM and FOM components would have been incapable of revealing this reason, even if they provide a trustworthy characterization of the agreement between reference and simulated changes.

Our article (Varga et al., 2019) was the first example of using intensity analysis and FOM components together for model validation purposes. Intensity analysis helped to reveal important multilevel analysis of changes in the study area, as compared to simulation.

Thesis statement 2.

I pointed out that category aggregation based on Corine Standard Level 1 category scheme substantially decreased the number of categories, but also substantially decreased the ratio of changes in the study area, therefore I do not suggest using this scheme for aggregation. I demonstrated that behavior-based category aggregation was capable of not decreasing the ratio of changes in the study area, while substantially decreased the number of categories, therefore I suggest using this method for aggregation.

The analysis of study site group 2 demonstrated that L1 had the lowest change values related to other aggregation methods, and this difference was statistically significant, meaning that the median was significantly lower in case of calibration, validation and simulation interval changes. *Figure 2* shows the results supporting this statement. The figure was based on the 114 cases of 8 study sites across Europe.

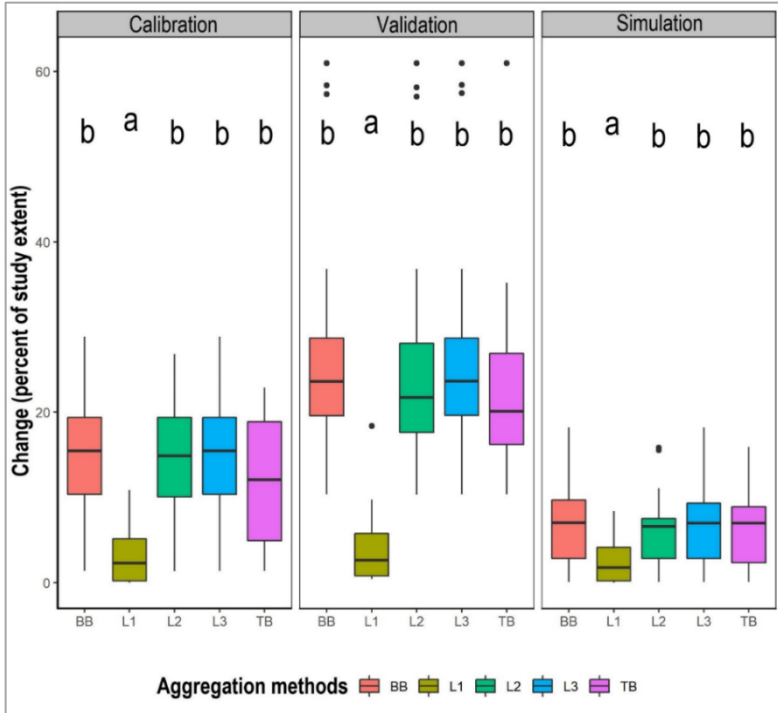


Figure 2. Changes in the study areas expressed as percent of the study area, grouped by aggregation method (I) in the calibration interval, between reference 2000 and reference 2006 maps (II) in the validation interval, between reference 2006 and reference 2012 maps and (III) in the simulation interval, between reference 2006 and simulation 2012 maps. The groups with significantly different medians are assigned with different letters. (BB=Behavior-based aggregation; L1 = CLC Level 1 aggregation; L2 = CLC Level 2 aggregation; L3 = CLC Level 3 aggregation; TB = Threshold-based aggregation). This figure was originally published in Varga et al. (2020).

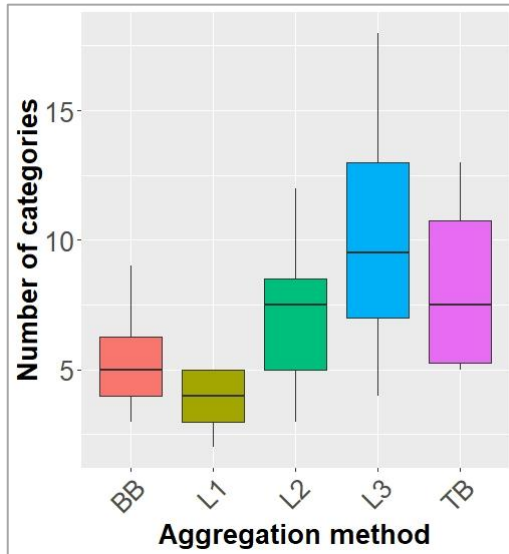


Figure 3. Number of categories as observed in reference 2000 and reference 2006 maps, grouped by aggregation method (BB=Behavior-based aggregation; L1 = CLC Level 1 aggregation; L2 = CLC Level 2 aggregation; L3 = CLC Level 3 aggregation; TB = Threshold-based aggregation). This figure was originally published in Varga et al. (2020) with a slightly different design.

Figure 3 presents the number of categories observed in the different groups of aggregation methods. The figure was based on the 114 cases of 8 study sites across Europe again. The number of categories was the lowest in L1 group, while it was the second lowest in BB group. L1 limits the number of categories to a maximum of 5. It is advantageous to decrease the number of categories in order to interpret category dynamics more easily and decrease computing resource necessities when running a simulation model. However, if the aggregation eliminates important changes in the area, the simulation model is not able to simulate the eliminated changes, so critical information is eliminated simultaneously. It became clear that L1 method resulted in a serious elimination of changes, since L1 changes were significantly lower in the study areas, but BB method did not eliminate changes while decreased the number of categories substantially. While L1 method is a category scheme focusing on

thematic classification, BB maintains changes as much as possible, or as much as the user requires to do so. When running land change models, the user requires to simulate changes in the landscape, therefore it is critical to maintain changes in the landscape, because the model would have no chance to simulate eliminated changes. Therefore, I do suggest using behavior-based (BB) aggregation method instead of L1 aggregation when the analysis aims to deal with changes in the landscape.

Our article (Varga et al., 2020) was the first example of examining the effect of category aggregation in case of a large set of simulation models.

Thesis statement 3.

I revealed that the quantity disagreement was characteristically larger than the allocation disagreement in case of the models examined throughout the study design. It means that the quantity control of Markov caused more errors than the allocation control of cellular automaton in the cellular automaton (CA)-Markov model.

Subthesis 1: I proved that the models simulated decelerating changes in all models examined throughout the study design, therefore the model systematically underestimated the quantity of changes.

Subthesis 2: I demonstrated that systematic underestimation of changes resulted in larger quantity errors of the models, because the changes were mostly accelerating in the study areas.

Subthesis 3: The results support the research idea previously reported in literature that the model is rather suitable of simulating sprawl-like changes.

During the analysis of study site group 2 and 3 the annual changes from the calibration to the validation interval and the annual changes from the calibration to the simulation interval revealed the accelerating or decelerating tendencies of the changes. *Figure 4* shows that the changes decelerated from the calibration to the simulation

interval in all cases, since the calibration interval annual changes were always larger than simulation interval changes, since this measurement was positive in all cases. On the other hand, an opposite dynamic could be observed between the calibration and the validation intervals, where the changes were mostly accelerating and the median of L1 was around zero, meaning a quasi-equal presence of accelerating and decelerating changes. It is an important fact that L1 aggregation could even change the accelerating or decelerating change tendencies in the data, since L3 data change tendency was mostly accelerating and L1 showed a remarkable number of cases with decelerating changes as well. While the reference data showed mostly accelerating changes, and the simulation data always showed decelerating changes, a remarkable underestimation of changes could be observed in the simulation, which means that the model systematically underestimates changes in the landscape. This finding is stated in *Subthesis 1*.

Figure 5 shows the comparison of Quantity (Q_s) and Allocation disagreement (A_s) of the simulations in all individual cases, where Quantity disagreement values were mostly larger than Allocation disagreement values. Since the model systematically underestimated changes, it is a reason for the larger Quantity disagreement values. The model was not capable of simulating a correct quantity of changes, because the model systematically underestimated the changes. This phenomenon caused a presumable Quantity disagreement in the model, since the model would even not match the quantity of changes in the calibration data due to the underestimation. Thus the simulation would not match the calibration data perfectly, even if nothing else influenced the operation of the model. The difference between the rate of change of the calibration and validation intervals also showed strong correlation with the difference between quantity and allocation disagreement of the simulation ($Q_s - A_s$, $R^2=0.76$). The acceleration of the validation interval changes increased the quantity differences even more, because the validation data showed an opposite tendency of changes in the study areas, therefore contributing to the difference in quantity. It also means that the model is capable of matching the accelerating or decelerating tendency of change only if the reference change is decelerating, because the model always forecasts decelerating tendency. These findings are summarized in *Subthesis 2*.

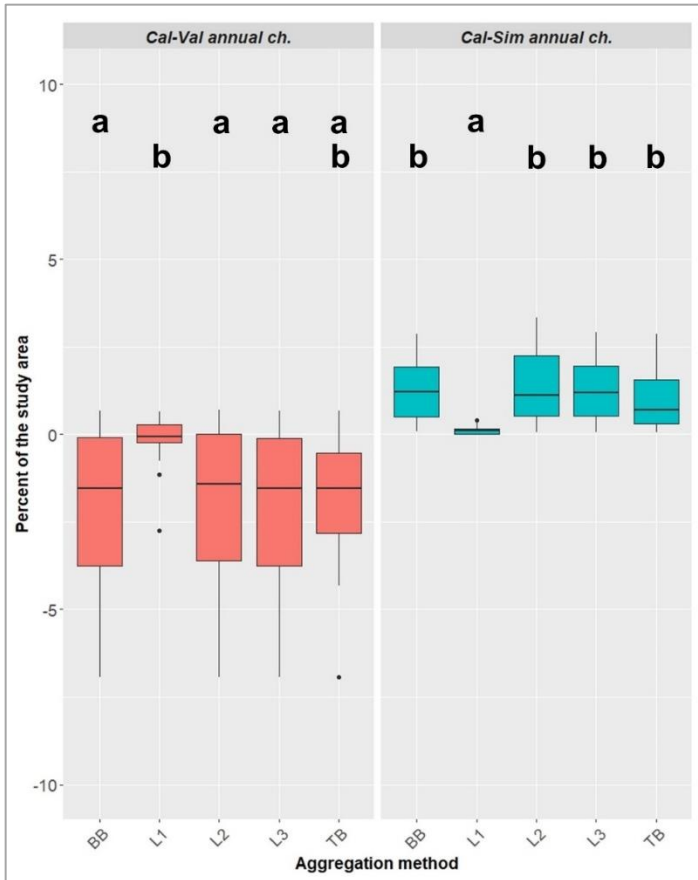


Figure 4. Difference of annual changes in the study areas expressed as percent of the study area, based on the comparison of calibration and validation interval changes (Cal-Val. annual ch., left side) and based on the comparison of calibration and simulation interval changes (Cal-Sim annual ch., right side), grouped by aggregation method. The groups with significantly different medians are assigned with different letters (BB=Behavior-based aggregation; L1 = CLC Level 1 aggregation; L2 = CLC Level 2 aggregation; L3 = CLC Level 3 aggregation; TB = Threshold-based aggregation).

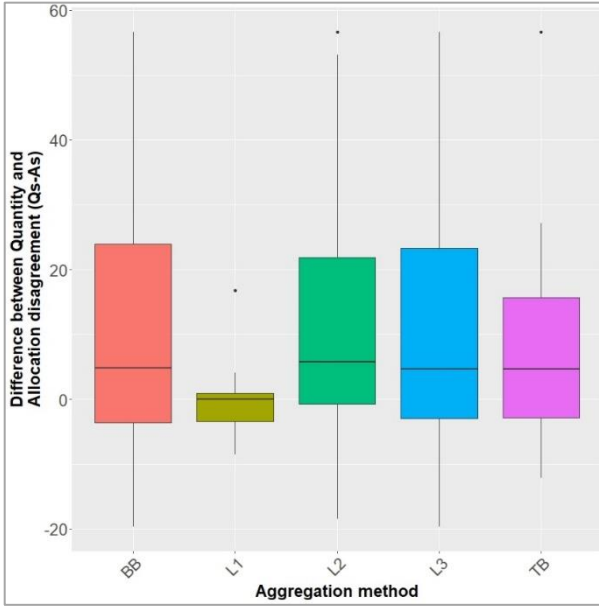


Figure 5. Difference between quantity (Q_s) and allocation (A_s) disagreement of the simulation in each case in Study site group 2, grouped by aggregation method. If the value is positive, then Q_s is larger. If the value is negative, then A_s is larger. (BB=Behavior-based aggregation; L1 = CLC Level 1 aggregation; L2 = CLC Level 2 aggregation; L3 = CLC Level 3 aggregation; TB = Threshold-based aggregation).

In case of study site group 3, the FOM values were substantially higher (around 28%) than FOM values of study site group 2. In terms of FOM components, Hits values – meaning the correctly simulated changes – were also substantially higher (around 28%). The higher FOM values mean substantially higher model performance. Study site group 3 cases focused on sprawl-like changes where the changes were located around the edges of the original category patches. Hits values were also located mostly around the edges of the original category patches, where the advance of changes matched a perfectly sprawling dynamic. Mas et al. (2014) claimed that CA model was suitable for only applications where there is a specific rule of neighborhood in changes, since the model was designed for urban growth simulation. Study site group 3 cases demonstrated change phenomena which were in great unison with the logic of contiguity filter, where the filter caused a

concentration of changes, and the Hits around the original category patches demonstrated that the sprawl-like change was a catalyst of a much higher ratio of Hits. While Hits had much higher ratio in the study area in case of study site group 2, other FOM components showed similar results related to study site group 2. Consequently, based on the calculation formula of FOM, substantially larger Hits along with FOM components that still had lower values, caused larger FOM values, hence better model performance. This finding is stated in *Subthesis 3*.

Subtheses 1, 2 and 3 included statements about the quantity and allocation of simulated changes. Based on the subtheses and the fact that Quantity disagreement values were characteristically larger than Allocation disagreement values of the simulations, I summarize in *Thesis 3* that the Markov component controlling quantity of simulated changes caused more error than the cellular automaton (CA) controlling allocation of changes.

Thesis statement 4.

I proved in a large set of models that the results support a research idea previously reported in literature, that the ratio of changes in the study area is in strong relationship with the values of frequently used indices for accuracy assessment (Kappa coefficient, overall agreement). The lower the ratio of changing areas, the larger the values of these indices when comparing the simulated map and the reference map of the same date. This may result in a misleading validation of the model.

Scientists warned to take into account that the high agreement in the models can be a consequence of high persistence and/or meaning small changes in landscape over time (Pontius Jr, R. G. et al., 2011; van Vliet, 2009). Despite that warning, many researchers use methods that do not distinguish persistence and correctly simulated change, namely the comparison of reference map and simulated map of the same dates (Keshtkar and Voigt, 2016; Mishra and Rai, 2016; Popovici et al., 2018; Singh et al., 2015; Yang, et al., 2014). This comparison returns an overall metric for the agreement between the two maps, including persistence, however, simulation models aim to simulate changes in the landscape. Therefore, a measurement like this would return a high agreement if the ratio of persistent areas in the study area was high.

In study site group 2, I measured agreement between reference 2012 and simulation 2012 maps by calculating Kappa Index of Agreement and Overall Agreement metrics and I investigated the correlation of these metrics with persistence and correctly simulated persistence in the study areas. *Figure 6 and 7* shows these metrics together.

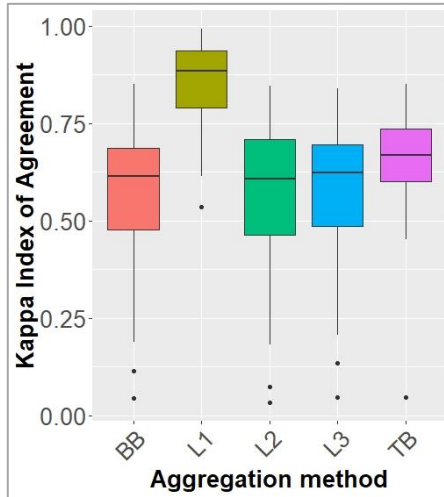


Figure 6. Kappa Index of Agreement values in each case in Study site group 2, grouped by aggregation method (BB=Behavior-based aggregation; L1 = CLC Level 1 aggregation; L2 = CLC Level 2 aggregation; L3 = CLC Level 3 aggregation; TB = Threshold-based aggregation).

It can be observed that L1 group returned substantially higher Kappa Index of Agreement and Overall Agreement values, while it also returned substantially higher persistent areas in the validation interval and also high Correct Rejections values, latter meaning correctly simulated persistence in the study area.

Overall agreement and Kappa showed a high correlation with validation interval persistence and change (OA $R^2=0.92$; Kappa $R^2=0.85$), and with Correct Rejections (OA $R^2=0.96$; Kappa $R^2=0.87$) as well. It means that statistical results support the idea that Kappa Index of Agreement and Overall agreement strongly correlate with the ratio of persistent areas.

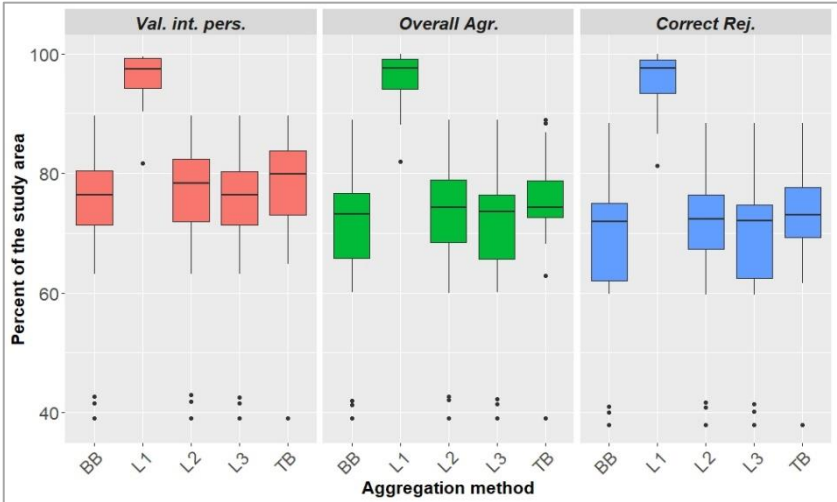


Figure 7. Ratio of persistent areas in the validation interval (left), overall agreement (middle) and Correct Rejections (right), grouped by aggregation method. (BB=Behavior-based aggregation; L1 = CLC Level 1 aggregation; L2 = CLC Level 2 aggregation; L3 = CLC Level 3 aggregation; TB = Threshold-based aggregation).

This result also demonstrate the fact that the model is able to return high agreement values concerning Kappa and Overall agreement even when the same set of models returned FOM values characteristically under 3%, meaning extremely low model performance. Therefore these metrics can be seriously misleading when they are used for model performance purposes. This concept of the inappropriateness of a simple two-map comparison in model performance assessment has been published before (Pontius et al. 2008, Pontius et al. 2011), however, it has not been proved in a large set of simulation models before.



Registry number: DEENK/149/2020.PL
Subject: PhD Publikációs Lista

Candidate: Orsolya Gyöngyi Varga
Neptun ID: ZL3H6L
Doctoral School: Doctoral School of Earth Sciences
MTMT ID: 10040098

List of publications related to the dissertation

Foreign language scientific articles in international journals (4)

1. Varga, O. G., Pontius, R. G., Szabó, Z., Szabó, S.: Effects of Category Aggregation on Land Change Simulation Based on Corine Land Cover Data.
Remote Sens. 12, 1-16, 2020. EISSN: 2072-4292.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/rs12081314>
IF: 4.118 (2018)
2. Varga, O. G., Pontius, R. G., Singh, S. K., Szabó, S.: Intensity Analysis and the Figure of Merit's components for assessment of a Cellular Automata-Markov simulation model.
Ecol. Indic. 101, 933-942, 2019. ISSN: 1470-160X.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.01.057>
IF: 4.49 (2018)
3. Shimrah, T., Sarma, K., Varga, O. G., Szabó, S., Singh, S. K.: Quantitative assessment of landscape transformation using earth observation datasets in Shirui Hill of Manipur, India.
Remote Sens. Appl. 15, 1-9, 2019. ISSN: 2352-9385.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rsase.2019.100237>
4. Varga, O. G., Szabó, S., Turi, Z.: Efficiency assessments of GEOBIA in land cover analysis, NE Hungary.
Bull. Environ. Sci. Res. 3 (4), 1-9, 2014. ISSN: 2278-5205.

Hungarian conference proceedings (1)

5. Varga, O. G., Szabó, S.: A felszínborítás modellezésének pontosságvizsgálata Corine Land Cover rétegek alapján CA-Markov módszerrel.
In: Az elmélet és gyakorlat találkozása a térinformatikában VII.. Szerk.: Balázs Boglárka, Debreceni Egyetemi Kiadó, Debrecen, 507-513, 2016. ISBN: 9789633185704.





Hungarian abstracts (1)

6. Varga, O. G.: Felszínborítás változásának a vizsgálata CA-Markov modell és hibamátrix alkalmazásával.
In: Magyar Földrajzi Napok 2016 absztraktkötet : VIII. Magyar Földrajzi Konferencia : XVI. Geográfus Doktoranduszok Országos Konferenciája : Oktatás-módszertani és Földrajztanári Konferencia. Szerk.: Pajtókné Tari Ilona, Tóth Antal, Eszterházy Károly Egyetem : Agrár Geográfia Közhasznú Alapítvány, Eger, 111, 2016. ISBN: 9786158030717

Foreign language abstracts (1)

7. Varga, O. G., Szabó, S.: Conceptual flaws and solutions in land change model evaluation.
In: Az elmélet és gyakorlat találkozása a térinformatikában IX.. Szerk.: Molnár Vanda Éva, Debreceni Egyetemi Kiadó, Debrecen, 383-383, 2018. ISBN: 9789633187234

List of other publications

Hungarian book chapters (1)

8. Szabó, L., Varga, O. G., Szabó, S.: Természetközeli vizes élőhelyek és városi területek változásának idősoros monitoringja: különbségek és hasonlóságok.
In: Tájak működése és arculata. Szerk.: Fazekas István, Lázár István, MTA DTB Földtudományi Szakbizottság, Debrecen, 209-212, 2019.

Foreign language Hungarian book chapters (1)

9. Varga, O. G.: A Geoinformatical Method in Assistance to Tourism.
In: Turizmus ízei : V. Nemzetközi Turizmus Konferencia 2013 : Tanulmányok. Szerk.: Darabos Ferenc; Ivancsóné Horváth Zsuzsa, Nyugat-magyarországi Egyetem Apáczai Csere János Kar, Győr, 58-65, 2013. ISBN: 9789633341155

Foreign language scientific articles in Hungarian journals (3)

10. Varga, O. G., Gombosné Nagy, I., Burai, P., Tomor, T., Lénárt, C., Szabó, S.: Land cover analysis based on descriptive statistics of Sentinel-2 time series data.
Acta geogr. Debr., Landsc. environ. ser. 12 (2), 1-9, 2018. ISSN: 1789-4921.
DOI: <http://dx.doi.org/10.21120/LE/12/2/1>
11. Balla, D. Z., Varga, O. G., Bodroginé Zichar, M.: Accuracy assessment of different soil databases concerning WRB reference soil groups.
Acta Geogr. Debr., Landsc. Environ. Ser. 10 (1), 1-12, 2016. ISSN: 1789-4921.
DOI: <http://dx.doi.org/10.21120/LE/10/1/1>





12. Balla, D. Z., Varga, O. G., Barkóczy, N., Novák, T., Bodroginé Zichar, M., Karika, A.: Methods of processing and geovisualization of soil profiles.
J. Agricult. Inf. 7 (2), 11-18, 2016. ISSN: 2061-862X.

Hungarian conference proceedings (4)

13. Varga, O. G., Milics, G., Katona, Z.: Menedzsment zónák kijelölése szegmentáció segítségével.
In: Az elmélet és gyakorlat találkozása a térinformatikában IX.. Szerk.: Molnár Vanda Éva, Debreceni Egyetemi Kiadó, Debrecen, 377-382, 2018. ISBN: 9789633187234
14. Varga, O. G., Túrj, Z.: Eltérő táji adottságú mintaterületek vizsgálata objektum alapú képfeldolgozással.
In: Az elmélet és gyakorlat találkozása a térinformatikában VI.. Szerk.: Boda Judit, Debreceni Egyetemi Kiadó, Debrecen, 453-460, 2015. ISBN: 9789633184882
15. Varga, O. G., Túrj, Z.: A tájszerkezet vizsgálata objektum alapú megközelítéssel alföldi mintaterületeken.
In: Az elmélet és gyakorlat találkozása a térinformatikában V. : Térinformatikai konferencia és szakkiallítás 2014. Szerk.: Balázs Boglárka, Debrecen Egyetemi Kiadó, Debrecen, 403-410, 2014. ISBN: 9789633184349
16. Varga, O. G., Túrj, Z.: Turisztikai adatbázis kialakítása Hajdú-Bihar megyében.
In: Az elmélet és gyakorlat találkozása a térinformatikában IV. : Térinformatikai konferencia és szakkiallítás 2013. Szerk.: Lóki József, Debreceni Egyetemi Kiadó, Debrecen, 473-480, 2013. ISBN: 9789633183342

Foreign language conference proceedings (4)

17. Burai, P., Varga, O. G., Milics, G., Stratoulas, D., Lénárt, C., Nyéki, A., Neményi, M.: Evaluating the management zones using object-based image classification method.
In: Prega Science Scientific Conference on Precision Agriculture and Agro-Informatics.
Szerk.: Milics Gábor, Agroinform Média Kft., Budapest, 50-51, 2018. ISBN: 9786150030449
18. Balla, D. Z., Bodroginé Zichar, M., Barkóczy, N., Varga, O. G.: Cognitive interpretation of different spatial databases in web environment.
In: 6th IEEE Conference on Cognitive Infocommunications CogInfoCom 2015 : Proceedings, October 19-21, 2015, Széchenyi István University Győr, Hungary, IEEE, Danvers, 159-162, 2015. ISBN: 9781467381284
19. Balla, D. Z., Kovács, Z., Varga, O. G., Bodroginé Zichar, M., Novák, T.: Terepi adatfelvétel és geovizualizáció Androidos platformon.
In: Az elmélet és a gyakorlat találkozása a térinformatikában VI.: Térinformatikai konferencia és szakkiallítás. Szerk.: Boda Judit, Debreceni Egyetemi Kiadó, Debrecen, 39-43, 2015.
ISBN: 9789633184882



20. Varga, O. G., Túrj, Z.: Application of GIS to Present Rural Touristic Values of Bihar-Hajdú-Bihar Euroregion.
In: Agriculture Informatics 2013 International Conference. Szerk.: Herdon Miklós, Szilágyi Róbert, Magyar Agrárinformatikai Szövetség, Debrecen, 23-28, 2013. ISBN: 9786155094095

Hungarian abstracts (6)

21. Szabó, S., Bertalan, L., Varga, O. G., Novák, T.: A számszerűsített felszínborítás-változás módszertani kérdései.
In: Magyar Földrajzi Napok 2016: Absztraktkötet : VIII. Magyar Földrajzi Konferencia : XVI. Geográfus Doktoranduszok Országos Konferenciája : Oktatás-módszertani és Földrajztanári Konferencia. Szerk.: Pajtókné Tari Ilona, Tóth Antal, Magyar Földrajzi Társaság, Eger, 105-106, 2016. ISBN: 9786158030717
22. Varga, O. G.: A tájszerkezet vizsgálata hortobágyi, hajdúhátai és dél-nyírségi tájablakokon objektum alapú képfeldolgozással.
In: XIV. Országos Felsőoktatási Környezettudományi Diákkonferencia : Pécs, 2014. április 23-25. : konferencia-kötet : program és előadás-összefoglalók. Szerk.: Kovács Mónika, Schmidt Petra, Publikon ; Pécsi Tudományegyetem Természettudományi Kar Földrajzi Intézet, Pécs, 54, 2014.
23. Varga, O. G.: Turisztikai adatbázis kialakítása és továbbfejlesztése a HajdúBihar-Bihar eurorégióban.
In: Az elmélet és a gyakorlat találkozása a térinformatikában V.. Szerk.: Balázs Boglárka, Debreceni Egyetemi Kiadó, Debrecen, 445-446, 2014. ISBN: 9789633184349
24. Varga, O. G.: Tematikus túraútvonalak kialakítása Androidos alkalmazáshoz Hajdú-Bihar megyében.
In: XXXI. OTDK Országos Tudományos Diákköri Konferencia Fizika Földtudományok és Matematika Szekciójának Kivonatköte. Szerk.: Erdei Gábor, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Budapest, 337, 2013.
25. Varga, O. G.: Tematikus túraútvonal kiépítése a Hortobágyon geoinformatikai eszközökkel.
In: Az elmélet és a gyakorlat találkozása a térinformatikában III.. Szerk.: Lóki József, Debreceni Egyetemi Kiadó, Debrecen, 478-479, 2012. ISBN: 9789633182185





**UNIVERSITY of
DEBRECEN**

**UNIVERSITY AND NATIONAL LIBRARY
UNIVERSITY OF DEBRECEN**

H-4002 Egyetem tér 1, Debrecen
Phone: +3652/410-443, email: publikaciok@lib.unideb.hu

26. Kórmóndi, B., Mecser, N., Varga, O. G.: Toscanai turisztárképek kiépítése ArcMap 10 alkalmazásával.

In: Az elmélet és gyakorlat találkozása a térinformatikában II.. Szerk.: Lóki József, DE TTK Földrajzi Tanszékcsoport, Debrecen, 485-485, 2011. ISBN: 9789633181164

Total IF of journals (all publications): 8,608

Total IF of journals (publications related to the dissertation): 8,608

The Candidate's publication data submitted to the iDEa Tudóstér have been validated by DEENK on the basis of the Journal Citation Report (Impact Factor) database.

25 May, 2020



Irodalomjegyzék / References

Aldwaik, S.Z. – Onsted, J.A. – Pontius Jr, R.G. (2015): Behavior-based aggregation of land categories for temporal change analysis. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 35, Part B:229-238, DOI: 10.1016/j.jag.2014.09.007.

Aldwaik, S.Z. – Pontius Jr, R.G. (2012): Intensity analysis to unify measurements of size and stationarity of land changes by interval, category, and transition. *Landscape and Urban Planning*, 106:103-114, DOI: 10.1016/j.landurbplan.2012.02.010.

Abd El-Kawy, O.R. – Rød, J.K. – Ismail, H.A. – Suliman, A.S. (2011): Land use and land cover change detection in the western Nile delta of Egypt using remote sensing data. *Applied Geography* 31:483-494, DOI: 10.1016/j.apgeog.2010.10.012.

Jolliffe, I.T. – Stephenson, D.B. (2003): *A Practitioner's Guide in Atmospheric Science*, Wiley, Hoboken, New Jersey.

Keshtkar, H. – Voigt, W. (2016): A spatiotemporal analysis of landscape change using an integrated Markov chain and cellular automata models. *Modeling Earth Systems and Environment*, 2:10.

Kim, C. (2016): Land use classification and land use change analysis using satellite images in Lombok Island, Indonesia. *Journal Forest Science and Technology*, 12(4):183–191, DOI: 10.1080/21580103.2016.1147498.

Klug, W. – Graziani, G. – Grippa, G. – Pierce, D. – Tassone, C. (1992): Evaluation of long range atmospheric transport models using environmental radioactivity data from the Chernobyl accident: The ATMES Report.

Mallinis, G. – Koutsias, N. – Arianoutsou, M. (2014): Monitoring land use/land cover transformations from 1945 to 2007 in two peri-urban mountainous areas of Athens metropolitan area, Greece. *Science of The Total Environment* 490: 262–278, DOI: 10.1016/j.scitotenv.2014.04.129.

Mallupattu, P.K. – Reddy, J.R.S. (2013): Analysis of Land Use/Land Cover Changes Using Remote Sensing Data and GIS at an Urban Area, Tirupati, India. *The Scientific World Journal*, DOI: 10.1155/2013/268623.

Mas, J. – Kolb, M. – Paegelow, M. – Olmedo, M.T.C. – Houet, T. (2014): Inductive pattern-based land use/cover change models: A comparison of four software packages. *Environmental Modelling & Software* 51, 94–111, DOI: 10.1016/j.envsoft.2013.09.010.

Mishra, V.N. – Rai, P.K. (2016): A remote sensing aided multi-layer perceptron-Markov chain analysis for land use and land cover change prediction in Patna district (Bihar), India. *Arabian Journal of Geosciences*, 9(4):1–18.

Pontius Jr, R.G. – Boersma, W. – Castella, J. – Clarke, K. – de Nijs, T. – Dietzel, C. – Duan, Z. – Fotsing, E. – Goldstein, N. – Kok, K. – Koomen, E. – Lippitt, C.D. – McConnell, W. – Sood, A.M. – Pijanowski, B. – Pithadia, S. – Sweeney, S. – Trung, T.N. – Veldkamp, A.T. – Verburg, P.H. (2008): Comparing the Input, Output, and Validation Maps for several Models of Land Change. *The Annals of Regional Science* 42:11–37.

Pontius Jr, R.G. – Peethambaram, S. – Castella, J. (2011): Comparison of Three Maps at Multiple Resolutions: A Case Study of Land Change Simulation in Cho Don District, Vietnam. *Annals of the Association of American Geographers*, 101:45–62, DOI: 10.1080/00045608.2010.517742.

Popovici, E.A. – Kucsicsa, G. – Bălteanu, D. – Grigorescu, I. – Mitrica, B. – Dumitrașcu, M. – Damian, N. (2018): Past and future land use/land cover flows related to agricultural lands in Romania. An assessment using CLUE-S model and Corine Land Cover database. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, 13, DOI: 10.26471/cjees/2018/013/052.

Singh, S.K. – Mustak, S. – Srivastava, P.K. – Szabó, S. – Islam, T. (2015): Predicting Spatial and Decadal LULC Changes Through Cellular Automata Markov Chain Models Using Earth Observation Datasets and Geo-information. *Environmental Processes*, 2:61–78, DOI: 10.1007/s40710-015-0062-x.

van Vliet, J. (2009): Assessing the Accuracy of Changes in Spatial Explicit Land Use Change Models, In: *Assessing the Accuracy of Changes in Spatial Explicit Land Use Change Models* 12th AGILE International Conference on Geographic Information Science Leibniz Universität, Hannover, Germany, pp. 1–9.

Varga, O.G. – Pontius Jr, R.G. – Singh, S.K. – Szabó, S. (2019): Intensity Analysis and the Figure of Merit's components for assessment of a Cellular Automata – Markov simulation model. *Ecological Indicators* 101:933-942, DOI: 10.1016/j.ecolind.2019.01.057.

Varga, O.G. – Pontius Jr, R.G. – Szabó, Z. – Szabó, S. (2020): Effects of Category Aggregation on Land Change Simulation Based on Corine Land Cover Data. *Remote Sensing*, 12(8):1314, DOI: 10.3390/rs12081314.

Yang, X. – Zheng, X. – Chen, R. (2014): A land use change model: Integrating landscape pattern indexes and Markov-CA. *Ecological Modelling* 283:1–7, DOI: 10.1016/j.ecolmodel.2014.03.011.