



Debreceni Egyetem

dr. Szabó Szilárd
egyetemi adjunktus

***TÁJMETRIAI MÉRŐSZÁMOK ALKALMAZÁSI LEHETŐSÉGEINEK VIZSGÁLATA A
TÁJANALÍZISBEN***

habilitációs értekezés

Debreceni Egyetem Természettudományi és Technológiai Kar
Tájvédelmi és Környezetföldrajzi Tanszék

2009

TARTALOM

1. Bevezetés, célkitűzés.....	2
2. Szakirodalmi áttekintés	3
2.1. A tájmetria mint kvantitatív tájértékelési módszer	3
2.1.1. A tájökológiai vizsgálatok háttere	3
2.1.2. Tájmetriai alapok	3
2.1.3. A tájmetriai mérőszámok jellemzése.....	6
3. Anyag és módszer.....	31
3.1. A terület-kerület és a magterületek mérőszámai.....	31
3.2. A szomszédosság mérőszámai.....	31
3.3. A fragmentáció, izoláció és konnektivitás mérőszámai	32
3.4. Statisztikai feldolgozás	32
4. Eredmények és megvitatásuk.....	33
4.1. A terület és kerület mutatói.....	33
4.1.1. Általános jellemzés	33
4.1.2. A poligonok elforgatásának hatása	34
4.1.3. A poligonok méretének a hatása	36
4.1.4. Az kerület, terület és alaki mutatók korrelációja	38
4.1.5. A felbontás szerepének a vizsgálata	39
4.1.6. A mutatók egyediségének a vizsgálata.....	40
4.1.7. Az alaki mutatók összefoglaló értékelése	40
4.2. A magterület mérőszámai	41
4.3. A szomszédosság mérőszámai.....	44
4.3.1. Általános jellemzés	44
4.3.2. A térbeli konfigurációk összehasonlítása kategóriák száma szerint	60
4.3.3. A kategóriák számának a hatása	61
4.3.4. A felbontás hatásának vizsgálata	61
4.3.5. A szomszédsági mérőszámok redundanciájának a vizsgálata	64
4.3.6. A mutatók egyediségének vizsgálata.....	67
4.3.7. A szomszédossági metrikák összefoglaló értékelése.....	68
4.4. A táji konnektivitás vizsgálata.....	69
4.4.1. Folt szintű elemzés.....	70
4.4.2. A mérőszámok táj szintű kiértékelése	85
4.4.3. A konnektivitási metrikák értéke és a foltszám közötti kapcsolat.....	87
4.4.4. A konnektivitási metrikák és az elrendezések viszonyának elemzése	88
4.4.5. A konnektivitási metrikák és a felbontás közötti kapcsolat.....	88
4.4.6. A konnektivitási metrikák korrelációjának a vizsgálata.....	90
4.4.7. A konnektivitási metrikák összefoglaló értékelése.....	91
5. Következtetések.....	93
Összefoglalás.....	95
Felhasznált irodalom	102

1. BEVEZETÉS, CÉLKITŰZÉS

Korunk új kihívása a környezeti információk kvantifikálásának igénye. Ez számos tudományterületet érint, melynek kapcsán a korábbi kvalitatívan gyűjtött információk helyett elvárás a számszerűsített eredmények rögzítése. Szép példáját figyelhetjük meg ennek a folyamatnak a talajrendszertan kapcsán, ahol többek között a megváltozott kutatási módszerek és a fejlődő számítástechnikai háttér szükségessé tette a régi osztályozási rendszerek cseréjét (*Michéli, 2000*). Hasonló folyamat játszódott le a tájökológiában is, ahol a különböző tájfoltok geometriai jellemzése és a tájszerkezeti kapcsolatok feltárása az egyszerű statisztikai mutatók irányából elmozdult az összetett táji mérőszámok felé.

A tájökológia fiatal tudomány. Mint kifejezés Troll 1939-ben talaj- és növényföldrajzi témában írt munkájában jelenik meg először. Ezután az Egyesült Államokban és Európában viszonylag gyorsan elterjedt és számos kutatócsoport kezdett foglalkozni e területtel (*Marosi, 1980; Mezősi et al. 1993; Mezősi – Rakonczai, 1997; Csorba, 1999; Kertész, 2003; Keveiné Bárány, 2003*). 1968-ban már összehívják az első tájökológiai konferenciát és az ezt követő években tisztázódnak ennek a sajátos transzdiszciplinának a a geográfiától és az ökológiától eltérő céljai. Kialakul saját kutatómódszertana és ezen belül jelenik meg a dolgozat tárgyát képező tájmetria is.

A kiértékelések alapját mindig is a távérzékelte adatok jelentették, kezdetben elsősorban a légifotók, később a műholdfelvételek. A kezdeti „kézi” feldolgozások után a tájmetriai mutatók alkalmazásának a térinformatikai szoftverek elterjedése adott lendületet. Napjainkban számos próbálkozás létezik e mutatók gyakorlati hasznosítására, de az implementáció még ennyi idő elteltével is csak kezdeti stádiumban van. Sokszor nem vagyunk tisztában azzal sem, hogy mi a mutatók meghatározásához az ideális lépték, illetve felbontás, vagyis – bár számos tanulmány született ebben a témában – nincs egységes állásfoglalás a metrikák alkalmazására nézve.

E munka célja éppen az, hogy derüljön ki, mely mérőszámok alkalmasak a tájak sokoldalú jellemzésére, melyek azok amelyek hibákat okozhatnak, melyek adnak lehetőséget a félreértelmezésre és ugyanakkor melyek azok, amiket fenntartások nélkül alkalmazhatunk. Célkitűzéseim ennek megfelelően a következők:

- a tájmetriai mérőszámok áttekintése;
- a foltok alakjával kapcsolatos mérőszámok jellemzése;
- a magterületek mérőszámainak a jellemzése;
- a szomszédsági mutatók jellemzése;
- a konnektivitási metrikák jellemzése.

Ezek megvalósítása során geoinformatikai és statisztikai módszereket használtam. Munkám kifejezetten módszertani jellegű, a vizsgálatokban nem a valóságban is létező tájakat elemeztem, hanem olyan mesterségesen előállított foltokat és táji mintázatokat, melyek alkalmasak voltak egy adott mérőszámcsoporthoz tulajdonságainak a tesztelésére. Minden esetben igyekeztem kontroll alatt tartani azokat a tényezőket, amelyek hatással lehetnek e metrikák eredményére.

2. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS

2.1. A tájmetria mint kvantitatív tájértékelési módszer

2.1.1. A tájökológiai vizsgálatok háttere

A tájökológiai kutatások a tájat három szempontból elemzik. A legelső munkák a táj szerkezetének feltárását célozták. A táj szerkezetének három szintjét különböztetik meg:

- elsődleges szerkezet, melyet a természeti (domborzati, hidrológiai, talajtani stb.) adottságok alakítanak ki;
- másodlagos szerkezet, ami a természeti adottságokra épülő tájhasználat miatt kialakuló területi mintázatot jelenti;
- harmadlagos szerkezet, ami már nem a természeti, tájhasználati, vagyis az adottságokból levezethető, hanem tervezési, politikai döntések nyomán jön létre (Mezősi – Fejes, 2004).

Az első kutatások feltárták az ún. elsődleges tájszerkezetet, ami segített tájakat ért hatások és következményeik, valamint a regenerálódó képesség megértésében. Az 1970-es évek második felétől a funkcionális kutatások következtek, melyet a közepes léptékű regionális tervezés, tájrendezés indukált. Az utóbbi időben a folyamatorientált elemzés került a kutatások középpontjába, ahol terepi mérésekre és térképezésre alapozva induktív módon nagyobb léptékben dolgozva keresik a választ a tájak működésére (Mezősi – Fejes, 2004).

A tájökológiai vizsgálatok és a tájmetriai elemzések jelentős részben a MacArthur és Wilson által 1967-ben megalkotott szigetbiogeográfia teóriájára épülnek. Ennek lényege az, hogy a tájban nem lineáris elemként megjelenő környezetétől eltérő viszonylag homogén egységeket (felszínborítottsági kategóriákat, vagy részletesebb vizsgálatok alapján társulásokat) **foltként**; a foltok közötti fajok áramlását biztosító hosszan elnyúló (lineáris) egységeket **folyosóként**, a foltok beágyazó felületét (egyes esetekben legösszefüggőbb, vagy legelterjedtebb elemét) pedig **mátrixként** értelmezzük (Forman, 1995; Báldi, 1998; Kerényi, 2007). Az elmélet a szigetbiogeográfia elnevezést onnan kapta, hogy a szigetek fajdinamikájával kapcsolatos megfigyeléseket ültették át a szárazföldi folt-folyosó-mátrix megközelítésbe. Főbb megállapításaik a következők:

- a mátrix a tengerhez képest átjárhatóbb (a fajoknak nem kell repülni, vagy úszni tudniuk a foltok közötti távolságok áthidalásához);
- a nagy foltok fajgazdagsága nagyobb, mint a kisebb foltoké;
- a nagy foltokhoz (mint kontinenshez) közeli foltok fajgazdagsága nagyobb, mint a távolabbi foltoké, az előbbi nagyobb betelepülési rátája miatt;
- a foltok mérete és a fajok száma közötti az összefüggés csak egy bizonyos méretig lineáris, utána a fajnövekedés mérsékeltebb – a tájfoltokra vonatkoztatva ennek a megfigyelésnek a megfordítását kell alkalmazni: az élőhely-vesztés során létezik egy olyan kritikus foltméret, ami alatt a fajok kihalása felgyorsul (Forman, 1995; Kerényi, 2007).

2.1.2. Tájmetriai alapok

A tájmetria a szerkezeti kutatások kérdéskörébe tartozik a tájak térbeli heterogenitására építve. A heterogenitás megjelenési formája a mozaikosság, melynek – az angolszász irodalom-

ban – alapegységei a foltok, folyosók és a mátrix. Ezen tájelemek egyedi jellemzőit és táji szintre vonatkoztatható indexeit fejezi ki a tájmetria kvantitatív formában (McGarigal, 2002).

A mozaikosság a természeti tájak sajátossága, mely nem tévesztendő össze a fragmentáltsággal: definíció szerint a fragmentáció az élőhely-foltok, vagy területhasználati egységek feldarabolódását, míg a mozaikosság a tájelemek területi megjelenését jelenti (Forman, 1995). Egy populáció, vagy társulás megjelenése nem feltétlenül csak nagy, egybefüggő területekhez köthető, hanem kisebb foltok hálózataként is megtaláljuk őket (pl. nyílt gyepekkel mozaikos löszölgyesek, Fekete et al. 1997). Amennyiben ez a mintázat természetes úton alakult ki, **mozaikosságról**, ha viszont emberi tevékenység miatt, **fragmentációról** beszélünk (Kerényi, 2007).

A fragmentáció folyamatában létezik egy kiindulási állapot, egy bolygatástól mentes nagy folt, ami az idők folyamán kisebbekre szabdalódik fel. A gondot az okozza, hogy az eredeti nagy folt nem egyszerűen „csak” kisebb foltokra szabdalódik (melyeknek akár teljesen hiányozhat a belső magterülete), hanem az is, hogy a kisebb foltok hasznosítása részben vagy egészben más jellegű lesz (vagyis itt még beszélhetünk mozaikosságról). Az eltérő hasznosítási területek határa több állatfaj számára ökológiai gátként funkcionálhat, így eleve korlátozhatja egyes fajok áramlását (Wien et al. 1985), de a foltok közé sokszor valamilyen lineáris művi elem is kerül, mely valódi gátként több faj számára áthatolhatatlan akadályt jelent (*ami pedig már fragmentáció*). A művi elem lehet egy villanyvezeték (melynek gáthatása kisebb), vagy akár út, vasút, szélsőséges esetben egy autópálya (melyek esetében az út miatti nyílt tér, az út anyaga, a forgalom miatti zaj és fényhatások miatt a gát sokkal határozottabb; az autópályákat ráadásul el is kerítik, így szó szerint gátként állnak a fajmozgás útjában – Csorba, 2005).

Ez a nevezéktan egyszerűen szétválaszthatná a természetes és antropogén eredetű foltrendszer kialakulását, de a szakirodalom e tekintetben nem egységes.

A mérőszámok mára túlléptek azon, hogy csak az egyedi foltokra vonatkozó tulajdonságokat jellemezzék, de természetesen ezek továbbra is fontos részét képezik a tájanalízisnek. A tájmetriai indexeket 3 szinten definiálhatjuk: (1) a hagyományos **folt szinten**, (2) osztály szinten és (3) táji szinten. Folt szinten az indexek az egyes foltok területét, kerületét, terület/kerület arányát stb. adják meg. Az **osztály szintű** mutatók az ugyanabba a kategóriába tartozó foltok aggregált jellemzőit adják meg egyszerű, vagy súlyozott átlagként, vagy olyan tulajdonságaikat is figyelembe veszik, amikkel a térbeli elhelyezkedésükre (területi eloszlás, közelség, konnektivitás) tudunk következtetni. **Táji szinten** az indexeket a táj összes foltjának a tulajdonságai alapján számítjuk (Forman – Godron, 1995; McGarigal, 2002).

Az 1980-as évek során igen nagy mennyiségben fejlesztettek ki tájmetriai indexeket (Lóczy, 2002). Használatukat nagymértékben megkönnyítette a GIS szoftverek megjelenése és elterjedése, valamint az egyre olcsóbban és nem utolsósorban könnyebben hozzáférhető légifotók és műholdfelvételek alkalmazása (Szabó, 2009).

Az egyes indexek között nagy az átfedés, erősen korrelálnak egymással. Az átfedések kiszűrésére több próbálkozás is történt, melyek közül a legismertebbet, Riitter et al. 1995-ben írt munkáját kell kiemelni, melyben 85 térképből számított 55 tájmetriai mutatót dolgoztak fel, ami a szoros keresztkorrelációk és normalitás feltételének megsértése miatt 26-ra csökkentette a feldolgozott mutatók számát. Az vizsgálat során a 26 metrikát 6 főkomponensben egyesítették: átlagos foltkompaktság; folttextúra; átlagos foltalak; attribútum osztályok száma és a

nagy foltok kerület/terület fraktáldimenziója. Hozzá kell tenni azt is, hogy a szerzők maguk is kétségbe vonják az eredmények jelentőségét, mivel csak egyetlen vizsgálati helyszín azonosítását tették lehetővé (ami ráadásul egy kiugró értéket képviselt). A faktorstruktúra nem állandó, korábbi munkám (Szabó, 2009b) eredményei alapján úgy tűnik, hogy a keresztkorrelációk erőssége erősen függ a feldolgozott metrikáktól, a vizsgálati egység foltjainak a jellegétől és a felhasznált alaptérkép részletességétől. Eszerint nem lehet megfogalmazni azoknak a mutatóknak a teljes körét, ami a tájanalízisben bárhol általánosan felhasználható, mert a mutatók fentebb említett korrelációja nem állandó, így a különböző statisztikai feldolgozások sem ugyanazt az eredményt adják.

A tájmetriai kutatások rendszerint a foltokat teszik a vizsgálatok tárgyává, mivel ezek geometriai tulajdonságai (terület, kerület, alak stb.), valamint relatív térbeli elhelyezkedése (pl. foltok közelsége, konnektivitás) matematikailag egyszerűen számítható.

A foltokra vonatkoztatva több csoportba sorolhatók a mérőszámok: terület, kerület és terület/kerület (area/perimeter), alak (shape), core area (magterület), izoláció/közelség (isolation/proximity), kontrasztosság (contrast), elterjedés/szétszóródás (contagion/interspersion), konnektivitás (connectivity) és diverzitás (diversity). E munkában a terület/kerület, alak, magterület, izoláció/közelség, elterjedés/szétszóródás és konnektivitás mérőszámai kerülnek ismertetésre, majd elemzésre.

A tájmetriai feldolgozások során el kell fogadnunk néhány olyan korlátozó tényezőt az ökológiai-tájökológiai alaptételekkel kapcsolatban, ami miatt az eredmények interpretációja kissé eltérő. Az okok a számítástechnikai feldolgozás kötöttségével, pontosabban a módszerek egyes esetekben kevésbé kidolgozott jellegével magyarázhatók.

1. A feldolgozás során nem teszünk különbséget a lineáris és nem lineáris tájjelemek között, minden környezetétől elütő egységet foltként értelmezünk.
2. A foltok rendszerint a mátrix-szal határosak (Kerényi, 2007) azonban sokszor a mátrix is foltokból áll, így a feldolgozás során foltként számolunk vele, mivel a mátrix és a folt között geometriai és topológiai értelemben nincs különbség (és az előző pontban megfogalmazottak miatt ide soroljuk a folyosókat is). Két dolgot tehetünk: (1) elfogadjuk ezt a tényt és a foltként értékeljük a mátrixot is; (2) a mátrixot kihagyjuk a számításból. Ez utóbbi akkor javasolt, ha a mátrix egy, vagy mindössze néhány nagy foltból áll (pl. a Központi Zemplén esetében az erdő, vagy a Harangod esetében a szántó) és a számításokat – különösen osztály és táj szinten – megzavarja.
3. A szoftverek döntő hányadába nincs beépítve az antropogén gátak figyelembe vételének a lehetősége. Ez egyedül a Jaeger (2000) által kidolgozott hatékony hálóméret (effective mesh size, magyarázatot lásd később) mutatóra vonatkozóan készült el, Girvetz et al. (2008) jóvoltából. Az euklideszi távolságok helyett több esetben lehetőségünk van „ökológiai” távolságokkal kalkulálni, azonban ez még mindig nem ugyanaz, mint a vonalas antropogén elemek figyelembe vétele (a vonalas objektumok raszteres formátumban egymással érintkező pixelek formájában jelennek meg, ami diagonális esetben néhány mutatónál átjárhatóságot jelenthet; a 2 pixeles vastagságú implementálás pedig kis felbontás esetén túlhangsúlyozza az adott lineáris elem területének jelentőségét). E munkában a számításokat csak euklideszi távolságokkal végeztem, ezért a fragmentációra, izoláltságra és konnektivitásra tett megállapítások jó része az antropogén eredetű ökológiai gáaktól mentes természeti tájra vonatkoznak. Így valójában, amikor a fragmentációról esik szó, a természeti tájak mozaikosságát kell alatta érteni. Ez a dolgozat hipotetikus foltokkal, illetve térbeli elrendezésekkel foglalkozik, a levont következtetéseket nem zavarja a táj természeti, vagy antropogén jellege,

konkrét tájakra vonatkoztatva azonban a fragmentáció jellemzésénél figyelembe kell venni azt, hogy a fragmentáció egy antropogén eredetű folyamat és kellő módon sikerült-e ezt a tényt beépíteni az elemzésbe. Az eredmények interpretálása során pedig ehhez kell tartani magunkat: ha a fogalmi háttér tisztázzuk, akkor a felhasználó is tudni fogja, hogy a megállapítások művi elemekkel „terhelt”, vagy anélküli tájra vonatkoznak.

4. A tájökológiában vagy a mátrix, vagy a folyosók konnektivitásáról beszélhetünk (Forman, 1995), a szoftveres tájmetriai feldolgozás során azonban éppen ezeket nem tudjuk figyelembe venni. Emiatt a dolgozatban foltok konnektivitásáról beszélek, ami az ökológiában a foltokból összeálló folyosóhálózat (lépegető kövek, stepping stones) elméletére épül. A konnektivitás a fajok lehetőségét jelenti a tájelemek elérésére (Báldi, 1998), azaz nem követünk el nagy hibát, ha fajonként definiáljuk azt a minimális távolságot, amit egy faj biztosan megtesz azért, hogy eljuthasson a következő foltig és ha a foltok ezen a távolságon belül vannak, akkor beszélünk azok összekötöttségéről, összekapcsoltságáról (ez voltaképpen csak nevezéktani probléma, mivel a nem folytonos folyosók esetében is át kell hidalniuk a fajoknak a távolságot a továbbhaladáshoz).

2.1.3. A tájmetriai mérőszámok jellemzése

E mutatókat elsősorban McGarigal és Marks (1994) munkája nyomán mutatom be. Az ábrák mindegyike (kivéve, ahol a forrást jeleltem) a saját munkám, melyet a különböző metrikák tulajdonságainak a teljesebb jellemzéséhez készítettem.

1. Foltszám

A legegyszerűbben meghatározható tájmetriai paraméter a **foltszám (NP: Number of Patches)**. Egyszerűsége abban rejlik, hogy az adatforrásról vizuálisan, a foltok megszámlálásával megkaphatjuk az értékét. Táj szinten a táj összes foltjának, osztály szinten pedig az egyes folttípusoknak a számát tudjuk megadni. A táj mozaikosságának, fragmentáltságának a mérőszáma, de önmagában ritkán használják, más mérőszámoknak viszont elengedhetetlen alapja.

Meg kell jegyezni, hogy amilyen egyszerűen meghatározható metrikáról van szó, legalább olyan körültekintéssel kell eljárni ennek során. Az eredményre számos körülmény hatással van:

- a foltszámot befolyásolja a meghatározásához használt adatforrás: egy légifotón lényegesebb több folt azonosítható, mint egy műholdfelvételtől és még ez utóbbiak esetében sem mindegy, hogy mekkora felbontású felvételt használunk (pl. MODIS, LANDSAT, SPOT, vagy IKONOS); a CLC-adatbázisok esetében elvégzett vizsgálat is ezt támasztja alá (Szabó, 2009b);
- raszteres kiértékelés esetén (FRAGSTATS, LEAP II) nem mindegy, hogy 4, vagy 8 irányban keressük a szomszédos poligonokat (pontosabban ez esetben pixelcsoportokat), különböző eredményt kaphatunk a két módszerrel; a vektoros feldolgozást ez nem befolyásolja (vLATE, Patch Analyst, Conefor Sensinode).

2. Terület és kerület

A foltok *kerülete és területe* fontos tájmetriai paraméterek, melyek önmagukban is alapot adhatnak a területi tervezéshez.

A terület megadható egy foltra, de egy részvízgyűjtőn, vagy kistájon vagy bármilyen tervezési egységen belül valamely felszínborítási kategóriára is. Léteznek olyan ökológiai kutatások, melyek megállapították, hogy egy foltnak minimálisan mekkorának kell lennie ahhoz, hogy önálló ökoszisztémaként működhessen, vagy egy faj területi igényeit kielégítse (Bücking 2003; Wood *et al.* 2007). Természetesen minden állatfajnak eltérő területre van szüksége, amit viszont nem lehet pontosan meghatározni: a minimális méret egyrészt az élőlények igényeitől függ, másrészt a környezeti változók még ezen is módosíthatnak (pl. egy forgalmas út környezetében, vagy egy antropogén zavarástól messze eső területen). A szomszédos foltok jellege, a mátrix minősége, valamint a legközelebbi azonos típusú folt távolsága szintén fontos befolyásoló tényező (Pope *et al.* 2000; Sisk – Haddad, 2002; Vance *et al.* 2003). Általánosan úgy fogalmazhatjuk meg, hogy a szükséges legkisebb foltméret az ott élő élőlények közül a legnagyobb területigényű faj számára is megfelelő a lehetséges zavaró hatások figyelembevételével együtt (Margóczy 2006). Egy őz esetében például 100-500 ha, a jávorszarvasnak és rénszarvasnak több mint 500 ha-os területre van szüksége (Simanauskienė *et al.* 2008) – ahhoz tehát, hogy ezek a fajok fennmaradjanak, minimálisan ekkora területű élőhelyre van szükségük. Fahrig (2001) modellvizsgálatai alapján megállapítja, hogy a populációk összeomlása igen gyorsan történik meg az élőhely-vesztés (vagyis a foltméret-csökkenés) következtében, melyet hasznos lenne az egyes fajok, társulások esetében megismerni. Erre nézve számos megfigyelés áll már rendelkezésre a szigetek fajdinamikájának a vizsgálataiból (Kerényi, 2007). A foltméret tehát önmagában nem elegendő információ ahhoz, hogy egy faj túlélési esélyeit meg tudjuk állapítani, de jó kiindulási alapot jelent ehhez és több más mérőszám alapját is képezi.

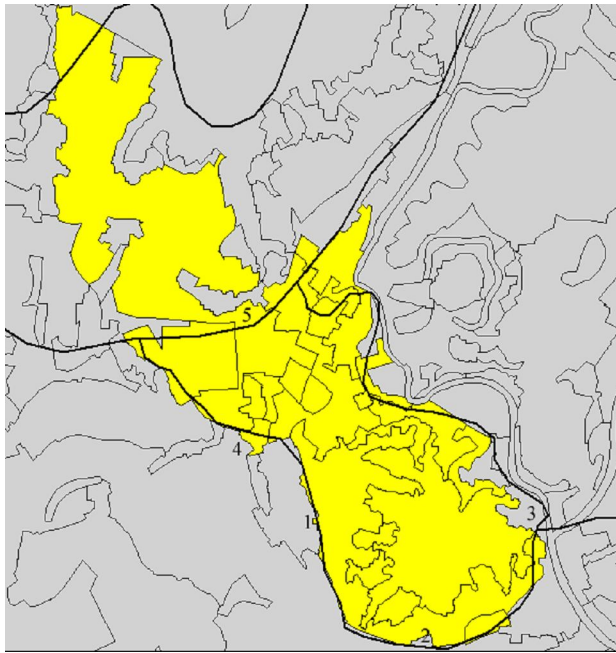
Osztály szinten felszínborítottsági kategóriák szintjén összegezhetjük a **foltok területét (CA: Class Area)**, illetve a teljes vizsgálati egység (táj, vízgyűjtő, illetve valamilyen közigazgatási egység) területének százalékában is kifejezhetjük a **részesedését (PLAND: Percentage of Landscape)**. Mivel ez utóbbi egy relatív mérőszám, az értékeléseknél sokszor ezt használják: egyrészt azonnal látszik adott folttípus részesedése a teljes területből, másrészt így a különböző tájak is összehasonlíthatók. Táj szinten csak egy olyan információt kapunk a területről, amit feltehetően már előtte is tudtunk, de ezt számos más metrika is felhasználja.

A terület és foltszám hányadosa adja meg a **foltsűrűséget (PD: Patch Density)**, mely így egységnyi területre (darab folt/ha, darab folt/km²) vonatkoztatva adja meg a foltok számát – osztály szinten adott folttípusát, táj szinten a vizsgálati egységét. Ha a terület állandó, csak a foltszám változik, akkor ugyanazt az információt adja, mint a foltszám önmagában. Az alkalmazhatósága korlátozott, mivel nem tudunk meg semmit a foltméretekről és azok eloszlásáról.

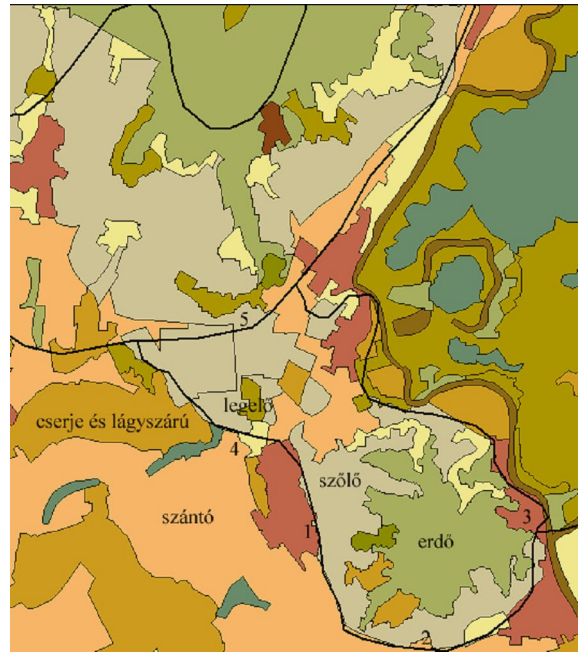
Területtel kapcsolatos osztály és táj szintű metrika a **vizsgálati egység legnagyobb foltjának és teljes területnek a hányadosa (LPI: Largest Patch Index)**. Százalékos formában adjuk meg, értéke annál nagyobb, minél nagyobb területet foglal el a legnagyobb folt a teljes területből.

A foltok kerületét mint folthatárt értelmezzük, mely folt szinten nem informatív érték. Elterjedtebb az osztály, vagy táji szintű használata, a felszínborítottsági kategóriákra, vagy a az egész területre vonatkoztatva. A kerület önmagában nem, de a területtel együtt alkotott hánnyadosa már a foltok sérülékenységről ad információt: a nagy kerület/terület arányok azt mutatják, hogy a folt nagy felületen érintkezik a szomszédos(ak)kal, ami hatással lehet az ott élő fajok viselkedésére, vagy egyáltalán az összetételére. A témát az alaki mutatóknál fogom részletesebben ismertetni (4.1. fejezet).

Osztály és táj szinten jelentkezik a vizsgálati egység határának a problémája: a határvonal elvágja a foltokat és a feldolgozás során ezeknek is meghatározzuk a kerületét. A felvetődő probléma az, hogy sokszor nehezen lehet őket nagy léptékben meghúzni, így hiába van akár 1:10000-es, vagy még jobb minőségű felszínborítottsági adatbázisunk, ha a határ milliós léptékű adatforrásról származik (pl. tájhatárok). Emiatt a határ egy leegyszerűsített vonal, aminek következtében a poligonok határai is le fognak egyszerűsödni a vágás során. A valóságban félbevágott foltok nem léteznek, a határok csak a vizsgálat szempontjából fontosak, a természetben zajló folyamatok ezektől függetlenek. Sokszor azonban nem megoldható az, hogy a határvonalra eső poligonokat teljes egészében – vágás nélkül – használjuk fel, mert ez csak kis területű poligonok esetében oldható meg, a nagy poligonok túlzottan megváltoztathatják a vizsgálati egység határvonalát, vagyis ez esetben más módon kell a határt pontosítani. Szerencsés helyzetben vagyunk akkor, ha mi magunk határozzuk meg a vizsgálati egységet, akkor ez a probléma előfordulhat, hogy fel sem merül (pl. Szabó – Túri, 2008), ha viszont elkerülhetetlen, igyekezzünk a túl kis területű „forgács” poligonokat kitörölni és a határoló poligonokat minél nagyobb arányban megtartani. Minél kisebb a vizsgálati egység és minél rosszabb felbontású az adatbázis, amivel dolgozunk, annál nagyobb problémát jelentenek az elvágott poligonok. A példában (1. ábra) a Tokaji-hegy CLC2000 adatbázisát mutatom be: a tájhatár használata kis területű töredék poligonokat eredményez, ha viszont a poligonok eredeti határait akarjuk megtartani, akkor helyenként helyesen járunk el, más esetekben pedig a poligonok túlságosan átlógnak más kistájakba. Az 1. ábrán 1-essel jelzett helyen a kistájhatár csaknem pontosan egybeesik poligon határával, ami a fedvényművelet (vágás) során indokolatlanul leegyszerűsíti a keletkező új poligont. A 2-essel jelzett területen egy belógó poligon darabja lehet zavaró, ami egy szántó, vagyis erre a területre nem is jellemző. A 3-as számnál jelzett eltérés azt veti fel, hogy mi legyen a településsel (Tokaj várossal)? Vágjuk szét és egy része tartozzon a Taktaközhöz, más része a Tokaji-hegyhez? Teljes területe semmi esetre sem tartozhat egyik említett kistájhoz sem, vagyis valahol el kell vágni. A következő kérdés az, hogy hol kezdődik a Bodroghöz és hol ér véget a Tokaji-hegy? Szintén nem könnyű megválaszolni: vegyük alapul a gátat? Bár további poligonvágással jár, a művelet indokolható, döntően a felszínborítás is változik a gát két oldalán. A 4-es számmal jelzett területen a határ keresztülhalad a poligonon, de itt is és a szomszédos (északabbra eső) poligonok esetében is inkább az eredeti határok megtartása az indokolt. Az 5-ös számnál a szőlőterületek jelentős átnyúlása figyelhető meg a szomszédos Tokaj-Hegyalja kistájba. Itt az egyedüli megoldás csak a poligon elvágása. Ugyanakkor itt, az északi részen okozza a legkisebb problémát a határral való vágás, mivel a határ mindkét oldalán szőlő van.



a



b

1. ábra. A poligonhatárok és a vizsgálati egység problematikájának példája (a: a tájhatár és a felszínborítottság poligonjai; b: felszínborítottság kategóriái) Forrás: CLC2000

Az itt leírtakkal kapcsolatban felmerülhet, hogy a tájhatárokat nem a területhasználat, vagy felszínborítottság alapján húzzuk meg, a tájalkotó tényezőket egységesen kell figyelembe venni. Ez a megközelítés csak a tájmetriai elemzések kapcsán fogadható el ebben a formában.

További kérdés, hogy mit tegyünk hasonló helyzetben pl. a vízgyűjtő alapú vizsgálatoknál. Itt a határ egzakt, a domborzatmodell alapján lett meghatározva, a tájhatárokkal ellentétben nem képlékeny. A vízgyűjtő határa ökológiai szempontból nem lényegi tulajdonsága a területnek, a fajmozgásokat nem befolyásolja, vagyis a határon lévő foltok kettévágása ebből a szempontból nem is indokolt. Vizsgálati egységek lehatárolására viszont szükség van és ha vízgyűjtő alapon dolgozunk és erre kell kiszámítani a tájmetriai paramétereket, igen körültekintően kell eljárni mind a feldolgozás, mind az interpretáció során (a töredékpolygonok, valamint raszteres feldolgozás esetén a pár pixeles foltok törlése kulcsfontosságú – Mezősi *et al.* 2008).

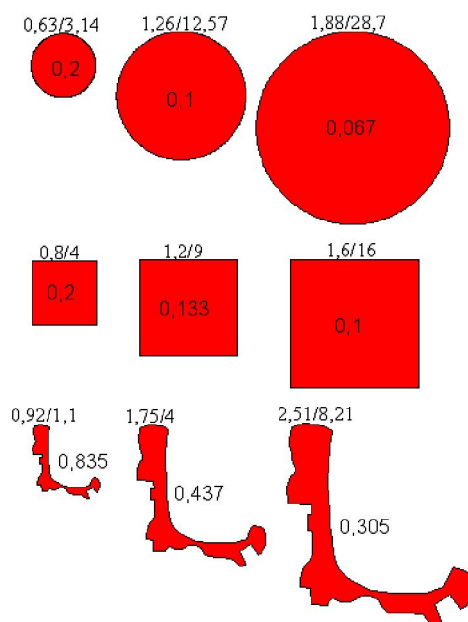
Vigyázni kell tehát arra, hogy a lehetőségekhez mérten a lehető legpontosabban határoljuk le a vizsgálati egységeket, mert bár önmagában csak ritkán, más mérőszámok alapjaként gyakran használjuk a polygonok kerületét.

Osztály szinten a területhez hasonlóan itt is meg tudjuk adni az adott folttípus szegélyének a hosszát, vagy az **egységnyi területre jutó szegélyhosszt, szegélysűrűséget (ED: Edge Density [m/ha; km/km²])**. A szegélyek hossza a tájak felszabdaltságára utal: minél hosszabb a szegély, ezen belül is a szegélysűrűség, annál valószínűbb a táj fragmentációja. Ezek a mutatók önmagukban nem tájékoztatnak sok fontos, az elemzéshez szükséges információról, de jó kiindulási alapot adnak. A szegélyhossz és a foltterület hányadosa (kerület/terület) már szóba került egyszer, mely ez esetben is megemlíthető (bővebben lásd a . fejezetben).

3. Alak

A foltok alakja fontos a tájökológiai elemzés szempontjából, mivel az adott folt stabilitásáról nyújt információt. A kompakt, izodiametrikus foltok kevésbé érzékenyek a külső, rendszerint antropogén hatásokra, mint a megnyúlt, vagy szétágazó (polip) formájúak (*Forman – Godron, 1986, Kerényi, 2007*). Ennek mérésére több mérőszám is létezik.

A legegyszerűbb alaki mutató a **kerület/terület aránya (PARA: Perimeter-Area Ratio)**, melyből következtethetünk a foltok kompaktságára: minél egyszerűbb a határvonalak futása, annál kisebb értéket kapunk. Használata során figyelembe kell venni azt, hogy az arány nem állandó, vagyis különböző nagyságú és eltérő alakú foltok kerület/terület hányadosa megegyező lehet, emellett az ugyanolyan formájú, de eltérő nagyságú foltok hányadosa eltérő! A 2. ábrán jól látszik, hogy pl. a 200 méter sugarú kör és a 400 méteres oldalú négyzet kerület/terület hányadosa megegyezik (mindkét esetben 0,1), míg a különböző méretű körök, négyzetek, poligonok esetében az arány eltérő.



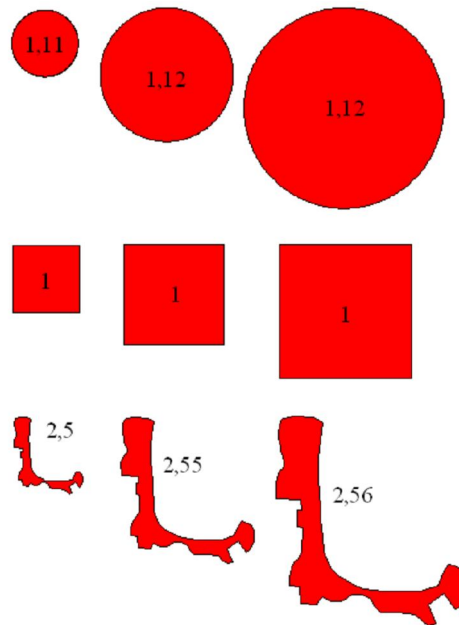
2. ábra. Azonos alakú és eltérő méretű folt típusok kerület/terület arányai (km/ha) (kör sugara sorrendben: 100 m, 200 m, 300m; négyzet oldala sorrendben: 200 m, 300 m, 400 m)

Az **alaki indexben (SHAPE: Shape Index)** elosztjuk a folt kerületét a minimumkerülettel, amit egy ugyanolyan területre vonatkoztatott kompakt folt kerületeként határozunk meg (egy négyzetre vonatkoztatva a raszteres számítások egyszerűsítése miatt):

$$SHAPE = \frac{P_{ij}}{\min p_{ij}}$$

ahol p_{ij} : az ij cellákból álló folt kerülete; $\min p_{ij}$: az ij folt minimum területe.

Ennek a mutatónak az értékét nem befolyásolja a poligonok nagysága és a legjobb alaki mutatónak tartják. A 3. ábrán látható példapoligonok esetében minimális eltérés van a különböző méretűek között, ami feltehetően a raszter alapú számítások pontatlanságának tudható be (a pixelek aránya a kalkulációk során változhat a különböző méretű poligonoknál).



3. ábra. Az alaki index (Shape Index) azonos alakú és eltérő méretű folttypusok esetében

Az alaki mutatót osztály és táj szinten is értelmezzük (**LSI: Landscape Shape Index**), ilyenkor az adott folttypus, vagy a vizsgálati egység összes poligonjának a területét kell elosztani a megfelelő minimális területű négyzettel:

- osztály szinten az összes poligon pixelének egy négyzet alakú halmazba rendezett területét adjuk meg;
- táj szinten a vizsgálati egység pixeleit kell négyzet alakba rendezni és ennek a területét meghatározni.

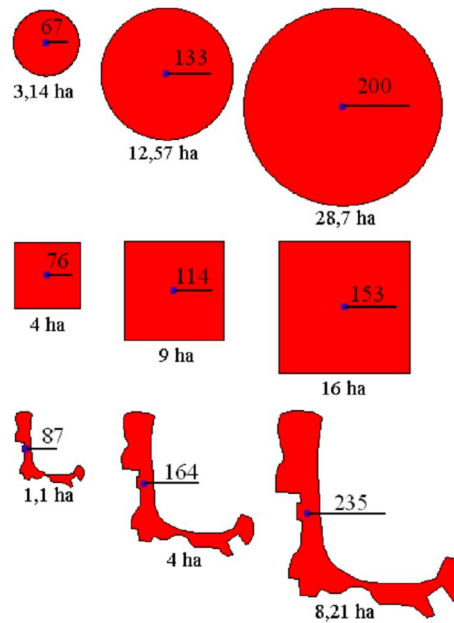
Míg folt szinten alaki mutatóként tartjuk nyilván ezt a metrikát, osztály szinten inkább az azonos területhasználatú foltok aggregáltságának, tömörülésének mérőszámaként. Táj szinten mutatja a poligonok aggregáltságát (értéke minél nagyobb, a poligonok annál szétszórtabbak), ugyanakkor standardizált mérőszáma a szegéllysűrűségnek.

A **forgási sugár (GYRATE: Radius of Gyration)** tárgyalására sor kerülhetett volna a területtel kapcsolatos mutatóknál is, de mivel egyben a foltok alakjára is utal, inkább ez utóbbi mérőszámok között mutatom be. Meghatározása során a foltok pixeleinek kiszámítjuk a közepes távolságát a belső centroidtól:

$$GYRATE = \sum_{r=1}^z \frac{h_{ijr}}{z} \quad [\text{m}]$$

ahol h_{ijr} : a cellák távolsága az ij foltban az r belső centroid középponttól; z : cellaszám az ij foltban.

Az eredményt befolyásolja a folt kiterjedése és annak kompaktsága is (4. ábra). Látható, hogy a mérőszám értéke függ a folt méretétől: azonos alakú foltoknál a meghatározási módnak megfelelően a nagyobbaknak nagyobb lesz a forgási sugara is. Az azonos területű poligonok esetében a szabálytalanabb formának nagyobb a forgási sugara, bővebben lásd a . fejezetben.



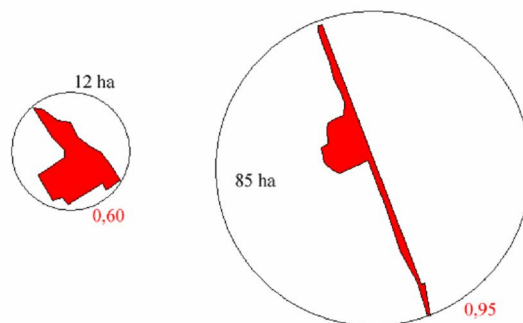
4. ábra. A forgási sugár (Radius of Gyration) azonos alakú és eltérő méretű folttípusok esetében (méter)

Ennek a mérőszámnak osztály és táj szinten nincs megfelelője, de kiszámíthatjuk folttípusra, vagy a vizsgálati egységre vonatkoztatva a középértéket, szórást, relatív szórást.

A **folt köré húzható legkisebb sugarú kör (CIRCLE: Related Circumscribing Circle)** hasonlóan az alaki indexhez (SHAPE) egy geometriai formával közelíti a foltok alakját, de itt nincs szó a pixelek átrendezéséről egy optimális alakba, hanem a meglévő folt köré húzunk egy olyan kört, amely a lehető legkisebb területű, vagyis legkisebb sugarú (5. ábra). Kiszámításának módja a következő:

$$CIRCLE = 1 - \left[\frac{a_{ij}}{a_{ij}^s} \right]$$

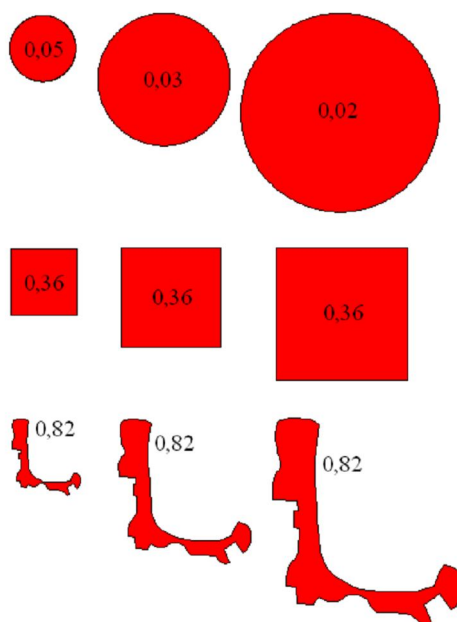
ahol a_{ij} : ij folt területe; a_{ij}^s : ij folt köré húzható kör.



5. ábra. A legkisebb területű kör két különböző poligon körül (a számok jelentése: a kör területe, a **CIRCLE értéke**; a mindkét poligon 4 ha területű)

A 6. ábrán a legkisebb körök indexét tüntettem fel. A kör esetében elvileg nullát kellett volna kapni, az eltérés a raszteres feldolgozás hibájából adódik, amit az is alátámaszt, hogy minél nagyobb a kör sugara (így területe is), annál jobban közelíti a 0-t is. A többi esetben az érték

alig tér el a különböző méretű poligonoknál, vagyis a méret nem befolyásolja! A mérőszám a maximális értékét 1 pixel szélességű elnyúlt foltok esetében éri el.



6. ábra. A CIRCLE index azonos alakú és eltérő méretű folttypusok esetében

Osztály és táji szinten a statisztikai paramétereit (középértékek, kvartilisek, szórás stb.) határozhatjuk meg.

A **szomszédsági index (CONTIG: Contiguity Index)** a foltok celláinak az átlagos szomszédsági értékét adja meg. Ehhez a folt szomszédsági értékeinek az összegét el kell osztani az összpixelszámmal, valamint egy 3×3-as mozgóablak értékeinek az összegével. Képlet szerint:

$$\text{CONTIG} = \frac{\frac{\sum_{r=1}^z c_{ijr}}{a_{ij}}}{v-1}$$

1	2	1
2	1	2
1	2	1

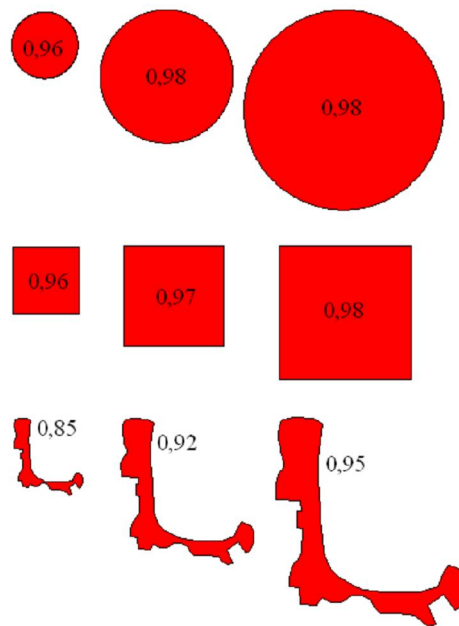
a 3×3-as mozgó-
ablak

ahol c_{ijr} : az r -edik pixel szomszédsági értéke az ij foltban; a_{ij} : ij folt területe; v : a 3×3-as ablak értékeinek az összege (ez esetben – vagyis amikor minden lehetséges helyen van a központi pixelnek szomszédja – az érték 13).

A számítás menete és a képlet némileg magyarázatra szorul, mert eddig még nem tudtuk meg, miként áll elő a szomszédsági érték. A szoftver ez esetben bináris állományként kezeli a feldolgozandó területet, 1-nek véve a foltot és 0-nak minden mást. A 3×3-as mozgóablak középső celláját 1-nek kell venni, ezzel biztosítva, hogy a végeredmény ne lehessen nulla kis foltok esetén sem. A horizontális és vertikális irányokban 2-es szorzót, a diagonális irányokban pedig 1-es szorzót kapnak a pixelek.

Végeredményként egy olyan mérőszámot kapunk, melynek értéke 0, ha a folt egyetlen pixelből áll, és közelíti az 1-et, ha a terület növekszik és a pixelek több oldalról is illeszkednek egymáshoz. A 7. ábrán bemutatott példa jól tükrözi, hogy különösen a szabálytalan alakú

feltok területének növekedésével a CONTIG érték is nő, ahogy azonos felbontás mellett nő a pixelek száma is.



7. ábra. A szomszédsági index értékei azonos alakú és eltérő méretű folt típusok esetében

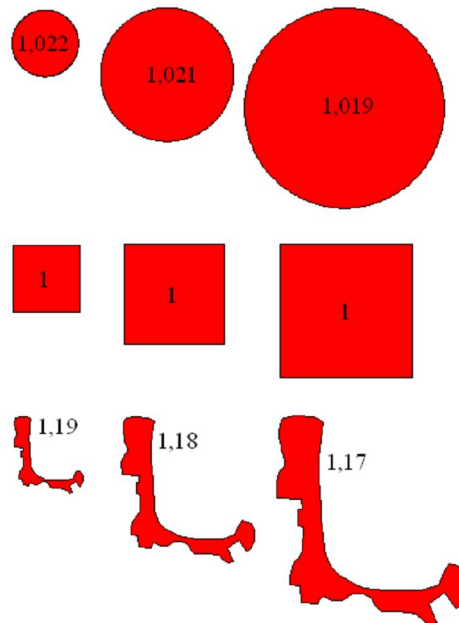
Osztály és táj szinten a folt szinten meghatározott paraméterek statisztikai mutatóit tudjuk meghatározni.

Kedvelt alakmutató a **fraktáldimenzió (FRAC: Fractal Dimension Index)**, mely a feltok alakjának összetettségét kiterjedésük (méretük) figyelembe vételével fogja meg:

$$\text{FRAC} = \frac{2 \ln (0,25p_{ij})}{\ln a_{ij}}$$

ahol: p_{ij} : ij folt kerülete (m); a_{ij} : ij folt területe (m²).

Értéke 1 és 2 között változik. 1 a legegyszerűbb formák esetében, a körnek 1,02, a komplexebb formák közelítik a 2-őt, de a 8. ábra példájában látható szabálytalan alakú feltnek is csak 1,18 körüli.



8. ábra. A fraktáldimenzió értékei azonos alakú és eltérő méretű folttípusok esetében (méter)

Osztály szinten (**PAFRAC: Perimeter-Area Fractal Dimension**) a kerület és terület mellett a folttípushoz tartozó foltok számát is be kell venni a számításba. A számítás maga a foltterületek és foltélek logaritmusának a regressziós egyenletének a b_1 együtthatóját (meredekségét) veszi figyelembe:

$$PAFRAC = \frac{2}{b_1}$$

ahol b_1 az $\ln(\text{terület}) = b_0 + b_1 \ln(\text{kerület})$ regressziós egyenletből származik.

A regresszió művelete miatt meghatározásához legalább 10 elem szükséges, de biztosabb eredményeket kapunk, ha a mintaszám nagy. Emellett nem kedvező, ha a foltméretek csak kis intervallumban szóródnak.

Táj szinten hasonló módon számítjuk a fraktáldimenziót, azzal a különbséggel, hogy itt minden folt részt vesz a regresszióban.

4. A magterületek mutatószámai

A magterületeket a szegélyzóna megadásával tudjuk definiálni, vagyis önkényesen definiálunk egy olyan sávot, amiről feltételezzük, hogy zavaró hatás alatt áll. Ezt a sávot szegélyként a belső maradék területet magterületként értelmezzük (9. ábra). A tájökológiai vizsgálatok szempontjából a kérdés az, hogy ez a szegélyszélesség mennyire állja meg a helyét. A szegély legtöbbször jól felismerhető, botanikailag pontosan meghatározható, azonban az antropogén zavarás miatt nem biztos, hogy minden szempontból megfelelő, ha az így kapott szélességet alkalmazzuk. Lehetséges, hogy az élőlények döntő hányada számára valóban a maradék belső zóna jelenti a magterületet, de az is előfordulhat, hogy vizsgálatunk tárgya sokkal érzékenyebb a zavarásra és pl. az utak menti (éjszakai) fény és zajhatás jobban leszűkíti az életterét (Kerényi, 2007). Például az autóutak zajterhelés miatt a szárcsa egyedszáma 60 dB-től, az erdei szalonkáié 55 dB-től, a nagy godáié 45 dB-től, a kakukké 35 dB-től esik vissza. Egy 75%-os erdőszűltségű területet átszelő 75000 jármű/nap terhelésű út mellett 80 m volt a legki-



9. ábra. A szegély és magterületek sémája

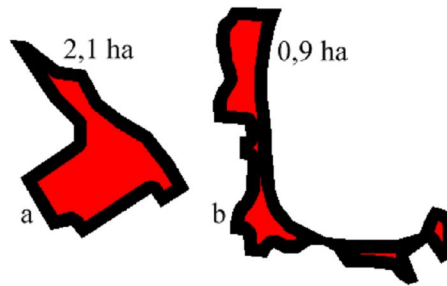
sebb távolság, ahol fészkelő madarat találtak (szalonka) és 990 m a legtávolabbi (kakukk) (*Treweek*, 2007). Láthatjuk tehát, hogy a szegélyt nemcsak botanikai alapon lehet definiálni, bár mindenképpen ez a legegyszerűbb. A példa felveti azt is, hogy míg a botanikai alapú szegély kisebb-nagyobb szélességben körbefut a foltokon, az út menti zavarás lineárisan koncentrált, hatása egy nagyobb folt ellenkező oldalán egyáltalán nem jelentkezik.

A szegélyek sokrétűen befolyásolják a fajok élettevékenységeit. Módosítják a mozgásukat, a szegélyek akkumulatív hatással vannak a fajokra: egyes fajok számára áthatolhatatlan gátat képeznek, másoknak csak lelassul a mozgása a szegélyhez érve (a továbbhaladás előtt a szegélyben tartózkodnak, *Sisk – Haddad*, 2002). Hatással van a fajok mortalitására: a szegélyek a ragadozók és paraziták bejutási helyei, az újonnan kialakult szegélyeken, pl. egy tarvágás nyomán a hirtelen megnövekvő hő- és fénybevitel klimatikus stresszt okoz, eltérő mikroklimatikus adottságai miatt kompetitor fajok jelennek meg, valamint a növényi magvak nagyobb valószínűséggel kerülnek nem megfelelő élőhelyre, ahol a csírázás és fejlődés feltételei kevésbé adóttak (*Sisk – Haddad*, 2002; *Laurance et al.* 2007). Pozitív hatása, hogy a szegélyzónában a nagyobb energia bevitel miatt nagyobb mennyiségű táplálék képződik, ami megnöveli a populációk túlélési esélyeit (*Kerényi*, 2007). Az eltérő növényzeti fedettségű foltok, pl. erdő-gyep között a hőmérsékleti és (talaj- és lég-) nedvességi viszonyok is egy sajátos, köztes állapotot képviselnek, kedvező körülményeket teremtve más fajok megtelepedésének (ezt igazolta a futóbogarak esetében *Magura et al.* 2001 és *Molnár et al.* 2004). *Báldi* (1999) nádasok szegélyeiben figyelte meg és bizonyította a hőmérséklet, a páratartalom, a szél- és fényviszonyok eltérő jellegét a környező területekhez képest. Emellett számos tanulmányban mutatja be a madarak szegélyekhez való kötődését (*Báldi – Kisbenedek*, 1994; *Báldi – Kisbenedek*, 1999; *Moskát – Báldi*, 1999).

Sok állatfaj nem is ragaszkodik a hasonló jellegű foltok közelségéhez, pl. táplálkozni kifejezetten más jellegű élőhelyeket keresnek fel, mint ahol élnek. Pl. a mezei pacsirták előszeretettel keresik fel a szegélyeket táplálkozási célzattal (*Pope et al.* 2000; *Erdős et al.* 2007). *Tischendorf és mtsai* (2005) tanulmányukban megállapították, hogy az élőhelyfoltok populációsűrűségében sokkal meghatározóbb a folt→mátrix irányú mozgás, mint a mátrixból a foltok felé történő esetben (feltételezve a mátrix megfelelő minőségét).

A tájmetriai szoftverek többségében fix szélességet lehet megadni a szegély szélességére, de arra is van példa, hogy egyenként tudjuk definiálni a kapcsolódó folt típusok jellemző szegélyszélességét. A szegélyszélesség folton belüli változatossággal viszont egyik szoftver sem tud megbirkózni, pedig a szegély-megszakítottság a foltok fajdiverzitását jelentősen csökkentheti (*Kerényi*, 2007)

A magterület legegyszerűbb mérőszáma maga a **terület (CORE: Core Area)** és a **magterületek száma (NCORE: Number of Core Areas)**. Ez utóbbi nem feltétlenül egy, mivel a szabálytalan alakú foltok akár több különálló területre is szakadhatnak (10. ábra). A kalkuláció nem veszi figyelembe azt, hogy az élőlényeknek van egy minimális élőhelyigénye. Az „a” folt esetében még 2,1 ha-os belső terület elegendő lehet több élőlény igényeit is kielégíteni. A „b” folt 0,9 ha-os magterülete viszont már önmagában kevés lehet, különösen, ha figyelembe vesszük, hogy még az is 5 részre osztható, melyek közül a legkisebb 142 m².



10. ábra. A folt és a magterület(ek) megjelenése különböző alakú foltok esetében (a foltok területe 4 ha, szegélyszélességük 20 m)

Ezek a metrikák meghatározhatók osztály és táj szinten is (**Total Core Area; Number of Disjunct Core Areas**).

A magterület kiszámítható a kiindulási folt arányában, vagyis kifejezhető **százalékos formában (CAI: Core Area Index)**. Értéke 0, ha nincs belső terület és megközelíti a 100-at, ha a belső terület maximális kiterjedésű, azaz kör alakú. A korábbiakban felvetett problémát viszont – hogy a magterületként megjelenő belső zóna valóban lehet-e magterület – ez a mutató sem orvosolja.

Osztály és táj szinten tudjuk kiszámítani az **elkülönülő magterületek sűrűségét (DCAD: Disjunct Core Area Density)**, területegységre vonatkoztatva adjuk meg a magterületek számát (pl. db/ha, db/km²). A különbség a két szint között az, hogy osztály szinten a folttípushoz tartozó magterületeket, táj szinten pedig az összes magterületet vonjuk be a számításba.

5. Szomszédossági mérőszámok

A foltok szomszédosságát csak osztály és táj szinten lehet mérni, mivel egy folt önmagával nem lehet szomszédos.

A legelső és máig is széles körben használt mutató a **Contagion Index (CONTAG; magyarra fordítása nehéz, mivel a szó fertőzést jelent utalva a különböző foltok tájon belüli elterjedtségére, vegyülésére)** volt, melyet csak táji szinten értelmezünk.

$$CONTAG = \frac{2 \ln(N) + \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N ((n_{ij} / M) \ln(n_{ij} / M))}{2 \ln(N)}$$

ahol n_{ij} : i és j osztályok közötti közös határok száma; M : az összes határpixel száma duplán számolva; N : a folttípusok száma.

Egyaránt méri a folttípusok keveredését és azok térbeli eloszlását (Riitters et al. 1996). Kis értékeket (melyek százalékban értendők) általában kis területű szórt foltok, nagyokat pedig néhány nagy területű, egymáshoz közel eső folt esetében kapunk. Az eredmény a szegélyszűrés (ED) inverzével mutat hasonlóságot.

Többféle alternatív megoldás is létezik a szomszédosság meghatározására, amik egymástól eltérő módon összegzik a szomszédsági mátrix értékeit (PLADJ, AI, MFRAC – bővebben lásd később). Ennek lehetséges módjai:

- egyszerű összegzés: minden szomszédos pixelt 1-es szorzóval adunk össze;
- kétszeres összegzés: a vizsgálati terület határát alkotó pixelek és foltokon belüli pixelek egyszeres szorzót, a többi kétszeres szorzót kapnak.

Emellett eltérés lehet az is, hogy az összegzett pixelekkal milyen további műveleteket kell még elvégezni az eredmény kiszámításához. Minden contagion jellegű mutatóról meg kell jegyezni azonban közös hibájukat: az eredmény függ a felbontástól, mivel a szomszédos pixelek összegzésén alapulnak – a nagyobb felbontás nagyobb értékeket ad (*Ricotta et al.* 2003).

A **szomszédsági valószínűség (PLADJ: Percentage of Like Adjancies)** lényege az, hogy megadjuk annak valószínűségét, hogy i felszínborítottsági kategória szomszédos j kategóriával. A képlet egyszerűsített változata:

$$q_{i,j} = \frac{n_{i,j}}{n_i}$$

ahol $n_{i,j}$: szomszédos pixelek összege i és j felszínborítottsági kategória között (kétszeres összegzéssel számítva); n_i : i felszínborítottsági kategória összes pixelének száma.

A számítás alapja a szomszédsági mátrix, mely azt mutatja, hogy a különböző folt típus-párok milyen gyakoriságúak. A FRAGSTATS kezeli a vizsgálati egység határát és a foltok belső pixeleit, jelenlétük nem okoz számítási hibát. Az eredmény pedig foltok aggregáltságának mértékét adja meg folt típusra, vagy a tájra (osztály, vagy táj szinten). Értéke 0-tól 100-ig terjed: akkor nulla, ha minden folt egyetlen pixelből áll és 100, ha a terület egyetlen foltból (melyet helyesen már nem is foltként, hanem mátrixként értelmezzünk) áll és minden szomszédos pixel ugyanabba a kategóriába tartozik (valamint definiált a vizsgálati egység határa is). Az érték akkor nő, ha a foltok aggregáltak, egymáshoz közel esnek, illetve a foltok alakja kompakt.

E metrika azonban önmagában nem tájékoztat a foltok szórtságáról vagy aggregáltságáról, ehhez ismerni kell a PLAND (P_i) értéket is (lásd . fejezet): ha $P_i > \text{PLADJ}$, a foltok szórtsága felülmúlja a véletlenszerűt, $P_i = \text{PLADJ}$ esetén az elrendezés egy sakktáblaszerű elrendezésnek felel meg, és ha $P_i < \text{PLADJ}$ a foltok egymáshoz közeliek, aggregáltak.

A szomszédsági valószínűség képezi alapját a **csoportosultsági indexnek (CLUMPY: Clumpiness Index)**, mely az előző problémát már kezeli, így önmagában is informatív eredményt kapunk. Értéke -1 és +1 közötti: szórt elhelyezkedésű foltok esetén negatív, térben közel eső foltoknál pedig pozitív. 0 esetén az eloszlás véletlenszerű. A mérőszám alkalmas különböző tájak folteloszlásainak, vagy ugyanazon táj folteloszlásainak időbeli összehasonlítására.

Az eddigiekben minden metrika a szomszédsági kapcsolatok kétszeres összegzésén alapult, az **aggregációs index (AI: Aggregation Index)** esetében viszont az egyszerű összegzést kell alkalmazni. Az index a szomszédos megegyező pixelek összegének (egyszerű összegzés) és a lehetséges maximális szomszédos pixelek számának hányadosaként áll elő:

$$AI = \left[\frac{g_{ii}}{\max - g_{ii}} \right] \times 100$$

ahol g_{ii} : szomszédos megegyező pixelek összege i felszínborítottsági kategória esetében (egyszerű összegzéssel számítva); $\max - g_{ii}$: lehetséges maximális megegyező szomszédú pixelek száma.

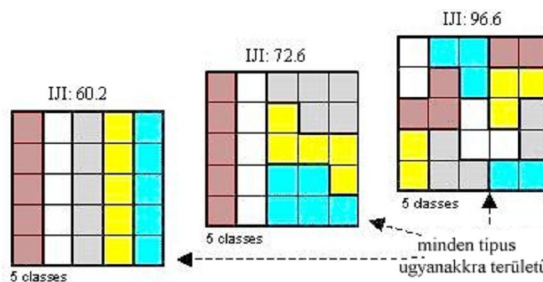
Ez a mérőszám nem veszi figyelembe a tájhatárt az összegzési módszerből adódóan még akkor sem, ha definiált, de ez mégsem okoz problémát, mert pl. a FRAGSTAS megkülönbözteti a belső és külső szomszédságot (belső: tájalkotó belső megegyező szomszédú cellák; külső: azon cellák között, amelyek a tájon belül vannak, illetve a határon helyezkednek el), és ezek közül csak a belső szomszédokkal dolgozik. Az előzőktől eltérően csak az ugyanabba az osztályba tartozó szomszédos pixeleket veszi figyelembe, a más osztályba tartozókat nem. Értéke 0, ha nincsenek ugyanolyan szomszédos pixelek (vagyis a foltok maximálisan szórtak) és 100, ha a foltok maximálisan aggregáltak.

A keveredési és egymásmellettségi index (IJI: Interspersion and Juxtaposition Index) nem a pixelek egymásmellettségét vizsgálja, hanem a foltokét, az egyetlen olyan mérőszám, ami határozottan a foltok térbeli konfigurációját veszi számításba. Minden folt esetében meghatározásra kerül a szomszédosság minden más foltípussal és azt méri, hogy mely foltípusok mennyire határosak a többivel, vagyis milyen mértékben vegyülnek a többi közé. Képlete:

$$IJI = \frac{- \sum_{i=1}^m \sum_{k=i+1}^m [(E_{ik}) \times \ln(E_{ik})]}{\ln\left(\frac{m(m-1)}{2}\right)}$$

ahol E_{ik} : i és k foltípusok közötti közös határvonal; m : osztályok száma.

Az IJI egy relatív mérőszám, mely százalékos formában adja meg az összevegyülés mértékét a foltípusok számából következő maximum arányában. Értéktartománya 0 és 100 közé esik: alacsony értékei azt mutatják, hogy a foltípusok aránytalanul szóródnak, elkülönülnek, nagy értékeket pedig a foltok keveredése eredményez. Maximális értéket akkor kapunk, ha minden folt érintkezik minden más foltípusba tartozó foltal. A 11. ábrán 3 terület 5 kategóriája látható, ahol csak a foltok elrendeződésében van különbség, az összterület és az osztályok területe állandó. Az első esetben a foltoknak csak 1, vagy 2 szomszédjuk van, a harmadik esetben pedig majdnem minden folt érintkezik mindegyik másikkal. Ez érződik az IJI értékén is: 60,2-ről 96,6-re emelkedik (EC-EEA Report 2000).



11. ábra. Az IJI értékei különböző pixelkombinációk mellett (Forrás: EC-EEA Report 2000)

Jaeger J. (2000) nevéhez fűződik három fragmentációval kapcsolatos tájmetriai mutató, melyeket a gyakorlati tájtervezésben is használnak: Degree of Landscape Division; Splitting Index és Effective Mesh Size. Ezek a mérőszámok abból indulnak ki, hogy két véletlenszerűen elhelyezkedő állatnak meghatározható valószínűsége van arra nézve, hogy ugyanabban a tájfoltban legyen a vizsgálati területen, ami a táj felosztottságának a függvénye. A két állat találkozásának lehetősége elengedhetetlen a faj fennmaradása szempontjából és erre annál kevesebb esély van, minél kisebbek izoláltabbak a foltok.

A táji felosztottság foka (DIVISION: Degree of landscape division, D), szoros összefüggésben van a *koherenciafokkal* (C). Ez utóbbi azt fejezi ki, hogy egy adott területen ugyanabban az időben két véletlenszerűen jelen lévő állat mekkora eséllyel találja meg egymást. Minél nagyobb a táj felszabdaltsága, annál kisebb a koherencia, vagyis az állatok találkozásának a valószínűsége így kisebb. Bár Jaeger definíciója állatokra vonatkozik, ugyanez igaz lehet növényekre is: minél kisebbek és egymástól távolibbak az élőhelyek, annál kisebb pl. beporzás esélye. E tanulmányban a FRAGSTATS által számított mutatókat határoztam meg, bár a metrikának meghatározásának létezik olyan változata, mely képes az antropogén lineáris elemeket (gátakat) is értékelni (vö. . fejezet, mozaikosság - fragmentáció). Meghatározásának módja:

$$C = \sum_{i=1}^n \left(\frac{A_i}{A_t} \right)^2$$

ahol n : foltszám; A_i : az i -edik folt mérete; A_t : teljes terület.

A felosztottság (D) ezzel szemben úgy definiálható, hogy mekkora a valószínűsége annak, hogy a vizsgálati területen véletlenszerűen elhelyezkedő két állat NEM ugyanazon a foltban található meg.

$$D = 1 - \sum_{i=1}^n \left(\frac{A_i}{A_t} \right)^2$$

A két tájmetriai mutató kifejezhető így is:

$$D = 1 - C, \text{ vagyis: } C + D = 1.$$

Az értékeket valószínűségként fejezzük ki, terjedelmük 0 (ha a táj egyetlen foltból áll) és 1 (ha táj felosztottsága maximális – a foltok mérete megegyezik a felbontással) közé esik.

A landscape splitting index (SPLIT) olyan egyforma méretű területek számát jelenti, amelyre az adott tájat fel kellene darabolni ahhoz, hogy az előző pontban definiált valószínűség ne változzon. Ez tehát azt jelenti, hogy a nagyon mozaikos tájakat nagyszámú egyenlő méretű kis darabra kellene felszabdálni. Az index képlete:

$$S = \frac{A_t^2}{\sum_{i=1}^n A_i^2}$$

és ugyanakkor:

$$S = \frac{1}{C} = \frac{1}{1-D}$$

Amikor $S = 1$, a táj egyetlen foltból áll. Értéke a táj felszabdaltságával növekszik, maximális értékét pedig akkor éri el, amikor a táj felszabdaltsága is maximális: ha minden folt mérete eléri az elemi cellák méretét.

A „lyukbőség”, vagy **hatékony hálósűrűség (MESH: Effective Mesh Size)** pedig az előző mérőszámban meghatározott egyforma méretű területek nagysága. Tehát maradva az eddigi példánál, egy nagyon mozaikos táj esetén a mesh size mérete kicsi. Az index képlete:

$$m_{eff} = \frac{A_t}{S} = \frac{1}{A_t} \sum_{i=1}^n A_i^2.$$

A kumulatív foltméret-eloszláson alapul és az S (Splitting Index) értékével elosztott összterület foltméreteként fejezzük ki. Ez a mutató is szoros összefüggésben van a D indexszel, de míg a D egy valószínűséget ad meg, addig az m_{eff} területben (hektárban) van kifejezve. A „lyuk” méretének alsó határa a felbontással egyezik meg, felső határa pedig akkor figyelhető meg, ha a táj egyetlen foltból áll.

Ezekkel a mutatókkal számos szakcikkben találkozhatunk, de a gyakorlatba is átültetett alkalmazása csak a *Jaeger* (2000) által kidolgozott metrikáknak van (bővebben lásd a . fejezetben). Több szerző (*Alberti et al.* 2007; *de Clercq et al.* 2007) keresett korrelációs kapcsolatot mért, vagy modellezett értékek és e mérőszámok között és ez alapján értékelte hasznosnak a felhasználásukat. Ezek alapján a PLADJ és az m_{eff} metrikák jól szerepeltek. *Cushman és mtsai* (2008) a metrikák egyediségét vizsgálták és az AI és IJI indexeket emelték ki a szomszédsági mérőszámok közül. A PLADJ, AI és IJI mutatók sajátos (pontosabban nem szokványos) alkalmazási területe az urbanizációkutatás: több időpontból származó távérzékelte adatokból nyert fedvények feldolgozása során a városodott (vagyis beépített) területek folytonosságát elemzik a segítségükkel (*Alberti*, 2007, 2008; *Hai – Yamaguchi*, 2007, 2008). A nem szokványos alkalmazások sorában külön meg kell említeni *Wang et al.* (2008) cikkét, melyben a talajerózió-intenzitás időbeli változásának a nyomon követésére alkalmazták ezeket az indexeket. A vizsgált objektumok eróziótérképek foltjai voltak, melyeknek az alakjával nem, csak a területével és térbeli konfigurációjukkal, azok időbeli változásával foglalkoztak. Táji funkciók (rekreáció, erózióval szembeni ellenállás, talajvíz regeneráció, biomassza) mintázatának értékelésére alkalmazták e metrikákat *Mezősi és szerzőtársai* (2008). Céljuk a területhasználati kockázatok feltárása volt, és eredményeik mellett a tájmetria ilyen irányú hasznosítását attól teszik függővé, hogy a táji funkciók változásai mennyire vetítődnek előre.

6. Izoláció és konnektivitás

A különböző mérőszámok bemutatása során több helyen utaltam arra, hogy adott metrika alkalmas a fragmentáció (vagy mozaikosság) jellemzésére, de ezek külön nem kerültek összesítésre. Azért sem, mert az élőhelyek mérete, a szegélyek hossza, a foltok száma, a belső zóna területe és még sok más mellett a most tárgyalásra kerülő izoláció és konnektivitás mérőszámai is alkalmasak a jellemzésére. Egy-egy mérőszám nem a legjobb indikátora a

fragmentációnak, mivel rendszerint szoros összefüggésben vannak egymással, ezért hasznosabb a több paramétert felhasználó mutatókat alkalmazni, hogy a foltok területi elrendeződésének a komplexitását is ki lehessen mutatni (Bogaert, 2003). Bissonette és Storch (2002) arra a következtetésre jutottak, hogy a fragmentációs mérőszámok általános következtetések levonását teszik lehetővé annak hatásainak sokváltozós volta, komplexitása miatt csaknem lehetetlen részletekbe menő eredményeket várni. Az egzaktabb eredményekhez többek között a tájban jelen lévő erőforrások időben változó mennyiségét, hozzáférhetőségét és minőségét is figyelembe kell venni (Bissonette – Storch, 2003).

Minél fragmentáltabbá válik egy táj (vagyis antropogén hatásra felszabdálódik), annál jobban nő a foltok izoláltsága és csökken a konnektivitás. Az antropogén tevékenységekkel összefüggő élőhelyvesztés (pl. természeti területek művelés alá vonása, erdőirtás, beépítés) szoros kapcsolatban van a tájak fragmentálódásával, aminek következménye a foltok növekvő izolációja és az „ökológiai” távolságok növekedése (Fahrig, 1997), mely számos faj eltűnésének a fő kiváltó oka (Sih et al. 2000). E folyamatnak hosszú távon hatása van a genetikai változatosságra is (génerózió). Megszűnik a génbeáramlás az izolált foltokba, ezzel növekszik a genetikai differenciálódás a kis területeken élő populációk egyedei között. A differenciálódás mértékéből közvetve következtetni lehet az izoláció mértékére (Lowe et al. 2005).

Debinski és Holt (2000) szigorú kiválasztási metódus alapján 20 fragmentációval foglalkozó tanulmány eredményét dolgozták fel. Megállapítják, hogy a fragmentáció következtében rendszerint csökken a fajok száma, megváltozik a fajok közti interakció, a kis fragmentumok élővilága lényegesen eltér a nagy területű foltokétól és a folyosók megnövelik az egyedsűrűséget egyes fajok esetében. Természetesen ezek nagy részének az ellenkezője is elmondható, ami csak azt bizonyítja, hogy az ökológiában sincsenek fekete és fehér tények, a folyamatok sokszínűsége miatt csak a publikált vizsgálatok száma növekszik, a szintetizáció pedig elmarad (Harrison – Bruna, 1999). Debinski és Holt (2000) munkája éppen szintetizáló jellegénél fogva értékes és az ellentétes irányú megfigyelésekre is keresi a választ. Lehetséges okként említi a rövid vizsgálati időszakokat: sokszor csak egy év, vagy évszak megfigyeléseinek eredményeit közlik a szerzők (a 20 tanulmányból mindössze 3 ölelt fel hosszabb időkeretet). A másik ok a vizsgálatok típusa: a kísérletes vizsgálatok esetében a költségek határozzák meg a kereteket, ami rendszerint kisebb terület kezelését teszi lehetővé rövid idő alatt sokszor nem is a legmegfelelőbb fajokkal; a megfigyelésen alapuló vizsgálatok hibája pedig az, hogy nincs kontrol, sokszor nincs mivel összevetni az eredményeket.

Az **izoláció számszerűsítésére** kidolgozott mérőszámok alapvetően a szigetbiográfia alapelveire épülnek (McGarigal – Marks, 2002), ám a szigetek esetében tapasztalt hatás a távolsággal összefüggésben – miszerint a távolabbi foltok kihalási rátája nagyobb (Forman – Godron, 1986) – szárazföldi körülmények között nem olyan nagy mértékű, mivel a mátrix átjárható (Kerényi, 2007), bár az átjárás során (pl. predáció miatti) egyedpusztulás is bekövetkezik (Fahrig, 2007). A fajmozgások tekintetében számos tényező befolyásolhatja a foltok közötti távolság szerepét: mekkora állatról van szó (a nagyobb állatok rendszerint nagyobb távolságok megtételére képesek), tud-e repülni, hajlandó-e egyáltalán belépni egy más típusú foltba (pl. egy erdőből hajlandó-e kilépni az állat egy nyílt gyepre), milyen a reprodukciós rátája, milyen az emigrációs aktivitása a foltból, mennyire érzékeny a zavarásra stb. A foltszegélyek gáthatásának mértéke, a foltok távolsága és a lineáris elemek jelenléte még fajon belül sem biztos, hogy egyetlen számmal leírható (Bever – Flather, 1999; Grimm – Storch, 2000; Flather – Bever, 2002).

A mutatók egy része euklideszi távolságokkal (a legrövidebb egyenes vonal hossza 2 pont között) számol, más része a legkisebb költségű útvonalat használja 2 folt távolságának a meghatározására (funkcionális távolság). Ez utóbbit gyakran alkalmazzák a geoinformatikában 2 pont közötti legrövidebb út hosszának (és útvonalának) a meghatározására úgy, hogy a térkép kategóriáit a mozgás szempontjából súlyozni kell (friction surface). Jelen esetben az adott faj szempontjából kell a súlyokat kiosztani, vagyis melyek azok a foltok, amelyekben még elképzelhető adott faj mozgása és melyekben nem.

A **közelségi index (PROX: Proximity Index)** folt szinten figyelembe veszi minden folt méretét és közelségét egy általunk meghatározott távolságban az adott folttól:

$$PROX = \sum_{s=1}^n \frac{a_{ijs}}{h_{ijs}^2}$$

ahol a_{ijs} : ijs foltok területe ij folttól való meghatározott távolságban (m); h_{ijs} : foltok közötti távolság (m)

Mivel nincs mértékegysége, az eredményeket nehéz interpretálni – inkább összehasonlító metrikaként alkalmazzák. A távolság megadásánál figyelembe kell venni, hogy a számítás alapja a cellaközéppont, vagyis pl. egy 30 méter felbontású raszter háló esetében megadott 50 méteres távolság valójában már 80 m! Ez a megállapítás minden más, a következőkben bemutatásra kerülő mutatóra is igaz.

A **legkisebb euklideszi távolságok (ENN: Euclidian Nearest-Neighbor Distance)** kiszámítása ettől egyszerűbb: ugyanazon folttípusba tartozó foltok euklideszi távolságát adja meg:

$$ENN = h_{ij}$$

ahol h_{ij} : ij folt távolsága a legközelebbi szomszédától.

A mutatót egyszerűségénél fogva gyakran alkalmazzák a foltok izolációjának a meghatározására.

A **legkisebb funkcionális távolság (FNN: Functional Nearest-Neighbor Distance)** mérőszáma abból indul ki, hogy a legkisebb euklideszi távolság nem egyezik meg az ökológiai távolsággal, vagyis azzal a távval, amit a fajok mozgásuk során tesznek meg. Ehhez a legkisebb költségű felületet kell definiálni, a fentiekben leírtaknak megfelelően: a nehezen átjárható foltokat nagy súllyal, a könnyen átjárhatókat kis súllyal kell ellátni és a program ebből tudja meghatározni a legrövidebb útvonalat.

Ezeknek a mérőszámoknak osztály és táj szinten nincs külön megfelelője, a folt szinten mért értékek statisztikai paramétereit (középértékek, szórás stb.) tudjuk kiszámítani.

Tischendorf és mtsai (2003) szimulációs kísérleteket végeztek hipotetikus generalista és specialista fajokra, céljuk az izolációs metrikákkal számolt eredmények ellenőrzése volt. Eszerint az izolációt és az immigrációt (fajbevándorlást) jobban becslik a terület-alapú mérőszámok, mint a távolság-alapúak. Összességében azonban nem adnak általános érvényű ajánlást egyik típusú metrika használatára sem, viszont kiemelik a mátrix-struktúra immigrációban betöltött szerepét a specialista fajok esetében, melyre ugyanakkor a generalista fajok kevésbé érzékenyek. Hasonló következtetésre jutottak *Bender és mtsai* (2003) is: a legközelebbi szomszéd

index (ENN) nem tükrözi megfelelően a foltokba történő bevándorlást, a terület-alapú közelségi index (PROX) viszont igen. Ők is megjegyzik a metrikák körültekintő használatának és a vizsgálatok folytatásának a szükségességét. A kritikai megállapítások igazak lehetnek, ám egymást nem erősítik, mivel az említett munkák ugyanazon a kutatócsoportban készültek (Carleton University, Ottawa). *Bastin et al.* (2002) a táj funkcionalitásának vizsgálata során ezzel ellentétesen azt tapasztalta, hogy a PROX nem tükrözi tökéletesen a vizsgált 4 terület terepi vizsgálatok alapján kapott sorrendjét (a területtel súlyozott közepes foltméret és lacunarity index [mely e munkában nem kerül ismertetésre] viszont igen). Ez persze nem azt jelenti, hogy a PROX mégsem jó indikátor, hanem azt, hogy erre a célra kevésbé alkalmas (és csak zárójelben jegyzem meg, hogy e mérőszám eredeti rendeltetése az izoláció számszerűsítése). E cikkben a táj funkcionalitásának besorolását a szerzők csak tényszerűen közlik, a meghatározás módszerét nem ismertetik, ami pedig elvárható lett volna, mivel ehhez méri a metrikák pontosságát.

A **táji konnektivitás** mérőszámai azt hivatottak számszerűsíteni, hogy a tájstruktúra segíti, vagy akadályozza az ökológiai folyamatokat (pl. állatok mozgása). A nagy tájfoltok antropogén eredetű (pl. utak építése) feldarabolódása csökkenti a konnektivitást, akadályozhatja a fajok áramlását. A számszerűsítés az eredmények interpretálása nem egyszerű feladat. Mi az, ami biztosítja a konnektivitást? Az, hogy a foltok egy bizonyos távolságon belül legyenek? Egy madár nem igényli, hogy élőhelyfoltjai érintkezzenek, viszonylag nagyobb távolságot is könnyedén átrepül. Egy kis hüllő, vagy kételtű állatnak viszont behatároltabbak a lehetőségei: nemcsak a távolság, hanem a foltok közötti mátrix jellege, minősége is számít. Nem lehet tehát egyetlen számmal kifejezni a konnektivitás mértékét, ehelyett fajspecifikus kalkulációkra van szükség. A fajok ilyen jellegű mozgásáról viszont sokszor kevés információ áll rendelkezésre, inkább tudunk mondani egy olyan távolságot, ahová az adott állat biztosan elmegy és ezzel az értékkel számolunk.

A **kohéziós index (COHESION: Patch Cohesion Index)** a folt típusok kapcsolatait fejezi ki. A számítás során a foltok kerületének összegét el kell osztani a foltok területének négyzetgyökének és kerületösszegének szorzatával, majd az eredményhez figyelembe kell venni az összterületet:

$$COHESION = \left[1 - \frac{\sum_{j=1}^n p_{ij}}{\sum_{j=1}^n p_{ij} \sqrt{a_{ij}}} \right] \left[1 - \frac{1}{\sqrt{A}} \right]^{-1} \times 100$$

ahol p_{ij} : ij folt kerülete (pixelszámban megadva); a_{ij} : ij folt területe (pixelszámban megadva); A : összes pixelszám a vizsgálat egységben.

Értékét százalékban fejezzük ki: 0-t akkor kapunk, ha a foltok kicsik és nem érintkeznek egymással, illetve az egész táj egyetlen foltból (helyesebben csak a mátrixból) áll, ha a foltok részaránya nő és kapcsolódnak is egymáshoz, a kohéziós érték növekszik.

Az **összekötöttségi index (CONNECT: Connectance Index)** esetében meg kell adni egy távolságot, amiről feltételezzük, hogy minimálisan szükséges a tájfoltok közötti funkcionális kapcsolatok meglétéhez. Az index a folt típuson (vagy tájon) belüli foltok kapcsolatait fejezi ki (a megadott távolságon belül érintkezik két folt vagy nem), mindezt az összes lehetséges kapcsolat arányában a foltszámhoz viszonyítva:

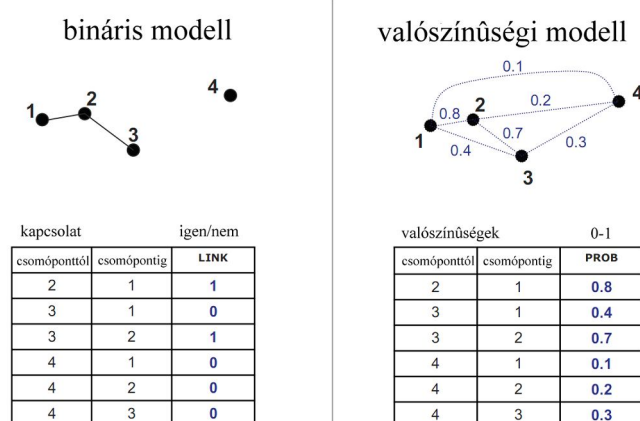
$$CONNECT = \left[\frac{\sum_{j \neq k}^n c_{ijk}}{\frac{n_i(n_i - 1)}{2}} \right] \times 100$$

ahol c_{ijk} : kapcsolódások j és k foltok között az általunk meghatározott küszöbérték függvényében i kategória esetében (0: nincs kapcsolat; 1: van kapcsolat); n_i : foltok száma a folttypusban.

A számítás alapját az euklideszi távolságok képezik. Ez esetben is százalékban kapjuk meg az eredményt, 0 az érték akkor, ha csak egyetlen foltja van a kategóriának, illetve ha minden folt kívül esik a megadott küszöbértéken, 100 pedig akkor, ha minden folt belül van a folttypusban a küszöbértéken.

E mérőszámok elméleti háttérétől eltérő modellt tételez fel a *Saura és Pascual-Hortal* (2007) által készített táji konnektivitást számító szoftver, a Conefor Sensinode 2.2 (a továbbiakban CS22) A tájfoltokat csomópontokként (nodes) értelmezve gráfelméleti alapokon kétféle módon számítja azok összekötöttségét.

- (1) Bináris modellt alkalmazva az eredmény szerint két csomópont (folt) vagy kapcsolatban van, vagy nincs, amit egy általunk meghatározott távolságon belül elemez a program. A keresési sugáron belül eső foltok kapcsolatban vannak, a többi ezen kívül esik (12. ábra). Ha van kapcsolat, az az élőlények foltok közötti mozgásának a potenciális lehetőségét jelenti. Ez a fajta kapcsolat nem veszi figyelembe azt, hogy milyen a kapcsolat erőssége, vagy a fajmozgás valószínűsége, realitása. A távolság lehet euklideszi, vagy legkisebb költség alapú.
- (2) A valószínűségi modell a foltok közötti kapcsolatokat az adott faj mozgásának a becsült erőssége, gyakorisága és realitása függvényében valószínűségként értelmezi (12. ábra). Ehhez használhatjuk a két folt euklideszi távolságát, illetve egy exponenciálisan csökkenő függvényt.



12. ábra. A bináris és valószínűségi modell a Conefor Sensinode programban (*Saura – Pascual-Hortal, 2007*)

A CS22 táj szinten határozza meg a metrikákat – szám szerint 9-et és mindegyik funkcionális kapcsolatot mér.

Bináris indexek

A legegyszerűbb mérőszám az **élőhelyfolt-kapcsolatok számának** a meghatározása (**NL: Number of Links**). Minél nagyobb a kapott szám, annál nagyobb a táji konnektivitás.

A **komponensek (összekötött régiók) száma** (**NC: Number of Components**) a csomópontok azon csoportja, ahol minden egyes folt pár összeköttetésben van. Nincs funkcionális kapcsolat a különböző komponensekhez tartozó foltok között, emellett egyetlen folt is képezhet komponenst. Minél több a kapcsolat a foltok között, annál kevesebb a komponensek száma.

A **Harary-index** kiszámítása már gráfelméleti alapon történik (*Jordan et al. 2003*), az eredményként kapott érték annál nagyobb, minél nagyobb a táji konnektivitás. Képlete:

$$H = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1, i \neq j}^n \frac{1}{nl_{ij}}$$

ahol n : összes foltszám; nl_{ij} : kapcsolatok száma i és j foltok között a legrövidebb útvonalon belül.

A **CCP (Class Coincidence Probability – osztály szintű találkozási valószínűség)** annak a valószínűségét fejezi ki, hogy az osztályon belüli élőhelyfoltokban véletlenszerűen kiválasztott 2 pont ugyanabba a komponensbe esik, másként közelítve: az élőhelyen belül 2 véletlenszerűen elhelyezkedő állat képes egymást megtalálni az adott folt hálózati tulajdonságai mellett. Képlete:

$$CCP = \sum_{i=1}^{NC} \left(\frac{c_i}{A_C} \right)^2$$

ahol NC : a komponensek száma a vizsgálati egységben; c_i : a komponenshez tartozó foltok attribútumának az összege (az attribútum a foltterület, vagy egy minőségi faktorról súlyozott foltterület, részletesebben lásd a IIC-indexnél); A_C : a vizsgálati egység összes foltjának az attribútumösszege. Értéktartománya 0 és 1 közötti.

Az **LCP (Landscape Coincidence Probability – táj szintű találkozási valószínűség)** annak a valószínűségét fejezi ki, hogy a tájban véletlenszerűen kiválasztott 2 pont ugyanabba a komponensbe esik. Vagyis a megközelítés annyiban tér az előzőtől, hogy itt a 2 pont elviekben bárhol lehet a vizsgálati egységben, élőhely és nem élőhely foltban is, a fajok találkozásához viszont mindkét pontnak egymással funkcionális kapcsolatban lévő foltban kell, hogy legyen.

$$LCP = \sum_{i=1}^{NC} \left(\frac{c_i}{A_L} \right)^2$$

ahol NC : a komponensek száma a vizsgálati egységben; c_i : a komponenshez tartozó foltok attribútumának az összege (az attribútum a foltterület, vagy egy minőségi faktorról súlyozott foltterület, részletesebben lásd a IIC-indexnél); A_L : a maximális tájattribútum (a magyarázatot lásd a PC-indexnél). Értéktartománya 0 és 1 közötti.

A CCP és LCP indexek értékei hasonlítanak *Jaeger* (2000) felosztottsági metrikáihoz, de amíg azok foltokból indulnak, ki addig itt komponensek adják az elemzés alapját (*Pascual-Hortal – Saura, 2006*).

A szoftverrel meghatározható legjobb bináris metrika az **integrált konnektivitási index (IIC: Integral Index of Connectivity)**:

$$IIC = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \frac{a_i \times a_j}{1 + nl_{ij}}}{A_L^2}$$

ahol n : az összes folt a tájban; a_i és a_j : i és j foltok attribútumai; nl_{ij} : kapcsolatok száma i és j foltok között a legrövidebb útvonalon belül; A_L : maximális tájattribútum.

A maximális tájattribútum (A_L) számítása során, mint tájfolt-tulajdonsággal számolhatunk a tájfoltok területével, vagy a terület egy általunk foltonként meghatározott minőségi faktorról (0-tól 100-ig) súlyozott értékével. Ha a területtel számolunk, akkor az A_L -érték megegyezik az összterülettel ($A_L=1$, ha a táj egyetlen foltból áll), ha a súlyozott területtel, akkor pedig a foltok súlyozott területének összegével.

A végeredmény 0 és 1 közé esik, a nagyobb értékek a táj nagyobb konnektivitását mutatják.

Valószínűségi indexek

A **fluxus (F: FLUX)** az összes a foltpárok kapcsolatainak az összegzett valószínűségét adja meg.

$$F = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1, i \neq 1}^n p_{ij}$$

ahol n : az összes folt a tájban; p_{ij} : a folthálózatból számított közvetlen fajmozgási valószínűségek.

Továbbfejlesztett változata a **területtel súlyozott fluxus (AWF: Area-weighted Flux)**:

$$F = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1, i \neq j}^n p_{ij} \times a_i \times a_j$$

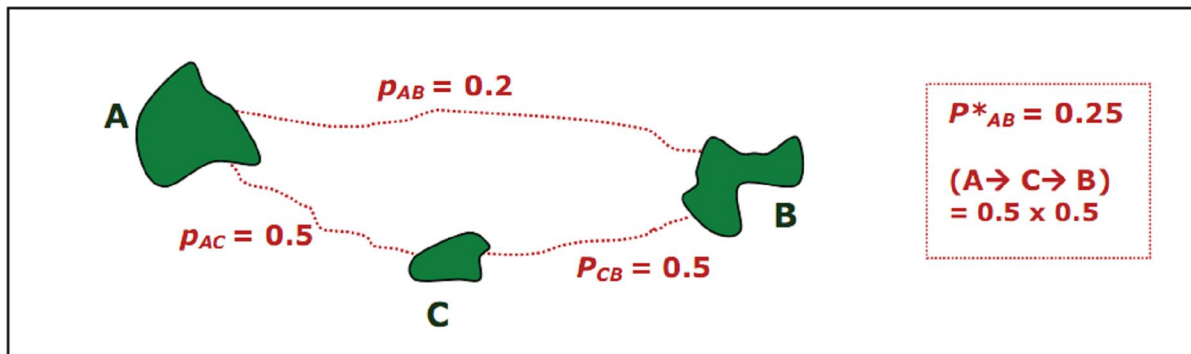
ahol n : az összes folt a tájban; p_{ij} : a folthálózatból számított közvetlen fajmozgási valószínűségek, a_i és a_j : i és j foltok leíró adata (mely lehet a területük, vagy a minőségi faktorról súlyozott területük).

A valószínűségi indexek közül *Saura és Pascual-Hortal* (2007) a **konnektivitási valószínűséget (PC: Probability of Connectivity)** tartja a legjobbnak, mely (véleményük szerint) jelentősen jobb és realisztikusabb eredményt ad a korábbiakhoz képest:

$$PC = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_i \times a_j \times p_{ij}^*}{A_L^2}$$

ahol n : az összes folt a tájban; p_{ij}^* : az i és j foltok közötti útvonalak közül a maximális valószínűségű, a_i és a_j : i és j foltok leíró adata (mely lehet a területük, vagy a minőségi faktorról súlyozott területük); A_L : maximális tájattribútum.

A foltok közti útvonalak lépésről lépésre állnak össze úgy, hogy egy foltot csak egyszer érintenek, a lépések pedig a foltok közötti direkt fajmozgást jelentik (más közbűlő foltok érintése nélkül). Egy útvonal valószínűsége a minden egyes lépéshez hozzárendelhető p_{ij} valószínűségekből áll össze. A maximális valószínűség (p_{ij}^*) az i és j foltok közötti lehetséges útvonalak közül a maximális valószínűségű. Eszerint ha 2 folt közel van egymáshoz, akkor $p_{ij}=p_{ij}^*$, ha viszont távol vannak, akkor előfordulhat, hogy a maximális valószínűség egy közbűlő folton keresztül érhető el (13. ábra).



13. ábra. A és B foltok közötti útvonalak valószínűsége. A legnagyobb valószínűségű útvonal nem a közvetlen út – mivel a foltok túl messze vannak –, hanem a C folton keresztül vezet: $p_{ij} < p_{ij}^*$ (Saura – Pascual-Hortal, 2007)

A mutató értéke 0 és 1 közé esik és a maximális értéket akkor éri el, ha az egész vizsgálati terület egyetlen nagy foltból áll.

Ezek a metrikák táj szintű mutatók, ugyanakkor **folt szinten** is meghatározásra kerülnek így a foltok konnektivitásban betöltött szerepét közvetlenül értékelhetjük, látva az adott folt jelentőségét a fajok mozgásában. Az egyedi foltok táji konnektivitásban betöltött fontosságát során százalékos értéként kapjuk meg:

$$dI\% = 100 \frac{I - I_{remove}}{I}$$

ahol I : adott tájszintű metrika minden folt figyelembevételével; I_{remove} : adott tájszintű metrika a folt eltávolítása esetén.

További előny, hogy a kalkulációt úgy is le lehet futtatni, hogy egy potenciális (tervezett) új élőhelyet helyezünk el a vizsgálati területen és a program kiszámolja, hogy ez mennyiben javítja a táji konnektivitást:

$$dI\% = 100 \frac{I_{add} - I}{I}$$

ahol I : adott tájszintű metrika minden folt figyelembevételével; I_{add} : adott tájszintű metrika a folt megléte esetén.

A kapott eredmény az NC metrika kivételével minden esetben annál kedvezőbb, minél nagyobb értéket kapunk. A százalékos értékek összege általános esetben 100-nál nagyobb (potenciális élőhelyek figyelembe vétele esetén 100). Annál nagyobb az eltérés, minél több kritikus folt van a vizsgálati egységben. Ilyen lehet például egy kulcsfontosságú lépegető kő (stepping stone) jellegű folt, aminek elvesztése akár a vizsgálati terület foltjainak két elkülönülő részre bontását okozza.

Saura és Pascual-Hortal (2007) az IIC és PC metrikákat ajánlják a konnektivitás meghatározására, mivel ez a két mutató tesz eleget a legtöbb kívánalomnak:

- könnyen interpretálható és független a vizsgált táj tulajdonságaitól – következőképpen alkalmas különböző tájak összehasonlítására;
- nem érzékenyek a pixelek átméretezésére;
- raszteres és vektoros adatokból is számíthatók;
- a fragmentáció növekedésével kisebb értéket kalkulál a konnektivitásra;
- negatívumként értékeli a foltok eltűnését;
- figyelembe veszi a foltok területét, a nagyobb területű foltok elvesztését nagyobb súllyal veszi számításba;
- képes felismerni a kulcsfontosságú (a konnektivitás szempontjából kritikus) foltokat;
- képes különbséget tenni a nem kulcsfontosságú foltok és kulcsfontosságú foltok elvesztése között.

További két szempontnak viszont már csak a PC mutató tesz eleget, melyek a következők:

- a foltok távolságának növekedésével kisebb értéket kalkulál a konnektivitásra;
- az eredményt nem befolyásolják a kapcsolódó foltok.

Watts és mtsai (2008) ökológiai szempontból értékelték a konnektivitás mérőszámainak a realitását és eredményeik szerint a legkisebb költségű útvonalon meghatározott folt-távolság és a gráfelméleti megközelítés adja a valósághoz legközelebbi kalkulációt.

2.1.4. Tájmétria a gyakorlatban

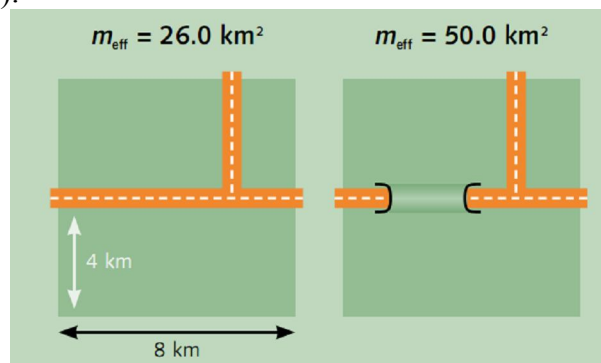
A tájmétria, de még a tágabb értelmű tájökológia hazai gyakorlati alkalmazására kevés példa van. Országos szinten a Nemzeti Ökológiai Hálózat (NECONET) elkészítése jelenti a mérföldkövet a tájökológiai alapelvek érvényesülésének, melynek tervezésekor hangsúlyt fektettek arra, hogy a védett területek rendszeréből kilépve jelöljék ki azokat a tájelemeket, amelyek biztosítják a természetes és természetközeli élőhelyek kapcsolatrendszerét. Ahhoz, hogy a biológiai sokféleség fennmaradjon, biztosítani kellett a védelem törvényi háttérét is, mely számos jogszabályba beépülve teljesült is (pl. 2003. évi XXVI. törvény az Országos Területrendezési Tervről [4., 9., 12., 13., 19. és 22. §-ok], 132/2003. XII. 11. OGY határozat a II. Nemzeti Környezetvédelmi Programról). Lokális szinten viszont megvalósult projektekről, melyeket tájmétriei alapon terveztek, nincs tudomásom. A felismerés szintjére egyre több szakterületen eljutottak (pl. Nyári, 2006), alkalmazási példák azonban még nincsenek.

Több példát találhatunk a tájmétriei vizsgálatok gyakorlatba való átültetésére Nyugat-Európában és az Egyesült Államokban. A következőkben néhány példán keresztül mutatom be metrikák gyakorlati alkalmazását.

A BEETLE (ESRI ArcView GIS modul) felhasználásával – mely a táji mintázatot vizsgálja adott faj igényei szempontjából – tervezte meg az erdőtelepítések helyét Skócia az erdészeti és természetvédelmi hivatala (Forestry Commission Scotland; Scottish Natural Heritage Scotland) úgy, hogy a táji konnektivitás biztosított legyen az erdőmaradványok között (Stone, 2007). A programban (Cairngorms Forest and Woodland Framework - CFWF, 1999) a sordély (*Miliaria calandra*) élőhelyét igyekeztek a tájökológiai alapelvek alapján megnövelni a helyi földtulajdonosok részvételével. A helyi gazdákat arra ösztönözték, hogy a program szerint kijelölt helyeken telepítsenek erdőt, felépítve a Skót-felföld ökológiai hálózatát. A program nem hozta meg a kívánt eredményt, melynek oka részben a rövid időkeret, részben pedig az, hogy a helyi gazdák érdeke sokszor nem az erdőtelepítés volt. Léptéket váltva helyi

szinten viszont sikeresen oldották meg két különálló, a Beinn Eighe Tájvédelmi Körzetben lévő erdőfolt összekapcsolását 20 ha erdő telepítésével. Ezen továbblépve, okulva a CFWF program sikertelenségén az Erdészeti Hivatal egy támogatási rendszert dolgozott ki azon gazdák részére, aki hajlandók az erdőtelepítésre. Nem azt mondták meg, hogy hová kellene erdőt telepíteni, hanem azt kérdezték, hogy hová szeretnék az erdőt telepíteni, majd a helyszínt letesztelték a konnektivitásban játszott szerepüket a BEETLE modellben. 5 hónap alatt 1,6 millió font támogatást osztottak ki, 400 ha új erdő ezzel együtt 41 tájökológiai folyosó létrehozásához, ami 8500 hektárnyi területet tett egységesebbé (Stone, 2007). A pénzzel, mint motivációs tényezővel és a gazdák saját elképzeléseinek a figyelembe vételével sikerült tehát jobbra tenni a környezetet a természetmegőrzés szempontjából és ez az, amire fel kellene figyelnie minden döntéshozónak.

A másik példa a Jaeger (2000) által kidolgozott MESH index gyakorlati alkalmazása. A német Föderációs Környezetvédelmi Ügynökség a hatékony hálósűrűség (m_{eff}) alapján adott ki ajánlásokat a fragmentáció csökkentésére. Eszerint a nagy élőhely-foltokat meg kell őrizni, vagy növelni kell a területüket és 2015-ig (a 2002-es alapállapotból kiindulva) le kell csökkenteni 1,9%-ra a 10 km²-nél kisebb, 2,4%-ra a 10-20 km²-es és 2,8%-ra a 20-35 km²-es hálósűrűségű területek (m_{eff}) arányát (Penn-Bressel, 2005). Ehhez például a közlekedési utak átalakítására (pl. a 14. ábrán látható módon), a városok területnövekedésének visszafogására és az eddigi határokon belüli fejlesztés ösztönzésére, valamint ennek a célnak alárendelt hosszú távú regionális területfejlesztési tervekre van szükség. A hatékony hálóméretet fogják alkalmazni a svájci Fenntartható Fejlődés Monitoring Rendszerében (Swiss Monitoring System of Sustainable Development - MONET) is, mint a kantonok ökológiai állapotát jellemző indikátort (Jaeger et al. 2008).



14. ábra. Ökológiai átjáró hatása a hatékony hálóméretre (m_{eff}) (Jaeger et al. 2007)

A hatékony hálóméret népszerűségét mutatja, hogy nemcsak Európában, hanem a jelek szerint az USA-ban is alkalmazni fogják a területi tervezésben: Kaliforniában a fragmentáció mérőszámként ad segítséget a (Jaeger et al. 2008b), melyet a szállítási útvonalak optimalizálásánál és természetvédelmi, tájvédelmi döntéseknél használnak fel. Mindezt a megváltozott szállítási szabályok indokolják: a tervezésben figyelembe kell venni az élővilág védelmét (Safe, Accountable, Flexible, Efficient Transportation Equity Act [SAFETEA-LU]). Eszerint már a szállítási pályák megépítése előtt azonosítani kell a lehetséges élőhely-szintű hatásokat, valamint ezek csökkentésének, illetve gyengítésének módját. A CALTRANS (California Department of Transportation), mint Kalifornia állam út- és vasútkezelője bízta meg a kutatócsoportot a hatáselemzéssel, így került előtérbe az m_{eff} mutató (Girvetz et al. 2007; Thorne, 2009).

Hazai viszonylatban Csorba (2005) készítette el az ország fragmentációs térképét a települések és közlekedési útvonalak súlyozott értékei alapján. A súlyozás újragondolása után na-

gyobb léptékben elkészítve a térkép alapját adhatná az országos szintű területi tervezésnek. Figyelemre méltó Tóth (2008) munkája, mely a meglévő és 2030-ig tervezett autópályák, valamint az ökológiai hálózat elemeinek viszonyát vizsgálja. A NECONET továbbfejlesztése, a nagyobb léptékű vizsgálatokon nyugvó, részletesebb tematikájú hálózat tervezésénél jó szolgálatot tehetne az ilyen jellegű munkák eredményeinek a beépítése a módszertanba. A régiós, vagy megyei szintű tervezéshez ettől persze részletesebb elemzésre (vagyis nem kistérszintű összesítésre) lenne szükség a fragmentáció tárgykörében, rámutatva a kritikus pontokra, ahol szükséges lenne a beavatkozás a szétaprózottság csökkentése érdekében.

3. ANYAG ÉS MÓDSZER

A dolgozat fő célja az, hogy a tájmetriai mérőszámok pusztá bemutatásán túl azok különböző körülmények közötti viselkedését is lássuk. Mit érnek a számok, ha nem tudjuk megmondani a különbséget az egymással korreláló, redundáns elemek között (amelyekről talán nem is, hogy közel ugyanazt írják le) és talán nem a legmegfelelőbbet választjuk ki az elemzéshez. A célnak alárendelten minden mérőszám-csoporthoz készítettem egy példaállományt, amin keresztül láthatjuk, hogy ha minden körülményt rögzítünk és csak egyetlen paramétert változtatunk, milyen hatást gyakorol az indexek értékére. Kiszámítottam a tájmetriai paramétereket és ezek kerülnek bemutatásra, értékelésre.

Bár a hagyományos tagolás szerint az módszertani részeknek teljes egészében ebben a fejezetben kellene megjelenniük, több részletet az eredmények fejezetben szerepeltetek. Ennek oka részben az, hogy így könnyebb a dolgozat kezelése (nem kell visszalapozni egy másik fejezethez), részben pedig az alkalmazott módszertan is eredménynek számít. Már meglévő matematikai statisztikai, geoinformatikai módszereket alkalmaztam az eddigiekben nem minden esetben megszokott, de indokolható célokra.

3.1. A terület-kerület és a magterületek mérőszámai

A terület és kerület mérőszámai esetében 10 db 4 hektáros alakzatra vonatkozó értékeket határoztam meg. Az alakzatok között számos szabályos is szerepel, illetve néhányat a CLC50 4 hektáros foltjaiból emeltem ki, kissé módosítva a területükön, azért hogy $4 \pm 0,02$ ha-os pontosságot lehessen elérni. Így a terület a rögzített paraméter, a kerület pedig az alak függvényében változó. A magterületek esetében ugyanezt az alapot használtam fel, mivel a belső és szegélyzóna aránya a foltalak függvénye és ez előzőekben alkalmazott alap ideális volt ehhez a vizsgálathoz is.

3.2. A szomszédosság mérőszámai

A mérőszámok viselkedésének illusztrálása végett egy 64 km^2 területű ($8 \text{ km} \times 8 \text{ km}$ négyzet), 1 km^2 -es cellákra osztott rácshálót alkalmaztam. Fontolóra kellett venni kellett venni azt, hogy hány kategóriát akarok alkalmazni és ehhez mi az ideális. Nem megfelelő rácsháló használatával nem lehet biztosítani az egyenlő mintaszámot kategóriánként (mely ez esetben ugyanakkora területet is jelent). 2, 3 és 4 kategória esetében készítettem el a „felszínborítottsági” kategóriák területi elrendeződését több szabályos és véletlenszerű formában. Az azonos mintaszám nem valósítható meg ugyanabban a rácshálóban 2, 4 és 3 kategória

esetén, ehhez a 3 kategória esetében $9 \text{ km} \times 9 \text{ km}$ -es, vagyis 81 km^2 -es hálót kellett alkalmazni. Ez előre vetíti azt, hogy nem lehetséges minden területi elrendezést minden kategória esetében ugyanúgy előállítani. A vizsgálatokat 100 m, 250 m, 500 m és 1 km-es felbontás mellett végeztem el, rámutatva a mérőszámok felbontásra és mintaszámra való érzékenységére.

3.3. A fragmentáció, izoláció és konnektivitás mérőszámai

A bemutatáshoz egy 102 km^2 -es területen helyeztem el különféle konfigurációban szabályos (kör alakú) foltokat. A legegyszerűbb állapot szerint 2 azonos kisméretű foltot helyeztem el, majd előbb a méretüket növeltem, utána a távolságukat, végül növeltem a foltok számát. Minden esetben megtartottam az előző állapot poligonjainak a területi elhelyezkedését és ehhez tettem újabb(ka)t. A kontroll alatt tartott változók a térbeli konfiguráció és a terület voltak, melyek mellett változtattam a keresési sugarat.

Saura (2009) három csoportja bontja a lehetséges konnektivitás-mérési módszereket:

- egyszerű mérőszámok (nearest neighbour, connectance index, patch cohesion – melyek könnyen számíthatók, de csak általános információval szolgálnak a tájanalízishez, a tervezési döntéstámogatásban nem használhatók);
- térbeli metapopulációs modellek (figyelembe veszi a fajok populációdinamikáját a születéstől a migrációs folyamatokon át a pusztulásig; hátránya a nagy adatigény – alapja az élőhely-térkép, melynek egyúttal döntő hatása van a kapott eredményre – Minor et al. 2008);
- gráfelméleti megközelítés (nem ad tájékoztatást populációdinamikai, demográfiai folyamatokról, de képes valódi térbeli mérőszámként megbecsülni az egyes foltok konnektivitásában betöltött szerepét).

E munkában az egyszerű mérőszámokat és a Saura – Pascal-hortal (2007) által kidolgozott metrikákat számítottam ki és hasonlítottam össze. Az alkalmazott mesterséges folt-hálózat nem alkalmas arra, hogy a faj szintű következtetéseket lehessen elvonni, de a cél nem is ez. A mérőszámok viselkedését szerettem volna tesztelni a bekövetkező változások (új folt(ok) keletkezése, vagy eltűnése; a folt területének változása) függvényében.

3.4. Statisztikai feldolgozás

A kapott adatokat matematikai statisztikai vizsgálatnak vetem alá. A vizsgálatokat a normalitás ellenőrzésével kezdem, Shapiro-Wilks próbával. Azon változók esetében, amelyek normál eloszlásúak ANOVA-t, ahol pedig ez a feltétel nem teljesül, ott Kruskal-Wallis, illetve Mann-Whitney próbát használok a csoportok közötti különbségek meghatározására (Zar, 1995).

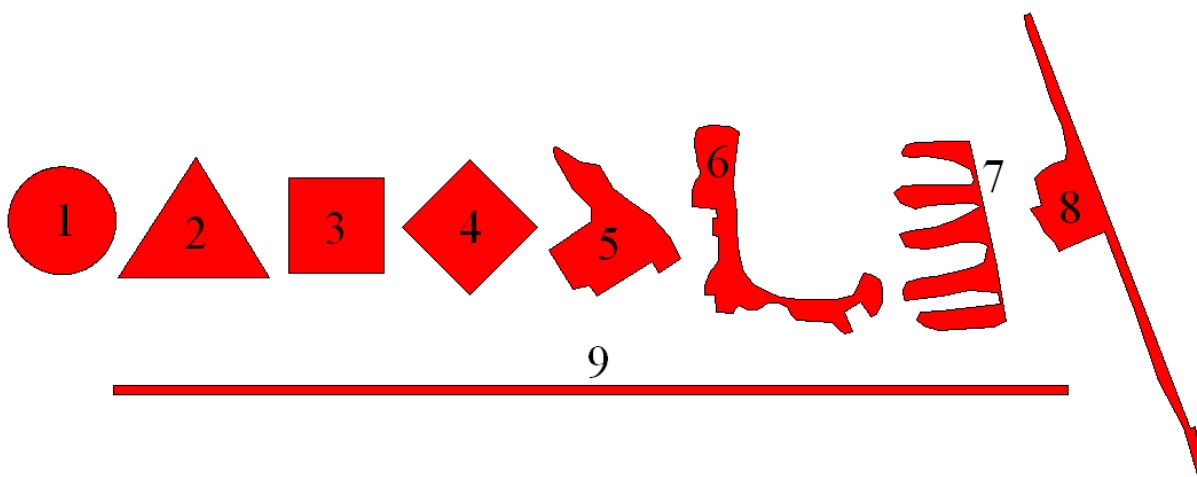
A mérőszámok értékeinek egyediségét diszkriminancia analízissel vizsgálom. Ezeket az egyes területi folt-, vagy pixel-elrendeződésekre számítottam ki, standardizáltam ($y = \log[x+1]$ Podani, 1997) és az így nyert adatokkal végeztem el a vizsgálatot. A diszkriminancia-analízis modellben való alkalmazás előtt korreláció vizsgálattal szűrtem ki az egymással szoros összefüggésben lévő változókat ($r > 0,7$ esetén a változók egyikét kizártam). A diszkriminancia analízis igen érzékeny a többváltozós normalitás feltételének teljesülésére, melynek ellenőrzésére és a kiugró adatok kiszűrésére a Mahalanobis-távolságokat használtam fel változókombinációként.

4. EREDMÉNYEK ÉS MEGVITATÁSUK

4.1. A terület és kerület mutatói

4.1.1. Általános jellemzés

Ezeket a metrikákat egy példán keresztül mutatom be, melynek során 4 hektáros poligonokat állítottam elő a szabályostól elindulva az amorf formákig (15. ábra). Segítségével világosan bemutatathatók a hasonlóságok és különbségek a mérőszámok között. A mutatók eredményeit az 1. táblázatban foglalom össze. Az eddigiekben tárgyalt metrikákon túl meghatároztam a poligonban meghúzható leghosszabb vonalat is (LSL: Longest Straight Line), mint a megnyúltság egy egyszerű és informatív mutatóját (Jennes, 2005). Az LSL kivételével (melyet ArcView GIS 3.2-ben számítottam ki) minden metrikát FRAGSTATS 3.3-ban határoztam meg 5 méteres felbontás mellett.



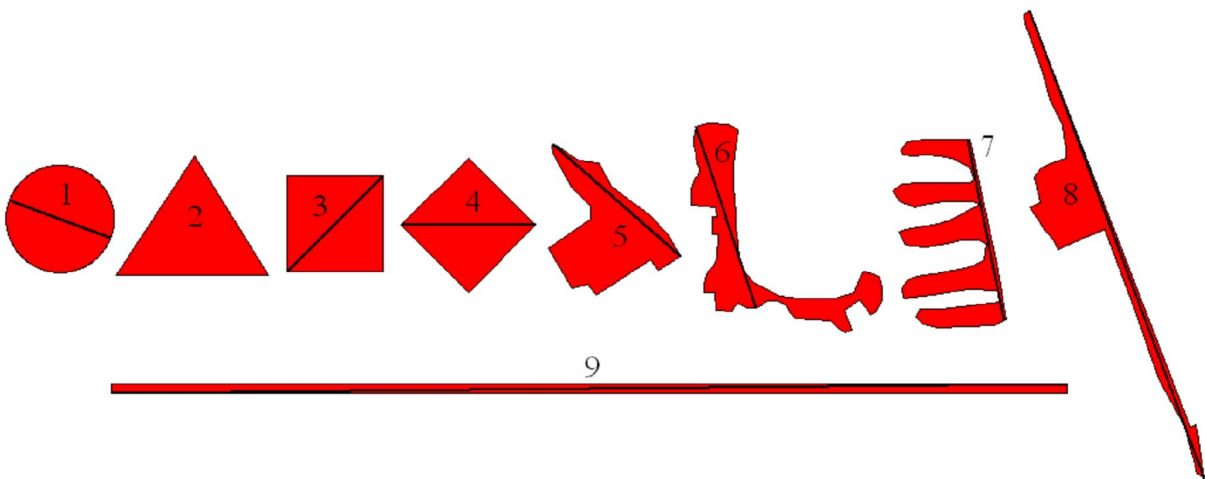
15. ábra. Azonos területű (4 ha) és különböző alakú foltok

1. táblázat. A 4 ha-os, különböző alakú foltok terület, kerület és alakmutatói (az ID-khez tartozó alakzatok a 15. ábrával megegyeznek)

ID	AREA (ha)	PERIM (m)	GYRATE (m)	PARA (-)	SHAPE (-)	FRAC (-)	CIRCLE (-)	CONTIG (-)	LSL (m)
1	4	910	75,23	227,5	1,1375	1,0243	0,0507	0,9677	226
2	4,0275	1130	81,69	280,57	1,3951	1,0645	0,4837	0,9599	318
3	4	800	76,50	200	1	1	0,3634	0,9669	283
4	3,99	1120	76,42	280,70	1,4	1,0638	0,3528	0,9648	283
5	4,005	1400	85,97	349,56	1,7284	1,1055	0,602	0,9527	354
6	4,01	2070	164,41	516,21	2,5556	1,1792	0,8279	0,9234	399
7	3,985	2670	118,57	670,01	3,3375	1,2279	0,7253	0,8978	387
8	4,0025	2950	169,39	737,04	3,642	1,2462	0,9531	0,894	1045
9	4	4040	500,09	1010	5,05	1,3056	0,9873	0,8319	2000

Az 1. táblázat kerület oszlopának kerület értékei nem meglepők: a legkisebb értéke a négyzetnek (ID=3) van, a legnagyobb az igen megnyúlt téglalapnak (ID=9) emellett minél komplexebb a forma, annál nagyobb a kerülete is. Ugyanakkor 910 m-es kerületet kalkulál a körnek, 709 helyett, vagyis csaknem 200 m-es hiba keletkezik az egyik legegyszerűbb formánál.

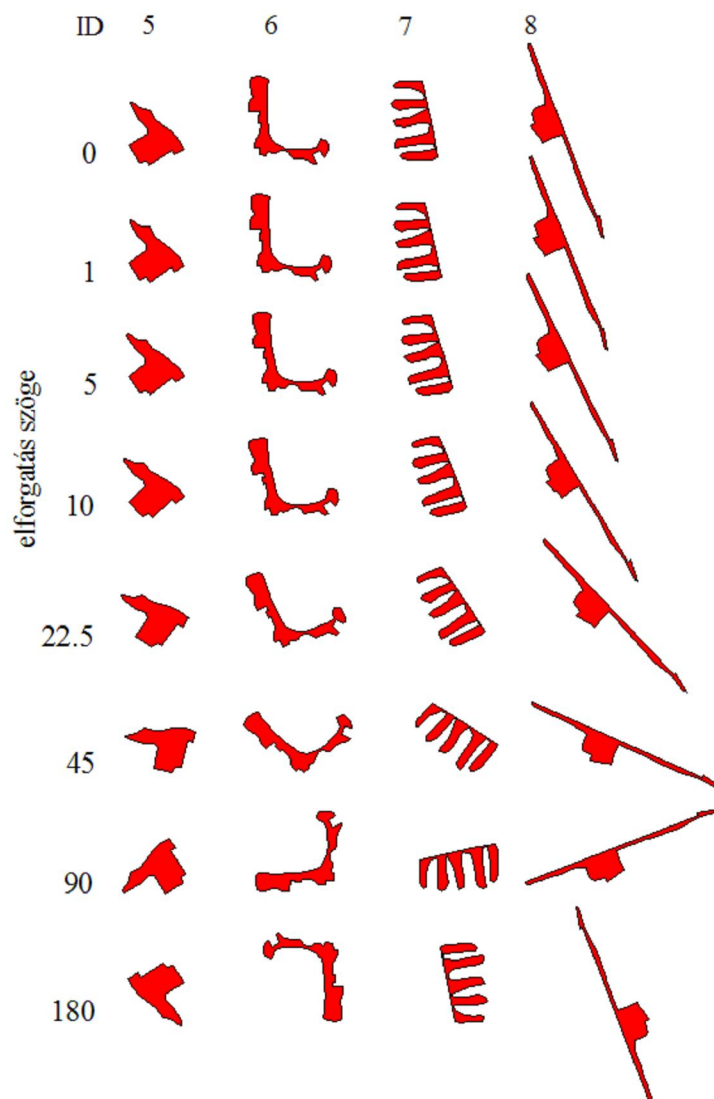
E metrika (sok másikkal együtt) hibázott a 45°-kal elforgatott négyzet esetében is: 800 helyett 1120 lett a kerület. A miertre a válasz a FRAGSTATS raszteres megközelítésében keresendő, a program nem az eredeti poligon területét, hanem a pixelek oldalhosszait határozza meg (Szabó – Túri, 2008). Mivel a poligonok területe állandó, a kerület-terület arány (PARA) is pontosan ugyanazt az eredményt adja, mint a kerület. Más a helyzet, ha a többi mérőszámot is megvizsgáljuk. A forgási sugár (GYRATE) csaknem megegyezik a körnél, a négyzetnél és az elforgatott négyzetnél, a szabályos háromszög térkitöltése viszont az előzőkhöz képest már nem kompakt, csaknem eléri az 5-össel jelzett formáét. Az ID=6 és 8 formák megjelenésükben igen eltérők, mégis minimális a köztük lévő különbség. Az alaki index (SHAPE) szintén a négyzetet hozza ki legkompaktabbnak (és ennek így is kell lennie, mert a pixeleket egy a poligonnal megegyező területű négyzetre vonatkoztatja – lásd 4.1.1 fejezet), azonban az elforgatott négyzet esetében jelentős hibát vét: 1,4-et ad eredményül, ami nem reális, tekintve, hogy még mindig négyzetről van szó. A sorrend itt is a kerülethez hasonlóan alakul. A közkedvelt fraktáldimenzió (FRAC) mutatója esetében szintén a négyzet a legkompaktabb, és az elforgatott négyzet értéke itt sem egyezik meg az eredmény a négyzettel: csaknem ugyanannyi, mint a szabályos háromszögnek. A sorrendiség a poligonformák összetettségével és a megnyúltságukkal függ össze leginkább. A legkisebb körülírható kör (CIRCLE) esetén tudva, hogy raszteres úton lett meghatározva az érték, nem meglepő, hogy az eredmény nem 0 (vektoros számítás esetén nullát kell kapnunk). Nagy értéket ad a háromszögre – összhangban más indexekkel – utalva térkitöltés nem legkompaktabb voltára. Jól közelíti a négyzetet és az elforgatott négyzetet, értékük alig különbözik. A szabálytalan formáknál leginkább a forgási sugárhoz hasonlítanak az eredmények. A szomszédsági index (CONTIG) értékei a változatos formák ellenére szűk tartományban szóródnak. A két négyzet között minimális ugyan a különbség, azonban kis különbség van az összes szabályos forma között is. A poligonon belüli leghosszabb vonal (LSL) sok esetben hasznos lehet, de oda kell figyelni a használatánál arra, hogy az elgörbülő formákon belül a vonal az összhosszhoz képest sokkal rövidebb lesz (16. ábra). Az egyenes formák esetében viszont a legjobb közelítést adja.



16. ábra. Leghosszabb vonal poligonokon belül

4.1.2. A poligonok elforgatásának hatása

Az elforgatott négyzet példáján látható tehát, hogy a poligonok térbeli helyzete általában befolyásolja a kapott eredményt, ezért a komplexebb formákkal is végeztem egy vizsgálatot ennek az igazolására: az 5, 6 és 8 jelű poligonokat forgattam el 1, 5, 10, 22,5, 45, 90 és 180 fokkal az alaphelyzethez képest (17. ábra).

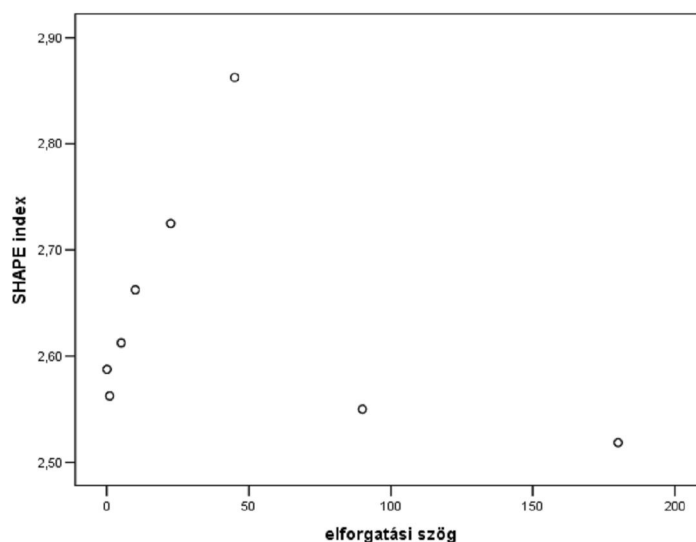


17. ábra. 4 hektáros objektumok különböző szögben elforgatva az alaphelyzethez (azimut=0°) képest

2. táblázat. Az elforgatott objektumok relatív szórásai

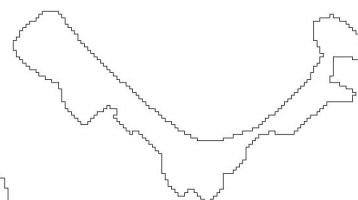
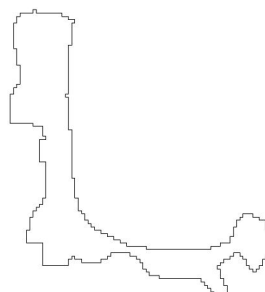
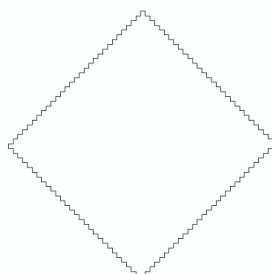
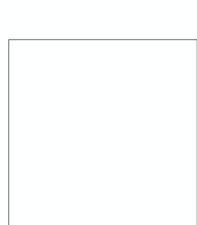
ID	AREA	PERIM	GYRATE	PARA	SHAPES	FRACS	CIRCLE	CONTIG
5	0,21	4,59	0,38	4,63	4,92	0,83	0,39	0,05
6	0,47	4,12	1,43	4,22	4,29	0,65	0,13	0,11
7	0,41	6,40	0,26	6,20	5,93	0,94	0,23	0,14
8	0,14	3,54	0,22	3,62	3,65	0,53	0,03	0,12

A várakozással ellentétben a relatív szórások nem kifejezetten nagyok (2. táblázat). A vizsgált paraméterek közül kiemelkedik a terület, a terület/terület és az alaki index értékeinek a szóródása. Mind a terület/terület, mind az alaki index felhasználja képletében a területet, így nem meglepő a kapott eredmény. A kerületszámítás problémáját raszteres környezetben már láttuk az elforgatott négyzet kapcsán és ez a hatás az összetettebb poligonok esetében még inkább felerősödik. Az alaki index példáján mutatom be az értékek változását a poligon alaphelyzetéhez (azimut=0°) képest bezárt szöggel (18. ábra).



18. ábra. Az alaki index és a poligon (ID=6) helyzetének kapcsolata a 6-os poligon példáján

A legnagyobb eltérések egy meredeken felívelő görbét rajzolnak ki a 45°-os szögig, ahonnan az eltérés a fő irányok (90 és 180°, melyeket azimutnak tekintve felfoghatunk a fő égtájaknak is) felé csökken. A fő irányokban a pixelek a legkevésbé rendeződnek át az alapállapothoz képest, így ott az eltérés is minimális, a 45°-os szög (vagyis a mellékégtájaknak megfelelően a 135, 225 és 315°-os szögek) viszont maximális átrendeződését okozzák a pixeleknek (az itt nem szerepeltetett 9-es poligon esetében a különbség már 1700 m!). Ez abban nyilvánul meg, hogy a határpixelek nem egy oldalukat mutatják kifelé, hanem 2-t, esetenként 3-at is (19. és 20. ábra), ami a kerületszámításnál hibát okoz – végigvezetve azt a többi mérőszámba is.



19. ábra. A négyzet kerülete alaphelyzetben (vektorosan és raszteresen is 800 m) és 45°-kal elforgatva (1120 m)

20. ábra. A 6-os számú poligon kerülete alaphelyzetben (vektoros formában: 1749, raszteresen: 2070 m) és 45°-kal elforgatva (2290 m)

Annál határozottabb a jelenség, minél több egyenes vonal van a poligonban, a görbe vonalak eleve pixelesen jelennek meg. Ez azt jelenti, hogy addig, amíg a görbe vonalaknak már a vektor-raszter konverzióánál más lesz a terület adata, mint vektorosan volt (20. ábra), addig az egyenes vonalakat is tartalmazó alakzatok esetében megvan az esély arra, hogy helyes területadatot kapjunk. Ez utóbbi kissé elméleti valószínűségű, mert a természetben igen ritkák a fő égtájak felé tájolt természetes elemek.

4.1.3. A poligonok méretének a hatása

Megvizsgáltam, hogy az poligonok nagysága mennyiben befolyásolja a kapott eredményt. A 2.1. fejezetben, az elméleti áttekintésnél már érintőlegesen láthattuk, hogy a méret sokszor

hatással van a mérőszámok értékére is, melyet most számszerűsíték. A 4 hektárt egységnyinek tekintve 0,5-(1)-2-4-8-16-szoros területű poligonokat állítottam elő. Első lépésben (1) megtartottam a terület/pixelszám arányt, azért hogy a felbontás ne befolyásolja a lehetséges különbségeket, második lépésben (2) pedig ugyanazzal az 5 méteres felbontással dolgoztam, mint a 4 hektáros kiindulási állománnyal.

- (1) Mivel a terület és kerület növekedését idéztem elő a művelettel, ezért mindkét érték növekedett – velük együtt természetesen változik a kerület/terület is. A forgási sugár (GYRATE) mértékegysége a méter, tehát ha egy objektum nagyobb, a forgási sugár értéke is nő. A fraktáldimenzió értéke 3-4%-os relatív szórást mutat, mely figyelembe véve, hogy szintén a terület és kerület a kiindulási alapja, azt mondhatjuk, hogy jól kezeli a méretbeli különbségeket. A többi mutató esetében tökéletesen megegyezik az eredmény (3. táblázat).

3. táblázat. A vizsgált formák tájmetriai mutatóinak átlaga és szórása 0,5-(1)-2-4-8-16-szoros nagyítás után azonos pixelszám mellett (a kiindulási állapot 4 ha területű)

ID	AREA	PERIM	GYRATE	PARA	SHAPES	FRACS	CIRCLE	CONTIG
1	227±402	4725±5337	395±446	147±166	1,11±0	1,02±0,01	0,05±0	0,98±0
2	226±400	5932±6701	426±481	186±210	1,41±0	1,05±0,01	0,49±0	0,96±0
3	227±402	4200±4744	401±453	131±148	1,00±0	1,00±0,00	0,34±0	0,97±0
4	222±393	5827±6583	398±449	186±210	1,39±0	1,05±0,01	0,36±0	0,96±0
5	227±401	7297±8243	450±508	228±258	1,73±0	1,09±0,02	0,59±0	0,95±0
6	226±400	10710±12098	863±975	335±379	2,55±0	1,15±0,03	0,83±0	0,92±0
7	227±402	14122±15953	624±705	440±497	3,32±0	1,19±0,02	0,72±0	0,89±0
8	227±402	15645±17673	887±1002	488±551	3,68±0	1,21±0,05	0,95±0	0,89±0
9	227±402	21210±23960	2625±2965	662±748	5,05±0	1,26±0,06	0,99±0	0,83±0

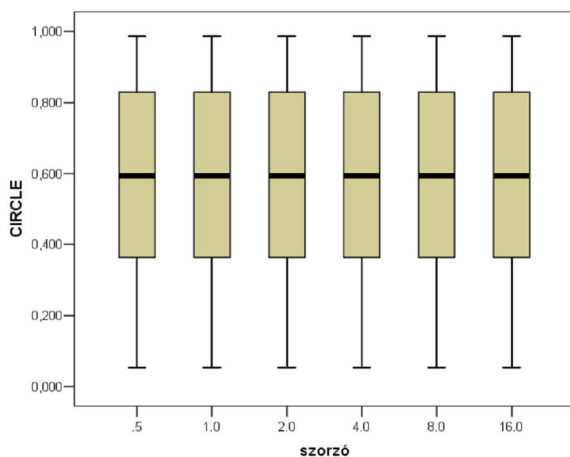
- (2) 5 méteres felbontást alkalmazva a pixelszám lényegesen megnő a nagyobb méretű változatok irányában, a méretet csökkentve viszont a 7-es számú poligon kettészakad, amit ezért kizártam a feldolgozásból a 0,5-szeres szorzó eredményeinek értékelésénél. Az előzőeknek megfelelően alakultak a terület, kerület, terület/kerület és a forgási sugár esetében. A fraktáldimenzió értékének itt 2% körüli a relatív szórása. A többi mutatóhoz képest viszonylag magas a szomszédsági index 5%-os relatív szóródása (4. táblázat).

4. táblázat. A vizsgált formák tájmetriai mutatóinak átlaga és szórása 0,5-(1)-2-4-8-16-szoros nagyítás után 5 méteres felbontás mellett (a kiindulási állapot 4 ha területű)

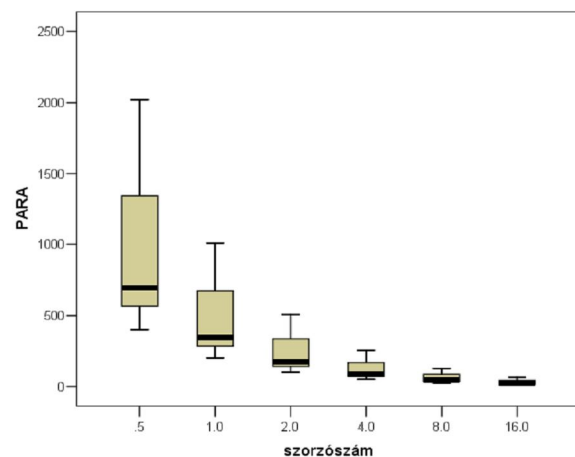
ID	AREA	PERIM	GYRATE	PARA	SHAPES	FRACS	CIRCLE	CONTIG
1	227±402	4741±5349	395±446	149±169	1,13±0	1,02±0,01	0,03±0	0,98±0,00
2	227±402	5968±6759	427±482	183±203	1,41±0	1,05±0,01	0,49±0	0,97±0,00
3	227±402	4200±4744	401±453	131±148	1,00±0	1,00±0,00	0,36±0	0,98±0,00
4	227±402	5925±6716	401±454	184±208	1,39±0	1,05±0,01	0,36±0	0,98±0,00
5	227±402	7345±8315	451±510	228±256	1,74±0	1,09±0,02	0,59±0	0,97±0,00
6	227±402	10820±12237	863±975	335±377	2,56±0	1,15±0,03	0,82±0	0,95±0,00
7	a kis felbontás miatt 2 db-ra esett, ezért a számításokból ki lett hagyva							
8	227±402	15655±17696	887±1003	490±556	3,71±0	1,21±0,05	0,95±0	0,92±0,01
9	227±402	21210±23960	2625±2966	662±748	5,05±0	1,26±0,06	0,99±0	0,83±0,12

Láthatjuk, hogy a SHAPE és CIRCLE mutatókat nem befolyásolja a terület növekedése (minden méretnél ugyanazt az eredményt kapjuk - 21. ábra), ami nem jelenti azt, hogy a többi nem használható fel az elemzések során, de tudatában kell lennünk ennek. A foltok kompaktságá-

nak összehasonlító vizsgálataiban kifejezetten ez a két mutató ajánlható, a gyakran alkalmazott kerület/terület esetében pedig a méretfüggőség tényét hangsúlyozom – ugyanazon forma nagyobb méretben kisebb kerület/területet eredményez (22. ábra).



21. ábra. A CIRCLE-index értékeinek szóródása különböző méretű objektumok esetén (egységnyi terület: 4 ha)



22. ábra. A kerület/terület értékeinek szóródása különböző méretű objektumok esetén (egységnyi terület: 4 ha)

4.1.4. Az kerület, terület és alaki mutatók korrelációja

A továbbiakban az adatokat statisztikai módszerekkel abból a szempontból is megvizsgáltam, hogy ezek a metrikák mennyiben adják ugyanazt a választ. Természetesen 9 elemtől nem várhatjuk el, hogy megcáfolhatatlan eredményeket adjunk, de a fő tendenciákat ez is mutatja (5. táblázat).

5. táblázat. A vizsgált formák tájmetriai mutatóinak korrelációja (N=9; $p < 0,05$)

	AREA	PERIM	GYRATE	PARA	SHAPES	FRACS	CIRCLE	CONTIG	LSL
AREA		-0,21	-0,06	-0,22	-0,22	-0,20	0,02	0,21	-0,06
PERIM	-0,21		0,86	1,00	1,00	0,98	0,87	-0,99	0,88
GYRATE	-0,06	0,86		0,86	0,86	0,76	0,67	-0,90	0,96
PARA	-0,22	1,00	0,86		1,00	0,98	0,87	-0,99	0,88
SHAPES	-0,22	1,00	0,86	1,00		0,98	0,87	-0,99	0,88
FRACS	-0,20	0,98	0,76	0,98	0,98		0,91	-0,95	0,78
CIRCLE	0,02	0,87	0,67	0,87	0,87	0,91		-0,84	0,70
CONTIG	0,21	-0,99	-0,90	-0,99	-0,99	-0,95	-0,84		-0,90
LSL	-0,06	0,88	0,96	0,88	0,88	0,78	0,70	-0,90	

A terület nem korrelál egyik mérőszámmal sem (azaz egyedi, ezért fontos információt szolgáltat a poligonokról), a kerület viszont mindegyikkel. A kerület és kerület/terület tökéletesen megegyezik (mivel a terület rögzített értékű), valamint az alaki index. Közel azonos ($r=0,98$, vagy $r=-0,98$) eredményt ad a kerület és a fraktáldimenzió, a kerület és az alaki index, a kerület és a szomszédsági index, az alaki mutató és a kerület/terület (itt már nem 1 a korreláció) és az alaki index és fraktáldimenzió. A vizsgálatok során eszerint tehát csökkenthetjük a kiszámítandó paraméterek számát, megkímélve magunkat a sokféle adat elemzésétől. A forgási sugár (GYRATE) és a legkisebb körülírható kör (CIRCLE) korrelál legkevésbé a többi mutatóval (de még így is legtöbbször igen szoros kapcsolatot mutatva), ezért ennek a mérőszámnak a használata javasolható a tájvizsgálatokban. Már csak azért is, mert a legkisebb hibát

vétette a négyzet és elforgatott négyzet között, és emellett jól mutatja a formák kompaktságát is. A leghosszabb vonal jól korrelál a többi mutatóval, azonban itt is van eltérés (ami itt egy jól belátható hibából ered), általános használata viszont csak nagy körütekintés mellett javasolható – jelen helyzetben hibás eredményt kaptunk.

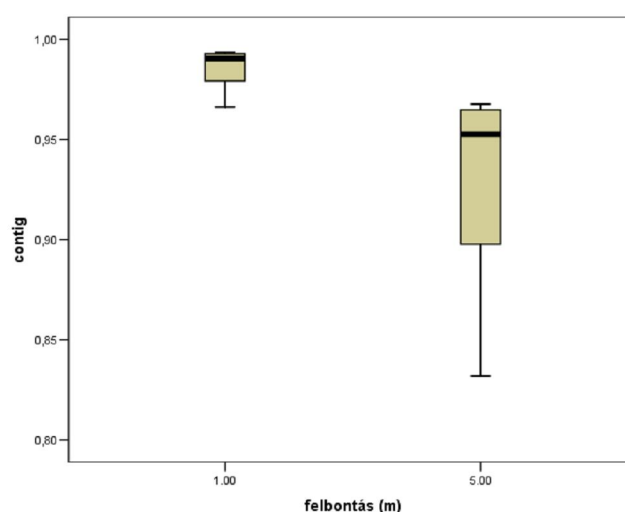
4.1.5. A felbontás szerepének a vizsgálata

Következő lépésben a pixelszám szerepét vizsgáltam meg. Célom nem az volt, hogy bebizonyítsam, hogy a durva felbontás más eredményeket produkál, hanem az, hogy kifejezetten a pixelszám változása okoz-e eltérést a számításokban, ezért az eddigiekben alkalmazott 5 méteres felbontás mellett a még nagyobb részletességű 1 méterest alkalmaztam (ami a számításoknál figyelembe vett pixelek számát az 5 méteres 25-szörösére emeli).

6. táblázat. A 4 ha-os, különböző alakú foltok terület, kerület és alakmutatói 1 méteres felbontás esetén (az ID-khez tartozó alakzatok a 15. ábrával megegyeznek)

ID	AREA (ha)	PERIM (m)	GYRATE (m)	PARA (-)	SHAPE (-)	FRAC (-)	CIRCLE (-)	CONTIG (-)
1	4,00	904	75,24	225,93	1,13	1,02	0,0115	0,9936
2	3,99	1136	81,31	284,54	1,42	1,06	0,4942	0,9918
3	4,00	800	76,52	200	1,00	1,00	0,3634	0,9933
4	4,00	1132	76,56	282,68	1,41	1,06	0,3634	0,9929
5	3,99	1398	85,89	349,51	1,75	1,11	0,5942	0,9905
6	4,00	2056	164,41	513,75	2,56	1,19	0,8264	0,9846
7	3,99	2716	118,78	679,35	3,39	1,23	0,7209	0,9793
8	3,99	2982	169,18	745,57	3,73	1,25	0,9533	0,9786
9	4,00	4040	500,10	1010	5,05	1,31	0,9873	0,9663

Az eredmények között (6. táblázat) számos kisebb-nagyobb különbséget találhatunk, de a Mann-Whitney-próba szerint csak a szomszédsági index (CONTIG) értéke tér el jelentősen ($p < 0,05$) az 5 métereshez képest. Az 1 méteres felbontásnál 9-ből 5 formára 2 tizedesjegyig egyező eredményt kapunk, az értékek különbségei már az 5 méteres felbontás esetén sem voltak nagyok, de itt – az 1 méteres felbontásnál – azonban a még szűkebb tartomány miatt már szignifikáns a különbség (23. ábra).



23. ábra. A szomszédsági index (CONTIG) értékeinek a szóródása

4.1.6. A mutatók egyediségének vizsgálata

A mutatók egyediségének vizsgálatához diszkriminancia analízist (DFA) végeztem. Bár a DFA többváltozós statisztikai módszer, egyetlen független változóval is le lehet futtani. Az alapfelgondolás az, hogy adott 9 különböző formájú poligon, melyekre kiszámítottam a tájmetriai mérőszámokat, és az a kérdés, hogy a kapott eredmények egyértelműen azonosítják-e a 9 poligont. Ahhoz, hogy meglegyen a kellő számú mintaelem, az 5 méteres felbontás mellett előállított különböző méretű poligonok adatit is felhasználtam a számításhoz.

Az eredmény szerint mindössze két tájmetriai mutató tudja azonosítani a poligonokat: a SHAPE és a CIRCLE. A SHAPE a szabályos háromszöget és az elforgatott négyzetet (7. táblázat), a CIRCLE pedig a négyzetet és az elforgatott négyzetet keverte össze, ami valójában nem hiba, mivel mindkettő ugyanaz a forma (8. táblázat).

7. táblázat. A DFA klasszifikációs mátrixa a SHAPE index esetében

		Becsült csoporttagság (%)									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	Összes
Eredeti csoport tagság (%)	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0	100
	2	0	83.33	0	16.66	0	0	0	0	0	100
	3	0	0	100	0	0	0	0	0	0	100
	4	0	50	0	50	0	0	0	0	0	100
	5	0	0	0	0	100	0	0	0	0	100
	6	0	0	0	0	0	100	0	0	0	100
	7	0	0	0	0	0	0	100	0	0	100
	8	0	0	0	0	0	0	0	100	0	100

8. táblázat. A DFA klasszifikációs mátrixa a CIRCLE index esetében

		Becsült csoporttagság (%)									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	Összes
Eredeti csoport tagság (%)	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0	100
	2	0	100	0	0	0	0	0	0	0	100
	3	0	0	100	0	0	0	0	0	0	100
	4	0	0	66.67	33.33	0	0	0	0	0	100
	5	0	0	0	0	100	0	0	0	0	100
	6	0	0	0	0	0	100	0	0	0	100
	7	0	0	0	0	0	0	100	0	0	100
	8	0	0	0	0	0	0	0	100	0	100

A többi esetben vagy nem volt szignifikáns az egyenlet és a metrika magyarázó ereje is igen kicsi volt, vagy csak ez utóbbi (pl. fraktáldimenzió).

4.1.7. Az alaki mutatók összefoglaló értékelése

Az összehasonlító vizsgálatokhoz egy olyan mérőszámra van szükségünk ami eleget tesz a következő feltételeknek:

- nem, vagy kevésbé befolyásolja a méret: SHAPE, CIRCLE;
- nem, vagy kevésbé befolyásolja a pixelszám AREA, PERIM, GYRATE, PARA, SHAPE, FRAC, CIRCLE;

- nem, vagy kevéssé befolyásolja az objektum tájoltsága (azimutja): GYRATE, FRAC, CIRCLE, CONTIG;
- egyedi, nem, vagy kevéssé korrelál a többi mérőszámmal: GYRATE, CIRCLE;
- egyértelműen csak 1 formára igaz az értéke: SHAPE, CIRCLE.

Összességében tehát két fontos következtetést tudunk levonni:

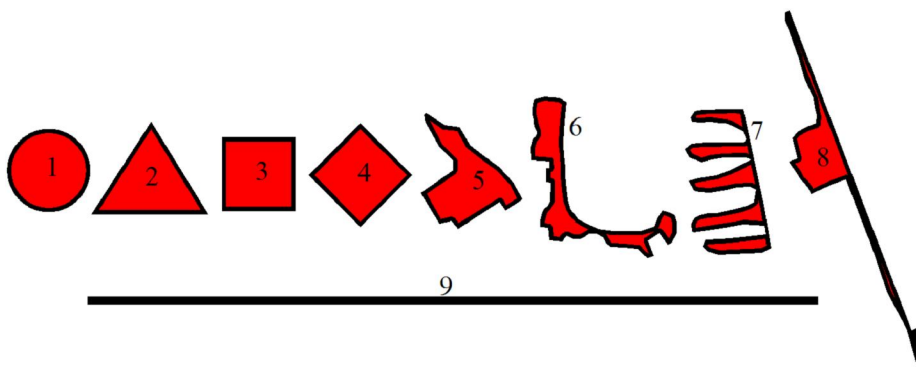
- az összes alakra utaló metrika legalább szoros korrelációs kapcsolatban van egymással;
- a CIRCLE az egyetlen mutató, aminek az értékét nem befolyásolja a poligon mérete, annak tájoltsága, pixelszám és legkevesbé korrelál a többivel és egy érték csak formára igaz.

A foltok alakmutatóit széles körben használják a foltok kompaktságának, így közvetve sérülékenységének a mérésére. *Csorba* (1989) a foltok kerület/terület arányát javasolja az öko-geográfiai stabilitás jellemzéséhez. Ez – mint láttuk – csak bizonyos megkötések mellett igaz (pl. azonos terület), mert a mérőszám értéke változik ugyanazon folt esetében is a mérettel, illetve eltérő alakú foltok esetében az arány megegyezhet. A foltalakkal kapcsolatban *Mezősi – Fejes* (2004b) munkája a legrészletesebb, melyben sorra veszik a táji indexeket és a fraktáldimenziót, valamint a referencia alakzathoz köthető indexeket emeli ki a tájökológiai hasznosíthatóság szempontjából. Későbbi munkájában (*Mezősi et al.* 2008) hasonló a dolgozatban szereplőhöz hasonló következtetésre jut, de nem a CIRCLE, hanem a SHAPE mutatót emelve ki a többi közül. Mint láttuk, a SHAPE a háromszöget és a négyzetet keverte össze, és a kerületmérés problémája is torzíthatja az értékét, ami persze nem jelenti azt, hogy az esetek nagy részében ne adna megfelelő eredményt (különösen akkor ha a felbontás megegyezik). *Leitão et al.* (2006) a SHAPE index felhasználását nem javasolja foltmorfológiai vizsgálatokban, mivel azonos kerületű és területű foltoknál megegyezhet az értékük. *Moser és mtsai* (2002) szoros korrelációt találtak az osztály szinten számított alak index (Mean Shape Index) és az edényes növények fajgazdagsága között. Számos további mutató létezik, melyek nem kerültek implementálásra a tájmetriai szoftverekbe, ismeretük viszont hozzájárulhatna a sérülékeny foltok azonosításához. Ilyen pl. a *Forman* (1995) által javasolt nyúltági és konvolúciós index. A nyúltság közelítésére a GYRATE a legalkalmasabb a dolgozatban is meghatározott metrikák közül: azonos méret esetén a nagyobb értékű folt a nyúltabb (*Leitão et al.* 2006). Ez hasznos információ lehet a morfometriai elemzéseknél, de szem előtt kell tartani az érték méretfüggőségét, az összehasonlítás nem egyértelmű – a természetben a foltok különböző méreteiük.

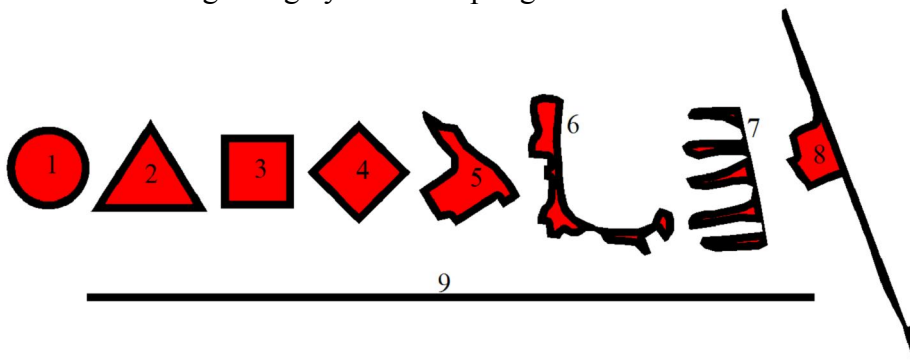
A szakirodalomban nem találtam utalást a CIRCLE értékelésére, vagy alkalmazására vonatkozóan. A vizsgálat során tapasztalt kedvező tulajdonságai miatt a használhatóságát további elemzésekre érdemes mutatónak tartom valós körülmények között, valós tájfoltokkal.

4.2. A magterület mérőszámai

A magterületek, mint a foltok belső zónáját alkotó térrészek tulajdonságai nagy mértékben függenek a szegélyzóna szélességétől. Az itt bemutatott példában (24. és 25. ábrák) a már korábbiakban is használt 4 ha-os poligonokat használtam fel 10 és 20 méter szélességű szegélyzónával.



24. ábra. 10 méter szélességű szegély a 4 ha-os poligonokban

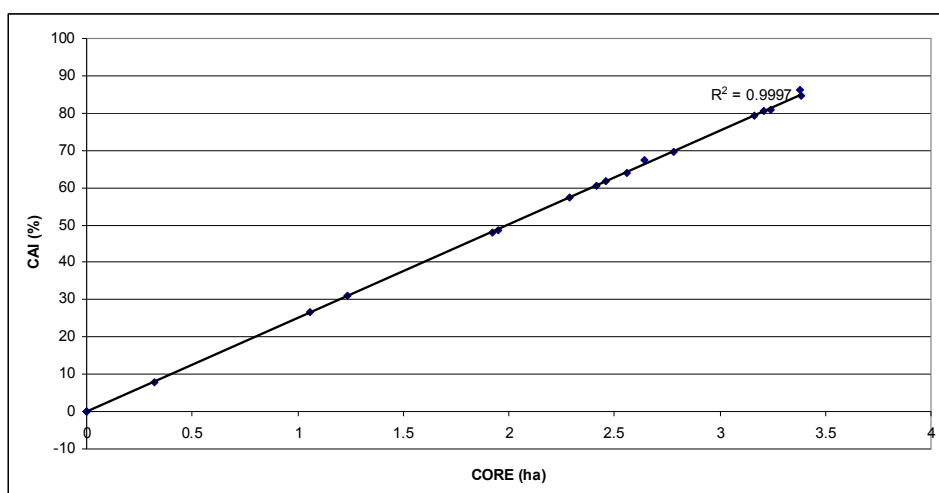


25. ábra. 20 méter szélességű szegély a 4 ha-os poligonokban

Folt szinten háromféle metrikát határozhatunk meg, melyeket a 9. táblázatban foglaltam össze. Ezeknél a mutatóknál is felmerül a raszteres elemzések problémája, így a belső területek szempontjából legkedvezőbb forma nem a kör, hanem a négyzet és a háromszög. Bár a szabályos foltok belső zónája (CORE) a legnagyobb, tájlesztéskailag éppen a merev, egyenes vonalú formák megszüntetése a cél (Csemez, 1996). A háromszög, négyzet alakú foltok határa persze lehet szabálytalan vonal is, ami megtöri az antropogén hatásra utaló jelleget (Mezősi – Fejes, 2004b). A legnagyobb belső területeket a szabályos alakzatoknál találjuk, de ez csak azért van, mert a szabálytalan foltok közül az 5-ös számú a legkompaktabb, aminek láthatóan van egy kiugró része. A magterület annál kisebb, minél összetettebb a forma, minél több fél-szigetszerű nyúlványa van. A belső zóna a folt területének százalékában kifejezve jelen esetben (amikor egységnyinek tekinthető a foltterület) tökéletesen megegyezik a magterülettel, csak standardizált formában (26. ábra). Természetesen ez a helyzet változik, ha a foltterület nem állandó, és ekkor csak ez a mérőszám alkalmas a különböző foltok belső területeinek az összehasonlítására (de Smith et al. 2006).

9. táblázat. A vizsgált formák magterületekre vonatkozó tájmetriai mutatói

ID	CORE (ha)		NCORE (db)		CAI (%)	
	10 m	20 m	10 m	20 m	10 m	20 m
1	3,38	2,78	1	1	84,51	69,46
2	3,21	2,46	1	1	80,49	61,79
3	3,24	2,56	1	1	81,00	64,00
4	3,38	2,64	1	1	86,22	67,47
5	3,16	2,29	1	1	79,17	57,22
6	2,41	1,06	2	5	60,60	26,53
7	1,92	0,32	5	10	48,06	7,99
8	1,95	1,24	19	1	48,72	30,92
9	0	0	0	0	0	0



26. ábra. A CAI és CORE összefüggése azonos méretű foltok esetén

A magterületek száma kompakt foltoknál megegyezik a foltok számával, azonban ha sok fél-szigetszerű nyúlványa van egy foltnak, ami ráadásul be is szűkül, akkor a magterületek száma egy folton belül több is lehet. Bár magterületként potenciálisan csak a belső területek funkcionálnak, ezek konnektivitását a szegélyek biztosíthatják. Sajátos problémaként jelentkezik a raszteres feldolgozás esetén az, hogy akár egyetlen pixel is önálló magterületként jelenik meg. Ezt kétféleképpen lehet kiküszöbölni: vagy finomabbra vesszük a felbontást, vagy vektoros állományból határozzuk meg az értékét.

Megvizsgáltam a kapott eredmények korrelációját a korábbiakban már kiszámított terület-kerület-alak paraméterekkel (a CAI-t ebből a számításból kihagytam a magterülettel való szoros korrelációja miatt). Az összefüggés ez esetben nem redundanciára utal, mivel a foltok szegélyszélességét mi magunk adjuk meg, így azok értéke nem következik a többi paraméterből. Ugyanakkor mivel az eredeti folthoz képest arányosan kisebb a magterület, ezért lesz szoros az alak mutatókkal is az összefüggés. Azonban a belső területek alakja a szabálytalan formák esetében jelentős módosuláson megy keresztül, így a korreláció mértéke annál kisebb, minél szélesebb szegéllyel dolgozunk. *Bücking* (2003) tanulmányában legalább 50 méteres szegély-zóna-szélességről ír, mely alapján az 1 hektáros foltoknak egyáltalán nincs magterülete (hasonló adatokat közel erre vonatkozóan *Murcia*, 1995). Esetünkben az 50 méteres szegély sok folt esetében olyan kicsi belső zónát eredményez, ami már túl kicsi ahhoz, hogy zavarásra érzékeny fajok is megéljenek bennük, illetve több folt esetében (pl. ID=8 és 9) nem reális.

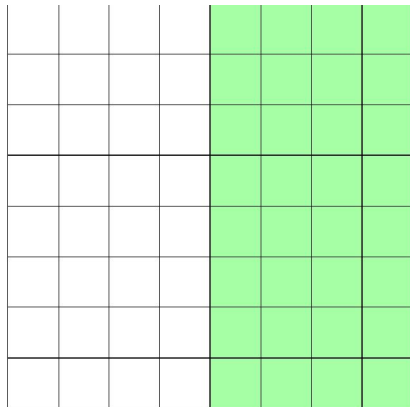
10. táblázat. A magterület korrelációja a terület-kerület-alak mutatókkal

	CORE	NCORE	CORE	NCORE
	10 m-es szegély		20 m-es szegély	
AREA	0,19	-0,09	0,27	-0,39
PERIM	-0,97	0,37	-0,94	0,19
GYRATE	-0,94	-0,02	-0,75	-0,16
PARA	-0,97	0,37	-0,94	0,19
SHAPE	-0,97	0,37	-0,94	0,19
FRAC	-0,91	0,43	-0,94	0,30
CIRCLE	-0,80	0,46	-0,85	0,22
CONTIG	0,99	-0,29	0,94	-0,17
DISTANCE	-0,92	0,21	-0,70	-0,27

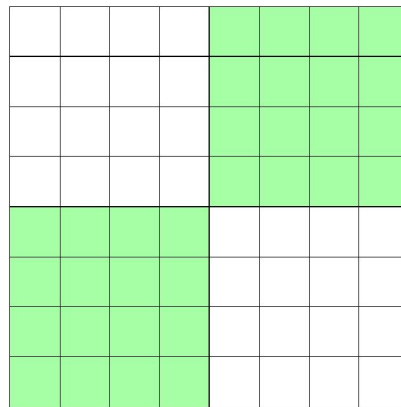
4.3. A szomszédosság mérőszámai

E mérőszámok osztály és táj szinten számíthatók, melyhez 2-3-4 kategóriát alkalmaztam 8×8-as rácshálóban. Az alkalmazott táji mintázatokat a 27., 30., 31. ábrákon mutatom be. Az eredmények bemutatása nehéz, mivel minden ábra egy-egy különálló állományt jelöl, ráadásul kategóriák szerint is megbontva, ezért a szövegekben összesített táblázatokat mutatok be, és ahol szükséges, bemutatom az eredeti adatokat is.

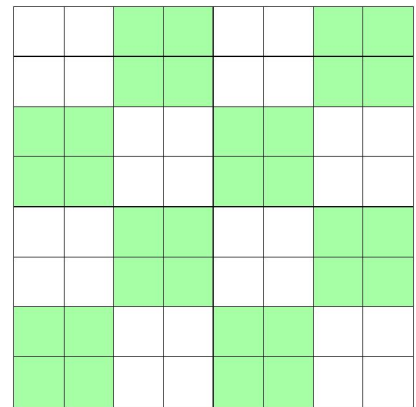
4.3.1. Általános jellemzés



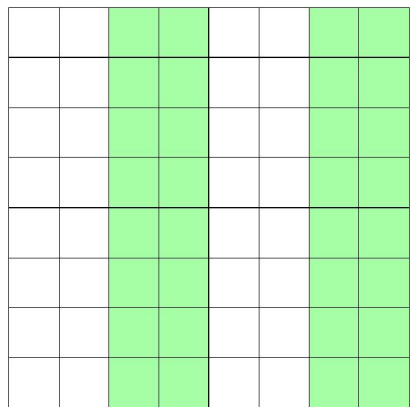
a



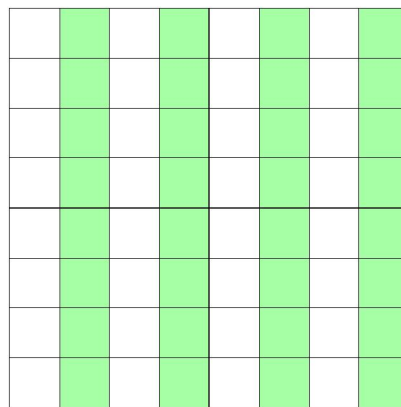
b



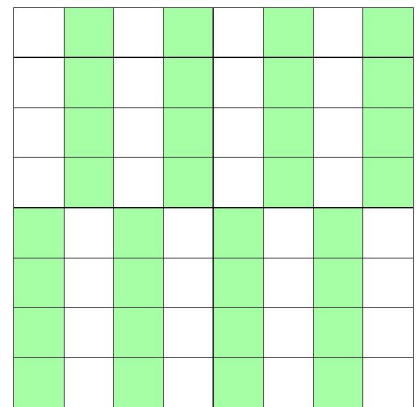
c



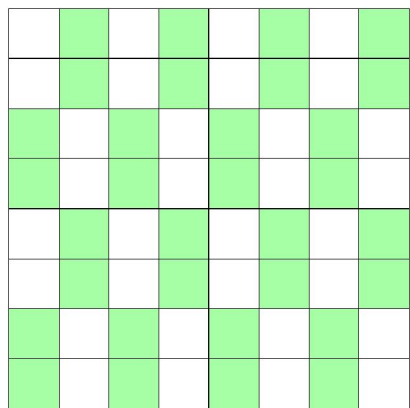
d



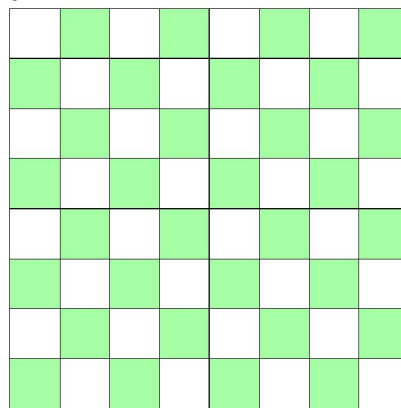
e



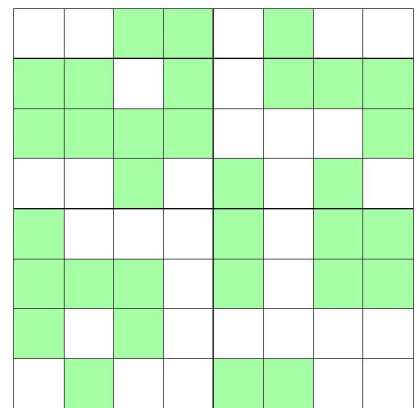
f



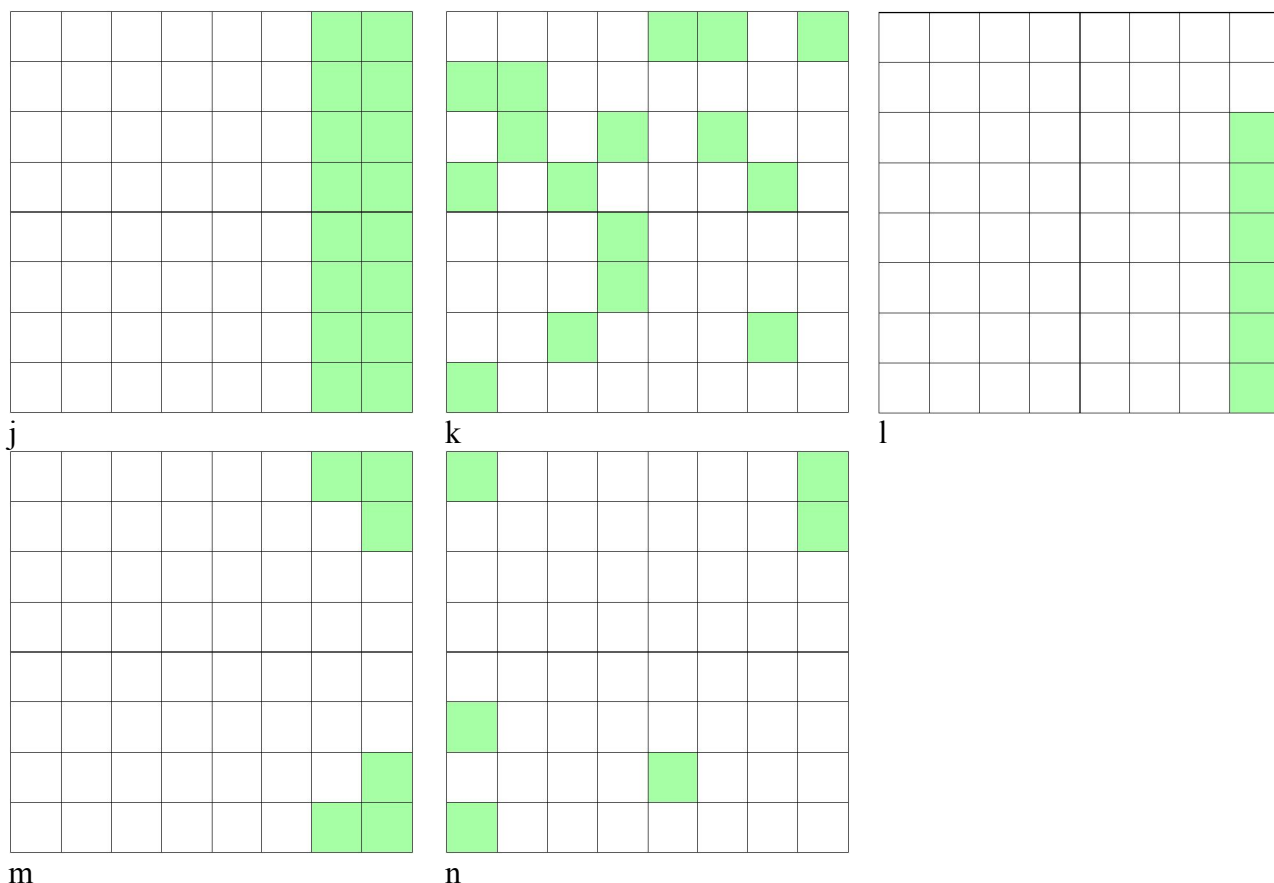
g



h



i



27. ábra. Területi mintázatok 2 kategória esetén (a-i: minden kategória ugyanakkora területű; j-k: 75-25% részesedés a területből; l-n: 90-10% részesedés a területből)

11. táblázat. A szomszédsági mérőszámok középértéke egyenlő területű kategóriák és 1000 m felbontás esetén

		CLUMPY	PLADJ	IJI	DIVISION	MESH	SPLIT	AI
1	átlag	0,20	48,61	-	0,81	1244,44	7,11	67,30
	szórás	0,60	24,56	-	0,09	545,69	5,21	21,65
2	átlag	0,20	48,61	-	0,81	1244,44	7,11	67,30
	szórás	0,60	24,56	-	0,09	545,69	5,21	21,65

12. táblázat. A szomszédsági mérőszámok középértéke nem egyenlő területű kategóriák és 1000 m felbontás esetén

		CLUMPY	PLADJ	IJI	DIVISION	MESH	SPLIT	AI
1	átlag	0,61	74,05	-	0,37	4007,55	2,19	86,70
	szórás	0,50	18,91	-	0,26	1649,28	1,86	20,82
2	átlag	0,31	34,75	-	0,96	270,57	153,39	50,82
	szórás	0,46	22,29	-	0,06	377,21	193,89	30,47

13. táblázat. A szomszédsági mérőszámok középértéke egyenlő területű kategóriák és 100 m felbontás esetén

		CLUMPY	PLADJ	IJI	DIVISION	MESH	SPLIT	AI
1	átlag	0,95	95,94	-	0,80	1266,67	6,67	97,68
	szórás	0,04	1,80	-	0,08	531,66	4,84	1,83
2	átlag	0,95	95,94	-	0,80	1266,67	6,67	97,68
	szórás	0,04	1,80	-	0,08	531,66	4,84	1,83

14. táblázat. A szomszédsági mérőszámok középértéke nem egyenlő területű kategóriák és 100 m felbontás esetén

		CLUMPY	PLADJ	IJI	DIVISION	MESH	SPLIT	AI
1	átlag	0,71	84,62	-	0,47	3405,66	2,64	98,16
	szórás	0,69	34,27	-	0,28	1784,66	1,78	2,37
2	átlag	0,70	81,67	-	0,91	602,93	116,05	96,20
	szórás	0,69	33,05	-	0,11	693,08	177,86	2,17

A továbbiakban 1000 méteres és 100 méteres felbontás mellett elemzem a vizsgált mérőszámokat. Azokban az esetekben, amikor a kétféle felbontás között jelentős különbséget találunk a levonható következtetéseket is két oszlopba rendeztem.

1000 méteres felbontás esetén a különböző területi konfigurációjú, de egyenlő területű kategóriák tájmetriai paramétereinek értékei jelentősen különböznek egymástól. Ezt bizonyítják a 11. táblázat adatai is: a szórásértékek elérik az átlagok legalább harmadát (kivéve a DIVISION), de akár meg is haladják azokat (CLUMPY).

100 méteres felbontás esetén a 13. táblázat adatai azt mutatják, hogy az egyenlő területű kategóriák értékei között minimális, ha pedig mindez szabályos elrendeződéssel párosul, akkor lényegében nincs is különbség. Ezt bizonyítja a középértékek és a szórások egyezése.

Az egyes mérőszámok esetében a két kategóriára számított értékek között egyáltalán nincs különbség, ha a részesedésük az összterületből megegyezik és az elrendeződés szabályos.

Az értékek egyediek, az elrendeződések aggregáltságának és felosztottságának függvényében változnak. A CLUMPY, PLADJ és AI jól mutatják az *a-b-c-g-h* és a *d-e-f-g-h* elrendeződések egyre szórtaabb konfigurációját, értékük egyre csökken. A PLADJ esetében pl. az *a-b-c-g-h* sorrend 81,25-75-50-43,75-37,5-0%.

Az elrendeződés mindegyik index értékét befolyásolja többé-kevésbé, az 1000 méteres felbontáshoz hasonló megállapításokat tehetünk, azonban az értékek szóródása sokkal kisebb. A PLADJ példáján bemutatva az *a-b-c-g-h* értékeket láthatjuk, hogy a pixelek átrendeződéséhez képest indokolatlanul kicsik a különbségek: sorrendben 98,1-97,5-95-92,5-0%.

Több mutató értéke közelíti a véletlenszerű és nem egyenlő elemszámú kategóriák esetében kapottakat (CLUMPY, PLADJ, AI), vagyis a pixelszomszédok elve alapján történő számítás magában hordozza azt a hibát, hogy összekeveredik a kategória által elfoglalt területből és a térbeli konfigurációból adódó különbségekkel (12. és 14. táblázat). A magyarázatok keresésénél az 1000 m-es felbontásnál kapott értékek könnyebben értelmezhetők, mint a 100 méteres elbontású egymáshoz igen közel eső mutatói: ha egy teljesen eltérő elrendeződés közel ugyanolyan értéket produkál, nem könnyű rájönni arra, hogy miért fordulhat elő az, hogy pl. a PLADJ esetében a szabályos *e* és a véletlenszerű *i* miért egyezik meg majdnem a 2. kategóriánál. A CLUMPY a 100 méteres felbontásnál csak pozitív értékeket ad, míg a valós állapot az, hogy a teljesen szórt elrendezés (egyedi pixelek) esetében (*h*) értéke -1,00, amit az 1000 méteres felbontásnál meg is kapunk.

A CLUMPY értéke az *a* elrendezésben, ahol szimmetrikus elrendezésben 2 foltot alkotnak a kategóriák, 1,00 mindkét kategóriára vonatkozóan, az *l* elrendezésben, pedig

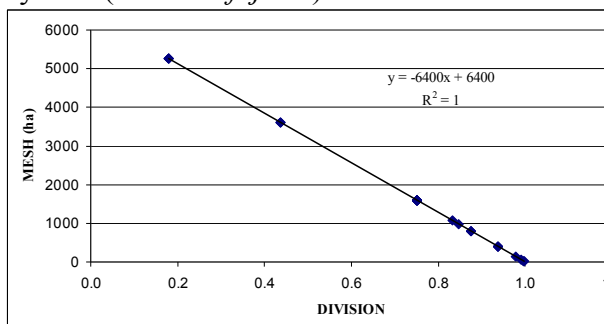
A CLUMPY értéke a 27/a ábrán – ahol a két kategória maximálisan aggregált és egyenlő területű –, mindkét kategóriánál 0,9981, a 27/m ábrán pedig a területnek mindössze

ahol a területi arány 90-10%, 1 (1. kategória) és 0,68 (2. kategória). Ha megnézzük az *m* elrendezést is, láthatjuk, hogy a 2. kategória értéke már csak 0,53. A PLADJ és az AI mutatók esetében is markáns különbségeket látunk. A PLADJ esetében 81,25-81,25-ről (a) 86,20-41,66 –ra (*l*), illetve 86,20-33,33 –ra (*m*) csökkennek az értékek.

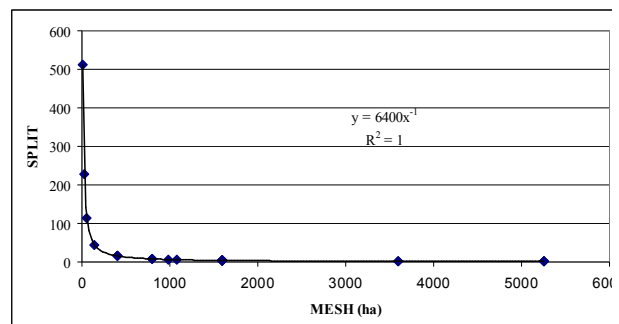
10%-át foglalja el a 2. kategória, ráadásul 2 részre szakadva és az érték 0,9935 és 0,9703. Ugyanez a két konfiguráció a PLADJ esetében sorrendben 98 és 98% (1. és 2. kategória), valamint 98 és 93% (1. és 2. kategória).

A két felbontás tehát olyan különbséget ad, amik eredményei közül a 100 méteres nem hozza ki a valós állapotokat, az aggregálság túlbecsült. Különbségek ugyan vannak, de maga az érték rosszul számított, így nem is fogadható el. Az 1000 méteres felbontásnál láthatjuk meg azt, amit a szakirodalom is leír (McGarigal – Marks, 1994).

A DIVISION, a MESH és a SPLIT indexek nem felbontásfüggők – azaz mindkét felbontásnál azonos eredményt kapunk –, nem a pixelek kerületével és azok szomszédsági viszonyaival kalkulál, így számítási hibák sem terhelik. A DIVISION index sokkal pontosabban adja vissza a különbségeket: a 27/a ábránál 0,75 és 0,75, a 27/m ábránál 0,17 és 0,99. Míg tehát a CLUMPY és PLADJ teljesen megegyezőnek tűnteti fel az 50 és 90%-os jelenlétű 1. kategóriát, addig a DIVISION már képes különbségeket tenni. (Ugyanakkor azt sem szabad elfelejteni, hogy e három index felosztottságot, a CLUMPY, PLADJ és AI pedig aggregálságot mér; a felosztottsági mutatók nem képesek aggregálságot mérni.) A 0,17 arra utal, hogy a kategóriát alkotó pixelek egy tömbben vannak, míg a 0,99 kifejezetten az egyedi pixelek megjelenését jelzi. A MESH és a SPLIT mutatók a DIVISION mutatóval megegyező eredményt adnak más mértékegységben (28. és 29. ábrák). Meghatározásuk ismeretének függvényében (lásd 2.3. fejezet) nem is várhatunk mást.



28. ábra. A DIVISION és a MESH indexek kapcsolata (a 6400 a 8 x 8-as rácsháló területe hektárban megadva)



29. ábra. A MESH és SPLIT indexek kapcsolata

Az 27/a-c és f-h ábrákon látható térbeli elrendeződéseknél minden esetben ugyanannyit kapunk a MESH értékére mind az 1000 és mind a 100 méteres felbontásnál, aminek oka a szomszédos pixelek 8 (azaz a fő és mellék) irányban történő keresése. A szoftver úgy értelmezi a diagonálisan érintkező pixeleket is, mintha azok teljes felületükkel érintkeznének, azaz a fajmozgásnak ebben a megközelítésben nincs gátja. Ezt minden vizsgálatban nekünk kell eldöntenünk, hogy milyen állatfajról van szó és vajon az adott faj is egy foltnak tekintendő-e, hajlandó-e átmenni a másikba. Azt is figyelembe kell venni, hogy ez egy fiktív helyzet, valós helyzetben nem ennyire sarkosan alakul 2 szomszédos pixel kapcsolata, a mostani 1 és 100 ha-os pixelméret helyett nem is ritkán akár 0,25-5 m²-t is alkalmazhatunk (légifotók, nagyfelbontású műholdfelvételek alkalmazása esetén), aminél ez a probléma fel sem merül. A tervezési gyakorlatban a MESH index alkalmazására számos példát találhatunk (lásd később, . fejezet).

A 27/i ábrán látható elrendeződés az egyetlen, amelynél a mintaszám a két kategória között megegyezik, és véletlenszerű az elrendeződés, és itt fordul elő először, hogy a két kategóriára számított mérőszámok nem egyeznek meg. Az 1. kategória (8 irányú keresés esetén) 3 csoportban helyezkedik el, amiből a legnagyobb terület 27 pixelnyi, a 2. kategóriában 4 csoportra különülnek a pixelek, és 13 pixel területű a legnagyobb foltja. Eszerint az 1. kategória elrendeződését jobbnak ítéldhetjük, mint a másodikét. Az eredmények értelmezésekor ne feledjük, ezek az indexek nem ugyanarról tájékoztatnak. A DIVISION, a MESH és a SPLIT helyesen adják meg azt, hogy az 1. kategória pixelei átjárhatóbbak, szomszédsági viszonyai kedveznek annak, hogy „a területen véletlenszerűen elhelyezkedő 2 állat találkozhasson” (~ mennyire átjárhatók a foltok, *Jaeger*, 2000), a PLADJ és a CLUMPY indexek pedig arról tájékoztatnak, hogy a foltok alakja kompaktabb, a pixelek közel esnek egymáshoz. A 2. kategória aggregáltabb, mivel az 1. kategóriával szomszédos celláinak a száma eggyel kevesebb, mint fordítva. Ne feledjük: az ugyanazzal a kategóriával határos pixelek egyszeres, a másik kategóriába tartozók kétszeres szorzót kapnak mindkét metrika esetében. Az AI index minden pixelnél 1-szeres szorzót alkalmaz, más a számítás módja is, a végeredményben azonban nincs különbség, itt is a 2. kategória az aggregáltabb.

Amikor a kategóriák már nem ugyanakkora területet foglalnak el (j - n elrendezés), merül fel az a kérdés, hogy mennyire tükrözik a kapott eredmények a pixelek aggregáltságát és a mennyiségi viszonyokat. Az előzőkben már láthattunk erre néhány példát az egyenlő területű konfigurációkkal való összehasonlításban, most viszont kifejezetten a nem egyenlő területű elrendezéseken belüli aggregált és véletlenszerű párosításokat hasonlítom össze.

A j (75-25%, aggregált elrendezés) – k (75-25%, random elrendezés) párosításnál minden mutató jól teljesített. Az aggregáltsági mutatók értékei csökkentek a véletlenszerű elrendeződésnél mindkét kategória esetében, a táj átjárhatóságára utaló DIVISION, MESH, SPLIT indexeknél pedig az 1. kategória értékei nem változtak, a 2. kategóriáé viszont – mely a területen szinte egyedi cellákra bontva szóródott szét – igen. Az aggregáltság szempontjából a véletlenszerű elrendezés számít az 1. kategóriában is, az átjárhatóság, felosztottság szempontjából viszont nem lényegi a változás. A 2. kategória értékei minden metrikánál a várakozásoknak megfelelően kedvezőtlenebb állapotot mutattak.

Az l (90-10%, aggregált elrendezés) – m (90-10%, a 2. kategória két egyenlő területű foltban) – n (90-10%, random elrendezés) csoportnál lehetőség van a finomabb különbségek vizsgálatára is.

A DIVISION (és vele együtt a MESH és SPLIT is) jól mutatja a táji felosztottság növekedését a 2. kategória pixeleinek a fokozatos szétszakadásával: 0,9912 (l)-0,9956 (m)-0,9980 (n). A hálóméret (MESH) pedig 56-28-12 ha-ra csökken jelezve, hogy nem mindegy, milyen a pixelek kapcsolatrendszere.

1000 méteres felbontás esetén a különbségeket megmutatják a CLUMPY, PLADJ és AI mutatók is az aggregáltság szempontjából. A CLUMPY értéke az l - m - n konfigurációnál a 2. kategória esetén sorrendben 0,68-0,55-0,05. A véletlen elrendezés (n) tehát igen jelentősen meghatározza a mutató értékét,

100 méteres felbontás mellett a CLUMPY, PLADJ és AI mutatókat nehéz értelmezni amiatt, hogy a 27/ k ábrán látható elrendeződés (2. kategória 25%-os részesedése, random elrendezése) alacsonyabb értéket ad (pl: CLUMPY=0,9145), mint az n ábra konfigurációja – a 2. kategória szempontjából –

kimutatva az 1. kategória aggregáltságának változását is. Értelmezési gondokat okoz viszont az, hogy a metrika szerint a k és n (mint 2 véletlenszerű elrendezés, 75-25% és 90-10% részesedéssel) közül a k szórtabbnak látszik, aminek okozója az n két egymás melletti pixele (tehát 6-ból 2). Relatív aggregáltabb, mint a k , ahol 7 pixel kapcsolódik az oldalával egymáshoz (ez alkotja a számlálót), a szomszédos pixelek száma pedig 20 és 46. A PLADJ és az AI esetében az $l-m-n$ és a $k-l$ elrendezések között is indokolhatók a különbségek.

2 kategória esetében az IJI mutató nem kerül kiszámításra.

láthatóan rosszabb konfigurációja (10%-os részesedés, véletlenszerű, CLUMPY=0,9415). Ugyanez 1000 m felbontással szépen elkülönül: Ennek oka a mintaszámban és a cellák kapcsolataiban keresendő.

Táj szinten hasonló tendenciát figyelhetünk meg az egyes metrikák esetében, mint osztály szinten. Ezek az értékek minden osztály (jelen esetben csak 2) tulajdonságát figyelembe vételel kerülnek kiszámításra, és ahol a kategóriák között kis különbségeket tapasztaltunk osztály szinten, ott táj szinten is hasonló lesz az eredmény. Legszembetűnőbb különbség, hogy táj szinten nem számítunk csoportosultsági indexet (CLUMPY), viszont már meg tudjuk határozni a CONTAGION-t. A 100 méteres felbontású állományokból számított metrikák táj szinten is félrevezetők: a CONTAGION, a PLADJ és AI indexek meglehetősen túlbecsültek, viszont a DIVISION, MESH és SPLIT indexeket itt sem befolyásolja a felbontás (16. táblázat). Az 1000 méteres felbontás eredményei alapján tudjuk jellemezni a 2 kategóriából álló térbeli konfigurációkat (15. táblázat). Kedvező az, ahol a pixelek aggregáltak és legkevésbé felosztottak – van összeköttetés közöttük. A CONTAGION akkor érné el a maximális értékét, ha minden pixel ugyanolyan típusú lenne (l , m elrendezések), így nem biztos, hogy ez egyben tájökölógiai szempontból is ideális. Ha nincs, vagy csak elenyésző számú a fő irányokban kapcsolódó pixelek száma, akkor pedig a minimális értéket közelíti (c , e , f , i elrendezések). Megítélésénél tehát vigyázni kell, mert a legjobb térbeli elrendezésre csak a vizsgált ökológiai folyamat függvényében lehet választ adni.

15. táblázat. Táj szintű tájmetriai paraméterek 2 kategória és 1000 méteres felbontás alkalmazása esetén

	CONTAGION	PLADJ	IJI	DIVISION	MESH	SPLIT	AI
a	31.44	81.25	-	0.50	3200	2.00	100.00
b	20.42	75.00	-	0.50	3200	2.00	92.31
c	0.74	50.00	-	0.50	3200	2.00	61.54
d	12.52	68.75	-	0.75	1600	4.00	84.62
e	0.00	43.75	-	0.88	800	8.00	53.85
f	0.74	37.50	-	0.50	3200	2.00	46.15
g	6.84	25.00	-	0.50	3200	2.00	30.77
h	50.00	0.00	-	0.50	3200	2.00	0.00
i	0.13	42.19	-	0.68	2059	3.11	51.91
j	41.52	81.25	-	0.38	4000	1.60	97.92
k	19.67	50.00	-	0.42	3743	1.71	59.04
l	63.32	82.03	-	0.17	5312	1.20	97.32
m	62.21	81.25	-	0.17	5284	1.21	95.98
n	58.89	76.56	-	0.18	5268	1.21	89.25

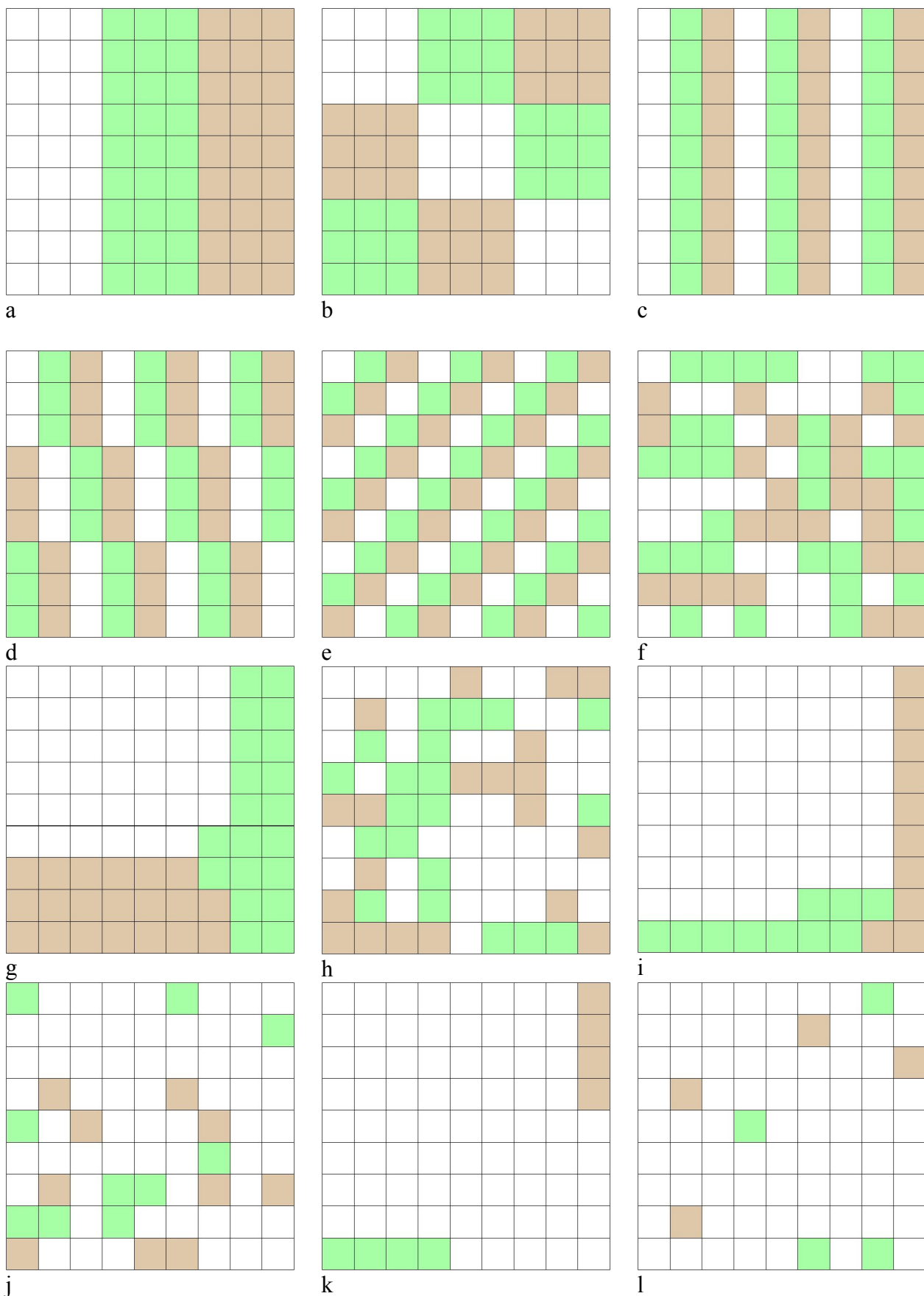
16. táblázat. Táj szintű tájmetriai paraméterek 2 kategória és 100 méteres felbontás alkalmazása esetén

	CONTAGION	PLADJ	IJI	DIVISION	MESH	SPLIT	AI
a 	47.23	98.13	-	0.50	3200	2.00	99.90
b 	45.10	97.50	-	0.50	3200	2.00	99.27
c 	38.35	95.00	-	0.50	3200	2.00	96.72
d 	43.21	96.88	-	0.75	1600	4.00	98.63
e 	36.92	94.38	-	0.88	800	8.00	96.09
f 	35.55	93.75	-	0.50	3200	2.00	95.45
g 	32.98	92.50	-	0.50	3200	2.00	94.18
h 	50.00	0.00	-	0.50	3200	2.00	0.00
i 	36.60	94.22	-	0.68	2059	3.11	95.92
j 	56.73	98.13	-	0.38	4000	1.60	99.83
k 	48.20	95.00	-	0.42	3743	1.71	96.65
l 	75.29	98.20	-	0.17	5312	1.20	99.77
m 	75.03	98.13	-	0.17	5284	1.21	99.69
n 	73.59	97.66	-	0.18	5268	1.21	99.21

Az egyes elrendezéseket értékelve a következő megállapításokat tehetjük:

- ugyanakkora területű kategóriák esetén a pixelek aggregációját mutató indexek értéke magas marad akkor is, ha azok térben elkülönülnek egymástól (*d, e* ábrák); a felosztottságra utaló MESH index viszont ekkor érik el minimumértéküket (a SPLIT pedig a maximumát);
- a PLADJ és AI alapján kedvezőtlen a *g, h* elrendezés, melyet, ha foltalakként fogunk fel, akkor vagy kis területű szórt, vagy nagyobb területű komplex alakú formákként értelmezhetünk; a felosztottság metrikák erre nem érzékenyek;
- a kompakt és véletlenszerű összehasonlításban minden mutató megfelelően mutatta mind az aggregálság csökkenését, mind a felosztottság erősödését;
- egy olyan index sincs, amely képes egyszerre figyelembe venni a foltok területét és azok celláinak a konfigurációját, az eredmények alapján ezek együttes használata javasolt – a felbontás lehetséges maximális értéke mellett.

A 2 kategóriával kapcsolatban felmerülhet, hogy a tájak rendszerint nem két (pl. felszínborítottsági) kategóriából állnak, hanem többől. Sokszor azonban nem az összes lehetőséget vizsgáljuk, hanem csak annyit, hogy egy típus megfelel az általunk kitűzött célnak, a másik pedig nem (pl. *Bender et al.* 2003). Műholdfelvételek elemzésével nyert kategóriák esetében sokszor csak 2-3-4 osztályt akarunk/van lehetőségünk elkülöníteni (pl erdő – nem erdő, vagy erdő-gyep-szántó, vagy erdő-gyep-szántó-beépített terület/vízfelület)(pl. *Hai – Yamaguchi*, 2007; *Kerényi – Szabó*, 2007). Ezekben az esetekben hasznosak az itt leírtak. A folytatásban 3 és 4 kategória esetében is megvizsgálom e metrikák alakulását, abból a célból, hogy feltárjam, az újabbak belépése az elemzésbe mennyiben változtatják az itt levont következtetéseket.



30. ábra. Területi mintázatok 3 kategória esetén (a-f: minden kategória ugyanakkora területű; g-h: 50-25-25% részesedés a területből; i-j: 75-12,5-12,5% részesedés a területből; k-l: 90-5-5% részesedés a területből)

17. táblázat. A szomszédsági mérőszámok középértéke egyenlő területű kategóriák és 1000 m felbontás esetén

		CLUMPY	PLADJ	IJI	DIVISION	MESH	SPLIT	AI
1	átlag	0,22	42,59	82,85	0,94	500,41	22,20	53,49
	szórás	0,69	27,59	40,60	0,04	316,56	12,35	34,65
2	átlag	0,21	42,87	100,00	0,95	381,28	30,80	53,65
	szórás	0,69	27,49	0,01	0,03	282,86	18,14	34,59
3	átlag	0,21	41,90	82,85	0,95	418,72	24,28	52,65
	szórás	0,69	27,92	40,60	0,03	255,89	10,59	35,05

18. táblázat. A szomszédsági mérőszámok középértéke nem egyenlő területű kategóriák és 1000 m felbontás esetén

		CLUMPY	PLADJ	IJI	DIVISION	MESH	SPLIT	AI
1	átlag	0,56	76,23	99,64	0,47	4272,84	2,76	88,30
	szórás	0,48	14,21	0,28	0,28	2236,79	2,15	15,93
2	átlag	0,28	34,17	50,42	0,98	153,50	421,39	51,21
	szórás	0,70	24,83	41,77	0,02	192,14	621,54	35,37
3	átlag	0,18	31,25	49,12	0,98	125,93	438,12	46,83
	szórás	0,75	27,74	42,24	0,02	186,32	614,34	39,31

19. táblázat. A szomszédsági mérőszámok középértéke egyenlő területű kategóriák és 100 m felbontás esetén

		CLUMPY	PLADJ	IJI	DIVISION	MESH	SPLIT	AI
1	átlag	0,94	94,26	82,85	0,94	500	22,20	96,11
	szórás	0,04	2,76	40,60	0,04	316	12,35	2,81
2	átlag	0,94	94,29	100,00	0,95	381	30,80	96,12
	szórás	0,04	2,75	0,01	0,03	282	18,14	2,81
3	átlag	0,94	94,19	82,85	0,95	418	24,28	96,06
	szórás	0,04	2,79	40,60	0,03	255	10,59	2,84

20. táblázat. A szomszédsági mérőszámok középértéke nem egyenlő területű kategóriák és 100 m felbontás esetén

		CLUMPY	PLADJ	IJI	DIVISION	MESH	SPLIT	AI
1	átlag	0,95	97,31	99,64	0,47	4272	2,76	98,63
	szórás	0,04	1,35	0,28	0,28	2236	2,15	1,29
2	átlag	0,96	92,83	50,42	0,98	136	471,21	96,18
	szórás	0,03	2,45	41,77	0,02	199	598,89	2,18
3	átlag	0,95	92,46	49,12	0,99	108	495,53	95,80
	szórás	0,03	2,86	42,24	0,02	191	588,10	2,72

Egyenlő osztályterületek esetén kétkategóriás elrendeződéseknél tett megállapítások 3 kategória esetén is igaznak bizonyulnak. A mérőszámok legtöbbje pontosan megegyezik mindhárom kategóriánál.

Ahogy a 2 kategóriás elrendezéseknél láthattuk, a *Jaeger* (2000) által kidolgozott metrikákat a felbontás nem befolyásolja. Esetükben a *d* elrendezésnél következik be az, hogy nem egyenlő értékeket kapunk a 3 kategóriára. A *d* esetben az első kategória pixeleinek hármascsoportjai átlósan teljes összekötöttségben vannak (3-3-3), míg a másik két kategóriánál ez nem lehetséges: 1-2-3-3 az elrendeződés és emiatt módosulnak is az értékek. Hasonló okai vannak az *e* elrendezésnek is, itt viszont a leghosszabban (a rácsháló átlójában) a 3. kategória pixeljei kapcsolódnak, a másik kettő ezzel megegyezően kissé rövidebb láncokban kapcsos-

lódik. Ez a kis különbség elegendő ahhoz, hogy pl. a MESH értéke 196-196-211-re módosuljon még egyenlő elemszámok mellett is.

Három kategóriától már meghatározásra kerül az IJI mutató, melynek kedvez a pixelek diagonális irányú kapcsolódása (így megnő a lehetséges kapcsolódási felület, ami a számítás alapja) – a *30/b,d,e* konfigurációknál éri el maximális értékét (100%). Az *a* esetben csak a 2. kategóriának van kétféle szomszédja, értéke 100, a másik két kategória viszont csak a másodikkal határos, ezért értékük nulla. A *c* konfiguráció hasonlít az *a*-nál megfogalmazottakra, csak a 2. kategóriának van minden helyzetben két különböző szomszédja. Itt viszont már az 1. és 3. kategóriának is van két különböző szomszédja, így értéke (97,1) csak annyival marad el a másodiktól, hogy az első és utolsó oszlopban már nincs további szomszéd.

Az átlagok és szórások mögé nézve láthatjuk, hogy az aggregáltsági mutatók (CLUMPY, PLADJ, AI) esetében csak a felbontás figyelembe vételével tudjuk az eltéréseket megmagyarázni.

Az 1000 méteres felbontás esetében az *a-b-c-d-e* elrendezések sorrendjében csökkennek az értékek (pl. CLUMPY: 0,96-0,75-0,33-0,13-[-1], de a PLADJ és AI mutató esetében is hasonló a tendencia). Az értékek reálisan tükrözik a pixelek szórtabbá válásnak intenzívebbé válását (17. táblázat).

A 100 méteres felbontás az előzőkhöz (a 2 kategóriás elemzéshez) hasonlóan hamis információt szolgáltat: pl. a teljesen szórt helyzetű pixeleknél (*e*) a CLUMPY értéke -1 kellene, hogy legyen, ellenben itt 0,87; a PLADJ és az AI nulla értéke helyett pedig 90 és 91,77. Az egyes konfigurációk között alig van különbség, aminek mértéke nem is magyarázható (19. táblázat).

A *30/f* elrendezés minden indexnél a kategóriák egyenlőtlenségét okozta, ezen belül is az 1. és 2. kategóriát jelzik „holtversenyben” aggregáltnak, és az 1. kategóriát a legjobbnak a legkevésbé felosztottnak. Az eredménynek utánanézve láthatjuk, hogy az 1. kategória 6 foltban található meg (16-6-1-1-1 pixelszámmal az egyes esetekben), a 2. kategória 10 foltban (5-4-4-4-4-3-3-1-1-1), a 3. kategória pedig 4 foltban (16-4-2-2). Az 1. és 2. kategória kompaktabb, mivel vannak olyan pixelek, melyeknek a lehetséges 8 szomszéd helyett csak 2 más típusú van (nincsenek diagonálisan kapcsolódó cellák az egyes csoportokban), a 3. kategóriában viszont sok az olyan, ahol 8-ból 7 más típusba tartozik. Eszerint az aggregáltság valóban az első két kategóriánál nagyobb, a felosztottság viszont az elsőnél és harmadiknál. E megállapításokat az 1000 méteres felbontású állomány alapján fogalmaztam meg, melyhez hasonló eredményeket kapunk a 100 m-es esetben is, a már említett gondokkal: szűk tartományban szórnak az adatok, melyek ráadásul nem is a valós állapotot mutatják.

A nem egyenlő számú kategóriák esetén szintén aggregált és random elrendezésű párokon követhetjük végig a mérőszámok érzékenységét a konfigurációra. A *g* (50-25-25%, aggregált elrendezés) – *h* (50-25-25%, random elrendezés) párosításban az 1. kategória a legaggregáltabb. A 2. és 3. kategória között a különbség az, hogy a 3. kategória 3 sorban van, több az egymással határos pixelek száma, így aggregáltabb lett a 2. kategóriánál. A random elrendezés az 1. kategória felosztottságát is megnöveli, a MESH értéke az első kategóriában 2075 ha-ról 1216-ra esik vissza (a 2. és 3. kategória cellái két teljesen elkülönülő részre bontják a területet).

1000 méteres felbontás mellett minden aggregáltsági mutató jól mutatja a g aggregált és a h random elrendezés közötti különbségeket. A CLUMPY index pl. 1-0,87-0,95-ről 0,20-0,23-0,10-re (sorrendben az 1-2-3 kategória) csökken. A PLADJ és AI indexek ugyanezt az eredményt erősítik meg (18. táblázat).

100 méteres felbontásnál az aggregáltság szintén visszaesik, de nem látni az egyedi, elszigetelt pixelek hatását, az értékek szűk tartományban szórnak, csak egymáshoz képest látszik a különbség: pl. a CLUMPY értékében néhány ezrednyi különbség van a véletlenszerű és aggregált elrendeződésnél kapott értékek között (amik emellett szinte 3 tizedesjegynyire megegyeznek a d, f konfigurációkkal). A PLADJ és AI indexek nagyobb különbséget produkálnak és az eredmények kisebb hasonlóságot mutatnak más konfigurációknál kapottakkal (20. táblázat).

Az IJI értéke annál nagyobb, minél több szomszédja van, így a random elrendezésnél nagyobbak az értékei is. A g esetben az 1. a legnagyobb területű és egyben a legtöbb szomszéddal is rendelkező kategória. A h elrendezésnél az előzőhöz képest megnő a lehetséges szomszédok száma, értéke viszont nem emelkedik, hanem csökken. A IJI nem keveredést mér az előzőktől eltérően, hanem a foltok egymásmellettségét: ha csak egyetlen másik osztállyal érintkezik a pixel, akkor az értéke nulla. Ez különösen egyedi, a mátrixba ékelődő pixelek esetében fordul elő, ami a random elrendezésnél nem ritka.

Az i (75-12,5-12,5%, aggregált elrendezés) – j (75-12,5-12,5%, random elrendezés) között a különbség még szembetűnőbb, mint az előzőkben, a tendencia hasonló: a nagy területű, kompakt 1. kategória esetében a CLUMPY, PLADJ és AI mutatók nagyfokú, a 2-3. kategóriánál kisebb aggregáltságot mutat (a korábbiaknak megfelelően a 100 méteres felbontásnál nem látunk igazán nagy különbségeket még a random elrendezésnél sem). Az IJI és a felosztottsági mutatók szintén jól jelzik a pixelek konfigurációjának a változását.

A k (90-5-5%, aggregált elrendezés) – l (90-5-5%, random elrendezés) esetében a szóródott, kis részarányú pixelek miatt (bár a k elrendeződésben még van 2 szomszédjuk is) az IJI a 2-3. kategória esetén 0 értéket kap. Mind az aggregáltság, mind a felosztottság metrikái kimutatják a különbséget az aggregált és random változat között, a 2-3. kategóriára ugyanazt az eredményt adva, ami nem meglepő, mivel a k esetben ugyanúgy kapcsolódnak egymáshoz a pixelek, i esetben szintén, csak itt egyedi pixelekként elhelyezkedve.

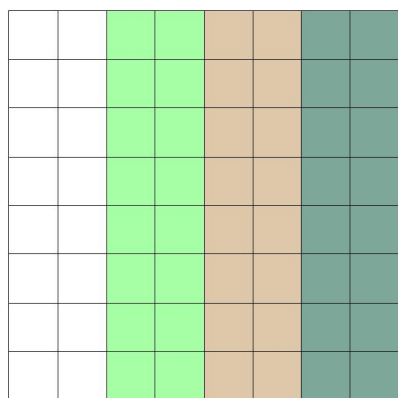
Táji szinten a metrikák értékei a 21. és 22. táblázatban kerültek összefoglalásra. A levonható következtetések részben megegyeznek a 2 kategóriánál megállapítottakkal. Jelentős különbség azonban, hogy az új kategória belépése maximalizálta a felosztottságra vonatkozó mutatók és az IJI értékét az e elrendeződés esetében. Ugyanakkor nullára változtak az aggregáltsági mutatók eredményei is (a 2 kategóriás elemzéshez képest). Ez a táj maximális fragmentálódását jelenti. A mutatók értéke az 1. kategória részarányának a növekedésével együtt nő. A 22. táblázatban jól látszik, hogy a 100 méteres felbontású állományból számított CONTAGION, PLADJ és AI mutatók használhatatlanul (és továbbra is félrevezetően) mutatják a különbségeket.

21. táblázat. Táj szintű tájmetriai paraméterek 3 kategória és 1000 méteres felbontás alkalmazása esetén

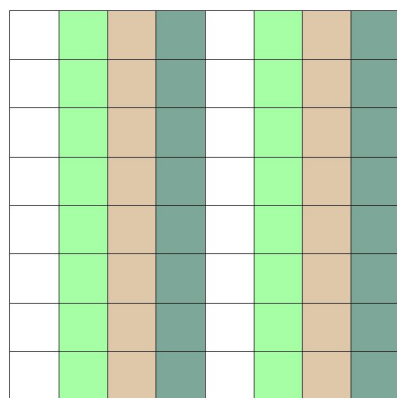
	CONTAGION	PLADJ	IJI	DIVISION	MESH	SPLIT	AI
a 	31,43	77,78	63,09	0,67	2700	3,00	97,67
b 	16,52	66,67	100,00	0,77	1900	4,26	83,72
c 	3,05	44,44	98,51	0,89	900	9,00	55,81
d 	0,17	33,33	100,00	0,90	811	9,99	41,86
e 	18,45	0,00	100,00	0,93	603	13,42	0,00
f 	0,45	32,72	99,99	0,89	887	9,13	40,74
g 	32,83	78,40	97,70	0,62	3062	2,64	96,81
h 	6,57	40,12	95,32	0,81	1566	5,17	49,13
i 	46,63	77,16	92,23	0,40	4840	1,67	93,35
j 	34,39	53,70	81,42	0,43	4635	1,75	62,77
k 	71,48	82,72	63,09	0,18	6618	1,22	97,53
l 	65,15	71,60	62,86	0,19	6588	1,23	81,67

22. táblázat. Táj szintű tájmetriai paraméterek 3 kategória és 100 méteres felbontás alkalmazása esetén

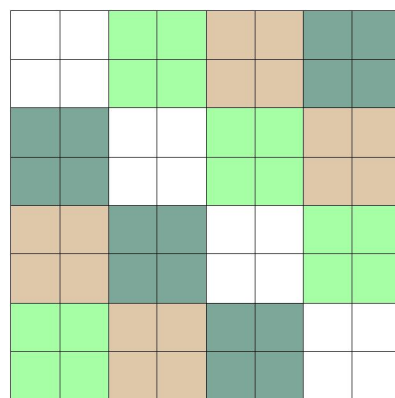
	CONTAGION	PLADJ	IJI	DIVISION	MESH	SPLIT	AI
a 	47,05	97,78	63,09	0,67	2700	3,00	99,70
b 	44,40	96,67	100,00	0,77	1900	4,26	98,57
c 	40,27	94,44	98,51	0,89	900	9,00	96,30
d 	38,38	93,33	100,00	0,90	811	9,99	95,17
e 	33,41	90,00	100,00	0,93	603	13,42	91,77
f 	38,48	93,27	99,99	0,89	887	9,13	95,10
g 	49,89	97,84	97,70	0,62	3062	2,64	99,74
h 	42,52	94,01	95,32	0,81	1566	5,17	95,84
i 	63,63	97,72	92,23	0,40	4840	1,67	99,46
j 	59,25	95,37	81,42	0,43	4635	1,75	97,06
k 	80,53	98,27	63,09	0,18	6618	1,22	99,81
l 	78,35	97,16	62,86	0,19	6588	1,23	98,67



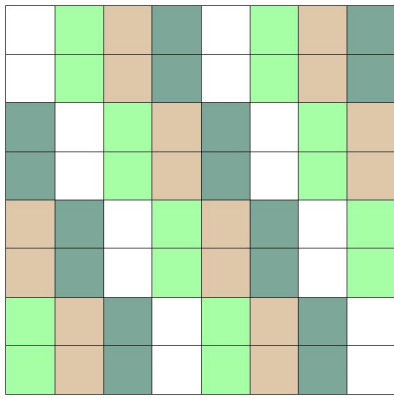
a



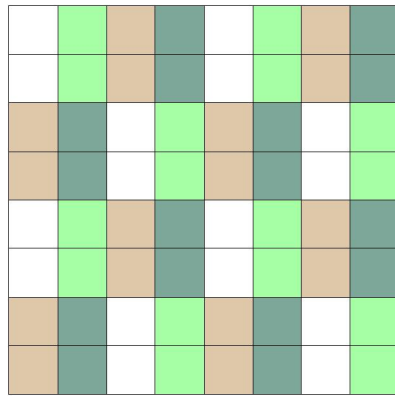
b



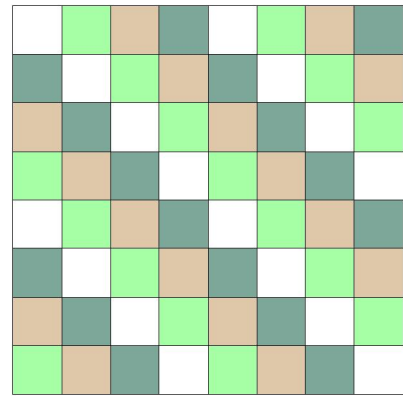
c



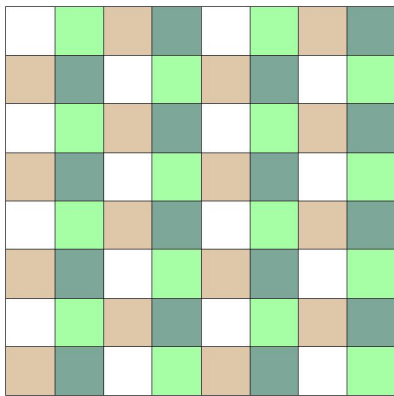
d



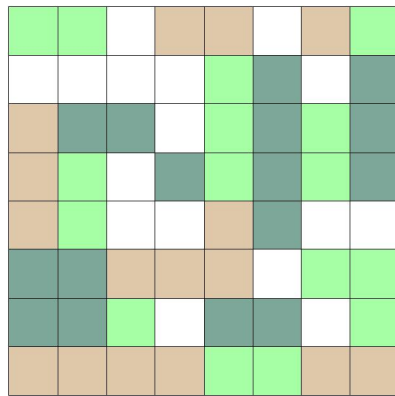
e



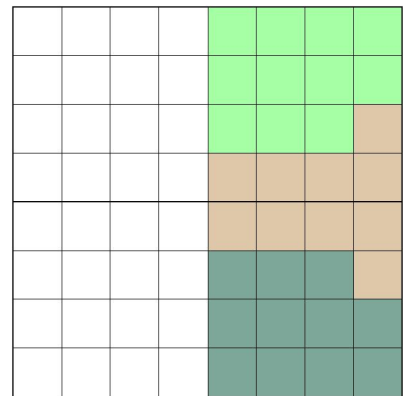
f



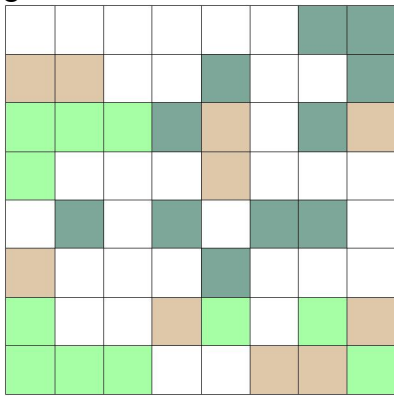
g



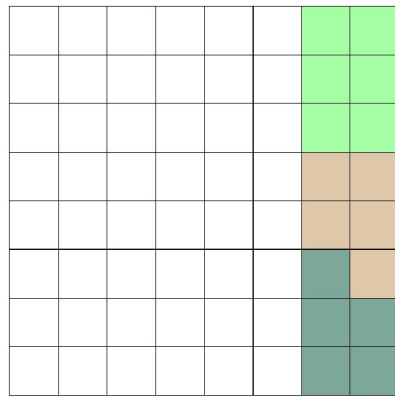
h



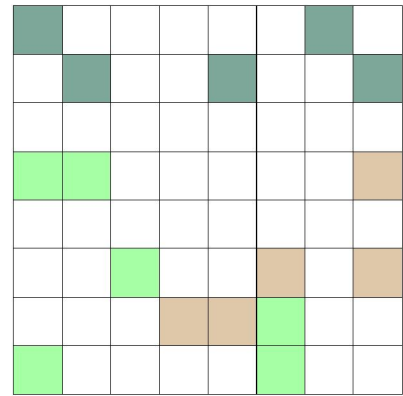
i



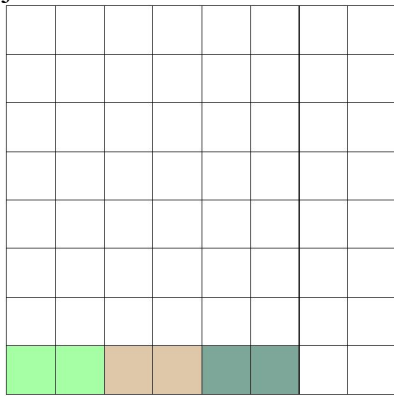
j



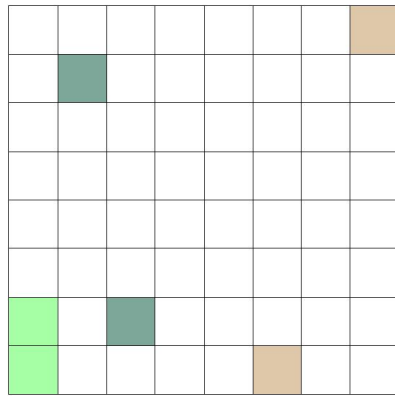
k



l



m



n

31. ábra. Területi mintázatok 4 kategória esetén (a-h: minden kategória ugyanakkora területű; i-j: 50-17-16-17% részesedés a területből; k-l: 75-12,5-12,5% részesedés a területből; m-n: 90-3,3-3,3-3,3% részesedés a területből)

23. táblázat. A szomszédsági mérőszámok középértéke egyenlő területű kategóriák és 1000 m felbontás esetén

		CLUMPY	PLADJ	IJI	DIVISION	MESH	SPLIT	AI
1	átlag	0,03	29,69	67,52	0,97	198,05	70,35	39,58
	szórás	0,69	23,80	32,63	0,02	140,02	83,08	31,73
2	átlag	0,03	29,69	75,93	0,98	159,38	82,44	39,58
	szórás	0,69	23,80	17,78	0,02	124,91	81,38	31,73
3	átlag	0,04	30,47	75,75	0,98	153,52	79,97	40,63
	szórás	0,69	23,73	17,52	0,02	118,81	79,47	31,63
4	átlag	0,05	30,86	66,96	0,97	162,89	77,70	41,15
	szórás	0,69	23,77	32,02	0,02	121,95	80,39	31,69

24. táblázat. A szomszédsági mérőszámok középértéke nem egyenlő területű kategóriák és 1000 m felbontás esetén

		CLUMPY	PLADJ	IJI	DIVISION	MESH	SPLIT	AI
1	átlag	0,61	74,28	97,20	0,46	3485,42	2,33	87,93
	szórás	0,45	16,04	2,55	0,26	1637,53	1,32	18,14
2	átlag	0,75	36,74	49,31	0,99	55,21	452,66	78,10
	szórás	0,39	21,09	28,53	0,01	69,69	460,84	34,13
3	átlag	0,35	26,67	67,95	0,99	42,19	642,33	55,90
	szórás	0,79	23,59	40,98	0,01	57,59	771,56	46,27
4	átlag	0,17	26,14	37,86	0,99	51,56	639,25	53,33
	szórás	0,98	27,79	29,66	0,01	70,58	779,54	51,64

25. táblázat. A szomszédsági mérőszámok középértéke egyenlő területű kategóriák és 100 m felbontás esetén

		CLUMPY	PLADJ	IJI	DIVISION	MESH	SPLIT	AI
1	átlag	0,94	92,97	67,52	0,97	198,05	70,35	95,35
	szórás	0,03	2,38	32,63	0,02	140,02	83,08	2,44
2	átlag	0,94	92,97	75,93	0,98	159,38	82,44	95,35
	szórás	0,03	2,38	17,78	0,02	124,91	81,38	2,44
3	átlag	0,94	93,05	75,75	0,98	153,52	79,97	95,43
	szórás	0,03	2,37	17,52	0,02	118,81	79,47	2,43
4	átlag	0,94	93,09	66,96	0,97	162,89	77,70	95,47
	szórás	0,03	2,38	32,02	0,02	121,95	80,39	2,44

26. táblázat. A szomszédsági mérőszámok középértéke nem egyenlő területű kategóriák és 100 m felbontás esetén

		CLUMPY	PLADJ	IJI	DIVISION	MESH	SPLIT	AI
1	átlag	0,96	97,43	97,20	0,46	3485,42	2,33	98,93
	szórás	0,04	1,60	2,55	0,26	1637,53	1,32	1,52
2	átlag	0,98	93,67	49,31	0,99	55,21	452,66	98,41
	szórás	0,03	2,11	28,53	0,01	69,69	460,84	2,17
3	átlag	0,97	92,67	67,95	0,99	42,19	642,33	97,54
	szórás	0,03	2,36	40,98	0,01	57,59	771,56	2,26
4	átlag	0,97	92,61	37,86	0,99	51,56	639,25	97,43
	szórás	0,03	2,78	29,66	0,01	70,58	779,54	2,68

A 23. és 25. táblázatokból látható, hogy a 4 kategória értéke már a szabályos elrendeződéseken belül eltérő. A 3 kategóriás vizsgálathoz hasonló elrendezésnél, az *a*-nál következik be az első eltérés az IJI indexnél, majd a következő *c* variációnál következik be az első a DIVISION-MESH-SPLIT mutatóknál, okuk pontosan megegyezik az ott tapasztaltakkal. Az aggregációs mutatóknál a váltás a kategóriákon belül a véletlen elrendezéssel lép be. A

fragmentálódás szempontjából minden mérőszám szerint legrosszabb konfiguráció az e , f és a g , ezen belül is az e és a g a legkedvezőtlenebb, mivel itt a pixelek maximálisan szórtak, a szomszédos pixelek (közel) mindegyike másik kategóriába tartozik.

A h véletlenszerű elrendezés (25% részesedés kategóriánként) az aggregáltsági mutatók szerint a legkompaktabb pixelkombinációja a 4. kategóriának van, ezt követi a 3., majd ugyanolyan paraméterekkel az 1-2. Mindez annak a következménye, hogy a 4. kategóriában a diagonális kapcsolatok száma egy, nincs különálló egyedi pixel és 4 pixel négyzet (vagyis a legkompaktabb) alakban helyezkedik el. A 3. kategóriában mindössze 1 különálló pixel van, míg a 2.-ban már kettő, az elsőben pedig az egyedi pixel mellett megjelennek a diagonális kapcsolatok is – a sorrend tehát reális. A felosztottsági sorrend másként alakul, mivel ez esetben nagyobb hangsúlyt kapnak a diagonális kapcsolatok, így a sorrend 1-4-3-2-re módosul.

Az 50-17-16-17%-os kétféle elrendezés (i : aggregált, j : random) esetén jelentkezik az a probléma, hogy a 3. kategória részesedése kisebb, mint a 2. és 4. kategóriáé, de nem oldható meg másként a 32 pixel 3 közel egyenlő részre osztása. A másik oka a 3 kisebb részarányú kategória közötti eltérésnek az eltérő pixelkonfiguráció. Az i elrendezésben a 3. kategória minden pixelének van olyan szomszédja, mely másik kategóriához tartozik, míg a 2. és 4.-nek van 2-2 pixele, mely csak azonos típusú pixelekkel szomszédos. Ez kicsinek tűnő eltérés tehát mind a területben, mind a térbeli elrendeződésben változásokat okoz. A CLUMPY 1,00 helyett 0,91, a PLADJ 68 helyett 60, az AI 100 helyett 92, az IJI 60 helyett 93, a MESH pedig 189 helyett 156. Itt még könnyen nyomon lehetett követni az 1 pixelnyi különbség hatását, a random elrendezésnél azonban komplexebb helyzet áll elő a pixelek véletlenszerű keveredése miatt, így az nem is határozható meg pontosan. Míg felosztottsági mutatók a kérdéses 3. kategóriát a 4. helyre, a CLUMPY, a PLADJ, az AI és az IJI a 3. helyre sorolja. Ez azért is érdekes, mivel az IJI nagy értéke a fragmentáltságra utal (legalábbis ebben a vizsgálatban), ami összhangban van a felosztottsági mutatókkal. Azaz fragmentáltabb a többinél, de egyben aggregáltabb, mint a 4. kategória. Magát a 31/ j ábrát nézve megértjük az okát: a 4. kategória ugyan nagyobb területű, de az alkalmat ad rá, hogy a pixelek szórtabban helyezkedjenek el, mint a 3. kategória cellái. Ehhez kapcsolódva megállapíthatjuk, hogy a j elrendeződés esetében az 1. kategória felosztottságának változatlansága a „véletlen műve” mivel egyetlen pixel áthelyezésével két különálló részre, hasonlóan a 3 kategóriás elemzés 30/ h ábrájához.

A 75-9-8-8%-os elrendezéseknél (k : aggregált; l : random) még határozottabban érződik az 1. kategória dominanciája, amit a felosztottsági indexeknél már nem befolyásol az elrendeződés. A 3-4. kategória részesedése 8-8%, mely látszólag ugyanúgy konfigurálódik a szabályos ábrán (k), azonban lényegi különbség közöttük az, hogy a 3. kategória a második és negyedik közé ékelődik, így bár kompaktságuk hasonló, az IJI index nagyobb, mint a 4. esetében (szorosán megközelítve az 1. kategória értékét).

1000 méteres felbontás mellett a felosztottsági és aggregáltsági szempontból a random elrendezés (l) 4. kategóriája (5 csak diagonálisan kapcsolódó, vagy egyedi megjelenésű pixel) a legrosszabb. A CLUMPY értéke -1, ami kifejezetten véletlenszerű elrendezésre utal, ugyanígy nulla értéket kap a PLADJ és az AI is (24. táblázat).

Ha ugyanezt 100 méteres felbontással vizsgáljuk, alig lehet különbséget felfedezni a többi kategóriához képest és az értékeiből egyáltalán nem következik a pixelek véletlenszerű megjelenése (26. táblázat).

A 90-3,33-3,33-3,33%-os elrendezéseknél (*m*: aggregált; *n*: random) már két pixel érintkezése is nagy dolognak számít a véletlenszerű konfigurációban, mivel 3,33% mindössze 2 pixelt jelent. Így lehet megegyező az értéke a 2. kategóriának az aggregált és a random elrendezésben. A 100 méteres felbontást külön nem értékelem, a korábbiakban is látható bizonytalanságok jellemzik itt is az aggregáltsági mutatókat, a felosztottságot pedig továbbra sem befolyásolja.

A táji mintázatot értékelve a diagonális elrendezések megfelelő, vagy helytelen volta merül fel kérdésként. Ha a felszínborítottság közel ugyanolyan területű, akkor a belső zóna nagysága lehet a mérleg nyelve az értékelésnél. Látjuk, hogy a diagonális kapcsolatot az aggregációs mérőszámok rossznak értékelik, a felosztottsági mutatók jónak (27-28. táblázat). Tény az, hogy a kapcsolat megvan a pixelek (vagy „tájfoltok”) között, azonban nem egy tömbben. Ha a cél az összekötöttség, akkor jó a MESH (és a hozzá kapcsolódó indexek) alkalmazása, ha azonban nagy belső területet (magterületet) keresünk, vagy a tervezés szintjén illet szeretnénk kialakítani, akkor jobb az aggregáltság mérőszámai alapján kedvezőbbnek bizonyuló elrendezést előnyben részesíteni.

27. táblázat. Táj szintű tájmetriai paraméterek 4 kategória és 1000 méteres felbontás alkalmazása esetén

	CONTAGION	PLADJ	IJI	DIVISION	MESH	SPLIT	AI
a 	28,47	68,75	61,31	0,75	1600	4,00	91,67
b 	13,13	43,75	75,44	0,88	800	8,00	58,33
c 	14,66	50,00	77,37	0,83	1100	5,82	66,67
d 	10,56	25,00	77,37	0,89	675	9,48	33,33
e 	0,37	25,00	99,46	0,97	200	32,00	33,33
f 	25,00	0,00	77,37	0,92	537	11,91	0,00
g 	12,68	0,00	96,43	0,98	100	64,00	0,00
h 	1,45	28,91	98,15	0,94	378	16,93	38,54
i 	35,55	73,44	86,68	0,67	2134	3,00	98,80
j 	12,99	32,03	84,96	0,73	1746	3,66	41,80
k 	55,09	77,34	88,80	0,42	3734	1,71	100,00
l 	42,06	51,56	68,52	0,43	3646	1,75	61,86
m 	75,21	80,47	85,00	0,18	5275	1,21	100,00
n 	72,78	75,00	57,15	0,18	5268	1,21	89,22

28. táblázat. Táj szintű tájmetriai paraméterek 4 kategória és 100 méteres felbontás alkalmazása esetén

	CONTAGION	PLADJ	IJI	DIVISION	MESH	SPLIT	AI
a	46,34	96,88	61,31	0,75	1600	4,00	99,36
b	42,41	94,38	75,44	0,88	800	8,00	96,79
c	43,23	95,00	77,37	0,83	1100	5,82	97,44
d	39,91	92,50	77,37	0,89	675	9,48	94,87
e	39,01	92,50	99,46	0,97	200	32,00	94,87
f	36,99	90,00	77,37	0,92	537	11,91	92,31
g	35,90	90,00	96,43	0,98	100	64,00	92,31
h	39,61	92,89	98,15	0,94	378	16,93	95,27
i	52,16	97,34	86,68	0,67	2134	3,00	99,77
j	45,66	93,20	84,96	0,73	1746	3,66	95,53
k	67,60	97,73	88,80	0,42	3734	1,71	99,90
l	63,58	95,16	68,52	0,43	3646	1,75	97,25
m	83,52	98,05	85,00	0,18	5275	1,21	99,92
n	82,65	97,50	57,15	0,18	5268	1,21	99,36

4.3.2. A térbeli konfigurációk összehasonlítása kategóriák száma szerint

A legegyszerűbb konfiguráció az, amikor a foltok egy csoportban és egyenlő részarányban vannak jelen a tájban: . A kategóriaszám emelkedésével folyamatosan csökken az aggregáltság és a felosztottság. Az újabb kategóriák belépése csökkenti a lehetséges azonos pixelek kapcsolódási számát, ezért érthetően csökkenni fog a PLADJ, az AI és CONTAGION, valamint mivel ebben az elrendezésben a folt által elfoglalt terület egy tömbben van, a MESH, SPLIT és DIVISION értéke is adott. Maradva a kompakt elrendezéseknél (), az 1. kategória 75%-os dominanciája mellett ezen mérőszámok értékei differenciálódhatnak. A sorban a 3 kategóriás elrendezés megbontja a pixelek egyenletes konfigurációját, így pl. az AI mutató (melynek kiszámítási módja eltérő – az azonos pixelszomszédokat is egyszerűen számítja, míg a többi duplán) nem ugyanazt a sorrendet adja, mint a CONTAGION és PLADJ (melyek közül az előzőekben tapasztaltak alapján a CONTAGION sorrendje látszik helyesnek). A kétkategóriás elrendezés kompaktsága maximális, a háromkategóriásnál lett volna lehetőség kompaktabb formát kialakítani, a négykategóriásnál az 5 pixeles osztály miatt legfeljebb azon lehetett volna alakítani, hogy egymással ne érintkezzenek. A tendencia azonban a legtöbb mérőszám esetén azonos: az új kategóriák megjelenése csökkenti az aggregáltságot és növeli a felosztottságot, amellet hogy pl. a MESH értéke az előző elrendezéshez viszonyítva nőtt (kétkategóriás esetben 3200 ha-ról 4000-re). Az 1. kategória 90%-os dominanciája esetén (), tovább nő az aggregáltság és csökken a felosztottság (nyilvánvalóan az 1. kategória miatt). Csak a CONTAGION és az AI index mutatja az aggregáció növekedését megfelelően. Az AI indexnél az előzőekben láthattuk, hogy a befolyásolja a pixelek elhelyezkedése, azok szomszédsági viszonyai, a CONTAGION viszont minden helyzetben jó sorrendet produkált. Az 1. kategória 50, 75 és 90-os részesedése és véletlen elrendezés esetén hasonló tendenciát figyelhetünk meg, mint a szabályos konfigurációnál. A CONTAGION, valamint a PLADJ és az AI esetében is az értékek csökkenését idézi elő az új kategória megjelenése, a felosztottság (pl. MESH) megítélése viszont két dolog miatt nem ennyire egyértelmű: a véletlen elrendeződés produkálhat aggregáltabb kombinációt több kategória esetén is (kivéve, ha arányuk nagyon kicsi) nagyobb hálóméretet okozva, illetve pl. a

MESH értéke területfüggő és a 3 kategóriás vizsgálat nem 6400 ha-on, hanem 81 ha-on történt. Ilyen esetben a DIVISION index használata javasolható, mely nem érzékeny a terület-nagyságra.

A 2-3-4 kategóriás elemzések eredményeit látva, következő összegző gondolatok tehetők:

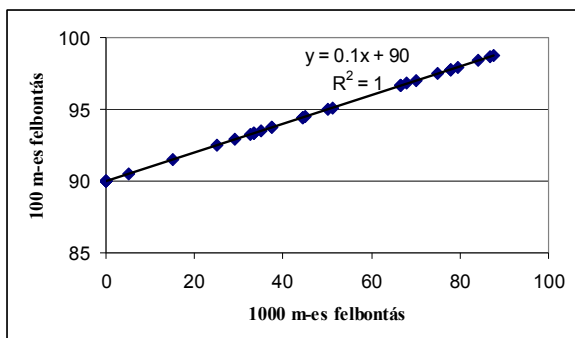
- a felosztottsági mutatók (DIVISION, MESH, SPLIT) alkalmazása megfelelő eszköz lehet a döntéshozók kezében a táj fragmentáltságának a becsléséhez;
- az egyes elemzéseket érdemes többféle elrendezés mellett is lefuttatni, vagyis a jelenlegi mellett tesztelni a tervezett állapotot, annak hatását a fajok igényeihez mérten;
- nem elegendő csak a táji mutatókat vizsgálni, meg kell nézni az osztály szintű értékeket is, mivel csak így lehet megállapítani, hogy a tájszintű metrika miért kapta az adott értéket;
- az aggregáció mérőszámai (PLADJ, CLUMPY, AI) csak olyan felbontás mellett alkalmazhatók biztonsággal, amely közelíti a legkisebb térképezett egységet, különben félrevezető eredményeket kapunk; ennek megállapítása sok esetben okozhat gondot, különösen olyan tájak esetében, ahol a foltméretek varianciája nagy;
- megfelelő felbontás mellett értékes információt adnak a foltok kompaktságáról, ami a nagy belső területet igénylő fajok esetében fontos;
- mindkét csoport metrikái szükségesek a tájanalízisben, mivel a táj eltérő jellemzőit vizsgálják;
- mindkét esetben előfordulhat az, hogy közel azonos értéket kapunk teljesen eltérő területarányú és térbeli konfigurációjú elrendezések esetében;
- táji szinten a CONTAGION index mutatja legjobban a kategóriák számának változásával együtt járó aggregáltsági változásokat;
- különböző méretű tájak összehasonlításánál a DIVISION index, mint felosztottsági mutató javasolt.

4.3.3. A kategóriák számának a hatása

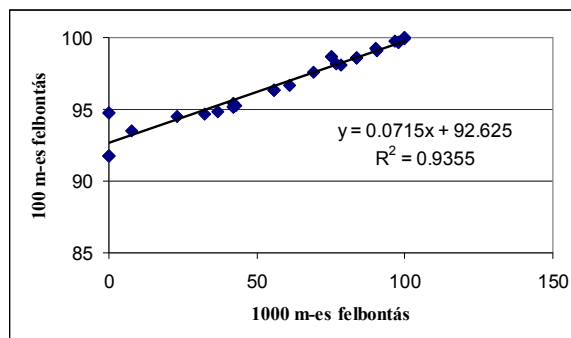
A kategóriák számának hatását csak táji szinten lehetséges megvizsgálni, mivel osztály szinten maguk az eltérő számú kategóriák nem teszik lehetővé az egzakt összehasonlítást. A Mann-Whitney próba eredménye egyik metrika esetében sem mutatott szignifikáns differenciát, mely alapján kijelenthetjük, hogy a kategóriaszám nem befolyásolja a táj szintű metrikák értékét.

4.3.4. A felbontás hatásának vizsgálata

A felbontás hatását részben már érintettük a kategória-szintű vizsgálatoknál és láthattuk, hogy az aggregációs mutatók igen érzékenyek arra, hogy mekkora a legkisebb térképezett egység és milyen pixelméretet választunk hozzá. A kérdés az, hogy az eltérések, amik ebből a hibából adódnak determinisztikus, vagy sztochasztikus eltérést jelentenek-e a valóságban. A válasz nem egyértelmű, mert az egyes metrikák (sőt a kategóriák számától függően még ugyanazok is) eltérően viselkednek. A PLADJ-nál az összefüggés 3 kategória esetében egyértelműen meghatározott (32. ábra), az AI-nál valószínűségi a kapcsolat (33. ábra).

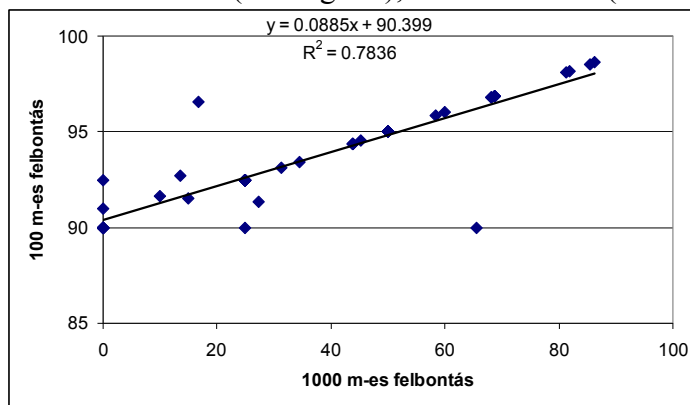


32. ábra. A PLADJ index alakulása 100 és 1000 méteres felbontás mellett 3 kategória esetén



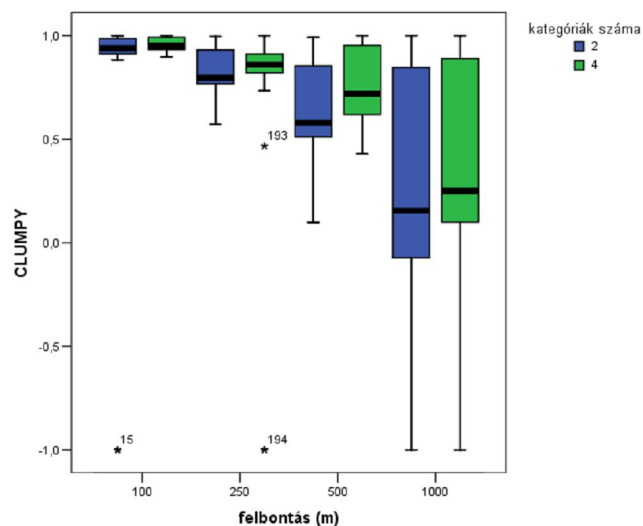
33. ábra. Az AI index alakulása 100 és 1000 méteres felbontás mellett 3 kategória esetén

A PLADJ kettő és négy kategória esetén viszont már másként viselkedik: az adatok szóródhatnak, a magyarázott variancia csak 49 (2 kategória), illetve 78%-os (4 kategória, 34. ábra).

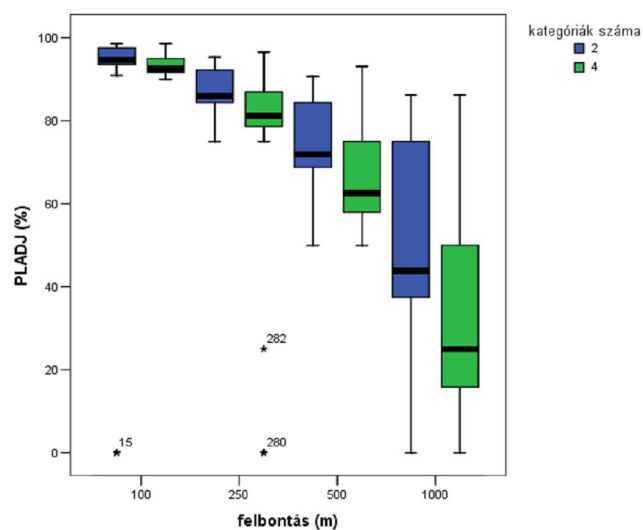


34. ábra. Az PLADJ index alakulása 100 és 1000 méteres felbontás mellett 4 kategória esetén

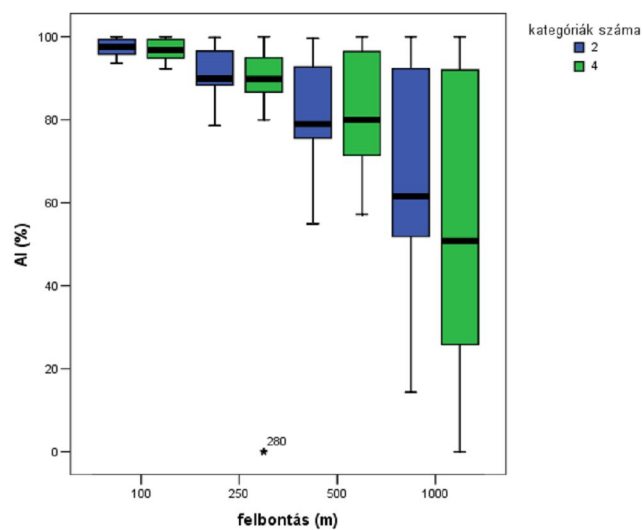
Azoknál a mutatóknál, ahol a különböző felbontások miatt lényegi a különbség, mert a véletlenszerű elrendezés 1000 m (vagyis a natív pixelméret) esetén az eredmény 0, vagy -1, 100 méterrel kalkulálva pedig egy szabálytalan aggregált elrendezésétől alig különbözik, ott nagy lesz az eltérés és a kapcsolat szorossága is gyenge lesz. Erre a legjobb példa a CLUMPY, mely a véletlenszerű elrendezéskor -1,00 kell, hogy legyen, ezzel szemben ezt az értéket meg 500 méteres felbontásnál sem éri el (35. ábra). A PLADJ (36. ábra) és az AI (37. ábra) mutatók is hasonlóan viselkednek, értékük a cellák random eloszlásakor 0,00, ami jelen példában csak akkor teljesülhet, ha a felbontás 1000 méter. Véleményem szerint jelen esetben nincs értelme statisztikailag igazolni a különbségeket, mert csak egy jó megoldás létezik, mely jelen esetben az 1000 méteres felbontásnál látható. A különböző elrendezések jellemzésénél már találkoztunk a 100 méteres felbontás szűk értéktartományával. A 35-37. ábrákon látható szórásstartományok alapján megérthetjük azt is, hogy egy konkrét terület vizsgálatánál nem könnyű megtalálni azt a felbontást, ami nem vezet félre. Elegendő egy kicsit elvéteni a szükséges pixelméretet és máris hamis adatokat kapunk. A kiválasztás módszertana további kutatásokat igényel.



35. ábra. A CLUMPY értékeinek szóródása a felbontás és a kategóriák száma szerint



36. ábra. A PLADJ értékeinek szóródása a felbontás és a kategóriák száma szerint



37. ábra. Az AI értékeinek szóródása a felbontás és a kategóriák száma szerint

Az IJI, MESH, SPLIT és DIVISION esetében már a korábbiakban kiderült a függetlensége a felbontástól. Az IJI esetében *Corry és Laforzezza* (2007) is hasonló eredményre jutott, a felosztottsági metrikáknál pedig *McGarigal és Marks* (1994) igazolta ezt.

4.3.5. A szomszédsági mérőszámok redundanciájának a vizsgálata

Az előző fejezetben láthattuk, hogy ugyanaz a metrika saját magával sem ugyanúgy korrelál a felbontás és a kategóriák számának függvényében, így nem meglepő, ha a mérőszámok egymás közötti kapcsolatrendszere is változó erősségű. A 29-32. táblázatokban a 2 és 4 kategóriás elrendezéseknél tapasztalható korrelációkat mutatom be 100 és 1000 méteres felbontás mellett.

29. táblázat. A szomszédsági mérőszámok korrelációja 2 kategória és 1000 méteres felbontás esetén (Spearman-féle korrelációs koefficiens, $p < 0,05$)

	CLUMPY	PLADJ	AI	IJI	DIVISION	MESH	SPLIT
CLUMPY	-	0,87	0,93	-	-0,20	0,20	-0,20
PLADJ		-	0,94	-	-0,52	0,52	-0,52
AI			-	-	-0,52	0,52	-0,52
IJI				-	-	-	-
DIVISION					-	-1,00	1,00
MESH						-	-1,00
SPLIT							-

30. táblázat. A szomszédsági mérőszámok korrelációja 2 kategória és 100 méteres felbontás esetén (Spearman-féle korrelációs koefficiens, $p < 0,05$)

	CLUMPY	PLADJ	AI	IJI	DIVISION	MESH	SPLIT
CLUMPY	-	0,82	0,89	-	-0,09	0,09	-0,09
PLADJ		-	0,94	-	-0,51	0,51	-0,51
AI			-	-	-0,46	0,46	-0,46
IJI				-	-	-	-
DIVISION					-	-1,00	1,00
MESH						-	-1,00
SPLIT							-

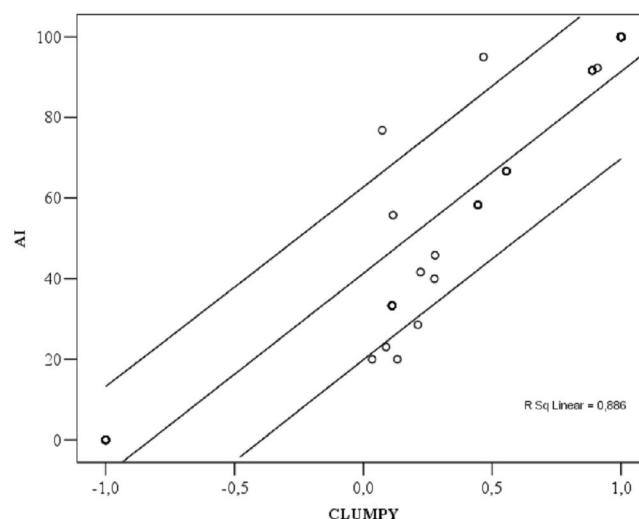
31. táblázat. A szomszédsági mérőszámok korrelációja 4 kategória és 1000 méteres felbontás esetén (Spearman-féle korrelációs koefficiens, $p < 0,05$)

	CLUMPY	PLADJ	AI	IJI	DIVISION	MESH	SPLIT
CLUMPY	-	0,79	0,96	-0,11	-0,31	0,31	-0,31
PLADJ		-	0,85	0,12	-0,75	0,75	-0,75
AI			-	0,00	-0,39	0,39	-0,39
IJI				-	-0,17	0,17	-0,17
DIVISION					-	-1,00	1,00
MESH						-	-1,00
SPLIT							-

32. táblázat. A szomszédsági mérőszámok korrelációja 4 kategória és 100 méteres felbontás esetén (Spearman-féle korrelációs együttható, $p < 0,05$)

	CLUMPY	PLADJ	AI	IJI	DIVISION	MESH	SPLIT
CLUMPY	-	0,65	0,93	-0,33	-0,12	0,12	-0,12
PLADJ		-	0,80	0,12	-0,75	0,75	-0,75
AI			-	-0,16	-0,32	0,32	-0,32
IJI				-	-0,17	0,17	-0,17
DIVISION					-	-1,00	1,00
MESH						-	-1,00
SPLIT							-

Szembevetendő, hogy a CLUMPY, PLADJ és AI mutatók szoros korrelációban vannak egymással, amit viszont többé-kevésbé befolyásol a kategóriák száma és a felbontás. Az 1000 méteres felbontás táblázataiban látható adatokat kell helyesnek elfogadnunk, a 100 méterest kifejezetten módszertani céllal mutatom be, így láthatjuk csak az indexek viselkedését, a korreláció változását. E három aggregáltsági index jól láthatóan ugyanazt az információt szolgáltatja, így együttes alkalmazásuk nem feltétlenül indokolt. Sok esetben önmagunk megnyugtatója miatt van szükség több, ugyanazt a táji jellemzőt becsülő mérőszámra, ugyanis a tájnak nincs olyan adatbázisa, ahol utána lehetne nézni annak, hogy az mennyire fragmentálódott, aggregált, konnektív – így többszörösen megerősítjük a kapott eredményt, vagy kisebb egységekre bontjuk a vizsgált tartományt és azokkal összehasonlítjuk. Mint láthattuk az eddigi eredményekből, egy nagy adatbázis számos veszélyt rejt magában: a grid alapú mérőszámok érzékenysége a felbontásra, illetve maga az adatforrás méretaránya, típusa (légifotó, műholdfelvétel, CLC50, CLC2000 stb.). Ezek a metrikák végső soron ugyanazt az információt adják, de láthattuk azt is a fejezet elején az egyes elrendezések vizsgálatánál, hogy meghatározási módjuk eltérő, így bizonyos helyzetekben indokolt lehet többük használata is. A PLADJ metrikával kapcsolatban a 2.3. fejezetben már megjegyeztem, hogy értelmezéséhez szükséges az adott folt összterületének részarányának ismerete a teljes területhez képest és ezt a CLUMPY már eleve korrigáltan adja meg, így a kettő közül a CLUMPY használata indokoltabb. Az AI mutató az azonos pixelszomszédokat is egyszeres súllyal veszi figyelembe a CLUMPY és PLADJ duplán súlyozott megoldásához képest, így bár az eredmény korrelál az említett mutatókkal, mégis hasznos lehet az ismerete. Ezt bizonyítja a 38. ábrán látható regressziós illesztés is: létezik olyan térbeli elrendeződés, amikor eltérő eredményt kapunk az AI és CLUMPY esetében. Másként megfogalmazva: nem mindig vezethető le pontosan a CLUMPY értékéből az AI (38. ábra) – a reziduális hiba átlagosan 12%, a minimum -27 (31/l ábra 3. kategóriája) és 32 (31/l és n ábra 1. kategóriája)! Ez egy valós tájban egy domináns (75-90%) felszínborítottsági kategóriában szórta elhelyezkedő további kategóriákat jelenthet (pl. a Központi-Zemplén nagy erdőfoltjai közé ékelődő gyepek, tarvágások, szántók stb.).



38. ábra. A CLUMPY és AI metrikák értékeinek pontdiagramja illesztett regressziós egyenlessel (középső vonal) és a 95%-os konfidencia intervallumok feltüntetésével.

Láthatjuk tehát, hogy bár a korreláció szoros kapcsolatot jelez, jelen helyzetben más az információtartalom az egyes mutatóknál, ami a részletekben rejlő különbségek elfedését, vagy fel nem fedezését jelentheti.

Az IJI mutató kifejezetten egyedi, nem korrelál egyetlen másikkal sem, így használata – ismerve a felbontás-függetlenségét – mindenképpen indokolt a tájanalízisben.

A Jaeger (2000) által kidolgozott metrikák egymással maximálisan (lásd 28-29. ábrák), a többi mutatóval nem, vagy minimálisan korrelálnak (1000 m-es felbontás, 4 kategória). A szakirodalom szerint ezek a mutatók jól korrelálnak a foltok területtel súlyozott közepes foltméretével, a gyakorlatban mégis a MESH használata terjedt el a fragmentáció mérésére. E mérőszámok együttes használata többváltozós kiértékelésnél nem javasolt, mivel túlságosan megnöveli a multikollinearitást, így bizonytalanná teszi a végeredményt.

A 100 méteres felbontás (29. és 30. táblázatok) nem változtat lényegileg az 1000 métereshez képest a korreláción, az együttthatók helyenként kisebbek, illetve helyenként – az egyébként is alacsony együttthatók – elvesztik szignifikáns ($p < 0,05$) voltukat.

Táj szinten (minden kategória és minden konfiguráció figyelembe vétele mellett) a korreláció a pixelek aggregáltságát jelző és a felosztottsági indexek között váltakozó előjellel szoros kapcsolatot jelez (33. táblázat) – bár meghatározási módjuk lényegesen eltér. Ezek közül is a CONTAGION-nak gyengébb a kapcsolata a többi aggregáltságot mutató metrikával.

33. táblázat. A szomszédsági mérőszámok korrelációja 1000 méteres felbontás esetén (Spearman-féle korrelációs koefficiens, $p < 0,05$)

	CONTAGION	PLADJ	AI	IJI	DIVISION	MESH	SPLIT
CONTAGION	-	0,48	0,49	-0,54	-0,56	0,56	-0,56
PLADJ		-	0,99	-0,33	-0,66	0,67	-0,67
AI			-	-0,30	-0,63	0,62	-0,62
IJI				-	0,49	-0,49	0,49
DIVISION					-	-1,00	1,00
MESH						-	-1,00
SPLIT							-

4.3.6. A mutatók egyediségének vizsgálata

A foltalak vizsgálatához hasonlóan végeztem el az egyediség vizsgálatát diszkriminancia-analízissel. A cél az volt, hogy az egyes mérőszámokat abból a szempontból minősítsem, hogy tudnak-e jellegzetes térbeli elrendeződéseket azonosítani.

Az elrendezések nem mindegyike szerepel minden kategória esetében (4 kategóriával többféle konfiguráció alakítható ki, mint 2, vagy 3 esetén – 34. táblázat). A megjelenésükben azonosakat egy azonosító számmal láttam el és segítségükkel, többféle kombinációban határoztam meg a metrikák egyediségét.

34. táblázat. A vizsgálatban szereplő pixelkombinációk csoportosítása

	2 kategória	3 kategória	4 kategória
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7	-		
8	-		
9			
10			
11			
12			

Az eredmény szerint nincs olyan metrika, amely önmagában megbízhatóan tudna azonosítani egy térbeli elrendeződést a 12 lehetséges közül. Ha a különböző elrendezési kombinációkat csoportosítva elemezzük, akkor az eredmény jobb (ekkora elemszám mellett), mint a 12 csoport együttes alkalmazása esetén.

Kétféle elrendeződés között a legtöbb mérőszám különbséget tud tenni, 3 azonban már tartalmazhat átfedéseket, amivel egyváltozós módszerrel összemósódnak az eltérések, így a tájak nem azonosíthatók.

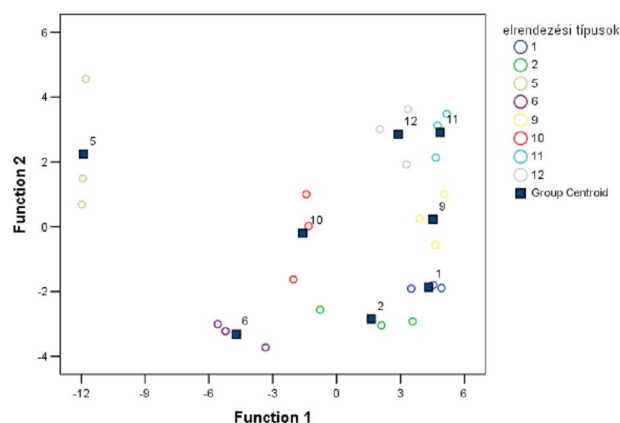
A 34. táblázat szerinti 1-2-5 elrendeződéseket egy metrika sem tudja megkülönböztetni, a mintázat túlságosan hasonló. Meglepően jó eredményt kapunk az AI-t használva független változóként, 1-2-3-4-5 konfigurációk esetében: 80%-os a találati pontosság még a keresztvalidációs módszerrel nézve is. A hiba nagy részben a 2-3. elrendezés keveredéséből fakad. Az AI ezzel a teljesítménnyel messze kitűnt a többi közül (a következő legjobb a CONTAGION, melynek keresztvalidált pontossága) és még az 1-2-3-4-5-6-7 (vagyis csoport!) esetén is 60%-os pontosságú.

Az 1-9-11 aggregált elrendezéseket a CONTAGION és MESH indexek 100 és 78%-os (keresztvalidált) pontossággal azonosították. Az AI ebben a helyzetben rosszul teljesített, ami a pixelek kapcsolódásával magyarázható. Eszerint a diagonálisan kapcsolódó pixelcsoportokból álló tájak jellemzésénél az AI, a kompakt formáknál viszont a CONTAGION ad jobb közelítést.

A 6-8-10-12 random konfigurációkat mind a CONTAGION, a MESH és az IJI legalább 80%-os (az IJI 90%) keresztvalidált pontossággal azonosította. Az AI találati mátrixa ez esetben 62%-os volt.

Ha az aggregált és random elrendezéseket (3-5-6-10) keverve vizsgáljuk, újra az AI hozta a legjobb eredményt: 83%-os pontossággal. Emellett a PLADJ és a CONTAGION 75%-os pontosságot hozott. A felosztottsági mutatók találati pontossága 40% körüli, vagyis igen kicsi.

Amennyiben nagyobb találati pontosságot szeretnénk elérni, akkor több független változót kell alkalmazni. Az elrendezések közül kizártam a többihez nagy mértékben hasonlító 3-as, 4-es, valamint a kétkategóriás konfigurációnál hiányzó 7-es és 8-as elrendezéseket. A CONTAGION és az AI segítségével 96%-os a találati arány az összes eset figyelembe vételével és 88%-os a pontosság a keresztvalidációs ellenőrzéssel. A találati hibát az 1-es és 2-es kategória keveredése okozza. A 39. ábrán látható ordinációs diagram vízszintes tengelyét az AI, a függőleges tengelyt a CONTAGION határozza meg, az általuk magyarázott összes variancia sorrendben 85 és 15%, mindkét egyenlet szignifikáns ($p < 0,05$).



39. ábra. A CONTAGION és AI metrikákkal végzett diszkriminancia analízis ordinációs diagramja

Az AI – mint az korábban is látszott – jól azonosítja a pixelcsoportok elrendeződését, de a CONTAGION nélkül csak 46%-os keresztvalidált pontosságot érne el ennyi csoport figyelembe vételénél. A CONTAGION más esetekben bizonyított, jelen helyzetben önmagában 50%-os a találati pontossága. A két metrika együttes alkalmazása tehát indokolt, korreláció nincs közöttük ($r = 0,19$, $p < 0,05$), így a magyarázott variancia torzítása nélkül erősítik egymást.

A vizsgálatokat a táji indexek többféle kombinációjában is elvégeztem, de sem más metrikák alkalmazása, sem a független változók számának emelése nem hozott jobb eredményt.

4.3.7. A szomszédsági metrikák összefoglaló értékelése

A szomszédsági mutatókkal szemben az alábbi elvárásokat fogalmazhatjuk meg:

- ne legyen érzékeny a felbontásra (IJI, DIVISION, MESH, SPLIT);
- ne legyen érzékeny a kategóriák számára (egyik sem érzékeny);
- az eredmény ne legyen redundáns más mutatókéval (3 csoport alakítható ki: aggregáltsági mutatók [CLUMPY, PLADJ, AI], keveredési mutató [IJI], felosztottsági mutató [DIVISION, MESH, SPLIT]);

- az eredmény legyen egyedi, ne egyezzen meg más pixelkonfigurációkéval (AI, CONTAGION, AI+CONTAGION).

A felosztottsági mutatókat, mint a 2.4 fejezetben láthattuk, széles körben használják a tájvédelmi gyakorlatban (*Penn-Bressel*, 2005; *Girvetz et al.* 2008), ami véleményem szerint a legjobb visszajelezés az alkalmazhatósággal kapcsolatban. Az AI kedvező tulajdonságait mutatták ki *Hu és mtsai* (2000) a többi itt is tárgyalt aggregáltási indexhez képest, aminek jogosságát *Bogaert et al.* (2002) kétségbe vonták. Utóbbiak szerint az AI semmi újat nem nyújt az LSI indexhez (Landscape Shape Indexhez) képest, egyik levezethető a másikból, együttes használatuk nem indokolt. Az LSI és az AI normalizált változata tökéletesen redundáns, így pl. a FRAGSTATS nem is számítja ki csak az LSI esetében (*McGarigal – Marks*, 1994). A SHAPE index-szel (igaz annak folt szintű változtával) kapcsolatban a 4.1.7. fejezetben már megfogalmaztam a fenntartásokat és az itt végzett elemzésből láthattuk, az AI sem mentes a rászteres számítási módszerek problémáitól, így nem mondhatjuk, hogy egyik is sokkal jobb lenne a másiknál. *McGarigal és Marks* (1994) és *Bogaert et al* (2002) munkái alapján tehát az AI teljes mértékben kiváltható az LSI-vel, így utóbbi használata indokolt lehet abban az esetben ha a megfelelő felbontás megállapítása nehézkes a foltméretek nagy varianciája miatt.

Felhasználási javaslatként azt mondhatjuk, hogy nem lehet egyetlen metrikára szűkíteni a vizsgálatban szereplő indexeket, mivel bár a pixelek szomszédsági viszonyait jellemzik, eredményük lényegesen mást mutat a másikhöz képest. Az aggregáltsági mutatókkal a pixelek csoportosultságát, a keveredési és a felosztottsági mutatókkal a fragmentációt lehet mérni és a kiválasztást a fenti értékelés figyelembe vételével a vizsgálati célnak alárendelni.

4.4. A táji konnektivitás vizsgálata

Ebben a fejezetben a táj konnektivitását vizsgálom, mely definíció szerint a táj fájáramlást segítő, vagy éppen akadályozó jellegének fokát jelenti (*McGarigal – Marks*, 1995). Ha ezt számszerűsíteni akarjuk, akkor azt feltételezve, hogy a vizsgálat tárgyát képező fajoknak van egy preferált folt típusa, akkor az azonos típusú foltok távolságát kell az elemzés tárgyává tenni. Mint a 2.3 fejezetben már kifejtettem, az egyes fajok különböző okok miatt (pl. új élőhely keresése, táplálékszerzés stb.) hajlandók/képesek megtenni kisebb-nagyobb távolságokat (minden faj más-más távolságot), így a konnektivitás mérőszámai mindig egy ún. keresősugár függvényében alakulnak (vagyis azzal a távolsággal kell számolni, amit egy adott faj biztosan megtesz ahhoz, hogy elérje a következő tájfoltot). Ez nem egy teljesen objektív érték, mivel pl. egy madár repülése közben a magasból beláthatja a következő potenciális elérendő foltot, a kis termetű emlősök, rovarok stb. viszont nem is biztos, hogy tudják, hogy ez hol van, pedig a távolságot képesek lennének áthidalni (*Treweek*, 2007).

A dolgozatban nem kívántam állást foglalni a konnektivitás ökológiai kérdéseiben, vagyis pl. abban a konnektivitás megléte mennyire fontos a populációk fenntartásában, illetve hogy helyes-e egyáltalán olyan potenciális kapcsolatokat teremteni, ahol paraziták, kompetitor fajok stb. bejutása történhet meg az egyes élőhelyekre. A vizsgálatokat a konnektivitás ténszerűségére szorítottam.

Ezek a mérőszámok adott felszínborítottsági kategórián belül kerültek meghatározásra folt, osztály és táj szinten.

4.4.1. Folt szintű elemzés

A vizsgálatot folt szinten kezdem, ahol a FRAGSTATS az ENN és PROX indexeket számítja ki, a CS22 minden a 2.3. fejezetben ismertetett paraméterének van folt szintű megfelelője.

A két különböző megközelítésű metrika-csoport viselkedését egy szabályos rácsháló alapú (1 km-es távolságközökben lévő 200 m sugarú körök) példán keresztül mutatom be (40. ábra).

A legközelebbi szomszéd euklideszi távolsága (ENN) a legközelebbi szomszédos folt távolságát adja meg a lehetséges változatok közül. Mivel itt szabályos a hálózat, ezért minden folt távolsága azonos (600 m). A 35. táblázatban foglaltam össze a felbontás mérőszámra gyakorolt hatását.

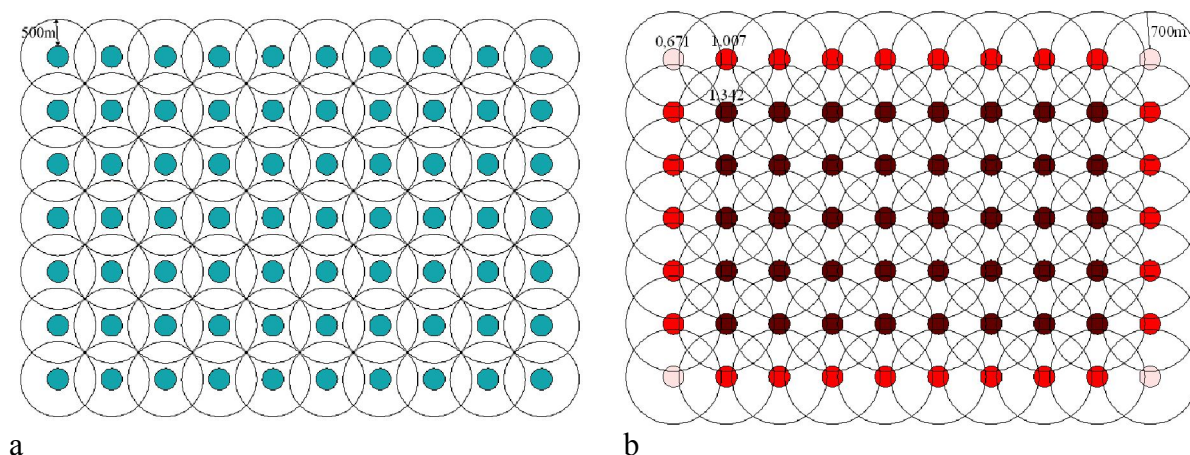
35. táblázat. A közelségi index (PROX) és a legközelebbi szomszéd távolság (ENN) felbontás-függősége

foltok helyzete	ENN			PROX		
	10 m	50 m	100 m	10 m	50 m	100 m
sarokhelyzet	610	650	700	0,671	0,582	0,530
szélső helyzet	610	650	700	1,007	0,813	0,795
belső helyzet	610	650	700	1,342	1,058	1.061

A közelségi index (PROX) a keresősugárba eső foltterületeket számítja bele. Az 500 m-es keresősugár (a) még nem elegendő ahhoz, hogy akár egyetlen folt részlete is ebbe beleessen. A 700 m-es példa (b) szerint a körök egy része már bele már beleesik a keresősugárba, és helyzetüknek megfelelően kapnak egyedi értéket is:

- a sarokhelyzetű objektumoknak csak 2 szomszédja van, értékük a legkisebb;
- a szélen lévőknek 3 szomszédja van;
- a belső helyzetűeknek 4 szomszédja van. Több szomszéddal nagyobb a keresősugárba eső területek esélye is.

Osztály szinten kiszámítva ezeknek az értékeknek az átlagát kapjuk.



40. ábra. 1 km távolságban lévő 200 méter sugarú körök 500 m (a) és 700 m (b) keresősugárral. A b ábrán a közelségi index (PROX) értékei láthatók.

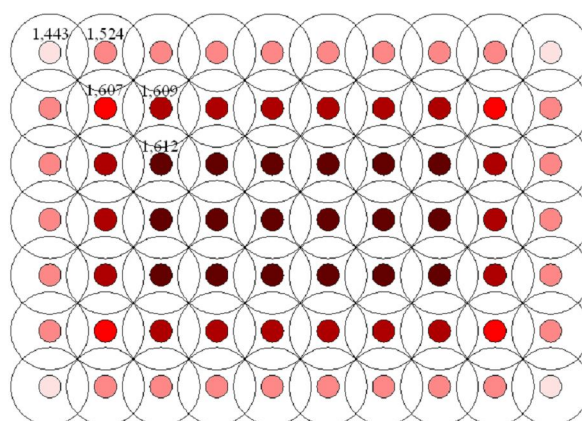
A Saura – Pascal-Hortal (2007) által kidolgozott mutatók hasonlóan viselkednek. A 700 méteres keresősugarat alkalmazva továbbra is a következő eredményt kaptuk:

- a foltkapcsolatok száma (NL) a közelségi indexhez hasonlóan a szélső és sarokhelyzetű foltokra különböző értéket adnak;

- a komponensek száma (NC) nulla, mivel minden folt összeköttetésben van egymással;
- a Harary-index, az osztály és táj szintű találkozási valószínűség (CCP és LCP), az integrált konnektivitási index (IIC), a fluxus (F), a területtel súlyozott fluxus (AWF) és a konnektivitási valószínűség (PC) szintén figyelembe veszi a foltok szélső pozícióját, a korábbiaktól eltérően azonban finomítva, a sarokhelyzetű foltok a legkisebb értéket kapják, a szélsők értéke szintén alacsonyabb, azonban a keresősugáron kívüli szomszédok jelenlétének figyelembe vétele miatt átmenetet tapasztalunk a két érték között, valamint a szélső és belső helyzetű foltok értéke között is.

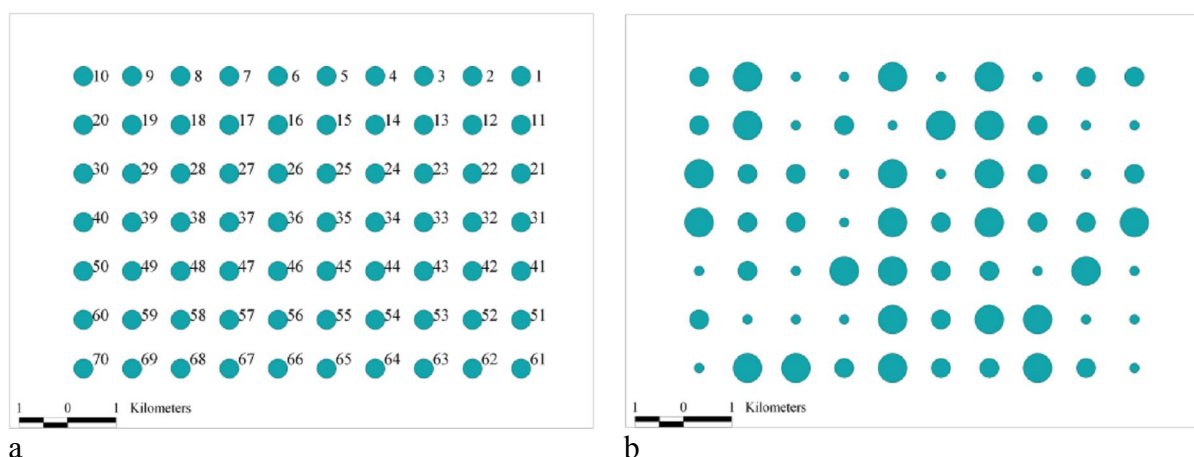
A továbbiakban az egyes foltelrendezéseket a szerzőpáros (*Saura – Pascal-Hortal, 2007*) által legjobbnak ítélt és javasolt PC-index alapján jellemzem, mely mellett természetesen figyelembe veszem a többi mutató értékét is.

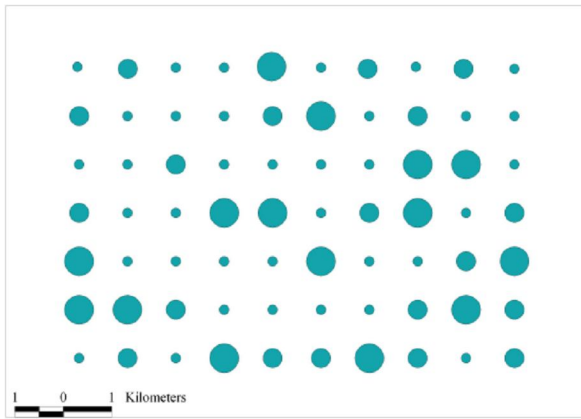
Az egyszerű mérőszámok és a gráfelméleti megközelítés közötti különbség az, hogy míg az előzők egyszerű matematikai módszerekkel igaz/hamis módon mutatják az egyes foltok helyzetét, addig az utóbbiak (valószínűségi alapon történő kiértékelésnél) képesek a foltok konnektivitásában betöltött szerepét becsülni. A 41. ábrán a színek sötétedő árnyalatai jelzik a nagyobb fontosságú foltokat 500 méteres (!) keresési sugár mellett – vagyis a sugár nem éri el a következő foltot, mégis látjuk, hogy mely foltok az értékeesebbek.



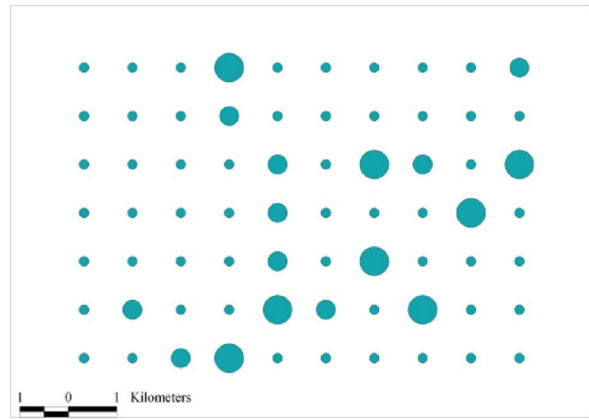
41. ábra. A konnektivitási valószínűség (PC) értékei (folttávolság 600 m, keresési sugár 500 m)

Ezt követően 100-200-300 méter sugarú köröket alkalmaztam a foltok ugyanezen területi elrendezésében (42. ábra/b-k).

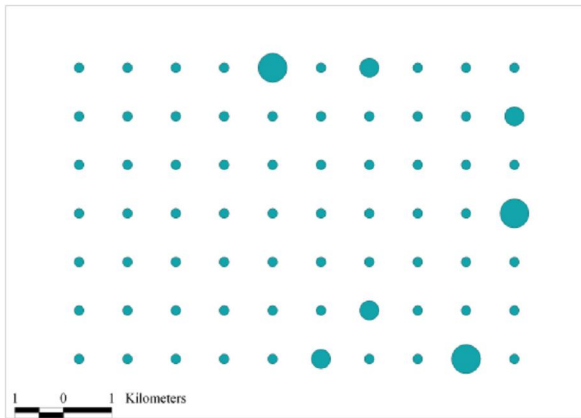




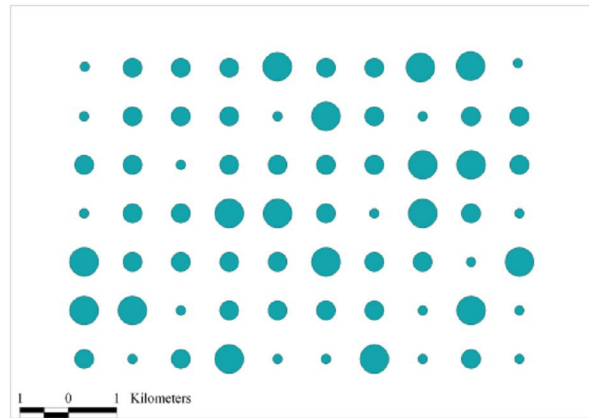
c



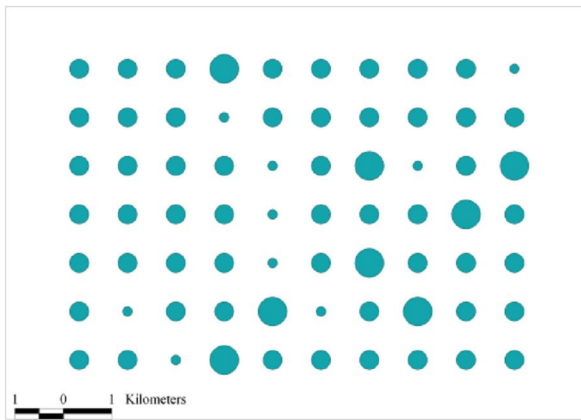
d



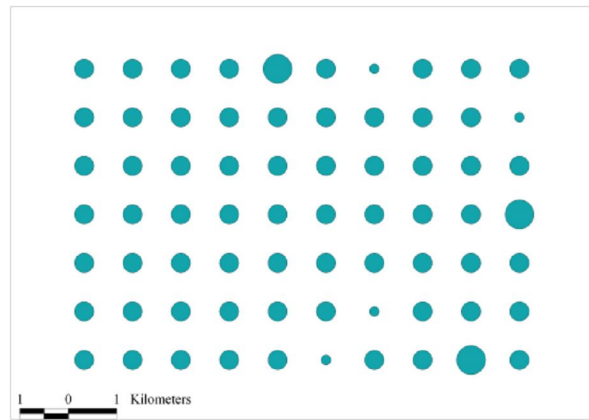
e



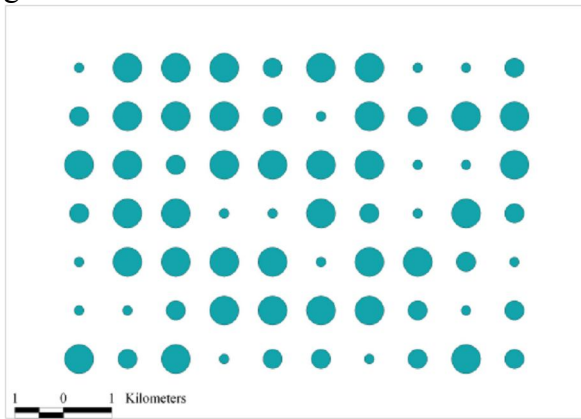
f



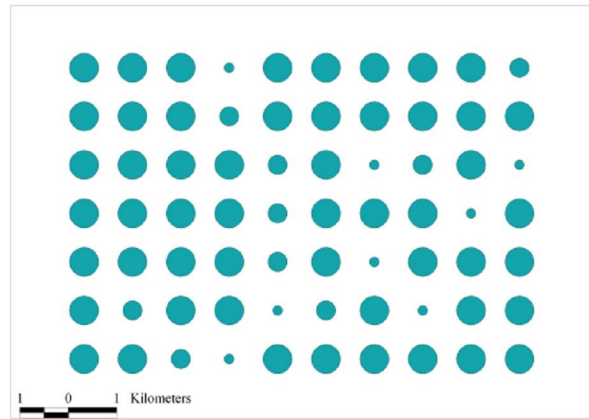
g



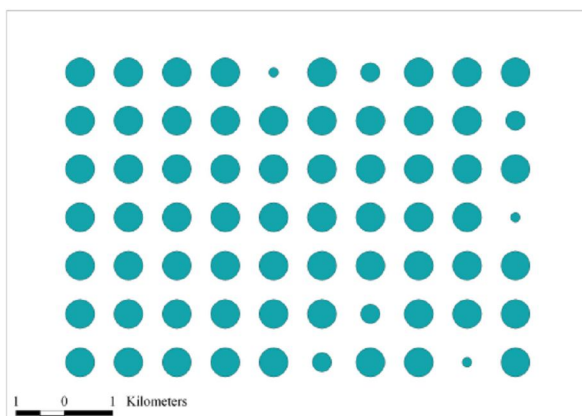
h



i



j



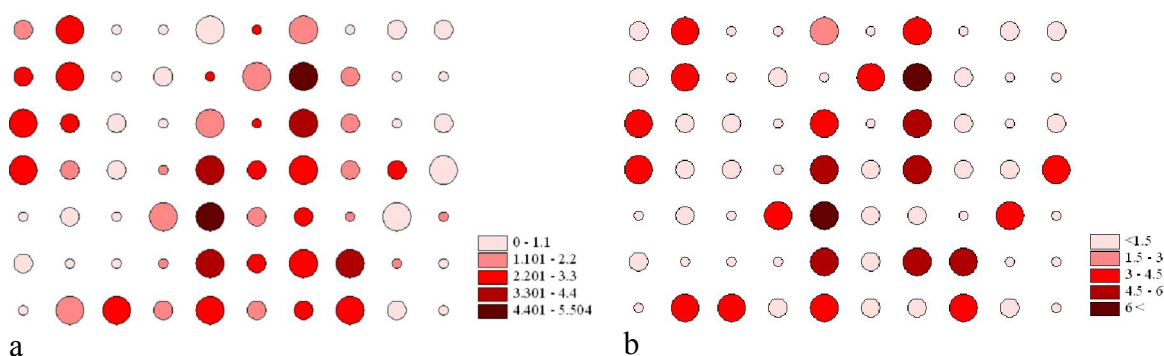
k

42. ábra. 70 foltból álló táj (a: 200 m sugarú körök; b: 100-200-300 m sugarú körök egyenlő részesedéssel; c: 100 m – 50%, 200 m – 25%, 300 m – 25%; d: 100 m – 75%, 200 m – 12,5%, 300 m – 12,5%; e: 100 m – 90%, 200 m – 5%, 300 m – 5%; f: 100 m – 25%, 200 m – 50%, 300 m – 25%; g: 100 m – 12,5%, 200 m – 75%, 300 m – 12,5%; h: 100 m – 5%, 200 m – 90%, 300 m – 5%; i: 100 m – 25%, 200 m – 25%, 300 m – 50%; j: 100 m – 12,5%, 200 m – 12,5%, 300 m – 75%; k: 100 m – 5%, 200 m – 5%, 300 m – 90%)

Mivel a körök középpontja állandó maradt, a terület változtatásával együtt változott a köztük lévő távolság is. Szem előtt kell tartani, hogy a közelségi index és a legkisebb távolság metrikák az izoláltság mutatói, a konnektivitási valószínűség viszont a konnektivitást méri. Bár az izoláltság és a konnektivitás, mint egymás inverzei is értelmezhetők, a közvetlen összehasonlítás a tájban játszott szerep alapján nem lehetséges. Statisztikailag értékelhetjük (lásd 4.4.2-4.4.7 fejezetek), hogy a mérőszámok milyen viszonyban vannak egymással, de még a tökéletes korreláció esetén sem biztos, hogy felesleges a használata – mint erre a korábbiakban már láttunk példát (pl. effektív hálóméret (MESH) – területtel súlyozott átlag).

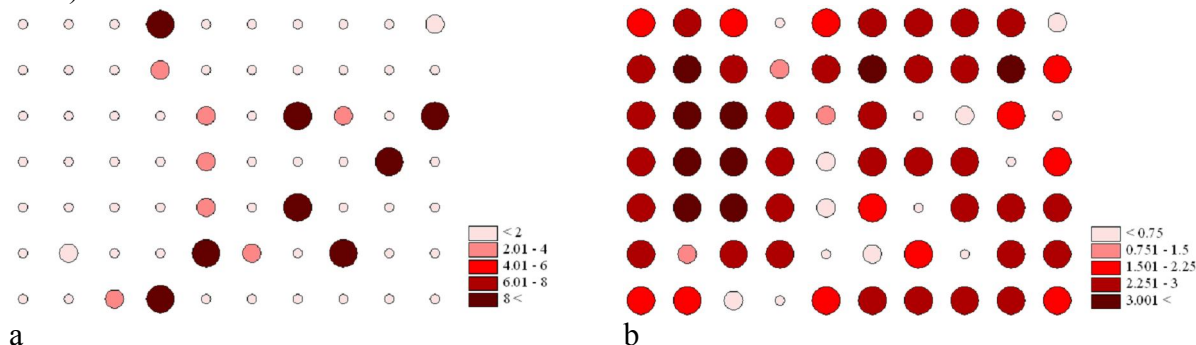
A példaállományok mindegyikére meghatároztam ezeket a metrikákat, amik mindegyikét a statisztikai elemzés során használtam fel. Most azonban csak néhány olyat emelek ki közülük, melyeken be lehet mutatni e mérőszámok viselkedését szabályos rácsháló esetében.

A 43/a ábrán a közelségi index értékét három tényező határozza meg: a kör relatív helyzete (sarok, szélső, belső), mérete és a környező körök mérete. Ha a kör sugara 300 m, csak akkor lesz izolált, ha (a fő irányokban) az összes környező folt kis méretű, vagy szélső helyzetben van. Kis méret (100 m-es sugár) esetén a folt könnyebben kap izolált besorolást. A 43/b ábrán a konnektivitási valószínűség látható és kis különbségektől eltekintve annak ellenére hasonló mintázatot kapunk a közelségi index-szel, hogy a két mutató mást mér és még a mértékegységük sem ugyanaz (sőt a tematikus térkép osztályközei is sem egyeznek meg). A konnektivitási valószínűség minden nagy területű foltot (egy szélső helyzetű, 100 m sugarú körökkel körülvett kivéve) legalább a 4. kategóriába sorol. Ez azért van, mert a foltok területe az egyik fontos paramétere a meghatározásnak. Emellett – ahogyan a 2.3. fejezetben ismertetésre került – a PC index egyedi (foltokra vonatkoztatott) értéke úgy kerül meghatározásra, hogy az algoritmus megvizsgálja a folt elvesztésének a lehetőségét.



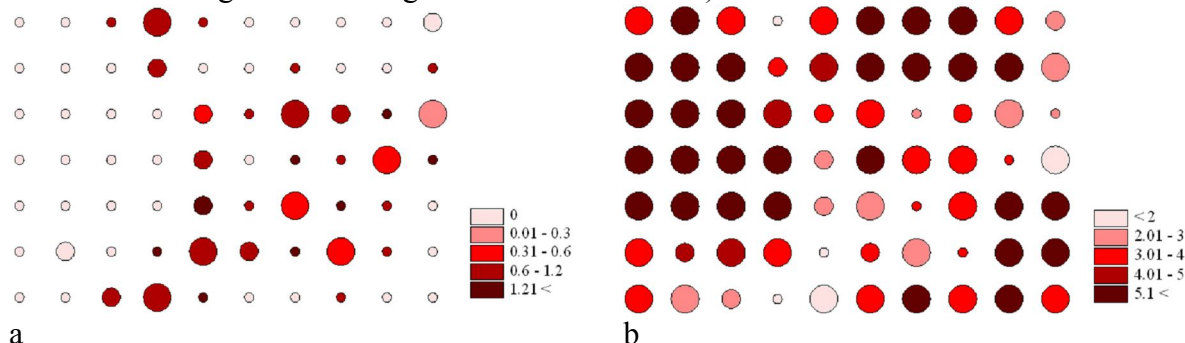
43. ábra. A közelségi index (PROX - a) és a konnektivitási valószínűség (PC - b) 100-200-300 méteres foltméretek ugyanakkora részesedése és 700 m keresési sugár esetén

A 44. ábrán azt láthatjuk, hogy a konnektivitás szempontjából a kulcsszerepet minden esetben a legnagyobb foltok kapják (44/a-b ábra), ezen belül pedig, ha több is van egymás mellett, akkor a belsők, mert itt minden irányban a legkisebb a szomszédos foltok távolsága is (44/b ábra).



44. ábra. A konnektivitási valószínűség (PC) a 100 m-es (a) és 300 m-es (b) sugarú körök 75%-os részesedésű véletlenszerű elhelyezése esetén (700 m-es keresési sugár)

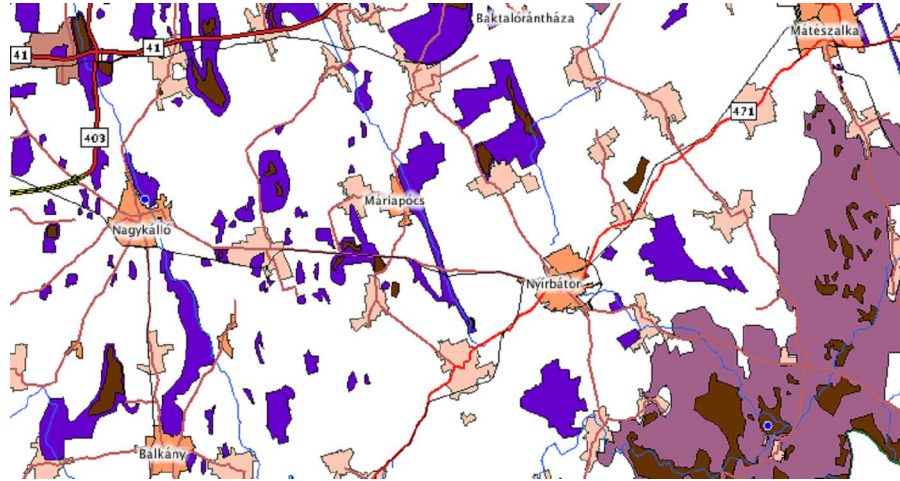
Ugyanez a közelségi indexnél részben hasonló, ugyanakkor különböző is. A nagy foltok fontossága itt is kitűnik, azonban a kis foltok is nagy értéket kapnak a 45/a ábrán (a nagy foltok szomszédságában). A 45. ábra két „térképének” értékei között jelentős a különbség: az a rész értékei alatta maradnak a b rész első kategóriájának. Tekintve, hogy a számítás terület alapon történik, ez nem is csoda – hatása van viszont az osztály és táj szintű mutatókra is. (A foltok egy része nulla értékű, mivel a 100 méteres sugarú körök között a távolság 800 m, így a 700 m-es keresési sugár mellett megszűnik a konnektivitás).



45. ábra. A közelségi index (PROX) a 100 m-es (a) és 300 m-es (b) sugarú körök 75%-os részesedésű véletlenszerű elhelyezése esetén (700 m-es keresési sugár)

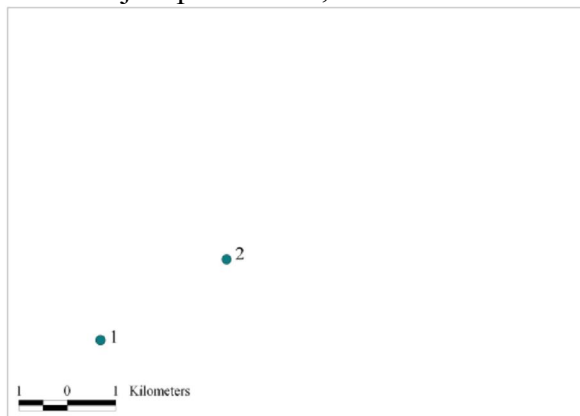
Felmerülhet a kérdés, hogy tájökölógiai szempontból helyes-e az, hogy a kis foltok nagy értéket kapnak. A válasz az, hogy igen, mert a stepping stone jellegű folyosórendszerek – mint

ahogyan a NECONET is felépül (46. ábra) – építőköveiként fontos szerepet tölthetnek be akár két nagy területű folt között is. A PC index kis értéket ad ugyanezeknek foltoknak (id=22, 25, 31, 33, 34 stb.), mivel a számítás alapja a folt elvesztése nyomán keletkező hiány. Jelen helyzetben van, ami átveszi az elvesztett kis folt helyét, így akkor sem szűnik meg a konnektivitás, ha a kis folt kiesik.

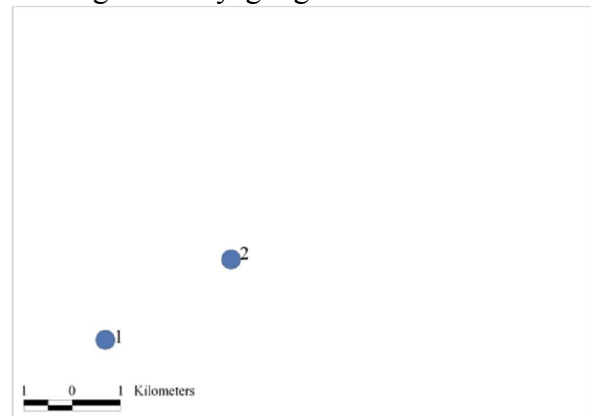


46. ábra. Részlet a Nemzeti Ökológiai Hálózat térképéből. A lila színű stepping stones jellegű folyosófoltok alkotják a kapcsot a barna színnel jelölt magterületek között (Forrás: TIR Közösségszolgálati Modul, <http://geo.kvvm.hu/tir/viewer.htm>)

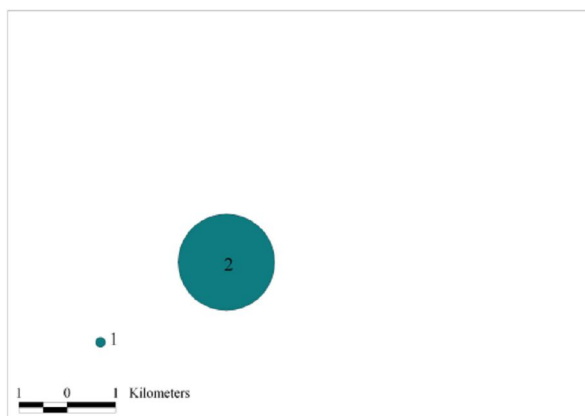
A továbbiakban néhány életszerűbb foltelhelyezés mellett mutatom be a mérőszámok viselkedését. A 47/a-h ábrákon 2 folt méretét és elhelyezését változtattam. Az elemzésből kiderül, hogy két folt esetében ki tudjuk számítani a legközelebbi szomszédot (ENN - melynek ez esetben nincs alternatívája), a közelségi index csak akkor hoz eredményt, ha a keresési sugarat legalább akkorára állítjuk, hogy elérje azt. A konnektivitási valószínűség 2 azonos méretű folt esetében ugyanakkora valószínűséget becsül mindkettőnek akkor is, ha a foltok közel vannak és akkor is, ha távol (ha a keresési sugár kisebb, mint a foltok távolsága, ez 50-50%, ha nagyobb, akkor 50% fölé emelkedik az érték). A 100 m-es és 200 m-es sugarú köröket tartalmazó állományok között nincs különbség. Különböző méretű foltok esetében a nagyobb folt dominanciája tapasztalható, amin nem változtat a távolság sem lényegileg.



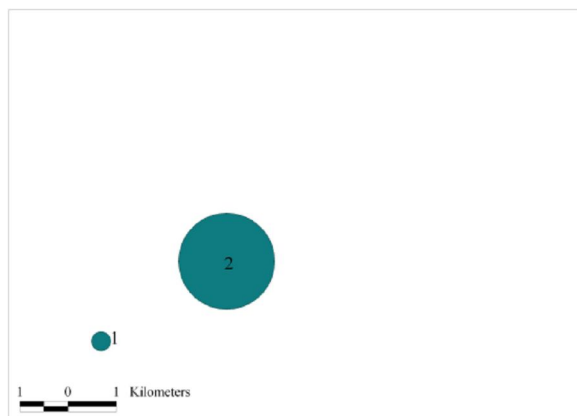
a



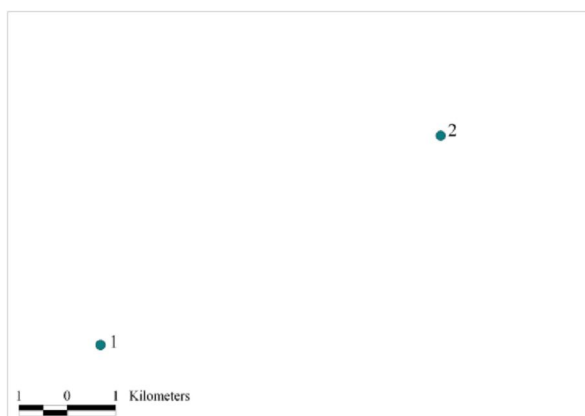
b



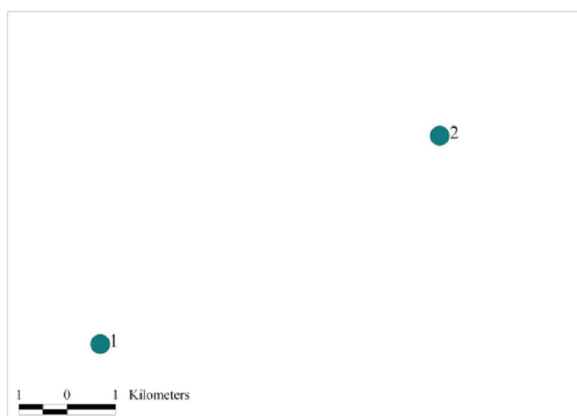
c



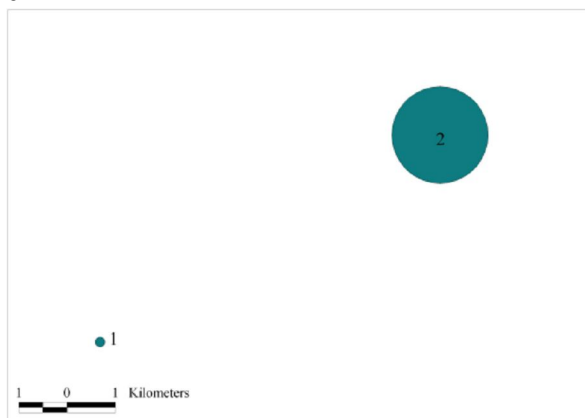
d



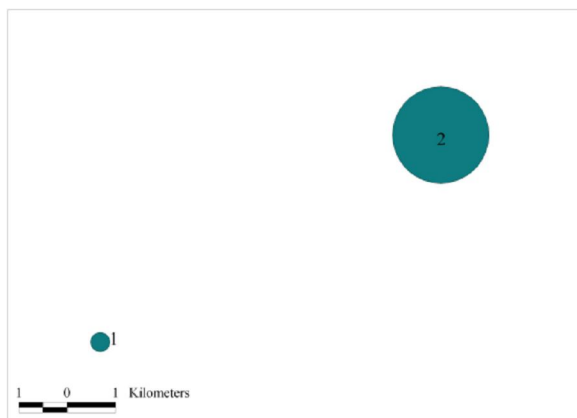
e



f



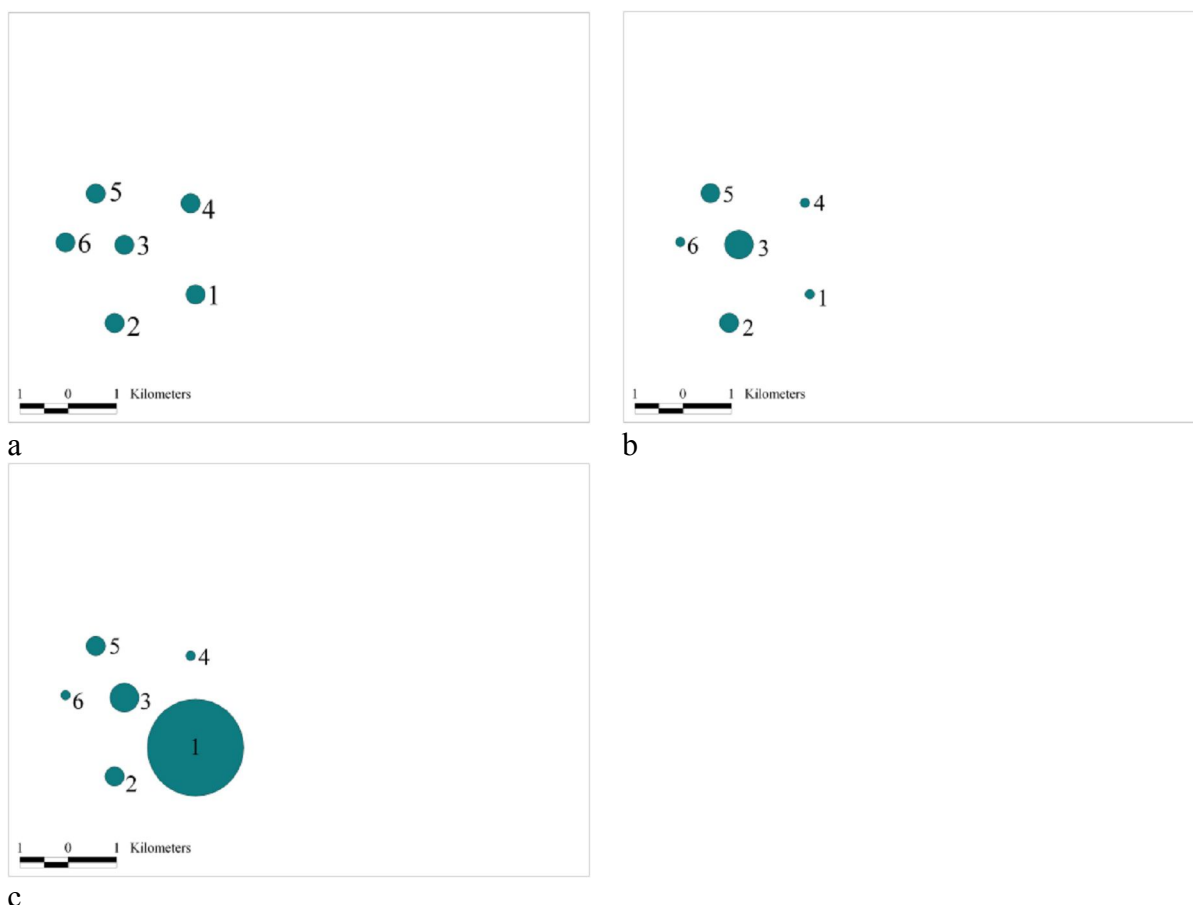
g



h

47. *ábra.* Két foltból álló táj (a: 100 m sugarú körök; b: 200 m sugarú körök; c: 100 és 1000 m sugarú körök; d: 200 és 1000 m sugarú körök; e: 100 m sugarú körök; f: 200 m sugarú körök; g: 100 és 1000 m sugarú körök; h: 200 és 1000 m sugarú körök);

Ezt követően egy 6 foltból álló csoportot állítottam elő, melyek egymástól kis távolságban helyezkednek el (48. *ábra*).



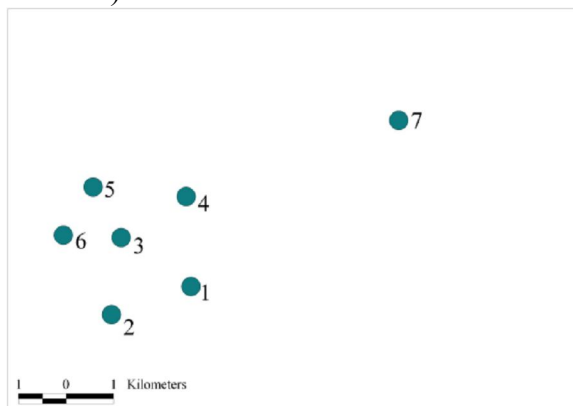
48. ábra. 6 foltból álló táj (a: 200 m sugarú körök; b: 100-200-300 m sugarú körök; c: 100-200-300-1000 m sugarú körök)

A tájmetriai analízis eredményeit a 36. táblázatban foglaltam össze. 6 foltnál, melyek nem egyenlő távolságban vannak, már további részletek derülnek ki a vizsgált metrikákkal kapcsolatban. A legkisebb távolság értékek alapján 1500 méteres keresési sugarat alkalmaztam, azért hogy az egyes foltok ne nulla értéket kapjanak. A PROX és ENN metrikáknál az *a* esetben a foltok értékét az egymástól való távolság határozza meg, amit a PROX esetében tovább befolyásol a folt helyzete. Ennek az eredményét látjuk a 3-as (középső) folt legmagasabb értékében. A *b* esetben nem a 3-as folt a legnagyobb értékű – bár a legnagyobb területű, ami a környező kisebb foltok miatt van. Ha viszont a *c* esetet nézzük, ismét a 3-as foltnak a legnagyobb a közelségi értéke – köszönhetően az 1 km sugarú körnek. A konnektivitási valószínűségnél elsősorban a méret számít. Egyenlő területek esetén (*a*) a középső helyzetű 3-as folt kapja a legnagyobb értéket, a *b* és *c* esetben csak a méret számít.

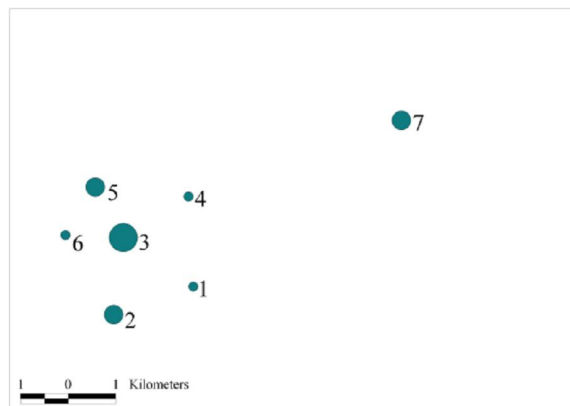
36. táblázat. A 6 foltból álló táj tájmetriai paraméterei 1500 m-es keresési sugár esetén (ENN: legkisebb euklideszi távolság; PROX: közelségi index; PC: konnektivitási valószínűség)

ID	a			b			c		
	ENN	PROX	PC	ENN	PROX	PC	ENN	PROX	PC
1	1379	0,130	17,08	1401	0,201	1,82	505	1,525	98,68
2	1239	0,147	17,51	1140	0,231	16,65	579	9,548	2,50
3	823	0,596	28,06	721	0,420	74,82	505	12,669	7,40
4	1221	0,084	17,23	1221	0,189	2,02	810	4,952	0,39
5	796	0,381	23,74	721	0,580	23,75	721	0,580	0,94
6	796	0,380	23,78	830	0,564	4,13	830	0,564	0,18

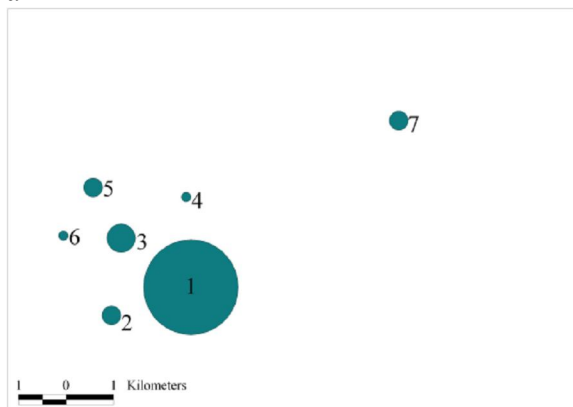
Ezután egy távolabbi, a többtől 4,5 km-re elhelyezkedő foltot helyeztem el (49. ábra). A PROX és ENN értékekben nem okozott változást (folt szinten), a 7-es folt értéke pedig nulla, mivel kívül esik a keresési sugáron. A PC-értékek viszont módosulnak, mivel a foltokat egyenként, a többi folt figyelembevételével adja a szoftver. A 7-es, távol eső folt értéke is 10%, az 1-es, 2-es, 4-esé pedig 15%. Ezek a központi helyzetű, 3-as számú (25% értékű) folttól távolabb lévő foltok. Itt láthatjuk a távolság szerepét. Ilyen esetben érdemes a többi gráfelméleti alapon számított indexet is megnézni. Az integrált konnektivitási index (IIC) pl. 5%-ot kalkulál a távol eső foltnak és 25% körül az egy halmazban lévőeknek. A valószínűségi mutatók közül mind a fluxus, mind a területtel súlyozott fluxus hihetőbben becsli a távoli folt jelentőségét (1 alatti értéket adva a 7-es számú foltnak, 15-65% körül az egymáshoz közel esőknek).



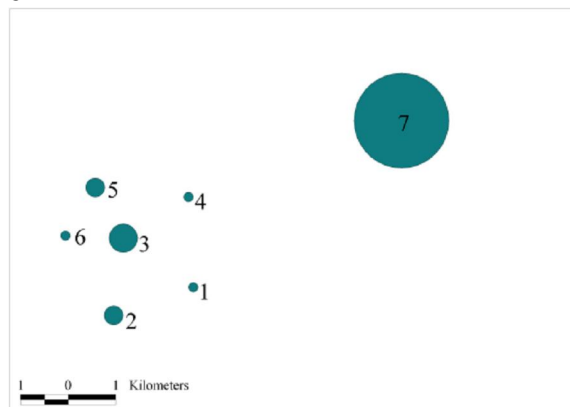
a



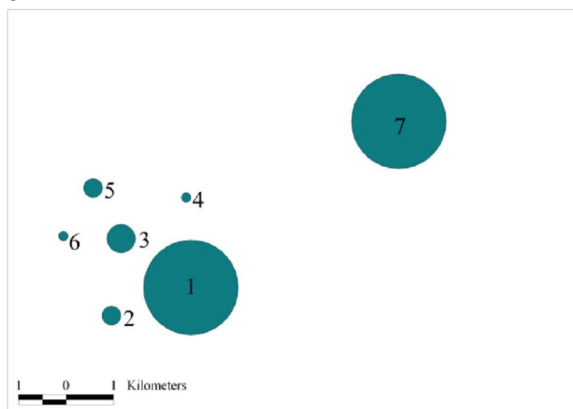
b



c



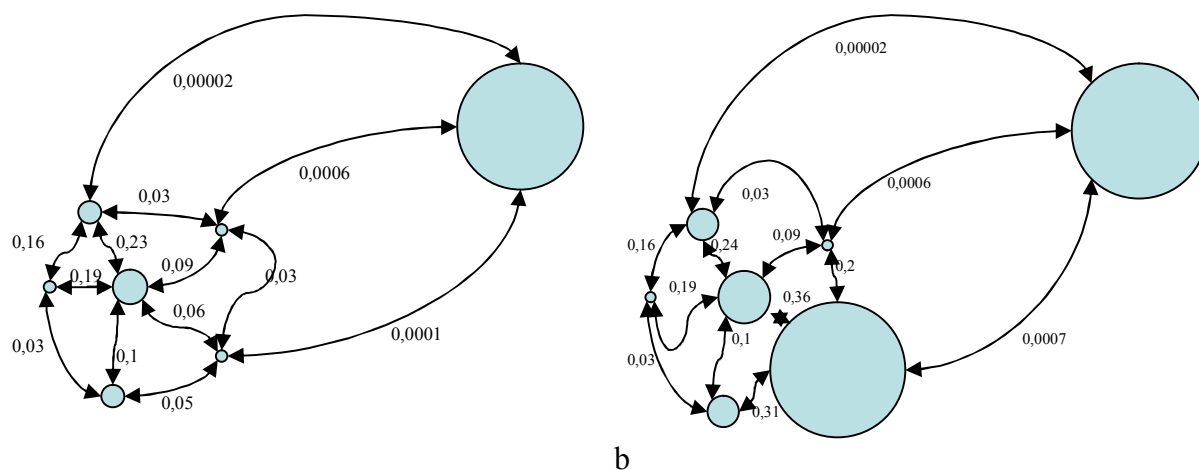
d



e

49. ábra. 7 foltból álló táj (a: 200 m sugarú körök; b: 100-200-300 m sugarú körök; c: 100-200-300-1000 m sugarú körök, a távoli folt 200 m; d: 100-200-300 m sugarú körök, a távoli folt 1000 m; e: 100-200-300-1000 m sugarú körök, a távoli folt 1000 m)

A *d* eset értelmezése eltérhet az eddigiektől. Eddig abból a szempontból néztük a foltokat, hogy van egy foltcsoport és egy távol eső, velük közel azonos területű további folt (*a-c*). A *d*-eset értelmezhető szintén így, de a gondolatmenten fordíthatunk is: van egy nagy folt (pl. erdő) és tőle távolabb több kisebb. Ez esetben érthető, ha a PC-index nagy értéket kalkulál a 7-es számú foltok, sőt eléggé túl is hangsúlyozza a szerepét (98%, míg az 1-6 foltok 0-1 közötti értéket kapnak). Az *e* eset annyiban tér el a *d*-től, hogy itt kombinálódik az előző két megközelítés: a foltcsoport és a távol eső folt is kiemelt része a tájnak. Ez a PC indexben is visszatükröződik: az 1-es folt értéke 52%, a 7-es folté 47%. Ha ezekre az értékekre úgy tekintünk, mint a konnektivitás szempontjából legfontosabbakra, nem biztos, hogy a legjobb úton járunk. A kiemelt jelentőségű foltok valóban fontosak és a konnektivitásban is jelentős szerepet játszanak, de ne feledjük, hogy a keresési sugár 1500 m volt: azaz a 7-es számú folt fontos szerepet tölt be a tájelemek hálózatában és fajmegőrzésben (nagyobb területe lehetővé teszi a belső területeken megjelenő specialista fajok megjelenését is), de az 1-6 foltok által alkotott foltthalmazból nem nagy fajáramlással kalkulálhatunk. A CS22 kiszámítja a foltok közti fajmozgás valószínűségét is, melyet a *d* és *e* esetek példáján mutatok be (50. ábra).



50. ábra. A fajmozgások valószínűsége a foltok között (a: 48. ábra szerinti *d* eset; b: 48. ábra szerinti *e* eset)

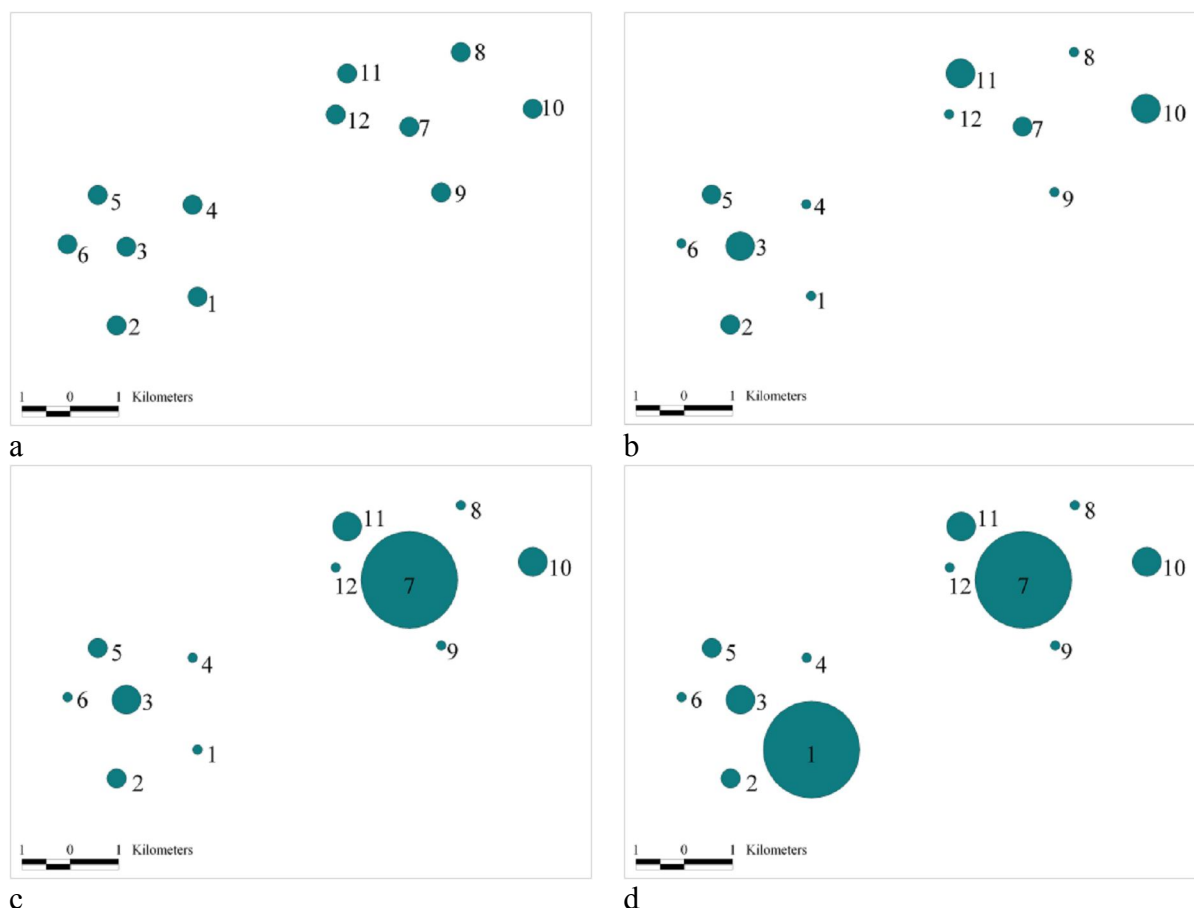
Szembevetendő tehát, hogy amíg a PC értékek magasak a 7-es foltnál, viszont a fajáramlásban betöltött szerepe kicsi (50. ábra). A nagyobb területű foltok kitüntetett szerepe mindenhol megfigyelhető, nagyobb valószínűségeket kis területű foltok között csak ott láthatunk, ahol nincs más lehetőség (pl. 5-6-os foltok között). A valószínűségek – mint az 50. ábrán láthatjuk – abban az esetben változnak, ha a foltméretekben változás történik. Az 1-es folt 1000 m sugarúvá növelésével megnő a fajáramlási valószínűség a szomszédos foltokkal is; emellett nagyobb PC értéket is kap. A változás hihető, a nagyobb foltok a fajgazdagsága is nagyobb és a betelepülő fajoknak is tágabb életteret tud biztosítani. A 7-es folt nagy PC-értéke viszont még ebben a helyzetben is csak populációdinamikai okokkal magyarázható.

A *d-e* esetekre a IIC mutató is a PC-hez hasonló értékeket ad, a fluxus és a területtel súlyozott fluxus számítás kisebb értékeket a 7-es foltra. Hangsúlyozva azt, hogy a nagy területű foltok fontos szerepet töltenek be a tájszerkezetben, a konnektivitásban betöltött szerepük ettől eltérhet. Véleményem szerint a foltok ezen tulajdonságát a fluxus, vagy a területtel súlyozott fluxus jobban közelíti (37. táblázat, vö. 50/a ábra).

37. táblázat. A 49. ábra/d elrendezés gráfelméleti metrikái foltokra vonatkoztatva

ID	Integrált konnektivitási index	Fluxus	Területtel súlyozott fluxus	Konnektivitási valószínűség
1	0,18	15,08	4,92	0,03
2	0,70	19,86	25,14	0,25
3	1,98	65,64	91,11	1,11
4	0,16	16,22	6,26	0,03
5	0,70	43,76	56,55	0,35
6	0,18	39,37	15,27	0,06
7	97,60	0,08	0,75	98,52

Megvizsgáltam azt is, hogy miként reagálnak a mérőszámok 2 azonos jellegű, de elkülönülő foltcsoport esetén (51. ábra). Az azonos területű foltok esetében (a) a PC értékei változtak ugyan az előző (7 foltból álló) elrendezéshez képest, de az arányok megmaradtak. Az új foltoknál kisebb változás, hogy nem a központi helyzetben lévő 7-es folt, hanem a 11-es és 12-es számú foltok kapták a legnagyobb értéket (7: 10,8; 11: 12,4; 12: 12,8). Ez feltehetően annak köszönhető, hogy e két utóbbi folt valamivel közelebb van a másik (1-6 foltokból álló) folt-halmazhoz. A b esetben annyiban változik ez a helyzet, hogy a kisebb területű 12-es folt értéke jelentősen visszaesik (2,5), a nagyobb területű 10-es folté pedig megnő (23,9 – ugyanakkor a 11-es folt értéke nagyobb lesz: 27,3).



51. ábra. 6-6 foltból álló táj (a: 200 m sugarú körök; b: 100-200-300 m sugarú körök; c: 100-200-300 m sugarú körök, 1000 m sugarú az egyik csoportban; d: 100-200-300 m sugarú körök és egy 1000 m sugarú mindkét csoportban)

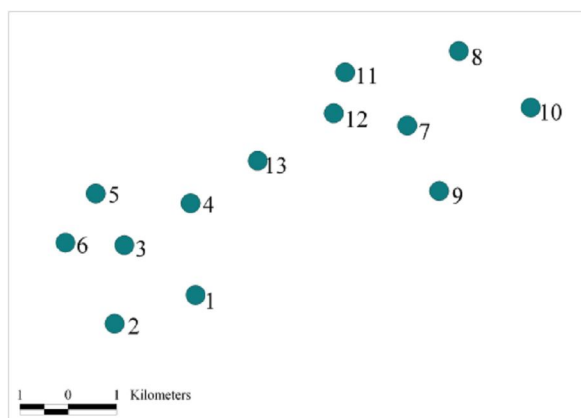
A *c-d* esetekben a felértékelődnek a nagyobb (1000 m sugarú) foltok. A *d* elrendezésben a PC a 7-es foltnál 97%-os, az *e*-ben mindkettő nagy területű folt 49%-os (az összes többi 1% alatt).

Következő lépésként azt a helyzetet vizsgáltam meg, amikor a két folthalmaz közé beillesztünk egy kapcsot, a 13-as számú foltot, mely biztosíthatja a teljes összekötöttséget (52. ábra). E folt jelentősége beláthatóan nagy, mivel ez az egyetlen, amelyik lépegető kőként (stepping stone-ként) funkcionálhat, a fajok áramlására gyakorolt hatása miatt. *Vos et al.* (2007) az ilyen foltokat kulcspozíciójú foltoknak (key patch) nevezi. A PC-értékek azonban nem tükrözik a fontosságát, az egyenlő területű foltok esetében (a) mindössze 8%-ot kapott (az összehasonlíthatóság kedvéért jegyzem meg, hogy ezzel majdnem a legkisebb értéket kapta, a legnagyobb a 12-es folthoz tartozik, 12,5%-kal). Figyelmesen szemlélve láthatjuk, hogy valójában a 4-es, 12-es és 13-as foltok azok, amelyek kulcspozícióban vannak, megszűnésük (pl. egy erdőfolt tarra vágása vagy egy gyeperő beszántása) esetén – vagyis a 12-es folt szerepe jelentős, de a főszerep nemcsak ezt a foltot illeti.

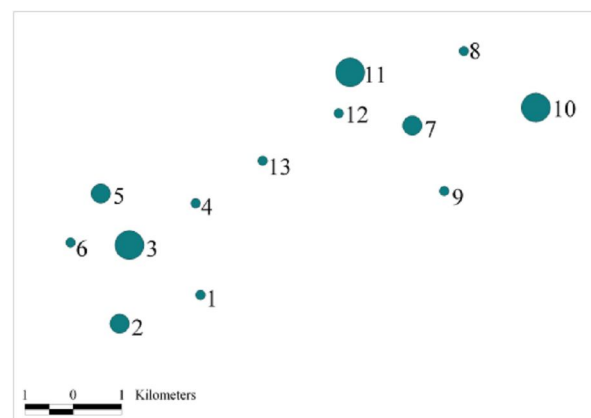
A *b* eset a metrika egy fontos hiányosságára hívja fel a figyelmet: ha a terület nem állandó, a nagyobb területűek szerepe túlhangsúlyozott, potenciálisan a konnektivitás rovására. Mind a 4-es, 12-es és 13-as folt szerepe alulértékelt (4: 0,5%; 12: 2,5%; 13: 0,5% – míg a nagyobb területűek 7-32%-ot kaptak), így akár értéktelennek is ítélnénk a jelenlétüket. Ezt a helyzetet egyedül a bináris indexek (Harary-index, a CCP, LCP) tudták csak kellőképpen kezelni (pl. a Harary-index esetében 4: 41; 12: 38; 13: 38, míg a többi folt értéke 10-20 közötti).

Hasonló az eredmény, ha a *c* elrendezést nézzük, ahol minden folt 500 m sugarú kör, kivéve a 13-ast, ami 100 m. A valószínűségi változók által a kulcspozíciójú foltok jelentősége alulértékelt, a bináris indexek ez esetben is jó eredményt adtak.

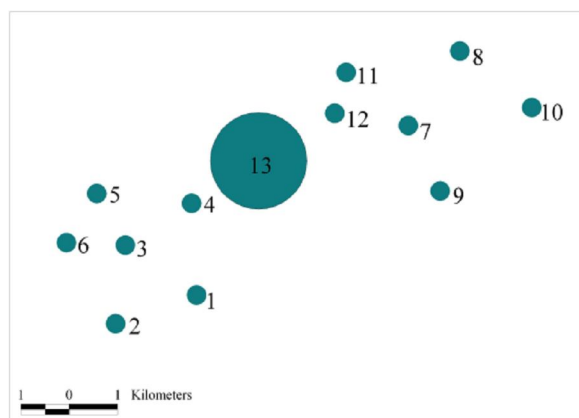
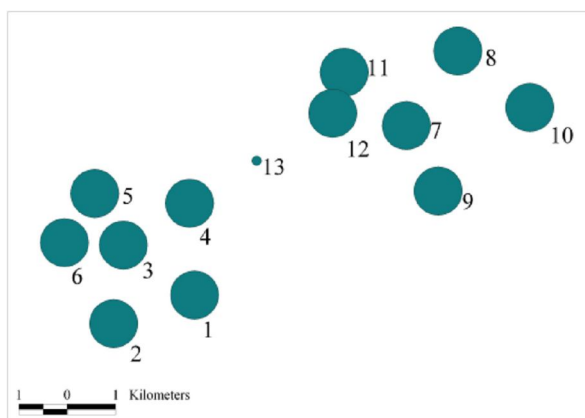
Amikor viszont a 13-as folt 1000 m sugarú (52/e eset), a jelentősége is 97%-os a PC-érték alapján (a többi 0-3% közötti). A bináris indexek továbbra is jó eredményt adnak, a valószínűségi indexek közül pedig a területtel súlyozott fluxus becsli legjobban foltok konnektivitásában betöltött kulcsszerepét. A PC-index magas értéke nem feltétlenül indokolt, azt sugallja, hogy a többi folt szerepe elhanyagolható.



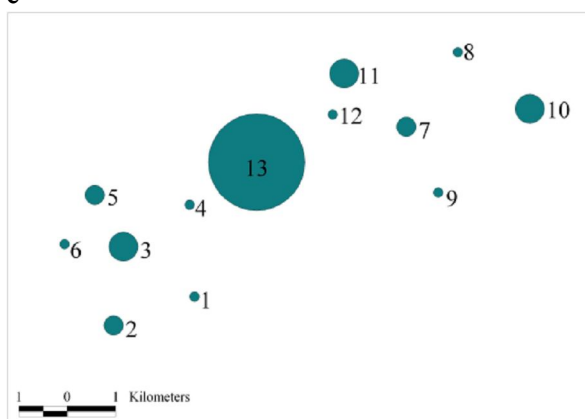
a



b



c

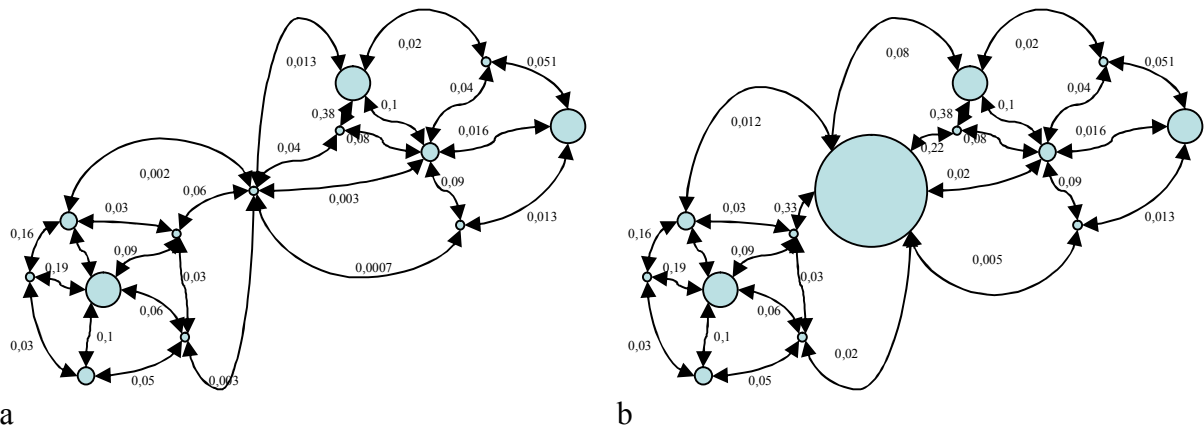


d

e

52. *ábra.* 13 foltból álló táj 1 kulcsfontosságú folttal (a: 200 m sugarú körök két csoportban, kapcsoló folt 200 m; b: 100-200-300 m sugarú körök, a kapcsoló folt 100 m; c: 500 m sugarú körök, a kapcsoló folt 100 m; d: 200 m sugarú körök, a kapcsoló folt 1000 m; e: 100-200-300 m sugarú körök, a kapcsoló folt 1000 m sugarú)

A fajáramlási valószínűségeket az 52. *ábra* b és e elrendezése alapján mutatom be (53. *ábra*), ahol a 13-as kulcspozíciójú folt egy 100, illetve 1000 m sugarú kör. Ha a fajáramlási valószínűségeket vesszük alapul, akkor a 13-as folt alacsony értéke érthető, a kis folt nem vonzza az állatokat. Mivel azonban lépegető kőként fontos tájelem, véleményem szerint helytelenül alábecsült e folt szerepe. Figyelembe kell venni azt is, hogy a PC-index esetében nemcsak a folt területe határozza meg a valószínűségeket, hanem a távolságok csökkenése is: a 100 és 1000 m sugarú körök határvonala között a távolság különbsége 900 m, ami a szoftver által alkalmazott exponenciális függvény (lásd 2.3 fejezetben) miatt jelentős különbségeket kell, hogy generáljon a fajmozgási valószínűségeken. Ennek vizsgálatához az 52/b *ábra* szerinti elrendezést úgy is megvizsgáltam, hogy mi történik akkor, ha a 13-as folt 100 m-es sugarához tartozó területértékét kicserélem az 1000 m-es sugarú körére (így a távolságot mint független változót hatását ki lehet küszöbölni; mintha a két foltcsoportot mindkét irányba eltoltam volna 900-900 m-rel), a távolságmátrix. Az eredmény (94,3% a 13-as foltra) szinte tökéletesen megegyezik azzal esettel, mint amit az 52/e esetben kaptam (94,9% a 13-as foltra), vagyis a terület szerepe mindenképpen túlhangsúlyozott. Az elemzés szerint a Harary-index és a fluxus sokkal jobb közelítést ad a foltok közötti konnektivitásról, mint azok az indexek, melyek a területet is figyelembe veszik.

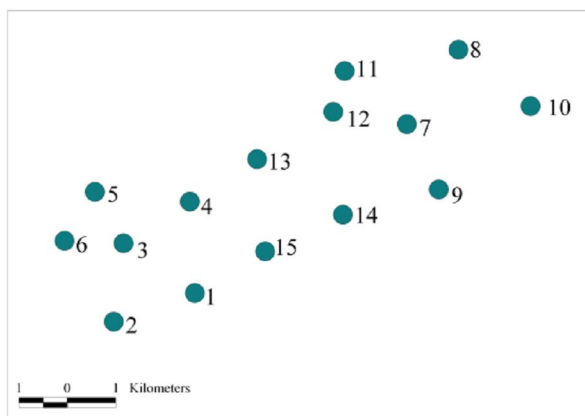


53. ábra. A fajmozgások valószínűsége a foltok között (a: 50. ábra szerinti b eset; b: 50. ábra szerinti e eset)

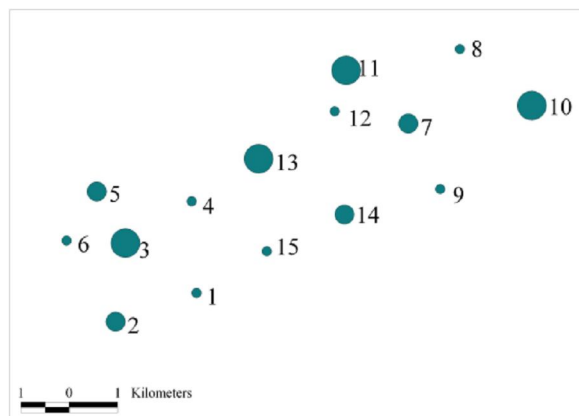
A nagyobb folt természetesen nagyobb fajmozgást indukálhat, de a fentiek alapján úgy tűnik, hogy a valószínűségek meghatározásának alapja a terület és emiatt háttérbe szorul a tájelemek összekötöttségének kérdése. Amíg a kis foltok potenciálisan csak a fajáramlást szolgálják, mert méretük nem teszi lehetővé sok faj megtelepedését, a nagy foltok sokszor élőhelyként funkcionálnak. A SLOSS (Single Large or Several Small) vita középpontjában éppen ez a probléma áll: a nagy és kis foltok tájban betöltött szerepe nem egyértelmű, előnyök és hátrányok mindkettő esetében felhozhatók (Simberloff – Abele, 1981; Margóczy, 1998; Allaby, 2004; Kerényi, 2007; Whitakker – Fernández-Palacios, 2007). A kutatások megállapították, hogy számos esetben a kis fragmentumokból álló hálózat nagyobb fajgazdagságot eredményezett, mint az ugyanakkora területnek megfelelő egyetlen nagy folt (pl. pillangók, madarak, erdőtársulások esetében: Baz – Garcia-Boyer, 1995; Fukamachi et al. 1996; Bánszegi et al. 2000; Tscharnkte et al. 2002). Ez persze nem jelenti azt, hogy a nagy foltok ne lennének fontosak, ezek jelentőségét a specialista fajok megőrzésében senki nem vonja kétségbe. Ez a munka nem alkalmas a vita eldöntésére, csak arra szerettem volna felhívni a figyelmet, hogy a kis foltok önmagukban is alkalmasak lehetnek a diverzitás fenntartására, vagy növelésére. Csak a méret alapján tehát nem lehet eldönteni a foltok tájban betöltött szerepét, a kiértékelésben sokkal nagyobb szerepet kell adni a konnektivitásnak.

A továbbiakban azt a lehetőséget is megvizsgáltam, hogy a két foltalmaz közé nem egy, hanem három foltot illesztünk be (vagy a valóságban létesítünk – 54. ábra). A Saura és Torné (2009) által javasolt indexek ebben az elrendezésben – vagyis amikor a teljes konnektivitás teljesülése nem egy folton múlik – sokkal hihetőbb eredményt adnak. A 3 további folt (13-15-ös számú) stabil kapcsolatot jelent a 2 foltalmaz között, sőt az eloszlás már egyetlen ÉK-DNy-i irányú csoportosulásként jelenik meg. Egy folt kiesése nem okozza a foltrendszer konnektivitásának a megszűnését.

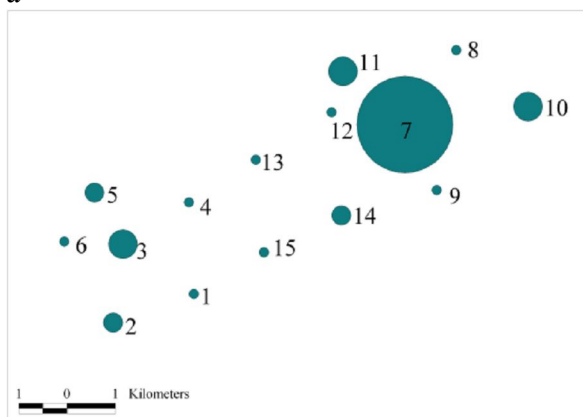
Egyenlő területű foltok esetén (a) a korábbiakhoz hasonlóan a távolság, a többi esetben (b-e) a terület és a távolság adja meg a foltokhoz tartozó értékeket. A nagy területű foltok nagyobb, a kisebbek kisebb valószínűséget kapnak. A konnektivitáson nem változtat lényegileg a foltméretek növekedése, ezért külön nem értékelem az egyes eseteket. A b-e elrendezéseket a táj szintű vizsgálatoknál és a statisztikai elemzésnél használtam fel.



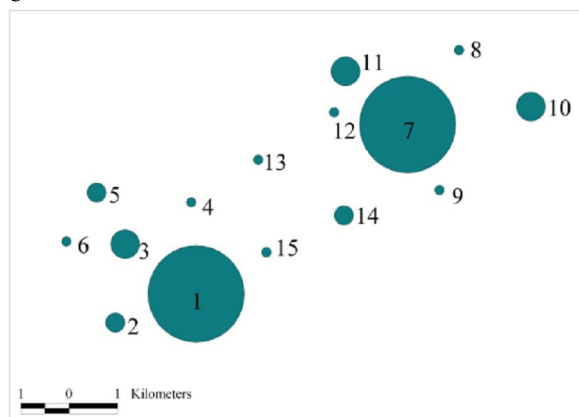
a



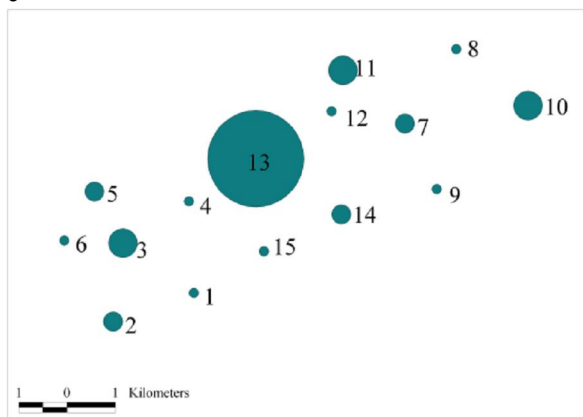
b



c



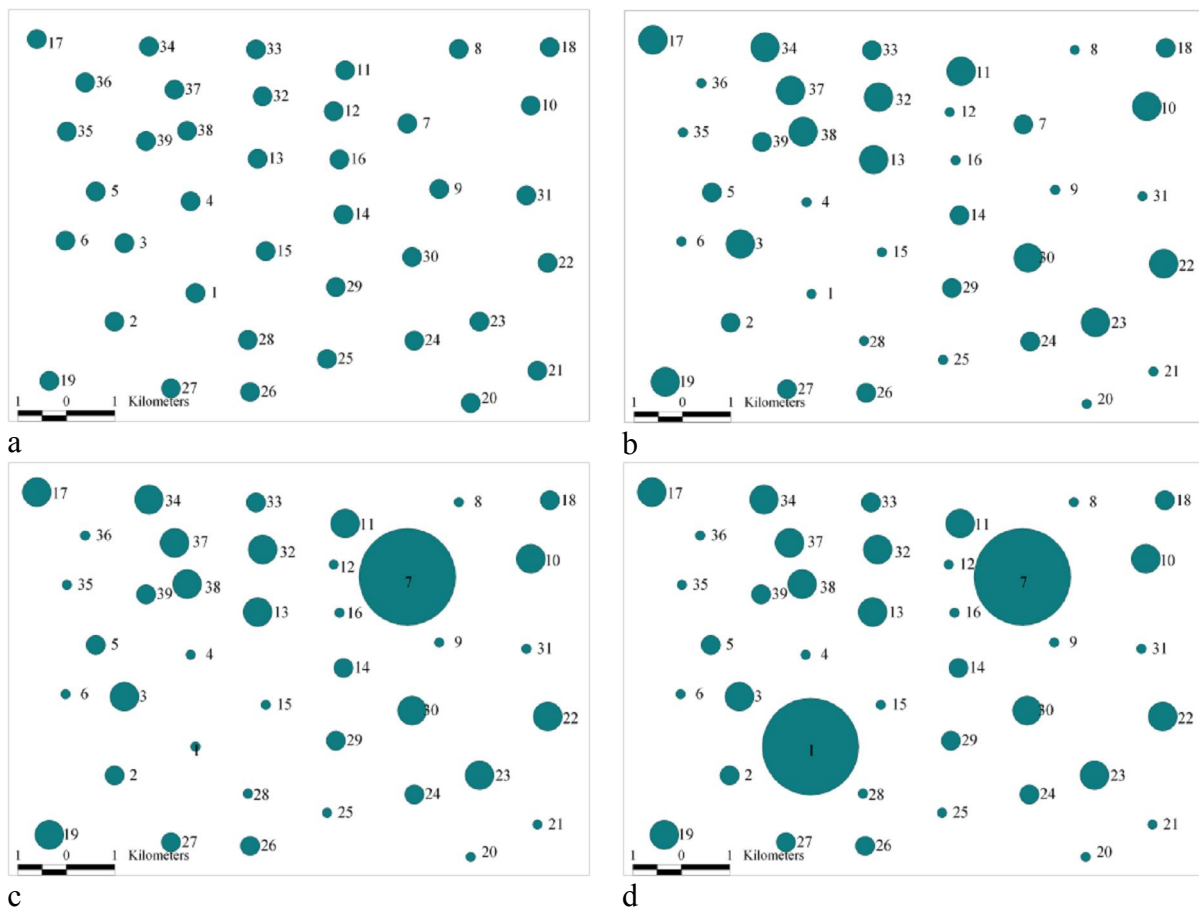
d



e

54. ábra. 15 foltból álló táj 3 kulcsfontosságú folttal (a: 200 m sugarú körök két csoportban, kapcsoló foltok 200 m sugarúak; b: 100-200-300 m sugarú körök; c: 100-200-300 m és egy 1000 m sugarú kör d: 100-200-300 m és kettő 1000 m sugarú kör; e: 100-200-300 m sugarú körök, a kapcsoló foltok 100-200-1000 m sugarúak)

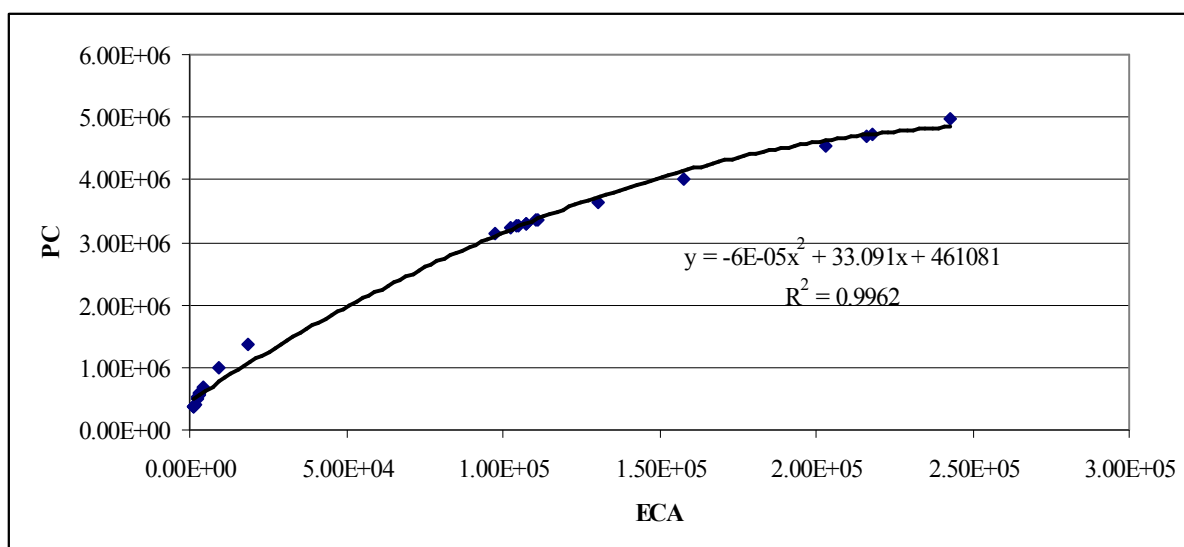
Ha a teljes területen szóródnak a foltok (55. ábra), a konnektivitás az eddigiekben alkalmazott 1500 méteres keresési sugár mellett teljes, amin nem változtat a foltok mérete csak annyiban, hogy a nagyobbak nagy értéket kapnak. Ezeket a konfigurációkat a táji szintű és a statisztikai értékelésnél használtam fel.



55. ábra. 39 foltból álló táj (a: 200 m sugarú körök; b: 100-200-300 m sugarú körök; c: 100-200-300 m sugarú körök, és egy 1000 m sugarú; d: 100-200-300 m sugarú körök és kettő 1000 m sugarú)

4.4.2. A mérőszámok táj szintű kiértékelése

A táj szintű kiértékelés során szembesültem azzal, hogy amikor már a maximális tájattribútummal (A_L , lásd 2.3. fejezet, IIC-index) is számolni kell, a végeredmény egy igen kis szám lesz (0,001-0,00002). Ez annak a következménye, hogy a foltok terület az összterülethez viszonyítva igen kicsi. Ha a folt területe 1%, akkor a PC-index táj szinten $0,1 \times 0,1 = 0,01$. Esetemben ez a szám kisebb, mint 1% (egy 200 méteres sugarú kör esetében 0,0012, ami még 39 folt esetében is csak 0,048), ezért zavaróan kis értékeket kaptam. Ezen kétféle módon lehet segíteni: mivel minden esetben ugyanarra a területre kell meghatározni a konnektivitást, nem használjuk csak a képlet számlálóját (illetve annak egy kezelhető méretű számrá egyszerűsített változatát), vagy a számláló négyzetgyökével számolunk. Ez utóbbi megoldás Saura Santiago professzor eddig még le nem közölt új konnektivitási mérőszáma, az ECA (Equivalent Connected Areas; *Saura, pers comm*).



56. ábra. A PC-index és az ECA összefüggése

A PC és az ECA között polinomiális összefüggés van (a másodfokú illesztés esetén $R^2=0,996$ - 56. ábra), mely azt jelenti, hogy valóban kicsi a különbség a felvázolt két módszer között (beleértve a számláló egyszerűsítését is).

38. táblázat. Táj szintű konnektivitási metrikák a vizsgálat elrendezések esetében

konf	NL	H	IICNum	F	AWF	PCNum	ECA	PROX	CONNECT	COHESION
6a	8	11,5	2,92E+11	2,141	3,35E+10	1,28E+11	35,78	0,29	46,67	98,31
6b	7	11	2,41E+11	2,087	3,28E+10	1,47E+11	38,30	0,36	46,67	98,42
6c	8	11,5	1,17E+13	3,663	9,94E+11	1,09E+13	330,62	4,97	53,33	99,61
7a	8	11,5	3,07E+11	2,142	3,35E+10	1,44E+11	37,90	0,25	33,33	98,22
7b	7	11	2,56E+11	2,087	3,28E+10	1,62E+11	40,29	0,31	33,33	98,31
7c	8	11,5	1,17E+13	3,663	9,94E+11	1,09E+13	330,86	4,26	38,10	99,54
7d	7	11	1E+13	2,088	3,31E+10	9,92E+12	314,91	0,31	33,33	99,57
7e	8	11,5	2,15E+13	3,666	1,01E+12	2,07E+13	455,15	4,26	38,10	99,63
12a	14	21,5	5,65E+11	3,848	6,01E+10	2,49E+11	49,87	0,30	19,70	97,97
12b	12	17	4,85E+11	3,721	5,07E+10	3,42E+11	58,44	0,34	18,18	98,19
12c	14	22	1,23E+13	6,278	1,19E+12	1,12E+13	335,39	5,60	21,21	99,31
12d	15	22,5	2,38E+13	7,857	2,17E+12	2,20E+13	469,56	7,91	22,73	99,47
13a	16	35,46	9,02E+11	4,184	6,54E+10	2,70E+11	51,99	0,30	19,23	97,94
13b	13	19,83	4,97E+11	3,959	5,12E+10	3,43E+11	58,57	0,32	16,67	98,11
13c	19	37,56	3,11E+13	12,682	7,45E+12	1,61E+13	401,38	11,64	25,76	99,24
13d	17	36,44	1,36E+13	5,503	7,07E+11	1,07E+13	327,65	2,24	20,51	99,16
13e	15	28,83	1,28E+13	5,154	3,64E+11	1,05E+13	323,37	1,71	19,23	99,26
15a	19	45,65	1,15E+12	4,973	7,77E+10	3,14E+11	56,07	0,28	17,14	97,89
15b	16	35,50	9,73E+11	4,742	6,38E+10	4,51E+11	67,18	0,31	15,24	98,13
15c	18	44,93	1,38E+13	7,333	1,29E+12	1,14E+13	337,11	4,67	17,14	99,19
15d	19	46,34	3,14E+13	9,476	2,33E+12	2,23E+13	471,89	7,11	18,10	99,39
15e	19	40,74	1,35E+13	6,351	5,29E+11	1,06E+13	326,20	2,05	18,10	99,18
39a	75	268,01	6,33E+12	21,121	3,30E+11	9,65E+11	98,23	0,47	9,99	97,61
39b	70	247,35	8,03E+12	21,708	6,03E+11	1,90E+12	137,81	0,80	9,45	97,97
39c	74	267,75	2,8E+13	25,337	2,14E+12	1,33E+13	364,64	2,86	9,99	98,59
39d	77	274,92	5,21E+13	28,988	3,67E+12	2,48E+13	497,82	4,58	10,39	98,87

NL: kapcsolatok száma (db); H: Harary-index; IICNum: integrált konnektivitási mutató számláló; F: fluxus; AWF: területtel súlyozott fluxus; PCNum: konnektivitási valószínűség számláló; ECA: egyenlő összekötöttségű területek (ha); PROX: közelségi index; CONNECT: összekötöttségi index; COHESION: kohéziós index

Az „*a*” elrendezések minden foltszám esetében a 200 m sugarú köröket, a „*b*”-k a 100-300 méteres köröket jelentik, a *c-d-e* variációkban pedig az 1000 méteres körök jelennek meg. A 38. táblázat alapján azt láthatjuk, hogy általában az egyenlő területű foltok esetében kapjuk a legkisebb értékeket, melyektől kedvezőbb, ha a foltok területében változatosság van (minél nagyobb, annál nagyobb számot kapunk). A kapcsolatok száma és a Harary-index értéke viszszaesik az *a* és *b* elrendezések között, aminek oka az, hogy a 100 m sugarú körök konnektivitása nem teljes, vannak olyan esetek, amikor az 1500 méteres keresési sugáron kívül esik. A közelségi indexnél ez úgy jelentkezik, hogy 100 m sugarú körök miatti visszaesést ellensúlyozza a 300 m-esekből származó többlet. A kohéziós index a keresési sugártól független, értékét a kerület, a terület és foltok összkerülete határozza meg. Eszerint a mérőszám értékének növekedését idézi elő a nagyobb kerületű és területű foltok megjelenése. Az összekötöttségi index magas értékei a foltok nagy mértékű kapcsolódásáról árulkodnak. Nem magyarázható viszont a 7-foltos elrendeződés esetében a magas érték, mivel itt a 7-es számú folt semelyik másikkal nincs összeköttetésben, ráadásul a *b* esetben az egyik 100 méteres sugarú kör kapcsolata is megszűnik a többivel, ám az érték tovább növekszik (vö. 37. táblázat).

4.4.3. A konnektivitási metrikák értéke és a foltszám közötti kapcsolat

A foltok száma a befolyásolhatja a kapott eredményt, kifejezetten akkor, ha az indexek mértekegysége nem standardizált. Belátható, hogy a kapcsolatok száma annál több, minél több folt van a tájban – még akkor is nagyobb erre a potenciális lehetőség, ha köztük nincs funkcionális kapcsolat. Valójában a kapcsolatok számát nem a foltszám határozza meg, hanem a keresési sugár, esetünkben azonban a foltok közötti átlagos távolság és a keresési sugár körülbelüli egyezése miatt a kettő egyenes arányban van egymással. A Harary-index szintén foltszámfüggő: minél több a vizsgálati egységben a folt, annál nagyobb az értéke (ez esetben is a kapcsolatok számáról és nem kifejezetten a foltszámról van szó). A fluxus szintén foltszámfüggő, de a területtel súlyozott változata már nem az. Az összekötöttségi index és a legkisebb euklideszi távolságok értékei szintén függnak a foltok számától. Ez nem jelenti azt, hogy nem használhatjuk őket, de összehasonlító vizsgálatokban figyelembe kell venni azt a tényt, hogy pusztán amiatt kapunk eltérő eredményeket, mert időközben homogénebb, vagy éppen heterogénebb lett a táj.

Nem befolyásolja a kapott eredményt a foltszám az integrált konnektivitási index, a konnektivitási valószínűség és a közelségi index esetében (39. táblázat). Ezek a mérőszámok használhatók az összehasonlító vizsgálatokban, a foltszám (potenciális kapcsolatok száma) nincs hatással az értékükre.

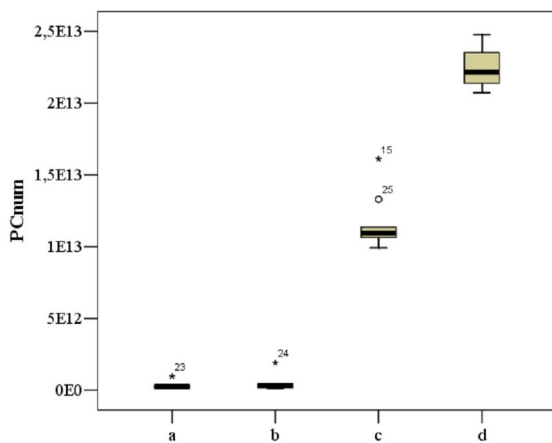
39. táblázat. A foltszám hatásának vizsgálata a konnektivitás mérőszámaira Kruskal-Wallis próbával ($p < 0,05$)

konnektivitási mérőszám	szignifikancia
NL (kapcsolatok száma)	0,000
H (Harary-index)	0,014
IICNum (integrált konnektivitási valószínűség)	0,333
F (fluxus)	0,001
AWF (területtel súlyozott fluxus)	0,341
PCNum (konnektivitási valószínűség)	0,582
ECA (egyenlő összekötöttségű területek)	0,582
PROX (közelségi index)	0,917
CONNECT (összekötöttségi index)	0,000
COHESION (kohéziós index)	0,484

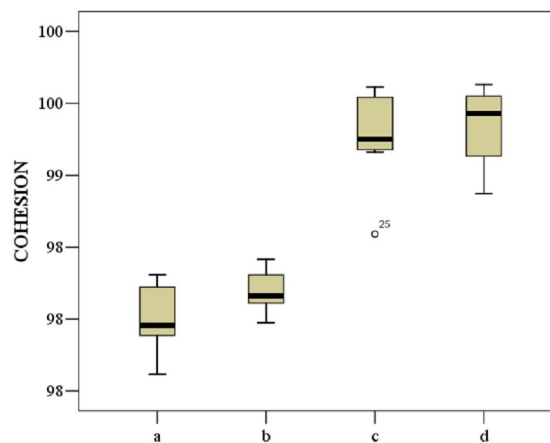
4.4.4. A konnektivitási metrikák és az elrendezések viszonyának elemzése

Addig, amíg a foltszámmal kapcsolatban elvárás, hogy az értéket ne befolyásolja, addig az elrendezések esetében éppen azt szeretnénk, ha a mérőszámok kimutatnák a különbségeket. Az egyes elrendezéseket az előzőkben ismertetett *a* (200 m sugarú körök), *b* (100-200-300 m sugarú körök), *c* (100-200-300-1000 m sugarú körök) és *d* (100-200-300 m sugarú körök és 2 db 100 m sugarú kör) csoportokra bontottam. Kruskal-Wallis próbával azt igazoltam, hogy melyek azok a metrikák, amelyek képesek különbséget tenni az egyes elrendezések között.

A vizsgálat a táj szintű találkozási valószínűség, az integrált konnektivitási index, a területtel súlyozott fluxus, a konnektivitási valószínűség (és ECA), közelségi index és a kohéziós index esetében igazolt szignifikáns ($p < 0,05$) különbségeket az egyes elrendeződések között. Ezen belül nincs szignifikáns különbség az *a* és *b* elrendezések között, az összes többi között igen, melyet jól példáz a konnektivitási valószínűség az 57. ábrán. Ettől kissé eltérő képet mutat a kohéziós index, melynél az *a-b* és *c-d* elrendezések között nincs szignifikáns különbség (58. ábra).



57. ábra. A konnektivitási valószínűség értékeinek szóródása az elrendeződések szerint



58. ábra. A kohéziós index értékeinek szóródása az elrendeződések szerint

4.4.5. A konnektivitási metrikák és a felbontás közötti kapcsolat

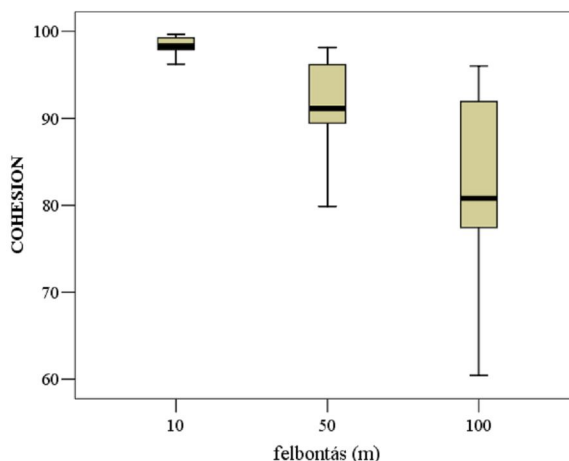
A felbontás-függőséget táj szinten vizsgáltam meg: 10, 50 és 100 méteres felbontásokat alkalmaztam és elemeztem a köztük lévő különbségeket.

A 40. táblázat adatai szerint minden mérőszámra hatással van a felbontás. Ennek oka az, hogy távolságot, illetve területet kell számítani a meghatározásuk során. Mindkét értéket befolyásolja a pixelek nagysága, így nem is a felbontás-függés ténye, hanem inkább a mértéke a kérdés.

40. táblázat. A raszter alapú konnektivitási/izolációs metrikák átlagai különböző felbontások mellett

foltszám	felbontás (m)	PROX	ENN	CONNECT	COHESION
6	10	1,87	902	48,9	98,8
	50	1,73	932	48,9	93,6
	100	1,61	965	46,7	86,1
7	10	2,68	1248	36,2	99,3
	50	2,12	1323	35,7	96,2
	100	1,41	1421	31,7	90,6
12	10	3,29	888	20,5	98,2
	50	3,08	910	20,1	93,5
	100	2,94	951	17,8	86,4
13	10	3,24	915	20,3	98,7
	50	2,65	943	19,8	93,6
	100	2,21	992	18,0	86,6
15	10	2,88	953	17,1	98,8
	50	2,54	983	15,4	93,6
	100	2,41	1021	13,5	86,8
39	10	1,95	843	9,9	98,2
	50	1,75	876	9,4	90,6
	100	1,52	922	8,4	80,8
70	10	2,68	567	10,4	97,6
	50	2,16	613	10,4	87,8
	100	2,05	657	10,4	75,7

Ha nem bontjuk meg az adatokat a foltszámok szerint, a legnagyobb eltéréseket a kohéziós index (COHESION) esetében tapasztalhatjuk (59. ábra), mely a Kruskal-Wallis próba szerint is szignifikáns különbség ($p < 0,05$). Ezen a tényen az sem változtat, ha foltszám szerinti bontásban vizsgáljuk az adatsort, viszont szignifikáns lesz az eltérés az összekötöttségi index (CONNECT) esetében a 15 és 39 darabos foltszámok esetén. A kohéziós indexet *Corry és Laforteza* (2007) robosztus, felbontásfüggetlen metrikának értékelte, az 59. ábra dobozdiagramján azonban egyértelműen eltérők az eredmények.



59. ábra. A kohéziós index értékeinek a szóródása 10, 50 és 100 méteres felbontás mellett

Felmerülhet a kérdés, hogy mennyire engedhető meg pl. a legkisebb euklédieszi távolságok esetében a 70-100 méteres különbség, aminek a mértékéről akár nem is tudunk, ha nem nézzük meg a különbséget külön, ebből a célból.

4.4.6. A konnektivitási metrikák korrelációjának a vizsgálata

A mérőszámok közötti korrelációkat megvizsgáltam folt és táj szinten is.

A folt szintű elemzés eredményét a 41. táblázatban foglaltam össze. Eszerint a kapcsolatok száma (NL) és a Harary-index között igen szoros a korreláció, ami az utóbbi meghatározási módjából egyenesen következik (lásd 2.3. fejezet). A kapcsolatok száma szoros kapcsolatban áll a fluxussal és a területtel súlyozott fluxussal is, amit a Harary-indextől eltérően ugyan nem a kapcsolatok összegzésével állítunk elő, hanem fajmozgási valószínűségekkel kell kalkulálni (amik egybeesnek a legrövidebb útvonallal), így az általuk kimutatott relatív különbség sem lesz számottevően eltérő. A fluxus és a Harary-index a fenti okok miatt szintén szoros kapcsolatban állnak. A PC-index az integrált konnektivitási index-szel és a területtel súlyozott fluxussal van szoros összefüggésben. A raszter alapú mérőszámok (PROX és ENN) viszont egyetlen másik metrikával sem korrelálnak, csak egymással.

41. táblázat. A folt szintű konnektivitási mérőszámok korrelációja (Spearman's rho; N=397; $p<0,05$)

	DNL	DNC	DH	DCCP	DLCP	DIIC	DF	DAWF	DPC	PROX	ENN
DNL	-	-0,39	0,92	0,36	0,51	0,43	0,89	0,67	0,38	0,13	-0,19
DNC		-	-0,57	0,70	0,51	-0,42	-0,26	-0,26	-0,18	-0,05	0,05
DH			-	0,55	0,59	0,48	0,79	0,60	0,33	0,09	-0,10
DCCP				-	0,50	0,38	0,29	0,27	0,15	0,12	-0,07
DLCP					-	0,95	0,46	0,67	0,79	-0,13	-0,07
DIIC						-	0,40	0,70	0,89	-0,14	-0,08
DF							-	0,79	0,47	0,31	-0,50
DAWF								-	0,80	0,28	-0,48
DPC									-	-0,05	-0,25
PROX										-	-0,77
ENN											-

DNL: kapcsolatok száma; DH: Harary-index; DCCP: osztály szintű találkozási valószínűség; DLCP: táj szintű találkozási valószínűség; DIIC: integrált konnektivitási mutató; DF: fluxus; DAWF: területtel súlyozott fluxus; DPC: konnektivitási valószínűség; PROX: közelségi index; ENN: a szomszédos foltok legkisebb euklédieszi távolsága

A táj szintű elemzés a 42. táblázatban került összefoglalásra. A kapcsolatok száma és a Harary-index közötti korreláció 1, azaz ezen a szinten tökéletes az összefüggésük. A fluxus táj szinten is szoros kapcsolatban van a kapcsolatok számával és a Harary-index-szel, viszont gyenge a kapcsolata a területtel súlyozott fluxussal. A konnektivitási valószínűség igen szoros összefüggésben van az integrált konnektivitási index-szel és szoros összefüggésben a területtel súlyozott fluxussal. A raszteres metrikák a folt szintű vizsgálattól eltérően jól korrelálnak a gráfelméleti mutatókkal: a területtel súlyozott fluxus, az integrált konnektivitási index és a konnektivitási valószínűség (a belőle levezetett ECA-val), valamint a közelségi index (PROX), a legkisebb távolság (ENN) és a kohéziós index közötti korreláció szoros, illetve igen szoros.

42. táblázat. A táj szintű konnektivitási mérőszámok korrelációja (Spearman's rho; N=36; $p<0,05$)

	NL	NC	H	LCPnum	IICnum	F	AWF	PCnum	ECA	PROX	ENN	CONN.	COH.
NL	-	-0,42	1,00	0,74	0,46	0,97	0,26	0,17	0,16	0,00	-0,36	-0,63	-0,30
NC		-	-0,43	-0,40	-0,32	-0,45	-0,33	-0,18	-0,18	-0,23	0,41	-0,01	0,02
H			-	0,73	0,44	0,96	0,23	0,15	0,15	-0,02	-0,32	-0,59	-0,30
LCPnum				-	0,92	0,86	0,89	0,87	0,87	0,74	-0,71	-0,43	0,35
IICnum					-	0,65	0,77	0,92	0,87	0,73	-0,61	-0,25	0,56
F						-	0,48	0,36	0,35	0,23	-0,50	-0,60	-0,13
AWF							-	0,65	0,63	0,86	-0,63	-0,13	0,40
PCnum								-	0,98	0,80	-0,57	-0,06	0,80
ECA									-	0,79	-0,57	-0,07	0,85
PROX										-	-0,69	0,03	0,68
ENN											-	0,25	-0,31
CONN.												-	0,34
COH.													-

NL: kapcsolatok száma; H: Harary-index; LCPnum: táj szintű találkozási valószínűség; IICnum: integrált konnektivitási mutató számláló; F: fluxus; AWF: területtel súlyozott fluxus; PCnum: konnektivitási valószínűség számláló; ECA: egyenlő összekötöttségű területek; PROX: közelségi index; CONN: összekötöttségi index; COH: kohéziós index

A redundancia miatt többváltozós kiértékelésnél nem javasolt a 0,7-nél szorosabb korrelációjú metrikák együttes bevonása, a lehetséges multikollinearitás miatt. Más esetekben – mint ahogyan a 4.3.7. fejezetben is láthattuk – nem haszontalan ugyanazt más mérőszámmal, ezzel együtt más mértékegységgel is látni. Ezekben az esetekben segítheti a táji folyamatok megértését, ha egyszerre több mérőszám is megerősíti az állításainkat.

4.4.7. A konnektivitási metrikák összefoglaló értékelése

A konnektivitási metrikákkal kapcsolatban is meg tudjuk fogalmazni azokat az elvárásokat, melyek alapján ki lehet választani a legmegfelelőbbet:

- legyen felbontásfüggetlen (a gráfelméleti indexek vektoros alapon kerülnek kiszámításra, így a felbontás nem befolyásolja az értéküket);
- ne legyen érzékeny a foltszámra (IIC, PC, ECA, PROX);
- mutassa ki a különbségeket a különböző feltelrendeződések között (IIC, AWF, PC, ECA, PROX);
- legyen egyedi, ne korreláljon más indexekkel (különböző kombinációkban, de döntő hányadban mindegyik korrelál a másikkal);
- folt szinten mutassa ki a kulcspozíciójú lépegető köveknek megfelelő élőhely-foltokat.

Úgy vélem, hogy e szempontok teljesítéséhez a Saura – Torné (2009) által legjobbnak ítélt PC-index közel állna, azonban az utolsó feltételnek nem felel meg. Mint azt a korábbiakban már leírtam, e metrika kiszámításához fel kell használni egy attribútumot, amit jelen esetben a terület volt. A terület az a paramétere (leíró adata) a foltoknak, amit könnyen kiszámíthatunk és felhasználása helyes, mivel sok élőlény számára fontos a terület nagysága. Ezzel azonban egyúttal az algoritmus túl is hangsúlyozza a terület szerepét, a kis területű foltokat értéktelennek ítélve. Mindezt a funkcionális távolságon belül fajmozgási valószínűségeknek a területtel való súlyozás okozza, mivel az a képlet szerint a keresési sugáron belüli foltpárok területének a szorzatával történik. Egy központi helyzetű folt területe többször – pl. az 51. ábra 3-as foltja akár ötször – is beleszámítódik a végső értékbe, míg az 51/b ábra szerinti két foltcsoportot összekötő kis folté (ID=13) csak kétszer, ráadásul szomszédjai is kis területűek, értéke csak kicsi lehet.

Ha ez alapján hoznánk gyakorlati tájvédelmi döntéseket, véleményem szerint megszűnne a foltok közötti konnektivitás. A kis foltok fontos részei a tájnak különösen olyan fajok esetében, amelyek mozgása nem véletlenszerű (pl. feromonok, szagok, hangok hatására vándorolnak el egy másik foltba). Amennyiben kihagyjuk a területet a számításból (ami azt jelenti, hogy pl. azonos nagyságú területtel számolunk – vö. 51/a ábra), a kapott eredmény közel áll a valósághoz, de még mindig nem tükrözi kellőképpen a kulcspozíciójú foltok jelentőségét – pontosabban nem azt veszi kulcspozíciójúnak, amit mi annak gondolunk. A PC-index az 51/a ábrán látható elrendezésben a 13-as számú kulcspozíciójú folt elvesztését nem ítéli nagy problémának, mert a 13-as foltnak csak 2 másik funkcionális kapcsolata van, míg a 12-es foltnak 3. A 4-es folt szomszédjai távolabb vannak, így ezt is szintén értéktelenebbnek ítéli az algoritmus. Valójában a 4-es, 12-es és 13-as foltok bármelyikének az elvesztése megszünteti a foltok konnektivitását.

Pascual-Hortal – Saura (2006) az LCP és IIC használatát javasolja (még mielőtt kidolgozták volna a valószínűségi mutatókat), ezen belül az utóbbit jobbnak tartják, mert az LCP nem képes kimutatni, hogy adott folt elvesztése a hálózathoz megnöveli-e a vagy nem a távolságokat a maradék foltok között. Későbbi munkájukban (*Pascual-Hortal – Saura*, 2007) a CCP és a fluxus használatát nem ajánlják, mert érzékenyek a vizsgálati egység területi kiterjedésére és a térképezett foltok nagyságára.

Az általam végzett elemzés nem terjedt ki minden olyan lehetséges tényezőre, mely befolyásolhatja a végeredményt, csak azokat a lehetőségekre, amit mesterségesen előállított elrendezések megengedtek. Láthattuk, hogy a bináris indexek a foltok konnektivitását jól jellemzik, ám nem veszik figyelembe a fajmozgási valószínűségeket, a valószínűségi indexek viszont nem adtak elfogadható eredményt. Jelen vizsgálat eredményei alapján a bináris, ezen belül is a Harary-index, a CCP és LCP indexek használata javasolható. *Saura* (2009), valamint *Jordán és mtsai* (2003) felhívják a figyelmet arra, hogy a foltok területe fontos ismérve a hálózatnak, különben előfordulhat, hogy a fragmentáció intenzitásával és a kapcsolatok számának a növekedésével kedvezőbbnek tűnhet a konnektivitás (különösen, ha csak a kapcsolatok számát, vagy a Harary-indexet nézzük), holott ez egy nemkívánatos folyamat. A területet tehát figyelembe kell venni, de a CS22 ilyen jellegű metrikái csak egyenlő területű foltok esetében (vagy még akkor sem: területtel súlyozott fluxus) tudják azonosítani a kulcspozíciójú foltokat.

Ha a valós folyamatokat nézzük, a fajmozgás potenciálisan kisebb intenzitású lehet a szomszédos kis területű foltok, mint a nagy és közeli foltok között. A valószínűségi alapú metrikák azonban nem a konnektivitást helyezik előtérbe, hanem a nagy területű és közeli foltok megőrzésének fontosságára hívják fel a figyelmet. A megoldás az lehet, hogy a bináris indexekkel (pl. CCP) meghatározzuk a gráf folytonossága szempontjából fontos (kulcspozíciójú) foltokat, majd következő lépésben a konnektivitási valószínűséggel a fajmozgás gócpontjait azonosítjuk. Az ebben a két lépésben meghatározott foltok a hálózat gyenge pontjai, melyek elvesztése az élőhelyek izolációját, illetve fajok eltűnését okozhatja.

5. KÖVETKEZTETÉSEK

A munka során nem vizsgáltam meg minden táji metrikát és a mérőszámcsoportok közötti keresztkapcsolatok elemzése elmaradt. Minden egyes csoportban igyekeztem az összes lehetséges szempontot figyelembe venni, ami értéküket befolyásolja, de az eltérő – és kifejezetten az adott csoportra szabott – példaállományok miatt ezzel a módszerrel nem is lehet keresztkapcsolatokat feltárni. A valódi tájaktól kissé elszakadt példaállományok lehetőséget adtak olyan következtetések levonására, melyek vizsgálataink során sokszor nem maguktól értetődők. Így minden zavaró körülménytől mentesen, lépésről lépésre végigvezetve láthatjuk a táji metrikák viselkedését és azokat az apró különbségeket az eredményekben, amiket egy táji vizsgálat során nincs lehetőségünk megfigyelni.

A nem vizsgált mérőszámok egy részét nem volt értelme kiszámítani, más része pedig megtalálható a szakirodalomban, de kiszámítása a közölt információk alapján nem lehetséges, illetve az ehhez használt program nem hozzáférhető. Az előbbire példa az osztály szintű foltparaméterek számítása (pl. közepes foltméret, vagy területtel súlyozott közepes foltméret), ami az egységesen 4 ha-os foltok esetében nem adott volna hasznos és feldolgozható információt. Utóbbira a *Jordán et al* (2003) munkájában fellelhető *fontossági index* hozható fel példának. Az elvégzett vizsgálatok tovább bővíthetők, a mérőszámok közül leginkább a konnektivitás mérése veti fel a pontosítás igényét. Funkcionális távolságok, vagy más, a fajmozgást jobban közelítő modell alkalmazása euklideszi távolságok használata helyett helyesebb, a valóságot jobban közelítő eredményt adhat.

Az egyedi foltok morfológiai mérőszámainak jellemzése során kiderült, hogy a folt köré húzható legkisebb sugarú kör (Related Circumscribing Circle) az esetek többségében igen jó metrika, aminek értéke egyedi, nem befolyásolja a felbontás, legkevésbé korrelál a többi mérőszámmal és nincs rá hatással a folt főiránnyal (azimut=0°) bezárt szöge sem.

A magterületek mérőszámai esetében a folton belül több kisebb, elkülönülő belső területtel kapcsolatban azt emeltem ki, hogy a szegélyzóna ökológiai folyosóként funkcionál közöttük. E metrikák és a foltalak mérőszámai között szoros a korreláció, mégsem vezethető le egyik a másikból.

A szakirodalomban contagion gyűjtőnév alatt megtalálható metrikákat 3 csoportra javasolom felosztani: aggregáltsági mutatók (AI, CONTAGION és PLADJ), felosztottsági indexek (MESH, SPLIT, DIVISION) és a keveredési mutató (IJI). Ezek az indexek csoporton belül erősen, a csoportok között csak gyengén korrelálnak. A táji mintázatok azonosításában az AI adta a legjobb eredményt, de ilyen célra alkalmazhatunk többváltozós megoldásokat is, mely az AI, valamint a CONTAGION együttes figyelembevétele mellett a vizsgált táji mintázatok 96%-os pontossággal azonosította. Az aggregáltsági mutatók hátránya a felbontásfüggőségük, valamint a nehezen meghatározható optimális felbontás. A felosztottsági mutatók értékét nem befolyásolja a pixelnagyság, viszont adott érték többféle táji folt elrendeződés mellett is előfordulhat. Összehasonlító vizsgálatokban a DIVISION index használata javasolt. Az IJI egy egyedi index, nem korrelál a többivel, nem felbontásfüggő, viszont ugyanaz az érték többféle foltkonfigurációra is igaz lehet.

A konnektivitás mérésére egyszerű és gráfelméleti mérőszámokat használtam. Az egyszerű metrikák nem alkalmasak a valós foltkonnektivitás megállapítására, eredményük a fajok mozgására vonatkozóan megadott távolság függvényében alakul, kizárólag a pixelek távolságára alapozva. Alkalmazásuk mellett nem tudjuk meg azt, hogy milyen lesz a foltok közötti kap-

csolatrendszer, ha egy adott folt (pl. egy erdőfolt tarvágása miatt) eltűnik a hálózathoz. Erre csak a gráfelméleti mutatók segítségével lehet választ adni, melyek közül a szakirodalom a foltok területét is figyelembe vevő valószínűségi indexek használatát javasolja. Eredményeim szerint azonban ezek az indexek túlbecsülik a nagy területű foltok szerepét és alulbecsüli a kis foltokét, még akkor is, ha ez utóbbiak eltűnése esetén megszakad a foltok közötti funkcionális kapcsolat. A vizsgálatok szerint a Harary-, az LCP és a CCP indexek képesek kimutatni a kulcspozíciójú foltokat. Javaslatom szerint a két típust együtt kell alkalmazni: a bináris indexekkel a konnektivitás szempontjából fontos foltokat, a valószínűségekkel pedig a fajvándorlás célterületeit azonosíthatjuk.

ÖSSZEFOGLALÁS

A tájökológia nemzetközi viszonylatban kb. 60 éves múltra tekint vissza, hazai megjelenése a tudományos életben csak később, a tájkutatások kapcsán történt meg. A kutatások a tájat három szempontból elemezték. A legelső munkák a táj szerkezetének feltárását célozták. Feltárták az ún. elsődleges tájszerkezetet, ami segíthet tájakat ért hatások és következményeik, valamint a regenerálódó képesség megértésében. Az 1970-es évek második felétől a funkcionális kutatások következtek, melyet a regionális tervezés, tájrendezés indukált. Az utóbbi időben a folyamatorientált elemzés került a kutatások középpontjába, ahol terepi mérésekre és térképezésre alapozva induktív módon nagyobb léptékben dolgozva keresik a választ a tájak működésére.

A tájökológiai kutatási módszerek közül a tájszerkezet-kutatásokra épülő tájmetriát választottam dolgozatom témájául. A tájmetria a tájfoltok (élőhelyfoltok) kvantitatív jellemzésének a tudománya, melynek alapjait az angolszász tájökológiai iskola képviselői fektették le. Az elemzések jelentős részben az 1960-as végén megalkotott szigetbiogeográfia teóriájára épülnek, a megállapításokat különböző méretű és a kontinentstől különböző távolságra lévő szigetek tanulmányozásával alkották meg. A szigetek kapcsán megállapított tényeket átültették a folt-folyó-mátrix megközelítésbe, figyelembe véve, hogy a hasonlóságok mellett különbségek is vannak (pl. a mátrix, mint beágyazó felület átjárhatóbb, mint a szigetek körüli víz). A tájmetriai indexeket folt, osztály és táj szinten definiálhatjuk. Vizsgálataimban a vizsgált metrikáktól függően vettem sorra az egyes szinteket.

A munka során minden tájelemet foltként értelmeztem, mivel a feldolgozó szoftverek nem tesznek különbséget a foltok, a folyosó és a mátrix között. A dolgozat célkitűzései a következők voltak:

- összefoglaló áttekintést adni a leggyakrabban használt tájmetriai mutatókról;
- elemezni a foltalak, magterületek, a szomszédosság, és a konnektivitás tájmetriai indexeit hipotetikus formák és foltelrendezések segítségével.

A foltalak metrikáinak a vizsgálatához különböző alakú 4 hektáros poligonokat állítottam elő és azt vizsgáltam, hogy a mérőszámok mennyire adnak reális képet az alakzatokról. Ezen belül az értékek:

- mennyire különböznek az egyszerű és komplex formák esetében;
- mennyire függenek az alkalmazott felbontástól;
- mennyire függenek a poligonok elforgatottságától (az azimut=0° állapotot tekintve főiránynak);
- mennyire változnak, ha a poligonok mérete nő, vagy csökken;
- mennyire redundánsak;
- mennyiben egyediek, ugyanazt (vagy hasonló) értékeket kaphatnak-e egymástól eltérő alakzatok?

A feldolgozás raszteres alapon történt, melyez 5 méteres felbontást használtam.

A magterület mérőszámait szintén a 4 ha-os foltokkal vizsgáltam 10 és 20 m-es szegélyzónákat alkalmazva. Arra a kérdésre kerestem a választ, hogy melyik forma nyújtja a legkedvezőbb térkitöltést a belső zóna maximális kiterjedése szempontjából és a mérőszámok mennyire korrelálnak egymással.

A szomszédossági mutatók vizsgálatához 2-3-4 kategóriából álló 8×8 km-es és 9×9 km-es, 1 km és 100 m felbontású rácshálót alkalmaztam szabályos és szabálytalan pixelelrendezés, valamint megegyező és valamelyik kategória esetében domináns kategóriaarány mellett. A következő kérdésekre kerestem a választ:

- milyen információk nyerhetők a pixelek aggregáltságát illetően a szomszédossági mérőszámok segítségével;
- mi történik, ha az 1 km-es osztásközü rasterhálót 100 m-es felbontással vizsgálom;
- mennyiben befolyásolja a vizsgálatok eredményét a kategóriák száma;
- van-e hatása a felbontásnak;
- mennyire korrelálnak ezek a táji indexek;
- tudjuk-e egyértelműen azonosítani a vizsgálatban szereplő pixelkonfigurációkat a szomszédossági értékek alapján?

A konnektivitási indexek vizsgálatához egy 102 ha-os területen helyeztem el 2-6-7-12-15-39-70 db foltból álló poligoncsoportokat. Ennek során többféle variációt alkalmaztam: 200 méter sugarú körök, 100-200-300 m sugarú körök, 100-200-300-1000 m sugarú körök és 100-200-300 sugarú körök 2 db 1000 m sugarú körrel. A 70 foltból álló konfiguráció szabályos elrendezésű, itt a 100-200-300 m sugarú körök különböző dominanciája (pl. 50-25-25%) mellett vizsgáltam a konnektivitási mutatók viselkedését. A cél az volt, hogy megállapítsam:

- mit mutatnak pontosan a folt szinten e mérőszámok;
- mennyiben befolyásolja az egyedi értékeket a foltok területi elhelyezkedése;
- reálisak-e a foltok egyedi értékei a konnektivitás szempontjából;
- megfelelően tükrözik-e a táj szintű mutatók a konnektivitást;
- milyen kapcsolat van a foltszám és a mérőszámok között;
- a foltok elrendezése hogyan befolyásolja a mérőszámokat táj szinten;
- a felbontás milyen hatással van a raster alapú mérőszámokra;
- a konnektivitási metrikák mennyire korrelálnak egymással.

A foltalak-mutatók elemzés eredményei

A vizsgálat során a rasteres feldolgozási hiba miatt a legkompaktabb térkitöltésű formának nem a kört kaptam, hanem a négyzetet. A területmérés viszonylag minimális hibája mellett a rasteres rendszerek igen nagy szórásstartományban hibáztak a kerület meghatározás esetében. Ennek hatását láthatjuk a körnél is, illetve a ferde (nem főirányokba [azimut=0°] eső tengelyű) vonalakat tartalmazó poligonok esetében, ahol a hiba eléri a 200 m-t is. Az eltérés mértéke attól függ, hogy milyen felbontást alkalmazunk, illetve hogy a főirányhoz képest mennyire térnek el az egyenes vonalak. Az eltérés meredeken nő egészen addig, amíg az azimut el nem éri a 45°-ot, ahonnan újra csökken. Egyenes vonalak esetében 45°-nál maximalizálódik a rasteres távolság (ez esetben kerület) mérés hibája, mivel itt minden egyes cella 2 oldalát mutatja kifelé 1 helyett, megnövelve a valós távolságot (vagyis ha a négyzet oldala 1, $\sqrt{2}$ helyett 2-öt kapunk). Ugyanez a mérési probléma jelentkezik az íveknél is. A kerületmérés pontatlansága miatt potenciális hibákkal számolhatunk azoknál a metrikáknál is, amelyek felhasználják a kerületet a meghatározás során (kerület/terület, forgási sugár [Radius of Gyration], alak index [Shape Index]).

Nehezíti a kiértékelést, ha ugyanaz az alakzat ugyanazon mérőszám esetében különböző méretben eltérő értéket kap. Tipikus példa erre a kerület/terület, amit a foltalak komplexitásának mérőszámaként is gyakran alkalmaznak, azonban ugyanaz a forma eltérő méretben más értéket kap, viszont egymástól eltérő formák is kaphatnak azonos értéket. Nem befolyásolja vi-

szont az alaki index, a poligon köré húzható legkisebb sugarú kör (Related Circumscribing Circle) és a szomszédsági index értékét.

A korrelációs vizsgálatok szerint nincs olyan mérőszám, ami ne állna szoros összefüggésben a többivel, vagyis e mérőszámok együttes használata nem feltétlenül indokolt. Összehasonlításnál semmiképpen, a foltok egyedi értékelésénél a tartalmi átfedések ellenére is alkalmazhatunk több metrikát. Ilyen lehet pl. a foltok nyúltságára utaló forgási sugár és valamelyik referenciaalakzatra vonatkoztatott, vagyis az elemzés alapján összehasonlításra alkalmasabbnak ítélt metrika együttes felhasználása.

Az alakzatok mérőszámait 1 és 5 m-es felbontás mellett vizsgáltam meg a felbontás hatásának a feltárásához. Egyedül a szomszédsági index (Contiguity Index) értéke tért el szignifikánsan egymástól.

Egyediség tekintetében az alaki index és a folt köré húzható legkisebb sugarú kör adta a legjobb eredményt. Az alaki index a szabályos háromszöget és az elforgatott négyzetet összekeverte, de még így is jobb eredményt adott, mint a legtöbb más metrika. A folt köré húzható legkisebb sugarú kör viszont helyesen nem tett különbséget a négyzet és az elforgatott négyzet, eszerint egyedülállóan jól lehet a segítségével megkülönböztetni a különböző alakú foltokat, amit nem zavar azok főiránnyal bezárt szöge sem.

A magterületi mutatók elemzésének eredményei

A magterület metrikáinak alapja az általunk megválasztott szegélyszélesség. Ezeknél a mutatóknál is felmerül a raszteres elemzések problémája, így a belső területek szempontjából legkedvezőbb forma nem a kör lett, hanem a négyzet és a háromszög. Ugyanezen eredetű számítási hiba okozza a kétféle helyzetű négyzet eltérő belsőzóna-arányának a különbözőségét is. A magterületek számával kapcsolatban meg kell jegyezni, hogy a folton belüli belső zónák között keskenyebb-szélesebb ökológiai folyosóként értelmezhető a szegély, így bár a teljes foltterület nem feltétlenül alkalmas belső fajok megtelepedésére, a kapcsolat lehet közöttük.

A magterület mutatószámai szoros korrelációban vannak a foltalakra vonatkozó metrikákkal, de ez nem jelenti azt, hogy kihagyhatók lennének a tájértékelésből. A szegélyzóna szélességét mi magunk adjuk meg, a belső terület csökkenése a pedig ezzel nem determinisztikus kapcsolatban van (legfeljebb csak a szabályos formák esetén, amik a természetben igen ritkák). Emiatt a korrelációs kapcsolatok nem redundanciaként értelmezendők.

A szomszédsági mutatók elemzésének eredményei

A szomszédsági mutatók célja a pixelek aggregáltságának, illetve keveredésének a számszerűsítése. Ehhez legalább két kategóriára van szükség (bináris eset), persze gyakoribb, amikor 3, 4, vagy még több kategóriával dolgozunk egyszerre. A kategóriák ez esetben felszínborítottsági kategóriákat, vagy társulásokat jelentenek, amelyek a táj heterogén megjelenését biztosítják. Kevésnek tűnhet a 2-4 kategória, azonban sokszor kerülhetünk szembe olyan feladattal, ami szerint csak egy szempontrendszerünknek megfelelő és egy nem megfelelő kategória használatának van értelme; másrészt légi- és műholdfelvételek interpretációja kapcsán gyakran nem tudjuk egyértelműen elkülöníteni több kategóriát és meg kell elégednünk 3-4 beazonosított osztállyal, így ilyen kevés kategória mellett is indokolt a vizsgálatok

elvégzése. A vizsgálatokat párhuzamosan 100 m-es és 1000 m-es felbontás mellett végeztem el osztály és táj szinten.

A vizsgálat legfőbb tanulsága az, hogy a felbontás szerepe igen fontos az ilyen típusú elemzésekben, a 100 m-es felbontás mellett végzett elemzés sorra olyan eredményeket produkált, aminek nem volt köze az adott metrikáknál várható minimális és maximális értékekhez. Különösen a csoportosultsági index (Clumpiness Index, CLUMPY) érintett, melynek minimális értéke -1, maximális értéke +1: 1000 méteres felbontás mellett a megfelelő pixelkonfigurációnál megkapjuk a minimális és maximális értékeket, 100 m-es felbontás esetén viszont negatív értékekkel nem is találkozunk. A legtöbb metrika ehhez hasonlóan viselkedik, 100 m-es felbontás esetén az egyes (egymástól igen eltérő) elrendeződésekre csaknem megegyező értékek jönnek ki (pl. aggregációs index [Aggregation Index, AI], szomszédsági valószínűség [Percentage of Like Adjacencies, PLADJ]). A különbségeket nincs értelme statisztikailag igazolni, mert csak egyetlen jó megoldás létezik. Kérdésként merülhet fel az, hogy a különböző felbontások mellett kapott értékek között a kapcsolat determinisztikus, vagy sztochasztikus. A vizsgálatok szerint erre nézve nincs egyértelmű válasz: pl. a PLADJ index esetén a 3 kategóriás esetben a kapcsolat determinisztikus, 4 kategóriánál viszont sztochasztikus.

A kétkategóriás vizsgálatoknál a keveredési és egymásmelletiségi index (Interspersion and Juxtaposition Index, IJI) nem kerül kiszámításra, minimálisan három kategóriára van szükség hozzá. Az IJI értéke sem a felbontástól, sem a kategóriák számától nem függ.

Az aggregációs mutatóktól elválasztva értékeltem ki a felosztottsági indexeket (effektív hálóméret [Effective Mesh Size], felosztottsági index [Degree of Landscape Division]). Ezek a metrikák nem felbontásfüggők, az egyes pixelkombinációkat is megfelelő hatékonysággal különböztetik meg.

Az aggregációs indexek a pixelek csoportosultságát mérik, a felosztottsági indexek pedig a mozaikosságot, valamint az antropogén eredetű ökológiai gátak figyelembevétele esetén a fragmentációt mérik. Eredményeim alapján mind az osztály, mind a táj szintű értékek informatívak, a tájanalízis során mindkettő használata javasolható az ok-okozati viszonyok megértéséhez. Az aggregáció mérőszámai (PLADJ, CLUMPY, AI) csak olyan felbontás mellett alkalmazhatók biztonsággal, amely közelíti a legkisebb térképezett egységet, különben félrevezető eredményeket kapunk. Ennek megállapítása sok esetben okozhat gondot, különösen olyan tájak esetében, ahol a foltméretek varianciája nagy. Táji szinten a Contagion index mutatja legjobban a kategóriák számának változásával együtt járó aggregációs változásokat. Különböző méretű tájak összehasonlításánál a DIVISION index, mint felosztottsági mutató használata javasolt.

A vizsgálatok szerint a kategóriák száma nem befolyásolja a táj szintű metrikák értékét.

A PLADJ metrikával kapcsolatban meg kell jegyezni, hogy értelmezéséhez szükséges az adott folt összterületének részarányának ismerete a teljes területhez képest és ezt a CLUMPY már eleve korrigáltan adja meg, így a kettő közül a CLUMPY használata indokoltabb. Az AI mutató az azonos típusba tartozó pixelszomszédokat is egyszeres súllyal veszi figyelembe a CLUMPY és PLADJ duplán súlyozott megoldásához képest, így bár az eredmény korrelál az említett mutatókkal, mégis hasznos lehet az ismerete. Az AI és CLUMPY közötti korreláció szoros kapcsolatot jelez, jelen helyzetben más az információtartalom az egyes mutatóknál, ami a részletekben rejlő különbségek elfedését, vagy fel nem fedezését jelentheti. Az IJI mutató kifejezetten egyedi, nem korrelál egyetlen másikkal sem, így használata – ismerve a fel-

bontás-függetlenségét – mindenképpen indokolt a tájanalízisben. A felosztottsági metrikák egymással maximálisan, a többi mutatóval nem, vagy minimálisan korrelálnak.

Azt vizsgálva, hogy az egyes metrikák mennyire adnak egyedi értéket a vizsgált konfigurációkat tekintve arra a következtetésre jutottam, hogy a finom különbségek nagy mértékben rontják a kiértékelés hatékonyságát. Ezért bizonyos elrendezéseket kihagytam a vizsgálatból. A legjobb eredményt 5 féle elrendeződés vizsgálatakor, 83%-os klasszifikációs pontosság mellett (diszkriminancia analízis, keresztvalidált pontosság) az AI mérőszám adta. 6 kategória alkalmazásánál az eredmény nem volt meggyőző, a klasszifikációs mátrix szerint a véletlennél alig magasabb volt a besorolás pontossága. Több metrika – az AI és CONTAGION – együttes alkalmazása viszont 8 kategória 96%-os találati pontosságát tette lehetővé.

A konnektivitás mérőszámainak elemzése

A 70 ugyanolyan sugarú körből álló szabályos elrendeződés alapján mind az egyszerű, mind a gráfelméleti metrikák hasonlóan viselkedtek: a legkisebb értéket a sarokhelyzetű foltok kapták, melyet a szélső helyzetűek követtek, végül legnagyobb értéket a belső foltok kapták. A gráfelméleti mutatóknál ez tovább differenciálódik, csak azok foltok kapták meg a maximális értéket, melyek szomszédja nem egy szélső helyzetű folt. A különböző (100-200-300 m) sugarú körök eltérő dominanciája a szerzője (Santiago Saura) által legjobbnak ítélt konnektivitási valószínűség (Probability of Connectivity, PC) egy problémájára hívja fel a figyelmet: a nagy foltok szerepét minden esetben túlhangsúlyozza. A nagy területű foltok valóban fontos tájelemek, melyek a fajfenntartás szempontjából kulcsfontosságúak, de a PC-index által adott eredmény feltétel nélkül csak abban az esetben fogadható el, amikor minden folt össze van kötve minden folttal.

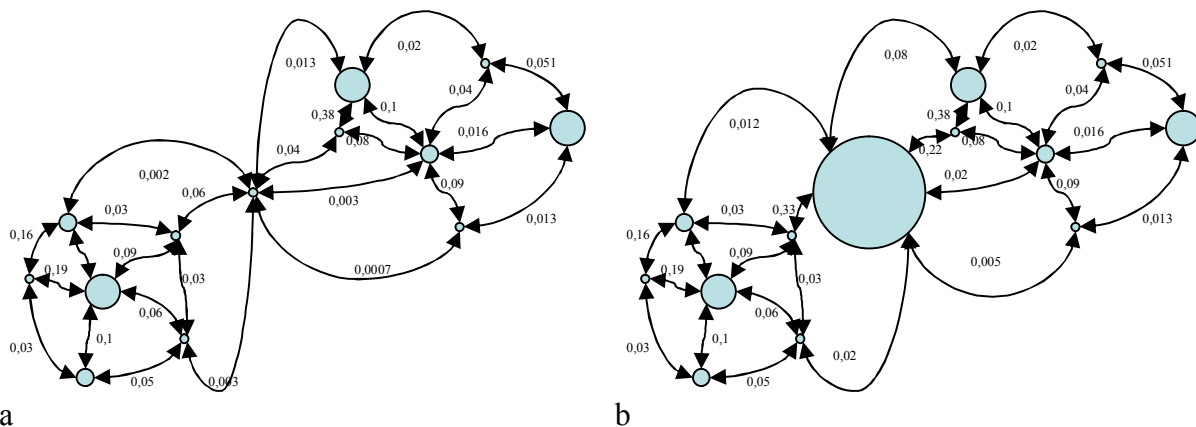
Különböző tájak konnektivitása, vagy ugyanazon táj konnektivitása több időpontban csak akkor hasonlítható össze, ha a kapott eredményt nem befolyásolja a foltok száma. Az elemzés szerint ez a feltétel a metrikák nagy részénél (integrált konnektivitási együttható, területtel súlyozott fluxus, konnektivitási valószínűség, közelségi index, kohéziós index) teljesül, gyakorlatilag csak a kapcsolatok száma és az ebből kiinduló Harary-index értéke függ érthető okokból a foltszámtól.

Az egyes foltelrendeződések vizsgálata alapján az eredmény szerint nem különböztethető meg a csak 200 méteres sugarú körökből és 100-200-300 méteres sugarú körökből álló konfiguráció. Az 1000 m-es sugarú kör belépése viszont minden esetben jól elkülöníthető helyzetet teremtett, amitől szintén szignifikánsan különbözik az, amikor 2 db 1000 m sugarú kör volt a foltok között.

A raszter alapú metrikák (közelségi index [Proximity Index], foltok közötti legkisebb euklideszi távolság [Euclidean Nearest Distance], összekötöttségi index [Connectance Index], kohéziós index [Cohesion Index]) felbontás-függőségének elemzéséhez 10, 50 és 100 m-es felbontású állományokat hoztam létre. A vizsgált mérőszámok mindegyikére hatással van a felbontás, a különbség viszont nem minden esetben szignifikáns (ami nem jelenti azt, hogy a különbségek megengedhető mértékűek). A legérzékenyebb a felbontás változására a kohéziós és az összekötöttségi index, esetükben a különbség szignifikáns. Ez esetben a legfinomabb felbontás adja a legpontosabb eredményt, ellenben a szomszédsági indexek aggregáltsági mutatóval.

A konnektivitási metrikák korrelációját folt és táj szinten vizsgáltam meg. A folt szintű indexek esetében szoros összefüggés van a kapcsolatok száma, a Harary-index és a fluxus, valamint a konnektivitási valószínűség, a területtel súlyozott fluxus és az integrált konnektivitási index között. Táj szinten a szoros kapcsolatok száma több, és megjelennek a gráfeleméleti és egyszerű metrikák közti erős keresztkorrelációk is: a kohéziós index és a konnektivitási valószínűség korrelációs együtthatója pl. 0,8. A korrelációk ellenére azt kell mondani, hogy bár az információtartalom hasonló, mégsem haszontalan az elemzés során több indexet is kiértékelni. Többváltozós vizsgálatoknál (diszkriminancia analízis, regresszió analízis) viszont a multikollinearitás miatt ki kell szűrni a redundáns elemeket.

A bináris gráfeleméleti mutatók közül a Harary-index, a CCP és LCP jól azonosította a kulcspozíciójú foltokat, a szakirodalom azonban a foltok területét is figyelembe vevő valószínűségi indexek használatát javasolja. A valószínűségi konnektivitási metrikák legnagyobb problémája az, hogy a kulcspozíciójú foltok értékei sokszor kisebbek, mint a hálózat szélén, kevés kapcsolattal bíró foltok esetében. Ennek illusztrálására mutatok be két ábrát, melyen ugyanaz a foltelrendezés látható azzal a különbséggel, hogy a középső kör sugara *a* esetben 100 m, *b* esetben 1000 m.



a A fajmozgások valószínűsége a foltok között

Jól látható, hogy a fajmozgási valószínűségek jóval alacsonyabbak a 100 m-es sugarú körnél, ami önmagában nem baj, mert kis méreténél fogva a fajok számára potenciálisan kevésbé vonzó, mint a sokkal nagyobb területű 1000 m-es, azonban ha konnektivitást mérünk, nem ez a mérvadó, hanem az, hogy egy olyan elem se essen ki, ami nélkül a foltok átjárhatósága megszűnik. A gráfeleméleti mérőszámok egyike sem tudta kimutatni azokat a foltokat, amelyek kulcspozícióban vannak. Eredményük fajmozgási gócpontokként értelmezhetők, melyek szintén kulcsszerepűek, csak nem a konnektivitás szempontjából. A helyes tájvédelmi szempontú interpretáláshoz mindkét mutatót felhasználása szükséges: a bináris indexek a konnektivitás, a valószínűségi mutatók a fajmegőrzés szempontjából fontos foltokat azonosítják.

Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretnék köszönetet mondani értékes szakmai segítségéért és tanácsaiért dr. Csorba Péternek és dr. Kerényi Attilának. Köszönöm a családom türelmét, amiért elnézték nekem a dolgozó estéket és hétvégeket. Bár a Bolyai János Kutatási Ösztöndíjban vállaltak megvalósítását még csak most fogom kezdeni, e munka alapötlete és motivációja e célnak alárendelten született.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- Alberti, M. – Booth, D. – Hill, K. – Coburn, B. – Avolio, C. – Coe, S. – Spirandelli, D. 2007. The impact of urban patterns on aquatic ecosystems: An empirical analysis in Puget lowland sub-basins. *Landscape and Urban Planning* **80**: 345-361.
- Alberti, M. 2007. Ecological signatures: The science of sustainable urban forms. *Places* **19** (3): 56-60.
- Alberti, M. 2008. *Advances in Urban Ecology. Integrating Humans and Ecological Processes in Urban Ecosystems*. Springer, 366 p.
- Allaby, M. 2004. SLOSS principle. A Dictionary of Ecology. Encyclopedia.com www.encyclopedia.com/doc/1014-SLOSSPrinciple.html letöltve 2009. szeptember 1.
- Báldi A. – Kisbenedek T. 1994. Comparative analysis of edge effect on bird and beetle communities. *Acta Zoologica Acedemiae Scientarium Hungaricae* **40** (1): 1-14.
- Báldi A. 1998. Az ökológiai hálózatok elmélete: iránymutató a védett területek és az ökológiai folyosók tervezéséhez. *Állattani Közlemények* **83**: 29-40.
- Báldi A. 1999. Microclimate and vegetation edge effects in a redbed in Hungary. *Biodiversity and Conservation* **8**: 1697-1706.
- Báldi, A. – Kisbenedek, T. 1999. Species-specific distribution of reed-nesting passerine birds accross reed-bed edges: effects of spatial scale and edge type. *Acta Zoologica Acedemiae Scientarium Hungaricae* **45** (2): 97-114.
- Bánszegi Z. – Báldi A. – Bankovics A. 2000. Fajszám-terület összefüggés és közösségek egymásba ágyazottsága védett területeken. *Ornis Hungarica* **10**: 17-26.
- Bastin, G.N. – Ludwig, J.A. – Eager, R.W. – Chewings, V.H. – Liedloff, A.C. 2002. Indicators of landscape function: comparing patchiness metrics using remotely-sensed data from rangelands. *Ecological Indicators* **1** (4): 247-260.
- Baz, A. – Garcia-Boyer, A. 1996. The SLOSS dilemma: a butterfly case study. *Biodiversity and Conservation* **5** (4): 493-502.
- Bender, D.J. – Tischendorf, L. – Fahrig, L. 2003. Using patch isolation metrics to predict animal movement in binary landscapes. *Landscape Ecology* **18**: 17-39.
- Bevers, M. – Flather, C.H. 1999. Numerically exploring habitat fragmentation effects on populations using cell-based coupled map lattices. *Theoretical Population Biology* **55**: 61-76.
- Bissonette, J. – Storch, I. 2003. Understanding Fragmentation: Getting Closer to 42. *Conservation Ecology* **7** (2): r5. [online] URL: <http://www.consecol.org/vol7/iss2/resp5/>
- Bissonette, J.A. – Storch, I. 2002. Fragmentation: is the message clear? *Conservation Ecology* **6** (2): 14. [online] URL: <http://www.consecol.org/vol6/iss2/art14/>
- Bogaert, J.A. – Myneni, R.B. – Knyazikhin, Y. 2002. A mathematical comment ont he formulae for the aggregation index and the shape index. *Landscape Ecology* **17**: 1-4.
- Bogaert, J. 2003. Lack of agreement on fragmentation metrics blurs correspondence between fragmentation experiments and predicted effects. *Conservation Ecology* **7** (1): r6. [online] URL: <http://www.consecol.org/vol7/iss1/resp6/>
- Caughley, G. – Gunn, A. 1996. *Conservation biology in theory and practice*. Blackwell Science, 444 p.
- Corry, R.C. – Laforteza, R. 2007. Sensitivity of landscape measurements to changind grain size for fine scale design and managment. *Landscape and Ecological Engineering* **3**: 47-53.
- Cushman, S.A. – McGarigal, K. – Neel, M.C. 2008. Parsimony in landscape metrics: Strength, universality and consistency. *Ecological Indicators* **8**: 691-703.
- Csemez A. 1996. Tájtervezés-tájrendezés. Mezőgazda Kiadó, Budapest, 296 p.

- Csorba P. 1989. Tájstabilitás és ökögeográfiai stabilitás. *Földrajzi Értesítő* **38** (3-4): 395-410.
- Csorba P. 2005. Magyarország út- és vasúthálózatának ökológiai tájfragmentációs hatása. *ÖKO* **13** (3-4): 102-112.
- Csorba P. 2005b. Kistájaink tájökölógiai felszabdaltsága a településhálózat és a közlekedési infrastruktúra hatására. *Földrajzi Értesítő* **54** (3-4): 243-263.
- de Clercq, E.M. – de Wulf, R. – van Herzele, A. 2007. Relating spatial pattern of forest cover to accessibility. *Landscape and Urban Planning* **80** (1-2):14-22
- de Smith, M.J. – Goodchild, M.F. – Longley, P.A. 2006. Geospatial Analysis: A Comprehensive Guide to Principles, Techniques and Software Tools. Troubador Publishing Ltd. 416 p.
- Debinski, D.M. – Holt, R.D. 2000. A survey and overview of habitat fragmentation experiments. *Conservation Biology* **14**:342-355.
- EC-EEA Report 2000. From land cover to landscape diversity in the European Union. Services of European Commission – European Environmental Agency, <http://ec.europa.eu/agriculture/publi/landscape/index.htm> - letöltve 2009. augusztus
- Erdős S. – Szép T. – Báldi A. – Nagy K. 2007. Mezőgazdasági területek felszínborításának és tájszerkezetének hatása három hazai madárfaj gyakoriságára. *Tájökölógiai Lapok* **5** (1): 161-172.
- Fekete G. – Molnár Zs. – Horváth F. 1997. A magyarországi élőhelyek leírása, határozója és a Nemzeti Élőhely-osztályozási Rendszer. Nemzeti Biodiverzitás-Monitorozó Rendszer II. MTA-ÖBKI, Magyar Természettudományi Múzeum, Budapest 298 p.
- Forman, R.T.T. 1995. Land Mosaics – The ecology of landscape and regions. Cambridge University Press, Cambridge 632 p.
- Forman, R.T.T. – Godron, M. 1986. Landscape Ecology. John Wiley and Sons, 619 p.
- Fahrig, L. 1997. Relative effects of habitat loss and fragmentation on population extinction. *Journal of Wildlife Management* **61** (3): 603-610.
- Fahrig, L. 2001. How much habitat is enough? *Biological Conservation* **100**: 65-74.
- Fahrig, L. 2007. Landscape heterogeneity and metapopulation dynamics. In Wu, J. – Hobbs, R. eds: Key topics in Landscape Ecology. Studies in Landscape Ecology Cambridge University Press, Cambridge, pp. 78-91.
- Flather, C.H. – Bevers, M. 2002. Patchy reaction-diffusion and population abundance: the relative importance of habitat amount and arrangement. *American Naturalist* **159**: 40-56.
- Fukamachi, K. – Iida, S. – Nakashizuka, T. 1996. Landscape patterns and plant species diversity of forest reserves in the Kanto region, Japan. *Vegetatio* **124** (1): 107-114.
- Girvetz, E.H. – Thorne, J.H. – Berry, A.M. – Jaeger, J. 2008. Integration of landscape fragmentation analysis into regional planning: A statewide multi-scale case study from California, USA. *Landscape and Urban Planning* **86**: 205-218.
- Girvetz, E.H. – Thorne, J.H. – Jaeger, J. 2007. Integrating habitat fragmentation analysis into transportation planning using the effective mesh size landscape metric. *The 2007 International Conference on Ecology & Transportation „Bridging the Gaps, Naturally”, Transportation and Conservation Planning*, Little Rock, Arkansas: 281-293.
- Grimm, V. – Storch, I. 2000. Minimum viable population size of capercaillie *Tetrao urogallus*: results from a stochastic model. *Wildlife Biology* **6**: 219-225.
- Hai, P. M. – Yamaguchi, Y. 2007. Characterizing the urban growth from 1975 to 2003 of Hanoi city using remote sensing and a spatial metric. *Asian Conference of Remote Sensing* <http://www.aars-acrs.org/acrs/proceeding/ACRS2007/Papers/PS2.G1.5.pdf> (letöltve: 2009. augusztus)

- Hai, P. M. – Yamaguchi, Y. 2008. A case study on the relation between urban growth and city planning using remote sensing and spatial metrics. *International Symposium on Geoinformatics for Spatial Infrastructure Development in Earth and Allied Sciences*
- Harrison, S. – Bruna, E. 1999. Habitat conservation and large-scale conservation: what do we know sure? *Ecography* **22**: 225-232.
- He, H.S. – DeZonia, B.E. – Mladenoff, D.J. 2000. An aggregation index (AI) to quantify spatial patterns of landscapes. *Landscape Ecology* **15**: 591-601.
- Jaeger, A.G.J. 2000. Landscape division, splitting index, and effective mesh size: new measures of landscape fragmentation. *Landscape Ecology* **15**: 115-130.
- Jaeger, A.G.J. – Bertiller, R. – Schwick, C. 2007. Degree of landscape fragmentation in Switzerland: Quantitative analysis 1885-2002 and implications for traffic planning and regional planning. Office federal de la statistique, Neuchatel 36 p.
- Jaeger, J. – Bertiller, R. – Schwick, C. – Müller, K. – Steinmeier, C. – Ewald, C.K. – Ghazoul, J. 2008 Implementing Landscape Fragmentation as an Indicator in the Swiss Monitoring System of Sustainable Development (MONET). *Journal of Environmental Management* **88** (4): 737-751.
- Jennes, J. 2005. Longest Straight Lines Across the Interior of Polygons (v. 1.3a). extension (longline.avx) for ArcView 3.x, v. 2.1. Jenness Enterprises. Available at: http://www.jennessent.com/arcview/longest_lines.htm
- Jordan, F. – Báldi, A. – Orczi, K-M. – Rácz, I. – Varga, Z. 2003. Characterizing the importance of habitat patches and corridors in maintaining the landscape connectivity of a *Pholidoptera transsylvanica* (Orthoptera) metapopulation. *Landscape Ecology* **18**: 83-92.
- Kerényi A. 2007. Tájvédelem. Pedellus Tankönyvkiadó. Debrecen, 184 p.
- Kerényi A. – Szabó G. 2007. Human impact on topography and landscape pattern in the Upper Tisza Region, NE-Hungary. *Geografica Fisica et Dinamica Quaternaria* **30**: 193-196.
- Kertész Á. 2003. Tájökológia. Holnap Kiadó, 166 p.
- Keveiné Bárány I. 2003. Tájszerkezet és tájváltozás vizsgálatok karsztos mintaterületen. *Tájökológiai Lapok* **1** (2): 145-151.
- Laurance, W.F. – Nascimento, H.E.M. – Laurance, S.G. – Andrade, A. – Ewers, R.M. – Harms, K.E. – Luziazo, R.C.C. – Ribeiro, J.E. 2007. Habitat Fragmentation, Variable Edge Effects, and the Landscape-Divergence Hypothesis. *PLoS ONE* **2** (10): e1017. doi:10.1371/journal.pone.0001017
- Leitão, A.B. – Miller, J. – Ahern, J. – McGarigal, K. 2006 Measuring Landscapes: A Planner's Handbook. Island Press 272 p.
- Lóczy D. 2002. Tájértékelés, földértékelés. *Studia Geographica Series*. Dialóg Campus, Budapest-Pécs, 307 p.
- Lóczy D. 2003. Lehetőségek a mezőgazdasági tájak mikroszerkezetének értékelésére. *Tájökológiai Lapok* **1** (1): 33-43.
- Lóczy, D. 2007. A leggyakrabban használt tájmetriai mutatók. In: Kerényi A.: Tájvédelem, Pedellus Tankönyvkiadó, Debrecen, pp. 174-177.
- Lowe, A.J. – Boshier, D. – Ward, M. – Bacles, C.F.E. – Navarro, C. 2005. Genetic resource impacts of habitat loss and degradation; reconciling empirical evidence and predicted theory for neotropical trees. *Heredity* **95**: 255-273.
- Magura, T. – Tóthmérész, B. – Molnár, T. 2001. Forest edge and diversity: carabids along forest-grassland transects. *Biodiversity and Conservation* **10**: 287-300.
- Molnár, T. – Magura, T. – Tóthmérész, B. – Elek, Z. 2004. Szegélyek szerepe a diverzitás fenntartásában futóbogarak esetén. *Természetvédelmi Közlemények* **11**: 285-293.
- Margóczy K. 1998. Természetvédelmi biológia. JATEPress, Szeged, 108 p.

- Marosi, S. 1980. Táj kutatási irányzatok, tájértékelés, tájtipológiai eredmények különböző nagyságú és adottságú hazai típusú területeken. *MTA-FKI Közleményei* **35**.
- McGarigal, K. – Cushman, S.A. 2005. The gradient concept of landscape pattern. In: Wiens, J. – Moss, M. eds. *Issues and Perspectives in Landscape Ecology*. Cambridge Studies in Landscape Ecology, Cambridge Univ. Press, pp. 112-119.
- McGarigal, K. – Marks B.J. 1994. FRAGSTATS: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. *USDA For. Serv. Gen. Tech. Rep.* PNW-351. 141 p.
- Moser, D. – Zechmeister, H.G. – Plutzer, C. – Sauberer, N. – Wrabka, T. – Grabherr, G. 2002. Landscape patch shape complexity as an effective measure for plant species richness in rural landscapes. *Landscape Ecology* **17**: 657-669.
- Moskát, Cs. – Báldi, A. 1999. The importance of edge effect in line transect census applied in marshland habitats. *Ornis Fennica* **76**: 33-40.
- Mezősi G. – Kevei-Bárany I. – Balogh I. – Mucsi L. – Farsang A. 1993. A geoökológia és a geoökológiai térképezés néhány elvi és gyakorlati kérdése. *Földrajzi Közlemények* **117** (3): 163-176.
- Mezősi G. – Fejes Cs. 2004. Tájmetria. In: Dövényi Z. – Schweitzer F. szerk. *Táj és környezet*. MTA FKI, Budapest pp. 229-242.
- Mezősi G. – Fejes Cs. 2004. Tájak ökológiai feltételeinek kvantitatív elemzése. II. Magyar Táj-ökológiai Konferencia, Szeged 2004. szeptember 2-4. CD-ROM
- Mezősi G. – Rakonczai J. (szerk.) 1997. Geoökológiai térképezés elmélete és gyakorlata. JATE, Szeged 193 p.
- Mezősi G. – Barta K. – Bódis K. – Géczi R. – Farsang A. 2008. A táji mintázatok kvantitatív elemzése. Munkabeszámoló. OTKA 46558, 12 p.
- Michéli E. 2002. Hazánk talajosztályozási rendszerének korszerűsítése. *Talaj és környezet*, DE ATC – MTA Talajtani és Agrokémiai Bizottsága, Debrecen, pp. 56-62.
- Minor, E.S. – McDonald, R.I. – Treml, E.A. – Urban, D.L. 2008. Uncertainty in spatially explicit models. *Biological Conservation* **141** (4): 956-970.
- Murcia, C. 1995. Edge effects in fragmented forests: implications for conservation. *Trends in Ecology and Evolution* **10**: 58-62. cited in: Báldi A. 1999. Microclimate and vegetation edge effects in a redbed in Hungary. *Biodiversity and Conservation* **8**: 1697-1706.
- Nyári L. 2006. Az agro-erdőgazdálkodás fogalma és történeti háttere. *Agrár-Erdészeti Jegyzetek*, Dunántúli Mezőgazdasági Tanácsadók Szövetsége 4 p.
- Pascual-Hortal, L. – Saura, S. 2006. Comparison and development of new graph-based landscape connectivity indices: towards the prioritization of habitat patches and corridors for conservation. *Landscape Ecology* **21**: 959-967.
- Pascual-Hortal, L. – Saura, S. 2007. Impact of spatial scale on the identification of critical habitat patches for the maintenance of landscape connectivity. *Landscape and Urban Planning* **83**: 176-186.
- Penn-Bressel, G. 2005. Begrenzung der Landschaftszerschneidung bei der Planung von Verkehrswegen. *GALA* **14** (2): 130-134.
- Podani, J. 1997. Bevezetés a többváltozós biológiai adatfeldolgozás rejtelmeibe. Scientia Kiadó, Budapest 412 p.
- Pope, S.E. – Fahrig, L. – Merriam G. 2000. Landscape complementation and metapopulation effects on leopard frog populations. *Ecology* **81**: 2498-2508.
- Ricotta, C. – Corona, P. – Marchetti, M. 2003. Beware of contagion! *Landscape and Urban Planning* **62** (3): 173-177.
- Riitters, K.H. – O'Neill, R.V.O. – Wickham, J.D. – Jones, D. 1996. A note on contagion indices for landscape analysis. *Landscape Ecology* **11** (4): 197-202.

- Riitters, K.H. – O'Neill, R.V. – Hunsaker, C.V. – Wickham, J.D. – Yankee, D.H. – Timmins, S.P. – Jones, K.B. – Jackson, B.L. 1995. A factor analysis of landscape pattern and structure matrices. *Landscape Ecology* **10** (1): pp. 23-40.
- Saura, S. – Pascual-Hortal, L. 2007. A new habitat availability index to integrate connectivity in landscape conservation planning: Comparison with existing indices and application to a case study. *Landscape and Urban Planning* **83**: 91-103.
- Saura, S. – Pascual-Hortal, L. 2007b. Conefor Sensinode 2.2. User's Manual. University of Lleida, Spain 56 p.
- Saura, S. – Torné, J. 2009. Conefor Sensinode 2.2: a software package for quantifying the importance of habitat patches for landscape connectivity. *Environmental Modelling & Software* **24**: 135-139.
- Saura, S. 2009. Measuring connectivity in landscape networks: towards meaningful metrics and operational decision support tools. 16th Annual UK-IALE Conference, Edinburgh
- Sih, A. – Jonsson, B.G. – Luikart, G. 2000. Habitat loss: ecological, evolutionary and genetic consequences. *Trends in Ecology* **15** (4): 132-134.
- Simberloff, D. – Abele, L.G. 1981. Refuge design and island biogeographic theory: effects of fragmentation. *The American Naturalist* **120** (1): 41-50.
- Sisk, T.D. – Haddad, N.M. 2002. Incorporating the effects of habitat edge into landscape models: Effective area models for cross-boundary management. in: Lui, J. – Taylor, W. eds.: *Integrating landscape Ecology into Natural Resource Management*. Cambridge University Press, Cambridge pp. 208-240.
- Sundell-Turner, N.M. – Rodewald, A.D. 2008. A comparison of landscape metrics for conservation planning. *Landscape and Urban Planning* **86** (3-4): 219-225.
- Szabó Sz. 2009. A CLC2000 és CLC50 adatbázisok összehasonlítása tájmetriai módszerekkel. *Tájökológiai Lapok* (közlésre elfogadva)
- Szabó Sz. 2009b. Kavantitativ tájanalízis geoinformatikai módszerekkel. Diplomamunka, BMGE, Budapest 40 p. (kézirat)
- Szabó Szilárd – Túri Zoltán 2008. A felbontás szerepe a tájmetriai vizsgálatokban. In: Csima P. – Dublinszki-Boda B. szerk.: *Tájökológiai Kutatások*, Budapest pp. 155-162.
- Thorne, J.H. – Huber, P.R. – Girvetz, E.H. – Quinn, J. – McCoy, M.C. 2009. Integration of regional mitigation assessment and conservation planning. *Ecology and Society* **14** (1): 47. [online] URL: <http://www.ecologyandsociety.org/vol14/iss1/art47/>
- Tischendorf, L. – Bender, D.J. – Fahrig, L. 2003. Evaluation of patch isolation metrics in mosaic landscapes for specialist vs. generalist dispersers. *Landscape Ecology* **18**: 41-50.
- Tischendorf, L., A. Grez, T. Zaviezo, and L. Fahrig. 2005. Mechanisms affecting population density in fragmented habitat. *Ecology and Society* **10** (1): 7. [online] URL: <http://www.ecologyandsociety.org/vol10/iss1/art7/>
- Tóth G. 2008. A tervezett autópálya-építések tájvédelmi vonatkozásai. In Csorba P. – Fazekas I. szerk.: *Tájkutatás-tájökológia*, Meridián Alapítvány, Debrecen pp. 57-63.
- Treweek, J. 2007. *Landscape Ecological Analysis*. Blackwell-Science, 351 p.
- Tscharntke, T. – Steffan-Dewenter, I. – Kruess, A. – Thies, C. 2002. Contribution of small habitat fragments to conservation of insect communities of grassland-cropland landscapes. *Ecological Applications* **12** (2): 354-363.
- Uulemaa, E. – Antrop, M. – Roosaare, J. – Marja, R. – Mander, Ü. 2009. Landscape Metrics and Indices: An Overview of Their Use in Landscape Research. *Living Reviews in Landscape Research* **3**: [online] URL: <http://landscape-research.livingreviews.org/Articles/lrlr-2009-1/>
- Vance, M.D. – Fahrig, L. – Flather, C.H. 2003. Effect of habitat rate minimum reproductive on birds of forest-breeding requirements. *Ecology* **84** (10): 2643-2653.

- Vos, C.C. – Opdam, P. – Steingröver, E.G. – Reijen, R. 2007. Transferring ecological knowledge to landscape planning: a design method to for robust corridors. In Wu, J. – Hobbs, R. eds: Key topics in Landscape Ecology. Studies in Landscape Ecology Cambridge University Press, Cambridge, pp. 227-245..
- Wang, K. – Wang, H.J. – Shi, X.Z. – Weindorf, D.C. – Yu, D.S. – Liang, Y. – Shi, D.M. 2008. Landscape analysis of dynamic soil erosion in Subtropical China: A case study in Xingguo County, Jiangxi Province. *Soil and Tillage Research*, in press doi: 10.1016/j.still.2008.08.013
- Watts, K. – Handley, P. – Scholefield, P. – Norton, L. 2008. Habitat connectivity – Developing an indicator for UK and country level reporting. *Final Report for DEFRA Research Contract*. Forest Research and Centre for Ecology and Hydrology 117 p.
- Whitaker, R.J. – Fernández-Palacios, J.M. 2007. Island Biogeography. Ecology, evolution, conservation. Oxford University Press, Oxford – New York, 392 p.
- Wood, D.J.A. – Koprowski, J.L. – Lurz, P.W.W. 2007. Tree squirrel introduction: a theoretical approach with population viability analysis. *Journal of Mammalogy* **88** (5): 1271-1279.
- Wu, J. – Vankat, J.L. 1995. Island biogeography: theory and applications. In: W. A. Nierenberg (ed): *Encyclopedia of Environmental Biology*. Academic Press, San Diego. Vol. 2. pp. 371-379.
- Zar, J.H. 1995. Biostatistical analysis. Prentice Hall, 960 p.