

UNIVERSITATEA DE VEST DIN TIMIȘOARA
FACULTATEA DE CHIMIE, BIOLOGIE, GEOGRAFIE
DEPARTAMENTUL DE GEOGRAFIE
ȘCOALA DOCTORALĂ „MEDIU GEOGRAFIC ȘI DEZVOLTARE DURABILĂ”

ANALIZA DE CONTEXT ÎN CLASIFICAREA AUTOMATĂ A FORMELOR DE RELIEF

- REZUMATUL TEZEI DE DOCTORAT -

Coordonator științific:
Conf. univ. dr. habil. **Lucian DRĂGUȚ**

Doctorand:
Adriana SĂRĂȘAN

Timișoara
2018

CUPRINS

ARGUMENT	3
PARTEA I. ASPECTE TEORETICO-METODOLOGICE.....	6
1. INTRODUCERE	6
1.1. Scopul și obiectivele studiului	9
1.2. Structura lucrării	11
2. CADRUL TEORETIC	13
2.1. Formele de relief	13
2.1.1. Ierarhizarea formelor de relief.....	13
2.1.2. Perspectiva geomorfometrică.....	14
2.2. Cartografierea și clasificarea geomorfologică	18
2.2.1. Abordarea vizual-interpretativă.....	19
2.2.2. Abordarea cantitativă	20
2.3. Conceptul de context	27
2.3.1. Contextul spațial.....	28
3. CADRUL MEDOLOGIC.....	33
3.1. Analiza morfografică	34
3.1.1. Dunele liniare de nisip.....	34
3.1.2. Drumlinurile	35
3.2. Analiza geomorfometrică	36
3.3. Analiza de context	39
3.3.1. Contextul extern	40
3.3.2. Contextul intern.....	41
3.4. Analiza orientată-obiect	43
3.4.1. Procesul de segmentare	44
3.4.2. Procesul de clasificare	46
PARTEA A II-A. STUDII DE CAZ	47
4. EVALUAREA POTENȚIALULUI METRICILOR PEISAJULUI ÎN DESCRIEREA CONFIGURAȚIEI SPAȚIALE A DUNELOR DE NISIP	47
4.1. Arealele test	47

4.2. Design-ul experimental.....	48
4.2.1. Setul de date utilizat	49
4.2.2. Caracteristicile geomorfometrice	49
4.2.3. Segmentarea și clasificarea neasistată a parametrilor morfometrici	50
4.2.4. Selecția metricilor peisajului.....	51
4.2.5. Analiza exploratorie a metricilor peisajului	58
4.3. Rezultate	59
5. CLASIFICAREA SEMI-AUTOMATĂ A DRUMLINURILOR	63
5.1. Arealul test.....	63
5.2. Design-ul experimental.....	64
5.2.1. Setul de date utilizat	64
5.2.2. Pregătirea datelor de intrare	64
5.2.3. Clasificarea orientată-obiect.....	70
5.2.4. Evaluarea acurateții modelului.....	70
5.3. Rezultate	71
5.3.1. Rezultatul clasificării orientate-obiect	71
5.3.2. Influența parametrului L asupra rezultatului clasificării	72
PARTEA A III-A. DISCUȚII ȘI CONCLUZII	74
6. DISCUȚII	74
6.1. Avantaje ale metodologiei propuse.....	74
6.2. Limitări ale metodologiei propuse	78
6.3. Semnificația studiului la nivel internațional	81
7. CONCLUZII.....	83
BIBLIOGRAFIE	85
NOTĂ DE FINAL	105

Cuvinte cheie: geomorfometrie, context, metricile peisajului, forme de tip geomorphons, dune liniare de nisip, drumlinuri.

PARTEA I. ASPECTE TEORETICO-METODOLOGICE

1. INTRODUCERE

Informațiile topologice și contextuale sunt elemente cheie atât în înțelegerea morfogenezei formelor de relief (Evans, 2012), cât și în aprofundarea cunoștințelor referitoare la evoluția unui ansamblu peisagistic (Pike, 1995). Astfel, analiza digitală a suprafeței terestre și în special, tehnicile specifice de clasificare și extragere automată a formelor de relief ar trebui să se raporteze la context (MacMillan *et al.*, 2004; Deng, 2007a), care este arareori cuantificat (Evans, 2012). Plecând de la faptul că aceste informații nu pot fi cuantificate pe baza parametrilor morfometrici locali, statistici sau regionali (Olaya, 2009), lucrarea de față vizează evaluarea acestora prin prisma următoarelor două metodologii: (i) metricile peisajului (*Landscape metrics*) și (ii) metoda *geomorphon* dezvoltată de Jasiewicz&Stepinski (2013) pentru extragerea automată a formelor elementare de relief. Acestea sunt numite, în continuare, forme de tip *geomorphons*. Adoptarea acestei terminologii a urmărit atât particularizarea metodologiei utilizate, cât și eliminarea potențialelor greșeli de traducere sau interpretare în limba română.

1.1. Scopul și obiectivele studiului

Scopul general al acestei lucrări este de a evalua atributele topologice și contextuale, cuantificate pe baza metricilor peisajului (McGarigal&Marks, 1995) și a formelor de tip *geomorphons* (Jasiewicz&Stepinski, 2013), în vederea clasificării orientate-obiect a formelor de relief. Pentru atingerea acestui scop, activitatea științifică a fost organizată în jurul a două obiective derivate.

- 1) Evaluarea potențialului metricilor peisajului în cuantificarea atributelor contextuale și diferențierea diferitelor structuri spațiale (*landform patterns*), pe baza parametrilor morfometrici.
- 2) Evaluarea potențialului formelor de tip *geomorphons* în clasificarea semi-automată a formelor specifice de relief, precum drumlinurile.

1.2. Structura lucrării

Lucrarea de față înglobează un număr de șapte capitole, structurate în trei părți. Prima parte expune o serie de aspecte teoretice și metodologice referitoare la conceptul de context și importanța atributelor contextuale în clasificarea automată a formelor de relief (Capitolul 1, Capitolul 2, Capitolul 3). Aceste aspecte sunt completate, în cea de a doua parte, de două studii de caz (Capitolul 4, Capitolul 5), astfel încât, după o trecere în revistă a principalelor rezultate, partea a treia (Capitolul 6, Capitolul 7) sintetizează realizările și neajunsurile studiului, precum și posibilele oportunități de dezvoltare în această direcție.

2. CADRUL TEORETIC

2.1. Formele de relief

Formele de relief sunt atât rezultatul proceselor geologice și geomorfologice din trecut, cât și un factor de control al proceselor și fenomenelor actuale (Dehn *et al.*, 2001). Acestea influențează fluxul apei de suprafață, transportul de sedimente și poluanți, precum și apariția și dezvoltarea solului, determinând climatul la scară locală și regională (Blaszczynski, 1997).

Dincolo de caracteristicile distinctive ale formelor de relief, se cunoaște că acestea sunt ierarhizate la diferite niveluri de organizare (Dikau, 1992), astfel încât se diferențiază trei tipuri de unități de relief: forme elementare de relief, forme de relief, respectiv tipuri de forme de relief (MacMillan&Shary, 2009).

Din punct de vedere cantitativ, acestea pot fi descrise pe baza discontinuităților prezente la nivelul parametrilor morfometrici analizați (Evans, 1972).

2.2. Cartografierea și clasificarea geomorfologică

În contextul dezvoltării Sistemelor Informatice Geografice (SIG), cartografierea geomorfologică implică o abordare manuală, bazată cu precădere pe analiza vizual-interpretativă a datelor, în timp ce clasificarea presupune o abordare cantitativă ce utilizează tehnici specifice de calcul (Seijmonsbergen *et al.*, 2011).

În ciuda faptului că tehnicile de clasificare digitală prezintă o alternativă superioară metodelor convenționale de cartografiere, fiind pragmatice și repetabile (van Asselen&Seijmonsbergen, 2006), există o serie de constrângeri conceptuale referitoare la

următoarele aspecte: i) utilizarea informațiilor cu caracter evaziv (Cheng *et al.*, 2004; Bittner, 2011), ii) interoperabilitatea datelor (Dehn *et al.*, 2001), iii) scara de analiză (Drăguț&Eisank, 2011) și iv) **raportul formă de relief – context spațial** (MacMillan *et al.*, 2004; Deng, 2007a). Aceste constrângeri sunt determinate cu precădere de faptul că orice sistem de clasificare automată trebuie să adopte criteriile explicite de analiză, capabile să ofere rezultate consecvente și reproductibile (MacMillan *et al.*, 2004).

2.3. Conceptul de context

Potrivit cu Zheng *et al.* (2017), informațiile contextuale fac apel la prima lege a geografiei, conform căreia „*Orice relaționează cu orice, dar obiectele apropiate relaționează mai puternic decât cele depărtate*” (Tobler, 1970, citat de Pike *et al.* (2009), pg. 24). Practic, termenul de context definește orice informație ce nu este direct produsă de caracteristicile fizice ale obiectului de interes (ex: formă de relief) cum sunt, culoarea, dimensiunea sau forma (Wolf&Bileschi, 2006; Galleguillos&Belongie, 2010; Mahmoudi *et al.*, 2015).

3. CADRUL MEDOLOGIC

3.1. Analiza morfografică

3.1.1. Dunele liniare de nisip

Condiționate cu precădere de un regim al vântului bidirecțional, dunele liniare descriu o formă alungită care prezintă două flancuri, situate de-o parte și de alta a liniei de creastă (Lancaster, 1982). În raport cu dimensiunea și complexitatea acestora, McKee (1980) descrie trei clase specifice dunelor liniare: simplu, compus și complex.

3.1.2. Drumlinurile

Drumlinurile sunt forme de acumulare glaciară paralele pe direcția de curgere a gheții, fiind întâlnite de regulă în grupuri (Menzies, 1979). Acestea prezintă în general o formă eliptică, iar din punct de vedere al dimensiunii variază între 100-2000 m lungime, 10-100 m lățime și 5-200 m înălțime (Rădoane *et al.*, 2001; Menzies&Shilts, 2002; Urdea, 2005).

3.2. Analiza geomorfometrică

În lucrarea de față, extragerea parametrilor morfometrici (Tabel 3.1.) s-a realizat cu ajutorul următoarelor trei programe de specialitate: MicroDEM (Guth, 2009), SAGA GIS (Olaya&Conrad, 2009) și ArcGIS v.10.2.1.

TABEL 3.2. Parametrii selectați în analiza geomorfometrică a dunelor liniare de nisip (I) și a drumlinurilor (II).

Studiu de caz	Parametri	Descriere	Articol referință
I	Energia reliefului (<i>Relief</i>)	Diferența altitudinală între valoarea maximă și minimă, măsurată în cadrul unei anumite ferestre de analiză (Drummond, Dennis, 1968).	Guth (2009b)
	Coeficientul de pantă (<i>Steepness</i>)	Măsură a rugozității suprafeței terestre, definită pe baza valorilor medii ale pantei, <i>average slope</i> (Guth, 2003).	Guth (2009b)
	Modul de organizare a reliefului (<i>Organization</i>)	Parametru de textură a reliefului, valorile scăzute indicând caracteristici topografice asemănătoare în toate direcțiile (Guth, 2003; Guth, 2009).	Guth (2009b)
	Masivitatea suprafeței terestre (<i>Massiveness</i>)	Parametru statistic ce descrie textura suprafeței terestre pe baza coeficientului de asimetrie a distribuției valorilor altitudinale, <i>elevation skewness</i> .	Guth (2009b)
	Omogenitatea suprafeței terestre (<i>Homogeneity</i>)	Parametru statistic ce descrie textura suprafeței terestre pe baza coeficientului de aplatizare a distribuției valorilor altitudinale, <i>elevation kurtosis</i> .	Guth (2009b)
	Valorile abaterii standard specifice curburii în profil (<i>Standard deviation of profile curvature</i>)	Parametru statistic ce descrie convexitatea și concavitatea suprafeței terestre.	Guth (2009b)
	Densitatea fragmentării (<i>Dissection</i>)	Gradul de disecare a suprafeței terestre, calculat pe baza formulei propusă de Evans (1972).	Evans, Oakleaf (2011)
	Rugozitatea terenului (<i>Surface relief-ratio</i>)	Descrie complexitatea suprafeței terestre, într-o fereastră stabilită de utilizator, pe baza formulei propusă de Pike, Wilson (1971).	Evans, Oakleaf (2011)
II	Altitudinea (<i>Elevation</i>)	Altitudinea în raport cu nivelul mării.	Saha et al. (2011)

Gradientul pantei (<i>Slope</i>)	Rata maximă de schimbare a valorilor altitudinale, exprimată în grade (°), (Wilson&Gallant, 2000).	Saha et al. (2011)
Expoziția versanților (<i>Aspect</i>)	Direcția de înclinare a versanților în raport cu punctele cardinale.	Saha et al. (2011)
Curbura (<i>Curvature</i>)	Definește convexitatea și concavitatea suprafeței terestre (Olaya, 2009).	dOleire-Oltmanns et al. (2013)
Altitudinea relativă (<i>Residual relief separation</i>)	Altitudinea relativă calculată pe baza unei tehnici de filtrare a MNAT-ului propusă de Hillier, Smith (2008).	dOleire-Oltmanns et al. (2013)
Înălțimea pantei (<i>Slope heigh</i>)	Diferența de altitudine între celula x și celula de la baza pantei (Böhner&Selige, 2006).	Eisank et al. (2014)
Altitudinea normalizată (<i>Normalized height</i>)	Altitudinea relativă în funcție de înălțimea pantei (Böhner&Selige, 2006).	Eisank et al. (2014)
Indicele de convergență (<i>Convergence index</i>)	Describe modul de scurgere a apei în fiecare celulă, divergent sau convergent (Kothe&Lehmeier, 1996).	Eisank et al. (2014)
Indicele de umiditate SAGA (<i>SAGA Wetness Index</i>)	Indică tendința de acumulare a apei (Böhner et al., 2001).	Eisank et al. (2014)
Distanța verticală față de rețeaua hidrografică (<i>Vertical Distance to Channel Network</i>)	Altitudinea relativă în raport cu altitudinea interpolată a rețelei hidrografice (Böhner et al., 2001).	Eisank et al. (2014)

3.3. Analiza de context

În funcție de raportul stabilit între obiectele analizate, contextul spațial poate fi extern sau intern (Hermosilla et al., 2012). Contextul extern presupune descrierea unui obiect pe baza relațiilor cu obiecte adiacente, în timp ce contextul intern implică descrierea acestuia pe baza elementelor constituente (Hermosilla et al., 2012). Astfel, metricile peisajului sunt analizate pentru a cuantifica contextul extern al dunelor liniare de nisip (Capitolul 4), în timp ce formele elementare de relief definesc contextul intern al drumlinurilor, fiind integrate în procesul de clasificare semi-automată a acestora (Capitolul 5).

3.3.1. Contextul extern

Introduși în ecologie, în vederea analizei cantitative a unui ansamblu peisagistic, metricile peisajului permit cuantificarea atributelor topologice și contextuale (O'Neill *et al.*, 1988; Turner, 1989), necesare completării analizei geomorfologice locale (Pike, 2000).

Calcularea metricilor peisajului (Tabel 3.2.) s-a realizat utilizând programul FRAGSTATS v4.2 (McGarigal, 2014). Pentru eliminarea potențialelor greșeli de traducere sau de interpretare în limba română, precum și a posibilelor confuzii, determinate de faptul că programe similare utilizează acronime alternative, în lucrarea de față, s-a optat pentru denumirea indicatorilor în limba engleză, fiind, de asemenea, folosite acronimele specifice programului utilizat (McGarigal & Marks, 1995).

TABEL 3.2. Setul de indicatori propus în analiză.

Categorie	Acronim	Denumire (unitate de măsură)
Isolation/proximity	PROX_MN	Mean of proximity index (-)
	PROX_SD	Standard deviation of proximity index (-)
	ENN_MN	Mean of Euclidean nearest neighbor distance
	ENN_SD	Standard deviation of Euclidean nearest
Dispersion/interpersions	AI	Aggregation index (%)
	PLADJ	Proportion of like adjacencies (%)
	COHESION	Patch cohesion index (-)
	IJI	Interspersion/juxtaposition index (%)
	CLUMPY	Clumpiness index (%)
	LSI	Landscape shape index (-)
	nLSI	Normalized landscape
Subdivision	PD	Patch density (nr./100 ha)
	NP	Number of patches (-)
	SPLIT	Splitting index (-)
	MESH	Effective mesh size (ha)
	DIVISION	Landscape division index (%)
Connectivity	CONNECT	Connectance index (%)

3.3.2. Contextul intern

Metoda *geomorphon* (Jasiewicz&Stepinski, 2013) prezintă un algoritm de clasificare a formelor elementare de relief pe baza MNAT. Rezultatul este influențat de următorii trei parametri: raza de căutare (*L - lookup distance*), raza de omitere (*skip radius*) și gradul de netezime (*flatness*). Dintre aceștia, cel mai important este parametrul *L* care definește scara

maximă de analiză (Jasiewicz&Stepinski, 2013). Stabilirea valorii L se bazează în general pe decizii subiective, valoarea sa fiind dependentă de rezoluția spațială a MNAT-ului utilizat.

Plecând de la premisa că scara maximă de analiză (L) poate fi stabilită pe baza conceptului de granulă topografică (Pike *et al.*, 1989), două studii (Józsa, 2016; Józsa&Fábián, 2016) au reinterpretat acest concept și au dezvoltat un algoritm automat de calculare a distanței creastă – vale (*ridgeline-to-channel spacing*).

În prezenta teză s-a adoptat această metodă, având astfel în vedere (i) selecția obiectivă a unei valori specifice L și (ii) evaluarea influenței acestui parametru asupra rezultatelor obținute în urma extragerii semi-automate a drumlinurilor, pe baza formelor elementare de tip *geomorphons*.

3.4. Analiza orientată-obiect

Metodologia OBIA a fost adoptată, în primul rând, în vederea cuantificării metricilor peisajului pe baza obiectelor rezultate în urma procesului de segmentare a parametrilor morfometrici. Schema metodologică dezvoltată pentru al doilea studiu de caz prezintă, de asemenea, o abordare OBIA care implică trei etape specifice: segmentarea, clasificarea și validarea rezultatelor

PARTEA A II-A. STUDII DE CAZ

4. EVALUAREA POTENȚIALULUI METRICILOR PEISAJULUI ÎN DESCRIEREA CONFIGURAȚIEI SPAȚIALE A DUNELOR DE NISIP

4.1. Arealele test

Pentru stabilirea posibilității de generalizare a metricilor peisajului s-a avut în vedere evaluarea acestora la nivelul mai multor areale, astfel încât etapele de analiză s-au realizat la nivelul a trei areale test. Primele două areale test (T1, T2) reprezintă suprafețe reale, din cadrul deșertului Sahara, în timp ce al treilea areal (T3) înfățișează un model artificial (*Neutral Landscape Model*) generat cu ajutorul funcției *r.surf.fractal* din programul de specialitate GRASS GIS.

4.2. Design-ul experimental

Schema logică dezvoltată cuprinde patru etape succesive de analiză, plecând de la generarea obiectelor morfometrice, la cuantificarea metricilor peisajului, analiza exploratorie și verificarea caracterului general al acestora.

4.3. Rezultate

În urma analizei vizuale a distribuției spațiale a indicatorilor a rezultat că singurul parametru care scoate în evidență potențialul acestora în descrierea configurației spațiale a dunelor de nisip este densitatea fragmentării (*dissection*). Analiza exploratorie a metricilor peisajului sugerează astfel potențialul unui număr de 8 indicatori (Tabelul 4.1.), din cei 17 analizați în descrierea configurației spațiale a dunelor de nisip.

TABEL 4.1. Setul de indicatori care descriu configurația spațială dunelor de nisip

Categorie	Acronim	Denumire (unitate de măsură)
Isolation/proximity	ENN	Euclidean Nearest-Neighbor Distance (m)
Aggregation	COHESION	Patch Cohesion Index (none)
Subdivision	NP	Number of Patches (none)
	PD	Patch density (nr./100 ha)
	DIVISION	Landscape Division Index (%)
	SPLIT	Splitting Index (none)
Connectivity	MESH	Effective Mesh Size (ha)
	CONNECT	Connectance index (%)

În ceea ce privește posibilitatea de generalizare, ansamblul de corelații este mult mai asemănător la nivelul modelelor reale (T1, T2), în comparație cu modelul artificial (T3), existând totodată o serie de diferențe. De regulă, aceste diferențe se regăsesc la nivelul indicatorilor specifici proximității/izolării (PROX, ENN), respectiv conectivității (CONNECT), pentru derivarea acestora fiind necesară stabilirea unei ferestre de analiză.

5. CLASIFICAREA SEMI-AUTOMATĂ A DRUMLINURILOR

5.1. Arealul test

Arealul test este situat în partea centrală a câmpului de drumlinuri Eberfinger, localizat în SE Germaniei, la nivelul suprafeței analizate (30 km²) fiind identificat un număr de 108 drumlinuri.

5.2. Design-ul experimental

Schema logică dezvoltată implică două etape distincte: (i) pregătirea datelor de intrare, respectiv (ii) clasificarea orientată-obiect, însumând astfel un număr de opt pași specifici de analiză.

Primii 5 pași de analiză: 1) preprocesarea MNAT; 2) derivarea indicelui de umiditate SAGA (*SAGA Wetness Index - SWI*); 3) extragerea formelor elementare de tip *geomorphons*; 4) reclasificarea formelor de tip *geomorphons* și 5) crearea datelor de referință în scopul evaluării cantitative a acurateții modelului, sunt specifici primei etape de lucru, iar ceilalți trei pași: 6) segmentarea; 7) clasificarea și 8) validarea rezultatelor, sunt specifici celei de a doua etape.

5.3. Rezultate

Rata de detecție cea mai mare (91.7%) a fost atinsă în cazul valorii L selectate automat (L = 13 celule), în timp ce rata cea mai mică (84.3%) a fost înregistrată pe baza valorii L predefinite (L = 3 celule). În ceea ce privește indicatorii p și r, valorile acestora depind în principal de valoarea lui L. Valoarea lui p este invers proporțională cu valoarea lui L, iar valoarea lui r este direct proporțională cu valoarea acestuia. Așadar, valoarea maximă a lui p (76.6%) a fost înregistrată pe baza valorii L predefinite, în timp ce valoarea r maximă a fost atinsă în cazul valorii L = 400 celule.

PARTEA A III-A. DISCUȚII ȘI CONCLUZII

6. DISCUȚII

6.1. Avantaje ale metodologiei propuse

Principalele avantaje sunt oferite de metodologia dezvoltată pentru atingerea celui de al doilea obiectiv: *evaluarea potențialului formelor de tip geomorphons în clasificarea semi-automată a formelor specifice de relief, cum sunt drumlinurile.*

Așadar, adoptarea unei metode obiective de selecție a parametrului L s-a dovedit a fi utilă din două puncte de vedere: (i) permite un procedeu de calcul rapid și (ii) oferă rezultate consecvente în extragerea automată a drumlinurilor. De asemenea, calcularea distanței creastă – vale (*ridgeline-to-channel spacing*) prin intermediul acestei metode poate fi utilă și în cazul altor analize geomorfometrice ce vizează estimarea parametrilor morfometrici, precum energia reliefului (Verhagen&Drăguț, 2012).

6.2. Limitări ale metodologiei propuse

Principalele limitări sunt determinate cu precădere de metodologia dezvoltată în vederea atingerii primului obiectiv: *evaluarea potențialului metricilor peisajului în cuantificarea atributelor contextuale și diferențierea a diferite structuri spațiale (landform patterns), pe baza parametrilor morfometrici.*

Scopul inițial al prezentei teze a fost dezvoltarea unui nou set de parametri morfometrici, pe baza algoritmilor specifici metricilor peisajului, pentru a facilita integrarea atributelor contextuale în procesul de clasificare automată a formelor de relief.

Atingerea acestui scop nu a fost însă posibilă din cauza următorului fapt: dificultatea de a dezvolta o metodologie care să combine informațiile mai multor indicatori ce au semnificații distincte, valori variabile și grade diferite de relevanță (Niesterowicz&Stepinski, 2016), astfel încât să fie posibilă generarea unui algoritm care să cuantifice atributele contextuale ale unui ansamblu topografic, pe baza MNAT .

Prin urmare, deși metodologia dezvoltată pentru primul studiu de caz s-a dovedit a fi precară, rezultatele obținute constituie un suport pentru aplicațiile viitoare, nefiind astfel exclusă

posibilitatea dezvoltării unei noi metodologii care să permită integrarea metricilor peisajului în procesul de clasificare automată a formelor de relief, precum alunecările de teren.

6.3. Semnificația studiului la nivel internațional

Conform evaluării cantitative (Tabel 6.1.) a fost posibilă stabilirea unui răspuns favorabil la întrebarea: *În ce măsură formele elementare de tip geomorphons au potențial în îmbunătățirea metodelor existente de clasificare a drumlinurilor?*

TABEL 6.1 Evaluarea cantitativă a sistemului de clasificare propus în comparație cu abordările precedente; valorile indicatorilor sunt prezentate în %.

Metodă	User accuracy	Producer accuracy	Rata de detecție generală ^a	Rata de intersecție ^b
Saha <i>et al.</i> (2011)	-	-	-	88
d'Oleire-Oltmanns <i>et al.</i>	58	61	-	88
Yu <i>et al.</i> (2015)	60	30	-	100
Jorge&Brennand (2017)	52	66	78	83
L-3	64	77	84	100
L-13	65	75	93	100
L-50	66	74	93	100
L-100	67	73	91	100
L-200	67	73	91	100
L-400	67	73	92	100

a Rata de detecție propusă de Jorge&Brennand (2017) (minimum 10 % rată de suprapunere).

b Rata de detecție propusă d'Oleire-Oltmanns *et al.* (2013) (nu au fost stabilite constrângeri de suprapunere).

7. CONCLUZII

Dificultatea de a cuantifica atributele contextuale specifice formelor de relief constituie un aspect problematic în domeniul geomorfometriei. Prin urmare, studiul de față vine ca o completare firească a studiilor care au abordat această problematică din punct de vedere al metricilor peisajului (Tang *et al.*, 2008; Gruber *et al.*, 2015; Sărășan&Ardelean, 2015) și al formelor de tip *geomorphons* (Jorge&Brennand, 2017).

Cele mai bune rezultate au fost obținute pe baza metodologiei dezvoltate pentru al doilea studiu de caz (Capitolul 5). Studiul prezintă astfel o primă abordare în determinarea automată a valorii specifice L, în vederea clasificării automate a drumlinurilor pe baza formelor de tip *geomorphons*. Rata de detecție cea mai ridicată, 91.7% (99 drumlinuri identificate automat din

108 drumlinuri digitizate manual), a fost înregistrată pe baza valorii stabilite automat (L-13 celule), în timp ce rata de detecție cea mai scăzută, 84.3% (91 drumlinuri identificate automat din 108 drumlinuri digitizate manual), a fost atinsă pe baza valorii prestabilite (L-3 celule). Așadar, această metodă reprezintă o alternativă eficientă și obiectivă pentru stabilirea valorii L, în cele mai multe cazuri valoarea lui L fiind stabilită în urma mai multor iterații (*trial and error*).

În comparație cu abordările precedente, sistemul de clasificare dezvoltat pe baza formelor de tip *geomorphons* a determinat cele mai ridicate valori ale indicatorilor de acuratețe. În plus, având în vedere că pe baza drumlinurilor cartate se pot deriva o serie de indicatori care ajută la elucidarea genezei și evoluției lor (Ely et al., 2017; Ely et al., 2016), tehnicile de clasificare automată a drumlinurilor sunt esențiale în domenii, precum geomorfologia, glaciologia și paleoglaciologia (Hughes *et al.*, 2010; Clark *et al.*, 2017).

În ceea ce privește metodologia dezvoltată pentru evaluarea contextului extern al dunelor liniare de nisip pe baza metricilor peisajului (Capitolul 4), aceasta nu a permis atingerea rezultatelor preconizate, fiind astfel imposibilă stabilirea caracterului universal al metricilor peisajului. Prin urmare, pe baza acestei metodologii, nu se poate stabili dacă cei opt indicatori (Tabelul 4.1.), care prezintă potențial în descrierea configurației spațiale a dunelor liniare de nisip, oferă aceleași rezultate și la nivelul altor areale. Cu toate acestea, studiul de față reprezintă un îndemn la extinderea unor abordări similare, întrucât se poate cu ușurință observa că acestea nu sunt exploatate îndeajuns.

În concluzie, demersul științific prezentat în cadrul prezentei teze oferă o nouă perspectivă în evaluarea atributelor topologice și contextuale pentru (i) descrierea configurației spațiale a formelor de relief, respectiv (ii) obținerea unei mai bune relaționări între caracteristicile reale ale suprafeței terestre și obiectele clasificate automat.

Fără context formele de relief reprezintă elemente izolate la nivelul suprafeței terestre!

BIBLIOGRAFIE

Bittner, T. 2011. Vagueness and the trade-off between the classification and delineation of geographic regions - an ontological analysis. "International Journal of Geographical Information Science", 25, 825-850.

- Blaszczynski 1997. *Landform characterization with geographic information systems*. "Photogrammetric Engineering & Remote Sensing", 63, 183-191.
- Böhner, J., Köthe, R., Conrad, O., Gross, J., Ringeler, A. & Selige, T. 2001. *Soil regionalisation by means of terrain analysis and process parameterisation*. "Soil classification", 213-222.
- Böhner, J. & Selige, T. 2006. *Spatial prediction of soil attributes using terrain analysis and climate regionalisation*. "Gottinger Geographische Abhandlungen", 115, 13-28.
- Cheng, T., Fisher, P. & Zhilin, L. 2004. *Double vagueness: Uncertainty in multi-scale fuzzy assignment of duneness*. "Geo-Spatial Information Science", 7, 58-66.
- Clark, C. D., Ely, J. C., Spagnolo, M., Hahn, U., Hughes, A. L. & Stokes, C. R. 2017. *Spatial organisation of drumlins*. "Earth Surface Processes and Landforms".
- D'oleire-Oltmanns, S., Eisank, C., Dragut, L. & Blaschke, T. 2013. *An object-based workflow to extract landforms at multiple scales from two distinct data types*. "Geoscience and Remote Sensing Letters, IEEE", 10, 947-951.
- Dehn, M., Gärtner, H. & Dikau, R. 2001. *Principles of semantic modeling of landform structures*. "Computers & Geosciences", 27, 1005-1010.
- Deng, Y. 2007a. *New trends in digital terrain analysis: landform definition, representation, and classification*. "Progress in Physical Geography", 31, 405-419.
- Dikau, R. 1992. *Aspects of constructing a digital geomorphological base map*. "Geologisches Jahrbuch, A", 122, 357-370.
- Drăguț, L. & Eisank, C. 2011. *Object representations at multiple scales from digital elevation models*. "Geomorphology", 129, 183-189.
- Evans, I. S. 1972. General geomorphometry, derivatives of altitude, and descriptive statistics. *In: Chorley, R. J. (ed.) Spatial Analysis in Geomorphology*. London: Methuen.
- Evans, I. S. 2012. *Geomorphometry and landform mapping: What is a landform?* "Geomorphology", 137, 94-106.
- Galleguillos, C. & Belongie, S. 2010. *Context based object categorization: A critical survey*. "Computer Vision and Image Understanding", 114, 712-722.
- Gruber, F. E., Zieher, T., Rutzinger, M. & Geitner, C. Geomorphons and structure metrics for the characterization of geomorphological landscape regions in Austria. EGU General Assembly Conference Abstracts, 2015. 6873.

- Guth, P. 2009. Chapter 15 Geomorphometry in MicroDEM. *In: Hengl, T. & Reuter, H. I. (eds.) Geomorphometry-Concepts, Software, Applications. Developments in Soil Science, vol. 33.* Amsterdam: Elsevier.
- Hermosilla, T., Ruiz, L., Recio, J. & Cambra-López, M. 2012. *Assessing contextual descriptive features for plot-based classification of urban areas.* "Landscape and Urban Planning", 106, 124-137.
- Hughes, A. L., Clark, C. D. & Jordan, C. J. 2010. *Subglacial bedforms of the last British Ice Sheet.* "Journal of Maps", 6, 543-563.
- Jasiewicz, J. & Stepinski, T. F. 2013. *Geomorphons — a pattern recognition approach to classification and mapping of landforms.* "Geomorphology", 182, 147-156.
- Jorge, M. G. & Brennand, T. A. 2017. *Semi-automated extraction of longitudinal subglacial bedforms from digital terrain models—Two new methods.* "Geomorphology".
- Józsa, E. The topographic grain concept in DEM-based geomorphometric mapping. EGU General Assembly Conference Abstracts, 2016. 1861.
- Józsa, E. & Fábrián, S. Á. 2016. *Mapping landforms and geomorphological landscapes of Hungary using GIS techniques.* "Studia Geomorphologica Carpatho-Balcanica ", 50, 19-31.
- Kothe, R. & Lehmeier, F. 1996. *SARA—System zur Automatischen Relief-Analyse, Benutzerhandbuch.* "Department of Geography, University of Göttingen, Göttingen".
- Lancaster, N. 1982. *Linear dunes.* "Progress in Physical Geography", 6, 475-504.
- Macmillan, R. A., Jones, R. K. & McNabb, D. H. 2004. *Defining a hierarchy of spatial entities for environmental analysis and modeling using digital elevation models (DEMs).* "Computers, Environment and Urban Systems", 28, 175-200.
- Macmillan, R. A. & Shary, P. A. 2009. Chapter 9 Landforms and Landform Elements in Geomorphometry. *In: Hengl, T. & Reuter, H. I. (eds.) Geomorphometry-Concepts, Software, Applications. Developments in Soil Science, vol. 33.* Amsterdam: Elsevier.
- Mahmoudi, F. T., Samadzadegan, F. & Reinartz, P. 2015. *Context aware modification on the object based image analysis.* "Journal of the Indian Society of Remote Sensing", 43, 709-717.
- Mcgarigal, K. 2014. *Fragstats help, Version 4.* "University of Massachusetts".

- Mcgarigal, K. & Marks, M. 1995. *Spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure*. Secondary "Spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure." Pacific Northwest Research Station.
- Mckee, E. D. 1980. *A study of global sand seas*. "US Geological Survey, Professional Paper".
- Menzies, J. 1979. *A review of the literature on the formation and location of drumlins*. "Earth-Science Reviews", 14, 315-359.
- Menzies, J. & Shilts, B. W. 2002. Subglacial environments. *Modern and past glacial environments*. Elsevier.
- Niesterowicz, J. & Stepinski, T. F. 2016. *On using landscape metrics for landscape similarity search*. "Ecological Indicators", 64, 20-30.
- O'Neill, R. V., Krummel, J. R., Gardner, R. H., Sugihara, G., Jackson, B., Deangelis, D. L., Milne, B. T., Turner, M. G., Zygmunt, B., Christensen, S. W., Dale, V. H. & Graham, R. L. 1988. *Indices of landscape pattern*. "Landscape Ecology", 1, 153-162.
- Olaya, V. 2009. Chapter 6 Basic land-surface parameters. *In: Hengl, T. & Reuter, H. I. (eds.) Geomorphometry-Concepts, Software, Applications. Developments in Soil Science, vol. 33*. Amsterdam: Elsevier.
- Olaya, V. & Conrad, O. 2009. *Geomorphometry in SAGA*. "Developments in Soil Science", 33, 293-308.
- Pike, R. J. 1995. *Geomorphometry-progress, practice, and prospect*. "Zeitschrift für Geomorphologie", Supplementband 101, 221-238.
- Pike, R. J., Acevedo, W. & Card, D. H. Topographic grain automated from digital elevation models. Proceedings, Auto-Carto 9, ASPRS/ACSM Baltimore MD, 2-7 April 1989, 1989. 128-137.
- Pike, R. J., Evans, I. S. & Hengl, T. 2009. Chapter 1 Geomorphometry: A Brief Guide. *In: Hengl, T. & Reuter, H. I. (eds.) Geomorphometry-Concepts, Software, Applications. Developments in Soil Science, vol. 33*. Amsterdam: Elsevier.
- Rădoane, M., Dumitriu, D. & Ichim, I. 2001. *Geomorfologie, vol II*. "Editura Universității Suceava".
- Saha, K., Wells, N. A. & Munro-Stasiuk, M. 2011. *An object-oriented approach to automated landform mapping: A case study of drumlins*. "Computers & Geosciences", 37, 1324-1336.

- Sărășan, A. & Ardelean, A. C. 2015. *Landscape metrics as a tool for landform pattern delineation. A case study on dune fields*. "Forum geografic", XIV, 117-123.
- Seijmonsbergen, A. C., Hengl, T. & Anders, N. S. 2011. Semi-automated identification and extraction of geomorphological features using digital elevation data. In: Smith, M. J., Paron, P. & Griffiths, J. (eds.) *Geomorphological Mapping: a professional handbook of techniques and applications*. Amsterdam: Elsevier.
- Tang, G., Li, F., Liu, X., Long, Y. & Yang, X. 2008. *Research on the slope spectrum of the Loess Plateau*. "Science in China Series E: Technological Sciences", 51, 175-185.
- Turner, M. G. 1989. *Landscape ecology: the effect of pattern on process*. "Annual Review of Ecology and Systematics", 20, 171-197.
- Urdea, P. 2005. Ghețarii și relieful, Editura Universității de Vest.
- Van Asselen, S. & Seijmonsbergen, A. C. 2006. *Expert-driven semi-automated geomorphological mapping for a mountainous area using a laser DTM*. "Geomorphology", 78, 309-320.
- Verhagen, P. & Drăguț, L. 2012. *Object-based landform delineation and classification from DEMs for archaeological predictive mapping*. "Journal of Archaeological Science", 39, 698-703.
- Wilson, J. & Gallant, J. (eds.) 2000. *Terrain analysis: principles and applications*, New York: Wiley.
- Wolf, L. & Bileschi, S. 2006. *A critical view of context*. "International Journal of Computer Vision", 69, 251-261.
- Yu, P., Eyles, N. & Sookhan, S. 2015. *Automated drumlin shape and volume estimation using high resolution LiDAR imagery (Curvature Based Relief Separation): A test from the Wadena Drumlin Field, Minnesota*. "Geomorphology", 246, 589-601.

NOTĂ DE FINAL

Informațiile prezentate în capitolul 5 și o parte din discuții (capitolul 6) se regăsesc, de asemenea, în cuprinsul unui articol științific, trimis spre publicare în revista AREA. Articolul cu titlul, *Sensitivity of geomorphons to mapping specific landforms from a DEM: a case study of drumlins*, a fost acceptat spre publicare cu corecturi minore (*minor revisions*), versiunea revizuită fiind, în prezent, în a doua etapă de evaluare.