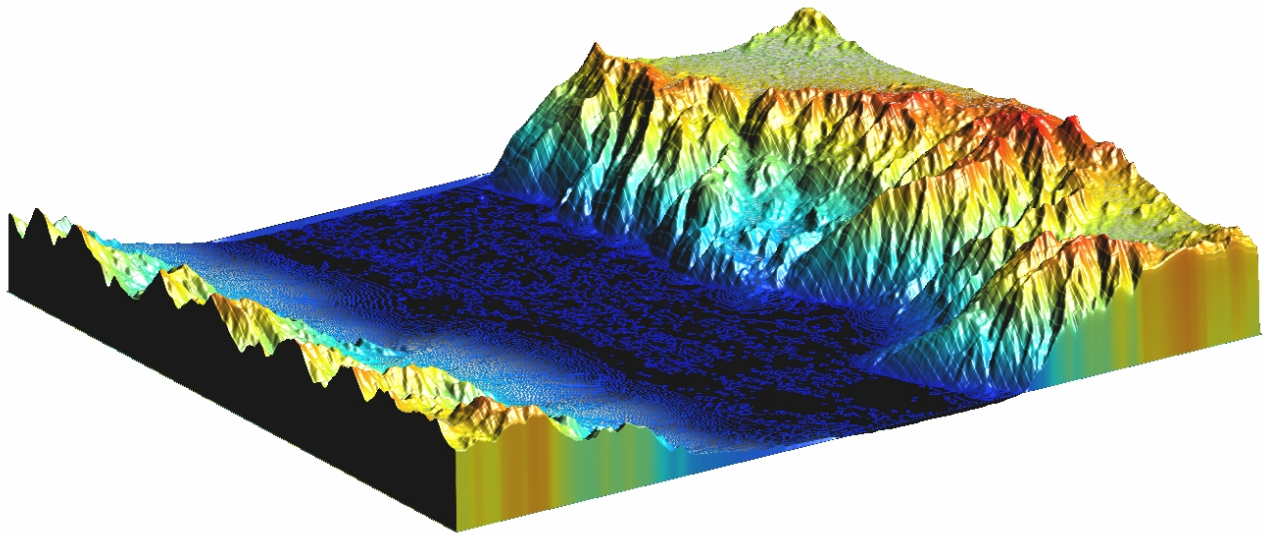




ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ, ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ
ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ

*Παραγωγή γεωμορφολογικού χάρτη από ψηφιακό
μοντέλο εδάφους με γεωμορφομετρική και
αντικειμενοστρεφή ανάλυση.*



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ : ΒΕΛΙΣΑΡΙΟΣ ΚΑΛΑΜΑΤΑΣ
ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ : ΑΡΓΙΑΛΛΑΣ ΔΗΜΗΤΡΗΣ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ - ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα εργασία εκπονήθηκε στο εργαστήριο Τηλεπισκόπησης και ανατέθηκε από τον κ. Αργιαλά, τον οποίο ευχαριστώ θερμά για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε. Θα ήθελα καταρχήν να τονίσω το θαυμάσιο περιβάλλον που υπήρχε στο γραφείο όπου δούλεψα όλο αυτό τον καιρό, παρέα με τους Πολυχρόνη Κολοκούση, Βασίλειο Ανδρώνη και Χρήστο Ιωσιφίδη. Συγκεκριμένα, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Πολυχρόνη Κολοκούση για την απλόχερη βοήθεια που μου έδωσε σε όποιο εμπόδιο συνάντησα μέχρι την ολοκλήρωση της διπλωματικής, όπως επίσης και τη Μαρία Δεκαβάλλα για τις πολύτιμες συμβουλές της.

Τελειώνοντας, δε θα μπορούσα να ξεχάσω όλους τους συμφοιτητές μου, με τους οποίους αγωνιστήκαμε για να μην είναι το πανεπιστήμιο απλά ένας χώρος στείρας κατάρτισης τεχνικών γνώσεων, αλλά ένας ζωντανός χώρος διεκδικήσεων, πολιτικών δράσεων και ιδεών.

*Η διπλωματική αυτή αφιερώνεται
στους γονείς μου και στους φίλους
μου, για την στήριξή τους όλα αυτά
τα χρόνια.*

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της παρούσας μελέτης είναι η διερεύνηση της καταλληλότητας της γεωμορφομετρικής και αντικειμενοστρεφής ανάλυσης στην αναγνώριση 9 γεωμορφολογικών σχηματισμών του φυσικού γήινου αναγλύφου, από ψηφιακό μοντέλο εδάφους (Ψ.Μ.Ε). Τα αρχικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν ένα Ψ.Μ.Ε του δορυφόρου ASTER στην περιοχή Death valley, ανάλυσης 25μ.χ25μ και διαστάσεων 1018 km². Η γεωμορφομετρική ανάλυση περιέλαβε μια σειρά από τους πιο συνήθεις δείκτες έκφρασης του αναγλύφου όπως : κλίση (slope), καμπυλότητα παράλληλα στη διεύθυνση της κλίσης (profile-curvature), καμπυλότητα κάθετα στη διεύθυνση της κλίσης (planform-curvature), μέγιστη καμπυλότητα (max-curvature), ελάχιστη καμπυλότητα (min-curvature), δείκτης τοπογραφικής θέσης (T.P.I.). Οι δείκτες αυτοί υπολογίστηκαν μέσω του ανοιχτού λογισμικού Saga gis.

Πριν ξεκινήσει η εφαρμογή της μεθοδολογίας κρίθηκε σκόπιμο να κανονικοποιηθούν όλες οι τιμές των μορφομετρικών παραμέτρων στο διάστημα (-1,1) αφού πρώτα αφαιρέθηκαν οι ακραίες τιμές με αποκοπή στα άκρα του ιστογράμματος συχνοτήτων. Στο στάδιο της αντικειμενοστρεφής ανάλυσης, το οποίο υλοποιήθηκε στο λογισμικό eCognition σχεδιάστηκαν τρία επίπεδα (0,1,2) κατάτμησης και ταξινόμησης, καθώς και κάποιες τεχνικές συγχώνευσης. Ειδικότερα, στο επίπεδο 0 έγινε μία ταξινόμηση με βάση τον δείκτη τοπογραφικής θέσης (T.P.I.) όπου η περιοχή μελέτης χωρίστηκε σε 6 βασικές κατηγορίες και στο επίπεδο 1 έγινε η ταξινόμηση των 9 γεωμορφών με μοναδικό κριτήριο τα γεωμετρικά τους χαρακτηριστικά. Κατόπιν στο τελικό επίπεδο 2 συνδυάστηκαν τα δυο προηγούμενα και επιπλέον προστέθηκαν κάποιοι κανόνες αξιοποιώντας τη γνώση που έχουμε όσον αφορά, τη συσχέτιση των κατηγοριών με τις γειτονικές τους αλλά και κανόνες όσον αφορά το μέγεθος ή το σχήμα των αντικειμένων.

Απαραίτητο εργαλείο ορισμού των κλάσεων σε όλα τα επίπεδα, ήταν οι ασαφείς συναρτήσεις συμμετοχής. Τα διαστήματα ασάφειας για τον κάθε κανόνα επιλέχθηκαν ύστερα από αρκετή διερεύνηση και κατέδειξαν τη μεγάλη χρησιμότητα της ασαφούς λογικής έναντι των αυστηρώς καθορισμένων ορίων. Τέλος τα αποτελέσματα της μεθόδου αξιολογήθηκαν με τη χρήση αλγορίθμων του λογισμικού που αφορούν την ευστάθεια της ταξινόμησης (best classification result, clasification stability) αλλά και με την χρήση δειγμάτων (TTA mask) με ποσοστό επιτυχίας 75%.

Στα πλαίσια της αξιολόγησης, η βάση γνώσης εφαρμόστηκε σε ψηφιακό μοντέλο εδάφους της περιοχής του Μετσόβου όπου το ανάγλυφο παρουσιάζει σημαντικές διαφορές, δίνοντας αρκετά καλά αποτελέσματα.

Λέξεις κλειδιά : αντικειμενοστρεφής ανάλυση εικόνας, ψηφιακό μοντέλο εδάφους, γενική γεωμορφομετρία, δείκτης τοπογραφικής θέσης, ασαφής λογική, Death Valley

ABSTRACT

The purpose of this study is to determine the suitability of geomorphometric and object-based (OBIA) analysis on automatic extraction of 9 geomorphological features of the earth's surface, using a digital elevation model (D.E.M.). The study area was chosen to be a region of 1018 km² from death valley, and for its digital representation an Aster D.E.M. of 25m.x25m. resolution was employed. The geomorphometric phase of the study which took place in Saga-gis, was the generation of the parameters describing surface relief. More specifically, the following were produced : slope, profile-curvature, planform- curvature, maximum curvature, minimum curvature, topographic position index (T.P.I). Before the initiation of the procedure it seemed appropriate to eliminate the extreme values of the morphometric parameters with histogram trimming and afterwards to normalize them in the interval (-1,1).

The phase of OBIA was implemented through the eCognition software, where three segmentation and classification levels (0,1,2) were created. The intermediate levels (0,1) were employed in order to come up with level 2 of the final classification. In detail, at level 0 a classification of the study area into 6 main categories was produced, based only on the topographic position index and in level 1 respectively, a classification of the study area into 9 geomorphological features, based strictly on local geometry. Finally level 2 incorporated the two previous levels and moreover certain spatial / topologic rules were added in order to represent knowledge related to the size and shape of the landforms and their spatial association.

Fuzzy membership functions were an essential tool for defining classes at all levels and demonstrated the great utility of fuzzy logic against strict defined thresholds. Finally, the method is evaluated using software algorithms concerning the stability of the classification (best classification result, classification stability) and also by the use of samples (TTA mask) with a success rate of 75%.

As part of the evaluation, the knowledge base was applied to a digital terrain model of Metsovo area/region, where the terrain varies considerably, with fairly good results.

Key words : object-based image analysis, digital terrain model, generic geomorphometry, topographic position index, fuzzy logic, Death valley.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	9
1.1 ΓΕΝΙΚΑ.....	9
1.2 ΣΚΟΠΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	10
1.3 ΔΟΜΗ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	10
2 ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ.....	12
2.1 ΓΕΩΜΟΡΦΟΜΕΤΡΙΑ	12
2.2 ΓΕΝΙΚΗ ΓΕΩΜΟΡΦΟΜΕΤΡΙΑ.....	14
2.3 ΕΙΔΙΚΗ ΓΕΩΜΟΡΦΟΜΕΤΡΙΑ.....	14
2.4 ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΟΙ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ.....	15
.....	15
2.4.1 ΚΟΡΥΦΟΓΡΑΜΜΗ (RIDGE).....	16
2.4.2 ΚΟΡΥΦΗ (PEAK).....	17
2.4.3 ΠΕΔΙΑΔΑ (PLAIN).....	18
2.4.4 ΥΔΡΟΓΡΑΦΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ (CHANNELS).....	19
2.4.5 SPURS – HOLLOWES.....	21
2.4.6 ΠΛΑΓΙΑ (PLANAR SLOPE).....	22
2.4.7 SHOULDER SLOPE & FOOT SLOPE.....	23
2.4.8 ΣΥΣΤΗΜΑ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ ΔΙΚΑΥ.....	24
2.5 ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟΣΤΡΕΦΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗ – ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΕCOGNITION.....	26
2.5.1 ΚΑΤΑΤΜΗΣΗ.....	27
2.5.2 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ.....	29
2.6 ΑΣΑΦΗΣ ΛΟΓΙΚΗ.....	30
2.6.1 ΑΣΑΦΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ.....	30
2.6.2 ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙΣ ΣΥΜΜΕΤΟΧΗΣ.....	31
2.6.3 Η ΑΣΑΦΗΣ ΛΟΓΙΚΗ ΣΤΟ ΕCOGNITION.....	32
2.7 ΨΗΦΙΑΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΕΔΑΦΟΥΣ.....	33
2.8 ΜΟΡΦΟΜΕΤΡΙΚΑ ΠΑΡΑΓΩΓΑ.....	35
2.8.1 CURVATURE.....	39
2.8.2 MAX-CURVATURE.....	40
2.8.3 MIN-CURVATURE.....	40
2.8.4 PROFILE-CURVATURE.....	40
2.8.5 PLAN-CURVATURE.....	41
2.8.6 TOPOGRAPHIC POSITION INDEX (TPI).....	42
3 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	43

3.1 ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	43
3.2 ΔΕΔΟΜΕΝΑ	45
3.3 ΠΡΟΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ (ΕΞΟΜΑΛΥΝΣΗ ΘΟΡΥΒΟΥ).....	45
3.4 ΑΠΟΚΟΠΗ ΣΤΑ ΑΚΡΑ ΣΤΟ ΙΣΤΟΓΡΑΜΜΑ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ.....	46
3.5 ΚΑΝΟΝΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΤΙΜΩΝ	47
3.6 ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΣΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΕCOGNITION.....	48
3.6.1 ΚΑΤΑΤΜΗΣΗ ΚΑΙ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΕΠΙΠΕΔΟ 0.....	48
3.6.1.1 ΕΠΙΛΟΓΗ ΑΚΤΙΝΑΣ Τ.Ρ.Ι.....	48
3.6.1.2 ΚΑΝΟΝΕΣ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ ΤΡ.Ι.....	50
3.6.1.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ ΕΠΙΠΕΔΟΥ 0	54
3.6.2 ΚΑΤΑΤΜΗΣΗ ΚΑΙ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΕΠΙΠΕΔΟ 1.....	55
3.6.2.1 ΕΠΙΛΟΓΗ ΟΡΙΩΝ ΚΑΝΟΝΩΝ ΣΕ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ	56
3.6.2.2 ΚΑΝΟΝΕΣ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ ΕΠΙΠΕΔΟΥ 1-ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙΣ ΣΥΜΜΕΤΟΧΗΣ .	59
3.6.3 ΚΑΤΑΤΜΗΣΗ ΚΑΙ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΕΠΙΠΕΔΟ 2.....	65
4 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ.....	74
4.1 ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΕΛΙΚΟΥ ΧΑΡΤΗ.....	74
4.1.1 ΣΤΑΘΕΡΟΤΗΤΑ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ (CLASSIFICATION STABILITY).....	74
4.1.2 ΒΕΛΤΙΣΤΟ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ (BEST CLASSIFICATION RESULT).....	76
4.1.3 ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΠΟΛΥΓΩΝΩΝ (ΤΤΑ MASK)...	78
4.2 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΒΑΣΗΣ ΓΝΩΣΗΣ ΣΕ ΑΛΛΗ ΠΕΡΙΟΧΗ.....	80
5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ.....	83
5.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	83
5.2 ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ.....	84
6 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	85

ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Διαδικασία γεωμορφομετρικής ανάλυσης (Πηγή:Pike et al., 2009).....	14
Εικόνα 2: κορυφογραμμή - ridge.....	17
Εικόνα 3: Κορυφή -peak.....	18
Εικόνα 4: Πεδιάδα.....	19
Εικόνα 5: streams.....	20
Εικόνα 6: spurs - hollows.....	21
Εικόνα 7: planarslope.....	22
Εικόνα 8: Foot slope.....	23
Εικόνα 9: Shoulder slope.....	23
Εικόνα 10: επικλινείς κατηγορίες γεωμορφών.....	24
Εικόνα 11: Επίπεδες κατηγορίες γεωμορφών.....	25
Εικόνα 12: Συνάρτηση Συμμετοχής (πηγή wikipedia).....	30
Εικόνα 13: Η γήινη επιφάνεια αναπαρίσταται ως "πεδίο".....	32
Εικόνα 14: min-curvature.....	34
Εικόνα 15: prof-curvature.....	34
Εικόνα 16: max-curvature.....	34
Εικόνα 17: plan-curvature.....	34
Εικόνα 18: slope.....	34
Εικόνα 19: TPI.....	34
Εικόνα 20: Φίλτρο διαστάσεων 3x3 (Πηγή: Cadell, 2002).....	35
Εικόνα 21: Συνδυασμοί καμπυλοτήτων.....	38
Εικόνα 22: Καμπυλότητα παράλληλα στη διεύθυνση της κλίσης.....	39
Εικόνα 23: Καμπυλότητα κάθετα στη διεύθυνση της κλίσης.....	40
Εικόνα 24: δείκτης τοπογραφικής θέσης (πηγή : weiss, 1999).....	41
Εικόνα 25: Ψηφιακό μοντέλο χωρίς φίλτρο.....	44
Εικόνα 26: Φίλτρο Gauss 9x9.....	44
Εικόνα 27: Ιστόγραμμα συχνοτήτων και συνάρτηση συμμετοχής - η τιμή 1 αντιστοιχεί στην ακραία τιμή.....	45
Εικόνα 28: Νέο ιστόγραμμα συχνοτήτων με αποκοπή στα άκρα – η ακραία τιμή αφαιρέθηκε.....	45
Εικόνα 29: Κανονικοποίηση τιμών.....	46
Εικόνα 30: Η σημασία της ακτίνας στο TPI (πηγή : weiss, 1999).....	48
Εικόνα 31: Κανόνας Ταξινόμησης-κατηγορία middle_slope.....	51
Εικόνα 32: Κανόνας ταξινόμησης-συνάρτηση συμμετοχής στη κατηγορία middle slope.....	52
Εικόνα 33: Ταξινόμηση με βάση το TPI.....	53
Εικόνα 34: Ταξινόμηση με βάση το TPI σε 3d απεικόνιση.....	53
Εικόνα 35	55

Εικόνα 36: <i>formula editor</i>	56
Εικόνα 37: <i>cell values profile</i>	57
Εικόνα 38: <i>Area</i>	66
Εικόνα 39: <i>Relative border to</i>	66
Εικόνα 40: <i>relative area of subobjects</i>	67
Εικόνα 41: Ταξινόμηση επίπεδο 2.....	68
Εικόνα 42: Ταξινόμηση επίπεδο 1.....	68
Εικόνα 43: Ταξινόμηση επίπεδο 2- μεγάλο zoom για να φανεί η ποιότητα της ταξινόμησης..	69
Εικόνα 44: <i>classification stability</i> Στη παραπάνω γραφική αναπαράσταση τα σημεία που σημαίνονται με κόκκινο η κίτρινο είναι σε πολύ μικρό ποσοστό της εικόνας.....	72
Εικόνα 45: <i>best classification result</i> επίσης στη συγκεκριμένη εικόνα παρατηρούνται ελάχιστα σημεία που σημαίνονται με κόκκινο η κίτρινο χρώμα	74
Εικόνα 46: Ταξινόμηση γεωμορφών στη περιοχή Μέτσοβο.....	78
Εικόνα 47: 3d-απεικόνιση ταξινόμησης.....	79

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Περιοχή μελέτης (<i>death valley</i>) -στο κόκκινο περίγραμμα φαίνεται το σημείο που εφαρμόστηκε η συγκεκριμένη μελέτη (πηγή : <i>google earth</i>).....	43
Πίνακας 2: Κανόνες κατηγοριών επιπέδου 2 (<i>area, relative border to, relative area of subobject</i>)..	65
Πίνακας 3 :δείκτες <i>classification stability</i>	73
Πίνακας 4 : <i>Best classification result</i>	75
Πίνακας 5: <i>TTA mask</i>	76

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΓΕΝΙΚΑ

Η κατανόηση της φυσικής γήινης επιφάνειας αποτελούσε ανέκαθεν πεδίο επιστημονικής αναζήτησης και διερεύνησης. Η διερεύνηση των μηχανισμών πίσω από το σχηματισμό, των πετρωμάτων, των ποταμών, των εδαφών, των κατολισθήσεων, των ρηγμάτων, των οροσειρών και γενικότερα του αναγλύφου της γης είναι ο μόνος τρόπος για την πρόβλεψη των φυσικών καταστροφών και την αντιμετώπιση τους, όπως επίσης και για την καλύτερη διαχείριση των περιορισμένων φυσικών πόρων. Επομένως όλα αυτά έχουν καταστήσει το κλάδο της γεωμορφολογίας, δηλαδή τη περιγραφή και ταξινόμηση των διαφόρων γεωμορφών του φυσικού ανάγλυφου της γης καθώς και τη αναζήτηση της προέλευσης τους, πεδίο που χρήζει περαιτέρω μελέτης. Ο μόνος τρόπος για να μελετηθεί μια επιφάνεια είναι να παραχθούν οι χαρακτηριστικοί δείκτες που την προσεγγίζουν και να δημιουργηθεί ένα μαθηματικό μοντέλο που προσεγγίζει τα χαρακτηριστικά της. Αυτό το σημείο το καλύπτει ο κλάδος της γεωμορφομετρίας ο οποίος δίνει σημαντικές δυνατότητες στον μελετητή να κατανοήσει την γεωμετρία της επιφάνειας και ως εκ τούτου να προχωρήσει σε μία πιο εμπειριστατωμένη μελέτη-ταξινόμηση των γεωμορφών. Με την ανάπτυξη των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών η έρευνα-ανάλυση των γεωμορφολογικών χαρακτηριστικών αποκτά πλέον νέες δυνατότητες. Με τα σύγχρονα πακέτα λογισμικού και τους εξελιγμένους αλγόριθμους που διαθέτουν αυτά μπορεί να γίνει ταξινόμηση των επιφανειών που ανήκουν στην Φ.Γ.Ε. λαμβάνοντας υπόψιν τη γεωμετρία, το σχήμα, το μέγεθος αλλά επίσης και το ευρύτερο γεωμορφομετρικό πλαίσιο που εντάσσονται.

1.2 ΣΚΟΠΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Στη παρούσα εργασία έγινε μια προσπάθεια αυτόματης αναγνώρισης 9 γεωμορφολογικών σχηματισμών που εντάσσονται στο σύστημα ταξινόμησης του Dikai (1989), με αντικειμενοστρεφή ανάλυση εικόνας σε ψηφιακό μοντέλο εδάφους. Για την υλοποίηση της μεθόδου χρησιμοποιήθηκε ως περιοχή μελέτης η κοιλάδα Death Valley στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής, όπου το ανάγλυφο είναι πλούσιο σε γεωλογικούς σχηματισμούς. Η παρούσα μελέτη ξεκίνησε με αφορμή την διατριβή της κ. Gercek D., (2010), εντάσσεται στο κλάδο της γενικής γεωμορφομετρίας και έχει σαν στόχο να παράξει μια μέθοδο ταξινόμησης που συνδυάζει τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των γεωμορφών, με τον δείκτη τοπογραφικής θέσης αλλά και επιπλέον δημιουργήσει κανόνες που βελτιώνουν τον πολύπλοκο εννοιολογικό ορισμό των θεματικών κατηγοριών. Αντικείμενο διερεύνησης αποτελεί η αποτελεσματικότητα της ασαφούς λογικής για τον ορισμό των κατηγοριών, και σε τι βαθμό μπορεί η χρήση της να προσδώσει ευελιξία στη ταξινόμηση. Επιμέρους στόχοι της συγκεκριμένης μελέτης είναι να ελέγξει την απόδοση της μεθόδου σε ψηφιακό μοντέλο διαφορετικού αναγλύφου ώστε να ελεγχθεί η επαναληψιμότητα των αποτελεσμάτων και επομένως η αξιοπιστία της.

1.3 ΔΟΜΗ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Κεφάλαιο 1

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μία σύντομη εισαγωγή στο πρόβλημα που καλείται η παρούσα διπλωματική να επιλύσει. Γίνεται μια αναφορά στη περιοχή εφαρμογής αλλά και στους στόχους που έχει η συγκεκριμένη μελέτη.

Κεφάλαιο 2

Στο δεύτερο κεφάλαιο αναπτύσσεται όλο το θεωρητικό υπόβαθρο πάνω στο οποίο βασίστηκε η εργασία. Συγκεκριμένα, αναλύονται οι επιστημονικοί κλάδοι της γεωμορφομετρίας και γεωμορφολογίας, η πρωτοποριακή μέθοδος αντικειμενοστρεφούς ανάλυσης εικόνας και η ασαφής λογική. Τέλος περιγράφονται οι κατηγορίες γεωμορφών προς ανίχνευση, και γίνεται μία εκτενής αναφορά στα ψηφιακά μοντέλα εδάφους τα οποία είναι πρωταρχικής σημασίας δεδομένα για την γεωμορφομετρική ανάλυση.

Κεφάλαιο 3

Στο τρίτο κεφάλαιο περιγράφονται όλα τα στάδια της μεθοδολογίας που εφαρμόστηκε για να μπορέσουν να ταξινομηθούν οι κατηγορίες γεωμορφών καθώς και οι τρόποι απαλλαγής των σφαλμάτων σε κάθε στάδιο της επεξεργασίας. Επίσης παρουσιάζεται η ταξινόμηση σε 3d απεικόνιση, ώστε να είναι πιο αντιληπτό το αποτέλεσμα. Τέλος παρουσιάζεται ένα διάγραμμα ροής του αλγορίθμου που χρησιμοποιήθηκε στο eCognition με όλη την ιεραρχία των διαφορετικών επιπέδων και κλάσεων καθώς και τις σχέσεις-κανόνες που τα συνδέουν.

Κεφαλαίο 4

Σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται η αξιολόγηση της ταξινόμησης μέσω των εργαλείων classification stability, best classification result και TTA-mask, που παρέχει το eCognition. Επίσης στα πλαίσια της αξιολόγησης, εφαρμόζεται η μεθοδολογία σε ψηφιακό μοντέλο εδάφους της ευρύτερης περιοχής του Μετσόβου.

Κεφάλαιο 5

Στο πέμπτο και τελευταίο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα συμπεράσματα της εργασίας και προτείνονται ιδέες και προοπτικές για συνέχιση και βελτίωση της συγκεκριμένης μεθοδολογίας.

2 ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ

2.1 ΓΕΩΜΟΡΦΟΜΕΤΡΙΑ

Η γεωμορφομετρία είναι η επιστήμη της ποσοτικής ανάλυσης της επιφάνειας του εδάφους (Pike, 1995) και διακρίνεται σε γενική και ειδική. Στην ουσία είναι μια αναλυτική-χαρτογραφική αναπαράσταση της επιφάνειας του εδάφους μέσω υπολογιστικών συστημάτων χρησιμοποιώντας το υψόμετρο (Tobler, 1976) Πολλές φορές λανθασμένα συγχέεται με την γεωμορφολογία ή την γεωγραφία αλλά τα τελευταία χρόνια έχει εξελιχθεί σε ένα διεπιστημονικό πεδίο με αυστηρή συνέπεια (Pike, 1995). Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως η βάση για την γεωμορφομετρική ανάλυση είναι το υψόμετρο, επομένως για να παραχθούν οι παράμετροι και τα αντικείμενα που περιγράφουν την υπό μελέτη επιφάνεια χρειάζονται ψηφιακά μοντέλα εδάφους. Η διαδικασία της γεωμορφομετρικής ανάλυσης (Εικόνα 1), συνοπτικά περιγράφεται παρακάτω:

1^ο Στάδιο – Μετρήσεις Πεδίου

2^ο Στάδιο - παραγωγή ψηφιακού μοντέλου εδάφους Ψ.Μ.Ε.

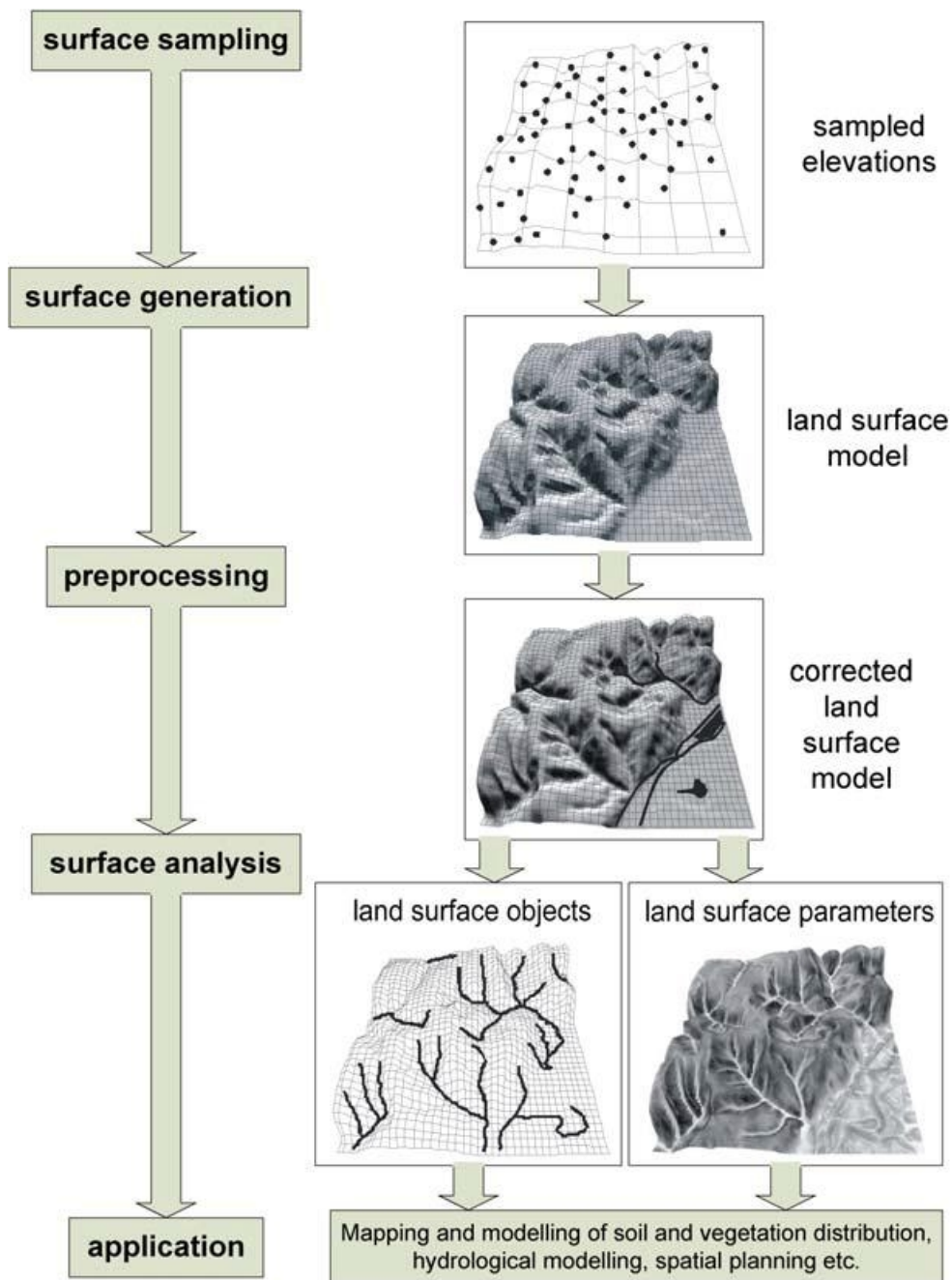
3^ο Στάδιο - διόρθωση λαθών στο Ψ.Μ.Ε.

4^ο Στάδιο - Παραγωγή παραμέτρων και αντικειμένων

Οι παράμετροι που παράγονται στη διαδικασία της γεωμορφομετρικής ανάλυσης (κλίση, προσανατολισμός, καμπυλότητα κτλ) περιγράφουν την μορφολογία του εδάφους, ενώ τα αντικείμενα που προκύπτουν έπειτα από το στάδιο της ταξινόμησης είναι τα διακριτά μορφολογικά χαρακτηριστικά που συνθέτουν την επιφάνεια.

5^ο Στάδιο - Αξιοποίηση των παραγόμενων παραμέτρων και αντικειμένων σε εφαρμογές.

Το τελικό στάδιο της διαδικασίας είναι η αξιοποίηση των προϊόντων της γεωμορφομετρικής ανάλυσης σε διάφορες εφαρμογές, όπως κατανομή εδαφών και βλάστησης, υδρολογική μοντελοποίηση, χωροθέτηση τεχνικών έργων κλπ



Εικόνα 1: Διαδικασία γεωμορφομετρικής ανάλυσης (Πηγή: Pike et al., 2009)

2.2 ΓΕΝΙΚΗ ΓΕΩΜΟΡΦΟΜΕΤΡΙΑ

Ο Evans (1972) διαχώρισε τις μεθόδους γεωμορφομετρικής ανάλυσης σε 2 βασικές κατηγορίες: την γενική (general geomorphometry) και την ειδική (specific geomorphometry) γεωμορφομετρία. Με τον διαχωρισμό που προέκυψε, γενική Γεωμορφομετρία ορίζεται ο κλάδος εκείνος ο οποίος ασχολείται με τη μέτρηση και ανάλυση χαρακτηριστικών της μορφολογίας του αναγλύφου, που εφαρμόζονται σε κάθε συνεχή τραχεία επιφάνεια. Οι ρίζες αυτής της προσέγγισης προέρχονται από την ανάλυση χαρτογραφικών δεδομένων, καθώς και τους αντίστοιχους περιγραφικούς δείκτες που τα προσεγγίζουν (Glock, 1932). Σύμφωνα με τον Mark (1975) η ολοκλήρωση αυτής της προσέγγισης, έγκειται στην προσπάθεια ποσοτικοποίησης της “τραχύτητας” του εδάφους. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι αρκετοί επιστήμονες προσπάθησαν να αναλύσουν περαιτέρω τις γεωμορφομετρικές παραμέτρους που προέρχονται από τα Ψ.Μ.Ε. , με σημαντικότερους τους Speight (1973), Ohmori and Hirano (1984), Evans (1984) και Pike (1988). Ειδικότερα, ο Evans (1972) εφάρμοσε παραγοντική ανάλυση σε 4 στατιστικά μέτρα (μέση τιμή, τυπική απόκλιση, ασυμμετρία, κύρτωση) του υψομέτρου, και στα γεωμορφομετρικά παράγωγα (κλίση, προσανατολισμός, καμπυλότητα παράλληλα στη διεύθυνση κλίσης, καμπυλότητα κάθετα στη διεύθυνση της κλίσης). Με αυτό τον τρόπο εντόπισε σημαντικές μεταβλητές, δίνοντας του τη δυνατότητα περιγραφής των τοπικών διακυμάνσεων της γήινης επιφάνειας. Επιπρόσθετα, αναγνώρισε ότι πολλές από τις μορφομετρικές παραμέτρους που προκύπτουν από ένα Ψ.Μ.Ε. ποικίλλουν ανάλογα με το μέγεθος του πλέγματος (grid) που χρησιμοποιείται για να διαμορφώσει την επιφάνεια. Γίνεται λοιπόν αντιληπτό ότι η έννοια της κλίμακας στην γεωμορφομετρική ανάλυση είναι σημαντική και αποτελεί τη βάση αυτής της μελέτης, επομένως δεν πρέπει να αγνοείται στην περιγραφή των γεωμορφών Wood J.D., (1996).

2.3 ΕΙΔΙΚΗ ΓΕΩΜΟΡΦΟΜΕΤΡΙΑ

Είναι ο κλάδος της γεωμορφομετρίας που ασχολείται με τη μέτρηση και ανάλυση συγκεκριμένων αντικειμένων της επιφάνειας της γης που απομονώνονται από τα γειτονικά τους με σαφή κριτήρια οριοθέτησης. Ο Evans (1987) κατέδειξε 9 στάδια σε μία μελέτης ειδικής γεωμορφομετρίας, ξεκινώντας με την σύλληψη (conceptualisation) και τον ορισμό (operational definition) των αντικειμένων. Μετά ακολουθούν τα στάδια της οριοθέτησης (delimitation), μέτρησης (measurement), παραγωγή λόγων (derivation of ratios, εκτίμηση των κατανομών συχνοτήτων (assessment of frequency distributions),

συσχέτιση (interrelation) και η χαρτογράφηση (mapping).

Αξίζει να αναφερθεί ότι το στάδιο του ορισμού (operational definition) είναι πολύ σημαντικό γιατί όσο πιο ξεκάθαρα ορίζεται ένα αντικείμενο τόσο πιο αποτελεσματική μπορεί να γίνει η γεωμορφομετρική ανάλυση (Goudie, 1990, Evans, 2010). Αξίζει να αναφερθεί ότι η ειδική γεωμορφομετρία μπορεί να περιλαμβάνει αυθαίρετες αποφάσεις και υποκειμενικότητα στην ποσοτικοποίηση των εννοιών Evans (1972).

2.4 ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΟΙ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ

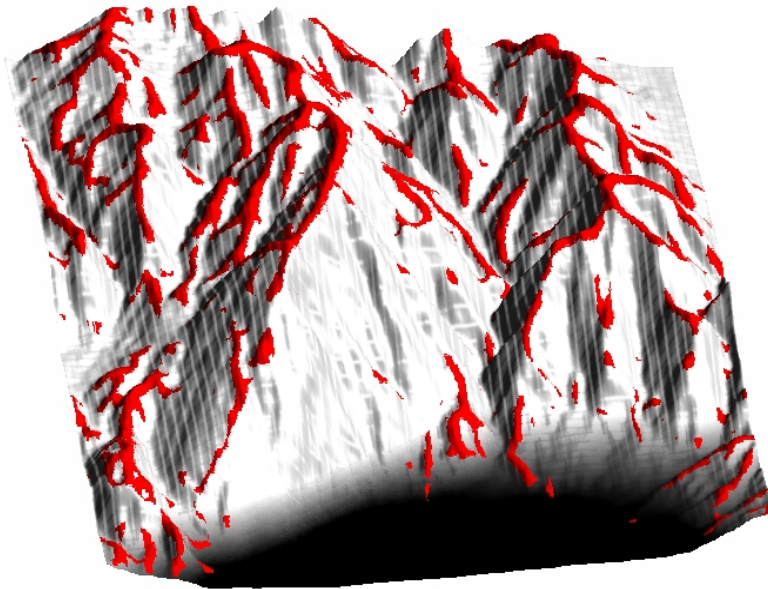
Η μάζα και η μορφή της γης υπόκειται συνεχώς σε αλλοιώσεις λόγω δυνάμεων που επιδρούν στην επιφάνεια της. Οι δυνάμεις αυτές που χωρίζονται σε ενδογενείς και εξωγενείς, προκαλούν φαινόμενα που με τη πάροδο μακρού χρονικού διαστήματος διαμορφώνουν τη φυσική γήινη επιφάνεια. Τα σημαντικότερα από αυτά είναι : ηφαιστειακές εκρήξεις και οι κινήσεις της λιθόσφαιρας, οι γεωλογικές δράσεις της ατμόσφαιρας όπως η αιολική διάβρωση, (μεταφορά και εναπόθεση), των γλυκέων και θαλασσίων υδάτων (αποσάθρωση, διάλυση, μεταφορά και ιζηματογένεση) καθώς και προερχόμενα εκ του οργανικού κόσμου. Κυριότερα όμως εκ των παραπάνω φαινομένων είναι τα οφειλόμενα στη δράση του νερού είτε ως υγρού είτε ως στερεού όπως οι παγετώνες. Συνέπεια αυτών των φαινομένων είναι η δημιουργία γεωμορφολογικών σχηματισμών.

2.4.1 ΚΟΡΥΦΟΓΡΑΜΜΗ (RIDGE)

Η Κορυφογραμμή ορίζεται ως μια επιμήκης, στενή έξαρση της επιφάνειας με έντονες κλίσεις.(Mark and Smith, 2004)

Οι κορυφογραμμές είναι γραμμές που συνδέουν τα σημεία που είναι τοπικά μέγιστα σε εγκάρσια τομή (Hengl and Evans, 2008).

Ένας πιο μαθηματικός ορισμός δίνεται από τον (Wood 1996). Για να χαρακτηριστεί ένα σημείο κορυφογραμμή πρέπει να αποτελεί τοπικό μέγιστο (convexity) σε εγκάρσια τομή και ταυτόχρονα να αποτελεί σημείο μιας ευθείας χωρίς τοπικά μέγιστα ή τοπικά ελάχιστα σε κατά μήκος τομή $\frac{\partial^2 z}{\partial y^2}=0$.



Εικόνα 2: κορυφογραμμή - ridge

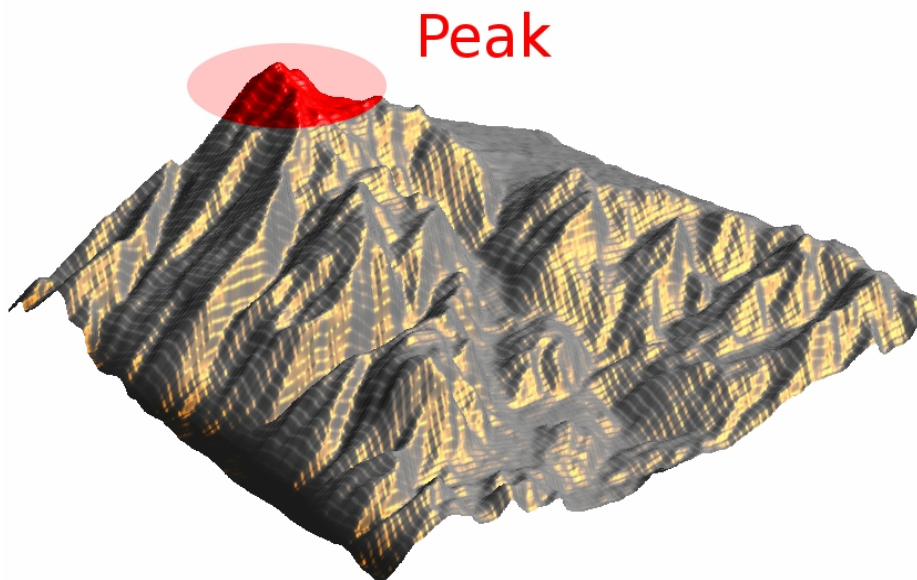
2.4.2 ΚΟΡΥΦΗ (PEAK)

Κορυφή είναι το σημείο που παρουσιάζει μια επιφάνεια τοπικό μέγιστο (Hengl and Evans, 2008).

Κορυφή είναι η κορυφή ενός βουνού (Mark and Smith, 2004).

Κορυφή είναι ένα σημείο που βρίσκεται σε μια τοπικά κυρτή επιφάνεια σε σχέση με όλες τις διευθύνσεις (όλα τα γειτονικά σημεία βρίσκονται χαμηλότερα) (Wood, 1996).

$$\frac{\partial^2 z}{\partial x^2} > 0 \quad \text{και} \quad \frac{\partial^2 z}{\partial y^2} > 0$$



Εικόνα 3: Κορυφή -peak

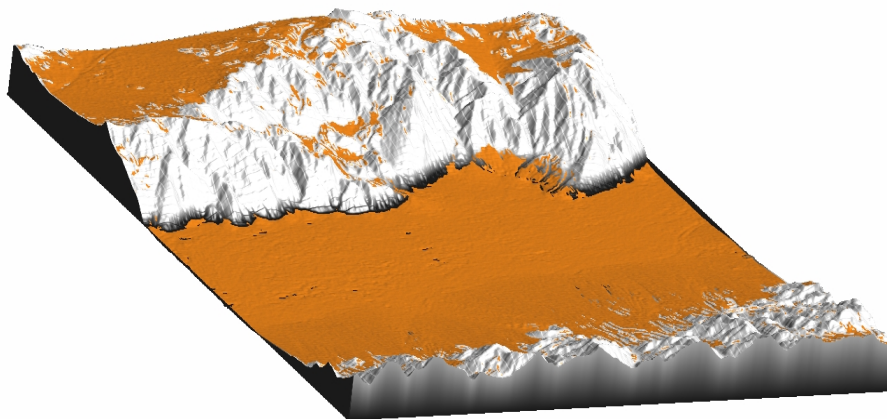
2.4.3 ΠΕΔΙΑΔΑ (PLAIN)

Περιοχή με χαμηλό υψόμετρο της φυσικής γήινης επιφάνειας (ΦΓΕ), η οποία έχει διαβρωθεί και έχει γίνει σχεδόν επίπεδη ή έχει σχηματιστεί από οριζοντίως διαστρωμένα ιζήματα.

Οι πεδιάδες είναι περιοχές χαμηλού αναγλύφου που δεν παρουσιάζουν υψομετρικές διαφορές (Hengl and Evans, 2008).

Σημεία που βρίσκονται σε επιφάνεια χωρίς καμπυλότητα θετική η αρνητική. (Wood, 1996)

$$\frac{\partial^2 z}{\partial x^2} = 0 \quad \text{και} \quad \frac{\partial^2 z}{\partial y^2} = 0$$



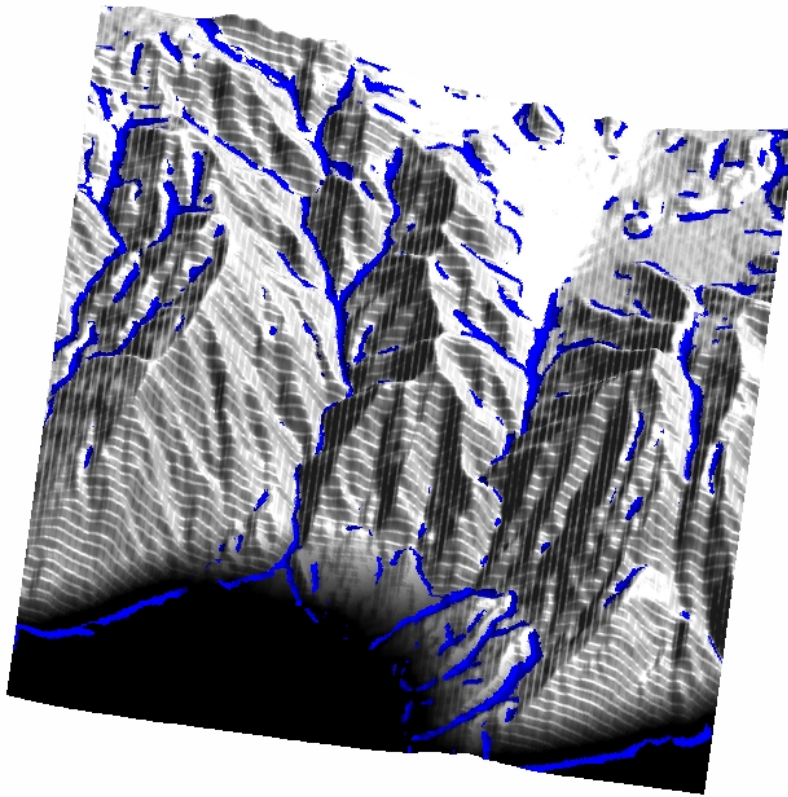
Εικόνα 4: Πεδιάδα

2.4.4 ΥΔΡΟΓΡΑΦΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ (CHANNELS)

Το τρεχούμενο νερό πάνω στην επιφάνεια της Γης αποτελεί τον σπουδαιότερο παράγοντα διαμόρφωσης του επιφανειακού αναγλύφου. Έτσι όταν αυτό οργανώνεται σε μία επιμήκη υδάτινη μάζα μέσα σε ρυάκια, χειμάρρους και ποταμούς, δημιουργεί τις κατάλληλες συνθήκες για την διάβρωση μεταφορά και απόθεση φερτών υλικών που αποσπάστηκαν από τα μητρικά πετρώματα. Η δράση αυτή του νερού αποτελεί την κύρια αιτία για την δημιουργία των λεκανών απορροής και των κοιλάδων που σαν μορφολογικό σύνολο διαμορφώνουν στη βάση τους, τους δρόμους αποστράγγισης του νερού δηλαδή το υδρογραφικό δίκτυο. Ουσιαστικά το υδρογραφικό δίκτυο αποτελεί το δίκτυο μεταφοράς- κίνησης του επιφανειακού νερού και των ιζημάτων μιας υδρολογικής λεκάνης. Παρακάτω δίνονται κάποιοι ορισμοί που περιγράφουν την γεωμετρία αυτής της κατηγορίας :

Για να χαρακτηριστεί ένα σημείο σαν υδρογραφικό δίκτυο πρέπει να αποτελεί τοπικό ελάχιστο (conceivity) σε εγκάρσια τομή $\frac{\partial^2 z}{\partial x^2} < 0$ και ταυτόχρονα να αποτελεί σημείο μιας ευθείας χωρίς τοπικά μέγιστα ή τοπικά ελάχιστα σε κατά μήκος τομή $\frac{\partial^2 z}{\partial y^2} = 0$ (Wood, 1996)

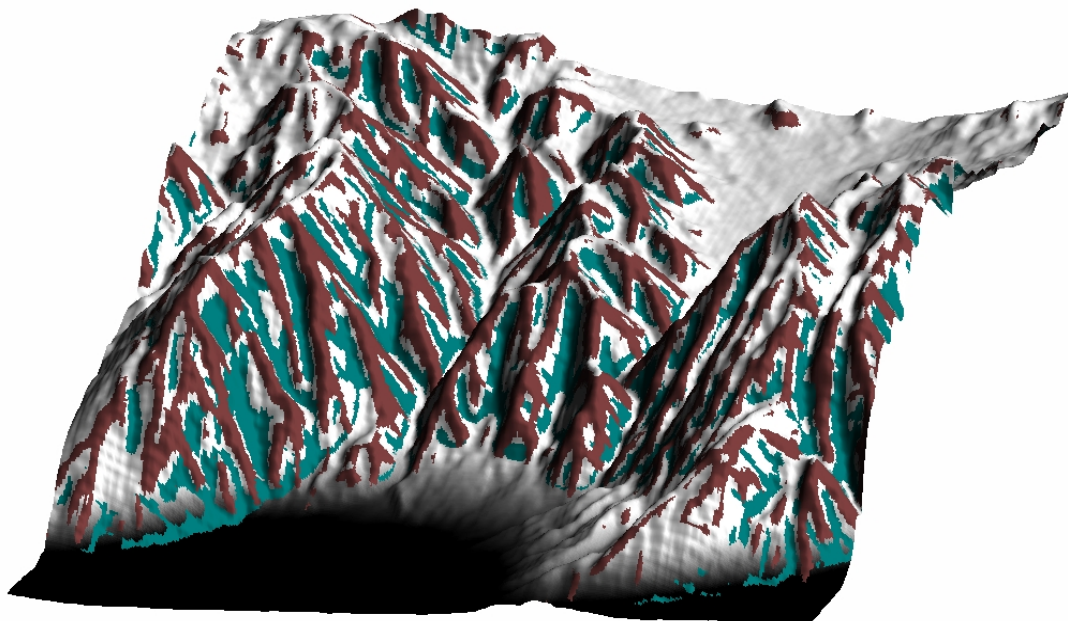
Οι (Hengl and Evans, 2008) δίνουν έναν άλλο ορισμό : κανάλι: η γραμμή που συνδέει τα σημεία που είναι τοπικά ελάχιστα σε εγκάρσια τομή (κοιλάδες ποταμών, υδρογραφικό δίκτυο, χαράδρες)



Εικόνα 5: Υδρογραφικό δίκτυο (streams)

2.4.5 SPURS – HOLLOWs

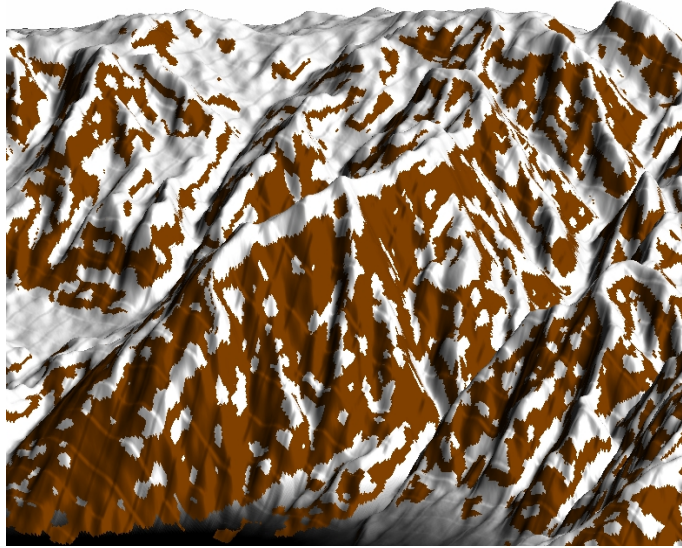
Τα *spurs* είναι μικρές κορυφογραμμές που προεξέχουν από την πλευρά ενός μεγαλύτερου βουνού ή λόφου. Επίσης μπορούν να οριστούν σαν μικρές συνεχόμενες κεκλιμένες γραμμές που προεξέχουν συνήθως από την πλευρά της κορυφογραμμής. Σχηματίζονται από τη ροή δύο παράλληλων ρευμάτων *hollows* που "κατεβαίνουν" την πλαγιά. Τα *spurs* και *hollows* σχετίζονται με τη απόκλιση (divergence) και αντίστοιχα τη σύγκλιση (convergence) της ροής των υδάτων.



Εικόνα 6: *spurs - hollows*

2.4.6 ΠΛΑΓΙΑ (PLANAR SLOPE)

Η κατηφορική ή ανηφορική πλευρά ενός φυσικού υψώματος (βουνού ή λόφου) η οποία δεν παρουσιάζει καμπυλότητες κάθετα και παράλληλα στη διεύθυνση της κλίσης.

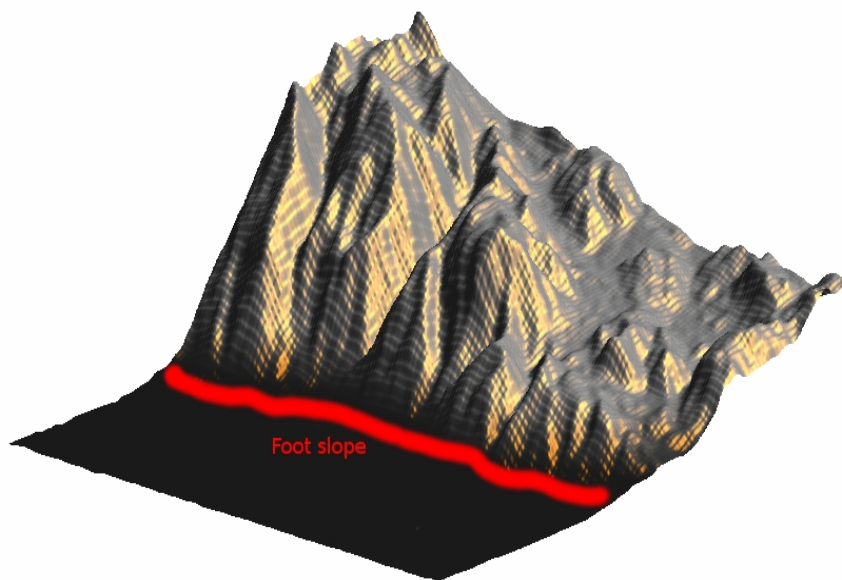


Εικόνα 7: planarslope

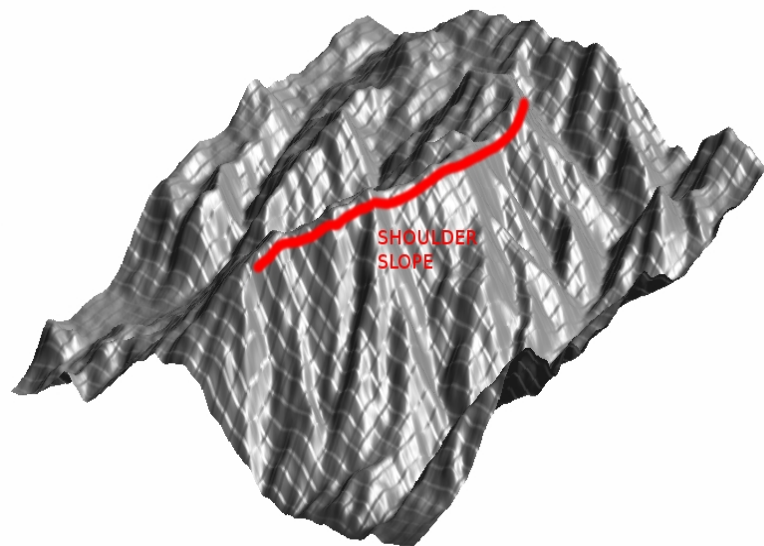
2.4.7 SHOULDER SLOPE & FOOT SLOPE

Η θέση στην πλαγιά ενός λόφου, η οποία σχηματίζει την υψηλότερη κεκλιμένη επιφάνεια κοντά στην κορυφή ονομάζεται *shoulder slope*. Όταν υπάρχει αποτελεί την μεταβατική ζώνη προς την κορυφή. Η τοποθεσία είναι κυρίως κυρτή ως προς τη μορφή και έχει διαβρωσιγενή προέλευση.

Η θέση στο κατώτερο μέρος της κλίσης του λόφου η οποία σχηματίζει την εσωτερική, ομαλά κεκλιμένη επιφάνεια στη βάση ενός λόφου ονομάζεται *foot slope*. Σε πλάγια όψη (προφίλ), τα *foot slopes* είναι συνήθως κοίλες επιφάνειες και βρίσκονται μεταξύ του *backslope* και του *toeslope*.



Εικόνα 8: Foot slope

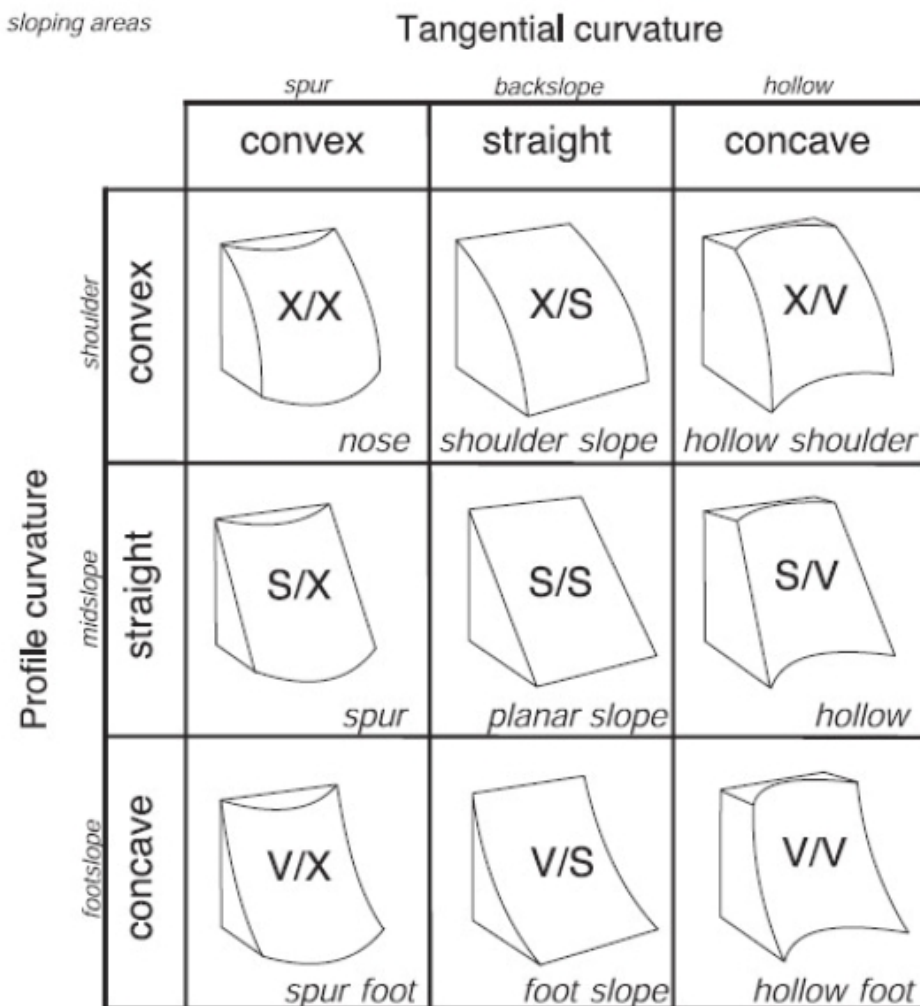


Εικόνα 9: Shoulder slope

2.4.8 ΣΥΣΤΗΜΑ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ ΔΙΚΑΥ


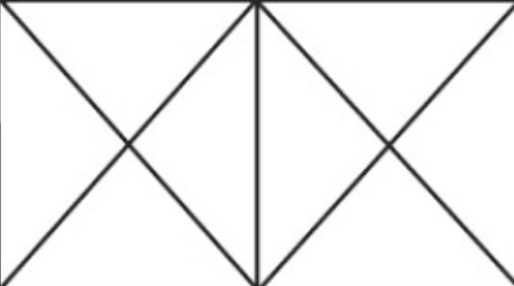
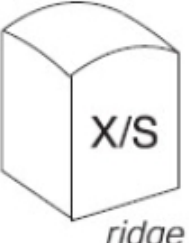



Σύμφωνα με το σύστημα ταξινόμησης Dikau (1989), οι γεωμορφολογικοί σχηματισμοί περιγράφονται από δύο χαρακτηριστικές παραμέτρους : την κλίση και την καμπυλότητα. Πιο συγκεκριμένα γίνεται ένας επιμέρους διαχωρισμός των γεωμορφών με κριτήριο την κλίση, σε επίπεδες και επικλινείς.

Οι 9 επικλινείς κατηγορίες που προτείνονται είναι οι εξής : *nose, spur, hollow, planar slope, spur foot, hollow foot, hollow shoulder, foot slope, shoulder slope*. Οι γεωμετρία τους περιγράφεται σύμφωνα με τις γεωμορφομετρικές παραμέτρους plan-curvature και profile curvature(Εικόνα 10)



Εικόνα 10: επικλινείς κατηγορίες γεωμορφών

Στη περίπτωση μικρής ή και σχεδόν μηδενικής κλίσης, προτείνονται οι εξής 6 σχηματισμοί : *peak, ridge, plain, saddle, channel, pit*. Όπως φαίνεται στην (Εικόνα 11), η γεωμετρία τους περιγράφεται από τις γεωμορφομετρικές παραμέτρους max-curvature και min-curvature.

		Maximum curvature		
		convex	straight	concave
Minimum curvature	convex	 <i>peak</i>		
	straight	 <i>ridge</i>		
	concave	 <i>saddle</i>	 <i>channel</i>	 <i>pit</i>

Εικόνα 11: Επίπεδες κατηγορίες γεωμορφών

2.5 ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟΣΤΡΕΦΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗ – ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ECOGNITION

Η αντικειμενοστρεφής ανάλυση εικόνας (Object Based Image Analysis, OBIA), είναι μια νέα μεθοδολογία ψηφιακής ανάλυσης και ταξινόμησης εικόνας. Η πρωτοποριακή αυτή μέθοδος, συνοψίζεται στο γεγονός ότι οι εννοιολογικές πληροφορίες που χρειάζονται για την ανάλυση της εικόνας, δεν αναπαρίστανται πλέον από μεμονωμένα εικονοστοιχεία, αλλά από νοηματικά αντικείμενα και τις αλληλοσυσχετίσεις τους (DEFiNIENS, 2000). Πιο αναλυτικά, στην αντικειμενοστρεφή ανάλυση, ο βασικός φορέας των πληροφοριών είναι το αντικείμενο/τμήμα της εικόνας και όχι τα απομονωμένα από το περιβάλλον τους εικονοστοιχεία. Βασικός στόχος της μεθόδου, είναι η δημιουργία έτοιμων προς χρήση και για πληθώρα άλλων διεργασιών, αντικειμένων από απεικονίσεις, ενώ συγχρόνως συνδυάζει την επεξεργασία εικόνων και τις λειτουργίες του GIS, προκειμένου να εκμεταλλευτεί στο έπακρον τις φασματικές και χωρικές πληροφορίες, με ένα συνδυαστικό τρόπο. (Dragut L., Blaschke T., 2006)

Σύμφωνα με τους Hay and Castilla (2006): η αντικειμενοστρεφής ανάλυση εικόνας (Object Based Image Analysis, OBIA) αποτελεί μια ειδική εφαρμογή των Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS), που έχει σκοπό να εισάγει στην ανάλυση της εικόνας σημασιολογικά αντικείμενα αυτής, τα οποία επιφέρουν χωρικά και ποσοτικά χαρακτηριστικά.

Η υλοποίηση της αντικειμενοστρεφής ανάλυσης της παρούσας εργασίας υλοποιήθηκε στο λογισμικό eCognition, προϊόν της γερμανικής εταιρία DEFiNiENS Imaging GmbH (www.definiens.com). Το πλεονέκτημα του συγκεκριμένου πακέτου έγκειται στο γεγονός ότι ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να προχωρήσει στη δημιουργία μίας βάσης γνώσης με λεπτομερέστερες και πιο πολύπλοκες περιγραφές για εννοιολογικές (θεματικές) πλέον κατηγορίες εδαφοκάλυψης συνδυάζοντας μία πληθώρα διαδικασιών (αλγορίθμων) που παρέχει το λογισμικό (Δερζέκος κ.α., 2007). Η εισαγωγή της βάσης γνώσης στο λογισμικό για τον ορισμό των κατηγοριών, γίνεται με εύκολο και διαφανή τρόπο, μέσω της ασαφούς λογικής (fuzzy logic), που προσαρμόζεται καλύτερα στη φυσική πραγματικότητα από την ταξινόμηση με απόλυτα όρια. Τέλος, οι κατηγορίες που δημιουργούνται μπορούν να οργανωθούν σε ευρύτερες εννοιολογικές (θεματικές) ομάδες, που αφορούν στο χώρο ή στην εδαφοκάλυψη, μέσω αντικειμενοστρεφούς αναπαράστασης. Συγκριτικό πλεονέκτημα του συγκεκριμένου πακέτου αποτελεί επίσης ο συνδυασμός διαφορετικών επιπέδων κατάτμησης και ταξινόμησης. Ένα επίπεδο μπορεί να ταξινομηθεί με βάση την ταξινόμηση ενός ανώτερου ή κατώτερου ιεραρχικά επιπέδου. Επιπλέον, αν κάποιες κατηγορίες ταξινομούνται καλύτερα σε ένα κατώτερο ιεραρχικά επίπεδο, δηλαδή με λεπτότερη κατάτμηση, ενώ άλλες σε ένα ανώτερο, τα δύο αυτά επίπεδα κατάτμησης και ταξινόμησης μπορούν να συνδυαστούν. Πιο

συγκεκριμένα, οι κατηγορίες που παρουσιάζουν ενδιαφέρον στο κατώτερο επίπεδο μπορούν να "προβληθούν" στο ανώτερο και με τον τρόπο αυτό να διατηρηθούν οι καλύτερες –όσον αφορά στα αποτελέσματα- κατηγορίες από κάθε επίπεδο. Τέλος, τα αποτελέσματα της αντικειμενοστρεφούς ανάλυσης μπορούν να εξαχθούν υπό μορφή εικόνας ράστερ, αλλά και υπό μορφή πολυγώνων, διευκολύνοντας τη συνεργασία με Συστήματα Πληροφοριών Γης (ΣΠΓ – GIS). Η όλη διαδικασία ανάλυσης μίας εικόνας μπορεί να αποθηκευτεί σε ένα μικρού μεγέθους ψηφιακό πρωτόκολλο και να εφαρμοστεί σε άλλες παρόμοιες εικόνες, διατηρώντας σταθερές τις συνθήκες επεξεργασίας (Δερζέκος κ.α., 2007).

2.5.1 ΚΑΤΑΤΜΗΣΗ

Χαρακτηριστικό στοιχείο της αντικειμενοστραφούς ανάλυσης είναι το στάδιο της κατάτμησης της εικόνας σε ομοιογενή τμήματα, γνωστής και ως κατάτμηση πολλαπλής ανάλυσης (multiresolution segmentation). Το μέγεθος των τμημάτων/αντικειμένων, η φασματική ομοιογένεια που θα παρουσιάζουν, καθώς και σε ποιο βαθμό τα αντικείμενα αυτά θα έχουν σχήμα συμπαγή ή λείο, έχουν να κάνουν με τις προδιαγραφές και τις απαιτήσεις της εκάστοτε εφαρμογής. Ένας γενικός κανόνας για την επιλογή της καταλληλότερης κατάτμησης είναι ότι επιδιώκονται τα μεγαλύτερα δυνατά αντικείμενα, τα οποία ωστόσο αποδίδουν όλες τις λεπτομέρειες που επιβάλλεται να αποδοθούν στον τελικό χάρτη της ταξινόμησης. Η λογική που διέπει την κατάτμηση μπορεί να είναι είτε top-down είτε bottom-up. Η από πάνω προς τα κάτω (top-down) κατάτμηση οδηγεί σε διάσπαση των περιοχών που δεν πληρούν τα κριτήρια κατάτμησης, ενώ η από κάτω προς τα πάνω (bottom-up) διαιρεί ολόκληρη την εικόνα συγχωνεύοντας εικονοστοιχεία που βάσει των τιθέμενων κριτηρίων εμφανίζουν υψηλό βαθμό καταλληλότητας για συγχώνευση και συγκροτούν ενότητα.

Το αποτέλεσμα της κατάτμησης εξαρτάται από τις εξής παραμέτρους :

- Παράμετρος κλίμακας

Η παράμετρος αυτή καθορίζει το επιθυμητό μέγεθος και την μέγιστη επιτρεπόμενη ετερογένεια των παραγόμενων αντικειμένων . Το μέγεθος των αντικειμένων μπορεί να κυμανθεί από τις διαστάσεις ενός μεμονωμένου εικονοστοιχείου έως τις διαστάσεις ολόκληρης της εικόνας.

- Παράμετρος χρώματος

Η παράμετρος color καθορίζει τη βαρύτητα που δίνεται κατά την κατάτμηση στα φασματικά χαρακτηριστικά των εικονοστοιχείων που απαρτίζουν το παραγόμενο αντικείμενο.

- Παράμετρος σχήματος

Η παράμετρος shape καθορίζει τη βαρύτητα που θα δίνεται κατά την κατάτμηση στο τελικό σχήμα του αντικειμένου των εικονοστοιχείων που απαρτίζουν το παραγόμενο αντικείμενο και είναι συμπληρωματική της παραμέτρου color. Το άθροισμα των παραμέτρων color και shape δίνουν τη τιμή 1. Στην περίπτωση που δίνεται αυξημένο βάρος στο σχήμα του παραγόμενου αντικειμένου, δίνεται η επιλογή μεταξύ ομαλότερων ορίων στα αντικείμενα μέσω της παραμέτρου smoothness και κανονικότητας σχημάτων μέσω της παραμέτρου compactness . Επίσης οι δύο αυτές παράμετροι είναι συμπληρωματικές.

- Βάρη καναλιών

Η παράμετρος που καθορίζει τα ειδικά βάρη των φασματικών καναλιών της εικόνας, επιτρέπει την ακριβή αποτίμηση των φασματικών πληροφοριών των φασματικών καναλιών της εικόνας, ανάλογα με το επιθυμητό αποτέλεσμα της κατάτμησης. Όσο μεγαλύτερο είναι το ειδικό βάρος που δίνεται σε ένα κανάλι, τόσο περισσότερη είναι η πληροφορία που θα χρησιμοποιηθεί από αυτό κατά την κατάτμηση. Επίσης είναι δυνατή η εισαγωγή θεματικών επιπέδων, ψηφιακών μοντέλων εδάφους, αντί φασματικών καναλιών.

2.5.2 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ

Ταξινόμηση στην ουσία, είναι η ανάθεση κάποιων αντικειμένων σε μια κλάση σύμφωνα με την περιγραφή της, δηλαδή των ιδιοτήτων και των χαρακτηριστικών που της έχουν αποδοθεί (eCognition User's guide). Το λογισμικό παρέχει ένα σύνολο εργαλείων για αξιοποίηση των διαφόρων χαρακτηριστικών των αντικειμένων, προκειμένου αυτά να ταξινομηθούν στις κατάλληλες θεματικές κατηγορίες. Ο έλεγχος που πραγματοποιείται για να αποδοθεί ένα αντικείμενο σε μία κατηγορία γίνεται με δύο τρόπους: α) με τη χρήση κατωφλίων (όπου ελέγχεται εάν τα αντικείμενα τηρούν τις συνθήκες ορίων των ιδιοτήτων των αντικειμένων ή όχι) και β) με τη χρήση κανόνων ασαφούς λογικής (όπου ορίζεται ο βαθμός συμμετοχής που πρέπει να πληρεί η εκάστοτε ιδιότητα του αντικειμένου).



Εικόνα 12: Κατάτμηση εικόνας



Εικόνα 13: Ταξινόμηση εικόνας

2.6 ΑΣΑΦΗΣ ΛΟΓΙΚΗ

2.6.1 ΑΣΑΦΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

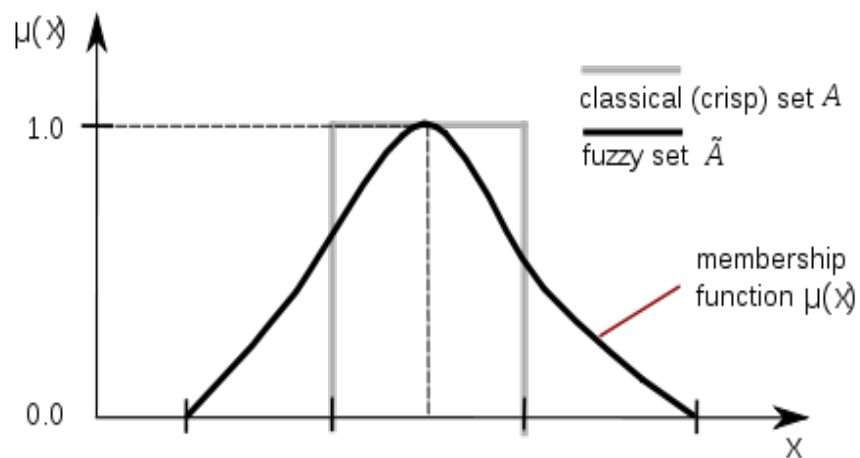
Η ασαφής λογική (fuzzy logic) είναι μια επέκταση της κλασσικής αριστοτέλειας λογικής. Μια πρόταση μπορεί να είναι αληθής "με κάποιο βαθμό αληθείας", και όχι απλά αληθής ή ψευδής. Με απλά λόγια, η ασαφής λογική λέει ότι τα πράγματα συχνά δεν είναι «άσπρο-μαύρο» αλλά «αποχρώσεις του γκρι». Η ιδέα αυτή απετέλεσε επανάσταση στη θεωρία της λογικής, γιατί ξέφυγε από το μοντέλο που κυριαρχούσε εδώ και 2500 χρόνια, δηλαδή το μοντέλο του «0-1», «αληθές-ψευδές».

Η σύλληψη της ιδέας της ασαφούς λογικής πραγματοποιήθηκε το 1965 από τον Lofti Zadeh καθηγητή του πανεπιστημίου Berkley της Καλιφόρνιας. Με τη πάροδο των χρόνων και τη μεγάλη τεχνολογική πρόοδο των τελευταίων ετών προέκυψε η ανάγκη δημιουργίας συστημάτων ικανών να εκτελέσουν προσεγγιστικούς συλλογισμούς, παρόμοιους με αυτούς του ανθρώπινου εγκέφαλου. Με άλλα λόγια η ανθρώπινη λογική προσομοιώνεται καλύτερα από την ασαφή λογική γιατί λειτουργεί με ασαφείς όρους και όχι με αυστηρά καθορισμένα πρότυπα.

Η θεωρία των ασαφών συστημάτων επεκτείνει τα κλασσικά σύνολα και την κλασσική λογική, εισάγοντας τις έννοιες των ασαφών συνόλων και της ασαφούς λογικής αντίστοιχα. Παρόλο που η κλασσική θεωρία συνόλων εφαρμόζεται σε πολλά επιστημονικά πεδία με μεγάλη επιτυχία, είναι φανερό ότι τα κλασσικά σύνολα αδυνατούν να περιγράψουν επαρκώς έννοιες και καταστάσεις οι οποίες χαρακτηρίζονται από μεγάλο βαθμό ασάφειας και απροσδιοριστίας. Με άλλα λόγια έχουν την ικανότητα να προσεγγίσουν τη συμπεριφορά συστημάτων που διαθέτουν έναν αριθμό ελάχιστα γνωστών χαρακτηριστικών και είναι κατάλληλα για τη αντιμετώπιση πολύπλοκων προβλημάτων γιατί χρειάζονται πολύ λιγότερους κανόνες για την μοντελοποίηση τους. Τέλος αξίζει να αναφερθεί ότι τα ασαφή σύνολα εκφράζουν λεκτικούς όρους, προσεγγίζοντας τον ανθρώπινο τρόπο σκέψης, οι οποίοι συνδυάζονται μεταξύ τους και δημιουργούν ασαφείς κανόνες που αναπαριστούν τη γνώση που έχουμε για το σύστημα.

2.6.2 ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙΣ ΣΥΜΜΕΤΟΧΗΣ

Ο Zadeh συνειδητοποίησε λοιπόν ότι ο πυρήνας του αδιεξόδου είναι ο δυαδικός τρόπος αναπαράστασης της πληροφορίας κατά τον οποίο μια τιμή μιας μεταβλητής είτε ανήκει είτε δεν ανήκει σε ένα υποσύνολο του πεδίου ορισμού της. Πρότεινε λοιπόν ένα διευρυμένο τρόπο αναπαράστασης όπου μια τιμή ανήκει ταυτόχρονα σε πολλά υποσύνολα, στο κάθε ένα με ένα βαθμό συμμετοχής. Στη ουσία ο βαθμός συμμετοχής εκφράζει το βαθμό βεβαιότητας η τιμή να ανήκει στο συγκεκριμένο υποσύνολο. Η μαθηματική εξίσωση η οποία καθορίζει τον βαθμό συμμετοχής ενός στοιχείου σε ένα ασαφές σύνολο ονομάζεται συνάρτηση συμμετοχής (Εικόνα 14). Το πεδίο ορισμού αυτής της συνάρτησης είναι το $\{0,1\}$ όπου το 0 σημαίνει ψευδές και το 1 αληθές.



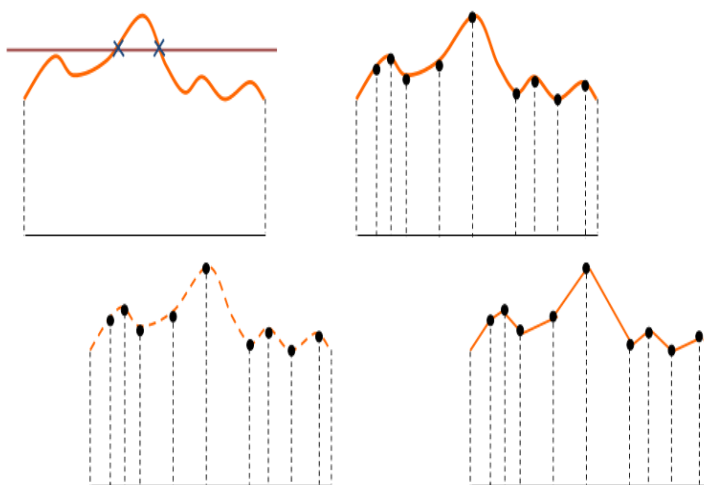
Εικόνα 14: Συνάρτηση Συμμετοχής (πηγή: wikipedia)

2.6.3 Η ΑΣΑΦΗΣ ΛΟΓΙΚΗ ΣΤΟ ECOGNITION

Η ασαφής λογική χρησιμοποιείται για την ταξινόμηση των πρωτογενών αντικειμένων που προκύπτουν από την κατάτμηση της εικόνας, στις αντίστοιχες θεματικές κατηγορίες, με βάση ειδοποιείς ιδιότητες των αντικειμένων. Ως εκ τούτου, η ασαφής ταξινόμηση στο λογισμικό, υπολογίζει τις ιδιότητες που αφορούν τον τόνο, το σχήμα και τις σχέσεις γειτνίασης με τα υπόλοιπα αντικείμενα της εικόνας. Περαιτέρω, οι συναρτήσεις συμμετοχής των ιδιοτήτων του κάθε αντικειμένου, μπορούν να συνδυαστούν με ασαφείς τελεστές *or*, *and*, *mean*. Έτσι, στο τέλος, σε κάθε αντικείμενο αντιστοιχίζεται μια ασαφής τιμή συμμετοχής στο διάστημα $[0,1]$ για κάθε διαθέσιμη κατηγορία, μέσω των ασαφών συναρτήσεων συμμετοχής. Όπως γίνεται φανερό η μεγαλύτερη τιμή συμμετοχής ταξινομεί το αντικείμενο στην αντίστοιχη κατηγορία/κλάση. Το γεγονός όμως ότι ένα αντικείμενο παρουσιάζει ποσοστά συμμετοχής για όλες τις διαθέσιμες κατηγορίες, κάνει την ταξινόμηση πιο ευέλικτη δίνοντας τη δυνατότητα ταξινόμησης του αντικειμένου στην αμέσως επόμενη "πιθανή" κατηγορία όταν δεν πληρεί κάποιο κριτήριο. Οι συναρτήσεις συμμετοχής (*membership functions*) είναι εύκολες στην δημιουργία τους και προσαρμόζονται εξίσου εύκολα και αποτελεσματικά για κάθε χαρακτηριστικό. Επίσης προσφέρουν μια καταφανή σχέση μεταξύ των τιμών ενός χαρακτηριστικού και του βαθμού συμμετοχής που θα έχει αυτό, σε κάποια τάξη ή κατηγορία. Ως εκ τούτου λοιπόν, μια συνάρτηση συμμετοχής, καθορίζεται από το αριστερό και δεξί όριο τιμών, δηλαδή το εύρος τιμών ασάφειας, σε συνδυασμό με τη κατάλληλη κάθε φορά συνάρτηση που ο χρήστης θα θέσει. Έτσι η συμμετοχή ενός χαρακτηριστικού, για την περιγραφή μιας κατηγορίας, δεν ορίζεται με ένα απόλυτο «ναι» ή «όχι». Στο αριστερό όριο, ο χρήστης δηλώνει τη μικρότερη τιμή ασάφειας, δηλαδή την τιμή στην οποία «πιστεύει» ότι ξεκινούν οι τιμές των χαρακτηριστικών των αντικειμένων μιας συγκεκριμένης κατηγορίας, ενώ στο δεξί όριο, μπαίνει η μεγαλύτερη τιμή, δηλαδή η τιμή στην οποία το χαρακτηριστικό των αντικειμένων της συγκεκριμένης κατηγορίας παύει να υφίσταται επαρκές για την περιγραφή της. Γίνεται φανερό ότι η τιμή ενός χαρακτηριστικού, μετατρέπεται σε βαθμό συμμετοχής σε κάποια κατηγορία, μέσω της συνάρτησης που εφαρμόζεται κάθε φορά. Όπως προαναφέρθηκε, στον άξονα των x μπαίνουν οι τιμές ασάφειας που ορίζουν ή δεν ορίζουν το χαρακτηριστικό σε κάποια κατηγορία ενώ στον άξονα των y φαίνεται ο βαθμός συμμετοχής που θα πάρει το χαρακτηριστικό για την συγκεκριμένη κατηγορία.

2.7 ΨΗΦΙΑΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΕΔΑΦΟΥΣ

Τα ψηφιακά μοντέλα εδάφους (DTM) είναι μια ψηφιακή αναπαράσταση της γεωμετρικής μορφής ενός τμήματος της γήινης επιφάνειας. Ένα ιδιαίτερο χαρακτηριστικό των Ψ.Μ.Ε. είναι ότι σε κάθε σημείο (X,Y) του εδάφους αντιστοιχεί μόνο ένα σημείο για αυτό πολλές φορές αναφέρεται σαν μία 2.5 D αναπαράσταση Weibel, R., and M. Heller. (1990).



Εικόνα 15: Η γήινη επιφάνεια αναπαρίσταται ως "πεδίο"

Η επιλογή των πηγών δεδομένων και οι τεχνικές δειγματοληψίας των υψομέτρων είναι καθοριστικοί παράγοντες της ποιότητας του μοντέλου που θα δημιουργηθεί Weibel, R., and M. Heller. (1991). Οι πιο συνηθισμένες διαδικασίες δημιουργίας Ψ.Μ.Ε. παρουσιάζονται παρακάτω :

- *Επίγειες μετρήσεις*

Οι τοπογράφοι επιλέγουν στις επίγειες αποτυπώσεις να καταγράψουν το χαρακτήρα της γεωμετρικής μορφής της γήινης επιφάνειας (μετρούν σε χαρακτηριστικά σημεία των λεπτομερειών της μορφής του εδάφους). Οι μετρήσεις αυτού του τύπου είναι πολύ ακριβείς παρόλα αυτά αποτελεί μια πολύ χρονοβόρα μέθοδο η οποία περιορίζεται σε μικρές περιοχές.

- Από φωτογραμμετρική απόδοση

Τα Ψ.Μ.Ε. παράγονται από την στερεοσκοπική ερμηνεία επικαλυπτόμενων ζευγών αεροφωτογραφιών ή δορυφορικών εικόνων. Τα παράγωγα αυτής της διαδικασίας είναι μοντέλα υψηλής η μέσης ακρίβειας.

- Από ψηφιοποίηση χαρτογραφικών δεδομένων (ισοΰψείς, κτλ)

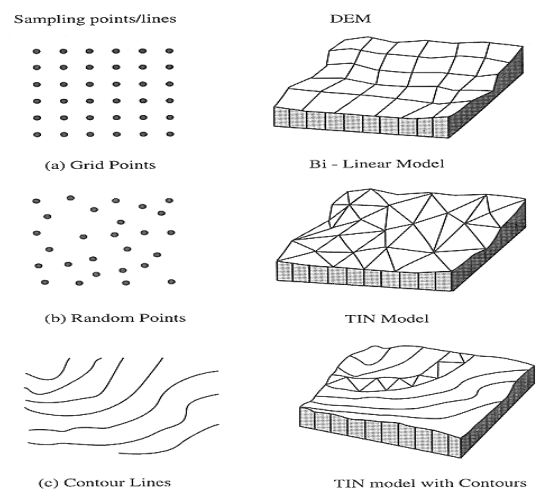
Η ψηφιοποίηση των υψομετρικών καμπυλών αποτελεί μια διαδικασία εύκολη και πολύ χαμηλού κόστους όμως τα σφάλματα χαρτοσύνθεσης και γενίκευσης οδηγούν σε ένα προϊόν μέτριας ακρίβειας.

- Από radar, υψομετρία με laser, ηχοβολιστικά συστήματα (sonar)

Η συγκεκριμένη μέθοδος βασίζεται στην συλλογή πληροφορίας μέσω της μέτρησης της απόστασης που διανύουν τα ηλεκτρομαγνητικά ή ηχητικά κύματα. Τα προϊόντα της συγκεκριμένης κατηγορίας είναι Ψ.Μ.Ε. υψηλής ακρίβειας.

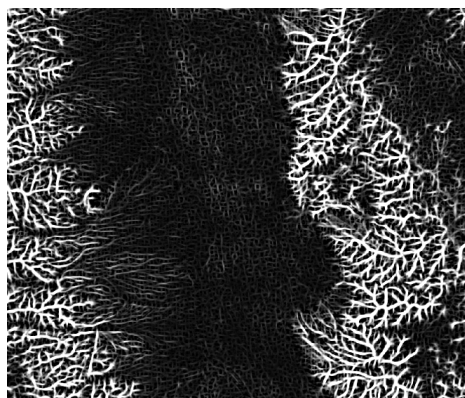
Εφόσον συγκεντρωθούν τα υψομετρικά δεδομένα επιλέγεται ένας τρόπος για να αποθηκευτούν και να αναπαραστήσουν την επιφάνεια του εδάφους. Η δομή που επιλέγεται να έχουν αυτά τα δεδομένα δηλαδή ο τρόπος καταχώρησης στο μοντέλο μπορεί να είναι σε :

- κατανομή σε κάναβο (raster δεδομένα)
- πολυεδρική κατανομή (TIN, vector δεδομένα)
- ισοψείς καμπύλες

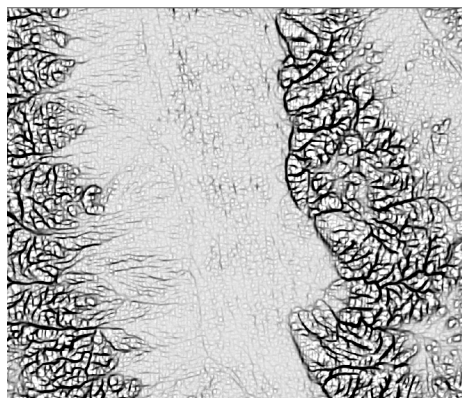


2.8 ΜΟΡΦΟΜΕΤΡΙΚΑ ΠΑΡΑΓΩΓΑ

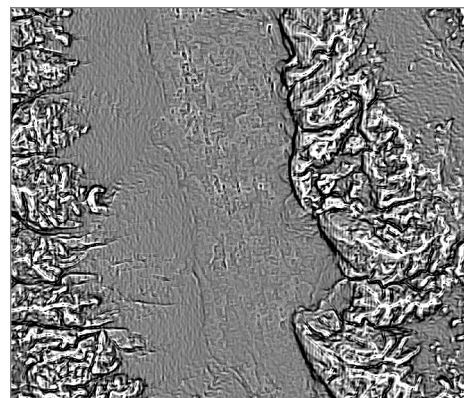
Η κυρίως επεξεργασία του ψηφιακού μοντέλου μοντέλου έγινε στο ελεύθερο λογισμικό SAGA GIS και στο λογισμικό Er-mapper στα οποία παρήχθησαν οι γεωμορφομετρικές παράμετροι (μωρφομετρικά παράγωγα). Τα αποτελέσματα απεικονίζονται με μια χρωματική κλίμακα του γκρι όπου το μαύρο αντιστοιχεί στο κατώτερο όριο και το άσπρο στο ανώτερο όριο του εύρους των τιμών της κάθε εικόνας.



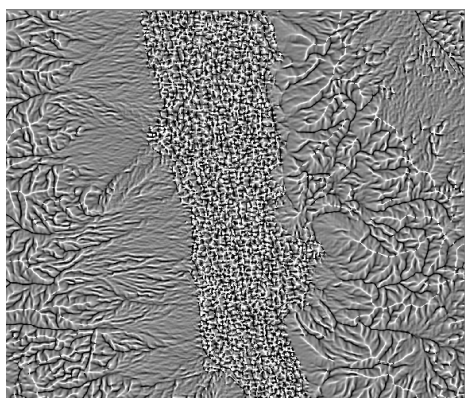
Εικόνα 18: *max-curvature*



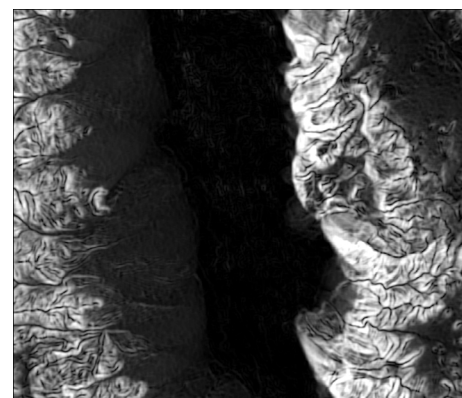
Εικόνα 16: *min-curvature*



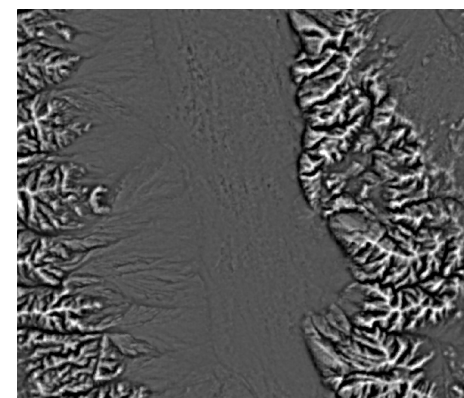
Εικόνα 17: *prof-curvature*



Εικόνα 19: *plan-curvature*



Εικόνα 20: *slope*



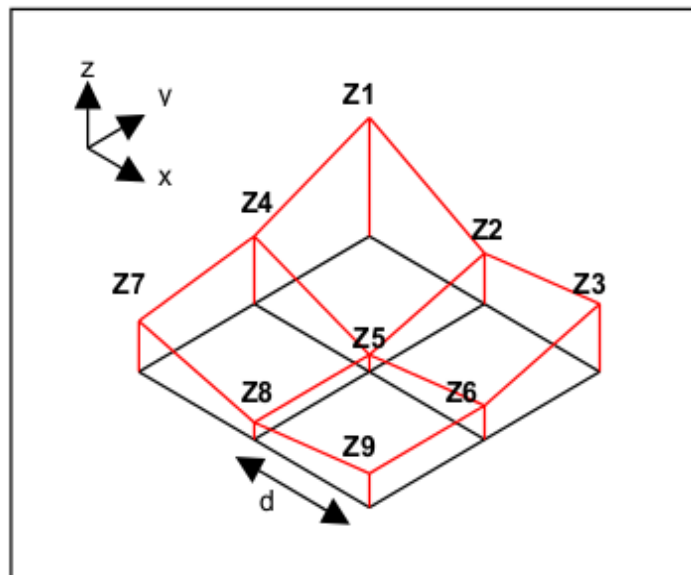
Εικόνα 21: *TPI*

Ενδεικτικά παρουσιάζεται η μέθοδος που χρησιμοποιεί το Saga-gis για να υπολογίσει την κλίση, καμπυλότητα κτλ.

Το λογισμικό χρησιμοποιεί την μέθοδο *Zevenbergen and Thorne (1987)*. Ως μαθηματικό μοντέλο επιλέγεται μία πολυωνυμική συνάρτηση 2^{ου} βαθμού που προσεγγίζει την επιφάνεια.

Το πολυώνυμο που χρησιμοποιείται είναι το εξής :

$$Z = Ax^2y^2+Bx^2y+Cxy^2+Dx^2+Ey^2+Fxy+Gx+Hy$$



Εικόνα 22: Φίλτρο διαστάσεων 3x3 (Πηγή: Cadell, 2002)

Σύμφωνα με τη μέθοδο Zevenbergen & Thorne (1987) θεωρείται μια επιφάνεια ελάχιστης καμπυλότητας η οποία διέρχεται από τις εννέα ψηφίδες του παραθύρου (3x3) (Εικόνα 22) και ορίζεται από μια μερική πολυωνυμική με εννέα σταθερές συνάρτηση. Οι σταθερές αυτές υπολογίζονται από τα υψόμετρα του DEM βάσει των πολυωνύμων του Lagrange:

$$A = [(Z_1 + Z_3 + Z_7 + Z_9) / 4 - (Z_2 + Z_4 + Z_6 + Z_8) / 2 + Z_5] / L^4$$

$$B = [(Z_1 + Z_3 - Z_7 - Z_9) / 4 - (Z_2 - Z_8) / 2] / L^3$$

$$C = [(-Z_1 + Z_3 - Z_7 + Z_9) / 4 + (Z_4 - Z_6) / 2] / L^3$$

$$D = [(Z_4 + Z_6) / 2 - Z_5] / L^2$$

$$E = [(Z_2 + Z_8) / 2 - Z_5] / L^2$$

$$F = (-Z_1 + Z_3 + Z_7 - Z_9) / 4L^2$$

$$G = (-Z_4 + Z_6) / 2L$$

$$H = (Z_2 - Z_8) / 2L$$

$$I = Z_5$$

Το μοντέλο που χρησιμοποιεί το λογισμικό Er-Mapper για να προσεγγίσει την επιφάνεια είναι η μέθοδος Evans Young η οποία χρησιμοποιεί μία πολυωνομική συνάρτηση 2^{ου} βαθμού που προσαρμόζεται σε ένα φίλτρο διαστάσεων 3x3.

$$Z = \frac{rx^2}{2} + sxy + \frac{ty^2}{2} + px + qy + z_0$$

όπου p, q, r, s, t, z₀ είναι συντελεστές και υπολογίζονται ως εξής :

$$p = \frac{z_3 + z_6 + z_9 - z_1 - z_4 - z_7}{6\Delta s}$$

$$q = \frac{z_1 + z_2 + z_3 - z_7 - z_8 - z_9}{6\Delta s}$$

$$r = \frac{Z_1 + Z_3 + Z_4 + Z_6 + Z_7 + Z_9 - 2(Z_2 + Z_5 + Z_8)}{3\Delta s^2}$$

$$t = \frac{Z_1 + Z_2 + Z_3 + Z_9 + Z_7 + Z_8 - 2(Z_4 + Z_5 + Z_6)}{3\Delta s^2}$$

$$Z_0 = \frac{5Z_5 + 2(Z_2 + Z_4 + Z_6 + Z_8) - (Z_3 + Z_1 + Z_7 + Z_9)}{9}$$

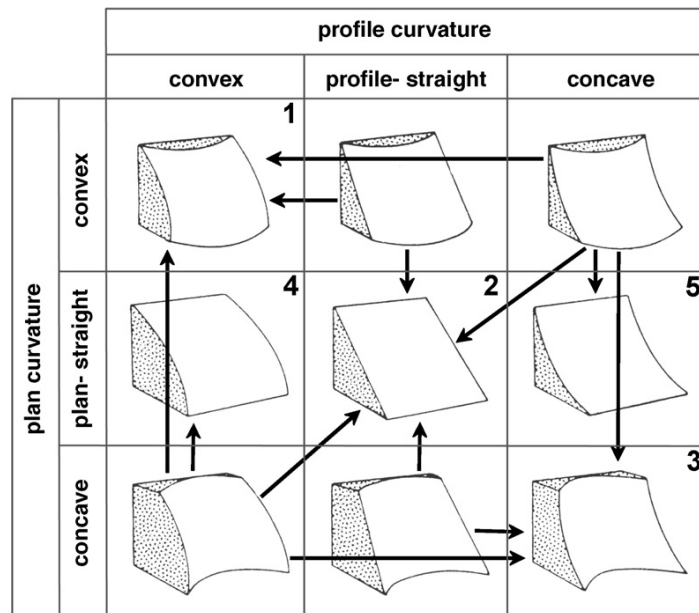
όπου (z_1, z_2, \dots, z_9) είναι τα στοιχεία του φίλτρου και Δs είναι η χωρική ανάλυση του ψηφιακού μοντέλου εδάφους)

Ο ρυθμός μεταβολής του υψομέτρου κατά την οριζόντια ($\partial z / \partial x$) και κάθετη ($\partial z / \partial y$) διεύθυνση από το κέντρο του φατνίου καθορίζει την κλίση (slope). Επομένως σαν διανυσματικό μέγεθος έχει τιμή (gradient) και προσανατολισμό (aspect).

$$\text{SLOPE} = \arctan \sqrt{\left(\frac{\partial z}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial z}{\partial y}\right)^2} = (G^2 + H^2)^{1/2}$$

2.8.1 CURVATURE

Σύμφωνα με το σύστημα ταξινόμησης γεωμορφών του Dikau (1989) οι σχηματισμοί περιγράφονται από την κλίση και την καμπυλότητα. Η καμπυλότητα είναι η πρώτη παράγωγος της κλίσης και είναι το μέτρο της κυρτότητας ή κοιλότητας. Οι δύο κύριες συνιστώσες που μας ενδιαφέρουν είναι η καμπυλότητα κάθετα και παράλληλα στη διεύθυνση κλίσης του πρανούς(Εικόνα 23). Στις περιπτώσεις που έχουμε γεωμορφές με σχεδόν μηδενική κλίση οι δύο αυτές καμπυλότητες χάνουν το νόημα τους, οπότε χρησιμοποιούνται οι max-curvature, min-curvature. (Evans 1972)



Εικόνα 23: Συνδυασμοί καμπυλοτήτων

2.8.2 MAX-CURVATURE

Η καμπυλότητα ενός κανονικού τμήματος με την υψηλότερη τιμή καμπυλότητας μεταξύ όλων των κανονικών τμημάτων της επιφάνειας του εδάφους στο συγκεκριμένο σημείο (Gauss, 1828).

Η συγκεκριμένη παράμετρος υπολογίστηκε στο λογισμικό er-mapper.

2.8.3 MIN-CURVATURE

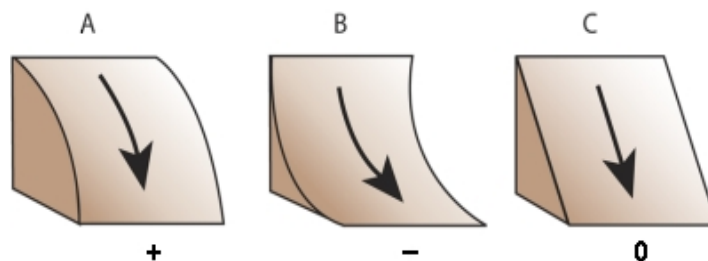
Η καμπυλότητα ενός κανονικού τμήματος με την χαμηλότερη τιμή καμπυλότητας μεταξύ όλων των κανονικών τμημάτων της επιφάνειας του εδάφους στο συγκεκριμένο σημείο (Gauss, 1828). Η παράμετρος αυτή υπολογίστηκε στο er-mapper.

2.8.4 PROFILE-CURVATURE

Ο ρυθμός μεταβολής της κλίσης εκφράζει την καμπυλότητα παράλληλα στη διεύθυνση της μέγιστης κλίσης (Profile-curvature). Μια θετική τιμή (Εικόνα 24A) δείχνει ότι η επιφάνεια είναι κυρτή προς τα άνω σε αυτό το σημείο ενώ μία αρνητική (Εικόνα 24B) δείχνει ότι η επιφάνεια είναι κοίλη προς τα κάτω. Μια μηδενική τιμή υποδεικνύει ότι η επιφάνεια είναι γραμμική δηλαδή σταθερής κλίσης (Εικόνα 24C) Η καμπυλότητα αυτή επηρεάζει την επιτάχυνση ή επιβράδυνση της ροής σε μία επιφάνεια.

Σύμφωνα με την μέθοδο Zevenbergen and Thorne (1987) η καμπυλότητα παράλληλα στη διεύθυνση κλίσης υπολογίζεται προσεγγιστικά από το πολυώνυμο Lagrange :

$$Prc = -2 (DG^2 + EH^2 +FGH) / (G^2 + H^2)$$

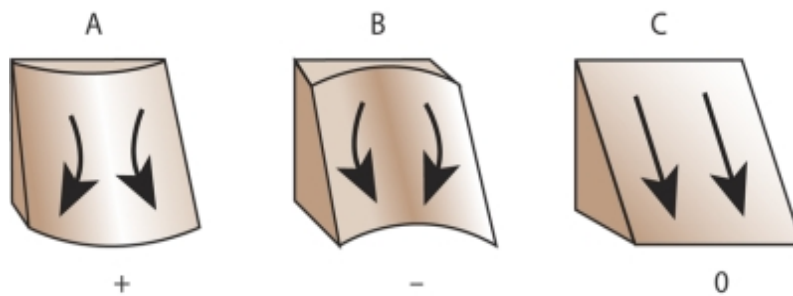


Εικόνα 24: Καμπυλότητα παράλληλα στη διεύθυνση της κλίσης

2.8.5 PLAN-CURVATURE

Ο ρυθμός μεταβολής του προσανατολισμού (aspect) εκφράζει την καμπυλότητα κάθετα στη διεύθυνση της μέγιστης κλίσης (Plan-curvature). Μια θετική τιμή (Εικόνα 25Α) υποδεικνύει ότι η επιφάνεια είναι κυρτή πλευρικά (sidewardly) σε αυτό το σημείο ενώ μια αρνητική (Εικόνα 25Β) υποδεικνύει ότι η επιφάνεια είναι κοίλη προς τα πλάγια. Μια μηδενική τιμή υποδεικνύει ότι η επιφάνεια είναι γραμμική (Εικόνα 25C). Η καμπυλότητα αυτή σχετίζεται με την σύγκλιση και απόκλιση της ροής σε μία επιφάνεια. Σύμφωνα με την μέθοδο Zevenbergen and Thorne (1987) η καμπυλότητα παράλληλα στη διεύθυνση κλίσης υπολογίζεται προσεγγιστικά από το πολυώνυμο Lagrange :

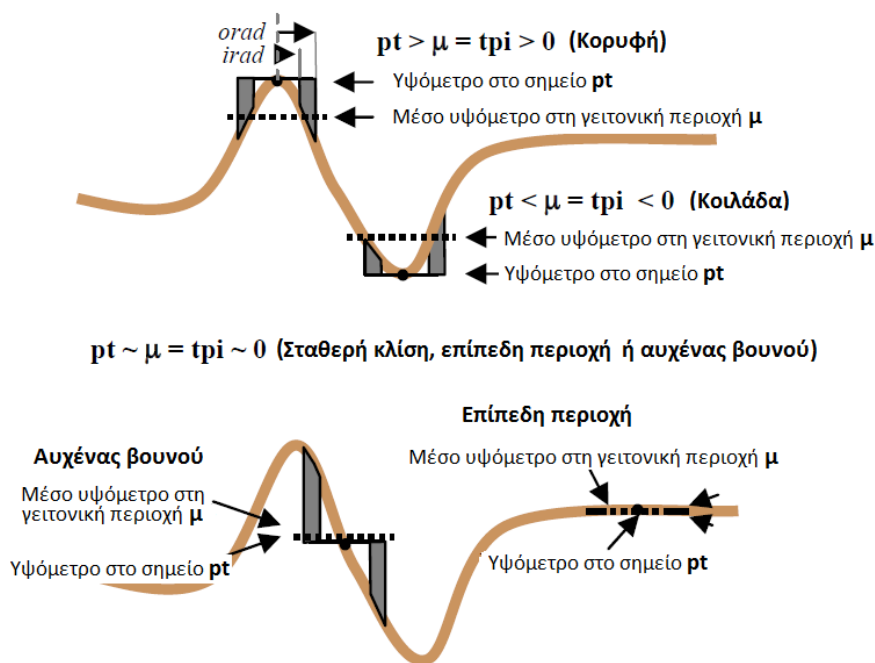
$$Plc = 2 (DH^2 + EG^2 - FGH) / (G^2 + H^2)$$



Εικόνα 25: Καμπυλότητα κάθετα στη διεύθυνση της κλίσης

2.8.6 TOPOGRAPHIC POSITION INDEX (TPI)

Ο δείκτης τοπογραφικής θέσης (Topographic Position Index), συγκρίνει το υψόμετρο κάθε εικονοστοιχείου του ψηφιακού μοντέλου εδάφους, με το μέσο υψόμετρο μιας συγκεκριμένης περιοχής γύρω από το εικονοστοιχείο. Θετικές τιμές του δείκτη τοπογραφικής θέσης, αναπαριστούν περιοχές οι οποίες έχουν μεγαλύτερο υψόμετρο από το μέσο υψόμετρο των γειτονικών τους περιοχών και χαρακτηρίζονται ως κορυφές, ενώ αρνητικές τιμές του δείκτη τοπογραφικής θέσης, αναπαριστούν περιοχές οι οποίες βρίσκονται σε μικρότερο υψόμετρο σε σχέση με το υψόμετρο των γειτονικών τους περιοχών και χαρακτηρίζονται ως κοιλάδες. Περιοχές όπου η τιμή του δείκτη τοπογραφικής θέσης είναι κοντά στο μηδέν, είτε είναι επίπεδες περιοχές (εάν η κλίση είναι κοντά στο μηδέν), είτε είναι περιοχές σταθερής κλίσης (αν η κλίση είναι αρκετά μεγαλύτερη από το μηδέν). (Εικόνα 26)



Εικόνα 26: δείκτης τοπογραφικής θέσης (πηγή : weiss, 1999)

3 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

3.1 ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

Η Κοιλάδα του θανάτου βρίσκεται νοτιοανατολικά της οροσειράς Σιέρρα Νεβάδα στην Περιοχή Great Basin και στην έρημο Μοχάβι, αποτελεί στο μεγαλύτερό της μέρος το Εθνικό Πάρκο της Κοιλάδας του Θανάτου. Εκτείνεται με διεύθυνση βορά νότου μεταξύ της οροσειράς Αμαραγκόσα στα ανατολικά, ως την οροσειρά Πάναμιντ στα δυτικά, με τα βουνά Σουλβάνια και Όουλσχεντ να σχηματίζουν τα σύνορα της βόρεια και νότια αντίστοιχα. Καλύπτει έκταση 7.800 km². Η Κοιλάδα του θανάτου που ονομάστηκε έτσι από μεταναστεύοντες αποίκους το 1849, είναι το πιο ξηρό και θερμό μέρος της Βόρειας Αμερικής αλλά και το δεύτερο ξηρότερο όλου του πλανήτη (με την έρημο Ατακάμα να κατέχει την πρώτη θέση), αλλά και το πιο χαμηλό σημείο της ξηράς του δυτικού ημισφαιρίου, 86μ. υπό τη στάθμη της θάλασσας. Η κοιλάδα Death Valley είναι ένα αντιπροσωπευτικό παράδειγμα Τεκτονικής Αλλουβιακής Λεκάνης. Η λεκάνη απόθεσης (basin floor) της Death Valley είναι σχεδόν επίπεδη και καλύπτεται από αποθέσεις εβαποριτών (playas) ενώ κοντά στους πρόποδες των βουνών (piedmont slopes) εμφανίζονται αλλουβιακές προσχώσεις (valley fill).



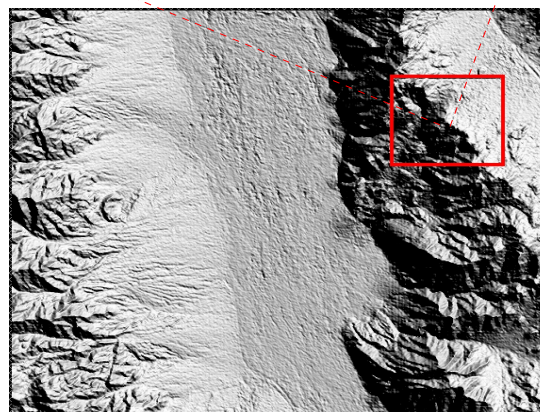
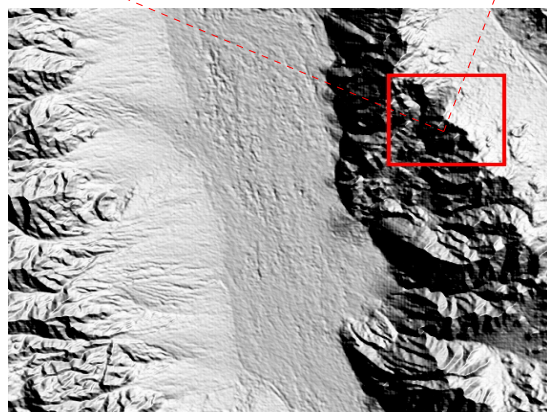
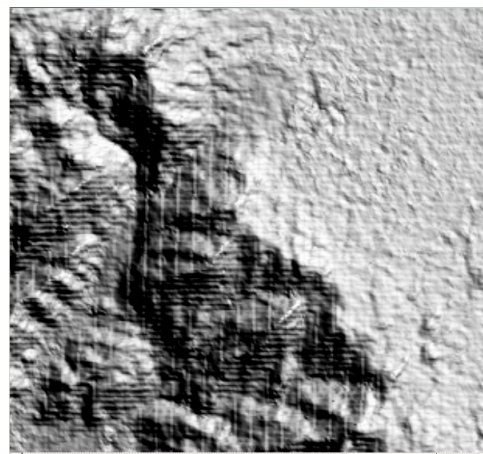
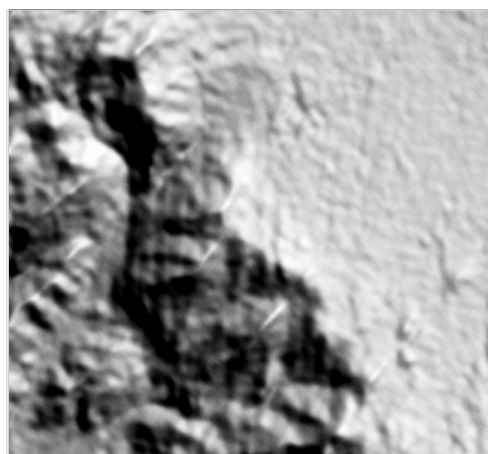
Πίνακας 1: Περιοχή μελέτης (death valley) -στο κόκκινο περίγραμμα φαίνεται το σημείο που εφαρμόστηκε η συγκεκριμένη μελέτη (πηγή : google earth)

3.2 ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Η εργασία έχει βασιστεί αποκλειστικά στο ψηφιακό μοντέλο εδάφους ASTER GDEM της περιοχής μελέτης (death valley), το οποίο έχει μέγεθος εικονοστοιχείου στο έδαφος 25μ.χ25μ και έκτασης 1018 km². Το πρώτο βήμα της επεξεργασίας ήταν η παραγωγή των γεωμορφομετρικών στοιχείων τα οποία είναι απαραίτητα για την υλοποίηση της ταξινόμησης στο ecognition.

3.3 ΠΡΟΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ (ΕΞΟΜΑΛΥΝΣΗ ΘΟΡΥΒΟΥ)

Λόγω της ύπαρξης θορύβου, πριν γίνει οποιαδήποτε επεξεργασία, εφαρμόστηκαν δοκιμαστικά διάφορα φίλτρα εξομάλυνσης. Μεταξύ των Gaussian 11x11 Gaussian 9x9, median 11x11 και ενός διπλού φίλτρου Median+Gaussian 11x11, επιλέχθηκε τελικά εκείνο που εξομάλυνε σε σημαντικό βαθμό το θόρυβο αλλά συγχρόνως δεν μείωσε τη πληροφορία του ψηφιακού μοντέλου.

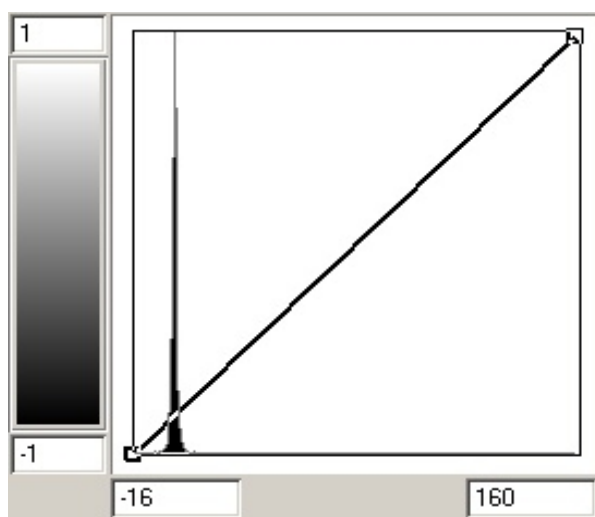


Εικόνα 27: Φίλτρο Gauss 9x9

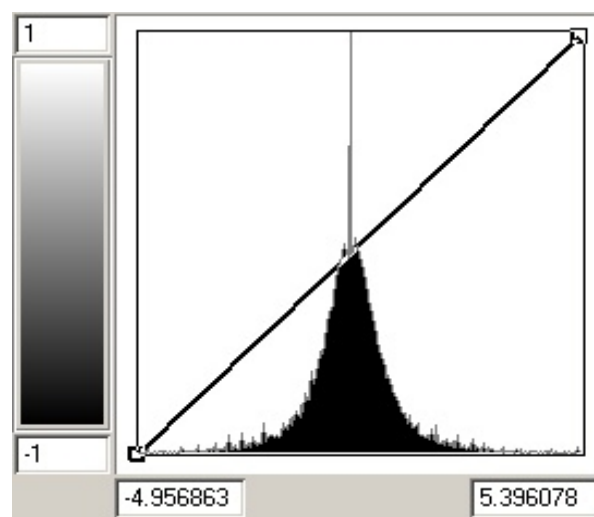
Εικόνα 28: Ψηφιακό μοντέλο χωρίς φίλτρο

3.4 ΑΠΟΚΟΠΗ ΣΤΑ ΑΚΡΑ ΣΤΟ ΙΣΤΟΓΡΑΜΜΑ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ

Αποφασίστηκε να γίνει αποκοπή στα άκρα της τάξεως του 95% (Εικόνα 30) . Η διαδικασία αυτή αφαιρεί εντελώς τις ακραίες τιμές οι οποίες προκύπτουν από ατέλειες του ψηφιακού μοντέλου εδάφους και έχουν ως αποτέλεσμα τη δημιουργία σφαλμάτων στα μορφομετρικά παράγωγα. Στην ουσία προσαρμόζει το σύνολο τιμών μέσα σε ένα στενότερο όριο. Οι περιοχές που αντιστοιχούν στις ακραίες τιμές συγκαλύπτονται δηλαδή λαμβάνουν την κατώτερη και ανώτερη ψηφιακή τιμή αντίστοιχα . Έτσι φύγανε πιθανά λάθη από τα μορφομετρικά παράγωγα (slope, plan-curvature κτλ) τα οποία μπορούν να επηρεάσουν την όλη διαδικασία. Τα όρια των τιμών των μορφομετρικών παραγώγων χρησιμοποιούνται και σαν όρια για το νέο σύνολο τιμών που θα προκύψει ύστερα από το στάδιο της κανονικοποίησης. Επομένως οι ακραίες τιμές οι οποίες για παράδειγμα θα έπαιρναν την τιμές 1 και 0 αντίστοιχα, μετά την κανονικοποίηση θα επηρέαζαν την τιμή πάνω η κάτω από την οποία ικανοποιείται η συνάρτηση συμμετοχής με αποτέλεσμα μια εσφαλμένη ταξινόμηση.



Εικόνα 29: Ιστόγραμμα συχνοτήτων

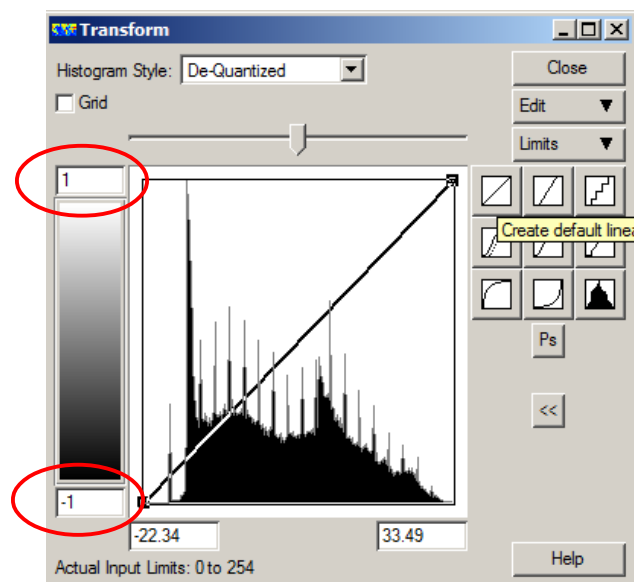


Εικόνα 30: Νέο ιστόγραμμα συχνοτήτων με αποκοπή στα άκρα – οι ακραίες τιμές αφαιρέθηκαν

3.5 ΚΑΝΟΝΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΤΙΜΩΝ

Λαμβάνοντας υπόψη την ασάφεια ως προς τα όρια για την ταξινόμηση των γεωμορφών στη βιβλιογραφία και την ανάγκη επαναπροσδιόρισης τους για διαφορετικές κλίμακες ή διαφορετικές περιοχές κρίνεται σκόπιμη η κανονικοποίηση των μορφομετρικών δεδομένων ώστε η παρούσα μελέτη που εντάσσεται στα πλαίσια της γενικής γεωμορφομετρίας να μην έχει περιορισμούς και να είναι εύκολα εφαρμόσιμη σε οποιαδήποτε επιφάνεια (Gercek, 2010). Κατά συνέπεια, οι τιμές κλίσης και καμπυλότητας κανονικοποιήθηκαν στο διάστημα 0,1 και -1,1 αντίστοιχα ώστε να αντιπροσωπεύουν γενικές κλίσεις ή καμπυλότητες. Για να γίνει η κανονικοποίηση στο νέο εύρος τιμών χρησιμοποιήθηκε το *er mapper*. Τα δεδομένα φορτώθηκαν στο πρόγραμμα και στο ιστόγραμμα συχνοτήτων εφαρμόστηκε μια γραμμική συνάρτηση μετασχηματισμού αφού πρώτα άλλαξε το εύρος τιμών φωτεινότητας από (0,255) σε (-1,1).

Παρακάτω παρουσιάζεται ενδεικτικά ένα παράδειγμα (Εικόνα 31).



Εικόνα 31: Κανονικοποίηση τιμών

3.6 ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΣΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ECOGNITION

3.6.1 ΚΑΤΑΤΜΗΣΗ ΚΑΙ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΕΠΙΠΕΔΟ 0

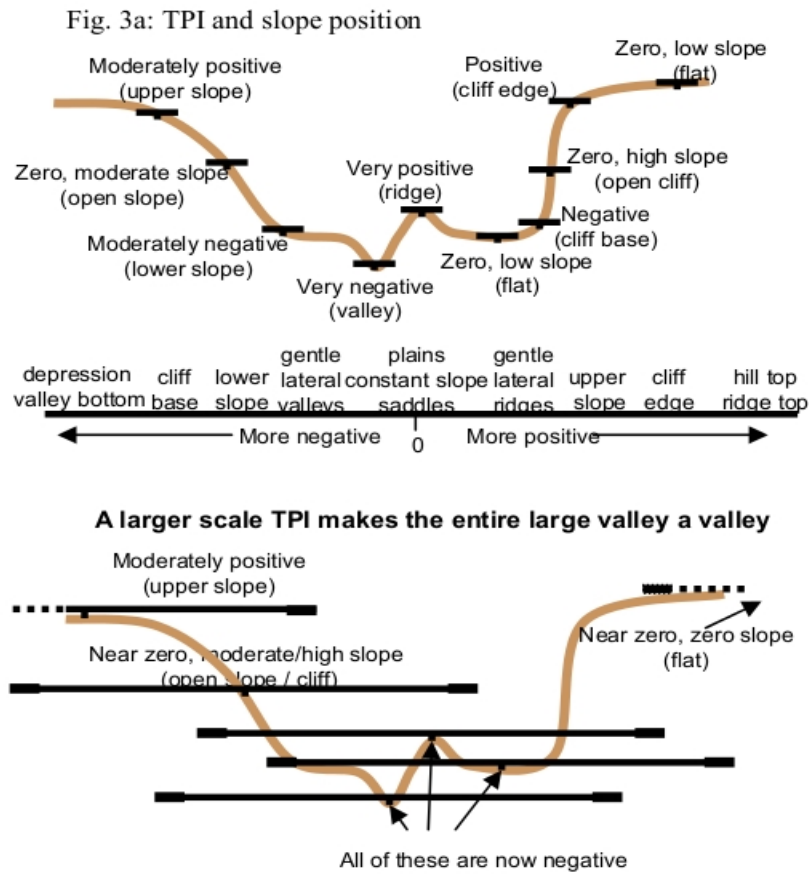
Στο πρώτο στάδιο της ταξινόμησης παρήχθησαν 6 βασικές κλάσεις με βάση τον Weiss Andrew D., (1999) οι οποίες θα χρησιμοποιηθούν σαν υπο-αντικείμενα για την μετέπειτα διαδικασία. Οι κλάσεις αυτές παράγονται με βάση το tri400 (ακτίνα 400 μέτρα).

1. *valley*
2. *lower slope*
3. *flat area*
4. *middle slope*
5. *upper slope*
6. *ridge*

Η ταξινόμηση έγινε στο επίπεδο κατάτμησης 0 με scale parameter 1, κριτήριο σχήματος έναντι ομαλότητας ορίων (compactness) ίσο με 0.7 και κριτήριο σχήματος έναντι χρώματος (shape) ίσο με 0.4. Τα κανάλια που χρησιμοποιήθηκαν για την κατάτμηση είναι τα : tri400, slope αφού ήταν το μόνο θεματικά επίπεδα που χρησιμοποιήθηκαν για τους κανόνες της ταξινόμησης.

3.6.1.1 ΕΠΙΛΟΓΗ ΑΚΤΙΝΑΣ T.P.I.

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω το T.P.I. είναι ένας δείκτης που προκύπτει από τη διαφορά του υψομέτρου σε ένα σημείο με το μέσο υψόμετρο της γύρω περιοχής σε μία δεδομένη ακτίνα. Επομένως η επιλογή της κατάλληλης ακτίνας για να παραχθεί η τοπογραφική θέση έχει μεγάλη σημασία γιατί σαν μέγεθος το T.P.I. είναι εγγενώς συνδεδεμένο με τη κλίμακα. Ένα σημείο για παράδειγμα σε μία κοιλάδα επιλέγοντας μία μικρή κλίμακα 100 μέτρων, θα εμφανιζόταν σαν μια επίπεδη πεδιάδα. Σε μία κλίμακα όμως 1500 μέτρων το ίδιο σημείο μπορεί να βρίσκεται στο κατώτερο σημείο ενός φαραγγιού. Οπότε η επιλογή της κατάλληλης ακτίνας έχει να κάνει με το υπό μελέτη φαινόμενο.



Εικόνα 32: Η σημασία της ακτίνας στο TPI (πηγή : weiss, 1999)

Στη συγκεκριμένη μελέτη οι οποίοι προτείνουν την επιλογή ακτίνας μήκους όσο η μισή απόσταση κορυφογραμμής και δικτύου. Στη παρούσα εργασία λαμβάνονται υπόψιν τα κύρια δύκτια και οι κύριες κορυφογραμμές. Στη περιοχή μελέτης το μέσο μήκος είναι 800 μέτρα οπότε επιλέγεται tpi 400 μέτρων.

3.6.1.2 ΚΑΝΟΝΕΣ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ TPI

Οι κανόνες οι οποίοι χρησιμοποιήθηκαν για την ταξινόμηση κάθε κατηγορίας του επιπέδου 0 με βάση το TPI παρουσιάζονται παρακάτω. Σε όλους του παρακάτω κανόνες χρησιμοποιήθηκαν 4 παράμετροι που με κατάλληλους συνδυασμούς παρήγαγαν το τελικό αποτέλεσμα. Οι παράμετροι είναι οι εξής :

- ***mean_TPI_400*** : ο μέσος όρος του TPI για κάθε αντικείμενο

Προκύπτει από το μέσο όρο των τιμών των *Pixels* που περιέχει ένα αντικείμενο στο κανάλι TPI.

- ***mean_of_scene_TPI_400***: ο μέσος όρος του TPI σε όλη τη σκηνή

Προκύπτει από το μέσο όρο των τιμών των *pixels* στο κανάλι του TPI σε όλη την εικόνα-μοντέλο.

- ***stdev_TPI_400***: η τυπική απόκλιση σε όλη τη σκηνή

Προκύπτει από την τυπική απόκλιση των τιμών των *pixels* στο κανάλι του TPI σε όλη τη εικόνα.

- ***mean_slope***: ο μέσος όρος της κλίσης στο κάθε αντικείμενο

Προκύπτει από το μέσο όρο των τιμών των *Pixels* που περιέχει ένα αντικείμενο στο κανάλι *Slope*.

Valley

$$\text{mean_TPI_400} < \text{mean_of_scene_TPI_400} - \text{stdev_TPI_400}$$

Lower slope

$$\text{mean_TPI_400} \geq \text{mean_of_scene_TPI_400} - \text{stdev_TPI_400}$$

KAI

$$\text{mean_TPI_400} < \text{mean_of_scene_TPI_400} - 0.5 * \text{stdev_TPI_400}$$

flat area

$$\text{mean_TPI_400} \geq \text{mean_of_scene_TPI_400} - 0.5 * \text{stdev_TPI_400}$$

KAI

$$\text{mean_TPI_400} < \text{mean_of_scene_TPI_400} + 0.5 * \text{stdev_TPI_400}$$

KAI

$$\text{mean_slope} < 0.1$$

Middle slope

$$\text{mean_TPI_400} \geq \text{mean_of_scene_TPI_400} - 0.5 * \text{stdev_TPI_400}$$

KAI

$$\text{mean_TPI_400} < \text{mean_of_scene_TPI_400} + 0.5 * \text{stdev_TPI_400}$$

KAI

$$\text{mean_slope} \geq 0.1$$

Upper slope

$$\text{mean_TPI_400} \geq \text{mean_of_scene_TPI_400} + 0.5 * \text{stdev_TPI_400}$$

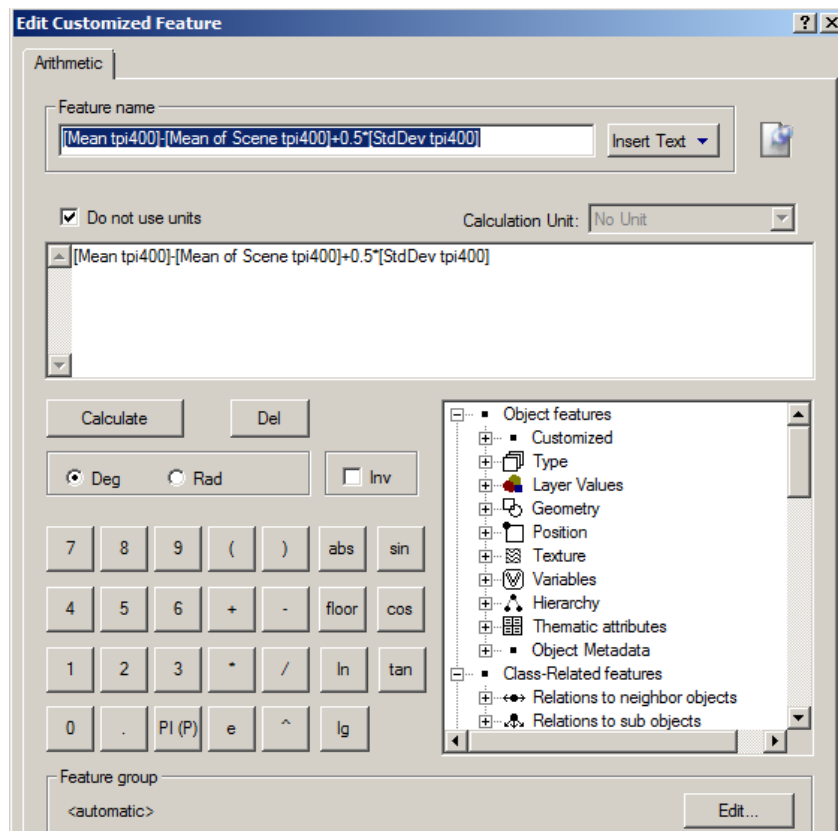
KAI

$$\text{mean_TPI_400} < \text{mean_of_scene_TPI_400} + \text{stdev_TPI_400}$$

Ridge

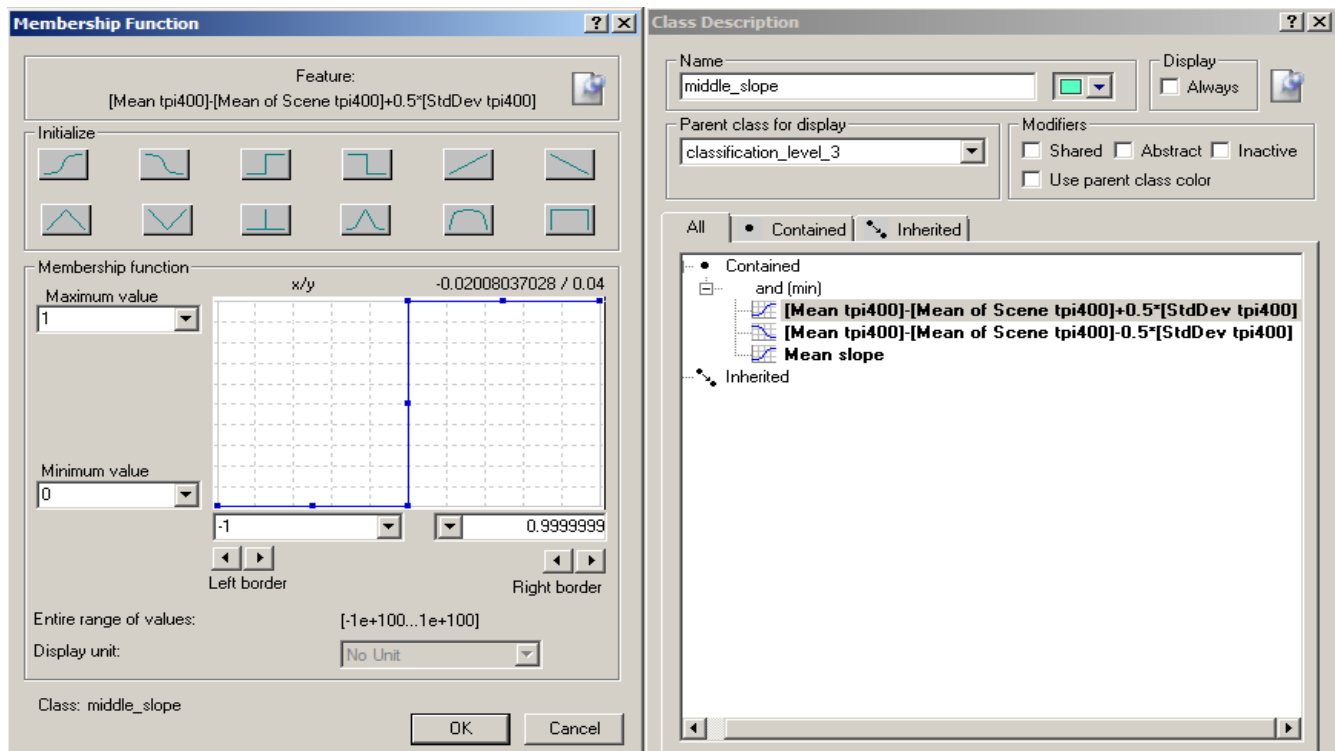
$$mean_TPI_400 \geq mean_of_scene_TPI_400 + stdev_TPI_400$$

Για να υλοποιηθούν οι παραπάνω κανόνες χρησιμοποιήθηκε το object features > customized > create new arithmetic features. Ενδεικτικά παρουσιάζεται παρακάτω ένα παράδειγμα.



Εικόνα 33: Κανόνας Ταξινόμησης-κατηγορία *middle_slope*

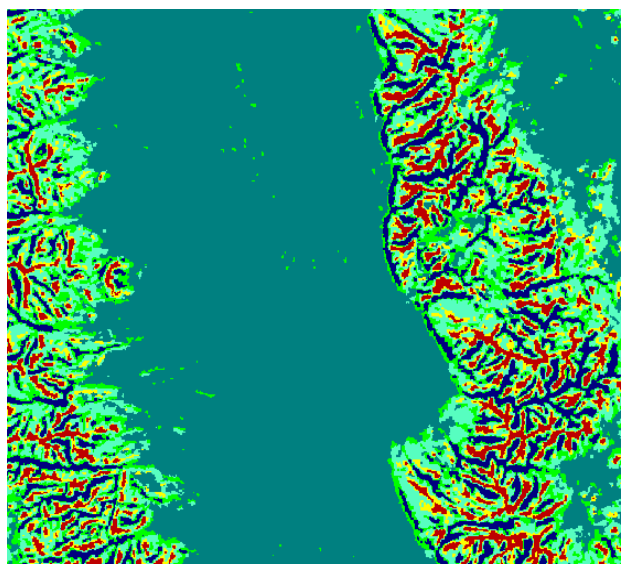
Έπειτα δημιουργήθηκε ο κανόνας ως εξής :



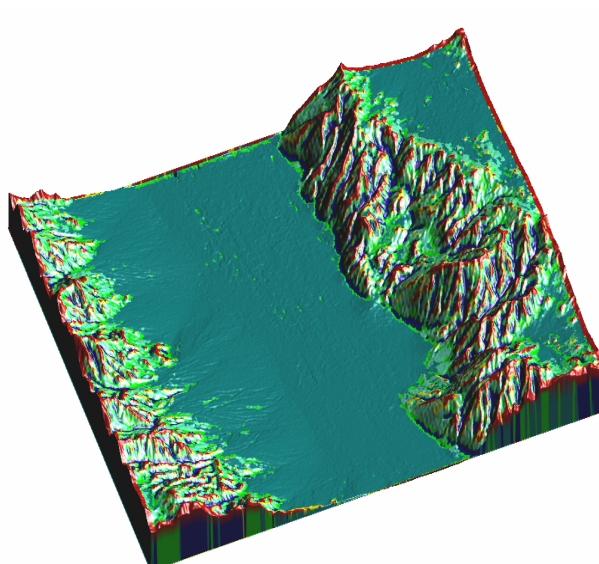
Εικόνα 34: Κανόνας ταξινόμησης-συνάρτηση συμμετοχής στη κατηγορία middle slope

3.6.1.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ ΕΠΙΠΕΔΟΥ 0

Παρακάτω παρουσιάζεται η ταξινόμηση που προέκυψε με βάση τον δείκτη τοπογραφικής θέσης



Εικόνα 35: Ταξινόμηση με βάση το TPI



Εικόνα 36: Ταξινόμηση με βάση το TPI σε 3d απεικόνιση



Όπως φαίνεται στις εικόνες (35,36) οι κατηγορίες flat_area, ridge και valley ταξινομούνται αρκετά καλά στη δεδομένη ακτίνα του T.P.I. Αντιθέτως οι κατηγορίες lower_slope, middle_slope και upper_slope παρουσιάζουν μια μικρή σύγχυση λόγω της ακτίνας 400 μέτρων η οποία είναι αρκετά μεγάλη. Για παράδειγμα η κατηγορία middle_slope έχει αντικατασταθεί σχεδόν εξολοκλήρου από την κατηγορία lower_slope γιατί ακριβώς λόγω της ακτίνας του TPI λαμβάνεται υπόψιν μεγαλύτερη περιοχή με αποτέλεσμα το TPI αντί για τιμές κοντά στο 0 να παίρνει αρνητικές τιμές (lower_slope). Παρόλα αυτά εξαρχής το μέγεθος της ακτίνας αποφασίστηκε με γνώμονα την εξαγωγή των κορυφογραμμών και του υδρογραφικού δικτύου.

3.6.2 ΚΑΤΑΤΜΗΣΗ ΚΑΙ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΕΠΙΠΕΔΟ 1

Το επίπεδο 1 δημιουργήθηκε για να γίνει μία πρώτη ταξινόμηση των γεωμορφών με βάση μόνο τη γεωμετρία τους.

Οι κατηγορίες που παρήχθησαν είναι οι εξής :

channel1 (μητρική κατηγορία των *channel_correct1* και *foot_slope_add1*)

- *channel_correct1* (υδρογραφικό δίκτυο)
- *foot_slope_add1* (πόδι-κάτω μέρος πλαγιάς)

foot_slope1 (πόδι-κάτω μέρος πλαγιάς)

hollow1

plain1 (πεδιάδα)

planar_slope1 (πλαγιά)

ridge1 (μητρική κατηγορία των *peak1* και *ridge_correct1*)

- *peak1* (κορυφή)
- *ridge_correct1* (κορυφογραμμή)

shoulder_slope1 (πάνω μέρος-φρύδι πλαγιάς)

spur1

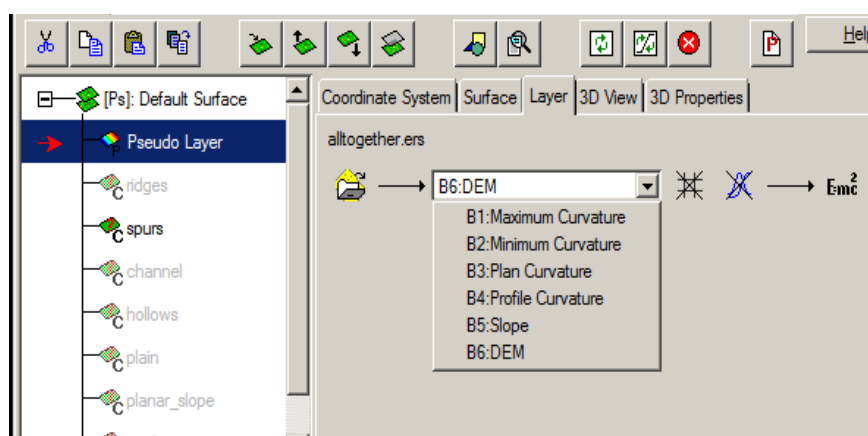
Δεδομένου ότι όλα τα διαθέσιμα κανάλια είχαν την ίδια χωρική και διακριτική ικανότητα, τα βάρη που ανατέθηκαν στα κανάλια με βάση τα οποία θα γίνει η κατάτμηση, ήταν ίδια και ίσα με τη μονάδα (Hofmann, 2001, Baatz and Schape, 2001). Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκαν τα θεματικά επίπεδα : *plan_curvature*, *prof_curvature*, *max_curvature*, *min_curvature*, *slope*. Για τον προσδιορισμό των βαρών των κριτηρίων κατάτμησης (φασματικό και σχήματος), ελήφθη υπ' όψιν ότι οι κατηγορίες που θέλουμε να εξάγουμε, διαφοροποιούνται έντονα με τη χρήση των μορφομετρικών παραμέτρων οπότε αποφασίστηκε να δοθεί αυξημένο βάρος στο φασματικό κριτήριο (*color*) και μικρότερο στο κριτήριο σχήματος. Από τους συνδυασμούς που δοκιμάστηκαν, τα βέλτιστα αποτελέσματα απέδωσε ο συνδυασμός: κριτήριο σχήματος έναντι ομαλότητας ορίων (*compactness*) ίσο με 0.7 και κριτήριο σχήματος έναντι χρώματος (*shape*) ίσο με 0.4.

3.6.2.1 ΕΠΙΛΟΓΗ ΟΡΙΩΝ ΚΑΝΟΝΩΝ ΣΕ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ

Για να βρεθούν τα σωστά όρια με βάση τα οποία ταξινομούνται τα αντικείμενα στην κάθε κλάση χρησιμοποιήθηκαν 2 εργαλεία στο λογισμικό er-mapper. Εναλλακτικά θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί το εργαλείο feature view στο ecognition αλλά επειδή οι υπό μελέτη κατηγορίες δεν είναι τόσο ευδιάκριτες σε εικόνα δύο διαστάσεων γιατί πολλές από αυτές είναι αρκετά παρεμφερείς επιλέχθηκε το er-mapper που δίνει την δυνατότητα 3d- απεικόνισης.

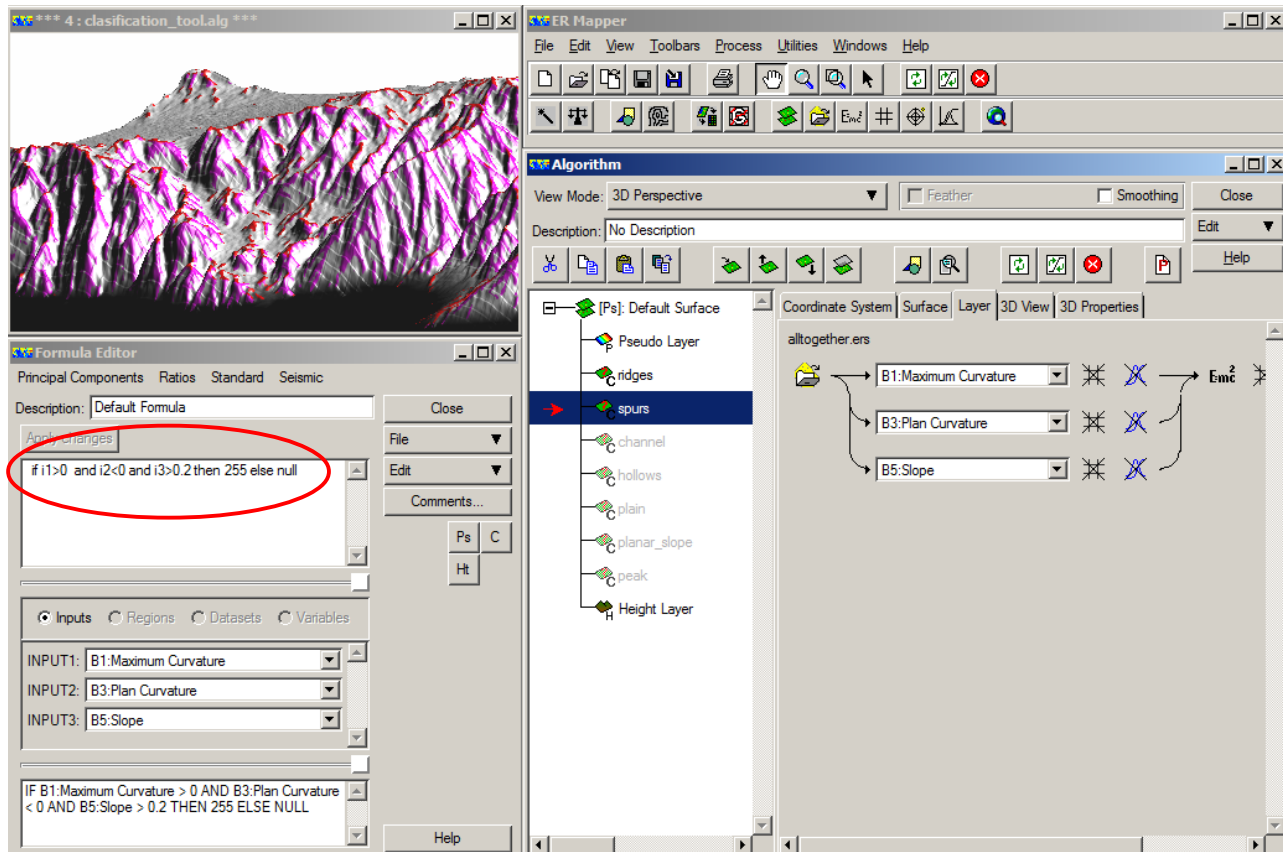
1ος τρόπος *formula- editor*

Όλα τα μορφωμετρικά παράγωγα (slope, plan-curvature, prof-curvature κτλ) φορτώθηκαν σε ένα αλγόριθμο σαν διαφορετικά κανάλια και αποθηκεύτηκαν σε ένα αρχείο ers. Έτσι προέκυψε ένα pseudolayer με 6 κανάλια. Εικόνα 37



Εικόνα 37

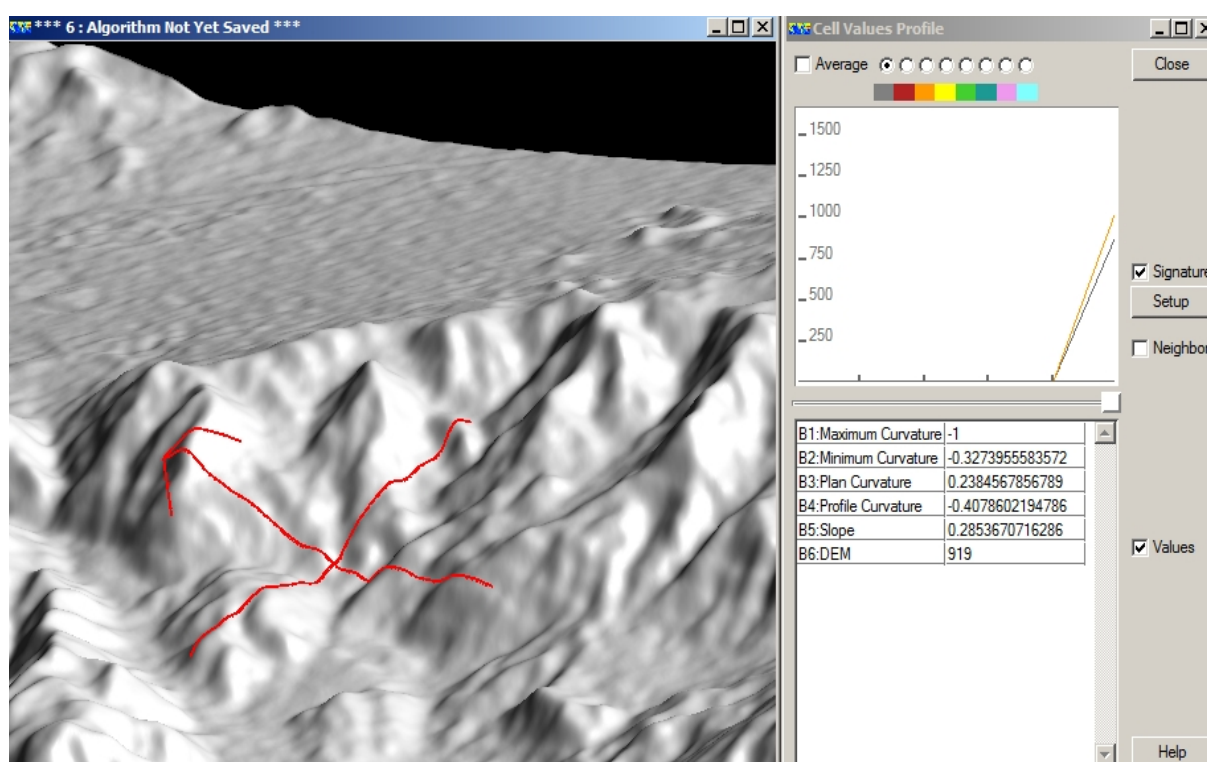
Κατόπιν έγινε duplicate το layer αυτο και δημιουργήθηκαν 9 classification layers, ένα για την κάθε κατηγορία. Ρυθμίζοντας τις παραμέτρους για την κάθε κατηγορία στο **formula-editor** και δοκιμάζοντας διάφορους συνδυασμούς καναλιών σε συνδυασμό με τον έλεγχο σε 3d απεικόνιση βελτιστοποιήθηκαν τα όρια των συναρτήσεων συμμετοχής για το ecognition. Η φόρμουλα που χρησιμοποιείται είναι της μορφής : *if i1>0 or i2>0 then 255 else null*, με i1 και i2 τα κανάλια που χρησιμοποιούνται.



Εικόνα 38: formula editor

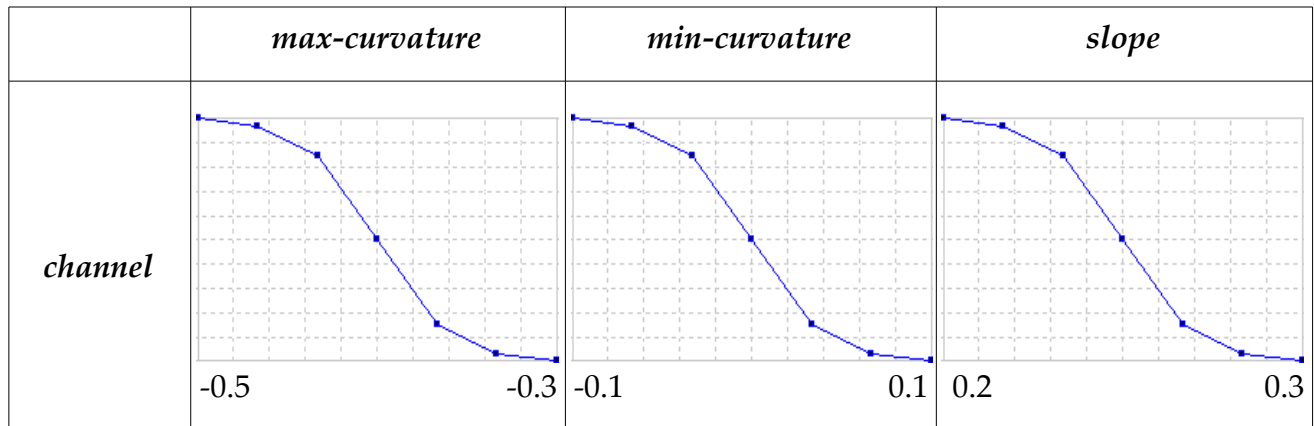
2ος τρόπος *cell values profile*

Στον ίδιο αλγόριθμο που χρησιμοποιήθηκε παραπάνω, χρησιμοποιήθηκε το εργαλείο *cell values profile*. Με αυτόν τον τρόπο δίνεται η δυνατότητα παίρνοντας δείγματα από διάφορα σημεία του ψηφιακού μοντέλου εδάφους να βλέπουμε τις τιμές στα άλλα 6 κανάλια του αλγορίθμου. Με κατάλληλο zoom και παίρνοντας μια πληθώρα σημείων μπορούν να υπολογιστούν με αρκετά καλή ακρίβεια οι τιμές που λαμβάνουν οι κατηγορίες σε κάθε κανάλι.

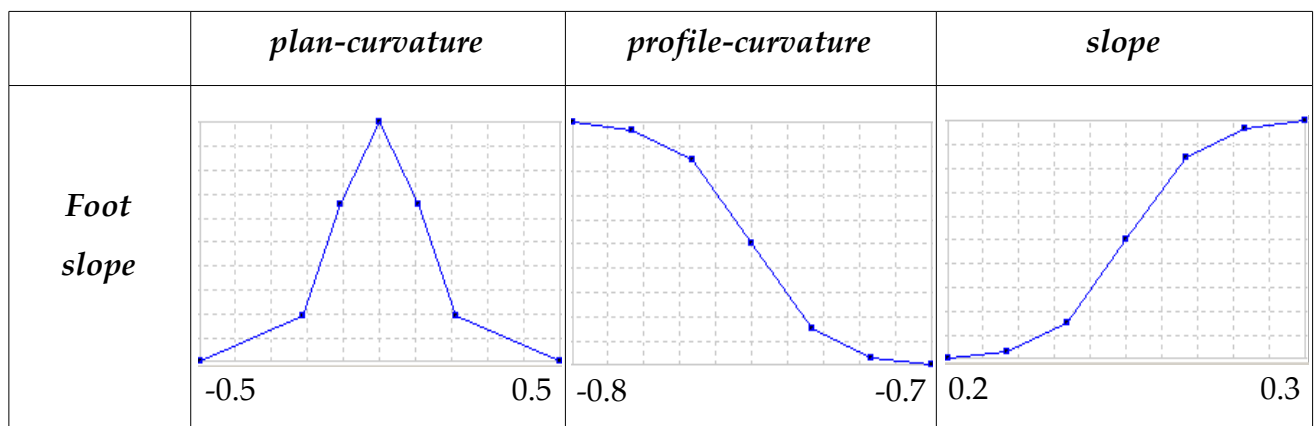


Εικόνα 39: *cell values profile*

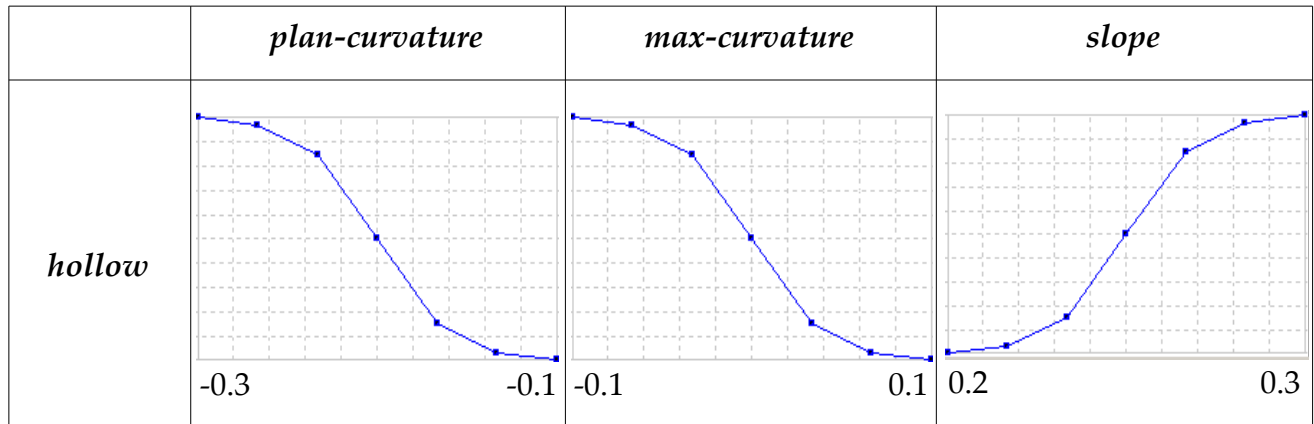
3.6.2.2 ΚΑΝΟΝΕΣ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ ΕΠΙΠΕΔΟΥ 1-ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙΣ ΣΥΜΜΕΤΟΧΗΣ



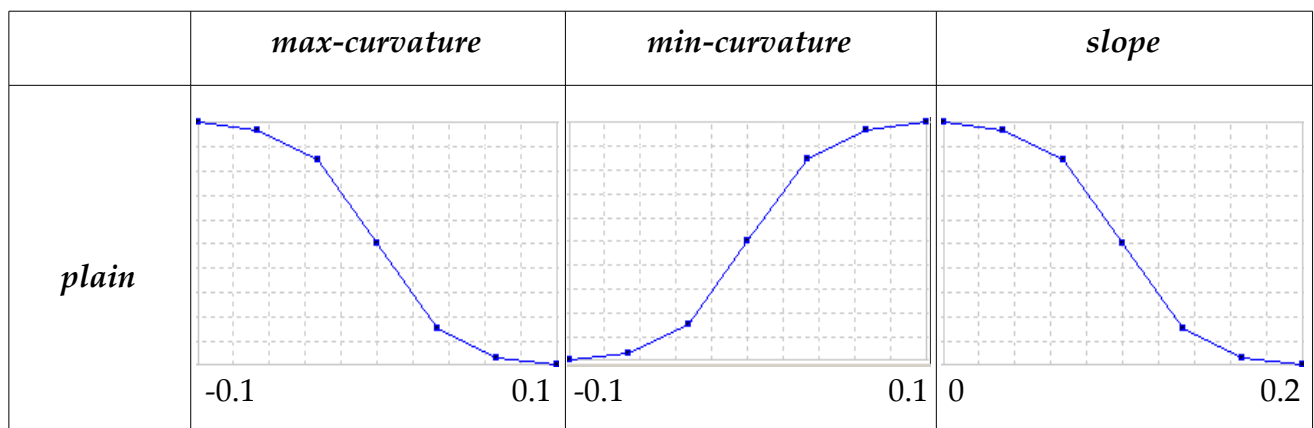
Η συγκεκριμένη κατηγορία παρουσιάζει αρνητικές τιμές στις max και min curvature και μικρές τιμές κλίσης. Τα ακριβή όρια των συναρτήσεων καθορίστηκαν με βάση τα εργαλεία στο er-mapper. Έπειτα δημιουργήθηκαν 2 υποκλάσεις η *channel_correct1* και η *foot_slope add*. Οι έξτρα κανόνες πέρα από αυτούς που κληρονόμησαν, ορίστηκαν για τη κλάση *channel_correct1* το *plan-curvature*<-0.5 και για την κλάση *foot_slope add* ο κανόνας *not channel_correct1*. Αυτό έγινε γιατί παρατηρήθηκε ότι υπήρχε μια ομοιότητα στη γεωμετρία μεταξύ των δύο κατηγοριών με εξαίρεση τον κανόνα του *plan-curvature* ο οποίος τις διαχώριζε. Επομένως οι αταξινομήτες περιοχές οι οποίες παρουσίαζαν γεωμετρία παραπλήσια με την κατηγορία *channel* αλλά είχαν *plan-curvature* θετικό ταξινομήθηκαν σωστά στην κατηγορία *foot_slope add*.



Πέρα από την κατηγορία *foot_slope* add δημιουργήθηκε η κατηγορία *foot_slope1*. Η κατηγορία αυτή χαρακτηρίζεται από πολύ αρνητικό *profile-curvature* και σημαντικό ποσοστό κλίσης. Επίσης για να μην υπάρξει σύγχυση με την κατηγορία *hollow1* επιλέγεται ο κανόνας το *plan-curvature* να παίρνει τιμές κοντά στο 0.

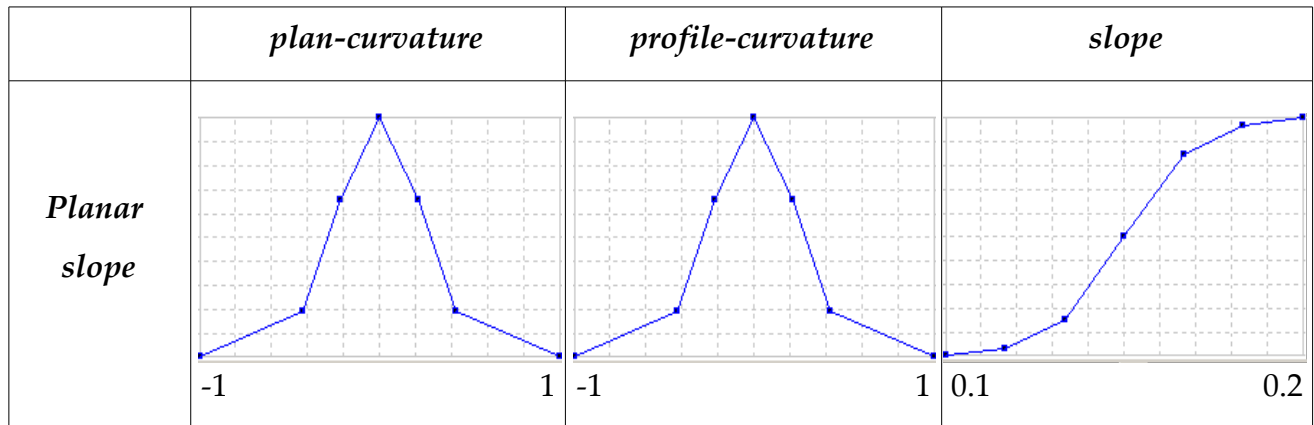


Η κατηγορία *hollow* παρουσιάζει παρόμοια γεωμετρία με την κατηγορία *channel_correct1*. Στην ουσία πρόκειται για υδρογραφικό δίκτυο πάνω στη πλαγιά. Εδώ ο σημαντικός κανόνας που ξεχωρίζει *hollows* και *channels* είναι ο κανόνας της κλίσης που επαληθεύεται για μεγάλες τιμές.

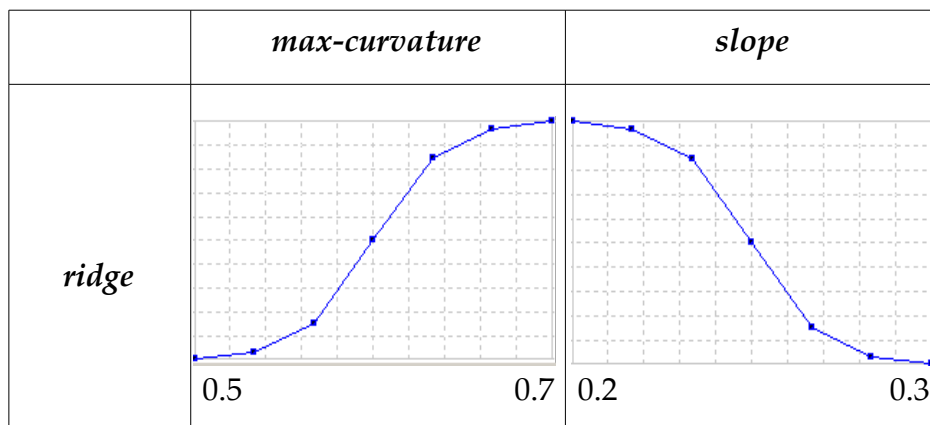


Για να εξαχθεί η κατηγορία *plain* χρησιμοποιήθηκαν οι παράμετροι *max-curvature* και *min-curvature* γιατί λόγω της σχεδόν μηδενικής κλίσης οι άλλες παράμετροι χάνουν το νόημα τους. Πιο συγκεκριμένα επιλέχθηκε η *max-curvature* να παίρνει αρνητικές τιμές και η *min-curvature* θετικές. Ο συνδυασμός αυτός αποκλείει τις κατηγορίες *channel* και

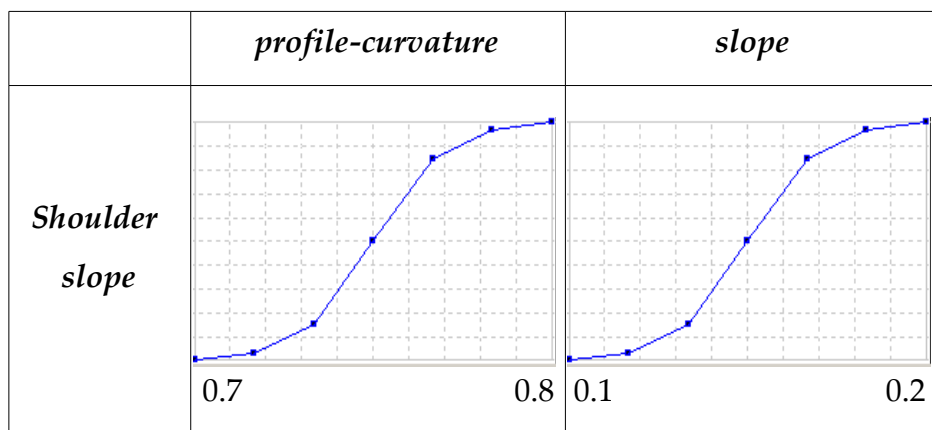
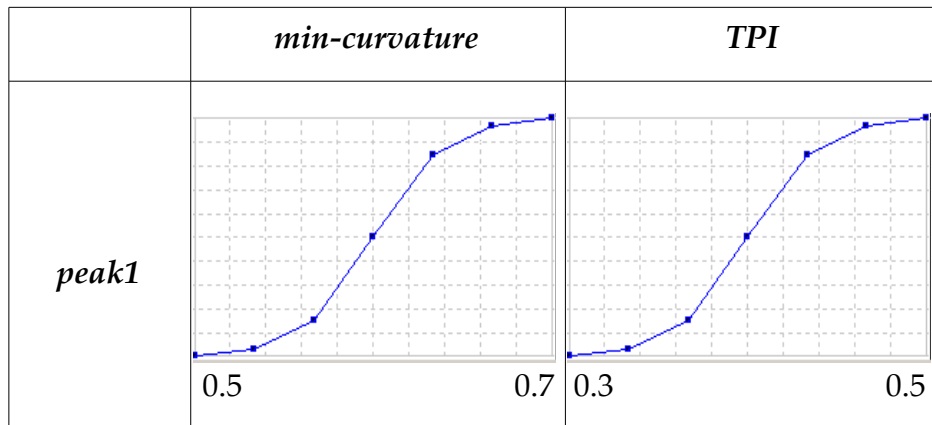
ridge οι οποίες είναι οι μόνες με τις οποίες μπορεί να υπάρξει κάποια σύγχυση λόγω της ήπιας κλίσης τους και επομένως εξάγει με μεγάλη επιτυχία την συγκεκριμένη κατηγορία.



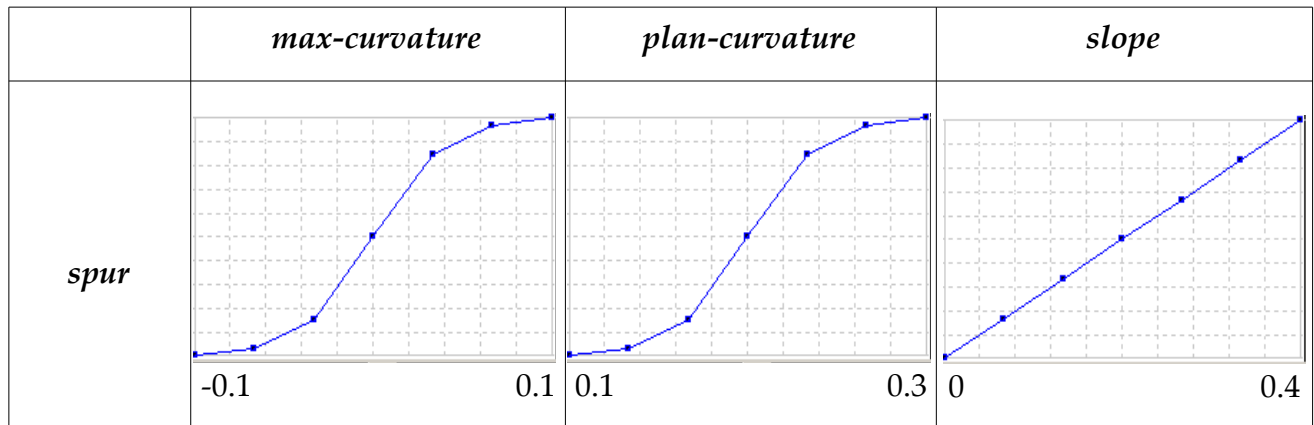
Τα σημαντικά χαρακτηριστικά της κατηγορίας planar slope, τα οποία την διακρίνουν από τις κατηγορίες hollows και spurs είναι ότι δεν παρουσιάζει καμπυλότητα είτε παράλληλα είτε κάθετα στη διεύθυνση κλίσης. Επιπρόσθετα παρουσιάζει τιμές μεγάλης κλίσης.



Η κατηγορία ridge καθορίζεται από μεγάλες τιμές max-curvature και μικρές τιμές κλίσης. Γεωμετρικά μοιάζει με την κατηγορία spur. Ο κανόνας που παίζει καταλυτικό ρόλο για την διάκριση τους είναι ο κανόνας της κλίσης ο οποίος επαληθεύεται για μικρές τιμές. Για να γίνει η διάκριση μεταξύ ridge και peak εισάγονται 2 υποκλάσεις : η peak1 και ridge_correct1. Οι κανόνες που ορίζονται για την peak1 είναι μεγάλες τιμές min-curvature και meantpi_400 αι για την ridge_correct1 ο κανόνας not peak1.

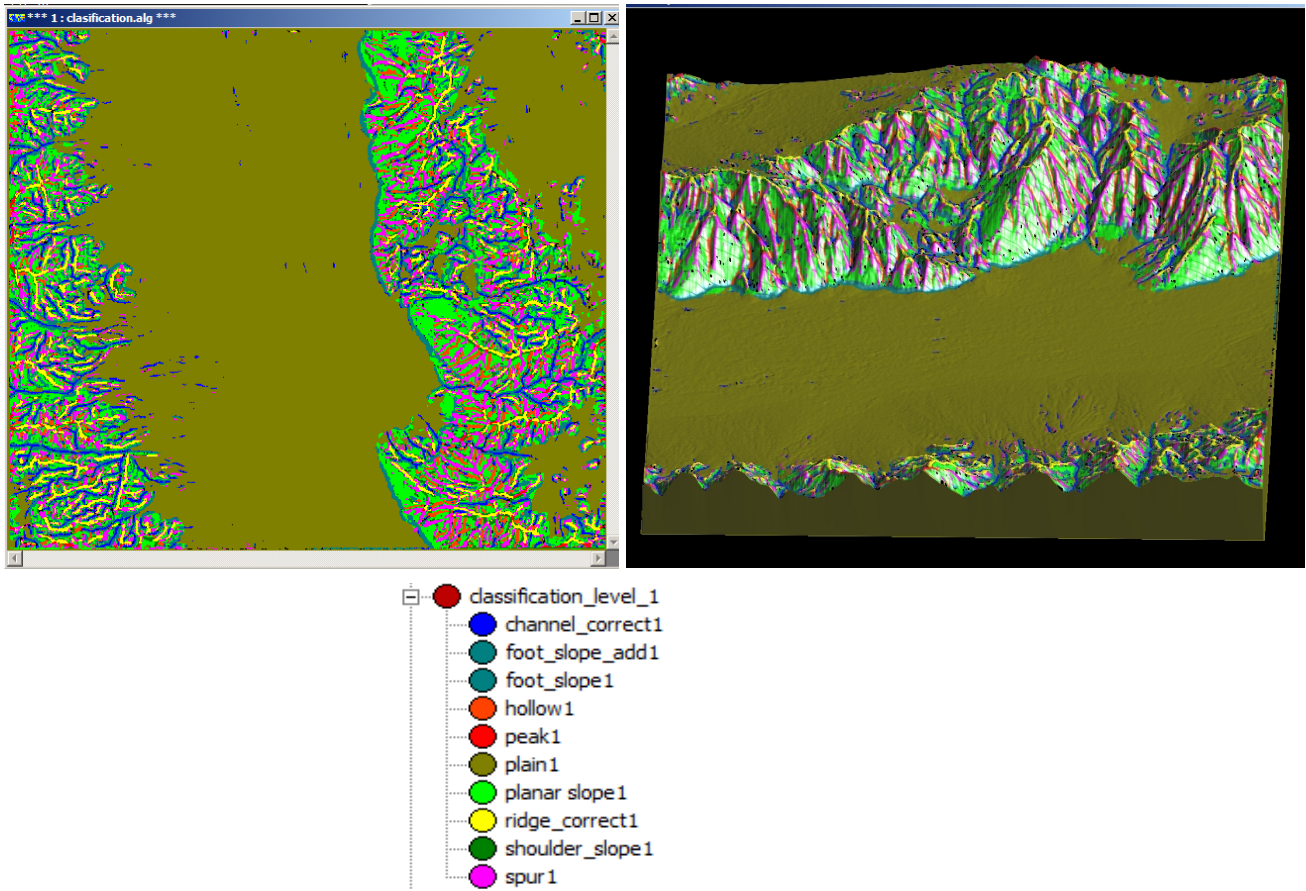


Η κατηγορία shoulder slope έχει μεγάλες τιμές κυρτότητας (profile-curvature) και μεγάλες τιμές κλίσης.



Ο γεωμορφολογικός σχηματισμός spur παρουσιάζει ομοιότητες όσον αφορά τη γεωμετρία με την κατηγορία ridge. Οι κανόνες που διαχωρίζουν τις δύο κατηγορίες είναι το *plan-curvature* που επιλέγεται να παίρνει θετικές τιμές αλλά κυρίως ο κανόνας της κλίσης που επαληθεύεται για μικρές τιμές.

Το αποτέλεσμα της ταξινόμησης παρουσιάζεται παρακάτω :



3.6.3 ΚΑΤΑΤΜΗΣΗ ΚΑΙ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΕΠΙΠΕΔΟ 2

Η ταξινόμηση αυτή βασίζεται στο γεωμορφομετρικό πλαίσιο των αντικειμένων που ταξινομήθηκαν στο επίπεδο 1. Οι κλάσεις που παρήχθησαν είναι οι εξής :

Channel2, Channel_correct2, Foot_slope_add2, Foot_slope2, Hollow2, plain2, Planar_slope2, ridge2, peak2, ridge_correct2, shoulder_slope2, spur2. Οι κανόνες όσον αφορά τη γεωμετρία των κατηγοριών παρέμειναν ίδιοι με το επίπεδο 1.

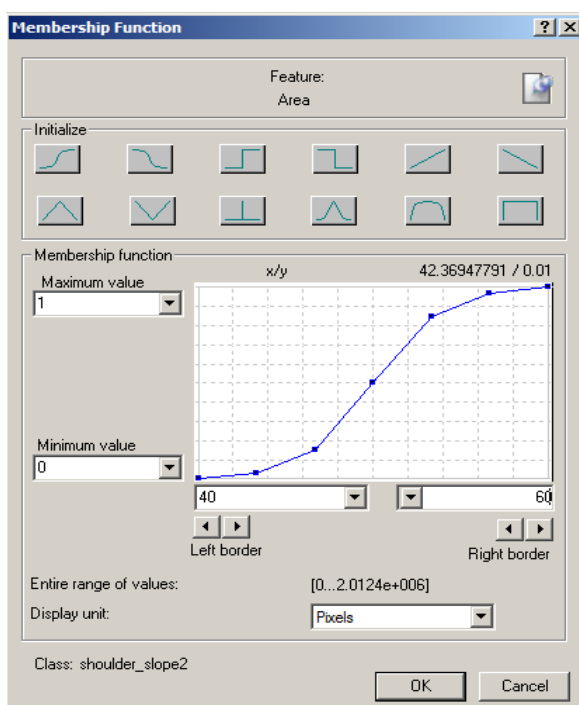
Το συγκεκριμένο επίπεδο στην ουσία συνδυάζει γεωμετρικούς κανόνες αλλά και χωρικές σχέσεις μεταξύ των κλάσεων και των διαφορετικών επιπέδων. Τα κριτήρια της κατάτμησης παρέμειναν ίδια με το επίπεδο 1 : τιμή κλίμακας 1 , compactness 0.7 , shape 0,4 και θεμάτικα επίπεδα με βάρος 1 τα εξής (plan_curvature, prof_curvature, max_curvature, min_curvature, slope).

Εφόσον πραγματοποιήθηκε η κατάτμηση το επόμενο βήμα ήταν να γίνει merging όλων των κλάσεων ώστε να μπορούν να εφαρμοστούν οι κανόνες **relative border to** και **area**. Οι συγκεκριμένοι κανόνες χρησιμοποιήθηκαν αφενός για να διορθωθούν κάποιες κατηγορίες αξιοποιώντας τη γνώση που έχουμε όσον αφορά τη συσχέτιση με τις γειτονικές κατηγορίες και αφετέρου για να μειωθούν σε αισθητό βαθμό μικρά αντικείμενα προερχόμενα από το θόρυβο που συνοδεύει την κάθε ταξινόμηση. Τέλος αξιοποιήθηκε και το επίπεδο 0 το οποίο περιέχει τη ταξινόμηση με βάση το TPI με τον κανόνα **relative area of sub-objects**. Πιο συγκεκριμένα αξιοποιήθηκαν οι κατηγορίες valley, ridge like, lower slope , upper slope και flat area.

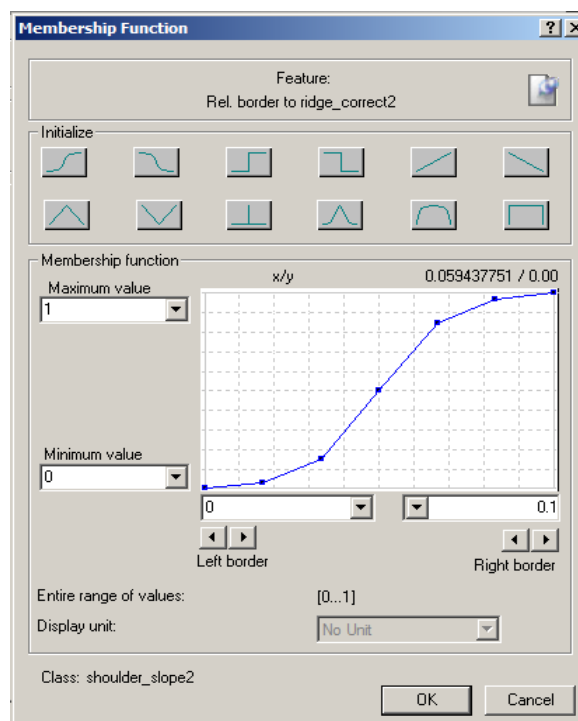
	area	Relative border to	Relative area of sub-objects
Channel2	-	-	Valley or Middle_slope
Channel_correct2	>50 px	-	-
Foot_slope_add2	>50 px	channel_correct2 or planar_slope2	-
Foot_slope2	>50 px	channel_correct2 or planar_slope2	Valley or lower_slope
Hollow2	>50 px	planar_slope2	-
plain2	>80 px	-	flat area or Lower_slope
Planar_slope2	>80 px	-	-
ridge2	-	-	Ridge or Upper_slope
peak2	-	-	-
ridge_correct2	>50 px	-	-
shoulder_slope2	>50 px	ridge_correct2 or spur2	Ridge or Upper_slope
spur2	>50 px	shoulder_slope2 or planar_slope2	-

Πίνακας 2: Κανόνες κατηγοριών επιπέδου 2 (area, relative border to, relative area of subobject)

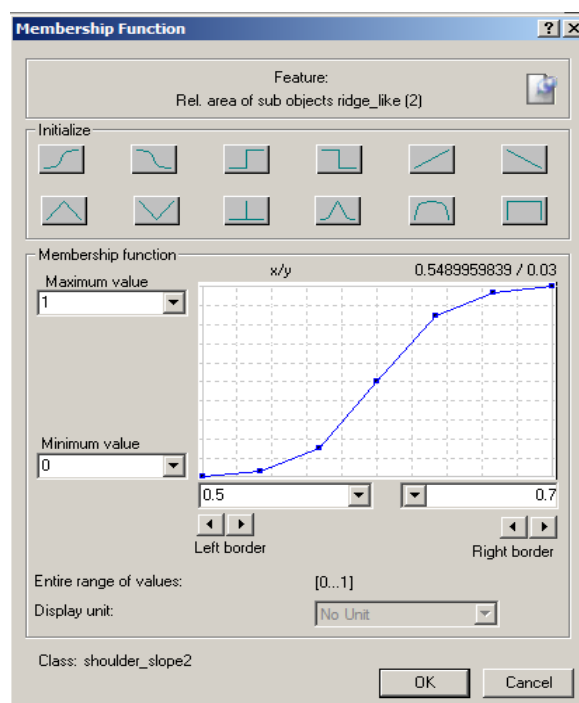
Η συνάρτηση συμμετοχής που χρησιμοποιήθηκε για τους κανόνες **area**, **relative border to**, **relative area of subobjects** είναι η η σιγμοειδής. Το κατώφλι για τον κανόνα **area** στις κατηγορίες **planar_slope2** και **plain2** τέθηκε ίσο με 80 Pixels, και στις υπόλοιπες κατηγορίες ίσο με 50 pixels. Για τον κανόνα **relative border to** τέθηκε ίσο με 0.05 και για για τον κανόνα **relative area of sub-objects** ίσο με 0.6. Το όριο των pixels στον κανόνα **area** επιλέχθηκε έπειτα από έλεγχο της ταξινόμησης σε 3d απεικόνιση η οποία κατέδειξε ότι αντικείμενα κάτω από το συγκεκριμένο αριθμό pixels αποτελούν θόρυβο. Για τον κανόνα **relative border to** δόθηκε ένα πολύ μικρό κατώφλι ώστε να εξασφαλιστεί απλά ότι οι δύο κατηγορίες που συμμετέχουν σε αυτό τον κανόνα έχουν κοινό όριο ανεξαρτήτου ποσοστού. Τέλος στον κανόνα **relative area of sub-objects** δόθηκε κατώφλι ίσο με 0.6 ώστε να εξασφαλιστεί ότι η κατηγορία επικαλύπτεται από τα αντίστοιχα **sub-objects** πάνω από ποσοστό 60%. Παρακάτω παρουσιάζονται οι συναρτήσεις συμμετοχής και τα όρια που χρησιμοποιήθηκαν :



Εικόνα 40: Area



Εικόνα 41: Relative border to



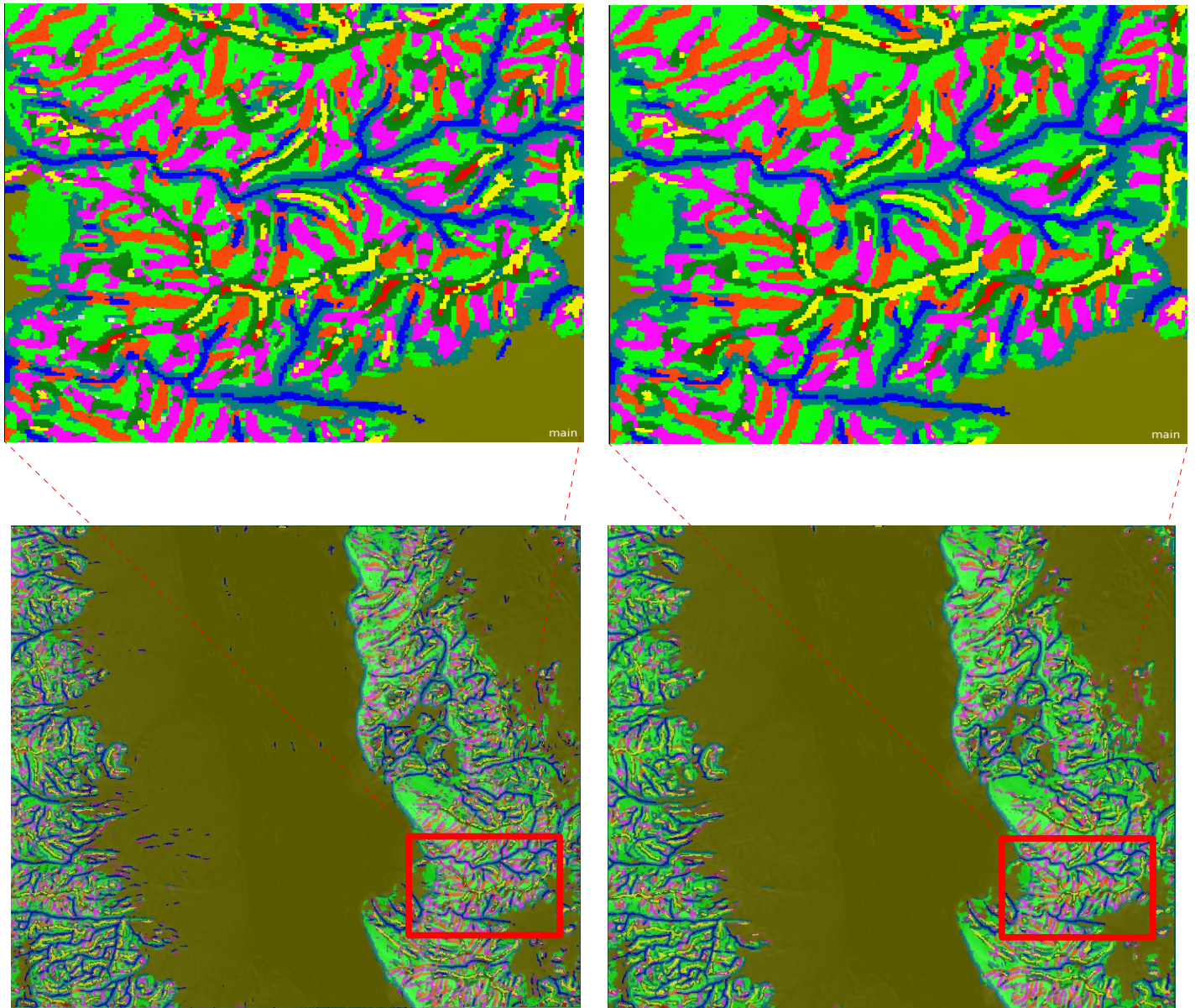
Εικόνα 42: relative area of subobjects

Merging

Για να μπορέσει να λειτουργήσει σωστά ο κανόνας area στην κάθε κατηγορία και να αφαιρεθούν μικρά αντικείμενα ακολουθήθηκε μια διαδικασία επαναλαμβανόμενων ταξινομήσεων και του αλγορίθμου merging. Πιο συγκεκριμένα σε κάθε επανάληψη αυτής της διαδικασίας ο κανόνας area γινόταν ενεργός μόνο για μία κατηγορία από τις 9 ώστε τα μικρά αντικείμενα που πληρούσαν αυτόν τον κανόνα να μπορούν να ταξινομηθούν σε κάποια άλλη κατηγορία. Έπειτα γινόταν merging ώστε αν τυχόν τα αντικείμενα αυτά ταξινομούνταν σωστά στην κατηγορία που τα περιέβαλλε να ενωθούν και να δημιουργήσουν μεγάλα αντικείμενα. Η διαδικασία αυτή έγινε για κάθε μία κατηγορία.

Αξίζει να αναφερθεί εδώ η μεγάλη σημασία της ασαφούς λογικής. Στη ουσία αυτό που επιχειρήθηκε ήταν τα μικρά αντικείμενα που πληρούσαν τον κανόνα area και έμεναν αταξινομήτα στην κάθε μια επανάληψη που επιχειρήθηκε, να ταξινομηθούν στην αμέσως επόμενη “πιθανή” κατηγορία. Το γεγονός δηλαδή ότι κάθε αντικείμενο έχει ποσοστό συμμετοχής για την κάθε κατηγορία αποτελεί ένα πολύ χρήσιμο χαρακτηριστικό για την ταξινόμηση.

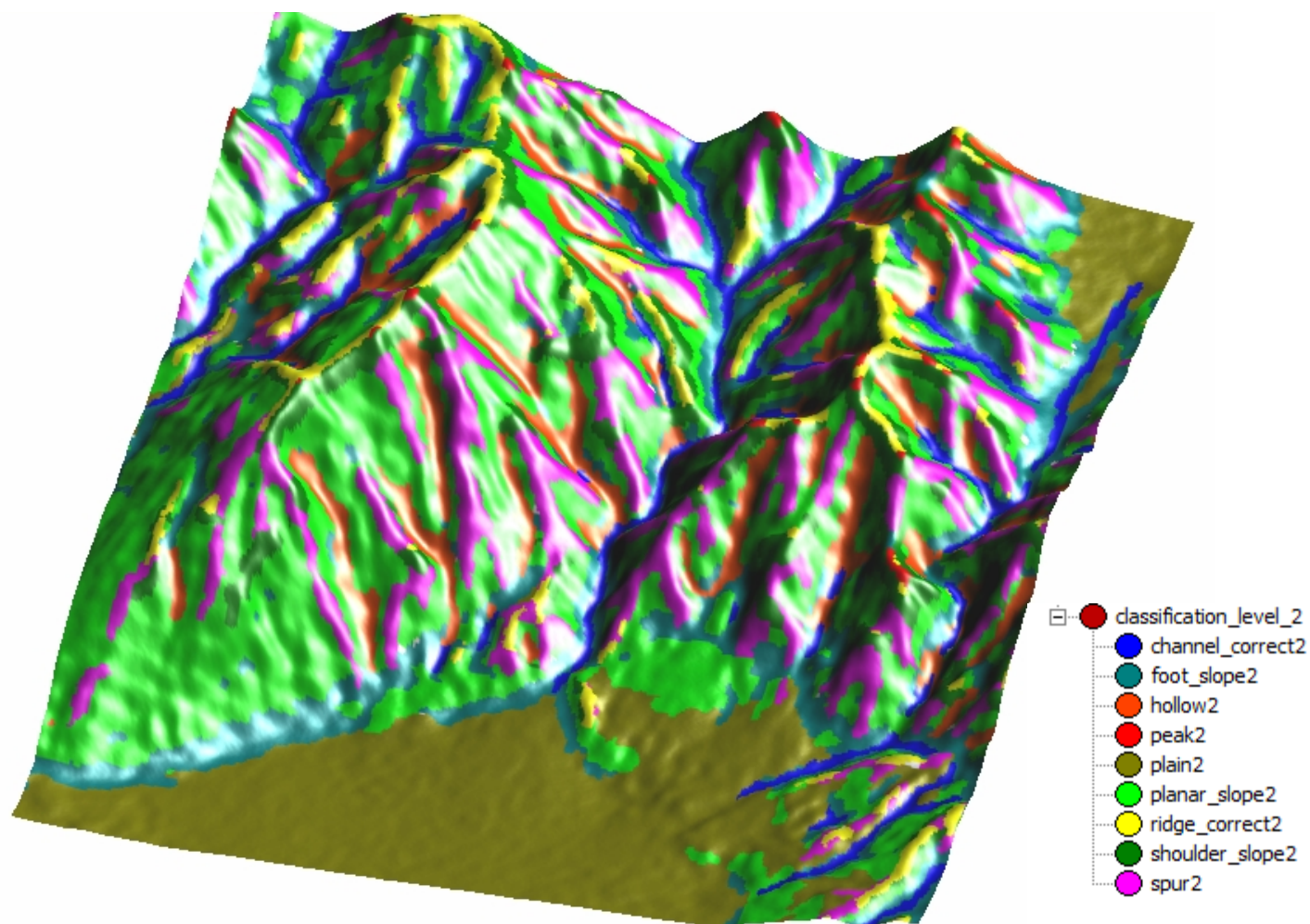
Στην εικόνα Εικόνα 43 φαίνεται το αποτέλεσμα της ταξινόμησης του επιπέδου 2 και στην Εικόνα 45 η επιλεγμένη περιοχή προβάλλεται στο Ψ.Μ.Ε. για 3d έλεγχο.



Εικόνα 44: Ταξινόμηση επίπεδο 1

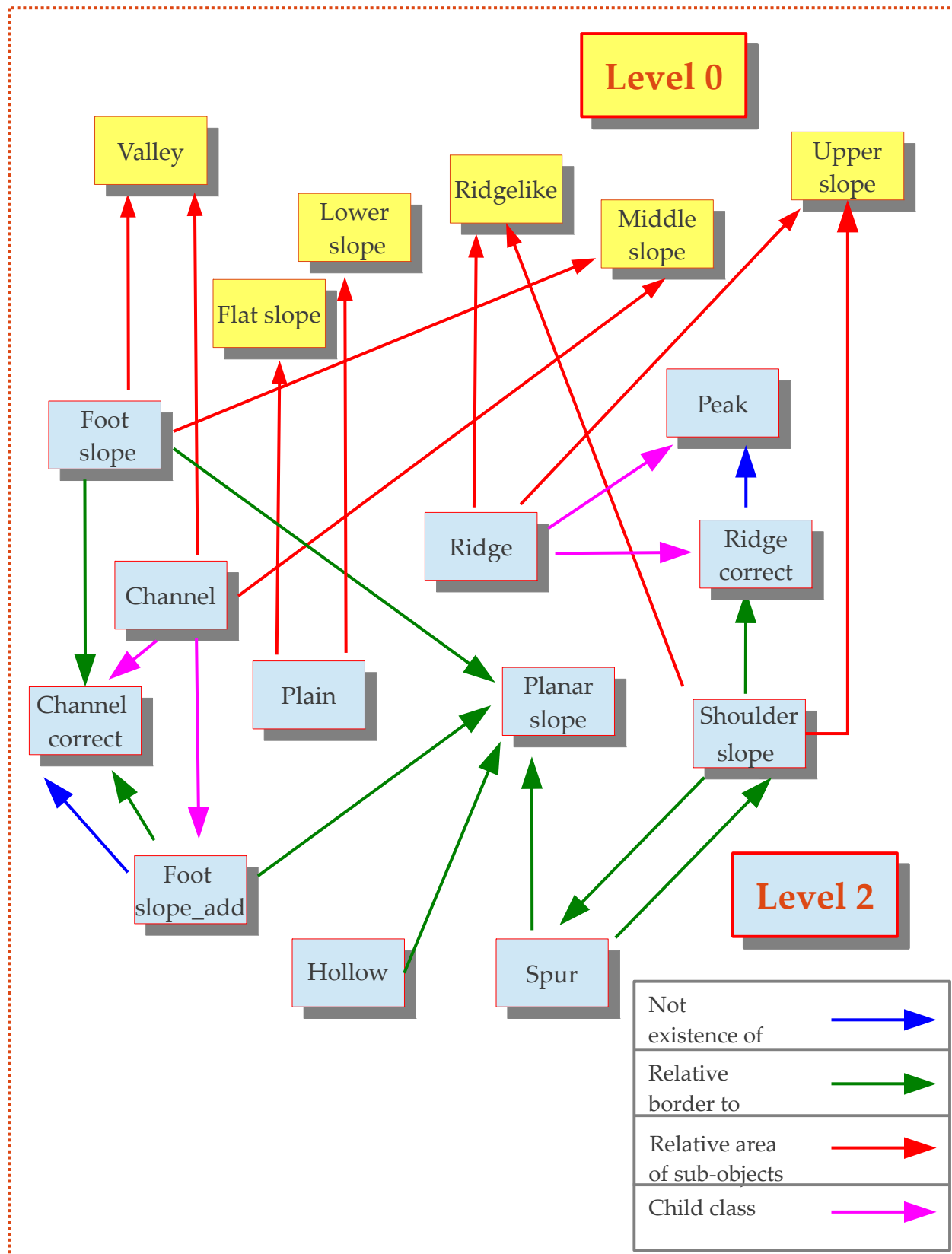
- classification_level_2
- channel_correct2
- foot_slope2
- hollow2
- peak2
- plain2
- planar_slope2
- ridge_correct2
- shoulder_slope2
- spur2

Εικόνα 43: Ταξινόμηση επίπεδο 2



Εικόνα 45: Ταξινόμηση επίπεδο 2- μεγάλο zoom για να φανεί η ποιότητα της ταξινόμησης

Στις εικόνες (43,44), γίνεται μια σύγκριση των ταξινομήσεων στα επίπεδα 1 και 2. Όπως φαίνεται ξεκάθαρα, η χρήση των υποαντικειμένων του επιπέδου 0 βοήθησε να αφαιρεθούν μικρά αντικείμενα, λάθος ταξινομημένα. Για παράδειγμα, η ύπαρξη αντικειμένων της κατηγορίας channel μέσα στη πεδιάδα τα οποία αντικαταστήθηκαν με τη κατηγορία plain. Επιπλέον, ο κανόνας area λειτούργησε σαν ένα φίλτρο ομαλοποίησης θορύβου (majority filter), με την διαφορά όμως ότι η ομαλοποίηση αυτή έγινε αξιοποιώντας όλα τα χαρακτηριστικά των γεωμορφών, και τους κανόνες που τα περιγράφουν, και όχι απλά το μέσο όρο των γειτονικών pixels.



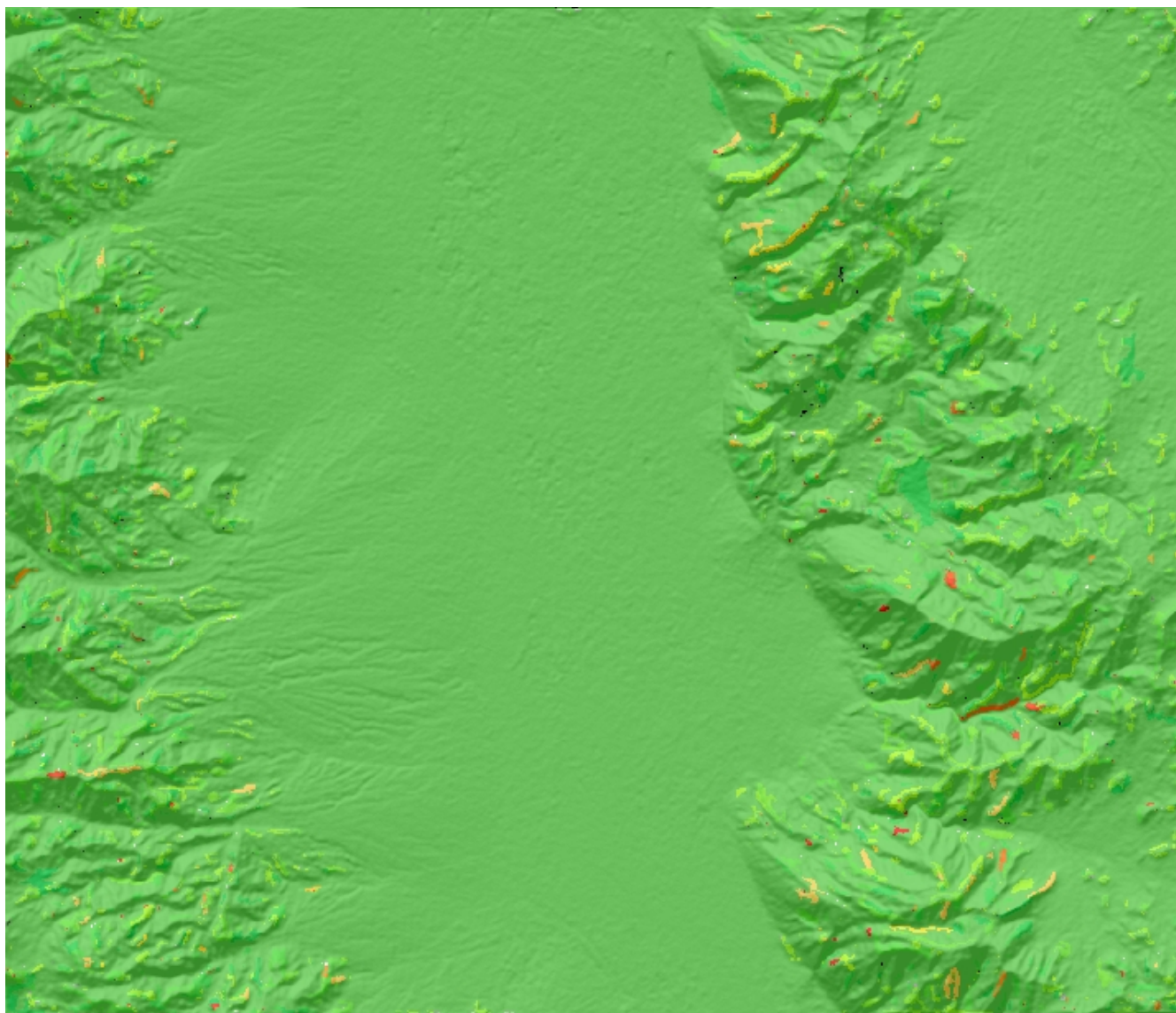
4 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ

4.1 ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΕΛΙΚΟΥ ΧΑΡΤΗ

Δεδομένης της ασαφούς λογικής που χρησιμοποιείται για τον ορισμό των κλάσεων της συγκεκριμένης μελέτης, κρίνεται σκόπιμο να ελεγχθεί ο βαθμός ασάφειας που διέπει την ταξινόμηση. Στη ουσία γίνεται μία προσπάθεια ποσοτικοποίησης αυτής της ασάφειας ώστε να ελεγχθεί η ευστάθεια της ταξινόμησης όπως επίσης και η συσχέτιση - σύγχυση μεταξύ των κατηγοριών. Το eCognition παρέχει κάποια πολύ χρήσιμα εργαλεία τα οποία δίνουν στατιστικά και γραφικά αποτελέσματα, που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον έλεγχο της ποιότητας των αποτελεσμάτων της ταξινόμησης.

4.1.1 ΣΤΑΘΕΡΟΤΗΤΑ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ (CLASSIFICATION STABILITY)

Το λογισμικό eCognition παρέχει ένα εργαλείο ελέγχου ευστάθειας της ταξινόμησης, με το οποίο συγκρίνονται ο πρώτος και ο δεύτερος μεγαλύτερος βαθμός συμμετοχής των αντικειμένων στις κατηγορίες που το διεκδικούν. Με αυτό τον τρόπο, ελέγχεται η διαφορά ανάμεσα στις επικρατέστερες κατηγορίες και έτσι αναδεικνύεται η σύγχυση ανάμεσα στις κλάσεις. Η σύγκριση μεταξύ των δύο μεγαλύτερων βαθμών συμμετοχής επιτρέπει στο χρήστη να διακρίνει με πόση βεβαιότητα ταξινομήθηκε ένα αντικείμενο στην πρώτη τάξη, σύμφωνα πάντα με τους κανόνες που ορίστηκαν οι κατηγορίες, και αν διεκδικείται ταυτόχρονα από μία δεύτερη τάξη. Έτσι, μία μεγάλη διαφορά των δύο βαθμών συμμετοχής καταδεικνύει αφενός καλά ορισμένους κανόνες και αφετέρου μικρή σύγχυση μεταξύ των κατηγοριών. Το αποτέλεσμα της αξιολόγησης παρουσιάζεται και με γραφική απεικόνιση και με στατιστικό πίνακα. Η γραφική αναπαράσταση των αποτελεσμάτων της αξιολόγησης γίνεται με μία χρωματική κλίμακα, όπου με πράσινο χρώμα απεικονίζονται τα μη "αμφιλεγόμενα" αντικείμενα, και με κόκκινο χρώμα τα απόλυτα "αμφιλεγόμενα" αντικείμενα. Τέλος, στο στατιστικό πίνακα φαίνονται 4 στατιστικοί δείκτες (ελάχιστο, μέγιστο, μέση τιμή και τυπική απόκλιση), οι οποίοι αναφέρονται στη διαφορά των δύο μεγαλύτερων βαθμών συμμετοχής.



Εικόνα 46: *classification stability* Στη παραπάνω γραφική αναπαράσταση τα σημεία που σημαίνονται με κόκκινο η κίτρινο είναι σε πολύ μικρό ποσοστό της εικόνας.

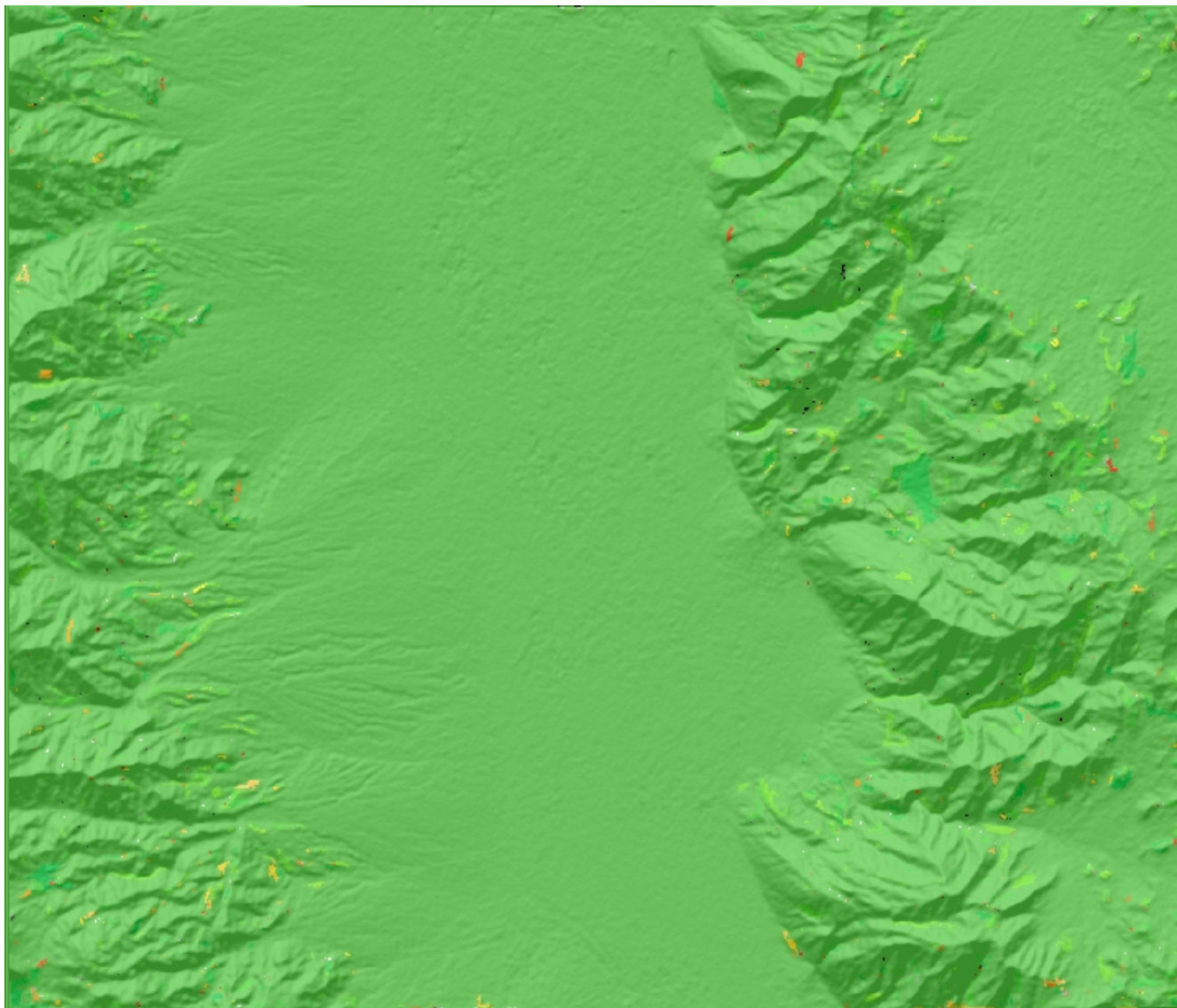
Class	Objects	Mean	StdDev	Minimum	Maximum
planar_slope2	1485	0.5940023225	0.2779194335	0.0013900846	0.9952744842
channel_correct2	277	0.9046234833	0.2167035709	0	1
foot_slope2	1449	0.7545160402	0.3326426663	0.0001056194	1
hollow2	260	0.6813939082	0.2444318409	0.0095048249	1
plain2	389	0.4395927611	0.2747448007	0.0013525933	1
peak2	185	0.4916464363	0.320137792	0	1
ridge_correct2	849	0.5759666326	0.2783846192	0	1
shoulder_slope2	861	0.5731915837	0.3201094134	0	1
spur2	1002	0.3385105202	0.1725709117	0.0075178742	1

Πίνακας 3 :δείκτες classification stability

Στον (Πίνακας 3) παρατηρούνται ικανοποιητικές διαφορές ανάμεσα στο πρώτο και το δεύτερο βαθμό συμμετοχής. Στη κατηγορία spur2 η διαφορά αυτή είναι σχετικά μικρή αλλά αυτό πιθανώς να οφείλεται στο μεγάλο διάστημα ασάφειας που είχαν κάποιοι κανόνες, γεγονός το οποίο όμως ήταν απαραίτητο στη συγκεκριμένη ταξινόμηση

4.1.2 ΒΕΛΤΙΣΤΟ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ (BEST CLASSIFICATION RESULT)

Ένα ακόμα εργαλείο αξιολόγησης που παρέχει το λογισμικό eCognition, είναι το βέλτιστο αποτέλεσμα της ταξινόμησης (“Best Classification Result”). Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως η ταξινόμηση των γεωμορφών έγινε με κανόνες ασαφούς λογικής επομένως πρέπει να βρεθεί ένας τρόπος εκτίμησης-ποσοτικοποίησης αυτής της ασάφειας ώστε να μπορεί να βγει ένα συμπέρασμα για τα αποτελέσματα που προέκυψαν. Ένα χρήσιμο μέτρο αξιολόγησης των αποτελεσμάτων είναι η διερεύνηση του κατά πόσο υψηλές είναι οι τιμές των βαθμών συμμετοχής βάσει των οποίων διαμορφώθηκε η τελική ταξινόμηση των αντικειμένων. Το εξαγόμενο αποτέλεσμα της εν λόγω αξιολόγησης είναι και γραφικό και αριθμητικό. Το αριθμητικό εξαγόμενο της απεικόνισης είναι ένας πίνακας με τιμές που προέκυψαν από στατιστικές συναρτήσεις για τους μέγιστους βαθμούς συμμετοχής με τους οποίους ταξινομήθηκαν τα αντικείμενα στην εκάστοτε τάξη. Στον πίνακα αυτό, παρουσιάζονται ο αριθμός των αντικειμένων που ανήκουν στην κάθε κλάση και τέσσερα στατιστικά στοιχεία (ελάχιστο, μέγιστο, μέση τιμή και τυπική απόκλιση), τα οποία αναφέρονται στους βαθμούς συμμετοχής. Το γραφικό αποτέλεσμα της αξιολόγησης (“Best Classification Result”) είναι μια εικόνα, η οποία σημαίνεται με πράσινο χρώμα όταν οι κλάσεις ταξινομούνται με μεγάλους βαθμούς συμμετοχής.



Εικόνα 47: best classification result επίσης στη συγκεκριμένη εικόνα παρατηρούνται ελάχιστα σημεία που σημαίνονται με κόκκινο η κίτρινο χρώμα

Class	Objects	Mean	StdDev	Minimum	Maximum
planar_slope2	1485	0.6086680223	0.2658124658	0.1000746191	0.9952744842
channel_correct2	277	0.9562685119	0.1156297672	0.1698832363	1
foot_slope2	1449	0.7576816156	0.327072847	0.1072615832	1
hollow2	260	0.9126388094	0.1789561337	0.1383490413	1
plain2	389	0.4498839361	0.262336601	0.1019951925	1
peak2	185	0.8494288275	0.1731777539	0.2249513269	1
ridge_correct2	849	0.922864003	0.1397067693	0.1326463819	1
shoulder_slope2	861	0.8673368608	0.236747299	0.104908064	1
spur2	1002	0.4775893191	0.2544308937	0.1002415642	1

Πίνακας 4 : Best classification result

Οι βαθμοί συμμετοχής είναι αρκετά ικανοποιητικοί με μόνη εξαίρεση τις κατηγορίες spur2 και plain2 (Πίνακας 4). Επίσης όπως και προηγουμένως τα μεγάλα διαστήματα ασάφειας πιθανώς να οφείλονται για αυτά τα ποσοστά.

4.1.3 ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΠΟΛΥΓΩΝΩΝ (TTA MASK)

Με τη μέθοδο αυτή η ταξινόμηση συγκρίνεται με σημεία ελέγχου (δείγματα) τα οποία επιλέγονται από τον χρήστη σε τυχαία σημεία του μοντέλου και χρησιμοποιούνται ως σημεία αναφοράς για την αξιολόγηση της ποιότητας της ταξινόμησης. Στην παρούσα διπλωματική, η μέθοδος αυτή χρησιμοποιήθηκε για την αξιολόγηση της ταξινόμησης του επιπέδου 2. Το πρώτο στάδιο της αξιολόγησης αυτής είναι η επιλογή σωστών δειγμάτων επιλεγμένων με μεγάλη ακρίβεια ώστε η αξιολόγηση να μη περιλαμβάνει το σφάλμα παρατήρησης του χρήστη. Για να επιτευχθεί μεγάλη ακρίβεια στα δείγματα εισήχθησαν 2 νέα θεματικά επίπεδα φωτοσκιασμένου ψηφιακού μοντέλου εδάφους ώστε να είναι ευδιάκριτες όλες οι κατηγορίες. Επίσης στην επιλογή των δειγμάτων βοήθησε αρκετά το εργαλείο edit image layer mixing το οποίο μπορεί να αναδείξει με κατάλληλους συνδυασμούς δυσδιάκριτες γεωμορφές. Στη συνέχεια, με βάση τα δείγματα αυτά δημιουργήθηκε η μάσκα επίγειου ελέγχου (TTA Mask) για τις κλάσεις του επιπέδου 2. Τέλος δίνεται η δυνατότητα μέσω του εργαλείου “Error Matrix Based on TTA Mask”, το οποίο παρέχεται από το λογισμικό, να εξαχθεί ένας στατιστικός πίνακας που περιέχει διάφορους δείκτες για την αξιολόγηση της ποιότητας της ταξινόμησης για την κάθε κλάση και την συσχέτιση μεταξύ των κατηγοριών.

User \ Reference Class	planar_slope2	channel_correct2	foot_slope2	hollow2	plain2	peak2	ridge_correct2	shoulder_slope2	spur2	Sum
planar_slope2	31	0	7	8	0	0	0	0	4	6 56
channel_correct2	0	35	0	0	0	0	0	0	0	0 35
foot_slope2	0	12	36	12	0	0	0	0	0	0 72
hollow2	2	0	0	20	0	0	0	0	0	0 22
plain2	0	0	0	0	40	0	0	0	0	0 40
peak2	0	0	0	0	0	14	0	0	0	0 14
ridge_correct2	0	0	0	0	0	6	40	8	6	6 60
shoulder_slope2	0	0	0	0	0	0	8	22	0	0 30
spur2	0	0	0	0	0	0	0	0	38	38
unclassified	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0 0
Sum	33	47	43	40	40	20	48	34	50	
Producer	0.9393939394	0.7446808511	0.8372093023	0.5	1	0.7	0.6666666667	0.6470588235	0.76	
User	0.5535714286	1	0.5	0.9090909091	1	1	0.6666666667	0.7333333333	1	
Hellden	0.6966292135	0.8536585366	0.6260869565	0.6451612903	1	0.8235294118	0.6666666667	0.6875	0.8636363636	
Short	0.5344827586	0.7446808511	0.4556962025	0.4761904762	1	0.7	0.5	0.5238095238	0.76	
KIA Per Class	0.928480951	0.7177646757	0.7974773354	0.468115942	1	0.688101983	0.6015200869	0.6156397277	0.7322796353	
Overall Accuracy	0.7520435967									
KIA	0.7189277899									

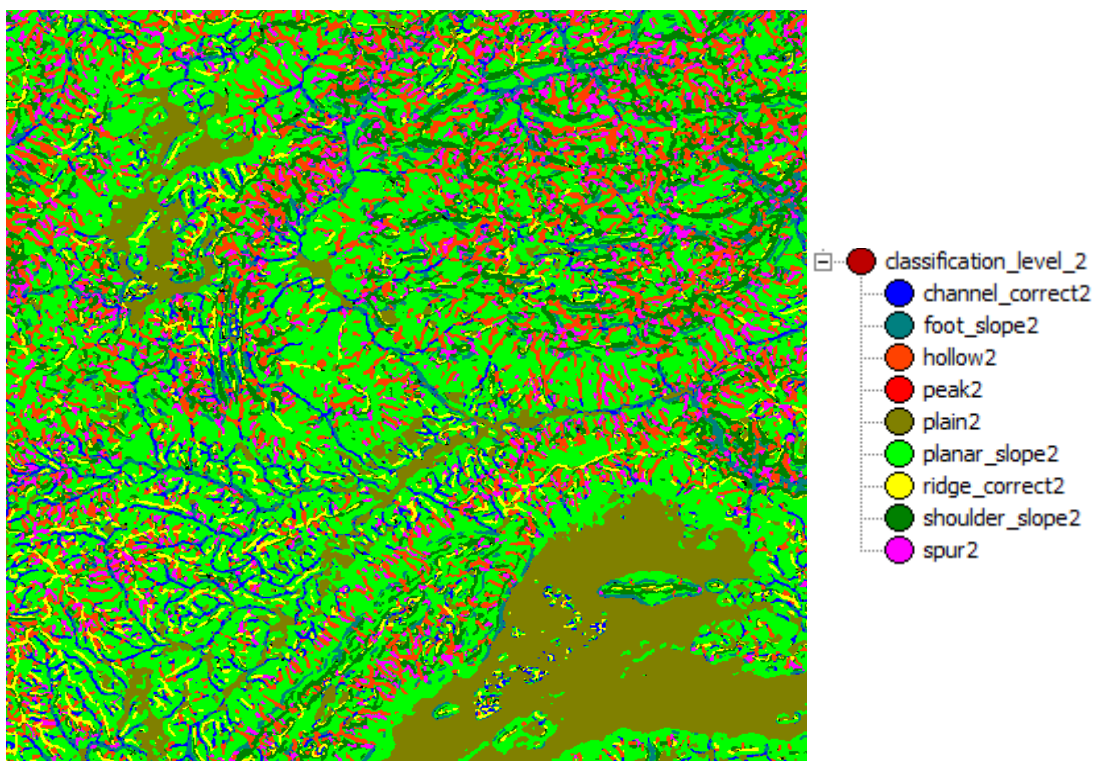
Πίνακας 5: TTA mask

Όπως φαίνεται από τον πίνακα(5) δεν υπάρχει σημαντική συσχέτιση μεταξύ των κατηγοριών με μόνη εξαίρεση την κατηγορία foot_slope2 η οποία παρουσιάζει μία σύγχυση με τις κατηγορίες channel_correct2 και hollow2. Η κατηγορία foot_slope_add2 όμως χρειάστηκε να εισαχθεί σαν υποκατηγορία της channel οπότε παρουσιάζει παρόμοια γεωμετρία με τις δύο κατηγορίες και πιθανώς σε αυτό οφείλεται η συσχέτιση. Η συνολική ακρίβεια ανέρχεται σε ποσοστό 75%. (Πίνακας 5)

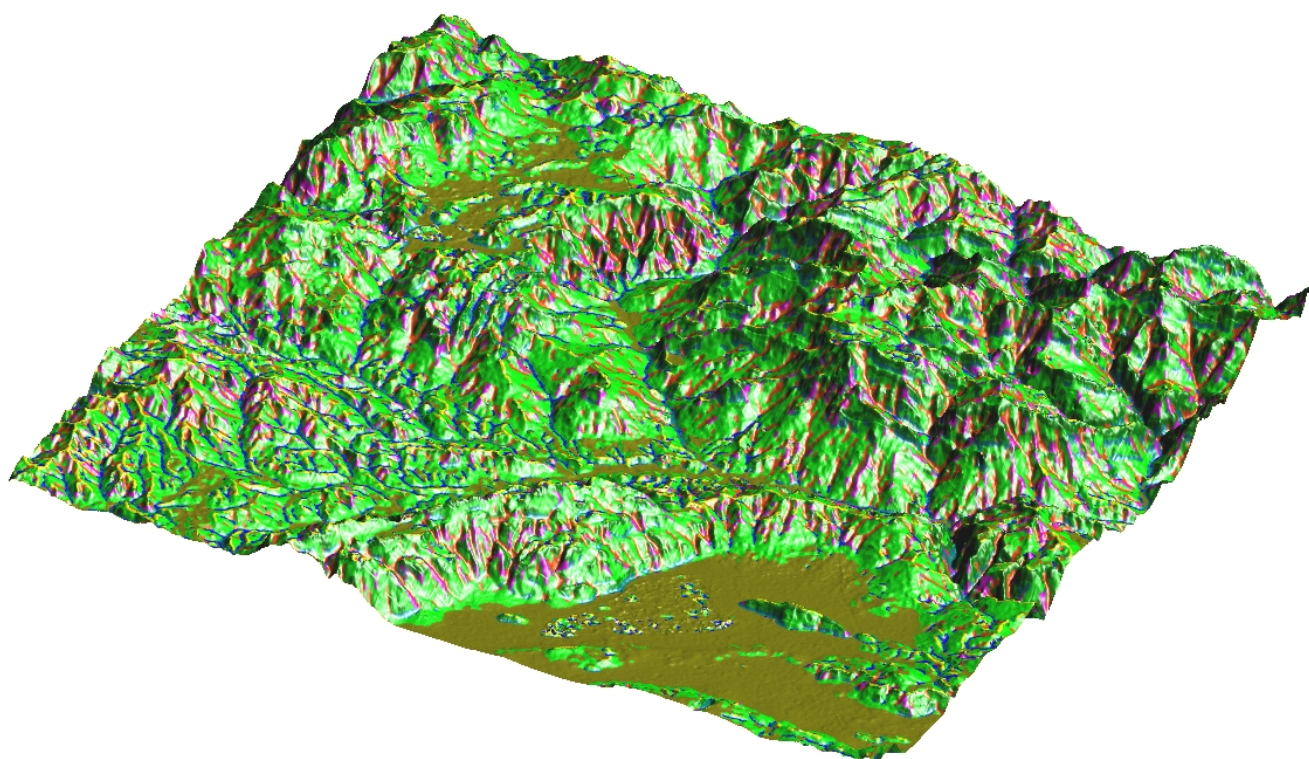
4.2 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΒΑΣΗΣ ΓΝΩΣΗΣ ΣΕ ΑΛΛΗ ΠΕΡΙΟΧΗ

Η αξιοπιστία μιας μεθόδου εκφράζεται με την επαναληψιμότητα (repeatability) των αποτελεσμάτων και πρέπει να είναι ανεξάρτητη από τα δεδομένα εισόδου. Έτσι αποφασίστηκε να γίνει η εφαρμογή της συγκεκριμένης μελέτης σε μία περιοχή διαφορετικού αναγλύφου για να εξακριβωθεί πόσο συνεπής (consistent) είναι η συγκεκριμένη μελέτη. Επομένως ο λόγος που επιλέχθηκε διαφορετική περιοχή δεν ήταν να ελεγχθεί η ακρίβεια όπως στις μεθόδους best classification result, classification stability κτλ, αλλά να αποδειχτεί ότι η μεθοδολογία λειτουργεί σωστά και παράγει παρόμοιο αποτέλεσμα με την αρχική ταξινόμηση. Έτσι εισήχθη σαν ένα επιπλέον στάδιο της αξιολόγησης παράλληλα με τις μεθόδους που αναφέρθηκαν παραπάνω.

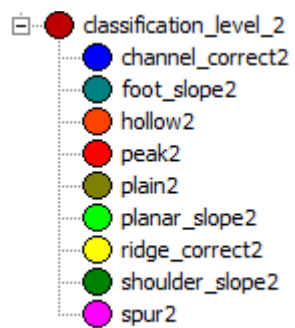
Το ψηφιακό μοντέλο που επιλέχθηκε είναι της περιοχής του Μετσόβου με διάσταση φατνίου 25 μέτρων. Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε παρέμεινε η ίδια. Το μόνο στάδιο που χρειάστηκε να τροποποιηθεί λόγω των εμφανώς μικρότερων γεωμορφών σε σχέση με το death valley ήταν η ακτίνα του TPI. Στη συγκεκριμένη περιοχή η μέση απόσταση κορυφογραμμής- ρέμματος είναι 400 μέτρα επομένως παράχθηκε TPI ακτίνας 200 μέτρων. Το αποτέλεσμα της ταξινόμησης προβλήθηκε πάνω στο τρισδιάστατο μοντέλο της περιοχής μέσω του λογισμικού er-mapper ώστε να ελεγχθεί η ακρίβεια της μεθόδου. Ο έλεγχος κατέδειξε ότι η ακρίβεια με την οποία εξήχθησαν οι γεωμορφές είναι παρόμοια με την ακρίβεια εξαγωγής των γεωμορφών στο death-valley.



Εικόνα 48: Ταξινόμηση γεωμορφών στη περιοχή Μέτσοβο



Εικόνα 49: 3d-απεικόνιση ταξινόμησης



5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ

5.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η μέθοδος ταξινόμησης που εφαρμόστηκε παρήγαγε κλάσεις γεωμορφών που περιγράφουν μια επιφάνεια, συνδυάζοντας τα γεωμετρικά τους χαρακτηριστικά με το ευρύτερο γεωμορφομετρικό πλαίσιο που εντάσσονται. Για να γίνει αυτό απαραίτητα εργαλεία ήταν η μεθοδολογία της αντικειμενοστρεφούς ανάλυσης αλλά και το λογισμικό eCognition με τα οποία προσφέρεται η δυνατότητα στο χρήστη να συνδυάσει χαρακτηριστικά όπως (ιεραρχία τάξεων και επιπέδων, ασαφής λογική, γεωμετρικά και χωρικά κριτήρια αντικειμένων) κάνοντας την ταξινόμηση πιο ευέλικτη και διευκολύνοντας σε μεγάλο βαθμό τη δημιουργία πολύπλοκων εννοιολογικών περιγραφών για τις θεματικές κατηγορίες.

Ένα σημαντικό συμπέρασμα που προκύπτει είναι η σχέση της διακριτικής ικανότητας του ψηφιακού μοντέλου που χρησιμοποιείται με το μέγεθος των αντικειμένων προς εξαγωγή και την κλίμακα του τελικού χάρτη. Με άλλα λόγια η λεπτομέρεια που θα έχει μια ταξινόμηση εδαφών δεν είναι πάντα επιθυμητό να είναι η μέγιστη δυνατή αλλά συνδέεται με το υπό μελέτη φαινόμενο το οποίο στη παρούσα μελέτη ήταν η εξαγωγή των βασικών γεωμορφών (κύριο υδρογραφικό δίκτυο κτλ) δεδομένου ότι η περιοχή μελέτης ήταν περίπου 1000 km². Το ψηφιακό μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε ήταν υψηλής ανάλυσης με αποτέλεσμα να υπάρχει δυσκολία στην αυτόματη εξαγωγή των κατηγοριών. Καταλυτικό ρόλο ώστε να εξαλειφθεί αυτή η υπερβολική λεπτομέρεια έπαιξε η χρήση του TPI μεγάλης ακτίνας (400μ.). Με αυτό τον τρόπο ένα αντικείμενο για να αποδοθεί σε μια κατηγορία, πρέπει να συνδυάζει γεωμετρικά χαρακτηριστικά με τον αντίστοιχο δείκτη τοπογραφικής θέσης. Για παράδειγμα ένα αντικείμενο που είχε γεωμετρία κορυφής αλλά δεν ήταν ψηλότερα από τα μέσο όρο των γειτονικών του σημείων στη δεδομένη ακτίνα, ταξινομήθηκε στην επόμενη πιθανή κατηγορία. Επομένως το TPI είναι ένας τρόπος να αποδοθεί η λεπτομέρεια που χρειάζεται στη εκάστοτε μελέτη και να εξαχθούν οι κατηγορίες σύμφωνα με τη κλίμακα του παραγόμενου προϊόντος.

Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό που χρησιμοποιήθηκε είναι η ασαφής λογική. Τα διαστήματα ασάφειας που επιλέχθηκαν ήταν αρκετά μεγάλα (συνήθως 10% του εύρους τιμών των μορφομετρικών παραγώγων) ώστε τα αντικείμενα να έχουν ποσοστά συμμετοχής σε αρκετές κατηγορίες. Το γεγονός αυτό βοήθησε πολύ στο να μην μείνουν αταξινόμητες περιοχές αφού όταν δεν ισχύει κάποιο κριτήριο ο αλγόριθμος ελέγχει την αμέσως επόμενη πιθανή κατηγορία.

Επιπλέον η επιτυχημένη εφαρμογή της μεθοδολογίας στη περιοχή του Μετσόβου, περιοχή με αρκετά διαφορετικό ανάγλυφο με το Death valley, δείχνει ότι η συγκεκριμένη μεθοδολογία αυτόματης εξαγωγής γεωμορφών είναι συνεπής και ανεξάρτητη των ψηφιακών μοντέλων που χρησιμοποιούνται. Σε αυτό συνέβαλε η κανονικοποίηση των μορφομετρικών παραγώγων, με την οποία τα όρια των κανόνων που χρησιμοποιήθηκαν δεν επηρεάζονται από την κλίμακα η το ανάγλυφο της περιοχής.

5.2 ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ

Λαμβάνοντας υπόψη όσα έχουν περιγραφεί στις προηγούμενες παραγράφους και με δεδομένα τα αποτελέσματα της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας, αναφέρονται παρακάτω ορισμένες προτάσεις για μελλοντική έρευνα :

- Προσπάθεια αυτόματης εξαγωγής και των 15 γεωμορφολογικών σχηματισμών που προτείνονται από το σύστημα ταξινόμησης Dikau (1989). Η χρήση του TPI και των κανόνων του επιπέδου 0, όπως εφαρμόστηκαν, θα ήταν ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο για να εξαχθούν οι δύσκολες περιπτώσεις γεωμορφών, που αποτελούνταν από 3 μέρη (π.χ. hollow foot, hollow, hollow shoulder).
- Εφαρμογή της μεθοδολογίας σε ψηφιακά μοντέλα εδάφους διαφορετικής κλίμακας, αλλά και ο συνδυασμός πολλών διαφορετικών υψομετρικών δεδομένων.
- Εισαγωγή των αποτελεσμάτων σε λογισμικό πακέτο, για την εκτέλεση μετρήσεων των διαστάσεων συγκεκριμένων γεωμορφολογικών σχηματισμών, με στόχο να εξαχθούν συμπεράσματα σχετικά με το είδος και την προέλευση τους αλλά και επίσης να γίνει μια βαθύτερη διερεύνηση των μηχανισμών που τα δημιουργούν.

6 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Αργιαλάς Δ., Τζώτσος Α., (2002). Η Συμβολή του eCognition στην Χαρτογραφηση Γεωμορφολογικών Σχηματισμών από Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους, Πρακτικά 2ου Πανελληνίου Συνεδρίου Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών, ΕΜΠ Αθήνα, 28 Φεβρουαρίου και 1 Μαρτίου 2002, CD-ROM πρακτικών συνεδρίου.
- Αργυροπούλου Ε., (2013). Αυτόματη Αναγνώριση Ρηξιγενών Ζωνών με Αντικειμενοστρεφή Ανάλυση σε Ψηφιακό Μοντέλο Υποθαλάσσιου Αναγλύφου, στην Περιοχή του Βορείου Αιγαίου, Διπλωματική Εργασία, Εργαστήριο Τηλεπισκόπησης, Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, Ε.Μ.Π., Αθήνα.
- Δερζέκος Π., Αργιαλάς Δ., (2007). Διερεύνηση της χρήσης αντικειμενοστραφους ανάλυσης δεδομένων ιkonos για τη μελέτη του αστικού πρασίνου.
- Μπαμπουρδά Δ., (2012). Διερεύνηση αντικειμενοστρεφούς μεθοδολογίας ανάλυσης εικόνας, για την εξαγωγή διακριτών (γεω)μορφολογικών χαρακτηριστικών, από ψηφιακό μοντέλο αναγλύφου πυθμένα, Διπλωματική Εργασία, Εργαστήριο Τηλεπισκόπησης, Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, Ε.Μ.Π., Αθήνα.
- Definiens, 2000 and 2001, eCognition User Guide, Munchen.
- Dikau, R., 1989. The application of a digital relief model to landform analysis. In: Raper, J.F. (Ed.), Three dimensional applications in Geographical Information Systems. Taylor and Francis, London, pp. 51–77.
- Dragut L., Blaschke T., 2006. Automated classification of landform elements using object-based-image-analysis, Geomorphology.
- Evans, I.S. (1979). An integrated system of terrain analysis and slope mapping. University Durham, England, pp.192
- Evans, I.S., (1972) General geomorphometry, derivatives of altitude, and descriptive statistics. In: Chorley, R.J. (Ed.), Spatial Analysis in Geomorphology. Harper & Row,

pp. 17– 90

- Evans, I.S., (1972) General geomorphometry, derivatives of altitude, and descriptive statistics. In: Chorley, R.J. (Ed.), *Spatial Analysis in Geomorphology*. Harper & Row, pp. 17– 90
- Evans, I.S., 1987. The morphometry of specific landforms. In: Gardiner, V. (Ed.), *International Geomorphology 1986 Part II*. John Wiley, Chichester, pp. 105–124.
- Evans, I.S., 2010. Allometry, scaling and scale-specificity of cirques, landslides and other landforms. *Transactions of the Japanese Geomorphological Union*, 31 (2), 133–153.
- Goudie, A. (1990) (ed) *Geomorphological Techniques* (second edition), London: Unwin for the British Geomorphological Research Group.
- Hay G., Castilla G., 2006. object-based image analysis: strengths, weaknesses, opportunities and threats (swot), Commission VI, WG VI/4.
- Mark, D.M., 1975. Computer analysis of topography: a comparison of terrain storage methods, *Geografiska Annaler*, 5, 179-188.
- Mark, D.M., Smith, B., 2004. A science of topography: from qualitative ontology to digital representations. In: Bishop, M.P., Shroder, J.F. (Eds.), *Geographic Information Science and Mountain Geomorphology*. Springer, Berlin, pp. 75–97.
- Matson, K.C. and Fels, J.E. (1996) Approaches to automated water table mapping. *Proceedings, Third International Conference on Integrating GIS and Environmental Modeling*. Santa Barbara, CA: National Center for Geographic Information and Analysis. WWW, CD.
- Pike, R.J. (1988) The geometric signature: Quantifying landslide terrain types from digital elevation models, *Mathematical Geology*, 20 (5), pp.491-511.
- Pike, R.J., (1995) Geomorphometry—progress, practice, and prospect. *Zeitschrift für Geomorphologie, Supplementband 101*, 221–238
- Pike, R.J., Evans, I., Hengl, T., 2008. *Geomorphometry: a brief guide - Concepts,*

Software, Applications, Hengl, T. and Hannes I. Reuter (eds.), Series Developments in Soil Science vol. 33, Elsevier, pp. 3-33,

- Speight, J.G. (1973). A parametric approach to landform regions, Institute of British Geographers Special Publication 7: Progress in Geomorphology, pp.213-230.
- Tobler, W. (1976). "The Geometry of Mental Maps," forthcoming in R. Golledge and G. Rushton, Essays on the Multidimensional Analysis of Perceptions and Preferences, Columbus, Ohio State University.
- Weibel, R., and M. Heller. 1991. "Digital Terrain Modelling". In Geographical Information Systems. Principles and Applications (Volume 1, D. Maguire, M.F. Goodchild, and D.W. Rhind Eds.), Longman Scientific & Technical, Essex: 269-297.
- Weibel, R., and M. Heller. 1990. "A framework for digital terrain modelling". Proceedings of the 4th International Symposium on Spatial Data Handling, International Geographical Union, Columbus Ohio: 219-229
- Weiss Andrew D., 1999. Topographic Position and Landforms, The Nature Conservancy. (Conference Poster)
- Wood, J.D., 1996. The geomorphological characterisation of digital elevation models.
- Zevenbergen, L.W., Thorne, C.R., 1987. Quantitative analysis of land surface topography. Earth Surf. Process. Landf. 12, 47-56.