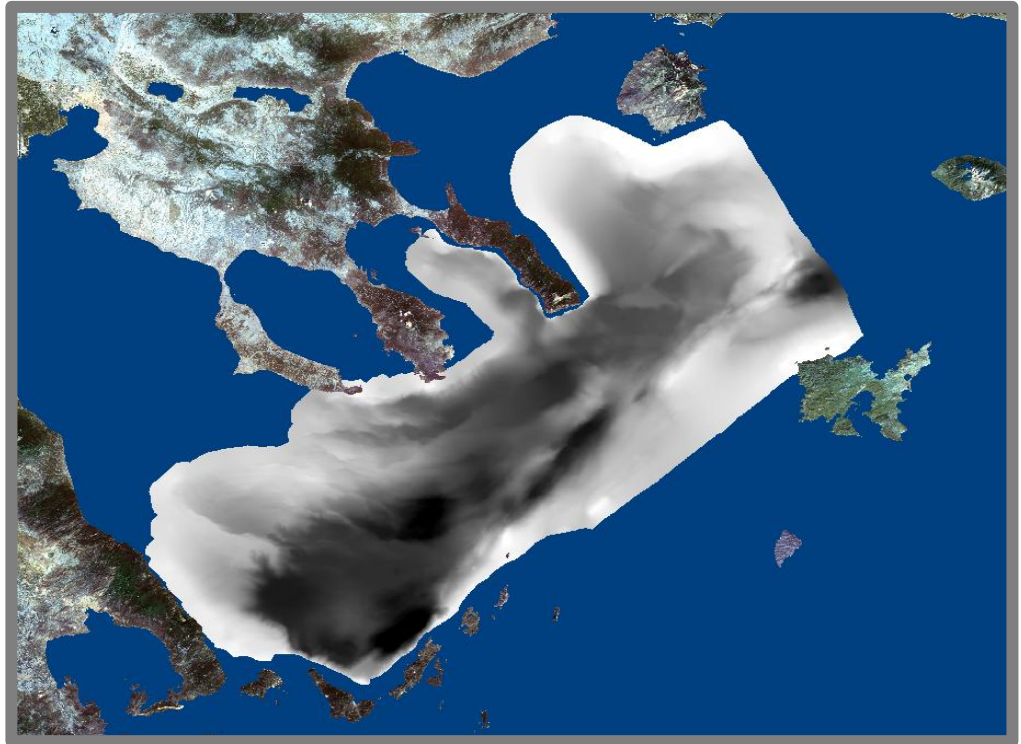




ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
Σχολή Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών
Τομέας Τοπογραφίας
Εργαστήριο Τηλεπισκόπησης



*«Αυτόματη Αναγνώριση Ρηξιγενών Ζωνών με Αντικειμενοστρεφή
Ανάλυση σε Ψηφιακό Μοντέλο Υποθαλάσσιου Αναγλύφου, στην
Περιοχή του Βορείου Αιγαίου»*

Διπλωματική εργασία
Αργυροπούλου Κ. Ευαγγελία

Επιβλέπων Καθηγητής : Αργιαλάς Δημήτριος

Αθήνα, Ιούλιος 2013

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία, ανατέθηκε από το Εργαστήριο Τηλεπισκόπησης της σχολής Αγρονόμων & Τοπογράφων Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Με την ολοκλήρωσή της, λοιπόν, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Αργιαλά Δημήτρη, Καθηγητή Ε.Μ.Π., για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε αναθέτοντάς μου την παρούσα εργασία, ενώ δεν θα μπορούσα να παραλείψω να τον ευχαριστήσω για την επιμονή, την υπομονή του καθώς και για τον παρακινητικό του χαρακτήρα που με οδήγησαν στην ολοκλήρωσή της .

Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την κα. Νομικού Παρασκευή, Λέκτορα Γεωλογικής Ωκεανογραφίας και Φυσικής Γεωγραφίας, στο Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος του Πανεπιστημίου Αθηνών, για την παραχώρηση των βαθυμετρικών δεδομένων, καθώς και την εξαιρετικά πολύτιμη βοήθειά της σε όλα τα στάδια εκπόνησης της παρούσας διπλωματικής.

Ευχαριστώ πολύ την Δεκαβάλλα Μαρία, Υποψήφια Διδάκτορα Ε.Μ.Π, για τις πολύτιμες επιστημονικές συμβουλές της.

Τις ευχαριστίες μου εκφράζω επίσης στον κ. Καραντζάλο Κωνσταντίνο, Λέκτορα Ε.Μ.Π, μέλος της εξεταστικής επιτροπής, για τη μελέτη της διπλωματικής μου εργασίας και για τις εύστοχες παρατηρήσεις του.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου για τη στήριξη που μου δίνουν τα χρόνια αυτά, επισημαίνοντας μου τη σημαντικότητα της μόρφωσης, της αφοσίωσης στο αντικείμενο που σπούδασα και την ανάγκη για διαρκή έρευνα και αναζήτηση σε όλες τις πτυχές της ζωής μου.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Ο θαλάσσιος πυθμένας παρουσιάζει ιδιαίτερο επιστημονικό ενδιαφέρον τόσο λόγω της ιδιαίτερης μορφολογίας του, όσο και λόγω της αδυναμίας για επιτόπια έρευνα. Στον υποθαλάσσιο χώρο, παρατηρείται μεγάλος αριθμός γεωμορφολογικών σχηματισμών και καθώς η τεχνολογία εξελίσσεται και τα μέσα για την εξερεύνησή του αυξάνονται, περισσότερες πληροφορίες έρχονται στο φως και συνεπώς εξάγονται περισσότερα συμπεράσματα σχετικά με τη δημιουργία και εξέλιξη του φλοιού της γης στη διάρκεια των χρόνων.

Σημαντικό στοιχείο της μελέτης του ωκεάνιου πυθμένα, αποτελεί το γεγονός πως από τη μορφολογία του εξάγονται πληροφορίες που χρησιμεύουν στην εκτίμηση και πρόληψη φυσικών κινδύνων από τον άνθρωπο. Στον ωκεάνιο πυθμένα βρίσκεται μεγάλο πλήθος ρηξιγενών ζωνών που αποτελούν τις περισσότερες φορές την αιτία για ισχυρούς και καταστροφικούς σεισμούς. Έτσι αυτό το γεγονός, καθιστά την ανάγκη για τη μελέτη τους ακόμη πιο επιτακτική.

Καθώς ο άνθρωπος επεκτείνει τις δραστηριότητές του και στον υποθαλάσσιο χώρο, κρίνεται αναγκαία η γνώση της μορφολογίας του, παραδείγματα τέτοιων δραστηριοτήτων είναι η εξόρυξη υδρογονανθράκων, η κατασκευή υποθαλάσσιων τεχνικών έργων (υποθαλάσσιες σήραγγες, γέφυρες, εξέδρες, ανεμογεννήτριες κτλ), που απαιτούν τη γνώση του πυθμένα της εκάστοτε περιοχής.

Όλα αυτά, έχουν ως συνέπεια την αναγκαιότητα της έρευνας του υποθαλάσσιου χώρου, καθώς και την περαιτέρω μελέτη του και αξιοποίηση των δεδομένων του, βήμα το οποίο αποτελεί η παρούσα εργασία.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία αφορά στη μελέτη του θαλάσσιου πυθμένα από ψηφιακό μοντέλο υποθαλάσσιου αναγλύφου (Ψ.Μ.Υ.Α), με τη χρήση αντικειμενοστρεφούς ανάλυσης εικόνας. Στόχος είναι η αυτοματοποιημένη εξαγωγή μορφολογικών και μορφοτεκτονικών στοιχείων με τελικό παράγωγο την εξαγωγή των ρηξιγενών ζωνών στην υποθαλάσσια περιοχή του Βορείου Αιγαίου.

Για το λόγο αυτό, έγινε χρήση ψηφιακού μοντέλου υποθαλάσσιου αναγλύφου ανάλυσης 150x150m (το οποίο αποτελεί πνευματική ιδιοκτησία του ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε και παραχωρήθηκε αποκλειστικά για την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας) και των παραγώγων αυτού : Κλίση (slope), καμπυλότητα παράλληλα στη διεύθυνση κλίσης του προφίλ (profile curvature), καμπυλότητα κάθετα στη διεύθυνση κλίσης του προφίλ (plan curvature) και δείκτης τοπογραφικής θέσης (Topographic Position Index- TPI), τα οποία παράχθηκαν στο ελεύθερο λογισμικό Saga GIS. Η εφαρμογή της αντικειμενοστρεφούς ανάλυσης της εικόνας πραγματοποιήθηκε στο λογισμικό eCognition 8.7.

Συνολικά, στο περιβάλλον του eCognition δημιουργήθηκαν πέντε διαφορετικά επίπεδα κατάτμησης και ταξινόμησης με στόχο της παραγωγή του τελικού επιπέδου “level 5”, στο οποίο ταξινομήθηκαν οι τελικές κατηγορίες γεωμορφολογικών χαρακτηριστικών : υπόβαθρο εικόνας (background), λεκάνες ιζηματογένεσης (basins), ασυνέχειες (discontinuities), ρήγματα (faults) και οι ρηξιγενείς ζώνες (rift zone). Στο προηγούμενο όμως επίπεδο προσδιορίστηκαν και ταξινομήθηκαν και άλλες γεωμορφές όπως η ηπειρωτική πλατφόρμα (continental platform), η ηπειρωτική κατωφέρεια (continental slope), τα ηβώματα (submarine mountain), ήπιο ανάγλυφο (smooth terrain) και έντονο ανάγλυφο (rough terrain).

Επιπρόσθετα, τα αποτελέσματα της μεθόδου αξιολογήθηκαν με τη χρήση αλγορίθμων του λογισμικού (που αφορούν την ευστάθεια της ταξινόμησης), αλλά και με ποιοτική και ποσοτική σύγκριση των αποτελεσμάτων με χάρτη αναφοράς που κατασκευάστηκε χειροκίνητα. Τέλος, ο έλεγχος ευστάθειας της ταξινόμησης έδωσε πολύ καλά αποτελέσματα, με τις μέσες τιμές να βρίσκονται κοντά στη μονάδα.

Κατά την ποιοτική αξιολόγηση εντοπίστηκαν ορισμένες διαφορές στο πλάτος των ρηξιγενών ζωνών που προέκυψαν με την αυτόματη μέθοδο και αυτών που προέκυψαν από τεκτονικό χάρτη που κατασκευάστηκε χειροκίνητα. Οι διαφορές αυτές δεν ήταν πολύ μεγάλες και με βάση τους ποσοτικούς δείκτες που υπολογίστηκαν (completeness, correctness, quality), τα αποτελέσματα ήταν ιδιαίτερος ικανοποιητικά με τους δείκτες να κυμαίνονται στο διάστημα [61%, 84%].

Λέξεις κλειδιά : ρηξιγενείς ζώνες, Ψηφιακό Μοντέλο Υποθαλάσσιου Αναγλύφου (Ψ.Μ.Υ.Α), Βόρειο Αιγαίο, Αντικειμενοστρεφής ανάλυση εικόνας, Γεωμορφές

ABSTRACT

Title: “Automatic identification of rift zones using Object Based Image Analysis on Digital seabed elevation model in the submarine area of North Aegean”

The current thesis is focused on the study of the North Aegean seabed, from a Digital Elevation Model (D.E.M), using Object Based Image Analysis (O.B.I.A). The goal is the automatic extraction of morphological and morphotectonical features, having as the final derivative, the rift zones extraction in the submarine area of North Aegean.

For this reason, a DEM of 150x150 analysis was used (which is a copyright of Hellenic Center of Marine Research CHMR) and was given exclusively for the needs of this thesis. The derivatives of this DEM are the following:

- a) Slope
- b) Profile curvature
- c) Plan curvature
- d) Topographic position Index TPI

which were produced at a free software named SAGA GIS.

The O.B.I.A of the current image was applied at ecognition software. At the ecognition environment, five different layers of segmentation have been created having as a target the final level “level 5”.

So, at level 5, the final classes of geomorphological features were classified and these are: discontinuities, faults and rift zone. At the previous level, more landforms were also classified such as continental platform, continental slope, submarine mountain, smooth and rough terrain.

Additionally, the results of this method were evaluated firstly using algorithms which were provided by the software (it is related to the stability of the classification) and then with the qualitative and quantitative comparison of the results, on a reference map which has been created manually.

Finally, the stability test of classification gave satisfactory results, with the “mean values” being relevant to one.

During qualitative procedure, some differences were spotted between the width of the rift zones which were the result of the automatic procedure, and the width of the rift zones from the reference map. These variations weren't too big, based on the quality indicators (completeness, correctness, quality) which were calculated.

Finally, the results were very satisfactory with the indicators to vary in space of (61%, 84%).

Key words : Rift zones, Digital seabed elevation model, North Aegean, Object based image analysis, lanforms.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1.	ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	12
1.1.	ΟΡΙΣΜΟΣ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ	12
1.2	ΣΚΟΠΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	13
1.3	ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	14
2.	ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ	15
2.1.	ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΤΩΝ ΩΚΕΑΝΙΩΝ ΠΥΘΜΕΝΩΝ	15
2.2.	Η ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΩΝ ΛΙΘΟΣΦΑΙΡΙΚΩΝ ΠΛΑΚΩΝ.....	17
2.3	ΤΟ ΟΡΟΓΕΝΕΤΙΚΟ ΤΟΞΟ.....	20
2.4.	ΤΟ ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΟΡΟΓΕΝΕΤΙΚΟ ΤΟΞΟ	23
2.5.	ΡΗΞΙΓΕΝΕΙΣ ΔΟΜΕΣ	25
	Διακλάσεις.....	25
	Ρωγμώσεις.....	25
	Πτεροειδείς διακλάσεις ή πτεροειδείς ρωγμώσεις.....	26
	Ρήγματα ή μετατοπίσεις.....	26
	Ρηξιγενής ζώνη.....	27
2.6.	ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΥΡΕΣΗΣ ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΩΣΕΩΝ ΚΑΙ ΡΗΓΜΑΤΩΝ	28
2.7.	ΛΕΚΑΝΗ ΒΟΡΕΙΟΥ ΑΙΓΑΙΟΥ.....	29
2.7.1	ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	29
2.7.2.	ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΒΑΘΥΜΕΤΡΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....	31
2.8.	ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟΣΤΡΕΦΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗ	33
2.8.1.	ΓΕΝΙΚΑ	33
2.8.2.	ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟΣΤΡΕΦΟΥΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΣΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ eCognition.....	35
2.8.2.1	ΚΑΤΑΤΜΗΣΗ.....	36
2.8.2.2	ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ	37
2.8.2.3	ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ.....	39
2.9	ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ SAGA.....	40
2.10	ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ArcGIS	41
2.11	ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ER Mapper.....	41
2.12	ΓΕΩΜΟΡΦΟΜΕΤΡΙΑ-ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	42
3.	ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ	44
3.1	ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΟΥ ΚΑΙ ΤΕΚΤΟΝΙΚΟΥ ΧΑΡΤΗ	44

3.2	ΑΡΧΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΟΥ ΨΗΦΙΑΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΠΟΘΑΛΑΣΣΙΟΥ ΑΝΑΓΛΥΦΟΥ (Ψ.Μ.Υ.Α).....	47
3.3	ΤΡΟΠΟΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΤΩΝ ΘΕΜΑΤΙΚΩΝ ΕΠΙΠΕΔΩΝ ΕΙΣΑΓΩΓΗΣ ΣΤΟ eCognition.....	50
3.4	ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	56
3.5	ΤΑ ΣΤΑΔΙΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΚΑΤΑΤΜΗΣΗΣ ΚΑΙ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ ΤΟΥ Ψ.Μ.Υ.Α ΣΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ eCognition	60
3.5.1	ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΕΠΙΠΕΔΟΥ “ Level 1”	63
3.5.2	ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΕΠΙΠΕΔΟΥ “ Level 2”	67
3.5.3	ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΕΠΙΠΕΔΟΥ “ Level 3”	69
3.5.4	ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΕΠΙΠΕΔΟΥ “ Level 4”	76
3.5.5	ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΕΠΙΠΕΔΟΥ “ Level 5.....	84
3.5.6	ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΕΠΙΠΕΔΟΥ “ Level 6”	90
4.	ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....	93
4.1	ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ ΣΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ eCognition	93
4.1.1	ΣΤΑΘΕΡΟΤΗΤΑ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ.....	93
4.2	ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ.....	96
5.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ.....	101
5.1	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	101
5.2	ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ	103
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	104

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Κατανομή των τοπογραφικών υψομέτρων της Γης. Η αθροιστική καμπύλη παρουσιάζει το % ποσοστό της επιφάνειας της Γης που βρίσκεται κάτω από ένα συγκεκριμένο υψόμετρο. Τα ύψη εκφράζονται σε χιλιόμετρα.....	15
Εικόνα 2: Οι επτά κύριες και ορισμένες μικρότερες, τεκτονικές λιθοσφαιρικές πλάκες της Γης.....	17
Εικόνα 3: Σχηματική απεικόνιση της απομάκρυνσης των λιθοσφαιρικών πλακών όπου το μάγμα ανέρχεται από το μανδύα και σχηματίζεται νέος φλοιός με υποθαλάσσιες οροσειρές και ηφαίστεια.....	18
Εικόνα 4: Σχηματική απεικόνιση όπου οι δύο πλάκες συγκλίνουν και δημιουργούνται πτυχώσεις στην ηπειρωτική πλάκα και έτσι σχηματίζονται οροσειρές. Εκεί όπου η ωκεάνια πλάκα βυθίζεται, σχηματίζεται υποθαλάσσια τάφος. (Brian J.Skinner, et al,2004)	19
Εικόνα 5: Η κατανομή της ηφαιστειακής δραστηριότητας και των σεισμών στο περι-ειρηνικό τόξο, ακολουθεί τα όρια των πλακών, καθώς τα φαινόμενα αυτά σχετίζονται άμεσα με τις γεωδυναμικές διαδικασίες που λαμβάνουν χώρα εκεί. Πηγή : Λέκκκας κ.α, 2006.....	20
Εικόνα 6: Σχηματική απεικόνιση σε τομή των επιμέρους τμημάτων ενός ορογενετικού τόξου. Πηγή : Παπανικολάου και Σιδέρης, 2007.....	21
Εικόνα 7: Σύγκλιση μιας ωκεάνιας και μιας ηπειρωτικής πλάκας, ε υποβύθιση της πρώτης κάτω από τη δεύτερη. Πηγή : Παπανικολάου και Σιδέρης, 2007.	22
Εικόνα 8: Σχηματική απεικόνιση σε στερεοδιάγραμμα, του σημερινού ελληνικού τόξου. Με πράσινο χρώμα σημειώνεται το μετωπικό τμήμα της προωθούμενης ευρασιατικής πλάκας, ενώ με πορτοκαλί η υποβυθιζόμενη αφρικανική πλάκα (τα βέλη δείχνουν τη φορά υποβύθισης). Από την ανάτηξη των πετρωμάτων της τελευταίας, παράγεται μάγμα, που ανερχόμενο στην επιφάνεια, δημιουργεί το τόξο των ηφαιστείων του Αιγαίου. Η προστριβή των δύο πλακών παράγει σεισμούς στα Ιόνια νησιά και το νότιο Αιγαίο (Κρήτη, Δωδεκάνησα). Πηγή : Παπανικολάου και Σιδέρης, 2007.	24
Εικόνα 9: Οι κυριότερες μορφοτεκτονικές ενότητες του Ελληνικού τόξου. Πηγή : Nomίκου and Papanikolaou, 2010.	24
Εικόνα 10: a) αρχική επιφάνεια b) ρήγμα κατακόρυφης ολίσθησης c) ρήγμα μικρής γωνίας ολίσθησης d) strike slip ρήγμα.....	28
Εικόνα 11: Αναπαράσταση της λεκάνης του Βορείου Αιγαίου εντός του Ελλαδικού χώρου σε εικόνα Landsat TM.....	29
Εικόνα 12: Γεωτεκτονική θέση της λεκάνης του Βορείου Αιγαίου στο πλαίσιο της τεκτονικής των πλακών για την περιοχή της Ανατολικής Μεσογείου. Τα βέλη που αντιστοιχούν στον ετήσιο ρυθμό μετατόπισης υποδεικνύουν την ύπαρξη ενός τεκτονικού ορίου κατά μήκος της λεκάνης του Βορείου Αιγαίου.....	30
Εικόνα 13: Απεικόνιση του τρόπου λειτουργίας του Multi-beam Echosounder. Πηγή: www.hydropalooza.noaa.gov/press.html	31
Εικόνα 14: Βαθυμετρικός χάρτης της λεκάνης του Β. Αιγαίου. Τα διαφορετικά χρώματα οριοθετούν την ισοβαθή των 100m ενώ ενδιάμεσα υπάρχουν οι ισοβαθείς των 20m. (Papanikolaou et al., 2002).....	32
Εικόνα 15: Αναπαράσταση ιεραρχίας πολλαπλών επιπέδων αντικειμένων, τα οποία αλληλοσυσχετίζονται μεταξύ τους, τόσο σε ό,τι αφορά αντικείμενα του ίδιου επιπέδου, όσο	

και αντικείμενα διαφορετικών επιπέδων. Πηγή : eCognition Developer 8.7 User's Guide, 2011.	35
Εικόνα 16 : Οι συναρτήσεις συμμετοχής που παρέχει το λογισμικό eCognition Developer 8.7 . Πηγή : eCognition Developer 8.7 User's Guide, 2011, Σιακαβάρα, 2011	38
Εικόνα 17: Η πορεία των επεξεργασιών και το επίκεντρο της γεωμορφομετρίας (Pike et al., 2009).....	43
Εικόνα 18: Απεικόνιση του ψηφιακού μοντέλου εδάφους της περιοχής μελέτης με τιμές φωτεινότητας 0-255.....	47
Εικόνα 19: Αποτέλεσμα κατόπιν φίλτρου median 11x11	48
Εικόνα 20: Αποτέλεσμα κατόπιν φίλτρου Gaussian 11x11	48
Εικόνα 21: Αποτέλεσμα κατόπιν φίλτρου mean11x11	49
Εικόνα 22: Παράθεση λεπτομέρειας της εικόνας με τρία διαφορετικά είδη φίλτρων.....	49
Εικόνα 23: Αποτέλεσμα κατόπιν εφαρμογής του φίλτρου κλίσεων (slope)	51
Εικόνα 24: Βασικές συνιστώσες καμπυλότητας (Shary et al., 2002).....	52
Εικόνα 25: Αποτέλεσμα κατόπιν εφαρμογής του φίλτρου της καμπυλότητα παράλληλα στη διεύθυνση κλίσης (profile curvature)	52
Εικόνα 26: Γραφική αναπαραστάση των τιμών του TPI, (Weiss,1999).....	53
Εικόνα 27: Απεικόνιση περιοχής κατόπιν εφαρμογής του δείκτη TPI ακτίνας 300	54
Εικόνα 28: Απεικόνιση περιοχής κατόπιν εφαρμογής του δείκτη TPI ακτίνας1000	54
Εικόνα 29: Απεικόνιση περιοχής κατόπιν εφαρμογής του δείκτη TPI ακτίνας 10000	55
Εικόνα 30: 3D αναπαράσταση και επισήμανση των μορφολογικών δομών της περιοχής μελέτης.....	56
Εικόνα 31: Βαθμετρικός χάρτης της λεκάνης του Βορείου Αιγαίου με διαχωρισμό των 3 επιπέδων τα οποία σημειώνονται και με διαφορετικές διαβαθμίσεις του γκρι, στο υπόμνημα : 1) ηπειρωτική πλατφόρμα (continental platform), 2) ηπειρωτική κατωφέρεια (continental slope), 3) περιοχή λεκάνης (basinal area). (after Papanikolaou et al.,2002)	57
Εικόνα 32: Βαθμετρικός χάρτης του Βορειοανατολικού Αιγαίου στον οποίο σημειώνονται εντός των κόκκινων κύκλων οι λεκάνες ιζηματογένεσης και εντός των πράσινων κύκλων, τα ηβώματα. Πηγή : Papanikolaou et al., 2002.....	58
Εικόνα 33: Βαθμετρικός χάρτης του Βορειοδυτικού Αιγαίου στον οποίο σημειώνονται εντός των κόκκινων κύκλων οι λεκάνες ιζηματογένεσης . Πηγή : Papanikolaou et al., 2002.....	59
Εικόνα 34: Παράθυρο διαλόγου του eCognition, στο οποίο εισάγονται τα 8 θεματικά επίπεδα ώστε να πραγματοποιηθεί η αντικειμενοστρεφής ανάλυση. Σε αυτό αναγράφονται και οι γενικές πληροφορίες του Ψ.Μ.Υ.Α, όπως προβολικό σύστημα, σύστημα αναφοράς, μέγεθος pixel και ανάλυση	60
Εικόνα 35: Απεικόνιση των επιπέδων κατάτμισης κατά σειρά δημιουργίας τους (από πάνω προς τα κάτω).....	61
Εικόνα 36 : Περιβάλλον του προγράμματος και προβολή των πέντε βασικών παραθύρων για ρυθμίσεις της διαδικασίας και των ιδιοτήτων.....	62
Εικόνα 37 : Παράδειγμα χρήσης του εργαλείου “Feature view”, όπου απεικονίζονται τα όρια της μέσης τιμής TPI300 σε κόκκινο πλαίσιο, κάτω δεξιά της εικόνας, εντός των οποίων ορίζεται η ηπειρωτική πλατφόρμα, που εντοπίζεται με μπλε και πράσινο χρώμα.	63
Εικόνα 38 : Παράθυρο επιλογής παραμέτρων κατάτμισης για το “Level 1”.....	64
Εικόνα 39 : Δημιουργία των κλάσεων study area και background καθώς και απεικόνιση της συνάρτησης συμμετοχής που χρησιμοποιήθηκε για τον ορισμό της study area 1.	64

Εικόνα 40: Δημιουργία των κλάσεων continental area και basinal area και η συνάρτηση συμμετοχής που χρησιμοποιήθηκε για τον ορισμό της continental area.....	65
Εικόνα 41: Συνοπτική παρουσίαση των τάξεων, των χαρακτηριστικών τους, των συναρτήσεων συμμετοχής και των ορίων τους.....	65
Εικόνα 42: Αποτέλεσμα κατόπιν ταξινόμησης στο level 1, της continental area, basinal area και background.....	66
Εικόνα 43: Παράθυρο επιλογής παραμέτρων κατάτμησης για το “Level 2”.....	67
Εικόνα 44: Δημιουργία των κλάσεων continental platform και not continental platform και η συνάρτηση συμμετοχής που χρησιμοποιήθηκε για τον ορισμό της continental platform.....	68
Εικόνα 45: Συνοπτική παρουσίαση των τάξεων, των χαρακτηριστικών τους, των συναρτήσεων συμμετοχής και των ορίων τους.....	68
Εικόνα 46: Αποτέλεσμα κατόπιν ταξινόμησης στο level 2, της continental platform, not continental platform και background.....	69
Εικόνα 47: Παράθυρο επιλογής παραμέτρων κατάτμησης για το “Level 3”.....	70
Εικόνα 48: Παράθυρο της κλάσης basins (3) και εισαγωγής των παραμέτρων για την περιγραφή της.....	70
Εικόνα 49: Η συνάρτηση συμμετοχής και τα όρια που χρησιμοποιήθηκαν για τον ορισμό της παραμέτρου Mean TPI300.....	71
Εικόνα 50: Η συνάρτηση συμμετοχής και τα όρια που χρησιμοποιήθηκαν για τον ορισμό της παραμέτρου compactness.....	71
Εικόνα 51: Η συνάρτηση συμμετοχής και τα όρια που χρησιμοποιήθηκαν για τον ορισμό της παραμέτρου asymmetry.....	72
Εικόνα 52: Η συνάρτηση συμμετοχής και τα όρια που χρησιμοποιήθηκαν για τον ορισμό της παραμέτρου existence of super objects continental platform(2) (1).	72
Εικόνα 53: Η συνάρτηση συμμετοχής και τα όρια που χρησιμοποιήθηκαν για τον ορισμό της παραμέτρου standard deviation profclass.....	73
Εικόνα 54: Η συνάρτηση συμμετοχής και τα όρια που χρησιμοποιήθηκαν για τον ορισμό της παραμέτρου standard deviation TPI1000.....	74
Εικόνα 55: Η συνάρτηση συμμετοχής και τα όρια που χρησιμοποιήθηκαν για τον ορισμό της παραμέτρου rectangular fit.....	74
Εικόνα 56: Η συνάρτηση συμμετοχής και τα όρια που χρησιμοποιήθηκαν για τον ορισμό της παραμέτρου standard deviation slope.....	75
Εικόνα 57: Συνοπτική παρουσίαση των τάξεων, των χαρακτηριστικών τους, των συναρτήσεων συμμετοχής και των ορίων τους.....	75
Εικόνα 58: Αποτέλεσμα κατόπιν ταξινόμησης στο level 3, της basins, not basins και background.....	76
Εικόνα 59 : Παράθυρο επιλογής παραμέτρων κατάτμησης για το “Level 4”.....	77
Εικόνα 60: Δημιουργία των κλάσεων continental slope και not continental slope και η συνάρτηση συμμετοχής που χρησιμοποιήθηκε για τον ορισμό της continental slope.	78
Εικόνα 61: Συνάρτηση Singleton για την προβολή της continental platform απ το level 2 στο level4.....	78
Εικόνα 62: Η συνάρτηση συμμετοχής και τα όρια που χρησιμοποιήθηκαν για τον ορισμό της παραμέτρου standard deviation elevation.....	79
Εικόνα 63: Ορισμός της κλάσης rough terrain.....	79

Εικόνα 64: Η συνάρτηση συμμετοχής και τα όρια που χρησιμοποιήθηκαν για τον ορισμό της παραμέτρου Mean TPI300.....	80
Εικόνα 65: Η συνάρτηση συμμετοχής και τα όρια που χρησιμοποιήθηκαν για τον ορισμό της παραμέτρου Rectangular Fit	81
Εικόνα 66: Η συνάρτηση συμμετοχής και τα όρια που χρησιμοποιήθηκαν για τον ορισμό της παραμέτρου Roundness.	81
Εικόνα 67: Συνοπτική παρουσίαση των τάξεων, των χαρακτηριστικών τους, των συναρτήσεων συμμετοχής και των ορίων τους.....	82
Εικόνα 68: Αποτέλεσμα κατόπιν ταξινόμησης στο level 4, της continental platform, continental slope rough terrain, smooth terrain, submarine mountains.....	83
Εικόνα 69: Παράθυρο επιλογής παραμέτρων κατάτμησης για το “Level 5”.....	84
Εικόνα 70: Η συνάρτηση συμμετοχής και τα όρια που χρησιμοποιήθηκαν για τον ορισμό της κλάσης discontinuities.	85
Εικόνα 71: Η απεικόνιση των αποτελεσμάτων μέσω του εργαλείου feature view για τιμές του Max. pixel value prof_curvature μεγαλύτερες του 0.000005 για την κλάση discontinuities.	85
Εικόνα 72: Η ιδιότητα που χρησιμοποιήθηκε για τον ορισμό των faults και το παράθυρο με την τιμή του κατωφλίου που τέθηκε.....	86
Εικόνα 73: Η απεικόνιση των αποτελεσμάτων μέσω του εργαλείου feature view για τιμές του Min. pixel value prof_curvature μικρότερες του -0.0000049 για την κλάση faults.	87
Εικόνα 74: Ορισμός της κλάσης rift zone.....	88
Εικόνα 75: Οι συναρτήσεις συμμετοχής που χρησιμοποιήθηκαν για τον προσδιορισμό της κλάσης fault zone . Η αριστερή συνάρτηση αναφέρεται στο κοινό όριο με τις discontinuities και η δεξιά, στο κοινό όριο με τα faults.....	88
Εικόνα 76: Παράθυρο ταξινόμησης της rift zone και απεικόνιση της κλάσης-φίλτρου continental slope εντός κόκκινου πλαισίου.....	89
Εικόνα 77: Συνοπτική παρουσίαση των τάξεων, των χαρακτηριστικών τους, των συναρτήσεων συμμετοχής και των ορίων τους.....	89
Εικόνα 78: Αποτέλεσμα κατόπιν ταξινόμησης στο level 5, της rift zone, faults, discontinuities, other και background.....	90
Εικόνα 79: Απεικόνιση των ρηξιγενών ζωνών, ασυνεχειών, ρηγμάτων και λεκανών ιζηματογένεσης. Τελικό προϊόν ταξινομήσεων.....	91
Εικόνα 80: Αναλυτικός αλγόριθμος ταξινόμησης όλων των επιπέδων.....	92
Εικόνα 81: Γραφική απεικόνιση αξιολόγησης σταθερότητας ταξινόμησης.....	93
Εικόνα 82: Στατιστικός πίνακας απεικόνισης σταθερότητας της αξιολόγησης.....	94
Εικόνα 83: Στατιστικός πίνακας αξιολόγησης βέλτιστου αποτελέσματος ταξινόμησης.....	95
Εικόνα 84: Γραφική απεικόνιση αξιολόγησης βέλτιστου αποτελέσματος ταξινόμησης.....	95
Εικόνα 85: Τα γαλάζια πολύγωνα αποτελούν τα πολύγωνα που προέκυψαν από την ψηφιοποίηση του τεκτονικού χάρτη (αναφοράς). Οι κόκκινοι σταυροί αποτελούν τα σημεία αγκίστρωσης για τη γεωαναφορά της εικόνας	97
Εικόνα 86: Τα μωβ πολύγωνα αποτελούν τις ρηξιγενείς ζώνες που προέκυψαν από την αντικειμενοστρεφή ανάλυση.....	98
Εικόνα 87: Τα πράσινα πολύγωνα είναι οι περιοχές των ρηξιγενών ζωνών στις οποίες τα αποτελέσματα της αυτόματης μεθόδου συμπίπτουν με την χειροκίνητη.....	99

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1. ΟΡΙΣΜΟΣ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

Ο ελλαδικός χώρος, χαρακτηρίζεται από ιδιαίτερη και έντονη μορφολογία, τόσο στην ξηρά όσο και στον υποθαλάσσιο χώρο. Η ιδιαίτερη αυτή μορφολογία οφείλεται στο ότι η χώρα βρίσκεται στα όρια της ευρασιατικής πλάκας, συνορεύοντας με την αφρικανική και αραβική λιθοσφαιρική πλάκα. Το γεγονός αυτό, ενισχύει παράλληλα και τη σεισμικότητά του ελλαδικού χώρου, καθώς δημιουργούνται πολλά υποθαλάσσια ρήγματα, που ευθύνονται για τους σεισμούς που προκαλούν. Τα ρήγματα και οι ασυνέχειες που δημιουργούνται ειδικά στον υποθαλάσσιο χώρο, αποτελούν τις ρηξιγενείς ζώνες. Η χαρτογράφηση αυτών, είναι καθοριστικής σημασίας, καθώς αντλούνται πληροφορίες για τη μορφολογία του βυθού, χρήσιμες τόσο για τη γνώση του, όσο και για άλλες εφαρμογές όπως : για γνώση της σύστασης και μορφολογίας πυθμένα (ύφαλοι, κατολισθήσεις, κατανομή σύγχρονων ιζημάτων), για υποθαλάσσιες κατασκευές και θεμελιώσεις (αγωγοί, καλώδια, εξέδρες εξόρυξης υδρογονανθράκων), στρατιωτικές εφαρμογές (ναρκαλιεία), αλιεία (εντοπισμός ιχθυοπληθυσμών), μελέτη ηφαιστειότητας και υδροθερμίας.

Οι υποθαλάσσιες περιοχές όμως έχουν μια ιδιαιτερότητα που κάνει τη συλλογή δεδομένων προς χαρτογράφηση, να ξεχωρίζει από τις υπόλοιπες, καθώς η μελέτη τους δεν μπορεί να διεξαχθεί με επιτόπια έρευνα, αλλά με μέσα προηγμένης τεχνολογίας και ιδιαιτέρως αυξημένου κόστους, όπως το πολυ-ηχοβολιστικό όργανο (multi-beam echosounder), προσαρτημένα συνήθως σε ωκεανογραφικό πλοίο. Η κλασική μέθοδος για την επεξεργασία και χαρτογράφηση υποθαλάσσιων περιοχών κατόπιν συλλογής των δεδομένων, είναι μέσω συστημάτων γεωγραφικών πληροφοριών (GIS) και φωτοερμηνευτικά, αν και η φωτοερμηνεία αποτελεί μια σχετικά υποκειμενική διαδικασία.

Προσπάθειες για αυτόματη ταξινόμηση, δηλαδή εξαγωγή των μορφολογικών δομών με αυτόματο τρόπο, έχουν πραγματοποιηθεί στο παρελθόν, παραδείγματα αποτελούν ο M. A. V. Gorini και Igor V. Florinsky. Η μέθοδος αυτή παρουσιάζει τόσο πλεονεκτήματα, όσο και μειονεκτήματα. Στα πλεονεκτήματα συγκαταλέγεται η ταχύτητά της, η ύπαρξη πληθώρας λογισμικών που πραγματοποιούν ταξινομήσεις και η μη υποκειμενικότητά της. Μειονέκτημα όμως αποτελεί το γεγονός ότι τα αποτελέσματα που προκύπτουν εξαρτώνται άμεσα από την ποιότητα του ψηφιακού μοντέλου εδάφους, καθώς όσο πιο καλής ανάλυσης είναι τόσο μεγαλύτερης λεπτομέρειας αντικείμενα-γεωμορφές μπορούν να εξαχθούν.

1.2 ΣΚΟΠΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η αυτόματη αναγνώριση ρηξιγενών ζωνών με αντικειμενοστρεφή ανάλυση σε Ψηφιακό Μοντέλο Υποθαλάσσιου Αναγλύφου, στη λεκάνη του Βορείου Αιγαίου. Πιο αναλυτικά, η ανάπτυξη μιας μεθόδου για την αυτόματη ταξινόμηση-χαρτογράφηση της υποθαλάσσιας περιοχής του Βορείου Αιγαίου, με τη μέθοδο της αντικειμενοστραφούς ανάλυσης εικόνας.

Επιμέρους στόχοι της παρούσας εργασίας είναι η ανάπτυξη μεθόδου για την εξαγωγή ιδιαίτερων γεωμορφών, τεκτονικών δομών και ειδικότερα ρηξιγενών ζωνών με τη χρήση της αντικειμενοστρεφούς ανάλυσης, καθώς επίσης και η διερεύνηση της ικανότητας της ανάλυσης αυτής, σε συνδυασμό με τις τεχνικές της γεωμορφομετρικής ανάλυσης για την εξαγωγή ιδιαίτερων γεωμορφών και ρηξιγενών ζωνών.

Με αφορμή τη συνεργασία του Εργαστηρίου Τηλεπισκόπησης της Σ.Α.Τ.Μ (με υπεύθυνο καθηγητή τον κ. Αργιαλά Δημήτρη) με την κ. Νομικού Παρασκευή (Λέκτορας Γεωλογικής Ωκεανογραφίας και Φυσικής Γεωγραφίας, στο Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος του Πανεπιστημίου Αθηνών), έγινε μια προσπάθεια διερεύνησης της ικανότητας της αντικειμενοστρεφούς ανάλυσης εικόνας σε ψηφιακό μοντέλο αναγλύφου πυθμένα (ανάλυσης 150m x 150m) της υποθαλάσσιας λεκάνης του Βόρειου Αιγαίου. ως προς την μορφολογία του πυθμένα της και τις τεκτονικές δομές που την διαμορφώνουν. Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η εξαγωγή των ιδιαίτερων γεωμορφών που χαρακτηρίζουν την περιοχή μελέτης, καθώς και των τεκτονικών δομών και των ρηξιγενών ζωνών, που αποτελούν και το κύριο αντικείμενο της εργασίας αυτής.

Τα βαθυμετρικά δεδομένα, με τα οποία «τροφοδοτήθηκε» η παρούσα εργασία, προέκυψαν κατά την διάρκεια ενός ωκεανογραφικού ταξιδιού στην ευρύτερη περιοχή του Β. Αιγαίου που διεξήχθη το 2002 με το πλοίο «ΑΙΓΑΙΟ» του ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε. (Papanikolaou et al. 2002, 2006). Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάλυση, προέκυψαν με τη χρήση ενός πολύ-ηχοβολιστικού οργάνου (multi-beam echosounder) που εκπέμπει ηχητικά κύματα μεγάλης συχνότητας για την επίτευξη καλής διακριτικής ικανότητας. Για τις ανάγκες της αντικειμενοστρεφούς ανάλυσης εικόνας των βαθυμετρικών δεδομένων της υποθαλάσσιας περιοχής του Βορείου Αιγαίου χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό eCognition 8.7.

1.3 ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η παρούσα εργασία διαρθρώνεται σε πέντε κεφάλαια. Του κεφαλαίου της Εισαγωγής έπεται το δεύτερο κεφάλαιο, στο οποίο πραγματοποιείται η ανασκόπηση της βιβλιογραφίας, παρατίθενται οι απαραίτητοι ορισμοί για την κατανόηση της μορφολογίας και της τεκτονικής των πυθμένων καθώς επίσης και της συγκεκριμένης μορφολογίας που χαρακτηρίζει την περιοχή μελέτης. Πιο συγκεκριμένα γίνεται αναφορά στην τεκτονική των λιθοσφαιρικών πλακών, στο ορογενετικό τόξο και δει στο ελληνικό ορογενετικό τόξο που αποτελεί την αιτία για την ύπαρξη τεκτονικής δραστηριότητας, τα ηφαιστειακά φαινόμενα και την έντονη σεισμικότητα του ελληνικού χώρου. Στη συνέχεια αναλύονται οι τύποι των ρηξιγενών δομών καθώς και ο υποθαλάσσιος χώρος της λεκάνης του Βορείου Αιγαίου, ενώ γίνεται εισαγωγή στην έννοια της αντικειμενοστρεφούς ανάλυσης της εικόνας και σύντομη περιγραφή των λογισμικών που χρησιμοποιήθηκαν.

Στο τρίτο κεφάλαιο, γίνεται λόγος για τη μεθοδολογία που ακολουθήθηκε, την αρχική επεξεργασία που εφίσταντο τα δεδομένα, τα φίλτρα καθώς και ο τρόπος υπολογισμού των θεματικών επιπέδων που εισήχθησαν στο λογισμικό eCognition. Παράλληλα, η περιοχή μελέτης εξετάζεται από (φωτο)ερμηνευτική σκοπιά και κατόπιν περιγράφεται η κυρίως διαδικασία και γίνεται ενδελεχής ανάλυση των σταδίων για την αυτοματοποιημένη εξαγωγή της ρηξιγενούς ζώνης, που αποτελεί και το αντικείμενο της παρούσας εργασίας.

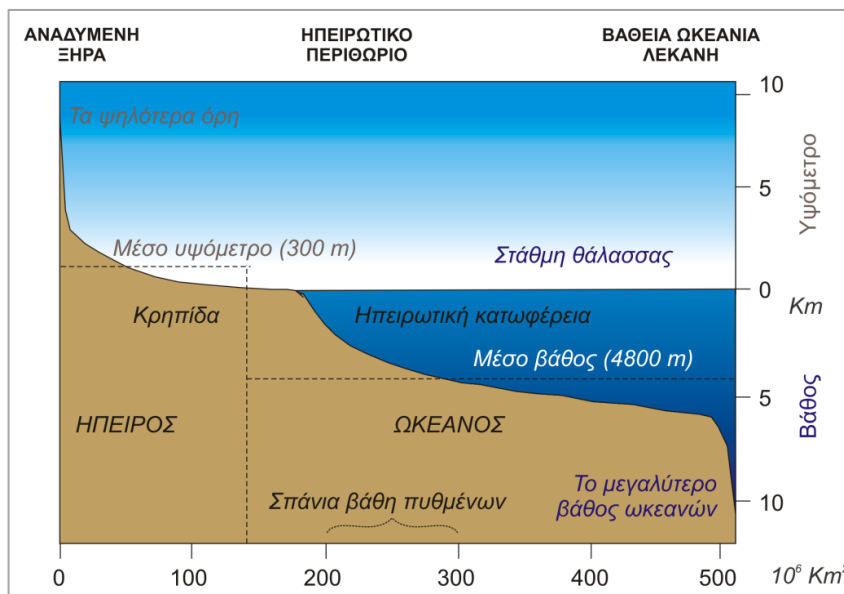
Στο τέταρτο κεφάλαιο πραγματοποιείται η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων και τέλος, στο πέμπτο και τελευταίο κεφάλαιο αναφέρονται τα συμπεράσματα της εργασίας σχετικά με τον κύριο σκοπό και τους επιμέρους στόχους, καθώς και οι προτάσεις για μελλοντική έρευνα.

2. ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ

2.1. ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΤΩΝ ΩΚΕΑΝΙΩΝ ΠΥΘΜΕΝΩΝ

Οι κύριες μορφολογικές ενότητες των θαλασσιών πυθμένων αποτελούνται από **τα ηπειρωτικά περιθώρια** (ενεργά ή σταθερά), **τις ωκεάνιες λεκάνες** και **τις ωκεάνιες ράχες**. Συνοπτικά, τα χαρακτηριστικά τους είναι τα ακόλουθα:

Τα **ηπειρωτικά περιθώρια**, διακρίνονται σε δυο μεγάλες κατηγορίες, τα "ενεργά" και τα "σταθερά". "Ενεργά" ονομάζονται εκείνα που χαρακτηρίζονται από μια ισχυρή σεισμικότητα και μια διαρκή ηφαιστειακή δραστηριότητα. Τα περιθώρια αυτά οριοθετούνται από βαθιές τάφρους, όπως π.χ. στην περιφέρεια του Ειρηνικού ωκεανού και αποτελούν σχεδόν μια συνεχή ζώνη. Τα άλλα ονομάζονται "σταθερά ή παθητικά", γιατί δεν παρουσιάζουν καμία ενεργό τεκτονική. Τέτοια είναι τα περισσότερα περιθώρια του Ατλαντικού ωκεανού. Γίνεται μια σύγκριση των δύο τύπων των ηπειρωτικών περιθωρίων, αν και αυτά δημιουργούνται από διαφορετικά γεωδυναμικά φαινόμενα. Διακρίνονται οι παρακάτω περιοχές στα ηπειρωτικά περιθώρια:



Εικόνα 1 : Κατανομή των τοπογραφικών υψομέτρων της Γης. Η αθροιστική καμπύλη παρουσιάζει το % ποσοστό της επιφάνειας της Γης που βρίσκεται κάτω από ένα συγκεκριμένο υψόμετρο. Τα ύψη εκφράζονται σε χιλιόμετρα

- **Η κρηπίδα :** Και στους δύο τύπους των περιθωρίων είναι σχετικά πλατειά, 70-80 χιλιόμετρα κατά μέσο όρο και μερικές φορές πολλές εκατοντάδες χιλιόμετρα. Το βάθος είναι μικρό, από 0-130 ή 180 μέτρα (εικόνα 1). Όλες οι γεωλογικές μελέτες έχουν αποδείξει ότι πρόκειται για μια προέκταση της ξηράς, που καλύπτεται από ένα λεπτό πάχος σύγχρονων ιζημάτων και μικρό βάθος θαλασσινού νερού.
- **Η ηπειρωτική πλατφόρμα** αφορά σε πεδινές εκτάσεις που κείτονται μερικές εκατοντάδες μέτρα πάνω από το επίπεδο βυθό της θάλασσας.

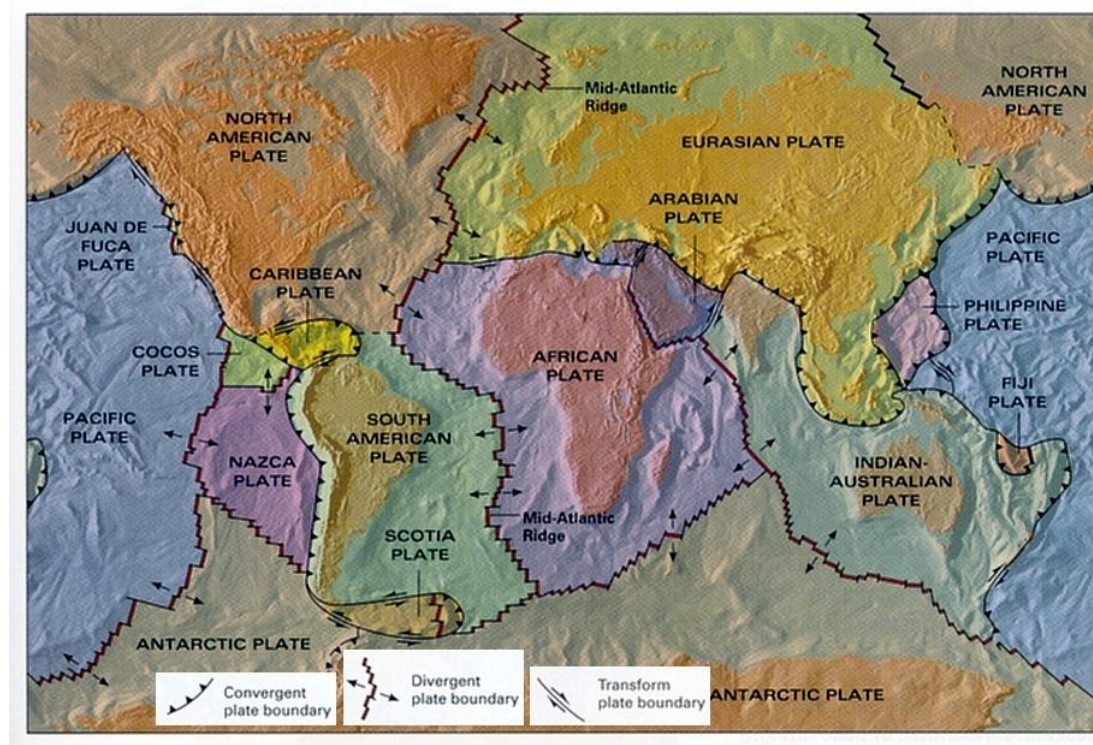
- **Η ηπειρωτική κατωφέρεια** :Αυτή αρχίζει από τα 200 μέτρα και φτάνει στα 3.000 ή 4.000 μέτρα στα σταθερά περιθώρια και 5.000 έως 10.000 μέτρα στα ενεργά. Η μέση μορφολογική κλίση είναι μικρή 4^0-5^0 , αλλά συγκρινόμενη με αυτή της κρηπίδας, είναι περίπου 20 φορές μεγαλύτερη (εικόνα 1). Η ηπειρωτική κατωφέρεια αποκόπτεται από υποθαλάσσιες κοιλάδες (canyons), που αρχίζουν μερικές φορές από την ακτογραμμή.
- **Το ηπειρωτικό χείλος**. Οι πρόποδες της ηπειρωτικής κατωφέρειας ονομάζονται μερικές φορές ηπειρωτικά χείλη. Αυτά παρουσιάζουν μια μικρή κλίση (1% έως 1,5%, από 4.000-5.000 μέτρα) και διασχίζονται από κοιλάδες, που οι απολήξεις τους δίνουν μια μορφή ριπιδίων. Το ηπειρωτικό χείλος σχηματίζεται είτε πάνω σε λεπτό ηπειρωτικό φλοιό, είτε σε ωκεάνιο. Τα ενεργά ηπειρωτικά περιθώρια (π.χ. Ειρηνικού ωκεανού) δεν περιέχουν ηπειρωτικό χείλος. Χαρακτηρίζονται από την παρουσία μιας περιθωριακής τάφρου, πλάτους 70-100 χιλιομέτρων κατά μέσον όρο. Το μήκος της τάφρου μερικές φορές φτάνει τα εκατοντάδες χιλιόμετρα και μέσα σε αυτές βρίσκονται τα μεγαλύτερα βάθη της υδρογείου (π.χ. τάφος των Tonga 10 km, τάφος των Μαριάννων νήσων 11 km).

Η μορφολογία **των ωκεάνιων λεκανών** καθορίζεται κατά μεγάλο ποσοστό από τη φύση των πετρωμάτων που την αποτελούν. Το ηπειρωτικό χείλος στα σταθερά περιθώρια βρίσκεται κοντά σε πολύ ομαλές αβυσσικές πεδιάδες, όπου υπάρχουν μόνο μερικά υποθαλάσσια βουνά, ενώ σπάνια σχηματίζονται κοιλάδες που επεκτείνονται μέχρι το χείλος. Αντίθετα, οι ωκεάνιοι πυθμένες, που περιβάλλουν τα ενεργά περιθώρια, παρουσιάζουν, συνήθως, έντονο ανάγλυφο. Εκτός από τα υποθαλάσσια βουνά, που οι διαστάσεις τους είναι της τάξεως των χιλιομέτρων, υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός αβυσσικών λόφων, που το ανάγλυφο τους δεν ξεπερνά ορισμένες εκατοντάδες μέτρα. Οι υποθαλάσσιοι αυτοί λόφοι, που βρίσκονται στις αβυσσικές πεδιάδες, υπάρχουν και κάτω από την ηπειρωτική κατωφέρεια καλυπτόμενοι από ιζήματα και διαπιστώνονται με σεισμικές μεθόδους (μέθοδος ανακλάσεως). Στα σταθερά περιθώρια, το ανάγλυφο των αβυσσικών πεδιάδων καλύπτεται από ιζήματα μεγάλου πάχους, κυρίως τουρβιδιτικά, που μεταφέρονται από την ήπειρο. Στα ενεργά περιθώρια, οι περιφερειακοί τάφροι σχηματίζουν ένα φράγμα, λόγω της κοιλότητας τους, που εμποδίζει την προέλαση των ιζημάτων που προέρχονται από την ήπειρο. Έτσι, οι αβυσσικοί λόφοι, τέτοια είναι και τα **ηβώματα**, δηλαδή υποθαλάσσιοι λοφίσκοι που συνήθως καλύπτονται μόνο από χημικά ιζήματα πελαγικής προέλευσης, που τα χαρακτηρίζει μια αργή ιζηματογένεση.

Οι **ωκεάνιες ράχες** βρίσκονται σε όλους τους ωκεανούς της υδρογείου, σχηματίζοντας ένα ενιαίο σύνολο μήκους 70.000 χιλιομέτρων. Πρόκειται για εκτεταμένα ανυψώματα των θαλάσσιων πυθμένων, που η βάση τους βρίσκεται στα 5.000 μέτρα βάθος και η κορυφή τους στα 2.500 μέτρα. Το πλάτος τους είναι πολλές χιλιάδες χιλιόμετρα. Κατά μήκος της ράχης (άξονας συμμετρίας), παρατηρείται συχνά μια κεντρική κοιλάδα πλάτους 30 χιλιομέτρων περίπου, που ονομάζεται ωκεάνια τάφος. Οι ωκεάνιες ράχες είναι κομμένες από πολλά εγκάρσια ρήγματα, τα γνωστά ως ρήγματα "μετασχηματισμού". Όπως είναι γνωστό, στα ρήγματα αυτά υπάρχει μια έντονη σεισμική δραστηριότητα και έτσι οι ωκεάνιες ράχες χαρακτηρίζονται σαν "ενεργές".

2.2. Η ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΩΝ ΛΙΘΟΣΦΑΙΡΙΚΩΝ ΠΛΑΚΩΝ

Ως λιθόσφαιρα χαρακτηρίζεται το ανώτερο περίβλημα της υδρογείου, που αποτελείται από το φλοιό και ένα μέρος του ανώτερου μανδύα. Τα πετρώματα που την αποτελούν είναι ικανά να αντέξουν σε τάσεις της τάξεως του kilobar, χωρίς να ρέουν και γι' αυτό χαρακτηρίζεται ως άκαμπτη. Η λιθόσφαιρα, που κάθεται πάνω στην ασθενόσφαιρα, έχει ένα μέσο πάχος περί τα 100 χιλιόμετρα. Η ασθενόσφαιρα, αντίθετα, χαρακτηρίζεται ως ένα μέσο πλαστικό, γιατί τα πετρώματα της παραμορφώνονται εύκολα όταν εξασκηθούν τάσεις της τάξεως ορισμένων εκατοντάδων bar. Τα χαρακτηριστικά του γήινου φλοιού είναι, σε ένα μεγάλο βαθμό, το άμεσο ή έμμεσο αποτέλεσμα των κινήσεων και μεταβολών της λιθόσφαιρας. Η θεωρία της Τεκτονικής των Λιθοσφαιρικών Πλακών, υποστηρίζει ότι τη σημερινή εποχή η λιθόσφαιρα της Γης χωρίζεται σε επτά κύριες και αρκετές μικρότερες, λιθοσφαιρικές πλάκες, οι οποίες κινούνται σχετικά η μία με την άλλη (Εικόνα 2).



Εικόνα 2 : Οι επτά κύριες και ορισμένες μικρότερες, τεκτονικές λιθοσφαιρικές πλάκες της Γης. Πηγή : Λέκκκας κ.α, 2006.

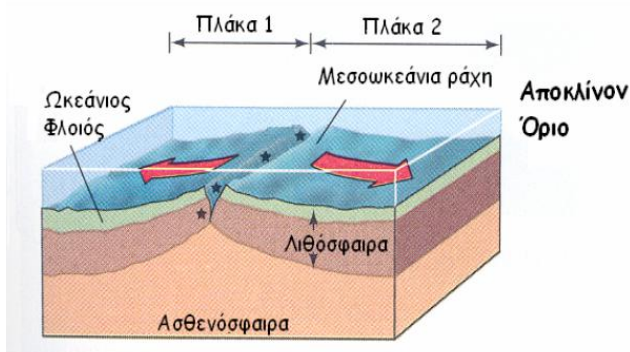
Η κίνηση αυτή, αντιστοιχεί περίπου στην κίνηση ενός άκαμπτου σώματος, θεώρηση η οποία δεν σημαίνει ότι τελικά οι τεκτονικές πλάκες είναι άκαμπτες και μη παραμορφώσιμες, αλλά ότι, σε μια πρώτη προσέγγιση, οι διαδικασίες που σχετίζονται με την τεκτονική των πλακών δεν προϋποθέτουν παραμόρφωση στο εσωτερικό τους. Το μεγαλύτερο ποσοστό της παραμόρφωσης των πλακών συγκεντρώνεται σε ζώνες, δεκάδων ή εκατοντάδων χιλιομέτρων κατά μήκος των περιθωρίων των πλακών. Σε ορισμένες περιοχές, όμως, η παραμόρφωση εκτείνεται βαθιά στο εσωτερικό των πλακών. Οι τύποι των ορίων ανάμεσα στις λιθοσφαιρικές πλάκες περιλαμβάνουν **αποκλίνοντα περιθώρια** (divergent boundaries), όπου οι πλάκες απομακρύνονται η μία από την άλλη και τα οποία σχετίζονται με δημιουργία νέας

λιθόσφαιρας, **συγκλίνοντα ή αναλίσκόμενα περιθώρια** (convergent or consuming boundaries), αποκαλούνται επίσης και ως **ζώνες υποβύθισης** (subduction zones), όπου καταστρέφεται λιθόσφαιρα, οι δε πλάκες κινούνται με τη μία να επίκειται της άλλης, που κατέρχεται μέσα στον μανδύα, κάτω από την επικείμενή της και, τέλος, συντηρητικά περιθώρια (conservative boundaries) ή περιθώρια ρηγμάτων μετασχηματισμού (transform fault boundaries), όπου η πλάκες κινούνται με οριζόντια κίνηση η μία σε σχέση με την άλλη, χωρίς να δημιουργείται ή να καταστρέφεται λιθόσφαιρα.

Η πιο άμεση ένδειξη για τις διαδικασίες της τεκτονικής των πλακών και τη διάνοιξη του πυθμένα των θαλασσών, προέρχεται από τον ωκεάνιο φλοιό, όπου η αποκλίνουσα κίνηση στις μεσοωκεάνιες ράχες, προσθέτει νέο υλικό στις λιθοσφαιρικές πλάκες.

Στις ζώνες παραμόρφωσης κατά μήκος των ορίων των πλακών, οι σχετικές κινήσεις των γειτονικών πλακών ορίζουν σε μεγάλο βαθμό τον προσανατολισμό και την ένταση των ασκούμενων δυνάμεων. Συνεπώς, το είδος της παραμόρφωσης ποικίλει και εξαρτάται από το αν το όριο είναι όριο απόκλισης, σύγκλισης ή μετασχηματισμού. Επίσης, οι διαφορές του ωκεάνιου και του ηπειρωτικού φλοιού επιδρούν στη φύση της παραμόρφωσης κατά μήκος των ορίων των πλακών.

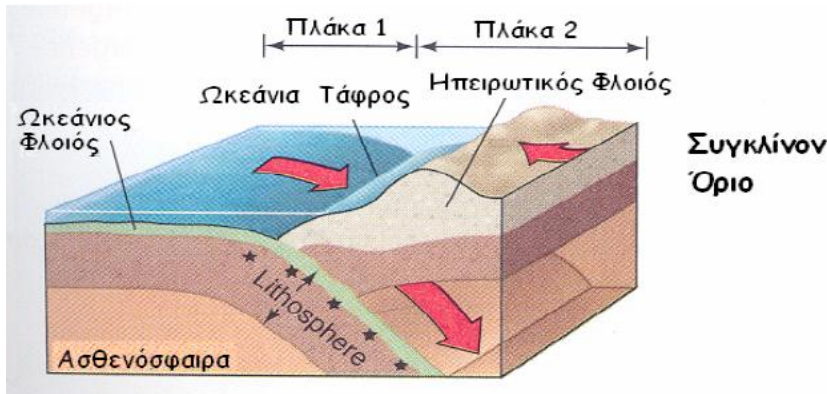
Στα αποκλίνοντα περιθώρια (εικόνα 3) παράγεται ωκεάνιος φλοιός, από τη μερική τήξη του αναδυόμενου μανδύα, που οδηγεί σε βασαλτικό μάγμα. Ηφαιστειακές διεισδύσεις και εκχύσεις αυτών των βασαλτών οδηγούν στη δημιουργία νέου ωκεάνιου φλοιού. Η σχετική κίνηση των πλακών δημιουργεί δομές στο φλοιό, που συνοδεύουν την έκταση (εφέλκυσμό), στις ζώνες αυτές, όπως είναι τα συστήματα των κανονικών ρηγμάτων κοντά στην επιφάνεια και η πλαστική λέπτυνση στους βαθύτερους ορόφους. Στα αποκλίνοντα περιθώρια που αναπτύσσονται στις ηπείρους, η σχετική έκταση και λέπτυνση οδηγεί στη ταπείνωση της περιοχής και σε τελική ανάλυση στη κάλυψη της επιφάνειας από θάλασσα. Τέτοιες δομές, συχνά, βρίσκονται θαμμένες στις ηπειρωτικές κρηπίδες.



Εικόνα 3: Σχηματική απεικόνιση της απομάκρυνσης των λιθοσφαιρικών πλακών όπου το μάγμα ανέρχεται από το μανδύα και σχηματίζεται νέος φλοιός με υποθάλασσιες οροσειρές και ηφαιστεια. (Brian J. Skinner, et al, 2004)

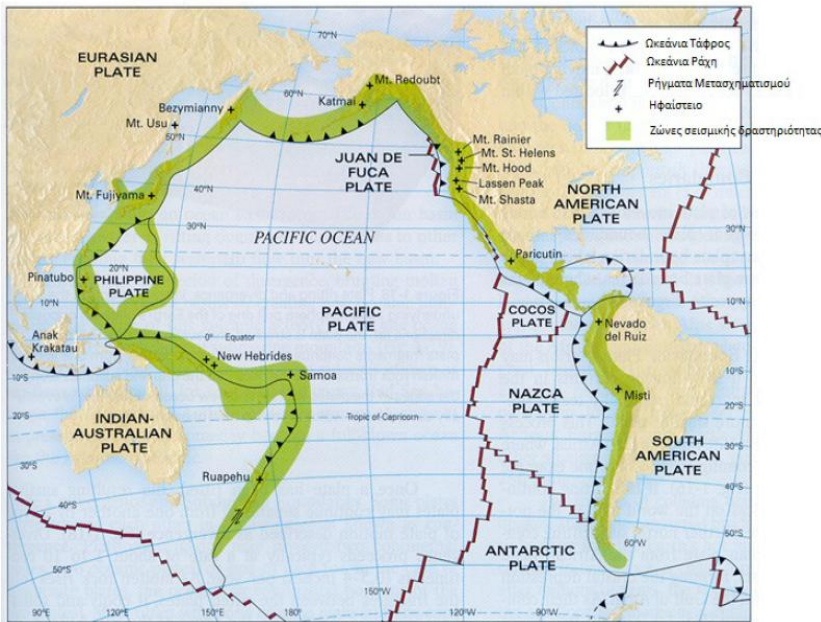
Στις ζώνες υποβύθισης (εικόνα 4) στα αναλίσκόμενα περιθώρια, ο ωκεάνιος φλοιός ανακυκλώνεται μέσα στο μανδύα. Η πλάκα καταβυθίζεται μέσα στο εσωτερικό της Γης. Ιζήματα της υποβυθιζόμενης πλάκας αποξέονται, ενώ η μερική τήξη της υποβυθιζόμενης πλάκας δημιουργεί χαρακτηριστικά ηφαιστειακά τόξα στην επωθούμενη πλάκα. Οι κυρίαρχες δομές σε τέτοιες ζώνες παραμόρφωσης, είναι τα ανάστροφα ρήγματα, οι επωθήσεις και οι

επιπεύσεις. Ωστόσο, κατά μήκος του ηφαιστειακού τόξου παρατηρούνται και κανονικά ρήγματα. Αν μία ήπειρος εμπλακεί σε μία τέτοια ζώνη υποβύθισης, τότε ο φλοιός υπόκειται σε βράχυνση και πάχυνση από τη δημιουργία χαρακτηριστικών συστημάτων από ανάστροφα ρήγματα. Οι δομές που δημιουργούνται στα συντηρητικά περιθώρια, είναι τυπικά συστήματα από ρήγματα οριζόντιας ολίσθησης, ή σε βαθύτερους τεκτονικούς ορόφους, ζώνες πλαστικής παραμόρφωσης που φέρουν χαρακτηριστική οριζόντια συνιστώσα παραμόρφωσης.



Εικόνα 4: Σχηματική απεικόνιση όπου οι δύο πλάκες συγκλίνουν και δημιουργούνται πτυχώσεις στην ηπειρωτική πλάκα και έτσι σχηματίζονται οροσειρές. Εκεί όπου η ωκεάνια πλάκα βυθίζεται, σχηματίζεται υποθαλάσσια τάφρος. (Brian J. Skinner, et al, 2004)

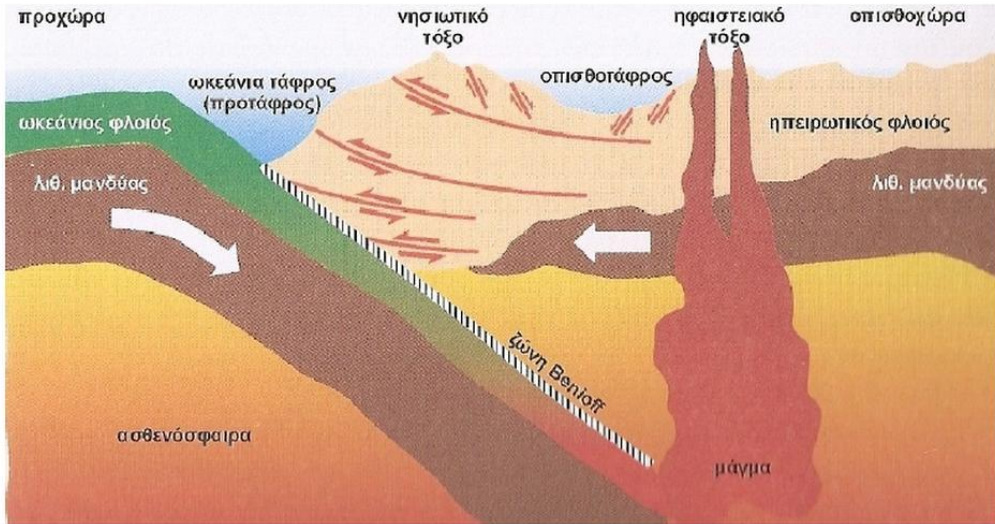
Οι τεκτονικές διαδικασίες επηρεάζουν επίσης και άλλες διαδικασίες που λαμβάνουν χώρα στη Γη. Για παράδειγμα, ο αριθμός, το μέγεθος και η γεωγραφική θέση των ηπείρων, διαφέρουν από περίοδο σε περίοδο, ως αποτέλεσμα των διαδικασιών της τεκτονικής των πλακών. Καθώς οι τελευταίες αλλάζουν τη μορφή και την κατανομή των ηπείρων και των ωκεάνιων λεκανών, οι τρόποι της ωκεάνιας και ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας αλλάζουν σημαντικά. Τα αποτελέσματα αυτών των αλλαγών στις περιβαλλοντολογικές συνθήκες οδηγούν με τη σειρά τους σε αλλαγές στα περιβάλλοντα ιζηματογένεσης και φυσικής επιλογής και εξέλιξης, όπως αποδεικνύεται από τις ιζηματολογικές και παλαιοντολογικές μελέτες, αντίστοιχα. Επειδή τα περιθώρια των πλακών αντιπροσωπεύουν θέσεις μεγάλων θερμικών ανωμαλιών στο φλοιό και το μανδύα, αυτές οι περιοχές ελέγχουν τη παρουσία και την κατανομή των ηφαιστειακών και μεταμορφωμένων πετρωμάτων, που μελετώνται από τη πετρολογία. Ομοίως, ο σχηματισμός, η συγκέντρωση και η παρουσία των ορυκτών κοιτασμάτων, επηρεάζονται από τις δομές και τα τεκτονικά περιβάλλοντα, όπως και από τις θερμικές ανωμαλίες στα περιθώρια των πλακών. Συνήθως, όρια πλακών αντιπροσωπεύουν, επίσης και οι περιοχές εκείνες όπου εκδηλώνεται το μεγαλύτερο μέρος της ηφαιστειακής και σεισμικής δραστηριότητας. Χαρακτηριστικά τέτοια παραδείγματα αποτελούν οι μεγάλες ηφαιστειακές εκρήξεις στη Σαντορίνη και οι μεγάλοι σεισμοί στο **Ρήγμα της Βόρειας Ανατολίας**, στο τέλος του εικοστού αιώνα. Στην εικόνα 5, γίνεται εμφανές το πώς η κατανομή της ηφαιστειακής δραστηριότητας και των σεισμών στο περι-ειρηνικό τόξο, ακολουθεί τα όρια των πλακών, καθώς τα φαινόμενα αυτά σχετίζονται άμεσα με τις γεωδυναμικές διαδικασίες που λαμβάνουν χώρα εκεί (ζώνες σύγκλισης, ρήγματα μετασχηματισμού κλπ.). Σεισμοί που έχουν λάβει χώρα στο εσωτερικό των ηπείρων, πιθανά προέρχονται από την ενεργοποίηση παλαιών ρηγμάτων που σχηματίστηκαν σε ανάλογης ηλικίας περιθώρια πλακών.



Εικόνα 5 : Η κατανομή της ηφαιστειακής δραστηριότητας και των σεισμών στο περι-ειρηνικό τόξο, ακολουθεί τα όρια των πλακών, καθώς τα φαινόμενα αυτά σχετίζονται άμεσα με τις γεωδυναμικές διαδικασίες που λαμβάνουν χώρα εκεί. Πηγή : Λέκκας κ.α, 2006

2.3 ΤΟ ΟΡΟΓΕΝΕΤΙΚΟ ΤΟΞΟ

Κατά τη σύγκλιση των πλακών, μια ωκεάνια λιθόσφαιρα υποβυθίζεται είτε κάτω από μία άλλη ωκεάνια, είτε κάτω από ηπειρωτική λιθόσφαιρα. Και στις δύο περιπτώσεις, στη ζώνη σύγκλισης διαμορφώνεται μια σταθερού τύπου γεωμετρία επιμέρους τμημάτων, που συνολικά συνθέτουν αυτό που ονομάζουμε **ορογενετικό τόξο**. Κάθε τμήμα αντιστοιχεί σε μια ιδιαίτερη μορφολειτουργική δομή, έχει δηλαδή τη δική του μορφή και λειτουργία, ενταγμένη όμως στα πλαίσια της συνολικής λειτουργίας του ορογενετικού τόξου στο χώρο και στο χρόνο. Η γεωμετρία αυτή διαμορφώνεται όταν αρχίζει η σύγκλιση και καταστρέφεται με την τελική σύγκρουση. Τα βασικά τμήματα ενός ορογενετικού τόξου, από τα πιο εσωτερικά προς τα εσωτερικότερα, είναι : η πρόταφρος ή ωκεάνια τάφρος, το νησιωτικό τόξο, η οπισθόταφρος και το ηφαιστειακό τόξο (εικόνα 6) (Παπανικολάου και Σιδέρης, 2007).



Εικόνα 6 : Σχηματική απεικόνιση σε τομή των επιμέρους τμημάτων ενός ορογενετικού τόξου.

Πηγή : Παπανικολάου και Σιδέρης, 2007.

Η πρόταφρος ή ωκεάνια τάφρος, είναι μία δομή βαθιάς υποθαλάσσιας λεκάνης, που σχηματίζεται περίπου στο όριο των πλακών που συγκλίνουν. Κύρια χαρακτηριστικά της είναι το τεράστιο μήκος (εκατοντάδες λη χιλιάδες km), το μικρό πλάτος (γύρω στα 100km) και το μεγάλο βάθος της (3-10km). Είναι χαρακτηριστικό ότι τέτοιες ωκεάνιες τάφροι περιβάλλουν τον Ειρηνικό ωκεανό σχεδόν στα $\frac{3}{4}$ της περιμέτρου του και μάλιστα εκεί εντοπίζονται τα μεγαλύτερα βάθη του (10915m το μέγιστο βάθος θάλασσας παγκοσμίως στην τάφρο των Μαριάννων, ανατολικά των Φιλιππίνων. Αντίθετα, στον Ατλαντικό ωκεανό δεν υπάρχουν πρόταφροι, γιατί τα περιθωριά του είναι σχεδόν παντού παθητικά.

Το νησιωτικό τόξο, είναι μία τεράστια υποθαλάσσια οροσειρά στο μέτωπο της προωθούμενης πλάκας (δηλαδή) εσωτερικότερα και παράλληλα προς την πρόταφρο), που αναδύεται από τη θάλασσα σχηματίζοντας επιμήκη νησιά σε τοξοειδή διάταξη.

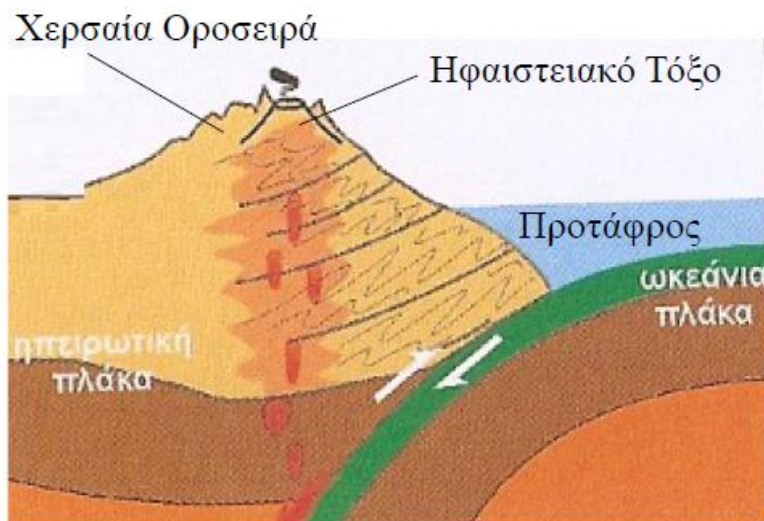
Η οπισθόταφρος, είναι μια λιγότερο βαθιά (σε σχέση με την πρόταφρο) θαλάσσια λεκάνη πίσω από το νησιωτικό τόξο, ενώ η πρόταφρος είναι μπροστά από το νησιωτικό τόξο.

Το ηφαιστειακό τόξο, αποτελείται από μία σειρά ηφαιστειών διατεταγμένων τοξοειδώς, παράλληλα στις προηγούμενες δομές. Σχηματίζεται από ανοδικά κινούμενο μάγμα, που προέρχεται κυρίως από το λιώσιμο των πετρωμάτων της υποβυθιζόμενης πλάκας, όταν φτάσει σε βάθη μεγαλύτερα των 100km. Η θέση εκδήλωσης των ηφαιστειών είναι συνάρτηση της γωνίας και της ταχύτητας υποβύθισης, κατά κανόνα όμως το τόξο των ηφαιστειών εκδηλώνεται πάνω στο νησιωτικό τόξο. Υπάρχουν όμως και περιπτώσεις που αυτό γίνεται πίσω από το νησιωτικό τόξο, όπως συμβαίνει στο ελληνικό ορογενετικό τόξο, όπου τα ηφαίστεις (Σαντορίνη, Νίσυρος κ.α) εκδηλώνονται στα εσωτερικά πρηνή της οπισθοτάφρου, περίπου 200km πίσω από το όριο σύγκλισης.

Ένας αρκετά διαφοροποιημένος τύπος ανάπτυξης ορογενετικών τόξων εμφανίζεται στην περίπτωση των ενεργών ηπειρωτικών περιθωρίων της Β. και Ν. Αμερικής προς την πλευρά

του Ειρηνικού. Κατά μήκος αυτών, εξελίσσεται η υποβύθιση ωκεάνιας λιθόσφαιρας της ειρηνικής και των άλλων μικρότερων ωκεάνιων πλακών κάτω από τις δύο ηπειρωτικές πλάκες (βορειοαμερικανική και νοτιοαμερικανική). Στην περίπτωση όμως αυτή : 1) η ορογενετική δομή δεν εκφράζεται με τη μορφή νησιωτικού τόξου αλλά ως χερσαία συνεχής οροσειρά (Άνδεις στη Ν. Αμερική, Βραχώδη όρη στη Β. Αμερική) και μάλιστα με ενσωματωμένο σ' αυτήν το ηφαιστειακό τόξο, και 2) πίσω από αυτήν δεν αναπτύσσεται οπισθοταφρική λεκάνη. Συνεπώς, αντί της σχηματικής ακολουθίας (τάφρος-νησιωτικό/ηφαιστειακό τόξο- οπισθόταφρος), έχουμε το ζεύγος (χερσαία οροσειρά/ηφαιστεια), που είναι τυπικότερα εκφρασμένο στις Άνδεις. (εικόνα 6)

Σε κάθε μία από τις παραπάνω περιπτώσεις, ο γεωλογικά ενεργός χώρος ενός ορογενετικού τόξου (με τις επιμέρους δομές του) αναπτύσσεται ανάμεσα σε δύο ήρεμους ανενεργούς γεωλογικά χώρους : εκείνον που είναι μπροστά από το τόξο (και δεν έχει ακόμα επηρεαστεί από τις διαδικασίες της ορογένεσης) και ονομάζεται **προχώρα** και αυτόν στο άλλο άκρο (πίσω από την οπισθόταφρο), που έχει πλέον κατασιγάσει και ονομάζεται **οπισθοχώρα** (εικόνα 7). Η προχώρα βρίσκεται στην υποβυθιζόμενη πλάκα και η οπισθοχώρα στην προελαύνουσα πλάκα. (Παπανικολάου και Σιδέρης, 2007).



Εικόνα 7: Σύγκλιση μιας ωκεάνιας και μιας ηπειρωτικής πλάκας, ε υποβύθιση της πρώτης κάτω από τη δεύτερη. Πηγή : Παπανικολάου και Σιδέρης, 2007.

2.4. ΤΟ ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΟΡΟΓΕΝΕΤΙΚΟ ΤΟΞΟ

Ο ελληνικός χώρος βρίσκεται στο ενεργό νότιο ηπειρωτικό περιθώριο της Ευρασιατικής πλάκας, η οποία προελαύνει προς νότο και κάτω από το οποίο βυθίζεται η ωκεάνια λιθόσφαιρα της αφρικανικής πλάκας (εικόνα 8). Στο γεγονός αυτό, οφείλονται η έντονη τεκτονική δραστηριότητα, τα ηφαιστειακά φαινόμενα και η έντονη σεισμικότητα του ελληνικού χώρου. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι το 50% της σεισμικής ενέργειας που εκλύεται στην Ευρώπη προέρχεται από τον ελληνικό χώρο. Η ταχύτητα κίνησης της Ευρασιατικής πλάκας στο τμήμα της Κρήτης (που έχει διεύθυνση προς νότο, φτάνει τα 4cm το χρόνο. Αντίθετα, η

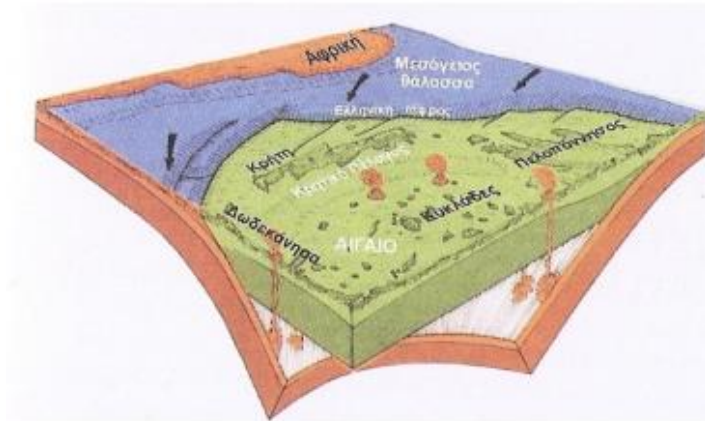
ταχύτητα κίνησης της Αφρικανικής πλάκας προς βορρά είναι 1cm το χρόνο. Η συνολική ταχύτητα σύγκλισης των δύο πλακών φθάνει τα 5cm το χρόνο.

Σε κάθε αντίστοιχη περίπτωση, έτσι και στον ελληνικό χώρο, στα όρια σύγκλισης λιθοσφαιρικής πλάκας με ηπειρωτικό φλοιό με λιθοσφαιρική πλάκα ωκεάνιου φλοιού, σχηματίζονται **πρόταφρος, νησιωτικό τόξο, οπισθόταφρος και ηφαιστειακό τόξο** (εικόνα 9).

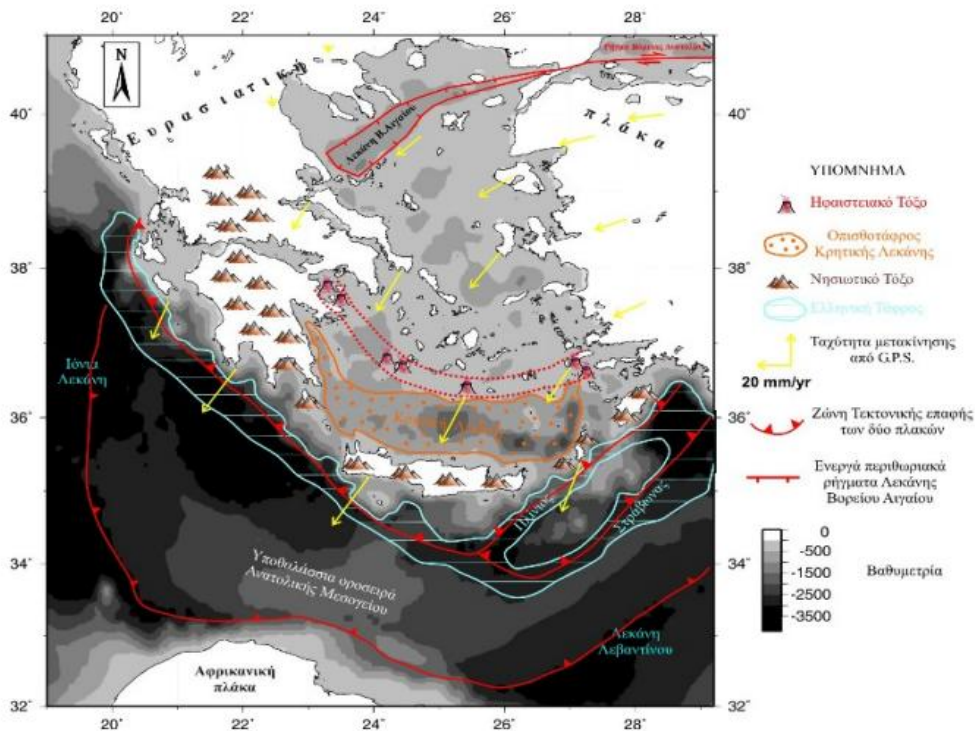
Η ελληνική τάφρος αποτελείται από μία σειρά υποθαλάσσιων λεκανών με βάθος μεγαλύτερο από 4km. Στην ελληνική τάφρο συναντώνται τα μεγαλύτερα βάθη της Μεσογείου με μέγιστο βάθος 5093m, νοτιοδυτικά της Μεθώνης. Η τάφρος διασχίζει το Ιόνιο πέλαγος, περνά δυτικά και νότια της Κρήτης, της Καρπάθου, της Κάσου και της Ρόδου. Νοτιοανατολικά της Κρήτης διχάζεται σε κλάδους, όπως την τάφρο του Πλινίου, του Πτολεμαίου και του Στράβωνα.

Νοτιοδυτικά και δυτικά της ελληνικής τάφρου βρίσκεται η μεσόγειος ράχη ή υποθαλάσσια οροσειρά της Ανατολικής Μεσογείου, μια οροσειρά μήκους εκατοντάδων χιλιομέτρων και ύψους περίπου 2000m πάνω από τον πυθμένα της θάλασσας. **Το ελληνικό νησιωτικό τόξο** (η τοξοειδής διάταξη του ελληνικού χώρου) σχηματίστηκε μετά το Μειόκαινο (πριν 13 εκατομμύρια χρόνια) με τις διεργασίες της ορογένεσης (οι ελληνίδες οροσειρές αποτελούν μέρη της Αλπικής οροσειράς). Από τότε υφίσταται συνεχή τεκτονική παραμόρφωση με αποτέλεσμα τη δημιουργία ενεργών ρηγμάτων και την πρόκληση πολυάριθμων σεισμών. Το ελληνικό τόξο συνδέει τις Δειναρικές Άλπεις με τις τουρκικές Ταυρίδες οροσειρές μέσω των ελληνίδων οροσειρών, των νησιών του Ιονίου, της Κρήτης, της Κάσου και της Ρόδου. Η τοξοειδής διάταξη των νησιών Κυθήρων, Κρήτης, Κάσου και Ρόδου συνιστά το λεγόμενο **νησιωτικό τόξο**. Η εμπρόσθια τοξοειδής λεκάνη ή **οπισθόταφρος** βρίσκεται μεταξύ του νησιωτικού και του ηφαιστειακού τόξου και έχει βάθη μικρότερα των 2km.

Το ηφαιστειακό τόξο είναι παράλληλο προς την ελληνική τάφρο και απέχει μία μέση απόσταση 150km από αυτή. Αποτελείται από διάφορα νησιωτικά ηφαίστεια (Πόρος, Μέθανα, Αίγινα, Μήλος, Σαντορίνη, Νίσυρος και Κως) με τοξοειδή διάταξη. Τα ηφαίστεια αυτά έχουν σχηματιστεί από την τήξη της βυθιζόμενης αφρικανικής πλάκας πριν από 2,5 εκατομμύρια χρόνια. Το σχηματιζόμενο γρανιτικό μάγμα αναδύομενο προς την επιφάνεια ψύχεται και κρυσταλλούμενο σχηματίζει πλουτωνίτες στο βάθος και ηφαίστεια με τοξοειδή διάταξη στην επιφάνεια (Κονισπολιάτης, 2009).



Εικόνα 8: Σχηματική απεικόνιση σε στερεοδιάγραμμα, του σημερινού ελληνικού τόξου. Με πράσινο χρώμα σημειώνεται το μετωπικό τμήμα της προωθούμενης ευρασιατικής πλάκας, ενώ με πορτοκαλί η υποβυθιζόμενη αφρικανική πλάκα (τα βέλη δείχνουν τη φορά υποβύθισης). Από την ανάτηξη των πετρωμάτων της τελευταίας, παράγεται μάγμα, που ανερχόμενο στην επιφάνεια, δημιουργεί το τόξο των ηφαιστείων του Αιγαίου. Η προστριβή των δύο πλακών παράγει σεισμούς στα Ιόνια νησιά και το νότιο Αιγαίο (Κρήτη, Δωδεκάνησα). Πηγή : Παπανικολαού και Σιδέρης, 2007.



Εικόνα 9: Οι κυριότερες μορφοτεκτονικές ενότητες του Ελληνικού τόξου. Πηγή : Νομίκου and Παπανικολαου, 2010.

2.5. ΡΗΞΙΓΕΝΕΙΣ ΔΟΜΕΣ

Τα ρήγματα και οι διακλάσεις αποτελούν αντικείμενο έρευνας της ρηξιγενούς τεκτονικής. Οι ρηξιγενείς τεκτονικές δομές, ανάλογα με το μηχανισμό γένεσής τους, διακρίνονται σε δυο μεγάλες κατηγορίες:

α) Ρηξιγενείς δομές θραύσης ή εφελκυσμού.

β) Ρηξιγενείς δομές ολίσθησης ή διατμητικές τεκτονικές δομές.

Οι ρηξιγενείς τεκτονικές δομές αποτελούν σε γενικές γραμμές επιφάνειες τεκτονικών ασυνεχειών, που διαχωρίζουν ομάδες ή τύπους πετρωμάτων, διαφόρου ή μη σύστασης, απόχρωσης, υφής ή ηλικίας και διαταράσσουν την πρωταρχική κανονική δομή ή θέση των γεωλογικών σχηματισμών.

Οι σχηματισμοί που διαχωρίζονται ή κόβονται από ρηξιγενείς επιφάνειες (δομές), ή τα τμήματα των σχηματισμών που βρίσκονται εκατέρωθεν της ρηξιγενούς επιφάνειας, είναι δυνατόν να τοποθετούνται μεταξύ τους, είτε σε ασυμφωνία είτε σε συμφωνία.

Οι ρηξιγενείς τεκτονικές δομές αποτελούν συνήθως μη περιστροφικές έως πλάγιες παραμορφώσεις και σύμφωνα με τη μορφολογία τους διακρίνονται στις τρεις παρακάτω μεγάλες κατηγορίες, στενά συνδεδεμένες μεταξύ τους.

α) Διακλάσεις

β) Ρωγμές-πτεροειδείς διακλάσεις

γ) Μετατοπίσεις (ρήγματα).

Διακλάσεις

Ως διάκλαση χαρακτηρίζεται κάθε ρηξιγενής τεκτονική δομή, εκατέρωθεν της οποίας δεν παρατηρούνται σημαντικές μετατοπίσεις των τμημάτων του γεωλογικού σχηματισμού. Ρηξιγενείς επιφάνειες, εκατέρωθεν των οποίων παρατηρούνται πολύ μικρής κλίμακας μετατοπίσεις, θεωρούνται έτσι, ως διακλάσεις.

Οι τεκτονικές επιφάνειες των διακλάσεων, εμφανίζονται συνήθως επίπεδες. Σπανιότερα, εν τούτοις, είναι δυνατόν να παρατηρηθούν κεκαμμένες ή με σιγμοειδή μορφή επιφάνειες διακλάσεων, ιδίως όταν μετά τη δημιουργία τους επηρεασθούν από κάποια νεότερη παραμορφωτική φάση.

Η πυκνότητα και η συχνότητα των διακλάσεων, όπως εξ άλλου και κάθε άλλης τεκτονικής δομής, εξαρτώνται, από τις μηχανικές ιδιότητες του σχηματισμού που παραμορφώνεται. Το σύνολο των διακλάσεων ενός γεωλογικού σχηματισμού χωρίς να ληφθεί υπ' όψη οι μεταξύ τους γενετική αλληλοεξάρτηση χαρακτηρίζεται ως δίκτυο διακλάσεων. Οι διακλάσεις που αναπτύσσονται σε μια διεύθυνση, αποτελούν ένα σύνολο διακλάσεων. Δυο ή περισσότερα σύνολα διακλάσεων που ανήκουν όμως στην ίδια παραμορφωτική φάση, σχηματίζουν ένα σύστημα διακλάσεων.

Ρωγμές

Όταν τα τμήματα του γεωλογικού σχηματισμού, που βρίσκονται εκατέρωθεν μιας διάκλασης (προϋπάρχουσας ή σύγχρονης), απομακρύνονται κάθετα ως προς τα τοιχώματα της διάκλασης (π.χ. κατά το οριζόντιο επίπεδο στην περίπτωση κατακόρυφων διαρρήξεων) και σε μικρή κλίμακα οπωσδήποτε, τότε η διάκλαση μετατρέπεται σε ρωγμωση. Βέβαια όπως φαίνεται και από τον ορισμό, σαφή όρια μεταξύ διάκλασης, ρωγμωσης και ρήγματος δεν υπάρχουν. Στη φύση θα συναντήσουμε συχνά μεταβατικές μορφές από διακλάσεις σε ρωγμώσεις και αντίθετα.

Μάλιστα ο Metz (1967), θεωρεί από γενετικής άποψης, τις δυο αυτές έννοιες, ρωγμές και διακλάσεις, ταυτόσημες. Παρόλα αυτά θεωρητικά τουλάχιστον, παρατηρούμε ότι υπάρχει πράγματι μια μικρή μορφολογική διαφορά μεταξύ των δυο αυτών ρηξιγενών δομών.

Πτεροειδείς διακλάσεις ή πτεροειδείς ρωγμές

Οι πτεροειδείς ρωγμές είναι μικρορωγμές με σφηνοειδές σχήμα και κεκαμμένες ως σίγμα τελικό (S). Αυτές προκύπτουν από διατμητικές τάσεις, αποτέλεσμα συμπεστικών ή εφελκυστικών κύριων δυνάμεων .

Αυτές σχηματίζονται κατ' εξοχήν στην περιοχή των ορίων δυο τμημάτων ενός γεωλογικού σχηματισμού, που κινούνται κατ' αντίθετη φορά ή δέχονται την επίδραση αντιθέτων διευθύνσεων τάσεων (διάτμηση). Συχνά οι διατμητικές αυτές τάσεις, εφόσον ξεπεραστεί το όριο θραύσεως του πετρώματος, συνοδεύονται ως γνωστόν και από τη δημιουργία της αντίστοιχης διατμητικής ρηξιγενούς δομής με αποτέλεσμα τότε οι πτεροειδείς ρωγμές να τοποθετούνται εκατέρωθεν της ρήξεως. Οποσδήποτε προϋπόθεση για τη δημιουργία των πτεροειδών διακλάσεων δεν αποτελεί ο σχηματισμός της αντίστοιχης διατμητικής ρήξης. Αρκεί όπως τονίσαμε η κίνηση μόνο δυο τμημάτων ενός γεωλογικού σχηματισμού κατ' αντίθετη κίνηση από την επίδραση διατμητικών τάσεων, για να δημιουργηθούν στα σημεία επαφής τους, οι πτεροειδείς ρωγμές .

Από τη διάταξη και το σχήμα των πτεροειδών ρωγμών είναι δυνατόν να καταλήξουμε στην εξακρίβωση των επί μέρους κινήσεων των τμημάτων του γεωλογικού σχηματισμού, που βρίσκονται εκατέρωθεν του συστήματος των πτεροειδών διακλάσεων.

Ρήγματα ή μετατοπίσεις

Ρήγμα στην τεκτονική ονομάζουμε κάθε ρηξιγενή δομή εκατέρωθεν της οποίας παρατηρούνται μετακινήσεις των επί μέρους τμημάτων του γεωλογικού σχηματισμού που παραμορφώνεται. Οι μετατοπίσεις αυτές μπορεί να είναι της τάξης μεγέθους από 1 cm μέχρι και πάνω από 1000 m, πολλές φορές. Η επιφανειακή εξ' άλλου εξάπλωση ενός ρήγματος είναι δυνατόν να φθάνει σε μήκος πολλών χιλιομέτρων. Ολόκληροι ήπειροι μπορεί να μετατοπίζονται κατά μήκος τέτοιων, μεγάλου μήκους, ρηγμάτων (ηπειρωτικό σύστημα διάρρηξης, ταφρογενείς ζώνες).

Οι ρηξιγενείς επιφάνειες μπορεί να είναι, όπως γενικά και κάθε επιφανειακό στοιχείο στη Γεωλογία, κατακόρυφες, κεκλιμένες ανάλογα, ή οριζόντιες. Μπορεί να εμφανίζονται επίσης όπως και οι επιφάνειες των διακλάσεων, λείες επίπεδες, κεκαμμένες ή και σιγμοειδώς κεκαμμένες.

Συνήθως τα ρήγματα στους γεωλογικούς σχηματισμούς, είτε αυτοί είναι ιζηματογενείς, είτε μαγματογενείς, είτε μεταμορφωσιγενείς, προκαλούνται μετά τον σχηματισμό τους, από την επίδραση μεταγενέστερων παραμορφωτικών δυνάμεων.

Υπάρχουν εν τούτοις περιπτώσεις, ιδίως στα ιζηματογενή πετρώματα, όπου ο σχηματισμός των ρηγμάτων μπορεί να γίνει κατά τη διάρκεια της ιζηματογένεσης. Τα ρήγματα αυτά αποτελούν μια ιδιαίτερη, μεγάλης σημασίας για τη σχετική χρονολόγηση τεκτονικών συμβάντων στη φύση, κατηγορία ρηγμάτων, που χαρακτηρίζονται ως συνιζηματογενή ρήγματα. Ορισμένα γνωρίσματα των ρηξιγενών αυτών δομών, που τις διακρίνουν από τις υπόλοιπες κανονικές ρηξιγενείς δομές, είναι τα εξής:

α) Τα ρήγματα αυτά, περιορίζονται σε ορισμένα μόνο στρώματα των ιζηματογενών σχηματισμών και δεν κόβουν όλες τις στρωσιγενείς επιφάνειες του ιζήματος.

β) Είναι συνήθως μικρών διαστάσεων.

γ) Με το βάθος αυξάνει συνήθως, το άλμα της μετατόπισης των τμημάτων εκατέρωθεν της ρήξεως.

Κατά μήκος των ρηγμάτων κυκλοφορεί συνήθως νερό, με αποτέλεσμα να εμφανίζονται πολλές φορές πηγές σε ορισμένα σημεία τους, ανάλογα με τις γεωλογικές συνθήκες της ευρύτερης περιοχής. Υπάρχουν εν τούτοις περιπτώσεις, κατά τις οποίες διαπιστώθηκε ότι τα ρήγματα, ιδίως αυτά που αναπτύσσονται κάθετα στη διεύθυνση ροής του νερού μέσα στο πέτρωμα και το υλικό πληρώσεως τους έχει συμπαγοποιηθεί, αποτελούν ανασταλτικό παράγοντα στην κίνηση του νερού, σχηματίζοντας έτσι κατά κάποιο τρόπο, ένα αδιαπέρατο για το νερό διάφραγμα (Μια τέτοια περίπτωση, αναφέρεται στην περιοχή Αγιάς της Δ. Κρήτης).

Οι διευθύνσεις των μετατοπίσεων, που δυνατόν να λάβουν χώρα κατά μήκος μιας ρηξιγενούς επιφάνειας ενός ρήγματος. Έτσι ανάλογα με τον τρόπο κίνησης των επί μέρους τμημάτων του γεωλογικού σχηματισμού εκατέρωθεν του ρήγματος, διακρίνονται με τη σειρά τους τα ρήγματα σε τρεις μεγάλες κατηγορίες .

α) Ρήγματα σμίκρυνσης (ή ανάστροφα ρήγματα).

Ως αποτέλεσμα δράσης αυτών των ρηγμάτων είναι η δημιουργία επιπτώσεων, επωθήσεων, υποθήσεων, λεπιώσεων και τεκτονικών καλυμμάτων.

β) Ρήγματα απομάκρυνσης (ή ρήγματα εκτάσεως ή κανονικά ρήγματα). Τα ρήγματα αυτά προκαλούν τις μεταπτώσεις.

γ) Ρήγματα οριζόντιας μετατόπισης. Προκαλούν οριζόντια μετατόπιση των εκατέρωθεν της ρηξιγενούς επιφάνειας τμημάτων του γεωλογικού σχηματισμού.

Πολλές φορές εν τούτοις, παρατηρούνται μεταβατικές μορφές μεταξύ των α και γ κατηγοριών ρηγμάτων, καθώς επίσης και μεταξύ των β και γ κατηγοριών. Δημιουργούνται έτσι στην πρώτη περίπτωση τα πλάγια ανάστροφα ρήγματα, ενώ στη δεύτερη τα πλάγια κανονικά .

Κατά τη γεωλογική εξέλιξη επίσης ενός ρήγματος, είναι δυνατόν να αλλάξει η αρχική φορά κίνησης των τμημάτων εκατέρωθεν της ρηξιγενούς επιφάνειας, έτσι ώστε ένα ανάστροφο ρήγμα να μεταπίπτει σ' ένα κανονικό ρήγμα ή και αντίστροφα. Αλλά και κατά μήκος του ίδιου του ρήγματος, συμβαίνει καμία φορά, οι παρατηρούμενες κινήσεις να έχουν αντίθετη φορά σε ορισμένα σημεία της ρηξιγενούς επιφάνειας, με αποτέλεσμα το ίδιο το ρήγμα αλλού να εμφανίζεται ως ανάστροφο και αλλού ως κανονικό . Τα φαινόμενα αυτά μαζί με το γεγονός, ότι η γωνία κλίσεως της ρηξιγενούς επιφάνειας μπορεί να διαφοροποιείται με το βάθος, θα πρέπει να ληφθούν σοβαρά υπόψη, κατά τη μελέτη των ρηγμάτων. Γενετικά, τα ρήγματα (μετατοπίσεις), θεωρούνται αντίθετα με τις διακλάσεις και ρωγμές, ως διατμητικές ρηξιγενείς δομές, που προκαλούνται έστω και δευτερογενώς από διατμητικές τάσεις, ως αποτέλεσμα συμπίεστικών ή εφελκυστικών κύριων δυνάμεων, ανάλογα. Υπενθυμίζουμε εδώ, ότι ο μέγιστος εφελκυσμός, παρατηρείται κατά τη διεύθυνση της ελάχιστης κύριας, κάθετης τάσης. (Εργαστήριο Γεωλογίας, Ηλεκτρονικά μαθήματα)

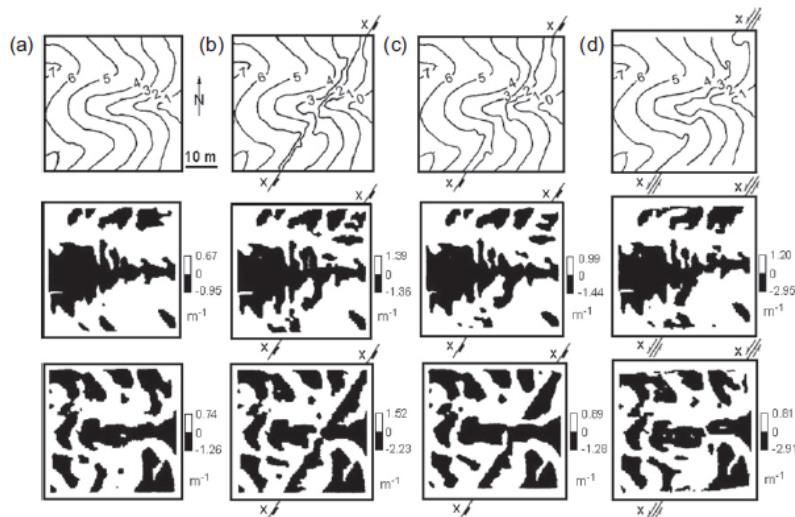
Ρηξιγενής ζώνη

Στην πράξη, η ρηξιγενής ζώνη στην υποθαλάσσια περιοχή, είναι η λωρίδα που βρίσκεται ανάμεσα στην ηπειρωτική ασυνέχεια και στο ίχνος του ρήγματος.

2.6. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΥΡΕΣΗΣ ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΩΣΕΩΝ ΚΑΙ ΡΗΓΜΑΤΩΝ

Μεθοδολογία, για την εύρεση φωτογραμμώσεων (lineaments) και πιθανών ρηγμάτων (faults), αναπτύχθηκε από τον Igor V. Florinsky. Τα ρήγματα κατά κανόνα υποδεικνύονται από τις φωτογραμμώσεις. Ο όρος «φωτογραμμώσεις» χρησιμοποιείται συνήθως για να περιγραφει κάθε γραμμικό γεωλογικό χαρακτηριστικό διαφορετικής προέλευσης, ηλικίας, βάρους, κλίμακας. Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των γραμμικών τοπογραφικών μετατοπίσεων που σχηματίζονται από κάθετες τεκτονικές κινήσεις, διαφέρουν από αυτά που σχηματίζονται από οριζόντιες τεκτονικές κινήσεις. Ποιοτικά και ποσοτικά σημάδια αυτών των διαφορών, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αναγνώριση της προέλευσης (του τύπου) του τοπογραφικώς εκφρασμένου, ρήγματος. Γι' αυτό ο εντοπισμός των φωτογραμμώσεων μπορεί να γίνει με τον υπολογισμό και την απεικόνιση των καμπυλοτήτων κατά την οριζόντια διεύθυνση (kh) και κατά την κάθετη διεύθυνση (kv). Οι καμπυλότητες αυτές θα πρέπει να υποδιαιρεθούν σε δύο επίπεδα σε σχέση με την τιμή μηδέν (Florinsky, 1992). Έχει διαπιστωθεί πως οι φωτογραμμώσεις που καταγράφονται σε χάρτες αναπαράστασης της καμπυλότητας κάθετα στη διεύθυνση κλίσης (kh) και καμπυλότητα παράλληλα στη διεύθυνση κλίσης (kv), έχουν ουσιαστικά διακριτές στατιστικές ιδιότητες (δηλαδή προσανατολισμό και πυκνότητα). Γεωμορφολογικά, αυτό μπορεί να εξηγηθεί από το γεγονός ότι η kh χαρτογράφηση αποκαλύπτει κυρίως τις κοιλάδες και τις εξάρσεις στις κορυφογραμμές, ενώ η kv χαρτογράφηση αποκαλύπτει κυρίως ψηλές επίπεδες επιφάνειες (Evans, 1980).

Στις παρακάτω εικόνες αναπαρίσταται η διαδικασία και οι χάρτες που περιγράφηκαν καθώς και κάποια διαφορετικά είδη ρηγμάτων. Στην πρώτη γραμμή είναι ο αρχικός χάρτης, στη δεύτερη είναι ο χάρτης kh και στην τρίτη ο χάρτης kv.

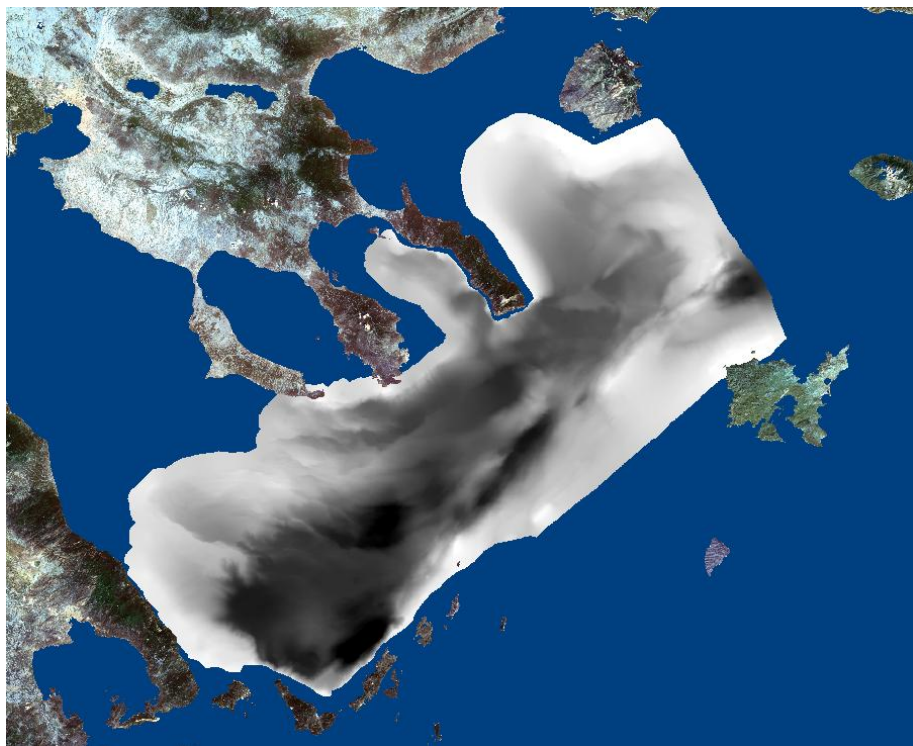


Εικόνα 10: a) αρχική επιφάνεια b) ρήγμα κατακόρυφης ολίσθησης c) ρήγμα μικρής γωνίας ολίσθησης d) strike slip ρήγμα

2.7. ΛΕΚΑΝΗ ΒΟΡΕΙΟΥ ΑΙΓΑΙΟΥ

2.7.1 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Η λεκάνη του Βορείου Αιγαίου αποτελεί το βόρειο τμήμα του Αιγαίου πελάγους και βρίσκεται μεταξύ της Θεσσαλίας, Μακεδονίας, Θράκης και των νησιών Σποράδες καθώς και τη Λήμνο, όπως φαίνεται στην εικόνα 11, έχοντας τοποθετήσει το ψηφιακό μοντέλο βάθους της «πάνω» σε δορυφορική εικόνα Landsat TM.



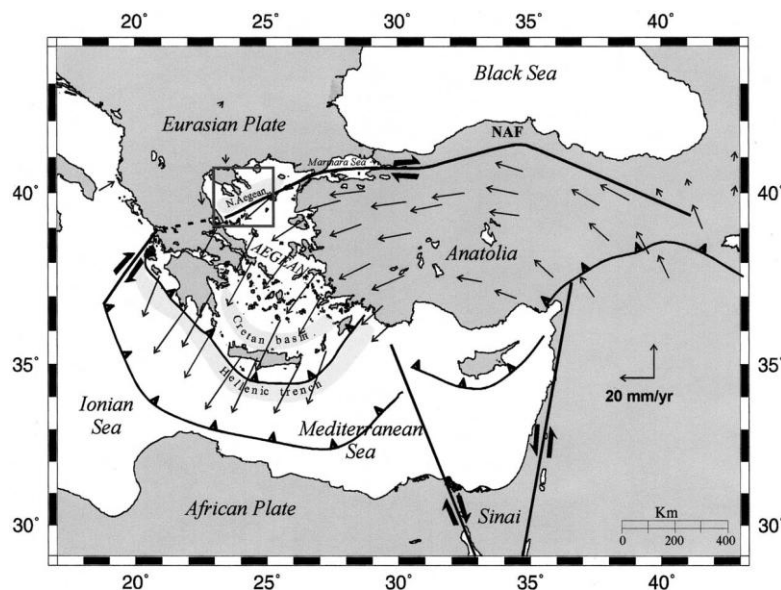
Εικόνα 11: Αναπαράσταση της λεκάνης του Βορείου Αιγαίου εντός του Ελλαδικού χώρου σε εικόνα Landsat TM.

Αρχικά, στο Αν. Ηώκαινο – Ολιγόκαινο, η περιοχή του Β. Αιγαίου αποτελούσε ένα θαλάσσιο περιβάλλον μολασσικής ιζηματογένεσης και εκτεινόταν από τα νησιά της Λήμνου και του Αγ. Ευστράτιου προς Νότο ως τους ορεινούς όγκους της Ροδόπης προς Βορρά. Κατά την διάρκεια, όμως του Μειοκαίνου, σημαντικά τμήματα της προϋπάρχουσας λεκάνης ανυψώθηκαν μέχρι το Αν. Μειόκαινο – Πλειόκαινο. Την περίοδο αυτή ξεκινά μια νεοτεκτονική δραστηριότητα εξαιτίας της προς τα δυτικά επέκτασης της ρηξιγενούς ζώνης της Βόρειας Ανατολίας, η οποία δημιουργήθηκε ως αποτέλεσμα της σύγκρουσης μεταξύ Αραβίας και Ευρασίας στην περιοχή του Καυκάσου. Έτσι οι σημερινές ενεργές τεκτονικές δομές στην λεκάνη του Βορείου Αιγαίου είναι το αποτέλεσμα μιας νεοτεκτονικής δομής που επικαλύπτει μια προγενέστερη κάτω – Τριτογενή αλπική – μολασσική δομή. Όσον αφορά στην θέση της λεκάνης αυτής σε σχέση με το ενεργό Ελληνικό Ορογενετικό τόξο, αποτελεί την οπισθοχώρα αυτού και έχει ενταχθεί στην σταθεροποιημένη Ευρασιατική λιθόσφαιρα.

Γεωδαιτικές μετρήσεις που διεξήχθησαν στην περιοχή της Ανατολικής Μεσογείου, σε σχέση με την σταθερή Αφρική, επιβεβαιώνουν το παραπάνω γεωτεκτονικό μοντέλο:

- Η Αραβία κινείται με ένα ρυθμό της τάξης των 10mm/yr προς Βορρά με αποτέλεσμα την δημιουργία μιας ζώνης σύγκρουσης στην περιοχή του Καυκάσου, η οποία κινείται με τον ίδιο ρυθμό προς Νότο.
- Η Ευρασιατική πλάκα βόρεια από το ρήγμα της Βόρειας Ανατολίας και την λεκάνη του Βορείου Αιγαίου κινείται με ρυθμό της τάξης των 10mm/yr προς Νότο, επίσης.
- Η Ανατολία κινείται με 20mm/yr προς τα δυτικά.
- Η περιοχή του Αιγαίου, νότια από την λεκάνη του Βορείου Αιγαίου κινείται με ρυθμό 40 – 50mm/yr προς τα ΝΔ.
- Το block της Απουλίας στην Νότια Αδριατική κινείται προς τα Ανατολικά με ρυθμό 10mm/yr, συγκλίνοντας με τις Βόρειες Ελληνίδες.

Τα γεωδαιτικά αυτά δεδομένα, υποδεικνύουν πως μια διαφορά στο ρυθμό σύγκλισης της τάξης των 25mm/yr, εντοπίζεται στο χώρο της λεκάνης του Βορείου Αιγαίου μεταξύ της προς Νότο κινούμενης Ευρασιατικής πλάκας, στο Βόρειο περιθώριό της (χερσόνησος Χαλκιδικής) και του ταχέως προς Νότο κινούμενο συστήματος της Ελληνικής ζώνης υποβύθισης στο νότιο περιθώριο της λεκάνης (Σποράδες, Λήμνος). Όλες αυτές οι κινήσεις που περιγράφηκαν παραπάνω αναπαρίστανται στην εικόνα 12.

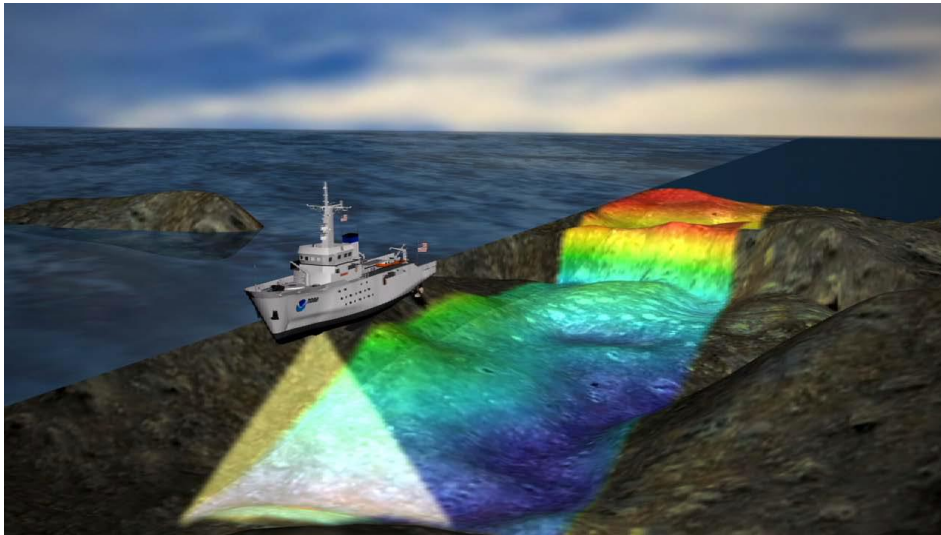


Εικόνα 12: Γεωτεκτονική θέση της λεκάνης του Βορείου Αιγαίου στο πλαίσιο της τεκτονικής των πλακών για την περιοχή της Ανατολικής Μεσογείου. Τα βέλη που αντιστοιχούν στον ετήσιο ρυθμό μετατόπισης υποδεικνύουν την ύπαρξη ενός τεκτονικού ορίου κατά μήκος της λεκάνης του Βορείου Αιγαίου.

2.7.2. ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΒΑΘΥΜΕΤΡΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Για την εξαγωγή βαθυμετρικής πληροφορίας του πυθμένα, χρησιμοποιούνται συσκευές με δυνατότητα συνεχούς πλευρικού ηχοβολισμού (τα ηχητικά κύματα σχηματίζουν μια ευρεία κωνική δέσμη ήχου όπως φαίνεται και στην εικόνα 13, της οποίας η τομή με τον πυθμένα καθορίζει και την ζώνη σάρωσης της συσκευής) υψηλών συχνοτήτων (12 – 500kHz). Μια τέτοια συσκευή είναι και ο πολύ-διαυλικός ηχοβολιστής πυθμένα (multi-beam echosounder) με δυνατότητα πλευρικής σάρωσης 5-10km (για συχνότητα εκπομπής 12-80kHz) που εξαρτάται από το βάθος της θάλασσας και που συνήθως καλύπτει οριζόντιο διάστημα 2-5 φορές μεγαλύτερο από το αντίστοιχο βάθος της θάλασσας. Αυτή του η ιδιότητα, αποτέλεσε καινοτομία λόγω της γρήγορης και ευρείας σάρωσης του πυθμένα και έτσι, η συσκευή αυτή χρησιμοποιείται σε πληθώρα εφαρμογών όπως:

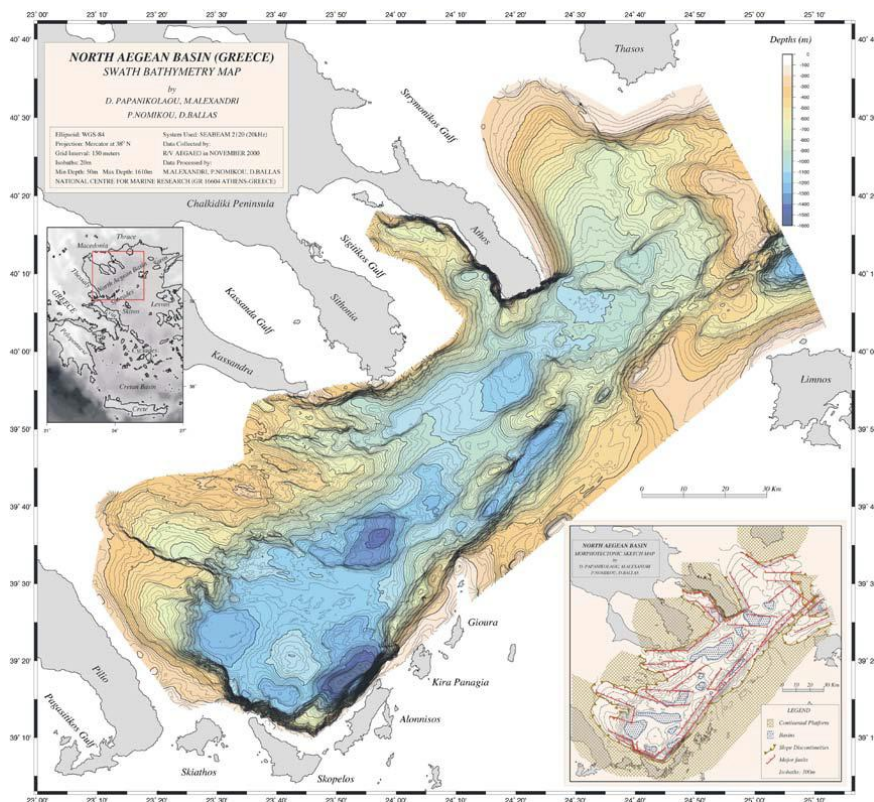
- Εντοπισμό ναυαγίων, αρχαίων ερειπίων, αγκυρών κ.α.
- Σύσταση και μορφολογία πυθμένα (ύφαλοι, κατολισθήσεις, κατανομή σύγχρονων ιζημάτων)
- Για υποθαλάσσιες κατασκευές και θεμελιώσεις (αγωγοί, καλώδια, εξέδρες εξόρυξης υδρογονανθράκων)
- Στρατιωτικές εφαρμογές (ναρκαλιεία)
- Αλιεία (εντοπισμός ιχθυοπληθυσμών)
- Μελέτη ηφαιστειότητας και υδροθερμίας



Εικόνα 13: Απεικόνιση του τρόπου λειτουργίας του Multi-beam Echosounder. Πηγή: www.hydropalooza.noaa.gov/press.html

Το ψηφιακό μοντέλο υποθαλάσσιου αναγλύφου που μελετάται στην παρούσα εργασία είναι το αποτέλεσμα μιας βαθυμετρικής έρευνας για την ευρύτερη περιοχή της λεκάνης του Β. Αιγαίου (Papanikolaou et al., 2002). Η έρευνα διεξήχθη με το πλοίο «ΑΙΓΑΙΟ» του ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε. και χρησιμοποιήθηκε το πολυ-ηχοβολιστικό όργανο (multi-beam echosounder) “SEA BEAM 2120”. Αυτό λειτουργεί με συχνότητα 20kHz για βάθη που δεν ξεπερνούν τα 6000m. Η γωνία σάρωσης του πυθμένα είναι 150 με 149 δεσμίδες, που καλύπτουν πλάτη από 7,5 – 11,5 φορές το βάθος, για βάθη από 1000 – 1500m αντίστοιχα. Το μέγιστο πλάτος σάρωσης μπορεί να φτάσει τα 9km για τα μέγιστα βάθη και δίνει αρκετά ικανοποιητικά αποτελέσματα για ταχύτητα της τάξης των 11knots.

Κατά την αποστολή του 2002, το σύστημα λειτουργούσε για 12 μέρες, διερευνώντας ένα συνολικό μήκος πορειών της τάξης των 4.630km με μέση ταχύτητα πλοίου 10,8 knots. Έχοντας ποικίλα πλάτη σάρωσης, που κυμαίνονταν από λιγότερο από 1km για βάθη μικρότερα των 300m μέχρι περισσότερο από 4.5km για βάθη μεγαλύτερα από 1000m, μια συνολική έκταση της τάξης των 11.200km² χαρτογραφήθηκε. Τα αποτελέσματα ήταν ο βαθυμετρικός χάρτης του Β. Αιγαίου κλίμακας 1:200.000 όπου απεικονίζονται με διαφορετικά χρώματα τα βάθη ανά 100m -ενώ ενδιάμεσα έχουν προστεθεί οι ισοβαθείς των 20m- και το Ψηφιακό Μοντέλο Υποθαλάσσιου Αναγλύφου (Ψ.Μ.Υ.Α) με μέγεθος pixel 150x150 m, το οποίο χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία (εικόνα 14).



Εικόνα 14: Βαθυμετρικός χάρτης της λεκάνης του Β. Αιγαίου. Τα διαφορετικά χρώματα οριοθετούν την ισοβαθιά των 100m ενώ ενδιάμεσα υπάρχουν οι ισοβαθείς των 20m. Πηγή: Papanikolaou et al., 2002

2.8. ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟΣΤΡΕΦΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗ

2.8.1. ΓΕΝΙΚΑ

Καθώς η τεχνολογία εξελίσσεται και οι ανάγκες για βάσεις δεδομένων αυξάνονται, παρατηρείται τα τελευταία χρόνια μια προσπάθεια για δημιουργία διαδικασιών για αυτόματη ενημέρωση των GIS βάσεων δεδομένων καθώς αυτές απαιτούν δεδομένα σε μορφή πολυγώνων, κάτι που έρχεται σε αντίθεση με τις per pixel (ανά εικονοστοιχείο) εφαρμογές της Τηλεπισκόπησης. Επίσης, τα όλο και αυξανόμενα, υψηλής ανάλυσης τηλεπισκοπικά δεδομένα (Very High Resolution imagery, VHR), τα οποία περιέχουν πλούσιο πληροφοριακό υπόβαθρο, υψηλή ακρίβεια και καθαρότητα, επιβαρύνουν την διαδικασία αυτόματου χαρακτηρισμού των μεμονωμένων εικονοστοιχείων. Επιπλέον, οι βασικές προσεγγίσεις που μελετούν μεμονωμένα εικονοστοιχεία (ή αλλιώς αναφερόμενες ως per pixel προσεγγίσεις) παρουσιάζουν κάποιος περιορισμούς όπως η δυσκολία διαχείρισης τηλεπισκοπικών δεδομένων με πλούσιο υπόβαθρο (VHR) που προαναφέρθηκε εξαιτίας της δημιουργίας του χαρακτηριστικού «αλατοπίπερου» κατά το στάδιο της ταξινόμησης, μη επιτρέποντας έτσι την εξαγωγή αντικειμένων ενδιαφέροντος (e-Cognition User's Guide) ενώ επιπλέον αφήνουν αναξιοποίητες τις διαθέσιμες πληροφορίες των τηλεπισκοπικών δεδομένων πέραν των φασματικών τους ιδιοτήτων. Τέλος, τηλεπισκοπικά δεδομένα που καλύπτουν πολύ μεγάλες περιοχές ενδιαφέροντος απαιτούν την δημιουργία μιας αυτοματοποιημένης μεθόδου μέσω της οποίας θα επιτυγχάνεται η δημιουργία θεματικών χαρτών χρήσεως γης αλλά παράλληλα θα διασφαλίζεται η εξοικονόμηση χρόνου και προσπάθειας από τους μελετητές.

Για όλους αυτούς τους λόγους και για την διευκόλυνση και αυτοματοποίηση της δημιουργίας θεματικών χαρτών, μέσω της διαδικασίας της ταξινόμησης, εφαρμόζεται μια πρωτοποριακή μέθοδος, **η αντικειμενοστρεφής ανάλυση**.

Βασική ιδέα πάνω στην οποία βασίζεται η αντικειμενοστρεφής ανάλυση είναι ότι οι απαραίτητες πληροφορίες για την επεξεργασία, ανάλυση και ερμηνεία μιας εικόνας δεν περιέχονται εξολοκλήρου στα μεμονωμένα εικονοστοιχεία αλλά σε νοηματικά αντικείμενα ή τμήματα της εικόνας και τις αλληλοσυσχετίσεις τους (Δερζέκος και Αργιαλάς 2002, Baatz και Schape 1999). Πιο αναλυτικά, στην αντικειμενοστρεφή ανάλυση ο βασικός φορέας των πληροφοριών είναι, το αντικείμενο/τμήμα της εικόνας και όχι το απομονωμένα, από το περιβάλλον του και όποιες πληροφορίες αυτό περιέχει, εικονοστοιχείο. Βασικός στόχος της είναι η δημιουργία, έτοιμων προς χρήση και για πληθώρα άλλων διεργασιών, αντικειμένων από απεικονίσεις ενώ συγχρόνως θα συνδυάζει την επεξεργασία εικόνων και τις λειτουργίες του GIS προκειμένου να εκμεταλλευτεί στο έπακρον της φασματικές και χωρικές πληροφορίες με ένα συνδυαστικό τρόπο. (Blaschke 2009)

Η αντικειμενοστρεφής ανάλυση συνίσταται σε δυο βασικές υπό-επεξεργασίες-προσεγγίσεις, την κατάτμηση και την ταξινόμηση. Βασικό προαπαιτούμενο της υπό μελέτη μεθοδολογίας είναι η κατάτμηση των δεδομένων, καθώς η διαδικασία αυτή

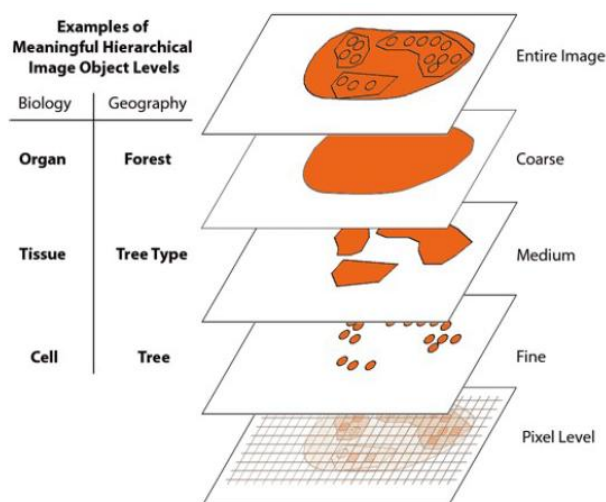
δημιουργεί τα αντικείμενα/τμήματα τα οποία θα μελετηθούν και θα ταξινομηθούν ακολούθως στο στάδιο της ταξινόμησης.

Οι διαδικασίες κατάτμησης έχουν αποτελέσει και συνεχίζουν να αποτελούν αντικείμενο μελέτης του τομέα της ανάλυσης εικόνας, με πολλές μεθοδολογίες να έχουν δημιουργηθεί. Κατά βάση, αυτό που επιδιώκεται στο αποτέλεσμα της κατάτμησης είναι η αυτόματη εξαγωγή όλων των αντικειμένων ενδιαφέροντος μιας εικόνας, αναλόγως βέβαια του στόχου επεξεργασίας της εικόνας. Η κατάτμηση επιτυγχάνεται με διαφορετικούς τρόπους. Μια απλή προσέγγιση με χρήση κατωφλίων συνήθως δεν δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα από άποψη ποιότητας. Οι αλγόριθμοι ανάπτυξης περιοχών, ενώνουν ατομικά εικονοστοιχεία ξεκινώντας από κάποια pixel τα οποία αποκαλούνται «σπόροι»/seeds. Η ποιότητα της κατάτμησης με αυτούς τους αλγόριθμους εξαρτάται κυρίως από τον αριθμό των seeds ενώ συνήθως δεν είναι δυνατός ο έλεγχος των break points, δηλαδή το σημείο στο οποίο ο αλγόριθμος θα σταματήσει να προσθέτει εικονοστοιχεία σε μια περιοχή. Άλλη μια μέθοδος είναι η κατάτμηση βάσει της υψής των δεδομένων, η οποία όμως μπορεί να εφαρμοστεί σε συγκεκριμένους τύπους δεδομένων, περιορισμένα είδη υψής και σε επιλύσεις ορισμένων μόνο προβλημάτων.

Ακόμα μια εναλλακτική είναι η προσέγγιση με χρήση βάσεων γνώσεων, κατά την οποία ενσωματώνεται στην διαδικασία κατάτμησης η γνώση που έχει προέλθει από περιοχές εκπαίδευσης και από άλλα δεδομένα. Σαν περιοχές εκπαίδευσης ορίζονται τμήματα της εικόνας για τα οποία είναι γνωστή η χρήση γης που τα περιγράφει. Αυτή η μέθοδος εκτός της κατάτμησης ταυτόχρονα ταξινομεί και τα δεδομένα σε εννοιολογικές κατηγορίες, αλλά δεν δημιουργεί πάντα ομοιογενείς περιοχές. Τέλος, η κατάτμηση σε πολλαπλά επίπεδα χωρικής ανάλυσης, η οποία υλοποιείται και στην παρούσα εργασία, χωρίζει την εικόνα και γενικώς τα υπό επεξεργασία δεδομένα σε αντικείμενα ενδιαφέροντος σε οποιαδήποτε επιθυμητή ανάλυση, με συνέπεια τη δυνατότητα ταυτόχρονης αναπαράστασης των πληροφοριών της εικόνας σε διάφορες κλίμακες (εικόνα 15). Η εξαγωγή αυτών των σημασιολογικών αντικειμένων πάντα συσχετίζεται με το υπό επίλυση πρόβλημα ενώ η υφή και οι φασματικές ιδιότητες των αντικειμένων που θα δημιουργηθούν εξαρτώνται άμεσα από την κλίμακα κατάτμησης. (Batz και Schape 2002). Η ταξινόμηση συνήθως εκτελείται μετά την κατάτμηση, αν και αυτό δεν είναι απόλυτο.

Υπάρχουν περιπτώσεις στις οποίες η ταξινόμηση που ακολουθεί ένα στάδιο κατάτμησης, χρησιμοποιείται σε επόμενο στάδιο/επίπεδο προκειμένου να γίνει εκ νέου κατάτμηση της εικόνας (κατάτμηση βάσει ταξινόμησης). Με την δημιουργία των αντικειμένων κατά την κατάτμηση η εικόνα παύει να περιγράφεται πλέον μόνο από τις φασματικές ιδιότητες των εικονοστοιχείων που την αποτελούν καθώς ο ρόλος των μεμονωμένων pixel στις ανά εικονοστοιχείο προσεγγίσεις ταξινόμησης αντιστοιχεί τώρα στα αντικείμενα στην αντικειμενοστρεφή ανάλυση, τα οποία και περιγράφονται από ένα πλήθος ιδιοτήτων πέραν των φασματικών.

Οι ιδιότητες αυτές είναι η φασματική υπογραφή τους, το σχήμα, η υφή, η ιεραρχική θέση, η θέση στο χώρο, η θεματική σχέση με τα γειτονικά αντικείμενα καθώς και πληροφορίες που προέρχονται από επιπλέον δεδομένα όπως ψηφιακά μοντέλα εδάφους κ.α. Έτσι, με χρήση αυτών των χαρακτηριστικών είτε μεμονωμένων είτε συνδυαστικών καθώς και με χρήση άλλοτε κατοφλίων και άλλοτε συναρτήσεων ασαφούς λογικής, επιτυγχάνεται η ταξινόμηση των αντικειμένων στις θεματικές ενότητες που έχουν επιλεγεί.



Εικόνα 15: Αναπαράσταση ιεραρχίας πολλαπλών επιπέδων αντικειμένων, τα οποία αλληλοσυσχετίζονται μεταξύ τους, τόσο σε ό,τι αφορά αντικείμενα του ίδιου επιπέδου, όσο και αντικείμενα διαφορετικών επιπέδων. Πηγή : *eCognition Developer 8.7 User's Guide, 2011.*

2.8.2. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟΣΤΡΕΦΟΥΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΣΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ eCognition

Η παραπάνω μεθοδολογία βρίσκει εφαρμογή στο λογισμικό eCognition το οποίο χρησιμοποιεί διάφορους αλγορίθμους προκειμένου να δημιουργήσει καταρχάς τα αντικείμενα, μέσω της κατάτμησης, και στη συνέχεια να τα ταξινομήσει με βάση την πληθώρα των χαρακτηριστικών που τα περιγράφουν, κάθε φορά. Το λογισμικό eCognition δημιουργήθηκε και διατίθεται από την γερμανική εταιρία DEFiNiENS (www.definiens.com). Το βασικό σκεπτικό του λογισμικού eCognition βασίζεται στην θεωρία ότι οι χρήσιμες πληροφορίες στην ανάλυση και ερμηνεία των εικόνων δεν περιέχονται στα μεμονωμένα εικονοστοιχεία/pixels, αλλά στα σημασιολογικά αντικείμενα των απεικονίσεων και τις μεταξύ τους σχέσεις. Η βασική διαφορά αυτής της μεθόδου σε σύγκριση με τις αντίστοιχες που χρησιμοποιούν μεμονωμένα εικονοστοιχεία είναι ότι ταξινομεί αντικείμενα τα οποία προέκυψαν σε προηγούμενο στάδιο, το στάδιο της κατάτμησης, και όχι ατομικά εικονοστοιχεία (per pixel classification) Κυκλοφορούν πολλές εκδόσεις του λογισμικού με την πιο πρόσφατη την eCognition Developer 8.7. Οι διάφορες εκδόσεις βασίζονται όλες στην θεωρία που προαναφέρθηκε, με μόνη διαφορά την προσθήκη περισσότερων αλγορίθμων

τόσο κατάτμησης όσο και ταξινόμησης στις πιο πρόσφατες εκδόσεις, καθώς και στο πιο φιλικό προς το χρήστη, περιβάλλον.

Τα αποτελέσματα της αντικειμενοστρεφούς ανάλυσης, τέλος, 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 και αυτοματοποιώντας την (Δερζέκος και Αργιαλάς 2002).

2.8.2.1 ΚΑΤΑΤΜΗΣΗ

Πρώτο στάδιο ανάλυσης της εικόνας αποτελεί η κατάτμηση. Στόχος της κατάτμησης είναι ο χωρισμός της εικόνας σε ομοιογενή τμήματα μέσω μιας τεχνικής συγχώνευσης τμημάτων της, με καθορισμό από τον χρήστη του επιθυμητού μεγέθους των τελικών αντικειμένων, την επιτρεπόμενη φασματική ανομοιογένεια/ ομοιογένεια που θα παρουσιάζουν αυτά αλλά και το πόσο συμπαγή και λεία θα είναι σχηματικά. (Δερζέκος και Αργιαλάς 2002). Μια επιτυχημένη κατάτμηση οδηγεί σχεδόν πάντα σε αποτελεσματική ανάλυση εικόνων.

Από την ποικιλία των αλγορίθμων κατάτμησης που προσφέρει το λογισμικό (έκδοση eCognition 8.7), αυτός που κατά κόρον χρησιμοποιείται είναι ο αλγόριθμος κατάτμησης πολλαπλής κλίμακας (multiresolution segmentation). Ο αλγόριθμος αυτός χρησιμοποιήθηκε και στην παρούσα εργασία, καθώς λαμβάνει υπόψη την πολυπλοκότητα των δεδομένων καθώς επίσης και τη διαφορετική φύση των αντικειμένων που είναι προς αναζήτηση κάθε φορά. Ο αλγόριθμος αυτός, ομογενοποιεί τα στοιχεία της εικόνας βάσει της ομοιογένειας των διαιρεμένων τμημάτων και της ετερογένειας των γειτονικών περιοχών. Κατά τη διαδικασία της κατάτμησης γίνεται συνάθροιση, των γειτονικά εφραπτόμενων, εικονοστοιχείων σε αντικείμενα, λαμβάνοντας υπόψη τόσο φασματικά όσο και γεωμετρικά χαρακτηριστικά, μέσα από μια διαδικασία ομαδοποίησης με αλληλουχίες ζευγών. Ο αλγόριθμος μπορεί να εφαρμοστεί σε πολλούς τύπους δεδομένων, λαμβάνοντας υπόψη του πολλά βοηθητικά δεδομένα ταυτόχρονα (φασματικά κανάλια, ψηφιακά μοντέλα εδάφους, θεματικά επίπεδα χωρικής πληροφορίας κ.λπ).

Το μέγεθος των αντικειμένων που προκύπτουν από την κατάτμηση της εικόνας καθορίζεται από το χρήστη και εξαρτάται από την κλίμακα του αντικειμένου προς χαρτογράφηση, τη χωρική ετερογένεια του τοπίου και τη χωρική ανάλυση της εικόνας. Το αποτέλεσμα του αλγορίθμου της κατάτμησης καθορίζεται από παράγοντες όπως η *παράμετρος κλίμακας* (scale parameter), τα *ειδικά βάρη* των φασματικών καναλιών (image layer weights) και η *σύνθεση του κριτηρίου ομοιογένειας* (homogeneity criterion). Η παράμετρος της *κλίμακας* είναι μια αφηρημένη έννοια που καθορίζει τη μέγιστη επιτρεπόμενη ετερογένεια κατά τη δημιουργία νέων αντικειμένων.

Για μια δεδομένη τιμή της παραμέτρου, σε ετερογενή δεδομένα τα αντικείμενα που θα προκύπτουν θα είναι μικρότερου μεγέθους απ' ό τι σε μια εικόνα με ομοιογενή δεδομένα. Συνεπώς, όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή που δίνεται στην παράμετρο, τόσο μεγαλύτερα είναι τα αντικείμενα που προκύπτουν.

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 αποτέλεσμα που επιθυμείται στην κατάτμηση. 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 κ.λ.π αντί φασματικών καναλιών.

Η *σύνθεση του κριτηρίου ομοιογένειας* των αντικειμένων καθορίζει την ομοιογένεια των αντικειμένων στην οποία αναφέρεται η παράμετρος της κλίμακας κατά τη σύνθεσή τους. Το κριτήριο της σύνθεσης της ομοιογένειας αποτελείται από δύο επιμέρους κριτήρια. Το ένα είναι το κριτήριο του χρώματος, το οποίο είναι το φασματικό κριτήριο βάσει του οποίου τα αντικείμενα ενώνονται σε μεγαλύτερα βάσει φασματικής ομοιότητας. Το δεύτερο, είναι το κριτήριο του σχήματος, το οποίο καθορίζει το τελικό σχήμα που θα έχουν τα τελικά αντικείμενα και εμπεριέχει τις συμπληρωματικές έννοιες της ομαλότητας (smoothness) και της συμπαγότητας (compactness).

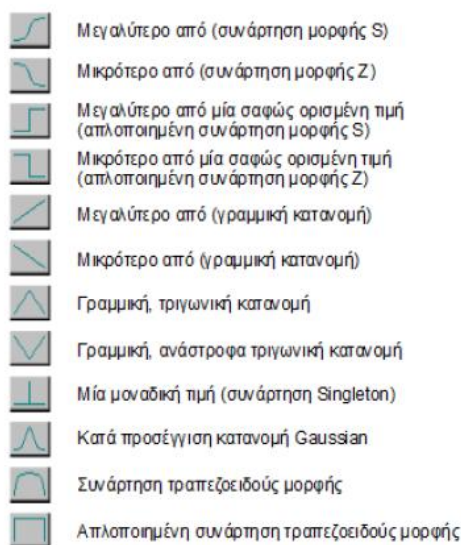
Κατά συνέπεια αυτών, η επιλογή των κατάλληλων επιπέδων κατάτμησης για την εκάστοτε εφαρμογή γίνεται φωτοερμηνευτικά με επαναληπτικές διαδικασίες «δοκιμής και απόρριψης» (trial and error) έως ότου προκύψουν αντικείμενα που θεωρούνται ικανοποιητικά για το σκοπό της. Ένας γενικός κανόνας για την επιλογή 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.

2.8.2.2 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ

Μετά την κατάτμηση, τα διαθέσιμα προς ανάλυση στοιχεία, είναι ένα πεπερασμένο πλήθος αντικειμένων πλέον και όχι ένα τεράστιο σύνολο μεμονωμένων εικονοστοιχείων. Το λογισμικό παρέχει ένα σύνολο εργαλείων για αξιοποίηση των διαφόρων χαρακτηριστικών των αντικειμένων προκειμένου αυτά να ταξινομηθούν στις κατάλληλες θεματικές κατηγορίες. Το λογισμικό παρέχει δύο τρόπους ορισμού των συνθηκών των ιδιοτήτων των αντικειμένων: α) τη χρήση των **κατωφλίων** (όπου ελέγχεται εάν τα αντικείμενα τηρούν τις συνθήκες ορίων των ιδιοτήτων των αντικειμένων ή όχι) και β) τη χρήση κανόνων **ασαφούς λογικής** (όπου ορίζεται ο βαθμός συμμετοχής που πρέπει να πληροί η εκάστοτε ιδιότητα του αντικειμένου).

Πιο αναλυτικά, η ταξινόμηση ασαφούς λογικής, πραγματοποιείται με δύο τρόπους : α) με τη χρήση **δειγμάτων** samples (που ορίζει ο χρήστης για κάθε κλάση) και την εφαρμογή της ασαφούς εκδοχής του αλγόριθμου του εγγύτερου γείτονα, β) με τη χρήση **συναρτήσεων συμμετοχής** (membership functions) . Οι συναρτήσεις συμμετοχής ορίζονται από το χρήστη και αφορούν τις ιδιότητες των αντικειμένων. (εικόνα 16) (eCognition Developer 8.7 User’s Guide, 2011)

Για κάθε αντικείμενο υπολογίζεται η τιμή συμμετοχής του σε κάθε κατηγορία και κατατάσσεται στην κλάση στην οποία το αντικείμενο παρουσιάζει τη μεγαλύτερη τιμή συμμετοχής (Gercek, 2010)



Εικόνα 16 : Οι συναρτήσεις συμμετοχής που παρέχει το λογισμικό eCognition Developer 8.7. Πηγή : eCognition Developer 8.7 User’s Guide, 2011, Σιακαβάρα, 2011

Ταξινόμηση στην ουσία είναι η ανάθεση κάποιων αντικειμένων σε μια κλάση ή και σε καμία σύμφωνα με την περιγραφή της, δηλαδή των ιδιοτήτων και των χαρακτηριστικών που της έχουν αποδοθεί (eCognition User’s guide). Τα πέντε βασικά στοιχεία της διαδικασίας της ταξινόμησης στα οποία θα γίνει περαιτέρω περιγραφή είναι τα χαρακτηριστικά των αντικειμένων, η ασαφής λογική, οι κλάσεις, η ιεραρχία κλάσεων καθώς και οι διάφοροι αλγόριθμοι ταξινόμησης που χρησιμοποιούνται. Τα αντικείμενα που προκύπτουν από την κατάτμηση όταν χρησιμοποιούνται στην διαδικασία της ταξινόμησης προσφέρουν κάποια πλεονεκτήματα σε σύγκριση με τα μεμονωμένα εικονοστοιχεία. Περιέχουν πέραν των φασματικών πληροφοριών των εικονοστοιχείων που τα συνθέτουν και επιπλέον ιδιότητες όπως το σχήμα, η υφή καθώς και πλήθος σχεσιακών πληροφοριών όπως συσχετίσεις με άλλες κατηγορίες ή αντικείμενα στο ίδιο ή διαφορετικό επίπεδο κατάτμησης.

Επιπλέον, το λογισμικό παρέχει στον χρήστη την δυνατότητα να δημιουργήσει νέα χαρακτηριστικά χρησιμοποιώντας ένα συνδυασμό των ήδη υπαρχόντων. Ένα από τα ισχυρά εργαλεία του λογισμικού είναι τα χαρακτηριστικά που σχετίζονται με τις κλάσεις (class related features). Μέσω ενός εργαλείου του λογισμικού, του feature view, γίνεται δυνατή η γραφική απεικόνιση των στατιστικών των ιδιοτήτων των αντικειμένων. Ο χρήστης, επίσης, μπορεί να δημιουργήσει μια βάση γνώσης στην οποία θα περιέχονται όλες οι περιγραφές των διαφόρων θεματικών/εννοιολογικών κατηγοριών (κλάσεις) χρήσεων/κάλυψης γης με χρήση είτε ασαφών συναρτήσεων συμμετοχής είτε κατωφλίων. Τέλος, μέσω της ιεράρχησης οι κατηγορίες ομαδοποιούνται είτε σε ευρύτερες εννοιολογικές ομάδες είτε σε γονικές κατηγορίες και κατηγορίες γόνους. (Αργιαλάς και Δερζέκος 2002, eCognition User's Guide).

2.8.2.3 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ

Από το λογισμικό παρέχεται και η δυνατότητα αξιολόγησης των αποτελεσμάτων της ταξινόμησης, είτε με γραφικό είτε με αριθμητικό τρόπο.

Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενο υποκεφάλαιο, κατά τη διαδικασία της ταξινόμησης και με τη χρήση της ασαφούς λογικής κάθε αντικείμενο λαμβάνει μια τιμή συμμετοχής για κάθε κατηγορία-κλάση της ιεραρχίας των κλάσεων. Η κατηγορία για την οποία παρουσιάζει την μεγαλύτερη τιμή συμμετοχής είναι και η κατηγορία στην οποία θα ταξινομηθεί. Μέσω πινάκων με στατιστικά στοιχεία για τους βαθμούς συμμετοχής των αντικειμένων για κάθε κατηγορία, γίνεται δυνατόν να διαπιστωθεί αν υπάρχει αντιπροσωπευτική κατηγορία για το οποιοδήποτε αντικείμενο και ποιες είναι οι τιμές συμμετοχής των αντικειμένων σε κάθε κατηγορία. Έτσι μελετάται τόσο το κατά πόσο ένα αντικείμενο έχει ορθώς ταξινομηθεί σε μια κατηγορία αλλά και το πόσο αξιόπιστη είναι η κάθε κατηγορία αναλόγως με τις τιμές συμμετοχής που έχουν τα αντικείμενα που κατατάχθηκαν σε αυτή.

Πιο αναλυτικά το λογισμικό eCognition παρέχει τις ακόλουθες τέσσερις μεθόδους εκτίμησης της ακρίβειας:

α) *Μέθοδος της σταθερότητας ταξινόμησης (classification stability)*: η εκάστοτε ταξινόμηση αξιολογείται μέσω του υπολογισμού της απόκλισης των δυο μεγαλύτερων βαθμών συμμετοχής του αντικειμένου. Σαν αριθμητικό εξαγόμενο προκύπτει πίνακας με τιμές που προέκυψαν από στατιστικές συναρτήσεις για τις διαφορές των δυο μεγαλύτερων βαθμών συμμετοχής για κάθε κατηγορία.

β) *Μέθοδος βάσει αποτελέσματος της καλύτερης ταξινόμησης (best classification result)*: αξιολογείται η ταξινόμηση μέσω της εκτίμησης του βαθμού συμμετοχής των αντικειμένων στην περιγραφή της κατηγορίας.

Σαν αριθμητικό εξαγόμενο παρουσιάζεται πίνακας με τιμές οι οποίες προέκυψαν από στατιστικές συναρτήσεις για τους μέγιστους βαθμούς συμμετοχής με τους οποίους ταξινομήθηκαν τα αντικείμενα στην εκάστοτε κλάση-κατηγορία. Επίσης, είναι δυνατή η αξιολόγηση του τρόπου με τον οποίο τα αντικείμενα της υπό εξέταση κατηγορίας την περιγράφουν. (e-Cognition User's Guide)

γ) *Μέθοδος πίνακα σύγχυσης βασισμένου σε TTA μάσκα (error matrix based on TTA mask):* αξιολογείται η ταξινόμηση μέσω δειγμάτων (samples), τα οποία εισάγονται ως TTA μάσκα και συγκρίνονται με επίγεια δείγματα βάσει εικονοστοιχείων. Συγκρίνονται οι κατηγορίες της μάσκας με τις κατηγορίες-κλάσεις της ταξινόμησης και παράγεται πίνακας σύγχυσης. Στον πίνακα αυτό, εμφανίζονται οι κατηγορίες της ταξινόμησης, η οποία αξιολογείται, το πλήθος των εικονοστοιχείων της ταξινόμησης που καλύπτονται από την TTA μάσκα ανά κατηγορία, τα αθροίσματα των εικονοστοιχείων που ταξινομήθηκαν στην υπό εξέταση ταξινόμηση και τα αθροίσματα των εικονοστοιχείων από την μάσκα ανά κατηγορία. Η ποιότητα της ταξινόμησης καθορίζεται μέσω της διαφοράς των αθροισμάτων καθώς και με χρήση των κριτηρίων ακριβείας (εύρος τιμών 0-1 με 1 την υψηλότερη ακρίβεια ταξινόμησης) που βρίσκονται στον πίνακα σύγχυσης.

δ) *Μέθοδος πίνακα σύγχυσης βασισμένου σε δείγματα (error matrix based on samples):* αξιολογείται η ταξινόμηση με δείγματα επιλεγμένα αντικείμενα της εικόνας και όχι εικονοστοιχεία όπως στην προηγούμενη. Τα επιλεχθέντα ως δείγματα αντικείμενα πρέπει να είναι διαφορετικά από αυτά που επιλέχθηκαν για ταξινόμηση με τη μέθοδο του εγγύτερου γείτονα (nearest neighbor) καθώς αυτά θεωρούνται πλήρως ορθά ταξινομημένα και η αξιολόγηση θα δώσει εντελώς αξιόπιστη ταξινόμηση, κάτι που μπορεί να μην ανταποκρίνεται πλήρως στην πραγματικότητα. Με λήψη νέων δειγμάτων προκύπτει ο πίνακας σύγχυσης με την πρώτη στήλη να περιέχει τις κατηγορίες, τη δεύτερη το πλήθος των νέων δειγμάτων της κάθε κατηγορίας και στις υπόλοιπες ο λόγος των δειγμάτων που ανήκουν στην κατηγορία προς τα συνολικά δείγματα που συλλέχθηκαν για αυτή.


2.9 ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ SAGA

Το SAGA GIS (System Automated Geoscientific Analyses) είναι ένα δωρεάν και ανοιχτού κώδικα, σύστημα γεωγραφικών πληροφοριών που χρησιμοποιείται για την επεξεργασία χωρικών δεδομένων. Μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί μαζί με άλλα GIS λογισμικά, για την παραγωγή καλύτερων διανυσματικών δεδομένων. Διαθέτει επίσης πολλές βιβλιοθήκες (module library), τόσο για την επεξεργασία του καθεαυτού DEM όσο και για την παραγωγή «προϊόντων» από αυτά, π.χ χάρτη κλίσεων καμπυλοτήτων, υδρογραφικών δικτύων, TPI (Topographic Position Index) κ.λπ.

Στην παρούσα εργασία, παράχθηκαν τα layers της κλίσης (slope), της καμπυλότητας παράλληλα στη διεύθυνση κλίσης του πρανούς (profile curvature), της καμπυλότητας κάθετα στη διεύθυνση κλίσης του πρανούς (plan curvature) και του δείκτη TPI και εισήχθησαν στο eCognition προκειμένου να χρησιμοποιηθούν στην απόδοση ιδιοτήτων για την περιγραφή των αντικειμένων.

2.10 ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ArcGIS

Το λογισμικό ArcGIS της εταιρίας ESRI είναι ένα σύστημα γεωγραφικών πληροφοριών για την επεξεργασία χαρτών και γεωγραφικών πληροφοριών. Χρησιμοποιείται ευρέως για τη δημιουργία/επεξεργασία χαρτών, για τη συλλογή γεωγραφικών δεδομένων, για την χρήση των χαρτών σε ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών, καθώς επίσης και διαχείριση γεωγραφικών πληροφοριών σε μια βάση δεδομένων. Το ArcGIS περιλαμβάνει και άλλα επιμέρους λογισμικά, τα οποία είναι το ArcCatalog, ArcGlobe, ArcMap, ArcReader, ArcScene. Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε το ArcMap και το ArcScene. Το ArcMap διαθέτει μια

πληθώρα εργαλείων με βασικό εργαλείο το ArcToolbox , το οποίο χρησιμοποιήθηκε κυρίως για μετασχηματισμούς επιπέδων (layers) από raster σε vector (και το ανάποδο) και για αλλαγή προβολικών συστημάτων. Επίσης χρησιμοποιήθηκε το ArcScene για την τρισδιάστατη (3D) αναπαράσταση του παρόντος Ψηφιακού Μοντέλου Υποθαλάσσιου Αναγλύφου.

2.11 ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ER Mapper

Το λογισμικό ER Mapper χρησιμοποιείται για την εμφάνιση και ενίσχυση δεδομένων raster, επεξεργασία δεδομένων από διάφορους φορείς και σύνδεση με δεδομένα από Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών Γης, συστήματα διαχείρισης βάσεων δεδομένων ή σχεδόν οποιαδήποτε άλλη πηγή. Το πρόγραμμα αυτό εκτός απ την πληθώρα των εργαλείων που παρέχει για επεξεργασία δορυφορικής εικόνας, για ταξινομήσεις επί της εικόνας κ.λπ, στην παρούσα περίπτωση χρησιμοποιήθηκε για την εφαρμογή φίλτρων επί του Ψηφιακού Μοντέλου Υποθαλάσσιου Αναγλύφου.

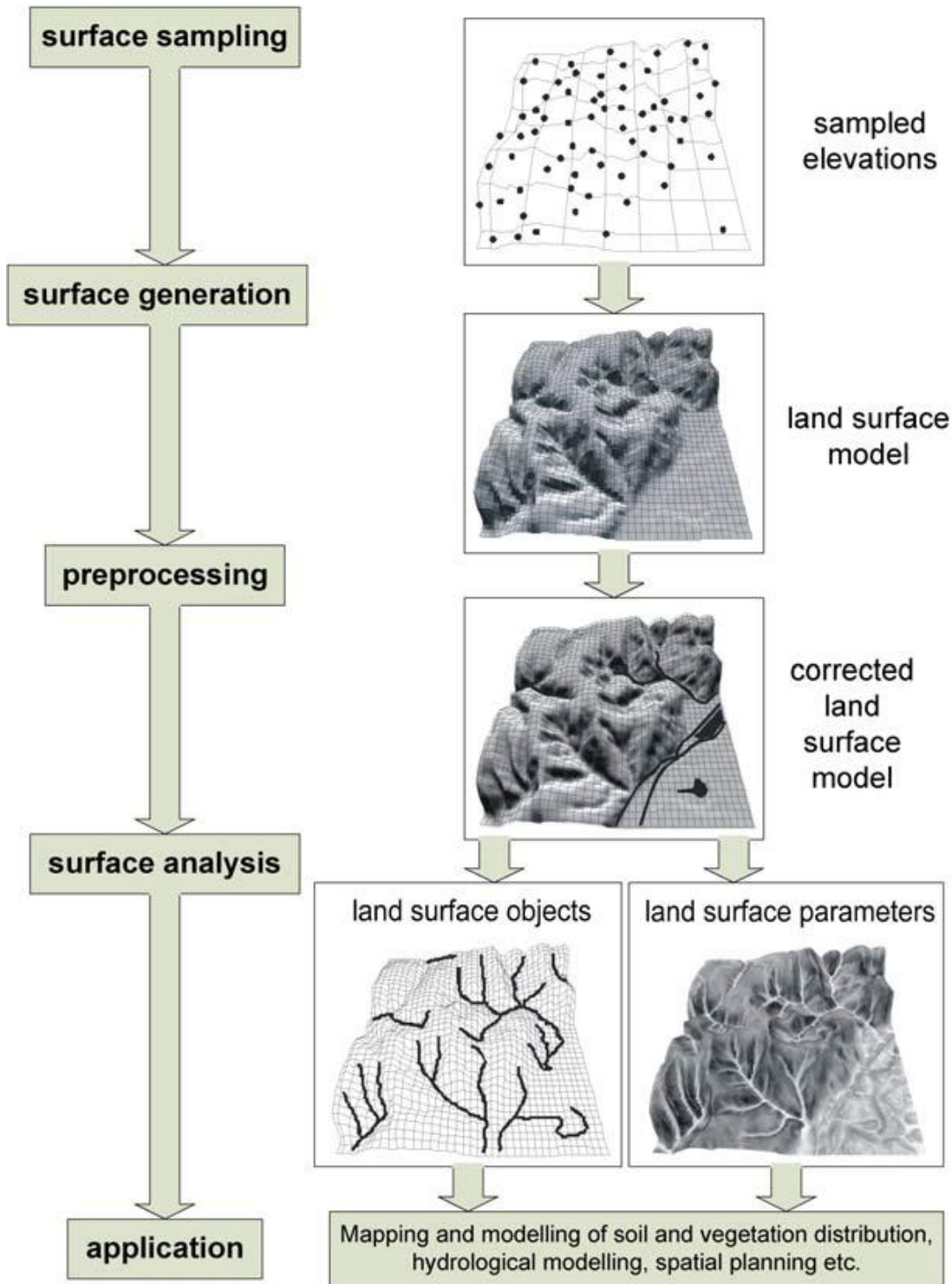
Συνεπώς, όλα τα παραπάνω προγράμματα που περιγράφηκαν συνοπτικά, χρησιμοποιήθηκαν για διαφορετικό σκοπό κάθε φορά και με απώτερο στόχο την επεξεργασία του Ψηφιακού Μοντέλου Υποθαλάσσιου Αναγλύφου ή τη δημιουργία επιπέδων (layers) για την εισαγωγή τους στο eCognition, πράγμα που θα βοηθούσε στην απόδοση διαφορετικών χαρακτηριστικών, απαραίτητων για το διαχωρισμό των αντικειμένων στο στάδιο της ταξινόμησης.

2.12 ΓΕΩΜΟΡΦΟΜΕΤΡΙΑ-ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Η γεωμορφομετρία είναι η επιστήμη της τοπογραφικής - ποσοτικής ανάλυσης της επιφάνειας της γης (Pike, 1995). Είναι μια σύγχρονη προσέγγιση της αναλυτικής χαρτογραφίας για την αναπαράσταση της μορφής της γήινης επιφάνειας, η οποία βασίζεται στην επεξεργασία των ψηφιακών υψομετρικών τιμών με τη χρήση υπολογιστή (Tobler, 1976, 2000).

Τα ψηφιακά μοντέλα εδάφους αποτελούν τη βάση για την εξαγωγή παραμέτρων και αντικειμένων της γήινης επιφάνειας, τα οποία είναι τα δύο τελικά προϊόντα της γεωμορφομετρικής ανάλυσης. Οι παράμετροι είναι τα περιγραφικά χαρακτηριστικά της μορφής της γήινης επιφάνειας (π.χ. κλίση, προσανατολισμός) και έχουν ένα συνεχές πεδίο τιμών, δηλαδή έχουν ψηφιδωτή μορφή. Τα αντικείμενα είναι διακριτά χωρικά αντικείμενα (π.χ. υδροκρίτης, αλλουβιακό ριπίδιο), τα οποία έχουν διανυσματική μορφή (σημεία, γραμμές, πολύγωνα). Στην Εικόνα 17 παρουσιάζονται τα βασικά βήματα της γεωμορφομετρικής ανάλυσης για την εξαγωγή παραμέτρων και αντικειμένων από ψηφιακά υψομετρικά μοντέλα.

Ο Evans (1972, p. 18) διαχωρίζει τις μεθόδους γεωμορφομετρικής ανάλυσης σε δυο ξεχωριστές προσεγγίσεις, τη **γενική γεωμορφομετρία (general geomorphometry)**, που ασχολείται με τη μέτρηση και ανάλυση της μορφολογίας της επιφάνειας της γης και παρέχει τη βάση για την ποσοτική σύγκριση ακόμα και ποιοτικά διαφορετικών τμημάτων της γήινης επιφάνειας και στην **ειδική γεωμορφομετρία (specific geomorphometry)**, η οποία ασχολείται με τη μέτρηση και ανάλυση συγκεκριμένων αντικειμένων της επιφάνειας της γης (π.χ. κατολισθήσεις, αλλουβιακά ριπίδια), που απομονώνονται από τα γειτονικά τμήματα τους με σαφή κριτήρια οριοθέτησης.

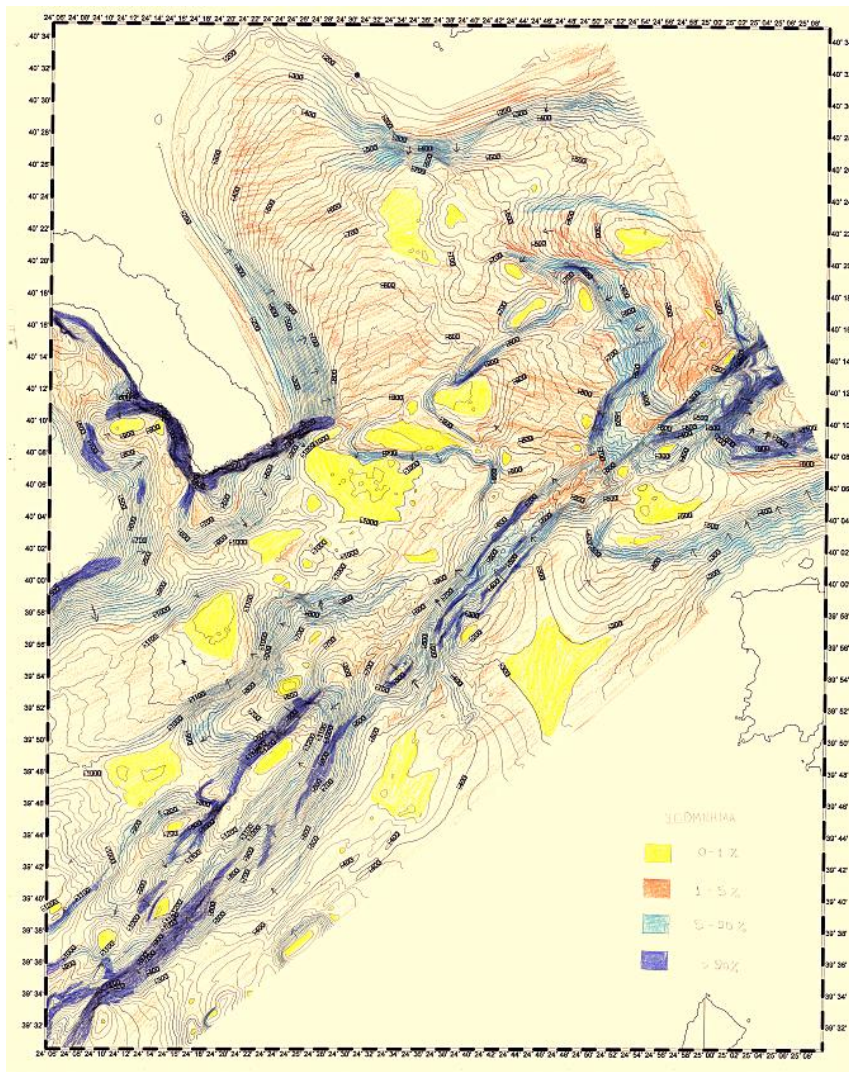


Εικόνα 17: Η πορεία των επεξεργασιών και το επίκεντρο της γεωμορφομετρίας Πηγή: Pike et al., 2009

3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ

3.1 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΟΥ ΚΑΙ ΤΕΚΤΟΝΙΚΟΥ ΧΑΡΤΗ

Ο βαθυμετρικός χάρτης της Βορειοανατολικής περιοχής της λεκάνης αναλύθηκε ως προς την κατανομή των μορφολογικών κλίσεων και προέκυψε ο παρακάτω μορφολογικός χάρτης κλίσεων χειροκίνητα. Πιο αναλυτικά, για να εξαχθούν οι κλίσεις, μετρήθηκαν σε αντιπροσωπευτικές περιοχές (ανάλογα με την πυκνότητα των ισοβαθών) με το υποδεκάμετρο αποστάσεις στο χάρτη, λαμβάνοντας υπόψη την υψομετρική διαφορά μεταξύ των δυο αυτών σημείων και την ισοδιάσταση των ισοβαθών. Έτσι, προέκυψε ο μορφολογικός χάρτης της εικόνας 18, που είναι αποτέλεσμα σάρωσης.



Εικόνα 18 : Χάρτης κατανομής μορφολογικών κλίσεων. Κλίμακα 1:150000 (Ιδία επεξεργασία)

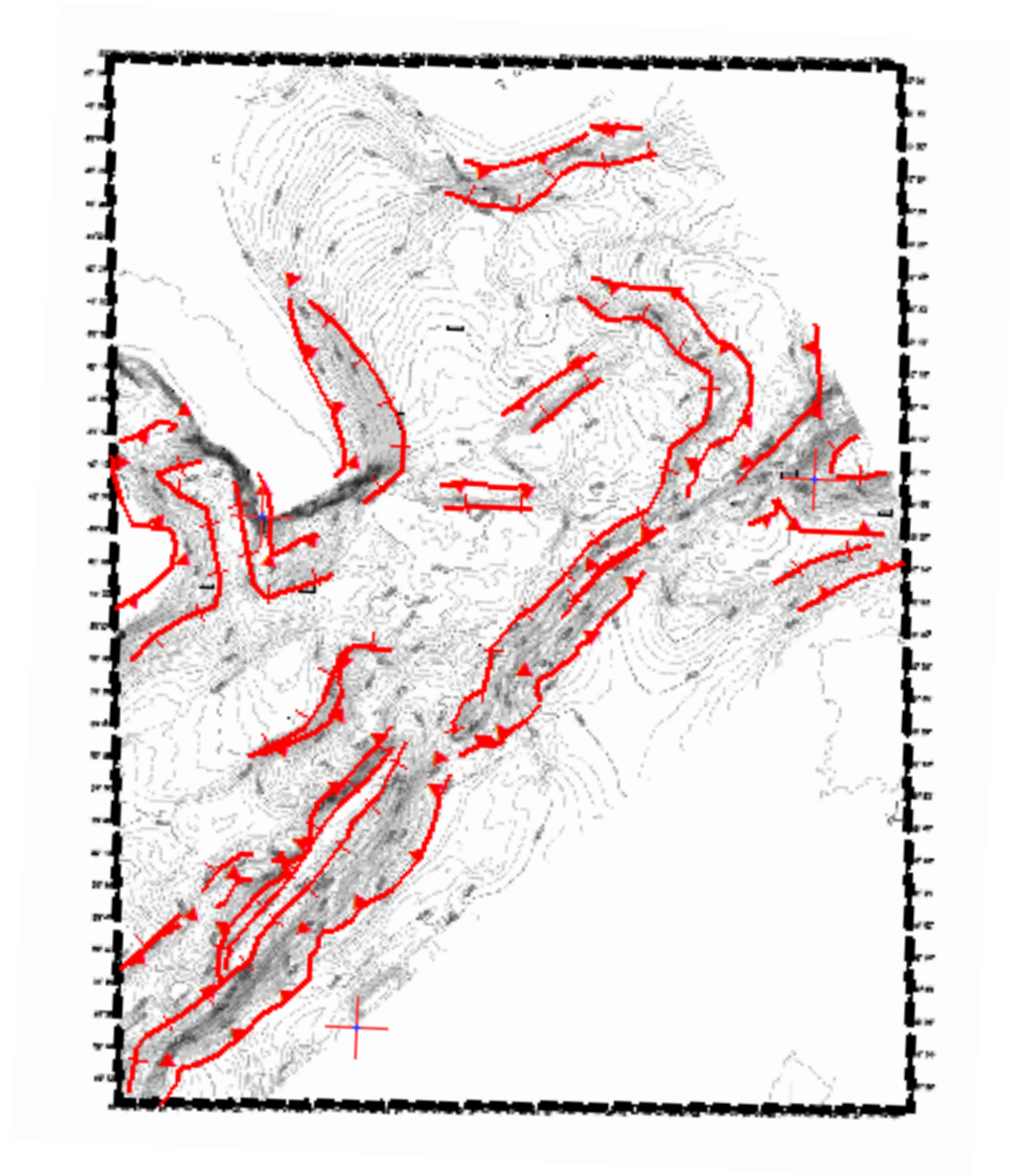
Η περιοχή μελέτης έχει διαχωριστεί με βάση την μορφολογική κλίση του υποθαλάσσιου αναγλύφου σε τέσσερις επιμέρους μορφολογικές ενότητες:

- α. Σε περιοχές όπου η μορφολογική κλίση κυμαίνεται από 0-1%
- β. Σε περιοχές όπου η μορφολογική κλίση κυμαίνεται από 1-5%
- γ. Σε περιοχές όπου η μορφολογική κλίση κυμαίνεται από 5-20%
- δ. Σε περιοχές όπου η μορφολογική κλίση είναι μεγαλύτερη από 20%

Οι περιοχές που κατατάσσονται στις επίπεδες (0-1%), είναι οι λεκάνες ιζηματογένεσης, τα οριζόντια τμήματα των υποθαλάσσιων ηβωμάτων, όπου οι ισοβαθείς δεν παρουσιάζουν σχετική πυκνότητα. Πιο σαφείς, καθίστανται οι ζώνες που έχουν 5-20% κλίση και συμβολίζονται στο χάρτη με γαλάζιο χρώμα, καθώς οι ισοβαθείς είναι πολύ πυκνές και δημιουργούνται σαφείς σχηματισμοί και έτσι ο προσανατολισμός είναι πιο διακριτός σε σχέση με τις περιοχές μικρότερης κλίσης (1-5%). Παρατηρώντας το χάρτη, εκεί όπου συγκεντρώνονται τέτοιου είδους κλίσεις είναι πάνω στο ρήγμα (της Ανατολίας) που διασχίζει την περιοχή μελέτης από τα ΝΔ προς τα ΒΑ και γύρω από αρκετές λεκάνες ιζηματογένεσης. Στη συνέχεια, ακόμη πιο σαφείς είναι οι περιοχές με εξαιρετικά απότομη κλίση (>20%) που συμβολίζονται στο χάρτη με σκούρο μπλε χρώμα. Τέτοιες κλίσεις εμφανίζονται περιφερειακά των ακτών της χερσονήσου του Αθώνα καθώς και σε μεγαλύτερο βαθμό πάνω στο ρήγμα.

Επίσης, στον χάρτη της εικόνας 18 υπάρχουν σημειωμένα βέλη, τα οποία συμβολίζουν την κατεύθυνση του κάθε τεμάχους, ανάλογα με την κλίση που έχουν και την υψομετρική διαφορά που παρουσιάζουν.

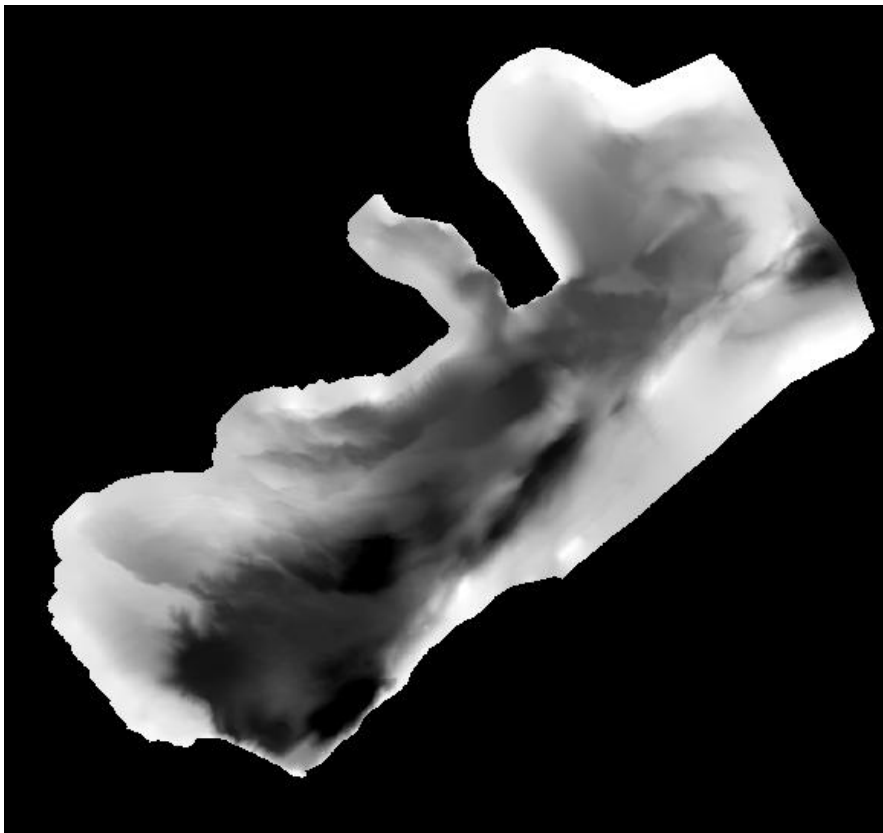
Συνθέτοντας τις παρατηρήσεις αυτές, μπορούν να συνοψιστούν τα συμπεράσματα στον χάρτη της εικόνας 19 που απεικονίζει την τεκτονική δομή της περιοχής μελέτης. Ο τεκτονικός χάρτης, απεικονίζει τις ασυνέχειες και τα ρήγματα. Όταν εντοπίζονται ήπιες μορφολογικές κλίσεις και στη συνέχεια απότομες (μεγάλες) μορφολογικές κλίσεις, τότε σχεδιάζεται η μορφολογική ασυνέχεια. Ενώ αντίθετα, σημειώνεται το ίχνος μιας τεκτονικής ζώνης που έχει οριοθετηθεί, μόνο με μορφολογικά κριτήρια. Έτσι, παρήχθη ο χάρτης της εικόνας 19, ο οποίος αποτελεί αποτέλεσμα σάρωσης και οι γραμμές κόκκινου χρώματος που περιλαμβάνουν τρίγωνα συμβολίζουν τις ασυνέχειες, ενώ οι «οδοντωτές» γραμμές συμβολίζουν το ίχνος το ρήγματος. Η ρηξιγενής ζώνης, στον παρακάτω χάρτη (εικόνα 19) δεν αποδίδεται γραφικά, αλλά αποτελεί τη λωρίδα που βρίσκεται ανάμεσα στο ίχνος του ρήγματος και την ασυνέχεια.



Εικόνα 19 : Τεκτονικός χάρτης της περιοχής μελέτης. Κλίμακα 1:150000 (Ιδία επεξεργασία)

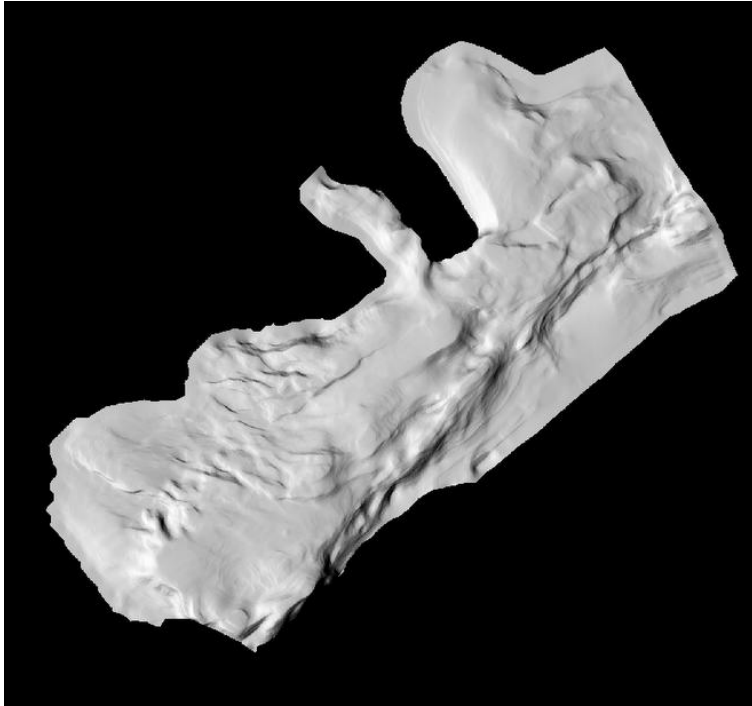
3.2 ΑΡΧΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΟΥ ΨΗΦΙΑΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΠΟΘΑΛΑΣΣΙΟΥ ΑΝΑΓΛΥΦΟΥ (Ψ.Μ.Υ.Α)

Τα δεδομένα τα οποία παράχθηκαν με τον τρόπο που περιγράφηκε παραπάνω συνίστανται σε ένα Ψηφιακό Μοντέλο Υποθαλάσσιου Αναγλύφου (Ψ.Μ.Υ.Α) τύπου .grd. Αρχικά, έγινε η μετατροπή από γεωγραφικές συντεταγμένες (φ,λ) σε καρτεσιανές συντεταγμένες ανηγμένες στο ΕΓΣΑ '87, με διγραμμικό (bilinear) μετασχηματισμό, στο περιβάλλον του ERMapper. Στο επόμενο βήμα, «κανονικοποιούμε» τις τιμές της εικόνας εντάσσοντάς τις στο εύρος 0-255, καθώς στην εικόνα υπήρχαν αρχικά αρνητικές τιμές. Στην εικόνα 20 οι περιοχές της λεκάνης που απεικονίζονται με σκούρο χρώμα, αντιστοιχούν σε περιοχές μεγάλου βάθους σε σχέση με αυτές που έχουν μεγάλες τιμές φωτεινότητας, δηλαδή είναι πιο ανοιχτόχρωμες, οι οποίες αντιστοιχούν σε πιο ρηχές περιοχές.

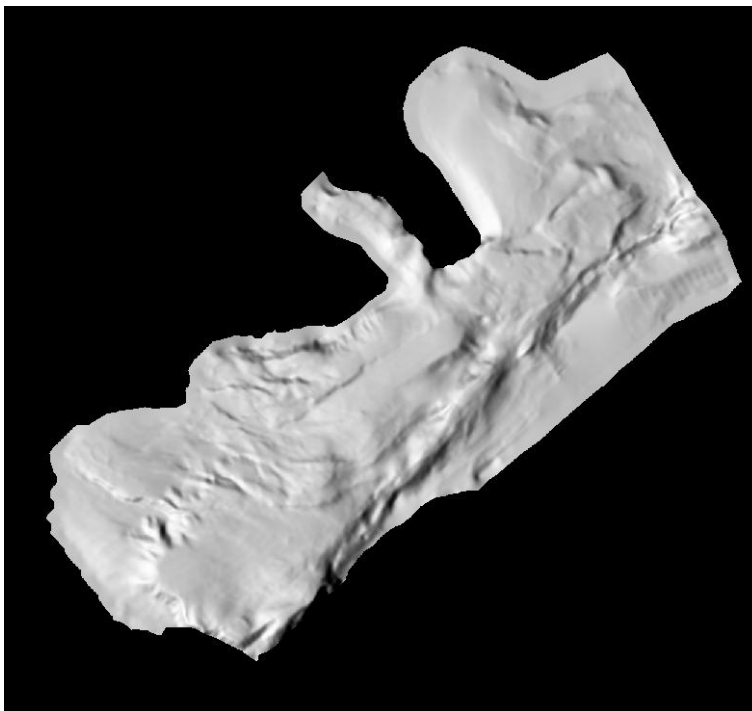


Εικόνα 20: Απεικόνιση του ψηφιακού μοντέλου εδάφους της περιοχής μελέτης με τιμές φωτεινότητας 0-255

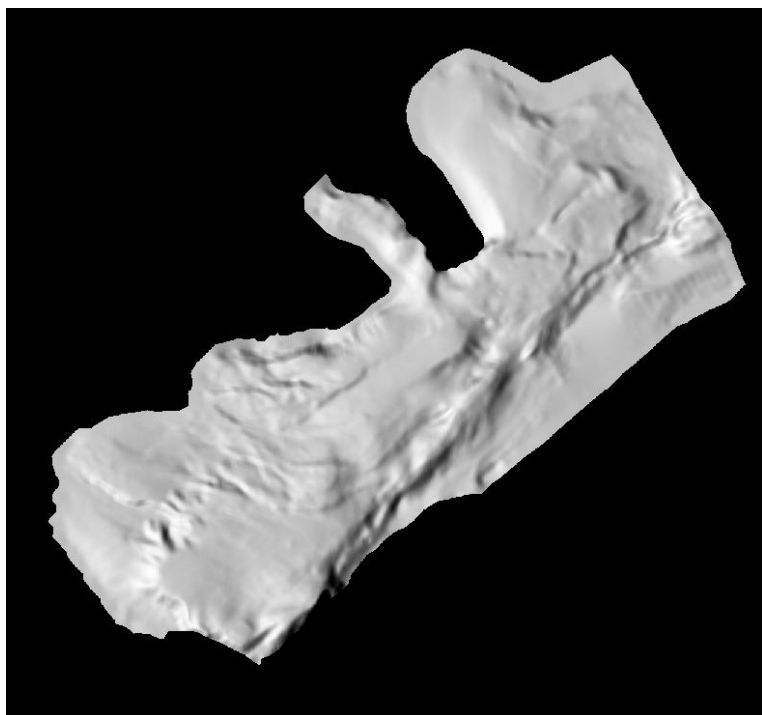
Στη συνέχεια, λόγω του θορύβου που είχε η εικόνα, εφαρμόστηκαν δοκιμαστικά διάφορα φίλτρα εξομάλυνσης ώστε να επιλεγεί το καταλληλότερο μεταξύ των median 11x11, Gaussian 11x11, mean 11x11. Τα αποτελέσματα των φίλτρων αυτών κατόπιν φωτοσκίασης παρουσιάζονται στις εικόνες 21, 22, 23 αντιστοίχως.



Εικόνα 21: Αποτέλεσμα κατόπιν φίλτρου median 11x11



Εικόνα 22: Αποτέλεσμα κατόπιν φίλτρου Gaussian 11x11



Εικόνα 23: Αποτέλεσμα κατόπιν φίλτρου $mean11x11$

Κατόπιν σύγκρισης συνεπώς, επελέγη το φίλτρο Gaussian $11x11$ που πετυχαίνει μια μέση εξομάλυνση της εικόνας συγκριτικά με τα άλλα δύο φίλτρα, όπως φαίνεται και στην εικόνα 24.



Φίλτρο median $11x11$



Φίλτρο Gaussian $11x11$



Φίλτρο mean $11x11$

Εικόνα 24: Παράθεση λεπτομέρειας της εικόνας με τρία διαφορετικά είδη φίλτρων

3.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΓΕΩΜΟΡΦΟΜΕΤΡΙΚΩΝ ΑΠΟ ΤΟ Ψ.Μ.Υ.Α

Αρχικά, υπολογίστηκαν τα επίπεδα (layers): slope (κλίση), profile curvature (καμπυλότητα παράλληλα στη διεύθυνση κλίσης), plan curvature (καμπυλότητα κάθετα στη διεύθυνση κλίσης), TPI (Topographic Position Index), για την εισαγωγή τους στο περιβάλλον του eCognition, καθώς θα χρησιμοποιηθούν προκειμένου να αποδώσουν ιδιότητες στα αντικείμενα που ζητείται να προσδιοριστούν.

Εφόσον η επιφάνεια της γης θεωρείται και επιφάνεια με τη μαθηματική έννοια μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι έννοιες της διαφορικής γεωμετρίας (Olaya, 2009). Ενδεικτικά η κλίση αντιστοιχεί στην πρώτη μερική παράγωγο και η καμπυλότητα στη δεύτερη μερική παράγωγο της επιφάνειας.

Για να υπολογιστούν οι γεωμετρικές παράμετροι απαιτείται ένα μαθηματικό μοντέλο, που περιγράφει την επιφάνεια της γης. Τα πιο διαδεδομένα μαθηματικά μοντέλα είναι των Evans – Young (Evans, 1972; Young, 1978) και των Zevenbergen και Thorne (1987). Η μέθοδος που χρησιμοποιεί το ERMapper για τον υπολογισμό της κλίσης (δηλαδή της πρώτης παραγώγου) και της καμπυλότητας (της δεύτερης παραγώγου), είναι η Evans-Young, η οποία χρησιμοποιεί μία πολυωνυμική συνάρτηση 2^{ου} βαθμού, που προσαρμόζεται σε ένα φίλτρο διαστάσεων 3x3:

$$z = \frac{r \cdot x^2}{2} + s \cdot x \cdot y + \frac{t \cdot y^2}{2} + p \cdot x + q \cdot y + z_0$$

όπου p, q, r, s, t, z₀ είναι συντελεστές και υπολογίζονται ως εξής (z₁, z₂, ..., z₉ είναι τα στοιχεία του φίλτρου και Δs η χωρική ανάλυση του ψηφιακού μοντέλου εδάφους):

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

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

$$r = \frac{z_1 + z_3 + z_4 + z_6 + z_7 + z_9 - 2 \cdot (z_2 + z_5 + z_8)}{3 \cdot \Delta s^2}$$

$$s = \frac{-z_1 + z_3 + z_7 - z_9}{4 \cdot \Delta s^2}$$

$$t = \frac{z_1 + z_2 + z_3 + z_7 + z_8 + z_9 - 2 \cdot (z_4 + z_5 + z_6)}{3 \cdot \Delta s^2}$$

$$z_0 = \frac{5 \cdot z_5 + 2 \cdot (z_2 + z_4 + z_6 + z_8) - (z_1 + z_3 + z_7 + z_9)}{9}$$

Οι συντελεστές p, q, r, s, t είναι επίσης οι μερικές παράγωγοι της πολυωνυμικής συνάρτησης στο κεντρικό (5^ο) στοιχείο του φίλτρου με διαστάσεις 3x3.

Συγκεκριμένα:

$$p = \frac{\partial z}{\partial x} \quad q = \frac{\partial z}{\partial y} \quad r = \frac{\partial^2 z}{\partial x^2}$$

$$s = \frac{\partial^2 z}{\partial x \partial y} \quad t = \frac{\partial^2 z}{\partial y^2}$$

- ❖ Η **κλίση (slope)** ορίζεται ως ο μέγιστος ρυθμός μεταβολής της τιμής του υψομέτρου για κάθε εικονοστοιχείο του ψηφιακού υψομετρικού μοντέλου και των οκτώ γειτονικών εικονοστοιχείων του και προσδιορίζει την πιο απότομη κλίση για μια θέση σε μια επιφάνεια (Burrough and McDonell, 1998). Ο ρυθμός μεταβολής του υψομέτρου κατά την οριζόντια $\left(\frac{\partial z}{\partial x}\right)$ και κάθετη $\left(\frac{\partial z}{\partial y}\right)$ διεύθυνση από το κεντρικό εικονοστοιχείο καθορίζει την κλίση. Ο βασικός αλγόριθμος που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της κλίσης δίνεται από την εξής σχέση:

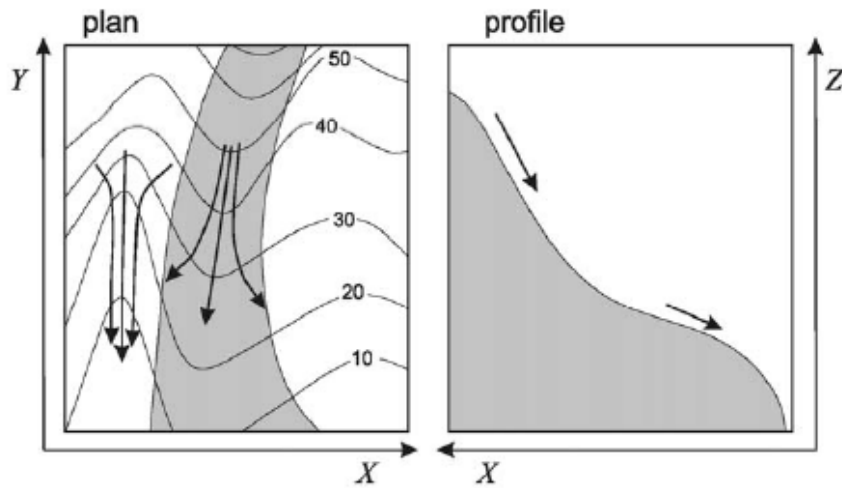
$$\text{SLOPE} = \arctan \sqrt{\frac{\partial z^2}{\partial x} + \frac{\partial z^2}{\partial y}} = \arctan \sqrt{p^2 + q^2}$$

Στην εικόνα 25, οι ανοιχτοί τόνοι του γκρι υποδηλώνουν περιοχές μεγάλης κλίσης, ενώ οι σκούροι τόνοι, περιοχές ήπιας κλίσης.



Εικόνα 25: Αποτέλεσμα κατόπιν εφαρμογής του φίλτρου κλίσεων (slope)

- ❖ Η **καμπυλότητα** είναι η πρώτη παράγωγος της κλίσης και είναι το μέτρο της κυρτότητας ή κοιλότητας της επιφάνειας τους εδάφους. Στην Εικόνα 26 απεικονίζονται οι δυο βασικές ορθογώνιες συνιστώσες, η καμπυλότητα κάθετα στη διεύθυνση κλίσης (plan curvature) και η καμπυλότητα παράλληλα στη διεύθυνση κλίσης του προανούς (profile curvature).

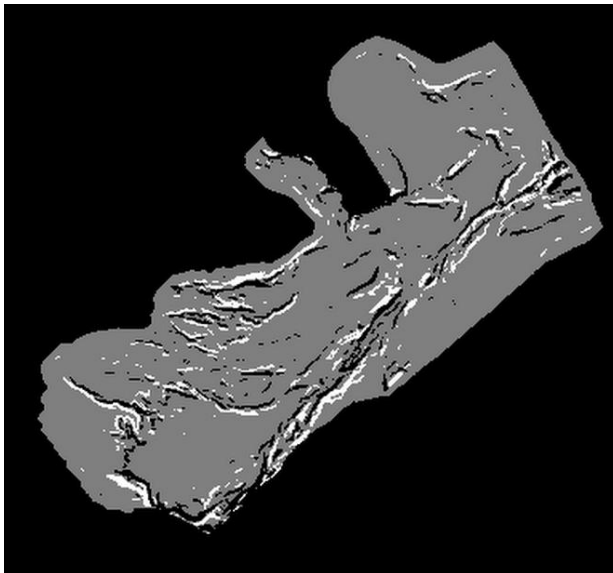


Εικόνα 26: Βασικές συνιστώσες καμπυλότητας (Shary et al., 2002)

❖ Η καμπυλότητα παράλληλα στη διεύθυνση κλίσης (profile curvature) ορίζεται ως :

$$\text{PROFC} = -\frac{p^2 \cdot r + 2 \cdot p \cdot q \cdot r \cdot s + q^2 \cdot t}{(p^2 + q^2) \cdot \sqrt{(1 + p^2 + q^2)^3}}$$

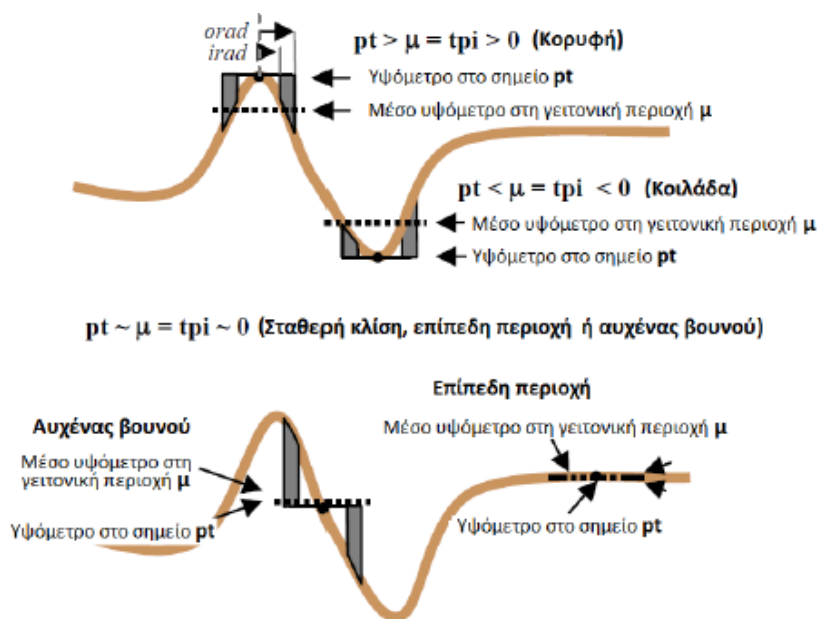
Στην εικόνα 27, με λευκό χρώμα υποδεικνύονται οι καμπυλότητες με θετική τιμή και με μαύρο χρώμα, οι καμπυλότητες με αρνητική τιμή.



Εικόνα 27: Αποτέλεσμα κατόπιν εφαρμογής του φίλτρου της καμπυλότητα παράλληλα στη διεύθυνση κλίσης (profile curvature)

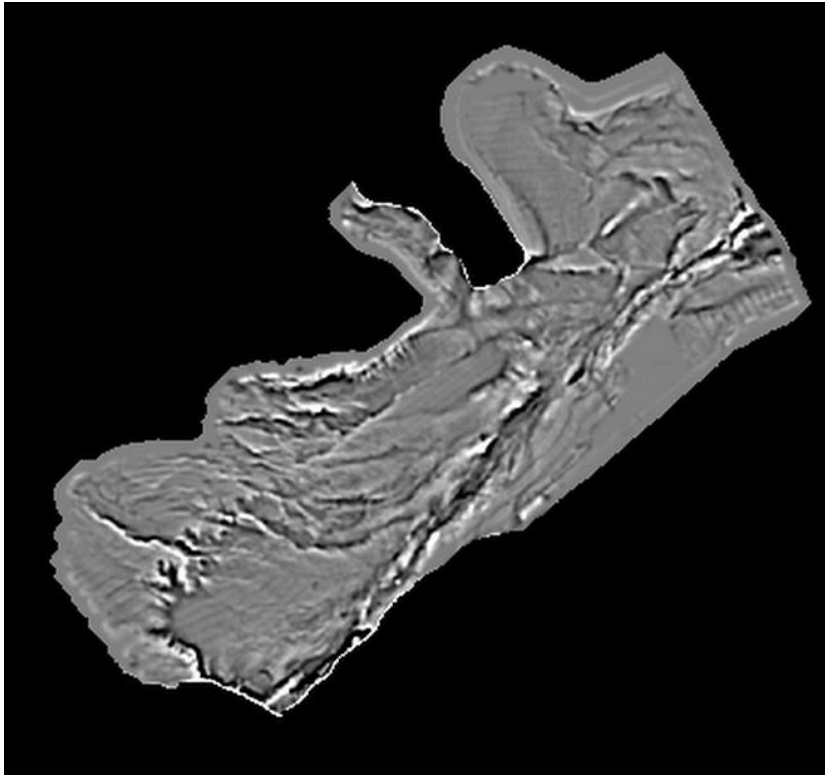
❖ **TPI (Topographic Position Index)**

Ο δείκτης τοπογραφικής θέσης (Topographic Position Index), συγκρίνει το υψόμετρο κάθε εικονοστοιχείου του ψηφιακού μοντέλου εδάφους, με το μέσο υψόμετρο της γειτονικής περιοχής περί του εικονοστοιχείου (εικόνα 28). Οι θετικές τιμές του δείκτη τοπογραφικής θέσης, υποδηλώνουν τις περιοχές οι οποίες έχουν μεγαλύτερο υψόμετρο από το μέσο υψόμετρο της γύρω περιοχής 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 TPI 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) (Weiss,1999).

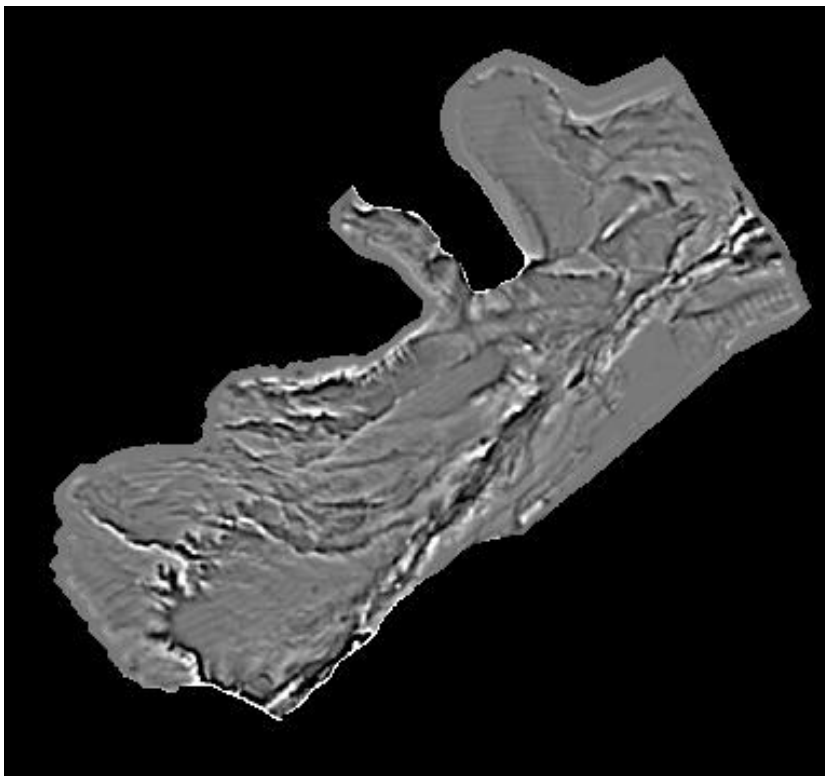


Εικόνα 28: Γραφική αναπαράσταση των τιμών του TPI, (Weiss,1999)

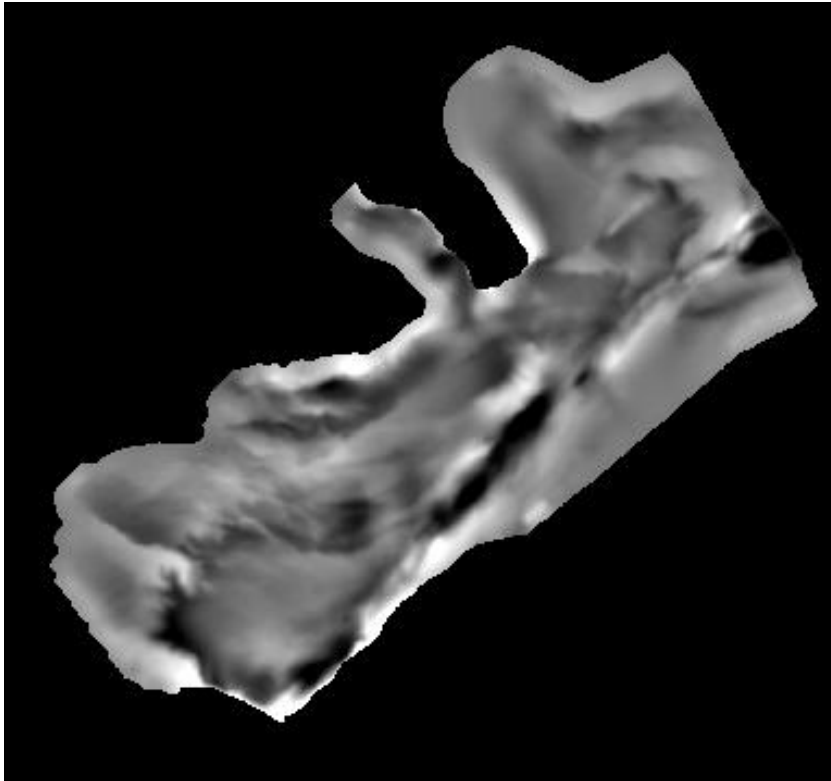
Επίσης, τα αποτελέσματα του δείκτη αυτού, έχουν άμεση σχέση με την ακτίνα που θα επιλεγεί. Στην παρούσα εργασία, ο δείκτης TPI υπολογίστηκε στο λογισμικό SAGA και το ψηφιακό μοντέλο υποθαλάσσιου αναγλύφου επεξεργάστηκε σε τρεις διαφορετικές ακτίνες για το TPI : 300, 1000, 10000 όπως φαίνεται και στις εικόνες 29,30,31 αντιστοίχως. Γίνεται εμφανές, στις εικόνες αυτές πως στην ακτίνα των 10000 (εικόνα 31) ξεχωρίζουν οι βαθιές περιοχές (που απεικονίζονται με σκούρο μαύρο) από τις πιο ρηχές περιοχές (σε τόνους του γκρι).



Εικόνα 29: Απεικόνιση περιοχής κατόπιν εφαρμογής του δείκτη TRI ακτίνας 300



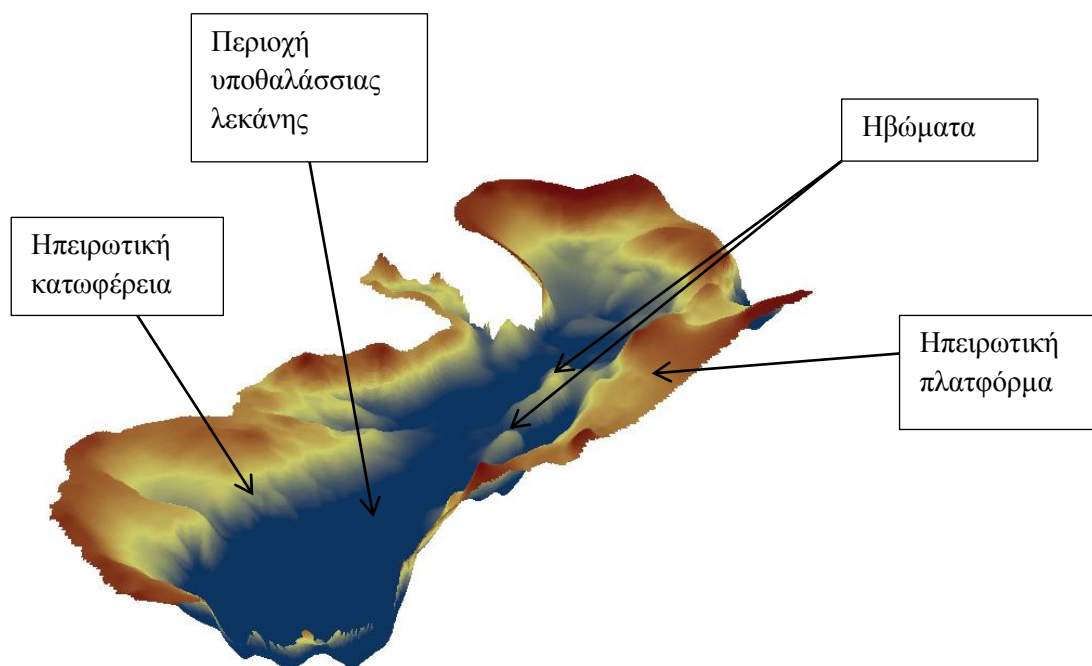
Εικόνα 30: Απεικόνιση περιοχής κατόπιν εφαρμογής του δείκτη TRI ακτίνας 1000



Εικόνα 31: Απεικόνιση περιοχής κατόπιν εφαρμογής του δείκτη TPI ακτίνας 10000

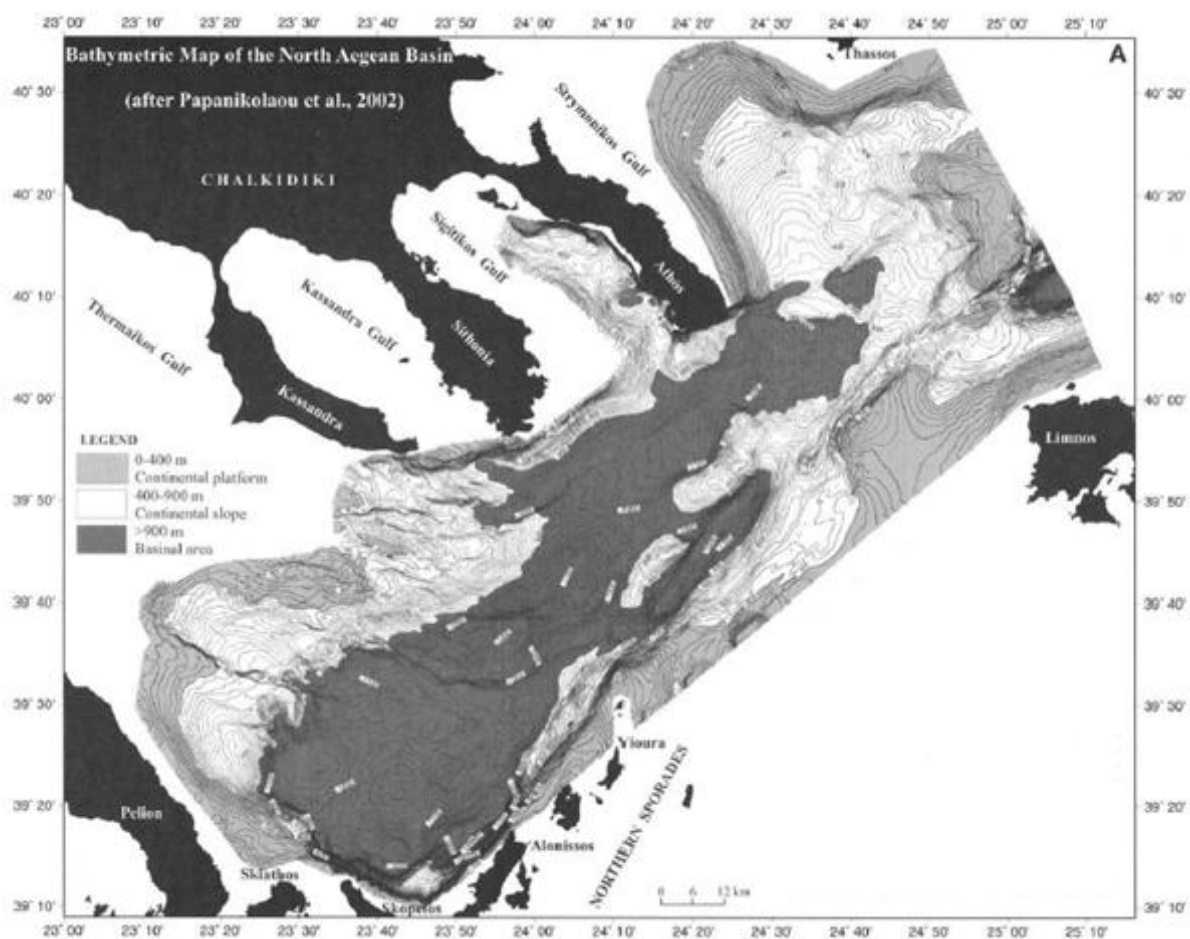
3.4 ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Η παρούσα εργασία στοχεύει στην εύρεση των ρηξιγενών ζωνών στην υποθαλάσσια περιοχή του Βορείου Αιγαίου, η οποία παρουσιάζεται στην εικόνα 32 σε τρεις διαστάσεις. Η περιοχή αυτή διακρίνεται από την ποικιλία μορφολογικών και τεκτονικών δομών. Οι κυριότερες μορφολογικές δομές που παρουσιάζονται στην περιοχή αυτή και που θα αποτελέσουν και αντικείμενο προσδιορισμού μέσω της αντικειμενοστρεφούς ανάλυσης, είναι η ηπειρωτική πλατφόρμα (continental platform), η ηπειρωτική κατώφρεια (continental slope), οι υπολεκάνες (sub-basins), τα ηβώματα καθώς και η ρηξιγενής ζώνη που αποτελεί το κύριο αντικείμενο της εργασίας αυτής.



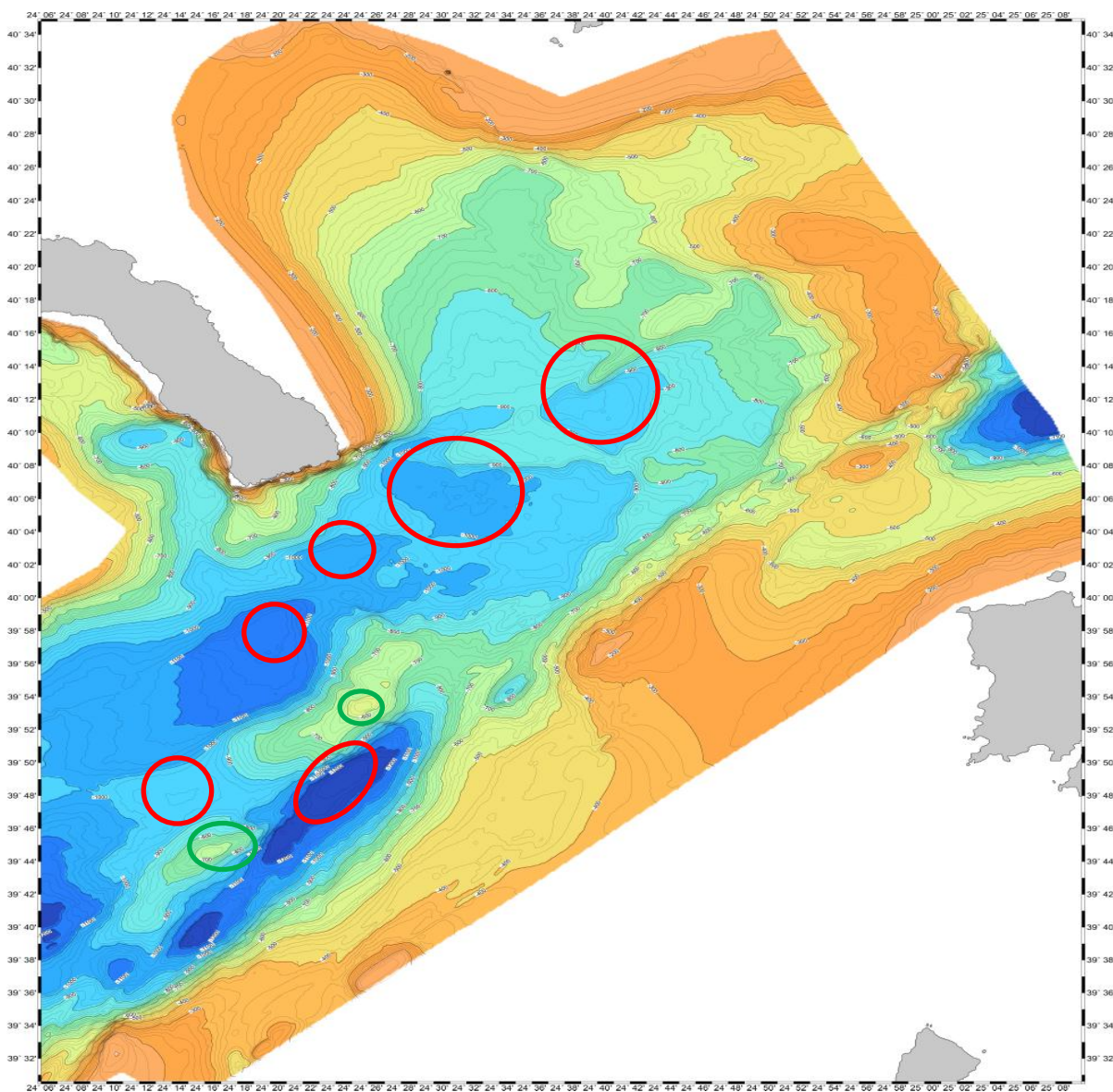
Εικόνα 32: 3-D αναπαράσταση και επισήμανση των μορφολογικών δομών της περιοχής μελέτης

Τα αποτελέσματα επομένως της ερμηνείας της περιοχής, οδήγησαν στην αναγνώριση και κατηγοριοποίηση των συγκεκριμένων γεωμορφολογικών χαρακτηριστικών που περιγράφηκαν παραπάνω και σημειώνονται στην εικόνα 32, με βάση τον βαθυμετρικό χάρτη της εικόνας 33 (after Paraniakolaou et al.,2002), ο οποίος οριοθετεί σε ζώνες βάσει του βάθους και χαρακτηρίζει τις επιμέρους περιοχές σε ηπειρωτική πλατφόρμα (continental platform), ηπειρωτική κατώφρεια (continental slope) και περιοχή λεκάνης (basinal area).

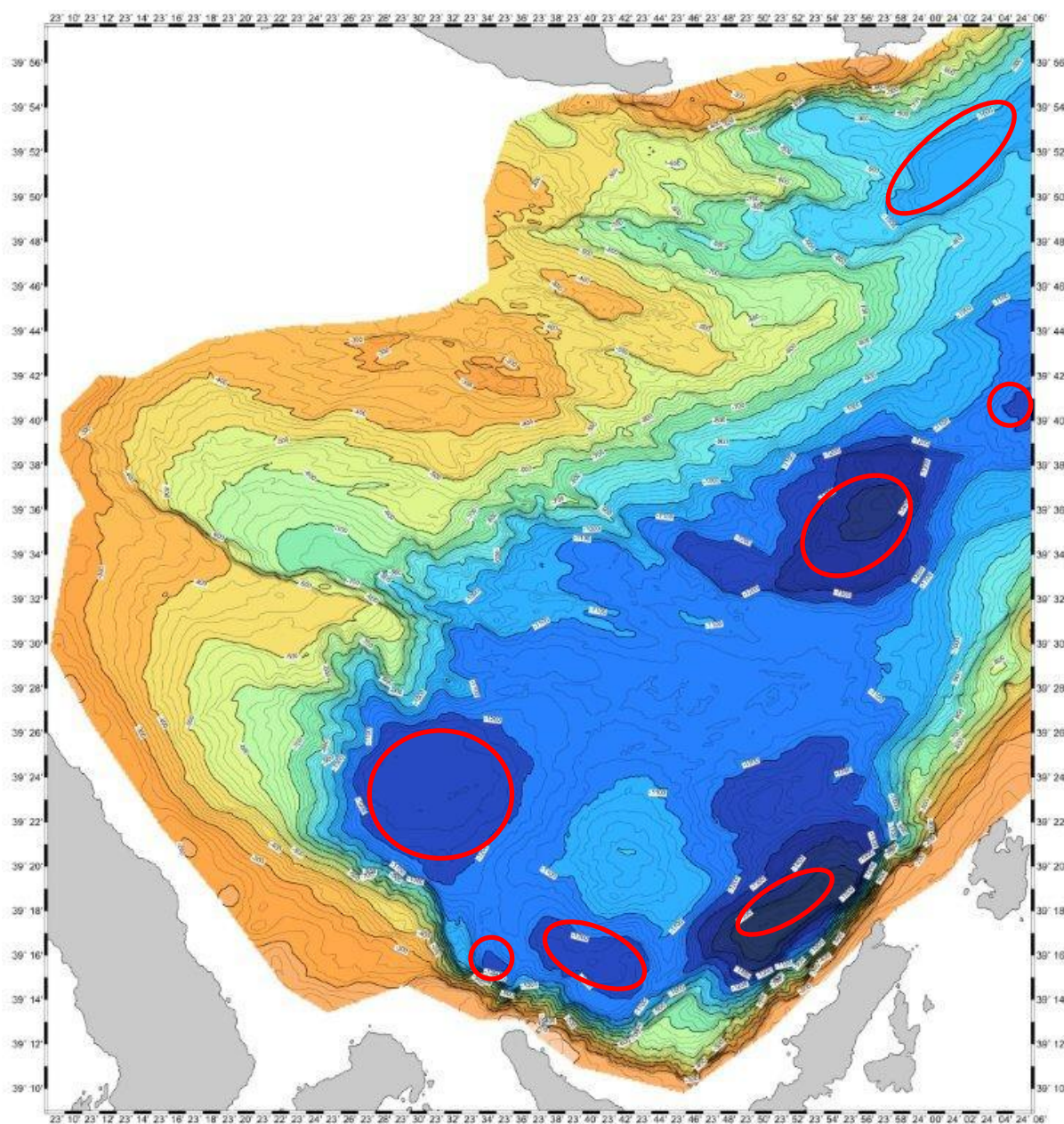


Εικόνα 33: Βαθυμετρικός χάρτης της λεκάνης του Βορείου Αιγαίου με διαχωρισμό των 3 επιπέδων τα οποία σημειώνονται και με διαφορετικές διαβαθμίσεις του γκρι, στο υπόμνημα : 1) ηπειρωτική πλατφόρμα (continental platform), 2) ηπειρωτική κατοφέρεια (continental slope), 3) περιοχή λεκάνης (basinal area). Πηγή: Papanikolaou et al., 2002)

Στη συνέχεια, παρατίθενται δυο βαθυμετρικοί χάρτες για το ΒΑ και το ΒΔ κομμάτι της λεκάνης του Βορείου Αιγαίου αντίστοιχα, όπου σημειώνονται εντός του κόκκινου κύκλου οι υπολεκάνες ιζηματογένεσης που υφίστανται εντός της περιοχής της υποθαλάσσιας λεκάνης, που υποδεικνύεται στις εικόνες 34 και 35 αντίστοιχως.



Εικόνα 34: Βαθμετρικός χάρτης του Βορειοανατολικού Αιγαίου στον οποίο σημειώνονται εντός των κόκκινων κύκλων οι λεκάνες ιζηματογένεσης και εντός των πράσινων κύκλων, τα ηβώματα. Κλίμακα : 1:15000 Πηγή : Ραρανικολαου et al., 2002

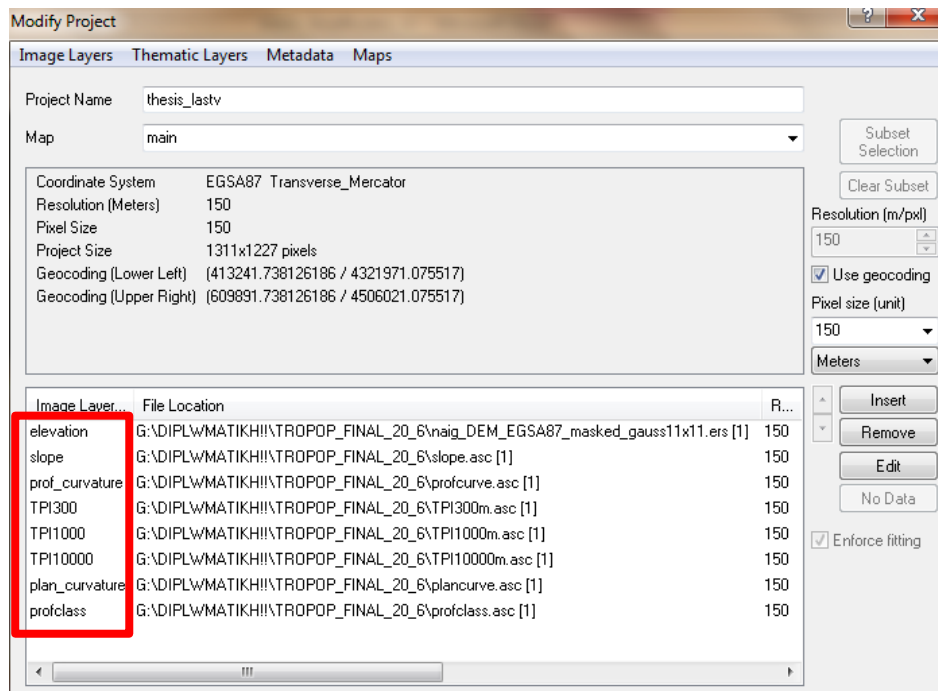


Εικόνα 35: Βαθυμετρικός χάρτης του Βορειοδυτικού Αιγαίου στον οποίο σημειώνονται εντός των κόκκινων κύκλων οι λεκάνες ιζηματογένεσης. Κλίμακα : 1:15000 Πηγή : Ραρανικόλαου et al., 2002

3.5 ΤΑ ΣΤΑΔΙΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΚΑΤΑΤΜΗΣΗΣ ΚΑΙ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ ΤΟΥ Ψ.Μ.Υ.Α ΣΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ eCognition

Η παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκε στο λογισμικό eCognition έκδοσης 8.7 και αρχικά εισήχθησαν τα θεματικά επίπεδα (layers), τα οποία θα αποτελέσουν τη βάση για τον προσδιορισμό των ιδιοτήτων των αντικειμένων.

Τα οκτώ αυτά, θεματικά επίπεδα, είναι: το Ψηφιακό Μοντέλο Υποθαλάσσιου Αναγλύφου (Ψ.Μ.Υ.Α) το οποίο μετονομάστηκε σε “elevation”, οι κλίσεις σε “slope”, η καμπυλότητα παράλληλα στη διεύθυνση κλίσης σε “prof_curvature”, ο δείκτης τοπογραφικής θέσης ακτίνας 300 σε “TPI300”, ο δείκτης τοπογραφικής θέσης ακτίνας 1000 σε “TPI1000”, ο δείκτης τοπογραφικής θέσης ακτίνας 10000 σε “TPI10000”, η καμπυλότητα κάθετα στη διεύθυνση κλίσης σε “plan_curvature” και η καμπυλότητα παράλληλα στη διεύθυνση κλίσης διαχωρισμένη σε θετικές και αρνητικές τιμές, σε “profclass”. Τα θεματικά αυτά επίπεδα απεικονίζονται στην εικόνα 36 που αποτελεί παράθυρο διαλόγου, προβολής του project στο περιβάλλον του προγράμματος.



Εικόνα 36: Παράθυρο διαλόγου του eCognition, στο οποίο εισάγονται τα 8 θεματικά επίπεδα ώστε να πραγματοποιηθεί η αντικειμενοστρεφής ανάλυση. Σε αυτό αναγράφονται και οι γενικές πληροφορίες του Ψ.Μ.Υ.Α, όπως προβολικό σύστημα, σύστημα αναφοράς, μέγεθος pixel και ανάλυση.

Αφού εισήχθησαν τα δεδομένα και πραγματοποιήθηκε η απεικόνισή τους, έπειτα εκτελέστηκε ένα σύνολο δοκιμαστικών κατατμήσεων τύπου “multiresolution segmentation”, εφαρμόζοντας μια πληθώρα συνδυασμών των παραμέτρων κλίμακας και κριτηρίων ομοιογένειας για κάθε θεματικό επίπεδο.

Με αρχικό κριτήριο τη φύση και το μέγεθος των αντικειμένων προς εξαγωγή, ορίστηκαν τελικά 6 διαφορετικά επίπεδα κατάτμησης, διαφορετικών κλιμάκων, με τις ονομασίες που απεικονίζονται στην εικόνα 37, με τη αρίθμηση να ακολουθεί τη σειρά δημιουργίας τους.

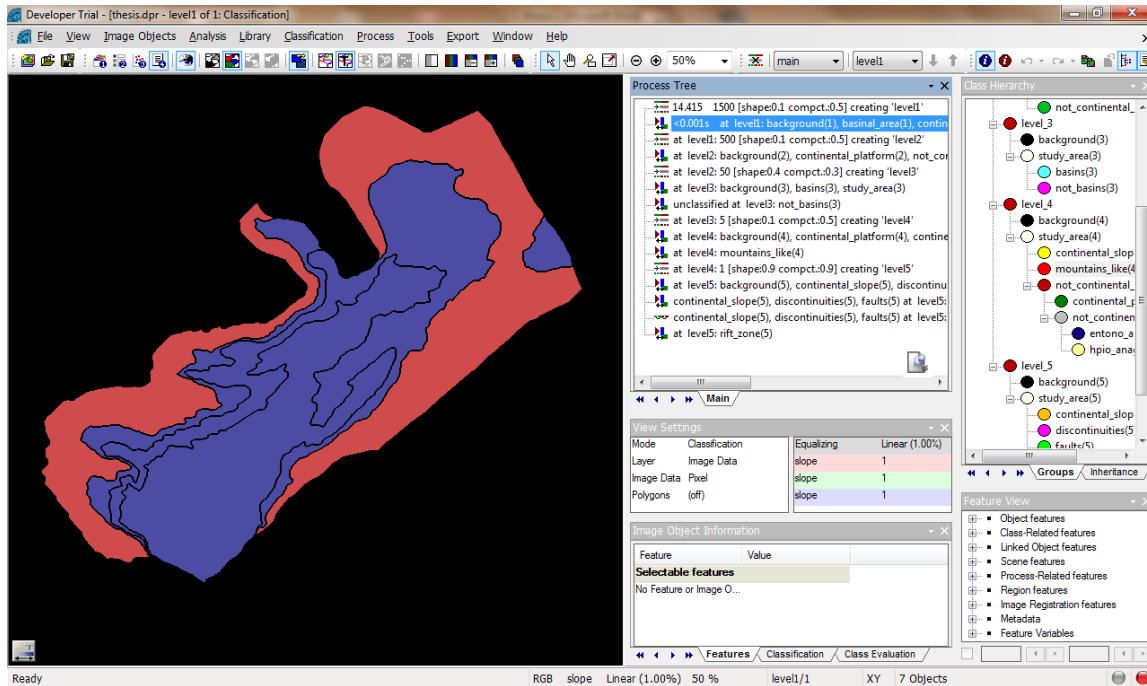


Εικόνα 37: Απεικόνιση των επιπέδων κατάτμησης κατά σειρά δημιουργίας τους (από πάνω προς τα κάτω).

Το επόμενο βήμα μετά την κατάτμηση των εικόνων, είναι η δημιουργία των κλάσεων, με την επιλογή και εφαρμογή συναρτήσεων οι οποίες θα ορίζουν την κάθε κλάση ξεχωριστά.

Τα βασικά εργαλεία του λογισμικού που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία, είναι τα παράθυρα επιλογών και ρυθμίσεων των ιδιοτήτων και της διαδικασίας (εικόνα 38) :

- **Process Tree**, στο οποίο διαμορφώθηκαν οι αλγόριθμοι κατάτμησης και ταξινόμησης.
- **Class Hierarchy**, όπου γίνεται η δημιουργία και ο ορισμός των κλάσεων.
- **Feature view**, το οποίο δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να επιλέγει οποιοδήποτε χαρακτηριστικό και να απεικονίζεται πώς αυτό το χαρακτηριστικό είναι κατανοημένο στα δεδομένα.
- **Image object information**, στο οποίο ο χρήστης επιλέγει τα χαρακτηριστικά (και τις τιμές αυτών), που θα είναι ορατά για κάθε αντικείμενο κατάτμησης.

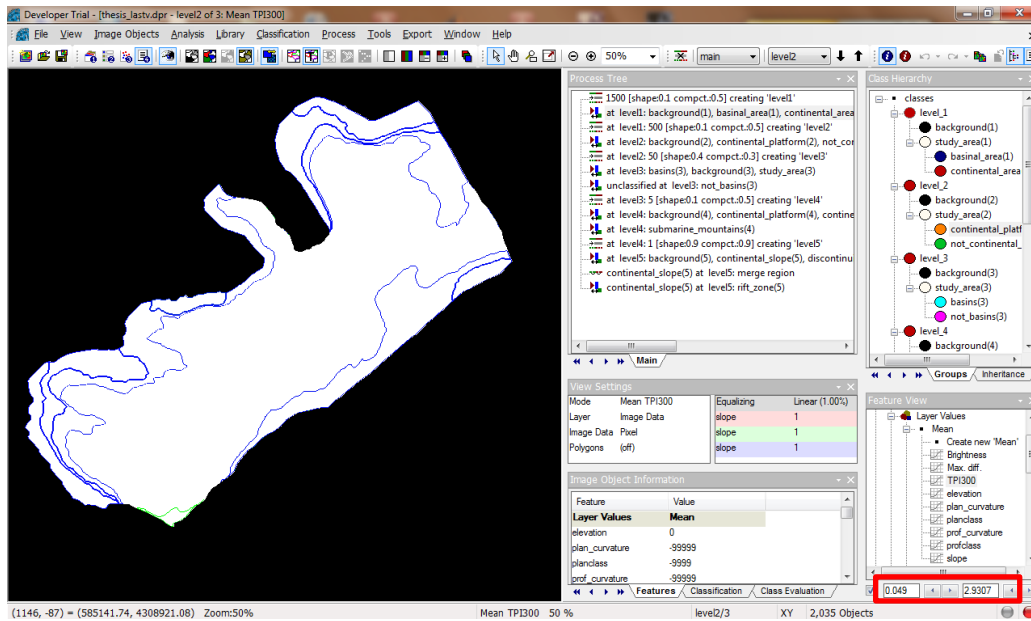


Εικόνα 38 : Περιβάλλον του προγράμματος και προβολή των πέντε βασικών παραθύρων για ρυθμίσεις της διαδικασίας και των ιδιοτήτων.

Τα “Features” και το παράθυρο “Feature view”, που παρέχει το λογισμικό, είναι υψίστης σημασίας τόσο για τη ερμηνεία των δεδομένων όσο και για τη δημιουργία και των ορισμό των κλάσεων.

Για κάθε “Feature” και για κάθε επίπεδο κατάτμησης, υπάρχει η δυνατότητα απεικόνισης των αντικειμένων που βρίσκονται εντός των επιθυμητών ορίων που ορίζει ο χρήστης. Ένα παράδειγμα χρήσης του εργαλείου “Feature view”, παρουσιάζεται στην εικόνα 39, όπου απεικονίζονται τα όρια της μέσης τιμής TPI300, κάτω δεξιά της εικόνας εντός των οποίων ορίζεται η ηπειρωτική πλατφόρμα, και εντοπίζεται με μπλε και πράσινο χρώμα.

Τέλος, για την καλύτερη μεθόδευση και αποφυγή συγχήσεων, δίπλα σε κάθε κλάση σημειώνεται εντός παρενθέσεως ο αριθμός που δηλώνει με βάση ποιο επίπεδο κατάτμησης, πραγματοποιήθηκε η ταξινόμηση.



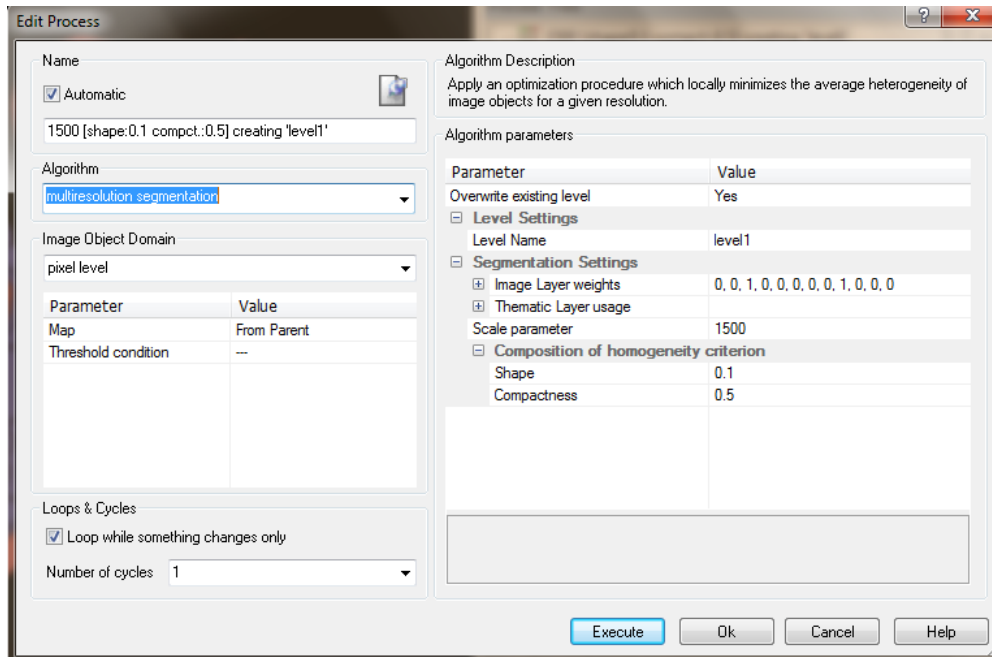
Εικόνα 39 : Παράδειγμα χρήσης του εργαλείου “Feature view”, όπου απεικονίζονται τα όρια της μέσης τιμής TPI300 σε κόκκινο πλαίσιο, κάτω δεξιά της εικόνας, εντός των οποίων ορίζεται η ηπειρωτική πλατφόρμα, που εντοπίζεται με μπλε και πράσινο χρώμα.

Αρχικά, θα κατασκευαστεί το πρώτο επίπεδο κατάτμησης με σκοπό να γίνει ένας πρώτος, αδρομερής διαχωρισμός μεγάλων σε μέγεθος αντικειμένων και γι’ αυτό θα χρησιμοποιηθεί μεγάλη τιμή της παραμέτρου της κλίμακας.

3.5.1 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΕΠΙΠΕΔΟΥ “Level 1”

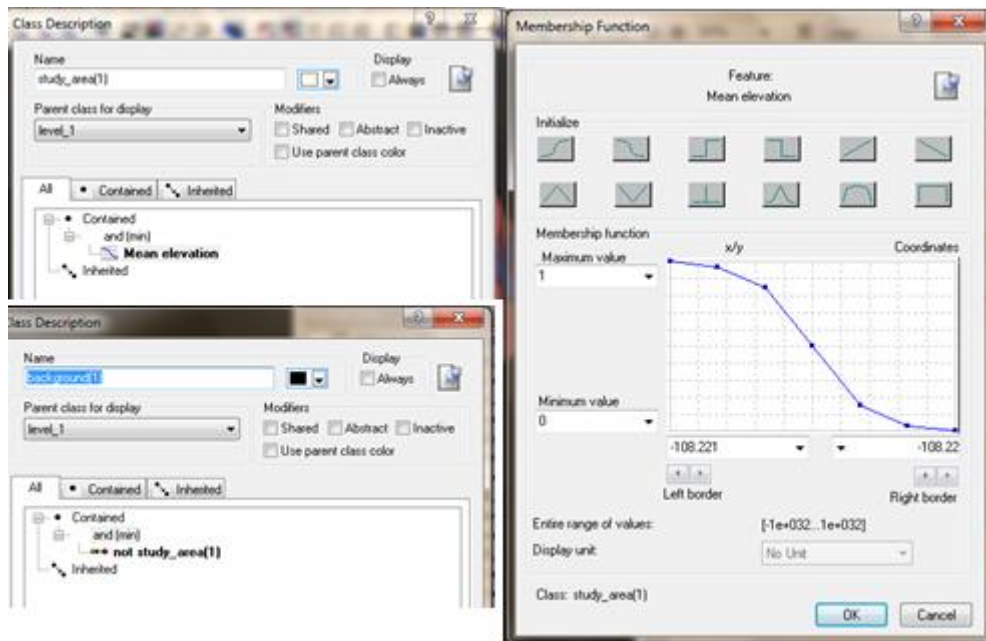
Στο πρώτο επίπεδο κατάτμησης “**Level 1**” επιδιώκεται ο αρχικός διαχωρισμός της περιοχής μελέτης (*study area (1)*) στην οποία υπάρχουν βαθυμετρικά δεδομένα, από το *background (background(1))* της εικόνας. Συγχρόνως όμως, επιδιώκεται ο διαχωρισμός της ηπειρωτικής περιοχής (*continental area(1)*) από την περιοχή της λεκάνης (*basinal area*).

Για την εξαγωγή αυτών, πραγματοποιήθηκε αρχικά κατάτμηση μεγάλης κλίμακας συγκεκριμένα τιμής 1500 (scale parameter- 1500) και χρησιμοποιήθηκαν με βάρος τη μονάδα, τα θεματικά επίπεδα *elevation* και *slope*. Το κριτήριο σχήματος (*shape*) έναντι χρώματος, τέθηκε ίσο με 0,1 και το κριτήριο συμπαγούς σχήματος έναντι ομαλότητας ορίων (*compactness*), ίσο με 0,5 (εικόνα 40).



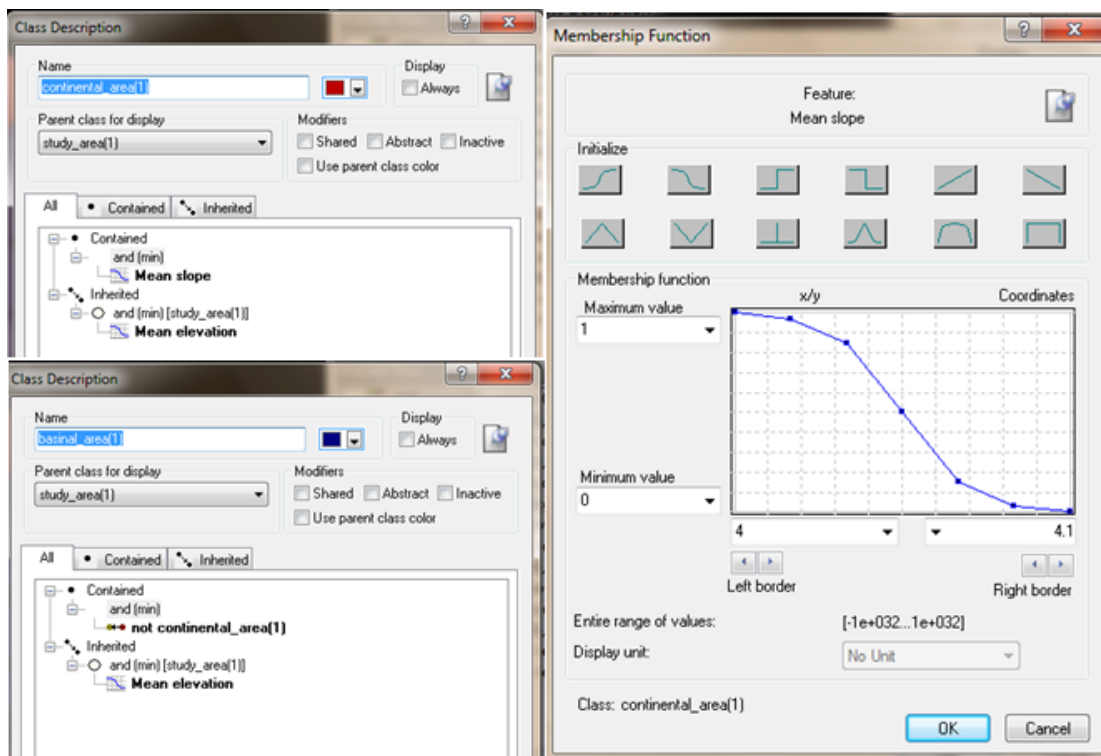
Εικόνα 40 : Παράθυρο επιλογής παραμέτρων κατάτμησης για το “Level 1”

Κατόπιν κατάτμησης, πραγματοποιήθηκε ταξινόμηση των κλάσεων *background*, *study area (1)*, και *continental area (1)*, *basinal area (1)* που αποτελούν υποκατηγορίες της *study area (1)*. Η κλάση *study area (1)* ταξινομήθηκε με βάση το μέσο βάθος της περιοχής που κυμαίνεται στα -108,22m, και το *background* ως η μη περιοχή μελέτης (not study area), όπως φαίνεται και στην εικόνα 41



Εικόνα 41 : Δημιουργία των κλάσεων *study area(1)* και *background(1)* καθώς και απεικόνιση της συνάρτησης συμμετοχής που χρησιμοποιήθηκε για τον ορισμό της *study area (1)*.

Στη συνέχεια, ως υποκλάσεις της *study area (1)*, ορίστηκαν η *continental area (1)* και η *basinal area (1)*. Στην *continental area (1)*, ως ιδιότητα ορίστηκε η μέση κλίση να είναι έως 4,1 με τη συνάρτηση συμμετοχής που φαίνεται στην εικόνα 42. Αντιστοίχως, η *basinal area (1)* ορίστηκε ως *not continental area*, έχοντας κληρονομήσει παράλληλα και τις ιδιότητες της «υπερκλάσης» *study area 1*.



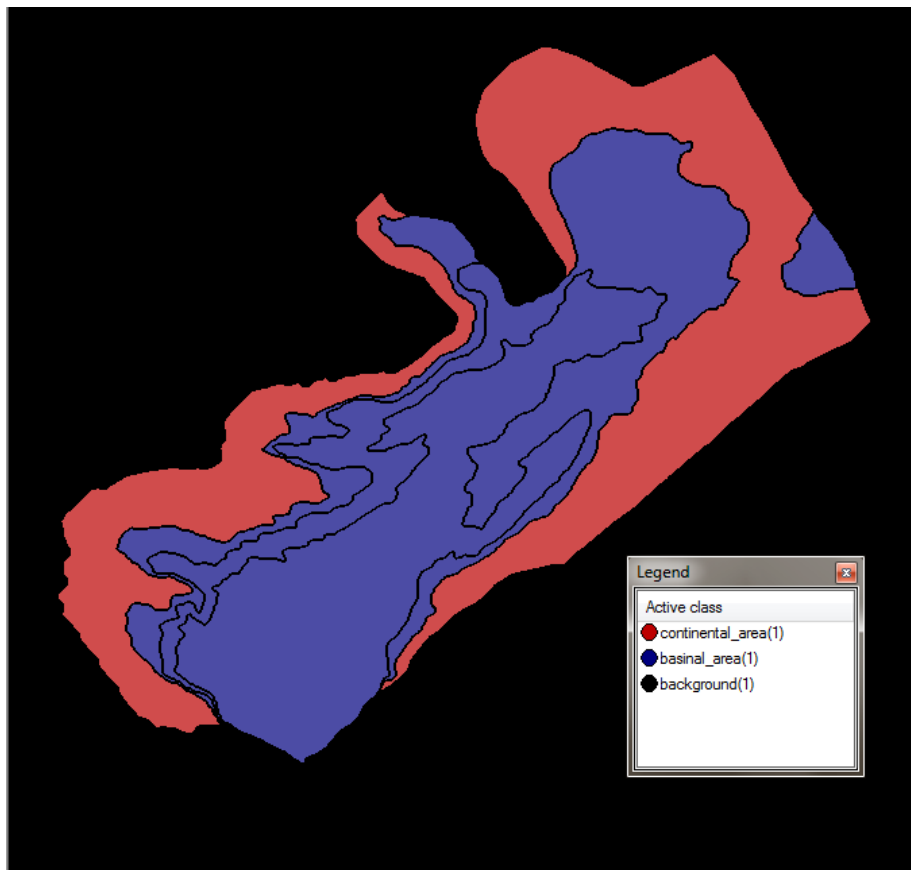
Εικόνα 42 : Δημιουργία των κλάσεων *continental area (1)* και *basinal area (1)* και η συνάρτηση συμμετοχής που χρησιμοποιήθηκε για τον ορισμό της *continental area (1)*.

Στην εικόνα 43 παρουσιάζονται συνοπτικά τα αποτελέσματα των τάξεων, των χαρακτηριστικών τους, των συναρτήσεων συμμετοχής και των ορίων τους που περιγράφηκαν παραπάνω.

Τάξεις	Διαγνωστικό Χαρακτηριστικό	Συνάρτηση Συμμετοχής	Αριστερό όριο	Δεξί όριο
study area(1)	Mean elevation		-108,221	-108,222
continental area(1)	Mean slope		4	4,1
	Mean elevation		-108,221	-108,222
basinal area(1)	Not continental area	-	-	-
background(1)	Not study area(1)	-	-	-

Εικόνα 43 : Συνοπτική παρουσίαση των τάξεων, των χαρακτηριστικών τους, των συναρτήσεων συμμετοχής και των ορίων τους

Συνεπώς, το αποτέλεσμα που προέκυψε από την ταξινόμηση που περιγράφηκε παραπάνω, παρουσιάζεται στην εικόνα 44, όπου με κόκκινο χρώμα είναι η ηπειρωτική περιοχή (*continental area*), με μπλε, η περιοχή της λεκάνης (*basinal area*) και με μαύρο το *background* της εικόνας.



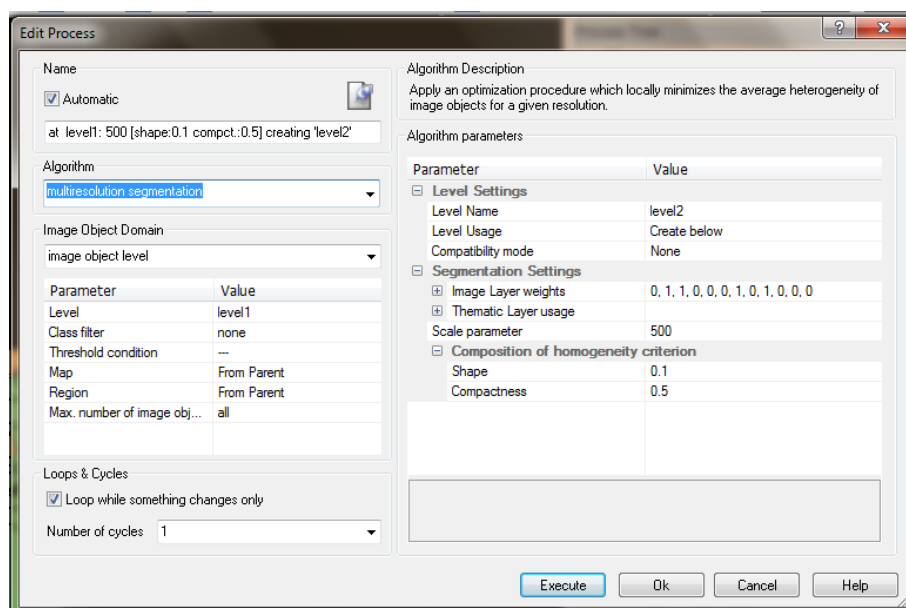
Εικόνα 44 : Αποτέλεσμα κατόπιν ταξινόμησης στο level 1, της *continental area*, *basinal area* και *background*

Στη συνέχεια, προκύπτει η ανάγκη να κατασκευαστεί δεύτερο επίπεδο κατάτμησης που ο σκοπός του θα είναι να περιέχει περισσότερες λεπτομέρειες, άρα μικρότερη τιμή της παραμέτρου της κλίμακας ώστε να προσδιοριστούν πιο λεπτομερή μορφολογικά στοιχεία.

3.5.2 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΕΠΙΠΕΔΟΥ “Level 2”

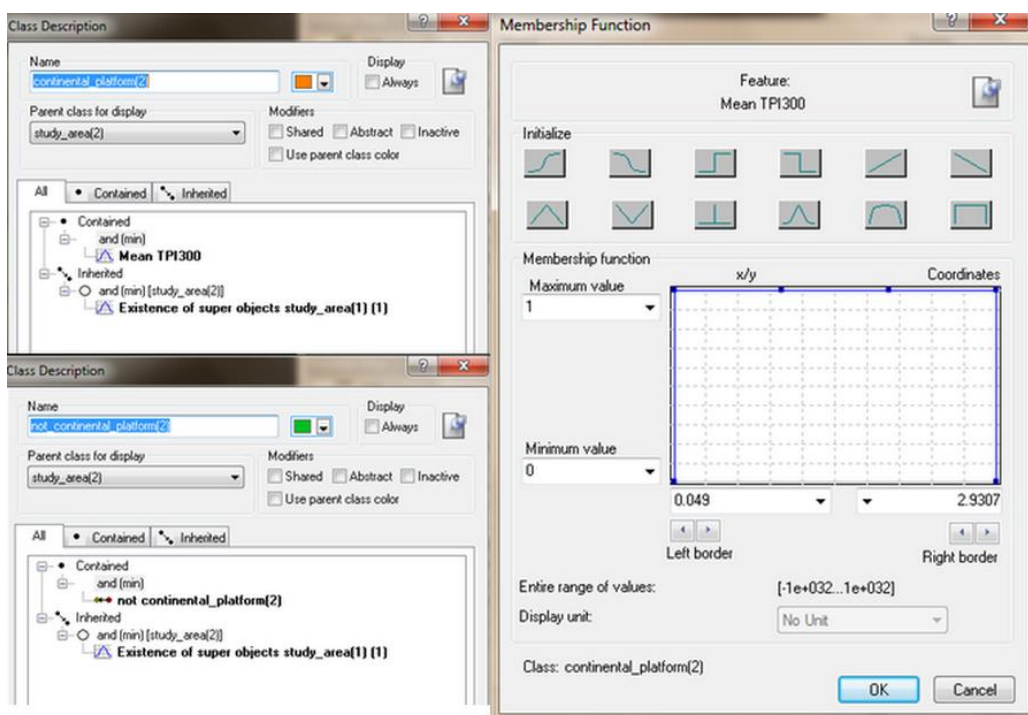
Στο δεύτερο επίπεδο κατάτμησης “Level 2” επιδιώκεται ο προσδιορισμός της ηπειρωτικής πλατφόρμας (*continental platform*) στην εικόνα. Για λόγους πληρότητας όμως και πάλι ταξινομείται μέσω προβολής το *background* και η περιοχή μελέτης *study area* (2), στην οποία υποκλάσεις αποτελούν η *continental platform*(2) και η *not continental platform*(2).

Έτσι, αρχικά πραγματοποιείται κατάτμηση με τιμή κλίμακας 500 (scale parameter- 500) και χρησιμοποιήθηκαν με βάρος τη μονάδα, τα θεματικά επίπεδα *curvature*, *elevation*, *profile curvature*, *slope*. Το κριτήριο σχήματος (*shape*) έναντι χρώματος, τέθηκε ίσο με 0,1 και το κριτήριο συμπαγούς σχήματος έναντι ομαλότητας ορίων (*compactness*), ίσο με 0,5 (εικόνα 45).



Εικόνα 45 : Παράθυρο επιλογής παραμέτρων κατάτμησης για το “Level 2”

Κατόπιν κατάτμησης, πραγματοποιήθηκε ταξινόμηση των κλάσεων *background*, *study area* (2), *continental platform* (2), *not continental platform* (2) που αποτελούν υποκατηγορίες της *study area* (2). Στην κλάση αυτή για την ταξινόμησή της, χρησιμοποιήθηκε η συνάρτηση προβολής (συνάρτηση Singleton) από το παραπάνω επίπεδο (level 1), αφού πρόκειται για την ίδια περιοχή μελέτης. Για την ταξινόμηση της ηπειρωτικής πλατφόρμας χρησιμοποιήθηκε ο δείκτης TPI300 εντός των κλειστών ορίων 0,049 έως 2,9307, ενώ για τις περιοχές που δεν ανήκαν σε αυτά τα όρια, ταξινομήθηκαν ως *not continental platform*. (εικόνα 46)



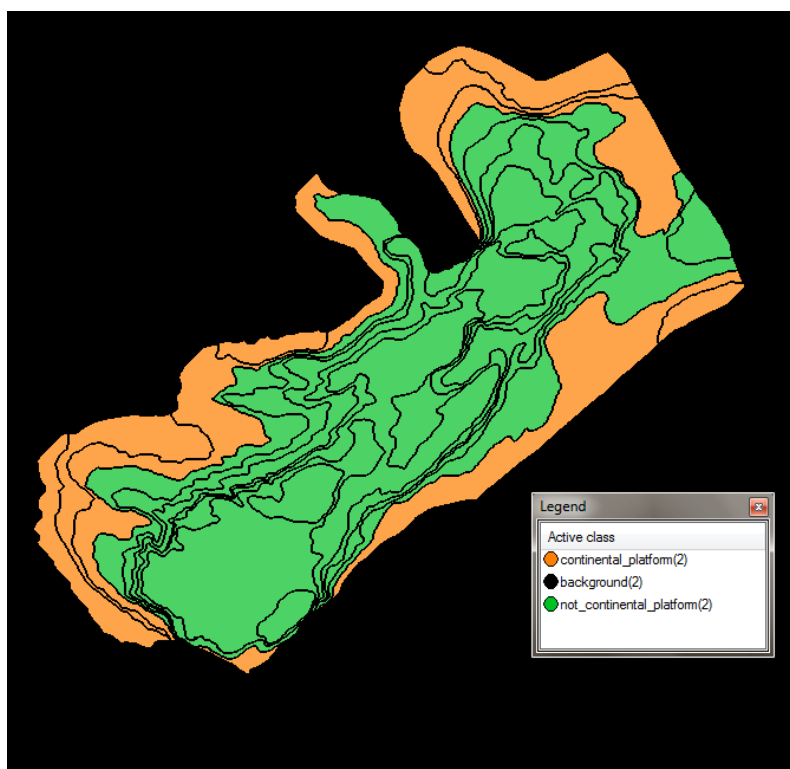
Εικόνα 46 : Δημιουργία των κλάσεων *continental platform (2)* και *not continental platform (2)* και η συνάρτηση συμμετοχής που χρησιμοποιήθηκε για τον ορισμό της *continental platform(2)*

Στην εικόνα 47 παρουσιάζονται συνοπτικά τα αποτελέσματα των τάξεων, των χαρακτηριστικών τους, των συναρτήσεων συμμετοχής και των ορίων τους που περιγράφηκαν παραπάνω.

Τάξεις	Διαγνωστικό Χαρακτηριστικό	Συνάρτηση Συμμετοχής	Αριστερό όριο	Δεξί όριο
<i>study area(2)</i>	Existence of super objects <i>study area(1)</i>		0	2
<i>continental platform(2)</i>	Mean TPI300		0,049	29,307
	Existence of super objects <i>study area(1)(1)</i>		0	2
<i>not continental platform(2)</i>	Not continental platform	-	-	-
<i>background(2)</i>	Existence of super objects <i>background(1)(1)</i>		0	2

Εικόνα 47 : Συνοπτική παρουσίαση των τάξεων, των χαρακτηριστικών τους, των συναρτήσεων συμμετοχής και των ορίων τους

Συνεπώς, το αποτέλεσμα που προέκυψε από την ταξινόμηση που περιγράφηκε παραπάνω, παρουσιάζεται στην εικόνα 48, όπου με πορτοκαλί χρώμα απεικονίζεται η ηπειρωτική πλατφόρμα (*continental platform*), με πράσινο η περιοχή που δεν ανήκει στην ηπειρωτική πλατφόρμα (*not continental platform*) και με μαύρο το *background* της εικόνας.



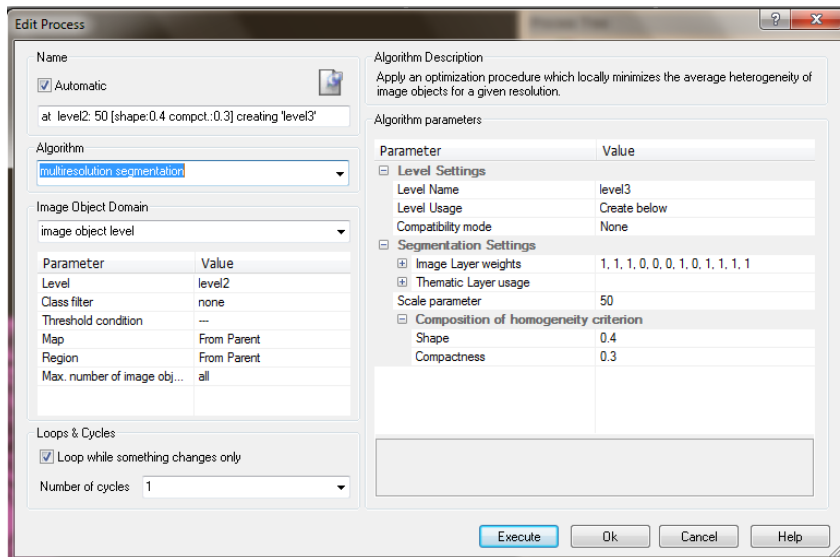
Εικόνα 48 : Αποτέλεσμα κατόπιν ταξινόμησης στο level 2, της *continental platform*, *not continental platform* και *background*

Έτσι, αφού προσδιορίστηκαν οι μεγάλες σε έκταση περιοχές της ηπειρωτικής πλατφόρμας και της μη ηπειρωτικής πλατφόρμας, απαιτείται η πραγματοποίηση μιας πιο λεπτομερούς κατάτμησης με σκοπό τον προσδιορισμό των λεκανών ιζηματογένεσης που ανήκουν στην περιοχή της μη ηπειρωτικής πλατφόρμας.

3.5.3 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΕΠΙΠΕΔΟΥ “Level 3”

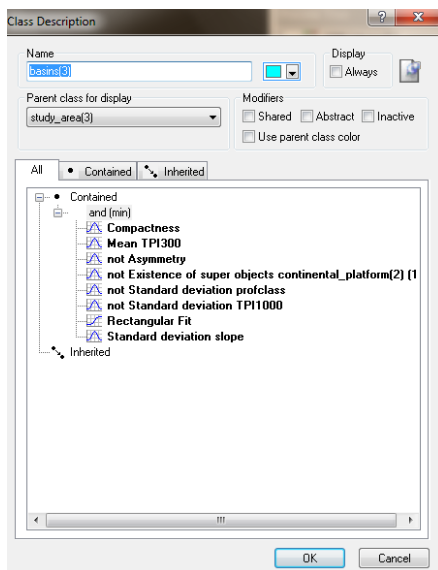
Στο τρίτο επίπεδο κατάτμησης “**Level 3**” επιδιώκεται ο προσδιορισμός των λεκανών ιζηματογένεσης (*basins*) στην εικόνα. Για λόγους πληρότητας όμως και πάλι επιδιώκεται η ταξινόμηση μέσω προβολής του *background(3)* καθώς της περιοχής μελέτης (*study area (3)*), στην οποία υποκλάσεις αποτελούν η *basins(3)* και η *not basins(3)*.

Έτσι, αρχικά πραγματοποιείται κατάτμηση με τιμή κλίμακας 50 (scale parameter- 50) και χρησιμοποιήθηκαν με βάρος τη μονάδα, τα θεματικά επίπεδα *curvature*, *elevation*, *profile curvature*, *slope*, *TPI1000*, *TPI10000*, *TPI300*. Το κριτήριο σχήματος (*shape*) έναντι χρώματος, τέθηκε ίσο με 0,4 και το κριτήριο συμπαγούς σχήματος έναντι ομαλότητας ορίων (*compactness*), ίσο με 0,3 (εικόνα 49).



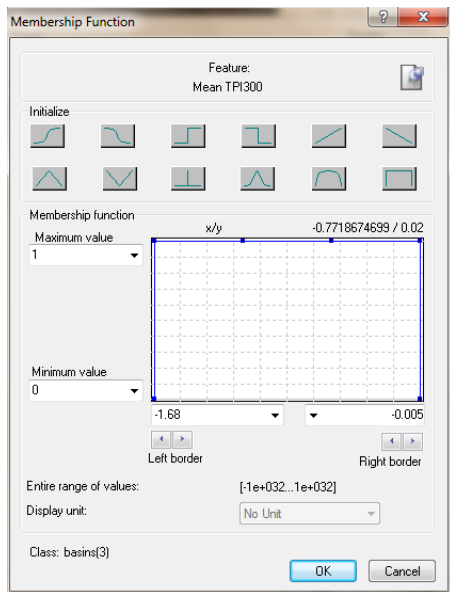
Εικόνα 49 : Παράθυρο επιλογής παραμέτρων κατάτμησης για το “Level 3”

Κατόπιν κατάτμησης, πραγματοποιήθηκε ταξινόμηση των κλάσεων *background (3)*, *study area (3)*, *basins (3)*, *not basins (3)* που αποτελούν υποκατηγορίες της *study area (3)*. Στην κλάση αυτή (*study area (3)*) για την ταξινόμησή της, χρησιμοποιήθηκε η συνάρτηση προβολής (συνάρτηση Singleton) από το παραπάνω επίπεδο (level 2), αφού πρόκειται για την ίδια περιοχή μελέτης. Για την ταξινόμηση των λεκανών ιζηματογένεσης (*basins (3)*) χρησιμοποιήθηκε ποικιλία δεικτών, τόσο μορφομετρικών όσο και γεωμετρικών παράλληλα με χωρικές σχέσεις. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκαν: compactness, Mean TPI300, not Asymmetry, not existence of suber objects in continental platform, not standard deviation of profclass, not standard deviation of TPI1000, Rectangular fit, Standard deviation of slope. (εικόνα 50)



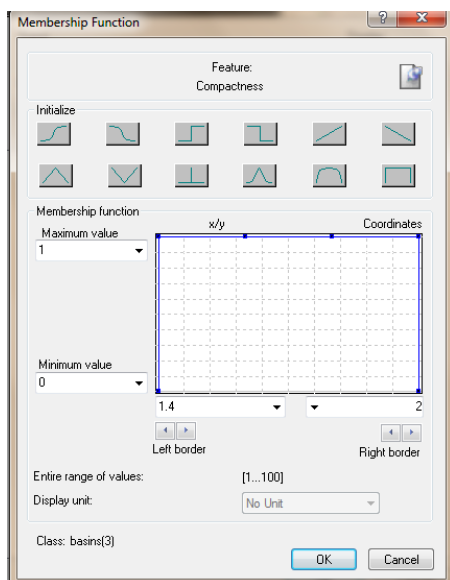
Εικόνα 50 : Παράθυρο της κλάσης *basins (3)* και εισαγωγής των παραμέτρων για την περιγραφή της.

Αρχικά, χρησιμοποιήθηκε η μέση τιμή του δείκτη TPI300 (Mean TPI300) να έχει τιμές εντός του κλειστού ορίου $-1,68$ έως $-0,005$ (εικόνα 51)



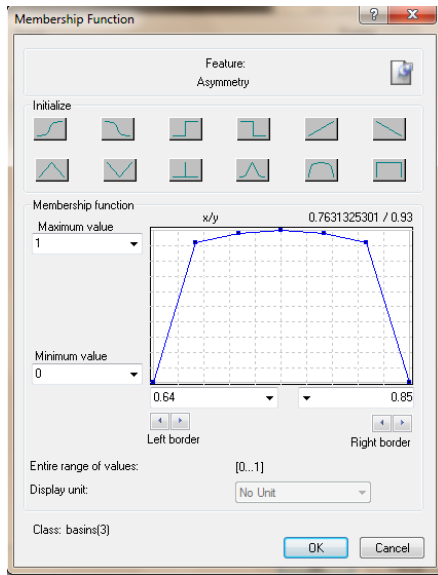
Εικόνα 51 : Η συνάρτηση συμμετοχής και τα όρια που χρησιμοποιήθηκαν για τον ορισμό της παραμέτρου Mean TPI300

Επιπρόσθετα, με την ίδια «απλοποιημένη συνάρτηση τραπεζοειδούς μορφής» ορίστηκε η μεταβλητή compactness εντός των ορίων 1,4 και 2. (εικόνα 52)



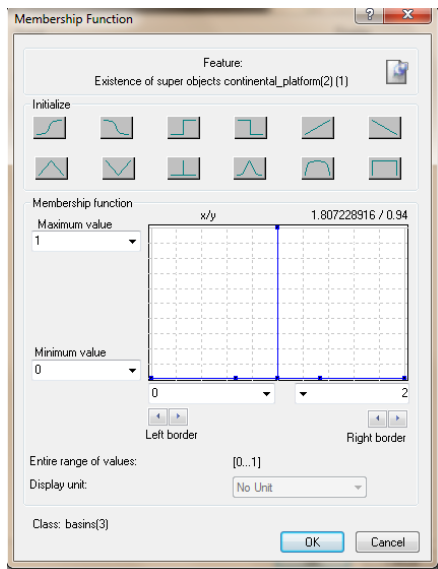
Εικόνα 52 : Η συνάρτηση συμμετοχής και τα όρια που χρησιμοποιήθηκαν για τον ορισμό της παραμέτρου compactness.

Στη συνέχεια, χρησιμοποιήθηκε η συνάρτηση «τραπεζοειδούς μορφής» για τον ορισμό της μεταβλητής *asymmetry* που δεν είναι επιθυμητό να βρίσκεται εντός των ορίων 0,64 έως 0,85 και γι' αυτό επελέγη κατόπιν η αντιστροφή της σε “not asymmetry”.



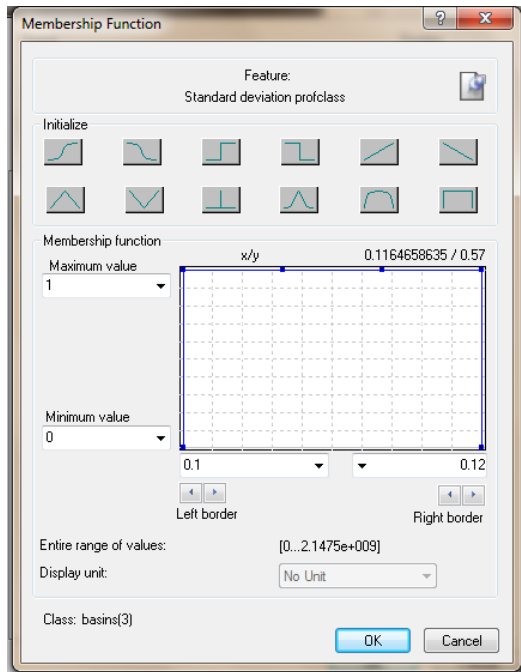
Εικόνα 53 : Η συνάρτηση συμμετοχής και τα όρια που χρησιμοποιήθηκαν για τον ορισμό της παραμέτρου *asymmetry*

Έπειτα με χρήση της συνάρτησης «Singleton» εντός των ορίων 0 και 2 (εικόνα 54), διατυπώθηκε η λογική πρόταση -που προκύπτει απ τον ορισμό των λεκανών ιζηματογένεσης- πως δεν πρέπει να βρίσκονται εντός της ηπειρωτικής πλατφόρμας (που ορίστηκε στο πάνω επίπεδο, “level 2”). Συνεπώς, αντεστράφη η εντολή (όπως φαίνεται στην εικόνα 50) σε “not existence of super objects in continental platform”.



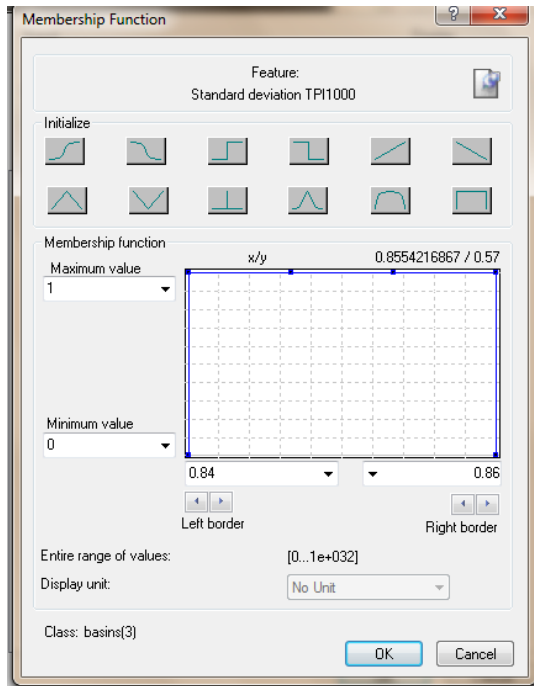
Εικόνα 54 : Η συνάρτηση συμμετοχής και τα όρια που χρησιμοποιήθηκαν για τον ορισμό της παραμέτρου *existence of super objects continental_platform(2) (1)*.

Προχωρώντας την ανάλυση για τον ορισμό των λεκανών (*basins* (3)) παρατηρείται πως οι λεκάνες πρέπει να βρίσκονται εντός του εύρους που καταλαμβάνει η τυπική απόκλιση της μεταβλητής *profclass* (standard deviation *profclass*) εκτός του εύρους των τιμών 0,1 έως 0,12 (εικόνα 55). Οπότε διατυπώνεται η λογική πρόταση “not standard deviation *profclass*” (εικόνα 50).



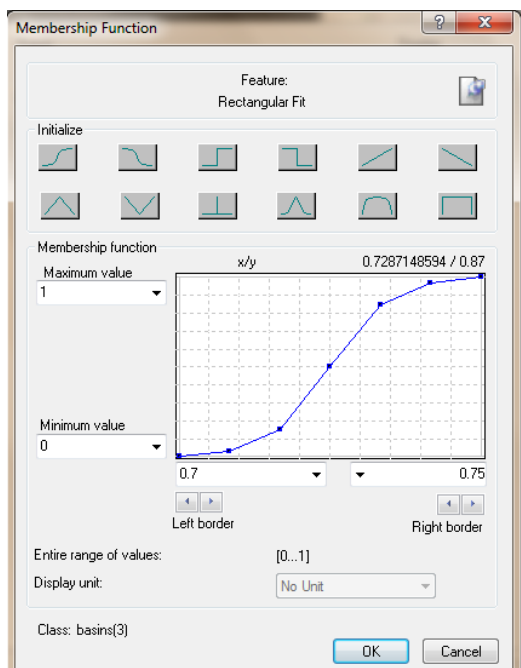
Εικόνα 55: Η συνάρτηση συμμετοχής και τα όρια που χρησιμοποιήθηκαν για τον ορισμό της παραμέτρου *standard deviation profclass*

Έπειτα, σύμφωνα με την παραπάνω λογική, το εύρος στο οποίο δεν πρέπει να βρίσκεται η τυπική απόκλιση του δείκτη TPI1000 είναι το 0,84 έως 0,86 (εικόνα 56). Έτσι, ορίζεται η λογική πρόταση “not standard deviation TPI1000” (εικόνα 50)



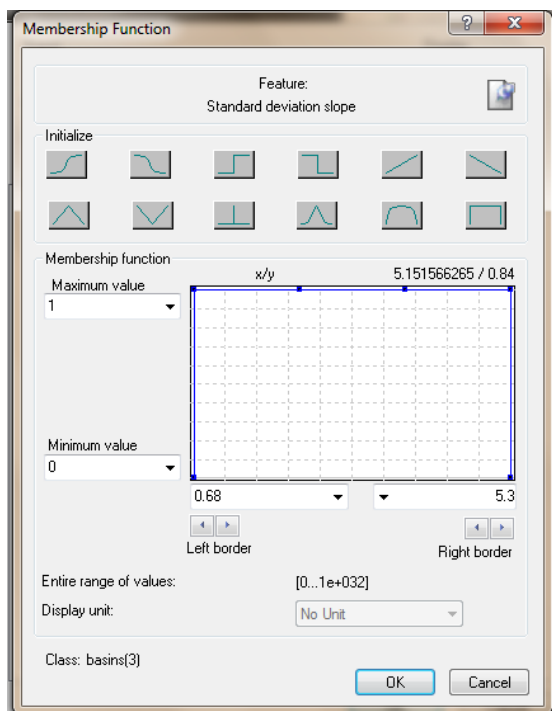
Εικόνα 56 : Η συνάρτηση συμμετοχής και τα όρια που χρησιμοποιήθηκαν για τον ορισμό της παραμέτρου *standard deviation TPI1000*

Στη συνέχεια, για να εξαλειφθούν όσες περιοχές είναι μακρόστενες και δεν αποτελούν λεκάνες χρησιμοποιήθηκε η μεταβλητή *rectangular fit* με τη συνάρτηση της εικόνας 57, με τιμές μεγαλύτερες του 0,7.



Εικόνα 57: Η συνάρτηση συμμετοχής και τα όρια που χρησιμοποιήθηκαν για τον ορισμό της παραμέτρου *rectangular fit*

Τέλος, η τελευταία παράμετρος που χρησιμοποιήθηκε για τον πλήρη ορισμό των λεκανών ιζηματογένεσης είναι η τυπική απόκλιση της κλίσης (standard deviation slope), η οποία πρέπει να ικανοποιείται στο εύρος 0,68 έως 5.3 (εικόνα 58).



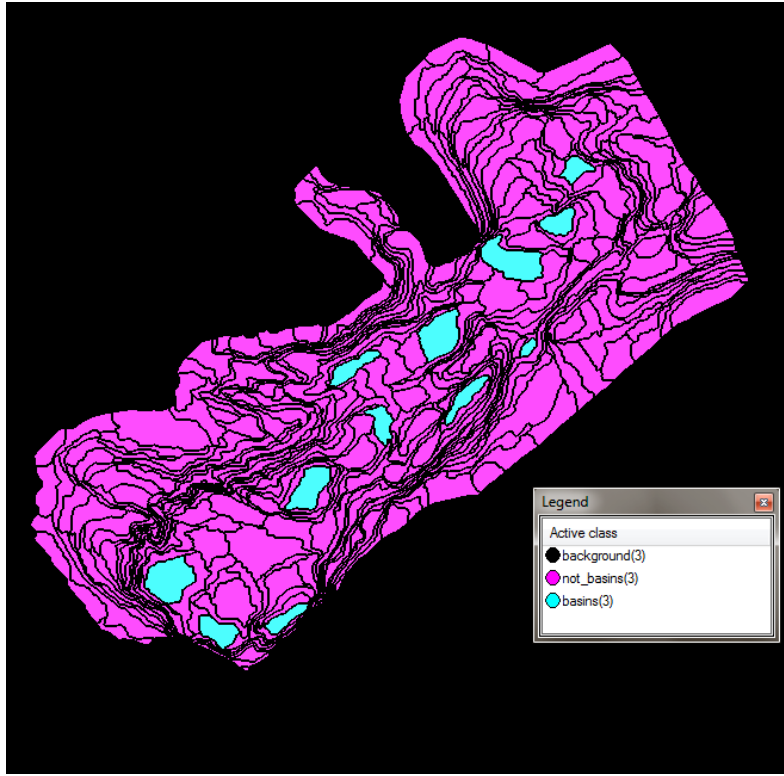
Εικόνα 58 : Η συνάρτηση συμμετοχής και τα όρια που χρησιμοποιήθηκαν για τον ορισμό της παραμέτρου standard deviation slope

Στην εικόνα 59 παρουσιάζονται συνοπτικά τα αποτελέσματα των τάξεων, των χαρακτηριστικών τους, των συναρτήσεων συμμετοχής και των ορίων τους που περιγράφηκαν παραπάνω.

Τάξεις	Διαγνωστικό Χαρακτηριστικό	Συνάρτηση Συμμετοχής	Αριστερό όριο	Δεξί όριο
study area(3)	Existence of super objects study area(2)(1)		0	2
basins(3)	Existence of super objects study area(2)(1)		0	2
	Compactness		1,4	2
	Mean TPI300		-1,68	-0,005
	not Assymetry		0,64	0,85
	not Existence of super objects continental platform(2) (1)		0	2
	not standard deviation profclass		0,1	0,12
	not standard deviation TPI100		0,84	0,86
	Rectangular fit		0,7	0,75
	Standard deviation slope		0,68	5,3
background(3)	Existence of super objects background(2)(1)	-	-	-
not basins(3)	not basins(3)	-	-	-
	Existence of super objects study area(2)(1)		0	2

Εικόνα 59: Συνοπτική παρουσίαση των τάξεων, των χαρακτηριστικών τους, των συναρτήσεων συμμετοχής και των ορίων τους

Συνεπώς, αφού ορίστηκαν οι ιδιότητες της κλάσης *basins(3)*, πραγματοποιήθηκε ταξινόμηση και τα αταξινόμητα στοιχεία εντάχθηκαν στην κλάση *not basins (3)*. Όπως φαίνεται και στην εικόνα 60, οι λεκάνες (*basins*) αποτελούν τις περιοχές με το γαλάζιο χρώμα, ενώ η υπόλοιπη περιοχή με το ροζ χρώμα, εντάσσεται στην κλάση *not basins* και το μαύρο, αποτελεί το *background* της εικόνας.



Εικόνα 60 : Αποτέλεσμα κατόπιν ταξινόμησης στο level 3, της *basins*, *not basins* και *background*.

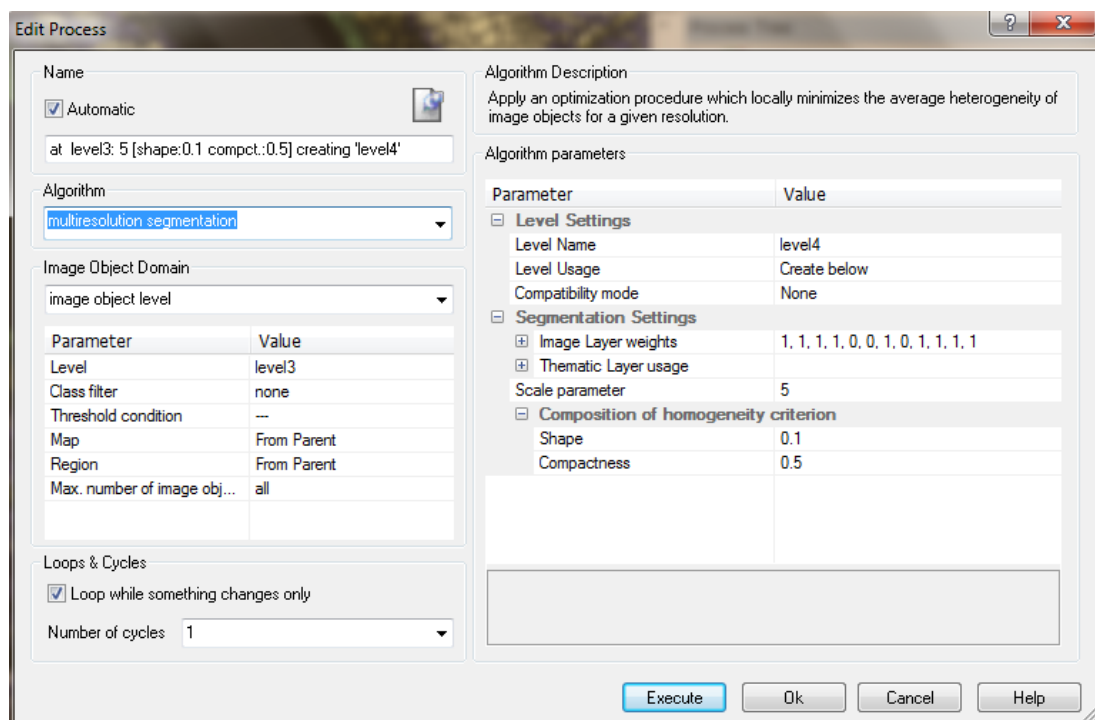
Στη συνέχεια, για να προσδιοριστούν οι περιοχές της ηπειρωτικής κατωφέρειας καθώς και τα ηβώματα, πρέπει να αξιοποιηθεί σχεδόν όλη η πληροφορία του D.E.M, καθώς πρόκειται για γεωμορφές που πρέπει να έχουν ακριβή όρια και επομένως απαιτείται η δημιουργία επιπέδου με μικρή παράμετρο κλίμακας, γι' αυτό κατασκευάζεται το level 4.

3.5.4 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΕΠΙΠΕΔΟΥ “Level 4”

Στο τέταρτο επίπεδο κατάτμησης “**Level 4**” επιδιώκεται ο προσδιορισμός της ηπειρωτικής κατωφέρειας (*continental slope*), των περιοχών έντονου αναγλύφου (*rough terrain*) και ήπιου αναγλύφου (*smooth terrain*) και των ηβωμάτων (*submarine mountains*) στην εικόνα. Για λόγους πληρότητας όμως και πάλι επιδιώκεται η ταξινόμηση του *background (4)* καθώς και της περιοχή μελέτης (*study area (4)*), στην οποία υποκλάσεις αποτελούν η *continental slope (4)*, *rough terrain (4)*, *smooth terrain (4)*.

Έτσι, αρχικά πραγματοποιήθηκε κατάτμηση με τιμή κλίμακας 5 (scale parameter- 5) και χρησιμοποιήθηκαν με βάρος τη μονάδα, τα θεματικά επίπεδα *curvature*, *elevation*, *plan curvature*, *profile curvature*, *slope*, *TPI1000*, *TPI10000*, *TPI300*. Το κριτήριο σχήματος (*shape*)

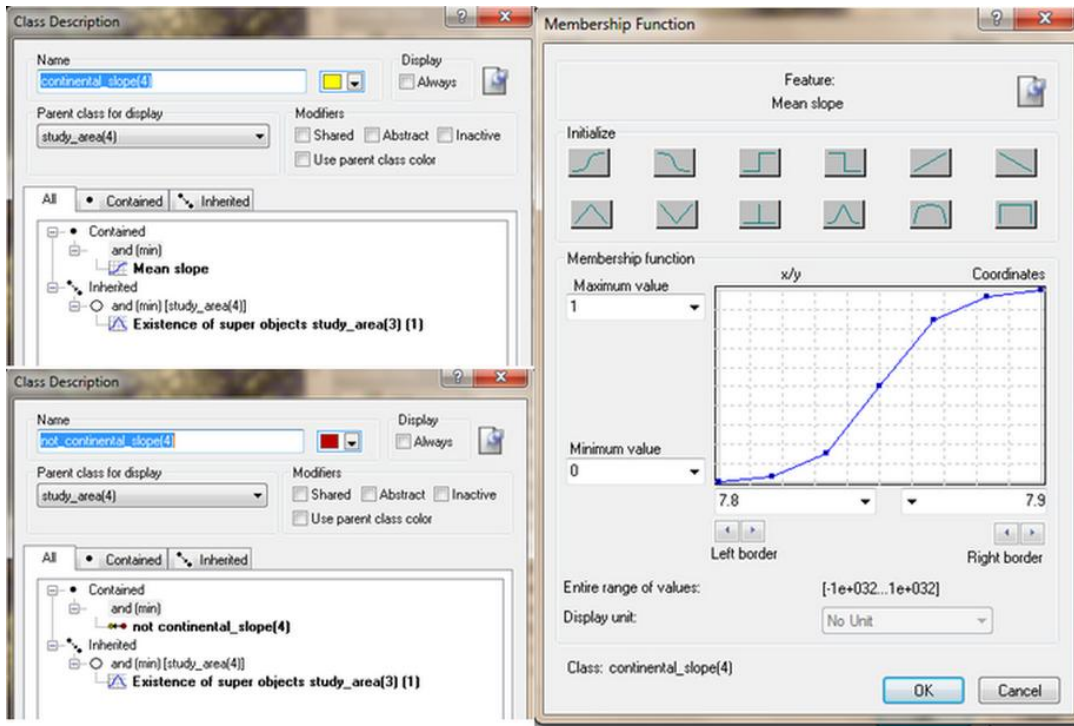
έναντι χρώματος, τέθηκε ίσο με 0,1 και το κριτήριο συμπαγούς σχήματος έναντι ομαλότητας ορίων (compactness), ίσο με 0,5 (εικόνα 61).



Εικόνα 61 : Παράθυρο επιλογής παραμέτρων κατάτμησης για το “Level 4”

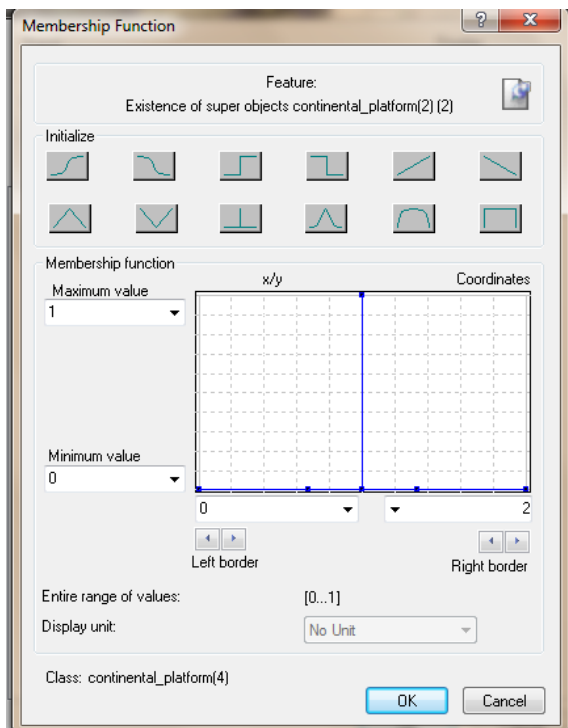
Κατόπιν κατάτμησης, πραγματοποιήθηκε ταξινόμηση των κλάσεων background, *study area*(4), υποκλάσεις της οποίας αποτελεί η ηπειρωτική κατωφέρεια (*continental slope* (4)) και *not continental slope* (4). Στη συνέχεια, για την ορθότητα της διαδικασίας, ως υποκλάση της *not continental slope* (4), ορίζεται η *continental platform* (4) και η *not continental platform* (4). Έπειτα, ως υποκλάση της *not continental platform* (4) ορίζεται το *rough terrain*(4) και *smooth terrain* (4). Τέλος, εντός του level 4 ορίζεται και η κλάση *submarine mountains* (4).

Για τον προσδιορισμό της ηπειρωτικής κατωφέρειας (*continental slope* (4)), αξιοποιήθηκε η μέση κλίση, όπου ορίστηκε μεγαλύτερη από την τιμή 7,8, όπως φαίνεται και στην εικόνα 62.



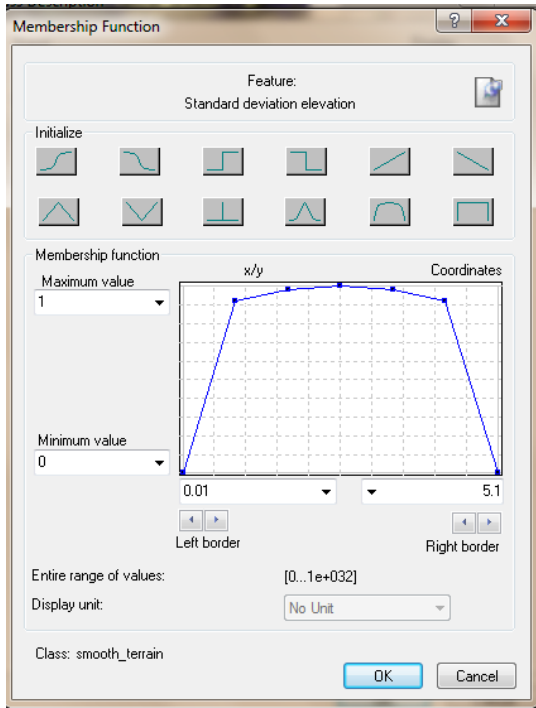
Εικόνα 62 : Δημιουργία των κλάσεων *continental slope (4)* και *not continental slope (4)* και η συνάρτηση συμμετοχής που χρησιμοποιήθηκε για τον ορισμό της *continental slope (4)*.

Για τον ορισμό της *continental platform (4)*, χρησιμοποιήθηκε η συνάρτηση Singleton για την προβολή της από το level 2 όπου είχε πρωταρχικά οριστεί, στο level 4. (εικόνα 63).



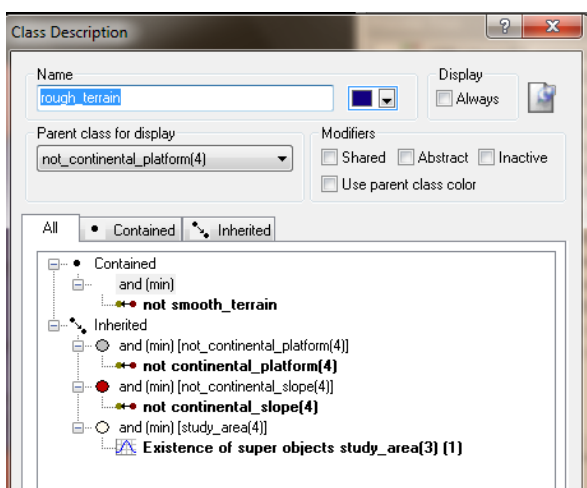
Εικόνα 63 : Συνάρτηση Singleton για την προβολή της *continental platform (4)* απ το level 2 στο level 4

Έπειτα, ως υποκλάση της *not continental platform (4)* ορίστηκε το *smooth terrain (4)* και *rough terrain (4)*. Για τον ορισμό του *smooth terrain (4)*, χρησιμοποιήθηκε η τυπική απόκλιση του υψομέτρου (standard deviation elevation) αξιοποιώντας τη συνάρτηση τραπεζοειδούς μορφής με όρια 0,01 έως 5,1 (εικόνα 64).



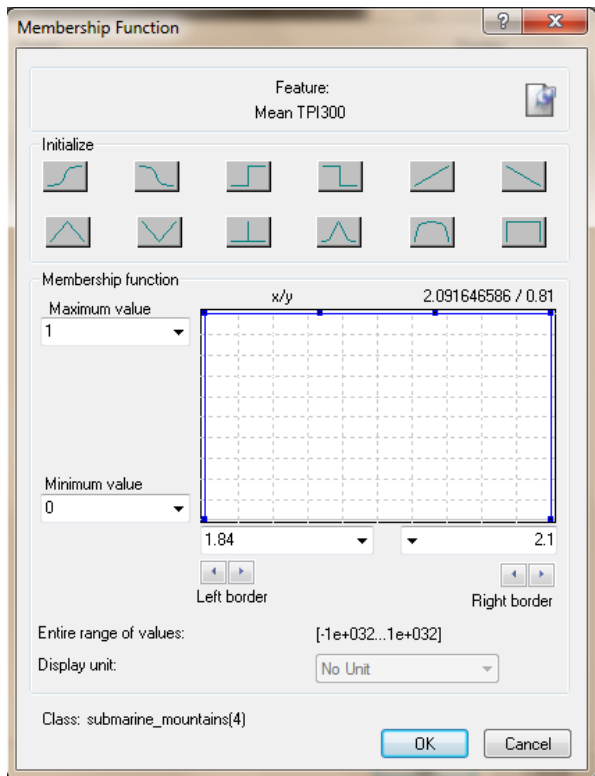
Εικόνα 64 : Η συνάρτηση συμμετοχής και τα όρια που χρησιμοποιήθηκαν για τον ορισμό της παραμέτρου *standard deviation elevation*

Για τον ορισμό του *rough terrain (4)*, χρησιμοποιήθηκε η λογική άρνηση *not smooth terrain* (εικόνα 65).



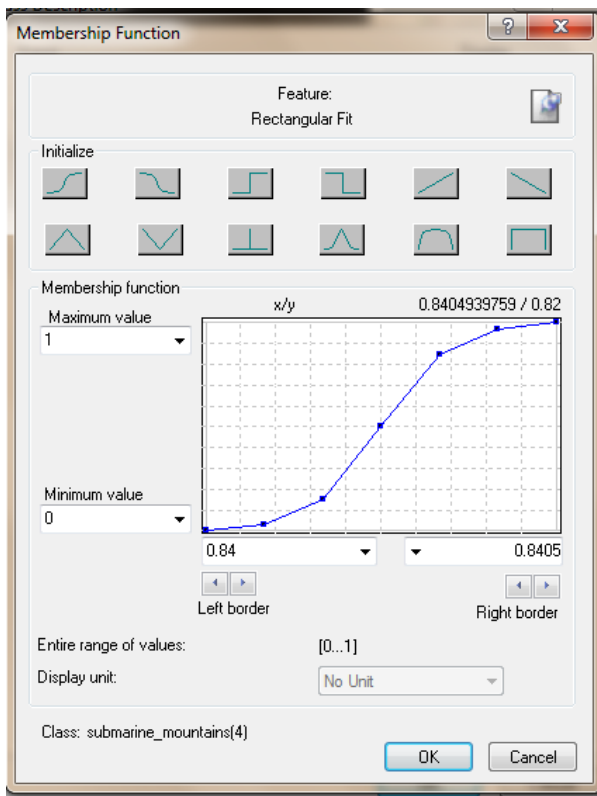
Εικόνα 65 : Ορισμός της κλάσης *rough terrain (4)*.

Στη συνέχεια, για τον ορισμό των ηβωμάτων (*submarine mountains*), χρησιμοποιήθηκε ο μέσος όρος του δείκτη TPI300 (Mean TPI300), η ιδιότητα Rectangular Fit και Roundness. Συγκεκριμένα, για τον ορισμό του Mean TPI300, χρησιμοποιήθηκε η απλοποιημένη συνάρτηση τραπεζοειδούς μορφής με αριστερό όριο 1,84 και δεξί 2,1 (εικόνα 66).

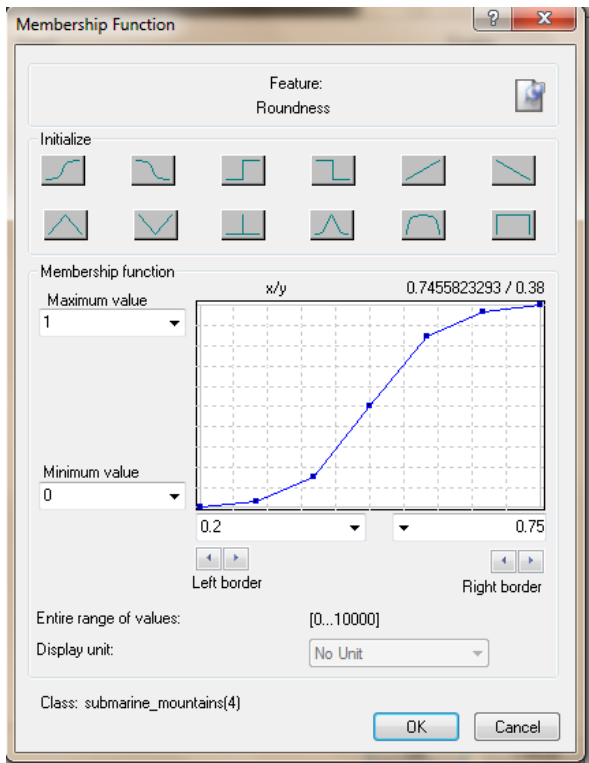


Εικόνα 66: Η συνάρτηση συμμετοχής και τα όρια που χρησιμοποιήθηκαν για τον ορισμό της παραμέτρου Mean TPI300

Για τον ορισμό του Rectangular Fit χρησιμοποιήθηκε η συνάρτηση μορφής S για τιμές μεγαλύτερες από 0,84 (εικόνα 67) και για τον ορισμό του δείκτη Roundness χρησιμοποιήθηκε η ίδια συνάρτηση με αριστερό όριο 0,2 και δεξί 0,75. (εικόνα 68). Η παράμετρος Rectangular Fit έχει πεδίο τιμών [0,1], καθώς οι τιμές πλησιάζουν στο μηδέν επιλέγονται τα μακρόστενα αντικείμενα οι τιμές που τείνουν στη μονάδα αναφέρονται στα αντικείμενα που τείνουν σε κύκλο. Συνεπώς, επειδή τα ηβώματα είναι σχεδόν κυκλικές περιοχές επιλέγονται τιμές μεγαλύτερες του 0,84 (εικόνα 67).
















Εικόνα 67 : Η συνάρτηση συμμετοχής και τα όρια που χρησιμοποιήθηκαν για τον ορισμό της παραμέτρου *Rectangular Fit*



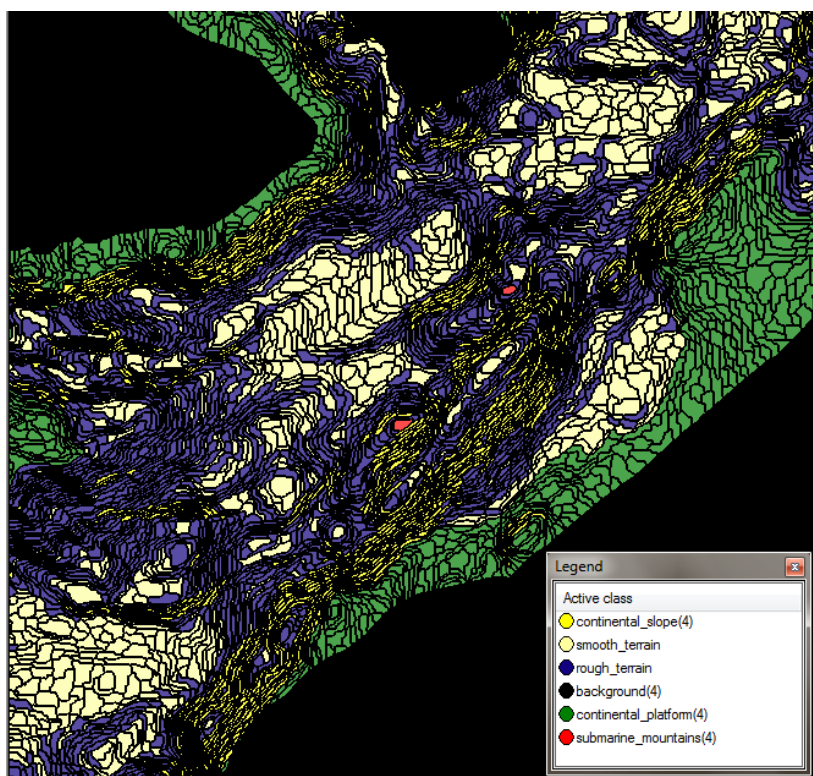
Εικόνα 68 : Η συνάρτηση συμμετοχής και τα όρια που χρησιμοποιήθηκαν για τον ορισμό της παραμέτρου *Roundness*.

Στην εικόνα 69 παρουσιάζονται συνοπτικά τα αποτελέσματα των τάξεων, των χαρακτηριστικών τους, των συναρτήσεων συμμετοχής και των ορίων τους που περιγράφηκαν παραπάνω.

Τάξεις	Διαγνωστικό Χαρακτηριστικό	Συνάρτηση Συμμετοχής	Αριστερό όριο	Δεξί όριο
study area(4)	Existence of super objects study area(3)(1)		0	2
continental slope(4)	Mean slope		7,8	7,9
	Existence of super objects study area(3)(1)		0	2
not continental slope(4)	not continental slope	-	-	-
	Existence of super objects study area(3)(1)		0	2
continental platform(4)	Existence of super objects continental platform(2)(2)		0	2
	not continental slope(4)	-	-	-
	Existence of super objects study area(3)(1)		0	2
not continental platform(4)	not continental platform	-	-	-
smooth terrain(4)	Standard deviation elevation		0,01	5,1
	not continental platform(4)	-	-	-
	not continental slope(4)	-	-	-
	Existence of super objects study area(3)(1)		0	2
rough terrain(4)	not smooth terrain	-	-	-
submarine mountains(4)	Mean TPI300		1,84	2,1
	Rectangular fit		0,84	0,8405
	Roundness		0,2	0,75
	Existence of super objects study area(3)(1)		0	2
background(4)	Existence of super objects background(3)(1)		0	2

Εικόνα 69 : Συνοπτική παρουσίαση των τάξεων, των χαρακτηριστικών τους, των συναρτήσεων συμμετοχής και των ορίων τους

Συνεπώς, αφού προσδιορίστηκαν οι παράμετροι για την εξαγωγή των παραπάνω γεωμορφών, πραγματοποιήθηκε ταξινόμηση και όπως φαίνεται στην εικόνα 70, με πράσινο χρώμα απεικονίζεται η ηπειρωτική πλατφόρμα (*continental platform*), με κίτρινο χρώμα οριοθετείται η ηπειρωτική κατωφέρεια (*continental slope*), με σκούρο μπλε χρώμα, είναι οι περιοχές έντονου αναγλύφου (*rough terrain*) με μπεζ χρώμα, οι περιοχές ήπιου αναγλύφου (*smooth terrain*) και τέλος, στο κέντρο περίπου της εικόνας 70, οι δύο μικρές κόκκινες περιοχές, αποτελούν τα ηβώματα (*submarine mountains*). Όπως είναι εμφανές στην εικόνα 70, απεικονίζεται ένα μόνο κομμάτι από ολόκληρη την περιοχή του Βορείου Αιγαίου, καθώς λόγω της πολύ λεπτομερούς κατάτμησης και της μεγάλης πυκνότητας των ισοβαθών καμπυλών, δεν θα ήταν δυνατό να διακριθούν οι ταξινομημένες περιοχές που προέκυψαν.



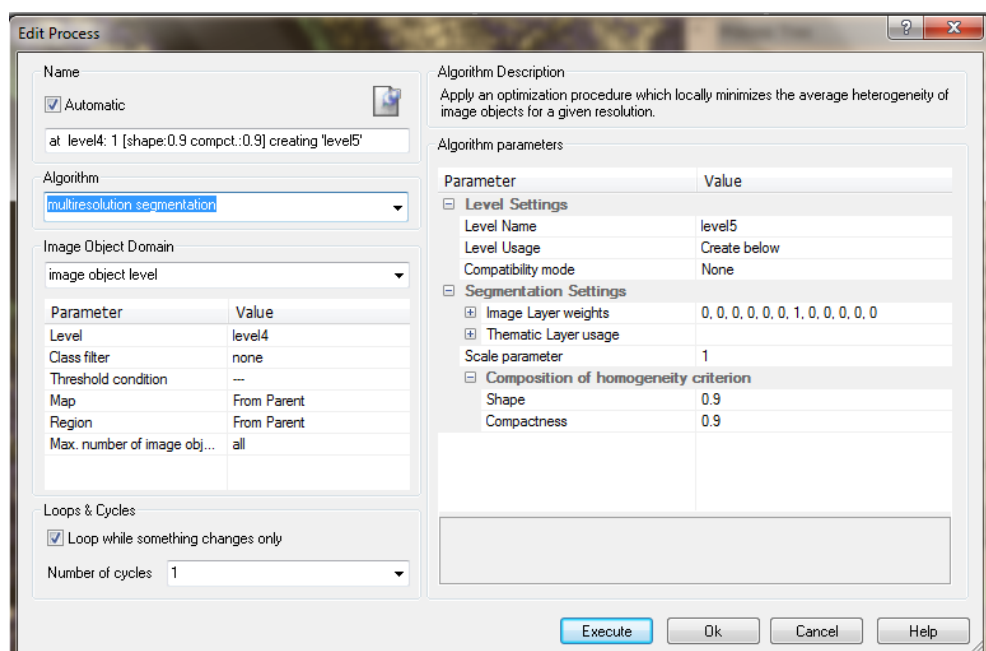
Εικόνα 70 : Αποτέλεσμα κατόπιν ταξινόμησης στο level 4, της continental platform, continental slope rough terrain, smooth terrain, submarine mountains.

Στη συνέχεια, απαιτείται να προσδιοριστεί το τελικό εξαγόμενο της διαδικασίας αυτής, καθώς και ο λόγος της παρούσας διπλωματικής εργασίας, που είναι η ρηξιγενής ζώνη. Αρχικά όμως πρέπει να προσδιοριστούν οι ασυνέχειες και τα ρήγματα, που οριοθετούν τη ρηξιγενή ζώνη. Γι' αυτό το λόγο είναι απαραίτητη η δημιουργία ενός ακόμη επιπέδου που θα περιέχει όλη τη διαθέσιμη πληροφορία του D.E.M και έτσι θα πραγματοποιηθεί εξαιρετικά λεπτομερής κατάτμηση.

3.5.5 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΕΠΙΠΕΔΟΥ “Level 5”

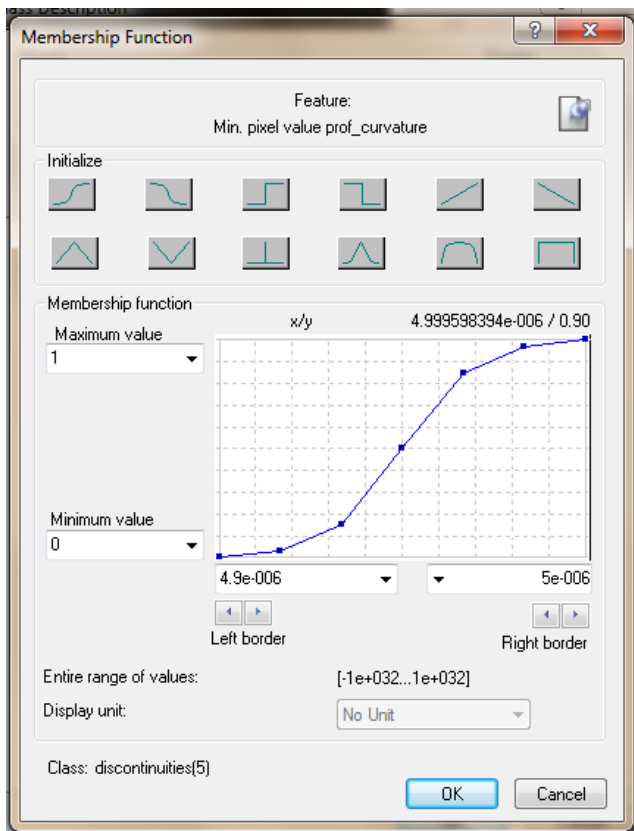
Στο πέμπτο και τελευταίο, επίπεδο κατάτμησης “**Level 5**”, επιδιώκεται ο προσδιορισμός των ασυνεχειών (*discontinuities*), των ρηγμάτων (*faults*) και των ρηξιγενών ζωνών (*rift zone*) που αποτελούν και το κυρίως αντικείμενο της παρούσας εργασίας. Για λόγους πληρότητας όμως και πάλι, επιδιώκεται η ταξινόμηση μέσω προβολής, του *background* και της περιοχής μελέτης (*study area(5)*), στην οποία υποκλάσεις αποτελούν η *continental slope (5)*, *discontinuities (5)*, *faults (5)*, *rift zone (5)*.

Έτσι, αρχικά πραγματοποιήθηκε κατάτμηση με τιμή κλίμακας 1 (scale parameter- 1) και χρησιμοποιήθηκε με βάρος τη μονάδα, μόνο το θεματικό επίπεδο profile curvature. Το κριτήριο σχήματος (*shape*) έναντι χρώματος, τέθηκε ίσο με 0,9 και το κριτήριο συμπαγούς σχήματος έναντι ομαλότητας ορίων (*compactness*), ίσο με 0,9 (εικόνα 71).

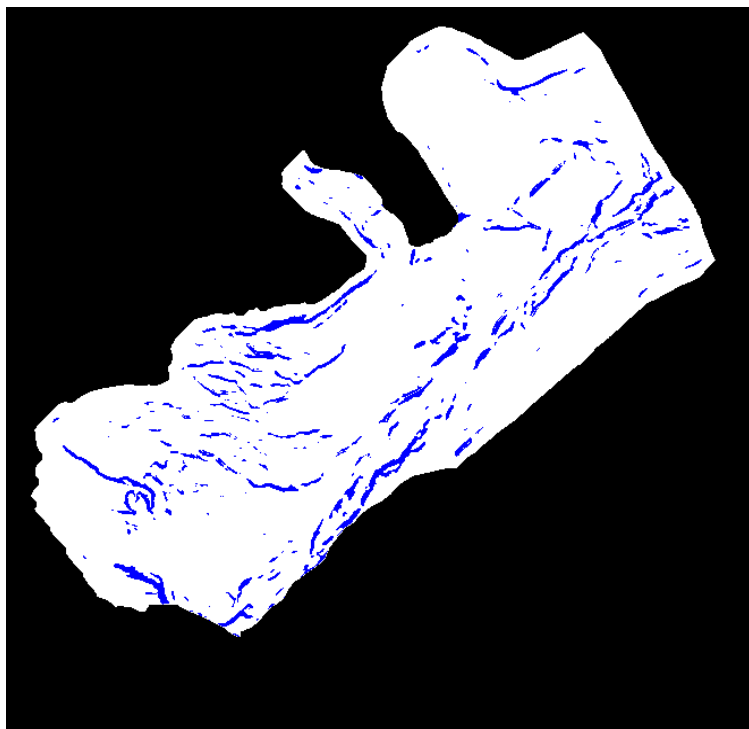


Εικόνα 71 : Παράθυρο επιλογής παραμέτρων κατάτμησης για το “Level 5”

Κατόπιν κατάτμησης, πραγματοποιείται ταξινόμηση των κλάσεων *continental slope (5)*, *discontinuities (5)* και *faults (5)*. Η κλάση *continental slope (5)* ταξινομήθηκε αρχικώς στο level 4 και με βάση τη συνάρτηση Singleton, προβάλλεται και στον παρόν level 5. Για τον ορισμό της κλάσης *discontinuities (5)* χρησιμοποιήθηκε η ιδιότητα της ελάχιστης τιμής του εικονοστοιχείου της καμπυλότητας παράλληλα στη διεύθυνση κλίσης (Min. pixel value prof_curvature) να είναι μεγαλύτερη από την τιμή 0.000005. (εικόνα 72) και το αποτέλεσμα φαίνεται μέσω του εργαλείου feature view στην εικόνα 73.

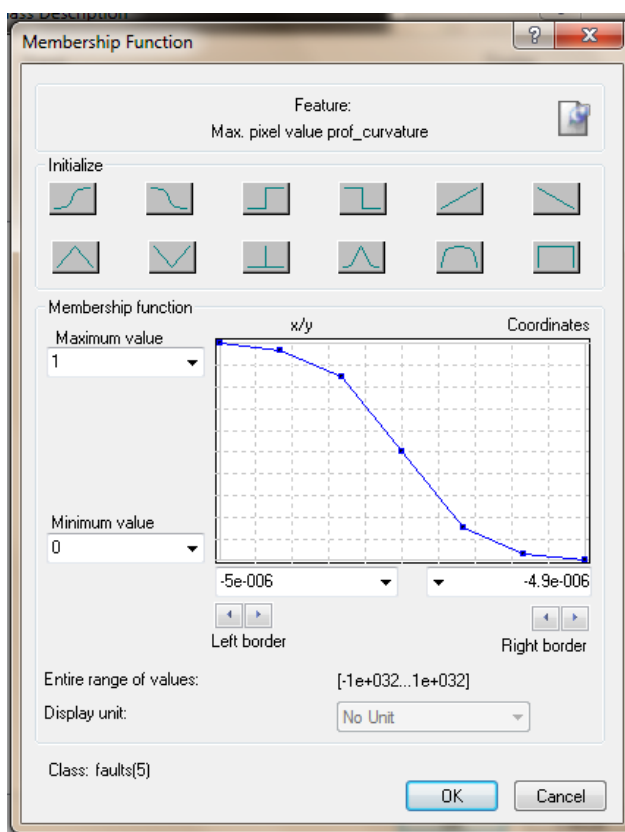


Εικόνα 72 : Η συνάρτηση συμμετοχής και τα όρια που χρησιμοποιήθηκαν για τον ορισμό της κλάσης *discontinuities(5)*.

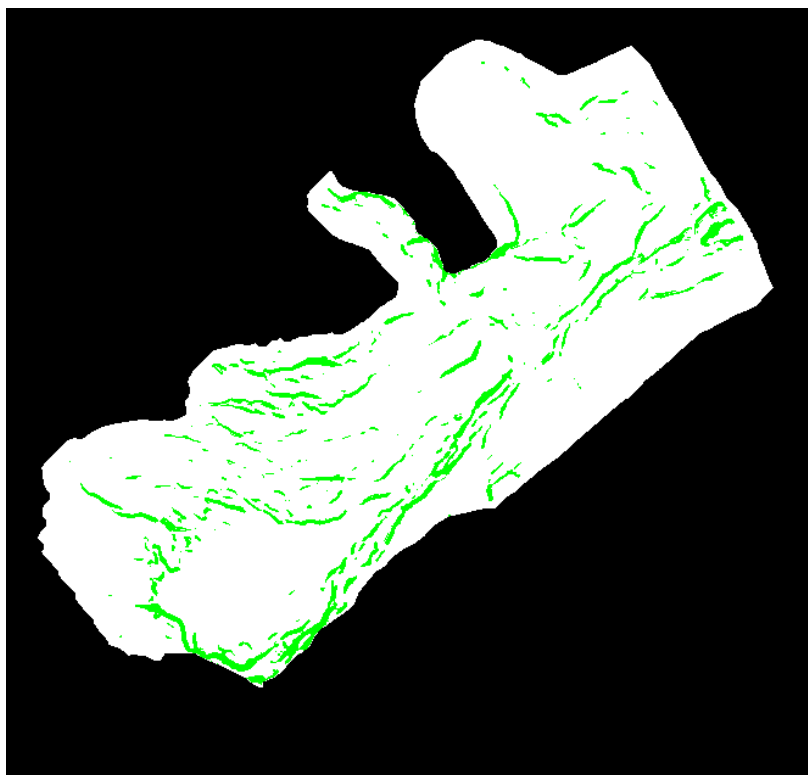


Εικόνα 73: Η απεικόνιση των αποτελεσμάτων μέσω του εργαλείου *feature view* για τιμές του *Max. pixel value prof_curvature* μεγαλύτερες του 0.000005 για την κλάση *discontinuities (5)*.

Έπειτα, για τον ορισμό της κλάσης *faults(5)*, χρησιμοποιήθηκε η ιδιότητα της ελάχιστης τιμής του εικονοστοιχείου της καμπυλότητας παράλληλα στη διεύθυνση κλίσης (Min. pixel value prof_curvature) να είναι μικρότερη απ την τιμή -0.0000049 . (εικόνα 74). Το αποτέλεσμα από την επιλογή του εύρους αυτού, φαίνεται με το εργαλείο feature view, ως οι πράσινες περιοχές στην εικόνα 75.

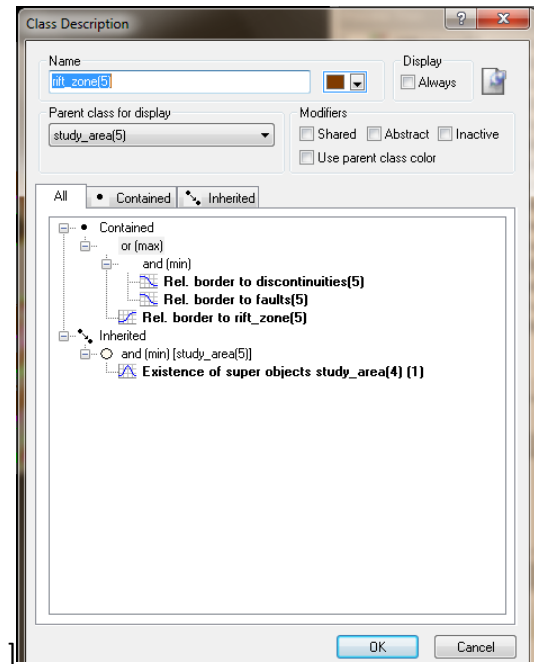


Εικόνα 74: Η ιδιότητα που χρησιμοποιήθηκε για τον ορισμό των *faults (5)* και το παράθυρο με την τιμή του κατωφλίου που τέθηκε

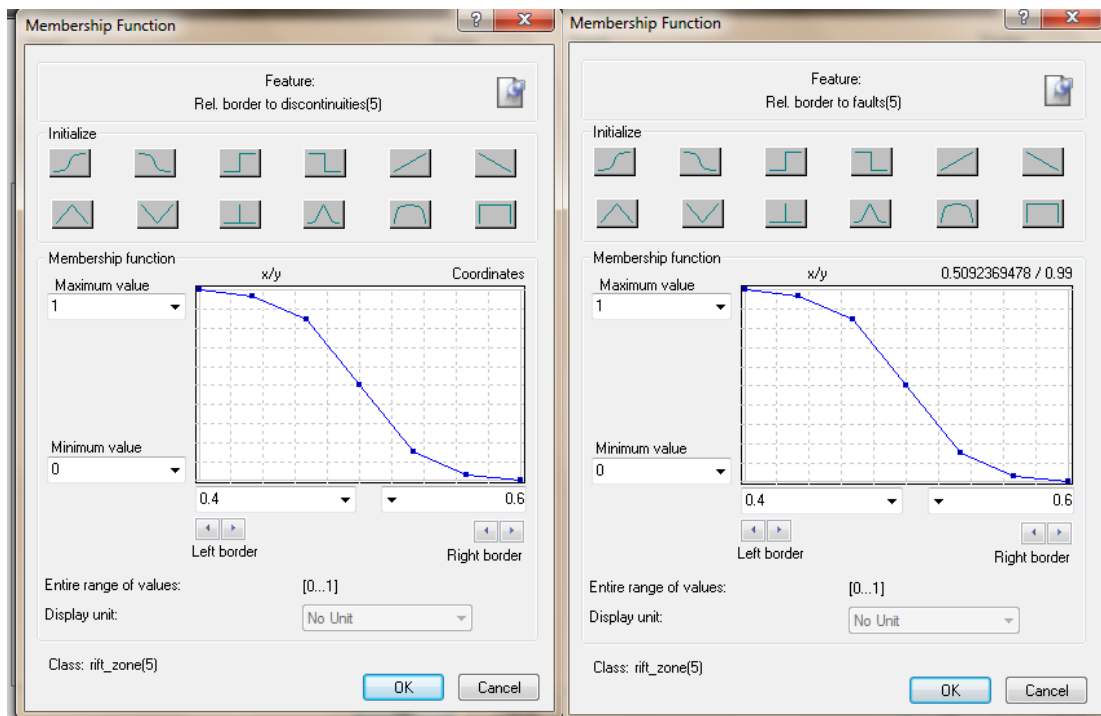


Εικόνα 75: Η απεικόνιση των αποτελεσμάτων μέσω του εργαλείου feature view για τιμές του Min. pixel value prof_curvature μικρότερες του -0.0000049 για την κλάση *faults* (5).

Στη συνέχεια, για τον ορισμό της κλάσης *rift zone* (5) που είναι και η ζητούμενη, χρησιμοποιήθηκαν χωρικές σχέσεις. Πιο αναλυτικά, όπως φαίνεται και στην εικόνα 76, χρησιμοποιήθηκαν οι χωρικές σχέσεις “Rel.border to discontinuities”, “Rel.border to faults”, “Rel.border to rift zone”, δηλαδή ως ρηξιγενής ζώνη (*rift zone*) να ταξινομηθεί η περιοχή εκείνη που έχει ταυτόχρονα κοινό όριο από τη μία πλευρά την ασυνέχεια (*discontinuity*) και από την άλλη το ρήγμα (*fault*) και ταυτόχρονα για να μην υπάρξουν κενά ανάμεσα στη ζώνη αυτή που θα δημιουργηθεί, χρησιμοποιείται και η χωρική σχέση “Rel.border to rift_zone”. Οι συναρτήσεις συμμετοχής που χρησιμοποιήθηκαν για τον προσδιορισμό της κλάσης *rift zone* (5) και τα όριά τους περιγράφονται στην εικόνα 77.

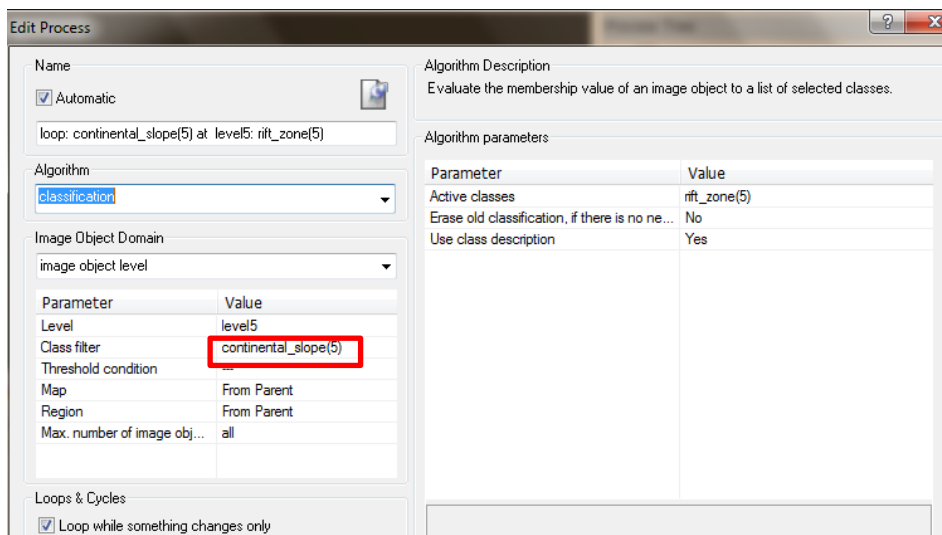


Εικόνα 76 : Ορισμός της κλάσης rift zone (5)



Εικόνα 77: Οι συναρτήσεις συμμετοχής που χρησιμοποιήθηκαν για τον προσδιορισμό της κλάσης rift zone (5) . Η αριστερή συνάρτηση αναφέρεται στο κοινό όριο με τις discontinuities (5) και η δεξιά, στο κοινό όριο με τα fault (5).

Για την ταξινόμηση της κλάσης *rift zone* (5), εκτός από της χωρικές ιδιότητες που χρησιμοποιήθηκαν για τον προσδιορισμό της, χρησιμοποιήθηκε και ως φίλτρο στο παράθυρο της ταξινόμησης η κλάση *continental slope* (εικόνα 78), ώστε οι περιοχές που θα ταξινομηθούν ως *rift zone* (5) να ανήκουν και στην κλάση *continental slope* (5).



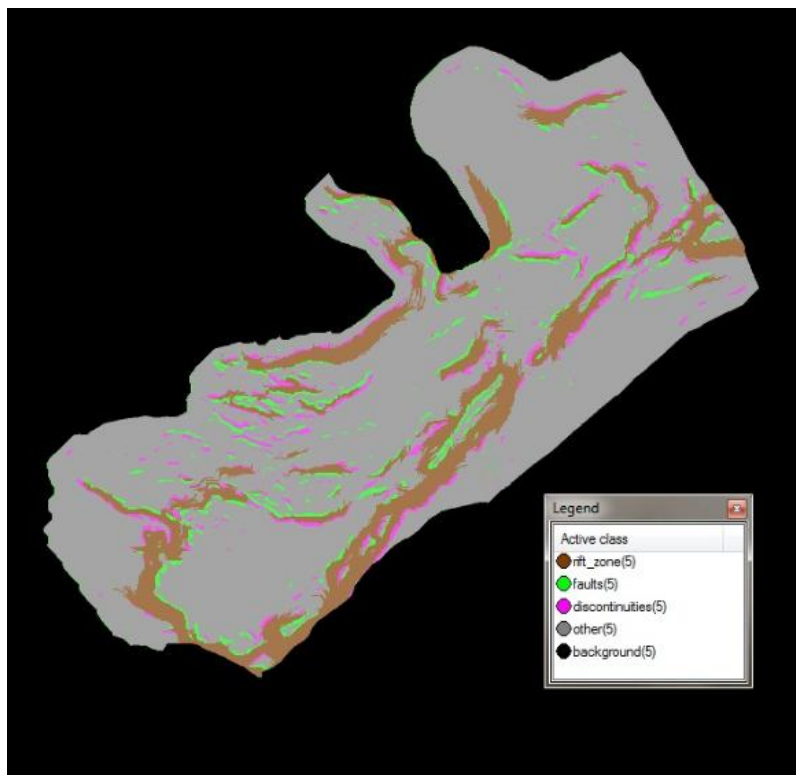
Εικόνα 78 : Παράθυρο ταξινόμησης της *rift zone* (5) και απεικόνιση της κλάσης-φίλτρου *continental slope* (5) εντός κόκκινου πλαισίου

Στην εικόνα 79 παρουσιάζονται συνοπτικά τα αποτελέσματα των τάξεων, των χαρακτηριστικών τους, των συναρτήσεων συμμετοχής και των ορίων τους που περιγράφηκαν παραπάνω.

Τάξεις	Διαγνωστικό Χαρακτηριστικό	Συνάρτηση Συμμετοχής	Αριστερό όριο	Δεξί όριο
<i>study area</i> (5)	Existence of super objects <i>study area</i> (4)(1)		0	2
<i>continental slope</i> (5)	Existence of super objects <i>continental slope</i> (4)(1)		0	2
	Existence of super objects <i>study area</i> (4)(1)		0	2
<i>discontinuities</i> (5)	Min pixel value prof curvature		4,90E-06	5,00E-06
	Existence of super objects <i>study area</i> (4)(1)		0	2
<i>faults</i> (5)	Max pixel value prof curvature		-5,00E-06	-4,90E-06
	Existence of super objects <i>study area</i> (4)(1)		0	2
<i>rift zone</i> (5)	Rel.border to <i>discontinuities</i> (5)		0,4	0,6
	Rel.border to <i>faults</i> (5)		0,4	0,6
	Rel.border to <i>rift zone</i> (5)		0,1	0,11
	Existence of super objects <i>study area</i> (4)(1)		0	2
<i>background</i> (5)	Existence of super objects <i>background</i> (4)(1)		0	2
<i>other</i> (5)	not <i>background</i> (5)	-	-	-
	not <i>continental slope</i> (5)	-	-	-
	not <i>discontinuities</i> (5)	-	-	-
	not <i>faults</i> (5)	-	-	-
	Existence of super objects <i>study area</i> (4)(1)		0	2

Εικόνα 79 : Συνοπτική παρουσίαση των τάξεων, των χαρακτηριστικών τους, των συναρτήσεων συμμετοχής και των ορίων τους

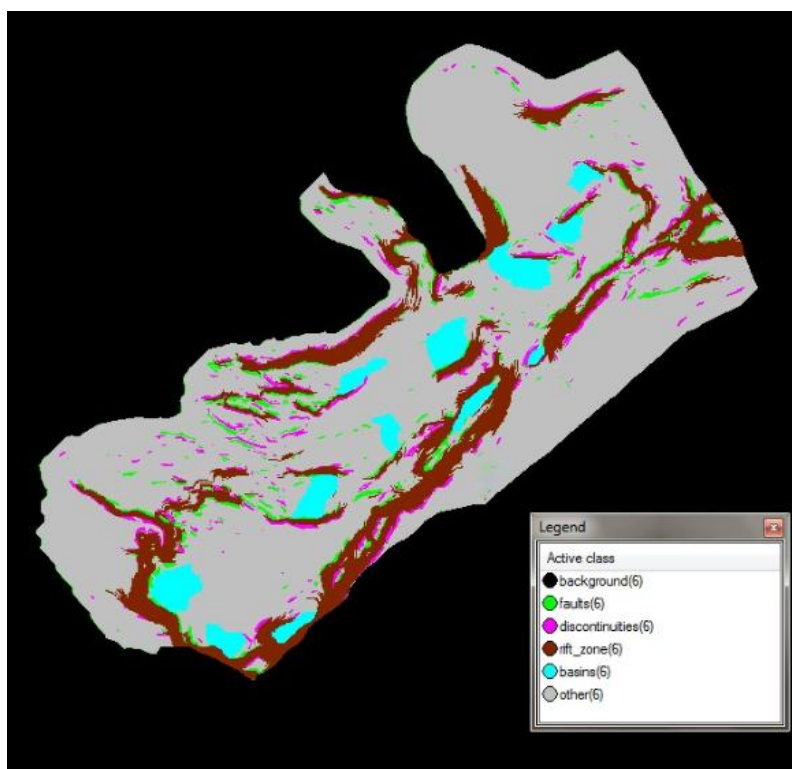
Το αποτέλεσμα επομένως, της ταξινόμησης της ρηξιγενούς ζώνης (*rift zone*) φαίνεται στην εικόνα 80 με καφέ χρώμα ανάμεσα στις ροζ ζώνες (*discontinuities*) και στις πράσινες (*faults*).



Εικόνα 80: Αποτέλεσμα κατόπιν ταξινόμησης στο level 5, της *rift zone*, *faults*, *discontinuities*, *other* και *background*

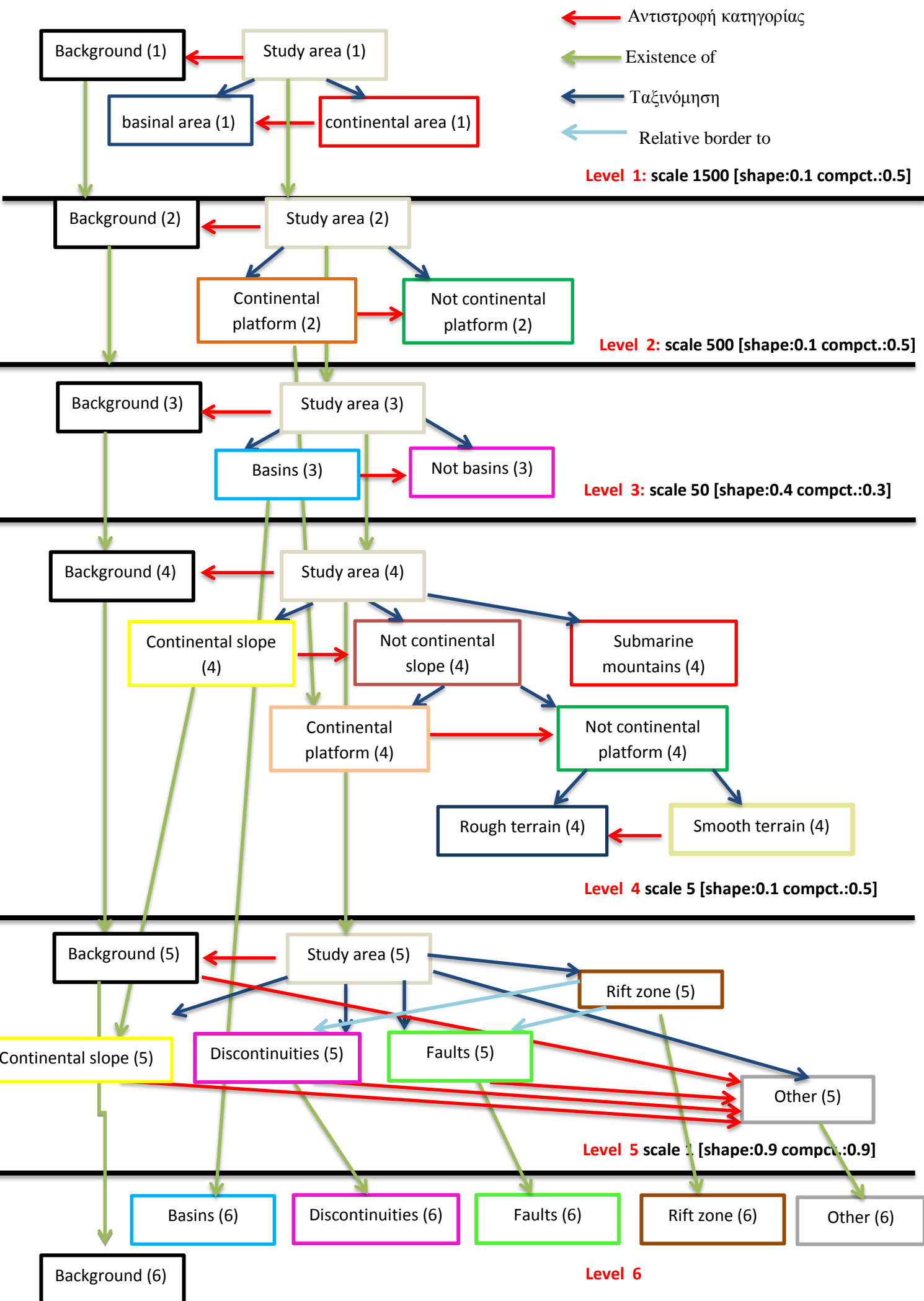
3.5.6 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΕΠΙΠΕΔΟΥ “Level 6”

Τέλος, για την πλήρη εικόνα των μορφολογιών που προσδιορίστηκαν μέσω του προγράμματος, δημιουργήθηκε ένα ακόμη επίπεδο για λόγους ολοκληρωμένης αντίληψης των εξαγόμενων αποτελεσμάτων. Στην εικόνα 81, απεικονίζονται με καφέ χρώμα οι ρηξιγενείς ζώνες (*rift zone*), με ροζ οι ασυνέχειες (*discontinuities*), με πράσινο τα ρήγματα (*faults*), με γαλάζιο οι λεκάνες (*basins*) και με γκρι η υπόλοιπη περιοχή μελέτης (*other*). Για λόγους σαφήνειας δεν απεικονίστηκαν στην περιοχή μελέτης η ηπειρωτική πλατφόρμα (*continental platform*), η ηπειρωτική κατωφέρεια (*continental slope*), τα ηβώματα (*submarine mountain*), καθώς λόγω της επικάλυψης και ποσότητας πληροφορίας κρίθηκε πιο αναγκαία η ξεκάθαρη απόδοση της ρηξιγενούς ζώνης που αποτελεί και το κύριο αντικείμενο της παρούσας εργασίας.



Εικόνα 81 : Απεικόνιση των ρηξιγενών ζωνών, ασυνεχειών, ρηγμάτων και λεκανών ιζηματογένεσης. Τελικό προϊόν ταξινόμησης

Στην εικόνα 82 παρατίθεται ο αναλυτικός αλγόριθμος ταξινόμησης όλων των επιπέδων σε διαγραμματική μορφή και τα βέλη διαφορετικών χρωμάτων υποδεικνύουν την αντιστροφή κατηγορίας, την ύπαρξη της υποκλάσης ή υποκλάσης, την ταξινόμηση της κλάσης ή το κοινό όριο μιας κλάσης με μία άλλη σύμφωνα με τη φορά που δείχνουν τα βέλη.



Εικόνα 82 : Αναλυτικός αλγόριθμος ταξινόμησης όλων των επιπέδων

4. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Μετά το στάδιο της ταξινόμησης είναι απαραίτητη η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της. Το λογισμικό eCognition παρέχει εξειδικευμένα εργαλεία, τα οποία παράγουν στατιστικά και γραφικά αποτελέσματα και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να ελέγξουν την ποιότητα των αποτελεσμάτων της ταξινόμησης. Ο έλεγχος αυτός, γίνεται με τη χρήση δύο εκ των τεσσάρων εργαλείων που διατίθενται από το λογισμικό, ενώ παράλληλα γίνεται χρήση μιας τρίτης μεθόδου, προκειμένου να συγκριθούν οι ρηξιγενείς ζώνες που αναγνωρίστηκαν χειροκίνητα επί χάρτου και στη συνέχεια ψηφιοποιήθηκαν (χάρτης αναφοράς), με τα αποτελέσματα που προέκυψαν αυτόματα. Στα πλαίσια της αξιολόγησης εκτιμάται η ορθότητα της ταξινόμησης του 6^{ου} επιπέδου, στο οποίο έχουν ταξινομηθεί οι τάξεις ενδιαφέροντας δηλαδή οι ρηξιγενείς ζώνες, τα ρήγματα, οι ασυνέχειες και οι λεκάνες ιζηματογένεσης.

4.1 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ ΣΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ eCognition

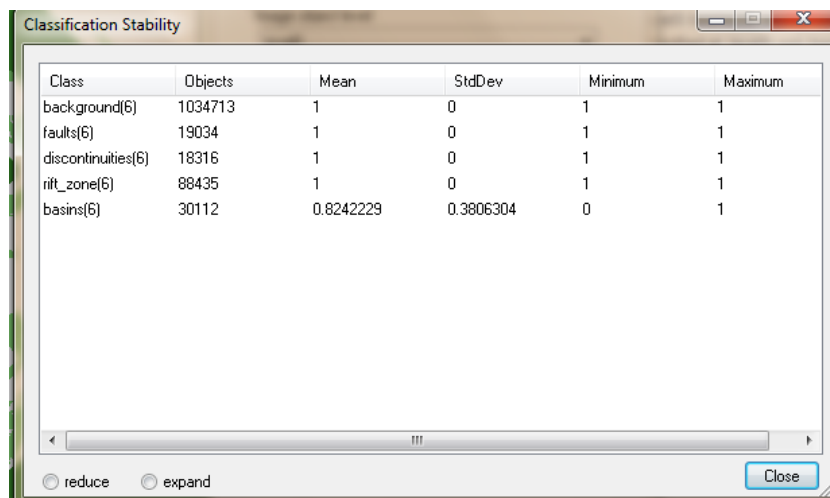
4.1.1 ΣΤΑΘΕΡΟΤΗΤΑ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ

Ένα μέτρο αξιολόγησης που προκύπτει απ'το περιβάλλον του eCognition αφορά στη διερεύνηση της διαφοράς ανάμεσα στον πρώτο και δεύτερο μεγαλύτερο βαθμό συμμετοχής ανά αντικείμενο, που αναδεικνύει τη σύγχυση ανάμεσα στις τάξεις που ορίστηκαν και συνεπώς την ευστάθεια της ταξινόμησης. Η σύγκριση μεταξύ των δύο μεγαλύτερων βαθμών επιτρέπει στο χρήστη να διακρίνει με πόση βεβαιότητα ταξινομήθηκε ένα αντικείμενο στην πρώτη τάξη και αν διεκδικείται ταυτόχρονα από μία δεύτερη τάξη. Το αποτέλεσμα της αξιολόγησης είναι γραφικό και στατιστικό και απεικονίζεται στις εικόνες 83,84 αντίστοιχα.



Εικόνα 83 : Γραφική απεικόνιση αξιολόγησης σταθερότητας ταξινόμησης

Η γραφική αναπαράσταση των αποτελεσμάτων της αξιολόγησης αποτελείται από μία έγχρωμη εικόνα στην οποία η χρωματική κλίμακα αντιστοιχεί, για το μη αμφιλεγόμενο αντικείμενο (1.0) στο πράσινο και για το απόλυτα αμφιλεγόμενο αντικείμενο (0.0) στο κόκκινο. Στην εικόνα 83 είναι εμφανές πώς λόγω ύπαρξης αποκλειστικά πράσινου χρώματος δεν υφίσταται σύγχυση μεταξύ των τάξεων και συνεπώς δεν υπάρχουν αμφιλεγόμενα αντικείμενα.



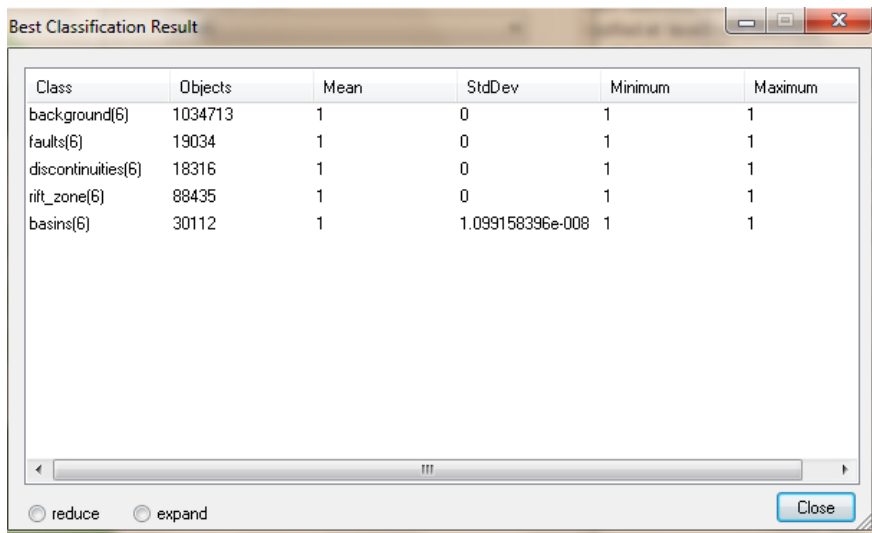
Class	Objects	Mean	StdDev	Minimum	Maximum
background(6)	1034713	1	0	1	1
faults(6)	19034	1	0	1	1
discontinuities(6)	18316	1	0	1	1
rift_zone(6)	88435	1	0	1	1
basins(6)	30112	0.8242229	0.3806304	0	1

Εικόνα 84 : Στατιστικός πίνακας απεικόνισης σταθερότητας της αξιολόγησης.

Η μέση τιμή της διαφοράς της καλύτερης, με τη δεύτερη καλύτερη ταξινόμηση για την τάξη “rift zone” είναι 1 με τυπική απόκλιση 0 όπως φαίνεται στην εικόνα 84. Με εξαίρεση την τιμή της κλάσης basins, που όμως δεν απέχει πολύ από τη μονάδα (συγκεκριμένα έχει τιμή 0,82 περίπου), η ταξινόμηση χαρακτηρίζεται ιδιαίτερώς σταθερή.

4.1.2 ΒΕΛΤΙΣΤΟ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ (Best Classification Result)

Δεδομένης της ασαφούς λογικής που χρησιμοποιεί το λογισμικό eCognition για την ταξινόμηση, ένα αντικείμενο μπορεί να έχει βαθμό συμμετοχής σε περισσότερες από μία τάξεις. Η τελική ταξινόμηση του εκάστοτε αντικειμένου πραγματοποιείται στην τάξη για την οποία παρουσιάζει το μεγαλύτερο βαθμό συμμετοχής. Ένα χρήσιμο μέτρο αξιολόγησης των αποτελεσμάτων είναι η διερεύνηση του κατά πόσο υψηλές είναι οι τιμές των μεγαλύτερων βαθμών συμμετοχής βάσει των οποίων διαμορφώθηκε η τελική ταξινόμηση των αντικειμένων. Η δυνατότητα αυτή παρέχεται στο λογισμικό eCognition με το εργαλείο « Βέλτιστο Αποτέλεσμα Ταξινόμησης» και το εξαγόμενο της εν λόγω αξιολόγησης είναι 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 παρουσιάζεται για κάθε τάξη ο αριθμός των αντικειμένων της αι τέσσερα στατιστικά στοιχεία (ελάχιστη, μέγιστη, μέση τιμή και τυπική απόκλιση) για τους βαθμούς συμμετοχής. Στην εικόνα 85 απεικονίζεται ο αριθμητικός πίνακας αξιολόγησης της ταξινόμησης του βου επιπέδου.



Class	Objects	Mean	StdDev	Minimum	Maximum
background(6)	1034713	1	0	1	1
faults(6)	19034	1	0	1	1
discontinuities(6)	18316	1	0	1	1
rift_zone(6)	88435	1	0	1	1
basins(6)	30112	1	1.099158396e-008	1	1

Εικόνα 85 : Στατιστικός πίνακας αξιολόγησης βέλτιστου αποτελέσματος ταξινόμησης.

Από τον στατιστικό πίνακα της εικόνας 85, ο μέσος όρος των βαθμών συμμετοχής των αντικειμένων που ταξινομήθηκαν ως ρηξιγενείς ζώνες (rift zones) ανέρχεται σε 1 με τυπική απόκλιση 0. Ενώ μια μικρή διαφοροποίηση στην τυπική απόκλιση της τάξης του $1,09e-008$ παρουσιάζουν οι λεκάνες ιζηματογένεσης (basins), παραμένοντας όμως ο μέσος όρος στο 1. Η μέση τιμή των κλάσεων στον παραπάνω πίνακα όντας μονάδα, δηλώνει ότι οι κλάσεις ταξινομήθηκαν με τους μέγιστους βαθμούς συμμετοχής.



Εικόνα 86 : Γραφική απεικόνιση αξιολόγησης βέλτιστου αποτελέσματος ταξινόμησης.

Όπως είναι εμφανές στην εικόνα 86, ολόκληρη η εικόνα σημαίνεται με σκούρο πράσινο χρώμα, αποδεικνύοντας την ορθότητα των αποτελεσμάτων της ταξινόμησης βάσει των μεγαλύτερων βαθμών συμμετοχής.

4.2 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ

Οι προηγούμενες μέθοδοι αποτελούν δύο εργαλεία για την ανίχνευση λαθών και ασταθειών κατά το στάδιο της ταξινόμησης και αναδεικνύουν την αποτελεσματικότητα των κανόνων που χρησιμοποιήθηκαν για την περιγραφή των τάξεων και με πόση σταθερότητα διαχωρίζουν τα αντικείμενα στις επιμέρους τάξεις. Για τις ανάγκες μιας περισσότερο ουσιαστικής αξιολόγησης του αποτελέσματος επιλέγεται μια τρίτη μέθοδος αξιολόγησης, η οποία αξιοποιεί βιβλιογραφικά καθιερωμένους δείκτες ποιότητας. Οι δείκτες ποιότητας, οι οποίοι χρησιμοποιήθηκαν, είναι ο δείκτης *πληρότητας (Completeness)*, *ορθότητας (Correctness)* και η *ποιότητα (Quality)* (Congalton, 1991).

Ο δείκτης *πληρότητας (Completeness)* προσδιορίζει το ποσοστό των δεδομένων ελέγχου (πραγματική έκταση ρηξιγενούς ζώνης) που έχουν ανιχνευθεί ή ταξινομηθεί από τον αλγόριθμο και κατά συνέπεια το κατά πόσο είναι ολοκληρωμένο το εξαγόμενο αποτέλεσμα και υπολογίζεται ως εξής :

$$\begin{aligned} \text{Completeness} &= \frac{\text{area of correctly detected segments}}{\text{area of the ground truth}} \\ &= \frac{TP}{TP + FN} \end{aligned}$$

Ο δείκτης *ορθότητας (Correctness)*, που προσδιορίζει το ποσοστό των δεδομένων ελέγχου που έχουν ανιχνευθεί ή και έχουν ταξινομηθεί σωστά από τον αλγόριθμο, δηλαδή το κατά πόσο σωστό είναι το αποτέλεσμα και προκύπτει από τη σχέση :

$$\begin{aligned} \text{Correctness} &= \frac{\text{area of correctly detected segments}}{\text{area of all detected segments}} \\ &= \frac{TP}{TP + FP} \end{aligned}$$

Και τέλος ο δείκτης *ποιότητας (Quality)* αποτελεί ένα γενικό δείκτη, ο οποίος συνδυάζει τις μετρήσεις για την *πληρότητα* και την *ορθότητα* των αποτελεσμάτων και υπολογίζεται με τη σχέση :

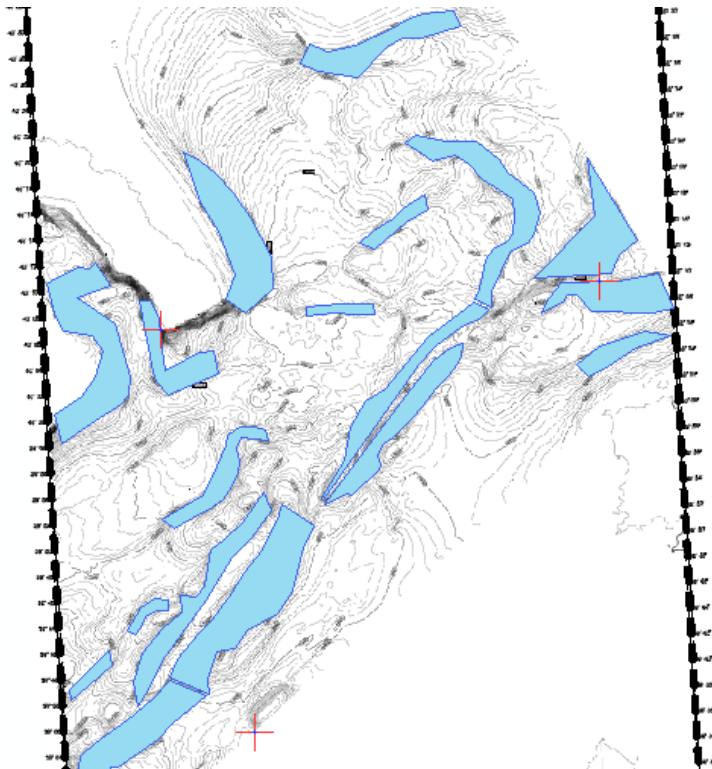
$$\text{Quality} = \frac{TP}{TP + FP + FN}$$

Όπου :

- **True Positives [TP]** είναι η έκταση της ρηξιγενούς ζώνης που έχει σωστά ανιχνευτεί
- **False Positives [FP]** είναι η έκταση της ρηξιγενούς ζώνης που έχει από λάθος του αλγορίθμου ανιχνευτεί
- **False Negatives [FN]** είναι η έκταση της ρηξιγενούς ζώνης που από λάθος του αλγορίθμου δεν έχουν ανιχνευτεί.

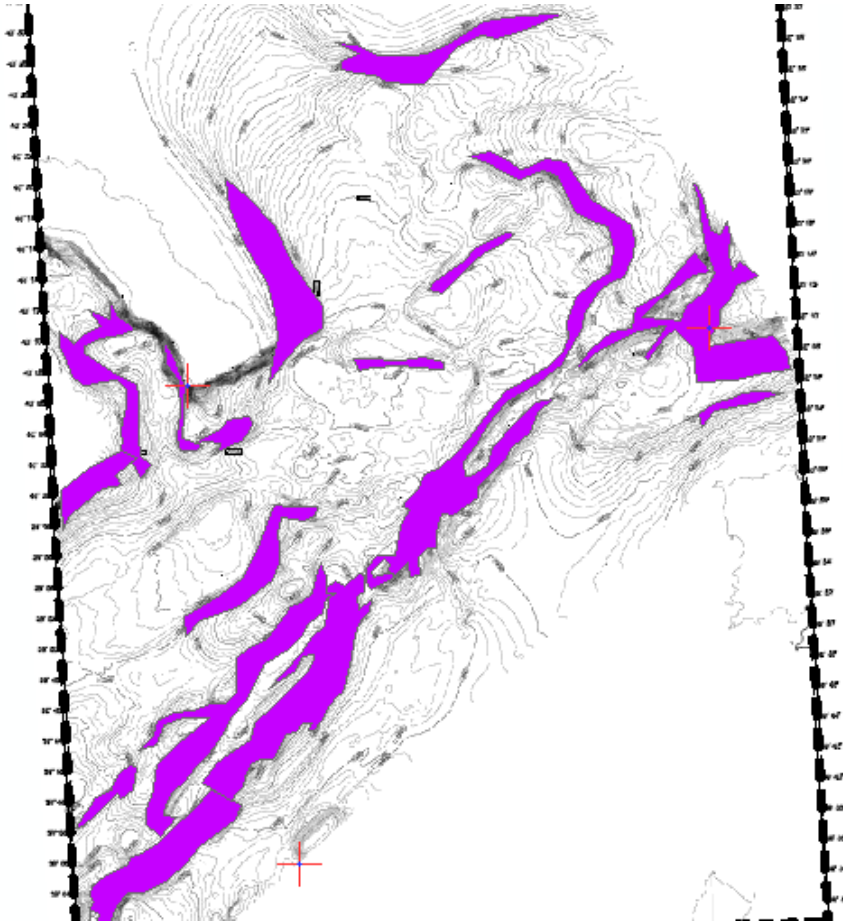
Οι δείκτες αυτοί για να υπολογιστούν, απαιτείται να γίνει σύγκριση των αποτελεσμάτων της μεθόδου αναγνώρισης και ταξινόμησης ρηξιγενών ζωνών με αντικειμενοστρεφή ανάλυση εικόνας, με τα αποτελέσματα του τεκτονικού χάρτη που κατασκευάστηκε χειροκίνητα και ψηφιοποιήθηκε κατόπιν. Αυτός θεωρείται και ως ο χάρτης αναφοράς.

Έτσι, προκειμένου να υπολογιστούν οι παραπάνω δείκτες, αρχικά εισήχθη ο τεκτονικός χάρτης στο περιβάλλον του ArcMap, γεωαναφέρθηκε με βάση το Ψ.Μ.Υ.Α, προκειμένου να αποκτήσει συντεταγμένες ΕΓΣΑ'87. Στη συνέχεια ψηφιοποιήθηκε στο περιβάλλον του ArcMap και δημιουργήθηκαν τα γαλάζια πολύγωνα της εικόνας 87 και υπολογίστηκε το άθροισμα των εμβαδών τους. Η στροφή της εικόνας οφείλεται στη γεωαναφορά που πραγματοποιήθηκε καθώς και οι κόκκινοι σταυροί αποτελούν τα σημεία αγκίστρωσης για την επίτευξη αυτής..



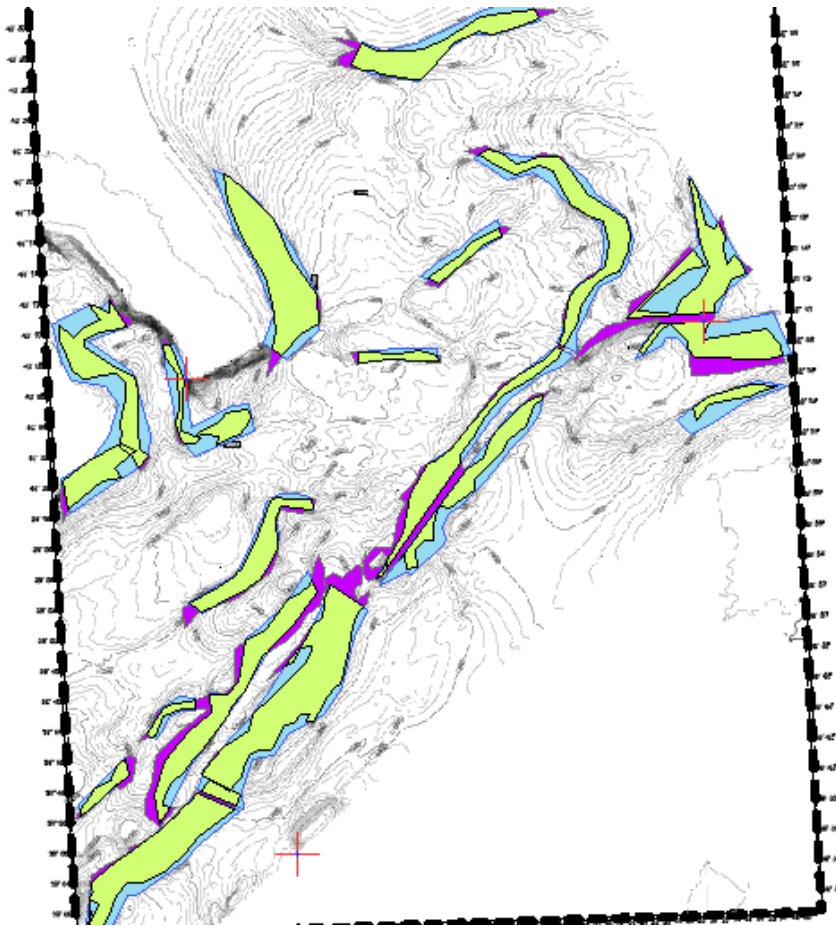
Εικόνα 87 : Τα γαλάζια πολύγωνα αποτελούν τα πολύγωνα που προέκυψαν από την ψηφιοποίηση του τεκτονικού χάρτη (αναφοράς). Οι κόκκινοι σταυροί αποτελούν τα σημεία αγκίστρωσης για τη γεωαναφορά της εικόνας (Ιδία επεξεργασία)

Στη συνέχεια, αφού ψηφιοποιήθηκαν και γεωαναφέρθηκαν οι ρηξιγενείς ζώνες που προέκυψαν από την αντικειμενοστρεφή ανάλυση, τοποθετήθηκαν «πάνω» στον τεκτονικό χάρτη (εικόνα 88) και υπολογίστηκε το εμβαδό τους.



Εικόνα 88 : Τα μωβ πολύγωνα αποτελούν τις ρηξιγενείς ζώνες που προέκυψαν από την αντικειμενοστρεφή ανάλυση. (Ιδία επεξεργασία)

Τέλος, έγινε επίθεση των δύο αυτών επιπέδων και προέκυψε ο χάρτης της εικόνας 89, στον οποίο τα πράσινα πολύγωνα αποτελούν τις επικαλύψεις των δύο αυτών επιπέδων, δηλαδή είναι οι περιοχές των ρηξιγενών ζωνών στις οποίες τα αποτελέσματα της αυτόματης μεθόδου συμπίπτουν με την χειροκίνητη και στη συνέχεια υπολογίστηκε το εμβαδό τους.



Εικόνα 89 : Τα πράσινα πολύγωνα είναι οι περιοχές των ρηξιγενών ζωνών στις οποίες τα αποτελέσματα της αυτόματης μεθόδου συμπίπτουν με την χειροκίνητη (Ιδία επεξεργασία)

Κατόπιν αυτής της διαδικασίας προκύπτουν τα παρακάτω αποτελέσματα :

TP= 817853011m²

FN= 356726081 m²

FP= 157192453 m²

Και οι τιμές των δεικτών είναι :

Completeness = 70 %

Correctness= 84 %

Quality = 61 %

Σχολιάζοντας τα αποτελέσματα των παραπάνω δεικτών, προκύπτει ότι:

- Το 70% των πραγματικών ρηξιγενών ζωνών, δηλαδή αυτών που υπάρχουν και στον χάρτη αναφοράς, έχουν ανιχνευθεί ή ταξινομηθεί από τον αλγόριθμο.
- Το 84% των ρηξιγενών ζωνών έχουν ταξινομηθεί σωστά από τον αλγόριθμο.
- Η ολική ποιότητα των αποτελεσμάτων (συνδυάζοντας πληρότητα και ορθότητα) της ταξινόμησης της ρηξιγενούς ζώνης, ανέρχεται σε ποσοστό 61%

Συνεπώς, απ' την παραπάνω μέθοδο αξιολόγησης προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα :

- Αρχικά, με την αυτόματη μέθοδο, προκύπτει ότι το λογισμικό λαμβάνει υπόψη του τις μέγιστες κατά τόπους μορφολογικές κλίσεις της ρηξιγενούς ζώνης, γι' αυτό και στην εικόνα 87 παρατηρείται πως σε πολλές περιοχές η γαλάζια ζώνη (ρηξιγενείς ζώνες του χάρτη αναφοράς) είναι πιο πλατιά σε σχέση με τη μωβ (ρηξιγενείς ζώνες κατόπιν αντικειμενοστρεφούς ανάλυσης).
- Ο αλγόριθμος σε πολλές περιπτώσεις δεν μπορεί να διευκρινίσει σωστά τα όρια της ρηξιγενούς ζώνης, καθώς υπάρχουν περιοχές όπου η ρηξιγενής ζώνη περιλαμβάνει μεσαίες μορφολογικές κλίσεις τις οποίες η αυτόματη μέθοδο δεν μπορούσε να αναγνωρίσει.
- Η αυτόματη μέθοδος αναγνωρίζει όλες τις περιοχές που περιλαμβάνονται με βεβαιότητα ως τμήματα της ρηξιγενούς ζώνης συγκρίνοντάς τες με τις ρηξιγενείς ζώνες του χάρτη αναφοράς, αποκλείοντας έτσι άλλες περιοχές.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ

5.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Για τη διεξαγωγή και ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, που ως σκοπό είχε την αυτόματη εξαγωγή ρηξιγενών ζωνών στην περιοχή του Βορείου Αιγαίου, με την αξιοποίηση του Ψ.Μ.Υ.Α., καθοριστικής σημασίας ήταν η συνεισφορά γνώσης του γεωλογικού και τοπογραφικού υποβάθρου της περιοχής μελέτης, που έχει συλλεχθεί από μία ομάδα επιστημόνων (γεωλόγων, μηχανικών κ.τ.λ.). Έτσι, η συνεισφορά διαφορετικών επιστημονικών πεδίων γνώσης οδηγεί σε μία πιο ολοκληρωμένη αντιμετώπιση των πρακτικών εφαρμογών και σε βέλτιστη αξιοποίηση της γνώσης.

Η περιοχή μελέτης παρουσιάζει ιδιαίτερα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά και με βάση την ανάλυση που έχει προηγηθεί προκύπτει το συμπέρασμα πως, η συνολική μορφολογία του βυθού καθορίζεται και εξαρτάται από τα ρήγματα και συγκεκριμένα, το ρήγμα της Ανατολίας που βρίσκεται στα Νότια της περιοχής αυτής και με προσανατολισμό ΝΔ-ΒΑ. Λόγω της ύπαρξης του ρήγματος αυτού, βυθίζεται το βόρειο τμήμα και ανεβαίνει το Νότιο τμήμα της περιοχής μελέτης. Επίσης, σε εκείνη την περιοχή παρουσιάζονται έντονες κλίσεις. Γενικά, η περιοχή μελέτης παρουσιάζει ιδιαίτερη ποικιλία τόσο ως προς την κατανομή των κλίσεων όσο και την ύπαρξη ρηξιγενών δομών και πλήθος ρηξιγενών ζωνών.

Η χρήση της αντικειμενοστρεφούς ανάλυσης εικόνας σε Ψ.Μ.Υ.Α., αποτελεί ένα εξαιρετικά χρήσιμο εργαλείο για την αυτοματοποιημένη εξαγωγή γεωμορφολογικών χαρακτηριστικών πυθμένα. Για την επίτευξη της αντικειμενοστρεφούς ανάλυσης εικόνας, απαιτούνται :

- Η γνώση του λογισμικού eCognition στην προκειμένη περίπτωση
- Η γνώση της περιοχής μελέτης, όσον αφορά στα ιδιαίτερα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά που αυτή παρουσιάζει.
- Η εμπειρία και ικανότητα του χρήστη στην αναγνώριση γεωμορφολογικών χαρακτηριστικών, η οποία είναι απαραίτητη σε όλα τα στάδια εφαρμογής (ερμηνεία της περιοχής μελέτης, κατάτμηση της εικόνας, ταξινόμηση των αντικειμένων και αξιολόγηση των αποτελεσμάτων).

Στην περιοχή μελέτης υπάρχουν γεωμορφές που καταλαμβάνουν μεγάλη έκταση και άλλες που καταλαμβάνουν μικρή. Σε αυτή την περίπτωση η κλίμακα που δόθηκε για την κατάτμηση ήταν ανάλογη του μεγέθους της γεωμορφής που έπρεπε να εξαχθεί. Έτσι, για τον προσδιορισμό της ηπειρωτικής πλατφόρμας χρησιμοποιήθηκε μεγάλη τιμή της παραμέτρου της κλίμακας για την κατάτμηση, ενώ για την εξαγωγή των λεκανών ιζηματογένεσης, της ηπειρωτικής κατώφειας και των ηβωμάτων, χρησιμοποιήθηκε πολύ μικρή κλίμακα, καθώς αποτελούν γεωμορφές που τα όρια τους πρέπει να προσδιοριστούν με σαφήνεια. Με μεγαλύτερη σαφήνεια όμως έπρεπε να προσδιοριστούν οι ρηξιγενείς ζώνες (που αποτελούν και το αντικείμενο της παρούσας εργασίας) και γι' αυτό αξιοποιήθηκε όλη η πληροφορία που παρείχε το Ψ.Μ.Υ.Α., θέτοντας την τιμή κλίμακας ίση με τη μονάδα.

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την αντικειμενοστρεφή ανάλυση, στη συνέχεια αξιολογήθηκαν. Όμως, σε μελέτες υποθαλάσσιου χώρου, σε μεγάλα βάθη, δεν υπάρχει η δυνατότητα επιτόπιας έρευνας. Τα δεδομένα συλλέγονται εξ αποστάσεως, είτε αυτά είναι βαθυμετρικά δεδομένα, είτε γεωλογικά ή φωτογραφικό υλικό. Η αξιολόγηση κατά συνέπεια, οποιονδήποτε αποτελεσμάτων ερευνών, έγκειται στην κρίση των επιστημόνων.

Για την παρούσα διπλωματική εργασία, το μέσο αξιολόγησης και σύγκρισης αποτελεσμάτων, αποτέλεσε ο τεκτονικός χάρτης που κατασκευάστηκε χειροκίνητα για το Βορειοανατολικό κομμάτι της λεκάνης. Κατά συνέπεια, η ποιοτική και ποσοτική αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της παρούσας εργασίας, γίνεται με δεδομένα ελέγχου τα οποία, εξ αρχής εμπεριέχουν ένα βαθμό αβεβαιότητας λόγω του ότι δεν είναι αποτέλεσμα επιτόπιας έρευνας, αφού αυτή καθίσταται αδύνατη.

Σε ό,τι αφορά την ακρίβεια προσδιορισμού των γεωμορφών, οι λεκάνες ιζηματογένεσης θα μπορούσαν προσδιοριστούν καλύτερα, έχοντας ένα Ψ.Μ.Υ.Α. καλύτερης ανάλυσης καθώς οι μικρές λεκάνες δεν μπόρεσαν να εντοπιστούν λόγω της σχετικά μικρής ανάλυσης του δεδομένου Ψ.Μ.Υ.Α.

Ένα άλλο συμπέρασμα που εξήχθη κατόπιν ποιοτικής αξιολόγησης, είναι πως οι ρηξιγενείς ζώνες που προκύπτουν αυτόματα είναι, σε πολλές περιπτώσεις πιο στενές σε σχέση με αυτές που προκύπτουν από την ψηφιοποίηση του τεκτονικού χάρτη (αναφοράς) που κατασκευάστηκε στο χέρι. Αυτό συμβαίνει γιατί το λογισμικό λαμβάνει υπόψη του τις μέγιστες κατά τύπους μορφολογικές κλίσεις της ρηξιγενούς ζώνης.

Επίσης, ο αλγόριθμος σε πολλές περιπτώσεις δεν μπορεί να διευκρινίσει σωστά τα όρια της ρηξιγενούς ζώνης, καθώς υπάρχουν περιοχές όπου η ρηξιγενής ζώνη περιλαμβάνει μεσαίες μορφολογικές κλίσεις τις οποίες η αυτόματη μέθοδος δεν μπορούσε να αναγνωρίσει. Επομένως, η παρούσα διπλωματική εργασία αποτέλεσε και ένα μέσο διερεύνησης του κατά πόσο καλά η αυτόματη μέθοδος μπορεί να προσδιορίσει τα όρια των δεδομένων ρηξιγενών ζωνών.

Το σημαντικό επίσης στοιχείο που προέκυψε, είναι το γεγονός ότι η αυτόματη μέθοδος αναγνωρίζει όλες τις περιοχές που περιλαμβάνονται με βεβαιότητα ως τμήματα της ρηξιγενούς ζώνης συγκρίνοντάς τις με τις ρηξιγενείς ζώνες του χάρτη αναφοράς, αποκλείοντας έτσι άλλες περιοχές.

Τέλος, βάσει της αξιολόγησης που πραγματοποιήθηκε με τη χρήση των δεικτών, προκύπτει ότι το 70% των πραγματικών ρηξιγενών ζωνών, δηλαδή αυτών που υπάρχουν και στον χάρτη αναφοράς, έχουν ανιχνευθεί ή ταξινομηθεί από τον αλγόριθμο, στοιχείο που αποδεικνύει την ικανοποιητική ακρίβεια και αποτελεσματικότητά του.

5.2 ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ

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

Χρήση μεγαλύτερης ανάλυσης βαθυμετρικών δεδομένων για την εξαγωγή αποτελεσμάτων μεγαλύτερης ακρίβειας.

Εισαγωγή των αποτελεσμάτων σε λογισμικό πακέτο για την εκτέλεση μετρήσεων διαστάσεων των γεωμορφολογικών χαρακτηριστικών (περίμετρος, μήκος κ.τ.λ) και εξαγωγή συμπερασμάτων πιθανώς σχετικά με το είδος, την προέλευσή τους κ.τ.λ.

Ευρεία χρήση Ψ.Μ.Υ.Α., σε μεθόδους αντικειμενοστρεφούς ανάλυσης εικόνας για την εξαγωγή γεωμορφολογικών χαρακτηριστικών με τη χρήση χωρικών σχέσεων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΕΚΔΟΣΕΙΣ -ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΕΙΣ :

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, σελ 15

Αργιαλάς Δ., Τζώτσος Α., Δερζέκος Π., (2002), eCognition : Ένα εργαλείο Χαρτογράφησης Γεωμορφών, Πρακτικά 6ου Πανελληνίου Γεωγραφικού Συνεδρίου, ΑΠΘ Θεσσαλονίκη, 3-6 Οκτωβρίου 2002, σελ 24-30.

Δεκαβάλλα Μ., (2011), Αναγνώριση και Ταξινόμηση Κατολισθήσεων με Αντικειμενοστραφή Ανάλυση Τηλεπισκοπικών Δεδομένων, Μεταπτυχιακή Εργασία, Δ.Π.Μ.Σ. : Γεωπληροφορική, Εργαστήριο Τηλεπισκόπησης, Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, Ε.Μ.Π., Αθήνα.

Σιακαβάρα Κ., (2011), Αυτόματη Εξαγωγή Τοπογραφικών και Γεωμορφολογικών Χαρακτηριστικών Πυθμένα από Ψηφιακά Χωροθετημένα Βυθομετρικά Μοντέλα Πυθμένα με Αντικειμενοστραφή Ανάλυση Εικόνας, Διπλωματική Εργασία, Εργαστήριο Τηλεπισκόπησης, Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, Ε.Μ.Π., Αθήνα.

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.

Κονισπολιάτης Ν., (2009), Σημειώσεις στο μάθημα «Θαλάσσια Γεωλογία», Δ.Π.Μ.Σ : Ναυτική και Θαλάσσια Τεχνολογία και Επιστήμη, Ε.Μ.Π, Αθήνα, σελ.72

Λέκκας Σ.Π., Λόζιος Σ. Γ., Σκούρτσος Ε. Ν., (2006), Εισαγωγή στη Γεωδυναμική, Τομέας Δυναμικής-Τεκτονικής και Εφαρμοσμένης Γεωλογίας, Τμήμα Γεωλογίας και Περιβάλλοντος, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, σελ.334.

Παπανικολάου Δ.Ι., Σιδέρης Χρ.Ι., (Ιούνιος 2007), Γεωλογία : Η επιστήμη της Γης, Αθήνα, Εκδόσεις Πατάκη, σελ.291.

Gorini M. A., (2009), Physiographic Classification of the Ocean Floor: A Multi-Scale Geomorphology Approach, Proceedings of Geomorphology 2009, Zurich, Switzerland, pp. 98-105.

Papanikolaou D., Alexandri M., Nomikou P., Ballas D., (2002), Morphotectonic Structure of the Western Part of the North Aegean Basin Based on Swath Bathymetry, marine geology 190, pp.465-492.

- Siakavara K., Argialas D. (2011), Automated Identification of Geomorphological Features of the Seabed by Object Based Image Analysis of Digital Terrain Models- Proceedings of 15th Joint Geomorphological Meeting, Athens, Greec.
- 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.
- Pike, R.J., (1995) Geomorphometry—progress, practice, and prospect. Zeitschrift für Geomorphologie, Supplementband 101, 221–238.
- Pike, R.J., Evans, I.S., Hengl, T., 2009. Geomorphometry: A brief guide. In: Hengl, T., Reuter, H. (Eds.), Geomorphometry: concepts, software, applications. Series Developments in Soil Science vol. 33, Elsevier, pp. 3-33
- Pike, R.J. (1988). The geometric signature : quantifying landslide-terrains types from digital elevation models. Mathematical Geology, 20(5) : 491-511
- Shary, P.A., Sharaya, L.S., Mitusov, A.V., (2002) Fundamental quantitative methods of land surface analysis. Geoderma 107 (1–2), 1–32.

Igor V. Florinsky, (2012) Digital Terrain Analysis in soil science and geology

ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΑ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΩΝ – MANUALS :

eCognition Developer 8.7 User Guide, (2011), Trimble Documentation, Munchen,Germany.

eCognition Developer 8.7 Reference Book, (2011), Trimble Documentation, Munchen,Germany.

ΔΙΚΤΥΑΚΟΙ ΧΩΡΟΙ :

www.hydropalooza.noaa.gov/press.html (Προσπελάθηκε 23/6/2013)

<http://www.geo.auth.gr/courses/ggg/ggg537y/ch5.htm> (Προσπελάθηκε 25/6/2013)