



Τεχνολογικό
Πανεπιστήμιο
Κύπρου

Σχολή Μηχανικής και
Τεχνολογίας

Πτυχιακή εργασία

**Διερεύνηση ανίχνευσης φυκιών σε εναέριες λήψεις χαμηλού
υψομέτρου και επίδραση στην 3D ανακατασκευή του πυθμένα**

Χριστίνα Οικονομίδου

Λεμεσός, Μάιος 2020

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

Πτυχιακή εργασία

Διερεύνηση ανίχνευσης φυκιών σε εναέριες λήψεις χαμηλού
υψομέτρου και επίδραση στην 3D ανακατασκευή του πυθμένα

της

Χριστίνας Οικονομίδου

Επιβλέπων Καθηγητής

Δρ. Δημήτριος Σκαρλάτος

Λεμεσός, Μάιος 2020

Πνευματικά δικαιώματα

Copyright © Χριστίνα Οικονομίδου, 2020

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Η έγκριση της πτυχιακής εργασίας από το Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών και Μηχανικών Γεωπληροφορικής του Τεχνολογικού Πανεπιστημίου Κύπρου δεν υποδηλώνει απαραίτητως και αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα εκ μέρους του Τμήματος.

Με την ολοκλήρωση της παρούσας πτυχιακής εργασίας, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον αντιπρόεδρο του τμήματος Πολιτικών Μηχανικών και Μηχανικών Γεωπληροφορικής του Τεχνολογικού Πανεπιστημίου Κύπρου (ΤΕΠΑΚ), Δρ. Δημήτριο Σκαρλάτο, ο οποίος μου έδωσε την ευκαιρία να ασχοληθώ με το συγκεκριμένο θέμα πτυχιακής μελέτης.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον υποψήφιο διδάκτωρ Παναγιώτη Αγραφιώτη για την συνεργασία του, για τον χρόνο που μου αφιέρωσε, για την πολύτιμη βοήθεια που μου παρείχε και για τις διορθώσεις που μου υπέδειξε για την επιτυχή ολοκλήρωσης της πτυχιακής μου εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου και τους φίλους μου, οι οποίοι στάθηκαν δίπλα μου καθ' όλη την διάρκεια των σπουδών μου, προσφέροντας μου ψυχολογική δύναμη και όμορφες στιγμές που θα θυμάμαι για πάντα.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η προκείμενη πτυχιακή εργασία πραγματεύεται κατά πόσο η μέθοδος της εναέριας Φωτοβαθυμετρίας με χρήση true color καμερών και μη επανδρωμένων αεροσκαφών, με κάποιες διορθώσεις όπως τον εντοπισμό και απομάκρυνση της υποβρύχιας βλάστησης θα μπορούσε να ανταγωνιστεί το προϊόν της 3D ανακατασκευής του πυθμένα, που προσφέρει η βαθυμετρία με αερομεταφερόμενο LiDAR. Στο ίδιο πλαίσιο, εξετάζεται αν ο προσδιορισμός της ακτογραμμής με εναέρια Φωτογραμμετρία μπορεί να ανταγωνιστεί το αντίστοιχο προϊόν από LiDAR και κατά πόσο σημαντική είναι η επίδραση παρουσίας, ή όχι, της θάλασσας στην συγκεκριμένη φωτογραμμετρική μέθοδο. Ενώ παράλληλα, προτείνεται μέθοδος υπολογισμού των εκτάσεων υποβρύχιας βλάστησης σε ορθομωσαϊκό ως υποπροϊόν του εντοπισμού που πραγματοποιήθηκε προηγουμένως. Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε αποτελείται από 8 στάδια. Αρχικά, έγινε η επιλογή κατάλληλου δείκτη τόσο για τον εντοπισμό-απομάκρυνση της υποβρύχιας βλάστησης όσο και για την ανάδειξη ακτογραμμής. Στην συνέχεια, οι δείκτες υπέστη τροποποιήσεις βελτιστοποίησης, ενώ με την ολοκλήρωση αυτών υλοποιήθηκε το στάδιο εύρεσης κατάλληλης μεθόδου και τιμής κατωφλίωσης για κάθε περίπτωση. Μετέπειτα, δημιουργήθηκαν οι, δυαδικής μορφής, μάσκες που στην συνέχεια εφαρμόστηκαν στις αρχικές εικόνες δεδομένων για την παραγωγή των κατάλληλων 3D επιφανειών από πυκνά νέφη σημείων με την χρήση μασκών, ή όχι, καθώς και των δεδομένων αναφοράς (LiDAR) ώστε να ήταν δυνατή στην συνέχεια η υλοποίηση των απαιτούμενων συγκρίσεων. Παράλληλα, παράχθηκε ορθομωσαϊκό από το νέφος σημείων των αρχικών δεδομένων όπου, εφαρμόστηκε εκ νέου ο δείκτης που επιλέχθηκε για τον εντοπισμό, με την κατάλληλη κατωφλίωση και με την δημιουργία ειδικού μετρητή, υπολογίσθηκαν οι εκτάσεις υποβρύχιας κάλυψης. Όπως υποδεικνύεται από τα αποτελέσματα συγκρίσεων, με την χρήση μασκών υπάρχει μικρή βελτιστοποίηση, ωστόσο κρίνεται αναγκαίο η πρότερη διόρθωση βασικών σφαλμάτων που προκύπτουν από το θαλάσσιο περιβάλλον, όπως διάθλασης για ουσιαστική βελτιστοποίηση.

Λέξεις κλειδιά: Φωτοβαθυμετρία; μη επανδρωμένα συστήματα αεροσκαφών, κανάλια ορατού φάσματος; βαθυμετρία με αερομεταφερόμενου LiDAR; ανακατασκευή πυθμένα; υποβρύχια βλάστηση; ανάδειξη ακτογραμμής; επίδραση απουσία θάλασσας;

ABSTRACT

This diploma thesis investigates whether the method of aerial Photobathymetry using true color camera and U.A.V could, with some corrections; such as the detection and removal of underwater vegetation (seaweeds), compete with the 3D bottom reconstruction, produced by Airborne LiDAR Bathymetry. Meanwhile, it is examined whether the determination of the coastline by aerial photogrammetry can compete with the corresponding product by LiDAR, and whether the sea's presence effect is significant in this photogrammetric method. The overall methodology that was followed, consisted of eight steps. Firstly, the suitable indices for both detection-removal of seaweeds, and for the determination of coastline was selected. Then, the selected indices underwent optimization procedures. After the optimization, the step of finding the suitable thresholding method and threshold value for each case, took place. Next, the binary-form masks were created, and applied on the original dataset of images to produce the appropriate 3D dense point clouds. The 3D dense point clouds were produced not only in the case of using the binary-form masks, but also in the case of the original dataset of images and as well the reference data (LiDAR), so that the required comparisons could be, afterwards, implemented. Last but not least, an Orthomosaic was generated by the original dataset of image's 3D point cloud, where once again the appropriate indice and threshold value was both selected and applied, and afterwards with the creation of a counter, the areas of underwater coverage were calculated. As indicated by the results of comparisons, the usage of masks could lead to partially optimized results of 3D bottom reconstruction and determination of the coastline. However, to produce significant optimized results, it is crucial firstly the basic errors occurred by the marine environment such as the refraction's effect to be eliminated.

Keywords: Photobathymetry, Unmanned Aerial Systems (U.A.V), true color (RGB) cameras, Airbone LiDAR Bathymetry (ALB), seabed reconstruction, underwater vegetation, seaweeds, coastline detection, sea's absence effect

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	vi
ABSTRACT.....	vii
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ	viii
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	xii
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ.....	xiii
ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ	xx
ΑΠΟΔΟΣΗ ΟΡΩΝ	xxi
1 Εισαγωγή	1
1.1 Σημασία Βαθυμετρίας, Βυθομετρικής Αποτύπωσης	1
1.1.1 Φυσικό Περιβάλλον και η Έννοια της Βαθυμετρίας, Βυθομετρίας.....	1
1.1.2 Ανθρωπογενή Δραστηριότητα και η Έννοια της Βαθυμετρίας, Βυθομετρίας.....	2
1.1.3 Πολιτιστική Κληρονομιά και η Έννοια της Βαθυμετρία, Βυθομετρίας.....	2
1.2 Εξέλιξη τεχνολογίας, ρόλος φωτογραμμετρίας και τεχνολογίας LiDAR	4
1.3 Φωτογραμμετρία με χρήση UAV	4
1.3.1 Φωτοβαθυμετρία.....	5
1.3.2 Επεξεργασία και Ερμηνεία Ψηφιακής Εικόνας.....	6
1.3.3 Χρωματικά Μοντέλα	7
1.3.4 Απορρόφηση Ηλεκτρομαγνητικής Ακτινοβολίας	7
1.3.5 Σημασία Φωτοερμηνείας	8
1.3.6 Κατωφλίωση και Χρήση Υψηλόσυχνων - Χαμηλόσυχνων Φίλτρων Προσπέλασης.....	9
1.4 Δείκτες Βλάστησης	10
1.4.1 Colour Index of Vegetation Extraction (CIVE).....	11

1.4.2	Excess of Green (ExG)	12
1.4.3	Excess of Red (ExR).....	12
1.4.4	Excess of Green minus Excess of Red Index (ExGR).....	13
1.4.5	Modified Excess of Green Modified (MExG).....	14
1.4.6	Normalised Green- Red Difference Index (NGRDI).....	14
1.4.7	Vegetative Index (VEG)	15
1.5	Προβληματισμοί.....	16
1.6	Τεχνολογία LiDAR	20
1.6.1	Αρχή Λειτουργίας.....	21
1.6.2	Προτερήματα LiDAR στην Βαθυμετρία - Βυθομετρία.....	22
1.6.3	Ακρίβεια αποτελεσμάτων	23
1.6.4	Προβληματισμοί περί αξιοπιστίας.....	25
2	Μεθοδολογία Έρευνας.....	29
2.1	Μεθοδολογία διερεύνησης εντοπισμού περιοχών υποβρύχιας βλάστησης και η επίδραση της στην 3D ανακατασκευή του πυθμένα.....	29
2.2	Μεθοδολογία ανάδειξης ακτογραμμής και πιθανή επίδραση απουσίας θάλασσας στην 3D ανακατασκευή της.....	30
2.3	Μεθοδολογία υπολογισμού εκτάσεων περιοχών υποβρύχιας βλάστησης.....	31
3	Περιοχή Μελέτης : Παράκτια Περιοχή Αγίας Νάπας, Νέα Μαρίνα.....	32
4	Αποτελέσματα.....	33
4.1	Αποτελέσματα δεικτών βλάστησης	33
4.1.1	Επιλογή δείκτη για εντοπισμό περιοχών υποβρύχιας βλάστησης	33
4.1.2	Επιλογή δείκτη για ανάδειξη ακτογραμμής.....	40
4.2	Τροποποίηση παραμέτρων δείκτη	42
4.2.1	Βελτιστοποίηση δείκτη για εντοπισμό υποβρύχιας βλάστησης	42
4.2.2	Βελτιστοποίηση δείκτη για ανάδειξη ακτογραμμής.....	50

4.3	Κατωφλίωση	55
4.3.1	Εύρεση βέλτιστης καθολικής τιμής κατωφλίωσης για περιοχές υποβρύχιας βλάστησης	55
4.3.2	Εύρεση βέλτιστης τιμής κατωφλίωσης για περιοχές υποβρύχιας βλάστησης με υφιστάμενη ομαδοποίηση δεδομένων	55
4.3.3	Εύρεση βέλτιστης τιμής κατωφλίωσης για ανάδειξη ακτογραμμής.....	65
4.4	Μετατροπή παραγόμενων εικόνων σε εικόνες δυαδικής μορφής.....	67
4.5	Δημιουργία τρισδιάστατων (3D) επιφανειών από πυκνά νέφη σημείων.....	70
4.6	Σύγκριση τρισδιάστατων (3D) επιφανειών από πυκνά νέφη σημείων	74
4.6.1	Σύγκριση τρισδιάστατων (3D) επιφανειών παρουσίας ή μη υποβρύχιας βλάστησης.....	74
4.6.2	Οπτικοποίηση Αποκλίσεων με την δημιουργία τομών.....	78
4.6.3	Σύγκριση τρισδιάστατων (3D) επιφανειών ανάδειξης ακτογραμμής με παρουσία, ή μη θάλασσας.....	85
4.6.4	Οπτικοποίηση Αποκλίσεων με την δημιουργία τομών.....	88
5	Υπολογισμός έκτασης υποβρύχιας βλάστησης	94
6	Σχολιασμός Αποτελεσμάτων	98
6.1	Σχολιασμός αποτελεσμάτων επιλογής δείκτη για εντοπισμό περιοχών υποβρύχιας βλάστησης	98
6.2	Σχολιασμός αποτελεσμάτων επιλογής δείκτη για ανάδειξη ακτογραμμής.....	98
6.3	Σχολιασμός αποτελεσμάτων κατωφλίωσης	99
6.4	Σχολιασμός δημιουργίας τρισδιάστατων (3D) επιφανειών από πυκνά νέφη σημείων.....	99
6.5	Σχολιασμός αποτελεσμάτων σύγκρισης (3D) επιφανειών από πυκνά νέφη σημείων.....	100
6.5.1	Σχολιασμός αποτελεσμάτων σύγκρισης (3D) επιφανειών από πυκνά νέφη σημείων για τον εντοπισμό των περιοχών υποβρύχιας βλάστησης.....	100

6.5.2	Σχολιασμός αποτελεσμάτων σύγκρισης (3D) επιφανειών από πυκνά νέφη σημείων για την ανάδειξη ακτογραμμής	101
6.6	Σχολιασμός υπολογισμού έκτασης υποβρύχιας βλάστησης	104
7	Συμπεράσματα	105
	ΕΠΙΛΟΓΟΣ	108
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	109

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1 Εξισώσεις δεικτών βλάστησης που χρησιμοποιήθηκαν για την επιλογή του βέλτιστου για τον εντοπισμό – ανάδειξη των περιοχών υποβρύχιας βλάστησης.....	33
Πίνακας 2 Κατηγορίες μορφοποιήσεων και οι εξισώσεις αυτών, που πραγματοποιήθηκαν για πιθανή βελτιστοποίηση του δείκτη ExG.....	44
Πίνακας 3 Κατηγορίες μορφοποιήσεων και οι εξισώσεις αυτών, που πραγματοποιήθηκαν για πιθανή βελτιστοποίηση του δείκτη ExR.....	51
Πίνακας 4 Αποτελέσματα Β μέρους ημι-αυτόματης μεθόδου για επαλήθευση ή πρόταση βέλτιστων τιμών καταφλίωσης.	63
Πίνακας 5 Χαρακτηριστικές περιπτώσεις αποτελεσμάτων μέρους Β ημι-αυτόματης μεθόδου για επαλήθευση ή πρόταση βέλτιστων τιμών καταφλίωσης.	64
Πίνακας 6 RMS σφάλματα φωτοσταθερών μπλοκ εικόνων στους άξονες X(Ανατολικά-Δυτικά), Y(Βόρεια-Νότια), Z(υψόμετρο).....	85
Πίνακας 7 Τιμές καταφλίωσης που εφαρμόστηκαν σε κάθε υποπεριοχή του Ορθομωσαϊκού για καταμέτρηση περιοχών υποβρύχιας βλάστησης.....	95

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1 Αύξηση ποσοστού απορροφητικότητας ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας ανάλογα με το βάθος και άλλων συνθηκών που μπορούν να προκαλέσουν αλλοιώσεις χρώματος. (Bianco et al. 2015).....	7
Εικόνα 2 Γεωμετρία δικτύου Φωτογραμμετρίας δύο μέσων (Dimitrios Skarlatos and Panagiotis Agrafiotis, 2018)	17
Εικόνα 3 Επίδραση του wave pattern στον προσδιορισμό των 3D σημείων του πυκνού νέφους από δεδομένα LiDAR (Westfeld et al. 2016).....	26
Εικόνα 4 Περιοχές δοκιμής των φίλτρων βλάστησης για επιλογή του κατάλληλου για τον εντοπισμό-ανάδειξη θαλάσσιας βλάστησης. Πρώτη σειρά: περιοχή μόνο θαλάσσιας υποπεριοχής κυρίως με αμμώδη πυθμένα (IMG_3910), θαλάσσια υποπεριοχή με αμμώδη πυθμένα (IMG_3930), θαλάσσια υποπεριοχή με ελάχιστο κομμάτι παράκτιας ζώνης (IMG_3956). Δεύτερη σειρά: θαλάσσια υποπεριοχή με λίγο κομμάτι παράκτιας ζώνης (IMG_3964), θαλάσσια υποπεριοχή με περισσότερο κομμάτι παράκτιας ζώνης (IMG_3984).....	30
Εικόνα 5 Περιοχές δοκιμής των φίλτρων βλάστησης για επιλογή του καταλληλότερου για την ανάδειξη της ακτογραμμής.....	31
Εικόνα 6 Δορυφορική εικόνα περιοχής μελέτης από το Google Earth, χρονολογίας 2005. ("Google Earth" 2020)	32
Εικόνα 7 Αποτελέσματα εφαρμογής δεικτών βλάστησης συνοδευόμενα με την κλίμακα των ραδιομετρικών τιμών εντάσεων - τόνων του γκρι, για περιοχή δοκιμής αεροφωτογραφίας με κωδικό IMG_3910.....	35
Εικόνα 8 Αποτελέσματα εφαρμογής δεικτών βλάστησης συνοδευόμενα με την κλίμακα των ραδιομετρικών τιμών εντάσεων - τόνων του γκρι, για περιοχή δοκιμής αεροφωτογραφίας με κωδικό IMG_3910.....	36
Εικόνα 9 Αποτελέσματα εφαρμογής δεικτών βλάστησης συνοδευόμενα με την κλίμακα των ραδιομετρικών τιμών εντάσεων - τόνων του γκρι, για περιοχή δοκιμής αεροφωτογραφίας με κωδικό IMG_3956.....	37

Εικόνα 10 Αποτελέσματα εφαρμογής δεικτών βλάστησης συνοδευόμενα με την κλίμακα των ραδιομετρικών τιμών εντάσεων - τόνων του γκρι, για περιοχή δοκιμής αεροφωτογραφίας με κωδικό IMG_3964	38
Εικόνα 11 Αποτελέσματα εφαρμογής δεικτών βλάστησης συνοδευόμενα με την κλίμακα των ραδιομετρικών τιμών εντάσεων - τόνων του γκρι, για περιοχή δοκιμής αεροφωτογραφίας με κωδικό IMG_3984	39
Εικόνα 12 Αποτελέσματα εφαρμογής δεικτών βλάστησης συνοδευόμενα με την κλίμακα των ραδιομετρικών τιμών εντάσεων - τόνων του γκρι, για περιπτώσεις χαρακτηριστικής διαφοροποίησης δεικτών ExR και CIVE, περιοχών που περιέχουν κομμάτι στεριάς. Πρώτη σειρά: α/φ με κωδικό IMG_3914, Δεύτερη σειρά: α/φ με κωδικό IMG_3992, Τρίτη σειρά: α/φ με κωδικό IMG_3993.	41
Εικόνα 13 Αποτελέσματα δοκιμών μερικής χρήσης κανονικοποιημένων τιμών καναλιών στην εξίσωση του δείκτη ExG, στις περιοχές δοκιμών. Πρώτη στήλη: κανονικοποιημένη τιμή μπλε. Δεύτερη στήλη: κανονικοποιημένη τιμή κόκκινου. Τρίτη στήλη: κανονικοποιημένη τιμή μπλε και κόκκινου. Τέταρτη στήλη: δείκτης ExG όπως ορίζεται στην βιβλιογραφία (εικόνα αναφοράς). Ο αναγραφόμενος αριθμός στην περιγραφή της εκάστοτε εικόνα αντιστοιχεί στην εξίσωση που την περιγράφει στον πίνακα 2.	46
Εικόνα 14 Αποτελέσματα μη επιτυχούς εφαρμογής, για την περιοχή δοκιμής IMG 3910, του δείκτη ExG με χρήση κανονικοποιημένων τιμών για τις μεταβλητές κόκκινου και μπλε χρώματος, παράλληλα με μεταβαλλόμενη σταθερά μεταβλητής πράσινου χρώματος βήματος 0.1 στο εύρος τιμών 2 έως 3. Ο αναγραφόμενος αριθμός στην περιγραφή της εκάστοτε εικόνα αντιστοιχεί στην εξίσωση που την περιγράφει στον πίνακα 2.	47
Εικόνα 15 Αποτελέσματα εφαρμογής, για την περιοχή δοκιμής IMG 3910, του δείκτη ExG με χρήση κανονικοποιημένων τιμών για τις μεταβλητές κόκκινου και μπλε χρώματος, παράλληλα με μεταβαλλόμενη σταθερά μεταβλητής πράσινου χρώματος βήματος 0.1 στο εύρος τιμών 1 έως 2. Ο αναγραφόμενος αριθμός στην περιγραφή της εκάστοτε εικόνα αντιστοιχεί στην εξίσωση που την περιγράφει στον πίνακα 2.	48
Εικόνα 16 Αποτελέσματα εφαρμογής, για την περιοχή δοκιμής IMG 3984, του δείκτη ExG με χρήση κανονικοποιημένων τιμών για τις μεταβλητές κόκκινου και μπλε χρώματος, παράλληλα με μεταβαλλόμενη σταθερά μεταβλητής πράσινου χρώματος	

βήματος 0.1 στο εύρος τιμών 1 έως 2. Ο αναγραφόμενος αριθμός στην περιγραφή της εκάστοτε εικόνα αντιστοιχεί στην εξίσωση που την περιγράφει στον πίνακα 2.....	49
Εικόνα 17 Οπτικά Αποτελέσματα και ιστογράμματα κατανομής των δοκιμών μερικής χρήσης κανονικοποιημένων τιμών στην μεταβλητή του πράσινου της εξίσωσης του δείκτη ExR, στις εικόνες IMG 3914, IMG 3984 και IMG 3992. Σε κάθε γραμμή οι πρώτες δύο (2) στήλες αφορούν τα αποτελέσματα δοκιμής κανονικοποίησης της πράσινης μεταβλητής και οι δύο (2) τελευταίες τα αποτελέσματα από την εφαρμογή του δείκτη όπως ορίζεται στην βιβλιογραφία με συντελεστή κόκκινου 1.3. Ο αναγραφόμενος αριθμός στην περιγραφή της εκάστοτε εικόνα αντιστοιχεί στην εξίσωση που την περιγράφει στον πίνακα 3.	52
Εικόνα 18 Αποτελέσματα εφαρμογής, για την περιοχή δοκιμής IMG 3992, του δείκτη ModExR, όπως ορίστηκε απ' την τροποποίηση 1 ^η κατηγορία με μεταβαλλόμενη σταθερά μεταβλητής πράσινου χρώματος βήματος 0.1 στο εύρος τιμών 1 έως 2. Ο αναγραφόμενος αριθμός στην περιγραφή της εκάστοτε εικόνα αντιστοιχεί στην εξίσωση που την περιγράφει στον πίνακα 3.	53
Εικόνα 19 Ιστογράμματα κατανομής ραδιομετρικής έντασης του δείκτη ModExR, με μεταβαλλόμενη σταθερά, βήματος 0.1, του κόκκινου χρώματος. Ο αναγραφόμενος αριθμός στην περιγραφή της εκάστοτε εικόνα αντιστοιχεί στην εξίσωση που την περιγράφει στον πίνακα 3.	54
Εικόνα 20 Δημιουργία τομής σε μία περιοχή ενδιαφέροντος και διάγραμμα αυτής, όπως εμφανίζεται στην περιοχή δοκιμής της εικόνας IMG 3910 , μετά την εφαρμογή του τροποποιημένου Excess of Green, με σκοπό την καταλληλότερη τιμή κατωφλίσωσης. .	57
Εικόνα 21 Παρουσίαση ιστογράμματος κατανομής των ραδιομετρικών τιμών έντασης όπως εμφανίζεται στην περιοχή δοκιμής της εικόνας IMG 3910 , μετά την εφαρμογή του τροποποιημένου Excess of Green, με σκοπό τον εντοπισμό του σημείου που αντιπροσωπεύει την βέλτιστη τιμή κατωφλιού.	57
Εικόνα 22 Σχεδιάγραμμα του Α μέρους της διαδικασίας δημιουργίας ημι αυτόματης μεθόδου με σκοπό την πρόταση των βέλτιστων τιμών κατωφλίσωσης στον χειριστή. ...	59
Εικόνα 23 Σχεδιάγραμμα του Β μέρους της διαδικασίας δημιουργίας ημι αυτόματης μεθόδου με σκοπό την πρόταση των βέλτιστων τιμών κατωφλίσωσης στον χειριστή. ...	60

Εικόνα 24 Αποτέλεσμα τελικής βέλτιστης τιμής κατωφλίωσης 0.025 επί της εικόνας κωδικού IMG 3992.	65
Εικόνα 25 Αποτελέσματα επαναληπτικής διαδικασίας κατωφλίωσης με μεταβαλλόμενη τιμή, βήματος 0.05 στο διάστημα τιμών 0.02 έως 0.1, επί της εικόνας κωδικού IMG 3992. Ο αναγραφόμενος αριθμός στην περιγραφή της εκάστοτε εικόνα αντιστοιχεί στην εξίσωση που την περιγράφει στον πίνακα 3.	66
Εικόνα 26 Ενδιάμεσα (πρώτη σειρά: 3 εικόνες, δεύτερη σειρά: 2 πρώτες εικόνες) και τελικό αποτέλεσμα (δεύτερη σειρά: 3 ^η εικόνα) εφαρμογής χαμηλού φίλτρου προσπέλασης Gauss, για δημιουργία μάσκας αποκοπής περιοχών υποβρύχιας βλάστησης από την αρχική εικόνα, όπου παράγοντες Gaussian φίλτρου είναι, σ: τυπική απόκλιση, c: μέση τιμή.....	68
Εικόνα 27 Ενδιάμεσα (πρώτη σειρά: 4 εικόνες, δεύτερη σειρά: 2 πρώτες εικόνες) και τελικό αποτέλεσμα (δεύτερη σειρά: 3 ^η εικόνα) εφαρμογής χαμηλού φίλτρου προσπέλασης Gauss, για δημιουργία μάσκας ανάδειξης της ακτογραμμής από την αρχική εικόνα, όπου παράγοντες Gaussian φίλτρου είναι, σ: τυπική απόκλιση, c: μέση τιμή ...	69
Εικόνα 28 Αποτέλεσμα πυκνού νέφους σημείων ολόκληρου του μπλοκ περιοχής μελέτης (α), αποτέλεσμα μετατροπής δεδομένων LiDAR σε μορφή πυκνού νέφους σημείων ολόκληρης της περιοχής μελέτης.....	71
Εικόνα 29 Αποτελέσματα πυκνών νεφών σημείων: περιοχή μελέτης με εφαρμογή масκών για απομάκρυνση υποβρύχιας βλάστησης (γ), περιοχή μελέτης με εφαρμογή масκών για ανάδειξη ακτογραμμής (δ).	72
Εικόνα 30 Δημιουργία ορθομοσαϊκού της περιοχής μελέτης από το πυκνό νέφος σημείων χωρίς εφαρμογή масκών.	73
Εικόνα 31 Αποτέλεσμα σύγκρισης νέφους σημείων ολόκληρου του μπλοκ της περιοχής με το νέφος σημείων ολόκληρου του μπλοκ με εφαρμογή масκών για αποκοπή των περιοχών υποβρύχιας βλάστησης (αριστερά) και το αντίστοιχο ιστόγραμμα κατανομής Gauss (δεξιά).	75
Εικόνα 32 Αποτέλεσμα σύγκρισης νέφους σημείων ολόκληρου του μπλοκ της περιοχής με το νέφος σημείων των δεδομένων αναφοράς LiDAR (αριστερά) και το αντίστοιχο ιστόγραμμα κατανομής Gauss (δεξιά).	76

Εικόνα 33 Αποτέλεσμα σύγκρισης νέφους σημείων ολόκληρου του μπλοκ της περιοχής, μασκαρισμένων των περιοχών υποβρύχιας βλάστησης, με το νέφος σημείων των δεδομένων αναφοράς LiDAR (αριστερά) και το αντίστοιχο ιστόγραμμα κατανομής Gauss (δεξιά).	76
Εικόνα 34 Παρουσίαση ιστογραμμάτων συγκέντρωσης αποκλίσεων στις δημιουργημένες κλάσεις από τα παραγόμενα νέφη σύγκρισης. Ιστόγραμμα από την σύγκριση LiDAR με μπλοκ εικόνων με μάσκες υποβρύχιας βλάστησης (αριστερά), ιστόγραμμα από την σύγκριση LiDAR με μπλοκ εικόνων χωρίς μάσκες υποβρύχιας βλάστησης (δεξιά).....	77
Εικόνα 35 Σύνολο τομών που υλοποιήθηκαν κατά πλάτος (α), και κατά μήκος (β) της περιοχής για την οπτικοποίηση του αποτελέσματος σύγκρισης περί ανακατασκευής του πυθμένα με την εφαρμογή μασκών για περιοχές υποβρύχιας βλάστησης.	78
Εικόνα 36 Πλάγια όψη «Section 1» που εκτείνεται κατά πλάτος, συνολική πλάγια όψη τομής (α), επιμέρους κομμάτι όψης (β), που προσδιορίζεται και στο διάγραμμα (α) με το μαύρο ορθογώνιο, για καλύτερη παρατήρηση της απόκλισης των εικόνων του μπλοκ με, ή χωρίς, μάσκα από τα δεδομένα αναφοράς και την μη ουσιαστική επίδραση της μάσκας στην 3D ανακατασκευή του πυθμένα.....	79
Εικόνα 37 Πλάγια όψη «Section 2» που εκτείνεται κατά πλάτος, συνολική πλάγια όψη τομής (α), επιμέρους κομμάτι όψης (β), που προσδιορίζεται και στο διάγραμμα (α) με το μαύρο ορθογώνιο, για καλύτερη παρατήρηση της απόκλισης των εικόνων του μπλοκ με, ή χωρίς, μάσκα από τα δεδομένα αναφοράς και την μη ουσιαστική επίδραση της μάσκας στην 3D ανακατασκευή του πυθμένα.....	80
Εικόνα 38 Πλάγια όψη «Section 3» που εκτείνεται κατά πλάτος, συνολική πλάγια όψη τομής (α), επιμέρους κομμάτια όψης (β), (γ), που προσδιορίζονται και στο διάγραμμα (α) με μαύρα ορθογώνια, για καλύτερη παρατήρηση της απόκλισης των εικόνων του μπλοκ με, ή χωρίς, μάσκα από τα δεδομένα αναφοράς και την παρατήρηση οποιωνδήποτε μειονεκτημάτων από τα εκάστοτε νέφη.....	82
Εικόνα 39 Πλάγια όψη «Section 4» που εκτείνεται κατά μήκος της περιοχής μελέτης.	83
Εικόνα 40 Πλάγια όψη «Section 5» που εκτείνεται κατά μήκος της περιοχής μελέτης.	83

Εικόνα 41 Αποτέλεσμα σύγκρισης νέφους σημείων ολόκληρου του μπλοκ της περιοχής, χωρίς εφαρμογή μασκών για ανάδειξη ακτογραμμής, με το νέφος σημείων των δεδομένων LiDAR ως αναφορά (αριστερά) και το αντίστοιχο ιστόγραμμα κατανομής Gauss (δεξιά).	86
Εικόνα 42 Αποτέλεσμα σύγκρισης νέφους σημείων ολόκληρου του μπλοκ της περιοχής, με εφαρμογή μασκών για ανάδειξη ακτογραμμής, με το νέφος σημείων των δεδομένων LiDAR ως αναφορά (αριστερά) και το αντίστοιχο ιστόγραμμα κατανομής Gauss (δεξιά).	86
Εικόνα 43 Αποτέλεσμα σύγκρισης νέφους σημείων ολόκληρου του μπλοκ της περιοχής με τις μάσκες ανάδειξης ακτογραμμής με το νέφος σημείων όπου δεν εφαρμόστηκαν ως νέφος αναφοράς (αριστερά) και το αντίστοιχο ιστόγραμμα κατανομής Gauss (δεξιά).	87
Εικόνα 44 Σύνολο τομών που υλοποιήθηκαν κατά μήκος της ακτογραμμής για την οπτικοποίηση του αποτελέσματος σύγκρισης περί προσέγγισης της ακτογραμμής, όπως προσδιορίζεται από δεδομένα LiDAR, με την επίδραση της παρουσίας ή απουσίας της θάλασσας.	88
Εικόνα 45 Πλάγια όψη «Section 1» που εκτείνεται κατά μήκος της ακτογραμμής (α), επιμέρους κομμάτι όψης (β), που προσδιορίζεται και στο διάγραμμα (α) με μαύρο ορθογώνιο, για καλύτερη παρατήρηση της απόκλισης των εικόνων του μπλοκ με, ή χωρίς, μάσκα από τα δεδομένα αναφοράς.	89
Εικόνα 47 Πλάγια όψη «Section 3» που εκτείνεται κατά μήκος της ακτογραμμής.	90
Εικόνα 46 Πλάγια όψη «Section 2» που εκτείνεται κατά μήκος της ακτογραμμής.	90
Εικόνα 48 Πλάγια όψη «Section 4» που εκτείνεται κατά μήκος της ακτογραμμής (α), επιμέρους κομμάτι όψης (β), που προσδιορίζεται και στο διάγραμμα (α) με μαύρο ορθογώνιο, για καλύτερη παρατήρηση της απόκλισης των εικόνων του μπλοκ με, ή χωρίς, μάσκα από τα δεδομένα αναφοράς.	91
Εικόνα 49 Πλάγια όψη «Section 5» που εκτείνεται κατά μήκος της ακτογραμμής.	92
Εικόνα 50 Πλάγια όψη «Section 6» που εκτείνεται κατά μήκος της ακτογραμμής (α), επιμέρους κομμάτι όψης (β), που προσδιορίζεται και στο διάγραμμα (α) με μαύρο ορθογώνιο, για καλύτερη παρατήρηση της απόκλισης των εικόνων του μπλοκ με, ή χωρίς, μάσκα από τα δεδομένα αναφοράς.	92

Εικόνα 51 Καθορισμός διάστασης εικονοστοιχείων Ορθομωσαϊκού.....	95
Εικόνα 52 Σύνθεση ορθομωσαϊκού με απομάκρυνση των περιοχών υποβρύχιας βλάστησης.....	96
Εικόνα 53 Στιγμιότυπο από το αποτέλεσμα υπολογισμού ολικής έκτασης περιοχών φυκιών στο περιβάλλον της MatLAB.....	97
Εικόνα 54 Διακύμανση απόκλισης υψομέτρων από υπερεκτίμηση στην περίπτωση του μπλοκ χωρίς την εφαρμογή масκών για ανάδειξη της ακτογραμμής και απομάκρυνσης της θάλασσας (αριστερά). Διακύμανση απόκλισης υψομέτρων από υπερεκτίμηση στην περίπτωση του μπλοκ με εφαρμογή масκών για ανάδειξη ακτογραμμής και απομάκρυνσης θάλασσας(δεξιά).	103

ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

E.E:	Ευρωπαϊκή Ένωση
3D :	3 Dimension
ΤΕΠΙΑΚ.:	Τεχνολογικό Πανεπιστήμιο Κύπρου
ALB:	Airborne Lidar Bathymetry
CCD:	Charged Coupling Device
CMOS:	Complementary Metal Oxide Semiconductor
cm:	centimeters
DSM:	Digital Surface Model
GPS:	Global Positioning System
HIS:	Hue, Intensity, Saturation
IHO:	International Hydrographic Organization
IMG:	Image
LiDAR:	Light Detection And Ranging
mm:	millimeters
NBB:	Normalized Blue Band
NGB:	Normalized Green Band
NRB:	Normalized Red Band
nm:	nanometers
RGB:	Red, Green, Blue
RMS:	Root Mean Square
SFM-MVS:	Structure From Motion-Multi View Stereo
SONAR:	Sound Navigation Ranging
UAV:	Unmanned Aerial Vehicle

ΑΠΟΔΟΣΗ ΟΡΩΝ

Bimodal distribution:	Διτροπική κατανομή
Enhanced Virtual Reality:	Ενισχυμένη εικονική πραγματικότητα
Grayscale:	Κλίμακας Γκρι
Machine learning:	Εκπαίδευση λογισμικού
Pixels:	Εικονοστοιχεία
Posidonia Oceanica:	Ποσειδωνία η ωκεάνιος
Sea-truth:	Πραγματικές συντεταγμένες επι του πυθμένα
Smart agriculture:	Έξυπνη γεωργία
Smoothing:	Λείανση
Thresholding:	Κατωφλίωση
True color:	Χρώματα του ορατού φάσματος
Wave pattern:	Μοτίβο κυματισμού
Waveform-stacking:	Κυματοειδής συσσώρευση

1 Εισαγωγή

1.1 Σημασία Βαθυμετρίας, Βυθομετρικής Αποτύπωσης

Η ανάγκη χαρτογράφησης και αποτύπωσης των φυσικών και ανθρωπογενών χαρακτηριστικών του χώρου, όπως έχει αναπτυχθεί τις τελευταίες δεκαετίες σε πολλά άρθρα, τοπογραφικού και περιβαλλοντικού ενδιαφέροντος, δεν περιορίζεται μόνο στο χερσαίο περιβάλλον. Αντιθέτως, επεκτείνεται ισάξια και στο θαλάσσιο περιβάλλον αφού η έγκυρη και ακριβής γνώση της βαθυμετρίας και των βυθομετρικών χαρακτηριστικών υδάτινων περιοχών ενδιαφέροντος, είναι μείζονος σημασίας για το φυσικό περιβάλλον αλλά και των ανθρωπογενών δραστηριοτήτων.

1.1.1 Φυσικό Περιβάλλον και η Έννοια της Βαθυμετρίας, Βυθομετρίας

Επιστημονικά άρθρα και στατιστικές μελέτες έχουν επιδείξει, πως οι επιδράσεις από το φαινόμενο της κλιματικής αλλαγής είναι έντονες και συνεχώς αυξανόμενες, με αποτέλεσμα να γίνονται αντιληπτές από το ευρύ κοινό. Η οπτικοποίηση και ποσοτικοποίηση της υπάρχουσας κατάστασης και των πιθανών μεταβολών αυτής, είναι εξαιρετικής σημασίας αφενός για την έγκυρη ενημέρωση της επιστημονικής, ή και μη κοινότητας, αλλά και για την λήψη έγκαιρων μέτρων προστασίας και αντιμετώπισης.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα όπου η αποτύπωση του χώρου, οριζοντιογραφικά και υψομετρικά, είναι εξαιρετικά χρήσιμο εργαλείο αποτελεί: η χαρτογράφηση-παρακολούθηση της ακτογραμμής λόγω μεταβολής της μέσης στάθμης της θάλασσας καθώς και η χαρτογράφηση-παρακολούθηση διάφορων ειδών χλωρίδας και πανίδας, είτε απαντώνται στο χερσαίο ή υποβρύχιο περιβάλλον, που λόγω της κλιματικής αλλαγής αλλά και της ανθρώπινης δραστηριότητας απειλούνται με εξαφάνιση.

Όσο αφορά το τελευταίο, στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας θα διερευνηθεί σε ξεχωριστό κεφάλαιο της μεθοδολογίας η παρακολούθηση της υποβρύχιας βλάστησης. Το είδος Ποσειδωνίας η οκεάνιος (*Posidonia Oceanica*), ή αλλιώς Ποσειδωνίας, αποτελεί την κύρια υποβρύχια βλάστηση της Μεσογείου, ενώ όπως αναφέρεται σε σχετικό άρθρο «Τα υποθαλάσσια λιβάδια Ποσειδωνίας θεωρούνται ότι είναι από τα πιο παραγωγικά οικοσυστήματα. Υποστηρίζουν ποικίλη χλωρίδα και πανίδα και προσφέρουν καταφύγιο και αναπαραγωγικούς χώρους πολλών θαλάσσιων οργανισμών» (Fornes et al. 2006). Οι κα-

ταγεγραμμένες εκτεταμένες απώλειες στην Μεσόγειο που οφείλονται σε ανθρώπινη δραστηριότητα επηρεάζουν την ποιότητα των υδάτων, ιζημάτων και άλλες περιβαλλοντικές μεταβολές, θέτοντας σε κίνδυνο πολλούς θαλάσσιους οργανισμούς. Προγράμματα διατήρησης της θαλάσσιας βλάστησης καθώς και στρατηγικών διαχείρισης παράκτιων περιοχών, επιβεβαιώνουν την ιδιαίτερη σημασία χαρτογράφησης του είδους *Posidonia oceanica*. Γι' αυτό στο πλαίσιο διαφύλαξης της θαλάσσιας ζωής η *Posidonia oceanica* εντάχθηκε στο δίκτυο Natura 2000 της Ε.Ε και αποτελεί αντικείμενο συνεχούς έρευνας. (Fornes et al. 2006).

Επομένως, το πως οι σύγχρονοι, προσιτοί φωτογραμμετρικοί μέθοδοι μπορούν να αξιοποιήσουν χρονοσειρές δεδομένων και να συνεισφέρουν στην παρακολούθηση ειδών υπό προστασία όπως της *Posidonia Oceanica*, αποτελεί ένα επίκαιρο και ενδιαφέρον θέμα προς διερεύνηση.

1.1.2 Ανθρωπογενή Δραστηριότητα και η Έννοια της Βαθυμετρίας, Βυθομετρίας

Η βαθυμετρική υποστήριξη ανθρωπογενών δραστηριοτήτων είναι αναγκαία και απαραίτητη όπως: στη ναυτιλία, το εμπόριο, τη βυθοκόρηση, την μελέτη οριοθέτησης και πόνησης αγωγών και καλωδίων, ίδρυσης πλωτών πλατφόρμων εξόρυξης ή ακόμα και αξιολόγηση παράκτιων κινδύνων. Χαρακτηριστικό παράδειγμα ανάγκης βυθοκόρησης και τακτικής παρακολούθησης παράκτιων περιοχών ή περιοχών περιορισμένου βάθους, αποτελούν χώρες όπως η Γερμανία και Ολλανδία, όπου φυσικοί σχηματισμοί που βρίσκονται στον πυθμένα λιμνών ή ποταμών τους, ανυψώνονται συγκριτικά με το γύρω περιβάλλον και η μορφή τους ποικίλλει λόγω των διαφορετικών επιπέδων έντασης θαλάσσιων ρευμάτων και της σύστασης του πυθμένα (άμμος, χαλίκι). (Alpers, W. 2004).

1.1.3 Πολιτιστική Κληρονομιά και η Έννοια της Βαθυμετρίας, Βυθομετρίας

Όσο αφορά την διατήρηση, ανάδειξη και μελέτη υποβρύχιων περιοχών πολιτιστικής κληρονομιάς, όπως ναυάγια, βυθισμένα ερείπια αρχαίων πόλεων ή ακόμα μνημεία χαμένων πολιτισμών, η γνώση της οριζοντιογραφική μορφής του βυθού και η έγκυρη, υψηλής ακρίβειας, βαθυμετρία είναι ένα σημαντικό εργαλείο. Χωρίς την γνώση αυτή δεν είναι εφικτή η σωστή χωροθέτηση των υποβρύχιων περιοχών ενδιαφέροντος και κατ' επέκταση ούτε η προστασία τους από ανθρωπογενείς ή φυσικούς παράγοντες. Η έλλειψη της

οριζοντιογραφικής και βαθομετρικής γνώσης κάνει αδύνατη την τρισδιάστατη απεικόνιση τους ή ακόμα και την δημιουργία προγραμμάτων-εφαρμογών ενισχυμένης εικονικής πραγματικότητας (Enhanced Virtual Reality) για ανάδειξη τους στο ευρύ κοινό. Ο συνδυασμός προϊόντων 3D αποτύπωσης υποβρύχιων χώρων πολιτιστικής κληρονομιάς με την τεχνολογία της ενισχυμένης εικονικής πραγματικότητας, κάνει εφικτή την πρόσβαση του κοινού σε χώρους που προηγουμένως δεν ήταν δυνατή ή ήταν περιορισμένη μόνο σε όσους είχαν την δυνατότητα κατάδυσης. ("i-MareCulture – H2020 funded EU research and innovation project" 2018)

Συμπεραίνεται, πως η ανάγκη έγκυρης και ακριβής γνώσης της βαθυμετρίας, βυθομετρίας του θαλάσσιου περιβάλλοντος είναι εξίσου σημαντική με την γνώση της υψομετρίας στην ενδοχώρα. Η συνεχής εξέλιξη των εναέριων τηλεπισκοπικών μεθόδων, έχει οδηγήσει στην παραγωγή αρκετά ικανοποιητικών προϊόντων. Δύο από τις κύριες μεθόδους που χρησιμοποιούνται είναι: η εναέρια φωτοβαθυμετρία με την χρήση μη επανδρωμένων αεροσκαφών και η βαθυμετρία με αερομεταφερόμενο σύστημα LiDAR (ALB). Ωστόσο, η τελευταία έχει καθιερωθεί για την υπερίσχυση της στην ακρίβεια και ποιότητα των προϊόντων, παραγκωνίζοντας την φωτογραμμετρική μέθοδο. Έτσι, δημιουργείται ένα ενδιαφέρον θέμα προς διερεύνηση, το οποίο και πραγματεύεται η παρούσα εργασία, κατά πόσο η μέθοδος της εναέριας φωτοβαθυμετρίας με χρήση true color καμερών και μη επανδρωμένων αεροσκαφών με κάποιες διορθώσεις, όπως τον εντοπισμό και απομάκρυνση της υποβρύχιας βλάστησης θα μπορούσε να ανταγωνιστεί το προϊόν της 3D ανακατασκευής του πυθμένα, που προσφέρει η βαθυμετρία με αερομεταφερόμενο LiDAR. Στο ίδιο πλαίσιο, εξετάζεται αν ο προσδιορισμός της ακτογραμμής με εναέρια Φωτογραμμετρία μπορεί να ανταγωνιστεί το αντίστοιχο προϊόν από LiDAR και κατά πόσο σημαντική είναι η επίδραση παρουσίας, ή όχι, της θάλασσας στην συγκεκριμένη φωτογραμμετρική μέθοδο. Ενώ παράλληλα, προτείνεται μέθοδος υπολογισμού των εκτάσεων υποβρύχιας βλάστησης σε ορθομωσαϊκό ως υποπροϊόν του εντοπισμού που πραγματοποιήθηκε προηγουμένως.

1.2 Εξέλιξη τεχνολογίας, ρόλος φωτογραμμετρίας και τεχνολογίας LiDAR

Τόσο η φωτογραμμετρία όσο και τα συστήματα LiDAR αποτελούν τεχνολογίες τηλεπισκόπησης, αφού γίνεται εξ αποστάσεως παρατήρηση κι μέτρηση περιοχών ενδιαφέροντος. Επομένως, θεωρείται παραπάνω από απαραίτητο να διευκρινισθεί όπως ισχύει και στις υπόλοιπες μορφές της τηλεπισκόπησης, πως οι τεχνολογίες αυτές δεν στοχεύουν στην πλήρη αντικατάσταση μεθόδων επι τόπιας έρευνας στην ύπαιθρο. Αντίθετα, στοχεύουν στην συμπλήρωση των παραδοσιακών τεχνικών έτσι, ώστε να διευρυνθούν χωρικά τα πλαίσια εφαρμογής τους, να επιτευχθεί γρηγορότερη ανάλυση και να υπάρξει η δυνατότητα απόκτησης μεγαλύτερου, και πραγματικού χρόνου, δείγματος παρατηρήσεων. (Gilvear et al. 2016)

1.3 Φωτογραμμετρία με χρήση UAV

Η κλασσική φωτογραμμετρία, αλλά και η ψηφιακή αναλυτική φωτογραμμετρία σε συνδυασμό με την εξέλιξη της τεχνολογίας και με τον εκσυγχρονισμό των οργάνων τους, κάνει δυνατή την παραγωγή τοπογραφικών, και όχι μόνο, προϊόντων σε περιοχές που λίγα χρόνια πριν θεωρούνταν είτε απρόσιτες, πολύ υψηλού κόστους ή χρόνου επεξεργασίας και με την επίτευξη υψηλής ποιότητας ακρίβειας των τελικών αποτελεσμάτων.

Οι εφαρμογές της εναέριας, με μη επανδρωμένα σκάφη, φωτογραμμετρίας στο χερσαίο κομμάτι είναι εκτενείς, υπάρχουν πολλές δημοσιεύσεις σχετικά με την αποδοτικότητα της προκειμένης τεχνολογίας σε τομείς όπως: της 3D αποτύπωσης περιοχών ενδιαφέροντος, ανίχνευσης-παρακολούθησης πολιτιστικής κληρονομιάς (Skarlatos 2015), (Georgopoulos and Agrafiotis 2012), έξυπνης γεωργίας (E. Meyer and Camargo Neto 2008), παρακολούθηση της δραστηριότητας φυσικών σχηματισμών όπως της ακτογραμμής (Fryer, John.1983)., παρακολούθηση μικροοργανισμών (Ventura et al. 2018), καθώς και διάφορων μεθόδων βελτιστοποίησης ακρίβειας αποτελεσμάτων-προϊόντων (Panagiotis et al. 2018) , (Skarlatos and Agrafiotis 2018), (Dietrich, J. T. 2017). Η επέκταση της τεχνολογίας αυτής στο παράκτιο και θαλάσσιο περιβάλλον, όπου εστιάζει και η παρούσα μελέτη επι της ουσίας είναι Φωτογραμμετρία δύο μέσων (ατμόσφαιρας-νερού), Φωτογραμμετρική Βαθυμετρία ή αλλιώς Φωτοβαθυμετρία.

1.3.1 Φωτοβαθυμετρία

«Η Φωτοβαθυμετρία ασχολείται με τον υπολογισμό του βάθους σε καθαρά, ρηχά νερά από στερεοσκοπικά ζεύγη φωτογραφιών» (Guenther, G. 2004). Ωστόσο, από τις βασικές αρχές της Φωτογραμμετρίας περί χρωματικού τόνου και υφής γίνεται κατανοητό, πως η επίτευξη ανάλυσης του βάθους προϋποθέτει τα διάφορα χαρακτηριστικά του βυθού να είναι οπτικά διακριτά, είτε για τον χειριστή, αν πρόκειται για μη ή ημι-αυτόματη διαδικασία, είτε για το λογισμικό, αν πρόκειται για πλήρως αυτοματοποιημένη διαδικασία. Φυσικά, λόγω της ομοιόμορφης φύσης της επιφάνειας του πυθμένα, η πλήρης αυτοματοποίηση παραμένει μόνο θεωρητική, παρά την ύπαρξη και προσπάθεια ανάπτυξης σχετικών τεχνολογιών. (Guenther, G. 2004)

Λόγω της δυναμικότητας του θαλάσσιου περιβάλλοντος και έλλειψης φυσικών φωτοσταθερών, κατά την λήψη αεροφωτογραφιών πρέπει να περιέχεται κομμάτι στεριάς ή κάποιου κατακόρυφου τεχνητού βαθμονομημένου αντικειμένου, για να μπορέσει να προσανατολιστεί σωστά η φωτογραφία. Επίσης, όπως ισχύει για την χερσαία εναέρια φωτογραμμετρία, η λήψη αεροφωτογραφιών πρέπει να πραγματοποιείται: όταν η γωνία του ήλιου είναι τέτοια, ώστε να υπάρχει επαρκής φωτισμός των περιοχών ενδιαφέροντος, αλλά να αποφεύγεται ταυτόχρονα, όσο το δυνατόν, το φαινόμενο της αντανάκλασης και όταν οι καιρικές συνθήκες πλησιάζουν τις ιδεατές, απουσία νεφών, νηνεμία. Γενικά, κάτω από ιδεατές συνθήκες η βαθυμετρία μέσω φωτογραμμετρίας δύο μέσων, μπορεί να φθάσει τα 25 μέτρα με φυσικές έγχρωμες (true color, RGB) φωτογραφίες. (Guenther, G. 2004)

1.3.2 Επεξεργασία και Ερμηνεία Ψηφιακής Εικόνας

Με σκοπό την παραγωγή φωτογραμμετρικών προϊόντων είναι απαραίτητη η επεξεργασία των δεδομένων, οι μέθοδοι επεξεργασίας ονομάζονται φωτογραμμετρικοί μέθοδοι και μπορούν να εφαρμοστούν είτε στο στάδιο συλλογής των δεδομένων, στην προ-επεξεργασία είτε στην ταξινόμηση των δεδομένων. Χρησιμοποιούνται κυρίως με σκοπό την αυτοματοποίηση σε ζητήματα προσανατολισμού, αναδόμησης επιφανειών ή ακόμα και βοηθητικών συστημάτων για οδηγούς. (Luhmann et al. 2020)

Επί της ουσίας, η επεξεργασία ψηφιακών εικόνων είναι ένα σύνολο μαθηματικών διαδικασιών που σκοπό έχουν την εξαγωγή, την τυποποίηση και την ερμηνεία της πληροφορίας του τόνου που περιέχουν οι ψηφιακές εικόνες. Όσο πιο πλούσια σε πληροφορία έντασης και μεγαλύτερης ανάλυσης είναι η εικόνα προς επεξεργασία, τόσο ανάλογη κλίμακα λεπτομέρειας μπορεί να επιτευχθεί. Πρόκειται για μία επαναληπτική διαδικασία, όπου τα αρχικά επιμέρους χαρακτηριστικά της είναι γενικής μορφής και στην συνέχεια εξειδικεύονται, περιέχοντας περισσότερους περιορισμούς - παραμέτρους, αν θεωρηθεί αναγκαίο και είναι εφικτό. Φυσικά, προκειμένου να προκύψει η βέλτιστη δυνατή εξαγωγή πληροφορίας, για παράδειγμα της υψής ή του σχήματος, χρειάζεται να οριστούν από τον μελετητή οι περιοχές ενδιαφέροντος, ώστε η επεξεργασία της εικόνας να επικεντρωθεί σε αυτές, εισάγοντας περισσότερους περιορισμούς προς όφελος του χρόνου επεξεργασίας και απλοποίηση της μετέπειτα διαδικασίας ταξινόμησης των περιοχών αυτών σε κατηγορίες, αναλόγως του θέματος της εκάστοτε μελέτης που πραγματοποιείται. (Mahani Abdullah and Nizam Yaakob 2017)

Ένα απλό και σύγχρονο παράδειγμα της έννοιας επεξεργασίας της εικόνας και της εφαρμογής της σε ζητήματα της κοινωνίας, είναι στην έξυπνη γεωργία (smart agriculture), όπου με αυτόν τον τρόπο μπορεί να επιτευχθεί η αναγνώριση των διάφορων ειδών βλάστησης, ο προσδιορισμός και παρακολούθηση των σταδίων ανάπτυξης των φυτών στις περιοχές μελέτης, η ανίχνευση διάφορων ασθενειών των φυτών καθώς και η ελεγχόμενη, άρα και μειωμένη, χρήση των ζιζανιοκτόνων και των λιπασμάτων. Όπως θα αναφερθεί σε επόμενες παραγράφους, σε σχετική βιβλιογραφία (Hamuda et al. 2016) έχουν αναπτυχθεί διάφοροι μέθοδοι ταξινόμησης για την αναγνώριση ύπαρξης-συγκέντρωσης ζιζανίων, που βασίζονται στην εφαρμογή χρωματικών δεικτών του χρωματικού μοντέλου RGB.

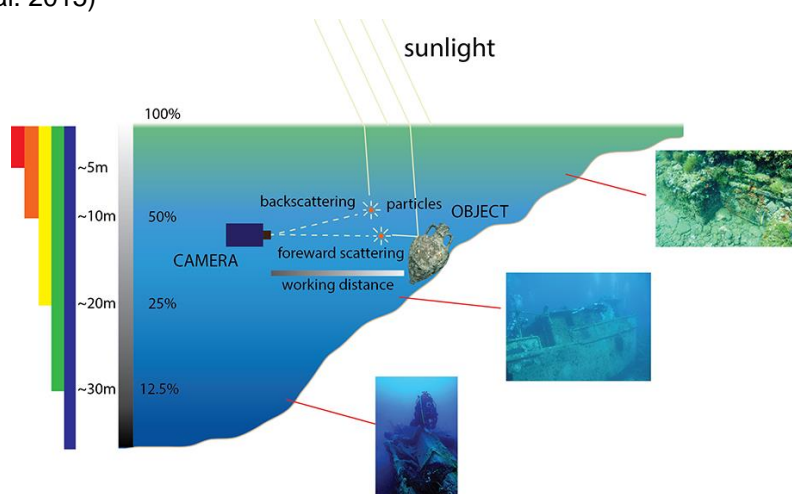
1.3.3 Χρωματικά Μοντέλα

Τα χρωματικά μοντέλα RGB και HIS αποτελούν, σύμφωνα με την βιβλιογραφία (Luhmann et al. 2020) τα δύο πιο σημαντικά. Η παρούσα εργασία επικεντρώνεται στην χρήση του RGB χρωματικού μοντέλου, όπου ορίζεται από ένα τρισδιάστατο καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων που ονομάζονται αντίστοιχα R,G,B. Η αρχή του συστήματος αυτού προσδιορίζεται από τις τιμές συντεταγμένων ίσες με το μηδέν (0) ($R=0, G=0, B=0$) που αντιστοιχεί στο μαύρο χρώμα, το πιο απομακρυσμένο σημείο με τις τιμές συντεταγμένων ίσες με την μονάδα (1) ($R=1, G=1, B=1$), ενώ τα ενδιάμεσα σημεία, με αντίστοιχες τιμές συντεταγμένων, αποτελούν ενδιάμεσες αποχρώσεις – διάφοροι τόνοι του γκρι.

1.3.4 Απορρόφηση Ηλεκτρομαγνητικής Ακτινοβολίας

Εφόσον η παρούσα εργασία χρησιμοποιεί δεδομένα true color και η περιοχή μελέτης περιέχει θαλάσσια έκταση, κρίνεται απαραίτητο να αναφερθεί η επίδραση της απορρόφησης της ακτινοβολίας του ορατού φάσματος όταν αυτή εισέρχεται στο νερό. Συγκεκριμένα, οι ακτινοβολίες που ανήκουν στα χαμηλότερα μήκους κύματα απορροφώνται πιο έντονα ανάλογα με την αύξηση του βάθους, ενώ παράλληλα πρέπει να ληφθεί υπόψιν ότι υφίσταται σκέδαση και απορρόφηση από διαλυμένα ή αιωρούμενα σωματίδια (αλάτι, μικροοργανισμοί). Ως αποτέλεσμα, όσο αυξάνεται το βάθος τόσο πιο πολύ επικρατούν οι «ψυχρές» αποχρώσεις, το οποίο μπορεί να γίνει εύκολα κατανοητό από την Εικόνα 1.

(Bianco et al. 2015)



Εικόνα 1 Αύξηση ποσοστού απορροφητικότητας ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας ανάλογα με το βάθος και άλλων συνθηκών που μπορούν να προκαλέσουν αλλοιώσεις χρώματος. (Bianco et al. 2015)

1.3.5 Σημασία Φωτοερμηνείας

Η παραγωγή ενός τελικού τοπογραφικού προϊόντος από αεροφωτογραφίες απαιτεί, τόσο λήψη ποιοτικών, όσο και ποσοτικών πληροφοριών της περιοχής μελέτης. Ο τομέας που ασχολείται με την λήψη ποιοτικής πληροφορίας ονομάζεται φωτοερμηνεία και αποτελεί κλάδο της φωτογραμμετρίας. Η ποιοτική πληροφορία σχετίζεται με την ικανότητα του φωτοερμηνευτή να ανιχνεύσει και να αναγνωρίσει φυσικά ή ανθρωπογενή χαρακτηριστικά, ακολουθώντας μία σειρά διαδικασιών ανάλυσης και ερμηνείας εικόνων (Περάκης et al. 2015). Φυσικά, λόγω της ανθρώπινης εμπλοκής στην παρατήρηση και ερμηνεία αυτών, γίνεται κατανοητό πως η μεθοδολογία τυποποίησης αντικειμένων βάσει φωτοερμηνευτικών χαρακτηριστικών παρουσιάζει προβλήματα. Λόγου χάριν, κατά την χρονική περίοδο λήψης αεροφωτογραφιών παράγοντες όπως: η θέση, το ύψος του ήλιου, η εποχή λήψης, το κλίμα ή ακόμα χαρακτηριστικά του ίδιου του αισθητήρα, όπως το φασματικό κανάλι στο οποίο καταγράφεται η πληροφορία, επηρεάζουν σημαντικά φωτοερμηνευτικά χαρακτηριστικά, όπως τον τόνο ο οποίος αποτελεί σημαντικό εργαλείο του φωτοερμηνευτή για την εξαγωγή ποιοτικής πληροφορίας. Δύο κύρια φωτοερμηνευτικά χαρακτηριστικά τα οποία χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία και αξίζει να αναπτυχθούν λίγο παραπάνω είναι ο τόνος καθώς και η υφή. (Μηλιαρέσης 2003)

Οι μετρητικές κάμερες χρησιμοποιούν ως πηγή ακτινοβολίας τον ήλιο και η απεικόνιση της υπό μελέτη περιοχής, γίνεται μέσω της καταγραφή της ανακλώμενης ακτινοβολίας από τα αντικείμενα-χαρακτηριστικά που εμπεριέχονται σε αυτή. Η εξάρτηση των μετρητικών καμερών από την πηγή ακτινοβολίας, τις κατατάσσει στους παθητικούς αισθητήρες των οπτικών συστημάτων (Παρχαρίδης 2015). Επίσης, από τις βασικές αρχές τηλεπισκόπησης, είναι κατανοητό πως κατά την διαδικασία λήψης αεροφωτογραφιών, περιβαλλοντικοί παράγοντες, όπως ο σχηματισμός νεφών ή η θέση της πηγής ακτινοβολίας (ήλιος), αλλά και φυσικά χαρακτηριστικά του υπό μελέτη αντικειμένου, όπως το χρώμα και η τραχύτητα της επιφάνειας, είναι μείζονος σημασίας. Ο τόνος επηρεάζεται άμεσα από τα παραπάνω, αφού η ανακλώμενη ποσότητα ηλιακής ακτινοβολίας ενός αντικειμένου που καταγράφεται κατά την διαδικασία της λήψης, προσδιορίζει την (σχετική) φωτεινότητα του στην αεροφωτογραφία. Αν η πηγή ακτινοβολίας δεν επαρκεί ή η ανακλαστικότητα της επιφάνειας του αντικειμένου είναι χαμηλή τότε δεν θα είναι εφικτή η ύ-

παρξη διαφορετικών τόνων και κατ' επέκταση θα είναι αδύνατη η διάκριση των σχημάτων, προτύπων ή και υφής των αντικειμένων. Η απεικόνιση ενός αντικειμένου προσδιορίζεται από την καταγραφή ενός συνόλου μικρών μονάδων, αδύνατον να διακριθούν αυτόνομα, που ονομάζονται pixels. Η εναλλαγή των τόνων και η διαφορετική θέση των αντικειμένων στον χώρο μιας αεροφωτογραφίας αποτελεί την υφή και έχει υψηλό βαθμό συνεισφοράς στην δυνατότητα διάκρισης αντικειμένων που έχουν τον ίδιο τόνο. Όπως αναφέρεται και στην βιβλιογραφία (Μηλιαρέσης 2003), για την τυποποίηση ενός αντικειμένου ακολουθείται μία σειρά διαδικασιών ανίχνευσης, διάκρισης και τέλος προσδιορισμού της ταυτότητας του αντικειμένου.

1.3.6 Κατωφλίωση και Χρήση Υψηλόσυχνων - Χαμηλόσυχνων Φίλτρων Προσπέλασης

Η δυνατότητα ερμηνείας της ψηφιακής φωτογραφίας με την εφαρμογή διάφορων τεχνικών αναγνώρισης-ανίχνευσης, περιοχών ενδιαφέροντος με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά, καθώς και ταξινόμησης αντικειμένων που εμπεριέχονται σε αυτές, αποτελεί ένα ενδιαφέρον θέμα προς διερεύνηση. Σε αρκετές δημοσιεύσεις με θέμα κυρίως στον τομέα της γεωργίας (Mahani Abdullah and Nizam Yaakob 2017), (Hamuda et al. 2016), (E. Meyer and Camargo Neto 2008), έχουν γίνει ενδιαφέρουσες προσεγγίσεις για μερική αυτοματοποίηση των συγκεκριμένων διαδικασιών, όπως επίσης έχουν υπάρξει και σε σχετικά άρθρα με την παρακολούθηση της υποβρύχιας βλάστησης σε περιορισμένα βάθη (Fornes et al. 2006), όχι όμως τόσο εκτεταμένα με την χρήση αεροφωτογραφιών από μη επανδρωμένα αεροσκάφη. Οι τεχνικές που δύναται να αναπτυχθούν για την ανίχνευση, ταξινόμηση, ποσοτικοποίηση περιοχών ενδιαφέροντος με χρήση αεροφωτογραφιών, όπως μπορεί να διαπιστωθεί από την παραπάνω βιβλιογραφία είναι ποικίλες, ωστόσο κοινός παρονομαστής όλων είναι το στάδιο όπου υλοποιείται ο προσδιορισμός κατωφλιού (thresholding) και το φιλτράρισμα χαμηλής ή υψηλής προσπέλασης, ανάλογα την μελέτη, των τηλεπισκοπικών δεδομένων. Ο προσδιορισμός κατωφλιού επί της ουσίας, αποτελεί το όριο για το οποίο το εκάστοτε λογισμικό, που χρησιμοποιείται για την επεξεργασία, αναγνωρίζει ως αντικείμενα ενδιαφέροντος, ή μη, τα διάφορα στοιχεία της εικόνας. Αξίζει να σημειωθεί, πως τα περισσότερα προαναφερθέντα άρθρα περί αυτοματοποίησης χρησιμοποιούν το επονομαζόμενο Otsu's threshold (Otsu 1979) το οποίο όπως αναφέρεται, πρόκειται για ένα βέλτιστο κατώφλι το οποίο επιλέγεται βάσει ενός κριτηρίου διάκρισης. Το κριτήριο αυτό, βασίζεται στην μεγιστοποίηση ενός μετρούμενου μεγέθους

«η», που αποτελεί μέτρο διαφοροποίησης των τάξεων-κατηγοριών του συνόλου των επιπέδων του γκρι. Ωστόσο, όπως θα αναπτυχθεί στην μεθοδολογία της συγκεκριμένης εργασίας, δεν εφαρμόστηκε το συγκεκριμένο Otsu's threshold, αλλά εμπειρικό κατώφλι.

Με το πέρας της διαδικασίας της κατωφλίωσης, στις περισσότερες περιπτώσεις κρίνεται αναγκαία η ραδιομετρική διόρθωση του αποτελέσματος για αποφυγή υποεκτίμησης ή υπερεκτίμησης των περιοχών ενδιαφέροντος. Αυτό υλοποιείται με την χρήση χωρικών φίλτρων, όπου όπως αναφέρεται από τους Περάκης et al. 2015, στο κεφάλαιο 8 περί φίλτρων, «αποτελεί μία τεχνική που πραγματοποιείται με την χρήση ενός ορθογωνίου πλαισίου παραθύρου το οποίο σαρώνει την εικόνα, οριζόντια. Συγχρόνως, σε κάθε θέση που βρίσκεται εκτελούνται προκαθορισμένοι υπολογισμοί βάσει των ραδιομετρικών τιμών των γειτονικών εικονοστοιχείων του καθορισμένου ως κεντρικού εικονοστοιχείου του πλαισίου-φίλτρου». Τα χωρικά φίλτρα διακρίνονται σε «χαμηλής προσπέλασης» και σε «υψηλής προσπέλασης» όξυνσης φίλτρα. Τα πρώτα μειώνουν τις έντονες χρωματικές αντιθέσεις στην ψηφιακή εικόνα, όπως για παράδειγμα το φίλτρο της μέσης τιμής και το φίλτρο Gauss. Ενώ, τα φίλτρα όξυνσης τονίζουν σύνολα από εικονοστοιχεία, τα οποία έχουν σημαντική ραδιομετρική διαφοροποίηση με γειτονικά τους.

Στο πλαίσιο της προκείμενης εργασίας, όπως θα αναφερθεί σε αντίστοιχη ενότητα της μεθοδολογίας, ήταν απαραίτητη η χρήση χωρικού φίλτρου «χαμηλής προσπέλασης». Ενώ αξίζει να επισημανθεί, πως το φίλτρο χαμηλής προσπέλασης Gauss όπως αναφέρεται και στις βασικές ιδιότητες του, «επιτυγχάνει μεγαλύτερο *smoothing* της εικόνας για μεγαλύτερη τιμή της τυπικής απόκλισης σ , ενώ παράλληλα τα βάρη που προσαρτώνται στο φίλτρο – πλαίσιο διατηρούν περισσότερο από άλλα φίλτρα τις ακμές των αντικειμένων στην εικόνα (μειώνουν το θόλωμα των ακμών)» (Περάκης et al. 2015).

1.4 Δείκτες Βλάστησης

Η παρούσα μελέτη επικεντρώνεται στους δείκτες βλάστησης που προκύπτουν απ' τα κανάλια του ορατού φάσματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας RGB. Το βασικό πλεονέκτημα χρήσης δεικτών χρώματος, είναι ότι δίνουν έμφαση σε ένα συγκεκριμένο χρώμα όπως το πράσινο του φυτού, το οποίο είναι γνώριμο στην ανθρώπινη όραση και απλοποιεί την κατανόηση του οπτικού αποτελέσματος, την σύγκριση που γίνεται από τον μελετητή ή ακόμα αν πρόκειται για την μέτρηση τη βιομάζας, την κάλυψη βλάστησης και την αξιολόγηση της κατάστασης αυτής (E. Meyer and Camargo Neto 2008). Ωστόσο,

η ύπαρξη φαινομένων όπως σκίασης, ανεπαρκή φωτισμού, έντονου φαινομένου ηλιακής αντανάκλασης ή κάποιου άλλου θορύβου, ο διαχωρισμός της βλάστησης είναι εξαιρετικά πολύπλοκος, πόσο μάλλον όταν πρόκειται για την βλάστηση του θαλάσσιου περιβάλλοντος (Mahani Abdullah and Nizam Yaakob 2017).

Σε πολλά επιστημονικά άρθρα έχουν προκύψει - χρησιμοποιηθεί πολλοί διαφορετικοί δείκτες βλάστησης για την χερσαία περιοχή, ανάλογα με την εκάστοτε μελέτη και τους στόχους αυτής. Στις επόμενες παραγράφους, γίνεται αναφορά σε επιλεγμένους δείκτες που συναντώνται στην βιβλιογραφία και των εξισώσεων τους που προκύπτουν απ' το ορατό φάσμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, όπου θα χρησιμοποιηθούν στην συνέχεια της εργασίας για τον εντοπισμό της υποβρύχιας βλάστησης.

Αξίζει να σημειωθεί, πως στην αντίστοιχη βιβλιογραφία για τον εκάστοτε δείκτη που θα αναφερθεί οι μεταβλητές R, G, B αποτελούν τις κανονικοποιημένες τιμές αυτών. Το βασικό πλεονέκτημα της χρήσης κανονικοποιημένων τιμών, όπως αναφέρεται σε βιβλιογραφία (Moore et al. 2016) είναι πως κάνει δυνατό τον αυτοματοποιημένο ποιοτικό έλεγχο των δεδομένων. Οι κανονικοποιημένες τιμές R, G, B υπολογίζονται με βάση τις παρακάτω εξισώσεις (Εξισώσεις 1-3) όπου red, green, blue είναι οι πραγματικές τιμές των εικονοστοιχείων κάθε φασματικού καναλιού και $red_{max} = green_{max} = blue_{max} = 255$, το οποίο αναφέρεται για μία εικόνα 24bit (Hamuda et al. 2016).

$$R' = red / red_{max} , G' = green / green_{max} , B' = blue / blue_{max}$$

$$Normalised\ Red\ Band\ (NRB) = \frac{R'}{(R' + G' + B')} \quad (1)$$

$$Normalised\ Green\ Band\ (NGB) = \frac{G'}{(R' + G' + B')} \quad (2)$$

$$Normalised\ Blue\ Band\ (NBB) = \frac{B'}{(R' + G' + B')} \quad (3)$$

1.4.1 Colour Index of Vegetation Extraction (CIVE)

Σε άλλη δημοσίευση των Kataoka et al. (2003) όπου η περιοχή μελέτης ήταν καλλιέργεια σόγιας και ζαχαροκάλαμου, προτάθηκε ο δείκτης CIVE για τον επιτυχή διαχωρισμό των φυτών από το έδαφος προκειμένου να αξιολογηθεί το στάδιο της ανάπτυξης τους. Συ-

γκρίνοντας τα αποτελέσματα του δείκτη με την φασματική ανάκλαση στο εγγύς υπέρυθρο των περιοχών ενδιαφέροντος, παρατηρήθηκε πως η ταξινόμηση που προκύπτει από τον CIVE είναι καλύτερης ποιότητας αφού προσφέρει μεγαλύτερη έμφαση στις πράσινες περιοχές (Hamuda et al. 2016).

$$CIVE = 0.441 \times R - 0.811 \times G + 0.385 \times B + 18.78745 \quad (4)$$

1.4.2 Excess of Green (ExG)

Ένας αρκετά διαδεδομένος δείκτης βλάστησης που χρησιμοποιείται στις περιπτώσεις όπου τα δεδομένα προκύπτουν από απλές RGB κάμερες είναι ο επονομαζόμενος δείκτης Excess of Green. Σύμφωνα με την βιβλιογραφία ο δείκτης Excess of Green, προέκυψε από πείραμα που πραγματοποιήθηκε από τον Woebbecke (Woebbecke et al, 1995a) όπου ήταν ένας από τους δείκτες βλάστησης που δοκιμάστηκαν προκειμένου να γίνει ο διαχωρισμός των φυτών από το έδαφος ή άλλα υλικά που δυσκόλευαν την διάκριση τους. Σε αντίθεση με τους υπόλοιπους δείκτες ο Excess of Green, παρατηρήθηκε πως έδινε ένα πολύ ικανοποιητικό αποτέλεσμα, σχεδόν δυαδικής μορφής, περιγραφής της περιοχής ενδιαφέροντος. Σε συνέχεια γινόταν η μετατροπή σε εικόνα δυαδικής μορφής με την επιλογή και χρήση μιας τιμής έντασης του τόνου του γκρι ως κατώφλι (E. Meyer and Camargo Neto 2008).

$$ExG = 2 \times G - R - B \quad (5)$$

1.4.3 Excess of Red (ExR)

Το 1998 δημοσιεύτηκε άρθρο από τους Meyer et al. σχετικά με ενισχυμένα, ασαφής λογικής (fuzzy logic) επίπεδα για ταξινόμηση φυτών, εδάφους και υπόλοιπων περιοχών ενδιαφέροντος από εικόνες του ορατού φάσματος. Με αφορμή το γεγονός, ότι το 64% από τα κωνικά κύτταρα του αμφιβληστροειδή του ματιού στον άνθρωπο ανταποκρίνονται στο κόκκινο χρώμα ενώ το 32% στο πράσινο και μόλις το 4% στο μπλε, προτάθηκε ο δείκτης Excess of Red και συγκρίθηκε με τον Excess of Green για τον διαχωρισμό φυλλωμάτων από το πίσω μέρος των εικόνων. Παρατηρήθηκε, πως πράγματι ήταν δυνατόν να γίνει ο διαχωρισμός των εικονοστοιχείων των φυλλωμάτων από τα υπόλοιπα εικονοστοιχεία του φόντου, όμως δεν ήταν τόσο ακριβείς όσο στην περίπτωση του δείκτη Excess of Green (Hamuda et al. 2016).

$$ExR = 1.3 \times R - G \quad (6)$$

1.4.4 Excess of Green minus Excess of Red Index (ExGR)

Ο συγκεκριμένος δείκτης αποτελεί συνδυασμό δεικτών και προτάθηκε το 2004 σε δημοσίευση των Meyer et al. Με την μείξη των δύο δεικτών αξιοποιήθηκαν τα προτερήματα του καθενός, ο Excess of Green συνείσφερε στον διαχωρισμό των φυτών από το έδαφος και υπόλοιπα στοιχεία, ενώ ο δείκτης Excess of Red στην μείωση του θορύβου του φόντου της εικόνας (εδάφους- υπόλοιπων στοιχείων), όπου μπορεί να υπερτερεί το πράσινο-κόκκινο χρώμα, όπως για παράδειγμα, κορμοί, μίσχοι και κλαδιά (Hamuda et al. 2016).

$$ExGR = ExG - ExR \quad (7)$$

1.4.5 Modified Excess of Green Modified (MExG)

Με αφορμή τις μεταβλητές συνθήκες φωτισμού σε πραγματικές συνθήκες, το 2011 οι Burgs-Artizzu et al. ανέπτυξαν μία εναλλακτική μορφή του δείκτη Excess Of Green. Η προτεινόμενη μορφοποιημένη μορφή του δείκτη αποδείχθηκε, πως μπορούσε να μετατρέψει την παραγόμενη εικόνα εύκολα σε δυαδικής μορφής με μία αυτόματη μέθοδο εφαρμογής κατωφλίου. Ο εντοπισμός, διαχωρισμός περιοχών βλάστησης από το υπόλοιπο έδαφος μπόρεσε να επιτευχθεί σε πολύ καλό επίπεδο αφού ο δείκτης χαρακτηρίζονταν από ανθεκτικότητα στις μεταβολές των συνθηκών φωτισμού. Γενικότερα, οι ερευνητές ανέφεραν πως τα αποτελέσματα του είναι καλύτερα από την αρχική μορφή του (Hamuda et al. 2016).

$$MExG = 1.262 \times G - 0.884 \times R - 0.311 \times B \quad (8)$$

1.4.6 Normalised Green- Red Difference Index (NGRDI)

Ο Κανονικοποιημένος Δείκτης Πράσινης-Κόκκινης Διαφοράς (NGRDI) προτάθηκε το 2005 από την ερευνητική ομάδα Hunt et al. και δοκιμάστηκε σε ψηφιακή αεροφωτογραφία καλλιεργειών καλαμποκιού και σόγιας. Ο NGRDI χρησιμοποιήθηκε με σκοπό να ξεπεραστούν οι διαφορές των ρυθμίσεων έκθεσης που επιλέγονται από την ψηφιακή φωτογραφική κάμερα κατά την λήψη αεροφωτογραφιών στο πεδίο, οι οποίες μπορεί να προκαλέσουν μεγάλες αποκλίσεις στο περιεχόμενο χρωματικών καναλιών που έχουν την ίδια αντανάκλαση. Από μαθηματικής άποψης, ο αριθμητής υλοποιεί τον διαχωρισμό πράσινων φυτών με το έδαφος, ενώ ο παρονομαστής χρησιμοποιείται για να ομαλοποιεί τις διακυμάνσεις της έντασης του φωτός μεταξύ διαφορετικών εικόνων (Hamuda et al. 2016).

$$NGRDI = \frac{(G - R)}{(G + R)} \quad (9)$$

1.4.7 Vegetative Index (VEG)

Ακόμη ένας δείκτης για τον επιτυχή διαχωρισμό των εικονοστοιχείων βλάστησης από τα υπόλοιπα στοιχεία πλησίον τους, προτάθηκε από τους Hugue et al. (2006) και ονομάζεται Vegetative Index (VEG). Ο τύπος της κάμερας που χρησιμοποιήθηκε στο πεδίο, αξίζει να σημειωθεί διότι σύμφωνα με την βιβλιογραφία οι αισθητήρες CCD είναι περισσότερο ευαίσθητοι στο φως συγκριτικά με άλλου τύπου αισθητήρες, όπως CMOS, και παράγουν υψηλότερης ποιότητας ψηφιακές εικόνες και με επίπεδα θορύβου πολύ χαμηλότερα (Hamuda et al. 2016).

$$VEG = \frac{G}{(R^a \times B^{(1-a)})} \quad (10)$$

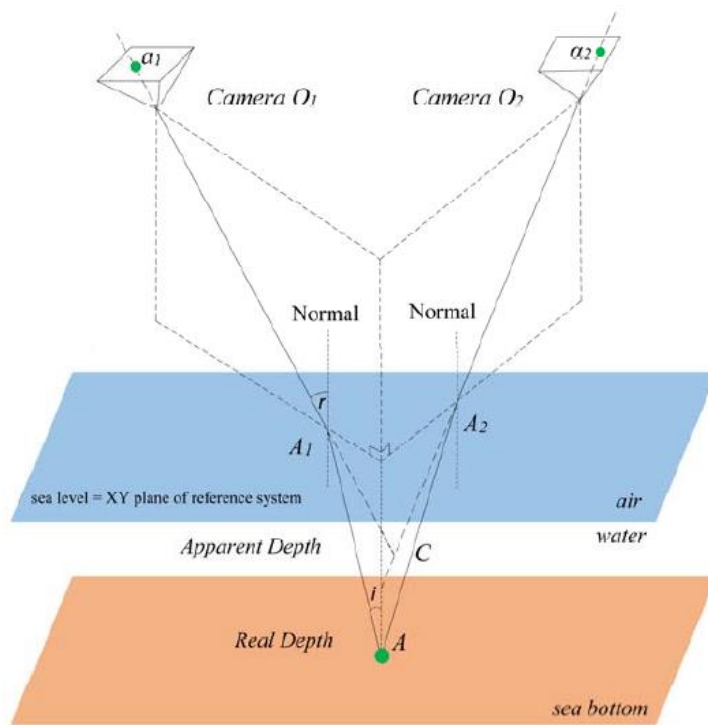
Η σταθερά a είναι ίση με 0.667. Στην δημοσίευση που προτάθηκε επισημάνθηκε πως ο συγκεκριμένος δείκτης μπορούσε να κάνει αρκετά έντονη την διαφορά μεταξύ φυτών και εδάφους, ενώ παράλληλα είχε σημαντικό προτέρημα ανθεκτικότητας στις διάφορες μεταβολές του φωτισμού.

1.5 Προβληματισμοί

Η ολοένα και αυξανόμενη χρήση των φωτογραμμετρικών μεθόδων σε συνδυασμό με την τεχνολογία των UAV και την χρήση ψηφιακών εικόνων, έχει πολλά πλεονεκτήματα με κυριότερο την δυνατότητα απόκτηση δεδομένων αεροφωτογραφιών σχετικά χαμηλού υψομέτρου, μικρής κλίμακας και κόστους από οποιονδήποτε οργανισμό, ερευνητή ή ακόμα και σπουδαστή, που έχει τις απαραίτητες άδειες (John K. McCarthy. et al. 2019). Από την άλλη πλευρά, υπάρχουν αρκετοί περιορισμοί και παράγοντες που μειώνουν την ακρίβεια των αποτελεσμάτων της φωτογραμμετρίας και ειδικότερα της φωτοβαθυμετρίας που αποτελούν αντικείμενα προς διερεύνηση για την μέγιστη δυνατή μοντελοποίηση παραγόντων και βελτιστοποίηση της ακρίβειας των αποτελεσμάτων.

Τέτοιοι παράγοντες μπορεί να είναι η αντανάκλαση του νερού (Fresnel reflection), οι σημειακές λάμπες του ήλιου, η παραμόρφωση της ακτίνας φωτός λόγω του επιφανειακού κυματισμού, η διάθλαση κατά την διάδοση της από τον αέρα μέσα στο νερό ή ακόμα και τα ίδια χαρακτηριστικά του θαλάσσιου περιβάλλοντος (σύσταση, διαύγεια). Οι αρνητικές επιπτώσεις των παραπάνω, δύναται να περιοριστούν με την προσπάθεια υλοποίησης εναέριων φωτογραμμετρικών μετρήσεων που έχουν ληφθεί από τις βέλτιστες δυνατές συνθήκες. Οι ιδεατές συνθήκες χαρακτηρίζονται από νηνεμία, καθώς και λήψεις όσο το δυνατόν πλησιέστερα στην κατακόρυφο. Με τον τρόπο αυτό, μπορεί να μειωθεί το φαινόμενο της διάθλασης, αλλά επίσης να περιοριστεί η εναπομένουσα παραμόρφωση λόγω αυτής. Επίσης, η χρήση φίλτρων κυκλικής πόλωσης δύναται να μειώσει τις πιθανές αντανακλάσεις.

Η γεωμετρία του δικτύου αποτελεί έναν από τους κύριους παράγοντες που μπορεί να υποβαθμίσουν την ακρίβεια προσδιορισμού του βάθους. Λαμβάνοντας υπόψιν τον νόμο του Snell, η γωνία ανοίγματος της προσπίπτουσας δέσμης φωτός όταν εισέρχεται στο υδάτινο περιβάλλον μικραίνει λόγω του υψηλότερου δείκτη διάθλασης του νερού. Παρατηρώντας την παρακάτω Εικόνα 2 γίνεται κατανοητό πως, η τομή των ακτίνων για τον προσδιορισμό των 3D συντεταγμένων γίνεται με μικρότερες γωνίες και επομένως αναμένεται να υπάρχει απόκλιση μεταξύ της υπολογιζόμενης και της θεωρητικής θέσης σημείου στο θαλάσσιο περιβάλλον. (Maas 2015)



Εικόνα 2 Γεωμετρία δικτύου Φωτογραμμετρίας δύο μέσων (Dimitrios Skarlatos and Panagiotis Agrafiotis, 2018)

Αξίζει να σημειωθεί επίσης πως το υδάτινο περιβάλλον χαρακτηρίζεται από ανομοιογένεια, που μπορεί να οφείλεται είτε λόγω σταδιακής διαφοράς της θερμοκρασίας ή της αλατότητας. Η ανομοιογένεια αυτή μπορεί να οδηγήσει στην αλλοίωση της πορείας που ακολουθεί η δέσμη φωτός και την δημιουργία πολλαπλών καμπύλων διαδρομών όπου η μοντελοποίηση τους είναι εξαιρετική δύσκολη. Όπως αναφέρεται στην βιβλιογραφία (Maas 2015), διεξάχθηκαν πειράματα που έδειξαν πως αν και είναι εφικτός ο ταυτόχρονος προσδιορισμός ενός χωρικά ομοιογενούς δείκτη διάθλασης, η στενή συσχέτιση με τις εξισώσεις του συστήματος οδηγεί σε εσφαλμένα αποτελέσματα.

Άλλη μία πρόκληση που αντιμετωπίζει η φωτοβαθυμετρία έχει να κάνει με την μη επιπεδότητα της επιφάνειας της θάλασσας και ειδικότερα την ύπαρξη κυματισμού και της τυχαίας φύσης αυτού σε συνδυασμό με την διάθλαση. Το 1985 σε μία από τις πρώτες δημοσιεύσεις (Fryer et. al 1985) σχετικά με την επίδραση του κυματισμού και της διάθλασης στον προσδιορισμό του βάθους με την χρήση Φωτογραμμετρίας δύο μέσων,

διαπιστώθηκε πως στις πειραματικές μετρήσεις όπου επικρατούσαν διαφορετικές συνθήκες, παρατηρήθηκε πως η μεταβολή του ύψους πτήσης επηρέαζε το μέγεθος και το είδος των σφαλμάτων. Βάσει των αποτελεσμάτων των πειραμάτων, υποστηρίχθηκε πως για μελέτες μικρότερης κλίμακας η επίδραση του κυματισμού και της διάθλασης είναι πολύ μικρότερη από αυτή των τυχαίων σφαλμάτων, επομένως δεν επηρεάζουν σε τόσο σημαντικό βαθμό τις πιθανές βαθυμετρικές αποκλίσεις. Η θέση αυτή έχει καταρριφθεί από άρθρα επόμενων χρόνων, ενώ αξίζει να σημειωθεί πως σε πρόσφατη δημοσίευση (Skarlatos D 2018), όπου μελετήθηκε το βαθυμετρικό σφάλμα που εισάγεται από την διάθλαση, ο υπολογισμός αυτού καθώς και ο τρόπος μείωσης του με φωτογραμμετρική μέθοδο με την χρήση SFM-MVS τεχνικών, διαπιστώθηκε ύστερα από πειραματικές διαδικασίες σε πραγματικές συνθήκες, πως ανεξαρτήτως του ύψους πτήσης οι επιδράσεις της διάθλασης θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψιν με το ίδιο βάρος. Διαφορετικά, οι βαθυμετρικές αποκλίσεις θα επηρεάσουν το αποτέλεσμα του μοντέλου τρισδιάστατης επιφάνειας (DSM) και κατ' επέκταση την ακρίβεια της ορθοφωτογραφίας.

Επομένως, λαμβάνοντας υπόψιν όλα τα παραπάνω γίνεται κατανοητό πως η εναέρια φωτογραμμετρία για σκοπούς βαθυμετρίας, έχει αρκετούς παραμέτρους που πρέπει να μελετηθούν και να προταθούν τρόποι μείωσης της επίδρασης τους, ώστε να μην υποβιβάζουν την εγκυρότητα της μεθόδου και των προϊόντων αυτής. Όπως αναφέρεται και σε αντίστοιχη βιβλιογραφία (John K. McCarthy. et al. 2019), ένας συνεχώς αυξανόμενος αριθμός μελετών αναθεωρεί υφιστάμενες μεθόδους αντιμετώπισης τέτοιων παραγόντων, όπως για παράδειγμα για την λάμψη του ήλιου (Mount 2005), την διάθλαση (Georgoroulos και Agrafiotis 2012) και την παραμόρφωση του κύματος (Chirayath και Earle 2016).

Επιπρόσθετα, είναι απαραίτητο να αναφερθεί πως νέες τεχνολογίες που αυτοματοποιούν όλο και περισσότερο την διαδικασία φωτοβαθυμετρίας εμφανίζονται στον κλάδο και διευρύνουν τις προοπτικές αυτής, όπως η εκπαίδευση λογισμικών (machine learning) για αναγνώριση της υποεκτίμησης βαθών λόγω της διάθλασης. Σε σχετικό άρθρο (Agrafiotis Panagiotis et. al 2019), έγινε προσέγγιση με machine learning για την διόρθωση της διάθλασης και μετέπειτα σύγκριση των βαθυμετρικών-βαθυμετρικών αποτελεσμάτων με τα αντίστοιχα αποτελέσματα από LiDAR ως δεδομένα αναφοράς. Τα αποτελέσματα των δοκιμών έδειξαν, πως ακόμα και χωρίς την παραδοχή των LiDAR δεδομένων ως ιδεατών,

δηλαδή την απουσία σφαλμάτων, η κατακόρυφη ακρίβεια από την προτεινόμενη μεθόδολογία ανταποκρίνεται στα όρια όπως έχουν καθιερωθεί από τον παγκόσμιο Υδρογραφικό Οργανισμό (IHO), τα οποία κυμαίνονται στα ± 25 cm.

1.6 Τεχνολογία LiDAR

Η τεχνολογία LiDAR και η χρήση της όπως αναφέρεται στην βιβλιογραφία (Guenther, G. 2004), δίνει την δυνατότητα απόκτησης πολύ μεγάλου όγκου πληροφοριών, ενώ αποτελεί μία ακριβή, αποδοτική, ασφαλή και ευέλικτη μέθοδο για καταγραφή και χαρτογράφηση περιοχών μελέτης μικρών και μεγάλων εκτάσεων σε παράκτιες περιοχές, κοραλλιογενείς υφάλους ή ακόμα στην ακτομηχανική και παρακείμενων παραλιών. Τα συστήματα με LiDAR δύναται να προσφέρουν προϊόντα εξαιρετικής ποιότητας και ακρίβειας, χωρίς ιδιαίτερο κόστος, εκτός της περίπτωσης που γίνει εισαγωγή δεδομένων για πρόσθετη επεξεργασία και γεωαναφορά όταν έχει υλοποιηθεί ήδη βαθυμετρική ή τοπογραφική μελέτη στην ακτογραμμή.

Σε περίπτωση όπου το τελικό επιθυμητό προϊόν είναι ένα πλήρες τρισδιάστατο μοντέλο και οι παλίρροιες στην περιοχή επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό την ακτογραμμή, τότε για τοπογραφική ή βαθυμετρική μελέτη συνίσταται η χρήση LiDAR. Μάλιστα, όπως αναφέρεται στην βιβλιογραφία (Guenther, G. 2004), στο κοντινό μέλλον η τοπογραφική και βαθυμετρική αποτύπωση θα δύναται να πραγματοποιηθεί από πολλαπλά συστήματα LiDAR με υπερφασματικές τεχνολογίες δημιουργώντας έτσι μία νέα καινοτόμα προσέγγιση. Φυσικά όμως, τα προβλήματα σχέσης ποσοστού κάλυψης και κόστους θα παραμείνουν όπως προαναφέρθηκαν αν δεν υπάρχει ουσιαστικός λόγος χρήσης του συστήματος αυτού. Αν όμως, επιδιώκεται η απλή χαρτογράφηση της ακτογραμμής, τότε η χρήση συστήματος LiDAR δεν υπερτερεί από την χρήση της εναέριας Φωτογραμμετρίας ή άλλων μεθόδων τηλεπισκόπησης, σχετικά με το ποσοστό κάλυψης και κόστους, ειδικά για περιπλοκές γεωμετρικές ακτογραμμής όπου το βαθυμετρικό LiDAR σαρώνει σχετικά στενές λωρίδες (λιγότερο από 300m) από πτήσεις επίσης σχετικά χαμηλού ύψους.

1.6.1 Αρχή Λειτουργίας

Το αερομεταφερόμενο σε πλατφόρμα, σύστημα τεχνολογίας LiDAR για βαθυμετρία (ALB), λειτουργεί με εκπομπή παλμών λέιζερ από δύο διαφορετικά μήκη ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Το πρώτο ανήκει στην περιοχή του υπέρυθρου, με μήκος κύματος 1064 nm, για την ανίχνευση της επιφάνειας του νερού και το δεύτερο στην περιοχή πράσινου του ορατού φάσματος, με μήκος κύματος 532 nm, για την ανίχνευση του θαλάσσιου πυθμένα. Οι παλμοί λέιζερ εκπέμπονται, ταξιδεύουν από την πλατφόρμα ως την επιφάνεια της θάλασσας, όπου μέρος της ενέργειας ανακλάται πίσω (υπέρυθρο), ενώ ένα άλλο μέρος (πράσινο) διεισδύει στην επιφάνεια του νερού, διαδίδεται μέσα στο υδάτινο περιβάλλον, αντανακλάται από τον πυθμένα της θάλασσας και ακολουθεί την ανάποδη πορεία προς τον αισθητήρα. Η διαφορά του χρόνου επιστροφής του σήματος από το κάθε μήκος κύματος ακτινοβολίας προσδιορίζει το βάθος του εκάστοτε σημείου. (Parson et al. 1997), (Quadros et. al 2008)

Ωστόσο, η ανακλώμενη από τον πυθμένα ακτίνα λόγω της μερικής απορρόφησης, σκέδασης και διάθλασης που υφίσταται, είναι αρκετά εξασθενημένη με αποτέλεσμα να περιορίζεται το μέγιστο βάθος διείσδυσης του LiDAR, κοινώς ο προσδιορισμός του μέγιστου βάθους του πυθμένα. Περιορισμός για τον προσδιορισμό του μέγιστου βάθους αποτελεί επίσης η αλληλεπίδραση της δέσμης ακτινοβολίας με τον πυθμένα, η γωνία και ένταση της προσπίπτουσας γωνίας του ήλιου καθώς και η θολότητα του νερού (Parson et al. 1997). Ειδικότερα, η θολότητα του νερού αναφέρεται στην βιβλιογραφία (Quadros et. al 2008) ως από τους κυριότερους περιορισμούς.

1.6.2 Προτερήματα LiDAR στην Βαθυμετρία - Βυθομετρία

Η εναέρια βαθυμετρία μέσω LiDAR (ALB) έχει αντικαταστήσει σε μεγάλο βαθμό την βαθυμετρία μέσω εναέριας φωτογραμμετρίας. Η προτίμηση εφαρμογής της βαθυμετρίας με LiDAR οφείλεται κυρίως στην δυνατότητα μεγαλύτερης διαβάθμισης του εύρους του βάθους, της αυτοματοποίησης επεξεργασίας, καθώς και των προοπτικών της μεθόδου σε αξιοπιστία και ακρίβεια των αποτελεσμάτων. Με την χρήση LiDAR δύναται η μέτρηση βάθους πυθμένα από 1,5 έως 60 μέτρα, με επίπεδο ακρίβειας έως τα 15 cm. Ωστόσο, το μέγιστο βάθος διείσδυσης LiDAR κυμαίνεται από 35 έως 50 μέτρα. Όπως επίσης, λόγω της ανάλογης αύξησης του ρυθμού εκπομπής-λήψης παλμών και η μετατροπής της δέσμης σε στενότερη, με την συνεχούς εξέλιξης των αισθητήρων LiDAR (Maas et al. 2019). Το μειωμένο κόστος, ο μειωμένος χρόνος με παράλληλη αύξηση της ακρίβειας της εκάστοτε μελέτης, η δυνατότητα συλλογής μεγάλου όγκου δεδομένων υψηλής ανάλυσης μέσω λωρίδων σάρωσης, ποικίλου εύρους κι ανεξαρτήτως του μετρούμενο βάθους, ή ακόμη η περίσσεια ανάγκη ταυτόχρονης απόκτησης «sea-truth» βαθυμετρικών δεδομένων, φυσικά σε βάρος του κόστους και της χρήσης στενότερης λωρίδας σάρωσης, αποτελούν κάποιους επιπλέον λόγους προτίμησης της εφαρμογής ALB. Η συνδυαστική χρήση ALB με συστήματα GPS κάνουν εφικτή τη μέτρηση βάθους χωρίς την ταυτόχρονη μέτρηση της στιγμιαίας στάθμης επιφάνειας της θάλασσας, αποφεύγοντας έτσι σφάλματα που μπορεί να προκληθούν από την υψηλή δυναμική και χωρική διακύμανση αυτής (Gao 2009). Παράλληλα, αν χρησιμοποιηθεί κινηματικός εντοπισμός GPS, με «on the fly» ανάλυση αβεβαιότητας της φάσης, μπορεί να επιτευχθεί η μέγιστη δυνατή βαθυμετρική ακρίβεια, όπως επισημαίνεται από άλλη πηγή (Guenther et al., 2000).

1.6.3 Ακρίβεια αποτελεσμάτων

1.6.3.1 Ακρίβεια κατά την κατακόρυφη διεύθυνση, άξονας Z, βάθη

Όπως αναφέρεται σε βιβλιογραφία (Guenther, G. 2004), προκειμένου να προσδιοριστεί το μέσο σφάλμα των βαθών με την χρήση ALB, πραγματοποιήθηκαν πολλές συγκρίσεις μεταξύ των αποτελεσμάτων μελετών με χρήση LiDAR και των αντίστοιχων από συστήματα SONAR υπό διάφορες συνθήκες. Συμπεραίνεται, πως η ακρίβεια κάθε συστήματος ALB υποβαθμίζεται σε περιπτώσεις εξασθενημένων σημάτων κοντά στο όριο διείσδυσης του σήματος καθώς και για περιβάλλοντα με θολό νερό, βάθη που συσχετίζονται με απότομες αλλαγές κλίσεων στον πυθμένα και με μικρούς στόχους. Αξίζει να σημειωθεί, πως οι απότομες κλίσεις πυθμένα αποτελούν γεωμετρικό πρόβλημα και προκαλούν προβλήματα στις μετρήσεις κατά μήκος όλων των αξόνων τόσο στα συστήματα SONAR όσο και LiDAR (Steinvall and Korpari, 1996). Γενικότερα, σε όσες από τις καταγεγραμμένες περιπτώσεις αναφέρονται στην βιβλιογραφία (Guenther, G. 2004), σε συνθήκες που πλησίαζαν τις ιδεατές, δηλαδή μικρά βάθη τάξης 20 με 30 μέτρων και διαύγεια νερού, το σφάλμα στην ακρίβεια των βαθών ήταν μεταξύ 0.24 έως 0.28 μέτρα.

1.6.3.2 Ακρίβεια κατά το οριζόντιο επίπεδο, άξονες X,Y, επιφάνεια βυθού

Όπως αναφέρεται στην σχετική βιβλιογραφία (Guenther, G. 2004), η θέση του σημείου της δέσμης ακτίνας πάνω στην επιφάνεια του νερού σε σχέση με το αεροσκάφος είναι αυτόματα γνωστή με αρκετά μεγάλη ακρίβεια, αφού εξαρτάται από την ναδίρ γωνία της δέσμης καθώς και το υψόμετρο του αεροσκάφους από την επιφάνεια νερού. Η γνώση των στοιχείων αυτών είναι εξαιρετικής σημασίας για την ακρίβεια των μετρήσεων κατά τον κατακόρυφο (Z) άξονα του συστήματος, η οποία είναι πιο απαιτητική σε σύγκριση με την ακρίβεια της επιφάνειας του βυθού, διότι όπως και στο χερσαίο κομμάτι, οι μετρήσεις υψομέτρων είναι περίπου δυο φορές χειρότερες ποιοτικά από αυτές των συντεταγμένων. Η θέση όμως του σημείου του αποτυπώματος στον πυθμένα σε σχέση με το αντίστοιχο επιφανειακό σημείο δεν είναι γνωστή, μάλιστα πρόκειται για ένα εξαιρετικά περίπλοκο περιβάλλον όπου πρέπει να περιληφθούν επιδράσεις και αντίστοιχες αβεβαιότητες, όπως έχουν αναφερθεί σε προηγούμενη παράγραφο της εργασίας. Συγκεκριμένα, οι επιδράσεις της κλίσης του κυματισμού και της σκέδασης κατά την διάδοση μέσα

στο θαλάσσιο περιβάλλον συνεισφέρουν σημαντικά στο οριζόντιο σφάλμα, ενώ παράλληλα η ύπαρξη αντικειμένων έντονου αναγλύφου στον πυθμένα μπορεί να προκαλέσει μεγάλες αποκλίσεις σε μεμονωμένα αποτυπώματα σήματος.

Σε περαιτέρω ανάλυση επίδρασης των παραγόντων κυματισμού και σκέδασης σε χαρακτηριστικές περιπτώσεις αυτών, προέκυψε η προσέγγιση του μέσου τετραγωνικού σφάλματος (RMS) του πρώτου ± 0.36 μέτρα ανά δέκα μέτρα βάθους, ενώ του δεύτερου ± 0.32 μέτρα ανά δέκα μέτρα βάθους. Τέλος, προέκυψε ένα συνολικό RMS των παραπάνω επιδράσεων της τάξης ± 1 μέτρου τόσο για τα αναμενόμενα όσο και για τα τυχαία σφάλματα, υπό την ύπαρξη ανέμου, σε περιοχή μελέτης 30 μέτρων και διαθεσιμότητα κατάλληλου λογισμικού διόρθωσης οριζόντιων αποκλίσεων (Guenther, G. 2004).

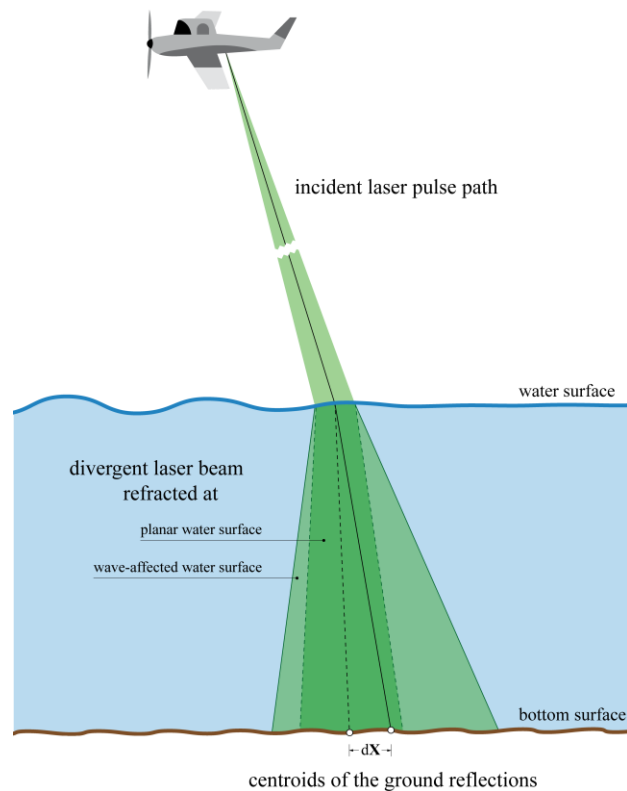
1.6.4 Προβληματισμοί περί αξιοπιστίας

Λαμβάνοντας υπόψιν όσα αναφέρθηκαν στην προηγούμενη ενότητα, η ακρίβεια της μεθόδου ALB εξαρτάται από την ύπαρξη κυματισμών και της απότομης κλίσης αυτών, την σύσταση του θαλάσσιου περιβάλλοντος (επίδραση σκέδασης), την διαύγεια του νερού, καθώς και του αναγλύφου του πυθμένα και των αντικειμένων σε αυτόν.

Σχετικά με την επίδραση του κυματισμού σε σχετικό άρθρο (Maas et al. 2019), τονίζεται πως παρότι τα σύγχρονα συστήματα LiDAR έχουν μικρότερο ίχνος σε σύγκριση με παλαιότερα, παρατηρείται μεγαλύτερη μείωση της ακρίβειας των αποτελεσμάτων. Οι αποκλίσεις λόγω κυματισμού (wave pattern), μπορεί να φθάσουν αρκετά εκατοστά στις συντεταγμένες του πυθμένα, ενώ συγκριτικά στις συντεταγμένες επιφάνειας οι αποκλίσεις είναι της τάξεως μερικών μέτρων. Πιθανή βελτιστοποίηση του συγκεκριμένου σφάλματος, δηλαδή του λόγου σήματος-θορύβου, αναφέρεται στο ίδιο άρθρο όπου βασίζεται στην εξάρτηση αυτού από τα γειτονικά σήματα. Συγκεκριμένα, στην περίπτωση της προσέγγισης waveform-stacking, όπου αναλύεται η συνοχή των γειτονικών κυματομορφών προκειμένου να βελτιωθεί η αξιοπιστία της ανίχνευσης εκάστοτε σημείου του πυθμένα, αντί απλώς να γίνεται συσσώρευση από γειτονικές κυματομορφές σε μια στοιβαγμένη κυματομορφή, πραγματοποιείται ένας διαχωρισμός όπου αποδεκτές, για περαιτέρω ανάλυση, είναι οι μικρές ανιχνεύσιμες κορυφές στην κυματομορφή μόνο αν οι γειτονικές κυματομορφές δίνουν επίσης στοιχεία εμφάνισης για την εν λόγω κορυφή. Η εφαρμογή της τεχνικής αυτής βελτιστοποιεί, όπως παρατηρήθηκε, το σφάλμα λόγω κυματισμού, με μείωση περιττών σημείων κατά 26% του παραγόμενου 3D πυκνού νέφους σημείων των δεδομένων LiDAR καθώς και στην ανάλογη αύξηση της διαβάθμισης των βαθών κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες περιβάλλοντος.

Παράλληλα, σε πιο πρόσφατη δημοσίευση (Westfeld et al. 2016), με σκοπό την μείωση των αποκλίσεων των συντεταγμένων λόγω του κυματισμού και των μοτίβων του, προτάθηκαν δύο μέθοδοι βελτιστοποίησης ακρίβειας λόγω της επίδρασης του wave pattern στην διάθλαση. Η πρώτη μέθοδος αποτελεί μία αυστηρή προσέγγιση όπου απαιτείται η μοντελοποίηση της στιγμιαίας επιφάνειας του νερού ώστε να εκτελεσθεί στην συνέχεια αυστηρά διαφορική παρακολούθηση της ακτίνας για κάθε εκπεμπόμενο παλμό. Φυσικά αυτή αποτελεί ιδεατή μέθοδο, αφού η πληροφορία περί μοντελοποίησης της στιγμιαίας επιφάνειας είναι συχνά ελλιπής. Η δεύτερη μέθοδος, περιλαμβάνει μέτρα διορθώσεων

που μπορούν να εφαρμοσθούν σε τυπικά μοτίβα κυμάτων, τα οποία προέρχονται από προσομοιώσεις χαρακτηριστικών περιπτώσεων. Με την ολοκλήρωση της μελέτης, αποδείχθηκε ότι ανάλογα με το βάθος του πυθμένα και του ύψους των κυματισμών, η μετατόπιση ενός σημείου στην επιφάνεια του βυθού από την πραγματική του θέση μπορεί να φθάσει από μερικά δεκάμετρα έως μερικά μέτρα, η Εικόνα 3 αποτελεί απλή απεικόνιση του φαινομένου.



Εικόνα 3 Επίδραση του wave pattern στον προσδιορισμό των 3D σημείων του πυκνού νέφους από δεδομένα LiDAR (Westfeld et al. 2016).

Σε άλλη δημοσίευση μελέτης του 2007 (Wang and Philpot 2007), για περαιτέρω βελτιστοποίηση των αποτελέσματα χαρτογράφησης βυθού και πιθανών περιοχών ενδιαφέροντος όπως συνεχείς (ή μη) εκτάσεις θαλάσσιας βλάστησης, όπου εκτείνονταν σε βάθος από 0.8 έως 4.3 μέτρων, προτάθηκαν και εφαρμόστηκαν δύο διορθώσεις. Οι διορθώσεις αφορούσαν αποκλίσεις που προκύπτουν λόγω της γωνίας που σχηματίζεται μεταξύ του εκάστοτε σημείου του αναγλύφου του πυθμένα με του συστήματος LiDAR, τόσο το πλάτος όσο και το σχήμα της καταγεγραμμένης κυματομορφής εξαρτάται από αυτή την γωνία.

Η πρώτη διόρθωση, αφορούσε την ομαλοποίηση του σήματος ως προς το ναδίρ και πραγματοποιήθηκε με την δημιουργία μίας αναλυτικής προσομοίωσης της παραμόρφωσης της κυματομορφής λόγω των υφιστάμενων κλίσεων του αναγλύφου του πυθμένα. Στην συνέχεια, το ενδιάμεσο προϊόν διορθώθηκε όσο αφορά την μη ισοτροπική (non-Lambertian) σκέδαση του σήματος του εκάστοτε σημείου του αναγλύφου του πυθμένα, βάσει εργαστηριακών πειραμάτων για την ομαλοποίηση της ανάκλασης. Ωστόσο, λόγω της ύπαρξης περαιτέρω παραγόντων που επηρεάζουν την ικανότητα διάκρισης διάφορων ειδών επιφανειών πυθμένα, ακόμα και μετά την διόρθωση του εύρους του επιστρεφόμενου σήματος, δεν προέκυψε ουσιαστική βελτιστοποίηση αποτελέσματος. Μάλιστα για την περαιτέρω ανάλυση της συνεισφοράς των υπόλοιπων παραγόντων στο πλαίσιο της έρευνας λήφθηκαν υπόψιν δύο ξεχωριστές περιπτώσεις διόρθωσης, η μία αφορούσε την ύπαρξη διακυμάνσεων εντός μία πτήσης σάρωσης ενώ η δεύτερη αφορούσε την ύπαρξη διακυμάνσεων μεταξύ πτήσεων σάρωσης.

Σε άλλη δημοσίευση (Yang et al. 2017), για την διόρθωση της επίδρασης της διάθλασης και την βελτιστοποίηση της ακρίβειας των συντεταγμένων επι του βυθού, χρησιμοποιήθηκαν τα ίδια τα δεδομένα LiDAR που αποκτήθηκαν για την 3D επιφάνεια από πυκνό νέφος σημείων της θάλασσας, σχηματίστηκε η τομή της επιφάνειας όπου με εφαρμογή ελαχιστοτετραγωνικών κριτηρίων και την ταξινόμηση των μοτίβων κυματισμού εξαλείφθηκε η επιφανειακή κλίση, και στην συνέχεια διορθώθηκαν οι θέσεις του αποτυπώματος του σήματος λέιζερ επι του βυθού, με την παρακολούθηση των αντίστοιχων διαδρομών διάδοσης του σήματος λέιζερ. Τα πειραματικά αποτελέσματα, έδειξαν πως μπορεί να επιτευχθεί διόρθωση της διάθλασης τέτοια, ώστε η ακρίβεια των συντεταγμένων να φτάσει την τάξη εκατοστών και να μειώσει το μέσο απόλυτο σφάλμα κατά 7 εκατοστά και το μέσο τετραγωνικό σφάλμα κατά 9,2 εκατοστά αντίστοιχα. Συνεπώς, η παραπάνω μέθοδος μπορεί να παρακολουθήσει κάθε παλμό και να διορθώσει αποτελεσματικά την αρχική θέση των σημείων επί του βυθού και του βάθους. Τέλος, επισημαίνεται πως η προκείμενη μέθοδος μπορεί να εφαρμοσθεί ευρέως στην θαλάσσια τοπογραφία και την LiDAR βαθυμετρία.

Επίσης, σε σχετικό άρθρο (Skarlatos D 2018) αναφέρεται, πως ενώ έχει αποδειχθεί ότι στις περιπτώσεις τοπογραφικών εφαρμογών το παραγόμενο πυκνό νέφος σημείων από σύστημα LiDAR έχει ακρίβεια ± 20 cm, όταν πρόκειται για βαθυμετρικές εφαρμογές το

σφάλμα του συστήματος κυμαίνεται μεταξύ $\pm 50-100$ mm, το οποίο είναι παρόμοιο με αυτό άλλων συμβατών εναέριων σαρωτών.

Λαμβάνοντας υπόψιν όλα όσα έχουν αναφερθεί, η μέθοδος ALB έχει αρκετούς παράγοντες που επηρεάζουν την δυνατή ακρίβεια των αποτελεσμάτων της, ενώ διαθέτει περιθώρια βελτιστοποίησης. Επομένως, στο πλαίσιο της παρούσας πτυχιακής εργασίας, επισημαίνεται ότι τα αποτελέσματα LiDAR δεν είναι πανάκεια, ενώ παράλληλα κρίνεται αναγκαίο να επισημανθεί πως για την χρήση τους ως δεδομένα αναφοράς, αρμόζει η παραδοχή για την μη ιδεατή ακρίβεια τους.

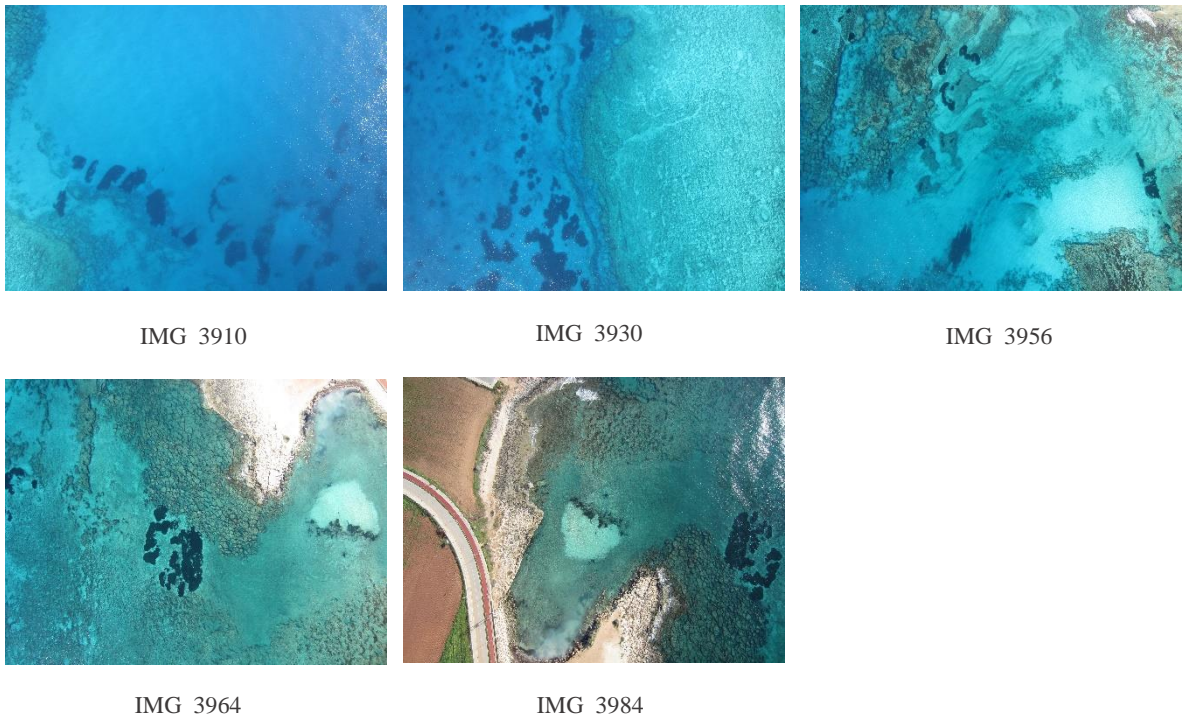
Με την ολοκλήρωση της σύντομης βιβλιογραφικής ανασκόπησης, αναπτύσσεται στις επόμενες παραγράφους η μεθοδολογία της παρούσας εργασίας, όπου εξετάζεται κατά πόσο μπορεί η φωτοβαθυμετρία true color δεδομένων με χρήση δεικτών να βελτιώσει το επίπεδο ακρίβειας αποτελεσμάτων σε σχέση με των δεδομένων αναφοράς (LiDAR) τόσο για ανακατασκευή του πυθμένα, όσο για την ανάδειξη της ακτογραμμής. Ωστόσο, λόγω της μη διόρθωσης σημαντικών παραγόντων σφαλμάτων της Φωτοβαθυμετρίας όπως της διάθλασης δεν αναμένεται ουσιαστική βελτιστοποίηση.

2 Μεθοδολογία Έρευνας

Για λόγους απλοποίησης περιγραφής, η μεθοδολογία θα χωρισθεί σε 3 βασικά μέρη: (α) διερεύνηση εντοπισμού περιοχών υποβρύχιας βλάστησης και η επίδραση της στην 3D ανακατασκευή του πυθμένα, (β) ανάδειξη ακτογραμμής και πιθανή επίδραση απουσίας θάλασσας στην 3D ανακατασκευή της και (γ) υπολογισμός εκτάσεων περιοχών υποβρύχιας βλάστησης. Στο σύνολο χρησιμοποιήθηκαν τα λογισμικά Excel 2016, MatLAB R2018b, Metashape Agisoft 1.5.5, και CloudCompare 2.11

2.1 Μεθοδολογία διερεύνησης εντοπισμού περιοχών υποβρύχιας βλάστησης και η επίδραση της στην 3D ανακατασκευή του πυθμένα

Σε αυτό το κομμάτι της μεθοδολογίας, υλοποιήθηκε αρχικά η επιλογή των εικόνων του συνόλου, που περιείχαν χρήσιμη πληροφορία, περιορίζοντας ακόμα περισσότερο την ευρύτερη έκταση της περιοχής μελέτης, από το σύνολο των 199 αεροφωτογραφιών χρησιμοποιήθηκαν μόνο οι 123. Στην συνέχεια, επιλέχθηκε ο καταλληλότερος δείκτης βλάστησης, από ένα σύνολο δεικτών, για τον εντοπισμό των περιοχών ενδιαφέροντος, όπου μετέπειτα υπέστη τροποποιήσεις βελτιστοποίησης απόδοσης επί των εικόνων. Για ευκολία παρουσίασης αποτελεσμάτων επιλέχθηκαν 5 όσο το δυνατόν αντιπροσωπευτικές περιοχές δοκιμών, όπως φαίνονται στην Εικόνα 4 Σε επόμενο στάδιο δημιουργήθηκαν με την κατάλληλη μέθοδο και τιμή κατωφλίσωσης οι, δυαδικής μορφής, εικόνες «μάσκες», οι οποίες στην συνέχεια εφαρμόστηκαν στις αρχικές εικόνες για την δημιουργία 3D επιφάνειας με την απομάκρυνση της υποβρύχιας βλάστησης, ώστε να είναι εφικτή η σύγκριση του παραγόμενου νέφους με το 3D νέφος σημείων ολόκληρου του μπλοκ εικόνων χωρίς εφαρμογή μασκών, αλλά και με το 3D νέφος σημείων από τα δεδομένα αναφοράς (LiDAR).



Εικόνα 4 Περιοχές δοκιμής των φίλτρων βλάστησης για επιλογή του κατάλληλου για τον εντοπισμό-ανάδειξη θαλάσσιας βλάστησης. Πρώτη σειρά: περιοχή μόνο θαλάσσιας υποπεριοχής κυρίως με αμμώδη πυθμένα (IMG_3910), θαλάσσια υποπεριοχή με αμμώδη πυθμένα (IMG_3930), θαλάσσια υποπεριοχή με ελάχιστο κομμάτι παράκτιας ζώνης (IMG_3956). Δεύτερη σειρά: θαλάσσια υποπεριοχή με λίγο κομμάτι παράκτιας ζώνης (IMG_3964), θαλάσσια υποπεριοχή με περισσότερο κομμάτι παράκτιας ζώνης (IMG_3984).

2.2 Μεθοδολογία ανάδειξης ακτογραμμής και πιθανή επίδραση απουσίας θάλασσας στην 3D ανακατασκευή της

Στο παρόν κομμάτι της μεθοδολογίας, υλοποιήθηκε επίσης η επιλογή των εικόνων του συνόλου, που περιείχαν χρήσιμη πληροφορία, περιορίζοντας ακόμα περισσότερο την ευρύτερη έκταση της περιοχής μελέτης, από το σύνολο των 199 αεροφωτογραφιών χρησιμοποιήθηκαν μόνο οι 80. Στην συνέχεια, επιλέχθηκε ο καταλληλότερος δείκτης διαφοροποίησης στεριάς-θάλασσας, από το ίδιο σύνολο δεικτών του πρώτου μέρους μεθοδολογίας, για τον εντοπισμό των περιοχών ενδιαφέροντος, όπου μετέπειτα υπέστη τροποποιήσεις βελτιστοποίησης απόδοσης επί των εικόνων. Για ευκολία παρουσίασης αποτελεσμάτων επιλέχθηκαν 3 περιοχές δοκιμών, όπως φαίνονται στην Εικόνα 5.

Σε επόμενο στάδιο δημιουργήθηκαν με την κατάλληλη μέθοδο και τιμή κατωφλίσωσης οι, δυαδικής μορφής, εικόνες «μάσκες», οι οποίες στην συνέχεια εφαρμόστηκαν στις αρχικές εικόνες για την δημιουργία 3D επιφάνειας ανάδειξης της ακτογραμμής, ώστε να είναι εφικτή η σύγκριση του παραγόμενου νέφους με το 3D νέφος σημείων ολόκληρου του μπλοκ εικόνων χωρίς την εφαρμογή μασκών, αλλά και με το 3D νέφος σημείων από τα δεδομένα αναφοράς (LiDAR).



IMG_3914

IMG_3992

IMG_3993

Εικόνα 5 Περιοχές δοκιμής των φίλτρων βλάστησης για επιλογή του καταλληλότερου για την ανάδειξη της ακτογραμμής.

2.3 Μεθοδολογία υπολογισμού εκτάσεων περιοχών υποβρύχιας βλάστησης

Στο τρίτο και τελευταίο κομμάτι της μεθοδολογίας, από το 3D νέφος σημείων ολόκληρου του μπλοκ εικόνων χωρίς την εφαρμογή μασκών, δημιουργήθηκε ορθομωσαϊκό, στο οποίο εφαρμόστηκε εκ νέου ο δείκτης του πρώτου μέρους για εντοπισμό της υποβρύχιας βλάστησης, η κατάλληλη κατωφλίσωση ενώ στην συνέχεια έγινε καταμέτρηση των εκτάσεων των περιοχών ενδιαφέροντος.

3 Περιοχή Μελέτης : Παράκτια Περιοχή Αγίας Νάπας, Νέα Μαρίνα

Η Αγία Νάπα είναι δήμος της επαρχίας Αμμοχώστου στην Κύπρο. Αποτελεί ένα από τους οκτώ δήμους της επαρχίας Αμμοχώστου. Η ευρύτερη περιοχή της Αγίας Νάπας βρίσκεται νοτιοανατολικά της Κύπρου, συνορεύει στα βόρεια με τον Δήμο Σωτήρας και βορειοανατολικά με τον Δήμο Παραλιμνίου. Το νότιο και ανατολικό μέρος της διοικητικής της έκτασης είναι παραθαλάσσιο (Εικόνα 6). Η περιοχή όπου εστιάζεται η παρούσα εργασία αποτελεί την πλέον περιοχή της Νέας Μαρίνας της Αγίας Νάπας, όπου εκτείνεται περίπου μεταξύ του γεωγραφικού πλάτους (ϕ) $34^{\circ} 58'26.4''$ N και $34^{\circ} 58'52.32''$ N και μεταξύ γεωγραφικού μήκους (λ) $33^{\circ} 56'13.92''$ E και $33^{\circ} 57'5.76''$ E



Εικόνα 6 Δορυφορική εικόνα περιοχής μελέτης από το Google Earth, χρονολογίας 2005. ("Google Earth" 2020)

Στα πλαίσια της δημιουργίας της Νέας Μαρίνας της Αγίας Νάπας το 2015, διεξάχθηκε αρχαιολογική μελέτη προκειμένου να εξεταστεί η περιοχή για τυχόν ευρήματα αρχαιολογικού ενδιαφέροντος, τα οποία θα μπορούσαν να αναστείλουν την συνέχιση του παράκτιου έργου. Τα αποτελέσματα από την αρχαιολογική μελέτη δεν υπέδειξαν κάποιο λόγο αναστολής, ωστόσο τα διαθέσιμα δεδομένα θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για ερευνητικούς, εκπαιδευτικούς σκοπούς σε εργασίες ή άρθρα όπως στην προκείμενο δοκίμιο.

Η πτήση όπου έγιναν οι λήψεις των αεροφωτογραφιών πραγματοποιήθηκε με το μη επανδρωμένο σκάφος (UAV), Swinglet CAM fixed wing UAV. Σε σύνολο πάρθηκαν 199 αεροφωτογραφίες, με μέσο ύψος πτήσης 208 m, το οποίο σήμαινε πως το μέσο εικονοστοιχείου επί του εδάφους ήταν 6.3 cm, τέλος ήταν γνωστό πως το βάθος της υπό μελέτη περιοχής έφθανε τα 11 m.

4 Αποτελέσματα

4.1 Αποτελέσματα δεικτών βλάστησης

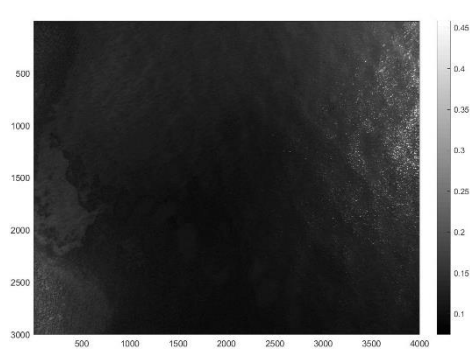
4.1.1 Επιλογή δείκτη για εντοπισμό περιοχών υποβρύχιας βλάστησης

Δεδομένου πως ο σχηματισμός φυκιών αποτελεί μορφή θαλάσσιας βλάστησης, κατά την προσπάθεια εύρεσης του βέλτιστου δείκτη για τον εντοπισμό και ανάδειξη αυτής, στις αεροφωτογραφίες που συντελούν την περιοχή μελέτης, μελετήθηκαν οι δείκτες βλάστησης, που θα χρησιμοποιούνταν και στην περίπτωση του εντοπισμού-ανάδειξης της χερσαίας χλωρίδας. Ειδικότερα, λόγω της μορφής των δεδομένων, μελετήθηκαν δείκτες οι οποίοι μπορούν να προκύψουν από RGB κάμερες. Στον Πίνακα 1 παρουσιάζονται οι εξισώσεις από τους δείκτες βλάστησης που χρησιμοποιήθηκαν για την επιλογή του βέλτιστου δείκτη, όπως έχουν ορισθεί και στο κεφάλαιο 1.4 της προκείμενης εργασίας.

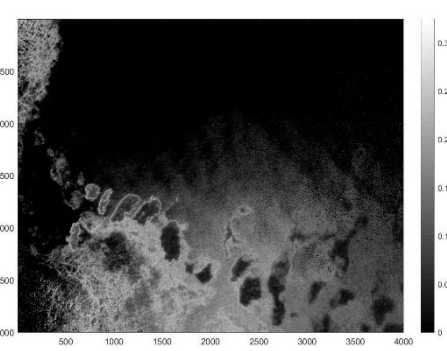
Πίνακας 1 Εξισώσεις δεικτών βλάστησης που χρησιμοποιήθηκαν για την επιλογή του βέλτιστου για τον εντοπισμό – ανάδειξη των περιοχών υποβρύχιας βλάστησης.

A/A	Όνομα	Εξισώσεις
1.	Colour Index of Vegetation Extraction	$CIVE = 0.441 * R - 0.811 * G + 0.385 * B + 18.78745$
2.	Excess of Green	$ExG = 2 * G - R - B$
3.	Excess of Red	$ExR = 1.3 * R - G$
4.	Excess of Green minus Excess of Red Index	$ExGR = ExG - ExR$
5.	Green Chromatic Coordinate	$GCC = G / (R + G + B)$
6.	Modified Excess of Green Modified	$MExG = 1.262 * G - 0.884 * R - 0.311 * B$
7.	Normalised Green- Red Difference Index	$NGRDI = (G - R) / (G + R)$
8.	Vegetative Index	$VEG = G / (R^{\alpha} * B^{(1-\alpha)})$

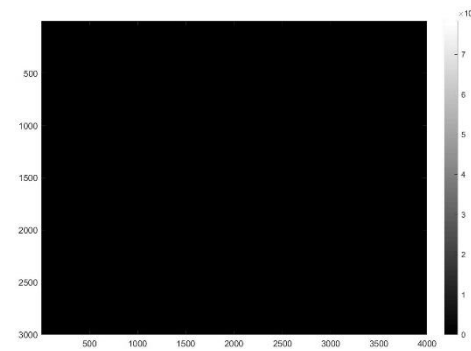
Στην πρώτη δοκιμή εφαρμογής των δεικτών χρησιμοποιήθηκαν οι κανονικοποιημένες τιμές των καναλιών R, G, B, όπως αναφέρονται και ορίζονται στο κεφάλαιο 1.4, όμως τα αποτελέσματα ήταν μαύρες εικόνες χωρίς να είναι εφικτή η παραγωγή οποιασδήποτε χρήσιμης πληροφορίας. Επομένως, υλοποιήθηκε ορθή επανάληψη της διαδικασίας με την μόνη διαφορά πως οι τιμές R,G,B αντιστοιχούν στις αυτούσιες τιμές των εικονοστοιχείων των εικόνων κάθε φασματικού καναλιού. Από το σύνολο των δεικτών, το αποτέλεσμα της εφαρμογής του δείκτη Excess of Green (ExG) παρουσίασε την καλύτερη, σε όλες τις περιπτώσεις περιοχών δοκιμής, διαφοροποίηση της υποβρύχιας βλάστησης με το γύρω περιβάλλον με την παρουσία σχετικά έντονων ακμών. Επομένως, ο δείκτης Excess of Green επιλέχθηκε ως κατάλληλος δείκτης για εντοπισμό και ανάδειξη περιοχών υποβρύχιας βλάστησης. Παρακάτω, παρουσιάζονται οι Εικόνες 7-11 με τα αποτελέσματα εφαρμογής των φίλτρων στις περιοχές δοκιμής συνοδευόμενα με κλίμακα από 0 έως 1 των ραδιομετρικών τιμών εντάσεων - τόνων του γκρι.



Color Index Vegetation (CIVE)



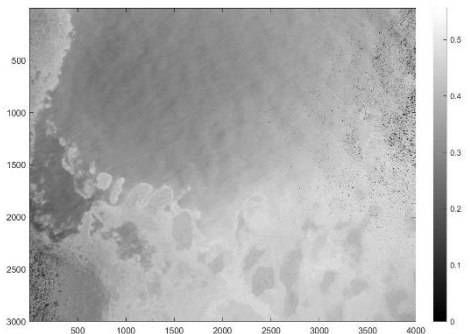
Excess of Green (ExG)



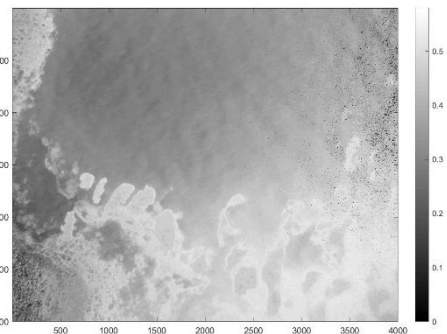
Excess of Green minus Excess of Red (ExGR)



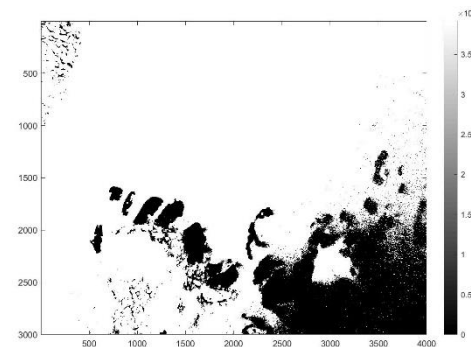
Initial RGB IMG_3910



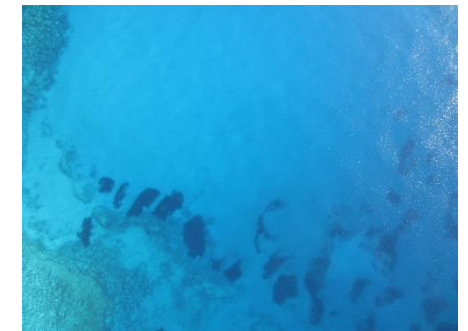
Excess of Red, coeff.1.3 (ExR)



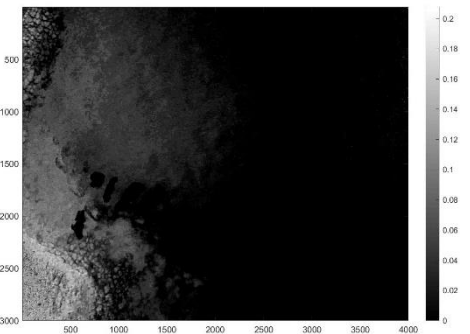
Excess of Red, coeff.1.4 (ExR)



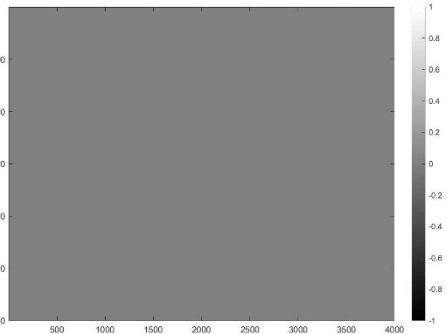
Normalized Green Band (NGB)



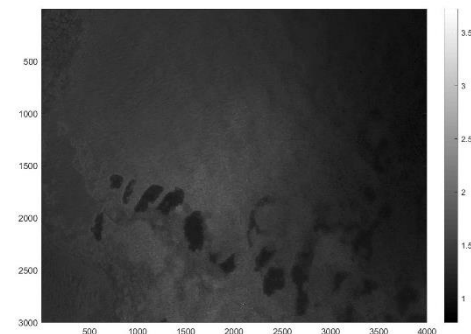
Initial RGB IMG_3910



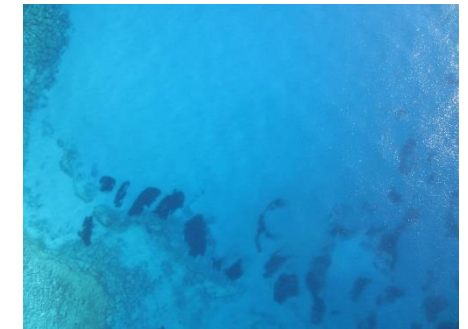
Modified Excess of Green
Modified (MExG)



Normalized Green- Red
Difference Index (NGRDI)

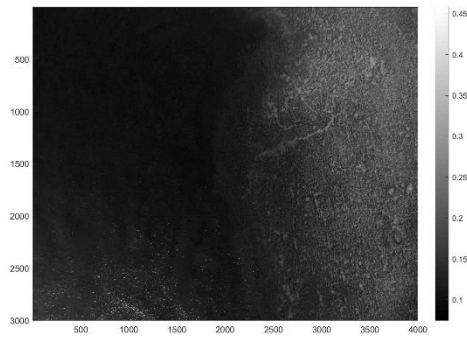


Vegetative Index (VEG)

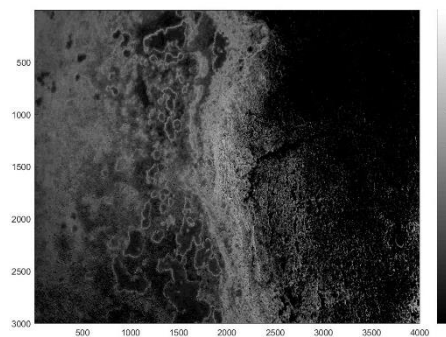


Initial RGB IMG_3910

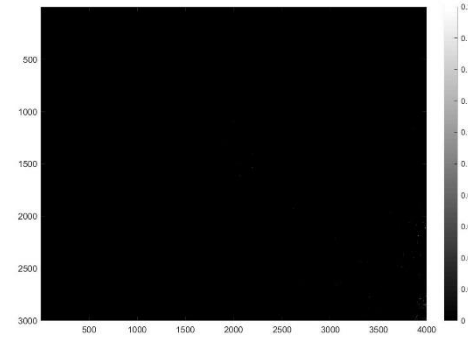
Εικόνα 7 Αποτελέσματα εφαρμογής δεικτών βλάστησης συνοδευόμενα με την κλίμακα των ραδιομετρικών τιμών εντάσεων - τόνων του γκρι, για περιοχή δοκιμής αεροφωτογραφίας με κωδικό IMG_3910.



Color Index Vegetation (CIVE)



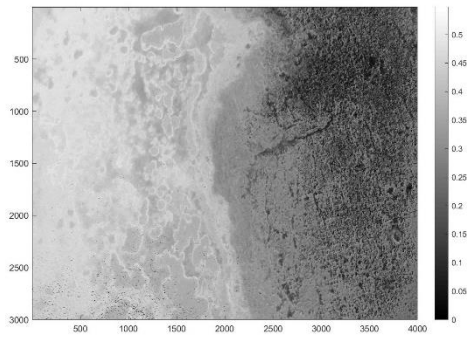
Excess of Green (ExG)



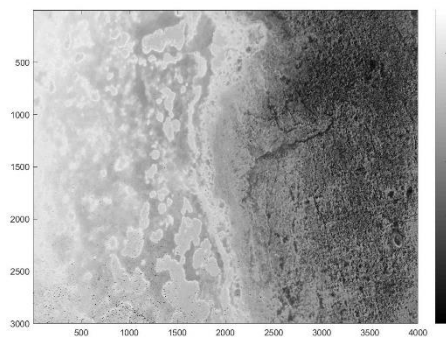
Excess of Green minus Excess of Red (ExGR)



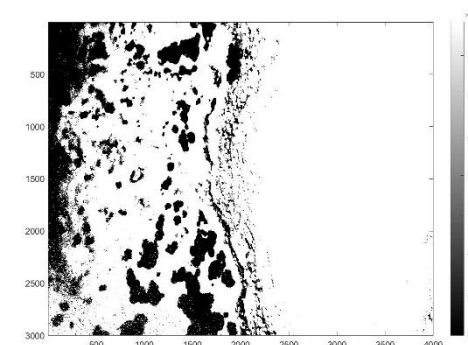
Initial RGB IMG_3930



Excess of Red, coeff.1.3 (ExR)



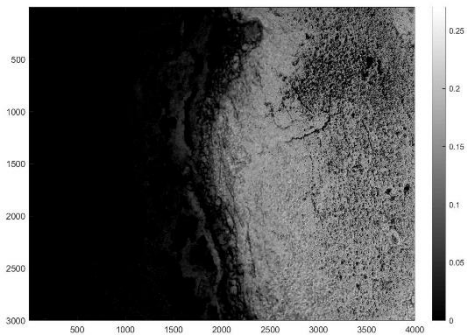
Excess of Red, coeff.1.4 (ExR)



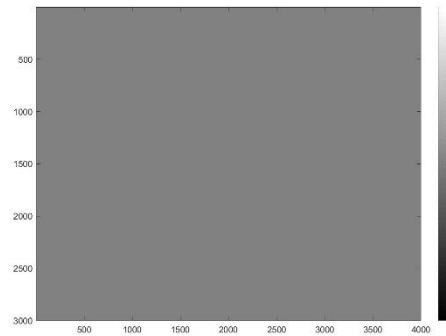
Normalized Green Band (NGB)



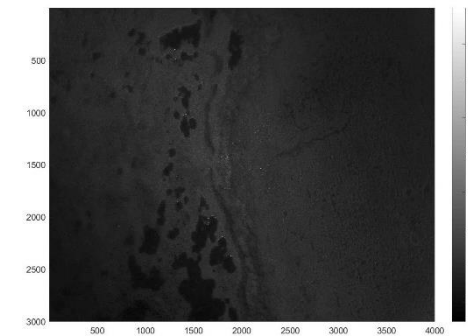
Initial RGB IMG_3930



Modified Excess of Green Modified (MExG)



Normalized Green- Red Difference Index (NGRDI)



Vegetative Index (VEG)

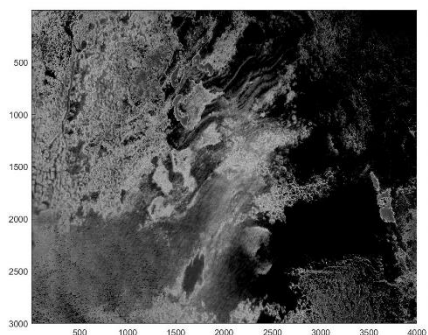


Initial RGB IMG_3930

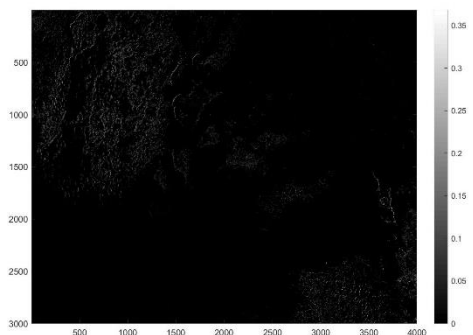
Εικόνα 8 Αποτελέσματα εφαρμογής δεικτών βλάστησης συνοδευόμενα με την κλίμακα των ραδιομετρικών τιμών εντάσεων - τόνων του γκρι, για περιοχή δοκιμής αεροφωτογραφίας με κωδικό IMG_3910



Color Index Vegetation (CIVE)



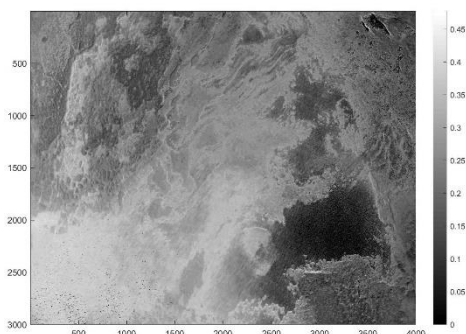
Excess of Green (ExG)



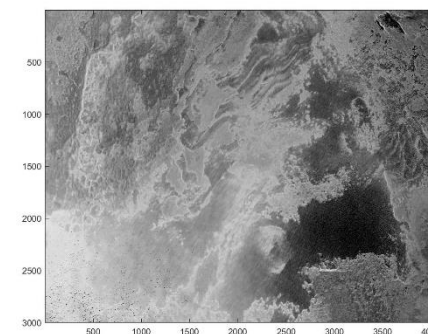
Excess of Green minus Excess of Red (ExGR)



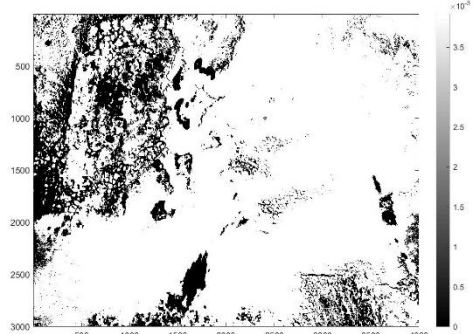
Initial RGB IMG_3956



Excess of Red, coeff.1.3 (ExR)



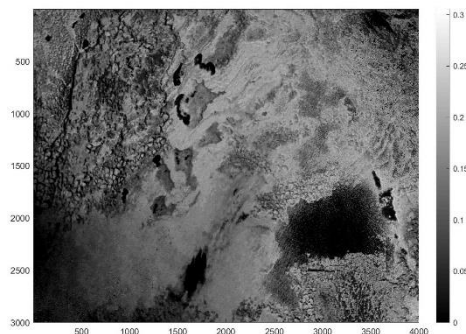
Excess of Red, coeff.1.4 (ExR)



Normalized Green Band (NGB)



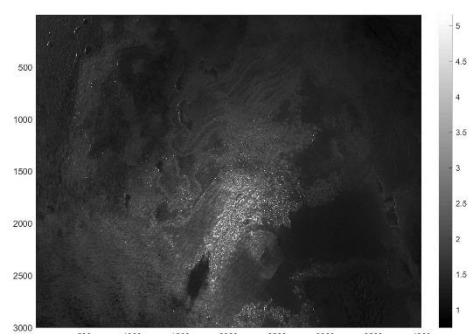
Initial RGB IMG_3956



Modified Excess of Green Modified (MExG)



Normalized Green- Red Difference Index (NGRDI)

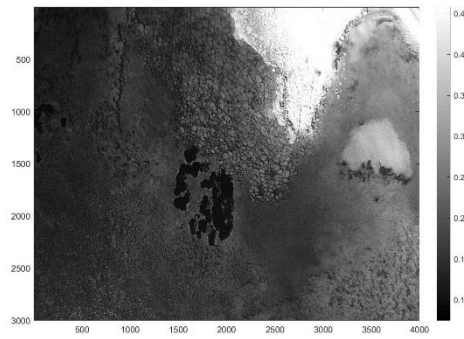


Vegetative Index (VEG)

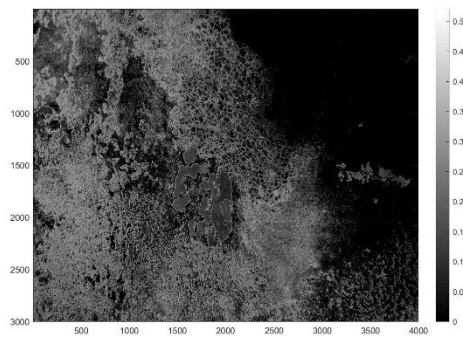


Initial RGB IMG_3956

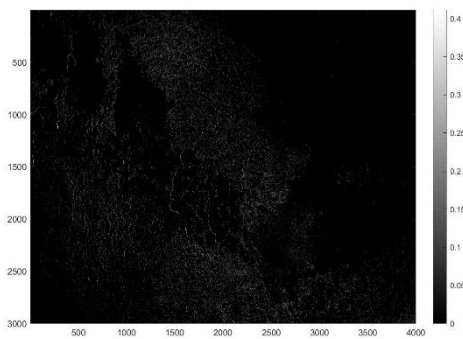
Εικόνα 9 Αποτελέσματα εφαρμογής δεικτών βλάστησης συνοδευόμενα με την κλίμακα των ραδιομετρικών τιμών εντάσεων - τόνων του γκρι, για περιοχή δοκιμής αεροφωτογραφίας με κωδικό IMG_3956



Color Index Vegetation (CIVE)



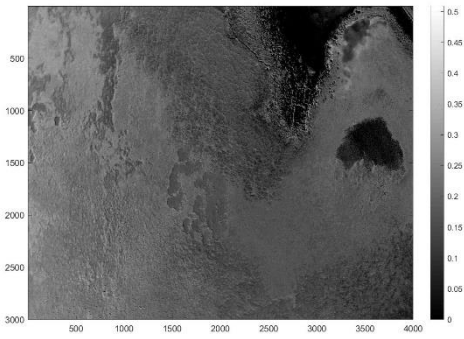
Excess of Green (ExG)



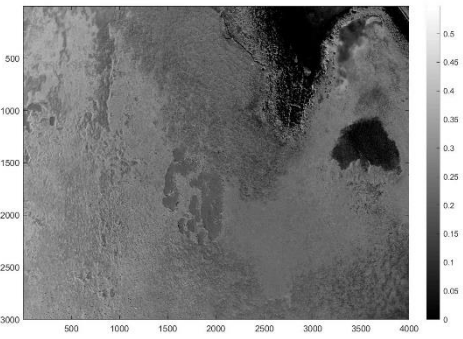
Excess of Green minus Excess of Red (ExGR)



Initial RGB IMG_3964



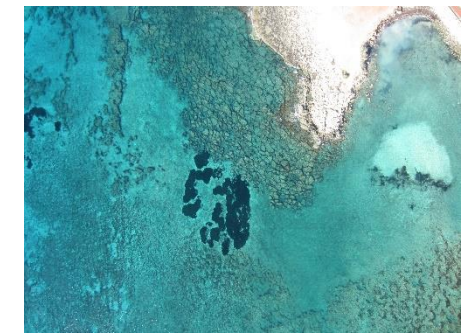
Excess of Red, coeff.1.3 (ExR)



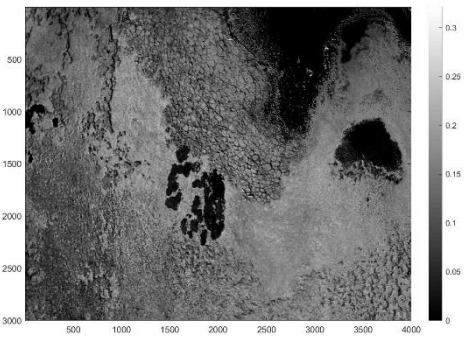
Excess of Red, coeff.1.4 (ExR)



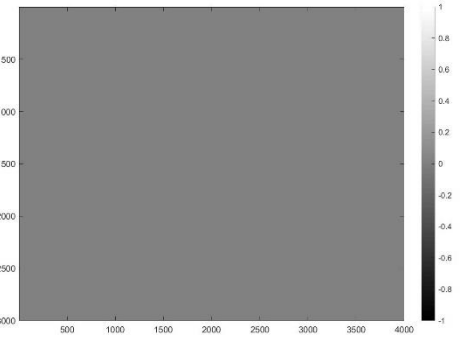
Normalized Green Band (NGB)



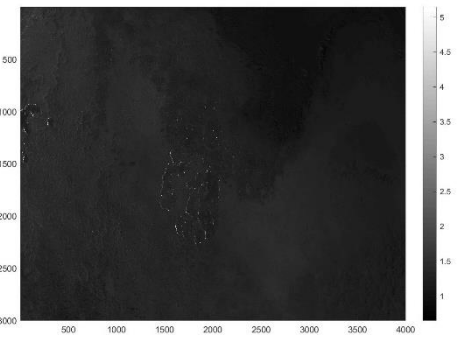
Initial RGB IMG_3964



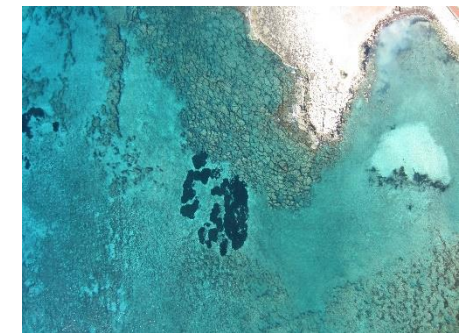
Modified Excess of Green Modified (MExG)



Normalized Green- Red Difference Index (NGRDI)

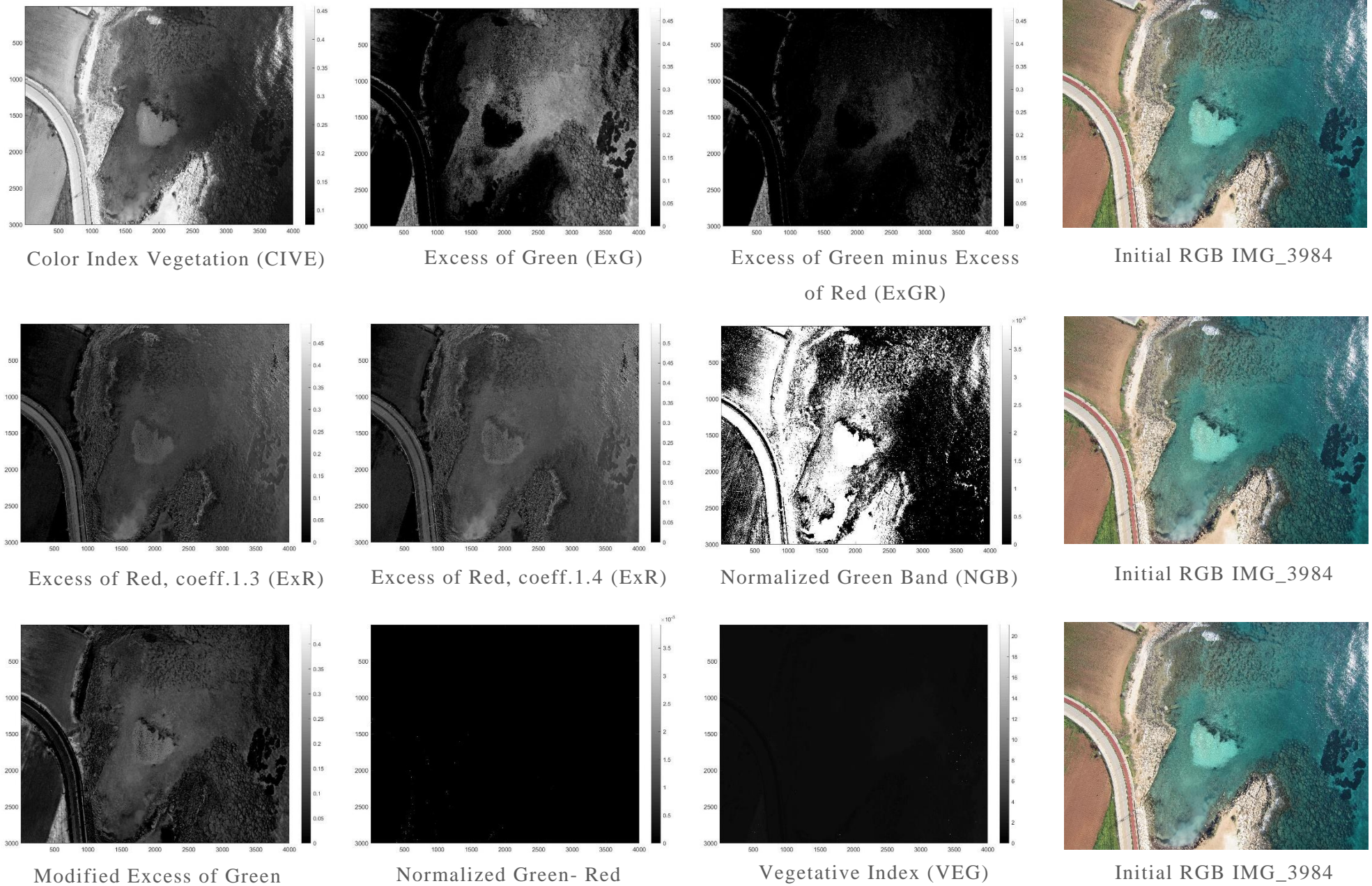


Vegetative Index (VEG)



Initial RGB IMG_3964

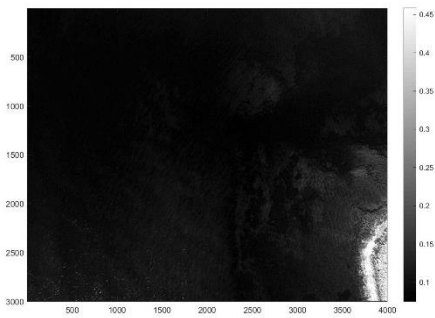
Εικόνα 10 Αποτελέσματα εφαρμογής δεικτών βλάστησης συνοδευόμενα με την κλίμακα των ραδιομετρικών τιμών εντάσεων - τόνων του γκρι, για περιοχή δοκιμής αεροφωτογραφίας με κωδικό IMG_3964



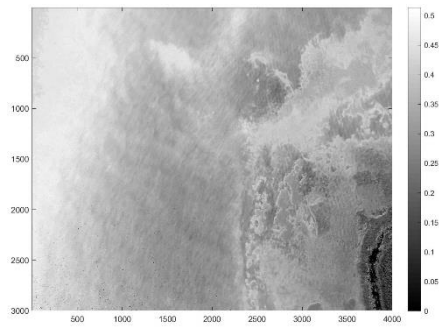
Εικόνα 11 Αποτελέσματα εφαρμογής δεικτών βλάστησης συνοδευόμενα με την κλίμακα των ραδιομετρικών τιμών εντάσεων - τόνων του γκρι, για περιοχή δοκιμής αεροφωτογραφίας με κωδικό IMG_3984 ³⁹

4.1.2 Επιλογή δείκτη για ανάδειξη ακτογραμμής

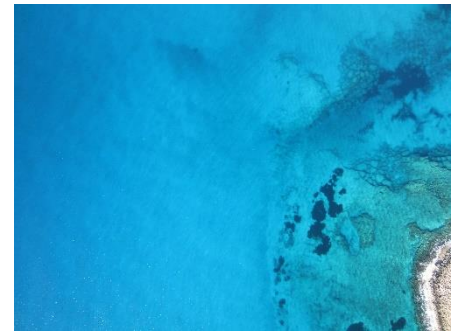
Με σκοπό να επιλεγεί ο βέλτιστος δείκτης για ανάδειξη της ακτογραμμής, αξιοποιήθηκαν τα παραπάνω αποτελέσματα εφαρμογής των δεικτών βλάστησης και παρατηρήθηκε πως οι δείκτες CIVE και ExR παρουσίαζαν τον καλύτερο διαχωρισμό σε όσες περιοχές υπήρχε κομμάτι στεριάς. Λόγω των αρκετά παρόμοιων αποτελεσμάτων των δύο δεικτών, για την τελική επιλογή έγινε παρατήρηση όλων των παραγόμενων εικόνων που περιείχαν κομμάτι στεριάς και παρατηρήθηκε πως παρά τα αρκετά παρόμοια αποτελέσματα, με την διαφορά της μετατόπισης της φωτεινότητας λόγω της σταθεράς που περιέχει η εξίσωση του CIVE, ο δείκτης ExR σε κάποιες περιπτώσεις, έδινε καλύτερη διαβάθμιση κατά μήκος της ακτογραμμής, ενώ ο CIVE τόνιζε τις περιοχές εντός του χερσαίου κομματιού που ήταν δευτερεύον προτεραιότητα για τον σκοπό του συγκεκριμένου κομματιού της εργασίας. Επιπρόσθετα, από τα ιστογράμματα κατανομής τιμών έντασης, τυχαίου δείγματος εικόνων, παρατηρήθηκε πως με την εφαρμογή του δείκτη ExR έτειναν περισσότερο στην μορφή κανονικής κατανομής, που συνάδει ευκολότερη υλοποίηση καταφλίωσης σε επόμενο στάδιο. Επομένως, ο δείκτης ExR θα χρησιμοποιούταν για ανάδειξη της ακτογραμμής, τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στην Εικόνα 12 παρουσιάζουν την υπερίσχυση του ExR σε κάποιες χαρακτηριστικές περιπτώσεις δύσκολης διάκρισης της περιοχής της ακτογραμμής.



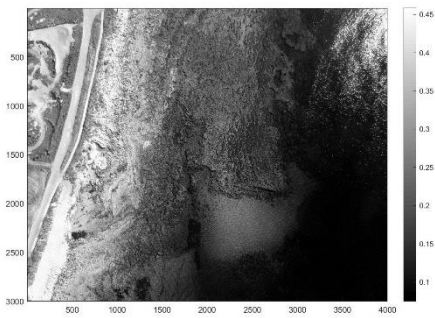
Color Index Vegetation (CIVE)



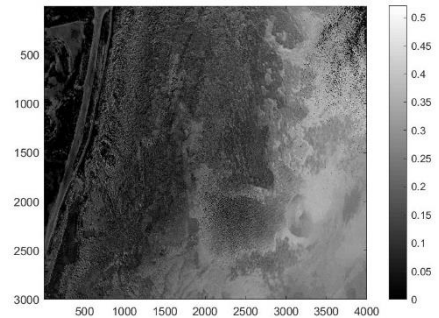
Excess of Red, coeff.1.3 (ExR)



Initial RGB IMG_3914



Color Index Vegetation (CIVE)



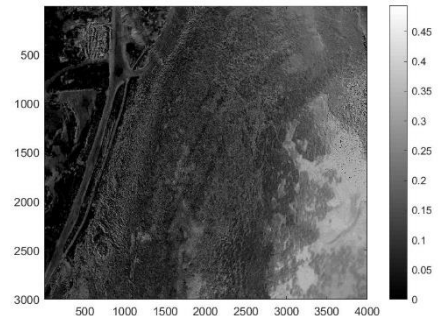
Excess of Red, coeff.1.3 (ExR)



Initial RGB IMG_3992



Color Index Vegetation (CIVE)



Excess of Red, coeff.1.3 (ExR)



Initial RGB IMG_3993

Εικόνα 12 Αποτελέσματα εφαρμογής δεικτών βλάστησης συνοδευόμενα με την κλίμακα των ραδιομετρικών τιμών εντάσεων - τόνων του γκρι, για περιπτώσεις χαρακτηριστικής διαφοροποίησης δεικτών ExR και CIVE, περιοχών που περιέχουν κομμάτι στεριάς. Πρώτη σειρά: α/φ με κωδικό IMG_3914, Δεύτερη σειρά: α/φ με κωδικό IMG_3992, Τρίτη σειρά: α/φ με κωδικό IMG_3993.

4.2 Τροποποίηση παραμέτρων δείκτη

4.2.1 Βελτιστοποίηση δείκτη για εντοπισμό υποβρύχιας βλάστησης

Με σκοπό να εξεταστεί αν υπάρχει περιθώριο βελτιστοποίησης των αποτελεσμάτων εφαρμογής του δείκτη ExG για τον εντοπισμό και ανάδειξη της υποβρύχιας βλάστησης, πραγματοποιήθηκαν δοκιμές εφαρμογής του, με αλλαγές στις υφιστάμενες σταθερές και παραμέτρους όπως ορίζουν την εξίσωση του, στο κεφάλαιο 1.4 εξίσωση (5) της προκειμένης εργασίας. Οι μορφοποιήσεις πραγματοποιήθηκαν στις ίδιες περιοχές δοκιμής και χωρίστηκαν σε δύο (2) κατηγορίες, όπως φαίνεται και στον παρακάτω Πίνακα 2. Η πρώτη κατηγορία αφορούσε την τροποποίηση των ίδιων των μεταβλητών της εξίσωσης του δείκτη, ενώ η δεύτερη την σταθερά που προσδιορίζει την μεταβλητή του πράσινου χρώματος. Δεδομένου, πως στην πρώτη δοκιμή εφαρμογής όλων των δεικτών βλάστησης αποδείχθηκε, ότι η καθολική χρήση των κανονικοποιημένων τιμών δεν οδηγεί σε ουσιώδη αποτελέσματα, στην πρώτη κατηγορία τροποποιήσεων δοκιμάστηκε η μερική εφαρμογή των κανονικοποιημένων τιμών στις παραμέτρους της εξίσωσης του δείκτη ExG. Με βάση το βέλτιστο αποτέλεσμα της πρώτης κατηγορίας μορφοποίησης, έγιναν περαιτέρω δοκιμές με την μεταβολή της σταθεράς, που προσδιορίζει το ποσοστό συμβολής, του πράσινου χρώματος στην εξίσωση.

Από τις δοκιμές που υλοποιήθηκαν για την πρώτη κατηγορία τροποποίησης, προέκυψε πως με την χρήση κανονικοποιημένων τιμών του εκάστοτε εικονοστοιχείου που αντιπροσωπεύει το πράσινο σε συνδυασμό με τις κανονικοποιημένες του κόκκινου ή του μπλε, το αποτέλεσμα ήταν η παραγωγή μαύρης εικόνας χωρίς καμία πληροφορία. Ενώ, με την χρήση κανονικοποιημένων τιμών του εκάστοτε εικονοστοιχείου που αντιπροσωπεύει το μπλε και κόκκινο χρώμα, τα αποτελέσματα εφαρμογής του δείκτη βελτιώθηκαν, αφού η διαφοροποίηση έγινε ακόμα πιο έντονη, με την γύρω περιοχή να είναι σχεδόν λευκού τόνου, ενώ οι περιοχές ενδιαφέροντος, περιοχές υποβρύχιας βλάστησης, παρουσιάζονταν ακόμα πιο έντονες. Στις Εικόνα 13 παρουσιάζονται τα οπτικά αποτελέσματα, εξαιρουμένων των μαύρων εικόνων, της πρώτης κατηγορίας μορφοποίησης. Η βέλτιστη μορφή του δείκτη με το πέρας της πρώτης κατηγορίας τροποποίησης ήταν η εξής:

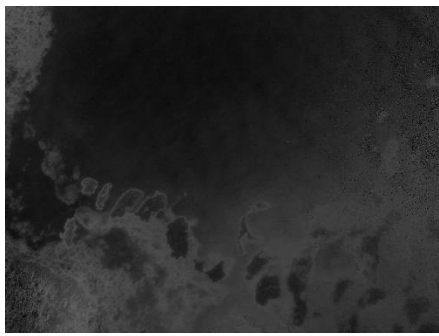
$$ModExG = 2 \times G - \left(\frac{R}{R + G + B} \right) - \left(\frac{G}{R + G + B} \right) \quad (11)$$

Με βάση το βέλτιστο αποτέλεσμα από την πρώτη κατηγορία επεξεργασίας του δείκτη ExG, προχώρησε η περαιτέρω μορφοποίηση της σταθεράς της μεταβλητής του πράσινου χρώματος. Προκειμένου να περιοριστεί το πλήθος των δοκιμών που επρόκειτο να υλοποιηθούν, πραγματοποιήθηκε δοκιμή χρήσης τόσο της υπό-διπλάσιας όσο και της διπλάσιας τιμής της σταθεράς, παρατηρήθηκε πως τα αποτελέσματα αλλοιώνονται σε μεγάλο βαθμό, επομένως εξετάστηκε η μεταβολή της σταθεράς στο εύρος τιμών 1 έως 3 με βήμα 0.1. Από την εφαρμογή αυτού του εύρους τιμών της σταθεράς της μεταβλητής του πράσινου χρώματος, παρατηρήθηκε πως για τιμές άνω του 2 το παραγόμενο αποτέλεσμα, ήταν ιδιαίτερα αλλοιωμένο χωρίς να είναι εφικτή η εξαγωγή ουσιώδους πληροφορίας για την υποβρύχια βλάστηση. Ενδεικτικά στην Εικόνα 14 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του δείκτη ExG σε μία περιοχή δοκιμής για τιμή σταθεράς άνω του 2, ενώ στις Εικόνες 15-16 παρουσιάζονται τα οπτικά αποτελέσματα από την εφαρμογή του δείκτη ExG, για δύο από τις περιοχές δοκιμής, με μεταβολή της σταθεράς της μεταβλητής του πράσινου από την τιμή 1 έως την τιμή 2. Με την ολοκλήρωση και των δύο κατηγοριών μορφοποίησης της αρχικής εξίσωσης του δείκτη ExG, προέκυψε πως για την περίπτωση της υποβρύχιας βλάστησης σε σχετικά ρηχά νερά, υπάρχει περιθώριο βελτιστοποίησης των αποτελεσμάτων εφαρμογής αυτού. Επομένως, ο καταλληλότερος δείκτης για τις ανάγκες της προκείμενης εργασίας κρίθηκε με βάση και τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την δεύτερη κατηγορία τροποποιήσεων, πως είναι ο δείκτης Excess of Green (ExG) με σταθερά μεταβλητή πράσινου χρώματος ίση με 1.4 και με μερική χρήση κανονικοποιημένων τιμών του κόκκινου και πράσινου καναλιού των εικονοστοιχείων. Η τελική μορφή του δείκτη ήταν η εξής:

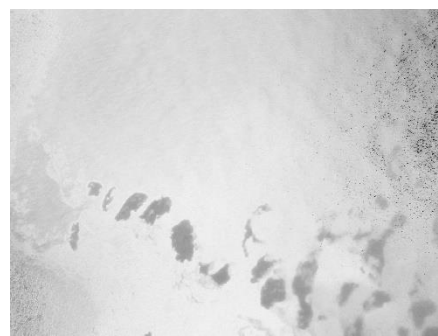
$$ModExG = 1.4 \times G - \left(\frac{R}{R + G + B} \right) - \left(\frac{G}{R + G + B} \right) \quad (12)$$

Πίνακας 2 Κατηγορίες μορφοποιήσεων και οι εξισώσεις αυτών, που πραγματοποιήθηκαν για πιθανή βελτιστοποίηση του δείκτη ExG.

Πρώτη κατηγορία μορφοποίησης: Επιμέρους εφαρμογή κανονικοποιημένων τιμών χρωματικών καναλιών.			
A/A	Εξισώσεις		
1.	$\text{ModExG} = 2*(G/R+G+B) - R - B$		
2.	$\text{ModExG} = 2*G - (R/R+G+B) - B$		
3.	$\text{ModExG} = 2*G - R - (B /R+G+B)$		
4.	$\text{ModExG} = 2*(G/R+G+B) - (R/R+G+B) - B$		
5.	$\text{ModExG} = 2*(G/R+G+B) - R - (B/R+G+B)$		
6.	$\text{ModExG} = 2*G - (R/R+G+B) - (B /R+G+B)$		
Δεύτερη κατηγορία μορφοποίησης: Μεταβολή σταθεράς μεταβλητής πρασίνου χρώματος			
A/A	Εξισώσεις	A/A	Εξισώσεις
7.	$\text{ModExG} = 1.0*G - (R/R+G+B) - (B /R+G+B)$	17.	$\text{ModExG} = 2.1*G - (R/R+G+B) - (B /R+G+B)$
8.	$\text{ModExG} = 1.1*G - (R/R+G+B) - (B /R+G+B)$	18.	$\text{ModExG} = 2.2*G - (R/R+G+B) - (B /R+G+B)$
9.	$\text{ModExG} = 1.2*G - (R/R+G+B) - (B /R+G+B)$	19.	$\text{ModExG} = 2.3*G - (R/R+G+B) - (B /R+G+B)$
10.	$\text{ModExG} = 1.3*G - (R/R+G+B) - (B /R+G+B)$	20.	$\text{ModExG} = 2.4*G - (R/R+G+B) - (B /R+G+B)$
11.	$\text{ModExG} = 1.4*G - (R/R+G+B) - (B /R+G+B)$	21.	$\text{ModExG} = 2.5*G - (R/R+G+B) - (B /R+G+B)$
12.	$\text{ModExG} = 1.5*G - (R/R+G+B) - (B /R+G+B)$	22.	$\text{ModExG} = 2.6*G - (R/R+G+B) - (B /R+G+B)$
13.	$\text{ModExG} = 1.6*G - (R/R+G+B) - (B /R+G+B)$	23.	$\text{ModExG} = 2.7*G - (R/R+G+B) - (B /R+G+B)$
14.	$\text{ModExG} = 1.7*G - (R/R+G+B) - (B /R+G+B)$	24.	$\text{ModExG} = 2.8*G - (R/R+G+B) - (B /R+G+B)$
15.	$\text{ModExG} = 1.8*G - (R/R+G+B) - (B /R+G+B)$	25.	$\text{ModExG} = 2.9*G - (R/R+G+B) - (B /R+G+B)$
16.	$\text{ModExG} = 1.9*G - (R/R+G+B) - (B /R+G+B)$	26.	$\text{ModExG} = 3.0*G - (R/R+G+B) - (B /R+G+B)$



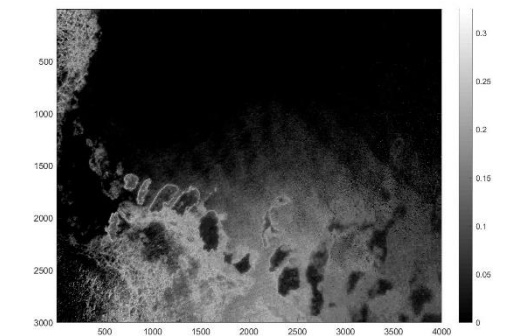
ModExG_1 with normalized blue band



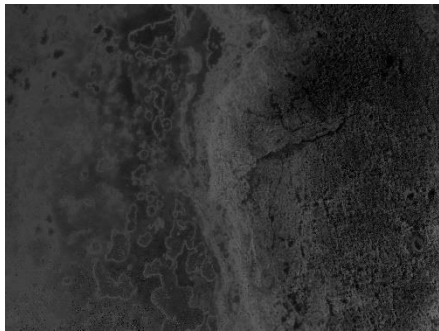
ModExG_2 with normalized red band



ModExG_3 with normalized red, blue bands



ExG reference IMG_3910



ModExG_1 with normalized blue band



ModExG_2 with normalized red band



ModExG_3 with normalized red, blue bands



ExG reference IMG_3930



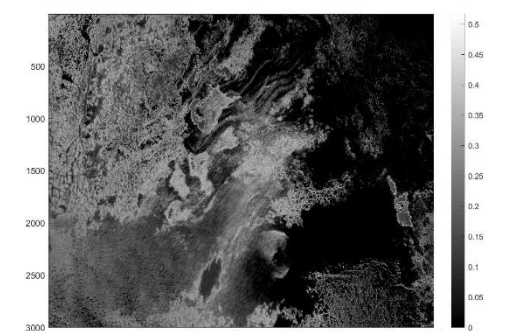
ModExG_1 with normalized blue band



ModExG_2 with normalized red band



ModExG_3 with normalized red, blue bands



ExG reference IMG_3956



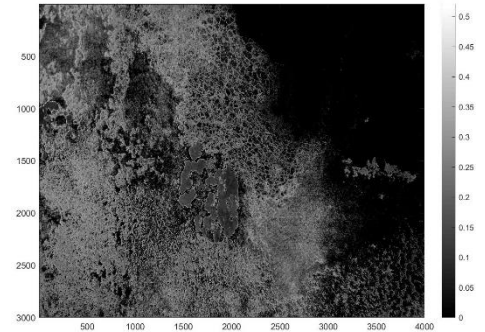
ModExG_1 with normalized
blue band



ModExG_2 with normalized
red band



ModExG_3 with normalized
red, blue bands



ExG reference IMG_3964



ModExG_1 with normalized
blue band



ModExG_2 with normalized
red band

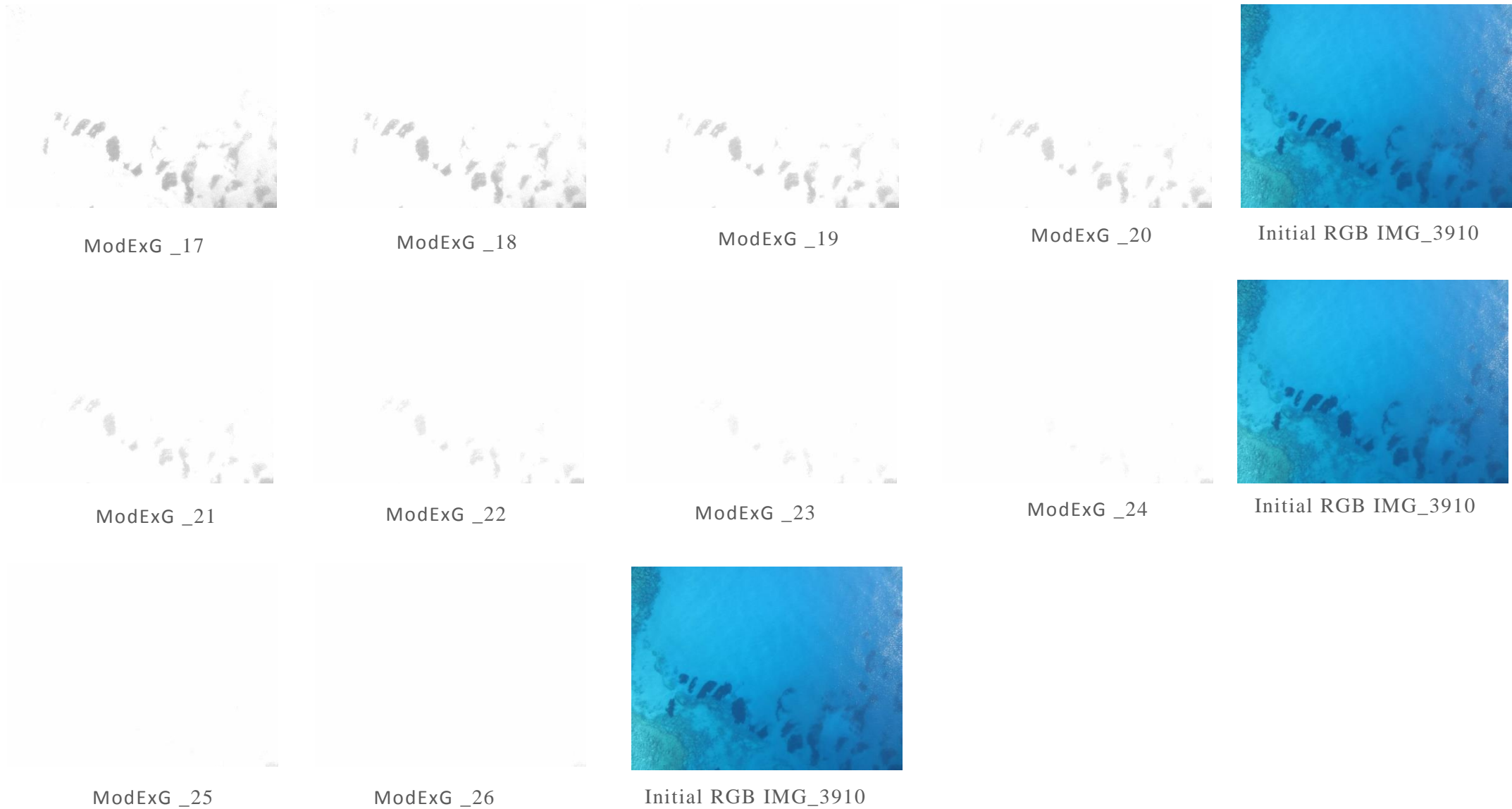


ModExG_3 with normalized
red, blue bands

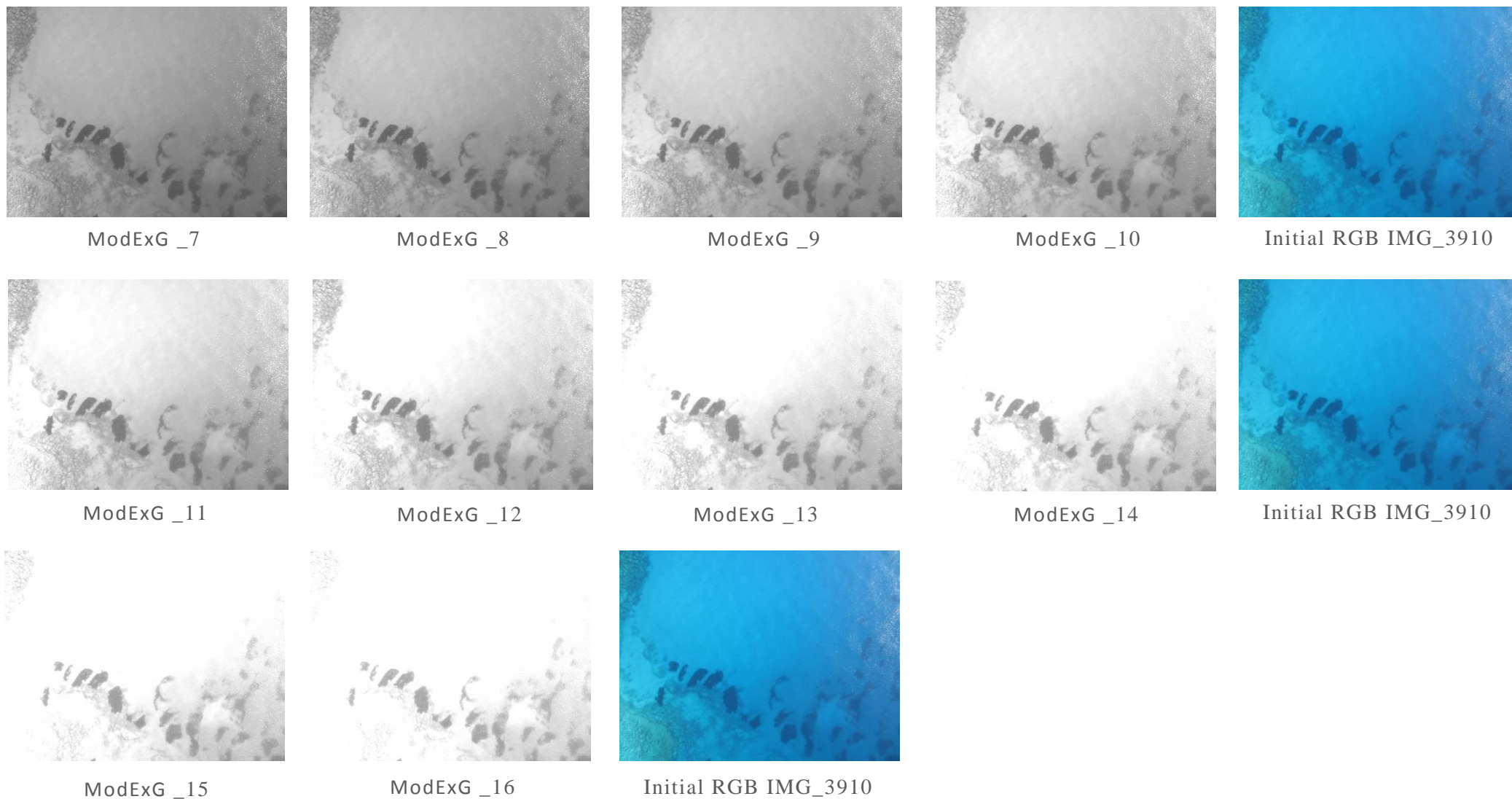


ExG reference IMG_3984

Εικόνα 13 Αποτελέσματα δοκιμών μερικής χρήσης κανονικοποιημένων τιμών καναλιών στην εξίσωση του δείκτη ExG, στις περιοχές δοκιμών. Πρώτη στήλη: κανονικοποιημένη τιμή μπλε. Δεύτερη στήλη: κανονικοποιημένη τιμή κόκκινου. Τρίτη στήλη: κανονικοποιημένη τιμή μπλε και κόκκινου. Τέταρτη στήλη: δείκτης ExG όπως ορίζεται στην βιβλιογραφία (εικόνα αναφοράς). Ο αναγραφόμενος αριθμός στην περιγραφή της εκάστοτε εικόνα αντιστοιχεί στην εξίσωση που την περιγράφει στον πίνακα 2.



Εικόνα 14 Αποτελέσματα μη επιτυχούς εφαρμογής, για την περιοχή δοκιμής IMG 3910, του δείκτη ExG με χρήση κανονικοποιημένων τιμών για τις μεταβλητές κόκκινου και μπλε χρώματος, παράλληλα με μεταβαλλόμενη σταθερά μεταβλητής πράσινου χρώματος βήματος 0.1 στο εύρος τιμών 2 έως 3. Ο αναγραφόμενος αριθμός στην περιγραφή της εκάστοτε εικόνα αντιστοιχεί στην εξίσωση που την περιγράφει στον πίνακα 2.



Εικόνα 15 Αποτελέσματα εφαρμογής, για την περιοχή δοκιμής IMG 3910, του δείκτη ExG με χρήση κανονικοποιημένων τιμών για τις μεταβλητές κόκκινου και μπλε χρώματος, παράλληλα με μεταβαλλόμενη σταθερά μεταβλητής πράσινου χρώματος βήματος 0.1 στο εύρος τιμών 1 έως 2. Ο αναγραφόμενος αριθμός στην περιγραφή της εκάστοτε εικόνα αντιστοιχεί στην εξίσωση που την περιγράφει στον πίνακα 2.



ModExG _7



ModExG _8



ModExG _9



ModExG _10



Initial RGB IMG_3984



ModExG _11



ModExG _12



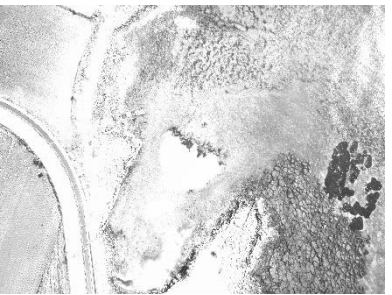
ModExG _13



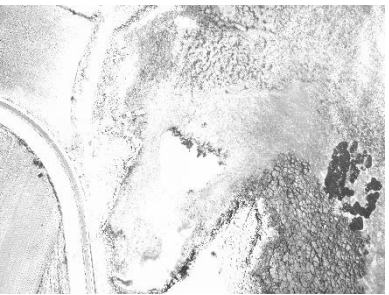
ModExG _14



Initial RGB IMG_3984



ModExG _15



ModExG _16



Initial RGB IMG_3984

Εικόνα 16 Αποτελέσματα εφαρμογής, για την περιοχή δοκιμής IMG 3984, του δείκτη ExG με χρήση κανονικοποιημένων τιμών για τις μεταβλητές κόκκινου και μπλε χρώματος, παράλληλα με μεταβαλλόμενη σταθερά μεταβλητής πράσινου χρώματος βήματος 0.1 στο εύρος τιμών 1 έως 2. Ο αναγραφόμενος αριθμός στην περιγραφή της εκάστοτε εικόνα αντιστοιχεί στην εξίσωση που την περιγράφει στον πίνακα 2.

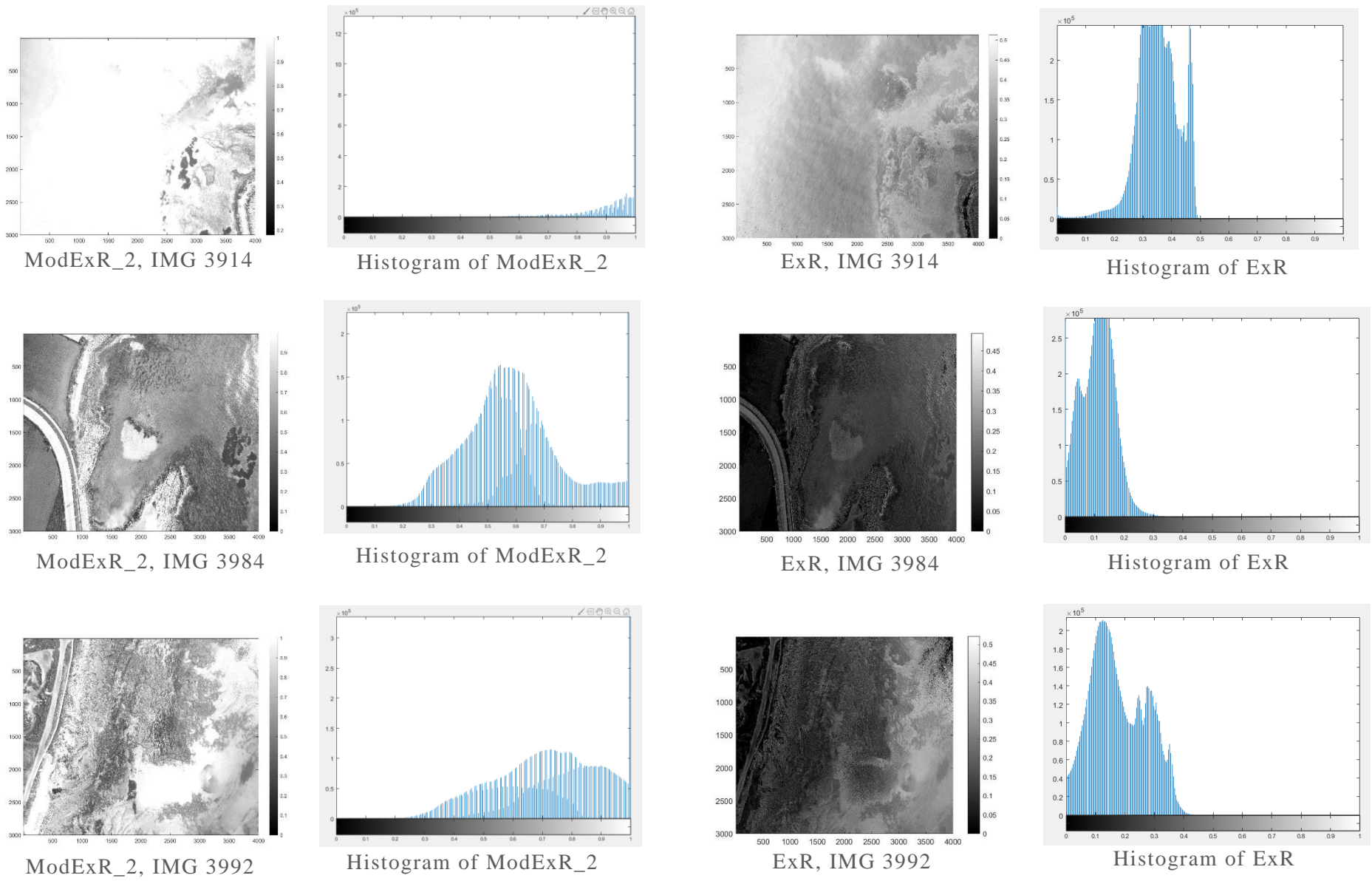
4.2.2 Βελτιστοποίηση δείκτη για ανάδειξη ακτογραμμής

Η επιλογή του ExR για την ανάδειξη της ακτογραμμής, όπως αναφέρθηκε βασίστηκε στην παρατήρηση ειδικών περιπτώσεων και βάσει του ιστογράμματος κατανομής εμφάνισης τιμών έντασης, όπου έτειναν να έχουν μορφή κανονικής κατανομής. Ωστόσο, όπως παρουσιάστηκε και από το δείγμα εικόνων στην ενότητα 4.2.2, ο δείκτης ExR είχε περιθώριο βελτιστοποίησης. Επομένως, ακολουθήθηκε αντίστοιχη διαδικασία τροποποίησης 2 κατηγοριών όπως και στην περίπτωση του δείκτη για περιοχές υποβρύχιας βλάστησης: η πρώτη κατηγορία μορφοποίησης του δείκτη ExR αφορούσε την μερική χρήση κανονικοποιημένων τιμών των μεταβλητών που προσδιορίζουν χρωματικά κανάλια, ενώ στην δεύτερη κατηγορία πραγματοποιήθηκε τροποποίηση του συντελεστή της μεταβλητής που προσδιορίζει το κόκκινο χρώμα, με μεταβολή βήματος 0.1 στο εύρος τιμών 1.0 έως 2.0. Στον Πίνακα 3 διακρίνεται το σύνολο των μορφοποιήσεων που δοκιμάστηκαν,. Από τα αποτελέσματα της πρώτης κατηγορίας, στην Εικόνα 17 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα μόνο για την κανονικοποίηση της μεταβλητής που προσδιορίζει το πράσινο χρώμα, διότι απ' την κανονικοποίηση της μεταβλητής του κόκκινου πρόκυπτε μαύρη εικόνα χωρίς καμία πληροφορία. Οι εικόνες που χρησιμοποιήθηκαν ως δείγμα και εφαρμόστηκαν οι τροποποιήσεις ήταν οι εικόνες με κωδικό IMG_3914, IMG_3984, IMG_3992, όπου παρατηρήθηκε τόσο από το οπτικό αποτέλεσμα όσο και από τα αντίστοιχα ιστογράμματα κατανομής τιμών εντάσεων, ότι η κανονικοποίηση ίσως δυσκολεύει το επόμενο στάδιο που αφορά την κατωφλίωση. Επομένως, ως βάση για την δεύτερη κατηγορία τροποποιήσεων χρησιμοποιήθηκε η εξίσωση του ExR όπως δόθηκε από την βιβλιογραφία. Από τα οπτικά αποτελέσματα της δεύτερης κατηγορίας και των αντίστοιχων ιστογραμμάτων τους όπως φαίνονται στις Εικόνες 18-19, ενδεικτικά για την περιοχή της εικόνας IMG_3992, αποφασίστηκε να επιλεγθεί ως συντελεστής του κόκκινου η τιμή 1.1, όπου υπό συγκεκριμένες συνθήκες θα εφαρμόζονταν συμπληρωματικά με την αντίστοιχη εικόνα κλίμακας γκρι (grayscale) σε όλο το σετ των δεδομένων για το βέλτιστο δυνατό αποτέλεσμα ανάδειξης της ακτογραμμής. Συγκεκριμένα, πραγματοποιήθηκε δειγματοληψία τιμών υποπεριοχών των εικόνων, που θεωρούταν σκόπιμο να διατηρηθούν, στις οποίες δεν θα εφαρμόζονταν ο δείκτης ExR, αλλά θα διατηρούταν η ραδιομετρική πληροφορία όπως πρόκυπτε από την αντίστοιχη grayscale εικόνα της RGB. Επομένως, ύστερα από την τροποποίηση, η εξίσωση του δείκτη για ανάδειξη της ακτογραμμής ορίστηκε ως :

$$ModExR = 1.1 * R - G \quad (13)$$

Πίνακας 3 Κατηγορίες μορφοποιήσεων και οι εξισώσεις αυτών, που πραγματοποιήθηκαν για πιθανή βελτιστοποίηση του δείκτη ExR

Πρώτη κατηγορία μορφοποίησης: Επιμέρους εφαρμογή κανονικοποιημένων τιμών χρωματικών καναλιών.	
A/A	Εξισώσεις
1.	$ModExR = 1.3 * (R/R+G+B) - G$
2.	$ModExR = 1.3 * R - (G/R+G+B)$
Δεύτερη κατηγορία μορφοποίησης: Μεταβολή σταθεράς μεταβλητής πρασίνου χρώματος	
A/A	Εξισώσεις
3.	$ModExR = 1.0 * R - G$
4.	$ModExR = 1.1 * R - G$
5.	$ModExR = 1.2 * R - G$
6.	$ModExR = 1.4 * R - G$
7.	$ModExR = 1.5 * R - G$
8.	$ModExR = 1.6 * R - G$
9.	$ModExR = 1.7 * R - G$
10.	$ModExR = 1.8 * R - G$
11.	$ModExR = 1.9 * R - G$
12.	$ModExR = 2.0 * R - G$



Εικόνα 17 Οπτικά Αποτελέσματα και ιστογράμματα κατανομής των δοκιμών μερικής χρήσης κανονικοποιημένων τιμών στην μεταβλητή του πράσινου της εξίσωσης του δείκτη ExR, στις εικόνες IMG 3914, IMG 3984 και IMG 3992. Σε κάθε γραμμή οι πρώτες δύο (2) στήλες αφορούν τα αποτελέσματα δοκιμής κανονικοποίησης της πράσινης μεταβλητής και οι δύο (2) τελευταίες τα αποτελέσματα από την εφαρμογή του δείκτη όπως ορίζεται στην βιβλιογραφία με συντελεστή κόκκινου 1.3. Ο αναγραφόμενος αριθμός στην περιγραφή της εκάστοτε εικόνα αντιστοιχεί στην εξίσωση που την περιγράφει στον πίνακα 3.



ModExR_3, IMG 3992



ModExR_4, IMG 3992



ModExR_5, IMG 3992



Initial RGB, IMG 3992



ModExR_6, IMG 3992



ModExR_7, IMG 3992



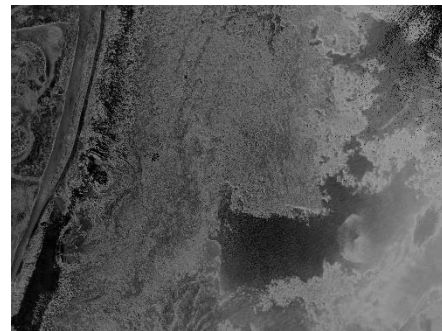
ModExR_8, IMG 3992



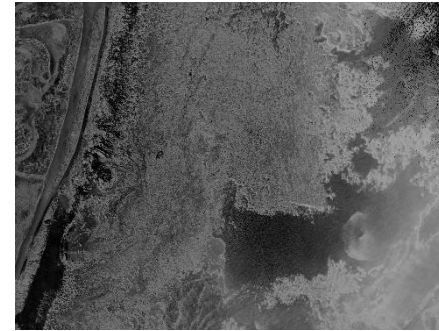
Initial RGB, IMG 3992



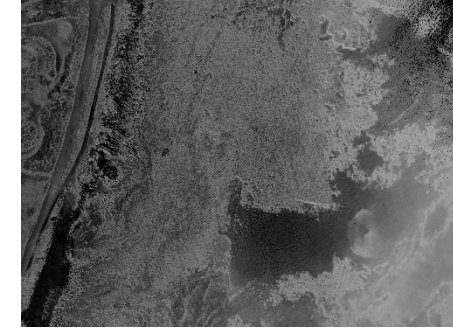
ModExR_9, IMG 3992



ModExR_10, IMG 3992

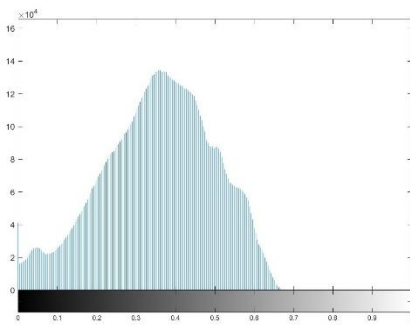


ModExR_11, IMG 3992

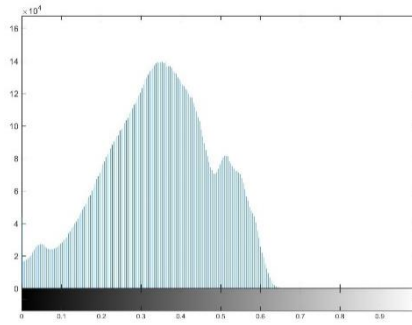


ModExR_12, IMG 3992

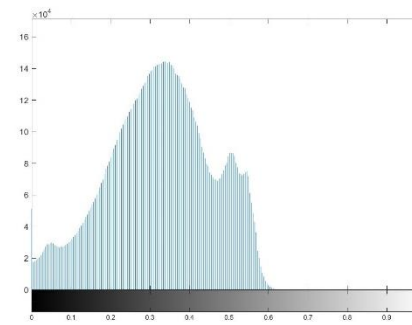
Εικόνα 18 Αποτελέσματα εφαρμογής, για την περιοχή δοκιμής IMG 3992, του δείκτη ModExR, όπως ορίστηκε απ' την τροποποίηση 1^η κατηγορία με μεταβαλλόμενη σταθερά μεταβλητής πράσινου χρώματος βήματος 0.1 στο εύρος τιμών 1 έως 2. Ο αναγραφόμενος αριθμός στην περιγραφή της εκάστοτε εικόνα αντιστοιχεί στην εξίσωση που την περιγράφει στον πίνακα 3.



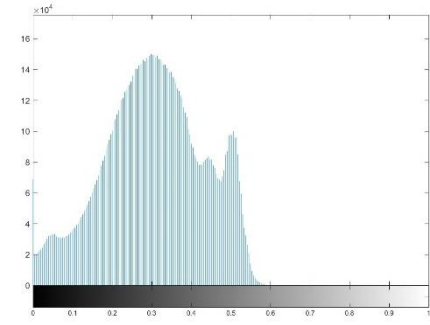
Histogram ModExR_3,
IMG 3992



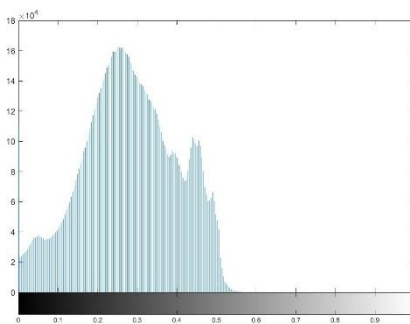
Histogram ModExR_4,
IMG 3992



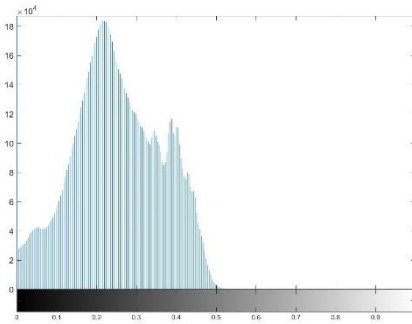
Histogram ModExR_5,
IMG 3992



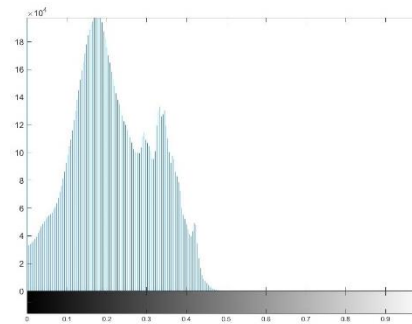
Histogram ModExR_6,
IMG 3992



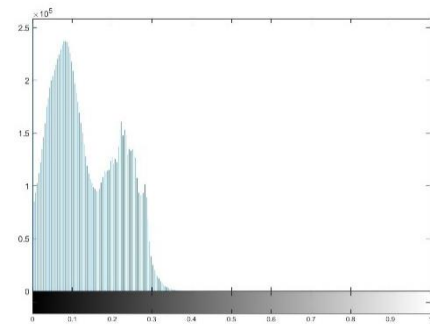
Histogram ModExR_7,
IMG 3992



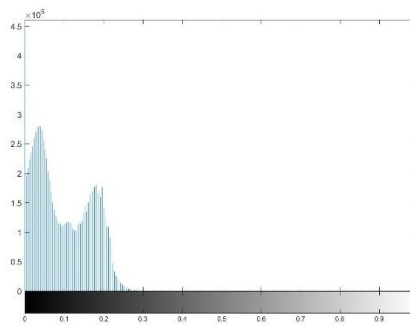
Histogram ModExR_8,
IMG 3992



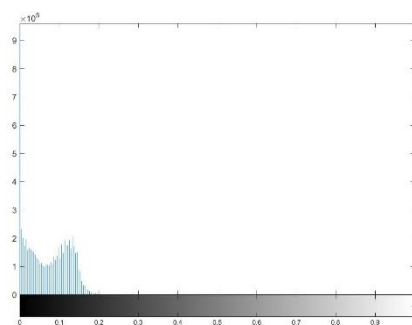
Histogram ModExR_9,
IMG 3992



Histogram ModExR_10,
IMG 3992



Histogram ModExR_11,
IMG 3992



Histogram ModExR_12,
IMG 3992

Εικόνα 19 Ιστογράμματα κατανομής ραδιομετρικής έντασης του δείκτη ModExR, με μεταβαλλόμενη σταθερά, βήματος 0.1, του κόκκινου χρώματος. Ο αναγραφόμενος αριθμός στην περιγραφή της εκάστοτε εικόνα αντιστοιχεί στην εξίσωση που την περιγράφει στον πίνακα 3.

4.3 Κατωφλίωση

4.3.1 Εύρεση βέλτιστης καθολικής τιμής κατωφλίωσης για περιοχές υποβρύχιας βλάστησης

Ακολούθως, με το πέρας της εύρεσης του βέλτιστου δείκτη και τροποποίησης αυτού, για ακόμη πιο βελτιωμένα αποτελέσματα εντοπισμού περιοχών υποβρύχιας βλάστησης, σειρά είχε η κατωφλίωση των παραγόμενων εικόνων του συνόλου των δεδομένων, όπως προέκυψαν από την εφαρμογή του τροποποιημένου βέλτιστου δείκτη Excess of Green. Σκοπός της κατωφλίωσης, ήταν η αφαίρεση οποιασδήποτε άλλης πληροφορίας εκτός από τις περιοχές ενδιαφέροντος, δηλαδή των περιοχών υποβρύχιας βλάστησης. Σε πρώτη φάση δοκιμών κατωφλίωσης, χρησιμοποιήθηκαν καθολικές τιμές κατωφλιού σε διάστημα τιμών μεταξύ 0.1 έως 0.8 με βήμα 0.1, χωρίς όμως να καταλήγουν σε κάποια ικανοποιητικά αποτελέσματα για το σύνολο των δεδομένων σύμφωνα με τους σκοπούς της μελέτης, έτσι η κατωφλίωση των υπό επεξεργασία εικόνων ακολούθησε μια διαφορετική προσέγγιση εισάγοντας την έννοια της ομαδοποίησης. Η μη επιτυχής κατωφλίωση με την εφαρμογή μιας καθολικής τιμής θεωρείτο αναμενόμενη λόγω της έκτασης της περιοχής μελέτης και κατ' επέκταση της ανομοιομορφίας του περιεχόμενου των δεδομένων μεταξύ των λήψεων, το οποίο μπορεί να διακριθεί και από την κατανομή στα ιστογράμματα των ραδιομετρικών τιμών έντασης μετά την εφαρμογή του δείκτη βλάστησης.

4.3.2 Εύρεση βέλτιστης τιμής κατωφλίωσης για περιοχές υποβρύχιας βλάστησης με υφιστάμενη ομαδοποίηση δεδομένων

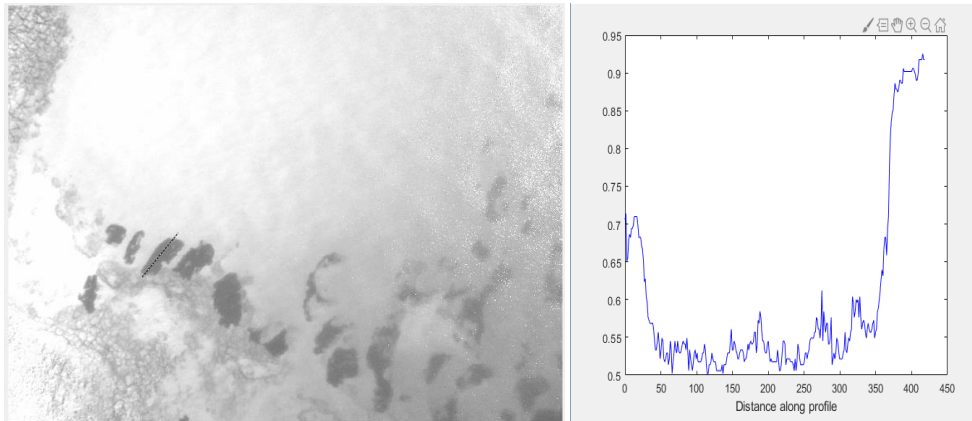
4.3.2.1 Μη αυτόματη μέθοδος ομαδοποίησης

Με σκοπό την βέλτιστη δυνατή κατωφλίωση, σε δεύτερη φάση και αξιοποιώντας την πληροφορία από την πρώτη σειρά δοκιμών, πως η μέγιστη τιμή κατωφλίωσης από την οποία προέκυπταν για την πλειοψηφία των εικόνων, συγκριτικά με τις υπόλοιπες τιμές, αποδεκτά αποτελέσματα ήταν η τιμή 0.65, πραγματοποιήθηκε μία επαναληπτική διαδικασία εφαρμογής του εύρους τιμών κατωφλίωσης από 0.1 έως 0.70 με βήμα 0.5 στην εκάστοτε εικόνα. Αποτέλεσμα της παραπάνω επαναληπτικής διαδικασίας, ήταν η εύρεση βέλτιστης τιμής κατωφλίωσης και τελικά η ομαδοποίηση των εικόνων σε δέκα (10) υποομάδες, βάσει την κρίση του χειριστή στην επιλογή βέλτιστης τιμής κατωφλίωσης.

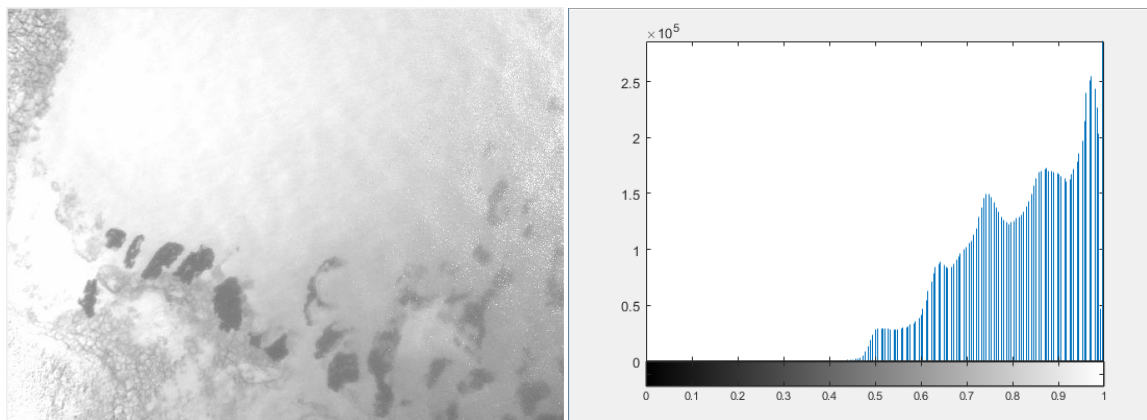
Οι βέλτιστες τιμές κατωφλίωσης των εικόνων επιλέχθηκαν με βάση την παρατήρηση του ιστογράμματος κατανομής των ραδιομετρικών τιμών έντασης καθώς και κάποιων τομών που υλοποιήθηκαν πάνω σε πλήθος περιοχών ενδιαφέροντος επί την εκάστοτε εικόνα. Οι τιμές κατωφλίωσης, από τις οποίες προέκυψε και ο αριθμός των υποομάδων, ήταν οι εξής: 0.70,0.65,0.60,0.55,0.50,0.45,0.40,0.30,0.25 και 0.15 . Η σταδιακή μείωση της τιμής κατωφλίωσης όπως παρατηρήθηκε κατά την υλοποίηση του συγκεκριμένου σταδίου, οφείλεται στην μορφή που έχει ο πυθμένας, όπως φαίνεται από τις αεροφωτογραφίες, στην αυξανόμενη παρουσία στεριάς, άρα σταδιακής μείωσης του βάθους, και των περιοχών (ενδιαφέροντος ή μη) που εμφανίζουν παρόμοιες αναλογίες έντασης από τα 3 κανάλια του ορατού φάσματος, που κατ' επέκταση η εφαρμογή του δείκτη είχε παρόμοια αποτελέσματα. Όσο αφορά το σύνολο των υποομάδων που προέκυψε πρέπει να επισημανθεί, πως κάθε υποομάδα αποτελείται από 5 εικόνες και άνω με εξαίρεση την υποομάδα με χαρακτηριστική τιμή κατωφλίωσης 0.15, όπου αποτελείται μόνο από μία εικόνα, λόγω του περιεχομένου της εικόνας και της πολυπλοκότητας του ιστογράμματος κατανομής των ραδιομετρικών τιμών της έντασης των εικονοστοιχείων, όπως προκύπτει μετά την εφαρμογή του δείκτη.

Στις παρακάτω Εικόνες 20-21, παρουσιάζεται ένα παράδειγμα από την διαδικασία επιλογής τιμής κατωφλίωσης για μία εικόνα από τις περιοχές δοκιμής που χρησιμοποιήθηκαν προηγουμένως. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα, από την τομή διακρίνεται πως οι τιμές που αντιστοιχούν στην περιοχή φυκιών είναι περίπου από το 0.0 έως το 0.6, ενώ από το συνολικό ιστόγραμμα κατανομής των ραδιομετρικών τιμών έντασης, παρουσιάζεται πως το σημείο όπου δημιουργείται έντονο «σκαλί» που από την δεξιά αυξάνονται απότομα οι συγκεντρώσεις εικονοστοιχείων με μεγαλύτερες τιμές έντασης από 0.6. Λαμβάνοντας υπόψιν τα παραπάνω και με την επαναληπτική διαδικασία εφαρμογής διάφορων τιμών κατωφλίωσης, πράγματι προέκυψε πως η βέλτιστη τιμή κατωφλίωσης στην συγκεκριμένη περίπτωση-εικόνα είναι η τιμή 0.6. Αντίστοιχα, με την δημιουργία αρκετών τομών και την παρατήρηση της κατανομής προέκυψαν οι βέλτιστες τιμές κατωφλίωσης για την κάθε εικόνα του συνόλου των δεδομένων ξεχωριστά.

Ωστόσο, λόγω του γεγονότος πως το στάδιο της ομαδοποίησης υλοποιήθηκε με μη αυτόματη μέθοδο, κρίθηκε αναγκαίο σε τρίτη φάση του σταδίου της κατωφλίωσης να γίνει μία προσέγγιση της διαδικασίας επιλογής τιμών κατωφλίωσης με ημι-αυτόματη μέθοδο. Ο σκοπός της συγκεκριμένης μεθόδου ήταν η επιβεβαίωση, των περισσότερων αν όχι όλων, τιμών κατωφλίωσης που επιλέχθηκαν στην περίπτωση της μη αυτόματης ομαδοποίησης.



Εικόνα 21 Δημιουργία τομής σε μία περιοχή ενδιαφέροντος και διάγραμμα αυτής, όπως εμφανίζεται στην περιοχή δοκιμής της εικόνας IMG 3910 , μετά την εφαρμογή του τροποποιημένου Excess of Green, με σκοπό την καταλληλότερη τιμή κατωφλίωσης.



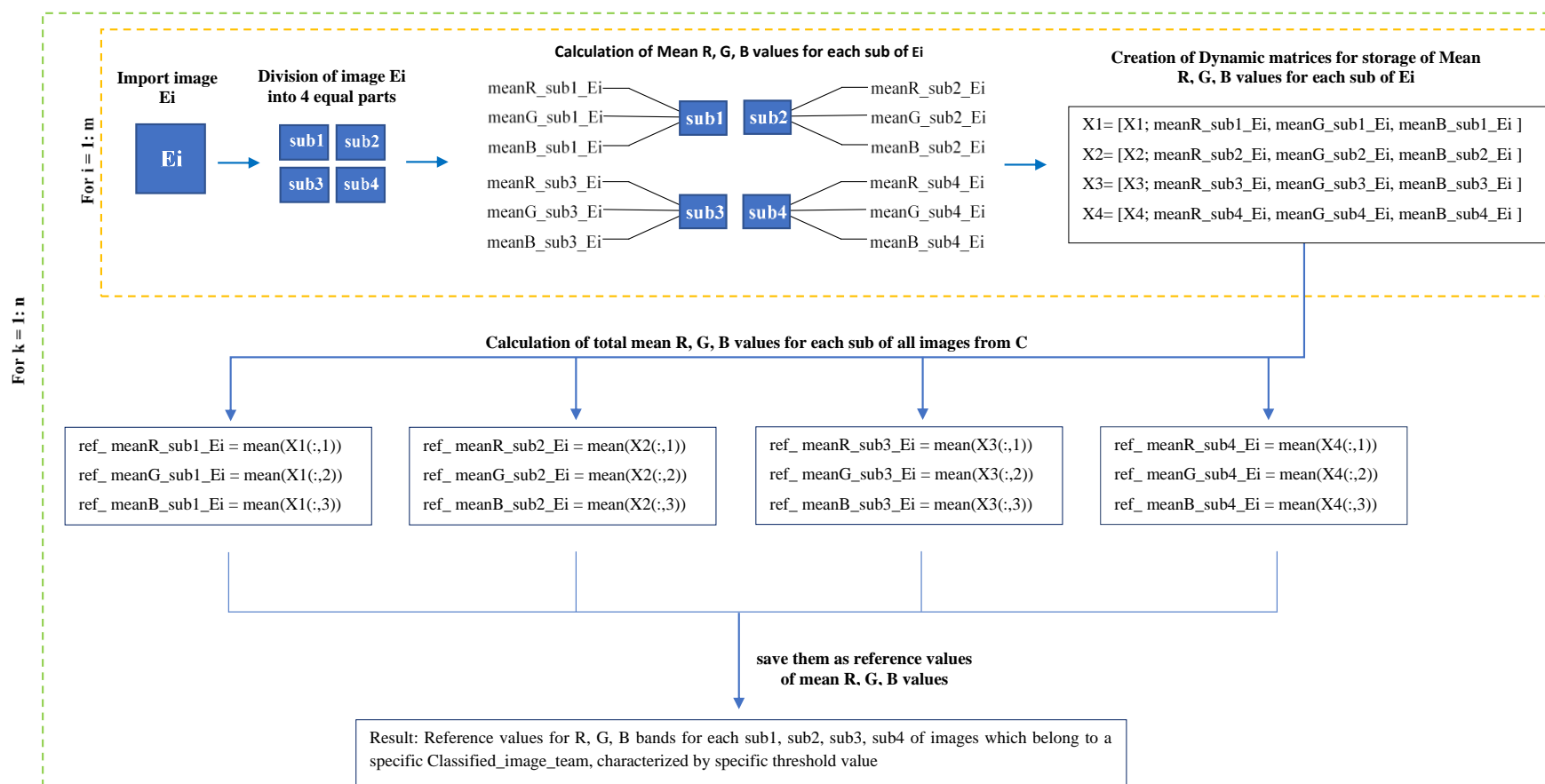
Εικόνα 20 Παρουσίαση ιστογράμματος κατανομής των ραδιομετρικών τιμών έντασης όπως εμφανίζεται στην περιοχή δοκιμής της εικόνας IMG 3910 , μετά την εφαρμογή του τροποποιημένου Excess of Green, με σκοπό τον εντοπισμό του σημείου που αντιπροσωπεύει την βέλτιστη τιμή κατωφλιού.

4.3.2.2 Ημιαυτόματη μέθοδος ομαδοποίησης

Για λόγους καλύτερης κατανόησης, η περιγραφή της μεθόδου που σκοπό είχε την επιβεβαίωση των τιμών κατωφλίωσης, των περισσότερων αν όχι όλων, που εφαρμόστηκαν προηγουμένως, χωρίσθηκαν σε Α και Β μέρος, ενώ παράλληλα στις παρακάτω Εικόνες 22-23 παρουσιάζεται σχεδιάγραμμα του κάθε βήματος.

Step A

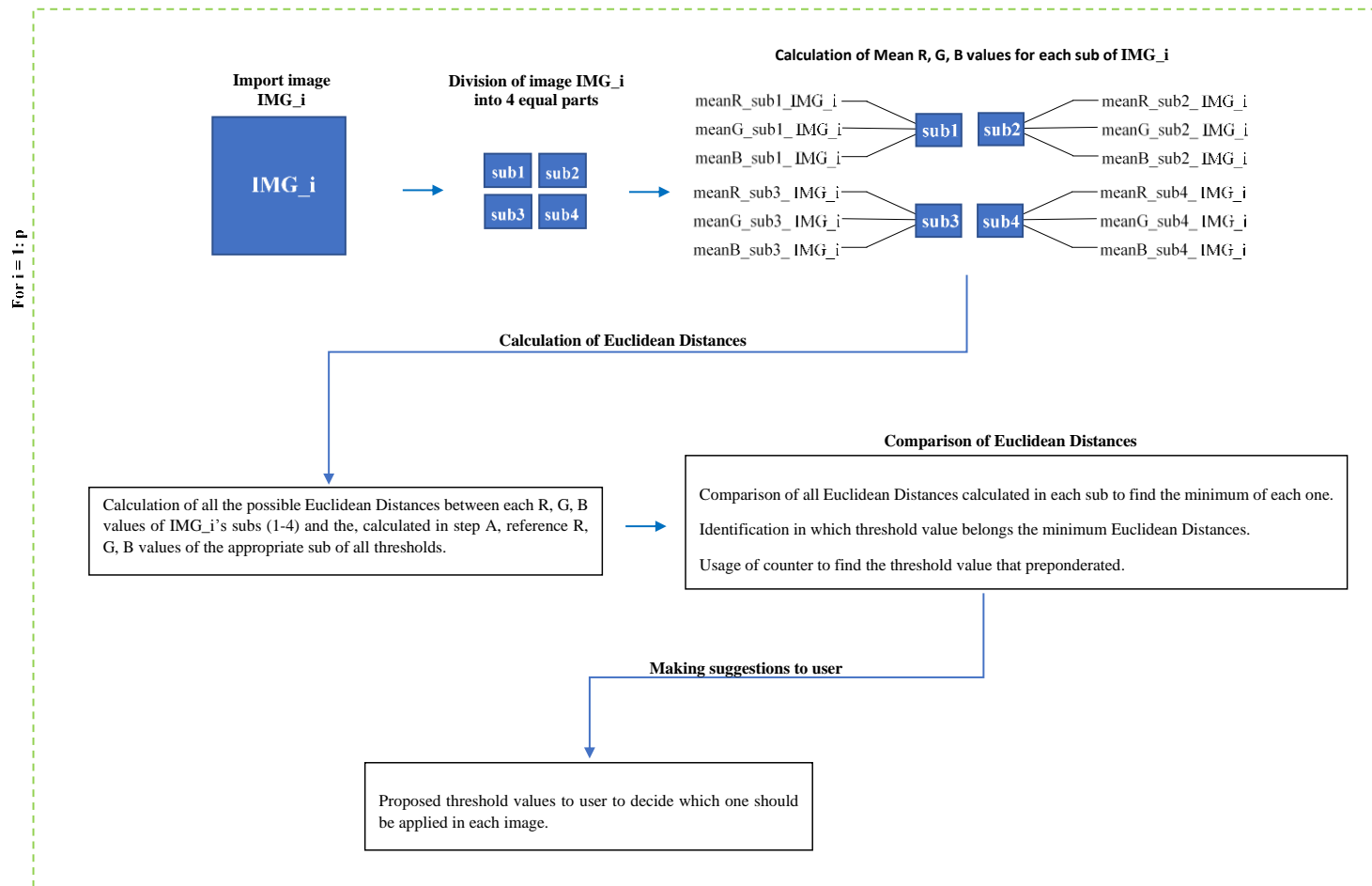
Classified_image_team: C, Total number of Classified_image_teams : n, Total number of images (E) in the Classified_image_team : m



Εικόνα 22 Σχεδιάγραμμα του Α μέρους της διαδικασίας δημιουργίας ημι αυτόματης μεθόδου με σκοπό την πρόταση των βέλτιστων τιμών κατοφλίωσης στον χειριστή.

Step B

Total number of images (IMG) in the dataset: p



Εικόνα 23 Σχεδιάγραμμα του B μέρους της διαδικασίας δημιουργίας ημι αυτόματης μεθόδου με σκοπό την πρόταση των βέλτιστων τιμών κατωφλίωσης στον χειριστή.

Στο Α μέρος της υλοποίησης της ημι-αυτόματης μεθόδου επιβεβαίωσης, σκοπός ήταν να δημιουργηθούν χαρακτηριστικές τιμές (τιμές αναφοράς), με βάση τις οποίες και την χρήση της ευκλείδειας απόστασης στο Β μέρος, θα προτεινόταν στον χειριστή μία τιμή βέλτιστης, ή μία περιορισμένη σειρά από βέλτιστες τιμές, κατωφλίωσης.

Όσο αφορά τον καθορισμό των χαρακτηριστικών τιμών αναφοράς για κάθε υποομάδα που προέκυψε στην μη αυτόματη μέθοδο ομαδοποίησης, χρησιμοποιήθηκαν ως δείγματα όλες οι εικόνες που αποτελούσαν την εκάστοτε υποομάδα. Συγκεκριμένα, κάθε εικόνα που άνηκε σε μία από τις δέκα (10) υποομάδες, χωρίστηκε σε τέσσερα (4) ίσα μέρη, για κάθε μέρος υπολογίστηκε η μέση τιμή της έντασης του καναλιού R, G, B και αποθηκεύονταν σε δυναμικό πίνακα X. Με την ολοκλήρωση της συγκεκριμένης διαδικασίας δημιουργήθηκε για κάθε υποομάδα και για κάθε υπό-μέρος των εικόνων που ανήκουν σε αυτή, ένας πίνακας διαστάσεων $m \times 3$, όπου m είναι ο συνολικός αριθμός των εικόνων που ανήκουν σε κάθε υποομάδα, ενώ παράλληλα σε κάθε γραμμή οι τρεις (3) στήλες περιείχαν την πληροφορία της μέσης τιμής έντασης R, G και B αντίστοιχα. Σε συνέχεια, σε κάθε πίνακα X του κάθε υπό-μέρους, υπολογίστηκε η μέση τιμή των τιμών που καταγράφηκαν προηγουμένως για το R, G, B, δηλαδή υπολογίστηκε η μέση τιμή όλων των στοιχείων κάθε στήλης των πινάκων X. Έτσι, προέκυψαν για κάθε υποομάδα εικόνων, που χαρακτηρίζονταν από συγκεκριμένη τιμή κατωφλίωσης, 4 πίνακες X όπου περιείχαν τιμές αναφοράς των R, G, B για κάθε υπό-μέρος των εικόνων που ανήκουν σε αυτή. Στην συγκεκριμένη περίπτωση ο αριθμός των υποομάδων ήταν δέκα (10), άρα προέκυψαν σαράντα (40) πίνακες, δέκα (10) για κάθε υπό-μέρος της εκάστοτε εικόνας, με χαρακτηριστικές τιμές (τιμές αναφοράς) για τα κανάλια R, G, B.

Λαμβάνοντας υπόψιν, πως ο σκοπός της ημι-αυτόματης μεθόδου είναι η επαλήθευση όλων, ή των περισσότερων, τιμών κατωφλίωσης που επιλέχθηκαν στην μη αυτόματη μέθοδο ομαδοποίησης, μέσα από την πρόταση βέλτιστης, ή μιας σειράς βέλτιστων τιμών κατωφλίωσης, στο Β μέρος της διαδικασίας, έγινε έλεγχος όλων των εικόνων των δεδομένων. Συγκεκριμένα, έγινε εισαγωγή κάθε εικόνας η οποία χωρίστηκε σε 4 ίσα μέρη και υπολογίστηκε η μέση τιμή R, G, B. Χρησιμοποιώντας τις τιμές αναφοράς που υπολογίστηκαν στο βήμα Α, για κάθε υπό-μέρος της εικόνας κάθε υποομάδας, που χαρακτηρίζεται από μία συγκεκριμένη τιμή κατωφλίωσης, και εφαρμογής της ευκλείδειας απόστασης μεταξύ αυτών και των μέσων τιμών της εικόνας που υπολογίστηκαν προηγουμένως. Από το σύνολο των ευκλείδειων αποστάσεων για όλες τις υποομάδες για κάθε υπό-μέρος της

εικόνας, βρέθηκε η ελάχιστη ευκλείδεια απόσταση, ταυτοποίηση της σε ποια τιμή κατωφλίσωσης αντιστοιχεί και στην συνέχεια με την χρήση ενός μετρητή, βρέθηκε η τιμή κατωφλίσωσης που με βάση τα αποτελέσματα του εκάστοτε υπό-μέρους της εικόνας υπερσχύει. Στο τελικό στάδιο του Β μέρους της ημι-αυτόματης μεθόδου, με βάση τα αποτελέσματα του μετρητή, προτεινόταν στον χειριστή η βέλτιστη τιμή, ή ένας αριθμός βέλτιστων τιμών, κατωφλίσωσης για την εκάστοτε εικόνα, μειώνοντας έτσι την ώρα που απαιτείται για την εύρεση κατάλληλης τιμής κατωφλίσωσης σε σύγκριση με την προηγούμενη μη αυτόματη μέθοδο.

Τα αποτελέσματα από το Β μέρος, καταγράφηκαν σε φύλλο επεξεργασίας του λογισμικού Excel και υπολογίστηκαν τα ποσοστά όπου πράγματι επαληθεύονταν η επιλογή τιμής κατωφλίσωσης, αφού αποτελούσαν μία από τις τιμές που προτεινόταν ή αν δεν προτεινόταν, ήταν μέσα στο εύρος των τιμών κατωφλίσωσης που προτάθηκε. Επιπρόσθετα, υπολογίστηκε το ποσοστό των περιπτώσεων όπου η βέλτιστη τιμή κατωφλίσωσης, που καθορίστηκε προηγουμένως στην μη αυτόματη μέθοδο, ήταν εκτός του εύρους βέλτιστων τιμών κατωφλίσωσης που προτεινόταν στην ημι-αυτόματη μέθοδο. Στον παρακάτω Πίνακα 4, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την ημιαυτόματη μέθοδο ομαδοποίησης και κατωφλίσωσης. Στον Πίνακα 5 διακρίνονται πέντε (5) χαρακτηριστικές περιπτώσεις αποτελεσμάτων, οι οποίες αναγράφονται και επεξηγούνται. Από τα πιο κάτω στατιστικά αποτελέσματα, παρουσιάζεται ότι στην πλειοψηφία των περιπτώσεων γίνεται επαλήθευση της τιμής κατωφλίσωσης που εφαρμόστηκε στην μη αυτόματη μέθοδο, ή αν προτεινόταν ένα περιορισμένο εύρος τιμών κατωφλίσωσης, ήταν συμπεριλαμβανόμενο σε αυτό. Ενώ το ποσοστό αποτυχίας επαλήθευσης τιμών κατωφλίσωσης έφτανε το ποσοστό τω 10-15%. Η μοναδική περίπτωση που είχε το μεγαλύτερο ποσοστό αποτυχίας σύγκλισης τιμών κατωφλίσωσης αφορούσε την τιμή 0.30. Όπου σε αυτή την περίπτωση εξετάστηκαν εκ νέου, οι προτεινόμενες τιμές κατωφλίσωσης από την ημι-αυτόματη μέθοδο και εφαρμόστηκαν σε ποσοστό 48% , το εναπομένον 13% που θεωρήθηκε από την ημι-αυτόματη μέθοδο εκτός του εύρους προτεινόμενων τιμών, διατηρήθηκε όπως είχε, λόγω της κρίσης του χειριστή. Έτσι, ολοκληρώθηκε το στάδιο της κατωφλίσωσης, με αποτέλεσμα την παραγωγή 199 «μασκαρισμένων» εικόνων, όπου διακρίνονταν μόνο οι περιοχές που προορίζονταν για αποκοπή από την αρχική εικόνα. Ωστόσο, για την ολοκλήρωση της διαδικασίας μασκών έπρεπε να υλοποιηθεί ένα τελευταίο στάδιο όπου τα προϊόντα

της κατωφλίωσης θα μετατρέπονταν σε εικόνες δυαδικής μορφής για να μπορέσουν να αναγνωριστούν από το επόμενο λογισμικό επεξεργασίας των δεδομένων ως μάσκες.

Πίνακας 4 Αποτελέσματα Β μέρους ημι-αυτόματης μεθόδου για επαλήθευση ή πρόταση βέλτιστων τιμών κατωφλίωσης.

Τιμή κατωφλίωσης	Σύνολο εικόνων IMG	Ποσοστά (%)				Έλεγχος Συνόλου Εντός+Εκτός
		Επαλήθευση	Εντός Εύρους	Εκτός Εύρους		
				Υψηλότερη	Χαμηλότερη	
0.7	5	100	100	-	-	100
0.65	18	94	94	3	3	100
0.6	37	68	86	-	14	100
0.55	8	50	100	-	-	100
0.5	8	100	100	-	-	100
0.45	18	83	89	-	11	100
0.4	15	67	87	-	13	100
0.3	23	35	35	4	61	100
0.25	20	100	50	-	-	100
0.15	1	100	100	-	-	100

Πίνακας 5 Χαρακτηριστικές περιπτώσεις αποτελεσμάτων μέρους Β ημι-αυτόματης μεθόδου για επαλήθευση ή πρόταση βέλτιστων τιμών κατωφλίωσης.

A/A	Συνθήκη Περίπτωσης	Επεξήγηση
1	If Verification = Withing Range && Withing Range = 100 %	Ορθή επαλήθευση και πρόταση της συγκεκριμένης βέλτιστης τιμής κατωφλίωσης, όπως καθορίστηκε, ενώ παράλληλα συμπερίληψη τιμής μέσα στο εύρος προτεινόμενων τιμών κατωφλίωσης.
2	If Verification = Withing Range && Withing Range < 100 %	Μερική επαλήθευση βέλτιστης τιμής κατωφλίωσης, όπως καθορίστηκε προηγουμένως, χωρίς την καθολική συμπερίληψη της μέσα στο εύρος βέλτιστων τιμών κατωφλίωσης που προτάθηκε.
3	If Verification < Withing Range && Withing Range < 100 %	Μερική επαλήθευση βέλτιστης τιμής κατωφλίωσης, όπως καθορίστηκε προηγουμένως, χωρίς την καθολική συμπερίληψη της μέσα στο εύρος βέλτιστων τιμών κατωφλίωσης που προτάθηκε.
4	If Verification < Withing Range && Withing Range = 100 %	Μερική επαλήθευση βέλτιστης τιμής κατωφλίωσης, με την καθολική συμπερίληψη της βέλτιστης τιμής, όπως καθορίστηκε προηγουμένως, μέσα στο εύρος βέλτιστων τιμών κατωφλίωσης που προτάθηκε
5	If Verification > Withing Range && Verification = 100 %	Ορθή επαλήθευση, απλά σε κάποιες περιπτώσεις προτεινόνταν μόνο η βέλτιστη τιμή κατωφλίωσης, όπως καθορίστηκε προηγουμένως στην μη αυτόματη μέθοδο.

4.3.3 Εύρεση βέλτιστης τιμής κατωφλίωσης για ανάδειξη ακτογραμμής

Αντίστοιχα, με την ολοκλήρωση της επιλογής και βελτιστοποίησης του δείκτη ModExR, σειρά είχε το στάδιο της κατωφλίωσης. Σε αυτήν την περίπτωση σκοπός ήταν η ολοκληρωτική αφαίρεση της θάλασσας και η διατήρηση μόνο της πληροφορίας της ακτογραμμής και της στεριάς. Σε πρώτη φάση δοκιμών κατωφλίωσης, χρησιμοποιήθηκαν καθολικές τιμές κατωφλιού σε διάστημα τιμών μεταξύ 0.02 έως 0.1, με βήμα 0.01. Το εύρος τιμών προσεγγίστηκε εμπειρικά. Παρατηρώντας και ελέγχοντας, όλο το σύνολο των εικόνων σε κάθε επανάληψη της διαδικασίας κρίθηκε, πως η βέλτιστη τιμή κατωφλίωσης να βρίσκεται ανάμεσα στην τιμή 0.02 και 0.03. Γεγονός το οποίο επαληθεύτηκε με την χρήση τιμής κατωφλίωσης 0.025, η οποία ορίστηκε και ως βέλτιστη. Στην Εικόνα 25 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της επαναληπτικής διαδικασίας και στην Εικόνα 24 το αποτέλεσμα της τελικής βέλτιστης τιμής κατωφλίωσης.



ModExR, with threshold 0.025

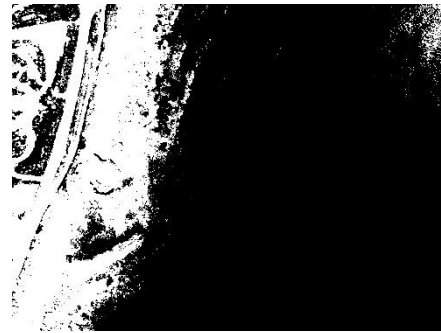


Initial RGB, IMG 3992

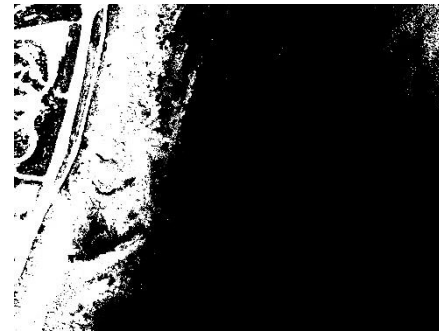
Εικόνα 24 Αποτέλεσμα τελικής βέλτιστης τιμής κατωφλίωσης 0.025 επί της εικόνας κωδικού IMG 3992.



ModExR, with threshold 0.02



ModExR, with threshold 0.03



ModExR, with threshold 0.04



Initial RGB, IMG 3992



ModExR, with threshold 0.05



ModExR, with threshold 0.06



ModExR, with threshold 0.07



Initial RGB, IMG 3992



ModExR, with threshold 0.08



ModExR, with threshold 0.09



ModExR, with threshold 0.1



Initial RGB, IMG 3992

Εικόνα 25 Αποτελέσματα επαναληπτικής διαδικασίας κατωφλίωσης με μεταβαλλόμενη τιμή, βήματος 0.05 στο διάστημα τιμών 0.02 έως 0.1, επί της εικόνας κωδικού IMG 3992. Ο αναγραφόμενος αριθμός στην περιγραφή της εκάστοτε εικόνα αντιστοιχεί στην εξίσωση που την περιγράφει στον πίνακα 3.

4.4 Μετατροπή παραγόμενων εικόνων σε εικόνες δυαδικής μορφής

Η συγκεκριμένη διαδικασία αποτελεί το τελικό στάδιο επεξεργασίας των δεδομένων πριν γίνει εισαγωγή τους στο λογισμικό Agisoft Metashape για την παραγωγή αντίστοιχων 3D πυκνών νεφών σημείων χωρίς τις περιοχές που περιέχονται στις μάσκες που δημιουργήθηκαν, είτε αφορά την αποκοπή περιοχών υποβρύχιας βλάστησης, είτε ολόκληρης της μεριάς της θάλασσας για ανάδειξη της ακτογραμμής. Συγκεκριμένα, οι παραγόμενες εικόνες από την κατωφλίωση μετατράπηκαν σε δυαδικής μορφής και εφαρμόστηκε το χωρικό φίλτρο χαμηλής προσπέλασης Gauss για ομαλοποίηση των περιοχών ενδιαφέροντος, μείωση του θορύβου στις εικόνες και για αποφυγή μείωσης του εμβαδού των περιοχών ενδιαφέροντος και επομένως παραγωγής αποτελεσμάτων μειωμένης ακρίβειας. Το φίλτρο Gauss εφαρμόστηκε επαναληπτικά στην εκάστοτε εικόνα με αυξανόμενους παράγοντες, τυπικής απόκλισης (σ) και μέσης τιμής (c), για το βέλτιστο δυνατό αποτέλεσμα ομαλοποίησης. Αξίζει να αναφερθεί, πως η επιλογή των παραγόντων του χωρικού φίλτρου έγινε εμπειρικά, ενώ οι τελικοί παράγοντες του φίλτρου στην περίπτωση εντοπισμού υποβρύχιας βλάστησης ήταν 7,42 (σ , c) και για την ανάδειξη ακτογραμμής 8,50 (σ , c). Στις Εικόνες 26-27, παρουσιάζεται σε μία περιοχή δοκιμής τα ενδιάμεσα καθώς και τα τελικά αποτελέσματα εφαρμογής του φίλτρου Gauss τόσο για σκοπούς αποκοπής υποβρύχιας βλάστησης ή ανάδειξη της ακτογραμμής, δηλαδή τα αποτελέσματα από την ολοκλήρωση επεξεργασίας δεδομένων στο λογισμικό MatLAB. Οι τελικές μάσκες που δημιουργήθηκαν ήταν δυαδικής μορφής (0,1), όπου 0 (μαύρο) χαρακτηρίζονταν ό,τι επρόκειτο να αποκοπεί και 1 (λευκό) ό,τι θα στοιχείο θα διατηρούνταν.



Gaussian filter with $\sigma=2$, $c=12$



Gaussian filter with $\sigma=2$, $c=12$



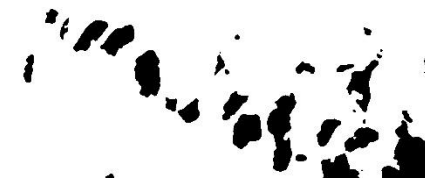
Gaussian filter with $\sigma=3$, $c=18$



Initial RGB IMG 3910



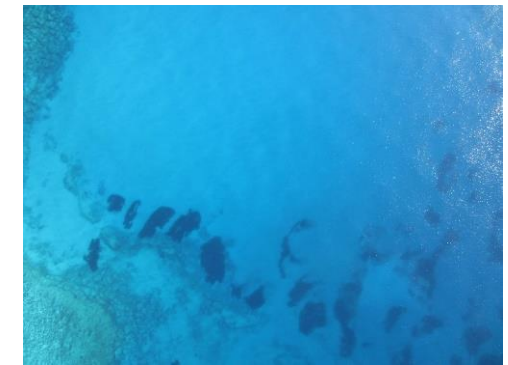
Gaussian filter with $\sigma=5$, $c=30$



Gaussian filter with $\sigma=6$, $c=36$



Gaussian filter with $\sigma=7$, $c=42$



Initial RGB IMG 3910

Εικόνα 26 Ενδιάμεσα (πρώτη σειρά: 3 εικόνες, δεύτερη σειρά: 2 πρώτες εικόνες) και τελικό αποτέλεσμα (δεύτερη σειρά: 3^η εικόνα) εφαρμογής χαμηλού φίλτρου προσπέλασης Gauss, για δημιουργία μάσκας αποκοπής περιοχών υποβρύχιας βλάστησης από την αρχική εικόνα, όπου παράγοντες Gaussian φίλτρου είναι, σ : τυπική απόκλιση, c : μέση τιμή



Gaussian filter with $\sigma=1$, $c=6$



Gaussian filter with $\sigma=2$, $c=12$



Gaussian filter with $\sigma=3$, $c=18$



Gaussian filter with $\sigma=5$, $c=30$



Gaussian filter with $\sigma=6$, $c=36$



Gaussian filter with $\sigma=7$, $c=42$



Gaussian filter with $\sigma=8$, $c=50$



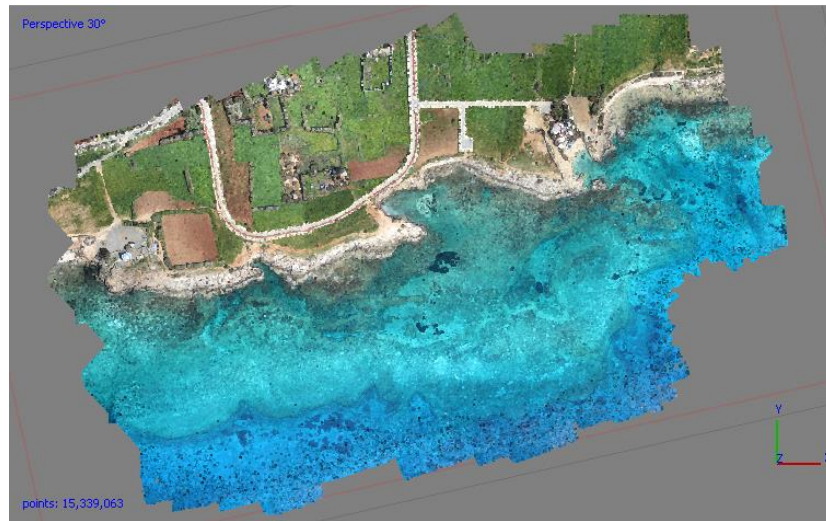
Initial RGB IMG 3964

Εικόνα 27 Ενδιάμεσα (πρώτη σειρά: 4 εικόνες, δεύτερη σειρά: 2 πρώτες εικόνες) και τελικό αποτέλεσμα (δεύτερη σειρά: 3^η εικόνα) εφαρμογής χαμηλού φίλτρου προσπέλασης Gauss, για δημιουργία μάσκας ανάδειξης της ακτογραμμής από την αρχική εικόνα, όπου παράγοντες Gaussian φίλτρου είναι, σ : τυπική απόκλιση, c : μέση τιμή

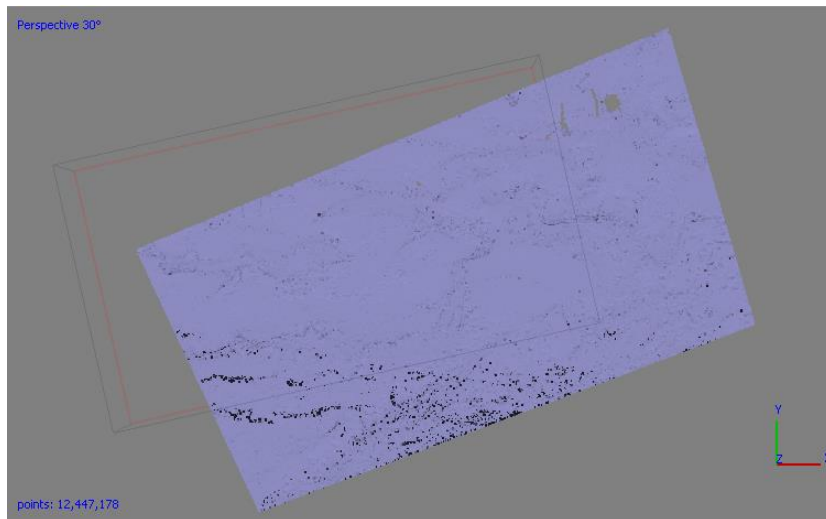
4.5 Δημιουργία τρισδιάστατων (3D) επιφανειών από πυκνά νέφη σημείων

Στο συγκεκριμένο στάδιο, σκοπός ήταν η δημιουργία κατάλληλων 3D επιφανειών από πυκνά νέφη σημείων, τα οποία θα εισάγονταν σε επόμενο βήμα στο λογισμικό CloudCompare για σύγκριση τόσο μεταξύ τους όσο και με τα δεδομένα αναφοράς, LiDAR δεδομένα. Οι 3D επιφάνειες που επρόκειτο να παραχθούν για μετέπειτα σύγκριση ήταν: όλο το μπλοκ της περιοχής μελέτης όπως δόθηκε από τον υπεύθυνο καθηγητή, το μπλοκ της περιοχής με την εφαρμογή των μασκών που δημιουργήθηκαν σε προηγούμενο στάδιο για τον εντοπισμό και αποκοπή περιοχών υποβρύχιας βλάστησης, το μπλοκ της περιοχής με την εφαρμογή των μασκών για ανάδειξη της ακτογραμμής και τέλος η δημιουργία πυκνού νέφους σημείων όλου του μπλοκ της περιοχής μελέτης με πληροφορία που προερχόταν από τα LiDAR δεδομένα. Η διαδικασία που ακολουθήθηκε ήταν σύμφωνη με τις οδηγίες που αναφέρονται στο εγχειρίδιο χρήσης του λογισμικού ("Agisoft Metashape User Manual: Standard Edition, Version 1.5" 2019), η μόνη διαφορά ήταν πως δεν εφαρμόστηκε ο επαναπροσδιορισμός του εσωτερικού προσανατολισμού (λειτουργία optimize) λόγω του ότι, τα δεδομένα που δόθηκαν από τον υπεύθυνο καθηγητή είχαν επεξεργαστεί σε άλλη εκδοχή του λογισμικού, όπου λειτουργεί διαφορετικά το στάδιο ταιριάσματος σημείων «matching points». Επομένως, για να αποφευχθεί η αλλοίωση του αποτελέσματος και να είναι έγκυρες οι μετέπειτα συγκρίσεις, δεν εφαρμόστηκε η λειτουργία optimize. Ωστόσο, ύστερα από παρατήρηση των νεφών σύγκρισης του επόμενου σταδίου και των μη αποδεκτών αποκλίσεων που προέκυπταν τελικά εφαρμόστηκε επαναπροσδιορισμός μόνο των παραμέτρων του πρωτεύοντος σημείου των εικόνων. Αξίζει να σημειωθεί, πως κατά την παραγωγή πυκνού νέφους σημείων, στις περιπτώσεις που έγινε εισαγωγή μασκών δυαδικής μορφής, το φιλτράρισμα του βάθους ήταν στον υψηλότερο επίπεδο, όπως επίσης κρίνεται αναγκαίο να αναφερθεί η μετατροπή του συστήματος αναφοράς των δεδομένων των 3D επιφανειών στο παγκόσμιο προβολικό σύστημα αναφοράς WGS 84/ UTM zone 36 N, πριν γίνει εισαγωγή τους στο CloudCompare για περαιτέρω επεξεργασία, για να έχουν κοινό σύστημα με τα δεδομένα αναφοράς (LiDAR). Τα αποτελέσματα των 3D πυκνών νεφών σημείων παρουσιάζονται στις Εικόνες 28-29. Επιπρόσθετα, για ένα επιπλέον κομμάτι της εργασίας που θα αναφερθεί αργότερα περί

υπολογισμού έκτασης των περιοχών υποβρύχιας βλάστησης, από το πυκνό νέφος σημείων του μπλοκ της περιοχής με εφαρμογή των масκών αποκοπής φυκιών, παράχθηκε ορθοφωτομωσαϊκό με απόσταση κέντρων εικονοστοιχείων επί εδάφους 7.07 cm GSD, όπως φαίνεται και στην εικόνα 30.

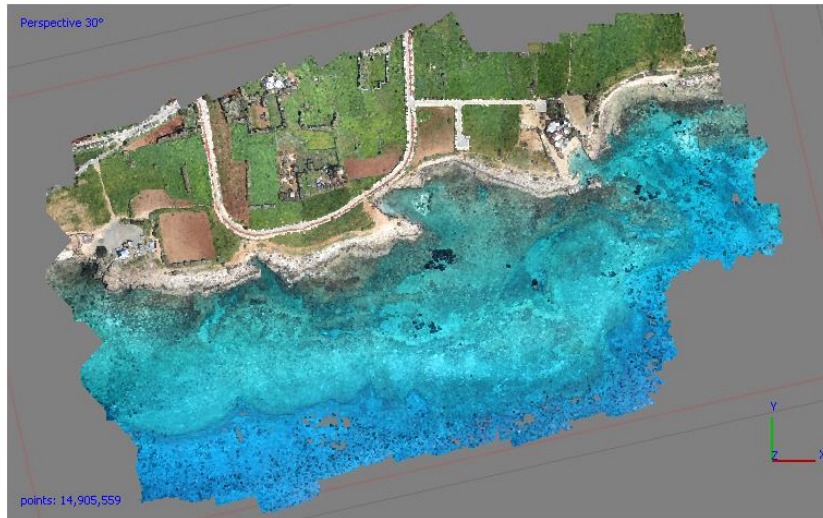


(α)



(β)

Εικόνα 28 Αποτέλεσμα πυκνού νέφους σημείων ολόκληρου του μπλοκ περιοχής μελέτης (α), αποτέλεσμα μετατροπής δεδομένων LiDAR σε μορφή πυκνού νέφους σημείων ολόκληρης της περιοχής μελέτης.

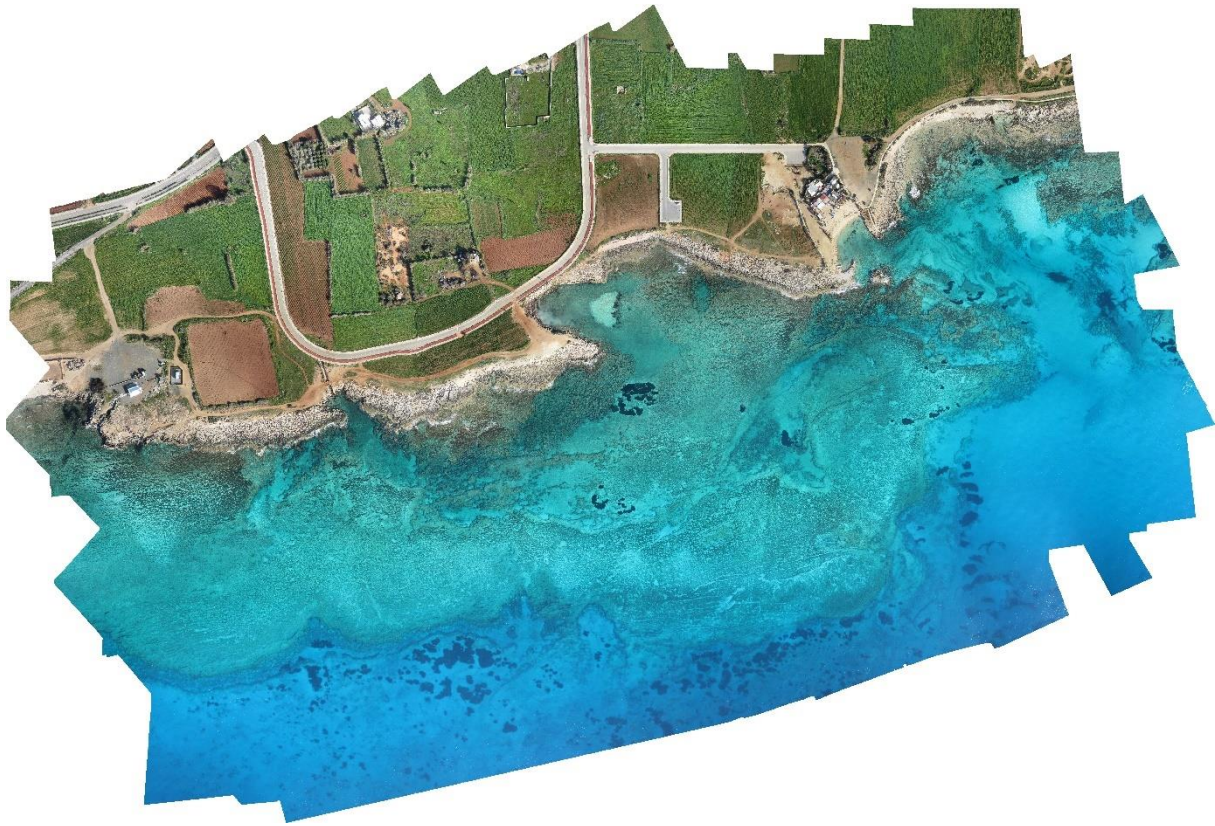


(γ)



(δ)

Εικόνα 29 Αποτελέσματα πυκνών νεφών σημείων: περιοχή μελέτης με εφαρμογή масκών για απομάκρυνση υποβρύχιας βλάστησης (γ), περιοχή μελέτης με εφαρμογή масκών για ανάδειξη ακτογραμμής (δ).



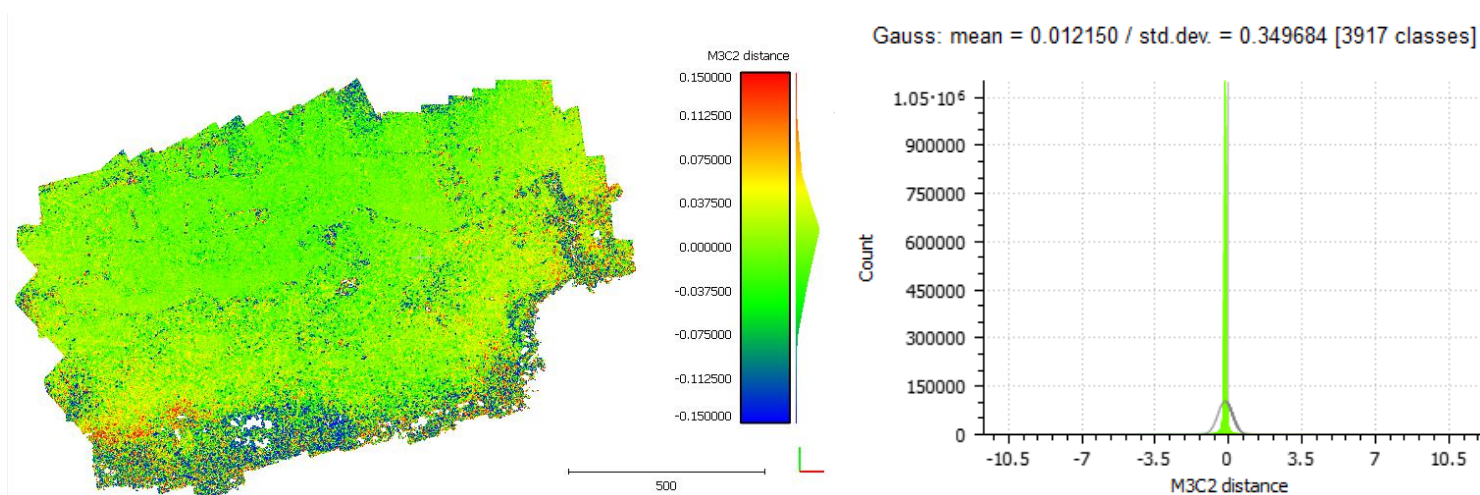
Εικόνα 30 Δημιουργία ορθομωσαϊκού της περιοχής μελέτης από το πυκνό νέφος σημείων χωρίς εφαρμογή μασκών.

4.6 Σύγκριση τρισδιάστατων (3D) επιφανειών από πυκνά νέφη σημείων

4.6.1 Σύγκριση τρισδιάστατων (3D) επιφανειών παρουσίας ή μη υποβρύχιας βλάστησης

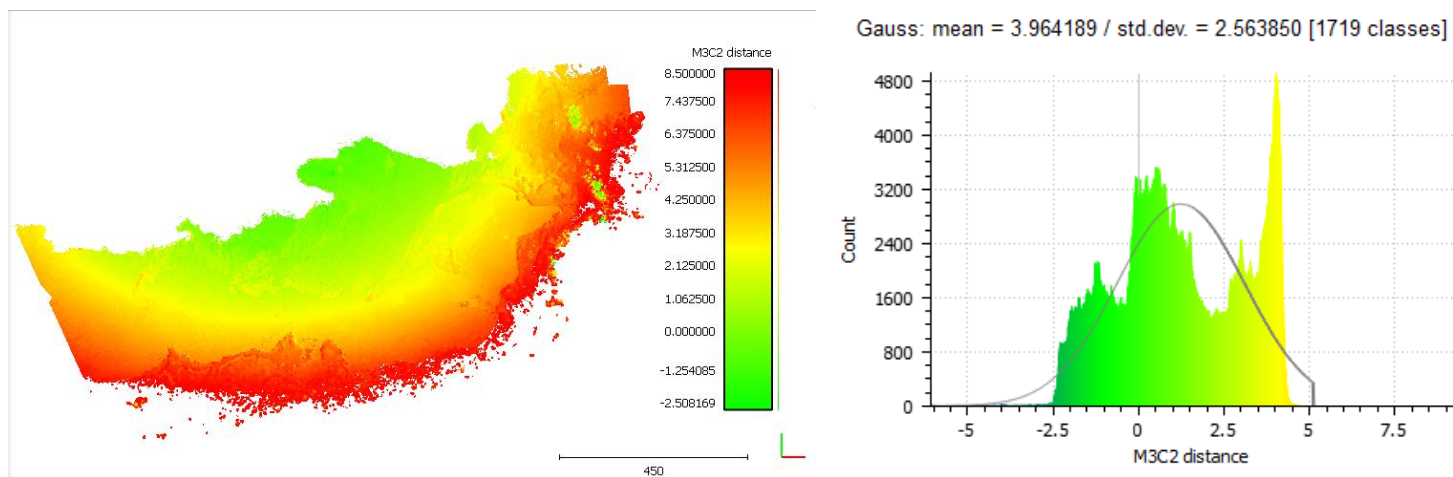
Ακολούθως της δημιουργίας των 3D επιφανειών από πυκνά νέφη σημείων, έγινε η εισαγωγή τους στο λογισμικό CloudCompare για να γίνουν οι απαραίτητες συγκρίσεις, τόσο μεταξύ του νέφους σημείων όλου του μπλοκ της περιοχής μελέτης με το αντίστοιχο νέφος σημείων μετά την απομάκρυνση των περιοχών υποβρύχιας βλάστησης, όσο και καθενός ξεχωριστά με το νέφος σημείων LiDAR για να προσδιοριστεί το μέγεθος της απόκλισης, κάθε περίπτωσης, από το επίπεδο αναφοράς που προσδιορίζεται απ' τα δεδομένα LiDAR. Με τον τρόπο αυτό θα παρατηρούνταν η πιθανή, ή μη, επίδραση της υποβρύχιας βλάστησης, στην 3D ανακατασκευή του πυθμένα μέσω της Φωτοβαθυμετρίας.

Στην Εικόνα 31 παρουσιάζεται η σύγκριση της περιοχής μελέτης με και χωρίς περιοχές υποβρύχιας βλάστησης. Παρατηρήθηκε στο νέφος σύγκρισης (αριστερή στήλη), πως οι αποκλίσεις κατά την διεύθυνση του Z (βάθους) στην πλειοψηφία κυμαίνονταν γύρω από το μηδέν σε εύρος που δεν ξεπερνούσαν τα 10-11 εκατοστά. Ωστόσο, όπως μπορούσε να γίνει διακριτό από το νέφος σημείων σύγκρισης, στις άκρες του μπλοκ παρατηρούνταν ακραίες τιμές που έφθαναν έως και τα 20 εκατοστά. Η μικρής τάξης απόκλιση που επικρατεί μπορούσε να παρατηρηθεί και από το αντίστοιχο ιστόγραμμα κατανομής «Gauss» όπου η μέση τιμή είναι περίπου 0.012 με τυπική απόκλιση 0.35. Είναι απαραίτητο να αναφερθεί, πως στην συγκεκριμένη σύγκριση ως νέφος αναφοράς χρησιμοποιήθηκε το μπλοκ της περιοχής μελέτης χωρίς την εφαρμογή масκών, επομένως οι αρνητικές τιμές που προέκυψαν είχαν την σημασία πως το βάθος που πρόκυπτε από το μπλοκ με τις μάσκες περιοχών υποβρύχιας βλάστησης προσέγγιζε καλύτερα το πραγματικό βάθος, σύμφωνα με τα δεδομένα LiDAR ως δεδομένα αναφοράς, απ' ότι με το νέφος χωρίς την απομάκρυνση τους, ανάλογη ερμηνεία πραγματοποιείται για τις θετικές τιμές.



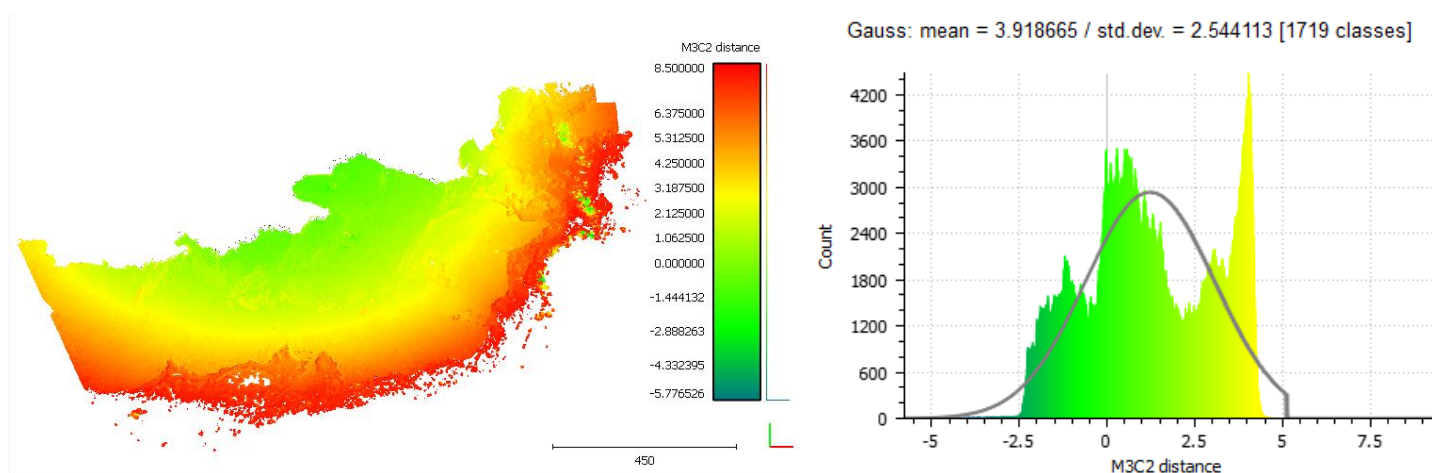
Εικόνα 31 Αποτέλεσμα σύγκρισης νέφους σημείων ολόκληρου του μπλοκ της περιοχής με το νέφος σημείων ολόκληρου του μπλοκ με εφαρμογή масκών για αποκοπή των περιοχών υποβρύχιας βλάστησης (αριστερά) και το αντίστοιχο ιστόγραμμα κατανομής Gauss (δεξιά).

Στην Εικόνα 32 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα σύγκρισης του μπλοκ της Αγίας Νάπας χωρίς την εφαρμογή масκών με το νέφος σημείων των δεδομένων LiDAR (νέφος αναφοράς). Από το παραγόμενο νέφος, μπορούσε να γίνει κατανοητό πως η απόκλιση του προσδιορισμού του πυθμένα αυξάνονταν με το βάθος και έφθανε έως και τα 8 μέτρα, με τα δεδομένα LiDAR να προσδιορίζουν καλύτερα τον πυθμένα. Όπως παρατηρήθηκε στο παραγόμενο νέφος, σε αρκετά ρηγά νερά με βραχώδεις σχηματισμούς να σχηματίζουν ανάγλυφο στον πυθμένα με εσοχές ή ακόμη και με κάλυψη από θαλάσσια βρύα, υπήρχε ένα μοτίβο όπου τα δεδομένα Φωτοβαθυμετρίας ήταν βαθύτερα από τα δεδομένα αναφοράς με αποτέλεσμα την υπερκτίμηση του πυθμένα. Παράλληλα, από την κατανομή της Εικόνας 32 (δεύτερη στήλη) διακρίνεται πως η υπερκτίμηση του βάθους αφορά το 26% του συνόλου των σημείων.



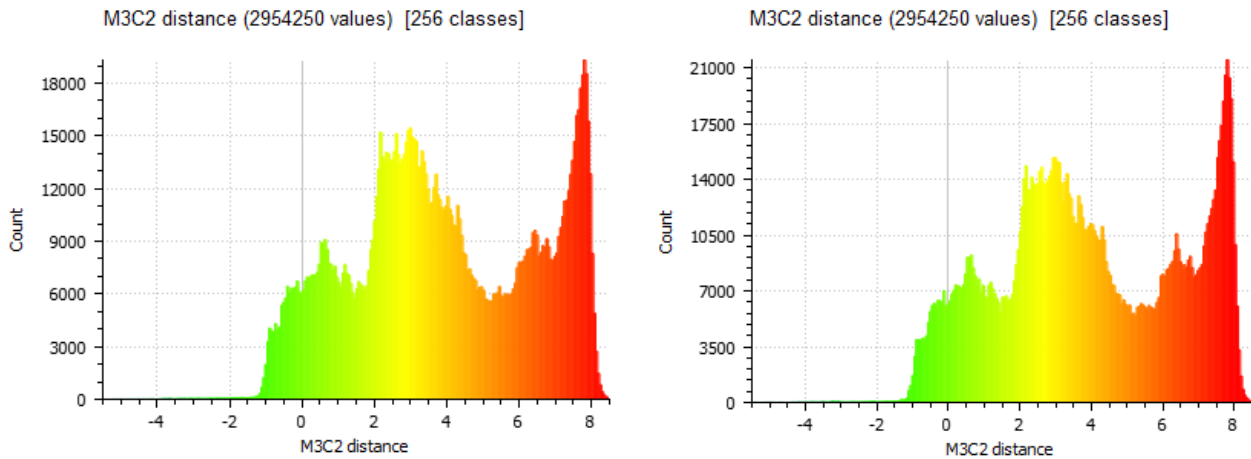
Εικόνα 32 Αποτέλεσμα σύγκρισης νέφους σημείων ολόκληρου του μπλοκ της περιοχής με το νέφος σημείων των δεδομένων αναφοράς LiDAR (αριστερά) και το αντίστοιχο ιστόγραμμα κατανομής Gauss (δεξιά).

Το παραγόμενο νέφος από την σύγκριση των δεδομένων αναφοράς, LiDAR, και της περιοχής μελέτης με μασκαρισμένες τις περιοχές φυκιών, παρουσιάζεται στην Εικόνα 33. Όπως παρατηρήθηκε, το νέφος είχε πολύ παρόμοια μορφή και κατανομή των αποκλίσεων, με την προηγούμενη σύγκριση του μπλοκ χωρίς την εφαρμογή μάσκας για υποβρύχια βλάστηση με τα δεδομένα αναφοράς. Ωστόσο, μια μικρή διαφορά διακρίθηκε στον μέσο όρο και την τυπική απόκλιση, όπου στην προκείμενη περίπτωση ήταν λίγο μικρότερα, το οποίο συνάδει ελάχιστα μικρότερες αποκλίσεις, όχι τέτοιες όμως που να οδηγούσαν σε ουσιαστική διαφορά.



Εικόνα 33 Αποτέλεσμα σύγκρισης νέφους σημείων ολόκληρου του μπλοκ της περιοχής, μασκαρισμένων των περιοχών υποβρύχιας βλάστησης, με το νέφος σημείων των δεδομένων αναφοράς LiDAR (αριστερά) και το αντίστοιχο ιστόγραμμα κατανομής Gauss (δεξιά).

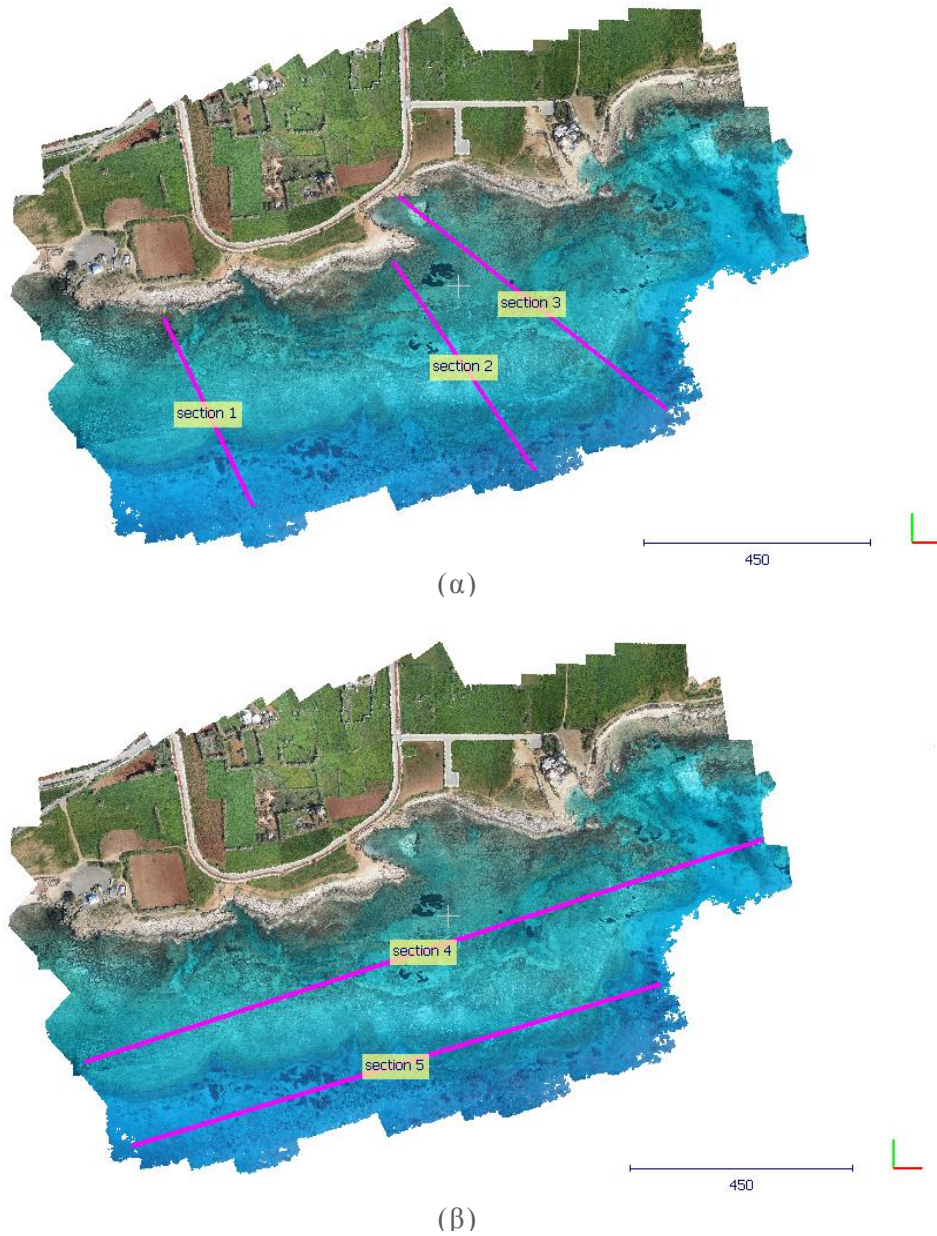
Παρατηρώντας τα ιστογράμματα των δύο συγκρίσεων του μπλοκ με, ή χωρίς, μάσκες για τις περιοχές υποβρύχιας βλάστησης με τα δεδομένα αναφοράς, Εικόνα 34, επιβεβαιώνεται πως οι συγκεντρώσεις των αποκλίσεων διατηρούν εκ πρώτης όψης την μορφή τους, με την μόνη διαφορά πως στην περίπτωση σύγκρισης του μπλοκ χωρίς τις μάσκες το πλήθος των εικονοστοιχείων στις ίδιες ομάδες δεδομένων είναι μεγαλύτερο.



Εικόνα 34 Παρουσίαση ιστογραμμάτων συγκέντρωσης αποκλίσεων στις δημιουργημένες κλάσεις από τα παραγόμενα νέφη σύγκρισης. Ιστόγραμμα από την σύγκριση LiDAR με μπλοκ εικόνων με μάσκες υποβρύχιας βλάστησης (αριστερά), ιστόγραμμα από την σύγκριση LiDAR με μπλοκ εικόνων χωρίς μάσκες υποβρύχιας βλάστησης (δεξιά)

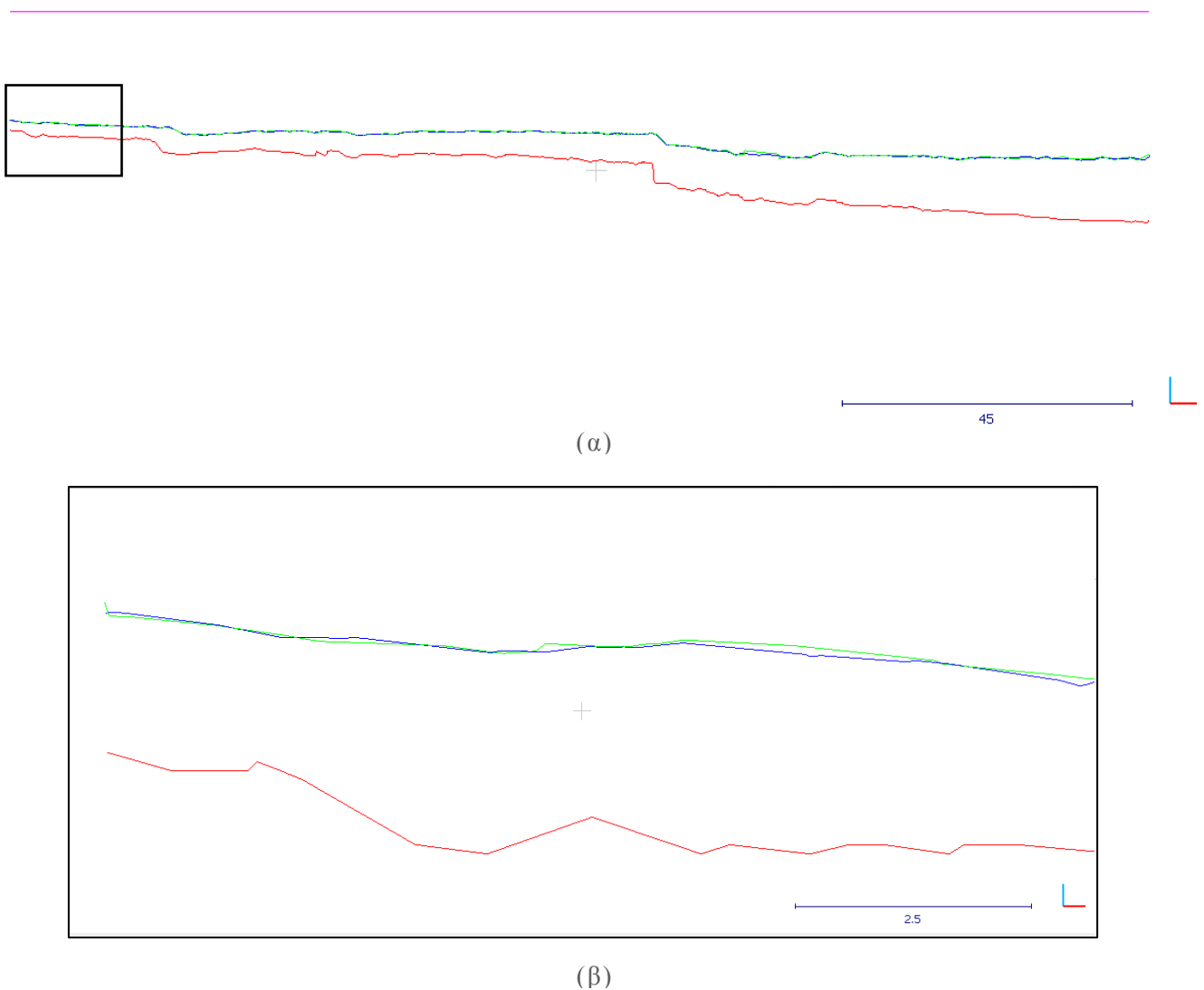
4.6.2 Οπτικοποίηση Αποκλίσεων με την δημιουργία τομών

Με σκοπό την καλύτερη ερμηνεία των συγκρίσεων που υλοποιήθηκαν για την πιθανή επίδραση της παρουσίας της υποβρύχιας βλάστησης στην ανακατασκευή του πυθμένα, δημιουργήθηκαν τομές κατά μήκος και πλάτος της περιοχής μελέτης, κάθε μία τομή παρουσιάζεται αντίστοιχα στην εικόνα 35.

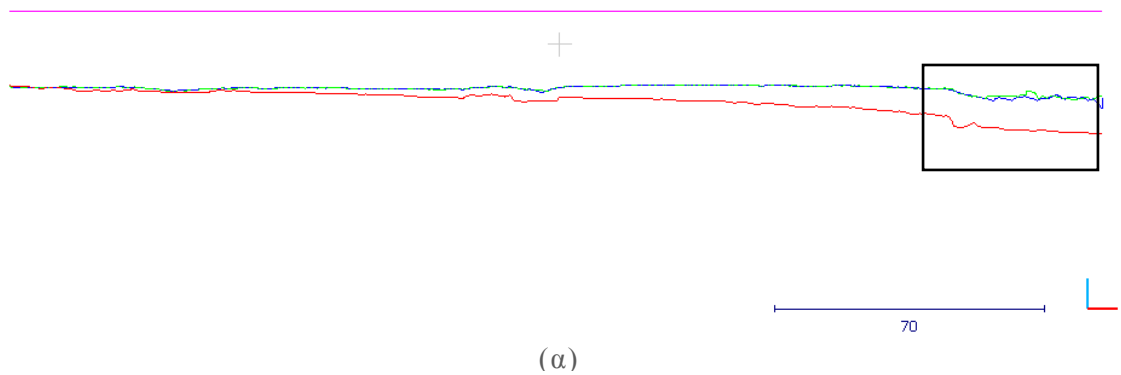


Εικόνα 35 Σύνολο τομών που υλοποιήθηκαν κατά πλάτος (α), και κατά μήκος (β) της περιοχής για την οπτικοποίηση του αποτελέσματος σύγκρισης περί ανακατασκευής του πυθμένα με την εφαρμογή μασκών για περιοχές υποβρύχιας βλάστησης.

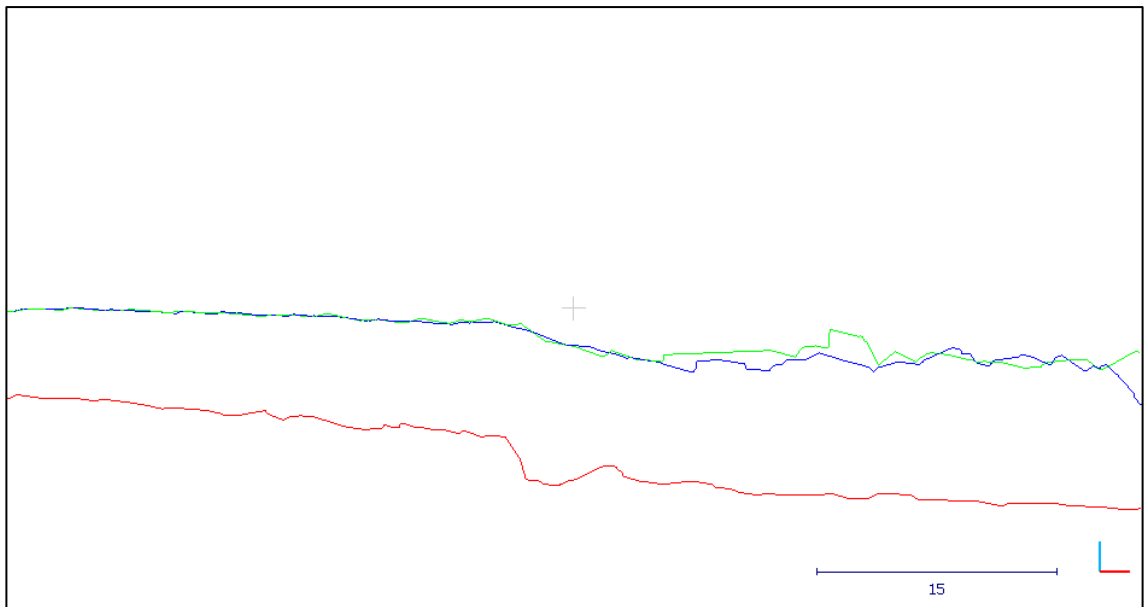
Στις Εικόνες 36-40 παρουσιάζονται οι 5 χαρακτηριστικές τομές που δημιουργήθηκαν, όπου η ροζ γραμμή που βρίσκεται στην κορυφή κάθε διαγράμματος είναι η επιφάνεια του νερού, η κόκκινη γραμμή αντιπροσωπεύει την τομή από τα δεδομένα αναφοράς (LiDAR), η μπλε αντιπροσωπεύει την τομή από τα δεδομένα του μπλοκ εικόνων χωρίς την εφαρμογή μασκών απομάκρυνσης υποβρύχιας βλάστησης, ενώ η πράσινη την τομή από τα δεδομένα που εφαρμόστηκε η μάσκα απομάκρυνσης υποβρύχιας βλάστησης.



Εικόνα 36 Πλάγια όψη «Section 1» που εκτείνεται κατά πλάτος, συνολική πλάγια όψη τομής (α), επιμέρους κομμάτι όψης (β), που προσδιορίζεται και στο διάγραμμα (α) με το μαύρο ορθογώνιο, για καλύτερη παρατήρηση της απόκλισης των εικόνων του μπλοκ με, ή χωρίς, μάσκα από τα δεδομένα αναφοράς και την μη ουσιαστική επίδραση της μάσκας στην 3D ανακατασκευή του πυθμένα

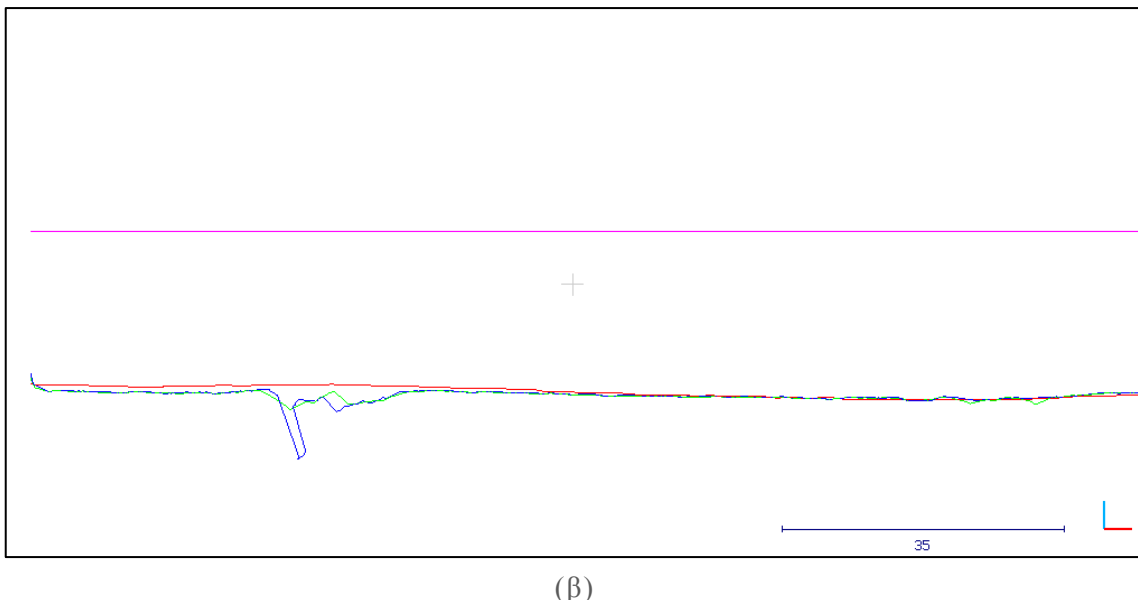
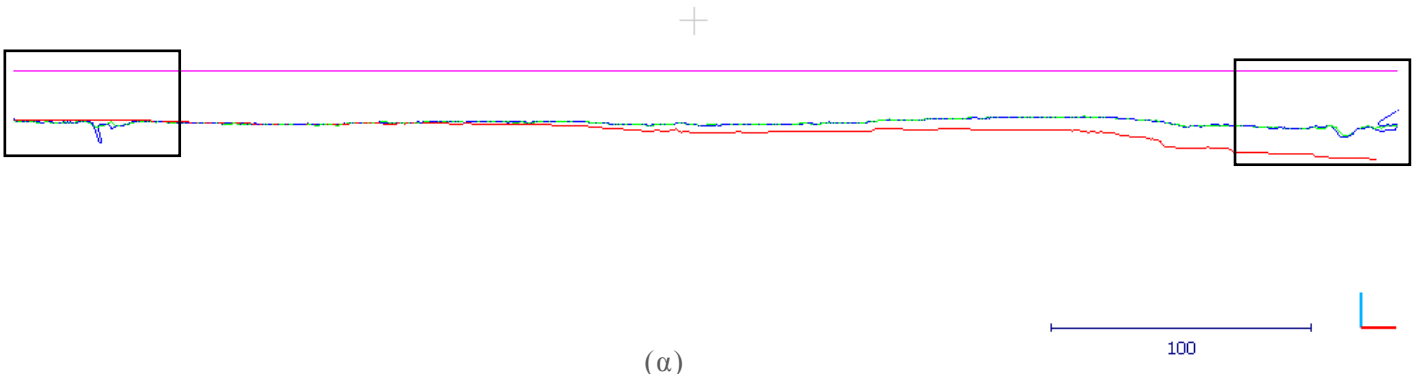


(α)

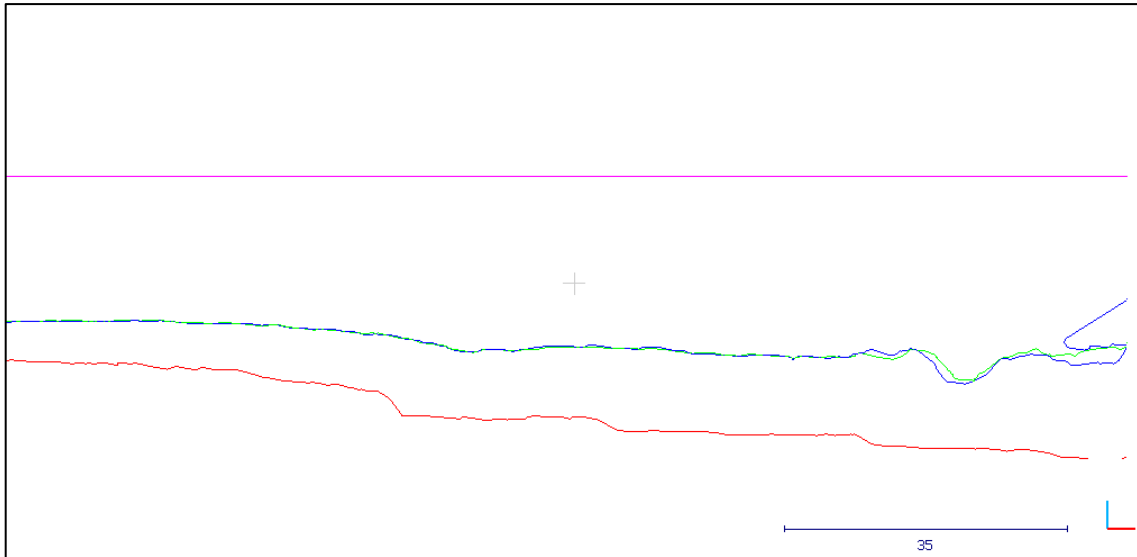


(β)

Εικόνα 37 Πλάγια όψη «Section 2» που εκτείνεται κατά πλάτος, συνολική πλάγια όψη τομής (α), επιμέρους κομμάτι όψης (β), που προσδιορίζεται και στο διάγραμμα (α) με το μαύρο ορθογώνιο, για καλύτερη παρατήρηση της απόκλισης των εικόνων του μπλοκ με, ή χωρίς, μάσκα από τα δεδομένα αναφοράς και την μη ουσιαστική επίδραση της μάσκας στην 3D ανακατασκευή του πυθμένα

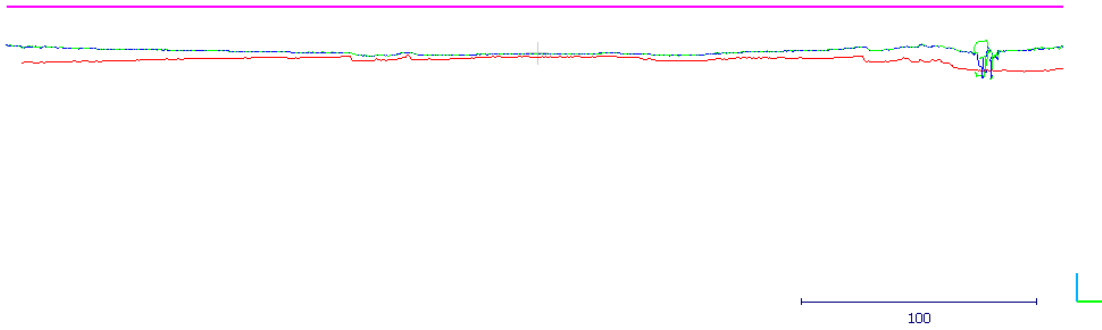


Εικόνα 38 (συνέχεια)

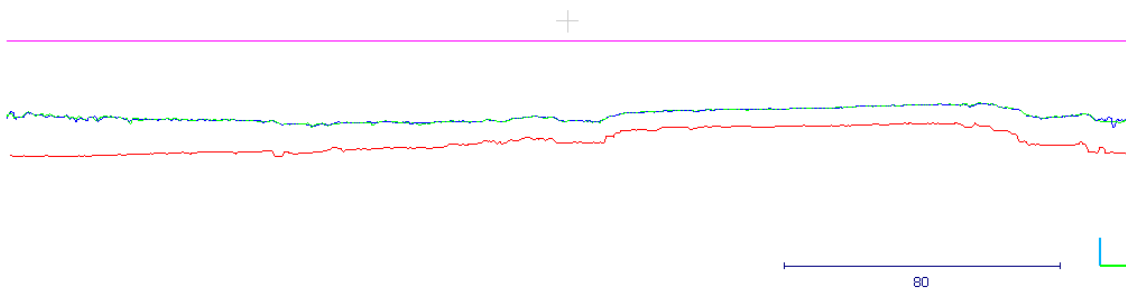


(γ)

Εικόνα 38 Πλάγια όψη «Section 3» που εκτείνεται κατά πλάτος, συνολική πλάγια όψη τομής (α), επιμέρους κομμάτια όψης (β), (γ), που προσδιορίζονται και στο διάγραμμα (α) με μαύρα ορθογώνια, για καλύτερη παρατήρηση της απόκλισης των εικόνων του μπλοκ με, ή χωρίς, μάσκα από τα δεδομένα αναφοράς και την παρατήρηση οποιωνδήποτε μειονεκτημάτων από τα εκάστοτε νέφη



Εικόνα 39 Πλάγια όψη «Section 4» που εκτείνεται κατά μήκος της περιοχής μελέτης.



Εικόνα 40 Πλάγια όψη «Section 5» που εκτείνεται κατά μήκος της περιοχής μελέτης.

Από τις τομές που παρουσιάστηκαν παραπάνω στις Εικόνες 36-38, αξίζει να σημειωθεί η περίπτωση όπως της δεύτερης τομής «Section 2», ειδικότερα στο επιμέρους κομμάτι αυτής που εκτείνονταν προς τις άκριες του μπλοκ, όπου παρουσιάζονταν η μεγαλύτερη απόκλιση, όπως αναμένονταν και επιβεβαιώθηκε για το σύνολο των τομών, ενώ παρατηρήθηκε υποεκτίμηση του βάθους του πυθμένα από τα δεδομένα που εφαρμόστηκαν οι μάσκες περιοχών υποβρύχιας βλάστησης, το οποίο κρίθηκε πως μπορεί να οφείλεται στην μειωμένη πυκνότητα του νέφους σε σχέση με το μπλοκ που δεν εφαρμόστηκαν οι μάσκες, ή ακόμα και στο γεγονός όπου συγκριτικά με το υπόλοιπο μήκος της τομής, ο πυθμένας στην περιοχή εκείνη χαρακτηρίζονταν αμμώδης, και κατ' επέκταση μειωμένης υφής, αλλοιώνοντας τα πιθανά αποτελέσματα της Φωτοβαθυμετρίας. Η μειωμένη πυκνότητα του νέφους σημείων, ή ο εναπομένον θόρυβος από σημεία μεγάλου σφάλματος μπορεί να παρατηρηθεί και στην περίπτωση του επιμέρους κομματιού (γ) της τρίτης τομής «Section 3». Επιπρόσθετα, από την παρατήρηση του επιμέρους κομματι (α) της τρίτης τομής, ενισχύεται η άποψη πως η κακή, μειωμένη υφή πυθμένα συμβάλει στην υποεκτίμηση του βάθους από LiDAR όπως συμβαίνει και σε περιπτώσεις στο χερσαίο κομμάτι. Στις περιπτώσεις όπου οι τομές πραγματοποιήθηκαν κατά μήκος της περιοχής, παρατηρήθηκε από τις αντίστοιχες Εικόνες 39-40 πως και τα δύο νέφη σημείων της περιοχής μελέτης, ακολουθούν την ίδια μορφή όπως τα δεδομένα αναφοράς με κάποια απόκλιση. Η απόκλιση, παρατηρήθηκε πως όσο το μήκος της τομής εκτείνονταν στο κέντρο του μπλοκ των εικόνων τόσο πιο πολύ μειώνονταν η απόκλιση από την τομή των δεδομένων αναφοράς. Η μείωση αυτή, θεωρήθηκε πως συνέβη λόγω του στο κέντρο, και σε ένα εύρος περιοχής γύρω από αυτό, του μπλοκ υπάρχουν οι περισσότερες αλληλοεπικαλύψεις, επομένως το στάδιο του ταιριάσματος σημείων μεταξύ των εικόνων συγκριτικά με άλλα σημεία του μπλοκ όπως τα ακριανά αναμένεται να είναι πιο έγκυρο και να προσεγγίζει καλύτερα την πραγματικότητα.

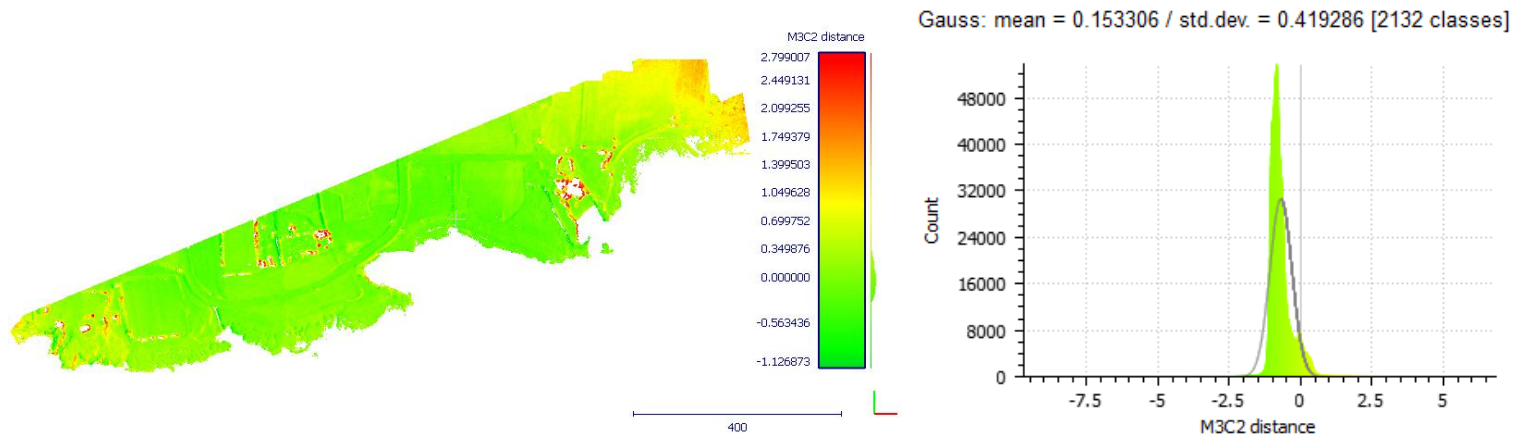
4.6.3 Σύγκριση τρισδιάστατων (3D) επιφανειών ανάδειξης ακτογραμμής με παρουσία, ή μη θάλασσας

Αντιστοίχως, υλοποιήθηκαν οι απαραίτητες συγκρίσεις μεταξύ των νεφών σημείων της περιοχής μελέτης με ή χωρίς τις μάσκες για ανάδειξη της ακτογραμμής, όσο και καθενός ξεχωριστά με το νέφος σημείων LiDAR για να προσδιοριστεί το μέγεθος της απόκλισης, κάθε περίπτωσης, από το επίπεδο αναφοράς που προσδιορίζεται απ' τα δεδομένα LiDAR. Με τον τρόπο αυτό θα παρατηρούνταν κατά πόσο η παρουσία ή μη της θάλασσας επηρεάζει, αποτελεί θόρυβο, τον προσδιορισμό της ακτογραμμής.

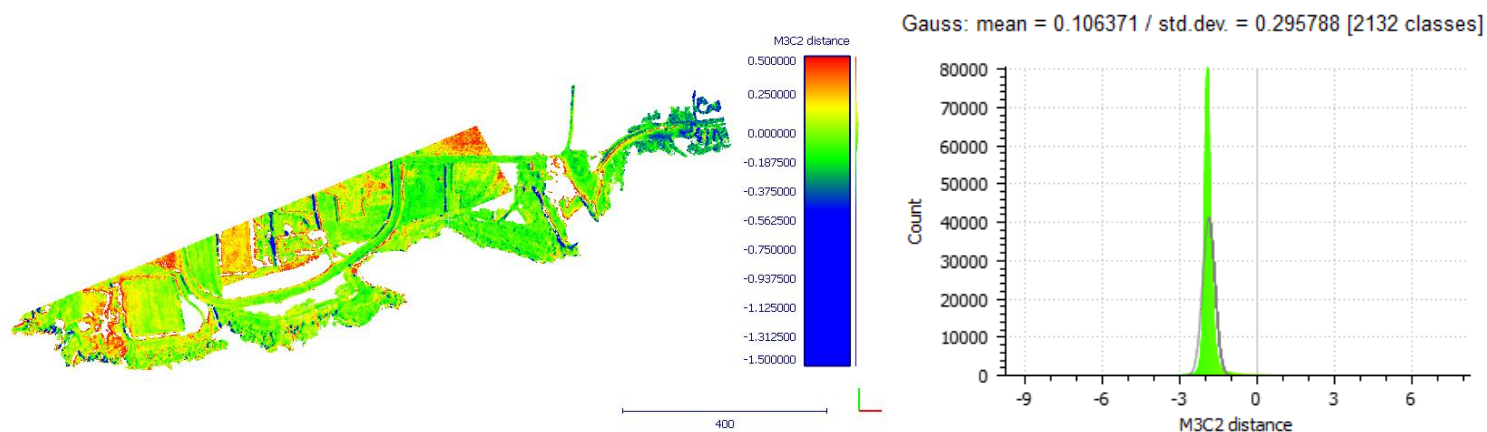
Στις Εικόνες 41-43, παρουσιάζονται τα νέφη σημείων σύγκρισης που υλοποιήθηκαν καθώς και τα ιστογράμματα κατανομής Gauss. Λαμβάνοντας υπόψη τα μεγέθη των σφαλμάτων κατά τους άξονες X Y Z όπως προέκυψαν από την επίλυση του μπλοκ σε κάθε περίπτωση εφαρμογής ή μη μάσκας για την ακτογραμμή, όπως παρουσιάζονται στον Πίνακα 6 αναμένονταν πως σε περιοχές του κέντρου του μπλοκ θα υπήρχε συνολική ανύψωση, ενώ προς τις άκρες θα σύγκλιναν περισσότερο οι τιμές των υψομέτρων. Δηλαδή, σταδιακή ανύψωση του μπλοκ προς το κέντρο με την δημιουργία καμπύλης με τα κοίλα προς τα κάτω. Ωστόσο, όπως παρατηρήθηκε και από τα τρία (3) παραγόμενα νέφη σύγκρισης και τα αντίστοιχα τους ιστογράμματα κατανομής Gauss, οι μεταξύ τους αποκλίσεις δεν υπέρβαιναν το μισό (0.5) μέτρο, ενώ μόνο στην περίπτωση σύγκρισης ολόκληρου του μπλοκ χωρίς την εφαρμογή των масκών και των δεδομένων LiDAR, σημειώθηκε στις άκρες μέγεθος απόκλισης έως και ενάμιση (1.5) μέτρα, το οποίο ίσως οφείλεται στην βλάστηση που υπήρχε στην προκείμενη περιοχή και ο εκάστοτε παλμός του laser του LiDAR να μην έφθασε το επίπεδο του εδάφους πριν ακολουθήσει την πορεία επιστροφής.

Πίνακας 6 RMS σφάλματα φωτοσταθερών μπλοκ εικόνων στους άξονες X(Ανατολικά-Δυτικά), Y(Βόρεια-Νότια), Z(υψόμετρο).

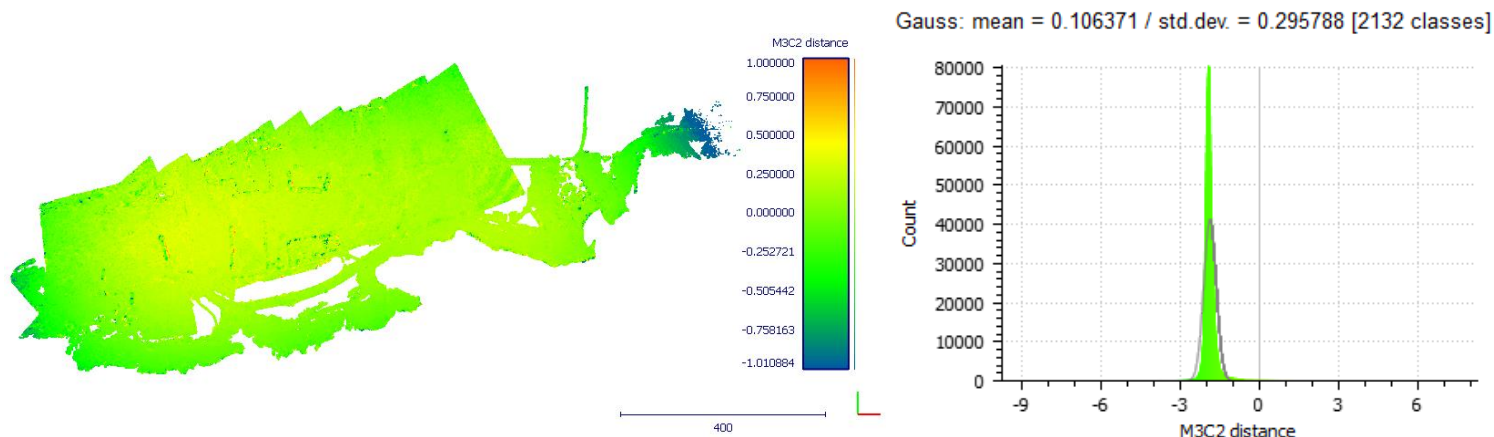
Μπλοκ εικόνων	X σφάλμα (m)	Y σφάλμα (m)	Z σφάλμα (m)	XY σφάλμα (m)	Total (m)
Χωρίς μάσκες	0.0485122	0.0510332	0.130981	0.0704118	0.148707
Με μάσκες	1.10534	1.7654	0.968864	2.08289	2.2972



Εικόνα 41 Αποτέλεσμα σύγκρισης νέφους σημείων ολόκληρου του μπλοκ της περιοχής, χωρίς εφαρμογή μασκών για ανάδειξη ακτογραμμής, με το νέφος σημείων των δεδομένων LiDAR ως αναφορά (αριστερά) και το αντίστοιχο ιστόγραμμα κατανομής Gauss (δεξιά).



Εικόνα 42 Αποτέλεσμα σύγκρισης νέφους σημείων ολόκληρου του μπλοκ της περιοχής, με εφαρμογή μασκών για ανάδειξη ακτογραμμής, με το νέφος σημείων των δεδομένων LiDAR ως αναφορά (αριστερά) και το αντίστοιχο ιστόγραμμα κατανομής Gauss (δεξιά).

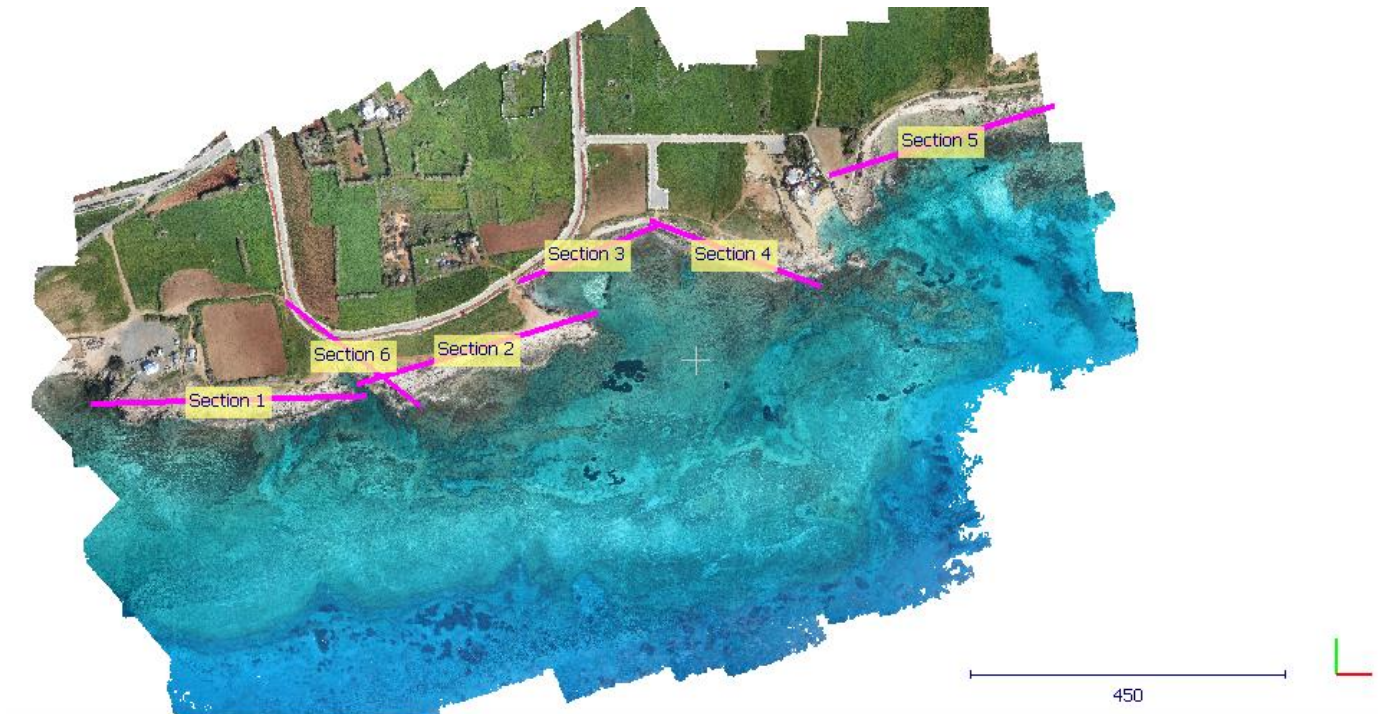


Εικόνα 43 Αποτέλεσμα σύγκρισης νέφους σημείων ολόκληρου του μπλοκ της περιοχής με τις μάσκες ανάδειξης ακτογραμμής με το νέφος σημείων όπου δεν εφαρμόστηκαν ως νέφος αναφοράς (αριστερά) και το αντίστοιχο ιστόγραμμα κατανομής Gauss (δεξιά).

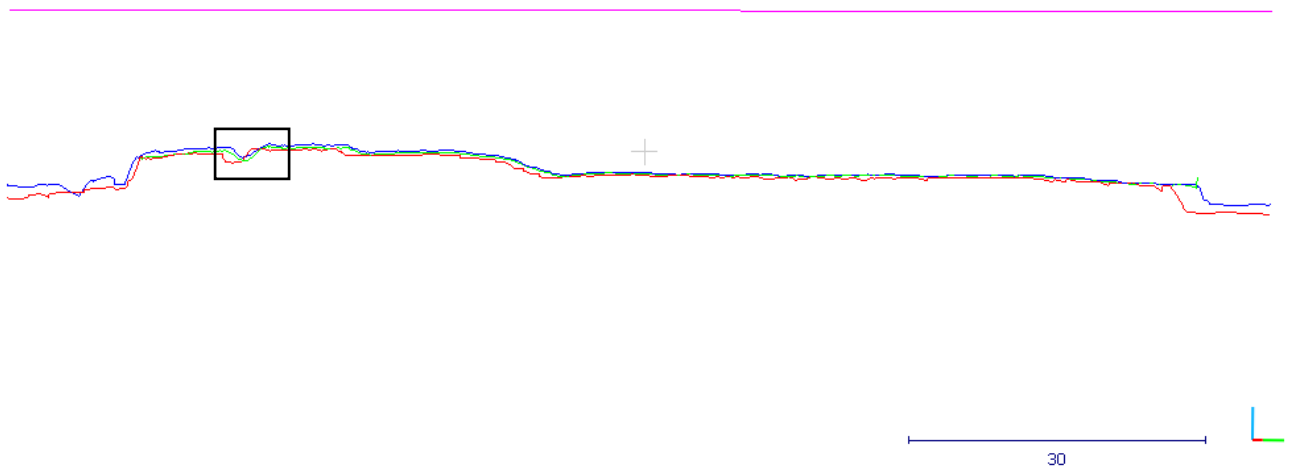
Αξίζει να σημειωθεί, πως στις περιπτώσεις συγκρίσεων του νέφους όπου εφαρμόστηκαν οι μάσκες ανάδειξης της ακτογραμμής, η μεγαλύτερη απόκλιση στα δεξιό άκρο του μπλοκ, που λόγω αρνητικής τιμής συνάδει μεγαλύτερη τιμή υψομέτρου του νέφους που εφαρμόστηκαν οι μάσκες, προέκυψε διότι παρά τους περιορισμούς που τέθηκαν κατά την εφαρμογή του δείκτη για διατήρηση πληροφορίας που επρόκειτο για στεριά/βλάστηση, όπου είχαν παρόμοιες ραδιομετρικές τιμές των τριών χρωματικών καναλιών RGB με περιοχές του θαλάσσιου μέρους του μπλοκ επομένως αφαιρέθηκαν, και τα φωτοσταθερά που βρισκόντουσαν σε εκείνη την περιοχή δεν χρησιμοποιήθηκαν με αποτέλεσμα η επίλυση του μπλοκ να μην υλοποιηθεί όπως έπρεπε, συγκεκριμένα η συσχέτιση του μπλοκ με το σύστημα συντεταγμένων, και το σφάλμα κυρίως κατά τον άξονα Z στις άκρες λόγω παραμορφώσεων να είναι μεγαλύτερο απ' το αναμενόμενο.

4.6.4 Οπτικοποίηση Αποκλίσεων με την δημιουργία τομών

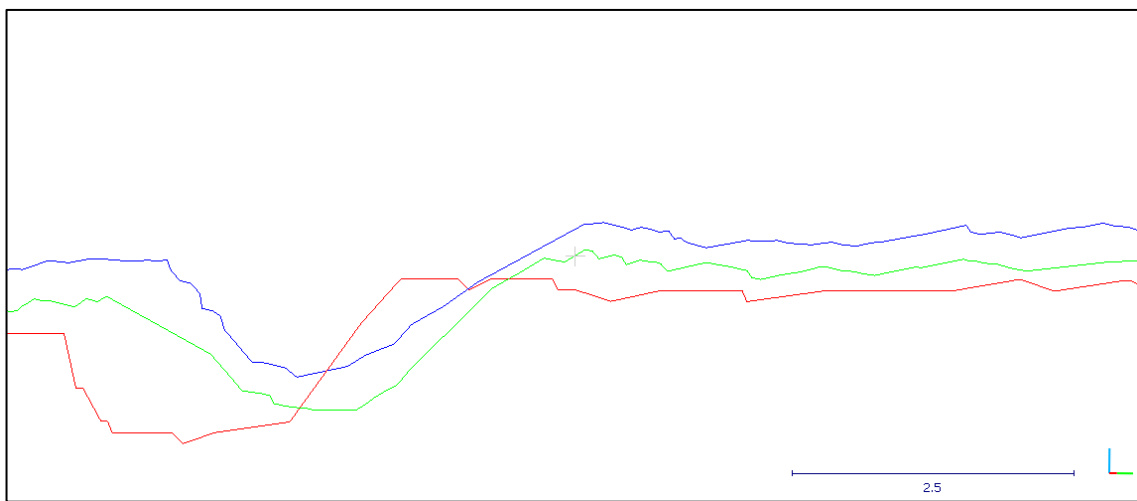
Με σκοπό την καλύτερη ερμηνεία των συγκρίσεων που υλοποιήθηκαν για την πιθανή επίδραση της παρουσίας της θάλασσας, δημιουργήθηκαν τομές κατά της ακτογραμμής όπως φαίνεται στις Εικόνες 45-50. Κάθε μία τομή παρουσιάζεται αντίστοιχα στην Εικόνα 44



Εικόνα 44 Σύνολο τομών που υλοποιήθηκαν κατά μήκος της ακτογραμμής για την οπτικοποίηση του αποτελέσματος σύγκρισης περί προσέγγισης της ακτογραμμής, όπως προσδιορίζεται από δεδομένα LiDAR, με την επίδραση της παρουσίας ή απουσίας της θάλασσας.

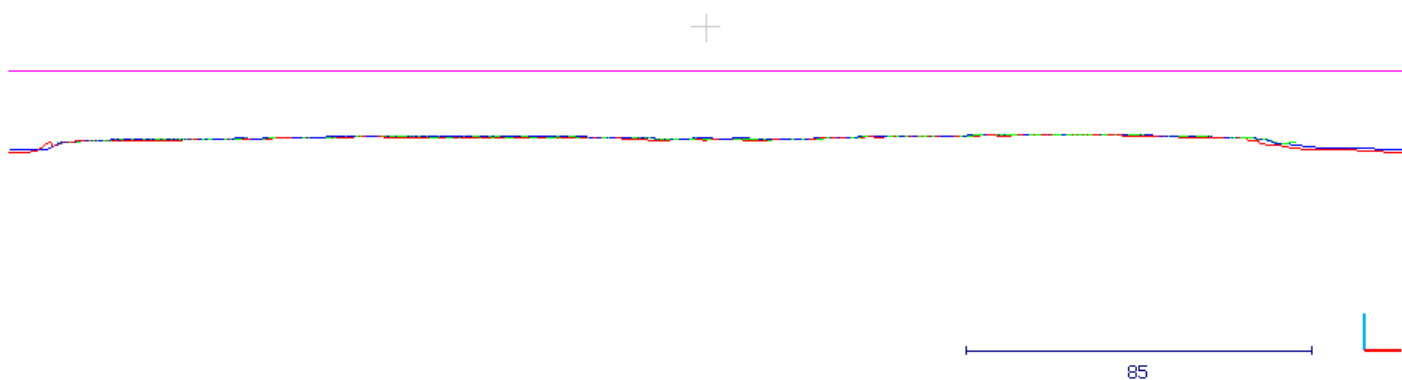


(α)

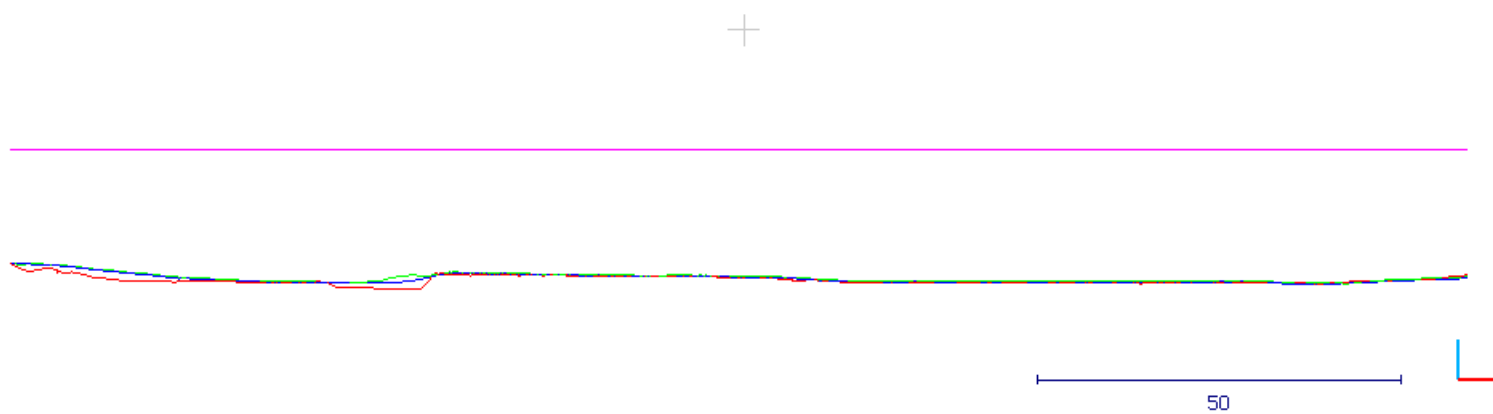


(β)

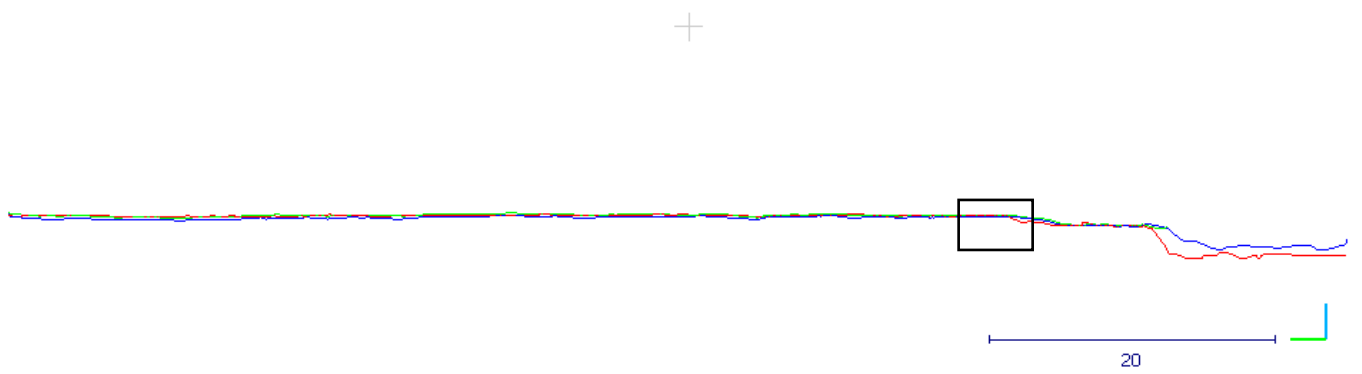
Εικόνα 45 Πλάγια όψη «Section 1» που εκτείνεται κατά μήκος της ακτογραμμής (α), επιμέρους κομμάτι όψης (β), που προσδιορίζεται και στο διάγραμμα (α) με μαύρο ορθογώνιο, για καλύτερη παρατήρηση της απόκλισης των εικόνων του μπλοκ με, ή χωρίς, μάσκα από τα δεδομένα αναφοράς.



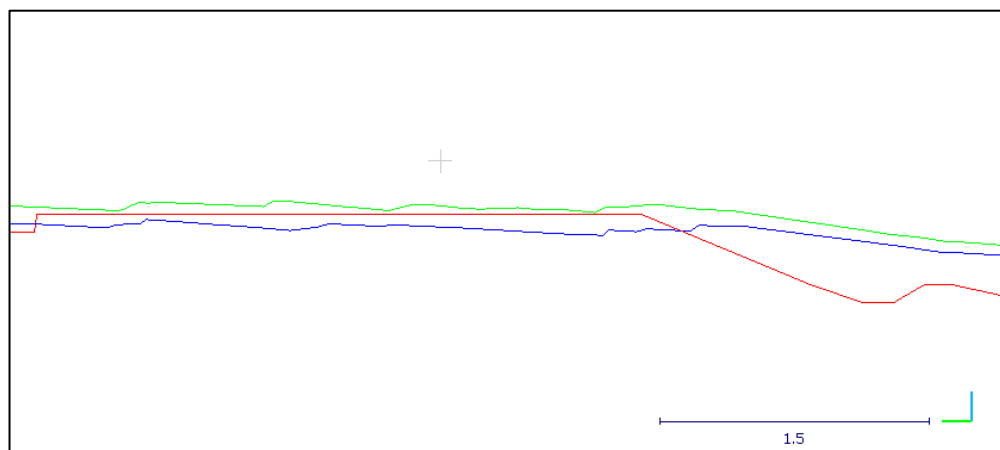
Εικόνα 47 Πλάγια όψη «Section 2» που εκτείνεται κατά μήκος της ακτογραμμής.



Εικόνα 46 Πλάγια όψη «Section 3» που εκτείνεται κατά μήκος της ακτογραμμής.

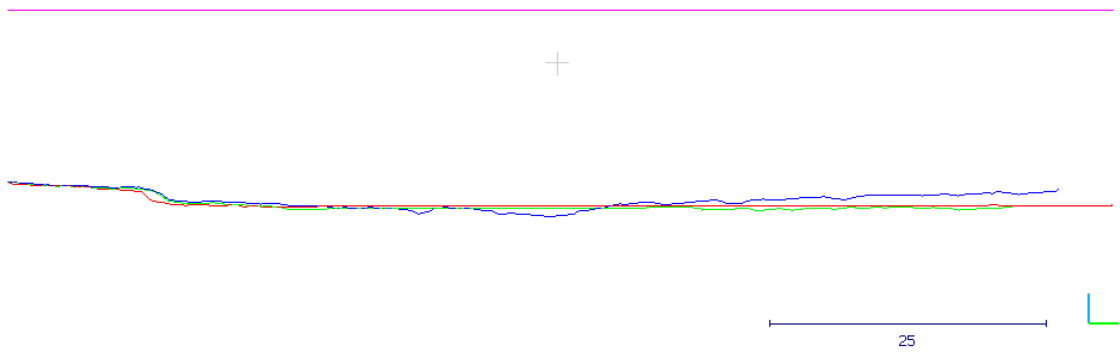


(α)

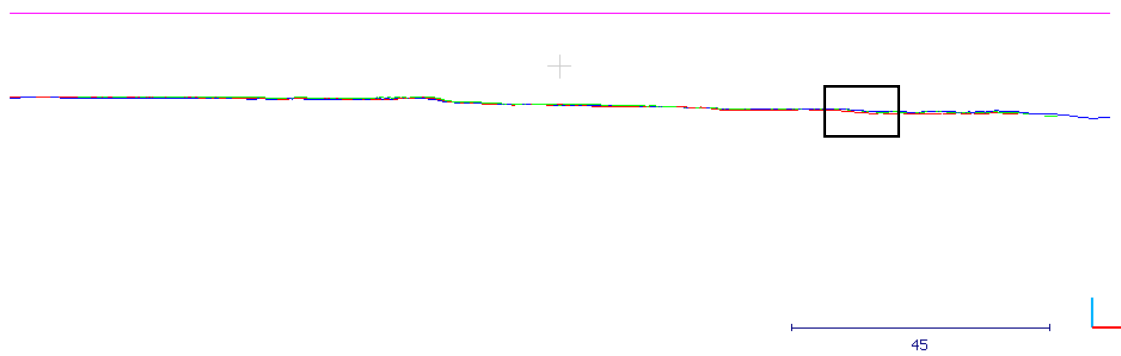


(β)

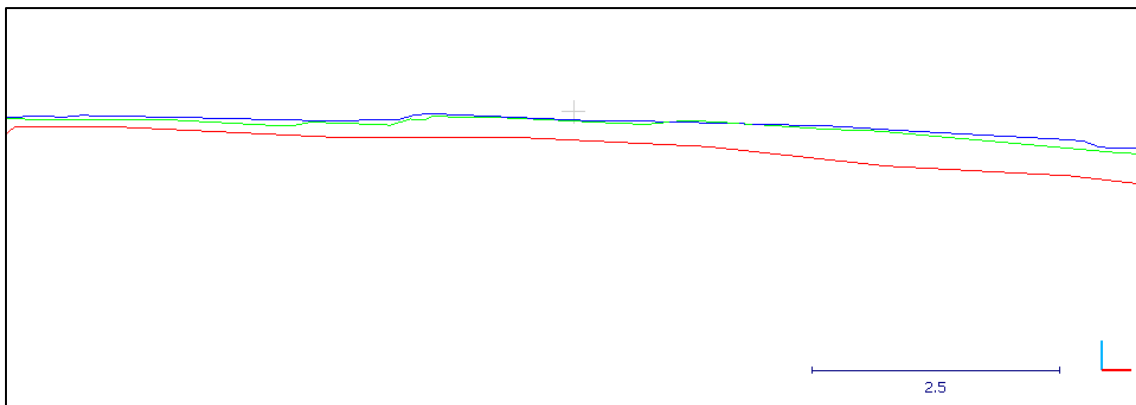
Εικόνα 48 Πλάγια όψη «Section 4» που εκτείνεται κατά μήκος της ακτογραμμής (α), επιμέρους κομμάτι όψης (β), που προσδιορίζεται και στο διάγραμμα (α) με μαύρο ορθογώνιο, για καλύτερη παρατήρηση της απόκλισης των εικόνων του μπλοκ με, ή χωρίς, μάσκα από τα δεδομένα αναφοράς.



Εικόνα 49 Πλάγια όψη «Section 5» που εκτείνεται κατά μήκος της ακτογραμμής.



(α)



(β)

Εικόνα 50 Πλάγια όψη «Section 6» που εκτείνεται κατά μήκος της ακτογραμμής (α), επιμέρους κομμάτι όψης (β), που προσδιορίζεται και στο διάγραμμα (α) με μαύρο ορθογώνιο, για καλύτερη παρατήρηση της απόκλισης των εικόνων του μπλοκ με, ή χωρίς, μάσκα από τα δεδομένα αναφοράς.

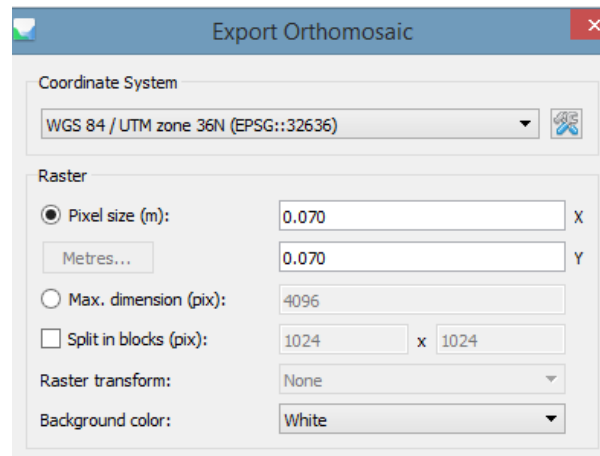
Απ' το σύνολο των παραπάνω οπτικοποιήσεων προέκυψε πως, μολονότι οι αποκλίσεις μεταξύ των δύο παραγόμενων νεφών σημείων με τα δεδομένα LiDAR δεν ξεπερνούσαν το ένα (1) μέτρο κατά μήκος της ακτογραμμής, η δημιουργία 3D επιφάνειας από πυκνά νέφη σημείων με απουσία της θάλασσας, προσέγγιζε περισσότερο την ακτογραμμή όπως προσδιορίζονταν από τα δεδομένα LiDAR. Ειδικότερα, στην περίπτωση της τομής «Section 6» παρατηρήθηκε πως σε περιοχές ανάμεσα από φωτοσταθερά η απόκλιση υψομέτρου από τα δεδομένα LiDAR είναι μικρότερη απ' όταν επεκτείνεται σε παράκτιο κομμάτι εκτός φωτοσταθερών, το οποίο μπορεί να γίνει κατανοητό από την επισημασμένη περιοχή της τομής 6 (Εικόνα 50 (β)) όπου καθώς εκτείνεται η τομή προς τα δεξιά και απομακρύνεται από τα φωτοσταθερά τόσο μεγαλώνει η απόκλιση από τα δεδομένα LiDAR. Η συγκεκριμένη απόκλιση από το νέφος σημείων με την εφαρμογή μασκών για ανάδειξη της ακτογραμμής είναι μικρότερη από την απόκλιση όταν δεν γίνεται εφαρμογή τους.

5 Υπολογισμός έκτασης υποβρύχιας βλάστησης

Δεδομένου, πως είχε υλοποιηθεί επιτυχής εντοπισμός της υποβρύχιας βλάστησης με εφαρμογή τροποποιημένου δείκτη και κατάλληλης κατωφλίωσης, θεωρήθηκε σκόπιμο να προσδιοριστεί η συνολική έκταση που καταλαμβάνει, ώστε η συγκεκριμένη πληροφορία να μπορεί να ωφελήσει έρευνες, μελέτες από άλλους κλάδους όπως της βιολογίας ή μηχανικών περιβάλλοντος, όπου η παρακολούθηση χλωρίδας κι πανίδας τόσο στο χερσαίο όσο και στο υποβρύχιο περιβάλλον είναι εξίσου σημαντική όπως αναφέρεται και σε σχετικό άρθρο για την σημαντικότητα χαρτογράφησης των υποβρύχιων λιβαδιών Ποσειδωνίας (Fornes et al. 2006). Ο υπολογισμός της έκτασης σε συνδυασμό με ένα σύνολο χρονοσειρών από την ίδια περιοχή μελέτης, θα μπορούσε να οδηγήσει σε ενδιαφέρον συμπεράσματα σχετικά με την μεταβολή των εκτάσεων, ενώ παράλληλα θα συνείφερε σε μία πρώτη εκτίμηση ποιότητας του θαλάσσιου περιβάλλοντος και της ζωής των θαλάσσιων μικροοργανισμών της εκάστοτε περιοχής μελέτης.

Με γνώμονα τον σκοπό αυτό, το ορθομωσαϊκό που δημιουργήθηκε, όπως αναφέρθηκε στην ενότητα περί δημιουργίας 3D επιφανειών (Ενότητα 4.5), χρησιμοποιήθηκε εκ νέου ως δεδομένο στο λογισμικό MatLAB. Συγκεκριμένα, σε πρώτη φάση έγινε η εισαγωγή του και υποδιαίρεση σε 16 υπό περιοχές ορθομωσαϊκό, ώστε να είναι δυνατή η επεξεργασία από τον υπολογιστή του χειριστή. Ύστερα, εφαρμόσθηκε ξανά ο δείκτης βλάστησης ModExG, όπως προέκυψε σε αντίστοιχη ενότητα της εργασίας (Ενότητα 4.2.1), και η κατάλληλη κατωφλίωση στο εκάστοτε υπό μέρος, όπου δοκιμάστηκαν τιμές κατωφλίωσης στο διάστημα τιμών 0.2 έως 0.65 με βήμα 0.05. Στον Πίνακα 7 παρουσιάζονται οι τελικές τιμές κατωφλίωσης που εφαρμόσθηκαν στις υποπεριοχές του ορθομωσαϊκού που περιείχαν θαλάσσιο κομμάτι. Παρατηρήθηκε, πως οι υποπεριοχές που βρίσκονταν περίπου στο ίδιο βάθος είχαν παρόμοιες τιμές κατωφλίωσης, ενώ στις περιοχές που περιείχαν και κομμάτι στεριάς παρατηρήθηκαν οι χαμηλότερες τιμές κατωφλίωσης. Αφού, εντοπίστηκαν οι περιοχές υποβρύχιας βλάστησης στο σύνολο του ορθομωσαϊκού, με χρήση μετρητή έγινε καταγραφή των εικονοστοιχείων που η ραδιομετρική τιμή τους ήταν μικρότερη από το κατώφλι που εφαρμόσθηκε προηγουμένως, δηλαδή των περιοχών υποβρύχιας βλάστησης. Απαραίτητο στάδιο επεξεργασίας ήταν η μετατροπή της υπολογιζόμενης έκτασης σε διαστάσεις επί του εδάφους, επομένως χρησιμοποιήθηκε η απόσταση επι του εδάφους ενός εικονοστοιχείου, ή αλλιώς η απόσταση μεταξύ των κέντρων δύο (2) εικονοστοιχείων «Ground Sample Distance, GSD», που καθορίσθηκε αυτόματα

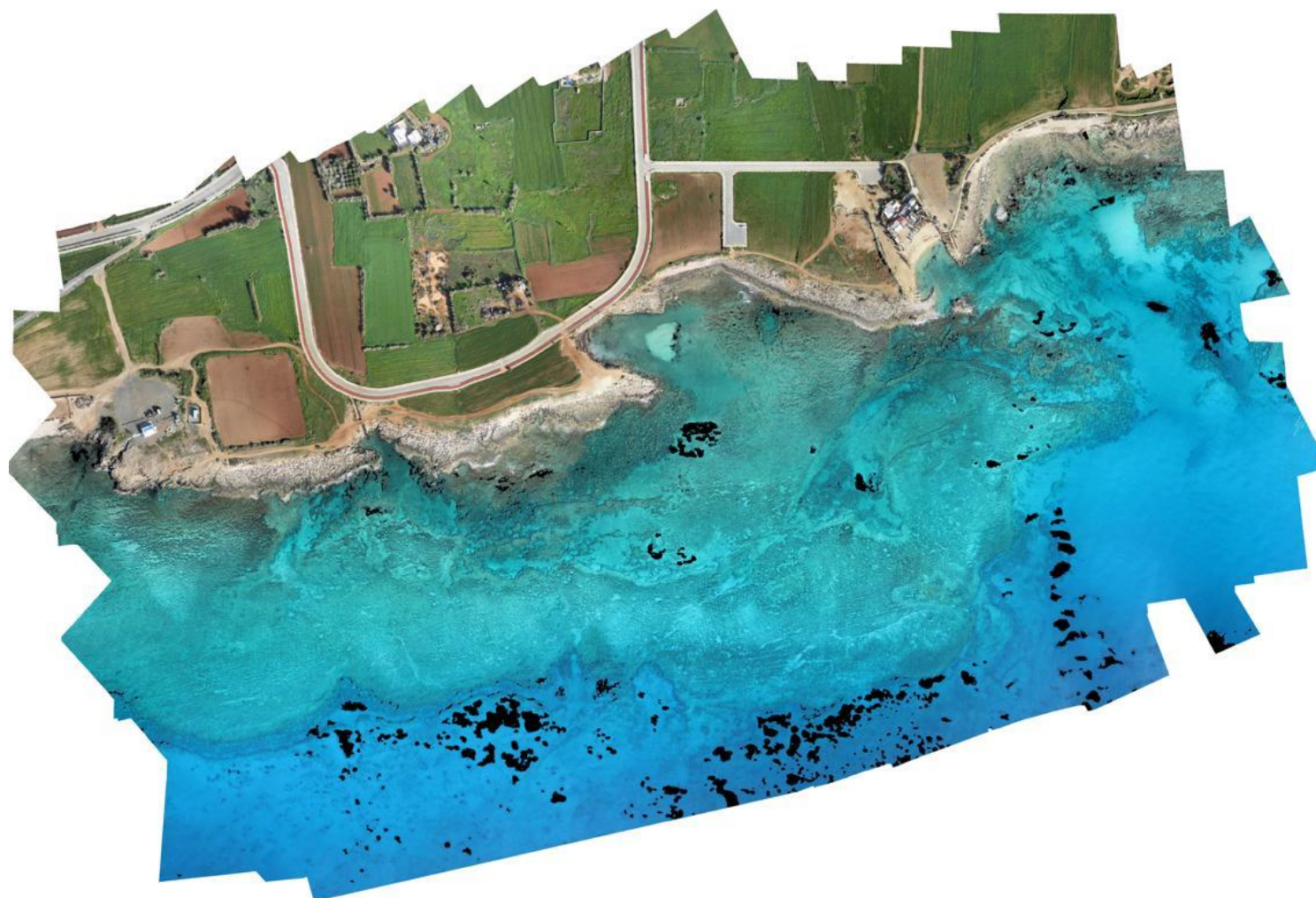
με την τιμή 0.07 κατά την διαδικασία παραγωγής του, όπως φαίνεται στην Εικόνα 51 με την ολοκλήρωση της απαραίτητης μετατροπής, προέκυψε πως η έκταση των περιοχών υποβρύχιας βλάστησης που εντοπίστηκαν με την προκειμένη μέθοδο ήταν $1,5677 \cdot 10^4 \text{ m}^2$ (ή 15.677 m^2), Εικόνα 53. Τέλος, υλοποιήθηκε σύνθεση του συνόλου ορθομωσαϊκού με επισημασμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος για ένα ολοκληρωμένο αποτέλεσμα, εικόνα 52.



Εικόνα 51 Καθορισμός διάστασης εικονοστοιχείων Ορθομωσαϊκού

Πίνακας 7 Τιμές κατωφλίσωσης που εφαρμόστηκαν σε κάθε υποπεριοχή του Ορθομωσαϊκού για καταμέτρηση περιοχών υποβρύχιας βλάστησης.

Αριθμός Υποπεριοχής Ορθομωσαϊκού	Τιμή κατωφλίσωσης	Αριθμός Υποπεριοχής Ορθομωσαϊκού	Τιμή κατωφλίσωσης
Υποπεριοχή 1	-	Υποπεριοχή 9	0.2
Υποπεριοχή 2	-	Υποπεριοχή 10	0.45
Υποπεριοχή 3	-	Υποπεριοχή 11	0.6
Υποπεριοχή 4	0.4	Υποπεριοχή 12	0.6
Υποπεριοχή 5	0.2	Υποπεριοχή 13	0.6
Υποπεριοχή 6	-	Υποπεριοχή 14	0.65
Υποπεριοχή 7	0.4	Υποπεριοχή 15	0.6
Υποπεριοχή 8	0.5	Υποπεριοχή 16	0.6



Εικόνα 52 Σύνθεση ορθομωσαϊκού με απομάκρυνση των περιοχών υποβρύχιας βλάστησης.

```
65 %-----
66
67 %convert seaweeds_area with pixel dimensions into seaweeds_area with ground dimensions
68 total_seaweed_area_ground = 0;
69 for i =1:16
70     seaweed_area_ground= (black_pixels_maskedsub(i)*(GSD^2));
71     total_seaweed_area_ground =total_seaweed_area_ground + seaweed_area_ground;
72 end
73
74 text= strcat('the total seaweed area is:');
75 disp(text)
76 disp(total_seaweed_area_ground)
77 text=strcat('m^2');
78 disp(text)
```

Command Window

```
disp(total_seaweed_area_ground)
text=strcat('m^2');
disp(text)
the total seaweed area is:
    1.5677e+04
m^2
```

Εικόνα 53 Στιγμιότυπο από το αποτέλεσμα υπολογισμού ολικής έκτασης περιοχών φυκιών στο περιβάλλον της MatLAB.

6 Σχολιασμός Αποτελεσμάτων

6.1 Σχολιασμός αποτελεσμάτων επιλογής δείκτη για εντοπισμό περιοχών υποβρύχιας βλάστησης

Η επιλογή του δείκτη ExG για τον εντοπισμό περιοχών υποβρύχιας βλάστησης, μπορεί να δικαιολογηθεί, εκτός από τα πειραματικά αποτελέσματα, αν ληφθούν υπόψιν όσα έχουν αναφερθεί στην Ενότητα 1.3.4 σχετικά με την απορρόφηση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας σε σχέση, τόσο με το βάθος όσο και με τα σωματίδια που βρίσκονται αιωρούμενα ή διαλυμένα (αλάτι, μικροοργανισμοί) και κατ' επέκταση την ανάλογη μείωση χρωμάτων. Όπως επίσης, αν ληφθεί υπόψιν και η φύση της υποβρύχιας βλάστησης, όπου όπως και η χερσαία έχει, ως κάποιο βαθμό, υψηλή ανάκλαση στην περιοχή μήκους κύματος του πράσινου χρώματος (500-550 nm).

6.2 Σχολιασμός αποτελεσμάτων επιλογής δείκτη για ανάδειξη ακτογραμμής

Για την επιλογή του δείκτη ExR ως καταλληλότερου για ανάδειξη της ακτογραμμής αξίζει να επισημανθεί, πως παρότι εκ πρώτης όψεως δεν χαρακτηρίζεται ως εύκολα διαχειρίσιμος ή δεν είναι διακριτό το περιθώριο βελτιστοποίησης του, η συνδυαστική εφαρμογή του με κατάλληλη δειγματοληψία, μια σειράς περιορισμών και της διατήρησης ραδιομετρικών τιμών έντασης εικονοστοιχείων από την εκάστοτε grayscale εικόνα όπου ικανοποιούνται οι συνθήκες των περιορισμών, οδηγεί σε παρόμοια ή και καλύτερα αποτέλεσμα διάκρισης στεριάς-ακτογραμμής από θαλάσσιο περιβάλλον σε σύγκριση με την εφαρμογή του δείκτη CIVE.

6.3 Σχολιασμός αποτελεσμάτων κατωφλίωσης

Όσο αφορά την κατωφλίωση των εικόνων με σκοπό τον εντοπισμό περιοχών υποβρύχιας βλάστησης, αξίζει να αναφερθεί πως, όπως αποδείχθηκε η ημι-αυτόματη μέθοδος κατωφλίωσης είναι εφικτή και μάλιστα με κατάλληλη προ επεξεργασία μπορεί να οδηγήσει σε βέλτιστα αποτελέσματα. Ωστόσο, υπάρχουν περιθώρια βελτιστοποίησης της διαδικασίας όπως κατά την σύγκριση των ευκλείδειων αποστάσεων, αν εισάγονταν έξτρα περιορισμοί και η έννοια του βάρους της συνεισφοράς του αποτελέσματος κάθε μετρητή αντίστοιχου κατωφλιού, τότε οι προτεινόμενες τιμές θα ήταν ακόμη πιο εξειδικευμένες. Φυσικά, η ύπαρξη μεγαλύτερης και αναλυτικότερης δειγματοληψίας θα συνείσφερε ακόμα περισσότερο στην βέλτιστη λειτουργία της ημι-αυτόματης μεθόδου.

Γενικότερα, αν γινόταν προσέγγιση με αντικειμενοστραφή προγραμματισμό, τότε θα υπήρχε δυνατότητα ακόμη πιο αποτελεσματικής κατωφλίωσης λόγω της δυνατής εναλλαγής της τιμής της, μέσα στην ίδια εικόνα. Αυτό, είναι επακόλουθο της εκπαίδευσης του αλγορίθμου αναγνώρισης των περιοχών ενδιαφέροντος και συσχέτισης τους, σε ένα εύρος, με την γειτονική περιοχή. Η εκπαίδευση του αλγορίθμου θα απαιτούσε εξίσου αναλυτική και χρονοβόρα δειγματοληψία, όμως θεωρείται πως το αποτέλεσμα θα ήταν πιο ευέλικτο, αφού μέσω της εκπαίδευσης του αλγορίθμου θα καθορίζονταν η μέθοδος αναγνώρισης αλλά και επιβεβαίωσης μιας περιοχής ως πράγματι περιοχής ενδιαφέροντος.

6.4 Σχολιασμός δημιουργίας τρισδιάστατων (3D) επιφανειών από πυκνά νέφη σημείων

Όσο αφορά την δημιουργία τρισδιάστατων επιφανειών από πυκνά νέφη σημείων, αξίζει να αναφερθεί, πως αν για την αποκατάσταση των παραμέτρων του εσωτερικού προσανατολισμού υπήρχε δυνατότητα παρέμβασης του χειριστή στον κώδικα που την ορίζει, ώστε να μειωθεί η έντονη επίδραση της διαδικασίας που τελικά οδηγεί σε στρέβλωση και σε μεγάλου βαθμού χαλάρωση του ταιριάσματος σημείων μεταξύ των εικόνων, τότε τα δημιουργημένα νέφη σημείων θα ήταν καλύτερα με μειωμένα RMS σφάλματα και καλύτερα προσανατολισμένα στο τοπικό επίγειο σύστημα αναφοράς της περιοχής. Επομένως, θα διορθώνονταν περισσότερο το πρόβλημα της καμπύλης που δημιουργήθηκε στην προκείμενη εργασία στα δύο μπλοκ ενώ παράλληλα θα υπήρχε μεγαλύτερη σύγκλιση των υψομέτρων τους.

6.5 Σχολιασμός αποτελεσμάτων σύγκρισης (3D) επιφανειών από πυκνά νέφη σημείων

Όπως αναφέρθηκε κι στο θεωρητικό μέρος της παρούσας εργασίας στην Ενότητα 1.6.4, τα δεδομένα LiDAR δεν είναι πανάκεια, περιέχουν σφάλματα αβεβαιότητας της τάξης των $\pm 50-100$ mm, ενώ παράγοντες όπως έντονου αναγλύφου πυθμένα, θολά νερά, κυματισμοί, εξασθένιση του σήματος κατά την επιστροφή συνεισφέρουν στην μειωμένη ακρίβεια αποτελεσμάτων του αποτυπώματος του εκάστοτε σημείου τόσο κατά τον άξονα Z όσο και της επιφάνειας XY. Επομένως, η θεώρηση τους ως δεδομένα αναφοράς στην προκείμενη εργασία συνάδει την παραδοχή των πιθανών σφαλμάτων που περιέχουν. Για μία πιο ολοκληρωμένη μελέτη, κρίνεται απαραίτητο η επιπλέον μελέτη των σφαλμάτων των μετρήσεων της τεχνολογίας LiDAR, η συμπερίληψη τους και στην συνέχεια η σύγκριση με τα παραγόμενα αποτελέσματα τη Φωτοβαθυμετρίας.

6.5.1 Σχολιασμός αποτελεσμάτων σύγκρισης (3D) επιφανειών από πυκνά νέφη σημείων για τον εντοπισμό των περιοχών υποβρύχιας βλάστησης

Όπως παρατηρήθηκε και από τα αποτελέσματα σύγκρισης αλλά και της οπτικοποίησης τους μέσω χαρακτηριστικών τιμών κατά μήκος και κατά πλάτος η απομάκρυνση των περιοχών υποβρύχιας βλάστησης με «image based» μέθοδο, δεν είχε ουσιαστική επίδραση στην 3D ανακατασκευή του πυθμένα αφού οι διαφορές μεταξύ των νεφών που εφαρμόστηκαν οι μάσκες ή όχι δεν ξεπερνούσαν τα 15 εκατοστά ενώ μόνο στις άκριες η διαφορά κυμαίνονταν στα 20 εκατοστά. Ωστόσο, είναι απαραίτητο να σημειωθεί πως η προκείμενη εργασία υλοποιήθηκε χωρίς να ληφθεί υπόψιν η επίδραση της διάθλασης στην μετάδοση της ακτίνας φωτός που, όπως γίνεται κατανοητό από το θεωρητικό κομμάτι της προκείμενης εργασίας και μελετών-ερευνών που έχουν πραγματοποιηθεί σε προηγούμενα έτη, είναι από τους πιο σημαντικούς παράγοντες που παρεμποδίζουν την σωστή αναδόμηση της ακτίνας και επομένως τον ορθό προσδιορισμό του βάθους, ενώ αξίζει να σημειωθεί πως σε σχετική έρευνα (Skarlatos, D et. al 2018) και εφαρμογή της προτεινόμενης μεθοδολογίας της για διόρθωση της διάθλασης, διαπιστώθηκε πως με το πέρασμα μερικών επαναλήψεων του αλγορίθμου τα αποτελέσματα ανακατασκευής του πυθμένα προσέγγιζαν σε πολύ καλό επίπεδο τα δεδομένα αναφοράς (LiDAR) με απόκλιση κάποιων μέτρων, αρκετά μικρότερη συγκριτικά με την διακύμανση των αποκλίσεων στην

παρούσα εργασία που έφθανε έως και τα οχτώ (8) μέτρα. Επομένως, είναι δυνατόν να εικαστεί πως αν υλοποιούταν αρχικά διόρθωση της διάθλασης στο μπλοκ εικόνων και στην συνέχεια ο εντοπισμός και η απομάκρυνση των περιοχών υποβρύχιας βλάστησης, τα παραγόμενα πυκνά νέφη και η μεταξύ τους σύγκριση να παρουσίαζαν ουσιαστική διαφορά και η 3D ανακατασκευή του πυθμένα να πλησίαζε αυτήν των δεδομένων αναφοράς. Ορθότερα αποτελέσματα θα μπορούσαν να διεξαχθούν, αν λαμβάνονταν υπόψη πέρα το φαινόμενο της διάθλασης της ακτίνας, το φαινόμενο σκέδασης, που αναφέρθηκε προηγουμένως, αλλά και του κατάλληλου καλιμπράρισματος της κάμερας που χρησιμοποιείται στην εκάστοτε μελέτη αφού όπως αποδεικνύεται στο άρθρο (Agrafiotis, Panagiotis & Georgopoulos, Andreas. 2015), σε περιπτώσεις φωτογραμμετρίας δυο μέσων, η σταθερά 1.33 που πολλαπλασιάζεται η εστιακή απόσταση της κάμερας σε περίπτωση καθαρών νερών σε υποβρύχια λήψη, δεν μπορεί να εφαρμοσθεί. Αντίθετα, το κατάλληλο καλιμπράρισμα εξαρτάται από το ποσοστό παρουσίας αέρα-ατμόσφαιρας-και νερού στην συνολική απόσταση κάμερας και υπό μελέτη αντικειμένου

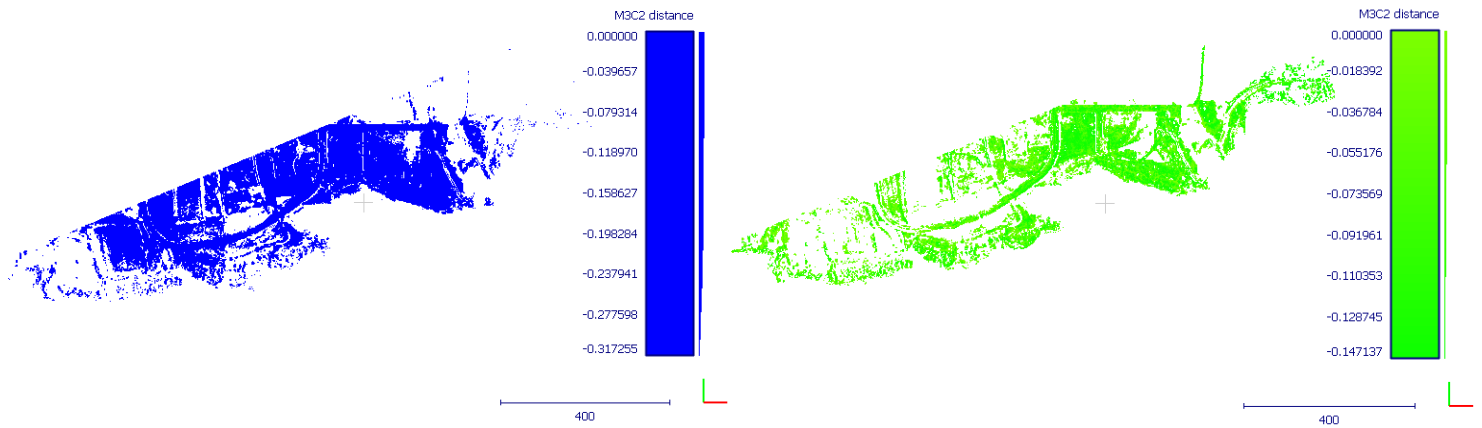
6.5.2 Σχολιασμός αποτελεσμάτων σύγκρισης (3D) επιφανειών από πυκνά νέφη σημείων για την ανάδειξη ακτογραμμής

Όπως παρατηρήθηκε και από τα αποτελέσματα της σύγκρισης των νεφών περί ανάδειξης ακτογραμμής παρουσίας, ή μη, του θαλάσσιου μέρους του μπλοκ και σε σχέση με τα δεδομένα αναφοράς LiDAR, οι αποκλίσεις είναι σχετικά μικρές χωρίς να ξεπερνούν συνολικά το ενάμισο (1.5) μέτρο, ωστόσο θεωρείται αναγκαίο ο περαιτέρω σχολιασμός και των πιθανών παραγόντων τους. Η διαφορά εποχής λήψης των δεδομένων LiDAR και των αεροφωτογραφιών μπορεί να ευθύνεται, εν μέρη, για την ύπαρξη μεγαλύτερων υψομέτρων σε κάθε περίπτωση λόγω της πιθανής βλάστησης και αδυναμίας εντοπισμού του επιπέδου του εδάφους και κατ' επέκταση σε ανάλογες αποκλίσεις στην μεταξύ τους σύγκριση όπως επιβεβαιώνεται στην Εικόνα 43 στην βορειοανατολική άκρια του παραγόμενου νέφους. Επίσης, παράγοντας που μπορεί να έχει μερίδιο ευθύνης για την απόκλιση είναι η επιφάνεια των αντικειμένων, κυρίως η ομοιομορφία τους, δηλαδή η αδυναμία εντοπισμού υψής είτε από την μέθοδο LiDAR με το φαινόμενο της έντονης σκέδασης είτε από αδυναμία εύρεσης κοινών σημείων μεταξύ των εικόνων, όπως στην περίπτωση των χωμάτινων δρόμων και της υψηλής ανακλαστικότητας τους. Αξίζει να σημειωθεί

επίσης, πως απ' τα καταγεγραμμένα RMS σφάλματα των φωτοσταθερών στα δύο νέφη σημείων με, και χωρίς, τις μάσκες για ανάδειξη ακτογραμμής, όπως παρουσιάζονται στον Πίνακα 6, μπορεί να προκαλέσουν υποεκτίμηση ή υπερεκτίμηση των υψομέτρων. Παραδείγματος χάριν, μπορεί να διαπιστωθεί πως λόγω του αυξανόμενου συνολικού RMS σφάλματος-αβεβαιότητας στην περίπτωση εφαρμογής των μασκών ακτογραμμής προέκυψε υπερεκτίμηση του υψομέτρου των σημείων, όπως παρατηρείται στην περίπτωση του δρόμου με άσφαλτο.

Μείζονος σημασίας είναι η ύπαρξη εναπομένου κλασσικού φωτογραμμετρικού σφάλματος, όπου δημιουργείται κατά την επίλυση του μπλοκ και την υλοποίηση του εσωτερικού και εξωτερικού προσανατολισμού. Στην προκείμενη περίπτωση όπως αναφέρθηκε στον αντίστοιχο σχολιασμό των αποτελεσμάτων από την δημιουργία 3D επιφανειών από πυκνά νέφη σημείων, δεν υλοποιήθηκε αρχικά επαναπροσδιορισμός των παραμέτρων του εσωτερικού προσανατολισμού, διότι τα αποτελέσματα ήταν ιδιαίτερα αλλοιωμένα και δεν επιτυγχάνονταν η συσχέτιση του μπλοκ με το σύστημα συντεταγμένων της περιοχής μελέτης, επομένως τα σφάλματα, κυρίως κατά τον άξονα Z, όπως παρατηρήθηκε στην μετέπειτα σύγκριση των νεφών σημείων δεν ήταν αποδεκτά αφού ξεπερνούσαν τα 6 μέτρα. Επομένως, με τον επαναπροσδιορισμό των βασικών παραμέτρων του πρωτεύοντος σημείου στο επίπεδο της εικόνας, διορθώθηκε και αποκαταστάθηκε, εν μέρη η συσχέτιση του μπλοκ με το σύστημα αναφοράς της περιοχής, ωστόσο όπως παρατηρείται παραμένει το μοτίβο απόκλισης υψομέτρων, σε χαμηλότερη διακύμανση, τόσο στην σύγκριση του μπλοκ με, ή χωρίς, τις μάσκες με το νέφος των δεδομένων LiDAR. Το μοτίβο αυτό, μπορεί να παρομοιωθεί με το νέφος σημείων του μπλοκ να παίρνει μορφή καμπύλης με τα κοίλα προς τα κάτω στο κέντρο του.

Τέλος, χρειάζεται να επισημανθεί πως στην περίπτωση του μπλοκ όπου υπάρχει η παρουσία θάλασσας, λόγω της μη ύπαρξης φωτοσταθερών στο θαλάσσιο κομμάτι, η συνολική ανύψωση του μπλοκ από το εναπομένον φωτογραμμετρικό σφάλμα αναμένονταν, όπως και προέκυψε, μεγαλύτερο αφού στην προκείμενη περίπτωση η απόκλιση των υψομέτρων από τα αντίστοιχα των LiDAR φθάνει σχεδόν τα τριανταδύο (32) εκατοστά. Ενώ, στην περίπτωση απουσίας της θάλασσας η συνολική ανύψωση του μπλοκ λόγω του εναπομένου φωτογραμμετρικού σφάλματος οδηγεί έως περίπου δέκα (10) εκατοστά. Η διαφορά διακύμανσης μπορεί να γίνει διακριτή από την παρακάτω εικόνα 54.



Εικόνα 54 Διακύμανση απόκλισης υψομέτρων από υπερεκτίμηση στην περίπτωση του μπλοκ χωρίς την εφαρμογή масκών για ανάδειξη της ακτογραμμής και απομάκρυνσης της θάλασσας (αριστερά). Διακύμανση απόκλισης υψομέτρων από υπερεκτίμηση στην περίπτωση του μπλοκ με εφαρμογή масκών για ανάδειξη ακτογραμμής και απομάκρυνσης θάλασσας(δεξιά).

6.6 Σχολιασμός υπολογισμού έκτασης υποβρύχιας βλάστησης

Στο συγκεκριμένο στάδιο της εργασίας, ενώ έχει υπολογισθεί επιτυχώς αρκετά μεγάλο ποσοστό της υποβρύχιας βλάστησης της περιοχής μελέτης, θεωρείται πως αν είχε πραγματοποιηθεί η διαδικασία επιλογής βέλτιστης τιμής καταφλίωσης με αντικειμενοστραφή προγραμματισμό με την αναλυτική δειγματοληψία και εκπαίδευση του λογισμικού για αναγνώριση περιοχών ενδιαφέροντος, συσχέτισης του με το γύρω περιβάλλον και την εφαρμογή εξειδικευμένης, κάθε φορά, τιμής καταφλίωσης η καταμέτρηση των εκτάσεων θα μπορούσε να γίνει με μεγαλύτερη ακρίβεια. Αφού, όπως μπορεί να παρατηρηθεί από τον ίδιο τον αναγνώστη στην Εικόνα 52 περιοχές υποβρύχιας βλάστησης που ανιχνεύονται απ' τον ίδιο, ο κώδικας επεξεργασίας που δημιουργήθηκε υπολείπεται του χαρακτηριστικού ευελιξίας και αδυνατεί να συμπεριλάβει περιοχές που ξεφεύγουν από την κύρια περιγραφή που έχει ορίσει την πιθανή περιοχή ενδιαφέροντος. Επομένως, η προκείμενη μεθοδολογία είναι μία καλή αρχική προσέγγιση της έκτασης, ωστόσο η επίτευξη ακριβέστερου υπολογισμού είναι ένα ενδιαφέρον θέμα προς μελλοντική διερεύνηση.

7 Συμπεράσματα

Με την ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας μπορεί εξαχθεί μία σειρά από συμπεράσματα. Αρχικά χρειάζεται να αναφερθεί σχετικά με την υποβρύχια βλάστηση, πως παρά το διαφορετικό περιβάλλον στο οποίο εντοπίζεται, είναι εφικτό να εφαρμοσθούν στις εκτάσεις της οι αντίστοιχοι δείκτες βλάστησης που χρησιμοποιούνται στο χερσαίο κομμάτι με τροποποίηση τους για την βέλτιστη προσαρμογή τους. Στην προκείμενη εργασία, ύστερα από πολλές δοκιμές δεικτών και τροποποιήσεις αυτών, προέκυψε ο δείκτης ModExG, όπου μπορεί να ανιχνεύσει σε αρκετά ικανοποιητικό βαθμό την υποβρύχια βλάστηση και προτείνεται από τον συγγραφέα της εργασίας για εφαρμογή του σε παρόμοιες περιοχές μελέτης. Ο δείκτης ModExG ορίζεται από την ακόλουθη εξίσωση:

$$ModExG = 1.4 \times G - \left(\frac{R}{R + G + B} \right) - \left(\frac{G}{R + G + B} \right) \quad (14)$$

Με αφορμή την εκτεταμένη μελέτη των δεικτών βλάστησης και αξιοποιώντας την έντονη ανακλαστικότητα του εδάφους στο κόκκινο χρώμα, διαπιστώθηκε πως η χρήση δείκτη βλάστησης με κύρια μεταβλητή το κόκκινο χρωματικό κανάλι και τις απαραίτητες τροποποιήσεις στην εξίσωση που τον ορίζει μπορεί να διαφοροποιήσει σε αρκετά ικανοποιητικό βαθμό την στεριά-ακτογραμμή από την θάλασσα. Με αυτό τον τρόπο προέκυψε ο δείκτης ModExR, όπου αναδεικνύει αρκετά καλά την ακτογραμμή. ο δείκτης ModExR, ορίζεται από την εξίσωση:

$$ModExR = 1.1 * R - G \quad (15)$$

Όσο αφορά την κατωφλίωση των δεδομένων, με τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την χρήση καθολικής τιμής, της μη αυτόματης ομαδοποίησης και εφαρμογής τιμής αλλά και της ημι αυτόματης μεθόδου με την δυνατότητα του χειριστή επιλογής μεταξύ προτεινόμενων τιμών κατωφλίωσης, διαπιστώθηκε ότι υπάρχει σύγκλιση μεταξύ των αποτελεσμάτων των δύο τελευταίων όταν η χρήση καθολικής τιμής δεν είναι αποτελεσματική. Η σύγκλιση μπορεί να επιτευχθεί, με την κατάλληλη επεξεργασία των δεδομένων, επαρκή δειγματοληψία και δικλείδες ασφαλείας στον κώδικα που θα χρησιμοποιηθεί για την ημι αυτόματη μέθοδο. Τα αποτελέσματα θα μπορούσαν, όπως επιβεβαιώθηκε, να είναι βέλτιστα όπως αν μελετιούνταν ξεχωριστά κάθε δεδομένο, στην συγκεκριμένη περίπτωση, αεροφωτογραφίες. Με την μόνη διαφορά, πως ο χρόνος που θα καταναλωθεί για την επεξεργασία, δειγματοληψία και σωστή οργάνωση του κώδικα θα υλοποιούνταν μία φορά,

επομένως συνάδει εξοικονόμηση χρόνου και ταυτόχρονα μιας μορφής «έξυπνης» ημι αυτόματης εφαρμογής.

Η μετέπειτα σύγκριση των παραγόμενων πυκνών νεφών με τα δεδομένα αναφοράς (LiDAR) για την περίπτωση της 3D ανακατασκευή του πυθμένα δεν οδήγησε σε ουσιαστικά συμπεράσματα παρα μόνο μίας βαθυμετρικής διαφοράς διακύμανσης 10-15 εκατοστών. Το αποτέλεσμα αυτό μπορεί να δικαιολογηθεί από μία σειρά παραδοχών που υλοποιήθηκαν για την εκπόνηση της παρούσας εργασίας, όπως της παραδοχής των σφαλμάτων που περιέχουν τα δεδομένα αναφοράς αλλά και του γεγονότος πως στην προκείμενη εργασία δεν πραγματοποιήθηκε διόρθωση της διάθλασης που όπως αναφέρεται σε όλη την βιβλιογραφία που μελετήθηκε αποτελεί από τους πιο σημαντικούς παράγοντες που πρέπει να αντιμετωπιστούν για τον σωστό προσδιορισμό του πυθμένα. Επιπροσθέτως, η μη επιπεδότητα της επιφάνειας της θάλασσας, η ύπαρξη κυματισμών κατά την διάρκεια της λήψης των δεδομένων, η σύσταση του θαλάσσιου περιβάλλοντος, αιωρούμενα - διαλυμένα σωματίδια, ακόμη και η ίδια μορφή του πυθμένα, χαμηλής πληροφορίας υψής (αμμώδης), μπορεί να προκαλέσει την αδυναμία σωστού προσδιορισμού του. Επιπλέον, το εναπομένον φωτογραμμετρικό σφάλμα απ' την επίλυση των μπλοκ των εικόνων και η πιθανή μειωμένη πυκνότητα του νέφους σημείων μπορεί να οφείλεται στην μη ουσιαστική διαφοροποίηση των αποτελεσμάτων.

Στην περίπτωση όπου σκοπός ήταν η διερεύνηση της πιθανής επίδραση της παρουσίας ή απουσίας της θάλασσας, ως θορύβου, για την ανάδειξη της ακτογραμμής διαπιστώθηκε πως λόγω της ομοιόμορφης κατανομής των φωτοσταθερών κατά μήκος της ακτογραμμής ο προσδιορισμός με την απουσία θάλασσας προσέγγιζε καλύτερα την ακτογραμμή όπως ορίστηκε από τα δεδομένα αναφοράς με αποκλίσεις έως 10 εκατοστών, ενώ επίσης διαπιστώθηκε από τις περιπτώσεις οπτικοποίησης των συγκρίσεων μέσω τομών, πως όσο η περιοχή στεριάς ή ακτογραμμής απομακρύνεται από την περιοχή φωτοσταθερών τόσο μεγαλώνει η απόκλιση των υψομέτρων μεταξύ τους. Ωστόσο, όπως και προηγουμένως το εναπομένον φωτογραμμετρικό σφάλμα καθώς και τα περιεχόμενα σφάλματα των δεδομένων αναφοράς έχουν μερίδιο ευθύνης για το μέγεθος αποκλίσεων μεταξύ των αποτελεσμάτων.

Ο υπολογισμός της έκτασης που καταλαμβάνουν οι περιοχές υποβρύχιας βλάστησης είναι εξίσου σημαντική πληροφορία για τους επιστημονικούς κλάδους που επικεντρώνο-

νται στο θαλάσσιο περιβάλλον καθώς και την διαχρονική παρακολούθηση των μικροοργανισμών αυτού. Η ακρίβεια υπολογισμού των εκτάσεων εξαρτάται από τον επιτυχή εντοπισμό των περιοχών ενδιαφέροντος από το λογισμικό, δηλαδή της εφαρμογής του κατάλληλου δείκτη αλλά κυρίως της κατάλληλης κατωφλίωσης που πραγματοποιείται. Επομένως, προκύπτει η ανάγκη εξασφάλισης όσο το δυνατόν βέλτιστης και εξειδικευμένης κατωφλίωσης των δεδομένων.

ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Λαμβάνοντας υπόψιν όλα τα παραπάνω, αποτελεί ενδιαφέρον θέμα προς μελλοντική διερεύνηση η προσέγγιση του θέματος για την επίδραση της υποβρύχιας βλάστησης στην 3D ανακατασκευή του πυθμένα, με αρχική όμως διόρθωση παραγόντων όπως διάθλασης, σκέδασης της ακτίνας και στην συνέχεια εφαρμογής κατάλληλου δείκτη βλάστησης και εκπαίδευσης αλγορίθμου για την δυναμική εφαρμογή κατωφλίωσης και κατ' επέκταση απομάκρυνσης της υποβρύχιας βλάστησης, όπως επίσης της συμπερίληψης της αβεβαιότητας των ίδιων των δεδομένων αναφοράς.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ξενόγλωσση

1. "Agisoft Metashape User Manual: Standard Edition, Version 1.5." (2019). *Agisoft.com*, <https://www.agisoft.com/pdf/metashape_1_5_en.pdf> (May 25, 2020).
2. Agrafiotis, Panagiotis & Georgopoulos, Andreas. (2015). Camera Constant in the Case of Two Media Photogrammetry. *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. XL-5/W5. 1-6. 10.5194/isprsarchives-XL-5-W5-1-2015.
3. Agrafiotis, Panagiotis & Skarlatos, Dimitrios & Georgopoulos, Andreas & Karantzalos, Konstantinos. (2019). "Shallow Water Bathymetry Mapping from UAV Imagery Based on Machine Learning". *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. XLII-2/W10. 9-16. 10.5194/isprs-archives-XLII-2-W10-9-2019.
4. Alpers, W. (2004). *Chapter 10 . Underwater Topography.*, 245-262 .
5. Bianco, G., Muzzupappa, M., Bruno, F., Garcia, R., and Neumann, L. (2015). "A NEW COLOR CORRECTION METHOD FOR UNDERWATER IMAGING". *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XL-5/W5, 25-32.

6. Chirayath, V., and Earle, S. A. (2016) Drones that see through waves – preliminary results from airborne fluid lensing for centimetre-scale aquatic conservation. *Aquatic Conserv: Mar. Freshw. Ecosyst.*, 26: 237– 250. doi: [10.1002/aqc.2654](https://doi.org/10.1002/aqc.2654).
7. Dietrich, J. T. (2017) Bathymetric Structure-from-Motion: extracting shallow stream bathymetry from multi-view stereo photogrammetry. *Earth Surf. Process. Landforms*, 42: 355– 364. doi: [10.1002/esp.4060](https://doi.org/10.1002/esp.4060).
8. E. Meyer, G., and Camargo Neto, J. (2008). *Verification of color vegetation indices for automated crop imaging applications*. *Computers and Electronics in Agriculture*, 282-293.
9. Fornes, A., Basterretxea, G., Orfila, A., Jordi, A., Alvarez, A., and Tintore, J. (2006). *Mapping Posidonia oceanica from IKONOS*. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Pages 315-322.
10. Fryer, John. (1983). Photogrammetry through shallow water. *Australian journal of geodesy, photogrammetry, and surveying*. 38. 25-38.
11. Fryer, J.G. and Kniest, H.T. (1985). Errors in Depth Determination Caused by Waves in Through-Water Photogrammetry. *The Photogrammetric Record*, 11, 745-753. doi:[10.1111/j.1477-9730.1985.tb01326.x](https://doi.org/10.1111/j.1477-9730.1985.tb01326.x)
12. Gao, J. (2009). "Bathymetric mapping by means of remote sensing: methods, accuracy and limitations". *SAGE Journals*, 33(1), 103-106.

13. Georgopoulos, A., and Agrafiotis, P. (2012). "*Documentation of a submerged monument using improved two media techniques*". *18th International Conference on Virtual Systems and Multimedia*. 173-180.
14. Gilvear, David & Bryant, Robert. (2016). "Analysis of remotely sensed data for fluvial geomorphology and river science". 103-132.
15. "Google Earth." (2020). *Google Earth*, <<https://www.google.com/intl/el/earth/>> (May 28, 2020).
16. Guenther, G.C., Brooks, M.W. and Larocque, P.E. (2000): "New capabilities of the 'SHOALS' airborne lidar bathymetry". *Remote Sensing of Environment* 73, 247–55.
17. Guenther, G. (2004). *Chapter 8 Airborne Lidar Bathymetry*. 15-16, 21, 41, 38
18. Hamuda, E., Glavin, M., and Jones, E. (2016). "A survey of image processing techniques for plant extraction and segmentation in the field". *Elsevier, Computers and Electronics in Agriculture*, 125, 184-199.
19. John K. McCarthy., Jonathan Benjamin., Trevor Winton., and Wendy van Duivenvoorde. (2019). *3D Recording and Interpretation for Maritime Archaeology*. Springer International Publishing, 214, 216.

20. "i-MareCulture – H2020 funded EU research and innovation project." (2018). *Imareculture.eu*, <<https://imareculture.eu/>> (May 27, 2020).
21. Luhmann, T., Robson, S., Kyle, S., and Boehm, J. (2020). *Close-Range Photogrammetry and 3D Imaging*. Walter de Gruyter, Berlin/Boston, 425, 444.
22. Mahani Abdullah, W., and Nizam Yaakob, S. (2017). "Modified excess green vegetation index for uneven illumination". *International Journal Of Current Research*, 9(04), 48656-48661
23. Maas, Hans-Gerd & Mader, David & Richter, Katja & Westfeld, Patrick. (2019). "Improvements In Lidar Bathymetry Data Analysis". ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. XLII-2/W10. 113-117. 10.5194/isprs-archives-XLII-2-W10-113-2019.
24. Maas, Hans-Gerd. (2015). "On the Accuracy Potential in Underwater/Multimedia Photogrammetry". *Sensors* (Basel, Switzerland). 15. 18140-52. 10.3390/s150818140.
25. Moore, Caitlin & Brown, Tim & Keenan, Trevor & Duursma, Remko & van Dijk, Albert & Beringer, Jason & Culvenor, Darius & Evans, Bradley & Huete, Alfredo & Hutley, Lindsay & Maier, Stefan & Restrepo-Coupe, Natalia & Sonnentag, Oliver & Specht, A. & Taylor, Jeffrey & van Gorsel, Eva & Liddell, Michael. (2016). "Australian vegetation phenology: new insights from satellite remote sensing and digital repeat photography". *Biogeosciences Discussions*. 1-30. 10.5194/bg-2016-175.

26. Mount R (2005). "Acquisition of through-water aerial survey images: surface effects and the prediction of sun glitter and subsurface illumination". *Photogramm Eng Remote Sens* 71(12), 1407–1415.
27. Otsu, N. (1979). "A Threshold Selection Method from Gray-Level Histograms". *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 9(1), 62-66.
28. Panagiotis, A., Skarlatos, D., Forbes, T., Poullis, C., Skamantzari, M., and Georgopoulos, A. (2018). "Underwater photogrammetry in very shallow waters: main challenges and caustics effect removal". *ISPRS TC II Mid-term Symposium "Towards Photogrammetry 2020"*, International Society for Photogrammetry and Remote Sensing.
29. Parson, L., Lillycrop, W., Klein, C., Ives, R., and Orlando, S. (1997). "Use of Lidar Technology for Collecting Shallow Water Bathymetry of Florida Bay". *Journal of Coastal Research*, 13(4), 1174-1179.
30. Quadros, Nathan & Collier, P. & Fraser, C. (2008). "Integration of Bathymetric and Topographic LIDAR: A Preliminary Investigation." *Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 37, 1299-1304.
31. Skarlatos, D., and Agrafiotis, P. (2018). "A Novel Iterative Water Refraction Correction Algorithm for Use in Structure from Motion Photogrammetric Pipeline". *Journal of Marine Science and Engineering*, 6(3).

32. Skarlatos, D. (2015). "Coastal Survey of archaeological sites using drones". *Skyllis Journal*, 15, 196-204.

33. Ventura, D., Bonifazi, A., Gravina, M., Belluscio, A., and Ardizzone, G. (2018). "Mapping and Classification of Ecologically Sensitive Marine Habitats Using Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Imagery and Object-Based Image Analysis (OBIA)". *Remote Sensing*, 10(9), 1331.

34. Wang, C., and Philpot, W. (2007). "Using airborne bathymetric lidar to detect bottom type variation in shallow waters". *Remote Sensing of Environment*, 106(1), 123-135.

35. Westfeld, P., Richter, K., Maas, H., and Weiß, R. (2016). "Analysis of The Effect of Wave Patterns On Refraction In Airborne Lidar Bathymetry". *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLI-B1, 133-139.

36. Yang, F., Su, D., Ma, Y., Feng, C., Yang, A., and Wang, M. (2017). "Refraction Correction of Airborne LiDAR Bathymetry Based on Sea Surface Profile and Ray Tracing". *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 55(11), 6141-6149.

Ελληνική

1. "Αγία Νάπα." (2020). *El.wikipedia.org*, <https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%91%CE%B3%CE%AF%CE%B1_%CE%9D%CE%AC%CF%80%CE%B1> (May 28, 2020).
2. Μηλιαρέσης, Γ. (2003). *Φωτοερμηνεία Τηλεπισκόπηση*. Ίων, Αθήνα, 26-30.
3. Παρχαρίδης, Ι. (2015). *Αρχές δορυφορικής Τηλεπισκόπησης Θεωρία και εφαρμογές*. Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών, Αθήνα, 42.
4. Περάκης, Κ., Μουσιάδης, Α., and Φαρασλής, Ι. (2015). *Η τηλεπισκόπηση σε 13 ενότητες*. Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών, Αθήνα, 25, 155-171