

**ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ**  
**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**



**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**«Παρακολούθηση παράκτιας διάβρωσης με χρήση μη επανδρωμένου  
αεροσκάφους. Εφαρμογή στην παραλία της Βάρκιζας, Αττικής »**

**ΑΝΑΣΤΑΣΑΚΗ-ΣΑΡΡΗ ΔΙΟΝΥΣΙΑ-ΜΑΡΙΑ**

Χανιά Κρήτης, Φεβρουάριος 2020

**ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ**  
**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**



**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**«Παρακολούθηση παράκτιας διάβρωσης με χρήση μη επανδρωμένου  
αεροσκάφους. Εφαρμογή στην παραλία της Βάρκιζας, Αττικής»**

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή:

Καθ. Συνολάκης Κωνσταντίνος (Επιβλέπων)

Καθ. Καλογεράκης Νικόλαος

Κάθ. Ψυλλάκη Ελευθερία

**ΑΝΑΣΤΑΣΑΚΗ-ΣΑΡΡΗ ΔΙΟΝΥΣΙΑ-ΜΑΡΙΑ**

Χανιά Κρήτης, Φεβρουάριος 2020

## Περίληψη

Σε αυτήν την διπλωματική εργασία μελετήθηκαν οι μεταβολές στο ανάγλυφο της παραλίας της Βάρκιζας σε διάστημα εννέα μηνών. Με αφορμή την προηγούμενη μελέτη αποτύπωσης της ακτής της Βάρκιζας έγιναν νέες μετρήσεις με ένα μη επανδρωμένο εναέριο όχημα (UAV) με σκοπό την αξιολόγηση του ως μέσο τοπογραφικής αποτύπωσης και παραγωγής αποτελεσμάτων για το υψομετρικό ανάγλυφο της ακτής. Πραγματοποιήθηκαν τρεις αποτυπώσεις με UAV και μια με GPS και στην συνέχεια κατασκευάστηκαν τρία ψηφιακά υψομετρικά μοντέλα (DEM) και δημιουργήθηκαν αντίστοιχοι χάρτες απεικόνισης της παραλίας με τρισδιάστατη πληροφορία.

Συμπερασματικά, από τα στοιχεία που συλλέχθηκαν, προέκυψε ότι τα μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα παράγουν μεγάλης ακρίβειας αποτελέσματα για μελέτη παράκτιας διάβρωσης και παρακολούθηση του κύκλου ζωής του ιζήματος της ακτής. Μέσω σύγκρισης των μεθόδων GPS και UAV έγινε διακριτό ότι τα UAV επιτρέπουν ικανοποιητική αξιολόγηση της δυναμικής μιας παραλίας και είναι ένας οικονομικός, απλός και γρήγορος τρόπος για συλλογή και επεξεργασία δεδομένων. Επίσης, από την ανάλυση των αποτελεσμάτων προέκυψε ότι κατά την χειμερινή περίοδο η παραλία της Βάρκιζας παρουσιάζει έλλειψη ιζήματος και η κλίση του ανάγλυφου της ακτής είναι πιο απότομη, ενώ κατά την καλοκαιρινή περίοδο το ανάγλυφο της παραλίας είναι πιο ομοιόμορφο και ήπιο. Τέλος, τα αποτελέσματα της παρούσας διπλωματικής θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν και για την αξιολόγηση ήπιων παρεμβάσεων στο παραλιακό μέτωπο.

## Abstract

In this diploma thesis, the changes in the embankment of Varkiza bay, Attica, Greece for nine months have been investigated. Based on a previous study of the Varkiza Bay coastline, new measurements have been carried out with an unmanned aerial vehicle (UAV) in order to evaluate it as a mean of topographic imaging and monitoring as well as the production of results for coastal elevation changes. Three UAV and one GPS measures were carried out and then three digital elevation models (DEM) were constructed and the corresponding 3D maps of the beach were created with 3D information.

In conclusion, the data obtained, show that unmanned aerial vehicles produce high-precision results for coastal erosion studies and shore sediment life cycle monitoring. Comparison of GPS and UAV methods has made it clear that UAVs allow a satisfactory assessment of the dynamics of a beach and are a cost-effective, simple and fast way to collect and process data. The analysis of the results also showed that during the winter season the coast of Varkiza Bay lacks sediment and the incline of the coast is steeper, while during summer season the coast is more uniform and smooth. Finally, the results of this thesis could also be used to evaluate mild, small-scale interventions on the coastal front.

Στην γιαγιά μου, Σαρρή Καίτη

## Ευχαριστίες

Αρχικά, θα ήθελα να **Ευχαριστήσω** τον Καθηγητή μου, Συνολάκη Κωνσταντίνο, γιατί από την πρώτη στιγμή υπήρξε πηγή έμπνευσης για μένα καθώς με μύησε στην παράκτια περιβαλλοντική μηχανική και μου έδωσε την ευκαιρία να μελετήσω το θέμα της επιλογής μου. **Ευχαριστώ** θερμά την Καθηγήτρια Ψυλλάκη Ελευθερία, που είναι πρότυπο Καθηγήτριας για μένα, καθώς μέσω της συνεργασίας μας και των συμβουλών της έμαθα να εξελίσσομαι και **Ευχαριστώ** τον Καλογεράκη Νικόλαο που είναι ένας ξεχωριστός Ακαδημαϊκός και Καθηγητής. **Ευχαριστώ** τον Υποψήφιο Διδάκτορα Σκαναβή Βασίλη, που σε κάθε στάδιο διεκπεραίωσής της διπλωματικής ήταν δίπλα μου με χρήσιμες συμβουλές και με τον καινοτόμο τρόπο σκέψης του, μου έμαθε ότι για κάθε πρόβλημα υπάρχει λύση.

Στην συνέχεια, **Ευχαριστώ** την αδερφή μου, Κατερίνα, την Μαργαρίτα και την Ηλέκτρα, τα γούρια μου, που χωρίς να γνωρίζουν από Περιβαλλοντική μηχανική με στήριζαν και με ενθάρρυναν για τις επιλογές μου. Τέλος, θα ήθελα να **ευχαριστήσω** του γονείς μου, καθώς είναι οι άνθρωποι που μου έμαθαν να μην τα παρατάω ποτέ και με ανιδιοτέλεια μου πρόσφεραν όλα τα εφόδια για να προχωράω στην ζωή μου μέχρι σήμερα. Τους ευχαριστώ για πάντα για την συμβολή τους στην ακαδημαϊκή μου πρόοδο γνωρίζοντας ότι κάθε επιτυχία μου είναι διπλή επιτυχία για εκείνους.

## Περιεχόμενα

1.	Εισαγωγή .....	9
1.1	Προβληματισμός .....	10
1.2	Στόχοι και σκοπός της εργασίας .....	10
1.3	Πλάνο Διπλωματικής .....	11
1.4	Επισκόπηση Κεφαλαίων Διπλωματικής .....	11
2.	Θεωρητικό υπόβαθρο .....	12
2.1	Εισαγωγικά στοιχεία-ορισμοί .....	12
2.1.1	Ακτή, ακτογραμμή, παράκτια ζώνη και παραλίες .....	12
2.1.2	Δημιουργία παραλιών- Στερεομεταφορά και μεταφορά ιζήματος στην παραλία .....	13
2.1.3	Παράκτια διάβρωση και παράκτια μηχανική .....	15
2.1.4	Κύκλος ζωής ιζήματος παραλίας .....	16
2.1.5	Αίτια Διάβρωσης Ακτών .....	18
2.1.6	Επιπτώσεις της διάβρωσης .....	19
2.2	Περιγραφή της περιοχής μελέτης .....	20
2.2.1	Οριοθέτηση της περιοχής μελέτης .....	21
2.2.2	Πληροφορίες για την περιοχή μελέτης .....	22
2.2.3	Αβιοτικό περιβάλλον περιοχής .....	22
2.2.4	Μετεωρολογικά στοιχεία περιοχής .....	27
2.2.5	Βιοκλιματικά στοιχεία της περιοχής .....	28
3.	Τεχνικό υπόβαθρο .....	29
3.1	Μέθοδοι τοπογραφικών αποτυπώσεων στην ακτή .....	29
3.2	Εναέρια αποτύπωση .....	29
3.3	Μη Επανδρωμένα εναέρια οχήματα-Unmanned aerial vehicles (UAV).....	31
3.3.1	Κατηγοριοποίηση UAV .....	32
3.3.2	DJI Phantom Pro .....	33
3.4	Μέθοδος RTK GPS .....	35
3.5	Λογισμικά και προγράμματα .....	36
3.5.1	GIS .....	36
3.5.2	Agisoft Photoscan Metashape .....	37
3.5.3	Cloud Compare .....	38
3.5.4	DJI Ground Station Pro .....	38
4.	Μεθοδολογία Συλλογής Δεδομένων στο πεδίο .....	39
4.1	Αεροφωτογραφία- Διαδικασία εναέριας αποτύπωσης στο πεδίο .....	39
4.2	Διαδικασία αποτύπωσης της περιοχής μελέτης με RTK GPS .....	42
4.3	Μέτρηση επίγειων σημείων ελέγχου (φωτοσταθερών) με GPS .....	42
5.	Μεθοδολογία Επεξεργασίας και παραγωγής αποτελεσμάτων .....	44
5.1	Παραγωγή DEM, ορθομωσαϊκού και τρισδιάστατου μοντέλου με το Agisoft Photoscan Metashape .....	44

5.2	Επεξεργασία τρισδιάστατου μοντέλου με το Cloud Compare .....	47
5.3	Επεξεργασία και ανάλυση δεδομένων με το ArcGIS/ ArcMap/ QGIS.....	49
6.	Αποτελέσματα Ανάλυση .....	52
6.1	Βαθυμετρία .....	52
6.2	Μηχανισμός τροφοδοσίας της ακτής με φερτές ύλες .....	52
6.3	Σύγκριση τομών από GPS και UAV .....	53
6.4	Αποτυπώσεις παραλίας με το UAV και σύγκριση τοπογραφικών μεταβολών	54
6.5	Πρόσφατη εξέλιξη της ακτογραμμής με βάση την πληροφορία αεροφωτογραφιών και δορυφορικών εικόνων .....	60
7.	Συζήτηση – Προτάσεις Για Μελλοντικές Εργασίες .....	63
8.	Βιβλιογραφία .....	65
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	68

## Λίστα εικόνων και πινάκων

Εικόνα 2.1:	Ιζηματομεταφορά σε παραλία και διασπορά (Μονίουδη, 2011).....	14
Εικόνα 2.2:	Καλοκαιρινό και χειμερινό προφίλ παραλίας (Dean & Galvin, 2009) .....	16
Εικόνα 2.3:	Φωτογραφία διαβρωμένης παραλίας .....	19
Εικόνα 2.4:	Τοποθεσία της Βάρκιζας Αττικής.....	20
Εικόνα 2.5:	Φωτογραφίες της Βάρκιζας Αττικής από Google Earth .....	20
Εικόνα 2.6:	Χάρτης Οριοθέτησης της περιοχής μελέτης σύμφωνα με τον υδροκρίτη της περιοχής .....	21
Εικόνα 2.7 :	Γεωλογικός Χάρτης Λεκανοπεδίου Αθηνών και Μεσογείων, ΙΓΜΕ .....	24
Εικόνα 2.8:	Γεωλογικός Χάρτης από GIS με δεδομένα από ΙΓΜΕ φύλλο Αθήναι-Πειραιεύς.....	25
Εικόνα 3.1:	DJI Phantom Pro 4, το μη επανδρωμένο όχημα που χρησιμοποιήθηκε για την συγκεκριμένη διπλωματική εργασία.....	34
Εικόνα 3.2:	Topcom GPS σταθία/κοντάρι και tablet για καταγραφή συντεταγμένων (GPS world, n.d.).....	35
Εικόνα 4.1:	Στιγμιότυπα του περιβάλλοντος DJI Ground Station Pro κατά τη διάρκεια πτήσης .....	41
Εικόνα 4.2:	Το τηλεχειριστήριο του μη επανδρωμένου εναέριου οχήματος κατά την διάρκεια της πτήσης. ....	41
Εικόνα 4.3:	Μορφή επίγειων σημείων ελέγχου- φωτοσταθερών .....	42
Εικόνα 4.4:	Καταγραφή του επίγειου σημείου ελέγχου με αριθμό 3 .....	43
Εικόνα 5.1:	Παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν στις εντολές του Agisoft ακολουθώντας το μοντέλο της δημοσίευσης από (Casella, et al., 2016).....	45



Εικόνα 5.2:Γραφική παράσταση που περιέχει τις φωτογραφίες και τα σημεία επίγειου ελέγχου, από την περιοχή μελέτης (από το Varkiza2_7_2019).....	46
Εικόνα 5.3: Παραγόμενο τρισδιάστατο μοντέλο από Agisoft Photoscan – ορθομωσαϊκή φωτογرافία .....	46
Εικόνα 5.4: Τρισδιάστατο μοντέλο από το λογισμικό Cloud Compare.....	47
Εικόνα 5.5: Περιβάλλον επεξεργασίας μοντέλων του λογισμικού CloudCompare. Δεδομένα από 3 Απριλίου 2019 και 2 Ιουλίου 2019 .....	48
Εικόνα 5.6: Χάρτης Απεικόνισης του περιγράμματος της τελικής περιοχής μελέτης	49
Εικόνα 5.7: Τελικοί χάρτες απεικόνισης μοντέλων παραλίας από 3 Απριλίου 2019, 2 Ιουλίου 2019 και 17 Ιανουαρίου 2020 .....	50
Εικόνα 5.8: Ψηφιακά υψομετρικά μοντέλα της επιφάνειας της περιοχής μελέτης - DEM από 3 Απριλίου 2019, 2 Ιουλίου 2019 και 17 Ιανουαρίου 2020.....	51
Εικόνα 6.1: Χάρτης με τα σημεία τοπογραφικής αποτύπωσης από GPS, Ιούλιος 2019. ....	53
Εικόνα 6.2: Απεικόνιση των εγκάρσιων διατομών της ακτής.....	54
Εικόνα 6.3: Παραγόμενες τομές παραλίας από τα αντίστοιχα DEM .....	55
Εικόνα 6.4: Επεξεργασμένες τομές με φίλτρο “smooth” (Matlab, filter “smooth”) .....	56
Εικόνα 6.5: Έγχρωμα τρισδιάστατα ψηφιακά υψομετρικά μοντέλα .....	58
Εικόνα 6.6: 3 Απριλίου 2019- 17 Ιανουαρίου 2020 .....	59
Εικόνα 6.7: 2 Ιουλίου 2019- 17 Ιανουαρίου 2020.....	59
Εικόνα 6.8: 3 Απριλίου 2019- 2 Ιουλίου 2019 .....	59
Εικόνα 6.9: Αεροφωτογραφίες από 1939, 1945, 1945,1960, 1969,1979, 1988, 2002, 2004, 2008, 2011 από τον Σκαναβή (2013).....	60
Εικόνα 6.10: Αεροφωτογραφία της Βάρκιζας του 2018 με σχεδιασμένη την ακτογραμμή .....	61
Εικόνα 6.11: Διαχρονική εξέλιξη της ακτογραμμής σε βάθος χρόνου.....	62

## Ακρωνύμια

UAV : Unmanned Aerial Vehicle- Μη επανδρωμένο εναέριο όχημα

DEM: Digital Elevation Model- Ψηφιακό Υψομετρικό Μοντέλο

GPS: Global Positioning System

GCP: ground Control Point

# Κεφάλαιο 1

## 1. Εισαγωγή

Η παρούσα διπλωματική εργασία «**Παρακολούθηση παράκτιας διάβρωσης με χρήση μη επανδρωμένου αεροσκάφους. Εφαρμογή στην παραλία της Βάρκιζας**», πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια των προπτυχιακών υποχρεώσεων της Σχολής Μηχανικών Περιβάλλοντος του Πολυτεχνείου Κρήτης. Στόχος της εργασίας είναι η μελέτη της διάβρωσης της ακτής του όρμου της Βάρκιζας Αττικής με σύγχρονα μέσα και η σύγκρισή τους.

Οι παράκτιες ζώνες πιέζονται από περιβαλλοντικούς παράγοντες, με σημαντικότερο πρόβλημα αυτό της διάβρωσης των ακτών, που συχνά εντείνεται από τις ανθρώπινες παρεμβάσεις. Συνεπώς οφείλονται να προστατεύονται οι παράκτιες ζώνες, καθώς αποτελούν ζώνες ελεύθερες στο κοινωνικό σύνολο αλλά και στην εξυπηρέτηση των αναγκών του. Είναι σημαντικό να παρακολουθούμε και να προστατεύουμε τις παράκτιες ζώνες για περιβαλλοντικούς λόγους, διότι αφενός αποτελούν οικοσυστήματα υψηλής σημασίας αφετέρου επηρεάζουν το ανθρωπογενές περιβάλλον και τις ανθρώπινες δραστηριότητες.

Η Ελλάδα είναι η χώρα με την πιο μεγάλη σε έκταση ακτογραμμή μεταξύ των Ευρωπαϊκών χωρών της Μεσογείου με ακτογραμμή να ξεπερνάει τα 15.000 χιλιόμετρα, γεγονός που την κατατάσσει 9<sup>η</sup> μεγαλύτερη σε έκταση ακτογραμμής χώρα παγκοσμίως. Η παράκτια ζώνη είναι σχεδόν ισομοιρασμένη μεταξύ ηπειρωτικής και νησιωτικής Ελλάδας (60% ηπειρωτικής και 40% νησιών). Κάθε τετραγωνικό χιλιόμετρο της συνολικής περιοχής της Ελλάδας (131.957 τετραγωνικά χιλιόμετρα) αντιστοιχούν σε 113 μέτρα ακτογραμμής, την ίδια στιγμή που ο μέσος όρος παγκοσμίως δεν ξεπερνάει τα 5 μέτρα (Prasini & Williams, 2013). Περίπου 38% του ελληνικού πληθυσμού και 90% των δραστηριοτήτων τουρισμού και αναψυχής είναι κατά μήκος της παράκτιας ζώνης και στην ενδοχώρα και στα νησιά, οδηγώντας στην αύξηση της αστικοποίησης αυτών των περιοχών με πυκνότητα πληθυσμού 110 άτομα ανά τετραγωνικό χιλιόμετρο (Coccossis & Mexa, 2004). Κατά προσέγγιση το 40% του πληθυσμού που κατοικεί στην παράκτια ζώνη ασχολείται(εργάζεται) με οικονομικές δραστηριότητες όπως η αλιεία, ο τουρισμός, η γεωργία, οι δημόσιες υπηρεσίες και η βιομηχανία (Alexandrakis, Karditsa, Poulos, & Ghionis, 2010). Επιπρόσθετα, αυτό το αρκετά μεγάλο μήκος χρησιμοποιείται ως φυσικός πόρος με οικονομικοκοινωνικά οφέλη (διακίνηση εμπορευμάτων/επιβατών μέσω των λιμένων, διάθεση λυμάτων, χρήση των αμμωδών παραλιών για αναψυχή κ.ά). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα οι περιβαλλοντικές πιέσεις που δέχονται οι ακτές να έχουν αυξηθεί τα τελευταία χρόνια λόγω των ανθρώπινων παρεμβάσεων. (Κρεστενίτης, Κομπιάδου, Μακρής, Ανδρουλιδάκης, & Καραμπάς, 2015)

Αξίζει να σημειωθεί, ότι σύμφωνα με το Eurosion σχεδόν το ένα τρίτο των ελληνικών ακτών διαβρώνεται- είναι υπό διάβρωση με ρυθμό περίπου 10m/year. Η παροχή ιζήματος έχει μειωθεί δραματικά λόγω της έντονης παράκτιας ανάπτυξης.

Η παράκτια διάβρωση είναι μια από τις κύριες διαδικασίες για την ανάπτυξη (διαμόρφωση) μιας ακτογραμμής σε βάθος χρόνου. Πιο συγκεκριμένα, η διαδικασία της διάβρωσης αφαιρεί ιζήματα από τα παράκτια συστήματα και τα μεταφέρει μακριά από την ακτή με την βοήθεια των κυμάτων και των ρευμάτων. (Casella, et al., 2016) Το πρόβλημα εντείνεται λόγω της αύξησης της στάθμης της θάλασσας λόγω της κλιματικής αλλαγής, που επηρεάζει και τη λειτουργία των λιμενικών και παράκτιων τεχνικών έργων, τα οποία χρήζουν πλέον συχνά επανασχεδιασμού/αναβάθμισης.

## 1.1 Προβληματισμός

Στην παρούσα εργασία θα μελετηθεί η περίπτωση της Βάρκιζας, μιας παραθαλάσσιας περιοχής, που ανήκει στα νοτιοανατολικά προάστια της Αθήνας. Οι λόγοι που επιλέχθηκε η συγκεκριμένη παραλία για μελέτη είναι τρείς:

Ο πρώτος λόγος είναι ότι η συγκεκριμένη παραλία έχει μελετηθεί και στο παρελθόν από την ομάδα του εργαστηρίου Παράκτιας Μηχανικής του Πολυτεχνείου Κρήτης και η μελέτη της με μια νέα μέθοδο την καθιστά ιδανική για συγκρίσεις αποτελεσμάτων και την αξιολόγηση των εκάστοτε μεθόδων. Η εξέλιξη της τεχνολογίας δίνει την δυνατότητα σε έναν ερευνητή- μηχανικό να βελτιστοποιεί και να εξελίσει τις υπάρχουσες μεθόδους για κάθε μελέτη. Τα μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα είναι μια σύγχρονη μέθοδος παρακολούθησης και αποτύπωσης πληθώρας δεδομένων και πρόκειται για ένα εργαλείο που εξελίσσεται ακόμα και σε συνδυασμό με κατάλληλο λογισμικό να δώσει μεγάλης ακρίβειας αποτελέσματα.

Ο δεύτερος λόγος είναι ότι η Βάρκιζα είναι μια ακτή που είναι υγιής χωρίς εμφανή σημάδια υποβάθμισης λόγω ρύπανσης από την Αθήνα και τον Πειραιά, καθώς ο προσανατολισμός της και η γεωμορφολογία της την απομονώνουν σε μεγάλο βαθμό από τις πηγές ρύπανσης από τον υπόλοιπο όρμο του λεκανοπεδίου της Αθήνας. (Πειραιάς έως Βουλιαγμένη). Παράλληλα δεν έχουν σημειωθεί σοβαρά περιστατικά ρύπανσης. Οι μόνες πιθανές πηγές ρύπανσης είναι το αλιευτικό καταφύγιο και το ρέμα Κόρμπι και το δίκτυο αγωγών όμβριων της Βάρκιζας.

Ο τρίτος λόγος επιλογής της ακτής της Βάρκιζας συνδέεται άμεσα με τον δεύτερο. Το γεγονός ότι η Βάρκιζα είναι μια υγιής ακτή την καθιστά ιδανική για τουριστική ανάπτυξη και δραστηριότητες αναψυχής. Τυχόν περιβαλλοντική υποβάθμιση της παραλίας αυτομάτως θα υποβιβάσει την αξία της ως προορισμό αναψυχής.

Βασισόμενη λοιπόν σε αυτούς τους λόγους έγινε η επιλογή της συγκεκριμένης ακτής για μελέτη και ανάλυση.

Τα μέσα που χρησιμοποιήθηκαν για την τοπογραφική αποτύπωση και την παρακολούθηση της παραλίας είναι ένα μη επανδρωμένο εναέριο όχημα (unmanned aerial vehicle) UAV και ένα RTK GPS.

## 1.2 Στόχοι και σκοπός της εργασίας

Οι στόχοι αυτής της διπλωματικής εργασίας είναι δυο. Ο πρώτος στόχος είναι η αξιολόγηση των μη επανδρωμένων εναέριων οχημάτων για αποτύπωση παράκτιας διάβρωσης και παραγωγή τρισδιάστατων μοντέλων για περαιτέρω ανάλυση. Πιο συγκεκριμένα, μέσω της παρούσας εργασίας, θέλουμε να ερευνήσουμε τα πλεονεκτήματα των μη επανδρωμένων εναέριων οχημάτων και να εκτιμήσουμε το συγκριτικό πλεονέκτημα τους σε σχέση με άλλες μεθόδους. Ο δεύτερος στόχος είναι η παρακολούθηση της ακτογραμμής της παραλίας της Βάρκιζας και η εκτίμηση του κύκλου ζωής του ιζήματος της παραλίας.

### **1.3 Πλάνο Διπλωματικής**

Για την ολοκλήρωση της διπλωματικής η διαδικασία χωρίστηκε σε τέσσερα κυρίως μέρη. Αρχικά, έγινε αναλυτική έρευνα για το θεωρητικό και τεχνικό υπόβαθρο της συγκεκριμένης διπλωματικής και στην συνέχεια, ύστερα από τις μετρήσεις και συλλογή των δεδομένων, αναλύθηκαν και αξιολογήθηκαν τα αποτελέσματα.

### **1.4 Επισκόπηση Κεφαλαίων Διπλωματικής**

Στο δεύτερο κεφάλαιο αναλύεται το θεωρητικό υπόβαθρο της παράκτιας διάβρωσης, ενώ δίνεται και η περιγραφή της περιοχής μελέτης.

Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η θεωρία για το τεχνικό κομμάτι της εργασίας, δηλαδή του τεχνικού εξοπλισμού που χρησιμοποιήθηκε στο πεδίο καθώς και των λογισμικών.

Στο τέταρτο κεφάλαιο περιγράφεται η μεθοδολογία τόσο στο πεδίο όσο και στα προγράμματα που χρησιμοποιήθηκαν για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων μας.

Στο πέμπτο κεφάλαιο παρατίθενται η μεθοδολογία επεξεργασίας των αποτελεσμάτων της εργασίας

Στο έκτο κεφάλαιο παρατίθενται τα αποτελέσματα και η ανάλυση τους.

Στο έβδομο και τελευταίο κεφάλαιο αναπτύσσεται η συζήτηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

## Κεφάλαιο 2

### 2. Θεωρητικό υπόβαθρο

Στο κεφάλαιο αυτό, αρχικά, παρουσιάζονται οι βασικές θεωρητικές έννοιες και οι όροι που συνδέονται με την παράκτια διάβρωση. Στο δεύτερο μέρος περιγράφεται η περιοχή μελέτης της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

#### 2.1 Εισαγωγικά στοιχεία-ορισμοί

##### 2.1.1 Ακτή, ακτογραμμή, παράκτια ζώνη και παραλίες

Ως **ακτή** ορίζεται η ζώνη που βρίσκεται πάνω από τη μέση στάθμη θάλασσας (ΜΣΘ) και η οποία αλληλοεπιδρά με τη θάλασσα. Από γεωλογική άποψη είναι τα όρια ανάμεσα στα ηπειρωτικά τμήματα και τη θάλασσα ή άλλους υδάτινους αποδέκτες (Foteinis, 2014).

Η **ακτογραμμή** είναι το όριο συνάντησης του αέρα με το νερό και την ξηρά. Η ακτογραμμή δεν είναι στατική, αλλά δυναμική, εφόσον η θέση της αλλάζει χρονικά και χωρικά. Πιο αναλυτικά, από χρονικής απόψεως, μια παραλία εξελίσσεται βραχυπρόθεσμα σε διάστημα ωρών έως μηνών εξαιτίας υψηλών κυματισμών, οι οποίοι μπορούν να μεταβάλλουν τη θέση της, γνωστό και ως εποχιακό προφίλ. Μακροπρόθεσμα, από μερικά χρόνια έως και εκατονταετίες, μια παραλία εξελίσσεται και προσαρμόζεται στις μεταβολές της μέσης στάθμης θάλασσας και του ισοζυγίου εισροής- απομάκρυνσης ιζημάτων της και μπορεί να μένει σταθερή, να προσχώνεται ή να διαβρώνεται. Χωρικά, η ακτογραμμή μπορεί να μεταβάλλεται εις βάρος της ενδοχώρας που οδηγεί σε μείωσή της, όπου τότε η ακτογραμμή διαβρώνεται. Αντιθέτως, η ακτογραμμή προσχώνεται, δηλαδή αυξάνεται, όταν μεταβάλλεται εις βάρος του θαλάσσιου χώρου (Boak, 2005).

Ως **παράκτια ζώνη** ορίζεται «το τμήμα των παράκτιων θαλάσσιων υδάτων, η λιμνοθάλασσα, με συγκεκριμένη γεωγραφική οριοθέτηση και που συνίσταται στο ομοιογενές υδροδυναμικό σύστημα ή σε σειρά τέτοιων συστημάτων» (European Commission, 2003). Απλούστερα, η παράκτια ζώνη είναι η θαλάσσια και η χερσαία λωρίδα αμφίπλευρα της ακτογραμμής η οποία φιλοξενεί πληθώρα οικοσυστημάτων και έχει μεγάλη αξία για τον άνθρωπο.

**Παραλία** ονομάζεται ο γεωλογικός σχηματισμός που αποτελείται από μη συνεκτικά πετρώματα, όπως άμμο και βότσαλα, τα οποία κινούνται ελεύθερα σε συγκεκριμένο χωρικό πλαίσιο, κατά μήκος και κατά πλάτος μιας ζώνης ξηράς και θάλασσας (συναντάται επίσης και σε μεγάλες λίμνες και ποτάμια). Οι παραλίες συνήθως έχουν ήπια κλίση ενώ τα κύρια χαρακτηριστικά τους είναι ότι χωρικά παραμένουν σχετικά σταθερές σε βάθος χρόνου και είναι ικανές να απορροφούν την κυματική ενέργεια λειτουργώντας προστατευτικά για την παράκτια ζώνη. Παράλληλα, οι παραλίες αποτελούν βιοτόπους υψηλής σημασίας και επιπλέον χρησιμοποιούνται και ως χώροι αναψυχής και αποφέρουν σημαντικά οικονομικά οφέλη τόσο σε τοπικό όσο και εθνικό επίπεδο (Foteinis, 2014).

### 2.1.2 Δημιουργία παραλιών- Στερεομεταφορά και μεταφορά ιζήματος στην παραλία

Κάθε παραλία αποτελείται από ίζημα συγκεκριμένης σύστασης με χαρακτηριστικά που εξαρτώνται από την εκάστοτε γεωλογία της κάθε ακτής και της περιοχής που την περιβάλλει (Coastal Engineer Manual, 2019). Αρχικά, αποτελείται από ιζήματα από την αποσάθρωση των υπαρχόντων γεωλογικών σχηματισμών της εκάστοτε ακτής καθώς και των αποσασθρωμένων βιολογικών παραγόντων, όπως κορμάρια και θρύψαλα κελυφών θαλασσίων οργανισμών, κοράλλια κλπ. Παράλληλα, τα ιζήματα μπορεί να είναι αποτέλεσμα διάβρωσης γεωλογικών σχηματισμών της ενδοχώρας και μεταφοράς των προϊόντων της διάβρωσης από τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα. Επίσης μπορεί να είναι αποτέλεσμα γεωλογικών σχηματισμών που περιβάλλουν την ακτογραμμή, καθώς η ακτογραμμή διαβρώνεται και από ιζήματα που καταλήγουν σε αυτήν μέσω των υδάτινων οδών ή με τον αέρα .

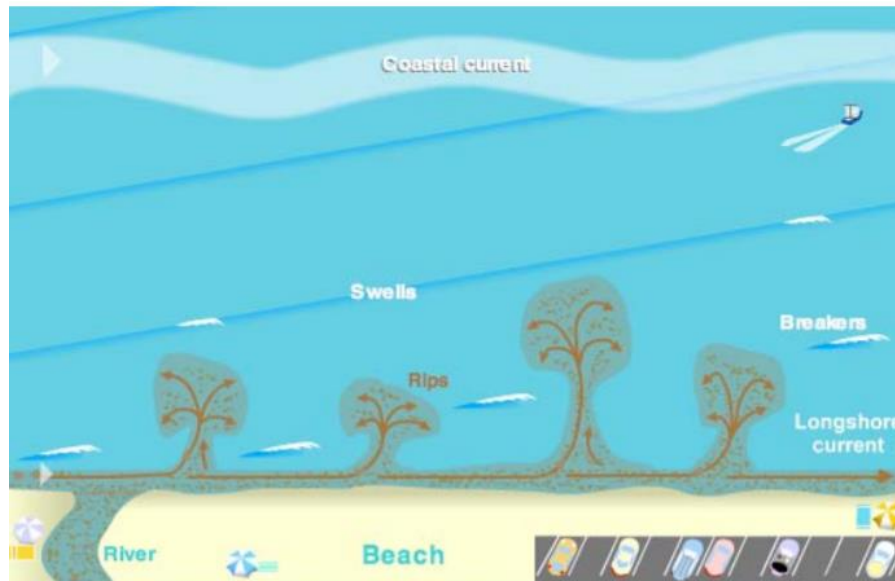
Το ίζημα λοιπόν, αφού δημιουργηθεί και καταλήξει στην παραλία, ανακατανέμεται και διανέμεται κάθετα και οριζόντια με την βοήθεια των θαλασσίων ρευμάτων και αιολικών δυνάμεων. Σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά του ιζήματος και τις εκάστοτε επικρατούσες συνθήκες, το ίζημα μπορεί να εναποτεθεί σε διάφορα σημεία κατά μήκος και πλάτος της ακτής με επακόλουθο την αύξηση του πλάτους της παραλίας. Επίσης, είναι πολύ πιθανό το ίζημα να παρασυρθεί μακριά από την παραλία με αποτέλεσμα να εναποτεθεί σε βαθύτερα νερά. Το όριο στερεομεταφοράς ονομάζεται κρίσιμο και διαφέρει σε κάθε περίπτωση παραλίας. Αν ξεπεραστεί αυτό το όριο, δεν είναι πιθανή η επιστροφή- μεταφορά του ιζήματος πίσω στην παραλία, καθώς η δύναμη της βαρύτητας στο σημείο αυτό είναι μεγαλύτερη από την δύναμη των ρευμάτων που επικρατούν στην παραλία (Foteinis, 2014).

Σύμφωνα με τον Σπυρόπουλο (2010) “όταν τα κύματα ταξιδεύουν προς την ακτή προωθούν και μια μικρή μάζα ύδατος προς αυτή. Τα ρεύματα αυτά κινούνται κατά μήκος των ακτών μεταξύ της ακτογραμμής από τη μια και της ζώνης θραύσης του κυματισμού από την άλλη και καλούνται κατά μήκος της ακτής ρεύματα ή επιμήκη παράκτια ρεύματα (longshore currents)”. Αυτά τα ρεύματα, δρουν ως ένα είδος υποθαλάσσιου ποτάμιου ρεύματος που οροθετείται από τη μια από την ακτογραμμή και από την άλλη από τη ζώνη θραύσης του κυματισμού. Η ταχύτητα ενός «κατά μήκος της ακτής κινούμενου ρεύματος» κυμαίνεται συνήθως από 10 έως 20 cm/s, μπορεί, όμως να φτάσει με ένα δυνατό άνεμο και την ταχύτητα των 100cm/s. Η συνέργεια κυματισμού με τα «επιμήκη παράκτια ρεύματα» έχει ως αποτέλεσμα τη μετακίνηση των αμμωδών υλικών μιας παραλίας. Τα «επιμήκη παράκτια ρεύματα» συνεργούν στην παράκτια μετακίνηση των υλικών (με τα οποία έχει τροφοδοτηθεί μια παραλία) και συντελούν στη διαμόρφωση της ακτής αυτής.

Ένας βασικός παράγοντας αποσταθεροποίησης των κόκκων των ιζημάτων είναι η υδροδυναμική του πυθμένα, δηλαδή η ύπαρξη και ο μηχανισμός των κυματισμών και ρευμάτων. Ορθές και διατμητικές τάσεις από τα ρεύματα αντίδρασης στηρίξεως σε άλλους κόκκους, και υδροδυναμικές υποτιέσεις λόγω διηθήσεως και δυνάμεις προσκρούσεως άλλων κόκκων, δημιουργούν τις κατάλληλες δυναμικές συνθήκες αποκολλήσεως των επιφανειακών κόκκων. Στην περίπτωση λεπτόκοκκων εδαφών (για παράδειγμα αργιλικών), οι μοριακές δυνάμεις συνοχής (συνεκτικότητα) κάνουν πιο δύσκολη την έναρξη της διάβρωσης του πυθμένα, ιδίως σε πυθμένες όπου έχει ξεκινήσει η διαδικασία σταθεροποίησης. Ύστερα από την αποσταθεροποίηση των κόκκων, η κίνηση τους πραγματοποιείται με δυο τρόπους, είτε με κύλιση στον πυθμένα ή χωρίς επαφή με τον πυθμένα, με αιώρηση μέσα στην υδάτινη στήλη. Το φυσικό μέγεθος που έχει τον καθοριστικό ρόλο στην αποσταθεροποίηση των κόκκων είναι η διατμητική τάση του πυθμένα.

Παράλληλα, η δράση των κυματισμών είναι ο κύριος παράγοντας που προκαλεί την αποσταθεροποίηση των κόκκων, ενώ τα θαλάσσια ρεύματα είναι υπεύθυνα για την μεταφορά τους σε μεγάλες οριζόντιες αποστάσεις. Η τυρβώδης ροή του ρεύματος συμβάλλει στην κατακόρυφη διάχυση των φερτών σε αιώρηση, σε συνεργασία με τις περιοδικές τροχιές των κυματισμών που επαυξάνουν την κατακόρυφη διάχυση.

Συνολικά, οι ακτές τροφοδοτούνται με ψαθυρά υλικά από τα κύματα αλλά όχι μόνο, καθώς αυτή η εναπόθεση υλικών εξαρτάται από την γεωμορφολογία του παράκτιου χώρου, το υδρογραφικό δίκτυο, τις κλιματολογικές συνθήκες αλλά και την φυτοκάλυψη της περιοχής (Spyropoulos, 2003).



Εικόνα 2.1: Ιζηματομεταφορά σε παραλία και διασπορά (Μονιουδίδι, 2011)

### 2.1.3 Παράκτια διάβρωση και παράκτια μηχανική

Στις ακτές και στους πυθμένες των παράκτιων περιοχών αναπτύσσεται δράση κυματισμών και ρευμάτων. Οι ακτές, από γεωλογικής απόψεως, ενδέχεται να είναι βραχώδεις ή αμμώδεις/γαιώδεις. Η πρώτη κατηγορία έχει σταθερή μορφή, εξελισσόμενη μακροπρόθεσμα σε χρονικές κλίμακες γεωλογικών αιώνων. Η δεύτερη κατηγορία ακτών, που συντίθενται από κοκκώδη υλικά με κοκκομετρία κυμαινόμενη από το μέγεθος της αργίλου ως τις κροκάλες, υφίσταται έντονα την επίδραση των ρευμάτων και των κυματισμών. Αποτέλεσμα της επίδρασης αυτής είναι μορφολογικές αλλοιώσεις, σε όλες τις χρονικές κλίμακες, π.χ. σε μικρή χρονική κλίμακα, της τάξης μερικών ωρών κατά τη διάρκεια θυελλών και τρικυμιών, ή μεγάλης χρονικής κλίμακας, της τάξης μερικών ετών.

Αναλυτικότερα, **παράκτια διάβρωση** είναι η σταδιακή οπισθοχώρηση της ακτογραμμής, η οποία μετράτε σε ικανοποιητικό χρονικό διάστημα, τέτοιο ώστε η μέτρηση να μην επηρεάζεται από τις αλληλεπιδράσεις του καιρού, τον κυματισμό καταιγίδων και της τοπικής δυναμικής των ιζημάτων (Doody, Salman, & Lombardo, 2004). Παράλληλα, η παράκτια διάβρωση της ακτογραμμής και παραλίας ορίζεται ως η μακροχρόνια υποχώρηση ακτογραμμής προς την ενδοχώρα με την παράλληλη κατάληψη του χώρου από τη θάλασσα. Η διάβρωση είναι ένα φυσικό, αέναο φαινόμενο, το οποίο εκδηλώνεται σταδιακά και δεν αποτελεί φυσική καταστροφή, καθώς προκαλείται από τα θαλάσσια ρεύματα, την παλίρροια, και τη δράση των κυμάτων και του ανέμου. Συνεπώς μπορεί να προβλεφθεί και να αντιμετωπιστεί με τις κατάλληλες μελέτες. Η Ελλάδα παρουσιάζει σχετικά χαμηλή επικινδυνότητα σε διάβρωση από την άνοδο της μέσης στάθμης θάλασσας, καθώς η άνοδος της μέσης στάθμης θάλασσας στην Ελλάδα κατατάσσεται ως ήπια σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή επιτροπή (European Commission, 2004).

Γενικά, η **παράκτια διάβρωση** είναι ένα **περίπλοκο φαινόμενο**, που προκαλείται από μια ποικιλία από φυσικές διεργασίες και ανθρωπογενείς μηχανισμούς. Επιπλέον, ο χρόνος εμφάνισης και ο ρυθμός της παράκτιας διάβρωσης δεν είναι εύκολο να προβλεφθούν με ακρίβεια. Ακόμη, η ένταση των φαινομένων ποικίλει σε βάθος χρόνου ενώ το ποσοστό διάβρωσης δεν είναι ίδιο σε ολόκληρη την ακτογραμμή δεδομένου ότι η διάβρωση εξαρτάται από μια ποικιλία περιφερειακών παράκτιων παραγόντων, όπως η γεωμορφολογία, το υλικό, η κλίση, οι κλιματικές συνθήκες οι συνθήκες κύματος και οι συχνότητα ακραίων συμβάντων και ανθρωπογενών παραγόντων (Medina & Lopez, 1997) (Poulos, Alexandrakis, & Petrakis, 2014).

Η παράκτια διάβρωση μπορεί να διακριθεί σε μακροχρόνια και βραχυχρόνια. Η μακροχρόνια διάβρωση πρόκειται για την μη αναστρέψιμη οπισθοχώρηση της ακτογραμμής λόγω της ανόδου της μέσης στάθμης θάλασσας. Η βραχυχρόνια διάβρωση οφείλεται κυρίως σε ακραία φαινόμενα όπως θυελλώδεις κυματισμούς και παλίρροιες τα οποία συνήθως δεν έχουν ως αποτέλεσμα την μόνιμη οπισθοχώρηση της ακτογραμμής αλλά μπορούν να προκαλέσουν μεγάλης κλίμακας καταστροφές (Monioudi, 2011).

Γενικά, η παράκτια διάβρωση θεωρείται πρόβλημα που χρήζει διαχείρισης, όταν λαμβάνει χώρα σε περιοχές που γειτνιάζουν με οικιστικές περιοχές. Σύμφωνα με τον (Bird, 1996) το 70% των ακτών σε παγκόσμιο επίπεδο έχει επηρεαστεί ή αντιμετωπίζει προβλήματα διάβρωσης.

Η παράκτια μηχανική είναι η επιστήμη που μελετάει την παράκτια διάβρωση, τα αίτια και τα προβλήματα της καθώς και μεθόδους αντιμετώπισης της.



### 2.1.4 Κύκλος ζωής ιζήματος παραλίας

Στην παρούσα διπλωματική εργασία μελετήθηκε ο κύκλος ζωής των αμμωδών παραλιών. Αυτός ο τύπος ακτής αποτελείται από μέτριας συνεκτικότητας υλικά, κυρίως άμμο, μερικά βότσαλα και κοχύλια και μπορεί να χαρακτηριστεί ως “μαλακή ακτή”. Έχει μια ήπια πλαγιά προς τα ανοικτά της θάλασσας - γνωστές ως παραλίες που έχουν ευρεία λεπτή άμμο και σταδιακά απόκρημνες πλαγιές στην ακρογιαλιά.

Το προφίλ της ακτής εξαρτάται από τη μορφή και την ενέργεια των κυμάτων σε συνδυασμό με την κατεύθυνση του ανέμου. Ως εκ τούτου, τα προφίλ μπορούν να ρυθμιστούν ώστε να παρέχουν τα πιο αποτελεσματικά μέσα διάχυσης της εισερχόμενης ενέργειας κύματος. Αυτός ο τύπος ακτής παρουσιάζει **βραχυπρόθεσμη διακύμανση ή κυκλική διάβρωση** - απαιτείται αύξηση και μακροπρόθεσμη αξιολόγηση για τον εντοπισμό της διάβρωσης ως πρόβλημα σε αυτές τις περιπτώσεις. Συχνά η ανάκαμψη και η αποκατάσταση των αμμόλοφων διαρκούν πολύ περισσότερο από τα γεγονότα διάβρωσης και η παραλία δεν έχει αρκετό χρόνο για να ξαναχτιστεί πριν συμβεί το επόμενο διαβρωτικό συμβάν. Χαρακτηριστικά διάβρωσης είναι η μειωμένη πλαϊνή όψη της παραλίας και η απουσία αναχωμάτων κατά μήκος των αμμόλοφων.

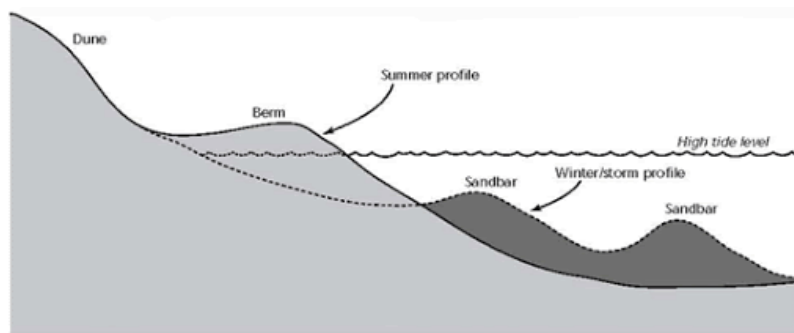
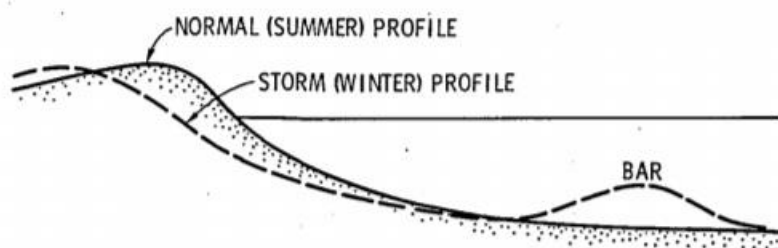


Figure A: Typical summer and winter beach and dune profiles.



Εικόνα 2.2: Καλοκαιρινό και χειμερινό προφίλ παραλίας (Dean & Galvin, 2009)

Πιο αναλυτικά, τα χειμερινά κύματα ή τα κύματα των καταιγίδων προκαλούν την μεταφορά της άμμου μακριά από την ακτή, με προσωρινή αποθήκευση σε υποθαλάσσιους αναβαθμούς ή υποθαλάσσιους αμμόλοφους (Bars). Αυτό συμβαίνει επειδή τα χειμερινά κύματα είναι ισχυρότερα με περισσότερη ενέργεια, και παραλαμβάνουν τα σωματίδια που κατατίθενται το καλοκαίρι κατά μήκος της ακτής και τα μεταφέρουν πίσω στην ανοικτή θάλασσα στους υποθαλάσσιους αναβαθμούς, περιορίζοντας έτσι το πλάτος της παραλίας. Αυτοί οι υποθαλάσσιοι αμμόλοφοι λειτουργούν ως προστασία της παραλίας κατά τη διάρκεια του χειμώνα από τη διάβρωση, καθώς προκαλούν τα κύματα να σπάσουν πιο μακριά από την ακτή. Τα

καλοκαιρινά κύματα εναποθέτουν την άμμο από τους υποθαλάσσιους λόφους στην παραλία, διευρύνοντας την τελικά και αυξάνοντας το ύψος της κατά την διάρκεια του καλοκαιριού.

Επειδή η ύπαρξη υποθαλάσσιων αναβαθμών ή αμμόλοφων (bar) συνδέεται συνήθως με τη χειμερινή περίοδο όταν οι καταιγίδες είναι πιο συχνές, η κατάσταση αυτή ονομάζεται "χειμερινό προφίλ" ή "προφίλ καταιγίδων", σε αντίθεση με το "καλοκαιρινό προφίλ" ή "κανονικό προφίλ" στο οποίο οι υποθαλάσσιοι αμμόλοφοι απουσιάζουν.

Οι βραχυπρόθεσμες διακυμάνσεις στις ακτές δεν σημαίνει ότι υπάρχει και πρόβλημα διάβρωσης. Οι παραλλαγές στο προφίλ της παραλίας είναι η φυσική απόκριση της παραλίας στην μορφή των κυμάτων και την ενέργεια τους καθώς και των ισχυρών ανέμων (Dean & Galvin, 2009).

Μετά από ακραίες καιρικές συνθήκες, μια φυσικά διαβρωμένη παραλία με χαρακτηριστικά όπως η χαμηλή κλίση της όψης της παραλίας, απουσία αναχωμάτων-αναβαθμών κατά μήκος της ακτής θα επανέλθουν στο φυσιολογικό κατά την διάρκεια της καλοκαιρινής περιόδου όταν τα κύματα επιστρέψουν το ίζημα στην παραλία και ο άνεμος θα το επανατοποθετήσει ομοιόμορφα στην ακτή.

Επομένως, απαιτούνται μακροχρόνιες παρατηρήσεις πριν αποφασιστεί ότι η παραλία έχει διαβρωθεί σοβαρά.

### 2.1.5 Αίτια Διάβρωσης Ακτών

Η διάβρωση των ακτών μπορεί να αποδοθεί σε ποικίλους παράγοντες. Συνήθως είναι αποτέλεσμα ενός συνδυασμού, φυσικών και ανθρωπογενών παραγόντων.

Αναλυτικότερα, η διάβρωση μπορεί να οφείλεται σε **φυσικά αίτια** όπως η γεωμορφολογία, η λιθολογία, η τεκτονική καθώς και το κλίμα της περιοχής.

Μια ακόμη αιτία διάβρωσης των ακτών μπορεί να είναι η **κλιματική αλλαγή**. Τα ακραία καιρικά φαινόμενα έχουν πιο συχνή εμφάνιση και πιο έντονη λόγω της κλιματικής αλλαγής. Πιο συγκεκριμένα, η άνοδος της μέσης στάθμης της θάλασσας (ΜΣΘ) μπορεί να επηρεάσει ένα παραλιακό μέτωπο λόγω αύξησης της θερμοκρασίας και συνεπώς λιώσιμο των πάγων στις περιοχές των πόλων (Monioudi, 2011). Επίσης, οι μεταβολές στην ένταση και συχνότητα των βροχοπτώσεων και καταιγίδων μπορούν να επηρεάσουν την διάβρωση των εδαφών της ενδοχώρας, αυξάνοντας την φυσική τροφοδότηση των ακτών με χερσογενή ιζήματα μέσω ποταμών και χειμάρρων (Jensen, Bender, & Blasi, 2001). Παράλληλα, η μεταβολή συχνότητας και έντασης ανέμων σε μια περιοχή μπορούν να διαταράξουν το υφιστάμενο ισοζύγιο μιας ακτής, προκαλώντας έλλειμμα στο ισορροπημένο ισοζύγιο φερτών υλών.

Η δράση μεγάλου ύψους κυματισμών έχει σημαντικό ρόλο στην υφιστάμενη διάβρωση μιας ακτής. Αναλυτικότερα, το χειμώνα, οι μεγάλοι ύψους κυματισμοί μεταφέρουν την άμμο εγκάρσια στην ακτή προς τα ανοιχτά (διάβρωση-χειμερινό προφίλ). Το καλοκαίρι, μεταφέρεται η άμμος προς την ακτή από τους ήπιους κυματισμούς και αποκαθίσταται (πρόσχωση-θερινό προφίλ).

Εάν εμφανιστούν ακραία καιρικά φαινόμενα (δηλαδή κυματισμοί μεγάλου ύψους), η άμμος μπορεί να μεταφερθεί αρκετά βαθιά, βαθύτερα από ότι στο παρελθόν, και σε βάθη μεγαλύτερα του βάθους «κλεισίματος». Από τα βάθη αυτά είναι πιθανόν να μη μπορεί να επανέλθει με τους θερινούς κυματισμούς με αποτέλεσμα να μη ολοκληρωθεί πλήρως η διεργασία της πρόσχωσης, και να μην αποκατασταθεί η πραγματοποιούμενη διάβρωση.

Τέλος, ένα καθοριστικό αίτιο διάβρωσης των ακτών είναι εξαιτίας **ανθρώπινων δραστηριοτήτων**. Η κατασκευή φραγμάτων και η υπεράντληση του υδροφόρου ορίζοντα είναι παράδειγμα έμμεσης ανθρωπογενούς παρέμβασης, ενώ η έντονη παράκτια οικιστική ανάπτυξη, η κατασκευή παραλιακών επαρχιακών δρόμων χωρίς κατάλληλη μελέτη και η παράνομη απομάκρυνση υλικού (αμμοληψία) αποτελούν άμεσες ανθρωπογενείς παρεμβάσεις.

Η Ελλάδα παρουσιάζει χαμηλή επικινδυνότητα σε διάβρωση από την ΜΣΘ. Η άνοδος της ΜΣΘ στην Ελλάδα υπολογίζεται με ρυθμό ανόδου 0+1 mm/έτος (European Commission, 2004). Παρόλο αυτά, τις τελευταίες δεκαετίες, παρατηρείται έντονη διάβρωση στην Ελλάδα που δεν δικαιολογείται στην άνοδο της ΜΣΘ αλλά αποδίδεται σε ανθρωπογενείς παράγοντες. (Synolakis C.E., 2008) (Doody, 2008)

### 2.1.6 Επιπτώσεις της διάβρωσης

Οι επιπτώσεις της διάβρωσης ποικίλουν ανάλογα την τοποθεσία της ακτής, την αξιοποίηση- χρήση της από τους ανθρώπους και την γεωμορφολογία της.

Αρχικά, μια πολύ σημαντική επίπτωση της παράκτιας διάβρωσης είναι η καταστροφή και η απώλεια ανθρώπινης περιουσίας. Σε πολλές περιπτώσεις άναρχης δόμησης έχουν χαθεί μικροί οικισμοί λόγω της έντονης τοπικής διάβρωσης. Επιπλέον, η διάβρωση των ακτών προκαλεί μείωση του ενεργού πλάτους της παραλίας και ενδεχομένως υποβάθμιση της ποιότητας της σύστασης της παραλίας με πιθανή υποβάθμιση της στην αξία της ως προορισμός αναψυχής. Τέλος, εξαιτίας της παράκτιας διάβρωσης έχουν καταστραφεί σημαντικά παράκτια οικοσυστήματα όπως οι αμμοθίνες και τα λιβάδια Ποσειδωνίας.

Σύμφωνα με το EuroSION (EUROSION, 2004) η παράκτια διάβρωση έχει ως αποτέλεσμα τρεις διαφορετικούς τύπους επιπτώσεων (ή κινδύνων):

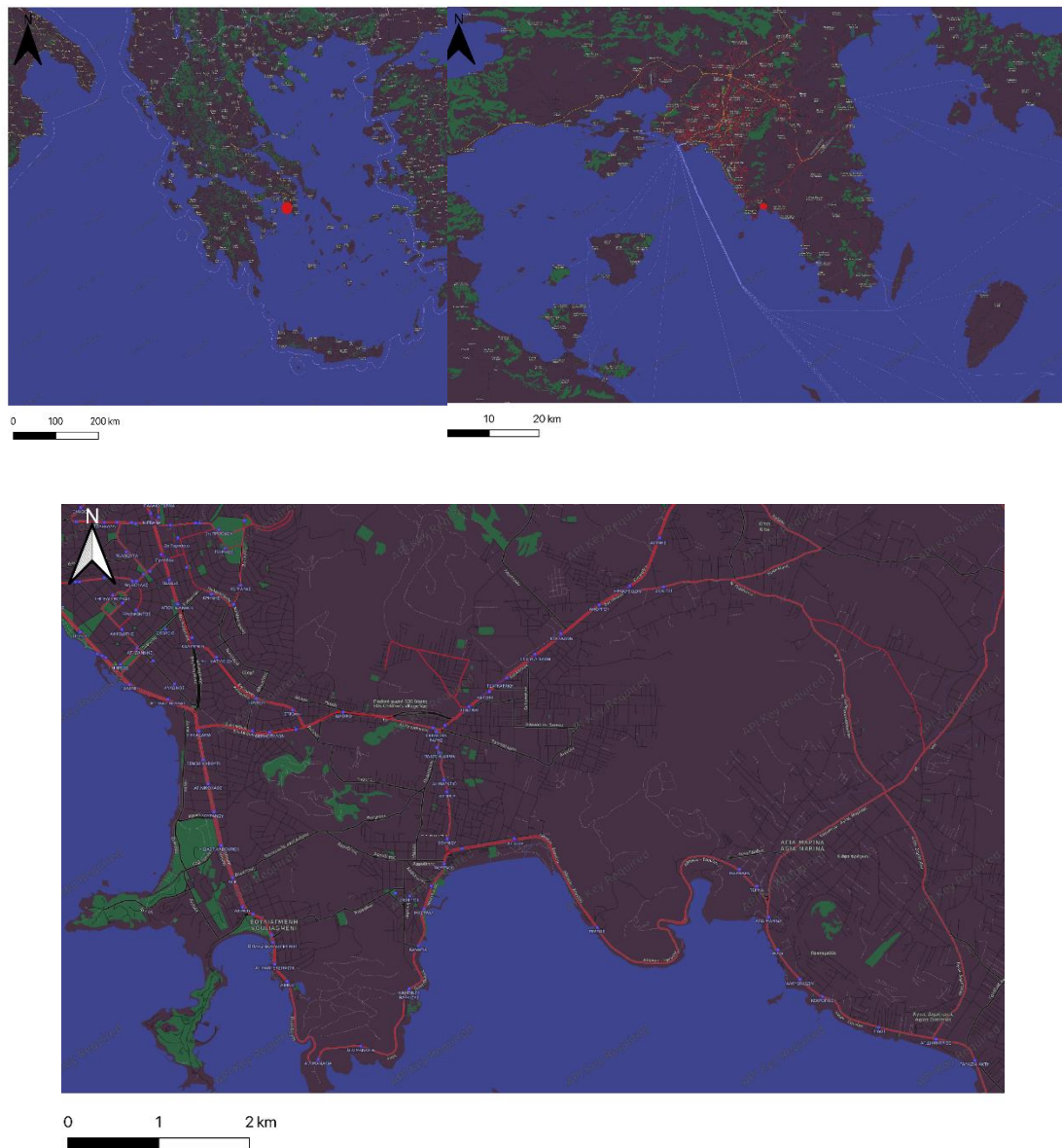
- απώλεια γης με οικονομική, κοινωνική ή οικολογική αξία.
- καταστροφή των φυσικών θαλάσσιων αμυντικών (συνήθως ένα σύστημα αμμόλοφων) ως αποτέλεσμα του ενός μοναδικού γεγονότος καταιγίδας, το οποίο με τη σειρά του καταλήγει σε πλημμύρες της ενδοχώρας.
- υπονόμηση των τεχνητών θαλάσσιων άμυνων, που ενδεχομένως να οδηγήσει σε κίνδυνο πλημμύρας



Εικόνα 2.3: Φωτογραφία διαβρωμένης παραλίας

## 2.2 Περιγραφή της περιοχής μελέτης

Στις παρακάτω εικόνες διακρίνεται η περιοχή της Βάρκιζας στο λεκανοπέδιο Αττικής.



Εικόνα 2.4: Τοποθεσία της Βάρκιζας Αττικής

### 2.2.1 Οριοθέτηση της περιοχής μελέτης

Η περιοχή μελέτης είναι η παράκτια ζώνη της Βάρκιζας η οποία ορίζεται με βάση τον υδροκρίτη, που καθορίζει το όρια της οικείας λεκάνης απορροής. Στην εικόνα διακρίνεται η λεκάνη απορροής του όρμου της Βάρκιζας.



Εικόνα 2.6: Χάρτης Οριοθέτησης της περιοχής μελέτης σύμφωνα με τον υδροκρίτη της περιοχής

### **2.2.2 Πληροφορίες για την περιοχή μελέτης**

Η Βάρκιζα είναι μια παραθαλάσσια περιοχή, η οποία βρίσκεται στα νοτιοανατολικά προάστια της Αττικής. Ο οικισμός ανήκει διοικητικά στον δήμο Βάρης-Βούλας-Βουλιαγμένης και βρίσκεται στους νότιους πρόποδες του Υμηττού σχηματίζοντας έναν όρμο σχήματος U ανοιχτό προς το Αιγαίο πέλαγος. Η Βάρκιζα, λόγω της τοποθεσίας της, είναι κατάλληλη για μελέτη και αξιολόγηση παράκτιας διάβρωσης, για τους λόγους που αναφέρθηκαν στον προβληματισμό, ενώ παράλληλα να σημειωθεί ότι έχει μεγάλο ανάπτυγμα πελάγους.

Τα κύματα που φτάνουν στην ακτή ενδέχεται να έχουν δημιουργηθεί πολλά δεκάδες χιλιόμετρα μακριά, μεταφέροντας μεγάλα ποσά κυματικής ενέργειας. Αυτός είναι και ο λόγος που επιλέχθηκε η συγκεκριμένη περιοχή για μελέτη παρακολούθησης παράκτιας διάβρωσης.

Τα τελευταία χρόνια η ραγδαία ανάπτυξη της περιοχής και η μετατροπή του από παραδοσιακά παραθεριστικό οικισμό σε σύγχρονο αστικό κέντρο έχει επιφέρει σημαντικές επιπτώσεις. Η εκμετάλλευση της ακτής, για τουριστικούς και ψυχαγωγικούς σκοπούς, έχει αυξήσει τις πιέσεις στην παράκτια ζώνη επηρεάζοντας τη χλωρίδα, την πανίδα και τη γεωμορφολογία της περιοχής. Πιο συγκεκριμένα, ενώ η διάβρωση των ακτών είναι μια φυσική διαδικασία, οι ανθρώπινες παρεμβάσεις στην ακτή, χωρίς σωστή μελέτη και σεβασμό, έχουν επιταχύνει τη διαδικασία της διάβρωσης.

### **2.2.3 Αβιοτικό περιβάλλον περιοχής**

Σύμφωνα με τους Χρόνη και Αναγνώστου (1997) “το γεωλογικό υπόβαθρο παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στην μορφή και στην ισορροπία των ακτών. Το γεωλογικό υπόβαθρο της ευρύτερης περιοχής είναι σημαντικό ως χώρος που τροφοδοτεί τις ακτές με υλικά που παράγονται με την διαδικασία της αποσάθρωσης και της διάβρωσης. Τα υλικά αυτά μπορούν να μεταφερθούν με τη δράση του υδρογραφικού δικτύου προς τις ακτές. Το υδρογραφικό δίκτυο αποτελεί το μεταφορικό μέσο που οδηγεί τις φερτές ύλες στις ακτές και εξαρτάται τόσο από το ανάγλυφο όσο και από τις υδρολογικές συνθήκες της περιοχής. Η γεωμορφολογία χαρακτηρίζεται από τις υψομετρικές διαφορές της περιοχής αλλά και από το ανάγλυφο της. Ένα απότομο και πολυσχιδές ανάγλυφο μπορεί να τροφοδοτήσει σε προϊόντα διάβρωσης γιατί τόσο η βαρύτητα που συντελεί στην πτώση και τον τεμαχισμό όγκων των πετρωμάτων, όσο και- κυρίως- το υδρογραφικό δίκτυο με την έντονη ροή από τα υψηλότερα στα χαμηλότερα συντελούν στη σημαντική τροφοδοσία του παράκτιου χώρου με φερτά υλικά. “

Από τις μετεωρολογικές παραμέτρους που καθορίζουν το κλίμα της περιοχής σημαντικές είναι οι βροχοπτώσεις και οι άνεμοι. Τόσο ο ρυθμός των βροχοπτώσεων όσο και η κατανομή τους στο χρόνο είναι καθοριστικές για την δυναμική του υδρογραφικού δικτύου. Αυξημένες βροχοπτώσεις αυξάνουν τις απορρέουσες μέσω του υδρογραφικού δικτύου υδάτινες μάζες και κατά συνέπεια αυξάνουν και την ικανότητα μεταφοράς του σε φερτές ύλες (Chronis & Anagnostou, 1997)



## Γεωλογικά στοιχεία της περιοχής μελέτης

“Οι σχηματισμοί που λαμβάνουν μέρος στη γεωλογική δομή της Αττικής διακρίνονται σε αλπικούς, ηλικίας από το Κατώτερο Τριαδικό μέχρι το Ανώτερο Κρητιδικό, και μεταλπικούς του Τριτογενούς και Τεταρτογενούς καθώς τα πετρώματα της χρονολογούνται από την Παλαιοζωική περίοδο μέχρι το Ολόκαινο. Η γεωλογική δομή που κυριαρχεί στο λεκανοπέδιο είναι μια μεγάλη τεκτονική ζώνη που οριοθετεί δυο διαφορετικές ενότητες πετρωμάτων. Τα πετρώματα ανατολικά της τεκτονικής ζώνης ανήκουν στην ενότητα του μεταμορφωμένου Αυτόχθονου συστήματος της Αττικής, ενώ αυτά στα δυτικά της τεκτονικής ζώνης ανήκουν στην αλλόχθονη ενότητα της Υποπελαγονικής.” (Παπανικολάου., 2015) (William Cavazza) (Παπανικολάου, Μπάση, Κράνης, & Δανάος, 2004)

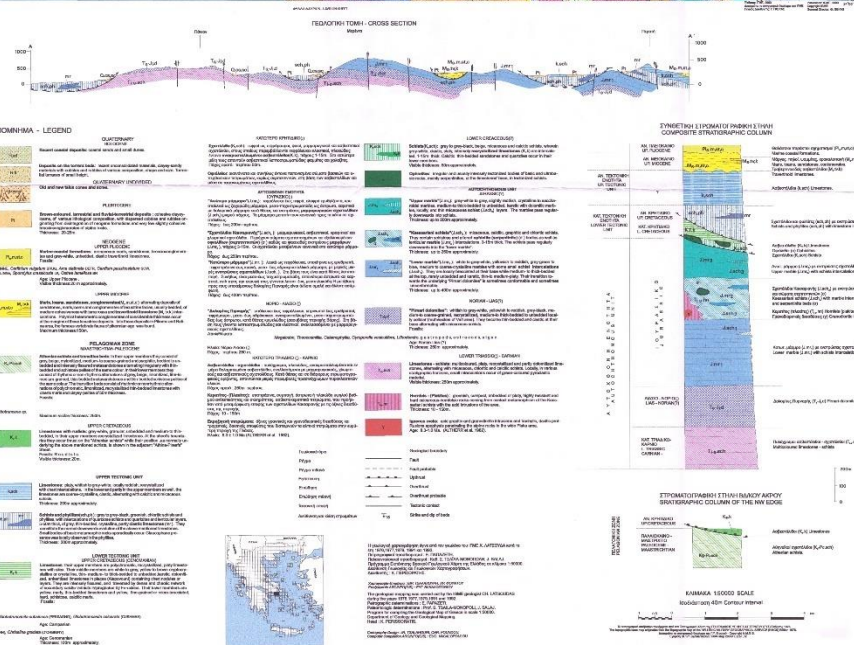
Σύμφωνα με τον Αλεξόπουλο(2001), “τα αλπικά πετρώματα, ηλικίας από το Κατώτερο Τριαδικό μέχρι το Ανώτερο Κρητιδικό, πρόκεινται για ασβεστόλιθους, μάρμαρα, σχιστόλιθους, φυλλίτες, δολομίτες και οφιόλιθους. Πιο συγκεκριμένα, οι χαρακτηριστικές ονομασίες τους είναι: Σχιστόλιθοι της Βάρης, Δολομίτες της Πυρναρής, Κατώτεροι σχιστόλιθοι της Καισαριανής και Ανώτερο μάρμαρο.”

“Οι μεταλπικοί σχηματισμοί που εμφανίζονται στην ευρύτερη περιοχή μελέτης διακρίνονται σε νεογενείς και τεταρτογενείς αποθέσεις. Οι νεογενείς αποθέσεις χαρακτηρίζονται από ιζήματα λιμναίου και αλμυρού περιβάλλοντος όπως ψαμμίτες, μάργες, κροκαλλοπαγή και ιζήματα θαλάσσιου παράκτιου περιβάλλοντος όπως ψαμμίτες, ψαμμούχες μάργες και μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι” (Παυλόπουλος, 1992). “Οι τεταρτογενείς αποθέσεις διακρίνονται σε πλειστοκαινικά ιζήματα από χερσαίες και ποτάμιες αποθέσεις και σε ολοκαινικούς σχηματισμούς από αλουβιακές αποθέσεις, παλαιούς και νέους κώνους κορημάτων καθώς και σύγχρονες αποθέσεις ακτών” (Παπανικολάου, Μπάση, Κράνης, & Δανάος, 2004).

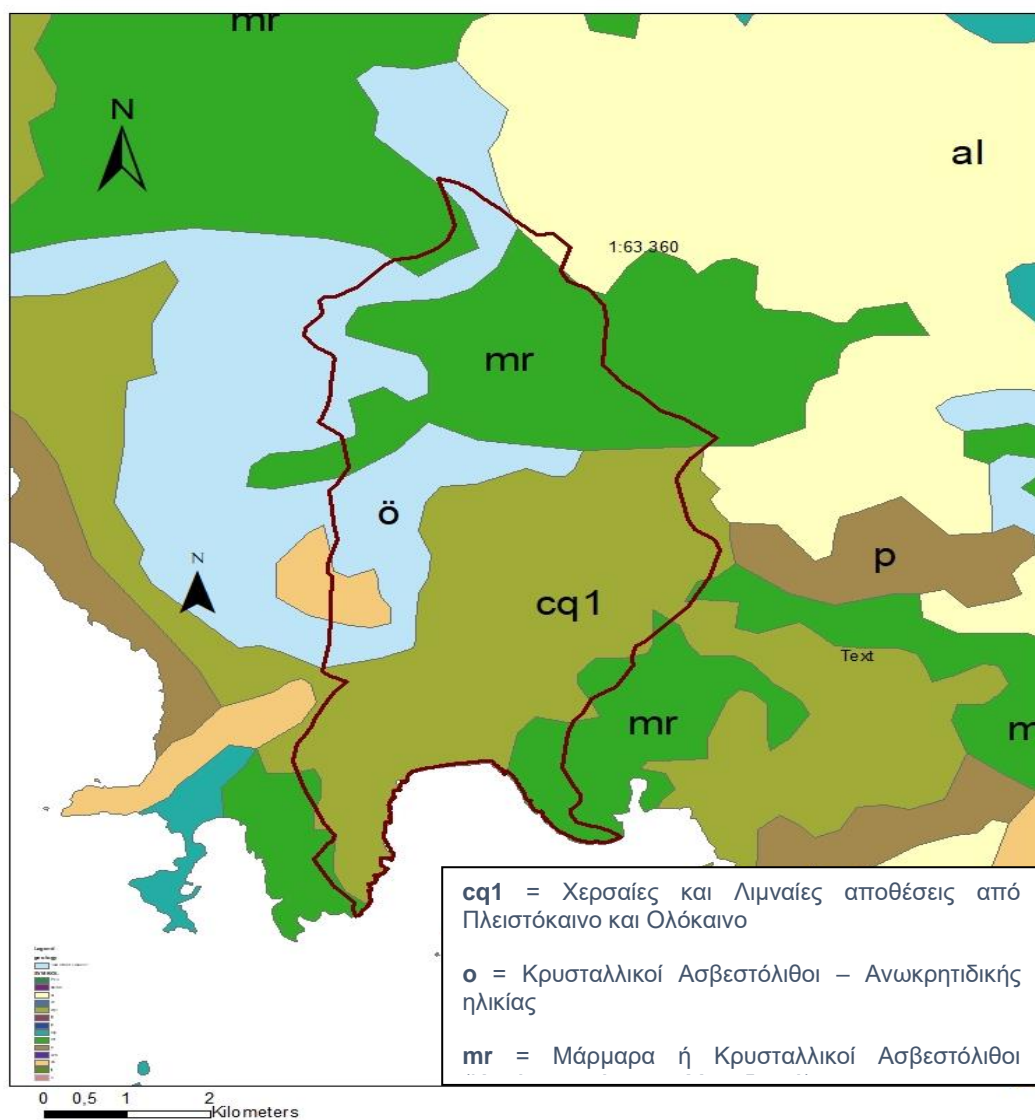




Χρησιμοποιείται δωρεάν  
και δημοσιοποιείται  
η πώλησή του  
Ι.Γ.Μ.Ε.



Εικόνα 2.7 : Γεωλογικός Χάρτης Λεκανοπεδίου Αθηνών και Μεσογείων, ΙΓΜΕ



Εικόνα 2.8: Γεωλογικός Χάρτης από GIS με δεδομένα από ΙΓΜΕ φύλλο Αθήναι-Πειραιεύς

### **Τεκτονικά χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης**

Η τεκτονική που διαμορφώνεται στην ευρύτερη περιοχή εκφράζεται τόσο ως πτυχωσιγενής όσο και ως ρηξιγενής.” Στην περίπτωση της πτυχωσιγενούς τεκτονικής, οι πτυχώσεις χαρακτηρίζονται από άξονες ΒΑ-ΝΔ διεύθυνσης. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί ο Υμηττός, ο οποίος συνιστά μια μεγαντικλινική δομή με άξονα ΒΒΑ-ΝΝΔ διεύθυνσης.” (Παπανικολάου., 2015)

“Η ρηξιγενής τεκτονική εκδηλώνεται με τη δημιουργία ρηγμάτων, διακλάσεων, ρωγμών και γενικότερα ποικίλων τεκτονικών ασυνεχειών. Ειδικότερα, οι σημαντικότερες ρηξιγενείς ζώνες περιλαμβάνουν ρήγματα γενικών διευθύνσεων ΒΔ-ΝΑ καθώς και διευθύνσεων εγκάρσια ή υπό γωνία προς αυτές, όπως διευθύνσεων ΒΑ-ΝΔ.” (Παπανικολάου, Μπάση, Κράνης, & Δανάος, 2004)

“Οι ρηξιγενείς αυτές δομές αποτελούν τα όρια των ρηξιτεμαχών, ενώ επίσης συνέβαλαν στη δημιουργία των κεράτων και των συντεκτονικών λεκανών, στις οποίες αποτέθηκαν προοδευτικά τα νεότερα μεταλπικά ιζήματα.” (Παπανικολάου, Μπάση, Κράνης, & Δανάος, 2004)

“Τα τεκτονικά βυθίσματα είναι πληρωμένα κατά κύριο λόγο με χερσαίες φάσεις μεταλπικών σχηματισμών, αλλά και με θαλάσσιες αποθέσεις, που εντοπίζονται μόνο στις παραθαλάσσιες περιοχές, γεγονός που πιστοποιεί τις μικρές σχετικά ανοδικές ή καθοδικές κινήσεις των επιμέρους ρηξιτεμαχών.” (Βασιλείου, 1987)

#### 2.2.4 Μετεωρολογικά στοιχεία περιοχής

Τα δεδομένα για τα μετεωρολογικά στοιχεία της περιοχής μελέτης αντλήθηκαν από την **Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία Ελλάδος (EMY)** και κάποια στοιχεία από την βάση δεδομένων του **MeteoSearch** (MeteoSearch, 2020). Πιο συγκεκριμένα, για την καταγραφή των μετεωρολογικών δεδομένων της ευρύτερης περιοχής μελέτης αξιοποιήθηκαν τα στοιχεία του Μετεωρολογικού Σταθμού του Ελληνικού, εφόσον είναι ο πλησιέστερος σταθμός στην περιοχή μελέτης και παρέχει μετεωρολογικά δεδομένα τα οποία καλύπτουν το χρονικό διάστημα 1955-2019. Ο Μετεωρολογικός Σταθμός Ελληνικού έχει γεωγραφικό μήκος 23° 45' E και γεωγραφικό πλάτος 37°54' N. Φορέας λειτουργίας του είναι η Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία.

##### Θερμοκρασία

Σύμφωνα με τα στοιχεία του Μ. Σ. Ελληνικού παρατηρούμε ότι ο θερμότερος μήνας στην περιοχή είναι ο Ιούλιος με μέση θερμοκρασία 28,5° , ο ψυχρότερος μήνας είναι ο Ιανουάριος με μέση θερμοκρασία 10,2°. Το μέσο ετήσιο θερμοκρασιακό εύρος είναι 18,7ο". Η μέση μέγιστη θερμοκρασία φτάνει τους 32,4° κατά τους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο ενώ η μέση ελαχίστη δεν ξεπερνά τους 6,8° τον Ιανουάριο.

##### Κατακρημνίσεις - Βροχοπτώσεις

Το μέσο ετήσιο ύψος βροχής ανέρχεται σε 366 χιλιοστά (mm). Ως ο ξηρότερος μήνας χαρακτηρίζεται ο Ιούνιος με μέσο ύψος βροχής 5,7 χιλιοστά (mm) και ως ο υγρότερος, δηλαδή ο μήνας με τις συχνότερες βροχοπτώσεις, ο Δεκέμβριος με μέσο ύψος βροχής 64 χιλιοστά (mm). Γενικότερα, οι βροχερότεροι μήνες είναι οι Οκτώβριος, Νοέμβριος και Δεκέμβριος και ο μεγαλύτερος όγκος κατακρημνισμάτων ( 81% ) παρατηρείται κατά τη διάρκεια της περιόδου από Οκτώβριο μέχρι Μάρτιο. Παράλληλα σύμφωνα με τα στοιχεία που αντλήθηκαν από τον Μ.Σ. Ελληνικού παρατηρείται ότι η μέση σχετική υγρασία κυμαίνεται από 46,2% κατά το μήνα Αύγουστο(χαμηλότερη) έως και 70,2% κατά το μήνα Δεκέμβριο (υψηλότερη) . Από τα διατιθέμενα στοιχεία του Μ. Σ. Ελληνικού προκύπτει ότι το χιόνι είναι καιρικό φαινόμενο σπάνιο για την περιοχή, ενώ μικρή είναι και η πιθανότητα εκδήλωσης καταιγίδας. Αναλυτικότερα, η μεγαλύτερη πιθανότητα χιονόπτωσης αφορά το μήνα Φεβρουάριο και ακολουθεί ο Ιανουάριος. Η μεγαλύτερη πιθανότητα εκδήλωσης καταιγίδας αφορά με διαφορά τους μήνες Οκτώβριο -Νοέμβριο.

##### Ανεμολογικά δεδομένα

Για την παρούσα διπλωματική αντλήθηκαν ανεμολογικά δεδομένα από 2 διαφορετικούς μετεωρολογικούς σταθμούς, του Ελληνικού και της Βάρης. Ο σταθμός του Ελληνικού χρησιμοποιήθηκε για την εγκυρότητα και την αξιοπιστία του λόγω των πολλών ετών λειτουργίας του σταθμού, ενώ τη Βάρης χρησιμοποιήθηκε λόγω της εγγύτητας του με την περιοχή μελέτης ή άμεση γειτνίαση.

Αρχικά, σύμφωνα με τα ανεμολογικά στοιχεία του Μ.Σ Ελληνικού, η ένταση των ανέμων στην ευρύτερη περιοχή είναι χαμηλή κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, αφού στο μεγαλύτερο ποσοστό κυμαίνεται μεταξύ 2 και 4 Μποφόρ (Beaufort) με επικρατέστερη διεύθυνση του ανέμου την βόρεια κατεύθυνση. Τον χειμώνα συναντώνται λίγα έντονα φαινόμενα έντονων ανέμων που επηρεάζουν την ακτή της Βάρκιζας.



Πιο αναλυτικά, από την μελέτη των ανεμολογικών δεδομένων της περιοχής του Ελληνικού διαπιστώνεται ότι οι άνεμοι στην περιοχή πνέουν από βόρειες (24,9%), βορειοανατολικές (10%) και νότιες (11,2%) διευθύνσεις. Η ένταση των ανέμων είναι σε ποσοστό 26,4% ασθενής, 17,8% μέτρια και 1,4% ισχυρή. Το ποσοστό νηνεμιών ανέρχεται σε 24,9%.

#### **2.2.5 Βιοκλιματικά στοιχεία της περιοχής**

Το κλίμα μιας γεωγραφικής περιοχής διαμορφώνεται σύμφωνα με το γεωγραφικό πλάτος, την αναλογία ξηράς/θάλασσας και το ανάγλυφο (υψόμετρο). Η χώρα μας ανήκει στην Εύκρατη Ζώνη η οποία είναι η ζώνη των τεσσάρων εποχών και η ζώνη των επικρατούντων δυτικών ανέμων. Η εύκρατη ζώνη επηρεάζεται, ανάλογα με την εποχή, από τα τροπικά χαρακτηριστικά του νότου και τα αρκτικά του βορρά. Η Εύκρατη Ζώνη είναι μια ζώνη σύγκλισης, ανάμιξης των τροπικών (θερμών) και αρκτικών (ψυχρών) αερίων. Στην εύκρατη ζώνη, οι άνεμοι είναι κυρίως δυτικής συνιστώσας. Παράλληλα, στη ζώνη αυτή δημιουργούνται τα “βαρομετρικά χαμηλά” καθώς η ανομοιότητα των χαρακτηριστικών των αερίων μαζών (θερμός και ψυχρός τομέας του βαρομετρικού χαμηλού) δημιουργούν ατμοσφαιρικές διαταραχές. Μελετώντας το χάρτη της Ευρώπης, οι δυτικοί άνεμοι προέρχονται από τον Ατλαντικό Ωκεανό και διεισδύουν στο εσωτερικό της ηπείρου (ΣΜΠΕ Μητροπολιτικού πόλου Ελληνικού Αγίου Κοσμά,2017).

Σύμφωνα με τα κλιματολογικά στοιχεία του μετεωρολογικού σταθμού του Ελληνικού της ΕΜΥ καθώς και το διάγραμμα του Emburger κατά Μαυρομάτη για την Ελλάδα, ο βιοκλιματικός όροφος της περιοχής του Ελληνικού είναι ημίξηρος με χειμώνα ήπιο (ΣΜΠΕ Μητροπολιτικού πόλου Ελληνικού Αγίου Κοσμά,2017).

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

## 3. Τεχνικό υπόβαθρο

Στο κεφάλαιο αυτό αρχικά αναλύεται η τεχνολογία των μη επανδρωμένων εναέριων οχημάτων και στην συνέχεια το υπόβαθρο των λογισμικών που χρησιμοποιήθηκαν κατά την διάρκεια των μετρήσεων και την παραγωγή των αποτελεσμάτων.

### 3.1 Μέθοδοι τοπογραφικών αποτυπώσεων στην ακτή

Οι μέθοδοι τοπογραφικής αποτύπωσης ακολουθούν την τεχνολογική εξέλιξη. Για παρακολούθηση αλλαγών στην μορφή μιας παράκτιας ζώνης, όπως στην περίπτωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, μπορούν να χρησιμοποιηθούν η μέθοδος του ορίζοντα, ο χωροβάτης, ο θεοδόλιχος, το Παγκόσμιο Συστήμα Θεσιθεσίας (Global Positioning System GPS) και η εναέρια αποτύπωση με μη επανδρωμένο εναέριο όχημα. Οι τοπογραφικές αποτυπώσεις είναι απαραίτητες διαδικασίες για την διερεύνηση της εξέλιξης της ακτογραμμής, του όγκου της παραλίας και των αλλαγών στο υποθαλάσσιο μέρος. Η επιλογή μεθόδου ποικίλει, καθώς σχετίζεται με τις συνθήκες και τις απαιτήσεις του εκάστοτε έργου και περιοχής. Στην παρούσα διπλωματική εργασία, για την αποτύπωση της περιοχής μελέτης χρησιμοποιήθηκαν ένα μη επανδρωμένο εναέριο όχημα και ένα GPS.

### 3.2 Εναέρια αποτύπωση

Η εναέρια αποτύπωση, λόγω των τεχνολογικών εξελίξεων των τελευταίων ετών, αποτελεί ένα από τα αντικείμενα της Τηλεπισκόπησης και της Φωτογραμμετρίας, το οποίο έχει γνωρίσει ιδιαίτερη ανάπτυξη. Η μέθοδος αυτή προσφέρει **μαζικά γεωχωρική πληροφορία** από εναέριες εικόνες. Αρχικά, η συλλογή τέτοιων φωτογραφιών γινόταν με λήψη φωτογραφιών από δορυφόρους, αεροπλάνα και ελικόπτερα. Αυτή η διαδικασία ήταν πολύ χρονοβόρα, ακριβή και σε περίπτωση που γινόταν ανάλυση με αεροφωτογραφίες από δορυφόρους χρειαζόταν μεγάλη διαδικασία για την απόκτηση τους από δημόσιες υπηρεσίες. Τα τελευταία χρόνια, έχει διαδοθεί και εδραιωθεί η λήψη εναέριων εικόνων με μη επανδρωμένα εναέρια συστήματα (UAVs), με μεγάλη ακρίβεια σε μικρό χρονικό διάστημα. Η γρήγορη αυτή συλλογή εικόνων από UAVs, η επεξεργασία τους με κατάλληλα λογισμικά, καθώς και η ακρίβεια η οποία προσφέρουν, καθιστούν την εναέρια αποτύπωση με UAV σημαντική στην αποτύπωση του χώρου.

Όπως προαναφέρθηκε, η επιστήμη που στηρίζεται η αποτύπωση μια περιοχής με την λήψη εναέριων εικόνων είναι η **φωτογραμμετρία**. Η φωτογραμμετρία είναι η τεχνική, η επιστήμη και η τεχνολογία που σκοπό έχει την εξαγωγή αξιόπιστης πληροφορίας για την γεωμετρία φυσικών αντικειμένων και του περιβάλλοντος μέσω των διαδικασιών της καταγραφής, μέτρησης και ερμηνείας φωτογραφικών εικόνων και άλλων προτύπων Ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας και φαινομένων. Πιο αναλυτικά, η

φωτογραμμετρία λειτουργεί με τη λήψη εικόνων στοχευμένων σημείων από διάφορες θέσεις και τοποθεσίες.

Τέλος, σύμφωνα με τον Αμερικάνικο σύνδεσμο Φωτογραμμετρίας και Τηλεπισκόπησης (ASPRS, 2020), η Φωτογραμμετρία ορίζεται ως: “Η τέχνη, επιστήμη και τεχνολογία της ανάκτησης έγκυρης πληροφορίας φυσικών αντικειμένων αλλά και του περιβάλλοντος μέσω διαδικασιών καταγραφής, μετρήσεων και παρεμβολής φωτογραφικών εικόνων ή/και εικόνων ανακλώμενης ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας”

Τα κύρια χαρακτηριστικά της αποτύπωσης με Φωτογραμμετρική Μεθοδολογία είναι τα παρακάτω.

- Υπάρχει ορισμός συστήματος αναφοράς.
- Η ανακατασκευή των γεωμετριών του αντικειμένου, στο χώρο, γίνεται μέσω συνεχούς απόδοσης ή/και σημειακής.
- Υπάρχει δυνατότητα επιστημονικού ελέγχου του αποτελέσματος ως προς την ακρίβεια και αξιοπιστία.
- Δεν υπάρχει ανάγκη σχεδίων πεδίου (σκαριφήματα-κροκί).
- Υπάρχει δυνατότητα έμμεσων μετρήσεων.
- Μπορεί να αξιοποιηθούν πλήρως οι δυνατότητες της νέας σχεδιαστικής τεχνολογίας (π.χ., CAD), αλλά και της ψηφιακής τεχνολογίας ανάλυση εικόνας (image processing). Επιπλέον είναι δυνατόν να αξιοποιηθούν εύκολα οι νέες ολοκληρωμένες τεχνικές ψηφιακής τεκμηρίωσης (αλφαριθμητικά, γραφικά και εικόνες). Αντιμετωπίζονται άμεσα λεπτομέρειες και πολύπλοκα αρχιτεκτονικά ή δύσκολα προσπελάσιμα στοιχεία.
- Στη διαδικασία των φωτογραμμετρικών αποτυπώσεων ενσωματώνεται εύκολα η λογική της διαχρονικής παρακολούθησης της δυναμικής συμπεριφοράς του αντικειμένου, εφόσον είναι εύκολη, φθηνή και "πληθωρική" η συλλογή δεδομένων.
- Γίνεται άμεση ανακατασκευή της στερεομετρίας του αντικειμένου.
- Αξιοποιούνται γεωμετρικές ιδιότητες (π.χ., σημεία φυγής, προοπτικότητας, κλπ.) τα οποία διευκολύνουν ή/και πλουτίζουν τις επεξεργασίες.
- Η αλγοριθμική επεξεργασία των δεδομένων είναι δύσκολη.
- Υπάρχει ανάγκη για πρόσθετες εργασίες της τοπογραφικής μεθόδου (στις περιπτώσεις χρήσης φωτοσταθερών ή τοποθέτησης του αντικειμένου σε αμοιβαία σχέση με άλλα αντικείμενα)
- Ο εξοπλισμός πεδίου είναι από χαμηλού κόστους μέχρι μέτριου.
- Ο απαραίτητος εξοπλισμός για τις επεξεργασίες γραφείου είναι εξειδικευμένος είτε μέτριου είτε υψηλού κόστους.
- Τέλος να σημειωθεί ότι η φωτογραμμετρία ανάλογα με τον τρόπο του υπολογισμού και τον αριθμό των συντεταγμένων των σημείων των λεπτομερειών διακρίνεται σε μονοσκοπική και σε στερεοσκοπική φωτογραμμετρία και ανάλογα με τη θέση της φωτομηχανής, σχετικά με το αντικείμενο, σε επίγεια και σε εναέρια.

### 3.3 Μη Επανδρωμένα εναέρια οχήματα-Unmanned aerial vehicles (UAV)

Μια καινοτομία στην λήψη αεροφωτογραφιών αποτελούν τα μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα (UAV), τα οποία βοηθούν στην οργάνωση των δεδομένων μιας πτήσης εκ των προτέρων, ενώ παράλληλα μειώνουν σημαντικά το κόστος και τον χρόνο εκπόνησης μιας εργασίας σε σύγκριση με πιο συμβατικές μεθόδους λήψης αεροφωτογραφιών.

Σύμφωνα με την Διεθνή και μη Κερδοσκοπική ένωση UVS International, που έχει συσταθεί στο Εμπορικό Επιμελητήριο της Χάγης, τα μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα (UAVs) πρόκεινται για αεροσκάφη, που είναι σχεδιασμένα να λειτουργούν χωρίς την παρουσία πιλότου. Ο όρος UAV είναι ο πιο βασικός και ευρέως διαδεδομένος, ενώ άλλοι συνώνυμοι, δόκιμοι όροι είναι : Remotely Piloted Vehicle (RPV), Remotely Operated Aircrafts (ROAs), Remotely Piloted Aircrafts (RPAs), Unmanned Vehicle Systems (UVS) (Remondino et al., 2011).

Αρχικά, τα μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα χρησιμοποιήθηκαν για στρατιωτικούς σκοπούς ενώ τα τελευταία χρόνια η χρήση τους επεκτείνεται και εφαρμόζονται και σε πολιτικές εφαρμογές. Πιο συγκεκριμένα, οι πρώτες εφαρμογές των UAV στον τομέα της γεωπληροφορικής, έγιναν από τους Przybilla και Wester-Ebbinghaus το 1979 (Eisenbeiss, 2004) . Τα οφέλη της χρήσης UAV, τόσο στη Φωτογραμμετρία όσο και στην Τηλεπισκόπηση είναι πολύτιμα, όσον αφορά την ευελιξία τους στην απόκτηση δεδομένων. Ο σχεδιασμός τους είναι κατάλληλος, για την συλλογή δεδομένων σε απρόσιτα για τον άνθρωπο σημεία, γεγονός που αποτελούσε σημαντικό πρόβλημα κατά την επίγεια αποτύπωση του χώρου (Eisenbeiss, 2009). Συνδυάζοντας ταχύτητα, ευελιξία και χαμηλό κόστος στη λήψη εικόνων σε σχέση με άλλες μεθόδους, τα UAVs θεωρούνται πλέον βασικό εργαλείο για τοπογραφικές μελέτες και εργασίες.

Μερικοί από τους βασικούς τομείς που χρησιμοποιούνται σήμερα τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη, πέρα από τις στρατιωτικές εφαρμογές είναι (Remondino et al., 2011) :

- **Η αρχαιολογία και η πολιτιστική κληρονομιά**, στην οποία η συλλογή εικόνων από χαμηλό ύψος μπορεί να οδηγήσει, είτε σε απλή χαρτογράφηση, είτε σε 3D μοντέλα αρχαιολογικών χώρων και δομών.
- **Η γεωργία και η δασοκομία**, όπου οι παραγωγοί μπορούν να λάβουν κρίσιμες αποφάσεις με ιδιαίτερα μεγάλη αξιοπιστία για θέματα που θα τους οδηγήσουν στην εξοικονόμηση χρόνου και πόρων, όπως ο εντοπισμός προβλημάτων σε μια καλλιέργεια ή ένα δάσος.
- **Η συγκοινωνιολογία**, για την παρακολούθηση παραμέτρων της οδικής κυκλοφορίας, την εκτίμηση χρονικών αποστάσεων και φόρτων κυκλοφορίας, καθώς και την επίβλεψη έργων αυτού του τομέα.
- **Η τοπογραφία, η πολεοδομία και η χωροταξία**, για την δημιουργία και ενημέρωση χαρτών, κτηματολογικές εφαρμογές, αστική χαρτογράφηση, παράνομες κατασκευές, δημιουργία ψηφιακών μοντέλων επιφάνειας, σχεδιασμό και παρακολούθηση εξέλιξης πόλεων κ.α.
- **Οι περιβαλλοντικές αποτυπώσεις**, όπου γρήγορες και χαμηλού κόστους πτήσεις με UAV, επιτρέπουν την παρακολούθηση του εδάφους και των υδατικών πόρων σε διαδοχικές περιόδους, με σκοπό την εξαγωγή κρίσιμων συμπερασμάτων για την προστασία του περιβάλλοντος. Ακόμα χρησιμεύουν σε παραγωγή τοπογραφικών χαρτών σε περιοχές που πλήττονται από ακραία καιρικά φαινόμενα (Isola & Shattri, 2013).



### 3.3.1 Κατηγοριοποίηση UAV

Διαφορετικά συστήματα ταξινόμησης UAV έχουν προταθεί για να βοηθήσουν στη διαφοροποίηση των υφιστάμενων συστημάτων με βάση τα λειτουργικά τους χαρακτηριστικά και τις ικανότητές τους. Αρκετά από αυτά τα συστήματα έχουν επίσης ρυθμιστική σημασία, καθώς οι χρησιμοποιούμενες μετρήσεις σχετίζονται άμεσα είτε με τον κίνδυνο από ατυχήματα σε σύγκρουση με το έδαφος είτε με μετεωρολογικά φαινόμενα (Dalamagkidis, Valavanis, & Pieggl, 2008). Σε αυτήν την ενότητα παρέχονται χαρακτηριστικές ταξινομήσεις UAV από διάφορες πηγές, τόσο πολιτικές όσο και στρατιωτικές.

Σύμφωνα με τον Austin (2010) “τα μη επανδρωμένα εναέρια αεροσκάφη (UAV) συνήθως κατηγοριοποιούνται βάσει ή της ικανότητας να φέρουν εις πέρας μια «αποστολή» ή του μεγέθους τους”. Πάραυτα, η κατηγοριοποίηση των UAVs αντιμετωπίζει δυσκολίες, καθώς τα «όρια» που τίθενται μεταξύ τους δεν είναι σαφώς πάντα καθορισμένα, και μπορεί να υπάρξουν επικαλύψεις. Μια κατηγοριοποίηση που προκύπτει είναι η ακόλουθη:

Κατηγορία	Εμβέλεια (km)	Ύψος Πτήσης(m)	Διάρκεια πτήσης (h)	Μάζα (kg)
MUAV	<10	150-250-300	<2	25-30-150
MAV	<10	250	1	<5
Close Range- UAV	10-30	3000	2-4	25-50
TUAV-Medium range	70-200	5000	6-10	150-500
HALE	>2000	>15000	24-48	2500-5000
MALE	>500	5000-15000	>24	1000-1500

Πίνακας 3.1: Κατηγοριοποίηση των UAV βάση χαρακτηριστικών (Remondino, 2011)

Μια άλλη κατηγοριοποίηση των μη επανδρωμένων εναέριων οχημάτων (UAVs) , σύμφωνα με την UVS International, κατατάσσει τα UAVs σε τρεις μεγάλες κατηγορίες, βάσει του μεγέθους, του βάρους καθώς και των δυνατοτήτων διάρκειας πτήσης τους και το υψόμετρο πτήσης (Remondino, 2011)

Αρχικά, η πρώτη κατηγορία είναι τα **τακτικά UAVs** (tactical), τα οποία συνήθως είναι μικρού ή μεσαίου μεγέθους. Το υψόμετρο πτήσης κυμαίνεται από λίγα μέτρα έως 5 χιλιόμετρα, η διάρκεια πτήσης τους από λίγα λεπτά μέχρι και 2 ημέρες. Μπορούν να έχουν ανεξαρτησία χιλιομέτρων έως 500 χιλιόμετρα και τέλος η μάζα του συστήματος φτάνει έως 1000 κιλά. Στην δεύτερη κατηγορία ανήκουν τα **στρατηγικά UAVs** (strategical). Σε αυτήν την κατηγορία περιλαμβάνονται συστήματα που το υψόμετρο τους υπερβαίνει τα 20.000 μέτρα και έχουν δυνατότητα διάρκειας πτήσης έως 4 ημέρες. Τέλος, τρίτη και τελευταία κατηγορία, αποτελούν τα **UAVs ειδικών**

**αποστολών** (special tasks), όπου περιλαμβάνει μη επανδρωμένα αυτόνομα μαχητικά αεροσκάφη.

Επίσης, τα μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα UAV μπορούν να κατανεμηθούν εκ νέου σε κατηγορίες, βάσει των κύριων χαρακτηριστικών των αεροσκαφών. Τέτοιου είδους χαρακτηριστικά σύμφωνα με τον Eisenbeiss (2009), μπορούν να θεωρηθούν εάν τα αεροσκάφη χρησιμοποιούν σταθερά ή περιστρεφόμενα πτερύγια, αν είναι βαρύτερα ή ελαφρύτερα από τον αέρα, και ακόμα αν τροφοδοτούνται ηλεκτρικά ή όχι.

### **Μέθοδοι πτήσεων**

Με βάση την μέθοδο πτήσεων, τα μη εναέρια οχήματα διακρίνονται στις εξής κατηγορίες (Eisenbeiss & Sauerbier, 2011)

- *Χειροκίνητης λειτουργίας πτήσης* (Manual Flight Mode), όπου ο βαθμός ελευθερίας του συστήματος ελέγχεται από τον χειριστή.
- *Ημιαυτόνομης ή υποβοηθούμενης λειτουργίας πτήσης* (Semi-automated or assisted), όπου ο χειριστής του οχήματος έχει την δυνατότητα να ελέγξει το όχημα μέσω μακροεντολών. Η υποβοηθούμενη λειτουργία αποσκοπεί στην απλοποίηση του χειρισμού του UAV, δεδομένου ότι το σύστημα έχει σταθεροποιηθεί και ο χειριστής αναλαμβάνει την ευθύνη για την καθοδήγηση του σύμφωνα το παγκόσμιο δορυφορικό σύστημα πλοήγησης.
- *Αυτόνομης λειτουργίας πτήσης* (Autonomous Flight Mode), όπου η δουλειά του χειριστή-πιλότου αντικαθίσταται από ένα τελείως αυτόματο πρόγραμμα πλοήγησης το οποίο εκτελεί ένα προκαθορισμένο σχέδιο πτήσης.

#### **3.3.2 DJI Phantom Pro**

Το μη επανδρωμένο εναέριο όχημα που χρησιμοποιήθηκε για την εκπόνηση της υφιστάμενης διπλωματικής εργασίας είναι το Phantom 4 Pro της DJI. Παρακάτω δίνεται μια περιγραφή των χαρακτηριστικών και των δυνατοτήτων του μοντέλου.

Το DJI Phantom 4 Pro έχει μέγιστη ταχύτητα 72 χλμ/ώρα στο Sport Mode και 50 χλμ/ώρα στο P mode με ενεργοποιημένη την αποφυγή εμποδίων. Το περίβλημα έχει κατασκευασθεί από τιτάνιο και μαγνήσιο προσφέροντας αντοχή με πιο ελαφριά υλικά. Η διάρκεια πτήσης σύμφωνα με τη DJI μπορεί να φτάσει τα 30 λεπτά. Το DJI Phantom 4 Pro είναι ένα drone που πραγματοποιεί επαγγελματικές 4K λήψεις και διαθέτει κάμερα με σένσορα 1" ίντσας 20 megapixel Exmor R CMOS, dynamic range περίπου 12 stops και τη δυνατότητα να καταγράψει βίντεο 4K στα 60 frames-per-second (60 φωτογραφίες το δευτερόλεπτο). Επίσης είναι η πρώτη κάμερα που διαθέτει μηχανικό κλείστρο, για να μειώσει το rolling shutter distortion, που είναι δηλαδή η δόνηση που υπάρχει σε κάποιες κάμερες όταν γίνεται λήψη εν κινήσει. Παράλληλα, το συγκεκριμένο UAV (drone) ακολουθεί το χρήστη του παντού, αποφεύγοντας κάθε εμπόδιο που θα βρει μπροστά του καθώς έχουν προστεθεί αισθητήρες στο πίσω

μέρος και στα πλάγια ,οπότε το DJI Phantom 4 Pro “βλέπει” εμπόδια σε 5 κατευθύνσεις με την βοήθεια του Obstacle Sensing System. Οι πλάγιοι αισθητήρες λειτουργούν στο υπέρυθρο φάσμα και μετράνε την απόσταση του drone από τα εμπόδια σε μεγαλύτερη απόσταση από ότι οι υπέρηχοι που χρησιμοποιούνται μπροστά, πίσω και κάτω.

Για μεγαλύτερη σταθερότητα, η κάμερα του drone στηρίζεται σε μια βάση 3 αξόνων, την 3-axis Gimbal. Ταυτόχρονα αυτό προσδίδει ακρίβεια +/- 0.03 μοίρες στις λήψεις. Ακόμη, με την χρήση του συγκεκριμένου UAV είναι δυνατή η live παρουσίαση σε κινητό ή tablet της αποτύπωσης προβάλλοντας σε υψηλή ανάλυση (HD ανάλυση) . Με το ενσωματωμένο σύστημα DJI Lightbridge η εμβέλεια στη λήψη και στην προβολή φτάνει μέχρι και τα 3.5 χιλιόμετρα. Το χειριστήριο δίνει την δυνατότητα για απόλυτο έλεγχο του drone και της κάμερας για άψογη λειτουργία. Σε περιπτώσεις όπου η μπαταρία έχει εξαντληθεί ή έχει χαθεί το σήμα από το χειριστήριο του για τον οποιοδήποτε λόγο, το drone παίρνει από μόνο του την πρωτοβουλία να γυρίσει πίσω μέσω της λειτουργίας Failsafe. Παράλληλα, με τη διαθέσιμη λειτουργία Intelligent Battery, το drone υπολογίζει τη μπαταρία που του έχει απομείνει και σε συνδυασμό με την απόσταση που βρίσκεται, ενημερώνει το χρήστη ώστε να επιστρέψει, για να επαναφορτιστεί. Προγραμματίζοντας την πτήση του Phantom 4 με τη λειτουργία Waypoints εκείνο θα πετάξει μόνο του, επιτρέποντάς στο χρήστη να επικεντρωθεί στη λειτουργία της κάμερας. Το DJI Pilot app δίνει τη δυνατότητα στη λειτουργία Auto Take Off, να απογειωθεί σε ένα προκαθορισμένο ύψος ,για να ξεκινήσει με ασφάλεια. Σε περίπτωση που ο χρήστης έχει απομακρυνθεί αρκετά και έχει τελειώσει η βιντεοσκόπηση που είχε προγραμματίσει, το Phantom 4 Pro μπορεί να επιστρέψει πίσω με μια εντολή. Πιο συγκεκριμένα, με τη λειτουργία Auto Return Home και το ενσωματωμένο GPS, δίνεται στο χρήστη η δυνατότητα να γνωρίζει κάθε στιγμή την ακριβή θέση του drone.



*Εικόνα 3.1: DJI Phantom Pro 4, το μη επανδρωμένο όχημα που χρησιμοποιήθηκε για την συγκεκριμένη διπλωματική εργασία*

### 3.4 Μέθοδος RTK GPS

Το GPS είναι ένα παγκόσμιο δορυφορικό σύστημα προσδιορισμού θέσης, χρόνου και ταχύτητας, οπουδήποτε στην επιφάνεια της γης, σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή και ανεξάρτητα από καιρικές συνθήκες. Πιο συγκεκριμένα, το RTK (Real time kinematic) είναι μια τεχνική δορυφορικής πλοήγησης που χρησιμοποιείται για τη βελτίωση της ακρίβειας των δεδομένων θέσης που προέρχονται από δορυφορικά συστήματα εντοπισμού θέσης.

Η συλλογή των αποτελεσμάτων είναι πολύ γρήγορη και έτσι είναι εφικτή η κάλυψη μεγάλων περιοχών, ενώ παράλληλα ένας χειριστής επαρκεί για τις μετρήσεις. Το κόστος των συσκευών αυτής της μεθόδου είναι ιδιαίτερα υψηλό, αλλά η επεξεργασία των αποτελεσμάτων εύκολη, με την δυνατότητα δημιουργίας τρισδιάστατης απεικόνισης της παραλίας με την χρήση του ArcGIS. Έτσι ήταν δυνατή και η παρατήρηση αλλαγών στην ακτογραμμή και στον όγκο των ιζημάτων της παραλίας.

Για την εκτέλεση της συγκεκριμένης διαδικασίας, χρησιμοποιήσαμε GPS της εταιρείας Topcom (URL10), το οποίο και αποτελείται, από τρία βασικά μέρη:

- την κεραία, η οποία συνδέεται με τους δορυφόρους και το σύστημα της εταιρείας, προκειμένου να δώσει τα βέλτιστα αποτελέσματα συντεταγμένων
- την σταδία, προκειμένου η κεραία να τοποθετείται εύκολα στο επιθυμητό ύψος, καθώς και να ευθυγραμμίζεται ως προς το έδαφος
- και ένα tablet , στο οποίο καθορίζονται τα δεδομένα αποτύπωσης, όπως το ύψος της σταδίας, τα σφάλματα (vertical, orizontal) καθώς και τα δεδομένα της αποτύπωσης, X, Y, Z.



Εικόνα 3.2: Topcom GPS σταδία/κοντάρι και tablet για καταγραφή συντεταγμένων (GPS world, n.d.)

### 3.5 Λογισμικά και προγράμματα

#### 3.5.1 GIS

Η Γεωπληροφορική (Geoinformatics), είναι η επιστήμη η οποία αξιοποιεί τη γεωγραφική πληροφορία και τις σύγχρονες τεχνολογίες που αναπτύσσει ο τομέας της Πληροφορικής, έτσι ώστε να συγκεντρώσει, να αποθηκεύσει, να ενημερώσει, να διαχειριστεί, να επεξεργαστεί, να αναλύσει, να οπτικοποιήσει και να παρουσιάσει προτάσεις σε προβλήματα που αφορούν τις επιστήμες του χώρου και συναφών κλάδων.

Ορισμένα από τα βασικά εργαλεία που χρησιμοποιούνται στη Γεωπληροφορική είναι τα **Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών**, γνωστά και ως **G.I.S.** (Geographic Information Systems), η Τεχνολογία Δορυφορικού Εντοπισμού Θέσης, γνωστή και ως GPS (Global Position System), οι Τεχνολογίες Ανάλυσης και Επεξεργασίας Αεροφωτογραφιών και Δορυφορικών Εικόνων. Ο συνδυασμός των προαναφερθεισών τεχνολογιών και όχι μόνο, μας παρουσιάζει ένα ολοκληρωμένο σύνολο χωρικής και περιγραφικής πληροφορίας, πιο απλά μας παρέχει την «γεωπληροφορία», με τη χρήση της οποίας έχουμε την δυνατότητα:

- Να εκτελέσουμε χωρικά ερωτήματα.
- Να αναλύσουμε δεδομένα.
- Να δημιουργήσουμε χάρτες και μοντέλα.
- Να λαμβάνουμε καλύτερες αποφάσεις και να επιλέγουμε τις καλύτερες λύσεις.

Δημιουργείται, λοιπόν, ένα εργαλείο “**έξυπνου χάρτη**”, το οποίο επιτρέπει στους χρήστες του να αποτυπώσουν μια περίληψη του πραγματικού κόσμου, να δημιουργήσουν διαδραστικές ερωτήσεις χωρικού ή περιγραφικού χαρακτήρα (αναζητήσεις δημιουργούμενες από τον χρήστη), να αναλύσουν τα χωρικά δεδομένα (spatial data), να τα προσαρμόσουν και να τα αποδώσουν σε αναλογικά μέσα (εκτυπώσεις χαρτών και διαγραμμάτων) ή σε ψηφιακά μέσα (αρχεία χωρικών δεδομένων, διαδραστικοί χάρτες στο διαδίκτυο).

Η χαρακτηριστική δυνατότητα που παρέχει η Γεωπληροφορική (**σύνδεση χωρική με περιγραφική πληροφορία**) την καθιστά ως ένα μοναδικό εργαλείο συλλογής, επεξεργασίας και ανάλυσης δεδομένων καθώς μας παρέχει ποιοτικές λύσεις σε χωρικά προβλήματα, με γρήγορο, κατανοητό και εύκολο τρόπο.

Ένα σύστημα γεωγραφικών πληροφοριών (GIS) είναι ένα σύστημα Πληροφορικής για τη συλλογή, την αποθήκευση, τον έλεγχο και την εμφάνιση δεδομένων που σχετίζονται με θέσεις στην επιφάνεια της Γης. Με τη συσχέτιση φαινομενικά άσχετων δεδομένων, το GIS μπορεί να βοηθήσει άτομα και οργανισμούς να κατανοήσουν καλύτερα τα χωρικά δεδομένα και σχέσεις.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία χρησιμοποιήθηκε το ArcGIS και το QGIS με σκοπό την παραγωγή των χαρτών σε όλα τα στάδια της εργασίας. Το ArcGIS και το QGIS είναι προγράμματα χαρτογράφησης, ανάλυσης και αποθήκευσης δεδομένων, τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη δημιουργία, την κοινή χρήση, την σύνταξη γεωγραφικών δεδομένων και τη διαχείριση χαρτών, σκηνών, επιπέδων, εφαρμογών και άλλου γεωγραφικού περιεχομένου με μια σειρά εφαρμογών και με τη διαχείριση γεωγραφικών πληροφοριών σε μια βάση δεδομένων. Πιο απλά, τα

προγράμματα αυτά παρέχουν υποδομή για τη δημιουργία χαρτών και γεωγραφικών πληροφοριών.

### 3.5.2 Agisoft Photoscan Metashape

Το λογισμικό Agisoft PhotoScan Metashape είναι μια προηγμένη λύση δημιουργίας τρισδιάστατων μοντέλων (3D modeling) που βασίζεται στην εικόνα και έχει ως στόχο τη δημιουργία επαγγελματικών μοντέλων, με ποιοτικό περιεχόμενο τρισδιάστατων (3D) φωτογραφιών (Agisoft, 2010). Χτισμένο για να λειτουργεί σε συστήματα Windows (από το XP και μετά), το PhotoScan χρησιμοποιεί ένα πλήθος αρχείων JPEG, TIFF, PNG, BMP ή MPO για να παράγει τρισδιάστατα νέφη σημείων και τρισδιάστατα πλέγματα (mesh). Με βάση την τελευταία τεχνολογία 3D ανασυγκρότησης πολλαπλών προβολών, το πρόγραμμα λειτουργεί με αυθαίρετες εικόνες και είναι αποτελεσματικό σε ελεγχόμενες και ανεξέλεγκτες συνθήκες. Οι φωτογραφίες μπορούν να λαμβάνονται από οποιαδήποτε θέση, υπό την προϋπόθεση ότι το αντικείμενο που πρόκειται να ανακατασκευαστεί είναι ορατό σε τουλάχιστον δύο φωτογραφίες. Αν και ο χρήστης μπορεί να ορίσει μεγάλο αριθμό παραμέτρων εισόδου, η διαδικασία ανασυγκρότησης είναι πολύ απλή σε όλα τα στάδια καθώς, τόσο η ευθυγράμμιση εικόνας όσο και η αναδημιουργία μοντέλου 3D είναι πλήρως αυτοματοποιημένες. (Verhoeven, 2011)

Μέσω του λογισμικού Agisoft Photoscan εφαρμόζεται η φωτογραμμετρική διαδικασία /μεθοδολογία ακολουθώντας μια σειρά από εντολές με σκοπό να δημιουργήσουμε ένα τρισδιάστατο μοντέλο της παραλίας. Το πρόγραμμα δίνει την δυνατότητα για να παραχθούν τα εξής ψηφιακά προϊόντα :

- **Πυκνό νέφος σημείων (Dense Point Cloud),**

Ένα νέφος σημείων ή Point Cloud (ή Dense Point Cloud) είναι το τελικό αποτέλεσμα μιας τρισδιάστατης σάρωσης. Κάθε σημείο του Νέφους έχει x y z συντεταγμένες στο χώρο. Ταυτόχρονα το κάθε σημείο περιέχει και τη χρωματική πληροφορία και συνδέεται με τα στοιχειώδη ιχνοστοιχεία (pixel) που αποτυπώνονται από φωτογραφική μηχανή. Έτσι αποτυπώνονται ουσιαστικά εκατομμύρια σημεία - pixels σε τρεις διαστάσεις στο χώρο. Αυτό πρόκειται για το πρώτο βήμα παραγωγής τρισδιάστατου μοντέλου.

- **Ψηφιακό μοντέλο ανύψωσης- Digital elevation model DEM**

Το DEM χρησιμοποιείται συχνά στις τοπογραφικές έρευνες και αναφέρεται σε οποιαδήποτε ψηφιακή αναπαράσταση μιας τοπογραφικής επιφάνειας. Το DEM είναι η απλούστερη μορφή ψηφιακής αναπαράστασης της τοπογραφίας. Τα DEMs χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό χαρακτηριστικών εδάφους, όπως ανύψωση σε οποιοδήποτε σημείο, κλίση και όψη. Σήμερα, οι εφαρμογές GIS εξαρτώνται κυρίως από τα DEM

- **Ορθομωσαϊκές εικόνες με Γεωαναφορά (Georeferenced True Orthomosaics),**

Μια ορθοφωτογραφία ή ορθόμωσαϊκή εικόνα, που μερικές φορές αναφέρεται ως ορθοφωτογραφία ή ορθογραφία, είναι μια αεροφωτογραφία που έχει διορθωθεί για παραμόρφωση φακού, κλίση κάμερας, προοπτική και τοπογραφικό ανάγλυφο, που είναι μεταβολές στην ανύψωση της επιφάνειας της γης.

Σε ένα πρώτο βήμα, το λογισμικό ευθυγραμμίζει τις φωτογραφίες χρησιμοποιώντας έναν αλγόριθμο, τον SfM (structure from motion) (Ullman, 1979) που ταυτοποιεί χαρακτηριστικά σημεία των εικόνων και στη συνέχεια παρακολουθεί την

κίνηση των σημείων αυτών σε όλο το σύνολο δεδομένων (σε όλες τις φωτογραφίες δηλαδή). Η εκτίμηση της θέσης της κάμερας είναι ένα από τα κύρια συστατικά του SfM (Hartley & Zisserman, 2003) (Szeliski, 2010). Οι εργασίες αυτού του πρώτου βήματος είναι (1) ένα τρισδιάστατο σύννεφο σημείων που αντιπροσωπεύει τη γεωμετρία της περιοχής μελέτης, (2) σχετικές θέσεις κάμερας την στιγμή της απόκτησης της εικόνας. (3) εσωτερικές παραμέτρους βαθμονόμησης (εστιακό μήκος, θέση κύριου σημείου, τρεις ακτινικοί και δύο εφαπτομενικοί συντελεστές παραμόρφωσης). Επειδή αυτά τα πρώτα βήματα επεξεργασίας εκτιμούν τις παραμέτρους βαθμονόμησης, δεν υπάρχει πραγματική ανάγκη για την εφαρμογή βαθμονομημένων καμερών και οπτικών κατά την λήψη εικόνας (Verhoeven, 2011)

Σε δεύτερο στάδιο, το πρόγραμμα δημιουργεί ένα πυκνό νέφος σημείων. Στις παράκτιες έρευνες, οι περισσότερες εικόνες εν μέρη περιέχουν την θάλασσα, αλλά αυτό πρέπει να αφαιρεθεί είτε μέσω του ίδιου προγράμματος, ή με την βοήθεια κάποιου άλλου λογισμικού όπως το Cloud Compare ή GIS. (Casella, et al., 2016)

Σε τρίτο στάδιο, οι αλγόριθμοι του προγράμματος, υπολογίζουν τις τιμές από τα εικονοστοιχεία (pixels) και δημιουργούν γεωμετρικές λεπτομέρειες. Τέλος, το λογισμικό χρησιμοποιεί και μια άλλη σειρά από αλγορίθμους με σκοπό την δημιουργία υψηλής ανάλυσης τρισδιάστατου περιεχομένου από μια σειρά από επικαλυπτόμενες φωτογραφίες. (Verhoeven, 2011)

### **3.5.3 Cloud Compare**

Το Cloud Compare είναι ένα λογισμικό επεξεργασίας τρισδιάστατων νεφών σημείων (Point Cloud) και τριγωνικών πλεγμάτων (Triangular Mesh). Έχει σχεδιαστεί αρχικά για να μπορεί ο χρήστης να κάνει σύγκριση μεταξύ τρισδιάστατων νεφών σημείων ή μεταξύ ενός τρισδιάστατου νέφους σημείων και ενός τριγωνικού πλέγματος. Έπειτα εξελίχθηκε σε ένα πιο γενικό λογισμικό επεξεργασίας τρισδιάστατων νεφών σημείων. Οι ικανότητες επεξεργασίας των νεφών που παρέχει είναι ποικίλες, συμπεριλαμβανομένων ειδικών αλγορίθμων. (CloudCompare-Open Source Project, 2018)

Το CloudCompare θεωρεί σχεδόν όλες τις τρισδιάστατες (3D) οντότητες ως νέφη σημείων. Συνήθως, ένα τριγωνικό πλέγμα είναι μόνο ένα σύννεφο σημείων με μια σχετιζόμενη τοπολογία. Αυτό εξηγεί ότι τα πλέγματα έχουν πάντα είτε ένα σύννεφο σημείο που ονομάζεται «κορυφές». Και ενώ το CloudCompare θα επιτρέψει στον χρήστη να εφαρμόσει μερικά εργαλεία απευθείας σε μια δομή πλέγματος (δηλαδή τρίγωνο), ορισμένα εργαλεία μπορούν να εφαρμοστούν μόνο στις κορυφές των πλέγματος. Το Cloud Compare είναι κυρίως ένα λογισμικό επεξεργασίας νεφών σημείων (point cloud).

### **3.5.4 DJI Ground Station Pro**

Το DJI GS PRO, γνωστό και ως Ground Station Pro, είναι μια εφαρμογή για iPad και iPhone που έχει σχεδιαστεί για τον έλεγχο και τον προγραμματισμό αυτόματων πτήσεων για τα μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα της DJI. Το GS Pro διαθέτει μια σαφή και συνοπτική διεπαφή που επιτρέπει να προγραμματιστούν σύνθετες αποστολές με λίγες μόλις εντολές. Με αυτό το πρόγραμμα σχεδιάστηκε και υλοποιήθηκε η πτήση του UAV για την συλλογή των αεροφωτογραφιών.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

### 4. Μεθοδολογία Συλλογής Δεδομένων στο πεδίο

Στο τέταρτο κεφάλαιο δίνεται η περιγραφή των μεθόδων που χρησιμοποιήθηκαν για την διαδικασία συλλογής δεδομένων στο πεδίο κατά την τοπογραφική αποτύπωση της ακτής της Βάρκιζας. Στην συνέχεια αναλύεται το λογισμικό και ο τρόπος κατασκευής/ παραγωγής των μοντέλων της παραλίας με σκοπό την παρατήρηση της παράκτιας διάβρωσης.

#### 4.1 Αεροφωτογραφία- Διαδικασία εναέριας αποτύπωσης στο πεδίο

##### Αποτύπωση της περιοχής μελέτης

Η αποτύπωση με το συγκεκριμένο Drone-UAV (Εικόνα 3.1), αποτελεί μια σχετικά απλή διαδικασία για τον χρήστη, καθώς η δυνατότητα του drone για εκτέλεση πλήρους αυτοματοποιημένης πτήσης δεν απαιτεί ιδιαίτερες ικανότητες χειρισμού του αεροσκάφους, όπως συμβαίνει με άλλα μη επανδρωμένα εναέρια συστήματα, τα οποία απαιτούν χειροκίνητο χειρισμό κατά την διάρκεια της πτήσης.

Συγκεκριμένα, έγιναν 3 πτήσεις σε βάθος χρόνου με σκοπό την επιβεβαίωση των αποτελεσμάτων και την σύγκρισή τους. Η πρώτη μέτρηση έγινε στις 3 Απριλίου 2019 και ακολούθησαν μια μέτρηση στις 2 Ιουλίου 2019 και στις 17 Ιανουαρίου 2020.

Η διαδικασία της αεροφωτογράφισης που ακολουθήθηκε στην παρούσα εργασία αποτελείται από τα εξής βήματα:

1. Αρχικά, πριν από κάθε πτήση γινόταν έλεγχος ότι οι καιρικές συνθήκες είναι κατάλληλες για πτήσεις. Η πτήση κάτω από συνθήκες χαμηλής ορατότητας ή πιθανής έντονης αναταραχής θα πρέπει να αποφεύγεται. Οι κακές καιρικές συνθήκες μπορούν να προκαλέσουν χαμηλής ακρίβειας αποτελέσματα, και πρόκληση κινδύνου για το πλήρωμα που ελέγχει και είναι υπεύθυνο για την πτήση. Οι ιδανικές συνθήκες είναι χωρίς αέρα και με ελαφριά συννεφιά έτσι ώστε να μην υπάρχουν σκιές στις φωτογραφίες που θα επεξεργαστούν. Ο χρήστης ή πιλότος του drone οφείλει να γνωρίζει πλήρως τις δυνατότητες του μη επανδρωμένου εναέριου οχήματος.
2. Στην συνέχεια, μετά την βαθμονόμηση της κάμερας ,σύμφωνα με την καθιερωμένη διαδικασία, πραγματοποιείται έλεγχος για την ορθή λειτουργία της.
3. Πριν την εκτέλεση της προκαθορισμένης πτήσης του UAV, χρησιμοποιήθηκαν κάποια επίγεια σημεία ελέγχου, τα ground control points (GCPs). Τα επίγεια σημεία ελέγχου ονομάζονται και φωτοσταθερά και χρησιμοποιούνται τόσο για τον έλεγχο ακρίβειας, όσο και για την παραγωγή και γεωαναφορά του πυκνού νέφους σημείων (Dense Cloud). Τα φωτοσταθερά, στην περίπτωση της υφιστάμενης διπλωματικής, ήταν τετράγωνα κόντρα πλακέ με έντονο χρώμα για να εντοπίζονται εύκολα στις αεροφωτογραφίες κατά την επεξεργασία τους. Αφού τοποθετήθηκαν στο πεδίο, μετρήθηκαν οι συντεταγμένες θέσης τους με μεγάλη ακρίβεια χρησιμοποιώντας RTK GPS.
4. Το επόμενο βήμα συνίσταται στον σχεδιασμό και στην πραγματοποίηση της διαδρομής του εναέριου μη επανδρωμένου αεροσκάφους. Το πρόγραμμα που



χρησιμοποιήθηκε είναι το DJI GS Pro. Με το συγκεκριμένο πρόγραμμα είναι εύκολο να σχεδιαστεί η πτήση ,ενώ κατά τη διάρκεια της η παρακολούθηση της πορείας του drone είναι πολύ ακριβής (εικόνα 4.1)

5. Η επιθεώρηση των φωτογραφιών για ποιότητα εικόνας και για πληρότητα κάλυψης είναι ένα βασικό βήμα για την διασφάλιση αξιόπιστων αποτελεσμάτων. Ο έλεγχος ότι όλες οι φωτογραφίες έχουν αρκετούς ακροδέκτες είναι σημαντικός, για να εξασφαλιστεί η στερεοσκοπική κάλυψη ολόκληρης της περιοχής του έργου. Η ελλιπής κάλυψη των άκρων και των πλευρικών αγκυλών ή τα κενά κάλυψης θα μπορούσαν να ακυρώσουν ολόκληρη την αεροφωτογραφία και να απαιτήσουν εκ νέου προγραμματισμό ή εκ νέου πτήση. Ακόμη, πρέπει να εφαρμόζεται επιθεώρηση των φωτογραφιών για αναγνώριση των φωτοσταθερών. Ο έλεγχος φωτοσταθερών περιλαμβάνει έλεγχο του αν είναι ορατά, αν εμφανίζονται σε στερεοσκοπική κάλυψη και αν υπάρχουν αρκετά από αυτά ,για να εξασφαλιστούν αξιόπιστα αποτελέσματα. Σε περίπτωση ανεπάρκειας στόχων ή αν δεν έχει στοχευθεί ολόκληρο το έργο, θα πρέπει να επιλεγούν και να επισημανθούν σημεία που μπορούν να εντοπιστούν και να ελεγχθούν στο έδαφος και σε χαρτί.
6. Τέλος, πριν την επεξεργασία και την εισαγωγή των φωτογραφιών στο πρόγραμμα για την παραγωγή τρισδιάστατου μοντέλου και ψηφιακού υψομετρικού μοντέλου (DEM) προέχει η επιλογή φωτογραφιών που θα χρησιμοποιηθούν για τη συλλογή δεδομένων και η ανάπτυξη τους. Συνήθως λίγες φωτογραφίες δεν είναι κατάλληλες για επεξεργασία.

Το πρόγραμμα που χρησιμοποιήθηκε για τον σχεδιασμό και παρακολούθηση πτήσης κατά την συλλογή αεροφωτογραφιών είναι το DJI Ground Station Pro.



Εικόνα 4.1: Στιγμιότυπα του περιβάλλοντος DJI Ground Station Pro κατά τη διάρκεια πτήσης



Εικόνα 4.2: Το τηλεχειριστήριο του μη επανδρωμένου εναέριου οχήματος κατά την διάρκεια της πτήσης.

## 4.2 Διαδικασία αποτύπωσης της περιοχής μελέτης με RTK GPS

Στις 2 Ιουλίου 2019 η ακτή της Βάρκιζας αποτυπώθηκε με 2 μεθόδους. Η πρώτη μέθοδος, είναι αυτή που προαναφέρθηκε της εναέριας αποτύπωσης με μη επανδρωμένο εναέριο όχημα. Η δεύτερη μέθοδος αποτύπωσης που εφαρμόστηκε είναι η τοπογραφική αποτύπωση της περιοχής με RTK GPS.

Πιο αναλυτικά, κατά την παρούσα εργασία, συλλέχθηκαν 115 σημεία με GPS σε μορφή εγκάρσιων τομών κατά μήκος της ακτής. Έχοντας τις τομές, είναι δυνατή η αναλυτική διαχρονική σύγκριση όγκου του ιζημάτος και η διαπίστωση αλλαγών στο ανάγλυφο της παραλίας.

Το GPS είναι ένα παγκόσμιο δορυφορικό σύστημα προσδιορισμού θέσης (συντεταγμένων), χρόνου και ταχύτητας, οπουδήποτε στην επιφάνεια της γης, σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή και ανεξάρτητα από καιρικές συνθήκες. Κάθε σημείο που συλλέγαμε είχε πληροφορίες για x y z δεδομένα συντεταγμένων. Η συλλογή των αποτελεσμάτων ήταν γρήγορη η επεξεργασία των αποτελεσμάτων εύκολη, με την δυνατότητα δημιουργίας τρισδιάστατης απεικόνισης της παραλίας με την χρήση του ArcGIS. Έτσι ήταν δυνατή και η παρατήρηση αλλαγών στην ακτογραμμή και στον όγκο των ιζημάτων της παραλίας.

## 4.3 Μέτρηση επίγειων σημείων ελέγχου (φωτοσταθερών) με GPS

Προκειμένου να πραγματοποιηθεί ο έλεγχος ακριβείας της ορθοανηγμένης εικόνας, έγινε αποτύπωση με GPS μερικών χρησιμοποιήθηκαν ως Επίγεια Σημεία Ελέγχου (Ground Control Points). Για την εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας, χρησιμοποιήθηκαν κόντρα πλακέ διαστάσεων 40x40 εκατοστά βαμμένα με έντονο χρώμα (πορτοκαλί και μαύρο), έτσι ώστε να είναι εύκολο να εντοπιστούν από τις αεροφωτογραφίες.



Εικόνα 4.3: Μορφή επίγειων σημείων ελέγχου- φωτοσταθερών

Στην φωτογραφία απεικονίζεται η διαδικασία με την οποία έγινε η καταγραφή των φωτοσταθερών. Σημαδεύοντας με την σταδία του GPS ακριβώς στο κέντρο κάθε GCP, γινόταν η λήψη των συντεταγμένων τους τρεις φορές. Η σταδία ή κοντάρι περιέχει αλφάδι ώστε να υπάρχει πλήρης ευθυγράμμιση με το έδαφος.



*Εικόνα 4.4: Καταγραφή του επίγειου σημείου ελέγχου με αριθμό 3*

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

### 5. Μεθοδολογία Επεξεργασίας και παραγωγής αποτελεσμάτων

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται οι μέθοδοι επεξεργασίας και παραγωγής των αποτελεσμάτων

#### 5.1 Παραγωγή DEM, ορθομωσαϊκού και τρισδιάστατου μοντέλου με το Agisoft Photoscan Metashape

Μέσω του λογισμικού Agisoft photoscan εφαρμόστηκε η φωτογραμμετρική διαδικασία /μεθοδολογία ακολουθώντας μια σειρά από εντολές με σκοπό να δημιουργηθεί ένα τρισδιάστατο μοντέλο της παραλίας.

Συνοπτικά τα βήματα που ακολουθήθηκαν για την επεξεργασία των φωτογραφιών που λήφθηκαν είναι:

1. **Εισαγωγή φωτογραφιών.** Από το **Toolbar menu** και το **Workflow** επιλέγεται η εντολή **Add Photos** και από τους φακέλους επιλέγονται οι φωτογραφίες που πρόκειται να επεξεργαστούν.
2. **Ευθυγράμμιση φωτογραφιών – παράταξη κατά σειρά.** Καθώς είναι απαραίτητο το πρόγραμμα να ευθυγραμμίσει τις φωτογραφίες, επιλέγεται από το **Workflow** το **Align Photos** και στην συνέχεια κατά την προτίμησή του χρήστη επιλέγεται η επιθυμητή ακρίβεια ευθυγράμμισης. Το πρόγραμμα ψάχνει κοινά σημεία στις φωτογραφίες και βρίσκει τη θέση της κάμερας σε κάθε φωτογραφία, βελτιώνοντας τις παραμέτρους βαθμονόμησης. (επιλέγοντας το highest διασφαλίζεται μεγάλη ακρίβεια ευθυγράμμισης, ωστόσο ο χρόνος επεξεργασίας αυξάνεται ανάλογα με την απαίτηση της ευκρίνειας που ορίζεται)
3. **Καθορισμός ground control points (GCPs).** Σε αυτό το βήμα εντοπίζονται και επισημαίνονται σε κάθε φωτογραφία του μοντέλου τα φωτοσταθερά μας ή επίγεια σημεία ελέγχου (GCPs). Αφού εντοπιστούν τα σημεία, με δεξί κλικ επιλέγεται το **Create new marker** (ή Add new point). Τα σημεία χρησιμοποιούνται για τη βελτιστοποίηση των θέσεων κάμερας και των δεδομένων προσανατολισμού. Για την παραγωγή ορθομωσαϊκού ή DEM ακριβείας, τουλάχιστον 10 - 15 σημεία ελέγχου εδάφους (GCP) πρέπει να κατανέμονται ομοιόμορφα εντός της περιοχής ενδιαφέροντος. Μερικές φορές, για την καθοδηγούμενη (αυτόματη) προσέγγιση τοποθέτησης δεικτών (η οποία είναι ταχύτερη και ευκολότερη), ανακατασκευάζεται πρώτα η γεωμετρία του μοντέλου με την εντολή **Build Mesh**.
4. **Εισαγωγή συντεταγμένων επίγειων σημείων ελέγχου.** Στην συνέχεια με την επιλογή του εικονιδίου **Import button** στο **Reference pane toolbar** εισάγονται οι συντεταγμένες των φωτοσταθερών (GCPs) που συλλέχθηκαν με GPS κατά την διάρκεια των μετρήσεων μας στο πεδίο. Ο πιο εύκολος τρόπος για την εισαγωγή συντεταγμένων είναι σε αρχείο txt που περιέχει το όνομα/αριθμό των σημείων, τις συντεταγμένες Χ,Υ και το ύψος τους.
5. **Ρύθμιση περιοχής ανασυγκρότησης.** Η περιοχή ανασυγκρότησης (Bounding Box) βοηθάει να διακριθούν τα όρια της περιοχής που θα ανασυγκροτηθεί μετά το τέλος της επεξεργασίας μας.

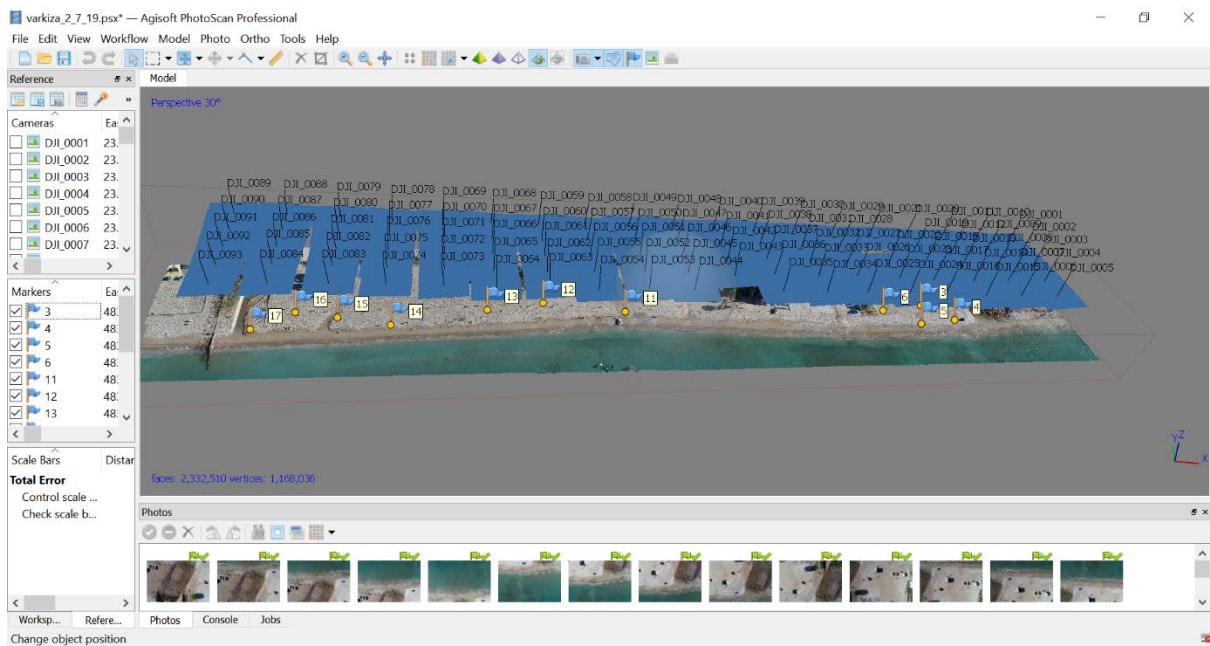
6. **Δημιουργία πυκνού νέφους σημείων.** Από το **Workflow menu** επιλέγεται το **Build Dense Cloud**, καθώς με βάση τις εκτιμώμενες θέσεις κάμερας το πρόγραμμα υπολογίζει τις πληροφορίες βάθους για κάθε κάμερα, προκειμένου να συνδυαστούν σε ένα ενιαίο *πυκνό σύννεφο σημείων*. Η επιλογή της ποιότητας βασίζεται στις δυνατότητες του υπολογιστή, και στον χρόνο που μπορεί να διατεθεί για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων. Η υψηλή ακρίβεια απαιτεί πολλές ώρες για την ολοκλήρωση της διαδικασίας, ενδεικτικά 3-4 ώρες για έναν αξιόλογο ηλεκτρονικό υπολογιστή.
7. **Δημιουργία DEM – ψηφιακό υψομετρικό μοντέλο ή μοντέλο ψηφιακής ανύψωσης.** Το DEM μπορεί να δημιουργηθεί με βάση το μοντέλο πυκνού σύννεφου ή πλέγματος. Συνήθως η πρώτη επιλογή προτιμάται, καθώς παρέχει ακριβέστερα αποτελέσματα. Για την δημιουργία του επιλέγεται από το **Workflow menu** η επιλογή **Build DEM**.
8. **Εξαγωγή DEM.** Το τελευταίο βήμα της διαδικασίας είναι η εξαγωγή του digital elevation model, δηλαδή εξαγωγή του τρισδιάστατου μοντέλου, και επιτυγχάνεται επιλέγοντας την εντολή **Export DEM** από το File menu.
9. **Δημιουργία και εξαγωγή Orthomosaic και Dense Cloud.** Σε αυτό το βήμα με τον ίδιο τρόπο με το 7 και το 8 δημιουργούνται και εξαγονται κατάλληλου τύπου μοντέλα για περαιτέρω επεξεργασία σε άλλα προγράμματα.

Στο τέλος της διαδικασίας έχει δημιουργηθεί/παραχθεί ένα τρισδιάστατο μοντέλο της παραλίας μας από αεροφωτογραφίες με χρήση μη επανδρωμένου οχήματος UAV, δηλαδή drone.

Align photo	
Accuracy	High
Pair pre-selection	Disabled
Key point limit	40000
Build mesh (preliminary step to insert GCPs)	
Surface type	Height field
Face count	Medium (30000)
Source data	Sparse cloud
Interpolation	Enabled
Point classes	All
Locate and place GCPs in scene, import GCPs coordinates	
Measurement accuracy (for GCPs)	
Camera accuracy (m)	10
Marker accuracy (m)	0.05
Scale bar accuracy (m)	0.001
Projection accuracy (pix)	0.1
Tie point accuracy (pix)	4
Build dense cloud	
Quality	High
Depth filtering	Aggressive
Build mesh	
Surface type	Height field
Face count	Medium (136012)
Source data	Dense cloud
Interpolation	Enabled
Point classes	All
Generate orthophoto	
Generate DEM	

Εικόνα 5.1: Παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν στις εντολές του Agisoft ακολουθώντας το μοντέλο της δημοσίευσης από (Casella, et al., 2016)





Εικόνα 5.2: Γραφική παράσταση που περιέχει τις φωτογραφίες και τα σημεία επίγειου ελέγχου, από την περιοχή μελέτης (από το Varkiza2\_7\_2019)



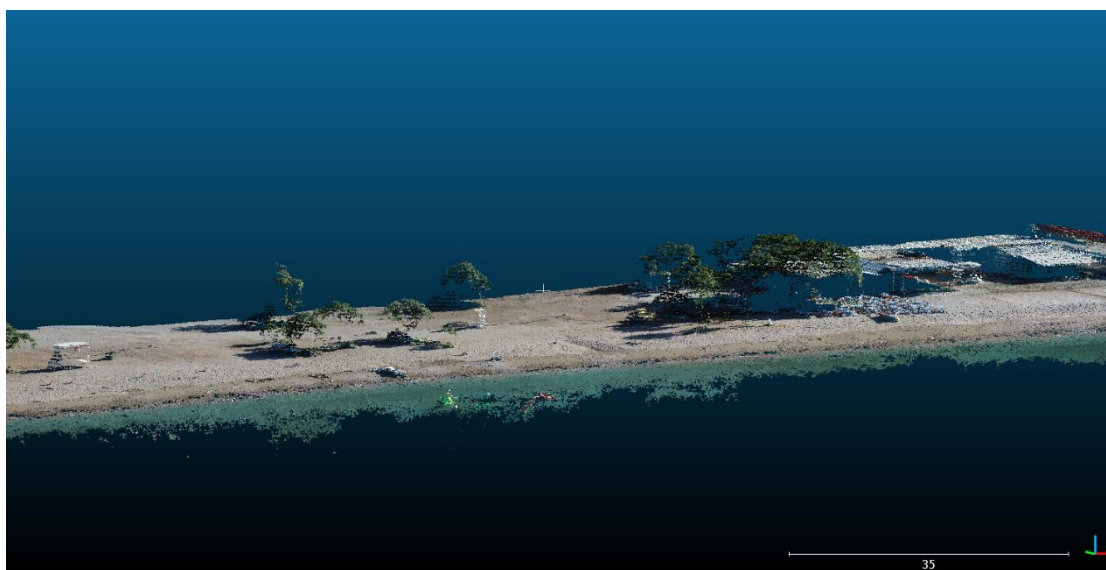
Εικόνα 5.3: Παραγόμενο τρισδιάστατο μοντέλο από Agisoft Photoscan – ορθομωσαϊκή φωτογرافία

Να σημειωθεί ότι οι επιλογές εντολών και η διαδικασία επεξεργασίας διαφέρουν ανάλογα με το επιθυμητό αποτέλεσμα και τις ανάγκες κάθε μελέτης. Η διαδικασία που επιλέχθηκε ήταν η πιο κατάλληλη για τις ανάγκες της παρούσας διπλωματικής και του μοντέλου που θέλαμε να δημιουργήσουμε.

## 5.2 Επεξεργασία τρισδιάστατου μοντέλου με το Cloud Compare

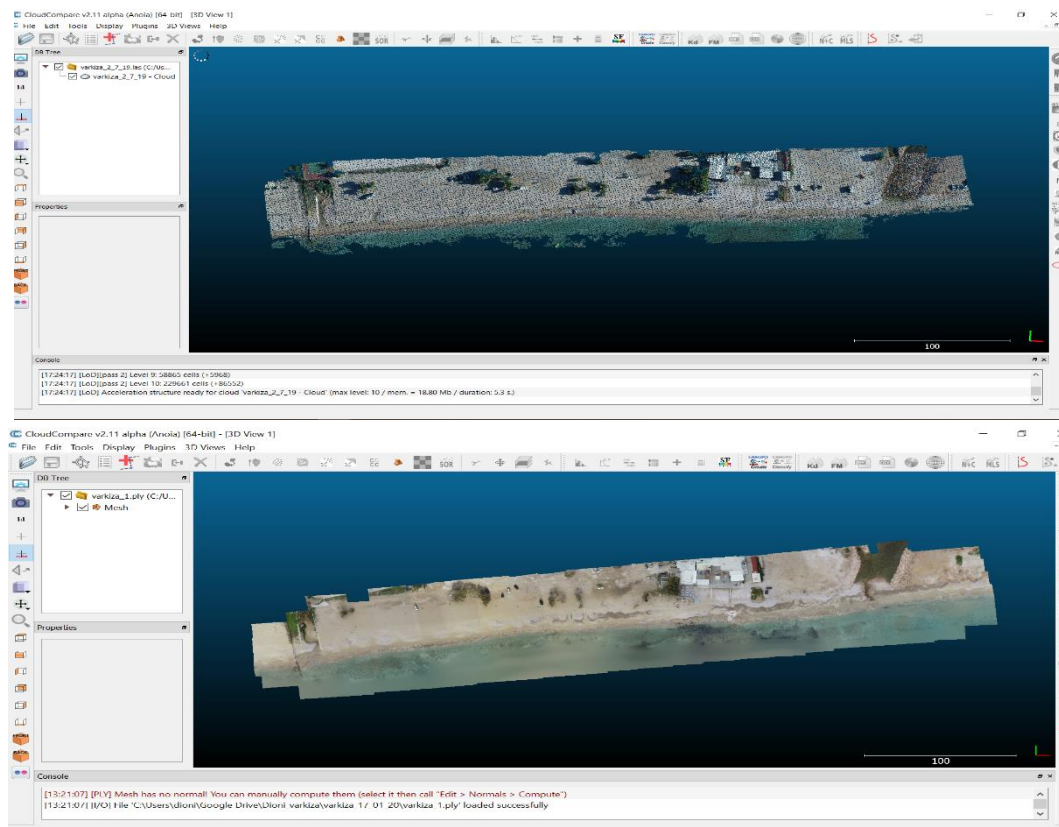
Το Cloud Compare (CC) δίνει την δυνατότητα επεξεργασίας του τρισδιάστατου μοντέλου. Αρχικά, εισάγεται στο πρόγραμμα το παραγόμενο μοντέλο που έχει δημιουργηθεί από το Photoscan Agisoft και προσεκτικά αφαιρούνται οι περιττές πληροφορίες του μοντέλου. Τέτοιες πληροφορίες είναι τα δέντρα, τα κτίρια και τα αμάξια, οι άνθρωποι καθώς και η θάλασσα. Σκοπός είναι να κρατηθεί με μεγάλη ακρίβεια η ακτογραμμή ώστε να συγκριθεί η μεταβολή της μεταξύ των 3 μετρήσεων που έγιναν. Αφού ολοκληρωθεί η επεξεργασία του μοντέλου σε αυτό το πρόγραμμα, εξάγεται σε κατάλληλη μορφή με σκοπό να το επεξεργαστεί περαιτέρω στο GIS.

Παράλληλα, το Cloud Compare δίνει την δυνατότητα σύγκρισης πολλών μοντέλων ή οντοτήτων. Στην παρούσα διπλωματική εργασία, συγκρίθηκαν 3 οντότητες ( από τις 3 μετρήσεις σε βάθος χρόνου) με σκοπό την παρατήρηση και τον εντοπισμό τυχών μεταβολών στην ακτογραμμή της παραλίας της Βάρκιζας.



Εικόνα 5.4: Τρισδιάστατο μοντέλο από το λογισμικό Cloud Compare





Εικόνα 5.5: Περιβάλλον επεξεργασίας μοντέλων του λογισμικού CloudCompare. Δεδομένα από 3 Απριλίου 2019 και 2 Ιουλίου 2019 .

### 5.3 Επεξεργασία και ανάλυση δεδομένων με το ArcGIS/ ArcMap/ QGIS

Η επεξεργασία, ανάλυση και αποτύπωση των ψηφιακών τρισδιάστατων μοντέλων έγινε με τα προγράμματα ArcGIS και QGIS, με τελικό σκοπό τη δημιουργία χαρτών με τοπογραφικές και περιγραφικές πληροφορίες για την μορφή του προφίλ της παραλίας της Βάρκιζας.

Αρχικά, οριοθετήθηκε το τελικό περίγραμμα της περιοχής μελέτης για παραγωγή και ανάλυση των αποτελεσμάτων. Αυτό το βήμα ήταν απαραίτητο καθώς θέλαμε να συμπεριλάβουμε στις μετρήσεις ένα ομοιόμορφο δείγμα της παραλίας εφόσον τα μοντέλα μας δεν είχαν απόλυτη ομοιομορφία. Στην συνέχεια, κατασκευάστηκαν έγχρωμα μοντέλα ψηφιακής ανύψωσης με σκοπό την παρατήρηση της κίνησης των ιζημάτων στις χρονικές περιόδους ανάμεσα από τις μετρήσεις μας.

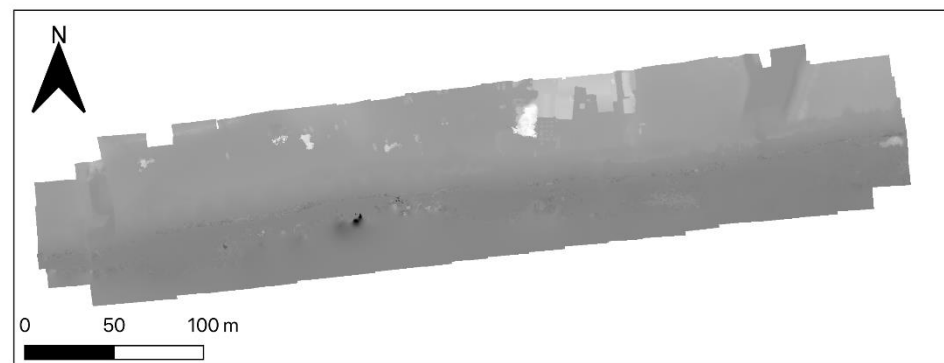
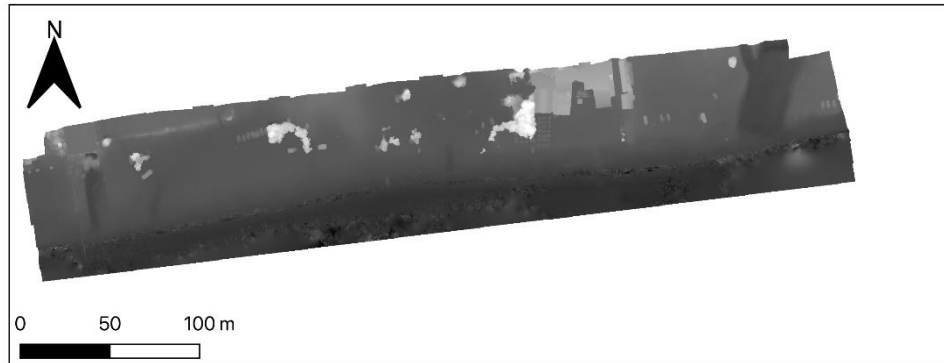
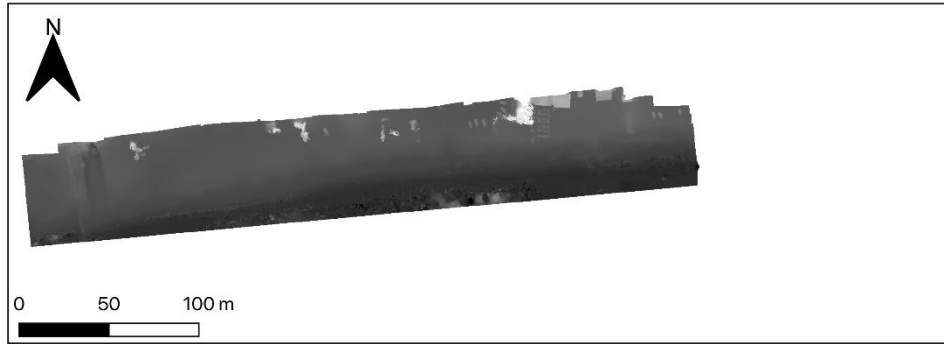
Επίσης, δημιουργήθηκε ένα συγκεντρωτικό μοντέλο που αποτελείται από τα επικαλυπτόμενα παραγόμενα μοντέλα από το Agisoft και των τριών μετρήσεων ώστε να παρατηρηθούν και να καταγραφούν οι αλλαγές της ακτογραμμής σε βάθος χρόνου. Τέλος, μέσω του QGIS κατέστη δυνατόν να μελετηθούν οι διαφορές των συντεταγμένων των σημείων των τομών από τις δυο μεθόδους αποτύπωσης που εφαρμόσαμε στις 2 Ιουλίου 2019. Κατά αυτόν τον τρόπο ήταν εύκολη η σύγκριση των αποτελεσμάτων των δυο μεθόδων ως προς την αξιοπιστία και την ορθότητα τους.



Εικόνα 5.6: Χάρτης Απεικόνισης του περιγράμματος της τελικής περιοχής μελέτης



*Εικόνα 5.7: Τελικοί χάρτες απεικόνισης μοντέλων παραλίας από 3 Απριλίου 2019, 2 Ιουλίου 2019 και 17 Ιανουαρίου 2020*



Εικόνα 5.8: Ψηφιακά υψομετρικά μοντέλα της επιφάνειας της περιοχής μελέτης - DEM από 3 Απριλίου 2019, 2 Ιουλίου 2019 και 17 Ιανουαρίου 2020

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

## 6. Αποτελέσματα Ανάλυση

### 6.1 Βαθυμετρία

Σύμφωνα με τον βαθυμετρικό χάρτη του κόλπου της Βάρκιζας, σε συνδυασμό με την βαθυμετρική αποτύπωση του πυθμένα του όρμου από τη διπλωματική εργασία του Σκαναβή (2013), συμπεραίνεται ότι η κλίση του πυθμένα του όρμου της Βάρκιζας είναι ήπια. Ο υποθαλάσσιος χώρος παρουσιάζει ομαλό ανάγλυφο, που συμβάλλει στην μείωση της δράσης των κυματισμών. Αυτό συντελεί στη μείωση της κυματικής ενέργειας που καταλήγει στην ακτή.

### 6.2 Μηχανισμός τροφοδοσίας της ακτής με φερτές ύλες

Ο μηχανισμός τροφοδοσίας των ακτών με φερτές ύλες, συνοψίζεται στις φυσικές διεργασίες της παραγωγής, μεταφοράς και απόθεσης του ιζήματος στις ακτές. Το ίζημα παράγεται στην ενδοχώρα λόγω βιολογικής και χημικής αποσάθρωσης. Η περιοχή όπως προαναφέρθηκε, αποτελείται από μάρμαρα, δολομίτες, σχιστόλιθους και ψαμμίτες και ενώ είναι σχετικά ανθεκτικά στην βιολογική και στην χημική αποσάθρωση, τα προϊόντα αποδόμησης τους συνίστανται από αργιλικά συστατικά, αμμώδη συστατικά και γωνιώδη τεμαχία (μάρμαρα). Τα προϊόντα αυτά οδηγούνται, μέσω της διάβρωσης και της μεταφοράς από τις απορροές, προς τα χαμηλότερα και ένα σημαντικό μέρος τους καταλήγει στην εκβολή ποταμών ή χειμάρρων, και «παραδίδεται» στην περαιτέρω δυναμική της κυματικής δράσης. Σύμφωνα με τα γεωλογικά χαρακτηριστικά των ιζημάτων της περιοχής, τα προϊόντα της αποσάθρωσης τους καταλήγουν στην ακτή ως άμμος ή κροκάλες με μικρή διάμετρο.

Παράλληλα, το κλίμα και καιρικές συνθήκες της περιοχής της Βάρκιζας την καθιστούν ως μη επιρρεπή ακτή σε απρόβλεπτα φαινόμενα παράκτιας διάβρωσης. Το κλίμα είναι ήπιο και ο άνεμος σε συνδυασμό με την εύκρατη θερμοκρασία συντελούν σε μια ήπια μορφή παράκτιας διάβρωσης η οποία μπορεί να αντιμετωπιστεί με ήπια μέτρα προστασίας όπως βυθοκορήσεις στα δυτικά του κόλπου όπου συσσωρεύεται το ίζημα.

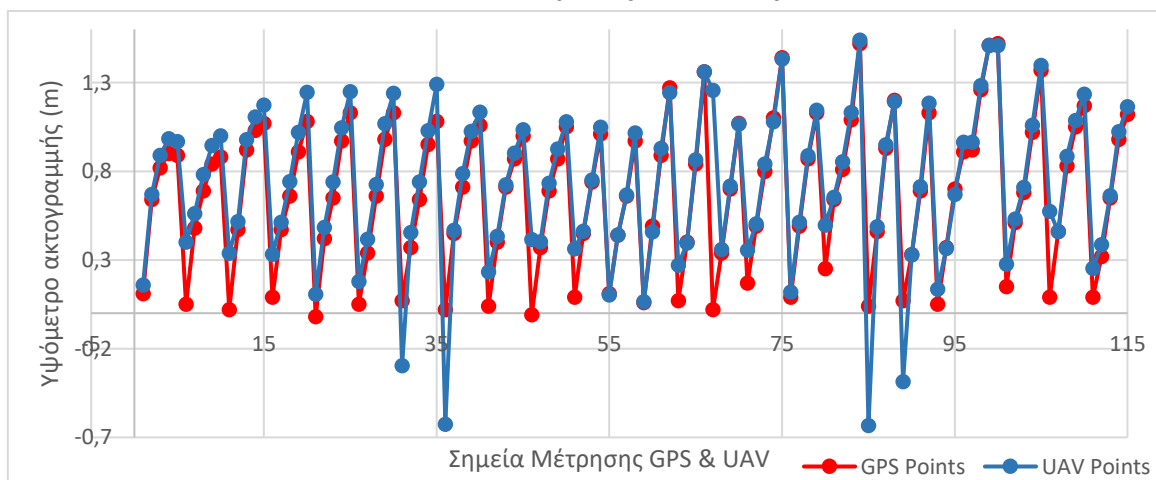
### 6.3 Σύγκριση τομών από GPS και UAV

Σε αυτό το βήμα, σκοπός ήταν να συγκριθούν οι δυο διαφορετικοί τρόποι τοπογραφικής αποτύπωσης της ακτής. Πιο συγκεκριμένα, στις **2 Ιουλίου 2019** η παραλία της Βάρκιζας αποτυπώθηκε με δυο τρόπους, με RTK GPS και με ένα μη επανδρωμένο εναέριο όχημα. Αρχικά, συλλέχθηκαν 115 σημεία κατά μήκος και πλάτος της παραλίας με GPS με σκοπό την δημιουργία κάθετων τομών κατά μήκος της παραλίας (εγκάρσιες τομές). Στο πρόγραμμα QGIS, δημιουργήθηκε ένας χάρτης ο οποίος περιλαμβάνει το παραγόμενο τρισδιάστατο ψηφιακό υψομετρικό μοντέλο (DEM) από την μέτρηση με το UAV του Ιουλίου και τα αντίστοιχα σημεία από το GPS.



Εικόνα 6.1: Χάρτης με τα σημεία τοπογραφικής αποτύπωσης από GPS, Ιούλιος 2019.

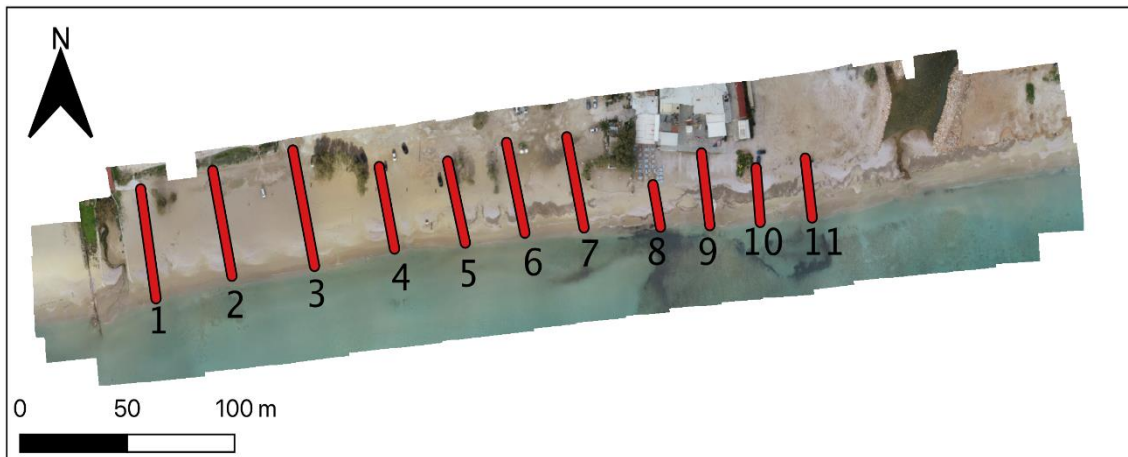
Το ύψος του κάθε σημείου, και με τους δυο τρόπους καταγράφηκε μέσω του QGIS και αποτυπώθηκε σε ένα Excel ώστε να γίνει αξιολόγηση των μεθόδων. Οι αποκλίσεις των υψομέτρων μεταξύ των μεθόδων είναι αρκετά μικρές που υποδεικνύει ότι έγινε αρκετά καλή αποτύπωση της παραλίας εξίσου και με τους δυο τρόπους αποτύπωσης. Τα σημεία που συλλέχθηκαν με GPS αποτυπώνονται με μπλε χρώμα και τα αντίστοιχα σημεία από το τρισδιάστατο μοντέλο που παράχθηκε από διαδικασία εναέριας αποτύπωσης αναπαρίστανται με πορτοκαλί χρώμα. Από την ανάλυση των δεδομένων των σημείων και την απεικόνισή τους σε διάγραμμα φαίνεται ότι το UAV έχει κάποια σφάλματα δεδομένων κοντά στην θάλασσα, στα σημεία δηλαδή που είναι πάνω ή αρκετά κοντά στην ακτογραμμή. Ο μέσος όρος απόκλισης των μεθόδων είναι 6 cm.



Διάγραμμα 6.1: Σύγκριση σημείων από GPS & UAV

#### 6.4 Αποτυπώσεις παραλίας με το UAV και σύγκριση τοπογραφικών μεταβολών

Για να αξιολογηθούν οι τοπογραφικές χερσαίες μεταβολές επελέγησαν 11 εγκάρσιες τομές στην παραλία. Για κάθε μια από τις αποτυπώσεις, στις **3 Απριλίου 2019**, **2 Ιουλίου 2019** και **17 Ιανουαρίου 2020** δημιουργήθηκαν οι αντίστοιχοι χάρτες από τα παραγόμενα μοντέλα, με σκοπό την παρακολούθηση των διακυμάνσεων στην ακτογραμμή και των διακυμάνσεων στην μορφή της ακτής. Στην συνέχεια, δημιουργήθηκε ένα τελικό περίγραμμα της περιοχής μελέτης για την σύγκριση των εξαγόμενων αποτελεσμάτων το οποίο απεικονίζεται παρακάτω.



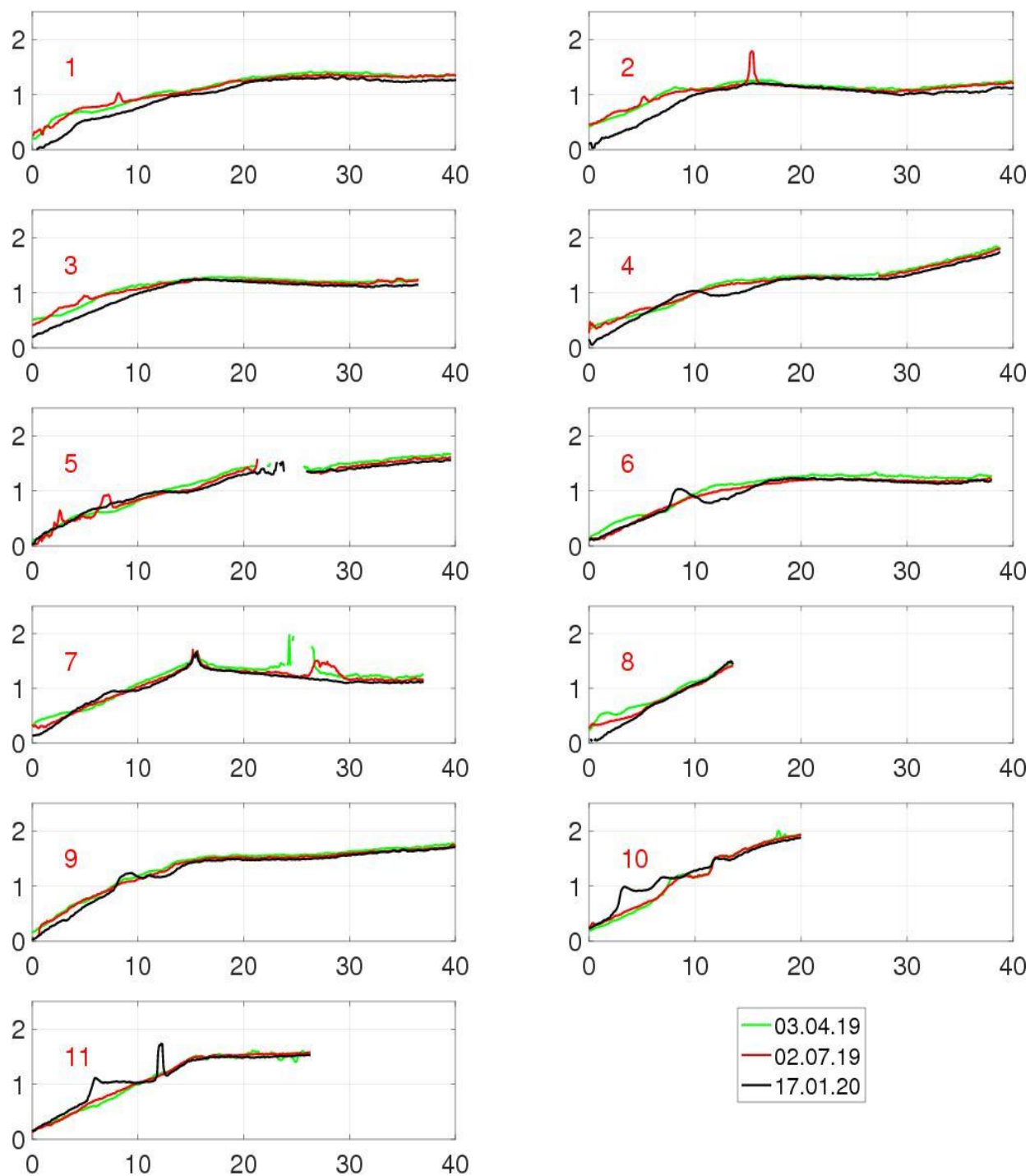
Εικόνα 6.2: Απεικόνιση των εγκάρσιων διατομών της ακτής

Οι τομές αυτές εξήγαγαν αποτελέσματα για την σύγκριση της μορφολογικής δυναμικής εξέλιξης της ακτής ανάμεσα στα χρονικά διαστήματα που έγιναν οι μετρήσεις. Παρακάτω παρουσιάζεται η αναλυτική μορφή των διατομών σύμφωνα με τα ψηφιακά μοντέλα ανύψωσης (DEM). Πιο αναλυτικά, στα διαγράμματα αποτυπώνονται οι υψομετρικές διαφορές στο ανάγλυφο της παραλίας που προέκυψαν διάρκεια από τις μετρήσεις στις 3 Απριλίου 2019 (πράσινη γραμμή), 2 Ιουλίου 2019 (κόκκινη γραμμή) και 17 Ιανουαρίου 2020 (μαύρη γραμμή).

Στον πρώτο συγκεντρωτικό πίνακα απεικονίζονται τα δεδομένα ανάγλυφου της ακτής χωρίς επεξεργασία. Στο δεύτερο πίνακα, τα διαγράμματα έχουν επεξεργαστεί με φίλτρο με σκοπό την απαλοιφή διάφορων εμποδίων που μπορεί να κατέγραφε το drone. Πιο συγκεκριμένα, καθώς η αποτύπωση ήταν εναέρια, ορισμένες γραμμές των τομών στα διαγράμματα περιείχαν αστοχίες, όπως απεικονίσεις κάδων, αμαξιών και δέντρων με αποτέλεσμα την απότομη προσαύξηση των γραμμών. Για αυτό τον λόγο επιλέχθηκε η εντολή *smooth* στην *Matlab* κατά την ανακατασκευή των διαγραμμάτων που απαλείφει αυτές τις προσαυξήσεις και εξάγει με τον αντίστοιχο αλγόριθμο το πραγματικό προφίλ ανύψωσης της παραλίας, δηλαδή την μορφή της παραλίας χωρίς εμπόδια και τα σφάλματά τους.

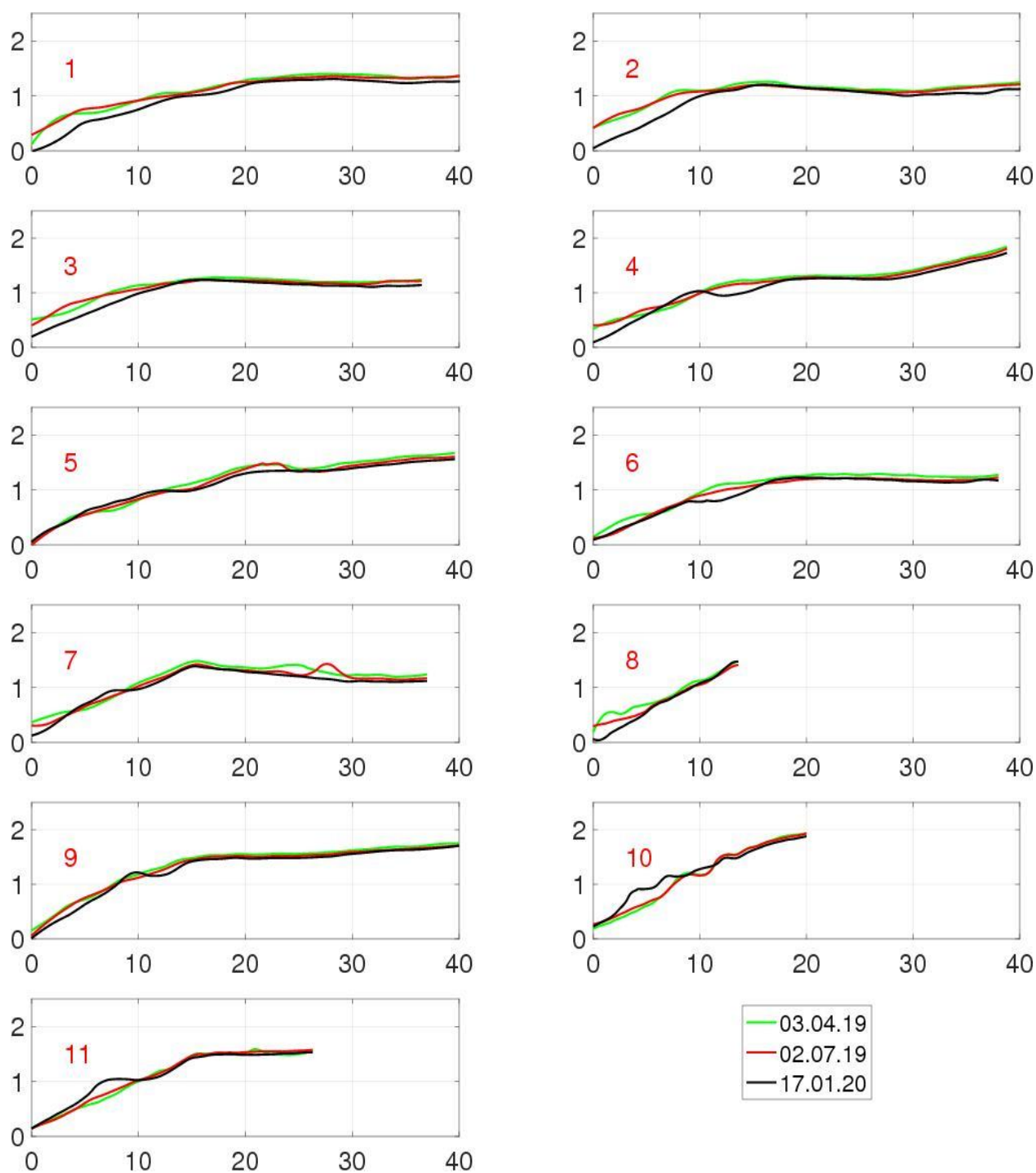
Όπως φαίνεται και στο υπόμνημα των διαγραμμάτων, η πρώτη μέτρηση στις **3 Απριλίου 2019** απεικονίζεται με κόκκινο χρώμα, η δεύτερη μέτρηση στις **2 Ιουλίου 2019** με πράσινο χρώμα και η τελευταία μέτρηση στις **17 Ιανουαρίου 2020** με μαύρο χρώμα. Οι άξονες των διαγραμμάτων είναι σε μέτρα με τον x άξονα να απεικονίζει το πλάτος της παραλίας και τον y άξονα το ύψος της παραλίας.





Εικόνα 6.3: Παραγόμενες τομές παραλίας από τα αντίστοιχα DEM





Εικόνα 6.4: Επεξεργασμένες τομές με φίλτρο “smooth” (Matlab, filter “smooth”)

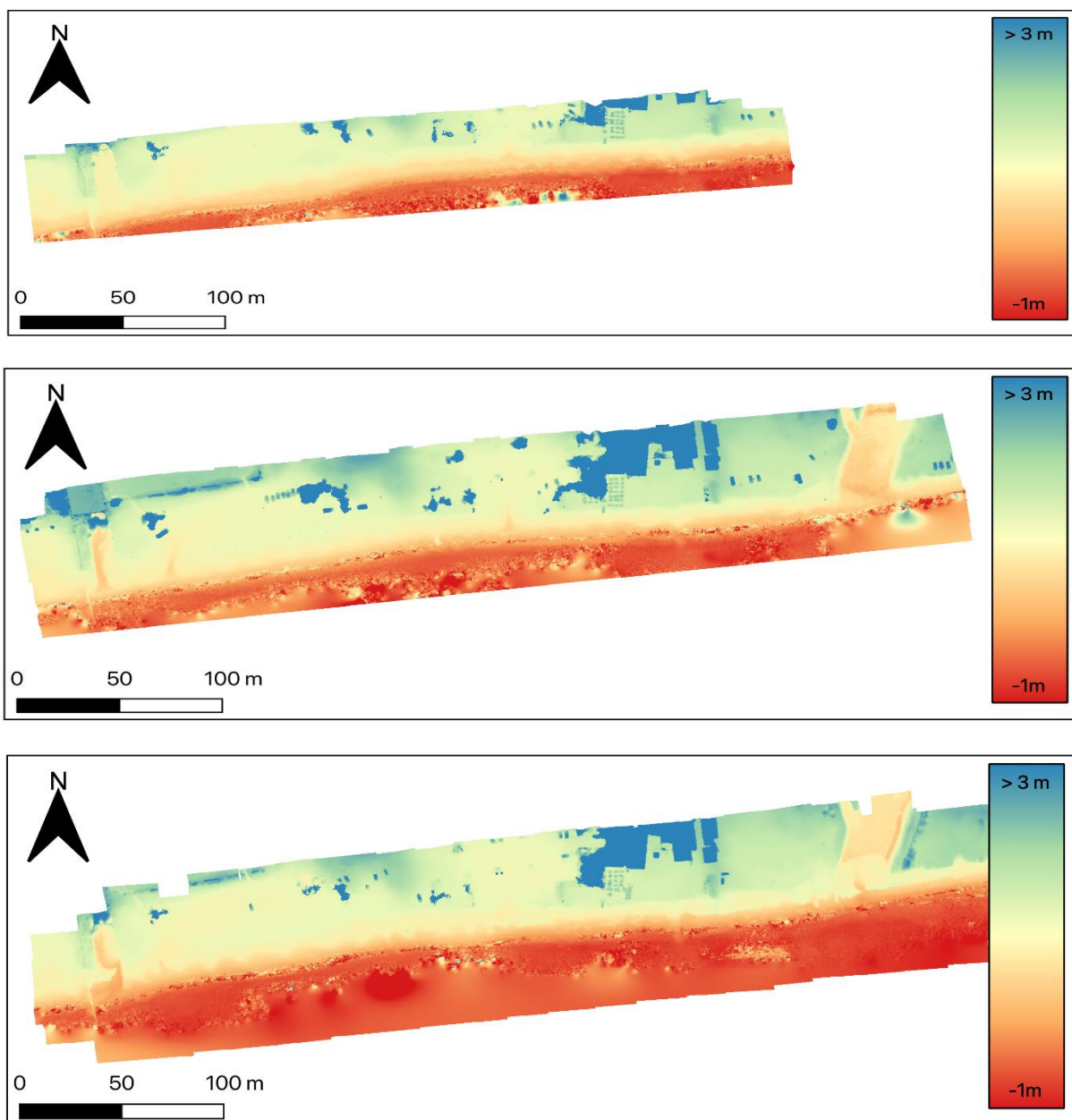
Σύμφωνα με τις απεικονίσεις των τομών και την ανάλυση τους, το ανάγλυφο του προφίλ της παραλίας κατά την θερινή/ καλοκαιρινή περίοδο είναι ήπιο σε αντίθεση με το χειμερινό προφίλ που είναι πιο απότομο. Επίσης, από τις γραφικές αναπαραστάσεις των τομών διακρίνεται ότι το ενεργό πλάτος της παραλίας είναι πιο μεγάλο κατά την θερινή περίοδο σε σχέση με το χειμερινό.

Πιο αναλυτικά, στις τομές 1,2,3 και 4 φαίνεται ότι η μαύρη γραμμή έχει πιο απότομη κλίση ακριβώς πάνω στην ακτογραμμή. Στις τομές 5,6,9 και 11 η ακτογραμμή ξεκινάει ακριβώς από ίδιο σημείο που υποδεικνύει ότι δεν υπάρχουν μεγάλες αλλαγές ιζήματος σε αυτά τα σημεία σε όλη την διάρκεια των μετρήσεων μας.

Όπως διακρίνεται στα διαγράμματα, η παραλία που μελετήθηκε ακολουθεί τον κύκλο ζωής αμμωδών παραλιών που αναλύθηκε στην ενότητα **2.1.4**. Στις τομές 1,2,3,4 το χειμερινό προφίλ της ακτής είναι πιο απότομο και η στάθμη νερού έχει ανέβει. Θεωρείται ότι στο υποθαλάσσιο ανάγλυφο της παραλίας θα υπάρχουν αναβαθμοί (υποθαλάσσιοι λόφοι) αλλά δεν ήταν εφικτό να καταγραφούν με το μέσο αποτύπωσης UAV.

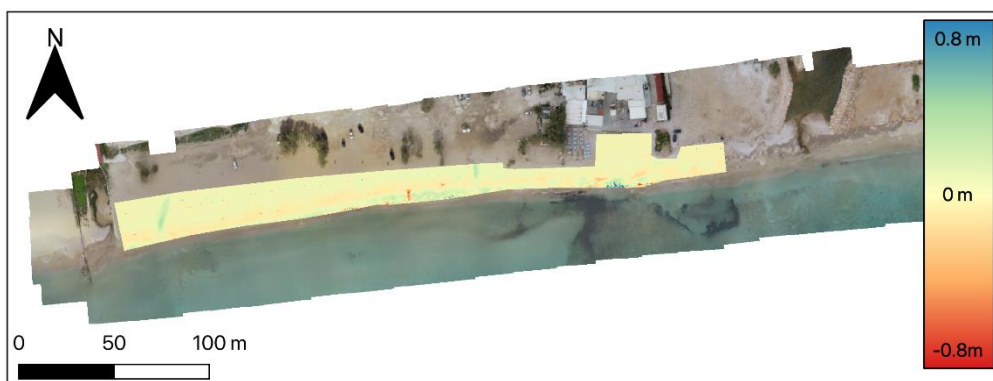
Επίσης, από τα διαγράμματα φαίνεται ότι η μορφή του ανάγλυφου της παραλίας δεν αλλάζει ιδιαίτερα από τον Απρίλιο έως τον Ιούλιο κάτι το οποίο μπορεί να συνδυαστεί με παρατηρήσεις της διπλωματικής εργασίας του Σκαναβή(2013). Στην προηγούμενη μελέτη της Βάρκιζας, είχαν μετρηθεί και αναλυθεί τα κύματα του όρμου της Βάρκιζας με κυματομετρητή για το διάστημα Νοεμβρίου 2012-Μαΐου 2013. Από τον Απρίλιο έως το τέλος Μάϊου δεν είχε παρατηρηθεί κανένα σημαντικό κυματικό γεγονός, σε αντίθεση με τους χειμερινούς μήνες που υπήρχαν αξιοσημείωτα κυματικά γεγονότα. Παράλληλα, σύμφωνα με τα μετεωρολογικά δεδομένα της ΕΜΥ και του meteosearch οι νότιοι άνεμοι εξασθενούν με την παρέλευση της Άνοιξης. Αυτό δικαιολογεί και το παρόμοιο ανάγλυφο που διακρίνεται στα διαγράμματα για τις μετρήσεις στις 3 Απριλίου και στις 2 Ιουλίου 2019.

Τέλος, κατασκευάστηκε μια έγχρωμη απεικόνιση για κάθε τρισδιάστατο μοντέλο ψηφιακής ανύψωσης (DEM). Κατά αυτόν τον τρόπο είναι εύκολο να διακριθεί η διακύμανση του κύκλου ζωής των ιζημάτων στην παραλία κατά την διάρκεια της μελέτης μας.

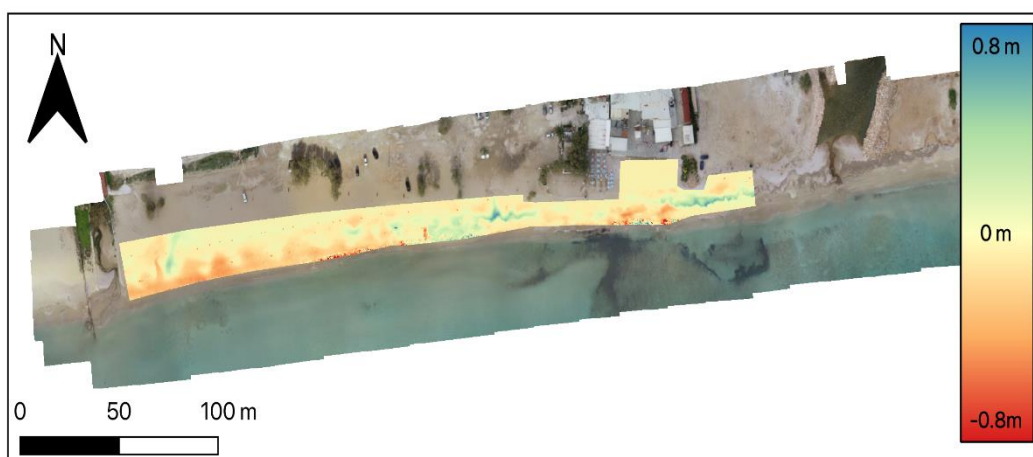


Εικόνα 6.5: Έγχρωμα τρισδιάστατα ψηφιακά υψομετρικά μοντέλα

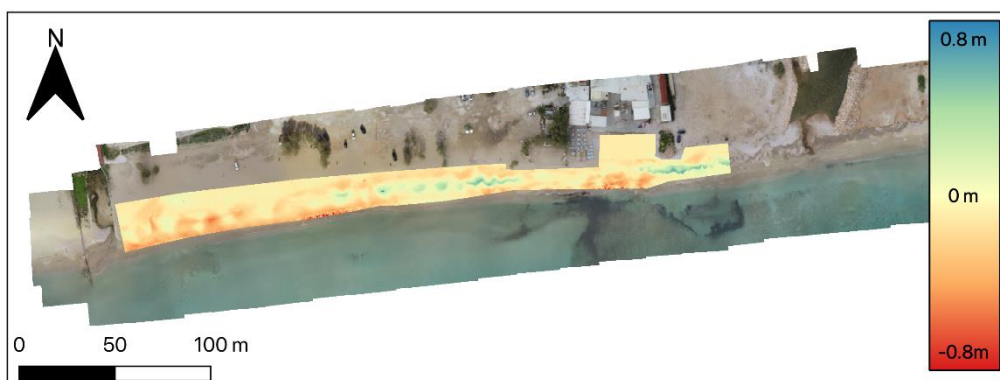
Στην συνέχεια, δημιουργήθηκαν απεικονίσεις που αποτελούνταν από την διαφορά δύο έγχρωμων ψηφιακών υψομετρικών μοντέλων. Αυτό βοήθησε στην παρακολούθηση της μεταβολής του όγκου του ιζήματος στα χρονικά διαστήματα από 3 Απριλίου έως 2 Ιουλίου 2019, από 2 Ιουλίου 2019 έως 17 Ιανουαρίου 2020 και τέλος από 3 Απριλίου 2019 έως 17 Ιανουαρίου 2020.



Εικόνα 6.8: 3 Απριλίου 2019- 2 Ιουλίου 2019



Εικόνα 6.7: 2 Ιουλίου 2019- 17 Ιανουαρίου 2020



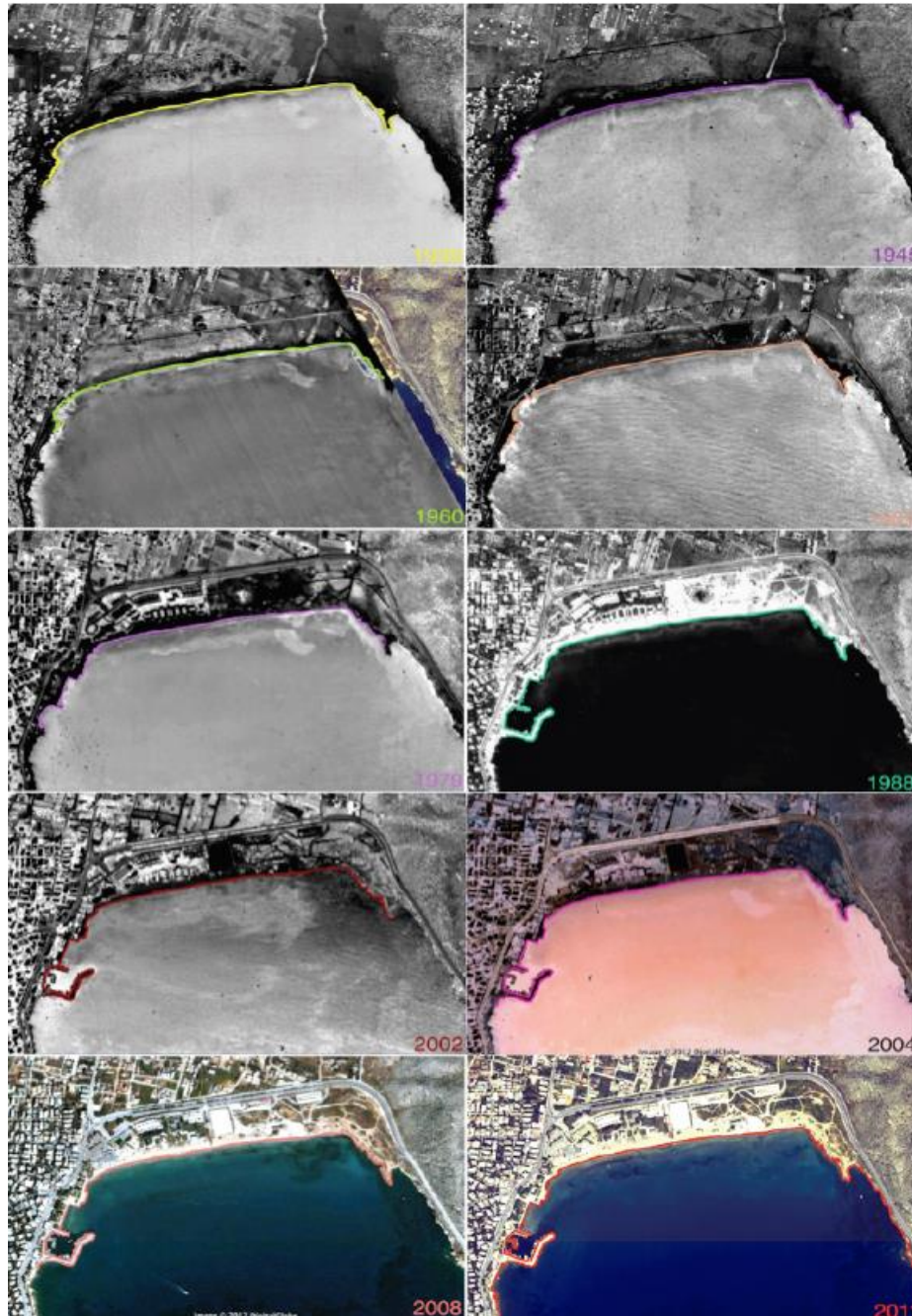
Εικόνα 6.6: 3 Απριλίου 2019- 17 Ιανουαρίου 2020

Από τα συγκρινόμενα μοντέλα προκύπτει ότι από τις 3 Απριλίου 2019 έως τις 2 Ιουλίου 2019 δεν υπήρξαν ιδιαίτερες αλλαγές στον όγκο του ιζήματος κάτι που παρατηρήθηκε και από τις τομές στην εικόνα 6.4. Το μοντέλο που συγκρίνει τις μετρήσεις από 2 Ιούλιου 2019 και 17 Ιανουαρίου 2020 έχει διακυμάνσεις ιδιαίτερα στα δυτικά του πεδίου. Η διαφορά του όγκου του ιζήματος από τον Απρίλιο του 2019 έως τον Ιανουάριο του 2020 είναι η μεγαλύτερη, με μείωση του ιζήματος στο δυτικό και ανατολικό τμήμα του πεδίου και μικρή αύξηση στο κεντρικό τμήμα.



## 6.5 Πρόσφατη εξέλιξη της ακτογραμμής με βάση την πληροφορία αεροφωτογραφιών και δορυφορικών εικόνων

Από την προηγούμενη μελέτη και έρευνα που είχε υλοποιηθεί για την περιοχή της Βάρκιζας, από το εργαστήριο Παράκτιας Μηχανικής του Πολυτεχνείου Κρήτης, συλλέχθηκαν δεδομένα για την διαχρονική εξέλιξη της μορφής της παραλίας των τελευταίων 70 ετών.



Εικόνα 6.9: Αεροφωτογραφίες από 1939, 1945, 1945, 1960, 1969, 1979, 1988, 2002, 2004, 2008, 2011 (Σκαναβής, 2013)

Με σκοπό λοιπόν να αυξήσουμε το χρονικό διάστημα μελέτης της διαχρονικής εξέλιξης της ακτής με πρόσφατα δεδομένα, κατασκευάσαμε την ακτογραμμή της παραλίας της Βάρκιζας για το έτος 2018. Η αεροφωτογραφία - ορθοφωτογραφία που χρησιμοποιήθηκε για αυτόν τον σκοπό ανήκει στην υπηρεσία του κτηματολογίου χρονολογίας 2018.



*Εικόνα 6.10: Αεροφωτογραφία της Βάρκιζας του 2018 με σχεδιασμένη την ακτογραμμή*

Στο επόμενο βήμα, τοποθετήθηκαν όλες οι γραμμές της ακτογραμμής της Βάρκιζας στην αεροφωτογραφία του 2018 έτσι ώστε να εκτιμηθούν οι αλλαγές στην ακτογραμμή.

Αρχικά διακρίνεται εύκολα η μείωση της ακτογραμμής με την πάροδο του χρόνου. Επίσης, αυτό που φαίνεται από την σύγκριση των ακτογραμμών, είναι ότι ένα κομμάτι στα ανατολικά του όρμου έχει υποστεί διάβρωση από το 2011 μέχρι σήμερα ενώ παράλληλα στα δυτικά του κόλπου παρατηρείται μια μικρή πρόσχωση κατά τόπους. Το κεντρικό τμήμα της παραλίας παραμένει σταθερό με μικρές διακυμάνσεις σύμφωνα με μορφή της ακτογραμμής.

Να σημειωθεί ότι η παραλία στο κεντρικό της τμήμα καλύπτεται από υποδομές αναψυχής και δεν είναι εφικτό να υπολογιστούν οι μακροχρόνιες αλλαγές καθώς η ακτή διαμορφώνεται σύμφωνα με τις ανάγκες φιλοξενίας τουριστικών υποδομών.





Εικόνα 6.11: Διαχρονική εξέλιξη της ακτογραμμής σε βάθος χρόνου

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

### 7. Συζήτηση – Προτάσεις Για Μελλοντικές Εργασίες

Στο πλαίσιο της ολοκλήρωσης της παρούσας διπλωματικής εργασίας, διατυπώνεται μια σειρά συμπερασμάτων, τα οποία προέκυψαν από την ενασχόληση, τόσο της εναέριας όσο και της επίγειας αποτύπωσης, καθώς και μέσω της διαδικασίας εκτέλεσης των εφαρμογών για την περάτωσή της.

Η Βάρκιζα πρόκειται για μια παραλία μεγάλης σημασίας για την τοπική οικονομία της περιοχής καθώς προσελκύει κάθε χρόνο μεγάλο όγκο παραθεριστών από μεγάλο μέρος του λεκανοπεδίου Αττικής. Αυτός είναι και ο λόγος που καθιστά την παρακολούθηση του κύκλου ζωής της παράκτιας διάβρωσης σημαντική.

Όπως είναι γνωστό, η αποτύπωση του χώρου μέσω των συστημάτων μη επανδρωμένων εναέριων οχημάτων (UAV) πλέον είναι ευρέως διαδεδομένη σε κλάδους όπως η Χαρτογραφία, Τηλεπισκόπηση, Φωτογραμμετρία κλπ. Οι καινοτομίες στο συγκεκριμένο τομέα, επιτρέπουν την λήψη δεδομένων σε μικρό χρονικό διάστημα, αλλά και με μικρό κόστος. Σημαντικό πλεονέκτημα της χρήσης τους, αποτελεί η εξ αποστάσεως παρακολούθηση της πλατφόρμας, κατά την διάρκεια περάτωσης της έρευνας, γεγονός που καθιστά εύκολη την προσέγγιση δύσβατων, για τον άνθρωπο σημείων. Διαμέσου της ταχείας ανάπτυξης στο χώρο της επιστήμης και της τεχνολογίας, όπως και των προβλημάτων που μπορεί να παρουσιάζονται σε αυτόν, οι πληροφορίες που είναι απαραίτητες για την βελτίωση της ποιότητας ζωής, πρέπει να συμβαδίζουν με την τεχνολογική ανάπτυξη. Με την τεχνολογία των uav έχουμε το πλεονέκτημα να παρακολουθούμε την μεταφορά του ιζήματος και τις διακυμάνσεις την ακτογραμμής με αρκετά καλή ακρίβεια όπως και προέκυψε από τα αποτελέσματά της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Με παλιότερες μεθόδους αυτό δεν ήταν εφικτό, καθώς η άντληση δεδομένων δεν μπορούσε να είναι τόσο συχνή και πυκνή. Η συνδυασμένη χρήση μη επανδρωμένων εναέριων μέσων/ συστημάτων (UAV/UAS) και οικονομικών φωτογραφικών μηχανών υψηλής ποιότητας αντικαθιστούν δύσχρηστα ή δαπανηρά συστήματα λήψης, όπως μπαλόνια, γερανοφόρα οχήματα, επανδρωμένα ελικόπτερα κ.α.

Η επιλογή του συγκεκριμένου μη επανδρωμένου εναέριου οχήματος για αυτήν την διπλωματική έγινε στο πλαίσιο αξιολόγησης αξιοπιστίας και αποτελεσματικότητας χαμηλού κόστους μη επανδρωμένων εναέριων οχημάτων (low cost drone) σε ερευνητικά πλαίσια. Το drone δίνει την δυνατότητα σε ένα μηχανικό να εξοικονομεί χρόνο καθώς οι μετρήσεις έγιναν πολύ γρήγορα με ικανοποιητική ακρίβεια ακόμη και σε δύσβατα κομμάτια της παραλίας που με άλλους μεθόδους θα ήταν πολύ χρονοβόρα η διαδικασία. Επίσης, οι μετρήσεις το καλοκαίρι με άλλες μεθόδους είναι σχεδόν απαγορευτικές λόγω του πολύ κόσμου που βρισκόταν εκείνη την στιγμή στην παραλία. Το drone δίνει την δυνατότητα λήψης μετρήσεων ανεξαρτήτως του κόσμου ή των εμποδίων που μπορεί να υπάρχουν στην περιοχή μελέτης. Όλα αυτά τα χαρακτηριστικά, καθιστούν τα μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα πολύ χρήσιμα για μηχανικούς και ερευνητές ιδιαίτερα σε κρίσιμες καταστάσεις, μεγάλες καταστροφές και έκτακτα γεγονότα.

Σε μελλοντική εργασία θα μπορούσε κάποιος ερευνητής να συνδυάσει πραγματικά κυματολογικά δεδομένα με πιο πυκνές και συχνές μετρήσεις για μεγαλύτερη αξιοπιστία του τρόπου μεταφοράς του ιζήματος της παραλίας. Παράλληλα, ενδιαφέρον θα ήταν να γίνουν στο μέλλον μετρήσεις αμέσως μετά από έντονες



καταιγίδες ή άλλα ακραία καιρικά φαινόμενα. Επίσης, χρήσιμο ερευνητικά θα ήταν στα πλαίσια μιας μελέτης ένας ερευνητής να επενδύσει σε ένα UAV- drone υψηλότερου κόστους με σκοπό να έχει ακριβέστερα αποτελέσματα ενώ θα μπορούσε να δοκιμάσει και άλλα λογισμικά για παραγωγή DEM.

Το τελικό συμπέρασμα αυτής της εργασίας είναι ότι η τοπογραφική αποτύπωση μιας παραλίας με μη επανδρωμένο εναέριο όχημα χαμηλού κόστους εξάγει ικανοποιητικά αποτελέσματα για παρακολούθηση τοπογραφικών αλλαγών στην μορφολογία της ακτής και στην μελέτη μεταβολών ιζήματος στα πλαίσια του κύκλου ζωής της παραλίας.

## 8. Βιβλιογραφία

### Ξένα Βιβλιογραφία

Agisoft, L. (2010). *Agisoft.com*.

Alexandrakis, G., Karditsa, A., Poulos, S., & Ghionis, G. (2010). An assessment of the vulnerability to erosion of the coastal zone due to a potential rise of sea level: the case of the hellenic coast. *Environmental Systems, Vol III*.

ASPRS. (2020). *ASPRS Organization*. Retrieved from <https://www.asprs.org/ASPRS-Organization>

Bird, E. (1996). Coastal Erosion and Rising Sea-Level. In *Coastal Systems and Continental Margins* (pp. 87-103).

Boak, E. (2005). Shoreline Definition and detection. *Journal of Coastal Research*, 688-703.

Casella, E., Rovere, A., Pedroncini, A., Stark, C., Casella, M., Ferrari, M., & Firpo, M. (2016). Drones as tools for monitoring beach topography changes in the Lingurian Sea (NW Mediterranean). doi:DOI 10.1007/s00367-016-0435-9

Chronis, & Anagnostou. (1997). *Introduction to Geology of Attica*. University of Aegean, Greece.

*Coastal Engineer Manual*. (2019).

Coccossis, H., & Mexa, A. (2004). *The Challenge of Tourism Carrying Capacity Assessment: Theory and practice*. Aldershot: Ashgate.

Dalamagkidis, K., Valavanis, K., & Piegler, L. (2008). On unmanned aircraft systems issues, challenges and operational restrictions preventing integration into the National Airspace System. *Progress in Aerospace Sciences*, 44(7-8), 503-519. doi:10.1016/j.paerosci.2008.08.001

Dean, R., & Galvin, J. (2009). Beach erosion: Causes, processes, and remedial.

Doody. (2008). *Saltmarsh Conservation, Management and Restoration*.

Doody, P., Salman, A., & Lombardo, S. (2004). *Living with Coastal erosion in Europe: Sediment and space for sustainability*. EUCC.

Eisenbeiss, H. (2004). A Mini Unmanned Aerial Vehicle (UAV): System Overview and Image Acquisition. *International Workshop on Processing and Visualization Using High Resolution Imagery*. Pitsanulok: Scientific Research.

Eisenbeiss, H. (2009). The Potential of Unmanned Aerial Vehicles for Mapping.

Eisenbeiss, H. (2009). *UAV photogrammetry*. Zurich: ETH Zurich. doi:<https://doi.org/10.3929/ethz-a-005939264>

Eisenbeiss, H., & Sauerbier, M. (2011). Investigation of UAV Systems and Flight Modes for Photogrammetric Applications. *The Photogrammic Record*, 26, 400-421. doi:10.1111/j.1477-9730.2011.00657.x

*European Commission*. (2004).

EUROSION. (2004). *EUROSION*.

Foteinis, S. (2014). *Coastal Erosion in Greece*. Chania, Greece.

GPSworld. (2020). Retrieved from GPS world.

- Hartley, R., & Zisserman, A. (2003). Multiple View Geometry in Computer Vision.
- Isola, I. A., & Shattri, b. M. (2013). UAV-Based Imaging for Environmental Sustainability - Flash Floods.
- Jensen, J., Bender, F., & Blasi, C. (2001). Analysis of the water levels along the German North Sea coastline.
- Makropoulos, K., & Burton, P. (1981). A catalogue of seismicity in Greece and adjacent areas. *Geophysical Journal International*, 65(3), 741-762.
- Medina, & Lopez. (1997). Strong erosion scenario due to disequilibrium of solid transport rate:. *Proc. of the Third International Conference on the Mediterranean Coastal Environment, MEDCOAST 97*, v.2, pp. 1234-1239. Ankara, Turkey.
- MeteoSearch. (2020).
- Monioudi, I. (2011). Assesment of Greek coastal zone.
- Poulos, Alexandrakis, & Petrakis. (2014). RECENT AND FUTURE TRENDS OF BEACH ZONE EVOLUTION IN RELATION TO. *Global NEST Journal*, Vol 16(No 1), 104-113.
- Prasini, E., & Williams, A. T. (2013). *Coastal Erosion and Protection in Europe*.
- Remondino et al., B. S. (2011). UAV photogrammetry for mapping and 3D modeling- Current status and future prospactives. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. Zurich: Research Gate.
- Remondino, R. L. (2011). UAV PHOTOGRAMMETRY FOR MAPPING AND 3D MODELING. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. Zurich,Switzerland.
- Spyropoulos, K. (2003). Eurosion Case Study, Lakkopetra.
- Synolakis C.E., K. N. (2008). The plight of the beaches of Crete. *Proceedings of the Solutions to Coastal Disasters Congress*, (σ. 495).
- Szeliski, R. (2010). Computer Vision: Algorithms and Applications.
- Ullman. (1979).
- Verhoeven, G. (2011). Taking computer vision aloft – archaeological three-dimensional reconstructions from aerial photographs with photoscan.
- Verhoeven, G. (2011). Taking computer vision aloft- archaeological three-dimensional reconstructions from aerial photographs with photoscan. *Archaeol. Prospect.*, 18, 67-73. doi:10.1002/arp.399
- William Cavazza, F. M. (χ.χ.). *The Tranmed Atlas. The Mediterranean Region from crust to Mantle*.

#### Ελληνική Βιβλιογραφία

- Αλεξόπουλος. Α, Μ. Ε. (2001). Συμβολή στη γνώση της Γεωλογίας της Απικής. *Η χερσόνησος της Λομβάρδας (Ζωστήρ)* (Τόμ. XXXVI). Αθήνα: Δελτ. Ελλ. Γεωλ. Εταιρείας.

- Βασιλείου, Λ. Γ. (1987). Μελέτη κατολισθηκών φαινομένων στην παράκτια περιοχή Ακταία, Αγ.Μαρίνα Αττικής. *1ο Πανελλήνιο Γεωγραφικό Συνέδριο, Πρακτικά, том.Β',* σσ. 204-228. Αθήνα.
- Κρεστενίτης, Κομπιάδου, Μακρής, Ανδρουλιδάκης, & Καραμπάς. (2015). *Παράκτια Μηχανική - Θαλάσσια Περιβαλλοντική Υδραυλική*. Αθήνα.
- Παπανικολάου, Δ., Μπάση, Ε., Κράνης, Χ., & Δανάος, Γ. (2004). Παλαιογραφική εξέλιξη του λεκανοπεδίου Αθηνών απο Ανω Μειόκαινο έως σήμερα. *10ο Διεθνές Συνέδριο. том. XXXVI. Θεσσαλονίκη: Δελτίο της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας*.
- Παπανικολάου., Δ. Ι. (2015). *Η Γεωλογία της Ελλάδας*. Αθήνα.
- Παυλόπουλος, Κ. (1992). *Γεωμορφολογική εξέλιξη της Αττικής. Διαδακτορική Διατριβή*. Αθήνα.
- Σκαναβής, Β. (2013). *Γεωλογικοί και ανθρωπογενείς παράγοντες στην διαμόρφωση ακτών: Η περίπτωση της Βάρκιζας-Ν.Αττικής*
- ΣΜΠΕ Ανάπτυξης του Μητροπολίτικου πόλου του Αγίου Κοσμά, Ελληνικού*. (2018)

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Εξοπλισμός πεδίου – Φωτογραφίες κατά την εκπόνηση των μετρήσεων



Παραλία Βάρκιζας, Ιανουάριος 2020



Παραλία Βάρκιζας, Ιανουάριος 2020



UAV – DJI Phantom 4 Pro



UAV – DJI Phantom 4 Pro



GPS Tablet



GPS Tablet



Εξοπλισμός Drone



Ανατολικό κομμάτι της Βάρκιζας,  
Δεκέμβριος 2019



Μετρήσεις 2 Ιουλίου- Σημεία από GPS και UAV. Από αυτά τα σημεία έγινε η σύγκριση μεθόδων τοπογραφικής αποτύπωσης της παράκτιας διάβρωσης.

Σημείο	Σημείο	Όνομα Σημείου	Συντεταγμένη X	Συντεταγμένη Y	Συντεταγμένη Z_GPS	Συντεταγμένη Z_UAV	Αποκλίση
POINT (483067.17 4185591.381)	1	toro1	483067,17	4185591,381	0,11	0,16	0,05
POINT (483066.015 4185595.363)	2	toro2	483066,015	4185595,363	0,64	0,67	0,03
POINT (483065.655 4185599.83)	3	toro3	483065,655	4185599,83	0,82	0,89	0,07
POINT (483065.44 4185606.306)	4	toro4	483065,44	4185606,306	0,9	0,98	0,08
POINT (483064.533 4185611.05)	5	toro5	483064,533	4185611,05	0,89	0,97	0,08
POINT (483099.545 4185597.178)	6	toro6	483099,545	4185597,178	0,05	0,40	0,35
POINT (483099.406 4185601.156)	7	toro7	483099,406	4185601,156	0,48	0,56	0,08
POINT (483099.322 4185605.397)	8	toro8	483099,322	4185605,397	0,69	0,78	0,09
POINT (483098.829 4185609.877)	9	toro9	483098,829	4185609,877	0,84	0,95	0,11
POINT (483097.822 4185614.859)	10	toro10	483097,822	4185614,859	0,88	1,00	0,12
POINT (483124.58 4185601.943)	11	toro11	483124,58	4185601,943	0,02	0,34	0,32
POINT (483123.702 4185605.654)	12	toro12	483123,702	4185605,654	0,47	0,52	0,05
POINT (483122.843 4185611.831)	13	toro13	483122,843	4185611,831	0,92	0,98	0,06
POINT (483121.373 4185616.22)	14	toro14	483121,373	4185616,22	1,03	1,11	0,08
POINT (483120.376 4185619.943)	15	toro15	483120,376	4185619,943	1,07	1,17	0,10
POINT (483144.429 4185606.013)	16	toro16	483144,429	4185606,013	0,09	0,33	0,24
POINT (483143.577 4185609.854)	17	toro17	483143,577	4185609,854	0,47	0,51	0,04
POINT (483142.818 4185613.004)	18	toro18	483142,818	4185613,004	0,66	0,74	0,08
POINT (483141.978 4185617.994)	19	toro19	483141,978	4185617,994	0,91	1,02	0,11
POINT (483140.453 4185623.42)	20	toro20	483140,453	4185623,42	1,08	1,24	0,16
POINT (483158.335 4185607.604)	21	toro21	483158,335	4185607,604	-0,02	0,11	0,13
POINT (483157.737 4185611.434)	22	toro22	483157,737	4185611,434	0,42	0,48	0,06
POINT (483157.307 4185615.501)	23	toro23	483157,307	4185615,501	0,65	0,74	0,09
POINT (483156.958 4185620.949)	24	toro24	483156,958	4185620,949	0,97	1,04	0,07
POINT (483156.849 4185626.111)	25	toro25	483156,849	4185626,111	1,13	1,25	0,12
POINT (483171.837 4185610.933)	26	toro26	483171,837	4185610,933	0,05	0,18	0,13
POINT (483171.289 4185613.608)	27	toro27	483171,289	4185613,608	0,34	0,42	0,08
POINT (483170.969 4185617.317)	28	toro28	483170,969	4185617,317	0,66	0,72	0,06
POINT (483169.495 4185623.273)	29	toro29	483169,495	4185623,273	0,98	1,07	0,09
POINT (483169.441 4185627.949)	30	toro30	483169,441	4185627,949	1,13	1,24	0,11
POINT (483192.686 4185615.484)	31	toro31	483192,686	4185615,484	0,07	-0,30	-0,37
POINT (483191.697 4185618.495)	32	toro32	483191,697	4185618,495	0,37	0,45	0,08
POINT (483190.867 4185622.977)	33	toro33	483190,867	4185622,977	0,64	0,74	0,10
POINT (483190.68 4185627.158)	34	toro34	483190,68	4185627,158	0,95	1,03	0,08
POINT (483191.041 4185630.042)	35	toro35	483191,041	4185630,042	1,08	1,29	0,21
POINT (483204.391 4185617.145)	36	toro36	483204,391	4185617,145	0,02	-0,63	-0,65
POINT (483203.551 4185621.583)	37	toro37	483203,551	4185621,583	0,45	0,47	0,02
POINT (483203.403 4185624.886)	38	toro38	483203,403	4185624,886	0,71	0,79	0,08
POINT (483202.675 4185628.788)	39	toro39	483202,675	4185628,788	0,97	1,02	0,05
POINT (483202.239 4185632.069)	40	toro40	483202,239	4185632,069	1,06	1,13	0,07
POINT (483215.242 4185619.505)	41	toro41	483215,242	4185619,505	0,04	0,23	0,19
POINT (483214.842 4185623.602)	42	toro42	483214,842	4185623,602	0,4	0,43	0,03
POINT (483214.38 4185626.99)	43	toro43	483214,38	4185626,99	0,71	0,72	0,01
POINT (483214.056 4185630.27)	44	toro44	483214,056	4185630,27	0,87	0,90	0,03
POINT (483213.568 4185633.266)	45	toro45	483213,568	4185633,266	1	1,03	0,03
POINT (483232.657 4185621.374)	46	toro46	483232,657	4185621,374	-0,01	0,41	0,42
POINT (483231.759 4185625.343)	47	toro47	483231,759	4185625,343	0,37	0,40	0,03
POINT (483231.239 4185628.594)	48	toro48	483231,239	4185628,594	0,69	0,73	0,04
POINT (483231.099 4185631.816)	49	toro49	483231,099	4185631,816	0,87	0,93	0,06
POINT (483231.391 4185634.949)	50	toro50	483231,391	4185634,949	1,05	1,08	0,03
POINT (483243.739 4185623.109)	51	toro51	483243,739	4185623,109	0,09	0,36	0,27
POINT (483243.729 4185626.589)	52	toro52	483243,729	4185626,589	0,45	0,46	0,01
POINT (483243.912 4185630.47)	53	toro53	483243,912	4185630,47	0,74	0,75	0,01
POINT (483243.89 4185635.249)	54	toro54	483243,89	4185635,249	1,01	1,05	0,04
POINT (483260.364 4185623.344)	55	toro55	483260,364	4185623,344	0,11	0,10	-0,01
POINT (483260.236 4185627.093)	56	toro56	483260,236	4185627,093	0,44	0,44	0,00
POINT (483260.197 4185632.724)	57	toro57	483260,197	4185632,724	0,66	0,66	0,00
POINT (483261.076 4185637.768)	58	toro58	483261,076	4185637,768	0,97	1,02	0,05
POINT (483271.735 4185623.945)	59	toro59	483271,735	4185623,945	0,06	0,07	0,01
POINT (483271.261 4185627.886)	60	toro60	483271,261	4185627,886	0,49	0,46	-0,03
POINT (483272.759 4185633.206)	61	toro61	483272,759	4185633,206	0,89	0,93	0,04
POINT (483271.205 4185639.265)	62	toro62	483271,205	4185639,265	1,27	1,24	-0,03
POINT (483288.269 4185624.858)	63	toro63	483288,269	4185624,858	0,07	0,27	0,20
POINT (483287.916 4185628.37)	64	toro64	483287,916	4185628,37	0,4	0,40	0,00
POINT (483287.751 4185633.518)	65	toro65	483287,751	4185633,518	0,84	0,86	0,02
POINT (483287.715 4185639.776)	66	toro66	483287,715	4185639,776	1,36	1,36	0,00
POINT (483304.03 4185625.428)	67	toro67	483304,03	4185625,428	0,02	1,26	1,24
POINT (483303.616 4185629.369)	68	toro68	483303,616	4185629,369	0,34	0,36	0,02
POINT (483303.593 4185633.372)	69	toro69	483303,593	4185633,372	0,7	0,72	0,02
POINT (483303.65 4185637.938)	70	toro70	483303,65	4185637,938	1,07	1,07	0,00
POINT (483317.397 4185627.746)	71	toro71	483317,397	4185627,746	0,17	0,36	0,19
POINT (483317.062 4185631.785)	72	toro72	483317,062	4185631,785	0,49	0,50	0,01
POINT (483316.933 4185635.475)	73	toro73	483316,933	4185635,475	0,8	0,84	0,04
POINT (483317.187 4185638.717)	74	toro74	483317,187	4185638,717	1,1	1,08	-0,02
POINT (483317.121 4185641.401)	75	toro75	483317,121	4185641,401	1,44	1,43	-0,01
POINT (483328.441 4185628.046)	76	toro76	483328,441	4185628,046	0,09	0,12	0,03
POINT (483328.632 4185631.479)	77	toro77	483328,632	4185631,479	0,49	0,51	0,02
POINT (483328.654 4185635.837)	78	toro78	483328,654	4185635,837	0,87	0,89	0,02
POINT (483329.012 4185640.427)	79	toro79	483329,012	4185640,427	1,13	1,14	0,01
POINT (483342.5 4185629.84)	80	toro80	483342,5	4185629,84	0,25	0,50	0,25
POINT (483342.466 4185632.285)	81	toro81	483342,466	4185632,285	0,64	0,65	0,01
POINT (483342.827 4185636.95)	82	toro82	483342,827	4185636,95	0,81	0,85	0,04
POINT (483343.28 4185640.902)	83	toro83	483343,28	4185640,902	1,09	1,13	0,04
POINT (483342.751 4185644.984)	84	toro84	483342,751	4185644,984	1,52	1,54	0,02
POINT (483356.702 4185628.495)	85	toro85	483356,702	4185628,495	0,04	-0,63	-0,67
POINT (483356.358 4185634.318)	86	toro86	483356,358	4185634,318	0,46	0,49	0,03
POINT (483356.498 4185638.752)	87	toro87	483356,498	4185638,752	0,93	0,95	0,02
POINT (483356.378 4185642.598)	88	toro88	483356,378	4185642,598	1,2	1,19	-0,01
POINT (483370.553 4185630.626)	89	toro89	483370,553	4185630,626	0,07	-0,39	-0,46
POINT (483370.411 4185634.438)	90	toro90	483370,411	4185634,438	0,33	0,33	0,00
POINT (483370.009 4185638.542)	91	toro91	483370,009	4185638,542	0,69	0,71	0,02
POINT (483369.96 4185642.833)	92	toro92	483369,96	4185642,833	1,13	1,18	0,05
POINT (483381.561 4185632.503)	93	toro93	483381,561	4185632,503	0,05	0,13	0,08
POINT (483381.668 4185636.321)	94	toro94	483381,668	4185636,321	0,37	0,36	-0,01
POINT (483381.663 4185639.449)	95	toro95	483381,663	4185639,449	0,7	0,67	-0,03
POINT (483381.638 4185642.916)	96	toro96	483381,638	4185642,916	0,91	0,96	0,05
POINT (483381.663 4185642.909)	97	toro97	483381,663	4185642,909	0,92	0,96	0,04
POINT (483381.264 4185647.561)	98	toro98	483381,264	4185647,561	1,26	1,28	0,02
POINT (483381.121 4185650.071)	99	toro99	483381,121	4185650,071	1,51	1,51	0,00
POINT (483381.14 4185650.079)	100	toro100	483381,14	4185650,079	1,52	1,51	-0,01
POINT (483392.951 4185635.159)	101	toro101	483392,951	4185635,159	0,15	0,28	0,13
POINT (483393.099 4185637.548)	102	toro102	483393,099	4185637,548	0,51	0,53	0,02
POINT (483393.143 4185640.506)	103	toro103	483393,143	4185640,506	0,68	0,71	0,03
POINT (483393.049 4185644.101)	104	toro104	483393,049	4185644,101	1,02	1,06	0,04
POINT (483393.374 4185648.507)	105	toro105	483393,374	4185648,507	1,37	1,40	0,03
POINT (483405.088 4185636.152)	106	toro106	483405,088	4185636,152	0,49	0,57	0,08
POINT (483405.156 4185639.385)	107	toro107	483405,156	4185639,385	0,46	0,46	0,00
POINT (483406.189 4185643.571)	108	toro108	483406,189	4185643,571	0,83	0,88	0,05
POINT (483405.862 4185647.637)	109	toro109	483405,862	4185647,637	1,05	1,09	0,04
POINT (483405.998 4185652.574)	110	toro110	483405,998	4185652,574	1,17	1,23	0,06
POINT (483417.656 4185636.712)	111	toro111	483417,656	4185636,712	0,09	0,25	0,16
POINT (483417.642 4185639.548)	112	toro112	483417,642	4185639,548	0,32	0,39	0,07
POINT (483417.168 4185643.002)	113	toro113	483417,168	4185643,002	0,65	0,66	0,01
POINT (483416.865 4185647.252)	114	toro114	483416,865	4185647,252	0,98	1,02	0,04
POINT (483416.551 418							



Δείγμα σημείων από όλα τα τρισδιάστατα ψηφιακά υψομετρικά μοντέλα με σκοπό εξαγωγής διαγραμμάτων για σύγκριση υψομετρικών διαφορών στο ανάγλυφο της ακτής. Τα σημεία ήταν 11170 με σκοπό την υψηλή ακρίβεια των τομών.

AP	17_01_2020	02_07_2019	03_04_2019
76	-0.499403179	-0.306530476	0.124934837
77	-0.499400347	-0.311969757	0.222454146
78	-0.496077925	-0.317100763	0.348988563
79	-0.481734246	-0.322146952	0.453882664
80	-0.477722406	-0.325804204	0.564980984
81	-0.433315754	-0.330856204	0.634938717
82	-0.418189347	-0.334761381	0.617828727
83	-0.430486888	-0.339673966	0.540254653
84	-0.461755067	-0.341679603	0.436672777
85	-0.486342609	-0.342252254	0.312581867
86	-0.508438408	-0.345523596	0.281118095
87	-0.52799505	-0.345077783	0.273627907
88	-0.525401831	-0.343489379	0.256616652
89	-0.483625442	-0.346214443	0.244203299
90	-0.480190247	-0.343171418	0.000167458
91	-0.453273594	-0.338186949	-0.026561646
92	-0.460868686	-0.336487889	0.081144266
93	-0.446287364	-0.332498878	0.483710289
94	-0.466622174	-0.323042601	0.638494492
95	-0.476465762	-0.317749232	0.768397152
96	-0.476487398	-0.304434985	109.416.759
97	-0.496289283	-0.288966298	1.065.250.039
98	-0.442325771	-0.280424058	0.755868614
99	-0.428041548	-0.268445909	0.92702204
100	-0.411590606	-0.251630068	0.1022842
101	-0.407386214	-0.22978434	-0.24126102
102	-0.391515553	-0.220653951	-0.211549774

103	-0.350097209	-0.1741198	-0.128850967
104	-0.332902104	-0.029501704	0.121323206
105	-0.267704368	-0.196998015	0.152715281
106	-0.262470484	-0.222653344	0.243601173
107	-0.28569299	-0.221456498	0.349336565
108	-0.297808111	-0.185406938	0.55820483
109	-0.293664485	-0.093970805	0.930684924
110	-0.226905465	-0.106620453	1.319.997.907
111	-0.199390009	-0.105992414	1.351.851.463
112	-0.193923905	-0.063925825	1.588.930.011
113	-0.06560687	-0.089995228	1.956.274.986
114	0.140895635	-0.130808249	2.491.687.536
115	-0.020389795	-0.129389957	26.942.904
116	-0.258784741	-0.065726697	2.738.409.281
117	-0.331568211	0.045643989	2.703.038.931
118	-0.328047335	0.087111354	2.700.191.975
119	-0.259690732	0.098454937	3.585.321.903
120	-0.220288262	0.110677034	3.585.054.636
121	-0.191088006	0.125176653	0.559633851
122	-0.126368135	0.118251517	0.253326207
123	-0.122688808	0.116262496	0.287310362
124	-0.130370155	0.121642746	0.205041692
125	-0.154043421	0.123671487	0.223360702
126	-0.199708939	0.129633918	0.290803105
127	-0.210730806	0.136685416	0.271116406
128	-0.20362097	0.141525298	0.419435114
129	-0.189642429	0.153378263	0.607730746
130	-0.146971881	0.166424543	0.638739586
131	-0.136359975	0.185134843	1.313.067.794
132	-0.104687348	0.195747539	0.466567546
133	-0.076348096	0.224012673	0.466553777
134	-0.071686357	0.254309624	0.277934432

135	-0.029522268	0.281255513	0.267353237
136	-0.004192793	0.307049185	0.142944142
137	0.010270859	0.302990884	0.138410822
138	-0.011029288	0.334622324	0.20329693
139	-0.019380307	0.487815619	0.210135788
140	-0.017326044	0.51020205	0.214024544
141	0.010615924	0.455910772	0.225319669
142	0.00356687	0.358572841	0.232260346
143	0.032629214	0.374456584	0.236945346
144	0.03541318	0.348174661	0.246835962
145	0.038907845	0.362707496	0.259632409
146	0.05359352	3.673.425.913	0.26802054
147	0.083249032	3.730.378.151	0.28836444
148	0.112424009	3.648.281.097	0.301580518
149	0.153741688	3.346.351.147	0.310196996
150	0.17030175	304.976.058	0.30959034
151	0.170044795	2.252.534.151	0.320799381
152	0.162866503	1.538.261.652	0.338365257
153	0.17803441	0.824089944	0.35467577
154	0.207512394	0.553059578	0.365130424
155	0.223134831	0.251016408	0.376279563
156	0.225194976	0.1249208	0.395452201
157	0.243667915	0.11144504	0.402710855
158	0.245447457	0.127726436	0.420235366
159	0.261876076	0.287459373	0.429937005
160	0.265300214	0.333740383	0.438742399
161	0.27916047	0.366401464	0.448213726
162	0.270215929	0.285644203	0.45342052
163	0.27428326	0.285644203	0.455678135
164	0.303361952	0.31370917	0.457371742
165	0.330871522	0.390325546	0.471006334
166	0.325232506	0.442875445	0.486753106

167	0.326877475	0.466987848	0.499969155
168	0.327730864	0.513121605	0.514125168
169	0.331547558	0.487523496	0.531692088
170	0.348739952	0.486953735	0.535018027
171	0.375749379	0.488564312	0.541959941
172	0.391346574	0.488564074	0.54196012
173	0.408238411	0.479035467	0.552414715
174	0.409026921	0.506472647	0.55467248
175	0.399687499	0.521360099	0.560110271
176	0.404245526	0.522956073	0.571317554
177	0.409702867	0.537572503	0.578951538
178	0.434681684	0.553001463	0.582192302
179	0.453164637	0.568102479	0.587209046
180	0.454398841	0.582106531	0.585286856
181	0.446718514	0.625484824	0.584449768
182	0.464503944	0.640785038	0.586100578
183	0.468104124	0.642096519	0.586853266
184	0.469752938	0.64272362	0.593649805
185	0.473959327	0.657625318	0.59099251
186	0.474795729	0.658195138	0.596429467
187	0.476634443	0.660076439	0.599148393
188	0.479672998	0.675020337	0.603833258
189	0.509340405	0.675647438	0.605903149
190	0.525481582	0.677443981	0.605902731
191	0.531159222	0.692502141	0.608913243
192	0.531960964	0.707446158	0.606484413
193	0.547511578	0.709270298	0.599459767
194	0.55174917	0.710111737	0.609161973
195	0.593129516	0.725212097	0.606966972
196	0.608671904	0.726096332	0.619199991
197	0.613707542	0.727093458	0.634570718
198	0.604372561	0.727777779	0.64665693

199	0.595425665	0.728604615	0.644563556
200	0.597075522	0.743905127	0.645504832
201	0.601234376	0.759120464	0.649959266
202	0.615376711	0.759490848	0.658346057
203	0.61866039	0.77541858	0.664345682
204	0.610382855	0.789992094	0.666083157
205	0.624656677	0.803995907	0.672606051
206	0.627747715	0.792244256	0.681787789
207	0.630945146	0.78010726	0.69140476
208	0.634566367	0.78022176	0.692909956
209	0.663427413	0.781219721	0.693432391
210	0.679884911	0.781219363	0.696757674
211	0.695486128	0.769139946	0.698451221
212	0.699602365	0.770707786	0.707069099
213	0.702923059	0.772574782	0.715787768
214	0.720380783	0.787291169	0.725910246
215	0.72408694	0.787334204	0.741382837
216	0.736130059	0.803503752	0.754497528
217	0.752375662	0.819303393	0.777833104
218	0.755731761	0.832209527	0.779338837
219	0.759148657	0.820757568	0.793725967
220	0.765469313	0.835900903	0.80366075
221	0.781481028	0.823108971	0.818048239
222	0.783149123	0.823308766	0.826767206
223	0.810239077	0.823992431	0.84471041
224	0.81314069	0.825702965	0.858489871
225	0.816541553	0.840818584	0.863132596
226	0.819939911	0.829636574	0.867818058
227	0.83598876	0.830263793	0.881975174
228	0.850988984	0.830919564	0.895378649
229	0.842457831	0.831775427	0.907193184
230	0.834357619	0.846605241	0.92513603

231	0.822107732	0.861905754	0.926641226
232	0.814031959	0.862774849	0.928377151
233	0.829999864	0.864684939	0.936994314
234	0.871781588	0.865084469	0.942910016
235	0.887841165	0.865084231	0.95144254
236	0.903773665	0.853859603	0.960391939
237	0.919793844	0.854444444	0.95763278
238	0.949102104	0.855641425	0.960641325
239	0.954132617	0.85766536	0.961626112
240	0.955489576	0.870415151	0.963361621
241	0.95507592	0.859019876	0.962670147
242	0.946172297	0.84665525	0.963422716
243	0.953351557	0.846840739	0.964175284
244	0.967212617	0.848095	0.96348387
245	0.968542337	0.84929198	0.964989126
246	0.962504566	0.84997648	0.967476904
247	0.964153349	0.851230502	0.963777125
248	0.965803325	0.83932215	0.967018425
249	0.956943274	0.83932215	0.975967586
250	0.937888801	0.84114629	0.973267198
251	0.952090859	0.842443585	0.968814909
252	0.96852529	0.843128026	0.969567239
253	0.986209214	0.843755245	0.968123019
254	100.089.252	0.845522046	0.965175986
255	1.002.626.061	0.846520543	0.967663944
256	0.996597171	0.861265242	0.96841687
257	1.022.840.261	0.863317788	0.971657515
258	1.037.627.101	0.863317788	0.972410083
259	1.042.556.643	0.864002287	0.972556233
260	1.033.396.006	0.865683973	0.97889185
261	1.024.076.462	0.854444742	0.97571224
262	1.001.785.994	0.854074717	0.973747492

263	1.001.778.841	0.855329037	0.972994804
264	1.030.066.848	0.869845748	0.965379357
265	1.035.403.609	0.871784508	0.962662518
266	1.028.200.865	0.872397363	0.964167953
267	1.004.009.843	0.860944808	0.969083667
268	0.958761334	0.860902727	0.97209388
269	0.960527897	0.848765731	0.977863669
270	0.962198436	0.849450231	0.980351627
271	10.049.119	0.850077391	0.969957888
272	1.018.784.165	0.851374745	0.96724093
273	0.998386919	0.867088377	0.966549098
274	0.938433826	0.867715538	0.960549057
275	0.918555558	0.868342698	0.960840881
276	0.932930052	0.869782567	0.963099062
277	0.958706498	0.871364832	0.967784047
278	0.962947667	0.872191846	0.971356928
279	0.990683854	0.872761667	0.972109854
280	0.995734096	0.874130726	0.973512948
281	0.999012947	0.875697732	0.972821593
282	0.990082681	0.876524746	0.972130239
283	0.979922652	0.878192127	0.973635197
284	0.971206784	0.878249407	0.971438825
285	0.96280247	0.879503846	0.972191453
286	0.97634083	0.88082993	0.972423792
287	0.980992436	0.882026911	0.974116862
288	0.982626617	0.88271147	0.969305158
289	0.975349367	0.883951485	0.970015407
290	0.979880095	0.885205865	0.971375287
291	0.956131101	0.886303484	0.978317499
292	0.934966683	0.886303246	0.976121187
293	0.91289854	0.887130499	0.977019489
294	0.903949916	0.889624894	0.972609222



295	0.903755248	0.891349673	0.978611231
296	0.908619106	0.891349614	0.980869174
297	0.924530804	0.893074334	0.981621683
298	0.927424014	0.894413948	0.980177879
299	0.927929819	0.895668447	0.98093015
300	0.934134901	0.896138489	0.973485589
301	0.96249336	0.88354671	0.973965883
302	0.967521966	0.884844124	0.975471139
303	0.957776189	0.88545692	0.974027157
304	0.957755268	0.887266815	0.968318701
305	0.938869894	0.887893975	0.96907115
306	0.93887651	0.889263451	0.965601444
307	0.944230437	0.903879225	0.96491003
308	0.959953606	0.906330705	0.962482929
309	0.961465359	0.905760646	0.962483346
310	0.917040884	0.894166052	0.972229362
311	0.919493794	0.89485091	0.976409912
312	0.924633503	0.910151541	0.977728426
313	0.925779045	0.92530942	0.978481054
314	0.927428246	0.925408542	0.979233563
315	0.930728674	0.912674367	0.97998631
316	0.921811402	0.900680959	0.976115227
317	0.937828243	0.901137054	0.971850872
318	0.940718114	0.888502002	0.976347625
319	0.946968436	0.903588474	0.973920047
320	0.946976364	0.905370712	0.966621935
321	0.937980235	0.905940533	0.96503222
322	0.943040967	0.921227932	0.966537654
323	0.959566295	0.921227932	0.973480821
324	0.962773561	0.909205794	0.982157469
325	0.97756356	0.924306631	0.982910097
326	1.005.828.738	0.925503671	0.976448715

327	1.032.954.335	0.924834192	0.971012712
328	1.026.380.301	0.913382113	0.971346974
329	1.041.615.963	0.914878428	0.972852528
330	1.055.989.027	0.916817486	0.980358183
331	1.048.303.008	0.916190267	0.981863022
332	1.036.780.238	0.91767329	0.97071892
333	1.015.716.314	0.919739366	0.971471608
334	0.994775474	0.919854164	0.970027447
335	0.996651292	0.935041189	0.967600584
336	1.012.463.212	0.935668409	0.967600226
337	1.028.501.511	0.936766028	0.962644637
338	1.032.099.605	0.938590348	0.960866213
339	1.010.504.842	0.953734219	0.955200255