



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ

ΣΧΟΛΗ ΚΟΙΝΩΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ

ΠΜΣ Γεωγραφία και Εφαρμοσμένη Γεωπληροφορική

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

## Συμβολή στη μελέτη των πυροκλαστικών αποθέσεων της Δυτικής Λέσβου

Παρθενόπη Πανίδου, Α.Μ. 1632017020

Επιβλέπων Καθηγητής: Νικόλαος Ζούρος

Μέλη Επιτροπής: Πέτρος Γαγάνης, Νικόλαος Σουλακέλλης

Οκτώβριος 2020, Μυτιλήνη

## Περιεχόμενα

Περίληψη/Abstract.....	2
1. Εισαγωγή.....	3
1.1 Γεωγραφική Θέση- Φυσιογραφία Λέσβου.....	5
1.2 Γεωδυναμικό Περιβάλλον Λέσβου.....	6
1.3 Γεωτεκτονική Εξέλιξη Λέσβου.....	8
1.4 Γεωλογική Δομή Λέσβου.....	13
2 Ηφαιστειακοί σχηματισμοί Λέσβου.....	15
2.1 Πυροκλαστικές Ροές και μηχανισμοί γένεσης.....	18
2.2 Πυροκλαστικός Σχηματισμός Σιγρίου.....	20
3 Μεθοδολογία.....	24
4 Περιοχή Ακρόχειρα.....	27
4.1 Σκάμμα Βάσης Ανεμογεννήτριας I.....	28
4.2 Ανασκαφική θέση: II.....	28
4.3 Σκάμμα Βάσης Ανεμογεννήτριας III.....	39
4.4 Ανασκαφική θέση IV.....	40
4.5 Ανασκαφική θέση VI.....	42
4.6 Σκάμμα βάσης Ανεμογεννήτριας VII.....	50
4.7 Σκάμμα βάσης Ανεμογεννήτριας VIII.....	51
4.8 Σκάμμα βάσης Ανεμογεννήτριας IX.....	52
5 Συμπεράσματα.....	54
6 Βιβλιογραφία.....	57

## Περίληψη/Abstract

Στα πλαίσια του έργου εγκατάστασης τριών νέων ανεμογεννητριών στη θέση παλαιών στο Αιολικό Πάρκο Ακρόχειρα, στην καρδιά της προστατευόμενης περιοχής του Απολιθωμένου Δάσους Λέσβου, το Μουσείο Φυσικής Ιστορίας του Απολιθωμένου Δάσους Λέσβου ανέλαβε την επίβλεψη των εκσκαφικών εργασιών και την ανασκαφή, απομάκρυνση, ανάδειξη και συντήρηση των απολιθωμάτων που αποκαλύφθηκαν. Κατά τη διάρκεια των εργασιών αυτών δημιουργήθηκαν γεωλογικές τομές πρόσφορες για τη μελέτη των διαφορετικών φάσεων των πυροκλαστικών και κλαστικών αποθέσεων του Σχηματισμού Πυροκλαστικών του Σιγρίου και για την εξέταση της σχέσης των χαρακτηριστικών των αποθέσεων και της εμφάνισης απολιθωμάτων. Τα γεωλογικά χαρακτηριστικά των διαφόρων οριζόντων αποθέσεων καταγράφηκαν με κλασσικούς τρόπους γεωλογικής παρατήρησης πεδίου και με αναπαράσταση μέσω φωτογραμμετρικών μεθόδων με τη δημιουργία τρισδιάστατων ψηφιακών μοντέλων. Στην σχετικά μικρή κλίμακα του χώρου του Ακρόχειρα διακρίθηκαν διάφορες φάσεις απόθεσης και καταγράφηκαν τα χαρακτηριστικά τους, συσχετίστηκαν τα στρωματογραφικά στοιχεία διαφόρων θέσεων και διερευνήθηκε η σχέση συγκεκριμένων οριζόντων πυροκλαστικών υλικών με την παρουσία απολιθωμάτων. Από την επεξεργασία των δεδομένων προέκυψε η διάκριση τριών επάλληλων απολιθωματοφόρων οριζόντων πυροκλαστικών, οι δύο με μεγάλο περιεχόμενο σε κίσηρη και ο τρίτος υπερκείμενός τους μέσα σε υλικό πλούσιο σε κλάστες λιθικών. Παρατηρήθηκαν δύο κυρίαρχες τάσεις παράταξης των απολιθωμένων κορμών που θέτουν το ερώτημα της διττής προέλευσης των πυροκλαστικών ροών από ηφαιστειακά κέντρα που βρίσκονται Νότια και Ανατολικά της περιοχής μελέτης.

In the heart of the protected area of the Petrified Forest of Lesvos, in the context of the installation of three new wind turbines in Akrochira Wind-Energy Park, the Natural History Museum of the Lesvos Petrified Forest supervised the excavations and the emergence, conservation and removal of the newly found fossils. During these works, geological sections suitable for the study of the different phases of pyroclastic and clastic deposits of the Sigri Pyroclastic Formation as well for the examination of the relationship between the characteristics of the deposits and the appearance of fossils were created. The geological characteristics of various deposits were recorded by classical ways of geological field observation and by representation through photogrammetric methods with the creation of three-dimensional digital models. Different phases of deposition were distinguished in the relatively small scale of the area of Akrochira along with their characteristics. In addition, the stratigraphic elements of different sites were correlated and the relation of specific layers of pyroclastic materials with the presence of fossils was investigated. The processing of the data resulted in the distinction of three fossil-bearing layers of pyroclastic deposits- two with a large content in pumice and a third with an abundance of lithic clasts. Two different dominant tendencies of fossilized trees directions were observed that raise the question of the dual origin of pyroclastic flows from volcanic centers located south or east of the site in research.

# 1. Εισαγωγή

Την περίοδο των καλοκαιρινών μηνών του 2018 ξεκίνησε από τη ΔΕΗ Ανανεώσιμες Α.Ε το έργο απομάκρυνσης των ανεμογεννητριών του παλαιού Αιολικού Πάρκου στη θέση «Ακρόχειρας», στην καρδιά της περιοχής του Απολιθωμένου Δάσους Λέσβου, πολύ κοντά στο Πάρκο του Απολιθωμένου Δάσους -Περιοχή Κύρια Απολιθωμένη. Η θέση είναι εξαιρετικά προνομιούχα όσον αφορά την ένταση και τη συχνότητα των ανέμων, εκτεθειμένη από όλα τα σημεία του ορίζοντα στην κορυφή του λόφου του Ακρόχειρα.

Το παλιό Αιολικό πάρκο αποτελούταν από 9 ανεμογεννήτριες και είχε εγκατασταθεί στις αρχές τις δεκαετίας του '90 (Εικ2). Κατά τη διάρκεια της κατασκευής του και συγκεκριμένα κατά τις εκκαφικές εργασίες είχαν προκύψει πολλά προβλήματα και το έργο αναγκάστηκε σε προσωρινή παύση ουκ ολίγες φορές λόγω της εύρεσης μεγάλου αριθμού απολιθωμάτων στα σκάμματα των βάσεων στηρίξεως. Το νέο Αιολικό Πάρκο αποτελείται από τρεις σύγχρονες ανεμογεννήτριες που εγκαταστάθηκαν στις θέσεις τριών εκ των εννέα παλαιών ανεμογεννητριών.



Εικόνα 1. Η θέση «Ακρόχειρας» της ΒΔ Λέσβου. (20/10/2014, 39.211348° 26.004154°(Google Earth Pro 6/10/2020 ))





Εικόνα 2 Παλαιό Αιολικό Πάρκο Ακρόχειρα. Με κίτρινο χρώμα σημειώνονται οι θέσεις των παλιών ανεμογεννητριών. (Google Earth, 20/10/2014, 39.227892° 25.913824°, 370μ, (Google Earth Pro 6/10/2020 )

Οι εργασίες του υπεργολάβου που ανέλαβε το έργο πραγματοποιήθηκαν υπό την επίβλεψη του Μουσείου Φυσικής Ιστορίας του Απολιθωμένου Δάσους Λέσβου. Παρά το γεγονός ότι οι νέες ανεμογεννητρίες εγκαταστάθηκαν στα σκάμματα βάσης στήριξης των παλαιών, χρειάστηκαν επιπλέον εκσκαφικές εργασίες λόγω του ότι ο νέος τύπος ανεμογεννητριών απαιτούσε μεγαλύτερα σκάμματα βάσης. Κατά τη διάρκεια διάνοιξης των σκαμμάτων αυτών βρέθηκε πολύ μεγάλος αριθμός απολιθωμάτων. Σχεδόν τριακόσιοι (300) απολιθωμένοι κατακείμενοι και ιστάμενοι κορμοί - κάποιοι γιγάντιων διαστάσεων-, κλαδιά και τμήματα φυλλοφόρων οριζόντων ανασκάφηκαν και στη συνέχεια απομακρύνθηκαν για την ασφάλειά τους ή συντηρήθηκαν επί τόπου από Μουσείο Φυσικής Ιστορίας Απολιθωμένου Δάσους Λέσβου.

Τα προϋπάρχοντα σκάμματα του Ακρόχειρα, η διαδικασία επέκτασης των τριών σκαμμάτων των νέων ανεμογεννητριών και οι εκτεταμένες ανασκαφές σε μήκος και σε βάθος των πολυάριθμων απολιθωμάτων έδωσαν μία σειρά από γεωλογικές τομές πρόσφορες για παρατήρηση και μελέτη των διαφορετικών φάσεων πυροκλαστικών και κλαστικών αποθέσεων του Σχηματισμού Πυροκλαστικών του Σιγρίου και για εξέταση της σχέσης των αποθέσεων και των εμφανίσεων των απολιθωμάτων.

Οι παρατηρήσεις έγιναν στο χρονικό διάστημα Αυγούστου 2018- Μαρτίου 2019, κατά την εξέλιξη των ανασκαφικών εργασιών, σε ένα περιβάλλον παρατήρησης διαρκώς μεταβαλλόμενο. Τα χαρακτηριστικά των διαφορετικών πυροκλαστικών αποθέσεων καταγράφηκαν κυρίως με κλασσικούς τρόπους γεωλογικής παρατήρησης πεδίου. Επιχειρήθηκε παράλληλα, με τη λήψη μεγάλου αριθμού φωτογραφιών των πρηνών των σκαμμάτων, η αναπαράσταση των γεωλογικών χαρακτηριστικών του σχηματισμού μέσω φωτογραμμετρικών μεθόδων με τη δημιουργία τρισδιάστατων ψηφιακών μοντέλων στα οποία αποτυπώθηκε η γεωλογική πληροφορία. Εκ των πραγμάτων η μελέτη του πυροκλαστικού σχηματισμού του Σιγρίου περιορίστηκε στο χώρο του «Ακρόχειρα», σε τομές κατά

μήκους του Αιολικού Πάρκου, οπότε μπορεί κάποιος να πει ότι η έρευνα έγινε σε μία σχετική μικροκλίμακα δεδομένης της μεγάλης εξάπλωσης του σχηματισμού στη ΒΔ Λέσβο. Παρατηρώντας τις φρέσκες τομές που δημιουργούνται κατά μήκος του υπό κατασκευή οδικού άξονα Καλλονής-Σιγρίου γίνεται αντιληπτός ο πολύ μεγάλος αριθμός διαφορετικών στρώσεων πυροκλαστικών, οι διάφορες πλευρικές τους μεταβάσεις, οι αλλαγές στην κλίση και η σημαντική δράση της νεοτεκτονικής στις μεταξύ τους σχέσεις. Δίνεται μία εξαιρετική εικόνα του σχηματισμού των πυροκλαστικών του Σιγρίου αλλά γίνεται και αντιληπτή η δυσκολία να ακολουθηθεί η αλληλουχία των στρώσεων και η μεταξύ τους σχέση σε τόσο μεγάλη κλίμακα. Η εξέταση των πυροκλαστικών αποθέσεων στον Ακρόχειρα, σε θέσεις κατά μήκος μια γραμμής μήκους περίπου 750 μέτρων, δίνει την ευκαιρία να συσχετιστούν στρωματογραφικά με σχετική ασφάλεια οι στρώσεις διαφορετικών τομών.

Στο σημείο αυτό παρατίθεται μία βιβλιογραφική ανασκόπηση των γεωλογικών χαρακτηριστικών της ολόκληρης της Λέσβου για ολοκληρωμένη αποτύπωση της γεωλογικής ιστορίας της περιοχής μελέτης.

### 1.1 Γεωγραφική Θέση- Φυσιογραφία Λέσβου

Η νήσος Λέσβος βρίσκεται στο ΒΑ τμήμα του Αιγαίου Πελάγους, σε απόσταση 10 χιλιομέτρων δυτικά των ακτών της Μικράς Ασίας. Είναι το τρίτο μεγαλύτερο νησί της Ελλάδας καλύπτοντας μία περιοχή 1630 τετραγωνικών χιλιομέτρων (Km<sup>2</sup>).

Η φυσιογραφία της Λέσβου ορίζεται από την παρουσία των κλειστών κόλπων της Καλλονής και της Γέρας η οποία αποδίδεται στη νεοτεκτονική δράση που οδήγησε στη βύθιση της Αιγηίδας. Το υδρογραφικό δίκτυο της Λέσβου χαρακτηρίζεται από πολλούς χειμάρρους, όχι ιδιαίτερα μεγάλους ποταμούς (Ευεργέτουλας, Τσικνιάς, Τσιχλιόντας κλπ) και πολλές πηγές. Το τεκτονικό βύθισμα του Κόλπου της Καλλονής με έκταση 110 τετραγωνικά χιλιόμετρα και μέσο βάθος 10 μέτρων χωρίζει εκ πρώτης όψευς το νησί σε δύο τμήματα.

Στο Ν και ΝΑ τμήμα του νησιού που εμφανίζεται ορεινό, σχετικά εξομαλυμένο από τη διάβρωση με έντονη φυτοκάλυψη. Το τεκτονικό παράθυρο του Ολύμπου δεσπόζει στην περιοχή με υψόμετρο 967μ. Η φυτοκάλυψη εξαρτάται άμεσα από τα πετρολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής. Η περιοχή που γεωλογικά χαρακτηρίζεται από οφειολίθους καλύπτεται πρωτίστως από πευκόδασος, η περιοχή των σχιστολίθων καλύπτεται από τον ελαιώνα της Λέσβου και οι περιοχές με ασβεστολιθικό υπόβαθρο συχνά στερούνται φυτοκάλυψης.

Βόρεια του Κόλπου της Καλλονής εκτείνεται η περιοχή των αλλεπάλληλων ηφαιστειακών κέντρων με τις εντυπωσιακές τοπογραφικές εξάρσεις όπως το όρος του Λεπέτυμνου (968μ) και την παρουσία εντυπωσιακών ηφαιστειακών δόμων (π.χ Δόμος Υψηλού) αλλά και τα χαρακτηριστικά βυθίσματα-καλδές όπως αυτά της Άγρας και της Βατούσας. Δυτικά της αλυσίδας των ηφαιστειών της Λέσβου εντοπίζεται η επικράτεια των πυροκλαστικών αποθέσεων με το σχετικά ήπιο τοπογραφικό ανάγλυφο και τις ακανόνιστες ηφαιστειακές κορυφές. Το ηφαιστειακό τμήμα της Λέσβου με τις χορτολιβαδικές εκτάσεις φιλοξενεί μεγάλο μέρος της κτηνοτροφικής δύναμης της Λέσβου .



Εικόνα 3 Δορυφορική εικόνα (Google-Earth) από την ευρύτερη περιοχή της Λέσβου και των της Μικρασιατικής ακτογραμμής (14/12/2015, 39.185170° 26.315094°(Google Earth Pro 6/10/2020 ))

## 1.2 Γεωδυναμικό Περιβάλλον Λέσβου

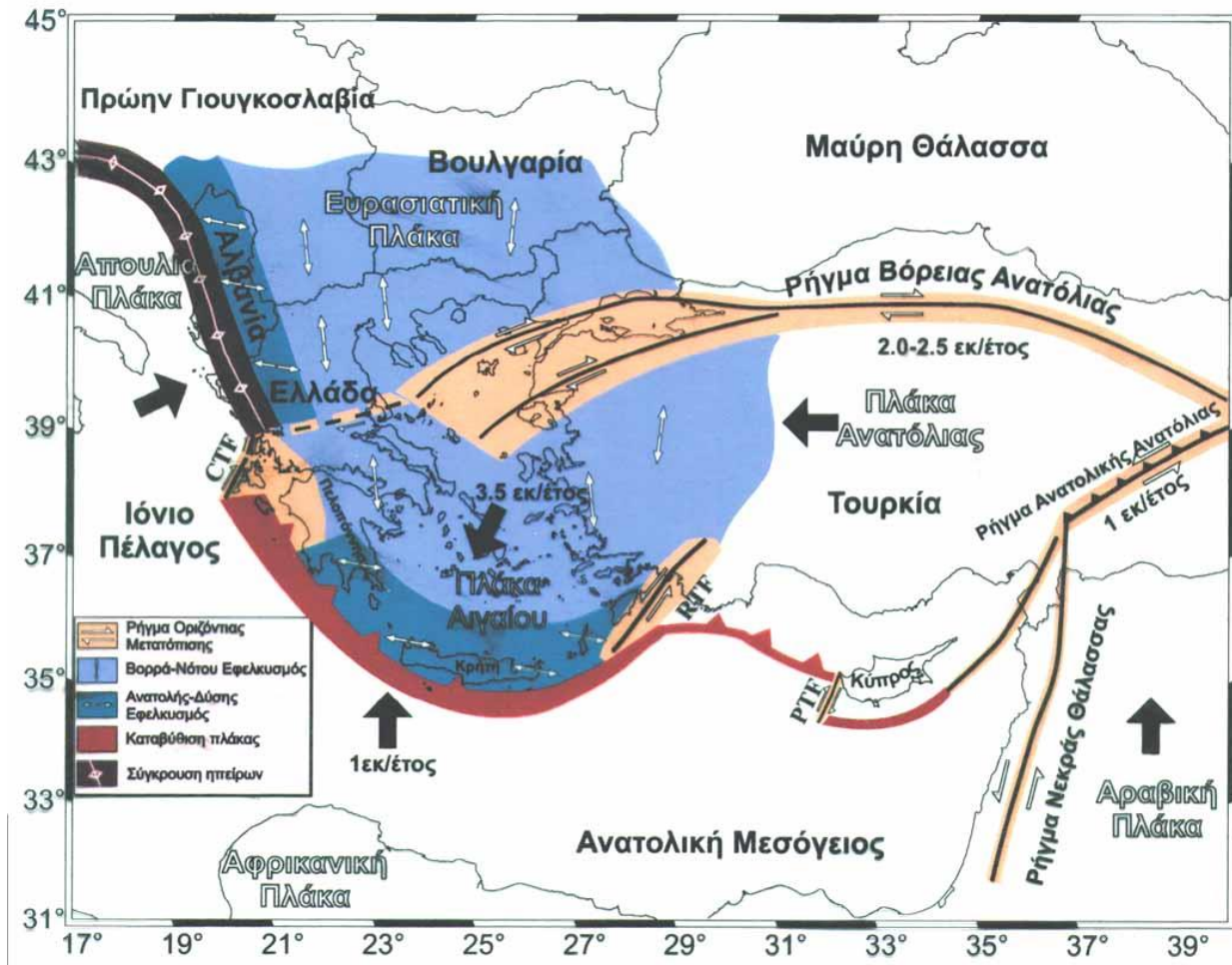
Μετά την ολοκλήρωση της Αλπικής τεκτορογενετικής διαδικασίας ξεκίνησε για τον Ελληνικό χώρο η εξέλιξη του γεωτεκτονικού καθεστώτος που οδηγεί στη σύγχρονη γεωτεκτονική κατάσταση με τον Νεογενή εφελκυσμό στο χώρο του Αιγαίου και τη δημιουργία του Ελληνικού Τόξου ως αποτέλεσμα της σύγκλισης της Αφρικανικής πλάκας με την Ευρασιατική.

Ο Νεογενής εφελκυσμός στην περιοχή του Αιγαίου ερμηνεύεται ως το αποτέλεσμα της τεκτονικής «διαφυγής» των μικροπλακών Ανατολίας και Αιγαίου (Εικ.4) που ωθήθηκαν προς τη Δύση κατά την κίνηση της Αραβικής πλάκας προς την Ευρασία (Jackson 1994). Η σύγκρουση της Ανατολίας με την Ευρασία κατά το Μειόκαινο προκάλεσε πάχυνση του φλοιού στην Ανατολική Ανατολία και την ακόλουθη προς Δύση βαρυτική κατάρρευση που οδήγησε στην μετανάστευση της πλάκας της Ανατολίας μέσω της ανάπτυξης του ρήγματος της Βόρειας Ανατολίας. Η ελάττωση του ρυθμού σύγκλισης Αφρικής και Ευρασίας στο Ολιγόκαινο (Savostin et. al 1986) ευθύνεται για το “roll-back” της ζώνης υποβύθισης (υποχώρηση της επωθούμενης πλάκας) (Royden 1993) και τον εφελκυσμό στο χώρο του Αιγαίου. Από το Κάτω Μειόκαινο η υποβύθιση του ωκεάνιου φλοιού της Μεσογείου εξελίχθηκε

παράλληλα με τον εφελκυσμό (Kastens 1991). Η περιστροφή του ηπειρωτικού φλοιού κατά τον Καινοζωικό αιώνα έφτασε στο Ανατολικό Αιγαίο και τη Δυτική Ανατολία μέχρι τις 15° -30° αντίστροφα με τους δείκτες του ρολογιού (Walcot and White 1998) και σχετίζεται με την υποχώρηση της ζώνης υποβύθισης και τον μεγάλης κλίμακας εφελκυσμό. Το Αιγαίο Πέλαγος θεωρείται τυπική περίπτωση οπισθοτόξιας λεκάνης που βρίσκεται «πίσω» από Νότιο Αιγαϊκό τόξο (Mc Kenzie 1978, Innocenti et. al 1979).

Γεωτεκτονικά η Λέσβος τοποθετείται πάνω σε κλάδο/προέκταση του γιγάντιου δεξιόστροφου ρήγματος οριζόντιας μετατόπισης της Βόρειας Ανατολίας εντός του ΒΑ αιγαϊακού χώρου. Η νεοτεκτονική δράση της περιοχής είναι εξαιρετικά έντονη και χαρακτηρίζεται από έντονη κινητικότητα (Mercier et al 1989, Papazachos et. al 1998) καθώς το ίχνος της δεξιόστροφης οριζόντιας μετατόπισης ρηξιγενούς ζώνης αποτελεί τον μοχλό μετακίνησης και περιστροφής της μικροπλάκας του Αιγαίου (Εικ.4). Η νεοτεκτονική εικόνα της περιοχής ολοκληρώνεται με την ύπαρξη κανονικής κίνησης ρηγμάτων που διαμορφώνουν τη δαντελωτή Μικρασιάτικη ακτογραμμή και δημιουργούν τις μεγάλες κατακόρυφες μετατοπίσεις και τη βύθιση των κόλπων που διαμορφώνουν το ανάγλυφο της Λέσβου (Mercier et al 1989, Pavlides et al 1990, Papazachos et. al 1998, Τρανός 2009 κ.ά.).





Εικόνα 4 Χάρτης ενεργού γεωδυναμικής της Ανατολικής Μεσογείου (Parazachos et. al 1998)

Γίνεται σαφές ότι το ανάγλυφο και η εικόνα της φυσιογραφίας της Λέσβου διαμορφώνεται από τα γεωλογικά της χαρακτηριστικά δηλαδή από τις στρωματογραφικές αλληλουχίες και τους λιθολογικούς χαρακτήρες των πετρωμάτων της ως απόρροια της παλαιογεωγραφικής της θέσης καθώς και από την νεοτεκτονική της ιστορία.

### 1.3 Γεωτεκτονική Εξέλιξη Λέσβου

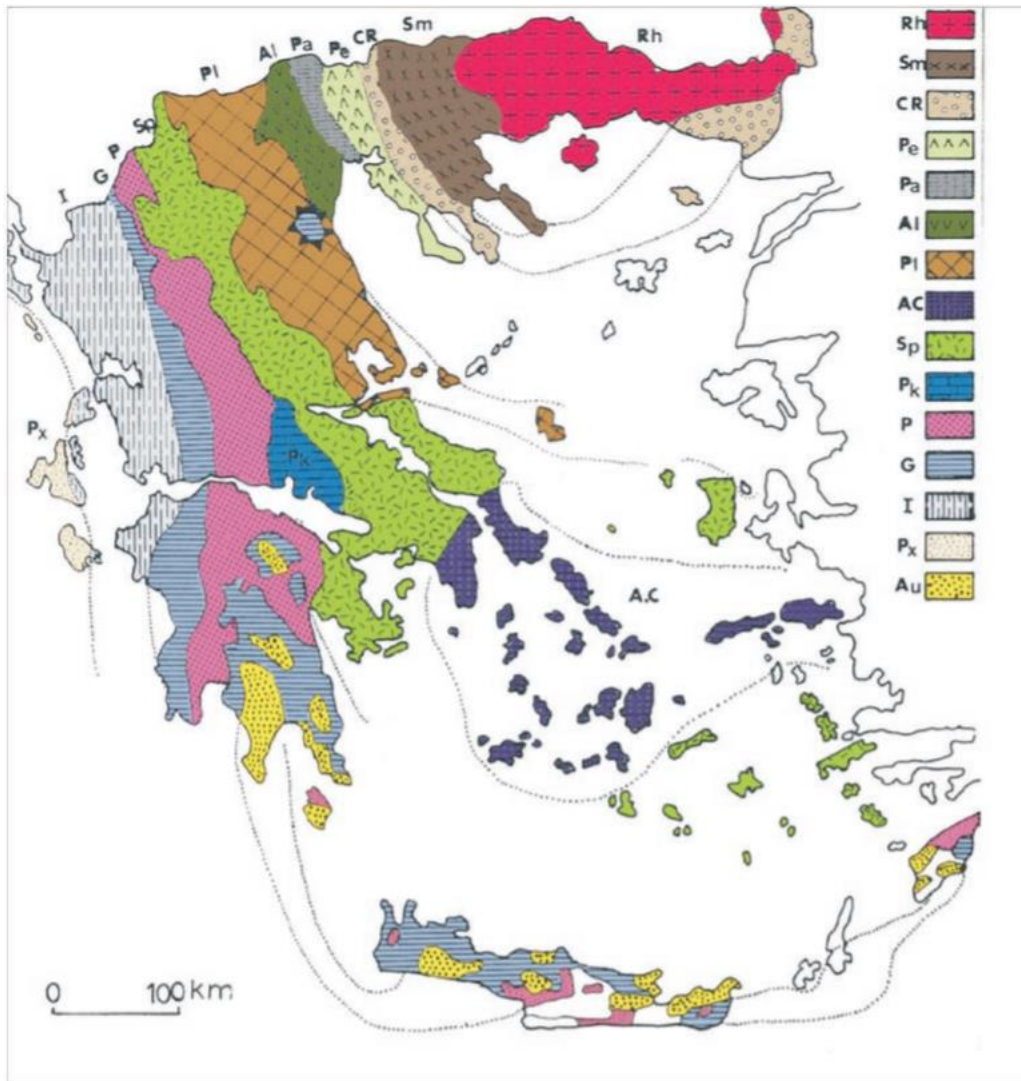
#### Προαλπικό -Αλπικό Γεωτεκτονικό περιβάλλον Λέσβου

Η Προαλπική και Αλπική γεωτεκτονική θέση της Λέσβου έχει αποτελέσει αντικείμενο επιστημονικού προβληματισμού. Οι επιμήκεις γεωτεκτονικές ζώνες του Ελληνικού ορογενούς διατάσσονται υποπαράλληλα με γενική διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ που προς την ανατολή μεταβαίνει σταδιακά σε Δ-Α και τελικά ΝΔ-ΒΑ (Εικ.5). Η Λέσβος βρίσκεται στο ανατολικό άκρο της καμπύλης κάμψης, περιβαλλόμενη

από θάλασσα. Ως εκ τούτου διαφαίνεται μία δυσκολία στην ξεκάθαρη ένταξη της Λέσβου σε κάποια ζώνη λόγω έλλειψης συνέχειας των γεωλογικών παρατηρήσεων.

Κατά το Μουντράκη η Λέσβος τοποθετείται κατά τους Προαλπικούς και Αλπικούς χρόνους στο δυτικό ηπειρωτικό περιθώριο της Πελαγονικής η οποία αναγνωρίζεται ως Κιμμερικό Τέμαχος (Mountrakis, 1983; 1986). Κατά το Άνω Ιουρασικό ξεκίνησε η ενδο-ωκεάνια υποβύθιση του φλοιού της Νεοτηθύος και η δημιουργία μεταμορφικής σόλας των σχηματισμών του ωκεάνιου φλοιού. Στο Κάτω Κρητιδικό πραγματοποιήθηκε η επώθηση των οφειολίθων του ωκεάνιου φλοιού της Νέοτηθύος και της συνοδής τους μεταμορφικής σόλας πάνω στο πελαγονικό ηπειρωτικό περιθώριο.

Παρατίθεται μία σύντομη περιγραφή των ζωνών της Ελληνικής Ενδοχώρας και των Εσωτερικών Ελληνίδων, δηλαδή των γεωτεκτονικών ζωνών της Ελλάδας που εμπλέκονται στην Προαλπική και Αλπική γεωλογική ιστορία της Λέσβου και των παλαιογεωγραφικών τους συνθηκών.



Εικόνα 5 . Γεωτεκτονικές ζώνες Ελλάδας: «Ενδοχώρα»: Rh- Μάζα της Ροδόπης, Sm- Σέρβομακεδονική μάζα , «Εσωτερικές Ελληνίδες»: CR- Περιοδοπική ζώνη , Ζώνη Αξιού (Pe- υποζώνη Παιονίας , Pa- υποζώνη Πάικου , Al- υποζώνη Αλμωπίας ) , Pl- Πελαγονική ζώνη , AC- Αττικο-Κυκλαδική ζώνη, Sp- Υποπελαγονική ζώνη , «Εξωτερικές Ελληνίδες»: Pk-ζώνη Παρνασσού – Γκιώνας, P- ζώνη Ωλονού – Πίνδου , G- ζώνη Γαβρόβου – Τρίπολης, I- Ιώνιος ζώνη, Px- ζώνη Παξών ή Πρααπουλία, Au- Ενότητα «Πλακώδεις ασβεστόλιθοι – Τελέα όρη» πιθανόν της Ιονίου ζώνης. (Mountrakis et al. 1983)

#### α) Ελληνική Ενδοχώρα

Οι κρυσταλλοσχιστώδεις μάζες της Ροδόπης και της Σερβομακεδονικής αποτελούν τη λεγόμενη «Ελληνική Ενδοχώρα» και συνιστούν ηπειρωτικό φλοιό γύρω από την οποία αναπτύχθηκε ο ωκεανός της Τυθός. Οι δύο ζώνες είχαν κοινή εξέλιξη κατά την ανάπτυξη του Ελληνικού ορογενούς και αναγνωρίζονται σαν τμήματα της Ευρασιατικής πλάκας. Έχει προταθεί παρόλα αυτά η πιθανή τους προέλευση από ανεξάρτητα ηπειρωτικά Κιμμερικά τεμάχη που αποσπάστηκαν από τη Γκοντβάνα όπως και στην περίπτωση της Πελαγονικής ζώνης.

#### β) Περιοδοπική

Η Περιοδοπική αντιπροσωπεύει την παλιά δυτική ηπειρωτική κατωφέρεια (Chatzidimitriadis & Kiliadis 1984) προς την ωκεάνια αύλακα του Αξιού με τα αντίστοιχα ιζήματα (φλύσχης), ηφαιστειοζηματογενή υλικά, ιζήματα βαθιάς θάλασσας και τις σημαντικές οφειολιθικές εμφανίσεις. Η ιζηματογένεση στην Περιοδοπική θεωρείται ότι συνεχίστηκε μέχρι το άνω Ιουρασικό-Κάτω Κρητιδικό (Μαγγανάς 1988), Θωμαΐδου 2009).

#### γ) Ζώνη Αξιού

Τα πετρώματα της ζώνης του Αξιού επιδεικνύουν γενικά χαρακτηριστικά ιζηματογένεσης μεγάλου βάθους σε αλπικούς χρόνους και αντιπροσωπεύουν τον παλαιό ωκεάνιο χώρο της Τηθύος μεταξύ της Ελληνικής Ενδοχώρας και της ηπειρωτικής υποθαλάσσιας ράχης της Πελαγονικής. Βασικό γεωλογικό χαρακτηριστικό της ζώνης είναι η παρουσία των οφειολίθων (εσωτερική οφειολιθική συρραφή ΙΡΟ). Όλοι οι Αλπικοί σχηματισμοί της ζώνης του Αξιού μέχρι την Μέσο-Άνω Κρητιδική επίκλυση είναι μεταμορφωμένοι σε συνθήκες πρασινοσχιστολιθικής φάσης. Η ζώνη του Αξιού υποδιαιρείται 1) στην υποζώνη της Παιονίας με χαρακτήρα ωκεάνιας αύλακας, 2) στην υποζώνη του Παϊκού που έχει χαρακτηριστικά θαλάσσιου υβώματος υπό μορφή νησιωτικού τόξου και τέλος 3) στην υποζώνη της Αλμωπίας που αναγνωρίζεται ως το δυτικό τμήμα του ωκεανού της Τηθύος και ο χώρος επώθησης των οφειολίθων στο ανατολικό ηπειρωτικό περιθώριο της Πελαγονικής που έλαβε χώρα στο Άνω Ιουρασικό.

#### δ) Πελαγονική

Η Πελαγονική αποτελεί τμήμα ανεξάρτητου Κιμμερικού ηπειρωτικού τεμάχους που αποσπάστηκε από την ήπειρο Γκοντβάνια και κινήθηκε προς την Ευρασιατική πλάκα (Mountrakis 1986). Η κίνηση αυτή είχε ως αποτέλεσμα την διάνοιξη του ωκεάνιου χώρου της Νεοτηθύος (ζώνες Υποπελαγονικής και Πίνδου) πίσω από το αποσπασμένο ηπειρωτικό τεμάχος (Πελαγονική) και συγχρόνως την συμπίεση και καταστροφή του ωκεάνιου χώρου της Τηθύος (ζώνη του Αξιού). Η βάση της ζώνης αποτελείται από το Παλαιοζωικό κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο με διεισδύσεις Άνω Λιθανθρακοφόρου. Οι μετακλαστικές Περμοτριάδικές σειρές ακολουθίες του Περμοτριάδικου με τα παρεμβαλλόμενα ηφαιστειακά υλικά αντιπροσωπεύουν την ηπειρωτική κατωφέρεια στο δυτικό ηπειρωτικό περιθώριο της Πελαγονικής κατά την αρχική ηπειρωτική διάρρηση και τη διάνοιξη του ωκεανού της Τηθύος (Μουντράκης 1983, Mountrakis et al. 1983). Ακολουθεί η κύρια νηριτική, ανθρακική ιζηματογένεση Τριαδικού – Ιουρασικού. Το λεγόμενο «Μεσοζωικό κάλυμμα της Πελαγονικής» με ιζηματογένεση ρηχής θάλασσας επί της ηπειρωτικής ράχης. Πάνω στα ηπειρωτικά περιθώρια της Πελαγονικής επωθήθηκαν, με παράλληλη δημιουργία τεκτονικών μιγμάτων, οι οφειόλιθοι μαζί με τα ωκεάνια ιζήματα των ωκεάνιων λεκανών της Τηθύος και της Νεοτηθύος (Μουντράκης, 1985). Κατά την ανάπτυξη του ορογενούς στο Άνω Ιουρασικό-Κάτω Κρητιδικό οι εσωτερικές Ελληνίδες αναδύθηκαν. Η Κρητιδική επίκλυση της θάλασσας είχε ως αποτέλεσμα την ασύμφωνη ιζηματογένεση πάνω στο ανθρακικό κάλυμμα και τους οφειολίθους. Η επικλυσιογενής ιζηματογένεση ολοκληρώνεται με χαρακτηριστικό σχηματισμό φλύσχη. Η Παλαιοζωική μεταμόρφωση του κρυσταλλοσχιστώδους είναι αμφιβολιθικής φάσης. Οι γρανιτικές διεισδύσεις του Λιθανθρακοφόρου, τα Περμοτριάδικα ηφαιστειοζηματογενή και το ανθρακικό κάλυμμα υπέστησαν αλπική μεταμόρφωση πρασινοσχιστολιθικής φάσης Άνω Ιουρασικού-Κάτω Κρητιδικού που επηρέασε σαφώς και το υπόβαθρο (Mercier 1966).

#### ε) Υποπελαγονική



Η Υποπελαγονική ζώνη αναγνωρίζεται ως το ανατολικό τμήμα του ωκεανού της Νεοτηθύος και ο χώρος επώθησης των οφειολίθων στο δυτικό ηπειρωτικό περιθώριο της Πελαγονικής. Συμπεραίνεται ότι η Υποπελαγονική ζώνη μαζί με τη ζώνη Πίνδου αντιπροσωπεύουν τα πετρώματα του αυτού ωκεάνιου χώρου (Smith et al. 1979, Mountrakis 1982b, 1983, 1985, Rassios 1991). Η Νεοτηθύς λειτούργησε σαν αύλακα ιζηματογένεσης μέχρι το Τριτογενές (Ηώκαινο – Ολιγόκαινο). Κύρια χαρακτηριστικά της Υποπελαγονικής είναι η παρουσία οφειολίθων (εξωτερική οφειολιθική συρραφή ERO) που τοποθετήθηκαν πάνω στο Πελαγονικό ηπειρωτικό περιθώριο κατά την υποβύθιση της Τηθύος στο Άνω Ιουρασικό -Κάτω Κρητιδικό (Mountrakis 1982, Μουντράκης 1983, 1986, Παπανικολάου 1986) και τα συνοδά ωκεάνια-πελαγικά ιζήματα. Κάτω από τους οφειολίθους παρατηρούνται πετρώματα «μεταμορφικής σόλας» και τεκτονικά μίγματα. Μετά τη διακοπή ιζηματογένεσης στο Κάτω Κρητιδικό ακολούθησε στο Άνω Κρητιδικό η απόθεση επικλυσισμένων ιζημάτων και στο Τριτογενές ο φλύσχης

#### Μεταλλικό γεωτεκτονικό περιβάλλον Λέσβου

Μετά την ολοκλήρωση της τεκτοορογενετικής διαδικασίας ξεκίνησε για τον Ελληνικό χώρο η εξέλιξη του γεωτεκτονικού καθεστώτος που φτάνει μέχρι τη σύγχρονη γεωτεκτονική κατάσταση, τον Νεογενή εφελκυσμό στο χώρο του Αιγαίου και τη δημιουργία του Ελληνικού Τόξου ως αποτέλεσμα της σύγκλισης της Αφρικανικής πλάκας με την Ευρασιατική. Όπως προαναφέρθηκε, αποτέλεσμα της εν εξελίξει υποβύθισης και του έντονου εφελκυσμού στο χώρο του Αιγαίου είναι ο έντονος μαγματισμός και η ηφαιστειότητα του Ελληνικού χώρου κατά τον Καινοζωικό. Στο Κάτω Μειόκαινο η μεγάλη εξάπλωση των σωσονιτικών ηφαιστειών στο ΒΑ Αιγαίο και τη ΒΔ Ανατολία (Dilek & Altunkaynak 2009, Pe-Piper 2002) σχετίζεται με την τήξη λιθοσφαιρικού μανδύα από την άνοδο υλικών της ασθενόσφαιρας διαμέσου της αποκόλλησης τμήματος του ωκεάνιου φλοιού. Η μετακίνηση της ζώνης υποβύθισης κατά την εξέλιξή της είχε σαν αποτέλεσμα τη μετανάστευση του ηφαιστειακού τόξου του Αιγαίου προς το Νότο με αποτέλεσμα τη δημιουργία χαρακτηριστικών ζωνών πυριγενών πετρωμάτων στον Ελληνικό χώρο που διαφοροποιούνται σε ηλικία και πετρολογία από το Βορρά προς το Νότο. Όσον αφορά την ηφαιστειότητα στον ελληνικό χώρο διακρίνονται κατά τους Fytikas et. al 1984 :

- Στη Βόρεια Ελλάδα Ηωκαινικές- Ολιγοκαινικές ασβεσταλκαλικές μέχρι και σωσονιτικές λάβες
- Στο ΒΑ Αιγαίο και τις γειτονικές περιοχές της Ανατολίας Κάτω-Μειοκαινικές ασβεσταλκαλικές και σωσονιτικές λάβες
- Υψηλού Μαγνησίου ανδεδιτικές λάβες Μέσου Μειοκαίνου στα νησιά του Κεντρικού Αιγαίου
- Μικρά ηφαιστειακά κέντρα στο Δυτικό και Νότιο Αιγαίο κατά το Άνω Μειόκαινο με Τεταρογενές με ποικίλες χημικές συστάσεις από σωσονιτικές λάβες μέχρι καλιούχους Τραχείτες και νατριούχους νεφελιτικούς βασάλτες.
- Η ασβεσταλκαλική ηφαιστειότητα του Νοτίου Αιγαίου που ξεκίνησε στο Πλειόκαινο και συνεχίζει μέχρι και σήμερα.

Υπάρχουν πολυάριθμες και αλληλοσυγκρουόμενες ερμηνείες για τις τεκτονικές συνθήκες που επικρατούσαν στο Κάτω Μειόκαινο κατά την έξαρση της ηφαιστειότητας στο ΒΑ Αιγαίο και τη Δυτική Ανατολία και κατά πόσο αυτές επέδρασαν στην εκδήλωση αυτής της ηφαιστειότητας. Παρόλα αυτά

είναι γεγονός ότι υπήρξε μία απότομη διακοπή της παραγωγής πυριγενών σωμάτων που μεταναστεύει από το Βορρά προς το Νότο χρονικά. Στη Θράκη τοποθετείται στα 26 Ma, στη Σαμοθράκη στα 18.5 Ma, στη Λήμνο στα 18 Ma, στη Λέσβο στα 16.5 Ma. Οι Fytikas et. al 1984 συσχετίζουν την πυριγενή αυτή δραστηριότητα με την υποβύθιση, τον οπισθοτόξιο εφελκυσμό και το roll-back της υποβύθισης που είχαν σαν αποτέλεσμα την μετανάστευση του ενεργού ηφαιστειακού τόξου προς το Νότο.

#### 1.4 Γεωλογική Δομή Λέσβου

Σύμφωνα με τα παραπάνω η γεωλογική δομή της Λέσβου είναι η ακόλουθη

##### Προαλπικό-Αλπικό Αυτόχθονο Υπόβαθρο

Το προαλπικό-αλπικό υπόβαθρο καλύπτει την ΝΑ Λέσβο και έχει περιορισμένες εμφανίσεις στο ΒΔ άκρο του νησιού. Πρόκειται για μία ενότητα Άνω Παλαιοζωϊκού- Τριαδικού μεταμορφωμένη στη πρασινοσχιστολιθική φάση με δύο συνεχείς σειρές πετρωμάτων που περιγράφονται από τη Θωμαΐδου 2009 ως εξής: τον κατώτερο ορίζοντα Άνω Παλαιοζωϊκού-Κάτω Τριαδικού μετακλαστικών ιζημάτων και τον ανώτερο ορίζοντα Μέσου-Άνω Τριαδικού (έως και Ιουρασικού) αποτελούμενο από ανθρακικά πετρώματα μεταμορφωμένα. Το υπόβαθρο χαρακτηρίζεται ως σχετικά αυτόχθονο δεδομένης της χαρακτηριστικής θέσης της Λέσβου στην «άκρη» της καμπύλης κάμψης των ζωνών του Ελληνικού ορογενούς (Εικ.5) οι οποίες έτσι και αλλιώς θεωρείται δεδομένο ότι έχουν μετακινηθεί σημαντικά. Τα μετακλαστικά ιζήματα Άνω Παλαιοζωϊκού-Κάτω Τριαδικού εμφανίζονται σε εναλλαγές φυλλιτών-σερικιτικών σχιστολίθων, μετα-ψαμμιτών, μετα-αρκόζων και μετα-κροκαλοπαγών σε μορφή ρυθμικής επανάληψης δίνοντας την εικόνα ενός μετα-φλύσχη. Η μετακλαστική σειρά περνάει σταδιακά στα ανθρακικά πετρώματα Μέσου-Άνω Τριαδικού του ανώτερου ορίζοντα του υποβάθρου, δηλαδή σε νηριτικούς ανακρυσταλλωμένους ασβεστόλιθους και μάρμαρα. Κατά τη Θωμαΐδου 2009 το αυτόχθονο υπόβαθρο της Λέσβου έχει χαρακτήρα ηπειρωτικού περιθωρίου το οποίο προσομοιάζει με το Δυτικό Πελαγονικό περιθώριο.

##### Αλπικοί Αλλόχθονοι Σχηματισμοί

Σύμφωνα με τους Katsikatsos et al. 1982 οι αλλόχθονοι σχηματισμοί της Λέσβου διακρίνονται σε δύο τεκτονικές ενότητες: την ενότητα του τεκτονικού καλύμματος ηφαιστειοϊζηματογενών σχηματισμών και την ενότητα του τεκτονικού καλύμματος οφειολιθικών πετρωμάτων. Πάνω στο αυτόχθονο υπόβαθρο που αντιπροσωπεύει το παλιό ηπειρωτικό περιθώριο, τοποθετήθηκε τεκτονικά το οφειολιθικό κάλυμμα. Οι αυτόχθονοι σχηματισμοί εμφανίζονται ελαφρά μεταμορφωμένοι και ισχυρά παραμορφωμένοι.

Οι αλλόχθονες ενότητες βρίσκονται επωθημένες πάνω στην αυτόχθονη ενότητα του υποβάθρου της Λέσβου και εντοπίζονται στο νοτιοανατολικό τμήμα του νησιού, ενώ μία μικρή εμφάνιση του τεκτονικού καλύμματος των ηφαιστειοϊζηματογενών σχηματισμών παρατηρείται στο βορειοδυτικό τμήμα, στην ευρύτερη περιοχή Σιγρίου (Katsikatsos et al. 1982, 1986).

##### Μεταλπικοί Σχηματισμοί

- **Ηφαιστειακοί σχηματισμοί**

Το κεντρικό, βόρειο και βόρειο-δυτικό τμήμα της Λέσβου καλύπτεται από ηφαιστειακά προϊόντα Άνω Ολιγοκαίνου- Κάτω Μειοκαίνου ασβεσταλκαλικής μέχρι σωσονιτικής σύστασης. Αντίστοιχοι ηφαιστειακοί σχηματισμοί έχουν ευρεία εμφάνιση στο χώρο του ΒΑ Αιγαίου και σε ένα τμήμα της Δυτική Ανατολίας. Εκτενέστερη αναφορά σχετικά με τους ηφαιστειακούς σχηματισμούς της Λέσβου γίνεται στο Κεφάλαιο 2.

- **Νεογενείς Αποθέσεις**

Μετά την ολοκλήρωση της ηφαιστειακής δραστηριότητας ακολούθησε μια περίοδος θαλάσσιας και λιμναίας Πλεοκαινικής ιζηματογένεσης (μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι, ψαμμίτες, κροκαλοπαγή, μάργες και άργιλοι). Στη συνέχεια ακολούθησαν οι ποταμοχειμάρριες χερσαίες αποθέσεις Πλειστοκαίνου και Ολοκαίνου εποχής.

## 2 Ηφαιστειακοί σχηματισμοί Λέσβου

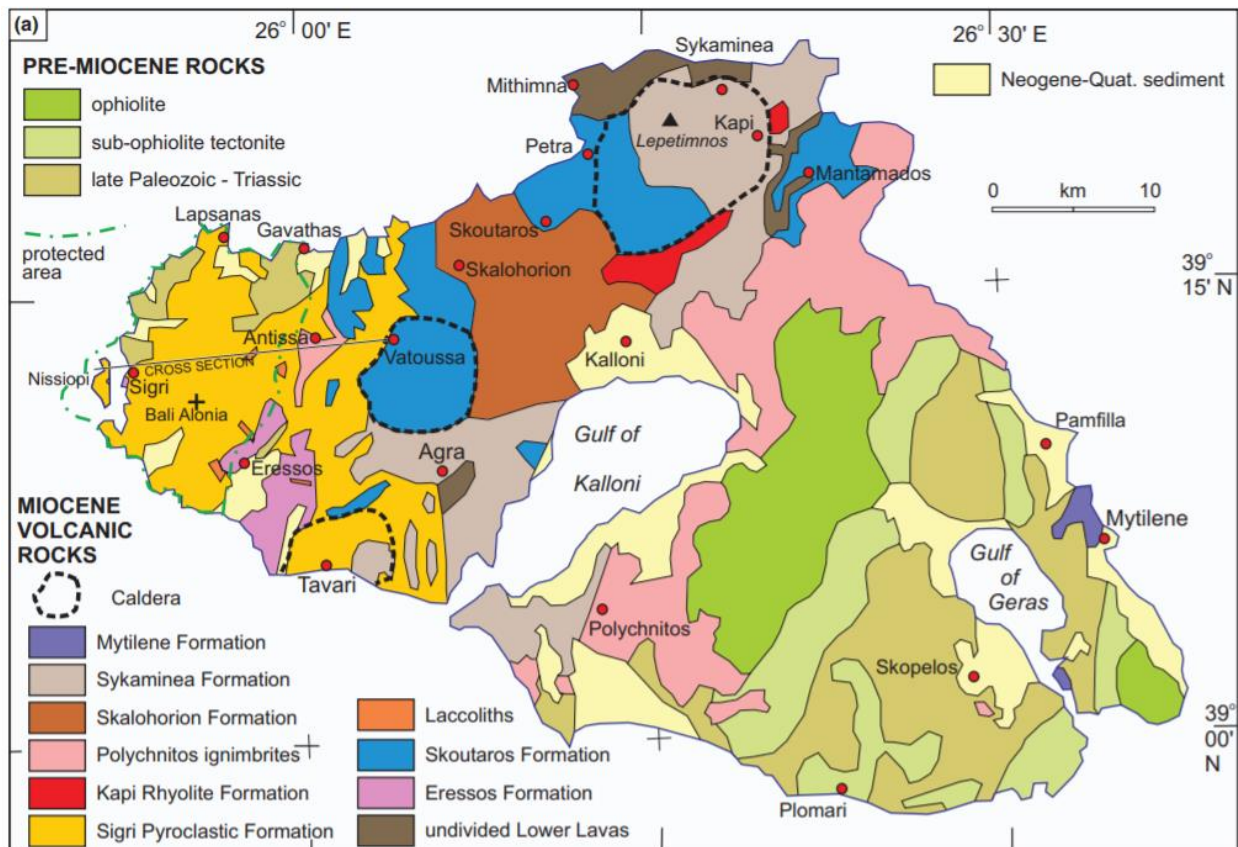
Όπως προαναφέρθηκε, ένα μεγάλο κομμάτι της Λέσβου καλύπτεται από ηφαιστειακά προϊόντα Άνω Ολιγοκαίνου- Κάτω Μειοκαίνου ασβεσταλκαλικής μέχρι σωσονιτικής σύστασης που αποδίδουν στην περιοχή του ΒΑ Αιγαίου μέχρι και τη Δυτική Ανατολία τον χαρακτήρα του ηφαιστειακού τόξου (Fytikas et. al 1984)

Μια αλυσίδα στρωματο-ηφαιστειών εκτείνεται NNΔ-BBA στην κεντρική Λέσβο πάνω στο μεταμορφωμένο υπόβαθρο της περιοχής (Hecht.1972-1976, Pe-Piper, 1980).

Στο σύμπλεγμα των ηφαιστειακών κέντρων της Λέσβου ξεχωρίζουν από τα μορφολογικά τους χαρακτηριστικά και τις εκτεταμένες εμφανίσεις εξαλλοιωμένων πετρωμάτων μεγάλες καλδέρες όπως της Βατούσας και του Μεσοτόπου (Pe-Piper, 1980, Vamvoukakis et. al 2005).

Η γενική τάση των ηφαιστειακών κέντρων είναι παράλληλη με την επικρατούσα δεξιόστροφη, οριζόντιας μετατόπισης τεκτονική που προαναφέρθηκε και εκφράζεται ξεκάθαρα και στη γειτονική Ανατολία επηρεάζοντας τη κατανομή των ιζηματογενών λεκανών. Δευτερευόντως εφελκυστικά ανοίγματα διεύθυνσης Α-Δ πληρώθηκαν από σμήνη ηφαιστειακών φλεβών (Yilmaz et al 2000, Pe-Piper και Piper 2007).

Η πρώιμη ηφαιστειότητα Κάτω Μειοκαίνου της Λέσβου στην περιοχή της Ερεσού (21.5 εκ. χρόνια) ήταν ασβεσταλκαλικής σύστασης. Ακολούθησε έντονη ηφαιστειακή δραστηριότητα ηλικίας 18.5-17 εκατομμυρίων χρόνων (Pe-Piper&Piper 1992) σωσονιτικού κυρίως γεωχημικού χαρακτήρα (με λίγους ενδιαστρωμένους ασβεσταλκαλικούς ανδεσίτες) με εκρήξεις που παρήγαγαν μεγάλους όγκους λάβας και ιγνιμβρίτη, φλεβικές διεισδύσεις, λακκόλιθους και πυροκλαστικά υλικά στη ΒΔ Λέσβο.



Εικόνα 6 Γεωλογικός χάρτης Λέσβου βασισμένος σε Hecht (1972–1976) τροποποιημένος από Pe-Piper 1980 με έμφαση στα ηφαιστειακά της Δυτικής Λέσβου.

Η στρωματογραφική αλληλουχία της Δυτικής Λέσβου, που είναι και η περιοχή ενδιαφέροντος της παρούσας εργασίας, έχει ως εξής όπως την παρουσιάζουν οι Pe-Piper et. al 2019b:

α) Μεταμορφικό Υπόβαθρο

Το γεωλογικό υπόβαθρο της Δυτικής Λέσβου αποτελείται κυρίως από σχιστόλιθους και μάρμαρα του Περμιού (Katsikatos, Matarangas, Migiros & Triantafyllidis, 1982).

β) Σχηματισμός Γαββαθά

Πάνω το μεταμορφωμένο υπόβαθρο βρίσκονται τα Καινοζωικά λιμναία ιζήματα του Γαββαθά (μάργες, σχιστόλιθοι, ψαμμίτες και λιγνίτες) (Koufos, Zouros & Mourouzidou 2003, Mourouzidou, 2001). Τα απολιθώματα μικροθηλαστικών που βρέθηκαν ανήκουν στις ζώνες νεογενών θηλαστικών MN3 και MN4. Η ζώνη MN3 υπολογίζεται ότι έχει ηλικία 21-18 Ma. Η ηλικία τη ζώνης MN4 υπολογίζεται μικρότερη από 18 Ma στο σχηματισμό Μολάσσας των Ελβετικών Άλπεων (Agusti et al, 2001). Παρόλα αυτά η μετανάστευση των θηλαστικών από την Ασία στο χώρο της Ελλάδας είναι πιθανό να έγινε νωρίτερα γεγονός που δικαιολογεί μεγαλύτερη ηλικία στο σχηματισμό του Γαββαθά (Vasileiadou & Zouros, 2012)

γ) Σχηματισμός Ερεσού

Μία σειρά από ηφαιστειακούς θόλους ανδειστικής-δακτικικής σύστασης, ηλικίας  $21,6 \pm 0,5$  εκατομμύριων χρόνων διείσδυσαν και διαπέρασαν το μεταμορφικό υπόβαθρο στην περιοχή της Ερεσού

δ) Σχηματισμός Πυροκλαστικών Σιγρίου

Ο Σχηματισμός Πυροκλαστικών Σιγρίου αποτελείται από μία ακολουθία τόφφων αρκετών εκατοντάδων μέτρων ενδιασρωμένων με ποταμοχειμάρια κροκαλοπαγή (πχ μεταξύ Τζίθρας και Βατούσας), ηφαιστειοκλαστικό ψαμμίτη και λεπτά στρώματα παλαιοεδαφών ηλικίας 22-18.4 εκατ. Χρόνων. Παραπάνω πληροφορίες για τον σχηματισμό θα δοθούν παρακάτω

ε) Διεισδύσεις

Διακρίνονται τουλάχιστον δύο τύποι διεισδύσεων που τέμνουν τον σχηματισμό πυροκλαστικών του Σιγρίου. 1: Οι φλέβες του Μεσοτόπου (Pe-Piper & Piper, 1993). Πρόκειται για φλέβες διείσδυσης και λακκόλιθους στην περιοχή μεταξύ Μεσοτόπου και Ερεσού καθώς και τον λακκόλιθο της Μονής Υψηλού ηλικίας  $17.9 \pm 0.6$  Ma (Pe-Piper, Matarangas, Reynolds, & Chatterjee, 2003). 2: Υπο-πλουτώνιες ανδειστικές διεισδύσεις που τέμνουν τους τόφφους του δυτικού τμήματος της καλδέρας της Βατούσας (Pe-Piper & Piper, 1993).

στ) Σχηματισμός Σκουτάρου

Βασαλτικές και ανδειστικές ροές λάβας με μικρό περιεχόμενο σε ένυδρα ορυκτά που υπέρκεινται τοπικά του Σχηματισμού Πυροκλαστικών Σιγρίου .

ζ) Ιγνιμβρίτης Πολιχνίτου

Ο σχηματισμός Ιγνιμβρίτη του Πολιχνίτου αποτελείται από επτά (7) εκτεταμένες στρώσεις ιγνιμβρίτη πάχους 30-50 μέτρων στην Ανατολική Λέσβο (Pe-Piper, 1980). Διαπιστώνεται χρονική ταύτιση του ιγνιμβρίτη και του ανώτερου τμήματος του σχηματισμού του Σκουτάρου. Το αζιμούθιο και η λεπίωση των επιμήκων κλασμάτων στις στρώσεις του ιγνιμβρίτη (Pe-Piper, 1977) υποδεικνύει προέλευση των παλαιότερων (κατώτερων) στρώσεων από μία καλδέρα στα βόρεια του νησιού κοντά στο Λεπέτυμνο ενώ το νεότερο τμήμα του σχηματισμού που είναι εμφανές και ΝΑ του κόλπου της Καλλονής προέρχεται πιθανώς από την καλδέρα της Βατούσας (Pe-Piper, 1980b). Η χημική του σύσταση του είναι του εύρους δακίτη- ρυόλιθου με περιεχόμενο  $\text{SiO}_2$  66%-74% σε μορφή γυαλιού (Pe-Piper, 1980a).

η) Σχηματισμός Σκαλοχωρίου

Ενδιάμεσης σύστασης λάβες ανάστροφης μαγνήτισης που βρίσκονται μεταξύ του σχηματισμού του Σκουτάρου και του σχηματισμού της Συκαμιάς

θ) Σχηματισμός Συκαμιάς

Ανάστροφης μαγνήτισης ακολουθία ανδειστών, δακιτών και αραιών πυροκλαστικών (στρωματοηφαίστειο) ηλικίας 17.3 εκ. χρόνια (Pe-Piper 1980).

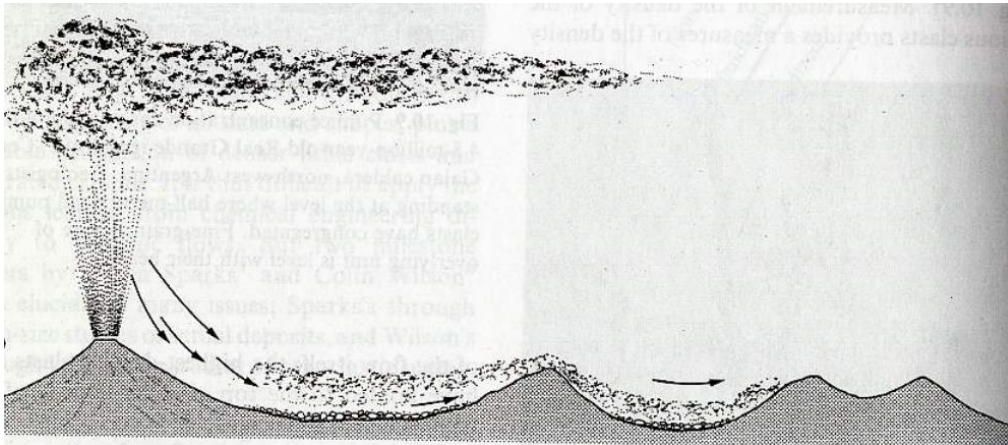
ι) Σχηματισμός Μυτιλήνης

Στην ανατολική Λέσβο μικρές εμφανίσεις από βασάλτες και ανδεισίτες με ηλικία 16.8 εκ. χρόνια (Pe-Piper & Piper 2002)

## 2.1 Πυροκλαστικές Ροές και μηχανισμοί γένεσης

Οι πυροκλαστικές ροές που εμφανίζονται στην περιοχή μελέτης είναι είτε αποτέλεσμα της κατάρρευσης της ηφαιστειακής στήλης προς δημιουργία ιγνιμβρίτη είτε αποτέλεσμα κατάρρευσης ηφαιστειακού θόλου/λάβας υπό την επίδραση της βαρύτητας ή από έκρηξη προς δημιουργία αποθέσεων τεμαχών και στάχτης (Wright, J.V., Smith, A.L. και Self, S., 1980)

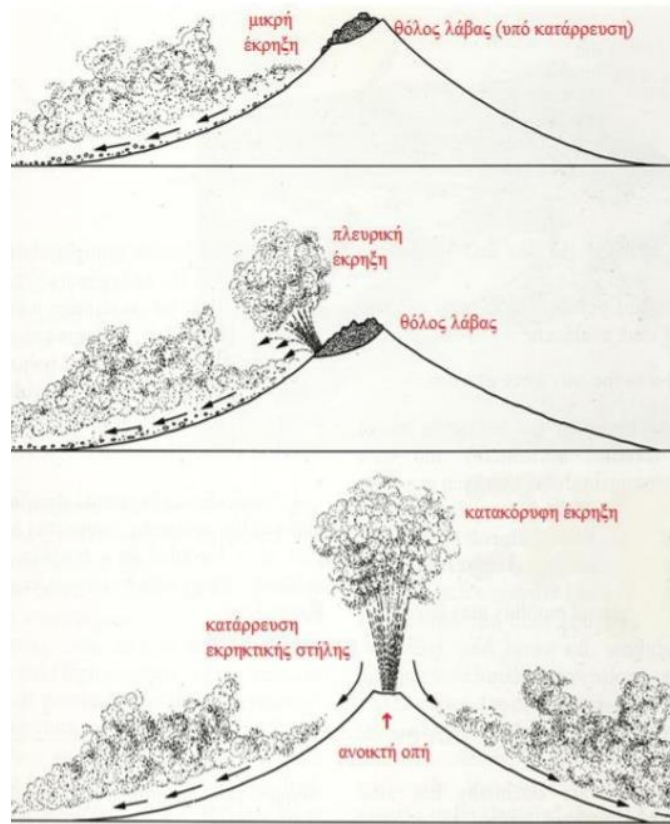
Οι πυροκλαστικές ροές από την κατάρρευση της ηφαιστειακής στήλης αποτελούνται από ηφαιστειακή στάχτη, ελαφρόπετρα και αέρια και έχοντας τεράστια κινητική ενέργεια δεν εμποδίζονται από τις τοπογραφικές εξάρσεις τις οποίες και καλύπτουν (Εικ7) . Παρόλο που συνοδεύονται από σύννεφο σκόνης, οι ροές καθαυτές είναι εξαιρετικά πυκνές και κινούνται στο έδαφος (Francis 1993)



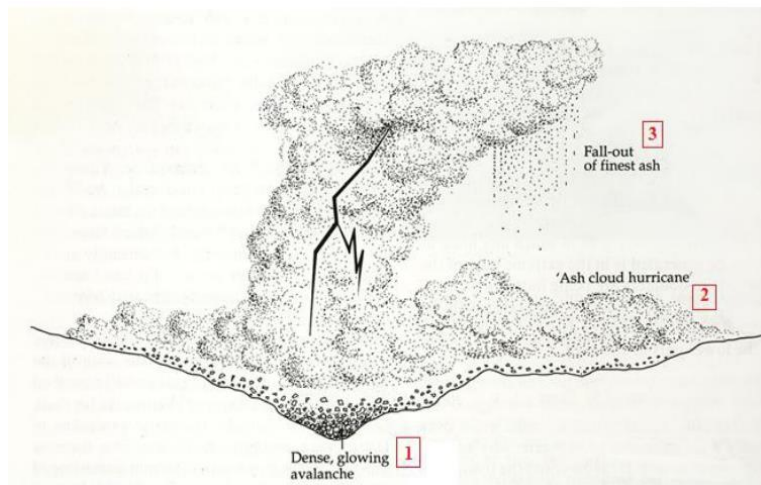
Εικόνα 7. Πυροκλαστική ροή από κατάρρευση ηφαιστειακής στήλης. (Francis 1993)

Οι πυροκλαστικές ροές από την κατάρρευση λάβας/ θόλου λάβας αποτελούνται από τεμάχια λάβας που συχνά δεν έχουν ψυχθεί πλήρως, ηφαιστειακή στάχτη και κάποιες φορές αέρια και κινούνται συνήθως υπό την επίδραση της βαρύτητας μέσα σε κανάλια. Οι μηχανισμοί γένεσης των ροών αυτών, όπως φαίνεται και στην Εικ.8 σχετίζονται με την βαρυτική κατάρρευση λάβας, με κατάρρευση λάβας λόγω έκρηξης αλλά ακόμα και κατάρρευση ηφαιστειακή στήλης. Η ροή των μεγάλων κλαστών περιορίζεται εντός του καναλιού ενώ στα όρια του καναλιού αποτίθενται πιο λεπτομερή κλάσματα. Ο ορίζοντας της στάχτης που επικάθεται συνήθως είναι πού μικρού πάχους (Εικ.9). Τελικά οι αποθέσεις που προκύπτουν έχουν πολύ μεγάλο περιεχόμενο σε λιθικά κλάσματα και στάχτη σαν υλικό πλήρωσης τους.





Εικόνα 8. Μηχανισμοί γένεσης ρευμάτων τεμαχών και στάχτης. (Francis 1993)



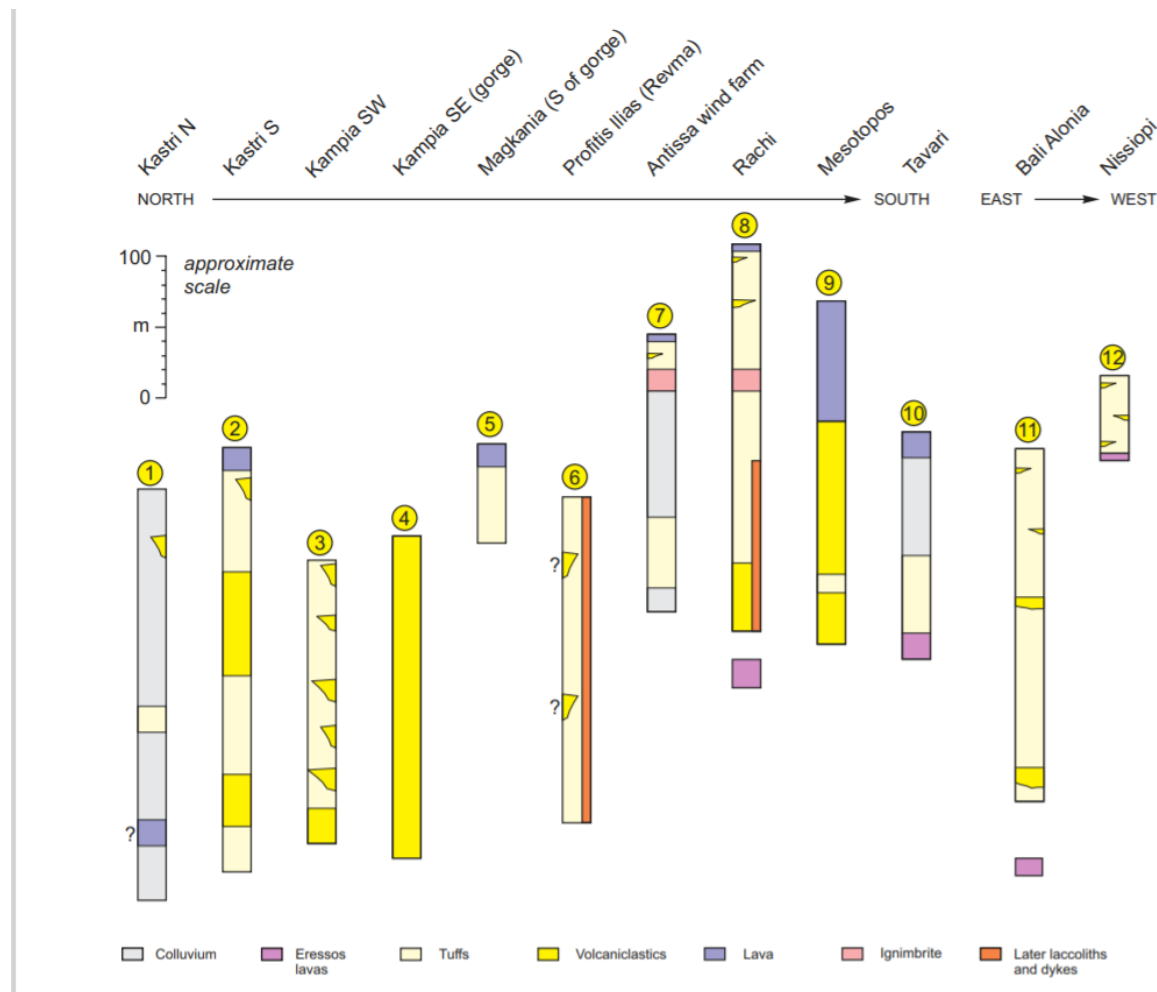
Εικόνα 9. Εγκάρσια τομή ροής τεμαχών και στάχτης.



## 2.2 Πυροκλαστικός Σχηματισμός Σιγρίου

Ο Σχηματισμός Πυροκλαστικών Σιγρίου αποτελείται από μία ακολουθία τόφφων αρκετών εκατοντάδων μέτρων ενδιασρωμένων με ποταμοχειμάρια κροκαλοπαγή (πχ μεταξύ Τζίθρας και Βατούσας), ηφαιστειοκλαστικό ψαμμίτη και λεπτά στρώματα παλαιοεδαφών.

Στρωματογραφικά υπέρκειται των σχηματισμών Γαββαθά και Ερεσού και υπόκειται του σχηματισμού του Σκουτάρου. Στους ανώτερους ορίζοντες του σχηματισμού, δυτικά της Άντισσας, βρίσκεται ενδιασρωμένος ιγνιμβρίτης πάχους 25 μέτρων, τεκτονικά καταβυθισμένος ανατολικά της Τζίθρας. Η ηλικία του σχηματισμού είναι Κάτω Μειοκαινική και κυμαίνεται από 21.5 -22 Ma ( εφόσον είναι υπερκείμενος του σχηματισμού λιμναίων ιζημάτων Γαββαθά) μέχρι και νεώτερος των 18.4 Ma. Η λεκάνη που σχηματίστηκε υπό το καθεστώς BBA δεξιόστροφου τεκτονισμού οριζόντια μετατόπισης διαμόρφωσε τοπογραφικά την περιοχή. Τη δημιουργία των πυροκλαστικών αποθέσεων του Σιγρίου την ακολούθησε στα 18Ma μία ραγδαία αύξηση της ηφαιστειακής δραστηριότητας με αλληπάλληλα επεισόδια έκχυσης λάβας ,απόθεσης ιγνιμβρίτη, διεισδύσεις φλεβών και δημιουργία λακκολίθων στη ΝΔ Λέσβο.



Εικόνα 10. Στρωματογραφικές στήλες του σχηματισμού του Σιγρίου. Piper et. al 2019

Διακρίνονται τρεις διαφορετικές μορφές απόθεσης στον σχηματισμό πυροκλαστικών του Σιγρίου όπως περιγράφονται από Pe-Piper et. al 2019:

- Τόφφοι και σχετικές πυροκλαστικές αποθέσεις

Οι στρώσεις τόφφου έχουν πάχος που κυμαίνεται από λίγα εκατοστά μέχρι και μερικά μέτρα. Συνήθως υπάρχει περιεχόμενο σε ελαφρόπετρες και λιθικά κλάσματα διεσπαρμένα μέσα στο πυριτικό matrix και σπανίως σε τόσο μεγάλο ποσοστό ώστε να αλληλοστηρίζονται. Τα λιθικά μπορεί να έχουν διάμετρο μέχρι και ένα (1) μέτρο. Συμβαίνει τα συναντώνται και ορίζοντες χωρίς λιθικά κλάσματα. Μεταξύ των στρώσεων παρεμβάλλεται συχνά λεπτός ορίζοντας παλαιοεδάφους που μπορεί να φέρει υπολείμματα από θραύσματα φυτικών απολιθωμάτων.

Το matrix (μήτρα) στάχτης αποτελείται από άμορφο πυριτικό υλικό όπως είναι η ελαφρόπετρα και το γυαλί και λίγους κρυστάλλους ορυκτών όπως άστριοι και βιοτίτης καθώς και πολύ μικρά λιθικά κλάσματα

Οι στρώσεις πυροκλαστικών συχνά παρουσιάζουν κανονική διαβάθμιση χωρίς να αποκλείεται και η αναστροφή. Τις περισσότερες φορές δεν διακρίνεται ξεκάθαρη διαβάθμιση διαφορετικών κλάσεων διατομών των κλασμάτων ηφαιστειακού υλικού. Τα λιθικά συχνά συγκεντρώνονται στη βάση της στρώσης ενώ η ελαφρόπετρα είναι άφθονη στην κορυφή της. Συμβαίνει επίσης να συγκεντρώνονται λιθικά κλάσματα «στη σκιά», δηλαδή πίσω από μεγάλες ηφαιστειακές βολίδες

- Ποτάμια κροκαλοπαγή

Πρόκειται για αποθέσεις κροκαλοπαγών χωρίς μεγάλο περιεχόμενο σε matrix στάχτης, με τις κροκάλες να αλληλοστηρίζονται και να είναι σχετικά ταξινομημένες βάσει της διατομής τους και αρκετά αποστρογγυλεμένες. Στη βάση των αποθέσεων διακρίνεται συχνά επιφάνεια διάβρωσης. Κατά μήκος της επαρχιακής οδού Άντισσας-Σιγρίου διακρίνεται η πλευρική μετάβαση των κροκαλοπαγών σε τόφφο. Στην περιοχή της Βόρειας Νησιώπης οι εμφανίσεις κροκαλοπαγών και ψαμμίτη είναι πιο συχνές από αυτές του τόφφου. Υπάρχουν και περιπτώσεις που οι κροκάλες παραμένουν αρκετά γωνιώδεις και οι αποθέσεις δίνουν την εικόνα αυτές των ρών συντριμμάτων. Τις περισσότερες φορές τα κροκαλοπαγή του σχηματισμού του Σιγρίου δείχνουν στοιχεία οργανωμένης ροής εντός καναλιών εντός καναλιών πλάτους 10-30 μέτρων. Οι Piper et. al 2019b συγκέντρωσαν στοιχεία για τη διεύθυνση αυτών των καναλιών και της ροής μέσω του προσανατολισμού του imbrication (λεπιδωτή κατανομή επιμήκων κλασμάτων) των κροκαλών και υποδείχθηκε γενική διεύθυνση ροής δυτική.

- Λασπορροές

Οι αποθέσεις λασπορευμάτων χαρακτηρίζονται από το άφθονο matrix λάσπης και το εξαιρετικά αταξινόμητο περιεχόμενο τους σε λιθικά και ελαφρόπετρα.

Απολιθωμένοι κορμοί και παλαιοεδάφη συναντώνται σε όλη την έκταση του σχηματισμού. Σε αυτό το σημείο πρέπει να γίνει ιδιαίτερη μνεία για το **Απολιθωμένο Δάσος Λέσβου** που αποτελεί ένα σπάνιο απολιθωμένο δασικό οικοσύστημα που περιλαμβάνει μεγάλες συγκεντρώσεις απολιθωμένων δένδρων. Με Προεδρικό Διάταγμα (ΠΔ 443/1985) το Απολιθωμένο Δάσος ανακηρύχθηκε διατηρητέο μνημείο της φύσης. Η περιοχή του Απολιθωμένου Δάσους αποτέλεσε ιδρυτικό μέλος του Ευρωπαϊκού Δικτύου Γεωπάρκων το 2000. Το 2004 εντάχθηκε στο Παγκόσμιο Δίκτυο Γεωπάρκων της UNESCO.

Τα πυριτικής σύστασης απολιθώματα δένδρων βρίσκονται μέσα στους τόφφους και τα ηφαιστειοκλαστικά υλικά του σχηματισμού των πυροκλαστικών του Σιγρίου, στις δυτικές παρυφές της Κάτω-Μειοκαινικής αλυσίδας ηφαιστειών της Λέσβου. Μέσα στην ηφαιστειακή στάχτη διατηρήθηκαν ιστάμενοι και κατακείμενοι απολιθωμένοι κορμοί, κλαδιά, ρίζες, καρποί και φύλλα δένδρων. Οι ιστάμενοι κορμοί παρέμειναν στην αρχική τους θέση, διατηρώντας μέρος του ριζικού τους συστήματος, και ένα τμήμα του κομού τους αφού συνήθως η σάρωση τους από τα ρεύματα πυκνότητας των πυροκλαστικών προκαλούσε τη θραύση τους. Οι κατακείμενοι κορμοί ξεριζώθηκαν και παρασύρθηκαν από τη ροή γεγονός που τους κάνει να διατηρούν συχνά σχεδόν εξολοκλήρου το αρχικό τους μήκος. Η ταχεία ταφή από τους τόφφους με αποτέλεσμα την απουσία οξυγόνου που θα δρομολογούσε την αποσύνθεση του οργανικού υλικού, η πληθώρα πυριτικού υλικού από την εξαλλοίωση της ηφαιστειακής στάχτης και η ακόλουθη υθροθερμική κυκλοφορία στους διαπερατούς τόφφους συντέλεσαν στην διατήρηση και απολίθωση των κορμών μέσω αντικατάστασης μόριο προς μόριο.

Συμβάντα πυροκλαστικών ροών υπολογίζεται ότι επαναλαμβάνονταν κάθε 20 χιλιάδες χρόνια, χρονικό διάστημα επαρκές ώστε να αναπτύσσεται χαρακτηριστική βλάστηση κορυφής (κυρίαρχος και σταθερός συνδυασμός φυτικής βλάστησης, φυσικά αναπτυσσόμενης μέσα σε συγκεκριμένες περιβαλλοντικές συνθήκες). Οι κλίσεις των κατακείμενων κορμών υποδεικνύουν Β και ΒΔ κίνηση των πυροκλαστικών ροών υποδεικνύοντας πιθανή προέλευση τους από την περιοχή που τώρα βρίσκεται η καλδέρα Μεσοτόπου-Ταβαρίου (Εικ.8). Εκτεταμένες έρευνες έχουν πραγματοποιηθεί για τους απολιθωμένα δένδρα που βρίσκονται μέσα σε πολλαπλούς οριζόντες των πυροκλαστικών του Σιγρίου (Zouros 1998; Zouros et. al 2004, Zouros et. al 2007). Τα απολιθωμένα δένδρα είναι πυριτωμένα και φέρουν οξειδία σιδήρου (Ballhaus et al., 2012, Pe-Piper et. al 2019a). Παρόμοια οξειδία σιδήρου καθώς και οξειδία μαγγανίου συναντώνται σε ενδοστρωματικές εγκάρσιες υδροθερμικές φλέβες εντός του σχηματισμού του Σιγρίου (Pe-Piper et al., 2019a).

Οι ιστάμενοι απολιθωμένοι κορμοί του Απολιθωμένου Δάσους Λέσβου εμφανίζονται συχνά με ριζικά συστήματα μέσα συνήθως σε λεπτομερείς τόφφους χωρίς όμως να αποκλείεται και πιο αδρομερές περιβάλλον υλικό. Το παλαιοέδαφος είναι συνήθως διαβρωμένο αλλά συχνά απομένουν κοκκινωποί ή σπανιότερα πρασινωποί οξειδωμένοι οριζόντες. Κατά τους Píper et al. 2019 a, b μέσω των οριζόντων των παλαιοεδαφών γίνεται συχνά η κίνηση υδροθερμικών ρευστών με μεγάλο περιεχόμενο σε μέταλλα.

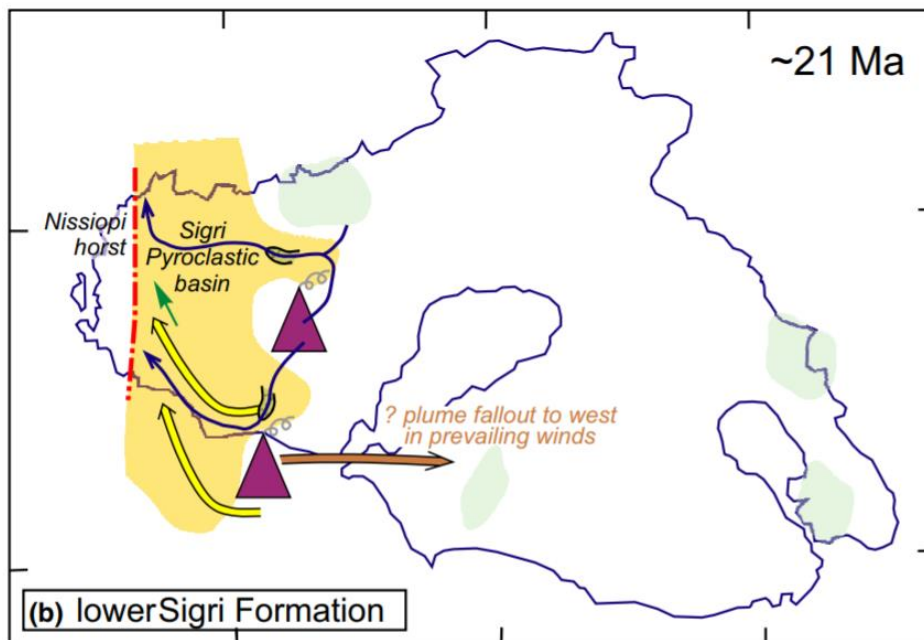
Όπως προαναφέρθηκε είναι χαρακτηριστική η προτίμηση των καλοδιατηρημένων ιστάμενων απολιθωμένων κορμών σε περιβάλλοντες οριζόντες λεπτομερών τόφφων. Παρατηρείται κάποιες φορές συγκέντρωση αδρών κλαστών δίπλα στους ιστάμενους κορμούς που αποτελούν εμπόδια στη ροή του πυροκλαστικού ρεύματος. Οι κατακείμενοι κορμοί εμφανίζονται λιγότερο επιλεκτικοί και βρίσκονται συχνά μέσα στρώσεις τόφφων μεγάλου πάχους με αρκετά μεγάλο περιεχόμενο σε λιθικά.

Οι στρώσεις τόφφου επιδεικνύουν ιζηματολογικά χαρακτηριστικά απόθεσης ρευμάτων πυκνότητας που προκαλούνται από πλινιακές εκρήξεις (Branney & Kokelaar 2002, Cioni et. al 2015). Οι διαφοροποιήσεις στη σύσταση ή στο περιεχόμενο σε μεγάλους κλάστες αποδίδονται σε διαφορετικά στάδια της έκρηξης και στους μηχανισμούς ροής. Στην οροφή τους οι στρώσεις διατηρούν κάποιες φορές μία λεπτή στρώση στάχτης. Τέτοιες στρώσεις πυροκλαστικών συχνά δύσκολα διακρίνονται από αποθέσεις air-fall στάχτης (Cioni et al., 2015). Σε τέτοιου είδους πυροκλαστικές αποθέσεις συμβαίνει να

παρατηρούνται τοπικές συγκεντρώσεις λιθικών (Branney & Kokelaar 2002). Μερικά χαρακτηριστικά των τόφφων του Σιγρίου αποκλίνουν από τα τυπικά χαρακτηριστικά τόφφων πλινιακών εκρήξεων όπως π.χ. το μικρό ποσοστό περιεχόμενης ελαφρόπετρας. Μία υπόθεση είναι να αποδοθεί το γεγονός στις παλιόκλιματικές συνθήκες που υποδεικνύουν την ύπαρξη ΒΔ διεύθυνσης ανέμων (Quan, Liu, Tang, & Utescher 2014) που θα ωθούσαν το πλινιακό νέφος και τις επακόλουθες air fall αποθέσεις ανατολικότερα των ηφαιστειακών κέντρων όπου και θάφτηκαν ή διαβρώθηκαν (Pe-Piper, 1980b)

Οι αποθέσεις κατά μήκος του Οδικού Άξονα Σιγρίου-Άντισσας παρουσιάζονται με μεγαλύτερο περιεχόμενο σε αδρομερείς κλάστες συγκριτικά με θέσεις που βρίσκονται σε μεγαλύτερη απόσταση από το «σημείο εκκίνησης» της ροής π.χ. στη Νησιώπη. Κατά τους Piper et. al 2019b η περιοχή του Πάρκου του Απολιθωμένου Δάσους- Μπαλή Αλώνια χαρακτηρίζεται από τις μεγάλες πάχους στρώσεις πυροκλαστικών αποθέσεων που οδηγούν στο συμπέρασμα ότι παλαιογεωγραφικά κατά το Κάτω Μειόκαινο η περιοχή αποτελούσε μία λεκάνη, πιθανά τεκτονικό βύθισμα υπό το καθεστώς της επικρατούσα δεξιόστροφης, οριζόντιας μετατόπισης τεκτονικής (Yilmaz et al. 2000). Την περίοδο της απόθεσης των πυροκλαστικών του Σιγρίου δημιουργήθηκαν νοτιότερα οι ηφαιστειακοί θόλοι της Ερεσού και ο λακκόλιθος και οι φλέβες του Μεσοτόπου. Οι Piper et. al 2019b πρότειναν την προέλευση των πυροκλαστικών του Σιγρίου από ένα ηφαίστειο που βρισκόταν νοτιότερα, στην περιοχή του Μεσοτόπου, ίχνη του οποίου αναγνωρίζονται στη βυθισμένη πια στη θάλασσα καλδέρα που περιεγράφηκε από τους Vamvoukakis et al. 2005 (Εικ11).

Τα ποτάμια κροκαλοπαγή εμφανίζονται πιο αδρομερή προς τα ανατολικά. Η γενική διεύθυνση των παλαιοκαναλιών και η «φολίδωση» των επιμηκών βότσαλων δίνουν τη εικόνα ροής των ρεμάτων προς τη Δύση (Εικ.11).



Εικόνα 11 Πυροκλαστικές ροές προερχόμενες από στρωματοηφαίστεια N-NA του Σιγρίου (Piper et. al 2019αήβ)

### 3 Μεθοδολογία

#### Συλλογή δεδομένων

Η συλλογή των δεδομένων έγινε στο πεδίο με επιτόπιες καταγραφές των γεωλογικών παρατηρήσεων και με τη λήψη φωτογραφιών υψηλής ανάλυσης. Για τη μέτρηση γραμμικών και επιφανειακών στοιχείων (διεύθυνση και γωνία κλίσης) χρησιμοποιήθηκε γεωλογική πυξίδα τύπου Clar του Μουσείου Φυσικής Ιστορίας Απολιθωμένου Δάσους Λέσβου. Οι φωτογραφίες λήφθηκαν με φωτογραφική μηχανή SLR που διέθεσε το Εργαστήριο Χαρτογραφίας του τμήματος Γεωγραφίας Πανεπιστημίου Αιγαίου, με σταθερές ρυθμίσεις εστιακό βάθος 35 χιλιοστά, ISO 100, διάφραγμα f/8.

Οι κλασικές γεωλογικές παρατηρήσεις που έγιναν είχαν σκοπό την ποιοτική και αριθμητική διάκριση των διαφορετικών, αλληπάλληλων οριζόντων των πυροκλαστικών υλικών. Παρατηρήθηκαν οι διαφορές στο γενικότερο χρώμα των οριζόντων, τα μεταξύ τους όρια, οι σχετικές τους θέσεις και η ύπαρξη ή όχι οριζόντων παλαιοεδαφών.

Παρατηρήθηκαν οι αλλαγές στην κοκκομετρία των υλικών διαφορετικών στρώσεων και ξεχωρίστηκαν χαρακτηριστικοί οριζόντες από εξαιρετικά λεπτομερή στάχτη.

Σημαντικό χαρακτηριστικό που εξετάστηκε είναι το κατά πόσο οι οριζόντες αποτελούνται κυρίως από ηφαιστειακή στάχτη ή φέρουν μεγάλο περιεχόμενο σε λιθικούς κλάστες και ελαφρόπετρα. Τα λεγόμενα λιθικά είναι θραύσματα πετρωμάτων, στη συγκεκριμένη περίπτωση σχεδόν αποκλειστικά από λάβες, διαφόρων μεγεθών. Το περιεχόμενο σε λιθικούς κλάστες, η σχετική τους ποσότητα σε σχέση με το matrix που τα περιβάλλει, το σχήμα τους και το μέγεθος τους αποτελούν στοιχεία ενδιαφέροντος. Ομοίως παρατηρήσεις έγιναν και για την περιεχόμενη στα πυροκλαστικά ελαφρόπετρα. Εξετάστηκε το κατά πόσο τα υλικά αυτά παρουσιάζονται διαβαθμισμένα ή όχι ανάλογα με το μέγεθος τους και αν ναι με ποιον τρόπο. Στην περίπτωση που κλάστες σχετικά μεγαλύτερης διαμέτρου βρίσκονται χαμηλότερα (πιο κοντά στη βάση της στρώσης) σε σχέση με κλάστες σχετικά μικρότερης διαμέτρου πρόκειται για κανονική διαβάθμιση των κλαστών. Στην αντίθετη περίπτωση πρόκειται για ανάστροφη (χαμηλά κλάστες μικρής διαμέτρου-ψηλά κλάστες μεγάλης διαμέτρου). Τις περισσότερες φορές οι οριζόντες παρουσιάζονται με αταξινόμητο τα κλαστικά τους υλικά. Για τα λιθικά (κυρίως θραύσματα λάβας) παρατηρήθηκε ο βαθμός αποστρωγγυλοποίησης της επιφάνειάς τους, κατά πόσο δηλαδή παρουσιάζονταν η εξωτερική τους επιφάνεια εξομαλυμένη από την τριβή κατά τη ροή.

Εξετάστηκε η ύπαρξη στοιχείων νεοτεκτονικής που επηρεάζουν τις υπό εξέταση στρώσεις.

Παρατηρήθηκαν και μετρήθηκαν οι διευθύνσεις κλίσης των διακλάσεων και των ρηγμάτων και εξετάστηκαν τυχόν μετατοπίσεις που προκλήθηκαν από τα ρήγματα.

Εξετάστηκε η παρουσία ή όχι απολιθωμάτων στους διάφορους οριζόντες και καταγράφηκαν τα χαρακτηριστικά τους δηλαδή αν πρόκειται για κορμούς, κλαδιά ή φύλλα, το χρώμα τους, το μέγεθός τους, μετρήθηκε η διεύθυνση κλίσης τους, και αξιολογήθηκε ο βαθμός διατήρησής τους.

Όπως προαναφέρθηκε, η συλλογή δεδομένων έγινε παράλληλα με την εξέλιξη των εκσκαφικών εργασιών από τη μεριά της εργοληπτικής επιχείρησης και των ανασκαφικών εργασιών από τη μεριά του Μουσείου Φυσικής Ιστορίας Απολιθωμένου Δάσους Λέσβου. Λόγω της φύσης και της έντασης των

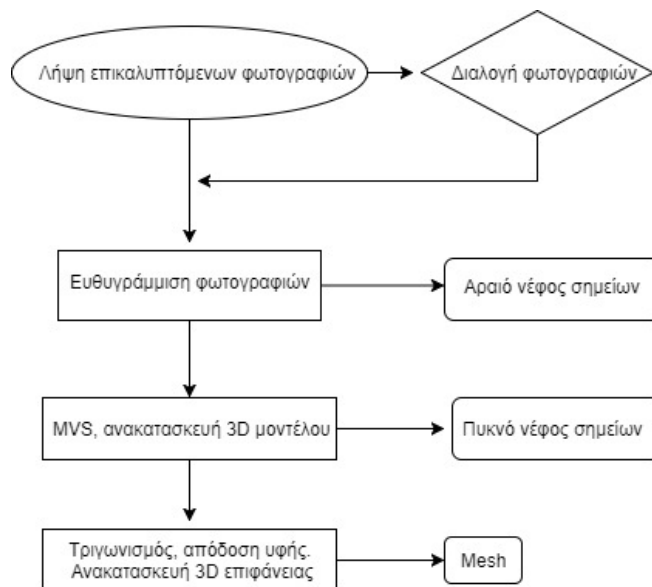
εργασιών και των πολύ ιδιαίτερων καιρικών συνθηκών που επικρατούν στην περιοχή, προέκυψαν αρκετά προβλήματα κατά τη συλλογή των δεδομένων. Η λήψη των φωτογραφιών που προορίζονταν για την τρισδιάστατη απεικόνιση των θέσεων ενδιαφέροντος γινόταν στα μικρά διαστήματα παύσης των εργασιών και συχνά υπό μη ευνοϊκές συνθήκες φωτισμού.

### Επεξεργασία δεδομένων

Οι πληροφορίες των καταγραφών του πεδίου από διαφορετικές θέσεις συγκρίθηκαν και όπου κατέστη δυνατό συσχετίστηκαν.

Η επεξεργασία των φωτογραφικών δεδομένων έγινε σε ηλεκτρονικό υπολογιστή με τα εξής χαρακτηριστικά: επεξεργαστής Intel (R) Core (TM) i5-7200U CPU @2.5 GHz, RAM 16.0GB, 64bit. Τα χαρακτηριστικά του υπολογιστή αναφέρονται γιατί έπαιξαν ρόλο στο βαθμό που κατέστη δυνατό να επεξεργαστούν τα δεδομένα λόγω των υψηλών απαιτήσεων του λογισμικού.

Για την αναπαράσταση των πυροκλαστικών αποθέσεων με την παραγωγή τρισδιάστατων μοντέλων χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Agisoft Photoscan όπου και ακολουθείται ένα σύνολο αλγοριθμικών διαδικασιών (multi view reconstruction) για την εφαρμογή της μεθόδου φωτογραμμετρίας Structure from Motion. Διαφορά της από τη κλασική φωτογραμμετρία είναι ότι η γεωμετρία της θέσης, η θέση λήψης της φωτογραφικής μηχανής και ο προσανατολισμός δίνονται αυτόματα από το λογισμικό με μέθοδο προσανατολισμού εικόνων χωρίς να χρειάζεται a priori ορισμός σημείων ελέγχου με γνωστές 3D συντεταγμένες (Snavely 2008). Η μεθοδος SFM (Structure from Motion) ακολουθεί τα παρακάτω βήματα (Westoby et. al 2012) (Εικ.12)



Εικόνα 12. Μεθοδολογία Structure from Motion

Πρώτο βήμα είναι η λήψη των φωτογραφιών. Οι φωτογραφίες που λήφθηκαν προσέχθηκε να έχουν μία αλληλοεπικάλυψη της τάξης των 60-70%. Αυτό είναι σημαντικό ώστε το λογισμικό στο οποίο εισάγονται να μπορέσει να βρει και να αντιστοιχίσει κοινά σημεία μεταξύ των φωτογραφιών.

Δεύτερο βήμα είναι η διαλογή των φωτογραφιών. Οι φωτογραφίες εισάγονται στο Agisoft PhotoScan όπου και υπολογίζεται η ποιότητά τους (Estimate Image Quality). Φωτογραφίες με ποιότητα μικρότερη του 0,8 απορρίφθηκαν.

Τρίτο βήμα είναι η ευθυγράμμιση των φωτογραφιών. Η ευθυγράμμιση (Alignment) των φωτογραφιών επιτυγχάνεται με την εφαρμογή μιας σειράς αλγορίθμων μέσα στο περιβάλλον του λογισμικού.

Συγκεκριμένα με την εκτέλεση του αλγορίθμου SIFT το λογισμικό εντοπίζει και καταγράφει χαρακτηριστικά σημεία στις φωτογραφίες. Τα σημεία αυτά έχουν το χαρακτηριστικό ότι παραμένουν αναλλοίωτα από τις αλλαγές κλίμακας, περιστροφής εικόνας και φωτισμού.

Στη συνέχεια με αλγόριθμο RANSAC και πλησιέστερου γείτονα αντιστοιχεί τα χαρακτηριστικά αυτά σημεία μεταξύ των φωτογραφιών.

Τέλος με τη μέθοδο προσανατολισμού εικόνων Bundle Adjustment ευθυγραμμίζονται οι φωτογραφίες και υπολογίζονται οι θέσεις λήψης της μηχανής. Αποτέλεσμα αυτής της διαδικασίας είναι ένα “αραιό νέφος σημείων”.

Υπό κανονικές συνθήκες, στο σημείο αυτό της επεξεργασίας θα έπρεπε να γίνει η γεωαναφορά του νέφους. Δυστυχώς δεδομένα σημείων ελέγχου (GCPs, Ground Control Points) δεν ήταν διαθέσιμα. Δεδομένου ότι η φωτογραφική μηχανή δεν έχει ενσωματωμένο gps δεν κατέστη δυνατό να γεωαναφερθούν τα μοντέλα. Το γεγονός ότι δεν είναι γεωαναφερμένο, καθιστά το μοντέλο ανεπαρκές. Η γεωαναφορά και ως εκ τούτου ο προσανατολισμός είναι υψίστης σημασίας στην αποτύπωση γεωλογικών στοιχείων. Για να δοθεί κλίμακα στα μοντέλα χρησιμοποιήθηκε χάρακας κλίμακα μήκους 1 μέτρου.

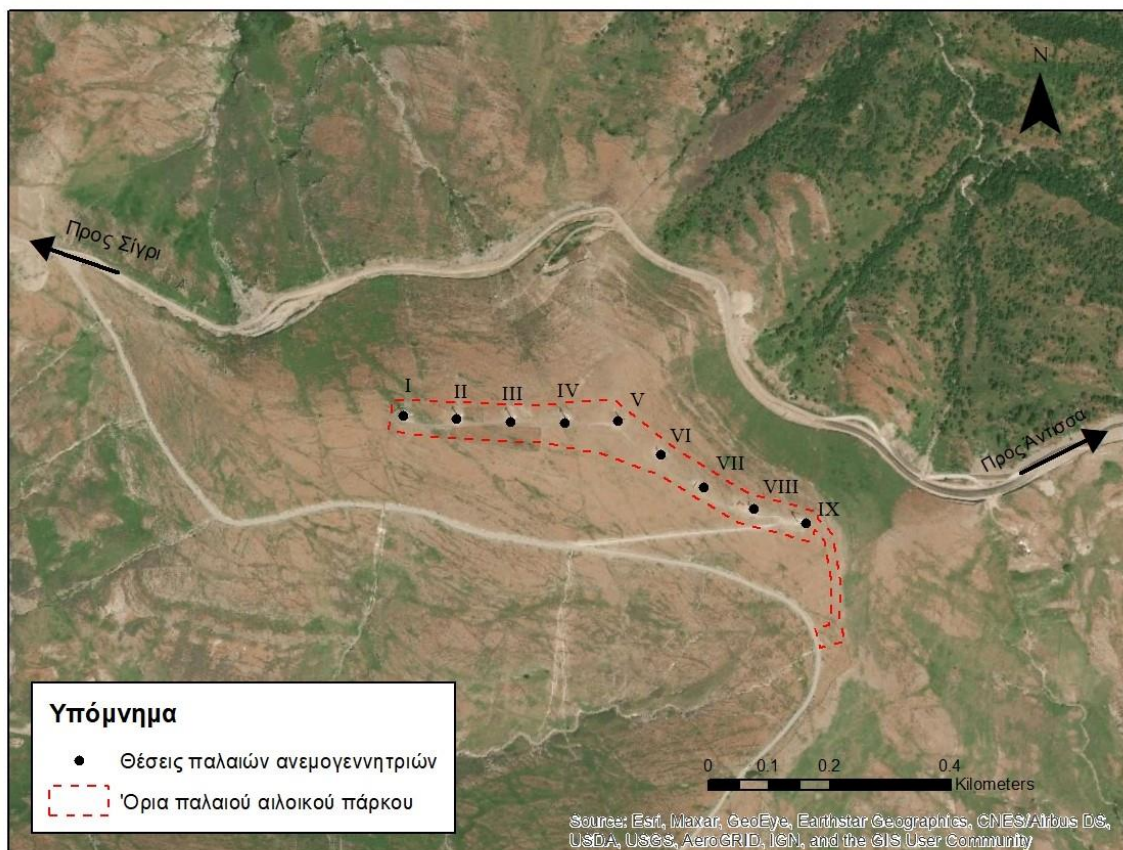
Επόμενο στάδιο είναι η ανακατασκευή 3D μοντέλου. Εφαρμόζονται από το λογισμικό Multi View Stereo (MVS) αλγόριθμοι πολλαπλής εμπροσθοτομίας. Με τον CMVS (clustering) διαχωρίζονται οι φωτογραφίες σε μικρότερες ομάδες και κάθε ομάδα επεξεργάζεται ανεξάρτητα και παράλληλα. Με τον PMVS (patch-based) ανακατασκευάζονται 3D δεδομένα από τα παραπάνω σετ φωτογραφιών. Το αποτέλεσμα αυτής της διαδικασίας είναι μία σημαντική αύξηση της πυκνότητας των σημείων προς παραγωγή “πυκνού νέφους σημείων” (Dense Point Cloud).

Τελικό στάδιο είναι η δημιουργία επιφάνειας τριγωνικού πλέγματος. Με τριγωνισμό και απόδοση υψής ανακατασκευάζεται 3D επιφάνεια τριγωνικού πλέγματος “Mesh”.



## 4 Περιοχή Ακρόχειρα

Παρακάτω παρατίθενται οι παρατηρήσεις που έγιναν στις θέσεις του Ακρόχειρα όπως σημειώνονται στην δορυφορική εικόνα του παλαιού Αιολικού πάρκου (Εικ.13). Σημειώνεται ότι δεν υπάρχουν παρατηρήσεις για το σκάμμα βάσης της Ανεμογεννήτριας 5 γιατί ήταν καλυμμένο με προϊόντα εκσκαφών καθ' όλο το διάστημα της έρευνας.

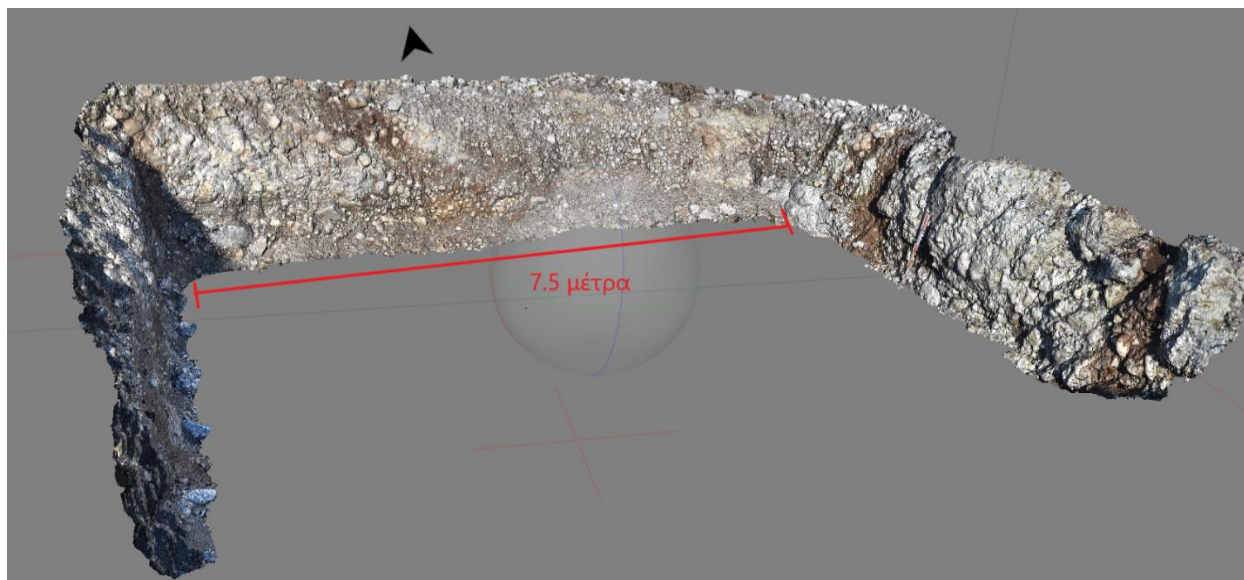


Εικόνα 13 Λόφος του Ακρόχειρα με σημειωμένα τα όρια του Αιολικού Πάρκου και τις θέσεις των σκαμμάτων βάσης των παλαιών ανεμογεννητριών. (Πηγή: Esri, Maxar, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AeroGRID, IGN, and the GIS User Community και Ρυθμιστική αρχή ενέργειας [www.rae.gr](http://www.rae.gr))



#### 4.1 Σκάμμα Βάσης Ανεμογεννήτριας I

Οι τομές στο σκάμμα της βάσης της παλαιάς ανεμογεννήτριας υποδεικνύουν την ύπαρξη δύο επάλληλων στρώσεων λασπορροών με μη διαβαθμισμένους, διάφορων μεγεθών, σχετικά στρογγυλοποιημένους λιθικούς κλάστες. Γενικά η θέση καλύπτεται από φερτά υλικά αποτελούμενα από τα ίδια υλικά των προαναφερθέντων οριζόντων.



Εικόνα 14. Απεικόνιση σκάμματος βάσης Α1παλ

#### 4.2 Ανασκαφική θέση: II

Ο πυροκλαστικός σχηματισμός στη συγκεκριμένη θέση εκπροσωπείται από τυπικό μη συγκολλημένο ιγνιμβρίτη, με διάφορες στρώσεις στις οποίες ποικίλει το περιεχόμενο σε ελαφρόπετρα και είναι χαρακτηριστικά μικρό το ποσοστό λιθικών. Η ελαφρόπετρα εμφανίζεται μέσα στη στάχτη, σε αδιαβάθμιστες συστάδες ή είναι διαβαθμισμένη εντός της στρώσης. Το μέγεθος των κλαστών ελαφρόπετρας ποικίλει από λίγα χιλιοστά μέχρι και 10 εκατοστά. Χαρακτηριστική εικόνα των πυροκλαστικών της θέσης δίνεται στην εικόνα Εικ15. Στη βάση φαίνεται οριζοντας που θυμίζει απόθεση fall out, με πολλή αδιαβάθμιστη ελαφρόπετρα. Ο οριζοντας αυτός αναγνωρίζεται ως απολιθωματοφόρος καθώς μέσα του βρίσκονται συχνά κλαδιά και πάνω του «κάθονται» μεγάλοι κατακείμενοι κορμοί. Πάνω από αυτόν βρίσκονται μικρές στρώσεις στάχτης και ακολουθεί στρώση ερυθρωπή με αρκετή ελαφρόπετρα σε ανάστροφη διαβάθμιση.

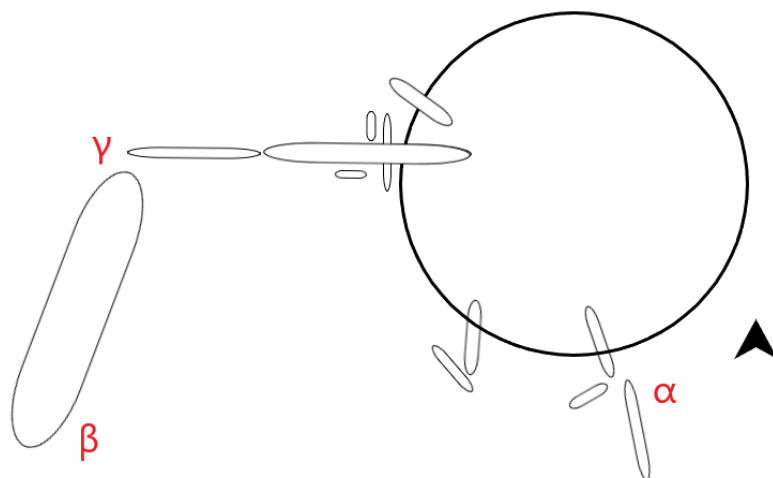


*Εικόνα 15. Τυπική εμφάνιση του σχηματισμού πυροκλαστικών στη θέση II*

Κατά την έναρξη των εκσκαφικών εργασιών έγινε ξεκάθαρο ότι η συγκεκριμένη θέση χαρακτηρίζεται από έντονη παρουσία απολιθωμάτων, γεγονός που επαληθεύτηκε κατά τις ανασκαφές του Μ.Φ.Ι.Α.Δ.Λ. με την αποκάλυψη γιγάντιων κατακείμενων απολιθωμένων κορμών και ιστάμενων κορμών με το ριζικό τους σύστημα. Η παρουσία των απολιθωμάτων φαίνεται να σχετίζεται με συγκεκριμένο ορίζοντα του ιγνιμβρίτη που φέρει πολλή ελαφρόπετρα. Το χρώμα των απολιθωμάτων κλαδιών ή μικρών κορμών είναι συνήθως πράσινο ενώ η παλέτα των χρωμάτων έχει μεγάλη ποικιλία στους μεγάλους κορμούς της θέσης αυτής (ερυθρό, τεφρό, υπόλευκο κλπ).

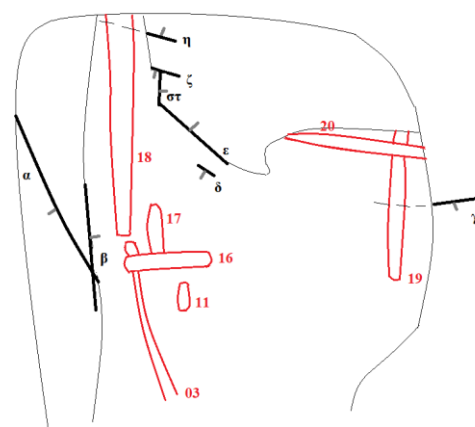
Στις αρχές του Νοέμβρη του 2018 η ανασκαφές βρίσκονταν στο στάδιο που απεικονίζεται στο σκαρίφημα Εικ.16.

## Σκαρίφημα ανασκαφικής θέσης II



Εικόνα 16. Σκαρίφημα στο οποίο απεικονίζονται τα ανασκαφικά σκάμματα της θέσης II στο πρώτο στάδιο της ανασκαφής

Στη θέση α του σκαριφήματος Εικ.16 τα απολιθώματα βρίσκονταν πάνω στον ορίζοντα με το μεγάλο περιεχόμενο ελαφρόπετρας όπως τονίστηκε και παραπάνω. Η διάταξη και οι διευθύνσεις κλίσης των απολιθωμάτων δεν ακολουθούν κάποιο μοτίβο όπως φαίνεται στην Εικ.17. Καταγράφονται στο συνοδό σκαρίφημα και τα τεκτονικά στοιχεία της θέσης.





Αρίθμηση	Διεύθυνση κλίσης	Γωνία κλίσης
α	42°	80°
β	288°	83°
γ	350°	75°
δ	56°	75°
ε	230°	85°
στ	270°	70°
ζ	20°	70°
η	214°	80°

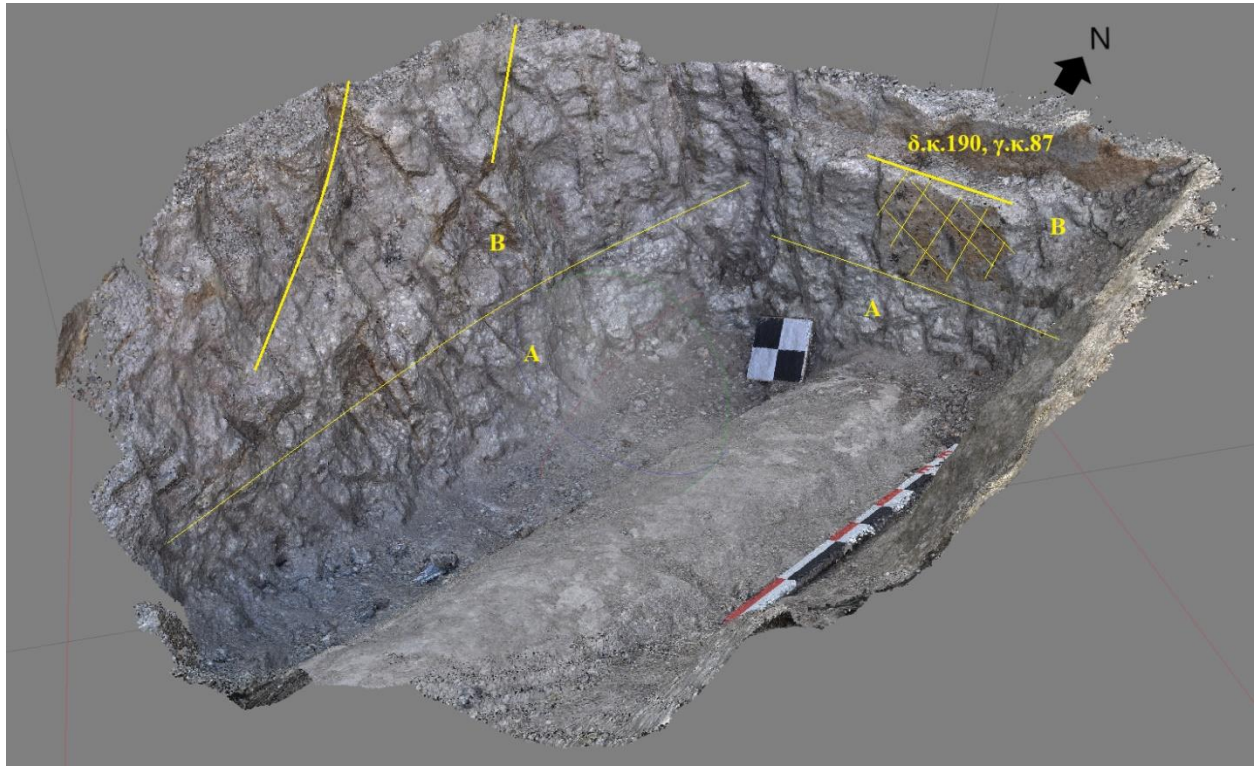
Εικόνα 17. Διάταξη απολιθωμένων κορμών στο νότιο πρηνές του σκάμματος βάσης. Η εικόνα. πάρθηκε στη θέση α του σκαριφήματος Εικ.16

Από την εικόνα της θέσης γ (Εικ.18) γίνεται αντιληπτό ότι οι απολιθωματοφόροι οριζόντες βρίσκονται σε παραπάνω του ενός επίπεδα. Παρόλα αυτά οι διαφορετικές στρώσεις αποτελούνται από παρόμοιο πυροκλαστικό υλικό με σχετικά λίγα λιθικά και αρκετή ελαφρόπετρα συγκεντρωμένη σε λοβούς. Ενδέχεται να παίζει και ρόλο το τοπικό παλαιοανάλυφο. Οι διευθύνσεις κλίσης των κορμών ποικίλουν ενώ υπάρχουν δύο γενικές τάσεις: μία προς τη Δύση και μία προς Νότο.



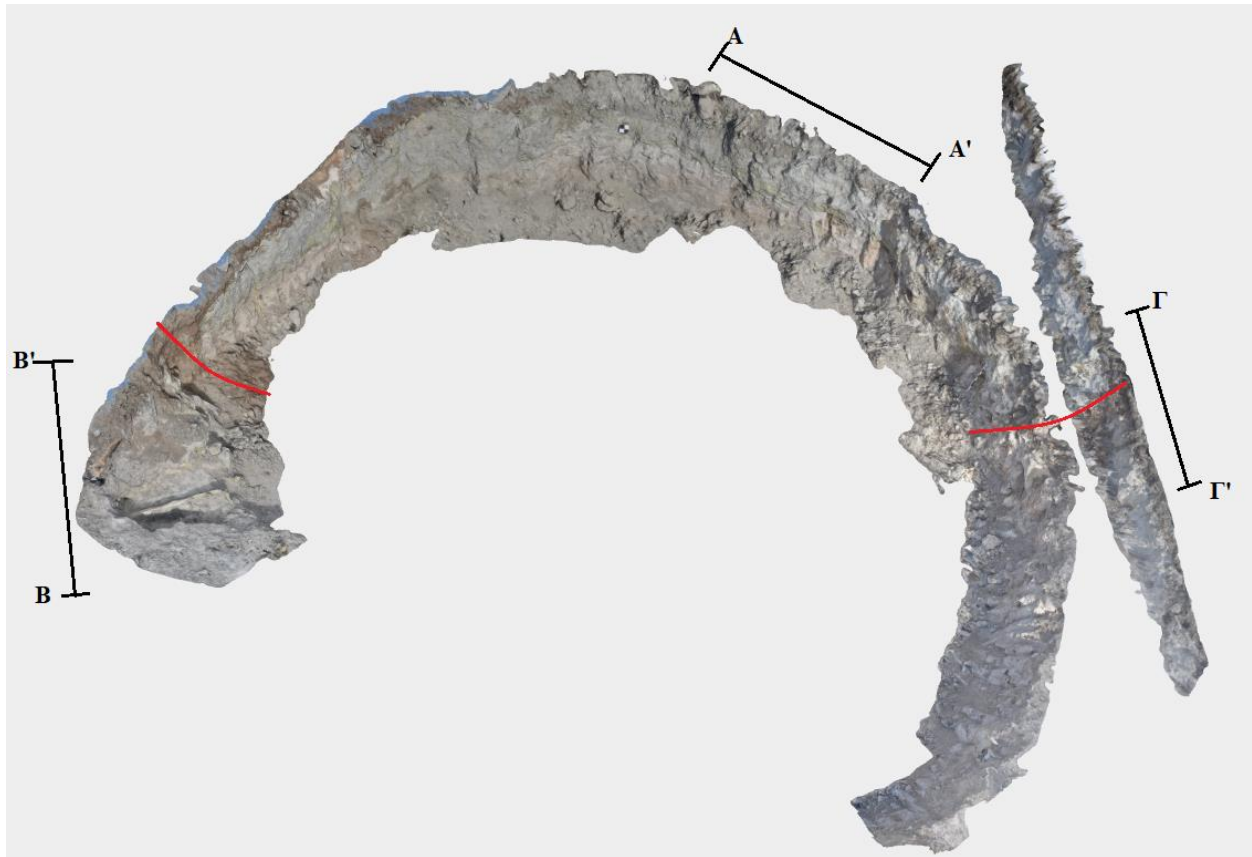
Εικόνα 18. Εικόνα θέσης γ σκαριφήματος Εικ.16

Στη συνέχεια της παραπάνω ανασκαφής (θέση β σκαριφήματος Εικ.16) ο γιγάντιος κορμός βυθιζόμενος προς το Νότο ακολούθησε σταθερά το επίπεδο του πυροκλαστικού οριζοντα με το μεγάλο περιεχόμενο σε ελαφρόπετρα που θυμίζει οριζοντα fall out, με τον τυπικό ερυθρωπό οριζοντα με συγκριτικά μέτριο περιεχόμενο σε ελαφρόπετρα να τον καλύπτει. Χαρακτηριστικές είναι οι εγκάρσιες διακλάσεις στον κορμό που φέρει το πυροκλαστικό υλικό.



Εικόνα 19. Θέση β σκαριφήματος Εικ.16 ανασκαφικής θέσης ΙΙ.

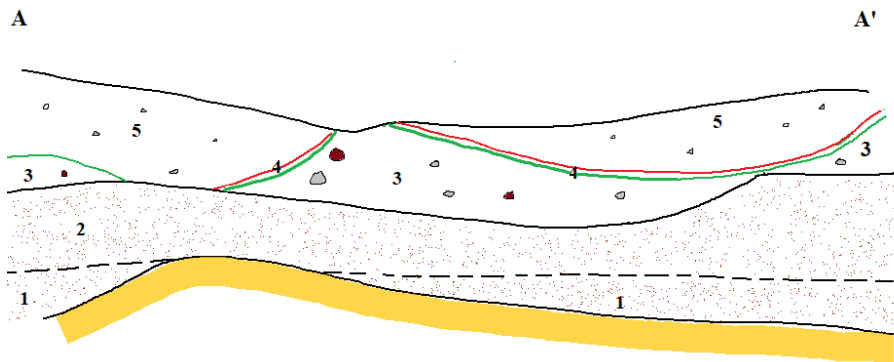
Κατά την εξέλιξη των εργασιών τους επόμενους μήνες και της διάνοιξης και εμβάθυνσης του σκάμματος βάσης της νέας ανεμογεννήτριας, η εικόνα των βόρειων τοιχωμάτων του σκάμματος διαμορφώθηκε όπως απεικονίζεται στην Εικ.20



Εικόνα 20. Απεικόνιση βόρειου τοιχώματος σκάμματος βάσης.

Καταγράφηκαν οι παρακάτω παρατηρήσεις:

- Για το τμήμα AA':



Εικόνα 21 Απεικόνιση των οριζόντων στο τμήμα AA' της Εικ20.

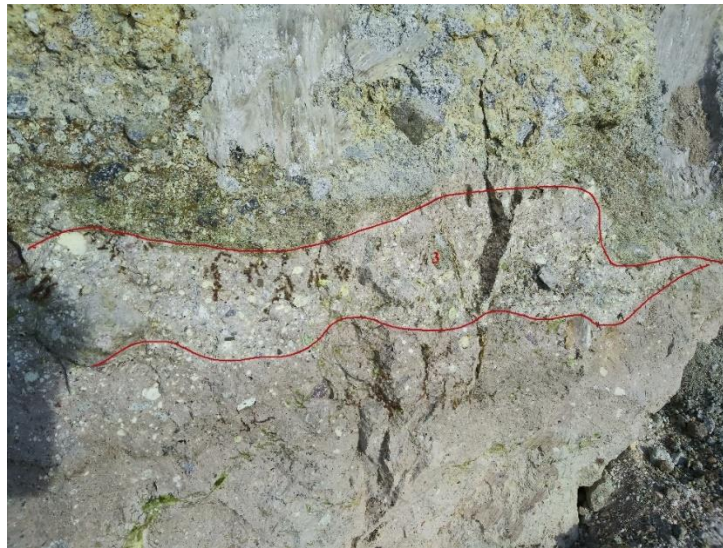


**1 και 2:** Δύο οριζόντες ερυθρωπού λεπτόκοκκου πυροκλαστικού υλικού, όμοιοι αλλά με διακριτό μεταξύ τους όριο. Η παρουσία της κίσηρης κρίνεται αραιή. Η κίσηρης εμφανίζεται με ανάστροφη διαβάθμιση στον ορίζοντα 2



Εικόνα 22. Ορίζοντες 1 και 2 του σκαριφήματος Εικ.21

**3:** Ορίζοντας πυροκλαστικών υλικών, χρώματος πιο τεφρού από τους υποκείμενους 1 και 2. Εμπεριέχονται πολλοί μικροί κλάστες κίσηρης και αραιά τεμάχια ερυθρωπής και γκρίζας λάβας.



Εικόνα 23 Ορίζοντας 3 της Εικ.21

**4:** Πράσινος ορίζοντας επί των 2 και 3. Αποτελεί σκληρό και συνεκτικό, πυριτωμένο υλικό με πολλούς μικρούς κλάστες ελαφρόπετρας. Στο άνω μέρος του παρουσιάζει κόκκινη οξείδωση και δίνει την εικόνα παλαιοεδάφους.



Εικόνα 24. Ορίζοντες 2, 4 και 5 της Εικ.21

**5:** Τόφος με μικρά γωνιώδη κλάσματα λάβας και ελαφρόπετρας.



Εικόνα 25. Ορίζοντας 5 της Εικ.21

- Για το Τμήμα BB':



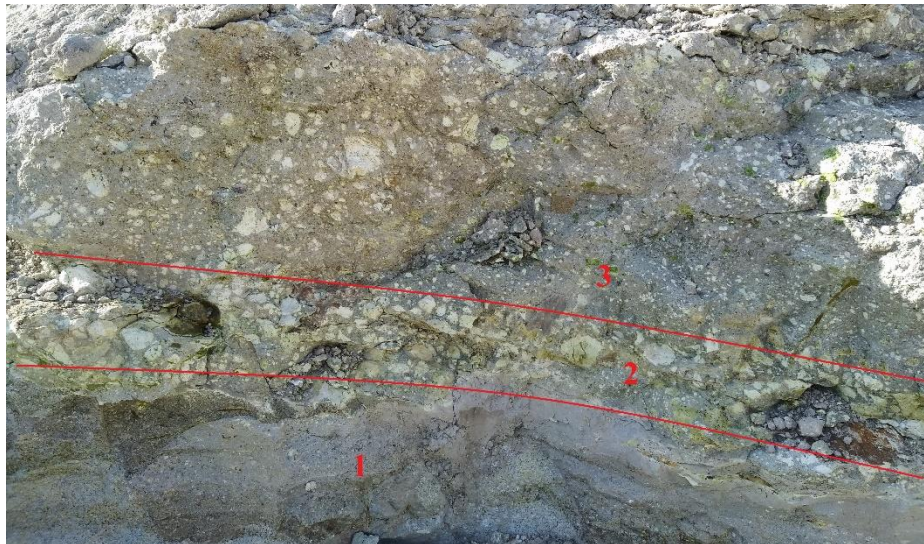


Εικόνα 26. Τμήμα BB' του σκαριφήματος Εικ.20

Μετρήθηκε για το μεγάλο ρήγμα της συγκεκριμένης θέσης παράταξη ρήγματος :  $310^{\circ}$ - $130^{\circ}$ .

Διακρίθηκαν οι παρακάτω ορίζοντες (Εικ.26):

- 1:** Εξαιρετικά λεπτομερές, γκριζωπός, διαστρωμένος τόφος. Δεν εμπεριέχει λιθικά και δεν είναι ιδιαίτερα συνεκτικός. Μετρήθηκε διεύθυνση κλίσης  $198^{\circ}$  και γωνία κλίσης  $7^{\circ}$ .
- 2:** Πάνω από τον λεπτομερή τόφο διακρίνεται λεπτός ορίζοντας ελαφρόπετρας που δίνει την εικόνα fall out αποθέσεων. Κρίνεται ότι είναι ο κλασικός απολιθωματοφόρος ορίζοντας που αναφέρθηκε και προηγουμένως κατά την ανάλυση της γεωλογικής εικόνας της θέσης I (Εικ.27).
- 3:** Τόφος ερυθρωπός με πολλή ελαφρόπετρα. Φαίνεται πως υπάρχει ομαλή μετάβαση από τον ορίζοντα 2 προς 3.



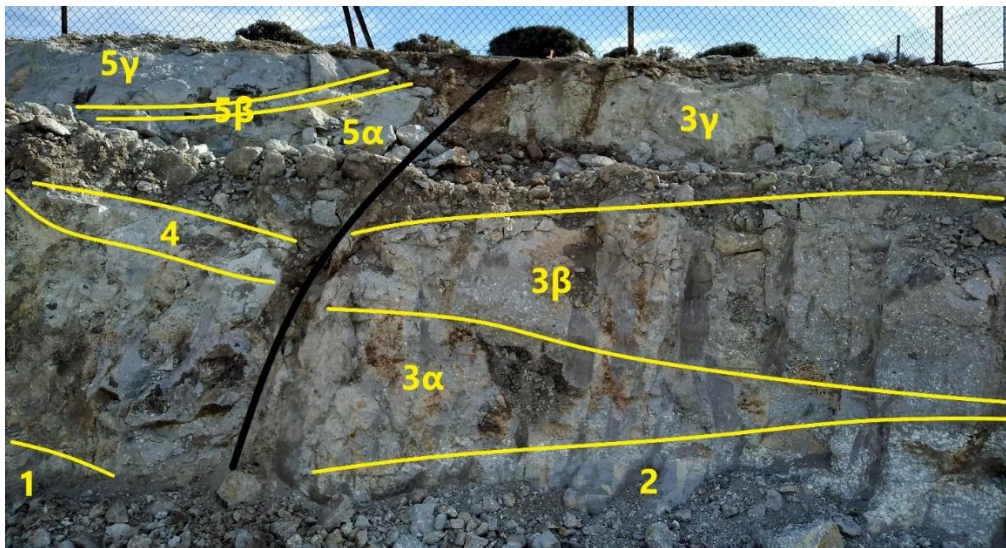
Εικόνα 27 Οι τρεις ορίζοντες του τμήματος BB' της Εικ.26





Εικόνα 28. Το απολίθωμα του τμήματος BB' επικάθεται πάνω στον ορίζοντα 2 της Εικ26.

- Για το Τμήμα ΓΓ':



Εικόνα 29 Τμήμα ΓΓ' του σκαριφήματος Εικ20

Μετρήθηκε για το μεγάλο ρήγμα της συγκεκριμένης θέσης παράταξη ρήγματος  $300^{\circ}$ - $120^{\circ}$ , με διεύθυνση κλίσης  $30^{\circ}$  και γωνία κλίσης  $75^{\circ}$ . Διαπιστώθηκε η ύπαρξη γραμμών ολίσθησης με διεύθυνση κλίσης  $110^{\circ}$  και γωνία κλίσης  $10^{\circ}$ . Βάσει των γραμμών ολίσθησης δίνονται στοιχεία πλαγιο-κανονικού χαρακτήρα του ρήγματος.

Διακρίθηκαν οι παρακάτω ορίζοντες (Εικ.29)

**1:** Ταυτίζεται με τους ορίζοντες 1 και 2 της τομής AA'.

**2:** Ορίζοντας ελαφρόπετρας απόθεσης τύπου fall out. Ταύτιση με τον αντίστοιχο ορίζοντα (2) του τμήματος BB'

**3α, 3β και 3γ:** Τόφφος με μεγάλο περιεχόμενο σε ελαφρόπετρα, σε άμεση συσχέτιση με τον υποκείμενο ορίζοντα ελαφρόπετρας (2). Το 3β εμπεριέχει περισσότερα λιθικά, μέσης διαμέτρου 2cm. Φαίνεται πως συσχετίζεται με τον ορίζοντα 3 της τομής BB'.

**4:** Ορίζοντας τεφρών πυροκλαστικών αποθέσεων με εμπεριεχόμενους κλάστες κίσηρης και λάβας. Ταυτίζεται με τον ορίζοντα 3 της τομής AA'. Μεταξύ του ορίζοντα 4 και του ορίζοντα 1 δεν υπάρχει εικόνα γιατί η τομή ήταν καλυμμένη από απομεινάρια του τσιμέντου της παλιάς βάσης της ανεμογεννήτριας.

**5:** Πολύ λεπτομερής τεφρόλευκος τόφφος. Οι 5α και 5β είναι πανομοιότυποι οριζόντες κισσηρώδους τόφφου χωρίς όμως πολλούς κλάστες ελαφρόπετρας. Ο 5γ είναι εξαιρετικά λεπτομερής τόφφος.

Κατά τη συγκριτική μελέτη των παραπάνω προέκυψαν κάποια συμπεράσματα όσον αφορά τη συγκεκριμένη θέση: Το ρήγμα παράταξης  $300^{\circ} - 120^{\circ}$  που «διαπερνά» τη βάση της θέσης II προκαλεί μια διαφοροποίηση της γεωλογίας της θέσης εκατέρωθεν του (Εικ.30). Το βόρειο μισό του κυκλικού σχήματος πρानούς αποτυπώνεται στην τομή AA'. Απολιθώματα στους υπό μελέτη οριζόντες δεν εμφανίστηκαν. Παρόλα αυτά υπάρχουν ενδείξεις πιθανής ύπαρξης απολιθωμάτων στους άνω οριζόντες 5(α,β και γ) της τομής ΓΓ'. Το νότιο μισό του κυκλικού πρानούς φέρει τον ορίζοντα ελαφρόπετρας και τον γειτονικό του, πλούσιο σε ελαφρόπετρα τόφφο. Και οι δύο οριζόντες χαρακτηρίζονται για τον πολύ μεγάλο αριθμό απολιθωμάτων που φέρουν, εικόνα που δε συναντάται στην περιοχή μελέτης BA του ρήγματος.

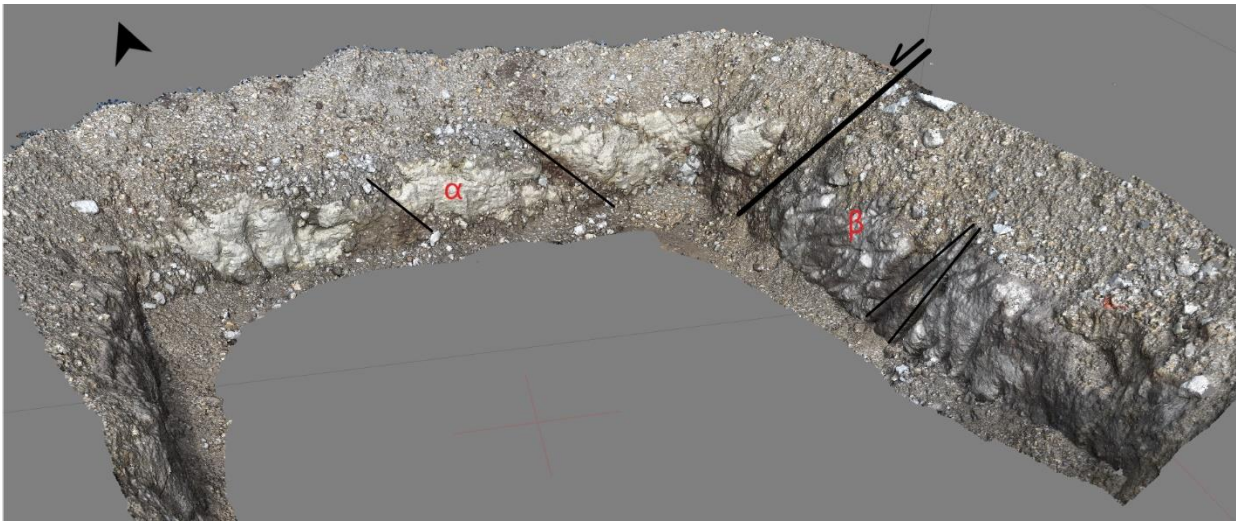


Εικόνα 30. Το ρήγμα στο σκάμμα της βάσης της ανεμογεννήτριας 1



#### 4.3 Σκάμμα Βάσης Ανεμογεννήτριας III

Στο σκάμμα της βάσης της παλιάς ανεμογεννήτριας διακρίθηκαν 2 διαφορετικές στρώσεις πυροκλαστικού υλικού και η μεταξύ τους τεκτονική επαφή. Πρόκειται για επιφάνεια με διεύθυνση κλίσης  $25^\circ$  και γωνία κλίσης  $80^\circ$ . Στο βόρειο τοίχωμα του σκάμματος ο ορίζοντας που σημειώνεται ως α στην Εικ.31 δίνει την εικόνα μη συγκολλημένου ιγνιμβρίτη, ανοικτόχρωμου, με κάποιο περιεχόμενο σε κίσηρη και αραιά λιθικά, μικρού μεγέθους (3-4 εκατοστά) που χαρακτηρίζονται από κάποια ποικιλία ως προς το είδος τους. Ο ορίζοντας β παρουσιάζεται πιο τεφρός, με παρόμοιο ποσοστό κίσηρης και κάποια γωνιώδη, μικρά (3-4 εκατοστά) λιθικά κλάσματα, δηλαδή με παρόμοια χαρακτηριστικά με τον α με τη διαφορά του χρώματος και το ελαφρώς μεγαλύτερο ποσοστό περιεχόμενης κίσηρης.



Εικόνα 31 Σκάμμα βάσης παλιάς Ανεμογεννήτριας 3.



#### 4.4 Ανασκαφική θέση IV

Η ανασκαφική θέση IV χαρακτηρίζεται γεωλογικά από μεγάλου πάχους αποθέσεων ρών πυκνότητας με πολλούς λιθικούς κλάστες χωρίς να λείπει και η κίσηρης με αραιή όμως εμφάνιση συγκριτικά με άλλες θέσεις.

Τα περισσότερα απολιθώματα βρέθηκαν κυρίως μέσα στις πυροκλαστικές αποθέσεις που είχαν κάποιο περιεχόμενο σε ελαφρόπετρα και λιγότερο ποσοστό λιθικών χωρίς όμως να αποκλείεται η εμφάνισή απολιθωμάτων μέσα σε τυπικές αδρομερείς αποθέσεις ρών συντριμμάτων με πολλά λιθικά. Τα απολιθώματα έχουν μία γενική τάση να βυθίζονται προς τα ΝΔ, στοιχείο που μας δίνει μια εικόνα της διεύθυνσης των ρών μιας και λόγω της φύσης τους ήταν αρκετά να εξαχθούν πληροφορίες όσον αφορά την κλίση των στρωμάτων.

Στο δάπεδο της ανασκαφικής θέσης επικρατούν οι αποθέσεις αποτελούμενες κυρίως από λιθικούς κλάστες, μετρίως αποστρογγυλεμένους, μέσης διαμέτρου 15 εκατοστών, χωρίς διαβάθμιση καθ' ύψος που στηρίζονται μεταξύ τους δηλαδή δεν είναι πολύ μεγάλο το ποσοστό του matrix υλικού. Μέσα σε αυτό το υλικό βρέθηκαν πολλά απολιθώματα διάφορων μεγεθών, κάποια σε αρκετά καλή κατάσταση, κάποια δε διατηρούν στοιχεία της δομής του ξύλου αλλά θυμίζουν οριακά πυριτικά συσσωματώματα. Το χρώμα τους είναι κυρίως τεφρό αλλά υπάρχουν και καφέ και υπόλευκα (Εικ.32). Πολύ συχνά εμφανίζονται συσσωματώματα πυριτίου, πρασινωπού χρώματος, που πληρούν το χώρο μεταξύ των λιθικών και δίνουν την εικόνα της επίδρασης υδροθερμικών διαλυμάτων στη θέση (Εικ.33)



Εικόνα 32. Εικόνα πυροκλαστικών βάσης σκάμματος IV





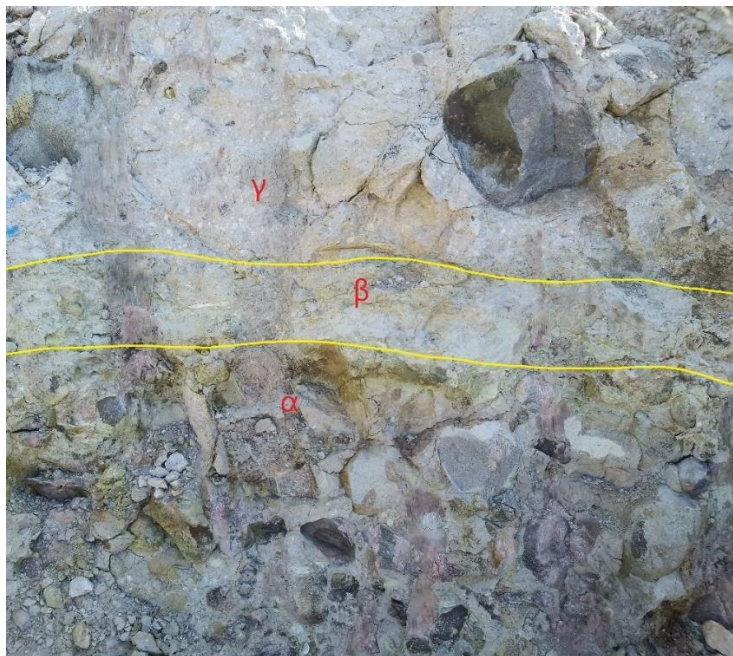
Εικόνα 33 Άμορφο πυριτικό υλικό μεταξύ των λιθικών κλαστών.

Στο βόρειο τοίχωμα της θέσης αποτυπώθηκε η παρακάτω εικόνα (Εικ.34)

Στη βάση της τομής βρίσκεται ο ορίζοντας **α** με πολύ μεγάλο ποσοστό λιθικών κλαστών που παρέμειναν αρκετά γωνιώδεις. Παρατηρείται κάποια λιθολογική ποικιλία μεταξύ των κλαστών. Μέση διάμετρος των κλαστών είναι 10-15 εκατοστά. Σε συγκεκριμένες θέσεις παρατηρείται χρωματική μεταβολή (πρασινωπό χρώμα) που υποδεικνύει τη δράση υδροθερμικών διαλυμάτων.

Υπερκείμενος του **α** είναι ο ορίζοντας **β**, ένας λεπτομερής τόφφος, με στοιχεία εσωτερικής ενδιαστρωμάτωσης, στον οποίο μετρήθηκε διεύθυνση κλίσης  $215^\circ$  και γωνία κλίσης  $35^\circ$ .

Στην οροφή της τομής βρίσκεται ο ορίζοντας **γ** ο οποίος έχει παρόμοιας λιθολογίας κλάστες με τον ορίζοντα **α** αλλά διαφοροποιείται στο γεγονός ότι εμπεριέχει μεγαλύτερο ποσό στάχτης (περισσότερο matrix), είναι φανερή η παρουσία ελαφρόπετρας σε μικρά κλάσματα μεγέθους μέχρι ένα (1) εκατοστό.

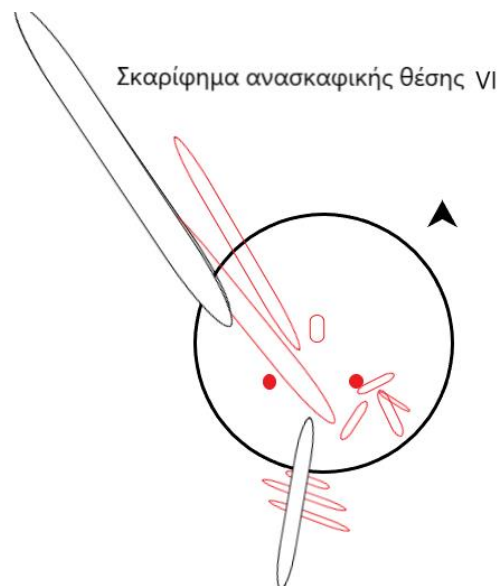


Εικόνα 34. Τομή στο βόρειο εσωτερικό τοίχωμα του σκάμματος βάσης της Ανεμογεννήτριας 2.



#### 4.5 Ανασκαφική θέση VI

Κατά τη διάρκεια των εκσκαφικών και ανασκαφικών εργασιών διαπιστώθηκε η πυκνή παρουσία απολιθωμάτων στον ευρύτερο χώρο της θέσης VI, σε πολύ εκτεταμένη περιοχή και σε διάφορα επίπεδα σε βάθος. Όσον αφορά τη φύση των αποθέσεων το ΝΑ τμήμα της θέσης χαρακτηρίζεται από τον λεγόμενο «μη συγκολλημένο» ιγνιμβρίτη με σχετικά λίγα λιθικά και σε συγκεκριμένες στρώσεις πολλή κίσηρη. Αντίθετα στο ΒΔ τμήμα επικρατούν αλλεπάλληλα στρώματα αποθέσεων ρών πυκνότητας στα οποία θραύσματα λάβας, ποικίλων μεγεθών, σχημάτων, αποστρωγγυλεμένων ή μη, βρίσκονται μέσα σε μήτρα στάχτης. Συνεχίζοντας την ανασκαφή σε βάθος αποκαλύφθηκαν τα απολιθώματα του ανατολικού τμήματος της θέσης μέσα στον χαρακτηριστικό ερυθρωπό τόφφο. Το τελικό στάδιο της ανασκαφής ήταν στο κεντρικό τμήμα της βάσης μέσα σε αργιλοπυριτικό υλικό με πολύ νερό. Η στρωματογραφική αυτή διαφοροποίηση θα αναλυθεί παρακάτω, με μία ανασκόπηση της εικόνας των πυροκλαστικών αποθέσεων κατά την εξέλιξη των ανασκαφικών εργασιών.



Εικόνα 35. Σκαρίφημα της ανασκαφικής θέσης VI. Με μαύρο σημειώνονται τα απολιθώματα των ανώτερων πυροκλαστικών οριζόντων (νότιο και δυτικό τμήμα). Με κόκκινο τα υποκείμενα αυτών (ανατολικό και κεντρικό τμήμα θέσης). Με σημειακό σύμβολο οι ιστάμενοι κορμοί στο κεντρικό σκάμμα της βάσης.

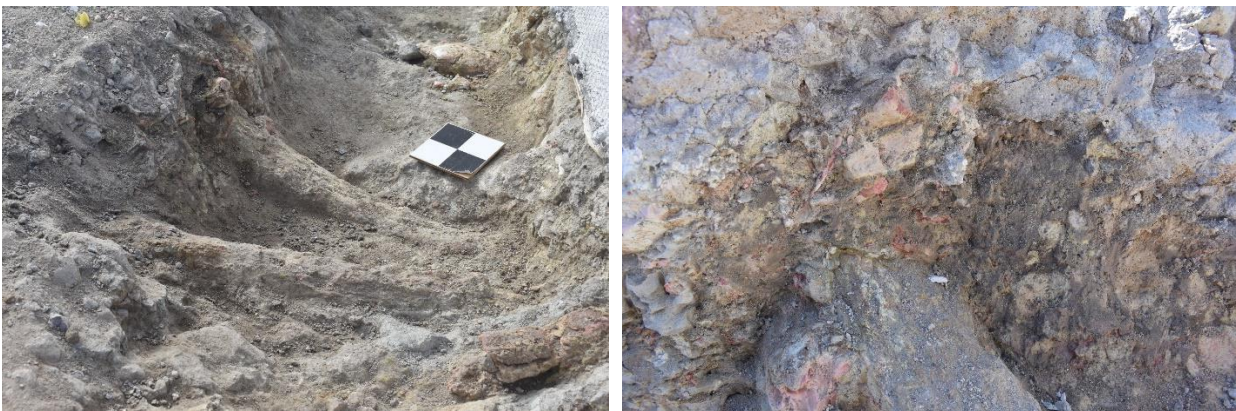
- Νότιο τμήμα θέσης VI

Τον Οκτώβριο του 2018 η εικόνα στο νότιο τμήμα του σκάμματος βάσης της Ανεμογεννήτριας VI ήταν η ακόλουθη: Ένας ευμεγέθης κατακείμενος, πράσινου χρώματος κορμός επικαθόταν πάνω σε οριζόντα πυροκλαστικών πολύ πλούσιου σε κίσηρη που θυμίζει αποθέσεις κατακρήμνισης ηφαιστειακής

στήλης (fall out). Το μέγεθος των κομματιών της κίσηρης ποικίλει, με κάποια να είναι χαρακτηριστικά μεγάλα (πχ 7-8 εκ) (Εικ 38). Το πυροκλαστικό υλικό είναι εξαιρετικά ευπαθές στο νερό και δεν παρουσιάζει ιδιαίτερη συνεκτικότητα. Μέσα σε αυτόν τον ορίζοντα βρέθηκε συστάδα κλαδιών σε υποπαράλληλη θέση, εκατέρωθεν του μεγάλου κορμού και σε κάθετη θέση με αυτόν. Οι απολιθωμένοι κλαδίσκοι έχουν πολύ χαρακτηριστικό φωτεινό πράσινο και ρόζ χρώμα, στοιχείο κατατεθέν της Ανεμογεννήτριας VI. Στο δυτικό πλευρό του σκάμματος του συγκεκριμένου κορμού διακρίνεται ορίζοντας ηφαιστειακού κροκαλοπαγούς που υπέρκειται του προαναφερθέντος λεπτομερούς ορίζοντα στάχτης και ελαφρόπετρας (Εικ36).



Εικόνα 36. Κορμός στο νότιο τμήμα της απολιθματοφόρας θέσης VI.



Εικόνα 37. Λεπτομέρεια κλαδιών στο ανατολικό τμήμα του σκάμματος της Εικ.36

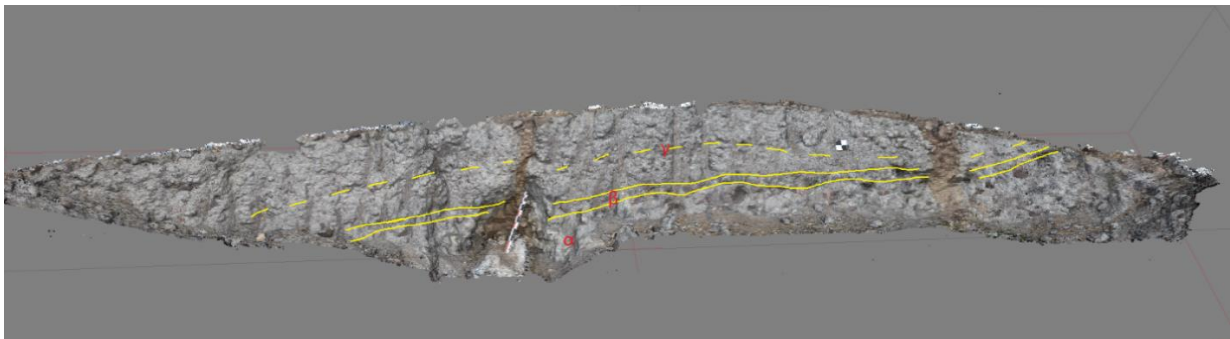


Εικόνα 38. Οριζόντια τομή της στρώσης της ελαφρόπετρας με τα μεγάλα κομμάτια κίσηρης.

- ΒΔ τμήμα θέσης VI.

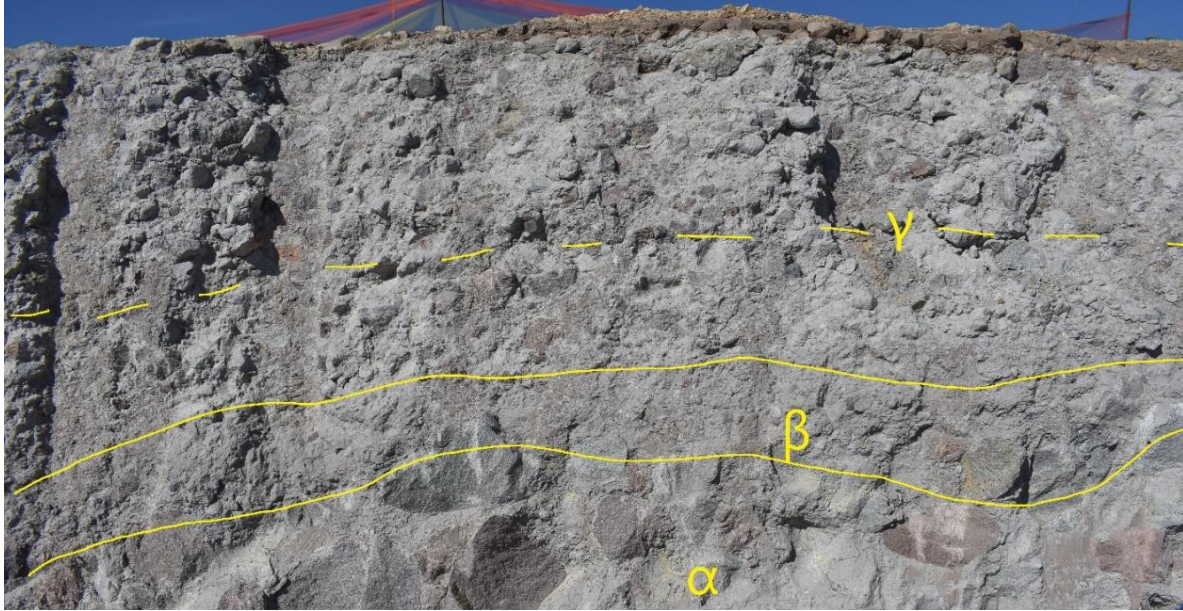
Όπως προαναφέρθηκε, τα κλαστικά υλικά απόθεσης ρών πυκνότητας του ΒΔ τοιχώματος του σκάμματος βάσης της Ανεμογεννήτριας 3 επικάθονται πάνω στα λεπτομερή, πλούσια σε ελαφρόπετρα και χωρίς λιθικά υλικά του ΝΑ τμήματος.

Η ακολουθία αποτελείται από διαδοχικές στρώσεις λατυποπαγών και λασπορρών (Εικ.39-40)



Εικόνα 39 Απεικόνιση του ΒΔ πρανούς του σκάμματος βάσης της Ανεμογεννήτριας VI.





Εικόνα 40 Λεπτομέρεια του ΒΔ πρσανούς του σκάμματος βάσης της Ανεμογεννήτριας VI.

**Ορίζοντας α:** Στη βάση της τομής διακρίνεται ορίζοντας με μεγάλες γωνιώδεις λατύπες λάβας μέσης διαμέτρου 12 εκατοστών που ενίοτε όμως φτάνουν και τα 30-40 εκατοστά, που βρίσκονται μέσα σε λεπτομερή στάχτη. Το matrix στάχτης είναι άφθονο και περιβάλλει τα μεγάλα γωνιώδη λιθικά. Πετρολογικά τα λιθικά παρουσιάζουν σχετική ομοιογένεια με κάποια να παρουσιάζονται χαρακτηριστικά πιο οξειδωμένα, με ερυθρό χρώμα. Μέσα σε αυτόν τον ορίζοντα βρίσκεται γιγαντιαίος πράσινος κορμός, διαμέτρου 55 εκ.

**Ορίζοντας β:** Ορίζοντας στάχτης, τεφρού χρώματος, με μικρό ποσοστό εμπριεχομένων λιθικών που διατηρούν γωνιώδη επιφάνεια. Η στρώση έχει μέσο πάχος 30 εκατοστά, διεύθυνση βύθισης  $290^\circ$  και γωνία κλίσης  $20^\circ$  που όμως ανά θέσεις μεταβάλλεται.

**Ορίζοντας γ:** Στην οροφή της τομής διακρίνεται παχιά στρώση αποθέσεων λασπορροής με ημι-αποστρωγγυλεμένους λιθικούς κλάστες μέσης διαμέτρου 5 εκατοστών μεταξύ των οποίων υπάρχει αλληλοστήριξη, δηλαδή δεν είναι μεγάλο το ποσοστό του συνδετικού matrix. Διακρίνονται επιμέρους επεισόδια απόθεσης. Προφανώς δεν υπάρχει διαβάθμιση των κλαστών ανά μέγεθος.

Χαρακτηριστική είναι η ρηγμάτωση στις στρώσεις του πυροκλαστικού υλικού πάνω από τον γιγάντιο κορμό (Εικ.41). Δεν δείχνει τεκτονικά στοιχεία και θα μπορούσε πιθανώς να αποδοθεί στις τάσεις που ασκεί το βάρος του ιδίου του κορμού ή στην ανισορροπία που προκαλούν τα κενά και η μη συνοχή της τεράστιας επιφάνειά του με το πυροκλαστικό υλικό. Η ρωγμή πληρείται με αργιλικό υλικό εξαιρετικά λεπτομερές με μεγάλο φορτίο νερού, υλικό που κάλυπτε και την άνω επιφάνεια του απολιθωμένου κορμού.



Εικόνα 41. Ο γιγάντιος απολιθωμένος κορμός μέσα στις αποθέσεις ρών συντριμμάτων του δυτικού τμήματος της ανασκαφικής θέσης πριν και μετά την ολοκλήρωση της ανασκαφής του

- Ανατολικό της ανασκαφικής θέσης VI

Χαμηλότερα στρωματογραφικά από τον απολιθωματοφόρο ορίζοντα του νότιου τμήματος της ανασκαφικής θέσης VI αποκαλύφθηκε πολύ μεγάλος αριθμός απολιθωμένων κλαδιών, ριζών ή μικρών κορμών μέσα ορίζοντα ερυθρωπού πυροκλαστικού υλικού. Οι διευθύνσεις και οι γωνίες κλίσης των απολιθωμάτων δεν παρουσιάζουν κάποιο μοτίβο, ενώ η εμφάνισή τους στο χώρο είναι ιδιαίτερα πυκνή (Εικ.42) Το σύνολο των απολιθωμάτων αυτών βρίσκονται μέσα σε πυροκλαστικό υλικό ερυθρωπό, λεπτόκοκκο, με μικρό περιεχόμενο σε λιθικούς κλάστες και κίσηρη. Μέσα σε αυτή την στρώση παρατηρούνται εναλλαγές στον χρωματισμό (τεφρό, ερυθρό), με χαρακτηριστική την εμφάνιση φακών με εξαιρετικά λεπτομερές, χαρακτηριστικά ερυθρό, ενδιαστρωμένο υλικό με εμπεριεχόμενα κομμάτια κίσηρης (Εικ.44) Στην οροφή του ερυθρωπού ορίζοντα εμφανίζεται κατά θέσεις ορίζοντας ελαφρόπετρας, όμοιος με αυτόν που χαρακτηρίζει τον απολιθωματοφόρο ορίζοντα του νότιου σκάμματος. Υπερκείμενες των προηγούμενων οριζόντων βρίσκονται αποθέσεις ρών συντριμμάτων με σχετικά γωνιώδεις κλάστες, μη διαβαθμισμένους ως προς το μέγεθος και τεφρού χρώματος matrix ηφαιστειακής στάχτης (Εικ.43)





*Εικόνα 42. Ανασκαφικό σκάμμα ανατολικού τμήματος θέσης VI.*



*Εικόνα 43 .Τα απολιθώματα μέσα στον ερυθρωπό λεπτομερή τόφφο και οι υπερκείμενες αποθέσεις ροής συντριμμάτων στο ανατολικό τμήμα της θέσης VI.*





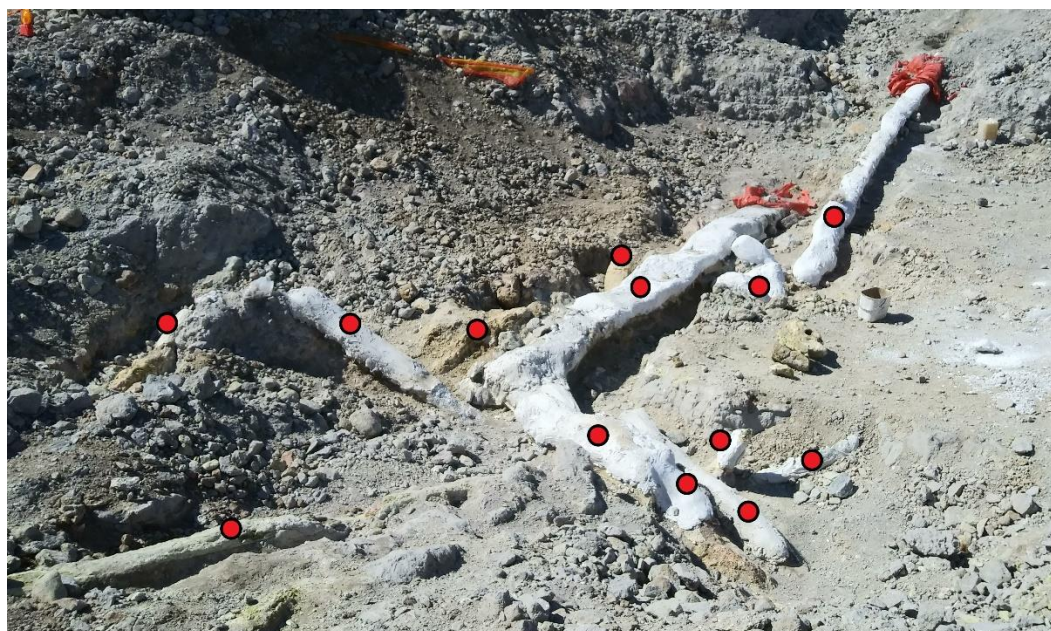
Εικόνα 44. Ερυθρές αργιλοπυριτικές στρώσεις μέσα στον απολιθωματοφόρο τόφφο.

- Κεντρικό τμήμα της ανασκαφικής θέσης VI.

Το τελικό στάδιο της ανασκαφής μετά την αφαίρεση των απολιθωμάτων των προηγούμενων σταδίων έγινε στο κεντρικό τμήμα του σκάμματος της ανασκαφικής θέσης VI. Η ανασκαφή σε πρώτη φάση γινόταν σε κολλώδες, με εμπειριεχόμενο νερό, αργιλοπυριτικό υλικό. Ο λογος ύπαρξης του υλικού αυτού σε τέτοιο βάθος δεν έχει αποσαφηνιστεί. Θα μπορούσε πιθανά να αποδοθεί στις παλιές εκσκαφικές εργασίες που έφτασαν μέχρι αυτό το βάθος στο συγκεκριμένο τμήμα ή σε τεκτονικές διεργασίες. Όπως και να έχει, κατά την εξέλιξη της ανασκαφής σε βάθος διαπιστώθηκε ότι τα απολιθώματα του κεντρικού τμήματος ακολουθούσαν τον χαρακτηριστικό ερυθρωπό τόφφο του ανατολικού τμήματος. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι αποκαλύφθηκαν και ιστάμενοι κορμοί με διεύθυνση κλίσης ΝΑ.



Εικόνα 45. Εικόνα του κεντρικού (σε πρώιμο στάδιο) και δυτικού σκάμματος της θέσης VI. Διαχωρίζεται η περιοχή των αποθέσεων των ρών συντριμμάτων και των λασπορροών από το κεντρικό τμήμα που σε εκείνο το ανασκαφικό στάδιο βρισκόταν στο επίπεδο του κολλώδους αργιλοπυριτικού υλικού. 15/3/2019



Εικόνα 46. Εικόνα κεντρικού ανασκαφικού σκάμματος θέσης VI με σημειωμένα τα διαφορετικά απολιθώματα που αποκαλύφθηκαν. 29/3/2019



#### 4.6 Σκάμμα βάσης Ανεμογεννήτριας VII

Το σκάμμα της παλιάς βάσης έχει μέγεθος περίπου 7x7 μέτρα. Μετά την καταστροφή της παλιάς βάσης αφαιρέθηκαν τα προϊόντα εκσκαφών από την εργοληπτική εταιρία. Αποκαλύφθηκε μόνο το βόρειο πρηνές με διεύθυνση παράταξης 300°-120° και το δυτικό πρηνές με διεύθυνση 210°-30°. Στο δυτικό πρηνές εντοπίστηκε ρηξιγενής επιφάνεια με διεύθυνση κλίσης 202° και γωνία κλίσης 80° που προκάλεσε μια κατακόρυφη μετατόπιση της τάξης 30 εκατοστών όπως μετρήθηκε στον ορίζοντα Β που θα αναλυθεί παρακάτω.

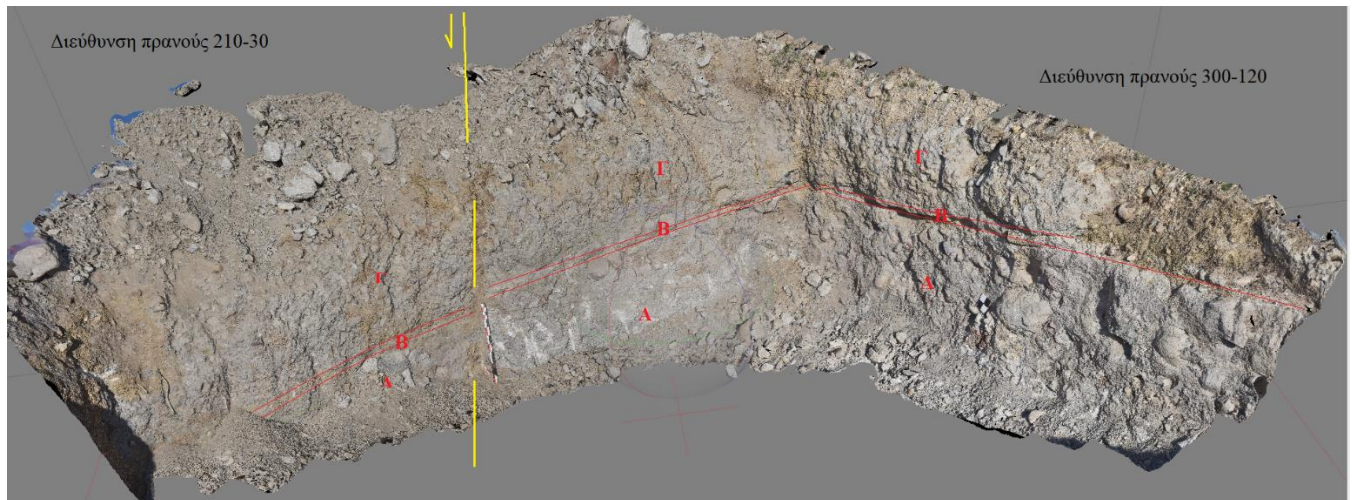
Διακρίθηκαν τρεις οριζόντες διακριτών στρώσεων.

Στη βάση ο ορίζοντας Α με μεγάλους (μέχρι 50 εκ) και μικρούς κλάστες λιθικών να βρίσκονται αδιαβάθμιστοι μέσα σε λεπτομερή στάχτη. Τα θραύσματα των υλικών δεν εμφανίζονται ιδιαίτερα στρογγυλεμένα και παρουσιάζουν σχετική λιθολογική ποικιλία, με κάποιους κλάστες να παρουσιάζουν στοιχεία οξειδωσης της λάβας (κοκκινωποί).

Του ορίζοντα Α υπέρκειται ο ορίζοντας Β, ένας λεπτοστρωματώδης τόφφος χωρίς λιθικά που παρουσιάζει ενδιάμεσες λεπτές στρώσεις στάχτης, συνολικού πάχους 30-35 εκατοστών. Η διεύθυνση κλίσης του ορίζοντα Β μετρήθηκε ΔΝΔ 260° και η γωνία κλίσης του κυμαίνεται μεταξύ 10°-25°.

Στην οροφή της τομής εμφανίζεται ο ορίζοντας Γ, μία λασπορροή με μεγάλο περιεχόμενο σε matrix υλικό, σχετική ομοιογένεια στο μέγεθος των λιθικών κλαστών με μέση διάμετρο τα 8 εκ ενώ λιθολογικά οι κλάστες ομοιάζουν πολύ με αυτούς του ορίζοντα Α.

Χαρακτηριστική είναι η απουσία της ελαφρόπετρας και στους τρεις οριζόντες. Επίσης δεν βρέθηκαν ίχνη ή θραύσματα απολιθωμάτων.



Εικόνα 47. Απεικόνιση του σκάμματος της βάσης της Ανεμογεννήτριας VII.



*Εικόνα 48. Λεπτομέρεια δυτικού τοιχώματος του σκάμματος*

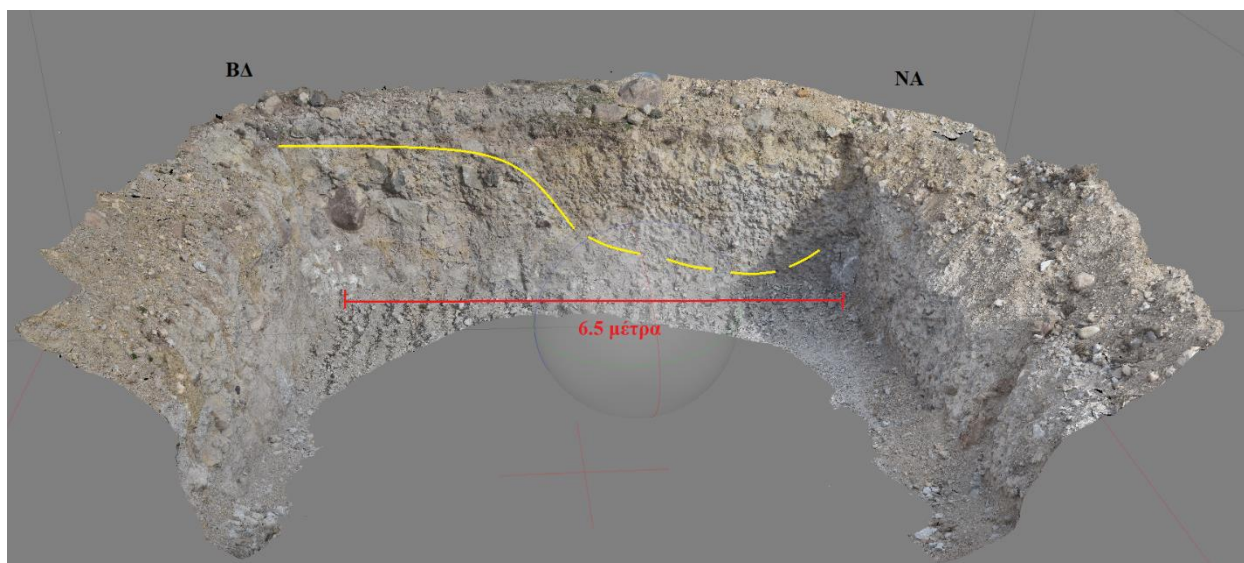


*Εικόνα 49. Λεπτομέρεια του βόρειου τοιχώματος του σκάμματος.*

#### 4.7 Σκάμμα βάσης Ανεμογεννήτριας VIII.

Διακρίνονται δύο ορίζοντες. Ο κατώτερος με μεγάλες γωνιώδεις λατύπες μη διαβαθμισμένες μέσα σε στάχτη, με κάποια λιθολογική ποικιλία. Από πάνω του βρίσκεται ορίζοντας λασποροής, με μη διαβαθμισμένους, σχετικά αποστρογγελεμένους λιθικούς κλάστες διαμέτρου 6-7 εκατοστών.





Εικόνα 50. Απεικόνιση σκάμματος βάσης Ανεμογεννήτριας VIII

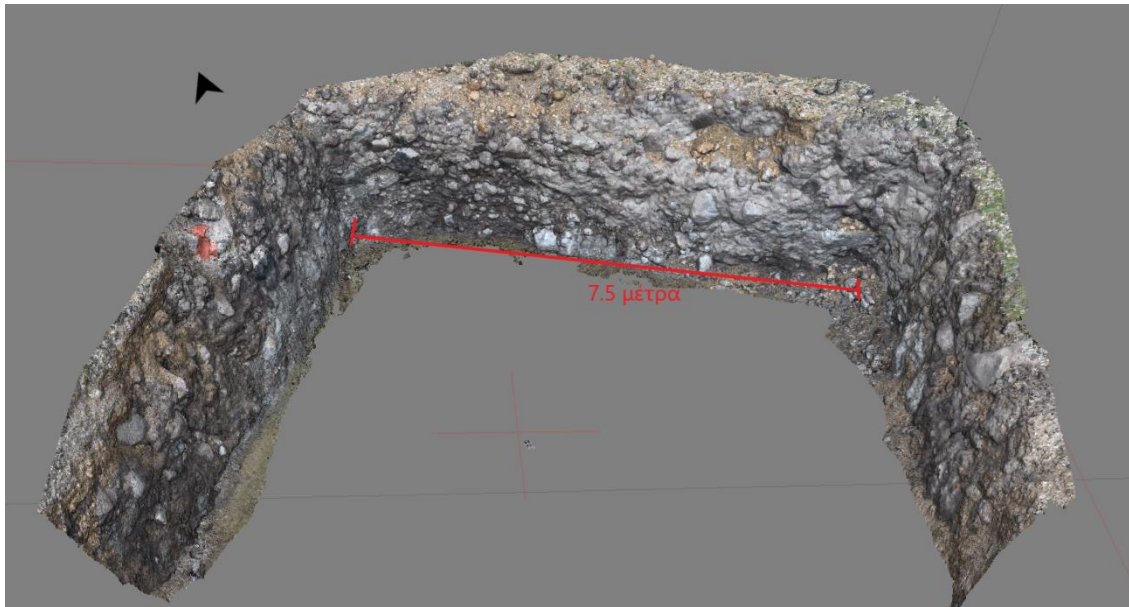


Εικόνα 51. Λεπτομέρεια βόρειου εσωτερικού τοιχώματος σκάμματος βάσης της Ανεμογεννήτριας VIII.

#### 4.8 Σκάμμα βάσης Ανεμογεννήτριας IX

Η γεωλογική εικόνα των τομών της βάσης της Ανεμογεννήτριας IX είναι παρόμοια με αυτή του σκάμματος της Ανεμογεννήτριας VIII. Πρόκειται για αταξινόμητο, μη διαβαθμισμένο υλικό από λιθικούς κλάστες διάφορων μεγεθών.





Εικόνα 52. Απεικόνιση σκάμματος βάσης παλιάς Ανεμογεννήτριας ΙΧ

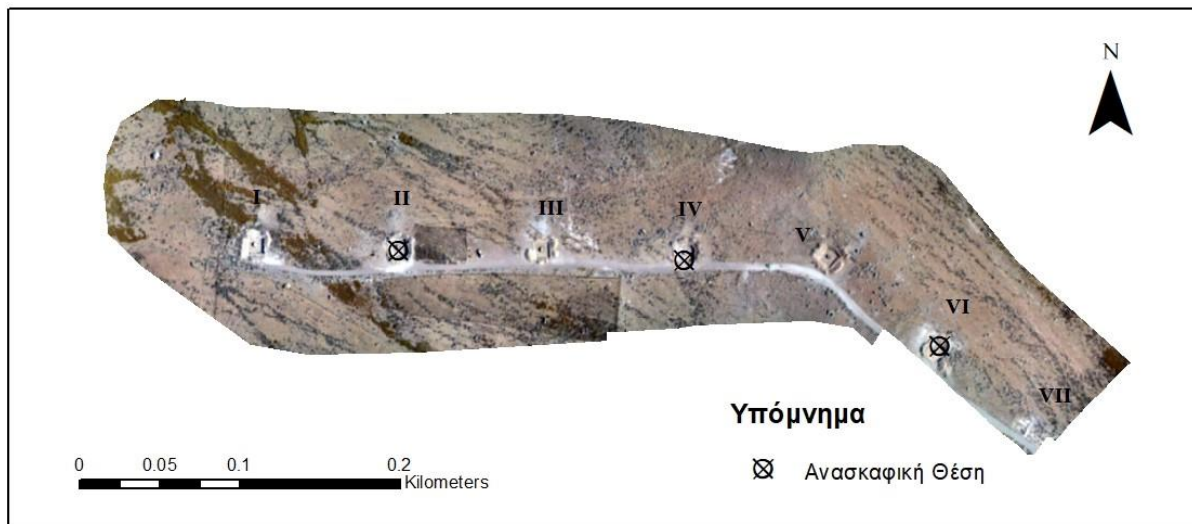


Εικόνα 53. Λεπτομέρεια τομής στο σκάμμα βάσης της παλιάς Ανεμογεννήτριας ΙΧ.

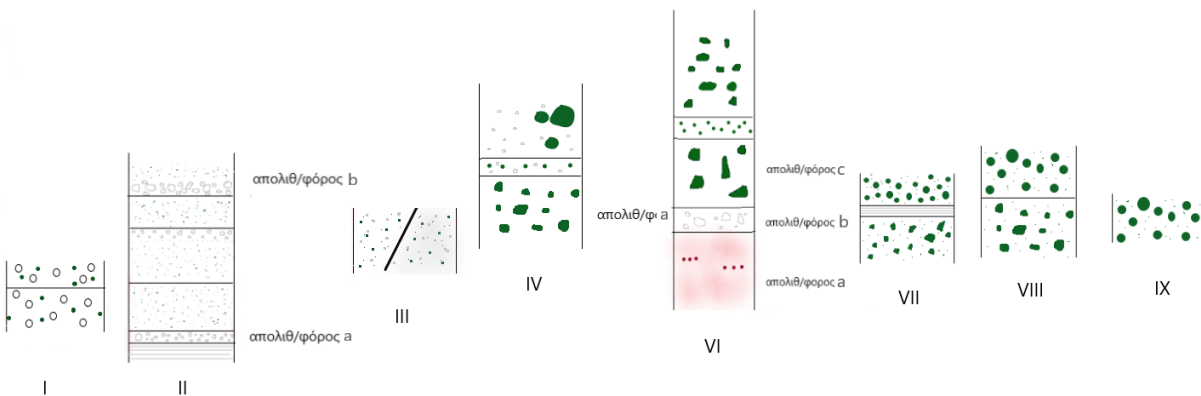
## 5 Συμπεράσματα

Η έρευνα στην Περιοχή Ακρόχειρα ανέδειξε σημαντικά νέα στοιχεία όσο αφορά την στρωματογραφία των πυροκλαστικών σχηματισμών στην Δυτική Λέσβο.

Τα νέα στοιχεία συνοψίζονται στα ακόλουθα συμπεράσματα από την στρωματογραφική εξέταση των 8 θέσεων – εκσκαφής κατά μήκος της κορυφογραμμής του υψώματος Ακρόχειρας η οποία έδωσε μία γραμμική εικόνα των στρωματογραφικών αλλαγών στο λόφο του Ακρόχειρα (Εικ.54).



Εικόνα 54. Οι ανασκαφικές θέσεις με τους απολιθωματοφόρους οριζόντες πυροκλαστικών στο Αιολικό Πάρκο Ακρόχειρα. (Πηγή δεδομένων :Paradourouli et. al 2020).



Εικόνα 55. Συνοπτική απεικόνιση στρωματογραφίας ανά θέση

Στις ανασκαφικές θέσεις II και VI ξεχώρισαν οι απολιθωματοφόροι οριζόντες ελαφρόπετρας που αποτέλεσαν φερέγγυα στρώματα-οδηγοί κατά τη διάρκεια των ανασκαφών.

Στην περίπτωση της θέσης II οι απολιθωματοφόροι οριζόντες είναι δύο (IIa και IIb) και φέρουν πανομοιότυπα χαρακτηριστικά γεγονός (χρώμα, κοκκομετρία, περιεχόμενο σε λιθικά, παρουσία ελαφρόπετρας) που προκάλεσε προβληματισμό στη διάκρισή τους. Παρόλα αυτά αποδείχθηκε ότι μεταξύ τους παρεμβάλλονται επάλληλες στρώσεις πυροκλαστικών υλικών.

Όπως προαναφέρθηκε, η απουσία απολιθωμάτων στο βόρειο τμήμα του σκάμματος της βάσης της ανεμογεννήτριας II αποδίδεται πιθανότατα στην παρουσία του μεγάλου ρήγματος εντός σκάμματος και στις σχετικές μετατοπίσεις που έχει προκαλέσει στους απολιθωματοφόρους και μη οριζόντες των πυροκλαστικών υλικών.

Στην περίπτωση της θέσης VI διακρίθηκαν τρεις απολιθωματοφόροι οριζόντες. Το κατώτατο επίπεδο (VIa) στρωματογραφικά χαρακτηρίζεται από λεπτομερές ερυθρωπό πυροκλαστικό υλικό. Βάσει των διευθύνσεων και των σχετικών θέσεων των απολιθωμάτων δίνεται εικόνα ενός παλαιού τοπογραφικού βυθίσματος μέσα στο οποίο παρασύρθηκαν ατάκτως τα σπασμένα φυτικά υπολείμματα πριν την απολίθωσή τους. Ο οριζοντας VIa συσχετίζεται με τον IIa λόγω της συνάφειάς τους στο χρώμα, στο περιεχόμενο και τη φύση της κίσηρης και τη σχετική τους θέση με υπερκείμενο απολιθωματοφόρο οριζοντα.

Στο μεσαίο επίπεδο (VIb) της θέσης VI το στρώμα ελαφρόπετρας που αποτέλεσε οδηγό στο νότιο αλλά και στο ανατολικό τμήμα της θέσης πιθανά συσχετίζεται με ένα από τα δύο στρώματα-οδηγούς της II. Το μεγάλο μέγεθος των κλαστών της κίσηρης και η αποδεδειγμένη ύπαρξη υποκείμενου απολιθωματοφόρου οριζοντα με παρόμοια χαρακτηριστικά (λεπτομερής τόφφος και έντονη παρουσία κίσηρης) οδηγεί στη συσχέτιση του μεσαίου οριζοντα VIb με τον άνω απολιθωματοφόρο οριζοντα (IIb) της θέσης II.

Παρόλο που βιβλιογραφικά η παρουσία απολιθωμάτων σχετίζεται κυρίως με λεπτομερείς πυροκλαστικές αποθέσεις ιγνιμβρίτη, οι ανασκαφές του Ακρόχειρα στον τρίτο απολιθωματοφόρο οριζοντα (VIc) της θέσης VI ανέδειξαν την ύπαρξη εντυπωσιακών απολιθωμάτων εντός αποθέσεων ρών συντριμμάτων με πολλούς και μεγάλους λιθικούς κλάστες.

Παρόμοια εικόνα απολιθωματοφόρου οριζοντα εντός αδρού πυροκλαστικού υλικού δόθηκε και από την ανασκαφική θέση IV. Το γεγονός της γειννίας των απολιθωματοφόρων IVa και VIc οριζόντων αποθέσεων ρών συντριμμάτων και κάποιων ομοιοτήτων στη στρωματογραφική τους εικόνα, όπως η ύπαρξη υπερκείμενου οριζοντα στάχτης, θέτει το θέμα συσχέτισης τους.

Οι τομές του ανατολικού τμήματος του λόφου του Ακρόχειρα (VII, VIII, IX) ανέδειξαν την ύπαρξη εκτεταμένων αποθέσεων ρών συντριμμάτων και λασπορρών που στερούνται απολιθωμάτων και χαρακτηρίζονται από την απουσία κίσηρης. Διατηρώντας επιφυλάξεις όσον αφορά το ρόλο της τεκτονικής στις σχετικές θέσεις των οριζόντων, προτείνεται συσχετισμός των οριζόντων του ανατολικού τμήματος του Ακρόχειρα με τους αντίστοιχες φύσης άνω οριζόντες των θέσεων IV και VI.

Κατά τη γενική επισκόπηση των γεωλογικών παρατηρήσεων στο λόφο του Ακρόχειρα σημειώνεται ότι υπάρχει μία συνέπεια στις διευθύνσεις κλίσης των οριζόντων πυροκλαστικών που κατέστη δυνατό να μετρηθούν με κύριες τάσεις βύθισης την Δ και ΔΝΔ. Οι τάσεις αυτές υποδεικνύουν πιθανή διέυθυνση ροής προς ΔΝΔ και προκύπτει το ερώτημα της προέλευσής της. Παρόλα αυτά πρέπει να ληφθεί υπόψη

ο ρόλος του παλαιοαναγλύφου (διεύθυνση παλαιοκοιλιάδων) που μπορεί να κατηύθυνε τη ροή και ο ρόλος της τεκτονικής που προκαλεί μετατοπίσεις που δεν μπορούν πάντα να ελεγχθούν.

Οι διεύθυνση με την οποία παρατάσσονται οι κατακείμενοι απολιθωμένοι κορμοί συχνά αποτελεί ένδειξη της διεύθυνσης της πυροκλαστικής ροής που τους παρέσυρε. Τα δεδομένα διευθύνσεων κλίσης των κατακείμενων κορμών του Ακρόχειρα υποδεικνύουν δύο κύριες τάσεις παράταξης των κορμών, μία ΔΝΔ-ΑΒΑ και μία Β- Ν. Από τα παραπάνω διαπιστώνεται μία σχετική συνάφεια των δεδομένων κλίσης των πυροκλαστικών αποθέσεων και των κατακείμενων απολιθωμένων κορμών.

Στην περίπτωση των ιστάμενων κορμών η διεύθυνση της βύθισής τους είναι αντιδιαμετρική της διεύθυνσης της πυροκλαστικής ροής που τους ώθησε. Ιστάμενοι κορμοί στο χώρο του Ακρόχειρα βρέθηκαν κυρίως στον κάτω απολιθωματοφόρο ορίζοντα (VIa) της θέσης VI. Παρόλο που τα κατακείμενα απολιθώματα του ορίζοντα αυτού δείχνουν να έχουν τυχαία διάταξη στο χώρο, οι ιστάμενοι κορμοί κλίνουν ως επί το πλείστον προς ΝΝΔ υποδεικνύοντας πιθανή διεύθυνση ροής των πυροκλαστικών προς ΒΒΔ, διεύθυνση που στηρίζεται και βιβλιογραφικά (Pe-Piper et. al 2019b).

Τα δεδομένα καταδεικνύουν την ύπαρξη επάλληλων απολιθωματοφόρων οριζόντων με δύο κυρίαρχες τάσεις παράταξης των απολιθωμένων κορμών και θέτουν το ερώτημα της διττής προέλευσης των πυροκλαστικών ροών από ηφαιστειακά κέντρα που βρίσκονται Νότια και Ανατολικά της περιοχής που σήμερα χαρακτηρίζεται γεωλογικά από τις πυροκλαστικές αποθέσεις του Σιγρίου.



## 6 Βιβλιογραφία

- Θωμαΐδου, Ε.Λ., 2009. Η γεωλογική δομή της νήσου Λέσβου (No. GRI-2010-4911). Aristotle University of Thessaloniki.
- Μουντράκης, Δ. (1985). Γεωλογία της Ελλάδας. University Studio Press.
- Παπανικολάου, Δ., (1986). Γεωλογία της Ελλάδος, Αθήνα, 240p
- Agusti, J., Cabrera, L., Garcés, M., Krijgsman, W., Oms, O. and Parés, J.M., 2001. A calibrated mammal scale for the Neogene of Western Europe. State of the art. *Earth-Science Reviews*, 52(4), pp.247-260.
- Ballhaus, C., Gee, C.T., Bockrath, C., Greef, K., Mansfeldt, T. and Rhede, D., 2012. The silicification of trees in volcanic ash-An experimental study. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 84, pp.62-74.
- Branney, M.J., Kokelaar, P. and Kokelaar, B.P., 2002. Pyroclastic density currents and the sedimentation of ignimbrites. Geological Society of London.
- Chatzidimitriadis, E. and Kiliyas, A. (1984). Paläozoisch - mesozoische Faltungsphasen im Gebietöstlich von Thessaloniki / Nordgriechenland. N. Jb. Geol. Paläont. Mh., 4, 193- 203
- Cioni, R., Pistolesi, M. and Rosi, M., 2015. Plinian and subplinian eruptions. In *The Encyclopedia of Volcanoes* (pp. 519-535). Academic Press.
- Dilek, Y., & Altunkaynak, Ş. (2009). Geochemical and temporal evolution of Cenozoic magmatism in western Turkey: Mantle response to collision, slab break-off, and lithospheric tearing in an orogenic belt. Geological Society, London, Special Publications, 311, 213–233. <https://doi.org/10.1144/SP311.8>
- Esri, Maxar, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AeroGRID, IGN, and the GIS User Community
- Francis, P., 1993. Volcanoes. A planetary perspective.
- Fytikas, M., Innocenti, F., Manetti, P., Peccerillo, A., Mazzuoli, R. and Villari, L., 1984. Tertiary to Quaternary evolution of volcanism in the Aegean region. Geological Society, London, Special Publications, 17(1), pp.687-699.
- Hecht, J. (1972-1975), IGME, Geological map of Greece, 1:50.000. Plomari-Mytilene, Ayia Paraskevi, Mithimna, Polichnitos and Eressos sheets.
- Innocenti, F., 1979. Inner arc volcanism in NW Aegean arc: geochemical and geochronological data.
- Jackson, J., 1994. Active tectonics of the Aegean region. Annual Review of Earth and Planetary Sciences, 22(1), pp.239-271.
- Kastens, K.A., 1991. Rate of outward growth of the Mediterranean Ridge accretionary complex. Tectonophysics, 199(1), pp.25-50.
- Katsikatsos, G., Mataragas, D., Migiros, G. and Triantaphyllis, E., 1982. Geological study of Lesvos island. IGME (interna report).
- Katsikatsos, G., Migiros, G., Triantaphyllis, M. and Mettos, A., 1986. Geological structure of internal Hellenides (E. Thessaly—SW. Macedonia, Euboea—Attica—Northern Cyclades islands and Lesvos). *Geōlogikai kai geōfusikai meletai*, pp.191-212.

- Koufos, G.D., Zouros, N. and Mourouzidou, O., 2003. *Prodeinotherium bavaricum* (Proboscidea, Mammalia) from Lesvos island, Greece; the appearance of deinotheres in the Eastern Mediterranean. *Geobios*, 36(3), pp.305-315.
- Magganas, A.C., 1988. Mineralogical, petrological and geochemical study of metabasic and metaultrabasic rocks of the Circum-Rhodope belt in Thrace. Unpublished Ph. D. Thesis, University of Athens, Greece, 405.
- McKenzie, D., 1978. Active tectonics of the Alpine—Himalayan belt: the Aegean Sea and surrounding regions. *Geophysical Journal International*, 55(1), pp.217-254.
- Mercier, J., Sorel, D., Vergely, P. and Simeakis, K., 1989. Extensional tectonic regimes in the Aegean basins during the Cenozoic. *Basin Res.*, vol.2, pp.49-71
- Mercier, J. (1966). Etude géologique des zones internes des Héliénides en Macedoine centrale. Contribution à l'étude du métamorphisme et de l'évolution magmatique des zones internes des Héliénides. *Ann. Geol. Pays Hell.*, 20, 1968B
- Mountrakis, D. (1982)b. Emplacement of the Kastoria ophiolite on the western edge of the Internal Hellenides. *Ofioliti*, 7, N. 213, 397-406.
- Mountrakis, D., Sapountzis, E., Kiliyas, A., Eleftheriadis, G. and Christofides, G., 1983. Paleogeographic conditions in the western Pelagonian margin in Greece during the initial rifting of the continental area. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 20(11), pp.1673-1681.
- Mountrakis, D., 1986. The Pelagonian zone in Greece: a polyphase-deformed fragment of the Cimmerian continent and its role in the geotectonic evolution of the eastern Mediterranean. *The Journal of Geology*, 94(3), pp.335-347.
- Mourouzidou, O., 2001. *Tectonics and stratigraphy of the Neogene deposits of Gavathas area, Lesvos* (Doctoral dissertation, M. Sc. Thesis, Aristotle University of Thessaloniki (in Greek)).
- Papadopoulou, E.E., Kasapakis, V., Vasilakos, C., Papakonstantinou, A., Zouros, N., Chroni, A. and Soulakellis, N., 2020. Geovisualization of the Excavation Process in the Lesvos Petrified Forest, Greece Using Augmented Reality. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 9(6), p.374.
- Papazachos, C. and Papazachos, B., 2001. Precursory accelerated Benioff strain in the Aegean area. *Annals of Geophysics*, 44(2).
- Papazachos, B.C., Papadimitriou, E.E., Kiratzi, A.A., Papazachos, C.B. and Louvari, E.K., 1998. Fault plane solutions in the Aegean Sea and the surrounding area and their tectonic implication. *Boll. Geof. teor. appl*, 39(3), pp.199-218.
- Pavlidis, S., Mountrakis, D., Kiliyas, A. and Tranos, M., 1990. The role of strike-slip movements in the extensional area of Northern Aegean (Greece). A case of transtensional tectonics.
- Pe-Piper, G., 1977. Source of the Miocene ignimbrites of Lesbos as shown by tephra orientations. In *Proceedings of the VI Colloquium on the geology of the Aegean Region, Athens* (pp. 939-944).
- Pe-Piper, G., 1980. Geochemistry of Miocene shoshonites, Lesbos, Greece. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 72(4), pp.387-396.
- Pe-Piper, G., 1980. the Cenozoic volcanic sequence of Lesbos, Greece. *Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft*, pp.889-901.
- Pe-Piper, G. and Piper, D.J.W., 1993. Revised stratigraphy of the Miocene volcanic rocks of Lesbos, Greece. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie-Monatshefte*, pp.97-110.

- Pe-Piper, G., & Piper, D. J. W. (2002). The igneous rocks of Greece: The anatomy of an orogen (p. 573). Stuttgart: Borntraeger.
- Pe-Piper, G. and Piper, D.J., 2007. Neogene backarc volcanism of the Aegean: new insights into the relationship between magmatism and tectonics. *SPECIAL PAPERS-GEOLOGICAL SOCIETY OF AMERICA*, 418, p.17.
- Pe-Piper, G., Matarangas, D., Reynolds, P.H. and Chatterjee, A.K., 2003. Shoshonites from Agios Nectarios, Lesbos, Greece: origin by mixing of felsic and mafic magma. *European Journal of Mineralogy*, 15(1), pp.117-125.
- Pe-Piper, G., Imperial, A., Piper, D.J., Zouros, N.C. and Anastasakis, G., 2019. Nature of the hydrothermal alteration of the Miocene Sigri Petrified Forest and host pyroclastic rocks, western Lesbos, Greece. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 369, pp.172-187.
- Pe-Piper G, Piper DJW, Zouros N, Anastasakis G. Age, stratigraphy, sedimentology and tectonic setting of the Sigri Pyroclastic Formation and its fossil forests, Early Miocene, Lesbos, Greece. *Basin Res.* 2019;00:
- Quan, C., Liu, Y.S.C., Tang, H. and Utescher, T., 2014. Miocene shift of European atmospheric circulation from trade wind to westerlies. *Scientific Reports*, 4, p.5660.
- Rassios, A., (1991). Internal structure and pseudostratigraphy of the Dramala peridoite massif, Pindos Mountains, Greece. *Bull. Geol. Soc. Greece*, XXV/1,293-305
- Royden, L.H., 1993. Evolution of retreating subduction boundaries formed during continental collision. *Tectonics*, 12(3), pp.629-638.
- Savostin, L.A., Sibuet, J.C., Zonenshain, L.P., Le Pichon, X. and Roulet, M.J., 1986. Kinematic evolution of the Tethys belt from the Atlantic Ocean to the Pamirs since the Triassic. *Tectonophysics*, 123(1-4), pp.1-35.
- Serelis, K. (1995). Investigation of the ophiolites of Lesbos Island. Ph.D Thesis, Agricultural Univ. Athens, 241 pp
- Smith, A.G., Woodcock, N.H. and Naylor, M.A. (1979). The structural evolution of a Mesozoic continental margin, Othris Mountain, Greece. *J. Géol. Soc. London*, 136, 589-603.
- Tranos, M. (2009). Faulting of Lemnos Island; a mirror of faulting of the North Aegean Trough (Northern Greece). *Tectonophysics*, 467, 72-88.
- Vamvoukakis, C., K. St Seymour, M. Kouli, S. Lamera, and G. Denes. "Investigation of non-pristine volcanic structures acting as probable hosts to epithermal gold mineralization in the back-arc region of the active Aegean arc, using combined satellite imagery and field data: Examples from Lesbos volcanic terrain." In *Developments in Volcanology*, vol. 7, pp. 329-343. Elsevier, 2005.
- Vasileiadou, K. and Zouros, N., 2012. Early miocene micromammals from the lesbos petrified forest (greece): preliminary results. *Palaeobiodiversity and Palaeoenvironments*, 92(2), pp.249-264.
- Walcott, C.R. and White, S.H., 1998. Constraints on the kinematics of post-orogenic extension imposed by stretching lineations in the Aegean region. *Tectonophysics*, 298(1-3), pp.155-175.
- Westoby, M.J., Brasington, J., Glasser, N.F., Hambrey, M.J. and Reynolds, J.M., 2012. 'Structure-from-Motion' photogrammetry: A low-cost, effective tool for geoscience applications. *Geomorphology*, 179, pp.300-314.
- Wright, J.V., Smith, A.L. and Self, S., 1980. A working terminology of pyroclastic deposits. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 8(2-4), pp.315-336.



Yilmaz, Y., Genç, Ş.C., Gürer, F., Bozcu, M., Yilmaz, K., Karacik, Z., Altunkaynak, Ş. and Elmas, A., 2000. When did the western Anatolian grabens begin to develop. *Geological Society, London, Special Publications*, 173(1), pp.353-384.

Zouros, N., Velitzelos, E. and Seraides, P., 1998. Petrified Forest of Lesvos: New findings on the palaeoflora support the uniqueness and the global importance of the natural monument. In *Proceedings of the "Protected areas management-natural monuments" International Symposium Lesvos* (pp. 34-48).

Zouros, N., Velitzelos, E., Valiakos, E. and Ververis, K., 2004, April. Submarine petrified forest in Lesvos Greece. In *Proceedings of the 5th International Symposium on Eastern Mediterranean Geology*. Thessaloniki (pp. 14-19).

Zouros, N., Velitzelos, E., Valiakos, I. and Labaki, O., 2007. The Plaka petrified forest park in western Lesvos-Greece. *Bulletin of the Geological Society of Greece*, 40(4), pp.1880-1891.