



ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ  
ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΕΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ, ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΩΝ & ΚΡΙΣΕΩΝ

POST GRADUATE PROGRAM  
ENVIRONMENTAL, DISASTER & CRISES MANAGEMENT STRATEGIES

**Μεταπτυχιακή Διατριβή Ειδίκευσης**  
Master Thesis

**«Το ηφαιστειακό σύμπλεγμα της Σαντορίνης. Σενάρια εκτίμησης του κινδύνου»**

«The volcanic complex of Santorini. Risk assessment scenarios»

Θεόφιλος Μπεναρδής/ Theophilos Benardis

A.M: 18144

Ειδικές Εκδόσεις / Special Publications:

**No. 2020143**

**Αθήνα, Ιούλιος 2020**  
Athens, July 2020



ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ  
ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΕΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ, ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΩΝ & ΚΡΙΣΕΩΝ

POST GRADUATE PROGRAM  
ENVIRONMENTAL, DISASTER & CRISES MANAGEMENT STRATEGIES

**Μεταπτυχιακή Διατριβή Ειδίκευσης**  
Master Thesis

**«Το ηφαιστειακό σύμπλεγμα της Σαντορίνης. Σενάρια εκτίμησης του κινδύνου»**

«The volcanic complex of Santorini. Risk assessment scenarios»

**Θεόφιλος Μπεναρδής/ Theophilos Benardis**

A.M: 18144

**Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή:**

**Δρ. Σ.Λόζιος,**  
Αναπλ. Καθηγητής ΕΚΠΑ

**Δρ. Ε.Λέκκας,**  
Καθηγητής ΕΚΠΑ

**Δρ. Ε.Σκούρτσος,**  
Επικ. Καθηγητής ΕΚΠΑ

## Περιεχόμενα

Περίληψη .....	2
Abstract.....	3
Ευχαριστίες.....	4
Κατάλογος Εικόνων:.....	4
Κατάλογος Πινάκων:.....	5
Εισαγωγή.....	6
1. Σαντορίνη – το νησί των ηφαιστείων .....	8
2.Χαρακτηριστικά του ηφαιστείου .....	10
2.1 Ιστορικό ηφαιστειότητας .....	11
2.2 Η Μινωική έκρηξη.....	14
3. Το υποθαλάσσιο ηφαίστειο Κολούμπο .....	16
4. Καλντέρα και σεισμική δραστηριότητα .....	25
5. Η Παλαιά Καμένη .....	30
6. Η Νέα Καμένη .....	32
7. Γεωμορφολογία Σαντορίνης .....	34
7.1 Γεωλογία .....	36
7.2 Σεισμοί .....	36
8 . Σενάρια επαναδραστηριοποίησης και εκτίμηση ηφαιστειακών κινδύνων .....	38
8.1 Περιγραφή κινδύνων κατά συνοπτικό τρόπο – μέτρα περιορισμού και αποκατάστασης .....	43
9. Κλίμα Σαντορίνης .....	45
10. Σεισμική δραστηριότητα 1950 – 2012.....	46
10.1 GPS .....	49
Συμπεράσματα.....	52
Βιβλιογραφία .....	53

## Περίληψη

Το νησί της Σαντορίνης αποτέλεσε ορόσημο για την επιστημονική κοινότητα, λόγω της ηφαιστειακής δραστηριότητας όχι μόνο του παρελθόντος, αλλά και του παρόντος. Ένα βήμα προσέγγισης της πολυσύνθετης εικόνας που παρουσιάζει επιτυγχάνεται στο πλαίσιο της παρούσης διπλωματικής εργασίας. Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στον χαρακτηρισμό του νησιού ως νησί των ηφαιστειών. Στη συνέχεια προσδιορίζονται τα χαρακτηριστικά του ηφαιστείου και γενικότερα το ιστορικό της ηφαιστειότητας. Επίσης, γίνεται ιστορική αναδρομή, σχετικά μάλιστα με τη γνωστή Μινωική έκρηξη. Ένα μεγάλο μέρος της εργασίας αφιερώνεται στο υποθαλάσσιο ηφαίστειο Κολούμπο, το οποίο είναι στη βορειοανατολική πλευρά του νησιού. Γίνεται πιο συγκεκριμένα αναφορά σε μελέτες που έλαβαν χώρα ανάμεσα στο 2001 και το 2006, μέσω κάποιων συγκεκριμένων συστημάτων.

Επίσης, προσδιορίζεται η καλντέρα και η σεισμική δραστηριότητα. Βασικό ακόμη κεφάλαιο αποτελούν η Παλαιά και Νέα Καμένη, και ακολουθούν η Γεωμορφολογία του νησιού και τα Σενάρια επαναδραστηριοποίησης και εκτίμησης ηφαιστειακών κινδύνων. Πρόκειται για σενάρια, τα οποία είχαν υποβληθεί σε έκθεση που είχαν συνταχθεί από την Υποεπιτροπή Πολιτικής Προστασίας – Ηφαιστειακού Κινδύνου της ΕΕΕΠΗΣ- Ειδικής Επιτροπής Επιστημονικής Παρακολούθησης Ηφαιστείου Σαντορίνης. Εύλογο είναι ότι σχετικά με το θέμα της σεισμικής δραστηριότητας γίνεται προσέγγιση από το 1980 έως το 2012. Βάσει διαγραμμάτων όμως παρέχονται πληροφορίες έως το 2014 που είναι πολύ σημαντικές για την ευρύτερη εκτίμηση της σεισμικής δραστηριότητας.

**Λέξεις κλειδιά:** Σαντορίνη, ηφαίστειο, πυροκλαστική δραστηριότητα, ηφαίστειο Κολούμπο

## Abstract

The island of Santorini has been a landmark for the scientific community, due to its volcanic activity not only in the past but also in the present. A step closer to the complex picture it presents is achieved in the context of this dissertation. The first chapter refers to the characterization of the island as an island of volcanoes. Then the characteristics of the volcano and in general the history of volcanism are determined. There is also a historical background to the well-known Minoan eruption. Much of the work is devoted to the Columbus submarine volcano, which is on the northeast side of the island. More specifically, reference is made to studies that took place between 2001 and 2006, through some specific systems.

The caldera and seismic activity are also determined. Another major chapter is Palea and Nea Kameni, followed by the Geomorphology of the island and the scenarios of reactivation and assessment of volcanic hazards. These are scenarios that were submitted to a report prepared by the Subcommittee on Civil Protection - Volcanic Risk of the Special Committee for Scientific Monitoring of Santorini Volcano. It is reasonable that the issue of seismic activity is approached from 1980 to 2012. Based on diagrams, however, information is provided until 2014 which is very important for the broader assessment of seismic activity.

**Key words:** Santorini island, volcano, Columbus, volcano activity

## Ευχαριστίες

Η παρούσα Διπλωματική εργασία με θέμα « *Το ηφαιστειακό σύμπλεγμα της Σαντορίνης. Σενάρια εκτίμησης του κινδύνου*», πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών « Στρατηγικές Διαχείρισης Περιβάλλοντος, Καταστροφών και Κρίσεων», από το Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών (ΕΚΠΑ).

Στο σημείο αυτό αισθάνομαι την ανάγκη να εκφράσω τις ειλικρινείς και θερμές ευχαριστίες μου, σε όσους συνέβαλαν στην ολοκλήρωση αυτής της προσπάθειας. Θέλω να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή και Πρόεδρο του Οργανισμού Αντισεισμικού Σχεδιασμού (ΟΑΣΠ) **κ. Ευθύμιο Λέκκα**, για τη συνεχή καθοδήγηση και υποστήριξη. Επίσης, θέλω να ευχαριστήσω όλους του συντελεστές του Μεταπτυχιακού Προγράμματος « Στρατηγικές Διαχείρισης Καταστροφών και Κρίσεων», για τις πολύτιμες γνώσεις που μου προσέφεραν σε όλο αυτό το χρονικό διάστημα. Τέλος ευχαριστώ θερμά την σύζυγό μου, για την σημαντική βοήθεια της, έως την ολοκλήρωση της παρούσας Διπλωματικής εργασίας.

*† Η παρούσα εργασία είναι αφιερωμένη στην μνήμη της μητέρας μου Αρετής.*

## Κατάλογος Εικόνων:

Εικόνα 1: Το νησί της Σαντορίνης

Εικόνα 2: Οι εσωτερικές πλαγιές του ηφαιστείου Κολούμπο

Εικόνα 3: Περιγραφή δειγμάτων νερού κατά μήκος κάθετου προφίλ στο Κολούμπο

Εικόνα 4: Σαντορίνη – Κολούμπο από τον Οκτώβριο 2008 έως τον Μάιο 2010 και από τον Ιανουάριο του 2006 έως τον Οκτώβριο του 2008

Εικόνα 5 : Σεισμική δραστηριότητα Σαντορίνης 26 Ιουνίου – 29 Ιουνίου 2009

Εικόνα 6: Παρακολούθηση υπό την εποπτεία του ISMOSAV, Σεισμολογικός Σταθμός του Γεωφυσικού Τμήματος του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης

Εικόνα 7: Βαθυμετρικός χάρτης Καλδέρα Σαντορίνης

Εικόνα 8: Το έδαφος της Σαντορίνης

Εικόνα 9: σεισμικότητα Σαντορίνης: τροποποιημένος κατά Papazachos et al. (2000a, 2010), Εργαστήριο Γεωφυσικής Α.Π.Θ. (2015), Feuillet (2013), Druitt (2014) και Nomikou et al. (2016)

## Κατάλογος Πινάκων:

Πίνακας 1: Πλήθος σεισμών ανά μήνα με ακτίνα 6 χλμ από τη Νέα Καμένη

Πίνακας 2: Σεισμικότητα Σαντορίνης: 01/01/2012-31/10/2013

Πίνακας 2: Σεισμικότητα Σαντορίνης: 01/01/2012-09/01/2014

## Εισαγωγή

Με την παρούσα μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία επιτυγχάνεται η αναφορά σε καίρια ζητήματα που συνδέονται με το νησί της Σαντορίνης και την ηφαιστειακή δραστηριότητα. Αξιοσημείωτο είναι ότι χρησιμοποιούνται άρθρα και μελέτες, όπως και στοιχεία που επιβεβαιώνουν τα αποτελέσματα των εκάστοτε ερευνών. Είναι ανάγκη να γίνει αναφορά σε κάποιους όρους, οι οποίοι χρησιμοποιούνται στα κεφάλαια που έπονται, ώστε να επιτευχθεί μια ολοκληρωμένη προσέγγιση του θέματος. Πιο ειδικά, με τον όρο ηφαίστειο εννοούνται οι γεωλογικοί σχηματισμοί, όπου καταλήγουν υπόγειοι φυσικοί αγωγοί μεταφέροντας προϊόντα από το σημείο δημιουργίας προς την επιφάνεια. Το ηφαιστειακό υλικό έχει την ονομασία μάγα και αποτελεί ένα διάπυρο υλικό που έχει ποικίλες μορφές. Το εν λόγω υλικό συνδέεται με τις ασταθείς ζώνες της λιθόσφαιρας, εξαιτίας της περιοδικής τήξης που λαμβάνει χώρα στον εξωτερικό μανδύα του φλοιού της γης και σε ένα βάθος που είναι αρκετά εκατοντάδες χιλιόμετρα από την επιφάνεια. Αποτελείται από πυριτικά άλατα που έχουν λιώσει και η περιεκτικότητά του σε πυρίτιο αποτελεί μέτρο σύγκρισης, όπως και διαχωρισμό από τους πιο βασικούς τύπους μαγμάτων. Ένας επίσης όρος που χρησιμοποιείται είναι η πυροκλαστική δραστηριότητα που αποτελεί χαρακτηριστική δραστηριότητα του ηφαιστείου που έχει υψηλή περιεκτικότητα σε διοξείδιο του πυριτίου. Κατά την πυροκλαστική δραστηριότητα παρουσιάζονται ηφαιστειακά αιωρήματα που εκτινάσσονται προς την ατμόσφαιρα.

Γίνεται ενδελεχής αναφορά στην εξερεύνηση του Κολούμπο με χειρισμό ROV κατά τα έτη 2006, όπως και το 2010, αλλά και το 2011. Ένας χαρακτηριστικός αριθμός από ιδιαίτερα μορφολογικά στοιχεία υφίστανται μέσα στις εσωτερικές πλαγιές του ηφαιστείου Κολούμπο. Ακόμη, κάθετες διατομές παρατηρούνται στα τείχη του κρατήρα και που αποκάλυψαν μια ολική μορφολογία. Εν γένει, παρουσιάζεται η συμπεριφορά του μέσα από έρευνες που έγιναν από ειδικούς επιστήμονες.

Αναφέρονται επίσης δυο σενάρια τα οποία υποβλήθηκαν σε μια Έκθεση, η οποία συντάχθηκε από τα μέλη της τέταρτης Υποεπιτροπής Πολιτικής Προστασίας – Ηφαιστειακού Κινδύνου της ΕΕΕΠΗΣ- Ειδικής Επιτροπής Επιστημονικής Παρακολούθησης Ηφαιστείου Σαντορίνης. Αν και τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τα εν λόγω σενάρια στηρίζονται σε συγκεκριμένες αναλύσεις και οι εκτιμήσεις παρουσιάζουν κάποια στοιχεία αβεβαιότητας. Πιο αναλυτικά, τα δεδομένα καθαυτά ενέχουν κάποια αβεβαιότητα, όπως και οι προσομοιώσεις είναι δυνατόν να έχουν αποκλίσεις ως προς την πραγματικότητα. Ακόμη, τα



περιγραφικά φαινόμενα μπορεί έχουν άλλη ένταση όπως και συχνότητα εμφάνισης ή ακόμη και άλλα χαρακτηριστικά από ότι φαίνεται.

## 1. Σαντορίνη – το νησί των ηφαιστειών

Το νησιωτικό σύμπλεγμα της Σαντορίνης αποτελείται από τα νησιά: Θήρα, Θηρασιά, Ασπρονήσι, Παλαιά και Νέα Καμμένη. Το νησί της Σαντορίνης δεν ήταν και δεν είναι ολόκληρο ένα ηφαίστειο. Περίπου πριν από πέντε εκατομμύρια χρόνια, η Αιγηίδα γη, η χερσόνησος Αλπική οροσειρά που βρίσκεται στο σήμερα στην περιοχή του Αιγαίου, άρχισε να κατακερματίζεται και να βυθίζεται στη θάλασσα (Johnston et al., 2015). Τα θερμά ρεύματα που είχαν κατεύθυνση προς τη νοτιοδυτική μεριά αλλά και τα ανοδικά ρεύματα που έρχονταν από την Αφρικανική λιθόσφαιρα, άρχισαν να αλλάζουν μορφή, να γίνονται και λεπτά και να βυθίζουν κομμάτια του ηπειρωτικού φλοιού του Αιγαίου. Χαρακτηριστικό είναι πως εκείνη την περίοδο το νησί της Σαντορίνης ήταν πολύ μικρό, με διάμετρο τα 6 χιλιόμετρα και το αποτελούσαν ασβεστόλιθοι, σχιστόλιθοι και διάφορα πετρώματα που συναντά κανείς σήμερα στο μέρος του Αθηνίου (Papadimitriou et al., 2015).

Προερχόμενη από λάβα η Σαντορίνη άλλαζε διαρκώς μορφές κατά τη διάρκεια των αιώνων, ενώ εκρήξεις και σεισμοί από τέσσερα διαφορετικά ηφαίστεια της έδωσαν πληθώρα σχημάτων. 30.000 χρόνια πριν το νησί που είχε σχηματιστεί ήταν διπλάσιο σε μέγεθος από το σημερινό. Περίπου πριν 25.000 χρόνια και μετά από μια βίαια έκρηξη του ηφαιστείου της Ρίβας από την οποία είχε δημιουργηθεί μια μεγάλη ημίκλειστη καλδέρα, η θέση της οποίας ήταν πολύ κοντά στη σημερινή. Μέσα σε αυτήν σταδιακά ανυψώθηκε ένα νησί, η προ-Καμμένη, που έμελλε να καταστραφεί, μαζί με τμήματα της Θήρας και της Θηρασίας, κατά την πιο πρόσφατη μινωική έκρηξη κατά την Ύστερη Εποχή του Χαλκού (Hooft et al., 2019).

Περίπου 3.700 χρόνια πριν από σήμερα η Στρογγυλή είχε πάρει το τελειωτικό της σχήμα και το ηφαίστειο ετοιμαζόταν για μια από τις μεγαλύτερες εκρήξεις του. Ο πρώτος οικισμός του ακρωτηρίου εμφανίζεται κατά το 4.500 π.Χ. και κατά τον 18<sup>ο</sup> αιώνα π.Χ. εξελίσσεται σε πόλη (Mourikis, Argyriou, & Tsourgianni, 2017). Στις αρχές του 17<sup>ου</sup> αιώνα π.Χ. ισοπεδώθηκε από σεισμό. Η Σαντορίνη εκείνη την περίοδο φιλοξενούσε περισσότερους από 30.000 κατοίκους. Γύρω στο 1610 π.Χ. το ηφαίστειο ξανά ξυπνά με αποτέλεσμα τη δεύτερη μεγαλύτερη έκρηξη που έχει γνωρίσει ποτέ η ανθρωπότητα και καταστρέφει εντελώς τη Σαντορίνη και τα γύρω νησιά. Κύματα ύψους 30 μέτρων σάρωσαν τις ακτές των Κυκλάδων και της Βόρειας Κρήτης ενώ 60 km<sup>3</sup> τέφρας απελευθερώθηκαν στην ατμόσφαιρα μέσα σε τρεις μέρες. Ο όγκος αυτός είναι ίσος περίπου με 64.000.000 σπίτια (Hooft et al., 2019). Η έκρηξη βύθισε το ¼ του νησιού σπάζοντας το σε τρία κομμάτια, τη Σαντορίνη, τη Θηρασιά

και το Ασπρονήσι ενώ ένα παχύ στρώμα στάχτης κάλυψε ολόκληρο το νησί επεκτείνοντας τις ανατολικές ακτές έως και 2 χιλιόμετρα (Hughey et al., 2013).

Το 46 π.Χ. αναδύθηκε ξανά από τα βάθη της καλντέρας δημιουργώντας από την αρχή τα ηφαιστειακά νησιά. Τμήματα του ηφαιστείου της Σαντορίνης είναι η Νέα Καμένη, η Παλαιά Καμένη, το ενεργό σήμερα υποθαλάσσιο ηφαίστειο Κολούμπο και τα Χριστιανά νησιά. Τα τελευταία 150 χρόνια η έκταση της Νέας Καμένης έχει τριπλασιαστεί ενώ η τελευταία εκροή λάβας σημειώθηκε το 1950 (D'Alessandro et al., 2013). Έρευνα του Πανεπιστημίου του Cambridge το 2006 έδειξε πως σε περίπτωση που γινόταν έκρηξη στην περιοχή της Νέας Καμένης μέσα στο ίδιο έτος, αυτή θα είχε αρκετή ενέργεια για να διαρκέσει περισσότερο από τρία χρόνια και να φτιάξει ηφαιστειακό θόλο ύψους 120 μέτρων. Σήμερα υπάρχει στο ηφαίστειο ολοκληρωμένο σύστημα παρακολούθησης σεισμικής δραστηριότητας και θερμοκρασίας.

**Εικόνα 1: Το νησί της Σαντορίνης**



## 2.Χαρακτηριστικά του ηφαιστείου

Απότομες κλιτύες χαρακτηρίζουν το εσωτερικό της καλδέρας σε ύψος 300 μέτρα από την επιφάνεια της θάλασσας. Η περιοχή του Προφήτη Ηλία είναι το υψηλότερο σημείο του νησιού. Αναφορικά με τη μορφολογία της Παλαιάς και της Νέας Καμένης, παρατηρείται η συσσώρευση λάβας, μετά από την περίοδο της έκρηξης που πραγματοποιήθηκε στην Μινωική εποχή. Έτσι, λόγω των πολλαπλών εκρηκτικών γεγονότων, δημιουργήθηκε το μεγαλύτερο μέρος του συγκροτήματος το οποίο περιλαμβάνει ηφαιστειακά υλικά, ιδιαίτερα βασάλτες και ρυόλιθους (Bampourda, Argialas, Nomikou, & Tzotsos, 2017). Επιπρόσθετα, η περιοχή του ηφαιστείου περιλαμβάνει προϊόντα όπως ανδεστική και βασαλτική λάβα, πυροκλαστικές αποθέσεις και ηφαιστειακή τέφρα. Χαρακτηριστικό είναι πως σε μέρη της καλδέρας βρίσκονται αποθέσεις λάβας, αλλά και πυροκλαστικών προϊόντων από δώδεκα τεράστιες εκρήξεις στη διάρκεια 360.000 ετών (Johnston et al., 2015)

Πολλοί μελετητές και επιστήμονες έχουν χαρακτηρίσει την περιοχή της Σαντορίνης ως ένα ενεργό στρατο-ηφαίστειο, το οποίο διαθέτει ένα πολυκεντρικό ηφαιστειακό πεδίο που ενώνεται από μια πλημμυρισμένη καλντέρα, η οποία είναι, σύμφωνα με τα δεδομένα, η μεγαλύτερη στον κόσμο (Sakellariou et al., 2012). Επιπλέον, στην περιοχή του Πλειστοκαίνου, σημειώθηκαν περισσότερες από 100 εκρήξεις, και οι δώδεκα από αυτές απελευθέρωσαν όγκους μάγματος, προκαλώντας τέσσερις καταρρεύσεις της καλντέρας, ενώ η θέση των διεξόδων στην πορεία των τελευταίων εφτακοσίων χιλιάδων ετών ελεγχόταν από τις δυο ηφαιστειοκτονικές γραμμές της Καμένης και του υποθαλάσσιου ηφαιστείου Κολούμπο, οι οποίες αποτελούσαν διεξόδους για το μάγμα (Parks et al., 2013).

Με το πέρασμα των χρόνων σημειώθηκαν πολλές εκρήξεις, ωστόσο οι 5 από αυτές πραγματοποιήθηκαν στη γραμμή της Καμένης, αλλά και στην περιοχή του δαχτυλιδιού της ηφαιστειακής τέφρας στο Ασπρονήσι (Watts et al., n.d.). Θα πρέπει να σημειωθεί, ότι πριν από 360.000 χρόνια βρίσκονταν δυο κύκλοι, ο καθένας από αυτούς κατέληγε σε εκρήξεις που σχημάτισαν την καλντέρα, ενώ παράλληλα έχουν μελετηθεί και μια πληθώρα υποκύκλων (Johnston et al., 2015). Στη διάρκεια της εποχής του Χαλκού, δηλαδή γύρω στο 1614 π. Χ. η λάβα και οι πολλαπλές εκρήξεις σχημάτισαν κώνους, ενώ μετά την εποχή αυτή, το ενδιαφέρον επικεντρώνεται στην Παλαιά και Νέα Καμένη, όπως και στο κέντρο της καλντέρας με τη δημιουργία του πρώτου νησιού γύρω στο 197 π. Χ. (Watts et al., n.d.).

## 2.1 Ιστορικό ηφαιστειότητας

Στην ενότητα που ακολουθεί θα παρουσιαστεί αναλυτικά το ιστορικό ηφαιστειότητας, το οποίο έχει απασχολήσει πλήθος μελετητών και επιστημόνων. Αρχικά, γύρω στο 1614 π.Χ. πραγματοποιήθηκε η πρώτη τεράστια έκρηξη, η γνωστή Μινωική έκρηξη. Στη διάρκεια της, τεράστιες ποσότητες λάβας και αερίων εκτινάχτηκαν, με αποτέλεσμα να κατακρημνισθεί ο τεράστιος ηφαιστειακός θόλος (Johnston et al., 2015). Έτσι, από το νησί της Στρογγυλής απέμειναν τα εξωτερικά της μέρη με τα νησιά Ασπρονήσι, Θήρα και Θηρασιά. Χαρακτηριστικό είναι πως η διάρκεια της έκρηξης ήταν περισσότερο από μισή ώρα και απέθεσε συνολικά πάνω από 30\*10 μάγματος. Ελαφρόπετρα και στάχτη εκτινάχθηκαν στον αέρα, ενώ το τσουνάμι που προκλήθηκε κατέστρεψε τις περισσότερες περιοχές των νησιών του Αιγαίου αλλά και της περιοχής της Ανατολικής Μεσογείου (Hughey et al., 2013).

Το 197 π.Χ., προκαλείται ο σχηματισμός του νησιού Ιερά. Πιο συγκεκριμένα, σύμφωνα με μαρτυρίες ιστορικών προσώπων, μεταξύ των νησιών Θήρας και Θηρασιάς εκείνη τη χρονιά εξέρχονταν φλόγες από τη θάλασσα για μέρες ολόκληρες και λόγω της ανύψωσης του υπεδάφους, δημιουργήθηκε το νησί Ιερά με περίμετρο που έφτανε τα δυο ολόκληρα χιλιόμετρα. Σύμφωνα με τον Ιουστίνο, η σεισμική δραστηριότητα που ακολούθησε είχε ως αποτέλεσμα να προκληθούν μεγάλες καταστροφές στο νησί της Ρόδου και στη Μικρά Ασία, γεγονός που οδήγησε στην ανάδυση ενός νησιού από τον ωκεανό που έβραζε (Bampourda et al., 2017).

Ακόμη, γύρω στο 19 μ.Χ., ο Πλίνιος αναφέρει ότι υπήρξε μια νέα έκρηξη, η οποία διαδραματίστηκε σε απόσταση δυο σταδίων από το νησί Ιερά, με αποτέλεσμα τη δημιουργία ενός νέου νησιού, κομμάτι του οποίου ενώθηκε στην Ιερά (Chiaramonte, White, & Trainor-guitton, 2014). Στη συνέχεια, κατά το 46 μ.Χ. δημιουργήθηκε επίσης ένα νέο νησί, στην περιοχή που βρίσκεται ανάμεσα στη Θηρασιά και τη Θήρα, που ονομάστηκε Θεία και που είχε διαστάσεις 5.5 χιλιομέτρων. Η έκρηξη που εκδηλώθηκε είχε ως αποτέλεσμα να προκληθούν σεισμοί, οι οποίοι ακούστηκαν μέχρι το νησί της Κρήτης (Chiaramonte, White, & Trainor-guitton, 2014).

Το 726 μ.Χ. πραγματοποιήθηκε μια τεράστια έκρηξη διάρκειας πολλών ημερών. Πιο αναλυτικά, αναφέρεται από τον Θεοφάνη, πως ανάμεσα στα νησιά της Θήρας και της Θηρασιάς έγινε έκρηξη κατά τους χρόνους του Θεομάχου Λέοντα. Λόγω αυτής της έκρηξης, έβγαιναν τεράστιες ποσότητες καπνού και πυρακτωμένη κίσσηρης, όπου υπήρχαν μεγάλα

τμήματά της σε μέγεθος λίθων, τα οποία έφτασαν μέσω κυμάτων έως τη Λέσβο και τη Μικρά Ασία (Bampourda et al., 2017). Αποτέλεσμα της έκρηξης αυτής ήταν η δημιουργία λάβας, η οποία προσκολλήθηκε στο νησί Ιερά, ενώ διαπιστώθηκε διασπορά ηφαιστειακής στάχτης στο Ανατολικό Αιγαίο.

Γύρω στο 1457 παρατηρήθηκε ισχυρή σεισμική δραστηριότητα και οι κρότοι που προκλήθηκαν αύξησαν ξανά το μέγεθος του νησιού της Παλαιάς Καμένη στην ανατολική μεριά της (Johnston et al., 2015). Ακόμη, το έτος 1508 σημειώθηκε νέα έκρηξη στη μεριά της Παλαιάς Καμένης και το 1573, μια ακόμη νέα έκρηξη σχημάτισε το νησί τις Μικρής Καμένης κατά την βορειοανατολική μεριά της Παλαιάς Καμένης. Μάλιστα, η έκχυση της λάβας κράτησε για μεγάλο χρονικό διάστημα ενώ συνοδεύτηκε από πολλές εκρήξεις, οι οποίες θεωρείται πως είχαν ήδη ξεκινήσει γύρω στο 1570 (Johnston et al., 2015).

Μετά από περίπου εκατό χρόνια, το 1650, καταγράφηκε νέα έκρηξη σε απόσταση 7 χιλιομέτρων από το ακρωτήριο του Κολούμπο (D'Alessandro et al., 2013). Χαρακτηριστικό είναι λοιπόν, πως οι δονήσεις ήταν υψηλής έντασης και είχαν ήδη ξεκινήσει έναν χρόνο νωρίτερα, δηλαδή από το 1649. Οι δονήσεις προκάλεσαν πρωτοφανή αύξηση της θερμοκρασίας και διήρκησαν μέχρι τα τέλη Σεπτεμβρίου, όπου τότε έλαβε χώρα και η υπόγεια ηφαιστειακή έκρηξη. Θα πρέπει να σημειωθεί, ότι λόγω της τεράστιας έκρηξης δημιουργήθηκε ένας υποθαλάσσιος κώνος κίσηρης, με ύψος που ξεπερνούσε τα 250 μέτρα (D'Alessandro et al., 2013).

Μέσα από μελέτες που πραγματοποιήθηκαν για εκείνη την εποχή, διαπιστώθηκε πως στις 26 Σεπτεμβρίου της ίδιας χρονιάς, η κορυφή του κώνου αυτού χέρσευσε και ξεκίνησε η μεγάλη υδροθερμική κίνηση, μέσω εκρήξεων τέφρας και έκλυσης H<sub>2</sub>S, που είχαν ως αποτέλεσμα να προκαλέσουν σοβαρά προβλήματα υγείας στους κατοίκους του νησιού. Μάλιστα, ακόμη και στις μέρες μας αποθέσεις κίσηρης εμφανίζονται στα νησιά των Κυκλάδων και στη Μικρά Ασία. Επίσης, το τσουνάμι που εκδηλώθηκε ξεπέρασε τα 30 μέτρα, ενώ η ένταση έγινε αισθητή ακόμη και μέχρι την Κωνσταντινούπολη (D'Alessandro et al., 2013). Στις αρχές Οκτωβρίου, παρατηρήθηκε πως η έκρηξη αυτή άρχισε να ελαττώνεται και έτσι η ηφαιστειογενής νησίδα εξαφανίστηκε από κύματα. Η πιο ψηλή περιοχή του ηφαιστείου σήμερα είναι 18 μέτρα και έχει την ονομασία ύφαλος Κολούμπο. Αποτέλεσμα της έκρηξης ήταν όπως ήδη σημειώθηκε να σκοτωθούν κάτοικοι και ζώα, λόγω των δηλητηριωδών αερίων που είχαν ελευθερωθεί (D'Alessandro et al., 2013).

Γύρω στο 1707 πραγματοποιήθηκε νέα έκρηξη και δημιουργήθηκε το πρώτο μέρος της Νέας Καμένης, η οποία προσκολλήθηκε στη Μικρή Καμένη. Στις 17-18 Μαρτίου 1707 εκδηλώθηκαν νέοι σεισμοί και η λάβα εμφανίστηκε στην επιφάνεια της θάλασσας, γύρω στις 20 Μαρτίου. Χαρακτηριστικό είναι ακόμη ότι λόγω της λάβας δημιουργήθηκε το νησί Ασπρονήσι. Τα επόμενα χρόνια, δηλαδή το 1866-1871 διαπιστώθηκε πως η έκταση της Νέας Καμένης τριπλασιάστηκε σε μέγεθος, ενώ μικρές σεισμικές δονήσεις αύξησαν τη θερμοκρασία του νερού στον κόλπο Βουλκάνο και στη συνέχεια σχηματίστηκε η νησίδα Γεώργιος. Επίσης, παρατηρήθηκε η δημιουργία της νησίδας Αφροέσσα, αλλά και ακόμη μερικά νησιά, τα οποία προσκολλήθηκαν με το νησί της Νέας Καμένης, με αποτέλεσμα να τριπλασιαστεί εκ νέου το μέγεθός της (D'Alessandro et al., 2013).

Στη συνέχεια, κατά τη δεκαετία 1925-1926 πραγματοποιήθηκε σεισμική δραστηριότητα που είχε σαν αποτέλεσμα την ένωση της Μικρής Καμένης με τη Νέα Καμένη. Επίσης, γύρω στο 1928 παρατηρήθηκε αύξηση της θερμοκρασίας του νερού στα Κόκκινα Νερά, ανάμεσα στη Νέα και τη Μικρή Καμένη. Τον Αύγουστο του επόμενου έτους εκδηλώθηκε ηφαιστειακή δραστηριότητα και ξεκίνησε η δημιουργία της νησίδας Δάφνη (D'Alessandro et al., 2013).

Επιπλέον, κατά το διάστημα από 20 Αυγούστου 1939 έως τον Ιούλιο 1941 καταγράφηκαν πέντε εκρήξεις στη Νέα Καμένη που δημιούργησαν τους δόμους Τρίτωνα, Κτενά και Φουκέ και τις ροές λάβας Σμιθ, Ρεκ και Νίκης. Τέλος, το 1950 σημειώθηκε ηφαιστειακή δράση που είχε σαν αποτέλεσμα τον σχηματισμό του ηφαιστειακού δόμου 220 μέτρα ανατολικά από τον κρατήρα Γεωργίου. Η δράση αυτή ήταν όμως πολύ μικρή και θεωρήθηκε ως υπολειμματική εκδήλωση της δράσης του 1939-1941 (D'Alessandro et al., 2013).

## 2.2 Η Μινωική έκρηξη

Στα τέλη της Εποχής του Χαλκού, γύρω στο 1610 π.Χ. έγινε στη Σαντορίνη η Μινωική έκρηξη, η οποία αποτελεί μια από τις μεγαλύτερες ηφαιστειακές εκρήξεις στην ιστορία του κόσμου (Karátson et al., 2018). Αποτέλεσμα της έκρηξης αυτής ήταν η βύθιση ολόκληρου του κέντρου του τότε κυκλικού νησιού μέσα στη θάλασσα. Το παλιρροϊκό κύμα που προκλήθηκε από την έκρηξη αυτήν, αφάνισε κυριολεκτικά τον πολιτισμό της Μινωικής Κρήτης. Εξαιτίας της τεράστιας έκρηξης, σκοτώθηκαν περισσότεροι από 40.000 άνθρωποι σε λίγες μόνο ώρες, ενώ προκλήθηκαν κολοσσιαία τσουνάμι (Friedrich, 2013).

Παράλληλα, προκλήθηκε πτώση στις παγκόσμιες θερμοκρασίες και δημιούργησε παράξενα χρωματισμένα ηλιοβασιλέματα για τρία χρόνια. Σύμφωνα με τις μελέτες, η έκρηξη της Θήρας ήταν τέσσερις ή πέντε φορές πιο ισχυρή από την έκρηξη του ηφαιστείου Κρακατόα το 1883 (Friedrich, 2013), ενώ οι γεωλόγοι συγκρίναν το φαινόμενο της έκρηξης με την ενέργεια αρκετών εκατοντάδων ατομικών βομβών σε ένα κλάσμα του δευτερολέπτου.

Υπήρχαν και κάτοικοι, οι οποίοι πρόφτασαν να εγκαταλείψουν το νησί πριν από την έκρηξη, όντας προειδοποιημένοι από πολύ μικρές εκρήξεις που άρχισαν να εκδηλώνονται στις τότε Καμένες, και που καθιστούσαν τη ζωή στο νησί σχεδόν αδύνατη (Hoofst et al., 2019). Χαρακτηριστικό είναι ότι μέσα σε διάστημα ολίγων ημερών, τινάχτηκαν στον αέρα περίπου 90 δισεκατομμύρια τόνοι λιωμένο πέτρωμα. Επιπλέον, τεράστια ποσότητα ελαφρόπετρας που εκτινάχθηκε λόγω της έκρηξης, κάλυψε την επιφάνεια της θάλασσας και το εναπομένον νησί με ένα λευκό «σεντόνι» πάχους δεκάδων μέτρων. Από την άλλη πλευρά, το τσουνάμι που ακολούθησε ξέβρασε στις ακτές ακόμη μεγαλύτερη ποσότητα ελαφρόπετρας (Johnston et al., 2015).

Μάλιστα, αποτελεί γεγονός ότι η ελαφρόπετρα από το σημείο αυτό βρέθηκε στις ακτές άλλων νησιών φτάνοντας μέχρι την Κύπρο. Ελαφρόπετρα είχε βρεθεί μάλιστα στις ακτές της Κρήτης, της Λήμνου, της Πάρου, της Σαμοθράκης, Κύπρου ακόμη και στις ακτές του Ισραήλ (Friedrich, 2013). Επιπλέον, η ηφαιστειακή στάχτη ταξίδεψε μέσω του αέρα και απλώθηκε σε ολόκληρη την περιοχή της ανατολικής Μεσογείου και τη Μικρά Ασία, αποθέτοντας στρώμα στάχτης 30 περίπου εκατοστών πάχους, στο νησί της Ρόδου και την Κω, ενώ 15 εκατοστά πάχος σε λίμνες τις Μικράς Ασίας. Οι μελετητές βέβαια, ανακάλυψαν ίχνη της έκρηξης αυτής, ακόμη και έως ως το Δέλτα του ποταμού Νείλου!



Ακόμη, αποτελεί γεγονός πως λεπτή στάχτη, καθώς και σταγονίδια θειϊκού οξέος εισήλθαν στην ατμόσφαιρα και σκέπασαν ολόκληρο τον πλανήτη. Πολλοί μελετητές ισχυρίζονται ότι ίχνη του έχουν εντοπιστεί στους παγετώνες της Γροιλανδίας, ενώ ο «ηφαιστειακός χειμώνας» που προκάλεσαν (δηλαδή τη μείωση της μέσης θερμοκρασίας κατά 1-2 βαθμούς Κελσίου) έχει καταγραφεί στους δακτυλίους δέντρων της Ασίας και της Αμερικής. Επιπρόσθετα, η ηφαιστειακή τέφρα που κάλυψε τους οικισμούς της ύστερης εποχής του Χαλκού, άφησε ερείπια στο πέρασμά της, λόγω της τεράστιας σεισμικής δόνησης. Οι αρχαιολόγοι, καθώς και οι μελετητές ανακάλυψαν στο σημείο αυτό έναν απερίγραπτο θησαυρό ευρημάτων, το οποίο ήταν δημιούργημα ενός λαμπρού πολιτισμού, που αναδείχθηκε στην περίοδο της Μινωικής Κρήτης.

Η συστηματική ανασκαφή άρχισε γύρω στο 1968 από τον σπουδαίο αρχαιολόγο Σπύρο Μαρινάτο, ο οποίος επέλεξε τη θέση του Ακρωτηρίου με σκοπό να συλλέξει αποκλειστικά κάποια στοιχεία για τη θεωρία που είχε διατυπώσει από το 1939, αναφορικά με το γεγονός πως η καταστροφή του Μινωικού πολιτισμού οφειλόταν στην έκρηξη του ηφαιστείου της Σαντορίνης. (Mourikis et al., 2017). Μέσω της έρευνας του συγκεκριμένου αρχαιολόγου, διαπιστώθηκε ότι η πλέον αξιόπιστη εκτίμηση του χρόνου έκρηξης του ηφαιστείου, προκύπτει από χρονολόγηση με ραδιενεργό άνθρακα κατάλοιπων καύσης τροφίμων, με «δενδροχρονολόγηση» (είναι δακτύλιοι δένδρων, με ανώμαλη αύξηση, λόγω του ηφαιστειακού χειμώνα) και με «προχρονολόγηση» (πρόκειται για ίχνη της έκρηξης στους παγετώνες της Γροιλανδίας) είναι το 1630 π.Χ., με αβεβαιότητα 2-3 δεκάδων ετών.

Ένα ακόμη θέμα που είχε προκύψει, λόγω της Μινωικής έκρηξης της Σαντορίνης ήταν το θέμα της πολυσυζητημένης υπόθεσης της Ατλαντίδας, αφού μελετητές του παρελθόντος είχαν τεκμηριώσει πως οι μεγάλες φυσικές καταστροφές που καταγράφηκαν κατά την προϊστορική περίοδο ως μύθοι, χαρακτηρίζονται από κάποια θρησκευτικά και ιδεολογικά στοιχεία. Επομένως, οι μεγάλες κλιματικές αλλαγές, αλλά και η αυξανόμενη άνοδος της στάθμης της θάλασσας, από 120 μέτρα κάτω από τη σημερινή πριν 3000 χρόνων, καταγράφηκε στη συλλογική κοινή μνήμη ως ο «κατακλυσμός». Μάλιστα, περιγράφεται σε μύθους πολλών πολιτισμών όλης της υφηλίου, όπως του Δευκαλίωνα και της Πύρας των Ελλήνων, του Νώε των Εβραίων. Για τον λόγο αυτόν, είναι απορίας άξιος το ότι στην ελληνική Μυθολογία δεν υπάρχουν αναφορές που να παραπέμπουν στη μεγάλη καταστροφή της Σαντορίνης.

Σύμφωνα με όσα ήδη ειπώθηκαν παραπάνω, πολλοί μελετητές και επιστήμονες θεωρούν ότι η υπόθεση της Ατλαντίδας του Πλάτωνα, πλάθεται με έναυσμα την κοινή συλλογική μνήμη για την καταστροφή της Σαντορίνης και του πολιτισμού της από τη Μινωική έκρηξη. Χαρακτηριστικό επίσης, είναι το άρθρο του σεισμολόγου Άγγελου Γαλανόπουλου, το 1960, όπου ο ίδιος παρουσιάζει μια πλειάδα επιχειρημάτων, αναφορικά με την ταύτιση της Ατλαντίδας με τη Σαντορίνη. Μάλιστα από εκείνη την εποχή και τα στοιχεία που παρέθεσε ο συγκεκριμένος σεισμολόγος, η υπόθεση αυτή καθίσταται από τις πλέον ισχυρότερες (Karakaisis & Papazachos, 2005, Γαλανόπουλος, 1972). Ακόμη και σήμερα, το νησί της Σαντορίνης και ο ευρύτερος χώρος του Νότιου Αιγαίου, θεωρείται από αυτούς που αντιμετωπίζουν την υπόθεση της Ατλαντίδας ως επιστημονικά πιθανή, αποτελώντας έναν από τους πλέον πιθανούς χώρους ύπαρξής της (Karakaisis & Papazachos, 2005)(Papadimitriou et al., 2015).

### 3. Το υποθαλάσσιο ηφαίστειο Κολούμπο

Η θέση του υποθαλάσσιου ηφαιστείου Κολούμπο βρίσκεται περίπου 7 χιλιόμετρα βορειοανατολικά του νησιού της Σαντορίνης, και πιο συγκεκριμένα  $36^{\circ} 31' 30''$  Βόρεια και  $25^{\circ} 29' 10''$  Ανατολικά. Βάσει των δεδομένων από τις μελέτες που πραγματοποιήθηκαν ανάμεσα στο 2001 και 2006, χρησιμοποιώντας τα συστήματα SEABEAM 2120 και SEABEAM 1180. Τα δεδομένα συλλογής έχουν υποβληθεί σε επεξεργασία και έχει γίνει καθαρισμός εσφαλμένων δεσμών, όπως ακόμη φιλτράρισμα θορύβου και επεξεργασία δεδομένων πλοήγησης. Ο βαθμετρικός χάρτης ήταν σε κλίμακα 1/5000. Η ηφαιστειακή αλυσίδα αποτελείται από περισσότερους από 19 ηφαιστειακούς κώνους που έχει διάφορα μεγέθη και που ευθυγραμμίζονται σε μήκος δυο διακριτών γραμμικών τάσεων  $N 29^{\circ}$  Ανατολικά και Βόρεια  $42^{\circ}$  Ανατολικά. Το Κολούμπο είναι το πιο μεγάλο από τους υποβρύχιους ηφαιστειακούς κώνους κατά μήκος της ηφαιστειακής σχισμής, έχοντας ελλειψοειδές σχήμα (Papadimitriou et al., 2015 ' Nomikou et al., 2012 (a) Hübsher, Ruhnau, & Nomikou, 2015' Carey et al., 2013). Η διάμετρος του ηφαιστειακού κώνου είναι περίπου 3 χλμ, ενώ η διάμετρος του κρατήρα είναι 1.7 χλμ. Ο μέσος όρος του βάθους της καλντέρας είναι στα 150 μέτρα, σχηματίζοντας ένα υποβρύχιο κυκλικό βράχο το σχίσμα της καλντέρας βρίσκεται στα 150 μ βάθος, σχηματίζοντας έναν υποβρύχιο κυκλικό βράχο με το κατώτερο σημείο να φτάνει στα 18 μέτρα κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας. Μέσα στον

κόνο υπάρχει ένα σχετικά επίπεδος κρατήρας, που έχει μέσο βάθος περίπου 505 μ. (Nomikou, 2003).

Η τελευταία καταγεγραμμένη δραστηριότητα του υποβρυχίου ηφαιστείου Κολούμπο, ήταν μια σειρά από εκρήξεις που σημειώθηκαν το 1650 μ. Χ εκτός του χώρου της καλντέρας κοντά στην περιοχή της Θήρας και της Αμοργού, ενώ είχε προηγηθεί εκτεταμένη σεισμική δραστηριότητα (Hübscher, Ruhnau, & Nomikou, 2015, Papadimitriou et al., 2015, Carey et al., 2013). Μάλιστα, για 13 ημέρες, οι εκρήξεις εξελίσσονταν υποβρύχια και ο ρυθμός έντασής τους ποίκιλε κατά διαστήματα.

Πιο αναλυτικά, λίγες μέρες πριν από την τεράστια έκρηξη, η σεισμική δραστηριότητα είχε γίνει πιο συχνή, καθώς πλησίαζε η έκρηξη και η επιφάνεια της θάλασσας ήταν αποχρωματισμένη. Ο αποχρωματισμός αυτός της επιφάνειας της θάλασσας συνδέεται συχνά με υποβρύχια ηφαιστειακή δραστηριότητα, καθώς το μάγμα αλληλεπιδρά με το θαλασσινό νερό και προκαλεί ζεστή θολότητα, με το νερό να ανεβαίνει στην επιφάνεια (Nomikou, Carey, et al., 2014). Οπότε, πιθανολογείται ότι η έκρηξη προχωρούσε κατά τρόπο υποβρύχιο για αρκετές ημέρες πριν, μέχρι τελικά να φτάσει στην επιφάνεια του ωκεανού (Nomikou et al., 2018). Οι σεισμοί και οι υπόγειοι βρυχηθμοί συνεχίστηκαν ανά διαστήματα κατά τους επόμενους 6 μήνες έως τις 27 Σεπτεμβρίου όπου επιτεύχθηκε μια κορύφωση και παρατηρήθηκαν πυκνά σύννεφα τέφρας. Υψώνονται από τη θάλασσα περίπου 4 μίλια βορειοανατολικά της Σαντορίνης (Nomikou et al., 2018).

Παράλληλα, καταγράφηκαν επιβλαβείς οσμές στο νησί και μια «λευκή χιονόπτωση» προέκυψε από τη θάλασσα. Η τέφρα που σηκώθηκε εξαφανίστηκε γρήγορα, ενώ παρατηρήθηκε ότι η θάλασσα ήταν καλυμμένη με ελαφρόπετρα. Στις 29 Σεπτεμβρίου 1650, καταγράφηκε η μεγαλύτερη εκρηκτική δραστηριότητα στο ηφαίστειο Κολούμπο (Nomikou et al., 2018). Χαρακτηριστικά είναι τα λόγια του ιερέα Ρίτσαρντ ότι επρόκειτο για μια πολύ ιδιαίτερη, τρομακτική ημέρα. Η γη έτρεμε και όπως συνεχίζει κατά την αφήγησή του, ο αέρας ήταν τόσο καντός που παρέπεμπε σε φωτιά. Από το βάθος της γης, έβγαине ένα παχύ στρώμα από θειούχο ατμό, ενώ ξαφνικά τα σύννεφα είχαν πιάσει φωτιά και αστραπές είχαν γεμίσει τον ουρανό. Οι εκρήξεις ήταν συνεχείς πανταχόθεν και ήταν σαν περιέργες μορφές να κινούνται μπροστά μας, όπως για παράδειγμα φτερωτά φίδια, τα οποία προκαλούσαν πυρκαγιές. Κατά τη διάρκεια της ημέρας, τα σύννεφα έφταναν μέχρι τη γη και τα ζώα ήταν σαν να μάχονται με κάποιον εχθρό και ταυτόχρονα φωνές ακούγονταν παντού (Nomikou,

Carey, et al., 2014). Οι εκρήξεις ακούστηκαν ακόμη και 400 χιλιόμετρα μακριά, ενώ οι σεισμοί είχαν γίνει αισθητοί ακόμη και πέρα από την νήσο Κρήτη.

Οι ισχυροί άνεμοι μετέφεραν νεφελώδη ηφαιστειακή τέφρα, η οποία προκλήθηκε από τις εκρήξεις και έφτασε σε μέρη της Τουρκίας. Επίσης, πιο κοντά στο ηφαίστειο, η ελαφρόπετρα έπλεε στην επιφάνεια της θάλασσας και κινούνταν με σταθερό ρυθμό, καταλήγοντας σε διάφορα μέρη. Παρότι η δραστηριότητα σταμάτησε περίπου στις 11 μ.μ. στις 29 Σεπτεμβρίου, ξεκίνησε ξανά από τα μεσάνυχτα και συνεχίστηκε καθόλη τη διάρκεια της 30<sup>ης</sup> Σεπτεμβρίου. Ωστόσο, μερικές μέρες αργότερα παρατηρήθηκε μειωμένη δραστηριότητα, οπότε και η έκρηξη εν γένει μειώθηκε (Nomikou et al., 2014).

Θα πρέπει σημειωθεί, πως λόγω της έκρηξης απελευθερώθηκαν παράλληλα σύννεφα δηλητηριωδών αερίων, τα οποία ήταν υπεύθυνα για ποικίλες σωματικές ενοχλήσεις, όπως για παράδειγμα πόνος στα μάτια που μπορεί να κατέληγε σε τύφλωσή ακόμη και εγκεφαλική συμφόρηση. Παράλληλα, οι μαρτυρίες πολλών κατοίκων συνάδουν στο ότι προέκυψαν και προβλήματα σε επίπεδο συνειδητοποίησης, ότι δηλαδή κάποιοι είχαν χάσει την αίσθηση του χωροχρόνου για μερικές ώρες. Επίσης, υπήρξαν αναφορές, πως τα αέρια αποχρωμάτισαν νομίσματα, και γενικότερα ιερά αγγεία ή ακόμη πίνακες ζωγραφικής και τοίχους σε πολλά κτίρια. Με την τελευταία παρατήρηση, γίνεται αντιληπτό ότι τα αέρια ήταν όξινα και προφανώς δηλητηριώδη, με αποτέλεσμα την απελευθέρωση θείου, χλωρίου και διοξειδίου του άνθρακα κατά τη διάρκεια που γίνονταν των εκρήξεων.

Αποτελέσματα τέτοιων ηφαιστειακών εκρήξεων είναι η δημιουργία πυροκλαστικών κυμάτων, τα οποία είναι δυνατόν να φτάσουν σε μεγάλες αποστάσεις. Στη Σαντορίνη τα κύματα αυτά «έσπασαν» την επιφάνεια της θάλασσας, λόγω των τεράστιων εκρήξεων (Hübscher, Ruhnau, & Nomikou, 2015). Επίσης, μια δεύτερη σημαντική επίπτωση είναι η δημιουργία τσουνάμι. Στην περίπτωση που εξετάζεται τουλάχιστον ένα τσουνάμι έπληξε την Θήρα, μετέφερε ζώα, επήλθε η καταστροφή σε κτίρια και παράλληλη διάβρωση των δρόμων σε 500 στρέμματα της ανατολικής ακτογραμμής. Αξίζει να σημειωθεί, ότι κατέστρεψε δύο εκκλησίες που βρίσκονταν στην Περίσσα και το Καμάρι, ώστε με αυτόν τον τρόπο να αποκαλύπτονται τα θεμέλιά τους. Επίσης, είναι δυνατόν να ειπωθεί ότι το πρώτο σημάδι του επερχόμενου κύματος υπήρξε η υποχώρηση της θάλασσας. Βάσει των μαρτυριών, όπως για παράδειγμα εκείνη του Ντοχαρίτη (1947) χαρακτηρίζουν την περιγραφή της κατάστασης. Ειδικότερα, εκείνη τη στιγμή είχαν μαζευτεί περίπου 20 άνδρες για να μαζέψουν τα ψάρια, τα οποία βρίσκονταν συγκεντρωμένα στον βυθό της θάλασσας. Εντωμεταξύ, σταμάτησαν

κατά ξαφνικό τρόπο οι σεισμοί και οι βροντές, και η θάλασσα είχε διογκωθεί ανεβαίνοντας στο νησί έως τα 2 μίλια. Η θάλασσα είχε καταστρέψει πολλές βάρκες, όπως και αμπελώνες και μάλλον είχε καταστρέψει σχεδόν τα πάντα (Nomikou, Carey, et al., 2014). Οι επιπτώσεις όμως που είχε το τσουνάμι δεν είχαν αντίκτυπο μόνο στη Σαντορίνη, αλλά και σε άλλα νησιά, τα οποία ήταν σε κοντινή απόσταση, όπως προαναφέρθηκε δεν είχε μόνο τοπικό χαρακτήρα. Μάλιστα, υπήρξε αναφορά σύμφωνα με την οποία, οι βάρκες των Τούρκων που ήταν δεμένες στην ακτή του νησιού Dia ,το οποίο βρίσκεται στη βόρεια πλευρά του Ηρακλείου της νήσου Κρήτης, είχαν παρασυρθεί από το τσουνάμι. Επίσης, τα κύματα που έφτασαν στην ξηρά της Ίου ήταν περίπου στα 50 πόδια, ενώ στη Σίκινο τα κύματα σχεδόν είχαν προσεγγίσει την ενδοχώρα έως 350 πόδια και είχαν καλύψει μεγάλη επιφάνεια (Nomikou et al., 2014).

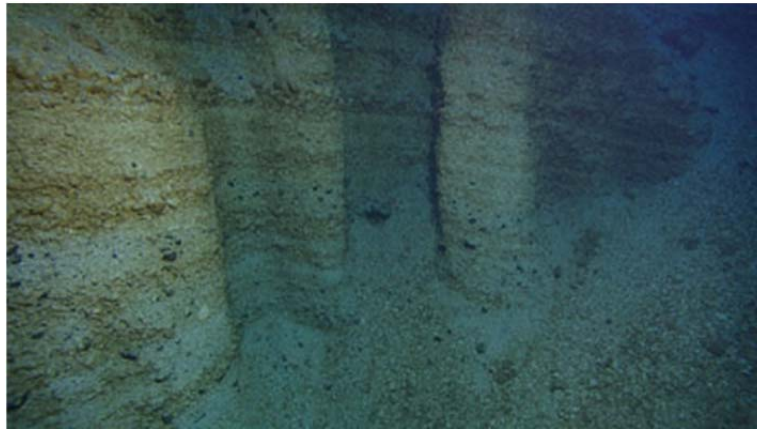
Εν συνέχεια, ακολούθησαν κάποιες μεμονωμένες εκρήξεις στις 4 και 5 Νοεμβρίου που είχαν ως αποτέλεσμα να απελευθερωθούν κάποια αέρια, όπως και να προκληθούν πολλοί σεισμοί (Nomikou, Carey, et al., 2014). Η δραστηριότητα λόγω της έκρηξης του υποβρύχιου ηφαιστείου Κολούμπο, τελικά έληξε στις αρχές Δεκεμβρίου. Ωστόσο, το διάστημα που ακολούθησε παρατηρήθηκαν υψηλές θερμοκρασίες του νερού, που βρισκόταν γύρω από το ηφαίστειο. Οι συγκεκριμένες, δεν μειώθηκαν για πολλά χρόνια, έχοντας ως αποτέλεσμα τη δημιουργία ενός κώνου, ο οποίος είχε βάθος περίπου 18 μέτρων στο μικρό νησί.

Ο αντίκτυπος της έκρηξης του Κολούμπο έχει χαρακτηριστικά περιγραφθεί από τον Fouque (1879), ο οποίος είχε σημειώσει ορισμένες παρατηρήσεις, αναφορικά με την έκρηξη του 1650 (Chiaramonte et al., 2014). Αρχικά, ισχυρίστηκε πως η δραστηριότητα της έκρηξης ήταν σε θέση να προκαλέσει τεράστια κύματα, ενώ οι επιπτώσεις από την τέφρα στη δυτική Τουρκία ήταν πολλές. Μια ακόμη παρατήρηση που έκανε ο μελετητής αφορούσε την ελαφρόπετρα, για την οποία ήδη έγινε λόγος. Τέλος, ένας συγκεκριμένος τύπος υλικών (από γωνιακές μη ηφαιστειακές στήλες) ανακαλύφθηκε στη μικρή εκκλησία του Αγίου Γεωργίου κοντά στο Καμάρι σε απόσταση 80 μέτρων από την ακτογραμμή, ενισχύοντας με αυτόν τον τρόπο τους ιστορικές σκέψεις, σχετικά με το τσουνάμι (Παπαδόπουλος 2009). Σύμφωνα με τους Dominey-Howes et al. (2000) όλες οι περιοχές που ερευνήθηκαν στην ανατολική ακτή της Σαντορίνης (περιοχές :Καμάρι και Περίσσα) δείχνουν ότι το τσουνάμι, το οποίο συνόδευσε την έκρηξη του 1650 μ. Χ., πιθανότατα είχε διάρκεια κάτω των 2 μέτρων a.s.l.

Ο εσωτερικός κρατήρας μπορεί να έχει δημιουργηθεί από τη μερική κατάρρευση ενός ηφαιστειακού κώνου, ο οποίος προϋπήρχε ή μπορεί να είχε παραχθεί σε ένα μεγάλο βαθμό, όπως ένα κατασκευαστικό χαρακτηριστικό, το οποίο σχετίζεται με την ανάπτυξη του οικοδομήματος στη διάρκεια της έκρηξης που ήδη έχει αναφερθεί το 1650 μ. Χ. Στη συνέχεια, μια εκ βαθέων ανάλυση κατέληξε στην κατασκευή ενός χάρτη. Η κατανομή σχετικά με τις τιμές κλίσης εντός της περιοχής μελέτης υποδιαιρείται σε πέντε κατηγορίες με τέτοιον τρόπο, που φανερώνει τις ζώνες, όπου παρατηρείται απότομη αλλαγή κλίσης που αντανακλά τις απότομες ηφαιστειακές πλαγιές του τοίχου του κρατήρα ή του εξωτερικού. Οι πιο υψηλές τιμές κλίσης 35- 50 % παρατηρούνται μέσα στα εσωτερικά τοιχώματα του Κολούμπο. Οι βορειοδυτικές εξωτερικές πλαγιές του μειώνονται σταδιακά από 25% έως 35% σε 15- 25% και 5%- 15%, ενώ στο νοτιοανατολικό τμήμα και οι εξωτερικές πλαγιές μειώνονται σταδιακά από 15- 25% έως 5-15% και 0-5%. Παρατηρούνται αρκετές γραμμικές προς καμπυλόγραμμες καμπύλες στις δυτικές και βορειοδυτικές πλευρές με εσωτερικά βυθισμένα στοιχεία και υψηλές τιμές κλίσης 25-35%. Ο προσανατολισμός αυτών των χαρακτηριστικών, υποδηλώνει ότι μπορεί να αντιπροσωπεύουν υπολείμματα κρατήρων και είναι πολύ πιθανό να περιέχει αποσπάσματα από ηφαιστειακά πετρώματα ήδη από τα πρώτα στάδια της κατασκευής κώνου.

Αξιοσημείωτο είναι ότι πραγματοποιήθηκε εξερεύνηση του Κολούμπο με χειρισμό ROV κατά τα έτη 2006, 2010 και 2011. Ένας αριθμός από ενδιαφέροντα μορφολογικά χαρακτηριστικά παρατηρήθηκαν στις εσωτερικές πλαγιές του ηφαιστείου Κολούμπο. Κάθετες διατομές στα τείχη του κρατήρα αποκάλυψαν μια ολική μορφολογία, η οποία σχηματίστηκε από προεξοχές μιας ποικιλίας προϊόντων ηφαιστείου, για παράδειγμα παχιά ελαφρόπετρα, ανάχωμα και εισβολές. Ακόμη, παρατηρείται μαζική διάλυση των αποθεμάτων, όπως φαίνεται στην κάτωθι εικόνα.

## Εικόνα 2: Οι εσωτερικές πλαγιές του ηφαιστείου Κολούμπο



*Undulating cliff faces created by mass wasting processes of unconsolidated pyroclastic deposits in the upper crater walls of Kolumbo submarine crater*

Επίσης, εκτεταμένες εναποθέσεις από ψευδάργυρο εντοπίζονται σε μεγάλα τμήματα του κάτω τοίχου του κρατήρα που κρύβουν επί τόπου προεξοχές. Τα συγκεκριμένα χαρακτηριστικά, έχουν δημιουργηθεί από τη μαζική σπατάλη μη στέρεων πυροκλαστικών εναποθέσεων μέσα στο δάπεδο - βάση του κρατήρα. Με κάθετες προεξοχές σχηματίζονται γκρεμοί που εκτείνονται σε ακρωτήρια, τα οποία είτε λαμβάνουν κάθετη όψη είτε μετατρέπονται σε πλαγιές. Περίπου 200 μέτρα επάνω από το δάπεδο του κρατήρα, παρατηρείται μια απροσδόκητη ανακάλυψη, δηλαδή εμφανίζονται παχιές πυροκλαστικές αποθέσεις στα νοτιοδυτικά και τα βόρεια τείχη του κρατήρα σύμφωνα με τους Carey et al. 2011. Η κατάρρευση των αποθεμάτων πραγματοποιείται σε ύψος 20 μέτρων περίπου. Στη συνέχεια, η εξέταση δείχνει ότι υφίστανται δυο τουλάχιστον κύριοι τύποι, όπου οι πρώτοι έχουν πάχος εκατοστόμετρου και αποτελούνται από σχετικά χονδροειδείς γωνιακές ελαφρόπετρες και μπλοκς με επίπεδες επιφάνειες και κανονική ταξινόμηση, υποδηλώνοντας την ύπαρξη υποβρύχιας ελαφρόπετρας. Οι μέγιστες πλάκες ελαφρόπετρας έχουν διάμετρο μέχρι 40 εκατοστά και ένας δεύτερος τύπος αποτελείται από λαπίλια και τέφρα με μέτρια έως κακή ταξινόμηση και συνήθως υπάρχει μανδύας. Ορισμένες μονάδες, στη δεύτερη ομάδα παρουσιάζουν πλευρικές διακυμάνσεις στο πάχος και τη διαστρωμάτωση.

Οι πρόσφατες ωκεανογραφικές εξερευνήσεις του Κολούμπο έχουν ρίξει φως στη νέα μορφολογική φύση του κέντρου, τη σύνθεση των εκρηκτικών προϊόντων και σχετικά με την ακολουθία των γεγονότων που έγιναν κατά την καταστροφική έκρηξη το 1650, όπως προαναφέρθηκε. Πιθανολογείται ότι τα τσουνάμια που έγιναν από το 1650 προκλήθηκαν από

μα ποικιλία μηχανισμών που περιλαμβάνουν ρηχές υποβρύχιες εκρήξεις και εκροή πυροκλαστικών ροών μέσα στη θάλασσα. Επίσης, καταρρέει το οικοδόμημα ως ένα αποτέλεσμα από ένα μάγμα που αποτελείται από ένα ρηχό φλοιό θάλαμο μάγματος. Από αυτούς τους μηχανισμούς, μπορεί να εκκενώσει πυροκλαστικές ροές στη θάλασσα και αξίζει να σημειωθεί ότι έχουν διαδραματίσει καίριο ρόλο. Βέβαια, τα υπάρχοντα δεδομένα μας εμποδίζουν να προχωρήσουμε στην ποσοτική αξιολόγηση του σχετικού ρόλου κάθε μηχανισμού. Είναι λοιπόν εύλογο να ειπωθεί, ότι η εκρηκτική συμπεριφορά του Κολούμπο παρουσιάζει πολλούς τρόπους για την παραγωγή τσουνάμι πολύ κοντά στη Σαντορίνη. Υπάρχουν πολλές αποδείξεις που υποδηλώνουν ότι το Κολούμπο θα μπορούσε να αποτελέσει σοβαρό κίνδυνο για τους κατοίκους της Σαντορίνης και των γύρω νησιών σε μελλοντική εκρηκτική δραστηριότητα. Βάσει των πρόσφατων μελετών μάλιστα, γίνεται φανερό, ότι η πιο συχνή εμφανιζόμενη ζώνη για τους σεισμούς στο ηφαίστειο της Σαντορίνης γίνεται κάτω από το Κολούμπο (Bohnhoff et al., 2006).

Ακόμη, οι τομογραφικές μελέτες έχουν φανερώσει τον ενεργό μαγματικό φλοιό σε ένα θάλαμο που έχει βάθος περίπου 5 χλμ κάτω από το ηφαίστειο (Dimitriades et al. 2010). Πρόκειται για το ίδιο βάθος με τις συνθήκες πίεσης θερμοκρασίας πριν από την έκρηξη του 1650 μ. Χ. (Cantner et al. 2010). Ακόμη, ένα εκτεταμένο υδροθερμικό πεδίο εξαιρεισμού ανακαλύφθηκε στο βόρειο τμήμα του δαπέδου του κρατήρα στη διάρκεια των καταδύσεων ROV 2006. Δεν είναι εφικτό να προβλεφθεί η φύση κάποιας μελλοντικής έκρηξης του ηφαιστείου, καθώς δεν έχει καθοριστεί ένα συγκεκριμένο ιστορικό. Όπως έχει προαναφερθεί, βάσει των ROV εξερευνήσεων, ο κρατήρας δείχνει ότι ο δακίτης και ο ρεολίτης αποτελούν τα πιο κοινά προϊόντα στο ηφαίστειο, με ελάχιστα στοιχεία για πιο πολλές μαφικές συνθέσεις. Είναι δυνατόν να εκτιμηθεί ότι τα τσουνάμια του 1650 είχαν μέγιστη ένταση VI βαθμών στην έκτη κλίμακα τροποποιημένης έντασης. Ωστόσο, η παραπάνω θέση αντιτίθεται στις σημερινές μελέτες, οι οποίες θεωρούν ότι το τσουνάμι είναι υπερεκτιμημένο από τις παλαιοντολογικές και λιθολογικές μελέτες κατά μήκος της ανατολικής ακτής της Θήρας. Ειδικότερα, δεν έχει δείξει βιο ή λιθο στρωματογραφικά στοιχεία για την απόθεση του τσουνάμι και ιζήματα που εναποτίθενται στη θάλασσα. Υπό το φως της αναγνώρισης της πιθανής πρόκλησης τσουναμιού, οι μηχανισμοί στο ηφαίστειο Κολούμπο αποτελούν ένα χρήσιμο επόμενο βήμα, το οποίο θα μπορούσε να είναι η προσομοίωση πιθανών μεγεθών τσουνάμι, χρησιμοποιώντας περιορισμένες παραμέτρους, σχετικά με την κλίμακα της έκρηξης του 1650. Η συγκεκριμένη μοντελοποίηση θα μπορούσε να περιλαμβάνει την παραγωγή κυμάτων από πυροκλαστική εκροή ροής στη θάλασσα και μικρής κλίμακας



κατάρρευση της καλντέρας για τη διερεύνηση των παράκτιων επιπτώσεων στην περιοχή της Σαντορίνης. Τέτοιου είδους μοντελοποίηση είναι πολύ σημαντική στις τοπικές αρχές για την αξιολόγηση του κινδύνου για τον σχεδιασμό έκτακτης ανάγκης και διαχείριση καταστροφών (Nomikou , P. et al, 2012)

Μια βασική συνέπεια της διάλυσης του CO<sub>2</sub> στο θαλασσινό νερό είναι η αύξηση της πυκνότητας του νερού. Από τους Haugan & Drange προτάθηκε η έκχυση CO<sub>2</sub> σε μορφή αερίου και κατόπιν διάλυση σε βάθη τόσο ρηγά όσο 200 μέτρα. Η κίνηση αυτή θα κατέληγε στη δέσμευση του CO<sub>2</sub> μέσα στον βαθύ ωκεανό. Προτάθηκε ότι μια διαφορά πυκνότητας περίπου 0, 1 kg m<sup>-3</sup> θα ήταν επαρκής για να αναπτύξει αρνητικά πτερά/λοφία κατά την έκχυση αερίου. Το συγκεκριμένο θα συμβεί σε επίπεδα pH από 5,5 ή λιγότερο.

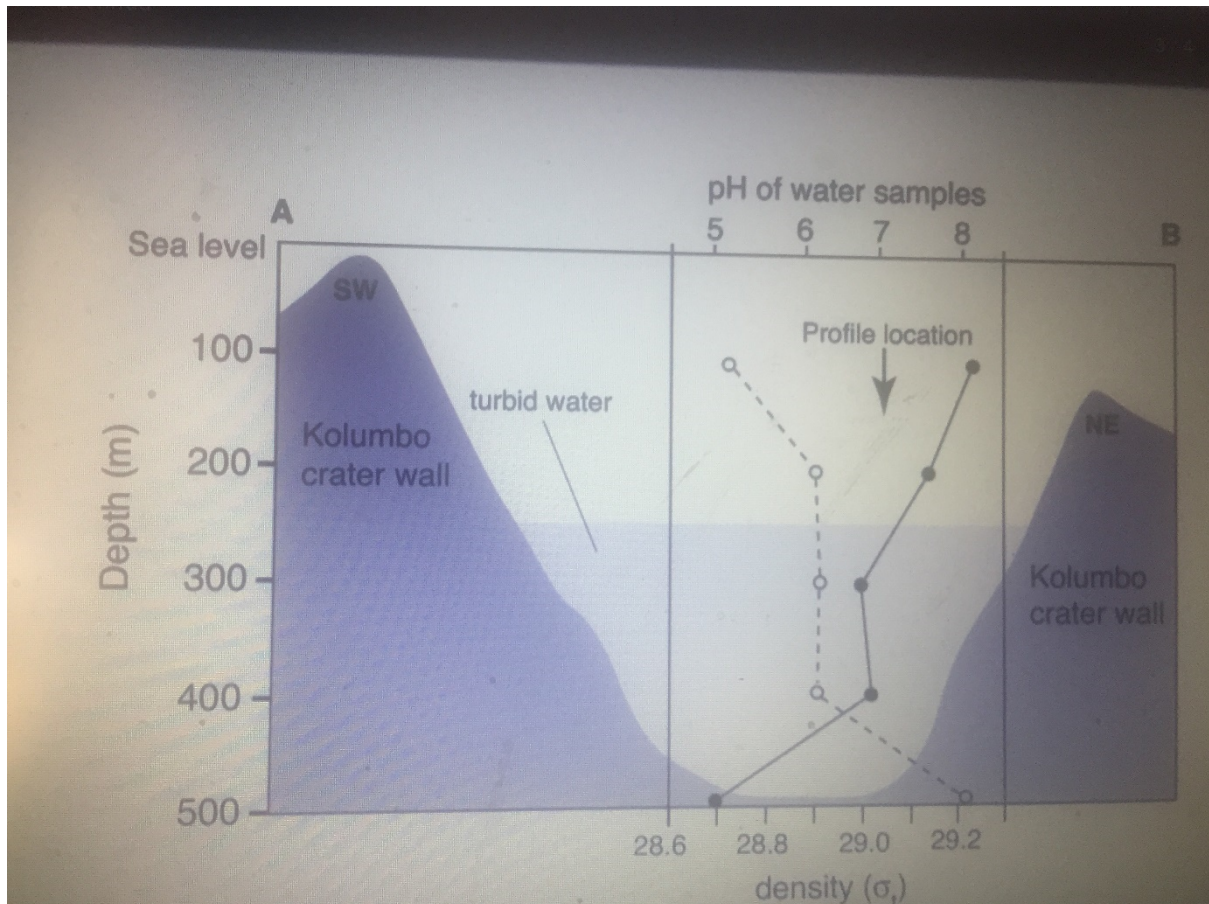
Πιο αναλυτικά, οι Haugan & Drange (1992) θεώρησαν ότι η θαλάσσια ζωή είναι δυνατόν να επηρεαστεί από τέτοιου είδους φθίνουσες ροές. Ακόμη, θεωρείται ότι το CO<sub>2</sub> από το υδροθερμικό πεδίο εξαερισμού Κολούμπο απομονώνεται μέσα στον κρατήρα ως ένα αποτέλεσμα του σχηματισμού πυκνού νερού με τη μορφή CO<sub>2</sub> αερίου, που διαλύεται στα κάτω ύδατα του κρατήρα.

Η διαμόρφωση του κρατήρα διευκολύνει την καθιέρωση μιας σταθερής στρωματοποιημένης κλίσης πυκνότητας, που κατευθύνεται από τη διάλυση CO<sub>2</sub> κατά την έκχυση και καταλήγει στη συσσώρευση όξινου νερού το οποίο παρεμποδίζεται από την κάθετη ανάμειξη. Σαφείς ενδείξεις για την παρουσία όξινου νερού στον κρατήρα προέρχονται από το κάθετο προφίλ από τα δείγματα νερού τα οποία συλλέγονται στο βόρειο μέρος του υδροθερμικού πεδίου εξαερισμού κατά την NA-014.

Στο πλαίσιο πάνω από 250 μέτρα το pH μειώνεται κατά πολύ, σε επίπεδα μικρότερα από 7,0 και μετά επιτυγχάνει τη χαμηλότερη τιμή κοντά στον κρατήρα και σε βάθος 500 μέτρων βάθος. Επίσης, υπολογίστηκαν οι πυκνότητες θαλασσινού νερού στις θέσεις δειγματοληψίας από το CTD, η αγωγιμότητα, η θερμοκρασία και το βάθος. Τα συγκεκριμένα δεδομένα, καταγράφονται στο χρόνο συλλογής και στη συνέχεια έγιναν διορθώσεις για τις επιδράσεις του διαλυμένου CO<sub>2</sub> ( Park et al., 1964' Bradshaw 1973 Song et al, 2005). Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι εκτός από τη σημαντική κλίση στο pH μέσα στον κρατήρα, η στήλη νερού είναι σταθερά διαστρωμένη κυρίως, λόγω της επίδρασης του CO<sub>2</sub> στην πυκνότητα του θαλασσινού νερού. Στο σχήμα το pH είναι οι συμπαγείς κύκλοι και η

πυκνότητα (οι ανοιχτοί κύκλοι) από τα δείγματα νερού, τα οποία συλλέχθηκαν κατά μήκος κάθετου προφίλ στο Κολούμπο

Εικόνα 3: Περιγραφή δειγμάτων νερού κατά μήκος κάθετου προφίλ στο Κολούμπο



Πρόσθετα στοιχεία για διαβρωτικό πυθμένα στον κρατήρα μπορεί να βρεθούν σε σύγκριση με τα επιφανειακά ιζήματα από την εσωτερική και εξωτερική πλευρά του κρατήρα. Η λάσπη είναι καφέ χρώματος ημι πελαγική και οι αναλύσεις ανθρακικών αλάτων των ιζημάτων αυτών δίνουν τιμές από 15 % - 38%. Αντίθετα, ιζήματα που βρίσκονται στη βάση του κρατήρα του Κολούμπο σε 500 μ. βάθους αποτελούνται από σκούρο κοκκινωπό αγρίλιο, χωρίς ασβεστολιθικά μικρο- απολιθώματα, με περιεκτικότητα σε ανθρακικό άλας να είναι μόνο 1,1%.

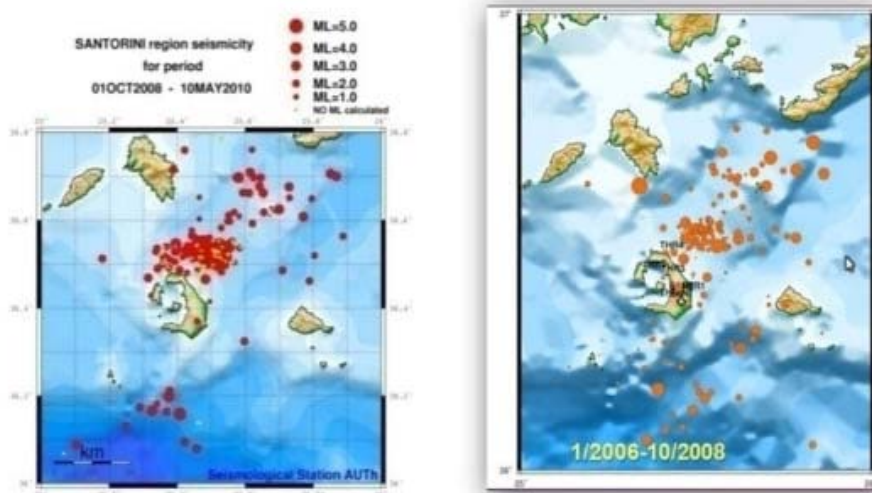
Τα συμπεράσματα σύμφωνα με τους (Carey and al., ) είναι τα εξής:

- Από το υποβρύχιο ηφαιστειο Κολούμπο εκπέμπονται φυσαλίδες αερίου από το υδροθερμικό σύστημα εξαερισμού
- Στην περίπτωση που εξετάζεται πρόκειται για καθαρό CO<sub>2</sub>
- Οι φυσαλίδες προφανώς διαλύονται περίπου 9 μ. επάνω από το σημείο απελευθέρωσης στα 500 μ βάθος
- Θεωρείται ότι η διάλυση του αερίου συμβάλλει στη μείωση του pH με το αυξανόμενο βάθος στον κρατήρα και μια σταθερή στρωματοποιημένη στήλη νερού που δεσμεύει το CO<sub>2</sub> στον βαθύ κρατήρα.
- Η συσσώρευση της σταθερής στρωματοποίησης CO<sub>2</sub> ( το πλούσιο νερό στον κρατήρα) του Κολούμπο μπορεί να οδηγήσει σε μια κατάσταση που είναι ανάλογη εκείνων των αφρικανικών ηφαιστειακών λιμών Monoun , Nyos στις οποίες παρουσιάστηκε καταστροφικό CO<sub>2</sub>. Το τελευταίο απελευθερώθηκε με την ανατροπή των νερών, όπου μεγάλες ποσότητες αερίου βγήκαν στην επιφάνεια.
- Συνιστάται η αξιολόγηση των επιπέδων στον κρατήρα του Κολούμπο και η ανάπτυξη δυνατών στρατηγικών για τον μετριασμό των κινδύνων.

#### 4. Καλντέρα και σεισμική δραστηριότητα

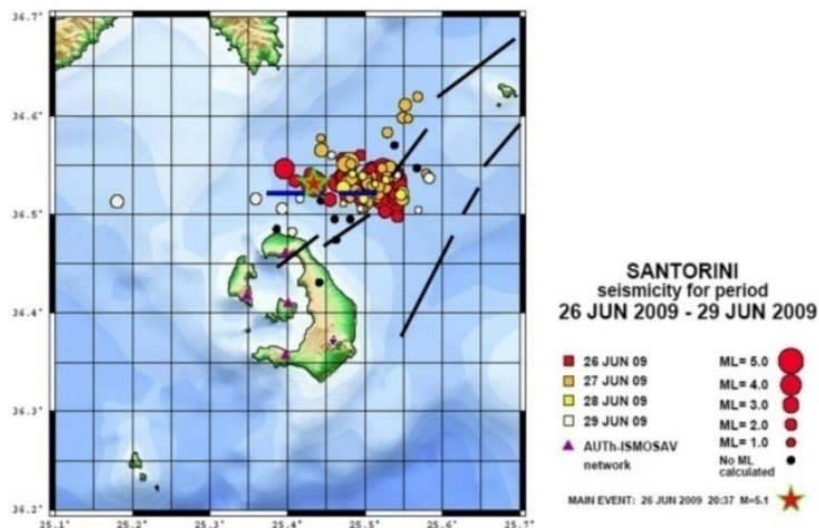
Στο σχήμα που ακολουθεί παρουσιάζεται η σεισμική δραστηριότητα του κύριου ηφαιστειακού κέντρου Σαντορίνη – Κολούμπο από τον Οκτώβριο 2008 έως τον Μάιο 2010 (αριστερά) και από τον Ιανουάριο του 2006 έως τον Οκτώβριο του 2008 (δεξιά). Όπως παρουσιάζεται από το σχήμα, η σεισμική δραστηριότητα, πριν από την κρίση του 2011-2012, κυρίως διανέμεται στην περιοχή του ηφαιστείου γύρω από τον Ύφαλο του υποθαλάσσιου ηφαιστείου Κολούμπο και κατά μήκος της σεισμοτεκτονικής γραμμής Σαντορίνης - Αμοργού. Αυτή η παρατήρηση αποτελεί αποτέλεσμα μελέτης από το Ινστιτούτο ISMOSAV, το οποίο είναι εγκατεστημένο στη Σαντορίνη νησί και ήταν σε θέση να καταγράψει ακόμη και γεγονότα μικρού μεγέθους που συμβαίνουν κοντά στο ηφαιστειακό κέντρο (Panagiotopoulos et al, 2015 ).

Εικόνα 4: Σαντορίνη – Κολούμπο από τον Οκτώβριο 2008 έως τον Μάιο 2010 (αριστερά) και από τον Ιανουάριο του 2006 έως τον Οκτώβριο του 2008 (δεξιά).



Πηγή : [https://www.topo.auth.gr/main/images/pdf/TOMOS\\_MYRIDIS/61\\_Panagiotopoulos.pdf](https://www.topo.auth.gr/main/images/pdf/TOMOS_MYRIDIS/61_Panagiotopoulos.pdf)

Εικόνα 5 : Σεισμική δραστηριότητα Σαντορίνης 26 Ιουνίου – 29 Ιουνίου 2009



Πηγή : [https://www.topo.auth.gr/main/images/pdf/TOMOS\\_MYRIDIS/61\\_Panagiotopoulos.pdf](https://www.topo.auth.gr/main/images/pdf/TOMOS_MYRIDIS/61_Panagiotopoulos.pdf)

Η εικόνα 5 δείχνει τη χωρική κατανομή της σεισμικής ακολουθίας από 26 Ιουνίου έως 29 Ιουνίου 2009. Ο κύριος σεισμός αυτής της ακολουθίας με μέγεθος  $M = 5,1$  έγινε αισθητός στο νησί της Σαντορίνης χωρίς να προκληθούν σοβαρές επιπτώσεις (ζημιές ή τραυματισμοί ανθρώπων) στο νησί Θήρα. Οι σεισμοί έχουν καταγραφεί από το σεισμολογικό δίκτυο της Σαντορίνης, καθώς και από το Ελληνικό Εθνικό Σειсмоγράφικό δίκτυο, ενώ τα στοιχεία διατυπώθηκαν από τον Σεισμολογικό Σταθμό του Τμήματος Γεωφυσικής του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης (Panagiotopoulos et al, 2015).

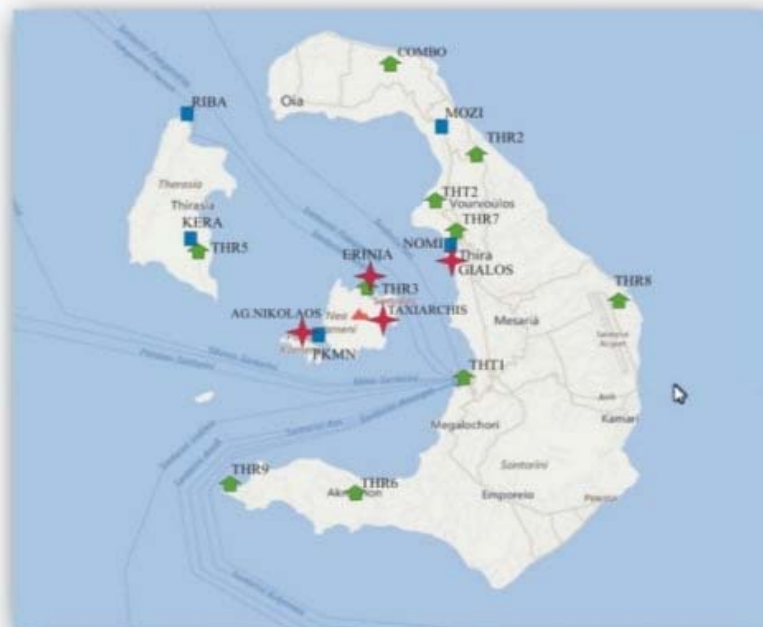
Αυτή η σεισμική ακολουθία πραγματοποιήθηκε κατά την περίοδο των τριών ημερών (26 έως 29 Ιουνίου 2009) στην περιοχή του υφάλου του Κολούμπο, και αποτελεί μέρος ενός μεγάλου υποβρύχιου ηφαιστειακού οικοδόμηματος. Είναι σαφές ότι η χωρική κατανομή των εστιών στην εικόνα 5 οριοθετεί το νότιο γραμμικό όριο της τεκτονικής δέσμευσης του Άνυδρου. Επίσης, όπως είναι γνωστό, η ηφαιστειακή πολυμερής παρακολούθηση βασίζεται κυρίως στη συνεχή συλλογή δεδομένων και στην ανάλυση αρκετών τοπικών δικτύων (σεισμολογική, γεωδαιτική, γεωχημική, γεωφυσική, παλίρροια, κ.λπ.). Αυτή η παρακολούθηση βασίζεται στην αρχή ότι το μάγμα, κατά την άνοδο του στην επιφάνεια της

γης, προκαλεί όχι μόνο μικροζημική δραστηριότητα αλλά και άλλα φαινόμενα (σημαντικές κινήσεις φλοιού, αλλαγές θερμοκρασίας, μετανάστευση υδροθερμικών υγρών κ.λπ.). Αυτά τα φαινόμενα μπορεί να καταγραφούν από ειδικά και εξειδικευμένα τοπικά δίκτυα, με τον ίδιο τρόπο που οι σεισμοί μπορούν να καταγραφούν από σειсмоγραφικά δίκτυα (Panagiotopoulos et al, 2015).

Στην περιοχή του ηφαιστειακού συγκροτήματος των νησιών της Σαντορίνης, το ISMOSAV λειτουργεί από το 1995 και διαθέτει διάφορα δίκτυα παρακολούθησης (σεισμικά, γεωδαιτικά, θερμικά, γεωχημικά, γεωφυσικά), σχηματίζοντας ένα αξιόπιστο σύστημα έγκαιρης προειδοποίησης, ικανό να προβλέψει πιθανώς μελλοντικές επανενεργοποιήσεις του ηφαιστείου. Το κύριο εύρος της λειτουργίας του ISMOSAV μπορεί επίσης να αξιολογήσει και να εντοπίσει ψευδείς συναγερούς, καθώς και να χειριστεί την παροχή αξιόπιστων πληροφοριών στο κοινό σχετικά με την ηφαιστειακή δραστηριότητα, σε στενή συνεργασία με τις τοπικές νησιωτικές αρχές.

Οι κύριοι σταθμοί ολόκληρου του δικτύου παρακολούθησης παρουσιάζονται στο σχήμα (3). Το ISMOSAV σε συνεργασία με το Σεισμολογικό Σταθμό του Γεωφυσικού Τμήματος του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης λειτουργεί σήμερα ένα δίκτυο 11 μόνιμων σεισμικών σταθμών (έξι αναλογικές και πέντε ψηφιακούς σταθμούς). Οι ηχογραφήσεις του σεισμολογικού δικτύου, που είναι μεταδίδεται στο βασικό εργαλείο για τη σωστή παρακολούθηση του ηφαιστείου της Σαντορίνης ον κεντρικό σεισμικό σταθμό του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης (Panagiotopoulos et al, 2015).

**Εικόνα 6: Παρακολούθηση υπό την εποπτεία του ISMOSAV, Σεισμολογικός Σταθμός του Γεωφυσικού Τμήματος του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης**



Πηγή : [https://www.topo.auth.gr/main/images/pdf/TOMOS\\_MYRIDIS/61\\_Panaqiotoopoulos.pdf](https://www.topo.auth.gr/main/images/pdf/TOMOS_MYRIDIS/61_Panaqiotoopoulos.pdf)

Όλα τα δεδομένα καταγράφονται και αναλύονται (μαζί με τα δεδομένα των ψηφιακών σταθμών του Ινστιτούτο Γεωδυναμικής - Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών που είναι επίσης εγκατεστημένα στο νησί της Θήρας) σε συνεχή 24ωρη βάση. Όλα αυτά τα δεδομένα, από το 1995, όταν ένα μικρό αναλογικό σεισμικό δίκτυο εγκαταστάθηκε το 1994 στη Θήρα, μέχρι το 2010, έδειξαν (εικόνα 6) μια συνεχή σεισμική δραστηριότητα που βρίσκεται κυρίως στην περιοχή του ηφαιστείου του Κολούμπο, καθώς και τα τεκτονικά λάθη βόρεια της Σαντορίνης (π.χ. η σεισμική ακολουθία του  $M = 5.1$ , Ιούνιος 2009,) και στην ενεργή τεκτονική γραμμή του Κολούμπο – Αμοργού (Dimitriadis et al., 2005). Αυτά τα αποτελέσματα επιβεβαιώθηκαν από τοπικά σεισμικά δίκτυα που εγκαταστάθηκαν στο νησί και τη γύρω περιοχή για τις χρονικές περιόδους από τον Σεπτέμβριο του 2002 έως τον Ιούλιο του 2004, τον Ιούνιο του 2006 έως τον Μάρτιο του 2007 και Σεπτέμβριος 2002 έως Σεπτέμβριος 2005 (Bohnhoff et al., 2004; Bohnhoff et al., 2006; Hensch et al., 2008, Dimitriadis et al., 2009, 2010).

## 5. Η Παλαιά Καμένη

Τα νησιά που καλούνται Παλαιά Καμένη όπως και Νέα Καμένη είναι σε κεντρικό σημείο στην καλντέρα, αποτελώντας χερσαίες εκφράσεις του υποθαλάσσιου ηφαιστείου. Βάσει των **Druitt et al., 1999** παρατηρείται η περιγραφή των ηφαιστειακών γεγονότων, όπου με ενδεικτικό τρόπο είναι τα ακόλουθα :

- α) ο σχηματισμός του ηφαιστείου Καμένων ( 197 π. Χ. – 1950 μ. Χ.) με σύνθεση μάγματος δακιτική
- β) η κατάρρευση της καλδέρας , η μινωική έκρηξη σε ηλικία 3.6 χιλ. έτη και σύνθεση μάγματος ρυοδακιτική
- γ) η κατάρρευση της καλντέρας
- δ) η έκρηξη του Ακρωτηρίου Ρίβα και των Ανδεστινών της Οίας με αντίστοιχη σύνθεση μάγματος ρυοδακιτική και ανδεσιτική
- ε) κατασκευή των θόλων της Θηρασιάς με σύνθεση μάγματος ρυοδακιτική
- στ) η έκρηξη ανώτερης σκωρίας με σύνθεση μάγματος ανδεσιτική,
- ζ) η κατασκευή του ηφαιστείου του Σκάρου με σύνθεση μάγματος ανδεσιτική, βασαλτική, δακιτική
- η) η κατάρρευση της Καλδέρας,
- θ) η έκρηξη της Ανώτερης Σκωρίας με σύνθεση μάγματος ανδεσιτική
- ι) η έκρηξη Βουρβούλου με σύνθεση μάγματος δακιτική ανδεσιτική
- ια) η έκρηξη του Μεγάλου Βουνού/του Κόκκινου Βουνού /Κολούμπο με σύνθεση μάγματος ανδεσιτική
- ιβ) η έκρηξη Μέσης Κίσηρης και Ακρωτηρίου Θήρας,
- ιγ) η κατασκευή του ηφαιστείου Σημαντηρίου με σύνθεση μάγματος ανδεσιτική
- ιδ) η κατάρρευση της καλδέρας και η έκρηξη Κατώτερης Κίσηρης με σύνθεση μάγματος ρυοδακιτική



- ιε) η έκρηξη Ακρωτηρίων Θερμών με σύνθεση μάγματος ανδεσιτική,
- ιστ) έκλυση των Ανδεσιτών του Ακρωτηρίου Αλάι με σύνθεση μάγματος ανδεσιτική,
- ιζ) έκρηξη των Κώνων σκωριών του Ακρωτηρίου με σύνθεση μάγματος ανδεσιτική , βασαλτική
- ιη) η έκλυση του ηφαιστείου της Περιστερίας με σύνθεση μάγματος ανδεσιτική και η κατασκευή του ηφαιστείου της Περιστερίας με σύνθεση μάγματος ανδεσιτική
- ιθ) η έκρηξη των πρώιμων κέντρων του Ακρωτηρίου με σύνθεση μάγματος δακιτική και ρυοδακιτική **Druitt et al., 1999**

Η Παλαιά Καμένη είναι ένα μικρό ηφαιστειογενές νησί στο κέντρο της καλντέρας της Σαντορίνης, το οποίο δημιουργήθηκε από την ηφαιστειακή έκρηξη γύρω στο 46-47 μ.Χ. και δημιουργήθηκε έτσι το νησάκι της Παλαιάς Καμένης. Εξαιτίας της τεράστιας έκρηξης του προκλήθηκε τσουνάμι και η ελαφρόπετρα έφτασε έως τα παράλια της Μικράς Ασίας και τη Λέσβο. Το έτος 46 μ. Χ η ηφαιστειότητα της περιοχής αναδύει ένα νέο νησί, την Θεία που ύστερα από την τεκτονική δράση ρηγμάτων επάνω του αποτελεί το μεγαλύτερο τμήμα της σημερινής Παλαιάς Καμένης (Nomikou, Parks, et al., 2014).

Τα νησιά αυτά αποτελούν τη χερσαία έκφραση του ηφαιστείου που βρίσκεται μέσα στην καλντέρα με διάμετρο 3.5 χλμ και η κορυφή βρίσκεται 500 μέτρα επάνω από τον πυθμένα της καλντέρας. Το οικοδόμημα κατασκευάζεται μετά από τη μινωική έκρηξη και το ηφαίστειο ξεκινάει το 197 π. Χ., με τελευταία έκρηξη το 1950 μ. Χ. Τα γεγονότα που συνάδουν με τον σχηματισμό είναι τα εξής: πρώτα η εκρηκτική δραστηριότητα που έλαβε το όνομα Ιερά. Βάσει των Fytikas et al., (ό. π. αναφ. στο Druit et al., 1999) τα ερείπια δεν είναι στη θάλασσα (197 π. Χ.), δεύτερον με την εκλυτική δραστηριότητα διαμορφώθηκε το νησί Θεία , δηλαδή η Παλαιά Καμένη (46-47 μ. Χ.), τρίτον κατόπιν επτά αιώνες παρουσιάστηκε εκρηκτική δραστηριότητα στην Παλαιά Καμένη, όπου διασπάρθηκε κίσηρη σε όλη την περιοχή της Μικράς Ασίας. Πιο αναλυτικά, εκδηλώθηκε το 726 μ.Χ. στην Παλαιά Καμένη, με αποτέλεσμα να εκτιναχτούν τεράστιες ποσότητες ελαφρόπετρας και ηφαιστειακή στάχτη που έφτασαν στα νησιά του Αιγίου, αλλά και στη Μικρά Ασία. Όπως χαρακτηριστικά αναφέρει ο Θεοφάνης το ίδιο έτος «της όγδοης Ινδικτιώνος», ήταν καλοκαίρι και ατμός έβγαινε σαν να ήταν φωτιά καμινιού. Τότε, κόχλασε μέσα από τον βυθό στο σημείο ανάμεσα στα νησιά Θήρα και Θηρασιά και για μερικές ημέρες. Εντωμεταξύ, σε άμεσο χρονικό διάστημα γινόταν όλο και περισσότερο και παράλληλα απολιθώνονταν, όπως ο ίδιος

μαρτυρεί, εξαιτίας της έξαψης που είχε το φλογερό άναμμα. Χαρακτηριστικό είναι ότι όλος ο καπνός ήταν γεμάτος από τη φωτιά, και λόγω δε του πάχους που είχε η χωματώδης ουσία, τότε ελαφρόπετρες μεγάλες σε μέγεθος σαν να ήταν λιθάρια εκτίναξε σε όλη τη Μικρά Ασία, όπως ακόμη και τη Λέσβο και την Άβυδο, καθώς και τις παραθαλάσσιες περιοχές της Μακεδονίας» (Nomikou, Parks, et al., 2014).

Ανάμεσα στο 1570-1573 μ. Χ. η δραστηριότητα μετατοπίζεται στην βορειοανατολική πλευρά όπου και δημιουργείται το νησί της Μικρής Καμένης .

## 6. Η Νέα Καμένη

Γύρω στο 1570 το ηφαίστειο ξυπνά για ακόμη μια φορά και σε μια περιοχή κοντά στον ύφαλο Μπάγκο, υπάρχει έκχυση μάγματος και πραγματοποιούνται πολλές εκρήξεις. Η διάρκεια των εκρήξεων έχει διάρκεια περίπου τριών χρόνων και λόγω της έντασης της δημιουργείται ένα μικρό νησάκι σε σχήμα θόλου, η Μικρή Καμένη. Αρκετά χρόνια αργότερα, το 1707 παρατηρούνται ξανά έντονες σεισμικές δονήσεις στη Μικρή Καμένη και οι κάτοικοι του νησιού της Σαντορίνης διέκριναν την ανύψωση του βυθού, ο οποίος άρχισε να μετατρέπεται σε στεριά, σχηματίζοντας μια νησίδα, το Ασπρονήσι, λόγω της λευκής ελαφρόπετρας. Λίγες ημέρες πιο μετά παχύρρευστο μάγμα εμφανίζεται στη βόρεια μεριά του Ασπρονησίου και σχηματίζει μια νέα νησίδα από μαύρη στερεοποιημένη λάβα, το Μαυρονήσι (Nomikou, Parks, et al., 2014).

Μια εβδομάδα αργότερα παρατηρούνται οι πρώτες ηφαιστειακές εκρήξεις, οι οποίες εκσφενδονίζουν στον αέρα μεγάλες ποσότητες ηφαιστειακής τέφρας, η εμφάνιση της οποίας διαρκεί τέσσερα χρόνια, μέχρι το 1711. Ακριβώς δίπλα στη Μικρή Καμένη δημιουργείται η Νέα Καμένη. Στις βόρειες ακτές της νησίδας αυτής, σε έναν όρμο με το όνομα Βουλκάνος, οι κάτοικοι χτίζουν μικρά σπίτια και εκκλησίες, ενώ κόσμος συρρέει το καλοκαίρι για να χρησιμοποιήσει τις πηγές για λουτροθεραπεία.

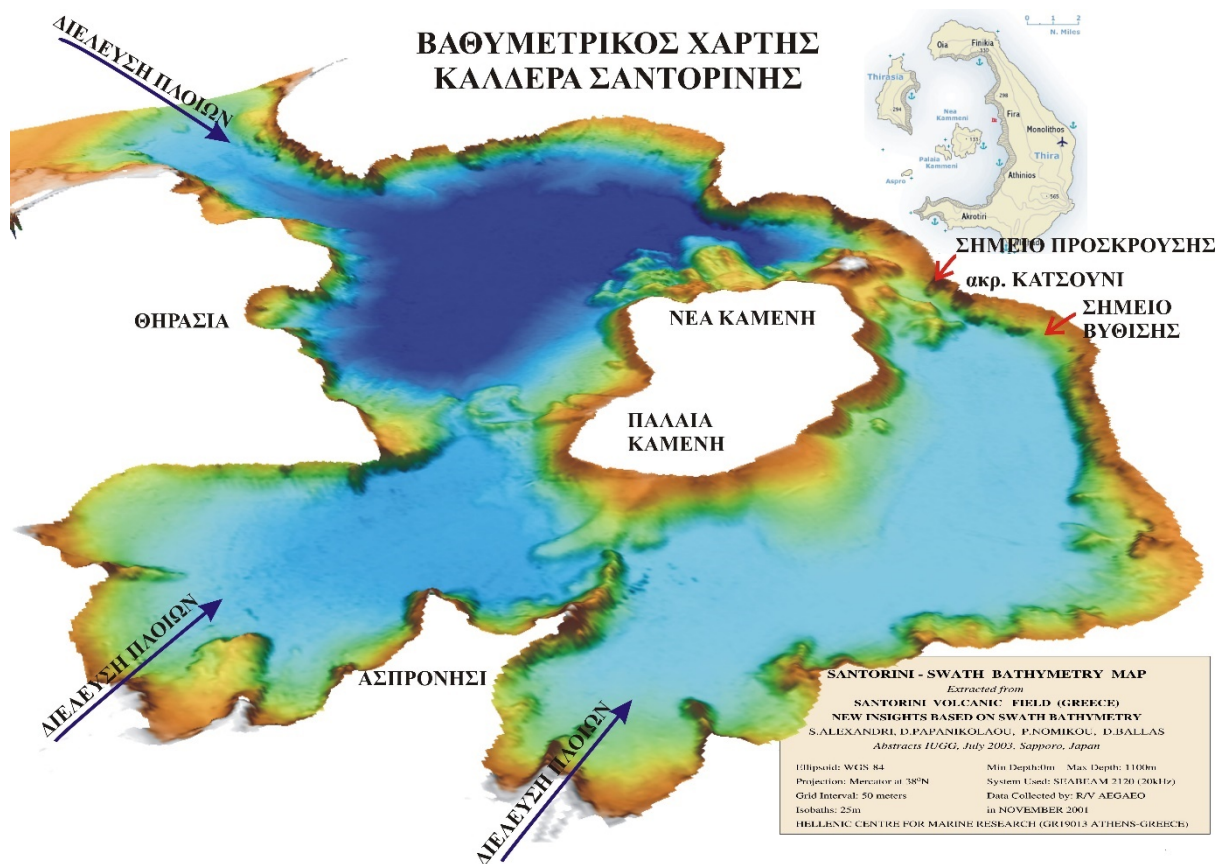
Επιπρόσθετα, τεράστιες ποσότητες λάβας που έχουν παραχθεί σε όλη τη διάρκεια των χρόνων προσκολλώνται στη νησίδα της Νέας Καμένης, με αποτέλεσμα τον τριπλασιασμό της επιφάνειάς της και ένα μικρό θαλάσσιο κανάλι, το οποίο χωρίζει τη Νέα από την Παλαιά Καμένη (Nomikou, Parks, et al., 2014).

Από το 1866 έως το 1870 μ. Χ. η δραστηριότητα ακολουθείται από την πρώτη λάβα, όπως και τις εκρήξεις με ύψος που έφτανε τα 2 χλμ. Συνοπτικά, παρουσιάζονται τρία κέντρα δηλαδή του Γεωργίου που ήταν ενεργό, της Αφρόεσσας που η λάβα ήταν αρχικά αργή και μετά η έκλυση ήταν γρήγορη, και το κέντρο των Νησίδων του Μάη, το οποίο βγήκε από τη θάλασσα στη δυτική πλευρά της Νέας Καμένης.

Από το 1925 έως το 1928 μ. Χ. παρατηρείται να γίνονται εκρήξεις στη βορειοδυτική πλευρά στο κέντρο της περιοχής της Δάφνης που μάλιστα έφτανε περίπου τα 3 χλμ. Αξίζει να παρατηρηθεί ότι έγινε μια παύση για δυο περίπου χρόνια πριν από την εκλυτική δράση, η οποία και έδωσε τέρμα στην έκρηξη.

Κατά την επόμενη δεκαετία μέχρι το 1941 μ. Χ. μετατοπίζεται η δραστηριότητα στο κέντρο, με την έκλυση της λάβας να δημιουργεί ροές, ακόμη και θόλους. Επίσης προηγήθηκαν φρεατικές εκρήξεις που εμφανίστηκε η λάβα. Το 1950 μ. Χ. πραγματοποιείται η τελική φρεατική φάση που διαμόρφωσε τον κρατήρα που ονομάζεται διπλό χωνί.

**Εικόνα 7: Βαθυμετρικός χάρτης Καλδέρα Σαντορίνης**



## 7. Γεωμορφολογία Σαντορίνης

Το έδαφος της Σαντορίνης είναι πεδινό και άνυδρο, ενώ η ψηλότερη κορυφή ανήκει στον Προφήτη Ηλία. Οι ακτές του νησιού είναι ομαλές και σχηματίζουν όμορφες παραλίες, που αποτελούν πόλο έλξης για τους τουρίστες, ιδιαίτερα το καλοκαίρι. Το νησί υπόκειται σε ένα υπόβαθρο που αποτελείται από μάρμαρο και φυλλίτη. Η ηφαιστειακή δραστηριότητα επηρεάζεται από την γραμμή Καμένης (Παλαιά και Νέα Καμένη) και από το υποθαλάσσιο ηφαίστειο Κολούμπο (Johnston et al., 2015). Το ηφαίστειο της Σαντορίνης είναι βραχώδες σε αντίθεση με την ομαλότητα που κυριαρχεί στο υπόλοιπο μέρος του νησιού. Σε γενικές γραμμές, στη Σαντορίνη δεν υπάρχουν λίμνες, ποτάμια, χαράδρες και ρεματιές και οι αρδευτικές ανάγκες της καλύπτονται από γεωτρήσεις που πραγματοποιούνται στο υπέδαφος της. Επίσης, στο νησί υπάρχουν τέσσερις ιαματικές πηγές. Το έδαφος της Σαντορίνης είναι ηφαιστειογενές, πεδινό στις περισσότερες περιοχές και βραχώδες από την περιοχή του ηφαιστείου (Bampourda et al., 2017).

**Εικόνα 8: Το έδαφος της Σαντορίνης**



Αναφορικά με τη στρωματογραφική σκοπιά, η Σαντορίνη αποτελείται κυρίως από δύο κατηγορίες πετρωμάτων, πιο συγκεκριμένα από Τριαδικούς κρυσταλλικούς ασβεστόλιθους και Δολομίτες από Ηφκαινικούς φυλλίτες και μια Μειοκαινική γρανιτική διείδυση (Druit et al., 1989). Επίσης, υπάρχει και μια επιπλέον κατηγορία πετρωμάτων που αποτελείται από ηφαιστειακά υλικά που έχουν καταγωγή 1.6 εκατομμύρια χρόνια πριν και φτάνουν μέχρι τις μέρες μας (Ferrara et al., 1980).

Σύμφωνα με μελέτες που έγιναν από σπουδαίους επιστήμονες βρέθηκε πως οι γεωμορφολογικές ενότητες της Θήρας είναι:

1) Η ασβεστολιθική ενότητα, που εκετινεται από τον Προφήτη Ηλία και την Βλυγάδα

Αφορά έναν σχηματισμό που είναι στην νοτιοανατολική πλευρά της Σαντορίνης και αποτελείται κυρίως από κρυσταλλικούς ασβεστόλιθους, δολομίτες και φυλλίτες.

2) Ηφαιστειακά συμπλέγματα

που βρίσκονται κυρίως στη βόρεια πλευρά του νησιού (Προφήτης Ηλίας, Σκάδρος), και αποτελούνται από ανδεσιτικές λάβες.

3) Ασβεστολιθική ενότητα

που βρίσκονται κυρίως στη νοτιοανατολική μεριά του νησιού και αποτελούνται από κρυσταλλικούς ασβεστόλιθους, δολομίτες και φυλλίτες.

4) Νεώτεροι ηφαιστειακοί νήσοι

Πρόκειται για την πιο πρόσφατη δραστηριότητα που παρουσιάστηκε μετά τη δημιουργία της Παλαιάς και της Νέας Καμένης.

5) Περιοχή Καλντέρας,

Είναι η συγκεκριμένη περιοχή, η οποία παρουσίασε την πιο εντυπωσιακή γεωμορφή της Σαντορίνης και μελετήθηκε από πολλούς επιστήμονες κατά τη διάρκεια των χρόνων.

## 7.1 Γεωλογία

Στη Σαντορίνη το ηφαιστειακό πεδίο έγινε αντικείμενο μελέτης από πολλούς ερευνητές μέσα σε βάθος χρόνων με τον Fouque να είναι ο πρώτος που ασχολείται με το πετρολογικό πλαίσιο και τη γεωλογία του. Στη συνέχεια, οι Pichler & Kussmaul περιέγραψαν τα ηφαιστειακά χαρακτηριστικά στις αλληλουχίες της λάβας και παράλληλα προχώρησαν στην ταξινόμηση των ηφαιστειακών πετρωμάτων. Αποτέλεσμα των μελετών, ήταν ένας νέος γεωλογικός χάρτης της νήσου που είχε κλίμακα 1: 20000 στον οποίο παρουσιάστηκε μια στρωματογραφία στο σχήμα του **Reck (Druit et al., 1999)**. Για τον Druit προβάλλεται μια νέα στρωματογραφία και η πυροκλαστική διαδοχή καλείται Πυροκλαστικός Σχηματισμός Θήρας, ο οποίος διαιρείται σε δυο κύκλους. Επίσης, εντοπίστηκαν δώδεκα πυροκλαστικές αποθέσεις στα τοιχώματα της καλδέρας.

Σύμφωνα με την έρευνα των **Nomikou et al. 2012c, 2014b** στο εσωτερικό της καλδέρας είναι δυνατόν να προσδιορισθούν τρεις λεκάνες, οι οποίες έχουν ποικίλα περιβάλλοντα απόθεσης ηφαιστειακού υλικού, που διαχωρίζονται από τη Νέα Καμένη. Εντωμεταξύ, εκείνη που είναι πιο μεγάλη και πιο βαθιά αναπτύσσεται ανάμεσα στα νησιά της Θηρασίας και των Καμένων, καθώς και στο βόρειο τμήμα της καλδέρας. Από την άλλη πλευρά, υφίσταται η δυτική και εκείνη που είναι μικρότερη σε βάθος 325μ και που αναπτύσσεται στην περιοχή μεταξύ Ασπρονησίου, Νότιας Θηρασίας και Π. Καμένης. Ακόμη, η νότια λεκάνη που έχει βάθος 297 μ βρίσκεται ανάμεσα των νήσων Καμένων και στο νότιο τμήμα της καλδέρας.

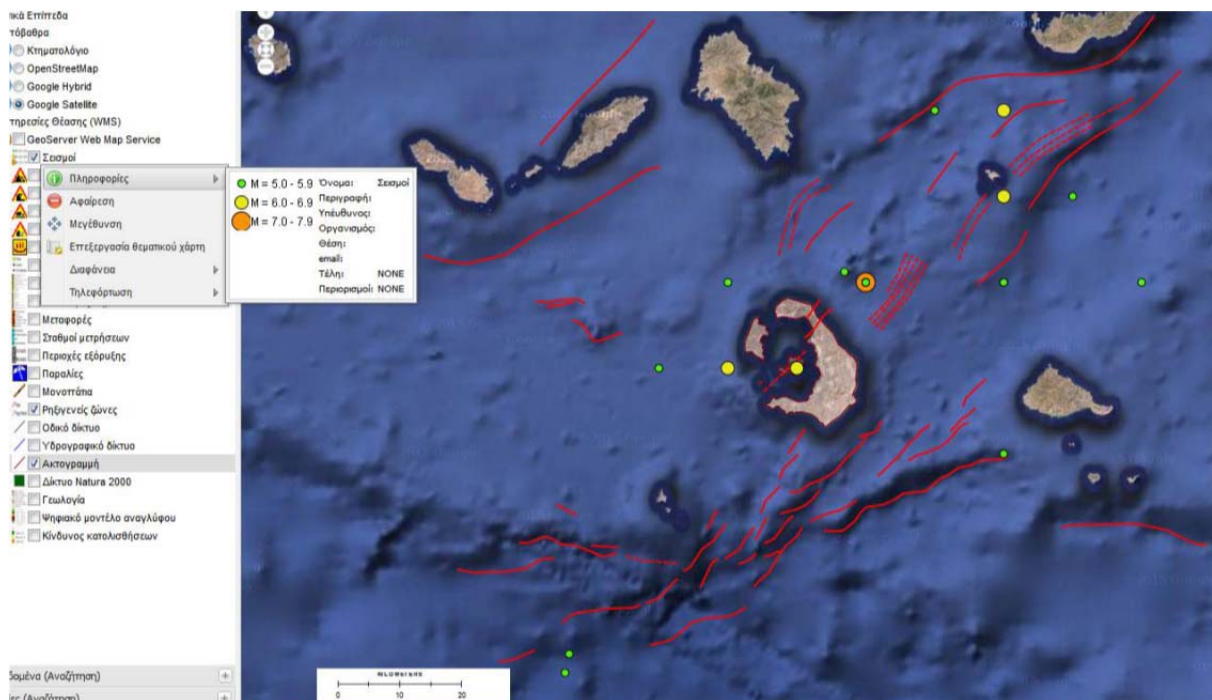
## 7.2 Σεισμοί

Βάσει του καταλόγου της σεισμικότητας παρουσιάζει ομογενές σχήμα σχετικά με το μέγεθος, εφόσον όλα τα μεγέθη σχετίζονται με την κλίμακα σεισμικής ροπής Mw περιλαμβάνοντας σεισμούς που έχουν μέγεθος  $M_w > 6.0$  από το 550 π. Χ. ενώ η τιμή φτάνει στο 4.9 από το 1911 και τελικά στο 4.5 από το 1950 μέχρι το 2010 (Papanikolaou and Papanikolaou, 2007).

Ειδικότερα, τα γεωλογικά στοιχεία δίνουν δεδομένα σχετικά με το ιστορικό προηγούμενων σεισμικών γεγονότων, έχοντας ως σκοπό να βρεθεί ο κύκλος επαναδραστηριοποίησης όπως και για το πιθανό μέγεθος. Ακόμη, η παλαιοσεισμολογία μας πληροφορεί για την επαναδραστηριοποίηση κάποιου ρήγματος υπάρχουν και οι ρυθμοί ολίσθησης όπως και τα πιθανά μεγέθη από προηγούμενους σεισμούς. Ως προς τα ρήγματα

που έχουν μικρό ρυθμό ολίσθησης ρέπουν προς μεγάλα διαστήματα, τα οποία επαναλαμβάνονται από μερικές εκατοντάδες ως και χιλιάδες χρόνια και η πληρότητα της σεισμικότητας για τέτοια γεγονότα καλύπτει ένα διάστημα κάποιων εκατοντάδων χρόνων. Άρα, το διάστημα για την ενόργανη σεισμικότητα μπορεί και καλύπτει μόνο κάποιο μικρό τμήμα του μέσου διαστήματος σχετικά με την επανάληψη ρήγματος (**Papanikolaou, Papanikolaou and Lekkas (2008)**).

**Εικόνα 9: σεισμικότητα Σαντορίνης: τροποποιημένος κατά Parazachos et al. (2000a, 2010), Εργαστήριο Γεωφυσικής Α.Π.Θ. (2015), Feuillet (2013), Druitt (2014) και Nomikou et al. (2016)**



## 8 . Σενάρια επαναδραστηριοποίησης και εκτίμηση ηφαιστειακών κινδύνων

Στη συγκεκριμένη ενότητα παρουσιάζονται δυο σενάρια που υποβλήθηκαν σε μια Έκθεση, η οποία συντάχθηκε από τα μέλη της τέταρτης Υποεπιτροπής Πολιτικής Προστασίας – Ηφαιστειακού Κινδύνου της ΕΕΕΠΗΣ- Ειδικής Επιτροπής Επιστημονικής Παρακολούθησης Ηφαιστείου Σαντορίνης με συντονιστή τον Κ. Μακρόπουλο. Παρότι τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τα σενάρια βασίζονται σε ορισμένες αναλύσεις, οι εκτιμήσεις παρουσιάζουν στοιχεία αβεβαιότητας. Πιο αναλυτικά, τα δεδομένα καθαυτά ενέχουν μια μορφή αβεβαιότητας, που παρουσιάζει μείωση σχετικά με την προοδευτική αύξηση της παρακολούθησης. Επίσης, οι προσομοιώσεις είναι δυνατόν να έχουν αποκλίσεις σε πραγματικό επίπεδο. Ακόμη, τα περιγραφικά φαινόμενα μπορεί να συνδέονται με διαφορετική ένταση όπως και συχνότητα εμφάνισης ή ακόμη και άλλα χαρακτηριστικά από εκείνα που φαίνονται.

Οπότε, τα στοιχεία δεν συνδέονται με πλήρως τεκμηριωμένα αποτελέσματα. Αποτελούν όμως επαρκή στοιχεία για να αναπτυχθούν ρεαλιστικά σενάρια για την πιθανή επαναδραστηριοποίηση που έχει ως στόχο να προβληθεί ένα σχέδιο που έχει αποτελεσματικό χαρακτήρα, Σχέδιο Πολιτικής Προστασίας της Σαντορίνης, απέναντι στον κίνδυνο του ηφαιστείου. Σχετικά με τον περιορισμό των αβεβαιοτήτων είναι δυνατόν αυτός να επιτευχθεί, μέσα από τη συνεχή παρακολούθηση και την ορθή αξιολόγηση των πληροφοριών. Είναι ακόμη αναγκαίο, να χρησιμοποιούνται στοιχεία, όπως και συμπεράσματα από αντίστοιχες έρευνες, ώστε να επέρχεται η επικαιροποίηση των σεναρίων και των εκάστοτε εκτιμήσεων. Όπως θα γίνει λόγος και στη συνέχεια, τον Ιανουάριο του 2011 στη Σαντορίνη, είχαν καταγραφεί αρκετές μεταβολές όπως σεισμικότητα, παραμόρφωση στο τοπογραφικό ανάγλυφο, χημισμός των θερμών ρευστών και των εδαφικών αερίων. Πρόκειται για μεταβολές που ξεπερνούν τα όρια που εκλαμβάνονται ως φυσιολογική κατάσταση για το ηφαιστειακό κέντρο των Καμένων. Το ηφαιστειακό λοιπόν οικοδόμημα των Καμένων όπου είχαν εκδηλωθεί τόσο οι εδαφικές όσο και οι υποθαλάσσιες εκρήξεις μέσα στην καλδέρα και που ξεκινούν από το 197 π. Χ φτάνοντας σταδιακά στο 1950, έχοντας ως τελικό αποτέλεσμα τις νησίδες Παλαιά και Νέα Καμένη, όπως και υποθαλάσσιους υφάλους.



Σε διάφορες περιπτώσεις επαναδραστηριοποίησης των ηφαιστείων ο όγκος του μάγματος που τελικά παράγεται είναι πολλαπλάσιος σχετικά με αυτόν που επέρχεται από τις εκτιμήσεις μέσα από την τοπογραφική παραμόρφωση. Η συγκεκριμένη κατάσταση συνδέεται με τη συμπεριφορά των αερίων της μαγματικής μάζας οι οποίες συσσωρεύονται στον θάλαμο. Καθώς μάλιστα συγκεντρώνεται η πλειοψηφία των σεισμικών γεγονότων του 2011 στο μήκος της γραμμής Καμένης παρουσιάζονται οι πόροι για τις υποβρύχιες όπως και τις χερσαίες ηφαιστειακές δράσεις που είναι μέσα στην καλντέρα. Τα σενάρια επαναδραστηριοποίησης του ηφαιστείου της Σαντορίνης που ακολουθούν αναφέρονται

- Σε μια ακραία περίπτωση υποπλινιακή
- Σε μια πιο πιθανή περίπτωση έκρηξης τυπική

Στην πρώτη περίπτωση της υποπλινιακής έκρηξης αξίζει να σημειωθεί ότι δεν έχουμε τέτοιου είδους εκρήξεις στο πρόσφατο παρελθόν, παρά μόνο το 726 ένα σχετικό γεγονός στον όρμο της Παλαιάς Καμένης. Είχε αποθέσει σκωριώδη λάβα δίπλα και βόρεια του Αγίου Νικολάου Παλαιάς Καμένης, διασπείροντας ηφαιστειακή στάχτη στο ανατολικό Αιγαίο. Τα γεγονότα της Μινωικής έκρηξης καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι δεν είναι απίθανη μια έκρηξη τέτοιας μορφής, οπότε είναι ανάγκη να ληφθεί υπόψιν ο σχεδιασμός της Πολιτικής Προστασίας. Κατά τη Μινωική έκρηξη η εκρηκτική στήλη είχε ύψος από 7 έως 10 χλμ και διάρκεια 30 έως 40 λεπτά. Βάσει των σημερινών δεδομένων, μια έκρηξη τέτοιας μορφής θα έφερε την εκκένωση τμήματος της Θήρας σύμφωνα με τη φορά των ανέμων.

Ποιο είναι το πιο πιθανό σενάριο: το πιο πιθανό ηφαιστειακό γεγονός που από τους ερευνητές καλείται ως *πιθανότερο σενάριο* είναι το κάτωθι.

Μια επαναδραστηριοποίηση μέσα στην καλντέρα που παραπέμπει σε ιστορικού τύπου δραστηριότητα, λειτούργησε επικουρικά στη δημιουργία νησίδων Παλαιάς και Νέας Καμένης. Στο μήκος της ζώνης ενδοκαλδερικών κέντρων σε πλάτος 2 χλμ και μήκος 13 χλμ ΒΑ αναμένεται ο εντοπισμός νέων ηφαιστειακών πόρων, στην περίπτωση του πιθανού σεναρίου. Τα πρόδρομα φαινόμενα μπορεί να είναι τα εξής:

- Σεισμοί έντασης 4 έως 6 στην κλίμακα Μερκάλι
- Βύθιση της περιοχής σε αργό ρυθμό
- Θερμική ανωμαλία

- Διάχυση μεγάλων όγκων υδροθερμικών ρευστών
- Αλλαγή του χρώματος της θάλασσας σε κίτρινο- πράσινο
- Τα παραπάνω λαμβάνουν χώρα μεταξύ ολίγων εβδομάδων έως και μηνών προτού εκδηλωθεί η ηφαιστειακή δράση

Πώς αναμένεται η εξέλιξη: Κατά τα πρώτα στάδια της ηφαιστειακής δράσης ο ρυθμός που εξελίσσεται το φαινόμενο μπορεί να είναι από πολύ αργός μέχρι γρήγορος. Οι εκρήξεις των ετών 1707 και 1866 ήταν σε αργή εξέλιξη, όπου το μάγμα που είναι στο βάθος είναι φτωχό σε αέρια. Η διάχυση είναι ήπια, δίχως εκρηκτικά φαινόμενα και διεισδύει κάτω από τα πετρώματα, τα οποία προϋπήρχαν προκαλώντας ανθόλωση και καταλήγοντας σε ανάδυση της περιοχής, εάν το περιβάλλον είναι σε θαλάσσιο περιβάλλον που είναι ρηχό όπως για παράδειγμα στο Ασπρονήσι κατά την έκρηξη του 1707 έως 1711. Με τις εκρήξεις του 1925 και 1939 η εξέλιξη ήταν ταχεία και μετά από λίγες ώρες εκδηλώθηκαν οι πρώτες υδροθερμικές εκτονώσεις και εκρήξεις διάνοιξης πόρου που και εμφανίζονταν ρευστό μάγμα.

Στο σενάριο που εξετάζεται αναλόγως με τη γρήγορη είτε μη εξέλιξη το μάγμα εξέρχεται στην επιφάνεια με τη μορφή της λάβας και σε θερμοκρασίες, οι οποίες είναι ανάμεσα σε 850 και 950 βαθμούς Κελσίου. Με την πρώτη μαγματική δράση οικοδομείται ένας λόφος λάβας που αναπτύσσεται ολόενα σε διάμετρο, όπως και ύψος και τροφοδοτείται με ρευστό μάγμα. Κατά τις πρώτες εβδομάδες μαγματικής δράσης αργής εξέλιξης δεν εκδηλώνονται εκρηκτικά γεγονότα που είναι αξιόλογα. Κατά τη φάση αυτή γίνεται τροφοδοσία από το μάγμα που υπάρχει στα ανώτερα στρώματα του μαγματικού θαλάμου όπου η αέρια φάση διαφεύγει με παθητικό τρόπο. Εκρήξεις που χαρακτηρίζονται ως αξιόλογες αρχίζουν να εκδηλώνονται και είναι Βουλκάνιου τύπου. Ο ηφαιστειακός αγωγός μέσα από τον οποίο πραγματοποιείται η τροφοδοσία του μάγματος έχει φραγεί από ένα πώμα στερεοποιημένου μάγματος και η αέρια φάση του μάγματος συσσωρεύεται κάτω από το πώμα. Αναλυτικότερα, όταν η πίεση υπερβεί το όριο της λιθοστατικής πίεσης, αλλά και τις δυνάμεις συνοχής τότε το ανατινάσσει και καταλήγει σε μια έκρηξη. Οι εκρήξεις αυτές είναι βουλκάνιου τύπου και ο ήχος τους παραπέμπει σε ήχο κανονιού.

Στη συνέχεια, εκτινάσσεται ένας μεγάλος όγκος από ογκόλιθους, και από τεμάχια και λιθάρια λάβας σε μια απόσταση η οποία δεν μπορεί να υπερβαίνει τα 1000 μέτρα από τον πόρο της εκτίναξης. Παράλληλα, παρατηρείται η εκτίναξη τέφρας, κατακερματισμένη λάβα που έχει μέγεθος <math><2\text{mm}</math>, δημιουργώντας ένα νέφος το οποίο κυμαίνεται ανάμεσα σε 800-

1200 μέτρα όταν οι εκρήξεις είναι κανονικές, ενώ φτάνει τα 2500-3000 μέτρα όταν οι εκρήξεις είναι ισχυρές. Στις εκρήξεις των Καμένων το μέγιστο ύψος που λαμβάνει η ηφαιστειακή στήλη είναι 3200 μέτρα στις 19. 8. 1925, δηλαδή μια εβδομάδα κατόπιν της έναρξης της ηφαιστειακής δράσης τη συγκεκριμένη περίοδο.

Τα στοιχεία του ηφαιστειακού νέφους είναι από μίγμα στάχτης, μαγματικών αερίων (CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, SO<sub>2</sub>, HCl, CO κ.α..) και υπέρθερμων υδρατμών στον αέρα εξαιτίας της αρχικής ώθησης, αλλά και λόγω της διαφοράς θερμοκρασίας και πυκνότητας με την ατμόσφαιρα. Επάνω από τον πόρο εξόδου, το νέφος ελέγχεται από τους ανέμους. Η φορά, όπως και η ένταση αυτών, ορίζει την περιοχή όπου κινείται το νέφος, αλλά ακόμη το πάχος της στάχτης που θα αποθέσει, καθώς και την κατανομή των μαγματικών αερίων στον χώρο που καλύπτει. Καμία βουλκάνια έκρηξη δεν είχε θύματα στη Σαντορίνη, ούτε έντονα θέματα προς τους κατοίκους ή τα κτίρια. Στην έκρηξη του 1866-70 υπάρχουν 2 νεκροί και 4 τραυματίες από λάβα. Τα θύματα ήταν σε μικρή απόσταση από τον πόρο της έκρηξης. Τα πιο σοβαρά προβλήματα των εκρήξεων στους κατοίκους του νησιού είναι η λεπτόκοκκη στάχτη και τα ηφαιστειακά αέρια. Τα παραπάνω ευθύνονται για αναπνευστικά, όπως και οφθαλμολογικά προβλήματα, αλλά και για την καταστροφή καλλιεργειών ή ακόμη και μόλυνση αποθεμάτων του βρόχινου νερού από την όξινη βροχή. Στην περίπτωση που ο πόρος του ηφαιστειακού κέντρου διανοιχτεί από βουλκάνια έκρηξη, η έκρηξη αποτελεί «παραγωγή στάχτης» (ash venting) είτε έκρηξη Σακουρατζίμα: δηλαδή είναι διαρκείς εκρήξεις οι οποίες εκτοξεύουν ηφαιστειακή στάχτη, και που τροφοδοτούν συνεχώς μία εκρηκτική στήλη.

Οι εκρήξεις σχετίζονται με το ποσοστό περιεχομένου της αέριας φάσης στο μάγμα το οποίο τροφοδοτεί τη δράση, όπως και τον ρυθμό αυτής της τροφοδοσίας. Οι εκρήξεις έχουν διάρκεια 40 έως 60 λεπτών. Το ύψος που έχει η στήλη υπολογίζεται 500 έως και 1000 μέτρα. Επίσης, η απόσταση που εκτοξεύονται τα κομμάτια λάβας, καθώς και τα πετρώματα φτάνει μέχρι τα 1000 μέτρα. Τα μεγάλα εκρηκτικά επεισόδια είναι περίπου 2-3 λεπτά και το νέφος έχει ύψος 3000-3200 μέτρα. Τέλος, τα βαλλιστικά αναβλήματα φτάνουν στα 2000 μέτρα απόσταση από τον πόρο της έκρηξης.

Όταν εκδηλώνονται ρυθμικά εκρηκτικά επεισόδια οι εκρήξεις είναι περισσότερες από 60 ανά λεπτό. Οι τελευταίες, τροφοδοτούν διαρκώς την εκρηκτική στήλη με σποδό. Υπάρχουν περίοδοι μερικών ημερών, εβδομάδων είτε και μηνών, όπου επικρατεί η

εκρηκτική δράση, αλλά και περίοδοι όπου κυριαρχεί η ήπια εξωθητική - εκχυτική δράση, δηλαδή οι θόλοι και τα ρεύματα λάβας.

Η εκχυτική φάση, εκδηλώνεται ως επί το πλείστον αμέσως κατόπιν της αρχικής εξωθητικής φάσης, πρόκειται για τη δημιουργία θόλων. Το μήκος που έχουν οι ροές λάβας είναι ανάμεσα σε 500 έως και 1000 μέτρα. Η ταχύτητα μετατόπισης του μετώπου της ροής είναι σχεδόν 3 μέτρα ανά ώρα πρώτη φάση της ροής, φτάνοντας μέχρι και δέκα φορές να γίνεται πιο αργή, δηλαδή περίπου 0,3 ανά ώρα κατά την τελική φάση της ροής. Τα προαναφερθέντα στοιχεία μπορούν να χαρακτηρισθούν ως σταθερά και έχουν υπολογισθεί, βάσει της σύστασης της λάβας στη Σαντορίνη σε όλες τις ιστορικές εκρήξεις.

Οι πόροι της ηφαιστειακής δράσης είναι από 1-6 , και βρίσκονται στη ζώνη της γραμμής Καμένων. Ενεργοποιούνται διαδοχικά ή σύγχρονα απέχοντας μεταξύ τους από δεκάδες μέχρι αρκετές εκατοντάδες μέτρα. Συνήθως, μετατοπίζονται στο διάστημα της δράσης, σε κατευθύνσεις BA-NΔ ή B-N. Η διάρκεια που τα ηφαιστειακά κέντρα είναι ενεργά, διαρκεί 1 - 5 χρόνια, και στατιστικά βρίσκεται σε ευθεία αντιστοιχία με τη διάρκεια της περιόδου ηρεμίας από το πρότερο ηφαιστειακό επεισόδιο. Οπότε, εάν επαναδραστηριοποιηθεί το ηφαιστειακό κέντρο των Καμένων, πιθανώς θα διατηρηθεί ενεργό 3 χρόνια.

Η παραγωγή μάγματος από αυτό, βάσει των στοιχείων του παρελθόντος, από το 1614 π.Χ. μέχρι σήμερα, αλλά και σύμφωνα με το συνολικό όγκο του οικοδομήματος των Καμένων, έχει ρυθμό ο οποίος κυμαίνεται από  $0,9\sim 1,7\cdot 10^6$  m<sup>3</sup> ανά έτος.

Δεν είναι γνωστός με ακρίβεια ο συνολικός όγκος των προϊόντων που παράγονται από την ηφαιστειακή δράση, οπότε δεν επιτρέπει να επιβεβαιωθεί ότι ο ρυθμός της παραγωγής μάγματος έχει σταθερότητα μέσα σε βάθος χρόνου, αλλά και σε αντιστοιχία ανάμεσα στο διάστημα ηρεμίας δυο διαδοχικών δράσεων. Αξιόπιστη εκτίμηση όγκου συνδέεται με τη δράση του 1925-1928, με τον όγκο των ηφαιστιτών να φτάνει τα  $100\cdot 10^6$  m<sup>3</sup>.

Ο ρυθμός παραγωγής μάγματος ανά έτος μεταξύ των χρονικών περιόδων 1870-1925 γύρω στα  $1,8\cdot 10^6$  m<sup>3</sup>, είναι η τιμή για τη μέγιστη εκτίμηση του μέσου ρυθμού παραγωγής μάγματος. Βάσει αυτών των στοιχείων, ο όγκος των προϊόντων για μία επαναδραστηριοποίηση των Καμένων, κυμαίνεται ανάμεσα σε 105 και  $122\cdot 10^6$  m<sup>3</sup>, εάν εκληφθεί η τελευταία δράση του 1950 ή του 1941. Οπότε, το μάγμα που έχει μετακινηθεί σε ρηχό περιβάλλον στην τρέχουσα κρίση ( $14\cdot 10^6$  m<sup>3</sup>) έχει αντιστοιχία 11% ή ακόμη 13% σε ό,τι αναμένεται από ενδεχόμενη έκρηξη. Ενδέχεται ότι υπολείπεται η παραγωγή περίπου  $90\text{-}108\cdot 10^6$  m<sup>3</sup> μάγματος , ώστε να εκδηλωθεί μια ηφαιστειακή δράση, ενώ είναι άγνωστος ο

συνολικός όγκος μάγματος που μετακινείται στο ρηχό περιβάλλον από το 1950 έως σήμερα. Σε διάφορες περιπτώσεις επαναδραστηριοποίησης ηφαιστείων ο όγκος του μάγματος είναι πολλαπλάσιος από τις εκτιμήσεις μέσω τοπογραφικής παραμόρφωσης.

### 8.1 Περιγραφή κινδύνων κατά συνοπτικό τρόπο – μέτρα περιορισμού και αποκατάστασης

**Επιπτώσεις στις υποδομές:** οι βλάβες που επιφέρει μια σεισμική δόνηση σε επίπεδο κατασκευών συνδέονται με ποικίλες παραμέτρους, δηλαδή

- με το μέγεθος που έχει ο σεισμός
- με το βάθος που βρίσκεται η εστία
- με τον τόπο παρατήρησης
- με το μέσον για τη διάδοση των σεισμικών κυμάτων
- με την ποιότητα του εδάφους
- με την τρωτότητα της κατασκευής και εν γένει τα ποιοτικά χαρακτηριστικά της

Βάσει των δεδομένων και των σεισμών του παρελθόντος, οι ισχυροί σεισμοί προκαλούν βλάβες σε κτίρια, δημόσια και ιδιωτικά, σε ιστορικά μνημεία όπως και στα δίκτυα ύδρευσης, ηλεκτρισμού και τηλεπικοινωνιών. Αξιοσημείωτο είναι ότι οι ανθρώπινες συνέπειες, δηλαδή τραυματισμός και θάνατος είναι πιο σημαντικές και συνήθως προκαλούνται, όταν συγκεντρώνεται πολύς κόσμος κατά τη διάρκεια του σεισμού. Χαρακτηριστικό επίσης είναι ότι οι προκείμενες βλάβες στα διάφορα δίκτυα των τηλεπικοινωνιών, επιφέρουν δυσκολία τόσο στην ποιότητα ζωής των σεισμόπληκτων όσο και τη δυσχέρεια που προκαλείται σε ομάδες έκτακτης ανάγκης για τη διάδοση και την παροχή βοήθειας.

Σχετικά με τους εγκλωβισμένους δεν υπάρχει δυνατότητα επικοινωνίας με τις ομάδες, οι οποίες μπορούν να παράσχουν βοήθεια. Δεν υπάρχει επικοινωνία ούτε με τον άμεσο κύκλο των συγγενικών τους προσώπων. Οι βλάβες ακόμη που έχουν προκληθεί στο δίκτυο του ηλεκτρικού ρεύματος είναι δυνατόν να καταλήξουν σε πυρκαγιές, αλλά και γενικότερους τραυματισμούς είτε θανάτους, για παράδειγμα μπορεί να προκληθεί ηλεκτροπληξία από τα ηλεκτροφόρα καλώδια που έχουν κοπεί. Τα παραπάνω είναι αποθαρρυντικά για τις ομάδες διάσωσης και μεγεθύνουν την ανασφάλεια που χαρακτηρίζει τους σεισμόπληκτους. Όταν προκύπτουν βασικές βλάβες στην ύδρευση οι πληγέντες αποστασιοποιούνται και από την βασική υγιεινή. Το οδικό δίκτυο, αρτηρίες και λιμάνια δεν λειτουργούν κατά τρόπο άρτιο,

ώστε η πρόσβαση στις πληγείσες περιοχές να μην είναι ομαλή. Οι κατολισθήσεις και οι πτώσεις αντικειμένων διακόπτουν ακόμη την κυκλοφορία. Τέλος, πυρκαγιές συχνά προκαλούνται από τον σεισμό καθαυτόν, στοιχείο που φέρει επίσης δυσλειτουργία στην περαιτέρω επαφή και επικοινωνία με τους σεισμόπληκτους.

**Οι κίνδυνοι:** ηφαιστειογενείς σεισμικές δονήσεις

**Πρόδρομα φαινόμενα :** μεγαλύτερη συχνότητα σεισμικών γεγονότων μικρού μεγέθους, αύξηση σεισμικής ενέργειας και μείωση των υπόκεντρων σεισμικών γεγονότων

Πιο πιθανό σενάριο: δόνηση  $M= 4.8$  με εστιακό βάθος 3-4 χλμ.

Ακραίο σενάριο:  $M= 5.2$  με εστιακό βάθος 3-6 χλμ.

**Περιοχή της Σαντορίνης που επηρεάζεται :** αναμένεται να επηρεαστεί περισσότερο το σύμπλεγμα Φηρά- Φηροστεφάνι- Ημεροβίγλι και οικισμοί της νοτιής προέκτασης της γραμμής Καμένης, φτάνοντας σε εντάσεις έως το 7 Μερκάλι κλίμακας. Στις άλλες περιοχές οι εντάσεις αναμένεται να φτάνουν το 6. Ποιες περιοχές δεν επηρεάζονται : Μονόλιθου του Πύργου, του Εμπορείου, του Μεγαλοχωρίου, του Ακρωτηρίου, Περίσσας και Καμαρίου.

**Περιοχές που επηρεάζονται- ακραίο σενάριο-:** Φηρά- Φηροστεφάνι- Ημεροβίγλι με εντάσεις μέχρι το 8 κλίμακας Μερκάλι. Ακόμη, οι περιοχές Βουρβούλος και Μεσαριά με εντάσεις 7 -8. Επίσης, οι περιοχές Μανωλάς (Θηρασιά), Μεγαλοχώρι, Ακρωτήρι και Οία με εντάσεις 6 -7 της ίδιας κλίμακας.

**Πτώση ηφαιστειακής στάχτης:** η ηφαιστειακή στάχτη θα έχει μέγεθος 3 έως 12 χλμ και θα μεταφέρεται με ανέμους

**Πιθανότερο σενάριο:** θα επηρεαστεί όλη η περιοχή της Σαντορίνης και δη οι νότιες και κεντρικές περιοχές με ύψος ηφαιστειακής στήλης 3 χλμ.

**Ακραίο σενάριο:** Όλο το νησί και ίσως γειτονικά νησιά που είναι σε ακτίνα 40 χλμ. από το ηφαιστειακό νέφος καταπίπτει ηφαιστειακή στάχτη έως 10 χλμ με τη φορά του ανέμου και επηρεάζεται ως επί το πλείστον η νότια και κεντρική Θήρα.

Ποιες είναι οι πρωτογενείς επιπτώσεις: Προβλήματα προκαλούνται στην υγεία από τη στάχτη που αιωρείται και τα θέματα που προκαλούνται είναι σε αναπνευστικό, οφθαλμολογικό και δερματολογικό επίπεδο. Ειδικότερα δυσχέρεια στην αναπνοή σε όσους ήδη πάσχουν από τέτοιου είδους προβλήματα. Μπορεί να επέλθει ακόμη και Σιλίκωση .

Επίσης, ερεθισμός στους οφθαλμούς ( δακρύρροια, επιπεφυκίτιδα, ερεθισμός στον κερατοειδή). Ενδεικτικά δευτερογενή προβλήματα προκαλούνται λόγω της υπερθέρμανσης και της διακοπής του ηλεκτρικού ρεύματος. Εξαιτίας της μείωση ορατότητας προκαλούνται ατυχήματα και λόγω της μόλυνσης του πόσιμου νερού προκαλούνται προβλήματα στην υγεία. Δυσλειτουργία ακόμη

- στις τηλεπικοινωνίες
- σε δίκτυα ενέργειας
- σε θέματα ύδρευσης και αποχέτευσης
- σε καλλιέργειες και την κτηνοτροφία

Οι ροές λάβας και η δημιουργία ηφαιστειακού θόλου: το πιο πιθανό και ακραίο σενάριο είναι να επηρεαστούν οι περιοχές Νέας και Παλαιάς Καμένης .

**Τσουνάμι που προκαλείται από υποθαλάσσιες εκρήξεις ή από κατολισθήσεις πρανών:** δημιουργείται ένα θαλάσσιο κύμα βαρύτητας μεγαλώνει, όταν προσεγγίζει τις ακτές. Γίνονται υδροθερμικές εκρήξεις διάνοιξης πόρου και σεισμική δραστηριότητα ανά περίπτωση με ανύψωση είτε βύθιση χώρου. Οι περιοχές που είναι πιθανότερο να πληγούν είναι το λιμάνι του Αθηνιού όπως και οι όρμοι στην καλντέρα.

## 9. Κλίμα Σαντορίνης

Μετά από ενδελεχή έρευνα που πραγματοποιήθηκε τα χρόνια 2000-2012, αποτυπώθηκαν από επιστήμονες τα δεδομένα που αφορούν το κλίμα στις Σαντορίνης. Πιο συγκεκριμένα, διαπιστώθηκε πως το κλίμα της Σαντορίνης είναι δροσερό εξαιτίας των βορειοανατολικών ανέμων. Αναφορικά με τις βροχές, παρατηρήθηκε πως αυτές είναι συχνές το χειμώνα και σχεδόν ανύπαρκτες στη διάρκεια του καλοκαιριού. Οι μήνες Μάρτιος, Απρίλιος, Μάιος χαρακτηρίζονται από ζεστές θερμοκρασίες, ενώ οι μήνες Ιούνιος και Σεπτέμβριος από ηλιόλουστες ημέρες με μέτριες θερμοκρασίες και ξηρό κλίμα κατά τις βραδινές ώρες (Tema, 2017): .

Επίσης, το κλίμα του νησιού της Σαντορίνης παρουσιάζει ιδιομορφίες που κυρίως οφείλονται (Tema, 2017):

- Την περίοδο της άνοιξης παρατηρείται δροσιά τις πρωινές ώρες και ομίχλη τις βραδινές

- Το χρώμα του εδάφους, επειδή είναι λευκό έχει αυξημένη ακτινοβολία και παράλληλα απορροφά περιορισμένη ηλιακή θερμότητα
- Παρατηρείται υψηλή μέση σχετική υγρασία
- Η ένταση των ανέμων έχει διαπιστωθεί πως είναι μεγαλύτερη σε σχέση με τα άλλα νησιά των Κυκλάδων
- Η μέση θερμοκρασία είναι αρκετά μικρότερη από τα υπόλοιπα νησιά των Κυκλάδων

Επιπρόσθετα, διαπιστώθηκε πως το νησί ανήκει στον ημίξηρο βιοκλιματικό τύπο και ο χαρακτήρας του μεσογειακού κλίματος της Θήρας είναι ο Ξηροθερμομεσογειακός. Πιο συγκεκριμένα, άνεμοι του Αιγαίου που εμφανίζονται από τον Μάιο έως τον Σεπτέμβριο είναι άνεμοι βορείων διευθύνσεων, τα ονομαζόμενα μελτέμια. Τον Ιούλιο και τον Αύγουστο τα μελτέμια παρουσιάζουν μεγαλύτερες εντάσεις και διαρκούν από δυο έως τέσσερις ημέρες, ενώ οι άνεμοι έχουν μεγαλύτερη ένταση περίπου στις 2 το μεσημέρι. (D'Alessandro et al., 2013). Χαρακτηριστικό γνώρισμα των ανέμων είναι η αυξομείωση τους.

Την χειμερινή περίοδο οι άνεμοι φθάνουν έως και 9 μποφόρ και μεγαλύτερη ένταση παρουσιάζουν στα στενά του Καφηρέα και στις Κυκλάδες. Επιπλέον, η θαλάσσια περιοχή του Αιγαίου το χειμώνα είναι ψυχρή και πνέει ο Σιρόκος, ένας υγρός άνεμος που συνοδεύεται από χαμηλά σύννεφα και βροχές. Ο άνεμος αυτός εμφανίζεται κυρίως στις νότιες περιοχές του Αιγαίου, αλλά ο θυελλώδης αυτός άνεμος δεν εμφανίζεται σε συχνά χρονικά διαστήματα (D'Alessandro et al., 2013).

## 10. Σεισμική δραστηριότητα 1950 – 2012

Τα νησιά των Κυκλάδων έχουν χαρακτηριστεί από χαμηλή σεισμική δραστηριότητα έως το 2000, η οποία επικεντρώνεται στην περιοχή ανάμεσα της Σαντορίνης και της Αμοργού. Ο Νέος Χάρτης Ζωνών Σεισμικής Επικινδυνότητας αναφέρει πως οι Κυκλάδες ανήκουν στην ζώνη I, ενώ εξαίρεση αποτελεί η περιοχή της Σαντορίνης, της Αμοργού και της Ανάφης, αφού ανήκουν στη ζώνη II με εδαφική επιτάχυνση 0,24 (Papadimitriou et al., 2012).

Ένα από τα πιο σημαντικά γεγονότα, τα οποία καταγράφηκαν σε αυτή τη ζώνη ήταν ο σεισμός της Αμοργού ενώ μέχρι το 1990 δεν υπήρχε τοπικό σεισμολογικό δίκτυο. Κατά τα επόμενα χρόνια εγκαταστάθηκαν στο νησί της Σαντορίνης, καθώς και τα γύρω νησιά σταθμοί από το Α.Π.Θ και το ΓΕ.ΙΝ. που στόχευαν στην καταγραφή της μικροσεισμικότητας. Τα δεδομένα που συλλέχθηκαν έδειξαν σεισμική δραστηριότητα στη



ζώνη Σαντορίνης-Αμοργού, μικρότερη δραστηριότητα στη βορειοανατολική πλευρά της Σαντορίνης, όπως και στο υποθαλάσσιο ηφαίστειο Κολούμπο και χαμηλότερη στην καλδέρα (Papadimitriou et al., 2012).

Πιο αναλυτικά, η περιοχή του ηφαιστειακού συγκροτήματος του νησιού της Σαντορίνης χαρακτηρίζεται από ένα πολυσύνθετο δίκτυο ρηγμάτων. Ο σεισμός που έγινε το 1956 ήταν καταστρεπτικός και είχε εκδηλωθεί κατά μήκος του ρήγματος της Αμοργού. Από εκείνη την περίοδο, η σεισμική δραστηριότητα ήταν εστιασμένη στην περιοχή Ανάφης και Αμοργού και στη λεκάνη Άνδρου. Το 1995 επίσης, καταγράφηκε αύξηση της σεισμικής δραστηριότητας σε σχέση με το 1990 η οποία είχε φτάσει στο μέγιστο σημείο το 1996 με μία σηνοσειρά μεγεθών  $M=3,8-4,2$  (Papadimitriou et al., 2012). Στη συνέχεια, τα επόμενα χρόνια καταγράφηκαν 3 γεγονότα που έλαβαν χώρα κοντά στο υποθαλάσσιο ηφαίστειο Κολούμπο. Πιο συγκεκριμένα, στις 26 Ιουνίου 2003 καταγράφηκε σεισμική δραστηριότητα μεγέθους 4,1 ρίχτερ με έντονη μετασεισμική ακολουθία, η οποία σημειώθηκε από το τοπικό σεισμολογικό δίκτυο. Το εστιακό βάθος ήταν μεταξύ 5 και 16 χιλιομέτρων σε κάθετη κατανομή. Έπειτα, στις 26 Ιουνίου 2009 έγιναν δυο σεισμοί μεγέθους 4.9 και 4.7 ρίχτερ στην ίδια περιοχή, με υπόκεντρα σε στενή ζώνη 5 χιλιομέτρων κάτω από το Κολούμπο. Επίσης, το 2010 εκδηλώθηκαν σεισμοί, οι οποίοι χαρακτηρίστηκαν από ανάστροφα ρήγματα.

Επιπρόσθετα, μεγαλύτερη σεισμική δραστηριότητα καταγράφηκε κατά μήκος της βορειοανατολικής και βορειοδυτικής περιοχής Σαντορίνης – Κολούμπο, με χαρακτηριστικά οριζόντιας ολίσθησης. Στη ζώνη αυτή το Κολούμπο παρουσίασε υδροθερμική δραστηριότητα. Ακόμη, οι περιοχές Άνδρου και Κολούμπο παρουσίασαν χαμηλή σεισμικότητα με κάποιας έντονα ξεσπάσματα τα προηγούμενα χρόνια τα οποία και κορυφώθηκαν το 2007. Αναφορικά με την καλδέρα, δεν παρουσιάστηκε σεισμικότητα στη δεκαετία 2000-2010, παρά μόνο μερικά σποραδικά γεγονότα (Papadimitriou et al., 2012).

Τον Ιανουάριο του 2011, ξυπνάει ξανά το ηφαίστειο με ένα σημαντικό σεισμικό σμήνος, το οποίο άμεσα επεκτάθηκε σε όλη την ακτίνα. Η παραμόρφωση απεικονίζεται από ένα δίκτυο 19 ερευνών και 5 συνεχών σταθμών GPS, που έδειξαν ότι από τις 21 Ιανουαρίου 2012, το ηφαίστειο έχει επεκταθεί πλευρικά από ένα σημείο μέσα στο βόρειο τμήμα της καλντέρα περίπου 140mm και το οποίο επεκτείνεται σε 180mm ανά έτος. Μια σειρά μοντέλων από σφαιρικές πηγές, δείχνουν ότι η πηγή δεν μεταναστεύει /μετακινείται σημαντικά, αλλά ότι τελικά παραμένει περίπου 4 χιλιόμετρα βάθος και έχει επεκταθεί από 14 εκατομμύρια  $m^3$  από τότε που άρχισε. Στις 9 Ιανουαρίου 2011 ξεκίνησε μια ανώμαλη

σειρά σεισμών μέσα στην καλντέρα, όπου η πρώτη δραστηριότητα παρατηρείται μέσα στην καλντέρα με σύγχρονο σειсмоγραφικό δίκτυο, για παράδειγμα ( Dimitriadis et al, 2010) και πιθανώς η πιο σημαντική από την τελευταία αναδυόμενη ακολουθία η οποία λήγει το 1950. Η σεισμικότητα καταγράφεται από ένα αυξανόμενο τοπικό δίκτυο μέχρι δέκα σεισμόμετρα, τα οποία λειτουργούν από το Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης και το Ινστιτούτο Μελέτης και Παρακολούθησης του Ηφαιστείου της Σαντορίνης. Από τις 9 Ιανουαρίου 2011 και μέχρι 21 Ιανουαρίου 2012 οι σεισμοί έχουν παραμείνει κάτω από το τοπικό μέγεθος  $ML \leq 3,2$  παρουσιάζοντας μια κάθετη βλάβη ακριβώς κάτω από τα νησάκια Καμένη. (Andrew V. Newman,<sup>1</sup> Stathis Stiros,<sup>2</sup> Lujia Feng,<sup>1,3</sup> Panos Psimoulis,<sup>2,4</sup> Fanis Moschas,<sup>2</sup> Vasso Saltogianni,<sup>2</sup> Yan Jiang,<sup>5</sup> Costas Papazachos,<sup>6</sup> Dimitris Panagiotopoulos,<sup>6</sup> Eleni Karagianni,<sup>6</sup> and Domenikos Vamvakaris<sup>6</sup> Received 8 February 2012; revised 5 March 2012; accepted 6 March 2012; published 30 March 2012 GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS, VOL. 39, L06309, doi:10.1029/2012GL051286, 2012)

Τα κέντρα των ηφαιστειών της Σαντορίνης, των Χριστιανών περίπου 25 χλμ νοτιοδυτικά όπως και του Κολούμπο που βρίσκεται 7 χλμ βορειοανατολικά όπως και τα επίκεντρα του βασικού σεισμού και εκείνου που έγινε το 1956. Βρίσκονται επάνω στην ίδια νοητή ευθεία που έχει κατεύθυνση ΒΑ-ΝΔ ( Papadopoulow & Pavlides, 1992). Ακόμη, βασικό σημείο από τη σεισμική δραστηριότητα του 2011- 2012 όπως και η κατεύθυνση που είναι οι ηφαιστειακοί πόροι έχουν συγκεντρωθεί σε μήκος της ζώνης Χριστιανών-Σαντορίνης- Κολούμπο – Αμοργού. Η ζώνη αυτή είναι ρηξιγενής και περιλαμβάνει δυο ζώνες των Καμμένων και του Κολούμπο. Αυτές είχαν βασικό ρόλο στη διευθυντικότητα της σεισμικότητας, όπως και της ηφαιστειογενούς δράσης στο παρελθόν (Vougioukalakis and Fytikas, 2005).

Οι σεισμοί εμφανίζονται σε βάθος 1 και 6 χιλιομέτρων και εκτείνονται πλευρικά στο βασικό /κυρίως χωριό της Θήρας, δηλαδή σε μια περιοχή που βρίσκεται γύρω από τον σταθμό ΝΟΜΙ. Πρόκειται δηλαδή για ένα ρήγμα που προκλήθηκε κατά τη μινωική έκρηξη και είναι ο τόπος των προηγούμενων ενδο - καλδερικών εκρήξεων της προηγούμενης χιλιετίας, σχηματίζοντας τις νησίδες Καμένη (Kameni islets). Ήδη από το 2012 συνεχίστηκε η σεισμικότητα μέσα στην καλντέρα, σημειώνοντας περισσότερα από 10 συμβάντα την ημέρα με  $ML \geq 1.0$  με το μέγεθος πληρότητας να φτάνει το 201.

## 10.1 GPS

Το 2006 ερευνητικές ομάδες από το Πανεπιστήμιο Πατρών και το Georgia Tech δημιούργησαν ένα δίκτυο GPS το οποίο αποτελούνταν από 19 σταθμούς έρευνας και 3 συνεχείς σταθμούς/ GPS – cGPS- Τα δεδομένα από το cGPS και τις έρευνες το 2006, 2008 και 2010 δεν έδειξαν κάποια κινητικότητα στην καλντέρα, μα αποτέλεσμα σχετικά αργό αλλά φτωχή σύγκλιση έως το 2010 στα 7,2 χλμ. Βασική γραμμή είναι ΝΟΜΙ- ΚΕΡΑ με ακτίνα  $\varepsilon$  που αποδίδει ρυθμό μικρότερο από 10 στην -6 yr στη -1. Ωστόσο από τις αρχές του 2011 πραγματοποιήθηκε φανερό τοπική κινητικότητα και έγιναν δυο έρευνες για να διαπιστωθεί η παραμόρφωση στο δίκτυο και η βελτίωση της υποδομής cGPS. Η πρώτη έρευνα έγινε τον Ιούνιο του 2011, με περιορισμένη χρηματοδότηση και που επιτρέπεται μόνο για κατοχή 11 σταθμών και προσωρινή επισκευή των cGPS, PKMN και ΚΕΡΑ. Το GPS, ανάμεσα στο 2010 και 2011-I έδειξε ότι οι περισσότεροι σταθμοί εκτείνονται έξω από τη βόρεια καλντέρα ανάμεσα σε 5 και 32 mm. Μόνο το ΝΟΜΙ καταλαμβάνει την έναρξη της παραμόρφωσης γύρω στις αρχές του 2011, αλλά είναι λογικό να αναμένεται παραπλήσια παραμόρφωση σε όλες τις πλευρές που ξεκίνησαν τον ίδιο χρόνο.

Μέχρι το 2011 -I σχεδόν 45mm επέκταση παρατηρήθηκε ανάμεσα στο ΝΟΜΙ και το ΚΕΡΑ. που αντιστοιχούσε σε μια επέκταση  $\varepsilon = 13,7 \cdot 10^{-6}$  yr<sup>-1</sup>. Λόγω των αποτελεσμάτων πραγματοποιήθηκε χρηματοδότηση από το Εθνικό Ίδρυμα Επιστημών ( NFS) για μια ταχεία ανάπτυξη και για τη βελτίωση των σταθμών cGPS και τη δημιουργία δυο νέων στο βόρειο τμήμα της καλντέρας κατά τα τέλη Αυγούστου και στις αρχές Σεπτεμβρίου 2011. Τα δεδομένα από όλα τα cGPS συλλέγονται μέσω αυτοματοποιημένης τηλεμετρίας και για την αξιολόγηση των κινδύνων των οποίων η επεξεργασία γίνεται στο Πανεπιστήμιο του Μαιάμι , χρησιμοποιώντας το GIPSY για χαμηλές καθυστερήσεις και τελικές καθημερινές λύσεις.

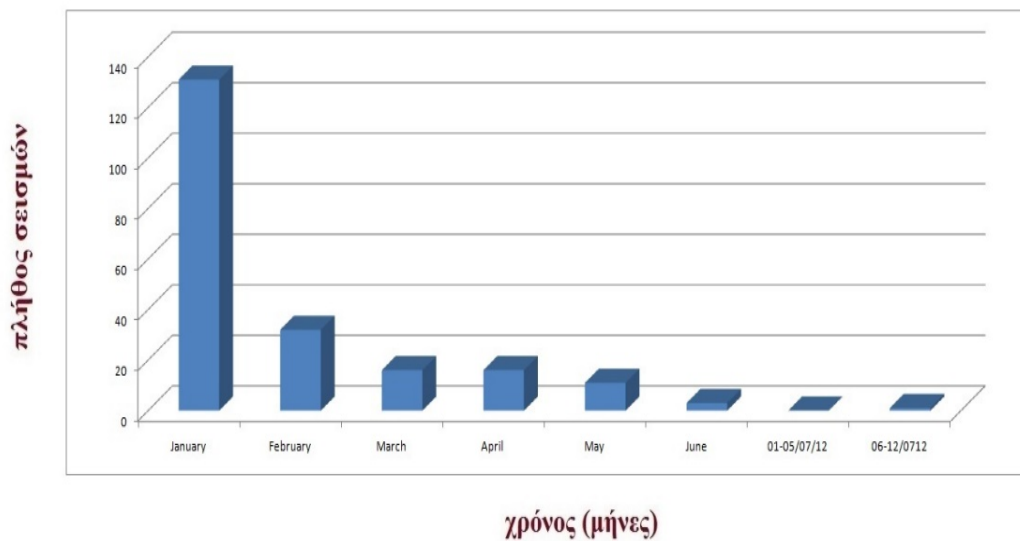
Η σεισμικότητα μέσα στην καλντέρα και η παραμόρφωση του εδάφους ανάμεσα στο 2011 και το 2012 είναι χωρίς προηγούμενο και η μεγαλύτερη δραστηριότητα από το 1950. Η αύξηση μιας μαγματικής πηγής έχει προκαλέσει 5 έως 9 cm ή επέκταση που παρατηρήθηκε σε 24 τοποθεσίες GPS στην καλντέρα. Τα μοντέλα σφαιρικών πηγών προτιμούν μια πηγή που έχει βάθος περίπου 4 χιλιόμετρα στο βόρειο μισό τμήμα της καλντέρας με ασφρευτική επέκταση 14 εκατομμυρίων m<sup>3</sup> από τότε που άρχισε το φούσκωμα. Δεν είναι σαφές ποια θα είναι η πρόοδος της Σαντορίνης και δεν είναι βέβαιο ότι μια έκρηξη είναι επικείμενη καθώς τέτοιου είδους μορφές παραμόρφωσης και σεισμικότητας παρατηρούνται σε άλλα πυριτικά καλντέρας μέχρι τώρα δίχως έκρηξη. Ωστόσο σε περίπτωση που η Σαντορίνη εκραγεί είναι πολύ πιθανό ότι θα είναι με μικρότερο πυροκλαστικό ή φρεατική δραστηριότητα παρόμοια

με αυτήν που έχει συμβεί τα τελευταία 440 χρόνια. Πιθανώς, είναι πιο επικίνδυνο είναι η επίδραση της ηφαιστειακής τέφρας και η σεισμική δραστηριότητα που μπορεί να προκαλέσει ζημιές στα σπίτια και κατολισθήσεις που είναι στο μήκος των απότομων απόκρημνων σημείων και προκαλείται τοπικά τσουνάμια που θα μπορούσαν να είναι επικίνδυνα για την τοπική κυκλοφορία των σκαφών στην καλντέρα.

Στους πίνακες που ακολουθούν γίνεται φανερή η σεισμικότητα το έτος 2012 και το πλήθος των σεισμών τον Ιανουάριο του 2012.

### Πίνακας 1:

**Πλήθος σεισμών ανα μήνα με ακτίνα 6 χλμ. από τη Νέα Καμμένη (Σαντορίνη) με μέγεθος  $M > 0.5$  για την περίοδο 01/01/2012 - 12/07/2012**



Πίνακας 2:



Πίνακας 3:



## Συμπεράσματα

Αξιοσημείωτο είναι η εξερεύνηση του Κολούμπο με χειρισμό ROV που ξεκίνησε το 2006, και συνεχίστηκε το 2010, όπως και 2011. Μεγάλος αριθμός από ιδιαίτερα μορφολογικά χαρακτηριστικά βρίσκονται μέσα στις εσωτερικές πλαγιές του ηφαιστείου Κολούμπο. Ακόμη, κάθετες διατομές παρατηρήθηκαν στα τείχη του κρατήρα που αποκάλυψαν μια ολική μορφολογία. Η τελευταία σχηματίστηκε από προεξοχές πολλών διαφορετικών προϊόντων ηφαιστείου, για παράδειγμα μπορεί να αναφερθεί η παχιά ελαφρόπετρα, το ανάχωμα είτε και εισβολές. Επίσης, παρουσιάστηκε μαζική διάλυση των αποθεμάτων. Επιπρόσθετα, με τις νέες ωκεανογραφικές εξερευνήσεις στο Κολούμπο, αναδεικνύεται η σύνθεση των εκρηκτικών προϊόντων ως προς την ακολουθία των γεγονότων και σχετικά με την ακολουθία των γεγονότων που έλαβαν χώρα στην έκρηξη το 1650. Τα τσουνάμια οφείλονται σε μηχανισμούς που περιλαμβάνουν ρηχές υποβρύχιες εκρήξεις, αλλά και από την εκροή πυροκλαστικών ροών μέσα στη θάλασσα. Ακόμη, η εκκένωση πυροκλαστικών ροών μέσα στη θάλασσα είναι πολύ σημαντικές. Οπότε, μπορεί να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι η συμπεριφορά του Κολούμπο έχει πολλούς τρόπους που μπορεί να καταλήγουν σε τσουνάμι. Δηλαδή, βάσει των ενδείξεων, υποδηλώνεται ότι το Κολούμπο μπορεί να επιφέρει μεγάλο κίνδυνο για τους κατοίκους της Σαντορίνης όπως και των γύρω νησιών στο μέλλον. Εξάλλου, οι μελέτες έχουν καταλήξει ότι η πιο συχνή εμφανιζόμενη ζώνη σχετικά με τους σεισμούς στο ηφαίστειο επιτυγχάνεται κάτω από το Κολούμπο.

Η ηφαιστειακή δραστηριότητα έχει επίδραση στο περιβάλλον και τον άνθρωπο. Πιο αναλυτικά, επέρχονται ποικίλες καταστροφές, που συντελούν με άμεσο ή έμμεσο τρόπο στην ανθρώπινη ζωή. Υφίστανται πρωτογενείς και δευτερογενείς καταστροφές όπου στις πρώτες περιλαμβάνονται τα άμεσα αποτελέσματα από τη λάβα η οποία ρέει, από την απελευθέρωση των αερίων, ώστε να γίνεται λόγος για προβλήματα στην υγεία των κατοίκων και άμεσες καταστροφές. Στις δευτερογενείς ανήκουν μακροπρόθεσμα στοιχεία ως προς το περιβάλλον και την ανθρώπινη οντότητα. Σχετικά με τα σενάρια τα οποία υποβλήθηκαν σε μια Έκθεση, η οποία συντάχθηκε από τα μέλη Υποεπιτροπής Πολιτικής Προστασίας – Ηφαιστειακού Κινδύνου της ΕΕΕΠΗΣ- Ειδικής Επιτροπής Επιστημονικής Παρακολούθησης Ηφαιστείου Σαντορίνης παρουσιάζονται τα αποτελέσματα και γίνεται λόγος για αυτά. Πιο αναλυτικά, τα συμπεράσματα που προέκυψαν είναι σύμφωνα με αναλύσεις, ωστόσο οι εκτιμήσεις ενέχουν κάποια σημεία αβεβαιότητας. Ακόμη, ως προς τις προσομοιώσεις παρουσιάζονται σημεία απόκλισης καθώς ακόμη τα περιγραφικά φαινόμενα μπορεί να έχουν διαφορετική συχνότητα εμφάνισης αλλά και διαφορετικά χαρακτηριστικά σε σχέση με εκείνα που φαίνονται.

## Βιβλιογραφία

- Bampourda, D., Argialas, D., Nomikou, P., & Tzotsos, A. (2017). an Object Based Image Analysis Approach for the Extraction of the Koloumbo Volcano and Associated Domes-Cones From a Digital Seabed Elevation Model. *Bulletin of the Geological Society of Greece*, 50(3), 1616. <https://doi.org/10.12681/bgsg.11881>
- Bohnhoff M., Rische M., Meier T., Endrun B., Harjes H.P. and Stavrakakis G., 2004. A temporary seismic network on the Cyclades (Aegean Sea, Greece), *Seismolo. Res. Lett.*, 75, 3: 352-357.
- Bohnhoff M., Rische M., Meier T., Becker D., Stavrakakis G. and Harjes H.P., 2006. Microseismic activity in the Hellenic Volcanic Arc, Greece, with emphasis on the seismotectonic setting of the Santorini–Amorgos zone, *Tectonophysics*, 423, 1–4:17-33.
- Carey, S., Nomikou, P., Bell, K. C., Lilley, M., Lupton, J., Roman, C., ... Ballard, R. (2013). Co2 degassing from hydrothermal vents at kolumbo submarine volcano, greece, and the accumulation of acidic crater water. *Geology*, 41(9), 1035–1038. <https://doi.org/10.1130/G34286.1>
- Chiaromonte, L., White, J. a, & Trainor-guitton, W. (2014). *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*. AGU: *Journal of Geophysical Research, Solid Earth*, 120, 1195–1209. <https://doi.org/10.1002/2014JB011376>
- Dominey-Howes DTM, Papadopoulos GA, Dawson AG (2000) Geological and historical investigation of the 1650 Mt. Columbo (Thera Island) eruption and tsunami, Aegean Sea, Greece. *Nat Hazards* 21(1): 83–96.
- Dimitriadis I.M., Panagiotopoulos D.G., Papazachos C.B., Hatzidimitriou P.M., Karagianni E.E. and Kane, I., 2005. Recent Seismic Activity (1994-2002) of the Santorini Volcano Using Data from Local Seismological etwork, *Int. Conf. of The South Aegean Active Volcanic Arc: Present Knowledge and Future Perspectives (SAAVA 2003)*, 17-20 Sept., Milos, Greece, In: Fytikas M. and Vougioukalakis G. (eds), Elsevier Book Series: *Development in Volcanology*,7:185-203.
- Dimitriadis I.M., Karagianni E.E., Panagiotopoulos D.G., Papazachos C.B., Hatzidimitriou P.M., Bohnhoff M., Rische M. and Meier, T., 2009. Seismicity and active tectonics at Coloumbo Reef (Aegean Sea, Greece): Monitoring an active volcano at Santorini Volcanic Center using a temporary seismic network. *Tectonophysics*, 465, 1-4: 136-149.

- Dimitriadis I., Papazachos C., Panagiotopoulos D.G., Hatzidimitriou P. M., Bohnhoff M., Rische M. and Meier T., 2010. P and S velocity structures of the Santorini–Coloumbo volcanic system (Aegean Sea, Greece) obtained by non-linear inversion of travel times and its tectonic implications, *Journal of Volcanology and Geoth. Res.*, 195, 1: 13-30.
- D’Alessandro, W., Aiuppa, A., Bellomo, S., Brusca, L., Calabrese, S., Kyriakopoulos, K., ... Longo, M. (2013). Sulphur-gas concentrations in volcanic and geothermal areas in Italy and Greece: Characterising potential human exposures and risks. *Journal of Geochemical Exploration*, 131, 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2012.08.015>
- Friedrich, W. L. (2013). The Minoan Eruption of Santorini around 1613 BC and its consequences. *Tagungen Des Landesmuseums Fur Vorgeschichte Halle*, 9, 37–48.
- Fouque F (1879) *Santorin et ses Iruptions*. Masson et Cie, Paris.
- Hooft, E. E. E., Heath, B. A., Toomey, D. R., Paulatto, M., Papazachos, C. B., Nomikou, P., ... Warner, M. R. (2019). Seismic imaging of Santorini: Subsurface constraints on caldera collapse and present-day magma recharge. *Earth and Planetary Science Letters*, 514, 48–61. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2019.02.033>
- Hübscher, C., Ruhnau, M., & Nomikou, P. (2015). Volcano-tectonic evolution of the polygenetic Kolumbo submarine volcano/Santorini (Aegean Sea). *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 291, 101–111. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2014.12.020>
- Hughey, J. R., Paschou, P., Drineas, P., Mastropaolo, D., Lotakis, D. M., Navas, P. A., ... Stamatoyannopoulos, G. (2013). A European population in minoan bronze age crete. *Nature Communications*, 4. <https://doi.org/10.1038/ncomms2871>
- Hensch M., Dahm T., Hort M., Dehghani A. and Hübscher C., 2008. The EGELADOS working group, First results of the ocean-bottom-seismometer and-tiltmeter experiment at Columbo submarine volcano (Aegean Sea, Greece), EGU General Assembly, *Geophysical Research Abstracts*, 10: EGU2008-A-02760.
- Johnston, E. N., Sparks, R. S. J., Nomikou, P., Livanos, I., Carey, S., Phillips, J. C., & Sigurdsson, H. (2015). Stratigraphic relations of Santorini’s intracaldera fill and implications for the rate of post-caldera volcanism. *Journal of the Geological Society*, 172, 323–335. <https://doi.org/10.1144/jgs2013-114>
- Karakaisis, G. F., & Papazachos, C. B. (2005). *Seismology in Greece: A Report. Time*.



- Karátson, D., Gertisser, R., Telbisz, T., Vereb, V., Quidelleur, X., Druitt, T., ... Kósik, S. (2018). Towards reconstruction of the lost Late Bronze Age intra-caldera island of Santorini, Greece. *Scientific Reports*, 8(1), 1–8. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-25301-2>
- Konstantinou K.I, Te-Yang Yeh (2011), ‘‘Stress field around the Coloumbo magma chamber, southern Aegean: It’s significance for assessing volcanic and seismic hazard in Santorini’’, *Journal of Geodynamics*, 54 (2012) 13-20.
- Mourikis, P. A., Argyriou, L. C., & Tsourgianni, A. (2017). Crumbling of the masonry of ancient settlements on Santorini caused by the Hymenoptera *Anthophora crinipes* and *Osmia latreillei*. *Entomologia Hellenica*, 6(1988), 55. <https://doi.org/10.12681/eh.13960>
- Nomikou, P., Carey, S., Bell, K. L. C., Papanikolaou, D., Bejelou, K., Cantner, K., Sakellariou, D., & Perros, I. (2012). Tsunami hazard risk of a future volcanic eruption of Kolumbo submarine volcano, NE of Santorini Caldera, Greece. Vol. 52 <https://doi.org/10.1007/s11069-012-0405-0>
- Nomikou, P., Carey, S., Bell, K. L. C., Papanikolaou, D., Bejelou, K., Cantner, K., ... Perros, I. (2014). Tsunami hazard risk of a future volcanic eruption of Kolumbo submarine volcano, NE of Santorini Caldera, Greece. *Natural Hazards*, 72(3), 1375–1390. <https://doi.org/10.1007/s11069-012-0405-0>
- Nomikou, P., Hübscher, C., Papanikolaou, D., Farangitakis, G. P., Ruhnau, M., & Lampridou, D. (2018). Expanding extension, subsidence and lateral segmentation within the Santorini - Amorgos basins during Quaternary: Implications for the 1956 Amorgos events, central - south Aegean Sea, Greece. *Tectonophysics*, 722(October 2017), 138–153. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2017.10.016>
- Nomikou P (2003) Santorini and Nisyros: similarities and differences between the two calderas of the modern Aegean Volcanic Arc. CIESM workshop on ‘‘human records of recent geological evolution in the Mediterranean Basin-historical and archaeological evidence’’ Santorini 22–25, CIESM workshop monographs n24, Greece, pp 103–108.
- Nomikou, P., Carey, S., Bell, K. L. C., Papanikolaou, D., Bejelou, K., Cantner, K., ... Perros, I. (2014). Tsunami hazard risk of a future volcanic eruption of Kolumbo

submarine volcano, NE of Santorini Caldera, Greece. *Natural Hazards*, 72(3), 1375–1390. <https://doi.org/10.1007/s11069-012-0405-0>

- Nomikou, P., Parks, M. M., Papanikolaou, D., Pyle, D. M., Mather, T. A., Carey, S., ... Perros, I. (2014). The emergence and growth of a submarine volcano: The Kameni islands, Santorini (Greece). *GeoResJ*, 1–2, 8–18. <https://doi.org/10.1016/j.grj.2014.02.002>
- Nomikou P, Carey S, Papanikolaou D, Croff Bell K, Sakellariou D, Alexandri M, Bejelou K (2012). Submarine volcanoes of the Kolumbo volcanic zone NE of Santorini Caldera, Greece. *Glob Planet Change* 90–91(2012):135–151.
- Papadimitriou, P., Kaviris, G., Voulgaris, N., Kolaitis, A., Karakonstantis, A., Kapetanidis, K., Makropoulos, K. (2012). Seismic Monitoring of the Santorini Volcano. Conference Paper.
- Papadopoulos GA (2009) Tsunamis, Chapter 17. In: Woodward J (ed) *Physical geography of the mediterranean*. Oxford University Press, Oxford, pp 493–512.
- Papadopoulos GA, Chalkis BJ (1984) Tsunamis observed in Greece and the surrounding area from antiquity up to the present times. *Mar Geol* 56:309–317.
- Papadimitriou, P., Kapetanidis, V., Karakonstantis, A., Kaviris, G., Voulgaris, N., & Makropoulos, K. (2015). The Santorini Volcanic Complex: A detailed multi-parameter seismological approach with emphasis on the 2011-2012 unrest period. *Journal of Geodynamics*, 85, 32–57. <https://doi.org/10.1016/j.jog.2014.12.004>
- Parks, M. M., Caliro, S., Chiodini, G., Pyle, D. M., Mather, T. A., Berlo, K., ... Raptakis, C. (2013). Distinguishing contributions to diffuse CO<sub>2</sub> emissions in volcanic areas from magmatic degassing and thermal decarbonation using soil gas <sup>222</sup>Rn-<sup>δ</sup>13C systematics: Application to Santorini volcano, Greece. *Earth and Planetary Science Letters*, 377–378, 180–190. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2013.06.046>
- Sakellariou, D., Rousakis, G., Sigurdsson, H., Nomikou, P., Katsenis, I., L, C. B. K., & Carey, S. (2012). Seismic Stratigraphy of Santorini ' S Caldera : a Contribution To the Understanding of the Minoan Eruption. 7–11.
- Sakellariou D, Sigurdsson H, Alexandri M, Carey S, Rousakis G, Nomikou P, Georgiou P, Ballas D (2010). Active tectonics in the Hellenic volcanic arc: the Kolumbo submarine volcanic zone. *Bull Geol Soc Greece* XLIII/2:1056–1063.

- Tema, E. (2017). Rock Magnetic and Palaeomagnetic Analyses on Lithic Fragments From the Archaeological Site of Akrotiri, Santorini. *Bulletin of the Geological Society of Greece*, 50(3), 1250. <https://doi.org/10.12681/bgsg.11831>
  
- Σολδάτος Τ.,(2011): Σαντορίνη, Ηφαιστειολογικός οδηγός, Άσκηση Υπαίθρου Δ' Έτους, σελ 7-44.
  
- Watts, A. B., Paulatto, M., Kalnins, M. L., Livanos, I., Bejelou, K., & Simou, E. (n.d.). The growth and emergence of a submarine volcano : the Kameni islands , Santorini ( Greece ). University of Athens , Faculty of Geology and Geoenvironment , Panepistimioupoli Department of Earth Sciences , University of Oxford , South Parks Road , Oxford O. 1866–1870.