



# **ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ**

**ΣΧΟΛΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ, ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ ΚΑΙ  
ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΩΝ,  
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ**

**Ηφαιστειακή δραστηριότητα και συστήματα παρακολούθησης του  
ηφαιστείου της Σαντορίνης**  
Πτυχιακή εργασία

**Μιχαήλ Μήνα- Σοφία**



**Αθήνα, [2017]**

**ΗΦΑΙΣΤΕΙΑΚΗ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΤΟΥ ΗΦΑΙΣΤΕΙΟΥ ΤΗΣ ΣΑΝΤΟΡΙΝΗΣ**



# **ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ**

## **ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ**

### **Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή**

**Ευθύμιος Καρύμπαλης**  
**Αναπληρωτής καθηγητής, Τμήμα Γεωγραφίας,**  
**Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο**

**Ιωάννης Τσόδουλος**  
**Δρ. Γεωλογίας, Τμήμα Γεωγραφίας,**  
**Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο**

**Χρίστος Χαλκιάς**  
**Αναπληρωτής καθηγητής, Τμήμα Γεωγραφίας,**  
**Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο**

Η Μιχαήλ Μήνα-Σοφία

δηλώνω υπεύθυνα ότι:

- 1) Είμαι ο κάτοχος των πνευματικών δικαιωμάτων της πρωτότυπης αυτής εργασίας και από όσο γνωρίζω η εργασία μου δε συκοφαντεί πρόσωπα, ούτε προσβάλλει τα πνευματικά δικαιώματα τρίτων.
- 2) Αποδέχομαι ότι η ΒΚΠ μπορεί, χωρίς να αλλάξει το περιεχόμενο της εργασίας μου, να τη διαθέσει σε ηλεκτρονική μορφή μέσα από τη ψηφιακή Βιβλιοθήκη της, να την αντιγράψει σε οποιοδήποτε μέσο ή/και σε οποιοδήποτε μορφότυπο καθώς και να κρατά περισσότερα από ένα αντίγραφα για λόγους συντήρησης και ασφάλειας.

# **Περιεχόμενα**

|                                                                     |    |
|---------------------------------------------------------------------|----|
| Περίληψη .....                                                      | 7  |
| Abstract .....                                                      | 9  |
| Ευχαριστίες.....                                                    | 10 |
| Εισαγωγή.....                                                       | 11 |
| Κεφάλαιο 1 <sup>ο</sup> .....                                       | 13 |
| 1.1 Εισαγωγή στα ηφαίστεια και στην ηφαιστειακή δραστηριότητα ..... | 13 |
| 1.2 Δομή και Δράση των ηφαιστείων .....                             | 15 |
| 1.3 Ηφαιστειακά Αναβλήματα.....                                     | 17 |
| 1.4 Τύποι ηφαιστείων .....                                          | 17 |
| 1.5 Ηφαιστειακά χαρακτηριστικά γνωρίσματα.....                      | 22 |
| 1.6 Τύποι ηφαιστείων βάσει της γεωτεκτονικής τους θέσης .....       | 27 |
| 1.7 Αποτελέσματα των ηφαιστείων.....                                | 30 |
| 1.7.1 Ροές λάβας .....                                              | 30 |
| 1.7.2 Πυροκλαστική δραστηριότητα .....                              | 32 |
| 1.7.3 Δηλητηριώδη αέρια.....                                        | 33 |
| 1.7.4 Συντρίμμια, λασποροές και άλλες μαζικές μετακινήσεις .....    | 34 |
| 1.8 Πότε ένα ηφαίστειο θεωρείται ενεργό, ανενεργό ή εσβεσμένο ..... | 36 |
| Κεφάλαιο 2 <sup>ο</sup> : Τρόποι Παρακολούθησης ηφαιστείων .....    | 38 |

|       |                                                                     |    |
|-------|---------------------------------------------------------------------|----|
| 2.1   | Εδαφική παρακολούθηση .....                                         | 38 |
| 2.1   | Ροή μάγματος και εδαφική παραμόρφωση .....                          | 39 |
| 2.2   | Κάμερες Web .....                                                   | 40 |
| 2.3   | Η παρακολούθηση των αερίων .....                                    | 41 |
| 2.4   | Τεχνικές τηλεανίχνευσης .....                                       | 42 |
| 2.4.1 | Τηλε-ανίχνευση ηφαιστειακών θυσάνων .....                           | 43 |
| 2.4.2 | Παρατήρηση των θερμικών ανωμαλιών .....                             | 44 |
| 2.4.3 | Ανίχνευση λάβας .....                                               | 45 |
| 2.4.4 | Αλλαγές στην τοπογραφία και στην εδαφική κάλυψη .....               | 46 |
| 2.4.5 | Παρακολούθηση παραμόρφωσης .....                                    | 47 |
| 2.5   | Παρατήρηση ενεργών ηφαιστείων με τη χρήση θερμικής ακτινοβολίας.... | 48 |
| 3.1   | Γεωδυναμικό πλαίσιο Σαντορίνης .....                                | 51 |
| 3.2   | Γεωλογία-Μορφολογία Σαντορίνης.....                                 | 52 |
| 3.3   | Η ιστορία του ηφαιστείου .....                                      | 55 |
| 3.4   | Η δημιουργία της Σαντορίνης .....                                   | 56 |
| 3.5   | Η Μινωική έκρηξη .....                                              | 58 |
| 3.6   | Μαγματική εξέλιξη-Ιστορικό εκρήξεων καλδέρας .....                  | 66 |
| 3.7   | Η Παλαιά Καμένη .....                                               | 68 |
| 3.8   | Η Νεά Καμένη .....                                                  | 72 |
| 3.9   | Η Τελευταία έκρηξη της Σαντορίνης (1950).....                       | 87 |

|                                                                                      |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 3.10 Τα πετρώματα των Καμένων .....                                                  | 87  |
| 3.11 Η έκρηξη του Κολούμπο .....                                                     | 91  |
| 3.12 Η κατάσταση του ηφαιστείου σήμερα .....                                         | 94  |
| Κεφάλαιο 4 <sup>ο</sup> .....                                                        | 97  |
| 4.1 Το Ι.Μ.Π.Η.Σ και τα συστήματα παρακολούθησης του ηφαιστείου της Σαντορίνης ..... | 97  |
| 4.2 Σεισμική παρακολούθηση Σαντορίνης .....                                          | 99  |
| 4.3 Γεωδαιτική παρακολούθηση του ηφαιστείου της Σαντορίνης.....                      | 101 |
| 4.4 Γεωχημική – Θερμική Παρακολούθηση του ηφαιστείου της Σαντορίνης                  | 103 |
| 4.5 Τηλεμετρικό δίκτυο παρακολούθησης του ηφαιστείου της Σαντορίνης....              | 106 |
| 4.6 Επιπλέον δραστηριότητες του Ι.Μ.Π.Η.Σ .....                                      | 109 |
| 4.7 Υπάρχουσες μελέτες (Επικινδυνότητας -Κικνδύνου) .....                            | 112 |
| 5. Επίλογος.....                                                                     | 117 |
| 6. Βιβλιογραφία.....                                                                 | 118 |

## Περίληψη

Η παρούσα πτυχιακή εργασία πραγματοποιήθηκε με σκοπό τη μελέτη της ηφαιστειακής δραστηριότητας της Σαντορίνης και των συστημάτων παρακολούθησης του ηφαιστείου. Στόχος αυτής της εργασίας είναι η ανάλυση του φαινομένου των ηφαιστειών, πως δημιουργούνται, ποια είναι τα είδη τους και τους τρόπους με τους οποίους γίνεται η παρακολούθησή τους. Τέλος στόχος είναι η παρουσίαση του ηφαιστείου της Σαντορίνης από την αρχή δημιουργίας του, τα στάδια του μέσα στο χρόνο και την κατάσταση του ηφαιστείου σήμερα και τους τρόπους που παρακολουθείται.

Η εργασία είναι δομημένη σε τέσσερα στάδια. Αναλυτικότερα:

Στο 1<sup>ο</sup> Κεφάλαιο περιγράφεται η έννοια του ηφαιστείου, τα χαρακτηριστικά του, τα μέρη του καθώς και η δομή και η δράση των ηφαιστειών. Αναλύονται το πώς και που δημιουργούνται τα ηφαίστεια, πως το αποθηκευμένο μάγμα φθάνει στην επιφάνεια και τα ηφαιστειακά αναβλήματα δηλαδή τα ‘‘υλικά’’ που δημιουργούνται κατά την έκρηξη του ηφαιστείου. Ακόμη, περιγράφονται οι τύποι και οι μορφές ηφαιστειών και τέλος πότε ένα ηφαίστειο θεωρείται ενεργό, ανενεργό ή εσβεσμένο.

Στο 2<sup>ο</sup> Κεφάλαιο αναλύονται τα συστήματα παρακολούθησης των ηφαιστειών. Περιγράφεται η δυνατότητα παρακολούθησης της εδαφικής παραμόρφωσης, της σεισμικής παρακολούθησης μέσω της τεχνολογίας (GPS, EDM, κάμερες Web κλπ.) και μέσω της τηλεπισκόπησης η οποία είναι ιδιαίτερα σημαντική στον τομέα αυτό, καθώς με της βοήθειας αυτής γίνονται σημαντικές μελέτες - παρατηρήσεις. Ακόμη, διευκρινίζονται οι τεχνικές τηλε- ανίχνευσης καθώς και η παρακολούθηση μέσω θερμικής ακτινοβολίας.

Στο 3<sup>ο</sup> Κεφάλαιο παρουσιάζονται η μορφολογία της Σαντορίνης, η δημιουργία και η ιστορία του ηφαιστείου. Περιγράφονται αναλυτικά η ιστορική ηφαιστειακή δραστηριότητα του νησιού με όλες τις εκρήξεις του τα αποτελέσματα και τις επιδράσεις αυτών. Ακόμη, γίνεται αναφορά στην κατάσταση του ηφαιστείου σήμερα και της εικόνας του νησιού καθώς και η σχέση του ηφαιστείου με τον τουρισμό.

Στο 4<sup>ο</sup> κεφάλαιο περιγράφεται το ολοκληρωμένο δίκτυο παρακολούθησης του ηφαιστείου, η σημασία και η δράση του Ινστιτούτου Μελέτης και Παρακολούθησης του Ηφαιστείου της Σαντορίνης (ΙΜΠΗΣ). Ακόμα γίνεται παρουσίαση και με φωτογραφικό υλικό των συστημάτων αυτών. Στη συνέχεια έχει γίνει καταγραφή μιας υπάρχουσας μελέτης.

Τέλος, καταγράφεται μια σύνοψη συμπερασμάτων και ιδεών που αφορούν την σημασία και την βοήθεια των συστημάτων παρακολούθησης των ηφαιστειών γενικά και ειδικά στην περιοχή μελέτης.

*Λέξεις κλειδιά: Ηφαίστειο, Σαντορίνη, Ηφαιστειακή δραστηριότητα, Συστήματα παρακολούθησης, Έκρηξη.*



## **Abstract**

This diploma thesis is a study of the volcanic activity and volcanic monitoring systems of Santorini Island. The thesis is analyzing the phenomenon of volcanoes, how they are created, what are their species and the ways in which they are monitored. The aim is to present the Santorini volcano from the beginning of its creation, its stages through time and the status of the volcano today and the ways it is monitored.

The thesis is structured in four chapters. Specifically:

The 1<sup>st</sup> chapter describes the meaning of volcano, its features and parts, as well as its structure and action. Specifically, it examines how the volcanoes are created, how the stored magma reaches the surface, the volcanic debris created during the volcano eruption. Also, chapter 1 describes the types and the forms of volcanoes, when a volcano is considered active, inactive or exaggerated.

The 2<sup>nd</sup> chapter analyzes the ways of monitoring the volcanoes. It depicts the possibility of monitoring the soil deformation, seismic monitoring via technology (GPS, EDM, Web cameras, etc.). Additionally, chapter 2 refers to the remote sensing, which has significantly helped in conducting serious and important studies and surveys. Furthermore, the techniques of tele-detection and the monitoring through thermal radiation are described.

The 3<sup>rd</sup> chapter presents the morphology of Santorini, the creation and history of the volcano. Also, there is a description of the historical volcanic activity of the island with all its explosions and their effects. Additionally, this chapter discusses the status of the volcano today and the relation between the volcano and island tourism.

The 4<sup>th</sup> chapter describes the integrated volcanic monitoring network, the significance and the action of the Institute of Study and Monitoring of the Santorini Volcano (IMPIS). Furthermore, there is a presentation of photographic material of these systems and an existing surface of Santorini's volcano.

The thesis ends by drawing conclusion regarding the ways of volcanic monitoring systems in general and specifically around the area of study.

**Key Words:** *Volcano, Santorini, Volcanic activity, Monitoring systems, Eruption*

## **Ευχαριστίες**

Ευχαριστώ θερμά τον κ. Ε. Καρύμπαλη για τις κατευθύνσεις και την πολύτιμη βοήθεια που μου πρόσφερε, χωρίς την συμβολή του οποίου η πτυχιακή μου εργασία θα είχε διαφορετικό αποτέλεσμα.

## Εισαγωγή

Η ικανότητα να συλλέξουμε πληροφορίες για τον κόσμο μας και να τις παρουσιάσουμε με τρόπους που μπορούν να γίνουν αντιληπτοί από την ανθρώπινη οπτική αντίληψη, αποτελεί τον υψηλότερο στόχο της απεικονιστικής επιστήμης στην τηλεπισκόπηση. Σε όλες τις εφαρμογές, από την περιβαλλοντική παρακολούθηση μέχρι τη συλλογή πληροφορίας υψηλότερων επιστημονικών δεδομένων, αναφαίνεται η ανάγκη για απόκτηση ακριβέστερων πληροφοριών με γρήγορους και αποτελεσματικούς τρόπους. Ακριβώς αυτή η ανάγκη έχει οδηγήσει στη μελέτη και ανάπτυξη εξαιρετικών τεχνολογιών, που βοηθούν τους επιστήμονες στην κατανόηση και αντιμετώπιση φαινομένων που θα μπορούσαν ακόμη και να απειλούν τον πλανήτη μας.

Ποτέ πριν ο άνθρωπος δεν μπορούσε να εξετάσει τη γη καθώς και τα διάφορα περιβαλλοντικά φαινόμενα με τόση ακρίβεια. Φυσικά φαινόμενα, όπως σεισμοί, κυκλώνες, καταιγίδες, πλημμύρες, ηφαιστειακές εκρήξεις καθώς και άλλα επικίνδυνα και καταστροφικά φαινόμενα στη στεριά και στη θάλασσα, αποτέλεσαν, κατά τη διάρκεια της ιστορίας, αντικείμενα φόβου, προλήψεων και δεισιδαιμονιών. Σήμερα, με τη βοήθεια της δορυφορικής τεχνολογίας, μπορούμε να παρατηρήσουμε και να αντιληφθούμε τις ιδιομορφίες και την πολυπλοκότητα του πλανήτη μας, να κατανοήσουμε τις αιτίες των διαφόρων περιβαλλοντικών και μετεωρολογικών φαινομένων και ενδεχομένως να αναπτύξουμε τρόπους άμυνας και αντιμετώπισης αυτών.

Η παρακολούθηση του γήινου οικοσυστήματος αποτελεί μία από τις σημαντικότερες εφαρμογές της τηλεπισκόπησης. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται πλατφόρμες τόσο στον αέρα όσο και στο διάστημα, οι οποίες μας παρέχουν τη δυνατότητα κατανόησης των καιρικών συστημάτων, των κλιματολογικών μεταβολών καθώς και των διαφόρων γεωλογικών φαινομένων, από μια παγκόσμια οπτική.

Οι ηφαιστειακές εκρήξεις αποτελούν μερικές από τις πιο έντονες και βίαιες διεργασίες στη Γη. Σε πολλές περιπτώσεις αναγκάζουν τους κατοίκους περιοχών κοντά σε ενεργά ηφαίστεια να εγκαταλείψουν τη γη και τις οικίες τους, μερικές φορές για πάντα. Η ηφαιστειακή δραστηριότητα τα τελευταία 300 χρόνια έχει σκοτώσει πάνω από 250.000 ανθρώπους, καταστρέφοντας ολόκληρες πόλεις και δάση και διαταράσσοντας έντονα τις τοπικές οικονομίες. Τα ηφαίστεια μπορεί να ενέχουν σημαντικούς κινδύνους σε ανθρώπους που βρίσκονται κοντά σε αυτά για διάφορους λόγους όπως: α) πυροκλαστικές εκρήξεις που είναι ικανές να καλύψουν εκτενείς περιοχές με καυτή τέφρα, σκόνη και καπνό μέσα σε λίγες ώρες ή

ΗΦΑΙΣΤΕΙΑΚΗ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΤΟΥ ΗΦΑΙΣΤΕΙΟΥ ΤΗΣ ΣΑΝΤΟΡΙΝΗΣ

λεπτά, β) φλεγόμενα υλικά, εκτοξευόμενα από το στόμιο του ηφαιστείου, τα οποία μπορούν να προκαλέσουν πυρκαγιές σε πόλεις και δάση ενώ ποτάμια λάβας μπορούν να καταστρέψουν τα πάντα στο πέρασμά τους αλλάζοντας το τοπίο, γ) καταρρακτώδεις βροχοπτώσεις ή το λιώσιμο του χιονισμένου φορτίου του ηφαιστείου μπορούν να εκκινήσουν τεράστιες λασποροές για ολόκληρα χιλιόμετρα καλύπτοντας πόλεις και χωριά στο πέρασμά τους, δ) τεράστιες ποσότητες αερίων και στάχτης απελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα, όπου μερικές φορές μπορούν να επηρεάσουν το κλίμα σε παγκόσμια κλίμακα.

# **Κεφάλαιο 1<sup>ο</sup>**

## **1.1 Εισαγωγή στα ηφαίστεια και στην ηφαιστειακή δραστηριότητα**

Ένας ηφαιστειακός πόρος (volcanic vent) είναι ένα άνοιγμα στην επιφάνεια της Γης απ' όπου εξέρχεται ηφαιστειακό υλικό. Κάθε ηφαίστειο διαθέτει ένα κεντρικό πόρο (central vent), πάνω από τον οποίο υπάρχει ο κεντρικός κρατήρας ή κρατήρας κορυφής (summit crater). Το ηφαιστειακό οικοδόμημα (edifice) έχει κωνικό σχήμα και δομείται από συμμετρική περίπου συσσώρευση λάβας ή/και πυροκλαστικού υλικού πέριξ του κεντρικού αγωγού. Ο κεντρικός αγωγός συνδέεται στο βάθος με το μαγματικό θάλαμο (magma chamber) που είναι ο βασικός ταμιευτήρας του ηφαιστειακού υλικού. Οι πλευρές (flanks) του ηφαιστείου είναι συνήθως ασταθείς και περιέχουν κατακόρυφες ρηγματώσεις που επικοινωνούν με τον κύριο μαγματικό θάλαμο ή με κάποιο δευτερεύοντα μαγματικό θάλαμο σε μικρότερο βάθος. Συχνά αυτές οι ρηγματώσεις αποτελούν φλέβες τροφοδοσίας πλευρικών εκρήξεων (flank eruptions) καθώς μάγμα εκχύνεται περιοδικά στις πλευρές του ηφαιστειακού οικοδομήματος. Οι εκρήξεις αυτές δημιουργούν κώνους ηφαιστειακού υλικού που ονομάζονται παρασιτικοί κώνοι (parasitic cones). Επίσης οι ρηγματώσεις μπορούν να αποτελέσουν διεξόδους διαφυγής ηφαιστειακών αερίων δημιουργώντας έτσι τις ατμίδες ή φουμαρόλες (fumaroles).

Η ηφαιστειακή δραστηριότητα, ή ηφαιστειακή δράση, συσχετίζεται άμεσα με την τεκτονική πλακών, και τα περισσότερα ενεργά ηφαίστεια βρίσκονται κοντά στα όρια πλακών. Αυτή η σχέση υπάρχει επειδή όταν διαδίδονται ή βυθίζονται οι λιθοσφαιρικές πλάκες αλληλεπιδρούν με άλλα γήινα υλικά στα όρια των πλακών και παράγουν λειωμένους βράχους που αποκαλούνται μάγμα. Αυτό το πολύ παχύ υγρό περιέχει μικρά, αλλά σημαντικά, ποσά διαλυμένων αερίων, συνήθως υδρατμών και διοξειδίου του άνθρακα. Μόλις το μάγμα εκραγεί επάνω στη γήινη επιφάνεια αναφέρεται ως λάβα. Οι ενάρξεις μέσω των οποίων η λάβα και άλλες ηφαιστειακές δραστηριότητες που εξωθούν το υλικό αναφέρονται ως διεξοδοί.

Το μέγεθος, η μορφή, και η συμπεριφορά ενός ηφαιστείου είναι στενά συνδεδεμένες στην τεκτονική ρύθμιση των πλακών. Οι περισσότερες ηφαιστειακές ενεργές περιοχές έχουν επίσης μια ποικιλία από την ενδιαφέρουσα επιφάνεια των χαρακτηριστικών γνωρισμάτων που συνέδεσαν με τα υπόγεια υδραυλικά σπασίματα και τους θαλάμους μέσω των οποίων είναι το μάγμα, τα ηφαιστειακά αέρια, και η ροή των ζεστών νερών.



**Εικόνα 1:** Κρατήρας κορυφής (Βεζούβιος, Ιταλία). Photo: Wikipedia



**Εικόνα 2:** Παρασιτικοί κώνοι (Mauna Kea, Χαβάη). Photo: Swanson DA.

## **1.2 Δομή και Δράση των ηφαιστείων**

Ηφαιστεϊότητα ονομάζουμε το σύνολο των εκδηλώσεων οι οποίες συνδέονται με την άνοδο του μάγματος στην επιφάνεια της γης. Τα ηφαιστεια είναι χερσαία ή υποθαλάσσια φυσικά οικοδομήματα, συνήθως λόφοι ή βουνά. Δημιουργούνται όπου το μάγμα, τηγμένο πέτρωμα που βρίσκεται βαθιά στη γη, καταφέρει να βρει διέξοδο προς την επιφάνεια. Εξερχόμενο το μάγμα στην επιφάνεια ψύχεται και στερεοποιείται σε λάβα.

Η γένεση και άνοδος του μάγματος προς την επιφάνεια της γης ευνοείται σε περιοχές οι οποίες είναι τεκτονικά διαταραγμένες. Από τον μαγματικό θάλαμο, την περιοχή όπου βρίσκεται αποθηκευμένο το μάγμα, φθάνει στην επιφάνεια στην μέσω των ηφαιστειακών αγωγών ή των φλεβών τροφοδοσίας, δηλαδή μεγάλων ρωγμών ή διασταύρωσης ρωγμών του φλοιού της γης (ενεργά ρήγματα). Αυτές συνήθως καταλήγουν σε μια οπή, τον ηφαιστειακό πόρο ο οποίος βρίσκεται κατά κανόνα μέσα σε μια κοιλότητα, τον κρατήρα. Ο πόρος και ο πυθμένας του κρατήρα καλύπτονται από στερεοποιημένη ή κατακερματισμένη λάβα στα ενδιάμεσα διαστήματα της ηφαιστειακής δράσης, όταν το μόνο στοιχείο δραστηριότητας του ηφαιστείου είναι η εκπομπή ατμίδων, δηλαδή θερμών αερίων και ατμών από κοιλότητες του εδάφους.

Η ηφαιστειακή δράση κυμαίνεται μεταξύ δυο ακραίων τύπων: στον έναν τύπο το φτωχό σε αέρια μάγμα φθάνει στην επιφάνεια λίγο ή πολύ ήρεμα, ως συνεχές μέσο, και εκχύνεται από τον ηφαιστειακό πόρο δημιουργώντας ρεύματα λάβας όταν είναι λεπτόρρευστο ή θόλους λάβας όταν είναι παχύρρευστο. Στον άλλο τύπο το πλούσιο σε αέρια μάγμα τροφοδοτεί εκρήξεις. Τότε η λάβα εκτινάσσεται καταρκεματισμένη από τον ηφαιστειακό πόρο, ως τέφρα. Η τέφρα ονομάζεται και πυροκλαστικό υλικό, ενώ ονομάζεται ηφαιστειακή σποδός ή στάχτη.

Η μετακίνηση και η απόθεση της τέφρας γίνεται με δυο κυρίως τρόπους. Ο ένας είναι η ελεύθερη πτώση από το ύψος στο οποίο έχει εκτιναχθεί, και έτσι αποτίθενται τα στρώματα τέφρας πτώσης. Ο δεύτερος είναι η μετακίνηση της τέφρας ως ένα πυκνό ρευστό μείγμα θραυσμάτων μάγματος και αερίων που ρέει με μεγάλες ταχύτητες και θερμοκρασίες στις πλαγιές του ηφαιστείου. Οι ροές αυτές ονομάζονται πυροκλαστικά ρεύματα

τέφρας. Στη μεγάλη πλειονότητα των ηφαιστείων συναντάται όλο το φάσμα δράσεων μεταξύ των δυο ακραίων τύπων, της έκχυσης και της έκρηξης.

Η πυκνότητα των μεμονωμένων σωματιδίων μπορεί να ποικίλει από 700-1200 kg/m<sup>3</sup> για ελαφρόπετρα (pumice), 2350-2450 kg/m<sup>3</sup> για θραύσματα γυαλιού, 2700 με 3300 kg/m<sup>3</sup> για κρυστάλλους, και 2600 με 3200 kg/m<sup>3</sup> για λίθινα σωματιδίων. Από τα πιο συμπαγείς και πιο πυκνά σωματίδια που εναποτίθενται κοντά στην πηγή, θραύσματα γυαλιού και ελαφρόπετρας εμπεριέχονται σε εναποθέματα τέφρας σε μακρινές τοποθεσίες.

**Πίνακας 1:** Πυκνότητα ηφαιστειακής τέφρας

| Είδος σωματιδίου τέφρας      | Πυκνότητα                     |
|------------------------------|-------------------------------|
| <b>Pumice fragments</b>      | 700-1,200 kg/m <sup>3</sup>   |
| <b>Volcanic glass shards</b> | 2,350-2450 kg/m <sup>3</sup>  |
| <b>Crystals and minerals</b> | 2,700-3,300 kg/m <sup>3</sup> |
| <b>Other rock fragments</b>  | 2,600-3,200 kg/m <sup>3</sup> |

Τα ηφαίστεια ανάλογα με το σημείο στο οποίο εξέρχεται το μάγμα, χαρακτηρίζονται ως χερσαία, αν η έξοδος γίνεται στη στεριά και ως υποθαλάσσια, αν η έξοδος γίνεται στο νερό. Ορισμένα ηφαίστεια είναι ενεργά για μεγάλα χρονικά διαστήματα, όπως το Στρώμπολι, στα νησιά του Αιόλου, το οποίο χαρακτηρίζεται από συνεχή δράση, τουλάχιστον τα τελευταία 3.000- 4000 χρόνια. Τα περισσότερα όμως ηφαίστεια παρουσιάζουν συνήθως μικρής διάρκειας επεισόδια, που διαρκούν από λίγες μέρες έως λίγα χρόνια και μετά αδρανούν για δεκάδες, εκατοντάδες ή χιλιάδες χρόνια. Κατά τη διάρκεια της περιόδου αδράνειας το εν υπνώσει η κοιμώμενο ηφαίστειο μπορεί να είναι τελείως ήσυχο ή μπορεί να εκπέμπει αέρια και ατμούς που προδίδουν την ενεργή του κατάσταση. Ηφαίστεια τα οποία ουδέποτε έδρασαν κατά την ιστορική εποχή χαρακτηρίζονταν παλαιότερα ως σβησμένα. Επειδή όμως κάποια ηφαίστεια χαρακτηρίζονται από μεγάλες περιόδους ηρεμίας (έως και πολλών χιλιάδων ετών) και η διάρκεια των ιστορικών καταγραφών είναι πολύ διαφορετική από χώρο σε χώρο (π.χ. Μεσόγειος-Νέα Ζηλανδία)σήμερα θεωρούμε ως ενεργά τα ηφαίστεια που έδρασαν τα τελευταία 10.000-20.000 χρόνια και βρίσκονται σε τεκτονικές ενεργές περιοχές που κάνουν πιθανή την επαναδραστηριοποίησή τους.

ΗΦΑΙΣΤΕΙΑΚΗ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΤΟΥ ΗΦΑΙΣΤΕΙΟΥ ΤΗΣ ΣΑΝΤΟΡΙΝΗΣ



### **1.3 Ηφαιστειακά Αναβλήματα**

Στις παρακάτω παραγράφους θα διαβάσουμε τα υλικά που παράγονται κατά την έκρηξη του ηφαιστείου τα οποία είναι:

Α) Στερεά:

1. Όγκοι: έχουν μέγεθος μέχρι 1 κυβικό μέτρο (βαληνεκές μέχρι 200μ.).
2. Βολίδες: με διάμετρο μέχρι 20 εκατ. (βεληνεκές μέχρι 1000μ.).
3. Λιθάρια: με διάμετρο 1εκτ. (βεληνεκές μέχρι 2000μ.).
4. Άμμος: σύννηθως πυριτική (βεληνεκές μέχρι 3000μ.).
5. Σποδός: δηλαδή στάχτη.

Β) Υγρά: Λάβα, δηλαδή το μάγμα που έχει χάσει τα αέρια του, πριν ακόμη βγεί από το κρατήρα του. Όταν η λάβα είναι παχύρρευστη (περιέχει πολύ  $\text{SiO}_2$ ), φτάνει σε απόσταση από 3 μέχρι 7 χ.λ.μ. , όταν είναι λεπτόρρευστη (περιέχει λίγο  $\text{SiO}_2$ ), φτάνει σε απόσταση μέχρι και 20 χ.λ.μ

Γ) Αέρια η Ατμίδες:

1. Φουμαρόλες: είναι μίγμα πολλών και διάφορων αερίων, με κύριο συστατικό τους υδρατμούς. Οι Όξινες Φουμαρόλες έχουν θερμοκρασία  $800^\circ\text{C}$ .
2. Σουλφατάρες: μίγμα αερίων, με κύριο συστατικό το θειάφι (S).
3. Μοφέτες: μίγμα αερίων με κύριο συστατικό το διοξείδιο του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ).

### **1.4 Τύποι ηφαιστείων**

Κάθε τύπος ηφαιστείου έχει ένα χαρακτηριστικό εκρηκτικό ύφος αυτός οφείλεται, εν μέρει, στο πόσο ανθεκτικό είναι το μάγμα στη ροή. Αυτή η αντίσταση στη ροή καλείται ιξώδες. Ρευστά όπως το δροσερό, κατεψυγμένο μέλι ή το φυστικοβούτυρο έχει υψηλή αντίσταση στη ροή και έτσι ένα υψηλό ιξώδες. Αντίθετα, τα ρευστά όπως το νερό ή το θερμό μέλι έχουν έναν χαμηλότερο ιξώδες. Το ιξώδες του μάγματος καθορίζεται από το πυρίτιό που περιέχει και από τη θερμοκρασία του. Υψηλότερο σε περιεκτικότητα πυρίτιο και στη θερμοκρασία ψύξης το μάγμα έχει μεγαλύτερο ιξώδες. Ιδιαίτερα ιξώδες ΗΦΑΙΣΤΕΙΑΚΗ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΤΟΥ ΗΦΑΙΣΤΕΙΟΥ ΤΗΣ ΣΑΝΤΟΡΙΝΗΣ

μάγμα συχνά εκρήγνυται κατά τρόπο εκρηκτικό, σε αντιδιαστολή με λιγότερο ιξώδη μάγμα, το οποίο τείνει να ρεύσει παρά να εκραγεί.

- **Ηφαίστεια ασπίδων**

Τα μεγαλύτερα ηφαίστεια στον κόσμο είναι οι ηφαιστειακές ασπίδες. Αυτά τα ηφαίστεια είναι μεταξύ των πιο ψηλών βουνών στη γη όταν μετρούνται από τις βάσεις τους, που βρίσκονται συχνά στο ωκεανό. Οι ηφαιστειακές ασπίδες έχουν γενικά μη εκρηκτικές δραστηριότητες σαν αποτέλεσμα τη σχετικά χαμηλή περιεκτικότητα σε πυρίτιο από το βασάλτικο μάγμα. Αυτό το μάγμα δροσίζει για να διαμορφώσει το βασάλτη, ένα μαύρο πύρινο βράχο. Όταν ένα ηφαίστειο ασπίδων εκρήγνυται, λάβα τείνει να ρεύσει κάτω από τις πλευρές του ηφαιστείου παρά να εκραγεί βίαια. Τα ηφαίστεια ασπίδων ενισχύονται σχεδόν εξ ολοκλήρου από τη λάβα που ρέει, αλλά μπορούν επίσης να παράγουν πολλή τέφρα. Επίσης αναφερόμενη ως πυρογενής συντριμμία, η τέφρα περιλαμβάνει όλους τους τύπους ηφαιστειακών υλικών που εκτινάσσονται κατά τρόπο εκρηκτικό από ένα ηφαίστειο.

Σειρά μορίων συντριμμίων από τη λεπτή σκόνη σε άμμος-ταξινομημένος (0.2 μέσα.), σε μικρό αμμοχάλικο-που ταξινομείται κομμάτι λάβας 2 έως 64 χιλ. (0.2 έως 2.5 μέσα.), στους μεγάλους γωνιακούς φραγμούς και ομαλός-εμφανισμένος (2.5 μέσα.).



**Εικόνα 3:** Σωλήνας λάβας. Η εξωτερική μαύρη γραμμή αποτελείται από βασάλτη και η κόκκινη στο κέντρο αποτελεί τη λάβα. (Blodgett R. & Keller E. *Natural hazards earth's processes as hazards disasters and catastrophes*)



**Εικόνα 4:** Σύνθετο ηφαίστειο. Όρος Fuji, της Ιαπωνίας ,το υψηλότερο βουνό είναι απατηλά ένα όμορφο και σύνθετο ηφαίστειο που η τελευταία έκρηξη έγινε το 1708. (Blodgett R. & Keller E. *Natural hazards earth's processes as hazards disasters and catastrophes*)

- **Σύνθετα ηφαίστεια**

Είναι γνωστά για το κωνοειδές σχήμα τους, χαρακτηρίζονται από μάγμα με ενδιάμεση περιεκτικότητα σε πυρίτιο (περίπου 60 %), πιο ρευστό από το μάγμα των ασπιδικών ηφαιστείων. Η δραστηριότητα τους χαρακτηρίζεται από αλληπαλλήλες εκρήξεις ροών λάβας και πυροκλαστικών υλικών. Τα ηφαίστεια ΗΦΑΙΣΤΕΙΑΚΗ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΤΟΥ ΗΦΑΙΣΤΕΙΟΥ ΤΗΣ ΣΑΝΤΟΡΙΝΗΣ

του τύπου αυτού απαντούν σε πολλές περιοχές του κόσμου με πλέον χαρακτηριστικό παράδειγμα το ηφαίστειο της Αγίας Ελένης (Η.Π.Α).

- **Ηφαιστειακοί δόμοι**

Οι ηφαιστειακοί δόμοι χαρακτηρίζονται από ρευστό μάγμα με υψηλή περιεκτικότητα σε πυρίτιο (70%). Η δραστηριότητά τους είναι γενικά πολύ μεγάλη καθιστώντας τους πολύ επικίνδυνους.



**Εικόνα 5:** Έκρηξη αιχμής Ανατολικά από το Redding,στην Καλιφόρνια, είναι το νοτιότερο ηφαίστειο στους καταρράκτες . Αυτή η έκρηξη πραγματοποιήθηκε τον Ιούνιο του 1914. (Blodgett R. & Keller E. Natural hazards earth's processes as hazards disasters and catastrophes)



**Εικόνα 6:** Τεμάχιο λάβας κώνου. Το τεμάχιο λάβας κώνου με ένα μικρό κρατήρα στην κορυφή κοντά στο Springville, στην Αριζόνα ροή της λάβας στο ανώτερο μέρος της φωτογραφίας προέρχεται από την βάση του τεμαχίου της λάβας. (Blodgett R. & Keller E. *Natural hazards earth's processes as hazards disasters and catastrophes*)

- **Κώνοι Στάχτης**

Κώνοι στάχτης που ενισχύονται από τη συσσώρευση της τέφρας κοντά σε μια ηφαιστειακή διέξοδο. Οι κώνοι στάχτης είναι σχετικά μικρά ηφαίστεια που αποτελούνται από κόκκινη ή μαύρη λάβα. Η τέφρα από τους σβησμένους κώνους στάχτης είναι ο βράχος λάβας που χρησιμοποιήθηκε ευρέως στον εμπορικό εξωραϊσμό. Επίσης αποκαλούνται κώνοι λάβας, οι κώνοι στάχτης είναι κοινοί στα πλευρά των μεγαλύτερων ηφαιστείων, κατά μήκος των κανονικών ρηγμάτων, και κατά μήκος των ρωγμών ή των σχισμών (Εικόνα 7 ).



**Εικόνα 7:** Ταχεία ανάπτυξη του ηφαιστείου σε αυτή τη φωτογραφία του 1943, εξίσου ο κώνος στάχτης στο κεντρικό Μεξικό εκρήγνυται ένα σύννεφο της ηφαιστειακής τέφρας και των αερίων. Η ροή της λάβας έχει θάψει σχεδόν το χωριό του SAN Juan Parangaricutiro, που έχει αφήσει μόνο να εκτίθεται το καμπαναριό των εκκλησιών. (Blodgett R. & Keller E. *Natural hazards earth's processes as hazards disasters and catastrophes*)

### **1.5 Ηφαιστειακά χαρακτηριστικά γνωρίσματα**

Ηφαιστεια ή ηφαιστειακές οι περιοχές περιλαμβάνουν συνήθως τους κρατήρες, ηφαιστειακές διεξόδους, πίδακες ζεστού νερού και θερμοπηγές. Ένα ηφαίστειο ή μια ηφαιστειακή περιοχή μπορεί να εκθέσει ένα, μερικά, ή όλα αυτά τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα.

#### **➤ Κρατήρες, καλδές, και καταθλίψεις**

Οι διέξοδοι που βρίσκονται στις κορυφές των ηφαιστίων είναι κρατήρες, οι οποίοι διαμορφώνονται από την έκρηξη ή την κατάρρευση της ανώτερης μερίδας του ηφαιστειακού κώνου. Είναι συνήθως μερικά χιλιόμετρα (γύρω από το α μίλι) στη διάμετρο. Γιγαντιαίες διέξοδοι διαμορφώνονται κατά τη διάρκεια της εκρηκτικής εκτίναξης του μάγματος και η επόμενη κατάρρευση του ανώτερου κώνου είναι γνωστές

ΗΦΑΙΣΤΕΙΑΚΗ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΤΟΥ ΗΦΑΙΣΤΕΙΟΥ ΤΗΣ ΣΑΝΤΟΡΙΝΗΣ

ως καλδέρες. Οι βίαιες εκρήξεις που καλούνται calderas συζητούνται κατωτέρω. Οι καλδέρες μπορεί να είναι 20 ή περισσότερα χιλιόμετρα (12.5 ή περισσότερα μίλια) στη διάμετρο και περιέχει τις ηφαιστειακές διεξόδους καθώς επίσης και άλλα ηφαιστειακά χαρακτηριστικά γνωρίσματα όπως οι διέξοδοι αερίου και τις θερμοπηγές. Οι ηφαιστειακές διέξοδοι είναι ενάρξεις μέσω των οποίων η λάβα και τα πυρογενή συντρίμια εκρήγνυνται και μπορεί να είναι κατά προσέγγιση κυκλικοί ή μπορεί να είναι επιμηκυμένες ρωγμές που ονομάζονται σχισμές. Μερικές εκτενείς εκρήξεις σχισμών έχουν παράγει τεράστιες ροές λάβας καλούμενες ως βασαλτικές πλημμύρες. Η πιο γνωστή συσσώρευση της βασαλτικής πλημμύρας στις Ηνωμένες Πολιτείες είναι το οροπέδιο της Κολούμπια στο Οροπέδιο της Κολούμπια, Ουάσιγκτον, Όρεγκον, και Αίνταχο (Εικόνα 8 ).



**Εικόνα 8:** Βασαλτικές πλημμύρες κατά μήκος του ποταμού Κολούμπια στην Ουάσιγκτον.  
(Blodgett R. & Keller E. *Natural hazards earth's processes as hazards disasters and catastrophes*)

Αυτές οι βασαλτικές πλημμύρες καλύπτουν μια περιοχή 128,000 km<sup>2</sup> ελαφρώς μεγαλύτερη από την κατάσταση του Μισισσιπή.

#### ➤ **Θερμοπηγές και Πίδακες ζεστού νερού**

Σε μερικές ηφαιστειακές περιοχές, τα υδρολογικά χαρακτηριστικά γνωρίσματα όπως θερμοπηγές και πίδακες ζεστού νερού είναι κοινά. Όταν τα υπόγεια νερά έρχονται σε επαφή με καυτό βράχο, αυτός θερμαίνεται και μπορεί να διαμορφώσει την επιφάνεια σαν θερμή πηγή. Λιγότερο κοινά, τα υπόγεια νερά τα οποία βράζουν σε μια υπόγεια



αίθουσα μπορεί να παράγουν περιοδικές, ατμό-οδηγημένες απελευθερώσεις ατμού και ζεστού νερού στην επιφάνεια, ένα φαινόμενο αποκαλούμενο ως πίδακα ζεστού νερού.

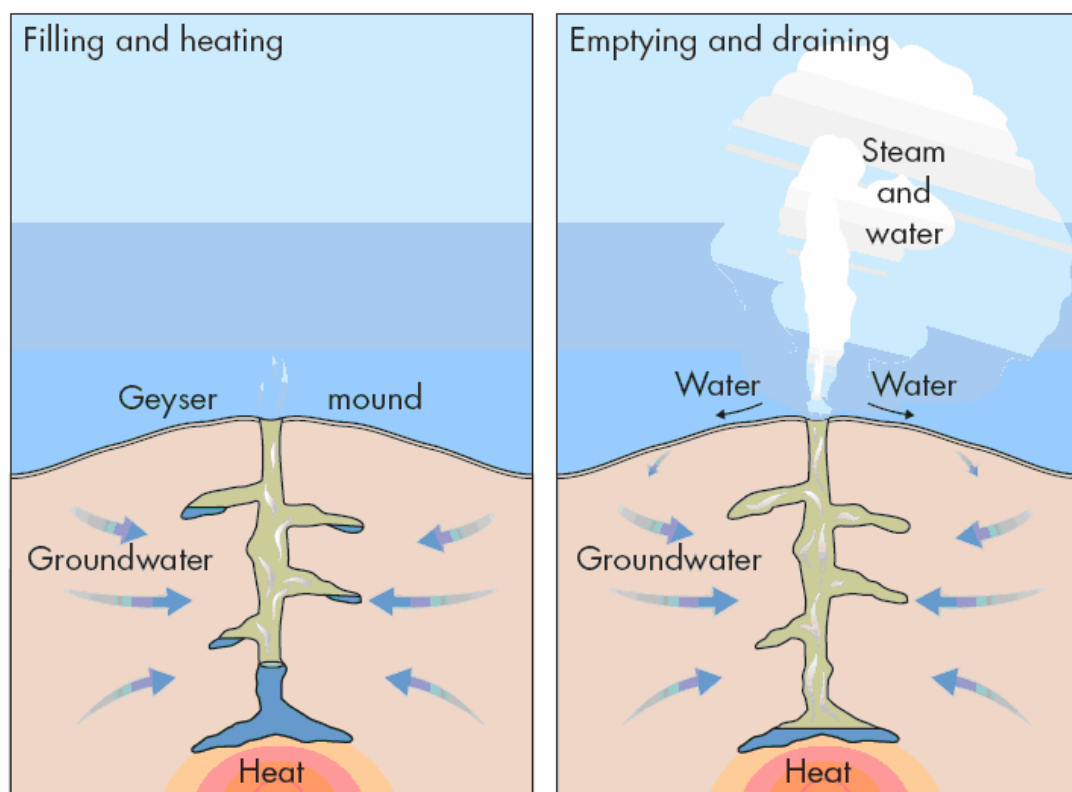
### ➤ **Εκρήξεις κρατήρα**

Οι κρατήρες παράγονται πολύ σπάνια, αλλά εξαιρετικά βίαιες, εκρήξεις. Αν και κανένας δεν έχει εμφανιστεί οπουδήποτε στη γη στα τελευταία εκατοντάδες χιλιάδες έτη, τουλάχιστον δέκα τέτοιες εκρήξεις έχουν εμφανιστεί τα τελευταία εκατομμύρια χρόνια, τρεις από τα οποίες ήταν στη Βόρεια Αμερική. Μια μεγάλη έκρηξη κρατήρα μπορεί να παράγει περισσότερα από 1000 κυβικά μέτρα πυρογενών συντριμμίων που αποτελούνται συνήθως από στάχτη. Μια τέτοια ποσότητα θα κάλυπτε το νησί του Μανχάταν σε ύψος περίπου 1.6 χλμ (1 mi.) τέσσερις φορές το ύψος Empire State Building. Αυτός ο όγκος είναι περίπου χίλιες φορές περισσότερο από το ποσό τέφρας που εκτινάχθηκε από έκρηξη το 1980 του Mount ST Helens! Μια τέτοια έκρηξη θα μπορούσε να παράγει κρατήρα 10 χλμ (6.2 mi.) σε διάμετρο μεγαλύτερο από τη λίμνη κρατήρων στο Oregon. Τα αποθέματα στάχτης από μια τέτοια έκρηξη θα μπορούσαν να είναι 100 μ (330 πόδ.) κοντά στο πλαίσιο των κρατήρων και ένα μέτρο (3 πόδ.) ή τόσο παχιά 100 χλμ (62 mi.) μακριά από την πηγή.



**Εικόνα 9:** Έκρηξη θερμοπίδακα (Blodgett R. & Keller E. *Natural hazards earth's processes as hazards disasters and catastrophes*)



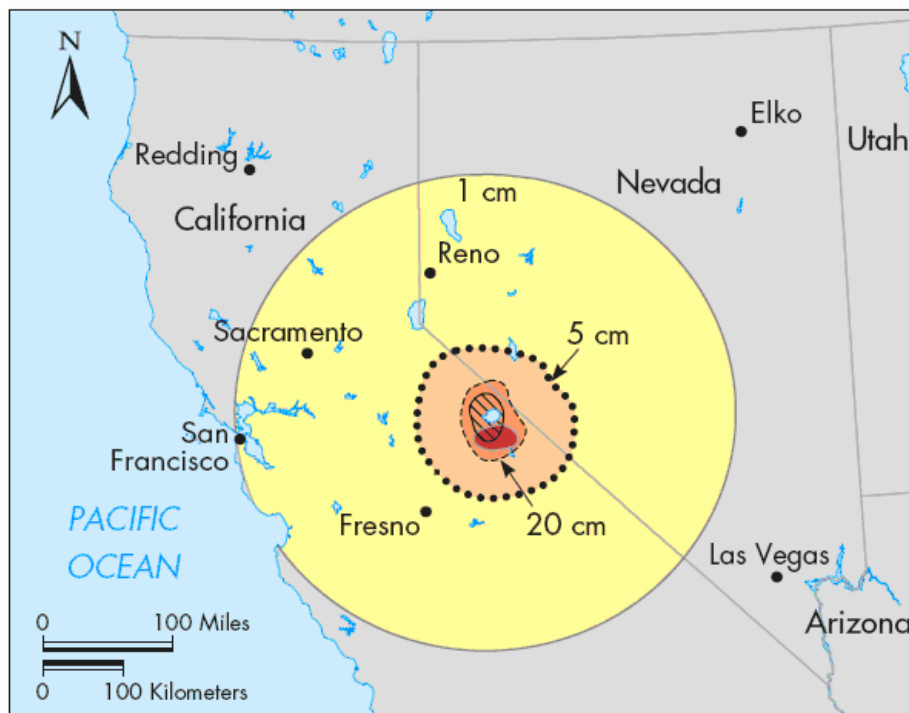


(b)

**Εικόνα 10:** Λειτουργία θερμοπίδακα. (Blodgett R. & Keller E. *Natural hazards earth's processes as hazards disasters and catastrophes*)



**Εικόνα 11:** Κίνδυνος πτώσης τέφρας. (Blodgett R. & Keller E. *Natural hazards earth's processes as hazards disasters and catastrophes*)



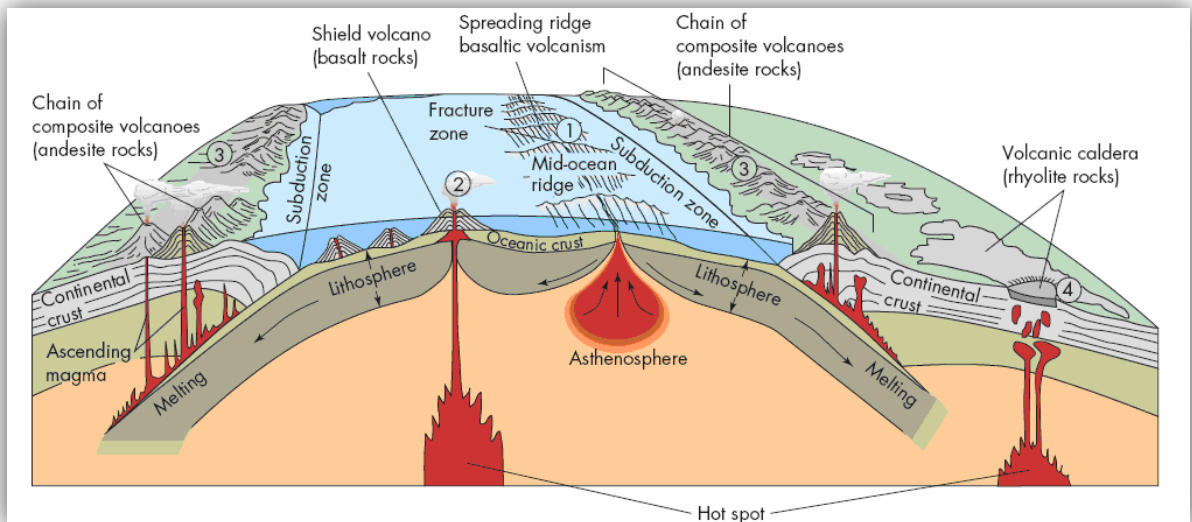
**Εικόνα 12:** Κίνδυνος πτώσης καλδέρας. (Blodgett R. & Keller E. *Natural hazards earth's processes as hazards disasters and catastrophes*)

## **1.6 Τύποι ηφαιστείων βάσει της γεωτεκτονικής τους θέσης**

Καθορίσαμε νωρίτερα ότι οι αιτίες της ηφαιστειακής δραστηριότητας συσχετίζεται άμεσα με την τεκτονική πιάτων. Πιο συγκεκριμένα, η τεκτονική ρύθμιση καθορίζει τον τύπο ηφαιστείου:(Εικόνα 13 ):

- ❖ **Κορυφογραμμές στο μέσο των ωκεανών:** Η ηφαιστειακή δράση στο μέσο των ωκεανών παράγει το βασαλτικό μάγμα που προέρχεται από την ασθενόσφαιρα, μέρος του ανώτερου γήινου μανδύα . Αυτό το μάγμα αποτελείται από πολύ λίγα υλικά εκτός από τη βασαλτική ωκεάνια κρούστα. Επομένως, οι επακόλουθες λάβες είναι αποτελούμενες σχεδόν εξ ολοκλήρου του βασάλτη χαμηλού ιξώδους. Όπου αυτές οι κορυφογραμμές διάδοσης εμφανίζονται στο έδαφος, όπως στην Ισλανδία, εκεί διαμορφώνονται τα ηφαίστεια ασπίδων (Εικόνα 14 )
- ❖ **Ζώνες υποβίθισης:** τα σύνθετα ηφαίστεια ζωνών συνδέονται με ζώνες υποβίθισης και είναι έτσι πιο κοινός τύπος ηφαιστείου που βρίσκεται γύρω από τις χώρες του δακτυλίου του Ειρηνικού. Παραδείγματος χάριν, ηφαίστεια στη σειρά καταρρακτών της Ουάσιγκτον, Όρεγκον, και Καλιφόρνια παράγονται από τη ζώνη υποβύθισης της Cascadia (Εικόνα 15 ). Ηφαιστειακοί βράχοι που παράγονται από τις ζώνες υποβύθισης αποτελούνται από ανδεσίτη, ένα τύπο βράχου που παράγεται όταν αυξάνεται το μάγμα που αναμιγνύεται και με την ωκεάνια και ηπειρωτική κρούστα. [εδομένου ότι η ηπειρωτική κρούστα έχει υψηλότερη περιεκτικότητα σε πυρίτιο από το βασαλτικό μάγμα, ο ανδεσίτης έχει μια ενδιάμεση περιεκτικότητα σε πυρίτιο.
- ❖ **Τα καυτά σημεία κάτω από τους ωκεανούς:** τα ηφαίστεια ασπίδων βρίσκονται κάτω από τα καυτά σημεία της ωκεάνιας λιθόσφαιρας. Παραδείγματος χάριν, τα ηφαίστεια της Χαβάης, τοποθετημένα καλά μέσα στην ειρηνική πλάκα, έχουν χτιστεί από τον πυθμένα της θάλασσας μέσω των υποβρύχιων εκρήξεων βασαλτικής λάβας παρόμοια με εκείνους στις κορυφογραμμές στο μέσο των ωκεανών.
- ❖ **Καυτά σημεία μεταξύ των ηπείρων:** Οι εκρήξεις καλδέρας συμβαίνουν σε αυτήν την τεκτονική ρύθμιση. Μπορεί να είναι εξαιρετικά εκρηκτικές και βίαιες, και είναι συνδεδεμένες με το ηφαιστειακό γρανιτικό μάγμα. Ο γρανίτης έχει υψηλή

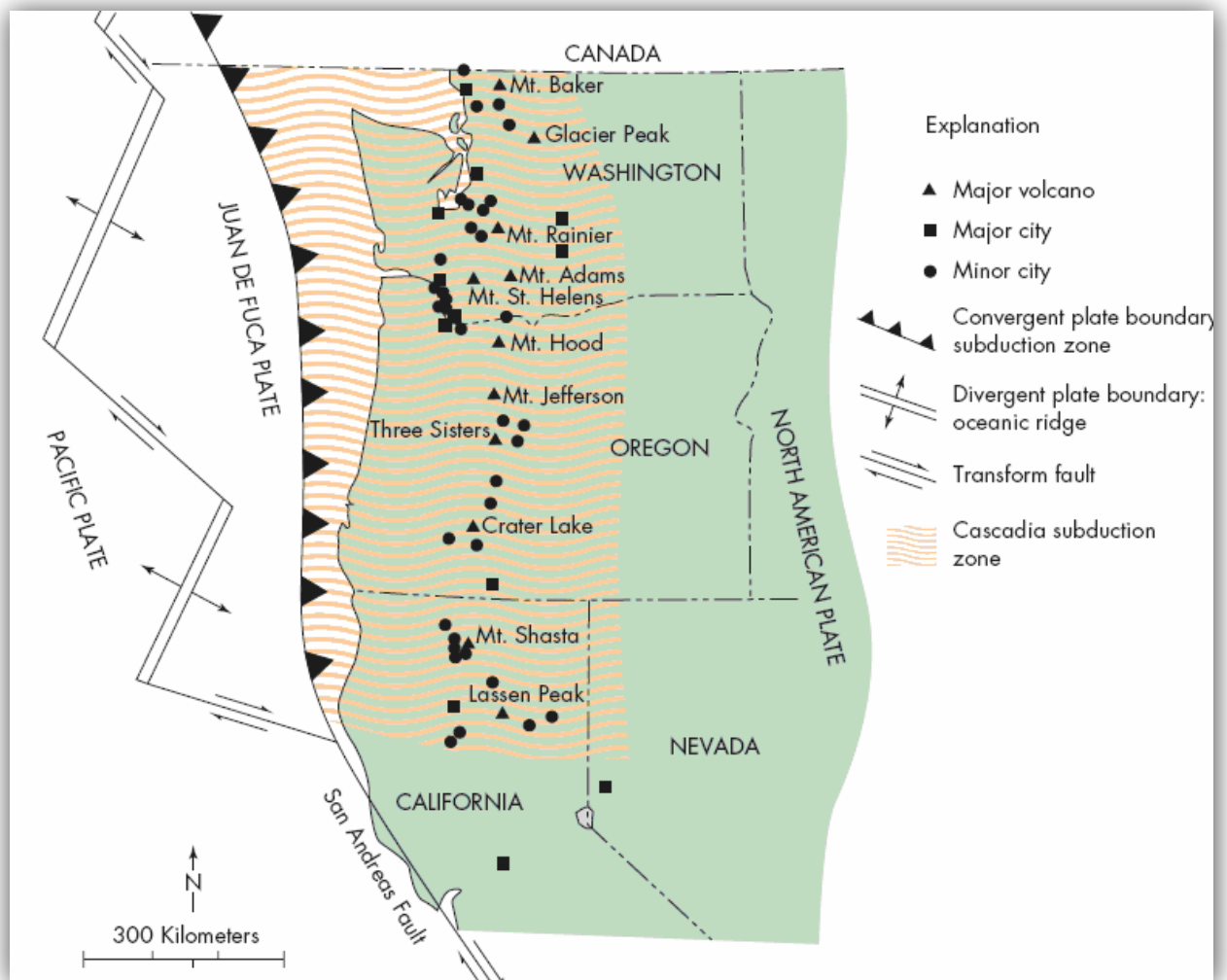
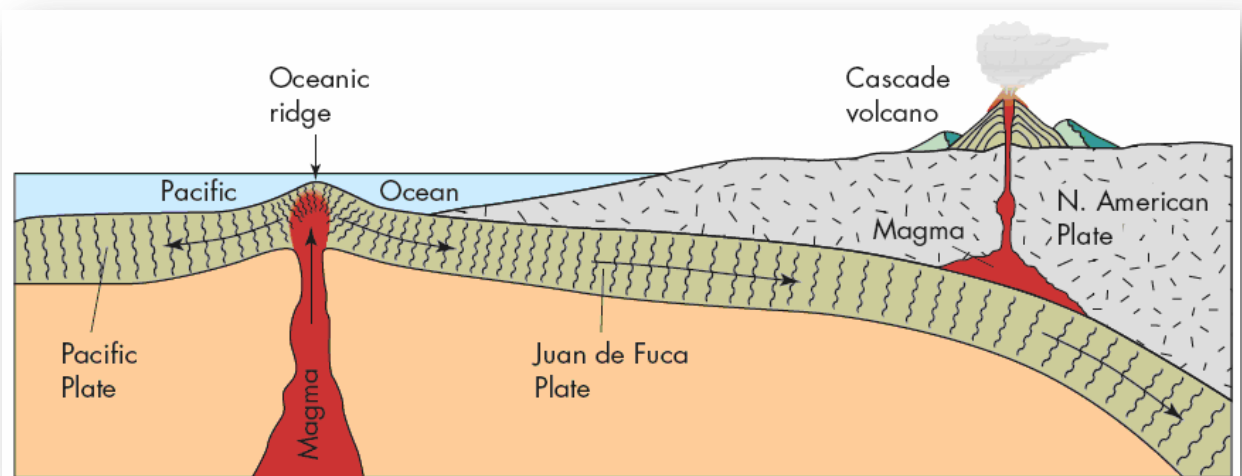
περιεκτικότητα σε πυρίτιο όταν το μάγμα αναμιγνύεται με την ηπειρωτική κρούστα. Όπως αναφέρθηκε νωρίτερα, η πιο πρόσφατη έκρηξη καλδέρας στη Βόρεια Αμερική εμφανίστηκε περίπου 600.000 έτη πριν στο εθνικό πάρκο Yellowstone. Αυτή η εκρηκτική ύλη η έκρηξη του γρανιτικού μάγματος έχει συνδεθεί με ένα ακόμα-ενεργό καντό σημείο κάτω από τη νοτιοαμερικανή πλάκα.



**Εικόνα 13:** Ηφαιστιακή δραστηριότητα και τεκτονικές πλάκες. (Blodgett R. & Keller E. *Natural hazards earth's processes as hazards disasters and catastrophes*)



**Εικόνα 14:** Ηφαίστεια & κορυφογραμμές. (Blodgett R. & Keller E. *Natural hazards earth's processes as hazards disasters and catastrophes*)



**Εικόνα 15:** Ηφαιστειακοί καταρράκτες και τεκτονικές πλάκες. (Blodgett R. & Keller E. *Natural hazards earth's processes as hazards disasters and catastrophes*)

## **1.7 Αποτελέσματα των ηφαιστειών**

Παγκοσμίως, πενήντα έως εξήντα ηφαίστεια εκρήγνυνται κάθε έτος. Οι εκρήξεις είναι συχνά μέσα σε αραιοκατοικημένες περιοχές του κόσμου, που προκαλούν λίγο, εάν υπάρξει οποιοδήποτε, απώλεια ζωής ή οικονομικής ζημιάς. Εντούτοις, όταν η έκρηξη πραγματοποιείται κοντά σε μια πυκνοκατοικημένη περιοχή, τα αποτελέσματα μπορούν να είναι καταστροφικά.

Οι ηφαιστειακοί κίνδυνοι περιλαμβάνουν τα αρχικά αποτελέσματα μίας ηφαιστειακής δραστηριότητας που είναι τα άμεσα αποτελέσματα μιας έκρηξης, και δευτεροβάθμια αποτελέσματα, τα οποία μπορούν να προκληθούν από τον αρχικό αποτέλεσμα.

### **1.7.1 Ροές λάβας**

Λαμβάνουν χώρα όταν το μάγμα φθάνει στην επιφάνεια και υπερχειλίζει από τον κρατήρα καλύπτοντας τις πλευρές του ηφαιστείου. Οι ροές λάβας αποτελούν το πλέον γνωστό προϊόν της ηφαιστειακής δραστηριότητας και χαρακτηρίζονται από μεγάλες ταχύτητες μετακίνησης όταν έχουν μικρό ιξώδες και μικρές ταχύτητες μετακίνησης όταν εμφανίζουν μεγάλο ιξώδες. Οι περισσότερες λάβες κινούνται αρκετά αργά με αποτέλεσμα να δίνεται στους ανθρώπους η δυνατότητα αντίδρασης και προφύλαξης.

Αρκετές μέθοδοι έχουν υιοθετηθεί κατά καιρούς για την εκτροπή των ροών λαβών όπως βομβαρδισμοί, υδραυλικοί ψύξη και κατασκευή τοίχων- φραγμάτων και οδηγών τάφρων. Οι μέθοδοι αυτοί δεν έχουν σαν στόχο βέβαια την συγκράτηση μεγάλων ροών, αλλά απλώς και μόνο την προφύλαξη και την αναστολή της εξέλιξης μερικών ρευμάτων λάβας σε πολύ συγκεκριμένες περιπτώσεις και περιοχές. Ειδικότερα η κατασκευή τοίχων- φραγμάτων εφαρμόζεται για την παρεμπόδιση ή την εκτροπή μέσα σε τάφρους αρκετών ροών λάβας.

Τέλος, η μέθοδος της υδραυλικής ψύξης περιλαμβάνει ψύξη της λάβας με τεράστιες ποσότητες νερού έτσι ώστε να διευκολύνεται αλλά και να επισπεύδεται η στερεοποίηση της. Η μέθοδος αυτή έχει αποδειχτεί ως η πλέον επιτυχής τουλάχιστον στις περιπτώσεις όπου έχει εφαρμοσθεί με πλέον αντιπροσωπευτικό το παράδειγμα της

νήσου heimaey στην Ισλανδία όπου με την ροή της λάβας κινδύνευσε άμεσα η είσοδος του πιο σημαντικού αλιευτικού λιμανιού της χώρας. (Εικόνα 16) & (Εικόνα 17)



**Εικόνα 16:** Ροή λάβας. (Blodgett R. & Keller E. *Natural hazards earth's processes as hazards disasters and catastrophes*)





**Εικόνα 17:** Ποή λάβας. (Blodgett R. & Keller E. *Natural hazards earth's processes as hazards disasters and catastrophes*)

### **1.7.2 Πυροκλαστική δραστηριότητα**

Είναι χαρακτηριστική δραστηριότητα ενός μάγματος με υψηλή περιεκτικότητα σε πυρίτιο. Κατά την διάρκεια της πυροκλαστικής δραστηριότητας λαμβάνουν μέρος όλα τα είδη των ηφαιστειακών αιωρημάτων από την ηφαιστειακή σποδό έως την τέφρα, τα οποία εκτινάσσονται από κάποιο ηφαιστειακό αγωγό στην ατμόσφαιρα.

Οι εκρήξεις αυτές είναι αρκετά έντονες και η ταχύτητα τους είναι δυνατό σε ορισμένες περιπτώσεις να υπερβεί την ταχύτητα του ήχου, ενώ τα υλικά μπορούν να μεταφερθούν σε μεγάλες αποστάσεις και να καλύψουν εκατοντάδες ή ακόμα και χιλιάδες τετραγωνικά χιλιόμετρα. Η πυροκλαστική δραστηριότητα μπορεί να έχει άμεσες επιπτώσεις στο περιβάλλον και ειδικότερα στην πανίδα και τη χλωρίδα ενώ σημαντικές είναι και οι καταστροφές σε οικιστικούς χώρους και τεχνικά έργα.

Οι πλέον επιβλαβείς περιπτώσεις είναι οι εκρηκτικές στοιβάδες σποδού με θερμοκρασία μερικών εκατοντάδων βαθμών κελσίου, οι οποίες αποτεφρώνουν τα πάντα στο πέρασμά τους με πλέον χαρακτηριστικές τις περιπτώσεις των καταστροφών στις δυτικές ακτές των Η.Π.Α.



### 1.7.3 Δηλητηριώδη αέρια

Ένα πλήθος από αέρια όπως ατμοί διοξειδίου του άνθρακα, μονοξειδίου του άνθρακα, υδρόθειου, κλπ. Εκπέμπονται τόσο κατά την διάρκεια της ηφαιστειακής δραστηριότητας όσο και κατά την διάρκεια των ενδιάμεσων περιόδων.

Αρκετές μάλιστα φορές τα αέρια είναι δυνατό να είναι βαρύτερα του ατμοσφαιρικού αέρα με αποτέλεσμα να επικάθονται στα κατώτερα στρώματα κοντά στο έδαφος και να προκαλούν αρκετούς θανάτους. Πολύ χαρακτηριστικό είναι το παράδειγμα του Καμερούν στις 21 Αυγούστου 1986 όπου προκλήθηκαν 2.000 περίπου θάνατοι.



**Εικόνα 18:** Δηλητηριώδη αέρια από κοιμησμένο ηφαίστειο. (Blodgett R. & Keller E. *Natural hazards earth's processes as hazards disasters and catastrophes*)



**Εικόνα 19:** Δηλητηριώδη αέρια από το κοιμημένο ηφαίστειο. (Blodgett R. & Keller E. *Natural hazards earth's processes as hazards disasters and catastrophes*)

#### **1.7.4 Συντρίμμια, λασποροές και άλλες μαζικές μετακινήσεις**

Τα σοβαρότερα δευτεροβάθμια αποτελέσματα της ηφαιστειακής δραστηριότητας είναι συντρίμμια και λασποροές, γνωστές συλλογικά από το ινδονησιακό όνομα τους «lahar». Τα «Lahars» παράγονται όταν μεγάλα ποσά χαλαρής ηφαιστειακής στάχτης και άλλης τέφρας είναι ποτίζονται με νερό, γίνονται ασταθή, και ξαφνικά κατηφορίζουν.

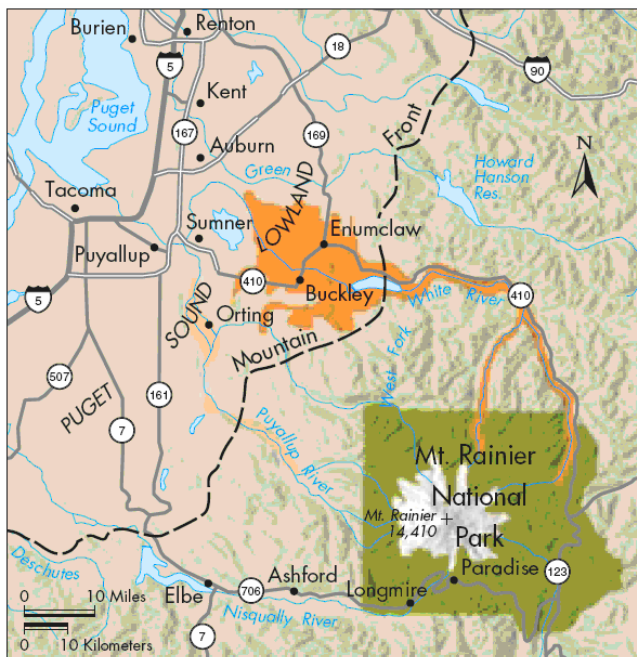
Οι ροές συντριμμίων διαφέρουν από τις λασποροές στο ότι είναι πιο χονδροειδή περισσότερα από τα μισά μέρη τους είναι μεγαλύτερα από τα σιτάρια άμμου. Αντίθετα από τις πυρογενείς ροές, «lahars» μπορούν να εμφανιστούν χωρίς μια έκρηξη και είναι γενικά χαμηλής θερμοκρασίας ροές.

Τα συντρίμμια ρέουν ακόμη και σε σχετικά μικρές εκρήξεις καυτού ηφαιστειακού υλικού που μπορεί γρήγορα να λειώσει τους μεγάλους όγκους του χιονιού και πάγου σε ένα ηφαίστειο. Αυτή η γρήγορη τήξη παράγει μια πλημμύρα από νερά λιωμένων χιονιών που διαβρώνουν την κλίση του ηφαιστείου που δημιουργεί μια ροή συντριμμίων.

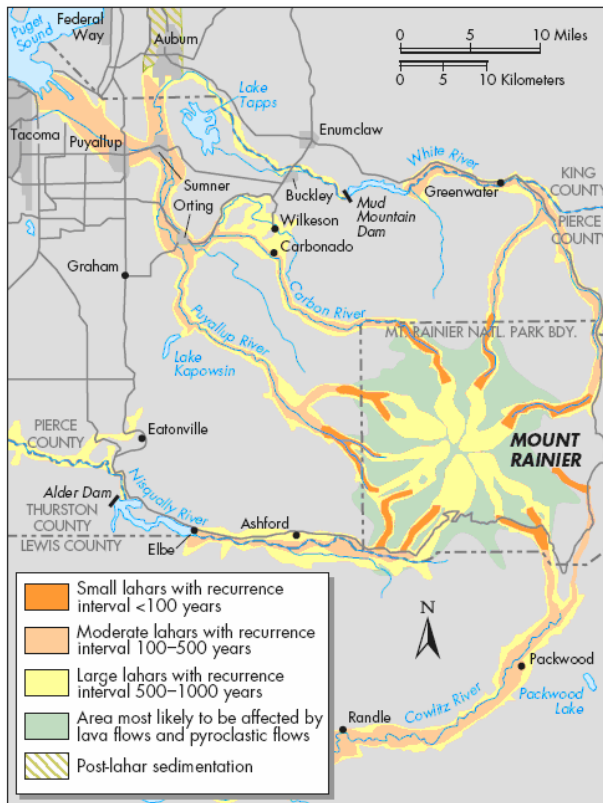
Οι ηφαιστειακές ροές συντριμμίων είναι γρήγορα κινούμενα μίγματα λεπτού ιζήματος και μεγάλων βράχων που έχουν σύσταση παρόμοια με το υγρό σκυρόδεμα. Οι ροές συντριμμίων μπορούν να ταξιδέψουν πολλά χιλιόμετρα κάτω από τις κοιλάδες και τα πλευρά του ηφαιστείου όπου διαμόρφωσαν. Παραδείγματος χάριν, νωρίς το 1990 μια πυρογενής ροή από το ηφαίστειο Redoubt στην Αλάσκα κινήθηκε πέρα από τον παγετώνα κλίσης. Γρήγορα έλιωσε το χιόνι και τον πάγο παράγοντας ογκώδη ποσά νερού και ιζήματος. Αυτό ο πηλός δημιούργησε μια ροή συντριμμίων με μια εκκένωση συγκρίσιμη με αυτή στο ποτάμι Μισισσιππή σε στάδιο πλημμυρών. Ευτυχώς, το γεγονός ήταν σε μια απομονωμένη περιοχή, έτσι καμία ζωή δεν χάθηκε.

### 1.7.5 Λασποροές

Γιγαντιαίες λασποροές έχουν δημιουργηθεί επάνω στα πλευρά των ηφαιστειών στο Pacific Northwest στον ιστορικό και προϊστορικό χρόνο. Δύο από αυτές, η λασποροή στην Osceola και η λασποροή ηλεκτρονίων, άρχισαν στο Mt. Rainier (Εικόνα 20). Περίπου 5.000 έτη πριν λασποροή στην Osceola κίνησε (0.45 mi.3) του ιζήματος σε μια απόσταση περισσότερη από 80 χλμ μακριά από το ηφαίστειο. Πολλές περιοχές νότια του Πουκέτ είναι σε κίνδυνο για ροή από συντρίμια, λασποροή, λάβα και πυρογενή ροή από το Mt. Rainier. (Εικόνα 21)



**Εικόνα 20:** Λασποροές και πιθανοί κίνδυνοι λασποροών. (Blodgett R. & Keller E. *Natural hazards earth's processes as hazards disasters and catastrophes*)



**Εικόνα 21:** Λασποροές και πιθανοί κίνδυνοι λασποροών. (Blodgett R. & Keller E. *Natural hazards earth's processes as hazards disasters and catastrophes*)

### **1.8 Πότε ένα ηφαίστειο θεωρείται ενεργό, ανενεργό ή εσβεσμένο**

Τα ηφαίστεια, ανάλογα με την εκδήλωση ηφαιστειακής δράσης, χαρακτηρίζονται ως ενεργά (active), ανενεργά (inactive, dormant) ή εσβεσμένα (extinct). Εντούτοις, αυτή η κατάταξη μπορεί να είναι σχετικά υποκειμενική και ίσως ανακριβής.

Ένα ηφαίστειο θεωρείται ενεργό (active) όταν έχει εκραγεί στους ιστορικούς χρόνους. Όμως, ο ορισμός αυτός είναι ασαφής, διότι η καταγεγραμμένη ιστορία ξεκινά, για παράδειγμα, πριν κάποιες χιλιάδες χρόνια στην Ευρώπη και την Ασία, ενώ στις Ηνωμένες Πολιτείες μόνο πριν από κάποιες εκατοντάδες χρόνια. Γενικά, οι επιστήμονες θεωρούν ένα ηφαίστειο ως ενεργό, εάν εμφανίζει σήμερα εκρηκτική δράση, ή κάποια άλλη δραστηριότητα, όπως σεισμική, ή κάποια τοπογραφική ανύψωση ή εκπομπή αερίων.

Επιπρόσθετα, υπάρχουν 529 ηφαίστεια που δεν εξερράγησαν κατά τους ιστορικούς χρόνους, υπάρχουν όμως σαφή δεδομένα εκρηκτικής δραστηριότητας

κατά τα τελευταία 10.000 χρόνια. Αυτά θεωρούνται ανενεργά (*inactive, dormant*), αφού είναι σε θέση να εκραγούν ξανά. Το αν ένα ανενεργό ηφαίστειο είναι πράγματι εσβεσμένο (*extinct*) ή απλώς βρίσκεται σε περίοδο ηρεμίας (*dormant*), εξαρτάται εν μέρει από τη μέση περίοδο ηρεμίας μεταξύ των εκρήξεων. Από την άλλη μεριά, μικροί κώνοι σκωριών που σχηματίζονται σήμερα μπορεί να θεωρηθούν εσβεσμένοι μετά την έκρηξή τους, διότι συνήθως εκρήγνυνται μόνο μία φορά.

## **Κεφάλαιο 2<sup>ο</sup>: Τρόποι Παρακολούθησης ηφαιστειών**

### **2.1 Εδαφική παρακολούθηση**

Η παρακολούθηση της εδαφικής παραμόρφωσης αποτελεί άκρως επιδεκτική και εφαρμόσιμη τεχνική για την αναγνώριση διαφορετικών συμπεριφορών της ηφαιστειακής δραστηριότητας.

Κατά την εδαφική παρακολούθηση, παρακολουθούν τις γεωφυσικές και γεωχημικές παραμέτρους οι οποίες αλλάζουν πριν από την ηφαιστειακή έκρηξη. Οι παρακάτω τεχνικές χρησιμοποιούνται για την εδαφική παρακολούθηση ενός ηφαιστείου:

- Σεισμική παρακολούθηση
- Μόνιμοι σταθμοί δορυφορικών συστημάτων παγκόσμιας πλοήγησης (Global Navigation Satellite Systems - GNSS)
- Αυτοματοποιημένο γεωδίμετρο
- Ραντάρ Ντόπλερ
- Παρακολούθηση αερίων
- Γεωχημική ανάλυση λάβας και εξάχνωσης

Εκτός από τα κλασικά συστήματα παρακολούθησης που βασίζονται σε σεισμικές, υδρολογικές, ή ατμιδικής δράσης παρατηρήσεις, συμπληρώνονται με σύγχρονες γεωδαιτικές παρατηρήσεις.

Οι γεωδαιτικές τεχνικές έχουν εφαρμοσθεί εκτενέστερα σε ενεργά ηφαίστεια και οι τεχνικές υπολογισμού της εδαφικής παραμόρφωσης αποδεικνύονται ως ένα ισχυρό μέσο μελέτης και κατανόησης του ηφαιστειακού κύκλου. Η γεωδαιτική παρακολούθηση ενός ηφαιστείου περιλαμβάνει την εγκατάσταση μακροπρόθεσμων συστημάτων παρακολούθησης, αλλά και περιοδικών μετρήσεων ενός σταθερού γεωδαιτικού δικτύου τη χρήση κλασικών επίγειων τεχνικών ή της τεχνικής GPS (*Global Positioning System*) ή τεχνικές εδαφικής αποτύπωσης υψηλής ακρίβειας, όπως τεχνικές που μετρούν αλλαγές υψομέτρων (*leveling*), αποστάσεων (*EDM*), ή κλίσεως (*tiltmeters*). Η τεχνολογία της Συμβολομετρίας Ραντάρ (*Interferometry Synthetic Aperture Radar, InSAR*) αποτελεί πρόσθετο μέσο παρακολούθησης ηφαιστειακών

περιοχών και δύναται άκρως να χρησιμοποιηθεί στην παρακολούθηση της εδαφικής παραμόρφωσης ενεργών.

## **2.1 Ροή μάγματος και εδαφική παραμόρφωση**

Το μάγμα είναι υπόγειο, τηγμένο πέτρωμα που είναι διάπυρο και περιέχει αρκετά αέρια. Συχνά, το μάγμα συγκεντρώνεται σε μαγματικούς θαλάμους μέσα στα ηφαίστεια. Είναι ικανό να παρεισφρήσει στα παρακείμενα πετρώματα, να εξέλθει στην επιφάνεια με τη μορφή λάβας, και να προκαλέσει εκρηκτική εκτίναξη τέφρας με τη μορφή πυροκλαστικών πετρωμάτων. Είναι μία σύνθετη, υψηλής θερμοκρασίας, υγρή ουσία. Οι θερμοκρασίες των περισσότερων μαγμάτων κυμαίνονται από 700°C έως 1300°C (ή 1300°F έως 2400°F). Συνήθως, το περιβάλλον σχηματισμού και το περιβάλλον σύνθεσης του μάγματος συσχετίζονται. Τα περιβάλλοντα αυτά περιλαμβάνουν ζώνες υποβύθισης, ηπειρωτικές ρηγματικές ζώνες, μεσωκεάνιες ράχες, και δυναμικές ζώνες, μερικές από τις οποίες ερμηνεύονται ως κορυφές του μανδύα.

Υπάρχουν τρείς πρωταρχικές πηγές παραμόρφωσης του γήινου φλοιού, οι αλλαγές πίεσης σε υψηλού επιπέδου μαγματικούς θαλάμους, οι μαγματικές παρεισφρήσεις και οι σεισμοί. Μεταξύ των εκρήξεων, οι αλλαγές πίεσης στο εσωτερικό των ηφαιστείων συχνά προκαλούν εύκολα μετρήσιμες παραμορφώσεις που μπορούν να ανιχνευτούν και να χρησιμοποιηθούν ώστε να βελτιωθεί η κατανόηση της δυναμικής των ηφαιστείων. Τα μεγέθη της παραμόρφωσης των ανενεργών ηφαιστείων είναι συνήθως μερικά mm/έτος ή cm/έτος, αλλά μπορούν πολύ εύκολα να υπερβούν το ένα μέτρο κατά τη διάρκεια των εκρήξεων.

Επομένως η γεωδαιτική παρακολούθηση των ηφαιστείων είναι πολύ σημαντική στο μετριασμό του ηφαιστειακού κινδύνου και μπορεί να είναι κρίσιμη στην παροχή γρήγορης προειδοποίησης μιας έκρηξης. Επιπλέον, τα πεδία των επιφανειακών παραμορφώσεων εξαρτώνται από την εσωτερική κατασκευή των ηφαιστείων και τις διαβάσεις του μάγματος. Ως εκ τούτου, μελετώντας την επιφανειακή παραμόρφωση μπορούμε να μάθουμε πολλά για τη δυναμική των ηφαιστείων.



## **2.2 Κάμερες Web**

Κάμερες που τοποθετούνται στο έδαφος για την παρακολούθηση των ηφαιστειών. Μερικές προβάλλονται στο Διαδίκτυο, για παράδειγμα, σε αυτόν τον ιστότοπο <https://www.skylinewebcams.com/el/webcam/italia/sicilia/catania/vulcano-etna-sud.html> μπορούμε να δούμε την θέα των κρατήρων της Αίτνας στα 2.502 μέτρα , ιδανικό σημείο για την παρατήρηση των εκρήξεων.



**Εικόνα 22:** Η θέα των κρατήρων της Αίτνας ([www.skylinewebcams.com](http://www.skylinewebcams.com))

Τα κλασικά συστήματα παρακολούθησης που βασίζονται σε σεισμικές, υδρολογικές, ή ατμικής δράσης παρατηρήσεις, συμπληρώνονται με σύγχρονες γεωδαιτικές παρατηρήσεις.

Οι γεωδαιτικές τεχνικές έχουν εφαρμοσθεί εκτενέστερα σε ενεργά ηφαίστεια και οι τεχνικές υπολογισμού της εδαφικής παραμόρφωσης αποδεικνύονται ως ένα ισχυρό μέσο μελέτης και κατανόησης του ηφαιστειακού κύκλου. Η γεωδαιτική παρακολούθηση ενός ηφαιστείου περιλαμβάνει την εγκατάσταση μακροπρόθεσμων συστημάτων παρακολούθησης, αλλά και περιοδικών μετρήσεων ενός σταθερού γεωδαιτικού δικτύου τη χρήση κλασικών επίγειων τεχνικών ή της τεχνικής GPS (Global Positioning System). Η τεχνολογία της Συμβολομετρίας Παντάρ (Interferometry Synthetic Aperture Radar, InSAR) αποτελεί πρόσθετο μέσο παρακολούθησης



ηφαιστειακών περιοχών και δύναται άκρως να χρησιμοποιηθεί στην παρακολούθηση της εδαφικής παραμόρφωσης ενεργών ηφαιστείων.

### **2.3 Η παρακολούθηση των αερίων**

Η παρακολούθηση των αερίων μπορεί να αποβεί χρήσιμη στην πρόβλεψη των ηφαιστειακών εκρήξεων. Για παράδειγμα, μία αύξηση στα επίπεδα SO<sub>2</sub> και CO<sub>2</sub>, που αναδύονται από τις ατμίδες, πιθανόν να σημαίνει αύξηση στη δραστηριότητα του μάγματος στο μαγματικό θάλαμο. Η μέτρηση της σύστασης και του σχετικού όγκου των αερίων γίνεται με διάφορες μεθόδους:

- **Άμεσες μετρήσεις**

Τα αέρια από τις ατμίδες συλλέγονται σε φιάλες και αναλύονται σε γεωχημικά εργαστήρια. Μολονότι αυτή η μέθοδος παρέχει χρήσιμα δεδομένα, είναι αρκετά επικίνδυνη για τους επιστήμονες, καθώς επίσης τα συλλεγόμενα δείγματα αερίων μολύνονται από τον ατμοσφαιρικό αέρα.

- **Φασματογραφικές μετρήσεις (COSPEC)**

Η μέθοδος αυτή συνίσταται στην εξ αποστάσεως μέτρηση κάποιων αερίων με ένα **φασματογράφο συσχέτισης** (*correlation spectrometer, COSPEC*). Αυτό το όργανο κατασκευάστηκε στη δεκαετία του 1970 για την παρακολούθηση των αναθυμιάσεων του SO<sub>2</sub> από τις καμινάδες των εργοστασίων. Στην περίπτωση των ηφαιστείων η παρακολούθηση γίνεται είτε από το έδαφος, είτε από αυτοκίνητο, είτε από ελικόπτερο. Οι πιο σύγχρονοι φασματογράφοι είναι **φασματογράφοι υπέρυθρου** (*infrared spectrometers*) που μετρούν το ποσοστό της υπέρυθρης ακτινοβολίας που απορροφάται από το CO<sub>2</sub> και άλλα αέρια.

- **Μετρήσεις όζοντος (TOMS)**

Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται για μετρήσεις ευρείας κλίμακας και καταγράφει την κατανομή και την ποσότητα του SO<sub>2</sub> που απελευθερώνεται στη στρατόσφαιρα από τις ηφαιστειακές εκρήξεις. Η καταγραφή γίνεται μετρώντας το όζον με **φασματογραφική χαρτογράφηση του ολικού όζοντος** (*total ozone mapping spectrometer, TOMS*). Το όργανο αυτό αρχικά χρησιμοποιήθηκε στους δορυφόρους Nimbus-7 και Meteor-3. Από το 1997 και μετά βρίσκονται σε τροχιά γύρω από τη Γη πιο σύγχρονα όργανα που δίνουν λεπτομερέστερες πληροφορίες.

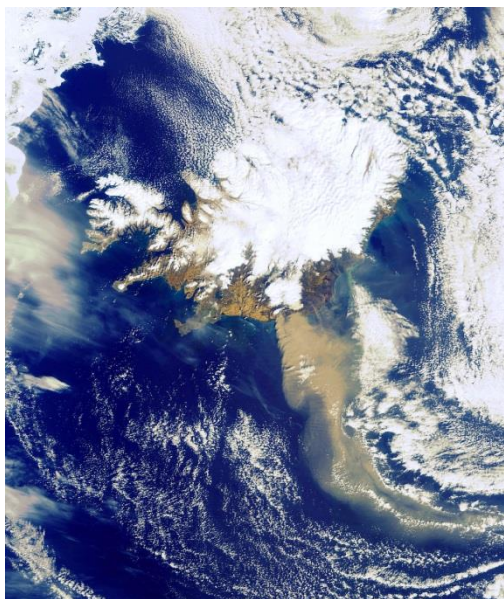
## **2.4 Τεχνικές τηλεανίχνευσης**

Οι δορυφόροι μας βοηθούν να παρακολουθούμε την κατάσταση των ηφαιστειών. Τα ηφαίστεια αναγνωρίζονται εύκολα στην επιφάνεια της Γης. Εκπέμπουν αέριο και σωματίδια στην ατμόσφαιρα, είναι καυτά, παρουσιάζουν αλλαγές στην τοπογραφία και την εδαφική κάλυψη, παραμορφώνονται πριν και μετά τις εκρήξεις και παρουσιάζουν πρόδρομα σημάδια (σε αντίθεση με τους σεισμούς). Συχνά, η ηφαιστειακή δραστηριότητα συνδυάζεται με τη σεισμικές (σεισμοί, τσουνάμι) ή γεωμορφολογικές διεργασίες (κατολισθήσεις, ροές λάσπης).

Είναι δυνατή η παρακολούθηση του παρακάτω φαινομένου μέσω δορυφορικής τηλε-ανίχνευσης:

- Ηφαιστειακοί θύσανοι
- Θερμικές ανωμαλίες
- Ροές λάβας
- Τοπογραφία
- Αλλαγές στην εδαφική κάλυψη
- Παραμόρφωση

#### 2.4.1 Τηλε-ανίχνευση ηφαιστειακών θυσάνων

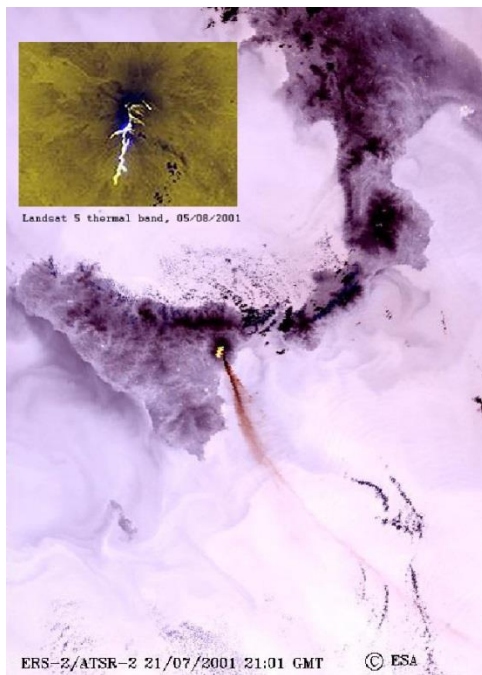


**Εικόνα 23**([https://www.esa.int/SPECIALS/Eduspace\\_Disasters\\_GR/SEMV0IFTFQG\\_0.html](https://www.esa.int/SPECIALS/Eduspace_Disasters_GR/SEMV0IFTFQG_0.html))

Λόγος: Ασφάλεια εναέριας κυκλοφορίας, κλιματική επίδραση, παρατήρηση της εκρηκτικής δραστηριότητας

- Δορυφόροι: NOAA (AVHRR), Meteosat (Seviri), Terra/Aqua (MODIS, ASTER), Landsat, SPOT, κτλ.
- Απαιτούμενη χωρική διακριτική ικανότητα: >1 χιλιόμετρο
- Απαιτούμενη χρονική διακριτική ικανότητα: πραγματικός χρόνος έως λίγες ημέρες
- Πληροφορίες: Διασπορά θυσάνου (αέρας), ύψος θυσάνου, SO<sub>2</sub>, θερμοκρασία θυσάνου.

## 2.4.2 Παρατήρηση των θερμικών ανωμαλιών

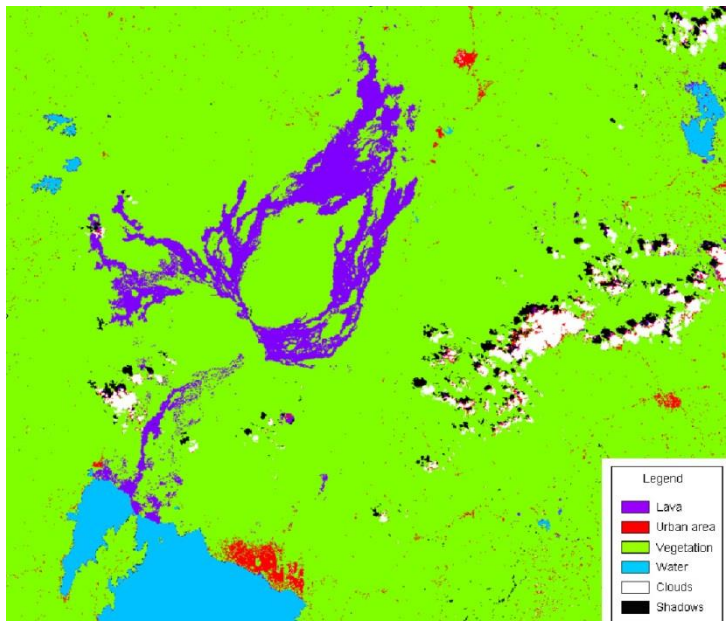


**Εικόνα 24**([https://www.esa.int/SPECIALS/Eduspace\\_Disasters\\_GR/SEMV0IFTFQG\\_0.html](https://www.esa.int/SPECIALS/Eduspace_Disasters_GR/SEMV0IFTFQG_0.html))

Λόγος: ανίχνευση καυτών σημείων σε απομακρυσμένα ηφαίστεια, παρακολούθηση ροών λάβας, μελέτη της ψύξης των ροών λάβας, παρακολούθηση των θόλων λάβας

- ❖ Δορυφόροι: Terra/Aqua (MODIS), NOAA (AVHRR), ASTER, Landsat
- ❖ Απαιτούμενη χωρική διακριτική ικανότητα: 1 χιλιόμετρο έως 1 μέτρο
- ❖ Απαιτούμενη χρονική διακριτική ικανότητα: πραγματικός χρόνος έως λίγες εβδομάδες
- ❖ Πληροφορίες: Ανίχνευση καυτών σημείων.

### 2.4.3 Ανίχνευση λάβας

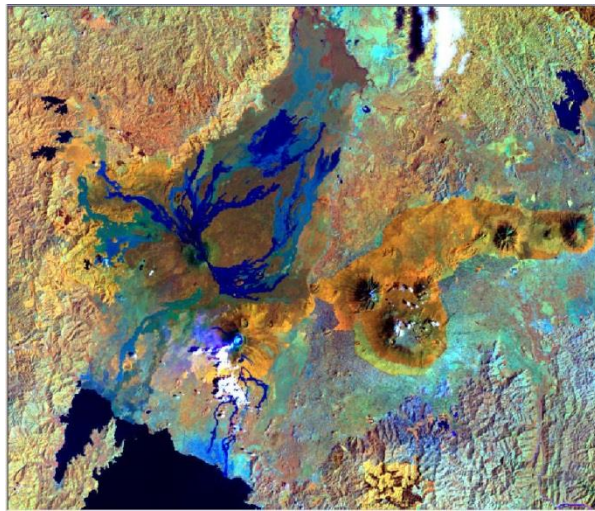


**Εικόνα 25**([https://www.esa.int/SPECIALS/Eduspace\\_Disasters\\_GR/SEMVOIFTFQG\\_0.html](https://www.esa.int/SPECIALS/Eduspace_Disasters_GR/SEMVOIFTFQG_0.html))

Λόγος: αξιολόγηση των τύπων εδαφικής κάλυψης που επηρεάζονται, εάν πληθυσμοί ή υποδομές βρίσκονται σε κίνδυνο, για τη μελέτη της ανίχνευσης λάβας και της αλλαγής της με το χρόνο

- Δορυφόροι: οπτικά όργανα (Landsat, SPOT, ASTER), εικόνες ραντάρ και συμβατά προϊόντα ραντάρ
- Απαιτούμενη χωρική διακριτική ικανότητα: 5 μέτρα έως 50 μέτρα
- Απαιτούμενη χρονική διακριτική ικανότητα: εβδομάδες έως χρόνια
- Πληροφορίες: ανίχνευση λάβας και ταξινόμησης των διαφορετικών ηλικιών της λάβας

#### 2.4.4 Αλλαγές στην τοπογραφία και στην εδαφική κάλυψη

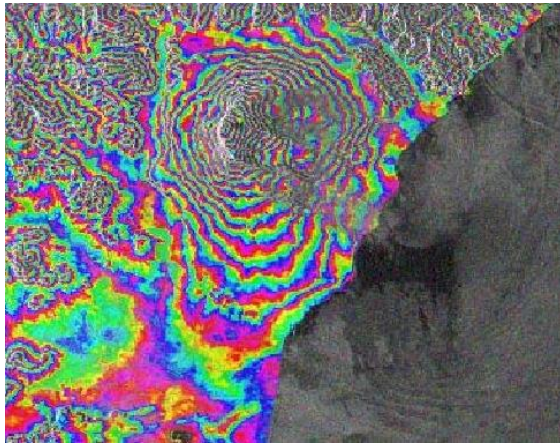


**Εικόνα 26:** Band combination 4-5-3 of Landsat image from 31 January 2003

Λόγος: η λάβα και οι πυροκλαστικές εναποθέσεις τροποποιούν την επιφάνεια, 3Δ χαρτογράφηση των αλλαγών για την αξιολόγηση κινδύνων κίνησης και για την παρακολούθηση της αποκατάστασης μιας περιοχής, διαδοχή της βλάστησης μετά από μια έκρηξη

- Δορυφόροι: Οπτικοί δορυφόροι Stereo υψηλής ανάλυσης, εναέριες εικόνες, LIDAR
- Απαιτούμενη χωρική διακριτική ικανότητα: 1 μέτρα
- Απαιτούμενη χρονική διακριτική ικανότητα: ώρες έως χρόνια
- Πληροφορίες: DEM υψηλής ανάλυσης

#### 2.4.5 Παρακολούθηση παραμόρφωσης



**Εικόνα 27** ([https://www.esa.int/SPECIALS/Eduspace\\_Disasters\\_GR/SEMV0IFTFQG\\_0.html](https://www.esa.int/SPECIALS/Eduspace_Disasters_GR/SEMV0IFTFQG_0.html))

Λόγος: Παρακολούθηση μέτριου χρονικού διαστήματος (ανίχνευση φουσκώματος, ξεφουσκώματος, ανίχνευση ανήσυχης κατάστασης), παρακολούθηση σύντομου χρονικού διαστήματος (σχισμές και αναχώματα, παρακολούθηση ενεργών σφαλμάτων, παρακολούθηση καθίζησης ροών λάβας, επιτήρηση ασταθών περιοχών)

- Δορυφόροι: Ζεύγη συμβολομετρικών εικόνων δορυφόρων ραντάρ (Envisat, ERS, ALOS, TerraSAR-X, JERS)
- Απαιτούμενη χωρική διακριτική ικανότητα: 1 μέτρο έως 50 μέτρα
- Απαιτούμενη χρονική διακριτική ικανότητα: πραγματικός χρόνος έως λίγοι μήνες
- Πληροφορίες: πρόδρομα χαρακτηριστικά της έκρηξης



## **2.5 Παρατήρηση ενεργών ηφαιστειών με τη χρήση θερμικής ακτινοβολίας**

Τα ηφαίστεια είναι συχνά απρόσιτα, καθιστώντας έτσι τις εφαρμογές της τηλεπισκόπησης που χρησιμοποιούν τη θερμική και τη μέση-υπέρυθρη ακτινοβολία σαφείς λύσεις για την κατανόηση της ηφαιστειακής δραστηριότητας.

Οι δορυφόροι AVHRR και MODIS είναι οι πλέον κατάλληλοι για την παρακολούθηση του ηφαιστείου.

Εκκινώντας από τα μέσα της δεκαετίας του 1990, μια νέα αναπτυξιακή κατεύθυνση άρχισε να εξελίσσεται. Η διαδικασία αυτή ξεκίνησε για να αντιμετωπιστεί το γεγονός ότι η παρακολούθηση της δυναμικής φύσης των ηφαιστειακών εκρήξεων επωφελείται από την τακτική συλλογή των θερμικών δεδομένων σε υψηλή συχνότητα. Ως αποτέλεσμα, οι επιστήμονες άρχισαν να βρίσκουν λύσεις χρησιμοποιώντας δεδομένα χαμηλής χωρικής ανάλυσης από μετεωρολογικούς δορυφόρους, οι οποίοι συλλέγουν δεδομένα είτε σε ωριαία είτε σε καθημερινή βάση. Χρησιμοποιώντας τους αισθητήρες AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) και ATSR (AlongTrack Scanning Radiometer), οι επιστήμονες έδειξαν ότι με την προσαρμογή των τεχνικών που αναπτύχθηκαν με τη χρήση των δεδομένων Landsat TM, αυτοί οι χαμηλής χωρικής ανάλυσης αισθητήρες θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για συγκεντρώσουν και να καταγράψουν όλες τις χρονολογίες εκρήξεων και να εκτελέσουν αναδρομικές αναλύσεις ολόκληρων εκρηκτικών επεισοδίων. (Higgins et al., 1997· Wooster and Rothery, 1997).

Παράλληλα με το έργο αυτό, κατά τη δεκαετία του 1990 έγιναν προσπάθειες για τη χρήση θερμικών δορυφορικών δεδομένων ώστε να συμβάλουν στην παρακολούθηση των ηφαιστειών σε πραγματικό χρόνο. Δεν υπάρχει μέχρι στιγμής κάποιος δορυφόρος ή επίγειος αισθητήρας ο οποίος να έχει σχεδιαστεί αποκλειστικά για ηφαιστειακές εφαρμογές.

Ωστόσο υπάρχουν πολλοί θερμικοί αισθητήρες σχεδιασμένοι για στρατιωτικές, αστικές και βιομηχανικές εφαρμογές, οι οποίοι μπορούν να προσαρμοστούν και για ηφαιστειακές εφαρμογές. Έτσι, οι ηφαιστειολόγοι έπρεπε να χρησιμοποιήσουν αισθητήρες και δεδομένα που δεν προορίζονταν γι' αυτόν τον σκοπό.

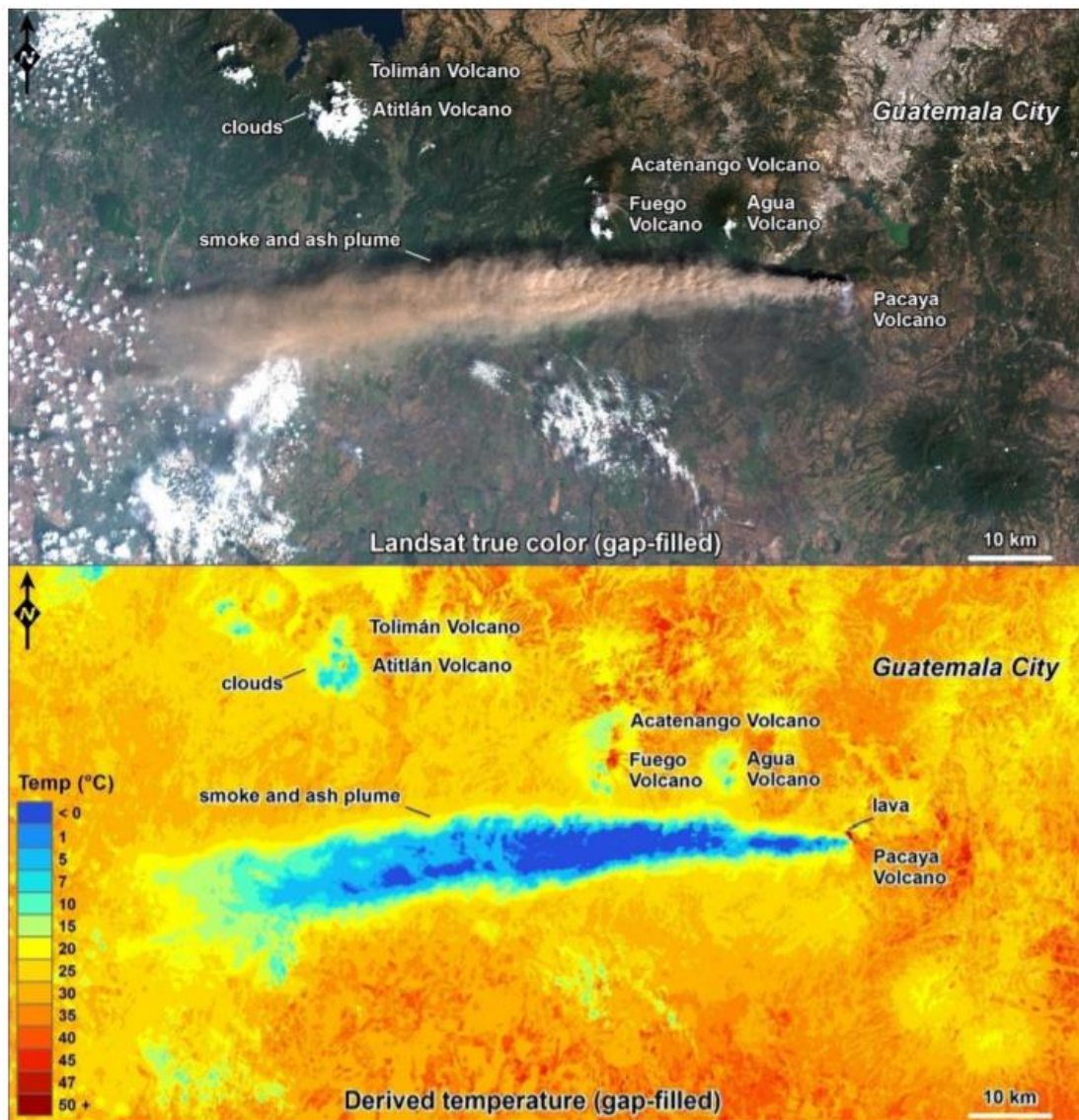


Η έναρξη της νέας χιλιετίας έφερε ένα μεγάλο βήμα προς το εύρος των διαθέσιμων πόρων για την ανάλυση των θερμικών φασματικών ταυτοτήτων των ηφαίστειων, με την εκτόξευση ορισμένων δορυφόρων της NASA όπως είναι ο δορυφόρος Terra, ο Landsat-7, ο Aqua και ο EO-1. Όλοι αυτοί δορυφόροι μεταφέρουν αισθητήρες που επιτρέπουν τη θερμική καταγραφή των ενεργών ηφαιστείων που επρόκειτο να μελετηθούν από το Διάστημα.

Ως αποτέλεσμα, καθιερώθηκε το πρώτο παγκόσμιο σύστημα δορυφορικής παρακολούθησης ηφαιστείων, με το οποίο παρακολουθούνται όλα τα ενεργά και δυνητικά ενεργά ηφαίστεια της Γης σε καθημερινή βάση (Wright et al., 2004).

Σήμερα, τα θερμικά δεδομένα από δορυφορικούς αισθητήρες γίνονται όλο και πιο φθηνά και σε πολλές περιπτώσεις διατίθενται ελεύθερα. Για παράδειγμα, τα δεδομένα MODIS είναι διαθέσιμα σε διάφορες μορφές 24 βαθμονομήσεων και γεωμετρικών διορθώσεων χωρίς κόστος από τη NASA μέσα σε λίγες ώρες από τη λήψη των δεδομένων, επίσης τα δεδομένα από δορυφόρους της σειράς Landsat είναι διαθέσιμα δωρεάν. Γενικότερα, η θερμική τηλεπισκόπηση έχει προσφέρει μοναδικά και διαφωτιστικά στιγμιότυπα της συμπεριφοράς των ηφαιστείων, τόσο γνωστά και ασαφή, τόσο επικίνδυνα και αθόρυβα, για πολλές δεκαετίες (Εικόνα 28 ).

Παρά τη μη ύπαρξη κάποιου αισθητήρα αυτή τη στιγμή σε τροχιά αποκλειστικά για την παρακολούθηση ηφαιστείων, οι εξελίξεις στην τεχνολογία σημαίνουν ότι περισσότερες πληροφορίες και λεπτομέρειες θα γίνονται διαθέσιμες από την άποψη της παρατήρησης της ηφαιστειακής δραστηριότητας. Πράγματι, το ισχύον καθεστώς είναι ότι όλες οι ηφαιστειακές επιφάνειες μπορεί να εποπτεύονται, αποκαλύπτοντας τις τάσεις της δραστηριότητας που βοηθούν στη δυνατότητα πρόβλεψης και επιτρέπουν την εξ αποστάσεως αξιολόγηση της επικινδυνότητας (Blackett 2014).



**Εικόνα 28:** Εικόνες του δορυφόρου Landsat-7 πάνω από το ηφαίστειο Pacaya στη Γουατεμάλα λίγο πριν την έκρηξη στις 2 Μαρτίου 2014 (Πηγή: NASA).

## **Κεφάλαιο 3<sup>ο</sup>: ΤΟ ΗΦΑΙΣΤΕΙΟ ΤΗΣ ΣΑΝΤΟΡΙΝΗΣ**

### **3.1 Γεωδυναμικό πλαίσιο Σαντορίνης**

Η Σαντορίνη βρίσκεται στο ηφαιστειακό τόξο του Αιγαίου, 140 km βόρεια της Κρήτης και η ηφαιστειακή της δραστηριότητα είναι αποτέλεσμα της καταβύθισης της Αφρικανικής πλάκας κάτω από την Ευρασιατική, ή ακριβέστερα την υπό-πλάκα του Αιγαίου. Η καταβύθιση γίνεται με ταχύτητα 5 cm/έτος προς τα βορειοανατολικά με γωνία 30-40°, και το όριο μεταξύ των δύο πλακών βρίσκεται στην ελληνική τάφρο νότια της Κρήτης. Η πλάκα της Αφρικής λιώνει σε μεγάλο βάθος και στη συνέχεια τα λιωμένα πετρώματα ανέρχονται στην επιφάνεια και σχηματίζουν τα ηφαίστεια των Μεθάνων, της Μήλου, της Σαντορίνης και της Νισύρου, τα οποία αποτελούν το ηφαιστειακό τόξο του Νοτίου Αιγαίου. Το σύμπλεγμα της Σαντορίνης, είναι το πιο ενεργό του τόξου.

Το ηφαιστειακό σύμπλεγμα της Σαντορίνης στο εσωτερικό του αποτελείται κυρίως από τα νησιά της Νέας και Παλαιάς Καμένης σε μια «πλημμυρισμένη» Καλδέρα η οποία φτάνει σε ύψος 300 m από την επιφάνεια της θάλασσας. Στο εξωτερικό της καλδέρας υπάρχουν τα νησιά Θήρα, Θηρασία και Ασπρονήσι.. Στο ηφαιστειακό σύμπλεγμα όμως ανήκει και το υποθαλάσσιο ηφαίστειο Κολούμπο.



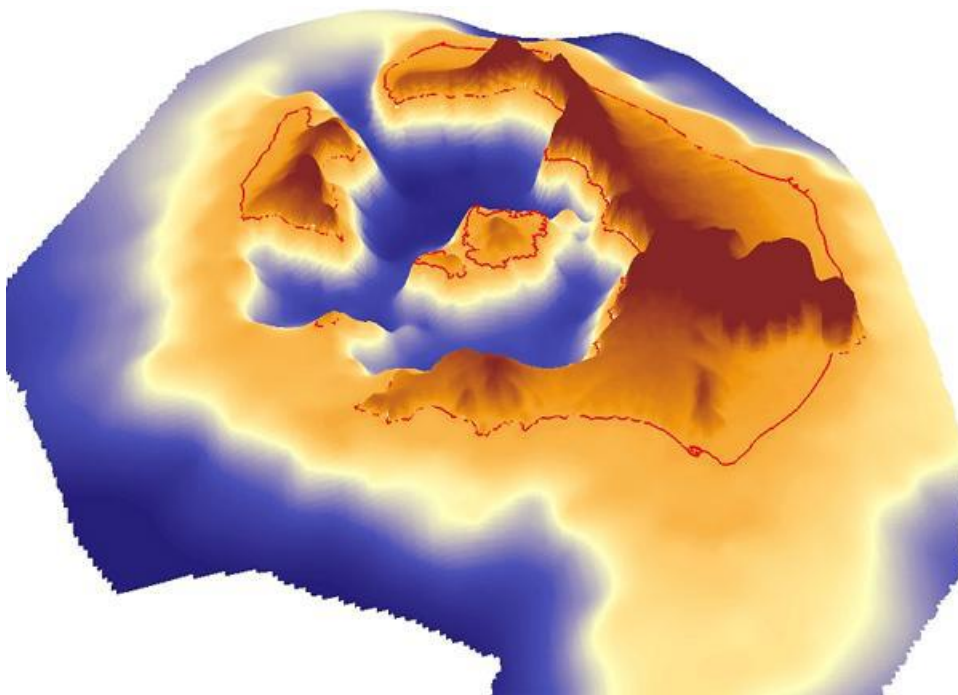
**Εικόνα 29:** Ηφαιστειακό τόξο Αιγαίου (Δ. Σακελλαρίου et al, 2006)

### **3.2 Γεωλογία-Μορφολογία Σαντορίνης**

Το νησί καταλαμβάνει έκταση 79,194 τ.χλμ. και το μήκος της ακτογραμμής ανέρχεται σε 67 χιλιόμετρα. Το σημερινό έδαφος είναι αρκετά πεδινό και άνυδρο με ψηλότερη κορυφή τον Προφήτη Ηλία (567m). Οι ακτές, ιδιαίτερα στην ανατολική πλευρά, είναι εξαιρετικά ομαλές, χωρίς έντονο διαμελισμό, σχηματίζοντας όμορφες παραλίες.

Η Σαντορίνη υπόκειται σε ένα υπόβαθρο που αποτελείται από μάρμαρο και φυλίτη (phyllite) από τη Μεσοζωική στην νωρίτερη Καινοζωική εποχή. Συναντείται στη νοτιανατολική πλευρά της Θήρας και στο τοίχος της καλδέρας κοντά στο λιμάνι του Αθηνιού

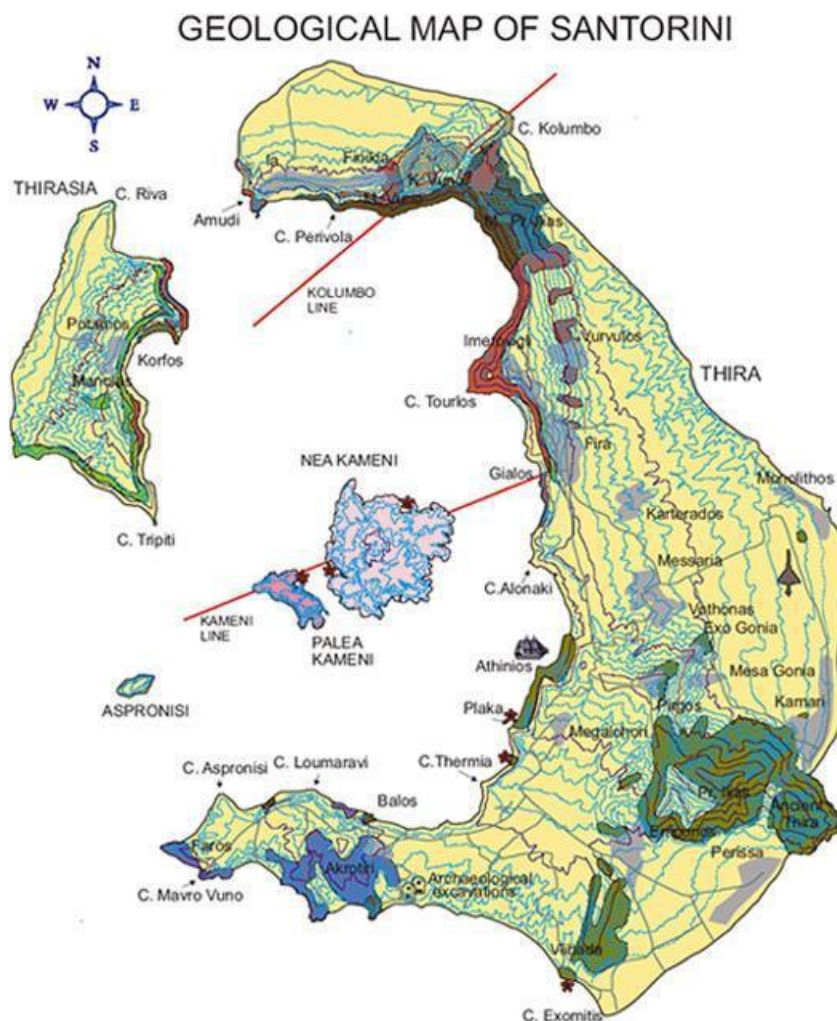




**Εικόνα 30:** Τρισδιάστατη απεικόνιση της καλδέρας (Δ. Οικονομίδης et al, 2012)

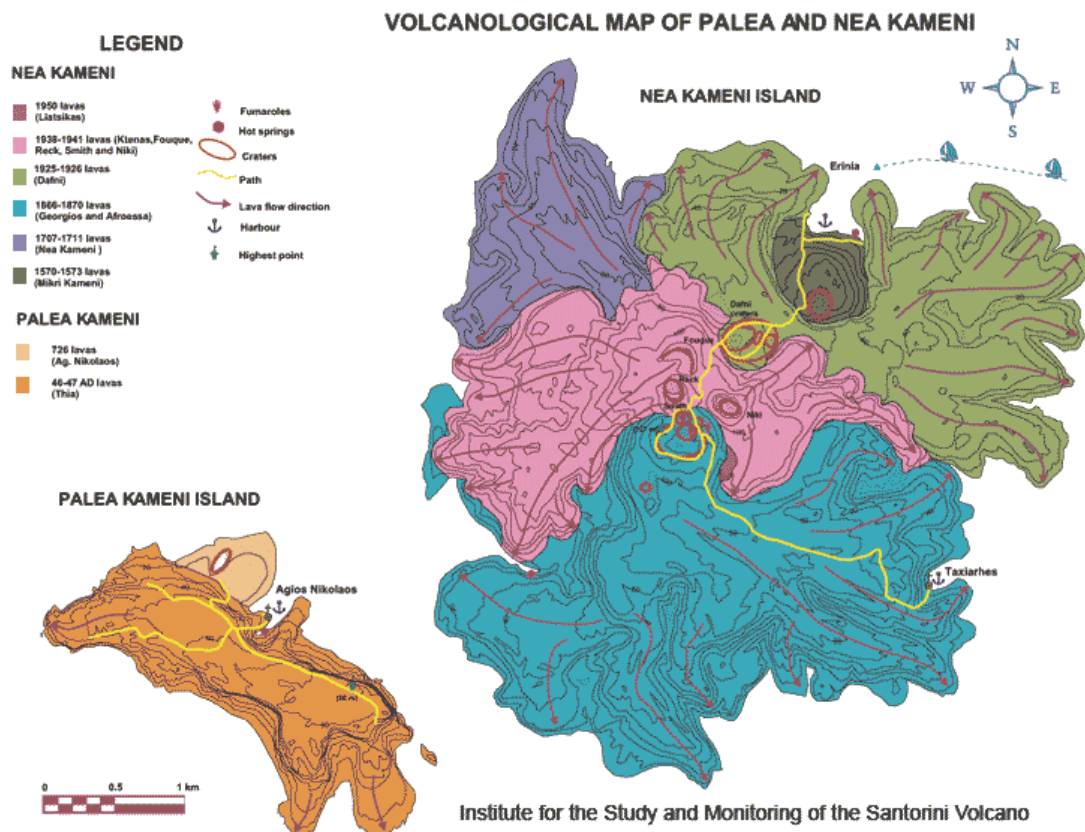
Το τρισδιάστατο αυτό μοντέλο κατασκευάστηκε από ψηφιοποίηση τοπογραφικών χαρτών, σύγχρονων δορυφορικών εικόνων, βυθομετρικών δεδομένων και από τοπογραφικά στοιχεία του Google Earth από την επιστημονική ομάδα των Δ. Οικονομίδη, Κ. Αλμπανάκη, Σπ. Παυλίδη και Μ. Φυτίκα. Πρόκειται για τη συνολική εικόνα αν αφαιρούσαμε τη θάλασσα. Μια εικόνα που δεν την συνηθίσαμε, αφού μέχρι σήμερα βλέπουμε και αντιλαμβανόμαστε μόνο το τμήμα του πάνω από τη σημερινή στάθμη της θάλασσας.

Η ηφαιστειακή δραστηριότητα επηρεάζεται αυστηρά από δύο κύριες ΒΑ-ΝΔ χαρακτηριστικές τεκτονικές γραμμές, την γραμμή Καμένης και την γραμμή Κολούμπο. Η γραμμή της Καμένης αποτελείται από τα νησιά της Παλαιάς και της Νέας Καμένης καθώς και από αποθέματα της ακτής του υποθαλάσσιου ηφαιστείου Κολούμπο, βόριο-ανατολικά της Θήρας. Η γραμμή του Κολούμπο εντάσσεται στο βόρειο μέρος της Θήρας, περνάει από την στάχτη κώνουφ του Μεγάλου Βουνού και του Κόκκινου Βουνού και από το δακτύλιο ηφαιστειακής πέτρας του ακρωτηρίου Κολούμπο.



**Εικόνα 31:** Γραμμές Καμένης και Κολούμπο (Γ. Βουγιουκαλάκης, 1997)

Η όψη της από τη πλευρά του ηφαιστείου παρουσιάζεται βραχώδης και απόκρημνη σε αντίθεση με την ομαλότητα του εδάφους της στο υπόλοιπό της. Γενικά η Σαντορίνη είναι άνυδρος και ξερή, χωρίς λίμνες, ποταμούς, ρεματιές ή χαράδρες. Οι αρδευτικές ανάγκες της καλύπτονται κυρίως από γεωτρήσεις που γίνονται στο υπέδαφός της, όπου συγκεντρώνεται κυρίως το βρόχινο νερό. Στη νήσο υφίστανται τρεις κύριες πηγές καθώς και τέσσερις ιαματικές πηγές. Το έδαφος του νησιού είναι ηφαιστειογενές, πεδινό στο μεγαλύτερο μέρος του, βραχώδες από την πλευρά του ηφαιστείου και εύφορο.



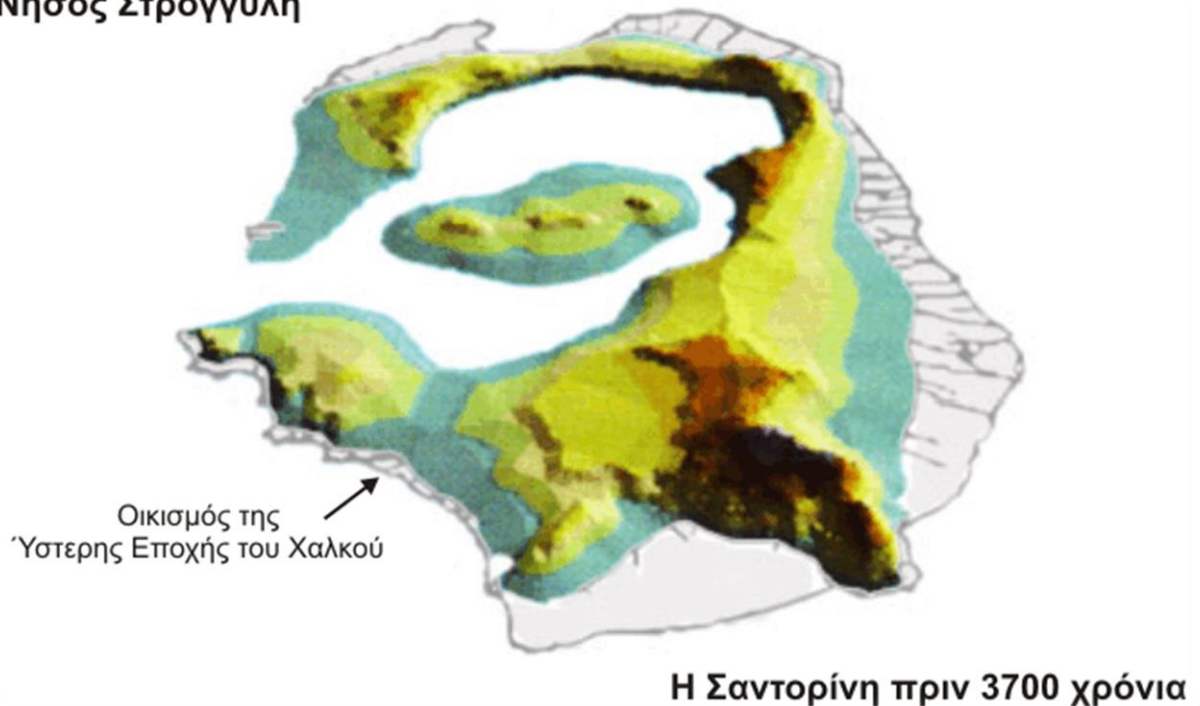
**Εικόνα 32:** Ηφαιστειακός χάρτης Παλαιάς και Νέας Καμένης (Ι.Μ.Π.Η.Σ.)

### **3.3 Η ιστορία του ηφαιστείου**

Η Σαντορίνη είναι μια από τις πιο θαυματικές καλδέρες στον κόσμο. Η σημερινή ημικυκλική και περισσότερο πεταλοειδής μορφή της νήσου οφείλεται στις κατά καιρούς ηφαιστειακές εκρήξεις που μετέβαλαν το αρχικό στρογγυλό σχήμα της. Ουσιαστικά, η Θήρα (Σαντορίνη) και τα νησάκια Θηρασιά και Ασπρονήσι είναι τα απομεινάρια του ηφαιστειογενούς νησιού Στρογγύλη (Εικόνα 33).

Η ιστορία του ηφαιστείου μετρά δύο εκατομμύρια χρόνια, ωστόσο για τη δημιουργία της καλδέρας και την καταστροφή του προϊστορικού πολιτισμού του νησιού, ουσιαστικά, υπεύθυνη θεωρείται η γνωστή ως Μινωική έκρηξη που σημειώθηκε στο νησί κατά την Ύστερη Εποχή του Χαλκού.

### Νήσος Στρογγύλη



**Εικόνα 33:** Η νήσος Στρογγύλη. (H. Sigurdsson et al, 2006)

### **3.4 Η δημιουργία της Σαντορίνης**

Πέντε εκατομμύρια χρόνια πριν, η Σαντορίνη ήταν ένα μικρό νησάκι, με διάμετρο περίπου 6 χιλιομέτρων, που ξεπρόβαλε μερικές εκατοντάδες μέτρα πάνω από τα κύματα του Αιγαίου, στη θέση της νοτιοανατολικής Θήρας.

Η πρώτη ηφαιστειακή δραστηριότητα εκδηλώνεται στην ευρύτερη περιοχή της Σαντορίνης πριν 2,5 εκατομμύρια χρόνια περίπου, νοτιοδυτικά του νησιού και δημιουργεί ένα μεγάλο ηφαιστειακό οικοδόμημα, στην περιοχή που βρίσκουμε σήμερα τις νησίδες των Χριστιανών. Στη στενή περιοχή του νησιώτικου συμπλέγματος της Σαντορίνης, το μάγμα αναβλύζει για πρώτη φορά από τα έγκατα της γης πριν περίπου 1 εκατομμύριο χρόνια. Τα παλαιότερα ηφαιστειακά κέντρα εντοπίζονται στη νοτιοδυτική Θήρα, στην περιοχή του Ακρωτηρίου. Την εποχή αυτή, μόλις που χέρσευε η κορυφή του Προφήτη Ηλία, και τα πρώτα ηφαιστειακά προϊόντα αποτίθενται σε μια θάλασσα βάθους 200-300 μέτρων. Με τη συσσώρευση των ηφαιστειών και τη θερμική αναθόλωση της περιοχής, φτάνουν τα ηφαιστειακά κέντρα να χερσεύουν και να σχηματίζουν τους σημερινούς λόφους του Ακρωτηρίου, από το Φάρο ως τον Αρχάγγελο. Το ηφαίστειο ξαποσταίνει για λίγες χιλιάδες χρόνια και ξαναρχίζει τη



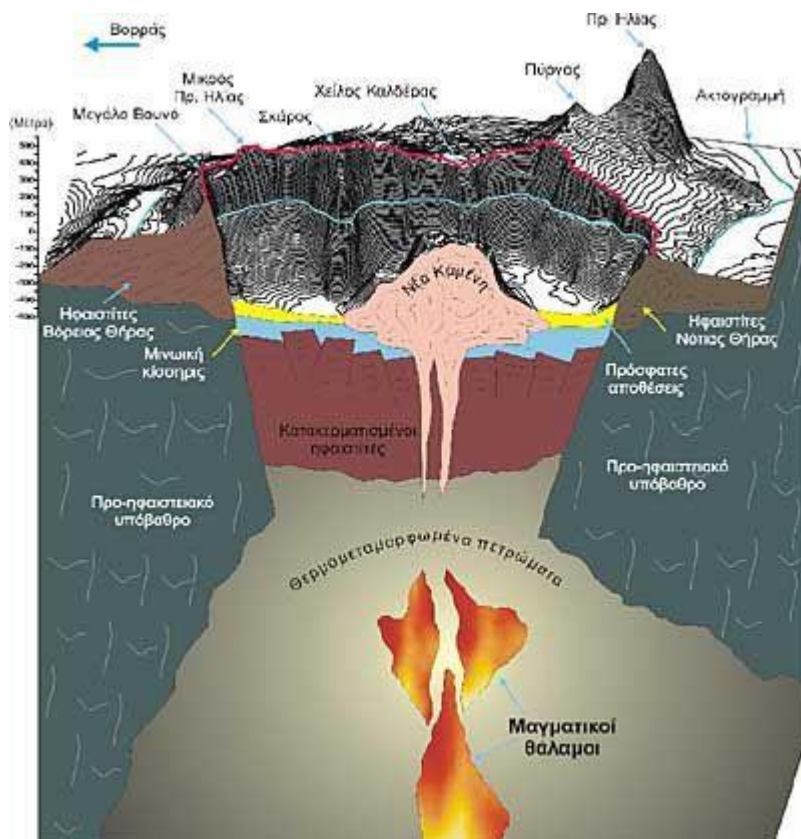
δράση του μετατοπίζοντάς τη βορειότερα, στην περιοχή μεταξύ Θηρασίας και βόρειας Θήρας. Εκεί, μεταξύ 530.000 και 430.000 έτη πριν οικοδομεί ένα μεγάλο ηφαίστειο, το ηφαίστειο του Περιστεριού. Το ύψος του δεν ξεπερνούσε τα 400 μέτρα και η κορυφή του βρισκόταν λίγες εκατοντάδες μέτρα δυτικότερα από τη σημερινή κορυφή του Μικρού Προφήτη. Παράλληλα με τη δράση του μεγάλου αυτού ηφαιστείου, δραστηριοποιούνται και μικρά ηφαιστειακά κέντρα νοτιότερα από αυτό, γύρω από το τότε νησί του Ακρωτηριού, ο Μπάλος, η Κόκκινη παραλία και η Κοκκινόπετρα.

Αυτή είναι η εποχή που αρχίζουν οι μεγάλες εκρήξεις στη Σαντορίνη. Περίπου κάθε 20.000 χρόνια εκδηλώνεται μια τεράστια έκρηξη που τινάζει δειλά στρώματα τέφρας που καλύπτουν όλη την περιοχή και οικοδομούν μεγάλο μέρος της. Ο κυριότερος όγκος στάχτης καταλήγει στη βαθιά θάλασσα, ενώ η λεπτότερη τινάζεται δεκάδες χιλιόμετρα ψηλά και ταξιδεύει σε όλο τον πλανήτη. Ορίζοντες λεπτής στάχτης από αυτές τις εκρήξεις έχουν βρεθεί σε ιζήματα της Μεσογείου.

Η καταστροφικότερη δράση αυτών των εκρήξεων είναι η κατακρήμνιση του προϋπάρχοντος ηφαιστείου και η δημιουργία καλδέρας.

Καθώς δεκάδες κυβικά χιλιόμετρα λιωμένο πέτρωμα έχουν τιναχθεί στον αέρα, αδειάζει η περιοχή στην οποία ήταν αποθηκευμένο το μάγμα και τα πετρώματα που βρίσκονται πάνω από αυτήν, κατακρημνίζονται σε βάθη αρκετών χιλιομέτρων, δημιουργώντας μια τεράστια χοάνη που αμέσως κατακλύζεται από τη θάλασσα. Μέσα στην κοιλότητα αυτή, συνεχίζει μετά την έκρηξη να αναβλύζει το μάγμα και σιγά σιγά την γεμίζει και αρχίζει να οικοδομεί ένα χερσαίο όρος, ένα νέο ηφαιστειακό οικοδόμημα.

Αυτός ο κύκλος καταστροφής και ανοικοδόμησης του ηφαιστείου, επαναλήφθηκε στη Σαντορίνη 12 φορές τα τελευταία 400.000 χρόνια. Έτσι, ενώ τα παχιά στρώματα της τέφρας πιστοποιούν τις μεγάλες εκρήξεις, οι όγκοι των συμπαγών ηφαιστειακών βράχων που ξεπροβάλουν ανάμεσά τους είναι μάρτυρες της οικοδόμησης των ηφαιστειακών κέντρων που κατόπιν καταστρέφονται από τις εκρήξεις. Τα συμπαγή στρώματα λάβας των γκρεμνών κάτω από το Ημεροβίγλι και αυτά που αποτελούν το ανώτερο μέρος των γκρεμνών της Θηρασίας, είναι ό,τι απόμεινε από ένα μεγάλο ηφαιστειακό οικοδόμημα, το ηφαίστειο του Σκάρου, το οποίο δέσποζε στην περιοχή της κεντρικής και βόρειας Σαντορίνης πριν 40.000 με 25.000 χρόνια.



**Εικόνα 34.** (Ι.Μ.Π.Η.Σ)

### **3.5 Η Μινωική έκρηξη**

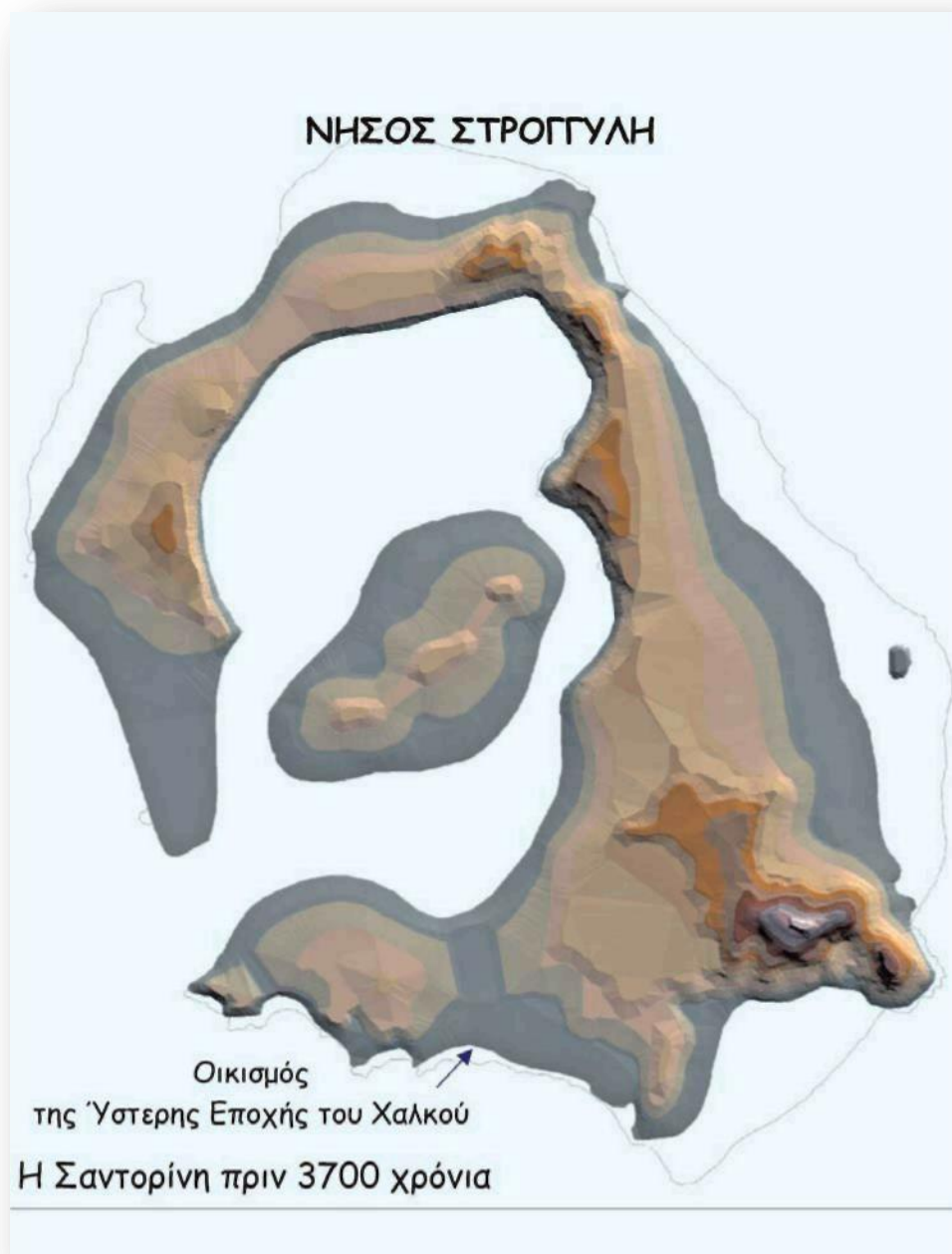
Η τελευταία από τις μεγάλες εκρήξεις εκδηλώνεται στην περιοχή της Σαντορίνης κατά την Ύστερη Εποχή του Χαλκού, την εποχή που στο νησί ακμάζει μια κοινωνία με λαμπρό πολιτισμό, όμοιο με αυτόν της Μινωικής. Μεταξύ Φάρου και Ασπρονησίου επέτρεπε στη θάλασσα να εισέρχεται σε μία κεντρική καλδέρα που στο κέντρο της χέρσευε η κορυφή ενός υποθαλάσσιου ηφαιστείου αντίστοιχου με τις σημερινές Παλαιά και Νέα Καμένη.

Η Μινωική έκρηξη προαναγγέλλεται από μία έντονη σεισμική κρίση, η οποία εκδηλώνεται αρκετούς μήνες πριν από την έναρξη της έκρηξης και καθιστά σχεδόν αδύνατη τη ζωή στο νησί. Οι κάτοικοι του νησιού εγκαταλείπουν την κατεστραμμένη πόλη και τους οικισμούς τους, μεταφέροντας νεκρούς, τραυματίες και ότι πολύτιμο είχαν. Είναι πιθανό να πρόφτασαν να εγκαταλείψουν και το νησί πριν από την έκρηξη, προειδοποιημένοι από πολύ μικρές εκρήξεις που αρχίζουν να εκδηλώνονται στις τότε Καμένες. Δεν αποκλείεται όμως η έκρηξη να τους πρόλαβε πάνω στο νησί,

συγκεντρωμένους σε ανοιχτά μέρη ή κοντά στο λιμάνι καθώς προσπαθούσαν να αποπλεύσουν, όπως συνέβη στην Ιταλία κατά την έκρηξη του Βεζούβιου το 79 μ.Χ., η οποία κατέστρεψε την Πομπηία και τις γύρω περιοχές.

Συνολικά, μέσα σε διάστημα λίγων ημερών (4-6), τινάζονται στον αέρα 90 δισεκατομμύρια τόνοι λιωμένο πέτρωμα (περίπου 39 κυβικά χιλιόμετρα μάγματος). Η ελαφρόπετρα και η ηφαιστειακή στάχτη που παράγεται καλύπτει ολοκληρωτικά το εναπομένον νησί με ένα λευκό σάβανο πάχους δεκάδων μέτρων και δημιουργεί όλες τις επίπεδες επιφάνειές του στις βόρειες, ανατολικές και νοτιοανατολικές ακτές της Θήρας, καθώς και τις δυτικές ακτές της. Η πολύ λεπτή στάχτη και τα σταγονίδια θειικού οξέος εισέρχονται στη στρατόσφαιρα (σε ύψη μεγαλύτερα των 15 χλμ.) και σκεπάζουν με το πέπλο τους όλο τον πλανήτη. Ίχνη τους έχουν εντοπιστεί σήμερα στους παγετώνες της Γροιλανδίας, ενώ ο «ηφαιστειακός χειμώνας» που προκάλεσαν (μείωση της μέσης γήινης θερμοκρασίας κατά 1-2 βαθμούς Κελσίου) έχει καταγραφεί στους δακτυλίους δέντρων των ΗΠΑ. Η κατακρήμνιση του ηφαιστείου μέσα στην τεράστια υπόγεια σπηλιά που δημιουργείται από την εκτίναξη του λιωμένου πετρώματος, δημιουργεί τη σημερινή καλδέρα της Σαντορίνης, προκαλώντας ένα τεράστιο παλιρροϊκό κύμα (τσουνάμι) που σαρώνει τις ακτές του Αιγαίου και τα παράλια της ανατολικής Μεσογείου.

Μετά από την Μινωική έκρηξη, το παχύρρευστο χωρίς αέρια μάγμα που έχει απομείνει στον μαγματικό θάλαμο, συνεχίζει να εξέρχεται, αργά και ήπια, κατά τακτά χρονικά διαστήματα. Από το 1600 π.Χ. ως το 197 π.Χ. εκδηλώνονται περιοδικά πλήθος εκχύσεις που δομούν ένα μεγάλο υποθαλάσσιο ηφαιστειακό βουνό, κορυφές του οποίου είναι οι Καμένες. Η πρώτη χερσαία δράση καταγράφεται το 197 π.Χ. από το σπουδαίο Έλληνα γεωγράφο Στράβωνα. Από τότε έως σήμερα έχουν καταγραφεί 8 ακόμη εκρήξεις (46-47, 726, 1570-1573, 1707-1711, 1866-1870, 1925-1928, 1939- 1941, 1950 μ.Χ. ), οι οποίες οικοδόμησαν την Παλαιά και τη Νέα Καμένη, τη νεότερη χέρσο της ανατολικής Μεσογείου. Όλες οι ιστορικές ενδοκαλδερικές εκρήξεις ήταν ήπιες και δεν δημιούργησαν σοβαρά προβλήματα στους κατοίκους του νησιού.

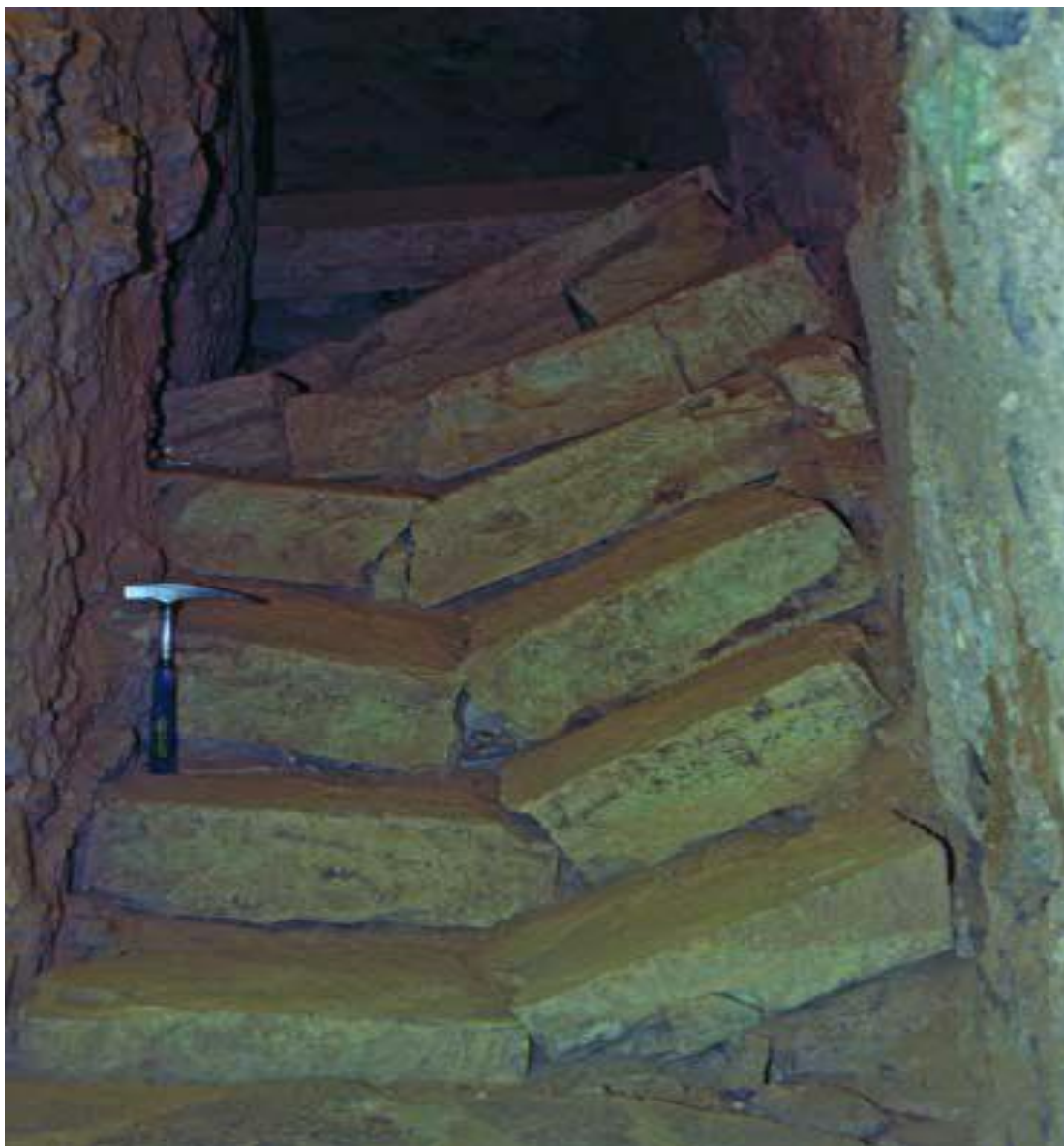


**Εικόνα 35:** Η μορφολογία της Θήρας πριν από τη μινωική έκρηξη. Η διάστικτη γαλάζια καμπύλη προβάλλει τη θέση της σημερινής ακτογραμμής. Το βέλος υποδεικνύει τη θέση του προϊστορικού οικισμού.(Google)



**Εικόνα 36:** Στρωματόλιθος, πέτρωμα που δημιουργήθηκε πριν 17000 χρόνια από τις αποικίες φαιοφυκών στα ρηχά νερά της προ-Μινωικής καλδέρας.([www.santorini.net](http://www.santorini.net))





**Εικόνα 37:** Κλίμακα οικίας του οικισμού της Ύστερης Εποχής του Χαλκού στο Ακρωτήρι, κατακερματισμένη από τους φοβερούς σεισμούς που προηγήθηκαν της "Μινωικής" έκρηξης.  
([www.santorini.net](http://www.santorini.net))



**Εικόνα 38:** Η Μινωική έκρηξη ήταν τουλάχιστον τριπλάσιου μεγέθους από την εικονιζόμενη έκρηξη του ηφαιστείου Πινατούμπο στις Φιλιππίνες το 1991.



**Εικόνα 39:** Δεκάδες μέτρα πάχους λευκή τέφρα της Μινωικής έκρηξης κάλυψαν όλη τη Σαντορίνη. Ο καφές ορίζοντας κάτω από αυτήν είναι το παλαιοέδαφος που καλλιεργούσαν οι τότε κάτοικοι του νησιού.([www.santorini.net](http://www.santorini.net))

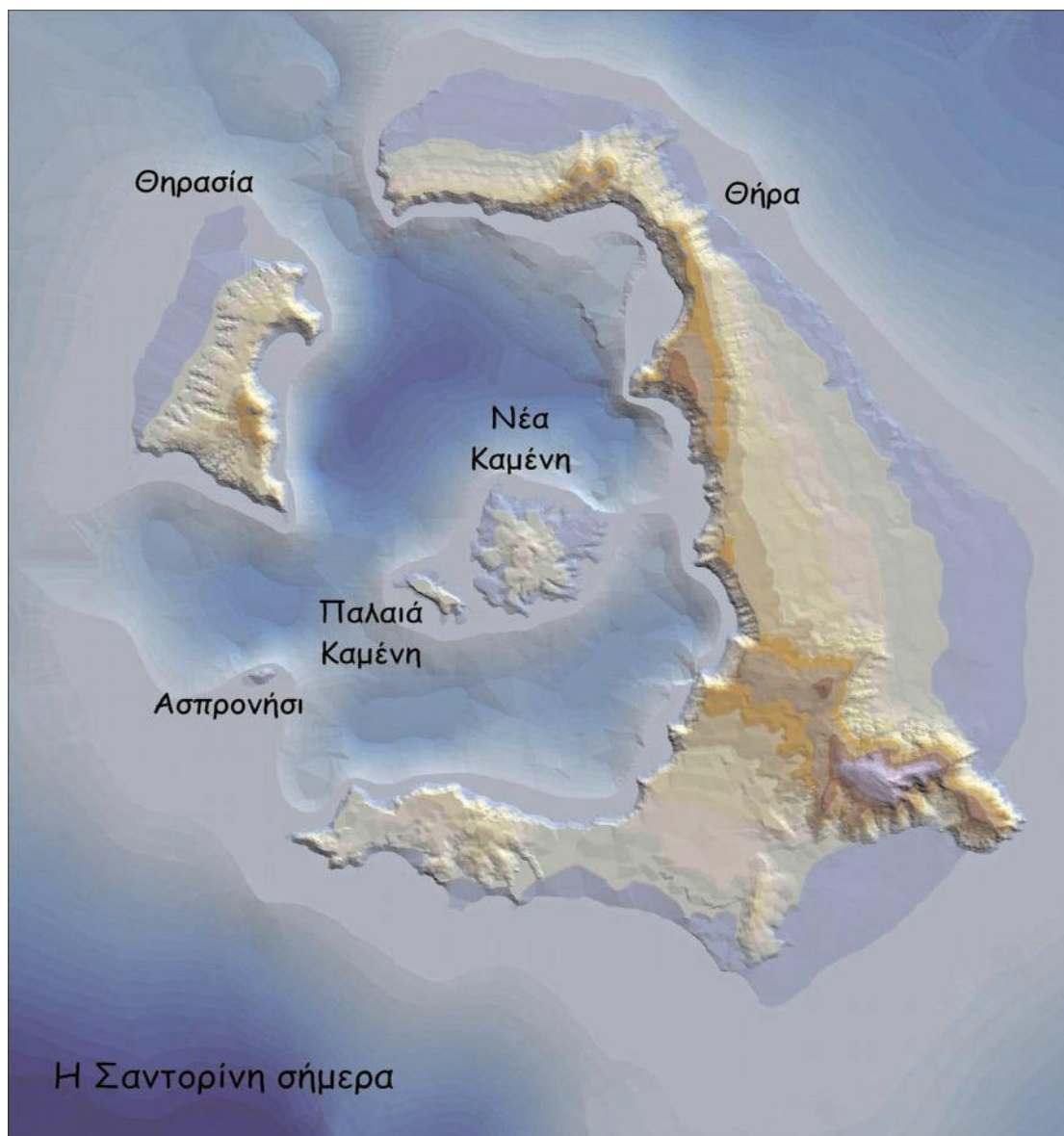




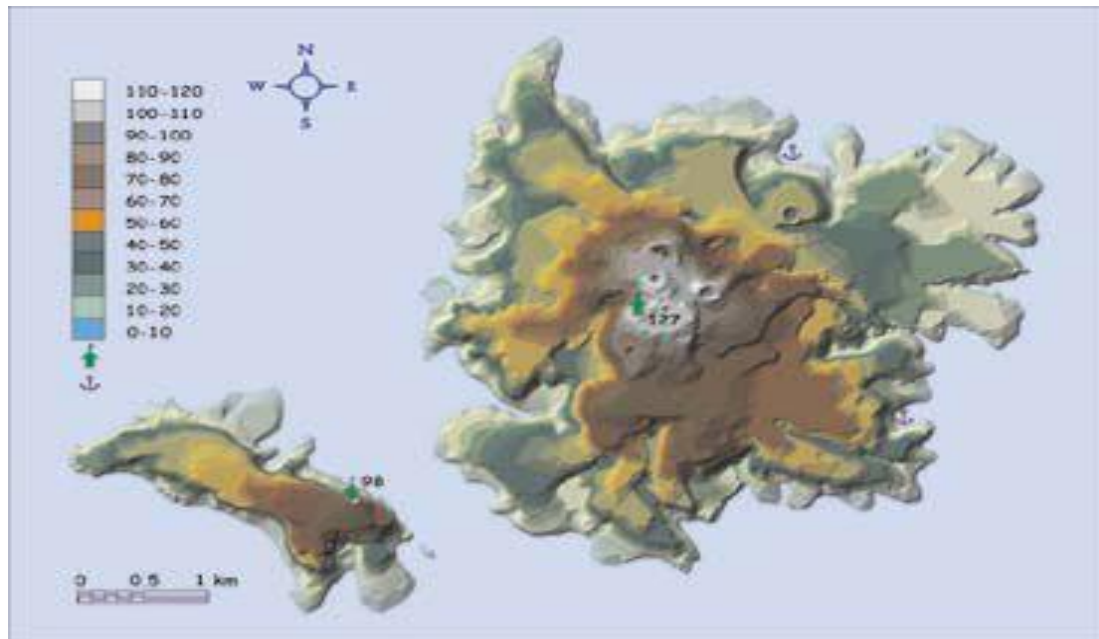
**Εικόνα 40:** Οι ανατολικοί άνεμοι της στρατόσφαιρας άπλωσαν τη λεπτή στάχτη από τη Μινωική έκρηξη στο ανατολικό Αιγαίο και τη Μικρά Ασία. Η καμπύλη περικλείει τις περιοχές όπου το πάχος της στάχτης έφτασε τα 5 εκατοστά. (<http://santorini.hcmr.gr>)



**Εικόνα 41:** Η καλδέρα που δημιούργησε η Μινωική έκρηξη. (<http://santorini.hcmr.gr>)



**Εικόνα 42:** Τρισδιάστατη απεικόνιση της σημερινής Σαντορίνης.(Google)



**Εικόνα 43:** Τρισδιάστατη απεικόνιση της Παλαιάς και Νέας Καμένης.(Google)

### **3.6 Μαγματική εξέλιξη-Ιστορικό εκρήξεων καλδέρας**

#### **Η δημιουργία των Νησίδων**

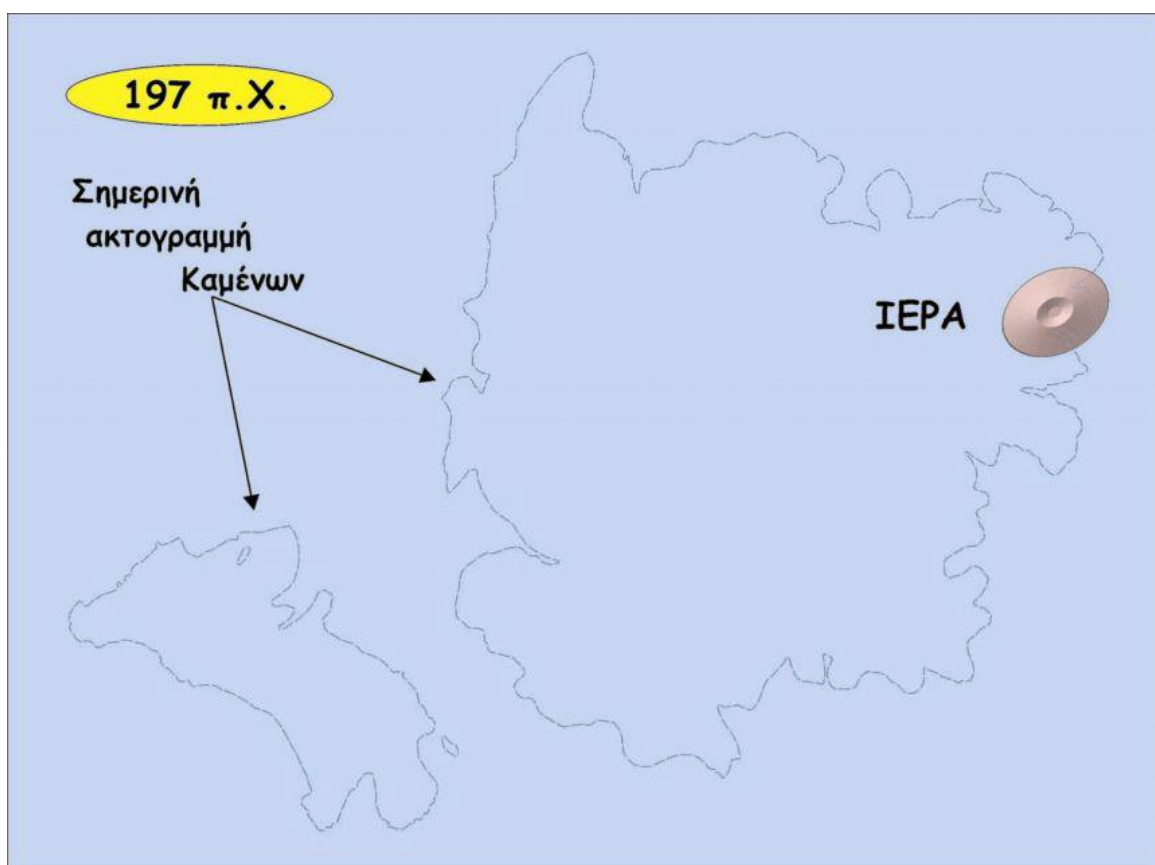
Η φοβερή "μινωική" ηφαιστειακή έκρηξη, πριν 3.600 χρόνια περίπου, κατακρήμνισε το ηφαίστειο της Στρογγύλης και δημιούργησε την τεράστια χοάνη της σημερινής καλντέρας, αφήνοντας πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας ένα δαχτυλίδι από νησιά, τη Θήρα, τη Θηρασιά και το Ασπρονήσι.

Στο κέντρο της καλντέρας, λίγα χρόνια μετά τη δημιουργία της, άρχισε να αναβλύζει ξανά από τα έγκατα της γης το λιωμένο πέτρωμα: παχύρρευστο μάγμα με λίγα αέρια χύνεται στον πυθμένα της, στερεοποιείται και χτίζει σιγά- σιγά ένα υποθαλάσσιο ηφαιστειακό βουνό που αργότερα θα αποτελέσει τα θεμέλια των Καμένων. Η δραστηριότητα αυτή δεν έχει καταγραφεί από τους αρχαίους ιστορικούς και πιθανότατα δεν έγινε αντιληπτή από τους τότε κατοίκους της Σαντορίνης. Η αναφορά θα γίνει χρονικά ξεκινώντας από τη παλαιότερη έκρηξη.

### Η πρώτη χερσαία έκρηξη 197 π.Χ.

Η πρώτη καταγραφή ιστορικής χερσαίας ηφαιστειακής δραστηριότητας στη Σαντορίνη ανήκει στο Στράβωνα, ο οποίος αναφέρει τα εξής: "ανάμεσα στη Θήρα και τη Θηρασία φλόγες που αναπηδούσαν από το πέλαγος για τέσσερις ημέρες, έτσι ώστε να κοχλάζει και να φλέγεται η θάλασσα, εκφύσησαν σταδιακά προς τα πάνω λίγο ψηλότερα από την επιφάνεια της θάλασσας, σα να γινόταν με τρόπο μηχανικό, νησί που είχε περίμετρο δώδεκα σταδίων και που αποτελούνταν από πυρακτωμένες μάζες."

Το νησάκι αυτό, που περιέγραψε ο μεγάλος αυτός γεωγράφος και ιστορικός, ονομάστηκε Ιερά και Ρόδιοι, που την περίοδο εκείνη κυριαρχούσαν στη θάλασσα και στην περιοχή, ανέγειραν εκεί βωμό αφιερωμένο στο Ασφάλειο Ποσειδώνα. Αποτελούμενο όμως από θραύσματα λάβας και ελαφρόπετρα, διαβρώθηκε σύντομα από τα κύματα και έμεινε ως ύφαλος, γνωστός έως τα πρόσφατα χρόνια με το όνομα "Μπάγκος".



**Εικόνα 44:** Η έκρηξη του 197π.Χ.(Ι.Μ.Π.Η.Σ)

### **3.7 Η Παλαιά Καμένη**

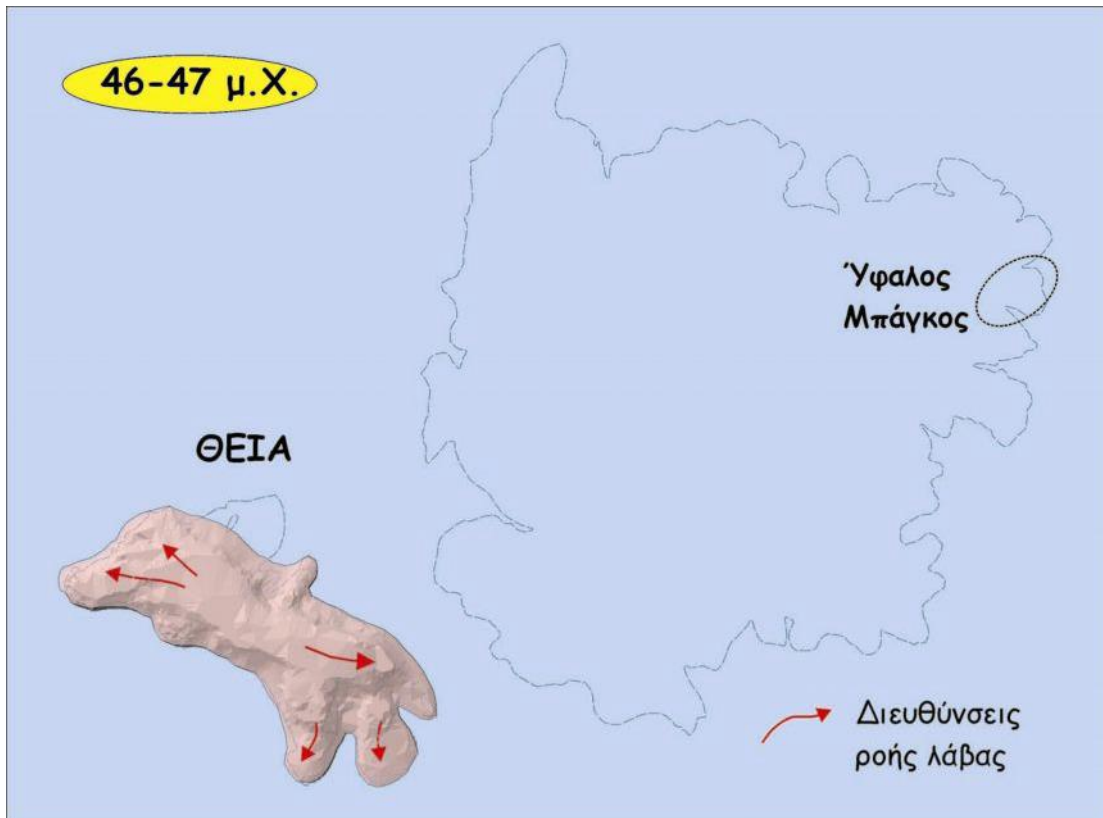
#### **Η έκρηξη του 46-47 μ.Χ.**

Περίπου 200 χρόνια αργότερα, στα τέλη του 46μ.Χ. και στις αρχές του 47 μ.Χ. το ηφαίστειο ξαναχτυπά. Μεγάλες ποσότητες από το παχύρρευστο λιωμένο πέτρωμα (μάγμα) αναβλύζουν δύο χιλιόμετρα νοτιοδυτικά της Ιεράς και δημιουργούν το νησάκι της Παλαιάς Καμένης. Την εποχή εκείνη το νησί ονομάστηκε Θεία και είχε περίμετρο 5.550 μέτρα, όπως καταγράφει ο Aurelious Victor στην Historia Romana. Ο κατατεμαχισμός της από μεγάλες ρωγμές και ρήγματα και οι κατακρημνίσεις των ακτών στα επόμενα χρόνια της έδωσαν τη σημερινή μορφή.

Η ΕΚΡΗΞΗ ΤΟΥ 726: Τους επόμενους επτά αιώνες το ηφαίστειο παραμένει σε κατάσταση ηρεμίας. Επαναδραστηριοποιείται το 726, πολύ βίαια αυτή τη φορά. Σφοδρές ηφαιστειακές εκρήξεις τινάζουν ελαφρόπετρα και ηφαιστειακή στάχτη σε αρκετά χιλιόμετρα ύψος. Αυτά διασπείρονται σε όλο το Αιγαίο και φτάνουν έως τη Μικρά Ασία, όπως καταγράφει ο Θεοφάνης: "κατά το ίδιο έτος της όγδοης Ινδικτιώνος, εποχή καλοκαιριού, ατμός σαν από φωτιά καμινιού κόχλασε από το βυθό της θάλασσας ανάμεσα στα νήσια Θήρα και Θηρασιά για μερικές ημέρες, και σε σύντομο χρονικό διάστημα αφού αυξανόταν και απολιθώνονταν λόγω της έξαψης του φλογερού ανάμματος, όλος ο καπνός έμοιαζε με φωτιά, εξαιτίας δε του πάχους της χωματώδους ουσίας, ελαφρόπετρες μεγάλες σα λιθάρια εκτίναξε σε όλη τη Μικρά Ασία και τη Λέσβο και την Άβυδο και προς τις παραθαλάσσιες περιοχές της Μακεδονίας".

Η έκρηξη αυτή διατάραξε ποσότητες ηφαιστειακής τέφρας που εκτινάχθηκαν από αυτή την έκρηξη βρίσκονται σήμερα πάνω στην Παλαιά Καμένη. Το παχύρρευστο μάγμα που στη συνέχεια γέμισε τον κρατήρα της έκρηξης, το παρατηρούμε σήμερα σαν μια μαύρη γλώσσα λάβας με ανώμαλη σκωριώδη επιφάνεια, στις βορειοανατολικές ακτές της Παλαιάς Καμένης, βόρεια από τον όρμο του αγίου Νικολάου.



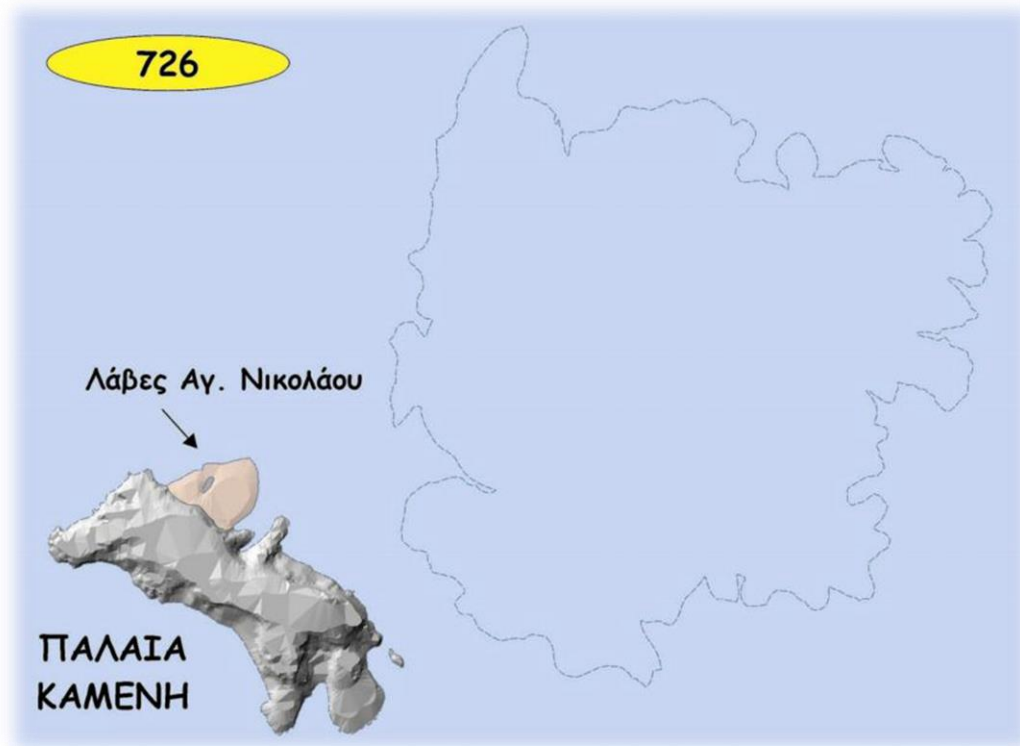


**Εικόνα 45:** Η έκρηξη του 46-47μ.Χ (Ι.Μ.Π.Η.Σ)



**Εικόνα 46:** Η Παλαιά Καμένη.(Ι.Μ.Π.Η.Σ)

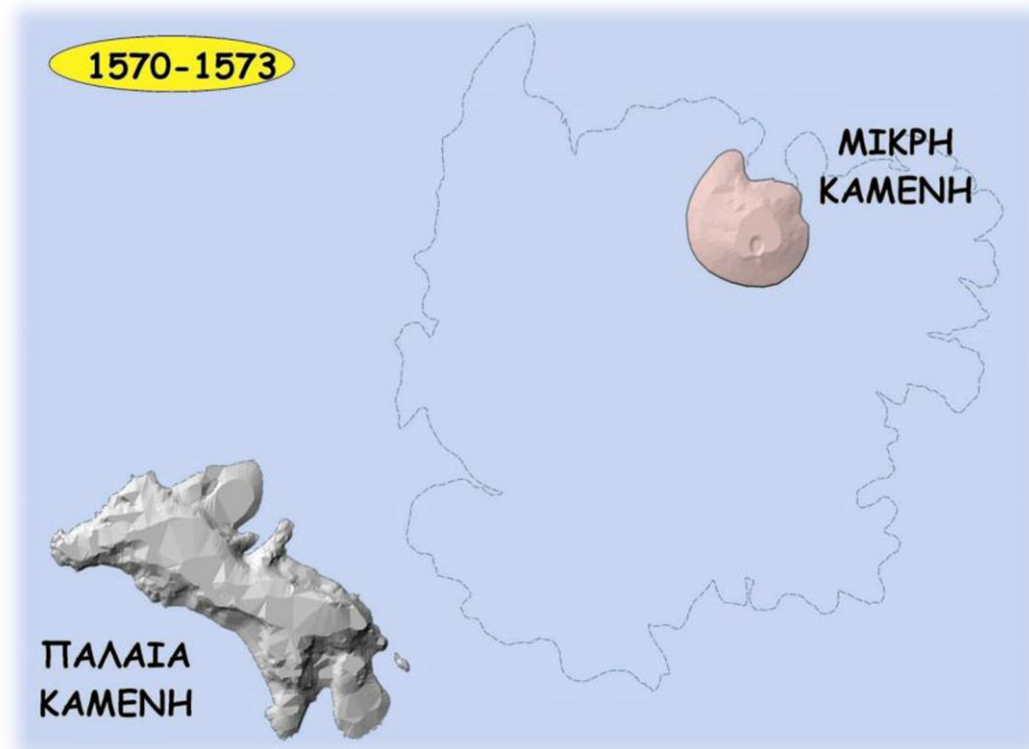




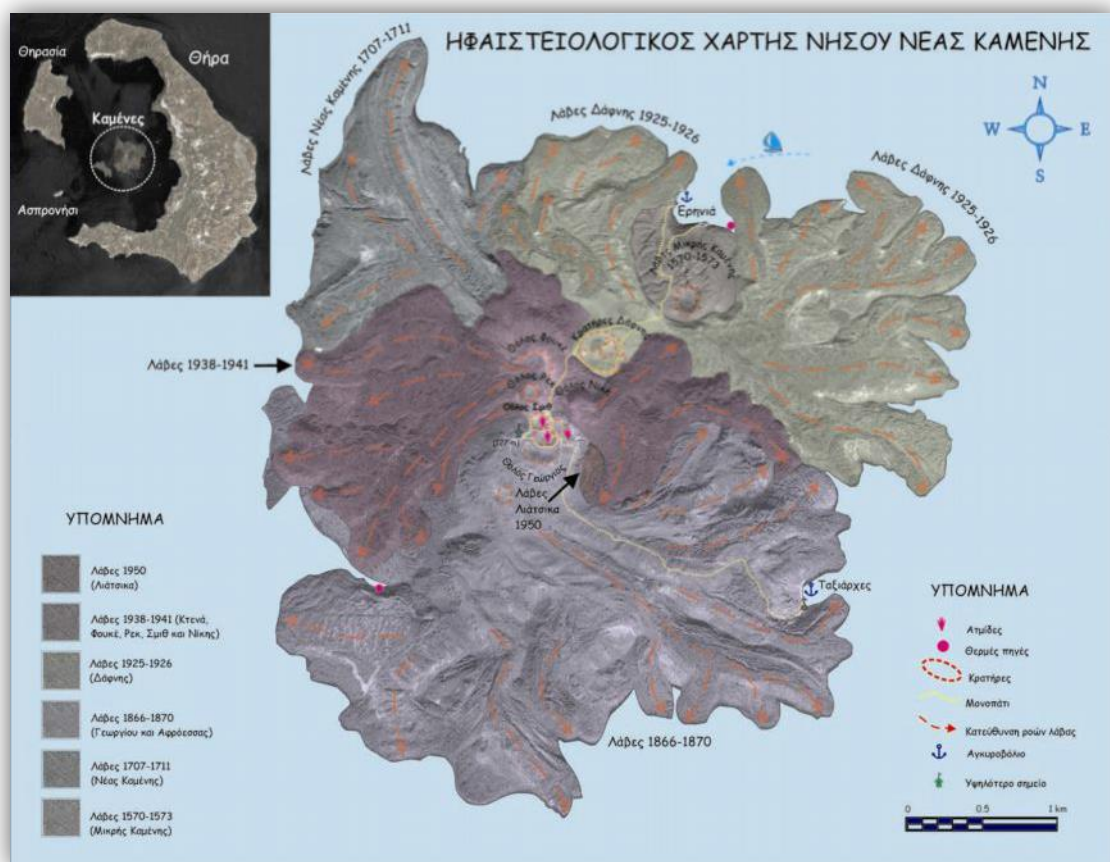
**Εικόνα 47:** Σχηματική τρισδιάστατη απεικόνιση της Παλαιάς Καμένης, μετά την έκρηξη του 726μ. (Ι.Μ.Π.Η.Σ.)



**Εικόνα 48:** Οι λάβες του 726, που σχηματίζουν το βόρειο-ανατολικό ακρωτήριο της Παλαιάς Καμένης. Στο βάθος διακρίνονται αριστερά η Θηρασία, στο κέντρο η Θήρα και δεξιά μέρος της Νέας Καμένης. (Ι.Μ.Π.Η.Σ.)



**Εικόνα 49:** Σχηματική τρισδιάστατη απεικόνιση της Μικρής Καμένης. (Ι.Μ.Π.Η.Σ.)



**Εικόνα 50:** Ηφαιστειολογικός χάρτης Ν.Καμένης.(Ι.Μ.Π.Η.Σ.)

ΗΦΑΙΣΤΕΙΑΚΗ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΤΟΥ ΗΦΑΙΣΤΕΙΟΥ ΤΗΣ ΣΑΝΤΟΡΙΝΗΣ

### **3.8 Η Νεά Καμένη**

#### **Η πρώτη έκρηξη (1570-1573)**

Μετά από την έντονα εκρηκτική ηφαιστειακή δράση του 726, δεν καταγράφεται χερσαία ηφαιστειακή δραστηριότητα για πάνω από 800 χρόνια. Το ηφαίστειο ξυπνά ξανά το 1570. Από μία περιοχή κοντά στον ύφαλο Μπάγκο, το υπόλειμμα της Ιεράς, εκχύνεται παχύρρευστο μάγμα και εκδηλώνονται πολυάριθμες εκρήξεις. Η δραστηριότητα αυτή διαρκεί 3 περίπου χρόνια και οικοδομεί ένα μικρό νησάκι σε σχήμα θόλου, με διάμετρο 400 περίπου μέτρων και ύψος 70 μέτρων, στο οποίο δίνεται το όνομα "**Μικρή Καμένη**". Την κορυφή του θόλου καταλαμβάνει ένας κρατήρας βάθους 20 μέτρων.

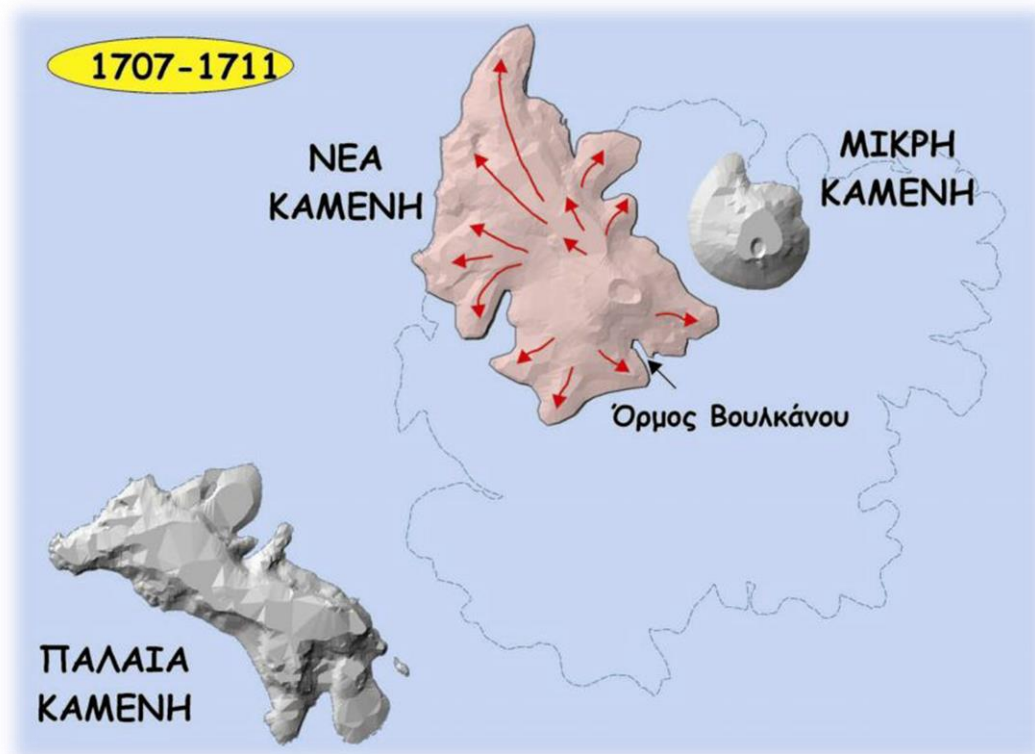


**Εικόνα 51:** Ο θόλος της Μικρής Καμένης, στο βάθος του όρμου της Ερινιάς.





**Εικόνα 52:** Ο κρατήρας της Μικρής Καμένης



**Εικόνα 53:** Σχηματική τρισδιάστατη απεικόνιση των Καμένων μετά την έκρηξη του 1707-1711. (Ι.Μ.Π.Η.Σ.)

ΗΦΑΙΣΤΕΙΑΚΗ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΤΟΥ ΗΦΑΙΣΤΕΙΟΥ ΤΗΣ ΣΑΝΤΟΡΙΝΗΣ

## **Η έκρηξη του 1707-1711**

Εκατόν τριάντα πέντε χρόνια ηρεμία μεσολάβησαν ως την επόμενη εκδήλωση ηφαιστειακής δραστηριότητας. Αυτή προαναγγέλλεται από μικρές σεισμικές δονήσεις στις 18 και 21 Μαΐου του 1707. Δύο ημέρες αργότερα, δυτικά της Μικρής Καμένης, οι κάτοικοι της Σαντορίνης παρατηρούν να ανυψώνεται σιγά-σιγά ο βυθός και να μετατρέπεται σε στεριά φέρνοντας στην επιφάνεια μεγάλες ποσότητες οστρέων, τα οποία συλλέγουν οι πιο τολμηροί. Τη μικρή νησίδα που σχηματίζεται την ονομάζουν Ασπρονήσι, καθώς ο βυθός που αναδύθηκε ήταν σκεπασμένος από λευκή ελαφρόπετρα. Μία εβδομάδα αργότερα το παχύρρευστο μάγμα κάνει την εμφάνισή του βορειότερα του Ασπρονησιού και η νέα νησίδα που σχηματίζεται από τη μαύρη στερεοποιημένη λάβα ονομάζεται Μαυρονήσι.

Μετά από λίγες μέρες εκδηλώνονται οι πρώτες ηφαιστειακές εκρήξεις που εκσφενδονίζουν στον αέρα ηφαιστειακή τέφρα και βολίδες σε ύψος έως και 2 χιλιόμετρα. Η ηφαιστειακή δραστηριότητα διαρκεί τέσσερα περίπου χρόνια και, ως το Σεπτέμβριο του 1711, έχει δημιουργήσει δίπλα στη Μικρή Καμένη μια δεύτερη νησίδα που της δίνεται το όνομα "**Νέα Καμένη**". Στις βορειοανατολικές ακτές της νησίδας και ιδιαίτερα σε ένα μικρό όρμο με το όνομα Βουλκάνος, χτίζονται στα επόμενα χρόνια ξωκλήσια και μικρά οικήματα για να φιλοξενήσουν τους Σαντορινιούς που κάνουν λουτροθεραπεία στα ζεστά νερά των θερμών πηγών, από τις οποίες βρithούν οι ακτές. Φιλοξενούν ακόμη τους ναυτικούς και τους ψαράδες που καθαρίζουν τα ύφαλα των πλοίων τους στα ίδια ζεστά νερά, καθώς τα σιδηρούχα και θειούχα υδροθερμικά διαλύματα των θερμών πηγών θανατώνουν τους μικροοργανισμούς που αναπτύσσονται στα ύφαλα.

Οι μεγάλες ποσότητες λάβας που παράγονται όλη την περίοδο (140 εκατομμύρια κυβικά μέτρα) προστίθενται στη νησίδα της Νέας Καμένης και τριπλασιάζουν την επιφάνειά της, ενώ ένα μικρό θαλάσσιο κανάλι συνεχίζει να χωρίζει τη Νέα Καμένη από τη Παλαιά Καμένη.

## **Η έκρηξη του 1925-1928**

Μετά από 55 χρόνια ηρεμίας και αδράνειας, στις 28 Ιουλίου του 1925 μικρές σεισμικές δονήσεις προαναγγέλλουν στους κατοίκους της Σαντορίνης το νέο ξύπνημα του ηφαιστείου. Στην περιοχή των Κόκκινων Νερών η θερμοκρασία της θάλασσας

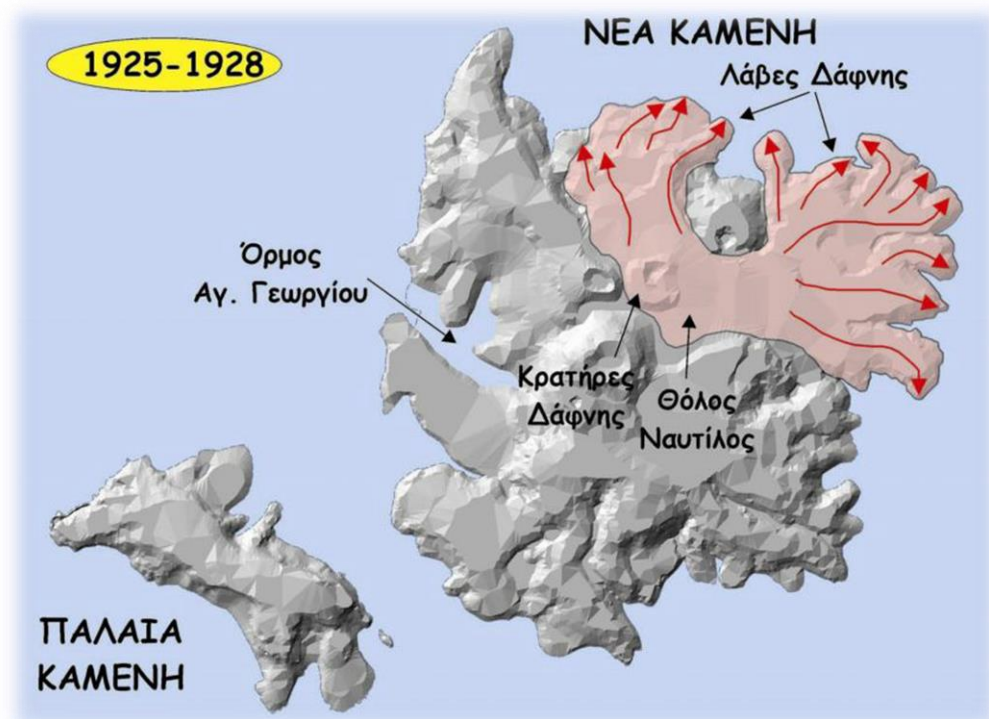
αυξάνει και το χρώμα της αλλάζει έντονα, ενώ αρχίζουν να βυθίζονται ξανά οι ανατολικές ακτές της Νέας Καμένης.

Η έκρηξη αρχίζει στις 11 Αυγούστου του 1925 και προαναγγέλλεται από τεράστιους πίδακες νερού και υδρατμών στα Κόκκινα Νερά. Που γρήγορα αυτοί μετατρέπονται σε εκρηκτικές στήλες που τινάζουν στον αέρα λάβα και ηφαιστειακά στάχτη. Λίγες μέρες αργότερα το ηφαιστειακό κέντρο μετακινείται 200 μέτρα νοτιοδυτικά, στη θέση που σήμερα παρατηρούμε συγκεντρωμένους πολλούς κρατήρες (τουλάχιστον 5). Οι κρατήρες αυτοί, που καταλαμβάνουν το κέντρο των κώνων οι οποίοι αποτελούνται από θραύσματα λάβας, είναι δημιούργημα της μεγάλης εκρηκτικής δραστηριότητας του 1925. Το ύψος στο οποίο τινάζεται η ηφαιστειακή στάχτη ξεπερνά τα 3.200 μέτρα, ενώ οι ηφαιστειακές βολίδες εκτοξεύονται σε απόσταση μεγαλύτερη από 850 μέτρα.

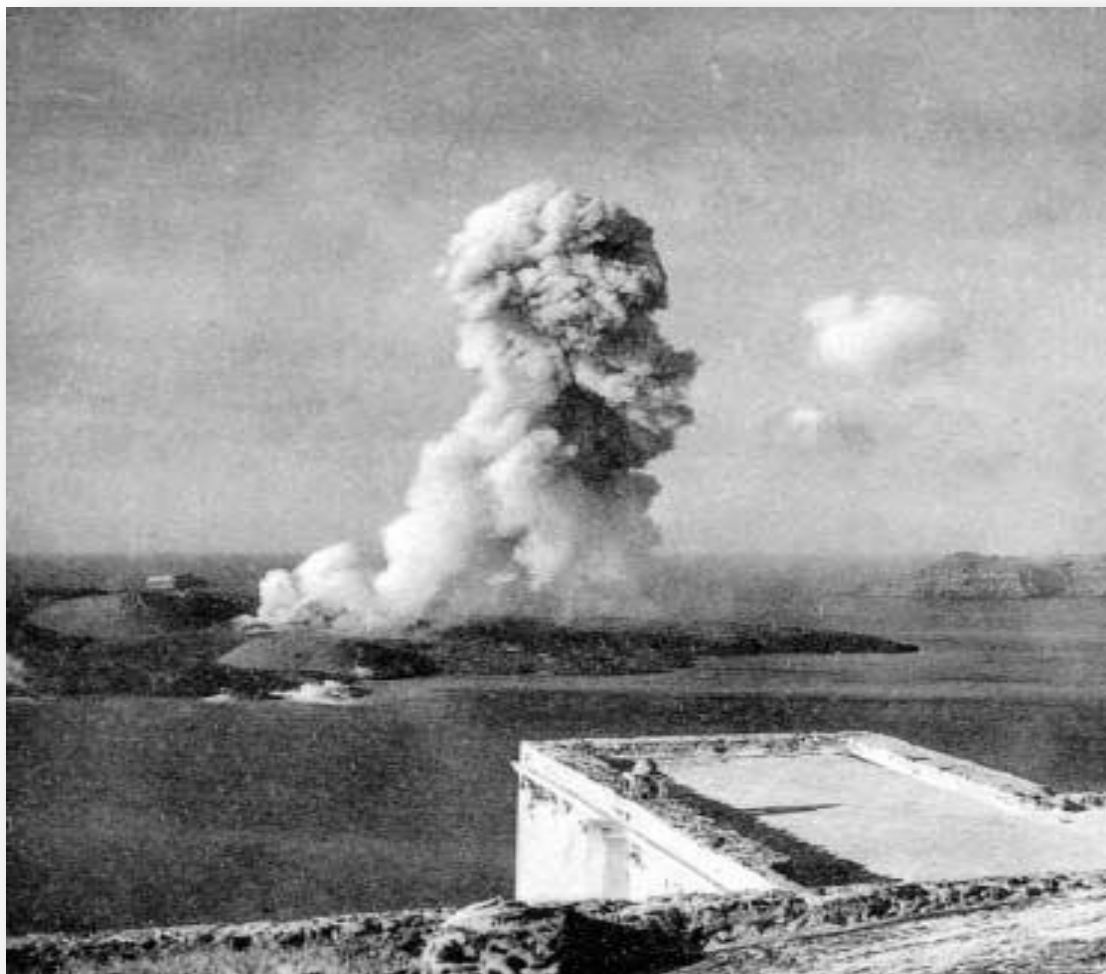
Παράλληλα με την εκρηκτική δραστηριότητα μεγάλες ποσότητες λάβας αναβλύζουν και εκχύνονται στην περιοχή, με αποτέλεσμα δύο μεγάλοι βραχίονες ρευμάτων λάβας να αγκαλιάζουν τη Μικρή Καμένη, γεμίζοντας το κενό μεταξύ αυτής και της Νέας Καμένη, γεμίζοντας το κενό μεταξύ αυτής και της Νέας Καμένης, και να επαυξήσουν σημαντικά τη χερσαία επιφάνεια του νησιού, το οποίο καθιστά πλέον ενιαίο. Ο όγκος της λάβας που παράχθηκε υπολογίζεται σε 100 εκατομμύρια κυβικά μέτρα. Τόσο στις λάβες όσο και στους κρατήρες δόθηκε το όνομα **Δάφνη**, από το όνομα του πρώτου πολεμικού πλοίου, το οποίο έφτασε στην περιοχή αμέσως μετά την έκρηξη.

Η δραστηριότητα αυτή διήρκεσε δύο χρόνια, έως το Μάιο του 1926. Μια σύντομη επαναδραστηριοποίηση εκδηλώθηκε τους τρεις πρώτους μήνες του 1928 και δημιούργησε, ανατολικά των κρατήρων της Δάφνης, ένα μικρό θόλο λάβας που ονομάστηκε **Ναυτίλος**. Αυτός δεν είναι δυνατόν να παρατηρηθεί σήμερα γιατί καλύφθηκε από τις λάβες της επόμενης έκρηξης.

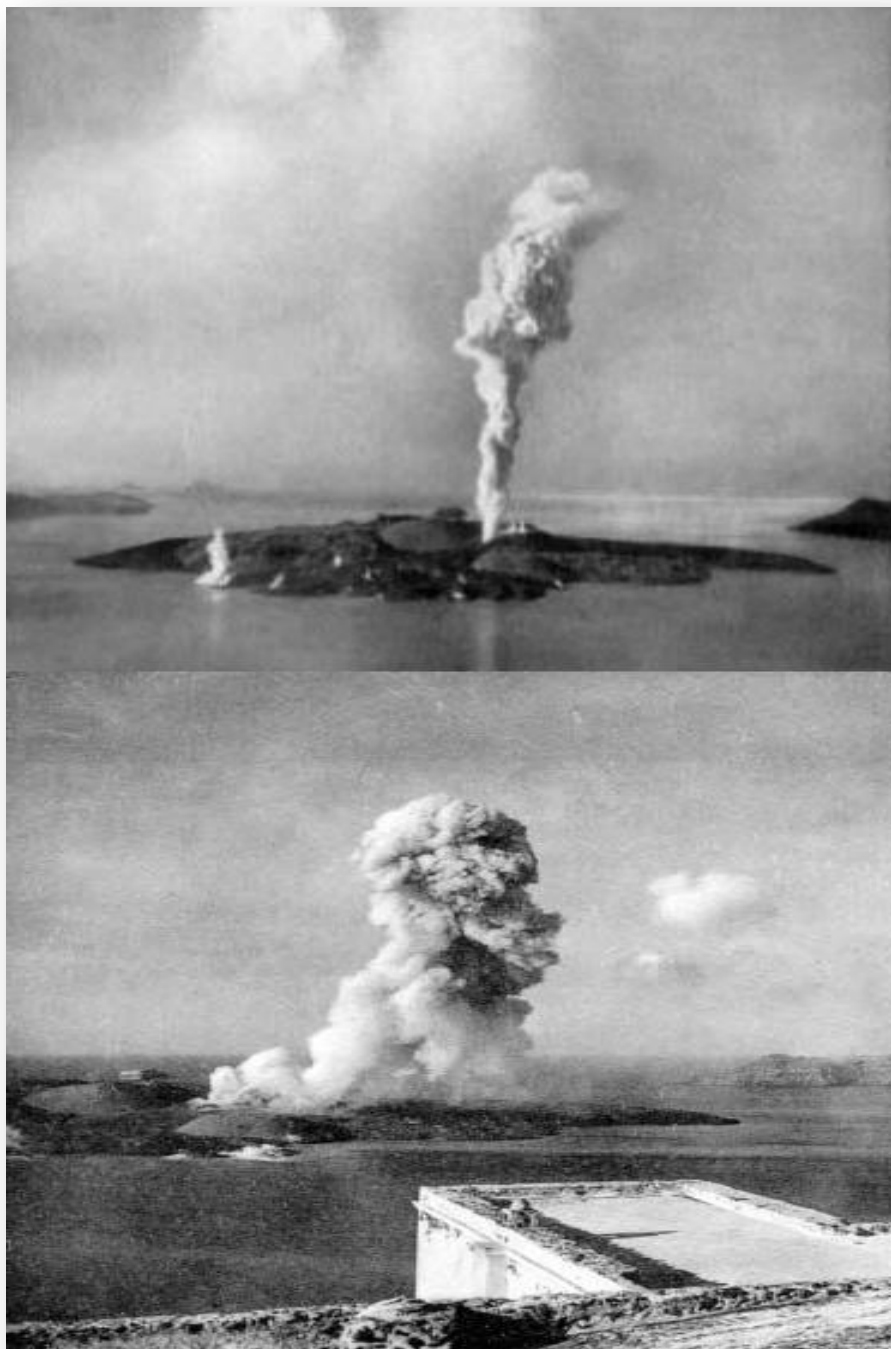




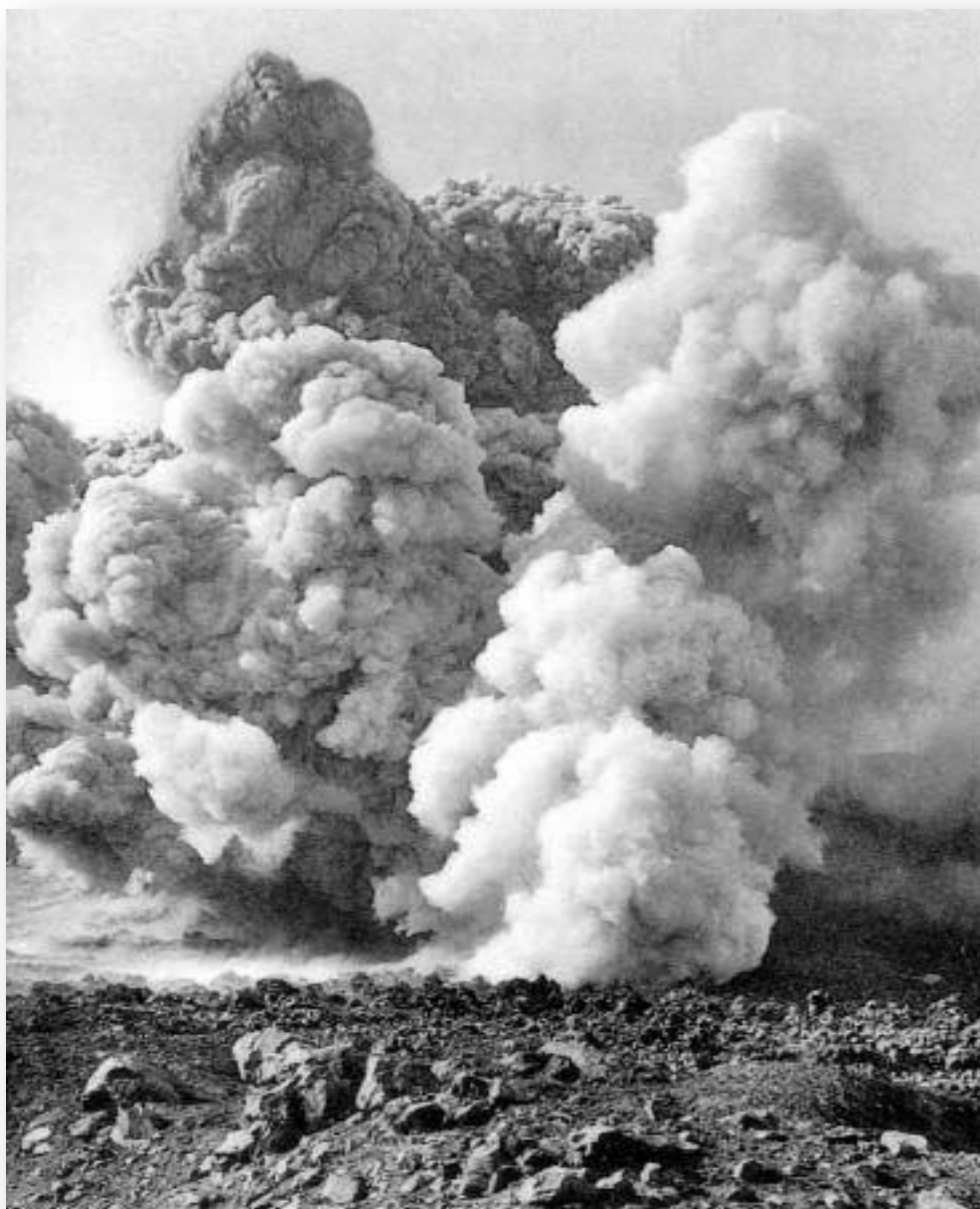
**Εικόνα 54:** Τρισδιάστατη απεικόνιση των Καμένων μετά την έκρηξη του 1925-1928.  
(Ι.Μ.Π.Η.Σ.)



**Εικόνα 55:** Έκρηξη του 1925 φωτογραφημένη από τα Φήρα. Εκτός από την ηφαιστειακή τέφρα, που έχει τιναχθεί στον αέρα, διακρίνονται και οι γλώσσες της λάβας αριστερά της Μικρής Καμένης, καθώς στην επαφή του λιωμένου πετρώματος με τη θάλασσα παράγεται ατμός (Γ. Γεωργαλάς).



**Εικόνα 56:** Η Δάφνη εν εκρήξει τον Οκτώβριο του 1925(επάνω) και τον Ιανουάριο του 1926(κάτω). Διακρίνονται ατμοί και ηφαιστειακή τέφρα που εκτοξεύονται από τον κρατήρα, όπως και η εξάτμιση της θάλασσας από τα πυρακτωμένα ρεύματα λάβας που καταλήγουν στο νερό (Karl Sapper: Vulkankunde,1930).



**Εικόνα 57:** Η έκρηξη της Δάφνης τον Ιανουάριο του 1926 (Κ. Κτενάς)

### **Η έκρηξη του 1939-1941**

Μόλις 11 χρόνια μετά την προηγούμενη έκρηξη το ηφαίστειο επαναδραστηριοποιείται. Στο μικρό λιμανάκι του Αγ. Γεωργίου με το ομώνυμο ξωκλήσι, παρατηρείται από τις αρχές Μαΐου του 1939 αύξηση της θερμοκρασίας του νερού και καθίζηση των ακτών. Στις 20 Αυγούστου μια υποθαλάσσια έκρηξη στην είσοδο του λιμανιού ανοίγει το δρόμο στο νέο μάγμα, το οποίο αρχίζει να

ΗΦΑΙΣΤΕΙΑΚΗ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΤΟΥ ΗΦΑΙΣΤΕΙΟΥ ΤΗΣ ΣΑΝΤΟΡΙΝΗΣ

αναβλύζει δημιουργώντας ένα μικρό θόλο, που οι ηφαιστειολόγοι της εποχής τον βαφτίζουν Τρίτωνα, καθώς θαυμάζουν την ανάδυσή του από την θάλασσα, όμοια με εκείνη του μυθικού θαλάσσιου δαίμονα.

Ένα μήνα αργότερα, η ηφαιστειακή δραστηριότητα μετατοπίζεται λίγες εκατοντάδες μέτρα προς τα βορειοανατολικά και δημιουργεί ένα θόλο και ρεύματα λάβας, που τους δίνετε το όνομα Κτενά, ενός σπουδαίου γεωλόγου μελετητή των εκρήξεων της Καμένης. Οι λάβες αυτές γεμίζουν το λιμανάκι του Αγ. Γεωργίου και καλύπτουν το θόλο Τρίτωνα.

Από το Νοέμβριο του 1939 ως τον Ιούλιο του 1940, η ηφαιστειακή δραστηριότητα μετατοπίζεται ακόμη πιο βορειοανατολικά και δημιουργεί το θόλο και τα ρεύματα λάβας του Φουκέ, από το όνομα του εξαίρετου Γάλλου φυσιοδίφη, μελετητή της Σαντορίνης και των εκρήξεων της Καμένης.

Τον Ιούλιο του 1940 δραστηριοποιούνται δύο άλλα κέντρα, νοτιότερα εκείνου του Φουκέ: αρχικά του Σμιθ και αργότερα εκείνο του Ρεκ (από τα ονόματα ενός Αμερικάνου και ενός Γερμανού ηφαιστειολόγου αντίστοιχα, οι οποίοι μελέτησαν την έκρηξη του 1925). Τα κέντρα αυτά παράγουν θόλους και ρεύματα λάβας, που καλύπτουν τις δυτικές πλαγιές του ενιαίου πια νησιού της Νέας Καμένης και φτάνουν ως τη θάλασσα.

Η εκρηκτική δραστηριότητα που παρατηρείται αυτό το διάστημα είναι μικρής έντασης και το ύψος στο οποίο εκτοξεύεται η ηφαιστειακή στάχτη δεν ξεπερνά τα 1200 μέτρα.

Στα τέλη Αυγούστου του 1940 εκδηλώνονται δύο μεγάλες εκρήξεις στο κέντρο του νησιού. Αυτές τινάζουν στον αέρα τα παλιότερα πετρώματα του 1866 και δημιουργούν δύο μεγάλους κρατήρες διαμέτρου 50 μέτρων τον καθένα, αυτούς που επισκέπτονται σήμερα οι περιπατητές του νησιού. Από τους κρατήρες αυτούς δεν εξέρχεται μάγμα.

Στα τέλη Νοεμβρίου του ίδιου χρόνου, 100 μόλις μέτρα ανατολικότερα των δύο αυτών κρατήρων, αρχίζει να αναβλύζει παχύρρευστο μάγμα και δημιουργούνται οι λάβες της **Νίκης**, όνομα εμπνευσμένο από τις νίκες των ελληνικών στρατευμάτων στην Αλβανία. Οι λάβες αυτές καλύπτουν τις ανατολικές πλαγιές του νησιού,

σταματώντας λίγα μέτρα πριν τη θάλασσα. Η ηφαιστειακή δράση διαρκεί ως τον Ιούλιο του 1941.

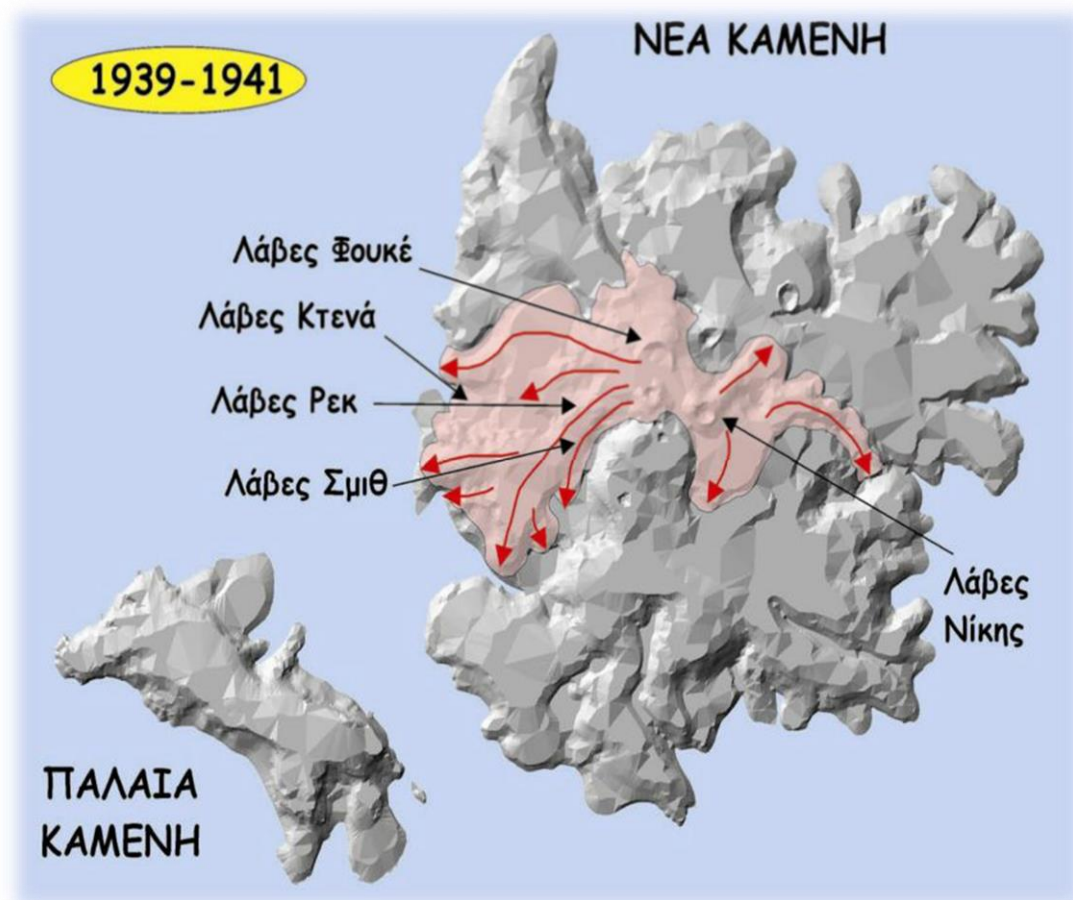


**Εικόνα 58** (Google)





Εικόνα 59 (Google)



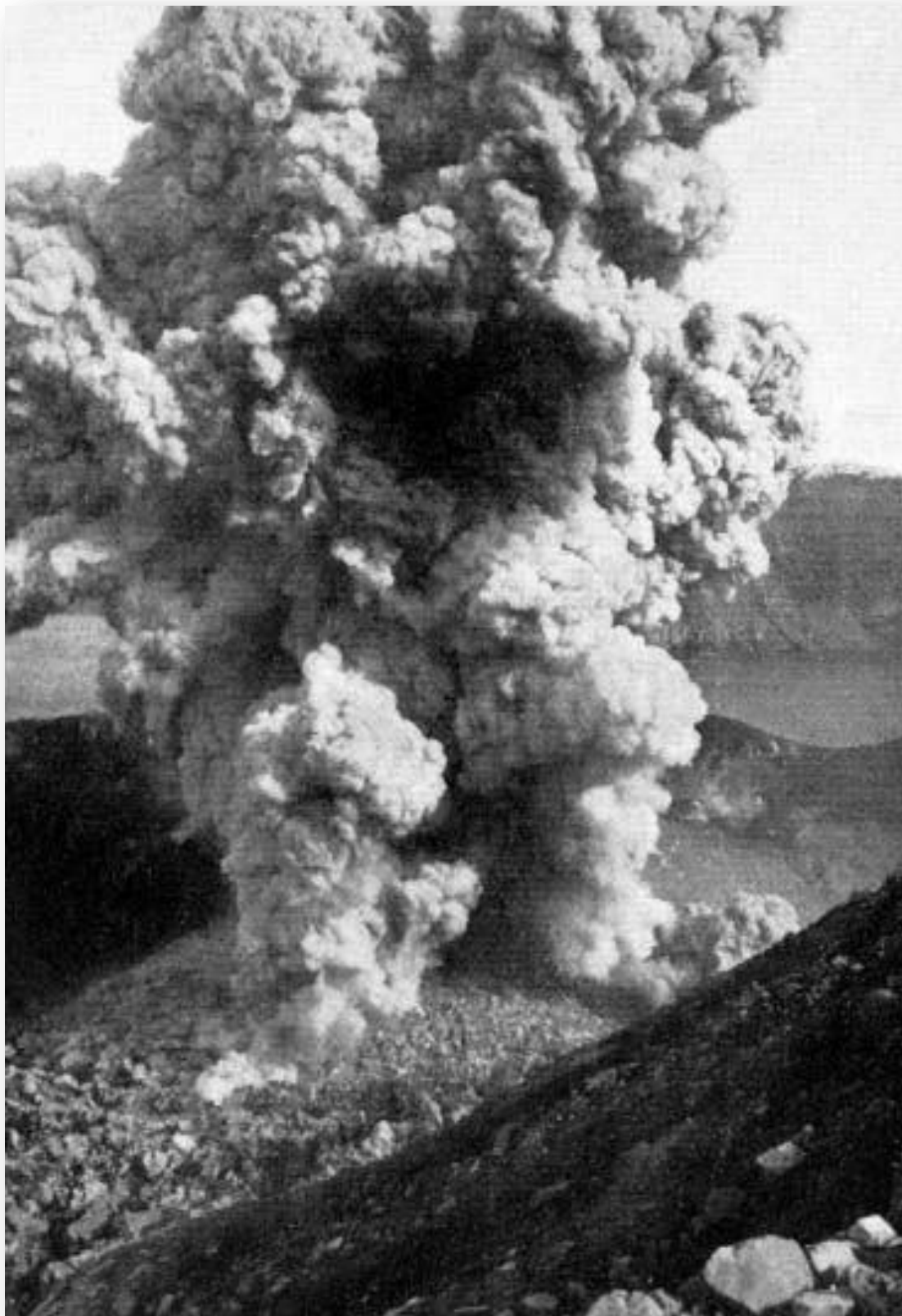
**Εικόνα 60:** Τρισδιάστατη απεικόνιση των Καμένων μετά την έκρηξη του 1939-1941.  
(Ι.Μ.Π.Η.Σ.)



**Εικόνα 61:** Ο θόλος Τριτώνας εν εκρήξει στις 22 Αυγούστου 1939 (Π. Κόκκορος).

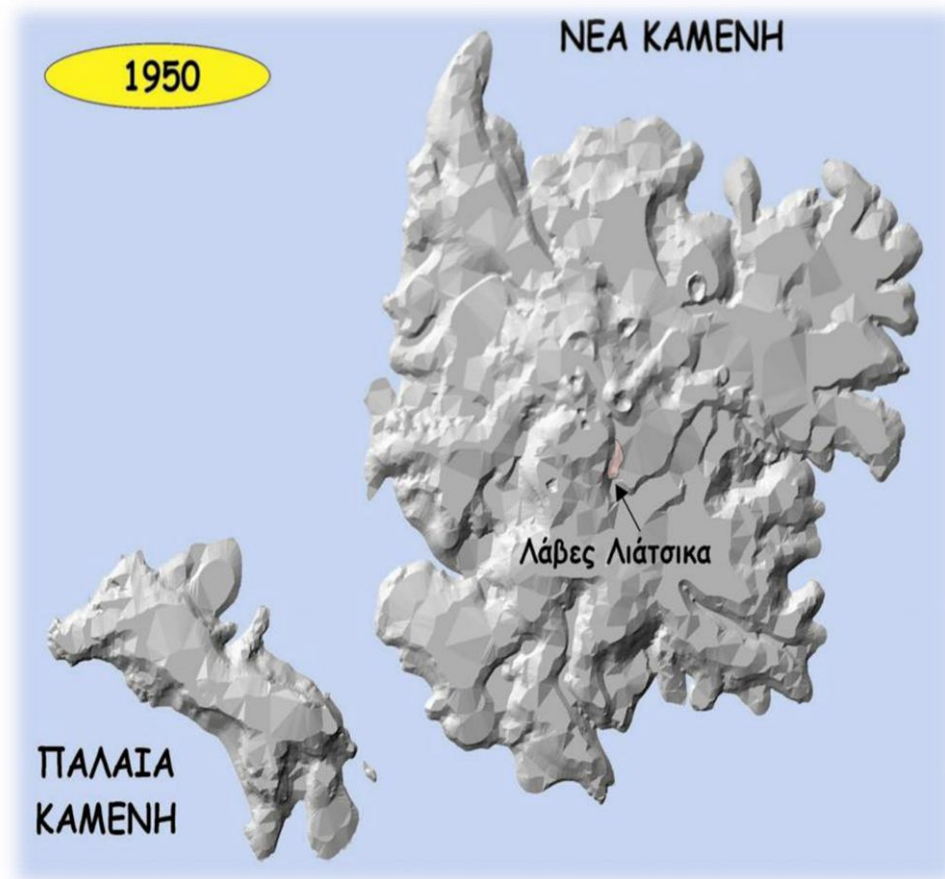


**Εικόνα 62:** Ο θόλος Φουκέ σε κατάσταση ηρεμίας, στις 19 Νοεμβρίου του 1939 (Π. Κόκκορος).



**Εικόνα 63:** Ο θόλος Φουκέ εν εκρήξει στις 23 Νοεμβρίου 1939 (Π. Κόκκορος).





**Εικόνα 64:** Τρισδιάστατη απεικόνιση των Καμένων μετά την έκρηξη του 1950. (Ι.Μ.Π.Η.Σ.)



**Εικόνα 65:** Η τελευταία έκρηξη του ηφαίστειου της Σαντορίνης (Μ. Ιωακειμίδης, 13-1-1950).

### **3.9 Η Τελευταία έκρηξη της Σαντορίνης (1950)**

Η τελευταία ηφαιστειακή έκρηξη στη Σαντορίνη και σε όλο τον Ελλαδικό χώρο εκδηλώνεται στις αρχές Ιανουαρίου του 1950. Έχει προαναγγελθεί από μικρές σεισμικές δονήσεις ήδη από τον Αύγουστο του προηγούμενου χρόνου. Στις 10-1-1950 μια έκρηξη τινάζει τα πετρώματα στους νότιους πρόποδες του θόλου Νίκη και ανοίγει το δρόμο στο νέο μάγμα που αρχίζει να αναβλύζει στην περιοχή. Εκδηλώνεται έντονη εκρηκτική δραστηριότητα η οποία τινάζει την ηφαιστειακή τέφρα ως 1000 μέτρα ύψος και τις βολίδες σε απόσταση 850 μέτρων από τον κρατήρα. Έως τις 2 φεβρουαρίου εκρήξεις και έκχυση μάγματος παράγουν τα νεώτερα πετρώματα της Ελλάδας, τις λάβες Λιάτσικα. Το όνομα δίνεται στη μνήμη ενός ικανού γεωλόγου μελετητή της Καμένης.

### **3.10 Τα πετρώματα των Καμένων**

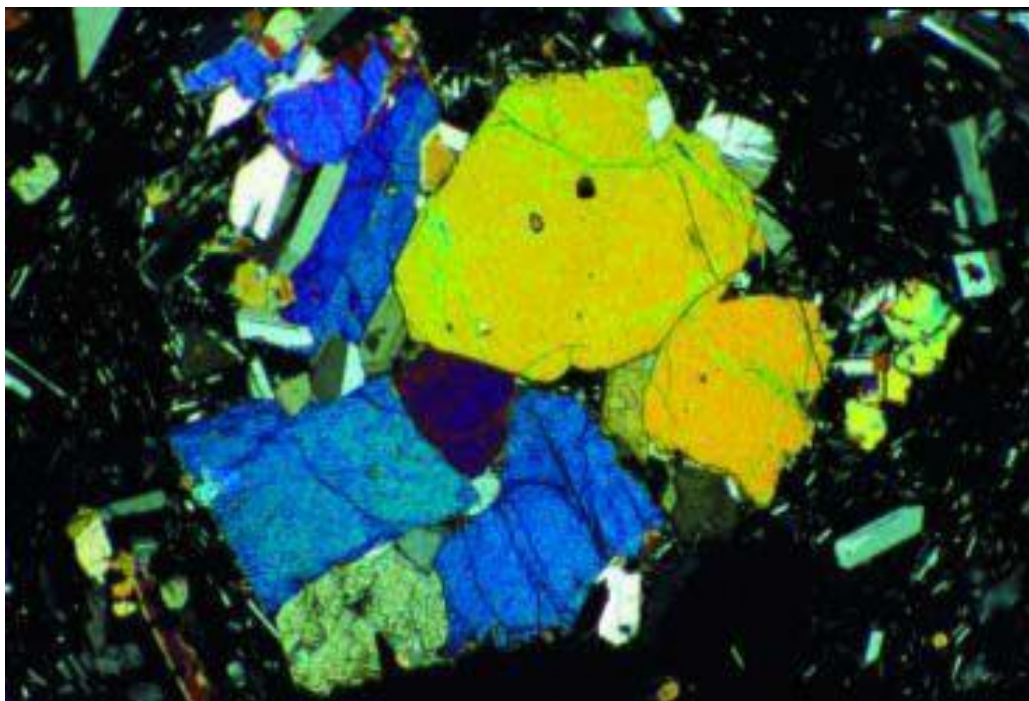
Τα πετρώματα που οικοδομούν τη Νέα και Παλαιά Καμένη είναι λάβες όμοιες μεταξύ τους, με μικρές διαφορές στα χαρακτηριστικά τους που αφορούν στη μορφή και όχι στη χημική σύσταση τους.

Όλες οι λάβες των νησιών ανήκουν στην κατηγορία που οι γεωλόγοι ονομάζουν δακίτες: ένα ηφαιστειακό πέτρωμα που η χημική του σύσταση είναι κυρίως οξείδιο του πυριτίου ( $\text{SiO}_2$ ) σε ποσοστό 65 έως 67% και οξείδιο του αργιλίου ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) 13 έως 15%, ενώ περιέχει σε μικρό ποσοστό (2-5%) και άλλα στοιχεία όπως σίδηρο, νάτριο, ασβέστιο, κάλιο, μαγνήσιο.

Τα παραπάνω στοιχεία εμπεριέχονται τόσο στο άμορφο ηφαιστειακό γυαλί όσο και στους κρυστάλλους των ορυκτών που, μαζί με το γυαλί, αποτελούν αυτά τα πετρώματα. Στους δακίτες των Καμένων συναντάμε τα εξής κύρια ορυκτά:

- **Αστρίους**, ορυκτά του πυριτίου και αργιλίου σε λευκούς διαυγείς κρυστάλλους.
- **Πυροξένους**, ορυκτά του πυριτίου, ασβεστίου, σιδήρου και μαγνησίου σε σκούρους πράσινους έως μαύρους κρυστάλλους.
- **Ολιβίνες**, ορυκτά του μαγνησίου, σιδήρου και πυριτίου σε μέλι έως φαιοπράσινους διαυγείς κρυστάλλους





**Εικόνα 66:** Σύμπλεγμα κρυστάλλων ολιβίνη(κίτρινο και μοβ), πυρόξενου (γαλαζοπράσινο έως φαιό πράσινο) και άστριου (τεφρό έως λευκό) φωτογραφημένα στο πολωτικό μικροσκόπιο (μεγέθυνση 100X). (<http://santorini.hcmr.gr>)

Οι διαφορές στην εμφάνιση της λάβας αφορούν κυρίως στο χρώμα της και οφείλονται στη διαφορετική ταχύτητα ψύξης. Οι λάβες που εμφανίζονται έντονα μαύρες και περισσότερο θρυμματισμένες, όπως οι περισσότερες από τις λάβες της Νέας Καμένης, έχουν υποστεί πολύ γοργή ψύξη με αποτέλεσμα να περιέχουν μεγάλο ποσοστό ηφαιστειακού γυαλιού που τους δίνει αυτή την όψη. Η πιο αργή ψύξη επιτρέπει την δημιουργία πολλών κρυσταλλικών ορυκτών, με αποτέλεσμα η λάβα να παίρνει ένα ανοιχτό τεφρό χρώμα και πιο κοκκώδη μορφή. Τέτοιες είναι οι περισσότερες λάβες τις Παλαιάς Καμένης.

Οι ειδικές εργαστηριακές μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί στα πετρώματα των Καμένων και όλες οι φυσικές και χημικές παράμετροι που έχουν καταγραφεί στην περιοχή, συγκλίνουν στην άποψη ότι το λιωμένο πέτρωμα (μάγμα) που τροφοδότησε τα ηφαιστειακά κέντρα των Καμένων, βρίσκεται σε βάθος μεταξύ δύο και τεσσάρων χιλιομέτρων κάτω από τα νησιά και σε θερμοκρασίες 950-1000 βαθμών Κελσίου. Είναι συγκεντρωμένο σε μικρούς θύλακες (μαγματικούς θαλάμους), οι οποίοι με την σειρά τους τροφοδοτούνται με λιωμένο πέτρωμα από βαθύτερους ορίζοντες.



***Εικόνα 67:** Λάβες που έχουν υποστεί ταχεία ψύξη, στις βόρειο-δυτικές πλαγιές του θόλου Νίκη. (Google)*



**Εικόνα 68:** Λάβες οι οποίες ψύχθηκαν αργά, στον όρμο του Αγίου Νικολάου της Παλαιάς Καμένης. Το κόκκινο χρώμα είναι επίχρυσμα σκουριάς (οξειδία σιδήρου) από τα υδροθερμικά διαλύματα, ενώ στην θάλασσα διακρίνονται και φυσαλίδες αερίου, οι οποίες εξέρχονται μαζί με το θερμό νερό.  
(<http://santorini.net>)

### **3.11 Η έκρηξη του Κολούμπο**

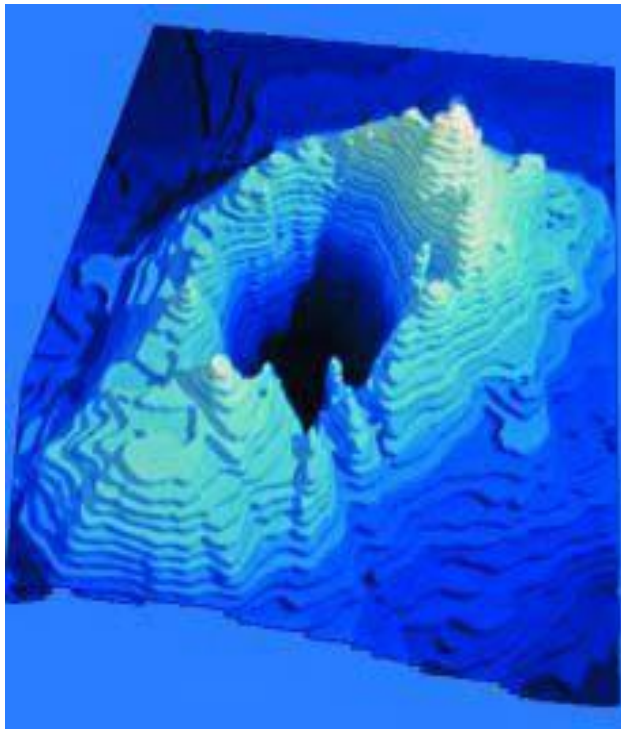
Η μοναδική ιστορική έκρηξη που εκδηλώθηκε έξω από το χώρο της καλδέρας στην περιοχή της Σαντορίνης, είναι αυτή του Κολούμπο, το Σεπτέμβρη του 1650, στον υποθαλάσσιο χώρο 8 χιλιόμετρα βόρειο-ανατολικά του νησιού, μεταξύ Θήρας και Αμοργού, η υποθαλάσσια ηφαιστειακή δραστηριότητα, ταλαιπωρούνται όμως πολύ από την έντονη σεισμική δραστηριότητα που την συνοδεύει.

Το λιωμένο πέτρωμα που αναβλύζει ήπια στο βυθό οικοδομεί ως τον Σεπτέμβρη του 1650 ένα υποθαλάσσιο ηφαίστειο με περίμετρο 30 χιλιομέτρων και ύψος 300 μέτρα που η κορυφή του μόλις ξεπρόβαλε πάνω από τα κύματα. Τέλη του Σεπτέμβρη αρχίζουν μικρές εκρήξεις και η μεγάλη έκρηξη εκδηλώνονται στις 29 του ίδιου μήνα. Τέσσερα δισεκατομμύρια τόνοι λιωμένο πέτρωμα τινάζονται στην ατμόσφαιρα, σε ύψος μερικών χιλιάδων μέτρων. Η ελαφρόπετρα που επιπλέει στη θάλασσα κάνει τη γύρω από το ηφαίστειο περιοχή να μοιάζει με στεριά. Η λεπτόκοκκη ηφαιστειακή στάχτη κινείται ανατολικά ταξιδεύοντας ως τη Μικρά Ασία. Το κεντρικό τμήμα του ηφαιστείου κατακρημνίζεται στο κενό που έχει δημιουργηθεί από την εκτίναξη του μάγματος και δημιουργεί μια υποθαλάσσια καλδέρα βάθους 500 μέτρων και διαμέτρου 3 χιλιομέτρων. Αυτό προκαλεί ένα μεγάλο παλιρροϊκό κύμα ύψους 10 μέτρων που σαρώνει τις ακτές της Σαντορίνης και του Αιγαίου. Κανένα από αυτά τα γεγονότα δεν προκαλεί ανθρώπινα θύματα. Αντίθετα αυτό το κάνουν τα ηφαιστειακά αέρια. Τεράστιες ποσότητες υδρόθειου που απελευθερώνονται από την έκρηξη κάνουν αφόρητη τη ζωή στη Σαντορίνη και σε τρεις περιπτώσεις, όπου ο αέρας φυσούσε προς ΝΔ, προκαλεί το θάνατο συνολικά 50 κατοίκων της Θήρας και πάνω από 1000 ζώων.

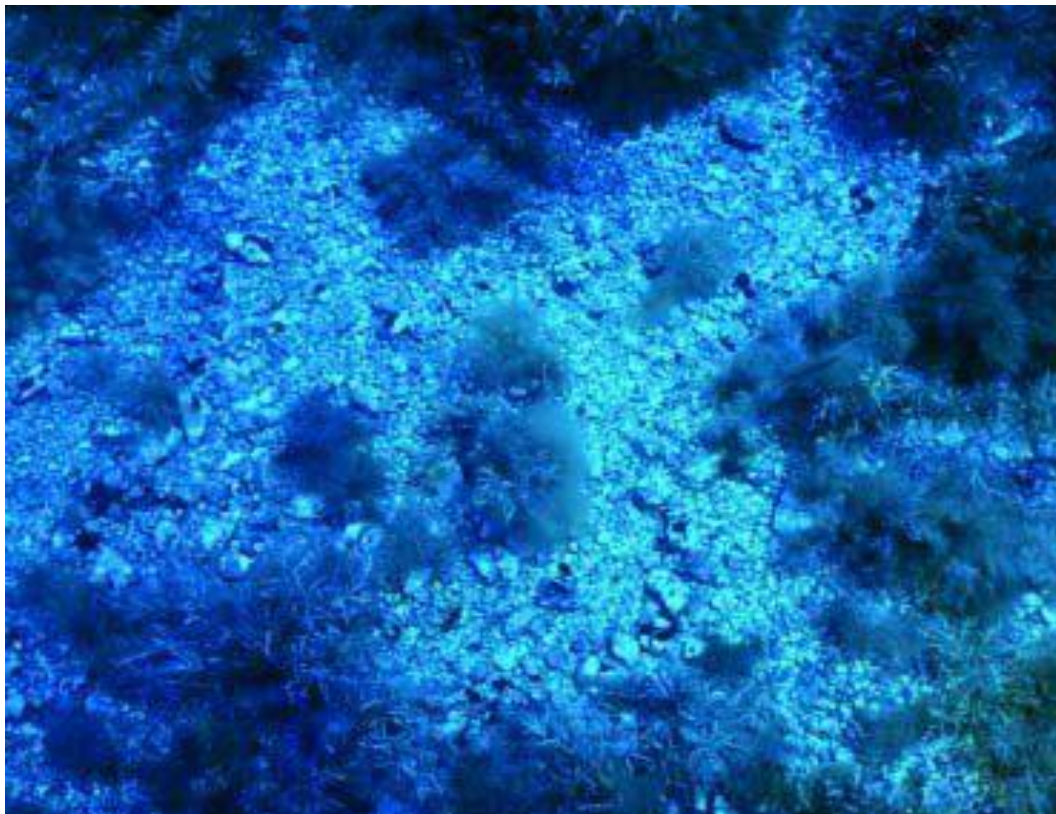
Μικρές εκρήξεις συνεχίζουν να εκδηλώνονται στην περιοχή του Κολούμπου έως τις 10 του Οκτώβρη του 1650. Στις 6 Δεκεμβρίου σταματούν και οι εκλύσεις αερίων, και από τότε το ηφαίστειο είναι σε κατάσταση ηρεμίας. Η μικρή νησίδα που είχε μείνει πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας διαβρώνεται από τα κύματα σε μικρό χρονικό διάστημα. Το υψηλότερο σημείο του ηφαιστείου βρίσκεται σήμερα 18 μέτρα κάτω από τη στάθμη της θάλασσας.

Η έκρηξη του Κολούμπου είναι η μεγαλύτερη έκρηξη που εκδηλώθηκε την τελευταία χιλιετία στην Ανατολική Μεσόγειο.

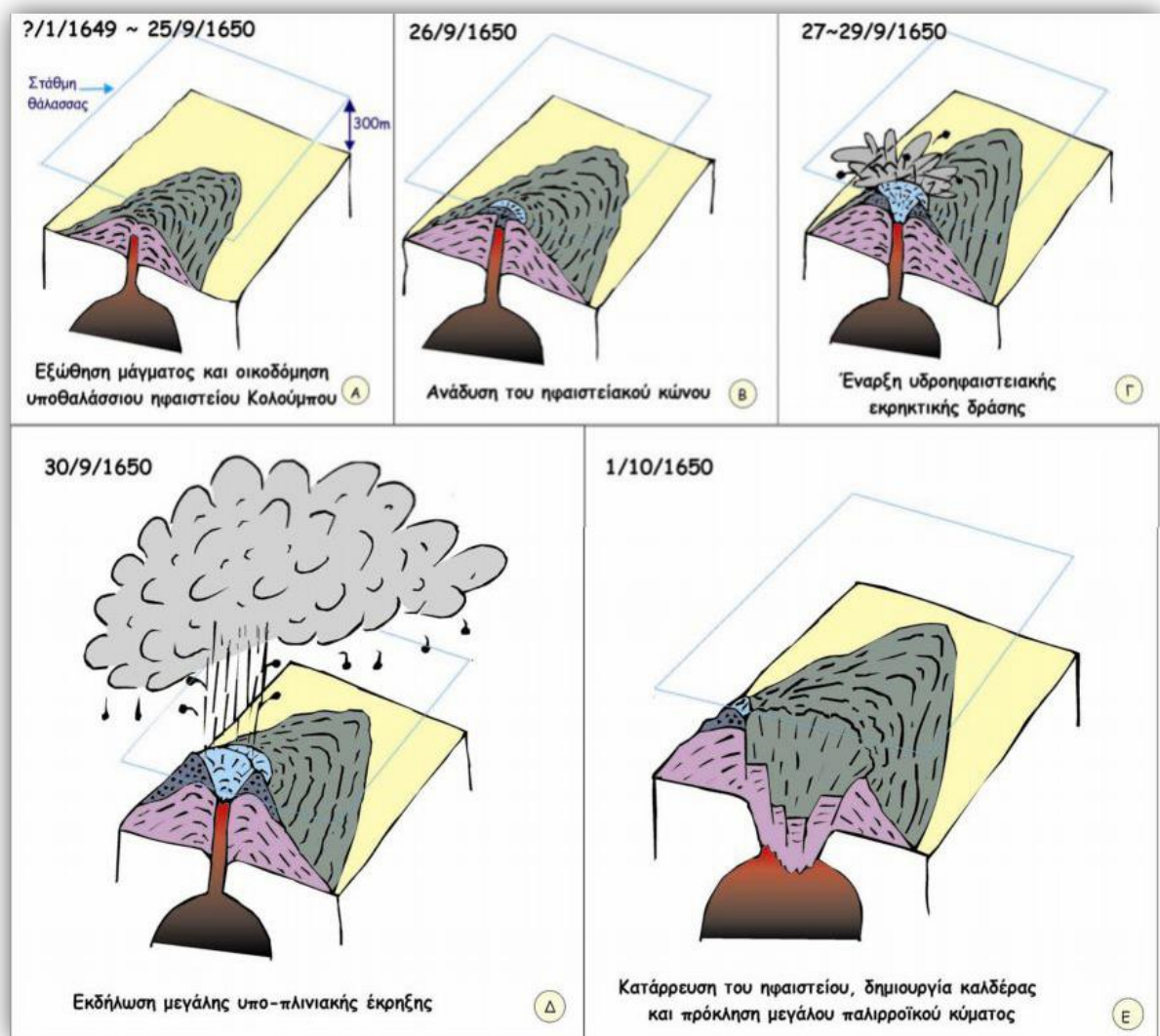




**Εικόνα 69:** Τρισδιάστατη απεικόνιση της σημερινής μορφολογίας του ηφαιστείου του Κολούμπου.



**Εικόνα 70:** Η κορυφή του φοβερού ηφαιστείου του Κολούμπου είναι σήμερα ένας γαλήνιος βυθός σπαρμένος με την ελαφρόπετρα της έκρηξης του 1650. (Google)



**Εικόνα 71:** Σχηματική αναπαράσταση της έκρηξης του Κολούμπου το 1649-1650.(Ι.Μ.Π.Η.Σ)



### **3.12 Η κατάσταση του ηφαιστείου σήμερα**

Τα ηφαιστειακά κέντρα των Καμένων, μετά την έκρηξη του 1950, βρίσκονται σε κατάσταση ηρεμίας. Οι μόνες επιφανειακές εκδηλώσεις που θυμίζουν την ύπαρξη του μάγματος κάτω από τα νησιά είναι οι πολυάριθμες θερμές πηγές που αναβλύζουν στις ακτές τους και η διαφυγή θερμών αερίων από τις ατμίδες των κεντρικών κρατήρων της Νέας Καμένης. Τα αέρια αυτά έχουν θερμοκρασία μεταξύ 93 και 97 βαθμών Κελσίου. Είναι κυρίως διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>), υδρατμοί και θερμός ατμοσφαιρικός αέρας με μικρό ποσοστό άλλων αερίων όπως υδρόθειο, μεθάνιο κ.λ.π. Στα σημεία που διαφεύγουν αποθέτουν ορυκτά του θείου, γύψο και άλλα υδροθερμικά ορυκτά.

Ένα μοντέρνο ολοκληρωμένο δίκτυο παρακολούθησης δεκάδων φυσικών και χημικών παραμέτρων (θερμοκρασία και χημική σύσταση των ατμίδων και θερμών νερών, σεισμική δραστηριότητα, στάθμη της θάλασσας και ανάγλυφο της περιοχής, βαρυτικό και μαγνητικό πεδίο της γης κ.ά.) έχει εγκατασταθεί πρόσφατα στα νησιά αυτά και την ευρύτερη περιοχή της Σαντορίνης. Το δίκτυο αυτό εξασφαλίζει την καταγραφή οποιουδήποτε φαινομένου ή συμβάντος που θα μπορούσε να σημαίνει πιθανή επαναδραστηριοποίηση του ηφαιστείου και εγγυάται την έγκαιρη λήψη μέτρων έτσι ώστε οι επισκέπτες των νησιών να μη διατρέχουν κανένα απολύτως κίνδυνο από ενδεχόμενο ξύπνημα του ηφαιστείου.

### **3.13 Η εικόνα της Σαντορίνης σήμερα**

Οι οικισμοί του νησιού είναι χτισμένοι στο φρύδι της καλντέρας προσφέροντας ιδανική θέα στους επισκέπτες, οι οποίοι μέσω ενός κεντρικού οδικού δικτύου και αρκετών γραφικών διαδρομών και μονοπατιών μπορούν να απολαύσουν την ιδίομορφη αρχιτεκτονική και το μοναδικό ηφαιστειακό τοπίο. Η πρωτεύουσα, τα Φηρά, αποτελεί τη σύγχρονη εικόνα του νησιού με το συνδυασμό παραδοσιακής και νεότερης τουριστικού χαρακτήρα αρχιτεκτονικής.



**Εικόνα 72** (Google)

Το Αρχαιολογικό Μουσείο Θήρας με ευρήματα από την αρχαία Θήρα και τα ιστορικά χρόνια, το Μουσείο Προϊστορικής Θήρας με μια σύγχρονη και αντιπροσωπευτική παρουσίαση των πολυάριθμων ευρημάτων του Ακρωτηρίου, η καθολική μητρόπολη και το μοναστήρι των Δομινικανών καλογριών, αλλά και το Μέγαρο Γκίζι (1700) που περιλαμβάνει χάρτες, πίνακες ζωγραφικής από τις Κυκλάδες καθορίζουν την πολιτιστική φυσιογνωμία της σημερινής πρωτεύουσας. Οι υπόλοιποι οικισμοί, όπως η Οία, το Ημεροβίγλι και ο Πύργος, διατηρούν περισσότερο παραδοσιακή εικόνα.

### **3.14 Το ηφαίστειο και ο τουρισμός**

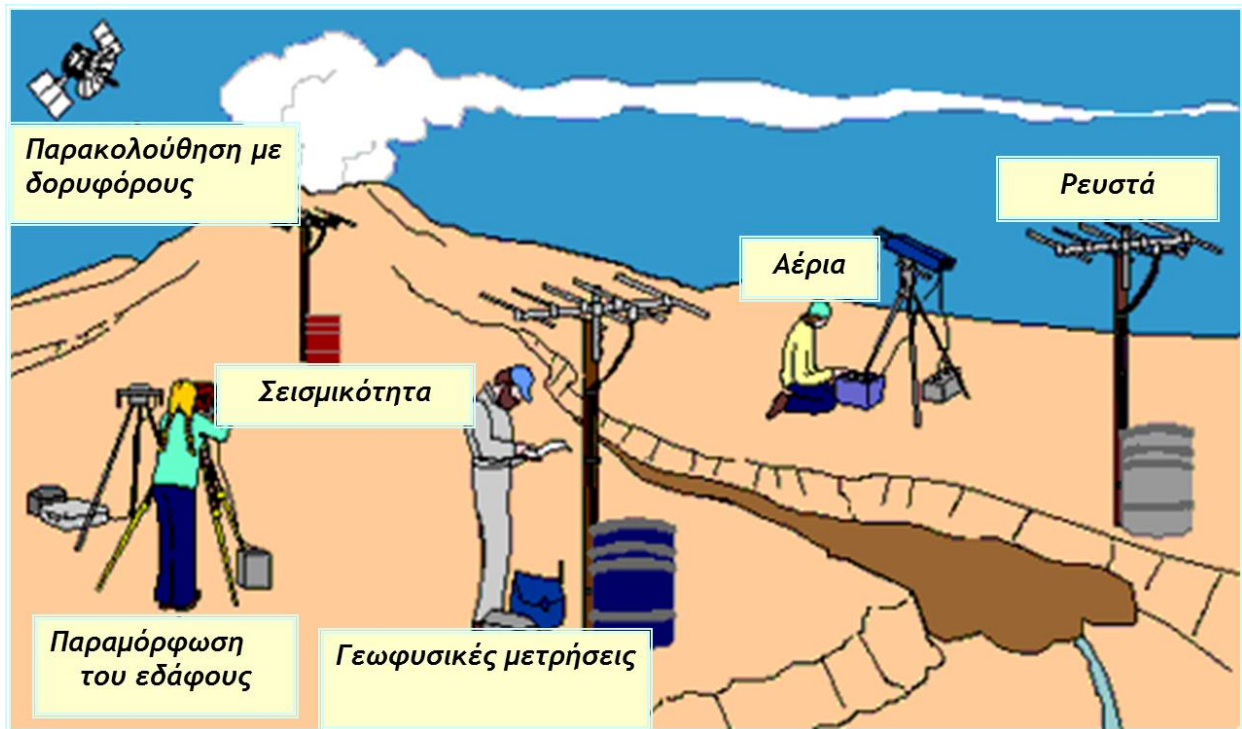
Η σημερινή εικόνα της Σαντορίνης αποτελεί ένα από τα πιο εντυπωσιακά και ιδιαίτερα τοπία σε ολόκληρο τον κόσμο. Το φαιοκάστανο και γκριζότεφρο χρώμα της θηραϊκής γης σε συνδυασμό με τους παραδοσιακούς σύγχρονους οικισμούς, που είναι χτισμένοι στο φρύδι της μεγαλύτερης καλντέρας του κόσμου, δημιουργούν έναν απaráμιλλο συνδυασμό ανάμεσα στο φυσικό και το ανθρωπογενές περιβάλλον. Το τοπίο διαφέρει ριζικά από το υπόλοιπο Αιγαίο και έχει μετατρέψει το νησί σε τουριστικό προορισμό πρώτης προτεραιότητας σε παγκόσμια κλίμακα.

Το ηφαίστειο της Σαντορίνης καθορίζει τη ζωή του νησιού και αποτελεί την αιτία που το κάνει να ξεχωρίζει ανάμεσα σε χιλιάδες μικρά και μεγάλα νησιά του αρχιπελάγους του Αιγαίου. Χωρίς το ηφαίστειο, η Σαντορίνη σήμερα πιθανώς να ήταν άλλο ένα απλώς όμορφο ελληνικό νησί, όπως όλα τα γειτονικά της. Ωστόσο, η επιβλητική παρουσία της καλντέρας και οι υδρατμοί που πολλές φορές αναβλύζουν από τον κρατήρα του ενεργού

ηφαιστείου αποκαλύπτουν πόσο λεπτά είναι τα όρια ανάμεσα στην ευημερία και την καταστροφή, και υπενθυμίζουν ότι όλοι οι πολιτισμοί στηρίχθηκαν στην πτώση των προηγούμενων. Ταυτόχρονα η εικόνα του Ακρωτηρίου μαρτυρά πόσο άνιση μπορεί να γίνει η μάχη ανάμεσα στον άνθρωπο και τη φύση.

## Κεφάλαιο 4°

### 4.1 Το Ι.Μ.Π.Η.Σ και τα συστήματα παρακολούθησης του ηφαιστείου της Σαντορίνης



Εικόνα 73(Ι.Μ.Π.Η.Σ)

Στη Σαντορίνη το 1995 ιδρύθηκε το "Ινστιτούτου Μελέτης και Παρακολούθησης του Ηφαιστείου Σαντορίνης (ΙΜΠΗΣ)". Στόχος του παρατηρητηρίου είναι η προώθηση της ηφαιστειολογικής έρευνας, η συνεισφορά στην καλύτερη εκτίμηση του ηφαιστειακού κινδύνου και η έγκαιρη πρόβλεψη τυχόν επαναδραστηριοποίησης του ηφαιστείου καθώς και η διάψευση τυχόν αναίτιων συναγερμών και φημολογιών σχετικά ε το ηφαίστειο της Σαντορίνης.

Τα άτομα που δραστηριοποιούνται είναι καθηγητές και ερευνητές από το Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, το Πανεπιστήμιο Πατρών, το Γεωδυναμικό Ινστιτούτο του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών και το Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών.

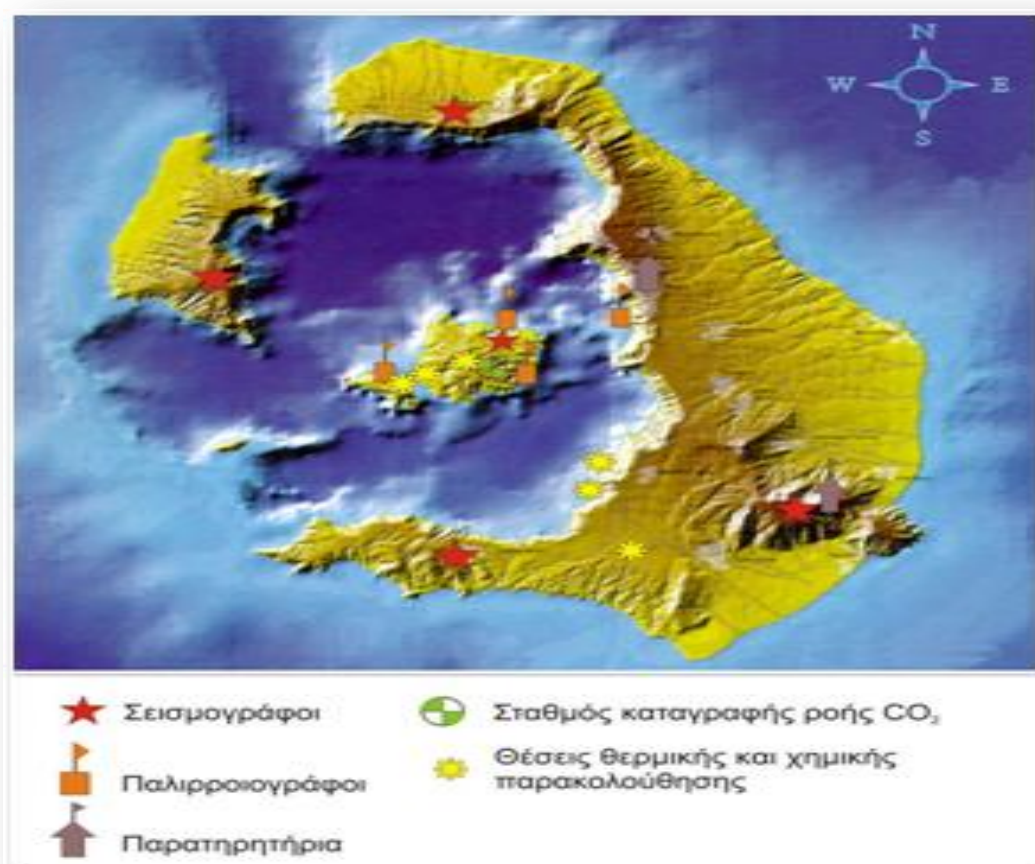
Οικονομική υποστήριξη υπήρχε από τον Δήμο Θήρας. Κατά περιόδους από την Περιφέρεια Ν. Αιγαίου, το Υπουργείο Αιγαίου, τη Γενική Γραμματεία Πολιτικής Προστασίας, τους τοπικούς φορείς, την Τράπεζα Πειραιώς, και από τον ΟΑΣΠ.

Υπάρχει βέβαια και γενική υποστήριξη από Τοπικά Ιδρύματα και Αρχές (π.χ. Ίδρυμα Θήρας, Ίδρυμα Λουκά και Ευάγγελου Μπελλώνια, Ένωση Λεμβούχων Σαντορίνης, ιδιώτες, κλπ.)

Το Ι.Μ.Π.Η.Σ αποτελείται από 7-μελές Διοικητικό Συμβούλιο καθώς και από 5-μελούς Επιστημονική Επιτροπή. Υπάρχουν 85 ενεργά μέλη όπου η βοήθειά τους είναι σημαντική.

Για να επιτευχθούν όλα τα παραπάνω, στο νησί διαθέτει 5 Δίκτυα παρακολούθησης, όπως θα δούμε και στην Εικόνα 72

- ✓ Σεισμικό
- ✓ Χημικό
- ✓ Θερμικό
- ✓ Γεωδαιτικό
- ✓ Θαλάσσιας στάθμης
- ✓ Δύο μικρά παρατηρητήρια



**Εικόνα 74**(Ι.Μ.Π.Η.Σ)

ΗΦΑΙΣΤΕΙΑΚΗ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΤΟΥ ΗΦΑΙΣΤΕΙΟΥ ΤΗΣ ΣΑΝΤΟΡΙΝΗΣ

## 4.2 Σεισμική παρακολούθηση Σαντορίνης



**Εικόνα 75**(Ι.Μ.Π.Η.Σ)

Για την σεισμική παρακολούθηση του ηφαιστείου, υπάρχουν 11 σειсмоγράφοι, που συνδέονται απευθείας με το Σεισμολογικό σταθμό του Α.Π.Θ. και μετάδοση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο (real-time). Άμεση ανάλυση και ερμηνεία.



**Εικόνα 76**(Ι.Μ.Π.Η.Σ)

ΗΦΑΙΣΤΕΙΑΚΗ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΤΟΥ ΗΦΑΙΣΤΕΙΟΥ ΤΗΣ ΣΑΝΤΟΡΙΝΗΣ





**Εικόνα 77:** Σεισμολογικός Σταθμός στην Ν.Καμένη(Ι.Μ.Π.Η.Σ)

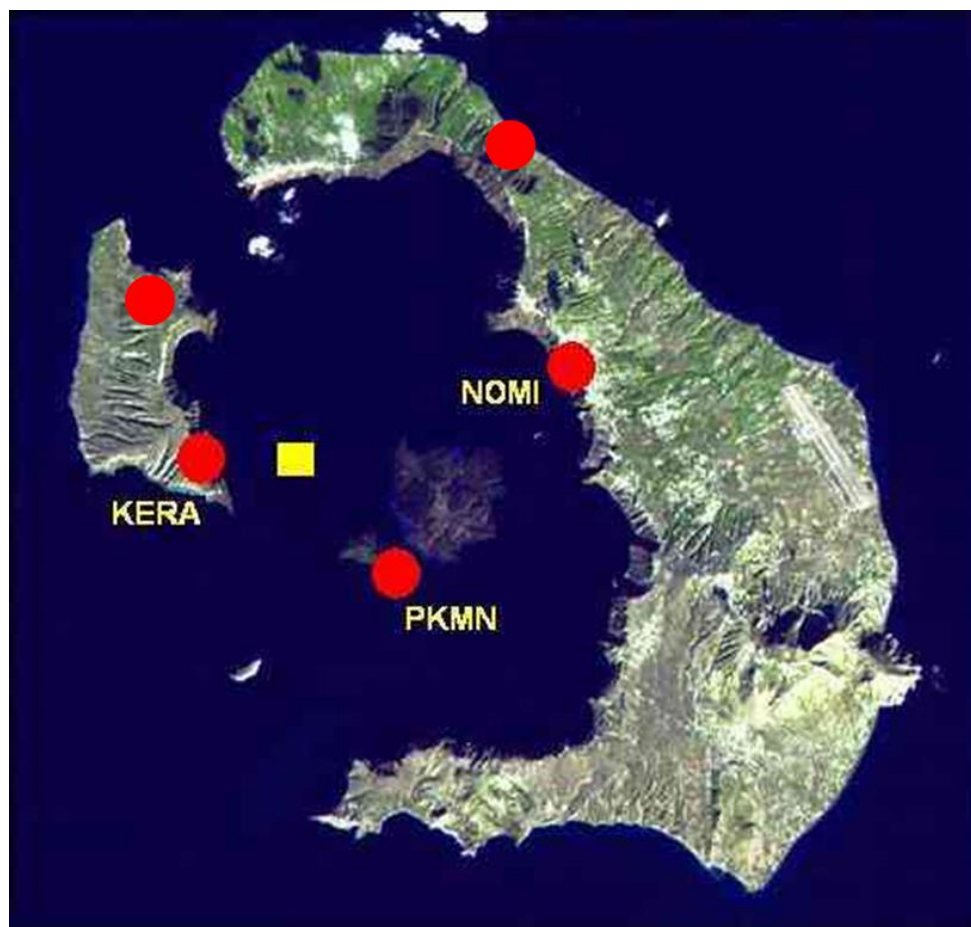


**Εικόνα 78:** Οικίσκος σεισμολογικού σταθμού CMBO (περιοχή Ακρωτηρίου Κολούμπου στη βόρεια Θήρα)  
(Ι.Μ.Π.Η.Σ)

### **4.3 Γεωδαιτική παρακολούθηση του ηφαιστείου της Σαντορίνης**

Η τοπογραφική παρακολούθηση των παραμορφώσεων εκτελείται με 2 γεωδαιτικά δίκτυα που περιλαμβάνουν 5 μόνιμους σταθμούς GPS με δορυφορική επικοινωνία (Georgia Technical University – Πανεπιστήμιο Πατρών), 19 σταθμούς για περιοδικές μετρήσεις (Πανεπιστήμιο Πατρών) , 4 σταθμούς μέτρησης της διακύμανσης της στάθμης και της θερμοκρασίας της θάλασσας (Α.Π.Θ.)

#### **Μόνιμο δίκτυο Σταθμών GPS**

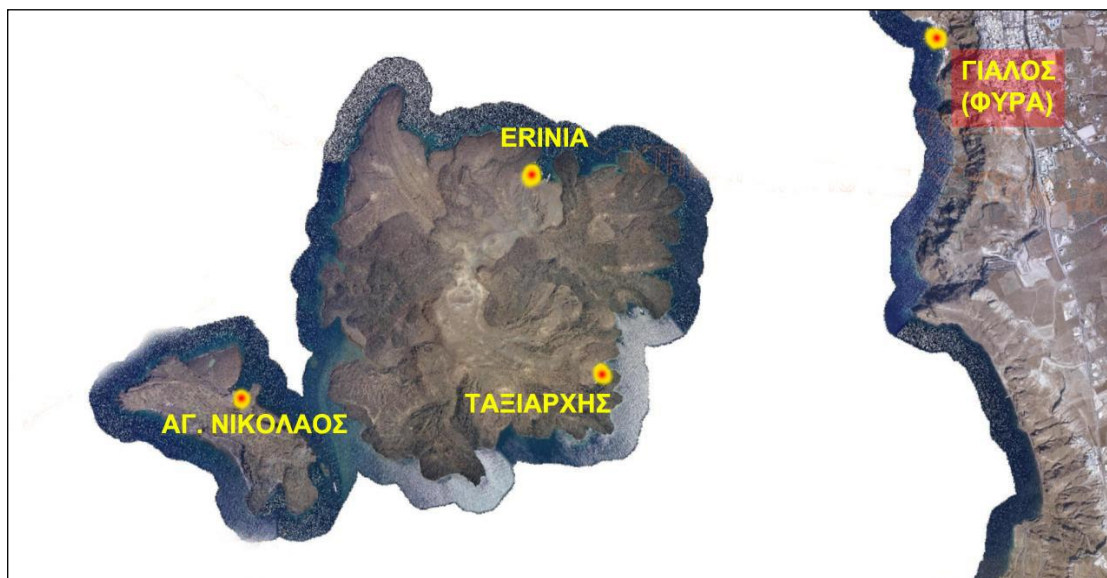


**Εικόνα 79:** Με κόκκινες κουκίδες παρουσιάζονται οι 5 σταθμοί GPS, και με κίτρινο τετράγωνο η περιοχή όπου έχει παρατηρηθεί διογκώσεις μάγματος. (Ι.Μ.Π.Η.Σ)





**Εικόνα 80** :Μόνιμοι σταθμοί γεωδαιτικής παρακολούθησης GPS, θερμομέτρησης και γεωχημικής παρακολούθησης. (Ι.Μ.Π.Η.Σ)



**Εικόνα 81**: Το δίκτυο των παλιρροιογράφων στη Σαντορίνη με 4 σταθμούς και 1 των θερμοπηγών Αγ.Νικολάου. (Ι.Μ.Π.Η.Σ)



**Εικόνα 82:** Δίκτυα παλιροιογράφων (Ι.Μ.Π.Η.Σ)

#### **4.4 Γεωχημική – Θερμική Παρακολούθηση του ηφαιστείου της Σαντορίνης**

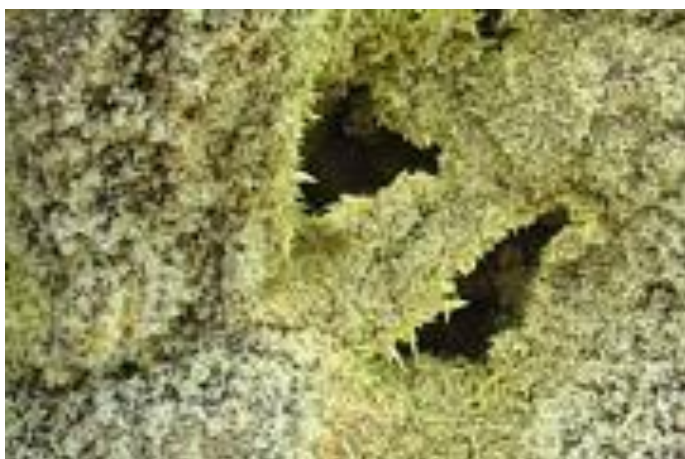
Για την Γεωχημική-Θερμική Παρακολούθηση υπάρχει ένας σταθμός μέτρησης του διοξειδίου του άνθρακα και θερμοκρασίας στη Νέα Καμένη (ΙΓΜΕ) όπου διενεργούνται επίσης περιοδικές γεωχημικές αναλύσεις και θερμοκρασιακές μετρήσεις (ΙΓΜΕ, Πανεπιστήμιο Φλωρεντίας)

Το Μάιο του 2015 έγινε εγκατάσταση και τέθηκαν σε λειτουργία δύο νέοι σταθμοί θερμικής παρακολούθησης της μέγιστης θερμοκρασίας των ατμίδων της Νέας Καμένης, όπου ο ένας σταθμός συνίσταται σε ψηφιακό καταγραφικό συνεχούς καταγραφής της θερμοκρασίας, ενώ ο δεύτερος καταγράφει τη μέγιστη θερμοκρασία και στη συνέχεια μεταδίδει μέσω κινητής τηλεφωνίας τις καταγραφές σε δικτυακό τόπο όπου είναι προσβάσιμες σε μόνιμη βάση από κάθε υπολογιστή (Εικόνα 81). Ο σταθμός αυτός ανήκει στο ΙΓΜΕ, και εξυπηρετεί και τις ανάγκες του έργου ΕΣΠΑ του Τμ. Γεωθερμίας του ΙΓΜΕ, με στόχο τη διαχρονική παρακολούθηση των γεωθερμικών πεδίων.

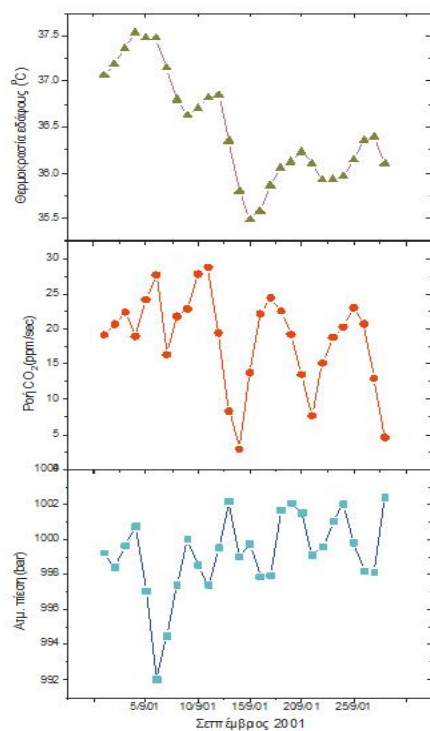




**Εικόνα 83:** Δύο σταθμοί σταθμών θερμικής παρακολούθησης της μέγιστης θερμοκρασίας των ατμίδων της Νέας Καμένης(Ι.Μ.Π.Η.Σ)



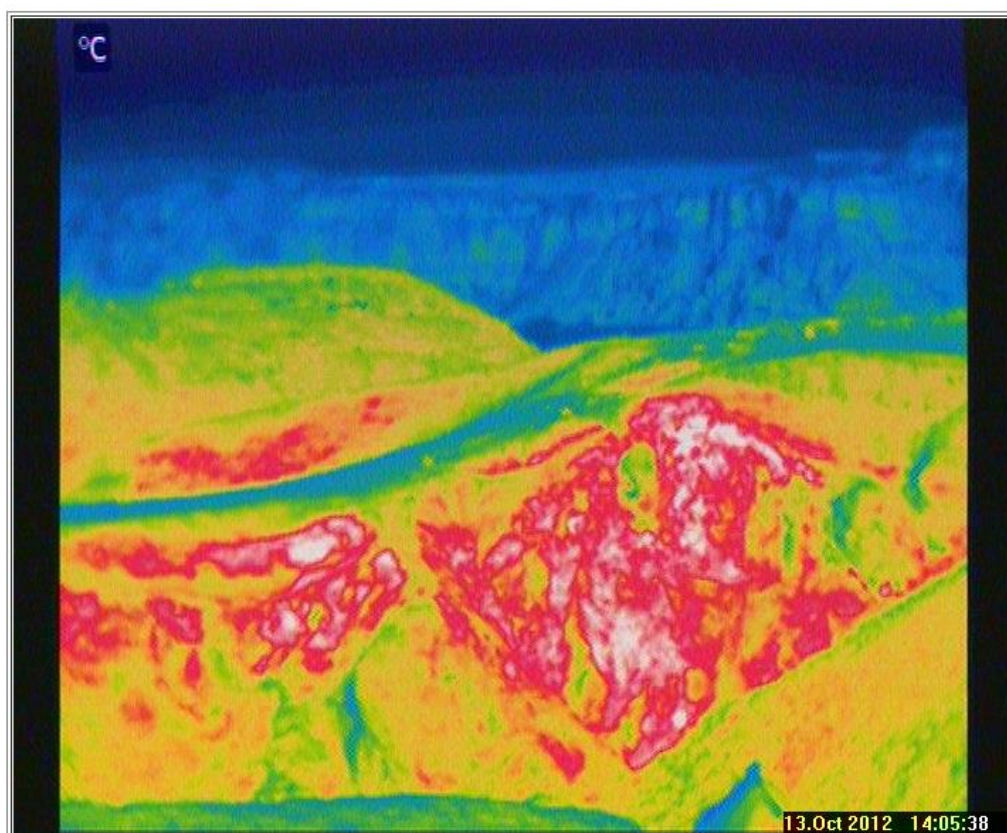
**Εικόνα 84:** Κρύσταλλοι θείου σε ατμίδα (Νέα Καμένη, Σαντορίνη, 2005). Photo: Σολδάτος T



Συνεχής μέτρηση ροής διοξειδίου,  
θερμοκρασίας εδάφους και  
ατμ. πίεσης



**Εικόνα 85**(Ι.Μ.Π.Η.Σ)



**Εικόνα 86**(Ι.Μ.Π.Η.Σ)



#### **4.5 Τηλεμετρικό δίκτυο παρακολούθησης του ηφαιστείου της Σαντορίνης**

Από την άνοιξη του 2006, το Εργαστήριο Γεωδαισίας και Γεωδαιτικών Εφαρμογών του Πανεπιστημίου Πατρών, σε συνεργασία με ερευνητική ομάδα του Πανεπιστημίου GeorgiaTech (συνεργάτης Dr A. Newman) και της UNAVCO (Διαπανεπιστημιακού consortium Πανεπιστημίων των ΚΠ.Α. του οποίου το Εργαστήριο Γεωδαισίας Παν. Πατρών, είναι αλλοδαπό μέλος), ανέλαβε το έργο της εγκατάστασης τηλεμετρικού δικτύου GPS με σκοπό την παρακολούθηση των μετακινήσεων του ηφαιστείου της Σαντορίνης. Το έργο εντάχθηκε στο ερευνητικό πρόγραμμα ΠΕΝΕΔ 2003 (κωδικός έργου 03ΕΔ53) και χρηματοδοτείται από τη ΓΓΕΤ (Γενική Γραμματεία Έρευνας και Τεχνολογίας) και το ΙΜΠΗΣ (Ινστιτούτο Μελέτης και Παρακολούθησης του Ηφαιστείου Σαντορίνης).

Το δίκτυο αποτελείται από τρεις μόνιμους σταθμούς GPS. Κάθε σταθμός έχει δυνατότητα συνεχούς και ακριβούς προσδιορισμού των συντεταγμένων του. Με τη μακροχρόνια καταγραφή και μελέτη των συντεταγμένων κάθε σταθμού, είναι δυνατό να εντοπιστούν μετακινήσεις, οφειλόμενες πιθανώς σε ροή μάγματος. Οι μόνιμοι σταθμοί και τα στοιχεία τους είναι οι εξής:

##### **Κεντρικός Σταθμός (Εικόνα 87.Α)**

- Ονομασία: NOMI
- Θέση εγκατάστασης: Φυρά - Σαντορίνη (Συνεδριακό Κέντρο «Νομικός»)
- Τροφοδοσία: Μόνιμη εγκατάσταση παροχής ρεύματος
- Μετρήσεις: Αποθηκεύονται σε δέκτη και μέσω router διοχετεύονται στο Internet
- Εγκατάσταση και έναρξη λειτουργίας: Μάιος 2006

### **Περιφερειακός Σταθμός 1** (Εικόνα 87.Β)

- Ονομασία: KERA
- Θέση εγκατάστασης: Θηρασιά
- Τροφοδοσία: Εγκατάσταση φωτοβολταϊκών στοιχείων
- Μετρήσεις: Αποθηκεύονται σε δέκτη και μέσω ραδιοζεύξης (radiolink)

αποστέλλονται στον κεντρικό σταθμό από όπου διοχετεύονται στο Internet

- Εγκατάσταση και έναρξη λειτουργίας: Μάιος 2006

(Ο σταθμός, λόγω της τροφοδοσίας του από φωτοβολταϊκά στοιχεία, παρουσιάζει διακοπές στις μετρήσεις κατά τη διάρκεια περιόδων με χαμηλή ηλιοφάνεια)

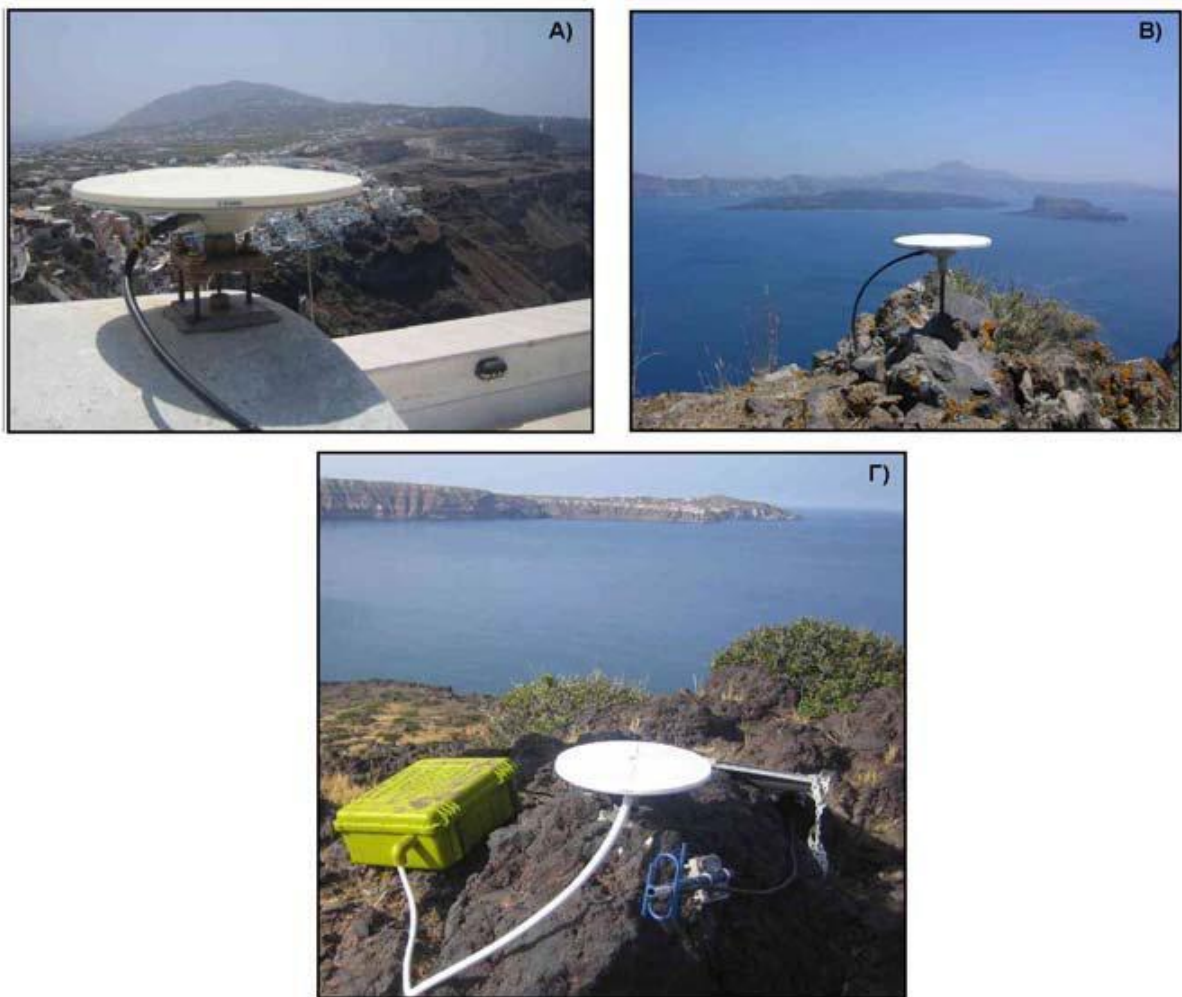
### **Περιφερειακός Σταθμός 2** (Εικόνα 16.Γ)

- Ονομασία: PKMN
- Θέση εγκατάστασης: Παλαιά Καμμένη
- Τροφοδοσία: Εγκατάσταση φωτοβολταϊκών στοιχείων
- Μετρήσεις: Αποθηκεύονται σε δέκτη και μέσω ραδιοζεύξης (radiolink)

αποστέλλονται στον κεντρικό σταθμό από όπου διοχετεύονται στο Internet

- Εγκατάσταση και έναρξη λειτουργίας: Η εγκατάσταση του σταθμού έγινε το Μάιο του 2006, αλλά λόγω προβλημάτων που προέκυψαν, και αποκαταστάθηκαν στη συνέχεια, ο σταθμός άρχισε να λειτουργεί τον Ιούνιο του 2008

(Όπως συμβαίνει και στον άλλο περιφερειακό σταθμό, ο σταθμός PKMN λόγω της τροφοδοσίας του από φωτοβολταϊκά στοιχεία, παρουσιάζει διακοπές στις μετρήσεις κατά τη διάρκεια περιόδων με χαμηλή ηλιοφάνεια)



**Εικόνα 87:** Α. Κεντρικός Σταθμός ΝΟΜΙ, Β. Περιφερειακός Σταθμός ΚΕΡΑ, Γ. Περιφερειακός Σταθμός ΡΚΜΝ.

Στην ιστοσελίδα της UNAVCO, διατίθενται στοιχεία σχετικά με τη λειτουργία του δικτύου. Η πρόσβαση γίνεται μέσω της διεύθυνσης <http://facility.unavco.org/data/dai2/app/dai2.html> πληκτρολογώντας “Santorini” στο πλαίσιο “Network Name” και πατώντας Enter (Εικόνα 88).



**Εικόνα 88** Αρχική σελίδα παρουσίασης στοιχείων του δικτύου παρακολούθησης του ηφαιστείου της Σαντορίνης.

#### **4.6 Επιπλέον δραστηριότητες του Ι.Μ.Π.Η.Σ**

Το Ι.Μ.Π.Η.Σ κατα καιρούς αναλαμβάνει και επιπλέον δραστηριότητες. Έχει αναλάβει πρωτοβουλίες και έχει συμμετάσχει σε ενημερωτικά σεμινάρια διαλέξεις, συνεντεύξεις, κλπ. Παραχώρησε συνεντεύξεις και συμμετείχε με στελέχη του σε ειδικές εκπομπές διάφορων ΜΜΕ πάνω το θέμα του ηφαιστείου. Συνδιοργάνωσε τον περασμένο Μάρτιο με το Δήμο Θήρας την ειδική διεθνή συνάντησης MemoVolc. Συμμετείχε στην οργάνωση του Συνεδρίου VOLSAM 2012 (*Volcanism of the Southern Aegean in the frame of the broader Mediterranean area*).

Ακόμη, συνέβαλε στην προσπάθεια προστασίας και ορθολογικής αξιοποίησης του ηφαιστείου. Συνεργάζεται στενά με τη διεθνή ηφαιστειολογική κοινότητα και τους φορείς που ασχολούνται με τα ενεργά ηφαίστεια.

Συμμετείχε στο διεθνές ερευνητικό πρόγραμμα υποθαλάσσιας ηφαιστειολογικής έρευνας στην περιοχή του ηφαιστειακού συμπλέγματος Σαντορίνης, η οποία συγκέντρωσε εξαιρετικά ενδιαφέροντα νέα στοιχεία για τη Μινωική έκρηξη του 1620 π.Χ. και το υποθαλάσσιο ηφαίστειο του Κολούμπου.

Έχει διεξαχθεί πρόσφατη συνεργασία του ΙΜΠΗΣ με τα Πανεπιστήμια Roma III και Φλωρεντίας και το Ιταλικό Ινστιτούτο Γεωφυσικής και Ηφαιστειολογίας (INGV Ρώμης και Παλέρμου) για την εγκατάσταση αυτόνομων σταθμών συνεχούς καταγραφής και μετάδοσης των εξής δεδομένων:

- ❖ Συνεχής παρακολούθηση των ατμίδων της Ν. Καμένης με υπέρυθρη ακτινοβολία.
- ❖ Μέτρηση αερίων και ανάλυση με αέριο-χρωματογράφο και real-time μετάδοση δεδομένων και αποτελεσμάτων) από πρωτοπόρο σταθμό στη Νέα Καμένη.
- ❖ Σταθμός μέτρησης και καταγραφής υπόγειου θορύβου (υποήχων) στον Ταξιάρχη.



**Εικόνα 89:** Σταθμός Ταξιάρχη ( Google)

Το ΙΜΠΗΣ εξακολουθεί την πολύ καλή του συνεργασία με τους ΟΤΑ και τις αρχές της Σαντορίνης, τις οποίες και ενημερώνει τακτικά για την κατάσταση του ηφαιστείου. Συνεχίζει να συμβάλλει στη σωστή και συνεχή ενημέρωση των κατοίκων. Ειδικά φέτος το χειμώνα έκανε έκτακτες ενημερωτικές εκδηλώσεις στους εκπαιδευτικούς, το Δήμο και το κοινό. Διαθέτει το βιβλίο-ηφαιστειολογικό οδηγό της Σαντορίνης, ως και δωρεάν το ενημερωτικό φυλλάδιο στους επισκέπτες της Καμένης. Εκδίδει τακτικά Ενημερωτικά Δελτία και έκτακτα όταν χρειάζεται και ΗΦΑΙΣΤΕΙΑΚΗ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΤΟΥ ΗΦΑΙΣΤΕΙΟΥ ΤΗΣ ΣΑΝΤΟΡΙΝΗΣ



αναρτά στη σελίδα [ismosav.santorini.net](http://ismosav.santorini.net) τις δραστηριότητες. Πρότεινε και κατάφερε να δημιουργηθεί η ΕΕΠΗΣ, στην οποία συμμετέχει με 4 στελέχη της επιστημονικής επιτροπής του. Με την οικονομική υποστήριξη της ΓΕΩΘΗΡΑ, που καλύπτει ένα σημαντικό μέρος των λειτουργικών του δαπανών, το ΙΜΠΗΣ συνεχίζει με τον καλύτερο δυνατό τρόπο την παρακολούθηση του ηφαιστείου Σαντορίνης.

Γίνονται ετήσιες παρακολουθήσεις και γεωλογικές περιηγήσεις από ηφαιστειολόγους του ΙΓΜΕ, την δημοτική ομάδα «ΓΕΩΘΗΡΑ» και των γεωλόγων του ΙΜΠΗΣ. Η τελευταία επιτυχής γεωλογική περιήγηση στα ηφαίστεια που οικοδόμησαν τη σημερινή Σαντορίνη έγινε το Σάββατο 4 Φεβρουαρίου 2017. Η περιήγηση διοργανώθηκε από τη δημοτική επιχείρηση ΓΕΩΘΗΡΑ και το Ινστιτούτο Μελέτης και Παρακολούθησης του Ηφαιστείου Σαντορίνης (ΙΜΠΗΣ). Την ξενάγηση των συμμετεχόντων ανέλαβαν γεωλόγοι του ΙΜΠΗΣ. Μάλιστα η συμμετοχή του κοινού ήταν ενθουσιώδης και το ενδιαφέρον ιδιαίτερο.

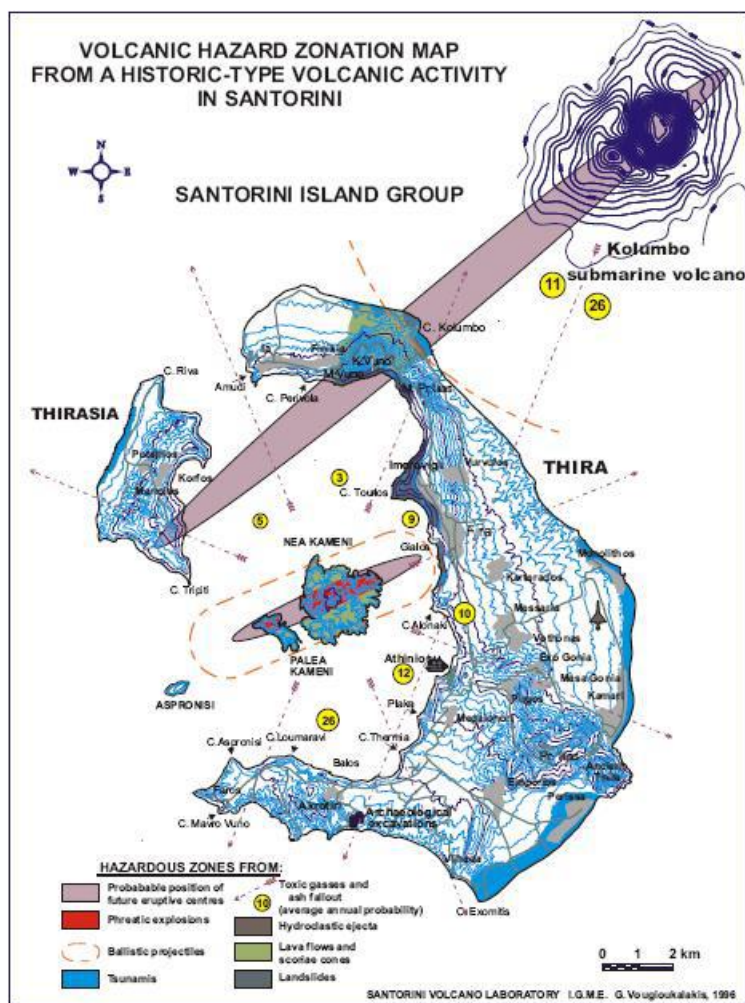


**Εικόνα 90:** Με την πρόεδρο της ΓΕΩΘΗΡΑ Κατερίνα Καραμολέγκου-Μανέττα από αριστερά οι επιστήμονες του ΙΜΠΗΣ: Μιχάλης Φυτίκας, ομότιμος καθηγητής Γεωθερμίας/Ηφαιστειολογίας Α.Π.Θ., Σπύρος Παυλίδης και Δημήτρης Παναγιωτόπουλος, καθηγητές Γεωλογίας Α.Π.Θ., Γιώργης Βουγιουκαλάκης, διδάκτωρ ηφαιστειολόγος, ΙΓΜΕ. (<http://atlantea.news>)

#### 4.7 Υπάρχουσες μελέτες (Επικινδυνότητας -Κικνδύνου)

##### Προηγούμενες προσεγγίσεις

Αναφορικά με μελέτες κινδύνου ο κ. Βουγιουκαλάκης το 1996 δημιούργησε ένα χάρτη κινδύνου (Εικόνα 89) με βάση πιθανή φρεατική έκρηξη, πτώση βαλλιστικών, τοξικά αέρια, δημιουργία τσουνάμι και ροή λάβας.



Εικόνα 89 : Ζώνες επικινδυνότητας (Γ. Βουγιουκαλάκης et al, 1996)

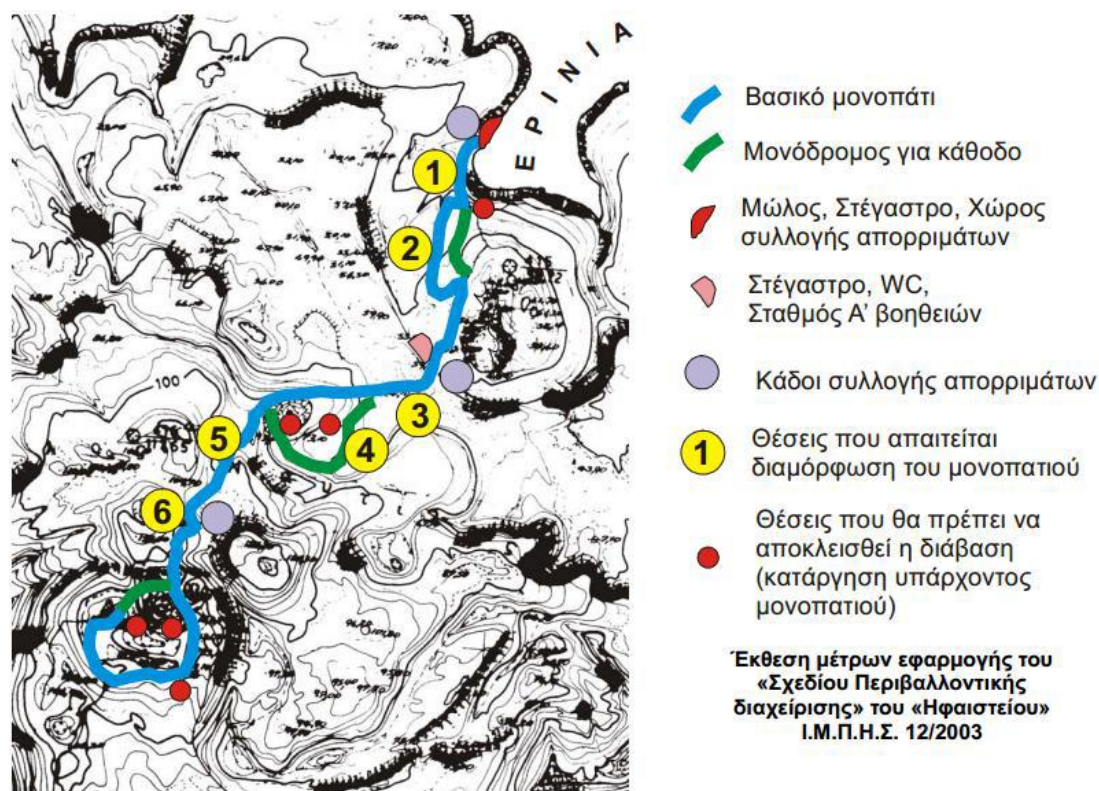
Για τη μελέτη αυτή έλαβε υπόψη δεδομένα από παλαιότερες εκρήξεις (Πίνακας 2 ) και θεώρησε ότι η έκρηξη θα πραγματοποιηθεί πάνω στη γραμμή του Κολούμπο ή της Νέας Καμένης. Ακόμη στην μελέτη απέκλεισε την περίπτωση του χειρότερου σεναρίου που είναι η Μινωική έκρηξη, διότι σε αυτή τη περίπτωση τα πυροκλαστικά και βαλλιστικά θα έπεφταν σε όλο το νησί και επίσης η πιθανότητα να επαναληφθεί είναι πολύ μικρή.



**Πίνακας 2:** Δεδομένα προηγούμενων εκρήξεων στη Σαντορίνη (Γ. Βουγιουκαλάκης et al, 1996)

| ERUPTION  | Phreatic explosions | Ballistic projectiles | Toxic gases | Ash fallout, Mud-rains, Acid rains | Tsunamis | Volcanic earthquakes (Mercalli Sc.) |
|-----------|---------------------|-----------------------|-------------|------------------------------------|----------|-------------------------------------|
| 1649-1650 | -                   | 8 km                  | >30 km      | >100 km                            | 150 km   | VIII                                |
| 1707-1711 | -                   | ?                     | 10 km       | >10 km                             | -        | VI                                  |
| 1866-1870 | -                   | 750 m                 | 10 km       | >10 km                             | -        | VII                                 |
| 1925-1928 | N. Kameni           | 850 m                 | 8 km        | >10 km                             | -        | V                                   |
| 1939-1941 | N. Kameni           | 650 m                 | 6 km        | >10 km                             | -        | V                                   |
| 1950      | N. Kameni           | 800 m                 | -           | -                                  | -        | V                                   |

Ακόμη το 2003 έγινε έκθεση για “Σχέδιο Περιβαλλοντικής Υποστήριξης του Ηφαιστείου της Σαντορίνης και οι τελικές προτάσεις για τη Νέα Καμένη φαίνονται συνοπτικά στην (Εικόνα 90 ).



**Εικόνα 90**(Ι.Μ.Π.Η.Σ, 2003)

Στην Ελλάδα για περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης λόγω αιφνίδιων φυσικών, τεχνολογικών ή άλλων καταστροφών ισχύει το σχέδιο “Ξενοκράτης”. Αυτό αποσκοπεί στη διαμόρφωση ενός συστήματος αποτελεσματικής αντιμετώπισης καταστροφικών φαινομένων για ΗΦΑΙΣΤΕΙΑΚΗ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΤΟΥ ΗΦΑΙΣΤΕΙΟΥ ΤΗΣ ΣΑΝΤΟΡΙΝΗΣ

την προστασία της ζωής, της υγείας και της περιουσίας των πολιτών, καθώς και στη προστασία του φυσικού περιβάλλοντος.

Πιο συγκεκριμένα σε αυτό:

1. Προσδιορίζονται οι εμπλεκόμενες υπηρεσίες και φορείς καθώς και τα όργανα που διευθύνουν και συντονίζουν τις επιχειρησιακές δυνάμεις σε όλα τα επίπεδα.
2. Παρέχονται ουσιώδη στοιχεία στις αρμόδιες υπηρεσίες για την εκτίμηση καταστάσεων, αξιολόγηση κινδύνων, επισημάνση ευπαθών χώρων και ακολούθως εκπόνηση ειδικών σχεδίων στα πλαίσια του βασικού σχεδίου "Ξενοκράτης" προς αντιμετώπιση των, κατά περίπτωση, κινδύνων.
3. Δίδονται κατευθυντήριες γραμμές για τη χάραξη στρατηγικών και τακτικών, την ορθή οργάνωση και εξοπλισμό των υπηρεσιών και διαμόρφωση επιχειρησιακής φιλοσοφίας, για την έγκαιρη κινητοποίηση, δραστηριοποίηση, διεύθυνση και συντονισμό του ανθρωπίνου δυναμικού και μέσων.
4. Προβλέπεται η δημιουργία δυνατοτήτων διοικητικής μέριμνας για την αντιμετώπιση προβλημάτων τόσο των επιχειρησιακών δυνάμεων, όσο και των πληγέντων πολιτών.
5. Προβλέπεται η δημιουργία συστήματος επικοινωνίας και ροής πληροφοριών μεταξύ όλων των εμπλεκόμενων υπηρεσιών και παραγόντων στη διαχείριση των κρίσεων.

Για την περίπτωση έκρηξης στο ηφαίστειο της Σαντορίνης δεν υπάρχει κάποιο συγκεκριμένο σχέδιο στις τοπικές αρχές και ούτε έχουν ληφθεί υπόψη τα αποτελέσματα προηγούμενων μελετών. Έτσι το εθνικό σχέδιο "Ξενοκράτης" θεωρείται πολύ γενικό για την περίπτωση ηφαιστειακής έκρηξης και είναι απαραίτητη η δημιουργία ενός τοπικού σχεδίου έκτακτης ανάγκης.

### **Επιλογή σεναρίων για την παρούσα μελέτη**

Η ανάλυση της διάχυσης της τέφρας στην περιοχή της Σαντορίνης, η οποία και θα οδηγήσει στην δημιουργία των ζωνών επικινδυνότητας πραγματοποιήθηκε για τέσσερις διαφορετικές περιπτώσεις-σενάρια. Τα σενάρια αποτελούν συνδυασμό της πηγής που θα γίνει η έκρηξη και του είδους της έκρηξης. Αναλυτικά τα σενάρια δίνονται στην (Εικόνα 91) παρακάτω.

Ως πηγές θεωρούμε τον ήδη υπάρχων κρατήρα στο νησί της Νέας Καμένης που βρίσκεται στο κέντρο της καλδέρας της Σαντορίνης και τον κρατήρα του ηφαιστείου Κολούμπο που βρίσκεται 6.5 χιλιόμετρα βορειοανατολικά της Νέας Καμένης.



**Εικόνα 91:** Εξεταζόμενες πηγές έκρηξης (Google Earth)

Για την παρούσα μελέτη λάβαμε υπόψη δυο είδη έκρηξης. Την υπό-Πλινιακή τύπου VEI2 και την Πλινιακή τύπου VEI4 σύμφωνα με την παγκόσμια κλίμακα που έχει οριστεί για τους τύπους ηφαιστειακών εκρήξεων όπως φαίνεται και στην (Εικόνα 92). Τα δεδομένα που εισήχθησαν στο πρόγραμμα ήταν τα ανώτατα επίπεδα και για τα δυο ήδη εκρήξεων που επιλέχθηκαν.



|                                                                     | 0                 | 1                 | 2                 | 3                 | 4                           | 5                           | 6                  | 7                  | 8 |
|---------------------------------------------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-----------------------------|-----------------------------|--------------------|--------------------|---|
| General Description                                                 | Non-Explosive     | Small             | Moderate          | Moderate-Large    | Large                       | Very Large                  |                    |                    |   |
| Volume of Tephra (m <sup>3</sup> )                                  | 1x10 <sup>4</sup> | 1x10 <sup>6</sup> | 1x10 <sup>7</sup> | 1x10 <sup>8</sup> | 1x10 <sup>9</sup>           | 1x10 <sup>10</sup>          | 1x10 <sup>11</sup> | 1x10 <sup>12</sup> |   |
| Cloud Column Height (km)<br>Above crater<br>Above sea level         | <0.1              | 0.1-1             | 1-5               | 3-15              | 10-25                       | >25                         |                    |                    |   |
| Qualitative Description                                             | "Gentle,"         | "Effusive"        | "Explosive"       |                   | "Cataclysmic,"<br>"Severe," | "paroxysmal,"<br>"violent," | "colossal"         |                    |   |
| Eruption Type                                                       | Hawaiian          | Strombolian       |                   | Vulcanian         |                             | Plinian                     |                    | Ultra-Plinian      |   |
| Duration<br>(continuous blast)                                      |                   | <1 hour           |                   | 1-6 hrs           | 6-12 hrs                    | >12 hrs                     |                    |                    |   |
| CAVW max explosivity<br>(most explosive activity<br>listed in CAVW) | Lava flow         |                   | Phreatic          |                   | Explosion or Nuée ardente   |                             |                    |                    |   |
|                                                                     | Dome or mudflow   |                   |                   |                   |                             |                             |                    |                    |   |
| Tropospheric Injection                                              | Negligible        | Minor             | Moderate          | Substantial       |                             |                             |                    |                    |   |
| Stratospheric Injection                                             | None              | None              | None              | Possible          | Definite                    | Significant                 |                    |                    |   |
| Eruptions (total in file)                                           | 755               | 963               | 3631              | 924               | 307                         | 106                         | 46                 | 4                  | 0 |

| VEI | Tephra Volume (km <sup>3</sup> ) | Example                                  |
|-----|----------------------------------|------------------------------------------|
| 0   | Effusive                         | Masaya (Nicaragua), 1570                 |
| 1   | >0.00001                         | Poás (Costa Rica), 1991                  |
| 2   | >0.001                           | Ruapehu (New Zealand), 1971              |
| 3   | >0.01                            | Nevado del Ruiz (Colombia), 1985         |
| 4   | >0.1                             | Pelée (West Indies), 1902                |
| 5   | >1                               | Mount St. Helens (United States), 1980   |
| 6   | >10                              | Krakatau (Indonesia), 1883               |
| 7   | >100                             | Tambora (Indonesia), 1815                |
| 8   | >1000                            | Yellowstone (United States), Pleistocene |

**Εικόνα 92:** Κατηγορίες ηφαιστειακής έκρηξης (Newhall and Self et al, 1982)

**Πίνακας 3:** Σενάρια που μελετήθηκαν

| Σενάριο       | 1        | 2        | 3          | 4          |
|---------------|----------|----------|------------|------------|
| Πηγή          | Κολούμπο | Κολούμπο | Νέα Καμένη | Νέα Καμένη |
| Τύπος έκρηξης | VEI2     | VEI4     | VEI2       | VEI4       |

## 5. Επίλογος

Φτάνοντας στο τέλος της εργασίας, έχοντας κάνει μια ανάλυση και μια ανασκόπηση του θέματος προέκυψαν τα παρακάτω συμπεράσματα.

Αρχικά λοιπόν, από την μελέτη των ιστορικών εκρήξεων που έχει δώσει το ηφαίστειο της Σαντορίνης, παρατηρείται η έντονη αλλαγή της μορφολογίας του νησιού από την Μινωική έκρηξη μέχρι και την τελευταία έκρηξη το 1950.

Επίσης, από όσα προηγήθηκαν γίνεται φανερό πως η σημασία των συστημάτων παρακολούθησης των ηφαιστειών είναι πολύτιμη. Τα αποτελέσματα τα οποία διεξάγονται είναι πολύ χρήσιμα για την καταγραφή και την κατανόηση της κατάστασης των ηφαιστειών σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή. Με τον τρόπο αυτό μπορεί να γίνει και πρόβλεψη ενδεχόμενης ηφαιστειακής έκρηξης.

Ένα ακόμα αξιοσημείωτο συμπέρασμα είναι πως η Σαντορίνη διαθέτει ένα ολοκληρωμένο δίκτυο συστημάτων παρακολούθησης του ηφαιστείου. Καθώς είναι ένας από τους καλύτερους τουριστικούς προορισμούς στον κόσμο, αξίζει τον κόπο να υπάρχουν αυτοί οι μέθοδοι παρακολούθησης. Με αυτόν τον τρόπο δίνεται και η δυνατότητα σε ενδιαφερόμενους να συμμετέχουν στην μελέτη αυτών και να γνωρίσουν το ηφαίστειο.

Κλείνοντας, θα πρέπει να τονιστεί πως η συμβολή του Ι.Μ.Π.Η.Σ και της UNAVCO (GPS), είναι πολύ σημαντική. Χωρίς την βοήθεια τους δεν θα υπήρχε τόση μεγάλη εξέλιξη στον τομέα της παρακολούθησης του ηφαιστείου. Το προσωπικό και των δύο ομάδων συνεχίζει τις μετρήσεις στο ηφαίστειο της Σαντορίνης για την καλύτερη κατανόηση της σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης.

## **6. Βιβλιογραφία**

### **Ελληνική**

- Βουγιουκλάκης Γ. , Ηφαιστειολόγος, Ερευνητής του Ινστιτούτου Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (ΙΓΜΕ).
- Εργαστήριο Γεωδαισίας και Γεωδαιτικών Εφαρμογών, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα.
- Βλάχου Κ. (2006). GPS μετρήσεις στην ευρύτερη περιοχή του Πατραϊκού Κόλπου, Αθήνα, (MSc, in Greek).

### **Ξενόγλωσση**

- Karagianni, E., Papazachos, C., Panagiotopoulos, D., Vamvakaris, D. (2012). “Recent Geodetic Unrest at Santorini Caldera”, Greece. Geophysical Research Letters 39, L06309, doi:10.1029/2012GL051286.70
- A Temporary Seismic Network on the Cyclades (Aegean Sea, Greece). Seismological Research Letters, 75(3), 352-359.
- Becker D , Bohnhoff M., Harjes H-P , Rische M., Meier Th. & Stavrakakis G. (2006). Microseismic activity in the Hellenic Volcanic Arc, Greece, with emphasis on the seismotectonic setting of the Santorini–Amorgos zone. Tectonophysics, 423, 17–33.
- Bond A. & Sparks R.S.J (1976). The Minoan eruption of Santorini, Greece. J. Geol. Soc., London, 132, 1-16
- Fouqué F. (1879). Santorin et ses eruptions. Masson et Cie., Paris, 440p.
- Fournier d’ Albe E.M. (1979). Objectives of volcanic monitoring and prediction. J. Geol. Soc. London, 136, 321-326.
- Stiros S. and Chasapis A. (2003), “Geodetic monitoring of the Santorini (Thera) volcano”, Survey Review, 37 (287), 84-88.

- Fytikas M., Psimoulis, P Stiros S. , Vougioukalakis G., (2010), “Geodetic evidence and modeling of a slow, small-scale inflation episode in the Thera (Santorini) Volcano caldera, Aegean Sea”, *Tectonophysics* 494:(3-4), 180–190.
- Bejelou K., Carey S., Kalnins M., Livanos L., Mather T., Nomikou P, Papanikolaou D., Paulatto M., Perros I , Pyle D., Simou E. & Watts B. The emergence and growth of a submarine volcano: The Kameni islands, Santorini (Greece)
- Fomelis M., Papageorgiou E., Parcharidis I.: SAR Interferometric analysis of ground deformation at Santorini volcano (GREECE)
- Fomelis M., Papageorgiou E., Parcharidis I : Long-and Short-Term Deformation Monitoring of Santorini Volcano: Unrest Evidence by DInSAR Analysis
- Mapping inflation at Santorini volcano, Greece, using GPS and InSAR  
Papoutsis,1,2 X. Papanikolaou,1 M. Floyd,3 K. H. Ji,3 C. Kontoes,2 D. Paradissis,1 and V. Zacharis1
- Vougioukalakis G. (1996), “ Volcanic hazard estimation of Santorini, Aegean Sea, Greece”, Environment and Climate Programme, European School of Climatology and Natural Hazards, Mitigation of volcanic hazards, p. 471-484
- Fytikas M., Vougioukalakis G., (2005), “Volcanic hazards in the Aegean area, relative risk evaluation, monitoring and present state of the active volcanic centers”, The South Aegean Active Volcanic Arc, Milos Conferences, Milos, Greece, 2005, vol. 7, p. 161-183
- Washington H.S. (1926), “Santorini eruption of 1925”, *Bull. Geol. Soc. Of America*, 37: 349-384

### **Διαδυκτιακές Πηγές**

- [http://en.wikipedia.org/wiki/Global\\_Positioning\\_System](http://en.wikipedia.org/wiki/Global_Positioning_System)
- <https://www.unavco.org/>
- <http://www.gsrt.gr/> (ΓΓΕΤ)
- [http://www.geo.auth.gr/765/6\\_santorini/64\\_kameni.htm](http://www.geo.auth.gr/765/6_santorini/64_kameni.htm)
- [http://www.geo.auth.gr/765/3\\_products/37\\_gases.htm](http://www.geo.auth.gr/765/3_products/37_gases.htm)
- [http://www.esa.int/spaceinvideos/Videos/2014/07/Monitoring\\_volcanoes\\_with\\_radar\\_satellites](http://www.esa.int/spaceinvideos/Videos/2014/07/Monitoring_volcanoes_with_radar_satellites)
- <http://www.santorini.hcmr.gr>
- <https://hfaisteia.wikispaces.com>
- <http://www.santorini.gr>

### **Εικόνες**

- [http://www.volcandecolima.com/foto/wp-content/uploads/2013/07/s28\\_64980014.jpg](http://www.volcandecolima.com/foto/wp-content/uploads/2013/07/s28_64980014.jpg)
- [http://b.vimeocdn.com/ts/645/888/64588848\\_640.jpg](http://b.vimeocdn.com/ts/645/888/64588848_640.jpg)
- <http://www.santonet.com/maps/images/map17.jpg>
- [http://www.travel-to-santorini.com/pages\\_images/334.jpg](http://www.travel-to-santorini.com/pages_images/334.jpg)
- [http://mapsof.net/uploads/static-maps/santorini\\_greece\\_map.jpg](http://mapsof.net/uploads/static-maps/santorini_greece_map.jpg)
- [http://oceanexplorer.noaa.gov/explorations/06blacksea/logs/summary\\_thera/media/kolumbo\\_crater\\_600.jpg](http://oceanexplorer.noaa.gov/explorations/06blacksea/logs/summary_thera/media/kolumbo_crater_600.jpg)