

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ



ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ Α.Π.Θ.

ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ

Η ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΔΙΕΓΕΡΣΗ ΣΤΟ ΗΦΑΙΣΤΕΙΑΚΟ ΣΥΜΠΛΕΓΜΑ ΤΗΣ ΣΑΝΤΟΡΙΝΗΣ
ΚΑΤΑ ΤΟ ΔΙΑΣΤΗΜΑ 2011-2012

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ



ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ Α.Π.Θ.

ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ

Η σεισμική διέγερση στο ηφαιστειακό σύμπλεγμα της Σαντορίνης
κατά το διάστημα 2011-2012

Μαρία –Ζακλίν Σακκά

Επιβλέποντες καθηγητές :

Σκορδύλης Εμμανουήλ

Παναγιωτόπουλος Δημήτριος

Η πτυχιακή εργασία υποβλήθηκε προς μερική εκπλήρωση των
απαιτήσεων απόκτησης του πτυχιακού τίτλου στον τομέα της
Γεωφυσικής του τμήματος της Γεωλογίας .

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2016

Πρόλογος

Η εργασία αυτή έγινε στα πλαίσια του υποχρεωτικού μαθήματος της διπλωματικής εργασίας του προγράμματος σπουδών του Τμήματος Γεωλογίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης . Η επίβλεψη του θέματος έγινε από τους καθηγητές κ. Εμμανουήλ Σκορδύλη και κ. Δημήτρη Παναγιωτόπουλο του Τομέα Γεωφυσικής και είχε ως σκοπό την κατανόηση της μελέτη των ηφαιστείων .Η εργασία αυτή επικεντρώνεται στη σεισμική διέγερση του ηφαιστειακού συμπλέγματος της Σαντορίνης κατά το διάστημα 2011-2012 .

Ειδικότερα , η εργασία χωρίζεται σε 7 κεφάλαια, τα μισά από τα οποία αναφέρονται στο ηφαίστειο της Σαντορίνης . Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μία εισαγωγή στην παρακολούθηση και στη μελέτη των ηφαιστείων , δηλαδή κατά κύριο λόγο γιατί συμβαίνουν, περιγράφεται ο μηχανισμός έκρηξης και γίνεται μία σύντομη αναφορά στην ιστορικότητα των ηφαιστείων . Στο δεύτερο κεφάλαιο αναφέρονται κάποιες πληροφορίες σχετικά με το ελληνικό τόξο και την γεωφυσική διαδικασία στο χώρο του Νότιου Αιγαίου . Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται η αναφορά στην σεισμολογική παρατήρηση των ηφαιστείων και ειδικότερα στην περίπτωση της Σαντορίνης. Στο τέταρτο κεφάλαιο , γίνεται η εκτίμηση των δεδομένων της σεισμικής έξαρσης στην καλδέρα της Σαντορίνης κατά το διάστημα 2011-2012 και η επεξεργασία τους. Στη συνέχεια , στο πέμπτο κεφάλαιο αναλύονται τα αποτελέσματα άλλων δικτύων παρακολούθησης του ηφαιστείου της Σαντορίνης .Στο έκτο κεφάλαιο εκτιμάται η κατάσταση του ηφαιστείου σήμερα και στο τελευταίο κεφάλαιο παραθέτονται τα συμπεράσματα.

Τέλος , θα ήθελα να ευχαριστήσω τους καθηγητές κ. Εμμανουήλ Σκορδύλη και κ. Δημήτρη Παναγιωτόπουλο για τη συμβολή τους στην προσπάθεια αυτή για την ολοκλήρωση της διπλωματικής μου εργασίας του προπτυχιακού επιπέδου.

**Title: THE SEISMIC CRISIS AT THE SANTORINI'S VOLCANO DURING
THE 2011-2012**

Abstract

This work was part of the compulsory subject of the dissertation of the curriculum of the Department of Geology, Aristotle University of Thessaloniki. The supervision of the matter was made by prof Mr. Emmanuel Skordylis and Mr. Dimitris Panagiotopoulos of Geophysics and was designed to understand the study of volcanoes .This paper focuses on the seismic crisis of the volcanic Santorini complex during the period of 2011-2012.

In particular, the work is divided into seven chapters, half of which refer to the Santorini's volcano. In the first chapter an introduction was made for the monitoring and the studies of volcanoes , that is mainly because it happens, described the explosion mechanism and was made a brief reference to the history of volcanoes. The second chapter was presented some information on the Greek arc of subduction and the geophysical features at the Southern Aegean. The third chapter was the reference to seismological observation of volcanoes and particularly in the case of Santorini. In the fourth chapter was the assessment of the data of the seismic crisis during 2011-2012 at the Santorini's island and their processing. Then, in the fifth chapter was analyzed the results of other monitoring networks of volcano .In the sixth chapter was estimated the volcano's behavior today and in the last section gives conclusions.

Finally, I would like to thank the professors Mr. Emmanuel Skordylis and Mr. Dimitri's Panagiotopoulos for their contribution to this effort which helped to complete this thesis.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΧΟΜΕΝΩΝ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο	9
1.1.Εισαγωγή	9
<u>1.1.1.</u> Ορισμός	9
<u>1.1.2.</u> Τύποι ηφαιστείων	10
1.2. Ιστορικά ηφαίστεια υψηλής εκρηκτικής ισχύος	10
1.2.1. Krakatau (Ινδονησία, 1883)	10
1.2.2. Pelee (Μαρτινίκα, 1902)	10
1.2.3. Paricutin (Μεξικό, 1943-1952)	10
1.2.4. Αγία Ελένη (ΗΠΑ, 1980)	10
1.2.5. Nevado del Ruiz (Κολομβία, 1985)	11
1.2.6. Λίμνη Nyos (Καμερούν, 1986)	11
1.2.7. Πινατούμπο (Φιλιππίνες, 1991)	11
1.3.Διαδικασία του μηχανισμού έκρηξης	12
1.3.1. Μαγματική στήλη	12
1.3.2. Εκρηκτική στήλη	12
1.3.3. Εκρηκτικότητα: Δείκτης Ηφαιστειακής Εκρηκτικότητας (VEI)	13
1.4.Αίτια παρακολούθησης ηφαιστείων	14
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο	15
2.2. Εισαγωγή	16
2.2.1. Ο Ελληνικός χώρος	16
2.2.2. Το Ελληνικό τόξο	18
2.3. Νότιο Αιγαίο	20
2.3.1. Γενικά Στοιχεία	20
2.3.2. Τεκτονική του Νότιου Αιγαίου	22
2.4.Το ηφαιστειακό τόξο του Νότιου Αιγαίου	23
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο	26

3.1.Σεισμολογικά δίκτυα	26
3.2.Ηφαιστειακή Σεισμολογία	28
3.2.1. Ηφαιστειογενείς Σεισμοί	28
3.3.Πεδίο έρευνας : Σαντορίνη	29
3.3.1. Ονομασία	29
3.3.2. Γεωγραφία	30
3.3.3. Μινωική Έκρηξη	30
3.3.4. Επιπτώσεις της Μινωικής Έκρηξης	32
3.3.5. Χρονολογία της Μινωικής Έκρηξης	33
3.4.Η ιστορική ηφαιστειότητα της Σαντορίνης	33
3.4.1. Η Παλαιά Καμένη	33
3.4.2. Η Νέα Καμένη	34
3.5.Το υποθαλάσσιο ηφαίστειο Κολούμπο	35
3.5.1. Σύγχρονα στοιχεία για το ηφαίστειο του Κολούμπο	36
3.6 Η ενεργός σεισμο-τεκτονική δραστηριότητα του ηφαιστειακού συμπλέγματος των τελευταίων είκοσι ετών	37
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο	38
4.1.Σεισμική ακολουθία	40
4.2.Κατανομή των μεγεθών των σεισμών	40
4.2.1. Κατανομή Gutenberg-Richter	40
4.2.2. Κατά μέγεθος κατανομή	43
4.3.Επιμήκης Τομή –Εγκάρσια Τομή	44
4.3.1. Επιμήκης – Διαμήκης τομή	44
4.3.2. Εγκάρσια Τομή	46
4.4.Χρονική κατανομή	47
4.4.1. Εισαγωγή	47
4.4.2. Χρονική κατανομή στην περίπτωση της Σαντορίνης	48
4.5.διαχωρισμός των χρονικών περιόδων	50
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο	52
5.1. Ηφαιστειακά αέρια	52
5.1.1. Σύσταση των αερίων	52
5.1.2. Μέθοδοι Παρακολούθησης των αερίων	54
5.1.3. Επικινδυνότητα των ηφαιστειακών αερίων	55

5.2.Τα ηφαίστεια και το κλίμα	56
5.2.1. Όζον	56
5.2.2. Το φαινόμενο του θερμοκηπίου.	56
5.3. Εδαφική Παραμόρφωση με τη χρήση των Gps	58
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο	62
6.1. Ηφαιστειακός κίνδυνος της Σαντορίνης	62
6.2. Το ηφαίστειο σήμερα	64
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7^ο	66
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	66
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	68
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	72

*“Το θέμα της **Ηφαιστειακής Σεισμολογίας** δεν είναι μόνο το πιο όμορφο και θαυματικό, αλλά και ένα από τα πιο δύσκολα αντικείμενα μελέτης από όλα τα θέματα της Σεισμολογίας. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι σεισμικές εστίες σε ηφαιστειακές περιοχές περιλαμβάνουν δυναμικές κινήσεις αερίων, υγρών και στερεών υλικών μέσω διόδων σε ανισότροπα και ετερογενή περιβάλλοντα με ανώμαλη τοπογραφία και με την επίδραση πολυάριθμων ρωγμών και διακλάσεων όλων των μεγεθών και προσανατολισμών. Επομένως, η **Ηφαιστειακή Σεισμολογία** αποτελεί μια πρόκληση για όλους τους σεισμολόγους.”*

Keiiti Aki, 1982. From the Preface to the Collection of Papers “Volcanic Seismology,” IAVCEI Proceedings in Volcanology, Vol. 3, Springer-Verlag, Berlin.(Zobin, V.M., 2003)

Κεφάλαιο 1⁰

Παρακολούθηση – Μελέτη ηφαιστείων

1.1.Εισαγωγή

1.1.1.Ορισμός

Ένα βασικό ερώτημα στον απλό πολίτη είναι το: η δημιουργία ενός βουνού μπορεί να αποτελεί ένα ηφαίστειο; Η έκρηξη ή η εκροή πετρωμάτων σε ρευστή φάση από εσωτερικό της Γής ,στην επιφάνεια του φλοιού έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία ενός ηφαιστείου πολύ πολλές φορές οικοδομεί έναν θόλο με χαρακτηριστικά “βουνού”.

Η επιστήμη που ασχολείται με τη μελέτη των ηφαιστείων, ονομάζεται ηφαιστειολογία.

Δημιουργία ηφαιστείων

Ένα ηφαίστειο δημιουργείται όταν :

Λιθοσφαιρικές πλάκες απομακρύνονται μεταξύ τους και αναπτύσσεται αναμεσά τους ο ωκεάνιος φλοιός (Μέσο-ωκεάνια ράχη).

Δύο λιθοσφαιρικές πλάκες συγκλίνουν μεταξύ τους , και αν η βυθιζόμενη πλάκα είναι ωκεάνια , δημιουργούνται ηφαιστειακά νησιά ενώ αν είναι ηπειρωτική δημιουργούνται τοξοειδείς οροσειρές ηφαιστείων (νέος ηπειρ. φλοιός).

Ενεργά – Ανενεργά ηφαίστεια

Στο εσωτερικό των πλακών οι οποίες συγκλίνουν με ιδιαίτερες γεωφυσικές συνθήκες αναπτύσσεται μάγμα (αυξημένη θερμότητα) που θα δημιουργήσει αλυσίδες ηφαιστειακών κέντρων . Τα ηφαίστεια που είναι πάνω απ’ το θύλακα του μάγματος θεωρούνται ενεργά ενώ αυτά που δεν είναι και κινούνται μαζί με την πλάκα είναι τα ανενεργά ηφαίστεια.

Το μάγμα διαπερνά τον φλοιό μέσα από μεγάλες ρηξιγενείς ζώνες και όταν φτάσει στην επιφάνεια , ψύχεται, στερεοποιείται σε λάβα και έτσι δημιουργείται το ηφαίστειο.

1.1.2.Τύποι ηφαιστείων

Τα ηφαίστεια που αποτελούνται από βασαλτικό μάγμα ονομάζονται Ασπιδωτά ενώ αυτά που αποτελούνται από ανδεσιτικό μάγμα λέγονται Στρωματοηφαίστεια. Τα ηφαίστεια με πυροκλαστικά υλικά ανήκουν στην κατηγορία των ηφαιστείων ασβόλης.

Οι κύριες δομές που συντελούν τα ηφαίστεια είναι οι δομοί λάβας , οι κρατήρες και οι καλδέρες.

1.2. Ιστορικά ηφαίστεια υψηλής εκρηκτικής ισχύος

1.2.1. Krakatau (Ινδονησία, 1883)

Το Κρακατάου είναι ένα ηφαιστειακό νησί που βρίσκεται στην Ινδονησία στο νησιωτικό τόξο της που είναι αποτέλεσμα της κατάδυσης της Ινδο-Αυστραλιανής πλάκας κάτω από την Ευρασιατική.

Στις 26 Αυγούστου 1883 μέχρι και την επόμενη μέρα η έκρηξη του ηφαιστείου σκότωσε έναν τεράστιο αριθμό ανθρώπων (36417 νεκροί) και δημιούργησε πυροκλαστικές ροές και μια σειρά από τσουνάμι.

1.2.2. Pelee (Μαρτινίκα, 1902)

Στις 8 Μαΐου 1902 έγινε μία μεγάλη έκρηξη στο όρος Πελέ που βρίσκεται στην την πόλη St. Pierre του γαλλικού νησιού της Μαρτινίκας στην Καραϊβική. Η πόλη αυτή που ονομαζόταν <<Το Παρίσι των Δυτικών Ινδιών>> υπέστη εκτεταμένες καταστροφές. Ο αριθμός των θανάτων έφτασε τις 29.000.

1.2.3. Paricutin (Μεξικό, 1943-1952)

Το ηφαίστειο αυτό βρίσκεται κοντά στην πόλη του Μεξικού και αποτελείται από ένα κώνο σκωρίων και θεωρείται ένα κλασικό παράδειγμα ηφαιστειακού τύπου Στρόμπολι. Ο σχηματισμός αυτός αποτέλεσε κίνητρο για πολλούς γεωλόγους ώστε να αρχίσουν να μελετούν όλη την ιστορία ενός ηφαιστείου από την γένεση του έως την καταστροφή του.

Με τα δεδομένα παρατήρησης από το Paricutin , είναι πλέον πιο κατανοητή η δομή και η ηφαιστειακή δράση του κώνου σκωρίων.

1.2.4. Αγία Ελένη (ΗΠΑ, 1980)

Η Αγία Ελένη βρίσκεται στην πολιτεία Washington στη δυτική ακτή των ΗΠΑ, είναι ένα από τα πιο ενεργά ηφαίστεια των Ηνωμένων Πολιτειών και συνδέεται με περιβάλλον υποβύθισης.

Μία βίαιη έκρηξη που είχε προβλεφθεί επιτυχώς από τους μελετητές πραγματοποιήθηκε στις 18 Μαΐου 1980 στο ηφαίστειο της Αγίας Ελένης και προκάλεσε εκτός από το θάνατο 57 ανθρώπων οικονομική καταστροφή της

τάξης του 1 δισεκατομμυρίου δολαρίων ΗΠΑ (Tilling et al. 1990) γι' αυτό και θεωρήθηκε η χειρότερη ηφαιστειακή καταστροφή στην ιστορία των ΗΠΑ.

1.2.5. Nevado del Ruiz (Κολομβία, 1985)

Το ηφαίστειο Nevado del Ruiz βρίσκεται στις Άνδεις και ανήκει στο ηφαιστειακό τόξο τους. Βρίσκεται στην Κολομβία και είναι ένα σημαντικό στρωματοηφαίστειο υψηλής εκρηκτικότητας.

Στις 13 Νοεμβρίου 1985 ,έπειτα από δύο μεγάλες προηγούμενες εκρήξεις το 1545 και 1845, έλαβε χώρα μία ακόμη έκρηξη που ένα λαχάρ κατέκλυσε του χώρο της Κολομβίας και προκάλεσε 25.000 θανάτους.

1.2.6. Λίμνη Nyos (Καμερούν, 1986)

Η λίμνη Nyos αποτελεί ένα τμήμα της ηφαιστειακής ζώνης του Καμερούν και βρίσκεται στο δυτικό Καμερούν κοντά στη Νιγηρία.

Η μεγάλη έκρηξη έγινε στις 12 Αυγούστου 1986 όπου η θανατηφόρα πάχνη με τη μορφή CO₂ που βγήκε στην επιφάνεια της λίμνης προκάλεσε πολλές ανθρώπινες απώλειες (1746 θάνατοι).

1.2.7. Πινατούμπο (Φιλιππίνες , 1991)

Στις 15 Ιουνίου 1991 έγινε η δεύτερη πιο ισχυρή χερσαία έκρηξη του 20ου αιώνα στο όρος Πινατούμπο που βρίσκεται στο νησί Λουζόν στις Φιλιππίνες.

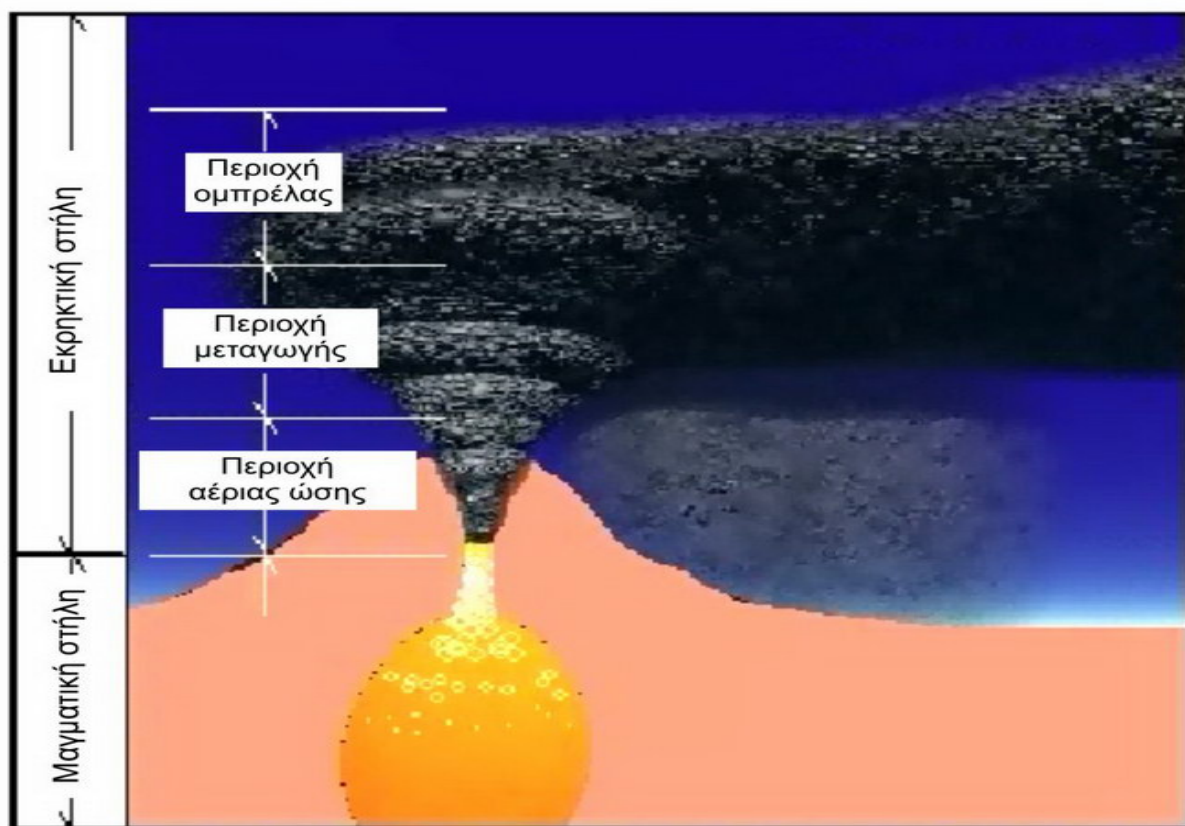
Αυτή η έκρηξη συνδυάστηκε και με τον τυφώνα Yunya που ήταν ηφαιστειακή στάχτη και βροχή.

Οι κάτοικοι της περιοχής ενημερώθηκαν έγκαιρα και οι περισσότεροι κατάφεραν και απομακρύνθηκαν. Όμως η γύρω περιοχή καταστράφηκε από πυροκλαστικές ροές, τη στάχτη και τα λαχάρ με αποτέλεσμα τον θάνατο μόνο 847 ανθρώπων.

Το ηφαίστειο του Πινατούμπο αποτελεί μια χαρακτηριστική περίπτωση επίδρασης ηφαιστείου στο παγκόσμιο κλίμα του πλανήτη καθώς τα 20 εκατομμύρια τόνοι SO₂ και η ηφαιστειακή στάχτη που εκλύθηκαν στην ατμόσφαιρα επέδρασαν καταλυτικά στο κλίμα σε παγκόσμιο επίπεδο.

1.3. Διαδικασία του μηχανισμού έκρηξης

1.3.1. Μαγματική στήλη



Σχήμα 1.3.1. Εκρηκτική – Μαγματική στήλη (Τρ. Σολδάτος – <http://www.geo.auth.gr/courses/gmo/gmo765e/>)

Στη δομή ενός κλασσικού παρατηρούμε ότι η έκρηξη τροφοδοτείται από το μάγμα που βρίσκεται κάτω από το σημείο της έκρηξης. Στη μαγματική στήλη υπάρχουν δύο κρίσιμα επίπεδα πίεσης:

- 1) Επιφάνεια απόμιξης (exsolution surface)
- 2) Επιφάνεια διαμελισμού (fragmentation surface)

1.3.2. Εκρηκτική στήλη

Η εκρηκτική στήλη χωρίζεται σε τρεις βασικές περιοχές (σχήμα 1.3.1) :

- 1) Περιοχή αέριας ώσης (gas thrust region)
- 2) Περιοχή μεταγωγής (convective thrust region)
- 3) Περιοχή ομπρέλας (umbrella region).

1.3.3.Εκρηκτικότητα: Δείκτης Ηφαιστειακής Εκρηκτικότητας (VEI)

Ο Δείκτης Ηφαιστειακής Δραστηριότητας (VEI) παρουσιάζεται στο σχήμα (1.3.3) αποτελεί μία κλίμακα με την οποία μπορεί να εκτιμηθεί το μέγεθος των ιστορικών εκρήξεων και βασίζεται στο ποσοστό θρυματοποίησης της τέφρας . Ο (VEI) επινοήθηκε το 1982 από τον Chris Newhall από το U.S. Geological Survey (ΗΠΑ) και τον Steve Self από το Open University (Μεγάλη Βρετανία).

VEI	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Περιγραφή	Μη εκρηκτική	Μικρή	Μέτρια	Μέτρια-Μεγάλη	Μεγάλη	Πολύ μεγάλη			
Όγκος αναβλημάτων (m³)	<10 ⁴	10 ⁴ -10 ⁶	10 ⁶ -10 ⁷	10 ⁷ -10 ⁸	10 ⁸ -10 ⁹	10 ⁹ -10 ¹⁰	10 ¹⁰ -10 ¹¹	10 ¹¹ -10 ¹²	>10 ¹²
Ύψος στήλης (km)	<0,1	0,1-1	1-5	3-15	10-25	>25			
Ταξινόμηση	Στρομπόλια			Πλινιακή					
	Χαβάης		Βουλκάνια			Υπερπλινιακή			
Διάρκεια (συνεχής έκρηξη)	<1 ώρες			>12 ώρες					
				1-6 ώρες					
							6-12 ώρες		
Διείσδυση στην τροπόσφαιρα	Αβέβαιη	Μικρή	Μέτρια	Ουσιαστική					
Διείσδυση στη στρατόσφαιρα	Καμία			Πιθανή	Σίγουρη	Σημαντική			
Ηφαιστειακές δράσεις	443	361	3108	720	131	35	16	1	

Σχήμα 1.3.3. Δείκτης Ηφαιστειακής Εκρηκτικότητας (VEI) (Τρ. Σολδάτος – <http://www.geo.auth.gr/courses/gmo/gmo765e/>)

Έτσι οι ιστορικές εκρήξεις μπορούν να έχουν ένα δείκτη Vei από 0 έως 8 χρησιμοποιώντας ένα ή περισσότερα από τα ακόλουθα κριτήρια.

- Όγκος ηφαιστειακών αναβλημάτων
- Ύψος της ηφαιστειακής στήλης
- Ποιοτική περιγραφή της έκρηξης (πχ. ήπια, εκχυτική, εκρηκτική, κατακλυσμική κλπ.)
- Τύπος έκρηξης (πχ. Χαβάης, Στρόμπολι, Πλίνια κλπ.)
- Διείσδυση στην στρατόσφαιρα ή τροπόσφαιρα

1.4.Αίτια παρακολούθησης ηφαιστειών

Η έκρηξη στις 18 Μαΐου 1980 στην Αγία Ελένη των ΗΠΑ που είχε προβλεφθεί επιτυχώς , όπως αναφέρθηκε και παραπάνω , από τους μελετητές της δεν είχε μεγάλο αριθμό ανθρώπινων απωλειών . Η παρακολούθηση του ηφαιστείου της Αγίας Ελένης , λοιπόν , έσωσε πολλές ανθρώπινες ζωές και κατέδειξε τη σημασία της συστηματικής παρακολούθησης των σημαντικών ηφαιστειών (Δημητριάδης , 2001).

Επίσης , η περίπτωση των ηφαιστειών του Πινατούμπο με την τεράστια καταστροφική του έκρηξη κατέδειξε τη σημασία της έγκαιρης πρόβλεψης της έκρηξης να θέσουν στην περίπτωση του έγινε δυνατή η εφαρμογή της πολιτικής εκκένωσης 200000 ανθρώπων σε ασφαλείς περιοχές με αποτέλεσμα μικρό αριθμό θανάτων.

Τα ηφαίστεια πρέπει να παρακολουθούνται ώστε να επιδιώκεται η σωστή πρόβλεψή τους , να μειώνεται το κόστος των ανθρωπίνων ζωών , να μην υπάρχουν καταστροφικές ηφαιστειακές εκρήξεις και να μειώνεται σε μεγάλο βαθμό ή όσο το δυνατόν γίνεται η καταστροφή του οικονομικού και κοινωνικού συνόλου.

Παράλληλα , μετά την σωστή παρακολούθηση των ηφαιστειών σε βάθος χρόνου , θα πρέπει να ακολουθεί η εκπαίδευση των αρχών και του κοινού για να γνωρίζουν όλο το σωστό πρωτόκολλο ενεργειών για τη σωτηρία ζωών και υποδομών .

Αξίζει να σημειωθεί ότι η παρακολούθηση τους θα πρέπει να αφορά όλα τα ενεργά ηφαίστεια , υψηλής σημασίας , και κυρίως αυτά που γειτνιάζουν με πυκνοκατοικημένες περιοχές.

Δυστυχώς , μόνο ένας μικρός αριθμός ενεργών σημαντικών ηφαιστειών παρακολουθούνται συστηματικά σήμερα και σε βάθος χρόνου ώστε να καταγράφεται η συμπεριφορά του ηφαιστείου σε καιρό ηρεμίας και να αναγνωρίζονται τα «σημάδια» αφύπνισής του.

Κεφάλαιο 2°

Η Γεωλογική δομή – Γεωφυσική του Νότιου Αιγαίου

2.1.Ηφαιστειότητα σε περιβάλλον σύγκλισης

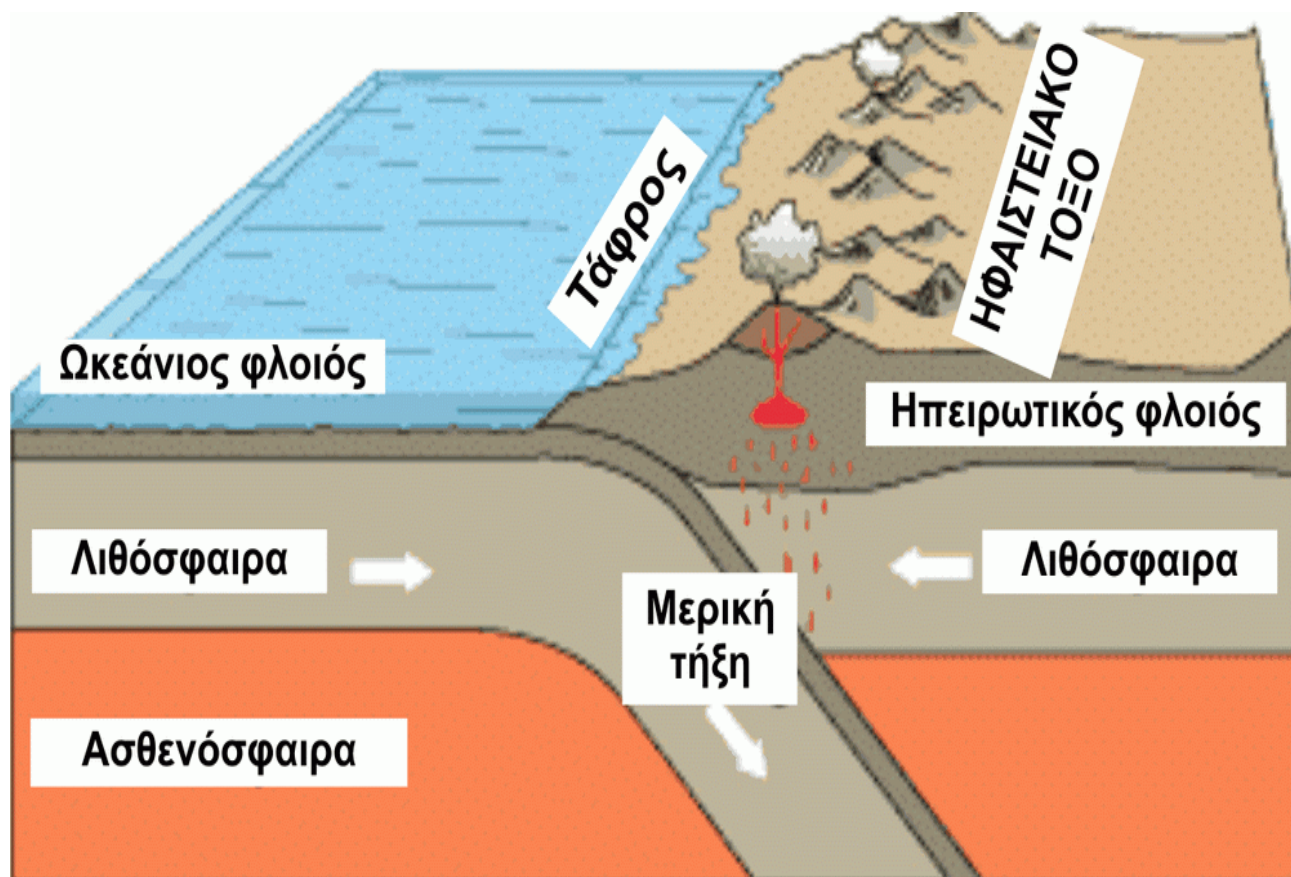
Όταν μία ωκεάνια πλάκα πλησιάζει μία άλλη ηπειρωτικής δομής και η πρώτη συγκλίνει προς την άλλη και καταβυθίζεται κάτω απ αυτήν , δημιουργείται ένα τεκτονικό φαινόμενο που λέγεται υποβύθιση ή κατάδυση.

Μέσα από τη υποβύθιση της μίας ωκεάνιας πλάκας κάτω από την άλλη δημιουργούνται ωκεάνιοι τάφροι και νησιωτικά τόξα όπως φαίνεται στο σχήμα (2.1.1.)



Σχήμα 2.1.1. Δημιουργία νησιωτικού τόξου (Τρ. Σολδάτος – <http://www.geo.auth.gr/courses/gmo/gmo765e/>)

Όταν καταδύεται ωκεάνια πλάκα κάτω από την ηπειρωτική δημιουργούνται ηφαιστειακά τόξα όπως φαίνεται στο σχήμα (2.1.2.).



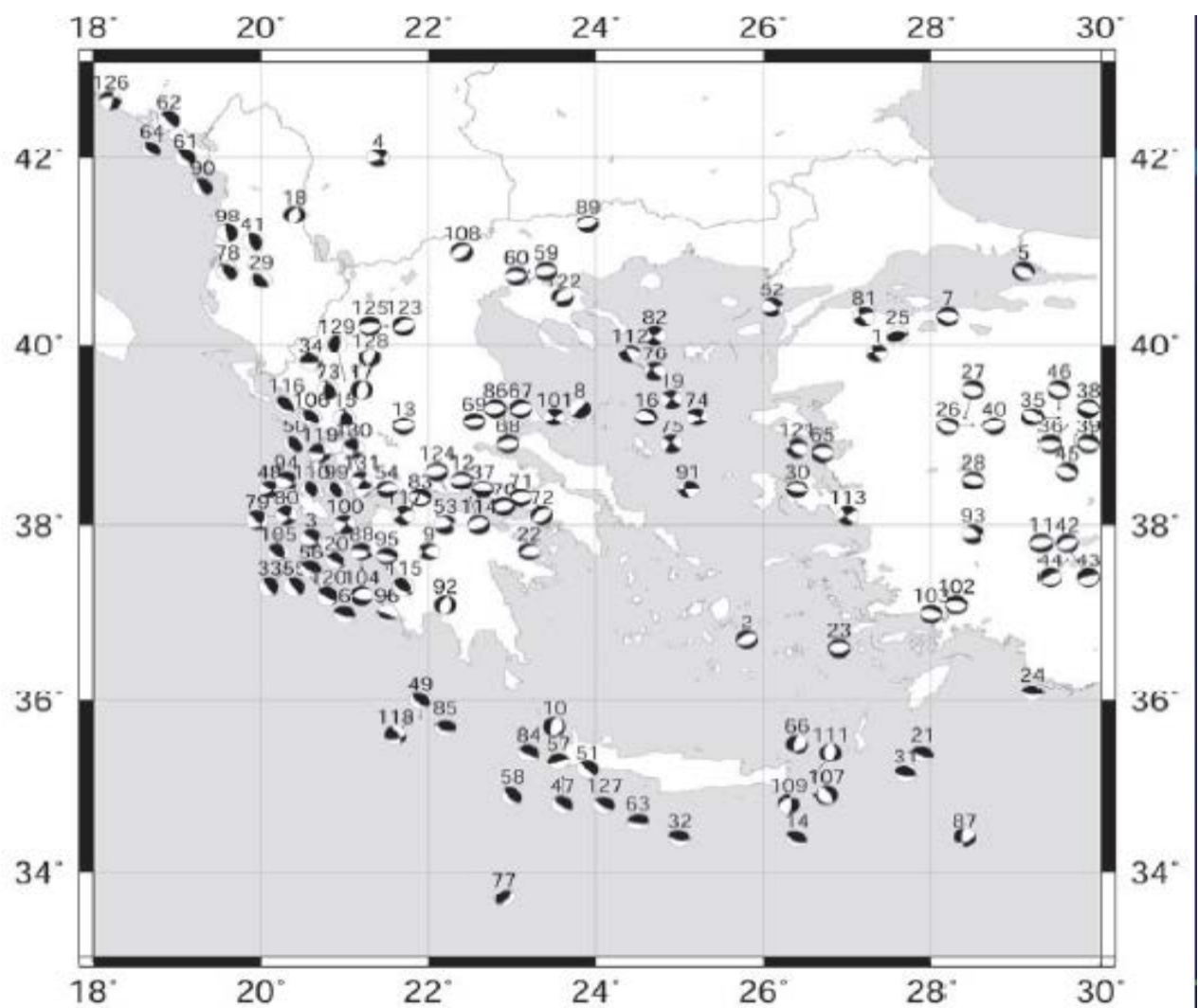
Σχήμα 2.1.2. Δημιουργία ηφαιστειακού τόξου (Τρ. Σολδάτος – <http://www.geo.auth.gr/courses/gmo/gmo765e/>)

2.2. Εισαγωγή

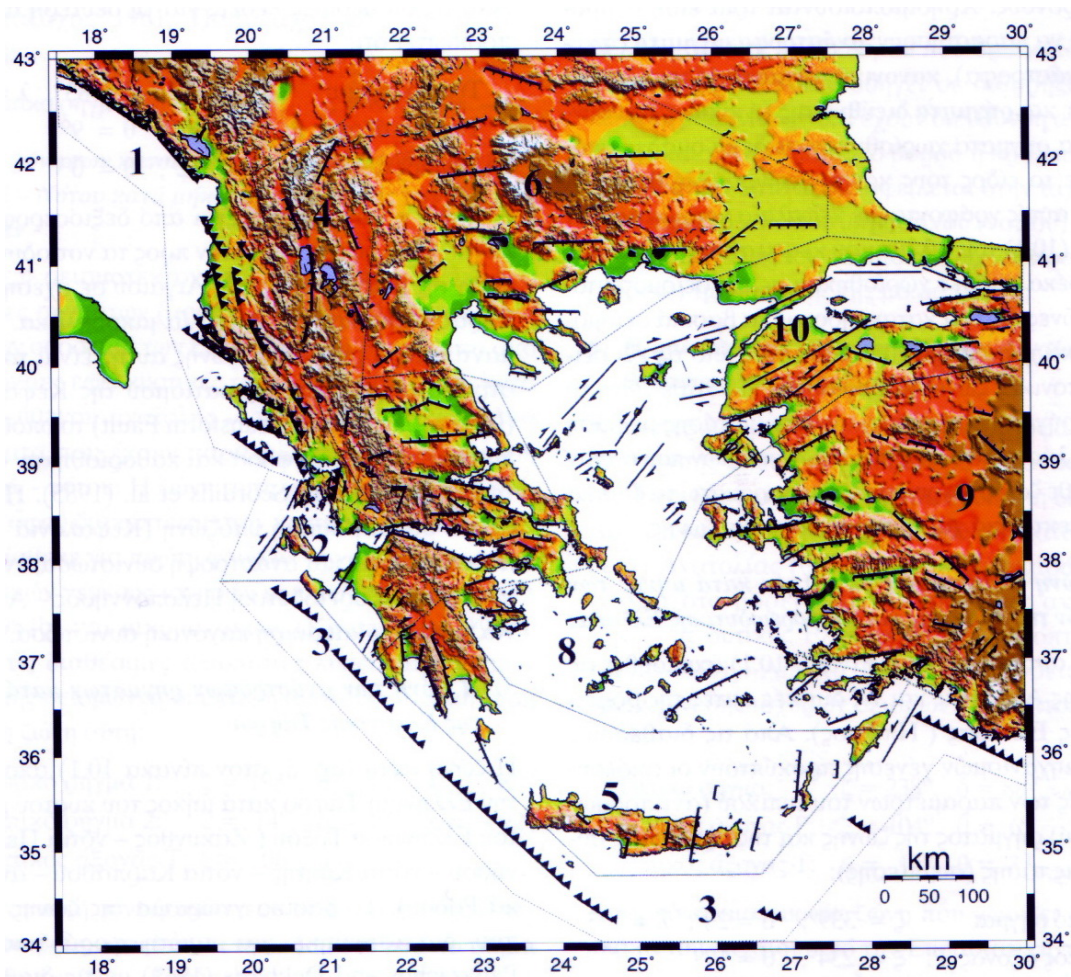
2.2.1. Ο Ελληνικός χώρος

Η υψηλή σεισμικότητα, η έντονη διάρρηξη και η πτύχωση πετρωμάτων, τα φαινόμενα ηφαιστειακής και γεωθερμικής φύσης, όπως επίσης και οι κλασικές γεωφυσικές ανωμαλίες των δυναμικών πεδίων που βρίσκονται στα τόξα καταβύθισης λιθοσφαιρικών πλακών δείχνουν ότι η ενεργός τεκτονική δράση του ελληνικού χώρου που βρίσκεται στην Μεσογειακή – Μελανησιακή ζώνη του ηπειρωτικού συστήματος διάρρηξης είναι έντονη.

Οι μεγάλοι επιφανειακοί σεισμοί του ελληνικού χώρου όπως φαίνονται στο σχήμα (2.2.1.1.) καθώς και τα μεγάλα ενεργά σεισμικά ρήγματα του ελληνικού χώρου (σχήμα 2.2.1.2.) αποδεικνύουν την σημαντική έκλυση σεισμικής ενέργειας στον ελληνικό χώρο που είναι πρώτη στο χώρο της Ευρασίας και 6^η παγκοσμίως (Χατζηδημητρίου, et al., 2008)



Σχήμα 2.2.1.1.Επιφανειακοί σεισμοί και οι μηχανισμοί γένεσής τους στον ελληνικό χώρο (Εφαρμοσμένη Σεισμολογία –Σεισμοτεκτονικές ιδιότητες του ελληνικού χώρου –Ε.Παπαδημητρίου – <http://www.geo.auth.gr/654/PDF/Unit6.pdf>)



Σχήμα 2.2.1.2.Κύρια ρήγματα στον ελληνικό χώρο από το 480π.Χ.-2001 – (Parazachos et al., 2001)(Εφαρμοσμένη Σεισμολογία και περιβάλλον – Σεισμοτεκτονικές ιδιότητες του ελληνικού χώρου– Ε.Παπαδημητρίου – <http://www.geo.auth.gr/654/PDF/Unit6.pdf>)

2.2.2.Το Ελληνικό τόξο

Η βύθιση της αφρικανικής πλάκας κάτω απ' την Ευρασιατική έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία του Ελληνικού-Αιγιακού τόξου. Η σύγκλιση -κίνηση της αφρικανικής πλάκας έχει διεύθυνση ΒΒΑ και η ταχύτητα κυμαίνεται 2,5-3,5 cm/έτος.

Το ελληνικό τόξο (Hellenic arc) (σχ. 2.2.1.1.) αποτελείται από τα παρακάτω κύρια μορφοτεκτονικά στοιχεία :

- Το “Εξωτερικό ιζηματογενές τόξο” που περιλαμβάνει την Κρήτη ,τα Δωδεκάνησα και τις Δυτικές οροσειρές της ηπειρωτικής Ελλάδας.
- Την ελληνική περιφερειακή τάφρο (Hellenic trench) που περιλαμβάνει το Ιόνιο πέλαγος μέχρι το νότιο τμήμα της Κρήτης , της Ρόδου και

- Το ηφαιστειακό τόξο του Αιγαίου που αποτελείται από τα ενεργά και πλείο-τεταρτογενή ηφαίστεια της Σαντορίνης ,της Μήλου, των Μεθάνων,της Πάτμου, της Κώ , της Αντίπαρου, της Νίσσηρου, της Κρομμωνίας και της Ψαθούρα. Το ηφαιστειακό τόξο αποτελείται από ασβεσταλκαλική σύσταση.
- Τη λεκάνη πίσω από το τόξο που θεωρείται το κρητικό πέλαγος και στην οποία κυριαρχούν οι εφελκύστηκες τάσεις (Γεωτεκτονική εξέλιξη του ευρύτερου ελληνικού χώρου - <http://www.geo.auth.gr/courses/ggg/ggg871y/>) .

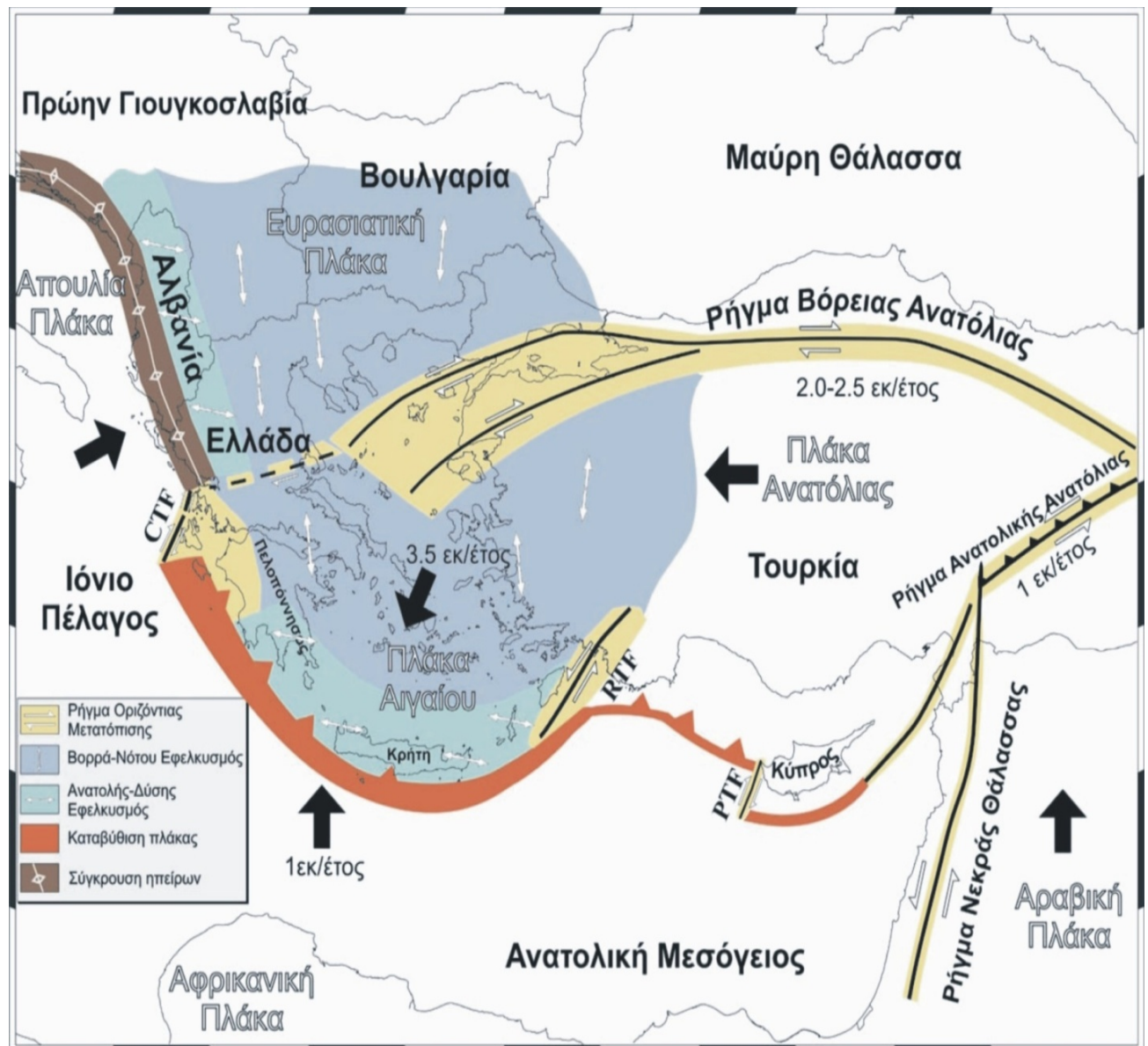
The map shows the geographical context of the study area. Key features include:

- Geographical Labels:** ΒΟΥΛΓΑΡΙΑ (Bulgaria), ΕΛΛΑΔΑ (Greece), ΤΟΥΡΚΙΑ (Turkey), ΑΙΒΑΝΙΑ (Iran), Αδριατική Θάλασσα (Adriatic Sea), Αιγαίο Πέλαγος (Aegean Sea), ΕΛΛΗΝΙΚΕΣ ΟΡΟΣΕΙΡΕΣ (Greek Mountains), Ανατολική Μεσόγειος (Eastern Mediterranean).
- Regional Labels:** F.Y.R.O.M. (Former Yugoslav Republic of Macedonia), Λεκάνη Αζού (Azov Basin), Τάφρος Β. Αιγαίου (Taurus N. Aegean), Δήμος (Demos), Λέσβος (Lesbos), Τόσο (Toson), Ρόδος (Rhodes), Κάρπαθος (Karpathos), Κρήτη (Crete), Λεκάνη Νοτίου Αιγαίου (S. Aegean Basin).
- Scale and Coordinates:** The map includes a scale bar from 0 to 100 km and a coordinate grid with latitude and longitude markings.

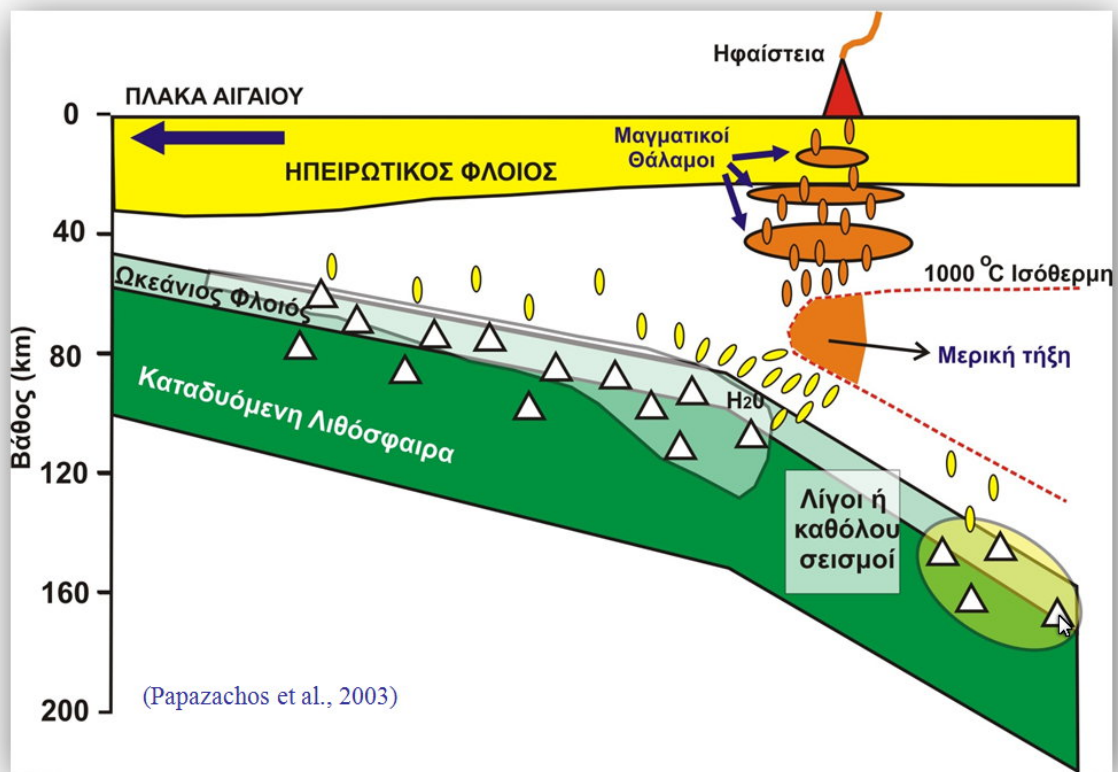
Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

2.3. Νότιο Αιγαίο

2.3.1. Γενικά Στοιχεία



Σχήμα 2.3.1.1.: Κινήσεις λιθοσφαιρικών πλακών στον ευρύτερο χώρο του Αιγαίου (Παπαζάχος και Παπαζάχου, 2003; Parazachos et al., 1998).



Σχήμα 2.3.1.2.: η ενεργός τεκτονική στο Νότιο Αιγαίο (Papazachos et al., 2005).

Ο φλοιός του Νότιου Αιγαίου έχει πάχος που κυμαίνεται από 20 μέχρι και 30 km και αποτελείται από ιζηματογενές, γρανιτικό και βασαλτικό στρώμα δηλαδή καθαρά ηπειρωτικού χαρακτήρα δομής λιθοσφαιρικής πλάκας.

Στο σχήμα (2.3.1.1.) παρουσιάζονται οι κινήσεις των λιθοσφαιρικών πλακών στο Νότιο Βαλκανικό χώρο και στη τουρκική μικροπλάκα . Έτσι , φαίνεται η σύγκλιση της Αφρικανικής πλάκας με την Ευρασιατική και η βύθιση της πρώτης κάτω από την δεύτερη .

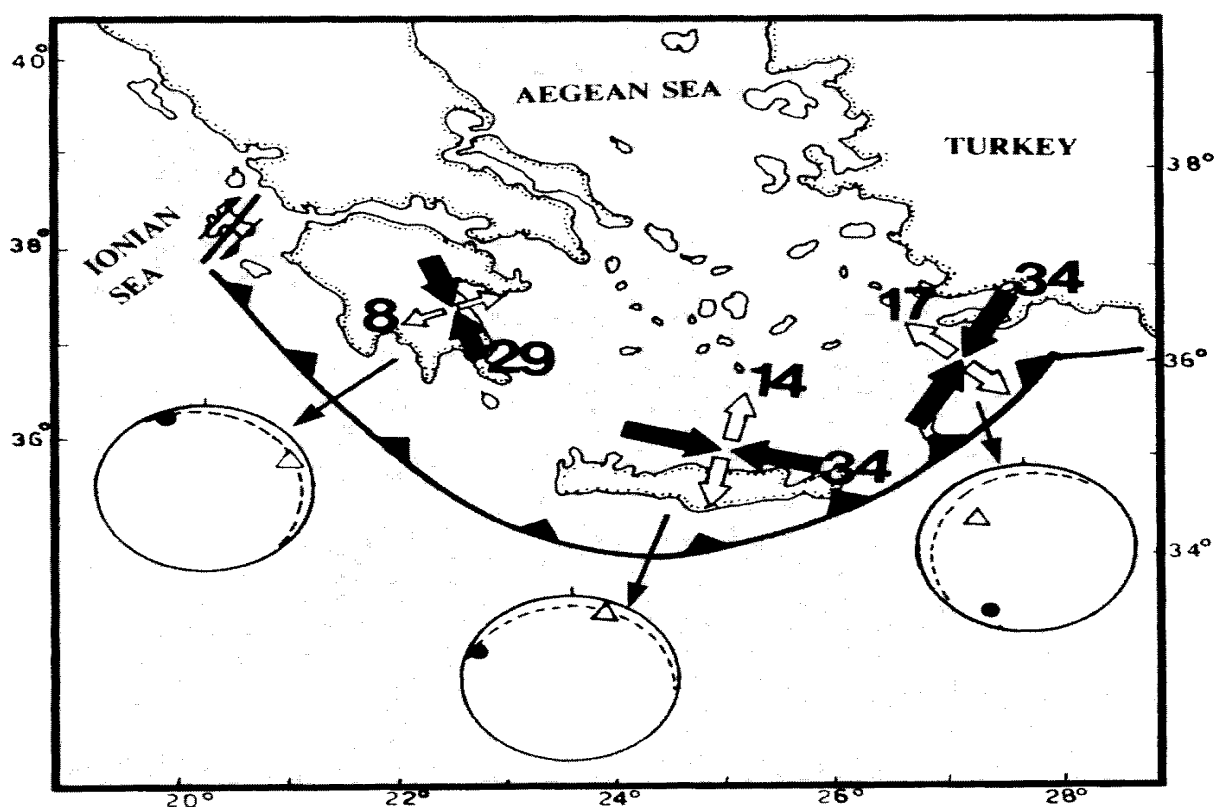
Στο σχήμα (2.3.1.2.) γίνεται φανερή η γεωφυσική –τεκτονική διαδικασία δημιουργίας ενός ηφαιστείου στην περιοχή της κατάδυσης του ελληνικού χώρου . Πιο συγκεκριμένα , στο χώρο του Ν.Αιγαίου υπάρχει μία λέπτυνση του φλοιού μεταξύ 20-25 km λόγω του ικανού εφελκυστικού πεδίου τάσεων που δημιουργείται που δημιουργείται που αιτιολογείται με την άνοδο του θερμού υλικού από τον πάνω μανδύα λόγω της βύθισης της Αφρικανικής πλάκας , .Σύμφωνα με το σχήμα (2.4.1.) η ύπαρξη ρηξιγενών μεγαδομών

εφελκυσμού έχει ως αποτέλεσμα να δημιουργούνται οι μαγματικοί θάλαμοι στον ηπειρωτικό φλοιό του Αιγαίου σε συγκεκριμένες θέσεις του ηφαιστειακού τόξου.

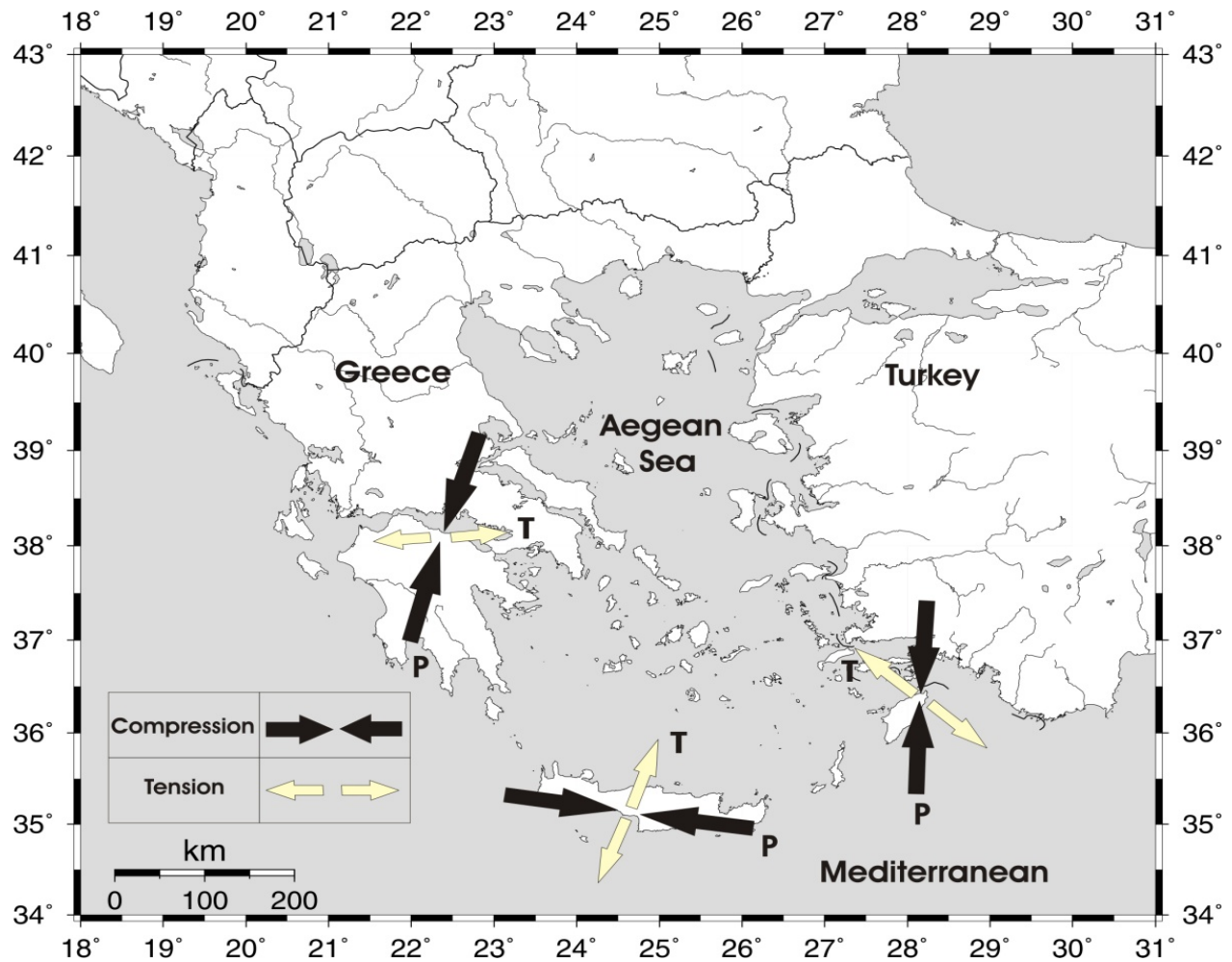
2.3.2.Τεκτονική του Νότιου Αιγαίου

Στα σχήματα (2.3.2.1. και 2.3.2.2.) φανερώνεται ότι στο εξωτερικό μέρος του τόξου , η τεκτονική παραμόρφωση οφείλεται σε συμπίεση λόγω της συμπίεσης που έχει διεύθυνση κάθετη στο δυτικό τμήμα του τόξου και παράλληλη στο ανατολικό τμήμα του τόξου .Τα ανάστροφα ρήγματα δημιουργούνται από αυτήν την έντονη παραμόρφωση στο χώρο σύγκλισης των πλακών .

Αντιθέτως , η τεκτονική παραμόρφωση που οφείλεται σε εφελκυσμό παρατηρείται μόνο στο εσωτερικό μέρος του τόξου, στο χώρο του Ν.Αιγαίου με πολύ έντονη σεισμικότητα και δημιουργεί τα κανονικά ρήγματα σε συγκεκριμένες θέσεις ρηξιγενών μεγαδομών εφελκυστικού χαρακτήρα με συγκεκριμένη διεύθυνση παρατάξεων ($B60^{\circ} A$) στα οποία οφείλεται και η ύπαρξη των σημαντικών ηφαιστείων του Αιγαίου.



Σχήμα 2.3.2.1.:Ταχύτητες παραμόρφωσης στο πάνω τμήμα (40-100 km) της καταβυθιζόμενης λιθοσφαιρικής πλάκας (Kiratzi and Papazachos, 1995).



Σχήμα 2.3.2.2. Το δυτικό , ανατολικό και κεντρικό μέρος της υποβυθιζόμενης λιθόσφαιρας στο Αιγαίο και το πεδίο τάσεων της (Parazachos et al., 2005).

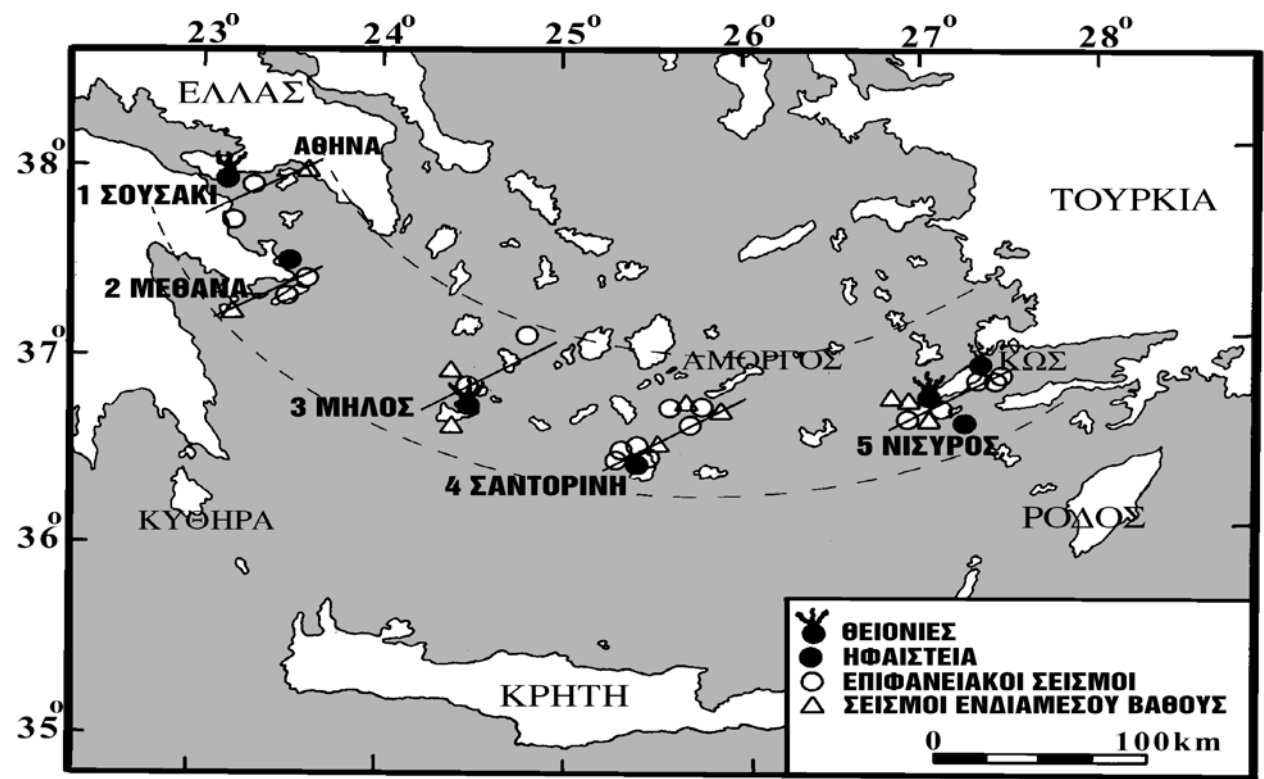
2.4. Το ηφαιστειακό τόξο του Νότιου Αιγαίου

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω , το ηφαιστειακό τόξο του Νότιου Αιγαίου είναι ένα από τα κύρια μορφοτεκτονικά στοιχεία του ελληνικού τόξου.

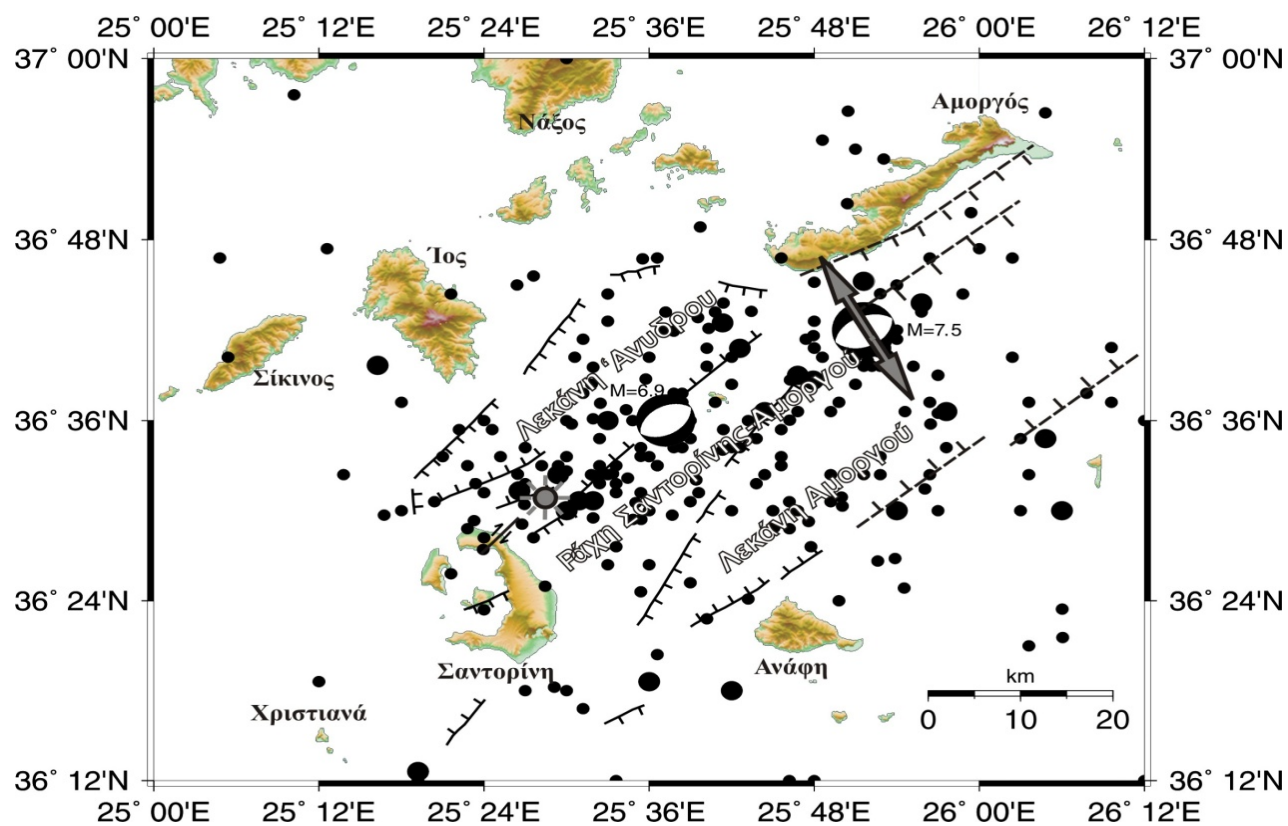
Η εφελκυστική τεκτονική του Ν. Αιγαίου δημιουργεί πέντε ζώνες διάρρηξης που συντελούν στην ανάπτυξη του ηφαιστειακού τόξου.

Ειδικά για την περίπτωση της Σαντορίνης η μεγαδιάρρηξη της εκρηξιγενούς δομής της Αμοργού (σχήμα 2.4.2) είναι η κύρια αιτία της δημιουργίας του μαγματικού θύλακα που τροφοδοτεί τα ηφαίστεια του συμπλέγματος της Σαντορίνης (Θήρας και Κολούμπο). Στην ρηξιγενή ζώνη αυτή έγινε του 1950

ο μεγαλύτερος επιφανειακός σεισμός του 20^{ου} αιώνα στην Ελλάδα με μέγεθος $M=7.5$ που δημιούργησε και θαλάσσιο κύμα tsunami στο ηφαιστειακό τόξο.



2.4.1. Οι πέντε ζώνες διάρρηξης του Νότιου Αιγαίου (Parazachos and Papagiorgopoulos, 1993).



Σχήμα 2.4.2: Τεκτονικός χάρτης του ηφαιστείου της Σαντορίνης (Δημητριάδης, 2008)

Κεφάλαιο 3^ο

Σεισμολογική παρατήρηση ηφαιστείων – Ειδική περίπτωση Σαντορίνης

3.1.Σεισμολογικά δίκτυα

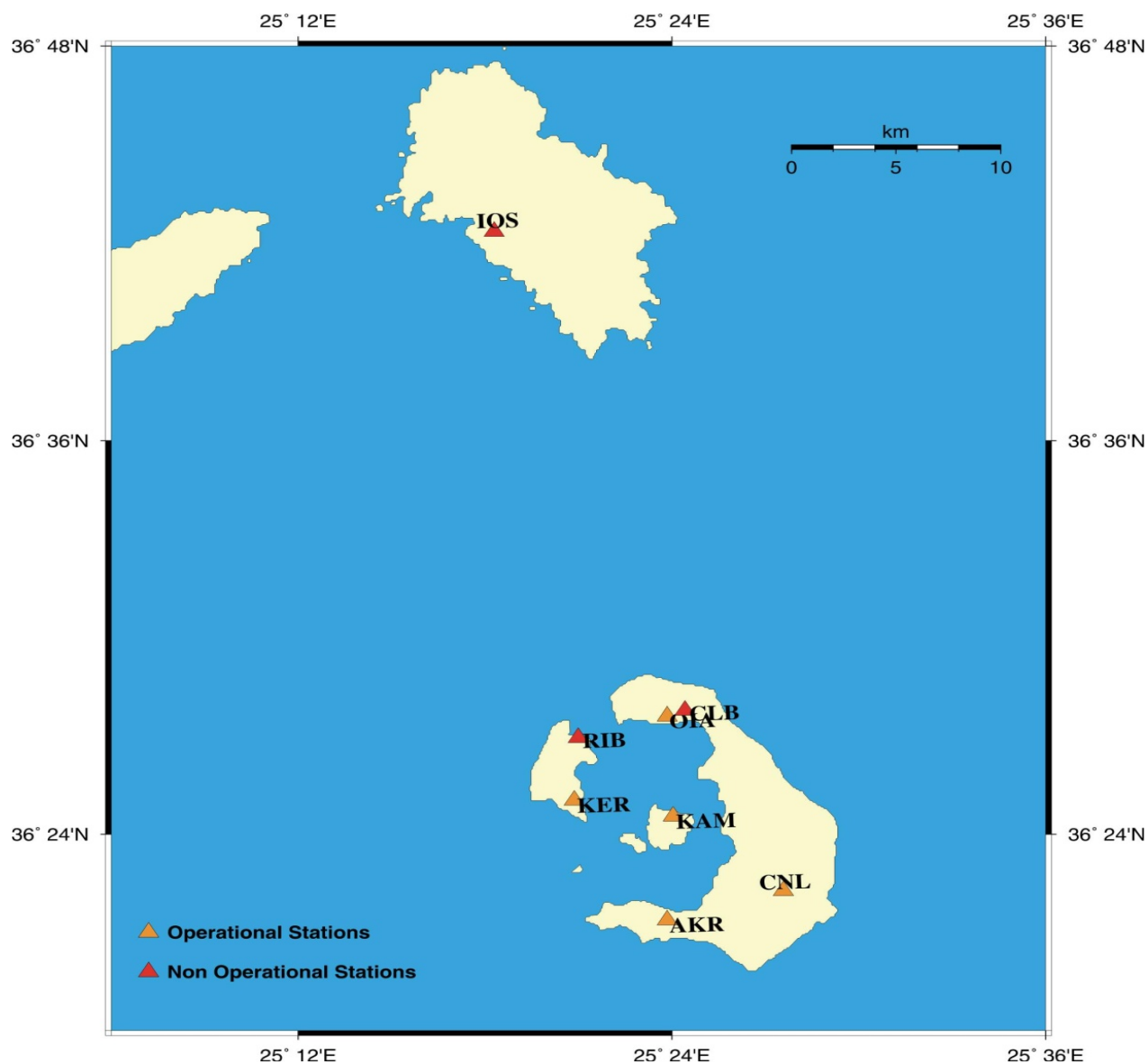
Τα σύγχρονα σεισμολογικά δίκτυα καταγράφουν σεισμούς σε όλη τη κλίμακα του μεγέθους και εξυπηρετούν στη μελέτη και παρακολούθηση των ηφαιστείων. Επίσης, καταγράφουν σεισμικά σήματα και δίνουν πληροφορίες για την απόσβεση των σεισμικών σημάτων με την απόσταση. Οι θέσεις τοποθέτησης των σεισμικών δικτύων εξαρτώνται απ' τη θέση του γεωλογικού φαινομένου που πρέπει να μελετηθεί. Η πυκνότητα των σταθμών εξαρτάται από την οικονομική ευρωστία του οργανισμού παρατήρησης του φαινομένου.

Στη μελέτη και την πρόβλεψη ενός ηφαιστείου είναι σημαντική η κατανόηση των τοποθεσιών των υποκέντρων των σεισμών γι αυτό και η πυκνότητα των σειсмоγράφων γύρω και πάνω στο ηφαίστειο παίζει σημαντικό ρόλο.

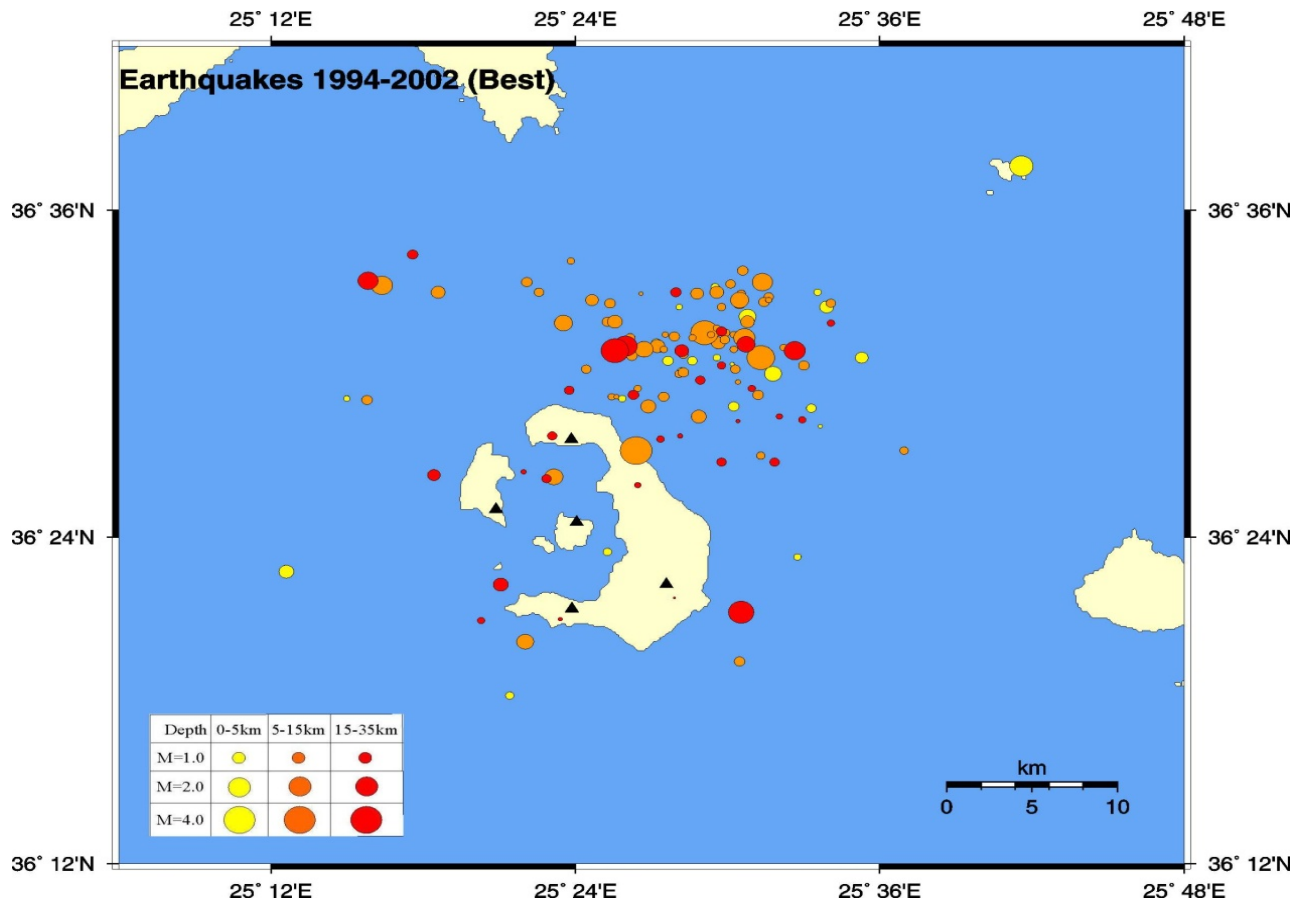
Αξίζει να σημειωθεί ότι όσο μεγαλύτερη είναι η απελευθέρωση σεισμικής ενέργειας, τόσο μεγαλύτερη είναι η πιθανότητα μιας έκρηξης ή διείσδυσης μάγματος στη γεωλογική δομή του ηφαιστείου.

Για την περίπτωση της Σαντορίνης η παρακολούθηση του ηφαιστείου ξεκίνησε το 1994 με την έναρξη ενός μεγάλου ευρωπαϊκού προγράμματος. Στο σχήμα (3.1.1.) φαίνονται οι θέσεις των πρώτων βασικών σεισμολογικών σταθμών για την παρακολούθηση του ηφαιστειακού συμπλέγματος της Σαντορίνης.

Στο σχήμα(3.1.2.) φαίνεται η καταγεγραμμένη σεισμικότητα της περιόδου 1994-2002 με τα επίκεντρα των 157 μεγαλύτερων υπολογισμένων σεισμών αυτής της περιόδου με μέγεθος $M = 1.0$ έως και $M = 4.0$.



Σχήμα 3.1.1. Οι σεισμολογικοί σταθμοί στο ηφαιστειακό κέντρο της Σαντορίνης (Δημητριάδης, 2004; Dimitriadis et al., 2005).



Σχήμα 3.1.2. Τα επίκεντρα των 157 σεισμών κατά το διάστημα 1994-2002 (Δημητριάδης, 2004; Dimitriadis et al., 2005).

3.2. Ηφαιστειακή Σεισμολογία

Ο κλάδος της γεωφυσικής που μελετά, τα σεισμικά κύματα λόγω ηφαιστειακής δραστηριότητας ονομάζεται ηφαιστειακή σεισμολογία. Η μελέτη του κλάδου αυτού βασίζεται στη δομή του εσωτερικού της Γης, των ηφαιστείων σε βάθος και στην πρόβλεψη ενός ηφαιστείου με τη χρήση σεισμολογικών-τεκτονικών δεδομένων.

3.2.1 Ηφαιστειογενείς Σεισμοί

Οι τεκτο-ηφαιστειογενείς σεισμοί προηγούνται των ηφαιστειακών εκρήξεων ή και τις συνοδεύουν. Οφείλονται στις διεργασίες ανόδου του μάγματος στον ηφαιστειακό δόμο και στις αλλαγές του πεδίου των τάσεων που προκαλεί η

αύξηση της πίεσης των αερίων και υγρών συστατικών του μάγματος στον βασικό θύλακα μάγματος των ηφαιστείων .

Κατηγοριοποίηση βασικών σεισμών

Είδη σεισμών :

A-τύπου :

Οι σεισμοί αυτού του τύπου έχουν διακριτές φάσεις p και s κυμάτων και παρατηρούνται σε βάθη από 1 μέχρι 10 km κάτω από ένα ηφαίστειο. Οι A-τύπου σεισμοί οφείλονται σε υψηλές πιέσεις γεωθερμικών υγρών και σε θραύση των πετρωμάτων καθώς κινείται το μάγμα.

B-τύπου:

Είναι σεισμοί με δυσδιάγνωστες φάσεις p και s κυμάτων και παρατηρούνται πολύ επιφανειακά βάθη (0-1 km)

C-τύπου :

Εμφανίζονται με την αύξηση του δόμου λάβας και θεωρούνται ένα σύνολο σεισμών B- τύπου.

Μακράς περιόδου:

Μοιάζουν τους σεισμούς A- τύπου άλλα στην κυματομορφή τους επικρατούν οι μεγάλες περίοδοι (χαμηλοσυχνά σήματα)

Σεισμοί από έκρηξη:

Σε πολλές περιπτώσεις μεγάλων εκρήξεων ηφαιστείων η εκρηκτική διαδικασία συνοδεύεται με ταυτόχρονη γένεση ενός μεγάλου σεισμού .

Ηφαιστειακός σεισμικός θόρυβος:

Ο θόρυβος αυτός είναι μία συνεχής ταλάντωση του εδάφους και μπορεί να προηγείται από την έκρηξη ή να εμφανιστεί χωρίς να ακολουθήσει κάποια έκρηξη στη συνέχεια. Ο ηφαιστειακός σεισμικός θόρυβος αφορά ενεργά ηφαίστεια και η μελέτη του μπορεί να αποκρυπτογραφήσει πολλές πληροφορίες για τη γεωφυσική – γεωλογική δομή του ηφαιστείου.

3.3.Πεδίο έρευνας : Σαντορίνη

3.3.1.Ονομασία

Η Σαντορίνη είναι ένα από τα σημαντικότερα τουριστικά κέντρα του ελληνικού χώρου και ειδικότερα του Αιγαίου.

Από γεωλογικής άποψης θεωρείται ένα χαρακτηριστικό στρωματοηφαίστειο και αποτελείται από μία μεγάλη καλδέρα που κατά κύριο λόγο συμπεριλαμβάνει πετρώματα ηφαιστειακής προέλευσης από τις διάφορες εκρήξεις του ηφαιστείου στο πέρασμα του χρόνου.

Το νησί αυτό βρίσκεται στον χώρο του Νότιου Αιγαίου , νότια της ίου και δυτικά από την Ανάφη και θεωρείται σαν αποτέλεσμα της ιδιαίτερης τεκτονο-γεωφυσικής διεργασίας του χώρου του Ν.Αιγαίου με τις μεγάλες ρηξιγενείς δομές εφελκυστικού χαρακτήρα (σχήμα 2.4.1.) .

Η Σαντορίνη στην αρχή ήταν στρογγυλή και ονομαζόταν Στρογγύλη , αργότερα πήρε το όνομα Καλλίστη ή Καλλιστώ , Φιλητέρα ή Φιλωτέρα, Καλαυρία, Καρίστη, Τευσία, Θηραμένη καθώς και Ρήνεια (σχήμα 3.3.1.).

Μετά την ηφαιστειακή έκρηξη ονομάστηκε Θήρα και τελικά Σαντορίνη. Το τελικό όνομά της προέρχεται από την κατοχή των Φράγκων Σταυροφόρων .

3.3.2.Γεωγραφία

Το σημερινό σχήμα του νησιού είναι ημικυκλικό και πεταλοειδές λόγω των πολλών ηφαιστειακών εκρήξεων . Η Σαντορίνη βρίσκεται σε γεωγραφικό πλάτος από 36° 19' 56" έως 36° 28' 40" Βόρειο και γεωγραφικό μήκος από 25° 19' 22" έως 25° 29' 13" Ανατολικό

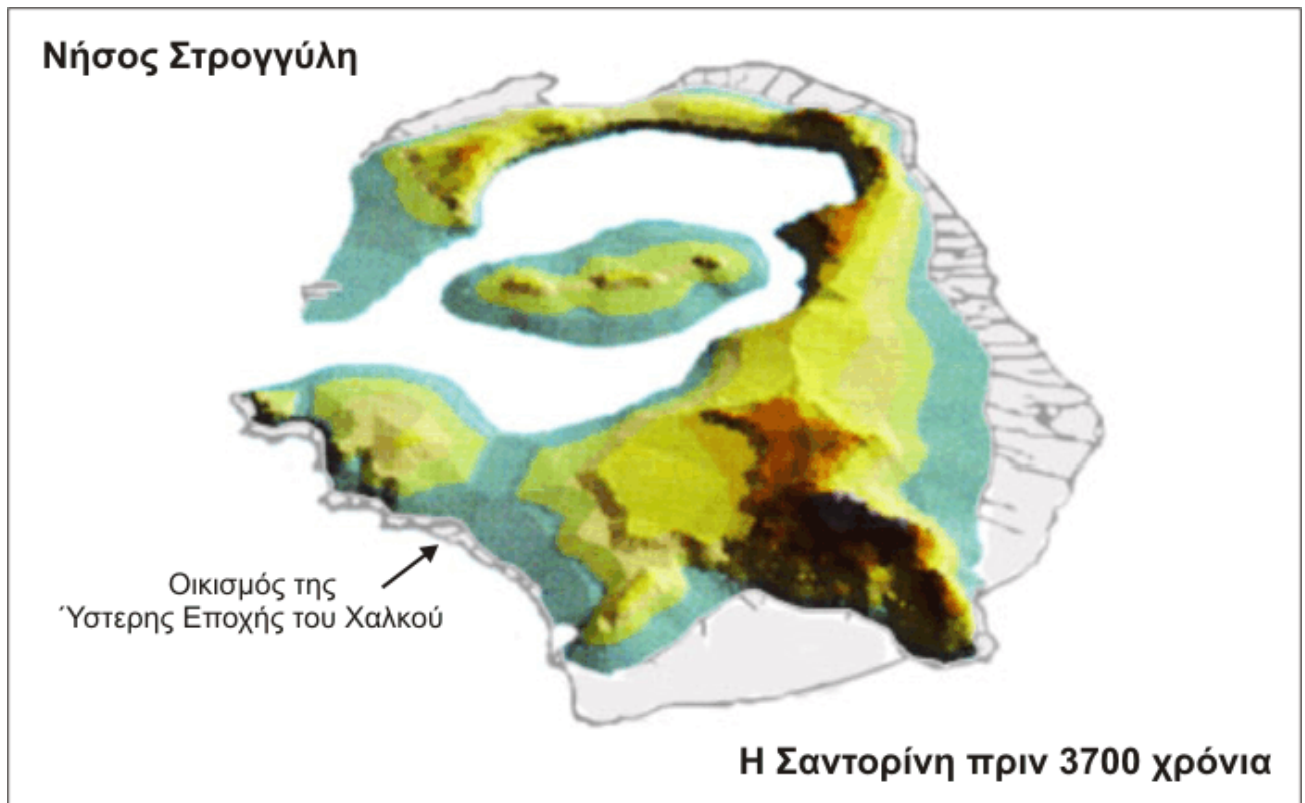
Το νησί δεν έχει λίμνες , ποταμούς και χαράδρες και είναι ξερό και άνυδρο. Αποτελείται από ηφαιστειακό υπόβαθρο και ο Προφήτης Ηλίας (567μ.) είναι η υψηλότερη κορυφή του.

3.3.3.Μινωική Έκρηξη

Μία από τις πιο σημαντικές εκρήξεις αποτελεί η Μινωική έκρηξη η οποία έγινε κατά την εποχή του Χαλκού το 1613 π.Χ. . Το 1613 π.Χ. δημιουργήθηκε η μεγάλη καλδέρα του νησιού με την κατάρρευση της οροφής του μαγματικού θαλάμου λόγω της Μινωικής Έκρηξης.

Η τέφρα από την έκρηξη διασκορπίστηκε σε όλη την Ανατολική Μεσόγειο και πιθανότατα οδήγησε σε παγκόσμιες κλιματικές αλλαγές. Οι αποθέσεις τέφρας στη Σαντορίνη αποτελούνται από στάχτη και κίσσηρη με πάχος μέχρι 50 m.

Η Μινωική έκρηξη χωρίζεται σε τέσσερις περιόδους ή φάσεις . Οι φάσεις αυτές ονομάζονται Μινωική Α (ή ΒΟ1), Μινωική Β (ή ΒΟ2), Μινωική Γ (ή ΒΟ3) και Μινωική Δ (ή ΒΟ4) και φαίνονται πολύ χαρακτηριστικά στα πρηνή της καλδέρας (σχήμα 3.3.2.) . Το κέντρο της έκρηξης εντοπίζεται ανάμεσα από τα σημερινά Φηρά και τη Νέα Καμένη.



Σχήμα 3.3.1. Η Σαντορίνη πριν την Μινωική Έκρηξη (Τρ. Σολδάτος – <http://www.geo.auth.gr/courses/gmo/gmo765e/>)



Σχήμα 3.3.2. Οι τέσσερις φάσεις της Μινωικής Έκρηξης (Τρ. Σολδάτος – <http://www.geo.auth.gr/courses/gmo/gmo765e/>)

3.3.3.1. Φάση-Μινωική Α

Η πρώτη φάση της έκρηξης αποτελείται από αποθέσεις πτώσης κίσηρης .Οι αποθέσεις αυτές δημιουργήθηκαν από την κατάρρευση της εκρηκτικής στήλης και εφόσον περιείχε μόνο φάση αέρια ήταν ξηρή .

3.3.3.2. Φάση-Μινωική Β

Αυτή είναι η δεύτερη φάση της έκρηξης. Αντιστοιχεί σε μεγακυματικές αποθέσεις (basesurgedeposits)..

Η δεύτερη φάση της έκρηξης αποτελείται από αποθέσεις λευκών στρωμάτων λεπτόκοκκης στάχτης και λιθάρια κίσηρης .

Οι μεγακυματικές αποθέσεις της φάσης έχουν υδροφαιστειακή προέλευση καθώς το θαλάσσιο νερό κατάφερε να εισχωρήσει μέσα από τις ρωγμές του ηφαιστειακού πόρου και δημιούργησε βίαιες εκρήξεις με μεγάλες ταχύτητες.

Χαρακτηριστικές είναι διασταυρούμενες δομές των στρώσεων, οι ρυτιδώσεις και οι θίνες, καθώς επίσης και τα βαθουλώματα που σχηματίζουν τα λιθικά στα χαλαρά υλικά, που δείχνουν βαλλιστική μεταφορά.

3.3.3.3. Φάση-Μινωική Γ

Η Τρίτη φάση της μινωικής έκρηξης περιέχει ροές στάχτης με χαοτική διάταξη. Οι ροές στάχτης προέρχονται από τον κρατήρα .Μία πολύ σημαντική συνέπεια της έκρηξης αυτής είναι η δημιουργία της καλδέρας και ο σχηματισμός του μαγματικού θαλάμου.

3.3.3.4. Φάση-Μινωική Δ

Αυτή είναι η τέταρτη φάση της έκρηξης. Αποτελείται από μικρά λιθικά και κλάσματα κίσηρης. Τα λεπτόκοκκα αυτά υλικά προέρχονται , πιθανότατα, από τα υλικά της τρίτης φάσης της Μινωικής έκρηξης λόγω πλημμύρων , βροχών κ.α . Μπορεί όμως και να προέρχονται και από την ύπαρξη ιγκνιμβρίτων και πυροκλαστικών ροών.

3.3.4.Επιπτώσεις της Μινωικής Έκρηξης

Ένα μεγάλο ποσοστό προϊόντων της έκρηξης με μορφή ελαφρόπετρας και στάχτης εκτινάχθηκε στο νησί της Θήρας και Θηρασίας .Τα προϊόντα της εκρηκτικής διαδικασίας απλώνονται στην Ανατολική Μεσόγειο και στην Μικρά Ασία.

Η Μινωική Έκρηξη πιστεύεται ότι είχε συνέπειες στην στρατόσφαιρα λόγω του μεγέθους της καθώς προκάλεσε ηφαιστειακό χειμώνα στο Βόρειο ημισφαίριο και την ισημερινή και εύκρατη ζώνη.

Μετά την δημιουργία της καλδέρας , αναπτύσσονται μια σειρά από παλιρροιακά κύματα , γνωστά ως τσουνάμι , που φτάνουν σε όλο τον χώρο του Αιγαίου και μέχρι την Ανατολική Μεσόγειο.

Ένα πολύ σημαντικό αποτέλεσμα της Μινωικής έκρηξης θεωρείται η <<πτώση>> του πολιτισμού της Μινωικής Κρήτης λόγω της καταστροφής των σημαντικών λιμένων της στη βόρεια ακτή του νησιού με αποτέλεσμα σοβαρότατα προβλήματα στο οικονομικό-κοινωνικό σύστημα της Μινωικής Κρήτης.

3.3.5.Χρονολογία της Μινωικής Έκρηξης

Η Μινωική έκρηξη είναι ένα από τα πιο σημαντικά αντικείμενα επιστημονικής μελέτης . Πιο ειδικά , κάποια στοιχεία δείχνουν ότι η χρονολογία της Μινωικής έκρηξης είναι το 1450 π.Χ. Η χρονολογία αυτή συνδέεται και με την καταστροφή του Μινωικού Πολιτισμού.

Μέχρι σήμερα , όμως , κάποια άλλα στοιχεία δείχνουν ότι η χρονολογία της έκρηξης είναι 1-2 αιώνες νωρίτερα , δηλαδή περίπου το 1660-1613 π.Χ.

Παρ όλα αυτά άλλες έρευνες έδειξαν ότι η χρονολογία είναι το 1613 π.Χ. (+/- 13 χρόνια) .Επομένως το πότε έγινε ακριβώς η Μινωική Έκρηξη παραμένει μέχρι και σήμερα σε αβεβαιότητα.

Σύμφωνα με τα παραπάνω , η καταστροφή του Μινωικού πολιτισμού είναι ένα ερώτημα το οποίο δεν έχει απαντηθεί οριστικά από τις κοινότητες των ηφαιστειολόγων –αρχαιολόγων , αν οφείλεται στην Μινωική έκρηξη της Σαντορίνης.

3.4.Η ιστορική ηφαιστειότητα της Σαντορίνης 197 π.Χ.

Ιερά.

Καταγράφεται για πρώτη φορά η ηφαιστειότητα της Σαντορίνης , σχηματίζεται ένα μικρό νησί στο κέντρο της καλδέρας , η Ιερά.

3.4.1.Η Παλαιά Καμένη 46-47 μ.Χ.

Λάβες Θείας.

Η βάσης της είναι το νησί Θεία που αργότερα θα δώσει τη σημερινή μορφή της Παλαιάς Καμένης.

726 μ.Χ.

Λάβες Αγίου Νικολάου.

3.4.2.Η Νέα Καμένη

1570-1573 μ.Χ.

Λάβες Μικρής Καμένης.

Οι λάβες της δημιουργήθηκαν στον ύφαλο Μπάγκο.

1707-1711 μ.Χ.

Λάβες Νέας Καμένης.

Σχηματίζεται σε αρχική φάση το Ασπρονήσι και στη συνέχεια το Μαυρονήσι .Καθώς συνεχίζονται οι εκρήξεις , σχηματίζεται η Νέα Καμένη .

1866-1870 μ.Χ.

Λάβες Γεωργίου, Αφρόεσσας και νησιδων Μάη.

Ανατολικά της Νέας Καμένης , εμφανίζονται οι εκρήξεις που χωρίζουν την Μικρή και Νέα Καμένη . Ο βασικός κρατήρας των εκρήξεων ονομάστηκε Γεώργιος .

1925-1928 μ.Χ.

Λάβες Δάφνης.

Η θερμοκρασία αυξάνεται στα Κόκκινα Νερά .Ακόμη , επικρατούν φρεατικές εκρήξεις και σχηματίζονται δύο βραχίονες που ενώνουν τη Δάφνη με την Νέα Καμένη.

1939-1941 μ.Χ.

Λάβες Κτενά, Φουκέ, Σμιθ, Ρεκ και Νίκης.

Σχηματίζεται ο Τρίτωνας που θεωρείται ένας μικρός θόλος από την υποθαλάσσια έκρηξη στον όρμο του Αγίου Γεωργίου . Στη συνέχεια , δημιουργούνται ο θόλος του Κτενά , οι λάβες Φουκέ , οι λάβες Σμίθ και Ρεκ και τέλος οι λάβες Νίκης .

1950 μ.Χ.

Λάβες Λιάτσικα.

Τον Ιανουάριο του 1950 (σχήμα 3.4.1.) συμβαίνει η τελευταία βίαιη ηφαιστειακή έκρηξη στον χώρο του Νότιου Αιγαίου με εκτινάξεις τέφρας και βολίδων .Οι εκτινάξεις αυτές δημιουργούν τις λάβες Λιάτσικα που αποτελούν τα νεότερα ηφαιστειακά πετρώματα του ελληνικού χώρου.



Σχήμα 3.4.1. Η ηφαιστειακή έκρηξη το 1950 (Τρ. Σολδάτος – <http://www.geo.auth.gr/courses/gmo/gmo765e/>)

3.5.Το υποθαλάσσιο ηφαίστειο Κολούμπο

Ένα πολύ σημαντικό κομμάτι της Σαντορίνης στην ηφαιστειακή δράση της αποτελεί το υποθαλάσσιο ηφαίστειο Κολούμπο το οποίο βρίσκεται ΒΑ του νησιού , είναι ελλειψοειδές και στο κέντρο του Κολούμπο υπάρχει μία καλδέρα.

Η έκρηξη του 1650

Τον Σεπτέμβριο του 1650 λαμβάνει χώρα η ιστορική έκρηξη του υποθαλάσσιου ηφαιστείου του Κολούμπο , έξω από την καλδέρα. Η ελαφρόπετρα που εκτινάχθηκε έφθασε μέχρι την Μικρά Ασία. Μετά την

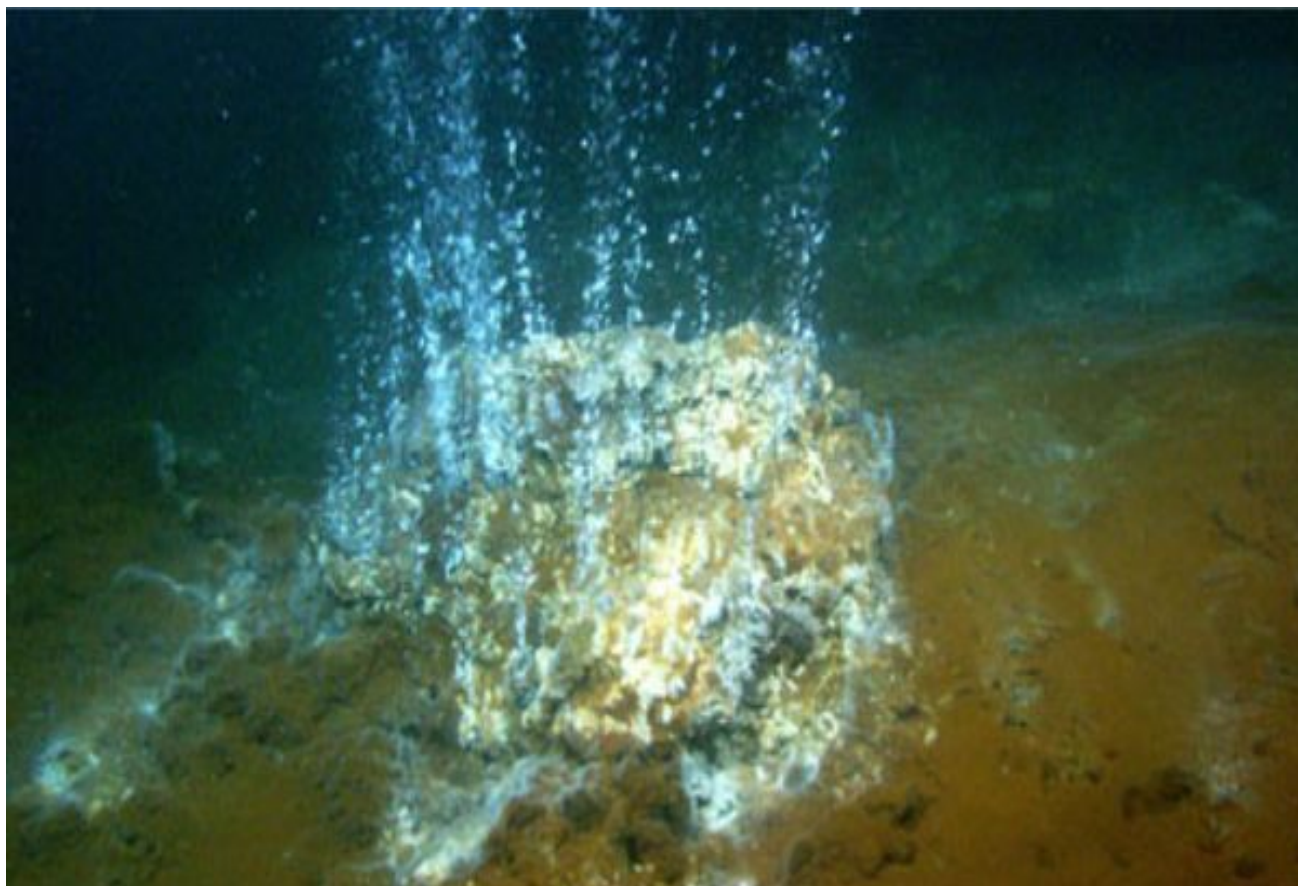
ηφαιστειακή έκρηξη ακολούθησε έντονη σεισμική δραστηριότητα. Σήμερα, το ψηλότερο σημείο του ηφαιστείου βρίσκεται 18 m κάτω από την επιφάνεια της.

Εκτός από τους σεισμούς, υπήρξε και μια σειρά από τσουνάμι. Οι περισσότερες όμως ανθρώπινες απώλειες έγιναν λόγω της ύπαρξης πολλών ηφαιστειακών αερίων.

Η έκρηξη αυτή είναι μία από τις μεγαλύτερες στον χώρο της Ανατολικής Μεσογείου.

3.5.1. Σύγχρονα στοιχεία για το ηφαίστειο του Κολούμπο

Αποκαλύφθηκε το 2006 ότι υπάρχει ένα σύνολο υδροθερμικών πόρων στον πυθμένα του καλδερικού κρατήρα μέσα από τους οποίους εξέρχονται υδροθερμικά ρευστά σχηματίζοντας καμινάδες. Η μέγιστη θερμοκρασία των ρευστών στον πυθμένα του Κολούμπο μετρήθηκε στους 220 °C (σχήμα 3.5.1.)



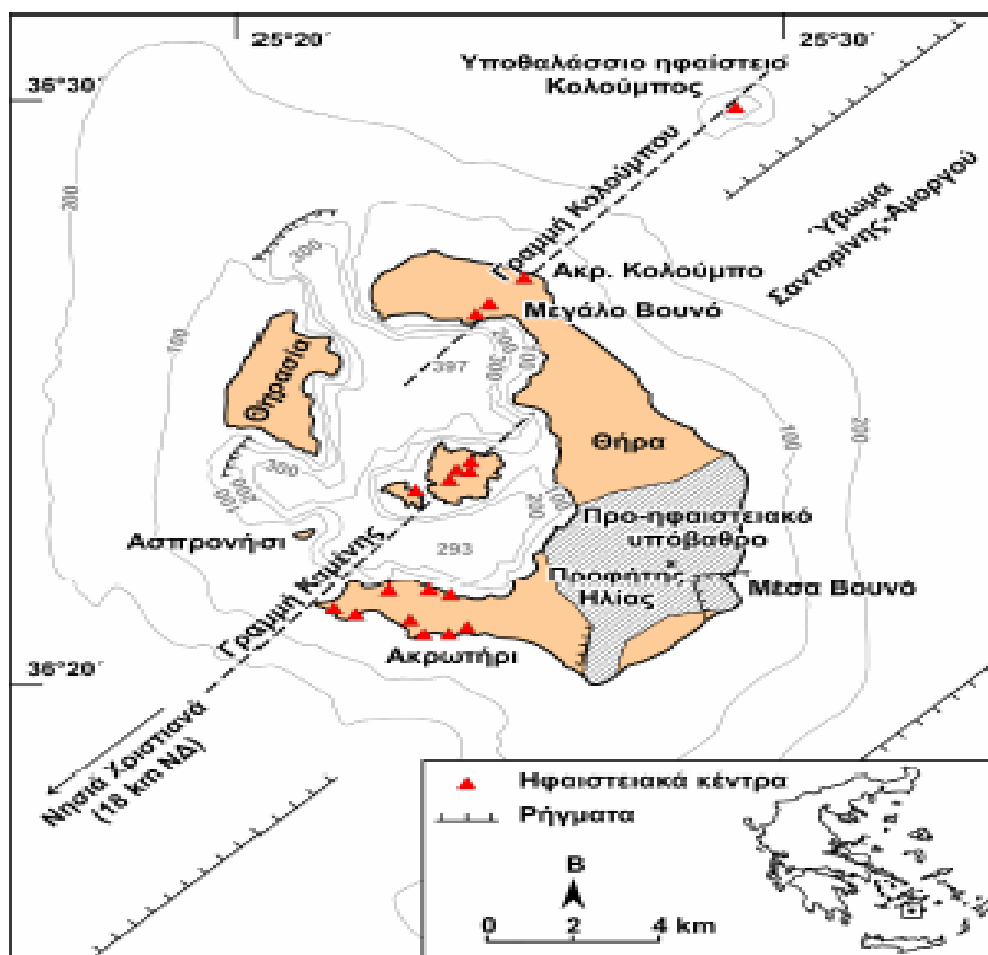
Σχήμα 3.5.1. Ο κρατήρας του ηφαιστείου Κολούμπο (Φωτογραφία από το Ινστιτούτο Ερευνών του URI (Rhodes Island University) (http://oceanexplorer.noaa.gov/explorations/06blacksea/logs/summary_thera/media/hydrothermal.html))

3.6 Η ενεργός σεισμο-τεκτονική δραστηριότητα του ηφαιστειακού συμπλέγματος των τελευταίων είκοσι ετών

Η τεκτονική ζώνη διάρρηξης στο χώρο της Σαντορίνης θεωρείται η συνέχεια του ενεργού κανονικού ρήγματος της Αμοργού που έχει δώσει τον μεγαλύτερο επιφανειακό σεισμό στον ελληνικό χώρο τον τελευταίο 20^ο αιώνα με μέγεθος $M=7.5$.

Το ηφαιστειακό πεδίο της Σαντορίνης περιλαμβάνει δύο ενεργά ηφαίστεια , τη Νέα Καμένη και το Κολούμπο.

Αποτελείται από δύο κύριες τεκτονικές γραμμές (σχήμα 3.6.1.) με διεύθυνση από Βορειοανατολικά (ΒΑ) προς Νοτιοδυτικά (ΝΔ) .Η πρώτη τεκτονική γραμμή είναι της Καμένης που αποτελείται από την Παλαιά Καμένη ,τη Νέα Καμένη και ένα μέρος του υποθαλάσσιου ηφαιστείου της Σαντορίνης και η δεύτερη είναι του Κολούμπο που θεωρείται το βόρειο μέρος της Θήρας .



Σχήμα 3.6.1. Η ενεργός τεκτονική της Σαντορίνης (Σαντορίνη , ηφαιστειολογικός οδηγός - Τρ. Σολδάτος)

Κεφάλαιο 4^ο

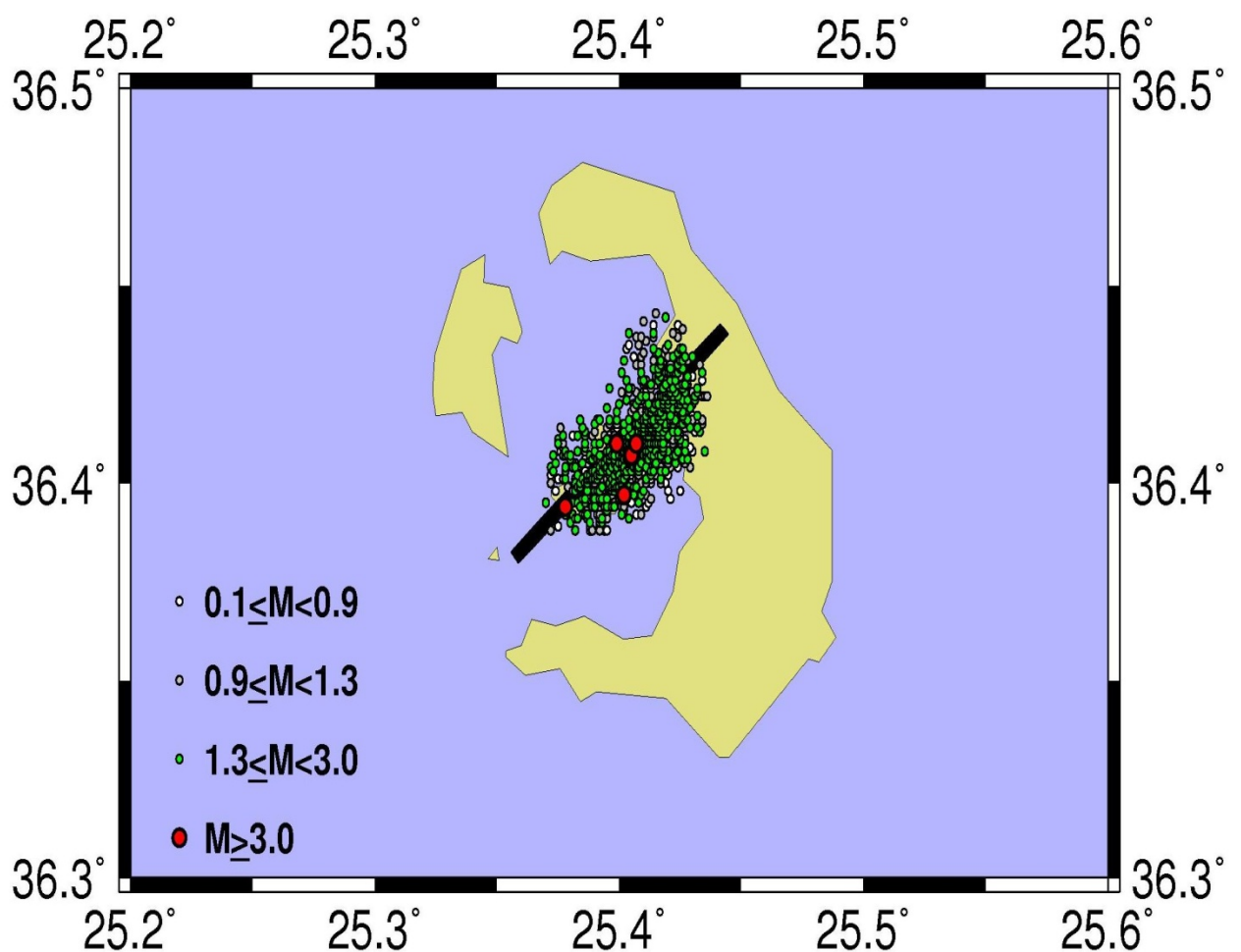
Δεδομένα – Επεξεργασία Ηφαιστείου Σαντορίνης (2011-2012)

Πίνακας 1 : Παρακάτω φαίνεται η λίστα των είκοσι πρώτων σεισμών και είκοσι τελευταίων σεισμών κατά το διάστημα 2011-2012 .

A/A	Έτος	Χρόνος	Γεν.	φ ^ο	λ ^ο	D	M
1.	2011	01 09	222938	36.411	25.396	4.4	1.2
2.	2011	01 09	150353	36.414	25.412	3.4	1.0
3.	2011	01 09	141632	36.413	25.412	3.2	1.3
4.	2011	01 13	234032	36.411	25.407	3.4	0.8
5.	2011	01 18	223658	36.411	25.407	3.1	1.1
6.	2011	01 20	185218	36.415	25.412	3.6	1.5
7.	2011	01 23	015705	36.412	25.398	3.8	1.2
8.	2011	02 02	095555	36.419	25.414	3.6	1.7
9.	2011	02 05	214621	36.418	25.399	2.7	1.4
10.	2011	02 06	122311	36.405	25.381	1.6	1.2
11.	2011	02 12	031440	36.424	25.405	3.1	1.1
12.	2011	02 12	001655	36.426	25.409	2.7	1.8
13.	2011	02 12	031122	36.423	25.401	2.7	1.1
14.	2011	02 13	181754	36.410	25.401	2.9	0.9
15.	2011	02 14	011247	36.433	25.410	5.1	1.1
16.	2011	02 15	061657	36.399	25.393	2.2	1.7
17.	2011	02 15	161613	36.417	25.411	2.5	1.8
18.	2011	02 17	051541	36.418	25.405	3.4	1.2
19.	2011	02 17	061342	36.404	25.417	2.8	1.2
20.	2011	02 17	184056	36.426	25.411	5.4	0.8

A/A	Έτος	Χρόνος	Γεν.	φ ^ο	λ ^ο	D	M
1.	2012	04 10	134545	36.412	25.424	5.6	1.5
2.	2012	04 11	001641	36.406	25.428	5.9	1.8
3.	2012	04 11	231445	36.401	25.375	6.3	0.2
4.	2012	04 20	052550	36.404	25.396	2.6	0.8
5.	2012	04 21	143944	36.407	25.410	2.7	1.4
6.	2012	05 08	023747	36.435	25.408	5.5	1.0
7.	2012	05 08	023843	36.424	25.404	6.7	1.8
8.	2012	05 08	023909	36.436	25.411	5.2	1.1
9.	2012	05 08	023950	36.422	25.409	6.2	1.7

10.2012	05	08	024209	36.428	25.409	4.6	1.3
11.2012	05	08	025102	36.432	25.406	6.0	0.7
12.2012	05	08	062234	36.421	25.403	5.6	1.3
13.2012	05	08	023607	36.438	25.414	5.9	2.1
14.2012	05	26	005357	36.419	25.429	7.9	1.3
15.2012	06	10	021117	36.407	25.402	12.6	0.8
16.2012	07	12	052545	36.434	25.403	1.3	0.8
17.2012	09	06	113231	36.406	25.395	1.0	1.6
18.2012	10	26	212612	36.429	25.419	5.0	1.0
19.2012	11	07	085004	36.401	25.393	2.7	1.1
20.2012	11	11	092228	36.404	25.411	27.0	2.3



Σχήμα 4.1.– Χάρτης όλων των σεισμών της Σαντορίνης κατά το 2011-2012

Στον χάρτη του σχήματος (4.1) φαίνονται όλοι οι σεισμοί που πραγματοποιήθηκαν στο διάστημα 2011 -2012 στο χώρο της Σαντορίνης .Από την κατανομή των επικέντρων στο χάρτη (Σχήμα 4.1.– Μαύρη γραμμή) φαίνεται ότι η κύρια σεισμική δραστηριότητα εντοπίζεται κατά μήκος της ρηξιγενούς ζώνης Σαντορίνης-Αμοργού διεύθυνσης B60A .Είναι φανερό ότι

η δραστηριότητα αυτή σχετίζεται με έναν από τους κλάδους του ενεργού κανονικού ρήγματος της Σαντορίνης- Αμοργού μέσα στην καλδέρα της Σαντορίνης.

Χρησιμοποιούνται κύκλοι τεσσάρων διαφορετικών αποχρώσεων για τα ακόλουθα διαστήματα μμεγεθών κύριων σεισμών :

- $0.1 \leq M < 0.9$ - άσπρη απόχρωση
- $0.9 \leq M < 1.3$ – γκρι απόχρωση
- $1.3 \leq M < 3.0$ – πράσινη απόχρωση
- $M \geq 3.0$. – κόκκινη απόχρωση

4.1.Σεισμική ακολουθία

Το σύνολο των σεισμών που λαμβάνουν χώρα σε μία περιοχή και ο ένας ακολουθεί τον άλλον χρονικά μπορεί να ομαδοποιηθούν στον χρόνο και στον χώρο .Η χωροχρονική αυτή ομαδοποίηση ονομάζεται σεισμική ακολουθία.

Για κάθε σεισμική ακολουθία μελετώνται:

- 1) Η Κατανομή μεγεθών των σεισμών που περιλαμβάνει την κατανομή **Gutenberg-Richter και την κατά μέγεθος κατανομή**
- 2) Η επιμήκης-διαμήκης τομή
- 3) Η εγκάρσια τομή
- 4) Η χρονική κατανομή

Παρακάτω αναλύεται η μελέτη της σεισμικής ακολουθίας που εκδηλώθηκε στη ρηξιγενή γραμμή Καμμένης –Φηρών μέσα στην καλδέρα της Σαντορίνης στο χρονικό διάστημα 2011-2012.

4.2.Κατανομή των μεγεθών των σεισμών

4.2.1. Κατανομή Gutenberg-Richter

Όσο πιο μεγάλα είναι το μέγεθος των σεισμών και η συχνότητα τους , τόσο πιο έντονη είναι η σεισμικότητα στην περιοχή που πραγματοποιούνται οι σεισμοί.

Νόμος των Gutenberg-Richter

Ο αριθμός, n , των σεισμών μεγέθους $M \pm \Delta M$, που έχουν τις εστίες τους σε ορισμένο χώρο και συμβαίνουν σε ορισμένο χρονικό διάστημα συνδέεται με το μέγεθος με τη σχέση $\log n = a' - bM$, όπου a' , b , είναι παράμετροι. Συνήθως, από τη συχνότητα, n , υπολογίζεται η αθροιστική συχνότητα, N , και ο νόμος εκφράζεται με τη σχέση:

$$\log N = at - bM \quad (1)$$

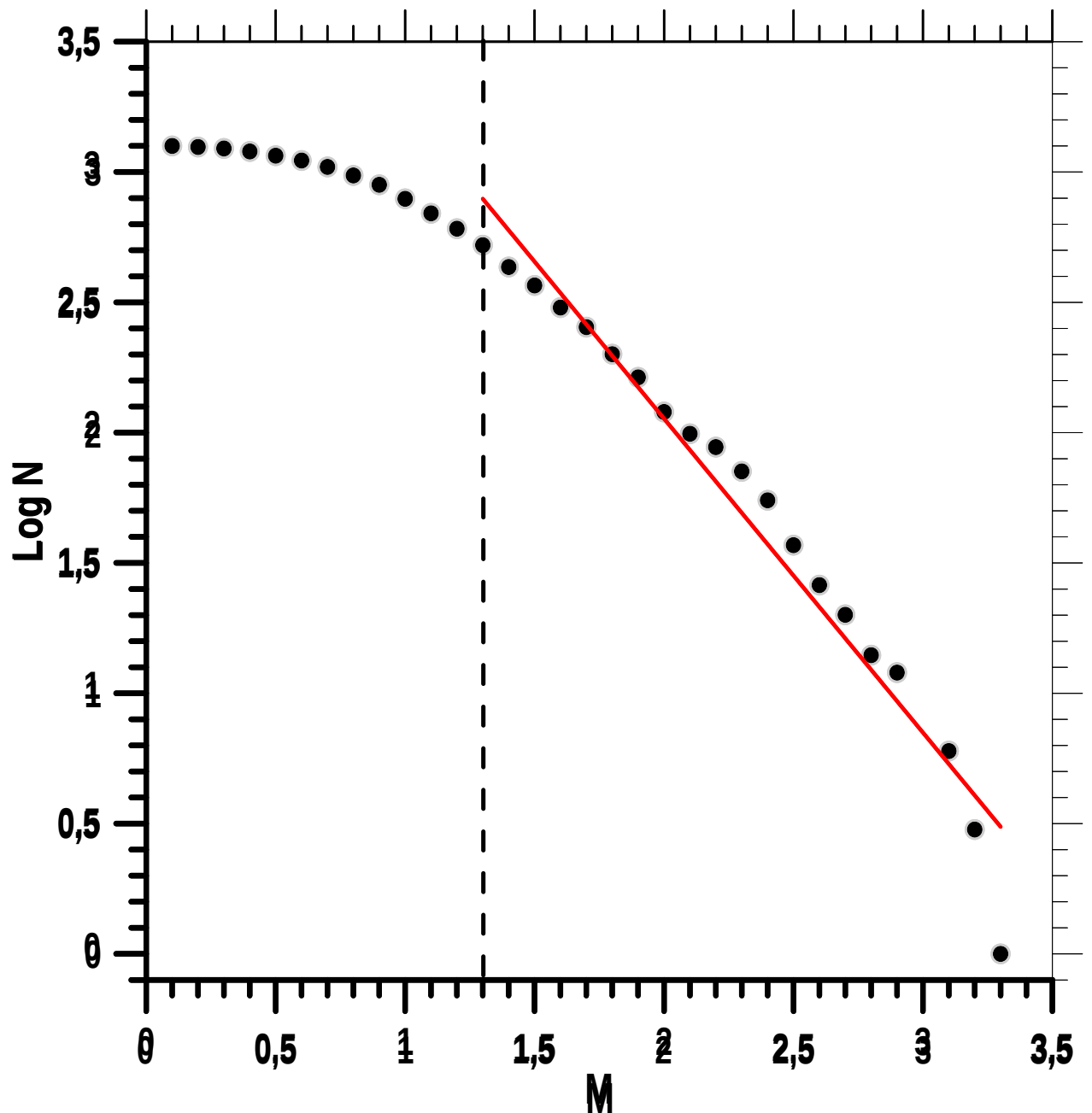
Η παράμετρος at εξαρτάται από τη σεισμικότητα της περιοχής, από το εμβαδόν, S , της επιφάνειας την οποία καλύπτουν τα επίκεντρα και από το χρονικό διάστημα στο οποίο έγιναν οι σεισμοί. Συνήθως χρησιμοποιείται η ανηγμένη, σε χρονικό διάστημα ενός έτους, τιμή a , της παραμέτρου αυτής: $a = at - \log t$.

Οι τάσεις και οι μηχανικές ιδιότητες των υλικών στον χώρο των εστιών καθορίζουν σε μεγάλο βαθμό την τιμή της παραμέτρου « b ». Αυτό έχει ως αποτέλεσμα όσο ελαττώνεται το μέγεθος των σεισμών να αυξάνεται η συχνότητα καταγραφής τους.

Η χαρτογράφηση των δεδομένων της σχέσης (1) οδηγεί στον υπολογισμό των τιμών των « at » και « b », παραμέτρων της σχέσης (1).

Είναι θεμελιώδης προϋπόθεση στη μελέτη της σχέσης (1) το δείγμα των σεισμών να πληρεί συγκεκριμένους όρους πληρότητας δεδομένων.

Για το λόγο αυτόν αναζητούνται όλα τα δυνατά δεδομένα μεγάλων και μικρών σεισμών μιας σεισμικής ακολουθίας ώστε η πληρότητα του δείγματος να φτάσει σε όσο το δυνατόν πιο μικρό μέγεθος σεισμού.



Σχήμα 4.2.1:Γραφική παράσταση της κατανομής Gutenberg-Richter

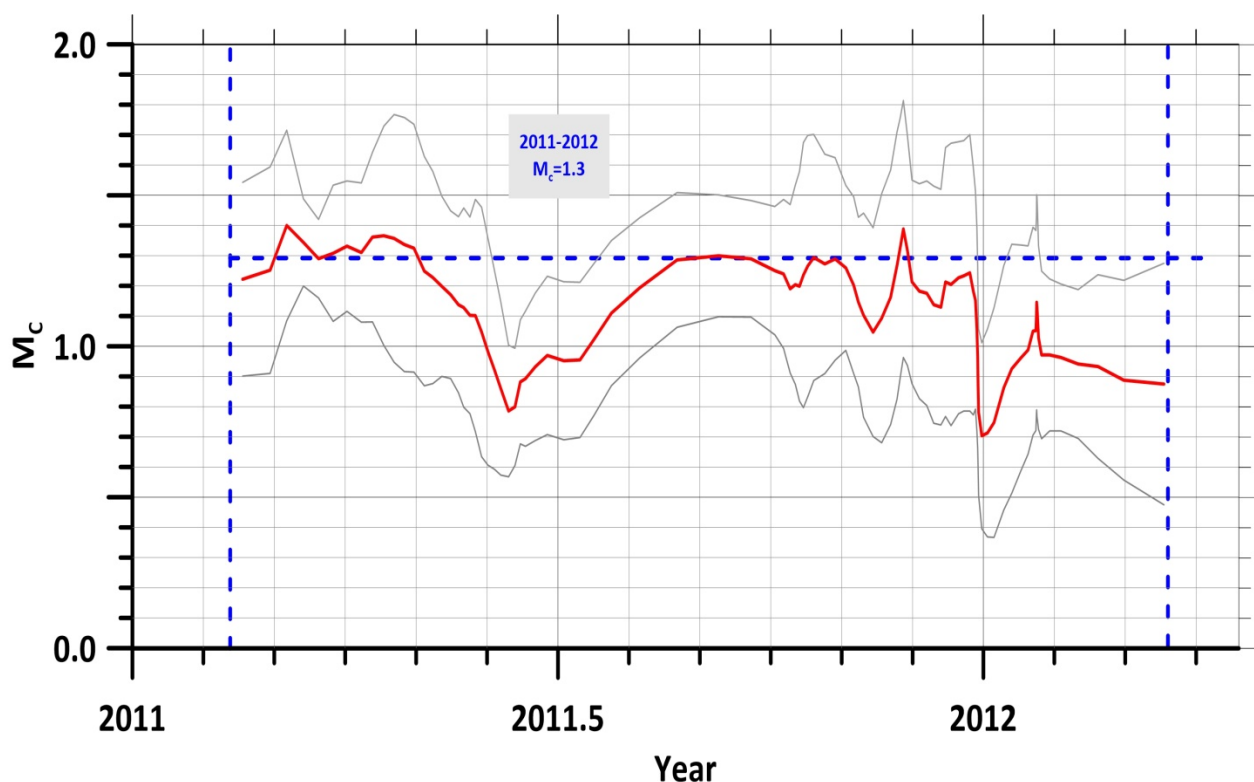
Για να γίνει βέβαιο ότι ισχύει στο σύνολο των δεδομένων (δύο ετών) , έγινε η προσπάθεια να καταγραφεί πως μεταβάλλεται η διακύμανση του μεγέθους πληρότητας (M_c) με τον χρόνο .

Έπειτα από την εφαρμογή δεδομένων , φαίνεται από το γράφημα ότι το Μέγεθος Πληρότητας είναι στο 1.3 , δηλαδή $M_c = 1.3$ (σχήμα 4.2.1.) .

4.2.2. Κατά μέγεθος κατανομή

Ονομασία διαδικασίας : 9095MAXC 50 earthquakes/ 4overlap/ 50 bootstramps .

Mc –with time



Σχήμα 4.2.2.1: Κατά μέγεθος κατανομή

Στη γραφική παράσταση του σχήματος (4.2.2.1.) φαίνεται ότι μελετώντας τη χρονική μεταβολή , μπορούν να διαπιστωθούν κάποιες μεταβολές χρονικές στο Μέγεθος Πληρότητας (M_c).

Η κόκκινη γραμμή δείχνει τη χρονική μεταβολή πληροτήτων . Η γραμμή αυτή δημιουργήθηκε επιλέγοντας ανά 50 σεισμούς με επικάλυψη 4 σεισμών από την λίστα των σεισμών της Σαντορίνης κατά το διάστημα 2011-2012 (9095MAXC 50 earthquakes/ 4 overlap) . Με την επιλογή αυτή φαίνεται ότι ανά 50 σεισμούς με επικάλυψη τεσσάρων το μέγεθος της πληρότητας (M_c) παραμένει διαχρονικά σταθερό με $M_c = 1.3$

Οι δύο γκρι γραμμές θεωρούνται διαστήματα εμπιστοσύνης από μια διαδικασία επαναδειγματοληψίας (bootstrapping) 50 δειγμάτων (50 bootstramps) .

Συμπερασματικά ,με την συνδυασμένη εφαρμογή των μεθόδων Gutenberg-Richter και του κατά μεγέθους κατανομή , mc –with time είναι φανερό ότι το Μέγεθος Πληρότητας ισούται με 1.3 , δηλαδή $M_c = 1.3$,άρα θα ληφθούν υπόψη μόνο οι σεισμοί με μέγεθος $M \geq 1.3$.

4.3.Επιμήκης Τομή –Εγκάρσια Τομή

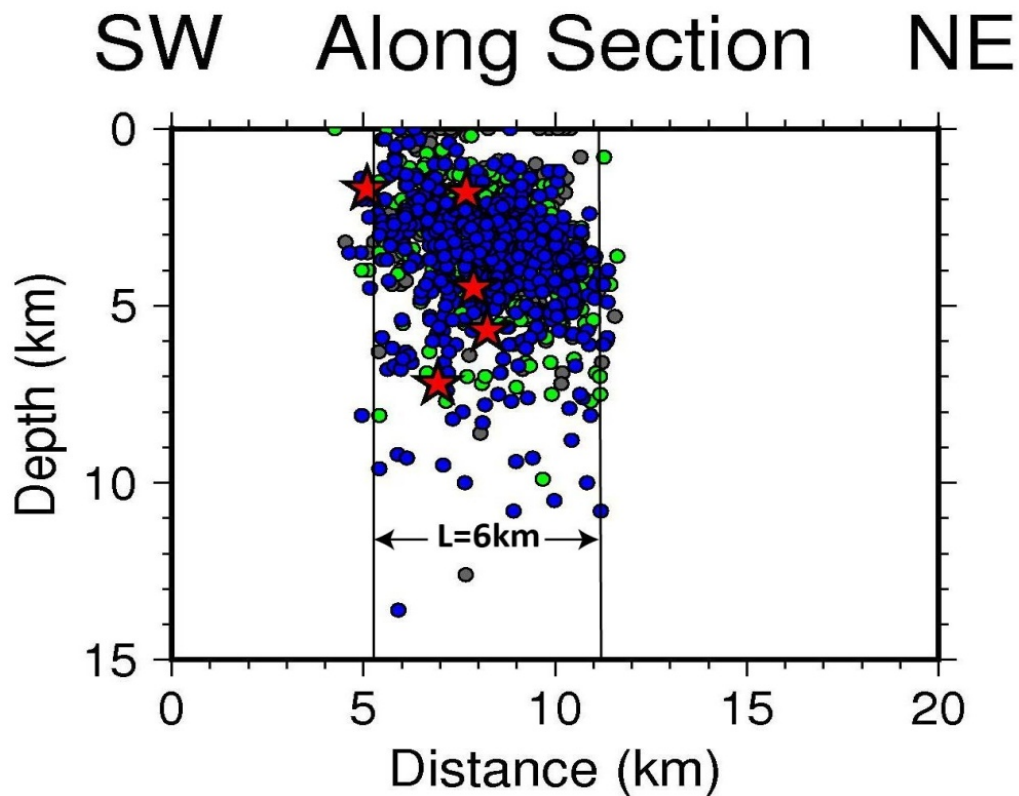
Για να είναι δυνατή η εικόνα της χωρικής κατανομής των εστιών στον χάρτη του σχήματος (4.1) με το βάθος στο διάστημα 2011-2012 θα παράχθηκαν δύο τομές προβολής εστιών :

1. Επιμήκης – Διαμήκης Τομή ,σ ένα κατακόρυφο επίπεδο , παράλληλα με τη διεύθυνση του ρήγματος (σχήμα 4.3.1.)
2. Εγκάρσια Τομή , σ ένα κατακόρυφο επίπεδο , κάθετη στη διεύθυνση του ρήγματος (σχήμα 4.3.2.) .

4.3.1.Επιμήκης – Διαμήκης τομή

Η Επιμήκης τομή του σχήματος (4.3.1.) πραγματοποιείται παράλληλα στη διεύθυνση του ρήγματος δηλαδή με διεύθυνση από ΒΔ (βορειοδυτικά) προς ΝΑ (νοτιοανατολικά) και κάθετα στην επιφάνεια της Γης (90^0) .Η γραφική παράσταση της επιμήκης τομής έχει ως ψ άξονα το βάθος (depth) και ως χ άξονα την απόσταση (distance) .

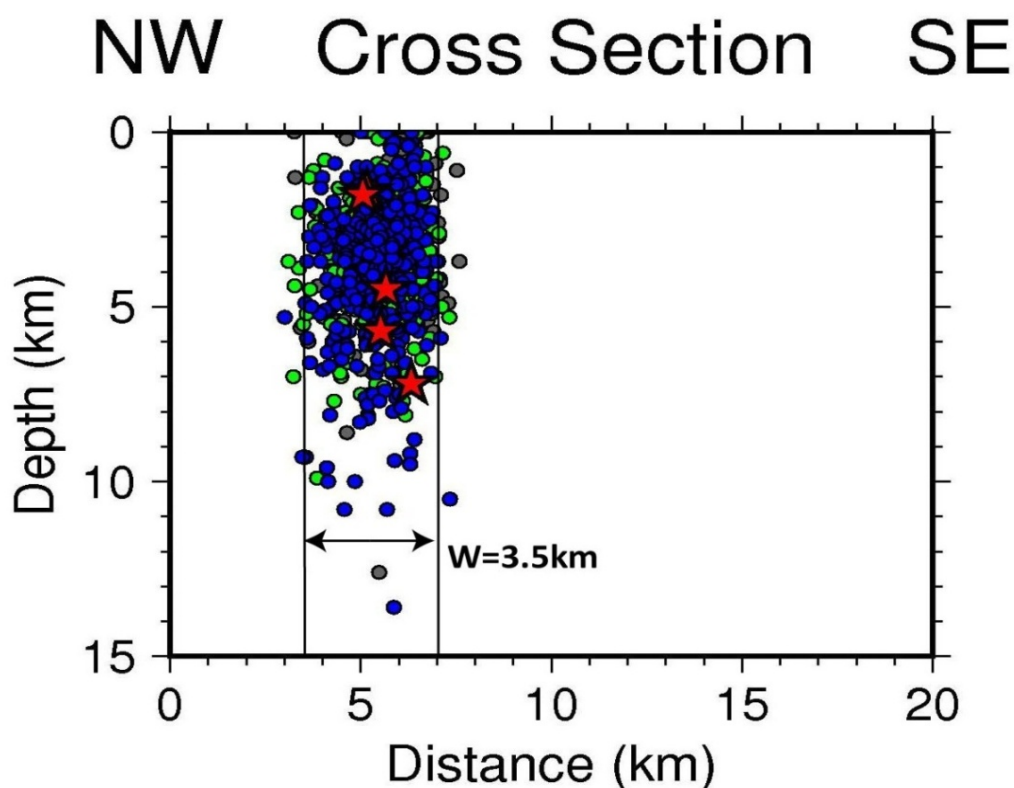
Οι εστίες κατανέμονται κατά μήκος του ρήγματος .



Σχήμα 4.3.1 : Επιμήκης – Διαμήκης τομή / Τα σύμβολα των επικέντρων είναι αντίστοιχα μ' αυτά που παρουσιάζονται στο χάρτη του Σχήματος (4.1).

Από την κλίμακα των αποστάσεων των επικέντρων στο σχήμα (4.3.1.) , φαίνεται ότι το μήκος του ρήγματος (L) είναι $L=6\text{ km}$.

4.3.2.Εγκάρσια Τομή



Σχήμα 4.3.2: Εγκάρσια τομή/Τα σύμβολα των επικέντρων είναι αντίστοιχα μ' αυτά που παρουσιάζονται στο χάρτη του Σχήματος (4.1).

Η Εγκάρσια τομή πραγματοποιείται κάθετα στη διεύθυνση του ρήγματος δηλαδή με διεύθυνση από ΝΔ (νοτιοδυτικά) προς ΒΑ (βορειοανατολικά).Η γραφική παράσταση της επιμήκης τομής έχει ως ψ άξονα το βάθος (depth) και ως χ άξονα την απόσταση (distance) .

Η τομή αυτή δίνει πληροφορίες για τη γωνία κλίσης του ρήγματος και για το «πάχος» του χώρου (ρηξιγενούς δομής) που έχει διεγερθεί.

Από το σχήμα προκύπτει ότι υπάρχει μία κατακόρυφη κατανομή των επικέντρων των σεισμών , γεγονός που αποτελεί ισχυρή ένδειξη σύνδεσης της σεισμικής δραστηριότητας με ηφαιστειακή δράση .

Ακόμη , από την εγκάρσια τομή, προκύπτει το «πάχος » της ρηξιγενούς δομής που διεγέρθηκε (W) , οριοθετείται πολύ καλά και σύμφωνα με την ακρίβεια υπολογισμού των εστιών , στο $W= 3.5\text{km}$.

Από τις δύο τομές , δηλαδή την διαμήκη τομή και την εγκάρσια τομή , συμπεραίνεται ότι το μήκος του ρήγματος είναι $L= 6\text{km}$ και το «πάχος » της ρηξιγενούς δομής που διεγέρθηκε είναι $W= 3.5\text{km}$.

4.4.Χρονική κατανομή

4.4.1.Εισαγωγή

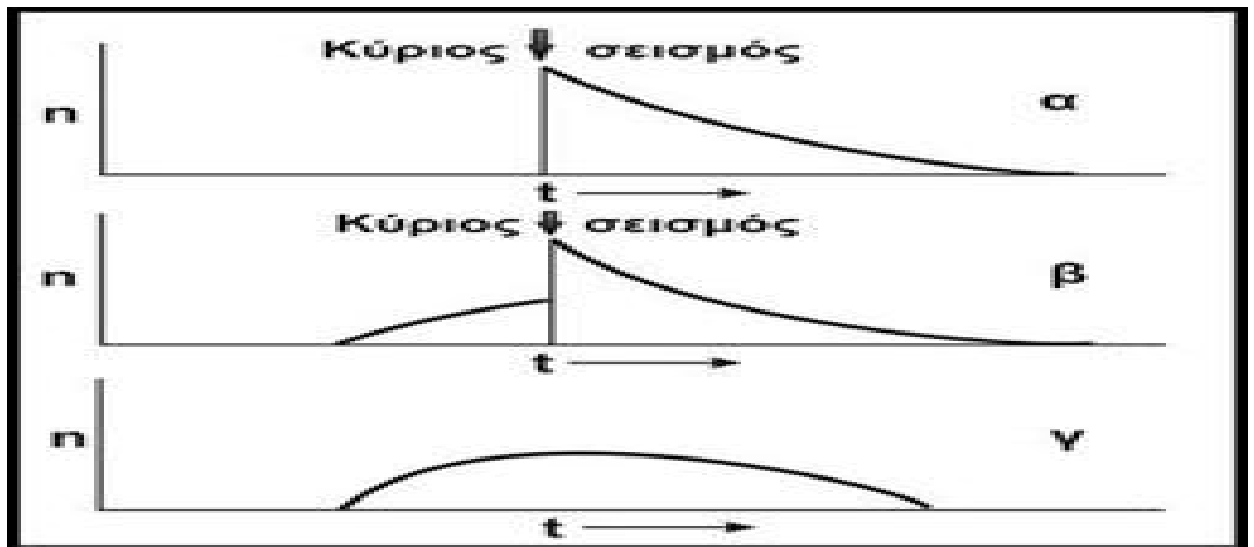
Το μέγεθος των σεισμών κατανέμεται χρονικά και μεταβάλλεται με τον χρόνο.

Όταν ένας σεισμός έχει μέγεθος μεγαλύτερο από κάθε άλλον σεισμό σε μία σεισμική ακολουθία ονομάζεται κύριος σεισμός.

Οι σεισμοί της σεισμικής ακολουθίας που προηγήθηκαν ονομάζονται προσεισμοί ενώ οι σεισμοί που θα ακολουθήσουν λέγονται μετασεισμοί.

Είδη σεισμικών ακολουθιών (σχήμα 4.4.1) :

- α) Ένας κύριος σεισμός και πολλοί μετασεισμοί , έπειτα επικρατεί ηρεμία .
- β) Ένα πλήθος προσεισμών, ο κύριος σεισμός και ένα πλήθος μετασεισμών πριν την επερχόμενη ηρεμία.
- γ) Κανένας κύριος σεισμός με ένα σύνολο σεισμών, αποτελεί μία Σμηνοσειρά σεισμών.



Σχήμα 4.4.1: Σεισμικές Ακολουθίες (Παπαζαχός Β.Κ. ,et al., 2005)

4.4.2.Χρονική κατανομή στην περίπτωση της Σαντορίνης

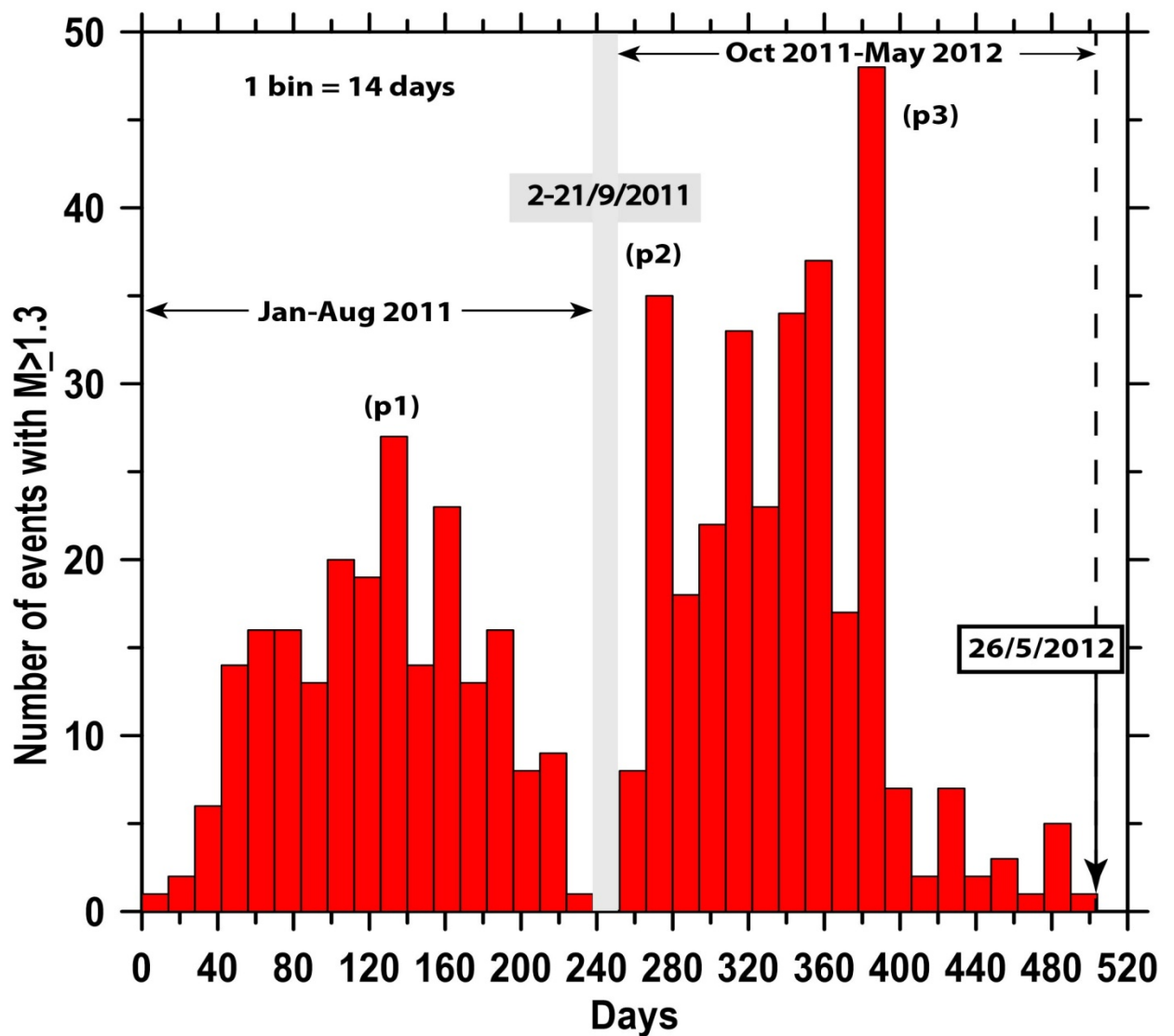
Στην περίπτωση του ηφαιστειακού συμπλέγματος της Σαντορίνης ισχύει η Τρίτη εικόνα του σχήματος (4.4.1), δηλαδή επικρατεί μία Σμηνοσειρά .

Σμηνοσειρές (Swarm)

Οι σμηνοσειρές δεν αποτελούνται από κάποιο κύριο σεισμό και δεν ακολουθούν μετασεισμοί αλλά όλοι έχουν το ίδιο μέγεθος. Οι σεισμοί που έχουν το ίδιο μέγεθος λέγονται σμηνοσεισμοί.

Η περίπτωση της σμηνοσειράς της παρούσας εργασίας (σχ.4.4.2) έχει μικρό μέγεθος και οφείλεται σε σεισμο-ηφαιστειακά γεγονότα.

Η σμηνοσειρά , όπως αναφέρθηκε παραπάνω , φανερώνει ηφαιστειότητα και πιο συγκεκριμένα γεωθερμικά πεδία



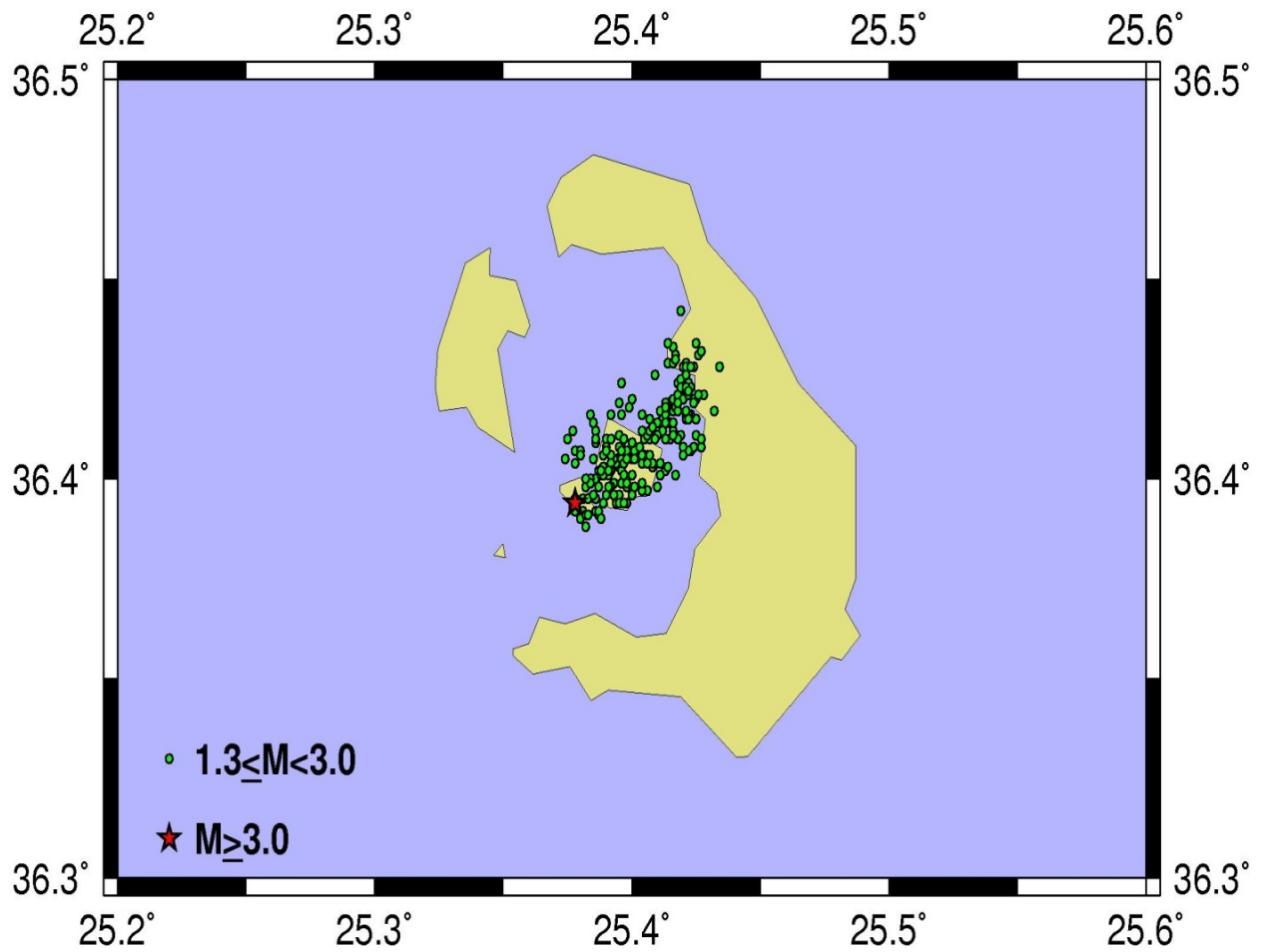
Σχήμα 4.4.2: Χρονική Κατανομή – Σμηνοσειρά

Το διάγραμμα έχει ως ψ άξονα των αριθμό των σεισμών και ως χ άξονα τον αριθμό των ημερών . Κάθε κόκκινο κουτάκι στο διάγραμμα αποτελεί ένα πλήθος δεκατεσσάρων (14) ημερών .

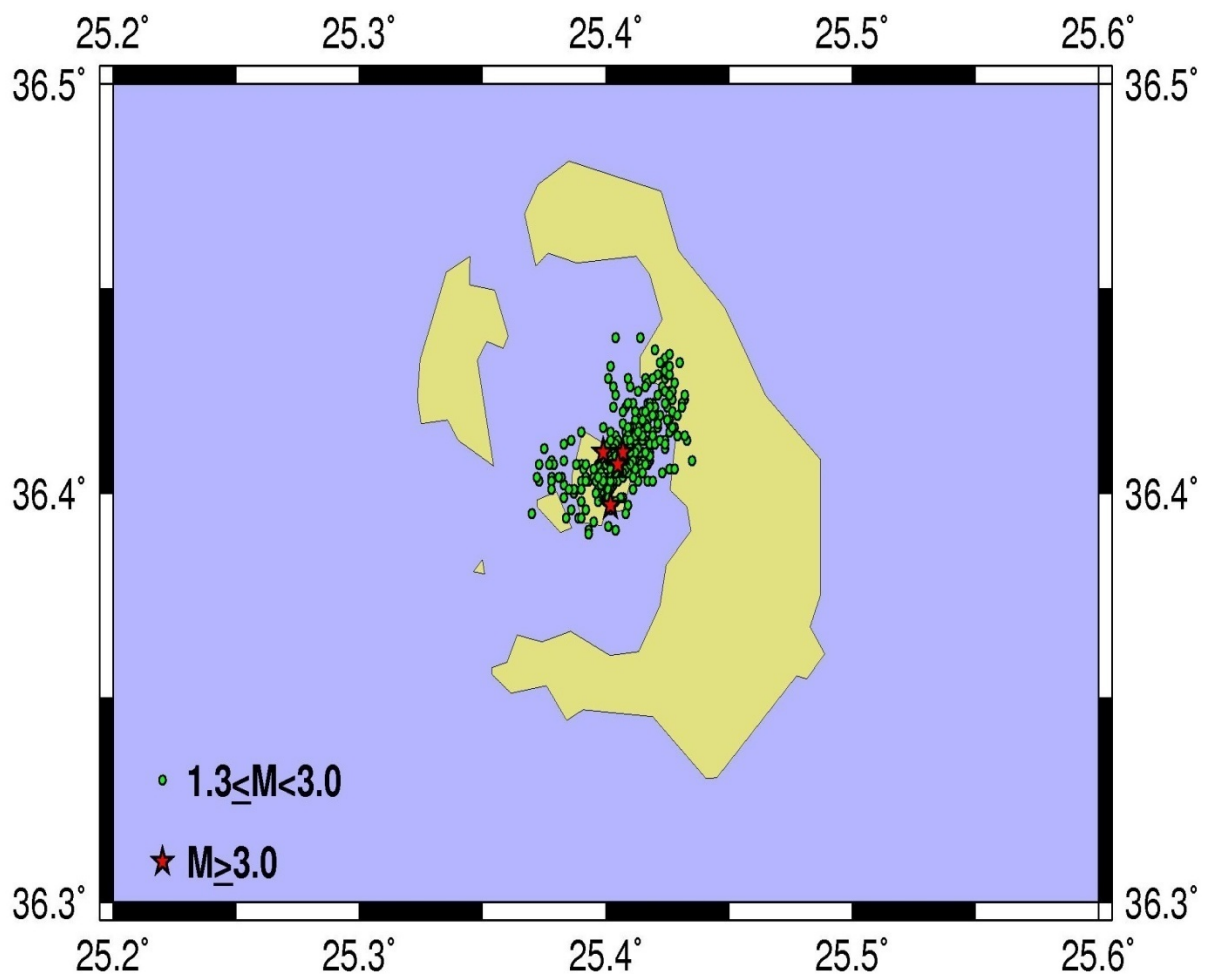
Στο σχήμα φαίνεται ότι υπάρχουν δύο χρονικοί περίοδοι. Η πρώτη περίοδος είναι από τον Ιανουάριο 2011 έως τον Αύγουστο 2011 και η δεύτερη περίοδος από τον Οκτώβριο 2011 έως τον Μάιο 2012 . Μεταξύ του διαστήματος 2/9/2011 έως 21/9/2011 επικρατεί ηρεμία.

Στη συνέχεια, συγκρίνονται οι δύο χρονικοί περίοδοι δραστηριότητας με την παρουσίαση των δύο παρακάτω χαρτών .

4.5.διαχωρισμός των χρονικών περιόδων



Σχήμα 4.4.3.1:Χάρτης της χρονικής κατανομής 1^{ης} περιόδου



Σχήμα 4.4.3.2:Χάρτης της χρονικής κατανομής 2^{ης} περιόδου

Από την μελέτη της χρονικής κατανομής των δύο χρονικών περιόδων προκύπτει ότι η σεισμική ακολουθία προσεγγίζει με σμηνοσειρά παρά με μία καθαρή μετασεισμική ακολουθία. Πρέπει να επισημανθεί η έλλειψη ενός σεισμού με μεγάλο μέγεθος που θα έπαιζε τον ρόλο του κύριου σεισμού της σεισμικής ακολουθίας. Τέλος είναι φανερό ότι η σεισμική αυτή διέγερση δεν ενεργοποίησε το συγκεκριμένο ρήγμα στο σύνολο των 6 km γιατί τότε στην περίπτωση αυτή θα έπρεπε να καταγραφεί ένας σεισμός της τάξης του μεγέθους $M=5.0-5.2$ και ο οποίος θα είχε σημαντικές επιπτώσεις στο οικοδομικό συγκρότημα του νησιού και κυρίως στα Φηρά.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο

Αποτελέσματα άλλων δικτύων ηφαιστείου Σαντορίνης (2011-2012)

5.1. Ηφαιστειακά αέρια

5.1.1. Σύσταση των αερίων

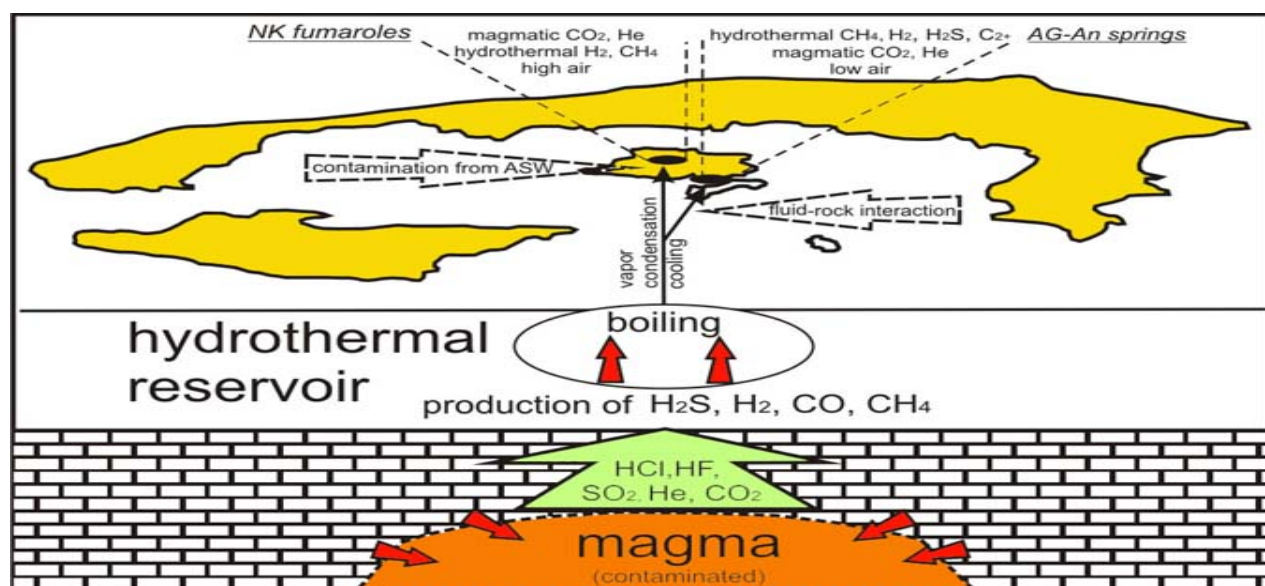
Τα περισσότερα ηφαιστειακά αέρια (σχ. 5.1.1), εκτός του οξυγόνου, προέρχονται από το εσωτερικό της γης και είναι ηφαιστειακής προέλευσης. Τα αέρια αυτά συνήθως είναι τα παρακάτω:

Υδατμοί :70%-90%

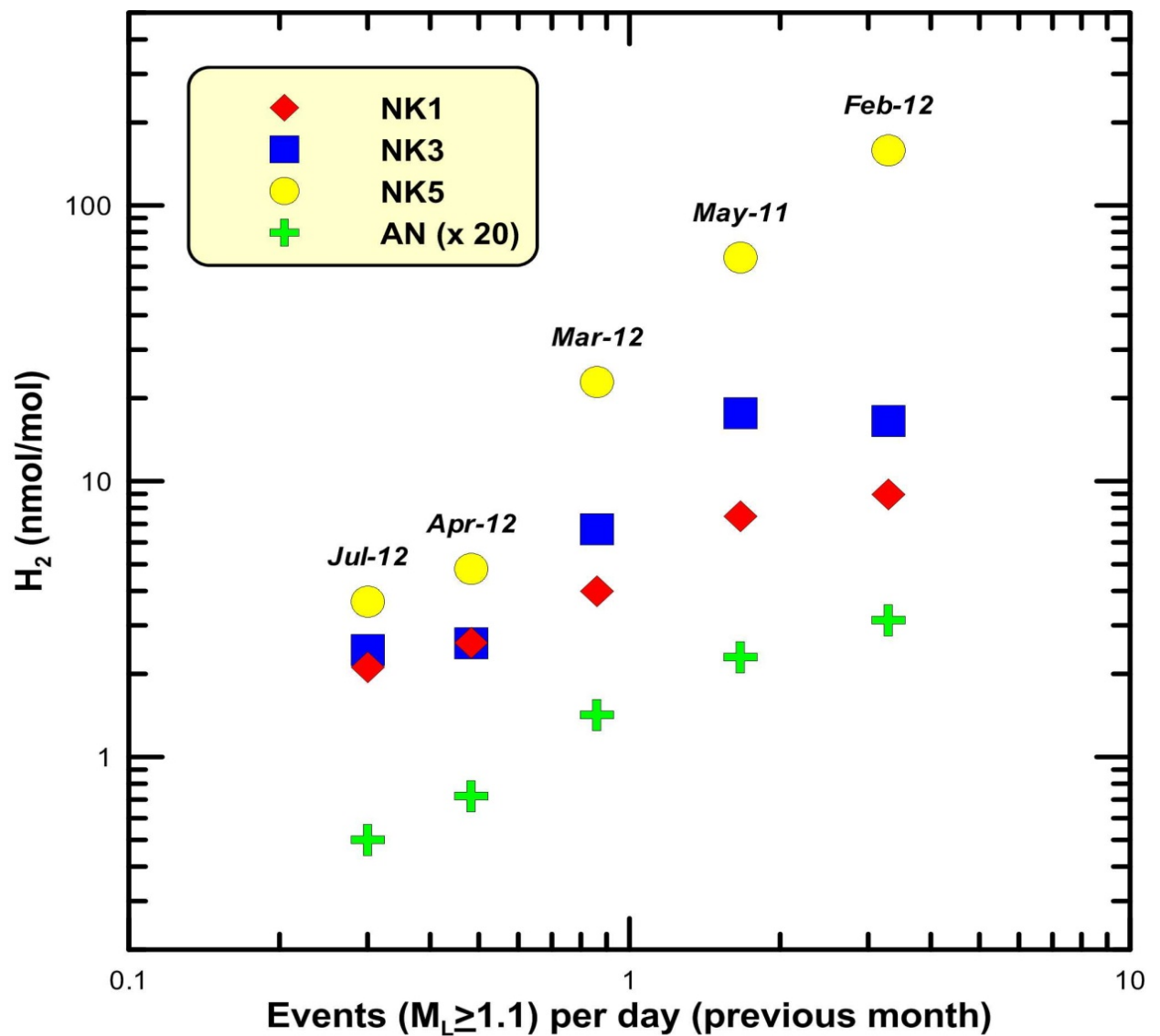
SO₂ ,CO₂:10%-30%, H₂,

Στην Σαντορίνη παρατηρήθηκαν μεγάλες περιεκτικότητες H₂ που καταδεικνύουν ότι το μάγμα προέρχεται από τον ανώτερο μανδύα στη συγκεκριμένη σεισμο-ηφαιστειακή διέγερση.

Στα σχήματα (5.1.1, 5.1.2, 5.1.3) παρουσιάζονται οι Φυσικό-χημικές παρακολουθήσεις της εξέλιξης της σεισμο-ηφαιστειακής δραστηριότητας στο χρονικό διάστημα 2011-2012 του ηφαιστείου της Σαντορίνης όπως αποκαλύπτεται από τα σεισμολογικά δεδομένα και τη συσχέτισή τους με άλλες γεωφυσικές-γεωχημικές παραμέτρους (Panagiotopoulos, D.G., et al., 2015) .

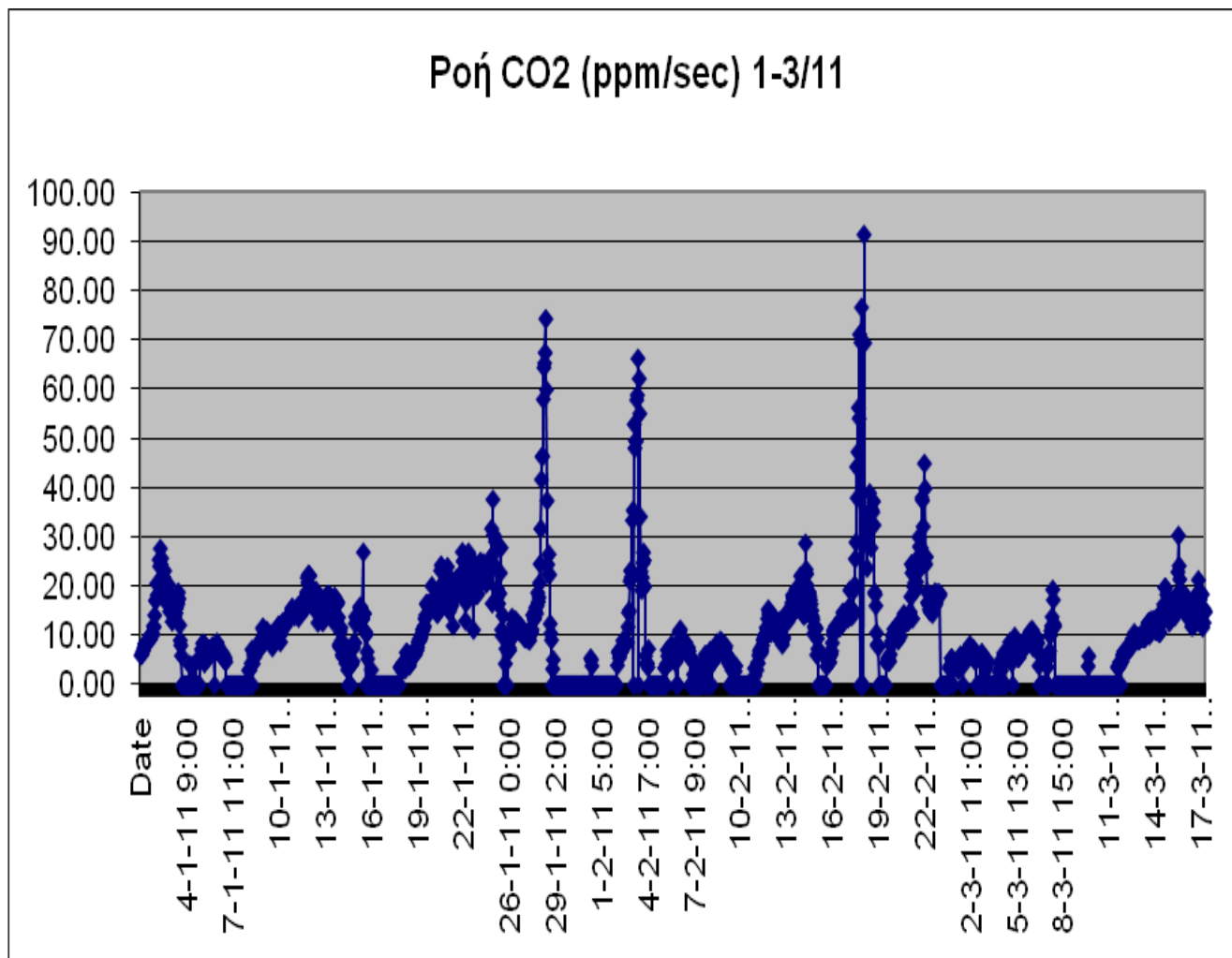


Σχήμα 5.1.1. Λειτουργία υδροθερμικού ταμιευτήρα (Papazachos, C., et al , 2012b)



Σχήμα 5.1.2. Η ποσότητα του εκλυόμενου H_2 στη Σαντορίνη (2011-2012) (Papazachos, C., et al, 2012b)

Στο σχήμα (5.1.2.) γίνεται φανερό ότι υπάρχει μία γραμμική συσχέτιση ανάμεσα στην ποσότητα του εκλυόμενου H_2 στη Σαντορίνη κατά τη διάρκεια της σεισμό-ηφαιστειακής δραστηριότητας κατά το χρονικό διάστημα 2011-2012 και του αριθμού των σεισμών ανά μέρα.



Σχήμα 5.1.3. Η παραγόμενη ποσότητα του CO₂ (2011-2012), (Papazachos, C., et al , 2012b)

Στην γραφική παράσταση του σχήματος (5.1.3) καταγράφεται η εκλυόμενη ποσότητα του CO₂ κατά τη διάρκεια της σεισμο-ηφαιστειακής δραστηριότητας στο χρονικό διάστημα 2011-2012 στη Σαντορίνη.

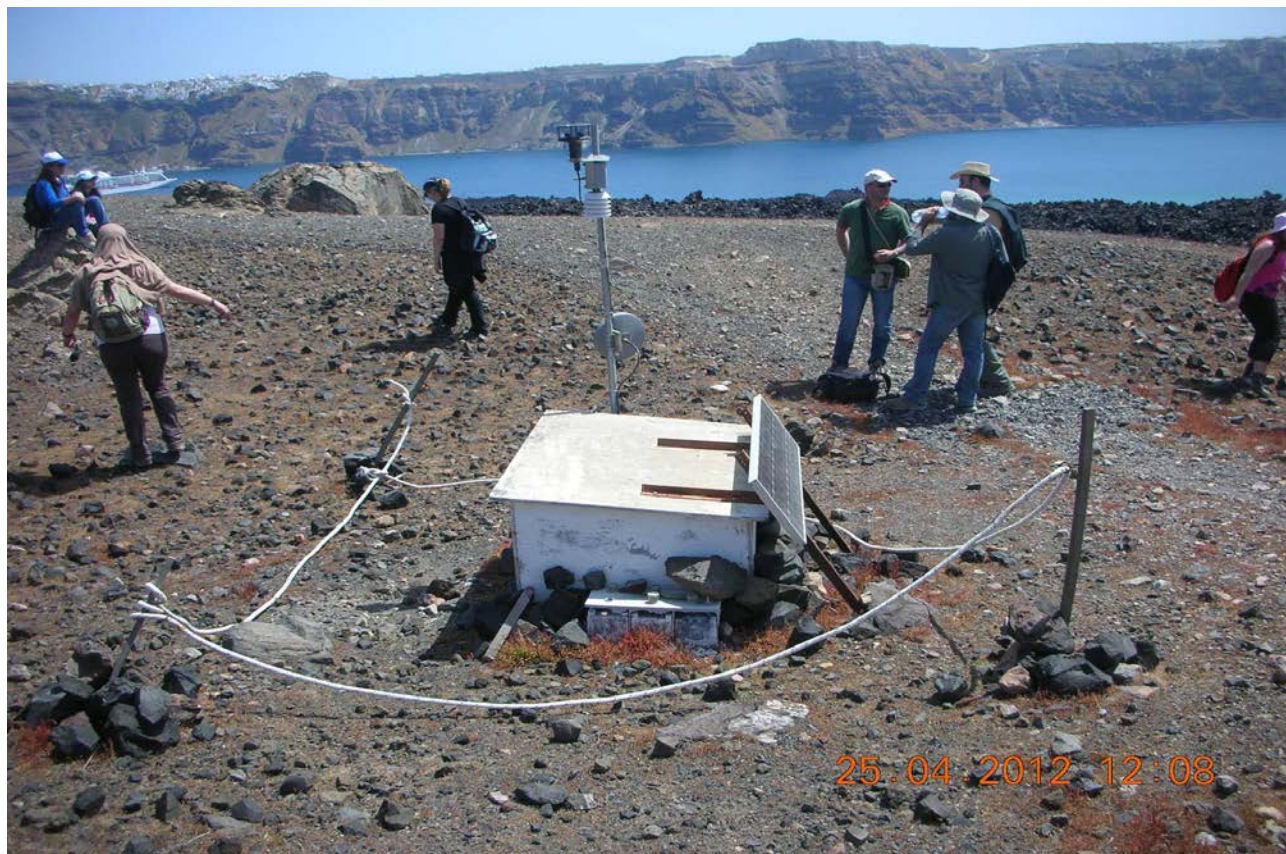
Από τα δεδομένα του σχήματος (5.1.3) γίνεται σαφές ότι η έκλυση του CO₂ στο επίμαχο διάστημα κρατήθηκε σε χαμηλά επίπεδα.

5.1.2 ,Μέθοδοι Παρακολούθησης των αερίων

Υπάρχουν τρεις μέθοδοι παρακολούθησης αερίων , οι φασματογραφικές μετρήσεις για το SO₂ που πραγματοποιούνται σε απόσταση μ έναν φασματογράφο συσχέτισης από το έδαφος ή από ένα αυτοκίνητο , είτε από ένα ελικόπτερο . Οι πιο διάσημοι είναι οι φασματογράφοι υπερύθρου.

Μια άλλη μέθοδος είναι οι άμεσες μετρήσεις μέσω ατμίδων σε φιάλες. Οι μετρήσεις αυτές είναι μεγάλου ρίσκου λόγω μόλυνσης του ατμοσφαιρικού

αέρα .Τα αέρια επίσης μετριοούνται με το Όζον που καταγράφει την κατανομή και την ποσότητα SO₂ που υπάρχει στη στρατόσφαιρα λόγω ηφαιστειακής δραστηριότητας.



5.1.2.1. Όργανο Αυτόματης Μέτρησης
<http://www.geo.auth.gr/courses/gmo/gmo765e/>

CO₂ (Τρ. Σολδάτος –

5.1.3.Επικινδυνότητα των ηφαιστειακών αερίων

Τα ηφαιστειακά αέρια σε ορισμένες περιπτώσεις είναι πολύ επικίνδυνα για τον ίδιο τον άνθρωπο διότι μερικά απ' αυτά περιέχουν θειούχα και ανθρακικά αέρια που δεν τα αντιλαμβάνεται οπτικά ο ανθρώπινος πληθυσμός αλλά μόνο από την δυσάρεστη οσμή τους.

Όταν τα ηφαιστειακά αέρια αποτελούνται από CO₂ ή CO τότε αυτά δεν μπορούν γίνουν αντιληπτά από τον ίδιο τον άνθρωπο αλλά ούτε και από την χαρακτηριστική οσμή τους . Γι αυτό το λόγο , τα αέρια αυτά έχουν μεγάλη επικινδυνότητα για τον άνθρωπο , όπως και για τα ζώα. Το CO ή CO₂ απλώνεται στην επιφάνεια του εδάφους και κατηφορίζει τις πλαγιές

δηλητηριάζοντας τα ζώα και τους ανθρώπους . Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί οι απώλειες πολλών ζώων το 1986 σ' ένα χωριό του Καμερούν.

5.2.Τα ηφαίστεια και το κλίμα

5.2.1.Όζον

Γενικότερα , το όζον (O_3) απορροφά την υπεριώδη ακτινοβολία που είναι βλαβερή για τον άνθρωπο. Οι ηφαιστειακές εκρήξεις συντελούν στην μείωση του οπότε και στην μείωση της προστασίας του ανθρώπου από την ηλιακή ακτινοβολία.

5.2.2.Το φαινόμενο του θερμοκηπίου.

Γενικότερα , το όζον απορροφά την υπεριώδη ακτινοβολία που είναι βλαβερή για τον άνθρωπο. Οι ηφαιστειακές εκρήξεις με τα παράγωγά τους συντελούν στην μείωση του όζοντος οπότε και στην μείωση της προστασίας του ανθρώπου από την ηλιακή ακτινοβολία.

5.2.2.1..Επιπτώσεις των ηφαιστειακών εκρήξεων στο φαινόμενο του θερμοκηπίου

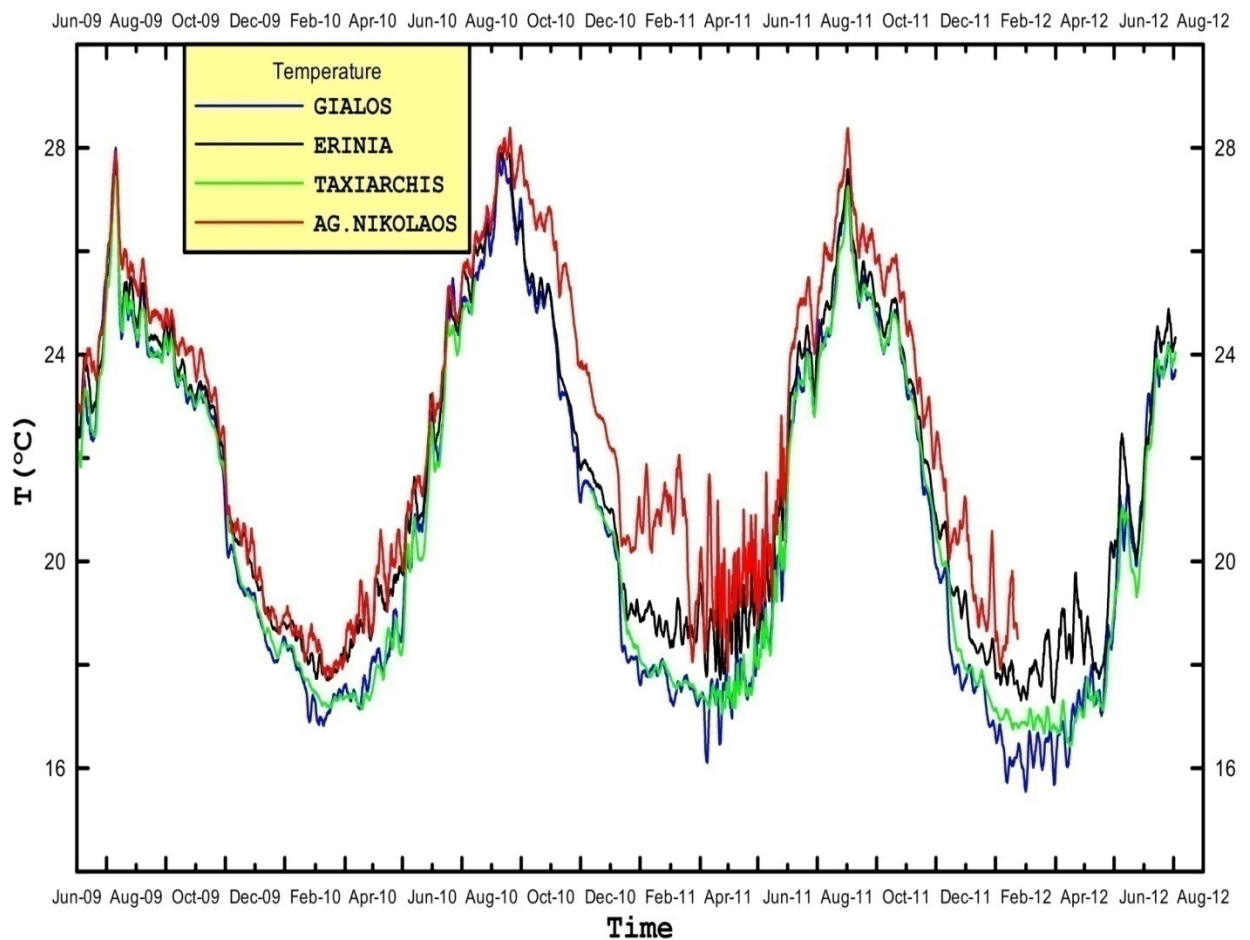
Τα αέρια του θερμοκηπίου , όπως το CH_4 CO_2 , επιδρούν στο μηχανισμό της ατμόσφαιρας της Γης με αποτέλεσμα τη σταδιακή αύξηση της θερμοκρασίας της Γης. Με τις ηφαιστειακές εκρήξεις ενισχύεται το φαινόμενο του θερμοκηπίου και μειώνεται η συνεχής αύξηση της θερμοκρασίας.

Οι ηφαιστειακές εκρήξεις μπορούν να ενισχύσουν το φαινόμενο του θερμοκηπίου προσθέτοντας διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) και CH_4 στην ατμόσφαιρα. Η ποσότητα, όμως, του CO_2 από την ηφαιστειακή δραστηριότητα είναι κατά πολύ μικρότερη (~150 φορές) από αυτήν που προσθέτουν κάθε χρόνο οι ανθρώπινες δραστηριότητες.

Σεισμική Δραστηριότητα της Σαντορίνης το 2011-2012

και γεωφυσικές ανωμαλίες

Στα παρακάτω σχήματα παρουσιάζονται οι Φυσικό-χημικές παρακολουθήσεις (Panagiotopoulos, D.G., et al., 2015) που καταγράφηκαν από τα δίκτυα παρακολούθησης του ΙΜΠΗΣ στη Σαντορίνη.



Σχήμα 5.2.1. Η μεταβολή της θερμοκρασίας του θαλασσινού νερού σε σχέση με τον χρόνο (Papazachos, C., et al, 2012b)

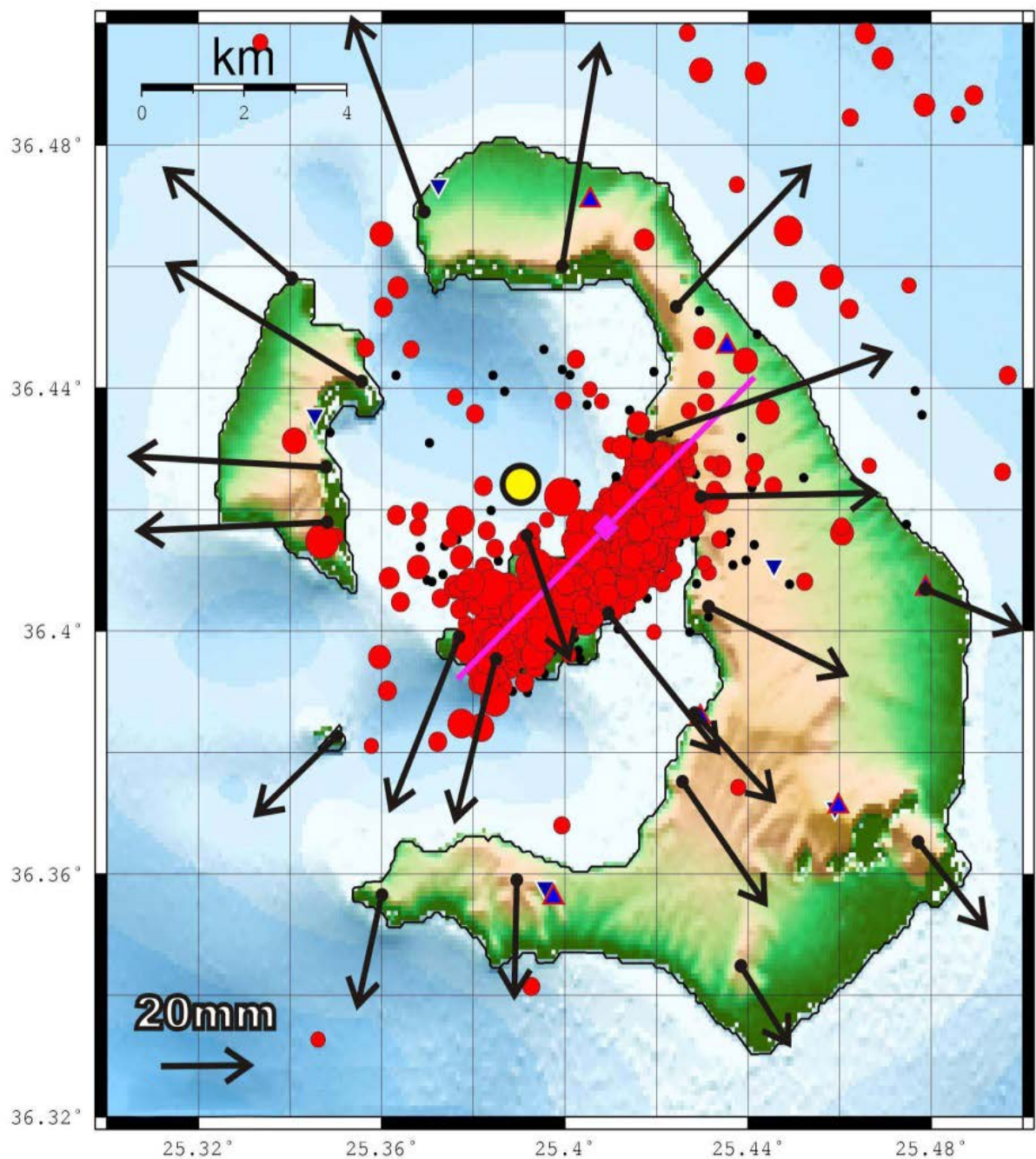
Στο σχήμα (5.2.1) φαίνεται η μεταβολή της θερμοκρασίας του ύδατος της θάλασσας σε πολύ μικρό βάθος από το δίκτυο παρακολούθησης θερμοκρασίας. Ακόμη, παρατηρείται η εποχιακή μεταβολή, δηλαδή οι μέγιστες τιμές αντιστοιχούν στην εποχή του καλοκαιριού και οι ελάχιστες τιμές αντιστοιχούν στον χειμώνα ενώ αρχές του 2011 αρχίζουν οι έντονες μεταβολές στην παρατηρούμενη θερμοκρασία στους σταθμούς του Γιαλού, Κρινιάς, Ταξιάρχη και Αγίου Νικολάου.

Ο συνδυασμός των δεδομένων της θερμοκρασίας του σχήματος (5.2.1) με τα δεδομένα του σχήματος (4.3.2) όσον αφορά τα πολύ επιφανειακά βάθη των εστιών στην περιοχή των καμένων εξηγεί την εμφάνιση των ανωμαλιών των θερμών γεωθερμικών ρευστών στην περιοχή της Καμένης, στους σταθμούς του Αγ. Νικολάου, Ταξιάρχη και Ερινιάς. Οι πολύ επιφανειακές εστίες δηλώνουν θραύση των ανώτερων στρωμάτων του φλοιού και διάδοση θερμών ρευστών στον θαλάσσιο πυθμένα των καμένων.

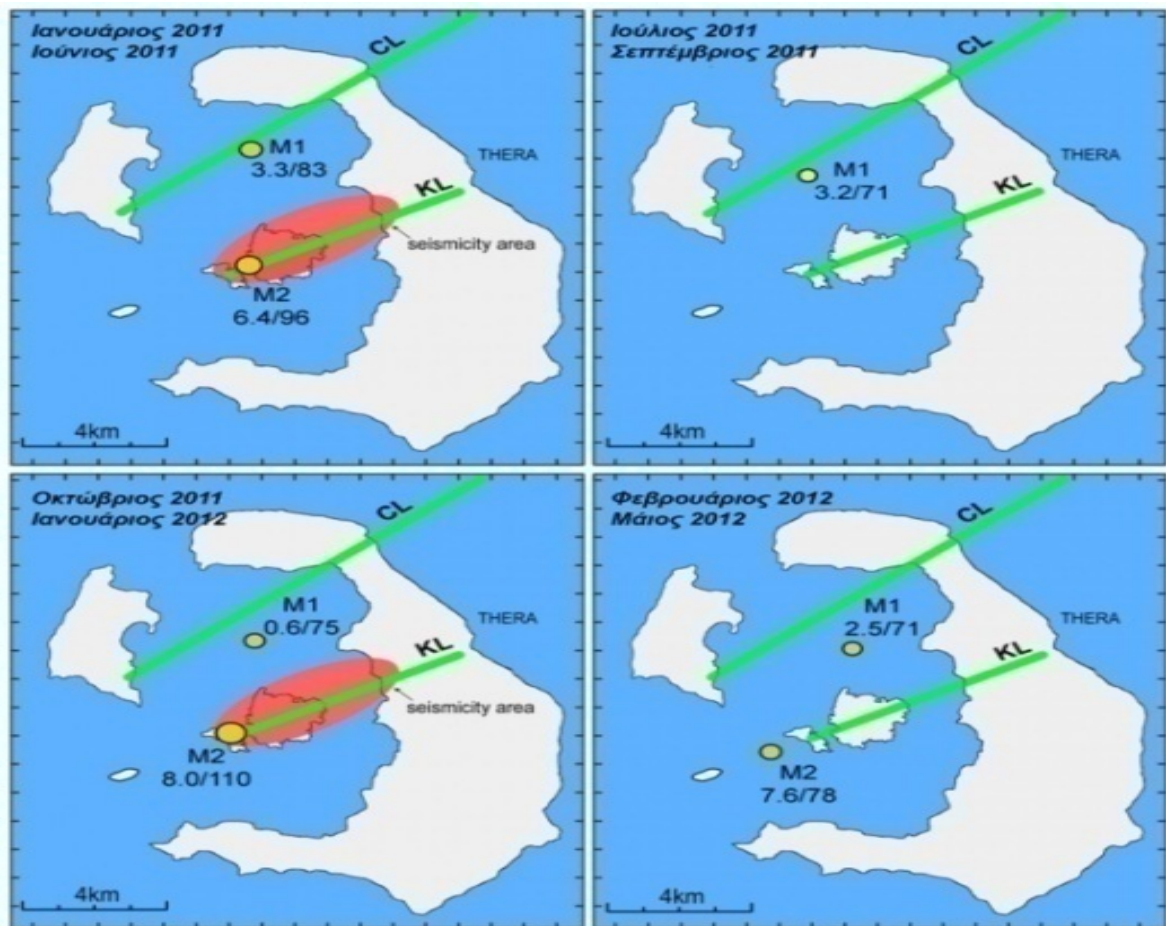
5.3. Εδαφική Παραμόρφωση με τη χρήση των GPS

Το Παγκόσμιο σύστημα Στιγματοθέτησης ή Θεσιθεσίας εξυπηρετεί τον άνθρωπο στο να εντοπίζει την γεωγραφική θέση του και χρησιμοποιεί 24 δορυφόρους της Γης . Το Παγκόσμιο σύστημα αυτό δίνει πληροφορίες για ένα σημείο , δηλαδή αναφέρει την θέση του , το υψόμετρό του , την ταχύτητα του την κατεύθυνση κίνησής του.

Η επιστημονική εκμετάλλευση του συστήματος του GPS, με τον υψηλότερης ακριβείας υπολογισμό της θέσης και της σχετικής κίνησης ενός σημείου της επιφάνειας της Γης, δίνει δεδομένα υψηλής ακρίβειας στο χώρο της γεωφυσικής και γεωδαισίας. Με τη χρήση των δεδομένων αυτών υπολογίζεται η ταχύτητα κίνησης των λιθοσφαιρικών πλακών. Άλλο πεδίο έρευνας του GPS αποτελεί η μέτρηση της εδαφικής παραμόρφωσης ενός χώρου στο πέρασμα των μηνών ή ετών όπως π.χ. Ενός ηφαιστειακού δόμου.



Σχήμα 5.3.1. Η εδαφική παραμόρφωση (μετρήσεις GPS) , η σεισμική διέγερση κατά το διάστημα 2011-2012 και η πηγή Mogi στην οποία αποδόθηκε αρχικά το όλο φαινόμενο (Parazachos, C., et al , 2012b)



Σχήμα 5.3.2.. Οι δύο πηγές Mogi σύμφωνα με τις μετρήσεις των σταθμών του GPS κατά τη σεισμική διέγερση στο διάστημα 2011-2012 (Saltogianni, et al ,2014)

Στο χώρο της Σαντορίνης βρέθηκε με την χρήση της γεωδαισίας και του δικτύου GPS, μεταξύ 1994 και 2000 ότι υπάρχει ένα ηφαιστειακό φαινόμενο που δημιούργησε εφελκυστικές τάσεις με διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ. Συγκεκριμένα , παρατηρήθηκε ασεισμική (πολύ αργή 2-3 cm/ms) κίνηση απομάκρυνσης της Θηρασίας από την Θήρα που αποδόθηκε σε εμφάνιση μάγματος μεταξύ της Θηρασίας και της Νέας Καμένης. (Stiros et al. 2010).

Τα δεδομένα του δικτύου του GPS κατά τη σεισμο-ηφαιστειακή κρίση του 2011-2012 έδειξαν μια έντονη εδαφική παραμόρφωση (σχ. 5.3.1) σε σχήμα θόλου προς κάθε κατεύθυνση, δηλαδή αναθόλωση του κελύφους του μαγματικού θόλου λόγω αύξησης της πίεσης του ανερχόμενου μάγματος από τον μανδύα.

Το φαινόμενο αποδόθηκε αρχικά σε μια σφαιρική πηγή Mogi που γειτνιάζει στο ρήγμα που ενεργοποιήθηκε (Newman, et al. ,2012) και αλλοίωσε το πεδίο των τάσεων στο χώρο του ρήγματος.

Νεότερα δεδομένα του δικτύου του GPS και πιο λεπτομερείς αναλύσεις αυτών έδειξαν ότι πιθανώς οι πηγές Mogi ήταν δύο όπως φαίνεται στο σχήμα (5.3.2) και επηρέασαν τη σεισμοτεκτονική γραμμή των Καμένης-Φηρών σε 4 διαφορετικές χρονικές περιόδους ελέγχοντας τη σεισμο-ηφαιστειακή διέγερση του 2011-2012. (Saltogianni, et al, 2014)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο

Εκτίμηση του Ηφαιστειακού κινδύνου της Σαντορίνης

6.1. Ηφαιστειακός κίνδυνος της Σαντορίνης

Ο ηφαιστειακός κίνδυνος προκύπτει από μία ηφαιστειακή έκρηξη και αφορά τον οικονομικό , περιβαλλοντικό και ανθρώπινο τομέα . Ο κίνδυνος αυτός εξαρτάται από το είδος της ηφαιστειακής διέγερσης και από την τοποθεσία του ατόμου σε σχέση με τη θέση ηφαιστείου.

Ο ηφαιστειακός κίνδυνος , σύμφωνα με τον κ.Βουγιουκαλάκη , ξεκίνησε το 1996 όπου πραγματοποιήθηκε μία φρεατική έκρηξη με πολλά τοξικά αέρια , τσουνάμι και ροές λάβας (Vougioukalakis and Fytikas , 2005)

Γενικά , υπάρχουν τέσσερα σενάρια για την εκτίμηση του ηφαιστειακού κινδύνου. Το πρώτο σενάριο είναι το πιο καταστροφικό και αφορά μία πλινιακή έκρηξη τύπου Μινωικής έκρηξης .Η πλινιακές εκρήξεις γίνονται κάθε 30000 χρόνια και η τελευταία έκρηξη έγινε πριν από 3600 χρόνια οπότε ένα τέτοιο σενάριο έχει πολύ μικρή πιθανότητα και είναι αδύνατο να συμβεί. Το δεύτερο σενάριο είναι το χειρότερο σενάριο που θα έχει μία υπο-πληνιιακή έκρηξη αποτελούμενη από ένα στρώμα τέφρας και πυροκλαστικών ροών . Γενικότερα , το δεύτερο σενάριο δεν έχει συμβεί ακόμη ωστόσο θα πρέπει να ληφθεί σοβαρά υπόψη από τους μελετητές. Ένα άλλο σενάριο που θεωρείται το πιο πιθανό είναι να πραγματοποιηθεί μία ενδοηφαιστειακή έκρηξη στον χώρο της καλδέρας στα κέντρα της Καμένης .Μία τέτοια έκρηξη μπορεί να διαρκεί μικρό χρονικό διάστημα. Τέλος, ένα τελευταίο σενάριο αποτελεί η πιθανότητα ενός μη εκρηκτικού γεγονότος όπως συνέβη και μετά τον Μάιου του 2012.(Vougioukalakis , et. al. , 2016)

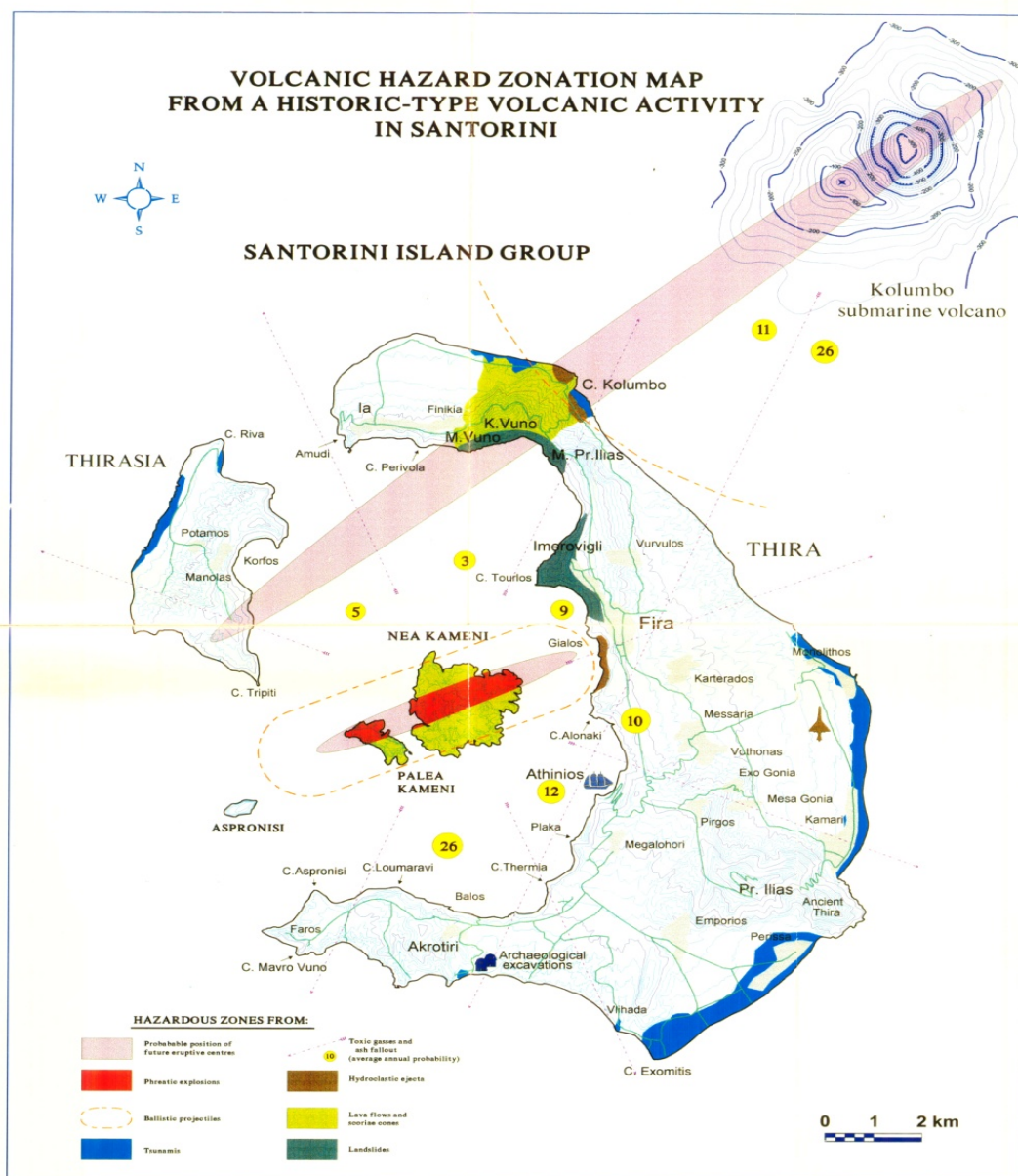
Το τρίτο και πιο πιθανό σενάριο ,που αναφέρθηκε παραπάνω, μπορεί να εμφανιστεί πάνω στην τεκτονική γραμμή της Νέας Καμένης ή της τεκτονικής γραμμής του Κολούμπο .Η έκρηξη αυτή θα είναι λιγότερο βίαιη από μία έκρηξη τύπου Μινωική.

Όπως φαίνεται στο σχήμα (6.1.1) ο ηφαιστειακός κίνδυνος στη Σαντορίνη είναι σήμερα υψηλός εντοπίζεται από δύο θέσεις. Η κυρία πρώτη θέση είναι στη θέση της Καμένης και η δεύτερη στο υποθαλάσσιο ηφαίστειο του Κολούμπο.

Ο ηφαιστειακός κίνδυνος στο ενεργό ηφαιστειακό τόξο του Νότιου Αιγαίου μπορεί να εμφανιστεί στο νησί της Σαντορίνης με έντονο τρόπο όπως και στο χώρο της Νισύρου που θεωρείται ίδιας και υψηλότερης δυναμικότητας.

Σύμφωνα με τον Papazachos, B.(1989) ο οποίος εφάρμοσε μεθόδους στατιστικού χαρακτήρα , μία έκρηξη μεγαλύτερη ή παρόμοια του 1925 έχει πιθανότητα 10 % να συμβεί για τα επόμενα δέκα χρόνια , έχει πιθανότητα 60 % για τα επόμενα πενήντα χρόνια και έχει πιθανότητα 95 % για τα επόμενα εκατόν δέκα χρόνια .

Στο σχήμα (6.1.1) παρουσιάζονται τα πιθανότερα σενάρια επιπτώσεων μιας ηφαιστειακής διέγερσης στο σύμπλεγμα της Σαντορίνης είτε από τη θέση των νησιών των Καμένων είτε από τη θέση του Κολούμπο.



Σχήμα 6.1.1.Ο ηφαιστειακός κίνδυνος της Σαντορίνης(Papazachos, C. et al ,2012a)

6.2.Το ηφαίστειο σήμερα

Η κατάσταση του συμπλέγματος της Σαντορίνης και στα δύο ηφαιστειακά κέντρα της σήμερα είναι ήρεμη. Η κατάσταση αυτή παρουσιάζει μικρές αλλαγές δεδομένων στις θερμές πηγές των ακτών του νησιού και στα θερμά αέρια που απελευθερώνονται από τους κεντρικούς κρατήρες. Τα θερμά αυτά αέρια αποτελούνται κατά κύριο λόγο από διοξείδιο του άνθρακα , υδρατμούς και υδρόθειο ,μεθάνιο ακόμα υπάρχουν και αποθέσεις θείου , γύψου και άλλα ορυκτά υδροθερμικής προέλευσης.

Η εκτίμηση του ηφαιστειακού κινδύνου εξαρτάται από την ιστορικότητα του ηφαιστείου , από τις προηγούμενες εκρήξεις που έλαβαν χώρα στο νησί και από την συνολική γνώση για το ηφαίστειο .

Ένα μεγάλο ηφαιστειακό επεισόδιο υπάρχει πιθανότητα να γίνει στο μακρινό μέλλον στην περιοχή των Καμένων με τη μορφή Μινωικού τύπου . Αν γίνει ένα τέτοιο επεισόδιο θα καταστραφεί το νησί αλλά και ο ευρύτερος χώρος του Αιγαίου και της Ανατολικής Μεσογείου.

Για την πρόβλεψη καταστροφικών εκρήξεων στο μέλλον , οι μελετητές έχουν στη διάθεσή τους ένα δίκτυο παρακολούθησης χημικών παραμέτρων , αερίων και ατμίδων , σεισμικής δραστηριότητας , επιπέδου της στάθμης της θάλασσας , βαρυτικού και μαγνητικού πεδίου.

Αυτό το δίκτυο παρακολούθησης θα έχει ως αποτέλεσμα την ενημέρωση των κατοίκων του νησιού για την επαναδραστηριοποίηση του ηφαιστείου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7^ο

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στο ηφαιστειακό σύμπλεγμα της Σαντορίνης η ηφαιστειακή δραστηριότητα ξεκίνησε πριν από 2 εκατομμύρια χρόνια τουλάχιστον (Κατώτερο Πλειόκαινο) σύμφωνα με τους Fytikas, et al., (1990) και Friedrich (1994, 2000) και συνεχίζεται με τον ρυθμό που υπαγορεύουν οι γεωτεκτονικές συνθήκες του Αιγαίου με βάση το υπάρχον πεδίο των τάσεων (εφελκυστικό ~ B-N). Η τελευταία σύγχρονη – αξιόλογη διέγερση έγινε το 1050 στο νησί της Νέας Καμένης. Το ηφαιστειακό σύμπλεγμα της Σαντορίνης θεωρείται από τους Γεωλόγους και Γεωφυσικούς σήμερα το πιο ενεργό ηφαιστειακό κέντρο του Ν. Αιγαίου με κυρίαρχες διεγέρσεις στα τελευταία 600 χρόνια (1457, 1508, 1573, 1650, 1707-1711, 1866-1870, 1925-1928, 1939- 1941 and 1950) (Parazachos, 1989). Στις τελευταίες δεκαετίες η κυρίαρχη δραστηριότητα εντοπίζεται στο ηφαιστειακό κέντρο του Κολούμπο που βρίσκεται 7 km ΒΔ της Θήρας ενώ στην περιοχή της Καλδέρας της Σαντορίνης η σεισμική δραστηριότητα ήταν σχεδόν μηδενική.

Η ηφαίστειο-τεκτονική διέγερση της Καλδέρας στην περίοδο 2011-2012 πάνω στην ηφαιστειοτεκτονική γραμμή Καμένων – Φηρών, που είναι και το θέμα αυτής της διπλωματικής εργασίας, έγινε δυνατό να καταγραφεί από τα δίκτυα παρακολούθησης του ηφαιστειακού συμπλέγματος της Σαντορίνης του ΙΜΠΗΣ με πολύ καλά πακέτα δεδομένων όσον αφορά τα σεισμολογικό δίκτυο και τα δίκτυα, αερίων, θερμοκρασίας, παλίσρροιας και GPS. Η επεξεργασία όλων των σχετικών δεδομένων απέδωσε την αιτία της διέγερσης σε δύο πηγές MOGI (σχήμα 5.3.2) οι οποίες και διατάραξαν το υπάρχον πεδίο των τάσεων στην ηφαιστειοτεκτονική γραμμή Καμένων – Φηρών με αποτέλεσμα την σεισμική δραστηριότητα στην τεκτονική αυτή γραμμή κατά το επίμαχο διάστημα 2011-2012. Η δραστηριότητα αυτή ξεχωρίστηκε σε δύο (2) κυρίαρχα χρονικά διαστήματα και μελετήθηκε η χωροχρονική της μεταβολή. Η πιθανολογούμενη διείσδυση μάγματος στη ρηξιγενή ζώνη της ηφαιστειοτεκτονικής γραμμής Καμένων – Φηρών λόγω των δύο πηγών MOGI προξένησε τις διαταραχές των αερίων και των θερμοκρασιών του νερού της θάλασσας όπως αυτές καταγράφηκαν. Με το τέλος του 2012 όλα επανήλθαν στα προ κρίσης επίπεδα.

Πρέπει να τονισθεί ότι είναι ευτύχημα ότι η ηφαιστειοτεκτονική γραμμή Καμένων – Φηρών με μήκος 6 km (σχ. 4.3.2) δεν παρουσίασε ενιαία διαδικασία διάρρηξης γιατί αυτό θα σήμαινε την γένεση ενός σεισμού με μέγεθος M της τάξης M=5.0-5.2 το οποίο θα είχε σημαντικές επιπτώσεις στο οικοδομικά συγκροτήματα του νησιού της Θήρας και ιδίως σε αυτό των Φηρών.

Η συγκεκριμένη ηφαιστειο-τεκτονική διέγερση της Καλδέρας έγινε αιτία για την αφύπνιση των Αρχών του νησιού για την εκπόνηση σοβαρών σχεδίων αντιμετώπισης νέων τέτοιων απειλών στο μέλλον για το ηφαιστειακό σύμπλεγμα της Σαντορίνης, κάτι που δεν υπήρχε μέχρι το 2011. Σημαντικότατο ρόλο στην διαδικασία αυτή διαδραμάτισε το ΙΜΠΗΣ με το επιστημονικό του δυναμικό και την αξιόπιστη ανταπόκριση των δικτύων παρακολούθησης του ηφαιστείου που διαθέτει.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Δημητριάδης, Ι.Μ., 2001. Σεισμολογική παρατήρηση ηφαιστείων Περίπτωση του Mauna Loa στην Χαβάη. Διπλωματική εργασία, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.

Δημητριάδης, Ι. Μ., 2004. Σεισμο-τεκτονικά χαρακτηριστικά του ηφαιστειακού κέντρου της Σαντορίνης. Διατριβή ειδίκευσης, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.

Dimitriadis, I. M., Panagiotopoulos, D. G., Papazachos, C. B., Hatzidimitriou, P. M., Karagianni, E. E. and Kane, I., 2005. Recent seismic activity (1994-2002) of the Santorini volcano using data from local seismological network. The South Aegean Active Volcanic Arc: Present Knowledge and Future Perspectives (Developments in Volcanology, Volume 7), pp. 185-203.

Δημητριάδης, Ι. Μ., 2008. Συμβολή στη μελέτη της ενεργού τεκτονικής και της δομής του ηφαιστειακού κέντρου της Σαντορίνης με δεδομένα τοπικού δικτύου ψηφιακών σειсмоγράφων. Διδακτορική Διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, σελ. 1-108.

Friedrich, W. L., 1994. Feuer im Meer. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, Berlin.

Friedrich, W. L., 2000. Fire in the Sea: Volcanism and the Natural History of Santorini. Cambridge University Pr., Cambridge.

Fytikas M., Kolios N. and Vougioukalakis G., 1990. *Post-Minoan Volcanic Activity of the Santorini Volcano: Volcanic hazard and risk, forecasting possibilities*, In: Hardy D.A. (Editor), Thera and the Aegean World III, 2, The Thera Foundation, London, pp. 183-198.

Kiratzí, A.A., and Papazachos, C.B., 1995. Active deformation of the shallow part of the subducting lithospheric slab in the southern Aegean. J. Geodynamics, 19, pp. 65-78.

Newman, A.V., Stiros, S., Feng, L., Psimoulis, P., Moschas, F., Saltogianni, V., Jiang, Y., Papa-zachos, C., Panagiotopoulos, D.G., Karagianni, E. and Vamvakaris, D., 2012. Recent geo-tectonic unrest at Santorini Caldera, Greece, *Geophys. Res. Lett.*, 39, L06309, doi: 10.1029/2012GL051286.

Panagiotopoulos, D.G., Papazachos, C., Vougioukalakis, G., Stiros, S.C., Laopoulos, Th., Fytikas, M., Karagianni, E., Vamvakaris, D., Mochas, F., Saltogianni, V. and Albanakis, K. 2015. Santorini Volcano: The intra-caldera unrest of the period of 2011-2012, as revealed by seismicity, temperature, sea-level, geochemical and GPS data. Ειδικός τόμος Α.Π.Θ. , Χαρτογραφίες Νου, Ψυχής και Γνώσης , Εκδόσεις ΖΗΤΗ , Θεσσαλονίκη , σελ.1-997.

Papazachos, B.C., 1989. Long and short term prediction of the volcanic eruption in Santorini, 3rd Int. Congress "Thera and the Aegean World" , September 4-8, p.p.125-129 .

Papazachos, B.C. and Panagiotopoulos, D.G. 1993. Normal faults associated with volcanic activity and deep rupture zones in the southern Aegean volcanic arc. *Tectonophysics*, 220, pp. 301-308.

Papazachos, B.C., Papadimitriou, E.E., Kiratzi, A.A., Papazachos, C.B. and Louvari, E.K., 1998. Fault plane solutions in the Aegean Sea and the surrounding area and their tectonic implications, *Bolletino di Geofisica Teorica ed Applicata*, 39, pp. 199-218.

Παπαζάχος, Β.Κ., Μουντράκης, Δ.Μ., Παπαζάχος, Κ.Β., Τρανός, Μ.Δ., Καρακαϊσης, Γ.Φ. και Σαββαΐδης, Α.Σ., 2001. Τα ρήγματα που προκάλεσαν τους γνωστούς ισχυρούς σεισμούς στην Ελλάδα από τον 5^ο αιώνα π.Χ. μέχρι σήμερα. Πρακτ. 2^ο Συνέδριο Αντισεισμικής Μηχανικής και Τεχνικής Σεισμολογίας, Θεσσαλονίκη, 28-30 Νοεμβρίου 2001, 2, 17-26.

Παπαζάχος, Β. Κ. και Παπαζάχου, Κ., 2003. Οι Σεισμοί της Ελλάδας, Γ' Έκδοση, Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη, Ελλάδα.

Παπαζάχος, Β.Κ., Καρακαϊσης, Γ.Φ. και Χατζηδημητρίου, Π.Μ., 2005. Εισαγωγή στη σεισμολογία, Εκδόσεις ΖΗΤΗ , Θεσσαλονίκη , σελ.1-517.

Papazachos, B.C., Dimitriadis, S.T., Panagiotopoulos, D.G., Papazachos, C.B. and Papadimitriou, E.E., 2005. Deep structure and active tectonics of the southern Aegean volcanic arc. The South Aegean Active Volcanic Arc: Present Knowledge and Future Perspectives (Developments in Volcanology, Volume 7), pp. 47-64.

Papazachos, C., Skarlatoudis, A., Vougioukalakis, G., 2012a. A preliminary deterministic seismic hazard assessment in the Santorini island for the 2011-2012 volcanic unrest, VOLSAM 2012, Santorini, 10-12 October.

Papazachos, C., Panagiotopoulos, D., Karagianni, E., Vamvakaris, D., Albanakis, K., Laopoulos, Th., Fytikas, M. and Vougioukalakis, G., 2012b. The evolution of the 2011-2012 Santorini volcanic unrest as revealed by seismicity, VOLSAM 2012, Santorini, 10-12 October.

Saltogianni, V., Stiros, S.C., Newman, A.V., Flanagan, K. and Moschas, F., 2014. Time-space modeling of the dynamics of Santorini volcano (Greece) during the 2011-2012 unrest, *Journal of Geophysical Research*, 119, 8517-8537.

Stiros, S.C., Psimoulis, P., Vougioukalakis, G., and Fytikas, M., 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, doi:10.1016/j.tecto.2010.09.015.

Tilling, R.I., Topinka, L. and Swanson, D.A., 1990. United States Geological Survey General Interest Publication. Eruptions of Mount St. Helens :Past , present and future (revised edition).Reston, Virginia:USGS.

Vougioukalakis, G.E. and Fytikas, M., 2005. Volcanic hazards in the Aegean area, relative risk evaluation, monitoring and present state of the active volcanic centers. *In*: Fytikas, M. and Vougioukalakis, G.E., eds., The South Aegean Active Volcanic Arc - Present Knowledge and Future Perspectives, Dev. Volcano. 7, 161-183.

Vougioukalakis, G., Sparks, R.S.J., Pyle, D., Druitt, T., Barberi, F., Papazachos, C. and Fytikas, M., 2016. Volcanic hazard assessment at santorini volcano: a review and a synthesis in the light of the 2011-2012 santorini unrest. Bulletin of the Geological Society of Greece, vol. L, Proceedings of the 14th Intern. Congress, Thessaloniki.

Χατζηδημητρίου, Π., Παναγιωτόπουλος, Δ., Παπαζάχος, Β., Παπαζάχος, Κ. και Δημητριάδης, Ι., 2008. Γεωφυσικά Στοιχεία του Ηφαιστειακού Τόξου του Νότιου Αιγαίου, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, σελ. 1-42 .

Zobin, V. M., 2003. Introduction to volcanic seismology. *Developments in Volcanology, Volume 7*, Elsevier B. V., Netherlands, pp. 1-290.

Ηλεκτρονική Βιβλιογραφία

<http://www.geo.auth.gr/courses/gmo/gmo765e/> (Τρ.Σολδάτος)

http://oceanexplorer.noaa.gov/explorations/06blacksea/logs/summary_thera/media/hydrothermal.html (URI-Rhodes Island University)

<http://www.geo.auth.gr/courses/ggp/ggp654e/PDF/Unit6.pdf> (Ε. Παπαδημητρίου)

<http://www.geo.auth.gr/courses/ggg/ggg871y/> (Γεωτεκτονική εξέλιξη του ευρύτερου ελληνικού χώρου)

Το ελεύθερο λογισμικό GMT (The Generic Mapping Tools) των Wessel, P. and Smith, W.H.F. (2000) χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή των χαρτών των σχημάτων της εργασίας, τους οποίους και ευχαριστώ.

Παράρτημα 1-Πίνακας 2 : Παρακάτω παρουσιάζεται η λίστα των σεισμών κατά το διάστημα 2011-2012 με $M \geq 1.3$

Έτος	Χρόνος	Γεν.	φ^0	λ^0	D	M
2012	01 23	170941	36.405	25.405	2.9	1.3
2011	06 14	102752	36.406	25.407	4.1	1.3
2011	12 29	180404	36.403	25.399	4.5	1.3
2011	11 26	182307	36.412	25.411	4.1	1.3
2011	12 26	140738	36.412	25.383	3.7	1.3
2011	12 29	171140	36.396	25.402	3.3	1.3
2011	11 26	195856	36.413	25.410	2.0	1.3
2011	11 24	173324	36.413	25.424	1.9	1.3
2011	04 10	070604	36.411	25.406	3.0	1.3
2011	06 16	232434	36.410	25.427	5.2	1.3
2012	01 23	155601	36.416	25.409	6.1	1.3
2011	10 16	054813	36.419	25.422	1.8	1.3
2011	11 27	034629	36.427	25.417	5.7	1.3
2011	04 14	025643	36.414	25.385	2.8	1.3
2011	04 01	035452	36.423	25.423	3.4	1.3
2011	12 29	165157	36.405	25.404	3.9	1.3
2011	06 17	095215	36.414	25.415	3.7	1.3
2011	06 17	131910	36.398	25.398	1.5	1.3
2012	02 05	040713	36.399	25.401	4.3	1.3
2011	10 18	152046	36.434	25.426	4.4	1.3
2011	03 28	172056	36.405	25.394	2.9	1.3
2011	03 28	070717	36.421	25.428	3.9	1.3
2011	03 26	080142	36.412	25.412	3.2	1.3
2011	04 15	162741	36.420	25.418	2.9	1.3
2012	01 23	184251	36.414	25.409	4.8	1.3
2011	03 25	030745	36.408	25.427	3.7	1.3
2011	06 17	192727	36.428	25.421	4.0	1.3
2011	12 28	181441	36.406	25.403	4.0	1.3
2011	03 21	144038	36.412	25.408	3.3	1.3
2011	10 10	232553	36.407	25.413	5.1	1.3
2011	10 10	232156	36.406	25.426	3.7	1.3
2011	10 19	011959	36.425	25.426	3.5	1.3
2012	02 24	131227	36.438	25.404	5.3	1.3
2011	12 29	221324	36.405	25.398	2.5	1.3
2011	03 19	091848	36.418	25.413	1.7	1.3
2011	12 28	185847	36.426	25.410	5.8	1.3
2011	10 08	201458	36.403	25.399	2.6	1.3
2011	10 08	190644	36.422	25.419	3.5	1.3
2012	01 22	052509	36.409	25.405	2.9	1.3
2012	01 23	211609	36.406	25.412	2.9	1.3
2011	07 06	003054	36.397	25.404	2.4	1.3
2011	10 20	004358	36.408	25.383	2.0	1.3
2011	11 30	172129	36.407	25.379	2.4	1.3
2011	07 09	125828	36.405	25.401	2.9	1.3
2011	03 10	195836	36.417	25.432	8.8	1.3
2012	02 01	210302	36.410	25.412	3.3	1.3
2011	03 07	214902	36.412	25.386	4.2	1.3
2011	12 02	204151	36.404	25.382	2.5	1.3

2011	11	18	063340	36.394	25.390	13.6	1.3
2011	07	10	062819	36.402	25.391	2.0	1.3
2011	07	16	073723	36.410	25.386	6.0	1.3
2011	12	18	084038	36.415	25.415	3.0	1.3
2011	03	02	024912	36.407	25.403	2.9	1.3
2011	11	17	161351	36.394	25.389	0.5	1.3
2012	01	13	211930	36.404	25.407	2.9	1.3
2012	01	13	190418	36.401	25.411	3.5	1.3
2011	04	19	185225	36.404	25.394	2.5	1.3
2011	05	29	124608	36.411	25.410	2.6	1.3
2011	10	02	062428	36.424	25.421	2.8	1.3
2012	01	23	214503	36.401	25.402	3.1	1.3
2011	10	23	103859	36.405	25.409	1.5	1.3
2011	02	26	210952	36.424	25.422	4.4	1.3
2011	07	20	163726	36.423	25.421	1.2	1.3
2011	05	01	131431	36.416	25.421	2.6	1.3
2011	09	26	202156	36.415	25.412	2.8	1.3
2012	01	25	075250	36.405	25.407	1.5	1.3
2011	09	24	093036	36.413	25.415	2.4	1.3
2011	02	22	050109	36.420	25.416	5.1	1.3
2011	05	26	141330	36.422	25.421	3.3	1.3
2011	10	24	132603	36.407	25.388	3.0	1.3
2012	05	08	024209	36.428	25.409	4.6	1.3
2011	12	11	020750	36.400	25.396	2.3	1.3
2011	05	01	180003	36.421	25.426	3.9	1.3
2011	05	26	013944	36.401	25.397	2.1	1.3
2012	05	08	062234	36.421	25.403	5.6	1.3
2012	05	26	005357	36.419	25.429	7.9	1.3
2011	07	22	133241	36.407	25.422	2.6	1.3
2012	01	25	002513	36.410	25.407	3.0	1.3
2011	10	29	141106	36.410	25.407	2.1	1.3
2011	01	09	141632	36.413	25.412	3.2	1.3
2011	05	06	191633	36.419	25.424	3.8	1.3
2011	11	05	161218	36.409	25.413	3.6	1.3
2011	07	29	111454	36.424	25.396	5.0	1.3
2011	12	29	074056	36.403	25.392	1.6	1.3
2011	05	08	005656	36.393	25.377	8.1	1.3
2011	08	17	041734	36.419	25.418	3.1	1.3
2011	11	06	103317	36.417	25.407	4.6	1.3
2011	11	08	033247	36.396	25.386	2.6	1.3
2011	11	08	025935	36.398	25.390	2.7	1.3
2011	12	12	233830	36.416	25.410	2.7	1.3
2011	12	12	234052	36.413	25.412	2.1	1.3
2012	01	24	093059	36.408	25.402	2.1	1.3
2011	05	11	223651	36.400	25.384	0.0	1.3
2011	12	30	152440	36.410	25.414	5.6	1.4
2011	05	17	005956	36.401	25.389	2.7	1.4
2011	05	17	222946	36.404	25.397	3.0	1.4
2011	05	24	015723	36.404	25.378	3.0	1.4
2011	05	02	223958	36.401	25.388	1.9	1.4
2012	01	23	232105	36.410	25.409	4.4	1.4
2011	12	14	213402	36.428	25.419	4.1	1.4
2011	02	05	214621	36.418	25.399	2.7	1.4
2011	05	02	222403	36.401	25.391	2.6	1.4
2011	12	09	043431	36.413	25.415	5.2	1.4
2011	12	16	050212	36.422	25.411	4.6	1.4
2011	05	01	175015	36.418	25.413	3.3	1.4
2011	06	02	000616	36.396	25.393	2.5	1.4
2011	05	01	133413	36.425	25.419	3.0	1.4
2011	12	04	023510	36.423	25.427	3.4	1.4

2012	01	23	193343	36.413	25.408	2.6	1.4
2012	01	23	183848	36.415	25.413	4.4	1.4
2011	04	29	135239	36.396	25.390	3.3	1.4
2011	04	27	195921	36.415	25.407	4.2	1.4
2012	01	25	145529	36.407	25.416	2.2	1.4
2011	02	18	073000	36.428	25.424	4.1	1.4
2011	06	12	085744	36.410	25.415	3.4	1.4
2012	01	23	150219	36.407	25.404	2.2	1.4
2011	06	17	190649	36.423	25.419	3.1	1.4
2011	06	17	193846	36.426	25.421	3.9	1.4
2012	01	21	175907	36.411	25.413	3.1	1.4
2011	07	09	232940	36.414	25.416	3.0	1.4
2011	07	17	113134	36.399	25.404	0.4	1.4
2011	07	17	200643	36.394	25.397	1.4	1.4
2011	07	20	003611	36.428	25.424	3.7	1.4
2011	07	21	181723	36.415	25.422	2.3	1.4
2011	07	27	144241	36.398	25.410	1.0	1.4
2011	12	03	000019	36.416	25.427	3.3	1.4
2011	04	16	034912	36.406	25.405	1.9	1.4
2012	04	21	143944	36.407	25.410	2.7	1.4
2012	02	06	025647	36.401	25.385	3.4	1.4
2011	12	02	045245	36.415	25.426	5.2	1.4
2012	02	08	143327	36.408	25.435	10.5	1.4
2011	11	29	232634	36.403	25.393	2.4	1.4
2012	01	06	112626	36.403	25.403	2.1	1.4
2011	08	17	070118	36.410	25.413	2.5	1.4
2011	09	02	042203	36.410	25.404	2.4	1.4
2011	05	08	005553	36.406	25.392	3.0	1.4
2011	04	02	122905	36.431	25.417	4.4	1.4
2011	04	02	065435	36.429	25.416	3.3	1.4
2011	10	08	201638	36.403	25.392	2.9	1.4
2011	10	12	122246	36.390	25.393	0.8	1.4
2011	10	12	131112	36.407	25.407	2.3	1.4
2011	10	14	175940	36.413	25.413	1.3	1.4
2011	03	30	211720	36.411	25.419	1.9	1.4
2011	12	29	162255	36.407	25.401	2.7	1.4
2011	10	20	121247	36.416	25.417	1.4	1.4
2011	10	21	030131	36.419	25.422	2.6	1.4
2011	10	24	164244	36.415	25.390	3.3	1.4
2011	11	01	112828	36.415	25.419	3.2	1.4
2011	11	08	141517	36.413	25.413	3.7	1.4
2011	12	26	095756	36.399	25.397	5.4	1.4
2011	11	26	200435	36.413	25.416	3.6	1.4
2011	12	26	140217	36.413	25.386	3.1	1.4
2011	12	26	140345	36.392	25.401	4.6	1.4
2012	03	05	114131	36.403	25.419	4.8	1.4
2011	11	24	145606	36.400	25.398	2.7	1.4
2011	11	25	161258	36.402	25.383	2.7	1.4
2011	11	24	163143	36.414	25.419	3.3	1.4
2011	11	25	011044	36.429	25.426	2.4	1.4
2011	12	26	203552	36.425	25.424	4.9	1.5
2012	01	24	095837	36.411	25.403	3.5	1.5
2011	12	27	065235	36.401	25.387	3.9	1.5
2012	01	24	191839	36.404	25.397	3.6	1.5
2011	05	14	203336	36.411	25.425	3.8	1.5
2011	01	20	185218	36.415	25.412	3.6	1.5
2011	03	01	130900	36.419	25.413	7.6	1.5
2011	03	02	173124	36.429	25.421	5.0	1.5
2011	05	17	061717	36.402	25.413	3.7	1.5
2011	12	12	224853	36.411	25.409	3.2	1.5

2011	03	04	130833	36.428	25.434	5.9	1.5
2011	05	21	104340	36.402	25.387	2.1	1.5
2011	05	23	122759	36.421	25.418	4.5	1.5
2011	05	26	010914	36.402	25.396	2.3	1.5
2011	05	29	013306	36.423	25.420	1.5	1.5
2012	01	23	214427	36.410	25.401	3.5	1.5
2012	01	23	205932	36.408	25.408	3.4	1.5
2012	01	23	182109	36.408	25.411	3.7	1.5
2011	06	12	075000	36.414	25.416	3.0	1.5
2011	06	16	082513	36.415	25.421	3.3	1.5
2011	06	16	175803	36.404	25.397	6.0	1.5
2011	04	23	084221	36.420	25.424	2.9	1.5
2012	03	05	180753	36.435	25.420	8.1	1.5
2011	04	21	121324	36.416	25.404	3.2	1.5
2011	11	12	195104	36.413	25.414	10.8	1.5
2011	06	22	225419	36.398	25.401	1.7	1.5
2012	01	17	222232	36.406	25.408	2.7	1.5
2011	07	09	125724	36.394	25.398	0.3	1.5
2011	04	19	184257	36.396	25.395	3.8	1.5
2011	12	04	022825	36.417	25.416	3.0	1.5
2011	12	29	062503	36.401	25.402	4.7	1.5
2011	04	18	080118	36.407	25.423	4.0	1.5
2011	07	19	163929	36.398	25.392	0.0	1.5
2011	11	08	005355	36.399	25.406	2.7	1.5
2011	07	20	001544	36.398	25.391	2.2	1.5
2011	12	18	083705	36.416	25.416	2.8	1.5
2012	01	13	001243	36.404	25.372	3.0	1.5
2011	07	21	201701	36.422	25.422	2.9	1.5
2011	07	24	094154	36.403	25.414	2.3	1.5
2011	12	18	135333	36.403	25.373	9.6	1.5
2011	12	29	130046	36.404	25.395	5.6	1.5
2012	01	08	132116	36.416	25.417	4.4	1.5
2011	08	11	120718	36.408	25.420	3.4	1.5
2012	01	07	005247	36.402	25.400	2.8	1.5
2012	01	06	095824	36.402	25.403	3.2	1.5
2011	03	16	030541	36.395	25.386	1.3	1.5
2011	03	18	023721	36.410	25.375	3.0	1.5
2011	02	23	200639	36.406	25.396	2.8	1.5
2011	10	21	120410	36.413	25.412	2.7	1.5
2011	09	28	181004	36.410	25.418	5.2	1.5
2011	11	27	093144	36.410	25.413	2.3	1.5
2011	03	19	111032	36.411	25.395	3.3	1.5
2011	10	18	192814	36.431	25.425	3.6	1.5
2011	10	04	065826	36.418	25.416	3.5	1.5
2011	10	04	115429	36.399	25.407	0.6	1.5
2011	11	29	163646	36.422	25.424	3.8	1.5
2011	04	02	122811	36.410	25.407	2.7	1.5
2011	10	16	142244	36.408	25.415	1.1	1.5
2011	12	30	004039	36.398	25.400	2.9	1.5
2011	12	29	233312	36.407	25.400	3.3	1.5
2011	10	08	195726	36.408	25.378	1.3	1.5
2012	04	10	134545	36.412	25.424	5.6	1.5
2012	02	17	214804	36.420	25.416	3.5	1.5
2011	10	14	175720	36.415	25.410	2.2	1.5
2011	10	14	180412	36.415	25.414	1.1	1.5
2011	04	19	184658	36.403	25.395	3.0	1.6
2012	01	23	153541	36.408	25.402	3.4	1.6
2012	04	09	213936	36.426	25.410	4.3	1.6
2011	06	17	092927	36.416	25.423	2.9	1.6
2011	10	14	024141	36.416	25.399	3.3	1.6

2011	06	16	212736	36.404	25.406	3.4	1.6
2011	06	28	183749	36.394	25.395	6.6	1.6
2011	05	15	035148	36.405	25.400	4.5	1.6
2011	06	16	152226	36.401	25.411	5.7	1.6
2011	11	15	055006	36.407	25.411	3.7	1.6
2011	11	08	143603	36.421	25.420	5.4	1.6
2011	07	09	165950	36.419	25.424	3.7	1.6
2011	04	01	065441	36.420	25.425	4.3	1.6
2011	06	16	050325	36.403	25.389	2.7	1.6
2011	03	23	165024	36.416	25.396	4.9	1.6
2011	11	24	150033	36.407	25.414	3.0	1.6
2011	12	24	153151	36.407	25.404	2.6	1.6
2011	11	27	015714	36.406	25.391	1.0	1.6
2011	12	03	195035	36.410	25.413	3.1	1.6
2011	07	18	051735	36.399	25.398	2.3	1.6
2011	03	01	041956	36.415	25.425	3.7	1.6
2011	10	05	022925	36.410	25.417	2.7	1.6
2012	01	15	085139	36.391	25.404	4.4	1.6
2011	12	04	023323	36.425	25.427	2.9	1.6
2012	03	19	223145	36.418	25.415	4.1	1.6
2011	12	18	070859	36.412	25.418	2.2	1.6
2011	12	18	022852	36.431	25.426	4.8	1.6
2011	06	04	202808	36.417	25.418	3.3	1.6
2011	03	12	164315	36.410	25.405	5.7	1.6
2011	12	30	190824	36.428	25.401	2.1	1.6
2011	12	26	005117	36.407	25.397	8.2	1.6
2011	05	24	042842	36.392	25.387	0.3	1.6
2011	09	21	152354	36.391	25.393	9.2	1.6
2011	07	21	234751	36.428	25.423	4.0	1.6
2011	08	19	042638	36.417	25.421	3.2	1.6
2011	12	26	005139	36.398	25.403	9.5	1.6
2011	08	16	162922	36.414	25.413	2.2	1.6
2012	01	11	175425	36.406	25.414	4.2	1.6
2012	09	06	113231	36.406	25.395	1.0	1.6
2011	11	29	215036	36.403	25.417	3.1	1.6
2011	11	23	103539	36.415	25.414	2.9	1.6
2011	07	23	100911	36.406	25.404	2.3	1.6
2011	05	01	175157	36.414	25.410	4.0	1.6
2011	07	31	132513	36.407	25.396	3.7	1.6
2011	11	02	115428	36.432	25.430	4.0	1.6
2011	06	17	190613	36.417	25.418	3.4	1.6
2012	01	08	013101	36.408	25.406	3.2	1.6
2011	08	07	040300	36.406	25.380	2.3	1.6
2011	08	08	124234	36.396	25.385	2.9	1.7
2011	03	15	063251	36.405	25.374	6.8	1.7
2011	08	07	025422	36.412	25.377	3.7	1.7
2011	05	02	220132	36.408	25.390	3.8	1.7
2011	12	20	182137	36.403	25.405	2.2	1.7
2011	05	26	064507	36.407	25.380	2.9	1.7
2011	11	23	102102	36.412	25.401	1.2	1.7
2012	01	23	225610	36.412	25.404	3.3	1.7
2011	11	03	205819	36.409	25.409	3.0	1.7
2011	12	18	095854	36.414	25.432	3.7	1.7
2011	05	29	042420	36.420	25.420	1.2	1.7
2012	01	07	155009	36.404	25.401	2.3	1.7
2011	11	01	113613	36.421	25.425	4.6	1.7
2011	05	30	050422	36.404	25.411	1.3	1.7
2011	02	02	095555	36.419	25.414	3.6	1.7
2012	02	04	012532	36.410	25.410	4.4	1.7
2011	02	15	061657	36.399	25.393	2.2	1.7

2011	02	26	052635	36.416	25.413	3.6	1.7
2012	01	24	212819	36.411	25.410	4.2	1.7
2011	10	01	050051	36.428	25.424	4.0	1.7
2011	11	29	195758	36.407	25.405	2.4	1.7
2011	10	03	025849	36.427	25.428	6.1	1.7
2011	03	21	015318	36.432	25.427	4.1	1.7
2011	11	22	112441	36.428	25.416	3.1	1.7
2012	01	14	211603	36.403	25.413	2.9	1.7
2011	04	05	213112	36.388	25.382	3.5	1.7
2011	03	04	133932	36.431	25.426	4.4	1.7
2012	01	24	193509	36.413	25.410	6.5	1.7
2011	11	26	033737	36.401	25.397	2.6	1.7
2011	12	18	072822	36.414	25.429	5.0	1.7
2011	07	14	040209	36.421	25.422	2.9	1.7
2012	05	08	023950	36.422	25.409	6.2	1.7
2012	01	24	052307	36.403	25.396	2.8	1.7
2011	11	08	141812	36.416	25.413	3.5	1.7
2011	10	08	201619	36.407	25.390	3.3	1.7
2011	05	16	053727	36.392	25.378	2.0	1.7
2011	10	09	215140	36.413	25.409	6.9	1.7
2011	05	16	045450	36.390	25.380	1.4	1.7
2011	11	26	183232	36.426	25.403	1.6	1.7
2011	07	07	042151	36.391	25.383	1.7	1.7
2011	10	11	001311	36.429	25.421	3.6	1.7
2011	11	25	061749	36.401	25.390	2.3	1.7
2011	05	10	103633	36.407	25.378	2.4	1.7
2012	01	26	000640	36.401	25.401	2.1	1.7
2011	10	15	120758	36.423	25.432	4.7	1.7
2011	11	25	011101	36.433	25.424	3.6	1.7
2011	04	21	111216	36.409	25.400	3.8	1.7
2012	01	23	155730	36.406	25.402	2.7	1.7
2011	06	17	092937	36.416	25.422	3.0	1.7
2011	06	17	130255	36.434	25.414	5.2	1.7
2011	10	15	120328	36.416	25.414	3.0	1.7
2011	03	10	084739	36.416	25.384	6.6	1.7
2012	01	23	140710	36.398	25.404	5.0	1.7
2011	05	02	171001	36.442	25.419	4.9	1.7
2011	02	19	103047	36.417	25.418	2.9	1.8
2011	12	18	071740	36.413	25.422	3.8	1.8
2011	03	30	171339	36.392	25.381	2.0	1.8
2011	06	17	192703	36.428	25.422	4.7	1.8
2011	11	25	103645	36.409	25.418	3.0	1.8
2011	03	12	014802	36.399	25.396	2.0	1.8
2011	04	23	093157	36.412	25.407	4.8	1.8
2012	05	08	023843	36.424	25.404	6.7	1.8
2012	01	22	103705	36.408	25.401	3.3	1.8
2011	12	29	033855	36.407	25.411	3.2	1.8
2012	04	11	001641	36.406	25.428	5.9	1.8
2012	03	28	200645	36.401	25.378	3.7	1.8
2011	03	09	010657	36.434	25.425	10.8	1.8
2012	01	24	035808	36.404	25.399	3.0	1.8
2011	04	19	184342	36.395	25.383	2.6	1.8
2011	03	04	133024	36.428	25.423	3.8	1.8
2011	03	20	110640	36.400	25.386	2.3	1.8
2011	12	12	224601	36.411	25.412	3.9	1.8
2011	05	24	042223	36.391	25.387	0.3	1.8
2011	11	08	033258	36.394	25.384	2.8	1.8
2011	05	24	042719	36.392	25.387	1.1	1.8
2011	05	24	214733	36.417	25.416	5.1	1.8
2011	08	16	155450	36.406	25.420	4.0	1.8

2011	11	06	120935	36.411	25.424	5.1	1.8
2012	03	05	112858	36.403	25.419	4.8	1.8
2011	06	07	132208	36.410	25.418	3.8	1.8
2011	12	26	082010	36.411	25.375	9.3	1.8
2011	02	12	001655	36.426	25.409	2.7	1.8
2011	08	14	192314	36.430	25.417	3.6	1.8
2011	04	29	223942	36.405	25.393	5.8	1.8
2011	05	02	215747	36.403	25.389	4.8	1.8
2011	11	04	095731	36.403	25.399	7.4	1.8
2011	12	03	190720	36.414	25.419	2.4	1.8
2011	02	15	161613	36.417	25.411	2.5	1.8
2011	07	07	165938	36.402	25.388	2.7	1.8
2012	02	04	061947	36.409	25.404	3.1	1.8
2011	05	30	051519	36.404	25.408	1.3	1.8
2011	12	09	041631	36.418	25.426	5.7	1.9
2011	11	23	102055	36.419	25.420	3.3	1.9
2011	04	18	043424	36.399	25.404	4.5	1.9
2011	07	23	100933	36.401	25.400	5.3	1.9
2011	06	05	024941	36.418	25.417	3.0	1.9
2011	12	02	214406	36.421	25.418	3.8	1.9
2011	11	23	102913	36.416	25.421	3.2	1.9
2011	04	10	095808	36.408	25.396	3.6	1.9
2011	12	18	021449	36.420	25.427	3.6	1.9
2012	01	25	141149	36.405	25.404	2.3	1.9
2012	01	23	183336	36.414	25.412	7.7	1.9
2011	04	09	014754	36.398	25.387	5.4	1.9
2011	04	08	204138	36.419	25.395	5.1	1.9
2011	04	08	075730	36.403	25.408	1.9	1.9
2012	01	23	183237	36.414	25.415	4.0	1.9
2011	05	24	214800	36.405	25.385	1.3	1.9
2011	11	06	141543	36.404	25.401	2.8	1.9
2011	06	12	045854	36.396	25.400	5.3	1.9
2011	05	04	030907	36.404	25.404	8.0	1.9
2011	04	08	075722	36.397	25.406	4.0	1.9
2012	01	14	091423	36.424	25.426	6.7	1.9
2011	05	24	042700	36.392	25.387	1.1	1.9
2011	07	09	235330	36.402	25.392	4.4	1.9
2011	09	29	224249	36.422	25.417	4.1	1.9
2012	03	05	113059	36.410	25.416	4.5	1.9
2011	12	12	231259	36.410	25.411	2.5	1.9
2012	01	23	172313	36.410	25.412	6.9	1.9
2011	04	23	151332	36.404	25.397	4.0	1.9
2011	05	19	182142	36.404	25.392	4.6	1.9
2012	02	21	070233	36.395	25.408	6.9	1.9
2011	10	08	190321	36.426	25.423	4.5	1.9
2012	02	18	000734	36.404	25.381	6.5	1.9
2011	10	15	124003	36.417	25.426	3.0	1.9
2011	04	19	232714	36.394	25.389	1.2	1.9
2011	12	18	072229	36.421	25.431	7.5	1.9
2011	10	11	001122	36.429	25.421	3.3	1.9
2011	10	11	031851	36.414	25.410	3.8	1.9
2012	01	23	154225	36.407	25.417	4.5	1.9
2011	12	25	053749	36.404	25.392	2.2	1.9
2012	01	26	181921	36.403	25.402	3.2	1.9
2011	05	06	191918	36.408	25.395	4.3	1.9
2011	12	16	091031	36.412	25.420	5.0	1.9
2011	11	29	065001	36.413	25.415	2.9	1.9
2011	06	17	092947	36.417	25.432	2.9	2.0
2011	10	15	124831	36.413	25.433	4.9	2.0
2011	12	12	223717	36.409	25.401	4.9	2.0

2011	11	05	232835	36.406	25.395	4.3	2.0
2011	10	18	153018	36.429	25.425	3.5	2.0
2012	01	24	022148	36.396	25.392	6.4	2.0
2011	10	15	120454	36.413	25.433	2.5	2.0
2011	04	12	232344	36.398	25.382	4.3	2.0
2011	12	18	021433	36.425	25.424	5.8	2.0
2011	08	05	131812	36.400	25.382	6.7	2.0
2011	02	18	073020	36.428	25.420	4.7	2.0
2011	12	18	071812	36.418	25.425	3.0	2.0
2012	01	06	133448	36.408	25.412	2.3	2.0
2011	11	06	115925	36.422	25.431	7.6	2.0
2011	10	18	183804	36.413	25.422	3.1	2.0
2012	01	11	182751	36.413	25.409	3.9	2.0
2011	11	12	205435	36.397	25.409	6.1	2.0
2011	04	19	183603	36.395	25.381	2.4	2.0
2011	10	08	193021	36.422	25.418	3.3	2.0
2011	11	29	153353	36.417	25.421	2.8	2.0
2011	03	14	150824	36.409	25.386	3.3	2.0
2011	10	08	053221	36.403	25.390	1.9	2.1
2011	08	16	155435	36.411	25.416	6.1	2.1
2011	12	27	161215	36.413	25.402	8.3	2.1
2011	06	11	130314	36.406	25.406	3.3	2.1
2011	05	24	214656	36.407	25.398	4.9	2.1
2011	12	28	135151	36.403	25.378	6.2	2.1
2012	05	08	023607	36.438	25.414	5.9	2.1
2011	05	29	130322	36.410	25.409	3.8	2.1
2012	01	10	104412	36.400	25.396	4.2	2.1
2011	03	19	222933	36.406	25.389	3.7	2.1
2011	10	15	120335	36.421	25.408	3.4	2.1
2011	07	02	220132	36.391	25.382	2.5	2.2
2011	11	14	234219	36.404	25.378	0.9	2.2
2011	06	28	174109	36.392	25.387	2.0	2.2
2011	11	29	154120	36.424	25.432	3.5	2.2
2011	11	12	110038	36.418	25.412	6.0	2.2
2012	01	21	160604	36.409	25.405	3.3	2.2
2011	11	20	204927	36.393	25.395	0.4	2.2
2011	06	20	155844	36.405	25.398	2.8	2.2
2012	03	05	112832	36.405	25.415	1.0	2.2
2011	04	14	142418	36.406	25.396	3.5	2.2
2011	10	04	115434	36.399	25.399	1.4	2.2
2011	12	18	071516	36.415	25.408	2.8	2.2
2011	11	23	151014	36.420	25.412	4.4	2.2
2012	02	13	235959	36.426	25.416	4.3	2.2
2011	05	19	181752	36.412	25.404	7.8	2.2
2011	03	15	074158	36.407	25.401	5.4	2.2
2011	03	22	020146	36.433	25.416	5.1	2.2
2011	07	31	233229	36.390	25.388	5.9	2.3
2011	09	27	182419	36.400	25.387	1.6	2.3
2011	11	23	114149	36.416	25.428	3.7	2.3
2011	10	07	223602	36.405	25.423	2.3	2.3
2011	11	24	162241	36.413	25.418	3.3	2.3
2011	11	28	232342	36.407	25.392	2.6	2.3
2011	06	07	132244	36.412	25.416	9.4	2.3
2011	11	29	153649	36.419	25.419	2.8	2.3
2011	06	03	012613	36.405	25.396	2.7	2.3
2011	05	30	050319	36.401	25.417	5.1	2.3
2012	11	11	092228	36.404	25.411	27.0	2.3
2011	03	25	085216	36.408	25.403	3.5	2.3
2011	12	12	190031	36.411	25.408	4.6	2.3
2011	12	12	190215	36.416	25.411	3.0	2.3

2011	12	12	223732	36.411	25.410	2.1	2.3
2011	04	12	185227	36.392	25.386	3.7	2.3
2011	05	08	040553	36.407	25.390	3.6	2.4
2011	02	26	210810	36.429	25.414	4.5	2.4
2011	10	18	183544	36.410	25.414	2.9	2.4
2012	01	23	183542	36.413	25.405	3.4	2.4
2011	12	23	081851	36.401	25.402	6.3	2.4
2011	11	24	162221	36.414	25.404	2.9	2.4
2012	01	24	095153	36.402	25.398	3.3	2.4
2011	06	16	183421	36.399	25.384	3.0	2.4
2011	12	22	141025	36.407	25.377	6.8	2.4
2011	12	29	221535	36.399	25.400	4.2	2.4
2011	05	06	011645	36.394	25.394	3.9	2.4
2012	01	23	214619	36.404	25.402	3.5	2.4
2012	01	08	131124	36.420	25.407	4.3	2.4
2011	04	21	105808	36.410	25.397	4.4	2.4
2011	03	06	095124	36.424	25.418	5.1	2.4
2011	11	14	230122	36.408	25.418	0.0	2.4
2012	01	11	182845	36.412	25.410	3.9	2.4
2011	12	29	061628	36.431	25.402	9.3	2.4
2011	04	17	235946	36.410	25.392	4.8	2.5
2012	01	17	193652	36.432	25.422	5.7	2.5
2011	05	24	214755	36.413	25.408	7.5	2.5
2011	07	29	184835	36.416	25.392	10.0	2.5
2011	10	15	123906	36.418	25.417	5.7	2.5
2012	01	24	101641	36.403	25.399	3.9	2.5
2012	03	05	112814	36.413	25.402	1.5	2.5
2012	02	17	212844	36.420	25.415	5.2	2.5
2011	10	29	140809	36.410	25.415	0.9	2.5
2012	01	24	212708	36.405	25.405	3.6	2.5
2011	06	08	112614	36.406	25.420	1.8	2.5
2011	12	08	041231	36.399	25.383	2.7	2.6
2012	03	05	112814	36.425	25.413	3.6	2.6
2011	05	26	142804	36.420	25.400	2.6	2.6
2011	03	19	222759	36.410	25.390	5.7	2.6
2011	06	17	181214	36.408	25.424	3.9	2.6
2012	01	23	183502	36.406	25.405	4.7	2.6
2012	02	18	030531	36.407	25.373	3.3	2.7
2011	07	09	232607	36.395	25.378	4.5	2.7
2012	01	22	115935	36.408	25.404	5.2	2.7
2011	12	18	142409	36.434	25.426	6.1	2.7
2011	10	19	182845	36.406	25.398	5.4	2.7
2012	01	08	011623	36.398	25.397	2.6	2.7
2012	01	23	145823	36.410	25.403	2.9	2.8
2011	10	25	060652	36.407	25.379	6.3	2.8
2012	01	25	225735	36.395	25.370	3.5	2.9
2011	12	12	225037	36.415	25.402	4.2	2.9
2011	12	18	071704	36.412	25.420	2.6	2.9
2012	01	23	214527	36.408	25.403	2.8	2.9
2011	02	22	094910	36.405	25.396	4.3	2.9
2011	11	01	113623	36.430	25.424	10.0	2.9
2011	12	18	072038	36.410	25.399	1.8	3.1
2011	10	15	120215	36.410	25.407	5.7	3.1
2011	11	14	093321	36.397	25.402	7.2	3.1
2011	06	16	175305	36.394	25.378	1.7	3.2
2012	01	23	214714	36.407	25.405	4.5	3.3