



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
Εθνικόν και Καποδιστριακόν
Πανεπιστήμιον Αθηνών
— ΙΔΡΥΘΕΝ ΤΟ 1837 —

ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΓΕΩΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΗΦΑΙΣΤΕΙΑΚΑ ΑΕΡΙΑ ΚΑΙ ΟΙ ΕΠΠΤΩΣΕΙΣ ΤΟΥΣ ΣΤΗΝ ΥΓΕΙΑ ΚΑΙ ΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ -Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΗΣ ΣΑΝΤΟΡΙΝΗΣ-



Όνοματεπώνυμο: Τασιοπούλου Αντωνία
ΑΜ: 1114201300121

Επιβλέπων Καθηγητής:
Κωνσταντίνος Κυριακόπουλος

Αθήνα, 2021

Περιεχόμενα

Περιεχόμενα.....	1
Ευχαριστίες.....	3
Περίληψη.....	4
Abstract.....	5
Κατάλογος Εικόνων.....	6
Κατάλογος Πινάκων.....	6

Κεφάλαιο 1ο

1.1. Εισαγωγή στα ηφαίστεια και στην ηφαιστειότητα.....	8
1.2. Ταξινόμηση των ηφαιστείων.....	10
1.2.1. Τύποι Ηφαιστείων με βάση τη σύσταση του μάγματος.....	10
1.2.2. Επιπλέον Ταξινομήσεις Ηφαιστείων (Χερσαία, Υποθαλάσσια).....	16
1.2.3. Επιπλέον Ταξινομήσεις Ηφαιστείων (Ενεργά, Κοιμώμενα, Σβησμένα).....	17
1.3. Τύποι Εκρήξεων.....	17
1.4. Ηφαιστειακά Αέρια.....	18
1.5. Μετα-ηφαιστειακή Δραστηριότητα.....	19
1.5.1. Ατμίδες.....	19
1.5.2. Θερμές Πηγές.....	21
1.6. Αποτελέσματα των ηφαιστείων και ηφαιστειακή επικινδυνότητα.....	21
1.7. Τρόποι παρακολούθησης των ηφαιστείων.....	23

Κεφάλαιο 2ο

2.1. Το Ελληνικό Ορογενετικό Τόξο.....	25
2.2.1. Η ηφαιστειότητα στον Ελλαδικό χώρο.....	26
2.3. Το ηφαιστειακό σύμπλεγμα της Σαντορίνης.....	26
2.4. Γεωλογία Σαντορίνης.....	27
2.5. Η Παλαιά και η Νέα Καμένης.....	29
2.6. Ιστορικά γεγονότα της δράσης του ηφαιστείου και ο σχηματισμός της Σαντορίνης.....	32
2.7. Το υποθαλάσσιο ηφαίστειο Κολούμπο.....	34
2.8. Το ηφαίστειο και η Σαντορίνη σήμερα.....	36
2.9. Πιθανός ηφαιστειακός κίνδυνος.....	37
2.10. Η παρακολούθηση του ηφαιστείου της Σαντορίνης.....	38

Κεφάλαιο 3^ο

3.1. Ατμοσφαιρική ρύπανση και ηφαιστειακή δραστηριότητα.....	40
3.2. Αέρια των ηφαιστειών.....	40
3.2.1. Διοξείδιο του άνθρακα (CO ₂).....	41
3.2.2. Υδρόθειο (H ₂ S).....	42
3.2.3. Διοξείδιο του θείου (SO ₂).....	42
3.2.4. Μεθάνιο (CH ₄).....	43
3.2.5. Άλλα αέρια που συνδέονται με την ηφαιστειακή δραστηριότητα.....	44
3.3. Πως απελευθερώνονται τα αέρια των ηφαιστειών στην ατμόσφαιρα.....	45
3.4. Επικινδυνότητα των αερίων.....	45
3.4.1 Επικινδυνότητα CO ₂	48
3.4.2 Επικινδυνότητα SO ₂ - Τοξικά νέφη Vog & Laze.....	50
3.5. Φαινόμενο του θερμοκηπίου.....	52
3.6. Όξινη Βροχή.....	53
3.7. Ηφαιστειακοί Χειμώνες.....	54
3.8. Παρακολούθηση των αερίων.....	56
3.9. Ανθρωπογενής εκπομπή αερίων έναντι ηφαιστειακής εκπομπής.....	56

Κεφάλαιο 4^ο

4.1. Τα αέρια της Σαντορίνης.....	58
4.2. Συλλογή δεδομένων με τα απορροφητικά φίλτρα RADIELLO.....	59

Πίνακες αποτελεσμάτων & Σχολιασμοί.....	61
Γεωλογικός & Ηφαιστειολογικός χάρτης Σαντορίνης.....	65
Συμπεράσματα.....	66
Προτάσεις σχετικά με την πρόληψη και αντιμετώπιση μιας ενδεχόμενης ηφαιστειακής έκρηξης στο δήμο Θήρας.....	67
Ενδεικτική Αφίσα για τα βασικά μέτρα πρόληψης μιας ενδεχόμενης ηφαιστειακής δραστηριότητας.....	70
Παράρτημα Εικόνων.....	71

Βιβλιογραφία.....	74
Διαδικυακές Πηγές.....	75
Άλλες Πηγές.....	76

Ευχαριστίες

Η παρούσα εργασία αποτελεί διπλωματική εργασία στα πλαίσια του Προγράμματος Προπτυχιακών Σπουδών του τμήματος Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών.

Θέλω να ευχαριστήσω ιδιαίτερα των επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Κωνσταντίνο Κυριακόπουλο , για την δυνατότητα που μου έδωσε να γνωρίσω πως γίνεται μια εργασία υπαίθρου, η συλλογή δεδομένων και η επεξεργασία τους καθώς και για το υλικό που μου παραχώρησε. Περισσότερο όμως για την πολύτιμη καθοδήγηση του και ιδιαίτερα την απεριόριστη κατανόηση,προθυμία και την άψογη συνεργασία και αμεσότητα.

Σίγουρα μέσα από την εργασία γνώρισα καλύτερα τον κόσμο της Γεωλογίας, της Ηφαιστειολογίας, των περιβαλλοντικών κινδύνων και φυσικών καταστροφών και ιδιαίτερα ευχάριστη για μένα, υπήρξε η δυνατότητα να προτείνω μερικά μέτρα πρόληψης και προστασίας και γενικότερα η ευκαιρία διατύπωσης των σκέψεων και ιδεών μου. Η συνεισφορά με οποιοδήποτε τρόπο σε αυτό τον τομέα ή σε κάποιο αντίστοιχο, υπήρξε από την αρχή επιθυμία μου, καθώς και ο λόγος επιλογής των σπουδών μου στο συγκεκριμένο τμήμα.

Θέλω να ευχαριστήσω, επί την ευκαιρία που μου δίνεται, ιδιαίτερα τους συμφοιτητές και φίλους μου που με βοήθησαν σε όλη τη διάρκεια των σπουδών μου,στην εκπόνηση της συγκεκριμένης εργασίας (ιδιαίτερα την Αναστασία που μαζί ζήσαμε την εμπειρία της εργασίας υπαίθρου), αλλά κυρίως την Αιμιλία, που δημιούργησε όλες τις ευχάριστες αναμνήσεις μου και μαζί με τον Αντώνη, έκαναν την όλη διαδικασία φοίτησης μου λίγο πιο εύκολη και σίγουρ πολύ πιο ευχάριστη.

Κυρίως ένα μεγάλο ευχαριστώ σε όλους εκείνους που ήταν δίπλα μου όταν όλα ήταν λίγο πιο δύσκολα, όταν η απογοήτευση και η παραίτηση ήταν κοντά, όπως είναι οι κολλητοί μου και κυρίως η οικογένεια μου.

Περίληψη

Η ηφαιστειακή δραστηριότητα αποτελεί ένα από τους βασικούς κινδύνους, συνδεδεμένους με φυσικά φαινόμενα, που έχουν επηρεάσει τη ζωή των ανθρώπων αλλά και όλου του έμβιου κόσμου μέσα στο γεωλογικό χρόνο. Πέρα από τις άμεσες συνέπειες μιας ηφαιστειακής έκρηξης, η ασφυξία από την εισπνοή επικίνδυνων αερίων αποτελεί την πιο κοινή αιτία θανάτου που συνδέεται με την ηφαιστειακή δραστηριότητα.

Από τα ηφαιστειακά αέρια το διοξείδιο του άνθρακα είναι ιδιαίτερο τοξικό και ασφυξιογόνο σε μεγάλες συγκεντρώσεις, ενώ ακολουθεί και το μονοξείδιο του θείου, το οποίο όμως έχει πολύ μικρότερη συμμετοχή στα μίγματα αερίων. Εκτός από το διοξείδιο του άνθρακα, το διοξείδιο του θείου είναι επίσης ένα από τα πιο κοινά αέρια που συνδέονται με την ηφαιστειακή δραστηριότητα και μπορεί να προκαλέσει αναπνευστικά προβλήματα, ακόμα και θάνατο σε υψηλές συγκεντρώσεις. Άμεσα συνδεδεμένα με την ηφαιστειακή δραστηριότητα είναι και το υδρόθειο που θεωρείται τοξικό και επίσης προκαλεί προβλήματα στο αναπνευστικό σύστημα, καθώς και ερεθισμό στα μάτια καθώς και το μεθάνιο που σε κλειστούς χώρους προκαλεί ασφυξία και είναι ιδιαίτερα εύφλεκτο.

Η ηφαιστειακή δραστηριότητα σε συνδυασμό με την απελευθέρωση των παραπάνω αερίων, επηρεάζει και το περιβάλλον καθώς το διοξείδιο του άνθρακα είναι το σημαντικότερο αέριο που συμβάλλει στο φαινόμενο του θερμοκηπίου και ακολουθεί το μεθάνιο. Επίσης σε συνδυασμό με το διοξείδιο του θείου, τα δυο αυτά αέρια μπορούν να δημιουργήσουν όξινη βροχή καταστρέφοντας του υδάτινους υδροφορείς και σκοτώνοντας του υδρόβιους οργανισμούς, νεκρώνοντας τα δάση και τη βλάστηση. Επίσης η ηφαιστειακή δραστηριότητα συμβάλλει στη μείωση του όζοντος και είναι ικανή να επηρεάσει, πέρα από το τοπικό, ακόμα και το παγκόσμιο κλίμα της Γης λόγω της μετατροπής του διοξειδίου του άνθρακα σε θειικό οξύ, μειώνοντας τη θερμοκρασία του πλανήτη και κάνοντας το κλίμα ψυχρότερο.

Στην Ελλάδα η ηφαιστειακή δραστηριότητα έχει έντονο ενδιαφέρον με σημαντικά ηφαιστειακά κέντρα όπως τα Μέθανα, η Μήλος, η Νίσυρος και η Σαντορίνη. Εκλύσεις αερίων έχουν καταγραφεί σε πολλά κέντρα όπως και στη Σαντορίνη, τα οποία αποτελούν επιφανειακές ενδείξεις ύπαρξης μάγματος και απελευθερώνονται από τις ατμίδες μαζί με τις θερμές πηγές.

Η Σαντορίνη αποτελεί το γνωστότερο ενεργό ηφαίστειο του Ελληνικού Ηφαιστειακού Τόξου. Το ηφαιστειακό σύμπλεγμα της Σαντορίνης αποτελείται από μια ομάδα νησιών, με κυκλικό περίπου σχήμα και σχηματίζουν μια ιδιαίτερα εντυπωσιακή μορφή καλδέρας στο Μεσαγειακό χώρο. Αποτελείται από δυο ενεργά ηφαιστειακά κέντρα, αυτό της Καμένης και το Κολούμπο. Το ηφαίστειο της Σαντορίνης ανήκει στα κεντρικά πολυγενή μεικτά ηφαίστεια ή αλλιώς στρωματοηφαίστεια. Εκτός από ένα μικρό μη ηφαιστειακό υπόβαθρο αποτελείται σχεδόν εξ ολοκλήρου από ηφαιστειακά πετρώματα.

Η δραστηριότητα του ηφαιστείου της Σαντορίνης και του υποθαλάσσιου Κολούμπο, παρακολουθείται στενά από την επιστημονική κοινότητα, ειδικότερα τα τελευταία χρόνια, με διάφορα τεχνολογικά μέσα και σκοπό την κατανόηση της δημιουργίας του, της δράσης του αλλά και την εκτίμηση του πιθανού ηφαιστειακού κινδύνου. Στο πλαίσιο αυτό γίνεται και η παρακολούθηση και η μέτρηση των ηφαιστειακών αερίων, οποιαδήποτε μεταβολή των οποίων μπορεί να σημάνει μέχρι και την εκ νέου ενεργοποίηση του ηφαιστείου.

Abstract

Volcanic activity is one of the main natural hazards that have affected human life and the entire living world in geological time. Aside from the immediate consequences of a volcanic eruption, inhalation of hazardous, volcanic gases is the most common cause of death associated with volcanic activity.

Of the volcanic gases it seems that the carbon dioxide is particularly toxic and suffocating in large concentrations, followed by sulfur monoxide, which, however, has a much lower participation in gas mixtures. In addition to carbon dioxide, sulfur dioxide is also one of the most common gases associated with volcanic activity and can also cause breathing problems and even death in high concentrations.

Directly associated with volcanic activity is hydrogen sulfide, which is considered toxic and causes breathing problems and eye irritation, as well as methane, which indoors, can cause suffocation and can be extremely flammable.

The volcanic activity in combination with the release of the above gases, also affects the environment as carbon dioxide is the most important gas that contributes to the greenhouse effect, followed by methane. Also in combination with sulfur dioxide, these two gases can create acid rain destroying aquatic aquifers, killing aquatic organisms and killing forests and vegetation. Volcanic activity also contributes to the depletion of ozone and is able to affect, in addition to the local, even the global climate of the Earth due to the conversion of carbon dioxide to sulfuric acid, reducing the temperature of the planet and making the climate colder.

In Greece, volcanic activity is of great interest with important volcanic centers such as Methana, Milos, Nisyros and Santorini. Gas emissions have been recorded in many centers as well as in Santorini, which are superficial signs of magma and are released from the fumaroles along with the hot springs.

Santorini is the most famous active volcano of the Greek Volcanic Arc. The volcanic complex of Santorini consists of a group of islands that have a circular shape and form a particularly impressive form of caldera in the Mediterranean area. It consists of two active volcano centers, Kameni and Columbo. The volcano of Santorini belongs to the central polygonal mixed volcanoes. Except for a small non-volcanic background it consists almost entirely of volcanic rocks.

The activity of the volcano of Santorini and the underwater Columbus is closely monitored by the scientific community, especially in recent years, with various technological techniques and in order to understand its creation, its action and the assessment of potential volcanic risk. In this context, the monitoring and measurement of volcanic gases is done, any change of which may conclude to the reactivation of the volcano.

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1.1.: Η δομή ενός ηφαιστείου.....	8
Εικόνα 1.2.: Παγκόσμιος Χάρτης Ενεργής Ηφαιστειότητας.....	9
Εικόνα 1.3.: Μηχανισμοί κίνησης των λιθοσφαιρικών πλακών και δημιουργία ηφαιστείων.....	10
Εικόνα 1.4.: Ηφαίστειο Laki Ισλανδίας.....	11
Εικόνα 1.5.: Νησος Mauna Loa, από τα πιο γνωστά ενεργά ασπιδόμορφα ηφαίστεια και το μεγαλύτερο στο είδος του.....	12
Εικόνα 1.6.: Ασπιδόμορφα Ηφαίστεια: Πολύ ομαλές πλευρές και κυρτό σχήμα.....	12
Εικόνα 1.7.: Ηφαίστειο Hekla Ισλανδία.....	12
Εικόνα 1.8.: Ηφαίστειο Σαντορίνης.....	13
Εικόνα 1.9.: Στρωματοηφαίστειο: Με ομαλές πλευρές στα χαμηλά και απότομες πλευρές ψηλά-Μικρός Κρατήρας Κορυφής.....	13
Εικόνα 1.11.: Βεζούβιος.....	14
Εικόνα 1.12.: Ηφαιστειακό plateaux.....	14
Εικόνα 1.13.: Ένα πυρακτωμένο νέφος εκτινάχθηκε στις 8/5/1902 από το ηφαίστειο Πελέ της Μαρτινίκας με μεγάλη ταχύτητα και οδήγησε στον θάνατο 30.000 ανθρώπων	15
Εικόνα 1.14.: Διάτρημα Moses Rock Dike, Utah, USA.....	15
Εικόνα 1.15.: Μάαρ Ηφαίστεια.....	16
Εικόνα 1.16.: Κρατήρας Molokini, Χαβάη- Υποθαλάσσιο Ηφαίστειο.....	16
Εικόνα 1.17.: Υποθαλάσσιο Ηφαίστειο.....	16
Εικόνα 1.18.: Έκρηξη του Ηφαιστείου της Αγίας Ελένης.....	19
Εικόνα 1.19.: Φουμαρόλες- Εκδηλώνονται κατά το ατμιδικό στάδιο και κατά την ανέξοδό τους εκλύονται λευκού καπνοί. Αποτελούντα κυρίως από άνυδρα χλωριούχα άλατα.....	20
Εικόνα 1.20.: Σολφατάρες ή θειωνίες- Εκλύονται κυρίως υδρατμοί, H ₂ S και σε μικρότερο ποσοστό CO ₂ . Μπορεί να δημιουργήσουν κοιτάσματα θείου ή θειούχων οικονομικά εκμεταλλεύσιμων ορυκτών.....	20
Εικόνα 1.21.: Σουσάκι.....	21
Εικόνα 1.22.: Λαχάρ.....	23
Εικόνα 1.23.: Πυρακτωμένα Νέφη.....	23
Εικόνα 1.24.: Εικόνα από θερμική κάμερα στο ηφαίστειο Mauna Lo.....	24
Εικόνα 1.25.: Εικόνα από κάμερα web στο ηφαίστειο Mauna Loa.....	24
Εικόνα 1.26.: Γεωχημικές μετρήσεις των αερίων που απελευθερώνονται στο Kilauea	24
Εικόνα 2.1.: Το ελληνικό ορογενετικό τόξο.....	25
Εικόνα 2.2.:Χωρική κατανομή των ηφαιστειακών κέντρων του σύγχρονου Ελληνικού τόξου.....	26
Εικόνα 2.3.:Το ηφαιστειακό σύμπλεγμα της Σαντορίνης.....	27
Εικόνα 2.4.: Σχηματική τομή του στερεού φλοιού στη Σαντορίνη.....	28
Εικόνα 2.5.: Γεωλογικός Χάρτης Σαντορίνης.....	29
Εικόνα 2.6.: Ηφαιστειολογικός χάρτης της Νέας και Παλαιάς Καμένης.....	29
Εικόνα 2.7.: Η Παλαιά Καμένη όπως φαίνεται από τη Νέα Καμένη.....	30
Εικόνα 2.8.:Λάβες της Νέας Καμένης.....	30
Εικόνα 2.9.: Κρατήρας Αγίου Γεωργίου στη Νέα Καμένη.....	31
Εικόνα 2.10.: Νέα Καμένη.....	31
Εικόνα 2.1.: Οι φάσεις της έκρηξης και σχηματισμός της Σαντορίνης.....	33

Εικόνα 2.12.: Λευκή τέφρα της Μινωικής έκρηξης στην περιοχή του Ακρωτηρίου. Ο καφές ορίζοντας είναι παλαιοέδαφος.....	34
Εικόνα 2.13.: Η έκρηξη του 1950.....	34
Εικόνα 2.14.: Diffusion στον κρατήρα του Κολούμπο ,οι πλευρές της οποίας είναι καλυμμένες με βακτήρια.....	35
Εικόνα 2.15.: Η θέση του υποθαλάσσιου ηφαιστείου Κολούμπο.....	36
Εικόνα 2.16.: Η Σαντορίνη σήμερα.....	37
Εικόνα 2.17.: Πίνακας κατηγοριοποίησης που προτείνει η Διεθνής Ένωση Ηφαιστειολογίας και Χημείας του Εσωτερικού της Γης για τον χαρακτηρισμό της κατάστασης επιφυλακής ενός ηφαιστείου.....	38
Εικόνα 2.18.: Οι 5 σταθμοί GPS παρουσιάζονται με τις κόκκινες κουκίδες.Με το κίτρινο τετράγωνο είναι η περιοχή που έχει παρατηρηθεί διόγκωση μάγματος.....	39
Εικόνα 3.1.:Τα διοξείδια του θείου και τα οξείδια του αζώτου αντιδρούν με τους υδρατμούς της ατμόσφαιρας και μετατρέπονται σε θεικιά και νιτρικά οξέα τα οποία προκαλούν την όξινη βροχή.....	44
Εικόνα 3.2.: Λίμνη Nyos.....	47
Εικόνα 3.3.: Η λίμνη Nyos βρίσκεται μέσα σε ένα ηφαιστειακό κρατήρα. Στην πρώτη εικόνα πριν την έκρηξη, το CO ₂ βρίσκεται συγκεντρωμένο στο πάτο της λίμνης. Στη δεύτερη εικόνα μετά την έκρηξη το CO ₂ , το νερό της λίμνης ανυψώθηκε και απελευθερώθηκε στην ατμόσφαιρα.....	47
Εικόνα 3.4.: Ηφαιστειακά αέρια αντιδρούν με την ατμόσφαιρα με διάφορους τρόπους και μπορούν να επηρεάσουν μέχρι και το τοπικό ή και το παγκόσμιο κλίμα.....	47
Εικόνα 3.5.: Η απειλή των υποθαλάσσιων ηφαιστείων για τη βύθιση πλοίων.....	48
Εικόνα 3.6.: Η περίπτωση του Όρους Mammoth.....	49
Εικόνα 3.7.: Η καταστροφή των δασών λόγω απελευθέρωσης διοξειδίου του άνθρακα από την έκρηξη του ηφαιστείου.....	49
Εικόνα 3.8.: “Νέα Γη” , δημιουργήθηκε από την λάβα του ηφαιστείου Kilauea. Οι λευκοί καπνοί σηματοδοτούν την πιο ενεργή είσοδο της λάβας στο τοπίο.....	50
Εικόνα 3.9.: Ο ήλιος φαίνεται μέσα από ένα λοφίο αερίων που δημιουργήθηκε κατά την έκρηξη του 1984, του ηφαιστείου Mauna, Loa.....	50
Εικόνα 3.10.: Νέφος Vog που δημιουργήθηκε από τις εκπομπές SO ₂ του ηφαιστείου της Χαβαής.....	51
Εικόνα 3.11.: Οι κίνδυνοι από το νέφος “Iaze”.....	52
Εικόνα 3.12.: Φαινόμενο του θερμοκηπίου- παγίδευση ακτινοβολίας.....	53
Εικόνα 3.13.: Όξινη βροχή και δάση.....	54
Εικόνα 3.14.: Πτώση της θερμοκρασίας εξαιτίας των σταγονιδίων θεικού οξέος.....	55
Εικόνα 3.15.: Ηφαιστειο Κρακατόα.....	56
Εικόνα 4.1.:Στη Σαντορίνη εμφανίζονται ατμίδες με αποθέσεις γύψου και θείου και από τις οποίες εκλύονται χαρακτηριστικά ηφαιστειακά αέρια.....	58
Εικόνα 4.2.: Radiello	59
Εικόνα 4.3.:Το Radiello χρησιμοποιείται για τη δειγματοληψία σε ηφαιστειογενείς περιοχές.....	60
Εικόνα 4.4.:Το Radiello χρησιμοποιείται για τη δειγματοληψία σε ηφαιστειογενείς περιοχές όπως η Σαντορίνη.....	60

Κατάλογος Πινάκων

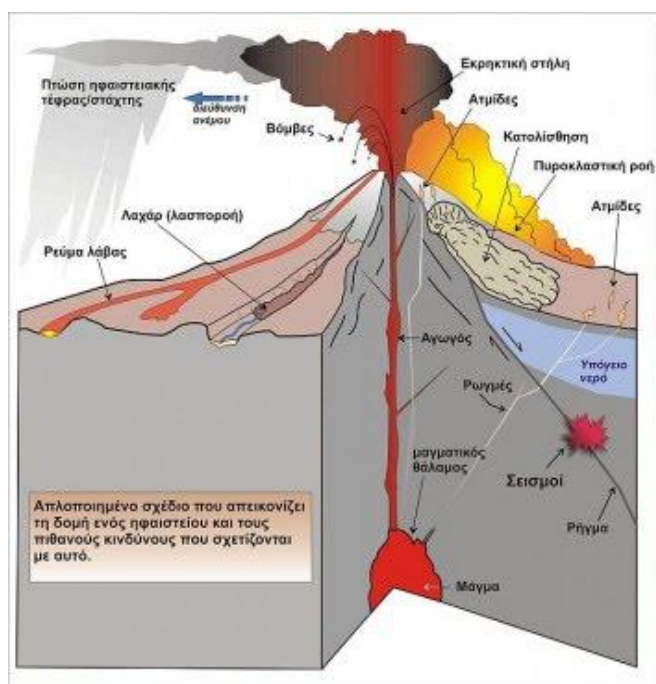
Πίνακας 1. Συνέπειες στον ανθρώπινο οργανισμό από την εισπνοή υδροθείου. Στον πίνακα είναι εμφανείς οι προοδευτικές διαταραχές σε περίπτωση εισπνοής μεγαλύτερων ποσοτήτων υψηλής συγκέντρωσης αερίου.....	42
--	----

Κεφάλαιο 1^ο

1.1. Εισαγωγή στα ηφαίστεια και στην ηφαιστειότητα

Ως ηφαίστειο (ή ηφαιστειακό κώνο) ορίζουμε ένα φυσικό σύστημα δια μέσου του οποίου μεταφέρονται στην επιφάνεια της γης στερεά και ρευστά αναβλήματα, θερμά διαλύματα και αέριες φάσεις βαθιάς προέλευσης. Παράλληλα πραγματοποιείται μεταφορά θερμικής ενέργειας από τα εσωτερικά προς τα εξωτερικά τμήματα της γης.

Κάθε ηφαίστειο έχει έναν κεντρικό πόρο (centralvent) πάνω από τον οποίο υπάρχει ο κεντρικός κρατήρας. Το ηφαιστειακό οικοδόμημα (edifice) δομείται από συμμετρική συσσώρευση λάβας ή/και πυροκλαστικού αγωγού γύρω από τον κεντρικό αγωγό και έχει κωνικό σχήμα. Ο κεντρικός αγωγός συνδέεται με το μαγματικό θάλαμο (magmachamber) σε βάθος, ο οποίος είναι και ο βασικός ταμιευτήρας του ηφαιστειακού υλικού. Το άνοιγμα δια μέσου του οποίου το ηφαιστειακό υλικό εκχύνεται στην επιφάνεια της γης ονομάζεται στόμιο. Διοχετεύεται από έναν κυκλινδρικού σχήματος αγωγό και τροφοδοτείται από κάποιο μαγματικό θάλαμο που βρίσκεται σε σχετικά μικρό βάθος ανάλογα με την περιοχή. Κοντά στο στόμιο παρατηρείται ένα βύθισμα με μορφή χαόνης από όπου εξέρχονται τα ηφαιστειακά προϊόντα και ονομάζεται κρατήρας. Μεγαλύτερα ανοίγματα με απότομη κλίση και σχεδόν επίπεδο πυθμένα, περισσότερο ή λιγότερο εκκεντρικά σε σχέση με το κύριο άξονα του κώνου και συχνά καλυπτόμενα με μικρές ή μεγάλες λίμνες, ή θαλασσινό νερό, ονομάζονται καλδέρες. Οι πλευρές (flanks) του ηφαιστείου είναι συνήθως ασταθείς και περιέχουν κατακόρυφες ρηγματώσεις που επικοινωνούν με τον κύριο μαγματικό θάλαμο ή με κάποιο δευτερεύοντα μαγματικό θάλαμο σε μικρότερο βάθος. Συχνά οι ρηγματώσεις αυτές αποτελούν φλέβες τροφοδοσίας πλευρικών εκρήξεων. Οι εκρήξεις αυτές δημιουργούν τους παρασιτικούς κώνους (parasitic cone). Οι ρηγματώσεις αυτές μπορούν να αποτελέσουν επιπλέον, διεξόδους διαφυγής ηφαιστειακών αερίων και δημιουργούν τις λεγόμενες ατιμίδες ή φουμαρόλες (fumaroles).



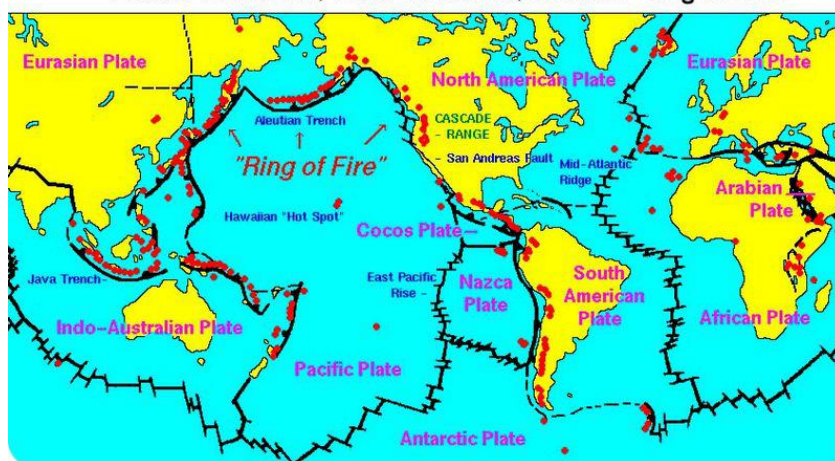
Εικόνα 1.1.: Η δομή ενός ηφαιστείου (Πηγή: Εισαγωγή στη γεωλογία- geo.auth.gr)

Ο όρος ηφαιστειότητα αναφέρεται στις ευρύτερες και βαθύτερες διεργασίες που οδηγούν στην εγκατάσταση των ηφαιστειών στην επιφάνεια. (Εισαγωγή στη Γεωλογία, Δρ Βαρβάρα Αντωνίου, 2019) Η ηφαιστειακή δραστηριότητα συνδέεται άμεσα με τη δράση των τεκτονικών πλακών και τα ηφαιστειακά κέντρα βρίσκονται συγκεντρωμένα σε ορισμένες ζώνες και σε άλλες περιοχές δεν αναπτύσσονται καθόλου.

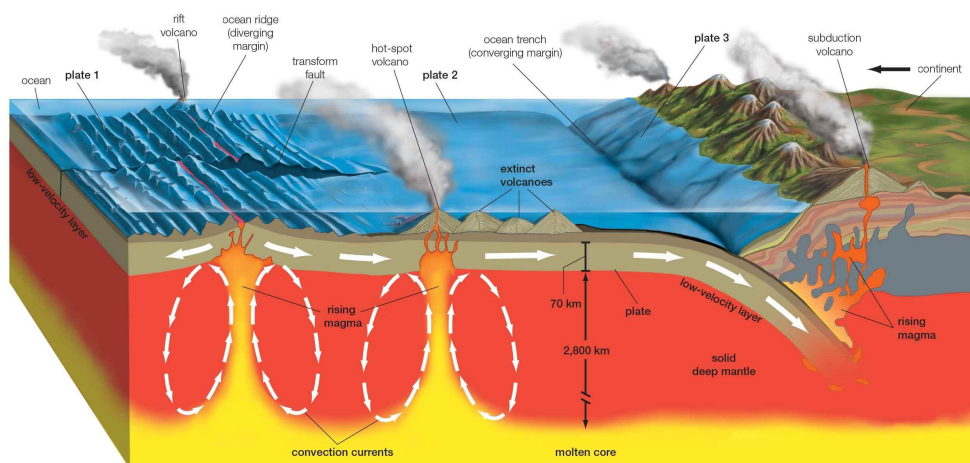
Το 65% των ηφαιστειών περίπου, βρίσκεται κατά μήκος των περιθωρίων του Ειρηνικού ωκεανού σχηματίζοντας τη “Πύρινη Ζώνη” ή “Ζώνη της Φωτιάς” και συμπίπτει με τα όρια σύγκλισης του Ειρηνικού ωκεανού κάτω από όλες τις λιθοσφαιρικές πλάκες που τον περιβάλλουν. Άλλες περιοχές ενεργούς ηφαιστειότητας είναι στο χώρο της Μεσογείου. Η λεγόμενη Μεσογειακή-Μεσοασιατική γραμμή, περιλαμβάνει τα ηφαίστεια της Ν. Ιταλίας και του Ν. Αιγαίου, που συνδέονται με την υποβύθιση της αφρικανικής πλάκας κάτω από την ευρασιατική καθώς και τα ηφαίστεια της ζώνης Καυκάσου/Αρμενίας που συνδέονται με την ολοκληρωμένη σύγκρουση της αραβικής με την ευρασιατική πλάκας. Στις περιοχές που συνδέονται με τις ζώνες σύγκλισης των λιθοσφαιρικών πλακών, όπου η μια ωκεάνια πλάκα υποβυθίζεται και καταστρέφεται κάτω από μια άλλη, με περίπου το 8% των ενεργών ηφαιστειών σε παγκόσμια κλίμακα να εκδηλώνονται λόγω του μηχανισμού αυτού. Το τήγμα που είναι λιγότερο πυκνό από τα γύρω πετρώματα και σε συνδυασμό με τη δράση των αερίων, ανέρχεται, ψύχεται βαθμιαία και εν τέλη κρυσταλλώνεται. Το υπόλοιπο υλικό εξέρχεται στην επιφάνεια και δημιουργεί τα ηφαίστεια, τα οποία βρίσκονται σε γραμμική διάταξη και σχηματίζουν ένα ηφαιστειακό τόξο.

Στα αποκλίνοντα όρια των λιθοσφαιρικών πλακών εκδηλώνονται οι μεσοωκεάνιες ράχες, κατά μήκος των οποίων έχουμε τη συνεχή άνοδο μαγματικού υλικού και τη δημιουργία νέου φλοιού. Τα ηφαίστεια που εκδηλώνονται στις περιοχές αυτές είναι κυρίως υποθαλάσσια και όταν τα κορυφαία τμήματά τους αναδύονται πάνω από τη στάθμη της θάλασσας, δημιουργούν τα ηφαιστειογενή νησιά (πχ Ισλανδία στον Ατλαντικό, Νησιά του Πάσχα στον Ειρηνικό κλπ). Ηφαίστεια μπορούν να εμφανιστούν και σε κεντρικές περιοχές των τεκτονικών πλακών (περιοχές θερμών κηλίδων). Σε αυτήν την περίπτωση μέσα από κάποια ασυνέχεια του φλοιού της γης ανέρχεται υλικό και δημιουργεί τα ηφαίστεια. Τα νησιά της Χαβάης στο κέντρο του Ειρηνικού αποτελούν αντιπροσωπευτικό παράδειγμα (Ηφαιστειολογία-Κυριακόπουλος 2014).

Active Volcanoes, Plate Tectonics, and the “Ring of Fire”



Εικόνα 1.2 : Παγκόσμιος Χάρτης Ενεργής Ηφαιστειότητας (Πηγή: USGS)



Εικόνα 1.3.: Μηχανισμοί κίνησης των λιθосφαιρικών πλακών και δημιουργία ηφαιστείων (Πηγή: εγκυκλοπαίδια Britannica)

1.2 Ταξινόμηση των ηφαιστείων

Τα ηφαιστεια ταξινομούνται με διάφορα κριτήρια μερικά από τα οποία παρουσιάζονται παρακάτω.

Αρχικά ταξινομούνται σύμφωνα με τη μορφή του αγωγού από τον οποίο εξέρχονται τα ηφαιστειακά προϊόντα. Συνήθως το μαγματικό υλικό εξέρχεται από τον κρατήρα κυλινδρικού σχήματος αλλά το μαγματικό υλικό μπορεί να εξέρχεται και από μια ρωγμή που αναπτύσσεται κατά μήκος αρκετών χιλιομέτρων. Τότε τα ηφαιστεια χαρακτηρίζονται ως Κεντρικά ή Γραμμικά αντίστοιχα.

Ανάλογα με το είδος των εκρήξεων που πραγματοποιούνται από τον κεντρικό αγωγό και λαμβάνοντας υπόψη ότι το μαγματικό υλικό προέρχεται από τον ίδιο θάλαμο, τα ηφαιστεια διακρίνονται σε Μονογενή, αν προέρχονται από μια και μόνο ηφαιστειακή δράση ή Πολυγενή αν σχηματίζονται από επαναλαμβανόμενες εκρήξεις.

Τα Κεντρικά Μονογενή ηφαιστειακά κέντρα παρουσιάζουν αρκετά απλές μορφές των ηφαιστειακών οικοδομημάτων και το τελικό σχήμα τους εξαρτάται από την τοπογραφία. Τα Γραμμικά ηφαιστεια είναι κυρίως μονογενή. Αφού πραγματοποιηθεί η έκρηξη, η ρωγμή από την οποία εκχύθηκε το ηφαιστειακό υλικό κλείνει και στη συνέχεια η ενδεχόμενη νέα ανέξοδος μαγματικού υλικού, πραγματοποιείται από παρασιτικές ρωγμές.

1.2.1 Τύποι Ηφαιστείων με βάση τη σύσταση του μάγματος

Μια βασική ταξινόμηση των ηφαιστείων, σχετίζεται με τη σύσταση του μάγματος και τον τρόπο που αυτό εξέρχεται.

A) Ηφαίστεια Λάβας

Τα ηφαίστεια λάβας έχουν εκχυτική δραστηριότητα και το μάγμα τους έχει χαμηλό ιξώδες και παρατηρείται ανέξοδος σημαντικών ποσοτήτων συμπαγούς λάβας με τη μορφή ρευμάτων ή καλυμμάτων που καλύπτουν μεγάλες εκτάσεις σε οριζόντια ανάπτυξη. Διακρίνονται σε Γραμμικά Ηφαίστεια Λάβας , Κεντρικά Μονογενή Ηφαίστεια Λάβας και Πολυγενή Ηφαίστεια Λάβας

I. Γραμμικά ηφαίστεια λάβας

Οι εκχύσεις των γραμμικών ηφαιστειών λάβας πραγματοποιούνται από ρωγμές που ανοίγουν. Σπάνια επαναλαμβάνονται εκχύσεις στην ίδια θέση οι οποίες στην πλειονότητά τους είναι πρωταρχικές. Στις θέσεις των εκχύσεων σχηματίζονται χαμηλά αναχώματα λάβας από πίδακες λάβας. Η λεπτόρρευση λάβας των γραμμικών εκχύσεων έχει τη σύσταση υπαλκαλικού ή αλκαλικού βασάλτη και τα προϊόντα της στερεοποίησης ονομάζονται βασάλτες καλυμμάτων, υψιπέδων και κατακλύσεως. Χαρακτηριστικό γραμμικό ηφαίστειο λάβας είναι το Laki της Ισλανδίας (Μαγματικά Πετρώματα- Ανδρέας Μαγγανάς,2011)



Εικόνα 1.4 : Ηφαίστειο Laki Ισλανδίας (Πηγή: wikipedia)

II. Κεντρικά Ηφαίστεια Λάβας

Οι εκχύσεις πραγματοποιούνται από ένα κεντρικό αγωγό ή από ρωγμές που ξεκινούν από τον αγωγό, ο οποίος βρίσκεται πιθανώς στη διασταύρωση μεγάλων ρηγμάτων του φλοιού. Υπάρχουν μονογενή ηφαίστεια που μπορεί να σχηματίζουν κώνους λάβας από συγκολλημένες σκωρίες και λάβα που εκχύθηκε πάνω τους. Από επανειλημμένες εκχύσεις λάβας δημιουργούνται τα ασπιδόμορφα ηφαίστεια (πολυγενή).

Τα ασπιδόμορφα ηφαίστεια είναι ηφαιστειακά οικοδομήματα με μεγάλη επιφανειακή εξάπλωση και διακρίνονται από τα βασαλτικά υψιπέδα, από τη μικρότερη ποσότητα εκπεμπόμενων υλικών καθώς και από τον περιορισμένο χρόνο εκπομπής τους. Συνήθως αναπτύσσονται κατά μήκος ενός κεντρικού άξονα και παρουσιάζουν τη μορφή καλδέρας. Εντοπίζονται σε ωκεάνιες περιοχές με χαρακτηριστικά τα νησιά της Χαβάης και έτσι ο τύπος έκρηξης που τα χαρακτηρίζει ονομάζεται τύπος “ Χαβάης”. Το μάγμα τους έχει χαμηλή περιεκτικότητα σε πυρίτιο και χαρακτηρίζονται από μη εκρηκτική δραστηριότητα. Έχουν μεγάλη έκταση και αποτελούν το συνηθέστερο τύπο ηφαιστειών.



Εικόνα 1.5.: Νησος Mauna Loa, από τα πιο γνωστά ενεργά ασπιδόμορφα ηφαίστεια και το μεγαλύτερο στο είδος του. (Πηγή: www.sciencenews.org)



Εικόνα 1.6.: Ασπιδόμορφα Ηφαίστεια: Πολύ ομαλές πλευρές και κυρτό σχήμα (Πηγή: [www. geo.auth.gr](http://www.geo.auth.gr))

B) Μικτά Ηφαίστεια

Τα μικτά ηφαίστεια παρουσιάζουν εκχυτική και εκρηκτική δραστηριότητα. Το μάγμα τους είναι ενδιάμεσο προς όξινο και έχουν υψηλότερο ιξώδες σε σχέση με τα ηφαίστεια λάβας. Διακρίνονται σε Γραμμικά μικτά ηφαίστεια, Κεντρικά μονογενή μικτά ηφαίστεια και Κεντρικά πολυγενή μικτά ηφαίστεια ή Στρωματοηφαίστεια

I. Γραμμικά Μικτά Ηφαίστεια

Έχουμε έκχυση λάβας από ρωγμές και δημιουργία αναχωμάτων. Χαρακτηριστικό παράδειγμα το ενεργό ηφαίστειο Hekla στην Ισλανδία (Πυριγενή Πετρόματα-Ανδρέας Μαγγανάς, 2011)



Εικόνα 1.7 : Ηφαίστειο Hekla Ισλανδία (Πηγή: [volcano discovery](http://volcano.discovery))

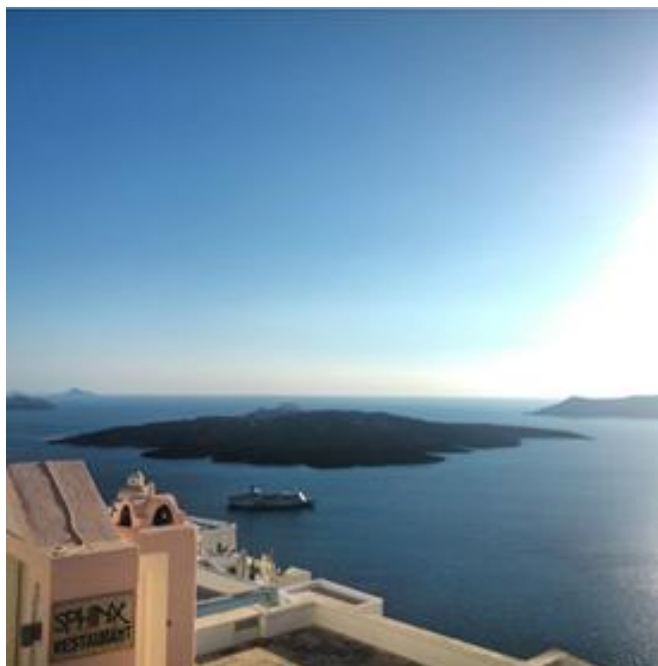
II. Κεντρικά Μονογενή Μικτά Ηφαίστεια

Δίνουν εκχυτική και εκρηκτική δάση και είναι περιορισμένης έκτασης. Διακρίνονται σε λεπτόρρευστης και παχύρρευστης λάβας. Όταν το μαγματικό υλικό είναι λεπτόρρευστο έχουμε μικρή έκρηξη και δημιουργία αναχώματος, το οποίο ακολουθείται από ένα ρεύμα λάβας που διαρρηγνύει ένα τμήμα του αναχώματος και παίρνει το σχήμα πετάλου. Όταν το μαγματικό υλικό είναι παχύρρευστο μπορεί να

δημιουργηθούν θόλοι διογκώσεως και το υλικό μέσα στον αγωγό να στερεοποιηθεί απότομα. Έπειτα μπορεί η εκρηκτική φάση να σπάσει όλα τα πετρώματα του αγωγού και να αποτεθεί τέφρα ή κίσηρης. Στους θόλους συσσωρεύσεως δημιουργείται ένας ανθεκτικός φλοιός. Επειδή νέο υλικό ανέρχεται συνεχώς έχουμε συσσώρευση και διογκωση αλλά όχι έκχυση. Χαρακτηριστικό παράδειγμα τέτοιου ηφαιστείου είναι των Μεθάνων.

III) Κεντρικά Πολυγενή Μικτά Ηφαίστεια - Στρωματοηφαίστεια

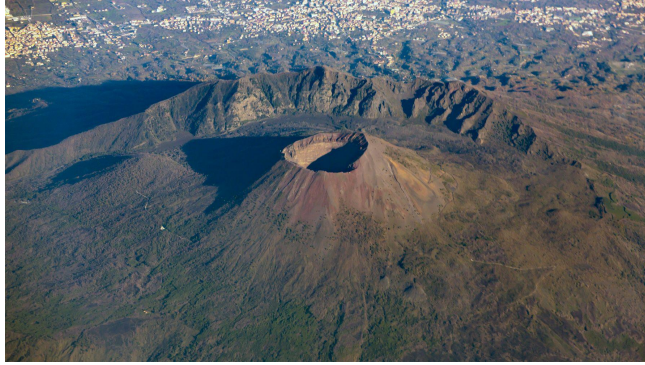
Χαρακτηρίζονται από περιόδους έκχυσης λάβας και περιόδους εκρηκτικής με εκτίναξη σημαντικού όγκου υλικών και από περιόδους ηρεμίας. Η σύσταση του μάγματος τους ποικίλει με εναλλαγές από βασαλτικές ως ρυολιθικές λάβες και τέφρα, ενώ η μέση σύσταση που επικρατεί είναι ανδεσιτική. Είναι μεγάλα σε όγκο και το υλικό τους προέρχεται από μεγάλους μαγματικούς θαλάμους. Δημιουργούν κώνους και έχουν απότομες πλευρές ψηλά και ομαλότερες χαμηλά. Παρατηρούνται φλέβες, κοίτες και παρασιτικοί κώνοι σκωριών. Ακτινωτά του ηφαιστείου μπορεί να έχουμε ρωγμές από τις οποίες εκχύνεται νέο υλικό. Οι εκρήξεις τους μπορεί να δημιουργήσουν νέφη πυροκλαστικών υλικών που εκτινάσσονται ψηλά και λόγω βάρους πέφτουν και ακολουθούν τις πλαγιές του ηφαιστείου καίγοντας ότι βρουν στο δρόμο τους (Πυριγενή Πετρώματα- Ανδρέας Μαγγανάς, 2011). Ο τύπος έκρηξης που τα χαρακτηρίζει είναι η λεγόμενη “Πλινιακή”. Είναι τα πιο επικίνδυνα και καταστροφικά ηφαίστεια και συνδέονται με μεγάλες καταστροφές όπως η έκρηξη της Σαντορίνης και του Βεζούβιου της Ιταλίας



Εικόνα 1.8 : Ηφαίστειο Σαντορίνης (Πηγή: προσωπικό αρχείο, 2016)



Εικόνα 1.9. :Στρωματοηφαίστειο: Με ομαλές πλευρές στα χαμηλά και απότομες πλευρές ψηλά-Μικρός Κρατήρας Κορυφής (Πηγή: www.geo.auth.gr)



Εικόνα 1.11 : Βεζούβιος (Πηγή:huffingtonpost.gr)

Γ)Χαλάρα Ηφαιστεια

Έχουμε μόνο πυροκλαστικό υλικό , δηλαδή μόνο εκρήξεις. Τα ηφαιστειακά οικοδομήματα που διαμορφώνονται αποτελούνται κυρίως από ασύνδετα υλικά και είναι ιδιαίτερα ασταθή. Δεν παρατηρείται ανέξοδος συμπαγούς λάβας αλλά μόνο λεπτόκοκκα υλικά που περιέχουν και συσσωματώματα κρυστάλλων ενδογενούς προέλευσης. Επιπλέον, απελευθερώνονται υψηλές ποσότητες πτητικών συστατικών. Μπορεί να είναι γραμμικά ή κεντρικά και από τη μορφή που προκύπτει από την συσσώρευση των αναβλημάτων έχουμε καλυμματοειδή, αναχωματοειδή και κωνοειδή χαλαρά ηφαιστεια.

Δ)Βασαλτικά Υψίπεδα (Plateaux)

Χαρακτηρίζονται από συσσώρευση σημαντικών ποσοτήτων λαβών που εκπέμπονται από σύστημα ρωγμών. Λόγω της μεγάλης ρευστότητας των λαβών τα ηφαιστειακά κτίσματα έχουν μικρό ύψος και είναι αρκετά επίπεδα. Αν εκδηλώνονται σε ανώμαλες περιοχές, τότε παρατηρούνται ζώνες με μεγάλο πάχος σε κοίλες επιφάνειες, ενώ το ελάχιστο πάχος της λάβας εμφανίζεται σε επίπεδες ή υπερυψωμένες περιοχές. Λόγω μεγάλης ρευστότητας της λάβας, τα ηφαιστειακά κτίσματα έχουν μικρό ύψος και η λάβα εξαπλώνεται σε εκατοντάδες χιλιόμετρα (USGS).



Εικόνα 1.12: Ηφαιστειακό plateaux (Πηγή: wikipedia)

Ε) Ηφαιστεια Αερίων

Επικρατεί κυρίως ανέξοδος πτητικών συστατικών και έχουμε μόνο εκρηκτική φάση αέρια και όχι στερεή. Τα αέρια αναβλήματα εκτινάσσονται σε αρκετά μεγάλο ύψος στην ατμόσφαιρα και κατά τη βίαια εκτίναξή τους συμπαρασύρουν και στερεά.

σωματίδια όπως είναι η ηφαιστειακή σπόδος και η ηφαιστειακή άμμος. Τα πυρακτωμένα υλικά έχουν θερμοκρασία άνω των 1000°C και καταστρέφουν τα πάντα στην πορεία τους.

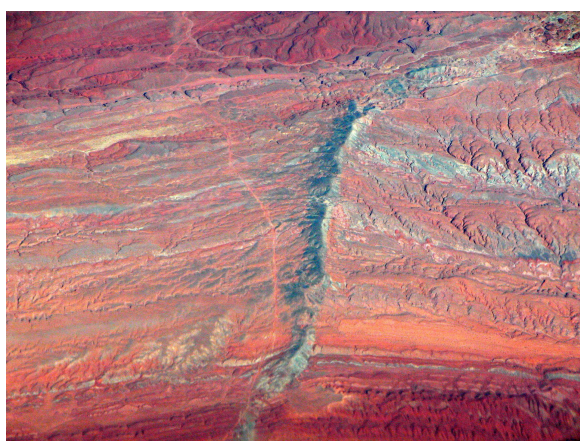
Αμιγή ηφαίστεια αερίων δεν παρουσιάζονται σε μεγάλο ποσοστό γιατί σχεδόν πάντα από ένα ηφαίστριο κατά τη διάρκεια της εκρηκτικής του δράσης εξέρχονται και αέριες φάσεις και διάφορα στερεά αναβλήματα.



Εικόνα 1.13 : Ένα πυρακτωμένο νέφος εκτινάχθηκε στις 8/5/1902 από το ηφαίστριο Πελέ της Μαρτινίκας με μεγάλη ταχύτητα και οδήγησε στον θάνατο 30.000 ανθρώπων . (Πηγή: ArcGis StoryMaps)

Z) Διάτρημα

Σχηματίζονται όταν ηφαιστειακή δραστηριότητα ενός ηφαιστείου εξαντλείται μετά από μια και μόνο έκρηξη και όταν πρόκειται για ανέξοδο αερίων φάσεων. Ο κρατήρας ξαναγεμίζει με θρυμματισμένο ηφαιστειακό υλικό και περιβάλλοντα πετρώματα που στερεοποιούνται και μετατρέπονται σε συμπαγή μάζα.



Εικόνα 1.14.: Διάτρημα Moses Rock Dike, Utah, USA. (Πηγή: Wikipedia)

H) Μαάρ

Μετά από συνεχείς εκρήξεις ενός ηφαιστείου κυρίως αερίων και ρευστών υλικών, αδειάζει το γειτονικό πέτρωμα με αποτέλεσμα να σχηματίζονται μεγάλα βυθίσματα στο χώρο γύρω από τον ηφαιστειακό αγωγό. Έπειτα το τμήμα αυτό γεμίζει με μετεωρικό, υπόγειο ή θαλασσινό νερό και σχηματίζονται έτσι μικρές αβαθείς λίμνες

που ονομάζονται Μάαρ, οι διαστάσεις και το σχήμα των οποίων εξαρτώνται από τη βιαιότητα της έκρηξης.



Εικόνα 1.15. : Μάαρ Ηφαίστεια (Πηγή: universetoday.com)

1.2.2. Επιπέδων Ταξινομήσεις Ηφαιστειών (Χερσαία, Υποθαλάσσια)

Χερσαία ηφαίστεια ονομάζονται αυτά που έχουν χαρακτηριστική γεωμορφή κωνικού σχήματος που δημιουργείται από τα ηφαιστειακά αναβλήματα στη στεριά. (Εισαγωγή στη γεωλογία - Βέρα Αντωνίου, 2019)

Υποθαλάσσια ηφαίστεια ονομάζονται αυτά με χαρακτηριστική γεωμορφή κωνικού σχήματος που δημιουργείται από τα ηφαιστειακά αναβλήματα σε θαλάσσιους πυθμένες. Υπερέχει συντριπτικά ως ποσοστό (περίπου 80%), αλλά είναι προσιτά στην άμεση παρατήρηση μόνο όταν αναδύεται με τη μορφή ηφαιστειογενών νησιών.



Εικόνα 1.16: Κρατήρας Mołokini, Χαβάη- Υποθαλάσσιο Ηφαίστειο (Πηγή: Wikipedia)



Εικόνα 1.17: Υποθαλάσσιο Ηφαίστειο (Πηγή: basicplanet.com)

1.2.3. Επιπλέον Ταξινομήσεις Ηφαιστειών (Ενεργά, Κοιμώμενα, Σβησμένα)

Τα ηφαίστεια επιπλέον ταξινομούνται σε Ενεργά, Κοιμώμενα και Σβησμένα.

Ενεργά ηφαίστεια χαρακτηρίζονται αυτά τα οποία εμφανίζουν καταγεγραμμένη εκρηκτική δραστηριότητα μέσα στους ιστορικούς χρόνους και είναι ικανά να επαναδραστηριοποιηθούν ανά πάσα στιγμή και στο μέλλον (πχ Αίτνα στην Ιταλία, με έντονη δραστηριότητα σήμερα). Άτυπα οι επιστήμονες θεωρούν ένα ηφαίστειο ενεργό όταν εμφανίζει σήμερα εκρηκτική δράση ή κάποια άλλη χαρακτηριστική δραστηριότητα όπως σεισμική, εκπομπή αερίων, τοπογραφική ανύψωση κλπ.

Κοιμώμενα ηφαίστεια χαρακτηρίζονται αυτά που δεν έχουν καταγεγραμμένη δράση είτε λόγω περιόδου ηρεμίας που υπερκαλύπτει τους ιστορικούς χρόνους, είτε γιατί βρίσκονται σε περιοχές με χρονικά περιορισμένες καταγραφές. Για τα ηφαίστεια αυτά δεν μπορεί να αποκλειστεί μελλοντική δραστηριοποίηση (πχ Κιλιμάντζαρο στην Τανζανία).

Για να χαρακτηρίσουμε ένα ηφαίστειο ως σβησμένο, όλα τα δεδομένα του πρέπει να δείχνουν πως έχει ολοκληρώσει τον κύκλο της ζωής του και να έχει απονεκρωθεί (πχ Mount Buninyong, Αυστραλία). (Εισαγωγή στη Γεωλογία, Βέρα Αντωνίου, 2019)

Ωστόσο μερικές φορές αυτή η διαφοροποίηση μπορεί να είναι υποκειμενική και άρα ανακριβής.

1.3. Τύποι Εκρήξεων

Τα ηφαίστεια ανάλογα με τον τρόπο που εκτινάσσεται το μαγματικό τους υλικό, τη φυσικοχημική κατάσταση των μαγματικών προϊόντων και το είδος και τις διαστάσεις των ηφαιστειακών οικοδομημάτων που δημιουργούνται καθώς και την ηφαιστειακή επικινδυνότητα δημιουργούν διάφορους τύπους εκρήξεων.

1. **Ισλανδικού τύπου εκρήξεις:** επικρατούν οι εκρήξεις μέσω ρωγμών και δημιουργείται βασάλτης. Επαναλαμβανόμενες εκρήξεις δημιουργούν βασαλτικά κράσπεδα.
2. **Εκρήξεις τύπου Χαβάης:** υπερτερούν οι κεντρικού τύπου εκρήξεις και εκχύνονται πυρακτωμένοι πίδακες λάβας, δημιουργώντας μικρούς κώνους από οξειδώσεις και παράλληλη εκτινάσσονται πυροκλαστικά προϊόντα. Η δραστηριότητα εκδηλώνεται από ρωγμές, αλλά η ανέξοδος υλικών συνεχίζεται μέχρι και για μέρες μετά την έκρηξη, από διάφορα σημεία. Από τη συνεχή δραστηριότητα των ηφαιστειών με συμπαγή λάβα, καλύπτονται επιφανειακές εκτάσεις και σχηματίζονται Ασπιδωτά ηφαίστεια και ηφαίστεια τύπου Χαβάης.
3. **Εκρήξεις τύπου Plinian:** η δραστηριότητα είναι βίαιη και απελευθερώνονται πτητικά συστάτικα και CO₂ ενώ και υδρατμοί συμμετέχουν από τη διείσδυση θαλασσιού νερού. Παρατηρείται μεγάλη περίδος ηρεμίας.
4. **Εκρήξεις τύπου Vulcano:** εκτινάσσονται βιαίως πυρακτωμένα τεμάχια λάβας και μεγάλες ποσότητες πτητικών συστατικών. Μετά από μακρά περίοδο ηρεμίας το ηφαίστειο δραστηριοποιείται εκ νέου και το μαγματικό υλικό έχει υψηλό ποσοστό σε νερό.
5. **Εκρήξεις τύπου Πελέ:** από τον κεντρικό κρατήρα εκτινάσσονται πυρακτωμένα νέφη και μεγάλες ποσότητες πτητικών συστατικών. Η εκρηκτικότητα είναι

έντονη και σχηματίζονται μεγάλες εκτάσεις Λαχάρ. Το μάγμα έχει μεγάλο ιξώδες και δημιουργούνται υψηλά ηφαιστειακά κτίσματα. Πήρε το όνομα της από το ηφαίστειο Πελέ της Μαρτινίκας με την καταστροφική έκρηξη του 1902.

- 6. Έκρηξεις τύπου Στρόμπολι:** ιδιαίτερη εκρηκτική δραστηριότητα με μεγάλη αναλογία πυροκλαστικών υλικών και βασαλτικής λάβας. Από τις πλευρικές ρωγματώσεις εξέρχεται νέα λάβα και αρκετές φορές εξέρχονται από το ηφαίστειο λευκά πυρακτωμένα νέφη και υδρατμοί σε μεγάλο ύψος. Η έκρηξη πήρε το όνομα της από το ηφαίστειο Στρόμπολι της Ιταλίας.

1.4. Ηφαιστειακά Αέρια

Το μάγμα είναι ένα φυσικό πυριτικό ρευστό, σε υψηλές θερμοκρασίες, που περιέχει διαλυμένα πτητικά συστατικά και μπορεί να διεισδύσει στο γήινο φλοιό. Η έκρηξη ενός ηφαιστείου προκαλείται όταν οι συμπυκνωμένες αέριες φάσεις μέσα στο μάγμα διαχέονται ταχύτατα με αποτέλεσμα να πραγματοποιείται θρυμματισμός του μαγματικού υλικού. Οι ηφαιστειακές εκρήξεις εκδηλώνονται με την έξοδο ρευστών και στερεών υλικών, συνοδευόμενων με υψηλό ποσοστό πτητικών συστατικών. Ο βιαίος εκρηκτικός χαρακτήρας ενός ηφαιστείου εξαρτάται από τη δύναμη απελευθέρωσης των αερίων και τη σύνδεσή του με το ιξώδες του μάγματος.

Η προέλευση και η παρουσία των αερίων φάσεων κατά την εκρηκτική φάση ενός ηφαιστείου οφείλονται στην ταχύτατη απελευθέρωση και αποσυμπίεση των πτητικών συστατικών στο μάγμα και στην αντίδραση μεταξύ του μάγματος και νερού εξωτερικής προέλευσης. Η πίεση που εξασκούν οι αέριες φάσεις αυξάνεται ανάλογα με το βάθος τους και η διαλυτότητά τους εξαρτάται από την πίεση και τη θερμοκρασία.

Τα αέρια ελευθερώνονται από το μαγματικό υλικό μέσω των φυσαλίδων που μετακινούνται συνεχώς προς τα πάνω στο εσωτερικό της στήλης του μάγματος. Οι φυσαλίδες γίνονται συνεχώς μεγαλύτερες προς τα ανώτερα τμήματα, λόγω της ελάττωσης της εξωτερικής πίεσης. Ως αποτέλεσμα οι φυσαλίδες σπάζουν και απελευθερώνεται το αέριο τους. Η διαδικασία αυτή διαρκεί για αρκετό χρονικό διάστημα, καθώς οι φυσαλίδες σπάνε σε διαδοχικά στάδια.

Τα όξινα μάγματα είναι πιο εκρηκτικά και χαρακτηρίζονται από μεγαλύτερο ιξώδες σε σχέση με τα βασικά. Επίσης περιέχουν περισσότερα ένυδρα ορυκτά και έτσι μεγαλύτερη αναλογία σε αέριες φάσεις. Σε χαμηλή πίεση η διαλυτότητα των αερίων ελαττώνεται και έτσι αυτά απελευθερώνονται στο περιβάλλον.

Εκπομπές αερίων μπορεί να συμβούν κατά την έκρηξη, αλλά είναι συχνές και μεταξύ εκρήξεων στην περίοδο ηρεμίας, από τα γεωθερμικά συστήματα και τις ατμίδες ή ακόμα και μέσω του εδάφους. Το μεγαλύτερο μέρος του περιεχομένου των αερίων, ανεξάρτητα με τη σύσταση του μάγματος, αποτελείται κυρίως από H₂O με τη μορφή υδρατμών, ενώ βρίσκονται επίσης διαλυμένες σε υψηλό ποσοστό στο μαγματικό τήγμα CO₂, SO₂, HCl, HF, H₂S, CH₄, H, N, He, αυτοφυές θείο, ραδόνιο και άλλα στοιχεία.

Τα αέρια συλλέγονται από το στόμιο εκπομπής του με απλά και πιο σύνθετα όργανα. Όμως προκύπτουν προβλήματα καθώς κατά την απελευθέρωσή τους αναμιγνύονται

με τα αέρια της ατμόσφαιρας και συμμετέχουν σε χημικές αντιδράσεις που μεταβάλλουν την αρχική του σύσταση.

Τα ηφαιστειακά αέρια που εκπέμπονται από μια ηφαιστειακή δραστηριότητα μπορεί να αποτελέσουν έναν σημαντικό κίνδυνο για τον πληθυσμό της γύρω περιοχής λόγω της ενδεχόμενης τοξικότητάς τους, καθώς και για τα ζώα και τη βλάστηση. Ακόμα η μελέτη των αερίων των ηφαιστειών και η παρατήρηση μεταβολών στην εκπομπή τους ή τη χημική τους σύσταση, έχει ιδιαίτερη σημασία, καθώς δίνει πληροφορίες για τη γενικότερη δραστηριότητα του ηφαιστείου και μπορεί να αποτελέσουν και ένδειξη μιας επικείμενης ηφαιστειακής έκρηξης.



Εικόνα 1.18. : Έκρηξη του Ηφαιστείου της Αγίας Ελένης (Πηγή USGS)

1.5. Μετα-ηφαιστειακή Δραστηριότητα

Τα ηφαίστεια σε περιόδους ηρεμίας καθώς και τα σβησμένα ηφαίστεια χαρακτηρίζονται από τη μετα-ηφαιστειακή δραστηριότητα, η οποία εκδηλώνεται κυρίως από την ανέξοδο σημαντικών ποσοτήτων αμιδών και θερμών η θερμομεταλλικών πηγών.

1.5.1. Αμιδές

Οι αμιδές χαρακτηρίζονται από την προοδευτική ελάττωση της θερμοκρασίας και διαχωρίζονται ανάλογα με τη σύστασή τους σε Σολφατάρες (H_2S) Μοφέτες (CO_2) και Φουμαρόλες (fumarolae).

Από τις αμιδές εξέρχονται κυρίως θειούχα αέρια και αποθέτουν θείο γύρω τους. Το θείο παράγεται από την ένωση H_2S και SO_2 που αντιδρούν και δίνουν θείο και υδρατμούς. Μεγάλο ποσοστό διοξειδίου του άνθρακα απελευθερώνεται από τις μοφέτες κατά το αμιδικό στάδιο καθώς και υδρατμοί και ελάχιστο ποσοστό υδρόθειου. Οι φουμαρόλες (fumarolae) εκδηλώνονται κατά το αμιδικό στάδιο και κατά την ανέξοδό τους εκλύονται λευκοί καπνοί. Αποτελούνται κυρίως από χλωριούχο νάτριο, κάλιο, μαγγάνιο, σίδηρο, χαλκό και μερικά φθοριούχα άλατα.

Από τις σολφατάρες ή θειωνίες (solfatarae), εκλύονται κυρίως υδρατμοί, H_2O και λιγότερο CO_2 . Αξιοσημείωτο είναι ότι μπορούν να δημιουργηθούν οικονομικά εκμεταλλεύσιμα κοιτάσματα θείου. Τα θερμά διαλύματα πλούσια σε ενώσεις θείου, επιδρούν στα περιβάλλοντα πετρώματα, αντιδρούν με αυτά και σχηματίζουν ένυδρα θειικά άλατα.

Τα αέρια που αναγνωρίζονται εύκολα στις ατμίδες είναι το υδροθείο, που έχει έντονη δυσάρεστη μυρωδιά και το διοξείδιο του άνθρακα που είναι αποπνικτικό. Επίσης οι αποθέσεις γύρω από τις ατμίδες μπορεί να είναι οικονομικά εκμεταλλεύσιμες και να αποτελούν υδροθερμικά κοιτάσματα.

Στην Ελλάδα ατμιδικά φαινόμενα τύπου σολφατάρων έχουμε στη Νίσηρο, όπου εκλύεται H_2S , στη Μήλο, στην Κασσάνδρα Χαλκιδικής, στην Κω, στη Σαντορίνη, τα Μέθανα και τη Λέσβο.



Εικόνα 1.19 : Φουμαρόλες- Εκδηλώνονται κατά το ατμιδικό στάδιο και κατά την ανέξοδό τους εκλύονται λευκού καπνού. Αποτελούνται κυρίως από ένυδρα χλωριούχα άλατα. (Πηγή nps.gov)



Εικόνα 1.20 : Σολφατάρες ή θειωνίες- Εκλύονται κυρίως υδρατμοί, H_2S και σε μικρότερο ποσοστό CO_2 . Μπορεί να δημιουργήσουν κοιτάσματα θείου ή θειούχων οικονομικά εκμεταλλεύσιμων ορυκτών. (Πηγή:www.napolike.com)

Χαρακτηριστικές μοφέττες εμφανίζονται στο Σουσάκι, όπου εξέρχονται ατμίδες σε δυο σπηλιές με θερμοκρασία περίπου 42° C και αποτελούνται κυρίως από CO₂, H₂S, SO₂, He. Γύρω από το στόμιο ανεξόδου των ατμίδων τα περιβάλλοντα πετρώματα υφίστανται εξαλλοίωση κυρίως από τη δράση του υδροθείου και δημιουργούν δευτερογενή ένυδρα θειικά ορυκτά. (Κυριακόπουλος, 2014)



Εικόνα 1.21 :Σουσάκι (Πηγή:huffingtonpost.gr)

1.5.2. Θερμές Πηγές

Εκδηλώνονται σε περιβάλλον πρόσφατης ηφαιστειότητας. Η θέρμανση του νερού στον υδροφόρο ορίζοντα οφείλεται στην ύπαρξη θερμού μαγματικού σώματος, ενώ μπορεί να προέρχεται από του υδρατμούς ενός ψυχόμενου πλουτωνίτη ή να είναι αποτέλεσμα της αυξημένης θερμοκρασίας των πετρωμάτων λόγω της υψηλής γεωθερμικής βαθμίδας.

Ανάλογα με τη χημική τους σύσταση διακρίνονται σε ανθρακικές (περιέχουν κυρίως διαλυμένο ανθρακικό ασβέστιο), οξινο-θεικές (εμπλουτισμένες σε θειικές ενώσεις) και χλωριο-αλκαλικές (υψηλό ποσοστό χλωριο-νατριούχων ενώσεων).

1.6. Αποτελέσματα των ηφαιστειών και ηφαιστειακή επικινδυνότητα

Ηφαιστειακή επικινδυνότητα (διακινδύνευση) ορίζεται ως: το γινόμενο του Ηφαιστειακού Κινδύνου (η πιθανότητα να εκδηλωθεί μια καταστροφική δράση σε μια συγκεκριμένη περιοχή σε ένα ορισμένο χρονικό διάστημα) επί των Αξιών (άνθρωποι, κατασκευές, καλλιέργειες κλπ που απειλούνται από μια έκρηξη) επί την Τρωτότητα (το μέρος των αξιών που θα χαθεί από ένα συμβάν). (Πηγή:ΙΓΜΕ)

Η ηφαιστειακή δραστηριότητα συγκαταλέγεται σε μια από τις σημαντικότερες φυσικές καταστροφές με πολλά αποτελέσματα στη ζωή των ζωντανών οργανισμών και του περιβάλλοντος. Οι ηφαιστειακοί κίνδυνοι μπορεί να είναι πρωτογενείς, οι οποίοι συνδέονται άμεσα με την εκρηκτική ηφαιστειακή δράση ή δευτερογενείς. Περιλαμβάνουν την ίδια την ένταση της έκρηξης, εκπομπή τοξικών αερίων, την ίδια την έκχυση της λάβας και τις πυροκλαστικές ροές, κατολισθήσεις, σεισμούς και υπό συνθήκες ακόμα και η πρόκληση τσουνάμι. Συχνοί φυσικοί κίνδυνοι που συνδέονται με τις ηφαιστειακές εκρήξεις εκτός από τους σεισμούς είναι οι λασπορροές, οι πλυμμήρες οι δασικές πυρκαγιές και οι κατολισθήσεις.

Ένας σημαντικό πρωτογενής κίνδυνος είναι τα πυρακτωμένα νέφη που αποτελούνται από θραύσματα λάβας και σχηματίζουν ένα τυρβώδες μίγμα από καυτά αέρια και πυροκλαστικά υλικά που ρέουν στις πλαγιές των ηφαιστειών. Αυτά τα σύννεφα μπορεί να διανύσουν δεκάδες χιλιόμετρα στην ατμόσφαιρα. Περισσότερο από 70% των θανάτων στον εικοστό αιώνα από ηφαιστειακές εκρήξεις οφειλόταν σε πυρακτωμένα νέφη (Κυριακόπουλος, 2014). Ακόμα ένα από τα άμεσα αποτελέσματα της ηφαιστειακής δραστηριότητας είναι η αιωρούμενη ή ιπτάμενη τέφρα που αποτελείται από λεπτόκοκκα σωματίδια θραυσμάτων και αποτίθενται στην επιφάνεια του εδάφους. Ο βαθμός επικινδυνότητας των κατακρημνίσεων τέφρας ποικίλει. Αν διεισδύσει στα ψηλότερα στρώματα της ατμόσφαιρας μπορεί ακόμα και να επηρεάσει το παγκόσμια καιρικά φαινόμενα ολόκληρης της γης.

Στους πρωτογενείς κινδύνους ανήκει και η εκπομπή των ηφαιστειακών αερίων που απελευθερώνονται κατά τις εκρήξεις και τη ροή λάβας. Το αέριο μίγμα περιλαμβάνει κυρίως υδρατμούς, διοξείδιο του άνθρακα, υδρόθειο, διοξείδιο του θείου, τριοξείδιο του θείου, χλώριο και υδροχλώριο. Έχουν τοξική φύση και δυσάρεστη οσμή αλλά σπάνια συμμετέχουν στις τεράστιες καταστροφές που συνδέονται με την ηφαιστειακή δραστηριότητα. Οι περισσότερες ανθρώπινες απώλειες συνδέονται με το διοξείδιο του άνθρακα το οποίο αναλύεται περαιτέρω και στην επόμενη ενότητα.

Ηφαιστειακοί κίνδυνοι μπορεί να είναι και δευτερογενείς, ιδιαίτερα αν στο χώρο του ηφαιστείου υπάρχει υπόγειο νερό σε σημαντικές ποσότητες, χιόνι ή πάγος και αφορούν μακροπρόθεσμες δυσμενείς επιπτώσεις. Τετοιες είναι οι εδαφικές παραμορφώσεις που αναπτύσσονται κατά τη διείσδυση του μάγματος στα ανώτερα στρώματα του φλοιού και μπορούν να δημιουργήσουν μια ασταθή κατάσταση σε απότομες πλαγιές.

Μια ακόμα έμμεση συνέπεια της ηφαιστειακής δραστηριότητας είναι οι ηφαιστειακές λασπορροές (Λαχάρ), οι οποίες αποτελούνται από κόκκους άμμου ή λεπτότερου υλικού. Συμβαίνουν σε υγρά τροπικά κλίματα και εμφανίζονται στις πλαγιές των ηφαιστειών. Αποτελούν ένα σημαντικό κίνδυνο για τις ανθρώπινες ζωές μαζί με τα πυροκλαστικά νέφη. Το 1985 από την έκρηξη του Νεβάδο ντελ Ρουίς της Κολομβίας, δημιουργήθηκε λασπορροή, που ταξίδεψε 60 χιλιόμετρα και εκτιμάται πως ήταν υπεύθυνη για το θάνατο 22.800 ανθρώπων (Francis P. Oppenheimer C, 2004).

Ποτάμιες πλυμμήρες μπορεί να προκληθούν από τη συσσώρευση της ηφαιστειακής στάχτης σε κοιλάδες διότι η τέφρα εμποδίζει την κατείσδυση του ύδατος.

Επίσης δυο ακόμα σημαντικοί δευτερογενείς κίνδυνοι της ηφαιστειακής δραστηριότητας είναι οι κατολισθήσεις κυρίως πυροκλαστικών σχηματισμών στις πλαγιές των ηφαιστειών και τα παλιρροϊκά κύματα-τσουνάμι. Οι κατολισθήσεις είναι αρκετά συχνές σε αντίθεση με τα παλιρροϊκά κύματα. Όμως τα παλιρροϊκά κύματα συνδέονται με μεγάλες καταστροφές και δυσμενείς συνέπειες, όπως την εξαφάνιση του Μινωικού πολιτισμού μετά την έκρηξη του ηφαιστείου της Σαντορίνης το 1613 π.Χ κατά την Ύστερη Εποχή του Χαλκού.

Τέλος στις δευτερογενείς δυσμενείς επιπτώσεις συγκαταλλέγονται και η όξινη βροχή, οι παροδικές μεταβολές στο κλίμα κλπ.



Εικόνα 1.22.: Λαχάρ (Πηγή: [www. geo.auth.gr](http://www.geo.auth.gr))



Εικόνα 1.23: Πυρακτωμένα Νέφη (Πηγή: www.geo.auth.gr)

1.7. Τρόποι παρακολούθησης των ηφαιστείων

Η παρακολούθηση των ηφαιστείων αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα θέματα που απασχολούν την επιστημονική κοινότητα. Αλλαγές στις συνθήκες ενός ηφαιστείου μπορεί να προειδοποιήσουν για μια επικείμενη έκρηξη γεγονός που μπορεί να επιτρέψει στους επιστήμονες και στους υπόλοιπους φορείς, να προετοιμαστούν και έτσι να σωθούν ακόμα και χιλιάδες ανθρώπινες ζωές από μια επικίνδυνη έκρηξη.

Στα ηφαίστεια υπάρχουν διαφορετικά όργανα που μετρούν διαφορετικές παραμέτρους όπως τη θερμοκρασία, η σεισμική δραστηριότητα, οι ποσότητες των αερίων και άλλες γεωχημικές και γεωφυσικές παραμέτρους.

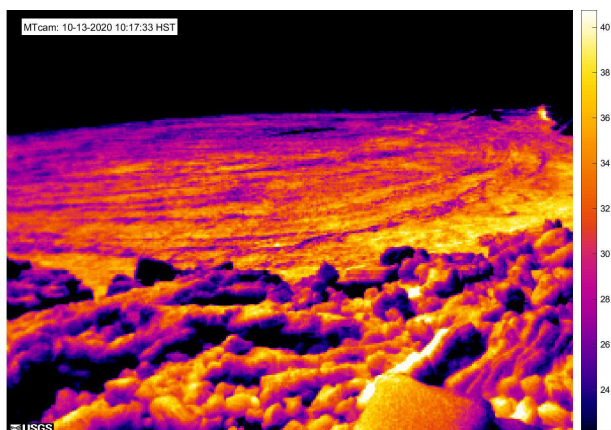
Για την εδαφική παρακολούθηση χρησιμοποιούνται τεχνικές όπως σεισμική παρακολούθηση, παρακολούθηση αερίων, μόνιμοι σταθμοί δορυφορικών συστημάτων παγκόσμια πλοήγησης, γεωχημικές αναλύσεις λάβας, ραντάρ ντόπλερ κλπ. Διαφοροποιήσεις στη σεισμική δραστηριότητα, επισήμανση απότομων αλλαγών στη χημική σύσταση των εκπεμπόμενων αερίων και παρατήρηση τυχόν αύξησης της θερμοκρασίας και της παροχής των θερμών πηγών, ακόμα και μικρές μεταβολές στα τοπογραφικά χαρακτηριστικά του ηφαιστειακού κώνου, μπορεί να σημάνουν αλλαγή στη δραστηριότητα του ηφαιστείου και να προμηνύει μια επερχόμενη έκρηξη.

Επίσης στα ηφαίστεια τοποθετούνται κάμερες web και θερμικές κάμερες που παρακολουθούν καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου τη συμπεριφορά των ηφαιστείων.

Για την μελέτη της περιοδικότητας προηγούμενων εκρήξεων και στην προσπάθεια πρόγνωσης του ηφαιστειακού κινδύνου χρησιμοποιούνται συχνά ειδικά μαθηματικά μοντέλα και στατιστικές μέθοδοι.

Ιδιαίτερα τα τελευταία χρόνια οι δορυφόροι και οι τεχνικές τηλεανίχνευσης χρησιμοποιούνται στην παρακολούθηση των ηφαιστειών και καταγράφουν θερμικές ανωμαλίες, την τοπογραφία, ροές λάβας κλπ (Πηγή: ESA)

Τέλος οι ερευνητές χρησιμοποιούν σε ορισμένες περιπτώσεις υποβρύχια οχήματα όπως το βαθυσκάφος Θέτις του ΕΛΚΕΘΕ στην προσπάθεια παρακολούθησης και έρευνας των ηφαιστειών ενώ τοποθετούνται και υποθαλάσσια θερμόμετρα για την καταγραφή της θερμοκρασίας.



Εικόνα 1.24 : Εικόνα από θερμική κάμερα στο ηφαίστειο Mauna Loa (Πηγή: USGS)



Εικόνα 1.25 : Εικόνα από κάμερα web στο ηφαίστειο Mauna Loa. (Πηγή: USGS)



Εικόνα 1.26 : Γεωχημικές μετρήσεις των αερίων που απελευθερώνονται στο Kilauea. (Πηγή: USGS)

Κεφάλαιο 2^ο

2.1. Το Ελληνικό Ορογενετικό Τόξο

Το ελληνικό τόξο αποτελεί το όριο της επαφής της Ευρασιατικής λιθοσφαιρικής πλάκας και της Αφρικανικής πλάκας. Λόγω μεγαλύτερης πυκνότητας η ωκεάνια πλάκα βυθίζεται κάτω από την ηπειρωτική και σχηματίζει το ελληνικό τόξο, το οποίο αποτελείται από τα εξής μέρη:

- *Την Τάφρο:* που ξεκινάει νότια της Κεφαλονιάς και κάμπτεται σε διεύθυνση Α-Δ της Κρήτης. Αποτελεί το όριο της ευρωπαϊκής και της αφρικανικής πλάκας.
- *Το Νησιωτικό Τόξο:* αποτελείται από το μεγαλύτερο τμήμα της Πελοποννήσου, τα Κύθηρα, την Κρήτη και τα Δωδεκάνησα.
- *Την Οπισθοτάφρο:* είναι το Αργολικό, Μυρτώο, Κρητικό και Καρπάθιο πέλαγος που άνοιξε στο άνω Μείοκαινο
- *Το Ηφαιστειακό Τόξο του Νοτίου Αιγαίου:* Το ηφαιστειακό τόξο σήμερα ξεκινάει από το Σουσάκι, Μέθανα, Πόρο, Μήλο, Σαντορίνη και καταλήγει σε Κω, Γυαλί και Νίσυρο που είναι το ανατολικότερο άκρο. Το υλικό προέρχεται από το λιώσιμο της ωκεάνιας λιθόσφαιρας που καθώς ανεβαίνει ανταλλάσσει στοιχεία με το φλοιό που διαπερνά και αποκτά ενδιάμεση συνήθως σύσταση, δηλαδή ασβεσταλκαλική. Το ηφαιστειακό τόξο του Νοτίου Αιγαίου έχει μήκος 500 χλμ. και πλάτος 20-40 χλμ.

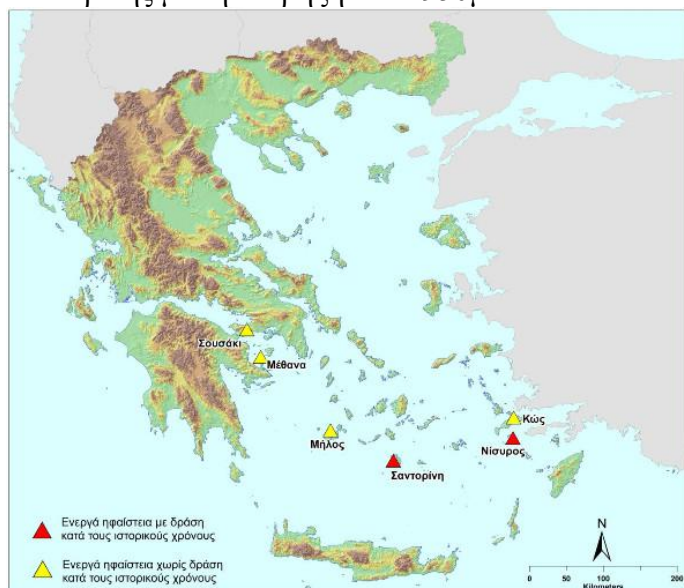


Εικόνα 2.1: Το ελληνικό ορογενετικό τόξο (Πηγή: ebook.edu.gr)

2.2. Η ηφαιστειότητα στον Ελλαδικό χώρο

Η ηφαιστειακή δραστηριότητα είναι ένα φυσικό φαινόμενο που εκδηλώνεται σε διάφορες περιοχές του πλανήτη μας όπως και στον Ελλαδικό χώρο, όπου βρίσκονται διάφορα ηφαιστειακά κέντρα με το μεγαλύτερο μέρος αυτών στο κεντρικό και νότιο τμήμα. Η δημιουργία του σημερινού ηφαιστειακού τόξου του Νοτίου Αιγαίου οφείλεται στην υποβύθιση της Αφρικανικής λιθοσφαιρικής πλάκας της ανατολικής Μεσογείου κάτω από την Ευρασιατική (μικροπλάκα του Αιγαίου). Το Αιγαίο αποτελεί μια ιδιαίτερα σημαντική ζώνη καθώς λαμβάνει χώρα η λιθοσφαιρική υποβύθιση και βρίσκεται παράλληλα το ενεργό ελληνικό ηφαιστειακό τόξο. Η πρώτη φάση της ηφαιστειότητας έλαβε χώρα από το Ολιγόκαινο μέχρι το Μέσο Μειόκαινο στη βόρεια Ελλάδα και η δεύτερη από το Πλειόκαινο μέχρι σήμερα στο κεντρικό και νοτιότερο τμήμα με τα ηφαίστεια να είναι Τριτογενούς και Τεταρτογενούς ηλικίας.

Το ηφαιστειακό τόξο του Αιγαίου εμφανίζεται κατά μήκος της γραμμής Σουσάκι-Αίγινα- Μέθανα-Πόρος (στο Σαρωνικό κόλπο) - Μήλου- Σαντορίνης και Νισύρου και απέχει περίπου 220 χιλιόμετρα από την Ελληνική τάφρο. Αποτελείται από τα ηφαίστεια των Λιχάδων, του Σουσακίου, του Πόρου, των Μεθάνων, της Μήλου, της Κιμώλου, της Σαντορίνης, της Αντιπάρου, των Χριστιανών, της Κω και της Νισυρου αλλά κύρια δράση έχουν τα ηφαίστεια της Νισύρου και της Σαντορίνης τα οποία είναι ενεργά. Η πιο πρόσφατη δραστηριότητα είναι αυτή του ηφαιστείου της Σαντορίνης με την έκρηξη του 1950μ.Χ. και ακολουθεί της Νισύρου το 1888μ.Χ.



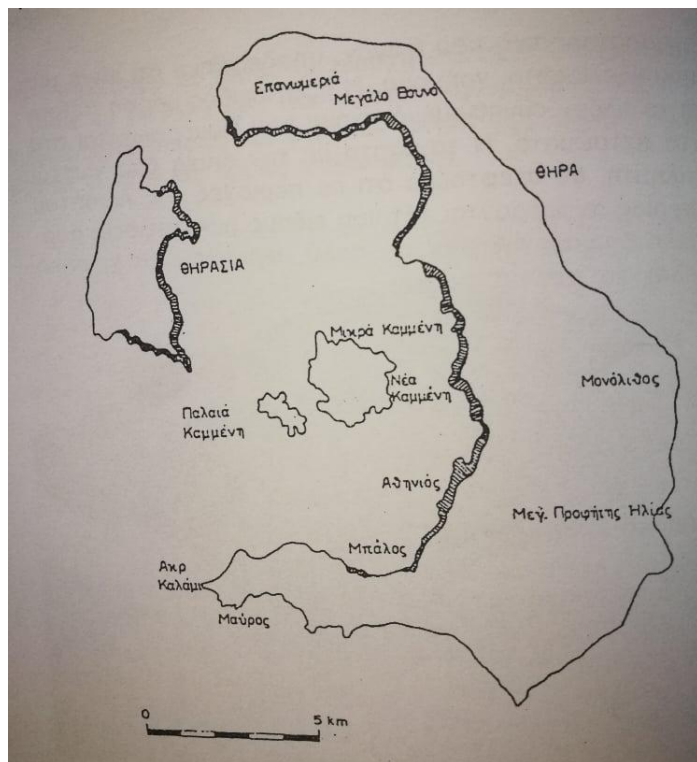
Εικόνα 2.2:Χωρική κατανομή των ηφαιστειακών κέντρων του σύγχρονου Ελληνικού τόξου (Πηγή: civilprotection)

2.3. Το ηφαιστειακό σύμπλεγμα της Σαντορίνης

Η Σαντορίνη, ανήκει στα νησιά των Κυκλάδων και αποτελεί το γνωστότερο ενεργό ηφαιστειακό σύμπλεγμα του Ελληνικού Ηφαιστειακού Τόξου (Νοτίου Αιγαίου).

Αποτελείται από μια ομάδα νησιών όπως: Θήρα, Θηρασιά, Ασπρονήσι, Παλαιά και Νέα Καμένη που έχουν κυκλικό περίπου σχήμα και σχηματίζουν μια ιδιαίτερα εντυπωσιακή μορφή καλδέρας στο Μεσαγειακό χώρο με διαστάσεις της μεγάλης διαμέτρου 12 χιλιόμετρα x 6 χιλιόμετρα περίπου. Η Θήρα, η Θηρασιά και το Ασπρονήσι είναι τα υπολείμματα της Μινωικής έκρηξης και η Παλαιά και Νέα Καμένη σχηματίστηκαν από μεταγενέστερες εκχύσεις λάβας.

Το ηφαίστειο της Σαντορίνης ανήκει στα κεντρικά πολυγενή μικτά ηφαίστεια ή αλλιώς στρωματοηφαίστεια και εκτός από ένα μικρό μη ηφαιστειακό υπόβαθρο αποτελείται σχεδόν εξ ολοκλήρου από ηφαιστειακά πετρώματα. Το ηφαιστειακό σύμπλεγμα της Σαντορίνης αποτελείται από τη Σαντορίνη, τα Χριστιανά και το υποθαλάσσιο ηφαίστειο Κολούμπο.



Εικόνα 2.3: Το ηφαιστειακό σύμπλεγμα της Σαντορίνης (ΠΗΓΗ: Ηφαιστειολογία-Κυριακόπουλος, 2014)

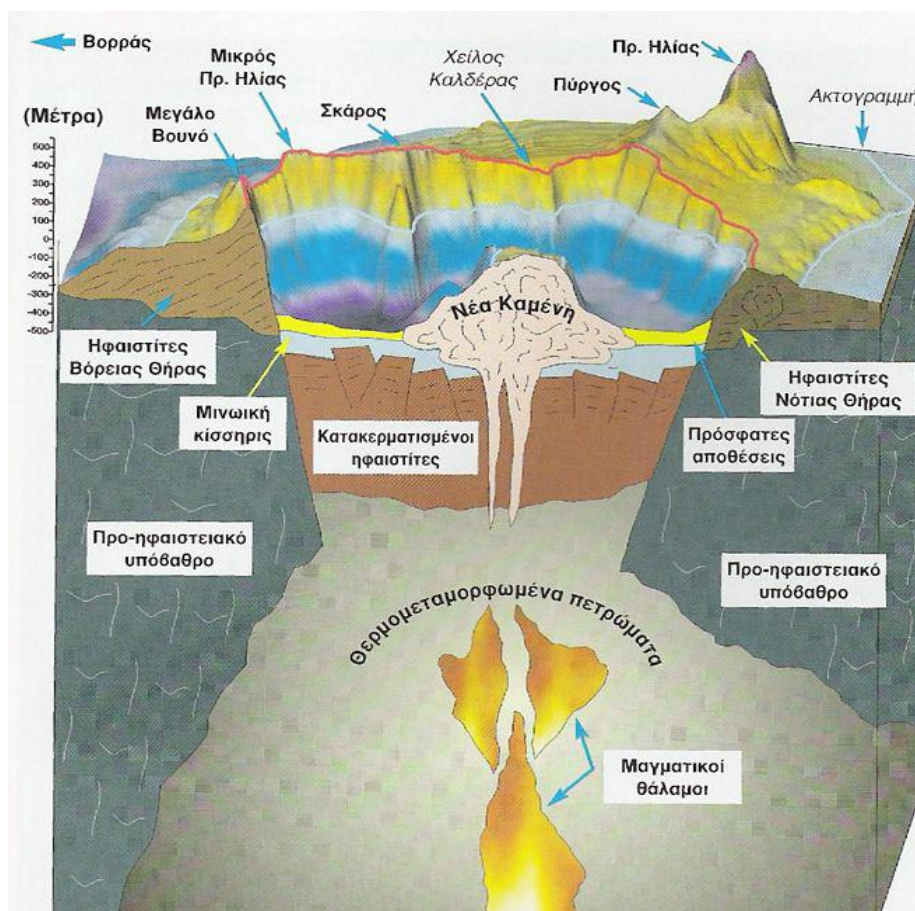
2.4. Γεωλογία Σαντορίνης

Το νησί της Σαντορίνης έχει συνολική έκταση 76,19 τετραγωνικά χιλιόμετρα. Το έδαφος του νησιού είναι ηφαιστειογενές, είναι άνυδρο, χωρίς λίμνες, ποταμούς, χαράδρες κλπ, πεδινό κατά κύριο λόγο και βραχώδες από την πλευρά του ηφαιστείου, ενώ παράλληλα είναι και ιδιαίτερα εύφορο. Το μεγαλύτερο υψόμετρο εμφανίζεται στην κορυφή του Προφήτη Ηλία (567μ.) και οι ακτές της είναι ομαλές και ιδιαίτερες λόγω των πετρωμάτων της. Η θέση των ηφαιστειακών κέντρων της ελέγχεται από ένα μεγάλο ρήγμα που ξεκινά από τα Χριστιανά, καταλήγει στην Αμοργό και αποτελεί τη δίοδο μέσα από την οποία το μάγμα ανέρχεται προς την επιφάνεια.

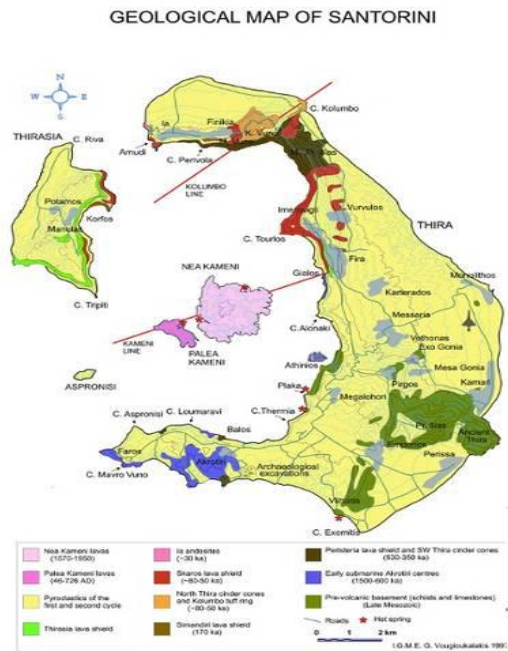
Η Σαντορίνη αποτελείται κυρίως από ηφαιστειακά πετρώματα εκτός από ένα προηφαιστειακό υπόβαθρο από μάρμαρο και φυλλίτη, που χαρακτηρίζεται από χαμηλό βαθμο μεταμόρφωσης και το οποίο συναντάται στην νοτιανατολική πλευρά της Θήρας και στο τοίχος της καλδέρας στο λιμάνι του Αθηνιού.

Πετρολογικά τα κυριότερα ηφαιστειακά προϊόντα της Σαντορίνης είναι οι βασάλτες και ανδεσιτικοί βασάλτες όπου εμφανίζονται σαν ρεύματα λάβας στα ανώτερα μέρη του Μικρού Προφήτη Ηλία, στα κατώτερα μέρη του ηφαιστειακού κέντρου της Θήρας και στο κάτω άκρο των λαβών της Θηρασιάς, ενώ και οι νεώτεροι

κόννοι σκωριών και οι δομοί στο Ακρωτήριο και στο Κόκκινο Βουνό είναι βασάλτες. Επίσης εμφανίζονται ανδεσίτες σαν ρεύματα λάβας στη βάση κατώτερων λαβών της Θηρασιάς, στην κορυφή του Μ. Βουνού και στη βάση του Μικρού Προφήτη Ηλία. Στο ανώτερο στρώμα, βρίσκονται αρκετοί οριζόντες πυροκλαστικών και τόφφων, επίσης ανδεσιτικής σύνθεσης. Όξινα πετρώματα εμφανίζονται σε μεγάλο βαθμό, όπως δακίτες, ρυοδακίτες και ρυόλιθοι, κυρίως ως δόμοι και παχιά ρεύματα λάβας στο Ακρωτήριο και στις κατώτερες και ανώτερες λάβες της Θηρασιάς, στις κατώτερες της Θήρας και σε Παλαιά και Νέα Καμένη. Τα πυροκλαστικά πυριτικά πετρώματα του ηφαιστείου της Θήρας δημιούργησαν τους τρεις οριζόντες κίσσηρης, τον ανώτερο, μέσο και κατώτερο. Τα πετρώματα της Σαντορίνης χαρακτηρίζονται από την χαρακτηριστική πορφυρική δομή και στους ανδεσίτες και τα πιο όξινα πετρώματα, εμφανίζεται η υαλοφειτική ως υαλοπηλιτική και συχνά η τραχιτική δομή. Τέλος λόγω της ανάμιξης μητρικών μαγμάτων η παρουσία ξενοκρυστάλλων είναι αρκετά συχνή.



Εικόνα 2.4: Σχηματική τομή του στερεού φλοιού στη Σαντορίνη (Πηγή: ΙΜΠΗΣ)



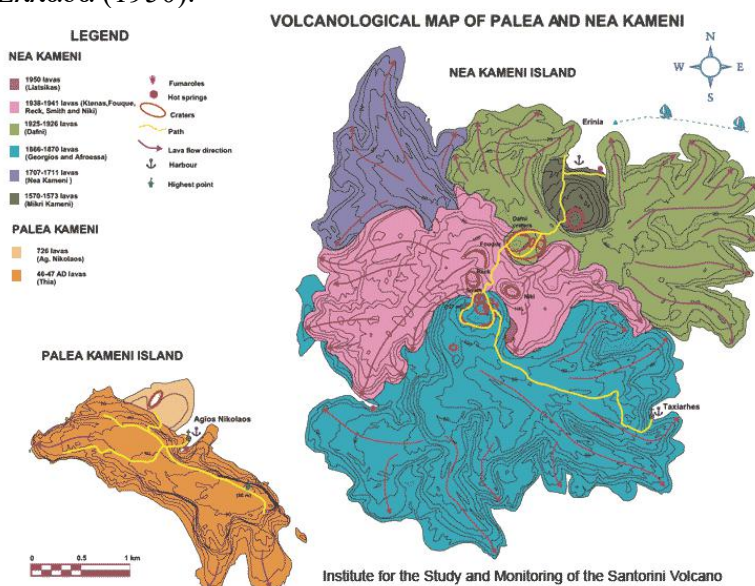
Εικόνα 2.5 : Γεωλογικός Χάρτης Σαντορίνης (Πηγή: Γ. Βουγιοκλάκης, 1997)

2.5. Η Παλαιά και η Νέα Καμένη

Η Μινωική έκρηξη γκρέμισε το ηφαίστειο της Στρογγυλής και δημιούργησε την Καλδέρα η οποία στη συνέχεια πλημμύρισε, αφήνοντας τη Θήρα, Θηρασιά και το Ασπρονήσι πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας. Δακτυλικό μάγμα άρχισε να αναβλύζει στον πυθμένα της θάλασσα και να δημιουργεί τα θεμέλια των Καμένων.

Η Παλαιά Καμένη αποτελείται από τις Λάβες Θείας και του Αγίου Νικολάου. Στον όρμο του Αγίου Νικολάου έχουμε και τις γνωστές θερμές πηγές.

Η Νέα Καμένη αποτελείται με χρονολογική σειρά από τις Λάβες Μικρής Καμένης, Νέας Καμένης, Γεωργίου, αφροέσσας και νησίδων Μάη, Δάφνης, Κτενά, Φουκέ, Σμυθ, Ρεκ, Νίκης και Λιάτσικα όπου είναι τα νεότερα ηφαιστειακά πετρώματα στην Ελλάδα (1950).



Εικόνα 2.6: Ηφαιστειολογικός χάρτης της Νέας και Παλαιάς Καμένης (Πηγή: Ι.Μ.Π.Η.Σ)



Εικόνα 2.7 : Η Παλαιά Καμένη όπως φαίνεται από τη Νέα Καμένη.
(Πηγή: προσωπικό αρχείο)



Εικόνα 2.8 : Λάβες της Νέας Καμένης.
(Πηγή: προσωπικό αρχείο)



Εικόνα 2.9: Κρατήρας Αγίου Γεωργίου στη Νέα Καμένη. (Πηγή: προσωπικό αρχείο)



Εικόνα 2.10 : Νέα Καμένη. (Πηγή: προσωπικό αρχείο)

2.6. Ιστορικά γεγονότα της δράσης του ηφαιστείου και ο σχηματισμός της Σαντορίνης

Το ηφαίστειο της Σαντορίνης είναι ένα από τα πιο ενεργά ηφαίστεια του ηφαιστειακού τόξου του νοτίου Αιγαίου με πλούσια ιστορία και περισσότερες από 12 σημαντικές εκρήξεις τα τελευταία 250.000 χρόνια (Druitt et al. 1989,1999), ενώ αποτελεί ένα από τα γνωστότερα ηφαίστεια του Ηφαιστειακού τόξου του Νοτίου Αιγαίου.

Το ηφαίστειο της Σαντορίνης είναι ένα πολυσύνθετο στρωματοηφαίστειο με μια μεγάλη καλδέρα, που σχηματίστηκε λόγω βιαίων γεγονότων. Η ηφαιστειακή δράση στην Σαντορίνη πρωτοεμφανίζεται στην περιοχή του Ακρωτηρίου πριν από 1,6 εκατομμύρια χρόνια και πιστοποιείται από την ύπαρξη ενδογενών δακτυλικών δομών και ρευμάτων λάβας, ηφαιστειακών λατύπων και τόφφων από κόσσηρη. Σήμερα η θέση τους είναι σε ύψος 200 μέτρα από την επιφάνεια της θάλασσας. Το πιο ενεργό ηφαιστειακό κέντρο είναι αυτό της Θήρας και με το μεγαλύτερο χρόνο διάρκειας δράσης, παράγοντας κύρια πυροκλαστικά προϊόντα. Η δράση ξεκινάει πριν από 1 εκατομμύριο χρόνια και παράγει μια σειρά από ιγκνιμβρίτες, τέφρα, σκωριές και κίσσηρης, ενώ ανάμεσά τους παρεμβάλλονται ροές ανδρειακής λάβας.(Κ. Κυριακόπουλος,2014).

Μια ισχυρή έκρηξη πριν από 100.000 χρόνια εναπόθεσε την κατώτερη σειρά κίσσηρης και σκέπασε όλα τα παλαιότερα προϊόντα. Το κέντρο εξόδου υπολογίζεται στη θέση της σημερινής Νέας Καμμένης. Μια νέα έκρηξη συνέβη πριν από περίπου 50.000 χρόνια και σχημάτισε ένα δεύτερο καλδερικό βύθισμα και εναποτέθηκε η ονομαζόμενη Μεσαία Σειρά Κίσσηρης. (Pichler H and Kussmaul, 1980).

Εκρήξεις και σεισμοί από 4 διαφορετικά ηφαίστεια έχουν αλλάξει το σχήμα της Σαντορίνης πολλές φορές. Περίπου πριν 30.000 χρόνια η Σαντορίνη φαίνεται να είχε το διπλάσιο μέγεθος από το σημερινό. Περίπου πριν από 25.000 και μετά από μια βίαιη η έκρηξη δημιούργησε την πρώτη αρχαία καλντέρα σχεδόν στο σημερινό σημείο όπου βρίσκεται και σήμερα.

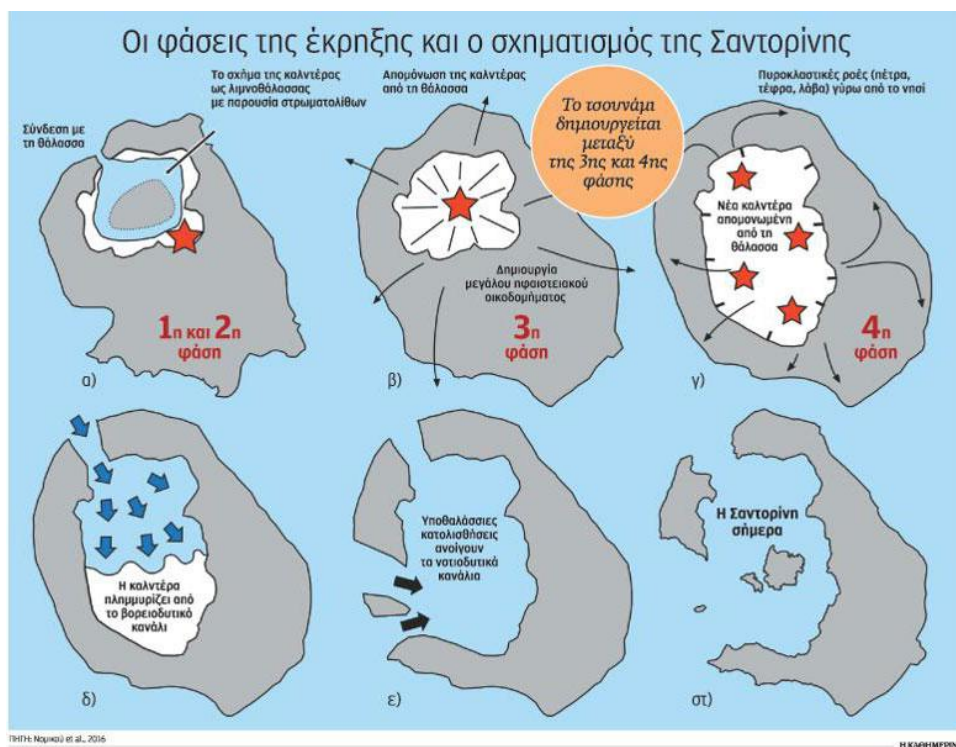
Ο πρώτος οικισμός του Ακρωτηρίου ιδρύθηκε το 4.500π.Χ. και ο σχηματισμός της σημερινής καλντέρας της Σαντορίνης δημιουργήθηκε λόγω της καταστροφικής έκρηξης πριν 3.600 χρόνια, όπου η Στρογγυλή απέκτησε της σημερινή της μορφή.Οι επαναλαμβανόμενες εκρήξεις που ακολούθησαν δημιούργησαν το ηφαιστειακό οικοδόμημα των Καμένων στην ήδη υπάρχουσα καλντέρα.

Η τελευταία μεγάλη έκρηξη της Σαντορίνης ήταν η λεγόμενη Μινωική έκρηξη το 1613 π.Χ., κατά την ύστερη περίοδο του χαλκού που συγκλόνησε την ανατολική Μεσόγειο και δημιούργησε ένα τεράστιο τσουνάμι (Sigurdsson et al., 2006), το οποίο οδήγησε στην εξαφάνιση του Μινωικού πολιτισμού. Οι αποθέσεις της σχημάτισαν ένα παχύ λευκό κάλυμμα στάχτης και κίσσηρης που καλύπτει σχεδόν ολόκληρο το νησί. Τεράστιοι όγκοι τέφρας απελευθερώθηκαν και οι ποσότητες των ηφαιστειακών αερίων που απελευθερώθηκαν στην ατμόσφαιρα, προκάλεσαν πτώση στη μέση θερμοκρασία του πλανήτη έως και 2 χρόνια. Το νησί έσπασε σε τρία κομμάτια, τη Θηρασία, τη Σαντορίνη και το Ασπρονήσι. Ένα παχύ στρώμα τέφρα οδήγησε στην επέκταση των ακτών της. Μετά τη Μινωική έκρηξη και μέχρι το 197 π.Χ. εκδηλώνονται πλήθος εκχύσεων που δομούν το υποθαλάσσιο ηφαιστειακό βουνό, κορυφές του οποίου είναι η Παλαιά και Νέα Καμένη. Η λεγόμενη “Μινωική” έκρηξη αποτελεί μια από τις ιστορικότερες εκρήξεις με τεράστιο ερευνητικό ενδιαφέρον τόσο από άποψη ηφαιστειολογικών αλλά και αρχαιολογικών ερευνών (Druitt et al, 1999).

Κατά τον 20^ο αιώνα δημιουργήθηκε μια σειρά εκρηκτικών φάσεων και η ηφαιστειακή δραστηριότητα ξεκίνησε το Μάιο του 1939. Τον Αύγουστο του 1940 δυο μεγάλες εκρήξεις δημιούργησαν τους δυο μεγάλους κρατήρες με γνωστότερο αυτόν του Αγίου Γεωργίου οι οποίοι αποτελούν αξιοθέατο των επισκεπτών ως σήμερα.

Η πιο πρόσφατη έκρηξη συνέβη τον Ιανουάριο του 1950 που εκτόξευσε ηφαιστειακή τέφρα και θραύσματα της λάβας έπεσαν σε ακτίνα αρκετών μέτρων στη γύρω περιοχή .

Η σημερινή καλντέρα πλάτους 10 X 7 km, περιλαμβάνει τρεις επίπεδες λεκάνες και συνδέεται με τη θάλασσα διαμέσου τριών καναλιών (ένα προς τα ΒΔ και δύο προς τα ΝΔ). (indeeranalysis.gr). Η τεράστια έκρηξη του 1613π.Χ έσπασε το νησί στην Σαντορίνη, Θηρασιά και Ασπρονήσι και ένωσε την καλντέρα με τη θάλασσα η οποία φαίνεται ότι γέμισε μετά την μεγάλη έκρηξη.



Εικόνα 2.11: Οι φάσεις της έκρηξης και σχηματισμός της Σαντορίνης (Πηγή: Νομικού Π. - Η Καθημερινή).

Τα σχήματα α ως γ εμφανίζουν την προ-εκρηκτική μορφολογία του ηφαιστείου. Στην εκρηκτική φάση 1 έλαβε χώρα η έκρηξη του Πλινίου, η οποία στη φάση 2 εντάχθηκε με την παραγωγή πυροκλαστικών ροών. Τα κύρια εκρηκτικά ανοίγματα εμφανίζονται στην εικόνα με τα κόκκινα αστέρια. Τα μαύρα βέλη δείχνουν σχηματικά τα διανύσματα τοποθέτησης των πυροκλαστικών ροών των φάσεων 3 και 4. Μετα- εκρηκτικά ανοίγματα εμφανίζονται στα Βορειοδυτικά και Νοτιοδυτικά. Στο τέλος της έκρηξης η καλντέρα ήταν στεγνή και απομονωμένη από τη θάλασσα, πιθανόν λόγω συσσώρευση του ηφαιστειακού υλικού. Η θάλασσα πρώτα άνοιξε από τα ΒΔ όπου ένας συνδυασμός διάβρωσης λόγω του νερού και κατολισθήσεων δημιούργησαν το άνοιγμα το οποίο οδήγησε στην πλημμύρα της καλντέρας (περιγράφεται με μπλε βέλη στο ε). Στη συνέχεια άνοιγμα δημιουργήθηκε από τα ΝΔ και ενισχύθηκε σε μεγάλο βαθμό η πλημμύρα της καλντέρας και τελικά έχουμε τη σημερινή εμφάνιση της Σαντορίνης (στ) (Πηγή: Νομικού Π.)



Εικόνα 2.12: Λευκή τέφρα της Μινωικής έκρηξης στην περιοχή του Ακρωτηρίου. Ο καφές ορίζοντας είναι παλαιοέδαφος. (Πηγή: Προσωπικό αρχείο)



Εικόνα 2.13: Η έκρηξη του 1950. (Πηγή : iefimerida.gr)

2.7. Το υποθαλάσσιο ηφαιστειο Κολούμπο

Το υποθαλάσσιο ηφαιστειο Κολούμπο βρίσκεται 7 χιλιόμετρα βορειοανατολικά της Σαντορίνης και έχει ελλειπτικό σχήμα. Ο ηφαιστειακός κώνος του Κολούμπο έχει διάμετρο βάσης 3 χιλιομέτρων και σχηματίζει ένα κρατήρα διαμέτρου 170 μέτρων. Το βάθος της είναι κατά μέσο όρο 150 μέτρα και το ρηχότερο στο οποίο φτάνει είναι σε βάθος 18 μέτρων κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας. Η υποθαλάσσια καλντέρα βρίσκεται σε ένα άκρως γεωδυναμικό περιβάλλον κοντά στην καλντέρα του ηφαιστείου της Σαντορίνης και διαθέτει ένα σημαντικό υδροθερμικό σύστημα απ' όπου εκλύεται σχεδόν καθαρό αέριο διοξείδιο του άνθρακα (Νομίκου et al. 2012a).

Συγκεκριμένα εκλύεται σχεδόν 99% διοξείδιο του άνθρακα και νερό από τα υδροθερμικά “mounds” που ονομάζονται Diffusers και φιλοξενούν συμπαγές θειούχο μετάλλευμα.

Τα Diffusers, θυμίζουν τις μαύρες καμινάδες, που βρίσκονται στον υποθαλάσσιο πυθμένα και συνδέονται με κοιτάσματα VMS, αλλά εκλύουν διοξείδιο του άνθρακα με νερό και αποτελούνται από τη χαρακτηριστική ερυθρή και κίτρινη σανδαράχη και γύρω έχει οξειδία σιδήρου (στην επαφή με το ψυχρό θαλασσινό νερό). Στα Diffusers αυτά φλοξενούνται επίσης μικροβιακά συστήματα με αρσενόφιλα μικρόβια κατά κύριο λόγο αλλά και σιδηρόφιλα βακτήρια , μαγγανιούχα βακτήρια κλπ.

Το 2006 αποστολή του NOAA Ocean Explorer (National Oceanic and Atmospheric Administration) ανακάλυψε την ύπαρξη ενός σημαντικού υδροθερμικού πεδίου στον πυθμένα του καλδερικού κρατήρα, απ' όπου εξέρχονται υπέρθερμα υδροθερμικά ρευστά. Αυτά έχουν αποθέσει πολυμεταλλικά σουλφίδια και θειικά άλατα και έχουν οικοδομήσει καμινάδες ύψους ως 4 μέτρων. (Το υποθαλάσσιο ηφαιστείο Κολούμπο-geo.auth.gr). Μάλιστα αυτό αποτελεί το μοναδικό μελλοντικό υποθαλάσσιο κοιτάσμα VMS στον Ελλαδικό χώρο.

Η μοναδική έκρηξη εκδηλώθηκε το Σεπτέμβρη του 1650 στον υποθαλάσσιο χώρο μεταξύ Θήρας και Αμοργού, όπου τεράστιες ποσότητες υδρόθειου απελευθερώθηκαν από την έκρηξη προκαλώντας θάνατο σε 50 κατοίκους της Θήρας και ακόμα περισσότερων ζώων. Επίσης δημιούργησε τσουνάμι το οποίο εκτιμάται ότι μπορεί να δημιουργηθεί και σε μελλοντικά γεγονότα. Το Κολούμπο σήμερα βρίσκεται σε κατάσταση ηρεμίας και η μικρή νησίδα πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας διαβρώνεται από τα κύματα.

Γενικά σε σχέση με τη Σαντορίνη, το μέγεθος των εκρηκτικών εκρήξεων από το Κολούμπο είναι μικρότερο αλλά η γειτνίαση του ηφαιστείου με την ανατολική ακτή της Σαντορίνης παρουσιάζει σημαντικούς κινδύνους ακόμα και για γεγονότα χαμηλότερου μεγέθους. Το 2019 μάλιστα διεξήχθη διεθνής ωκεανογραφική έρευνα του βυθού στο υποθαλάσσιο ηφαιστείο στηριζόμενη από τη NASA, επιστήμονες από τις ΗΠΑ, Αυστραλία, Γερμανία και Ελλάδα και με συμμετοχή πολλών άλλων επιστημονικών ιδρυμάτων καθώς το περιβάλλον του ηφαιστείου εμφανίζει ιδιαίτερο ερευνητικό ενδιαφέρον.



Εικόνα 2.13 : Diffusion στον κρατήρα του Κολούμπο ,οι πλευρές της οποίας είναι καλυμμένες με βακτήρια. (Πηγή: Thera Expedition)



Εικόνα 2.15: Η θέση του υποθαλάσσιου ηφαιστείου Κολούμπο. (Πηγή: geodifhs)

2.8. Το ηφαίστειο και η Σαντορίνη σήμερα

Το νησί της Σαντορίνης σήμερα είναι ένα από τους σημαντικότερους ταξιδιωτικούς προορισμούς της Ελλάδας όπου τα χρώματα των ηφαιστειακών πετρωμάτων της και η καλντέρα προσφέρουν υπέροχη θέα στους επισκέπτες. Πρωτεύουσα είναι τα Φηρά, χτισμένα στην άκρη της καλντέρας όπως και οι υπόλοιποι οικισμοί του νησιού. Ο πλυθησμός της Σαντορίνης ανέρχεται περίπου στους 15.550 μόνιμους κατοίκους.

Τα ηφαιστειακά κέντρα των Καμένων βρίσκονται σήμερα σε κατάσταση ηρεμίας. Η ύπαρξη του μάγματος εκδηλώνεται από τις θερμές πηγές που αναβλύζουν στις ακτές καθώς και από τη διαφυγή θερμών αερίων από τις ατμίδες των κρατήρων της Νέας Καμένης. Η Νέα και Παλαιά Καμένη αποτελούν αντικείμενο πετρολογικών, γεωχημικών και γενικά επιστημονικών ερευνών. Υπάρχουν σημαντικές προσπάθειες παρακολούθησης ειδικότερα της σεισμικότητας (Δημητριάδης κ.ά. 2005), της υδροθερμικής και της δραστηριότητας των ατμίδων καθώς και της παραμόρφωσης του εδάφους (Stiros and Chasapis, 2003, Vougiokalakakis and Fytikas, 2005). Έτσι σύμφωνα με τις έρευνες και την παρακολούθηση του ηφαιστείου και παρόλο που τα δυο νησιά φαίνεται να βρίσκονται σε κατάσταση ηρεμίας, εκτιμάται ότι θα υπάρξουν μελλοντικές εκρήξεις σε βάθος ίσως δεκατιών και σίγουρα αιώνων.

Όσο αναφορά το υποθαλάσσιο ηφαίστειο Κολούμπο, σεισμικές μελέτες δείχνουν μια πολύ ενεργή περιοχή κάτω από αυτό, με δυνατότητα μελλοντικής εκρηκτικής δραστηριότητας. Το Κολούμπο θα μπορούσε να είναι ένας σημαντικός κίνδυνος για τη Σαντορίνη και τα γύρω νησιά. Σύμφωνα με σεισμικές μελέτες φαίνεται πως πιο συχνά εμφανίζεται σεισμική δραστηριότητα στο πεδίο της Σαντορίνης που βρίσκεται κάτω από το Κολούμπο (Bonhoff et al. 2006) και τομογραφικές μελέτες δείχνουν την ύπαρξη ενεργού μάγματος σε θάλαμο που βρίσκεται σε βάθος 5 χλμ κάτω από το ηφαίστειο (Dimitriadis et al. 2010), δηλαδή στις συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας πριν την έκρηξη του 1650 μ.Χ. (Cantner et al. 2010). Τέλος αξίζει να σημειωθεί πως στο Κολούμπο έχουμε το σχηματισμό υδροθερμικού κοιτάσματος VMS (volcanic hosted massive sulfides) τύπου Kuroko, το οποίο ίσως είναι το πιο αξιοσημείωτο υπό έρευνα υδροθερμικό μελλοντικό κοιτάσμα στην Ελλαδική χώρα.



Εικόνα 2.16: Η Σαντορίνη σήμερα. (προσωπικό αρχείο)

2.9. Πιθανός ηφαιστειακός κίνδυνος

Στον Ελληνικό χώρο το Ηφαιστειακό Τόξο του Αιγαίου αποτελείται από τα ηφαίστεια των Λιχάδων, του Σουσακίου, του Πόρου, των Μεθάνων, της Μήλου, της Κιμώλου, της Σαντορίνης, της Αντιπάρου, των Χριστιανιών, της Κω και της Νισύρου. Από τα ηφαίστεια αυτά την κυριότερη δράση έχουν τα ηφαίστεια της Νισύρου και της Σαντορίνης. Η πιο πρόσφατη ηφαιστειακή δράση του ηφαιστείου της Σαντορίνης χρονολογείται από το 1950, ενώ η αντίστοιχη του ηφαιστείου της Νισύρου από το 1888. Ο ηφαιστειακός κίνδυνος στον Ελλαδικό χώρο περιορίζεται στα ενεργά ηφαίστεια της Σαντορίνης και της Νισύρου και σε ακτίνα μερικών δεκάδων χιλιομέτρων από αυτά. (civilprotection.gr).

Η Σαντορίνη είναι η πιο ενεργή ηφαιστειακά περιοχή στο ηφαιστειακό τόξο του Νοτίου Αιγαίου με ένα από το πιο βίαια ηφαίστεια και περιλαμβάνει 2 από τα τρία ενεργά ηφαιστειακά κέντρα του Αιγαίου, αυτό της Καμένη και του υποθαλάσσιου Κολούμπο (Fouque, 1879, Washington, 192, Ktenas, 1927, Reck, 1936, Georgalas, 1953, Georgalas and Papastamatiou 1953, Druitt et al., 1989, 1999.). Η ενεργότητα των ηφαιστείων αποδεικνύεται από διάφορα γεγονότα όπως η συνεχής αναπλήρωση του μάγματος του ηφαιστειακού θαλάμου της Καμένης και η έκχυση νεού μάγματος (Francalanci et al., 1998). Επιπλέον, σεισμολογικά δεδομένα δείχνουν σεισμική δραστηριότητα ΒΑ και Ε κάτω από τη Καμένη και το Κολούμπο (Dimitriadis et al.), παραμορφώσεις του εδάφους, απελευθέρωση των ηφαιστειακών αερίων από τις ατμίδες και η δράση των θερμών πηγών κλπ.

Ο ηφαιστειακός κίνδυνος εκτιμάται με βάση την προηγούμενη δράση και τις πολυάριθμες έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί στο ηφαίστριο της Σαντορίνης. Το χείριστο σενάριο δείχνει μια καταστροφική έκρηξη Μινωικού τύπου. Οι επιπτώσεις για τη Σαντορίνη αλλά και το ευρύτερο περιβάλλον του Αιγαίου και τις Ανατολικής Μεσογείου σε μια τέτοια περίπτωση θα είναι σημαντικές.

Για τη πρόβλεψη αυτών των μελλοντικών εκρήξεων έχει εγκατασταθεί δίκτυο παρακολούθησης φυσικοχημικών παραμέτρων, όπως η θερμοκρασία, η χημική σύσταση των θερμών νερών και ατμίδων, η σεισμική δραστηριότητα, το επίπεδο της στάθμης της θάλασσας, βαρυτομαγνητικές μετρήσεις, η συμπεριφορά των αερίων των ατμίδων κλπ. στο ηφαίστριο της Σαντορίνης. Η καταγραφή κάποιου φαινομένου ή κάποιος απότομη μεταβολής μπορεί να αποτελέσει προειδοποίηση για πιθανή νέα δραστηριότητα του ηφαιστείου.

Τα βασικά σενάρια που υπάρχουν σχετικά με τις μελλοντικές συνέπειες της δράσης του ηφαιστειακού κέντρου της Σαντορίνης με το πιο ακραίο να αναφέρεται σε μια καταστροφική έκρηξη, όμοια της Μινωικής. Πιο πιθανά σενάρια αποτελούν η ενδεχόμενη έκρηξη του υποθαλάσσιου ηφαιστείου Κολούμπο, η έκρηξη στην περιοχή των νησιών της Καμένης καθώς και η πρόκληση σεισμού ή κυμάτων τσουνάμι από την παραπάνω δραστηριότητα.

Το 2020 δημοσιοποιήθηκε το “Γενικό σχέδιο αντιμετώπισης εκτάκτων αναγών και άμεσης/βραχείας διαχείρισης των συνεπειών από την εκδήλωση ηφαιστειακής δραστηριότητας στο ηφαιστειακό σύμπλεγμα Σαντορίνης” με την κωδική ονομασία “ Τάλως”, από το Υπουργείο Προστασίας του Πολίτη και τη Γενική Γραμματεία Πολιτικής Προστασίας. Ως πιθανότερο σενάριο κατά το σχέδιο, αναμένεται μια ηφαιστειακή δραστηριότητα αντίστοιχη με αυτές που εκδηλώθηκαν κατά τους ιστορικούς χρόνους και συνέβαλαν στη δημιουργία των νησιών της Παλαιάς και Νέας Καμένης. Οι κίνδυνοι επαναδραστηριοποίησης του ηφαιστειακού συμπλέγματος Σαντορίνης, που μπορεί να προκύψουν είναι ηφαιστειογενείς σεισμικές δονήσεις, εναιώρηση και πτώση ηφαιστειακής στάχτης, έκλυση ηφαιστειακών αερίων και όξινη βροχή, υδροθερμικές εκρήξεις, εκτίναξη αναβλημάτων, ροές λάβας και δημιουργία ηφαιστειακών θόλων, κατολισθήσεις πρανών, επιφανειακές σεισμικές διαρρήξεις και τσουνάμι προκαλούμενο από υποθαλάσσιες ηφαιστειακές εκρήξεις.

Σύμφωνα με το σχέδιο “Τάλως”, οι περιοχές που αναμένεται να επηρεαστούν περισσότερο είναι τα Φηρά-Φηροστεφάνι-Ημεροβίγλι και η μεγαλύτερη αναμενόμενη σεισμική δόνηση ηφαιστειογενούς προέλευσης αναμένεται να έχει μέγεθος $M=4,8$ και εστιακό βάθος 3-4 km.

ΧΡΩΜΑ	Κατάσταση Ηφαιστείου
ΠΡΑΣΙΝΟ	Το ηφαίστειο βρίσκεται σε τυπική κατάσταση ησυχίας ή μετά από μια μεταβολή σε υψηλότερο επίπεδο επιφυλακής η ηφαιστειακή δραστηριότητα έχει σταματήσει και το ηφαίστειο έχει επιστρέψει σε τυπική κατάσταση ησυχίας.
ΚΙΤΡΙΝΟ	Το ηφαίστειο παρουσιάζει σημάδια κλιμακούμενης δραστηριότητας πάνω από την τυπική κατάσταση ησυχίας ή μετά από μεταβολή σε υψηλότερο επίπεδο επιφυλακής η ηφαιστειακή δραστηριότητα έχει μειωθεί σημαντικά αλλά συνεχίζει να επιτηρείται προσεκτικά για το ενδεχόμενο επαναδραστηριοποίησης.
ΠΟΡΤΟΚΑΛΙ	Το ηφαίστειο παρουσιάζει κλιμάκωση της δραστηριότητας με αυξανόμενο το δυναμικό έκρηξης με αβέβαιο όμως χρονοδιάγραμμα ή μια έκρηξη βρίσκεται σε εξέλιξη με μικρή ή καθόλου έκλυση ηφαιστειακής τέφρας [το ύψος του νέφους τέφρας να προσδιορίζεται ή δυνατόν].
ΚΟΚΚΙΝΟ	Μια επικείμενη έκρηξη του ηφαιστείου με σημαντική έκλυση ηφαιστειακής τέφρας είναι πιθανή ή μια έκρηξη του ηφαιστείου με σημαντική έκλυση ηφαιστειακής τέφρας στην ατμόσφαιρα είναι έτοιμη να συμβεί ή βρίσκεται ήδη σε εξέλιξη. [Το ύψος του νέφους τέφρας να προσδιορίζεται ή δυνατόν].

Εικόνα 2.17: Πίνακας κατηγοριοποίησης που προτείνει η Διεθνής Ένωση Ηφαιστειολογίας και Χημείας του Εσωτερικού της Γης για τον χαρακτηρισμό της κατάστασης επιφυλακής ενός ηφαιστείου. (Πηγή:civilprotection)

2.10. Η παρακολούθηση του ηφαιστείου της Σαντορίνης

Το ηφαίστειο της Σαντορίνης αποτελεί ένα από τα πιο ενδιαφέροντα ενεργά ηφαίστεια για τους επιστήμονες και αντικείμενο μελέτης πολλών ερευνών. Το ηφαίστειο παρακολουθείται στενά από το Ινστιτούτο Μελέτης και Παρακολούθησης

Ηφαιστείου Σαντορίνης (ΙΜΠΗΣ) καθώς και από το ΙΓΜΕ. Οποιαδήποτε καταγραφή κάποιου φαινομένου μπορεί να αποτελέσει προειδοποίηση για επαναδραστηριοποίηση του ηφαιστείου.

Στο ηφαιστείο υπάρχει σεισμολογικό δίκτυο με 11 σειсмоγράφους που υποστηρίζεται και από το Σεισμολογικό Δίκτυο του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, για την ανάλυση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, με τα δεδομένα να είναι διαθέσιμα σε όλη την επιστημονική κοινότητα μέσα από το Ενιαίο Δίκτυο Σεισμογράφων. Υπάρχει μια σειρά δικτύων οργάνων που εκτός από τη σεισμική παρακολούθηση, παρακολουθούν τη παραμόρφωση του αναγλύφου, το επίπεδο της στάθμης της θάλασσας, το βαρυτικό και το μαγνητικό πεδίο της γης, δίκτυα παλιροιογράφων κ.ά. Η τοπογραφική παρακολούθηση του ηφαιστείου πραγματοποιείται από μόνιμους σταθμούς GPS, ο καθένας εκ των οποίων έχει τη δυνατότητα συνεχούς και ακριβούς προσδιορισμού των συντεταγμένων του και έτσι είναι δυνατόν να εντοπιστούν μετακινήσεις που μπορεί να σχετίζονται με ροή μάγματος, αλλά και σταθμούς περιοδικών μετρήσεων. Επίσης υπάρχουν μόνιμοι σταθμοί γεωδαιτικής, γεωχημικής παρακολούθησης και θερμομέτρησης.

Επίσης στη Νέα Καμένη υπάρχει δίκτυο φυσικών και χημικών παραμέτρων, όπως η θερμοκρασία και η χημική σύσταση των θερμών νερών και της μέγιστης θερμοκρασίας των ατμίδων, καθώς και σταθμός μέτρησης διοξειδίου του άνθρακα και θερμοκρασίας, όπου διενεργούνται γεωχημικές αναλύσεις και θερμοκρασιακές αναλύσεις και ανήκει στο ΙΓΜΕ, με στόχο την παρακολούθηση των γεωθερμικών πεδίων. Τέλος, εγκαταστάθηκαν το 2012 σταθμός συνεχούς παρακολούθησης των ατμίδων της Ν. Καμένης με υπέρυθη ακτινοβολία, μέτρησης αερίων και ανάλυσης με αεριο-χρωματογράφο από πρωτοπόρο σταθμό στη Νέα Καμένη και σταθμός μέτρησης και καταγραφής υπόγειου θορύβου στον Ταξιάρχη. (Μιχ Φύτικας, 2012, ΙΜΠΗΣ)



Εικόνα 2.18: Οι 5 σταθμοί GPS παρουσιάζονται με τις κόκκινες κουκίδες. Με το κίτρινο τετράγωνο είναι η περιοχή που έχει παρατηρηθεί διόγκωση μάγματος. (Πηγή: ΙΜΠΗΣ)

Κεφάλαιο 3^ο

3.1. Ατμοσφαιρική ρύπανση και ηφαιστειακή δραστηριότητα

Ως ατμοσφαιρική ρύπανση ορίζεται η προσθήκη στην ατμόσφαιρα, κάθε υλικού, μοριακής ή σωματιδιακής φύσης. Η ατμοσφαιρική ρύπανση έχει μακροπρόθεσμα ή βραχυπρόθεσμα αποτελέσματα στην υγεία των ανθρώπων, στα ζώα, τα φυτά και το περιβάλλον. Η εκπομπή των ρύπων οφείλεται σε ανθρωπογενείς ή φυσικές διεργασίες. Από τις φυσικές διεργασίες οι ηφαιστειακές εκρήξεις απελευθερώνουν μεγάλες ποσότητες αερίων του θερμοκηπίου και άλλων αερολυμάτων, ενώ μπορεί να προκαλέσουν όξινη βροχή και να δημιουργήσουν τεράστια τοξικά νέφη. Οι ρύποι που οφείλονται στην ατμοσφαιρική δραστηριότητα βρίσκονται στη μορφή αιωρούμενων σωματιδίων, διακριτών σε υγρή ή στερεή μορφή, ή σε αέρια φυσική κατάσταση με μορφή αερίων ή ατμών.

Οι ρύποι στην ατμόσφαιρα λόγω της ηφαιστειακής δραστηριότητας μπορεί να προέρχονται από την ίδια την ηφαιστειακή δραστηριότητα και να ναι δηλαδή πρωτογενείς, ή δευτερογενείς, δηλαδή ρύποι που προέκυψαν ως αποτέλεσμα αντιδράσεων μετασχηματισμού των πρωτογενών ρύπων ή ως προϊόντα διαφόρων αντιδράσεων.

Οι δευτερογενείς ρύποι μπορεί να προκύψουν σε διαφορετικό χρόνο και τόπο από τους ηφαιστειακούς. Ο χρόνος παραμονής των ρύπων στην ατμόσφαιρα παίζει σημαντικό ρόλο και εξαρτάται από τις φυσικές και χημικές ιδιότητες του ρύπου και μπορεί να είναι από μερικές ώρες μέχρι εβδομάδες ή και περισσότερο.

3.2. Αέρια των ηφαιστειών

Τα ηφαιστειακά αέρια χαρακτηρίζονται τα υπέρθερμα αέρια αναβλήματα των ηφαιστειών που εκβάλλονται, ή διαφεύγουν στην ατμόσφαιρα. Πρόκειται για επικίνδυνα πτητικά αέρια του μάγματος καθώς και υδρατμοί που υπό συνθήκες υψηλής θερμοκρασίας και πίεσης, κατά την εκτόνωσή τους, προκαλούν βίαιες ηφαιστειακές εκρήξεις των ενεργών ηφαιστειών, ή την αφύπνιση των ανενεργών, ή και τη δημιουργία νέων. Ωστόσο, ένα σημαντικό τμήμα αυτών εκβάλλονται στην ατμόσφαιρα από ηρεμούντα ηφαίστεια.

Το ποσοστό των αερίων στο μάγμα κυμαίνεται από 1-5% του συνολικού του βάρους. Οι υδρατμοί αποτελούν το 70-90% των αερίων. Τα υπόλοιπα είναι κυρίως το διοξείδιο του θείου (SO_2) και το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), ενώ σε ιχνοποσότητες συμμετέχουν το άζωτο (N), το υδρογόνο (H), το μονοξείδιο του άνθρακα (CO), το θείο (S), το αργό (Ar), το χλώριο (Cl) και το φθόριο (F) και ο υδράργυρος (Hg). Τα βασικά αέρια είναι H_2O σε ποσοστό 70-90%, CO_2 , SO_2 , τα αέρια σε ίχνη N, H, S, Cl, F, CO, Ar και τα τοξικά αέρια HCL, HF, H_2SO_4 , H_2S .

Από τις ατμίδες (fumaroles, solfatara), εξέρχονται κυρίως θειούχα αέρια, που αποθέτουν το θείο γύρω από αυτές. Το θείο παράγεται από την ένωση H_2S και SO_2 , που αντιδρούν και δίνουν θείο και υδρατμούς. Στις ατμίδες τα δυο αέρια αναγνωρίζονται εύκολα. Το υδρόθειο έχει χαρακτηριστική μυρωδιά ενώ το διοξείδιο

του θείου είναι αποπνικτικό. Οι αποθέσεις θείου μπορεί να είναι και οικονομικά εκμεταλλεύσιμες δημιουργώντας υδροθερμικά κοιτάσματα.

Όταν ο κρατήρας ενός ηφαιστείου έχει μετατραπεί σε λίμνη, οι αναθυμιάσεις από τις ατμίδες και κυρίως το SO₂ και το CO₂ αντιδρούν με το νερό και παράγουν θειικό και ανθρακικό οξύ αντίστοιχα. Έτσι προκύπτει μια όξινη λίμνη, με νερό που συχνά αποτελεί σκέτο οξύ με pH<1.

Το είδος και η ποσότητα των αερίων που σχετίζονται με την ηφαιστειακή δραστηριότητα εξαρτάται από τη σύσταση του μάγματος, που έχει άμεση σχέση με το γεωτεκτονικό περιβάλλον στο οποίο δημιουργήθηκε.

3.2.1. Διοξείδιο του άνθρακα (CO₂)

Το διοξείδιο του άνθρακα είναι ένα άχρωμο, άφλεκτο και άοσμο αέριο. Η εισπνοή του αερίου σε μεγάλη συγκέντρωση μπορεί να προκαλέσει μια όξινη αίσθηση στη ρινοφαρυγγική κοιλότητα. Είναι μη τοξικό σε χαμηλές συγκεντρώσεις, αλλά σε μεγαλύτερες μπορεί να προκαλέσει προβλήματα υγείας μέχρι και θάνατο, ανάλογα με τη συγκέντρωση και το χρόνο έκθεσης κάποιου οργανισμού σε αυτό.

Το CO₂ βρίσκεται στον αέρα αλλά μπορεί να γίνει επικίνδυνο για τους ζωντανούς οργανισμούς όταν η συγκέντρωσή του ξεπεράσουν το 3%. και μπορεί να προκαλέσει πονοκεφάλους, ζαλάδα και ναυτία σε όσους το εισπνεύσουν (Walter D'Alessandro & Konstantinos Kyriakopoulos, 2013) αυξημένο καρδιακό ρυθμό και δυσκολία στην αναπνοή. Σε αναλογίες ανάμιξης που υπερβαίνουν το 15% περίπου, το διοξείδιο του άνθρακα προκαλεί γρήγορη απώλεια αισθήσεων και θάνατο. Επίσης αν μεγάλα ποσοστά CO₂ βρεθούν στο πόσιμο νερό, μπορούν να αλλάξουν τη σύσταση του, καθιστώντας το τοξικό.

Η αύξηση της συγκέντρωσης του CO₂ στην ατμόσφαιρα περιορίζει τη δυνατότητα της ανάκλασης της θερμότητας της ηλιακής ακτινοβολίας, υπό τη μορφή υπέρυθρης ακτινοβολίας, όπου ένα μέρος της δεσμεύεται από τα μόρια του CO₂ και δημιουργεί ως αποτέλεσμα το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Η αύξηση της θερμοκρασίας της γης οδηγεί στην κλιματική αλλαγή και σε δυσμενείς συνέπειες για την ζωή στον πλανήτη μας. Το CO₂ είναι το σημαντικότερο αέριο που συνδέεται με την ανθρωπογενή δραστηριότητα και ενισχύει την υπερθέρμανση του πλανήτη. Προέρχεται κυρίως από την καύση των ορυκτών καυσίμων.

Σημαντικές ποσότητες των αερίων αυτών είναι αποτέλεσμα εκπομπών από ηφαίστεια και θερμές πηγές του εσωτερικού του πλανήτη. Κατά μέσο όρο τα ηφαίστεια απελευθερώνουν περίπου 180 έως 440 εκατομμύρια τόνους διοξειδίου του άνθρακα (USGS). Η γεωγραφική κατανομή της απελευθέρωσης CO₂ αντιστοιχεί σε περιοχές ενεργής ή πρόσφατης ηφαιστειότητας και σεισμικότητας (<10 Μα) (Mogern and Etiope 2002). Όταν αυτό εκπέμπεται από τα ηφαίστεια, συνήθως αραιώνεται σε χαμηλές συγκεντρώσεις πολύ γρήγορα και δεν απειλεί τη ζωή. Ωστόσο, επειδή το κρύο αέριο διοξείδιο του άνθρακα είναι βαρύτερο από τον αέρα, μπορεί να ρέει σε χαμηλές περιοχές, όπου μπορεί να φτάσει σε πολύ υψηλότερες συγκεντρώσεις σε ορισμένες πολύ σταθερές ατμοσφαιρικές συνθήκες. Αυτό μπορεί να δημιουργήσει σοβαρούς κινδύνους για ανθρώπους και ζώα.

3.2.2. Υδρόθειο (H₂S)

Το υδρόθειο είναι ένα άχρωμο αέριο, εύφλεκτο με χαρακτηριστική οσμή (θυμίζει κλούβιο αυγό). Είναι βαρύτερο από τον αέρα και τείνει να συγκεντρώνεται κοντά στο έδαφος, δηλητηριώδες και διαβρωτικό. Παρόλο που ανθρώπινη μύτη είναι πολύ ευαίσθητη στο υδρόθειο, η αίσθηση της όσφρησης δεν είναι αξιόπιστη για να προστατεύσει την έκθεση τους σε αυτό, καθώς σε ανάμιξη πάνω από 0.01% γίνεται άοσμο και πολύ τοξικό προκαλώντας ερεθισμό της άνω αναπνευστικής οδού, μέχρι και πνευμονικό οίδημα κατά τη διάρκεια μακράς έκθεσης. Η έκθεση σε 500ppm μπορεί να προκαλέσει αναισθησία στον άνθρωπο σε πέντε μόλις λεπτά και θάνατο σε μια ώρα ή λιγότερο. (USGS). Συχνά προέρχεται από την αναερόβια βακτηριδιακή αποικοδόμηση θειούχων οργανικών ουσιών σε έλη και αποχετεύσεις. Επίσης βρίσκεται στα ηφαιστειακά αέρια, αλλά και στο αργό πετρέλαιο και στο φυσικό αέριο σε μικρές ποσότητες. Λόγω επαφής με το υδρόθειο από τα ηφαίστεια έχουν καταγραφεί πολλοί θάνατοι καθώς πρόκειται για την πιο κοινή αιτία θανάτου ηφαιστειακών αερίων. Ανάλογα με τη συγκέντρωση του H₂S, ηφαιστειογενούς προέλευσης, οι επιπτώσεις του στον ανθρώπινο οργανισμό σε περίπτωση εισπνοής είναι οι εξής:

Συγκέντρωση H ₂ S ηφαιστειογενούς προέλευσης	Επιπτώσεις του H ₂ S στον ανθρώπινο οργανισμό σε περίπτωση εισπνοής
2 ppm	Ελαφρές επιπτώσεις σε άτομα με άσθμα
20 ppm	Ερεθισμοί ματιών και αναπνευστικής οδού
50-500 ppm	Έντονες νευροτοξικές διαταραχές
500-1000 ppm	Συγκέντρωση ιδιαίτερα επικίνδυνη- είναι δυνατόν να προκαλέσουν ακόμα και τον θάνατο

Πίνακας 1. Συνέπειες στον ανθρώπινο οργανισμό από την εισπνοή υδροθείου. Στον πίνακα είναι εμφανείς οι προοδευτικές διαταραχές σε περίπτωση εισπνοής μεγαλύτερων ποσοτήτων υψηλής συγκέντρωσης αερίου.

3.2.3. Διοξείδιο του θείου (SO₂)

Το διοξείδιο του θείου είναι άχρωμο, άοσμο και με έντονη ερεθιστική οσμή σε ψηλές συγκεντρώσεις αέριο, που ερεθίζει το δέρμα και τους βλεννογόνους των ματιών, της μύτης και του φάριγγα. Αποτελεί περίπου το 0,04% του αέρα στην ατμόσφαιρα της Γης. Διαλύεται στην υγρασία του ατμοσφαιρικού αέρα και σχηματίζει θειώδες οξύ (H₂SO₃) και στον ξηρο αέρα οξειδώνεται σε τριοξείδιο του θείου (SO₃) που έπειτα μετατρέπεται σε θειικό οξύ (H₂SO₄) που είναι βασικό συστατικό της όξινης βροχής.

Προέρχεται κυρίως από καύσεις στερεών ή υγρών καυσίμων, από βιομηχανικές δραστηριότητες και κάθε βιομηχανική κατεργασία θειούχων ενώσεων. Ως φυσικές πηγές αποτελούν η ηφαιστειακή δραστηριότητα, οι πυρκαγιές και η σκόνη από απογυμνωμένο έδαφος.

Το διοξείδιο του θείου, απορροφάται από τα υγρά στο ανώτερο αναπνευστικό σύστημα του ανθρώπου και προκαλεί έκκριση βλέννας. Έτσι, μικρό ποσοστό διοξειδίου του θείου φτάνει στο κατώτερο αναπνευστικό σύστημα και σε συνδυασμό με καπνο και αιωρούμενα σωματίδια μεταφέρεται στους πνεύμονες προκαλώντας των ερεθισμό τους. Σε μεγάλες συγκεντρώσεις μπορεί να προκαλέσει σοβαρά καρδιοαναπνευστικά προβλήματα και ερεθισμούς.

Σε συνδυασμό με τα αιωρούμενα σωματίδια και τον καπνό προκαλεί έντονη ατμοσφαιρική ρύπανση. Ο συνδυασμός του με τα οξείδια του αζώτου δημιουργούν την όξινη βροχή που έχει ως αποτέλεσμα την οξίνιση του εδάφους, των νερών και των ποταμών, τη διάβρωση κτιρίων και μνημείων και τη μείωση της ορατότητας.

Το SO₂ έχει σημαντική επίδραση στο παγκόσμιο και τοπικό κλίμα, σε συνδυασμό με τα θεικά αερολύματα τα οποία αντανακλούν το ηλιακό φως στην ατμόσφαιρα και μπορούν να λειτουργήσουν ως πυρήνες συμπύκνωσης γεγονός που μπορεί να μεταβάλλει τη διάρκεια ζωής των νεφών προκαλώντας ψύξη στα κατώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας.

Μια ηφαιστειακή έκρηξη μπορεί να απελευθερώσει ποσοστά διοξειδίου του θείου, δημιουργώντας σοβαρά αναπνευστικά προβλήματα στους ανθρώπους και τα ζώα της περιοχής καθώς και στην τοπική βλάστηση, φράζοντας τα στόματα των φύλλων και εμποδίζοντας την διαδικασία της αναπνοής των φυτών. Επίσης οι εκπομπές SO₂ μπορούν να προκαλέσουν την όξινη βροχή και την ατμοσφαιρική ρύπανση που συνδέεται με τη δράση ενός ηφαιστείου. Επιπλέον, παίζουν ρόλο στην εξάντληση του όζοντος δημιουργώντας αντιδράσεις που το καταστρέφουν στην επιφάνεια θεϊκών αερολυμάτων που δημιουργούν και αντανακλούν το φως το ηλίου, έχοντας ψυκτική επίδραση στο κλίμα της Γης.

3.2.4. Μεθάνιο (CH₄)

Είναι ένα άχρωμο, άοσμο, μη τοξικό αλλά ιδιαίτερα εύφλεκτο αέριο. Είναι το δεύτερο αέριο μετά το CO₂ που συμβάλλει στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Το μεθάνιο παράγεται και εκπέμπεται στην ατμόσφαιρα της Γης κυρίως από ανθρωπογενείς πηγές όπως κτηνοτροφία, πετρελαιοπηγές, χωματαρές και η βιομηχανική δραστηριότητα αλλά και από φυσικές όπως τα έλη, οι ωκεανοί και η ηφαιστειακή δραστηριότητα. Η συγκέντρωση του στον αέρα είναι πολύ μικρή, της τάξης του 1,6-1,8 ppm.

Το μεθάνιο αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα αέρια που συμβάλλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου και στην υπερθέρμανση του πλανήτη. Συγκεκριμένα παραμένει στην ατμόσφαιρα 9-15 χρόνια και είναι περίπου 20 φορές πιο δραστικό από το CO₂ στην ικανότητα παγίδευσης της θερμότητας (Walter D' Alessandro & Konstantinos Kyriakopoulos, 2013).

Επίσης σε κλειστούς χώρους μπορεί να προκαλέσει ασφυξία καθώς υπερισχύει του οξυγόνου που είναι απαραίτητο για την αναπνοή. Μπορεί να προκαλέσει απώλειες συνείδησης, κεφαλαλγία, ζάλη, κόπωση και ναυτία, ενώ η επαφή με υγρό μεθάνιο μπορεί να προκαλέσει κρυοπαγήματα. Μεγαλύτερος κίνδυνος αποτελεί η συμμετοχή του σε υψηλές συγκεντρώσεις σε ένα εύφλεκτο ή εκρηκτικό μίγμα. Επίσης, σε περίπτωση που έχουμε εκροή εκ του εδάφους φυσικής ή ανθρωπογενούς προέλευσης, μπορεί να διεισδύσει στο εσωτερικό κτιρίων, εκθέτοντας σε υψηλά επίπεδα μεθανίου και σε σημαντικό κίνδυνο, όσους βρίσκονται μέσα σε αυτά.



Εικόνα 3.1 :Τα διοξείδια του θείου και τα οξείδια του αζώτου αντιδρούν με τους υδρατμούς της ατμόσφαιρας και μετατρέπονται σε θειικά και νιτρικά οξέα τα οποία προκαλούν την όξινη βροχή. (Πηγή: geo.auth.gr)

3.2.5. Άλλα αέρια που συνδέονται με την ηφαιστειακή δραστηριότητα

- **Άζωτο (N_2):** Είναι το πιο άφθονο αέριο της ατμόσφαιρας της γης. Είναι άοσμο, άγευστο, άχρωμο και ελαφρότερο από τον αέρα. Βρίσκεται σε όλους τους ζωντανούς οργανισμούς ως συστατικών των πρωτεϊνών των νουκλεϊνικών οξέων. Εξαιτίας της αδράνειάς του χρησιμοποιείται στη χημική βιομηχανία. Δεν είναι δηλητηριώδες αέριο αλλά μπορεί να προκαλέσει ασφυξία. Σε περιβάλλοντα με αυξημένη και απότομη πίεσης που συνεπάγεται τη μείωση της διαλυτότητας, δημιουργούνται φυσαλίδες αζώτου στο αίμα που οδηγούν ακόμα και σε θάνατο (νόσος των δυτών). Κρυοπαγήματα μπορεί να δημιουργηθούν στην επαφή του δέρματος με υγρό άζωτο.
- **Αλογονίδια υδρογόνου (HF, HCl, HBr):** Είναι ισχυρά τοξικά αέρια. Όταν το μάγμα ανεβαίνει κοντά στην επιφάνεια, τα ηφαιστεια μπορούν να εκπέμπουν HF, HCl, HBr . Όλα είναι ιδιαίτερα τοξικά και έχουν υψηλή διαλυτότητα. Έτσι διαλύονται γρήγορα στα σταγονίδια νερού μέσα στα ηφαιστειακά λοφία ή στην ατμόσφαιρα, όπου μπορούν να προκαλέσουν όξινη βροχή. Σε έκρηξη που δημιουργεί τέφρα, τα σωματίδια τέφρας επικαλύπτονται με αλογονίδια υδρογόνου. Αυτά τα σωματίδια τέφρας, μόλις αποθεθούν μπορούν να δηλητηριάσουν τα αποθέματα πόσιμου νερού, τις γεωργικές καλλιέργειες και τα βοσκοτόπια. Το υδροφθόριο μάλιστα, είναι αέριο με έντονη οσμή και εξαιρετικά ευδιάλυτο. Προκαλεί ερεθισμούς και σοβαρά εγκαύματα. Ευθύνεται για μερικές από τις μεγαλύτερες φυσικές καταστροφές από ηφαιστειακά αέρια.
- **Ήλιο (He):** Είναι αέριο άχρωμο, άοσμο, άγευστο, μη τοξικό και το δεύτερο πιο άφθονο στο Σύμπαν. Πιο συχνά χρησιμοποιείται ως ανυψωτικό στην πλήρωση αερόπλοιων και μπαλονιών καθώς είναι ελαφρότερο από τον αέρα. Χρησιμοποιείται ως κρυογενικό ρευστό και μέσο ψύξης μαγνητών.
- **Μονοξείδιο του άνθρακα (CO):** Άοσμο, άχρωμο και εύφλεκτο αέριο. Εξαιρετικά τοξικό και επικίνδυνο καθώς μια μόνο εισπνοή μπορεί να προκαλέσει και θάνατο.

Προέρχεται κυρίως από τη φωτοχημική οξείδωση του μεθανίου και δευτερευόντως από ηφαιστειακές εκρήξεις και δασικές πυρκαγιές. Ξεχωρίζει από τα υπόλοιπα αέρια καθώς η ετήσια ποσότητα από φυσικές πηγές είναι πολύ μεγαλύτερη από εκείνη που προέρχεται από την ανθρώπινη δραστηριότητα. Είναι ιδιαίτερα τοξικό και συνδέεται σταθερά με την αιμοσφαιρίνη, με αποτέλεσμα ο οργανισμός να μην μπορεί να προσλάβει οξυγόνο από τον αέρα προκαλώντας έντονους ερεθισμούς και οδηγώντας ακόμα και σε θάνατο. Το γεγονός ότι είναι άοσμο το καθιστά ακόμα πιο επικίνδυνο.

- **Υδράργυρος (Hg):** Χαρακτηριστικό ιχνοστοιχείο των ηφαιστειακών περιοχών. Τα σωματίδια του ψευδαργύρου παρόλου που βρίσκονται σε μικρές συγκεντρώσεις επηρεάζουν άμεσα την περιοχή γύρω από το ηφαίστειο. Επίσης μπορούν να μεταφερθούν χιλιάδες χιλιόμετρα μακριά από την πηγή

3.3. Πως απελευθερώνονται τα αέρια των ηφαιστείων στην ατμόσφαιρα

Το μάγμα περιέχει διαλυμένα αέρια, τα οποία παρέχουν την κινητήρια δύναμη που προκαλεί τις περισσότερες ηφαιστειακές εκρήξεις. Καθώς το μάγμα ανεβαίνει προς την επιφάνεια και η πίεση μειώνεται, τα αέρια απελευθερώνονται από το υγρό τμήμα του μάγματος (λιώνουν) και συνεχίζουν να ταξιδεύουν προς τα πάνω και τελικά απελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα. Μεγάλες εκρήξεις μπορούν να απελευθερώσουν τεράστιες ποσότητες αερίου σε σύντομο χρονικό διάστημα. Ωστόσο, ακόμη και αν το μάγμα δεν φτάσει ποτέ στην επιφάνεια, τα αέρια μπορούν να διαφύγουν στην ατμόσφαιρα από το έδαφος, τους ηφαιστειακούς αεραγωγούς, τις φουμαρόλες και γενικότερα τα διάφορα υδροθερμικά συστήματα.

Τα ηφαιστειακά αέρια (SO_2 , CO_2 , CO , HF , H_2S ..), υπέρθερμοι υδρατμοί και το μίγμα ηφαιστειακής στάχτης, δημιουργεί τα λεγόμενα ηφαιστειακά νέφη και ανυψώνεται στον αέρα λόγω της αρχικής ώθησης από την έκρηξη και της διαφοράς θερμοκρασίας και πυκνότητας με την περιβάλλουσα ατμόσφαιρα. Δυο με τρεις εκατοντάδες μέτρα πάνω από τον πόρο εξόδου η κατανομή και η πορεία του νέφους ελέγχεται από τους ανέμους που πνέουν στην περιοχή, οι οποίοι καθορίζουν πως θα κινηθεί το νέφος.

Μακράν το πιο άφθονο ηφαιστειακό αέριο είναι οι υδρατμοί, οι οποίοι δεν είναι επιβλαβείς για την υγεία και το περιβάλλον. Ωστόσο, σημαντικές ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα, διοξειδίου του θείου, υδρόθειου και αλογονιδίων υδρογόνου μπορούν επίσης να εκπέμπονται από τα ηφαίστεια. Ανάλογα με τις συγκεντρώσεις τους, αυτά τα αέρια είναι όλα δυνητικά επικίνδυνα για τους ανθρώπους, τα ζώα και την γεωργία.

3.4. Επικινδυνότητα των αερίων

Εκατομμύρια άνθρωποι παγκοσμίως ζουν σε περιοχές όπου η έκθεση τους στους κινδύνους ενός ενεργού ηφαιστείου είναι υπαρκτοί (τουλάχιστον 455 εκατομμύρια κατά Small D, Naumann T, 2001). Πέρα από τις καταστροφικές συνέπειες που μπορεί να έχει η ηφαιστειακή δράση από μόνη της, τα ηφαιστειακά αέρια μπορεί να είναι εξ ίσου επικίνδυνα και αποτελούν έναν σημαντικό δευτερογενή κίνδυνο. Τα ηφαίστεια και οι γεωθερμικές περιοχές σχετίζονται με εκπομπές ποικίλων αερίων όπως το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), το διοξείδιο του θείου (SO_2), μονοξείδιο του άνθρακα (CO), υδροφθόριο (HF), υδρόθειο (H_2S), μεθάνιο (CH_4) και βαρέα μέταλλα όπως ο μόλυβδος και ο υδράργυρος. Η επικινδυνότητα των ηφαιστειακών αερίων συνδέεται με την απόσταση στην οποία μπορούν να εκλυθούν αλλά και με τις θερμοκρασίες που

επικρατούν. Για παράδειγμα μπορεί το καλοκαίρι να εμφανίζεται μείωση της εκπομπής τους σε σχέση με το χειμώνα λόγω αραίωσης αλλά και οξειδοαναγωγικών αντιδράσεων που προτιμώνται σε υψηλότερες θερμοκρασίες και ηλιακό φως (D' Alessandro W., Brusca L., Kyriakopoulos K., Michas G., Papadakis G.).

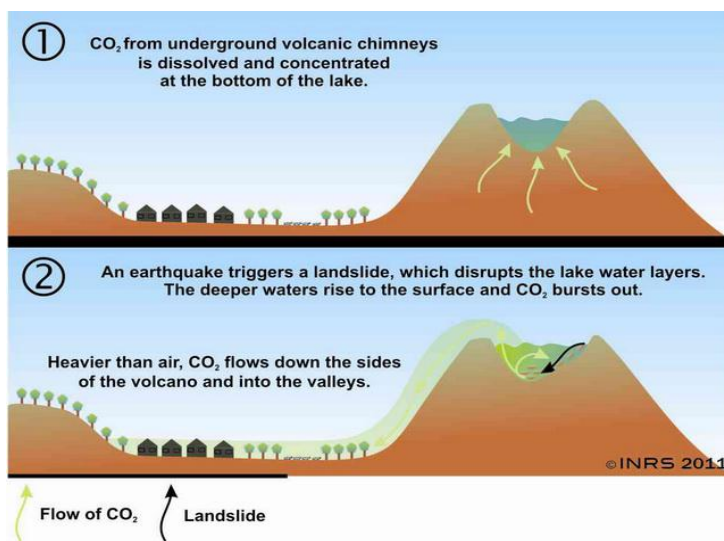
Τα περισσότερα ηφαιστειακά αέρια είναι θερμά και τοξικά και η εκπομπή τους σε μεγάλες ποσότητες προκαλεί ακόμα και τον αιφνίδιο θάνατο ζωντανών οργανισμών. Επίσης στο εσωτερικό στοών λάβας μπορεί να εγκλωβιστούν δηλητηριώδη αέρια. Κατά τη διάρκεια της ηφαιστειακής δραστηριότητας και των ενδιάμεσων περιόδων και από εκρήξεις όλων των μεγεθών, απελευθερώνονται ένα πλήθος αερίων τα οποία κυρίως είναι υδρατμοί. Μερικές φορές τα αέρια καθώς είναι βαρύτερα του ατμοσφαιρικού αέρα, επικάθονται στα κατώτερα στρώματα του εδάφους προκαλώντας μεγάλα προβλήματα στους ανθρώπους, τα ζώα και τη βλάστηση της γύρω περιοχής. Η εκπομπή των ηφαιστειακών αερίων εκτός από συνέπειες στην υγεία των ανθρώπων αλλά και των υπόλοιπων ζωντανών οργανισμών και της βλάστησης, δημιουργούν και περιβαλλοντικές συνέπειες όπως η όξινη βροχή, συμμετέχουν σε μικρά βέβαια ποσοστά στο φαινόμενο του θερμοκηπίου και μπορούν να επηρεάσουν ακόμα και το τοπικό ή παγκόσμιο κλίμα σε ακραίες περιπτώσεις.

Χαρακτηριστική και αξιοσημείωτη περίπτωση της επικινδυνότητας των ηφαιστειακών αερίων ήταν στις 12/8/1986 στο Καμερούν όπου 2000 άνθρωποι έχασαν τη ζωή τους. Ένα νέφος από διοξείδιο του άνθρακα και σταγονίδια νερού αναδύθηκαν από τη λίμνη Nyos στο Καμερούν. Αυτή η θανατηφόρα πάχνη οδήγησε στο θάνατο περίπου 2.000 ανθρώπους, χιλιάδες ζώα και πουλιά. Τα περισσότερα θύματα δεν είχαν τραύματα και έδειχναν ότι πέθαναν από ασφυξία στον ύπνο τους. (5.7 Λίμνη Nyos -geo.auth.gr).

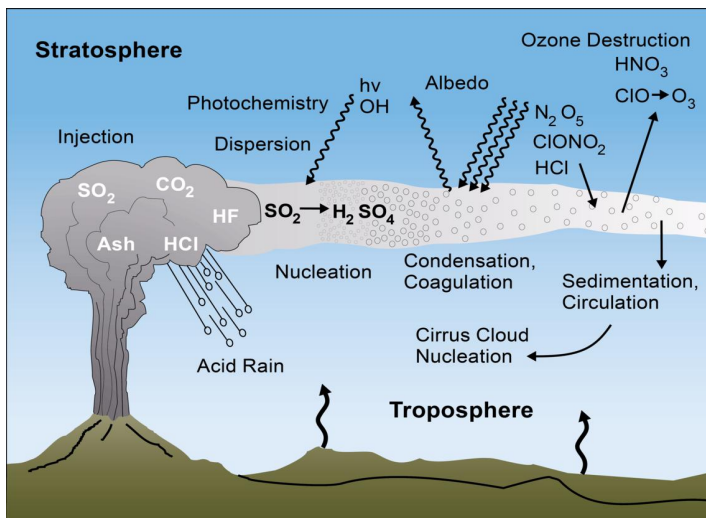
Τέλος, τα ηφαιστειακά αέρια μπορούν να αποτελέσουν κίνδυνο για τις εναέριες κυκλοφορίες καθώς δημιουργούν έναν θύσανο (στήλη έκρηξης). Μάλιστα ένα σύννεφο έκρηξης μπορεί να χρειαστεί μόλις 5 λεπτά για να φτάσει στο ύψος πτήσης ενός αεροπλάνου (esa). Επίσης εκτιμάται πως η απελευθέρωση αερίων από υποθαλάσσια ηφαίστεια αποτελεί κίνδυνο για τα πλοία, καθώς ακόμα και αν δεν εκραγούν, παράγουν φουσαλίδες κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας οι οποίες μειώνουν την πυκνότητα του νερού και μπορούν ακόμα και να οδηγήσουν στη βύθισή τους. Αυτό φαίνεται πως συνέβη το 1952 σε ένα Ιαπωνικό πλοίο, από την έκρηξη του υποθαλάσσιου ηφαιστείου Myojinsho στον Ειρηνικό Ωκεανό, που οδήγησε στον θάνατο 31 ανθρώπων. (ESA)



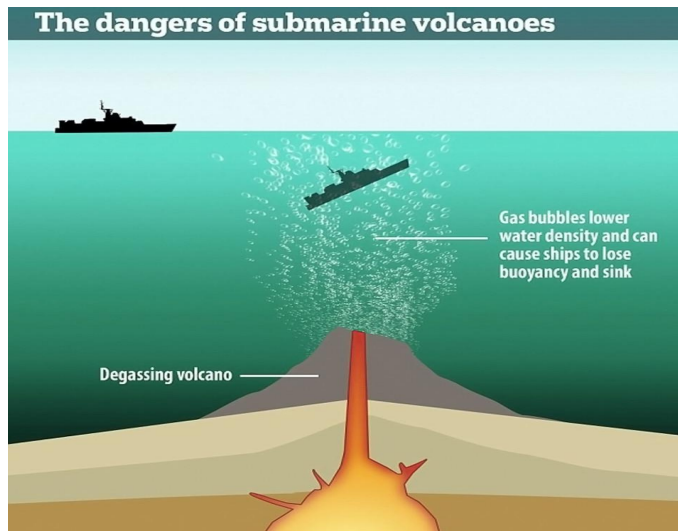
Εικόνα 3.2 : Λίμνη Nyos (geo.auth.gr)



Εικόνα 3.3. : Η λίμνη Nyos βρίσκεται μέσα σε ένα ηφαιστειακό κρατήρα. Στην πρώτη εικόνα πριν την έκρηξη, το CO_2 βρίσκεται συγκεντρωμένο στο πάτο της λίμνης. Στη δεύτερη εικόνα μετά την έκρηξη το CO_2 , το νερό της λίμνης ανυψώθηκε και απελευθερώθηκε στην ατμόσφαιρα. (Πηγή:INRS)



Εικόνα 3.4: Ηφαιστειακά αέρια αντιδρούν με την ατμόσφαιρα με διάφορους τρόπους και μπορούν να επηρεάσουν μέχρι και το τοπικό ή και το παγκόσμιο κλίμα. (Πηγή: USGS)



Εικόνα 3.5 : Η απειλή των υποθαλάσσιων ηφαιστειών για τη βύθιση πλοίων.
(Πηγή : Dailymail)

3.4.1 Επικινδυνότητα CO₂

Συγκεκριμένα το CO₂ από μια ηφαιστειακή έκρηξη, μπορεί να συσσωρευτεί στο έδαφος καταστρέφοντας το ριζικό σύστημα των δέντρων. Επειδή το αέριο αυτό είναι βαρύτερο από τον αέρα (μεγαλύτερη πυκνότητα), μπορεί να συγκεντρωθεί σε μικρά βυθίσματα ή σε χαμηλές κοιλάδες αποτελώντας άμεσο κίνδυνο ασφυξίας σε ανθρώπους και ζώα. Η αναπνοή αέρα με περισσότερο από 3% CO₂ μπορεί γρήγορα να οδηγήσει σε πονοκεφάλους, ζάλη, αυξημένο καρδιακό ρυθμό και δυσκολία στην αναπνοή. Σε αναλογίες ανάμειξης που υπερβαίνουν περίπου το 15%, το διοξείδιο του άνθρακα προκαλεί γρήγορα απώλεια συνείδησης και θάνατο.

Αν και τα φύλλα των φυτών παράγουν οξυγόνο (O₂) κατά τη φωτοσύνθεση, οι ρίζες τους πρέπει να απορροφούν O₂ άμεσα για να επιβιώσουν. Οι υψηλές συγκεντρώσεις CO₂ στο έδαφος που προκύπτουν από μια ηφαιστειακή έκρηξη, σκοτώνουν τα δέντρα καθώς οι ρίζες τους δεν μπορούν να προσλάβουν αρκετό O₂ εμποδίζοντας την προσληψη ζωτικής σημασίας θρεπτικών συστατικών. Στις περιοχές όπου παρατηρείται η αποξήρανση των δέντρων κατά αυτό τον τρόπο, το CO₂ αποτελεί περίπου 20-95% της περιεκτικότητάς του εδάφους σε αέρια, ενώ σε κανονικές συνθήκες περιέχεται συνήθως 1% ή και λιγότερο CO₂. Όταν το CO₂ απομακρύνεται από το έδαφος, συνήθως αναμιγνύεται με τον αέρα και διαλύεται. Η εισπνοή αέρα με μεγάλο ποσοστό σε CO₂ μπορεί να προκαλέσει πολύ γρήγορη απώλεια αισθήσεων και να οδηγήσει σε θάνατο.

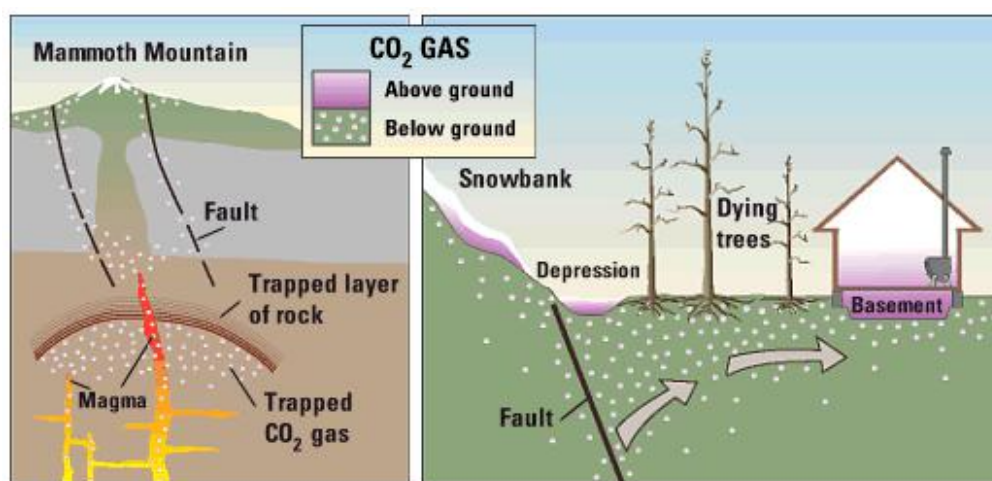
Επιπλέον ένας άλλος κίνδυνος της απελευθέρωσης του CO₂ ανάγεται στο γεγονός ότι αυτό μπορεί να εγκλωβιστεί σε περιοχές όπου συσσωρεύονται παχιές χιονοστιβάδες κάτω από το χιόνι. Επικίνδυνα επίπεδα CO₂ έχουν μετρηθεί σε λάκκους χιονιού σε περιοχές όπου έχει παρατηρηθεί η αποξήρανση των δέντρων γεγονός που επιβιώνει την σύνδεση τους.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί το ηφαιστειο Mammoth στην Καλιφόρνια των Ηνωμένων Πολιτειών, το οποίο έδωσε μια από τις μεγαλύτερες ηφαιστειακές εκρήξεις στη βόρεια Αμερική που έχουν καταγραφεί. Η τρέχουσα ποσότητα του CO₂ που απελευθερώνεται σήμερα είναι 300 τόνοι την ημέρα. Αέριο CO₂ που διαρρέει από το έδαφος πιθανότατα προέρχεται από το μάγμα που βρίσκεται κάτω από το ηφαιστειο. Το 1989 λόγω ανύψωσης του μάγματος ρωγμές διανοιχθηκαν στα

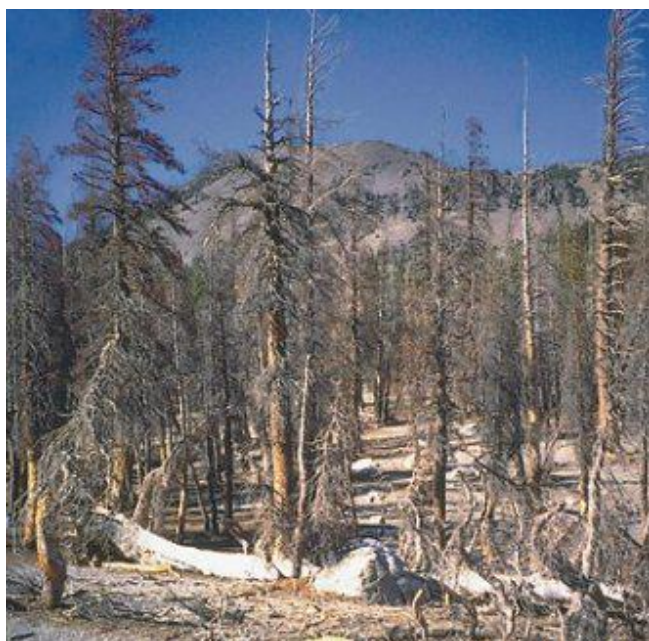
πετρώματα, επιτρέποντας μεγάλες ποσότητες παγιδευμένου αερίου CO₂, να διαρρεύσουν στο έδαφος, με αποτέλεσμα να σκοτώσουν τις ρίζες των δέντρων της περιοχής καθώς και να συσσωρευτούν σε μάζες χιονιού. Το 2006 τρεις σκιερ σκοτώθηκαν στο χιονοδρομικό κέντρο του Mammoth αφού έπεσαν σε μια περιοχή χιονιού που περιέβαλλε μια ηφαιστειακή φουμαρόλη γεμάτη με κρύο CO₂ αέριο.

Πέρα από την περίπτωση του ηφαιστείου Mammoth και την Καλιφόρνα άλλες περιοχές που έχουν επηρεαστεί κατά τον ίδιο τρόπο και έχουν καταγεγραμμένα θύματα είναι οι Αζόρες, καθώς και το Λάτσιο και οι Λόφοι Αλμπάνι της Ιταλίας. (Hansell A, Orpenheimer C,2004)

Εκτός από τον άμεσο κίνδυνο, οι ηφαιστειακές εκπομπές CO₂ έχουν την ικανότητα να επηρεάσουν μέχρι και το παγκόσμιο κλίμα, αλλά η μέση παγκόσμια ηφαιστειακή επιρροή είναι πολύ μικρότερη σε σύγκριση με την επιρροή των ανθρωπίνων δραστηριοτήτων.



Εικόνα 3.6: Η περίπτωση του Όρους Mammoth. (Πηγή:USGS)



Εικόνα 3.7: Η καταστροφή των δασών λόγω απελευθέρωσης διοξειδίου του άνθρακα από την έκρηξη του ηφαιστείου. (Πηγή:USGS)

3.4.2 Επικινδυνότητα SO₂ - Τοξικά νέφη Vog & Laze

Οι ηφαιστειακές εκπομπές του SO₂ μπορεί να συμβάλλουν ουσιαστικά στην αστική ατμοσφαιρική ρύπανση, να συμβάλλουν στη δημιουργία της όξινης βροχής αλλά και στη δημιουργία τοξικών νεφών.

Είτε η ηφαιστειακή δραστηριότητα εκδηλώνεται με μια έκρηξη είτε διαρκεί για εβδομάδας ή ακόμα και μήνες, οι κάτοικοι των περιοχών που επηρεάζονται πιθανότατα θα αντιμετωπίσουν τουλάχιστον έναν από αυτούς τους κινδύνους που συνδέονται με την ποιότητα του αέρα. Χημικές αντιδράσεις του SO₂ δημιουργούν τοξικά νέφη και κάποια από αυτά αποτελούν ένα είδος ηφαιστειακής ομίχλης και λέγονται “vog” και “laze”.



Εικόνα 3.8: “Νέα Γη”, δημιουργήθηκε από την λάβα του ηφαιστείου Kilauea. Οι λευκοί καπνοί σηματοδοτούν την πιο ενεργή είσοδο της λάβας στο τοπίο. (Πηγή: U.S. Geological Survey)



Εικόνα 3.9: Ο ήλιος φαίνεται μέσα από ένα λοφίο αερίων που δημιουργήθηκε κατά την έκρηξη του 1984, του ηφαιστείου Mauna Loa. (Πηγή:USGS)

- **Vog:** Το SO_2 που απελευθερώνεται από το ηφαίστειο, αντιδρά χημικά με το οξυγόνο, τα σωματίδια σκόνης, το ηλιακό φως και την υγρασία της ατμόσφαιρας και σχηματίζει ένα μίγμα από αερολύματα (*aerosols*) πλούσια σε θειικά άλατα, θειικό οξύ και άλλες οξειδωτικές θειικές ενώσεις. Αυτό το είδος ηφαιστειακής ομίχλης είναι γνωστό με το όνομα "vog" (*volcanic smog*). Το τοξικό και επικίνδυνο νέφος μεταφέρεται και εξαπλώνεται με τη βοήθεια των ανέμων και συχνά μετατρέπεται σε όξινη βροχή. Ως αέριο νέφος δημιουργεί αναπνευστικά προβλήματα, ενώ η όξινη βροχή καταστρέφει καλλιέργειες και είναι καυστική για ανθρώπους, ρουχισμό και άλλα αντικείμενα. Παράλληλα σύμφωνα με έρευνες, αυτή η ομίχλη επιδεινώνει επικίνδυνα συμπτώματα άσθματος για ήδη ασθενείς ακόμα και κατά τη βραχυπρόθεσμη έκθεση. Επίσης αν αναμειχθεί με καπνό, μπορεί να προκαλέσει ερεθισμό των ματιών, της μύτης, του λαιμού και του δέρματος, καθώς και δύσπνοια. Τέλος, η παρατεταμένη έκθεση στο νέφος vog μπορεί να οδηγήσει ακόμα και σε νέες περιπτώσεις άσθματος. (Dr. Elizabeth Tam-Burns School of Medicine)

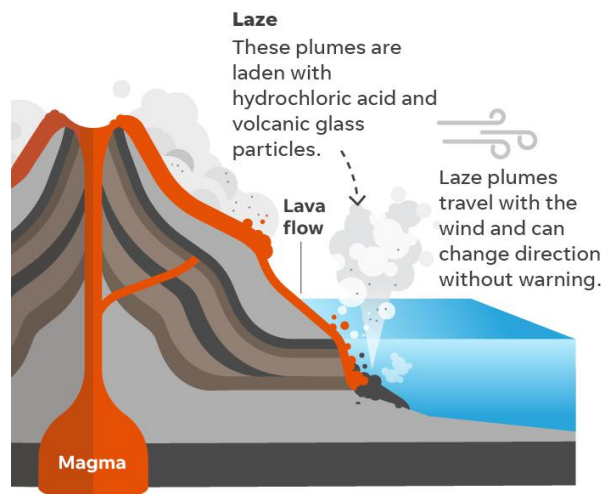


Εικόνα 3.10: Νέφος Vog που δημιουργήθηκε από τις εκπομπές SO_2 του ηφαιστείου της Χαβαΐς. (Πηγή: Kern, Christoph. Public domain - USGS)

- **Laze:** Όταν η λάβα χύνεται στη θάλασσα, συμβαίνει μία άλλη χημική αντίδραση μεταξύ της λάβας και του θαλάσσιου νερού. Λευκά σύννεφα δημιουργούνται εξ αιτίας της μεγάλης θερμότητας και των βίαιων χημικών αντιδράσεων. Αυτά τα ομιχλώδη νέφη ονομάζονται "laze", σύντομη των λέξεων *lava haze*. Αυτός ο πυκνός λευκός ατμός αποτελείται από ατμούς ζεστού νερού και από τοξικά αέρια όπως το υδροχλωρικό οξύ, ξαθώς και από μικροσκοπικά θραύσματα από ηφαιστειακή ύελο. Καθώς η λάβα προκαλεί το βρασμό και την εξάτμιση του θαλάσσιου νερού, τα διαλυμένα χλωρίδια (NaCl , MgCl_2 , CaCl_2) αντιδρούν με το υδρογόνο του νερού και σχηματίζουν υδροχλωρικό οξύ. Αυτό το φαινόμενο έχει επικίνδυνες συνέπειες, οι οποίες όμως περιορίζονται κοντά στην ακτή.

The health hazards of 'laze'

When molten lava flows into the ocean, it reacts vigorously with sea water to create acidic steam plumes, known as 'laze'. Inhaling or contacting acid gases and liquids can irritate the skin, eyes and respiratory tract, and may cause breathing difficulties.



SOURCE USA TODAY research
Doyle Rice, Karl Gelles/USA TODAY

Εικόνα 3.11: Οι κίνδυνοι από το νέφος “laze”. (Πηγή:usa today)

3.5. Φαινόμενο του θερμοκηπίου

Μεγάλο μέρος της ηλιακής ενέργειας φθάνει στη Γη ως ορατή ακτινοβολία. Από το ορατό φως εισέρχεται στην ατμόσφαιρα περίπου το 30% και ανακλάται πίσω στο διάστημα από τα νέφη, το χιόνι, τους πάγους, τις θαλάσσιες επιφάνειες και τα ατμοσφαιρικά αερολύματα. Το υπόλοιπο ποσοστό απορροφάται από τα συστατικά της ατμόσφαιρας και της επιφάνειας. Η ενέργεια που απορροφάται από την επιφάνεια της γης επανεκπέμπεται τελικά αλλά όχι σαν ορατό φως, αλλά ως υπέρυθη ακτινοβολία (ή θερμική ακτινοβολία). Συγκεκριμένα αέρια της ατμόσφαιρας μπορούν να απορροφούν την εξερχόμενη υπέρυθη ακτινοβολία παγιδεύοντας τη θερμική ενέργεια στο σύστημα επιφάνειας- ατμόσφαιρας. Χωρίς το φυσικό φαινόμενο του θερμοκηπίου η θερμοκρασία της γης θα ήταν χαμηλότερη από τη θερμοκρασία ψύχους. Με την αύξηση όμως των αερίων που απορροφούν την υπέρυθη ακτινοβολία, αυξάνεται και η απορροφούμενη θερμική ακτινοβολία γεγονός που μπορεί να οδηγήσει στην αύξηση της μέσης παγκόσμιας θερμοκρασίας. Το πρώτο αέριο που συμβάλλει στο φαινόμενο του θερμοκηπίου φαίνεται να είναι το διοξείδιο του άνθρακα, ενώ δεύτερο σε σειρά ακολουθεί το μεθάνιο.

Ωστόσο, στο σημείο αυτό, αξίζει να σημειωθεί ότι τα τελευταία κυρίως χρόνια υπό συζήτηση και επιστημονική μελέτη γίνεται σχετικά με την συμβολή του διοξειδίου του άνθρακα στην παγκόσμια κλιματική μεταβολή και την αύξηση της θερμοκρασίας και ιδιαίτερα μέσω της ανθρώπινης δραστηριότητας.

Οι εκπομπές CO₂ από την καύση ορυκτών καυσίμων κατά κύριο λόγο, είναι υπεύθυνες για το 75% της αύξησης της συγκέντρωσης του CO₂ στην ατμόσφαιρα από την προ-βιομηχανική εποχή, ενώ το υπόλοιπο προέρχεται από τις αλλαγές των

χρήσεων γης. Φυσικές διεργασίες όπως η φωτοσύνθεση, η αποσύνθεση, οι ανταλλαγές με την επιφάνεια της θάλασσας αποτελούν πηγές και απορροφητές του CO₂. Οι ηφαιστειακές εκρήξεις ενισχύουν το φαινόμενο του θερμοκηπίου καθώς προθέτουν CO₂ στην ατμόσφαιρα. Η ποσότητα του όμως είναι σαφώς πολύ μικρότερη (σχεδόν 150 φορές) από αυτήν που προσθέτουν ετησίως οι ανθρώπινες δραστηριότητες.



Εικόνα 3.12: Φαινόμενο του θερμοκηπίου- παγίδευση ακτινοβολίας.
(Πηγή: www.eere.energy.gov)

3.6. Όξινη Βροχή

Όξινη βροχή ονομάζεται το φαινόμενο των αφύσικα όξινων μετεωρολογικών κατακρημνισμάτων όπως βροχή, χιόνι, ομίχλη, πάχνη ως και ξηρά σκόνη. Τα κατακρημνίσματα στην φυσική τους κατάσταση είναι ελαφρά όξινα λόγω της διάλυση του διοξειδίου του άνθρακα σε αυτά, σχηματίζοντας το ανθρακικό οξύ (H₂CO₃), το οποίο βοηθά τη διάλυση των ορυκτών στο έδαφος και έτσι την απορρόφηση του από φυτά και ζώα. Η όξινη βροχή έχει pH χαμηλότερο του φυσιολογικού (pH 5 ή μικρότερο). Ο σχηματισμός της όξινης βροχής οφείλεται στο διοξείδιο του θείου (SO₂) και στα οξειδία του αζώτου (NO), που οξειδώνονται σε διοξείδια του αζώτου (NO₂), και διαλυμένα στο νερό σχηματίζουν το νιτρικό οξύ (HNO₃). Οι κύριες πηγές είναι ανθρωπογενείς όπως η καύση ορυκτών κυσίμων για παραγωγή ενέργειας, γεωργία και η βιομηχανική δραστηριότητα γενικότερα αλλά και φυσικές όπως οι πυρκαγιές και η ηφαιστειακή δραστηριότητα, που επιβαρύνει την ατμόσφαιρα ετησίως με ποσότητες SO₂.

Η όξινη βροχή έχει σημαντικές επιπτώσεις στην υγεία των ανθρώπων, στα ζώα, τα φυτά και γενικότερα στο περιβάλλον. Τα νερά των υδροφορέων γίνονται όξινα λόγω της όξινης βροχής με αποτέλεσμα πολλοί υδρόβιοι οργανισμοί να μην μπορούν να επιβιώσουν. Επίσης, στα εδάφη, η όξινη βροχή διαλύει τα θρεπτικά συστατικά τους, τα οποία απομακρύνονται από τα νερά και δεν μπορούν να προσληφθούν από τα δέντρα και τα φυτά, με αποτέλεσμα να μην αναπτύσσονται κατάλληλα. Επιπλέον, η όξινη βροχή είναι υπεύθυνη για την καταστροφή δασών καθώς νεκρώνει τα φύλλα

και τις ρίζες των δέντρων. Ακόμα, τα οξείδια του αζώτου, το διοξείδιο του θείου μαζί με το διοξείδιο του άνθρακα και άλλες χημικές ενώσεις προκαλούν το νέφος που εμφανίζεται κυρίως σε αστικά κέντρα. Φυσικά η όξινη βροχή απειλεί την υγεία και των ανθρώπων έμμεσα, καθώς περνάει στην τροφική αλυσίδα, αλλά και άμεσα. Αν οι άνθρωποι εκτεθούν σε υψηλές συγκεντρώσεις διοξειδίου του θείου και οξειδίων του αζώτου, μπορεί να δημιουργηθούν σοβαρά αναπνευστικά, δερματικά και οφθαλμολογικά προβλήματα. Τέλος, η όξινη βροχή είναι υπεύθυνη για την καταστροφή μνημείων και αγαλμάτων καθώς το θειικό οξύ αντιδράει με τα ανθρακικά άλατα μετατρέποντας τα σε εύθραστο γύψο.

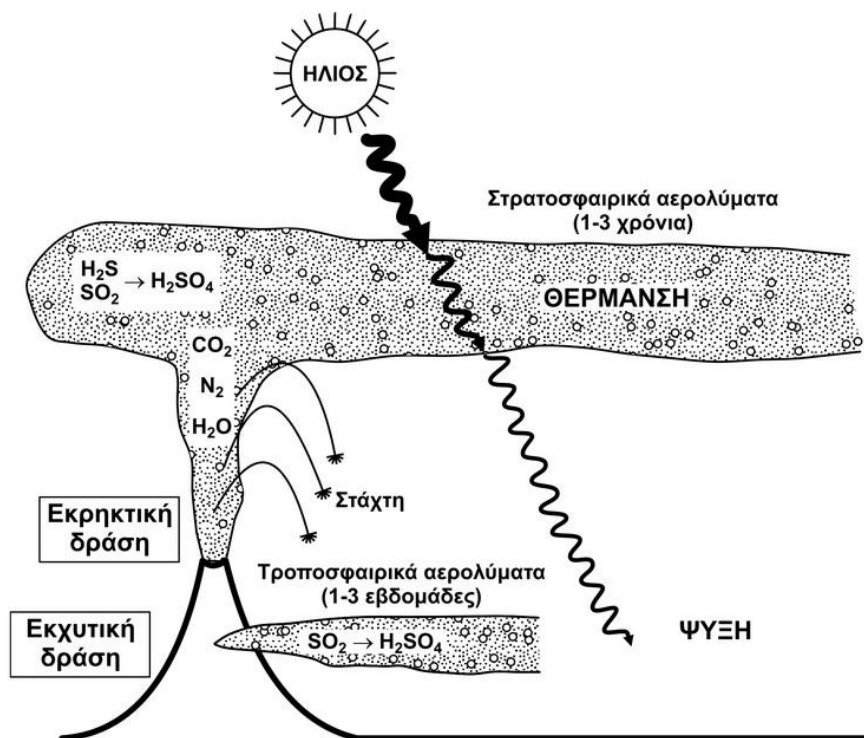
Η όξινη βροχή συνδέεται άμεσα με την ηφαιστειακή δραστηριότητα και μπορεί να προέλθει από μετατροπή του τοξικού νέφους που δημιουργείται από την απελευθέρωση SO_2 που συνδέεται με τις ηφαιστειακές εκρήξεις .



Εικόνα 3.13: Όξινη βροχή και δάση. (Πηγή: <https://www.caryinstitute.org>)

3.7. Ηφαιστειακοί Χειμώνες

Η συμβολή της ηφαιστειακής δράσης στην παγκόσμια θέρμανση του πλανήτη συνδέεται με το φαινόμενο των ηφαιστειακών χειμώνων. Οι ηφαιστειακές εκρήξεις ενισχύουν το φαινόμενο των ηφαιστειακών χειμώνων περισσότερο από ότι ενισχύουν το φαινόμενο του θερμοκηπίου και έχουν ως αποτέλεσμα τη σημαντική πτώση της θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας. Κατά το φαινόμενο αυτό αιωρούμενα σωματίδια όπως η στάχτη και η σκόνη εμποδίζουν την ηλιακή ακτινοβολία να εισέλθει στην ατμόσφαιρα και ως αποτέλεσμα προκαλούν πτώση της θερμοκρασίας της Γης. Αυτά τα σωματίδια είναι μικρότερα από $2\mu m$ και η διασπορά τους στην στρατόσφαιρα και την ανώτερη τροπόσφαιρα, συχνά δημιουργεί όμορφα ηλιοβασιλέματα λόγω της σκέδασης της ερυθρής ακτινοβολίας. Τα θειούχα αέρια, παίζουν πολύ σημαντικό ρόλο. Το θείο ενώνεται με τους υδρατμούς στη στρατόσφαιρα και σχηματίζει πυκνά νέφη από μικροσκοπικά σταγονίδια θειικού οξέος. Τα σταγονίδια αυτά χρειάζονται αρκετά χρόνια για να κατακαθήσουν και είναι ικανά να μειώσουν τη θερμοκρασία της τροπόσφαιρας, διότι απορροφούν την ηλιακή ακτινοβολία και την αντανακλούν στο διάστημα.



Εικόνα 3.14: Πτώση της θερμοκρασίας εξαιτίας των σταγονιδίων θειικού οξέος.
(Πηγή:www.geo.auth.gr)

Χαρακτηριστικά παραδείγματα είναι του Ηφαιστείου Laki στην Ισλανδία, όπου το 1783-1784 υπήρξε ο πιο κρύος χειμώνας στην ιστορία των ανατολικών Ηνωμένων Πολιτειών, με 4,8°C κάτω από το μέσο όρο, ενώ η Ευρώπη επίσης έζησε έναν ιδιαίτερα κρύο χειμώνα. Στο γεγονός αυτό είναι επιστημονικά αποδεδειγμένο ότι συνέβαλλε η έκρηξη του ηφαιστείου Laki της Ισλανδίας το 1783. Επίσης το ηφαίστειο Krakatoa στην Ινδονηδία, όπου η έκρηξη του ηφαιστείου τον Αύγουστο του 1883, έριξε τη θερμοκρασία παγκοσμίως με το καιρό να χαρακτηρίζεται ψυχρός και τη δύση του ηλίου να είναι κατακόκκινη λόγω της διασποράς της στάχτης και των αερολυμάτων. Ακόμα ένα παράδειγμα αποτελεί το ηφαίστειο Tambora στην Ινδονησία. Η έκρηξη του ηφαιστείου το 1815, οδήγησε σε εξαιρετικά κρύα άνοιξη και καλοκαίρι όπου χιονοπτώσεις και παγετός συνέβησαν καθ' όλη τη διάρκεια τους με σημαντικές επιπτώσεις στην καλλιέργεια και την κτηνοτροφία. Μάλιστα οι πάγοι της Αρκτικής και οι παγετώνες των Άλπεων μεγάλωσαν. (Witham CS, 2005)

Στην Ελλάδα κατά την τεράστια έκρηξη του ηφαιστείου της Σαντορίνης 1613 π.Χ., εκτιμάται πως η απελευθέρωση αερίων οδήγησε στην πτώση της θερμοκρασίας έως και 4°C για δύο χρόνια.



Εικόνα 3.15: Ηφαιστειο Κρακατόα. (Πηγή:VolcanoDiscovery)

3.8. Παρακολούθηση των αερίων

Η παρακολούθηση των αερίων αφορά κυρίως την προσπάθεια πρόβλεψης των ηφαιστειακών εκρήξεων.

Αύξηση στα επίπεδα του SO_2 ΚΑΙ CO_2 που αναδύονται από τις ατμίδες, μπορεί να σημαίνει αύξηση στη δραστηριότητα του μάγματος στο μαγματικό θάλαμο. Η μέτρηση της σύστασης και του σχετικού όγκου των αερίων γίνεται με διαφορετικές μεθόδους όπως:

- ✓ *Άμεσες μετρήσεις:* Τα αέρια από τις ατμίδες συλλέγονται σε φιάλες και αναλύονται σε γεωχημικά εργαστήρια. Η μέθοδος παρέχει χρήσιμα δεδομένα αλλά τα συλλεγόμενα δείγματα μολύνονται από τον ατμοσφαιρικό αέρα.
- ✓ *Φασματογραφικές μετρήσεις (COSPEC):* Εξ αποστάσεων μετρήσεις αερίων με ένα φασματογράφο συσχέτισης. Η παρακολούθηση γίνεται από το έδαφος, από όχημα ή εναέριο μέσο. Οι πιο σύγχρονοι φασματογράφοι υπέρυθρου μετρούν το ποσοστό της υπέρυθρης ακτινοβολίας που απορροφάται από το CO_2 και άλλα αέρια
- ✓ *Μετρήσεις Όζοντος (TOMS):* Αφορά μετρήσεις ευρείας κλίμακας και καταγράφει την κατανομή και την ποσότητα του SO_2 που απελευθερώνεται στη στρατόσφαιρα από τις ηφαιστειακές εκρήξεις. Η καταγραφή γίνεται με φασματογραφική χαρτογράφηση του ολικού όζοντος.

3.9. Ανθρωπογενής εκπομπή αερίων έναντι ηφαιστειακής εκπομπής

Το διοξείδιο του άνθρακα είναι το πιο σημαντικό αέριο του θερμοκηπίου και το κύριο που φαίνεται να ευθύνεται για την πιθανή κλιματική μεταβολή. Όμως το διοξείδιο του άνθρακα που απελευθερώνεται από τις σύγχρονες ηφαιστειακές εκρήξεις δεν έχει προκαλέσει ποτέ ανιχνεύσιμη υπερθέρμανση του πλανήτη. Αντίθετα το διοξείδιο του θείου απελευθερώνεται από τις σύγχρονες ηφαιστειακές

εκρήξεις και έχει προκαλέσει περιστασιακά παγκόσμια ψύξη των χαμηλότερων επιπέδων της ατμόσφαιρας. Όλες οι μελέτες κατά το USGS, μέχρι σήμερα που αφορούν το παγκόσμιο εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, δείχνουν ότι τα σημερινά ενεργά ηφαίστεια απελευθερώνουν λιγότερο από 1% του διοξειδίου του άνθρακα που αντιστοιχεί στην απελευθέρωση του από τις ανθρώπινες δραστηριότητες.

Σύμφωνα με έρευνες τα ηφαίστεια και γενικά όλα τα συστήματα που εκπέμπουν με παρόμοιο και φυσικό τρόπο διοξείδιο του άνθρακα είναι υπεύθυνα για ποσοστά 0,13-0,44 γιγατόνων ετησίως, σε αντίθεση με τις ανθρωπογενείς εκπομπές που εκπέμπουν περίπου 80 έως και 270 φορές μεγαλύτερες ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα. Ενδεικτικά κατά το δημοσίευμα “Volcanoes Can Affect Climate” στο USGS, η έκρηξη του Όρους St Helens το 1980, αποτέλεσε ένα από τα ισχυρότερα περιστασιακά και οδήγησε στην απελευθέρωση περίπου 10 εκατομμύρια τόνους CO₂ στην ατμόσφαιρα σε μόλις 9 ώρες. Ωστόσο η ανθρωπότητα χρειάζεται μόλις 2,5 ώρες για να απελευθερώσει το ίδιο ποσό διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα.

Έτσι είναι αδιαμφισβήτητο ότι στη “διαμάχη” Ανθρωπογενής ενάντι Ηφαιστειακή εκπομπής, η ανθρωπογενής δράση νικά κατά κράτος. Ωστόσο, σύμφωνα με νέες επιστημονικές έρευνες, θέμα προς επιστημονική συζήτηση αποτελεί η θεωρία ότι η έντονη ηφαιστειακή απελευθέρωση διοξειδίου του άνθρακα στο γεωλογικό παρελθόν, έχει οδηγήσει υπερθέρμανση του πλανήτη και έχει προκαλέσει μαζικές εξαφανίσεις καθώς και η σύνδεση της κλιματικής αλλαγής με την ανθρώπινη δραστηριότητα και η συσχέτισή της με τη φυσική κλιματική μεταβολή. Σε κάθε περίπτωση όμως, η ανθρώπινη δραστηριότητα είναι η κύρια υπεύθυνη, για πολλές και διαφορετικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις, ιδιαίτερα σε βάθος χρόνου.

Κεφάλαιο 4^ο

Από εργασία υπαίθρου συλλέξαμε δείγματα αερίων και εδάφους καθώς και θερμοκρασιών από θερμές πηγές, γεωτρήσεις και ατμίδες περιοχών του ηφαιστείου της Σαντορίνης, με τον καθηγητή κύριο Κυριακόπουλο και πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις. Θα χρησιμοποιήσω ορισμένα από τα δεδομένα που μου παραχωρήθηκαν στο πλαίσιο αυτής της διπλωματικής εργασίας και παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες. Θα εστιάσουμε στη δειγματοληψία αερίων και στις τιμές των θερμοκρασιών και στα σχετικά αποτελέσματα.

4.1. Τα αέρια της Σαντορίνης

Οι αέριες φάσεις που εκδηλώνεται γενικότερα στην Ελλάδα λόγω της ηφαιστειακής δραστηριότητας είναι κυρίως διοξειδίου του άνθρακα, μεθανίου και αζώτου, ενώ στη Μήλο και Νίσυρο υπάρχουν αξισημείωτες ποσότητες και υδρόθειου.

Η Σαντορίνη χαρακτηρίζεται από ενεργή ηφαιστειότητα και επιφανειακές ενδείξεις της ύπαρξης του μάγματος είναι τα θερμά αέρια που εκλύονται από τις ατμίδες των κεντρικών κρατήρων, καθώς και οι θερμές πηγές που αναβλύζουν στις ακτές. Τα αέρια είναι κυρίως υδρατμοί, διοξείδιο του άνθρακα και θερμός ατμοσφαιρικός αέρας ενώ υπάρχουν και σε μικρότερα ποσοστά άζωτο (N_2), υδρόθειο (H_2S), μεθάνιο (CH_4), ήλιο (He) κλπ. Γύρω από τις ατμίδες έχουμε αποθέσεις θείου, γύψου και άλλων υδροθερμικών ορυκτών.

Για την παρακολούθηση των αερίων των ατμίδων λειτουργούν τρεις σταθμοί στην περιοχή της Νέας Καμένης. Ο ένας σταθμός αποτελεί ψηφιακό καταγραφικό συνεχούς καταγραφής της θερμοκρασίας και ο δεύτερος τη μέγιστη θερμοκρασία. Οι καταγραφές μεταδίδονται μέσω κινητής τηλεφωνίας και είναι προσβάσιμες σε μόνιμη βάση από υπολογιστή. Ο σταθμός αυτός ανήκει στο ΙΓΜΕ και έχει στόχο τη διαχρονική παρακολούθηση των γεωθερμικών πεδίων



Εικόνα 4.1 :Στη Σαντορίνη εμφανίζονται ατμίδες με αποθέσεις γύψου και θείου και από τις οποίες εκλύονται χαρακτηριστικά ηφαιστειακά αέρια. (Πηγή: προσωπικό αρχείο)

4.2 Συλλογή δεδομένων με τα απορροφητικά φίλτρα RADIELLO

Ειδικά απορροφητικά φίλτρα RADIELLO, χρησιμοποιούνται για μετρήσεις αερίων σε ηφαιστειογενείς περιοχές, όπου προσδιορίζονται οι περιοχές επικινδυνότητας στο χώρο ενός ηφαιστείου. Το RADIELLO είναι ένα ακριβές πιστοποιημένο όργανο κατάλληλο για εύφλεκτα ή εκρηκτικά περιβάλλοντα και απλό στη χρήση του.

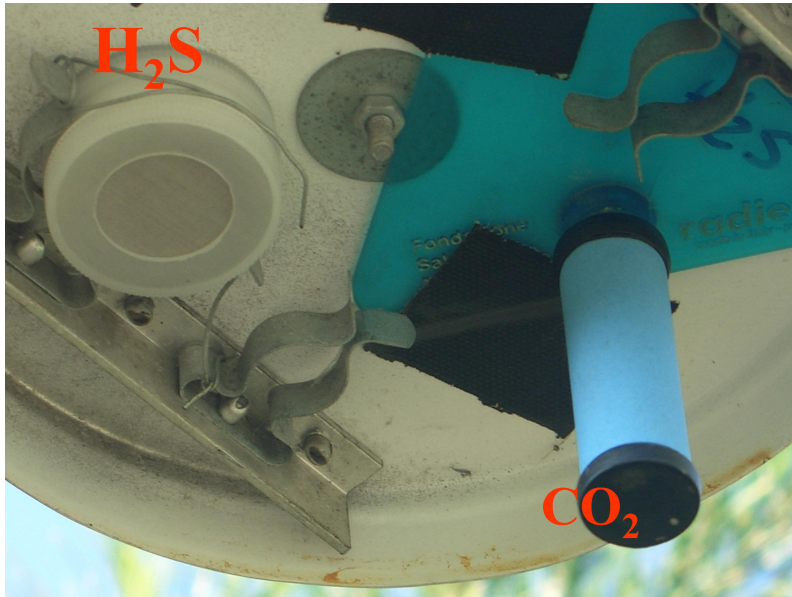
Χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση και μέτρηση της έκθεσης σε διάφορους ρύπους και τη μέτρηση των συγκεντρώσεων διαφόρων συστατικών στον αέρα σε συγκεκριμένες θέσεις. Μπορεί να κρεμαστεί από οποιοδήποτε στήριγμα ή να τοποθετηθεί στην ύπαιθρο σε ειδικό προστατευτικό κουτί.

Η δειγματοληψία γίνεται με την έκθεση του στον αέρα. Καταγράφεται η ημερομηνία και η ώρα έναρξης της μέτρησης και στο τέλος της περιόδου δειγματοληψίας, η ημερομηνία και η ώρα λήξης. Το Radiello αποτελείται από την πλάκα, στην οποία στηρίζεται το απορροφητικό φίλτρο μέσα στον ειδικό σωλίνα και η οποία μπορεί να κρεμαστεί. Αφού τα δείγματα απορροφώνται από τα ειδικά φίλτρα και αποθηκεύονται σε αυτά, έπειτα αφαιρούνται προσεχτικά και τοποθετούνται στους ειδικούς σωλήνες με την ετικέτα των στοιχείων του κάθε δείγματος, για να οδηγηθούν προς ανάλυση στο εργαστήριο.

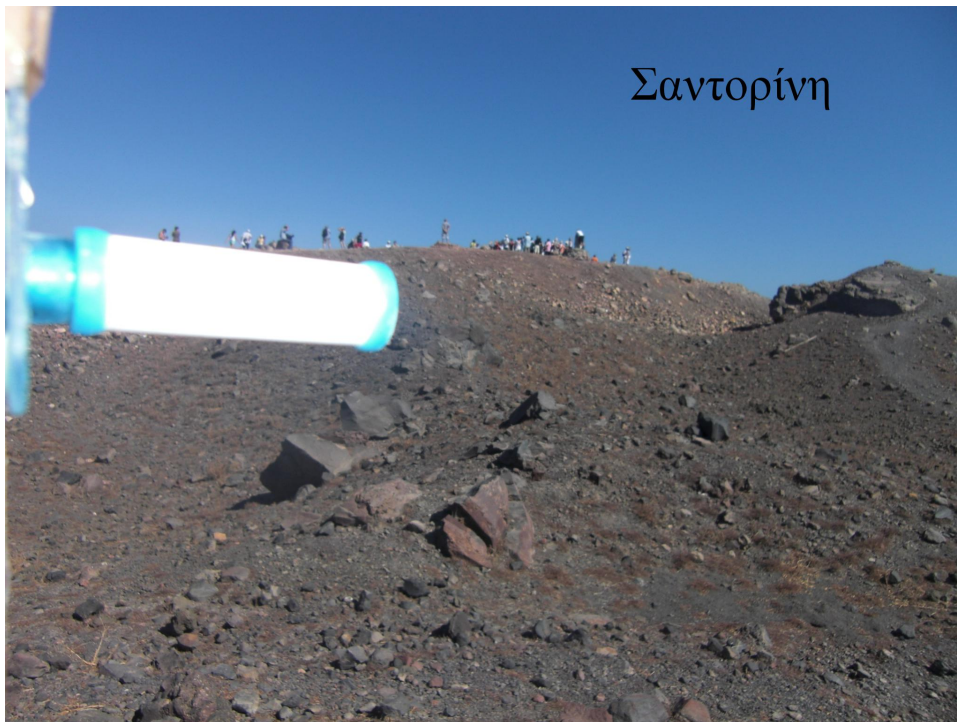
Το Radiello χρησιμοποιείται για μετρήσεις σε ηφαιστειακές περιοχές αερίων όπως: H₂S, οργανικών ενώσεων, HF, NO₂-SO₂, καθώς τα δεδομένα είναι αντιπροσωπευτικά της πραγματικής κατάστασης. Οι ηφαιστειακές και γεωθερμικές περιοχές είναι από τις σημαντικότερες φυσικές πηγές H₂O και άλλων αρίων στην ατμόσφαιρα με βασικές περιβαλλοντικές περιπτώσεις. Η δειγματοληψία μπορεί να διαρκέσει μέχρι και 10 μέρες, από τη στιγμή που τα αέρια εκλύονται μέχρι και τα 100-200 μέτρα.



Εικόνα 4.2: Radiello (Πηγή:<https://radiello.com>)



Εικόνα 4.3: Το Radiello χρησιμοποιείται για τη δειγματοληψία σε ηφαιστειογενείς περιοχές. (Πηγή: αρχείο ^κου Κυριακόπουλου)



Εικόνα 4.4: Το Radiello χρησιμοποιείται για τη δειγματοληψία σε ηφαιστειογενείς περιοχές όπως η Σαντορίνη. (Πηγή: αρχείο ^κου Κυριακόπουλου)

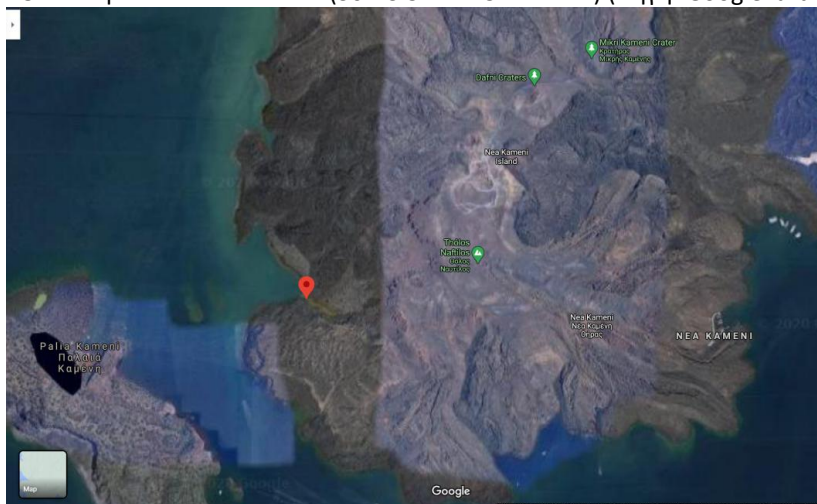
ΠΙΝΑΚΕΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Πίνακας 1. Αντιπροσωπευτικές χημικές αναλύσεις των αερίων φάσεων, He, H₂, O₂, N₂, CH₄ και CO₂ από περιοχές της Παλαιάς και Νέας Καμένης του ηφαιστείου της νήσου Σαντορίνης: ΦΘΠ=Φυσαλίδες από Θερμή Πηγή, ΦΦΜ=Φυσαλίδες από Φουμαρόλες. Οι μετρήσεις είναι σε ppm=(Part Per Million) .

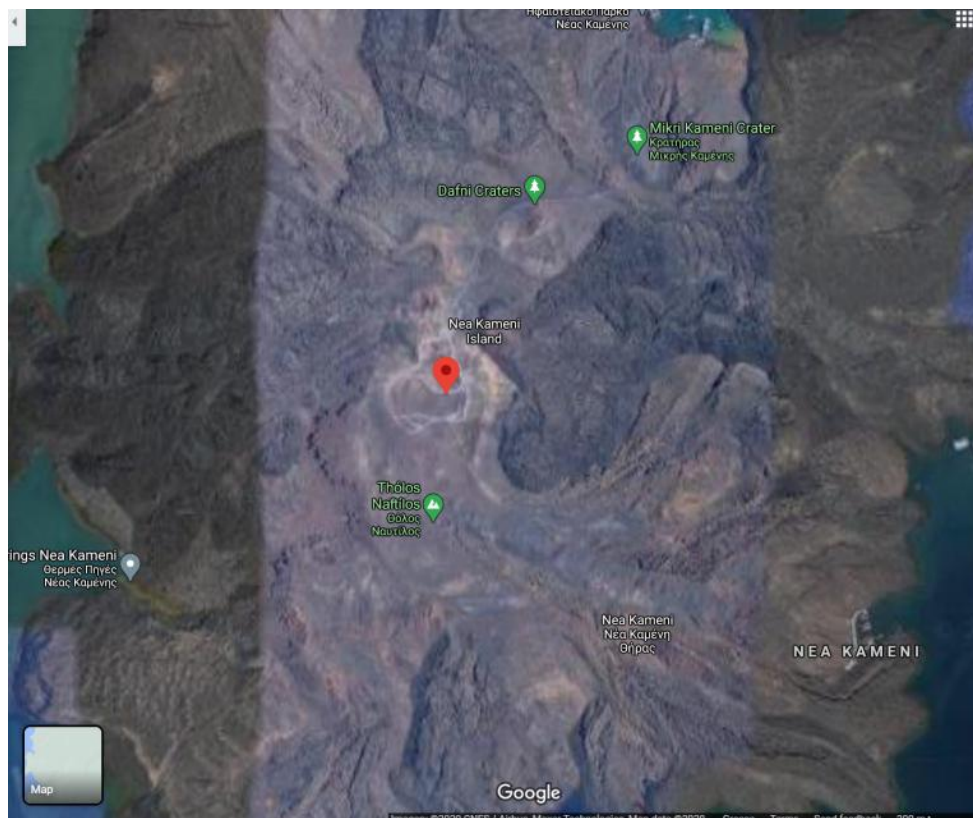
ΔΕΙΓΜΑ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ	He ppm	H ₂ ppm	O ₂ ppm	N ₂ ppm	CH ₄ ppm	CO ₂ ppm
Παλαιά Καμένη	ΦΘΠ	2014	N 36°23'54'' E 25°22'47''	<5	3	640	6.900	3	887.000
Νέα Καμένη	ΦΘΠ	2014	N 36°24'03'' E 25°23'20''	<5	<2	19.200	47.900	2	899.000
Νέα Καμένη	ΦΦΜ	2014	N 36°24'15'' E 25°23'45''	7	6.489	42.900	188.000	142	754,000
Νέα Καμένη	ΦΦΜ	2016	N 36°24'15'' E 25°23'45''	6	5.849	91.600	428.900	397	474.200



ΘΕΣΗ 1η - ΠΑΛΑΙΑ ΚΑΜΕΝΗ (36°23'54''N 25°22'47''E) (Πηγή: GoogleEarth)



ΘΕΣΗ 2η - ΝΕΑ ΚΑΜΕΝΗ (36°24'03''N 25°23'20''E) (Πηγή: GoogleEarth)



Θέση 3η&4η- NEA KAMENH (36°24'15"N 25°23'45"E)
(Πηγή: GoogleEarth)

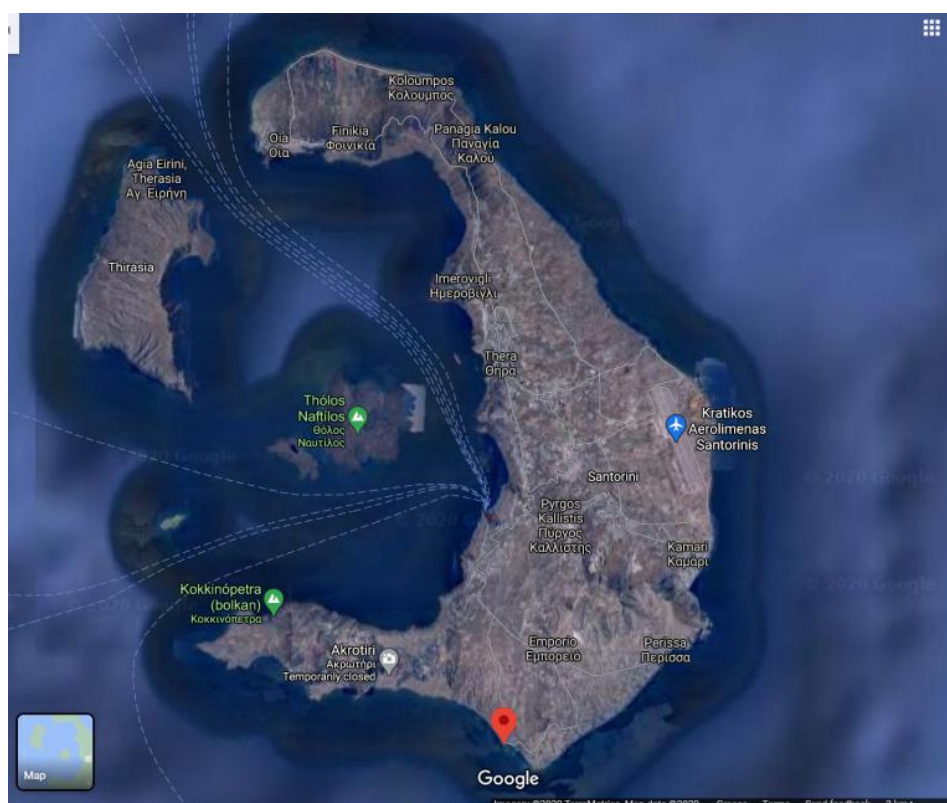
ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ:

Από τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων και τις τιμές σε (ppm) των αέριων φάσεων παρατηρούμε:

1. Οι τιμές από τις Φυσαλίδες από Θερμή πηγή στην Παλαιά Καμένη για όλα τα στοιχεία είναι μικρότερες από ότι αυτής στη Νέα Καμένη εκτός από το μεθάνιο. Οι τιμές He και H₂ είναι οι μικρότερες ενώ οι τιμές CO₂ είναι οι πιο υψηλές και στις δυο περιπτώσεις.
2. Σε όλες τις περιπτώσεις, τόσο στις φυσαλίδες των θερμών πηγών τις Νέας και Παλαιάς Καμένης αλλά και από τις φουμαρόλες της Νέας Καμένης, υψηλότερες τιμές εμφανίζονται στο CO₂ ενώ ιδιαίτερα χαμηλές είναι για το He.
3. Σημαντικά υψηλότερες τιμές σε όλες τις χημικές αναλύσεις παρατηρούνται από τη δράση των θερμών πηγών σε Νέα και Παλαιά Καμένη σε σχέση με τις φουμαρόλες. Εξαιρείται το He, όπου παρατηρείται μικρότερη αύξηση.
4. Υψηλότερες τιμές παρατηρούνται γενικότερα αερίων φάσεων του CO₂, ενώ ακολουθούν το N₂, το O₂, το H₂, το CH₄ και τέλος το He.
5. Τέλος διαφοροποιήσεις εμφανίζονται στις τιμές των αναλύσεων από την ίδια θέση στη Νέα Καμένη σε διαφορετικές χρονολογίες. Παρατηρείται αύξηση των τιμών στις αέριες φάσεις των N₂, O₂, H₂, CH₄ με υψηλότερη αυτή του N₂ ενώ μειωμένες παρατηρούνται οι τιμές το CO₂ και κατά 1ppm του He. Μάλιστα κατά τις αναλύσεις του 2016, εμφανίζεται η μικρότερη τιμή CO₂ απ' όλες τις υπόλοιπες περιπτώσεις.

Πίνακας 2. Πίνακας θερμοκρασιών από θερμές πηγές και γεωτρήσεις περιοχών του ηφαιστείου της Σαντορίνης.

	ΠΕΡΙΟΧΗ	ΗΜΕΡ/ΝΙ Α	ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ
SVL-1	ΒΛΥΧΑΔΑ ΠΗΓΗ	17-5-2016	N 36 20 15,5 E 25 25 59,5 628473,245 4022063,529	26 °C
SVL-2	ΒΛΥΧΑΔΑ ΓΕΩΤΡΗΣΗ	17-5-2016	N 36 20 28,3 E 25 26 00,2 628484,849 4022458,212	29 °C
SEMP-1	ΕΜΠΟΡΕΙΟ ΓΕΩΤΡΗΣΗ	17-5-2016	N 36 21 22,9 E 25 26 50,7 629718,599 4024159,440	27 °C

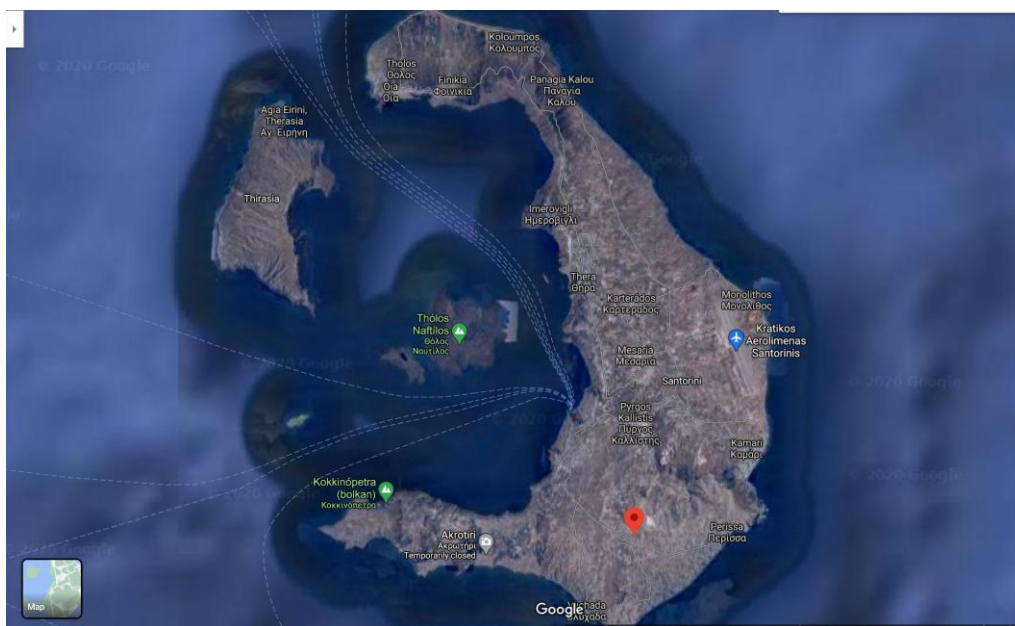


Θέση ΒΛΥΧΑΔΑ ΠΗΓΗ (36°20'15.5"N 25°25'59.5"E)
(Πηγή: GoogleEarth)



Θέση ΒΛΥΧΑΔΑ ΓΕΩΤΡΗΣΗ (36°20'28.3"N 25°26'00.2"E)

(Πηγή: GoogleEarth)



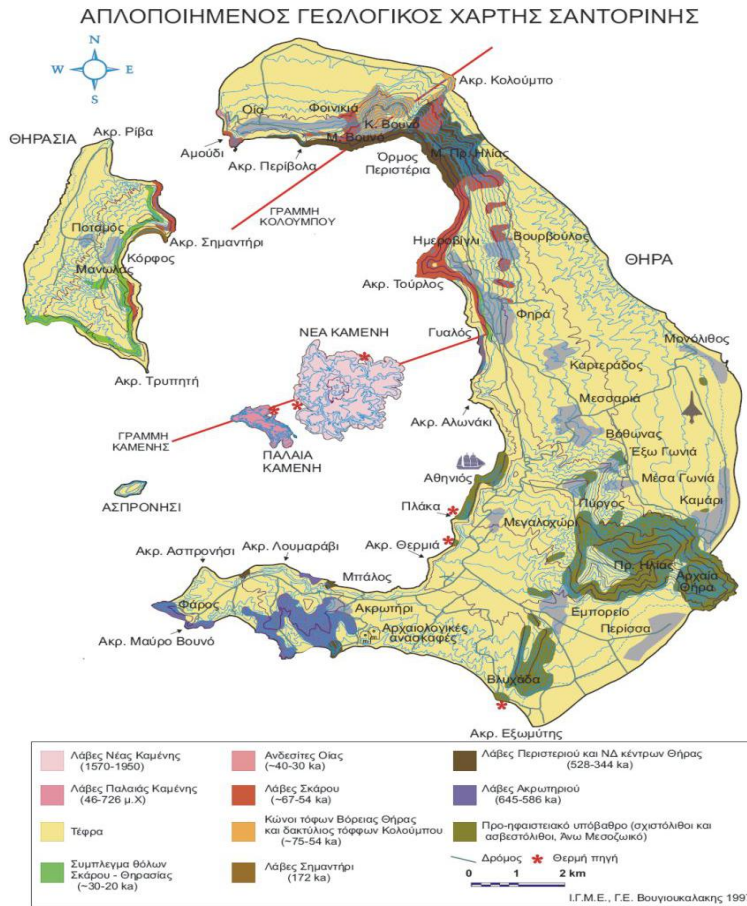
Θέση ΕΜΠΟΡΕΙΟ ΓΕΩΤΡΗΣΗ (36°21'22.9"N 25°26'50.7"E)

(Πηγή: GoogleEarth)

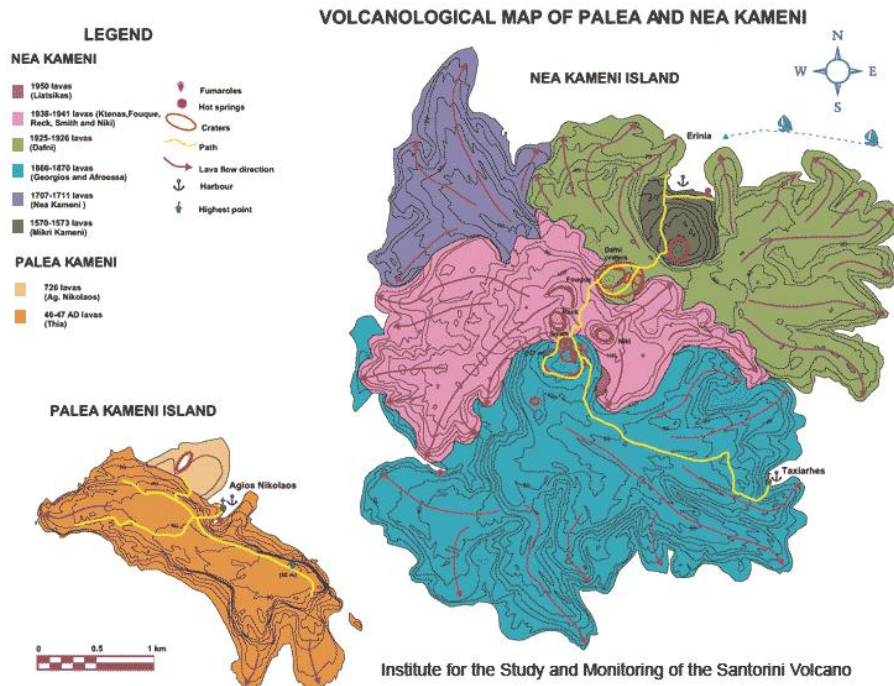
ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ

Οι θερμές πηγές στο νησί της Σαντορίνης αναβλύζουν κατά μήκος ρηγμάτων και ρωγμών. Οι υψηλότερες θερμοκρασίες παρατηρούνται στη Βλυχάδα γεώτρηση με 29°C, ενώ στην Βλυχάδα πηγή είναι 26° C. Στη θέση Εμπορείου, η θερμοκρασία βρίσκεται στους 27° C. Η θέση Βλυχάδας βρίσκεται στην περιοχή του Ακρωτηρίου, όπου παρατηρούνται οι χαρακτηριστικές ανοιχτόχρωμες μορφές αποθέσεων που προέρχονται από τη Μινωική έκρηξη (κίσηρης και λεπτόκοκκη τέφρα). Η θέση Εμπορείου βρίσκεται στους πρόποδες του Προφήτη Ηλία Σαντορίνης.

ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΣ & ΗΦΑΙΣΤΕΙΟΛΟΓΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΣΑΝΤΟΡΙΝΗΣ



Γεωλογικός Χάρτης Σαντορίνης (Πηγή: Ι.Γ.Μ.Ε., Γ.Ε. Βουγιουκλάκης 1997)



Ηφαιστειολογικός χάρτης της Παλαιάς και Νέας Καμμένης (Πηγή: Ι.Μ.Π.Η.Σ.)

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η ηφαιστειακή δραστηριότητα αποτελεί ένα από τους σημαντικότερους φυσικούς κινδύνους που απειλούν μεγάλο μέρος του παγκόσμιου πληθυσμού. Σημαντικές συνέπειες της ηφαιστειότητας είναι άμεσες μιας ηφαιστειακής έκρηξης αλλά και έμμεσες. Μια από αυτές τις συνέπειες αποτελεί η έκλυση των ηφαιστειακών αερίων κατά τη διάρκεια της έκρηξης αλλά και πριν και μετά από αυτή μέσα από τις διάφορες διόδους διαφυγής όπως οι ατμίδες και οι φουμαρόλες.

Τα ηφαίστεια και οι γεωθερμικές περιοχές σχετίζονται με εκπομπές ποικιλία αερίων όπως το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), το διοξείδιο του θείου (SO_2), μονοξείδιο του άνθρακα (CO), υδροφθόριο (HF), υδρόθειο (H_2S), μεθάνιο (CH_4) και βαρέα μέταλλα όπως ο μόλυβδος και ο υδράργυρος. Τα ηφαιστειακά αέρια σε υψηλές συγκεντρώσεις μπορούν να γίνουν εξαιρετικά τοξικά και επικίνδυνα για τον άνθρωπο και τους υπόλοιπους ζωντανούς οργανισμούς, προκαλώντας αφυξία, ερεθισμούς στο δέρμα και στους βλεννογόνους ακόμα και αιφνίδο θάνατο.

Η εκπομπή των ηφαιστειακών αερίων εκτός από συνέπειες στην υγεία των ανθρώπων αλλά και στους υπόλοιπους ζωντανούς οργανισμούς και στη βλάστηση, δημιουργούν και περιβαλλοντικές συνέπειες όπως η όξινη βροχή, συμβάλλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, σε πολύ μικρά βέβαια ποσοστά και μπορούν να επηρεάσουν ακόμα και το τοπικό ή παγκόσμιο κλίμα σε ακραίες περιπτώσεις.

Η ηφαιστειότητα στη χώρα μας είναι έντονη και περιορίζεται στα ενεργά ηφαιστειακά κέντρα, όπως της Σαντορίνης και Νισύρου. Το ηφαίστειο της Σαντορίνης είναι ενεργό με τα ηφαιστειακά κέντρα των Καμένων να βρίσκονται σε κατάσταση ηρεμίας. Παρόλο που δεν έχουμε έκχυση μάγματος, η ηφαιστειότητα εκδηλώνεται από την έκλυση αερίων από τις θερμές πηγές καθώς και τις ατμίδες και φουμαρόλες των κρατήρων της Παλαιάς και Νέας Καμένης. Από αυτές εκλύονται τα ηφαιστειακά αέρια και κυρίως υδρατμοί, διοξείδιο του άνθρακα και θερμός ατμοσφαιρικός αέρας ενώ υπάρχουν και σε μικρότερα ποσοστά άζωτο (N_2), υδρόθειο (H_2S), μεθάνιο (CH_4), ήλιο (He).

Η ηφαιστειακή δραστηριότητα της Σαντορίνης, το γεωλογικό και το κοιτασματολογικό καθεστώς της και ιδιαίτερα τα τελευταία χρόνια, η δράση του υποθαλάσσιου ηφαιστείου Κολούμπο, αποτελούν αντικείμενο πολυάριθμων ερευνών, με τη παρακολούθηση των ηφαιστειακών κέντρων να είναι συνεχής και αντικείμενων πολλών επιστημονικών κλάδων.

Παρόλο που τα κύρια ηφαιστειακά κέντρα φαίνεται να βρίσκονται σε κατάσταση ηρεμίας, εκτιμάται ότι θα υπάρξουν μελλοντικές εκρήξεις σε βάθος ίσως δεκατιών και σίγουρα αιώνων. Οι μετρήσεις των εκπομπών των αερίων δείχνουν γενικά ασφαλή επίπεδα για τον άνθρωπο για την ώρα. Όμως, η αύξηση των τιμών τους ή η μακροχρόνια έκθεση ίσως αποτελέσουν κίνδυνο για την υγεία των ανθρώπων και των υπόλοιπων ζωντανών οργανισμών. Έτσι σημαντική είναι η συνεχής παρακολούθηση, η ανίχνευση πιθανών αλλαγών και η προσπάθεια πρόβλεψης μιας επικείμενης έκρηξης, καθώς και η πρόληψη και η ύπαρξη επαρκούς σχεδίου για την προστασία των πολιτών, των τουριστών των δομών και ολόκληρου του νησιού, τόσο πριν, όσο κατά τη διάρκεια αλλά και μετά της εκδήλωσης μιας ενδεχόμενης έκρηξης.

Οποιαδήποτε αλλαγή, όπως για παράδειγμα στην σύσταση των αερίων ή την ένταση κατά την οποία εκλύονται, μια πρωτοφανής σεισμική δραστηριότητα ή παρμόρφωση του εδάφους, μπορεί να αποτελέσουν σημαντικές ενδείξεις και η έγκαιρη πρόβλεψη να μηδενίσει το κίνδυνο μιας πιθανής φυσικής καταστροφής, για τους κατοίκους του νησιού αλλά και τους πολυάριθμους τουρίστες που το επισκέπτονται ετησίως.

ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΡΟΛΗΨΗ ΚΑΙ ΤΗΝ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΤΗΣ ΕΝΔΕΧΟΜΗΣ ΗΦΑΙΣΤΕΙΑΚΗΣ ΕΚΦΡΗΣΗΣ ΣΤΟ ΔΗΜΟ ΘΗΡΑΣ

Οι ηφαιστειακές εκρήξεις είναι ένα από τα πλέον, σε μεγάλο βαθμό, προβλέψιμα φυσικά φαινόμενα λόγω της τεχνολογίας και της συνεχούς παρακολούθησης των ηφαιστειών (σεισμική δραστηριότητα, εδαφικές παραμορφώσεις, χημικές μεταβολές και αλλαγή στην εκπομπή των αερίων, υδροθερμικά φαινόμενα κλπ). Συνεπώς χρήσιμο είναι το νησί να είναι προετοιμασμένο για ενδεχόμενη δραστηριοποίηση του ηφαιστείου. Μερικά από τα μέτρα που μπορούν να εφαρμοστούν είναι τα εξής:

1. Εφόσον στο πιθανότερο σενάριο αναμένεται να επηρεαστούν περισσότερα οι περιοχές Φηρά-Φηροστεφάνι-Ημεροβίγλι, προτινουμε να δημιουργηθούν χώροι συγκέντρωσης για τους κατοίκους του νησιού, μακριά από τις παραπάνω περιοχές ώστε να παραμείνουν ασφαλείς σε ενδεχόμενη έκρηξη. Ταυτόχρονα θα πρέπει να υπάρχει κάποιο σημείο συγκέντρωσης σε υψηλότερο υψόμετρο σε περίπτωση που προκληθεί τσουνάμι.
2. Επίσης κατά την τουριστική περίοδο χιλιάδες άνθρωποι βρίσκονται στο νησί που πιθανόν να χρειαστεί να εκκενωθεί. Το λιμάνι της Σαντορίνης είναι ίσως από τα πρώτα μέρη που επίσης αναμένεται να πληγούν σε ενδεχόμενη έκρηξη στο νησί. Το ίδιο ισχύει και για την περιοχή της πρωτεύουσας. Προτινουμε να δημιουργηθεί ένα νέο λιμάνι στην άλλη πλευρά του νησιού το οποίο να είναι προσβάσιμο από πλοία σε ενδεχόμενη ανάγκη εκκένωσης του νησιού ή μεταφοράς κάποιο τραυματιών και πολιτών σε ανάγκη. Ενδεχομένως το αεροδρόμιο της Σαντορίνης να μην αποτελέσει επίσης λύση λόγω της τέφρας που θα εκτοξευθεί σε ενδεχόμενη έκρηξη.
3. Παράλληλα ειδικά την τουριστική περίοδο, ενδεχόμενη έκρηξη μπορεί να καταστήσει το μικρό και μοναδικό νοσοκομείο της Σαντορίνης μη ικανό να περιθάλψει πιθανόν τραυματίες, οι οποίοι μπορεί να χρίζουν άμεσης περίθαλψης και ως εκ τούτου να κινδυνεύσει η ζωή τους. Το νοσοκομείο της Σαντορίνης, ανεξάρτητα με την ηφαιστειακή δραστηριότητα και λόγω του όγκου επισκεπτών που δέχεται το νησί, μαζί με τους ντόπιους χρίζει άμεσης επέκτασης, ανακαίνισης και αναδιαμόρφωσης.
4. Ο άνεμος θα μεταφέρει τα τοξικά αέρια των ηφαιστειών. Έτσι ανάλογα με τη διεύθυνση του, η οποία πρέπει να παρακολουθείται, να ορίζεται το κατάλληλο σημείο συγκέντρωσης για τους πολίτες.
5. Κοντά στην ακτή να υπάρχει ειδικός σταθμός μέτρησης της στάθμης του νερού για να βοηθήσει στην επιβεβαίωση της ώρας άφιξης και του ύψους ενός ενδεχόμενου τσουνάμι.
6. Ο πληθυσμός της Σαντορίνης πρέπει να είναι ενημερωμένος και εκπαιδευμένος με συχνές ημερίδες, σεμινάρια κλπ που αφορούν τον τρόπο με τον οποίο θα πρέπει να αντιδράσουν σε μια ενδεχόμενη έκρηξη, τους πιθανούς κινδύνους καθώς και σχετικά με τον εξοπλισμό που πρέπει να διαθέτουν στο σπίτι τους (κουτό πρώτων βοηθειών, μάσκες, γυαλιά, φακούς, σφυρίχτρες κλπ) αλλά και τεχνικές πρώτων βοηθειών. Ιδιαίτερη σημασία πρέπει να δοθεί στην εκπαίδευση των παιδιών και των ηλικιωμένων. Θα ήταν χρήσιμο να πραγματοποιούνται και ασκήσεις ετοιμότητας ανά τακτά χρονικά διαστήματα.
7. Καθώς η Σαντορίνη είναι ένας από τους διασημότερους τουριστικούς προορισμούς, προτείνεται να υπάρχει σε διάφορα σημεία αναρτημένο σχέδιο εκτάκτης ανάγκης που να δίνει οδηγίες για το πως πρέπει κάποιος να δράσει σε

περίπτωση ή πιθανότητα κάποιας έκρηξης. Αρκετά σημαντικό θα ήταν σε όλο το νησιά να υπάρχουν ειδικά μονοπάτια εκκένωσης (σε περίπτωση έκλυσης αερίων, ή εκδήλωσης τσουνάμι), τα οποία θα υποδεικνύονται με ταμπέλες και θα οδηγούν τον πλυθησμό σε ασφαλείς τοποθεσίες καθώς και χάρτες κινδύνου ιδιαίτερα κοντά στην καλντέρα και γύρω από τα Φηρά. Μάλιστα, οι οδηγίες πρέπει να είναι σε διάφορες γλώσσες, ώστε να είναι κατανοητές από το όσο το δυνατόν περισσότερο πληθυσμό.

8. Ειδικά εγκατεστημένα μεγάφωνα μπορεί να προειδοποιούν τους πολίτες και να δίνουν οδηγίες για τα σημεία που πρέπει να κατευθυνθούν, ώστε να αποφευχθεί όσο το δυνατόν συνοστισμός και σύγχυση.
9. Επίσης χρήσιμο είναι να μελετώνται τα οικοδομήματα που υπάρχουν ή πρόκειται να δημιουργηθούν, ειδικά στην άκρη της καλντέρας και τα κριτήρα να είναι αυστηρότερα για τις άδειες οικοδόμησης. Ακόμα μπορεί να απαιτούνται βελτιώσεις και διορθώσεις στις κατασκευές, καθώς και υποστηρικτικά έργα.

Πέρα από την πρόληψη απαραίτητο είναι να υπάρχει και έτοιμο σχέδιο και άμεση κινητοποίηση για τη διάρκεια της εκδήλωσης των φαινομένων όπως:

1. Οι αρμόδιοι φορείς και η Πολιτική Προστασία αλλά και οι τοπικές αρχές και ο δήμος, πρέπει να είναι σε ετοιμότητα με οργανωμένες ομάδες διάσωσης και σχέδια εκτάκτης ανάγκης και εκκένωσης πληθυσμού. Απαραίτητος είναι ο σχεδιασμός να γίνεται σύμφωνα με χάρτη μικρο-ζωνών ή κινδύνου για τις περιοχές ιδιαίτερα γύρω από την καλντέρα και τα Φηρά.
2. Παράλληλα θα πρέπει να υπάρξει ενημέρωση από τα μέσα μαζικής ενημέρωσης και το διαδίκτυο για το αν πρέπει οι κλειστοί χώροι να εκκενωθούν ή αν είναι ασφαλέστερη η παραμονή εντός στεγασμένων χώρων.
3. Η κατασκευή μικρών φραγμάτων κατά την αντιμετώπιση μιας έκρηξης μπορεί να παρεμποδίσει ή να εκτρέψει τις ροές λάβας. Επίσης θα πρέπει να αποφεύγεται και να εμποδίζεται η πρόσβαση σε περιοχές με πιθανή πτώση υλικών και γενικά σε περιοχές με πιθανούς κινδύνους.

Απαραίτητο για κάθε περίπτωση είναι να υπάρχει μόνιμη και επαρκής ομάδα εκτάκτης ανάγκης έτοιμη για να δράσει (μέλη της πολιτικής προστασίας και της τοπικής αυτοδιοίκησης, επιστήμονες, ιατρικό προσωπικό κ.ά.). Επιστημονικές πληροφορίες από κατερτισμένους επιστήμονες σχετικά με το ηφαίστειο και τη δράση του και σε συνεργασία με προσωπικό υγείας μπορεί να διαμορφώσει κατάλληλα μέτρα για την προστασία της υγείας πριν, κατά και μετά την ενδόχμηνη έκρηξη και να προετοιμάσει το ιατρικό προσωπικό ώστε να δράσει αποτελεσματικά και άμεσα όπου κριθεί απαραίτητο.

Το κέντρο υγείας, οι εγκαταστάσεις και ο εξοπλισμός του καθώς και το ιατρικό προσωπικό στο νησί πρέπει να είναι συνεχώς σε επάρκεια, τόσο για τους μόνιμους κατοίκους, όσο και για τον μεγάλο αριθμό των τουριστών που επισκέπτονται το νησί σε κανονικές συνθήκες, και ιδιαίτερα για περίπτωση μιας κατάστασης εκτάκτου ανάγκης.



Εικόνα 1: Προειδοποιητική πινακίδα για την εκδήλωση Τσουνάμι και Σεισμού στην Ταϊλάνδη. Η δεύτερη πινακίδα υποδεικνύει στους πολίτες το δρόμο που πρέπει να ακολουθήσουν για να βρεθούν σε ασφαλή τοποθεσία. (Πηγή: www.theconversation.com)



Εικόνα 2: Προειδοποιητική πινακίδα για εκδήλωση τσουνάμι ή σεισμού. (Πηγή: www.noaa.gov)



Εικόνα 3: Κέντρο ελέγχου της στάθμης του νερού που βοηθάει στον υπολογισμό της ώρας άφιξης και του μεγέθους ενός κύματος τσουνάμι. (Πηγή NOAA)

Do you know the tsunami natural warning signs?

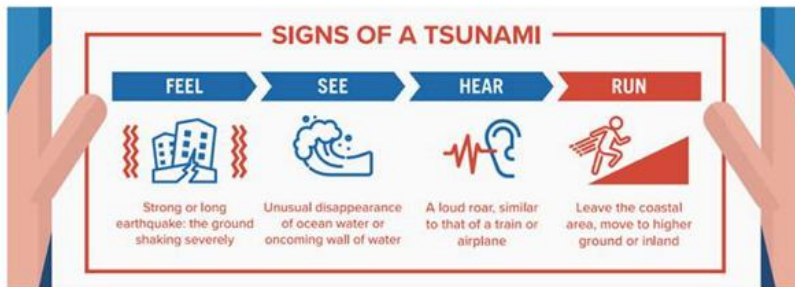
Tsunamis can happen anytime of the day or night. If you are in a tsunami hazard zone and:

FEEL strong ground shaking or

SEE changes in the sea level or

HEAR a loud roar

ACTION: Head inland and to high ground immediately!



Εικόνα 4: Πινάκιδα με οδηγίες για τα σημάδια ενός επερχόμενου τσουνάμι. (Πηγή: International Tsunami Information Center (<http://itic.ioc-unesco.org/>))

ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΗ ΑΦΙΣΑ ΓΙΑ ΤΑ ΒΑΣΙΚΑ ΜΕΤΡΑ ΠΡΟΛΗΨΗΣ ΜΙΑΣ ΕΝΔΕΧΟΜΕΝΗΣ ΗΦΑΙΣΤΕΙΑΚΗΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑΣ

ΜΕΤΡΑ ΠΡΟΛΗΨΗΣ ΜΙΑΣ ΕΝΔΕΧΟΜΕΝΗΣ ΗΦΑΙΣΤΕΙΑΚΗΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑΣ!

ΠΡΙΝ	ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ	ΜΕΤΑ
<ul style="list-style-type: none">✓ Δημιουργείστε το δικό σας κουτί πρώτων βοηθειών που θα περιέχει εκτός από φάρμακα: μάσκες, γυαλιά, φακό, σφυρίχτρες!✓ Ενημερωθείτε για την τοποθεσία των ειδικών κέντρων προστασίας και τον τρόπο πρόσβασης σε αυτά καθώς και πότε είναι ασφαλές να τα προσεγγίσετε!✓ Οργανώστε ένα σχέδιο εκκένωσης της κατοικίας σας και ενημερώστε τους συγκατοίκους σας για αυτό, ιδιαίτερα αν υπάρχουν παιδιά στο σπίτι. Μερμνήστε και για τα κατοικίδια σας!	<ul style="list-style-type: none">✓ Προμηθευτείτε μόνο με τα απαραίτητα (το κουτί πρώτων βοηθειών, λίγα τρόφιμα και νερό)!✓ Φορέστε τη μάσκα και τα γυαλιά σας, καθώς από την έκρηξη μπορεί να εκλυθούν τοξικά αέρια και στάχτη και καλύψτε το δέρμα σας όσο περισσότερο μπορείτε!✓ Ακολουθήστε πιστά τις οδηγίες των αρμόδιων φορέων και αποφύγετε τις παράκτιες περιοχές!✓ Παραμείνετε εντός των ειδικών κέντρων προστασίας και μην τα εγκαταλείψετε αν δεν σας δωθεί ανάλογη οδηγία!	<ul style="list-style-type: none">✓ Ενημερωθείτε για τυχόν νέα δραστηριοποίηση του ηφαιστείου και για πιθανά επακόλουθα φαινόμενα όπως η εκδήλωση κύματος τσουνάμι!✓ Περιμένετε την έγκριση των αρμόδιων φορέων για να επιστρέψετε στο σπίτι σας!✓ Αν η επιστροφή στο σπίτι σας εγκριθεί, προσεγγίστε το και καθαρίστε το φορώντας τη μάσκα σας!✓ Μην οδηγείτε σε περιοχές με στρώματάχτη καθώς μπορεί να δημιουργηθούν σοβαρά προβλήματα στο όχημα σας!

Τασιπούλου Αντωνία

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

Από την άσκηση υπαίθρου και την καταγραφή δεδομένων στην περιοχή της Νέας Καμένης.

Πηγή εικόνων: προσωπικό αρχείο



ΕΙΚΟΝΑ 1: Σταθμός θερμικής παρακολούθησης της θερμοκρασίας των ατμίδων στη Νέα Καμένη.

ΕΙΚΟΝΕΣ 2,3,4: Συλλογή δεδομένων με τον καθηγητή κο Κυριακόπουλο.



ΕΙΚΟΝΑ 2



EIKONA 3



EIKONA 4



ΕΙΚΟΝΑ 5: Όργανα μέτρησης και συλλογής δεδομένων. (Πηγή: αρχείο του Κυριακόπουλου)

Βιβλιογραφία

- Ανόργανη Χημεία, Catherine E. Housecroft-Alan G. Sharpe, 2014
- Βασικές Αρχές Ανόργανης Χημείας, Κώστας Μεθενίτης, Χριστιάνα Μητσοπούλου, Γεώργιος Πνευματικάκης, 2006
- Γεωλογία η Επιστήμη της Γης, Δ.Ι. Παπανικολάου, ΧΡ. Ι Σιδέρης
- D'Alessandro W., Brusca L., Kyriakopoulos K., Michas G., Papadakis G. (2008). Hydrogen sulphide as a natural air contaminant in volcanic/geothermal areas: The case of Sousaki, Corinthia (Greece). *Environmental Geology*, 57(8), 1723-1728
- David M. Pyle, John R. Elliott. (2006). Quantitative morphology, recent evolution, and future activity of the Kameni Islands volcano, Santorini, Greece. *Geosphere*
- David Romano, Alessandro Gatuzzi, Manfredi Longo, Cinzia Caruo, Gianluca Lazzaro, Andrea Corbo and Francesco Italiano. (2019). Hazard Scenarios Related to Submarine Volcanic-Hydrothermal Activity and Advances Monitorin Strategies: A Study Case from the Panera Volcanic Group (Aeolian Islands, Italy)
- E. Lagios a, *, V. Sakkas a, F. Novali b, F. Bellotti b, A. Ferretti b, K. Vlachou a, V. Dietrich c. (2013). SqueeSAR™ and GPS ground deformation monitoring of Santorini Volcano (1992–2012): Tectonic implications
- Ηφαιστειολογία, Κνωσταντίνος Κυριακόπουλος, Πανεπιστήμιο Αθηνών, 2014
- Hansell, A. L. (2006). The health hazards of volcanoes and geothermal areas. *Occupational and Environmental Medicine*, 63(2), 149–156.
- Hansell, A., & Oppenheimer, C. (2004). Health Hazards from Volcanic Gases: A Systematic Literature Review. *Archives of Environmental Health: An International Journal*
- K. I. Konstantinou. (2020). Magma chamber evolution during the 1650 AD Kolumbo eruption provides clues about past and future volcanic activity
- Nomikou, P., Carey, S., Papanikolaou, D., Croff Bell, K., Sakellariou, D., Alexandri, M., & Bejelou, K. (2012). Submarine volcanoes of the Kolumbo volcanic zone NE of Santorini Caldera, Greece. *Global and Planetary Change*, 90-91, 135–151.
- Nomikou, P., Druitt, T. H., Hübscher, C., Mather, T. A., Paulatto, M., Kalnins, L. M., ... Parks, M. M. (2016). Post-eruptive flooding of Santorini caldera and implications for tsunami generation. *Nature Communications*, 7, 13332.
- P. J. Baxter, R.S. Bernstein, A.S. Buist (2011). Preventive health measures in volcanic eruptions
- P. Nomikou, S. Carey, K. L. C. Bell, D. Papanikolaou, K. Bejelou, K. Cantner, D. Sakellariou & I. Perros. (2014). Tsunami hazard risk of a future volcanic eruption of Kolumbo submarine volcano, NE of Santorini Caldera, Greece. *Natural Hazards* volume 72, pages 1375–1390
- Πυριγενή Πετρώματα, Ανδρέας Μαγγανάς, Πανεπιστήμιο Αθηνών, 2011
- Sigurdsson, H., Carey, S., Alexandri, M., Vougioukalakis, G., Croff, K., Roman, C., Nomikou, P. (2006). Marine investigations of Greece's Santorini Volcanic Field. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 87(34), 337.
- Sparks, R. S. J., Biggs, J., & Neuberg, J. W. (2012). Monitoring Volcanoes. *Science*, 335(6074), 1310–1311.
- Vougioukalakis, G. E., & Fytikas, M. (2005). Volcanic hazards in the Aegean area, relative risk evaluation, monitoring and present state of the active volcanic centers. *Developments in Volcanology*, 161–183.
- Χημεία Περιβάλλοντος, Σκούλλος Μιχάλης, Σίσκος Παναγιώτης Α., 2010

- Walter D' Alessandro & Konstantinos Kyriakopoylos (2013), Preliminary gas hazaed evaluation in Greece, Naturar Hazards 69, 1987-2004
- Witham CS. Volcanic disasters and incidents: a new database. Journal of Volcanology and Geothermal Research 2005;148:191–233
- WL Friendrich, Past Vulnerability: Volcanic eruptions and human vulnerability in traditional societies past and present, 2015

Διδικτυακές πηγές

- www.accuweather.com
- ✓ <https://www.accuweather.com/en/weather-news/vog-vs-laze-whats-the-difference-and-why-are-they-so-dangerous/347862> (ημερομηνία ανάκτησης: 23/9/2020)
- www.atlantea.news
- ✓ https://atlantea.news/wp-content/uploads/2012/10/presentation_fytikas_ISMOSA_V_2012.pdf (ημερομηνία ανάκτησης: 7/9/2020)
- <https://www.caryinstitute.org/>
- www.civilprotection.gr
- <https://www.civilprotection.gr/el/ifaisteiawww.envelab.auth>
- <https://theconversation.com/>
- www.esa.int
- ✓ https://www.esa.int/SPECIALS/Eduspace_Disasters_GR/SEMUYHFTFQG_0.html (ημερομηνία ανάκτησης: 7/9/2020)
- www.geo.auth.gr
- ✓ http://www.geo.auth.gr/765/3_products/37_gases.htm (ημερομηνία ανάκτησης: 2/9/2020)
- www.geology.com
- ✓ [Ressources énergétiques des bassins sédimentaires \(grrebs.ete.inrs.ca\)](http://grrebs.ete.inrs.ca)
- ✓ http://grrebs.ete.inrs.ca/en/csc/csc_surveillance/ (ημερομηνία ανάκτησης: 20/10/2020)
- ✓ <http://racce.nhmc.uoc.gr/>
- International Tsunami Information Center
- ✓ <http://itic.ioc-unesco.org/> (ημερομηνία ανάκτησης: 22/11/2020)
- <https://www.livescience.com/>
- <https://www.noaa.gov/> (ημερομηνία ανάκτησης: 22/11/2020)
- <https://radiello.com/>
- www.usgs.gov
- ✓ <https://www.usgs.gov/natural-hazards/volcano-hazards/volcanic-gases> (ημερομηνία ανάκτησης: 30/9/2020)
- ✓ <http://volcanoes.usgs.gov/About/What/Monitor/Gas/plumes.html>
- ✓ <https://pubs.usgs.gov/fs/fs172-9> (ημερομηνία ανάκτησης: 30/9/2020)
- www.volcanoes.usgs.gov
- ✓ <https://pubs.usgs.gov/gip/volc/types.html> (ημερομηνία ανάκτησης: 3/9/2020)
- ✓ https://volcanoes.usgs.gov/vsc/file_mgr/file-154/Gerlach-2011-EOS_AGU.pdf (ημερομηνία ανάκτησης: 3/9/2020)
- www.uwiseismic.com
- ✓ <http://uwiseismic.com/General.aspx?id=53> (ημερομηνία ανάκτησης: 9/9/2020)
- www.santorini.net

Άλλες πηγές

- Δημοσθένης Σαρηγιάννης (Απρίλιος 2017), Σημειώσεις μαθήματος Περιβαλλοντικής μηχανικής (ημερομηνία ανάκτησης: 10/10/2020)
- Κ.Π. Μουστρής, Τεχνολογία Περιβαλλοντικών Μετρήσεων
- ✓ <http://eclass.teipir.gr/openececlass/modules/document/?course=MECH111> (ημερομηνία ανάκτησης: 1/10/2020)
- Μιχ. Φύτικας (Φηρά, 13 Οκτωβρίου 2012), Η Παρακολούθηση του ηφαιστειακού συμπλέγματος της Σαντορής και οι δραστηριότητες του ΙΜΠΗΣ
- ✓ <https://docplayer.gr/450451-I-parakoloythisi-toy-ifaisteiakoy-symplegmatos-tis-santorinis-kai-oi-drastiriotites-toy-impis-fira-13-oktovrioy-2012.html>