



ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΕΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ, ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΩΝ & ΚΡΙΣΕΩΝ

POST GRADUATE PROGRAM
ENVIRONMENTAL, DISASTER & CRISES MANAGEMENT STRATEGIES

Μεταπτυχιακή Διατριβή Ειδίκευσης

Master Thesis

Οι επιπτώσεις των αερολυμάτων από τις μέγα εκρήξεις ηφαιστειών στο περιβάλλον και την υγεία

Environmental and Health Aerosols Consequences from the Mega Earthquake Explosions

ΠΑΝΑΓΙΩΤΑ ΝΑΣΤΟΥΛΗ / PANAYIOTA NASTOULI

A.M. / R.N. : 16152

Ειδικές Εκδόσεις / Special Publications:

No. 2018077

Αθήνα, Φεβρουάριος 2018

Athens, February 2018



ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΕΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ, ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΩΝ & ΚΡΙΣΕΩΝ

POST GRADUATE PROGRAM
ENVIRONMENTAL, DISASTER & CRISES MANAGEMENT STRATEGIES

Μεταπτυχιακή Διατριβή Ειδίκευσης

Master Thesis

Οι επιπτώσεις των αερολυμάτων από τις μέγα εκρήξεις ηφαιστειών στο περιβάλλον και την υγεία

Environmental and Health Aerosols Consequences from the Mega Earthquake Explosions

ΠΑΝΑΓΙΩΤΑ ΝΑΣΤΟΥΛΗ / PANAYIOTA NASTOULI

A.M. / R.N. : 16152

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή:

Δρ. Κ. Κυριακόπουλος,
Καθηγ. ΕΚΠΑ

Δρ. Π. Νομικού,
Επικ. Καθηγ. ΕΚΠΑ

Δρ. Ι. Κασσάρας,
Επικ. Καθηγ. ΕΚΠΑ

Περιεχόμενα

Περιεχόμενα	ii
Περίληψη	iii
Abstract	v

Κεφάλαιο 1. Ηφαίστεια 7

1.1. Εισαγωγή	7
1.2. Ηφαιστειακά προϊόντα	11
1.3. Ηφαιστειακά αέρια	15
1.3.1. Σύσταση των αερίων	15

Κεφάλαιο 2. Ηφαιστειακό τόξο Αιγαίου και Σεισμικότητα 17

2.1.1. Ενεργά ηφαίστεια στον Ελλαδικό χώρο	20
2.2. Ηφαίστεια και εκρήξεις	23
2.2.1. Το ηφαίστειο της Νισύρου	26
2.2.2. Το ηφαίστειο της Σαντορίνης	28

Κεφάλαιο 3. Άνθρωποι, Ηφαίστεια και Περιβάλλον – Επιπτώσεις στην Υγεία

3.1. Ατμόσφαιρα 30

3.2. Ηφαιστειακή δραστηριότητα και τα αποτελέσματα στην ατμόσφαιρα	31
3.3. Επιπτώσεις της τέφρας και των ηφαιστειακών αερίων στο κλίμα	37
3.3.1. Επιπτώσεις της ηφαιστειακής τέφρας και των αερίων στην οζονόσφαιρα	40
3.4. Επιπτώσεις σε περιβάλλον, οικονομία, κοινωνία	41
3.4.1. Επιπτώσεις στον άνθρωπο	42
3.4.2. Επιπτώσεις στην οικονομία και τη βιομηχανία	46

Κεφάλαιο 4. Μέτρα Μετριασμού των Επιπτώσεων - Συμπεράσματα 50

4.1. Προκαταρκτική αξιολόγηση κινδύνων	50
4.2. Μέθοδοι πρόβλεψης	51
4.3. Διαχείριση της ηφαιστειακής έκρηξης	53

Επίλογος

Βιβλιογραφία 65

Περίληψη

Οι φυσικές καταστροφές μπορεί να αποτελέσουν απειλή τόσο για την κοινωνία όσο και για την οικονομία μιας περιοχής. Τις περισσότερες φορές είναι απρόβλεπτες, αν και κατά καιρούς έχουν αναπτυχθεί ποικίλα συστήματα ενόργανης συνεχούς παρακολούθησής τους. Ειδικότερα από τις φυσικές καταστροφές θα αναφερθώ σε θέματα που σχετίζονται με φάσεις της ηφαιστειακής δραστηριότητα.

Αυτό παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον δεδομένου ότι υπάρχουν αρκετά ηφαιστειακά κέντρα στη χώρα μας η κατανόηση των οποίων θα βοηθήσει τα μέγιστα στην αποφυγή καταστροφικών επιπτώσεων στους ανθρώπους και το δομημένο περιβάλλον.

Οι εκρήξεις των ηφαιστείων είναι άρρηκτα συνδεδεμένες με τις κινήσεις των τεκτονικών πλακών του φλοιού της Γης. Παγκοσμίως υπάρχουν διάφοροι τύποι ηφαιστείων ανάλογα με το σχήμα, τη χημική σύσταση του μάγματος, το γεωτεκτονικό περιβάλλον ή ακόμη και τη γεωγραφική περιοχή στην οποία βρίσκονται.

Απασχολούν τους επιστήμονες και γενικότερα όλους τους πολίτες λόγω των τεράστιων επιπτώσεών τους στην υγεία, το περιβάλλον και την οικονομία.

Όπως με όλες τις φυσικές καταστροφές, ομοίως και με τις ηφαιστειακές εκρήξεις δίνεται ιδιαίτερη σημασία στα μέτρα πρόληψης, διαχείρισης και αποκατάστασης. Όσον αφορά στην πρόληψη κυρίως γίνεται καταγραφή της δραστηριότητας του ηφαιστείου και σχεδιασμός ενός αποτελεσματικού σχεδίου εκκένωσης. Το σχέδιο εκκένωσης είναι σημαντικό και για τη διαχείριση, ενώ στην τελευταία συμβάλλουν και οι οδηγίες των αρχών.

Τέλος η αποκατάσταση σχετίζεται με το πόσο γρήγορα μπορεί να δράσει η εθνική διοίκηση και οι πολίτες με τις εθελοντικές οργανώσεις ώστε να επανέλθουν στην κατάσταση πριν από την ηφαιστειακή έκρηξη.

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να παρουσιαστούν **οι επιπτώσεις των αερολυμάτων από τις μέγα εκρήξεις ηφαιστειών στο περιβάλλον και την υγεία**. Θα γίνει μια ιστορική αναδρομή (Ηφαίστειο Σαντορίνης, Μεθάνων, Νισύρου και άλλων στον ελλαδικό χώρο).

Θα δούμε επιπτώσεις αερολυμάτων από ιστορικές αναφορές τόσο στον άνθρωπο, στο περιβάλλον αλλά και στην υγεία του. Πρόκειται για μια βιβλιογραφική ανασκόπηση η οποία θα συνδέσει την οργάνωση διαχείρισης τέτοιων μέγα φαινομένων (ποια εξ αυτών είχαν μικρότερες επιπτώσεις λόγω καλλίτερης διαχείρισης) και θα καταδείξει αδυναμίες αντιμετώπισης οι οποίες θα γίνουν εργαλείο καλλίτερων μελλοντικών διαχειρίσεων.

Abstract

Physical disasters can be a threat both for the society as well as for the economy of a specific area. In most cases they are unpredictable although many instruments have been devised in order to foresee such an event. Regarding natural disasters my reference will be placed down to phases of an eruptive volcano.

This is of major interest due to the fact that in our country (Greece) the understanding of such phases will help prevent and simultaneously preserve our constructed environment. Volcano eruptions are closely tied to movements of the tectonic plates of the earth's crust. Universally there are various types of volcanoes and they vary according to their shape, chemical substance of the magma, the geotectonic environment and the geographical area in which they are situated. Volcanoes are a subject of study due to the impact they have on the population and the population's health as well as the economy.

As with all the natural disasters of our planet, volcanoes are of great importance due to measures available for prevention and administration. In that sense, any evacuative measures are of administrative importance and apply to life saving plans.

Finally, the issue of restoration is another fundamental issue which comes with the notion of how a settlement can be reclaimed to its previous state. In other words how can a community re bounce as if a disaster never happened.

The purpose of the present thesis is to present the consequences of the aerosols from major volcanic eruptions, to the environment and health. A historic flash back will occur, where volcanoes such as that of Santorini, Methana, Nisiros and other of the Hellenic prefecture, will be discussed in detail. Through this flash back, the impact on man and his environment will be examined.

In fact this thesis is a bibliographical flash back which aims to connect the organized administration of such mega events (which had smaller cost due to

successive administration) and it will point to administrative flaws which will act a tool for future improvement.

Κεφάλαιο 1.

Ηφαίστεια

1.1. Εισαγωγή

Τα ηφαίστεια έδωσαν στους πρώτους ανθρώπους τη φωτιά, το θείαφι για ίαση και καλλιέργειες, τον οψιανό για κοφτερά εργαλεία, πετρώματα για να χτίσει κατοικίες, ναούς και κάστρα, γόνιμα εδάφη για καλλιέργειες. Δημιούργησαν σχεδόν όλα τα πολύτιμα και μη μεταλλικά κοιτάσματα (διαμάντια, ασήμι, χρυσό κ.α.) και σχεδόν όλα τα χρήσιμα βιομηχανικά ορυκτά (κίσσηρη, περλίτη, καολίνη, μπεντονίτη, ζεόλιθους κ.α.). Για όποιο είδους ηφαιστείου κι αν μιλάμε οι επιπτώσεις μπορεί να είναι καταστροφικές είτε μιλάμε για τη στιγμή της έκρηξης είτε βρίσκεται σε περίοδο ηρεμίας.

Η ηφαιστειακή δραστηριότητα κατατάσσεται στα γεωτεκτονικά φυσικά φαινόμενα τα οποία θεωρούνται καταστροφικά για τον άνθρωπο. Το ιδιαίτερο χαρακτηριστικό των ηφαιστειακών εκρήξεων σε σχέση με τα υπόλοιπα φυσικά φαινόμενα που ενέχουν κινδύνους για την υγεία και το περιβάλλον, είναι το γεγονός ότι μπορεί να επηρεάσουν περιοχές εκατοντάδες ή και χιλιάδες χιλιόμετρα μακριά από το ίδιο το ηφαίστειο ή ακόμα να έχουν επιπτώσεις σε παγκόσμια κλίμακα.

Οι ηφαιστειακές εκρήξεις είναι επικίνδυνες για την υγεία ενός ατόμου, και γενικότερα του κοινωνικού συνόλου εφόσον είναι δυνατόν να προκαλέσουν καταστροφικές συνέπειες όπως μόλυνση του πόσιμου νερού, άρα ασθένειες, επιδημίες κλπ, πυρκαγιές με αποτέλεσμα εγκαύματα, καταστροφή του περιβάλλοντος τραυματισμούς από πτώσεις, κατολισθήσεις, ασθένειες χρόνιες του αναπνευστικού συστήματος κλπ.

Η πιο κοινή αιτία θανάτου εξαιτίας της ηφαιστειακής δραστηριότητας είναι η ασφυξία που προέρχεται από την εισπνοή επικίνδυνων αερίων.



Εικόνα 1. Έκρηξη του ηφαιστείου «Fuego», 40 χλμ νοτιοδυτικά της πρωτεύουσας της Γουατεμάλας.

Πηγή: econews.gr

Ηφαιστειο είναι η ανοιχτή δίοδος από το εσωτερικό της Γής που επιτρέπει την εκροή ή έκρηξη ρευστών πετρωμάτων και αερίων από το εσωτερικό (μανδύας) στην επιφάνεια του στερεού φλοιού με τη μορφή λάβας. Η δραστηριότητα αυτή οδηγεί στη δημιουργία ενός βουνού, το οποίο στην καθημερινή γλώσσα ονομάζουμε **ηφαίστειο**.

Είναι οι κωνικές γεωμορφές, και σχηματίζουν ολόκληρα βουνά μέχρι 6.500 m ύψος από την επιφάνεια της θάλασσας και σχηματίζονται όταν από την κορυφή τους ή διαμέσου ανοιγμάτων και στομιών, διάπυρο, ρευστό υλικό το μάγμα (magma), το οποίο προέρχεται από το εσωτερικό της Γης, διαφεύγει στην επιφάνεια της, όπου και ρέει με μορφή λάβας (lava). Πολλές φορές, εκτός από τη λάβα, μέσω του κρατήρα, ανέρχονται και διαφεύγουν στην επιφάνεια διάφορα αέρια.

Το ηφαίστειο αποτελεί τη δίοδο από το εσωτερικό της Γης προς την επιφάνεια, ρευστών πετρωμάτων και αερίων, είτε ως εκροή είτε ως έκρηξη. Για το λόγο αυτό, τα ηφαίστεια ενέχουν πολλούς κινδύνους, αφού μπορούν να προκαλέσουν προβλήματα

στην υγεία, να προκαλέσουν θανάτους, να καταστρέψουν περιουσίες ακόμα και σε μεγάλες από αυτά αποστάσεις αλλά και να επηρεάσουν το παγκόσμιο κλίμα.

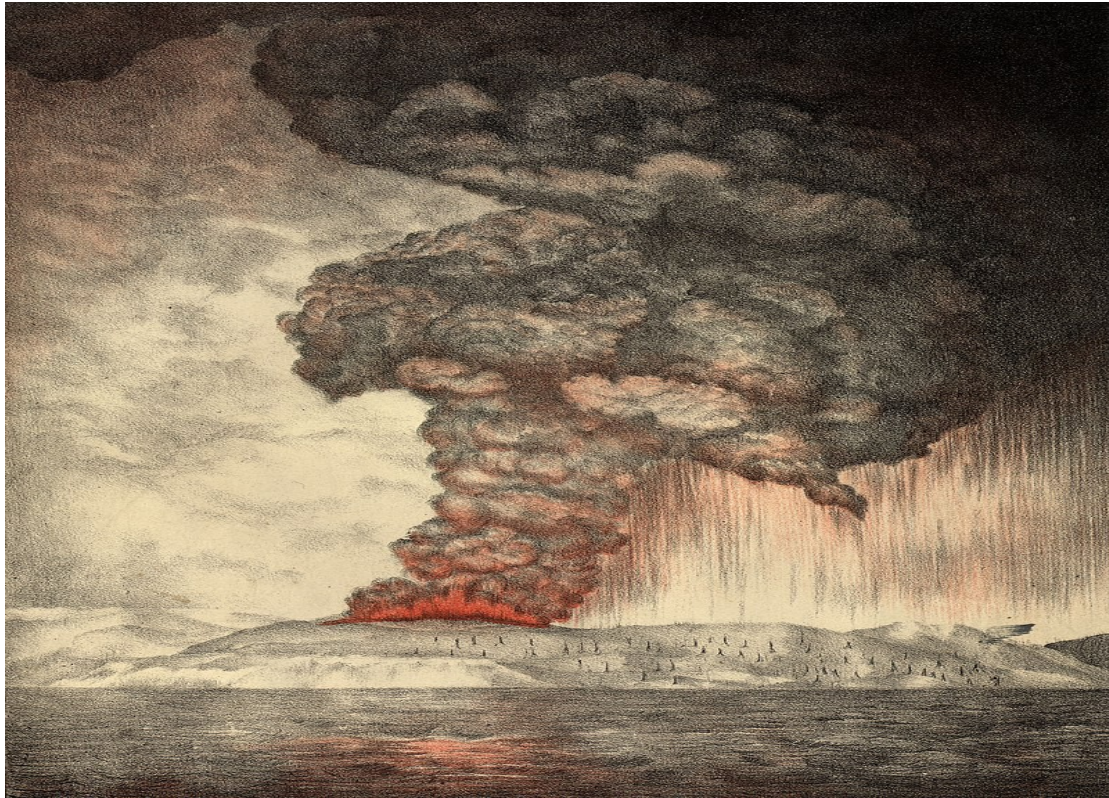
Οι ηφαιστειακές εκρήξεις, περιλαμβάνουν κινδύνους που μπορεί να οφείλονται σε μεγάλης έντασης εκρήξεις, στη λάβα και τις πυροκλαστικές δομές, σε σεισμούς, κατολισθήσεις αλλά και τοξικά αέρια. Πλούσια σε τοξικά αέρια μπορεί να είναι τα πυρακτωμένα νέφη των μεγάλων σε ένταση ηφαιστειακών εκρήξεων, κατά τις οποίες υπέρθερμα ρεύματα τέφρας μπορεί να εκτιναχθούν με ταχύτητες που φτάνουν ακόμα και τα 250 χιλιόμετρα την ώρα και θερμοκρασίες που να ξεπερνούν τους 450 βαθμούς. Συχνά οι ηφαιστειακές εκρήξεις συνοδεύονται και από άλλους φυσικούς κινδύνους όπως οι δασικές πυρκαγιές, οι λασπορροές, οι πλημμύρες και ακόμα και τα τσουνάμι.

Η επιβάρυνση της ατμόσφαιρας με μικροσωματίδια ρύπων δεν οφείλεται αποκλειστικά σε ανθρωπογενείς αιτίες, καθώς η ίδια η Γη συμβάλει σε κάποιο βαθμό στο φαινόμενο αυτό. Ένα παράδειγμα συμβολής του πλανήτη στην ατμοσφαιρική ρύπανση είναι οι ηφαιστειακές εκρήξεις, κατά τις οποίες εκλύονται τεράστιες ποσότητες αερίων με κάποια από αυτά να αποτελούν τις βασικές αιτίες για την ύπαρξη σημαντικών περιβαλλοντικών προβλημάτων όπως το φαινόμενο του θερμοκηπίου.

Κατά την έκρηξη ενός ηφαιστείου, έκτος από το μάγμα το οποίο φτάνει στη λιθόσφαιρα και στερεοποιείται δημιουργώντας εκρηξιγενή ή πυριγενή πετρώματα, στην ατμόσφαιρα εκλύεται τέφρα, νερό σε μορφή υδρατμών, διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), διοξείδιο του θείου (SO_2), υδρόθειο (H_2S), μονοξείδιο του άνθρακα (CO) καθώς και μικρότερες ποσότητες από υδροχλωρικό (HCl) και υδροφθορικό οξύ (HF).

Η ύπαρξη αυτών των εναιωρημάτων στην ατμόσφαιρα δημιουργεί επιπτώσεις τεράστιες στην πανίδα και την χλωρίδα. Η απευθείας έκθεση φυτικών οργανισμών στους τοξικούς αυτούς ρύπους για μεγάλο χρονικό διάστημα, οδηγεί στο θάνατό τους (McGee, 1997). Στους ζωικούς οργανισμούς επίσης δημιουργούνται σοβαρά προβλήματα στο αναπνευστικό σύστημα από την ύπαρξη των ιδιαίτερα επιβλαβών υδρατμών SO_2 και HF .

Ένα επίσης σημαντικό πρόβλημα που προκύπτει από την ύπαρξη ατμών SO_2 στην ατμόσφαιρα είναι η ένωση τους με υδρατμούς και η δημιουργία όξινης βροχής η οποία μπορεί να ταξιδέψει τεράστιες αποστάσεις προκαλώντας καταστροφικές συνέπειες.



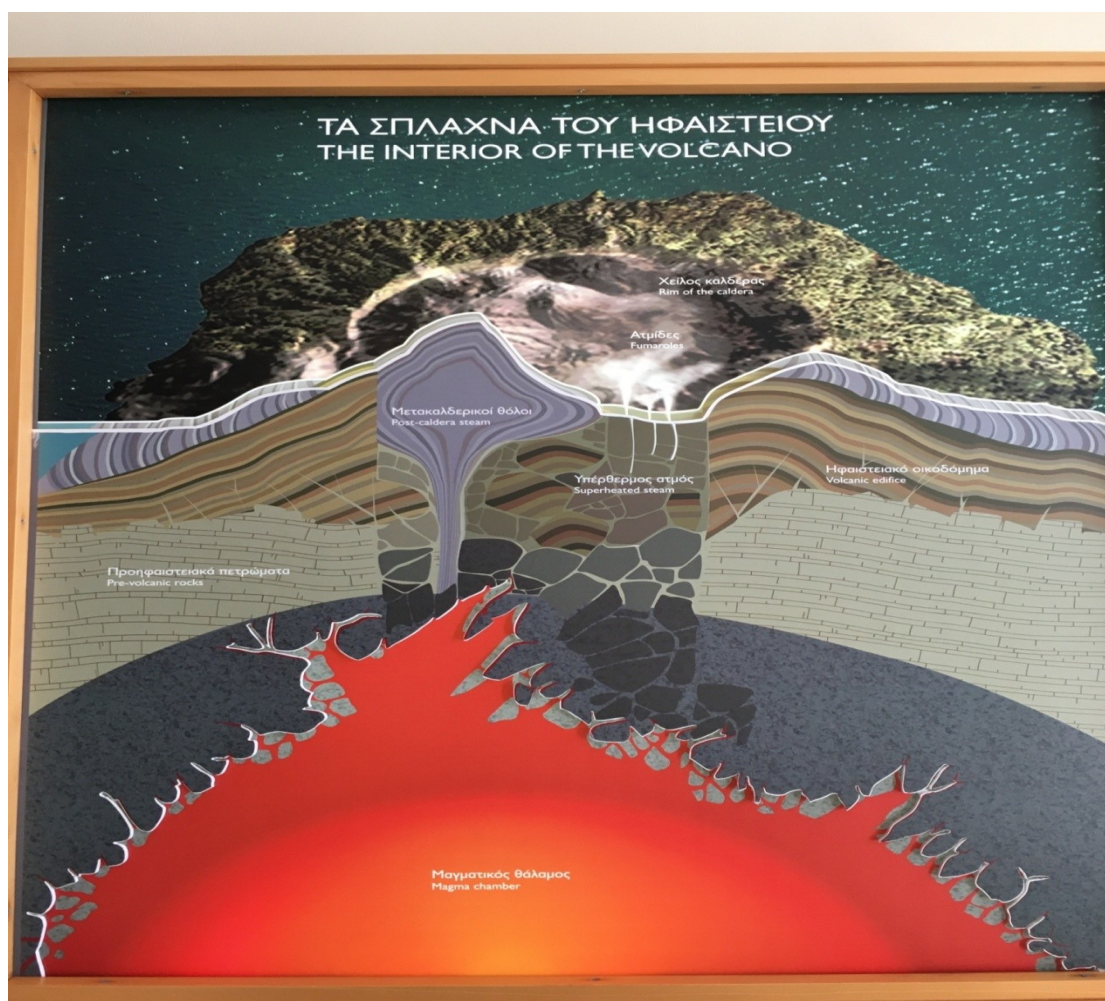
Εικόνα 2. Έκρηξη του ηφαιστείου Κρακατάο

Πηγή:https://en.wikipedia.org/wiki/1883_eruption_of_Krakatoa

Το 1883 κατά την έκρηξη του ηφαιστείου Κρακατάο στην Ινδονησία εκλύθηκαν ρυπογόνα σωματίδια που ταξίδεψαν μέχρι τη Νέα Υόρκη, η οποία αντιμετώπισε προβλήματα 13 μέρες μετά.

Η ηφαιστειακή σκόνη που εκλύθηκε δημιούργησε ένα στρώμα στην ατμόσφαιρα που λειτουργούσε σαν φραγμός στην ηλιακή ακτινοβολία, με αποτέλεσμα να μειωθεί η μέση θερμοκρασία της ευρύτερης περιοχής του ηφαιστείου και επανήρθε στα φυσιολογικά επίπεδα μετά το πέρας 5 ετών.

1.2. Ηφαιστειακά προϊόντα



Εικόνα 3. Τα σπλάχνα του ηφαιστείου

Πηγή: Ηφαιστειολογικό Μουσείο Νισύρου

Τα προϊόντα και τα φαινόμενα που δημιουργούν οι ηφαιστειακές εκρήξεις είναι ποικίλα και εξαρτώνται από πολλούς παράγοντες όπως η σύσταση του μάγματος και το ιξώδες του, καθώς και η περιεκτικότητά του σε αέρια.

Τα ηφαιστειακά προϊόντα διακρίνονται σε αέρια, υγρά και στερεά:

- **Πυροκλαστικά υλικά**

Πυροκλαστικά υλικά (pyroclasts), είναι τα μεμονωμένα ηφαιστειακά θραύσματα που εκτοξεύονται από ένα ηφαίστειο και συνδέονται με την βίαιη απελευθέρωση αερίων προς τα επάνω. Τα πυροκλαστικά υλικά μπορεί να αποτελούνται από στάχτη (ash) με μέγεθος μικρότερο των 2 mm, λιθάρια (lapilli) με μέγεθος 2 έως 64 mm, τεμάχια και βολίδες με μέγεθος μεγαλύτερο των 64 mm.

- **Ηφαιστειακή τέφρα**

Ηφαιστειακή τέφρα, (tephra), η στάχτη που εκχέει ένα ηφαίστειο κατά την έκρηξη του η οποία αποτελείται από πολύ μικρά υαλώδη θραύσματα ηφαιστειακού πετρώματος, χαλαρά υλικά, τα οποία μπορούν να ταξιδέψουν πολλά χιλιόμετρα μακριά από το ηφαίστειο.

- **Ροές λάβας**

Ροές λάβας, είναι ποτάμια τηγμένου πετρώματος το οποίο έχει προέλθει ή από την «ήσυχη» έκρηξη ενός κρατήρα ή από μια μεγάλης έντασης έκρηξη και έχει τη μορφή πιδάκων (σιντριβανιών) λάβας. Οι λάβες, ανάλογα με την περιεκτικότητά τους σε διοξείδιο του πυριτίου (SiO_2) διακρίνονται σε βασαλτικές με μικρή περιεκτικότητα σε SiO_2 και σε ανδεσιτικές-ρυσλιθικές στην αντίθετη περίπτωση, οι οποίες και παρουσιάζουν υψηλότερο ιξώδες. Οι διάφοροι τύποι λαβών:

-Βασαλτικές λάβες (basaltic lavas)

-Ανδεσιτικές, δακιτικές και ρυσλιθικές λάβες (andesitic, dacitic and rhyolitic lavas)

-Ασυνήθιστες λάβες (unusual lava types)

- **Πυροκλαστικά πετρώματα**

Είναι το συμπαγές πέτρωμα που σχηματίζεται από τη στερεοποίηση των πυροκλαστικών υλικών.

Πολλά πυροκλαστικά πετρώματα προέρχονται από συσσώρευση βιομάζας στον βυθό των ωκεανών (πλαγκτόν, νεκροί οργανισμοί κλπ), ο οποίος κατακρημνίζεται κάτω από μια λιθοσφαιρική πλάκα και το υλικό αυτό παρασύρεται και φτάνει κάτω από ηφαιστεια δίνοντας πυροκλαστικές εκρήξεις και ρυθμίζοντας έτσι το κλίμα στον πλανήτη. Δημιουργούνται από τη συγκόλληση των χαλαρών πυροκλαστικών υλικών.

- **Πυροκλαστικές αποθέσεις πτώσης**

Πυροκλαστικές αποθέσεις πτώσης (pyroclasticairfalldeposits), με αδρόκοκκα ηφαιστειακά υλικά κοντά στον ηφαιστειακό πόρο (το τμήμα από το οποίο γίνεται η έξοδος του μάγματος) και βαθμιαία πιο λεπτόκοκκα όσο απομακρυνόμαστε από αυτόν.

Αποθέσεις πτώσης σκωριών (scoria-fall deposits)

Αυτές προέρχονται από κώνους σκωριών με ηφαιστειακή δράση τύπου Στρόμπολι. Οι αποθέσεις αποτελούνται από βασαλτικές έως ανδεσιτικές σκωρίες που αποτίθενται κοντά στον ηφαιστειακό πόρο.

Αποθέσεις πτώσης κίσηρης (pumice-fall deposits)

Αυτές προέρχονται από στρωματοηφαιστεια με Πλινιακή ηφαιστειακή δράση. Οι αποθέσεις αποτελούνται από δακιτικά έως ρυολιθικά πυροκλαστικά (κίσηρη) που αποτίθενται σε απόσταση μερικών έως πολλών χιλιομέτρων από τον ηφαιστειακό πόρο.

Αποθέσεις πτώσης στάχτης (ash-fall deposits)

Αυτές προέρχονται συνήθως από ηφαιστειακή δράση τύπου Βουλκάνο και

υδροφαιστειακές εκρήξεις, κατά τις οποίες τα υλικά είναι τόσο θρυμματισμένα ώστε να δημιουργούν λεπτόκοκκες αποθέσεις τέφρας.

- **Λασπορεύματα ή λαχάρ (mudflows),**



Εικόνα 4. Λαχάρ

Πηγή:http://physicaldestruction.blogspot.com/2010/12/blog-post_9117.html

Πρόκειται για το μίγμα νερού και πυροκλαστικών υλικών που ρέει στα πρανή του ηφαιστείου. Τα λασπορεύματα μπορεί να δημιουργηθούν κατά την έκρηξη του ηφαιστείου, αλλά όταν το ηφαίστειο μένει ανενεργό. Είναι εξαιρετικά επικίνδυνα για τους ανθρώπους και το περιβάλλον αφού μπορεί να καλύψουν μεγάλες εκτάσεις και να επηρεάσουν το οικοσύστημα της περιοχής.

- **Αέρια-Ατμίδες**

Όλα τα αέρια που υπάρχουν στην ατμόσφαιρα, προέρχονται από το εσωτερικό της Γης και έχουν απελευθερωθεί μέσω της ηφαιστειακής δραστηριότητας, εκτός από το οξυγόνο. Ένα ηφαίστειο μπορεί επίσης να απελευθερώσει στην ατμόσφαιρα αέρια και θερμότητα. Το μάγμα, εκτός από τα στερεά συστατικά, περιέχει και αέρια σε ποσοστό 1-5% του συνολικού του βάρους. Το μεγαλύτερο μέρος των ηφαιστειακών αερίων που απελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα αποτελείται από υδρατμούς. Τα ηφαιστειακά αέρια είναι ένα ετερογενές μίγμα αερίων στο οποίο

κυριαρχούν οι υδρατμοί σε ποσοστό 70% V/V το οποίο σε κάποιες περιπτώσεις, μπορεί και να αγγίξει ακόμα και το 99% V/V περίπου του συνολικού όγκου των αερίων.

1.3. Ηφαιστειακά αέρια

1.3.1. Σύσταση των αερίων

Εκτός του οξυγόνου, το οποίο παράγεται από τη φωτοσύνθεση, όλα τα άλλα αέρια έχουν προέλθει από το εσωτερικό της Γης μέσω της ηφαιστειακής δραστηριότητας. Το ποσοστό των αερίων στο μάγμα κυμαίνεται από 1-5% του συνολικού του βάρους.

Οι **υδρατμοί (H₂O)** αποτελούν το 70-90% των αερίων. Τα υπόλοιπα είναι κυρίως το **διοξείδιο του θείου (SO₂)** και το **διοξείδιο του άνθρακα (CO₂)**, 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).

Αυτά τα αέρια ενώνονται με το υδρογόνο και σχηματίζουν διάφορες τοξικές ενώσεις όπως υδροχλώριο (HCl), υδροφθόριο (HF), θειικό οξύ (H₂SO₄), υδρόθειο (H₂S), τα οποία είναι χαρακτηριστικά προϊόντα της αμιδικής δραστηριότητας (*fumarolic activity*).

ΒΑΣΙΚΑ ΑΕΡΙΑ	ΑΕΡΙΑ ΣΕ ΙΧΝΗ	ΤΟΞΙΚΑ ΑΕΡΙΑ
H ₂ O (70-90%)	N,H,S,	HCl, HF
CO ₂	Cl, F,	H ₂ SO ₄
SO ₂	CO, Ar	H ₂ SO ₄

Πίνακας 1. Σύσταση των ηφαιστειακών αερίων

Στις ατμίδες (fumaroles, solfatara) εξέρχονται κυρίως θειούχα αέρια, τα οποία αποθέτουν θείο γύρω από αυτές. Συχνά αυτές οι αποθέσεις θείου είναι οικονομικά εκμεταλλεύσιμες. Το θείο παράγεται από την ένωση H₂S και SO₂ τα οποία αντιδρούν και δίνουν θείο και υδρατμούς. Στις ατμίδες τα δύο αέρια αναγνωρίζονται εύκολα. Το υδρόθειο μυρίζει σαν κλούβιο αυγό, ενώ το διοξείδιο του θείου είναι αποπνικτικό.



Εικόνα 5. Ατμιδική δραστηριότητα και αποθέσεις θείου. (Santa Ana, El Salvador, 1994)

Πηγή: Photo :Dorion K.

Κεφάλαιο 2.

Ηφαιστειακό τόξο Αιγαίου και Σεισμικότητα

2.1. Αιτίες σεισμικότητας στο Αιγαίο



Εικόνα 6. Ηφαιστειακό τόξο Αιγαίου

πηγή: Ηφαιστειολογικό Μουσείο Νισύρου

Το ηφαιστειακό τόξο αποτελείται από διαδοχικά ηφαίστεια (είτε ενεργά και είτε ανενεργά) Σουσακι, Μέθανα, Μήλος, Σαντορίνη, Νίσυρος.

Η δημιουργία τους οφείλεται σε ανάτηξη υλικού της υποβυθιζόμενης Αφρικανικής πλάκας, η οποία βυθίζεται παράλληλα του ηφαιστειακού τόξου στην

καμπύλη που λέμε σεισμικό τόξο, λίγα χιλιόμετρα νοτιότερα του ηφαιστειακού. Κατά την άνοδό του, το υλικό αυτό διαπερνά την Ευρασιατική πλάκα και σχηματίζει τα ηφαίστεια.

Για την περιοχή του Β. Αιγαίου, βασικό της μορφολογικό χαρακτηριστικό είναι η λεγόμενη τάφρος του Βορείου Αιγαίου, με βάθος 1.500m περίπου. Πολύ κοντά στις ηφαιστειακές περιοχές υπάρχουν πολλά επίκεντρα σεισμικών δονήσεων.

Τα επίκεντρα των επιφανειακών σεισμών στον ελληνικό χώρο εμφανίζουν σημαντική διασπορά. Πάρα ταύτα τα περισσότερα διατάσσονται κατά μήκος μίας τοξοειδούς ζώνης στην περιοχή του ελληνικού τόξου (Δ. Αλβανία – νησιά Ιονίου πελάγους – Κρήτη – Κάρπαθος – Ρόδος – Ν.Δ. Τουρκία).

Σημαντική σεισμική δραστηριότητα παρατηρείται επίσης και στην περιοχή του Β. Αιγαίου και της Β.Δ. Ανατολίας.

Οι σεισμοί ενδιάμεσου βάθους εκδηλώνονται στην περιοχή του Ν. Αιγαίου. Τα επίκεντρα διατάσσονται σε μία ζώνη παράλληλη με το ελληνικό τόξο, ενώ οι εστίες βρίσκονται πάνω στη λεγόμενη ζώνη Benioff, η οποία κλίνει με γωνία περίπου 35ο από το κυρτό προς το κοίλο μέρος του τόξου, από την Ανατ. Μεσόγειο προς το Αιγαίο πέλαγος. Τα εστιακά τους βάθη φτάνουν ως 160 km περίπου.

Πρόσφατα στοιχεία δείχνουν ότι η σεισμική δραστηριότητα στο Αιγαίο είναι αυξημένη εξαιτίας της συμπιεστικής δύναμης που οφείλεται στη σύγκλιση της Αφρικανικής – Ανατ. Μεσογείου λιθοσφαιρικής πλάκας με την αντίστοιχη Ευρασιατική – Αιγαίο.



Εικόνα 7. Το ηφαιστειακό τόξο αποτελείται από διαδοχικά ηφαιστεια (ενεργά και ανενεργά) Σουσάκι, Μέθανα, Μήλος, Σαντορίνη, Νίσυρος.

Πηγή: <http://www.oasp.gr/node/207>

Η σύγκλιση αυτή προκαλεί τους επιφανειακούς σεισμούς κατά μήκος του Ελληνικού τόξου καθώς και τους σεισμούς ενδιάμεσου βάθους στο Ν. Αιγαίο. Καταλυτική είναι και η ύπαρξη μιας συμπιεστικής δύναμης που οφείλεται κυρίως στην κίνηση της Τουρκικής λιθосφαιρικής πλάκας (Ανατολίας) προς τα δυτικά, μιας κίνησης που με τη σειρά της οφείλεται στην προς Βορρά κίνηση της Αραβικής πλάκας.

Τέλος, παρατηρούνται οριζόντιες εφελκυστικές δυνάμεις που έχουν διεύθυνση βορρά – νότου και αναπτύσσονται στην κάτω επιφάνεια της λιθόσφαιρας του Αιγαίου.

2.1.1. Ενεργά ηφαίστεια στον Ελλαδικό χώρο

Στην Ελλάδα υπάρχουν 39 ηφαίστεια, με μεγαλύτερα ,εκτός της Σαντορίνης, αυτά της Μήλου, της Νισύρου και των Μεθάνων. Μάλιστα το ηφαίστειο της Σαντορίνης έχει τη μεγαλύτερη καλντέρα όλου του κόσμου με ύψος 300 m και διαμέτρου 11 km.

Τα ηφαίστεια του Αιγαίου: Ο γεωγραφικός χώρος του Αιγαίου είναι μία από τις πιο σεισμογενείς περιοχές της Γης, καθώς οι γεωλογικές μεταβολές που συμβαίνουν σε τακτά χρονικά διαστήματα είναι έντονες και συνεχείς. Η περιοχή του Αιγαίου διαμορφώθηκε τα τελευταία 23 εκατομμύρια χρόνια, δηλαδή στη διάρκεια της πιο πρόσφατης γεωλογικής περιόδου του ανώτερου καινοζωικού.

2.1.2 Γεωτεκτονική και Γεωλογική εξέλιξη του Ελλαδικού χώρου

250 Εκατομμύρια χρόνια πριν, με το σχηματισμό του ωκεανού της Τηθύος, αρχίζει η σύνθετη γεωλογική και τεκτονική δομή και εξέλιξη του Ελλαδικού χώρου. Ο ωκεανός αυτός δημιουργήθηκε με το διαχωρισμό μιας μεγάλης και παλιάς ηπείρου. Τεράστιες αλλαγές στην επιφάνεια της Γης έλαβαν χώρα στο τεράστιο αυτό διάστημα οι οποίες συνδέονται ως επί το πλείστον με τις μετατοπίσεις των λιθοσφαιρικών πλακών. Οι αλλαγές αυτές οδήγησαν στη σημερινή δυναμική κατάσταση και γεωμορφολογική εικόνα του Ελλαδικού χώρου με αποτέλεσμα η περιοχή του Αιγαίου σήμερα να αποτελεί ένα χαρακτηριστικό καθεστώς σύγκλισης, όπου η Αφρικανική πλάκα συγκρούεται με την Ευρασιατική. Στην περιοχή του Αιγαίου, εμφανίζονται τα μεγαλύτερα ποσοστά παραμόρφωσης από ότι σε όλη τη ζώνη σύγκρουσης Ευρώπης – Αφρικής (Parazachos and Comninakis, 1971).

Η παραμόρφωση συνδέεται με την καταβύθιση της λιθοσφαιρικής πλάκας της ανατολικής Μεσογείου κάτω από την πλάκα του Αιγαίου κατά μήκος του Ελληνικού τόξου καθώς και με την κίνηση, στα δυτικά, κατά μήκος του ρήγματος της Ανατολίας (Babaetal, 2009). Εκτεταμένη ηφαιστειακή δραστηριότητα ασβεσταλκαλικής σύστασης, εκδηλώνεται σε διάφορα ηφαιστειακά κέντρα του νοτίου Αιγαίου που είναι το Σουσάκι, η Αίγινα, ο Πόρος, η Μήλος, η Σαντορίνη, η Κως και η Νίσυρος (Κυριακόπουλος 2010).

Βασικό λοιπόν, τεκτονικό γνώρισμα του Ελληνικού χώρου, είναι το ελληνικό τόξο, το οποίο αποτελεί το όριο της επαφής της Ευρασιατικής λιθοσφαιρικής πλάκας –τμήμα της οποίας είναι το Αιγαίο- και της Αφρικανικής πλάκας, τμήμα της οποίας είναι η λιθόσφαιρα της Ανατολικής Μεσογείου. Λόγω μεγαλύτερης πυκνότητας η ωκεάνια πλάκα της Ανατολικής Μεσογείου, βυθίζεται κάτω από την ηπειρωτική πλάκα του Αιγαίου, σχηματίζοντας:

- την τάφρο (μια σειρά από βαθιές θαλάσσιες λεκάνες από τη Ρόδο έως και την Κεφαλονιά),
- το νησιωτικό τόξο (μια σειρά διαδοχικών νησιών, παράλληλα προς την τάφρο και σε μικρή απόσταση από αυτήν),
- την οπισθόταφρο (θαλάσσια λεκάνη μικρότερου βάθους από την τάφρο) και τέλος,
- το ηφαιστειακό τόξο που αποτελείται από διαδοχικά ενεργά και ανενεργά ηφαίστεια, η δημιουργία των οποίων οφείλεται σε ανάτηξη υλικού της υποβυθιζόμενης πλάκας, το οποίο κατά την άνοδό του, διαπερνά την Ευρασιατική πλάκα και σχηματίζει τα ηφαίστεια.

Η δραστηριότητα του ενεργού ηφαιστειακού τόξου του Νοτίου Αιγαίου άρχισε πριν 5 εκατομμύρια χρόνια, και αποτελείται από 5 ηφαιστειακές ομάδες, οι οποίες από ανατολικά προς τα δυτικά είναι οι εξής:

A) Το Σουσάκι,

B) η ομάδα του Σαρωνικού κόλπου,

Γ) το νησιωτικό σύμπλεγμα της Μήλου,

Δ) το νησιωτικό σύμπλεγμα της Σαντορίνης και

E) η ομάδα νησιών στην Κω και τη Νίσυρο.

Σε όλες τις ομάδες εκτός από το Σουσάκι, υπάρχει ένα ενεργό ηφαιστειακό κέντρο (Fytikas and Vougoukalakis 2005).

Όπως λοιπόν και άλλες γεωδυναμικά ενεργές περιοχές, έτσι κι ο Ελλαδικός χώρος χαρακτηρίζεται από ενεργό γεωδυναμικό καθεστώς με εκτεταμένη ηφαιστειακή και σεισμική δραστηριότητα και επηρεάζεται από ένα μεγάλο αριθμό γεωγονικών εκδηλώσεων αερίου, οι οποίες γίνονται αντιληπτές με τη μορφή σημειακών πηγών (φουμαρόλες, μοφέτες, φουσαλίδες αερίων) ή από διάχυτες εκλύσεις αερίων στο έδαφος. Η μεγάλη ποικιλία της ισοτοπικής και χημικής σύστασης των αερίων φάσεων που εκδηλώνονται, αντανακλά τη πολυσύνθετη γεωλογική δομή (D'Alessandro et al. 2010).

Με βάση τη χημική τους σύσταση, οι αέριες φάσεις που εκδηλώνονται εξαιτίας της ηφαιστειακής και γεωθερμικής δραστηριότητας στον Ελλαδικό χώρο, μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις κύριες ομάδες διοξειδίου του άνθρακα, μεθανίου και πλούσιες σε άζωτο.

Αν δεν ληφθεί υπόψη το οξυγόνο, τα αέρια αυτά, αποτελούν το 95% της συνολικής σύστασης με εξαίρεση αέριες φάσεις από το ηφαίστειο της Νισύρου και από τη Μήλο, οι οποίες περιέχουν σημαντικές ποσότητες υδροθείου.

Στο ηφαιστειακό τόξο του Νότιου Αιγαίου ανήκουν τα ηφαίστεια στο Σουσάκι (Κρομμυωνίας), στα Μέθανα, στον Πόρο, στη Μήλο, στη Νίσυρο και στη Σαντορίνη. Όλα αυτά τα ηφαιστειακά κέντρα βρίσκονται κατανεμημένα κατά μήκος μιας ζώνης πλάτους λίγων δεκάδων χιλιομέτρων και μήκους 450 χιλιομέτρων, η οποία αρχίζει από τον ισθμό της Κορίνθου και καταλήγει στη Νίσυρο.

Κατά μήκος του τόξου μόνο τρία είναι τα ενεργά ηφαίστεια (Σαντορίνη, Νίσυρος, Μέθανα), από τα οποία αυτό των Μεθάνων βρίσκεται σε μεταηφαιστειακή δράση, ενώ τα ηφαίστεια της Νισύρου και της Σαντορίνης παρουσιάζουν σημαντική ηφαιστειακή δραστηριότητα.



Εικόνα 8. Η περιοχή του ηφαιστείου στο Σουσάκι

Πηγή: (<https://el.wikipedia.org/wiki/sousaki>)

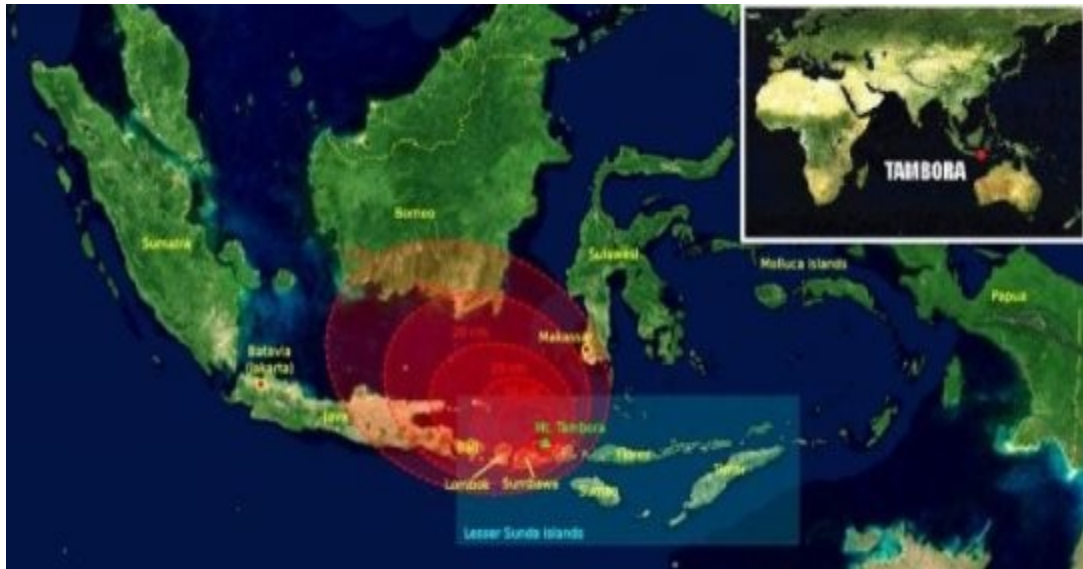
2.2. Ηφαίστεια και εκρήξεις

Τα ηφαίστεια επιταχύνουν την εξέλιξη, επιδρώντας στο γονιδίωμα των οργανισμών. Σύμφωνα με το φαινόμενο, που αξιώνεται από τον ανθρωπολόγο Stanley Ambrose, ορισμένες εκρήξεις -αυτές με μεγάλη κλίμακα- μπορούν να οδηγήσουν τον πλανήτη σε ένα ηφαιστειακό χειμώνα.

Το αποτέλεσμα είναι καταστρεπτικό για ορισμένα είδη πληθυσμών, μειώνοντάς τα σε τόσο χαμηλούς αριθμούς που είναι ικανοί να επισπεύσουν αλλαγές και να οδηγήσουν σε διακρίσεις. Μια τέτοια κατάσταση ακολούθησε την έκρηξη του ηφαιστείου Toba πριν από 70.000 χρόνια, η οποία σχεδόν εξαφάνισε τους Homo sapiens.

Το Toba εκτόξευσε 670 κυβικά μίλια μάγματος στον αέρα, δημιουργώντας ένα στρώμα στάχτης πάχους 6 μέτρων σε μια απόσταση χιλιάδων μιλίων. Συγκρίνοντας το μέγεθος αυτό με την έκρηξη του ηφαιστείου της Αγίας Ελένης, του οποίου η

έκλυση τέφρας δε ξεπέρασε το ένα κυβικό μέτρο, γίνεται ορατή η έκταση της καταστροφής. Ακόμα πιο πρόσφατα, η έκρηξη του ηφαιστείου Tambora στην Ινδονησία το 1815, προκάλεσε χιονόπτωση στη Νέα Αγγλία το καλοκαίρι.



Εικόνα 9. Το όρος Ταμπόρα, ένα ενεργό στρωματοηφαίστειο και η ψηλότερη κορυφή του νησιού της Ινδονησίας Σουμπάουα με ύψος 2.722 μ

Πηγή: NASA/SINC

Παγκοσμίως υπάρχουν 1.500 ενεργά ηφαίστεια. μεταξύ αυτών και το ηφαίστειο της Σαντορίνης. Αυτός ο υπολογισμός προέρχεται από την Αμερικανική Γεωλογική Υπηρεσία, κομμάτι του Υπουργείου Εσωτερικών κι αναφέρεται σε ηφαιστειακές πληροφορίες σε παγκόσμιο επίπεδο, αλλά πιο συγκεκριμένα σε αυτά που βρίσκονται στις Ηνωμένες Πολιτείες.

Ο αριθμός αυτός δεν περιλαμβάνει τη «συνεχόμενη ζώνη» των υποθαλάσσιων ηφαιστίων, αλλά περιλαμβάνει περίπου 500 ηφαίστεια που έχουν εκραγεί στους λεγόμενους «ιστορικούς χρόνους». Στις Ηνωμένες Πολιτείες υπάρχουν μόνο 65 ενεργά ηφαίστεια και σχεδόν όλα βρίσκονται στην Αλάσκα και τη Χαβάη. Μεταξύ αυτών συμπεριλαμβάνεται το Kilauea, ένα ηφαίστειο το οποίο εκρήγνυται σχεδόν ασταμάτητα από τις αρχές της δεκαετίας του 1980.

Τα ηφαίστεια δε χρειάζεται να εκραγούν για να είναι επικίνδυνα. Τα κοιμώμενα ηφαίστεια φαίνεται να μην παρουσιάζουν κινδύνους στους ανθρώπους που μένουν κοντά, και η σεισμική δραστηριότητα μπορεί να κρούσει τον κώδωνα του κινδύνου αν τα πράγματα αλλάξουν. Όμως όταν γίνονται καθιζήσεις και αρχίζει να εμφανίζεται λάσπη στην πλαγιά, δεν υπάρχει καμία προειδοποίηση. Κατά τη διάρκεια των καιρών, η υδροθερμική δραστηριότητα στον τύπο του ζεστού όξινου νερού μετατρέπει τους περιβάλλοντες βράχους σε ένα πιο μαλακό υλικό, το οποίο τελικά παθαίνει καθίζηση.

Ένα καλό παράδειγμα αποτελεί το ηφαίστειο Rainier στην Ουάσιγκτον. Πολλές χιλιάδες χρόνια πριν, μία χιονοστιβάδα από στάχτη και πάγο, γνωστή σήμερα σαν Osceola Mudflow άρχισε να κινείται καθοδικά, μειώνοντας περίπου 500 μέτρα από το ύψος του βουνού.

Η ηφαιστειακή μόλυνση μπορεί να είναι πιο καταστροφική απ' ό τι πιστεύεται. Μία ηφαιστειακή έκρηξη από μόνη της δεν αποτελεί περιβαλλοντική καταστροφή αφού αποτελεί ένα φυσικό φαινόμενο, ένα κομμάτι του πλανήτη.

Μετατρέπεται σε πιθανή απειλή για τον άνθρωπο, όχι όταν αναγκάζει σε κλείσιμο τον ευρωπαϊκό εναέριο χώρο, αλλά όταν η στάχτη και τα τοξικά αέρια κάνουν το γύρω του κόσμου. Μολυσμένος και τοξικός ο αέρας αυτός μπορεί να προκαλέσει όξινη βροχή, η οποία μπορεί, με τη σειρά της να αυξήσει τα καρδιοαναπνευστικά προβλήματα.

Τα ηφαίστεια αποτελούν μεγάλη επιχειρηματική δραστηριότητα που το μέγεθός της είναι δύσκολο να υπολογιστεί. Παρόλα αυτά, σύμφωνα με το PhoCusWright, μία εταιρεία ταξιδιωτικών ερευνών, ο τζίρος των ταξιδιών που στέλνουν επισκέπτες σε ηφαίστεια στην ευρύτερη περιοχή των Ηνωμένων Πολιτειών υπολογίζεται ότι είναι περίπου 232 δισεκατομμύρια δολάρια και στην Ευρώπη 289 δισεκατομμύρια δολάρια. Ορισμένο από το ενδιαφέρον προέρχεται από τους γηγενείς, οι οποίοι επενδύουν σε ταξίδια που ανεβάζουν την αδρεναλίνη, κάνοντας παρατήρηση ηφαιστειών.

Έτσι, κανονίζουν με μεγάλα ταξιδιωτικά πρακτορεία να οργανώσουν εκδρομές στην σκιά των περιοχών που βρίσκονται τα πιο διάσημα ηφαίστεια του

κόσμου: Fuji, Kamchatka, Etna, Kilimanjaro. Επισκέψεις πραγματοποιούνται επίσης στους λόφους Soufriere στο Montserrat, στη Βαρκελώνη, το οποίο το 1997 μετέτρεψε την πρωτεύουσα του νησιού Plymouth σε μία «σύγχρονη Πομπηία». Τέλος, παρόλο που το Eyjafjallajökull ,συνεχίζει να εκρήγνυται, πολλά είναι τα ταξίδια στα ισλανδικά ηφαίστεια που συνεχίζουν να εκτελούνται με αμείωτο ρυθμό.

2.2.1. Το ηφαίστειο της Νίσυρου

Η τελευταία ηφαιστειακή δράση στη Νίσυρο εκδηλώθηκε πριν από αρκετές χιλιάδες χρόνια και βέβαια δεν έχει καταγραφεί στις ιστορικές πηγές. Παρ' όλα αυτά, η Νίσυρος χαρακτηρίζεται σαν ένα κοιμώμενο ενεργό ηφαίστειο, και η θεώρηση αυτή βασίζεται σε τρία στοιχεία:

-Το πρώτο είναι η σχετικά πρόσφατη ηλικία των τελευταίων ηφαιστειακών εκρήξεων. Η τελευταία μαγματική δράση στην περιοχή της Νίσυρου εκδηλώνεται πριν περίπου 20.000 χρόνια, ενώ υπάρχουν κάποιες ενδείξεις ότι η τελευταία έκρηξη του Γυαλιού είναι πιθανά νεώτερη των 10.000 ετών.

-Το δεύτερο στοιχείο είναι ότι οι διεργασίες που γεννούν την ηφαιστειακή δράση, η βύθιση της Αφρικάνικης λιθόσφαιρας κάτω από το Αιγαίο και τα μεγάλα ρήγματα, συνεχίζουν να είναι ενεργά φαινόμενα στην περιοχή.

-Το τρίτο στοιχείο είναι η θερμική κατάσταση της περιοχής, κυρίως οι πληροφορίες από τις βαθιές γεωτρήσεις που εκτελέστηκαν στη Νίσυρο, με στόχο τον εντοπισμό ενός γεωθερμικού ταμιευτήρα ικανού να παράγει ηλεκτρική ενέργεια. Στον πυθμένα της πρώτης βαθιάς γεώτρησης, στα 1700 μέτρα κάτω από τη στάθμη της θάλασσας, συναντήθηκαν θερμοκρασίες κοντά στους 500 βαθμούς Κελσίου, γεγονός που κάνει αναγκαία την παραδοχή ύπαρξης λιωμένου πετρώματος σε μικρά βάθη, μεταξύ 3 και 5 χιλιομέτρων.

Είναι ένα ηφαίστειο που αποτελεί μέρος του ηφαιστειακού τόξου της νότιας Ελλάδας. Βρίσκεται στην άκρη του τόξου του Αιγαίου, μαζί με τη Καλδέρα της Κω και τη νήσο Γυαλί. Οι πρώτες υποθαλάσσιες εκρήξεις έλαβαν χώρα πριν 150.000 χρόνια,

ενώ η κύρια δραστηριότητα συνέβη 40 με 10 χιλιάδες χρόνια πριν. Σήμερα λαμβάνουν χώρα υδροθερμικές εκρήξεις.

Η Νίσυρος αποτελείται από ηφαιστειογενή βουνά, ενώ το κέντρο της νήσου καταλαμβάνει μία καλδέρα διαμέτρου 4 χλμ., από τον πυθμένα και μέχρι την επιφάνεια του οποίου απαντάται θείο.

Μέσα στη καλδέρα βρίσκεται ο μεγαλύτερος υδροθερμικός κρατήρας στον κόσμο, ο Στέφανος, ο οποίος έχει διάμετρο 300 μέτρα, ενώ συνολικά η Νίσυρος έχει 5 κρατήρες.



Εικόνα 10. Ηφαιστειο Νισύρου

Πηγή: προσωπικό αρχείο

Η τελευταία έκρηξη του ηφαιστείου έλαβε χώρα το 1888 και σήμερα στο νησί υπάρχουν ενεργές φουμαρόλες. Λόγω της ηφαιστειακής δραστηριότητας στη Νίσυρο υπάρχουν θερμές πηγές με θερμοκρασία από 30 μέχρι 60 °C,[1] εκ των οποίων οι κυριότερες είναι στα Λουτρά και τους Πάλους. Ένας ηφαιστειακός δόμος υψώνεται στα 700 περίπου μέτρα, δίνοντας και το μεγαλύτερο υψόμετρο της νήσου.

Η μορφολογία της έχει επηρεαστεί από το ηφαίστειο και το ηφαιστειογενές της έδαφος που είναι πολύ εύφορο και ευνοεί τη δενδροκομία και την πλούσια βλάστηση. Έχει έκταση 41 τετραγωνικά χιλιόμετρα, υψόμετρο 698 μέτρα και μήκος ακτών 30 χιλιόμετρα. Δυτικά και βόρεια της Νισύρου βρίσκονται τέσσερις νησίδες, τα λεγόμενα Νισύρια.

2.2.2. Το ηφαίστειο της Σαντορίνης

Η έκρηξη του ηφαιστείου της Σαντορίνης το 1.650 π.χ. ήταν μια από τις μεγαλύτερες στα τελευταία 10.000 χρόνια. Το μάγμα που αναπήδησε ήταν περίπου 30 κυβικά χιλιόμετρα. Η τέφρα σκέπασε μια μεγάλη έκταση στην ανατολική Μεσόγειο και την Τουρκία. Πιθανόν, η έκρηξη ήταν η αιτία για το τέλος του Μινωικού πολιτισμού στην Κρήτη.



Εικόνα 11. Το ηφαίστειο της Σαντορίνης.

Πηγή: <http://neoskosmos.com/news/el/node/57821>

Η Σαντορίνη έχει γίνει από πολυσύνθετες μεταπτώσεις ηφαιστειών. Έχουν γίνει τουλάχιστον 12 μεγάλες ισχυρές εκρήξεις στα τελευταία 200.000 χρόνια, στο νησί. Το Ακρωτήριο είναι μια Μινωική πόλη στα νότια της Θήρας και ανασύρθηκε στο φως από αρχαιολογικές έρευνες. Περίπου, 1-2 μέτρα από τέφρα σκέπασε την πόλη η οποία είχε πληθυσμό περίπου 30.000 κατοίκους.

Φαίνεται από τις ανασκαφές ότι οι κάτοικοι είχαν εκκενώσει με επιτυχία την πόλη πριν την έκρηξη, εξ αιτίας του γεγονότος ότι κανένα ανθρώπινο σώμα δεν βρέθηκε μέσα στην τέφρα. Οι αρχαιολόγοι λένουν, επίσης, ότι οτιδήποτε αντικείμενο μπορούσαν να μεταφέρουν από τα σπίτια, το είχαν πάρει.

Ένδεκα εκρήξεις έγιναν μέχρι το 197 π.χ., στα δύο νησιά, τη Σαντορίνη και στη Νέα Καμένη. Η πιο πρόσφατη έκρηξη της Σαντορίνης ήταν το 1950, στην Νέα Καμένη. Η έκρηξη κράτησε λιγότερο από ένα μήνα.

Το αποτέλεσμα της ήταν η δημιουργία θόλου και η παραγωγή λάβας.

Οι ηφαιστειακές καλδέρες, όπως της Σαντορίνης, έχουν προκαλέσει εδώ και δεκαετίες το ενδιαφέρον των επιστημόνων, οι οποίοι προσπαθούν να αποκωδικοποιήσουν τον τρόπο δημιουργίας τους. Αν και η κυρίαρχη επιστημονική άποψη είναι ότι οι καλδέρες σχηματίζονται από την κατάρρευση της οροφής του ηφαιστειακού κώνου, μετά την εκκένωση του μαγματικού θαλάμου που βρίσκεται κάτω από τον κώνο, οι διάφοροι μηχανισμοί σχηματισμού της καλδέρας είναι ακόμα αντικείμενο συζήτησης, επειδή παρουσιάζουν διαφορές που επηρεάζουν τόσο την εξέλιξη της καλδέρας, όσο και τον τύπο «επαναφόρτισης» του μαγματικού θαλάμου πριν την επόμενη ηφαιστειακή έκρηξη.

«Οι ανωμαλίες της πυκνότητας κάτω από την επιφάνεια, που ανακαλύφθηκαν με τη νέα έρευνα», σύμφωνα με την Π. Νομικού, «μπορούν να επηρεάσουν τη συγκέντρωση του μάγματος ανάμεσα στις ηφαιστειακές εκρήξεις, επηρεάζοντας έμμεσα και τα μελλοντικά επεισόδια ηφαιστειακής δραστηριότητας». Ένα συμπέρασμα που οι ερευνητές θεωρούν εξαιρετικά σημαντικό τόσο για τη Σαντορίνη, όσο και για άλλα ηφαίστεια σε παγκόσμιο επίπεδο.

Κεφάλαιο 3. Άνθρωποι, Ηφαιστεια και Περιβάλλον – Επιπτώσεις στην Υγεία

3.1. Ατμόσφαιρα

Ατμόσφαιρα είναι το αεριώδες περίβλημα της Γης. Αποτελεί ένα σώμα με την γη και την ακολουθεί σ' όλες τις κινήσεις της. Το σχήμα της ατμόσφαιρας είναι παρόμοιο μ' αυτό της γης, δηλ. σχεδόν σφαιρικό, συμπιεσμένο στους πόλους. Το ύψος της ατμόσφαιρας θεωρητικά ορίζεται ως ο χώρος στον οποίο η βαρύτητα της γης υπερिσχύει της φυγόκεντρης δύναμης και της τάσης διαφυγή των αερίων. Με υπολογισμούς της θεωρητικής μηχανικής είναι περίπου 28.000 km στους πόλους και 42.000 km στον Ισημερινό.

Η ατμόσφαιρα της Γης στα κατώτερα στρώματα δηλαδή μέχρι ύψος 25χιλ. περίπου, αποτελείται:

- α) από ξηρό αέρα,
- β) από υδρατμούς και
- γ) από αιωρήματα διαφόρου προελεύσεως (aerosols).

Η ηφαιστειακή μόλυνση από μόνη της δεν αποτελεί περιβαλλοντική καταστροφή γιατί είναι ένα φυσικό φαινόμενο. Όμως μπορεί να γίνει απειλή για τον άνθρωπο όταν η στάχτη και τα τοξικά αέρια κάνουν τον γύρω του κόσμου. Μολυσμένος και τοξικός ο αέρας αυτός μπορεί να προκαλέσει όξινη βροχή , η οποία με τη σειρά της μπορεί να αυξήσει τα καρδιοαναπνευστικά προβλήματα.

Αέρια	Σύμβολα	Περιεκτικότητα		Πυκνότητα σε g/m ³	Μοριακό βάρος	Κρίσιμη θερμοκρ.
		Κατ' όγκο	Κατά βάρος			
Άζωτο	N	78.08	75.51	1250	28,016	-147.2
Οξυγόνο	O	20.95	23.14	1429	32.000	-118.9
Αργό	Ar	0.93	1.3	1786	39.944	-122.0
Διοξ. άνθρακος	CO ₂	0.03	~0.5	1977	44.010	31.0
Νέο	Ne	(18.18)×10 ⁻⁴	120×10 ⁻⁵	900	20.183	-228.0
Ήλιο	He	(5.24)×10 ⁻⁴	8.10 ⁻⁵	178	4.003	-258.0
Μεθάνιο	CH ₄	~2.2×10 ⁻⁴	—	717	16.04	—
Κρυπτό	Kr	(1.14)×10 ⁻⁴	29.10 ⁻⁵	3736	83.7	-63.0
Οξειδ. Αζώτου	N ₂ O	(0.5±0.1)×10 ⁻⁴	—	1978	44.016	—
Υδρογόνο	H ₂	~0.5×10 ⁻⁴	0.35×10 ⁻⁵	90	2.016	-239.0
Ξένο	Xe	(0.087)×10 ⁻⁴	3.6×10 ⁻⁵	5891	131.3	16.6
Όζο	O ₃	(0-0.07)×10 ⁻⁴ έως (1-3)×10 ⁻⁴	~0.17×10 ⁻⁵	2140	48.0	5.0

Πίνακας 2: Η σύνθεση του ξηρού ατμοσφαιρικού αέρα

πηγή: Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών

2.3. Ηφαιστειακή δραστηριότητα και τα αποτελέσματα στην ατμόσφαιρα

Τα βασικά αέρια που αποτελούν τον ατμοσφαιρικό αέρα είναι το άζωτο (78,08%) και το οξυγόνο (20,95%) που καταλαμβάνουν το 99% περίπου του όγκου ενώ τα υπόλοιπα παρουσιάζουν αναλογίες μικρότερες του 1% (Λυκούδη 2005).

Ως ατμοσφαιρική ρύπανση, θα μπορούσε να ορισθεί η προσθήκη στην ατμόσφαιρα που μας περιβάλλει, κάθε υλικού, μοριακής ή σωματιδιακής φύσης, η οποία έχει σαν αποτέλεσμα τη δηλητηρίαση της ζωής πάνω στον πλανήτη, βραχυπρόθεσμα ή μακροπρόθεσμα. Ο άνθρωπος αναπνέει φυσιολογικά, περίπου 8 λίτρα ατμοσφαιρικού αέρα το λεπτό, κάτι το οποίο σημαίνει ότι εισπνέει καθημερινά περισσότερο από 10m³ αέρα. Όπως είναι φυσικό, η ποσότητα αυτή του αέρα που εισέρχεται καθημερινά στους πνεύμονες, δεν είναι αποστειρωμένη, αλλά μπορεί να περιέχει σκόνη, ατμοσφαιρικούς ρύπους, καπνό, βλαβερές ουσίες, σωματίδια κλπ.

Η εισπνοή τέτοιων ουσιών, είναι δυνατόν να προκαλέσει δυσμενείς επιπτώσεις στην υγεία. Η εκπομπή των ρύπων στην ατμόσφαιρα, μπορεί να οφείλεται σε ανθρωπογενείς δραστηριότητες ή σε φυσικές διεργασίες.

Οι ηφαιστειακές εκρήξεις απελευθερώνουν μεγάλες ποσότητες αερίων του θερμοκηπίου και άλλων αερολυμάτων, δημιουργώντας τεράστια νέφη που συσσωρεύονται στην ατμόσφαιρα. Μία ηφαιστειακή έκρηξη, μπορεί να αποτελέσει μία παγκόσμια πηγή ατμοσφαιρικών ρύπων και έναν παγκόσμιο κίνδυνο.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, οι ρύποι οι οποίοι βρίσκονται στην ατμόσφαιρα και οφείλονται σε ηφαιστειακή δραστηριότητα μπορεί να βρίσκονται σε μορφή αιωρούμενων σωματιδίων (διακριτά σωματίδια σε υγρή ή στερεή μορφή) ή σε αέρια φυσική κατάσταση με μορφή αερίων ή ατμών.

Οι ρύποι, οι οποίοι μπορεί να ανιχνευθούν στην ατμόσφαιρα και να οφείλονται σε ηφαιστειακή δραστηριότητα, μπορεί να είναι πρωτογενείς, δηλαδή προϊόντα που έχουν παραχθεί από την ίδια την ηφαιστειακή δραστηριότητα ή δευτερογενείς, δηλαδή ρύποι οι οποίοι σχηματίζονται στην ατμόσφαιρα ως αποτέλεσμα χημικού μετασχηματισμού των πρωτογενών ρύπων ή μπορεί να προκύψουν ως προϊόντα διάφορων αντιδράσεων. Οι δευτερογενείς ρύποι, μπορούν να προκύψουν σε διαφορετικό τόπο και χρόνο από τον τόπο και το χρόνο της εκπομπής των πρωτογενών ηφαιστειακών ρύπων, από τους οποίους προέρχονται (π.χ. όξινη βροχή κλπ.).



Εικόνα 12. Βοσκότοποι καλυμμένοι με τέφρα στο Futaleufú μετά την έκρηξη του ηφαιστείου Chaitén.

Πηγή: <https://volcanoes.usgs.gov/vhp/tephra.html>

Οι επιπτώσεις της ηφαιστειακής τέφρας και των αιωρούμενων σωματιδίων στην υγεία είναι μεγάλες. Ο όρος τέφρα (tephra), είναι ένας γενικός όρος που χρησιμοποιείται για οποιαδήποτε υλικό το οποίο εκπέμπεται από τα ηφαίστεια στην ατμόσφαιρα, ενώ ο όρος ηφαιστειακή στάχτη (ash) αναφέρεται σε σωματίδια τα οποία έχουν διάμετρο μικρότερη από 2 mm (Hansell 2006).

Η κατανομή και διασπορά της ηφαιστειακής τέφρας στην ατμόσφαιρα εξαρτάται από διάφορους παράγοντες όπως ο τύπος, το μέγεθος, η ένταση και η διάρκεια της έκρηξης, το ύψος της ηφαιστειακής στήλης τέφρας, η ένταση και η κατεύθυνση του ανέμου καθώς και οι αλλαγές κατεύθυνσης που μπορεί να συμβούν (Sigurdsson 1999). Οι πιθανοί κίνδυνοι για την υγεία του πληθυσμού εξαρτώνται από τη θέση του ηφαιστείου σε σχέση με τις κατοικημένες περιοχές. Συνήθως οι κάτοικοι περιοχών που βρίσκονται κοντά στο ηφαίστριο, αναμένεται να πληγούν περισσότερο από μία ενδεχόμενη ηφαιστειακή δραστηριότητα άμεσα, λόγω μεγαλύτερης έκθεσης τους στην ηφαιστειακή τέφρα ή έμμεσα, εξαιτίας, για παράδειγμα, της ρύπανσης του πόσιμου νερού από το φθόριο (Hansell 2006).



Εικόνα 13. Η στάχτη έθαψε αυτοκίνητα και σπίτια μετά την έκρηξη του ηφαιστείου Rabaul στη Παπούα Νέα Γουινέα το 1984.

Πηγή: USGS/1984 <https://volcanoes.usgs.gov/vhp/tephra.html>

Οι επιπτώσεις οι οποίες θα επέλθουν στην υγεία από την απελευθέρωση της ηφαιστειακής τέφρας, εξαρτώνται από πολλούς παράγοντες όπως η χημική σύσταση των αιωρούμενων σωματιδίων, η συγκέντρωση και το μέγεθος τους, η διάρκεια της έκθεσης σε αυτά, καθώς και οι αλληλεπιδράσεις που τα σωματίδια μπορούν να αναπτύξουν με άλλα συστατικά της ατμόσφαιρας. Μπορεί να αποτελούνται από μέταλλα, ανόργανα ιόντα, οργανικές ενώσεις ή βιολογικά υλικά. Τα αιωρούμενα σωματίδια, μπορούν να δράσουν ως προσροφητικές και καταλυτικές επιφάνειες. Για το λόγο αυτό το μέγεθός τους είναι ιδιαίτερα καθοριστικό όσον αφορά τις επιπτώσεις τους στην υγεία.

Αν και σε πολλές μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί μέχρι σήμερα φαίνεται να υπάρχει μια θετική συσχέτιση ανάμεσα στην αυξημένη συγκέντρωση ηφαιστειακών σωματιδίων και σε αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία ατόμων τα οποία μπορεί να εκτίθενται βραχυπρόθεσμα ή μακροπρόθεσμα στην ηφαιστειακή σκόνη,

είναι πολύ δύσκολο να διαχωρισθούν οι επιπτώσεις στην υγεία που προκαλεί η τέφρα, από τις επιπτώσεις των αερίων και γενικά των αερολυμάτων με διαφορετική χημική σύσταση.

Γενικά, υπάρχουν πολλές περιοχές στον πλανήτη, στις οποίες οι άνθρωποι χωρίς να το γνωρίζουν, είναι εκτεθειμένοι σε συγκεντρώσεις διοξειδίου του θείου που εκλύεται εξαιτίας της ηφαιστειακής δραστηριότητας. Για παράδειγμα στις Αζόρες στη λίμνη Furnas, που βρίσκεται στην καλντέρα του ενεργού ηφαιστείου Furnas, τα μέσα επίπεδα του διοξειδίου του θείου που έχουν μετρηθεί, φθάνουν τα 0,115 ppm τιμή αρκετά μεγαλύτερη από τα όρια των κατευθυντήριων γραμμών για την έκθεση σε διοξείδιο του θείου, σε μια περιοχή στην οποία ντόπιοι κάτοικοι και τουρίστες χρησιμοποιούν καθημερινά τις ατμίδες για μαγείρεμα. Επίσης στο κέντρο του χωριού Furnas, μετρήσεις, έδειξαν επίπεδα διοξειδίου του θείου σε συγκεντρώσεις μεταξύ 0.07 και 0.085 ppm (Baxteretal, 1999).

Τα πιο γνωστά περιστατικά που σχετίζονται με δηλητηρίαση από διοξείδιο του θείου, έχουν καταγραφεί στο ηφαίστειο Aso στην Ιαπωνία, όπου 7 άνθρωποι έχασαν τη ζωή από το 1989 έως το 1997 από εισπνοή διοξειδίου του θείου και άλλα 59 άτομα εισήχθησαν στο νοσοκομείο από τον Ιανουάριο του 1980 έως το Φεβρουάριο του 1995. Οι περισσότεροι από τους ανθρώπους που έχασαν τη ζωή τους είχαν ιστορικό άσθματος. Μετά από αυτά τα περιστατικά τα επίπεδα διοξειδίου του θείου στα οποία θα γίνεται εκκένωση, μειώθηκαν και δίνονται αυστηρές προειδοποιήσεις στους επισκέπτες σχετικά με τους κινδύνους της έκθεσης, ώστε να προστατευτούν τα άτομα με άσθμα και αναπνευστικές παθήσεις (Ng'Walalietal., 1999).

Τα ηφαιστειακά αέρια έχουν επηρεάσει και επηρεάζουν όχι μόνο τη σύνθεση της ατμόσφαιρας και της υδρόσφαιρας αλλά μπορεί να επηρεάσουν ακόμα και την αλλαγή του κλίματος της Γης.

Κατά τη διάρκεια ισχυρών ηφαιστειακών βασαλτικών εκρήξεων, μεγάλες ποσότητες ηφαιστειακών αερίων και αερολυμάτων, εισέρχονται στην ατμόσφαιρα. Το μεγαλύτερο μέρος αυτών, παραμένει στη στρατόσφαιρα μόνο για μερικές ημέρες ή εβδομάδες έχοντας έτσι μικρή συμβολή στην αλλαγή του κλίματος.

Άλλα ηφαιστειακά αέρια, όπως το διοξείδιο του θείου μπορεί να προκαλέσει παγκόσμια ψύξη, ενώ το ηφαιστειακό διοξείδιο του άνθρακα, ένα από τα κυριότερα αέρια του θερμοκηπίου, μπορεί να συμβάλλει στην υπερθέρμανση του πλανήτη. Οι βασालτικές εκρήξεις, περιέχουν μεγάλες ποσότητες διοξειδίου του θείου, το οποίο μπορεί να προκαλέσει μακροχρόνιες περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Τα σωματίδια αποτελούν έναν πολύ σοβαρό κίνδυνο για την υγεία. Εισέρχονται στο ανθρώπινο σώμα, κυρίως μέσω του αναπνευστικού συστήματος και προκαλούν βλάβη στα αναπνευστικά όργανα.

Η εναπόθεση των σωματιδίων σε διάφορα μέρη του ανθρώπινου αναπνευστικού συστήματος εξαρτάται από το μέγεθος, το σχήμα και την πυκνότητα τους. Έχει εκτιμηθεί ότι 20- 60% των εισπνεόμενων σωματιδίων μεγέθους μεταξύ 0.01 και 2.5 μm διεισδύουν και αποθέτονται στους πνεύμονες (Wark et al., 1998).

Η επίδραση στον ανθρώπινο οργανισμό επηρεάζεται επίσης από την χημική σύσταση των σωματιδίων, την διάρκεια της έκθεσης και την ατομική ευαισθησία.

Επιδημιολογικές μελέτες έχουν δείξει ότι η νοσηρότητα και η θνησιμότητα συνδέονται στενά με τις συγκεντρώσεις των σωματιδίων στον αέρα. (π.χ., Dockery et al., 1993, Ostro et al., 2006, Goldberg et al., 2006, Theofanides et al., 2007), και ιδίως τα λεπτόκοκκα σωματίδια μπορεί να προκαλέσουν δυσμενείς επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία.

Σύμφωνα με τον **Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (WHO, 2006)** οι πιο σημαντικές βραχυχρόνιες και μακροχρόνιες επιπτώσεις της έκθεσης σε αιωρούμενα σωματίδια είναι:

Επιδράσεις που σχετίζονται με την βραχυχρόνια έκθεση:

- Φλεγμονή στους πνεύμονες
- Αναπνευστικά προβλήματα

- Δυσμενείς επιδράσεις στο καρδιαγγειακό σύστημα
- Αύξηση της χρήσης φαρμάκων
- Αύξηση των εισαγωγών σε νοσοκομείο
- Αύξηση της θνησιμότητας

Επιδράσεις που σχετίζονται με τη μακροχρόνια έκθεση:

- Αύξηση των συμπτωμάτων στο χαμηλό αναπνευστικό
- Μείωση της λειτουργίας των πνευμόνων στα παιδιά
- Αύξηση της χρόνιας αποφρακτικής πνευμονοπάθειας
- Μείωση της πνευμονικής λειτουργίας στους ενήλικες
- Μείωση του προσδόκιμου επιβίωσης, λόγω κυρίως της καρδιοπνευμονικής θνησιμότητας και πιθανώς του καρκίνου των πνευμόνων

2.4. Επιπτώσεις της τέφρας και των ηφαιστειακών αερίων στο κλίμα

Τα ηφαιστειακά αέρια έχουν μπορούν εκτός από τη σύνθεση της ατμόσφαιρας και της υδρόσφαιρας να επηρεάσουν και την αλλαγή του κλίματος της Γης. Κατά τη διάρκεια βασαλτικών ηφαιστειακών εκρήξεων, μεγάλες ποσότητες ηφαιστειακών αερίων και αερολυμάτων, εισέρχονται στην ατμόσφαιρα. Παραμένουν στη στρατόσφαιρα μόνο για μερικές ημέρες ή εβδομάδες έχοντας έτσι μικρή συμβολή στην αλλαγή του κλίματος.

Άλλα ηφαιστειακά αέρια, όπως το διοξείδιο του θείου μπορεί να προκαλέσει παγκόσμια ψύξη, ενώ το ηφαιστειακό διοξείδιο του άνθρακα, ένα από τα κυριότερα αέρια του θερμοκηπίου, μπορεί να συμβάλλει στην υπερθέρμανση του πλανήτη.

Οι βασαλτικές εκρήξεις, περιέχουν ποσότητες διοξειδίου του θείου αρκετά μεγάλες, και μπορεί να προκαλέσουν μακροχρόνιες περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Οι επιπτώσεις στο κλίμα από τις ηφαιστειακές εκπομπές, προέρχονται από τη μετατροπή του διοξειδίου του θείου σε θειικό οξύ (H_2SO_4), το οποίο, στην ατμόσφαιρα, συμπυκνώνεται γρήγορα και σχηματίζει θειικά αερολύματα με πολύ μικρής διαμέτρου αιωρούμενα σωματίδια.

Έτσι ώστε τα αερολύματα αυτά αυξάνουν την αντανάκλαση της ηλιακής ακτινοβολίας πίσω στο διάστημα, οδηγώντας έτσι στην μείωση της θερμοκρασίας στην κατώτερη ατμόσφαιρα, την τροπόσφαιρα.

Τον περασμένο αιώνα έχουν γίνει διάφορες εκρήξεις και έχουν προκαλέσει μια μείωση της μέσης θερμοκρασίας στην επιφάνεια της Γης μέχρι και μισό βαθμό (κλίμακα Fahrenheit) για περίοδο ενός έως τριών ετών (Bluth et al. 1997).

Η κλιμακούμενη έκρηξη του Όρους Πινατούμπο (Pinatubo) στις Φιλιππίνες, στις 15 Ιουνίου 1991, ήταν μία από τις μεγαλύτερες εκρήξεις του εικοστού αιώνα. Είκοσι εκατομμύρια τόνοι (μετρική κλίμακα) ενός νέφους από διοξείδιο του θείου εκλύθηκαν στη στρατόσφαιρα, σε υψόμετρο πάνω από 20 μίλια. Το νέφος διοξειδίου του θείου του Pinatubo ήταν το μεγαλύτερο νέφος διοξειδίου του θείου που παρατηρήθηκε ποτέ στη στρατόσφαιρα από την αρχή των δορυφορικών παρατηρήσεων του 1978.

Η έκρηξη του Pinatubo, θεωρείται ότι προκάλεσε τη μεγαλύτερη διατάραξη των στρατοσφαιρικών αερολυμάτων στον 20ο αιώνα, αν και πιθανώς μικρότερη από εκείνες που προκάλεσαν οι εκρήξεις στο Krakatau το 1883 και στο Tambora το 1815. Για σχεδόν τα επόμενα τρία χρόνια μετά από την έκρηξη, παρατηρήθηκε μείωση της μέσης θερμοκρασίας της επιφάνειας της Γης. Το θειικό αεροζόλ που απελευθερώθηκε από την ισχυρή έκρηξη του ηφαιστείου Tambora της Ινδονησίας, κατηγορήθηκε για το «**έτος χωρίς καλοκαίρι**» και προκάλεσε σε όλο τον κόσμο ακραίες καιρικές συνθήκες και μείωση των παγκόσμιων θερμοκρασιών κατά μέσο όρο περίπου $0,5^\circ C$ ($\sim 1,0^\circ F$).

Η έκλυση των προκλασικών υλικών που έγινε στην ατμόσφαιρα μπορεί να έχει παγκόσμιες καθώς και τοπικές συνέπειες. Όταν ο όγκος ενός ηφαιστειακού νέφους

είναι αρκετά μεγάλος, και το σύννεφο των πυροκλαστικών υλικών έχει εξαπλωθεί αρκετά μακριά από τον άνεμο, τότε μπορεί να μπλοκάρει το φως του ήλιου και να προκαλέσει προσωρινή ψύξη της επιφάνειας της Γης.

"Καθημερινά οι θερμοκρασίες ήταν σε πολλές περιπτώσεις ασυνήθιστα χαμηλές από τα τέλη της άνοιξης έως αρχές του φθινοπώρου. Συχνοί βορειοδυτικοί άνεμοι έφερναν το χιόνι και τον παγετό στη βόρεια Νέα Αγγλία και τον Καναδά και καταρρακτώδεις βροχές έπεφταν στη Δυτική Ευρώπη με αποτέλεσμα πολλές καλλιέργειες να μην καταφέρουν να ωριμάσουν ούτως ώστε οι κακές σοδειές να οδηγήσουν στην πείνα και οι ασθένειες και κοινωνική αγωνία ... "(Stothers 1984).

Το ηφαίστειο Laki της Ισλανδίας, με τις εκρήξεις το 1783 και 1784, απελευθέρωσε στην ατμόσφαιρα, ένα μεγάλο νέφος διοξειδίου του θείου (περίπου 120 εκατομμύρια τόνους, έναντι 20 εκατομμύρια τόνους που εκλύθηκαν από το Pinatubo). Σε όλες τις περιπτώσεις, το διοξείδιο του θείου που προστέθηκε στην ατμόσφαιρα από τις ηφαιστειακές εκπομπές, προκάλεσε περιφερειακή μείωση της θερμοκρασίας τόσο στην Ευρώπη, όσο και στη Βόρεια Αμερική για παρόμοιες χρονικές περιόδους.

Ωστόσο, η πλειοψηφία των ηφαιστειακών εκρήξεων έχουν περιορισμένη και τοπική δράση για το κλίμα και το περιβάλλον. Αυτό συμβαίνει επειδή:

α) το ποσό των αερίων που απελευθερώνεται είναι μικρό

β) η έκρηξη δεν διαρκεί αρκετό καιρό

γ) το σύννεφο της ηφαιστειακής έκρηξης δεν φθάνει αρκετά ψηλά ώστε τα συστατικά του να εισχωρήσουν στη στρατόσφαιρα.

2.4.1. Επιπτώσεις της ηφαιστειακής τέφρας και των αερίων στην οζονόσφαιρα

Το ηφαιστειακό υδροχλώριο είναι το αέριο εκείνο το οποίο ευθύνεται για την καταστροφή του όζοντος αν και το μεγαλύτερο ποσοστό του περιορίζεται στην τροπόσφαιρα, κάτω από τη στρατόσφαιρα, όπου και παρασύρεται από τη βροχή, χάνοντας την ευκαιρία να αντιδράσει με το όζον. Η επίδραση των ηφαιστειακών εκρήξεων στη μείωση της στοιβάδας του όζοντος είναι μάλλον έμμεση.



Εικόνα 14. Το ηφαιστειο Pinatubo, Φιλιππίνες

Πηγή:<https://el.wikipedia.org/wiki/%>

Ωστόσο, σύμφωνα με δεδομένα που πάρθηκαν από δορυφόρους έπειτα από τις εκρήξεις των ηφαιστειών Pinatubo στις Φιλιππίνες και Hudson στη Χιλή το 1991, το όζον στα μεγάλα ύψη μειώθηκε σε ποσοστό 15-20% ενώ η μείωση πάνω από την Ανταρκτική, έφτασε το 50%. Από το γεγονός αυτό μπορεί να εξάγουμε το συμπέρασμα ότι ναι μεν η ηφαιστειακή δραστηριότητα παίζει σημαντικό ρόλο στη μείωση του όζοντος όμως το υδροχλώριο δεν είναι ο κύριος υπεύθυνος για τη μείωση αυτή.

Τα ηφαιστειακά σωματίδια και τα αερολύματα λειτουργούν ως καταλύτες, παρέχοντας την απαραίτητη επιφάνεια πάνω στην οποία το όζον θα αντιδράσει με τους χλωροφθοράνθρακες. Ο χρόνος, ο οποίος τα σωματίδια παραμένουν στην ατμόσφαιρα είναι πιο σύντομος.

2.5. Επιπτώσεις σε περιβάλλον, οικονομία, κοινωνία

Ηφαιστειακή ζημιά από το 1900 έως το 2006

	Αριθμός συμβάντων	Άτομα που σκοτώθηκαν	Άτομα που έμειναν άστεγα	Σύνολο επηρεασμένων ατόμων	Ζημιά (εκατομμύρια δολάρια Η.Π.Α.)
Αφρική	15	2.213	180.710	500.353	9
Βόρεια και Νότια Αμερική	69	67.841	35.680	1.123.587	2.808
Ασία	80	21.456	97.900	2.668.287	697
Ευρώπη	11	783	14.000	26.224	44
Ωκεανία	20	3.665	46.000	248.422	400

Πίνακας 3. Ηφαιστειακή ζημιά από το 1900 έως το 2006

https://www.esa.int/SPECIALS/Eduspace_Disasters_GR/SEM8HHFTFQG_2.html

Οι ηφαιστειακές εκρήξεις έχουν τεράστιες επιπτώσεις σε όλους τους τομείς, όπως στο περιβάλλον, στην οικονομία και στην κοινωνία. Η σοβαρότητα των επιπτώσεων είναι άμεση συνάρτηση των τοπογραφικών παραγόντων, της εγγύτητας του πληθυσμού στο ηφαίστειο, του κατασκευαστικών σχεδίων των υποδομών καθώς και της έλλειψης συστήματος προειδοποίησης και εκκένωσης (WHO).

Οι επιπτώσεις μπορεί να είναι πρωτογενείς, δηλαδή να επηρεάζουν άμεσα τη γύρω περιοχή, αμέσως μόλις εκδηλωθεί η έκρηξη. Μπορεί όμως να είναι δευτερογενείς, οι οποίες επηρεάζουν μακροπρόθεσμα το περιβάλλον και τους ανθρώπους.

Οι κυριότερες επιπτώσεις οφείλονται στις ροές λάβες, την πυροκλαστική δραστηριότητα, τα δηλητηριώδη αέρια, τις λασποροές και τις εκρήξεις καλδέρων.

Μετά από μια ηφαιστειακή έκρηξη μπορεί να εκδηλωθούν πυρκαγιές, πτώσεις βράχων, ακόμη και πλημμύρες, ενώ συνήθως πριν τις εκρήξεις παρατηρείται σεισμική δραστηριότητα. Ως αποτέλεσμα, σε αυτές τις περιπτώσεις προκαλούνται και επιπρόσθετες συνέπειες από άλλες φυσικές καταστροφές (Λέκκας., 2015).

Ενώ οι αρνητικές επιπτώσεις των ηφαιστειών είναι πολύ σοβαρές, υπάρχουν επίσης μερικά πολύ θετικά αποτελέσματα. Το βασικότερο είναι ότι η λάβα και η τέφρα είναι πλούσιες σε θρεπτικά συστατικά. Οπότε όταν φτάσουν στο έδαφος αυξάνουν τη γονιμότητά του.

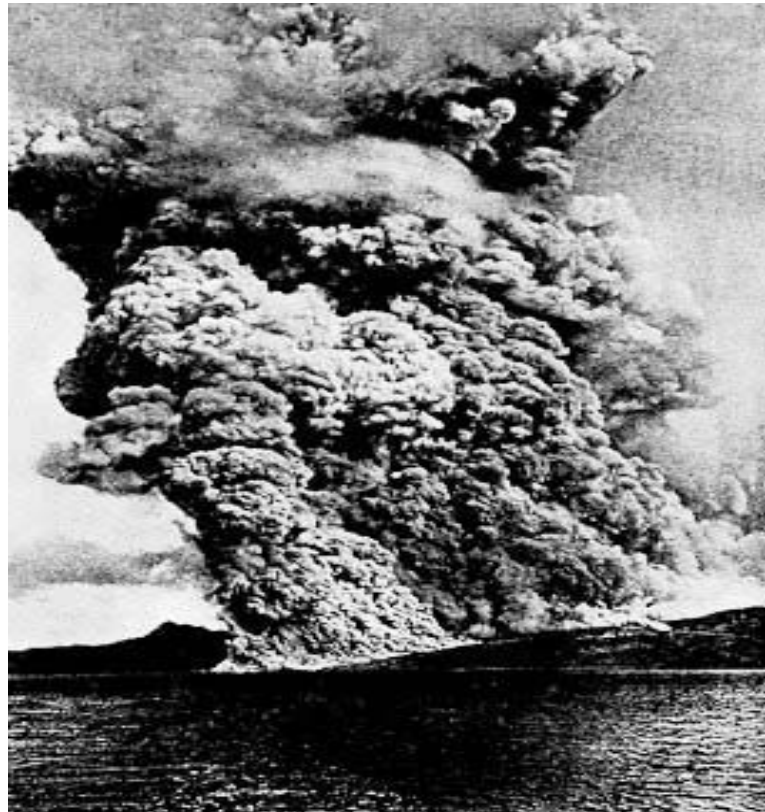
Τα ηφαίστεια είναι επίσης καλές πηγές γεωθερμικής ενέργειας, με την προϋπόθεση βέβαια να έχει κατασκευαστεί η απαραίτητη δομή, ώστε να συλλέξει την ενέργεια. Τέλος, τα ηφαίστεια διαμορφώνουν αξιόλογα τοπία που προσελκύουν τουρισμό. Βέβαια, αυτό το πλεονέκτημα μπορεί να αξιοποιηθεί εφόσον έχει παρέλθει η πλήρης αποκατάσταση.

Η τέφρα και τα σωματίδια των αερολυμάτων που αιωρούνται στο ατμοσφαιρικό φως απορροφούν μήκη κύματος στο ερυθρό και συχνά καταλήγουν σε λαμπρά χρωματισμένα ηλιοβασιλέματα και ανατολές σε όλο τον κόσμο (BBC, BritishBroadcastingCorporation).

2.5.1. Επιπτώσεις στον άνθρωπο

Η πιο τραγική από όλες τις αρνητικές επιπτώσεις των ηφαιστειακών εκρήξεων είναι η απώλεια της ανθρώπινης ζωής. Οι ηφαιστειακές εκρήξεις έχουν σαν αποτέλεσμα σχετικά μικρή θνησιμότητα και μετατόπιση. Στα ιστορικά αρχεία έχουν καταγραφεί περίπου 274.443 θάνατοι λόγω των εκρήξεων, με κατ' εκτίμηση 98.386 θάνατοι και 5,6 εκατομμύρια άνθρωποι να επηρεάζονται τον 20ο αιώνα.

Το 1902 η έκρηξη του όρους Pelee στη Μαρτινίκα είχε ως αποτέλεσμα 30.000 θανάτους, ο οποίος είναι και ο μεγαλύτερος αριθμός θανάτων σε όλες τις ηφαιστειακές εκρήξεις του 20ου αιώνα.



Εικόνα 15. Η έκρηξη του όρους Pelle, Μαρτινίκα, 30.000 θάνατοι.

Πηγή: <http://www.explorevolcanoes.com/Martinique-caribbean-volcano.html>

Η γρήγορη κίνηση λάβας μπορεί να σκοτώσει ανθρώπους που δεν προλαβαίνουν να απομακρυνθούν, όμως σε εκρήξεις ηφαιστειών που η λάβα είναι πιο παχύρρευστη και κινείται πιο αργά, δεν δημιουργεί άμεσο κίνδυνο για αυτούς.

Η διαδρομή της λάβας είναι συνήθως προβλέψιμη, και σε συνδυασμό με την αργή κίνησή της δίνει αρκετό χρόνο στους ανθρώπους να εκκενώσουν την περιοχή. Ήντίθετα, η πτώση τέφρας μπορεί να δημιουργήσει μακροχρόνια προβλήματα.

Η τέφρα πνίγει σιγά-σιγά τους ανθρώπους, κάνοντας την αναπνοή σχεδόν αδύνατη ή επιβαρύνει τα υπάρχοντα αναπνευστικά προβλήματα. Κατά την εισπνοή, τα σωματίδια εναποτίθενται στις διόδους αέρα και σε κύτταρα του πνεύμονα (WHO).

Η ηφαιστειακή τέφρα είναι επικίνδυνη και λόγω της υψηλής περιεκτικότητάς της σε τοξικές χημικές ουσίες και δηλητηριώδη αέρια με την εισπνοή της μπορεί να δημιουργήσει βραχυπρόθεσμα αναπνευστικά προβλήματα όπως η καταρροή, ο πονόλαιμος, ο βήχας, η δύσπνοια και η δυνατή βρογχίτιδα.

Τα αέρια που προκαλούν αναπνευστικά προβλήματα είναι τα υδραλογόνα και το H₂S. Πιο συγκεκριμένα το H₂S γίνεται άοσμο και πολύ τοξικό, προκαλώντας ερεθισμό του ανώτερου αναπνευστικού συστήματος και πνευμονικό οίδημα κατά τη διάρκεια μακράς έκθεσης. Για παράδειγμα η έκθεση σε 500ppm μπορεί να προκαλέσει αναισθησία σε 5 λεπτά και θάνατο σε λιγότερο από μία ώρα (USGS).

Ένα μακροπρόθεσμο αποτέλεσμα της εισπνοής ηφαιστειακής τέφρας είναι η πυριτίαση. Πρόκειται για μια ασθένεια που προκαλεί βλάβη των πνευμόνων και ουλές έπειτα από την έκθεση σε σωματίδια ελεύθερου κρυσταλλικού πυριτίου. Στα ορυκτά που σχετίζονται με την πυριτίαση περιλαμβάνονται ο χαλαζίας, ο χριστοβαλίτης και ο τριδυμίτης, που δυνητικά είναι όλα παρόντα στην ηφαιστειακή τέφρα (Williams G., 2012).

Άλλες επιπτώσεις είναι ο ερεθισμός του δέρματος και τα προβλήματα στην όραση. Τα βραχυπρόθεσμα προβλήματα που προκαλούνται στον οφθαλμό είναι η εμφάνιση κνησμού και κοκκίνισματος, οι εκδορές στον κερατοειδή χιτώνα και οι γρατσουιές.

Επιπρόσθετα, μπορεί να οδηγήσει σε επιπεφυκίτιδα και σε θραύσεις. Λόγω της κατανάλωσης μολυσμένου νερού και τροφίμων μπορεί να προκληθούν και γαστρεντερικά προβλήματα (WHO).

Η επαφή με την καυτή λάβα μπορεί να προκαλέσει εγκαύματα και τραύματα. Βέβαια τα τελευταία μπορεί και να προκληθούν και από άλλα γεγονότα όπως η κατάρρευση κτιρίων ή ακόμη και από τον συνωστισμό.

Εκτός από τη λάβα και την τέφρα, μια άλλη αιτία του θανάτου είναι η πυροκλαστική ροή, η οποία είναι ένας συνδυασμός του θερμού αερίου και της τέφρας. Οι πυροκλαστικές ροές απελευθερώνονται πάρα πολύ γρήγορα και είναι τόσο θερμές που σκοτώνουν τους ανθρώπους και τα ζώα αμέσως. Ο θάνατος οφείλεται σε σοκ που προκαλείται από τη θερμότητα, σε ασφυξία λόγω παρεμπόδισης της λειτουργίας των αεραγωγών, τον θερμικό τραυματισμό των πνευμόνων και τα βαθιά εγκαύματα.

Εκτός από τις άμεσες επιπτώσεις που έχουν τα ηφαιστειακά προϊόντα στην υγεία του ανθρώπου, ο θάνατος μπορεί να επέλθει είτε έμμεσα είτε μετά από αρκετό καιρό. Σε αυτές συγκαταλέγονται ο μαζικός υποσιτισμός και η λειψυδρία που είναι πιθανό να σημειωθούν λόγω καταστροφής των καλλιεργειών και των συστημάτων παροχής νερού.

Ακόμη και στην περίπτωση που υπάρχουν τρόφιμα και νερό μπορεί αυτά να έχουν μολυνθεί από τις τοξικές ουσίες της τέφρας και να συσσωρευτούν τελικά στον ανθρώπινο οργανισμό. Απορούν επίσης οι άνθρωποι να πεθάνουν από τις πυρκαγιές και τους σεισμούς που μπορεί να σχετίζονται με τα ηφαιστεια (Hansell A. etal., 2006).

Τέλος, άλλες πιθανές επιπτώσεις μπορεί να οφείλονται σε επιδημικές ασθένειες που εμφανίζονται σε χώρες όπως η Ιρλανδία και το Ηνωμένο Βασίλειο. Ίσως επηρεάζονται από την ψύξη κατά το καλοκαίρι και την άνοδο της θερμοκρασίας κατά τον χειμώνα.

Υπάρχουν και κάποιες ομάδες ανθρώπων που βιώνουν τις επιπτώσεις των ηφαιστειών ακόμη και όταν δεν εκδηλώνονται εκρήξεις, λόγω της φύσης της εργασίας τους. Σε αυτούς συγκαταλέγονται οι γεωλόγοι, όσοι καταγράφουν την ηφαιστειακή 47 δραστηριότητα καθώς και οι εργαζόμενοι σε γεωθερμικές μονάδες.

Επιπλέον, οι εργαζόμενοι στον τομέα των κατασκευών, των λατομείων, της γεωργίας και των συναφών κλάδων μπορεί να εκτεθούν σε νέες ή παλαιότερες εναποθέσεις της ηφαιστειακής τέφρας και να εμφανίσουν αυξημένο κίνδυνο ή ακόμα αμιάντωση και μεσοθηλίωμα ανάλογα με τη σύνθεση της στάχτης (Hansell A. etal., 2006).

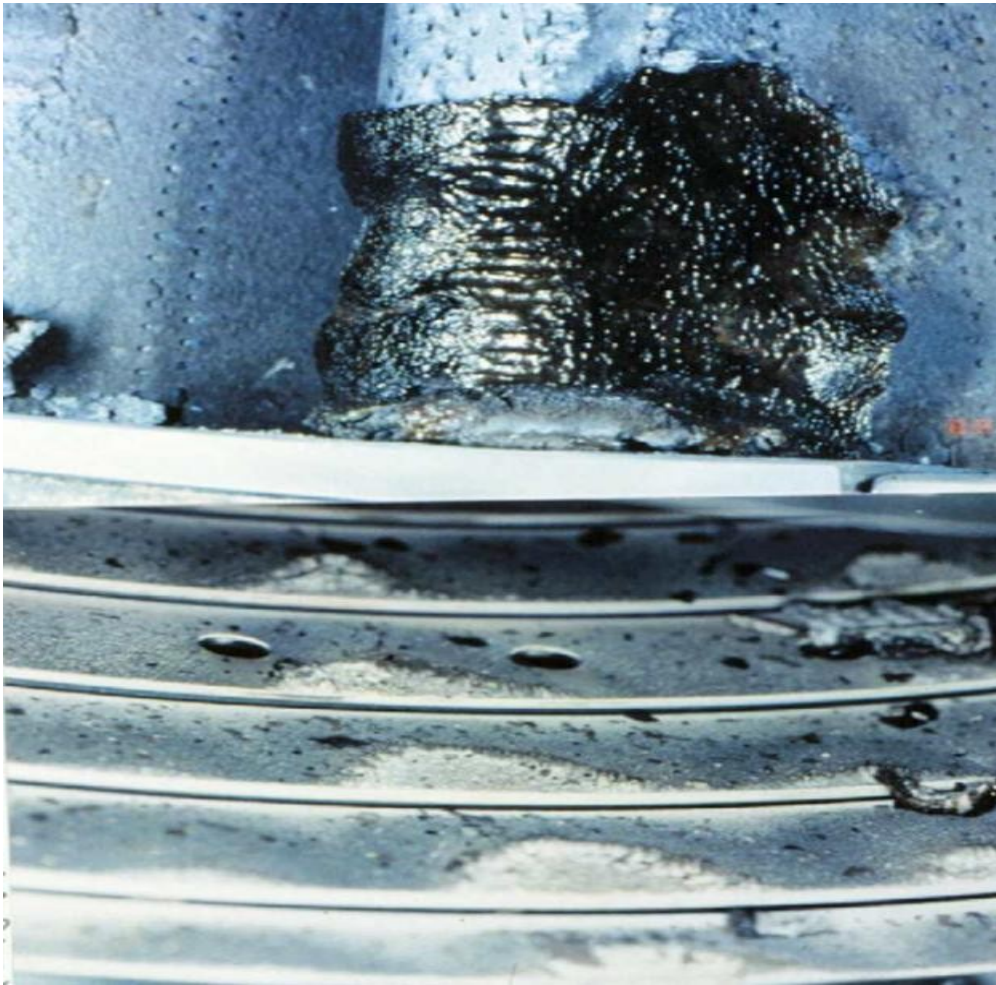
2.5.2. Επιπτώσεις στην οικονομία και τη βιομηχανία

Αδιαμφισβήτητο είναι και το γεγονός ότι η πτώση λάβας και τέφρας προκαλεί απώλειες και σε υλικά αγαθά. Κτίρια σκεπάζονται από στρώματα λάβας και τέφρας και λόγω τους βάρους των τελευταίων, καταρρέουν.

Η πτώση κτιρίων είναι δυνατό να τραυματίσει τους ανθρώπους. Η λάβα στο πέρασμα της παρασύρει και καταστρέφει κοντινές δομές.

Η τέφρα δύναται να καταστρέψει και κτίρια τα οποία απέχουν κάποια απόσταση από το σημείο έκρηξης, μιας και μεταφέρεται μέσω του αέρα. Επιπρόσθετα παρατηρείται απώλεια της δημόσιας και ιδιωτικής περιουσίας, αφού καταστρέφεται το οδικό σύστημα και το δημόσιο, αλλά καταστρέφονται και οι οικίες και τα χωράφια των ανθρώπων.

Σε περιπτώσεις ηφαιστειακών εκρήξεων, είναι τεράστιες οι επιπτώσεις στις αερομεταφορές λόγω του γεγονότος ότι οι μεγάλες ποσότητες τέφρας δεν επιτρέπουν την πραγματοποίηση πτήσεων .



Εικόνα 16. Αποθέσεις στάχτης πάνω σε μηχανή αεροσκάφους που πέρασε από το σύννεφο τέφρας που προκλήθηκε από το ηφαίστειο Redoubt στις 15/12/1989

Πηγή: USGS/1989 <https://volcanoes.usgs.gov/vhp/tephra.html>

Επίσης, η τέφρα καταστρέφει το δίκτυο τηλεπικοινωνιών με τους ακόλουθους τρόπους: i) εξασθένηση και μείωση της ισχύος του σήματος ii) ανεπανόρθωτη ζημιά στον εξοπλισμό και iii) με την υπερφόρτωση του δικτύου μέσω ζήτησης των χρηστών (Nutt S.R.; Williams E., 2010).

Σε την καταστροφή των δικτύων μεταφοράς πλήγεται και το διεθνές εμπόριο, μιας και παρεμποδίζεται η εισαγωγή και η εξαγωγή αγαθών μέχρι την αποκατάσταση. Αυτό παράλληλα προκαλεί πλήγμα και στον κλάδο της βιομηχανίας και είναι η πιο τραγική οικονομική επίπτωση για τις χώρες που βασίζουν την οικονομία τους αποκλειστικά στο εμπόριο.

Εκτός του γεγονότος ότι μπορούν να καταστραφούν ολόκληρες βιομηχανικές εγκαταστάσεις, στις περισσότερες περιπτώσεις παρεμποδίζονται και οι εξαγωγές. Βραχυπρόθεσμα αλλά και μακροπρόθεσμα οι ηφαιστειακές εκρήξεις επηρεάζουν τη γεωργία και 48 την κτηνοτροφία, μιας και μολύνουν το περιβάλλον με τοξικές ουσίες καθιστώντας το έτσι ακατάλληλο.

Επίσης ολόκληρες καλλιέργειες θάβονται κάτω από στρώματα τέφρας, ενώ πολλά ζώα πεθαίνουν στις πυρκαγιές και από την εισπνοή σκόνης που είναι πλούσια σε πυρίτιο. Ως αποτέλεσμα οι βιομηχανίες τροφίμων καταρρέουν (United States International Trade Commission).



Εικόνα 17. Ντάιμοντ Χεντ, Χαβάη, Στον καταπράσινο αυτό κρατήρα δεν έχει πρόσβαση το κοινό, ωστόσο συνιστά ένα από τους δημοφιλέστερους τουριστικούς προορισμούς.

Πηγή: <https://www.worldatlas.com/articles/is-diamond-head-a-volcano.html>

Εκτός από τις άμεσες συνέπειες οι ηφαιστειακές εκρήξεις μπορούν να δράσουν αρνητικά και έμμεσα, εξαιτίας της μείωσης του τουρισμού. αν και πολλές φορές τα ηφαίστεια προσελκύουν τουρίστες, οι πόλεις που έχουν πληγεί από μια ηφαιστειακή έκρηξη παρουσιάζουν μειωμένη τουριστική δραστηριότητα λόγω του φόβου ότι μπορεί να ξαναεκδηλωθεί.

Κεφάλαιο 4.

Μέτρα Μετριασμού των Επιπτώσεων - Συμπεράσματα

2.6. Προκαταρκτική αξιολόγηση κινδύνων

Οι παράγοντες εκείνοι, οι οποίοι επηρεάζουν την κατανομή του κινδύνου που μπορεί να προκληθεί από ένα αέριο και που κάνουν πιο περίπλοκη την αξιολόγηση του σχετικού κινδύνου, μπορεί να είναι πολλοί. Μεταξύ αυτών των παραγόντων, μπορούμε να θεωρήσουμε:

A) τη ροή του αερίου

B) τη θερμοκρασία των εκπομπών του αερίου

Γ) την τοπική τοπογραφία της κάθε περιοχής

Δ) την πληθυσμιακή πυκνότητα (Robertsetal 2011).

Σύμφωνα με τα στοιχεία μελέτης του 2013, των WalterD'Alessandro και Κωνσταντίνου Κυριακόπουλου οι προκαταρκτικές εκτιμήσεις κινδύνων για τα αέρια που εκλύονται στον ελλαδικό χώρο, θα πρέπει να περιορισθούν στο διοξείδιο του άνθρακα. Περιοχές αυξημένης επικινδυνότητας λόγω υψηλών εκλύσεων διοξειδίου του άνθρακα είναι ευρέως διαδεδομένες στην Ελλάδα.

Όλα τα ηφαιστειακά συστήματα κατά μήκος του ηφαιστειακού τόξου του Νοτίου Αιγαίου, το ανατολικό τμήμα της λεκάνης του Σπερχειού, οι περιοχές των ρηγμάτων στο βόρειο Ευβοϊκό Κόλπο, πολλές περιοχές κατά μήκος της βόρειας Ελλάδα (λεκάνη Αριδαίας, δυτική Χαλκιδική, λεκάνη Στρυμόνα, λεκάνη του Δέλτα του Νέστου) και το νησί της Λέσβου μπορεί επίσης να θεωρηθεί ότι έχουν αυξημένο κίνδυνο λόγω της εκτεταμένης εκπομπής αερίων.

2.7. Μέθοδοι πρόβλεψης

Αρκετές φορές υπάρχουν ποικίλες ενδείξεις ότι πρόκειται να σημειωθεί μια ηφαιστειακή έκρηξη. Λόγω της εκροής του μάγματος δημιουργείτε αλλαγή της πίεσης στο εσωτερικό της γης με αποτέλεσμα τη δημιουργία του ηφαιστειακού σεισμού. Το σήμα τέτοιων σεισμών ονομάζεται ηφαιστειογενής δόνηση.

Είναι πολύ πιθανό λοιπόν να σημειωθεί αυξημένη σεισμική δραστηριότητα προκαλώντας παραμορφώσεις και σχισμές στο έδαφος πλησίον του ηφαιστείου καθώς και ζημιές σε κατασκευές. (Λέκκας 2015).

Σχετικά με τις παραμορφώσεις του εδάφους, παρατηρούνται διογκώσεις στον κώνο και αλλαγή στην κλίση. Επιπρόσθετα στις θερμές πηγές και στις ατμίδες αυξάνεται η θερμοκρασία και η απελευθέρωση αερίων. Σε περιοχές που το ηφαίστειο καλύπτεται από πάγο αυτός λιώνει, ενώ στις παρυφές του ηφαιστείου η βλάστηση καταστρέφεται. Σε κάποιες περιπτώσεις παρατηρείται και μεταβολή της χημικής σύστασης των αερίων που απελευθερώνονται (Parfitt E., Wilson L., 2008).

Σήμερα υπάρχουν αρκετά προγράμματα παρακολούθησης και πρόβλεψης της ηφαιστειακής δραστηριότητας, που όμως δεν εφαρμόζονται ευρέως εξαιτίας του υψηλού κόστους τους. Λόγω της ανάπτυξης της επιστήμης και της τεχνολογίας είναι αρκετά ευαίσθητα και ακριβή. Όλα αφορούν στις πρώιμες ενδείξεις της έκρηξης. Σήμερα ηφαίστεια όπως το MountStHelens στις Η.Π.Α. και η Ιτνα στην Ιταλία καταγράφονται εντατικά επειδή είναι ενεργά 59 αλλά και λόγω του γεγονότος ότι γύρω από αυτά είναι χτισμένες πόλεις.

Αρκετές φορές βέβαια οι προβλέψεις είναι λανθασμένες. Επιπλέον, υπάρχουν και οι περιπτώσεις που οι ενδείξεις μιας επικείμενης έκρηξης εκδηλώνονται αρκετό καιρό πριν από την πραγματική (Parfitt E., Wilson L., 2008). Για την καταγραφή της σεισμικής δραστηριότητας χρησιμοποιούνται σειсмоγράφοι.

Παρατηρώντας αρκετά σεισμόμετρα μόνιμα γύρω από τον ηφαιστειακό κώνο καταγράφεται ένα πρότυπο παρακολούθησης τόσο του δυναμικού όσο και της έναρξης της ηφαιστειακής δραστηριότητας.

Καθώς αυξάνεται η δραστηριότητα αυξάνεται ανάλογα και η θερμοκρασία. Οι θερμικές αυτές ανωμαλίες μπορούν να ανιχνευθούν στο έδαφος, στις θερμές πηγές, στον κρατήρα και στις φουμαρόλες όπου οι θερμοκρασίες των αερίων αυξάνονται.

Για τεχνική θερμικής απεικόνισης είναι μέσω παρατηρήσεων από δορυφόρους και υπέρυθρων τηλεσκοπίων. Η διαρκής παρακολούθηση των εκπομπών αερίων καθώς και της σύστασης τους αποτελεί ένα χρήσιμο μέσο για την πρόβλεψη μιας πιθανής ηφαιστειακής έκρηξης. Είναι αξιοσημείωτο ότι οι εκπομπές θείου αυξάνονται όσο πλησιάζει η στιγμή της έκρηξης. Εκτός όμως από το θείο αυξάνονται και τα υπόλοιπα αέρια.

Απορεί να γίνει άμεση μέτρηση αν και είναι ιδιαίτερα επικίνδυνο για τους επιστήμονες. Από απόσταση είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν φασματογράφοι συσχέτισης και υπέρυθρου ώστε να καταγραφούν τα ποσοστά διοξειδίου του θείου και του άνθρακα, αντίστοιχα. Σε μεγαλύτερη απόσταση μπορεί να γίνει καταγραφή του όζοντος φασματομετρικά με τη βοήθεια δορυφόρων (Ηφαιστειολογία – Κυριακόπουλος, 2014).

Επιπρόσθετο σημαντικό μέτρο πρόβλεψης μιας ηφαιστειακής έκρηξης είναι η παρατήρηση των εδαφικών παραμορφώσεων. Πρόκειται για ακριβή αλλά αρκετά δαπανηρά συστήματα, τα οποία καταγράφουν τις αλλαγές στην κλίση του εδάφους και στη στάθμη των θαλασσών ή των λιμνών που βρίσκονται κοντά στο ηφαίστειο. Συχνά χρησιμοποιούνται συστήματα εντοπισμού θέσης – GlobalPositioningSystems (GPS) – που καταγράφουν τις οριζόντιες και κάθετες κινήσεις του εδάφους ή ραντάρ που δίνουν εικόνα με τη βοήθεια δορυφόρου σε διαφορετικά χρονικά διαστήματα (Λέκκας 2015).

Να σημειωθεί ότι στην περίπτωση που το ηφαίστειο βρίσκεται κοντά σε υδάτινο 60 περιβάλλον ή μέσα σε αυτό, τότε είναι επιθυμητή η μέτρηση και της τιμής του pH που μειώνεται λόγω διάλυσης όξινων αερίων, αλλά και των αλλαγών στην αναλογία των ιόντων του ύδατος. Δευτερευόντως μπορεί να μετρηθούν οι μαγνητικές, βαρυτικές και ηλεκτρικές ιδιότητες των πετρωμάτων καθώς μεταβάλλονται με την αύξηση της θερμοκρασίας (Ηφαιστειολογία – Κυριακόπουλος, 2014).

2.8. Διαχείριση της ηφαιστειακής έκρηξης

Η καταγραφή των πρόδρομων φαινομένων αποτελεί μια δράση πρόβλεψης της επικείμενης καταστροφής, εκείνο όμως που πραγματικά χαρακτηρίζει μια χώρα ως προς το αν είναι αποτελεσματική είναι η διαχείριση της καταστροφής και τα μέτρα που λαμβάνονται κάθε φορά για τη μείωση των επιπτώσεων. Τα μέτρα πρέπει να λαμβάνονται τόσο σε συλλογικό όσο και σε ατομικό επίπεδο.

Η διαδικασία της διαχείρισης περιλαμβάνει τρεις φάσεις. Σε πρώτη φάση κρίνεται σκόπιμο να μειωθεί ο κίνδυνος με ενημέρωση του κοινού, σχέδια εκκένωσης και χαρτογράφηση των ζωνών επικινδυνότητας. Τέτοιου είδους κινητοποίηση παρατηρείται περίπου 15 ημέρες πριν την εκδήλωση της ηφαιστειακής δραστηριότητας.

Η δεύτερη φάση περιλαμβάνει την ετοιμότητα με παρακολούθηση της ηφαιστειακής δραστηριότητας και οριοθέτηση των ζωνών και χρονικά εμπίπτει στο διάστημα 2-5 ημέρες πριν από την έκρηξη. Στην τρίτη φάση διαχειρίζονται οι επιδράσεις των εκρήξεων με εκκένωση, κινητοποίηση των υπηρεσιών έκτακτης ανάγκης, ιατρική περίθαλψη και συνεχή ενημέρωση του κοινού.

Η φάση αυτή είναι μια ημέρα πριν την έκρηξη. Μετά το πέρας της καταστροφής ακολουθεί η αξιολόγηση των ζημιών και η τελική αποκατάσταση.

4.1 Μέτρα πριν και μετά την έκρηξη

Το βασικότερο και σημαντικότερο από όλα κρίνεται η κατασκευή ενός σχεδίου έκτακτης ανάγκης στο οποίο θα απεικονίζονται οι ζώνες επικινδυνότητας. Πιο συγκεκριμένα κατασκευάζεται ένας χάρτης με τις ζώνες κινδύνου γύρω από το ηφαίστειο, οι οποίες ενδέχεται να επηρεαστούν από ένα ή περισσότερα καταστροφικά φαινόμενα κατά τη διάρκεια μιας έκρηξης και δίνονται με διάφορα χρώματα ανάλογα με την επικινδυνότητα.

Η περιοχή που εκτίθεται σε κάθε είδος κινδύνου υποδιαιρείται σε δύο ή τρεις υποζώνες που αντιστοιχούν σε εκρήξεις διαφορετικών μεγεθών. Επίσης, στους

χάρτες των περιοχών κινδύνου σημαίνονται και οι περιοχές που επλήγησαν κατά τη διάρκεια της προηγούμενης έκρηξης με πλήρες ιστορικό και γεωλογικά στοιχεία. Αξίζει να σημειωθεί ότι αυτοί οι χάρτες επικινδυνότητας βασίζονται σε καθαρά γεωλογικά δεδομένα, σε στοιχεία από προηγούμενα συμβάντα, σε τοπογραφικά στοιχεία και σε πιθανά μοντέλα διασποράς των ηφαιστειακών προϊόντων, στα οποία συμπεριλαμβάνονται και μετεωρολογικές παράμετροι.

Για πρακτικούς σκοπούς, π.χ. σχέδια εκκένωσης, οι τοπικές αρχές που είναι αρμόδιες για τη διαχείριση καταστάσεων έκτακτης ανάγκης μπορεί να επεκτείνουν τα όρια ορισμένων ζωνών, προκειμένου να ληφθούν υπόψη οι διαθέσιμοι οδοί διαφυγής, τα όρια των οικισμών, κ.λπ. (UNDRO).

Ο προγραμματισμός της εκκένωσης είναι αρκετά απαιτητικός και χρονοβόρος. Αν και τις περισσότερες φορές οι περιοχές εκκενώνονται πριν εκδηλωθούν τα φαινόμενα, στο σχέδιο θα πρέπει να ληφθεί υπόψη και το γεγονός της αιφνίδιας εκδήλωση της ηφαιστειακής έκρηξης.

Αρχικά θα πρέπει να πραγματοποιηθεί μια απογραφή του πληθυσμού που θα αφορά τουλάχιστον στις ζώνες κινδύνου και να ενημερώνεται ανά τακτά χρονικά διαστήματα. Συστήνεται η ενημέρωση να πραγματοποιείται τουλάχιστον μία φορά κάθε πέντε χρόνια ή όποτε υπάρχουν ενδείξεις μη φυσιολογικής ηφαιστειακής δραστηριότητας.

Αυτή η απογραφή θα περιλαμβάνει όχι μόνο τα άτομα που διαμένουν μόνιμα στις ζώνες αλλά και εκείνα που εισέρχονται σε καθημερινή βάση, όπως είναι για παράδειγμα οι εργαζόμενοι.

Καλό θα είναι στην απογραφή να συμπεριληφθεί και το ζωικό κεφάλαιο που υπάρχει σε κάθε ζώνη, έτσι ώστε να διευθετηθεί η απομάκρυνσή τους (Office for the Coordination of Humanitarian Affairs, OCHA).

Ιδιαίτερη προσοχή θα πρέπει να δοθεί στη σημείωση περιουσιών ή εγκαταστάσεων στις ζώνες κινδύνου, των οποίων η απώλεια ή η καταστροφή θα έχει άμεσες επιπτώσεις και εκτός των ζωνών αυτών, π.χ., σταθμούς παραγωγής

ηλεκτρικής ενέργειας, ραδιοπομπούς, τηλεφωνικά κέντρα, ύδρευση, εργοστάσια (WHO).

Στο σχέδιο εκκένωσης θα πρέπει να περιλαμβάνονται και τα σημεία συγκέντρωσης και παραλαβής των πολιτών ώστε τελικά να μεταφερθούν σε ασφαλές μέρος. Το σχέδιο αυτό καθορίζει και τις υπόλοιπες ρυθμίσεις για τη μεταφορά των εκτοπισμένων σε ασφαλές καταφύγιο, όπως για παράδειγμα τον αριθμό των ατόμων που θα υποδεχθεί καθένα από αυτά.

Για τα σημεία προσέλευσης θα πρέπει να έχουν κατασκευαστεί καλές εγκαταστάσεις για τηλέφωνο ή ραδιόφωνο ώστε να υπάρχει επικοινωνία μεταξύ των πολιτών. Συνήθως διαθέτουν μόνο ελάχιστες εγκαταστάσεις για τη στέγαση και τη σίτιση των εκτοπισμένων και επιλέγονται γιατί είναι προσβάσιμες, βρίσκονται έξω από τη ζώνη κινδύνου και μπορούν να υποδεχθούν μεγάλο αριθμό ατόμων. Κατάλληλα για τέτοια χρήση είναι συχνά σχολεία, κοινοτικά κέντρα, αποθήκες ή άλλα μεγάλα κτίρια.

Σε ηφαιστειακές εκρήξεις, οι σκηνές δεν είναι κατάλληλες ως προσωρινό καταφύγιο, ειδικά αν βρίσκονται κοντά σε ζώνες υψηλής επικινδυνότητας, επειδή μπορεί εύκολα να καταστραφούν από την πτώση κομματιών στάχτης ή λάβας. Για αυτό θα πρέπει να αποφεύγονται είτε ατομικά είτε συλλογικά (UNDRO). Ακόμη, περιλαμβάνεται και ο λεπτομερής σχεδιασμός των μεταφορών εκκένωσης είτε πρόκειται για σταδιακή εκκένωση είτε για άμεση.

Σε μια σταδιακή εκκένωση, όταν υπάρχει αρκετός χρόνος μεταξύ της έναρξης της καταστροφικής έκρηξης και της επίσημης ανακοίνωσης για εκκένωση, μπορεί κανείς να υποθέσει ότι κάθε οικογένεια διαθέτει το δικό της όχημα ή μέσο μεταφοράς και θα φροντίσει τους εαυτούς της και τυχόν γείτονες για τους οποίους διαθέτει χώρο και έχει γίνει συγκεκριμένη δέσμευση.

Σε περίπτωση απροσδόκητα ταχείας κλιμάκωσης της καταστροφικής δραστηριότητας, οι μεταφορές γίνονται όλο και πιο δύσκολο να ελεγχθούν, κυρίως λόγω της προσπάθειας των ανθρώπων να αγωνίζονται για το πλησιέστερο διαθέσιμο φορητό ή λεωφορείο μεταφοράς. Στην περίπτωση άμεσης εκκένωσης, είναι

απαραίτητο εκ των προτέρων να διαπιστωθεί πόσοι άνθρωποι έχουν ιδιωτικά οχήματα ή/και σκάφη και να οριστούν τα δρομολόγια που θα ακολουθήσουν.

Επιπρόσθετα, πρέπει να περιλαμβάνει τον αριθμό και τις θέσεις των ανθρώπων που χρειάζονται δημόσιες μεταφορές και να οριστούν σημεία συγκέντρωσης για τα μέσα μαζικής μεταφοράς. Τέλος, για τον σχεδιασμό των μεταφορών οι αρχές, πρέπει να προβούν σε απογραφή των διαθέσιμων δημόσιων μεταφορικών μέσων και οδηγών και να αποδώσουν τα σημεία παραλαβής σε κάθε έναν από αυτούς, όπως επίσης και να προχωρήσουν και σε ρυθμίσεις που αφορούν στην επίταξη των ιδιωτικών φορτηγών και λεωφορείων με σκοπό να συνδράμουν στην εκκένωση (UNDRO).

Στα παραπάνω πρέπει να προστεθεί και το γεγονός ότι η κίνηση της κυκλοφορίας κατά μήκος των οδών διαφυγής από αστικές περιοχές μπορεί να γίνει αδύνατη λόγω του μεγάλου αριθμού των ατόμων που εγκαταλείπουν με τα πόδια. Σε τέτοιες περιπτώσεις καλό είναι να υπάρχει ένα εναλλακτικό σχέδιο το οποίο θα ακολουθηθεί στην έσχατη περίπτωση και θα επιτρέπει σε οποιαδήποτε οχήματα να επιστρέφουν στη ζώνη κινδύνου και να συλλέγουν πεζούς.

Για την καλύτερη και πιο γρήγορη ροή διάφορα σημεία καμπής κατά μήκος της οδού διαφυγής πρέπει να βρίσκονται υπό τον έλεγχο ατόμων της αστυνομίας ή της πολιτικής άμυνας. Όσον αφορά στα κτίρια σε περιοχές που είναι πιθανό να επηρεαστούν από ηφαιστειακή έκρηξη, η μόνη προφύλαξη που μπορεί να ληφθεί είναι η κατασκευή από ανθεκτικά υλικά ή τουλάχιστον να υπάρξει ενίσχυση των ορόφων ώστε να αποφευχθεί η κατάρρευση.

Προληπτικό μέτρο για τη μείωση του κινδύνου πρόκλησης ζημιών στο σύστημα παροχής νερού είναι η κάλυψη του εξοπλισμού και των αντλιών ώστε να μην εισχωρήσει η τέφρα και αργότερα να μπορέσει να απομακρυνθεί πιο εύκολα και γρήγορα. Ανάλογα μπορούν να καλυφθούν και οι σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Προαιρετικά συνίσταται και η κατασκευή φραγμάτων για την εκτροπή των ροών λάβας σε σημεία όχι τόσο επικίνδυνα και ενός συστήματος ψύξης ώστε μόλις έλθει σε επαφή η λάβα με το νερό να ψύχεται και να μη ρέει πλέον (CDC).

Πριν από την έκρηξη κάθε πολίτης θα πρέπει να είναι προετοιμασμένος για όλα τα ενδεχόμενα φαινόμενα που τη συνοδεύουν. Σύμφωνα με το τοπικό σχέδιο εκκένωσης υπάρχει και ένα οικογενειακό σχέδιο εκκένωσης με οδούς διαφυγής από την οικία. Στην περίπτωση που τα μέλη βρίσκονται εκτός οικίας καλό θα είναι να υπάρχει και σχέδιο συνάντησης, μιας και συχνά δεν είναι δυνατή η επικοινωνία με άλλα μέσα αλλά και ένα σχέδιο μεταφοράς με κάποιο μέσο σε ασφαλές μέρος.

Στο οικογενειακό σχέδιο εκκένωσης θα πρέπει να ληφθούν υπόψη και οι καθυστερήσεις που θα προκληθούν από την κυκλοφοριακή συμφόρηση. Επίσης καλό είναι να διαθέτουν απαραίτητα εφόδια όπως φακός, μπαταρίες, κουτί πρώτων βοηθειών, τρόφιμα και νερό, ραδιόφωνο, προστατευτικά γυαλιά, μάσκα και απαραίτητα φάρμακα τα οποία θα φυλάσσονται σε μέρος που θα το γνωρίζουν όλα τα μέλη της οικογένειας (CDC).

Σε καταστροφές όπως αυτές η ενημέρωση του κοινού είναι καθοριστική. Είναι σημαντικό να έχουν ενημερωθεί οι κάτοικοι των περιοχών που βρίσκονται κοντά σε ηφαίστεια, και μάλιστα να είναι προετοιμασμένοι για τις δράσεις τους 65 πριν, κατά τη διάρκεια και μετά από μια ηφαιστειακή έκρηξη. Οι πληροφορίες μπορούν να διαδοθούν από τα μέσα μαζικής ενημέρωσης.

Επίσης, θα πρέπει να υπάρχει συντονισμός των αρχών και των υπηρεσιών για κοινές οδηγίες. Θα έχουν οργανωθεί οι υπηρεσίες έκτακτης ανάγκης αλλά και ομάδες καθαρισμού (WHO).

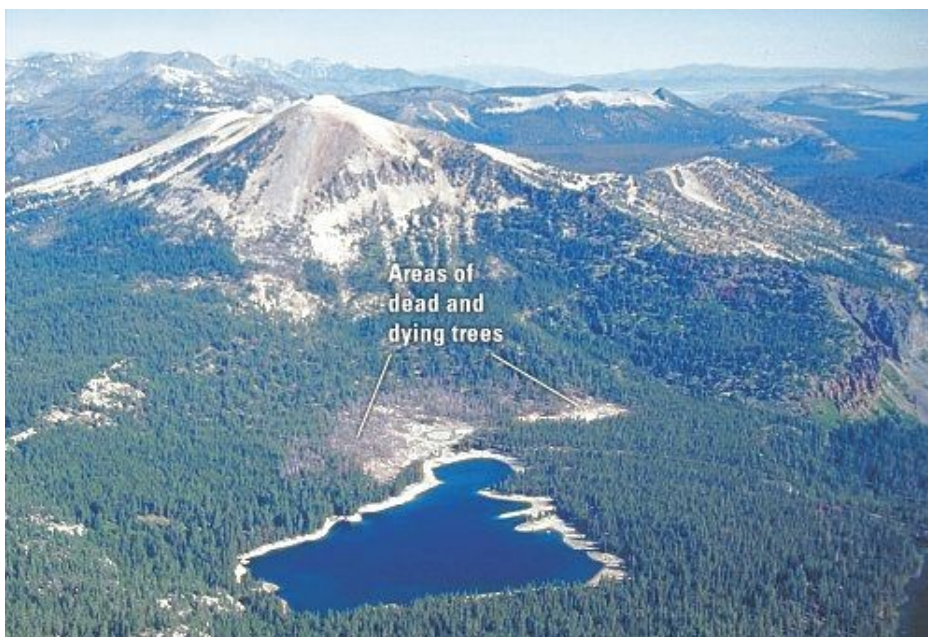
Η εκπαίδευση αποτελεί μια θεμελιώδη ενέργεια για τη διαχείριση του κινδύνου μιας έκρηξης και είναι βέβαιο ότι αποτρέπει αρκετές δυσάρεστες συνέπειες που προκαλούνται από την αμάθεια. Αφορά όχι μόνο στους επιστήμονες και τις εθνικές και τοπικές αρχές, αλλά και τον πληθυσμό.

Η δημόσια εκπαίδευση συχνά παρεμποδίζεται από επιχειρηματικά συμφέροντα και από τις τοπικές κυβερνήσεις. Εκπαιδεύοντας τους κατοίκους τους επιστά σαφές ότι υπάρχει κίνδυνος στην κοινότητα. Για την αποφυγή σοβαρών αντιδράσεων, πριν από την οργάνωση εκστρατειών εκπαίδευσης είναι σκόπιμο οι αρχές να συναντηθούν με τους ιδιοκτήτες των επιχειρήσεων και των ενώσεων ώστε

να διευκρινίσουν την απειλή και τους στόχους της εκπαίδευσης (Perry R., Godchaux J. 2005).

Οι αρχές θα πρέπει να δίνουν τις απαραίτητες οδηγίες, ενώ οι επιστήμονες να ενημερώνουν σωστά. Καταλυτική είναι και η εκπαίδευση εθελοντών. Σε πολλές χώρες υπάρχουν και προγράμματα εκπαίδευσης των μαθητών και των φοιτητών, μιας και με αυτόν τον τρόπο μπορούν να εκπαιδευτούν ατομικά σε μια ενεργό φάση της ζωής τους.

Οι ηφαιστειακές εκρήξεις είναι λοιπόν από τα πιο δραματικά και βίαια μέσα αλλαγής της Γης. Μπορεί να αποτελέσουν όχι μόνο ισχυρές εκρήξεις αλλά και να αλλάξουν δραστικά την επιφάνεια της Γης για δεκάδες χιλιόμετρα γύρω από ένα ηφαίστειο ενώ όπως είδαμε τα μικροσκοπικά σταγονίδια του θειικού οξέος μπορεί να αλλάξουν προσωρινά, ακόμα και το κλίμα του πλανήτη.



Εικόνα 18. Το ηφαίστειο Μαμούθ. Διακρίνονται στη βάση του περιοχές με αποξηραμένα δέντρα λόγω της εκπομπής διοξειδίου του άνθρακα. *Photo: Rogie JD.*

Πηγή: http://www.geo.auth.gr/765/3_products/37_gases.htm#3

Οι ηφαιστειακές εκρήξεις, συχνά αναγκάζουν τους ανθρώπους που ζουν κοντά στα ηφαίστεια να εγκαταλείψουν την γη και τα σπίτια τους, μερικές φορές, ακόμα και για πάντα. Σε περιοχές που βρίσκονται πιο μακριά από τα ηφαίστεια, η μεγάλη

καταστροφή μπορεί να αποφευχθεί αλλά οι πόλεις, οι καλλιέργειες, οι βιομηχανικές εγκαταστάσεις, τα συστήματα μεταφοράς, τα ηλεκτρικά δίκτυα, μπορεί να επηρεαστούν ή ακόμα και να καταστραφούν από την τέφρα, τα λαχάρ κλπ.

Ευτυχώς, οι ηφαιστειακές εκρήξεις συνοδεύονται σχεδόν πάντα από πρόδρομα φαινόμενα, τα οποία όταν εντοπίζονται, αναλύονται και δίνεται η δυνατότητα της προειδοποίησης στις κοινότητες που κινδυνεύουν. Ο χρόνος προειδοποίησης είναι συνήθως επαρκής ώστε οι πληγείσες κοινότητες να εφαρμόσουν σχέδια και μέτρα μετριασμού των επιπτώσεων της εκάστοτε ηφαιστειακής έκρηξης.

Η έκλυση ηφαιστειακών αερίων κατά τη διάρκεια τόσο της ηφαιστειακής όσο και κατά την μεταηφαιστειακή δραστηριότητα μπορεί να παρακολουθείται και να μελετάται με τη χρήση μιας ποικιλίας τεχνικών.

Οι υπεύθυνοι για την προστασία και την υγεία του πληθυσμού αντιμετωπίζουν άμεσα ζητήματα που πρέπει να διευθετήσουν καθώς και ερωτήματα που πρέπει να απαντήσουν όπως ποια είναι η σύνθεση της τέφρας και των ηφαιστειακών αερίων, αν η ηφαιστειακή σκόνη περιέχει κρυσταλλικό διοξείδιο του πυριτίου ή άλλα επικίνδυνα ορυκτά, ποια είναι η κλίμακα μεγέθους των σωματιδίων που υπάρχουν κλπ.

Ακολουθώντας το παράδειγμα των επιστημόνων, οι οποίοι μελετούν τις βιομηχανικές εκπομπές αερίων, οι ηφαιστειολόγοι έχουν αρχίσει να αναπτύσσουν και να εφαρμόζουν μοντέλα διασποράς των ηφαιστειακών αερίων. Οι πληροφορίες που προκύπτουν βάσει αυτών των μοντέλων, μπορεί στη συνέχεια να αναπτυχθούν και να χρησιμοποιηθούν για τη διαχείριση του κινδύνου, τη θέσπιση επιπέδων συναγερμού καθώς και τη σχεδίαση χαρτών επικινδυνότητας για τις εκάστοτε περιοχές.

Ωστόσο συχνά συμβαίνει, περιοχές οι οποίες διατρέχουν κίνδυνο, να στερούνται την απαραίτητη χρηματοδότηση και υποδομή που θα μπορούσε να υποστηρίξει τέτοιου είδους μελέτες με τη βοήθεια των οποίων θα ήταν δυνατόν να μειωθεί ο κίνδυνος για την υγεία των κατοίκων των περιοχών αυτών. Σε πολλές

περιπτώσεις, ο περιορισμός της πρόσβασης του κοινού στις πληγείσες περιοχές, είναι το μόνο μέσο για τη μείωση του κινδύνου.

Οι επιπτώσεις των ηφαιστειακών αερίων στην υγεία είναι δυνατόν να μειωθούν με τον περιορισμό στον χρόνο έκθεσης.

Η χρήση κατάλληλης μάσκας μπορεί επίσης να προστατεύσει αποτελεσματικά το άτομο από τις δυσμενείς επιπτώσεις των ηφαιστειακών αερίων στην υγεία, ενώ στην περίπτωση που οι αντιασφυξιγόνες μάσκες δεν είναι διαθέσιμες ένα υγρό πανί πάνω από το πρόσωπο, μπορεί –εν μέρει- να μειώσει την ποσότητα των υδατοδιαλυτών αερίων που εισέρχονται στους πνεύμονες.

Η εκκένωση της περιοχής δεν είναι αποτελεσματική ούτε εφικτή σε περιπτώσεις που η έκλυση αερίων μπορεί να είναι μακροπρόθεσμη και εκτεταμένη, όπως συμβαίνει στην περίπτωση του ηφαιστείου Masaya. Ζωτικής σημασίας πάντως, πρέπει να θεωρηθεί η εκπαίδευση του πληθυσμού των περιοχών που διατρέχουν κίνδυνο.

Το Διεθνές Δίκτυο που μελετά τους ηφαιστειακούς κινδύνους για την υγεία (<http://www.ivhhn.org>) έχει ετοιμάσει ένα περιεκτικό σύνολο κατευθυντήριων γραμμών και φυλλαδίων για το κοινό καθώς και για τους υπεύθυνους της πολιτικής προστασίας που συνοψίζονται στις παρακάτω βασικές οδηγίες:

- Αποφυγή οδήγησης και παραμονή σε εσωτερικούς χώρους μετά από κάθε πτώση ηφαιστειακής τέφρας.
- Παράθυρα και πόρτες να παραμείνουν κλειστά όσο είναι δυνατόν.
- Παραμονή σε κλειστούς χώρους και αποφυγή της άσκοπης έκθεσης σε ηφαιστειακή τέφρα για όσους πάσχουν από βρογχίτιδα, εμφύσημα ή άσθμα.
- Όσοι αναλαμβάνουν εργασίες καθαρισμού σκόνης, πρέπει να φορούν ειδική μάσκα σκόνης και σε περίπτωση που αυτό δεν είναι διαθέσιμο μπορεί να χρησιμοποιηθεί αυτοσχέδια μάσκα από ύφασμα, που θα φιλτράρει τα μεγαλύτερα σωματίδια τέφρας.

- Σε περιπτώσεις έκλυσης λεπτής ηφαιστειακής σκόνης να αποφεύγεται η χρήση φακών επαφής. Η χρήση γυαλιών μπορεί να προστατεύσει τα μάτια από ερεθισμούς.

- Προσοχή στο πόσιμο νερό, το οποίο αν έχει υποστεί ρύπανση από την ηφαιστειακή στάχτη, μπορεί να αποτελέσει κίνδυνο για την υγεία. Ο ασφαλέστερος τρόπος είναι να υπάρχει απόθεμα νερού πριν την εκδήλωση κάποιου γεγονότος, για τουλάχιστον μία εβδομάδα.

- Καλό πλύσιμο πριν την κατανάλωση, των λαχανικών που έχουν καλυφθεί από ηφαιστειακή τέφρα.

- Τα παιδιά πρέπει να παραμείνουν σε κλειστούς χώρους και να αποφεύγουν το παιχνίδι και την έντονη κίνηση όσο υπάρχει αυξημένη συγκέντρωση τέφρας στον αέρα, αφού με την άσκηση η αναπνοή γίνεται πιο βαριά, αντλώντας τα αιωρούμενα σωματίδια πιο βαθιά στους πνεύμονες.

- Αν τα παιδιά πρέπει να είναι σε εξωτερικούς χώρους όσο αιωρείται τέφρα, θα πρέπει να φορούν μάσκα. Πολλές μάσκες, ωστόσο, έχουν σχεδιαστεί για να ταιριάζουν σε ενήλικες και όχι σε παιδιά. Για τη μείωση των επιπτώσεων σε κάθε περίπτωση ηφαιστειακής δραστηριότητας, ενεργοποιούνται ειδικά μέτρα προστασίας από εξειδικευμένες κυβερνητικές ομάδες και την πολιτική προστασία κάθε περιοχής.

Όσον αφορά την περιοχή της Ελλάδας, οι ηφαιστειακοί κίνδυνοι γενικά μπορούν να θεωρηθούν μικροί εκτός από τις περιοχές που βρίσκονται κατά μήκος του ηφαιστειακού τόξου της Ελλάδας και κυρίως κοντά στις περιοχές των ενεργών ηφαιστειακών κέντρων όπως είναι η τα Μέθανα, η Μήλος, η Νίσυρος και η Σαντορίνη. Σε σχέση βέβαια με άλλες ηφαιστειακές περιοχές του πλανήτη, οι περιοχές αυτές έχουν πολύ χαμηλότερο όμως υπολογίσιμο κίνδυνο, αν σκεφτεί κανείς ότι το 1650 μ.Χ., 70 περίπου άνθρωποι και πάνω από 1000 ζώα έχασαν τη ζωή τους από έκλυση αερίων με μεγάλη περιεκτικότητα σε υδρόθειο, που προκλήθηκε από την έκρηξη του υποθαλάσσιου ηφαιστείου Κολούμπο, που βρίσκεται 8 χιλιόμετρα βορειοανατολικά της Σαντορίνης.

Οι κάτοικοι του ελληνικού ηφαιστειακού τόξου πρέπει να ενημερωθούν για τα ηφαιστειακά αέρια και τους κινδύνους που προκύπτουν από την έκλυσή τους και να εκπαιδευτούν για κάθε περίπτωση ηφαιστειακής δραστηριότητας.

Η εκπαίδευση και ενημέρωση θεωρείται ακόμα πιο επιβεβλημένη αν λάβει κανείς υπόψη του το γεγονός ότι οι περιοχές αυτές κάθε χρόνο δέχονται χιλιάδες τουρίστες.



Εικόνα19. Πλήρωμα εργάζεται για εγκατάσταση οργάνων παρακολούθησης ηφαιστείου στην Αλάσκα.

Πηγή: <https://volcanoes.usgs.gov/vhp/monitoring.html>

Επίλογος

Γενικά πάντως, η άμβλυση των επιπτώσεων των ηφαιστειακών κινδύνων στο μέλλον μπορεί να επιτευχθεί με τη βελτίωση των γεωφυσικών και γεωχημικών μεθόδων παρακολούθησης των ηφαιστείων, την εκπόνηση σχεδίων έκτακτης ανάγκης, την αποτελεσματική επικοινωνία μεταξύ επιστημόνων και αρχών, την

επαρκή μελέτη και παρακολούθηση ειδικά των ηφαιστειών εκείνων που βρίσκονται κοντά σε πυκνοκατοικημένες περιοχές.

Οι χώρες που απειλούνται από τέτοιου είδους φυσικές καταστροφές είναι απαραίτητο να αναπτύξουν στρατηγικές για την ελαχιστοποίηση και την αντιμετώπιση των συνεπειών των μελλοντικών μεγάλων εκρήξεων, οι οποίες θα βασίζονται στην προηγούμενη εμπειρία.

Η αποτελεσματικότητα είναι συνώνυμη με τη συντονισμένη συνεργασία, εκπαίδευση, οργάνωση και ανάπτυξη δικτύων μεταξύ οργανισμών και αρχών, όχι μόνο σε εθνικό, αλλά και σε παγκόσμιο επίπεδο, μιας και πολλές φορές η διεθνής εμπειρία και βοήθεια είναι η πλέον απαραίτητη.

«Πάντως το οικονομικό κόστος της ανάκαμψης από οποιεσδήποτε μελλοντικές εκρήξεις είναι ένα σημαντικό βάρος για την κοινωνία (Self S., 2006)»

Υπάρχοντα προγράμματα και λειτουργικά συστήματα:

- Παγκόσμιο Πρόγραμμα Ηφαιστειότητας (<http://volcano.si.edu>)
- Συμβουλευτικά κέντρα ηφαιστειακής στάχτης (<http://meteo.fr/vaac/>)
- Παρακολούθηση καυτών σημείων με MODIS (<http://modis.higp.hawaii.edu/>)
- Παρακολούθηση καυτών σημείων Envisat AATSR(<http://earth.esa.int/vomir/>)

Βιβλιογραφία

1. Κυριακόπουλος Κ., (2014), Ηφαιστειολογία, ΕΚΠΑ
 2. Λέκκας Ε., (2000), Φυσικές και Τεχνολογικές καταστροφές, Access Press, Αθήνα
 3. Σαπουντζάκη, Κ. (2007), Το αύριο εν κινδύνω, φυσικές και τεχνολογικές καταστροφές, Gutenberg, Αθήνα
 4. Παπαδόπουλος Γ. (2000), Η πολιτική προστασία στην Ελλάδα, Αντιμετώπιση φυσικών και τεχνολογικών καταστροφών, Ιων, Αθήνα
 5. Λέκκας Ε., (2015), Γεωδυναμικές Καταστροφές, ΕΚΠΑ, Αθήνα
 6. Κοσμάς Π., (1999), Κεραυνοί Σεισμοί – Ηφαίστεια, Μυτιλήνη
 7. Νομικού Π., (2004), Συμβολή στη Γεωδυναμική των Δωδεκανήσων: ο υποθαλάσσιος χώρος των νήσων Κω-Νισύρου, ΕΚΠΑ, Αθήνα
 8. Wellburn, A., (1994), Air Pollution and climate change: biological impact, Addison Welsey
 9. Wark, Kenneth, Cecil Francis Warner, and Wayne T. Davis, (1998) *Air Pollution: Its Origin and Control*. Addison-Wesley
 10. Friedlander, Sheldon Kay., (2000) *Smoke, Dust, and Haze: Fundamentals of Aerosol Dynamics*. Oxford University Press
 11. Nelson S. (2015), Volcanoes, magma and volcanic eruptions, Tulane University, USA
 12. Watson J. (1997), Types of volcanic eruptions. USGS
 13. The Encyclopedia of Volcanoes, Second Edition, 2015
- Διαδικτυακές πηγές
14. https://volcanoes.usgs.gov/vhp/gas_climate.html
 15. www.volcanoes.usgs.gov

16. Centers for Disease Control and Prevention – CDC
<https://www.cdc.gov/disasters/volcanoes/before.html>
17. <http://volcano.si.edu>
18. United Nations Disaster Assessment and Coordination – UNDAC
<http://www.unocha.org/what-we-do/coordination-tools/undac/overview>
19. <http://explorevolcanoes.com/volcanic-hazards.html>
20. <http://www.meteo.fr/vaac/>
21. https://www.youtube.com/watch?v=PJLH2XzgO_0&feature=youtu.be
22. <https://www.civilprotection.gr/el/ηφαίστεια>
23. www.acgih.org/
24. www.atsdr.cdc.gov/
25. www.cdc.gov/niosh/
26. <https://research.noaa.gov/article/ArtMID/587/ArticleID/1545/mediaid/1219>
27. http://www.mesonet.ttu.edu/cases/Ash_090408/Kasatochi.html
28. www.ccohs.ca/
29. www.demokritos.gr
30. www.geo.auth.gr/courses/gmc/1000/synthesi.html
31. www.geology.com
32. www.geo.mtu.edu/volcanoes/hazards/
33. <http://earth.esa.int/vomir>
34. www.hvo.wr.usgs.gov/
35. www.ivhhn.org
36. www.intlpollution.commons.gc.cuny.edu/volcanic-pollution/
37. www.metal.ntua.gr
38. www.osha.gov
39. www.usgs.gov
40. www.vesuvioinrete.it
41. www.volcano.si.edu/reports_bgvn.cfm
42. www.who.int/en/
43. USAID <https://www.usaid.gov/what-we-do/working-crises-and-conflict/volcano-disaster-assistance-program> (