



ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΕΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ, ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΩΝ & ΚΡΙΣΕΩΝ

POST GRADUATE PROGRAM
ENVIRONMENTAL, DISASTER & CRISES MANAGEMENT STRATEGIES

Μεταπτυχιακή Διατριβή Ειδίκευσης
Master Thesis

Οικονομικές Επιπτώσεις των Ηφαιστειακών Εκρήξεων

Economic Consequences of Volcanic Eruptions

Ιωάννης Νάνος/ Ioannis Nanos

A.M. / R.N. : 18154

Ειδικές Εκδόσεις / Special Publications:

No. 2020178

Αθήνα, Οκτώβριος 2020
Athens, October 2020



ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΕΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ, ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΩΝ & ΚΡΙΣΕΩΝ

POST GRADUATE PROGRAM
ENVIRONMENTAL, DISASTER & CRISES MANAGEMENT STRATEGIES

Μεταπτυχιακή Διατριβή Ειδίκευσης
Master Thesis

Οικονομικές Επιπτώσεις των Ηφαιστειακών Εκρήξεων

Economic Consequences of Volcanic Eruptions

Ιωάννης Νάνος/ Ioannis Nanos

A.M. / R.N. : 18154

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή:

Δρ. Κυριακόπουλος Κωνσταντίνος,
Καθηγητής ΕΚΠΑ

Δρ. Αντωνράκου Ασημίνα,
Καθηγητής ΕΚΠΑ

Δρ. Λόζιος Στυλιανός,
Αναπληρωτής Καθηγητής ΕΚΠΑ

Ειδικές Εκδόσεις / Special Publications:

No. 2020178

**Αθήνα, Οκτώβριος
2020**
Athens, October 2020

Περιεχόμενα

Περίληψη 5

Abstract 6

Ευχαριστίες 7

1. Εισαγωγή 5

1.1 Τα Ηφαίστεια στην Ελλάδα9
1.2 Στόχοι Μελέτης 13

Μέρος 1^ο 13

2. Ηφαιστειακοί Κίνδυνοι, Ρίσκα και Ηφαιστειακές Καταστροφές 13

2.1 Χαρακτηριστικά της Ηφαιστειακής Δραστηριότητας 14
2.2 Μέτρηση του Κινδύνου της Ηφαιστειακής Δραστηριότητας 16

3. Κόστος Ηφαιστειακών Καταστροφών 19

3.1 Έννοιες Αποτίμησης 19
3.2 Μελλοντική Έρευνα & Μεθοδολογικές Προκλήσεις 20

4. Μικροοικονομική των Ηφαιστειών 22

4.1 Νοικοκυριά 22
4.2 Επισκόπηση Μελετών Σχετικά με τους Ηφαιστειακούς Κινδύνους 25

5. Μακροοικονομικά των Ηφαιστειών 30

5.1 Προσδιορισμός Καναλιών Μετάδοσης 30
5.2 Εμπειρική Βιβλιογραφία 32
5.3 Μελλοντική Έρευνα 33

6. Προκλήσεις Σχετικά με τα Κοινωνικοοικονομικά Δεδομένα 35

Μέρος 2^ο 37

7. Αξιολόγηση του Ηφαιστειακού Κινδύνου 37

7.2 Κίνδυνος έναντι Ρίσκου 39
7.3 Ενεργό έναντι Εξαφανισμένου Ηφαιστείου 43
7.4 Πολυγενετικό έναντι Μονογενετικού Ηφαιστείου 45

8. Άμεσοι και Έμμεσοι Ηφαιστειακοί Κίνδυνοι	49
9. Μακροπρόθεσμη έναντι Βραχυπρόθεσμης Εκτίμησης Κινδύνων.....	55
9.1 Χωρικές και Χρονικές Αναλύσεις	56
10. Μοντέλα Προσομοίωσης και Σενάρια Έκρηξης	60
11. Επικοινωνία Ηφαιστειακού Κινδύνου.....	63
12. Συμπεράσματα και Προτάσεις.....	67
Βιβλιογραφία	70

Περίληψη

Τα ηφαιστεια αντιπροσωπεύουν πολύπλοκα φυσικά γεωλογικά συστήματα ικανά να δημιουργήσουν πολλά επικίνδυνα φαινόμενα. Η ηφαιστειακή δραστηριότητα είχε πάντα επιπτώσεις στους πληθυσμούς, τις υποδομές και γενικά επηρέαζε την οικονομική εξέλιξη μιας περιοχής. Σε αυτή την ερευνητική πτυχιακή, εξετάζεται η υπάρχουσα βιβλιογραφία και τα κενά της γνώσης, καθώς και οι μεθοδολογικές προκλήσεις που ενέχει η οικονομική ανάλυση των ηφαιστειακών κινδύνων και καταστροφών. Πρώτον, παρουσιάζονται οι φυσικές πτυχές της ηφαιστειακής δραστηριότητας και περιγράφονται τα διαθέσιμα φυσικά δεδομένα. Στη συνέχεια, εξετάζεται το κόστος που πρέπει να σχετίζεται με μια έκρηξη και πώς μπορεί να αξιολογηθεί. Τέλος, συζητούνται βασικά ερευνητικά ζητήματα που πρέπει να διερευνηθούν οι οικονομολόγοι και να εντοπίσουν σχετικές μεθοδολογικές προκλήσεις δεδομένων. Επισημαίνοντας τα κενά της έρευνας με την παρούσα εργασία επισημαίνονται οι μελλοντικοί δρόμοι έρευνας που θα διερευνηθούν τις σχετικές με την πολιτική συζητήσεις στο πλαίσιο μιας μεγαλύτερης εστίασης στον περιορισμό των κινδύνων, την προσαρμογή και τις πολιτικές ανθεκτικότητας στην αντιμετώπιση φυσικών καταστροφών. Με βάση αυτά τα στοιχεία, για να αξιολογηθεί και να υπάρξει αποτελεσματική διαχείριση του ηφαιστειακού κινδύνου, πρέπει πρώτα να εκτιμηθεί (δηλαδή, να προσδιοριστεί η συμπεριφορά του ηφαιστειακού συστήματος στο παρελθόν για να εξαχθούν συμπεράσματα μελλοντικής διαχείρισης). Αυτό απαιτεί την απόκτηση όλων των σχετικών γεωλογικών και γεωφυσικών πληροφοριών. Έτσι, με την παρούσα μελέτη επιχειρείται η ανάλυση των εννοιών και μεθόδων που χρησιμοποιούνται συχνότερα σε μακροπρόθεσμη και βραχυπρόθεσμη εκτίμηση επικινδυνότητας και αναλύει τον τρόπο με τον οποίο βοηθούν στην αντιμετώπιση των διαφόρων σοβαρών συνεπειών που προκύπτουν από τις ηφαιστειακές εκρήξεις.

Λέξεις κλειδιά: ηφαιστεια, εκρήξεις, οικονομικές συνέπειες εκρήξεων ηφαιστειών, ηφαιστειακός κίνδυνος, αξιολόγηση ηφαιστειακού κινδύνου.

Abstract

Volcanoes represent complex natural geological systems capable of creating many dangerous phenomena. Volcanic activity has always affected populations, infrastructure, and generally the economic development of an area. In this research dissertation, the existing literature and knowledge gaps are examined, as well as the methodological challenges involved in the economic analysis of volcanic hazards and disasters. First, the physical aspects of volcanic activity are presented, and the available physical data are described. Next, the cost to be associated with an explosion and how it can be estimated is considered. Finally, key research issues that economists need to explore and identify relevant methodological data challenges are discussed. Highlighting the research gaps with this paper outlines future research pathways that will explore policy discussions in a greater focus on risk reduction, adaptation, and resilience policies. Based on these data, to evaluate and have effective volcanic risk management, it must first be assessed (i.e., to determine the volcanic system's behavior in the past to conclude future management). It requires obtaining all relevant geological and geophysical information. Thus, the present study attempts to analyze the concepts and methods most commonly used in long-term and short-term hazard assessment and analyze how they help address volcanic eruptions' various severe consequences.

Key Words: volcanoes, eruptions, economic consequences of volcanic eruptions, volcanic risk, volcanic risk assessment, volcanic hazard.

Ευχαριστίες

Το θέμα της παρούσας μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας εκπονήθηκε στα πλαίσια των Μεταπτυχιακών μου Σπουδών του Μεταπτυχιακού προγράμματος Σπουδών «Στρατηγικές Διαχειρίσεις Περιβάλλοντος Καταστροφών & Κρίσεων» του Τμήματος Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών.

Θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στον καθηγητή του Εθνικού & Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών και Διευθυντή του Εργαστηρίου Ορυκτολογίας και Πετρολογίας Δρ. Κωνσταντίνο Κυριακόπουλο για το ενδιαφέρον θέμα της διπλωματικής εργασίας που μου ανέθεσε αλλά και για τον χρόνο που αφιέρωσε σε αυτή την προσπάθεια. Η βοήθειά του ήταν ιδιαίτερα σημαντική και η συμβολή του σε όλα τα στάδια της πραγματοποίησης αυτής της εργασίας ήταν ουσιαστική και πολύτιμη. Στα μέλη της τριμελούς συμβουλευτικής και εξεταστικής επιτροπής Καθηγητές του Εθνικού & Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών, Δρ. Αντωνάρακου Ασημίνα Καθηγήτρια στον Τομέα Ιστορικής Γεωλογίας και Παλαιοντολογίας και τον Δρ. Λόζιο Στυλιανό, Επίκουρο Καθηγητή στο Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος για τις εύστοχες και ουσιώδεις υποδείξεις τους, καθώς και για τη συμμετοχή τους στην αξιολόγηση της εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στην οικογένειά μου, τη σύζυγό μου Αθανασία και τα δύο παιδιά μου Βασιλική και Μιλτιάδη για όλη τη στήριξη, τη συμπαράσταση και την κατανόηση τους, καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου. Τους ευχαριστώ και τους αφιερώνω στην σύζυγό μου την εργασία και στα παιδιά μου τους παρακάτω στίχους:

«Η Ιθάκη σ' έδωσε τ' ωραίο ταξίδι.

Χωρίς αυτήν δεν θα 'βγαινες στον δρόμο.

Αλλα δεν έχει να σε δώσει πια.

Κι αν πτωχική την βρεις, η Ιθάκη δεν σε γέλασε.

Έτσι σοφός που έγινες, με τόση πείρα,

ήδη θα το κατάλαβες οι Ιθάκες τι σημαίνουν.»

(Καβάφης, Ιθάκη, Ίκαρος 1984)

1. Εισαγωγή

Ο ηφαιστειακός κίνδυνος αποτελεί πιθανή απειλή για σχεδόν 500 εκατομμύρια ανθρώπους παγκοσμίως, που αντιπροσωπεύουν το 9% του παγκόσμιου πληθυσμού (Freire, Florczyk & Pesaresi, 2016). Επιπλέον, σύμφωνα με τους Ewert και Harpel (2004), ο πληθυσμός που εκτίθεται σε ηφαιστειακούς κινδύνους αναμένεται να συνεχίσει να αυξάνεται: συνεχής αύξηση του πληθυσμού, μετανάστευση σε περιοχές που βρίσκονται κοντά σε ηφαίστεια (αστικές και αγροτικές) αλλά και η πιθανότητα μεγαλύτερων εκρήξεων, είναι οι κύριοι παράγοντες αυτής της τάσης. Δυστυχώς, η αύξηση της πιθανής έκθεσης θα συμβεί κυρίως σε οικονομίες χαμηλού και μεσαίου εισοδήματος όπου ο πληθυσμός έχει περιορισμένους πόρους, αλλά και όπου βρίσκονται τα περισσότερα ενεργά ηφαίστεια. Το λεγόμενο «δαχτυλίδι της φωτιάς» περιβάλλει τον Ειρηνικό Ωκεανό κατά μήκος των ακτών του Ειρηνικού της Αμερικής και της Νοτιοανατολικής Ασίας. Το Great Rift Valley είναι ένα ρήγμα 6.000 μιλίων που εκτείνεται από τον Λίβανο μέχρι τη Μοζαμβίκη, η οποία βρίσκεται ακόμη σε εξέλιξη. Ως αποτέλεσμα, πολλές μεγάλες πόλεις σε χώρες με χαμηλό και μεσαίο εισόδημα απειλούνται από ηφαιστειακή έκρηξη, όπως η Πόλη του Μεξικού, η Μανίλα, η Γουατεμάλα, το Σαν Σαλβαδόρ, η Μανάγουα και το Κίτο.

Οι εκρήξεις μπορεί να είναι εξαιρετικά καταστροφικές. Τα ηφαιστειακά γεγονότα έχουν προκαλέσει τον θάνατο σε περίπου 98.000 ανθρώπους και επηρέασαν περίπου 5,6 εκατομμύρια ανθρώπους κατά τη διάρκεια του 20^{ου} αιώνα (Small & Naumann, 2001), με κοινές συνέπειες των ηφαιστειακών κινδύνων να συμπεριλαμβάνουν αναπνευστικές ασθένειες, σοβαρές οικονομικές απώλειες σε ατομικό, κοινωνικό και περιβαλλοντικό επίπεδο, καθώς και καταστροφές ή ζημιές σε κατοικίες, υποδομές και γη (Freire, Florczyk & Pesaresi, 2016). Σε σύγκριση με την υπερβολική θνησιμότητα που προκλήθηκε από άλλες καταστροφές, ο αριθμός των ηφαιστειακών θανάτων φαίνεται οριακός. Ωστόσο, σπάνιες ηφαιστειακές καταστροφές, όπως οι εκρήξεις του ηφαιστείου Volcan de Fuego στη Γουατεμάλα και του ηφαιστείου Anak Krakatau της Ινδονησίας, το 2018, είναι δυναμικές υπενθυμίσεις της απειλής της ηφαιστειακής δραστηριότητας, ενώ οι πιο μέτριοι αλλά επαναλαμβανόμενοι ηφαιστειακοί κίνδυνοι επηρεάζουν τους τοπικούς πληθυσμούς, με περίπου είκοσι ηφαίστεια με συνεχιζόμενες εκρήξεις ανά πάσα στιγμή σε όλο τον κόσμο.

Παρά το γεγονός ότι αυτός ο κίνδυνος αποδεικνύεται οικονομικά σημαντικός, η οικονομική ανάλυση των ηφαιστειακών κινδύνων και καταστροφών βρίσκεται ακόμη σε πρώιμα στάδια. Η βιβλιογραφία σχετικά με τις οικονομικές συνέπειες για τα ηφαίστεια είναι λιγοστή, με πολύ λίγες συνεισφορές σε σύγκριση με άλλες φυσικές και κοινωνικές επιστήμες. Είναι επομένως απαραίτητο να γίνει τα «ηφαίστεια» στα Οικονομικά¹. Ουσιαστικά, από οικονομική άποψη, τα ηφαίστεια μπορούν να προσεγγιστούν μέσω δύο εννοιών. Το πρώτο είναι αυτό της «φυσικής καταστροφής» με τοπικές και παγκόσμιες επιπτώσεις. Η δεύτερη είναι η «χρησιμότητα» (π.χ. τουριστική δραστηριότητα), αλλά αυτή η πτυχή υπερβαίνει το πεδίο της παρούσας μελέτης (Kelman & Mather, 2008).

¹ Ένα παράδειγμα αποτελεί η έκρηξη του Ηφαιστείου Eyjafjallajökull το 2010, το οποίο είχε επιπτώσεις στην εναέρια κυκλοφορία όλης της Ευρώπης (παρουσιάζεται στη συνέχεια ως μελέτη περίπτωσης).

«Μια φυσική καταστροφή μπορεί να οριστεί ως ένα φυσικό γεγονός που προκαλεί διαταραχή στη λειτουργία του οικονομικού συστήματος, με σημαντική αρνητική επίδραση στα περιουσιακά στοιχεία, στους παράγοντες παραγωγής, στην παραγωγή, στην απασχόληση ή την κατανάλωση» (Lindell & Prater, 2003, σ.177). Ως εκ τούτου, οι ηφαιστειακές καταστροφές επιφέρουν τόσο άμεσες όσο και έμμεσες απώλειες. Οι άμεσες απώλειες περιλαμβάνουν απώλειες τόσο στην αγορά, όσο και εκτός αυτής, δηλαδή, η αξία των απωλειών άμεσης αγοράς μπορεί να εκτιμηθεί χρησιμοποιώντας τις τρέχουσες τιμές της αγοράς για επισκευή ή αντικατάσταση. Από την άλλη πλευρά ωστόσο, είναι πιο δύσκολο να εκτιμηθεί η αξία των ζημιών εκτός αγοράς γιατί, οι επιπτώσεις αυτές έχουν να κάνουν με τη νοσηρότητα, τη θνησιμότητα αλλά και με τις επιπτώσεις στα οικοσυστήματα και τα ιστορικά περιουσιακά στοιχεία (αν και υπάρχουν έμμεσες μέθοδοι για ορισμένα είδη). Οι έμμεσες απώλειες προκαλούνται από τις συνέπειες της καταστροφής (όπως οι απώλειες παραγωγής που προκαλούνται, για παράδειγμα, από ζημιές νερού, ηλεκτρικής ενέργειας ή οδικής υποδομής). Αυτές οι απώλειες μπορεί να είναι απώλειες στην αγορά και εκτός αγοράς (Ewert & Harpel, 2004).

Επιπλέον, η μικροοικονομική και μακροοικονομική βιβλιογραφία δίνει πολλές πληροφορίες για το πώς τα ηφαίστεια μπορούν να επηρεάσουν την ευημερία των πληθυσμών που ζουν υπό την απειλή τους και την απόδοση των οικονομιών, επισημαίνοντας κανάλια επιρροής σε πολλαπλές διαστάσεις και όχι μόνο στην τοπική κλίμακα. Ως κίνδυνος φυσικής καταστροφής, ο κίνδυνος έκρηξης ηφαιστείου απειλεί όλους τους παράγοντες της παραγωγής (εργατικό και φυσικό κεφάλαιο, συμπεριλαμβανομένων των υποδομών, του χρηματοοικονομικού κεφαλαίου και των φυσικών πόρων) και των τοπικών αγορών, με άδικο και συνεκτικό τρόπο. Κατά συνέπεια, για τις ηφαιστειακές εκρήξεις και τους κινδύνους είναι δύσκολο να διασφαλιστεί και να εξασφαλιστεί ότι οι επιπτώσεις είναι χαμηλού βάρους (Gollier, 2005). Ωστόσο, η πραγματική κάλυψη της ασφάλισης έναντι ενός πιο πιθανού και λιγότερο καταστροφικού ηφαιστειακού κινδύνου, όπως η ηφαιστειακή τέφρα, δεν είναι υψηλότερη (Brown, Loughlin, Sparks & Vye-Brown, 2015). Οι δημόσιες παρεμβάσεις για τον ηφαιστειακό κίνδυνο μπορούν να συνοψιστούν, σε σύγχρονες τεχνικές προειδοποίησης, σε προγράμματα ετοιμότητας και σχέδια έκτακτης ανάγκης. Περαιτέρω υπάρχει έντονη ανάγκη για επιπρόσθετες πολιτικές παρεμβάσεις, όπως η αυστηρή ποσοτική προσέγγιση για την καλύτερη κατανόηση των οικονομικών επιπτώσεων όπως: (η ανάμιξη δεδομένων και μεθόδων από γεωεπιστήμες, κοινωνικές και στατιστικές επιστήμες), είναι μια πρώτη πολύ σημαντική κίνηση που πρέπει να κάνουν οι οικονομολόγοι.

1.1. 1.1 Τα Ηφαίστεια στην Ελλάδα

Η Ελλάδα έχει μια μεγάλη σειρά ηφαιστειακών κέντρων, η οποία δημιουργήθηκε πριν από εκατομμύρια χρόνια από τη υποβύθιση της αφρικανικής λιθόσφαιρας (Ωκεανία) κάτω από την ευρασιατική πλάκα (ηπειρωτική χώρα). Αυτή η ηφαιστειακή αψίδα της Ελλάδας είχε μια ιδιαίτερα έντονη ηφαιστειακή δραστηριότητα στο παρελθόν και δημιούργησε τα ηφαιστειακά τοπία που συναντώνται σε πολλές περιοχές και νησιά σε όλη την Ελλάδα. Τα περισσότερα από τα ηφαίστεια στην Ελλάδα και τα ελληνικά νησιά έχουν εξαφανιστεί, ωστόσο, μερικά είναι ακόμη ενεργά. Τα πιο σημαντικά ενεργά ηφαίστεια στην Ελλάδα βρίσκονται στο ενεργό ηφαιστειακό τόξο του νοτίου Αιγαίου όπως: το νησί της Σαντορίνης, το νησί της Νισύρου, τα Μέθανα και η Μήλος, που δέχονται χιλιάδες επισκέπτες κάθε χρόνο. Στην πραγματικότητα, οι ηφαιστειακές εκδρομές πεζοπορίας έχουν αναπτυχθεί για άτομα με

ιδιαίτερο ενδιαφέρον για τα ηφαίστεια (Κισκύρας, 1993· Κυριακόπουλος, 2018). Η εικόνα 1 παρουσιάζει τα ηφαίστεια των περιοχών Νίσυρος, Σαντορίνη, Μήλος, Μέθανα.



Εικ. 1 Ηφαιστειακό τόξο τονίου Αιγαίου με τη θέση των ηφαιστειακών κέντρων από το Σουσακι μέχρι τη Νίσυρο (από το αρχείο του κ. Κυριακόπουλου)

- **Ηφαίστειο της Σαντορίνης**

Το ηφαίστειο της Σαντορίνης είναι το πιο ενεργό και πολυφημισμένο ηφαίστειο στην Ελλάδα. Έχει τη μεγαλύτερη καλντέρα (κρατήρα) στον κόσμο με ύψος 300 μέτρα και διάμετρο 11 χιλιόμετρα. Το ιδιαίτερο φαινόμενο του κρατήρα του ηφαιστείου της Σαντορίνης είναι ότι είναι ολοκληρωτικά βυθισμένο και γεμάτο με θαλασσινό νερό. Από την έκρηξη που πραγματοποιήθηκε μεταξύ του 1613 και 1614 π.Χ. διαμορφώθηκε το νησί της Σαντορίνης. Η δύναμη μιας τέτοιας έκρηξης είχε ως αποτέλεσμα την κατάρρευση του στόματος του ηφαιστείου, με αποτέλεσμα τον σχηματισμό της εικονικής καλντέρας που είναι σήμερα γνωστή (Βουλαδάκη & Παπαδημητρίου, 2008).

Τα τελευταία 400.000 χρόνια, το ηφαίστειο έχει εκραγεί και αναγεννηθεί από τις στάχτες του 12 φορές, προκαλώντας δραματικές αλλαγές στη μορφολογία του αρχιπελάγους. Η περιοχή είναι ήρεμη από το 1950, όπου και καταγράφηκε η τελευταία εκροή λάβας, με τις θερμές πηγές να αναβλύζουν από τη θάλασσα και οι ατμοί γύρω από τη Νέα Καμένη να είναι η μόνη ένδειξη δραστηριότητας. Η περιοχή της Νέας Καμένης δημιουργήθηκε από εκρήξεις που πραγματοποιήθηκαν τον 16^ο αιώνα. Η κληρονομιά της δημιουργικής δύναμης της Σαντορίνης είναι το ηφαιστειακό έδαφος που προσδίδει μια ιδιαίτερα έντονη γεύση σε

οτιδήποτε μεγαλώνει στο νησί, καθώς και τις υπέροχες, πολύχρωμες ηφαιστειακές παραλίες που αγκαλιάζουν τις ακτές της (Βουλαδάκη & Παπαδημητρίου, 2008, Κυριακόπουλος, 2018).

- **Ηφάιστειο της Νισύρου**

Το δεύτερο πιο διάσημο ηφάιστειο στην Ελλάδα βρίσκεται στο μικρό νησί της Νισύρου, στα Δωδεκάνησα. Είναι το νεότερο από τα μεγάλα ηφαιστειακά κέντρα στην Ελλάδα, μόλις 160.000 ετών. Το 1872, συνέβη μια μεγάλη έκρηξη, η οποία δημιούργησε έναν κρατήρα περίπου 6 έως 7 μέτρων. Το 1888, μια άλλη έκρηξη συνέβη και σχηματίστηκε ένας κρατήρας διαμέτρου 25 μέτρων. Το 1956, παρατηρήθηκαν σχίσματα που εκπέμπουν καπνό. Στην πραγματικότητα, όλο το νησί είναι ένα ηφάιστειο με κρατήρα 4 χιλιομέτρων στο κέντρο του και πέντε μικρότερους, το πιο επιβλητικό από τα οποία βρίσκεται στην περιοχή με την ονομασία Άγιος Στέφανος, που είναι 3.000 έως 4.000 ετών (Λάγιος, Χαϊλάς, Γιαννόπουλος & Σωτηρόπουλος, 1998).

Με βάθος 27 μέτρα και διάμετρο 330 μέτρα, θεωρείται ο μεγαλύτερος και καλύτερα διατηρημένος υδροθερμικός κρατήρας στον κόσμο. Το ηφάιστειο, εξακολουθεί να θειικές αναθυμιάσεις, καθιστώντας δύσκολο για μερικούς ανθρώπους να επισκεφθούν την περιοχή (Λάγιος, Χαϊλάς, Γιαννόπουλος & Σωτηρόπουλος, 1998, Κυριακόπουλος, 2018). Η εικόνα 1 στη συνέχεια παρουσιάζει τους κρατήρες στην καλδέρα του ηφαιστείου της Νισύρου.

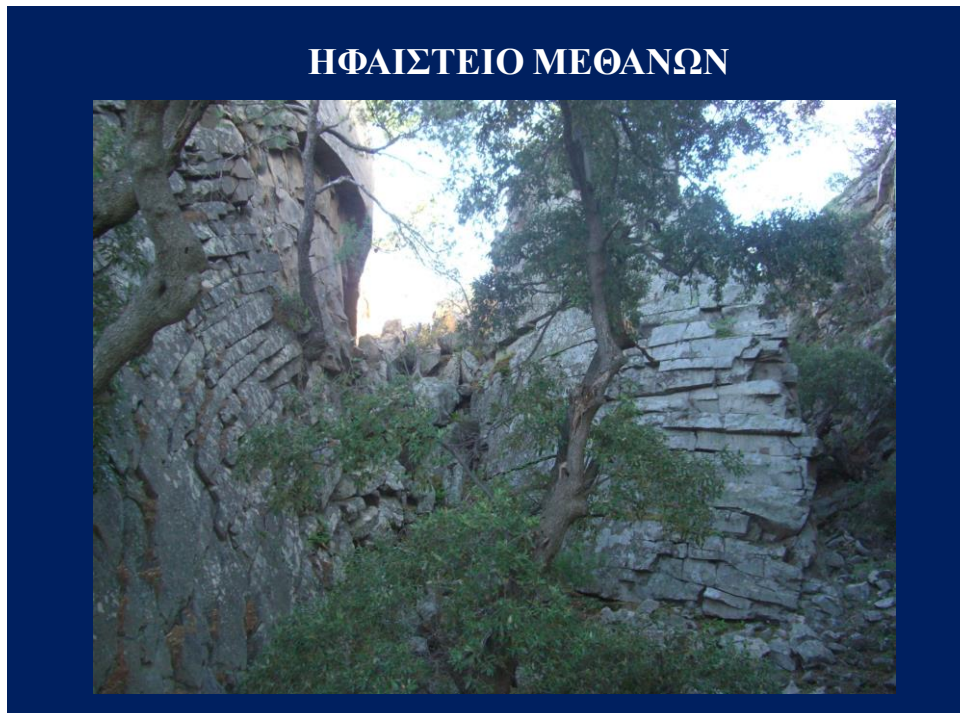


Εικ. 2. Αποικονίζονται οι υδροθερμικοί κρατήρες στην καλδέρα του ηφαιστείου της Νισύρου (Από το αρχείο του κ. Κυριακόπουλου).

- **Ηφάιστειο των Μεθάνων**

Η χερσόνησος των Μεθάνων, στη βορειοανατολική πλευρά της Πελοποννήσου, έχει στην πραγματικότητα 32 ηφάιστεια που είναι κυρίως ανδρειακές και δακτινικές λάβες. Τα Μέθανα οφείλουν την ύπαρξή τους στο ηφάιστειο, το οποίο εξακολουθεί να αναβλύζει φουσαλίδες. Η ηφαιστειακή δραστηριότητα στη χερσόνησο ξεκίνησε πριν από ένα εκατομμύριο χρόνια και στην πραγματικότητα, σημειώθηκε μεγάλη έκρηξη το 230 π.Χ. Η

τελευταία έκρηξη του ηφαιστείου των Μεθάνων συνέβη το 1700. Σήμερα το ηφαίστειο είναι αδρανές και πολλές εκδρομές πεζοπορίας και αναρρίχησης οργανώνονται στη χερσόνησο. Λόγω της ηφαιστειακής δραστηριότητας, τα Μέθανα διαθέτουν επίσης διάσημες ιαματικές πηγές (Κισκύρας, 1993, Κυριακόπουλος, 2018). Η εικόνα 2 παρουσιάζει τον κρατήρα του Ηφαιστείου των Μεθάνων.



Εικ. 3. Κεντρικός κρατήρας του ηφαιστειακού κέντρο των Μεθάνων από την έκρηξη του 250 π.Χ.. Είναι εμφανής η παράλληλη διάταξη των στρωμάτων λάβας ως αποτέλεσμα της απότομης ψύξης και των πιέσεων στο εσωτερικό του κρατήρα. (Από το αρχείο του κ. Κυριακόπουλου).

- **Ηφαίστειο της Μήλου**

Η Μήλος φιλοξενεί ένα αδρανές ηφαίστειο που δεν έχει πραγματοποιήσει κάποια έκρηξη από το 90.000 π.Χ. Ο Κάλαμος βρίσκεται στην καρδιά ενός από τα παλαιότερα ηφαιστειακά κέντρα του νησιού. Ο ηφαιστειακός ατμός και τα αέρια που εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα φτάνουν σε θερμοκρασίες 100 βαθμών Κελσίου. Το ηφαίστειο άφησε το σημάδι του στο νησί μέσω των πλούσιων αποθέσεων ορυκτών και ασυνήθιστων γεωλογικών σχηματισμών που δημιούργησε. Το αποτέλεσμα της παρουσίας του ηφαιστείου στη γεωλογία του νησιού έχει κάνει τη Μήλο ένα πλούσιο νησί σε ορυκτά (Κουφοζήση, 2008).

Άλλα μικρότερα ηφαίστεια στην Ελλάδα βρίσκονται στο νησί της Κω και στο νησάκι Γυαλί, μεταξύ Κω και Νισύρου. Σε μέρη που υπήρχαν ηφαίστεια, υπάρχουν επίσης ιαματικές πηγές, όπως η παραλία Θέρμες στην Κω, οι θερμές πηγές των Μεθάνων και οι ιαματικές πηγές στη Σαντορίνη (Κισκύρας, 1993, Κυριακόπουλος, 2018).

Από τα παραπάνω, γίνεται σαφές πως η Ελλάδα έχει κάποια ηφαίστεια τα οποία είναι ενεργά και, ως εκ τούτου, η πιθανότητα έκρηξης είναι πάντα στο προσκήνιο. Για το λόγο αυτό η Γενική Γραμματεία Πολιτικής Προστασίας διατηρεί δημοσιεύσεις αναφορικά με την ετοιμότητα για ηφαιστειακές εκρήξεις (“Ηφαίστεια”, 2020).

1.2. 1.2 Στόχοι Μελέτης

Στην παρούσα μελέτη επιχειρείται η παρουσίαση του θέματος αναφορικά με τις οικονομικές επιπτώσεις των ηφαιστειακών εκρήξεων. Από την έρευνα που έχει πραγματοποιηθεί παρατηρείται ότι υπάρχει μεγάλο κενό σε γνώσεις και μεθοδολογικές προκλήσεις, τις οποίες η παρούσα μελέτη θα επιχειρήσει να παρουσιάσει. Προκειμένου να παρουσιαστεί μια όσο το δυνατόν πιο σφαιρική εικόνα επί του θέματος θα εξεταστεί η βιβλιογραφία στα οικονομικά των καταστροφών, τα οικονομικά περιβάλλοντος και φυσικών πόρων, τα οικονομικά κινδύνου και την αβεβαιότητα, τα πειραματικά οικονομικά και τα οικονομικά ανάπτυξης. Επιπλέον, εξετάζονται οι έννοιες και τα λίγα ερευνητικά άρθρα που εστιάζουν στο κατά πόσον και πώς επηρεάζονται οι οικονομίες από την ηφαιστειακή δραστηριότητα. Επίσης, για την καλύτερη κατανόηση θα παρουσιαστούν θέματα της μικροοικονομικής και της μακροοικονομικής, σε θεωρητικό κύριος επίπεδο.

Το γεγονός ότι οι περισσότερες ηφαιστειακές απώλειες εντοπίζονται γύρω από τα ηφαίστεια και ότι αυτός ο κίνδυνος γίνεται απτός στο τοπίο από εύκολα αναγνωρίσιμες και επιβλητικές μορφές εδάφους καθιστά πιθανό ότι ο ηφαιστειακός κίνδυνος συμβάλλει στη δημιουργία της φτώχειας στους πρόποδες των ηφαιστειών. Επισημαίνοντας τα κενά της έρευνας στο υπό μελέτη θέμα, γίνεται απόπειρα για μελλοντικές έρευνες που θα εξετάσουν τις σχετικές με την πολιτική συζητήσεις στο πλαίσιο μιας μεγαλύτερης εστίασης στον πολιτικό περιορισμό του κινδύνου, της προσαρμογής και της ανθεκτικότητας στην αντιμετώπιση φυσικών καταστροφών. Τέλος, για την καλύτερη κατανόηση του θέματος θα γίνει απόπειρα να παρουσιαστούν περιπτώσιολογικές μελέτες που έχουν καταγραφεί καθώς και των επιπτώσεων στα διάφορα πεδία της οικονομία.

Μέρος 1^ο

2. Ηφαιστειακοί Κίνδυνοι, Ρίσκα και Ηφαιστειακές Καταστροφές

Σύμφωνα με το γλωσσάριο του ΟΗΕ (“United Nations Digital Library System”, 2016), «ο κίνδυνος είναι ένα επικίνδυνο φαινόμενο, πραγματικότητα, ανθρώπινη δραστηριότητα ή κατάσταση που μπορεί να προκαλέσει απώλεια ζωής, τραυματισμούς ή άλλες επιπτώσεις στην υγεία, ζημία περιουσίας, απώλεια ζώων και υπηρεσιών, κοινωνικές και οικονομικές διαταραχές ή περιβαλλοντικές ζημιές». Πολλές επικίνδυνες διεργασίες έχουν γεωλογική προέλευση, συμπεριλαμβανομένων σεισμών, ηφαιστειακών εκρήξεων, τσουνάμι, κατολισθήσεων και αποτελούν μέρος της ιστορίας της Γης. Σε σύγκριση με το ρίσκο, η έννοια του κινδύνου εισάγει την ιδέα της πιθανότητας: «το ρίσκο είναι η πιθανότητα εμφάνισης του υπό εξέταση συμβάντος και όλα τα πιθανά μειονεκτήματα που μπορεί να έχει αυτό το συμβάν» (“United Nations Digital Library System”, 2016). Για να μετατραπεί ο κίνδυνος σε καταστροφή, τα ανθρώπινα όντα και οι κοινωνίες πρέπει να επηρεαστούν σε μεγάλο βαθμό αρνητικά: «Η καταστροφή είναι μια σοβαρή διαταραχή της λειτουργίας μιας κοινότητας ή μιας κοινωνίας που περιλαμβάνει εκτεταμένες ανθρώπινες, υλικές, οικονομικές ή περιβαλλοντικές

απώλειες και επιπτώσεις, οι οποίες υπερβαίνουν την ικανότητα της πληγείσας κοινότητας ή της κοινωνίας να την αντιμετωπίσει με τη χρήση των δικών της πόρων» (“United Nations Digital Library System”, 2016).

Εν ολίγοις, οι φυσικοί κίνδυνοι μπορεί να μην οδηγούν σε καταστροφές απαραίτητα εάν η περιοχή που επηρεάζεται άμεσα δεν κατοικείται, ενώ ενδέχεται να μετατραπούν σε καταστροφές εάν η περιοχή που επηρεάζεται είναι πυκνοκατοικημένη. Ως εκ τούτου, οι οικονομικές επιπτώσεις ενός φυσικού γεγονότος όπως η έκρηξη ή η κατολίσθηση θα εξαρτηθεί τόσο από τα χαρακτηριστικά του φυσικού κινδύνου όσο και από τον πληθυσμό και τα υλικά στοιχεία που εκτίθενται σε αυτό.

1.3. 2.1 Χαρακτηριστικά της Ηφαιστειακής Δραστηριότητας

Οι ηφαιστειακές εκρήξεις του πλανήτη καταγράφονται στη βάση δεδομένων του Παγκόσμιου Προγράμματος Ηφαιστείου του Smithsonian Institution (“Global Volcanism Program | Volcanoes of the World (VOTW) Database Information”, 2020). Αυτή η βάση δεδομένων απαριθμεί 443 ενεργά ηφαίστεια στον κόσμο από τις αρχές του 20ού αιώνα που έχουν προκαλέσει 3445 παρατηρούμενες εκρήξεις. Όταν είναι διαθέσιμες οι πληροφορίες, αναφέρονται και ακριβείς ημερομηνίες (ημέρα / μήνας / έτος) της έναρξης και του τέλους της έκρηξης. Αυτά τα στοιχεία δείχνουν ότι οι εκρήξεις συμβαίνουν όλο το χρόνο και σχεδόν μόνιμα σε διάφορες περιοχές του πλανήτη.

Υπάρχει μεγάλη ετερογένεια σε αυτό που ονομάζεται ηφαιστειακή έκρηξη όσον αφορά τα φυσικά χαρακτηριστικά, την ένταση, το μήκος καθώς και τις ζημιές που προκύπτουν από αυτό το είδος συμβάντος. Οι πρωταρχικοί κίνδυνοι που σχετίζονται με τα ηφαίστεια εμπίπτουν σε δύο κύριες κατηγορίες: οι διάχυτες εκρήξεις (effusive eruptions), οι οποίες απελευθερώνουν ροές λάβας ή λάσπης (lahars) που ακολουθούν τοπογραφικές καταστολές, οι εκρηκτικές εκρήξεις (explosive eruptions), οι οποίες εκτοξεύουν αέρια και τέφρα που διασκορπίζονται στην ατμόσφαιρα υπό την επίδραση των θραυσμάτων του ανέμου και των στερεών πετρωμάτων (tephra) (Hallegatte & Przymuski, 2010).

Οι τελευταίοι είναι οι πιο επικίνδυνοι με την έννοια ότι συμβαίνουν με μικρή προειδοποίηση και προκαλούν τους περισσότερους θανάτους, επειδή οι πληθυσμοί που απειλούνται από τα αέρια και την καύση τέφρας δεν έχουν χρόνο για να εκκενώσουν την πληγείσα περιοχή. Συνήθως επηρεάζουν επίσης μεγαλύτερες περιοχές, επειδή αυτού του είδους οι εκρήξεις εκτοξεύουν στάχτες, μερικές φορές, έως και αρκετά χιλιόμετρα γύρω από το ηφαίστειο. Δυστυχώς, είναι επίσης οι πιο συχνές και, σύμφωνα με τους Small και Naumann (2001), οι περισσότεροι άνθρωποι που εκτίθενται σε ηφαιστειακό κίνδυνο εκτίθενται σε εκρηκτικές και όχι σε διάχυτες εκρήξεις. Σε αυτές τις δύο κύριες κατηγορίες, κάθε έκρηξη έχει τα δικά της χαρακτηριστικά και μπορεί έτσι να έχει διάφορα φυσικά αποτελέσματα: μέρος της λάβας που παράγεται είναι πολύ ρευστή και ρέει γρήγορα, ενώ άλλες, πιο παχύρρευστες, κινούνται αργά (Hallegatte & Przymuski, 2010).

Το πάχος της εκχύσεως τέφρας ποικίλλει από πυρακτωμένες «βόμβες», οι οποίες μπορούν να φτάσουν σε μέγεθος αρκετών μέτρων, έως λεπτές στάχτες μεγέθους της τάξης του χιλιοστού. Επίσης, ποικίλλουν σε ένταση τόσο χρονικά όσο και σε κλίμακες μήκους. Το μέγεθος των ηφαιστειακών εκρήξεων μετριέται συνήθως χρησιμοποιώντας τον δείκτη

ηφαιστειακής εκρηκτικότητας (Volcanic Explosivity Index - VEI) που εισήχθησαν από τους Newhall και Self (1986). Αυτός ο δείκτης υποδεικνύει την ποσότητα της μάζας που εκτοξεύεται κατά τη διάρκεια μιας έκρηξης και το μέγεθος του πίδακα έκρηξης. Κυμαίνεται από μηδέν (ήπια έκρηξη) έως οκτώ (μεγάλη κολοσσιαία έκρηξη)². Όσον αφορά τη διάρκεια, το παγκόσμιο πρόγραμμα ηφαιστείου του Smithsonian Institution αναφέρει εκρήξεις που διαρκούν από μερικές ημέρες έως αρκετά χρόνια (“Global Volcanism Program | Volcanoes of the World (VOTW) Database Information”, 2020).

Επιπλέον, σύμφωνα με τους Liu, Siu και Mitchell (2016), οι ηφαιστειακές εκρήξεις είναι ένας φυσικός κίνδυνος που δημιουργεί πιο δευτερεύοντες κινδύνους όπως κατολισθήσεις, κατάρρευση εδάφους ή πυρκαγιά. Οι ηφαιστειακές εκρήξεις συμβαίνουν επίσης σε περιοχές που είναι επιρρεπείς σε σεισμούς επειδή και τα δύο φαινόμενα, τα οποία δεν σχετίζονται, έχουν την ίδια γεωλογική προέλευση. Αυτό σημαίνει ότι οι πληθυσμοί που απειλούνται από ηφαιστειακό κίνδυνο απειλούνται επίσης και από άλλους φυσικούς κινδύνους. Τελευταίο αλλά όχι λιγότερο σημαντικό, τα ηφαίστεια είναι συχνά το ένα κοντά στο άλλο με αποτέλεσμα, ορισμένοι πληθυσμοί ενδέχεται να επηρεαστούν όχι από ένα αλλά από πολλά ηφαίστεια (Hallegatte & Przulski, 2010).

Ο αντίκτυπος οποιασδήποτε έκρηξης εξαρτάται επίσης από τις παραμέτρους του καιρού (άνεμος, βροχή). Για παράδειγμα, η ίδια ποσότητα τέφρας που σχετίζεται με το ίδιο VEI θα έχει διαφορετικό αντίκτυπο στους πληθυσμούς ανάλογα με την κατεύθυνση του ανέμου και το ύψος της βροχόπτωσης που πέφτει αμέσως μετά το συμβάν. Η βροχή μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα την έκπλυση της τέφρας ή αντίθετα, η βροχή μπορεί να επιδεινώσει την επίδραση της πτώσης της καθώς συμβάλλει στη συμπίεση της. Οι περιοχές κοντά στα ηφαίστεια και στα πιο παραγωγικά εδάφη δείχνει ότι, η επίδραση της πτώσης τέφρας εξαρτάται από την ποσότητα της: ελαφρά πτώση της τέφρας μπορεί να γονιμοποιήσει το έδαφος, ενώ αντίθετα μεγάλες ποσότητες τέφρας συμβάλλουν στην αποστείρωση του (Kelman & Mather, 2008).

Ακόμη και με την τρέχουσα τεχνολογία, και παρά το υψηλό επίπεδο παρακολούθησης πολλών ηφαιστείων, η πιθανότητα που σχετίζεται με κάθε ένα από τα πιθανά γεγονότα για κάθε τοποθεσία στον κόσμο δεν είναι καθόλου σίγουρη. Οι Liu, Siu και Mitchell (2016) τόνισαν ότι τα τελευταία 10 000 χρόνια 17 από τις 21 μεγαλύτερες ιστορικές εκρήξεις έχουν συμβεί σε ηφαίστεια που δεν είχαν υποστεί προηγούμενες ιστορικές εκρήξεις. Μεταξύ των 176 ηφαιστείων που αναφέρονται από τους Witham και Oppenheimer (2004), μόνο το πενήντα τοις εκατό εξερράγη μία φορά κατά τη διάρκεια του 20ου αιώνα. Ωστόσο, τα ηφαίστεια που εκρήγνυνται λιγότερο συχνά τείνουν να εκρήγνυνται πιο δυνατά και προκαλούν περισσότερους θανάτους Liu, Siu και Mitchell (2016).

² Αυτός ο δείκτης υποδηλώνει εκρήξεις με βαθμολογία στο VEI 1 που παράγουν μεταξύ 0,0001 και 0,001 κυβικά χιλιόμετρα τέφρα. Στη συνέχεια, κάθε βήμα στην κλίμακα αντιπροσωπεύει μια αύξηση εκρηκτικότητας επί 10 φορές.

1.4. 2.2 Μέτρηση του Κινδύνου της Ηφαιστειακής Δραστηριότητας

Η εκτίμηση του ηφαιστειακού κινδύνου, από ό,τι γνωρίζει η επιστήμη, δεν είναι τόσο απλή. Δεν αρκεί να εξεταστεί η απλή συσχέτιση μεταξύ της παρουσίας ενός ηφαιστείου και των εκρηκτικών γεγονότων. Η ετερογένεια των ηφαιστειακών γεγονότων και η ποικιλομορφία των κοινωνικοοικονομικών αποτελεσμάτων που προκαλούν εξαρτάται από πολλούς παράγοντες και υποδηλώνουν ότι η επιλογή των δεικτών για την ηφαιστειακή δραστηριότητα είναι κρίσιμη στην εμπειρική έρευνα (Jenkins et al., 2014).

Τα ηφαιστειακά γεγονότα είναι το καλύτερο εξωγενές μέτρο κινδύνου που καταγράφεται μέσω τριών δεικτών: ο αριθμός των συμβάντων ή των περιστατικών σε μια δεδομένη περίοδο, το μέγεθος των ηφαιστειακών εκρήξεων ή το μήκος μιας έκρηξης. Όλοι αυτοί οι δείκτες δεν εξαρτώνται από το επίπεδο ανάπτυξης των χωρών. Ωστόσο, αυτοί οι δείκτες έχουν το μειονέκτημα ότι συσχετίζονται ελάχιστα με τον πιθανό ανθρωπινό και οικονομικό αντίκτυπο της εκδήλωσης και δίνουν μια παραπλανητική ένδειξη του δυνητικού κινδύνου για τους πληθυσμούς που μένουν κοντά σε ένα ηφαίστειο. Για παράδειγμα, εάν συμβεί ηφαιστειακό συμβάν σε απομακρυσμένη ή αραιοκατοικημένη περιοχή, οι επιπτώσεις τόσο στην ανθρώπινη ζωή όσο και στην καταστροφή κεφαλαίου θα είναι πολύ περιορισμένες. Αντίθετα, εάν το γεγονός συμβεί κοντά σε μια μεγάλη πόλη, η ζημιά θα είναι σημαντική. Αυτό υπογραμμίζει πόσο μεταφράζεται η ετερογένεια των ηφαιστειακών γεγονότων σε μια ποικιλία αρνητικών επιπτώσεων με τις οποίες είναι δύσκολο να συσχετιστεί οποιαδήποτε πιθανότητα (Horwell & Baxter, 2006).

Ο ηφαιστειακός κίνδυνος δεν μπορεί επομένως να μετρηθεί εύκολα αυτός καθαυτός, διότι ο πιθανός αντίκτυπος των ηφαιστειακών γεγονότων εξαρτάται τόσο από τα χαρακτηριστικά του ηφαιστειακού γεγονότος όσο και από τον πληθυσμό ή τα περιουσιακά στοιχεία που κινδυνεύουν. Ως αποτέλεσμα, συνήθως μετράτε μέσω της έντασης του αποτελέσματός της, η οποία δυστυχώς έχει ένα ενδογενές συστατικό.

Υπάρχουν διαφορετικές βάσεις δεδομένων που καταγράφουν την ένταση της επίδρασης της ηφαιστειακής δραστηριότητας (Tanguy, Ribière, Scarth & Tjetjep, 1998· Witham & Oppenheimer, 2004· UNDRR). Μεταξύ αυτών των πηγών, η βάση δεδομένων εκδηλώσεων έκτακτης ανάγκης (EM-DAT) είναι η μόνη βάση δεδομένων σε ανοικτή πρόσβαση, η οποία παρέχει την ένταση των επιπτώσεων των φυσικών καταστροφών παγκοσμίως και περιλαμβάνει ανθρώπινες και οικονομικές επιπτώσεις (De Grove, Poljansek & Ehrlich, 2013). Τρία κύρια αποτελέσματα της έντασης ενός σοκ καταγράφονται: ο αριθμός των ανθρώπων που σκοτώθηκαν, ο αριθμός των ατόμων που επηρεάστηκαν και η ζημία εκτιμάται σε δολάρια ΗΠΑ. Επειδή η διαδικασία εισαγωγής δεδομένων υπόκειται σε πολλούς ελέγχους, αυτή η βάση δεδομένων χρησιμοποιείται ευρέως από διαφορετικά διεθνή ερευνητικά ιδρύματα για την επικύρωση μοντέλων κινδύνου (π.χ. Πρόγραμμα Περιβάλλοντος των Ηνωμένων Εθνών και Κοινό Κέντρο Ερευνών της Ευρωπαϊκής Ένωσης), για τη μέτρηση της επίτευξης διαφορετικών προγραμμάτων μείωσης του κινδύνου καταστροφών παγκοσμίως (π.χ. η Παγκόσμια Έκθεση Αξιολόγησης της UNISDR) και στην ακαδημαϊκή έρευνα για τις φυσικές καταστροφές (De Grove, Poljansek & Ehrlich, 2013).

Ωστόσο, όσον αφορά τα ηφαιστειακά γεγονότα, πολλοί ερευνητές έχουν επισημάνει ορισμένες ελλείψεις και σφάλματα μέτρησης. Πρώτον, καταγράφονται μόνο συμβάντα καταστροφών. Για να συμπεριληφθούν στο EM-DAT, οι καταστροφές πρέπει να έχουν από δέκα θανάτους και πάνω ή να έχουν επηρεάσει εκατό άτομα και πάνω, ή πρέπει να κηρυχθεί η πληγείσα περιοχή σε κατάσταση έκτακτης ανάγκης ή να ζητηθεί διεθνής βοήθεια. Αυτός ο

ορισμός σημαίνει ότι λείπουν και δεν καταγράφονται τα μικρά συμβάντα. Δυστυχώς, πολλά ηφαιστειακά γεγονότα συμβαίνουν σε περιορισμένη γεωγραφική κλίμακα και δεν θα καταγραφούν ποτέ ως «καταστροφές». Ωστόσο, επαναλαμβανόμενα μικρά ή μεσαία γεγονότα όπως πτώσεις τέφρας μπορεί να έχουν μακροπρόθεσμες επιπτώσεις στην υγεία και σημαντικές οικονομικές συνέπειες (Choumert-Nkolo & Phélinas, 2020). Δεύτερον, διαφορετικά ιστορικά αρχεία για τα θύματα που προκαλούνται από ηφαιστειακά γεγονότα δείχνουν σημαντική αβεβαιότητα στον αριθμό των θυμάτων (Tanguy, Ribière, Scarth & Tjetjer, 1998; Witham & Oppenheimer, 2004).

Υπάρχουν δύο κύριοι λόγοι πίσω από αυτές τις αποκλίσεις. Οι εγγραφές στον αριθμό των θανάτων βασίζονται συχνά σε ασαφείς ποιοτικές ενδείξεις ή προσεγγίσεις και όχι σε ακριβείς «επιβεβαιωμένες» μετρήσεις (Witham και Oppenheimer, 2004). Μερικά αποτελέσματα του σοκ μπορεί να εμφανιστούν μακροπρόθεσμα. Για παράδειγμα, μερικοί άνθρωποι μπορεί να πεθάνουν πολύ μετά τον πρώτο μήνα της έκρηξης από αναπνευστική ασθένεια, τραυματισμούς που προκλήθηκαν από το συμβάν, από έμμεση έλλειψη τροφής ή υποσιτισμό ή από κακές συνθήκες στέγασης και υγιεινής σε περιοχές εκκένωσης (Halkos & Zisiadou, 2018).

Αν και τα αρχεία για πρόσφατα γεγονότα είναι πιο ακριβή, η κακή αξιοπιστία των ιστορικών δεδομένων εγείρει το πρόβλημα της συνοχής των χρονικών σημείων. Οποιαδήποτε αύξηση μπορεί να είναι ένα στατιστικό αντικείμενο που προκύπτει από μια καλύτερη αναφορά ή μπορεί να είναι το αποτέλεσμα μιας πιο σοβαρής έκθεσης ή αύξησης της πυκνότητας πληθυσμού. Σημειώνεται ότι οι τελικοί αριθμοί θανάτου στο EM-DAT ενδέχεται να ενημερωθούν ακόμη και πολύ μετά την καταστροφή (De Grove, Poljansek & Ehrlich, 2013).

Τρίτον, σύμφωνα με τους Witham και Oppenheimer (2004), ο όρος «επηρεάζεται» είναι προβληματικός και μπερδεμένος επειδή οι άνθρωποι επηρεάζονται με πολύ διαφορετικούς τρόπους. Επιπλέον, το περιεχόμενό του φαίνεται να έχει αλλάξει με την πάροδο του χρόνου. Αρχικά, αναφέρθηκε κυρίως στους εκτοπισμένους και στους άστεγους. Αργότερα, περιλάμβανε άτομα σε επιφυλακή και άτομα που πλήττονται σοβαρά από πτώσεις τέφρας. Ωστόσο, δεν υπάρχουν πρότυπα για τη συλλογή όλων αυτών των πτυχών. Συγκεκριμένα, τα άτομα που επηρεάζονται μετρίως από την πτώση τέφρας συνήθως δεν αναφέρονται. Ωστόσο, η πτώση της τέφρας, ακόμη και μέτρια, μπορεί να επηρεάσει σοβαρά τόσο τις εγχώριες όσο και τις καθημερινές παραγωγικές δραστηριότητες. Για παράδειγμα, ορισμένοι άνθρωποι ενδέχεται να μην επανεκκινήσουν τις προηγούμενες οικονομικές τους δραστηριότητες επειδή το κεφάλαιό τους (γη και ζώα) έχει καταστραφεί ή έχει υποστεί σοβαρές ζημιές. Ως εκ τούτου, οι αριθμοί για τα άτομα που έχουν προσβληθεί είναι στην καλύτερη περίπτωση μία πρόχειρη προσέγγιση. Το πιο πιθανό σχήμα είναι να έχει μεγάλο σφάλμα στη διαδικασία της μέτρησης (Witham & Oppenheimer, 2004).

Τέταρτον, η ακρίβεια του αριθμού των νεκρών, τραυματισμένων, προσβεβλημένων, αγνοουμένων, εξαρτάται από το επίπεδο ανάπτυξης της χώρας καθώς και από την τοποθεσία της εκδήλωσης. Τα άτομα που ζουν σε απομακρυσμένες περιοχές και σε αναπτυσσόμενες οικονομίες έχουν χαμηλότερη πιθανότητα να αναφέρονται στις στατιστικές. Επιπλέον, η πραγματική αιτία θανάτου, τραυματισμού μπορεί να είναι ασαφής επειδή λείπουν οι υπηρεσίες υγείας και οι γιατροί που μπορούν να κάνουν μια αξιόπιστη διάγνωση. Το ποσό της οικονομικής απώλειας εξαρτάται επίσης από το οικονομικό επίπεδο της χώρας που μετράτε από το κατά κεφαλήν ΑΕΠ της. Το μέγεθος των οικονομικών απωλειών αναμένεται να είναι μεγαλύτερο στις πλουσιότερες χώρες, επειδή διατρέχουν περισσότερα

ιδιωτικά περιουσιακά στοιχεία και η δημόσια υποδομή είναι πιο ανεπτυγμένη. Επιπλέον, στις αναπτυσσόμενες οικονομίες η εκτίμηση της οικονομικής ζημίας δεν είναι εύκολη, διότι μερικές φορές λείπουν τα οικονομικά στοιχεία για ορισμένους παράγοντες, αγαθά και υπηρεσίες, ειδικά σε αγροτικές περιοχές, και μια τιμή δεν μπορεί να παρατηρηθεί εύκολα. Για παράδειγμα, οι απώλειες καλλιεργειών ή ζώων είναι δύσκολο να ποσοτικοποιηθούν (Jenkins et al., 2014).

Πέμπτον, η ρουτίνα στη συλλογή δεδομένων εναπόκειται στις εθνικές πολιτικές και τη διοίκηση. Οι αριθμοί που αναφέρονται είναι πολύ ευαίσθητοι και θα μπορούσαν να αλλοιωθούν με λάθη που αντικατοπτρίζουν κοινωνικοπολιτικά ζητήματα ή ακόμα και από την προσπάθεια να εξασφαλιστεί υψηλότερος όγκος διεθνούς βοήθειας (Jenkins et al., 2014). Όλα τα ζητήματα που τέθηκαν παραπάνω δείχνουν τον κίνδυνο ότι η πιθανότητα καταγραφής ενός συμβάντος είναι αναμφισβήτητα ενδογενής στο επίπεδο εισοδήματος της χώρας και, επομένως, της ζημίας. Η κακή ποιότητα των δεδομένων περιορίζει την αξιολόγηση των ηφαιστειακών κινδύνων από επιστήμονες και υπεύθυνους χάραξης πολιτικής και αποτελεί εμπόδιο στην κατανόηση της απόκρισης, της προσαρμογής και της ανθεκτικότητας στην έκθεση ενός ηφαιστειακού κινδύνου. Η προώθηση βελτιώσεων στα δεδομένα πρέπει να παραμείνει βασική προτεραιότητα για όλους τους ενδιαφερόμενους.

3. Κόστος Ηφαιστειακών Καταστροφών

Υπάρχει μεγάλο ενδιαφέρον για τη μέτρηση του οικονομικού κόστους των φυσικών καταστροφών μεταξύ ακαδημαϊκών, ασφαλιστικών εταιρειών και δημόσιων αρχών που είναι υπεύθυνες για την αποκατάσταση μετά τη καταστροφή και τη διαχείριση κινδύνων. Ωστόσο, δεν είναι γνωστά πολλά για το κόστος των ηφαιστειακών γεγονότων, αν και υπάρχει ένα μεγάλο φάσμα μεθοδολογιών και προσεγγίσεων για την εκτίμηση αυτών των δαπανών. Σε αυτήν την ενότητα, εξετάζεται και παρουσιάζεται το οικονομικό κόστος των ηφαιστειακών γεγονότων, παρέχοντας κατ' αρχάς μια ανασκόπηση των προηγμένων εννοιών και μεθοδολογιών για τη μέτρηση του κόστους των φυσικών καταστροφών, όπως παρουσιάζονται από τους Hallegatte και Przulski (2010), δεύτερον, εξετάζοντας τις υπάρχουσες εκτιμήσεις κόστους και τέλος δίνοντας προτάσεις για μελλοντική έρευνα.

1.5. 3.1 Έννοιες Αποτίμησης

Τα ηφαιστειακά γεγονότα δημιουργούν σημαντικές φυσικές, κοινωνικές, ανθρώπινες και κατασκευασμένες απώλειες κεφαλαίου. Αυτή η ενότητα παρέχει επομένως μια επισκόπηση των κοινά χρησιμοποιούμενων εννοιών στις εκτιμήσεις κόστους των φυσικών καταστροφών. Το εννοιολογικό πλαίσιο δεν διαφέρει από αυτό που σχετίζεται με φυσικές καταστροφές στο σύνολό τους (Hallegatte & Przulski, 2010).

Οι άμεσες απώλειες είναι άμεσες συνέπειες της φυσικής ηφαιστειακής καταστροφής. Αποτελούνται από ζημιές αγοράς και εκτός αγοράς. Αφενός, οι τιμές μπορούν να παρατηρηθούν για απώλειες στην αγορά και συνήθως περιλαμβάνουν ζημιά ή καταστροφή περιουσιακών στοιχείων, η αξία των οποίων μπορεί να τεκμηριωθεί μέσω του κόστους αποκατάστασης ή αντικατάστασης. Ωστόσο, η εκτίμηση της νομισματικής αξίας αυτών των απωλειών δεν είναι καθόλου απλή και οι υπάρχουσες μέθοδοι δεν λαμβάνουν υπόψη τις επιπτώσεις διανομής τέτοιων κεφαλαιακών ζημιών (Witham, 2005). Επιπλέον, δεδομένου ότι αυτές οι μέθοδοι βασίζονται στις τιμές της αγοράς, υπόκεινται σε μια σειρά περιορισμών που είναι συγκεκριμένοι για το περιβάλλον. Πρόκειται για την ύπαρξη άτυπης στέγασης ή ελλείπουσας αγοράς (Jenkins et al., 2014).

Η απώλεια κτιριακού κεφαλαίου και ανθρώπινου κεφαλαίου είναι τα κύρια συστατικά αυτών των άμεσων δαπανών. Αυτές περιλαμβάνουν κυρίως κτίρια, κατοικίες, σχολεία, καλλιέργειες, κτηνοτροφία, ενεργειακή υποδομή, τηλεπικοινωνίες, οδικές υποδομές, συστήματα νερού κ.λπ. Από την άλλη πλευρά, οι τιμές δεν μπορούν εύκολα να παρατηρηθούν για απώλειες εκτός αγοράς, οι οποίες μπορεί να περιλαμβάνουν ζημιές ή καταστροφή πολιτιστικών και ιστορικών χώρων, οικοσυστήματα ή επιπτώσεις στην υγεία. Η βιβλιογραφία για τα οικονομικά παρέχει ένα ευρύ φάσμα εργαλείων για την εκτίμηση της οικονομικής αξίας των μη εμπορεύσιμων αγαθών και υπηρεσιών, ωστόσο υπάρχουν πολλές συζητήσεις σχετικά με τις ορολογίες και τα εργαλεία που χρησιμοποιούνται (Brown, 2003).

Έμμεσες απώλειες προκύπτουν μετά την ηφαιστειακή φυσική καταστροφή. Δεν υπάρχει συναίνεση για την τυπολογία αυτών των έμμεσων απωλειών. Κατά συνέπεια, οι

Doucouliaγos, Stanley και Giles (2012) προτείνουν τη χρήση των ακόλουθων κριτηρίων: «Πρώτον, οι έμμεσες απώλειες προκαλούνται από δευτερεύουσες επιπτώσεις και όχι από τον ίδιο τον κίνδυνο. Το έμμεσο κόστος μπορεί να προκληθεί από καταστροφές κινδύνου ή από διακοπές επιχειρήσεων. Εκτός από αυτό το προφανές κριτήριο, το κόστος είναι έμμεσο εάν εκτείνεται σε μεγαλύτερο χρονικό διάστημα, σε μεγαλύτερη χωρική κλίμακα ή σε διαφορετικό οικονομικό τομέα από την ίδια την καταστροφή». Στη συνέχεια προσθέτουν ότι «με αυτόν τον ορισμό, η μείωση της γεωργικής απόδοσης και του γεωργικού εισοδήματος, θεωρείται ως άμεσο κόστος, συνεπές με τη διαίσθηση, ενώ οι επιπτώσεις σε έναν άλλο οικονομικό τομέα που διαπραγματεύεται με τον γεωργικό τομέα είναι έμμεσο κόστος». Αυτές οι έμμεσες απώλειες μπορούν να λάβουν τη μορφή απώλειας αγοράς και εκτός αγοράς (Doucouliaγos, Stanley & Giles, 2012).

Αυτά περιλαμβάνουν, για παράδειγμα, απώλεια κερδών ή απασχόλησης μετά από οδική ζημία ή μείωση της ζήτησης των καταναλωτών, καθώς και βραχυπρόθεσμες και τρέχουσες επιπτώσεις στα μακροοικονομικά μεγέθη, όπως τα ποσοστά φτώχειας, το ΑΕΠ ή οι κρατικές δαπάνες (αυτές οι μακροοικονομικές επιπτώσεις μπορούν επίσης να αναφέρονται ως δευτερεύουσες επιπτώσεις (Brown, 2003)). Αυτά τα μακροοικονομικά κόστη θα αναφερθούν αναλυτικότερα στη συνέχεια.

Οι έμμεσες δαπάνες αποτελούν μείζονα συνιστώσα του συνολικού κόστους (Hallegatte & Przulski, 2010), αλλά οι περισσότερες υπολογιζόμενες δαπάνες είναι άμεσες δαπάνες, γεγονός που οδηγεί έτσι σε υποτίμηση του κόστους των καταστροφών. Στην πραγματικότητα, το κόστος που αναφέρεται μετά από μια καταστροφή θα αναφέρεται συνήθως σε πιο απτά κόστη, ενώ άλλα άυλα κόστη θα μπορούσαν να αναφέρονται σε μη νομισματικούς όρους (π.χ. ο αριθμός των πληγέντων).

1.6. 3.2 Μελλοντική Έρευνα & Μεθοδολογικές Προκλήσεις

Παραμένει σημαντικό κενό έρευνας και γνώσης στο συνολικό οικονομικό κόστος των ηφαιστειακών γεγονότων. Μέχρι σήμερα, δεν υπάρχει σαφής εκτίμηση του συνολικού οικονομικού κόστους των ηφαιστειακών γεγονότων, παρά το γεγονός ότι επηρεάζουν εκατομμύρια ανθρώπους. Αυτά τα κόστη κατανέμονται σε διαφορετικά μεγέθη και σε χρονικές και χωρικές κλίμακες.

Όπως με κάθε άλλο είδος φυσικής καταστροφής, μια προφανής συνέπεια των ηφαιστειακών εκρήξεων είναι η υπερβολική θνησιμότητα και νοσηρότητα που μπορούν να προκαλέσουν άμεσα. Από όσα είναι γνωστά, δεν υπάρχει μέχρι σήμερα έρευνα σχετικά με την εκτίμηση της έκθεσης σε ηφαιστειακή δραστηριότητα όσον αφορά το κόστος που σχετίζεται με την υγεία των κατοίκων ή τα κακά αποτελέσματα της αγοράς εργασίας στον εφοδιασμό ή / και την παραγωγικότητα - επιπτώσεις που έχουν αποδειχθεί στην περίπτωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης από ανθρωπογενείς πηγές (Graff Zivin & Neidell, 2012).

Δεδομένου ότι το κόστος αυτό υπερβαίνει το κόστος φυσικής καταστροφής, τα οικονομικά επιτρέπουν τον ποσοτικό προσδιορισμό της διακύμανσης της ευημερίας που προκύπτει από ηφαιστειακά γεγονότα. Η εκτίμηση κόστους των ηφαιστειακών γεγονότων είναι μια δύσκολη άσκηση τόσο από μεθοδολογική άποψη όσο και από επιχειρησιακή. Επιπλέον, οι ασκήσεις εκτίμησης κόστους λένε λίγα για την προσαρμοστική συμπεριφορά

των πληγέντων νοικοκυριών και για την ανταπόκρισή τους σε τέτοια σοκ. Προκειμένου να ενημερωθούν καλύτερα οι πολιτικές διαχείρισης κινδύνων και μετά την καταστροφή, οι οικονομολόγοι θα πρέπει να καταβάλουν περισσότερες προσπάθειες για την κατανόηση της συμπεριφοράς των νοικοκυριών από τον ηφαιστειακό κίνδυνο.

4. Μικροοικονομική των Ηφαιστειών

Η εκτίμηση των τάσεων και του κόστους των ηφαιστειακών γεγονότων είναι ζωτικής σημασίας για να καθοριστεί εάν μια δημόσια παρέμβαση που στοχεύει στην άμβλυνσή τους είναι οικονομικά αποδοτική, ωστόσο, αυτοί οι αριθμοί δεν αποτυπώνουν λεπτομερώς τον τρόπο με τον οποίο τα ηφαίστεια επηρεάζουν την ευημερία των ατόμων. Οι συνολικές απώλειες που εμφανίζονται ως αμελητέες μπορεί να υποδηλώνουν καταστροφικές κοινωνικοοικονομικές επιπτώσεις όταν επιβάλλονται σε νοικοκυριά που κατέχουν πολύ λίγα και όπου η υποδομή και ο εξοπλισμός ήταν αρχικά ασταθείς.

1.7. 4.1 Νοικοκυριά

Η ανάλυση των απωλειών πρόνοιας που προκαλούνται σε εκτεθειμένα νοικοκυριά από κίνδυνο φυσικής καταστροφής χρησιμοποιεί έννοιες που αναπτύχθηκαν από δύο συστοιχίες μικροοικονομικών μελετών, η πρώτη εστιάζει στις εκ των υστέρων επιπτώσεις, όταν συμβαίνει σοκ και η δεύτερη εξετάζει τις εκ των προτέρων στρατηγικές που χρησιμοποιούνται από τα νοικοκυριά να διαχειριστούν τον κίνδυνο, εν αναμονή ενός μελλοντικού σοκ. Επιπλέον, λόγω των χαρακτηριστικών του ηφαιστειακού κινδύνου και του εντοπισμού τους σε περιοχές χαμηλού εισοδήματος, τόσο οι εκ των υστέρων όσο και οι εκ των προτέρων επιπτώσεις, στην περίπτωση αυτή, μπορούν να εξεταστούν υπό το φως των δεσμών μεταξύ αυτών των κινδύνων, το καθεστώς της φτώχειας, τα εκτεθειμένα άτομα και οι ανεπάρκειες της τοπικής αγοράς (Bernknopf, Brookshire & Thayer, 1990). Από τη μία πλευρά, τα περιουσιακά στοιχεία των νοικοκυριών καθορίζουν έντονα εάν το νοικοκυριό θα είναι σε θέση να αποφύγει απώλειες ευημερίας όταν χτυπήσει μια καταστροφή (υψηλή ευπάθεια) και να ανακάμψει από αυτά (χαμηλή ανθεκτικότητα). Για ένα ευάλωτο νοικοκυριό, η εμφάνιση μιας φυσικής καταστροφής μπορεί έτσι να αυξήσει την πιθανότητα να μην είναι σε θέση να καλύψει τις βασικές ανάγκες και να παγιδευτεί σε μια παγίδα φτώχειας, προκαλώντας δραματικές δυσμενείς επιπτώσεις στην ευημερία του. Η φτώχεια εμφανίζεται ως οδηγός και ως συνέπεια των ζημιών που προκαλούνται από καταστροφές (Budd, Griggs, Howarth & Ison, 2011).

Από την άλλη πλευρά, η ίδια η απειλή μιας καταστροφής δεν μπορεί να μεταφερθεί αποτελεσματικά (ελλιπής ή ατελής ασφαλιστική αγορά) από εκτεθειμένα νοικοκυριά και μικρούς επιχειρηματίες, επηρεάζοντας την ευημερία και τις επενδύσεις τους λόγω της αποτροπής του κινδύνου και παρά την περίπλοκη αλλά δαπανηρή εκ των προτέρων αυτό-ασφαλιστικών ρυθμίσεων. Οι συνέπειες αυτού είναι η διαιώνιση της φτώχειας των ατόμων σε μεγάλο βαθμό (Budd, Griggs, Howarth & Ison, 2011).

Η βιβλιογραφία σχετικά με τις στρατηγικές αντιμετώπισης που χρησιμοποιούν τα άτομα για τη διαχείριση ενός επικίνδυνου πλαισίου για αποφάσεις παραγωγής και κατανάλωσης έχει τεκμηριώσει πολλά αποδεικτικά στοιχεία που δείχνουν ότι αυτές οι στρατηγικές μειώνουν τα εισοδήματα και τις επενδύσεις σε επίπεδο νοικοκυριού (Elbers, Gunning & Kinsey, 2007). Για τους φτωχότερους που δεν έχουν πρόσβαση στις χρηματοπιστωτικές αγορές και θυσιάζουν την κατανομή της αποδοτικότητας προκειμένου να

εξομαλύνουν τις διακυμάνσεις του εισοδήματος με την πάροδο του χρόνου, αυτές οι στρατηγικές μπορούν να οδηγήσουν στην εισαγωγή παραγωγικών δραστηριοτήτων με χαμηλή οριακή απόδοση σε πιο διαφοροποιημένα χαρτοφυλάκια (Aspinall & Blong, 2015), αυξάνοντας το μερίδιο του κεφαλαίου τους αφιερωμένο στην καλλιέργεια διαβίωσης (Pareschi et al., 2000) ή σε δραστηριότητες εκτός αγροκτημάτων (Macours, 2012) καθώς και μια από-κεφαλαιοποίηση παραγωγικών περιουσιακών στοιχείων (Aspinall & Blong, 2015). Ωστόσο, το χαρακτηριστικό αυτό-ασφάλισης αυτών των στρατηγικών που εντοπίζεται σε περιπτώσεις διακύμανσης του καιρού μπορεί να ισχύει μόνο εάν τα αποθέματα κεφαλαίου αγροκτημάτων και επιχειρήσεων (εκτός αγροκτημάτων), καθώς και προληπτικές εξοικονομήσεις με τη μορφή σπόρων, ζώων και άλλων περιουσιακών στοιχείων υψηλής ρευστότητας, είναι άτρωτα στην προσβολή, μια κατάσταση που δύσκολα αναμένεται όταν χτυπήσει μια ηφαιστειακή έκρηξη.

Όπως και με τις πωλήσεις περιουσιακών στοιχείων, ο ανεπίσημος μηχανισμός ασφάλισης που συνίσταται στην ανταλλαγή κινδύνων με ένα δίκτυο φίλων και συγγενών μπορεί να αμφισβητηθεί σοβαρά γύρω από τα ηφαιστεια, επειδή οι σύνδεσμοι αμοιβαίας βοήθειας βασίζονται παραδοσιακά στη γεωγραφική εγγύτητα (Sparks & Aspinall, 2004), ενώ μια ηφαιστειακή εκδήλωση έχει συνδυαστική φύση. Η διαφοροποίηση του δικτύου συγγένειας στέλνοντας ένα μέλος του νοικοκυριού να εργάζεται μακριά από μια εκτεθειμένη περιοχή είναι μια καλά τεκμηριωμένη στρατηγική που χρησιμοποιείται για τη λήψη εμβασμάτων σε περίπτωση σοκ, συμπεριλαμβανομένων των φυσικών καταστροφών (Gröger & Zylberberg, 2016).

Ωστόσο, το να συνεχίσουν να ζούνε μαζί παρέχει στα μέλη της οικογένειας πολλαπλά οφέλη που είναι πιο δαπανηρά μόλις χωριστεί μια οικογένεια (Fafchamps & Quisumbing, 2007). Η γεωγραφική απόσταση μπορεί επίσης να θεωρηθεί ως φυσικό εμπόδιο σε περίπτωση έκρηξης λόγω κατεστραμμένης υποδομής που μπορεί να περιορίσει περαιτέρω την εισροή υποστήριξης εξωτερικά της πληγείσας περιοχής. Η τεχνολογία κινητής τηλεφωνίας μπορεί να διευκολύνει τη βοήθεια μεταξύ νοικοκυριών σε μεγάλες αποστάσεις (Jack & Suri, 2014). Ωστόσο, όσοι έχουν τη μεγαλύτερη ανάγκη μπορεί να μην επωφεληθούν από αυτό, καθώς οι μεταφορές μέσω κινητού τηλεφώνου απαιτούν την κατοχή κινητών τηλεφώνων και ορισμένα εμπειρικά στοιχεία δείχνουν ότι οι φτωχότεροι ιδιοκτήτες κινητής τηλεφωνίας είναι λιγότερο πιθανό να λάβουν αυτές τις μεταφορές μετά από μια φυσική καταστροφή (Blumenstock, Eagle & Fafchamps, 2016).

Ως εκ τούτου, τα νοικοκυριά απέναντι σε έναν ηφαιστειακό κίνδυνο είναι πιθανότερο, στην καλύτερη περίπτωση, να επιτύχουν μερική ασφάλιση, οδηγώντας σε αναμενόμενη μείωση των δαπανών κατανάλωσης, υγείας και εκπαίδευσης όταν συμβεί η ανασφάλιστη έκρηξη, με δυσμενείς και επίμονες επιπτώσεις στην ευημερία (Dercon, 2004) που μπορεί να μεταδοθούν στις επόμενες γενιές και να επηρεάσουν τα κορίτσια περισσότερο από τα αγόρια (Maccini and Yang, 2009). Λόγω των χαρακτηριστικών αυτού του κινδύνου - κυμαινόμενο και γεωγραφικά καθορισμένο, ενώ ενεργοποιεί στρατηγικές εκ των προτέρων αντιμετώπισης αλλά βλάπτει τα αποθέματα κεφαλαίου όταν συμβαίνει - το μέγεθος των συνολικών απωλειών που προκαλούνται από ηφαιστειακές εκρήξεις αναμένεται να είναι μεγάλο ενώ διανέμεται άνισα (Aspinall & Blong, 2015).

Ο πληθυσμός μειώνεται μέσω της μετανάστευσης από μια περιοχή όπου μια καταστροφή κατέστρεψε μέρος των κεφαλαιακών αποθεμάτων, των υποδομών και των φυσικών πόρων και έχει αποδειχθεί ότι αποτελεί κυρίαρχη προσαρμογή για την αποκατάσταση της ισορροπίας στην αγορά εργασίας (Fournier d'Albe, 1979). Ωστόσο, μια

έκρηξη μπορεί όχι μόνο να παρακινήσει τους κατοίκους να εγκαταλείψουν τις πληγείσες περιοχές λόγω της απώλειας ευκαιριών που δημιουργούν εισόδημα σε τοπικό επίπεδο, αλλά μπορεί επίσης να εξουδετερώσει την μετανάστευση. Πρώτον και παρά τις επακόλουθες καταστροφές που μπορούν να συρρικνώσουν τον εφοδιασμό της τοπικής αγοράς κατοικιών, οι σχετικές τιμές γης είναι πιθανό να αυξηθούν σε στενές ασφαλέστερες περιοχές μεσοπρόθεσμα μετά από μια έκρηξη, τιμολογώντας από αυτές τις ασφαλέστερες περιοχές φτωχά νοικοκυριά, τα οποία ενθαρρύνονται να παραμείνουν στις πληγείσες περιοχές ή να μετακινηθούν (Boustan, Kahn, Rhode & Yanguas, 2020). Δεύτερον, οι καταστροφές καθιστούν πιο δαπανηρή την πρόσβαση στη χρηματοδότηση για την εξεύρεση του σημαντικού εκ των προτέρων κόστους που απαιτεί η μετανάστευση, με αποτέλεσμα οι πιστωτικοί περιορισμοί να είναι πιο πιθανό να δεσμεύσουν (Yang, 2008). Επομένως, οι μεταναστευτικές ροές μετά από ηφαιστειακές εκρήξεις μπορεί να επιδεινώσουν την ανισότητα καθώς οι πλούσιοι απομακρύνονται από τις πληγείσες περιοχές ενώ οι φτωχοί μένουν πίσω.

Σε ένα τέτοιο περιβάλλον όπου τα νοικοκυριά συνεχίζουν να φέρουν τον κίνδυνο ανασφάλιστων απωλειών επιβίωσης, η έρευνα έχει επίσης εντοπίσει αιτίες από πλευράς ζήτησης για τα κοινωνικά αναποτελεσματικά επίπεδα αυτοπροστασίας όταν είναι διαθέσιμα (τόσο ασφαλιστικές ρυθμίσεις όσο και μέτρα μείωσης του κινδύνου). Η ταχεία επέκταση πολλών πόλεων που βρίσκονται στους πρόποδες των ηφαιστειών έχει οδηγήσει τους ανθρώπους να εγκατασταθούν ανεπίσημα στις πλευρές των ηφαιστειών και σε κοιλάδες με τάση λάχαρ (lahar), λαμβάνοντας υπόψη ότι η ανασφαλής ιδιοκτησία γης αποθαρρύνει την οικοδόμηση βελτιώσεων με ανθεκτικό υλικό και σχεδιασμό, δεδομένου ότι κάποιος άλλος μπορεί να αρπάξει τη γη τη στιγμή που θα συμβεί μια έκρηξη (Donovan, Eiser & Sparks, 2017).

Επιπλέον, τα δημόσια προγράμματα ανακούφισης και η ιδιωτική φιλανθρωπική οργάνωση είναι ένα γνωστό υποκατάστατο μηδενικού ασφαλιστρου για προσπάθειες αυτοπροστασίας, που μπορούν εύλογα να αναμένονται από νοικοκυριά που απειλούνται από ηφαιστειακές εκρήξεις (Donovan, Eiser & Sparks, 2017). Ονομάζεται κίνδυνος φιλανθρωπίας (Browne and Hoyt, 2000), αυτό το πλήθος στην αυτοπροστασία με τους εκτεθειμένους ανθρώπους που βασίζονται στην εκ των υστέρων βοήθεια είναι ακόμη περισσότερο ένα ζήτημα, δεδομένου ότι από τη μία πλευρά μπορεί να επηρεάσει την πλευρά της προσφοράς ασφαλιστικής αγοράς και να οδηγήσει σε έναν φαύλο κύκλο υψηλότερων ασφαλιστρών και χαμηλότερης απορρόφησης, και από την άλλη πλευρά, οι προσδοκίες βοήθειας μπορούν να εξαρτηθούν ενδογενώς από το επίπεδο αυτοπροστασίας στην περιοχή πριν από την καταστροφή (Grislain-Létrémy, 2018). Εκτός αυτού, η βεβαιότητα σχετικά με τη λήψη βοήθειας σε περίπτωση σοκ είναι προϋπόθεση για ένα ισχυρό φαινόμενο crowding-out (Raschky, Schwarze, Schwindt & Zahn, 2010).

Όλες αυτές οι γνώσεις σχετικά με το πώς ο ηφαιστειακός κίνδυνος μπορεί να συμβάλει στην αναποτελεσματική κατανομή των πόρων και της ανισότητας μοιράζεται την υπόθεση ότι τα εκτεθειμένα άτομα βρήκαν τις αποφάσεις τους σχετικά με την ακριβή γνώση των απωλειών και των πιθανοτήτων, καθώς και σε σαφείς και σταθερές προτιμήσεις έναντι διαφόρων κινδύνων και καθ' όλη τη διάρκεια της ζωής τους. Ωστόσο, η χαμηλή συχνότητα που ενέχει ο ηφαιστειακός κίνδυνος ενέχει την πρόκληση ότι η εμπειρία του παρελθόντος και η συλλογική μνήμη σπάνια παρέχουν μια καλή πρόβλεψη για την πιθανότητα κατανομής των τύπων κινδύνου, των εντάσεων και των σχετικών απωλειών. Η περιορισμένη ετοιμότητα μέσω εκστρατειών πληροφόρησης και εκπαίδευσης, σε συνδυασμό με τα συστήματα συναγερμού έκτακτης ανάγκης που αποτυγχάνουν σε θεσμικό (συντονισμό) και τεχνικό επίπεδο, αποτελούν πρόσθετα πληροφοριακά εμπόδια που εξηγούν γιατί οι πρώτες

αντιδράσεις μπορεί να είναι πολύ μακριά από τη βέλτιστη ανταπόκριση, όταν είναι γνωστές οι επικείμενες συνέπειες και η σοβαρότητα ενός ηφαιστειακού γεγονότος.

1.8. 4.2 Επισκόπηση Μελετών Σχετικά με τους Ηφαιστειακούς Κινδύνους

Ενώ η μικροοικονομική βιβλιογραφία εγείρει ανησυχίες σχετικά με μία περίπτωση ηφαιστειακού κινδύνου, που αφορά τις επιπτώσεις στα νοικοκυριά, ωστόσο παρέχει λίγα μόνο στοιχεία, με συνέπεια να μην υπάρχουν κατευθυντήριες γραμμές βάσει στοιχείων για την υποστήριξη του σχεδιασμού αποτελεσματικών δημόσιων παρεμβάσεων.

Όσον αφορά τη συσσώρευση φυσικού κεφαλαίου, ο Stephane (2018) μέτρησε ότι μια ινδονησιακή φάρμα που κινδυνεύει από έκρηξη θα είχε εξοπλιστεί με 33% έως 51% λιγότερο παραγωγικά περιουσιακά στοιχεία μετά από πενήντα χρόνια σε σύγκριση με μια παρόμοια εκμετάλλευση έξω από την απειλούμενη περιοχή. Το αποτέλεσμα βασίζεται σε ένα στοχαστικό μοντέλο ανάπτυξης βαθμονομημένο με δεδομένα από την έρευνα της Ινδονησίας για την Οικογενειακή Ζωή. Προσομοίωσε τα αποθέματα κεφαλαίου με την πάροδο του χρόνου, που προκύπτουν από την επενδυτική απόφαση και επηρεάζονται από τον κίνδυνο αποζημίωσης ελλείψει προσβολής και από την αλλαγή της αντίληψης κινδύνου που προέκυψε από προηγούμενες εκρήξεις, από κοινού με τις ζημιές σε περίπτωση έκρηξης. Αυτό του επέτρεψε να αποσυνθέσει τη συνολική επίδραση του ηφαιστειακού κινδύνου και διαπίστωσε ότι μόνο το ήμισυ οφείλεται σε ζημιές από πραγματικές εκρήξεις, ενώ το εκ των προτέρων αποτέλεσμα εξακολουθεί να αντιπροσωπεύει μια διαφορά μετοχικού κεφαλαίου από -7% έως -17% μεταξύ ενός επηρεαζόμενου και μη επηρεαζόμενου αγροκτήματος (Stephane, 2018).

Συνεπώς με αυτό το αποτέλεσμα επενδύσεις σε ηφαιστειακές περιοχές στην Ινδονησία, οι Faurie et al. (2016) έδειξαν ότι ένα δείγμα ατόμων που είναι πιο εκτεθειμένα σε ηφαιστειακό κίνδυνο, στο όρος Merapi στην Ιάβα, είναι λιγότερο πρόθυμο να επενδύσει σε μια επικίνδυνη επιλογή σε σύγκριση με άτομα σε μια λιγότερο επηρεασμένη περιοχή του νησιού. Χρησιμοποιώντας ένα πείραμα συμπεριφοράς που συνίσταται σε μια εργασία επιλογής χαρτοφυλακίου και τη συλλογή δειγμάτων DNA των συμμετεχόντων για να τα ταξινομήσουν σύμφωνα με τις παραλλαγές ενός γονιδίου που σχετίζεται με την αναζήτηση καινοτομίας, οι συγγραφείς διαπίστωσαν ότι αυτές οι παραλλαγές δεν κατανέμονται ομοιόμορφα μεταξύ των περιοχών υψηλότερου κινδύνου και χαμηλότερου κινδύνου, ενώ οι δύο περιοχές είναι γεωγραφικά κοντά. Μάλλον παρείχαν αποδεικτικά στοιχεία ότι αυτή η γενετική ανισότητα είναι ένας ισχυρότερος καθοριστικός παράγοντας των συμπεριφορικών διαφορών που παρατηρήθηκαν στο πείραμα σε σύγκριση με τον τόπο κατοικίας και κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η γενετική διαφοροποίηση έχει συμβεί ως προσαρμογή στον ηφαιστειακό κίνδυνο, ευνοώντας τις στάσεις που αποφεύγουν τον κίνδυνο μεταξύ των πιο εκτεθειμένων κατοίκων (Faurie et al., 2016).

Τα τελευταία ευρήματα έρχονται σε σύγκρουση με ένα από τα κανάλια μέσω των οποίων ο περιβαλλοντικός κίνδυνος μπορεί να προωθήσει τη μετανάστευση. Αντιμετωπίζοντας την προοπτική απώλειας της ευημερίας του, ένας κάτοικος για να αποφύγει τον κίνδυνο της ηφαιστειακής έκρηξης, είναι πιο πιθανό να επιλέξει την μετανάστευση. Τα πολλαπλά εμπόδια που αντιμετωπίζουν στη μετανάστευση είναι πιθανό να εμπλέκονται στην περίπτωση που μελετήθηκε από τους Faurie et al. (2016), όπου η μέση

αναφερόμενη απόσταση μεταξύ του τόπου γέννησης και του τόπου κατοικίας είναι μικρότερη από δύο χιλιόμετρα και στις δύο περιοχές.

Ωστόσο, όταν συσσωρεύονται με αυτά τα εμπόδια, μια συχνά αναφερόμενη υπόθεση μπορεί επίσης να αποζημιώσει τα άτομα να φέρουν έναν ηφαιστειακό κίνδυνο, ακόμη και άτομα που αποφεύγουν τον κίνδυνο. Αφορά τη γη, ένα στρατηγικό κεφάλαιο για τα νοικοκυριά, και δηλώνει ότι η βελτιωμένη ποιότητα του εδάφους που προέρχεται από θρεπτικά συστατικά (εκεί που πέφτει η τέφρα) και οι ψυχρότερες θερμοκρασίες που σχετίζονται με υψηλότερα υψόμετρα και ταυτόχρονα με βραδύτερη βακτηριακή δράση, μεταφέρουν ένα κέρδος στη χρησιμότητα, που εξηγεί τους ανθρώπινους οικισμούς σε ηφαιστειακές περιοχές, ιδίως γιατί η Ιάβα είναι ένα από τα πιο πυκνά πληθυσμιακά μέρη στη γη. Μελέτη των περιπτώσεων τοπικών κοινοτήτων που ζουν σε κίνδυνο της Dieng caldera και του όρους Merapi στην Ιάβα, Lavigne et al. (2008) υποστήριξε ότι οι καλλιεργητές πατάτας και οι ανθρακωρύχοι ανέχονται τον κίνδυνο παρά τους συχνούς θανάτους και την καταστροφή περιουσιακών στοιχείων από ηφαιστειακούς κινδύνους, επειδή αυτές οι δραστηριότητες παράγουν πολύ περισσότερα εισοδήματα από άλλα επαγγέλματα. Ως παράδειγμα, οι συγγραφείς ανέφεραν ότι τα χωράφια πατάτας έχουν επεκταθεί σε μια γνωστή καθορισμένη ζώνη κινδύνου που απειλείται από θανατηφόρους ηφαιστειακούς κινδύνους, ως απάντηση στην αυξανόμενη ζήτηση για τέτοια προϊόντα (Lavigne et al., 2008).

Εμπειρικές δοκιμές στον Ισημερινό με την υπόθεση ότι τα ηφαιστειακά χωράφια μεταφέρουν καθαρά οφέλη στους ιδιοκτήτες τους, λόγω της υψηλής παραγωγικότητάς τους, και παρά τον κίνδυνο καταστροφής των καλλιεργειών και των ζώων από έκρηξη, οι Choumert-Nkolo και Phélinas (2020) αποκάλυψαν ότι οι γεωργικές εκτάσεις που κινδυνεύουν από πτώση τέφρας από το ηφαίστειο Tungurahua υποτιμούνται μάλλον από αρνητικό ασφάλιστρο 21%. Το αποτέλεσμα τους βασίζεται σε ένα μοντέλο που εφαρμόζεται σε πρωτογενή μικροδεδομένα από μια περιοχή με αποθέματα ηφαιστειακής τέφρας και ένα άλλο επιλεγμένο που δεν είχε εκρηκτικά σημάδια, αλλά μοιράζεται πολλές γεωγραφικές ομοιότητες με την πληγείσα τοποθεσία - συμπεριλαμβανομένου του υψόμετρου της. Ως εκ τούτου, η διαπίστωσή τους δεν αποκλείει ότι παράγοντες που σχετίζονται με το υψόμετρο μπορεί να προσφέρουν οικονομικό όφελος όταν ζουν σε ηφαιστειακές εκτάσεις, αυτό σημαίνει ότι η γονιμοποιητική επίδραση της ηφαιστειακής τέφρας δεν αντισταθμίζει καθόλου τις αρνητικές επιπτώσεις του ηφαιστειακού κινδύνου στην ευημερία του αγροτικού νοικοκυριού που κατέχει τη γη. Τα ευρήματα τείνουν μάλλον να υποστηρίζουν ότι τα νοικοκυριά που ζουν στις πλευρές των ηφαιστίων ενδέχεται να μην είναι σε θέση να αγοράσουν γη σε ασφαλέστερη περιοχή, τουλάχιστον μεσοπρόθεσμα (Choumert-Nkolo & Phélinas, 2020).

Οι Choumert-Nkolo και Phélinas (2020) παρείχαν επίσης αποδεικτικά στοιχεία σε μη γεωργικές αγορές εργασίας που δείχνουν χαμηλότερο ποσοστό συμμετοχής στην περιοχή υπό την απειλή του ηφαιστίου Tungurahua, ενώ τα μερίδια των αγροτών είναι συγκρίσιμα μεταξύ τοποθεσιών. Για να εξηγήσουν γιατί τα νοικοκυριά δεν εμπλέκονται σε μεγαλύτερο βαθμό στη διαφοροποίηση των οικονομικών τους δραστηριοτήτων, ως απάντηση στον ηφαιστειακό κίνδυνο, οι συγγραφείς διατυπώνουν δύο επιχειρήματα. Πρώτον, τα εκπαιδευτικά επιτεύγματα είναι χαμηλότερα μεταξύ των εργαζομένων σε μια επικίνδυνη περιοχή, καθιστώντας τους πιο πιθανό να μην έχουν τις δεξιότητες που απαιτούνται από τις θέσεις εργασίας εκτός αγροκτήματος. Δεύτερον, οι ευκαιρίες απασχόλησης φαίνονται επίσης πιο σπάνιες από ότι στην περιοχή σύγκρισης (Choumert-Nkolo & Phélinas, 2020).

Σύμφωνα με αμφότερα τα επιχειρήματα και αποδεικνύοντας περαιτέρω ότι αυτές οι συνθήκες μπορούν να προκύψουν από προηγούμενες εκρήξεις, ο Caruso (2017) έδειξε ότι οι ηφαιστειακές εκρήξεις που σημειώθηκαν στη Λατινική Αμερική κατά τον εικοστό αιώνα έχουν προκαλέσει μακροχρόνιες αρνητικές επιπτώσεις στην εκπαίδευση και την απασχόληση των επηρεαζόμενων ατόμων καθώς και των παιδιών τους. Χρησιμοποιώντας μικροδεδομένα από εθνικές απογραφές και από τις βάσεις δεδομένων EM-DAT όσο και από το DesInventar για να εντοπίσουν άτομα που επηρεάστηκαν ως παιδιά από ηφαιστειακό κίνδυνο καθώς και την ηλικία τους όταν συνέβη, ο συγγραφέας υπολόγισε ότι τα γεγονότα πάνω από τη μέση ένταση προκάλεσαν απώλεια των ετών σχολικής εκπαίδευσης που αντιστοιχούν σε μια περίοδο από 3 εβδομάδες έως περισσότερο 4 μήνες μεταξύ των ατόμων που επηρεάστηκαν κατά την παιδική τους ηλικία. Αυτή η αρνητική επίδραση στην εκπαίδευση μπορεί επίσης να παρατηρηθεί κατά την εξέταση μικρότερων ηφαιστειακών κινδύνων, ειδικά για άτομα που εκτίθενται κατά τη διάρκεια της περιόδου της εγκυμοσύνης. Ο συγγραφέας παρουσίασε επίσης στοιχεία ότι οι περισσότεροι άνθρωποι που επλήγησαν από έκρηξη στην παιδική τους ηλικία ή κατά τη διάρκεια της εγκυμοσύνης, είναι πιθανότερο να μην μπορούν να εργαστούν λόγω οποιουδήποτε είδους αναπηρίας, ενώ μια μεγαλύτερη αύξηση της πιθανότητας να είναι άνεργοι μακροπρόθεσμα εντοπίστηκε επίσης, αλλά μόνο για αυτούς που είχαν εκτεθεί πριν από τη σχολική ηλικία. Επιπλέον, ελήφθησαν κάποιες ενδεικτικές ενδείξεις για τις επιπτώσεις μεταξύ των γενεών, με μερικά παιδιά να πηγαίνουν στο σχολείο για μικρότερο χρονικό διάστημα και να αναγκάζονται σε παιδική εργασία εάν ένας από τους γονείς τους εκτέθηκε σε έκρηξη στην παιδική του ηλικία (Caruso, 2017).

Η τροποποίηση των ικανοτήτων των γονέων να παρέχουν περιβάλλοντα φροντίδας στα παιδιά έχει καθιερωθεί ως ένας πολύ σχετικός μηχανισμός που βασίζεται στην επιμονή ενός σοκ που υπέστη στην πρώιμη ζωή, ή από τους γονείς, σχετικά με τα εκπαιδευτικά και υγειονομικά αποτελέσματα και επιβεβαιώθηκε σε μια περίπτωση της Ινδονησίας μετά από ηφαιστειακές εκρήξεις από τον Schwefel (2018). Η τελευταία μελέτη συνίσταται σε μια αξιολόγηση επιπτώσεων μιας πρόσφατης έκρηξης του όρους Kelud και του όρους Merapi βάσει μιας προσέγγισης διαφοράς σε διαφορά χρησιμοποιώντας μηνιαία δεδομένα που συλλέγονται από μια ΜΚΟ σε ολόκληρη τη χώρα. Στα νοικοκυριά του δείγματος χορηγήθηκε καθεστώς θεραπείας εάν και η βιβλιογραφία που αναθεωρήθηκε από τον συγγραφέα ανέφερε την τρέχουσα κοινότητά τους ως επηρεασμένη από ηφαιστειακούς κινδύνους κατά τη διάρκεια των εκρήξεων. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι τα νοικοκυριά που επηρεάζονται είναι πιο πιθανό να εμφανίσουν ενδοοικογενειακή βία κατά 4% παραπάνω λόγω των εκρήξεων, από κοινού με υψηλότερη χρήση αλκοόλ ή ναρκωτικών και χαμηλότερη αναφερόμενη συναισθηματική ευεξία (Schwefel, 2018).

Ο συγγραφέας απέδωσε επίσης μείωση των μέσων οικιακών δαπανών στο ηφαιστειακό σοκ, χρησιμοποιώντας περιφερειακά στοιχεία από την Παγκόσμια Τράπεζα. Επιπλέον, ο αντίκτυπος της έκρηξης στην εξάπλωση της ενδοοικογενειακής βίας βρέθηκε να είναι πολύ υψηλότερος σε ένα δείγμα εσωτερικά εκτοπισμένων ατόμων. Αυτό το εύρημα μπορεί να προκύψει από τα κοινωνικά δίκτυα και, συνεπώς, από τον κοινωνικό έλεγχο και την αμοιβαία βοήθεια, που εξασθενεί λόγω του αναγκαστικού εκτοπισμού, ενώ μπορεί να ήταν πιο αποτελεσματικά στον περιορισμό των αρνητικών επιπτώσεων της έκρηξης μεταξύ άλλων επηρεαζόμενων κοινοτήτων (Schwefel, 2018).

Ορισμένα στοιχεία που παρουσίασε ο Stephane (2018) αποδίδουν πίστη στον ρόλο του κοινωνικού κεφαλαίου σε περίπτωση ηφαιστειακού γεγονότος. Εκτίμησε την επίδραση μιας μεταβλητής που μετρά το πάχος της ηφαιστειακής τέφρας σε πολλές κοινότητες του Εκουαδόρ γύρω από το ηφαίστειο Tungurahua, στο κοινωνικό κεφάλαιο των κατοίκων τους

χρησιμοποιώντας πρωτογενή δεδομένα. Διαπίστωσε ότι η προθυμία να βοηθήσουν τους άλλους και να συνεισφέρουν σε συλλογικά αγαθά, καθώς και το μέγεθος των άτυπων δικτύων βοήθειας, αυξάνεται καθώς οι ηφαιστειακές αποθέσεις γίνονται πιο εμφανείς. Ο συγγραφέας, ωστόσο, έδειξε ότι η διαπροσωπική συνεργασία ενισχύεται μόνο σε κοινότητες με μεγάλες διαφορές πλούτου μεταξύ των μελών τους, ενώ τείνει να μειώνεται με την ομοιογένεια των κοινοτήτων. Επομένως, τα νοικοκυριά από τις πιο ομοιογενείς κοινότητες μπορεί να είναι πιο ευάλωτα και λιγότερο ανθεκτικά σε όλα τα σοκ, συμπεριλαμβανομένων των ιδιοσυγκρασιακών επακόλουθων μετά την έκρηξη (Stephane, 2018).

Συνολικά, τα περισσότερα στοιχεία δείχνουν την ύπαρξη θυλάκων φτώχειας στις οικιστικές ζώνες των ηφαιστειών, με λιγότερη συσσώρευση φυσικού και ανθρώπινου κεφαλαίου, καθώς και λιγότερο κοινωνικό κεφάλαιο εάν η κοινότητα αποτελείται μόνο από φτωχά νοικοκυριά. Μεταξύ όλων των φυσικών καταστροφών, ο Caruso (2017) διαπίστωσε ότι τα ηφαίστεια έχουν τις πιο καταστροφικές μακροπρόθεσμες επιπτώσεις στον πλούτο. Επιπλέον έδειξε ότι η χρήση της τοποθεσίας των ατόμων κατά τη στιγμή των ερευνών, αντί του τόπου γέννησής τους, αυξάνει σημαντικά το μέγεθος των επιπτώσεων που εκτιμά. Μερικά από τα παιδιά που γεννήθηκαν σε ένα μέρος που επλήγη από έκρηξη αλλά έχουν ανατραφεί στην πραγματικότητα αλλού, η ταξινόμησή τους ως επηρεαζόμενα από την έκρηξη μπορεί να εξασθένησε τα αποτελέσματα που βρέθηκαν. Αυτό το επιχείρημα είναι σύμφωνο με την ιδέα ότι η μετανάστευση χρησιμεύει ως στρατηγική αντιμετώπισης των φυσικών καταστροφών. Πιο ανησυχητικό είναι ότι τα παιδιά από νοικοκυριά που δεν ζούσαν στον τόπο κατά τη διάρκεια της έκρηξης, αλλά μετακόμισαν αργότερα, μπορεί να έχουν επηρεαστεί επίσης στην ανάπτυξή τους, λόγω ενός επιζήμιου τοπικού περιβάλλοντος ή αλλιώς λόγω ορισμένων ιδιοτήτων αυτών των εισερχόμενων οικογενειών. Μόνο μη πειστικά εμπειρικά αποτελέσματα μπορούν να βρεθούν στη βιβλιογραφία για τις αποφάσεις μετανάστευσης μετά από έκρηξη. Προέρχονται από τους Bohra-Mishra, Oppenheimer και Hsiang (2014) οι οποίοι υπολόγισαν τα αποτελέσματα διαφορετικών μεταβλητών που μετρούν την ένταση της έκρηξης των προηγούμενων γεγονότων από τη βάση δεδομένων DesInventar, στη μόνιμη διαπεριφερειακή μετανάστευση για τρεις περιόδους από την Ινδονησιακή Έρευνα Οικογενειακής Ζωής. Κατά τη χρήση του αριθμού των θανάτων, διαπιστώθηκε έκρηξη που μειώνει την τάση ενός νοικοκυριού να μεταναστεύσει από μια πληγείσα περιοχή σε μια άλλη, λαμβάνοντας υπόψη ότι η χρήση του αριθμού των τραυματιών είχε ως αποτέλεσμα την εκτίμηση του αντίθετου αποτελέσματος, ενώ δεν ανιχνεύθηκε καμία επίδραση του αριθμού των καταστραμμένων σπιτιών.

Ακολουθώντας την ιδέα ότι η μετανάστευση μπορεί να βοηθήσει τα νοικοκυριά να αντιμετωπίσουν τον ηφαιστειακό κίνδυνο, κάποιος μπορεί να πιστεύει ότι η μετεγκατάσταση των πληγέντων πληθυσμών μετά από μια έκρηξη μπορεί να είναι μια αποτελεσματική δημόσια παρέμβαση για να ξεφύγει από τις προαναφερθείσες καταστροφικές συνέπειες. Για να μην αναφέρουμε προηγούμενες ενδείξεις σχετικά με τη δυσανάλογη ενδοοικογενειακή βία μεταξύ των εσωτερικά εκτοπισμένων ανθρώπων που βρέθηκαν από τον Schwefel (2018), οι λίγες άλλες πληροφορίες από τη βιβλιογραφία αναφέρουν επίσης ότι η αποτελεσματικότητα των προγραμμάτων μετεγκατάστασης σε περίπτωση έκρηξης δεν είναι απλή.

Οι Choumert-Nkolo και Phélinas (2020) προειδοποίησαν ότι οι αγρότες που εγκαταστάθηκαν γύρω από τα ηφαίστεια έχουν δεξιότητες που μπορεί να είναι χαμηλές στη μεταφορά σε άλλες τοποθεσίες ή τομείς, λόγω των ιδιομορφιών των ηφαιστειακών εδαφών που διαχειρίζονται και, συνεπώς, από τις γνώσεις τους βάσει εμπειριών, καθώς και λόγω του χαμηλότερου εκπαιδευτικού τους επιπέδου. Οι Wilson et al. (2011) πρόσθεσαν ότι η σχετική επιτυχία ενός προγράμματος μετεγκατάστασης στη Χιλή μετά την έκρηξη του όρους Χάντσον

το 1991 είχε τελικά προσωρινό χαρακτήρα, με πολλούς αγρότες να επιστρέφουν. Κατά συνέπεια, τα μέτρα μετριασμού μέσω βελτιωμένων συστημάτων συναγερμού και σχεδίων έκτακτης ανάγκης μετά την έκρηξη αποδεικνύονται ζωτικής σημασίας.

5. Μακροοικονομικά των Ηφαιστειών

Είναι οι φυσικές καταστροφές, όπως ένα ηφαιστειακό γεγονός, τεράστιο εμπόδιο στην οικονομική ανάπτυξη και εξέλιξη στις περισσότερες χώρες που είναι επιρρεπείς σε αυτού του είδους καταστροφές; Το ζήτημα απέχει πολύ από την επίλυση. Αυτή η ενότητα εξετάζει πρώτα τους μηχανισμούς με τους οποίους οι φυσικές καταστροφές μπορούν να επηρεάσουν την οικονομική δραστηριότητα. Στη συνέχεια, εξετάζεται εάν η εμπειρική βιβλιογραφία υποστηρίζει την ιδέα ότι τα ηφαιστειακά γεγονότα έχουν ισχυρά αρνητική επίδραση στην οικονομική ανάπτυξη.

1.9. 5.1 Προσδιορισμός Καναλιών Μετάδοσης

Από θεωρητική άποψη, η επίδραση μιας καταστροφής στην επακόλουθη οικονομική ανάπτυξη είναι ασαφής. Οι θεωρίες ανάπτυξης υποδηλώνουν είτε μια επιβράδυνση της ανάπτυξης βραχυπρόθεσμα ή και μακροπρόθεσμα που προκύπτει από την καταστροφή του κεφαλαίου, είτε μια οικονομική άνθηση που προκύπτει από την προσπάθεια ανοικοδόμησης, ή καμία επίδραση για οικονομίες με μεγαλύτερη ικανότητα απορρόφησης κραδασμών.

Η παραδοσιακή νεοκλασική θεωρία ανάπτυξης διδάσκει ότι η άμεση απώλεια του φυσικού αποθέματος κεφαλαίου μετά από ένα φυσικό γεγονός μετατοπίζει τη δυνατότητα παραγωγής στα σύνορα προς τα αριστερά, επειδή το κεφάλαιο κατά κεφαλή μειώνεται καθώς και η παραγωγικότητα βασικών περιουσιακών στοιχείων όπως η γη. Το ανθρώπινο κεφάλαιο μπορεί επίσης να εξαφανιστεί με το θάνατο και τη διεθνή μετανάστευση του πληθυσμού³. Οι δυσκολίες στη μεταφορά αγαθών και ανθρώπων, οι ελλείψεις στις υποδομές και τις επικοινωνίες είναι επίσης πιθανό να διαταράξουν τη διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας και συνεπώς την παραγωγή αγαθών και υπηρεσιών. Ως αποτέλεσμα, η βραχυπρόθεσμη αύξηση του ΑΕΠ θα πρέπει να επιβραδυνθεί και, ανάλογα με διάφορους παράγοντες που συζητούνται παρακάτω, η οικονομία θα μπορούσε να εισέλθει σε μια φάση μακροπρόθεσμης στασιμότητας.

Ωστόσο, αυτό το απαισιόδοξο σενάριο μπορεί να ωθήσει τις κυβερνήσεις να εφαρμόσουν αντικυκλικές πολιτικές. Εάν οι δημόσιες δαπάνες αυξηθούν ως απάντηση σε μια καταστροφή, το πολλαπλασιαστικό αποτέλεσμα αυτής της δαπάνης μπορεί να ακυρώσει την αρχική μείωση της παραγωγής. Η αύξηση της παραγωγής είναι ακόμη δυνατή, ανάλογα με το σύμβολο και το μέγεθος του πολλαπλασιαστή. Αντίθετα, εάν οι δημόσιες δαπάνες ακολουθούν τη μείωση των φορολογικών εσόδων, θα μπορούσε να ενισχυθεί η αρνητική επίδραση της καταστροφής στην οικονομική δραστηριότητα. Η τελική ανταπόκριση της παραγωγής εξαρτάται από τον δημοσιονομικό χώρο που διαθέτει η κυβέρνηση για τη χρηματοδότηση του δημόσιου ελλείμματος (Melecky και Raddatz, 2011). Η εξωτερική βοήθεια και τα εμβάσματα θα μπορούσαν επίσης να μειώσουν τον αρνητικό

³ Ωστόσο, η βάση δεδομένων EM-DAT δείχνει ότι η πιθανότητα καταστροφής του φυσικού κεφαλαίου κυριαρχεί σε μεγάλο βαθμό στην καταστροφή του ανθρώπινου κεφαλαίου (θάνατος).

μακροοικονομικό αντίκτυπο εάν η διεθνής κοινότητα αυξήσει τη ροή κεφαλαίων προς τις πληγείσες χώρες για να βοηθήσει τη διαδικασία ανοικοδόμησης (Raddatz, 2009).

Αντίθετα, τα ενδογενή μοντέλα ανάπτυξης θεωρούν ότι η καταστροφή του παραγωγικού κεφαλαίου μπορεί να οδηγήσει σε ένα «αποτέλεσμα δημιουργικής καταστροφής Schumpeterian». Από τη μία πλευρά, η καταστροφή παρωχημένων και μη κερδοσκοπικών τεχνολογιών θα είχε «εκκαθαριστική» επίδραση στο παραγωγικό σύστημα και θα δώσει την ευκαιρία να υιοθετηθούν νέες τεχνολογίες. Η αντικατάσταση του παλαιού εξοπλισμού και της υποδομής θα πρέπει να οδηγήσει σε άνοδο της δραστηριότητας μετά την εκδήλωση, ενώ νέα κεφάλαια αναμένεται να είναι πιο αποτελεσματικά από αυτά που καταστράφηκαν. Από την άλλη πλευρά, ο αυξημένος κίνδυνος καταστροφής φυσικού κεφαλαίου μπορεί να οδηγήσει σε αυξημένη επένδυση ανθρώπινου κεφαλαίου επειδή η τελευταία γίνεται πιο ελκυστική. Το γεγονός ότι το φυσικό κεφάλαιο σπάνια ασφαρίζεται έναντι φυσικών γεγονότων, ακόμη και σε χώρες με ανεπτυγμένες ασφαλιστικές αγορές, θα μπορούσαν να ενισχύσουν την ελκυστικότητα των επενδύσεων σε ανθρώπινο κεφάλαιο, το οποίο είναι λιγότερο επιρρεπές σε κίνδυνο από το φυσικό. Αυτό το υψηλότερο ανθρώπινο κεφάλαιο μπορεί με τη σειρά του να προωθήσει την υιοθέτηση νέας τεχνολογίας. Κατά συνέπεια, ο ρυθμός αύξησης της συνολικής παραγωγικότητας των παραγόντων θα πρέπει να αυξηθεί (Skidmore και Toya, 2002). Επιπλέον, οι καταστροφές δημιουργούν επίσης νέες βιομηχανικές και εμπορικές ευκαιρίες (Albala-Bertrand, 1993).

Ωστόσο, η ανακαίνιση θα μπορούσε να είναι υπερβολικά αργή εάν η οικονομία είναι αποκομμένη από την πίστωση, οι παράγοντες αγοράς δεν λειτουργούν καλά, τα ιδρύματα είναι ανεπαρκή και η πρόσβαση στη διεθνή αγορά περιορισμένη. Αυτή η καταστροφική διαδικασία μπορεί επίσης να συνεπάγεται διαδικασίες ανακατανομής, οι οποίες θα μπορούσαν να εμποδίσουν τις χώρες να επιστρέψουν στην αναπτυξιακή τους πορεία. Η ανακατανομή παραγόντων μετά από μια καταστροφή μπορεί να οδηγήσει σε σημαντικές απώλειες θέσεων εργασίας βραχυπρόθεσμα. Μακροπρόθεσμα, μπορεί να οδηγήσει σε μόνιμη μετατόπιση της θέσης των οικονομικών δραστηριοτήτων και του πληθυσμού, εάν οι μη επηρεαζόμενες περιοχές γίνουν πιο ελκυστικές και εάν το κεφάλαιο και οι πληθυσμοί είναι πολύ κινητοί Ager, Eriksson, Hansen και Lønstrup (2020). Η καταστροφή μπορεί, επομένως, να ξεκινήσει μια αυτοσυντηρούμενη διαδικασία συσσωμάτωσης σε μη πληγείσες περιοχές, αφήνοντας τις πληγείσες περιοχές πολύ πίσω. Ο τελικός αντίκτυπος στην ανάπτυξη θα εξαρτηθεί επίσης από πολλές άλλες βασικές μεταβλητές. Πρώτον, το μέγεθος του γεγονότος είναι σημαντικό. Εάν το μερίδιο του κεφαλαίου που καταστρέφεται είναι πολύ χαμηλό σε σύγκριση με το συνολικό διαθέσιμο κεφάλαιο για την παραγωγή, δεν μπορεί να αποδυναμώσει την αύξηση της παραγωγής.

Δεύτερον, η γεωγραφική θέση της καταστροφής (αστική / αγροτική · παράκτια / ενδοχώρα) έχει σημασία επειδή καθορίζει εάν το γεγονός έπληξε έναν ιδιαίτερα ευαίσθητο τομέα της οικονομίας (γεωργία, ορυχεία ή πετρελαϊκή δραστηριότητα). Η τελική επίδραση στην οικονομική ανάπτυξη εξαρτάται από τις προς τα εμπρός και προς τα πίσω συνδέσεις μεταξύ του επηρεαζόμενου τομέα και της υπόλοιπης οικονομίας. Η ικανότητα των πληγέντων περιοχών να προσελκύσουν μεταφορές από την κεντρική κυβέρνηση βοηθά επίσης στον προσδιορισμό των τοπικών επιπτώσεων της καταστροφής (Noy και Vu, 2010). Ως αποτέλεσμα, οι καταστροφές πλήττουν τις μικρές χώρες (κυρίως τα νησιά) περισσότερο από τις μεγάλες χώρες, επειδή οι οικονομίες τους βασίζονται σε πολύ λίγους τομείς, συνήθως δύο, τη γεωργία και τον τουρισμό. Ως εκ τούτου, είναι λιγότερο ικανοί να ανακάμψουν από τις μακροοικονομικές επιπτώσεις μιας φυσικής καταστροφής μέσω διατομεακών ή διαπεριφερειακών μεταβιβάσεων (Auffret, 2003).

Τρίτον, η καταστροφή μπορεί να επηρεάσει τις συνεχιζόμενες κοινωνικές και πολιτικές εξελίξεις ή τις οικονομικές προσδοκίες. Αρκετές αναφορές μελετητών τόνισαν τη σημασία του θεσμικού πλαισίου στην ικανότητα των οικονομιών να ανακάμπτουν από μια φυσική καταστροφή (Raschky, 2008, Raddatz, 2009, Noy, 2009). Τέταρτον, οι μακροοικονομικές επιπτώσεις των φυσικών καταστροφών ποικίλλουν ανάλογα με τα διαρθρωτικά χαρακτηριστικά των χωρών, όπως το επίπεδο ανάπτυξης. Οι φυσικές καταστροφές αναμένεται να έχουν ισχυρότερες συνέπειες στις αναπτυσσόμενες χώρες (Fomby, Ikeda και Loayza, 2009, Noy, 2009, Raddatz, 2009). Ένας πρώτος λόγος είναι η κυριαρχία του γεωργικού τομέα σε αυτές τις χώρες στο ΑΕΠ. Ωστόσο, η γεωργική παραγωγή είναι ιδιαίτερα ευάλωτη σε περιβαλλοντικές συνθήκες σε μια πιο διαφοροποιημένη παραγωγική δομή, ισχυροί ενδογενείς μηχανισμοί αποζημίωσης, όπως οι επενδυτικές δαπάνες, μπορούν να εξουδετερώσουν τις αρνητικές επιπτώσεις της καταστροφής. Ένας δεύτερος λόγος είναι ότι αυτές οι χώρες ενδέχεται να στερούνται ανθρώπινου και υλικού δυναμικού, ικανότητα οργάνωσης και οικονομικούς πόρους για να επιστρέψουν στην πορεία ανάπτυξής τους (Crespo Cuaresma, Hlouskova και Obersteiner, 2008).

Τέλος, υπάρχει πιθανότητα η εστίαση στην οικονομική ανάπτυξη να μην εντοπίσει σωστά τα κανάλια μετάδοσης μιας φυσικής καταστροφής (Mohan, Ouattara και Strobl, 2018). Ωστόσο, τα στοιχεία της οικονομικής ανάπτυξης μπορεί να επηρεαστούν διαφορετικά από μια φυσική καταστροφή, τόσο σε κατεύθυνση όσο και σε χρόνο. Οι βραχυπρόθεσμες επιπτώσεις (συνήθως έως και τρία έτη) είναι πιθανό να είναι αρνητικές λόγω της άμεσης απώλειας παραγωγής. Οι εισαγωγές μπορεί να ξεκινήσουν αυξητικά ώστε να καλύψουν την υπερβολική τοπική ζήτηση καταναλωτικών αγαθών, αλλά και τα ενδιάμεσα αγαθά που σχετίζονται με την ανακατασκευή εξοπλισμού. Οι καθυστερημένες αρνητικές επιπτώσεις στις εξαγωγές αναμένονται επειδή οι χώρες χρησιμοποιούνται για την αποθήκευση εξαγωγικών προϊόντων. Αυτό θα μεταφραστεί σε αύξηση του εμπορικού ελλείμματος (Albala-Bertrand, 1993). Η συνολική επένδυση, εγχώρια ή ξένα, ιδιωτική ή δημόσια, μπορεί να ενισχυθεί από την προσπάθεια ανοικοδόμησης και τη συντήρηση κατεστραμμένων υποδομών. Το αν θα αυξηθούν οι δημόσιες δαπάνες εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως η ικανότητα των κυβερνήσεων να συγκεντρώνουν κεφάλαια και να αυξάνουν τα ελλείμματα, το βαθμό στον οποίο τα δημόσια έσοδα μειώνονται λόγω της συρρίκνωσης της οικονομικής δραστηριότητας, της πρόσβασης στις διεθνείς χρηματοπιστωτικές αγορές, της σημασίας της ροής της βοήθειας σε σχέση με την έκταση των ζημιών και την ασφαλιστική διείσδυση (Melecky and Raddatz, 2011). Η ιδιωτική κατανάλωση θα μειωθεί εκτός εάν η απώλεια περιουσιακών στοιχείων ή εισοδήματος είναι ασφαλισμένη ή εάν οι άνθρωποι αντλούν από τις αποταμιεύσεις τους ή λαμβάνουν εμβάσματα.

Συνοπτικά, ο καθαρός αντίκτυπος μιας καταστροφής στην οικονομία θα εξαρτηθεί από το σημείο και τη σχετική συμβολή κάθε συνιστώσας στην οποία βασίζεται η οικονομική ανάπτυξη, η οποία, με τη σειρά της, εξαρτάται από τα συγκεκριμένα ανά χώρα χαρακτηριστικά της οικονομίας.

1.10. 5.2 Εμπειρική Βιβλιογραφία

Επειδή η δυναμική της ανάπτυξης μετά από μια φυσική καταστροφή είναι περίπλοκη, η εμπειρική βιβλιογραφία παρέχει μικτά, ακόμη και αντιφατικά συμπεράσματα σχετικά με την κατεύθυνση και το μέγεθος των μακροοικονομικών επιπτώσεων των φυσικών καταστροφών.

Για παράδειγμα, Cunado και Ferreira (2014), Skidmore και Toya (2002), οι Noy και Vu (2010) θεωρούν ότι οι φυσικές καταστροφές είναι ευεργετικές και έχουν θετικό αντίκτυπο στη μακροπρόθεσμη ανάπτυξη κυρίως μέσω της αύξησης της παραγωγικότητας των παραγόντων. Οι Leiter, Oberhofer και Raschky (2009) δείχνουν ότι οι πλημμύρες έχουν θετικό αντίκτυπο στην αύξηση των περιουσιακών στοιχείων και της απασχόλησης των επιχειρήσεων που βρίσκονται σε περιοχές που επλήγησαν από πλημμύρες. Άλλοι συγγραφείς βρίσκουν το αντίθετο αποτέλεσμα Felbermayr και Gröschl (2014), Strobl (2012) ή ασήμαντο αποτέλεσμα Albala-Bertrand (1993), Cavallo, Galiani, Noy και Pantano (2013) των φυσικών καταστροφών στο κατά κεφαλήν ΑΕΠ.

Διαφορετικός τύπος φυσικών καταστροφών έχει διαφορετικά αποτελέσματα. Λίγες μελέτες ειδικεύονται σε ένα συγκεκριμένο είδος καταστροφής και, από όσο γνωρίζουμε, καμία από τις μελέτες δεν επικεντρώθηκε σε ηφαιστειακά γεγονότα. Οι γεωλογικές καταστροφές είναι μερικές φορές απομονωμένες στην ανάλυση, αλλά εκτός από τις ηφαιστειακές εκρήξεις, περιλαμβάνουν σεισμούς, κατολισθήσεις και παλιρροιακά κύματα. Δεδομένου ότι αυτές οι καταστροφές είναι πολύ διαφορετικής φύσης, με διαφορετική σχετική απειλή για την ιδιοκτησία και τη ζωή, ενδέχεται να αναμένουμε αντικρουόμενες επιπτώσεις σε μια οικονομική απόφαση. Η ομαδοποίησή τους μπορεί επομένως να καλύψει ετερογενείς επιπτώσεις και είναι δύσκολο να εξαχθούν ισχυρά συμπεράσματα σχετικά με τον αντίκτυπο των ηφαιστειακών γεγονότων από την ανάλυση των γεωλογικών καταστροφών.

Η μελέτη των Felbermayr και Gröschl (2014), η οποία αναλύει την επίδραση διαφόρων τύπων φυσικών καταστροφών στην ανάπτυξη, δείχνει ότι οι ηφαιστειακές εκρήξεις είναι τα μόνα γεγονότα που δεν μειώνουν την οικονομική ανάπτυξη. Αυτό το αποτέλεσμα μπορεί να προκύψει από τη βάση δεδομένων τους, η οποία περιλαμβάνει λίγα συμβάντα. Ένας άλλος λόγος είναι ότι τα ηφαιστειακά γεγονότα είναι γεωγραφικά περιορισμένα στην περιοχή ή ακόμη και στο τμήμα όπου βρίσκεται το ηφαίστειο και επομένως επηρεάζουν την οικονομική ανάπτυξη μιας χώρας σε μικρότερο βαθμό.

1.11. 5.3 Μελλοντική Έρευνα

Η συνολική επιμονή των επιπτώσεων του ηφαιστειακού κινδύνου είναι ιδιαίτερα δύσκολο να κατανοηθεί όταν σχετίζεται με την οικονομική ανάπτυξη και την ανθρώπινη ανάπτυξη. Η ζημιά όχι μόνο της τοπικής προσφοράς εργασίας αλλά και των αποθεμάτων κεφαλαίου, των υποδομών και των φυσικών πόρων, οι ηφαιστειακές εκρήξεις συνεπάγονται και απώλειες παραγωγής.

Η παραπάνω βιβλιογραφική επισκόπηση υποδηλώνει ότι οι φυσικές καταστροφές έχουν πολύπλοκες επιπτώσεις στην οικονομία. Επομένως, μένουν ακόμη πολλά να διερευνηθούν στα μακροοικονομικά επακόλουθα των ηφαιστειακών γεγονότων. Υπάρχει, ειδικότερα, έντονη ανάγκη για μια πιο αναλυτική ανάλυση των επιπτώσεων των ηφαιστειακών γεγονότων στην οικονομική ανάπτυξη, σύμφωνα με τους πιθανούς μηχανισμούς μέσω των οποίων μπορεί να επηρεάσει τους διάφορους τομείς της οικονομίας και το επίπεδο ανάπτυξης των πληγόμενων χωρών. Δεν υπάρχει κατανόηση των αλληλεπιδράσεων μεταξύ της πληγείσας περιοχής και της εθνικής οικονομίας. Η εξέταση των ηφαιστειακών επιπτώσεων στο περιβαλλοντικό κεφάλαιο (για παράδειγμα η γονιμότητα της γης) και οι οικονομικές επιπτώσεις της θα ήταν ένα άλλο βασικό σημείο. Κάποιες άλλες

επιπτώσεις όπως τα τοπικά δημόσια έσοδα και οι δαπάνες ή η ανοδική πίεση στις τιμές έχουν επίσης διερευνηθεί.

6. Προκλήσεις Σχετικά με τα Κοινωνικοοικονομικά Δεδομένα

Από άποψη μικροοικονομικής και μακροοικονομικής ανάλυσης, η έλλειψη εργασίας για τις ηφαιστειακές καταστροφές μπορεί να εξηγηθεί από την έλλειψη κοινωνικοοικονομικών δεδομένων στις πληγείσες περιοχές, καθώς και από τη χωρική κλίμακα των εξερχόμενων συνόλων δεδομένων.

Πράγματι, η διαθεσιμότητα κοινωνικοοικονομικών δεδομένων σχετικά με πληθυσμούς που επηρεάζονται από ηφαιστειακούς κινδύνους υστερεί έναντι της διαθεσιμότητας φυσικών πληροφοριών (Βλέπε Ενότητα 2). Οι οικονομολόγοι, επομένως, δεν διαθέτουν επαρκή ποσοτικά δεδομένα σε επίπεδο νοικοκυριού για να παρέχουν αυστηρή ανάλυση σχετικά με τις πολιτικές διαχείρισης κινδύνων και προσαρμογής σε ηφαιστειακούς κινδύνους, ακόμη περισσότερο ώστε η τελευταία να είναι πολύ εντοπισμένη. Αφενός, η χωρική κλίμακα των υπάρχουσών ερευνών για τα νοικοκυριά (δευτερεύοντα δεδομένα) δεν επιτρέπει την ανάλυση πολύ τοπικών γεγονότων. Από την άλλη πλευρά, η εφαρμογή μιας έρευνας για τα νοικοκυριά (πρωτογενή δεδομένα) σε ηφαιστειακές κοινότητες δημιουργεί μια ποικιλία επιχειρησιακών και ηθικών προκλήσεων.

Όσον αφορά τις δευτερεύουσες πηγές δεδομένων, παρόλο που υπάρχουν διάφορα σύνολα δεδομένων σε επίπεδο νοικοκυριού σε χώρες που επηρεάζονται από ηφαιστειακούς κινδύνους, συνήθως δεν είναι διαθέσιμα στη χωρική κλίμακα που απαιτείται για τοπικούς ηφαιστειακούς κινδύνους. Βρίσκεται στο Pacific Ring of Fire και με 142 ηφαίστεια, η Ινδονησία παρέχει μια καλή εικόνα αυτού του ζητήματος. Περισσότεροι από 8,6 εκατομμύρια κάτοικοι ζουν στα 10 χιλιόμετρα από ένα ηφαίστεια, περισσότερα από 68 εκατομμύρια κάτοικοι ζουν στα 30 χιλιόμετρα και περισσότερα από 179 εκατομμύρια στα 100 χιλιόμετρα (Loughlin et al., 2014) με συνολικό πληθυσμό τα 263 εκατομμύρια. Ωστόσο, τα υπάρχοντα σύνολα δεδομένων μεγάλης κλίμακας σχεδόν δεν καλύπτουν αυτούς τους πληθυσμούς. Χρησιμοποιώντας τέσσερις υποπεριόδους της Ινδονησιακής Έρευνας για την Οικογενειακή Ζωή (IFLS) από το 1993-2007, ο Stephane (2018) υπολόγισε τις αποστάσεις μεταξύ των κοινοτήτων και των ηφαιστειών του δείγματος και διαπίστωσε ότι ήταν πολύ μακριά (γενικά σε περισσότερα από 20 χλμ.). Άλλωστε, ακόμη και αν μια έρευνα καλύπτει συστάδες κοντά σε ηφαίστεια από την κατασκευή ενός συμπλέγματος θα περιέχει πληροφορίες για περίπου 8 έως 20 νοικοκυριά, περιορίζοντας το δυναμικό για αυστηρή ποσοτική ανάλυση. Συνολικά, παρά την ύπαρξη πιο διαχρονικών ερευνών σε πολλές χώρες, τα μεγέθη των δειγμάτων δεν επαρκούν για την ανάλυση πολύ τοπικών φαινομένων, όπως οι ηφαιστειακοί κίνδυνοι.

Ένας τρόπος υποβάθμισης των κοινωνικοοικονομικών δεδομένων είναι η άμεση συλλογή πρωτογενών δεδομένων στις πληγείσες ζώνες. Ωστόσο, αυτό εγείρει μια σειρά ηθικών ερωτημάτων σχετικά με τον τρόπο συλλογής δεδομένων σε περιοχές που πλήττονται από καταστροφές. Πράγματι, η υπάρχουσα έρευνα επισημαίνει ότι οι ηφαιστειακοί κίνδυνοι έχουν σοβαρές επιπτώσεις στην ψυχολογική υγεία των πληγέντων πληθυσμών (Paton, Millar και Johnston, 2001, Ruiz και Hernández, 2014). Κατά τη διεξαγωγή μιας επιτόπιας έρευνας σε περιοχές μετά από καταστροφές, συνιστάται οι ερευνητές και οι ομάδες να θεωρήσουν αυτούς τους πληθυσμούς ως ευάλωτους πληθυσμούς, όπως προτείνεται από τους De Jong, Hibben και Pennell (2016) και Tansey et al. (2017). Σχετικά και αναγνωρίζοντας μια

πιθανότητα αυξημένης επιβάρυνσης των ερωτηθέντων, είναι σημαντικό οι στόχοι της έρευνας και τα πιθανά οφέλη να αναφέρονται σαφώς στη φόρμα συγκατάθεσης. Για παράδειγμα, μετά από μια συγκεκριμένη καταστροφή, αρκετοί ερευνητικοί οργανισμοί ενδέχεται να προσπαθήσουν να συλλέξουν δεδομένα από τους ίδιους πληγέντες πληθυσμούς. Σε άλλες καταστάσεις, ορισμένοι ερωτηθέντες ενδέχεται να έχουν την εντύπωση ότι οι συμμετέχοντες στην έρευνα θα μπορούσαν να συνδεθούν με ανθρωπιστική ή κυβερνητική βοήθεια (De Jong, Hibben και Pennell (2016). Σε καταστάσεις όπου οι απαριθμητές πεδίου προέρχονται από τις κοινότητες που πλήττονται από την καταστροφή, είναι επίσης σημαντικό να κατανοηθεί το πώς αυτό μπορεί να επηρεάσει την ψυχική τους υγεία και ποιες υπηρεσίες μπορούν να τεθούν σε εφαρμογή για την υποστήριξή τους.

Σχετικά, τα κοινωνικοοικονομικά δεδομένα μπορούν να συλλεχθούν μέσω συμμετοχικής χαρτογράφησης και απαρίθμησης (Gaillard et al., 2016). Αντί να βασίζονται σε εξωτερικούς συλλέκτες δεδομένων, οι κάτοικοι μπορούν να σχεδιάσουν χάρτες με επικίνδυνες / πληγείσες γειτονίες (όπως το παράδειγμα της πόλης Legazpi στις Φιλιππίνες, στο Jackson και Aboagye (2015). Τέτοιες πρωτοβουλίες είναι δυνατές μόνο μέσω της στενής συνεργασίας και του συντονισμού με τις τοπικές κοινότητες και άλλα ενδιαφερόμενα μέρη. Η συμμετοχική χαρτογράφηση επιτρέπει την ενεργό συμμετοχή των κοινοτήτων να μοιράζονται τις γνώσεις τους σχετικά με τους ηφαιστειακούς κινδύνους, καθώς και να τους επιτρέπει να απεικονίζουν τους κινδύνους και, επομένως, να είναι καλύτερα προετοιμασμένοι σε περίπτωση καταστροφής. Αυτή η διαδικασία μπορεί να ολοκληρωθεί με συμμετοχική απαρίθμηση που διενεργείται από εκπαιδευμένα μέλη των κοινοτήτων και προηγούμενες συζητήσεις με μέλη της κοινότητας για τη θεσμοθέτηση της συμπαραγωγής δεδομένων τους. Μετά την καταστροφή, είναι πιο πιθανό να είναι σε θέση να συλλέγουν κοινωνικοοικονομικά δεδομένα από τα πληγέντα νοικοκυριά.

Σε μακροοικονομικό επίπεδο, οι προκλήσεις που προκύπτουν οφείλονται στην περιορισμένη διαθεσιμότητα φυσικών δεδομένων (βλ. Ενότητα 2) και στη συγκέντρωση δεδομένων χρησιμοποιώντας διαφορετικές μεθοδολογίες. Όπως επισημάνθηκε από τους Hallegatte και Przulski (2010), το εύρος και η ακρίβεια των δεδομένων που σχετίζονται με καταστροφές βελτιώθηκε τη δεκαετία του 1990, γεγονός που δημιουργεί αμφιβολίες για μακροπρόθεσμες σειρές ή μελέτες δεδομένων πάνελ. Επιπλέον, επειδή οι μεγάλες ηφαιστειακές καταστροφές είναι σπάνιες, είναι πιο περίπλοκο να καταγράφονται οι μακροοικονομικές επιπτώσεις τους σε σχέση με άλλες μακροοικονομικές καταστροφές.

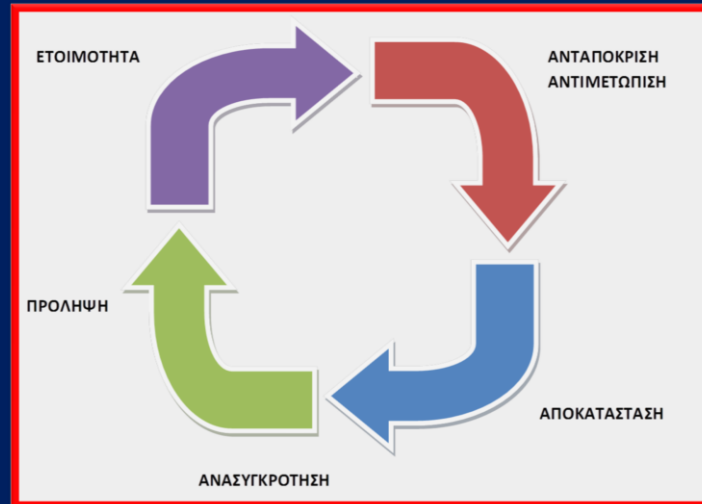
Μέρος 2^ο

7. Αξιολόγηση του Ηφαιστειακού Κινδύνου

Τα ηφαίστεια μπορούν να προκαλέσουν σημαντικές απώλειες ανθρώπινων ζωών και περιουσίας και ο αντίκτυπός τους μπορεί να είναι σημαντικός σε τοπικές, περιφερειακές ή / και παγκόσμιες κλίμακες ανάλογα με το μέγεθος της έκρηξης. Εκτιμάται ότι περίπου 250.000 άτομα πέθαναν κατά τη διάρκεια των δύο τελευταίων αιώνων ως άμεση συνέπεια των ηφαιστειακών εκρήξεων και ότι, από αυτές, σχεδόν 26.000 σκοτώθηκαν τις τελευταίες δύο δεκαετίες, κυρίως σε αναπτυσσόμενες χώρες (Siebert, Simkin & Kimberly, 2010). Σήμερα, περίπου 500 εκατομμύρια άνθρωποι ζουν σε περιοχές του κόσμου που υπόκεινται άμεσα σε ηφαιστειακό κίνδυνο. Τα ηφαίστεια απειλούν άμεσα τα μεγάλα πληθυσμιακά κέντρα και επηρεάζουν σημαντικά την κοινωνικοοικονομική ανάπτυξη αυτών των περιοχών. Επίσης, μπορεί να έχουν σοβαρές περιβαλλοντικές και οικονομικές επιπτώσεις σε παγκόσμιο επίπεδο με τη μορφή της κλιματικής αλλαγής (π.χ. Toba, Ινδονησία, πριν από περίπου 75.000 χρόνια) ή τη διακοπή της παγκόσμιας εναέριας κυκλοφορίας (έκρηξη του Eyjafjallajökull, Ισλανδία 2010) (Oppenheimer, 2011).

Έτσι, είναι προφανές ότι η εκτίμηση και η διαχείριση των ηφαιστειακών κινδύνων είναι σημαντικές και δημιουργούν επιστημονικές, οικονομικές και πολιτικές ανησυχίες, ειδικά σε πυκνοκατοικημένες περιοχές. Οι κατάλληλες απαντήσεις σε αυτά τα ζητήματα απαιτούν ακριβή προγράμματα αξιολόγησης και μετριάσμού του κινδύνου, αποτελεσματικά εκπαιδευτικά και επικοινωνιακά προγράμματα ικανά να διασφαλίσουν ότι η γνώση και η επικοινωνία σχετικά με τους ηφαιστειακούς κινδύνους φθάνουν σε όλα τα κοινωνικά επίπεδα, για την πρόβλεψη και τη διαχείριση κρίσεων και την προώθηση της ανάπτυξης ικανοτήτων και της αειφόρου ανάπτυξης σε απειλούμενες περιοχές. Αυτό σημαίνει ότι επιστήμονες, κυβερνήσεις και υπηρεσίες πολιτικής προστασίας, μεταξύ άλλων, πρέπει να συνεργάζονται και να επικοινωνούν αποτελεσματικά (Auker et al., 2013). Η εικόνα 2 παρουσιάζει τον κύκλο διαχείρισης της καταστροφής ηφαιστείων.

Ο ΚΥΚΛΟΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΤΗΣ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΗΣ



Εικ. 4. Διάγραμμα διαχείρισης καταστροφής. (Από το αρχείο του κ. Κυριακόπουλου).

Η αξιολόγηση του ηφαιστειακού κινδύνου είναι εξαιρετικά περίπλοκη καθώς περιλαμβάνει πολλά διαφορετικά επικίνδυνα φυσικά φαινόμενα. Οι ηφαιστειακές εκρήξεις είναι εξαιρετικά παραδείγματα πολλαπλών επικίνδυνων απειλών λόγω των εγγενών φύσεων τους πολλαπλών κινδύνων, στις οποίες μια ποικιλία ηφαιστειακών (ροές λάβας, πτώση, λάχαρες και πυροκλαστικές ροές) και συναφείς κίνδυνοι (σεισμικές διαταραχές, κατολισθήσεις, τσουνάμι ή \πλημμύρες) αλληλοεπιδρούν ή επηρεάζουν διαδοχικά, και στην επακόλουθη απώλεια υπηρεσιών που συνήθως τις συνοδεύουν. Αυτή η πολλαπλότητα φαινομένων έχει περιορίσει σοβαρά την αξιολόγηση και τη διαχείριση του κινδύνου στην ηφαιστειολογία, παρά το γεγονός ότι οι εξελίξεις και οι βελτιώσεις σε αυτήν την επιστημονική πειθαρχία θα μπορούσαν εύκολα να εξαχθούν και να εφαρμοστούν σε σχεδόν όλους τους τύπους φυσικών κινδύνων.

Για να αξιολογήσουμε και να διαχειριστούμε τον ηφαιστειακό κίνδυνο, πρέπει πρώτα να τον ερμηνεύσουμε, δηλαδή να προσδιορίσουμε πώς συμπεριφέρθηκε ένα ηφαιστειακό σύστημα (δηλαδή, ένα ενεργό ηφαίστειο ή ηφαιστειακή περιοχή) στο παρελθόν και στη συνέχεια να χρησιμοποιήσουμε αυτές τις πληροφορίες για να συμπεράνουμε πώς μπορεί να συμπεριφέρεται μελλοντικά. Αυτή η εργασία απαιτεί μια συλλογή όλων των υπαρχόντων γεωλογικών και γεωφυσικών πληροφοριών σχετικά με το ύψος έκρηξης του εν λόγω ηφαιστειακού συστήματος, την εκρηκτική επανάληψή του, τους δομικούς περιορισμούς στο άνοιγμα νέων αεραγωγών και τα χαρακτηριστικά και την πιθανή έκταση των κύριων κινδύνων του. Όλες αυτές οι πληροφορίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κατάρτιση σεναρίων έκρηξης και χαρτών κινδύνου που θα αποτελέσουν τη βάση για το σχεδιασμό προγραμμάτων διαχείρισης κινδύνου, καθώς και ένα ουσιαστικό υλικό για την ανάπτυξη των εκπαιδευτικών και επικοινωνιακών προγραμμάτων που θα πρέπει επίσης να αποτελούν μέρος μιας διαδικασίας μείωσης του κινδύνου.

Από επιστημονική άποψη, έχει σημειωθεί σημαντική πρόοδος τα τελευταία χρόνια χάρη στην ανάπτυξη των Γεωγραφικών Πληροφοριακών Συστημάτων (GIS) και την

ανάπτυξη ολοένα και πιο ισχυρών υπολογιστικών μοντέλων. Πρόσφατες μελέτες έχουν βελτιώσει τη μεθοδολογία του ηφαιστειακού κινδύνου προωθώντας τις βασικές επιστημονικές και τεχνολογικές δεξιότητες που χρησιμοποιούνται στην εκτίμηση αλλά και τον μετριασμό των ηφαιστειακών κινδύνων, όπως μοντέλα υπολογιστών, βάσεις δεδομένων ευπάθειας και πιθανά πρωτόκολλα εκτίμησης κινδύνου (Jenkins et al., 2014).

Ωστόσο, παρά αυτές τις σημαντικές προόδους, η αξιολόγηση και η διαχείριση του ηφαιστειακού κινδύνου εξακολουθεί να έχει τρεις σημαντικές ελλείψεις. Το πρώτο προέρχεται από το γεγονός ότι οι επιστήμονες, τα ηφαιστειακά παρατηρητήρια και οι οργανισμοί πολιτικής προστασίας συχνά χρησιμοποιούν διαφορετικές ορολογίες, μεθοδολογίες, κριτήρια και πρωτόκολλα για την αξιολόγηση, διαχείριση και επικοινωνία του ηφαιστειακού κινδύνου. Αυτή η έλλειψη ομοιογένειας συχνά εμποδίζει και καθυστερεί τη λήψη αποφάσεων και επιβαρύνει την επικοινωνία μεταξύ των μελών των επιστημονικών και διοικητικών κοινοτήτων (Felpeto, Martí & Ortiz, 2007).

Το δεύτερο ζήτημα πηγάζει από την ανάγκη εμπειρογνωμοσύνης και επιστημονικού υποβάθρου για την ορθή χρήση των επιστημονικών συμβουλών, η οποία αποκλείει την ευρύτερη χρήση των επιστημονικών και τεχνικών εξελίξεων από πιθανούς τελικούς χρήστες εκτός της επιστημονικής κοινότητας, επιβραδύνοντας έτσι τα κοινωνικά οφέλη αυτών των βελτιώσεων. Το τρίτο μειονέκτημα οφείλεται συνήθως στο γεγονός ότι, οι κοινωνίες, οι διαχειριστές, τα μέσα μαζικής ενημέρωσης και οι πολιτικοί αγνοούν - ή αρνούνται - την πραγματικότητα της ζωής με τα ηφαίστεια. Σε πολλές περιπτώσεις, η απουσία βασικών ή προηγμένων εκπαιδευτικών προγραμμάτων που θα βοηθούσε στην κατανόηση, στην αξιολόγηση αλλά και στον μετριασμό του ηφαιστειακού κινδύνου, εμποδίζει μια κοινότητα στο να αντιληφθεί τα ηφαίστεια ως μια φυσική απειλή που μπορεί να ζήσει μαζί τους ακόμη και να τα διαχειριστεί επιτυχώς. (Biass, Frischknecht & Bonadonna, 2013).

Προκειμένου να υπάρξει μετριασμός αυτών των προβλημάτων, επιχειρείται μια ανασκόπηση που στόχο έχει την ανάλυση των κύριων πτυχών που πρέπει να ληφθούν υπόψη σε οποιαδήποτε εκτίμηση ηφαιστειακού κινδύνου, ανεξάρτητα από το πού διεξάγεται και από ποιον. Πρώτα αναθεωρεί τον ορισμό εννοιών όπως «κίνδυνος» και «ρίσκο» και «ενεργά» και «εξαφανισμένα» ηφαίστεια, τα οποία μερικές φορές προκαλούν σύγχυση, ιδιαίτερα μεταξύ εκείνων που είναι λιγότερο εξοικειωμένοι με τον τρόπο λειτουργίας των ηφαιστειών. Στη συνέχεια, περιγράφει τους ηφαιστειακούς και συναφείς κινδύνους, τα καθήκοντα και τις μεθόδους που απαιτούνται κατά τη διεξαγωγή εκτίμησης επικινδυνότητας και πώς η εκτίμηση επικινδυνότητας συμβάλλει στην πρόβλεψη έκρηξης και στην έγκαιρη προειδοποίηση. Τέλος, εξετάζει μια σειρά άλλων σημαντικών ερωτημάτων όπως, η επιστημονική επικοινωνία, η εκπαίδευση και η μετάδοση που απαιτείται για την αποτελεσματική αξιολόγηση των ηφαιστειακών κινδύνων (Jenkins et al., 2014).

1.12. 7.2 Κίνδυνος έναντι Ρίσκου

Παρά το ότι έχουν πολύ διαφορετικές έννοιες, ο κίνδυνος και το ρίσκο είναι δύο όροι που συχνά συγχέονται ή χρησιμοποιούνται εναλλακτικά σαν να ήταν συνώνυμα. Αν και αυτή η σύγχυση συμβαίνει σε πολλά πλαίσια, σε αυτήν την ενότητα αναφέρονται μόνο οι κίνδυνοι και τα ρίσκα της ηφαιστειακής προέλευσης. Ο ηφαιστειακός κίνδυνος ορίζεται ως η πιθανότητα να επηρεαστεί μια συγκεκριμένη περιοχή από ένα καταστροφικό ηφαιστειακό

συμβάν εντός μιας δεδομένης χρονικής περιόδου, ενώ το ρίσκο είναι η πιθανότητα ή το πιθανό μέγεθος της απώλειας ζωής, ιδιοκτησίας ή παραγωγικής ικανότητας σε μια περιοχή που υπόκειται σε ηφαιστειακό κίνδυνο (Fournier d'Albe, 1979· Tilling, 1989).

Επομένως, ο κίνδυνος σχετίζεται με φυσικά φαινόμενα και την πιθανή επανάληψή τους, την έκταση και τον αντίκτυπό τους, ενώ το ρίσκο αναφέρεται στο πιθανό κοινωνικοοικονομικό κόστος της επίδρασης ενός συγκεκριμένου κινδύνου ή μιας ομάδας κινδύνων. Η αξιολόγηση του ηφαιστειακού κινδύνου αποσκοπεί στον προσδιορισμό των περιοχών που είναι επιρρεπείς σε ηφαιστειακά συμβάντα και είναι απαραίτητη για το σχεδιασμό (και την εφαρμογή) σχεδίων έκτακτης ανάγκης και εδαφικού σχεδιασμού. Η ηφαιστειακή εκτίμηση επικινδυνότητας (ρίσκο), από την άλλη πλευρά, προσπαθεί να αξιολογήσει το δυνητικό κόστος όσον αφορά, για παράδειγμα, τις ανθρώπινες ζωές, τις οικονομικές απώλειες, τις βλάβες υπηρεσιών και είναι κατάλληλη για τον σχεδιασμό και τη λήψη μέτρων μετριασμού, δηλαδή τη λήψη αποφάσεων κατά τη διάρκεια των κρίσεων που προκύπτουν (Blong, 1984).

Με απλά λόγια, το ρίσκο μπορεί να εκφραστεί ως το προϊόν του μεγέθους των πιθανών απωλειών και η πιθανότητα να προκύψουν αυτές οι απώλειες, δηλαδή, κίνδυνος × τιμή × ευπάθεια (Fournier d'Albe, 1979). Ο Κίνδυνος αναφέρεται στο φυσικό συμβάν που έχει αντίκτυπο σε μια συγκεκριμένη περιοχή εντός ενός συγκεκριμένου χρονικού πλαισίου και επομένως περιέχει σιωπηρή χωρική (δηλαδή, ότι τα αποτελέσματα του συμβάντος θα επεκταθούν σε μια συγκεκριμένη απόσταση ή επιφάνεια) και χρονική (δηλαδή, ότι θα συμβεί) πιθανότητα. Η αξία είναι η συνδυασμένη αξία του αριθμού των ανθρώπων, της αξίας του κεφαλαίου (π.χ. γης, κτιρίων και υποδομών) και της παραγωγικής ικανότητας (π.χ. εργοστάσια, σταθμοί παραγωγής ενέργειας και γεωργική γη) στην δυνητικά πληγείσα περιοχή. Ένα θέμα ευπάθειας είναι ένας υπολογισμός της αναλογίας της τιμής που είναι πιθανό να χαθεί ως αποτέλεσμα ενός δεδομένου συμβάντος. Ωστόσο, δεδομένου ότι το ρίσκο είναι μια εκτίμηση ενός δυνητικού κόστους, αυτός ο ορισμός μπορεί να διατυπωθεί καταλληλότερα εάν λάβουμε επίσης υπόψη πιθανά μέτρα άμβλυνσης, τα οποία μπορούν να θεωρηθούν ως οποιαδήποτε ενέργεια (π.χ. εκτίμηση επικινδυνότητας, χωροταξία και σχεδιασμός έκτακτης ανάγκης, μείωση σωματικής ευπάθειας, παρακολούθηση ή εκπαίδευση) που μπορεί να εφαρμοστεί για τη μείωση του ρίσκου (Peterson and Tilling, 2000). Ως εκ τούτου, το ρίσκο μπορεί να οριστεί ως:

$$\text{Ρίσκο} = (\text{Κίνδυνος} \times \text{Ευπάθεια} \times \text{Τιμή}) / \text{Μέτρο μετριασμού}$$

Δυστυχώς, οι τεράστιες ανθρώπινες και οικονομικές απώλειες που προκαλούνται από απροσδόκητα ηφαιστειακά γεγονότα μπορούν εύκολα να απεικονιστούν από πολλά ιστορικά παραδείγματα (Πίνακας 1). Αν και είναι λιγότερο συχνές σε σχέση με άλλους φυσικούς κινδύνους, τα ηφαίστεια έχουν σημαντικές αρνητικές συνέπειες για τους ανθρώπινους πληθυσμούς, τις οικονομίες τους και το περιβάλλον, που μπορεί στη συνέχεια να απαιτούν μακρές, ψυχολογικά, σωματικά και οικονομικά δύσκολες περιόδους ανάκαμψης. Έτσι, παρά το δυνητικά υψηλό κόστος τους, η επένδυση σε προγράμματα μείωσης του ρίσκου είναι πάντα προτιμότερη από την απλή αντίδραση στις ήδη υπάρχουσες καταστροφές.

Πίνακας 1. Ανθρώπινες απώλειες από τις εκρήξεις ηφαιστείων από το 1815 μέχρι το 1967.

Θ	Ηφαίστειο	Τοποθ	Έτ	Κύρια αιτία θανάτου
---	-----------	-------	----	---------------------

άνατοι		εσία	ος	
60 .000	Ταμπόρα	Ινδονη σία	18 15	Ραδιενεργά Σωματίδια, Τσουνάμι, Πείνα
36 .417	Κρακατά	Ινδονη σία	18 83	Τσουνάμι
29 ,025	Όρος Πελέ	Μαρτι νίκα	19 02	PDC
23 .080	Νεβάδο ντελ Ρουίζ	Κολομ βία	19 85	Λάχαρ
16 .000;	Βεζούβιος	Ιταλία	79	Ραδιενεργά Σωματίδια, PDCs
4. 524	Χωρίς απόσυρση	Ιαπωνί α	17 92	Κατάρρευση ηφαιστείου, τσουνάμι
10 .000;	Κέλουτ	Ινδονη σία	15 86	PDC;
10 .000;	Κέλουτ	Ινδονη σία	15 86	PDC;
9. 350	Λάκη	Ισλανδ ία	17 83	Πείνα
5. 405;	Κιλάουα	Χαβάη	17 90	PDC
5. 110	Κέλουτ	Ινδονη σία	19 19	Λάχαρ
5. 000	Tungurahua	Εκουα δόρ	16 40;	PDC, Λάχαρ
4. 011	Galunggung	Ινδονη σία	18 22	Λάχαρ
3. 360	Βεζούβιος	Ιταλία	16 31	Λάχαρ, ρευστή λάβα
3. 000	Αωυ	Ινδονη σία	17 11	PDC
3. 000	Μεράπι	Ινδονη σία	16 72	PDC

957	2.	Παπανταγιά ν	Ινδονη σία	17 72	Καθίζηση έδαφους
42	29	Λάμινγκτον	Παπού α Νέα Γουινέα	19 51	PDC
806	2.		Ινδονη σία	18 56	PDC, Λάχαρ
500;	2.	Αγία Μαρία	Γουατε μάλα	19 02	Ραδιενεργά Σωματίδια
000;	2.	Chichon	Μεξικ ό	19 82	PDC
000	2.	Μάκιαν	Ινδονη σία	17 60	Λάχαρ
900	1.	Αραράτ	Τουρκί α	18 40	PDC, κατολίσθηση
700	1.	Λίμνη Νυός	Καμερ ούν	19 86	Ηφαιστειακά αέρια
680	1.	Soufriere St. Vincent	Γουαδ ελούπη	19 02	PDC
532	1.	Αωυ	Ινδονη σία	18 92	PDC, Λάχαρ
500	1.	Μάιον	Φιλιπ ίνες	18 75	Λάχαρ
491	1.	Άσαμα	Ιαπωνί α	17 83	PDC, lahar
1.335	>	Ταλ	Φιλιπ ίνες	19 11	PDC, Λάχαρ
200	1.	Μάιον	Φιλιπ ίνες	18 14	PDC, Λάχαρ
148	1.	Άγκουνγκ	Ινδονη σία	19 67	PDC, Λάχαρ

Πηγή: (Siebert, Simkin & Kimberly, 2010)

Ένα συνολικό σχέδιο μείωσης του κινδύνου θα πρέπει να περιλαμβάνει αρκετά βασικά προγράμματα που λειτουργούν αρμονικά: (1) ένα επιστημονικό πρόγραμμα που στοχεύει στη βελτίωση της γνώσης της διαδικασίας και των πιθανών επιπτώσεων της (δηλαδή, εκτίμηση επικινδυνότητας), (2) ένα πρόγραμμα παρακολούθησης για τον προσδιορισμό της τρέχουσας κατάστασης της δραστηριότητας και της διαδικασίας, (3) ένα εκπαιδευτικό πρόγραμμα για την εκπαίδευση του πληθυσμού σχετικά με τους πιθανούς κινδύνους που τους απειλούν και (4) ένα πρόγραμμα διαχείρισης των σχεδίων έκτακτης ανάγκης και των στρατηγικών ανθεκτικότητας. Κάθε ένα από αυτά τα προγράμματα αυτά προϋποθέτει, δημόσια επικοινωνία και ενότητα προσέγγισης, προκειμένου να προσθέσει διαφάνεια στην επιστημονική διαδικασία ώστε να οικοδομήσει, την εμπιστοσύνη και την κατανόηση εκ μέρους του κοινού. Αυτά τα προγράμματα πρέπει να εκτελούνται όταν το ηφαίστειο βρίσκεται σε ηρεμία ή βρίσκεται σε επίπεδο ήπιας δραστηριότητας, προκειμένου να διασφαλιστεί επαρκής ανταπόκριση όταν επανενεργοποιηθεί και να προετοιμαστεί για μια περαιτέρω έκρηξη (Siebert, Simkin & Kimberly, 2010).

Επομένως, η εκτίμηση της επικινδυνότητας είναι ένα από τα πρώτα βήματα για την εκτίμηση του κινδύνου και της μείωσης του ρίσκου. Πρώτα απ' όλα, προσδιορίζει τη συμπεριφορά ενός ηφαιστείου στο παρελθόν, τους τύπους κινδύνων που τείνει να προκαλεί, την έκταση αυτών των κινδύνων και τις πιθανές επιπτώσεις τους, καθώς και τη συχνότητα έκρηξης του ηφαιστείου. Κατά συνέπεια, η εκτίμηση επικινδυνότητας στοχεύει να κατηγοριοποιήσει τα κύρια σενάρια έκρηξης του παρελθόντος και να υποθέσει ποια σενάρια είναι πιο πιθανό να συμβούν στο μέλλον. Ουσιαστικά, ο σκοπός της εκτίμησης των ηφαιστειακών κινδύνων είναι η πρόβλεψη της φύσης και της επόμενης έκρηξης (Sparks, Aspinall, Crowweller & Hincks, 2013).

Αυτές οι πληροφορίες θα είναι ζωτικής σημασίας για τον χωροταξικό σχεδιασμό και την ανάπτυξη υπηρεσιών έκτακτης ανάγκης, δύο βασικές δράσεις που μειώνουν τον κίνδυνο, αντίστοιχα, αποτρέποντας την ανάπτυξη σε επικίνδυνες περιοχές και εντοπίζοντας ασφαλείς περιοχές αλλά και διαδρομές (τρόπους διαφυγής), εκκένωσης που απαιτούνται σε περίπτωση έκρηξης. Επιπλέον, η εκτίμηση επικινδυνότητας θα βοηθήσει στη λήψη αποφάσεων κατά τη διάρκεια ηφαιστειακών κρίσεων, καθώς παρέχει τη βάση για την αξιολόγηση πιθανών σεναρίων έκρηξης και των επιπτώσεών τους. Η εκτίμηση επικινδυνότητας παρέχει επίσης έναν οδηγό για εκπαιδευτικά προγράμματα και δράσεις διάδοσης που επικεντρώνονται στην εξήγηση στον τοπικό πληθυσμό των ηφαιστειακών κινδύνων στους οποίους εκτίθενται. Τέλος, η εκτίμηση επικινδυνότητας είναι απαραίτητη προϋπόθεση για τη διενέργεια αναλύσεων ευπάθειας και την εκτίμηση των πιθανών επιπτώσεων και των οικονομικών απωλειών για τις κοινωνίες και το περιβάλλον σε περίπτωση νέας έκρηξης (Sparks, Aspinall, Crowweller & Hincks, 2013).

1.13. 7.3 Ενεργό έναντι Εξαφανισμένου Ηφαιστείου

Η εκτίμηση επικινδυνότητας πρέπει να διενεργείται σε όλες τις ηφαιστειακές περιοχές στις οποίες είναι πιθανές για μελλοντικές εκρήξεις. Αυτό θέτει το ερώτημα: Πότε πρέπει να θεωρείται ενεργό ή δυνητικά ενεργό ένα ηφαίστειο και πότε πρέπει να θεωρείται ότι έχει εξαφανιστεί οριστικά; Δεν υπάρχει συναίνεση στην ηφαιστειολογική βιβλιογραφία σχετικά με τον ορισμό των ενεργών και εξαφανισμένων ηφαιστείων, εν μέρει λόγω του γεγονότος ότι τα ηφαίστεια εμφανίζουν πολύ διακριτές συμπεριφορές και συχνότητες έκρηξης, και ίσως είναι

σχεδόν μόνιμα ενεργά (π.χ. Stromboli, Ιταλία; Pacaya, Γουατεμάλα), συχνά (π.χ. Piton de la Fournaise, La Reunion) ή έχουν πολύ μεγάλες περιόδους υποτροπής (π.χ. El Teide, Κανάριοι Νήσοι). Πρόσφατα παραδείγματα έχουν δείξει ότι τα ηφαίστεια που είναι ανενεργά για εκατοντάδες και ακόμη και χιλιάδες χρόνια μπορεί ξαφνικά να εκραγούν με μεγάλη βία (π.χ. Pinatubo, Φιλιππίνες, Chaiten και Calbuco, Χιλή). Αντίθετα, γνωρίζουμε τις ηφαιστειακές ζώνες που ήταν ενεργές από το Μεσαίο Μειοκένιο έως τα πρώτα Ολοκαίνια (π.χ. το ευρωπαϊκό σύστημα ρήξης): Πρέπει τώρα να θεωρηθούν ότι έχουν εξαφανιστεί επειδή δεν έχουν ξεσπάσει για αρκετές χιλιάδες χρόνια; Το μόνο αναμφισβήτητο γεγονός είναι ότι δεν έχουμε ακόμη την απάντηση σε αυτό το ερώτημα (Siebert, Simkin & Kimberly, 2010).

Σε γενικές γραμμές, οι άνθρωποι δεν λαμβάνουν υπόψη γεγονότα σε γεωλογική χρονική κλίμακα, οπότε σε πολλές περιπτώσεις, ηφαίστεια που έχουν ηρεμήσει για χιλιάδες ή δεκάδες χιλιάδες χρόνια θεωρούνται ως εξαφανισμένα και, κατά συνέπεια, ως ηφαίστεια για τα οποία δεν χρειάζεται να ανησυχούμε. Αυτό οδήγησε σε διάφορους ορισμούς των εξαφανισμένων ηφαιστειών: ένα ηφαίστειο που δεν έχει εκραγεί στην ιστορική εποχή (Mercalli, 1907), ή ένα ηφαίστειο που δεν έχει εκραγεί κατά τη διάρκεια του Ολοκαίνου (Siebert, Simkin & Kimberly, 2010) ή, ανάλογα με τον τύπο του ηφαιστείου, κατά τη διάρκεια οποιουδήποτε άλλου δεδομένου χρονικού διαστήματος. Κάθε ορισμός έχει ένα βαθμό ανακρίβειας ανάλογα με τη σχετική γεωγραφική περιοχή (την ύπαρξη ή όχι ενός κατάλληλου ιστορικού αρχείου) ή / και τον τύπο του ηφαιστείου. Οι Scandone, Bartolini και Martí (2016) πρότειναν πρόσφατα ότι ένα ηφαίστειο θα πρέπει να θεωρείται ενεργό εάν μπορεί ενδεχομένως να εκραγεί ξανά, δηλαδή, εφόσον οι παράγοντες που προκαλούν έκρηξη (η διαθεσιμότητα του μάγματος και ένα μονοπάτι προς την επιφάνεια) εξακολουθούν να λειτουργούν. Αυτό σημαίνει ότι οι γεωδυναμικές συνθήκες που διατηρούν το συσχετισμένο μαγματικό σύστημα ζωντανό (δηλαδή, το μάγμα που παρέχεται από το βάθος στο ηφαιστειακό σύστημα) εξακολουθούν να είναι ενεργό. Ως εκ τούτου, τα ηφαίστεια ταξινομούνται ως «ενεργά» όταν ενδέχεται να είναι ενεργά στο μέλλον και ως «εξαφανισμένα» όταν είναι αδύνατο να εκραγούν ξανά. Ομοίως, οι Scandone, Bartolini και Martí (2016) προτείνουν να ταξινομηθούν τα ηφαίστεια ως «ξύπνια» όταν ήταν ενεργά στην ιστορική εποχή και «αδρανής» όταν δεν έχουν παρουσιάσει τέτοια δραστηριότητα.

Ο ορισμός που προτείνεται από τους Scandone, Bartolini και Martí (2016) υπονοεί ότι, για να αποφασίσουμε εάν τα ηφαίστεια είναι δυνητικά ενεργά, πρέπει να γνωρίζουμε την τρέχουσα κατάσταση της τοπικής γεωδυναμικής δραστηριότητας ή, με άλλα λόγια, οι περιφερειακές δυναμικές τεκτονικής και μανδύας εξακολουθούν να είναι αρκετά καλά συνδεδεμένες για να παράγουν μάγμα που θα τροφοδοτεί το ηφαιστειακό σύστημα; Παρ' όλα αυτά, αυτή η έννοια των ενεργών ηφαιστειών υποδηλώνει ότι η επιβολή χρονικών περιορισμών μπορεί να μην είναι ο καλύτερος τρόπος για τον εντοπισμό «αδρανών» ηφαιστειών που ενδέχεται να ενεργοποιηθούν στο εγγύς μέλλον. Αυτό υποδηλώνει επίσης ότι συνιστάται η διενέργεια εκτίμησης επικινδυνότητας σε ηφαιστειακές περιοχές στις οποίες υπήρξαν σημάδια τεκτονικής και ηφαιστειακής δραστηριότητας τα τελευταία χρόνια, ακόμη και αν δεν υπάρχουν ενδείξεις εκρήξεων.

1.14. 7.4 Πολυγενετικό έναντι Μονογενετικού Ηφαιστείου

Τα ηφαίστεια χαρακτηρίζονται από μια μεγάλη ποικιλία μορφών, τεκτονικών ρυθμίσεων, συνθέσεων, δυναμικής έκρηξης και υποτροπών. Η σύγκριση μεταξύ ηφαιστείων παρόμοιου τύπου είναι χρήσιμη για την καθιέρωση κοινών εκρηκτικών προτύπων και για την εφαρμογή γενικευμένων ορισμών (π.χ. Βουλκανικά, Στρόμπο ή Πλίνια) που βοηθούν στην περιγραφή της συμπεριφοράς ενός συγκεκριμένου ηφαιστείου, κυρίως όταν έχουν μελετηθεί τα ηφαίστεια που χρησιμοποιήθηκαν για τη σύγκριση με μεγάλη λεπτομέρεια. Ωστόσο, είναι λάθος να υποθέσουμε ότι ένα συγκεκριμένο ηφαίστειο θα συμπεριφέρεται με τον ίδιο ή παρόμοιο τρόπο με ένα άλλο αφού, ως ένα σημείο, κάθε ηφαίστειο έχει τα δικά του χαρακτηριστικά που το διακρίνουν από όλα τα άλλα. Αυτή είναι μια σημαντική έννοια στην εκτίμηση του ηφαιστειακού κινδύνου, καθώς υπονοεί ότι κάθε ηφαίστειο πρέπει να μελετηθεί ξεχωριστά - δεν μπορούμε να υποθέσουμε ότι ένα ηφαίστειο θα συμπεριφερθεί με προκαθορισμένο τρόπο μόνο και μόνο επειδή ανήκει σε μια συγκεκριμένη ομάδα ηφαιστείων. Για παράδειγμα, γνωρίζουμε τώρα ότι οι ορισμοί της εκρηκτικής συμπεριφοράς, όπως ο διαχυτικός, ο εκρηκτικός, ο Στρόμπολ, ο Πλίνιος, ο Βουλκανίνος και ο Πελεάν, που υποτίθεται ότι χαρακτηρίζουν ορισμένους τύπους ηφαιστείου ενδέχεται σε ορισμένες περιπτώσεις να είναι παραπλανητικοί, καθώς ένα ηφαίστειο μπορεί να εμφανίζει εκρηκτικό και εύχρηστο, ή συμπεριφορά Στροβολίων, Πλίνων ή Βουλκανών κατά τη διάρκεια διαφορετικών εκρήξεων ή ακόμη και κατά την ίδια έκρηξη (Geyer & Marti, 2014).

Κατά την ανάλυση των ηφαιστείων, πρέπει να ληφθεί υπόψη ολόκληρο το γεωφυσικό σύστημα στο οποίο αποτελούν μέρος. Αυτό σημαίνει ότι λαμβάνονται υπόψη όλες οι γεωλογικές διεργασίες (δηλ. Παραγωγή μάγματος, ανάβαση, συσσώρευση, διαφοροποίηση και έκρηξη) που επιτρέπουν στο μάγμα να φτάσει στην επιφάνεια της Γης. Όλες αυτές οι διεργασίες πρέπει να μελετηθούν στο πλαίσιο της περιφερειακής γεωδυναμικής και όλες περιλαμβάνουν μια σειρά πολύπλοκων αλληλεπιδράσεων μεταξύ μηχανικής ρευστού (μάγματος) και στερεών (βραχώδους μάζας υποδοχείς). Η ικανότητα του μάγματος να σχηματίζει, να μεταναστεύει και να ξεσπά θα εξαρτάται από τις συνθήκες έντασης κάθε συγκεκριμένης κατάστασης ή συστήματος, το οποίο θα ελέγχεται κυρίως από περιφερειακές και τοπικές τεκτονικές, ρεολογίες του μανδύα και μάγματος, διαφορές πυκνότητας μεταξύ μάγματος και υποδοχέα, βαρύτητα, και τοπογραφία. Κατά συνέπεια, εάν ο στόχος μας είναι να αποκρυπτογραφήσουμε γιατί ένα ηφαίστειο εκρήγνυται με έναν τρόπο και όχι με άλλο τρόπο, είναι καλύτερο να μιλάμε για «ηφαιστειακά συστήματα» και όχι απλά «ηφαίστεια», δίνοντας έτσι μεγαλύτερη έμφαση στην πολυπλοκότητα των ηφαιστειακών συστημάτων και τη σημασία της κατανόησης της πλήρους ακολουθίας των διαδικασιών που εμπλέκονται στη λειτουργία ενός ηφαιστείου (Davidson & De Silva, 2000).

Υπάρχουν δύο βασικοί τύποι ηφαιστειακών συστημάτων: πολυγενετικοί και μονογενετικοί. Πολυγενετικά ηφαιστειακά συστήματα είναι εκείνα που (1) είναι ενεργά για εκατοντάδες χιλιάδες ή ακόμη και εκατομμύρια χρόνια, (2) παράγουν πάντα εκρήξεις από το ίδιο κεντρικό σύστημα εξαερισμού και έτσι κατασκευάζει μεγάλα ηφαιστειακά οικοδομήματα που αποτελούνται από λάβα και ηφαιστειακά προϊόντα και (3) μπορεί να υποστούν μεγάλες αστάθειες που προκαλούνται από τη βαρύτητα καθ' όλη τη διάρκεια της ζωής τους, προκαλώντας κατάρρευση του τομέα. Αυτά τα ηφαιστειακά συστήματα έχουν συχνότητες έκρηξης που κυμαίνονται από αρκετές δεκάδες έως χιλιάδες χρόνια. Καλά παραδείγματα πολυγενετικών ηφαιστειακών συστημάτων περιλαμβάνουν (1) ηφαίστεια θωράκισης (Mauna Kea και Mauna Loa στη Χαβάη, Nyamuragira στο Κονγκό και Fernandina στο Galapagos), που χαρακτηρίζονται γενικά από ευρεία, ηφαιστειακά κτίρια χαμηλής ανακούφισης που κατασκευάζονται κυρίως από λάβα και πυροκλάστες της μαφικής σύνθεσης (Walker, 2000)

και (2) σύνθετα ή κεντρικά ηφαίστεια ή στρατόκολλα (π.χ. El Teide στην Τενερίφη, Βεζούβιος στην Ιταλία, Ηφαίστειο Αγίας Ελένης στις Ηνωμένες Πολιτείες, Piton de la Fournaise στο La Reunion, το ηφαίστειο Φούτζι στην Ιαπωνία και Chaiten στη Χιλή), αποτελούμενο από ψηλότερα ηφαιστειακά κτίσματα με πιο απότομες πλαγιές αποτελούμενες από λάβα και ηφαιστειοκλαστικά αποθέματα που αντιστοιχούν σε πιο διαφοροποιημένα μάγματα (Davidson & De Silva, 2000).

Στα σε ασπίδα και σύνθετα πολυγενετικά ηφαίστεια, μπορεί να συμβούν επεισόδια κατάρρευσης της καλντέρας (π.χ. Las Cañadas caldera στην Τενερίφη, Somma Vesuvius στην Ιταλία και Aira στην Ιαπωνία), όπου το κεντρικό τμήμα του ηφαιστειακού οικοδομήματος βρίσκεται από τη βαρύτητα στο συσχετισμένο θάλαμο μάγματος καθώς αποσυμπιέζεται κατά τη διάρκεια μιας έκρηξης (Geyer & Marti, 2014). Τα επεισόδια κατάρρευσης της καλντέρας σε σύνθετα ηφαίστεια τείνουν να είναι εξαιρετικά εκρηκτικά και αντιπροσωπεύουν τον κύριο σχετικό κίνδυνο. Ωστόσο, συστήματα κατάρρευσης καλντέρας που δεν έχουν καμία σχέση με ασπίδα ή κεντρικά ηφαίστεια μπορεί επίσης να εμφανιστούν ως απόκριση στην τεκτονική δραστηριότητα που επηρεάζει περιοχές με ενεργό μάγμα και ηφαιστειακό (Aguirre-Díaz et al., 2008) και έχουν αυξήσει τις μεγαλύτερες εκρήξεις που έχουν συμβεί ποτέ στη Γη (π.χ. Toba, Ινδονησία, Cerro Galán, Αργεντινή, La Pacana, Χιλή, Bofaños, Μεξικό).

Ο μονογενετικός ηφαιστειακός παράγοντας αντιπροσωπεύει το άλλο τελικό μέλος των ηφαιστειακών συστημάτων και αντιπροσωπεύεται συνήθως από ηφαιστειακά πεδία που περιέχουν δεκάδες έως χιλιάδες μικρά ηφαίστεια, το καθένα από το οποίο δημιουργεί μια μόνο έκρηξη. Συνήθως είναι μαφικά στη σύνθεση και αντιπροσωπεύουν σχετικά μικρού όγκου εκρήξεις που παράγουν κώνους και ροές λάβας, καθώς και περιστασιακές φρεομαγματικές εναποθέσεις λόγω της αλληλεπίδρασης μεταξύ μάγματος και επιφανειακών υδάτων. Τα βασαλτικά μονογενετικά ηφαιστειακά πεδία (Michoacan-Guanajuato στο Μεξικό, Όκλαντ στη Νέα Ζηλανδία, Auvergne στη Γαλλία και La Garrotxa στην Ισπανία) είναι ο συνηθέστερος τύπος χερσαίου ηφαιστειακού και μπορεί να είναι ενεργός για αρκετά εκατομμύρια χρόνια, με επαναλαμβανόμενες εκρήξεις που κυμαίνονται από αρκετές δεκάδες έως αρκετές χιλιάδες χρόνια (Le Corvec, Spörl, Rowland & Lindsay, 2013).

Η κατανομή των ηφαιστειακών κώνων σε βασαλτικά μονογενετικά πεδία ελέγχεται σαφώς από την περιφερειακή και τοπική τεκτονική. Η μεγάλη ποικιλία εκρηκτικών μορφών, μορφολογιών οικοδομών και εναποθέσεων σε μονογενετικά ηφαίστεια είναι το αποτέλεσμα ενός σύνθετου συνδυασμού εσωτερικών (σύνθεση μάγματος, περιεκτικότητα σε αέριο, ρεολογία, όγκος κ.λπ.) και εξωτερικών (περιφερειακά και τοπικά πεδία πίεσης, στρατογραφικά και ρεολογικά) και εξωτερικά (αντιθέσεις σε υπόστρωμα πετρώματος, υδρογεωλογίας κ.λπ.) που βοηθούν στο χαρακτηρισμό κάθε ηφαιστειακού συστήματος (Tibaldi & Lagmay, 2006· Martí Molist, Sobradelo, Felpeito & García, 2012). Τα μονογενετικά ηφαίστεια ή οι μονογενετικές εκρήξεις (δηλαδή, οι εκρήξεις που συμβαίνουν μόνο μία φορά από ένα συγκεκριμένο εξαερισμό), ωστόσο, δεν συνδέονται μόνο με αυτά τα βασαλτικά πεδία, καθώς μπορεί επίσης να συμβούν σε σχέση με τα πολυγενετικά ηφαίστεια, όπως και οι πλευρικές εκρήξεις όπως στο Teide (Martí Molist, Sobradelo, Felpeito & García, 2012) και Έτνα (Neri et al., 2008) και δημιουργούν ροές λάβας, θόλους ή / και πυροκλαστικά αποθέματα πιο εξελιγμένων συνθέσεων.

Η κύρια διαφορά μεταξύ πολυγενετικών και μονογενετικών ηφαιστειακών συστημάτων έγκειται στην παρουσία ή απουσία ενός ρηχού θαλάμου μάγματος και στα προκύπτοντα πεδία τάσης που τα χαρακτηρίζουν. Σε πολυγενετικά συστήματα, μια ζώνη όπου τα μάγματα συσσωρεύονται και εξελίσσονται κατά προτίμηση (δηλαδή, ένας θάλαμος

μάγματος) πριν από κάθε έκρηξη σχηματιστεί μερικά χιλιόμετρα κάτω από την κορυφή του ηφαιστείου. Αυτός ο θάλαμος μάγματος μπορεί να αλλάξει θέση καθώς το ηφαίστειο εξελίσσεται, αλλά θα τείνει να παραμείνει στην ίδια θέση εάν το ηφαίστειο δεν αλλάζει αισθητά σε σχήμα ή μέγεθος μεταξύ των εκρήξεων και εάν δεν υπάρχουν σημαντικές αλλαγές που επιβάλλονται από τις περιφερειακές τεκτονικές (Pinel & Jaupart, 2004· Martí & Geyer, 2009).

Ο θάλαμος μάγματος ασκεί ένα πεδίο πίεσης στα περίχωρά του, το οποίο υπερτίθεται στο περιφερειακό πεδίο πίεσης, ελέγχοντας έτσι τις πιθανές οδούς για μάγμα στην επιφάνεια. Στην κρούστα, η άνοδος του μάγματος συνήθως ελέγχεται από το άνοιγμα των καταγμάτων ως αποτέλεσμα της υπερπίεσης του μάγματος, του οποίου ο προσανατολισμός θα εξαρτάται από τον προσανατολισμό του πεδίου τάσης (δηλαδή, συνήθως κάθετα στο ελάχιστο και παράλληλα με τις μέγιστες πιέσεις πίεσης). Ένας υπερπιεσμένος θάλαμος μάγματος αναγκάζει το μάγμα να ανέβει κατά μήκος μιας προτιμησιακής διαδρομής του οποίου η θέση εξαρτάται από τη γεωμετρία, τον όγκο και τη θέση του θαλάμου. Εάν αυτές οι παράμετροι δεν αλλάξουν από τη μία έκρηξη στην άλλη, οι διαδρομές του μάγματος προς την επιφάνεια θα τείνουν να μην ποικίλουν (Pinel & Jaupart, 2004).

Αντίθετα, σε μονογενετικά ηφαιστειακά συστήματα το μάγμα δεν συσσωρεύεται σε ρηχούς ταμιευτήρες ή θαλάμους και τείνει να ανεβαίνει στην επιφάνεια από μεγαλύτερα βάθη, συνήθως από τη βάση του φλοιού ή ακόμη και από την περιοχή προέλευσης ή τα ρηχότερα επίπεδα του μανδύα. Έτσι, το πεδίο έντασης που ελέγχει την άνοδο του μάγματος θα εξαρτάται μόνο από την κατανομή της έντασης μέσα στη λιθόσφαιρα και, συγκεκριμένα, από τα εμπόδια πίεσης που αντιστοιχούν σε ρεολογικές ή δομικές ασυνέχειες (Maccacferri, Bonafede & Rivalta, 2011).

Τοπικά, το πεδίο έντασης μπορεί να αλλάξει από τη μία έκρηξη στην άλλη απλώς και μόνο επειδή οι προηγούμενες εισβολές μπορεί να στερεοποιήσουν και να μπλοκάρουν ένα κατάγμα, δημιουργώντας έτσι ένα νέο φράγμα έντασης που εμποδίζει το μάγμα να ακολουθήσει την ίδια πορεία όπως και σε προηγούμενες περιπτώσεις. Στην πραγματικότητα, παραδείγματα όπως το ηφαιστειακό πεδίο La Garrotxa στη ΒΑ Ισπανία (Bolós et al., 2015) δείχνουν πώς, παρά την ύπαρξη ενός σταθερού, κοινού συστήματος τροφοδοσίας σε βάθος καθ' όλη τη διάρκεια ζωής του ηφαιστειακού συστήματος, η θέση κάθε νέας έκρηξης ελέγχεται από δευτερεύοντα ρηχά κατάγματα που συλλαμβάνουν μάγμα κατά τα τελικά στάδια της ανάληψής του στην επιφάνεια, και έτσι καθορίζουν το ακριβές σημείο της έκρηξης. Ο ρηχός χαρακτήρας αυτών των καταγμάτων υποδηλώνει ότι το τοπικό (ρηχό) πεδίο τάσης δεν έχει τον ίδιο έλεγχο με τα κατάγματα σε πολύ μεγαλύτερα βάθη. Υπό αυτές τις συνθήκες, αυτά τα ρηχά κατάγματα μπορούν εύκολα να σφραγιστούν με υπολειμματικό μάγμα που στερεοποιείται σε αυτό, πράγμα που σημαίνει ότι για ένα επόμενο επεισόδιο έκρηξης θα είναι ευκολότερο να ανοίξει ένα νέο κατάγμα παρά να επαναχρησιμοποιηθεί ένα προηγουμένως σφραγισμένο. Αυτό συμπίπτει με ένα από τα πιο συνηθισμένα χαρακτηριστικά των μονογενετικών ηφαιστειακών πεδίων - ο σχηματισμός εγγύς συστάδων αεραγωγών σε εκρήξεις της ίδιας σχετικής ηλικίας, πράγμα που σημαίνει ότι σε εκρήξεις που παράγονται κάτω από το ίδιο περιφερειακό πεδίο πίεσης, οι αεραγωγοί τείνουν να συσσωρεύονται στην ίδια περιοχή αλλά όχι στο ίδιο σημείο (Bolós et al., 2015).

Η εξήγηση των μονογενετικών εκρήξεων που συμβαίνουν μερικές φορές στα πλευρά των κεντρικών ηφαιστειακών οικοδομών, σχηματίζοντας αυτά που είναι γνωστά ως παρασιτικοί κώνοι, μπορεί να είναι ανάλογη με την περίπτωση των βασαλτικών πεδίων: Μια πιθανή αλλαγή στη θέση του θαλάμου μάγματος ή στο σχηματισμό μιας δευτερεύουσας

παρτίδας μάγματος δημιουργεί το δικό της πεδίο έντασης, τροποποιώντας έτσι τις τροχιές πίεσης που ορίζονται από τον κύριο (ή τον προηγούμενο) θάλαμο μάγματος (Martí & Geyer, 2009).

Η ικανότητα ενός ηφαιστειακού συστήματος να σχηματίζει ρηχά θαλάμους μάγματος που ελέγχουν την κατανομή της έντασης σε ρηχότερα επίπεδα και έτσι, η θέση των εξαιρισμάτων έκρηξης φαίνεται να συνδέεται με την περίπλοκη σχέση που υπάρχει μεταξύ της παραγωγής μάγματος και των ρυθμών ανάβασης, της δομής της λιθόσφαιρας και της περιφερειακής και τοπικής τεκτονικής σε κάθε συγκεκριμένο γεωδυναμικό περιβάλλον στο οποίο αναπτύσσονται τα μαγνητικά και ηφαιστειακά συστήματα (Gudmundsson, 2011). Μια πιο εμπειριστωμένη συζήτηση αυτού του θέματος είναι πέρα από το πεδίο αυτής της αναθεώρησης.

8. Άμεσοι και Έμμεσοι Ηφαιστειακοί Κίνδυνοι

Οι ηφαιστειακοί κίνδυνοι είναι εγγενώς περίπλοκοι, δύσκολο να προβλεφθούν, σπάνια παρουσιάζουν μία μόνο επικίνδυνη απειλή και συχνά οδηγούν σε διαδοχικούς κινδύνους. Οι ηφαιστειακοί κίνδυνοι είναι οι πιο σκληροί γεωφυσικοί κίνδυνοι που μπορούν να εκτιμηθούν λόγω της εγγενούς πολυπαραγοντικής τους φύσης, στην οποία αλληλοεπιδρούν ή συνδέονται διαφορετικοί ηφαιστειακοί παράγοντες (ροές λάβας, πτώσεις, λάχαρες και πυροκλαστικές) και συναφείς κίνδυνοι (σεισμικές καταστροφές, κατολισθήσεις, τσουνάμι και πλημμύρες) διαδοχικές κρούσεις (Πίνακας 2). Ο διαδοχικός αντίκτυπος των ηφαιστειακών κινδύνων μπορεί επίσης να οδηγήσει σε διαδοχική αποτυχία των υπηρεσιών. Ως εκ τούτου, κατά την αξιολόγηση του δυνητικού αντίκτυπου των ηφαιστειακών εκρήξεων, είναι σημαντικό να λάβουμε υπόψη τη φύση των πολλαπλών κινδύνων και την πιθανότητα ότι αυτοί οι κίνδυνοι μπορεί να γίνουν επεισόδια με παρόμοιες συνέπειες. Αυτό σημαίνει ότι πρέπει να αναπτύξουμε γνώση των σχέσεων αιτίας-αποτελέσματος τους και να μην αντιμετωπίζουμε κάθε κίνδυνο ξεχωριστά ως ξεχωριστό γεγονός. Το πρώτο βήμα σε μια διαδικασία εκτίμησης επικινδυνότητας είναι συνεπώς να κατανοήσουμε ποιοι άμεσοι και έμμεσοι κίνδυνοι μπορούν να προκύψουν από μια ηφαιστειακή έκρηξη (Tilling, 2005).

Πίνακας 2. Κύριοι τύποι και χαρακτηριστικά των ηφαιστειακών κινδύνων

Τύπος κινδύνου	Κίνδυνος	Φύση και κύρια χαρακτηριστικά	Κύριοι φυσικοί έλεγχοι
Άμεσοι κίνδυνοι	Ροές λάβας	Μη κατακερματισμένο μάγμα, συνεχής ροή μη-Νεύτωνα	Βαρύτητα, τοπογραφία, θερμοκρασία, ιξώδες, ρυθμός έκρηξης
	Βαλλιστικά	Τα σωματίδια εκτοξεύονται απευθείας από το άνοιγμα κατά τη διάρκεια εκρηκτικών φάσεων, βαλλιστικής τοποθέτησης	Βαρύτητα, πυκνότητα, τριβή αέρα, ένταση έκρηξης, γωνία εκτόξευσης
	Ραδιενεργά σωματίδια	Τα θραύσματα μάγματος και βράχων μεταφέρθηκαν στην ατμόσφαιρα από σύννεφα έκρηξης, εναποτίθενται ως μεμονωμένα σωματίδια	Βαρύτητα, πυκνότητα, μέγεθος και σχήμα σωματιδίων, τριβή αέρα, δομή ατμόσφαιρας (πυκνότητα και ιξώδες), διάχυση, ταχύτητα ανέμου

PDC (αραιωμένο)	Θραύσματα μάγματος και πετρωμάτων που κατατίθενται σε μάζα, μεταφέρονται από πολύ ταραχώδη, πλούσια σε αέρια ρεύματα πυροκλαστικής πυκνότητας που σχηματίζονται από τη βαρυτική κατάρρευση των στηλών έκρηξης, τη βαρυτική κατάρρευση θόλων και λαβών, ή πλευρικά κατευθυνόμενες εκρήξεις	Βαρύτητα, κατανομή μεγέθους κόκκων, ορμή, θερμοκρασία, αναλογία σωματιδίων / αερίων, αναλογία πυροκλάστες / λιθική, τοπογραφία, καθεστώς ροής, η συνολική μάζα
PDCs (πυκνά)	Θραύσματα μάγματος και πετρωμάτων που έχουν κατατεθεί σε μάζα, μεταφέρονται με ταραχώδη σε στρωτή, πλούσια σε αέρια ρεύματα πυροπλαστικής πυκνότητας φτωχής σε αέρια που σχηματίζονται από βαρυτική κατάρρευση των στηλών έκρηξης ή βαρυτική κατάρρευση θόλων και λαβών	Βαρύτητα, κατανομή μεγέθους κόκκων, θερμοκρασία, ορμή, αναλογία σωματιδίων / αερίων, αναλογία ανηλικών πυροκλάστες / λιθική, τοπογραφία, καθεστώς ροής, η συνολική μάζα
Λάχαρ	Ο πολτός των πυροκλάστων, τα συντρίμια και το νερό που προέρχεται στις πλαγιές των ηφαιστείων κατά τη διάρκεια της έκρηξης. Το νερό προέρχεται από την τήξη του πάγου και του χιονιού από την καυτή ηφαιστειακή έγχυση. λίμνες κρατήρα και άλλα επιφανειακά νερά, νερό στα υπόγεια και γεωθερμικά συστήματα και καταρρακτώδεις βροχές.	Βαρύτητα, τοπογραφία, αναλογία στερεού / νερού, κατανομή μεγέθους κόκκων, αντοχή απόδοσης
Χιονοστιβάδες από συντρίμια	Πτώσεις βράχων, χιονοστιβάδες από συντρίμια, τα οποία μπορούν να κινηθούν γρήγορα προς τα κάτω και που προέρχονται αμέσως πριν, κατά τη διάρκεια ή αμέσως μετά από έκρηξη	Βαρύτητα, τοπογραφία, πυκνότητα όγκου
Πλημμύρες	Χαμηλή πυκνότητα, κανονική ροή που ρέει κυρίως που μπορεί να προέρχεται από λάχαρες όταν μειώνουν τη συγκέντρωση σωματιδίων των συνεκρηκτικών βροχοπτώσεων	Βαρύτητα, τοπογραφία, μέγεθος κόκκων, περιεκτικότητα σε νερό, αντοχή απόδοσης, πυκνότητα όγκου
Ηφαιστειακά αέρια	Αέρια που αναμιγνύονται με τον ατμοσφαιρικό αέρα	Πυκνότητα, θερμοκρασία, μετεωρολογικές συνθήκες, ατμοσφαιρικές ιδιότητες
Φρεατικές εκρήξεις	Εκρηκτική διαταραχή ρηχών υδροθερμικών συστημάτων, που δημιουργούν κυρίως βαλλιστική εκτόξευση και σχετικά σύντομα σύννεφα τέφρας	Βαρύτητα, πυκνότητα, τριβή αέρα, ένταση έκρηξης, γωνία εκτόξευσης

Σεισμοί	<p>Η ανατάραξη του εδάφους και οι κινήσεις που προκαλούνται από σεισμικά σοκ μεγέθους συνήθως <5, σχετίζονται με την κίνηση μάγματος και την αναπροσαρμογή των ηφαιστειακών συστημάτων κατά τη διάρκεια των εκρήξεων</p>	<p>Υποκεντρική τοποθεσία, δομή και στρατογραφία του ηφαιστειακού συστήματος, τοπικές επιδράσεις, δυναμική ρήξης.</p>
Τσουνάμι	<p>Μακροχρόνια, ρηγά νερά κύματα που δημιουργούνται από την ξαφνική μετατόπιση του νερού που προκαλείται από ηφαιστειακούς ή ηφαιστειο-τεκτονικούς σεισμούς, ηφαιστειακές εκρήξεις, ή κατάρρευση ή καθίζηση ηφαιστειακού οικοδομήματος, ή χιονοστιβάδες συντριμμίων, λάχαρες ή πυροκλαστικές ροές που εισέρχονται σε υδάτινα σώματα</p>	<p>Βαρύτητα, ακτογραμμή και βαθυμετρική διαμόρφωση, η ταχύτητα της παραμόρφωσης του θαλάσσιου πυθμένα, το βάθος του νερού κοντά στην πηγή κρούσης και η αποδοτικότητα με την οποία μεταφέρεται ενέργεια από την πρόσκρουση (ηφαιστειακή έκρηξη, κατάρρευση οικοδόμησης, σεισμός,...) στη στήλη νερού.</p>
Ρέει δευτερεύοντα συντρίμια	<p>Ο πολτός των πυροκλάστων, τα συντρίμια και το νερό που προέρχεται στις πλαγιές των ηφαιστειών μετά από μια ηφαιστειακή έκρηξη</p>	<p>Βαρύτητα, τοπογραφία, αναλογία στερεού / νερού, κατανομή μεγέθους κόκκων, αντοχή απόδοσης</p>
Διάβρωση η και καθίζηση	<p>Κατά τη μαζική επανακίνηση του ηφαιστειακού υλικού από έντονες βροχοπτώσεις και άλλες αιτίες ανατροπής</p>	<p>Βαρύτητα, τοπογραφία, μέγεθος κόκκων, περιεκτικότητα σε νερό, αντοχή απόδοσης, πυκνότητα όγκου</p>
Ατμοσφαιρικά αποτελέσματα	<p>Τοπικές αλλαγές της ατμοσφαιρικής δυναμικής (βροχοπτώσεις, σοκ κύματα, φωτισμός) που προκαλούνται από την είσοδο σωματιδίων τέφρας και αερίων στην ατμόσφαιρα που περιβάλλει το ηφαίστειο που εκρήγνυται</p>	<p>Χαρακτηριστικά νέφους έκρηξης, χαρακτηριστικά ατμόσφαιρας</p>
Κλιματικές επιδράσεις	<p>Περιφερειακές έως παγκόσμιες επιπτώσεις στο κλίμα που προκαλείται από το σχηματισμό αερολυμάτων με την έγχυση ηφαιστειακών αερίων και σωματιδίων τέφρας στην υψηλή ατμόσφαιρα</p>	<p>Μέγεθος της έκρηξης, ύψος στηλών, σύνθεση αερίων, συνολική έγχυση μάζας, αντοχή και κατεύθυνση ανέμου</p>
Πείνα και ασθένειες	<p>Καταστροφή του εφοδιασμού τροφίμων από την άμεση απώλεια ζώων και καλλιεργειών, και μακροπρόθεσμα (χρόνια έως δεκαετίες) απώλεια της γεωργικής παραγωγικότητας των αγροτικών εκτάσεων που θάβονται από εκρηκτικά υλικά.</p>	<p>Μέγεθος της έκρηξης, ύψος στηλών, σύνθεση αερίων, συνολική έγχυση μάζας, δομή και δυναμική της ατμόσφαιρας, αντοχή και κατεύθυνση ανέμου</p>

Συναντήσ
εις αεροσκαφών
με ηφαιστειακή
τέφρα

Κατάποση πυριτικής τέφρας στους
κινητήρες τζετ του αεροσκάφους όταν
λειτουργούν σε σύννεφα ηφαιστειακής
τέφρας. Η απορρόφηση τέφρας
υποβαθμίζει την απόδοση του κινητήρα
και, στη χειρότερη περίπτωση, προκαλεί
φλόγα στον κινητήρα και απώλεια ισχύος.

Χαρακτηριστικά κινητήρων,
μέγεθος κόκκου, σύνθεση και σχήμα
σωματιδίων τέφρας, συγκέντρωση
τέφρας στον ατμοσφαιρικό αέρα

Πηγή: (Blong, 1984· Tilling, 2005).

Στη συνέχεια, για μια καλύτερη κατανόηση η εικόνα 3 παρουσιάζει τις βιαιότερες ηφαιστειακές εκρήξεις και τις αντίστοιχες ανθρώπινες απώλειες

Οι βιαιότερες ηφαιστειακές εκρήξεις και οι αντίστοιχες ανθρώπινες απώλειες

Ηφαιστειο	Έτος	Ανθρώπινες απώλειες	Αιτίες
Laki (Ισλανδία)	1783	9350	Λιμός και <u>αρρώστειες</u>
Unzen (Ιαπωνία)	1792	14300	70 % Κατολισθήσεις, 30 % Υποθαλάσσιος σεισμός
Tambora (Ινδονησία)	1815	92000	90 % Λιμός
Krakatau (Ινδονησία)	1883	36417	90% Υποθαλάσσιος σεισμός
Pelée (Μαρτνίκα)	1902	29025	<u>Πυροκλαστικές ροές</u>

Εικ. 5. Καταγραφή των βιαιότατων ηφαιστειακών εκρήξεων και οι αιτίες που προκάλεσαν τις ανθρώπινες απώλειες. Ηφαιστειακές εκρήξεις παρουσιάζουν μεγάλη ποικιλία διαφορετικών δυναμικών και προκαλούν (1) άμεσους κινδύνους (δηλαδή, αυτούς που προέρχονται άμεσα από την ηφαιστειακή δραστηριότητα) που εξαρτώνται από παράγοντες όπως η σύνθεση μάγματος, η ρεολογία και η διαθεσιμότητα, και η διαπερατότητα και η αντοχή των βράχων και (2) έμμεση κίνδυνοι (δηλαδή, αυτοί που προκαλούνται από τη δράση των άμεσων κινδύνων) που θα ξεδιπλωθούν καθώς η έκρηξη αλληλοεπιδρά με τη γύρω περιοχή. Οι εκρήξεις μπορεί να διαρκέσουν από λίγες ώρες έως αρκετά χρόνια - ή ακόμα περισσότερο στην περίπτωση των εκρήξεων βασάλτη πλημμύρας - και μπορεί να περιλαμβάνουν όγκους που κυμαίνονται από μερικά εκατομμύρια κυβικά μέτρα έως μερικές χιλιάδες κυβικά χιλιόμετρα. Μια ηφαιστειακή έκρηξη μπορεί να εξελιχθεί από ογκώδης σε εκρηκτική και / ή αντίστροφα, γι' αυτό σήμερα είναι πιο συνηθισμένο να γίνεται διάκριση μεταξύ των φάσεων και των παλμών (π.χ. Στρόμπολι, βίαιο Στρόμπολι, Πλίνια, ανάπτυξη θόλου, κατάρρευση θόλου, κρίση λάβας) συγκεκριμένη έκρηξη αντί να ταξινομήσει τις εκρήξεις, όπως στο παρελθόν, ως απλή αντιστοιχία στο ένα ή το άλλο ύψος έκρηξης (π.χ. Πλίνια, Στρόμπολι, Βουκάνια, ροή λάβας). Κάθε φάση και παλμός ηφαιστειακής έκρηξης

μπορεί να δημιουργήσει μια ποικιλία προϊόντων, τα οποία θα έχουν διαφορετική δυναμική και τρόπους τοποθέτησης και συνεπώς θα δημιουργήσουν διαφορετικούς πιθανούς κινδύνους (Tilling, 2005). Η εικόνα 1 παρουσιάζει τον όγκο των υλικών, την εκρηκτικότητα το ύψος στήλης υλικών και τη συχνότητα.

VEI	Όγκος υλικών	Εκρηκτικότητα	Ύψος στήλης υλικών	Συχνότητα
0	< 10.000 m ³	Μη εκρηκτική	< 100 m	Διαρκής
1	> 10.000 m ³	Ελάχιστα εκρηκτική	100–1.000 m	Ημερήσια
2	> 1.000.000 m ³	Μικρή	1–5 km	1 κάθε εβδομάδα
3	> 10.000.000 m ³	Μέτρια	3–15 km	1 κάθε λίγους μήνες
4	> 0,1 km ³	Μεγάλη	10–25 km	≥ 1 κάθε 1 έτος
5	> 1 km ³	Εξαιρετικά μεγάλη	20–35 km	≥ 1 κάθε 10 έτη
6	> 10 km ³	Κολοσσιαία	> 30 km	≥ 1 κάθε 100 έτη
7	> 100 km ³	Υπερ-κολοσσιαία	> 40 km	≥ 1 κάθε 1.000 έτη
8	> 1.000 km ³	Συντελειακή (υπερηφαίστειο)	> 50 km	≥ 1 κάθε 10.000 έτη

Εικ. 6. Πίνακας ηφαιστειακής εκρηκτικότητας (VEI, Volcanic Explosivity Index) με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των εκρήξεων. Σε γενικές γραμμές, διακρίνονται μεταξύ της δραστηκής και εκρηκτικής δραστηριότητας ανάλογα με το εάν το μάγμα είναι κατακερματισμένο ή όχι (δηλ. Παράγει πυροκλάστες) με την επέκταση των διαλυμένων αερίων καθώς το μάγμα αποσυμπιέζεται. Αν και τα πιο πρωτόγονα (ή μαφικά) μάγματα τείνουν να είναι φτωχότερα σε πτητικά (αέρια) από τα πιο εξελιγμένα (ή φελλικά) μάγματα, και οι δύο τύποι εκρηκτικών δραστηριοτήτων είναι συνηθισμένοι σε όλες τις μαγματικές συνθέσεις. Επιπλέον, ανάλογα με την αποτελεσματικότητα της εξαέρωσης πριν από την έκρηξη, η οποία ουσιαστικά θα εξαρτάται από τη διαπερατότητα του βράχου υποδοχέα, η ποσότητα του αερίου που συγκρατείται στο μάγμα μπορεί να μειωθεί σημαντικά, μετατρέποντας έτσι την ενδεχόμενη εκρηκτική έκρηξη σε μη-εκρηκτική. Αντίθετα, όταν το μάγμα αλληλοεπιδρά με το μετεωρικό νερό σε μια λίμνη ή έναν υδροφορέα ή με θαλασσινό νερό, ένα αδύναμο ή μη εκρηκτικό επεισόδιο έκρηξης μπορεί να μετατραπεί σε εξαιρετικά εκρηκτικό (Martí & Geyer, 2009· Parfitt & Wilson, 2009).

Οι δραστηκές εκρήξεις έχουν τη δυνατότητα να προκαλέσουν σοβαρότερους κινδύνους από τις εκρηκτικές εκρήξεις. Αν και αυτό ισχύει στις περισσότερες περιπτώσεις, πρέπει να προσέξουμε κατά τη διενέργεια εκτίμησης επικινδυνότητας, καθώς είναι ζωτικής σημασίας να εκτιμήσουμε πλήρως όλα τα φυσικά φαινόμενα που οδηγούν σε μια τόσο μεγάλη ποικιλία πιθανών αποτελεσμάτων. Η ανοικοδόμηση του παρελθόντος εκρηκτικού ιστορικού ενός ηφαιστείου και η περιεκτική κατανόηση της φυσικής των ηφαιστειακών διαδικασιών μας επιτρέπουν να εντοπίσουμε τα πιθανά σενάρια έκρηξης που μπορεί να παράγει ένα ηφαίστειο και να προσδιορίσουμε ποια ήταν τα πιο συχνά στο παρελθόν και ίσως το πιο πιθανό στο μέλλον. Αυτή είναι η ουσία της εκτίμησης των ηφαιστειακών κινδύνων (Parfitt & Wilson, 2009).

Επικίνδυνα γεγονότα που συμβαίνουν κατά τη διάρκεια ή λίγο μετά την έκρηξη (δηλαδή, μέσα σε λίγα λεπτά έως αρκετές ημέρες) θεωρούνται ως άμεσοι κίνδυνοι ηφαιστείου (Tilling, 2005) και περιλαμβάνουν ροές λάβας, θόλους λάβας, πτώση τέφρας, βαλλιστικά βλήματα, ρεύματα πυροκλαστικής πυκνότητας (PDC), λάχαρες, κατάρρευση τομέων και εκπομπές ηφαιστειακών αερίων (Martí & Geyer, 2009).

9. Μακροπρόθεσμη έναντι Βραχυπρόθεσμης Εκτίμησης Κινδύνων

Στην εκτίμηση επικινδυνότητας, είναι επιτακτική ανάγκη να γίνει διάκριση μεταξύ μακροπρόθεσμων και βραχυπρόθεσμων αξιολογήσεων, οι οποίες μπορούν να οριστούν με βάση τον αναμενόμενο χαρακτηριστικό χρόνο κατά τον οποίο η διαδικασία εμφανίζει σημαντικές αλλαγές. Η μακροπρόθεσμη αξιολόγηση βασίζεται σε ιστορικά και γεωλογικά δεδομένα, καθώς και σε μοντέλα προσομοίωσης πιθανών κινδύνων και αναφέρεται στο διαθέσιμο χρονικό παράθυρο πριν από την εμφάνιση ενός επεισοδίου αναταραχής σε ένα ηφαιστειακό σύστημα που επί του παρόντος δεν εμφανίζει σημάδια αναταραχής (Marzocchi, Sandri & Selva, 2010). Η μακροπρόθεσμη εκτίμηση επικινδυνότητας χρησιμοποιείται βασικά για τον εδαφικό σχεδιασμό και τον καθορισμό σχεδίων έκτακτης ανάγκης. Αντιθέτως, οι βραχυπρόθεσμες αξιολογήσεις επικεντρώνονται στη φάση αναταραχής, όταν συμπληρωματικές πληροφορίες που προκύπτουν από το συνδυασμό μακροπρόθεσμης ανάλυσης και δεδομένων παρακολούθησης σε πραγματικό χρόνο χρησιμοποιούνται για την ενημέρωση της κατάστασης του ηφαιστειακού κινδύνου (Blong 2000· Marzocchi, Sandri & Selva, 2008· Sobradelo & Martí, 2010). Η βραχυπρόθεσμη αξιολόγηση βοηθά στην πρόβλεψη πού και πότε θα εκραγεί και τα πιο πιθανά σενάρια έκρηξης που θα προκύψουν από μια τέτοια έκρηξη.

Η μακροπρόθεσμη αξιολόγηση ηφαιστειακών κινδύνων χρησιμοποιεί ποσοτική ανάλυση προηγούμενης ηφαιστειακής δραστηριότητας - καθώς και γεωλογική χαρτογράφηση και δομικές και πετρολογικές μελέτες - και προσδιορισμό των φυσικών ηφαιστειακών παραμέτρων των προηγούμενων εκρήξεων για τη μοντελοποίηση πιθανών κινδύνων και σεναρίων έκρηξης. Αυτές οι παράμετροι περιλαμβάνουν, μεταξύ άλλων, όγκο και ρεολογία μάγματος, ποσοστά εκφόρτισης μάζας και πηχτική περιεκτικότητα πριν από την έκρηξη του μάγματος τροφοδοσίας. Επομένως, μόλις συγκεντρωθούν όλες οι σχετικές γεωλογικές πληροφορίες, είμαστε σε θέση να διαπιστώσουμε πώς συμπεριφέρθηκε ένα ηφαιστειακό σύστημα στο παρελθόν, όταν έγινε ενεργό, και να εντοπίσουμε όλα τα πιθανά σενάρια έκρηξης που έχει δημιουργήσει το σύστημα.

Η βραχυπρόθεσμη εκτίμηση επικινδυνότητας πραγματοποιείται όταν το ηφαίστειο εισέρχεται σε μια φάση αναταραχής (δηλαδή, επανενεργοποίηση που χαρακτηρίζεται από αύξηση της ηφαιστειακής δραστηριότητας πάνω από το επίπεδο του υποβάθρου) και συνίσταται σε μακροπρόθεσμη εκτίμηση επικινδυνότητας που συμπληρώνεται από συνεχή ενημερωμένα δεδομένα παρακολούθησης. Όταν συμβαίνει ένα νέο επεισόδιο ηφαιστειακής αναταραχής, το κύριο μέλημα των επιστημόνων είναι να προβλέψει εάν η αύξηση της δραστηριότητας θα οδηγήσει σε έκρηξη και, εάν ναι, ποιο εκρηκτικό σενάριο είναι πιο πιθανό (Selva, Marzocchi, Sandri & Costa, 2016· Sobradelo & Martí, 2010).

Η συνεχής παρακολούθηση μπορεί να εντοπίσει τα διάφορα στάδια της εξέλιξης ενός επεισοδίου αναταραχής ανιχνεύοντας αυξήσεις στη δραστηριότητα που αποκαλύπτονται από αλλαγές στις παρακολουθούμενες γεωφυσικές και γεωχημικές παραμέτρους. Ωστόσο, ο προσδιορισμός του πότε αυτές οι παράμετροι θα κορυφωθούν ή θα περάσουν ένα κατώφλι, μετά από αυτό το σημείο είναι αναπόφευκτη μια έκρηξη, προς το παρόν είναι αδύνατη. Κάθε ηφαίστειο έχει τα δικά του χαρακτηριστικά (εσωτερική δομή, ρεολογία βράχου, σύνθεση

μάγματος κ.λπ.) που δημιουργούν διαφορετικές μέγιστες τιμές ή κατώφλια για τις παραμέτρους που παρακολουθούνται πριν εκραγεί. Το ίδιο ηφαιστείο μπορεί να συμπεριφέρεται ακόμη και κάθε φορά που εκρήγνυται και τα επεισόδια εκρήξεως του μπορεί να προηγούνται περιόδων αναταραχής που διαφέρουν από τα μοτίβα που συνέβησαν κατά την εξέλιξη προηγούμενων εκρήξεων. Η κατάσταση είναι ακόμη πιο περίπλοκη στην περίπτωση των ηφαιστείων που είναι αδρανή για μεγάλα χρονικά διαστήματα και δεν έχουν εκραγεί στον ιστορικό χρόνο, καθώς δεν θα υπάρχουν αρχεία που να υποδηλώνουν πώς πρέπει να προετοιμαστεί μια μελλοντική έκρηξη.

Η εξέλιξη ενός επεισοδίου αναταραχών θα εξαρτηθεί από τις αιτίες της αναταραχής (μαγνητική, τεκτονική ή γεωθερμική), η οποία θα δώσει διαφορετικά αποτελέσματα (μαφική έκρηξη, φρεατική έκρηξη, αποτυχία τομέα ή άλλα) σε μια σειρά από τοποθεσίες με διαφορετικά πιθανά μεγέθη έκρηξης, προϊόντα, πεδίο εφαρμογής κ.λπ. (Sobradelo & Martí, 2010). Κάθε συγκεκριμένο σενάριο αναμένεται να προκύψει από ένα συγκεκριμένο μοτίβο στην πρόδρομη δραστηριότητα. Ωστόσο, υπάρχουν παράγοντες σε κάθε σενάριο που δεν μπορούν να προβλεφθούν απλώς μελετώντας δεδομένα παρακολούθησης, αλλά που μπορούν να προβλεφθούν εξετάζοντας τα προϊόντα των προηγούμενων γεγονότων. Επομένως, η ακριβής πρόβλεψη έκρηξης πρέπει να βασίζεται σε έναν συνδυασμό προηγουμένως αποκτηθείσας μακροπρόθεσμης εκτίμησης επικινδυνότητας και δεδομένων παρακολούθησης ηφαιστείων σε πραγματικό χρόνο.

1.15. 9.1 Χωρικές και Χρονικές Αναλύσεις

Όπως αναφέρεται, ο ορισμός ενός ηφαιστειακού κινδύνου συνεπάγεται έναν υπολογισμό των χωρικών και χρονικών πιθανοτήτων που θα λάβει χώρα ένα νέο ηφαιστειακό συμβάν - και η επακόλουθη επίδρασή του. Επομένως, η εκτίμηση επικινδυνότητας πρέπει να προσπαθήσει να εντοπίσει τους κύριους φυσικούς μηχανισμούς που ελέγχουν τα προβλεπόμενα φαινόμενα που θα καθορίσουν την έκτασή τους, τον πιθανό αντίκτυπο και την καταστρεπτική ικανότητα, καθώς και το χρονικό πλαίσιο στο οποίο συμβαίνουν.

Η χωρική ανάλυση στοχεύει στον προσδιορισμό της θέσης των αεραγωγών με βάση τη γνώση των εκρήξεων του παρελθόντος, την ύπαρξη δομικών ελέγχων στην κατανομή των αεραγωγών, τον χαρακτηρισμό των προϊόντων από προηγούμενες εκρήξεις και τις χωρικές τους συσχετίσεις (Felpeo, Martí & Ortiz, 2007). Αυτές οι πληροφορίες θα παρέχουν τη βάση για τον προσδιορισμό της πιθανότητας ανοίγματος εξαερισμού (δηλ. Ηφαιστειακής ευαισθησίας) και της πιθανότητας εισβολής (δηλ. Πλευρικά και διαμήκως) από νέα εκρηκτικά προϊόντα. Η χρονική ανάλυση συμπληρώνει τη χωρική ανάλυση με τον καθορισμό της σχετικής χρονικής θέσης κάθε έκρηξης (ηφαιστειακή στρωματογραφία) και, όποτε είναι δυνατόν, της γεωχρονολογίας της με ραδιομετρική χρονολόγηση. Αυτό μας δίνει τη δυνατότητα να εντοπίσουμε χρονικά μοτίβα στην εκρηκτική συμπεριφορά του ηφαιστειακού συστήματος, όπως συστάδες εκρήξεων ή επεισόδια αδράνειας μεταξύ των εκρήξεων και, εάν υπάρχουν απόλυτες ηλικίες, η συχνότητα έκρηξης ή επανάληψη (δηλαδή, η χρονική πιθανότητα έκρηξης) (Sobradelo, Bartolini & Marti, 2013).

Οι επιτόπιες μελέτες των προϊόντων των εκρήξεων στο παρελθόν στοχεύουν στον εντοπισμό του είδους των εκρήξεων που έχει δημιουργήσει ένα ηφαιστειακό σύστημα στο

παρελθόν, χαρακτηρίζουν τη διαδοχή των ηφαιστειακών εναποθέσεων που εκπροσωπούνται σε κάθε έκρηξη και ανασυγκροτούν την ακολουθία εκρηκτικών και εναποθετικών γεγονότων που τα σχημάτισαν (Marti & Felpejo, 2010).

Οι ηφαιστειακές μελέτες πεδίου στοχεύουν στον προσδιορισμό της σχετικής στρατογραφίας (ή της γεωχρονολογίας) και της κατανομής των διαφόρων μονάδων που σχηματίζουν μια συγκεκριμένη ακολουθία έκρηξης. Η ηφαιστειακή έκρηξη μπορεί να περιλαμβάνει αρκετές φάσεις και παλμούς, η κάθε μία δημιουργεί διαφορετικά προϊόντα. Για παράδειγμα, μια έκρηξη μπορεί να παράγει μια στήλη Πλίνια, η οποία δημιουργεί μονάδες εναποθέσεων και στη συνέχεια, καθώς καταρρέει, παράγει PDC διαφορετικών χαρακτηριστικών. Οι εναποθέσεις που παράγονται από κάθε φάση ή παλμό θα παρουσιάζουν διαφορετικά λιθολογικά, ιζηματολογικά και στρωματογραφικά χαρακτηριστικά και θα διανέμονται σε διαφορετικές τοποθεσίες γύρω από το ηφαίστειο. Τα νέφη θα διανεμηθούν ευρέως και τείνουν να καλύψουν τη γύρω τοπογραφία, ενώ οι καταθέσεις PDC συσσωρεύονται συνήθως σε χαμηλές περιοχές. Μετά την εναπόθεση, τα εκρηκτικά προϊόντα μπορεί να επηρεαστούν από άλλες γεωλογικές διεργασίες (π.χ. διάβρωση, επανεπεξεργασία και καθίζηση) και να σχηματίσουν δευτερεύουσες ηφαιστειακές εναποθέσεις (π.χ. Pinatubo 1991 έκρηξη στις Φιλιππίνες; Newhall & Punongbayan, 1996). Οι πρωτογενείς και δευτερογενείς εναποθέσεις από μια συγκεκριμένη έκρηξη που εμφανίζονται στο γεωλογικό αρχείο μπορεί να εμφανίζουν σύνθετες στρατηγικές σχέσεις που εξαρτώνται από τα χαρακτηριστικά της έκρηξης, της τοπογραφίας και του περιβάλλοντος στο οποίο έλαβε χώρα η έκρηξη.

Οι επιτόπιες μελέτες στοχεύουν στην παροχή των απαραίτητων πληροφοριών για τον εντοπισμό των προϊόντων και των φάσεων μιας συγκεκριμένης έκρηξης και για τον διαχωρισμό τους από μη ηφαιστειακές διεργασίες (Marti & Folch, 2005). Η γεωλογική χαρτογράφηση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό της επιφανειακής κατανομής των ηφαιστειακών μονάδων σε περιφερειακές και τοπικές κλίμακες, ανάλογα με το μέγεθος της έκρηξης, και θα καθορίσει ποιος συνδυασμός φωτογεωλογικής ή τηλεπισκόπησης και άμεσης αναγνώρισης πεδίου απαιτείται. Οι στρωματογραφικές συσχετίσεις είναι απαραίτητες για να επιβεβαιωθεί η κατανομή των καταθέσεων και επίσης για να χαρακτηριστούν πλευρικές διακυμάνσεις στο πάχος, τη γεωμετρία και τη λιθολογία που εμφανίζονται σε κάθε μονάδα ή όψεις. Οι στρωματογραφικές μελέτες είναι επίσης σημαντικές για τη διάκριση ομάδων αποθέσεων από διαφορετικές εκρήξεις ηφαιστειακών κέντρων και για τη διαπίστωση της σχετικής γεωχρονολογίας τους. Απαιτούνται επιτόπιες λιθολογικές μελέτες ηφαιστειακών αποθέσεων για τον σχεδιασμό κατάλληλων πολιτικών δειγματοληψίας για σχετικές ορυκτολογικές και γεωχημικές μελέτες. Επιπλέον, ο προσδιορισμός των ιζηματολογικών χαρακτηριστικών όπως η κατανομή μεγέθους κόκκων και οι ιζηματογενείς δομές είναι ζωτικής σημασίας κατά τον προσδιορισμό των μηχανισμών τοποθέτησης των αποθέσεων. Όπου λείπει η άμεση παρατήρηση μιας έκρηξης, μια σαφής ερμηνεία της λιθολογικής φύσης και της στρωματογραφικής θέσης κάθε ηφαιστειακής απόθεσης θα παρέχει τη βάση για την κατανόηση μιας συγκεκριμένης έκρηξης και την πρόβλεψη της πιθανής μελλοντικής συμπεριφοράς ενός ηφαιστείου (Marti & Folch, 2005).

Η κατανόηση της ακολουθίας των εναποθέσεων που προκύπτουν από μια ηφαιστειακή έκρηξη γίνεται όλο και πιο περίπλοκη καθώς αυξάνεται η ηλικία των αποθέσεων, καθώς οι μεταγενέστερες διεργασίες μπορεί να αφαιρέσουν ή να μετατρέψουν τις πρωτογενείς εναποθέσεις και προϊόντα από άλλες εκρήξεις μπορούν να ενσωματωθούν στη στρατηγική αλληλουχία (Cas & Wright, 1987). Επομένως, είναι επιθυμητά τα στρωματογραφικά κριτήρια, όπως τα διαδεδομένα παλαιοσώματα ή οι επιφάνειες διάβρωσης

και αλλοίωσης που επιτρέπουν τη σαφή αναγνώριση των αλληλουχιών έκρηξης. Τέτοια κριτήρια μπορούν επίσης να είναι χρήσιμα κατά την ανοικοδόμηση της μακροπρόθεσμης εξέλιξης των ηφαιστειακών συστημάτων, τον εντοπισμό της ηφαιστειακής κυκλικότητας, και για να καταστεί η μελλοντική ηφαιστειακή δραστηριότητα πιο προβλέψιμη. Οι στρωματογραφικές συσχετίσεις μεταξύ των προεξοχών είναι επίσης απαραίτητες για τον εντοπισμό των διακυμάνσεων προέλευσης και πάχους στις ηφαιστειακές εναποθέσεις. Σε αυτήν την περίπτωση, η χρήση χαρτών isopachs και isopleth είναι χρήσιμη για τον περιορισμό του ανοίγματος προέλευσης για κάθε κατάθεση (Cas & Wright, 1987). Ωστόσο, η ακριβής θέση των εκρηκτικών αεραγωγών δεν μπορεί πάντοτε να προσδιοριστεί, ιδιαίτερα σε σύνθετα ηφαιστειακά πεδία όπου η δραστηριότητα πολλών ηφαιστείων μπορεί να συμπίπτει τόσο στο χρόνο όσο και στο χώρο.

Παρόλο που οι στρωματογραφικές μελέτες είναι ζωτικής σημασίας, ο προσδιορισμός της απόλυτης ηλικίας των κοιτασμάτων ηφαιστείου θα βοηθήσει σημαντικά στην ανοικοδόμηση της εκρηκτικής ιστορίας του. Οι απόλυτοι προσδιορισμοί ηλικίας, που συνήθως εκτιμώνται χρησιμοποιώντας ισοτοπικές συνθέσεις, μας επιτρέπουν να εντοπίζουμε διαφορετικές εκρήξεις και πιθανούς κύκλους εκρήξεων. Ωστόσο, ο προσδιορισμός της απόλυτης ηλικίας δεν είναι πάντα δυνατός και θα εξαρτηθεί από την τεχνική χρονολόγησης που χρησιμοποιείται και τη φύση και την κατάσταση αλλαγής του δείγματος. Η καθιέρωση του σχετικού ηλικιακού σχήματος μιας ομάδας ηφαιστειακών προϊόντων που χρησιμοποιούν μεθόδους ηφαιστειακής στρατογραφίας θα πρέπει επομένως να γίνεται πάντα πριν από τη χρήση ραδιομετρικών μεθόδων για τον προσδιορισμό της χρονολογίας μιας ακολουθίας (Gorrelli & Molist, 2013).

Οι δομικές μελέτες ενεργών ηφαιστείων αντιπροσωπεύουν ένα άλλο σημαντικό θέμα σε μελέτες επικεντρωμένες στον κίνδυνο. Τα μονοπάτια που χρησιμοποιούνται από το μάγμα καθώς ανεβαίνει στην επιφάνεια και ανοίγει εκρήξεις εξαερισμού ελέγχονται από γεωλογικές ασυνέχειες και τοπικές και περιφερειακές διαμορφώσεις στρες (Marti & Felpeto, 2010). Σε γενικές γραμμές, το καθεστώς έντασης και το στυλ σπασίματος διαμορφώνονται από έναν συνδυασμό περιφερειακών και τοπικών πεδίων έντασης. Η τοπική ένταση των ηφαιστειακών οικοδομών, με τη σειρά του, ελέγχεται από ένα συνδυασμό της δύναμης της βαρύτητας και της υπόγειας πίεσης του μάγματος. Η περιφερειακή ένταση και το κάταγμα παρέχουν επίσης σημαντικές οδούς για την άνοδο του μάγματος που αποθηκεύεται σε βάθος ή σε θαλάμους μάγματος που βρίσκονται σε ρηχό επίπεδο φλοιού, όπως συμβαίνει, για παράδειγμα, κάτω από τις δομές της καλντέρας (Marti & Geyer, 2009· Gudmundsson, 2011).

Οι πετρολογικές μελέτες είναι επίσης ένα καθιερωμένο θεμελιώδες συστατικό των βασικών μεθόδων εκτίμησης των ηφαιστειακών κινδύνων (Marti & Folch, 2005). Συμβάλλουν ουσιαστικά στον ορισμό της ρεολογίας και στον τρόπο λειτουργίας του συστήματος τροφοδοσίας του ηφαιστειακού οικοδομήματος. Ο ορισμός ενός εννοιολογικού μοντέλου για το πώς αποθηκεύεται το μάγμα και φτάνει στην επιφάνεια θέτει ακριβή όρια στον «βαθμό ελευθερίας» του εκρηκτικού στυλ ενός ηφαιστείου (Pallister et al, 2008). Σε γενικές γραμμές, η καλή πετρολογική γνώση ενός ηφαιστειακού συστήματος (συμπεριλαμβανομένης της φύσης και της συμπεριφοράς των πτητικών συστατικών) θα πρέπει να παρέχει πολύτιμες πληροφορίες σχετικά με την εκρηκτική συμπεριφορά, δεδομένου ότι το σύστημα τροφοδοσίας αντιπροσωπεύει τον «κινήτηρα» του ηφαιστείου (Blundy & Cashman, 2008).

Έτσι, ένας καλός συνδυασμός μεταξύ ηφαιστειακών και πετρολογικών γνώσεων είναι μια σημαντική ένδειξη ότι τα εννοιολογικά μοντέλα που υιοθετήθηκαν για να εξηγήσουν τη

συμπεριφορά έκρηξης είναι αξιόπιστα. Είναι, ωστόσο, σημαντικό να σημειωθεί ότι η πραγματική αξία των πετρολογικών μελετών σχετίζεται άμεσα με την ένταξή τους σε στρωματογραφικές και δομικές μελέτες, δηλαδή, η δειγματοληψία πρέπει να πραγματοποιείται σε όλες τις εκρηκτικές μονάδες που ξέσπασαν σε προκαθορισμένο χρονικό διάστημα.

10. Μοντέλα Προσομοίωσης και Σενάρια Έκρηξης

Το επόμενο βήμα στην μακροπρόθεσμη εκτίμηση επικινδυνότητας είναι η χρήση της στρατογραφικής καταγραφής για τον εντοπισμό όλων των ηφαιστειακών σεναρίων που μπορεί να δημιουργήσει ένα ηφαιστειακό σύστημα. Οι ηφαιστειακές εκρήξεις είναι πολύπλοκες και πολυφασικές και περιλαμβάνουν διαφορετικά άμεσα και έμμεσα προϊόντα και κινδύνους. Η κατανόηση της λεπτομερούς φύσης και της ακολουθίας πιθανών φάσεων σε εκρήξεις στο παρελθόν, μαζί με το χρονοδιάγραμμα των ηφαιστειακών και συναφών προϊόντων, είναι αξιωματική στις εκτιμήσεις επικινδυνότητας και κινδύνου, επειδή εξηγεί πώς μπορεί να συμπεριφέρεται ένα ηφαιστειακό σύστημα στο μέλλον. Αυτό θα παράσχει πολύτιμες πληροφορίες σχετικά με τη διάρκεια, την έκταση και την ένταση των προηγούμενων φάσεων έκρηξης, οι οποίες θα είναι ζωτικής σημασίας για τον εντοπισμό πιθανών επικινδύνων ζωνών και στον χωροταξικό σχεδιασμό και ανάπτυξη σχεδίων έκτακτης ανάγκης. Επιπλέον, εάν το ηφαιστειακό σύστημα ήταν ενεργό τα τελευταία χρόνια και ήταν δυνατή η άμεση παρατήρηση και η παρακολούθηση των εκρήξεων, μπορούμε να συσχετίσουμε πιθανή πρόδρομη / προμετωπική δραστηριότητα με συγκεκριμένους τύπους και προϊόντα έκρηξης (Cashman & Sparks, 2013).

Όταν έχουν εντοπιστεί όλα τα πιθανά προηγούμενα ηφαιστειακά σενάρια σε ένα συγκεκριμένο σύστημα, μπορούμε να δημιουργήσουμε μια προσομοίωση με βάση τις τρέχουσες τοπογραφικές, δημογραφικές και περιβαλλοντικές συνθήκες. Ουσιαστικά, μας ενδιαφέρει να προσομοιώσουμε τις ηφαιστειακές και συναφείς διεργασίες που ενδέχεται να αποτελούν κίνδυνο. Τα ηφαιστειακά σενάρια προσομοιώνονται συνήθως υποθέτοντας μια συγκεκριμένη τοποθεσία εξαερισμού, για να προβλέψουν τι θα μπορούσε να συμβεί σε περίπτωση έκρηξης ενός συγκεκριμένου τύπου που προέρχεται από το συγκεκριμένο σημείο (Martí Molist, Sobradelo, Felpeto & García, 2012). Ωστόσο, είναι επίσης δυνατό να δημιουργηθούν σενάρια σε μια ζώνη με κατανομές τιμών ηφαιστειακής ευαισθησίας, για παράδειγμα όταν κατασκευάζουμε μερικούς ή συνολικούς χάρτες κινδύνου. Τα αποτελέσματα αυτών των προσομοιώσεων θα εξαρτηθούν από τις θέσεις του εξαερισμού, τους κινδύνους που εξετάστηκαν, τους τοπογραφικούς περιορισμούς και τον τύπο και την ποιότητα των μοντέλων προσομοίωσης που χρησιμοποιούνται (Gehl et al., 2013).

Επί του παρόντος, η μοντελοποίηση ηφαιστειακών διεργασιών που βασίζεται σε φυσικούς κλάδους όπως η θερμοδυναμική και η στερεά και ρευστή μηχανική είναι ένα καλά αναπτυγμένο πεδίο έρευνας (Parfitt & Wilson, 2008· Neri, Ongaro, Voight & Widiwijayanti, 2015). Τα μοντέλα έχουν αναπτυχθεί για να περιγράψουν φαινόμενα που σχετίζονται με την ηφαιστειακή δραστηριότητα που κυμαίνονται από ροές λάβας έως πτώση τέφρας, και από τη δυναμική του θαλάμου μάγματος έως τη διάδοση της πυροκλαστικής ροής. Μετά από αρκετά χρόνια προόδου, η ανάπτυξη και εφαρμογή μοντέλων θεωρείται πλέον αποδεκτή μεθοδολογία σε ηφαιστειολογικές μελέτες (Marti & Folch, 2005).

Ωστόσο, διαφορετικά μοντέλα εξαρτώνται από διαφορετικές παραδοχές, χαρακτηρίζονται από διαφορετικούς βαθμούς ακρίβειας και υπονοούν διαφορετικά επίπεδα προσέγγισης με τις φυσικές διεργασίες. Επομένως, τα αποτελέσματα μοντελοποίησης πρέπει να αντιμετωπίζονται με προσοχή και είναι ζωτικής σημασίας να λαμβάνονται υπόψη όλες οι πιθανές ερμηνείες των αποτελεσμάτων, οι οποίες θα εξαρτηθούν από τις παραδοχές και τις απλοποιήσεις που χρησιμοποιούνται στη διαδικασία μοντελοποίησης. Όταν τα φυσικά

μοντέλα χρησιμοποιούνται για πρακτικούς στόχους, όπως η αξιολόγηση κινδύνου, πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στην επιλογή μοντέλων, τη πρόβλεψη αβεβαιότητας και την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων (Martí & Folch, 2005).

Ανάλογα με τη διαθεσιμότητα δεδομένων και υπολογιστικών πόρων, μπορούμε να δημιουργήσουμε είτε στοχαστικά (πιθανά) είτε ντετερμινιστικά μοντέλα. Δεδομένου ότι χρησιμοποιούν πολύ λίγες μεταβλητές και μεγάλο αριθμό άγνωστων στοιχείων, τα στοχαστικά μοντέλα (Felpeto, Martí & Ortiz, 2007) μπορούν να παρέχουν πιθανολογικά αποτελέσματα - δηλαδή, την πιθανότητα ότι μια συγκεκριμένη περιοχή θα επηρεαστεί από μια εκρηκτική διαδικασία - έτσι αντικατοπτρίζει το βαθμό αβεβαιότητας στην προσομοίωση. Αυτά τα μοντέλα δεν απαιτούν μεγάλη υπολογιστική προσπάθεια. Από την άλλη πλευρά, τα ντετερμινιστικά μοντέλα (Neri, Ongaro, Voight & Widiwijayanti, 2015) χρησιμοποιούν μεγάλο αριθμό παραμέτρων και παρέχουν πιο ρεαλιστικά αποτελέσματα (δηλαδή, τη μέγιστη περιοχή επέκτασης που επηρεάζεται από ένα εκρηκτικό επεισόδιο) αλλά απαιτούν σημαντικό υπολογιστικό χρόνο και προσπάθεια. Σε γενικές γραμμές, τα πιθανολογικά μοντέλα χρησιμοποιούνται συχνότερα στην εκτίμηση του ηφαιστειακού κινδύνου λόγω πολλών σημαντικών ζητημάτων (Felpeto, Martí & Ortiz, 2007).

Η έλλειψη ακριβούς γνώσης των φυσικών διεργασιών που διέπουν τη δυναμική των περισσότερων ηφαιστειακών κινδύνων, τις δυσκολίες στην πλήρη παραμετροποίηση καθορίζει για κάθε φαινόμενο, τον μεγάλο χρόνο και το υπολογιστικό κόστος που υπονοείται στα ντετερμινιστικά μοντέλα και τα αποδεκτά αποτελέσματα που παρέχουν τα πιθανολογικά μοντέλα. Τα αποτελέσματα των μοντέλων προσομοίωσης αντιπροσωπεύονται συνήθως χρησιμοποιώντας ένα GIS που μπορεί να διαχειριστεί όλα τα γεωγραφικά (ψηφιακά μοντέλα ανύψωσης [DEM] κ.λπ.) και τα χαρτογραφικά δεδομένα που απαιτούνται για ανάλυση υψηλής ποιότητας και μπορούν να δημιουργήσουν γραφικές αναπαραστάσεις σεναρίων έκρηξης και χάρτες κινδύνου (Neri, Ongaro, Voight & Widiwijayanti, 2015).

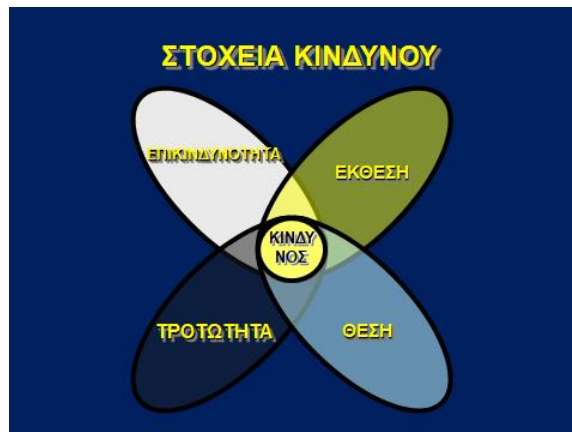
Η ηφαιστειολογική βιβλιογραφία περιέχει άφθονα παραδείγματα εφαρμογής μοντέλων προσομοίωσης σε τύπους κινδύνων όπως ροές λάβας, ραδιενεργά σωματίδια, PDCs, λάχαρς, συντρίμμια ή ηφαιστειακά τσουνάμι (Choi, Pelinovsky, Kim & Lee, 2003· Blanco-Montenegro, De Ritis & Chiappini, 2007). Ορισμένα από αυτά τα μοντέλα είναι ελεύθερα διαθέσιμα για λήψη και είναι κατάλληλα για έμπειρους χρήστες που εργάζονται σε μια εκτίμηση ηφαιστειακών κινδύνων. Αυτή είναι η περίπτωση του VORIS 2.0.1, ενός εργαλείου βασισμένου στο GIS που αναπτύχθηκε από τους Felpeto, Martí και Ortiz (2007) που επιτρέπει στους χρήστες να προσομοιώνουν τις ροές λάβας, την πτώση και τα τρέχοντα σενάρια πυροκλαστικής πυκνότητας.

Το HAZMAP είναι ένα δωρεάν πρόγραμμα για την προσομοίωση της καθίζησης ηφαιστειακών σωματιδίων σε διακριτές πηγές που προβλέπει αντίστοιχες αποθέσεις εδάφους (κατάσταση κατάθεσης) (Macedonio, Costa & Longo, 2005). Το LAHARZ είναι ένας ημι-εμπειρικός κώδικας για τη δημιουργία χαρτών κινδύνου-ζωνών που απεικονίζουν εκτιμήσεις για την τοποθεσία και την έκταση των περιοχών που κατακλύζονται από λάχαρς (Schilling, 1998). Το TITAN2D είναι ένα μοντέλο προγράμματος υπολογιστή που αναπτύχθηκε από το Πανεπιστήμιο στο Buffalo (Patra et al. 2005) που προσομοιώνει τις κοκκώδεις ροές πάνω από ψηφιακά μοντέλα ανύψωσης με βάση ένα «μοντέλο λεπτού στρώματος». Οι έξοδοι από αυτό το πρόγραμμα (αντιπροσωπεύονται δυναμικά) είναι η ροή, το βάθος και η ορμή, τα οποία αποδίδουν το όριο κατάθεσης, τη διαδρομή εκκένωσης, τη μέση ταχύτητα ροής, το συμπερασμένο πάχος κατάθεσης και τον χρόνο ταξιδιού.

Η προσομοίωση σεναρίων έκρηξης χρησιμοποιώντας τα αποτελέσματα των αναλύσεων ευαισθησίας και των μοντέλων προσομοίωσης διαφορετικών κινδύνων είναι το πρώτο βήμα προς την παραγωγή ποιοτικών και ποσοτικών χαρτών κινδύνου σε μακροπρόθεσμες αξιολογήσεις. Η προσομοίωση των σεναρίων έκρηξης είναι επίσης ζωτικής σημασίας στις βραχυπρόθεσμες εκτιμήσεις κατά τη διάρκεια μιας ηφαιστειακής κρίσης, καθώς βοηθά στον προσδιορισμό πιθανών επιπτώσεων και στον εντοπισμό πιθανών οδών εκκένωσης, βοηθώντας έτσι στη λήψη αποφάσεων. Η προσομοίωση σεναρίων έκρηξης είναι επίσης απαραίτητη στην ανάλυση ευπάθειας, για να προσδιοριστεί ποια στοιχεία μπορεί να επηρεαστούν από τις ηφαιστειακές διεργασίες και πώς. Τέλος, η προσομοίωση σεναρίων έκρηξης είναι πολύ χρήσιμη κατά την εξήγηση των ηφαιστειακών κινδύνων στους τοπικούς πληθυσμούς, καθώς παρέχουν έναν ρεαλιστικό και εύκολο στην κατανόηση τρόπο διευκρίνισης του βαθμού κινδύνου που ενδέχεται να εκτεθούν οι άνθρωποι, με την προϋπόθεση ότι έχουν εκτεταμένη επικοινωνία και προσέγγιση και έγινε πολύ πριν από το στάδιο της κρίσης ενός ηφαιστειακού επεισοδίου (Haynes, Barclay & Pidgeon, 2007).

11. Επικοινωνία Ηφαιστειακού Κινδύνου

Η επιστημονική επικοινωνία αποτελεί ουσιαστικό μέρος της εκτίμησης επικινδυνότητας. Τα δεδομένα που προέρχονται απευθείας από την επιστημονική κοινότητα έχουν ιδιαίτερη επίδραση στην αντίληψη του κινδύνου και στην εμπιστοσύνη που έχουν οι άνθρωποι στις επιστημονικές πληροφορίες. Οι επιστήμονες που είναι υπεύθυνοι για τη διενέργεια εκτίμησης επικινδυνότητας θα πρέπει να διασφαλίσουν, σε συνεργασία με τις τοπικές αρχές, ότι η επικοινωνία σχετικά με τους ηφαιστειακούς κινδύνους και της επικινδυνότητας φθάνει σε όλα τα επίπεδα της κοινωνίας, από το ευρύ κοινό έως τους υπεύθυνους λήψης αποφάσεων, προκειμένου να διασφαλιστεί ότι όλοι οι πολίτες γνωρίζουν τους κινδύνους· ότι η ηφαιστειακή δραστηριότητα μπορεί να επιβάλει στη ζωή και τις περιορισίες τους. Αυτό θα διευκολύνει την κατανόηση της επιστημονικής επικοινωνίας κατά τη διάρκεια μιας ηφαιστειακής κρίσης, καθιστώντας έτσι τον απειλούμενο πληθυσμό λιγότερο ευάλωτο. Επομένως, η επιστημονική επικοινωνία πρέπει να διεξάγεται τόσο κατά τη διάρκεια των περιόδων ηρεμίας όσο και σε περιόδους έκτακτης ανάγκης και πάντα με ακριβή και διαφανή τρόπο (Gaillard, 2008).



Εικ. 7. Στοιχεία που συνθέτουν τον κίνδυνο (Επικινδυνότητα, έκθεση, τρωτότητα, θέση). Οι πληροφορίες που προέρχονται απευθείας από την επιστημονική κοινότητα έχουν ιδιαίτερη επίδραση στην αντίληψη του κινδύνου και στην εμπιστοσύνη που έχουν οι άνθρωποι στις επιστημονικές πληροφορίες. Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο οι επιστήμονες που εργάζονται σε ενεργές ηφαιστειακές περιοχές πρέπει να καταβάλουν προσπάθειες για να συνεισφέρουν στην εκπαίδευση των τοπικών πληθυσμών σχετικά με τους ηφαιστειακούς κινδύνους, ώστε να γνωρίζουν πού ζουν και τις πιθανές απειλές σε αυτούς. Η διεξαγωγή επικοινωνιακών δραστηριοτήτων και προσέγγισης στα σχολεία και στο ευρύ κοινό και στους πιθανούς επισκέπτες κατά τη διάρκεια των ήρεμων περιόδων, στις οποίες τα ηφαίστεια δεν εμφανίζουν σημάδια συναγερμού, συνιστάται ιδιαίτερα εάν δεν θέλουμε να προκληθεί έκπληξη στους ανθρώπους σε περίπτωση κρίσης. Δεν θα πρέπει να είναι ένα μεγάλο πρόβλημα γι' αυτούς που ζουν με τα ηφαίστεια εάν γνωρίζουνε γι' αυτά και για τα μέτρα άμβλυνσης και τα σχέδια έκτακτης ανάγκης που έχουν σχεδιαστεί για να διατηρήσουν την ασφάλειά των ανθρώπων (Johnston, Lai, Houghton & Paton, 1999).

Κατά τη διάρκεια ενός επεισοδίου αναταραχών ή ηφαιστειακής κρίσης, η επιστημονική επικοινωνία γίνεται ένα στοιχείο μείζονος σημασίας για την επιτυχή διαχείριση της της κρίσης. Σε αυτές τις καταστάσεις, αναμένονται επαφές μεταξύ επιστημόνων και μέσων ενημέρωσης και του κοινού. Οι κακές στρατηγικές επικοινωνίας μπορεί να έχουν σοβαρές συνέπειες σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης. Οι επιστήμονες πρέπει να βρουν τον σωστό τρόπο επικοινωνίας των πληροφοριών τους διασφαλίζοντας τη διαφάνεια της επιστημονικής διαδικασίας κατά τη διάρκεια της κρίσης. Τα τελευταία χρόνια, έχουν καταβληθεί σημαντικές προσπάθειες για την ανάλυση της επιστημονικής επικοινωνίας κατά τη διάρκεια μιας ηφαιστειακής κρίσης και για τη διερεύνηση των καλύτερων τρόπων μετάδοσης επιστημονικών γνώσεων στους διάφορους δέκτες (Haynes, Barclay & Pidgeon, 2007· (Donovan, Oppenheimer & Bravo, 2012).

Η ηφαιστειολογία είναι εκ φύσεως μια ανακριβής επιστήμη, και αυξανόμενες ποσότητες πληροφοριών σχετικά με τους κινδύνους υπολογίζονται και μεταφέρονται χρησιμοποιώντας μεθόδους πιθανότητας (Neri et al., 2008· Sobradelo & Martí, 2010). Η κατάλληλη επιστημονική επικοινωνία θα πρέπει να παρέχει πληροφορίες όχι μόνο για την ίδια την ηφαιστειακή δραστηριότητα, αλλά και για τις αβεβαιότητες που συνοδεύουν πάντα οποιαδήποτε εκτίμηση ή πρόβλεψη (Sobradelo, Bartolini & Marti, 2013).

Αυτό μπορεί να είναι σχετικά απλό σε περιοχές στις οποίες εκρήγνυνται συχνά ηφαίστεια, όπου τόσο ο τοπικός πληθυσμός όσο και οι υπεύθυνοι λήψης αποφάσεων γνωρίζουν την ύπαρξη ηφαιστειακού κινδύνου. Ωστόσο, αυτό μπορεί να ενέχει μεγαλύτερη πρόκληση σε ηφαιστειακές περιοχές με μεγάλα διαστήματα εκρηκτικών υποτροπών και σε αυτές που δεν έχουν ιστορικό ηφαιστειακής δραστηριότητας. Η έλλειψη πληροφοριών - ή η χρήση λανθασμένων πληροφοριών - σχετικά με έναν κίνδυνο και τον πιθανό κίνδυνο που προκύπτει από την ύπαρξη αυτού του κινδύνου μπορεί να οδηγήσει σε κακό σχεδιασμό γης και να δημιουργήσει μια κοινωνία που δεν διαθέτει επαρκώς εξοπλισμό για να αντιμετωπίσει έναν τέτοιο κίνδυνο, η οποία θα έχει δραματικές συνέπειες σε περίπτωση έκρηξης. Δυστυχώς, η επιστημονική επικοινωνία σχετικά με τους ηφαιστειακούς κινδύνους μπορεί να είναι δύσκολη και δεν υπάρχει γενική συμφωνία ως προς το πώς πρέπει να διεξάγεται μια τέτοια επικοινωνία, όχι μόνο μεταξύ επιστημόνων αλλά και μεταξύ επιστημόνων και άλλων ενδιαφερομένων (π.χ., φορείς λήψης αποφάσεων, μέσα ενημέρωσης και ο τοπικός πληθυσμός) (Doyle, McClure, Johnston & Paton, 2014). Τα κρίσιμα ερωτήματα εδώ, όπως στην περίπτωση άλλων φυσικών κινδύνων, είναι πώς να ποσοτικοποιηθεί η αβεβαιότητα που συνοδεύει οποιαδήποτε επιστημονική ανάλυση και πρόβλεψη και πώς να κοινοποιηθεί αυτή η κατανόηση στους υπεύθυνους χάραξης πολιτικής, στα μέσα ενημέρωσης και στο ευρύ κοινό.

Η επικοινωνία με τους ηφαιστειακούς κινδύνους συνεπάγεται τη μετάφραση της επιστημονικής κατανόησης της ηφαιστειακής δραστηριότητας σε μια σειρά σαφώς εξηγημένων σεναρίων που είναι εύκολα κατανοητά από τις αρχές λήψης αποφάσεων και τον πληθυσμό γενικά (Martí, 2015). Ο κύριος στόχος της εκτίμησης επικινδυνότητας είναι να ανταποκριθεί στην επιθυμία να μάθει πώς, πού και πότε θα εκραγεί. Όπως εξηγήθηκε, για να απαντηθούν αυτά τα ερωτήματα, μοντέλα πιθανότητας θα πρέπει να χρησιμοποιούνται για να χαρακτηρίσουν τις σχετικές αβεβαιότητες (Doyle, McClure, Johnston & Paton, 2014).

Ωστόσο, η επικοινωνία των πιθανοτήτων και, ειδικότερα, της αβεβαιότητας, δεν είναι εύκολη υπόθεση και μπορεί να απαιτεί διαφορετικές προσεγγίσεις σύμφωνα με τον υποδοχέα των πληροφοριών. Η πρόβλεψη μελλοντικής ηφαιστειακής δραστηριότητας ακολουθεί ουσιαστικά την ίδια προσέγγιση με άλλους φυσικούς κινδύνους (π.χ. καταιγίδες,

κατολισθήσεις, σεισμούς ή τσουνάμι). Ωστόσο, αυτή η προσέγγιση δεν απαιτεί απαραίτητα το ίδιο επίπεδο κατανόησης στον πληθυσμό και στους υπεύθυνους λήψης αποφάσεων. Σε σύγκριση με τους μετεωρολόγους, οι οποίοι έχουν πολύ περισσότερα διαθέσιμα δεδομένα και παρατηρήσεις, οι ηφαιστειολόγοι πρέπει να αντιμετωπίσουν έναν υψηλότερο βαθμό αβεβαιότητας, που οφείλεται κυρίως στην έλλειψη δεδομένων παρατήρησης (Martí, 2015).

Είναι επίσης σημαντικό να θυμόμαστε ότι όλα τα ηφαίστεια συμπεριφέρονται με διαφορετικούς τρόπους, επομένως δεν μπορεί να υπάρξει καθολικό μοντέλο για την κατανόηση της συμπεριφοράς των ηφαιστειών. Κάθε ηφαίστειο έχει τα δικά του ιδιαίτερα χαρακτηριστικά ανάλογα με, για παράδειγμα, τη σύνθεση μάγματος και τη φυσική, τη ρεολογία των βράχων, τα πεδία πίεσης, το γεωδυναμικό περιβάλλον και την τοπική γεωλογία, τα οποία τα καθιστούν όλα μοναδικά - αυτό που είναι ενδεικτικό σε ένα ηφαίστειο μπορεί να μην είναι σχετικό σε άλλο. Όλα αυτά διασφαλίζουν ότι η επικοινωνία των ηφαιστειακών κινδύνων και κινδύνων είναι μια μεγάλη πρόκληση και είναι πολύ δύσκολο να κοινοποιηθεί αυτός ο υψηλός βαθμός αβεβαιότητας στον πληθυσμό γενικά και στους υπευθύνους λήψης αποφάσεων (Donovan, Orpenheimer & Bravo, 2012).

Σε αυτό το σημείο, είναι σημαντικό να γίνει διάκριση μεταξύ του επιπέδου επικοινωνίας που απαιτείται κατά τη διάρκεια μιας περιόδου ηρεμίας (όταν υποτίθεται ότι πρέπει να πραγματοποιηθεί μακροπρόθεσμη εκτίμηση επικινδυνότητας) και εκείνου που απαιτείται κατά τη διάρκεια έκτακτης ανάγκης. Είναι προφανές ότι για την εξασφάλιση αποτελεσματικής επιστημονικής επικοινωνίας κατά τη διάρκεια μιας ηφαιστειακής έκτακτης ανάγκης, πρέπει να δαπανηθεί επαρκής χρόνος και ενέργεια για να ενημερώσουν τους ανθρώπους για την πραγματικότητα της περιοχής στην οποία ζουν, για τους πιθανούς κινδύνους που μπορεί να τους απειλήσουν και πώς να αντιδράσουν στην περίπτωση έκτακτης ανάγκης. Αυτό απαιτεί ένα εκπαιδευτικό πρόγραμμα και όχι απλώς σποραδικές δράσεις επικοινωνίας (ακόμα και αν οι τελευταίες είναι πάντα ευπρόσδεκτες) (Haynes, Barclay & Pidgeon, 2007).

Ο αποτελεσματικός μετριασμός του κινδύνου μπορεί να επιτευχθεί εάν τα άτομα που απειλούνται άμεσα από τον εν λόγω κίνδυνο συμμετέχουν ενεργά στα μέτρα άμβλυνσης του κινδύνου. Αυτή η ενεργός συμμετοχή απαιτεί τόσο ευαισθητοποίηση (δηλαδή, γνώση και αποδοχή υπαρχόντων κινδύνων) όσο και την προθυμία ανάληψης μεμονωμένων ενεργειών που θα μειώσουν αποτελεσματικά τον κίνδυνο. Υπάρχει μια ευρεία συζήτηση στη διεθνή βιβλιογραφία σχετικά με το ποιες ενέργειες πρέπει να ληφθούν για την επίτευξη αυτών των δύο στόχων. Ωστόσο, υπάρχει μια γενική συναίνεση σχετικά με τη σημασία των δραστηριοτήτων εκπαίδευσης και προσέγγισης, οι οποίες έχουν τη διπλή λειτουργία της διάδοσης επιστημονικών πληροφοριών και της δημιουργίας θετικού δεσμού μεταξύ του τοπικού πληθυσμού και της επιστημονικής κοινότητας που βασίζεται, σε αμοιβαία εμπιστοσύνη και διαφάνεια (Stein & Stein, 2014).

Τα εκπαιδευτικά προγράμματα και οι δραστηριότητες προσέγγισης ποικίλλουν από χώρα σε χώρα όσον αφορά τους πολιτιστικούς και κοινωνικοοικονομικούς παράγοντες και το πραγματικό θέμα. Πρέπει να εμπλέκουν άμεσα σχολεία και τοπικές κοινότητες. Δυστυχώς, σε πολλές περιπτώσεις, αυτές οι δραστηριότητες δεν αποτελούσαν ποτέ μέρος ενός ορθολογικού πλαισίου για τη μείωση του κινδύνου, στο οποίο συγκεκριμένοι στόχοι πρέπει να καθοριστούν σαφώς και οι κατάλληλες επιστημονικές, κοινωνικές και εκπαιδευτικές δεξιότητες πρέπει να είναι διαθέσιμες. Η εκπαίδευση και η επιστημονική επικοινωνία κατά τη διάρκεια των περιόδων ηρεμίας πρέπει να επικεντρώνονται στα αποτελέσματα των μακροπρόθεσμων αξιολογήσεων κινδύνου Paton, Millar & Johnston, 2011).

Πρέπει να εξηγήσει τον τύπο των κινδύνων που ενδέχεται να επηρεάσουν την περιοχή, όταν ενδέχεται να προκύψουν, τις ενέργειες παρακολούθησης που πραγματοποιούνται επί του παρόντος για τον έλεγχο και την προειδοποίηση για την ηφαιστειακή δραστηριότητα, τα προγράμματα έκτακτης ανάγκης που έχουν καταρτίσει οι αρχές σε περίπτωση κρίσης, τα μέτρα μετριασμού που εφαρμόζονται για τη μείωση του κινδύνου και τα οφέλη που παρέχονται από τα ηφαίστεια που βοηθούν στη διατήρηση των τοπικών οικονομιών. Αυτές οι πληροφορίες μπορούν να εξοπλίσουν την κοινωνία για να αντιμετωπίσει μια ηφαιστειακή απειλή και επίσης - και το πιο σημαντικό - να αποδείξουν ότι μπορούμε να ζήσουμε με ηφαίστεια αν τα καταλάβουμε. Οι χάρτες κινδύνου και συμβάντων πρέπει να εμφανίζονται και να εξηγούνται κατά τη διάρκεια των περιόδων αδράνειας και οι επιστήμονες πρέπει να είναι σίγουροι ότι είναι διαφανείς και καλά κατανοητοί (Gregg et al., 2004).

Σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης, η επιστημονική επικοινωνία σχετικά με τους ηφαιστειακούς κινδύνους θα είναι πολύ ευκολότερη, άπταιστη και κατανοητή εάν έχουν γίνει προσπάθειες ιστορικού. Μελέτες για την επικοινωνία κατά τη διάρκεια ηφαιστειακών καταστάσεων έκτακτης ανάγκης (Donovan, Oppenheimer & Bravo, 2012· Martí, 2015) επιμένουν στην ανάγκη εξήγησης της αβεβαιότητας που συνοδεύει οποιαδήποτε πρόβλεψη σχετικά με τη μελλοντική συμπεριφορά ενός φυσικού συστήματος, η οποία μπορεί να γίνει μέσω της χρήσης πιθανοτήτων.

Η αβεβαιότητα που συνοδεύει τον προσδιορισμό και την ερμηνεία των προδρόμων της έκρηξης απορρέει από την απρόβλεπτη συμπεριφορά των ηφαιστειών ως φυσικών συστημάτων και από την έλλειψη γνώσης μας για τη συμπεριφορά αυτών των συστημάτων (επιστημονικές αβεβαιότητες) (Stein and Stein, 2013).

Αυτές οι αβεβαιότητες μπορούν να επαναπροσδιοριστούν ως επιφανειακές ή βαθιές (Cox, 2012), ανάλογα με τη συχνότητα έκρηξης του ηφαιστείου. Τα πολύ ενεργά ηφαίστεια με υψηλές συχνότητες έκρηξης μπορούν να προβλεφθούν ευκολότερα (δηλαδή, είναι αρκετά γνωστά) από αυτά που χαρακτηρίζονται από χαμηλές συχνότητες έκρηξης. Επομένως, όσο καλύτερα γνωρίζουμε το παρελθόν της έκρηξης και όσο περισσότερο βλέπουμε το ηφαιστειακό σύστημα ως μέρος μιας μακροπρόθεσμης εκτίμησης επικινδυνότητας, τόσο καλύτερη είναι η πρόβλεψή μας για τη μελλοντική του συμπεριφορά και όλες οι προβλέψεις έκρηξης σε περίπτωση επανενεργοποίησης (βραχυπρόθεσμη εκτίμηση επικινδυνότητας) (McGuire, Solana, Kilburn & Sanderson, 2009).

12. Συμπεράσματα και Προτάσεις

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία, στο πρώτο μέρος της έρευνας (κεφάλαια 1-6) αναφέραμε στα κενά γνώσης και μεθοδολογικές προκλήσεις σε αυτό το υπό διερεύνηση θέμα των οικονομικών επιπτώσεων των ηφαιστειακών εκρήξεων. Πραγματοποιώντας έρευνα στη βιβλιογραφία στα οικονομικά των καταστροφών, τα οικονομικά περιβάλλοντος και φυσικών πόρων, τα οικονομικά κινδύνου και την αβεβαιότητα, τα πειραματικά οικονομικά και τα οικονομικά ανάπτυξης, εξετάσαμε τις έννοιες και τα λίγα ερευνητικά άρθρα που εστιάζουν στο κατά πόσον και πώς επηρεάζονται οι οικονομίες από την ηφαιστειακή δραστηριότητα.

Δεν υπάρχουν μόνο πολλά κόστη για την εκτίμηση που απαιτούν τις μεθόδους που ανέπτυξαν οι οικονομολόγοι για να γίνει κατανοητή η πλήρη εικόνα των κατανομών ηφαιστειακών απωλειών, αλλά και μια ποικιλία από ύποπτα αποτελέσματα και μηχανισμούς διερεύνησης στη Μικροοικονομική και τη Μακροοικονομία. Συγκεκριμένα, το γεγονός ότι οι περισσότερες ηφαιστειακές απώλειες εντοπίζονται γύρω από τα ηφαίστεια και ότι αυτός ο κίνδυνος γίνεται απτός στο τοπίο από εύκολα αναγνωρίσιμες και επιβλητικές μορφές εδάφους καθιστά πιθανό ότι ο ηφαιστειακός κίνδυνος συμβάλλει στη δημιουργία παγίδων φτώχειας στους πρόποδες των ηφαιστίων. Επισημαίνοντας τα κενά της έρευνας έγιναν προτάσεις μελλοντικών κατευθύνσεων έρευνας που θα εξετάσουν τις σχετικές με την πολιτική συζητήσεις στο πλαίσιο της μεγαλύτερης εστίασης στον περιορισμό των κινδύνων, την προσαρμογή και τις πολιτικές ανθεκτικότητας στην αντιμετώπιση φυσικών καταστροφών.

Υπό αυτήν την έννοια, η παρούσα πτυχιακή εργασία δεν εμπίπτει μόνο στις άφθονες πτυχές των βιβλιογραφικών κριτικών σχετικά με τις φυσικές καταστροφές, αλλά παρακολουθεί επίσης ένα ζήτημα που έθεσαν πολλές εμπειρικές μελέτες. Αντιμετωπίζοντας προκλήσεις δεδομένων σε σχέση τόσο με τη χαμηλή συχνότητα μεγάλων καταστροφών όσο και με την έλλειψη δεδομένων για μικρότερες ανεπιθύμητες ενέργειες, οι εμπειρογνώμονες που αναζητούν μεταβλητότητα στα δεδομένα τους πρέπει να επιλέξουν:

1) ρυθμίσεις πλαισίου μεταξύ χωρών στις οποίες μπορούν να έχουν επαρκή επικράτηση ενός τύπου φυσικής καταστροφής, αλλά πολλά βασικά θεσμικά και γεωγραφικά χαρακτηριστικά μπορεί να συσχετιστούν με αυτό,

2) τις ίδιες ρυθμίσεις αλλά εντός μιας χώρας και με λιγότερες πιθανότητες προκειμένου να μπορεί να γίνει διαχωρισμός της επίδρασης ενός τύπου φυσικής καταστροφής ειδικά εάν η χώρα είναι μικρή και το συμβάν είναι σπάνιο, και

3) περιπτώσιολογικές μελέτες μιας συγκεκριμένης μεγάλης καταστροφής. Συζητώντας έννοιες οικονομικής ανάλυσης σε περίπτωση ηφαιστειακού κινδύνου, η παρούσα εργασία υπογραμμίζει ότι τα ποικίλα χαρακτηριστικά κάθε τύπου καταστροφής μπορεί να οδηγήσουν σε συγκεκριμένες επιπτώσεις εντοπίζοντας μια δυσκολία να συγκεντρωθούν όλα σε μια μοναδική μεταβλητή σε ένα εμπειρικό μοντέλο, καθώς υπάρχει μεγάλη ανησυχία για μεταβλητές που δεν έχουν μπορούν ακόμη να ληφθούν υπόψη.

Έτσι, εντοπίζοντας το κενό στην βιβλιογραφία, στη συνέχεια, το δεύτερο μέρος της παρούσας εργασίας έγινε αναφορά στους ηφαιστειακούς κινδύνους. Τα ηφαίστεια αντιπροσωπεύουν πολύπλοκα συστήματα ικανά να δημιουργήσουν έναν αριθμό

επικίνδυνων φαινομένων, όπως ροές λάβας, πυροκλαστική πτώση, πυροκλαστικές ροές, κατολισθήσεις, εκπομπές αερίων, σεισμούς, λαχάρ , εκρήξεις πλημμυρών, λάσπη και Παλοϊρροϊκά κύματα (τσουνάμι). Επιπλέον, πολλά ηφαιστεια έχουν τη δυνατότητα να παράγουν αρκετά ή όλα αυτά τα επικίνδυνα φαινόμενα ταυτόχρονα, ακόμη και αν η συχνότητα, η ένταση και η κλίμακα κάθε φαινομένου είναι συγκεκριμένα για κάθε ηφαιστειακό σύστημα. Παρά την ευρεία συναίνεση ότι κάθε ηφαιστειακό έχει τη δική του συμπεριφορά και «προσωπικότητα», οι ηφαιστειολόγοι δεν συμφωνούν ως προς το βαθμό στον οποίο αυτή η έννοια ισχύει. Η εκρηκτική συμπεριφορά ενός ηφαιστείου μπορεί να εκτιμηθεί μόνο συνδυάζοντας μια σειρά πηγών πληροφοριών, όπως ηφαιστειολογικές στρωματογραφικές, ιζηματολογικές, πετρολογικές και δομικές μελέτες, και γεωλογική χαρτογράφηση.

Οι στρωματογραφικές μελέτες είναι το κύριο εργαλείο για την ανοικοδόμηση των περιόδων ενεργοποίησης του ηφαιστείου που ξεπερνούν το ιστορικό αρχείο. Σε ηφαιστειακές μελέτες προσανατολισμένες στον κίνδυνο, η χρήση της ηφαιστειακής στρωματογραφίας έχει τη δυνατότητα να επιτρέψει τον εντοπισμό όλων των προηγούμενων σημαντικών εκρηκτικών συμβάντων (εκρήξεις), να εκτιμήσει την ηλικία των μεμονωμένων εκρηκτικών συμβάντων και τη συχνότητα έκρηξης του ηφαιστειακού συστήματος και να ανακατασκευάσει την ακολουθία των εκρήξεων (η διαδοχή των εκρηκτικών ενεργειών που συμβαίνουν κατά τη διάρκεια μιας μόνο έκρηξης). Οι επιτόπιες μελέτες που στοχεύουν ειδικά στη συστηματική ανασυγκρότηση της ηφαιστειακής δραστηριότητας στο παρελθόν πρέπει να φτάσουν στο πρότυπο και την ακρίβεια που απαιτείται στην εκτίμηση επικινδυνότητας.

Αυτές οι πληροφορίες πρέπει επίσης να περιορίζουν θεωρητικά μοντέλα που προσποιούνται ότι προβλέπουν πιθανά σενάρια για μελλοντικές εκρήξεις. Μοντέλα ηφαιστειακών και συναφών διεργασιών που δεν βασίζονται στη γνωστή γεωλογία μπορεί να καταλήξουν να είναι πολύ κερδοσκοπικά και να μην είναι αξιόπιστα για την πρόβλεψη ηφαιστειακών εκρήξεων. Επομένως, δεν πρέπει να ξεχνάμε ότι η γεωλογική εργασία είναι απαραίτητη για τη μακροπρόθεσμη και βραχυπρόθεσμη εκτίμηση επικινδυνότητας και ότι πρέπει να αποτελέσει τη βάση για την οικοδόμηση οποιουδήποτε μοντέλου πρόβλεψης έκρηξης.

Αυτή η ερευνητική μελέτη παρουσίασε μια συστηματική προσέγγιση στα διάφορα στάδια που αποτελούν μια διαδικασία εκτίμησης ηφαιστειακών κινδύνων. Έχει συζητήσει τις πιο συχνά χρησιμοποιούμενες έννοιες και μεθόδους τόσο σε μακροπρόθεσμες όσο και σε βραχυπρόθεσμες εκτιμήσεις κινδύνου και πώς συμβάλλουν στη μείωση του ηφαιστειακού κινδύνου. Ο κύριος σκοπός της επανεξέτασης, ωστόσο, είναι να προωθήσει ενοποιημένες και συνεπείς εκτιμήσεις του ηφαιστειακού κινδύνου και, συνεπώς, να συμβάλει στον μετριασμό των σοβαρών κοινωνικών, οικονομικών και πολιτικών συνεπειών που προκύπτουν από την εμφάνιση ηφαιστειακών εκρήξεων και σχετικών φαινομένων. Μια βασική πτυχή της φιλοσοφίας αυτής της πτυχιακής είναι ότι οι διαδικασίες, οι μεθοδολογίες και οι τεχνολογίες πρέπει να ενοποιοούνται και να κοινοποιοούνται σαφώς, με συνέπεια και συχνά στις κοινωνικές κοινότητες μέσω της ανάπτυξης ολοκληρωμένων προσεγγίσεων για την εκτίμηση επικινδυνότητας.

Η μακροπρόθεσμη εκτίμηση επικινδυνότητας είναι το πρώτο καθήκον που πρέπει να αναλάβει μια κοινωνία που απειλείται από ηφαιστεια εάν στοχεύει να ζήσει με ηφαιστεια και να εκμεταλλευτεί αυτό που προσφέρουν (ωραία τοπία, παραγωγικά εδάφη, ορυκτά και ενεργειακά μέσα κ.λπ.). Η εκτίμηση του ηφαιστειακού κινδύνου είναι ζωτικής σημασίας σε ενεργές ζώνες ως μέσο βελτίωσης της ποιότητας ζωής, υγείας και ασφάλειας εκατομμυρίων ανθρώπων παγκοσμίως. Αυτό είναι προφανές εάν έχουμε κατά νου ότι οι συνεχείς απειλές

που δημιουργούν τα ηφαιστεια αντιτίθενται και μπορούν να ακυρώσουν δραματικά κάθε σοβαρό μακροπρόθεσμο εδαφικό σχεδιασμό. Ο αντίκτυπος των καταστροφών που προκαλούνται από εκρήξεις αυξάνεται σημαντικά όταν οι κοινωνίες δεν είναι διατεθειμένες να αντιμετωπίσουν τις ηφαιστειακές απειλές ή απλώς να τις αγνοήσουν. Ο λανθασμένος σχεδιασμός γης, η έλλειψη σχεδίων έκτακτης ανάγκης και η κακή γνώση των ηφαιστειακών κινδύνων και του ρίσκου - όχι μόνο μεταξύ του γενικού πληθυσμού, αλλά και μεταξύ των υπευθύνων λήψης αποφάσεων και ακόμη και των επιστημόνων - μπορεί να μετατρέψει ένα φυσικό γεγονός σε καταστροφή.

Πρέπει να επωφεληθούμε από τις νέες τεχνολογίες και τα μέσα κοινωνικής δικτύωσης (π.χ. Facebook, Twitter) κατά τη διενέργεια αξιολογήσεων κινδύνου και την παρουσίαση των αποτελεσμάτων στην κοινωνία, καθώς θα φέρουν επανάσταση στον τρόπο διάδοσης πληροφοριών σχετικά με τους κινδύνους και το μέλλον. Για παράδειγμα, η χρήση συστημάτων πληροφοριών, τόσο μακροπρόθεσμα όσο και βραχυπρόθεσμα, στην εκτίμηση επικινδυνότητας και στη διαχείριση κινδύνων κατά τη διάρκεια μιας πραγματικής ηφαιστειακής κρίσης (και ψευδών συναγερμών) θα συμβάλει στη βελτίωση της ασφάλειας των πολιτών έναντι των φυσικών κινδύνων κάνοντας τη ροή πληροφοριών στις οργανώσεις χρηστών πιο αποτελεσματικές («έξυπνες» οργανώσεις), ενθαρρύνοντας την ανάπτυξη εργαλείων πολιτικής και βελτιώνοντας την εκπαίδευση των πολιτών. Ωστόσο, η συζήτηση σύγχρονων τρόπων διεξαγωγής εκτιμήσεων κινδύνου και η διάδοση των αποτελεσμάτων τους με πολύ βαθύτερο τρόπο θα απαιτούσε πολύ μεγαλύτερη αναθεώρηση και είναι πέρα από τον σκοπό αυτής, αλλά σίγουρα, αυτές οι πτυχές αξίζουν προσοχή σε περαιτέρω μελέτες.

Συμπερασματικά, από επιστημονική άποψη, είναι απαραίτητο να ενοποιηθούν μεθοδολογίες και πρωτόκολλα για τη διευκόλυνση μακροπρόθεσμων και βραχυπρόθεσμων αξιολογήσεων κινδύνου σε ενεργά ηφαιστειακά συστήματα, και να σχεδιαστούν στρατηγικές για τον καθορισμό αποτελεσματικών εκπαιδευτικών και επικοινωνιακών προγραμμάτων που θα ελαχιστοποιούν τον ηφαιστειακό κίνδυνο. Είναι επίσης ζωτικής σημασίας να προωθηθεί η ανάπτυξη γρήγορων, έτοιμων προς χρήση, γεωλογικών μοντέλων εκτίμησης κινδύνου που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στον αποτελεσματικό σχεδιασμό γης και στον ορθολογικό σχεδιασμό σχεδίων έκτακτης ανάγκης, καθώς και στη διαχείριση ηφαιστειακών κρίσεων, συμβάλλοντας έτσι στις βελτιώσεις στη διαχείριση κινδύνων και τη μείωση.

Οι επιστήμονες που είναι υπεύθυνοι για τη διενέργεια αξιολογήσεων κινδύνου πρέπει να εξετάσουν πώς μπορούν να συνεργαστούν με κυβερνήσεις και οργανισμούς πολιτικής προστασίας με λογικά δομημένο τρόπο. Από τεχνολογική άποψη, οι καινοτομίες περιλαμβάνουν την ανάπτυξη ολοκληρωμένου και εύχρηστου λογισμικού βασισμένο σε GIS με πρωτότυπες βιβλιοθήκες αφιερωμένες στην αξιολόγηση και διαχείριση του κινδύνου, τους συνδέσμους τους με βάσεις δεδομένων και τη χρήση τεχνολογιών δικτύου για τη δημιουργία εικονικών αγορών ως μελλοντικοί πόροι αναφοράς, καθώς και η χρήση των κοινωνικών μέσων ως αποτελεσματικού τρόπου διάδοσης πληροφοριών σχετικά με τον κίνδυνο. Τέλος, η ανάλυση του ρόλου που θα έχουν οι αναδυόμενες τεχνολογίες του Διαδικτύου σε ζητήματα όπως «διαδραστική απόκτηση γνώσεων», «αναπαράσταση γνώσης και συλλογισμός», «τεχνολογία ψηφιακών βιβλιοθηκών» θα βοηθήσει στην εδραίωση των βάσεων για μελλοντικές συνεργασίες στην ηφαιστειακή ανάλυση.

Βιβλιογραφία

Ager, P., Eriksson, K., Hansen, C. W., & Lønstrup, L. (2020). How the 1906 San Francisco earthquake shaped economic activity in the American West. *Explorations in Economic History*, 101342.

Aguirre-Díaz, G. J., Labarthe-Hernández, G., Tristán-González, M., Nieto-Obregón, J., & Gutiérrez-Palomares, I. (2008). The ignimbrite flare-up and graben calderas of the Sierra Madre Occidental, Mexico. *Developments in Volcanology*, 10, 143-180.

Albala-Bertrand, J. M. (1993). Natural disaster situations and growth: A macroeconomic model for sudden disaster impacts. *World Development*, 21(9), 1417-1434.

Aspinall, W., & Blong, R. (2015). Volcanic risk assessment. In *The Encyclopedia of Volcanoes* (pp. 1215-1231). Academic Press.

Auffret, P. (2003). High consumption volatility: The impact of natural disasters?. The World Bank.

Auker, M. R., Sparks, R. S. J., Siebert, L., Crosweller, H. S., & Ewert, J. (2013). A statistical analysis of the global historical volcanic fatalities record. *Journal of Applied Volcanology*, 2(1), 2.

Bernknopf, R. L., Brookshire, D. S., & Thayer, M. A. (1990). Earthquake and volcano hazard notices: An economic evaluation of changes in risk perceptions. *Journal of Environmental Economics and Management*, 18(1), 35-49.

Bias, S., Frischknecht, C., & Bonadonna, C. (2013). A fast GIS-based risk assessment for tephra fallout: the example of Cotopaxi volcano, Ecuador. *Natural hazards*, 65(1), 497-521.

Blanco-Montenegro, I., De Ritis, R., & Chiappini, M. (2007). Imaging and modelling the subsurface structure of volcanic calderas with high-resolution aeromagnetic data at Vulcano (Aeolian Islands, Italy). *Bulletin of Volcanology*, 69(6), 643-659.

Blong, R. (2000). Volcanic hazards and risk management. In *Encyclopedia of volcanoes* (pp. 1215-1227). Academic Press.

Blong, R. J. (2013). Volcanic hazards: a sourcebook on the effects of eruptions. Elsevier.

Blumenstock, J. E., Eagle, N., & Fafchamps, M. (2016). Airtime transfers and mobile communications: Evidence in the aftermath of natural disasters. *Journal of Development Economics*, 120, 157-181.

Blundy, J., & Cashman, K. (2008). Petrologic reconstruction of magmatic system variables and processes. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 69(1), 179-239.

Bohra-Mishra, P., Oppenheimer, M., & Hsiang, S. M. (2014). Nonlinear permanent migration response to climatic variations but minimal response to disasters. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(27), 9780-9785.

Bolós, X., Martí, J., Becerril, L., Planagumà, L., Grosse, P., & Barde-Cabusson, S. (2015). Volcano-structural analysis of La Garrotxa Volcanic Field (NE Iberia): Implications for the plumbing system. *Tectonophysics*, 642, 58-70.

Boustan, L. P., Kahn, M. E., Rhode, P. W., & Yanguas, M. L. (2020). The effect of natural disasters on economic activity in US counties: A century of data. *Journal of Urban Economics*, 103257.

Brown, S. K., Loughlin, S. C., Sparks, R. S. J., & Vye-Brown, C. (2015). Global volcanic hazards and risk: Technical background paper for the UN-ISDR Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction 2015. *Global Volcano Model and the International Association of Volcanology and Chemistry of the Earth's Interior*.

Brown, T. C. (2003). Introduction to stated preference methods. In *A primer on nonmarket valuation* (pp. 99-110). Springer, Dordrecht.

Browne, M. J., & Hoyt, R. E. (2000). The demand for flood insurance: empirical evidence. *Journal of risk and uncertainty*, 20(3), 291-306.

Budd, L., Griggs, S., Howarth, D., & Ison, S. (2011). A fiasco of volcanic proportions? Eyjafjallajökull and the closure of European airspace. *Mobilities*, 6(1), 31-40.

Caruso, G. D. (2017). The legacy of natural disasters: The intergenerational impact of 100 years of disasters in Latin America. *Journal of Development Economics*, 127, 209-233.

Cas, R. A. F., & Wright, J. V. (1987). Volcanic successions: Ancient and modern. *Allen and Unwin, London*.

Cashman, K. V., & Sparks, R. S. J. (2013). How volcanoes work: A 25 year perspective. *GSA bulletin*, 125(5-6), 664-690.

Cavallo, E., Galiani, S., Noy, I., & Pantano, J. (2013). Catastrophic natural disasters and economic growth. *Review of Economics and Statistics*, 95(5), 1549-1561.

Choi, B. H., Pelinovsky, E., Kim, K. O., & Lee, J. S. (2003). Simulation of the trans-oceanic tsunami propagation due to the 1883 Krakatau volcanic eruption.

Choumert-Nkolo, J., & Phélinas, P. (2020). Natural disasters, land and labour. *European Review of Agricultural Economics*, 47(1), 296-323.

Crespo Cuaresma, J., Hlouskova, J., & Obersteiner, M. (2008). Natural disasters as creative destruction? Evidence from developing countries. *Economic Inquiry*, 46(2), 214-226.

Cunado, J., & Ferreira, S. (2014). The macroeconomic impacts of natural disasters: the case of floods. *Land economics*, 90(1), 149-168.

Davidson, J., & De Silva, S. (2000). Composite volcanoes. *Encyclopedia of volcanoes*, 1, 663-681.

De Grove, T., Poljansek, K., & Ehrlich, D. (2013). Recording Disaster Losses. Recommendations for a European Research. JRC Scientific and Policy reports. Joint Research Centre, European Commission.

de Jong, J., Hibben, K. C., & Pennell, S. (2016). Ethical considerations. *Guidelines for best practice in cross-cultural surveys*.

d'Ercole, R. (1989). La catástrofe del Nevado del Ruiz, ¿ Una enseñanza para el Ecuador? El caso del Cotopaxi.

Dercon, S. (2004). Growth and shocks: evidence from rural Ethiopia. *Journal of Development Economics*, 74(2), 309-329.

Donovan, A., Eiser, J. R., & Sparks, R. S. J. (2017). Expert opinion and probabilistic volcanic risk assessment. *Journal of Risk Research*, 20(6), 693-710.

Donovan, A., Oppenheimer, C., & Bravo, M. (2012). Social studies of volcanology: knowledge generation and expert advice on active volcanoes. *Bulletin of Volcanology*, 74(3), 677-689.

Donovan, A., Oppenheimer, C., & Bravo, M. (2012). Social studies of volcanology: knowledge generation and expert advice on active volcanoes. *Bulletin of Volcanology*, 74(3), 677-689.

Doucouliagos, C., Stanley, T. D., & Giles, M. (2012). Are estimates of the value of a statistical life exaggerated?. *Journal of health economics*, 31(1), 197-206.

Doyle, E. E., McClure, J., Johnston, D. M., & Paton, D. (2014). Communicating likelihoods and probabilities in forecasts of volcanic eruptions. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 272, 1-15.

Elbers, C., Gunning, J. W., & Kinsey, B. (2007). Growth and risk: Methodology and micro evidence. *The World Bank Economic Review*, 21(1), 1-20.

Ewert, J. W., & Harpel, C. J. (2004). In harm's way: population and volcanic risk. *Geotimes*, 49(4), 14-17.

Fafchamps, M., & Quisumbing, A. R. (2007). Household formation and marriage markets in rural areas. *Handbook of development economics*, 4, 3187-3247.

Faurie, C., Mettling, C., Bchir, M. A., Hadmoko, D. S., Heitz, C., Lestari, E. D., ... & Willinger, M. (2016). Evidence of genotypic adaptation to the exposure to volcanic risk at the dopamine receptor DRD4 locus. *Scientific reports*, 6, 37745.

Felbermayr, G., & Gröschl, J. (2014). Naturally negative: The growth effects of natural disasters. *Journal of development economics*, 111, 92-106.

Felpeto, A., Martí, J., & Ortiz, R. (2007). Automatic GIS-based system for volcanic hazard assessment. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 166(2), 106-116.

Fomby, T., Ikeda, Y., & Loayza, N. (2009). *The growth aftermath of natural disasters*. The World Bank.

Fournier d'Albe, E. M. (1979). Objectives of volcanic monitoring and prediction. *Journal of the Geological Society*, 136(3), 321-326.

Fournier d'Albe, E. M. (1979). Objectives of volcanic monitoring and prediction. *Journal of the Geological Society*, 136(3), 321-326.

Freire, S., Florczyk, A. J., & Pesaresi, M. (2016, May). New Multi-temporal Global Population Grids-Application to Volcanism. In *ISCRAM*.

Gaillard, J. C., Cadag, J. R., Gampell, A., Hore, K., Le Dé, L., & McSherry, A. (2016). Participatory numbers for integrating knowledge and actions in development. *Development in Practice*, 26(8), 998-1012.

Gehl, P., Quinet, C., Le Cozannet, G., Kouokam, E., & Thierry, P. (2013). Potential and limitations of risk scenario tools in volcanic areas through an example at Mount Cameroon. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 2409-2424.

Geyer, A., & Martí, J. (2014). A short review of our current understanding of the development of ring faults during collapse caldera formation. *Frontiers in Earth Science*, 2, 22.

Global Volcanism Program | Volcanoes of the World (VOTW) Database Information. Volcano.si.edu. (2020). Retrieved 26 July 2020, from https://volcano.si.edu/gvp_votw.cfm.

Gollier, C. (2005). Some aspects of the economics of catastrophe risk insurance.

Graff Zivin, J., & Neidell, M. (2012). The impact of pollution on worker productivity. *American Economic Review*, 102(7), 3652-73.

Gregg, C. E., Houghton, B. F., Johnston, D. M., Paton, D., & Swanson, D. A. (2004). The perception of volcanic risk in Kona communities from Mauna Loa and Hualālai volcanoes, Hawai`i. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 130(3-4), 179-196.

Grislain-Letrémy, C. (2018). Natural disasters: exposure and underinsurance. *Annals of Economics and Statistics/Annales d'Économie et de Statistique*, (129), 53-83.

Gröger, A., & Zylberberg, Y. (2016). Internal labor migration as a shock coping strategy: Evidence from a typhoon. *American Economic Journal: Applied Economics*, 8(2), 123-53.

Groppelli, G., & Molist, J. M. (2013). Volcanic stratigraphy-state of the art. *Ciências da Terra/Earth Sciences Journal*, 18.

Gudmundsson, A. (2011). Deflection of dykes into sills at discontinuities and magma-chamber formation. *Tectonophysics*, 500(1-4), 50-64.

Halkos, G., & Zisiadou, A. (2018). Reporting the natural environmental hazards occurrences and fatalities over the last century.

Hallegatte, S., & Przyluski, V. (2010). *The economics of natural disasters: concepts and methods*. The World Bank.

Hallegatte, S., & Przyluski, V. (2010). *The economics of natural disasters: concepts and methods*. The World Bank.

Haynes, K., Barclay, J., & Pidgeon, N. (2007). Volcanic hazard communication using maps: an evaluation of their effectiveness. *Bulletin of Volcanology*, 70(2), 123-138.

Horwell, C. J., & Baxter, P. J. (2006). The respiratory health hazards of volcanic ash: a review for volcanic risk mitigation. *Bulletin of volcanology*, 69(1), 1-24.

Jack, W., & Suri, T. (2014). Risk sharing and transactions costs: Evidence from Kenya's mobile money revolution. *American Economic Review*, 104(1), 183-223.

Jackson, E., & Aboagye, D. (2015). "Why should we wait?": Mapping for the next disaster. Aiddata.org. Retrieved 7 August 2020, from <https://www.aiddata.org/blog/why-should-we-wait-mapping-for-the-next-disaster>.

Jenkins, S. F., Spence, R. J. S., Fonseca, J. F. B. D., Solidum, R. U., & Wilson, T. M. (2014). Volcanic risk assessment: Quantifying physical vulnerability in the built environment. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 276, 105-120.

Jenkins, S. F., Spence, R. J. S., Fonseca, J. F. B. D., Solidum, R. U., & Wilson, T. M. (2014). Volcanic risk assessment: Quantifying physical vulnerability in the built environment. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 276, 105-120.

Johnston, D. M., Lai, M. S. B. C. D., Houghton, B. F., & Paton, D. (1999). Volcanic hazard perceptions: comparative shifts in knowledge and risk. *Disaster Prevention and Management: An International Journal*.

Kelman, I., & Mather, T. A. (2008). Living with volcanoes: the sustainable livelihoods approach for volcano-related opportunities. *Journal of volcanology and geothermal research*, 172(3-4), 189-198.

Kelman, I., & Mather, T. A. (2008). Living with volcanoes: the sustainable livelihoods approach for volcano-related opportunities. *Journal of volcanology and geothermal research*, 172(3-4), 189-198.

Κυριακόπουλος, Κ. (2018). Ηφαιστειολογία σελ. 311, εκδόσεις Πανεπιστημίου Αθηνών.

Lavigne, F., De Coster, B., Juvin, N., Flohic, F., Gaillard, J. C., Texier, P., ... & Sartohadi, J. (2008). People's behaviour in the face of volcanic hazards: Perspectives from

Javanese communities, Indonesia. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 172(3-4), 273-287.

Le Corvec, N., Spörli, K. B., Rowland, J., & Lindsay, J. (2013). Spatial distribution and alignments of volcanic centers: clues to the formation of monogenetic volcanic fields. *Earth-Science Reviews*, 124, 96-114.

Leiter, A. M., Oberhofer, H., & Raschky, P. A. (2009). Creative disasters? Flooding effects on capital, labour and productivity within European firms. *Environmental and Resource Economics*, 43(3), 333-350.

Lindell, M. K., & Prater, C. S. (2003). Assessing community impacts of natural disasters. *Natural hazards review*, 4(4), 176-185.

Liu, B., Siu, Y. L., & Mitchell, G. (2016). Hazard interaction analysis for multi-hazard risk assessment: a systematic classification based on hazard-forming environment. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 16(2), 629-642.

Loughlin, S. C., Vye-Brown, C., Sparks, R. S. J., Brown, S. K., Barclay, J., Calder, E., ... & Newhall, C. (2014). Global volcanic hazards and risk: Summary background paper for the UN-ISDR Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction 2015.

Maccaferri, F., Bonafede, M., & Rivalta, E. (2011). A quantitative study of the mechanisms governing dike propagation, dike arrest and sill formation. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 208(1-2), 39-50.

Maccini, S., & Yang, D. (2009). Under the weather: Health, schooling, and economic consequences of early-life rainfall. *American Economic Review*, 99(3), 1006-26.

Macedonio, G., Costa, A., & Longo, A. (2005). A computer model for volcanic ash fallout and assessment of subsequent hazard. *Computers & Geosciences*, 31(7), 837-845.

Macours, K. (2012). Volatility, risk and household poverty: Micro-evidence from randomized control trials (No. 1007-2016-79415).

Martí Molist, J., López, C., Bartolini, S., Becerril, L., & Geyer, A. (2017). Stress controls of monogenetic volcanism: A review.

Martí Molist, J., Sobradelo, R., Felpeto, A., & García, O. (2012). Eruptive scenarios of phonolitic volcanism at Teide-Pico Viejo volcanic complex (Tenerife, Canary Islands).

Marti, J. (2015). Scientific communication of uncertainty during volcanic emergencies. *Global volcanic hazards and risk*, 371-377.

Marti, J., & Felpeto, A. (2010). Methodology for the computation of volcanic susceptibility: an example for mafic and felsic eruptions on Tenerife (Canary Islands). *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 195(1), 69-77.

Marti, J., & Folch, A. (2005). Anticipating volcanic eruptions. *Volcanoes and environment*. Cambridge Univ Press, Cambridge, 90-120.

Martí, J., & Geyer, A. (2009). Central vs flank eruptions at Teide–Pico Viejo twin stratovolcanoes (Tenerife, Canary Islands). *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 181(1-2), 47-60.

Marzocchi, W., Sandri, L., & Selva, J. (2008). BET_EF: a probabilistic tool for long- and short-term eruption forecasting. *Bulletin of Volcanology*, 70(5), 623-632.

Marzocchi, W., Sandri, L., & Selva, J. (2010). BET_VH: a probabilistic tool for long-term volcanic hazard assessment. *Bulletin of volcanology*, 72(6), 705-716.

McGuire, W. J., Solana, M. C., Kilburn, C. R. J., & Sanderson, D. (2009). Improving communication during volcanic crises on small, vulnerable islands. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 183(1-2), 63-75.

Melecky, M., & Raddatz, C. (2011). How do governments respond after catastrophes? Natural-disaster shocks and the fiscal stance. The World Bank.

Mercalli, G. (1907). *Vulcani attivi della terra: morfologia--dinamismo--prodotti--distribuzione geografica--cause...* U. Hoepli.

Mohan, P. S., Ouattara, B., & Strobl, E. (2018). Decomposing the macroeconomic effects of natural disasters: A national income accounting perspective. *Ecological economics*, 146, 1-9.

Neri, A., Aspinall, W. P., Cioni, R., Bertagnini, A., Baxter, P. J., Zuccaro, G., ... & Hincks, T. K. (2008). Developing an event tree for probabilistic hazard and risk assessment at Vesuvius. *Journal of volcanology and geothermal research*, 178(3), 397-415.

Neri, A., Ongaro, T. E., Voight, B., & Widiwijayanti, C. (2015). Pyroclastic density current hazards and risk. In *Volcanic hazards, risks and disasters* (pp. 109-140). Elsevier.

Newhall, C. G., & Punongbayan, R. (Eds.). (1996). *Fire and mud: eruptions and lahars of Mount Pinatubo, Philippines* (p. 1126). Quezon City: Philippine Institute of Volcanology and Seismology.

Newhall, C. G., & Self, S. (1986). The Volcanic Explosivity Index (VEI): An estimate of explosive magnitude for historical volcanism. *History of Geophysics: Volume 2*, 2, 143-150.

Noy, I. (2009). The macroeconomic consequences of disasters. *Journal of Development economics*, 88(2), 221-231.

Noy, I., & Vu, T. B. (2010). The economics of natural disasters in a developing country: The case of Vietnam. *Journal of Asian Economics*, 21(4), 345-354.

Oppenheimer, C. (2011). *Eruptions that shook the world*. Cambridge University Press.

Pallister, J. S., Thornber, C. R., Cashman, K. V., Clynne, M. A., Lowers, H., Mandeville, C. W., ... & Meeker, G. P. (2008). *Petrology of the 2004-2006 Mount St. Helens*

lava dome--implications for magmatic plumbing and eruption triggering (No. 1750-30, pp. 647-702). US Geological Survey.

Pareschi, M. T., Cavarra, L., Favalli, M., Giannini, F., & Meriggi, A. (2000). GIS and volcanic risk management. In *Natural hazards* (pp. 361-379). Springer, Dordrecht.

Parfitt, L., & Wilson, L. (2009). *Fundamentals of physical volcanology*. John Wiley & Sons.

Paton, D., Millar, M., & Johnston, D. (2001). Community resilience to volcanic hazard consequences. *Natural hazards*, 24(2), 157-169.

Patra, A. K., Bauer, A. C., Nichita, C. C., Pitman, E. B., Sheridan, M. F., Bursik, M., ... & Renschler, C. S. (2005). Parallel adaptive numerical simulation of dry avalanches over natural terrain. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 139(1-2), 1-21.

Peterson, D. W., & Tilling, R. I. (2000). Lava flow hazards. *Encyclopedia of Volcanoes*, editado por Haraldur Sigurdsson, 957-972.

Pinel, V., & Jaupart, C. (2004). Magma storage and horizontal dyke injection beneath a volcanic edifice. *Earth and Planetary Science Letters*, 221(1-4), 245-262.

Raddatz, C. (2009). The wrath of God: macroeconomic costs of natural disasters. The World Bank.

Raddatz, C. (2009). The wrath of God: macroeconomic costs of natural disasters. The World Bank.

Raschky, P. A. (2008). Institutions and the losses from natural disasters. *Natural hazards and earth system sciences*, 8(4), 627-634.

Raschky, P. A., Schwarze, R., Schwindt, M., & Zahn, F. (2010). *Uncertainty of Governmental Relief and the Crowding out of Insurance* (No. 2010-03). Working Papers in Economics and Statistics.

Ruiz, C., & Hernández, B. (2014). Emotions and coping strategies during an episode of volcanic activity and their relations to place attachment. *Journal of environmental psychology*, 38, 279-287.

Scandone, R., Bartolini, S., & Martí, J. (2016). A scale for ranking volcanoes by risk. *Bulletin of Volcanology*, 78(1), 2.

Schilling, S. P. (1998). *LAHARZ; GIS programs for automated mapping of lahar-inundation hazard zones* (No. 98-638). US Geological Survey; Information Services [distributor].

Schwefer, M. (2018). Sitting on a Volcano: Domestic Violence in Indonesia Following Two Volcano Eruptions (No. 263). Ifo Working Paper.

Selva, J., Marzocchi, W., Sandri, L., & Costa, A. (2015). Operational short-term volcanic hazard analysis: methods and perspectives. In *Volcanic hazards, risks and disasters* (pp. 233-259). Elsevier.

Siebert, L., Simkin, T., & Kimberly, P. (2010). *Volcanoes of the World*, 568 pp. Univ. of Calif. Press, Berkeley.

Skidmore, M., & Toya, H. (2002). Do natural disasters promote long-run growth?. *Economic inquiry*, 40(4), 664-687.

Small, C., & Naumann, T. (2001). The global distribution of human population and recent volcanism. *Global Environmental Change Part B: Environmental Hazards*, 3(3), 93-109.

Sobradelo, R., & Martí, J. (2010). Bayesian event tree for long-term volcanic hazard assessment: Application to Teide-Pico Viejo stratovolcanoes, Tenerife, Canary Islands. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 115(B5).

Sobradelo, R., Bartolini, S., & Marti, J. (2013). HASSET: a probability event tree tool to evaluate future eruptive scenarios based on Bayesian Inference. Presented as A Plugin for QGIS.

Sparks, R. S. J., & Aspinall, W. P. (2004). Volcanic activity: frontiers and challenges in forecasting, prediction and risk assessment. *The State of the Planet: Frontiers and Challenges in Geophysics*, 150, 359-371.

Sparks, R. S. J., Aspinall, W. P., Croweller, H. S., & Hincks, T. K. (2013). Risk and uncertainty assessment of volcanic hazards. *Risk and Uncertainty Assessment for Natural Hazards*, 364-398.

Stein, S., & Stein, J. (2014). *Playing against nature: integrating science and economics to mitigate natural hazards in an uncertain world*. John Wiley & Sons.

Stephane, V. (2018). *Three essays on the economic impact of natural disasters* (PhD dissertation). Université Clermont Auvergne.

Strobl, E. (2012). The economic growth impact of natural disasters in developing countries: Evidence from hurricane strikes in the Central American and Caribbean regions. *Journal of Development economics*, 97(1), 130-141.

Tanguy, J. C., Ribière, C., Scarth, A., & Tjetjep, W. S. (1998). Victims from volcanic eruptions: a revised database. *Bulletin of volcanology*, 60(2), 137-144.

Tansey, C. M., Anderson, J., Boulanger, R. F., Eckenwiler, L., Pringle, J., Schwartz, L., & Hunt, M. (2017). Familiar ethical issues amplified: how members of research ethics committees describe ethical distinctions between disaster and non-disaster research. *BMC medical ethics*, 18(1), 44.

Tibaldi, A., & Lagmay, A. M. F. (2006). Interaction between volcanoes and their basement. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 158(1-2), 1-5.

Tilling, R. I. (1989). Volcanic hazards and their mitigation: progress and problems. *Reviews of Geophysics*, 27(2), 237-269.

Tilling, R. I. (2005). Volcano hazards. *Volcanoes and the Environment*, 55-89.

United Nations Digital Library System. United Nations Digital Library System. (2016). Retrieved 26 July 2020, from <https://digitallibrary.un.org/record/852089>.

Walker, G. P. (2000). Basaltic volcanoes and volcanic systems. *Encyclopedia of volcanoes*, 283-289.

Wilson, T., Cole, J., Cronin, S., Stewart, C., & Johnston, D. (2011). Impacts on agriculture following the 1991 eruption of Vulcan Hudson, Patagonia: lessons for recovery. *Natural Hazards*, 57(2), 185-212.

Witham, C. S. (2005). Volcanic disasters and incidents: a new database. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 148(3-4), 191-233.

Witham, C. S., & Oppenheimer, C. (2004). Mortality in England during the 1783–4 Laki Craters eruption. *Bulletin of Volcanology*, 67(1), 15-26.

Yang, D. (2008). Risk, migration, and rural financial markets: Evidence from earthquakes in El Salvador. *Social Research: An International Quarterly*, 75(3), 955-992.

Βουλαδάκη, Σ., & Παπαδημητρίου, Ά. (2008). *Ηφαιστειακή δραστηριότητα στον Ελλαδικό χώρο: Ηφαίστειο Σαντορίνης* (Doctoral dissertation, ΤΕΙ Δυτικής Μακεδονίας).

Ηφαίστεια. (2020). Retrieved 9 July 2020, from <https://www.civilprotection.gr/el/ifaisteia>

Κισκύρας, Δ. Α. (1993). Ηφαιστειότητα στην περιοχή του Αιγαίου.= On the volcanism in the Aegean area. *Δελτίον της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας*, 28(2), 187.

Κουφοζήση, Ε. (2008). Ινστιτούτο γεωλογικών ερευνών για το ηφαιστειακό τόξο, στην περιοχή της Μήλου (Bachelor's thesis).

Κυριακόπουλος Κων/νος 2018. Ηφαιστειολογία σελ 341. Εκδόσεις Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών. Λάγιος, Ε., Χαϊλάς, Σ., Γιαννόπουλος, Β. Ι., & Σωτηρόπουλος, Π. (1998). Παρακολούθηση ηφαιστείου Νίσυρου: εγκατάσταση και επαναμέτρηση δικτύων GPS & ραδονίου= Surveillance of Nissyros volcano: establishment and remeasurement of GPS and radon networks. *Δελτίον της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας*, 32(4), 215-227.

