



# ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ, ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ ΚΑΙ  
ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΩΝ

## ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ

**Το θαλάσσιο κύμα βαρύτητας του σεισμού της Αμοργού το 1956**

Πτυχιακή εργασία

**Γεωργία Ντόστη**



Αθήνα, 2019



# **ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ**

**ΣΧΟΛΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ, ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ ΚΑΙ  
ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΩΝ**

**ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ**

**Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή**

**Ευθύμιος Καρύμπαλης  
Καθηγητής, Γεωγραφία, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο**

**Ισαάκ Παρχαρίδης  
Αναπληρωτής Καθηγητής, Γεωγραφία, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο**

**Ιωάννης Τσόδουλος  
Δρ. Γεωλογίας, Γεωγραφία, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο**

Η Γεωργία Ντόστη

δηλώνω υπεύθυνα ότι:

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

...Στη μικρή μου αδερφή Αρχοντούλα...

## **Ευχαριστίες**

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Ευθύμιο Καρύμπαλη για την ανάθεση της παρούσας εργασίας καθώς και για τη πολύτιμη βοήθεια του. Επίσης να ευχαριστήσω την οικογένεια μου και τους φίλους μου για την συνεχή υποστήριξη καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

## Περιεχόμενα

|                                                                               |    |
|-------------------------------------------------------------------------------|----|
| Περίληψη.....                                                                 | 8  |
| Abstract ή Περίληψη στα Αγγλικά .....                                         | 9  |
| Εισαγωγή.....                                                                 | 13 |
| Κεφάλαιο 1: Σεισμός .....                                                     | 15 |
| 1.1 Ο σεισμός ως φαινόμενο .....                                              | 15 |
| 1.2 Ρήγματα.....                                                              | 15 |
| 1.3 Μέγεθος και ένταση σεισμού .....                                          | 16 |
| 1.4 Η γεωτεκτονική θέση της Ελλάδας .....                                     | 16 |
| 1.5 Το ελληνικό τόξο .....                                                    | 17 |
| Κεφάλαιο 2: Θαλάσσια κύματα βαρύτητας .....                                   | 19 |
| 2.1 Θαλάσσια κύματα βαρύτητας - Τσουνάμι.....                                 | 19 |
| 2.2 Χαρακτηριστικά των θαλάσσιων κυμάτων βαρύτητας.....                       | 20 |
| 2.3 Κλίμακες μέτρησης των θαλάσσιων κυμάτων βαρύτητας .....                   | 22 |
| 2.4 Έρευνα για θαλάσσια κύματα βαρύτητας στο παρελθόν .....                   | 23 |
| 2.5 Ιστορικά καταγεγραμμένα θαλάσσια κύματα βαρύτητας.....                    | 23 |
| 2.6 Κίνδυνος θαλάσσιων κυμάτων βαρύτητας στην Ελλάδα .....                    | 27 |
| 2.7 Η σεισμική ζώνη Benioff στο νότιο Αιγαίο .....                            | 30 |
| Κεφάλαιο 3: Το θαλάσσιο κύμα βαρύτητας της 9 <sup>ης</sup> Ιουλίου 1956 ..... | 31 |
| 3.1 Γεωγραφική θέση της Αμοργού .....                                         | 31 |
| 3.2 Ο σεισμός της Αμοργού το 1956 .....                                       | 32 |
| 3.3 Μηχανισμοί γένεσης του σεισμού .....                                      | 34 |
| 3.4 Ο προσεισμός και η μετασεισμική ακολουθία .....                           | 35 |
| 3.5 Το ενδεχόμενο της υποθαλάσσιας κατολίσθησης.....                          | 37 |
| 3.6 Σεισμοί στην περιοχή .....                                                | 39 |
| 3.7 Έρευνα πεδίου για το θαλάσσιο κύμα βαρύτητας .....                        | 40 |
| 3.8 Αποτελέσματα στα γύρω νησιά .....                                         | 44 |
| 3.9 Διαφορές που εντοπίστηκαν στο νησί της Αμοργού .....                      | 54 |
| 3.10 Δημογραφικά στοιχεία.....                                                | 55 |
| 3.11 Χρήσεις Γής στο νησί της Αμοργού .....                                   | 56 |
| Κεφάλαιο 4: Αντιμετώπιση και πρόγνωση των θαλάσσιων κυμάτων βαρύτητας .....   | 57 |
| 4.1 Αντιμετώπιση θαλάσσιων κυμάτων βαρύτητας .....                            | 57 |
| 4.2 Πρόγνωση των θαλάσσιων κυμάτων βαρύτητας στη Μεσόγειο.....                | 58 |
| Συμπεράσματα .....                                                            | 61 |

|                    |    |
|--------------------|----|
| Παράρτημα.....     | 62 |
| Βιβλιογραφία ..... | 69 |

## Περίληψη

Τα θαλάσσια κύματα βαρύτητας αποτελούν πεδίο έρευνας για πολλούς ερευνητές από την Αρχαιότητα μέχρι και σήμερα. Τις περισσότερες φορές οι συνέπειες τους είναι καταστροφικές για τις περιοχές που χτυπούν. Έτσι δημιουργήθηκε η ανάγκη για την κατανόηση, την πρόγνωση και την αντιμετώπιση του φαινομένου. Στην Ελλάδα δεν είναι τόσο συχνό φαινόμενο η εκδήλωση ενός τέτοιου κύματος όσο είναι στον Ειρηνικό ωκεανό αλλά ο κίνδυνος είναι υπαρκτός.

Η συγκεκριμένη μελέτη αφορά το θαλάσσιο κύμα βαρύτητας που προκλήθηκε από το σεισμό της Αμοργού το 1956. Ο σεισμός αυτός ήταν ο πιο καταστροφικός που πραγματοποιήθηκε στην Ελλάδα και στην νοτιοανατολική Μεσόγειο τον 20<sup>ο</sup> αιώνα ενώ την ίδια ημέρα εκδηλώθηκε θαλάσσιο κύμα βαρύτητας το οποίο ίσως να μην οφείλεται στον ίδιο το σεισμό αλλά σε μια σειρά υποθαλάσσιων κατολισθήσεων. Ο σεισμός μεγέθους 7.4 Ρίχτερ επηρέασε κατά κύριο λόγο το νησί της Σαντορίνης καθώς εκεί παρατηρήθηκαν τα περισσότερα προβλήματα ενώ το θαλάσσιο κύμα βαρύτητας που έλαβε χώρα αργότερα έφτασε τα 25 μέτρα στη νοτιοανατολική ακτή της Αμοργού έπληξε τα περισσότερα νησιά του Αιγαίου και έφθασε εξασθενημένο μέχρι τη Κρήτη, τη Ρόδο και τα παράλια της Τουρκίας. Στην εργασία αυτή γίνεται μια ερμηνεία της πηγής όπου δημιούργησε το θαλάσσιο κύμα βαρύτητας στο νησί της Αμοργού καθώς δεν υπάρχει ομοφωνία από τους ερευνητές που μελετούν το φαινόμενο.

**Λέξεις κλειδιά :** θαλάσσιο κύμα βαρύτητας, σεισμός, υποθαλάσσια κατολίσθηση, Ελλάδα



## **Abstract ή Περίληψη στα Αγγλικά**

Tsunami waves are a field of research for many researchers from Antiquity to the present day. Most of the time, their consequences are devastating to the beating areas. This created the need for understanding, forecasting and addressing the phenomenon. In Greece, the occurrence of such a wave is not so frequent as it is in the Pacific Ocean but the danger is real.

This study is about the tsunami wave caused by the Amorgos earthquake in 1956. This earthquake was the most devastating earthquake that occurred in Greece and the southeastern Mediterranean in the 20th century and on the same day there was a tsunami that might not be due in the earthquake itself but most likely came from a series of underwater landslides. The 7.4 magnitude earthquake affected the island of Santorini, as most of the problems were observed, while the tsunami wave that took place later on at 25 meters on the southeastern coast of Amorgos hit most of the Aegean islands and reached a weak point until Crete, Rhodes and the coasts of Turkey. In this work an interpretation of the source where the tsunami originated on the island of Amorgos is being interpreted as there is no consensus among the researchers studying the phenomenon.

**Keywords:** tsunami wave, earthquake, underwater landslide, Greece

## Κατάλογος Χαρτών

|                                                                                                                                                                                                                                                                           |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Χάρτης.1: Το ελληνικό τόξο .....                                                                                                                                                                                                                                          | 14 |
| Χάρτης.2: Αρχικός σεισμός και μετασεισμοί που υπερβαίνουν τα 4,0 Mw από τις 26 Δεκεμβρίου 2004 έως τις 10 Ιανουαρίου 2005 στα νησιά Sumatra - Andaman.....                                                                                                                | 20 |
| Χάρτης.3: Το πιθανό ύψος των κυμάτων μετά τον σεισμό των 9 Ρίχτερ στη βορειανατολική Ιαπωνία.....                                                                                                                                                                         | 21 |
| Χάρτης.4: Πιθανές τσουναμογενείς ζώνες στην Ελλάδα. Η ένταση των θαλάσσιων κυμάτων βαρύτητας μετρίεται σύμφωνα με την εξαβάθμια κλίμακα Sieberg – Ambraseys.....                                                                                                          | 25 |
| Χάρτης.5: Χάρτης απεικόνισης της περιοχής μελέτης.....                                                                                                                                                                                                                    | 26 |
| Χάρτης.6: Με κόκκινο αστέρι αποτυπώνεται το επίκεντρο του σεισμού των 7.5 Ρίχτερ στις 09/07/1956.....                                                                                                                                                                     | 28 |
| Χάρτης.7: Ο χάρτης δείχνει ισόσειστες καμπύλες οι οποίες χωρίζουν τις περιοχές της ίδιας έντασης.....                                                                                                                                                                     | 29 |
| Χάρτης.8: Η εστία του μεγάλου σεισμού ( $M_s = 7.5$ ) της 9ης Ιουλίου 1956 και των δεκαεπτά μετασεισμών (άσπροι κύκλοι)Το τρίγωνο αντιπροσωπεύει τη θέση του μεγαλύτερου μετασεισμού ( $M_s = 7.2$ ). Η διακεκομμένη γραμμή δείχνει την πιο πιθανή θέση του ρήγματος..... | 31 |
| Χάρτης.9: Ενεργά ρήγματα (κόκκινα αστέρια) και κατολισθήσεις (κίτρινοι κύκλοι) στον ελληνικό βυθό.....                                                                                                                                                                    | 33 |
| Χάρτης.10: Οι μεγαλύτεροι σεισμοί στο νότιο Αιγαίο.....                                                                                                                                                                                                                   | 35 |
| Χάρτης.11: Η αποτύπωση του θαλάσσιου κύματος βαρύτητας στα νησιά του Αιγαίου. Τα πλάγια γράμματα δείχνουν τις εκτιμήσεις από τις μαρτυρίες και τα έντονα μαυρισμένα την αναρρίχηση του κύματος σε μέτρα.....                                                              | 36 |
| Χάρτης.12: Η αποτύπωση του θαλάσσιου κύμα βαρύτητας στα νησιά του Αιγαίου. Τα πλάγια γράμματα δείχνουν τις εκτιμήσεις από τις μαρτυρίες και τα έντονα μαυρισμένα την αναρρίχηση του κύματος σε μέτρα.....                                                                 | 37 |

|                                                                                                                                                                                                              |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Χάρτης.13: Η αποτύπωση του θαλάσσιου κύματος βαρύτητας στα νησιά του Αιγαίου. Τα πλάγια γράμματα δείχνουν τις εκτιμήσεις από τις μαρτυρίες και τα έντονα μαυρισμένα την αναρρίχηση του κύματος σε μέτρα..... | 38 |
| Χάρτης.14: Στατική μετατόπιση που δημιουργήθηκε από το σεισμό της Αμοργού το 1956.....                                                                                                                       | 49 |
| Χάρτης.15: Συστήματα έγκαιρης προειδοποίησης υπο την εποπτεία της UNESCO.....                                                                                                                                | 54 |
| Χάρτης.16: Γεωγραφική θέση Αμοργού.....                                                                                                                                                                      | 60 |

### **Κατάλογος σχημάτων**

|                                                                                               |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Σχήμα.1: Μηχανισμός δημιουργίας ενός θαλάσσιου κύματος βαρύτητας.....                         | 17 |
| Σχήμα.2: Η βύθιση της πλάκας της Μεσογείου κάτω από του Αιγαίου.....                          | 32 |
| Σχήμα.3: Δημιουργία θαλάσσιου κύματος βαρύτητας από κατολίσθηση.....                          | 34 |
| Σχήμα.4: Η διακύμανση της στάθμης της θάλασσας στο λιμάνι της Σούδας στις 9 Ιουλίου 1956..... | 60 |

### **Κατάλογος εικόνων**

|                                                                                                                |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Εικόνα.1: Το ρολόι της μητρόπολης στη περιοχή Πόθια σταμάτησε να λειτουργεί μετά τη πρώτη σεισμική δόνηση..... | 40 |
| Εικόνα.2: Η θάλασσα εισχωρεί στο νησί της Καλύμνου.....                                                        | 41 |
| Εικόνα.3: Το κύμα στο νησί της Αστυπάλαιας.....                                                                | 42 |
| Εικόνα.4: Το κύμα φτάνει στο λιμάνι της Σητείας.....                                                           | 45 |
| Εικόνα.5: Η Σαντορίνη μετά τον καταστροφικό σεισμό.....                                                        | 46 |
| Εικόνα.6: Το κύμα στο νησί της Κώ.....                                                                         | 47 |
| Εικόνα.7: Τα νερά απομακρύνονται από τη Πάτμο.....                                                             | 48 |
| Εικόνα.8: Παλιρροιογράφοι στην Ιεράπετρα της Κρήτης.....                                                       | 55 |
| Εικόνα.9: Απόκομμα εφημερίδας Η ΚΑΘΗΜΕΡΙΝΗ.....                                                                | 57 |
| Εικόνα.10: Απόκομμα εφημερίδας Η ΚΑΘΗΜΕΡΙΝΗ.....                                                               | 57 |
| Εικόνα.11: Φωτογραφικό υλικό εποχής.....                                                                       | 58 |

|                                                  |    |
|--------------------------------------------------|----|
| Εικόνα.12: Απόκομμα εφημερίδας ΘΗΡΑΙΚΗ ΦΩΝΗ..... | 58 |
| Εικόνα.13: Απόκομμα εφημερίδας ΕΛΕΥΘΕΡΙΑ.....    | 59 |
| Εικόνα.14: Απόκομμα εφημερίδας ΤΟ ΒΗΜΑ.....      | 59 |

## **Κατάλογος πινάκων**

|                                                                                                                                                                                        |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Πίνακας.1: Πληροφορίες για τσουναμογόνους σεισμούς στην Ελλάδα.....                                                                                                                    | 24 |
| Πίνακας.2: Το ύψος και η ένταση των θαλάσσιων κυμάτων βαρύτητας που έπληξαν τις ακτές του Αιγαίου και η απόσταση των παράκτιων περιοχών σε (km) από το σημείο γένεσης των κυμάτων..... | 39 |
| Πίνακας.3: Απογραφή πλυθισμού για τις χρονικές περιόδους 1951-2011.....                                                                                                                | 50 |
| Πίνακας.4: Βασικές κατηγορίες χρήσεων γης 1999-2000 (σε χιλιάδες στρέμματα).....                                                                                                       | 51 |
| Πίνακας.5: Η τροποποιημένη κλίμακα Mercalli για τις εντάσεις των σεισμών.....                                                                                                          | 61 |
| Πίνακας.6: Η τροποποιημένη κλίμακα των Sieberg-Ambraseys για τις εντάσεις των θαλάσσιων κυμάτων βαρύτητας.....                                                                         | 62 |
| Πίνακας.7: Βασικές κατηγορίες χρήσεων γης 1999-2000 (κατανομή %).....                                                                                                                  | 63 |

## **Συντομογραφίες**

|         |                                                                 |
|---------|-----------------------------------------------------------------|
| PDFM    | Preliminary Determination of Focal Mechanism                    |
| GPS     | Global Position System                                          |
| NEAMTWS | North-Eastern Atlantic and Mediterranean Tsunami Warning System |
| ICG     | Intergovernmental Coordination Group                            |
| TSPs    | Tsunami Service Providers                                       |
| TWFP    | Tsunami Focal Warning Focal Point                               |
| NTWC    | National Tsunami Warning Centres                                |

## Εισαγωγή

Η εμφάνιση των θαλάσσιων κυμάτων βαρύτητας από το παρελθόν μέχρι σήμερα έχουν αυξήσει το ενδιαφέρον των ερευνητών ενώ αποτελούν και ένα παγκόσμιο ενδιαφέρον και για τους ανθρώπους που ζούν σε παραθαλάσσιες περιοχές καθώς στο πέρασμα τους μπορούν να προκαλέσουν θανάτους, τραυματισμούς αλλά και σημαντικές ζημιές ή καταστροφές.

Το αντικείμενο αυτής της μελέτης είναι το θαλάσσιο κύμα βαρύτητας που προκλήθηκε από το σεισμό της Αμοργού στις 9 Ιουλίου του 1956. Οι ελληνικές θάλασσες περιλαμβάνουν πολλά νησιά κάποια από τα οποία είναι ηφαιστιογενή και είναι γνωστά για την έντονη σεισμικότητά τους. Το πρωί της 9ης Ιουλίου του 1956 αυτά τα νησιά γνώρισαν ένα από τα πιο καταστροφικά σεισμικά κύματα στη σύγχρονη ιστορία τους.

Αρχικά αναφέρονται γενικές πληροφορίες για τους σεισμούς και τα θαλάσσια κύματα βαρύτητας ή τσουνάμι. Στη συνέχεια αναφέρονται τα μεγάλα καταστροφικά θαλάσσια κύματα βαρύτητας που έχουν καταγραφεί όχι μόνο στην Ελλάδα αλλά και παγκοσμίως. Επιπλέον, παρατίθενται πληροφορίες για το αν κινδυνεύει η Ελλάδα από τέτοιου είδους κύματα.

Στη συνέχεια γίνεται αναλυτικότερη αναφορά στο σεισμό και στο θαλάσσιο κύμα βαρύτητας που ακολούθησε την ίδια ημέρα τον Ιούλιο του 1956 στην Αμοργό. Αναφέρονται ο μηχανισμός γένεσης, ο προσεισμός και οι μετασεισμοί που ακολούθησαν στην περιοχή, το ενδεχόμενο η βασική αιτία του κύματος να οφείλεται σε υποθαλάσσια κατολίσθηση ενώ γίνεται λόγος και για παρόμοιες έντασης σεισμούς που έχουν καταγραφεί μέχρι σήμερα στη περιοχή.

Κάθε θαλάσσιο κύμα βαρύτητας που εκδηλώνεται αφήνει πίσω του κάποιες συνέπειες άλλοτε καταστροφικές και άλλοτε όχι τόσο. Το κύμα που μελετάται προκάλεσε έναν αριθμό θυμάτων, τραυματιών, σημαντικές ζημιές και φθορές ενώ έπληξε σχεδόν ολόκληρο το Αιγαίο. Επιπλέον, δίνονται πληροφορίες για τη μεταβολή του πληθυσμού στο νησί της Αμοργού και γενικότερα για τη περιφέρεια του νοτίου Αιγαίου από το 1951 έως και το 2011 αλλά και για τις χρήσεις Γής του νησιού και το πώς μπορεί να επηρεάσει ένα νέο ενδεχόμενο θαλάσσιο κύμα βαρύτητας τη περιοχή.

Παρόλο που τα θαλάσσια κύματα βαρύτητας δεν μπορούν να προβλεφθούν, οι συνέπειες τους μπορούν να μετριαστούν με τον κατάλληλο σχεδιασμό και να

αντιμετωπιστούν. Τέλος παρουσιάζονται τα συστήματα έγκαιρης προειδοποίησης που λειτουργούν στη Μεσόγειο.

Η εκπόνηση της εργασίας βασίστηκε σε βιβλιογραφικές αναφορές ελληνικές και ξενόγλωσσες και όχι σε έρευνα πεδίου ενώ παρατίθενται και χάρτες για την περιοχή μελέτης αλλά και την αναρρίχηση του κύματος.

# Κεφάλαιο 1: Σεισμός

## 1.1 Ο σεισμός ως φαινόμενο

“ Σεισμός είναι η βίαιη κίνηση του εδάφους, μικρής διάρκειας που προκαλείται από διαρρήξεις στο εσωτερικό της γης (απελευθέρωση ενέργειας υπό μορφή ελαστικών τάσεων).” (Καρύμπαλης, 2013)

Εστία ή υπόκεντρο καλείται η αρχή εκκίνησης των ελαστικών κυμάτων και επίκεντρο η κάθετη προβολή της στην επιφάνεια της Γής. Η πιο έντονη ανάδευση του σεισμού συχνά γίνεται αισθητή κοντά στο επίκεντρο. (Καρύμπαλης, 2013) Ωστόσο, οι δονήσεις από σεισμό μπορούν ακόμα να γίνουν αισθητές και να ανιχνευθούν εκατοντάδες ή ακόμα και χιλιάδες μίλια μακριά από το επίκεντρο.

Ανάλογα τα αίτια γένεσης των σεισμών μπορούν να καταταχθούν σε (Καρύμπαλης, 2013):

1. Ηφαιστειακοί (κοντά στην περιοχή του κρατήρα)
2. Εγκατακρημνησιγενείς (από πτώση υπόγειων κοιλωμάτων) και
3. Τεκτονικοί (διάρρηξη των πετρωμάτων)

Ως προς το εστιακό βάθος οι σεισμοί χωρίζονται σε 3 κατηγορίες (Καρύμπαλης, 2013):

1. Επιφανειακοί: όταν το εστιακό βάθος είναι μικρότερο των 60km.
2. Ενδιάμεσοι: όταν το εστιακό βάθος είναι μεταξύ 60 και 300km.
3. Μεγάλου βάθους: όταν το εστιακό βάθος είναι μεγαλύτερο από 300km.

Η ενέργεια από έναν σεισμό ταξιδεύει στη Γη με δονήσεις που ονομάζονται σεισμικά κύματα. Οι επιστήμονες μπορούν να μετρήσουν αυτά τα σεισμικά κύματα σε όργανα που ονομάζονται σειсмоγράφοι ή σεισμόμετρα. Ένα σεισμόμετρο ανιχνεύει σεισμικά κύματα κάτω από το όργανο και τα καταγράφει ως μια σειρά zig-zags. (<https://spaceplace.nasa.gov/>, 10/11/2018)

Οι επιστήμονες μπορούν να καθορίσουν τον χρόνο, τη θέση και την ένταση ενός σεισμού από τις πληροφορίες που καταγράφονται από ένα σεισμόμετρο. Αυτό το αρχείο παρέχει επίσης πληροφορίες για τα πετρώματα από τα οποία πέρασαν τα σεισμικά κύματα. (<https://spaceplace.nasa.gov/>, 10/11/2018)

## 1.2 Ρήγματα

Ρήγματα, σύμφωνα με τους γεωλόγους ονομάζονται οι απότομες αλλαγές (ασυνέχειες) στη δομή των πετρωμάτων. Η παρουσία ρήγματος σημαίνει ότι κατά το παρελθόν έχει παρουσιαστεί κίνηση κατά μήκος της κατοπτρικής του επιφάνειας. Αυτή η κίνηση είτε θα ήταν αργή ολίσθηση μη συνοδευόμενη από δόνηση του

εδάφους, είτε θα ήταν απότομη, που σημαίνει ότι έγινε σεισμός. Το μήκος των ρηγμάτων ποικίλει και μπορεί να είναι από λίγα μέτρα ως πολλά χιλιόμετρα. Κίνηση κατά μήκος των ρηγμάτων ενδέχεται να παρουσιαστεί μόνο στα ενεργά. Η κίνηση μπορεί να είναι οριζόντια ή κατακόρυφη. Τα ρήγματα κατατάσσονται σε (<https://el.wikipedia.org>, 10/11/2018):

- 1: κανονικά ρήγματα (normal faults)
- 2: ανάστροφα ρήγματα (reverse faults)
- 3: ρήγματα οριζόντιας μετατόπισης (strike-slip faults)

Στα κανονικά και στα ανάστροφα ρήγματα, η κίνηση των πετρωμάτων πραγματοποιείται προς τα πάνω ή προς τα κάτω κατά μήκος της επιφάνειας διάρρηξης. Στα κανονικά ρήγματα, το τμήμα της ανώτερης πλευράς της διάρρηξης ολισθαίνει προς τα κάτω. Στα ανάστροφα ρήγματα, το πέτρωμα και στις δύο πλευρές του ρήγματος συμπιέζεται ισχυρά. Στο ρήγμα οριζόντιας μετατόπισης, η κίνηση γίνεται κατακόρυφα μέσα στο πέτρωμα και τα τεμάχια του σπασμένου πετρώματος κατά μήκος του ρήγματος ολισθαίνουν το ένα ως προς το άλλο οριζόντια. (<https://el.wikipedia.org>, 10/11/2018)

### 1.3 Μέγεθος και ένταση σεισμού

Το μέγεθος του σεισμού είναι η ποσότητα που χρησιμοποιείται για να μετρηθεί το πόσο μεγάλος ή μικρός είναι ένας σεισμός ο οποίος καταγράφεται από τα σεισμολογικά όργανα.

Το μέγεθος του σεισμού που όπως αναφέρθηκε φανερώνει το πόσο μεγάλος είναι ένας σεισμός και μετράται με την κλίμακα Richter. Η κλίμακα αυτή είναι ποσοτική και μπορεί να εφαρμοστεί είτε σε κατοικημένες είτε σε ακατοίκητες περιοχές. Αρχικά ο Richter εισήγαγε την κλίμακα τοπικού μεγέθους (ML), η οποία αποτελούσε το λογάριθμο με βάση το δέκα του μέγιστου πλάτους του σεισμικού κύματος που καταγραφόταν σε ένα σειсмоγράφο Wood- Anderson 100Km από το επίκεντρο του σεισμού. Αργότερα υιοθετήθηκαν και τα εξής μεγέθη: Επιφανειακό μέγεθος (Ms), Χωρικό μέγεθος (mb), Μέγεθος διάρκειας (MD), Μέγεθος σεισμικής ροπής (Mw). Το μέγεθος ενός σεισμού καθορίζεται από την αντοχή των πετρωμάτων στο εξωτερικό φλοιό της Γής. Ένταση είναι η έκταση των καταστροφών που δημιουργούνται κατά τη διάρκεια ενός σεισμού, και μετριέται με βάση την τροποποιημένη κλίμακα Mercalli, η οποία κυμαίνεται από το I έως το XII. Ένας σεισμός μπορεί να προκαλέσει ζημιές αν έχει μέγεθος πάνω από 5 βαθμούς της κλίμακας Richter. ([www.oasp.gr](http://www.oasp.gr), 28/11/2018)

### 1.4 Η γεωτεκτονική θέση της Ελλάδας

Πολλοί από τους σεισμούς που πραγματοποιούνται οφείλονται στις κινήσεις των λιθοσφαιρικών πλακών και κατά συνέπεια οι ζώνες έντονης σεισμικής δράσης ουσιαστικά ταυτίζονται με τις παρυφές των πλακών. Η Ελλάδα βρίσκεται στο όριο σύγκλισης δύο μεγάλων λιθοσφαιρικών πλακών, της Ευρασιατικής, τμήμα της οποίας είναι το Αιγαίο και της Αφρικανικής, τμήμα της οποίας είναι η λιθόσφαιρα



της Ανατολικής Μεσογείου (Παπαζάχος, Β.Κ. και Παπαζάχου Κ.Β., 2003). Στη γεωτεκτονική θέση της Ελλάδας οφείλεται η υψηλή σεισμικότητα.

Υψηλή σεισμικότητα παρατηρείται στα κύρια συστήματα διάρρηξης, στο σύστημα των ηπειρωτικών περιθωρίων και των μεσοκεάνειων ράχων. Ο μηχανισμός γένεσης ενός σεισμού σχετίζεται με το γεωδυναμικό της περιοχής. Οι ισχυρότεροι σεισμοί ιστορικά είναι εκείνοι που συνδέονται με το Ελληνικό Τόξο. Στα ηπειρωτικά συστήματα διάρρηξης εκτός από επιφανειακούς σεισμούς εντοπίζονται σεισμοί ενδιάμεσου και μεγάλου βάθους. Το νότιο Αιγαίο είναι ένα τέτοιο περιθώριο το οποίο έχει σαν αποτέλεσμα την έντονη σεισμική δραστηριότητα στην περιοχή. ([www.oasp.gr](http://www.oasp.gr), 28/11/2018)

Πρόσφατα δημοσιευμένα στοιχεία δείχνουν ότι η αυξημένη σεισμική δραστηριότητα στο Αιγαίο οφείλεται ([www.oasp.gr](http://www.oasp.gr), 28/11/2018):

- στη συμπιεστική δύναμη εξαιτίας της σύγκλισης της Αφρικανικής (λιθοσφαιρική πλάκα της Ανατολικής Μεσογείου) με την αντίστοιχη Ευρασιατική (Αιγαίο). Η σύγκλιση αυτών των δύο πλακών προκαλεί τους επιφανειακούς σεισμούς κατά μήκος του Ελληνικού τόξου καθώς και τους σεισμούς ενδιάμεσου βάθους στο νότιο Αιγαίο.
- στη συμπιεστική δύναμη εξαιτίας της αριστερόστροφης περιστροφής της Αδριατικής – Απουλίας πλάκας. Η περιστροφή προκαλεί τη γένεση επιφανειακών σεισμών κατά μήκος των δυτικών ακτών της Κεντρικής Ελλάδας, της Αλβανίας και της πρώην Γιουγκοσλαβίας.
- στη συμπιεστική δύναμη εξαιτίας της κίνησης της Τουρκικής – Ανατολίας λιθοσφαιρικής πλάκας προς τα δυτικά, που με τη σειρά της η κίνηση αυτή οφείλεται στην προς Βορρά κίνηση της Αραβικής πλάκας.
- στις οριζόντιες εφελκυστικές δυνάμεις που έχουν διεύθυνση βορρά – νότου και αναπτύσσονται στην κάτω επιφάνεια της λιθόσφαιρας του Αιγαίου εξαιτίας της οριζόντιας κίνησης των ρευμάτων μεταφοράς. ([www.oasp.gr](http://www.oasp.gr), 28/11/2018)

## 1.5 Το ελληνικό τόξο

Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενη παράγραφο το Ελληνικό τόξο είναι βασικό τεκτονικό γνώρισμα του Ελληνικού χώρου. Αποτελεί το όριο σύγκλισης της Ευρασιατικής λιθοσφαιρικής πλάκας (τμήμα της οποίας είναι το Αιγαίο), και της Αφρικανικής πλάκας (τμήμα της οποίας είναι η λιθόσφαιρα της Ανατολικής Μεσογείου). Οι δύο αυτές λιθοσφαιρικές πλάκες συγκλίνουν στην περιοχή αυτή με σχετική ταχύτητα 2,5 εκατοστά το χρόνο, με συνέπεια η ωκεάνια πλάκα της Ανατολικής Μεσογείου, να καταβυθίζεται, κάτω από την ηπειρωτική πλάκα του Αιγαίου λόγω μεγαλύτερης πυκνότητας. ([www.oasp.gr](http://www.oasp.gr), 28/11/2018)

Το τόξο που δημιουργείται είναι σεισμικά τεκτονικά και ηφαιστειακά ενεργό. Αποτελείται από την ελληνική τάφρο, το νησιωτικό τόξο, την οπισθοτάφρο και το ηφαιστειακό τόξο. ([www.oasp.gr](http://www.oasp.gr), 28/11/2018)



Χάρτης.1: Το ελληνικό τόξο (Πηγή: [www.oasp.gr](http://www.oasp.gr))

Η τάφρος δημιουργείται κατά μήκος της επαφής των δύο πλακών. Πρόκειται για ένα σύστημα τάφρων, μία σειρά από βαθιές θαλάσσιες λεκάνες από τη Ρόδο έως και την Κεφαλονιά (γνωστή και ως ελληνική διάυλος). Το μέγιστο βάθος φτάνει τα 4.500 μέτρα και εντοπίστηκε νοτιοδυτικά της Πελοποννήσου. Αυτό είναι το βαθύτερο σημείο της Μεσογείου. ([www.oasp.gr](http://www.oasp.gr), 28/11/2018)

Το νησιωτικό τόξο αποτελείται από μία σειρά διαδοχικών νησιών όπως η Ρόδος, η Κρήτη, τα Κύθηρα και από την Πελοπόννησο. Τοποθετείται παράλληλα ως προς την τάφρο και σε μικρή απόσταση από αυτήν. Το τόξο αυτό δημιουργείται από την παραμόρφωση και ανύψωση πετρωμάτων (κυρίως ιζηματογενών) του περιθωρίου της Ευρασιατικής πλάκας και περιλαμβάνει πολύ παραμορφωμένα πετρώματα της Αλπικής πτύχωσης. ([www.oasp.gr](http://www.oasp.gr), 28/11/2018)

Η οπισθοτάφρος είναι μία θαλάσσια λεκάνη (Κρητικό πέλαγος), μικρότερου βάθους από την τάφρο. Το μέγιστο βάθος της φτάνει περίπου τα 2.000 μέτρα. Η λεκάνη αυτή βρίσκεται μπροστά από το νησιωτικό τόξο και πάνω στην Ευρασιατική πλάκα. ([www.oasp.gr](http://www.oasp.gr), 28/11/2018)

Το ηφαιστειακό τόξο αποτελείται από διαδοχικά ηφαίστεια (ενεργά και ανενεργά) Σουσάκι, Μέθανα, Μήλος, Σαντορίνη, Νίσυρος. Η δημιουργία τους οφείλεται σε ανάττηξη υλικού της υποβυθιζόμενης Αφρικανικής πλάκας. Κατά την άνοδό του το υλικό αυτό διαπερνά την Ευρασιατική πλάκα και σχηματίζει τα ηφαίστεια. Τα ηφαίστεια της Σαντορίνης αλλά και το υποθαλάσσιο ηφαίστειο του Κολούμπο

συνθέτουν το γεωδυναμικό της περιοχής των νότιων κυκλάδων. ([www.oasp.gr](http://www.oasp.gr), 28/11/2018)

## **Κεφάλαιο 2: Θαλάσσια κύματα βαρύτητας**

### **2.1 Θαλάσσια κύματα βαρύτητας - Τσουνάμι**

“ Τα θαλάσσια κύματα βαρύτητας ή τσουνάμι είναι γιγαντιαία κύματα που δημιουργούνται από διάφορους μηχανισμούς και συνήθως προκαλούν τεράστιες καταστροφές στις παράκτιες περιοχές. ” (Καρύμπαλης, 2010)

Ο όρος τσουνάμι προέρχεται από την Ιαπωνική γλώσσα και αποτελείται από τις λέξεις τσου: που σημαίνει λιμάνι και νάμι: που σημαίνει κύμα δηλαδή το κύμα του λιμανιού. Στο παρελθόν τα κύματα τσουνάμι τα αποκαλούσαν “παλιρροιακά κύματα” χωρίς όμως ο όρος αυτός να είναι σωστός καθώς δεν σχετίζεται με το φαινόμενο της παλίρροιας. Στην Ελλάδα χρησιμοποιούμε μέχρι και σήμερα τον όρο θαλάσσια κύματα βαρύτητας. (Bruce A. Bolt, 1991)

Τα κυριότερα αίτια που δημιουργούν τα θαλάσσια κύματα βαρύτητας είναι (Καρύμπαλης, 2010):

1. Κατακόρυφες μετατοπίσεις του θαλάσσιου νερού που προκαλούνται από υποθαλάσσιους σεισμούς. Αυτό το είδος σεισμού προκαλείται από την μετατόπιση δύο τεμαχίων κατά μήκος ενός υποθαλάσσιου ρήγματος. Ένας υποθαλάσσιος σεισμός δεν δημιουργεί πάντα θαλάσσια κύματα βαρύτητας. Τέτοιου είδους κύματα δημιουργούνται λόγω σεισμικών δονήσεων μεγαλύτερων των 6,5 βαθμών της κλίμακας Ρίχτερ και μικρότερο των 50 χιλιομέτρων εστιακού βάθους. Επίσης εξαρτάται και από τη φύση και το μέγεθος της μετατόπισης του νερού πάνω από το επίκεντρο του σεισμού.
2. Το αποτέλεσμα των σεισμικών δονήσεων είναι οι οριζόντιες μετατοπίσεις του θαλάσσιου νερού. Τέτοια κύματα δημιουργούνται και από σεισμούς που συμβαίνουν στην ξηρά, αν το επίκεντρο είναι κοντά σε ακτές.
3. Μετατόπιση του θαλάσσιου νερού με βιαιότητα που μπορεί να προκληθεί από ηφαιστειακές εκρήξεις (υποθαλάσσιες ή παράκτιες).
4. Μεγάλες σε έκταση υποθαλάσσιες κατολισθήσεις.
5. Ανατάραξη του θαλάσσιου νερού από την πρόσκρουση ενός μεγάλων διαστάσεων, εξωγήινης προέλευσης, αντικειμένου όπως για παράδειγμα ενός αστεροειδούς. Αυτό το αίτιο θεωρείται περισσότερο σπάνιο.

## 2.2 Χαρακτηριστικά των θαλάσσιων κυμάτων βαρύτητας

Όταν ένα θαλάσσιο κύμα βαρύτητας διαδίδεται στον ωκεανό έχει τεράστιο μήκος κύματος και φτάνει τα εκατοντάδες χιλιόμετρα. Έχει μικρό ύψος που φτάνει το 1 μέτρο και μεγάλη περίοδο σχεδόν 1 ώρα. Λόγω των συγκεκριμένων χαρακτηριστικών πλοία που κινούνται στη θάλασσα μακριά από την ακτή δεν διατρέχουν κίνδυνο καθώς δεν αντιλαμβάνονται την ύπαρξη τους. Τα κύματα αυτά μπορεί να φθάσουν σε ταχύτητα τα 1000 χιλιόμετρα ανά ώρα ενώ και η ενέργεια η οποία μεταφέρουν είναι επίσης μεγάλη. Η ταχύτητα εξαρτάται από το βάθος των νερών και υπολογίζεται από τη σχέση (Καρύμπαλης, 2010):

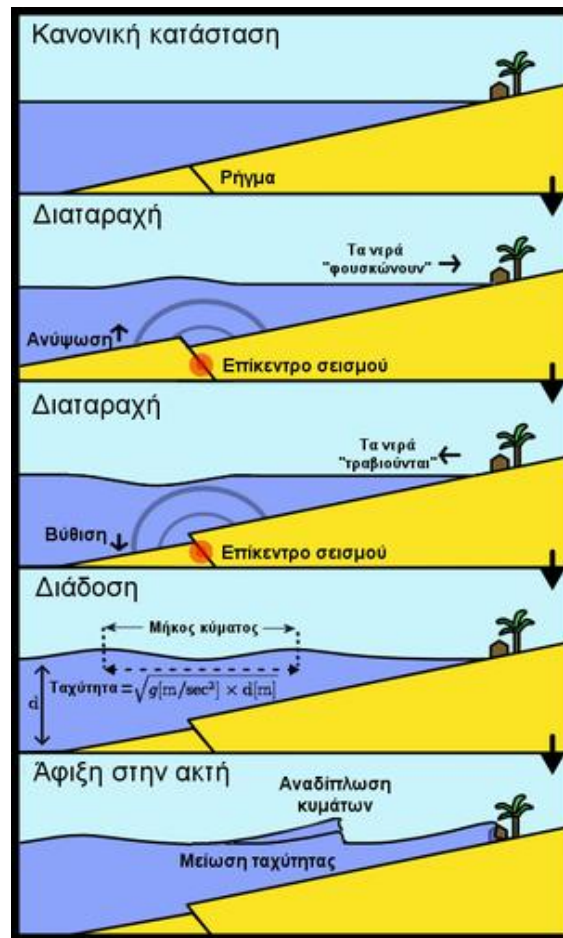
$$U = (g \cdot h)^{1/2}$$

όπου  $u$  η ταχύτητα με την οποία διαδίδεται το θαλάσσιο κύμα βαρύτητας

$g$  η επιτάχυνση της βαρύτητας και

$h$  το βάθος του νερού

Όταν τα θαλάσσια κύματα βαρύτητας πλησιάσουν την ακτή μειώνουν την ταχύτητα τους ενώ η περίοδος τους παραμένει σταθερή. Έτσι το ύψος του κύματος αυξάνεται και μειώνεται το μήκος του κύματος. Πολλές φορές το ύψος του νερού φτάνει τα 40 μέτρα. Προσεγγίζοντας την ακτή μπορούν να υποστούν διάθλαση, σύγκλιση και απόκλιση συγκεντρώνοντας ποσά ενέργειας σε συγκεκριμένα τμήματα της ακτής που είναι ικανά να καταστρέψουν οτιδήποτε στο πέρασμά τους. Ο μηχανισμός γένεσης ενός θαλάσσιου κύματος βαρύτητας δεν προκαλεί ένα μόνο κύμα αλλά μια σειρά κυμάτων που μπορεί να επηρεάσει την ακτογραμμή για πάρα πολλές ώρες. Η άφιξη των διαδοχικών κυμάτων χρειάζεται σε χρόνο από 5 μέχρι 90 λεπτά. Αν το κύμα αντιστοιχεί σε κοιλιά μπορεί να εμφανιστεί ο θαλάσσιο πυθμένας. Η ενέργεια που έχει ένα θαλάσσιο κύμα βαρύτητας ισοδυναμεί με το 1/10 της σεισμικής ενέργειας του σεισμού που το προκάλεσε. (Παπαζάχος και Παπαζάχου, 2003)



Σχήμα.1: Μηχανισμός δημιουργίας ενός θαλάσσιου κύματος βαρύτητας (Πηγή : <https://el.wikipedia.org/wiki/>)

Σε πολλές περιπτώσεις σημαντικός είναι ο ρόλος των κοραλλιογενών σχηματισμών όταν βρίσκονται κοντά σε ακτές καθώς υπάρχει σημαντική απώλεια ενέργειας εφόσον αποτελούν φυσικά εμπόδια για τα θαλάσσια κύματα βαρύτητας. (Καρύμπαλης, 2010)

Το μέγεθος της καταστροφής που θα προκαλέσει ένα θαλάσσιο κύμα βαρύτητας εξαρτάται από τη παράκτια γεωμορφολογία δηλαδή πόσο εύκολα η δύσκολα γίνεται η προέλαση του κύματος, το ύψος του κύματος αλλά και κατά πόσο ο άνθρωπος έχει επιδράσει στο περιβάλλον (οι υποδομές κ.λ.π.) αλλά και από το αν υπάρχει έγκαιρη προειδοποίηση για ένα τέτοιο φαινόμενο.

## 2.3 Κλίμακες μέτρησης των θαλάσσιων κυμάτων βαρύτητας

Για την μέτρηση ενός θαλάσσιου κύματος βαρύτητας έχουν προταθεί διάφορες κλίμακες. Η πρώτη κλίμακα μέτρησης θαλάσσιων κυμάτων βαρύτητας παρουσιάστηκε από το Sieberg (1927) και αποτελείται από μια εξαβάθμια κλίμακα βασισμένη σε μακροσεισμικά αποτελέσματα. Το 1962 αναθεωρήθηκε από τον N. Ambraseys. Το 2001 μια δωδεκάβαθμη κλίμακα προτάθηκε από τους G. Paradopoulos και F. Imamura οι οποίοι τόνισαν ότι σε όλες τις μέχρι τώρα κλίμακες μέτρησης ενός θαλάσσιου κύματος βαρύτητας, απουσιάζει η λεπτομερής καταγραφή των ζημιών ή γενικά των επιπτώσεων του φαινομένου. Η συγκεκριμένη κλίμακα βασίζεται στις επιπτώσεις που έχουν τα θαλάσσια κύματα βαρύτητας στους ανθρώπους, στη φύση αλλά και στις βλάβες που ίσως προκύψουν στα κτίρια και στα υλικά αγαθά.

Στην Ελλάδα έχει προταθεί από επιστήμονες του Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών μια νέα κλίμακα η οποία μετρά την ένταση των επιπτώσεων των θαλάσσιων κυμάτων βαρύτητας. Η κλίμακα αυτή είναι δωδεκάβαθμη και βασίζεται στην αξιολόγηση ενός μεγάλου αριθμού αντικειμενικών κριτηρίων που είναι εύκολα προσβάσιμα και ενσωματώνονται σε έξι ομάδες. (Lekkas et al., 2013)

Για τη δημιουργία της κλίμακας συνυπολογίστηκαν έξι κριτήρια (Lekkas et al., 2013):

- I. τα φυσικά χαρακτηριστικά του φαινομένου (ύψος κύματος, εισχώρηση του κύματος στην ξηρά, κλπ)
- II. τις επιπτώσεις στο ανθρώπινο περιβάλλον (αντίληψη του φαινομένου, αντίδραση, αριθμό θυμάτων),
- III. τις επιπτώσεις σε κινούμενα αντικείμενα (μικρές βάρκες, σκάφη, βαριά αντικείμενα, σιδηρόδρομο, αυτοκίνητα κλπ),
- IV. τις επιπτώσεις σε έργα υποδομής (λιμενικές εγκαταστάσεις, αντιδιαβρωτικά έργα, βιομηχανικές εγκαταστάσεις κ.α.),
- V. τις επιπτώσεις στο γεωπεριβάλλον (μορφολογικές αλλοιώσεις, διάβρωση, μεταφορά και απόθεση συντριμμιών, ανύψωση και καταβύθιση φλοιού) και
- VI. τις επιπτώσεις στο δομημένο περιβάλλον (σε παντός είδους κατασκευές και κτίρια).

Μπορεί να εφαρμοστεί για οποιοδήποτε τύπο χρήσης / κάλυψης γης, όπως αστική, αγροτική, βιομηχανική, τουριστική κ.λ.π., ενώ ταυτόχρονα η μορφολογική ποικιλομορφία των πληγείσων περιοχών δεν αποτελεί εμπόδιο στην εφαρμογή (Lekkas et al., 2013).

Στην πρώτη βαθμίδα εντάσσονται οι περιοχές όπου τα θαλάσσια κύματα βαρύτητας γίνονται αισθητά στον άνθρωπο και δεν προκαλούνται ζημιές ενώ όσο μεγαλώνει το μέγεθος των καταστροφών μεγαλώνει και η βαθμίδα στη κλίμακα. Στη 12<sup>η</sup> βαθμίδα εντάσσονται τα κύματα βαρύτητας που εκδηλώνονται στους ωκεανούς.



Θεωρείται μια εύκολη κλίμακα καθώς είναι εύκολα μετρούμενες οι επιπτώσεις (Lekkas et al., 2013).

## **2.4 Έρευνα για θαλάσσια κύματα βαρύτητας στο παρελθόν**

Πολλοί είναι οι ερευνητές που μελετούν περιοχές οι οποίες στο παρελθόν είχαν πληγεί από θαλάσσια κύματα βαρύτητας. Οι επιστήμονες προσπαθούν να ανακαλύψουν ίχνη που να φανερώνουν τη παρουσία θαλάσσιων κυμάτων βαρύτητας. Σκάβουν κοντά στην ακτή σε μικρό βάθος ώστε να εντοπίσουν υλικά όπως μικροκελύφη που δείχνουν ότι προέρχονται από το βυθό της βαθιάς θάλασσας και μεταφέρθηκαν από ένα θαλάσσιο κύμα βαρύτητας. Από την ανάλυση των ιζημάτων είναι δυνατή η χρονολόγηση του γεγονότος ενώ τόσο το πάχος του στρώματος του ιζήματος της θαλάσσιας άμμου όσο και η εξάπλωση τους μπορεί να δώσει πληροφορίες για τα θαλάσσια κύματα βαρύτητας που τα προκάλεσαν. Με τη βοήθεια των υπολογιστών και με προσομοιώσεις του κύματος οι εκτιμήσεις διασταυρώνονται. Στη χερσόνησο της Καμτσάτκα στην ακτογραμμή της Ρωσίας που βρέχεται από τον ειρηνικό ωκεανό οι επιστήμονες εντόπισαν 40 διαφορετικά θαλάσσια στρώματα που αντιστοιχούν σε ισάριθμα μεγάλα θαλάσσια κύματα βαρύτητας που προκλήθηκαν από μεγάλους σεισμούς. Έρευνες αποκάλυψαν μεγάλα παλαιοτσουνάμι και στο Αιγαίο. Ένα από αυτά βρέθηκε στην ακτογραμμή Dalaman στη Τουρκία. Το ίζημα που βρέθηκε στη ξηρά λίγα μέτρα από τη θάλασσα χρονολογείται γύρω στα 1600μ.χ. (Καρύμπαλης, 2010).

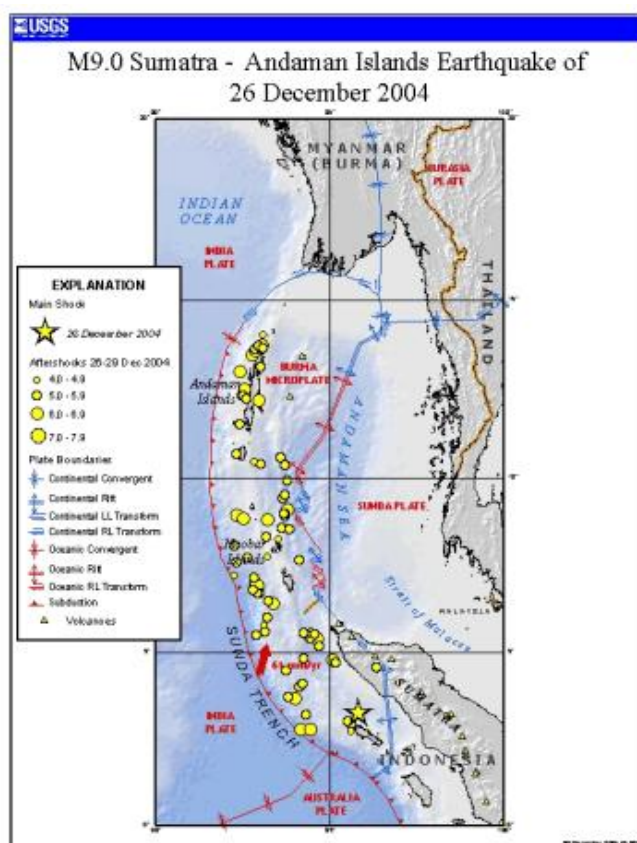
## **2.5 Ιστορικά καταγεγραμμένα θαλάσσια κύματα βαρύτητας**

Ένα πολύ μεγάλο ποσοστό της τάξης 90% των θαλάσσιων κυμάτων βαρύτητας συμβαίνουν στον Ειρηνικό ωκεανό και προκαλούν μεγάλες καταστροφές. Υπάρχει μια περιοχή η οποία ονομάζεται ring on fire καταλαμβάνει 40.000 χιλιόμετρα και κατά μήκος αυτής συμβαίνουν τα περισσότερα από αυτά ενώ χαρακτηρίζεται από έντονη σεισμική και ηφαιστειακή δραστηριότητα. Η Χαβάη θεωρείται περιοχή υψηλού κινδύνου καθώς ένα καταστροφικό γεγονός μπορεί να συμβεί κάθε 7 χρόνια. Επίσης υψηλού κινδύνου θεωρείται και η Αλάσκα όπου χτυπάται από τα κύματα κάθε 1,75 χρόνια ενώ λιγότερο συχνά εμφανίζονται στον Ατλαντικό Ωκεανό και τη Μεσόγειο Θάλασσα (Καρύμπαλης, 2010). Στη συνέχεια, ακολουθεί μια εκτενέστερη περιγραφή για τα καταστροφικά θαλάσσια κύματα βαρύτητας που έχουν καταγραφεί.

## Ινδονησία

Στις 26 Δεκεμβρίου του 2004 στις 00:58:53 UTC και 7:58:53 π.μ. τοπική ώρα ένας σεισμός εκδηλώθηκε στην περιοχή 310 χιλιόμετρα δυτικά της πόλης Medan της βορείου Σουμάτρας με επίκεντρο τη υποθαλάσσια περιοχή βόρεια της Σουμάτρα στον Ινδικό Ωκεανό (3.316°N, 95.854°E). Η σεισμική δόνηση είχε μέγεθος έντασης 9,0 βαθμών της κλίμακας Ρίχτερ με διάρκεια περίπου 10 λεπτών ενώ οι μετασεισμοί που ακολούθησαν τις επόμενες ημέρες έφτασαν τους 351. Το επίκεντρο του σεισμού, υπολογίστηκε από το USGS και ήταν 30km στο όριο σύγκλισης της λιθосφαιρικής πλάκας της Ινδίας με τη μικρότερη πλάκα της Burma. Η σύγκλιση αυτών των δύο τεκτονικών πλακών συμβαίνει κατά μήκος μιας ζώνης υποβύθισης που κλίνει στο εσωτερικό της Γής στα βορειοανατολικά με γωνία 10° (Καρύμπαλης,2010).

Κατά τη διάρκεια της σεισμικής δόνησης μετατοπίστηκε ο πυθμένας του Ινδικού Ωκεανού προς τα Δ-ΝΔ περίπου 15m οριζοντίως και αρκετά μέτρα καθέτως. Η κίνηση αυτή μετατόπισε περίπου 30 κυβικά χιλιόμετρα υδάτινης μάζας. Η ενέργεια που εκλύθηκε εκτιμάται σε 4x10<sup>29</sup> dyn-cm τοποθετώντας τον στη δεύτερη θέση των ισχυρότερων καταγεγραμμένων σεισμών (Καρύμπαλης,2010).



Χάρτης.2: Αρχικός σεισμός και μετασεισμοί που υπερβαίνουν τα 4,0 Mw από τις 26 Δεκεμβρίου 2004 έως τις 10 Ιανουαρίου 2005 στα νησιά Sumatra – Andaman (Πηγή: USGS)



Οι περιοχές που έπληξε περισσότερο το θαλάσσιο κύμα βαρύτητας είναι η Ινδονησία, τη Σρι Λανκα, Μαλβίδες, Ταϊλάνδη αλλά και όλες οι ακτές του Ινδικού Ωκεανού μέχρι τις ανατολικές ακτές της Αφρικής. Ο τελικός απολογισμός θυμάτων του σεισμού και του θαλάσσιου κύματος βαρύτητας είναι 280.000 άτομα σε 14 χώρες. Σημαντικές είναι και οι ζημιές που καταγράφηκαν σε κατασκευές όπως κατοικίες, ξενοδοχεία, δημόσια κτίρια, βιομηχανικές εγκαταστάσεις και έργα υποδομής (<https://el.wikipedia.org>, 1/2/2019).

Ένα από τα μεγαλύτερα θαλάσσια κύματα βαρύτητας που απασχόλησαν τα μέσα εκδηλώθηκε επίσης στην Ινδονησία τον Αύγουστο του 1983. Προκλήθηκε από την κατάρρευση του ηφαιστείου Krakatoa. Σύμφωνα με καταγραφές από το Αστεροσκοπείο του Greenwich το κύμα αυτό ταξίδεψε τουλάχιστον τη μισή περιφέρεια (<https://el.wikipedia.org>, 1/2/2019).

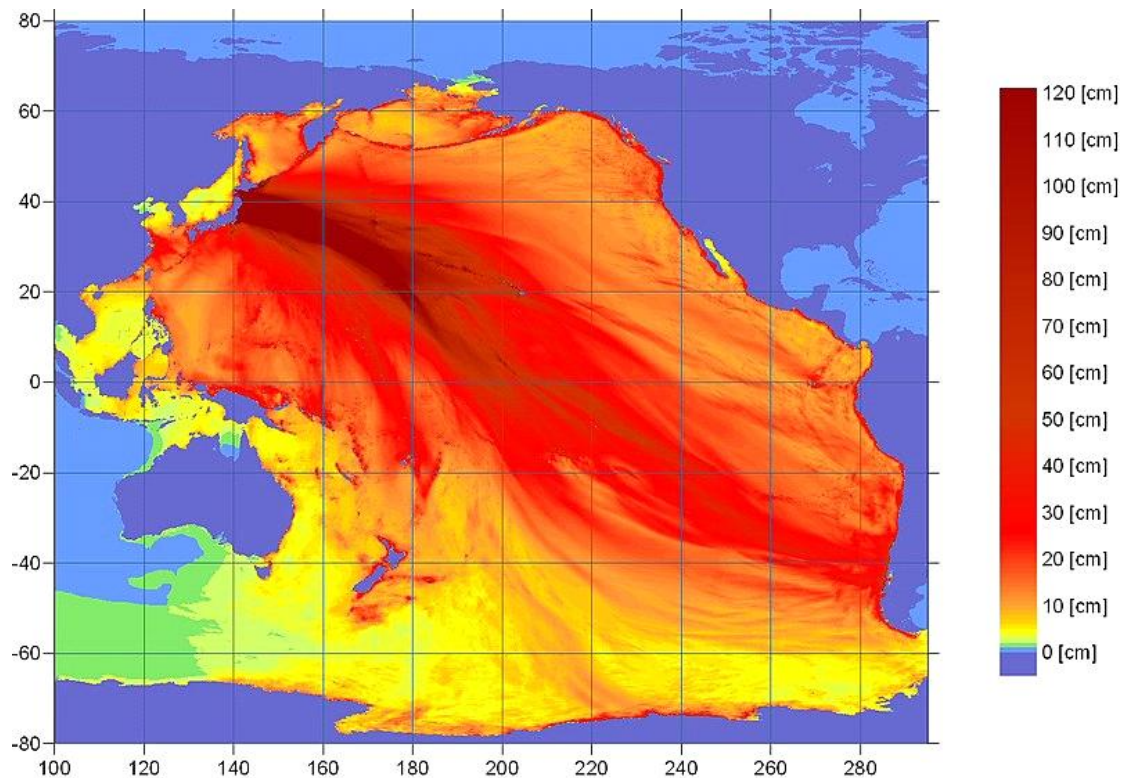
Η έκρηξη του 1883 ήταν ένα από τα πιο θανατηφόρα και πιο καταστροφικά ηφαιστειακά γεγονότα στην καταγραμμένη ιστορία. Τα κύματα έφτασαν σε ύψος τα 38 μέτρα και προκάλεσαν 36.000 θύματα. Σημαντικές πρόσθετες επιδράσεις έγιναν επίσης αισθητές σε όλο τον κόσμο τις ημέρες και τις εβδομάδες μετά την έκρηξη του ηφαιστείου. Το νησί Krakatoa εξαφανίσθηκε εντελώς (<https://el.wikipedia.org>, 1/2/2019).

## **Ιαπωνία**

Στις 11 Μαρτίου 2011, έγινε ένας σεισμός στη βορειανατολική Ιαπωνία, με επίκεντρο 130 χιλιόμετρα ανατολικά του Σεντάι, στο Νησί Χονσού της Ιαπωνίας και μέγεθος 9 Ρίχτερ. Ο σεισμός συνέβη στις 14:46:23 τοπική ώρα (05:46 UTC) και είχε διάρκεια 6 λεπτά. Ήταν ένας από τους πιο καταστροφικούς σεισμούς που έχουν καταγραφεί (<https://el.wikipedia.org>, 1/2/2019).

Το εστιακό επίκεντρο υπολογίστηκε σε βάθος 24,4km. Ο σεισμός σημειώθηκε στην περιοχή της Ιαπωνικής Τάφρου, όπου η Πλάκα του Ειρηνικού βυθίζεται κάτω από την Οχοτσική Πλάκα (<https://el.wikipedia.org>, 1/2/2019).

Από τον σεισμό προκλήθηκε θαλάσσιο κύμα βαρύτητας σε πολλές περιοχές της χώρας. Το θαλάσσιο κύμα βαρύτητας ξεκίνησε να διαδίδεται στον Ειρηνικό ωκεανό προς όλες τις κατευθύνσεις. Άμεσα εκδόθηκαν προειδοποιήσεις για θαλάσσια κύματα βαρύτητας στην Νέα Ζηλανδία, στην Αυστραλία, στη Ρωσία, στο Γκουάμ, στις Φιλιππίνες, στην Ινδονησία, στη Παπούα Νέα Γουινέα, στο Ναουρού, στη Χαβάη, στις Βόρειες Μαριάνες (ΗΠΑ) και στην Ταϊβάν. Το μέγιστο ύψος του κύματος που καταγράφηκε ήταν 40,5m (<https://el.wikipedia.org>, 1/2/2019).



Χάρτης.3: Το πιθανό ύψος των κυμάτων μετά τον σεισμό των 9 Ρίχτερ στη βορειανατολική Ιαπωνία (Πηγή: NOAA)

Τα αποτελέσματα που επέφερε το θαλάσσιο κύμα βαρύτητας ήταν 15.894 νεκροί, και 6.152 άνθρωποι τραυματισμένοι. Το θαλάσσιο κύμα βαρύτητας συμπαρέσυρε σπίτια, κτίρια και αυτοκίνητα έως και 20 χιλιόμετρα μέσα στο εσωτερικό της στεριάς (<https://el.wikipedia.org>, 1/2/2019).

## Ελλάδα

Το πιο παλιό θαλάσσιο κύμα βαρύτητας που έχει καταγραφεί στην Ελλάδα είναι το 497π.χ. το οποίο κατέστρεψε τον περσικό στόλο στην Ποτίδαια της Χαλκιδικής (Καρύμπαλης, 2010).

Το 1490π.χ. εκδηλώθηκε θαλάσσιο κύμα βαρύτητας το οποίο θεωρήθηκε ότι ήταν η αιτία που καταστράφηκε ο μινωικός πολιτισμός και οφείλεται στην έκρηξη του ηφαιστείου της Σαντορίνης. Από τη δημιουργία της καλδέρας και την κατάρρευση του ηφαιστειακού κώνου δημιουργήθηκε ένα θαλάσσιο κύμα βαρύτητας το οποίο έφτασε μέχρι τις βόρειες ακτές τις Κρήτης. Το ύψος του έφτασε τα 120 μέτρα (Καρύμπαλης, 2010).

Αργότερα το 365μ.Χ άλλο ένα θαλάσσιο κύμα βαρύτητας προκλήθηκε από σεισμό μεγέθους 8,2 της κλίμακας Ρίχτερ. Το αποτέλεσμα αυτό του κύματος ήταν 50000 θύματα (Καρύμπαλης, 2010).

Το τελευταίο μεγάλο θαλάσσιο κύμα βαρύτητας που καταγράφηκε στην Ελλάδα ήταν στις 9 Ιουλίου 1956 και έπληξε σχεδόν ολόκληρο το Αιγαίο από ένα σεισμό

μεγέθους 7.4 βαθμών της κλίμακας Ρίχτερ αλλά και από έναν επίσης ισχυρό μετασεισμό 7,2 βαθμών της κλίμακας Ρίχτερ. Για το συγκεκριμένο θαλάσσιο κύμα βαρύτητας θα γίνει εκτενέστερη αναφορά σε επόμενες παραγράφους (Καρύμπαλης, 2010).

## **2.6 Κίνδυνος θαλάσσιων κυμάτων βαρύτητας στην Ελλάδα**

Η Ελλάδα είναι μια χώρα με υψηλή σεισμικότητα αλλά δεν δίνει συχνά σεισμούς μεγάλης έντασης, ωστόσο ο κίνδυνος για θαλάσσια κύματα βαρύτητας είναι υπαρκτός. Οι ελληνικές θάλασσες έχουν δώσει τέτοιου είδους κύματα χρόνια πριν τα οποία έχουν καταγραφεί από πολλούς επιστήμονες. Στη συνέχεια παρατίθεται ένα μέρος από τους πίνακες για τα θαλάσσια κύματα βαρύτητας που έχουν γίνει στην Ελλάδα ο οποίος αναφέρεται στην ημερομηνία, στις συντεταγμένες της περιοχής, στο επίκεντρο καθώς και στη περιοχή με μέγιστο ύψος κύματος των Παπαζάχος και Παπαζάχου, (2003).

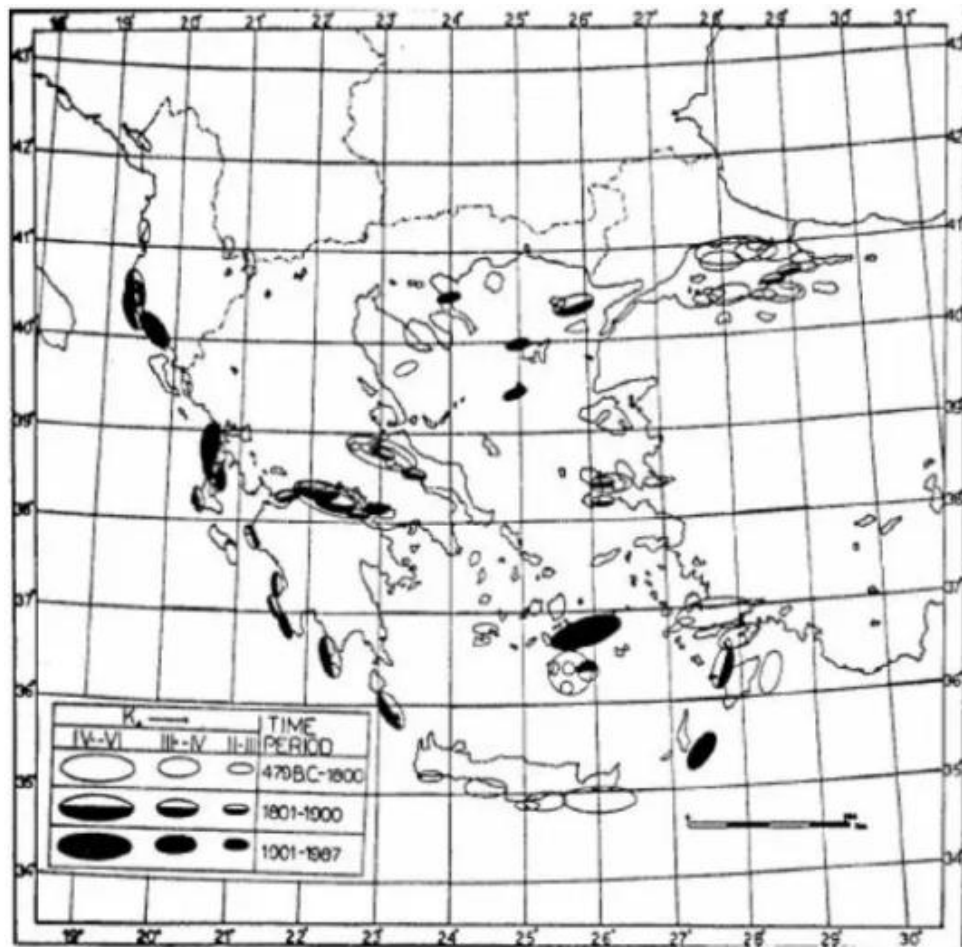
| No | Ημερομηνία      | $\varphi^{\circ}_N$ | $\lambda^{\circ}_E$ | M   | Περιοχή<br>σεισμού       | Περιοχή με<br>μέγιστο<br>ύψος<br>κύματος | K <sub>0</sub> |
|----|-----------------|---------------------|---------------------|-----|--------------------------|------------------------------------------|----------------|
| 1  | 22 Φεβ. 1723    | 38,6                | 20,65               | 6,7 | Λευκάδα                  | Ληξούρι                                  | II+            |
| 2  | Νοεμ. 1732      | 39,5                | 20,1                | 6,5 | Κέρκυρα                  | Κέρκυρα                                  | II             |
| 3  | 1735            | 36,8                | 24,5                | 6,5 | Μήλος                    | Μήλος                                    | II             |
| 4  | 31 Ιαν. 1741    | 36,2                | 28,5                | 7,3 | Α. Ρόδος                 | Ρόδος                                    | IV             |
| 5  | 14 Μαΐου 1748   | 38,2                | 22,2                | 6,6 | Δ. Κορινθιακός<br>κόλπος | Αίγιο                                    | IV             |
| 6  | 11 Ιουνίου 1794 | 38,3                | 22,4                | 6,7 | Κορινθιακός<br>κόλπος    | Γαλαξίδι                                 | IV             |
| 7  | 8 Ιουνίου 1804  | 38,2                | 21,7                | 6,4 | Πατραϊκός<br>κόλπος      | Πάτρα                                    | III            |
| 8  | 23 Αυγ. 1817    | 38,3                | 22,1                | 6,6 | Δ. Κορινθιακός<br>κόλπος | Αίγιο                                    | IV             |
| 9  | 29 Δεκ. 1820    | 37,7                | 21,1                | 6,9 | Ζάκυνθος                 | Ζάκυνθος                                 | III            |
| 10 | 18 Οκτ. 1843    | 36,3                | 27,7                | 6,4 | Ν. Αιγαίο                | Χάλκη                                    | IV             |
| 11 | 12 Οκτ. 1851    | 40,7                | 19,4                | 6,8 | Κόλπος Αυλώνας           | Αυλώνα                                   | III            |
| 12 | 18 Αυγ. 1853    | 38,4                | 23,4                | 6,6 | Ν. Κόλπος<br>Εύβοιας     | Θήβα                                     | II             |
| 13 | 13 Νοεμ. 1856   | 38,4                | 26,1                | 6,3 | Α. Χίος                  | Χίος                                     | III+           |
| 14 | 26 Δεκ. 1861    | 38,25               | 22,16               | 6,7 | Δ. Κορινθιακός<br>κόλπος | Βαλιμιτικά                               | IV             |
| 15 | 31 Ιαν. 1866    | 36,4                | 25,4                | 6,1 | Θήρα                     | Θήρα                                     | IV             |
| 16 | 6 Φεβ. 1866     | 36,0                | 23,0                | 6,8 | Κύθηρα                   | Κύθηρα                                   | IV             |
| 17 | 4 Φεβ. 1867     | 38,39               | 20,52               | 7,4 | Κεφαλονιά                | Ληξούρι                                  | II             |
| 18 | 7 Μαρ. 1867     | 39,25               | 26,21               | 6,8 | Λέσβος                   | Μυτιλήνη                                 | II             |
| 19 | 20 Σεπτ. 1867   | 36,73               | 22,45               | 6,8 | Ν. Μάνη                  | Γύθειο                                   | IV             |
| 20 | 28 Δεκ. 1869    | 38,85               | 20,80               | 6,4 | Λευκάδα                  | Λευκάδα                                  | II             |
| 21 | 3 Απρ. 1881     | 38,2                | 26,1                | 6,5 | Χίος                     | Χίος                                     | II+            |
| 22 | 27 Αυγ. 1886    | 37,1                | 21,5                | 7,5 | Δ. Φιλιατρά              | Φιλιατρά                                 | III            |
| 23 | 3 Οκτ. 1887     | 38,05               | 22,65               | 6,2 | Κορινθιακός<br>κόλπος    | Ξυλόκαστρο                               | II+            |
| 24 | 9 Φεβ. 1893     | 40,59               | 25,53               | 6,8 | Σαμοθράκη                | Σαμοθράκη                                | III            |
| 25 | 27 Απρ. 1894    | 38,66               | 23,04               | 7,2 | Ευβοϊκός<br>κόλπος       | Κυπαρίσσι                                | III            |
| 26 | 22 Ιαν. 1899    | 37,2                | 21,6                | 6,6 | Κυπαρισσιακός<br>κόλπος  | Μαραθούπολη                              | III            |
| 27 | 27 Νοεμ. 1914   | 38,72               | 20,62               | 6,3 | Λευκάδα                  | Λευκάδα                                  | IV             |
| 28 | 7 Αυγ. 1925     | 38,50               | 20,62               | 6,7 | Ιθάκη                    | Ιθάκη                                    | III            |
| 29 | 26 Σεπτ. 1923   | 40,45               | 23,76               | 7,0 | Κόλπος Ιερισσού          | Ιερισσός                                 | III            |
| 30 | 6 Οκτ. 1947     | 36,96               | 21,68               | 7,0 | Δ. Πύλος                 | Μεθώνη                                   | III            |
| 31 | 9 Φεβ. 1948     | 35,5                | 27,2                | 7,1 | Κάρπαθος                 | Κάρπαθος                                 | IV             |

| No        | Ημερομηνία          | $\varphi^{\circ}_N$ | $\lambda^{\circ}_E$ | M          | Περιοχή<br>σεισμού    | Περιοχή με<br>μέγιστο<br>ύψος<br>κύματος | K <sub>o</sub> |
|-----------|---------------------|---------------------|---------------------|------------|-----------------------|------------------------------------------|----------------|
| 32        | 22 Απρ. 1948        | 38,71               | 20,57               | 6,5        | Λευκάδα               | Βασιλική                                 | III            |
| 33        | 23 Ιουλ. 1949       | 38,58               | 26,23               | 6,7        | Χίος                  | Χίος                                     | III            |
| 34        | 16 Ιουλ. 1955       | 37,55               | 27,05               | 6,9        | Σάμος                 | Πυθαγόρειο                               | III            |
| <b>35</b> | <b>9 Ιουλ. 1956</b> | <b>36,64</b>        | <b>25,96</b>        | <b>7,5</b> | <b>Αμοργός</b>        | <b>N. Αμοργός</b>                        | <b>V</b>       |
| 36        | 19 Φεβ. 1968        | 39,5                | 25,00               | 7,1        | Άγιος<br>Ευστράτιος   | Μυρίνα                                   | III            |
| 37        | 24 Φεβ. 1981        | 38,07               | 23,00               | 6,7        | Κόλπος<br>Αλκυονίδων  | Αλκυονίδες                               | II             |
| 38        | 6 Αυγ. 1983         | 40,0                | 24,7                | 6,8        | Λήμνος                | Μυρίνα                                   | II+            |
| 39        | 15 Ιουνίου 1995     | 38,36               | 22,23               | 6,4        | Κορινθιακός<br>κόλπος | Διακοφτό                                 | III            |

Πίνακας.1: Πληροφορίες για τσουναμογόνους σεισμούς στην Ελλάδα (Πηγή:  
Παπαζάχος και Παπαζάχου, 2003)

Σύμφωνα με μελέτες που έχουν δημοσιευτεί από τον Παπαζάχο και τους συνεργάτες του (1986) αλλά παρατηρώντας και τον παρακάτω χάρτη οι πιθανές περιοχές που κινδυνεύουν από θαλάσσια κύματα βαρύτητας στην Ελλάδα είναι το δυτικό μέρος του Κορινθιακού Κόλπου, ο Μαλιακός Κόλπος, το βόρειο τμήμα του Ευβοϊκού, οι Κυκλάδες, η Κρήτη, το νοτιοανατολικό Αιγαίο και οι δυτικές ακτές της Ελλάδας. Σύμφωνα με τον κ. Συνολάκη καθηγητή της Υδραυλικής στο Πανεπιστήμιο της Νότιας Καλιφόρνιας αν ο ελληνικός βυθός είχε χαρτογραφηθεί λεπτομερώς θα ήταν πολύ πιο εύκολο να αποτυπωθούν ποιες περιοχές κινδυνεύουν περισσότερο.





Χάρτης.4: Πιθανές τσουναμογενείς ζώνες στην Ελλάδα. Η ένταση των θαλάσσιων κυμάτων βαρύτητας μετριέται σύμφωνα με την εξαβάθμια κλίμακα Sieberg – Ambraseys (Πηγή: Παπαζάχος και Παπαζάχου, 2003)

## 2.7 Η σεισμική ζώνη Benioff στο νότιο Αιγαίο

Η ύπαρξη της ζώνης Benioff στο νότιο Αιγαίο οφείλεται στον ακριβή καθορισμό του βάθους της εστίας των σεισμών ενδιάμεσου βάθους. Η διαπίστωση της ύπαρξης αυτής της ζώνης δείχνει την υποβύθιση της λιθόσφαιρας της ανατολικής Μεσογείου κάτω από αυτή του Αιγαίου. Πρόσφατα δεδομένα δείχνουν ότι η ζώνη αυτή αποτελείται από ένα επιφανειακό τμήμα ( $h < 100$ ) και ένα βαθύτερο τμήμα ( $100\text{km} < h < 180\text{km}$ ) με διαφορετικές κλίσεις. Στη ζώνη Benioff οι σεισμοί συμβαίνουν μόνο στο πάνω μέρος της ζώνης που βυθίζεται γιατί είναι το μέρος που τρίβεται με την υπερκείμενη πλάκα και εξαιτίας αυτού δημιουργούνται παραμορφώσεις (Παπαζάχος και Παπαζάχου, 2003).

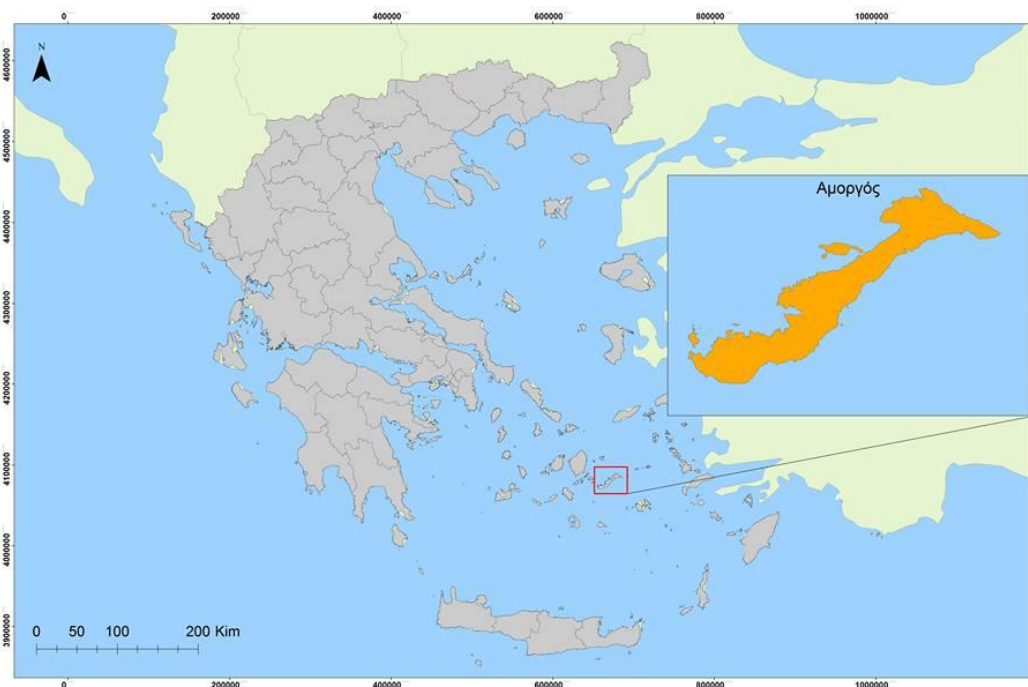
Η ζώνη Benioff του ελληνικού τόξου εκτείνεται στο νότιο και κεντρικό Αιγαίο και χωρίζεται σε τρεις περιοχές (<https://el.wikipedia.org>, 10/11/2018):

- Η μια περιλαμβάνει την Κρήτη, τη Ρόδο, τη νότια Πελοπόννησο και τα νότια Επτάνησα και δίνει επιφανειακούς σεισμούς βάθους 0–60km
- Μια δεύτερη περιοχή η οποία συμπίπτει με το ηφαιστειακό τόξο και δίνει σεισμούς ενδιάμεσου βάθους περίπου 100km και
- Τέλος, η Τρίτη περιοχή αντιστοιχεί στο κεντρικό Αιγαίο στο κάτω μέρος της Αφρικανικής πλάκας, και δίνει σεισμούς με μέσο βάθος περίπου 160km.

## Κεφάλαιο 3: Το θαλάσσιο κύμα βαρύτητας της 9<sup>ης</sup> Ιουλίου 1956

### 3.1 Γεωγραφική θέση της Αμοργού

Η Αμοργός ανήκει στο Νομό Κυκλάδων, βρίσκεται νοτιοανατολικά της Νάξου και βορειοδυτικά της Αστυπάλαιας στο νότιο Αιγαίο με πρωτεύουσα τη Χώρα. Η επιφάνεια της έχει έκταση 121 km<sup>2</sup>, βρίσκεται σε υψόμετρο 823 μέτρων από την επιφάνεια της θάλασσας και έχει μήκος ακτών 126 χιλιομέτρων. Το σχήμα της είναι επίμηκες με προσανατολισμό από τα ΒΑ προς τα ΝΔ. Η μορφολογία της είναι ορεινή και απότομη. Διαθέτει δύο φυσικά λιμάνια ένα στο κέντρο τα Κατάπολα και στα βόρεια του νησιού την Αιγιάλη. Σύμφωνα με την απογραφή του 2011 έχει πληθυσμό 1950 κατοίκους.



Χάρτης.5: Χάρτης απεικόνισης της περιοχής μελέτης (Πηγή: ίδια επεξεργασία)

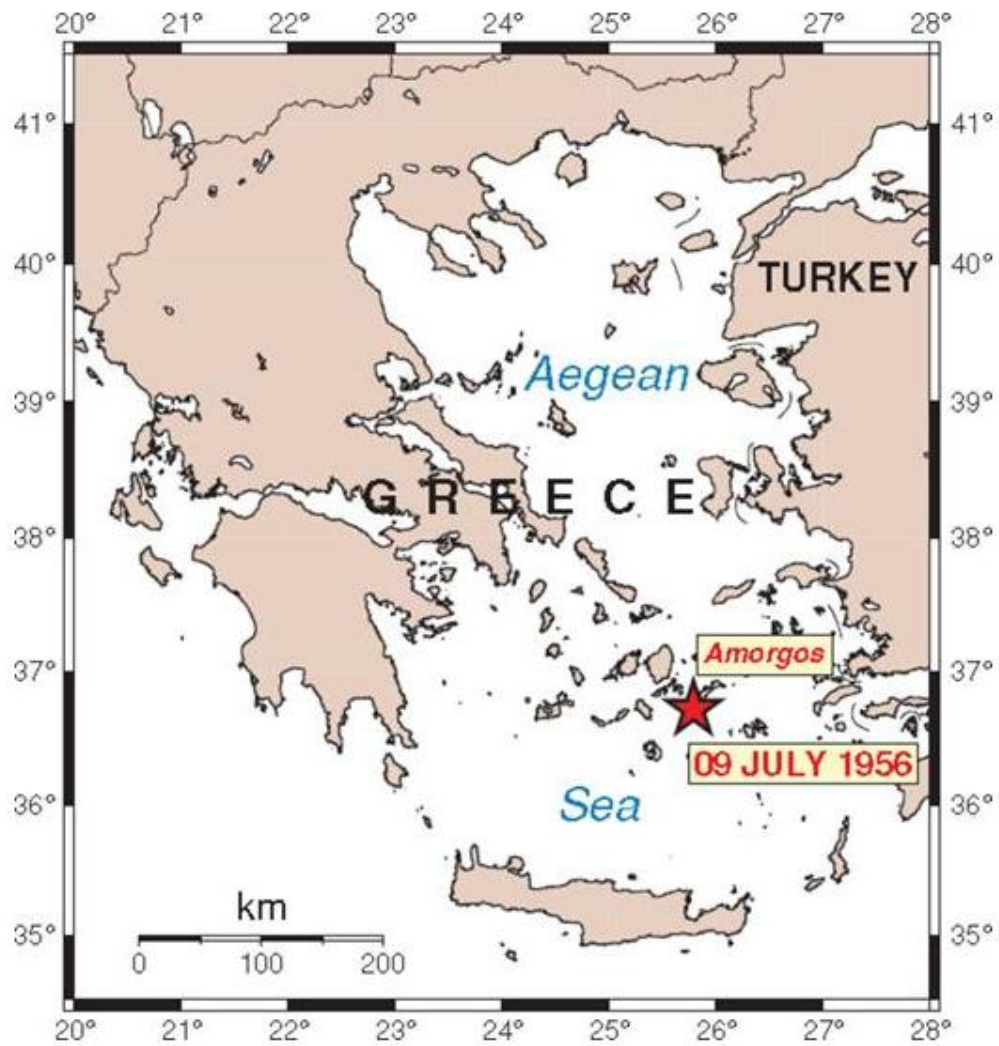
### 3.2 Ο σεισμός της Αμοργού το 1956

Στις 9 Ιουλίου το 1956 στο νοτιοανατολικό Αιγαίο εκδηλώθηκε ένας από τους πιο καταστροφικούς σεισμούς που συνέβη στην Ελλάδα τον περασμένο αιώνα και πιο συγκεκριμένα στη θαλάσσια περιοχή ανάμεσα στην Αμοργό και την Αστυπάλαια. Το επίκεντρο του σεισμού καταγράφηκε με συντεταγμένες επικέντρου στις  $36^{\circ} 54' \text{N}$ ,  $26^{\circ} 00' \text{E}$  και είχε ένταση 7,4 Ρίχτερ ενώ 13 λεπτά αργότερα ακολούθησε ένας εξίσου ισχυρός μετασεισμός έντασης 7,2 Ρίχτερ με επίκεντρο τις συντεταγμένες  $36^{\circ} 48' \text{N}$ ,  $25^{\circ} 12' \text{E}$  το οποίο βρίσκεται 5 χιλιόμετρα Α-ΒΑ της Σαντορίνης (Γαλανόπουλος, 1957).

Ο σεισμός αυτός προκάλεσε σοβαρές βλάβες στα νησιά Σαντορίνη, Αμοργός, Ανάφη, Αστυπάλαια, Πάρο, Νάξο, Κάλυμνο, Λέρο, Πάτμο και Λειψούς. Αμέσως μετά το σεισμό εκδηλώθηκε θαλάσσιο κύμα βαρύτητας το οποίο κατέκλυσε αρκετά μέτρα και προκάλεσε εξίσου σημαντικές ζημιές. Το ύψος του θαλάσσιου κύματος βαρύτητας έφτασε τα 25 μέτρα στη νοτιοανατολική ακτή της Αμοργού, τα 20 μέτρα στη βορειοανατολική πλευρά της Αστυπάλαιας και τα 10 μέτρα στη Φολέγανδρο ενώ πιο ασθενές έφτασε το κύμα σε άλλες ακτές του νοτίου Αιγαίου μέχρι τα παράλια της Τουρκίας. Στο σύνολο 3760 κτίρια υπέστησαν ζημιές από αυτά 529 σπίτια καταστράφηκαν, 1482 έπαθαν σοβαρές βλάβες και 1750 ελαφρές. Σύμφωνα με εφημερίδες της εποχής υπήρξαν 53 θύματα από τα οποία 16 ήταν παιδιά και 100 τραυματίες. (Ambraseys, 1960)

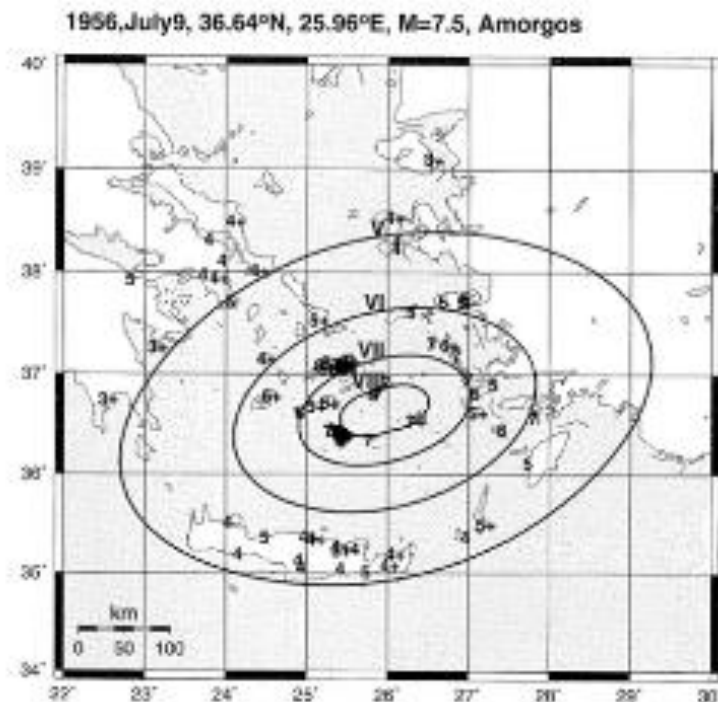
Οι τιμές που παρατηρήθηκαν είναι η υψηλότερες που έχουν καταγραφεί τον 20<sup>ο</sup> αιώνα σε ολόκληρη τη λεκάνη της Μεσογείου (Solon'ev *et al.* 2000). Αυτό οδήγησε τον Γαλανόπουλο (1957) και αργότερα τον Ambraseys (1960) να προτείνει μια υποβρύχια κατολίσθηση (ή μια σειρά κατολισθήσεων) ως πηγή του θαλάσσιου κύματος βαρύτητας.





Χάρτης.6: Με κόκκινο αστέρι αποτυπώνεται το επίκεντρο του σεισμού των 7.5 Ρίχτερ στις 09/07/1956 (Πηγή: Ambraseys, 1960)

Το μέγεθος του σεισμού της Αμοργού αλλά και το εντυπωσιακό μέγεθος του θαλάσσιου κύματος βαρύτητας προκάλεσαν το ενδιαφέρον της επιστημονικής κοινότητας.



Χάρτης.7: Ο χάρτης δείχνει ισόσειστες καμπύλες οι οποίες χωρίζουν τις περιοχές της ίδιας έντασης (Πηγή:Parazachos,1998)

### 3.3 Μηχανισμοί γένεσης του σεισμού

Η εστία του κύριου σεισμού (03:11:43.7 GMT) όπως προσδιορίσθηκε από τον (Ambraseys,1960) με συντεταγμένες  $36^{\circ}54'N$ ,  $26^{\circ}00'E$  βρίσκεται 20 χιλιόμετρα νότια της Αμοργού και σε βάθος περίπου 15 χιλιομέτρων. Το μέγεθος του σεισμού ήταν 7,4 Ρίχτερ και ακολούθησε 13 λεπτά αργότερα (03:24:16.5 GMT) ένας μετασεισμός ο μεγαλύτερος από αυτούς που έλαβαν χώρα, μεγέθους 7.2 Ρίχτερ. Το εστιακό βάθος του μεγαλύτερου μετασεισμού είχε συντεταγμένες  $36^{\circ}48'N$ ,  $25^{\circ}12'E$  και προσδιορίζεται 5 χιλιόμετρα βορειοανατολικά της Σαντορίνης σε βάθος περίπου 95 χιλιομέτρων (Ambraseys, 1960).

Διάφοροι συγγραφείς έχουν προτείνει μηχανισμούς γένεσης για τον σεισμό της Αμοργού οι οποίοι γενικά εμπίπτουν σε δύο κατηγορίες κάποιοι προτείνουν το σενάριο των οριζόντιων ρηγματώσεων (strike-slip solution) [Parazachos & Delibassis, 1969, Ritsema, 1974] και κάποιοι άλλοι το σενάριο της κανονικής ρηγμάτωσης (normal faulting) [Shirokova, 1972] το οποίο ερμηνεύεται ευκολότερα στο τοπικό τεκτονικό πλαίσιο της περιοχής (Paradopoulos & Pavlides, 1992).

Οι μηχανισμοί γένεσης καθορίστηκαν από τους Okal, Synolakis & Yalciner et al. (2004) και έγινε με την εφαρμογή του αλγόριθμου PDFM (Preliminary Determination of Focal Mechanism) η οποία αναστρέφει τα κύματα Rayleigh και

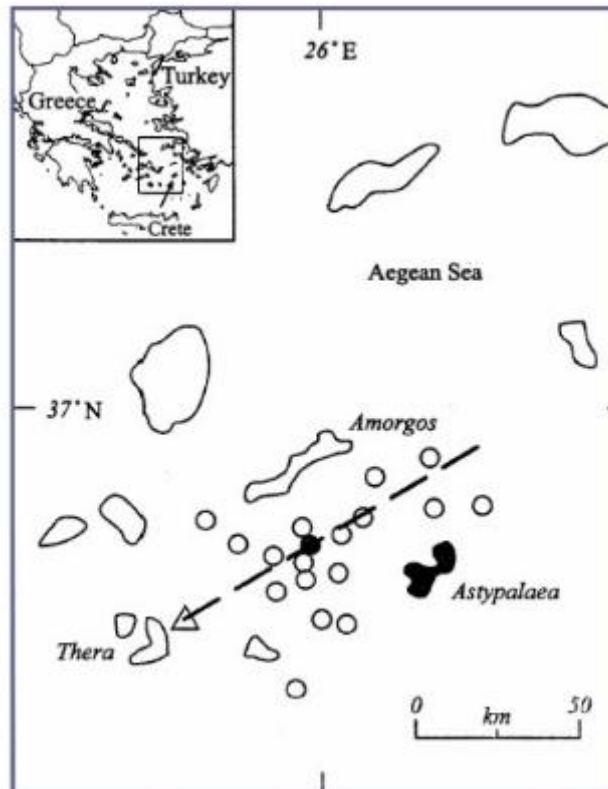
Love και χρησιμοποιεί μόνο φασματικά πλάτη, αγνοώντας τις πληροφορίες φάσης από τα σειсмоγράμματα. Η μέθοδος είναι ιδιαίτερα χρήσιμη καθώς προσδιορίζει το μέγεθος ροπής ιστορικών σεισμών δεδομένου ότι δεν επηρεάζεται από τα σφάλματα στους σχετικούς χρόνους ανάμεσα στους σταθμούς μέτρησης και αρκούν οι τιμές δεδομένων μόνο από τρεις σταθμούς ενώ παράλληλα παρέχουν επαρκή αζιμουθιακή κάλυψη για την εκτίμηση του μεγέθους ενός σεισμού (Okal & Reymond, 2003). Το αποτέλεσμα της έρευνας είναι οι εξής δύο λύσεις: λύση πρώτη (διεύθυνση/κλίση/ολίσθηση):  $39^{\circ}$  /  $25^{\circ}$  /  $246^{\circ}$  και λύση δεύτερη (διεύθυνση/κλίση/ολίσθηση):  $245^{\circ}$  /  $67^{\circ}$  /  $281^{\circ}$ . Το αποτέλεσμα της έρευνας απέδωσε το σενάριο ότι ο κύριος σεισμός προτάθηκε από κανονική διάρρηξη που οφείλεται στη ρηξιγενή ζώνη B.A-N.Δ. προσανατολισμού στο βορειοδυτικό όριο της τάφρου Αμοργού-Αστυπάλαιας (Okal et al., 2009).

### 3.4 Ο προσεισμός και η μετασεισμική ακολουθία

“ Προσεισμοί και μετασεισμοί ονομάζονται εκείνοι οι σεισμοί που προηγούνται ή ακολουθούν έναν κύριο σεισμό, αντίστοιχα. Οι προσεισμοί δεν είναι πάντα απαραίτητο να εκδηλώνονται πριν από ένα μεγάλο σεισμό, ενώ σχεδόν πάντα μετά από ισχυρούς σεισμούς εκδηλώνονται οι μετασεισμοί ”. Η διάρκεια ενός μετασεισμού αλλά και το πόσες φορές θα εκδηλωθεί ένας μετασεισμός εξαρτάται από το μέγεθος του κύριου σεισμού αλλά και από τις φυσικές ιδιότητες του σεισμογόνου χώρου (<http://www.moa.gov.cy>, 6/12/2018).

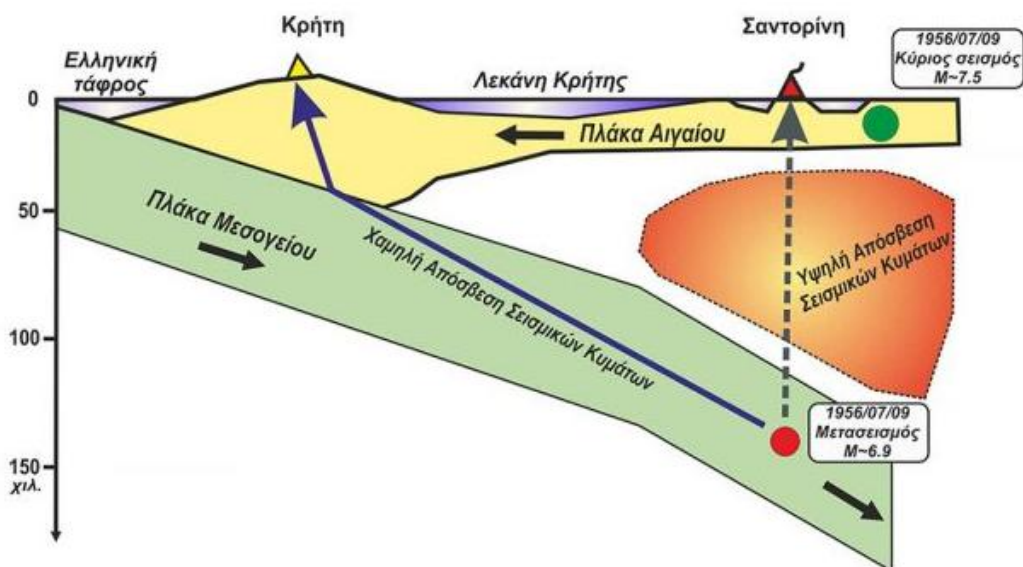
Ο σεισμός αυτός προειδοποίησε με έναν προσεισμό στις 8 Ιουλίου και ώρα 13:06 με ένταση 4.9 βαθμούς της κλίμακας Ρίχτερ. Οι μετασεισμοί που ακολούθησαν έφτασαν σε αριθμό τους 257 μέχρι το πρωί της 10<sup>ης</sup> Ιουλίου 1956. Το Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών ανέφερε πως οι 7 ήταν μέτριας έντασης, οι 11 ασθενείς και οι υπόλοιποι ελαφριοί. Ο μεγαλύτερος μετασεισμός έγινε στις 05:24 τοπική ώρα Ελλάδος, 13 λεπτά μετά τον κύριο σεισμό ενώ το μέγεθος του ήταν 7,2 βαθμοί της κλίμακας Ρίχτερ (Εφημερίδα το βήμα, 1956).

Στο παρακάτω σχήμα απεικονίζονται οι μετασεισμοί που έγιναν μέχρι το Φεβρουάριο του 1957 (Μακροπουλος, 1989). Από τον τρόπο που είναι κατανοημένοι οι μετασεισμοί προτάθηκε η ζώνη διάρρηξης με διεύθυνση BA-ND και συμπίπτει με τον άξονα που χωρίζει τα νησιά Αμοργός και Αστυπάλαια (Okal et al., 2009).



Χάρτης.8: Η εστία του μεγάλου σεισμού ( $M_s = 7.4$ ) της 9ης Ιουλίου 1956 και των δεκαεπτά μετασεισμών (άσπροι κύκλοι). Το τρίγωνο αντιπροσωπεύει τη θέση του μεγαλύτερου μετασεισμού ( $M_s = 7.2$ ). Η διακεκομμένη γραμμή δείχνει την πιο πιθανή θέση του ρήγματος. (Πηγή: Dominey-Howes, 2002)

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται ότι ο κύριος σεισμός απεικονιζόμενος με πράσινο κύκλο έγινε μέσα στην πλάκα του Αιγαίου, σε μικρό βάθος πολύ κοντά στη Σαντορίνη, προκαλώντας σημαντικές ζημιές και καταστροφές στο νησί. Ο μετασεισμός 13 λεπτά αργότερα απεικονιζόμενος με κόκκινο κύκλο προκλήθηκε από τον κύριο σεισμό σε μεγαλύτερο βάθος, στην πλάκα της Μεσογείου που βυθίζεται κάτω από το Αιγαίο και δεν ήταν επιφανειακός αλλά βάρους (<https://atlantea.news>, 10/12/2018).



Σχήμα.2: Η βύθιση της πλάκας της Μεσογείου κάτω από του Αιγαίου (Πηγή: <https://atlantea.news>)

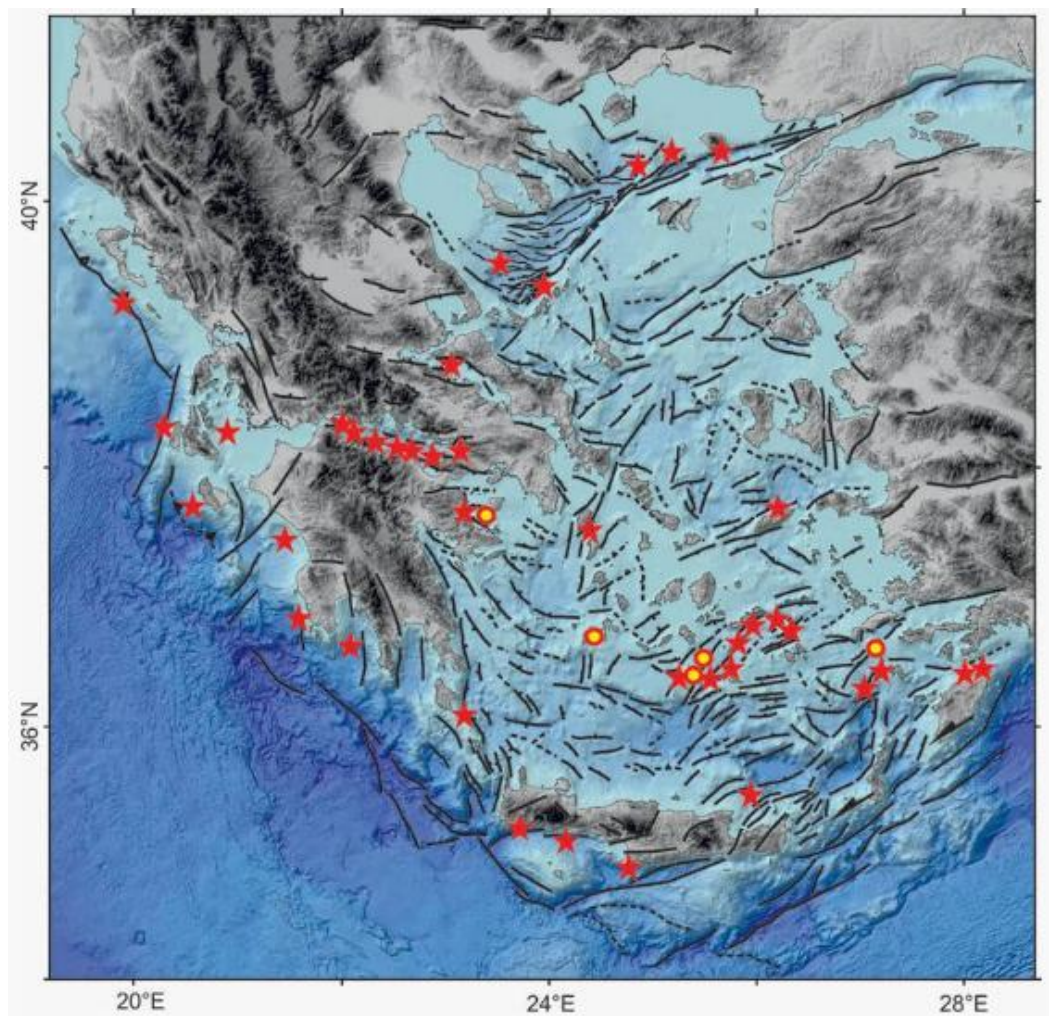
### 3.5 Το ενδεχόμενο της υποθαλάσσιας κατολίσθησης

Σύμφωνα με ερευνητές και στοιχεία για το φαινόμενο, η αιτία που δημιουργήθηκε το θαλάσσιο κύμα βαρύτητας ίσως να οφείλεται σε μια υποβρύχια κατολίσθηση ή μια σειρά κατολισθήσεων που προκλήθηκαν από το σεισμικό σοκ.

Είναι πολύ πιθανό ότι η αιτία του κύματος δεν ήταν μια μονοπολική διαταραχή, όπως μια καθίζηση του θαλάσσιου βυθού, αλλά μάλλον μια σειρά από υποθαλάσσιες κατολισθήσεις. Οι απότομες πλαγιές των αποθέσεων στις πλευρές της υποθαλάσσιου τάφρου της Αμοργού θα μπορούσαν εύκολα να ολισθήσουν υπό την επίδραση μιας τέτοιας έντονης σεισμικής δόνησης. Το γεγονός ότι η διάρκεια της επιφανειακής διαταραχής της θάλασσας κοντά στη πηγή που δημιουργήθηκε το κύμα ήταν τόσο μεγάλη (πάνω από 28 ώρες) δείχνει ότι η πηγή θα έπρεπε να ήταν διπολικού τύπου, δεδομένου ότι τα κύματα που παράγονται από τις υποβρύχιες καθιζήσεις είναι αδύναμα (Ambraseys, 1960).

Οι ελληνικές θάλασσες και πιο συγκεκριμένα το Αιγαίο και το Ιόνιο πέλαγος έχουν πληγεί στο παρελθόν από θαλάσσια κύματα βαρύτητας που προκλήθηκαν από υποθαλάσσιες κατολισθήσεις. Σύμφωνα με έρευνες που έγιναν από το ινστιτούτο ωκεανογραφίας του ΕΛΚΕΘΕ οι παράμετροι που χρειάζονται για να δημιουργηθούν υποθαλάσσιες κατολισθήσεις είναι υπαρκτοί στις ελληνικές θάλασσες. Αυτές οι παράμετροι είναι υποθαλάσσιες πλαγιές με μεγάλες κλίσεις που μπορεί να ξεκινούν από βάθος λίγων έως πολλών μέτρων, έντονη σεισμικότητα και πολλά ενεργά υποθαλάσσια ρήγματα αλλά και υλικό μικρής συνοχής που μπορεί να κατολισθήσει (<https://www.dimokratiki.gr>, 16/12/2018).

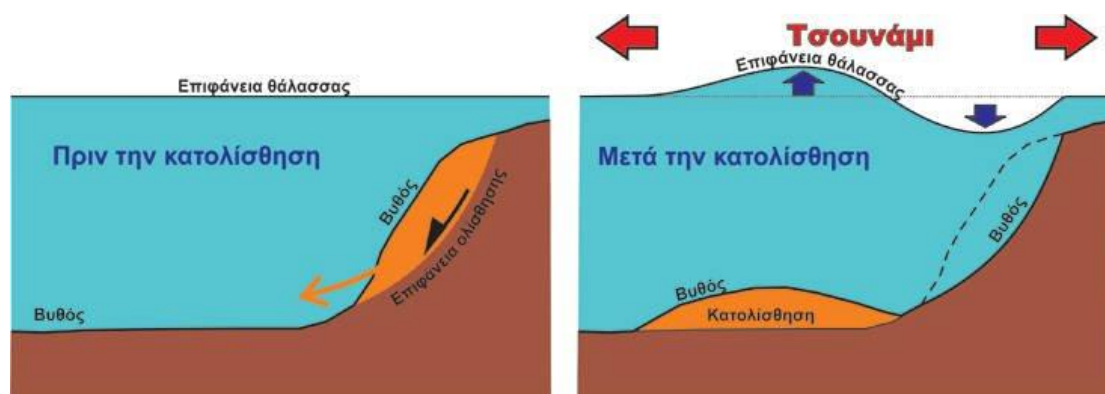




Χάρτης.9: Ενεργά ρήγματα (κόκκινα αστέρια) και κατολισθήσεις (κίτρινοι κύκλοι) στον ελληνικό βυθό (Πηγή: <https://www.dimokratiki.gr>)

Η λεκάνη της Αμοργού έχει κατεύθυνση ΒΑ-ΝΔ με μέγιστο βάθος πάνω από 700 m. Οριοθετείται από δύο πλευρές με απότομα κανονικά ρήγματα με τον ίδιο προσανατολισμό. Τα δύο μεγάλα ρήγματα αποκλίνουν με κατεύθυνση ΒΑ ενώ μικρότερα και παλαιότερα κανονικά ρήγματα με κατεύθυνση Α-Δ και ΝΔ-ΒΑ δημιουργούν την σύνθετη μορφολογία του πυθμένα στο βόρειο μέρος της λεκάνης. Μια θαλάσσια γεωφυσική έρευνα που έγινε στη δυτική πλευρά της λεκάνης έδειξε μια αστάθεια των ιζημάτων μεταξύ των νήσων Σαντορίνης και Ανάφης. Δεν παρατηρήθηκαν παλαιές εναποθέσεις κατά μήκος των πλευρών της λεκάνης αλλά μόνο στο κέντρο με τη διάταξη των στρωμάτων να φαίνεται κάπως μπερδεμένη. Η κατολισθείσα μάζα αποτελείται από μη συνεκτικό ιζηματογενές στρώμα πάχους 50 μέτρων. Οι επιστήμονες εκτιμούν ότι υπάρχουν πολλά απότομα ασταθή πρανή με μεγάλες μορφολογικές κλίσεις κατά μήκος των ρηξιγενών υποθαλάσσιων κρημνών. Τη πιο πρόσφατη κατολίσθηση μπορούν οι ερευνητές να την

χρονολογήσουν από το ίζημα στον πυθμένα αλλά και αν υπάρχει απουσία ενός μέτρου στην επιφάνεια. Η ολίσθηση εκτείνεται κατά μήκος της λεκάνης σε μια περιοχή πλάτους 6 χιλιομέτρων και μήκους 24 χιλιομέτρων στην θάλασσα σε βάθος από 350 μέτρα έως 600 μέτρα. Η πλαγιά της ολίσθησης είναι περίπου 3° και ο συνολικός ιζηματογενής όγκος υπολογίστηκε περίπου  $3,6 \times 10^6 \text{ m}^3$  (Perissoratis & Papadopoulos, 1999).



Σχήμα.3: Δημιουργία θαλάσσιου κύματος βαρύτητας από κατολίσθηση (Πηγή: <https://www.dimokratiki.gr>)

Οι Perissoratis & Papadopoulos, (1999) προσπάθησαν να δείξουν πως η κατολίσθηση προκλήθηκε από τον κύριο σεισμό ή τον μετασεισμό γνωρίζοντας βέβαια το μέγεθος του κύριου σεισμού αλλά και εκείνων που ακολούθησαν καθώς και τις αποστάσεις από την εστία υπολογίζοντας τιμές εδαφικής επιτάχυνσης πολύ υψηλότερες από τις ελάχιστες που απαιτείται για να προκαλέσουν κατολίσθηση.

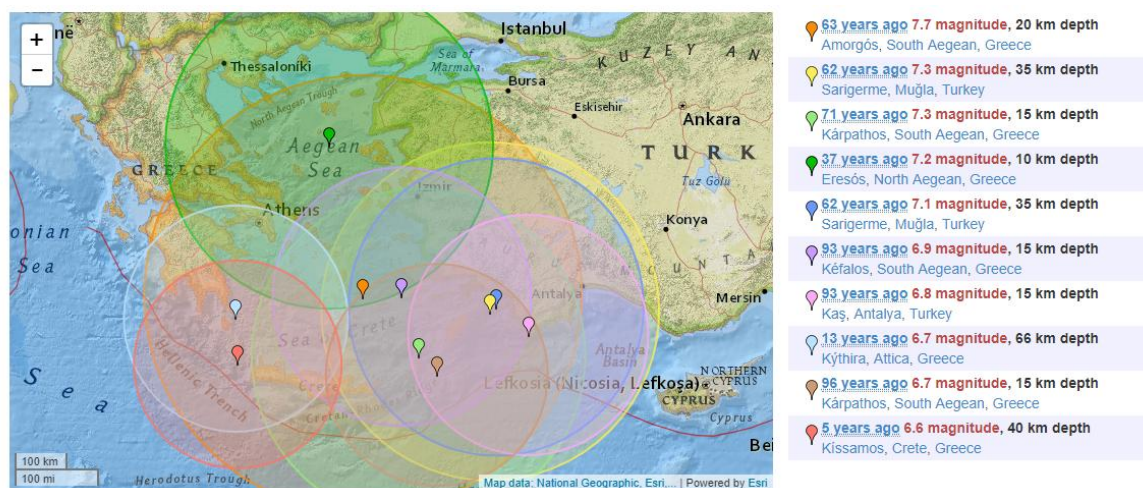
Ο Γαλανόπουλος (1957) βασιζόμενος σε μετρήσεις παλιρροιογράφου από τον νησί της Λέρου, 100 χιλιόμετρα ΒΑ της επικεντρικής περιοχής, ανέφερε ότι το θαλάσσιο κύμα βαρύτητας προκλήθηκε από μια σειρά κατολισθήσεων οι οποίες ενεργοποιήθηκαν 13 λεπτά μετά τον κύριο σεισμό.

### 3.6 Σεισμοί στην περιοχή

Οι περισσότεροι σεισμοί στη περιοχή του νοτίου Αιγαίου είναι επιφανειακοί σεισμοί μικρού εστιακού βάθους. Σύμφωνα με τις τελευταίες εργασίες των σεισμολόγων των σχετικών επιστημονικών φορέων στην Ελλάδα και από τον Parazachos et al, (1989) έχει προταθεί ο χωρισμός του Ελληνικού χώρου σε 4 κατηγορίες ζωνών σεισμικής επικινδυνότητας. Με βάση αυτό τον χωρισμό, η Αμοργός κατατάσσεται στις σεισμόπληκτες περιοχές μέτριας σεισμικής επικινδυνότητας (Ζώνη II) (<http://www.geo.auth.gr>, 15/12/2018).



Στο χάρτη που ακολουθεί φαίνεται η ένταση και το εστιακό βάθος των σεισμών που έχουν γίνει στο νότιο Αιγαίο από το 1923 έως το 2014. Σε αυτό το χρονικό διάστημα ο μεγαλύτερος σεισμός που έχει καταγραφεί είναι της Αμοργού το 1956. Το νότιο Αιγαίο δίνει σεισμούς μεγάλης έντασης αλλά δεν έχει καταγραφεί ξανά σεισμός ίδιας ή και μεγαλύτερης έντασης στο ίδιο επίκεντρο με το σεισμό που έγινε στη θαλάσσια περιοχή ανάμεσα στην Αμοργό και την Αστυπάλαια το 1956.



Χάρτης.10: Οι μεγαλύτεροι σεισμοί στο νότιο Αιγαίο (Πηγή: <https://earthquaketrack.com>)

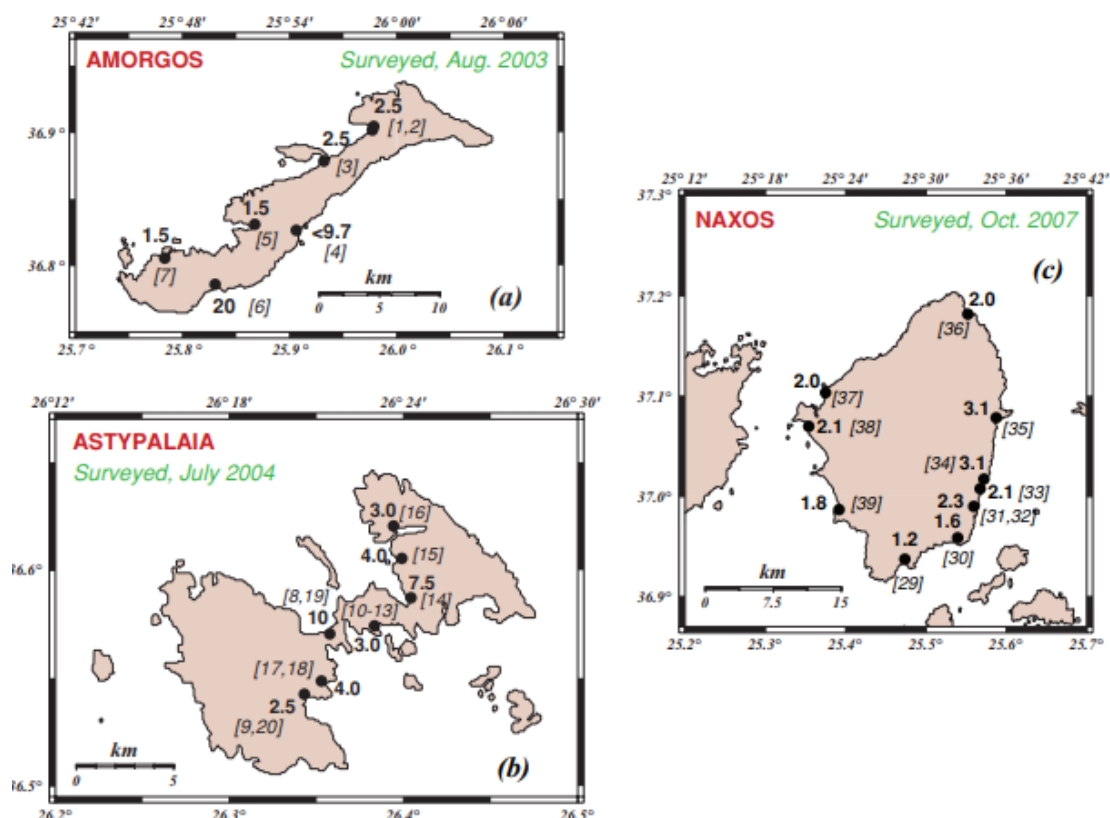
Στις 28 Νοεμβρίου 2018 σημειώθηκε σεισμική δόνηση μεγέθους 4,8 βαθμών της κλίμακας ρίχτερ στις 01.26 τοπική ώρα Ελλάδος στο θαλάσσιο χώρο βορειοδυτικά της Αστυπάλαιας και νοτιοανατολικά της Αμοργού. Το επίκεντρο του σεισμού είναι 28 χιλιόμετρα νοτιοδυτικά της Αμοργού με εστιακό βάθος 12 χιλιομέτρων η περιοχή που σημειώθηκε ο σεισμός προβλημάτισε αρχικά τους ειδικούς καθώς βρίσκεται σε παρόμοιο σημείο με το σεισμό που εκδηλώθηκε το 1956 ενώ στην ίδια περιοχή με παρόμοιο μέγεθος πραγματοποιήθηκε στις 10 Απριλίου 2018. (<https://www.protothema.gr/>, 15/12/2018)

### 3.7 Έρευνα πεδίου για το θαλάσσιο κύμα βαρύτητας

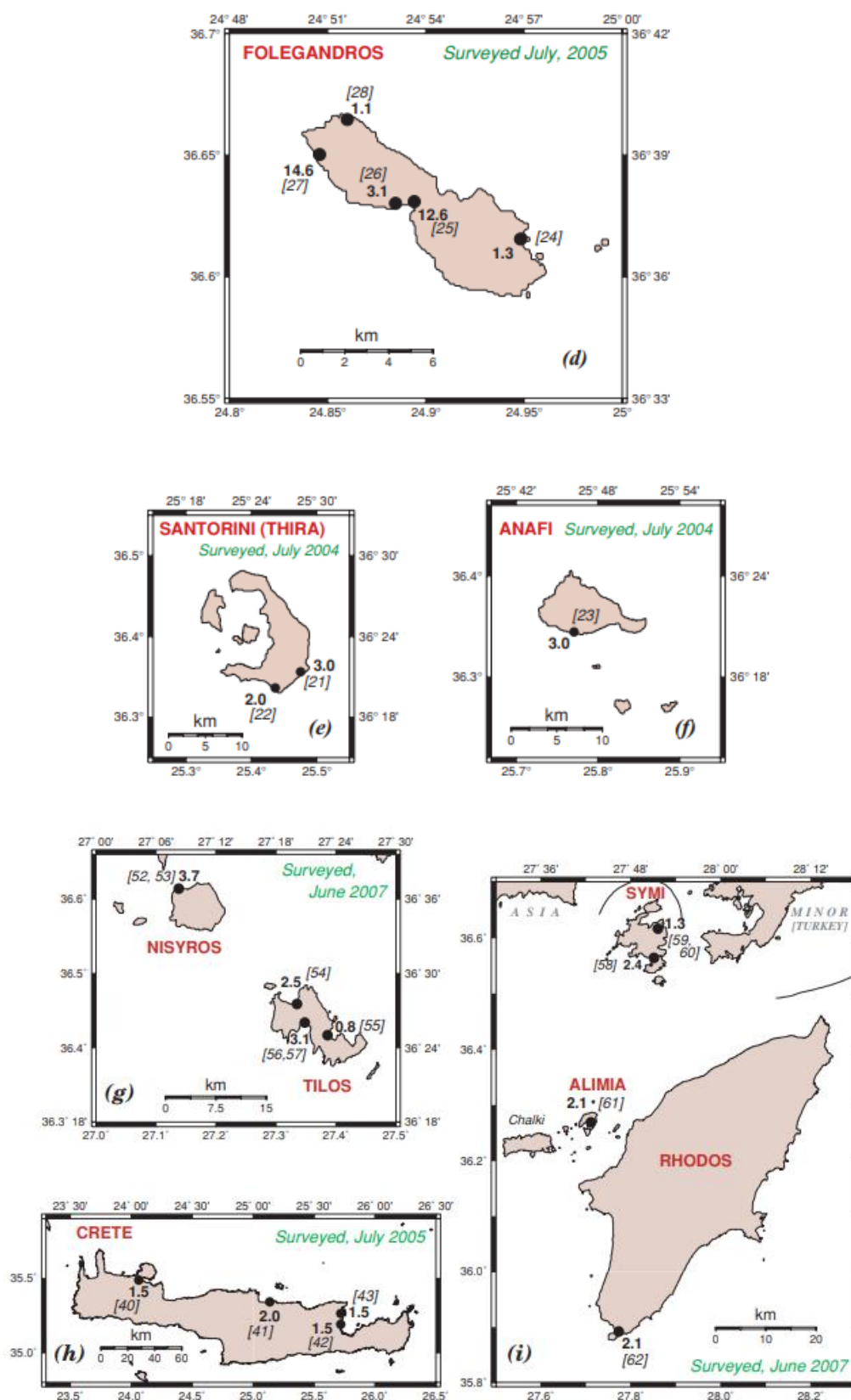
Πολλές από τις περιγραφές των αποτελεσμάτων του θαλάσσιου κύματος βαρύτητας της Αμοργού δημοσιεύθηκαν αρχικά από τους Γαλανόπουλο (1957) και Ambraseys (1960) και αποτελούσαν κυρίως αναφορές χωρίς όμως να γνωρίζουν τις ακριβείς συντεταγμένες για τους σχετικούς χώρους. Σε αυτό το πλαίσιο, πραγματοποιήθηκε μια έρευνα πεδίου για το θαλάσσιο κύμα βαρύτητας που έπληξε το νότιο Αιγαίο για την απόκτηση μιας ποσοτικής βάσης δεδομένων με τιμές αναρρίχησης και

πλημμύρας, με βάση καταγεγραμμένες μαρτυρίες από ηλικιωμένους. Μετά από συνέντευξη σε μεμονωμένους μάρτυρες, εξετάστηκε η ακριβής έκταση της διείσδυσης του κύματος (συνήθως με την παρουσία του μάρτυρα) χρησιμοποιώντας κλασικές τοπογραφικές μεθόδους για να ληφθεί η πλημμύρα, οριζόμενη ως η οριζόντια έκταση της μέγιστης διείσδυσης του κύματος και η αναρρίχηση, οριζόμενη ως το υψόμετρο πάνω από την ανεμπόδιση στάθμη της θάλασσας, στο σημείο της μέγιστης διείσδυσης. Τα δεδομένα προέκυψαν από τις μαρτυρίες και αναπαρίστανται στους παρακάτω χάρτες (Synolakis & Okal, 2005).

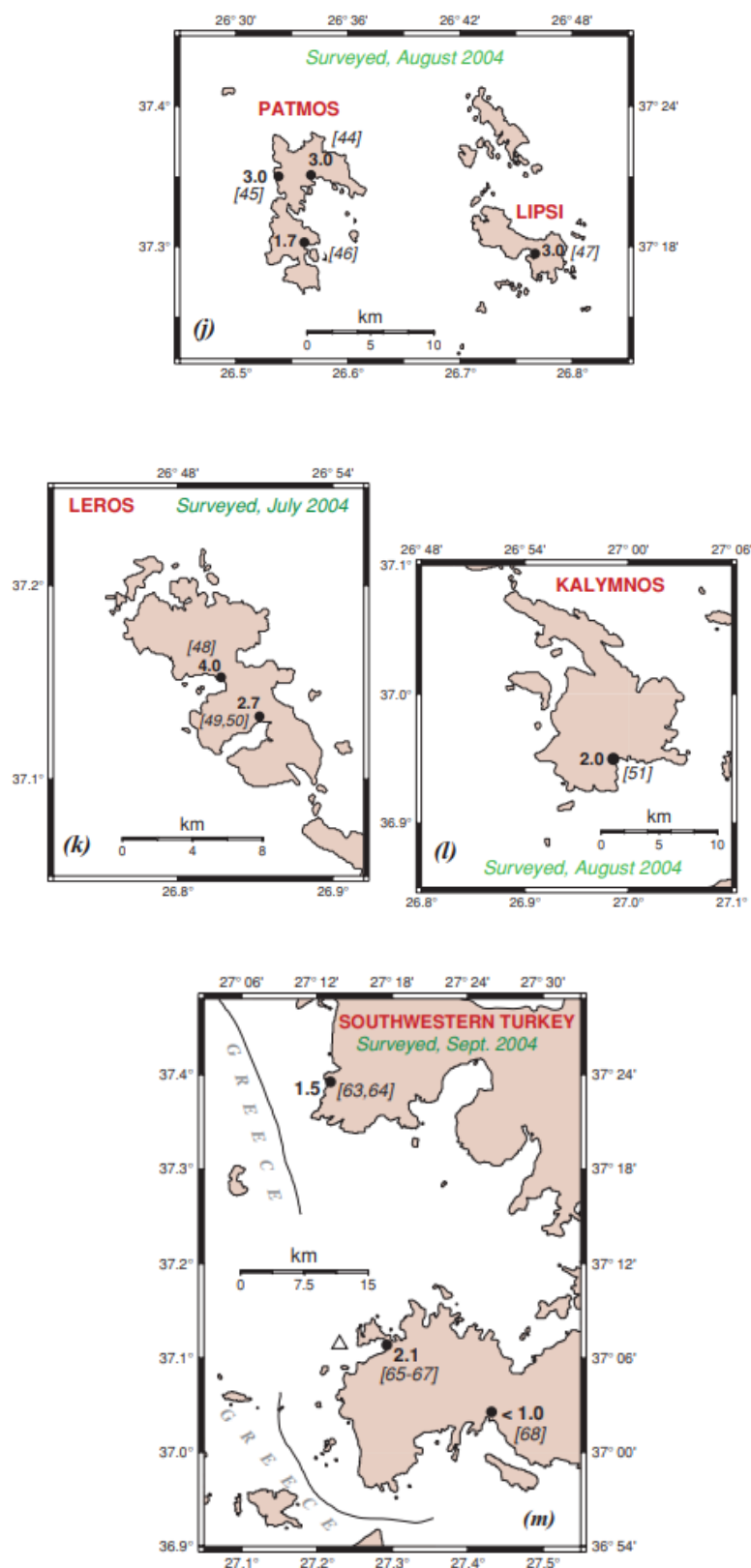
Χρησιμοποιήθηκαν τεχνικές GPS. Δεν πραγματοποιήθηκαν παλιρροιακές διορθώσεις, καθώς τα παλιρροϊκά πλάτη είναι αμελητέα στην λεκάνη της Μεσογείου και ιδιαίτερα στο Αιγαίο, όπου η παλίρροια δεν υπερβαίνει τα 10 εκατοστά. Έτσι ζητήθηκε από τους μάρτυρες να δώσουν όσο μπορούν τη καλύτερη εκτίμηση για το χρόνο άφιξης των κυμάτων. Επίσης σημαντικό είναι ότι ο σεισμός έλαβε χώρα στις 03:11 GMT, ή στις 05:11 τοπική ώρα Ελλάδος το οποίο σημαίνει ότι το θαλάσσιο κύμα βαρύτητας έφτασε σε όλες τις ακτές του Αιγαίου με το φως της ημέρας καθώς η Ελλάδα υιοθέτησε τη θερινή ώρα στα μέσα της δεκαετίας του 70 ενώ λόγω του πρωινού της ώρας δεν υπήρξαν περισσότερα θύματα (Okal et al., 2009).



Χάρτης.11: Η αποτύπωση του θαλάσσιου κύματος βαρύτητας στα νησιά του Αιγαίου. Τα πλάγια γράμματα δείχνουν τις εκτιμήσεις από τις μαρτυρίες και τα έντονα μαυρισμένα την αναρρίχηση του κύματος σε μέτρα (Πηγή: Okal et al., 2009)



Χάρτης.12: Η αποτύπωση του θαλάσσιου κύματος βαρύτητας στα νησιά του Αιγαίου. Τα πλάγια γράμματα δείχνουν τις εκτιμήσεις από τις μαρτυρίες και τα έντονα μαυρισμένα την αναρρίχηση του κύματος σε μέτρα (Πηγή: Okal et al., 2009)



Χάρτης.13: Η αποτύπωση του θαλάσσιου κύματος βαρύτητας στα νησιά του Αιγαίου. Τα πλάγια γράμματα δείχνουν τις εκτιμήσεις από τις μαρτυρίες και τα έντονα μαυρισμένα την αναρρίχηση του κύματος σε μέτρα (Πηγή: Okal et al., 2009)

Παρατηρώντας τους χάρτες υπάρχουν διαφορές στις τιμές του κύματος μεγαλύτερες τιμές αναρρίχησης εντοπίζονται κοντά στη πηγή του θαλάσσιου κύματος βαρύτητας ενώ όσο απομακρυνόμαστε στη βόρεια και στη νότια πλευρά του Αιγαίου το κύμα φτάνει εξασθενημένο.

### 3.8 Αποτελέσματα στα γύρω νησιά

Ο σεισμός στις 9 Ιουλίου του 1956 στο νότιο αιγαίο ακολουθήθηκε από ένα θαλάσσιο κύμα βαρύτητας όπου στη πηγή δημιουργίας του έφτασε το ύψος των περίπου 30 μέτρων ενώ έφτασε εξασθενημένο στη Ρόδο, στη Κρήτη και στα παράλια της Τουρκίας. Η επίδραση αλλά και οι συνέπειες του κύματος στα νησιά του Αιγαίου ήταν διαφορετική. Τα ύψη των κυμάτων που καταγράφηκαν διέφεραν σημαντικά ανάλογα με την τοπική βαθυμετρία και τη μορφολογία των ακτών.

| Περιοχή                   | Ύψος κύματος σε m | Ένταση θαλάσσιου κύματος βαρύτητας ki | Απόσταση km |
|---------------------------|-------------------|---------------------------------------|-------------|
| Νότιες ακτές Αμοργού      | 25,0              | V                                     | 24          |
| Βόρειες ακτές Αμοργού     | 2,50              | IV                                    | 28          |
| Βόρειες ακτές Αστυπάλαιας | 20,0              | V                                     | 32          |
| Νότιες ακτές Αστυπάλαιας  | 4,00              | IV                                    | 36          |
| Φολέγανδρος               | 10,0              | III                                   | 112         |
| Κρήτη (Ηράκλειο)          | 2,00              | II+                                   | 188         |
| Πειραιάς                  | 0,30              | II                                    | 204         |

Πίνακας.2: Το ύψος και η ένταση των θαλάσσιων κυμάτων βαρύτητας που έπληξαν τις ακτές του Αιγαίου και η απόσταση των παράκτιων περιοχών σε (km) από το σημείο γένεσης των κυμάτων (Πηγή: Papazachos et al., 1986)

#### Κάλυμνος

Σύμφωνα με τις εφημερίδες της εποχής 13 λεπτά μετά το κύριο σεισμό άρχισε να υποχωρεί η θάλασσα και να αποκαλύπτεται ο θαλάσσιος πυθμένας ενώ στη συνέχεια η θάλασσα έφθασε τα 200 μέτρα έξω από τα όρια της ακτογραμμής. Το κύμα είχε ύψος 2,5 μέτρα και η ώθηση του ήταν τέτοια ώστε πολλά σπίτια στο



λιμάνι αλλά και οι ταρσανάδες που βρίσκονται σε απόσταση 200 μέτρων από την ακτή να υποστούν σημαντικές φθορές. Στον οικισμό Ποθαία η θάλασσα αρχικά υποχώρησε και στη συνέχεια επανήλθε με αποτέλεσμα να πλημυρίσει όλη η πόλη προξενώντας σοβαρές ζημιές. Σημειώθηκαν τρεις διαδοχικές υποχωρήσεις της θάλασσας, εκ των οποίων η τρίτη ήταν η μεγαλύτερη. Κατά την υποχώρηση τα νερά της θάλασσας παρέσυραν ζώα, δέντρα, σκεύη, έπιπλα και κουφώματα σπιτιών σε απόσταση 1500 μέτρων από την ακτή. Σε μερικά σημεία παρατηρήθηκε πρόσχωση της παραλίας, στα περισσότερα όμως απογύμνωση του εδάφους. Η ορμή των νερών ήταν τόσο μεγάλη, ώστε τεχνητοί ογκόλιθοι προοριζόμενοι για την επισκευή του λιμανιού οι οποίοι βρίσκονταν 100 μέτρα περίπου εντός της ξηράς, υπέστησαν σοβαρές ζημιές. Περισσότερα από 30 αλιευτικά σκάφη αλλά και ένα μεγάλο ιστιοφόρο παρασύρθηκαν από το κύμα. Τρία άτομα πνίγηκαν και μια μεγάλη έκταση καλλιεργήσιμης Γής αχρηστεύθηκε από την κατάκλυση της θάλασσας (Antonopoulos, 1980b).



Εικόνα.1: Το ρολόι της μητρόπολης στη περιοχή Πόθια σταμάτησε να λειτουργεί μετά τη πρώτη σεισμική δόνηση (Πηγή: <https://kalymnos-news.gr>)





Εικόνα.2: Η θάλασσα εισχωρεί στο νησί της Καλύμνου (Πηγή: <https://kalymnos-news.gr> )

### **Αστυπάλαια**

Στην Πόρτο-Σκάλα της Αστυπάλαιας, το κύμα που έφτασε είχε ύψος 4,9μέτρα και εισχώρησε 800 μέτρα στην ενδοχώρα. Ένας μεγάλος αριθμός αλιευτικών σκαφών συνετρίβησαν στην ακτή ενώ τα συντρίμμια τους μεταφέρθηκαν 1000 μέτρα στο εσωτερικό του νησιού. Σε άλλες ακτές εκατοντάδες στρέμματα καλλιεργήσιμων εκτάσεων πλημμύρησαν, παρασύρθηκαν περιουσίες ενώ δύο άνθρωποι τραυματίστηκαν (Antonopoulos, 1980b).



Εικόνα.3: Το κύμα στο νησί της Αστυπάλαιας (Πηγή: <http://www.oasp.gr>)

### **Κώς**

Στο νησί της Κω έγινε αισθητό το θαλάσσιο κύμα βαρύτητας ιδιαίτερα στις παραλίες μεταξύ του Μαστιχαρίου-Κεφάλου. Το αποτέλεσμα αυτού ήταν να καταστραφούν πολλά μικρά καΐκια και λέμβοι (Ambraseys, 1960).

### **Λέρος**

Κοντά στο Λακκί της Λέρου, η θάλασσα αρχικά υποχώρησε αποκαλύπτοντας τον θαλάσσιο πυθμένα. Το ύψος του κύματος έφτασε 1.2 μέτρα και πολλά σπίτια υπέστησαν φθορές. Προϊόντα που είχαν αποθηκευτεί στην προκυμαία παρασύρθηκαν από το νερό. Δέκα ψαροκάικα παρασύρθηκαν από το κύμα και καταστράφηκαν. Πολλά ψαροχώρια του νησιού πλημμύρισαν (Ambraseys, 1960).

### **Κάρπαθος**

Στην πόλη της Φοίνικης, στην Κάρπαθο, το κύμα κατέστρεψε το κυματοθραύστη και το αγκυροβόλι του λιμανιού. Το ύψος του κύματος ξεπέρασε τα 6 μέτρα ενώ εισχώρησε σε βάθος 35 μέτρων και πλημμύρισε πολλά χωριά, πνίγοντας και αρκετά βοοειδή (Antonopoulos, 1980b).

## **Λειψοί**

Στην Λιψό (κύριο νησί των Λειψών), η θάλασσα εισχώρησε 1400 μέτρα και πολλά σπίτια υπέστησαν φθορές. Στο λιμάνι γκρεμίστηκε η αποβάθρα καθώς και αρκετά δημόσια κτίρια. Στα Σόκορα πολλά βοοειδή παρασύρθηκαν από τα νερά και πνίγηκαν. Ένα σπίτι κατέρρευσε (Ambraseys, 1960).

## **Σύμη**

Το θαλάσσιο κύμα βαρύτητας έφτασε στην ακτή με ύψος 1,3 μέτρα με περίοδο δυο λεπτών (Εφημερίδα το βήμα, 1956).

## **Νίσυρος**

Σημαντικές ζημιές υπέστησαν κατοικίες και καταστήματα στο λιμάνι του Μανδρακίου (Εφημερίδα το βήμα, 1956).

## **Τήλος**

Από το κύμα που έφτασε στο νησί το εργοστάσιο ηλεκτρισμού πλημμύρισε, πολλές λέμβοι παρασύρθηκαν ενώ αρκετές ζημιές υπέστησαν στον όρμο του Αγίου Αντωνίου (Εφημερίδα το βήμα, 1956).

## **Αμοργός**

Στα Κατάπολα της Αμοργού το κύμα που έφτασε είχε ύψος 2.5 μέτρα και προκάλεσε σημαντικές ζημιές σε λιμενικά έργα. Τέσσερα μεγάλα Ιστιοφόρα έπεσαν πάνω στην αποβάθρα αλλά και άλλα τέσσερα ξεβράστηκαν στην ακτή. Η αποβάθρα βούλιαξε και καταστράφηκε. Στην ακτή κοντά στη χώρα της Αμοργού βρέθηκαν κορμοί δέντρων καθώς και κούτσουρα ενώ και κάποιες καλλιεργήσιμες εκτάσεις πλημμύρισαν. Στη νοτιανατολική ακτή του νησιού το ύψος του κύματος έφτασε περίπου τα 25 μέτρα αλλά δεν προξένησε σημαντικές βλάβες καθώς αυτό το τμήμα του νησιού είναι αραιοκατοικημένο και λόγω της βραχώδους τοπογραφίας της ακτής, οι οικισμοί είναι χτισμένοι ψηλά στα βράχια (Αντοποπουλος, 1980b).

## **Αντίπαρος**

Το κύμα εισχώρησε στην πόλη του Κάστρου, παρόλο που βρίσκεται σε μια κορυφογραμμή κοντά στο βόρειο άκρο του νησιού. Λίγες ήταν οι ζημιές που προκλήθηκαν στα σπίτια κοντά στην ακτή. Η προβλήτα στο λιμάνι καταστράφηκε και έγειρε παίρνοντας κλίση 45°. Από τα κύματα ένα μηχανοκίνητο σκάφος συνετρίβη στα βράχια 30 μέτρα από την ακτή, ενώ πολλές μικρότερες βάρκες βρέθηκαν στην στεριά (Ambraseys, 1960).

## **Ανάφη**

Από εφημερίδες της εποχής το θαλάσσιο κύμα βαρύτητας έπληξε κυρίως τις νότιες ακτές του νησιού. Εκείνη τη δεκαετία δεν υπήρχε προβλήτα για τα σκάφη ή κάποιο τεχνητό εμπόδιο που θα μπορούσε να αποτρέψει το θαλάσσιο κύμα να χτυπήσει το λιμάνι με αποτέλεσμα το κύμα να εισχωρήσει με ορμή προκαλώντας ζημιές σε καταστήματα του λιμανιού ενώ οδήγησε στην θάλασσα βαρέλια πετρελαίου. Στη νοτιοανατολική πλευρά του νησιού το κύμα εισχώρησε περίπου 50 μέτρα ενώ οι κατοικίες καθώς και μονή που βρίσκεται εκεί γκρεμίστηκαν από το σεισμό (Εφημερίδα το βήμα, 1956).

## **Κρήτη**

Στις 6:45 π.μ. άρχισε το φαινόμενο της ανόδου της στάθμης της θάλασσας σε όλη της έκταση της βόρειας και βορειοανατολικής Κρήτης χωρίς να προκαλέσει θύματα. (Εφημερίδα Παρατηρητής, 1956) Αναλυτικότερα:

Στα Χανιά η κίνηση των υδάτων κατά τη φάση της πλημμυρίδας είχε ως αποτέλεσμα το νερό να φθάσει το ύψος των 50 εκατοστών στα σπίτια των κατοίκων της Κάτω Σούδας, παρασύροντας είδη ρουχισμού, τρόφιμα και άλλα είδη οικιακής χρήσης (Εφημερίδα Παρατηρητής, 1956).

Στο Ρέθυμνο τα κύματα έφτασαν σε ύψος 1 μέτρου και εισχώρησαν σε βάθος 2 μέτρων. Το φαινόμενο της ανόδου της στάθμης της θάλασσας επαναλαμβάνεται κάθε 10 λεπτά μέχρι τις απογευματινές ώρες (Εφημερίδα Παρατηρητής, 1956).

Στο Ηράκλειο το κύμα προκάλεσε ελαφρές ζημιές στο λιμάνι. Το θαλάσσιο κύμα βαρύτητας εισχώρησε στην προκουαία, στο οίκημα του Τελωνείου το οποίο βρίσκεται σε απόσταση 30 μέτρων από την ακτή, προκαλώντας μικές ζημιές. Το ατμόπλοιο “Αγγελικό” το οποίο βρισκόταν στο λιμάνι κινδύνευσε να συντριβεί αλλά τελικά δεν συντρίβει (Εφημερίδα Παρατηρητής, 1956).

Στο Λασιθί η στάθμη της λίμνης του Αγίου Νικολάου υποχώρησε και η θαλάσσια στάθμη ανυψώθηκε κατά 1,5 μέτρο κάθε 6 λεπτά. Τα ύδατα κάλυψαν τον λιμενοβραχίονα και εισχώρησαν στα παραλιακά καφενεία. Στον όρμο Σχίσματος Ελούντας οι εγκαταστάσεις των αλυκών καταστράφηκαν ολοσχερώς λόγω της μετακίνησης μεγάλων όγκων άμμου και χώματος που επέφερε το θαλάσσιο κύμα βαρύτητας ύψους 2 μέτρων. Στην περιοχή της Παχειά Άμμου και στη θέση Στόμιο υπέστησαν ζημιά οι αμπελώνες και οι κήποι (Εφημερίδα Παρατηρητής, 1956).



Εικόνα.4: Το κύμα φτάνει στο λιμάνι της Σητείας (Πηγή: <http://efimeris.nlg.gr/> )

### Σαντορίνη

Το νησί δεν το έπληξε το κύμα καθώς βρίσκεται σε ύψωμα αλλά ο σεισμός. Το 35% των σπιτιών κατέρρευσαν και το 45% παρουσίασαν μεγάλες ή μικρές ζημιές ενώ κάποια άλλα κατέστησαν ακατοίκητα. Το κόστος επισκευής των κτιρίων που υπέστησαν ζημιές ήταν μεγάλο. Χιλιάδες άνθρωποι εγκατέλειψαν το νησί λόγω του σεισμού. Μια από τις πιο σημαντικές συνέπειες του σεισμού και κατ' επέκταση του θαλάσσιου κύματος βαρύτητας ήταν η εσωτερική μετανάστευση του πληθυσμού της Σαντορίνης προς την πρωτεύουσα. Περισσότερα από 40 άτομα σκοτώθηκαν και πολλά τραυματίστηκαν (Εφημερίδα το βήμα, 1956).





Εικόνα.5: Η Σαντορίνη μετά τον καταστρεπτικό σεισμό (Πηγή: <http://www.athensmagazine.gr>)

### **Ρόδος**

Στο νοτιοδυτικό κάβο της Ρόδου, η νησίδα της Πρασονήσου ενώνεται με το νησί με μία στενή λωρίδα Γής μήκους 300μέτρων. Με τη σεισμική δόνηση η λωρίδα αποσυνδέθηκε ελαφρώς καθώς βυθίστηκε 10μέτρα κάτω από τη στάθμη της θάλασσας. Δεν είναι βέβαιο αν η καθίζηση αυτή οφείλεται στη σεισμική δόνηση, φαίνεται όμως πως ο μικρός ισθμός της Πρασονήσου υποχώρησε λόγω της διασποράς των χαλαρών ιζημάτων που την συνέθεταν από τα κύματα που χτύπησαν το νησί (Ambraseys, 1960).

### **Σαρωνικός**

Παρατηρήθηκε από το λιμεναρχείο του Πειραιά άνοδος της θαλάσσιας στάθμης κατά 30 εκατοστά (Εφημερίδα Καθημερινή, 1956).





Εικόνα.6: Το κύμα στο νησί της Κώ (Πηγή: <https://www.aegeanews.gr>)

### **Άνδρος**

Το φαινόμενο της ανόδου της στάθμης της θάλασσας παρατηρήθηκε σε όλες τις ακτές του νησιού (Εφημερίδα Καθημερινή, 1956).

### **Νάξος**

Η άνοδος της στάθμης της θάλασσας προκάλεσε ζημιές όπως τη καταστροφή του φράγματος του ιχθυοτροφείου Βίβλου ενώ πολλά σπίτια στην πρωτεύουσα πλημύρισαν (Εφημερίδα Καθημερινή, 1956).

### **Πάρος**

Το νησί επηρεάστηκε όχι τόσο από το θαλάσσιο κύμα βαρύτητας αλλά από τον σεισμό προκαλώντας ρωγμές σε 25 οικίες και 4 ναούς, ένας εκ των οποίων είναι ο ιστορικός ναός της Έκατονταπυλιανης καθώς και ρωγμές στο έδαφος (Εφημερίδα Καθημερινή, 1956).

### **Σάμος**

Στη Σάμο η θαλάσσια στάθμη στο λιμάνι Τηγανίου παρουσίασε άνοδο 43 εκατοστά στις 10:00 τοπική ώρα Ελλάδος και πτώση 60 εκατοστών μετά από 5 λεπτά. Στο Βαθύ η στάθμη της θάλασσας αυξομειωνόταν κατά 80 εκατοστά ανά 5 λεπτά (Εφημερίδα Καθημερινή, 1956).

## Ικαρία

Μια ώρα μετά το σεισμό από τις 6 μέχρι και τις 8 π.μ. η στάθμη της θάλασσας ανυψώθηκε κατά 1,5 μέτρο, υποχώρησε και πάλι ανυψώθηκε σε διάρκεια πέντε λεπτών (Εφημερίδα Καθημερινή, 1956).

## Τούρκικες ακτές

Το θαλάσσιο κύμα βαρύτητας έπληξε της ακτές της Μικράς Ασίας και πιο συγκεκριμένα την νοτιοδυτική πλευρά αυτής. Στη Σμύρνη το επίπεδο της θάλασσας ανυψώθηκε και κατέκλυσε τη προκυμαία ενώ δεν έχουν καταγραφεί ζημιές ή ανθρώπινα θύματα (Εφημερίδα Καθημερινή, 1956).

Επίσης, στα νησιά Πάτμος, Σύρος και Τήνος το κύμα βγήκε στο λιμάνι χωρίς να παρατηρηθούν βλάβες ή θύματα.



Εικόνα.7: Τα νερά απομακρύνονται από τη Πάτμο  
(Πηγή: <https://arahova.wordpress.com>)

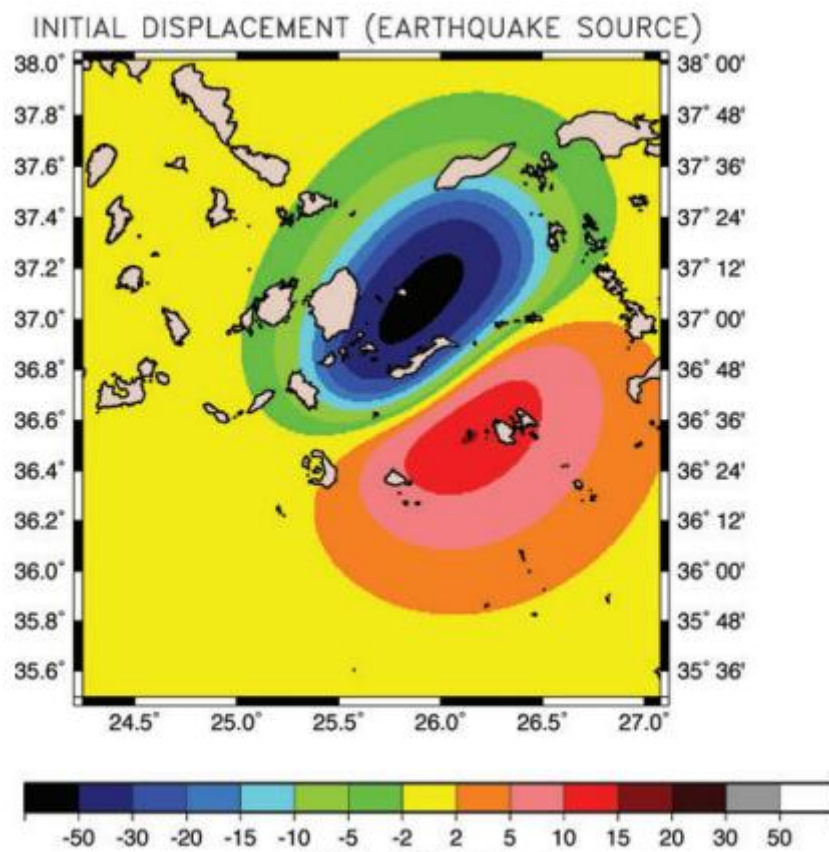
Από τις επιπτώσεις στα νησιά του Αιγαίου συμπεραίνεται ότι αν και το κύμα δημιουργήθηκε το καλοκαίρι όπου περισσότεροι άνθρωποι βρίσκονται στις θάλασσες η εκδήλωση του κύματος έγινε νωρίς το πρωί με αποτέλεσμα να μην υπάρξει μεγάλος αριθμός θυμάτων. Το κύμα έφερε επιπτώσεις στην ανθρώπινη ζωή στις κατοικημένες περιοχές, στο περιβάλλον με τη μετατόπιση της στάθμης του νερού, κόπηκαν δέντρα, γεωργικές, κτηνοτροφικές και αλιευτικές δραστηριότητες αντιμετώπισαν προβλήματα (Okal et al., 2009).

Το 1956 αποτέλεσε χρονιά ορόσημο για την ιστορία της Αμοργού. Ο σεισμός έλαβε χώρα σε μια αρκετά δύσκολη εποχή και με οικονομικά προβλήματα για τους κατοίκους. Πάρα πολλοί ήταν εκείνοι που εγκατέλειψαν το νησί ύστερα από αυτό το γεγονός.

### 3.9 Διαφορές που εντοπίστηκαν στο νησί της Αμοργού

Η εφαρμογή συγκεκριμένου αλγόριθμου [Mansinha & Smylie, 1971] οδήγησε στον προσδιορισμό των στατικών μετατοπίσεων του θαλάσσιου πυθμένα που αργότερα εισήχθησαν στα μοντέλα υδροδυναμικής προσομοίωσης του θαλάσσιου κύματος βαρύτητας.

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι όλο τη νησί βυθίστηκε περίπου 20cm σε αντίθεση με έρευνες για τη μετατόπιση του θαλάσσιου πυθμένα που έδειξε πως η νότια πλευρά της Αμοργού ανυψώθηκε 30cm. (Papadopoulos & Pavlides, 1992, Stiros et al., 1994) Η ανύψωση πολύ πιθανό να οφείλεται στην ενεργοποίηση μικρότερων και πιο ρηχών ρηγμάτων που συνέβησαν πριν η μετά το σεισμό δηλαδή να μην είναι ο σεισμός η αιτία. Άρα το νησί βυθίστηκε με το σεισμό και αργότερα λόγω των ρηγμάτων ανυψώθηκε (Okal et al., 2009).



Χάρτης.14: Στατική μετατόπιση που δημιουργήθηκε από το σεισμό της Αμοργού το 1956 (σε cm) (Πηγή: Okal et al., 2009)

### 3.10 Δημογραφικά στοιχεία

Στην παράγραφο αυτή γίνεται αναφορά στη δημογραφική εξέλιξη των νησιών που επλήγεισαν περισσότερο από το θαλάσσιο κύμα βαρύτητας το 1956. Τα νησιά αυτά είναι η Αμοργός, η Σαντορίνη και η Αστυπάλαια καθώς βρίσκονταν και πιο κοντά στο επίκεντρο του σεισμού αλλά και της πηγής του θαλάσσιου κύματος βαρύτητας ενώ γίνεται και μια σύγκριση με το πληθυσμό του νομού Κυκλάδων και την περιφέρεια νοτίου Αιγαίου. Το 1951 ο πληθυσμός στο νησί της Αμοργού αριθμούσε 2507 κατοίκους ενώ σύμφωνα με τα στοιχεία της απογραφής του 1961 φαίνεται να μειώνεται και να αριθμεί 2104 κατοίκους. Η Σαντορίνη από την απογραφή του 1951 αριθμούσε 9332 κατοίκους ενώ το 1961 ο πληθυσμός της μειώνεται στους 7.751 κατοίκους. Το 1951 η Αστυπάλαια αριθμούσε 1270 κατοίκους και το 1961 μειώνεται στους 1238. Και στα τρία νησιά παρατηρείται μείωση του πληθυσμού από το 1951 μέχρι το 1961 γεγονός που ίσως οφείλεται όχι μόνο στη μεταπολεμική περίοδο αλλά και στον μεγάλο σεισμό του 1956 και στο θαλάσσιο κύμα βαρύτητας που ακολούθησε προκαλώντας θανάτους, καταστροφές σε οικισμούς, καλύπτοντας εκτάσεις δημιουργώντας ανεργία στα νησιά με αποτέλεσμα τη μαζική μετανάστευση του πληθυσμού προς την Αθήνα. (Εφημερίδα το Βήμα, 1956) Σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα το ίδιο όμως φαίνεται να συμβαίνει (υπάρχει εμφανής μείωση) και σε ολόκληρο τον νομό Κυκλάδων αλλά και στη περιφέρεια νοτίου Αιγαίου. Από την απογραφή του 1991 έδειξε πως ο πληθυσμός και στα τρία νησιά αλλά και στον Νομό Κυκλάδων και στην Περιφέρεια Νοτίου Αιγαίου αυξάνεται κάτι που οφείλεται στην τουριστική ανάπτυξη των νησιών του Αιγαίου τα τελευταία χρόνια.

| Απογραφή | Αμοργός | Σαντορίνη | Αστυπάλαια | Νομός Κυκλάδων | Περιφέρεια Νοτίου Αιγαίου |
|----------|---------|-----------|------------|----------------|---------------------------|
| 1951     | 2507    | 9332      | 1270       | 125959         | 247439                    |
| 1961     | 2104    | 7751      | 1238       | 99959          | 222980                    |
| 1971     | 1822    | 6196      | 1073       | 86337          | 207354                    |
| 1981     | 1722    | 7083      | 1030       | 88458          | 233549                    |
| 1991     | 1632    | 8771      | 1139       | 94005          | 257481                    |
| 2001     | 1859    | 12440     | 1539       | 112615         | 302686                    |
| 2011     | 1950    | 15550     | 1797       | 124525         | 366795                    |

Πίνακας.3: Απογραφή πληθυσμού για τις χρονικές περιόδους 1951-2011 (Πηγή: <https://www.statistics.gr/>, <https://ecoanemos.files.wordpress.com/>)

### 3.11 Χρήσεις Γής στο νησί της Αμοργού

Η Αμοργός καθώς και πολλά νησιά των Κυκλάδων και των Δωδεκανήσων έχουν αναπτυχθεί και εξελιχθεί από τη δεκαετία του 50. Οι χρήσεις Γής έχουν αλλάξει έχουν δημιουργηθεί καλύτερες υποδομές, αεροδρόμια, το οδικό δίκτυο έχει φτιαχτεί σημαντικά ενώ ένας από τους παράγοντες που οφείλεται η διαμόρφωση τους είναι η αύξηση του τουρισμού τα τελευταία χρόνια.

Στον δήμο Αμοργού το μεγαλύτερο μέρος της συνολικής έκτασης όπως αναφέρεται και στον παρακάτω πίνακα καταλαμβάνουν τα δάση με 67100 στρέμματα τα οποία καλύπτονται από φρύγανα και χαμηλή θαμνώδης βλάστηση και μπορούν να αξιοποιηθούν για φυτική παραγωγή. Οι υπόλοιπες κατά σειρά εκτάσεις είναι οι βοσκότοποι με 42000 στρέμματα, οι καλλιεργούμενες εκτάσεις και αγροναπαύσεις με 13400 στρέμματα, οι εκτάσεις οικισμών 1000 στεμμάτων και τέλος άλλες εκτάσεις 4000 στρεμμάτων. Ο πρωτογενής και ο δευτερογενής τομέας είναι περιορισμένος στο νησί σε σχέση με το τριτογενή όπου το εμπόριο και ο τουρισμός έχουν αναπτυχθεί σημαντικά τα τελευταία χρόνια.  
(<https://ecoanemos.files.wordpress.com>, 12/2/2019)

| Δήμος         | Σύνολο εκτάσεων | Καλλιεργούμενες εκτάσεις και αγροναπαύσεις | Βοσκότοποι | Δάση | Εκτάσεις καλυπτόμενες από νερά | Εκτάσεις οικισμών | Άλλες εκτάσεις |
|---------------|-----------------|--------------------------------------------|------------|------|--------------------------------|-------------------|----------------|
| Δήμος Αμοργού | 127.5           | 13.4                                       | 42.0       | 67.1 | 0.0                            | 1.0               | 4.0            |

Πίνακας.4: Βασικές κατηγορίες χρήσεων γης 1999-2000 (σε χιλιάδες στρέμματα)  
(Πηγή: <http://geodata.gov.gr/en/>)

Ένα νέο ενδεχόμενο θαλάσσιο κύμα βαρύτητας στο νησί της Αμοργού ίσως επηρεάσει τη βόρεια πλευρά καθώς αποτελείται από ήπιες κλίσεις και παρατηρείται χαμηλό υψόμετρο από τη θάλασσα σε σχέση με τη νότια πλευρά του νησιού όπου παρατηρούνται απότομες κλίσεις. Έτσι, στη βόρεια πλευρά του νησιού όπου εντοπίζονται αστικοί ιστοί, θα κινδυνεύσουν να καλυφθούν από ένα ενδεχόμενο νέο κύμα. Σημαντικό ρόλο παίζει το ύψος του κύματος που θα φτάσει στο νησί καθώς μαζί με τη μορφολογία του εδάφους θα μπορεί να δώσει στοιχεία για το πόσο θα εισχωρήσει το κύμα στην ξηρά.



## **Κεφάλαιο 4: Αντιμετώπιση και πρόγνωση των θαλάσσιων κυμάτων βαρύτητας**

### **4.1 Αντιμετώπιση θαλάσσιων κυμάτων βαρύτητας**

Ένα θαλάσσιο κύμα βαρύτητας μπορεί να σκοτώσει ή να τραυματίσει τους ανθρώπους και να καταστρέψει κατοικίες και υποδομές καθώς τα κύματα εισέρχονται με ορμή.

Η εκπαίδευση του πληθυσμού είναι πολύ σημαντική σε αυτές τις περιπτώσεις(Καρύμπαλης, 2010). Άνθρωποι οι οποίοι ζούν κοντά ή επισκέπτονται τακτικά μια παράκτια περιοχή, πρέπει να μάθουν για τον κίνδυνο θαλάσσιων κυμάτων βαρύτητας στην περιοχή. Ορισμένες κοινότητες που βρίσκονται σε κίνδυνο έχουν χάρτες με ζώνες εκκένωσης και διαδρομές έτσι ώστε να μην υπάρξει κυκλοφοριακός συνωστισμός πάνω στο πανικό.

Τα σημάδια ενός πιθανού θαλάσσιου κύματος βαρύτητας είναι ένας σεισμός, ένας δυνατός θόρυβος ή μια ασυνήθιστη συμπεριφορά από την θάλασσα, όπως μια ξαφνική άνοδος ή ένας τοίχος νερού ή ξαφνική αποστράγγιση του νερού που δείχνει το θαλάσσιο πυθμένα. Όταν κάτι τέτοιο γίνει αντιληπτό πρέπει να γίνει γρήγορα η απομάκρυνση από την περιοχή προς ασφαλέστερα σημεία.

Επιπλέον, είναι αναγκαία η σχεδίαση κτιρίων πιο ενισχυμένων και ανθεκτικών σε μεγαλύτερο υψόμετρο με καλύτερη κατασκευή αλλά και κτίρια για να στεγάσουν τους κατοίκους σε μια έκτακτη ανάγκη ενώ σημαντική είναι και η δημιουργία υποδομών και κατασκευών κατά του θαλάσσιου κύματος βαρύτητας (π.χ. τείχος ή δένδρα ή θάμνοι τα οποία περιορίζουν σε σημαντικό βαθμό την ορμή της εισχώρησης του κύματος. Οι κάτοικοι θα πρέπει να εκκενώνουν την περιοχή όταν ακούν την σειρήνα που τους προειδοποιεί.

Η εκπαίδευση του πληθυσμού αλλά και η σωστή οργάνωση της κοινωνίας για την αντιμετώπιση αρνητικών συνεπειών είναι πολύ πιο δύσκολο να επιτευχθούν από ότι ένα συστήμα έγκαιρης προειδοποίησης.

Τα συστήματα προειδοποίησης θαλάσσιων κυμάτων βαρύτητας είναι απαραίτητα καθώς παρέχουν άμεση προειδοποίηση μετά την εκδήλωση του κύματος. Η εξέλιξη της τεχνολογίας αποτελεί σημαντικό ρόλο στην αντιμετώπιση των θαλάσσιων κυμάτων βαρύτητας ώστε να υπάρχει έγκαιρη προειδοποίηση για τη πιθανή δημιουργία τους και εγκατάλειψη των περιοχών που πρόκειται να πληγούν.



## 4.2 Πρόγνωση των θαλάσσιων κυμάτων βαρύτητας στη Μεσόγειο

Δεν παρατηρούνται συχνά θαλάσσια κύματα βαρύτητας στη Μεσόγειο. Η εκδήλωση τους από το παρελθόν τα κατατάσσει στο κοντινό ή τοπικό πεδίο καθώς η πηγή τους τοποθετείται πολύ κοντά σε παράκτιες ζώνες. Ένα τοπικού πεδίου κύμα για να φτάσει στην ακτή χρειάζεται ένα χρονικό βήμα μεταξύ 5 και 30 λεπτών. Ένα θαλάσσιο κύμα βαρύτητας είναι πολύ δύσκολο να προβλεφθεί καθώς ο σεισμός που είναι κατά κύριο λόγο η πηγή δημιουργίας του δεν μπορεί ακόμη να προβλεφθεί. Για τον λόγο αυτό έχουν αναπτυχθεί κέντρα προειδοποίησης ώστε να παρέχεται έγκαιρη προειδοποίηση στις παράκτιες κοινωνίες και να μετριάσουν οι αρνητικές συνέπειες που μπορεί να επιφέρει (Παπαδόπουλος, Φωκαεύς, 2014).

Σε παγκόσμιο επίπεδο, η Διακυβερνητική Ωκεανογραφική Επιτροπή του Οργανισμού Ηνωμένων Εθνών για τη Εκπαίδευση, Επιστήμη και Πολιτισμό (IOC UNESCO) επιβλέπει τον συντονισμό του παγκόσμιου συστήματος προειδοποίησης και μετριάσμού του τσουνάμι. Επί του παρόντος, υπάρχουν 4 συστήματα, καθένα από τα οποία συντονίζεται μέσω Διακυβερνητικών Ομάδων Συντονισμού (ICG) που αποτελούνται από κράτη μέλη ή χώρες (<https://www.civilprotection.gr>, 23/2/2019).

Το NEAMTWS (North-Eastern Atlantic and Mediterranean Tsunami Warning System) είναι ένα σύστημα προειδοποίησης για τσουνάμι του Βορειοανατολικού Ατλαντικού και της Μεσογείου, το οποίο είναι υπό την εποπτεία της Διακυβερνητικής Ωκεανογραφικής Επιτροπής, είναι προσανατολισμένο στην έκδοση προειδοποιήσεων μόνο σε περιφερειακές κλίμακες, δηλαδή για μία ώρα διάδοσης του θαλάσσιου κύμα βαρύτητας (<https://www.civilprotection.gr>, 23/2/2019).

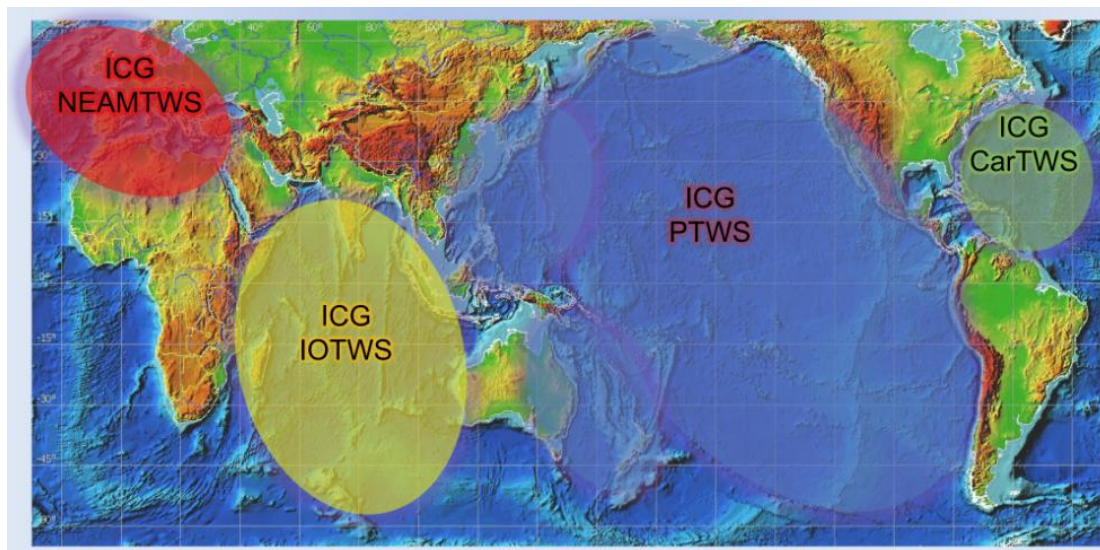
Το ICG / NEAMTWS ιδρύθηκε το 2005 μετά τον σεισμό των 9 Ρίχτερ της Ινδονησίας και το τσουνάμι του Ινδικού Ωκεανού. Κάθε ICG (Intergovernmental Coordination Group) συνεδριάζει τακτικά για το συντονισμό των διεθνών υπηρεσιών απειλής τσουνάμι και άλλες δραστηριότητες μετριάσμού (<https://www.civilprotection.gr>, 23/2/2019).

Τα στοιχεία που προκύπτουν από τους σειсмоγράφους που εκτιμούν τη θέση και την ένταση μιας σεισμικής δόνησης συνδυάζονται με τη χρήση μοντέλων προσομοίωσης όπου εκτιμούν το χρόνο που απαιτείται για να φτάσει το κύμα στις ακτές (Καρύμπαλης, 2010).

Σε κάθε περιοχή παρέχονται υπηρεσίες πληροφοριών για εκδηλώσεις από φορείς παροχής υπηρεσιών τσουνάμι (TSPs- Tsunami Service Providers). Οι TSPs παρέχουν καθοδήγηση στα χωροταξικά σημεία προειδοποίησης τσουνάμι (TWFP-Tsunami Focal Warning Focal Point) και στα εθνικά προειδοποιητικά κέντρα τσουνάμι (NTWC-National Tsunami Warning Centres). Κάθε χώρα είναι αποκλειστικά υπεύθυνη για τον καθορισμό του επιπέδου συναγερμού (όπως προειδοποίηση,

συμβουλευτική, παρακολούθηση) για τις ακτές τους χρησιμοποιώντας τις διεθνείς πληροφορίες ή και τη δική τους αξιολόγηση σε εθνικό επίπεδο (<https://www.civilprotection.gr>, 23/2/2019).

Για την Ελλάδα κέντρο προειδοποίησης τσουνάμι είναι Γεωδυναμικό Ινστιτούτο του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών το οποίο αποτελεί εθνικό φορέα έγκαιρης προειδοποίησης για τσουνάμι (<https://www.civilprotection.gr>, 23/2/2019).



Χάρτης.15: Συστήματα έγκαιρης προειδοποίησης υπο την εποπτεία της (Πηγή: UNESCO, 12/2/2019)

Το NEARTOWARN (Near-field Tsunami Early Warning and Emergency Planning in the Mediterranean sea) είναι ένα ευρωπαϊκό πρόγραμμα που έχει στόχο την έγκαιρη προειδοποίηση των θαλάσσιων κυμάτων βαρύτητας κοντινού πεδίου καθώς δεν καλύπτεται από τα εθνικά και περιφερειακά συστήματα. Έτσι έχει αναπτυχθεί ένα πιλοτικό σύστημα στο νησί της Ρόδου καθώς στο πρόσφατο παρελθόν έχει χτυπηθεί από θαλάσσια κύματα βαρύτητας. Το σύστημα αποτελείται από ένα ενόργανο δίκτυο ώστε να εντοπίζεται άμεσα ο σεισμός, από δίκτυο παλιρροιογράφων αλλά και από σχεδιασμό διαχείρισης της κρίσης μέσω Γεωγραφικού Συστήματος Διαχείρισης (Παπαδόπουλος, Φωκαεύς, 2014).



Εικόνα.8: Παλιρροιογράφοι στην Ιεράπετρα της Κρήτης (Πηγή:  
<http://www.creteplus.gr/>)

## Συμπεράσματα

Σκοπός της παρούσας πτυχιακής εργασίας ήταν η μελέτη του θαλάσσιου κύματος βαρύτητας του σεισμού της Αμοργού το 1956 που εκδηλώθηκε ως συνέχεια του σεισμού την ίδια ημέρα στην θαλάσσια περιοχή του νοτιοανατολικού Αιγαίου, ανάμεσα στα νησιά Αμοργός και Αστυπάλαια μέσα από βιβλιογραφικές αναφορές. Το γεγονός αυτό αποτελεί αντικείμενο έρευνας και μελέτης για πολλούς επιστήμονες από το παρελθόν μέχρι σήμερα καθώς παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον για τα ελληνικά δεδομένα ενώ το θαλάσσιο κύμα βαρύτητας που εκδηλώθηκε επηρέασε σχεδόν όλες τις ακτές του Αιγαίου.

Το νότιο Αιγαίο βρίσκεται στην περιοχή κατά μήκος του ελληνικού τόξου όπου μπορούν να συμβούν υποθαλάσσιοι σεισμοί, υποθαλάσσιες κατολισθήσεις και ηφαιστειακές εκρήξεις και να δημιουργήσουν τέτοιου είδους κύματα.

Ο σεισμός οφείλεται στη ρηξιγενή ζώνη Β.Α –Ν.Δ. κατεύθυνσης που βρίσκεται στη θαλάσσια περιοχή ανάμεσα στα νησιά Αμοργός και Αστυπάλαια. Η εκδήλωση του θαλάσσιου κύματος βαρύτητας προήλθε από μια σειρά υποθαλάσσιων κατολισθήσεων στις πλευρές της τάφρου ως αποτέλεσμα του κύριου σεισμού και του μεγάλου μετασεισμού της ίδιας ημέρας. Το ύψος των κυμάτων έφτασε τα 25 μέτρα στην Αμοργό από πού και ξεκίνησε, 20 μέτρα στην Αστυπάλαια, 10 μέτρα στη Φολέγανδρο φτάνοντας εξασθενημένο στην Κρήτη, στην Ρόδο και στα παράλια της Τουρκίας προκαλώντας εκτεταμένες ζημιές σε κατοικίες, καλλιέργειες, καταστήματα κλπ. Ο διαφορετικός χρόνος άφιξης των κυμάτων στις ακτές αλλά και τα διαφορετικά ύψη των κυμάτων που παρατηρήθηκαν οδήγησαν τους ερευνητές στο συμπέρασμα ότι η βασική αιτία του σεισμού είναι μια σειρά από υποθαλάσσιες κατολισθήσεις (Okal et al., 2009).

Ο συνολικός απολογισμός από τον σεισμό και το θαλάσσιο κύμα βαρύτητας που ακολούθησε είναι 3760 κτίρια να υποστούν ζημιές. Από αυτά 529 σπίτια καταστράφηκαν, 1482 έπαθαν σοβαρές βλάβες και 1750 ελαφρές. Ο αριθμός των θυμάτων έφτασε τους 53 ανάμεσα τους 16 παιδιά και 100 τραυματίες. Ο σεισμός και το θαλάσσιο κύμα βαρύτητας εκδηλώθηκε σε μια δύσκολη χρονική περίοδο για την Ελλάδα με οικονομικές δυσκολίες και αφήνοντας άστεγους τους κατοίκους που άρχισαν να μεταναστεύουν προς την Αθήνα.

Από τα δεδομένα που υπάρχουν μέχρι τώρα για τις χρήσεις Γής της Αμοργού ένα νέο ενδεχόμενο θαλάσσιο κύμα βαρύτητας θα πλήξει της περιοχές της βόρειας πλευράς του νησιού καθώς εκεί εντοπίζονται ήπιες κλίσεις. Έτσι θεωρείται αναγκαία η αλλαγή των χρήσεων Γής και η μετακίνηση όσων βρίσκονται στη βόρεια πλευρά του νησιού σε μεγαλύτερα υψόμετρα αλλά και η έγκαιρη προειδοποίηση των κατοίκων με βάση τα συστήματα που λειτουργούν στη χώρα μας. Σημαντική είναι η εκπαίδευση, η ενημέρωση και η ετοιμότητα των κατοίκων ή όσων βρεθούν σε παραθαλάσσια περιοχή και συμβεί ένα τέτοιο γεγονός ώστε να μην υπάρξει πανικός. Τέλος, ένα θαλάσσιο κύμα βαρύτητας δεν μπορεί να αποτραπεί μπορεί όμως με την κατάλληλη αντιμετώπιση να μετριάσει τις συνέπειες που θα προκαλέσει στο πέρασμα του.



## Παράρτημα



Εικόνα.9: Απόκομμα εφημερίδας Η ΚΑΘΗΜΕΡΙΝΗ



Εικόνα.10: Απόκομμα εφημερίδας ΑΚΡΟΠΟΛΙΣ



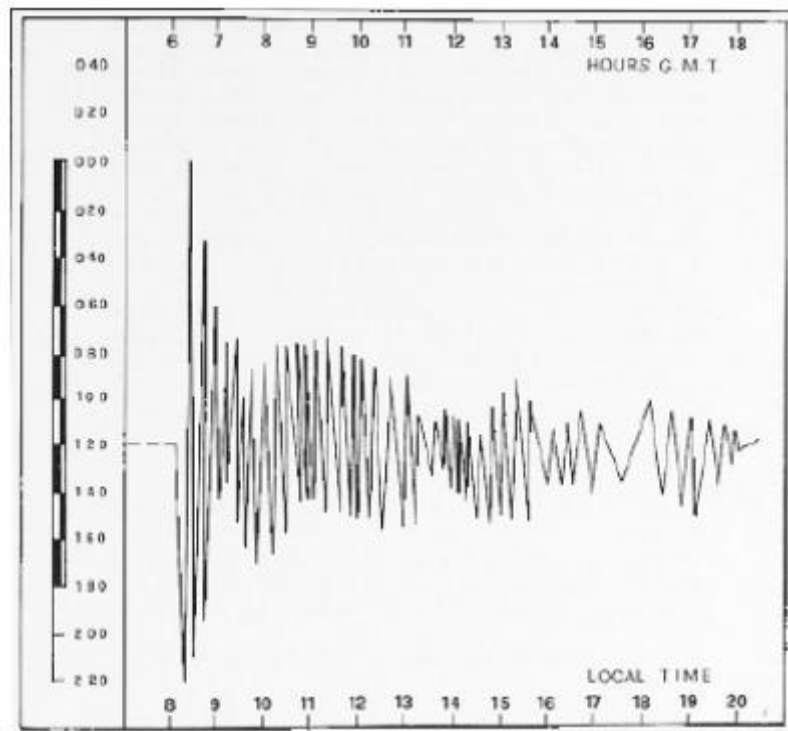
Εικόνα.11: Φωτογραφικό υλικό εποχής



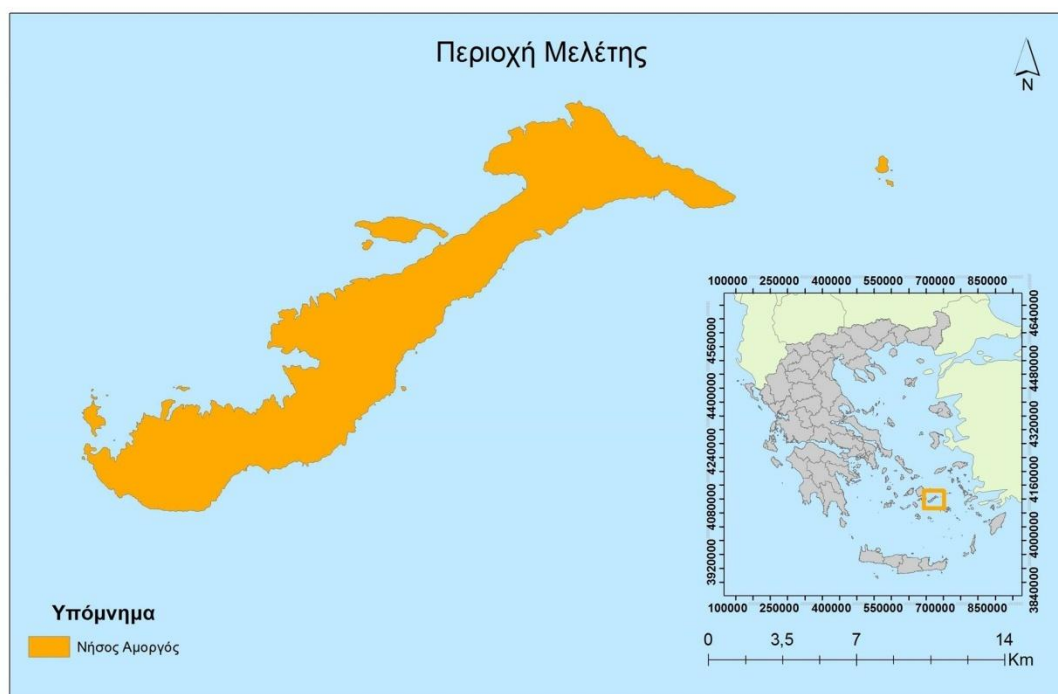
Εικόνα.12: Απόκομμα εφημερίδας ΘΗΡΑΙΚΗ ΦΩΝΗ







Σχήμα.4: Η διακύμανση της στάθμης της θάλασσας στο λιμάνι της Σούδας στις 9 Ιουλίου 1956. (Πηγή: Antonopoulos, 1980b)



Χάρτης.16: Γεωγραφική θέση Αμοργού (Πηγή: ίδια επεξεργασία)

| ΕΝΤΑΣΗ | ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|--------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| I      | Καταγράφεται μόνο από σεισμικά όργανα.                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| II     | Αισθητός από μερικούς ανθρώπους που βρίσκονται σε υψηλότερους ορόφους.                                                                                                                                                                                                                                     |
| III    | Αισθητός από λίγους ανθρώπους που βρίσκονται σε σπίτια                                                                                                                                                                                                                                                     |
| IV     | Αισθητός από πολλούς στα σπίτια και από λίγους στην ύπαιθρο. Κρότος παραθύρων και χτύπος τις πόρτες. Κάποιοι ξυπνούν ή καταφεύγουν στην ύπαιθρο.                                                                                                                                                           |
| V      | Αισθητός από όλους στα σπίτια και στην ύπαιθρο. Τα ελεύθερα κρεμασμένα αντικείμενα αιωρούνται, ηχούν τα κουδούνια των ρολογιών και ανατρέπονται κάποια μικρά αντικείμενα. Πολλοί ξυπνούν ή καταφεύγουν στην ύπαιθρο.                                                                                       |
| VI     | Ηχούν μικρές καμπάνες, ανατρέπονται πολλά μεγάλα αντικείμενα και πέφτουν λίγα κεραμίδια και καπνοδόχοι. Οι βλάβες είναι λίγες και σχετικά ελαφριές. VII Ηχούν μεγάλες καμπάνες, πέφτουν πολλά κεραμίδια και καπνοδόχοι και οι βλάβες είναι πολλές και μέτριες. Ορισμένες οικοδομές καταστρέφονται μερικώς. |
| VII    | Μερική καταστροφή σε ποσοστό >25% του συνολικού αριθμού των κανονικών οικοδομών. Ολική καταστροφή ορισμένων κτιρίων.                                                                                                                                                                                       |
| IX     | Μερική καταστροφή σε ποσοστό >50% του συνολικού αριθμού των κανονικών οικοδομών. Ολική καταστροφή σε ποσοστό >25% του συνολικού αριθμού των κτιρίων.                                                                                                                                                       |
| X      | Μερική καταστροφή όλων των κανονικών οικοδομών. Ολική καταστροφή σε ποσοστό >50% του συνολικού αριθμού των κτιρίων.                                                                                                                                                                                        |
| XI     | Ολική καταστροφή όλων των κτιρίων.                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| XII    | Κατάρρευση όλων των οικοδομών μέχρι τα θεμέλια.                                                                                                                                                                                                                                                            |

Πίνακας.5: Η τροποποιημένη κλίμακα Mercalli για τις εντάσεις των σεισμών (Πηγή: Musson, 2002)

| ΕΝΤΑΣΗ | ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|--------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| I      | Μη αισθητό. Κύμα τόσο αδύναμο που μπορεί να γίνει αισθητό μόνο από παλιρροιογράφους.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| II     | Αισθητό. Κύμα που παρατηρείται από αυτούς που ζουν κοντά στη θάλασσα. Γενικώς παρατηρείται μόνο σε πολύ επίπεδες ακτές.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| III    | Αισθητό. Γενικά παρατηρείται. Πλημμυρίζουν πλαγιές με ήπια κλίση. Τα σκάφη μετακινούνται ελαφρώς προς την ακτή. Μικρές καταστροφές στις κατασκευές που βρίσκονται κοντά στη θάλασσα.                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| IV     | Δυνατό. Πλημμύρα στην ακτή σε μικρά βάθη. Καταστρέφονται τα αναχώματα, οι τάφροι και οι πρόχειρες κατασκευές κοντά στην ακτή. Οι στέρρες κατασκευές καταστρέφονται μερικώς. Μικρά σκάφη και πλοία μεταφέρονται στην ακτή. Οι ακτές πλημμυρίζουν με συντρίμματα                                                                                                                                                                                                               |
| V      | Πολύ δυνατό. Γενική πλημμύρα της ακτής σε κάποια βάθη. Τα τοιχώματα της προκυμαίας και οι στέρρες κατασκευές κοντά στην ακτή καταστρέφονται. Πλημμυρίζουν πολλές καλλιεργήσιμες εκτάσεις γης και οι ακτές γεμίζουν με ζώα της θάλασσας. Με εξαίρεση τα μεγάλα πλοία, όλα τα είδη πλοίων μεταφέρονται στην ακτή ή έξω από τη θάλασσα. Μεγάλες παλίρροιες στις εκβολές των ποταμών. Καταστροφή των λιμενικών έργων. Άνθρωποι πνίγονται. Το κύμα συνοδεύεται από μεγάλο βουητό. |
| VI     | Καταστροφικό. Μερική ή ολική καταστροφή των ανθρώπινων κατασκευών ακόμα και μακριά από την ακτή. Πλημμύρα της ακτής σε μεγάλα βάθη. Μεγάλα πλοία καταστρέφονται πλήρως. Δέντρα ξεριζώνονται ή σπάνε. Μεγάλος αριθμός θυμάτων.                                                                                                                                                                                                                                                |

Πίνακας.6: Η τροποποιημένη κλίμακα των Sieberg-Ambraseys για τις εντάσεις των θαλάσσιων κυμάτων βαρύτητας (Πηγή: Ambraseys, 1962)

| Δήμος            | Σύνολο<br>εκτάσεων | Καλλιεργούμενες<br>εκτάσεις και<br>αγροαναπαύσεις | Βοσκότοποι | Δάση | Εκτάσεις<br>καλυπτόμενες<br>από νερά | Άλλες<br>εκτάσεις |
|------------------|--------------------|---------------------------------------------------|------------|------|--------------------------------------|-------------------|
| Δήμος<br>Αμοργού | 100                | 10.6                                              | 33.2       | 53.0 | 0.0                                  | 3.2               |

Πίνακας.7: Βασικές κατηγορίες χρήσεων γης 1999-2000 (κατανομή %) (Πηγή:  
<http://geodata.gov.gr/en/>)



## Βιβλιογραφία

### Ελληνική βιβλιογραφία

Γαλανόπουλος, Α.Γ., (1957), «Το θαλάσσιον σεισμικόν κύμα της 9 Ιουλίου 1956» (The Seismic Sea Wave of July 9, 1956), Πρακτικά της Ακαδημίας Αθηνών, Έτος 1957: Τόμος 32ος, 90-101.

Εφημερίδα το Βήμα, 10/07/1956, ΠΑΛΛΙΡΟΙΑΚΟΝ ΚΥΜΑ

Εφημερίδα Παρατηρητής, 11/07/1956, 257 ΔΟΝΗΣΕΙΣ

Εφημερίδα Καθημερινή, 10/07/1956, ΑΙ ΠΡΟΚΛΗΘΕΙΣΑΙ ΖΗΜΙΑΙ ΕΙΣ ΑΛΛΑΣ ΝΗΣΟΥΣ ΤΩΝ ΚΥΚΛΑΔΩΝ ΚΑΙ ΕΙΣ ΤΗΝ ΔΩΔΕΚΑΝΗΣΟΝ

Καρύμπαλης, Ε., (2010), Παράκτια γεωμορφολογία, Αθήνα: ΙΩΝ.

Καρύμπαλης Ε., (2013): Σημειώσεις φυσικής γεωγραφίας, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο , Σελίδες 51-57

Καρύμπαλης, Ε., Παπαδόπουλος, Α., Χαλκιάς, Χ., (2014) Η γεωγραφία του παράκτιου και νησιωτικού χώρου, εκδόσεις: Σταμούλη

Λέκκας, Ε. (2005), Ο σεισμός των 9.0R και τα παλιρροϊκά κύματα βαρύτητας της 26ης Δεκεμβρίου 2004 στον Ινδικό Ωκεανό. Παράγοντες που επέδρασαν στην κατανομή και το είδος των καταστροφών. Ημερίδα ΓΕΩΤΕΕ – Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών: «Φυσικές καταστροφές με έμφαση στους σεισμούς και στα κύματα βαρύτητας , Αθήνα.

Παπαζάχος Β. & Παπαζάχου Κ. (1989), «Οι σεισμοί της Ελλάδας», έκδοση: ΖΗΤΗ, Θεσσαλονίκη, 356 σ.

Παπαζάχος Β. και Παπαζάχου Κ. (2003), «οι σεισμοί της Ελλάδας», Γ' έκδοση: ΖΗΤΗ: Θεσσαλονίκη

### Ξένη βιβλιογραφία

Ambraseys, N.N. (1960), The seismic sea wave of July 9th 1956, in the Greek Archipelago, Journal of Geophysical Research Vol.65, No.4, 1257-1265.

Ambraseys, N.N. (1962), Data for the investigation of the seismic sea-waves in the Eastern Mediterranean, Bulletin of the Seismological Society of America Vol. 52, No. 4, 895-913.

Antonopoulos, J.A. (1980), Data from investigation on seismic Sea-waves events in the Eastern Mediterranean from the Birth of Christ to 1980 AD (six parts). *Ann. Geof.*, 33, 141-248

Antonopoulos, J.A. (1980b). Data from investigation of seismic sea waves events in the Eastern Mediterranean from 1900 to 1980 A.D., *Annali di Geofisica* 33 (6), 231-248.

Bruce A. Bolt, «Σεισμοί», [μεταφρ.Ε.Ιωαννίδου], Αθήνα: Τροχαλία 1991

Dominey-Howes, D.T.M. (2002), Documentary and Geological Records of Tsunamis in the Aegean Sea Region of Greece and their Potential Value to Risk Assessment and Disaster Management, *Natural Hazards* 25, 195-224.

Galanopoulos. A . G . (1960), Tsunamis Observed on the Coasts of Greece from Antiquity to Present Time.

Lekkas E. , Andreadakis, E., Kostaki, I., & Kapourani, E. (2013), A proposal for a new integrated Tsunami intensity scale (ITIS-2012). *Bulletin of the Seismological Society of America*, 103(2 B), 1493–1502.

Makropoulos, K.C. Drakopoulos, J.K. Latousakis, J.B. (1989), A revised and extended earthquake catalogue for Greece since 1900. *Geophys. J.Int.*, 98, 391-394

Mansinha, L. and Smylie, D.E. (1971), The displacement fields of inclined faults, *Bulletin of the Seismological Society of America* 61, 1433–1440.

Musson, R.M.W. (2002), Intensity and intensity scales, In: Bormann, P. (ed.), *New Manual of Seismological Observatory Practice (NMSOP)*, GFZ, Potsdam, Chapter 12, 1-20.

Okal, E.A. and Reymond, D. (2003), The mechanism of the great Banda Sea earthquake of 01 February 1938: applying the method of Preliminary Determination of Focal Mechanism to a historical event, *Earth and Planetary Science Letters* 216, 1–15.

Ocal E.A., Synolakis C.E., Fryer G.J., Heinrich P., Borrero J.C., Ruscher C., Arcas D., Guille G. and Rousseau D. (2002), A field survey of the 1946 Aleutian tsunami in the far field, *Seismological Research Letters*

Okal, E.A. and Synolakis, C.E. (2004), Source discriminants for near-field tsunamis, *Geophys. J. Int.* 158, 899–912.

Okal, E.A., Synolakis, C.E., Uslu, B., Kalligeris, N. and Voukouvalas, E. (2009), The 1956 earthquake and tsunami in Amorgos, Greece, *Geophys. J. Int.* 178, 1533-1554.

Papadopoulos, G. A., and Imamura, F. (n.d.). A proposal for a new tsunami intensity scale, 5, 5–1.

Papadopoulos G. A. & Pavlides S. B. (1992), The large 1956 earthquake in the South Aegean: Macroseismic field Configuration, and neotectonics of Amorgos Island, Earth and Planetary Science Letters, 113, 383-396.

Papazachos, B.C. and Delibasis, N.D. (1969), Tectonic stress field and seismic faulting in the area of Greece, Tectonophysics 7, 231–255.

Papazachos, B.C., Koutitas, Ch., Hatzidimitriou, P.M., Karacostas, B.G. and Papaoioannou, Ch. A. (1986), Tsunami hazard in Greece and the surrounding area, Annales Geophysicae Vol. 4B, No. 1, 79-90.

Perissoratis, C. and Papadopoulos, G. (1999), Sediment instability and slumping in the southern Aegean Sea and the case history of the 1956 tsunami, Marine Geology 161, 287-305.

Ritsema, A.R. (1974), Earthquake mechanisms of the Balkan region, Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut 74, pp.97.

Shirokova, E.I. (1972), Napryazheniya i razryvy v ochagakh zemletryasenii Sredizemnomorskovo-Aziatskovo seismicheskovo poyasa, In: Balakina, L.M., Vvedenskaya, A.V., Golubeva, N.V., Misharina, L.A. and Shirokova, E.I. (eds.), Polye uprugikh napryazhenii zemli i mekhanizm ochagov zemletryasenii, pp. 112–148, Akad. Nauk SSSR, Moskva (in Russian).

Sieberg, A., 1927, Geologische, physikalische und angewandte Erbebenkunde. Verlag von Gustav Fischer, Jena.

Soloviev, S.L., Solovieva, O.N., Go, Ch.N., Kim, Kh.S. and Shchetnikov, N.A. (2000), Tsunamis in the Mediterranean Sea, 2000 B.C. – 2000 A.D., Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 237.

Stiros, S.C., Marangou, L. and Arnold, M. (1994), Quaternary uplift and tilting of Amorgos Island (southern Aegean) and the 1956 earthquake, Earth and Planetary Science Letters 128, 65-76.

Synolakis, C.E. and Okal, E.A. (2005), 1992–2002: perspective on a decade of post-tsunami surveys, In: Satake, K. (ed.), Tsunamis: Case Studies and Recent Developments, Vol. 23: Adv. Natur. Technol. Hazards, pp. 1–30, Springer, Dordrecht.

Yalciner, A. C., Synolakis, C. E., Alpar, B., Borrero, J. C., Altinok, Y., Imamura, F., Kanoglu, U. (2001), Field surveys and modeling of the 1999 Izmit tsunami, 4-6

## **Οργανισμοί**

Οργανισμός Αντισεισμικής Προστασίας ([www.oasp.gr](http://www.oasp.gr))

Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών

Χαροκοπείο Πανεπιστήμιο

## **Ηλεκτρονική βιβλιογραφία**

<http://www.oasp.gr>

<https://kalymnos-news.gr>

<https://www.dimokratiki.gr>

<http://www.geo.auth.gr>

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

<https://spaceplace.nasa.gov/earthquakes/en/>

<https://www.usgs.gov/>

<https://www.noaa.gov/>

<https://ecoanemos.files.wordpress.com>

<https://spaceplace.nasa.gov/>

<http://www.moa.gov.cy>

<https://www.protothema.gr/>

<https://www.civilprotection.gr>

<https://en.wikipedia.org>

<http://geodata.gov.gr/en/>

<https://www.statistics.gr/>

<https://atlantea.news>

## **Εικόνες**

<https://arahova.wordpress.com> (3/1/2019)

<https://www.aegeanews.gr> (15/1/2019)

<http://www.athensmagazine.gr> (15/1/2019)

<http://efimeris.nlg.gr/> (15/1/2019)  
<http://www.oasp.gr> (20/12/2018)  
<https://kalymnos-news.gr> (18/12/2018)  
<https://earthquaketrack.com> (6/1/2019)  
<https://www.dimokratiki.gr> (6/1/2019)  
<http://www.geo.auth.gr> (11/1/2019)  
<https://el.wikipedia.org/wiki/> (6/1/2019)  
<https://spaceplace.nasa.gov/earthquakes/en/> (4/1/2019)  
<https://www.usgs.gov/> (14/1/2019)  
<https://www.noaa.gov/> (14/1/2019)