ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΟΝΤΟΣ
ΠΡΟΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

Σεισμικότητα στην Ανατολική Κρήτη



Χρυσοφάκης Νικόλαος

Μωυσίδη Μαργαρίτα

Ιεράπετρα

Δεκέμβρης, 2021

ΠΡΟΛΟΓΟΣ – ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την ολοκλήρωση της διπλωματικής μου διατριβής θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές και βαθύτατες ευχαριστίες μου στους ανθρώπους που με βοήθησαν. Καταρχάς να ευχαριστήσω τον επιβλέποντά μου καθηγητή Μωυσίδη Μαργαρίτα για την ανάθεση αυτού του θέματος, τις παρατηρήσεις και τις πολύτιμες συμβουλές του.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω στους συμφοιτητές και φίλους μου για την αλληλοσυμπαράσταση και τις αξέχαστες συζητήσεις που με βοήθησαν να συνεχίσω αυτό το εκπαιδευτικό ταξίδι.

Τέλος, ένα ιδιαίτερα μεγάλο ευχαριστώ στους γονείς και συγγενείς που ήταν πάντα κοντά μου και με υπομονή και αγάπη με στήριξαν.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής διατριβής έγινε προσπάθεια μελέτης της σεισμικότητας της ανατολικής πλευράς της Κρήτης. Ειδικότερα αναζητήθηκε στη διαθέσιμη βιβλιογραφία για τη σεισμική επικινδυνότητα, το τεκτονικό και γεωλογικό υπόβαθρο στον ελληνικό χώρο εστιάζοντας στην Κρήτη και των συναφών επιπτώσεων στον άνθρωπο και στα κτίρια. Επιπλέον, αναφέρονται μέτρα πρόληψης και αντιμετώπισης των δυσμενών συνεπειών που αφήνει ένας σεισμός στον ελλαδικό χώρο.

Τα σεισμικά συμβάντα ως φυσικά φαινόμενα έχουν απασχολήσει τους ερευνητές τόσο σε παγκόσμιο όσο και σε τοπικό επίπεδο. Οι σεισμοί διακρίνονται σε δύο κύριες ζώνες, επιφανειακούς και ενδιάμεσους ανάλογα με το βάθος του επίκεντρου.

Λαμβάνοντας υπόψη δεδομένα από σεισμολογικούς σταθμούς στην Κρήτη, δίνεται έμφαση στα ενεργά σεισμικά ρήγματα της Κρήτης γενικότερα στο ανατολικό κομμάτι. Αποτυπώνονται οι βασικότεροι και φονικότεροι σεισμοί της Ελλάδας και της Κρήτης με τις ανάλογες επιπτώσεις. Αναλύεται το νομοθετικό πλαίσιο με κανονισμούς και οδηγίες για την συμπεριφορά του ανθρώπου κατά και μετά τον σεισμό και αναφέρονται τρόποι προστασίας από τα ετοιμόρροπα κτίρια.

Το νότιο τμήμα της Κρήτης χαρακτηρίζεται από έντονη σεισμικότητα, ενώ το κεντρικό και ανατολικό τμήμα της είναι λιγότερο ενεργό. Το γεγονός αυτό αποτυπώνεται τόσο από τις παρατηρήσεις από εξειδικευμένα όργανα όσο και από το πλήθος εργασιών που δημοσιεύονται για την εκάστοτε περιοχή. Επομένως, λόγω του μικρού σεισμοτεκτονικού ενδιαφέροντος που παρουσιάζει η ανατολική Κρήτη δεν υπάρχει μεγάλος όγκος εργασιών.

ABSTRACT

Within the framework of this dissertation, an attempt was made to study the seismicity of the eastern part of Crete. Specifically, the seismic hazard, tectonic and geological background, and the related effects on human and buildings was investigated in the available literature, focusing on Crete. In addition, measures are reported to prevent and deal with the adverse consequences left by an earthquake in Greece.

Natural phenomena like earthquakes have occupied the interest of the scientific community both globally and locally. Earthquakes are divided into two main zones, shallow and intermediate depending on depth of the epicenter.

Considering data from seismological stations in Crete, emphasis is placed on the active seismic faults of Crete in general and the eastern part. Records of the most frequent and hazardous earthquakes in Greece and Crete in line with the corresponding effects was done. The legal framework is analyzed with regulations and instructions for human behavior during and after the earthquake and ways of protection from dilapidated buildings are mentioned.

South part of Crete is characterized by intense seismicity, while the central and eastern part is less active. This fact is reflected by the observations from specialized bodies as well as the number of research that is published for the contextual area. Therefore, due to small seismic interest of eastern Crete, there is not a large quantity of work available.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ - ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ 8
ΠΕΡΙΛΗΨΗ 9
ABSTRACT 10
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1ο. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟΥΣ ΣΕΙΣΜΟΥΣ 7
1.1 Φυσικές καταστροφές και σεισμοί 7
1.2 Σεισμολογία 8
1.3 Παγκόσμια σεισμική κατανομή 9
1.3.1 Τεκτονικές πλάκες και γεωλογικό υπόβαθρο 9
1.3.2 Σεισμικές ζώνες 11
1.3.3 Ταξινόμηση και χαρακτηριστικά σεισμών 12
1.4 Εργαλεία/Μέθοδοι αποτύπωσης και πρόβλεψης σεισμών 14
1.4.1 Κλίμακα Mercalli 16
1.5 Καταστροφές και απώλειες από μεγάλους σεισμούς παγκοσμίως 17
1.6 Νομοθετικό πλαίσιο σχετικό με σεισμούς 19
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2ο. ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΙ ΣΕΙΣΜΟΙ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ 21
2.1 Σεισμικές ζώνες στο ελληνικό έδαφος 21
2.1.1 Γεωλογία πριν και μετά τον σεισμό στην Ελλάδα 24
2.2 Ιστορική αναδρομή σεισμικών συμβάντων 27
2.2.1 Παραδείγματα ισχυρών/φονικών σεισμών στην Ελλάδα 30
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3ο. ΣΕΙΣΜΙΚΟΤΗΤΑ ΣΤΗΝ ΚΡΗΤΗ. ΑΙΤΙΑ ΚΑΙ ΣΥΝΕΠΕΙΕΣ 33
3.1 Σεισμικότητα στην Κρήτη 33
3.1.1 Επίδραση τεκτονικών πλακών στην Κρήτη 35
3.1.2 Γεωλογία Κρήτης 36
3.1.3 Ιστορική αναδρομή σεισμών στην Κρήτη 37
3.2 Σεισμολογικό δίκτυο της ευρύτερης περιοχής της Κρήτης 38
3.2.1 Πρόσφατο σεισμολογικό αρχείο όλης της Κρήτης 40
3.3 Σεισμικότητα στην Ανατολική Κρήτη 41
3.4 Συνέπειες σεισμικών συμβάντων 42
3.4.1 Στον άνθρωπο 44
3.4.2 Στα κτίρια 45

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4ο. ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΑΠΟ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΟΥΣ ΣΕΙΣΜΟΥΣ ΣΤΗΝ ΚΡΗΤΗ 47
4.1 Μέτρα πρόληψης και προστασίας από σεισμούς 47
4.1.1 Ατομικό επίπεδο 48
4.1.2 Εθνικό επίπεδο 49
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5ο. ΣΥΝΟΨΗ-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ 53
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 55
Ξενόγλωσση 55
Ελληνόγλωσση 60
Ιστοσελίδες 60

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1ο. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟΥΣ ΣΕΙΣΜΟΥΣ

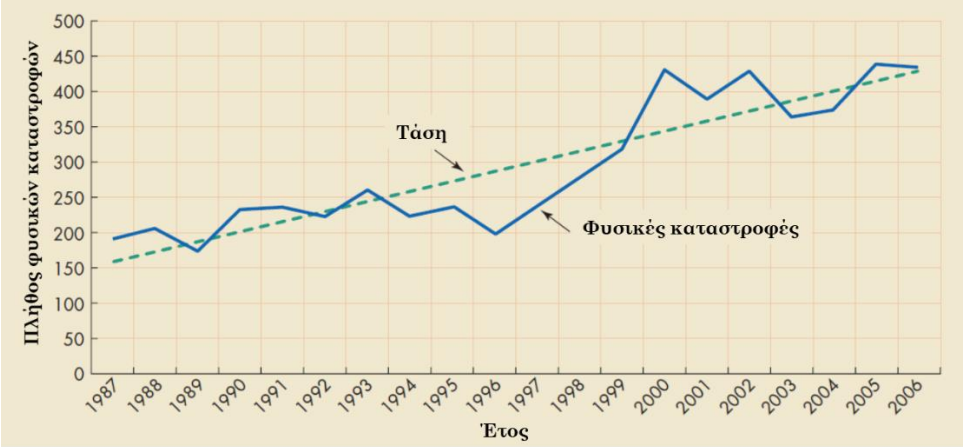
1.1 Φυσικές καταστροφές και σεισμοί

Ένας φυσικός κίνδυνος/καταστροφή είναι μια φυσική διαδικασία και γεγονός που αποτελεί μια δυνητική απειλή για την ανθρώπινη ζωή και περιουσία. Ως διαδικασία δεν επιφέρει μεγάλες καταστροφές αλλά λόγω της χρήσης γης από τον άνθρωπο δημιουργεί πολλά προβλήματα. Με τον όρο φυσική καταστροφή εννοείται η εμφάνιση ενός επικίνδυνου γεγονότος σε περιορισμένο χρόνο και συγκεκριμένη περιοχή. Ένα γεγονός θεωρείται φυσική καταστροφή όταν ισχύει ένα από τα παρακάτω (Keller and DeVecchio, 2010):

- Δέκα ή περισσότεροι άνθρωποι σκοτώθηκαν
- 100 ή περισσότεροι επηρεάστηκαν
- Η περιοχή κηρύχθηκε σε κατάσταση έκτακτης ανάγκης
- Έκκληση βοήθειας σε διεθνές επίπεδο

Η ανάκαμψη από μια φυσική καταστροφή απαιτεί σημαντικές δαπάνες χρημάτων και συνήθως αρκετά χρόνια. Χαρακτηριστικό παράδειγμα ο τυφώνας Κατρίνα, έλαβε χώρα το 2005 και πλημμύρησε την πόλη της Νέας Ορλεάνης καταστρέφοντας μεγάλο μέρος της ακτογραμμής του Μισισιπή, θεωρείται το πιο επιζήμιο και καταστροφικό γεγονός στην ιστορία των Ηνωμένων Πολιτειών (Brunkard et al., 2013).

Κατά τη διάρκεια των τελευταίων δεκαετιών έχει σημειωθεί πλήθος φυσικών καταστροφών όπως σεισμοί, τυφώνες, εκρήξεις ηφαιστείων (Εικόνα 1), προκαλώντας το θάνατο σε εκατομμύρια ανθρώπους.



Εικόνα 1. Πλήθος φυσικών καταστροφών (π.χ. σεισμός, πλημμύρα) μεταξύ 1987-2006 [Προσαρμόστηκε σύμφωνα με τους Hoyois et al. (2006)].

1.2 Σεισμολογία

Στα λατινικά η σεισμολογία αναφέρεται ως *terrae motus*, έννοια που υποδηλώνει την επιστήμη που ασχολείται με την αναταραχή του εδάφους. Ο όρος της σεισμολογίας καθιερώθηκε στα μέσα του 19ου αιώνα (Udias, 1999).

Η σεισμολογία βάσει της παραδοσιακής προσέγγισης ορίζεται ως η επιστήμη που μελετά τους σεισμούς. Σύμφωνα με τον Bolt (1978) στο έργο των σεισμολόγων εντάσσεται η μελέτη όλων των πτυχών των σεισμών, συμπεριλαμβανομένων των αιτιών, της εμφάνισης και των ιδιοτήτων τους. Για τον Bullen (1947) είναι προφανές ότι η μελέτη των σεισμών ανήκει σε πολλούς τομείς όπως η φυσική, η γεωλογία, η χημεία, η μηχανική και η φιλοσοφία. Συγκεντρώνοντας τις απόψεις των παραπάνω συγγραφέων και πολλών άλλων η σεισμολογία χαρακτηρίζεται για τη διεπιστημονικότητα της (Madariaga και Perrier, 1991).

Από το 1945 και μετά η επιστήμη της σεισμολογίας γνώρισε μεγάλη ανάπτυξη, με τα κύρια θέματα που συζητά να είναι η διάδοση των ελαστικών κυμάτων στη γη και ο μηχανισμός δημιουργίας σεισμών. Και οι δύο προσεγγίσεις περιλαμβάνουν θεωρία και παρατηρήσεις (Udias, 1999).

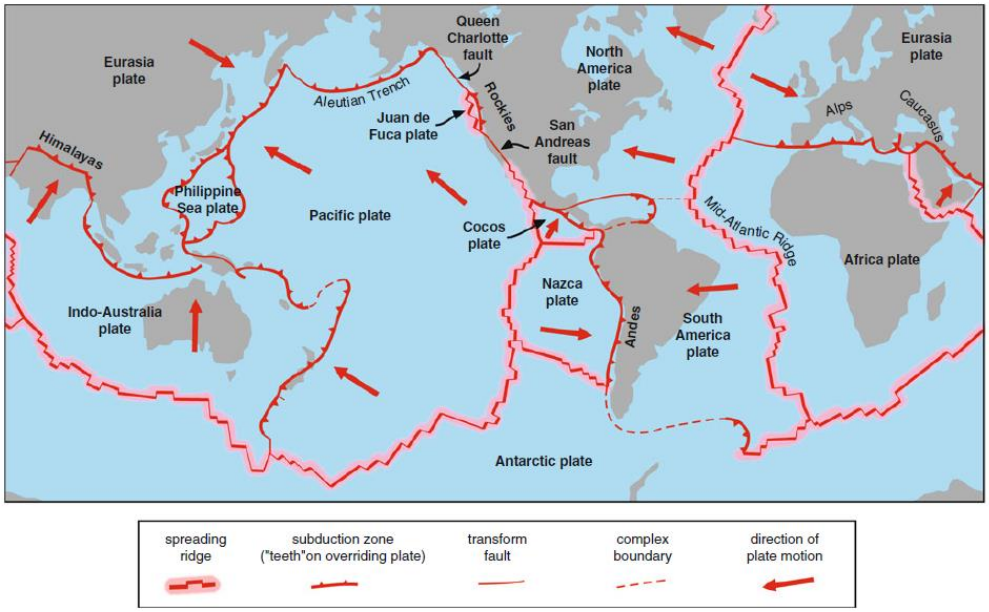
1.3 Παγκόσμια σεισμική κατανομή

Οι σεισμοί συνιστούν ένα από τα πιο επικίνδυνα φυσικά φαινόμενα που συμβαίνουν σε παγκόσμια κλίμακα συνήθως χωρίς προειδοποίηση. Η διάρκεια ενός μετασεισμού είναι δυνατόν να διαρκέσει από μερικές ώρες έως και μερικά έτη. Λόγω της μεγάλης γεωγραφικής εξάπλωσης, οι σεισμοί μπορεί να δημιουργήσουν προβλήματα σε μεγάλο μήκος κύματος μέσω δευτερευόντων διεργασιών π.χ. ένα τσουνάμι που είναι ικανό να φτάσει δεκάδες χιλιάδες χιλιόμετρα μακριά (Cassidy, 2013).

1.3.1 Τεκτονικές πλάκες και γεωλογικό υπόβαθρο

Η βασική αιτία δημιουργίας σεισμών είναι η τεράστια εσωτερική θερμότητα της γης, με τη θερμοκρασία στον πυρήνα της γης να κυμαίνεται μεταξύ 3.500-7.500 ^{o}C (De Bremaecker, 1985). Η εγκλωβισμένη αυτή θερμότητα προσπαθεί να διαπεράσει τα στρώματα φλοιού της γης και να διαφύγει στην επιφάνεια, με την ανοδική αυτή κίνηση δημιουργούνται μεγάλα «κύτταρα κυκλοφορίας» στα ανώτερα στρώματα της γης. Αυτά τα μοτίβα ροής συνδράμουν στην κίνηση των τεκτονικών πλακών που αποτελούν την επιφάνεια της γης (Εικόνα 2).

Οι τεκτονικές ή λιθοσφαιρικές πλάκες είναι τμήματα του στερεού φλοιού της γης καθώς και του ωκεάνιου και συντίθενται από 12 επιμέρους τμήματα πάχους περίπου 100km. Οι ηπειρωτικές περιοχές αντιπροσωπεύουν το παλαιότερο στερεό τμήμα (>πέντε δισεκατομμύρια χρόνια) και είναι πιο σταθερές περιοχές συγκριτικά με το ωκεάνιο τμήμα του φλοιού της γης που είναι νεότερο (η παλαιότερη πλάκα χρονολογείται 180 εκατομμύρια χρόνια) και πιο λεπτό (Cassidy 2013).



Εικόνα 2. Χάρτης κύριων τεκτονικών πλακών της γης και ρηγμάτων. Η κατεύθυνση κίνησης των τεκτονικών πλακών φαίνεται με κόκκινα βέλη και οι διάφορες μορφές βλαβών παρουσιάζονται με διαφορετικούς τύπους γραμμών (Προσαρμόστηκε σύμφωνα με τους Cassidy, 2013).

Οι τεκτονικές πλάκες (Stein and Wysession, 2003):

- έχουν διάφορα μεγέθη, άλλες είναι μεγάλες όπως η πλάκα του Ειρηνικού και άλλες είναι μικρές όπως η πλάκα Χουάν ντε Φούκα
- κινούνται η μία σε σχέση με την άλλη με ταχύτητα 1-10 cm/έτος
- στο σημείο που συναντιούνται είναι δυνατόν
    - οι πλάκες να απομακρυνθούν (αποκλίνοντα ή divergent boundary)
    - να γίνει τριβή μεταξύ των πλακών (πλευρικώς ολισθαίνοντα ή transform boundary)
    - να γίνει σύγκρουση μεταξύ των πλακών (συγκλίνοντα ή convergent boundary)

Βάσει της θεωρίας των τεκτονικών πλακών, η σύγκρουση μιας ωκεάνιας πλάκας με μια ηπειρωτική οδηγεί στη βύθιση της ωκεάνιας κάτω από την ήπειρο, λόγω του βαρύτερου και πυκνότερου υλικού, και “ανακύκλωσή” της μέσα στη γη. Παρόμοιο είναι το αποτέλεσμα της σύγκρουσης δύο ωκεάνιων πλακών, όπου γίνεται υποχώρηση της μίας πλάκας. Τέλος, όταν συγκρούονται δύο ηπειρωτικές πλάκες,

δεν γίνεται βύθιση καμίας πλάκας αλλά δημιουργούνται υψηλά όρη και μεγάλοι σεισμοί (Cassidy, 2013).

Η πλειονότητα των σεισμών παγκοσμίως (~90%), συμπεριλαμβανομένων των μεγαλύτερων (M>8,5%), συμβαίνουν στις στενές ζώνες όπως καθορίζονται από τα όρια των πλακών. Ωστόσο, περίπου το 10% της πλειονότητας των σεισμών στον κόσμο συμβαίνουν εντός των ηπειρωτικών πλακών (intraplate) (Talwani and Rajendran, 1991).

Η γεωλογική δομή και η φύση των τοπικών υλικών επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό την κίνηση του εδάφους. Τα σεισμικά κύματα κινούνται ταχύτερα μέσω του σταθεροποιημένου πετρώματος σε σχέση με τα μη σταθεροποιημένα ιζήματα, ενώ επιβραδύνεται περισσότερο αν το δεύτερο έχει υψηλή περιεκτικότητα σε νερό (Keller and DeVecchio, 2010).

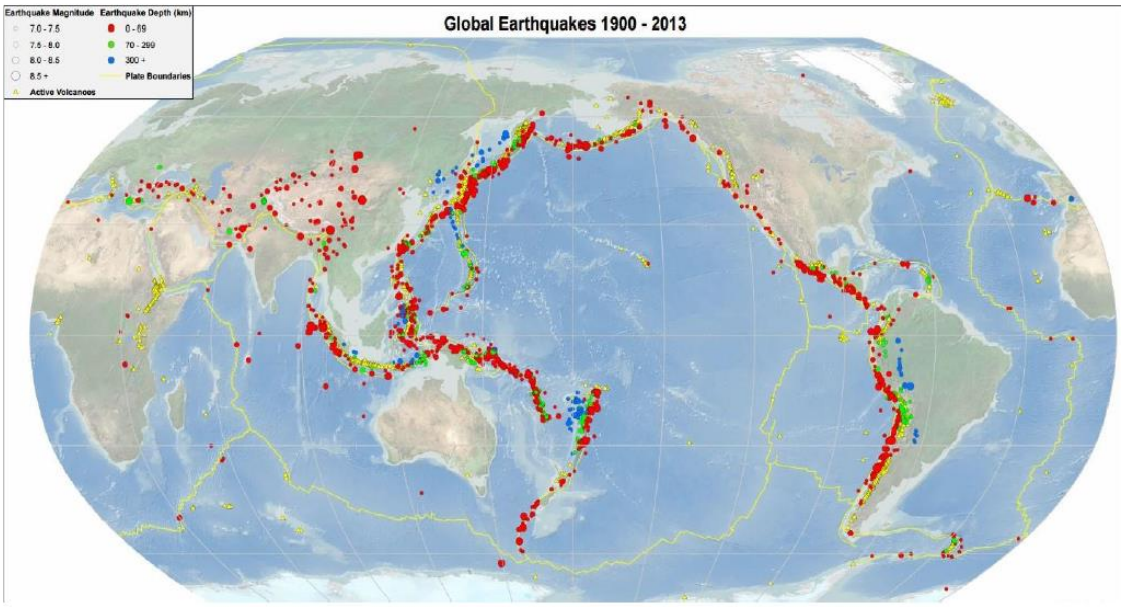
1.3.2 Σεισμικές ζώνες

Ανάλογα με το βάθος ενός σεισμού διακρίνονται διάφορες κατηγορίες σεισμικών ζωνών σε παγκόσμια κλίμακα. Οι επιμέρους κατηγορίες των ζωνών αυτών είναι οι εξής (Εικόνα 3):

- επιφανειακοί σε βάθος 0-69km
- ενδιάμεσοι σε βάθος 70-299km
- μεγαλύτεροι από 300km

Όπως προκύπτει οι επιφανειακοί σεισμοί είναι κατανεμημένοι περισσότερο στα όρια των δύο συστημάτων διάρρηξης. Στο ηπειρωτικό τμήμα συναντάται μεγαλύτερη ανομοιομορφία συγκριτικά με τις μεσοωκεάνιες ράχες οι οποίες ακολουθούν μια πιο γραμμική πορεία. Στην περιοχή της Μεσογείου βρίσκεται σε μια πιο ευρεία ζώνη εξάπλωσης. Οι ενδιάμεσοι σεισμοί υπερέχουν στο ηπειρωτικό τμήμα διάρρηξης, με την Ελλάδα να ανήκει στην κατηγορία αυτή. Η τελευταία σεισμική ζώνη χαρακτηρίζεται από το μεγάλο εστιακό βάθος (>300km), και

εμφανίζεται συνήθως στο ηπειρωτικό σύστημα διάρρηξης, όπως η Νότια Αμερική και το δυτικό τμήμα του Ειρηνικού Ωκεανού.



Εικόνα 3. Ταξινόμηση σεισμικών ζωνών ανά βάθος για την περίοδο 1900-2013. Το διαφορετικό βάθος απεικονίζεται με διαφορετικό χρώμα (κόκκινο: 0-69km, πράσινο: 70-299km, μπλε: >300km) (http://earthquake.usgs.gov).

1.3.3 Ταξινόμηση και χαρακτηριστικά σεισμών

Υπάρχει η άποψη ότι η εμφάνιση των σεισμών είναι αναμενόμενο φαινόμενο κυρίως λόγω του συνεχή γεωλογικού μετασχηματισμού του πλανήτη.

Η ταξινόμηση των σεισμών, βάσει του αίτιου δημιουργίας τους, μπορεί να γίνει στις εξής κατηγορίες:

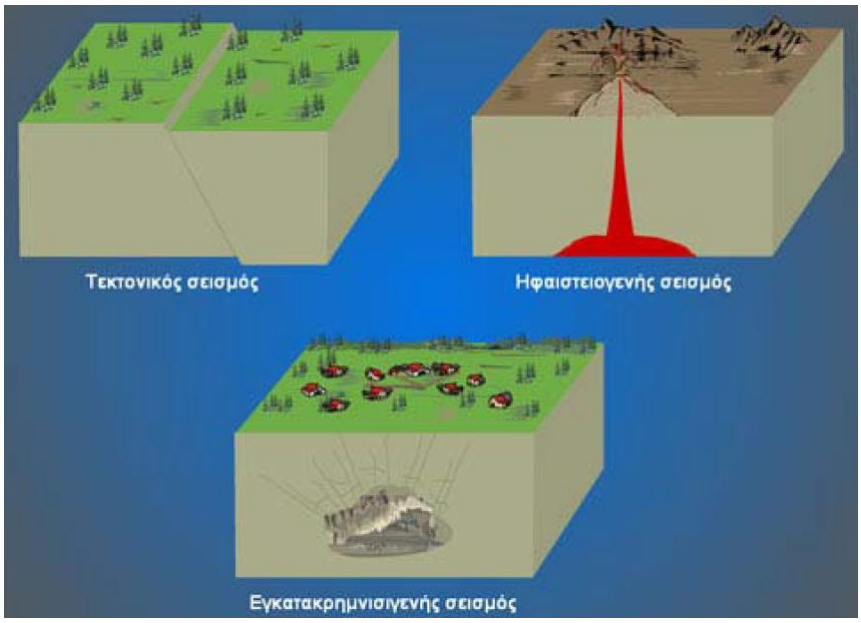
- Τεκτονικοί σεισμοί
- Ηφαιστειογενείς σεισμοί
- Εγκατακρημνισιγενείς σεισμοί
- Άλλοι

Η εμφάνιση τεκτονικών σεισμών οφείλεται στη διάρρηξη των πετρωμάτων της λιθόσφαιρας ή στην τριβή των ρηγμάτων κατά την κίνηση (Εικόνα 4). Οι σεισμοί αυτοί είναι κατά κόρον μικρού βάθους με τις συνέπειες τους να εξαπλώνονται σε

μεγάλη απόσταση από το επίκεντρο τους και συνιστούν περίπου το 90% των σεισμικών δονήσεων.

Οι ηφαιστειογενείς σεισμοί προκύπτουν κατά την έκρηξη ενός ηφαιστείου και συγκεκριμένα δημιουργείται από την πίεση που ασκεί το μάγμα όταν ανεβαίνει στην επιφάνεια. Δεν έχουν μεγάλη ακτίνα επιρροής και δεν έχουν μεγάλη συχνότητα εμφάνισης συγκριτικά με τους υπόλοιπους σεισμούς (McNutt, 2005).

Οι εγκατακρημνισιγενείς σεισμοί είναι εδαφικές δονήσεις που προκαλούνται από πτώση τοιχωμάτων ηφαιστείων και υπόγειων κοιλωμάτων. Συνιστούν το 3% του συνόλου των επιφανειακών σεισμών (Φέκας, 2016).



Εικόνα 4. Αναπαράσταση διαφορετικών ειδών σεισμών (τεκτονικός, ηφαιστειογενής, εγκατακρημνισιγενής) (Γαρυφαλλίδης και Ρουμελιώτης, 2012).

Οι σεισμοί είναι φυσικά φαινόμενα αλλά μπορεί να είναι απόρροια κάποιας ανθρώπινης δραστηριότητας (π.χ. πυρηνική δοκιμή), με συνέπεια τη δημιουργία σεισμικών κυμάτων. Βασικά χαρακτηριστικά ενός σεισμού είναι (Γαρυφαλλίδης και Ρουμελιώτης, 2012):

- Η εστία (ακριβής θέση σεισμού), το υπόκεντρο (η εστία θεωρείται σημείο) και το επίκεντρο (προβολή υποκέντρου στη γήινη επιφάνεια)
- Έκλυση ενέργειας μέσω σεισμικών κυμάτων

- Υπάρχουν άμεσες (π.χ. ρωγμές στο έδαφος) και έμμεσες (π.χ. αποξήρανση λιμνών) επιπτώσεις στο περιβάλλον και στον άνθρωπο

1.4 Εργαλεία/Μέθοδοι αποτύπωσης και πρόβλεψης σεισμών

Η μελέτη των σεισμών έχει ξεκινήσει πολύ πιο πριν από την ανακάλυψη των αντίστοιχων εργαλείων για τη μέτρησή του. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η δημιουργία της θεωρίας σχετικά με την προέλευση των σεισμών συνδέοντάς τους με τους δυνατούς ανέμους, από τον Αριστοτέλη το 330 π.Χ. (Missiakoulis, 2008). Με την πρόβλεψη των σεισμών (earthquake forecasting) εκτιμάται η πιθανότητα να συμβεί ένας σεισμός συγκεκριμένου μεγέθους, σε μια συγκεκριμένη περιοχή κατά τη διάρκεια συγκεκριμένου χρόνου. Μια τέτοια πρόβλεψη χρησιμοποιεί γεωφυσικές πληροφορίες όπως οι κινήσεις του φλοιού που μετρήθηκαν με το Παγκόσμιο σύστημα εντοπισμούς θέσης, με σκοπό την πρόβλεψη της πιθανής μελλοντικής συμπεριφοράς του (Stein and Wysession, 2003).

Τις τελευταίες τρεις δεκαετίες, η επιστήμη της σεισμολογίας έχει σημειώσει μεγάλη εξέλιξη, γεγονός που οφείλεται στους εξής παράγοντες (Cassidy. 2013):

- Διάδοση ψηφιακών σεισμικών δεδομένων, κυρίως μετά τη δεκαετία του ’80
- Χρήση νέων εργαλείων, λόγου χάρη Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GPS) και Light Detection and Ranging (LIDAR)
- Υιοθέτηση και παγκόσμια χρήση ταχύτερων και βελτιωμένων υπολογιστών, που χρησιμοποιούνται στην εύρεση μοντέλων μεγάλης ακρίβειας σχετικά με την κίνηση, διάρκεια και πηγή προέλευσης των σεισμών

Η συνδυαστική δράση των παραπάνω έχει ωφελήσει σε μεγάλο βαθμό στην αναγνώριση της πηγής προέλευσης μελλοντικών σεισμών, στον καθορισμό του μεγέθους που μπορεί να έχουν καθώς και της συχνότητάς τους, στην αποτύπωση της χρονικής διακύμανσης και των αντίστοιχων ζημιών κλπ. (Cassidy, 2013)

Εκτιμάται ότι σε παγκόσμια κλίμακα η συχνότητα των σεισμών είναι περίπου 1 εκατομμύριο/έτος, με ελάχιστους να γίνονται αντιληπτοί πέρα από το σημείο που

ξεκίνησε. Η κατανόηση των συνεπειών που μπορεί να έχουν οι σεισμοί στον άνθρωπο και στο περιβάλλον απαιτεί την επίγνωση των μεθόδων μέτρησης και τη δυνατότητα σύγκρισής τους. Η σύγκριση των σεισμών μεταξύ τους γίνεται βάσει του μεγέθους της ενέργειας που απελευθερώνεται, του μαγνητικού πεδίου και της έντασής τους (Keller and DeVecchio, 2012).

Η εκτίμηση ενός σεισμού βασίζεται στην αποτύπωση του χρόνου, του τόπου (επίκεντρο), του μεγέθους, της πιθανότητας εμφάνισης και του λόγου αρχικής εκτίμησης. Μπορεί να διακριθεί σε βραχυχρόνια (μερικές ώρες έως μερικές εβδομάδες), μέτριας (ένας μήνας έως 10 χρόνια) και μεγάλης διάρκειας (10-30 χρόνια) (Sykes et al., 1999). Συνήθως στις περιπτώσεις προβλέψεων ενός σεισμού γίνεται χρήση δεδομένων για τη συμπεριφορά των ζώων, τις μεταβολές στο επίπεδο των υδάτων και πολλά άλλα. Βασική προϋπόθεση αποτελεί η ύπαρξη σειράς παρατηρήσεων και υπολογισμών καθώς και επαρκής γνώση των σεισμών. Η πιο γνωστή περίπτωση επιτυχημένης εκτίμησης σεισμού, και μάλιστα του μεγαλύτερου που έχει εκτιμηθεί, πραγματοποιήθηκε στο Χαϊτσέγκ (Haicheng) της Κίνας το 1975 (M= 7,3). Από πρόσφατες εκτιμήσεις φαίνεται ότι η πρόγνωση του συγκεκριμένου σεισμού ήταν επιτυχής λόγω προγενέστερων ενδείξεων (κυρίως οι προσεισμοί) όπως η μεταβολή της στάθμης των υδάτων και αλλαγή της συμπεριφοράς των ζώων, σε διάστημα 1-2 χρόνων (Wang et al., 2006). Με την πρόβλεψη αυτή κατάφεραν να σωθούν χιλιάδες ζωές.

Νέα δεδομένα έχουν προκύψει από πρόσφατες μελέτες οι οποίες δείχνουν ότι υπάρχει συσχέτιση ανάμεσα στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις μετά τη διενέργεια ενός σεισμού και του μεγέθους/έντασης του σεισμού (Dengler and McPherson, 1993; Serva, 1994). Μία από τις μεθόδους που χρησιμοποιείται για την εκτίμηση του μεγέθους ενός σεισμού είναι οι μακροσκοπικές κλίμακες έντασης, όπως η INQUA (International Union for Quaternary Research) η οποία εγκρίνεται και προτείνεται από την επιτροπή Παλαιοσεισμολογίας. Η συγκεκριμένη κλίμακα καταλογίζει τις εδαφικές αλλοιώσεις και μεταβολές που έχουν συμβεί λόγω της σεισμικής δραστηριότητας (ESI, 2007). Εφαρμογές της κλίμακας INQUA έχουν γίνει για πολλούς μεγάλους σεισμούς σε χώρες όπως η Ιαπωνία και η Ταϊλάνδη

(Ota et al., 2009), η Κολομβία (Lalinde and Sanchez, 2007), η Ιταλία (Serva et al., 2007) και η Ελλάδα (Papathanasiou and Pavlides, 2007).

1.4.1 Κλίμακα Mercalli

Η μέτρηση της έντασης ενός σεισμού γίνεται με διάφορους τρόπους. Οι μακροσεισμικές κλίμακες που χρησιμοποιούνται για να περιγράψουν τις συνέπειες του σεισμού, μεταβάλλονται ανάλογα με το μέγεθος καταστροφής που προκαλεί ένας σεισμός. Η συνηθέστερη κλίμακα είναι η Mercalli-Sieberg ή αλλιώς τροποποιημένη κλίμακα Mercalli, είναι δωδεκαβάθμια και αποτυπώνεται με λατινικούς αριθμούς (Πίνακας 1).

Πίνακας 1. Τροποποιημένη κλίμακα έντασης σεισμού Mercalli (Γαρυφαλλίδης και Ρουμελιώτης, 2012; Bolt et al., 1977).

Ένταση	Συνέπειες
I	Δεν γίνεται αισθητός εκτός ελάχιστων περιπτώσεων
II	Αισθητός μόνο από ορισμένους που ξεκουράζονται ή βρίσκονται σε ψηλά κτίρια
III	Αισθητός σε εσωτερικούς χώρους. Μπορεί να μην αναγνωριστεί ως σεισμός. Ελαφριές σεισμικές δονήσεις
IV	Αισθητός σε εσωτερικούς χώρους όχι τόσο σε εξωτερικούς. Τρίξιμο παραθύρων, πορτών. Δόνηση λες και περνάει βαρύ φορτηγό
V	Αισθητός σχεδόν από την πλειονότητα, πιάτα και παράθυρα σπάνε. Ασταθή αντικείμενα μετακινούνται. Πιθανή παρατηρούμενη δόνηση δέντρων και ψηλών αντικειμένων
VI	Αισθητός από όλους. Βαριά έπιπλα μετακινούνται. Βλάβες σε καπνοδόχους, σοβάδες. Λίγες βλάβες
VII	Κόσμος τρομοκρατημένος τρέχει έξω. Ελαφριά με μέτρια ζημιά σε κτήρια. Μερικές καπνοδόχοι καταρρέουν. Αισθητός από οδηγούς αυτοκινήτων
VIII	Μερική κατάρρευση κτηρίων, μεγάλη ζημιά σε πρόχειρες εγκαταστάσεις, Κατάρρευση καπνοδόχων, τοίχων, ιστορικών μνημείων/αγαλμάτων.

	Αλλαγές στη ροή υδάτων σε πηγές και πηγάδια. Επηρεάζεται η οδήγηση των αυτοκινήτων
IX	Κατάρρευση κακών κατασκευών, μεγάλη ζημιά σε καλές κατασκευές. Σπάσιμο αγωγών. Τρέμει το έδαφος
X	Κατάρρευση καλών κατασκευών, ξύλινων κτηρίων και γεφυρών. Καταστροφή έργων τοιχοποιίας μαζί με τα θεμέλια Σιδηροτροχιές λυγίζουν. Μεγάλες κατολισθήσεις
XI	Λίγες κατασκευές μένουν όρθιες. Κατάρρευση γεφυρών. Κάμψη σιδηροτροχιών. Έντονες ρωγμές στο έδαφος. Πλήρης καταστροφή υπόγειων σωλήνων
XII	Ολική καταστροφή. Εκτίναξη αντικειμένων στον αέρα. Εμφανή τα κύματα πάνω στην επιφάνεια του εδάφους. Αλλάζει η γραμμή του ορίζοντα

1.5 Καταστροφές και απώλειες από μεγάλους σεισμούς παγκοσμίως

Οι μεγάλοι ρυθμοί αύξησης του παγκόσμιου πληθυσμού έχουν οδηγήσει σε μεγαλύτερη ανάπτυξη και αστικοποίηση, ιδιαίτερα στις αναπτυσσόμενες χώρες. Συνεπώς, υπάρχει μεγαλύτερος κίνδυνος καταστροφών ακόμα και θανάτων από έναν μελλοντικό σεισμό σε τέτοιες περιοχές. Χαρακτηριστικά παραδείγματα μεγάλων σεισμών και των επακόλουθων ζημιών σε ανθρώπινες ζωές επισημαίνονται στον Πίνακα 2.

Πίνακας 2. Λίστα επιβεβαιωμένων μεγάλων σεισμών παγκοσμίως, με δεδομένα για την ημερομηνία, την περιοχή, το μέγεθος και τους θανάτους (http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/world/most_destructive.php).

Ημερομηνία (μήνας/έτος)	**Περιοχή, Χώρα**	**Μέγεθος (Magnitude)**	**Θάνατοι**
12/1908	Messina, Ιταλία	7,2	72.000
12/1920	Haiyuan Ningxia, Κίνα	7,8	200.000

09/1923	Καντό, Ιαπωνία	7,9	142.800
10/1948	Τουρκμενιστάν	7,3	110.000
05/1970	Chimbote, Περού	7,9	70.000
07/1976	Tangshan, Κίνα	7,5	255.000
06/1990	Ιράν	7,4	40-50.000
12/2004	Σουμάτρα	9,1	228.000
10/2005	Πακιστάν	7,6	86.000
05/2008	Σιτσουάν, Κίνα	7,9	87.587
01/2010	Αϊτή	7	223.000

Μία από τις μεγαλύτερες καταστροφές, τόσο υλικές ζημιές όσο και ανθρώπινες απώλειες, που έχουν προκληθεί από σεισμό την προηγούμενη δεκαετία σημειώθηκε στην Αϊτή. Βάσει των απολογισμών εκτιμάται ότι ο αριθμός των θανούντων ανήλθε περίπου στους 300.000. Παράγοντες που επιδείνωσαν τις συνέπειες του σεισμού ήταν τα μη σεισμικά πρότυπα κατασκευής των κτιρίων, η έλλειψη μη οργανωμένης ομάδας διάσωσης και ιατροφαρμακευτικής περίθαλψης καθώς και το "φτωχό" τηλεπικοινωνιακό, ηλεκτρικό και συγκοινωνιακό δίκτυο. Όλα τα παραπάνω επηρέασαν σημαντικά τον αριθμό των ατόμων που διασώθηκαν από τα ερείπια (Daniel et al., 2013).

Η ενέργεια που απελευθερώνεται από έναν μεγάλο σεισμό είναι αξιοσημείωτη. Χαρακτηριστικό παράδειγμα ο σεισμός στο Σαν Φρανσίσκο το 1906, με τον οποίο απελευθερώθηκαν περίπου 3 x 10^{16} J^2 ελαστικής ενέργειας, μέγεθος ισοδύναμο με μια πυρηνική έκρηξη εφτά μεγατόνων (πολύ μεγαλύτερη από τη βόμβα των 0,012 μεγατόνων που ρίχτηκε στη Χιροσίμα) (Stein and Wysession, 2003). Βέβαια, η εμφάνιση μεγάλων σεισμών είναι πολύ σπάνια, λόγω της αργής συσσώρευσης της ενέργειας που απελευθερώνεται (Πίνακας 3).

Πίνακας 3. Μέγεθος, συχνότητα και απελευθερωμένη ενέργεια από σεισμούς παγκοσμίως (Η εκτίμηση της ενέργειας είναι προσεγγιστική) (Stein and Wysession, 2003).

Μέγεθος σεισμού (M_s)	**Συχνότητα (σεισμοί/έτος)**	**Ενέργεια (10^{15} J/έτος)**

>=8	0-1	0-1.000
7-7,9	12	100
6-6,9	110	30
5-5,9	1.400	5
4-4,9	13.500	1
3-3,9	>100.000	0,2

1.6 Νομοθετικό πλαίσιο σχετικό με σεισμούς

Στον Αντισεισμικό Κανονισμό περιλαμβάνεται το νομικό πλαίσιο με τις κατευθυντήριες οδηγίες για τις ελάχιστες απαιτήσεις σχεδιασμού αντισεισμικών κατασκευών όσον αφορά το τεχνικό κομμάτι (Πανάγου, 2008). Το νομικό καθεστώς σχετικό με τους σεισμούς που ίσχυε και ισχύει στην Ελλάδα είναι:

- 1959 (ΦΕΚ 36Α/26-22-1959) «Περί Αντισεισμικού Κανονισμού Οικοδομικών Έργων» συντάχθηκε και εφαρμόστηκε ως νόμος ο πρώτος υποχρεωτικός Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός (ΕΑΚ). Γίνεται κατάταξη της χώρας σε τρεις κατηγορίες, ασθενώς (Ι), μετρίως (ΙΙ) και ισχυρώς (ΙΙΙ) σεισμόπληκτες
- 1984 (ΦΕΚ 239Β/16-4-1984) έγινε η αναθεώρησή του και το 1985 η εκ νέου εφαρμογή του
- 1992 ψηφίζεται ο Νέος Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός (ΝΕΑΚ) και εφαρμόζεται τέσσερα χρόνια αργότερα
- 1999 (ΦΕΚ Δ' 580) «Κώδικας βασικής πολεοδομικής νομοθεσίας». Γίνεται η κωδικοποίηση νομοθεσίας περί επικίνδυνων οικοδομών, συντήρησης και διατήρησης κτιρίων
- 2001 θεσπίζεται ο ΕΑΚ 2000, πάνω στον οποίο τροποποιήσεις και συμπληρώσεις γίνονται μέχρι και σήμερα
- 2003 συμπεριλαμβάνεται στον ΕΑΚ ο Νέος Χάρτης Ζωνών Σεισμικής Επικινδυνότητας με τρεις Ζώνες Σεισμικής Επικινδυνότητας
- Από το 2014 (ΦΕΚ 1457/2014) είναι δυνατή η χρήση είτε του ΕΑΚ 2000 είτε του Ευρωκώδικα ΕC8

Πέρα των παραπάνω κανονισμών που αναφέρονται στο σχεδιασμό κτιρίων υπάρχει νομοθεσία για την αποκατάσταση πληγέντων από φυσικές καταστροφές. Το 1981 κυρώνεται πράξη νομοθετικού περιεχομένου «περί αποκαταστάσεως ζημιών εκ των σεισμών 1981 και ρυθμίσεως ετέρων συναφών θεμάτων». Ταυτόχρονα συστήνεται Υπηρεσία Αποκατάστασης Σεισμόπληκτων (ΥΑΣ).

Πιο συγκεκριμένα, με αφορμή τους πρόσφατους σεισμούς που έλαβαν χώρα τέλη Ιουλίου και τέλη Σεπτεμβρίου στην Περιφέρεια της Κρήτης μπήκε σε λειτουργία η Κοινή Υπουργική Απόφαση (ΦΕΚ 4646/Β/7-10-2021) σχετικά με *«Οριοθέτηση περιοχών και χορήγηση στεγαστικής συνδρομής για την αποκατάσταση των ζημιών σε κτίρια από τους σεισμούς της 24ης Ιουλίου και 27ης Σεπτεμβρίου 2021, σε περιοχές της Περιφερειακής Ενότητας Ηρακλείου της Περιφέρειας Κρήτης»*.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2ο. ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΙ ΣΕΙΣΜΟΙ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

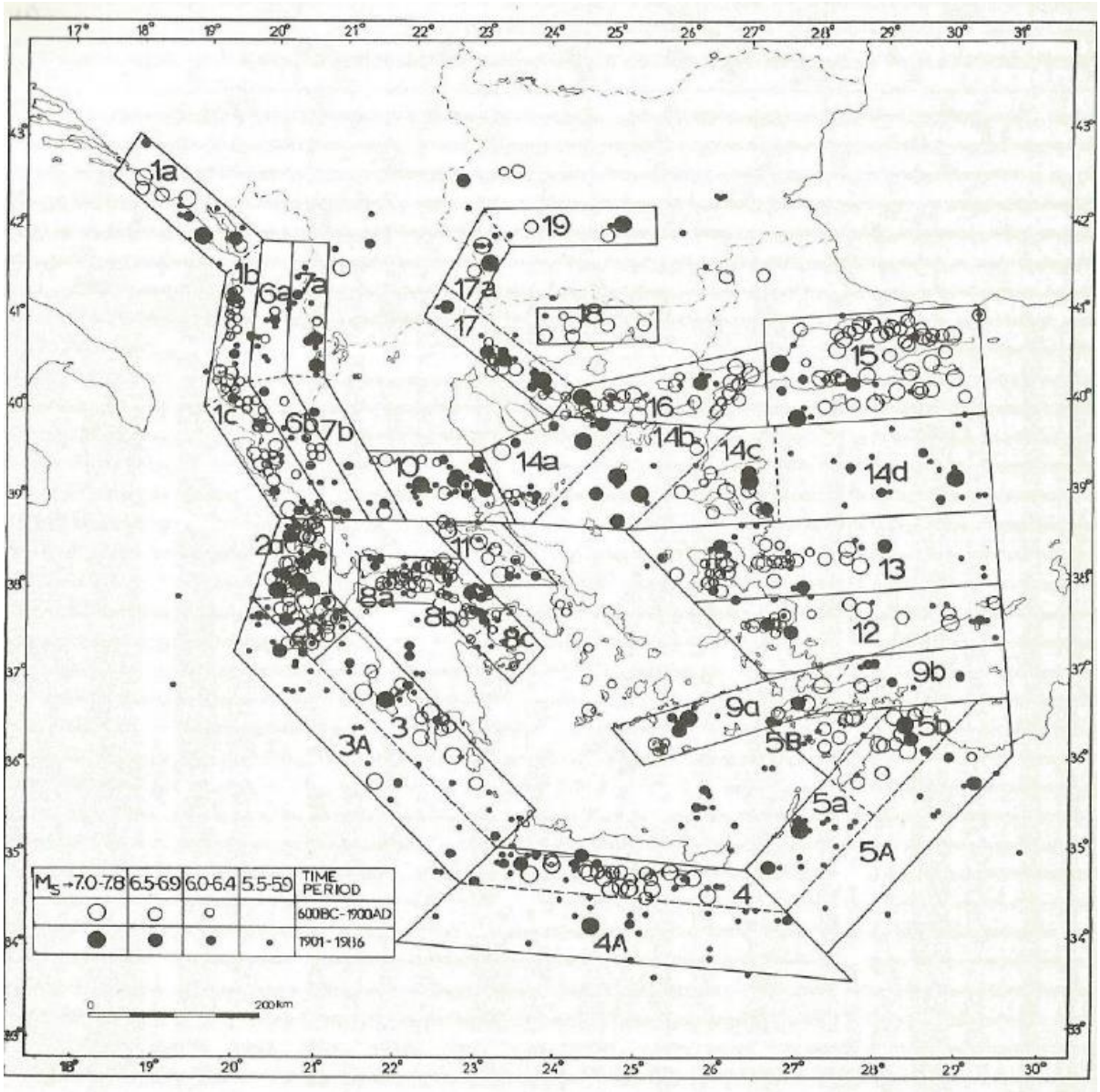
2.1 Σεισμικές ζώνες στο ελληνικό έδαφος

Μεγάλος είναι ο όγκος εργασιών σχετικά με την κατηγοριοποίηση της Ελλάδας σε σεισμικές ζώνες, πολλές από αυτές αφορούν το Αιγαίο (Papazachos, 1980; Hatzidimitriou, 1984; Papazachos et al., 1985; Makropoulos et al., 1988; Papazachos and Papazachou, 1997). Πιο συγκεκριμένα για το διαχωρισμό του Αιγαίου και της ευρύτερης περιοχής σε 67 σεισμογενείς πηγές ρηχών σεισμών χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα για τις σεισμικές ζώνες, τη σεισμικότητα, τις ενεργές τεκτονικές πλάκες, τη γεωλογία και τη γεωμορφολογία (Stavrakakis and Tselentis, 1987; Hatzidimitriou, et al., 1994; Papazachos,1999). Από τις δημοσιεύσεις που προαναφέρθηκαν έχει δημιουργηθεί χάρτης σεισμικής επικινδυνότητας τεσσάρων ζωνών ο οποίος προτάθηκε από τέσσερα σεισμολογικά ιδρύματα και αποτελεί μέρος του Νέου Σεισμικού Κώδικά της Ελλάδας (New Seismic Code of Greece or NEAK) από το 1995. Επιπλέον, υπάρχει διαθέσιμη βάση δεδομένων με μακροσεισμικά στοιχεία για την Ελλάδα, προσπάθεια που επιτεύχθηκε από το Γεωφυσικό Εργαστήριο του Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης και το Ινστιτούτο Μηχανικής Σεισμολογίας και Σεισμικής Μηχανικής Θεσσαλονίκης (Papazachos et al., 1997).

Η Ελλάδα τοποθετείται στο όριο σύγκλισης δύο τεκτονικών πλακών, της Ευρασιατικής και της Αφρικανικής, με την δεύτερη να βυθίζεται κάτω από την πρώτη με ρυθμό 3-4 εκατοστά το χρόνο Βόρειο-ανατολικά της Κρήτης (Kahle and Mueller, 1998). Πέρα του σημείου σύγκλισης και λόγω της μικρής έκτασης που καταλαμβάνει, η Ελλάδα εμφανίζεται με πολυάριθμες σεισμικές ζώνες. Ωστόσο, περίπου το 75% του επικέντρου των σεισμών στην Ελλάδα εντοπίζονται είτε κάτω από τη θάλασσα, μακριά από κατοικημένες περιοχές είτε σε πολύ μεγάλο βάθος, μειώνοντας το επικίνδυνο φορτίο (Makropoulos et al., 2012). Η πλειονότητα των

σεισμών που έχουν σημειωθεί στην Ελλάδα είναι επιφανειακοί και ενδιάμεσοι, με το βάθος τους να φθάνει έως τα 190km.

Προκειμένου να καταστεί δυνατή η πρόγνωση και η εκτίμηση της σεισμικής επικινδυνότητας, η Ελλάδα διακρίνεται σε 19 σεισμικές ζώνες και ένα σύνολο υποζωνών (π.χ. 2a, 2b) (Εικόνα 5), λαμβάνοντας υπόψη χαρακτηριστικά όπως η κατεύθυνση των ρηγμάτων, η κλίση των αξόνων συμπίεσης και εφελκυσμού κλπ. (Παπαζάχος, 1980; Papazachos et al., 1998). Έχει παρατηρηθεί ότι η σεισμικότητα περιοχών που τοποθετούνται ανάμεσα στις λιθοσφαιρικές πλάκες παρουσιάζει υψηλότερες τιμές. Στην Ελλάδα οι μεγαλύτεροι επιφανειακοί σεισμοί είναι της τάξης M=6,3R, πληροφορία που μπορεί να χρησιμοποιηθεί - μαζί με τη γεωαναφορά του γεγονότος - για τον υπολογισμό του μέσου χρόνου επανάληψης των συγκεκριμένων συμβάντων παρόμοιου μεγέθους (Φέκας, 2016).



Εικόνα 5. Σεισμικές ζώνες και υποζώνες του ελλαδικού χώρου των περιόδων 500π.Χ.-1900μ.Χ. και 1901-1986. Το διαφορετικό χρώμα των κουκκίδων αντιστοιχεί στην διαφορετική χρονική περίοδο ενώ η διαφορετική διάμετρος στις διάφορες κλάσεις μεγέθους (Παπαζάχος και Παπαζάχου, 2003).

Βάσει στατιστικών δεδομένων, στην περιοχή της Μεσογείου καθώς και στην Ευρώπη η Ελλάδα καταλαμβάνει την πρώτη θέση από άποψη σεισμικότητας (Galanopoulos, 1971; Papazachos, 1977), ενώ σε παγκόσμιο έρχεται έκτη ακολουθώντας την Ιαπωνία, τις Νέες Εβρίδες (Δημοκρατία Βανουάτου), το Περού, τα Νησιά του Σολομώντα και τη Χιλή. Το γεγονός αυτό την καθιστά σημείο μεγάλου ερευνητικού ενδιαφέροντος για τους γεωλόγους και τους γεωφυσικούς.

2.1.1 Γεωλογία πριν και μετά τον σεισμό στην Ελλάδα

Μετά την έλευση ενός σεισμού παρατηρούνται συνήθως, ανάλογα με το μέγεθός του, μεγαλύτερες ή μικρότερες μεταβολές στην επιφάνεια του εδάφους, στη γεωλογία και στα πετρώματα μιας περιοχής. Οι σημαντικότερες από αυτές είναι (Koukouvelas and Doutsos, 1996; Michetti et al., 2007):

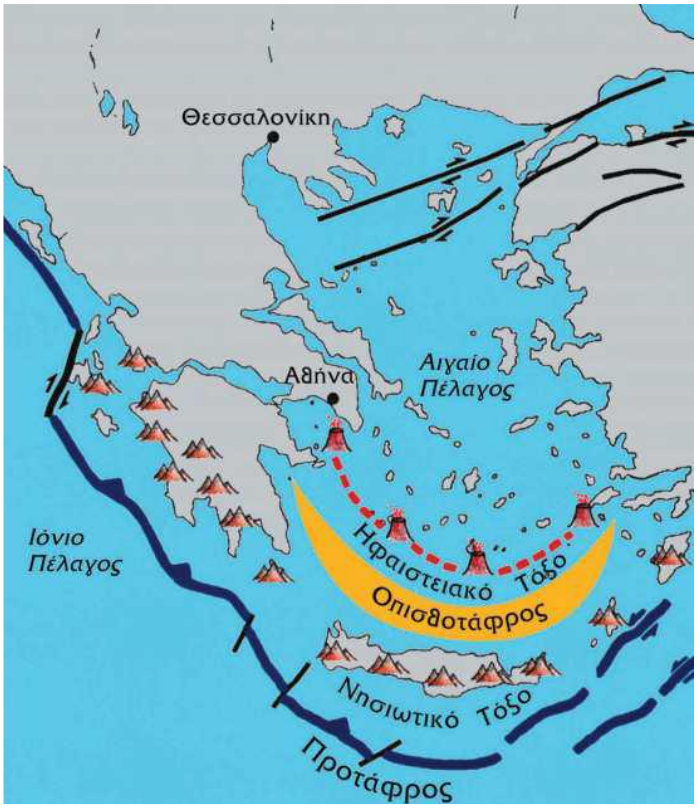
- ***Ρωγμές στα ανώτερα στρώματα του εδάφους***. Άμεση εμφάνιση ρωγμών στο έδαφος μήκους έως και μερικά χιλιόμετρα. Πρόκληση σοβαρών προβλημάτων σε αστικές περιοχές
- ***Κατολισθήσεις από επικλινείς επιφάνειες***. Συχνότερη μακροσεισμική συνέπεια στα ελληνικά εδάφη. Πρόσφατο παράδειγμα η κατολίσθηση στη Λευκάδα, στην παραλία Εγκρεμνών, το 2015 με μέγεθος σεισμού 6,1R, προξένησε ζημιές στο οδικό δίκτυο και στην κυκλοφορία των οχημάτων
- ***Καθίζηση***. Αποτέλεσμα της δράσης των ρηγμάτων με σοβαρές συνέπειες στις ανθρώπινες εγκαταστάσεις. Είναι δυνατόν να φτάσει τα δύο μέτρα βάθος
- ***Ρευστοποίηση εδαφών.*** Οφείλεται στην απώλεια της συνοχής του εδάφους. Συχνή εμφάνιση σε περιοχές με κοιλώματα/κυρτώματα και λεπτόκοκκο υλικό καθώς και κορεσμένες (παρουσία νερού λόγω επιφανειακών υδάτων). Παρατηρήθηκε πρόσφατα (Ελασσόνα, 2021) φαινόμενο ρευστοποίησης κοντά στις κοίτες των ποταμών Πηνειού και Τιταρησίου (Εικόνα 6)
- ***Μεταβολή της κατεύθυνσης κίνησης ποταμών και της κοίτης τους***. Σπάνια επίπτωση. Παράδειγμα αποτελεί η περίπτωση μεταβολής της κοίτης του Σπερχειού ποταμού μετά από σεισμό στο Μαλιακό το 426π.Χ.



Εικόνα 6. Φαινόμενο ρευστοποίησης στην κοίτη του Πηνειού ποταμού, που προκλήθηκε από το σεισμό στην Ελασσόνα (M>6R) (https://www.protothema.gr/greece/article/1103005/seismos-stin-elassona-pos-exelissetai-i-metaseismiki-drastiriotita/).

Τα βασικά γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά της ελληνικής επικράτειας είναι τα ακόλουθα (Makropoulos and Burton, 1984; Papazachos et al., 1993):

- ***Το Ελληνικό τόξο***. Έχει σημείο έναρξης την Κεφαλονιά διαπερνά το Ιόνιο και τη νότια Κρήτη και καταλήγει στη Ρόδο. Αίτιο εμφάνισής της αποτελεί η σύγκλιση ηπειρωτικής και ωκεάνιας πλάκας (Εικόνα 7)
- ***Η ελληνική τάφρος στο νότιο Αιγαίο***. Βασικά στοιχεία είναι η πρόταφρος, το κυρίως νησιωτικό τόξο, η οπισθόταφρος και το ηφαιστειακό τόξο
- ***Η λεκάνη του βορείου Αιγαίου***. Έχει βάθος περίπου 1,5km και τοποθετείται παράλληλα με το Ελληνικό τόξο, συνίσταται από συστοιχία υποταφρών μικρού μήκους, στις οποίες γίνεται η σύγκλιση των τεκτονικών πλακών



Εικόνα 7. Σεισμικό τόξο στην Ελλάδα [Προσαρμοσμένο σύμφωνα με τους Papanicolaou (1998)].

Η πρόταφρος ή το εξωτερικό ιζηματογενές τόξο βρίσκεται στο όριο σύγκλισης των δύο πλακών και παρατηρείται από την Κεφαλονιά έως τη Ρόδο. Ειδικότερα, στο εξωτερικό τόξο εντοπίζονται τα νησιά Ιονίου, η Κρήτη και η Ρόδος. Το κυρίως νησιωτικό τόξο περιλαμβάνει σύμπλεγμα νησιών με τα μεγαλύτερα από αυτά να είναι η Κρήτη, η Ρόδος και τα Κύθηρα. Η οπισθόταφρος βρίσκεται πάνω από την Ευρασιατική πλάκα και είναι μια σχετικά αβαθής θάλασσα. Το ηφαιστειακό ή εσωτερικό τόξο βρίσκεται παράλληλα με το νησιωτικό τόξο και διακατέχεται από γεωθερμικά και ηφαιστειακά φαινόμενα. Κατά μήκος του εσωτερικού τόξου εντοπίζονται ανενεργά και/ή ενεργά ηφαίστεια όπως της Σαντορίνης, της Νισύρου και της Μήλου (Εικόνα 8) (Papazachos et al., 1993; Jolivet et al., 2015).



Εικόνα 8. Νησιωτικό τόξο στην Ελλάδα (www.oasp.gr).

2.2 Ιστορική αναδρομή σεισμικών συμβάντων

Στην Ελλάδα εντοπίζονται 157 ενεργά σεισμικά ρήγματα οι οποίοι έχουν οδηγήσει στην εμφάνιση 570 σεισμών με μέγεθος μεγαλύτερο από έξι βαθμούς της κλίμακας του Ρίχτερ. Μεταξύ αυτών, 20 καταγράφηκαν στη Ζάκυνθο, 17 στην Κεφαλλονιά και 16 στη Λευκάδα, κατατάσσοντας με αυτόν τον τρόπο το δυτικό και νότιο τμήμα της Ελλάδας, συγκεκριμένα το Ιόνιο ως την πιο σεισμογενή περιοχή της Ελλάδας.

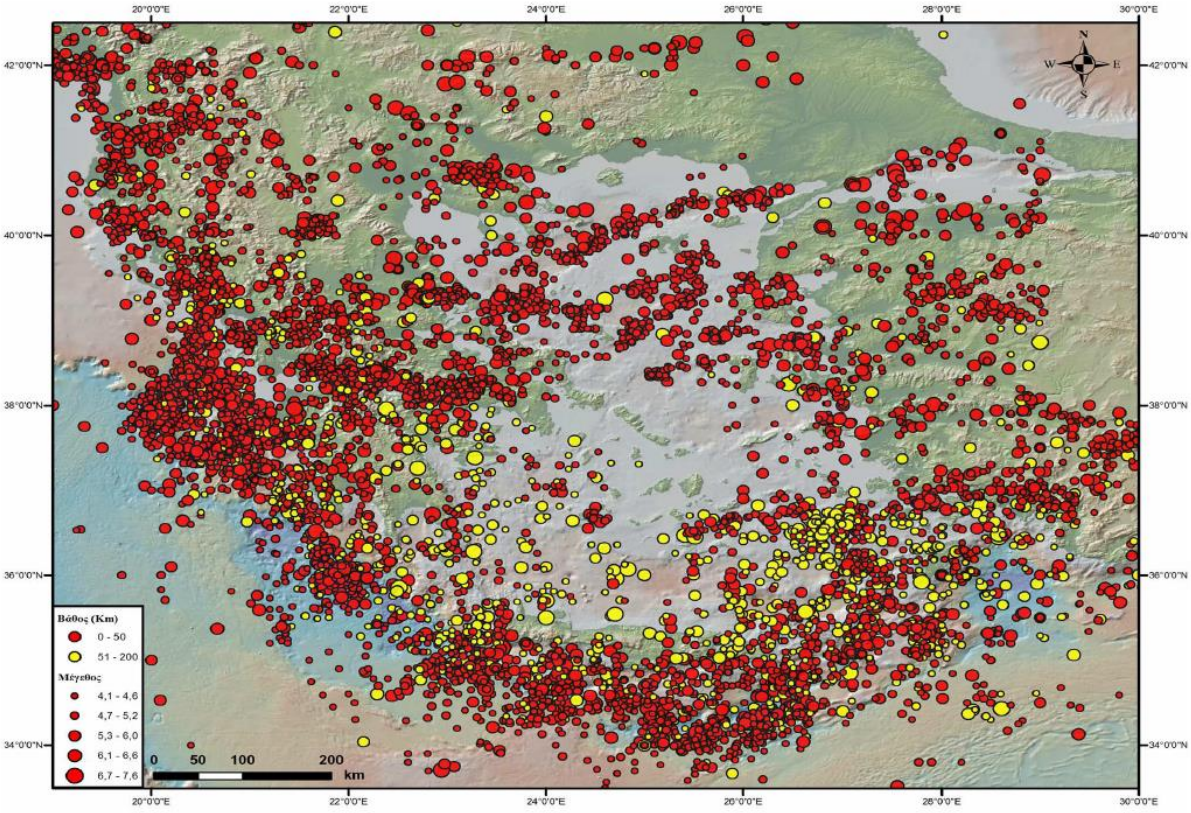
Ισχυρότατοι σεισμοί έχουν καταγραφεί στο ελληνικό έδαφος τις προηγούμενες δεκαετίες (Εικόνα 9). Ο μεγαλύτερος σεισμός των τελευταίων δεκαετιών άγγιξε τα 7,1 ρίχτερ και τοποθετείται στον Άγιο Ευστράτιο το 1968. Ο πιο θανάσιμος σεισμός μεγέθους 6,4 ρίχτερ σημειώθηκε στη Χίο το 1881, με συνέπεια την απώλεια 4.200 ανθρώπων (Εικόνα 10). Ο μεγαλύτερος σεισμός από άποψη μεγέθους (7,6 ρίχτερ) εντοπίστηκε στη Ρόδο το 1926, προκαλώντας το θάνατο 12 ανθρώπων. Επιπλέον, υπάρχουν παραδείγματα σεισμών έχουν προκαλέσει την ενεργοποίηση δευτερευόντων φυσικών καταστροφών. Μια τέτοια περίπτωση αποτελεί ο σεισμός που σημειώθηκε στην Αμοργό το 1956 μεγέθους 7.5 ρίχτερ, ο οποίος οδήγησε στη δημιουργία του σημαντικότερου για τα ελληνικά δεδομένα

θαλάσσιου κύματος βαρύτητας (τσουνάμι) τα τελευταία 50 χρόνια (Kouskouma and Makropoulos, 2004) (Πίνακας 4).

Πίνακας 4. Καταγεγραμμένοι σεισμοί στην Ελλάδα την περίοδο 1900-2021 (Makropoulos et al., 2012; Sasmal et al., 2021).

Μήνας/Έτος	**Ένταση (Ρίχτερ)**	**Περιοχή**
07/1902	6,5	Θεσσαλονίκη
08/1903	7,2	Κύθηρα
08/1904	6,8	Σάμος
11/1905	7,5	Άθως
02/1910	6,8	Κρήτη
01/1912	6,8	Κεφαλονιά
11/1914	6,3	Λευκάδα
08/1915	6,7	Ιθάκη
06/1926	7,6	Ρόδος
09/1932	7	Χαλκιδική
08/1953	7,2	Κεφαλονιά
07/1956	7,5	Αμοργός
04/1957	7,2	Ρόδος
02/1968	7,1	Άγιος Ευστράτιος
05/1976	6,5	Ζάκυνθος
01/1982	7	Θάσος
01/1983	7	Κεφαλονιά
05/1995	6,6	Κοζάνη
01/1997	6,6	Ζάκυνθος
09/1999	5,9	Αθήνα
01/2002	6,3	Κάρπαθος
10/2005	6	Σάμος
01/2006	6,9	Κύθηρα
06/2008	6,5	Ανδραβίδα
11/2015	6,5	Λευκάδα
07/2017	6,7	Κως
10/2020	6,7	Σάμος

03/2021	6,3	Ελασσόνα



Εικόνα 9. Χωρική κατανομή σεισμών, επιφανειακών και ενδιάμεσων, στον ελλαδικό χώρο την περίοδο 1900-2009. Το διαφορετικό χρώμα αντιστοιχεί στο διαφορετικό βάθος των σεισμών και η παραλλαγή μεγέθους αντικατοπτρίζει το μέγεθος του σεισμού [Προσαρμοσμένο σύμφωνα με τους Makropoulos et al. (2012)].



Εικόνα 10. Καταστροφή του εμπορικού κέντρου στην Απλωταριά, στην πόλη της Χίου μετά το σεισμό το 1881 [Fasoulakis and Bouras, (1983)].

2.2.1 Παραδείγματα ισχυρών/φονικών σεισμών στην Ελλάδα

Η Ελλάδα τοποθετείται από σεισμολογικής πλευράς στην οριακή ζώνη μεταξύ της αφρικανικής και ευρασιατικής πλάκας. Η βόρεια Ελλάδα περιλαμβάνεται στην ευρασιατική πλάκα ενώ το υπόλοιπο τμήμα της χώρας βρίσκεται στην πλάκα του Αιγαίου. Παρατηρείται υποχώρηση της αφρικανικής πλάκας, η οποία βρίσκεται κάτω από την πλάκα του Αιγαίου, με ρυθμό μεγέθους περίπου 40mm/έτος (McKenzie, 1972; Dewey and Şengör, 1979).

Ως επί το πλείστων, οι σεισμοί στην Ελλάδα που είχαν καταστρεπτικές έως μη αντιστρεπτές συνέπειες για τον άνθρωπο και το γύρω περιβάλλον σχετίζονται με το ελληνικό τόξο. Βέβαια, κανένας από αυτούς δεν έχει ξεπεράσει τους 7,2 βαθμούς ρίχτερ, όπως έχει καταγραφεί από ειδικά σεισμολογικά όργανα. Στο ηπειρωτικό τμήμα της Ελλάδας οι τεκτονικής φύσης σεισμοί δεν ξεπερνούν τα 7 ρίχτερ, ενώ

στο Βόρειο Αιγαίο και στο Νότιο Αιγαίο φτάνουν μέχρι τα 7,2 και 8,2 ρίχτερ αντίστοιχα.

Παρακάτω αναφέρονται μερικοί από τους πιο καταστρεπτικούς/φονικούς σεισμούς που έχουν σημειωθεί στην Ελλάδα:

- Κρήτη, 1810, 7,8R, 2.500 θάνατοι. Προκάλεσε σοβαρές ζημιές στη βορειοανατολική Κρήτη (κυρίως στο)Ηράκλειο, στη Μάλτα και στη βόρεια Αίγυπτο και έγινε αντιληπτός από την Ιταλία μέχρι τη Συρία. Καταστράφηκε το 1/3 των σπιτιών και χάθηκε σχεδόν ολοσχερώς η πόλη του Μεγάλου Κάστρου. Πριν από αυτόν τον μεγάλο σεισμό είχαν προηγηθεί μικρότεροι που προκάλεσαν ρήγματα στο έδαφος
- Ρόδος, 1856, 8,2R, 618 θάνατοι. Σημειώθηκε στην Κρήτη και στη Ρόδο, ήταν ενδιάμεσου εστιακού βάθους και διήρκεσε παραπάνω από 60 δεύτερα. Το Ηράκλειο και το Ρέθυμνο επλήγησαν περισσότερο, όπου τα περισσότερα σπίτια κρίθηκαν ακατάλληλα για κατοικία. Επίσης, ζημιές καταγράφηκαν στην Κάρπαθο, στο Καστερλόριζο και στην Κύπρο
- Λέσβος, 1867, 6,8R, 550 θάνατοι. Επίκεντρο του σεισμού το χωριό Νάπη, καταστροφή χωριών όπως Πέτρα, Καλλονή, Παράκοιλα, Κλουμιδάδος. Σημειώθηκαν διαρρήξεις στο έδαφος, κατολισθήσεις και ρευστοποίηση του εδάφους. Μετασεισμικές δονήσεις συνέχισαν να υφίστανται μέχρι το Μάρτιο του 1868
- Χίος, 1881, 6,4R, 4200 θάνατοι. Σοβαρές ζημιές στο νησί της Χίου και στις γειτονικές παραλιακές πόλεις Τσεσμέ και Αλάτσατα. Θεωρείται ότι είναι ο σεισμός που προκάλεσε την απώλεια των περισσότερων ανθρώπινων ζωών για τα ελληνικά δεδομένα. Σημειώθηκε βύθιση παράλιων περιοχών κατά 80 cm, ολοσχερής καταστροφή χωριών, κατολίσθηση εδάφους
- Αργοστόλι, 1953, 7,2R, 476 θάνατοι. Συνολικά παρατηρήθηκαν 135 μετασεισμικές δονήσεις δημιουργώντας προβλήματα στα νησιά Κεφαλονιά, Ιθάκη και Ζάκυνθος. Ολοσχερώς καταστράφηκαν το Αργοστόλι, η Ζάκυνθος και το Ληξούρι ενώ επηρεάστηκαν σε έναν βαθμό η Λευκάδα, η Αιτωλοακαρνανία. Παρόλο που ακολούθησε διεθνής μέριμνα για τους

κατοίκους των περιοχών που επλήγησαν, παρατηρήθηκε ιδιαίτερα υψηλός αριθμός μεταναστεύσεων όπως έγινε στην Κεφαλονιά.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3ο. ΣΕΙΣΜΙΚΟΤΗΤΑ ΣΤΗΝ ΚΡΗΤΗ. ΑΙΤΙΑ ΚΑΙ ΣΥΝΕΠΕΙΕΣ

3.1 Σεισμικότητα στην Κρήτη

Το νησί της Κρήτης εντοπίζεται στη θάλασσα του Νότιου Αιγαίου, μεταξύ της Πελοποννήσου και της Δυτικής Τουρκίας και καταλαμβάνει το νοτιότερο τμήμα της Ελλάδας. Περιφερειακά του νησιού παρατηρούνται ενεργές τεκτονικές δομές οι οποίες παρουσιάζουν σύνδεση με σεισμικά συμβάντα και ηφαιστειακές εκρήξεις. Βάσει της Ελληνικής Βάσης Δεδομένων Ενεργών Ρηγμάτων (Greek Database of Seismogenic Sources – GreDaSS) η περιοχή του Νότιου Αιγαίου διακρίνεται σε 16 τεκτονικά τεμάχη (blocks). Η Κρήτη διακρίνεται σε τέσσερα κύρια τεκτονικά τεμάχη (Εικόνα 11)



Εικόνα 11. Επιμέρους τεκτονικά τεμάχη του Νότιου Αιγαίου. Τμήματα της Κρήτης ανήκουν στα: 11 Νότιο Αιγαίο, 12 Βόρεια Κρήτη, 13 Νότια-Δυτική Κρήτη, 14 Κεντρική Κρήτη, 15 Κεντρική Κρήτη, 16 Ανατολική Κρήτη (Λάζος, 2021).

Η ευρύτερη περιοχή της Κρήτης χαρακτηρίζεται από μεγάλη σεισμικότητα (Papazachos & Papazachou, 1997). Ωστόσο, το δυτικό τμήμα του νησιού, το οποίο βρίσκεται πιο κοντά στο όριο της πλάκας, και θα πρέπει να πιο ευάλωτο σε σεισμούς, αλλά από ιστορικά στοιχεία και μετρήσεις φαίνεται ότι δεν είναι τόσο υψηλή η σεισμικότητα. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τα Χανιά, η μεγαλύτερη πόλη του δυτικού τμήματος, αποτελούσε λιμάνι και σημαντικής υπόστασης Βενετική πόλη για αιώνες, με συνέπεια η ιστορία της να είναι λεπτομερώς αποτυπωμένη. Με απλά λόγια θεωρείται ως περιοχή ελάχιστου σεισμικού κινδύνου (Drakopoulos and Makropoulos, 1983). Παρά την παραπάνω διαπίστευση, τα γεωλογικά δεδομένα υποδεικνύουν ότι ισχυροί σεισμοί έχουν προκαλέσει παραμόρφωση κατά μήκος της δυτικής ακτής της Κρήτης περίπου το 370 μ.Χ. Ένας μεγάλος σεισμός άνευ προηγουμένου, ο οποίος έχει συνδεθεί με τον σεισμό της 21ης Ιουλίου το 365 μ.Χ. (μέγεθος μεγαλύτερο από 8R), έχει οδηγήσει στην παραμόρφωση (ανύψωση και κλίση έως 9μ.) 100km περίπου της ακτογραμμής (Pirazzoli et al., 1992). Είναι σχετικά δεδομένο ότι στο Ελληνικό τόξο λαμβάνουν χώρα ισχυροί σεισμοί, όμως η συσχέτιση μεταξύ ενός τεκτονικού φαινομένου και ενός συγκεκριμένου σεισμού έχει αξία μόνο στην περίπτωση που μπορεί να αποδειχθεί ότι δεν παρατηρήθηκαν άλλοι ισχυροί σεισμοί την ίδια χρονική περίοδο (Stiros and Papageorgiou, 2001).

Βάσει ενός αρχείου με ιστορικά και αρχαιολογικά δεδομένα, χρονικής περιόδου 4.000 χρόνων, πλήθος σεισμών ιδιαίτερα στο κεντρικό τμήμα έχουν καταστρέψει το νησί. Το γεγονός αυτό αποτυπώνεται στην καταστροφή των περίφημων παλατιών και άλλων ερειπίων του Μινωικού πολιτισμού, ενώ υπάρχουν σημάδια για ένα πιθανό τσουνάμι που σχετίζεται με την έκρηξη του ηφαιστείου της Θήρας πριν από 3.500 χρόνια (Pichler and Schiering, 1977). Τα αρχαία κατάλοιπα περιορίζονται στο κεντρικό και ανατολικό τμήμα της Κρήτης, ενώ η ρωμαϊκή πόλη Κίσαμος είναι η μόνη αρχαία πόλη στο δυτικό τμήμα που μπορεί να δώσει χρήσιμες πληροφορίες για την ιστορική εμφάνιση των σεισμών (Stiros and Papageorgiou, 2001).

Το 1995, στο πλαίσιο ενός προγράμματος ζωνοποίησης μικρής κλίμακας, τοποθετήθηκε από το Ινστιτούτο Γεωδυναμικής και το Πανεπιστήμιο Αθηνών ένα

δίκτυο δέκα φορητών σεισμολογικών σταθμών στο κεντρικό τμήμα του νησιού. Η διάρκεια λειτουργίας των συγκεκριμένων σταθμών ήταν τρεις μήνες. Κατά τη διάρκεια της περιόδου αυτής καταγράφηκαν 1000 περιπτώσεις μικροσεισμών μεγέθους έως 4,6R και βάθους 70km. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της εργασία των Delibasis et al. (1999), έντονη σεισμική δραστηριότητα παρατηρήθηκε στα παράλια της νότιας και ανατολικής Κρήτης (περιοχή Ηράκλειο), ενώ στο βόρειο τμήμα ήταν ελάχιστη.

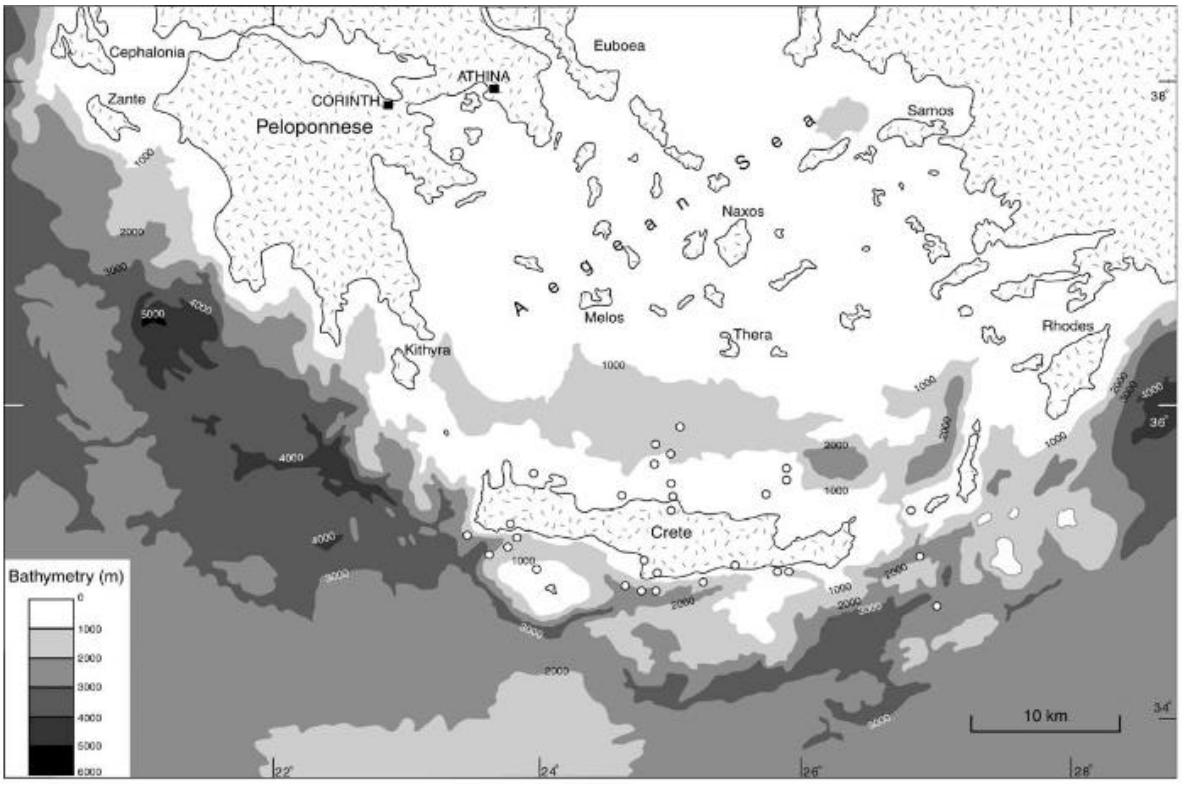
3.1.1 Επίδραση τεκτονικών πλακών στην Κρήτη

Η Κρήτη βρίσκεται κατά μήκος τους Ελληνικού Τόξου και δίπλα σε ένα σύστημα θαλάσσιων τάφρων άνω των τριών χιλιομέτρων (Εικόνα 12) που σηματοδοτούν το συγκλίνον όριο μεταξύ Αφρικής και Ευρασίας. Αυτή η μεγάλη ζώνη ρηγμάτων συσχετίζεται με έντονη σεισμικότητα και πιθανόν ελέγχει τη γεωμορφολογική και τεκτονική εξέλιξη του νησιού. Η σύγκρουση μεταξύ της Αφρικανικής και Ευρασιατικής πλάκας οδήγησε στην ανύψωση της Κρήτης κατά περίπου 2-3 χιλιόμετρα τα τελευταία 13 εκατομμύρια χρόνια (Angelier, 1979). Το γεγονός αυτό συνεχίζεται ακόμη και σήμερα, όπως φαίνεται από αυξημένα θαλάσσια ιζήματα στις ακτές που υπάρχουν από την τελευταία Μεσοπαγετώδη περίοδο και το Ολόκαινο (Pirazzoli et al., 1996).

Το ελληνικό τόξο στο οποίο τοποθετείται η Κρήτη θεωρείται μία από τις πιο ενεργές σεισμικές ζώνες στην ευρύτερη περιοχή της δυτικής Ευρασίας, με τις επιδράσεις των σεισμών να φτάνουν έως και την Αίγυπτο (Hamouda, 2006).

Χαρακτηριστική είναι η ευρεία παρουσία κανονικών ρηγμάτων, ως οι κυρίαρχες νεοτεκτονικές δομές. Υπάρχει πιθανότητα αυτά τα ρήγματα να είναι αποτέλεσμα έντονης ώθησης κάτω από δομές κατάρρευσης (Taymaz et al., 1990). Σε γενικές γραμμές το δυτικό τμήμα του νησιού φαίνεται να συμπεριφέρεται ως ένα μη μεταβλητό πεδίο λόγω των περιορισμένων σφαλμάτων. Τα ρήγματα του νησιού μήκους 4-30km οδηγούν στη δημιουργία επιφανειακών ή ενδιάμεσων σεισμών με μέγεθος που μπορεί να φτάνει έως τα 7R. Η οργάνωση των ρηγμάτων αυτών ακολουθεί δύο κατευθύνσεις, δυτικά-βορειοδυτικά προς ανατολικά-νοτιοανατολικά

ή βόρειο-βορειοανατολικά προς νότιο-νοτιοδυτικά. Η παρουσία των ρηγμάτων αυτών έχει προξενήσει τον κατακερματισμό του ορεινού τμήματος του νησιού (Caputo et al., 2010).



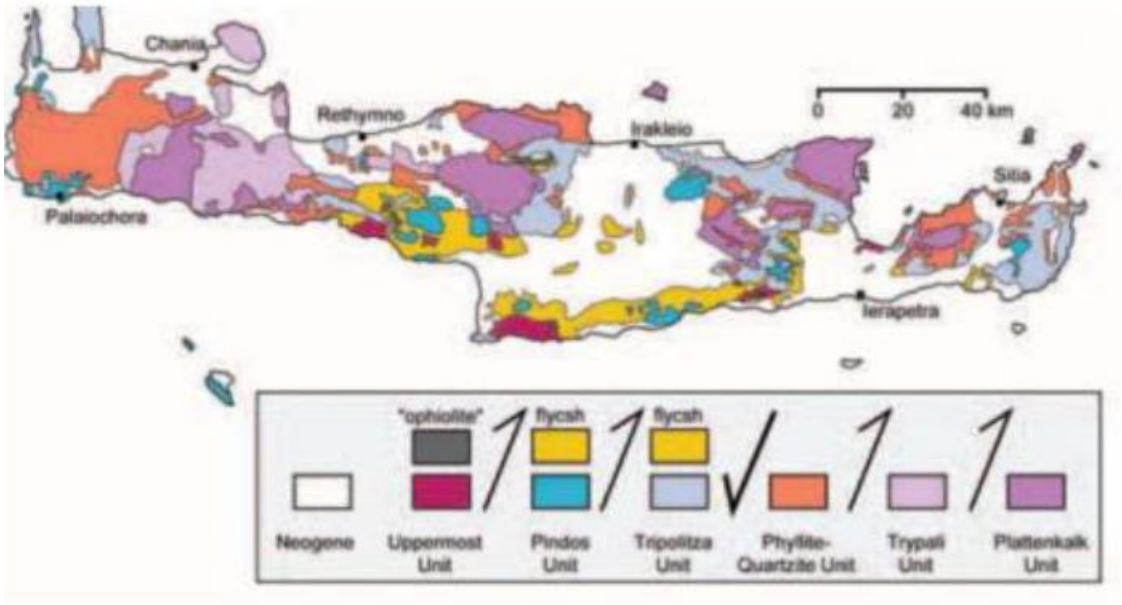
Εικόνα 12. Βαθυμετρικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής της Κρήτης (Κλίμακα 1:1.000.000). Οι κύκλοι υποδεικνύουν σεισμικά φαινόμενα που προκάλεσαν ζημιές στην Κρήτη από το 500 π.Χ. [Προσαρμόστηκε σύμφωνα με τους Papazachos and Papazachou (1997)].

3.1.2 Γεωλογία Κρήτης

Στο όριο σύγκλισης της Ευρασιατικής και Αφρικανικής πλάκας υπήρχε η Τύθης, δηλαδή μια μεγάλη ωκεάνια θάλασσα με εξάπλωση στον Ισημερινό. Η περίοδος έναρξης του Μεσοζωικού αιώνα έως και τον Καινοζωικό σηματοδοτείται από την ανάδυση μιας μεγάλης χερσαίας επιφάνειας. Ο ελληνικός χώρος χαρακτηρίζεται από ένα σύνθετο γεωλογικό υπόβαθρο και σχηματισμούς ως αποτέλεσμα της συνεχούς και μακροχρόνιας διαφοροποίησης και εξέλιξης του. Κυρίως μπορεί να διακριθεί σε δύο περιόδους:

- Αλπική. Πιο πρόσφατη περίοδος, έγινε η ανάδυση των Άλπεων, των Πυρηναίων και των ελληνικών οροσειρών
- Μεταλπική. Εμφανίζεται τα τελευταία 20 εκατομμύρια χρόνια, σχηματίζεται το Ελληνικό τόξο

Ο σχηματισμός της Κρήτης πραγματοποιήθηκε κατά την αλπική περίοδο. Όσον αφορά τη δομή της, περιλαμβάνει προαλπικά και αλπικά πετρώματα καθώς και ιζήματα νεοσχηματισθέντων λεκανών τα οποία συνδέουν τα οροπέδια και δημιουργούν το νησί της Κρήτης (ΙΓΜΕ, 2009) (Εικόνα 13).



Εικόνα 13. Γεωλογικό υπόβαθρο της Κρήτης (Rahl and Fassoulas, 2004).

3.1.3 Ιστορική αναδρομή σεισμών στην Κρήτη

Πληθώρα τοπικών σεισμών έχουν πλήξει την ευρύτερη περιοχή της Κρήτης, προκαλώντας έως και ανεπανόρθωτες ζημιές. Παρακάτω αναφέρονται οι ιστορικά μεγάλης έντασης σεισμοί, που έχουν καταγραφεί είτε από ειδικά όργανα είτε από ιστορικούς (Siebert 1932; Παπαζάχος και Παπαζάχου 1997):

- 368 π.Χ. Είχε μέγεθος 7,7R και επίκεντρο ήταν το νησί της Κρήτης

- 267 π.Χ. Είχε μέγεθος 7,0R και επίκεντρο ήταν το νησί της Κρήτης
- 255 π.Χ. Είχε μέγεθος 6,8R και επίκεντρο ήταν το νησί της Κρήτης
- 55 μ.Χ. Είχε μέγεθος 7,2R και επίκεντρο ήταν το νησί της Κρήτης
- 66 μ.Χ. Είχε μέγεθος 7,0R και επίκεντρο ήταν το Ηράκλειο
- 251 μ.Χ. Είχε μέγεθος 7,5R και επίκεντρο ήταν η Κνωσός
- 365 μ.Χ. Είχε μέγεθος 9,2R και εντοπίστηκε νοτιοανατολικά των Φαλασάρνων
- 439 μ.Χ. Είχε μέγεθος 7,6R και επίκεντρο ήταν το νησί της Κρήτης. Καταστράφηκε σχεδόν όλο το νότιο κομμάτι της Κρήτης
- 796 μ.Χ. Είχε μέγεθος 7,5R και επίκεντρο ήταν το νησί της Κρήτης. Αισθητός μέχρι και τη Σικελία
- 1508 μ.Χ. Είχε μέγεθος 7,2R και επίκεντρο ήταν την Ιεράπετρα
- 1612 μ.Χ. Είχε μέγεθος 7,0R και επίκεντρο ήταν το Ηράκλειο. Αισθητός σε διάφορα μέρη της Μεσογείου
- 1681 μ.Χ. Είχε μέγεθος 7,0R και επίκεντρο ήταν το Ηράκλειο. Καταστράφηκε περίπου το 1/3 της πόλης από τους μετασεισμούς
- 1780 μ.Χ. Είχε μέγεθος 7,0R και επίκεντρο ήταν η Ιεράπετρα
- 1805 μ.Χ. Είχε μέγεθος 7,2R και επίκεντρο ήταν τα Χανιά. Αισθητός μέχρι τη Σικελία και τη Νεάπολη
- 1810 μ.Χ. Είχε μέγεθος 7,8R και επίκεντρο ήταν το Ηράκλειο

3.2 Σεισμολογικό δίκτυο της ευρύτερης περιοχής της Κρήτης

Το Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης και συγκεκριμένα το Εργαστήριο Γεωφυσικής και Σεισμολογίας έχει ως ερευνητικό αντικείμενο την πρόγνωση σεισμών, τη μελέτη σεισμικών καταστροφών, την εξέταση γεωλογικών μεταβολών που έχουν ουσιαστική περιβαλλοντική/πολιτιστική/οικονομική αξία, τη μελέτη μικροζωνικών περιπτώσεων κλπ. (http://gaia.chania.teicrete.gr/). Οι σεισμολογικοί σταθμοί ανήκουν σε ένα εξελιγμένο τηλεμετρικό δίκτυο (Hellenic Seismological Network of Crete or HSNC) και έχουν εγκατασταθεί τόσο στην Κρήτη όσο και στο

Ν. Αιγαίο. Η έναρξη λειτουργίας του πρώτου σταθμού στην Κρήτη σημειώθηκε το 2004 με αισθητήρες επίπεδης απόκρισης με ταχύτητα που φθάνει έως τα 100Hz. Η σύνδεση των περιφερειακών σταθμών έγινε με τη χρήση δοκιμασμένων και αξιόπιστων ευρυζωνικών τεχνικών, η βασικότερη από τις οποίες ήταν η δορυφορική ζεύξη (δορυφόρος Hellas Sat II). Με αυτό το σύστημα λειτουργούν όλοι οι σεισμολογικοί σταθμοί στην Κρήτη

Η κατανομή των σεισμολογικών σταθμών της ευρύτερης περιοχής της Κρήτης απεικονίζονται στην Εικόνα 14 και δεδομένα γεωαναφοράς, όνομα σταθμού και υψόμετρο παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.



Εικόνα 14. Σεισμολογικό δίκτυο Κρήτης. Τα σημεία αντιστοιχούν στους σεισμολογικούς σταθμούς μέτρησης του Πανεπιστημίου Αθηνών (http://www.geophysics.geol.uoa.gr/stations/gmaps3/leaf_stations.php?map=2&lng=el).

Πίνακας 5. Κατάλογος σεισμολογικών σταθμών της Κρήτης (http://www.geophysics.geol.uoa.gr/stations/ gmaps3/leaf_stations.php?map=2&lng=el).

Σταθμός	**Περιοχή**	**Γεωγραφικό πλάτος (N)**	**Γεωγραφικό μήκος (E)**	**Υψόμετρο (m)**
IMMV	Βαρύπετρο, Χανιά	35,4506°	23,9811°	230
VAM	Βάμος, Ν. Κρήτη	35,4070°	24,1977°	225
SIVA	Σίβας, Ν. Κρήτη	35,0178°	24,8120°	96
IDI	Ανώγεια	35,2880°	24,8900°	750

IACM	Ηράκλειο	35,3058^{o}	25,0709^{o}	45
LAST	Λασίθι	35,1620^{o}	25,4780^{o}	870
NPS	Νεάπολη	35,2613^{o}	25,6103^{o}	288
ZKR	Ζάκρος, Ν. Κρήτη	35,1147^{o}	26,2170^{o}	270

3.2.1 Πρόσφατο σεισμολογικό αρχείο όλης της Κρήτης

Παρακάτω παρουσιάζονται μερικά δεδομένα για τους πιο πρόσφατους σεισμούς που έχουν καταγραφεί από τα σεισμολογικά δίκτυα EMSC και NOA την περίοδο 2015-2019 και μέγεθος 5-8R (Πίνακας 6). Τα επίκεντρα των σεισμών αυτών είναι είτε στο νησί της Κρήτης είτε σε μικρή σχετικά απόσταση ώστε να είναι εμφανείς οι συνέπειες.

Πίνακας 6. Κατάλογος σεισμικών συμβάντων στην περιοχή της Κρήτης την περίοδο 2015-2019 εστιακού βάθους 200km και μεγέθους 5-8R. Οι καταγραφές είναι κατά φθίνουσα χρονολογική σειρά (Τόγια, 2020).

Κωδικός σεισμικού συμβάντος	**Ημερομηνία**	**Επίκεντρο**	**Γεωγραφικό πλάτος (N)**	**Γεωγραφικό μήκος (E)**	**Εστιακό βάθος (km)**	**Μέγεθος (R)**
noa2019ovynv	31/07/2019	23km βόρειο δυτικά από Ηράκλειο	35,4044	24,8941	66,1	5,2
35F02168	15/07/2017	19km νότια της Άρμης	34,8185	25,4608	5	5,3
evman170125185053	25/01/2017	37km βόρειο ανατολικά Σητείας	35,3965	26,4477	60,7	5,4
evman150609214946	09/06/2015	34km νότιο δυτικά Κάσου	35,0422	26,7902	15,8	5,4
evman150417020542	17/04/2015	25km νότιο δυτικά Κάσου	35,1597	26,7350	40,1	5,4

evman150416180744	16/04/2015	14km νότιο δυτικά Κάσου	35,2337	26,8200	36,8	6,1
evman150327233452	27/03/2015	50km νότιο δυτικά της Κάσου	35,6762	26,5637	66,6	5,3

3.3 Σεισμικότητα στην Ανατολική Κρήτη

Το νότιο τμήμα της Κρήτης χαρακτηρίζεται από έντονη σεισμικότητα, ενώ το κεντρικό και ανατολικό τμήμα της είναι λιγότερο ενεργό. Το γεγονός αυτό αποτυπώνεται τόσο από τις παρατηρήσεις από εξειδικευμένα όργανα όσο και από το πλήθος εργασιών που δημοσιεύονται για την εκάστοτε περιοχή. Επομένως, λόγω του μικρού σεισμοτεκτονικού ενδιαφέροντος που παρουσιάζει η ανατολική Κρήτη δεν υπάρχει μεγάλος όγκος εργασιών.

Κατά το διάστημα Ιανουάριος -Μάρτιος του 1999 περατώθηκε μελέτη σεισμικότητας με σημείο αναφοράς το ανατολικό τμήμα της Κρήτης. Για αυτό το λόγο εγκαταστάθηκαν 25 σταθμοί οι οποίοι κατέγραψαν συνολικά 1.617 μικροσεισμούς. Μεταξύ αυτών οι 1.136 συσχετίστηκαν με την ενεργό τεκτονική και δομή του φλοιού της γης, λαμβάνοντας υπόψη σφάλμα μικρότερο των 5km (Μακρής κα., 2003).

Το ανατολικό τμήμα της Κρήτης οροθετείται από δύο κυρίως κανονικά ρήγματα, το Ρήγμα Ακρωτήριο Λίθινο και το Ρήγμα Μύρτος, μήκους περίπου 20-25 km, κλίσης προς τα νότια (Caputo et al., 2010). Οι βασικές ρηξιγενείς δομές που σχηματίζονται από το ανατολικό προς το δυτικό τμήμα της Κρήτης είναι τα παρακάτω (Caputo et al., 2010):

- Ρηξιγενής ζώνη Σητεία. Σχηματισμός ζώνης μήκους 18-20km, διαχωρισμός των ανθρακικών ιζημάτων, μεταμορφωμένων πετρωμάτων από τις μειοκαινικές-πλειοκαινικές ιζηματογενείς ακολουθίες. Συνίσταται από τέσσερα ρήγματα, Ζου, Καλαμάκι, Αρμένοι και Λιθίνες
- Ρηξιγενής ζώνη Ιεράπετρα. Σχηματισμός ζώνης μήκους 25km. Αποτελεί τη διαχωριστική γραμμή μεταξύ της πεδιάδας Ιεράπτετρα-Καβούσι και των

Όρνο-Θρυπτής (ανατολικό τμήμα). Συνίσταται από τρία ρήγματα Φαράγγι Χα, Λάστρος και Σφάκα

- Ρήγμα Καστέλι. Χαρακτηριστικό του ρήγματος είναι το τεκτονικό πρανές ύψους 300m. Εμφανίζονται αλλουβιακές-κολλουβιακές αποθέσεις
- Ρηξιγενής ζώνη Ανατολικός Ψηλορείτης. Βρίσκεται στο ανατολικό τμήμα και χωρίζει τις αλπικές μονάδες από τα μειοκαινικά-πλειοκαινικά ιζήματα του Ν. Ηρακλείου. Συνίσταται κυρίως από τα ρήγματα Αγία Βαρβάρα, Κρουσώνας και Τύλισος
- Ρηξιγενής ζώνη Ροδωπός. Έχει μήκος περίπου 20km, συνίσταται από τα ρήγματα Γκιώνας, Ροδωπός και Κερά
- Ρήγμα Γραμβούσα. Βρίσκεται στη δυτική Κρήτη, έχει μήκος 10km και έχει σχέση με τα σεισμικά περιστατικά του νησιού (κυρίως δυτική Κρήτη)

Σύμφωνα με τους Tsapanos and Christova (2003) οι παρατηρούμενες διακυμάνσεις στο μέγεθος των μεγάλων σεισμών των διαφορετικών ζωνών καταβύθισης αποδίδονται σε διακυμάνσεις στη σεισμική σύζευξη του σημείου σύνδεσης των πλακών. Επομένως, οι υψηλές τιμές του μέγιστου σεισμικού μεγέθους (Mmax), τόσο στο δυτικό τμήμα της ζώνης Wadati-Benioff όσο και της ηπειρωτικής σφήνας, υποδηλώνουν ισχυρή σύζευξη στο σημείο διασύνδεσης των πλακών. Οι χαμηλότερες τιμές Mmax στα ανατολικά τμήματα και των δύο πλακών που βρίσκονται σε αλληλεπίδραση, υποδηλώνουν ασθενή σύζευξη. Μια εξήγηση για την ασθενή αυτή σύζευξη θα μπορούσε να είναι ο προσανατολισμός των θλιπτικών τάσεων (compressive stresses) καθώς και στις δύο πλάκες είναι ανατολικού προσανατολισμού, δηλαδή σχεδόν παράλληλες με το σημείο σύνδεσης των πλακών (Christova and Nicolova, 1998).

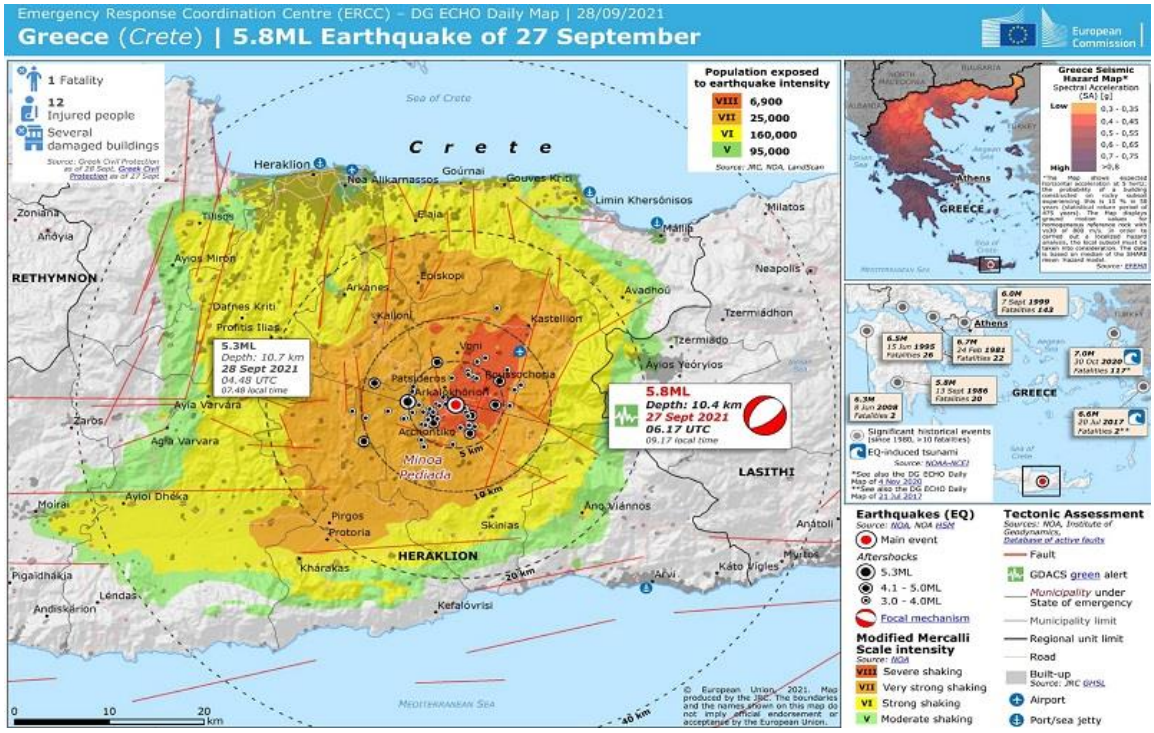
3.4 Συνέπειες σεισμικών συμβάντων

Οι σεισμοί είναι απειλητικά, απρόβλεπτα και πολλές φορές ανεξέλεγκτα φαινόμενα που μπορούν να προκαλέσουν εκτεταμένη καταστροφή και να οδηγήσουν εκατοντάδες ή και χιλιάδες ανθρώπους σε τραυματισμό έως και θάνατο, απώλεια περιουσίας, καταστροφή στέγης και εκτοπισμό (McCaughey et al., 1994).

Ως επί το πλείστων σεισμοί μεγέθους μικρότερου των 7R οι οποίοι σημειώνονται σε βάθη πάνω από 100km δεν προξενούν σοβαρές ζημιές. Οι συνέπειες των σεισμών είναι ποικίλες και διαμορφώνονται ανάλογα με το σημείο εμφάνισής τους, στεριά ή θάλασσα.

Ένας μεγάλος σεισμός που έχει σημειωθεί δυτικά της Κρήτης προκάλεσε τσουνάμι με πολλές καταστροφές στην ευρύτερη περιοχή της ανατολικής Μεσογείου και το δέλτα του Νείλου. Εξαιτίας του τσουνάμι σημειώθηκαν κύματα ύψους 12m στη νοτιοδυτική Κρήτη.

Η πιο πρόσφατη καταγραφή σεισμού στην ανατολική Κρήτη σημειώθηκε στις 27 Σεπτεμβρίου 2021 κοντά στο Αρκαλοχώρι Ηρακλείου μεγέθους 5,8 R προκαλώντας το θάνατο ενός ανθρώπου και σωρεία υλικών ζημιών (Εικόνα 15). Θεωρήθηκε ιστορικός σεισμός λόγω της εμφάνισης του επίκεντρου στο χερσαίο κομμάτι του νησιού και όχι στον υποθαλάσσιο όπως φαίνεται από προ υπάρχουσες ενόργανες μετρήσεις όλων των προηγούμενων σεισμικών συμβάντων. Ο συγκεκριμένος σεισμός αποτελεί τμήμα σεισμικής ακολουθίας με περίοδο έναρξης τέσσερις μήνες νωρίτερα (συνολικά 2.000 προσεισμοί) (https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A3%CE%B5%CE%B9%CF%83%CE%BC%CF%8C%CF%82_%CF%84%CE%BF%CF%85_%CE%91%CF%81%CE%BA%CE%B1%CE%BB%CE%BF%CF%87%CF%89%CF%81%CE%AF%CE%BF%CF%85_(2021)). Μάλιστα, μία από τις συνέπειες του ισχυρού σεισμού στο Αρκαλοχώρι ήταν η βύθιση που υπέστη κατά 15cm.



Εικόνα 15. Σεισμικό συμβάν στο Αρκαλοχώρι του Νομού Ηρακλείου της Κρήτης (https://erccportal.jrc.ec.europa.eu/ECHO-Products/Maps#/maps/3856).

3.4.1 Στον άνθρωπο

Αντιληπτός από τον άνθρωπο γίνεται ένας σεισμός όταν η σεισμική επιτάχυνση έχει τιμή μεγαλύτερη από 1gal (περίπου 1cm/sec^2).

Πλήθος ερευνών στο παρελθόν έχουν δοκιμάσει να συνδέσουν τη διαταραχή μετατραυματικού στρες (PTSD) με τα σεισμικά συμβάντα. Μια τέτοια περίπτωση αποτελεί ο σεισμός μεγέθους 5,6 R στην Αυστραλία ο οποίος προκάλεσε τραυματικό στρες και κατάθλιψη έως και δύο χρόνια μετά το συμβάν. Η ψυχική υγεία των σεισμόπληκτων εξαρτάται από το φύλο, το επίπεδο εκπαίδευσης και το ιστορικό ψυχοσωματικών νοσημάτων (Basoglu et al., 2002).

Η διαθέσιμη βιβλιογραφία για την επίδραση των σεισμών στην ψυχική υγεία των Ελλήνων είναι ιδιαίτερα φτωχή, παρά το γεγονός της σεισμογενούς φύσης της. Μία από αυτές τις μελέτες διεξήχθη δύο εβδομάδες μετά το σεισμό της Καλαμάτας το 1986 σε κατοίκους σκηνών, φοιτητές και εξωτερικούς ασθενείς γενικού

νοσοκομείου. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το 31% των κατοίκων στων σκηνών, το 12% των σπουδαστών και το 41% των επιζώντων εξωτερικών ασθενών εμφάνισαν σοβαρή ψυχοφυσιολογική διαταραχή. Σε μια άλλη εργασία αναλύονται οι επιδράσεις του σεισμού της Πάρνηθας το 1999 μεγέθους 5,9R στην ψυχολογία των σεισμόπληκτων με τα συμπτώματα να παραμένουν έως και τέσσερα χρόνια μετά το συμβάν (Livanou et al., 2005). Μερικά από τα συμπτώματα των επιζώντων του παραπάνω σεισμού ήταν προβλήματα ύπνου, εφιάλτες, αποφυγή τραυματικών αναμνήσεων, προβλήματα συγκέντρωσης, υπερβολική ευαισθησία, αναδρομή στο παρελθόν, αίσθημα απελπισίας, απώλεια ενδιαφέροντος και ενέργειας.

3.4.2 Στα κτίρια

Γενικότερα η σταθερότητα των τεχνικών έργων επηρεάζεται από παράγοντες όπως τα ποιοτικά υλικά και η δυνατότητα καλύτερης αντιμετώπισης της ταλάντωσης.

Στην κατηγορία των μη επαρκώς σεισμικά θωρακισμένο ανήκει και το κτιριακό δυναμικό της πόλης του Ηρακλείου καθώς εντοπίζεται μεγάλος αριθμός αυθαιρέτων και μεγάλο ποσοστό έχει κατασκευαστεί πριν το 1985. Συγκεκριμένα από τα 124.354 κτίρια του Νομού Ηρακλείου το 35% αφορά κτίρια με έτος κατασκευής πριν το 1960 (δηλαδή πριν τον πρώτο αντισεισμικό κανονισμό) και το 44% αφορά κτίρια που ανεγέρθηκαν έως το 1985. Βάσει πρόσφατων μετρήσεων στην ανατολική Κρήτη εντοπίζονται περισσότερα από 700 κτίρια χαρακτηρισμένα ως επικίνδυνα με χαρακτηριστικά ετοιμορροπίας. Λόγω της διατηρητέας μορφής τους και του σύνθετου ιδιοκτησιακού καθεστώτος δεν είναι εύκολη η διαχείρισή ή απομάκρυνσή τους (https://www.ethnos.gr/greece/article/175865/seismos krhthgiatihtavnistorikosgiatishmeiothhkantoseszhmiesstoarkaloxori).

Αρκετές ζημιές καταγράφηκαν από τον πρόσφατο σεισμό που είχε επίκεντρο στη θάλασσα νοτιοανατολικά της νήσου Κρήτης. Πολλές βλάβες διαπιστώθηκαν σε παραδοσιακές κατασκευές και κτίρια από τοιχοποιία (π.χ. λιθοδομές), τόσο σε κατοικίες όσο και σε ναούς. Μερικά από τα προβλήματα στα κτήρια που δημιούργησε ο σεισμός αυτός ήταν η κατάρρευση του εκκλησιαστικού χώρου

Αγίου Νικολάου που βρίσκεται στον Ξηρόκαμπο Σητείας (Εικόνα 16), ζημιές στα καταστήματα του Ξηρόκαμπου. Οι υλικές ζημιές ήταν μικρότερου βαθμού σε σχέση με το σεισμό που σημειώθηκε την 27η Σεπτεμβρίου ο οποίος ισοπέδωσε το Αρκαλοχώρι και άλλα χωριά.



Εικόνα 16. Κατάρρευση του ναού του Αγίου Νικολάου στο Ξηρόκαμπο Σητείας στην Κρήτη (https://www.tanea.gr/2021/10/12/greece/seismos-stin-kriti-zimies-se-ktiria-kai-ypodomes-meta-ta-63-rixter-ti-anamenoun-oi-eidikoi/).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4ο. ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΑΠΟ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΟΥΣ ΣΕΙΣΜΟΥΣ ΣΤΗΝ ΚΡΗΤΗ

4.1 Μέτρα πρόληψης και προστασίας από σεισμούς

Η διαχείριση του σεισμικού κινδύνου πρέπει να διέπεται από μακροχρόνιο και συνεχή σχεδιασμό με προσαρμογές ανάλογες των εκάστοτε περιοχών. Προτεραιότητα αποτελεί η πραγματοποίηση αντισεισμικού σχεδίου σε περιφερειακό επίπεδο, με συνεπείς και υλοποιήσιμους στόχους που λαμβάνουν υπόψη επιστημονικά κριτήρια. Η δρομολόγηση των ενεργειών για την επιτυχή προστασία από σεισμούς περιλαμβάνει (Φέκας, 2016):

- Χωροταξικό σχεδιασμό
- Διασφάλιση ποιότητας και εναρμόνιση με κανονισμούς και μέτρα για τις κατασκευές
- Έλεγχος, αποτίμηση και υποστήριξη υποδομών σημαντικής υπόστασης όπως τα σχολεία, νοσοκομεία
- Δημιουργία σχεδίων-μηχανισμών άμεσης επέμβασης και αποκατάστασης από εξειδικευμένο προσωπικό
- Εκπαιδευτικά σεμινάρια για την ενημέρωση του πληθυσμού και την κατανόηση του σεισμικού κινδύνου
- Προγραμματισμένη έρευνα και τεχνολογική καινοτομία σε θέματα σχεδιασμού και προστασίας

Τα παλιά κτίρια είναι πιο επίφοβα, συγκριτικά με τα νεότερα από την έλευση ενός σεισμού, λόγω της μεγαλύτερης διαθεσιμότητας σεισμικών δεδομένων στη δεύτερη περίπτωση. Έχουν προβλεφθεί ειδικές ενέργειες για την προστασία των παλιών κτιρίων (Φέκας, 2016):

- Κατά τον προσεισμικό έλεγχο, σε δημόσια και κοινωφελούς χρήσης κτίρια για ένταξη στον Οργανισμό Αντισεισμικής Προστασίας με απόφαση του ΥΠΕΧΩΔΕ
- Κατά τον μετασεισμικό έλεγχο, στοχεύοντας στην ενίσχυση και επισκευή κατασκευών μέσω της παροχής οδηγιών και συστάσεων.

4.1.1 Ατομικό επίπεδο

Όσον αφορά τα προληπτικά μέτρα σε ατομικό επίπεδο πρέπει να γίνουν πρωτοβουλίες από τα μέλη κάθε οικογένειας κατάρτισης, σχεδίου έκτακτης ανάγκης που θα προβλέπει την ασφάλεια ενός νοικοκυριού αλλά τον τρόπο συνάντησης σε περιπτώσεις διάσπασης της οικογένειας (π.χ. παιδιά στο σχολείο και γονείς στη δουλειά).

Σημαντικό ρόλο παίζει και η συμπεριφορά των ανθρώπων κατά τη διάρκεια του σεισμού τόσο μέσα στα κτίρια όσο και έξω από αυτά. Έτσι, στους κανόνες συμπεριφοράς, σε εσωτερικούς χώρους, περιλαμβάνονται τα εξής (Τσελέντης, 1997; Alexander, 2008):

- Απομάκρυνση από δοκάρια
- Προστασία κάτω από έπιπλα (π.χ. τραπέζι), κεντρικές κολώνες, φρεάτιο ανελκυστήρα
- Στήριξη στον τοίχο με την πλάτη όταν βρίσκονται σε σκάλες
- Κάλυψη του κεφαλιού με τα χέρια ή άλλο αντικείμενο όταν δεν είναι δυνατή η προστασία κάτω από έπιπλα

Επίσης, στοιχειώδεις κανόνες συμπεριφοράς σε εξωτερικούς χώρους κατά τη διενέργεια του σεισμού είναι:

- Απομάκρυνση από εισόδους και προσόψεις κτιρίων για την αποφυγή κατάρρευσης υλικών
- Μετακίνηση στο οδόστρωμα όταν βρίσκονταν σε πεζόδρομο με πολλά κτίρια
- Κάλυψη κεφαλής με οποιοδήποτε μέσο

- Απομάκρυνση από τα παράλια για την αποφυγή παλιρροιακών κυμάτων

Λόγω του πανικού που επικρατεί στην προσπάθεια εκκένωσης κτιρίων κατά τον καταστροφικό σεισμό γίνονται τα περισσότερα ατυχήματα. Μάλιστα στις περισσότερες περιπτώσεις το πρόβλημα πηγάζει στην λανθασμένη προσπάθεια του κάθε ανθρώπου να διαφύγει και όχι τόσο στο πέσιμο των κτιρίων. Επομένως, σημαντικός είναι ο ρόλος του κάθε πολίτη χωριστά στη σωστή ενημέρωση, πρακτική εκπαίδευση και προετοιμασία για την εκτίμηση της συμπεριφοράς (Τσελέντης, 1997).

4.1.2 Εθνικό επίπεδο

Με αφορμή τον πρόσφατο σεισμό της 27ης Σεπτεμβρίου στην Κρήτη, όπως και σε κάθε άλλη παρόμοια περίπτωση καταστροφής περιουσιών που έχει σημειωθεί στην Ελλάδα από σεισμούς ή άλλες φυσικές καταστροφές, η κυβέρνηση είναι υπόχρεη παροχής μέτρων στήριξης στους πληγέντες.
Είναι αναγκαία η ενθάρρυνση της στατικής αναβάθμισης των κτιριακών κατασκευών μέσω προσφοράς κινήτρων στους πολίτες και δημόσιους φορείς. Ταυτόχρονα με τη στατική ενίσχυση ιδανικά έρχεται η ενεργειακή αναβάθμιση των κτιρίων γεγονός που αν και μπορεί να πραγματοποιηθεί με τα προγράμματα «Εξοικονομώ», λόγω ελλιπούς χρηματοδότησης δεν υπάρχει κινητοποίηση προς αυτή την πλευρά. Ένα πιο στοχευμένο στα έτοιμα προς κατάρρευση κτίρια αποτελεί το πρόγραμμα «Διατηρώ» με ευθύνη του Υπουργείου Περιβάλλοντος. Το πρόγραμμα αυτό έχει ενταχθεί στο ΕΣΠΑ, αναμένεται να εφαρμοστεί τους πρώτους μήνες του 2022 και έχει ως στόχο την κάλυψη των δαπανών ανακαίνισης με επιχορήγηση του 50% της συνολικής τιμής (https://www.ethnos.gr/greece/article/175865/seismoskrhthgiatihtanistorikosgiatishmeiothhkantoseszhmiesstoarkaloxori).
Για την περίπτωση του τελευταίου σεισμού της Κρήτης. τα μέτρα αυτά περιλαμβάνουν:

- **Χορήγηση στεγαστικής συνδρομής**, ώστε να γίνει αποκατάσταση των κτιρίων και των λοιπών περιουσιακών στοιχείων. Μέσω του Υπουργείου Υποδομών και Μεταφορών γίνεται η αποκατάσταση και ανακατασκευή των κτιρίων νομικών και φυσικών προσώπων πληγέντων περιοχών. Η συνδρομή συνίσταται από 80% δωρεάν κρατική αρωγή και 20% άτοκο δάνειο, με εγγυητή το Ελληνικό Δημόσιο
- **Παροχή πρώτης αρωγής** έναντι Στεγαστικής Συνδρομής. Κτίρια που έχουν καταστραφεί ολοσχερώς λαμβάνουν το ποσό των 14.000ευρώ, κτίρια που χαρακτηρίστηκαν ως μη κατοικήσιμα μετά το σεισμό λαμβάνουν το ποσό των 8.000ευρώ και κτίρια που χαρακτηρίστηκαν ως κατοικήσιμα με μικρές βλάβες λαμβάνουν το ποσό των 3.000ευρώ
- Παροχή **αποζημίωσης** για τις οικίες. Για λόγους κοινωνικής προστασίας οι σεισμόπληκτοι λαμβάνουν το ποσό των 6.000ευρώ αν καταστράφηκαν ολοσχερώς τα οικήματα, 4.000ευρώ αν έχουν υποστεί σοβαρές ζημιές και χαρακτηρίστηκαν ως μη κατοικήσιμα και 2.000ευρώ αν έχουν σοβαρές βλάβες αλλά χαρακτηρίστηκαν ως κατοικήσιμα
- **Κάλυψη βασικών αναγκών** των νοικοκυριών
- **Αναστολή του ΕΝΦΙΑ**. Απαραίτητη η απόδειξη της ολοσχερούς καταστροφής του οικήματος ή παρουσία λειτουργικών ζημιών που το καθιστά μη κατοικήσιμο για την απαλλαγή του ΕΝΦΙΑ μέχρι και το 2023
- **Αναστολή φορολογικών υποχρεώσεων**. Για περιοχές που έχουν κηρυχτεί ότι βρίσκονται σε κατάσταση έκτακτης ανάγκης θα διακοπεί η πληρωμή ληξιπρόθεσμων, βεβαιωμένων και εκκρεμών υποχρεώσεων για επιχειρήσεις και φυσικά πρόσωπα για διάστημα έξι μηνών
- **Αναστολή ασφαλιστικών εισφορών**. Αναφέρεται κυρίως στους πληττόμενους επιχειρηματίες και δίνεται δυνατότητα αναστολής για διάστημα έξι μηνών
- **Επιδότηση ενοικίου**. Κάλυψη δαπανών προσωρινής στέγασης των πληγέντων

Τα παραπάνω μέτρα εφαρμόστηκαν στο πλαίσιο της Κρατικής Αρωγής με τη συνδρομή του Υπουργείου Οικονομικών, άλλων αρμόδιων Υπουργείων, της Ανεξάρτητης Αρχής Δημόσιων Εσόδων και της Τοπικής Αυτοδιοίκησης.

Επιπλέον, για λόγους πρόληψης σε περιοχές με έντονη σεισμική δραστηριότητα όπως η Κρήτη είναι θεμιτή η δημιουργία και εφαρμογή επιχειρησιακού σχεδίου (π.χ. Εγκέλαδος), το οποίο θα περιλαμβάνει δράσεις όπως ενημέρωση κατοίκων, αναδιαμόρφωση σχεδίων έκτακτης ανάγκης.

Ιδιαίτερη μνεία πρέπει να δοθεί για τις μαζικές εκκενώσεις κτιρίων όπως γηροκομεία, νοσοκομεία, σχολεία κλπ. όπου ο κάθε ένας ξεχωριστά είναι ανάγκη να γνωρίζει το χώρο και τον τρόπο καταφυγής. Η διαδρομή προς το σημείο αυτό πρέπει να μη παρεμποδίζεται από εξωτερικούς παράγοντες και να καταλήγει σε χώρο με φωτισμό, αποχέτευση, ιατροφαρμακευτική περίθαλψη και κυρίως να μη κινδυνεύει να καταπλακωθεί από συντρίμμια κατασκευών. Στη χώρα μας δεν έχει δοθεί μεγάλη αξία και ενδιαφέρον για την ολοκληρωμένη και σε βάθος διαχείριση παρόμοιων καταστάσεων από τη μεριά του κράτους, παρά μόνο με γενικότερες παροτρύνσεις του τύπου φυλλάδια και οδηγίες με σκίτσα (Τσιρόπουλος, 2013).

Πολλοί από τους σεισμούς που έχουν καταγραφεί στην Κρήτη έχουν οδηγήσει σε σημαντικές ζημιές στα κατοικημένα κτίρια κατατάσσοντάς τα στην κατηγορία των επικίνδυνων και μη κατοικήσιμων. Λόγω αυτού αναγκάζονταν να διαμένουν σε αντίσκηνα και προκατασκευασμένα κτίρια με μερικές από τις προδιαγραφές να είναι (Τσιρόπουλος, 2013):

- Παρουσία ηλεκτρισμού, νερού και αποχέτευσης
- Αντιστοίχιση δύο τ.μ. ανά άτομο
- Να μην εμποδίζουν τη λειτουργία άλλων κοινωνικών λειτουργιών.

Για την εξασφάλιση της ατομικής προστασίας κατά τη διάρκεια σεισμών έχουν προταθεί και εφαρμοστεί προγράμματα αντισεισμικής προστασίας. Μέσω δράσεων όπως ημερίδες και επιμορφωτικά σενάρια κυβερνητικοί φορείς έχουν αναλάβει να ενημερώσουν τους ενδιαφερόμενους για θέματα ασφάλειας. Ωστόσο, λόγω διαδικαστικών ζητημάτων και χαμηλής συμμετοχής από τη μεριά των πολιτών δεν αποτέλεσε πόλο έλξης (Τσιρόπουλος, 2013).

Ο Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός (Ε.Α.Κ.) περιλαμβάνει υπηρεσίες πολεοδομικού χαρακτήρα για την εξασφάλιση της κατασκευής και τον σχεδιασμό ανθεκτικών δομημάτων στους σεισμούς, κυρίως στην Ελλάδα. Για το σκοπό αυτό

γίνεται διαίρεση κάθε περιοχής σε τμήματα ανάλογα με την σεισμικότητά τους. Το γενικότερο πλαίσιο εφαρμογής σταθερών και ανθεκτικών δομημάτων περιλαμβάνει:

- Αξιοπιστία μεταφοράς στο έδαφος δράσεων κάθε στοιχείου της κατασκευής, χωρίς να δημιουργούνται μεγάλες παραμορφώσεις
- Εξασφάλιση αντοχής για όλα τα φέροντα στοιχεία της κατασκευής
- Επαρκής προσεισμικός έλεγχος. Πριν την κατασκευή απαιτείται έλεγχος των υλικών, εξασφάλιση ικανοποιητικής σχέσης μεταξύ διαθέσιμης και απαιτούμενης τοπικής πλαστικότητας κλπ.
- Ελαχιστοποίηση έως εκμηδενισμός της αβεβαιότητας μεταξύ συμπεριφοράς δομήματος και χρησιμοποιημένων προσομοιωμάτων
- Λήψη μέτρων προστασίας τόσο για το υπό μελέτη κτίριο όσο και των γειτονικών ιστάμενων κτιρίων, από δυσμενείς συνέπειες προσκρούσεων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5ο. ΣΥΝΟΨΗ-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ο ελλαδικός χώρος λόγω της γεωτεκτονικής της θέσης χαρακτηρίζεται από υψηλή σεισμική επικινδυνότητα.

Από την μελέτη της βιβλιογραφίας, η κατανομή σεισμικής δραστηριότητας στην ευρύτερη περιοχή της Κρήτης συγκεντρώνεται κυρίως στο δυτικό τμήμα ενώ στην περιοχή του Ηρακλείου η σεισμικότητα μειώνεται από τα ανατολικά προς τα δυτικά. Για το ανατολικό τμήμα η παρουσία δημοσιεύσεων είναι ελλιπής και απαιτείται περισσότερη έρευνα τόσο για το γεωτεκτονικό υπόβαθρό όσο και τη συσχέτιση και οι επιδράσεις των σεισμών στο περιβάλλον και στον άνθρωπο.

Από συγκρίσεις των θέσεων των επικέντρων με τα κύρια τεκτονικά χαρακτηριστικά προκύπτει ότι τα περισσότερα από αυτά τα χαρακτηριστικά σχετίζονται με τη μικροσεισμική δραστηριότητα. Το σύμπλεγμα που βρίσκεται ανατολικά της πόλης του Ηρακλείου, με τάση ΒΒΑ-ΝΔ, υποδηλώνει την ύπαρξη ενός τεκτονικού χαρακτηριστικού. Επίσης, εμφανής είναι η παρουσία των επιφανειακών σεισμών (<20km) στο χερσαίο τμήμα και η συσχέτισή τους με το τοπικό ρήγμα. Γενικότερα, η επισκόπηση της σεισμικής δραστηριότητας τόσο στο χερσαίο όσο και στο θαλάσσιο τμήμα υποδηλώνει ένα περίπλοκο σεισμοτεκτονικό καθεστώς. Το γεγονός αυτό μπορεί να προκύπτει από την ύπαρξη τόσο των επεκτατικών όσο και των πεδίων θλιπτικής τάσης, που οφείλεται στη σύγκλιση των αφρικανικών και ευρωπαϊκών πλακών καθώς και την επέκταση εντός της λεκάνης του Αιγαίου.

Το ανατολικό τμήμα της Κρήτης οροθετείται από δύο κυρίως κανονικά ρήγματα, το Ρήγμα Ακρωτήριο Λίθινο και το Ρήγμα Μύρτος, μήκους περίπου 20-25 km, κλίσης προς τα νότια.

Πολλοί από τους σεισμούς που έχουν καταγραφεί στην Κρήτη, και ιδιαίτερα στο ανατολικό τμήμα, έχουν δημιουργήσει σημαντικές ζημιές στα κτίρια κατατάσσοντάς τα στην κατηγορία των επικίνδυνων και μη κατοικήσιμων. Εκτός των ανεπανόρθωτων ζημιών στα κτίρια που οδήγησε στην απώλεια στέγης σε πολλά

νοικοκυριά της ανατολικής Κρήτης, έχουν σημειωθεί και φονικοί σεισμοί με ανθρώπινες απώλειες. Για αυτό το λόγο έχουν θεσπιστεί μια σειρά κανονισμών και ελαφρύνσεων προς τους κατοίκους σεισμόπληκτων περιοχών τόσο της Κρήτης όσο και της ευρύτερης Ελλάδας. Μεταξύ αυτών είναι η παροχή αποζημίωσης για τη χαμένη ή μερικώς κατεστραμμένη οικία, η κάλυψη των βασικών τους αναγκών, η αναστολή ασφαλιστικών εισφορών και του ΕΝΦΙΑ.

Επιπλέον, για λόγους πρόληψης σε περιοχές με έντονη σεισμική δραστηριότητα όπως η Κρήτη είναι θεμιτή η δημιουργία και εφαρμογή επιχειρησιακού σχεδίου (π.χ. Εγκέλαδος), το οποίο θα περιλαμβάνει δράσεις όπως ενημέρωση κατοίκων, και αναδιαμόρφωση σχεδίων έκτακτης ανάγκης.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ξενόγλωσση

Angelier, J., 1979. Néotectonique de l'arc égéen. Soc. Géol nord, Publ. no 3, pp. 418

Bolt, B.A., Horn, W.A., MacDonald, G.A., Scott, R.F., 1977. Geological Hazards. Earthquakes - Tsunamis – Volcanoes - Avalanches - Landslides – Floods. Revised, 2nd Edition. Springer-Verlang, New York Heidelberg Berlin. Chapter 1, pp 1-62. Doi: 10.1007/978-1-4615-7101-8

Brunkard, J., Namulanda, G., Ratard, R., 2013. Hurricane Katrina Deaths, Louisiana, 2005. Disaster Medicine and Public Health Preparedness, 2: 215-223. doi:10.1097/DMP.0b013e31818aaf55

Caputo, R., Catalano, S., Monaco, C., Romagnoli, G., Tortorici, G., & Tortorici, L., 2010. Active faulting on the island of Crete (Greece). Geophysical Journal International, 183, 111–126. https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2010.04749.x

Cassidy, J.F., 2013. Earthquake. Bobrovsky, P.T. (Ed.), Encyclopedia of Natural Hazards. Encyclopedia of Earth Sciences Series, Springer Dordrecht, pp. 208-222

Daniel, J.E., Khazai, B., Wenzel, F., 2013. Uncovering the 2010 Haiti earthquake death toll. Natural Hazards and Earth System Sciences, 1: 1913-1942. Doi: 10.5194/nhessd-1-1913-201

De Bremaecker, J., 1985. Temperature in the core. In Geophysics of the Earth's Interior. Wiley, New York, pp. 296–297

Delibasis, N., Ziazia, M., Voulgaris, N., Papadopoulos, T., Stavrakakis, G., Papanastasiou, D., Drakatos, G., 1999. Microseismic activity and seismotectonics of Heraklion Area (central Crete Island, Greece). Tectonophysics, 308: 237–248

Dengler, L., McPherson, R., 1993. The 17 August 1991 Honey daw earthquake, north coast California: a case for revising the Modified Mercalli Scale in sparsely populated areas Bulletin, Seismological Society of America, 83: 1081-1094

Dewey, J. F., Şengör, A. M. C., 1979. Aegean and surrounding regions: Complex ultiplate and continuum tectonics in a convergent zone. GSA Bull. 90: 84–92

Drakopoulos, J. and Makropoulos, K., 1983, Seismicity and hazard analysis studies in the area of Greece, Publ. No 1, Seismological Lab., University of Athens, pp. 184

FASOULAKIS, S., BOURAS, C., 1983. Photo album depicting the ruins in Chios from the 22/3 April 1881 earthquake, Yennadios Library Publ., 48 photographs.

GUERRIERI, L., VITTORI, E. (eds), 2007. Environmental Seismic Intensity Scale 2007, ESI 2007. Memorie Descrittive della Carta Geologica d'Italia,74. Servicio Geologica d'Italia, APAT, Roma

Hamouda, A. Z., 2006. «Numerical computations of 1303 tsunamigenic propagation towards Alexandria, Egyptian Coast». Journal of African Earth Sciences 44 (1): 37–44. doi:10.1016/j.jafrearsci.2005.11.005

Hatzidimitriou, P. M., 1984. Seismogenic volumes and seismic sources of the Aegean and surrounding areas, Ph. D. Thesis, University of Thessaloniki, pp.162

Hatzidimitriou, P. M., G. F. Karakaisis, B. C. Papazachos, 1994. Seismicity of the Aegean Sea and surrounding area, Proc. XXIV Gen. Ass. Europ. Seism. Comm., Athens 19–24 September, 1: 155–164

Hoyois, P., Below, R., Scheuren, J.-M., and Guha-Sapir, D., 2007. Annual disasters statistical review: Numbers and trends 2006. Center for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED). Brussels, Belgium: University of Louvain, p. 52

Kahle, H. and Mueller, S. 1998. Structure and dynamics of the Eurasian-African/Arabian plate boundary system: Objectives, tasks and resources of the WEGENER group. Journal of Geodynamics, 25: 303-325

Keller, E.A., DeVecchio, D.E., 2010. Natural hazards: earth's processes as hazards, disasters, and catastrophes. Third Edition. Pearson Education, Inc., New Jersey, pp. 50-97

Koukouvelas, I.K., Doutsos, T.T., 1996. Implications of structural segmentation during earthquakes: the 1995 Egion earthquake, Gulf of Corinth, Greece. Journal of Structural Geology, 18: 1381-1388. https://doi.org/10.1016/S0191-8141(96)00071-5

Kouskouma, V., Makropoulos, K., 2004. Historical earthquake investigations in Greece. Annals of Geophysics, 47: 723-731

Lalinde P.C.P., Sánchez A.J.J.; 2007. Earthquake Environmental Effects in Colombia during the Past 35 Years: inqua Scale Project. Bulletin of the Seismological Society of America, 97 (2): 646–654. https://doi.org/10.1785/0120060161

McCaughey BG, Hoffman KJ, Llewellyn CH., 1994. The human experience of earthquakes. In: Ursano RJ, McCaughey BG, editors. Individual and community responses to trauma and disaster: the structure of human chaos. New York: Cambridge University Press; p. 136–53

Makropoulos, K.C., Burton, P.W., 1984. Greek tectonics and seismicity. Tectonophysics, 106: 275-304

Makropoulos, K., G., Stavrakakis, J., Latoussakis, J. Drakopoulos, 1988. Seismic zoning studies in the area of Greece based on the most perceptible earthquake magnitude, Geofizika 5: 37–48

Makropoulos, K., Kaviris, G., Kouskouna, V., 2012. An updated and extended earthquake catalogue for Greece and adjacent areas since 1900. Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 12: 1425–1430

McKenzie, D., 1972. Active tectonics of the Mediterranean Region. Geophys. J. Int. 30: 109–185. https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.1972.tb02351.x

McNutt, S.R., 2005. Volcanic Seismology. Annual Review of Earth and Planetary Sciences, 33: 461–491. doi: 10.1146/annurev.earth.33.092203

Michetti, A.M., Esposito, E., Guerrieri, L., Porfido, S., Serva, L., Tatevossian, R., Vittori, Audemard, E., Azuma, Clague, F., T., Comerci, J., V., Gürpinar, A., Calpin, J. Mc., Mohammadioun, B., Mörner, N. A., Ota, Y., Roghozin, E. 2007. Environmental Seismic Intensity Scale 2007 - ESI 2007, In: L. Guerrieri and E. Vittori (eds.), Memorie descrittive della Carta Geologica d'Italia, 74: 7-54

Missiakoulis, S., 2008. Aristotle and earthquake data: a historical note. International Statistical Review, International Statistical Institute, 76(1): 130–133

Ota, Y., Azuma, T., Lin, Y. N., 2009. Application of INQUA Environmental Seismic Intensity Scale to recent earthquakes in Japan and Taiwan. Geological Society, London, Special Publications, 316(1): 55–71. doi:10.1144/sp316.4

Papathanasiou, G., Pavlides, S., 2007. Using the INQUA scale for the assessment of intensity: Case study of the 2003 Lefkada (Ionian Islands), Greece earthquake. Quaternary International, 173-174: 4-14. doi: 10.1016/j.quaint.2006.10.038

Papazachos, B.C., 1977. A lithospheric model to interpret focal properties of ntermediate and shallow shocks in Central Greece. Pure Appl. Geophys., 155: 655-666

Papazachos, B. C., 1980. Seismicity rates and long-term prediction in the Aegean area, Quat. Geod. 3: 171–190

Papazachos, B.C., 1999. An alternative method for a reliable estimation of seismicity with an application in Greece and surrounding area, Bull. Seism. Soc. Am. 89: 111–119

Papazachos, B. C., Kiratzi, A. A., Hatzidimitriou, P. M., Papaioannou, Ch. A., Theodulidis, N. P., 1985. Regionalization of seismic hazard in Greece, Proc. 12th Reg. Sem. on Earthq. Eng. EAEE-EPPO, Halkidiki-Greece, pp. 12

Papazachos, B.C., Papadimitriou, E.E., Kiratzi, A.A., Papazachos, C.B., Louvari, E.K., 1998. Fault plane solutions in the Aegean Sea and the surrounding area and their tectonic implication, Bollettino di geofisica teorica e applicata, 39: 199-218

Papazachos, B. C., Papaioannou, Ch. A., Margaris, B.N., Theodulidis, N.P., 1993. Regionalization of Seismic Hazard in Greece Based on Seismic Sources. Natural Hazards, 8: 1-18

Papazachos, B. C., Papaioannou, Ch. A., Papazachos, Sav Vaidis, A. S., 1997. A data bank of macroseismic information for the shallow earthquakes in the southern Balkan area, Abstr. Vol. IASPEI 29th General Assembly, 18–28 August 1997, Thessaloniki, Greece

Papazachos, B. C., Papazachou, B.C., 1997. The earthquakes of Greece, Ziti Publications, Thessaloniki-Greece, pp. 304

Pichler, H. and Schiering, W., 1977. The Thera eruption and late Minoan – 1B destructions on Crete. Nature 267: 819–822

Pirazzoli, P., Ausseil-Badie, J., Giresse, P., Hadjidaki, E., Arnold, M., 1992. Historical environmental changes at Phalasarna harbor, west Crete. Geoarchaeology 7: 371–392

Rahl, J.M., Fassoulas. C., Brandon. T., 2004, Exhumation of high-pressure metamorphic rock within an active convergent margin, Crete, Greece, 32th International Geological Congress, Field guide book B32, Florenze, Italy, vol. n2. pp. 3-36 B32.

Sasmal S, Chowdhury S, Kundu S, Politis DZ, Potirakis SM, Balasis G, Hayakawa M, Chakrabarti SK. Pre-Seismic Irregularities during the 2020 Samos (Greece) Earthquake (M = 6.9) as Investigated from Multi-Parameter Approach by Ground and Space-Based Techniques. Atmosphere. 2021; 12(8):1059. https://doi.org/10.3390/atmos12081059

Serva, L., Esposito, E., Guerrieri, L., Porfido, S., Vittori, E., Comerci, V., 2007. Environmental effects from five historical earthquakes in southern Apennines (Italy) and macroseismic intensity assessment: Contribution to INQUA EEE Scale Project. Quaternary International, 173-174: 30-44. doi: 10.1016/j.quaint.2007.03.015

Serva, L., 1994. Ground effects in intensity scales Terra Nova, 6: 414-416

Stavrakakis, G. N., Tselentis, G. A., 1987. Bayesian probabilistic prediction of strong earthquakes in the main seismogenic zones of Greece, Boll. Geof. Teor. Appl. 29: 51–63

Stein, S., Wysession, M., 2003. An Introduction to Seismology, Earthquakes, and Earth Structure. Blackwell Publishing, p. 498

Stiros, S.C., Papageorgiou, S., 2001. Seismicity of Western Crete and the destruction of the town of Kisamos at AD 365: Archaeological evidence. Journal of Seismology, 5: 381-397

Sykes, L. R., Shaw, B. E., Scholz, C. H., 1999. Rethinking earthquake prediction. Pure and Applied Geophysics, 155: 207–232

Talwani, P., Rajendran, K., 1991. Some seismological and geometric features of intraplate earthquakes. Tectonophysics, 186: 19–41

Taymaz, T., Jackson, J. and Westaway, R., 1990. Earthquake mechanisms in the Hellenic trench near Crete. Geophys. J. Int. 102: 695–731

Tsapanos, T.M., Christova, C.V., 2003. Earthquake Hazard Parameters in Crete Island and its Surrounding Area Inferred from Bayes Statistics: An Integration of Morphology of the Seismically Active Structures and Seismological Data. Pure appl. Geophys., 160: 1517-1536. 10.1007/s00024-003-2358-4

Udias, A., 1999. Seismology, the science of earthquakes. Principles of Seismology. Cambridge University Press, United Kingdom, pp. 1-7

Wang, K., Chen, Q.-F., Sun, S., Wang, A., 2006. Predicting the 1975 Haicheng earthquake. Bulletin of the Seismological Society of America, 96: 757–795, doi:10.1785/0120050191

Ελληνόγλωσση

Γαρυφαλλίδης, Σ., Ρουμελιώτης, Θ., 2012. ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΡΟΓΝΩΣΗΣ ΣΕΙΣΜΩΝ. Πτυχιακή εργασία, Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Σερρών, σελ. 72

Κοινή Υπουργική Απόφαση Αριθμ. Δ.Α.Ε.Φ.Κ.-Κ.Ε./16446/Α325/2021 ΦΕΚ 4646/Β/7-10-2021. Οριοθέτηση περιοχών και χορήγηση στεγαστικής συνδρομής για την αποκατάσταση των ζημιών σε κτίρια από τους σεισμούς της 24ης Ιουλίου και 27ης Σεπτεμβρίου 2021, σε περιοχές της Περιφερειακής Ενότητας Ηρακλείου της Περιφέρειας Κρήτης

Πανάγου Μ., 2008. Δημοσιοποίηση σεισμολογικών δεδομένων στον παγκόσμιο ιστό, Διπλωματική Εργασία, Αθήνα

Τόγια, Π., 2020. Σύγκριση σεισμολογικών καταλόγων από διεθνή και εθνικά σεισμολογικά δίκτυα στην ευρύτερη περιοχή της Μεσογείου. Πτυχιακή εργασία. ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ, Χανιά, σσ. 46

Φέκας, Α., 2016. Καταγραφή και χαρτογράφηση των σεισμολογικών χαρακτηριστικών του Ελλαδικού χώρου. Διπλωματική εργασία, Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών: Τεχνικές και Μέθοδοι στην ανάλυση, σχεδιασμό και διαχείριση του χώρου, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, σελ. 134

Ιστοσελίδες

https://sites.google.com/site/geologyclassroom1/e-ge-san-planetes/lithosphairikes-plakes, Τελευταία πρόσβαση 07/08/2021

http://earthquake.usgs.gov, Τελευταία πρόσβαση 16/08/2021

https://www.protothema.gr/greece/article/1103005/seismos-stin-elassona-pos-exelissetai-i-metaseismiki-drastiriotita/), Τελευταία πρόσβαση 28/08/2021

www.oasp.gr, Τελευταία πρόσβαση 28/08/2021

http://www.geophysics.geol.uoa.gr/stations/gmaps3/leaf_stations.php?map=2&lng=el, Τελευταία πρόσβαση 13/09/2021

http://gaia.chania.teicrete.gr/, Τελευταία πρόσβαση 13/09/2021