

ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ Εργαστήριο Εφαρμοσμένης Γεωφυσικής

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΟΤΗΤΑΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΜΕΣΣΑΡΑΣ ΜΕ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΤΟΠΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΣΕΙΣΜΟΓΡΑΦΩΝ ΚΑΙ ΔΙΕΘΝΩΝ ΚΑΤΑΛΟΓΩΝ ΣΕΙΣΜΩΝ



ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ ΚΑΡΝΕΖΗΣ

Εξεταστική Επιτροπή:

Αντώνιος Βαφείδης, Ζαχαρίας Αγιουτάντης, Εμμανουήλ Μανούτσογλου, Καθηγητής (Επιβλέπων) Καθηγητής Καθηγητής

ΧΑΝΙΑ Μάρτιος 2012

Στην μνήμη του συμφοιτητή μου Γεωργίου Μαντζαφλάρα και στους γονείς μου

Στο εξώφυλλο της παρούσας διπλωματικής απεικονίζεται η Θεά Αθηνά να μάχεται με τον Εγκέλαδο. Ο μύθος λέει ότι φονεύθηκε από την Αθηνά η οποία αφού τον έτρεψε σε φυγή έρριψε εναντίον του τη Σικελία ή το όρος Αίτνα με το οποίο και τον καταπλάκωσε. Ο Εγκέλαδος κινούμενος και στενάζοντας ενίοτε μέσα στο τάφο του προκαλεί εκρήξεις ηφαιστείων και σεισμούς.

Ετυμολογικά ο Εγκέλαδος μάλλον αποτελεί σύντμηση (έγκειμαι + λας), που σημαίνει ο εγκατεστημένος στα πετρώματα, στο στερεό φλοιό της Γης.

Αλληγορικά, ο μύθος περιγράφει την «νίκη» εναντίον μεγάλων φυσικών γεγονότων όπως ο σεισμός, με την «σοφία»(Θεά Αθηνά) που αποκτούμε μέσα την επισταμένη μελέτη τους.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	iii
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	1
ΠΡΟΛΟΓΟΣ	
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΣΕΙΣΜΟΙ	5
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΣΕΙΣΜΙΚΟΤΗΤΑ	
3.1 Εισαγωγή	
3.2 Μερικά στοιχεία για την Κρήτη	
3.3 Οι σεισμικές ζώνες της Κρήτης	17
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	
4.1. ΔΙΚΤΥΑ ΣΕΙΣΜΟΓΡΑΦΩΝ ΣΤΗΝ ΚΡΗΤΗ	
4.2 Γενικά για το πρόγραμμα GIANT	
4.2.1 Διαδικασία καταγραφής δεδομένων	
4.3. Αποτελέσματα επεξεργασίας	
5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	
6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία γίνεται αρχικά μία γενική αναφορά στους σεισμούς και στην σεισμικότητα, με πληροφορίες για τον ευρύτερο Ελλαδικό χώρο και την Κρήτη ειδικότερα. Παρακάτω αναφέρονται λεπτομέρειες για τα σεισμικά δίκτυα που αναπτύχθηκαν στην περιοχή, τον εξοπλισμό και το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε, έτσι ώστε να συγκεντρώσουμε πληροφορίες για την σεισμικότητα της περιοχής. Στην συνέχεια παραθέτονται οι πίνακες με τα αποτελέσματα αυτής της επεξεργασίας και χάρτες, που αναπαριστούν τα σεισμικά γεγονότα στην περιοχής μελέτης, όπως αυτά προκύπτουν από τους καταλόγους σεισμών των δύο δικτύων (TUC,NOA) και τον κατάλογο σεισμών του ISC.

Συμπερασματικά, ο κατάλογος του ISC δεν παρέχει ικανοποιητική κάλυψη πέρα από τα νότια της Κρήτης σε αντίθεση με το δίκτυο του NOA το οποίο καλύπτει ικανοποιητικά όλη της ευρύτερη περιοχή της Κρήτης. Το δίκτυο TUC εντοπίζει σχετικά ρηχά σεισμικά γεγονότα κυρίως νότια της Κρήτης και βαθύτερα επάνω σε αυτήν και βορειότερα. Η μικροσεισμικότητα που παρατηρείται στα νότια της Κρήτης φαίνεται να συμπίπτει με τα ρήγματα που έχουν χαρτογραφηθεί στην περιοχή.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική Εργασία, εκπονήθηκε, στο Εργαστήριο Εφαρμοσμένης Γεωφυσικής του Τμήματος Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης, με θέμα που προέκυψε σε συνεργασία μου με το Εργαστήριο.

Καταρχήν θεωρώ υποχρέωση μου να ευχαριστήσω τον κ.Βαφείδη Αντώνη, Καθηγητή του Πολυτεχνείου Κρήτης στο τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, για την επιλογή του συγκεκριμένου θέματος και την αμέριστη βοήθειά του για την διεκπεραίωσή του, όπως και τους, καθηγητή κ. Ζαχαρία Αγιουτάντη και καθηγητή Εμμανουήλ Μανούτσογλου για την αξιολόγηση της διπλωματικής μου εργασίας.

Ακόμα θέλω να εκφράσω τις ευχαριστίες μου σε όλο το επιστημονικό προσωπικό του τμήματος Μηχ.Ο.Π. με το οποίο χρειάστηκε να συνεργαστώ, και ιδιαίτερα τον κ. Οικονόμου Νίκο για τον πολύτιμο χρόνο και βοήθεια που προσέφερε.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η διπλωματική αυτή εργασία έχει σαν αντικείμενο την αξιολόγηση δεδομένων από σεισμογράφους, οι οποίοι είναι εγκατεστημένοι στην Κρήτη.

Είναι γεγονός ότι στη χώρα μας εκλύεται το 50% της σεισμικής ενέργειας της Ευρώπης. Η Κρήτη υπάγεται στην κατηγορία ΙΙΙ από άποψη σεισμικής επικινδυνότητας, η οποία είναι η δυσμενέστερη για τον ελλαδικό χώρο, με εξαίρεση την περιοχή των Ιονίων, που υπάγεται στην ακόμη δυσμενέστερη κατηγορία Α.

Είναι λοιπόν προφανής η ανάγκη πρόληψης από ένα τέτοιο φαινόμενο. Είναι εξάλλου πρόσφατα τα δυσάρεστα συναισθήματα από τις καταστροφές που σημειώθηκαν στην Ιαπωνία.

Φυσικά οι μόνοι τρόποι προστασίας από τους σεισμούς είναι η αντισεισμική θωράκιση των τεχνικών έργων και κτιρίων, και η ευαισθητοποίηση των πολιτών, για το πως πρέπει να διαχειρίζονται τέτοιες καταστάσεις, μέσω της ενημέρωσης.

Στη μέχρι σήμερα μελέτη της δομής του εσωτερικού της γης, σημαντικότερο ρόλο έχουν παίξει οι σεισμικές μέθοδοι. Ο λόγος είναι ότι η φύση παρέχει στον άνθρωπο τεράστιες πηγές τέτοιας ενέργειας, τους σεισμούς, οι οποίοι δημιουργούν κύματα που διατρέχουν όλη τη γη και μπορούν να καταγραφούν σε διάφορα σημεία στην επιφάνειά της. Αυτό επέτρεψε από πολύ νωρίς, μετά την ανάπτυξη των πρώτων οργάνων καταγραφής των σεισμικών κυμάτων, την αναγνώριση των P και S κυμάτων στις πρώτες αναγραφές στις αρχές του 20ου αιώνα από τον Oldham. Οι χρόνοι διαδρομής αυτών των κυμάτων χρησιμοποιήθηκαν για τη μελέτη της δομής του εσωτερικού της Γης (Παπαζάχος, 1994). Στην παρούσα διπλωματική εργασία χρησιμοποιούνται αυτές ακριβώς οι αναγραφές, από την επεξεργασία των οποίων προκύπτουν πληροφορίες για την σεισμικότητα της περιοχής. Η διάρθρωσή της έχει ως εξής :

Το δεύτερο κεφάλαιο αναφέρεται γενικά στους σεισμούς, τα αίτια, τους τύπους, τα χαρακτηριστικά τους, τρόπους καταγραφής, κλίμακες μέτρησης τους. Στο τρίτο κεφάλαιο δίνονται πληροφορίες γενικά για την σεισμικότητα και αναφορά στα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά του Ελλαδικού χώρου και της Κρήτης. Στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στις σεισμικές ζώνες της Κρήτης, τα δίκτυα σεισμογράφων που αναπτύχθηκαν την συγκεκριμένη χρονική περίοδο. Ακόμα γίνεται αναφορά στην διαδικασία καταγραφής και στο λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε για την επεξεργασία των δεδομένων και επισύναψη πινάκων με τα αποτελέσματα για τα σεισμικά γεγονότα που μελετήθηκαν.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΣΕΙΣΜΟΙ

2.1 Γενικά

Σαν σεισμός, ορίζεται η αισθητή ανατάραξη της επιφάνειας ενός ουράνιου σώματος, επειδή σεισμοί συμβαίνουν όχι μόνο στην Γη, αλλά και σε άλλους πλανήτες, άστρα, δορυφόρους πλανητών κ.τ.λ. Ο σεισμός σαν φυσικό φαινόμενο προκαλούσε στον άνθρωπο δέος και πολλές φορές ήταν συνδεδεμένο το γεγονός με μεταφυσικές προεκτάσεις, λόγω των επιπτώσεών του στις ανθρώπινες δραστηριότητες π.χ. το κόστος ενός σεισμού σε ανθρώπινες ζωές, κτιριακές εγκαταστάσεις.

Τα αίτια του σεισμού είναι η ηφαιστειακή δραστηριότητα (*ηφαιστειακοί σεισμοί*), πτώση υπόγειων κοιλωμάτων (*εγκατακρημνησιγενείς σεισμοί*), διάρρηξη πετρωμάτων στο εσωτερικό της Γης (*τεκτονικοί σεισμοί*). Ακόμα σεισμός μπορεί να προκληθεί από ανθρώπινη παρέμβαση π.χ. πυρηνικές δοκιμές, εκρήξεις σε πεδία εξόρυξης κ.α. Η μεγάλη πλειοψηφία των σεισμών είναι οι τεκτονικοί, εκεί όπου υπάρχει διάρρηξη του πετρώματος και έκλυση της συσσωρευμένης ενέργειας. Μέρος αυτής της ενέργειας μεταφέρεται στην επιφάνεια με τα *σεισμικά κύματα*. Τα σεισμικά κύματα μεταφέρουν την ενέργεια μακριά από τον εστιακό χώρο του σεισμού, μέχρι αυτή σταδιακά να απορροφηθεί εντελώς και τότε παύουν. Διαδίδονται από σημείο σε σημείο της γης με διαφορετική ταχύτητα, που είναι ανάλογη των ελαστικών ιδιοτήτων και πυκνότητας του εκάστοτε μέσου που διατρέχουν.

2.2 Τύποι σεισμικών κυμάτων

Υπάρχουν πολλά διαφορετικά είδη σεισμικών κυμάτων ανάλογα με τον τρόπο που διαδίδονται δια μέσου της γης. Οι κυριότεροι τύποι κυμάτων είναι τα *κύματα* χώρου (σώματος) και τα *επιφανειακά κύματα*. ενώ τα επιφανειακά κύματα μπορούν να κινηθούν μόνο κατά μήκος της επιφάνειας του πλανήτη όπως οι κυματισμοί στο νερό. Οι σεισμοί διαχέουν σεισμική ενέργεια υπό την μορφή κύριων και επιφανειακών κυμάτων.

A) ΚΥΜΑΤΑ ΧΩΡΟΥ

Tov 19 ^ο αιώνα ο Poisson απέδειξε ότι αυτά τα κύματα είναι δύο τύπων, τα Ρ κύματα τα οποία προκαλούν συμπιεστικά κύματα και τα S κύματα τα οποία είναι διατμητικά. Τα κύρια κύματα μπορούν να ταξιδέψουν μέσω των εσωτερικών στρωμάτων της γης.

Κύματα Ρ

Το πρώτο είδος κύριου κύματος είναι το **κύμα P** ή **διάμηκες κύμα**. Αυτό είναι το πρώτο είδος σεισμικού κύματος που καταγράφεται. Το κύμα P μπορεί να κινηθεί μέσω στερεού πετρώματος και υγρών, όπως το νερό ή τα υγρά στρώματα της γης. Τα μόρια των σχηματισμών που διατρέχουν, ταλαντώνονται παράλληλα με την διεύθυνση μετάδοσης του κύματος, με αποτέλεσμα να συμπιέζουν και να διαστέλλουν το πέτρωμα (Σχ.2.2.1).



Σχήμα 2.2.1: Το τόξο δείχνει την κατεύθυνση προς την οποία κινείται το σεισμικό κύμα P (Βαφείδης 2001).

Κύματα S

Ο δεύτερος τύπος κυμάτων είναι τα κύματα S ή εγκάρσια κύματα, τα οποία είναι τα δεύτερα σε σειρά τα οποία νιώθει ο άνθρωπος κατά τη διάρκεια ενός σεισμού. Αυτά τα κύματα κινούνται καθέτως σε σχέση με την κατεύθυνση διάδοσης του σεισμικού κύματος, με αποτέλεσμα να κινούν την επιφάνεια του εδάφους πάνω-κάτω και πλαγίως. Τα κύματα S είναι πιο αργά από τα P κύματα και κινούνται κινούνται μόνο μέσω στερεών πετρωμάτων (Σχ2.2.2). Συγκριτικά, η ταχύτητα

των Ρ κυμάτων με μέσο διάδοσης τον γρανίτη είναι περίπου 6km/s, ενώ των S περίπου 3km/s.



Σχήμα2.2.2: Το τόξο δείχνει την κατεύθυνση στην οποία κινείται ένα σεισμικό κύμα S (Βαφείδης 2001).

Β) ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΑ ΚΥΜΑΤΑ

Οι μαθηματικοί John William Strutt, Lord Rayleigh (1885) και Α.Ε.Η.Love (1911), μελετώντας τα σεισμικά κύματα προσδιόρισαν και άλλους τύπους κυμάτων, που πήραν αντίστοιχα τα ονόματα τους. Αυτοί οι δύο τύποι κυμάτων, είναι επιφανειακά κύματα που δημιουργούνται απ' τις αλληλεπιδράσεις των Ρ και S κυμάτων με τις μάζες στις διαχωριστικές επιφάνειες (π.χ. στην επιφάνεια της Γης).

Κύματα Love

Το πρώτο είδος των επιφανειακών κυμάτων ονομάζονται **κύματα Love**. Είναι επιφανειακά εγκάρσια κύματα που είναι πολωμένα οριζόντια, διαδίδονται δηλαδή παραμορφώνοντας ελαστικά το φλοιό σε οριζόντιο επίπεδο, κάθετα στην κατεύθυνση που οδεύουν. Ο τρόπος που κυματίζουν την επιφάνεια είναι αυτός που δίνει τη χαρακτηριστική αίσθηση του σεισμού στον άνθρωπο με την κίνηση του εδάφους πέρα-δώθε.(Σχ2.2.3)



Σχήμα 2.2.3: Το τόξο δείχνει την κατεύθυνση κατά την οποία κινείται ένα κύμα Love (Βαφείδης 2001).

Κύματα Rayleigh

Το άλλο είδος επιφανειακών κυμάτων είναι το κύμα Rayleigh. Είναι το αποτέλεσμα της συμβολής των Ρ-κυμάτων και κατακόρυφα πολωμένων Sκυμάτων που συνεχίζουν και διαδίδονται επιφανειακά. Είναι κύματα πίεσης και ελαστικής παραμόρφωσης ταυτόχρονα που οι μονάδες ταλάντωσης εκτελούν ελλειπτικές κινήσεις με μεγαλύτερους άξονες κοντά στην επιφάνεια, όπου υπάρχει παραμόρφωση και καθ' ύψος και παρατηρείται το μέγιστο των ταλαντώσεων (Σχ.2.2.4).



Σχήμα 2.2.4: Το τόξο δείχνει την κατεύθυνση προς την οποία κινείται ένα κύμα Rayleigh (Βαφείδης 2001).

Η ένταση του σεισμού σε μια περιοχή λόγω των επιφανειακών κυμάτων εξαρτάται από αρκετούς παράγοντες:

• το μέγεθος του σεισμού

• την απόσταση από το επίκεντρο

• το βάθος του σεισμού

• το μηχανισμό της θραύσης στον εστιακό χώρο

• τον προσανατολισμό της θραύσης του σεισμού

 τη γεωλογική δομή του στερεού φλοιού που οδεύει το κύμα και το εξασθενεί

 τη γεωλογική δομή του σημείου παρατήρησης που διαφοροποιεί την ταλάντωση

την ακριβή θέση παρατήρησης αν συμπίπτει με τη θέση της αρχικής
συμβολής των P- και S-κυμάτων.

Η καταγραφή των σεισμικών κυμάτων γίνεται από ειδικά όργανα, τους σεισμογράφους. Το πρώτο όργανο καταγραφής των σεισμών ήταν το σεισμοσκόπιο (Σχ.2.2.5).



Σχήμα 2.2.5. Σεισμοσκόπιο (wikipedia 2011).

Οι πρώτοι αποτελεσματικοί σεισμογράφοι, δημιουργήθηκαν λίγο πριν τις αρχές του 20^{ου} αιώνα (Bolt 1891) . Καταγράφει τα ελαστικά κύματα που ελευθερώνονται στην εστία του σεισμού. Ο σεισμογράφος στηρίζεται στην αρχή της αδράνειας. Αποτελείται από μία γραφίδα, οποία αιωρείται πάνω από ένα περιστρεφόμενο τύμπανο, που έχει τυλιγμένο γύρω του χαρτί, σημειώνοντας έτσι μία συνεχόμενη γραμμή. Το αποτύπωμα αυτό δείχνει τον τρόπο με τον οποίο

κινείται το έδαφος. Αυτό το αποτύπωμα ονομάζεται **σεισμόγραμμα** (Σχ.2.2.6) και μας δίνει πληροφορίες για τα κύματα που φτάνουν στο σημείο καταγραφής, όπως επίσης και για την ώρα και το χρόνο διάρκειας του γεγονότος. Αυτή η καταγραφή δεν υποδεικνύει στο σεισμολόγο πού ακριβώς ήταν το επίκεντρο του σεισμού, αλλά ότι ο σεισμός έλαβε χώρα τόση απόσταση μακριά από το συγκεκριμένο σεισμογράφο.



Σχήμα 2.2.6. Σεισμόγραμμα (British geological survey 2011)

Για να εντοπιστεί το ακριβές επίκεντρο, θα πρέπει να υπάρχουν καταγραφές και από τουλάχιστον άλλους δύο σεισμογράφους σε διαφορετικά μέρη της χώρας. Από το σεισμόγραμμα μπορεί να υπολογιστεί η απόσταση από το επίκεντρο όπως και το μέγεθος του σεισμού. Για τον υπολογισμό του μεγέθους χρησιμοποιούμε δύο(2) κλίμακες έντασης την κλίμακα **Richter** (Σχ.2.2.7) και την κλίμακα **Mercalli** (Σχ.2.2.8). Το μέγεθος Richter υπολογίζεται από το εύρος του μεγαλύτερου σεισμικού κύματος που καταγράφεται για το σεισμό, μη λαμβάνοντας υπ' όψη ποιος τύπος κύματος ήταν ο ισχυρότερος. Με αυτό το μέγεθος υπολογίζεται το απόλυτο ποσό της ενέργειας που εκλύθηκε από ένα σεισμό. Η κλίμακα αυτή είναι λογαριθμική. Αυτό σημαίνει ότι για κάθε ακέραιο αριθμό που ανεβαίνει στην κλίμακα Richter, το εύρος τος την ενέργεια που εκλύεται από μία ποσότητα TNT, ένας σεισμός μεγέθους 1 της κλίμακας Richter απελευθερώνει τόση ενέργεια όση κατά την ανατίναξη 6

ουγκιών εκρηκτικού TNT. Ένας σεισμός μεγέθους 8 της κλίμακας Richter, απελευθερώνει τόση ενέργεια όση η ανατίναξη 6 εκατομμυρίων τόνων εκρηκτικού TNT!

< 0 R Μικροσεισμός	Δεν γίνεται αισθητός. Καταγράφεται μόνο από σεισμογράφους.
0 - 0,9 R Μικροσεισμός	Δεν γίνεται αισθητός. Καταγράφεται μόνο από σεισμογράφους.
1 - 1,9 R Μικροσεισμός	Δεν γίνεται αισθητός. Καταγράφεται μόνο από σεισμογράφους.
2 - 2,9 R Μικροσεισμός	Σχεδόν πάντα μη αισθητός. Πιθανώς αισθητός από μερικούς ανθρώπους κοντά στο επίκεντρο.
3 - 3,9 R Ασήμαντος	Αισθητός, χωρίς ζημιές.
4 - 4,9 R Ασθενής	Αισθητός, με ελαφρές συνήθως ζημιές γύρω από το επίκεντρο.
5 - 5,9 R Μέτριος	Ζημιές συνήθως εντός 10 τετραγωνικών χλμ.
6 - 6,9 R Ισχυρός	Σοβαρότατες ζημιές εντός 100 τετραγωνικών χλμ.
7 - 7,9 R Καταστροφικός	Μεγάλες καταστροφές και ανθρώπινες απώλειες, εκατοντάδες χιλιόμετρα μακριά από το επίκεντρο.
8 - 8,9 R Εξαιρετικά Καταστροφικός	Εξαιρετικά μεγάλες καταστροφές και ανθρώπινες απώλειες, πολλές εκατοντάδες χιλιόμετρα μακριά από το επίκεντρο.
9 - 9,9 R Ασύλληττα Καταστροφικός	Τεράστιες καταστροφές και τεράστιες ανθρώπινες απώλειες, πολλές χιλιάδες χιλιόμετρα μακριά από το επίκεντρο. Ελάχιστοι αυτού του μεγέθους έχουν καταγραφεί στην παγκόσμια ιστορία. Ο ισχυρότερος ήταν 9,5 R.
≥ 10 R Μετεωρικός	Δεν υπάρχει τόσο εκτεταμένο σεισμογόνο ρήγμα στην Γη για να προκαλέσει κάτι τέτοιο. Μόνο από συμβάν πρόσκρουσης με αστεροειδή ή κομήτη μπορεί να συμβεί. Πρακτικώς, θα ισοδυναμούσε με παγκόσμιας κλίμακας καταστροφή.

Σχήμα 2.2.7. *Κλίμακα Richter (wikipedia 2011).*

Ο άλλος τρόπος μέτρησης της ισχύος ενός σεισμού, είναι με τη χρήση της κλίμακας του Mercalli. Η κλίμακα αυτή εφευρέθηκε από τον Giuseppe Mercalli το 1902. Η εν λόγω κλίμακα βασίζεται στις παρατηρήσεις των ανθρώπων που έζησαν την εμπειρία ενός σεισμού, για την εκτίμηση της έντασής του.

Ένταση Mercalli (στο επίκεντρο)	Μέγεθος	Παρατηρήσεις μαρτύρων
Ι	1 έως 2	Αισθητός από πολύ λίγους ανθρώπους, μόλις αξιοπρόσεχτος.
II	2 έως 3	Αισθητός από μερικούς ανθρώπους, ειδικά στα ανώτερα /πάνω πατώματα/ορόφους.
III	3 έως 4	Αξιοπρόσεχτος στο εσωτερικό, ειδικά στα ανώτερα πατώματα, αλλά δεν μπορεί να αναγνωριστεί ως σεισμός.
IV	4	Αισθητός από πολλούς στο εσωτερικό, και από λίγους στο ύπαιθρο. Μπορεί να το αντιληφθούν σαν κάποιο βαρύ φορτηγό που περνά κοντά.
V	4 έως 5	Γίνεται αισθητός σχεδόν απ' όλους, μερικοί άνθρωποι ξυπνούν. Μικρά αντικείμενα μετακινούνται. Δένδρα και κορμοί μπορεί να ταρακουνηθούν.
VI	5 έως 6	Γίνεται αισθητός απ' όλους. Καθίσταται δύσκολο το να σταθεί κάποιος όρθιος. Κάποια βαριά έπιπλα μετακινούνται, κάποιοι σοβάδες πέφτουν. Οι καμινάδες μπορεί να υποστούν ελαφρές ζημιές.
VII	6	Μικρή έως μέτρια ζημιά σε καλά χτισμένες, συνηθισμένες δομές. Αξιοσημείωτη ζημιά σε φτωχά χτισμένες δομές. Μερικοί τοίχοι μπορεί να πέσουν.
VIII	6 έως 7	Μικρές ζημιές ειδικά σε κτιριακές δομές. Αξιοσημείωτη ζημιά σε συνηθισμένες δομές, μεγάλου βαθμού ζημιά σε φτωχά χτισμένες δομές. Κάποιοι τοίχοι μπορεί να καταρρεύσουν.
IX	7	Αξιοσημείωτη ζημιά σε ειδικώς χτισμένες δομές, κτίρια που μετατοπίζονται από τα θεμέλια. Αισθητό το σπάσιμο/ράγισμα του εδάφους. Χονδρική καταστροφή. Καθιζήσεις εδάφους.
X	7 έως 8	Οι περισσότερες τεκτονικές δομές και πλαίσια, και τα θεμέλιά τους καταστρέφονται. Το έδαφος σπάει άσχημα. Καθιζήσεις εδάφους. Χονδρική καταστροφή.
XI	8	Συνολική ζημία. Λίγες δομές, εάν υπάρχουν, στέκονται όρθιες. Καταστροφή γεφυρών. Μεγάλης κλίμακας σπασίματα στο έδαφος. Κύματα που φαίνονται στο έδαφος.
XII	8 ή παραπάνω	Συνολική ζημία. Κύματα που φαίνονται στο έδαφος. Αντικείμενα τα οποία εκτινάσσονται στον αέρα.

Σχήμα 2.2.8. Τροποποιημένη κλίμακα έντασης Mercalli (wikipedia 2011)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΣΕΙΣΜΙΚΟΤΗΤΑ

3.1 Εισαγωγή

Γενικά, ο όρος «σεισμικότητα» αποτελεί μία αύξουσα συνάρτηση του μεγέθους αλλά και της συχνότητας των σεισμικών γεγονότων που λαμβάνουν χώρα σε μία συγκεκριμένη περιοχή (Παπαζάχος, 1997). Στον ελληνικό χώρο που βρίσκεται στο όριο επαφής και σύγκλισης της Αφρικανικής και της Ευρασιατικής λιθοσφαιρικής πλάκας, η ενεργός τεκτονική είναι έντονη, όπως εξάλλου δείχνει η μεγάλη σεισμικότητα, η παραμόρφωση των διαφόρων γεωλογικών ζωνών και τα ηφαιστειακά φαινόμενα που παρατηρούνται στην περιοχή. Τα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά τεκτονικής προέλευσης του χώρου αυτού είναι η "ελληνική τάφρος", το "ελληνικό τόξο" και η "λεκάνη του βορείου Αιγαίου" (Σχ 3.1.1)



Σχήμα 3.1.1: Κύρια γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά τεκτονικής προέλευσης, Ελληνικού χώρου(seismoi 2011).

Η ελληνική τάφρος αποτελείται από μια σειρά θαλάσσιων λεκανών που έχουν βάθη μέχρι 5χλμ. Αυτή είναι παράλληλη προς το ελληνικό τόξο και

περιλαμβάνει μικρότερες γραμμικές τάφρους, όπως είναι οι τάφροι του Πλινίου και του Στράβωνα νοτιοανατολικά της Κρήτης και η τάφρος του Ιονίου πελάγους.

Το ελληνικό τόξο αποτελείται από το εξωτερικό ιζηματογενές τόξο, το οποίο συνδέει τις Δειναρικές Άλπεις με τις Τουρκικές Ταυρίδες διαμέσου των Ελληνίδων οροσειρών, των Ιονίων νήσων, της Κρήτης και της Ρόδου, και από το εσωτερικό ηφαιστειακό τόξο, το οποίο είναι παράλληλο προς το ιζηματογενές τόξο και βρίσκεται σε μια μέση απόσταση 120km απ' αυτό.

Το **ηφαιστειακό τόξο** αποτελείται από διάφορα ηφαιστειακά νησιά, ανδεσιτικά ενεργά ηφαίστεια (Μέθανα, Σαντορίνη, Νίσυρος) και θειονίες. Μεταξύ του ιζηματογενούς και του ηφαιστειακού τόξου βρίσκεται η λεκάνη του Κρητικού πελάγους (λεκάνη νοτίου Αιγαίου), της οποίας το βάθος φθάνει τα 2000 m περίπου.

Η πιο ενδιαφέρουσα γεωμορφολογική δομή τεκτονικής προέλευσης στο βόρειο Αιγαίο, είναι η τάφρος του βορείου Αιγαίου, με βάθος νερού μέχρι 1500 m περίπου. Επέκτασή της προς τα ΒΑ αποτελούν πιθανώς οι μικρές λεκάνες της θάλασσας του Μαρμαρά.



Σχήμα 3.1.2. Στερεογραφικό σκαρίφημα που δείχνει τη βύθιση της Αφρικανικής πλάκας κάτω από Ευρασιατικό περιθώριο στο χώρο του Νοτίου Αιγαίου (Χαρίτωνος 2007)

Στις περιοχές σύγκλισης μιας ωκεάνιας και μιας ηπειρωτικής πλάκας, προκαλείται βύθιση της ωκεάνιας κάτω από την ηπειρωτική, που φτάνει μέχρι βάθους 700km σε ορισμένα μέρη. Η πάνω επιφάνεια της πλάκας που βυθίζεται, ορίζεται από τη σεισμική **ζώνη Benioff**. Είναι η περιοχή στην οποία η μια πλάκα τρίβεται με την άλλη, με αποτέλεσμα να παρατηρούνται σεισμοί μεγάλου βάθους και να πραγματοποιείται λιώσιμο υλικού της πλάκας, το οποίο ανερχόμενο δημιουργεί το ηφαιστειακό τόξο (Σχ 3.1.2 και σχ 3.1.3).



Σχήμα 3.1.3.Χάρτης της Ανατολικής Μεσογείου που δείχνει την ενεργό γεωδυναμική κατάσταση, τις κινήσεις των μικρο-πλακών στην περιοχή και τη διαμόρφωση του Ελληνικού -Αιγαιακού Τόξου και του Κυπριακού Τόξου (<u>www.geo.auth.gr</u> 2011).

3.2 Μερικά στοιχεία για την Κρήτη

Η νήσος Κρήτη βρίσκεται κατά μήκος του κεντρικού τμήματος του Ελληνικού τόξου, παράλληλα με την Ελληνική τάφρο σε απόσταση 20 km από το βορειότερο όριο της. Η νήσος έχει διαστάσεις 250 km περίπου κατά τη διεύθυνση Ανατολή-Δύση και το πολύ 50 km στο φαρδύτερο σημείο της κατά τη διεύθυνση Βορράς-Νότος. Αναλύσεις γεωδαιτικών δεδομένων που συλλέχτηκαν κατά τα τελευταία 20 χρόνια, δείχνουν ότι η Κρήτη παρουσιάζει από τις μεγαλύτερες τοπικές οριζόντιες εδαφικές κινήσεις, της τάξης των 20-30 mm ανά έτος, σε σχέση με τη σταθερή Ευρώπη.

Η έντονη τεκτονική παραμόρφωση δεν είναι το μοναδικό της χαρακτηριστικό, αν και είναι το πιο σημαντικό, που καθιστά την ζώνη βύθισης επίσης πολύ ενδιαφέρουσα. Εκτεταμένες αναλύσεις των καταγραφών της στάθμης της θάλασσας, δείχνουν ότι η Κρήτη υπόκειται σε μια πιο πολύπλοκη ανοδική κίνηση. Η νοτιοδυτική πλευρά του νησιού ανέρχεται με γρήγορους ρυθμούς, μέχρι και 4,9 mm ανά έτος, ενώ το βόρειο-κεντρικό τμήμα της με χαμηλότερους ρυθμούς, της τάξης των 0,7 έως 0,9 mm ανά έτος. Δηλαδή, πραγματοποιείται μια περιστροφή του επιπέδου του νησιού γύρω από άξονα, ο οποίος διέρχεται από το βορειοδυτικό άκρο του νησιού και καταλήγει στο νοτιοανατολικό του άκρο. Ενδιαφέρον προκαλεί η υπόθεση της ομάδας Utrecht, που υποστηρίζει ότι το νησί απαρτίζεται από πολλές μετακινούμενες πλάκες.

3.3 Οι σεισμικές ζώνες της Κρήτης

Η Κρήτη βρίσκεται κατά μήκος του κεντρικού τμήματος του Ελληνικού τόξου, παράλληλα με την Ελληνική τάφρο και ανήκει στην μικρόπλακα του Αιγαίου, η οποία οριοθετείται από το Ελληνικό τόξο, τα παράλια της Μικράς Ασίας και τις ακτές της Μακεδονίας.

Οι σεισμικές ζώνες στην περιοχή της Κρήτης, εξαιτίας της σύγκρουσης της Αφρικανικής λιθοσφαιρικής πλάκας με αυτή του Αιγαίου, παρουσιάζουν μεγάλο ενδιαφέρον, γιατί μας δίνουν τη δυνατότητα μελέτης της γεωμετρίας και άλλα χαρακτηριστικά των τμημάτων της Ελληνικής ζώνης καταβύθισης, καθώς και τον τεκτονισμό του Αιγαίου (πχ. Η ανύψωση της δυτικής Κρήτης, η ηφαιστειότητα των Κυκλάδων).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

4.1. ΔΙΚΤΥΑ ΣΕΙΣΜΟΓΡΑΦΩΝ ΣΤΗΝ ΚΡΗΤΗ

Το σεισμολογικό δίκτυο, που είχε ήδη εγκατασταθεί στην Κρήτη με την συνεργασία του Εργαστηρίου Εφαρμοσμένης Γεωφυσικής του Πολυτεχνείου Κρήτης, του Ινστιτούτου Σεισμολογίας του Πανεπιστημίου του Ruhr-Bochum και του Ινστιτούτου Γεωφυσικής του Potsdam, αποτελούνταν από 8 σεισμογράφους ευρέως φάσματος σε λειτουργία. Για πρώτη φορά στην Ελλάδα είχαν εγκατασταθεί τόσο προχωρημένης τεχνολογίας όργανα. Οι έξι από αυτούς ήταν συνδεδεμένοι σε γραμμές ISDN. Οι υπόλοιποι δύο είχαν συνδεθεί σε συμβατικές γραμμές τηλεφώνου και σε γραμμές κινητής τηλεφωνίας συγχρόνως.

Η ανάκτηση δεδομένων είναι δυνατή στην περίπτωση των τεσσάρων σεισμογράφων που είναι συνδεδεμένοι στις γραμμές ISDN (Γαύδος, Μονή Κρυσταλλένιας, Σκορδαλού και Ζάκρο) και αυτό γιατί με τις συμβατικές γραμμές ή με την σύνδεση κινητής τηλεφωνίας το κόστος είναι απαγορευτικό. Οι συνδέσεις με συμβατικές γραμμές και με την κινητή τηλεφωνία είναι απαραίτητες για τον έλεγχο του συστήματος από απόσταση, όταν φυσικά δεν υπάρχει σύνδεση ISDN..

Τοπικό δίκτυο σεισμογράφων

Η συλλογή των δεδομένων πραγματοποιήθηκε σε τέσσερις διαφορετικές φάσεις. Ξεκίνησε το 1996 με την εγκατάσταση τοπικού δικτύου σεισμογράφων στην δυτική Κρήτη, συνεχίστηκε στην ίδια περιοχή το 1997, το 1999 το δίκτυο μεταφέρθηκε στο νησί της Γαύδου ενώ η τελευταία φάση ολοκληρώθηκε κατά τα έτη 2000-2001 στην πεδιάδα της Μεσσαράς του νομού Ηρακλείου.



Σχήμα 4.1. Δίκτυα καταγραφής σεισμών (Μόσιαλος 2006)

Χρησιμοποιήθηκαν συνολικά οχτώ σεισμολογικοί σταθμοί. Αυτοί είναι τοποθετημένοι στις Μονή Παναγιάς Οδηγήτριας, στη Μονή Επανοσήφι, στις τρεις Εκκλησιές, στο χωριό Γέργερη, στο Διμάτι, στο Κλίμα, στο Πρινιάς και στο Πύργο (Σχ.4.1). Καθένας από τους σταθμούς είχε χωρητικότητα καταγραφής του σκληρού δίσκου 1 GB. Η χωρητικότητα του σκληρού δίσκου αρκεί για καταγραφή δεδομένων, χρονικής περιόδου περίπου σαράντα ημερών. Μετά από την πλήρωση του χώρου αποθήκευσης δεδομένων γίνονταν αντικατάσταση του σκληρού δίσκου με καινούργιο. Στην συνέχεια, ακολουθούσε αντιγραφή του δίσκου με τα δε-δομένα σε CD – ROMS, ώστε να γίνει πιο εύκολη η επεξεργασία των δεδομένων στο εργαστήριο.

Όλοι οι σταθμοί κατανάλωναν ενέργεια η οποία προερχόταν από τους ηλιακούς συλλέκτες που υπήρχαν σε κάθε σταθμό, σε συνδυασμό με δύο μπαταρίες των 12 volt. Ήταν η πρώτη φορά που τοπικό δίκτυο δοκιμάστηκε όλες τις εποχές του χρόνου. Τα προβλήματα που προέκυψαν στην τροφοδότηση ενέργειας, λόγω χαμηλής ηλιοφάνειας κατά τους χειμερινούς μήνες, μας οδήγησαν στο να μην εγκατασταθούν ξανά σταθμοί κατά την χειμερινή περίοδο.

Χρησιμοποιήθηκαν σεισμόμετρα τριών συνιστωσών (Mark L4-3D, eigenfrequency 1Hz) και σεισμογράφοι PDAS 100 Data logger (Σχ 4.2).

Από τα αρχικά δεδομένα επιλέχθηκαν σεισμικά γεγονότα με συνολικό χρόνο καταγραφής τρία λεπτά. Εν συνεχεία εφαρμόστηκε φίλτρο (Butterworth Bandpass) και εντοπίστηκαν αφίξεις κυμάτων Ρ στην κατακόρυφη συνιστώσα και κυμάτων S στις οριζόντιες συνιστώσες της καταγραφής. Οι σεισμοί που παρουσίασαν διαφορά στις πρώτες αφίξεις μεταξύ των κυμάτων P και S μικρότερη των 15 δευτερολέπτων χαρακτηρίστηκαν ως τοπικοί και χρησιμοποιήθηκαν στη διαδικασία υπολογισμού των υποκέντρων.



Σχήμα 4.2. Τοπικός σεισμογράφος στη Μεσσαρά (Κεντρική Κρήτη).

Συνολικά καταγράφηκαν 4485 σεισμοί το μέγεθος των οποίων ήταν μεταξύ 0.5 και 4.8 Richter. Η πλειοψηφία των επικέντρων συγκεντρώνεται στο υποθαλάσσιο χώρο νότια και δυτικά της Κρήτης ενώ οι μικροσεισμοί βόρεια του νησιού είναι λιγότεροι. Για την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής, χρησιμοποιήθηκαν τα γεγονότα με ένταση > 2 Richter.

4.2 Γενικά για το πρόγραμμα GIANT

Η ιδέα της δημιουργίας του πακέτου λογισμικού GIANT, γεννήθηκε κατά τη διάρκεια της σεισμολογικής ανάλυσης των μετασεισμικών δονήσεων του μεγάλου σεισμού της Καλιφόρνιας, το 1989. Ο αρχικός στόχος της μελέτης αυτής ήταν η

εκτίμηση ενός τρισδιάστατου μοντέλου δομής της περιοχής αυτής. Κατά την διάρκεια αυτής της ανάλυσης, έγινε επιτακτική η δημιουργία ενός ολοκληρωμένου υπολογιστικού περιβάλλοντος για την επεξεργασία του μεγάλου αριθμού των σεισμολογικών δεδομένων. Για αυτό το σκοπό συγκεντρώθηκαν διάφορα ευρέως διαδεδομένα εργαλεία σεισμολογικών αναλύσεων και ενώθηκαν κάτω από ένα γενικότερο πρόγραμμα διαχείρισης τους, το GIANT, το οποίο διαθέτει ένα φιλικό και γραφικό περιβάλλον επικοινωνίας με τον χρήστη. Για την απεικόνιση των κυματομορφών σε ψηφιακή μορφή χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα PITSA, έτσι ώστε ο χρήστης να διεξάγει αναλύσεις επάνω σε ψηφιακά πλέον σεισμογράμματα.

4.2.1 Διαδικασία καταγραφής δεδομένων

Αφού εκκινήσουμε το GIANT, στην οθόνη του υπολογιστή εμφανίζεται το περιβάλλον εργασίας (παράθυρο) του προγράμματος (Σχήμα 4.2.1).

Στη συνέχεια επιλέγουμε τη βάση δεδομένων που πρόκειται να χρησιμοποιήσουμε. Με την επιλογή της εντολής file/select εμφανίζεται ένα παράθυρο που ζητά το όνομα της βάσης δεδομένων. Δίνοντας το όνομα του αρχείου τα στοιχεία της βάσης δεδομένων εμφανίζονται στο παράθυρο

5				GIAVT	1.1		
Filo =)	Query -)	Toolar	Event 7)	Newt	Previous)	Halp)	
DLE							NOTHING SELECTED

Σχήμα 4.2.1. Έναρξη περιβάλλοντος εργασίας του προγράμματος GIANT

Κατόπιν, το παράθυρο αλλάζει εμφανίζοντας τα σεισμικά γεγονότα με ένα Χ το οποίο ορίζει την αρχή του γεγονότος και μια γραμμή που αρχίζει από το Χ και ορίζει τη χρονική διάρκεια του γεγονότος (Σχήμα 4.2.2).



Σχήμα 4.2.2.Το παράθυρο σεισμικών γεγονότων και χρόνου καταγραφής-διάρκειας.

Πριν γίνει η επιλογή του γεγονότος ενεργοποιούμε το PITSA επιλέγοντας διαδοχικά tools/PITSA. Τότε εμφανίζεται το παράθυρο του PITSA. Γίνεται επιλογή του σεισμικού γεγονότος το οποίο θα σταλεί στο PITSA για επεξεργασία, με δύο διαδοχικά κλικ των πλήκτρων του ποντικιού. Αμέσως η επιλεχθείσα περιοχή μαυρίζει και επανέρχεται το παράθυρο του PITSA σχεδιάζοντας τα κανάλια με τις καταγραφές του σεισμικού γεγονότος. Έτσι, εμφανίζεται το σεισμικό γεγονός στο PITSA απ' όπου θα γίνει και η επεξεργασία του επιλεγμένου γεγονότος.(Σχήμα 4.2.3).



Σχήμα 4.2.3. Τα κανάλια με τις καταγραφές από τα σεισμικά γεγονότα.

Στην συνέχεια, αρχίζοντας την επεξεργασία του σεισμικού γεγονότος, χρειάζεται να γίνει προεπισκόπιση των δεδομένων. Για αυτό το λόγο, από τον κατάλογο που έχει ήδη εμφανιστεί, πρέπει να επιλεγεί η εντολής Routine Tools/Phase Picking. Αμέσως μετά το παράθυρο του PITSA θα αλλάξει και θα εμφανιστεί ένα ακόμα παράθυρο επιλογών (Σχήμα 4.2.4).

Popup Menu
Phase Picking Menu
Auto pick phase(s)
Wavelet Parameters
Show false polarities
Show greatest residuals
Sort traces by distance
Sort traces by azimuth
Output phase(s)
Output station(s)
Run location program
Clear Phases
Delete Traces
Plot All
Done
<escape></escape>

Σχήμα 4.2.4. Το menu αυτό εμφανίζεται για επιιλογή – ρύθμιση των φάσεων

Κατόπιν, αρχίζει η μη αυτόματη επιλογή-ρύθμιση των φάσεων (wavelet parameters), διότι η αυτόματη επιλογή φάσεων (auto phases) μπορεί να εφαρμοστεί με ασφάλεια μονάχα σε ιδανικά, χωρίς θόρυβο, δεδομένα. Έτσι επιλέγουμε "wavelet parameters". Επομένως, εμφανίζεται το σχήμα 4.2.5.

Επιλέγοντας την εντολή 'wavelet parameters', πρέπει στο PITSA να επιλεγεί ο αριθμός των καναλιών που θα επεξεργαστεί. Βάζοντας ερωτηματικό γίνεται αυτόματη επιλογή όλων των καναλιών καταγραφής. Στην εικόνα που θα εμφανιστεί ενδεχομένως να είναι φανερός ο έντονος θόρυβος στα κανάλια καταγραφής. Πάντως είναι δυνατό να ελαττωθεί κατά ένα μεγάλο ποσοστό χρησιμοποιώντας τα ψηφιακά φίλτρα σε συνδυασμό με τους αναλυτές φάσματος που προσφέρει το PITSA. Πηγαίνοντας στον κεντρικό κατάλογο εντολών του PITSA γίνεται επιλογή του Advanced Tools/Filter/Bytterworth Band Pass. Το πρόγραμμα ζητά πάλι τον αριθμό των καναλιών που θα φιλτραριστούν και με "; " επιλέγονται όλα τα κανάλια.

Popup Menu
Phase Menu
Phase Type (t)
Doset Type (o)
First Motion (f)
Weight (w)
Set Amplitude (a)
Clear Amplitude
Delta (d)
Elear Delta (c)
Set Rise Time (r)
Clear Rise Time
End Phase (e)
Hilbert Transform (h)
Set Hilbert Flag (1)
Clear Hilbert Flag (k)
Next Trace (n)
Prev Trace (p)
All Traces
Pull In All Comp
Pull In Nearest Sta
Elear Pulled In
Refresh
Pick Magnitude (m)
DONE forward (x)
DONE backward (y)
(ESCAPE)

Σχήμα 4.2.5. Ο πίνακας μετά την εντολή "wavelet parameters"

Μετά την εφαρμογή του ψηφιακού φίλτρου τα δεδομένα αλλάζουν και εμφανίζονται πλέον χωρίς τον θόρυβο που είχαν προηγουμένως. Η μορφή τους φαίνεται στο σχήμα 4.2.6.



Σχήμα 4.2.6. Δεδομένα απαλλαγμένα από το θόρυβο.

Κατόπιν, από τον κεντρικό κατάλογο του PITSA επιλέγεται η εντολή Routine Tools/Phase Picking και από τον κατάλογο, επιλέγεται η εντολή Phase Picking Wavelet Parameters. Εφόσον ρυθμίσουμε τις ανάλογες παραμέτρους, η οθόνη του PITSA αλλάζει και παίρνει τη μορφή του σχήματος 4.2.7.

Στο άνω άκρο του παραθύρου του PITSA παρουσιάζονται τρία κανάλια. Σε αυτά υπάρχει ένα πλαίσιο. Αυτό το πλαίσιο δείχνει την περιοχή των καταγραφών που παρουσιάζεται στο κάτω τμήμα του παραθύρου του PITSA. Αυτό το πλαίσιο παραμένει αμετάβλητο. Ο χρήστης μπορεί να το μεγεθύνει αλλά και να το μετακινήσει με τη βοήθεια του ποντικιού.

Το επόμενο βήμα είναι η επιλογή των φάσεων (phase type) (Σχήμα 4.7). Αρχικά, επιλέγουμε τον τύπο της φάσης. Μετά, γίνεται η επιλογή του σημείου έναρξης αυτού του κύματος με τη βοήθεια του ποντικιού. Μετά, το PITSA δημιουργεί μία γραμμή που αρχίζει από το σημείο πάνω στην κυματομορφή του οποίου έγινε η επιλογή με το ποντίκι και τελειώνει σημειώνοντας το είδος του κύματος με τους χαρακτήρες P, S, PP κλπ.



Σχήμα 4.2.7. Η επιλογή των φάσεων (phase type)

Αφού επιλέξουμε τον τύπο της φάσης, το επόμενο βήμα είναι η επιλογή του χαρακτήρα (onset type) του κύματος εάν είναι ακαριαίος (impulsive) ή ήπιος (emergent). Το επόμενο βήμα είναι η επιλογή της φοράς της πρώτης κίνησης του κύματος (first motion: επάνω, κάτω, ελαφρά επάνω, ελαφρά κάτω, θορυβώδεις, μη αναγνώσιμη, τίποτα). Κατόπιν ο χρήστης πρέπει «εμπειρικά» να αξιολογήσει την ορθότητα των χειρισμών του, βάση και της ποιότητας των δεδομένων που θα δοθούν στην καταγραφή. Αφού πραγματοποιηθούν τα παραπάνω, θα εμφανιστεί το ακόλουθο αποτέλεσμα στην οθόνη, όπως στο σχήμα 4.2.8.

Τότε γίνεται επιλογή του next trace καθώς και επανάληψη της διαδικασίας επιλογής φάσεων για το επόμενο κανάλι. Αφού ολοκληρωθεί η διαδικασία για

ολόκληρο το σετ καναλιών που παρουσιάζεται στην οθόνη του PITSA επιλέγεται "Done Forward" και εμφανίζεται στην οθόνη το επόμενο σετ καναλιών για την ίδια επεξεργασία. Αφού ολοκληρωθούν οι καθορισμοί των φάσεων για όλα τα κανάλια επιλέγεται "Done Forward" και τότε ο κατάλογος με τις επιλογές αλλάζει ξανά.



Σχήμα 4.2.8. Το αποτέλεσμα της επεξεργασίας.

Γίνεται εκτέλεση της ίδιας διαδικασίας για κάθε σταθμό και στην ολοκλήρωση της διαδικασίας για το σύνολο των σταθμών πατώντας "Done", η επεξεργασία τελειώνει και εμφανίζεται ξανά από την αρχή ο κατάλογος με τις επιλογές του (Σχ 4.2.4). Από την συγκεκριμένη καρτέλα γίνεται η επιλογή της εντολής 'run location program'. Κατόπιν, δημιουργείται η παρακάτω εικόνα (Σχ 4.2.9).

Στο σχήμα 4.2.9. εμφανίζονται οι σταθμοί οι οποίοι χρησιμοποιήθηκαν για τον εντοπισμό του σεισμού. Επίσης εμφανίζεται το επίκεντρο του σεισμού καθώς

και οι συντεταγμένες του. Είναι αντιληπτό ότι οι σταθμοί που χρησιμοποιήθηκαν είναι επτά. Ο συνολικός αριθμός των σεισμογράφων είναι οχτώ. Προφανώς ο όγδοος σταθμός είχε πολύ θόρυβο και απορρίφθηκε. Επιπλέον, ένας συχνός παράγοντας απουσίας ενός σταθμού είναι μία πιθανή βλάβη. Αυτό είναι πολύ συχνό φαινόμενο ειδικά τους χειμερινούς μήνες, όπως προαναφέρθηκε.



Σχήμα 4.2.9. Η σχηματική απεικόνιση των σταθμών και το επίκεντρο του σεισμού αποτέλεσμα της επεξεργασίας

4.3. Αποτελέσματα επεξεργασίας

Παρακάτω, παραθέτονται οι πίνακες με τα αποτελέσματα της επεξεργασίας των δεδομένων.

Πίνακας	4.3.1 : E	Ξντοπισμός	επιλεγμένων	σεισμικών	γεγονότων	από	то	τοπικό
σεισμολο	γικό στη	ν Μεσσαρά	της Κρήτης γι	ια το έτος 20	001.			

A/α			Γεωγραφικό	Γεωγραφικό	Εστιακό
	Ημερομηνία	Ώρα	μήκος	πλάτος	βάθος(Km)
1	1/2/2001	15:22:01	24.94	34.82	32
2	1/2/2001	22:47:40	24.89	34.83	26
3	2/2/2001	4:31:10	24.79	34.95	35
4	3/2/2001	22:34:30	25.10	34.90	35
5	4/2/2001	1:40:57	24.56	34.82	30
6	4/2/2001	3:32:09	24.53	34.93	35
7	16/5/2001	23:39:51	26.39	35.28	35
8	20/5/2001	10:26:01	26.14	33.67	35
9	20/5/2001	17:22:06	22.78	35.40	35
10	21/5/2001	6:02:05	25.34	34.98	5
11	24/5/2001	10:32:54	25.32	34.99	4
12	26/5/2001	1:11:48	24.23	35.09	35
13	28/5/2001	4:45:20	24.80	34.85	27
14	31/5/2001	0:11:51	24.98	35.01	24
15	31/5/2001	2:03:18	24.24	35.09	35
16	1/6/2001	1:16:01	25.09	34.80	20
17	10/6/2001	3:13:49	24.95	34.91	10
18	10/6/2001	19:17:49	24.96	34.95	7
19	11/6/2001	0:31:14	23.98	35.40	35
20	11/6/2001	1:48:36	25.41	35.01	1
21	11/6/2001	4:06:52	25.33	35.26	4
22	11/6/2001	8:07:44	24.97	34.92	9
23	11/6/2001	19:44:57	24.93	34.81	35
24	13/6/2001	2:20:15	24.95	35.11	16
25	15/6/2001	13:04:03	24.69	35.17	1
26	16/6/2001	21:49:13	27.14	36.74	35
27	17/6/2001	7:20:31	24.77	34.81	35
28	18/6/2001	21:42:02	24.76	35.57	1
29	20/6/2001	8:04:23	27.38	37.48	35
30	22/6/2001	12:50:00	24.97	34.84	35
31	22/6/2001	15:11:57	24.98	35.09	1
32	24/6/2001	15:59:11	25.80	35.37	35
33	25/6/2001	19:57:24	24.87	34.73	29
34	25/6/2001	23:33:43	25.44	34.99	15
35	26/6/2001	1:30:58	24.76	34.87	36
36	26/6/2001	5:02:56	24.63	34.98	3
37	26/6/2001	17:28:18	24.93	37.37	35

38	26/6/2001	23:31:09	25.02	34.99	35
39	27/6/2001	4:04:27	25.12	34.77	20
40	27/6/2001	21:24:33	24.68	35.05	10
41	27/6/2001	22:59:56	24.96	34.89	35
42	28/6/2001	8:23:20	24.36	35.11	35
43	28/6/2001	16:36:08	24.84	34.73	24
44	28/6/2001	17:23:33	24.95	34.75	35
45	28/6/2001	22:15:29	24.71	34.73	30
46	29/6/2001	3:05:38	24.96	34.72	21
47	29/6/2001	6:34:08	24.95	34.77	31
48	29/6/2001	7:20:16	25.20	34.92	16
49	29/6/2001	9:54:34	25.32	34.72	35
50	29/6/2001	14:38:50	25.21	34.78	3
51	29/6/2001	17:47:38	25.38	34.82	18
52	30/6/2001	1:17:15	24.15	34.98	35
53	30/6/2001	2:08:41	25.33	35.14	35
54	30/6/2001	2:40:36	25.49	34.89	1
55	30/6/2001	6:00:31	25.29	35.03	35
56	30/6/2001	6:14:15	25.38	35.03	35
57	30/6/2001	6:32:16	25.41	34.93	3
58	30/6/2001	18:02:58	25.42	35.41	35
59	1/7/2001	5:21:21	25.91	34.21	35
60	1/7/2001	21:04:05	25.33	34.78	35
61	2/7/2001	1:03:09	24.97	34.63	35
62	2/7/2001	7:53:58	25.25	35.36	35
63	2/7/2001	12:21:40	25.98	34.72	35
64	3/7/2001	5:55:45	25.06	35.72	35
65	3/7/2001	11:50:08	25.24	34.93	1
66	3/7/2001	19:53:37	25.42	35.60	35
67	3/7/2001	23:06:32	24.95	34.78	2
68	4/7/2001	13:08:28	25.41	35.94	35
69	4/7/2001	17:07:32	24.87	34.71	35
70	4/7/2001	23:07:58	26.70	35.72	35
71	5/7/2001	17:27:15	24.80	34.91	9
72	5/7/2001	18:49:58	25.05	34.77	20
73	6/7/2001	8:41:42	24.93	34.81	3
74	6/7/2001	13:55:59	26.10	35.02	35
75	6/7/2001	14:16:14	24.91	34.76	20
76	6/7/2001	19:32:43	25.29	35.64	35
77	7/7/2001	1:56:33	25.33	35.37	18
78	7/7/2001	9:53:04	24.80	34.81	35
79	7/7/2001	10:40:58	26.25	34.00	35
80	7/7/2001	10:41:13	25.44	34.79	35
81	7/7/2001	22:35:45	24.96	34.81	22
82	8/7/2001	9:19:02	24.65	34.72	35
83	8/7/2001	21:10:01	24.72	35.11	10
84	8/7/2001	23:10:10	24.80	34.82	22
85	10/7/2001	13:21:03	25.50	34.90	1

86	10/7/2001	15:04:04	25.52	34.97	12
87	10/7/2001	20:10:53	25.49	34.89	1
88	11/7/2001	18:05:26	25.49	34.91	1
89	11/7/2001	18:06:34	25.49	34.91	1
90	12/7/2001	3:12:03	24.50	34.97	5
91	12/7/2001	7:40:08	25.50	34.90	2
92	12/7/2001	11:40:50	25.16	34.96	11
93	12/7/2001	20:31:44	24.83	34.76	13
94	12/7/2001	22:30:56	26.43	37.12	35
95	15/7/2001	4:53:38	25.22	34.58	35
96	5/8/2001	20:58:16	25.25	34.89	25
97	13/8/2001	10:59:57	25.49	34.79	35
98	16/8/2001	2:36:41	25.16	34.74	35
99	16/8/2001	2:42:25	25.24	34.53	35
100	16/8/2001	8:13:37	25.16	34.74	35
101	16/8/2001	10:05:35	25.07	35.02	33
102	18/8/2001	0:34:38	25.17	34.83	32
103	22/8/2001	17:55:21	24.62	34.50	35
104	27/8/2001	20:10:13	25.54	35.41	35
105	28/8/2001	21:47:06	26.17	35.36	5
106	29/8/2001	10:02:29	24.75	34.98	8
107	29/8/2001	12:47:52	25.06	34.23	35
108	1/9/2001	11:34:40	24.60	35.60	35
109	3/9/2001	2:41:01	24.35	34.98	35
110	3/9/2001	9:26:32	25.38	36.00	32
111	5/9/2001	2:08:27	24.65	34.80	35
112	9/9/2001	6:18:34	25.29	35.03	35
113	9/9/2001	12:39:35	24.10	34.83	35
114	11/9/2001	20:27:52	24.96	34.60	35
115	13/9/2001	15:43:06	25.41	35.11	21
116	14/9/2001	0:06:45	25.26	35.19	4
117	19/9/2001	12:44:02	25.29	35.03	35
118	21/9/2001	21:47:43	24.71	35.01	16
119	22/9/2001	12:41:40	24.81	35.00	20
120	26/9/2001	7:19:21	24.81	35.08	10
121	28/9/2001	16:10:40	24.51	35.25	35
122	30/9/2001	18:59:17	25.64	35.03	35
123	2/10/2001	16:54:31	25.38	34.96	17
124	2/10/2001	19:10:37	25.29	34.89	20
125	6/10/2001	22:18:36	25.67	35.03	35
126	8/10/2001	0:12:52	25.29	35.05	3
127	8/10/2001	0:18:07	25.46	34.90	8
128	8/10/2001	1:03:09	25.30	35.03	5

ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΕΙΣΜΙΚΩΝ ΓΕΓΟΝΟΤΩΝ (TUC-NOA)

Πίνακας 4	.3.2 :	Κοινά	σεισμικά	γεγονότα	των	δικτύων	TUC-NOA	κατά	то	έτος
2001.										

ala	μιεολιία	Ώoα		Long		Lat		Βάθη	D _{distance}	D _{Βάθους}
u/u	Πμερ/νια	12pu	tuc	NOA	tuc	NOA	tuc	NOA		
5	4/2/2001	1:40:57	24.56	24.46	34.82	34.8	30	5	11.19172	25
7	16/5/2001	23:39:51	26.39	26.13	35.28	34.78	35	5	62.384	30
12	26/5/2001	1:11:48	24.23	24.26	35.09	35.53	35	29	48.86267	6
56	30/6/2001	6:14:15	25.38	25.4	35.03	34.89	35	110	15.98636	75
74	6/7/2001	13:55:59	26.10	26.16	35.02	34.95	35	5	10.31887	30
87	10/7/2001	20:10:53	25.49	25.39	34.89	34.91	1	5	11.43277	4
94	12/7/2001	22:30:56	26.43	26.6	37.12	36.48	35	115	74.08765	80
99	16/8/2001	2:42:25	25.24	25.44	34.53	34	35	31	62.52043	4
101	16/8/2001	10:05:35	25.07	25.14	35.02	35.1	33	33	11.65436	0
103	22/8/2001	17:55:21	24.62	24.64	34.50	35.07	35	36	63.47418	1
105	28/8/2001	21:47:06	26.17	26.4	35.36	35.23	5	5	29.18936	0
110	3/9/2001	9:26:32	25.38	25.33	36.00	35.62	32	49	42.6173	17
117	19/9/2001	12:44:02	25.29	25.35	35.03	34.91	35	5	14.93075	30
123	2/10/2001	16:54:31	25.38	25.35	34.96	34.97	17	5	3.908288	12
126	8/10/2001	0:12:52	25.29	25.49	35.05	35.03	3	8	22.39349	5
127	8/10/2001	0:18:07	25.46	25.44	34.90	34.94	8	5	4.317144	3
128	8/10/2001	1:03:09	25.30	25.49	35.03	34.91	5	5	24.73706	0

Επίσης από τον κατάλογο σεισμικών γεγονότων του ISC (<u>http://www.isc.ac.uk/</u>) και τον κατάλογο του NOA (<u>http://www.noa.gr/</u>).

Το Διεθνές σεισμολογικό κέντρο(International seismological center), ISC, όπως αναφέρεται πολλές φορές μέσα στο κείμενο της παρούσας διπλωματικής, είναι ένας οργανισμός που ξεκίνησε το 1964, με την αιγίδα της UNESCO, σαν διάδοχος του International seismological summare (ISS), για την συνέχιση της συλλογής, αρχειοθέτησης και επεξεργασίας σεισμικών δεδομένων, με σκοπό τη μελέτη της παγκόσμιας σεισμικότητας.

Συγκεντρώνει στοιχεία από σεισμικά δίκτυα και βάσεις δεδομένων σεισμικών γεγονότων, περίπου 130 στον αριθμό. Στα αρχεία του οργανισμού μέχρι σήμερα (2012), περιέχονται περισσότερα από 4 εκατομμύρια σεισμικά γεγονότα καταγεγραμμένα . Επίσης στοιχεία για χημικές και πυρηνικές εκρήξεις, εκρήξεις από πεδία εξόρυξης κ.α.

Ο κατάλογος σεισμών του ΝΟΑ προκύπτει από το δίκτυο σεισμογράφων που έχει εγκατεστημένο το ΝΟΑ.

Με την βοήθεια του λογισμικού ArcView, τοποθετήθηκαν τα σημεία σε χάρτες στην περιοχή ενδιαφέροντος, για συγκρίσεις και συμπεράσματα, που παρατίθενται στα σχήματα 4.3.1 έως 4.3.13 . Στα συγκεκριμένα σχήματα, με κόκκινη γραμμή εμφανίζονται τα ρήγματα της περιοχής, από στοιχεία του IΓΜΕ (<u>http://www.igme.gr</u>) (Τσιλιγιάννη, 2009).





Στο Σχήμα 4.3.1 παρατηρείται ότι από τα γεγονότα που αναγράφονται στον κατάλογο του ISC απουσιάζουν γεγονότα βόρεια της Κρήτης. Άρα συμπεραίνεται ότι οι πληροφορίες του καταλόγου για αυτή την περιοχή δεν παρέχουν ικανοποιητικές πληροφορίες σε σχέση με αυτές που εξάγονται από τους καταλόγους των δικτύων του NOA και του TUC όπως θα δούμε σχηματικά και παρακάτω. Σημειωτέον ότι ο κατάλογος του ISC παρέχει εντοπισμένα γεγονότα με μέγεθος πάνω από 4 της κλίμακας Richter.



Σχήμα 4.3.2. Επίκεντρα σεισμών από TUC. Το μέγεθος της κουκίδας που περιγράφει το εντοπισμένο σεισμικό γεγονός αντιστοιχεί σε ανάλογο βάθος σε km.

Στο Σχήμα 4.3.2 που αναπαριστά τα επίκεντρα από τα σεισμικά γεγονότα όπως εντοπίστηκαν από το δίκτυο του TUC, παρατηρείται μεγαλύτερη κάλυψη του τμήματος βόρεια και κεντρικά της νήσου Κρήτης σε σχέση με τον κατάλογο του ISC (Σχήμα 4.3.1). Επίσης παρατηρείται σύμπτωση των επικέντρων σε σχέση με τα ρήγματα, όπως αυτά τοποθετούνται χωρικά από χάρτες του ICME.



Σχήμα 4.3.3. Κοινά σεισμικά γεγονότα TUC-NOA



Σχήμα 4.3.3α. Κοινά σεισμικά γεγονότα TUC-NOA. Λεπτομέρεια του 4.3.3.

Στο Σχήμα 4.3.3α τοποθετήθηκαν ενδεικτικά κάποια κοινά σεισμικά γεγονότα μεταξύ των δικτύων TUC-NOA και παρατηρούμε μία μικρή σχετικά απόκλιση του υπολογισμού των επικέντρων, όπως π.χ. του σεισμού που έλαβε χώρα την 8/10/2001 και ώρα 00:18:07, ανατολικά της Μεσσαράς, με απόκλιση ≈ 4 km. Δεν λείπουν όμως και πολύ μεγαλύτερες αποκλίσεις όπως π.χ. του σεισμού που έλαβε χώρα την 28/8/2001 και ώρα 21:47:06, ανατολικά της Κρήτης, με απόκλιση ≈ 29 km.



Σχήμα 4.3.4. Σεισμικά γεγονότα TUC-ISC εστιακού βάθους 30-40 km.

Στο Σχήμα 4.3.4 απεικονίζονται τα σεισμικά γεγονότα του δικτύου TUC και του καταλόγου του ISC εστιακού βάθους 30-40 km. Η απουσία εντοπισμού στον κατάλογο του ISC για σεισμούς εστιακού βάθους 30-40 km στην περιοχή ενδιαφέροντος (Μεσσαρά) είναι εμφανής, και καταδεικνύει την ακρίβεια που μας παρέχει, για τέτοιου είδους πληροφορίες, η ύπαρξη ενός τοπικού δικτύου, όπως αυτό του TUC. Κάτι αντίστοιχο παρατηρείται και για μικρότερα βάθη (Σχήματα 4.3.5 και 4.3.6).



Σχήμα 4.3.5. Σεισμικά γεγονότα TUC-ISC εστιακού βάθους 20-30 km.



\$ Σχήμα 4.3.6. Σεισμικά γεγονότα TUC-ISC εστιακού βάθους 1-20 km. Οι μικρότερες κουκίδες αντιστοιχούν σε βάθη 1-10 km, ενώ οι μεγαλύτερες σε βάθη 11-20 km.





Αντίθετα με τον κατάλογο του ISC, το δίκτυο του NOA φαίνεται να παρέχει σχετικά ακριβέστερες πληροφορίες τόσο για τα νότια όσο και βόρεια της νήσου Κρήτης (Σχήμα 4.3.7). Παρ' όλα αυτά το δίκτυο TUC εντοπίζει σεισμικά γεγονότα κυρίως νότια της Μεσσαράς, όπου βρίσκεται και το τοπικό σεισμολογικό δίκτυο (Σχήμα 4.3.2). Ειδικότερα, έχουμε καλύτερη περιγραφή, πάντα σε σχέση με τους χάρτες ρηγμάτων του ICME, για την κεντρική και νότια περιοχή της Κρήτης, από το δίκτυο του TUC σε σχέση με το δίκτυο του NOA (Σχήματα 4.3.2 και 4.3.7).

Επίσης παρατηρείται ότι τα γεγονότα αυτά έχουν ικανοποιητική σύμπτωση με τα χαρτογραφημένα ρήγματα. Αυτό ισχύει για όλα τα γεγονότα ανεξαρτήτου βάθους (Σχήματα 4.3.8, 4.3.9 και 4.3.10). Δεδομένου του ότι το δίκτυο του TUC εντοπίζει και γεγονότα σχετικά πολύ μικρής έντασης της κλίμακας Richter (0.5 και πάνω), παρατηρείται ότι η μικροσεισμικότητα εντοπίζεται κυρίως νότια της Κρήτης (Σχήματα 4.3.11, 4.3.12 και 4.3.13).



Σχήμα 4.3.8. Σεισμικά γεγονότα NOA-TUC εστιακού βάθους 30-40 km.



Σχήμα 4.3.9. Σεισμικά γεγονότα NOA-TUC εστιακού βάθους 20-30 km.



Σχήμα 4.3.10. Σεισμικά γεγονότα NOA-TUC εστιακού βάθους 1-20 km. Οι μικρότερες κουκίδες αντιστοιχούν σε βάθη 1-10 km, ενώ οι μεγαλύτερες σε βάθη 11-20 km.



Σχήμα 4.3.11. Σεισμικά γεγονότα NOA-TUC -ISC εστιακού βάθους 30-40 km





Σχήμα 4.3.13. Σεισμικά γεγονότα NOA-TUC -ISC εστιακού βάθους 1-20 km. Οι μικρότερες κουκίδες αντιστοιχούν σε βάθη 1-10 km, ενώ οι μεγαλύτερες σε βάθη 11-20 km.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Συνοψίζοντας όλα τα παραπάνω, παρουσιάζεται η μελέτη της σεισμικής δραστηριότητας για το έτος 2001, όπου και ήταν εγκατεστημένο στην Κρήτη δίκτυο σεισμογράφων σε συνεργασία με το πανεπιστήμιο του Bochum. Από την καταγραφή και επεξεργασία των δεδομένων, προέκυψε ο κατάλογος των σεισμών (TUC) και με την χρήση των καταλόγων του NOA για την ίδια χρονική περίοδο, και τον κατάλογο του ISC για καταγραφές σεισμικών γεγονότων για την περιοχή ενδιαφέροντος, εξάγονται πολύ χρήσιμα συμπεράσματα για την ποιότητα των αποτελεσμάτων για κάθε ένα από τα χρησιμοποιούμενα δίκτυα, όπως και πολλά χρήσιμα συμπεράσματα για την σεισμικότητα της περιοχής. Γενικά επαληθεύεται η ήδη υπάρχουσα άποψη ότι τα τοπικά σεισμολογικά δίκτυα καλύπτουν με μεγαλύτερη ακρίβεια σεισμικά γεγονότα κοντά σε αυτά.

Ο κατάλογος του ISC δεν παρέχει ικανοποιητικές πληροφορίες πέρα από τα νότια της Κρήτης σε αντίθεση με το δίκτυο του NOA το οποίο καλύπτει ικανοποιητικά όλη της ευρύτερη περιοχή της Κρήτης. Το δίκτυο TUC εντοπίζει σχετικά ρηχά σεισμικά γεγονότα κυρίως νότια της Κρήτης και βαθύτερα επάνω σε αυτήν και βορειότερα. Η μικροσεισμικότητα που παρατηρείται στα νότια της Κρήτης φαίνεται να συμπίπτει με τα ρήγματα που έχουν χαρτογραφηθεί στην περιοχή.

Φαίνεται πως τα αποτελέσματα του δικτύου του TUC δείχνουν ένα συσχετισμό των χαρτογραφημένων ρηγμάτων με τις περιοχές έντονης δραστηριότητας.

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Τσιλιγιάννη Σπυριδούλα, 2009, Επεξεργασία σεισμολογικού δικτύου Egelados για την μελέτη σεισμικής δραστηριότητας στην περιοχή της δυτικής Κρήτης τον Ιανουάριο του 2006, Διπλωματική εργασία, Τμήμα Μηχ.Ο.Π., Πολ. Κρήτης.

Μόσιαλος Βασίλειος, 2006, Μικροσεισμική δραστηριότητα στην κεντρική Κρήτη κατά την χρονική περίοδο Φεβρουαρίου-Αυγούστου 2001, Διπλωματική εργασία, Τμήμα Μηχ.Ο.Π, Πολ. Κρήτης.

Βαφείδης, Α., 2001. Γεωφυσική Ι, Πανεπιστημιακές παραδόσεις, Πολυτεχνείο Κρήτης.

Χαρίτωνος Χριστοφόρας 2007. Σεισμικός κίνδυνος και ευαισθητοποίηση των πολιτών στην Κύπρο. Πτυχιακή εργασία, Χαροκόπειο πανεπιστήμιο, Τμήμα Γεωγραφίας.

Wikipedia 2011(http://el.wikipedia.org/wiki/ Κλίμακα_Ρίχτερ) προσπελάστηκε το 2011

British geological survey 2011

<u>http://www.bgs.ac.uk/discoveringGeology/hazards/earthquakes/howWeMeasure</u> <u>Them.html</u> προσπελάστηκε το 2011

seismoi 2011 (<u>http://www.seismoi.gr/torhgmathsAnatolias.htm</u>) προσπελάστηκε το 2011

<u>www.geo.auth.gr</u> <u>http://www.geo.auth.gr/courses/ggg/ggg871y/ch5/sxima_45.jpg</u> προσπελάστηκε το 2011