



Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Σχολή Πολιτικών Μηχανικών



ΤΕΧΝΙΚΗ ΕΚΘΕΣΗ



Τεχνική έκθεση στο πλαίσιο του ερευνητικού έργου
«Ερευνητικές εργασίες και διερεύνηση βέλτιστων
λύσεων αποκατάστασης - ενίσχυσης φέροντος
οργανισμού Ιερού Ναού Αγίου Μηνά Ηρακλείου
Κρήτης»

Θέμα: Εκτίμηση σεισμικού κινδύνου – Εύρεση χρονοϊστοριών

Επιστημονικός Υπεύθυνος: Βλάσης Κουμούσης, Δρ. Πολιτικός Μηχανικός,
Ομότιμος Καθηγητής ΕΜΠ

Συντάξαντες: Ιωάννης Ταφλαμπάς, Δρ. Πολιτικός Μηχανικός ΕΜΠ

Κων/να Μαστροδήμου, Πολιτικός Μηχανικός, Υπ. Διδάκτωρ ΕΜΠ

Αθήνα, Οκτώβριος 2021



Περιεχόμενα

1	Εισαγωγή	3
2	Ιστορική σεισμικότητα	4
3	Μεθοδολογία	8
4	Πιθανοτική προσέγγιση	10
5	Ανάλυση σεισμικού κινδύνου με βάση εντοπισμένο ρήγμα.....	13
5.1	Σχέσεις Πρόβλεψης Εδαφικής Κίνησης.....	13
5.2	Επεξήγηση παραμέτρων.....	14
5.2.1	Σεισμικό μέγεθος.....	15
5.2.2	Τύπος του ρήγματος	15
5.2.3	Απόσταση ρήγματος – εξεταζόμενης θέσης.....	16
5.2.4	Κατηγορία εδάφους και μητρικό πέτρωμα.....	16
5.2.5	Βάθος διάρρηξης	17
5.2.6	Επαύξηση κίνησης στο άνω τμήμα του ρήγματος	17
5.2.7	Κατάταξη σεισμού.....	17
5.2.8	Περιοχές εφαρμογής.....	18
5.3	Σεισμικά σενάρια	19
6	Επιλεγθείσες χρονοϊστορίες.....	22
7	Βιβλιογραφία	27
	Παράρτημα Α	29
	Παράρτημα Β.	38



1 Εισαγωγή

Η παρούσα τεχνική έκθεση περιλαμβάνει την μελέτη εκτίμησης σεισμικού κινδύνου και παρέχει χρονοϊστορίες στα πλαίσια της μελέτης με αντικείμενο την επισκευή και ενίσχυση του Ιερού Ναού Αγίου Μηνά Ηρακλείου Κρήτης. Η μελέτη εκπονήθηκε από τους Ιωάννη Ταφλαμπά, Δρ. Πολιτικό Μηχανικό Ε.Μ.Π. και Κωνσταντίνα Μαστροδήμου, Πολιτικό Μηχανικό, Υπ. Διδ. Ε.Μ.Π..

Ο Μητροπολιτικός Ναός του Αγίου Μηνά αποτελεί ορόσημο για την πόλη του Ηρακλείου, η ανέγερση του ξεκίνησε το 1862 και ολοκληρώθηκε το 1895. Με επιφάνεια 1.350 m² χαρακτηρίζεται ως ο μεγαλύτερος ναός στην Κρήτη και ένας από τους μεγαλύτερους ναούς πανελλαδικά. Από αρχιτεκτονική άποψη, η κάτοψη και η στέγαση καθιστούν τον χαρακτηρισμό του ναού σταυροειδή εγγεγραμμένο με τρούλο και υψηλό τύμπανο, ενώ εσωτερικά εντοπίζονται και στοιχεία τρίκλιτης βασιλικής με υπερώα. Στην πόλη του Ηρακλείου και πιο συγκεκριμένα στον Ναό του Αγίου Μηνά βρίσκεται η έδρα του Αρχιεπισκόπου Κρήτης.

Το Ηράκλειο αποτελεί το μεγαλύτερο αστικό κέντρο της Κρήτης, την πρωτεύουσα της περιφέρειας και το οικονομικό, θρησκευτικό, εμπορικό και επιστημονικό κέντρο του νησιού. Ο Δήμος Ηρακλείου είναι ο τέταρτος πολυπληθέστερος δήμος της χώρας και οι κύριοι οικονομικοί τομείς της πόλης αυτής είναι ο τουρισμός, η γεωργία και το εμπόριο [27], [35]. Διαθέτει βιομηχανική ζώνη σε κοντινή απόσταση από το κέντρο της πόλης, το δεύτερο σε επισκεψιμότητα αεροδρόμιο στην Ελλάδα καθώς και λιμάνι με πυκνή ακτοπολική συγκοινωνία. Η πόλη του Ηρακλείου έχει ανακηρυχθεί ως μια από τις ταχύτερα τουριστικά αναπτυσσόμενες περιοχές της Ευρώπης φιλοξενώντας εκατομμύρια επισκέπτες τα τελευταία χρόνια [35].

Η ιστορία του τόπου αυτού είναι μακραίωνη και πλήθος αρχαιολογικών ευρημάτων αναδεικνύουν τον ιδιαίτερο ρόλο που διαδραμάτισε στο πέρασμα των αιώνων, καθώς κατέχει στρατηγική γεωπολιτική θέση στην νοτιοανατολική λεκάνη της Μεσογείου, συνδέοντας τρεις ηπείρους και πολλούς διαφορετικούς πολιτισμούς. Η πόλη βρίσκεται στο ίδιο σημείο που βρισκόταν κατά την αρχαιότητα και αποτελούσε το δυτικότερο από τα τρία λιμάνια της Κνωσού (3.500 π.Χ. – 900 π.Χ.), του σημαντικότερου κέντρου του μινωικού πολιτισμού και πρωτεύουσα της Μινωικής Κρήτης. Πέραν όμως της Μινωικής περιόδου, η παρουσία της πόλης στα ιστορικά δρώμενα είναι πλούσια στην Ρωμαϊκή και Βυζαντινή περίοδο, κατά την Ενετική και Οθωμανική κυριαρχία, κατά τη διάρκεια του πρώτου και δεύτερου Παγκοσμίου πολέμου έως και την απελευθέρωση της το 1944.

Πέραν όμως του ιστορικού ενδιαφέροντος, το Ηράκλειο παρουσιάζει ιδιαίτερο σεισμολογικό ενδιαφέρον λόγω της γεωμορφολογίας της περιοχής και του ευρύτερου τεκτονικού περιβάλλοντος. Η Κρήτη βρίσκεται πάνω στην καμπή του Ελληνικού τόξου που εκτείνεται από την Δυτική Ηπειρωτική Ελλάδα μέχρι την Ρόδο. Στην εξωτερική πλευρά του τόξου, δηλαδή στο Ιόνιο, στο Λυβικό πέλαγος και νότια από την Ρόδο, εκτείνεται η Ελληνική Τάφρος, η οποία σχηματίζεται στο μέτωπο της σύγκρουσης της Αφρικανικής λιθοσφαιρικής πλάκας με την Ευρασιατική. Στην



περιοχή της Κρήτης σημειώνεται η καταβύθιση της Αφρικανικής πλάκας κάτω από την Ευρασιατική, με κατεύθυνση από Νότο προς Βορρά, δηλαδή από το Νότιο Κρητικό πέλαγος προς το Αιγαίο. Η κίνηση αυτή των λιθοσφαιρικών πλακών αποτελεί την βασική αιτία του τεκτονικού τεμαχισμού που έχει ως αποτέλεσμα πλήθος ενεργών ρηγμάτων και έντονη σεισμικότητα τόσο στη στεριά όσο και στην ευρύτερη θαλάσσια περιοχή. Πιο συγκεκριμένα, στο παρελθόν η Δυτική Κρήτη υπέστη 10 καταβυθίσεις με μέγεθος περί τα 0,25 m εκάστη και έπειτα ξεκίνησε η ανάδυση της που συνεχίζεται μέχρι σήμερα. Παράλληλα με τις κινήσεις αυτές, ολόκληρο το νησί και η ευρύτερη περιοχή ωθείται προς νοτιοδυτική κατεύθυνση. Η Κρήτη δεν ανταποκρίνεται ως μια ενιαία συμπαγής και άκαμπτη πλάκα κατά την διάρκεια των τεκτονικών κινήσεων, αλλά ως ένα σύστημα τεκτονικών τμημάτων που χωρίζονται από μεγάλα ρήγματα και κάθε τμήμα εξ' αυτών αποκτά διαφορετικά μεγέθη κίνησης.

Από τον Ιανουάριο του 2004, ορίζεται από τον ΝΕΑΚ-2000 πως ολόκληρη η περιοχή της Κρήτης κατατάσσεται στην ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας II [34]. Για την ζώνη αυτή, η εδαφική επιτάχυνση προσδιορίζεται ίση με 0,24g. Γενικότερα, η περιοχή της Κρήτης χαρακτηρίζεται ως μια από τις περιοχές της Ανατολικής Μεσογείου με την υψηλότερη σεισμική δραστηριότητα και έχουν σημειωθεί στο παρελθόν πλήθος σεισμικών γεγονότων μέτριας και υψηλής έντασης. Η έντονη σεισμική δραστηριότητα τόσο στην περιοχή του Ηρακλείου όσο και συνολικά στο νησί της Κρήτης δικαιολογείται εξαιτίας δύο παραγόντων. Ο πρώτος παράγοντας είναι η κίνηση των λιθοσφαιρικών πλακών, η Κρήτη ανήκει στο ενεργό ελληνικό ορογενετικό και νησιωτικό τόξο και βρίσκεται στο όριο της Ευρασιατικής πλάκας, δηλαδή κοντά σε τεκτονική ασυνέχεια. Ο δεύτερος παράγοντας είναι η ύπαρξη πλήθους ενεργών ρηγμάτων σε όλη την έκταση του νησιού, αλλά και πιο συγκεκριμένα σε κοντινές αποστάσεις από την πόλη του Ηρακλείου.

2 Ιστορική σεισμικότητα

Η ιστορική μελέτη των σεισμών που έπληξαν την πόλη του Ηρακλείου και γενικότερα την Κρήτη, καθίσταται αναγκαία καθώς τα καταγεγραμμένα γεγονότα ανά τους αιώνες προσδίδουν σημαντικά στοιχεία που αφορούν τόσο την ένταση όσο και την επαναληψιμότητα τους. Τα σημαντικότερα σεισμικά γεγονότα που καταγράφηκαν, [29], ήταν τα εξής [δίνεται το μέγεθος (M) σε Ρίχτερ, οι συντεταγμένες και η ένταση του σεισμού]:

- i. 365 π.Χ., Κρήτη (M=7,7 – 35,6° N 24,9° E - X)
Σύμφωνα με τον Dapper οι πόλεις της Κρήτης ήταν 100, οι περισσότερες εξ' αυτών καταστράφηκαν στον συγκεκριμένο σεισμό. Κατά τον Πλίνιο 80 από τις 100 πόλεις καταστράφηκαν και ο σεισμός αυτός έγινε έντονα αισθητός σε μεγάλη έκταση.
- ii. 267 π.Χ., Κρήτη (M=7,0 – 34,8° N 25° E - IX)
Ο σεισμός κατέστρεψε πολλές πόλεις της Κρήτης.
- iii. 255 π.Χ., Κρήτη (M=6,8 – 34,7° N 25,2° E - IX)
Ιδιαίτερα καταστρεπτικός σεισμός.
- iv. 55 μ.Χ., Κρήτη (M=7,2 – 35,8° N 25° E - X)
Από τον σεισμό καταστράφηκαν πολλές πόλεις του νησιού και από την επιδημία που ακολούθησε προκλήθηκαν πολλοί θάνατοι.

- v. 66 μ.Χ., Ηράκλειο ($M=7,0 - 34,8^\circ \text{ N } 25^\circ \text{ E} - \text{X}$)
Σύμφωνα με τον Γεωργιάδη ο σεισμός αυτός υλοποιήθηκε το 62 μ.Χ. παραθέτοντας απόσπασμα από τον Φιλόστρατο στο οποίο αναφέρεται πως στο Λεβιναίο ιερό (ναός του Ασκληπιού, στην σημερινή περιοχή ονόματι Κεφαλά, στην νότια ακτή της Κρήτης) το μεσημέρι έγινε σεισμός που συγκλόνησε ολόκληρο το νησί. Συνοδευόταν από έντονο θόρυβο και η θάλασσα υποχώρησε 1,2 km ενώ μαρτυρίες κατοίκων της Κυδωνίας (νομός Χανίων) αναφέρουν πως νησί αναδύθηκε στον πορθμό μεταξύ Θήρας και Κρήτης. Ο Sieberg αναφέρει πως ο σεισμός κατέστρεψε την Κνωσό, προκάλεσε σοβαρές ζημιές στην Φαιστό και έγινε αισθητός σε όλο το Αρχιπέλαγος. Ο Πλατάκης ακόμη παραθέτει απόσπασμα σύμφωνα με το οποίο η Κρήτη υπέστη σοβαρές ζημιές από θεομηνία και πολλοί τάφοι ανοίχτηκαν όπου σε έναν εξ' αυτών βρέθηκε κιβώτιο από κασσίτερο που εμπεριείχε έκθεση με ολόκληρη την αλήθεια για τον Τρωϊκό πόλεμο.
- vi. 251 μ.Χ. 9 Ιουλίου, Ηράκλειο ($M=7,5 - 35,6^\circ \text{ N } 25^\circ \text{ E} - \text{IX}$)
Σύμφωνα με τον Coronelli ο σεισμός αυτός κατέστρεψε μεγάλο τμήμα της Κρήτης, ανέτρεψε την Κνωσό και πολλές άλλες πόλεις.
- vii. 365 μ.Χ. 21 Ιουλίου, Γόρτυνα ($M=8,2 - 34,7^\circ \text{ N } 26^\circ \text{ E} - \text{XI}$)
Κατά τον Perrey δέκα πόλεις της Κρήτης καταστράφηκαν και μεγάλο μέρος του νησιού πλημμύρισε. Ο Χιώτης σημειώνει πως ο ναός του Δία στην Ολυμπία γκρεμίστηκε όπως και πολλά κτίρια, τείχη, οχυρώματα και στήλες. Η σεισμική δόνηση μεταφέρθηκε στην θάλασσα η οποία αποσύρθηκε και επανήλθε με σφοδρή παλίρροια καταποντίζοντας τα πάντα και πνίγοντας κατοίκους σε παραλίες της Δαλματίας, της Ελλάδας και της Αιγύπτου. Αποσπάσματα των Θεοφάνη, Κεδρηνό και Ζώσιμο τα οποία παρατίθενται από τον Γεωργιάδη, αναφέρουν την ύπαρξη παλιρροϊκών κυμάτων σε μεγάλη έκταση περίξ της Κρήτης με αποτέλεσμα τον θάνατο πολλών ανθρώπων και την ύπαρξη πολλών ζημιών. Ο Ξανθουλίδης αναφέρει πως εξαιτίας του σεισμού καταστράφηκαν οι περισσότερες από τις πόλεις της Κρήτης οι οποίες έκτοτε ερημώθηκαν. Ο Sieberg αναφέρει πως μεταξύ άλλων καταστράφηκαν η Κνωσός και η Γόρτυνα και πως ο σεισμός έγινε αισθητός πέρα από την Δαλματία, την Σικελία και την Αίγυπτο, στην Παλαιστίνη και την Λιβύη. Επιπλέον ο Τριανταφύλλου αναφέρει ότι ο σεισμός κατέστρεψε και την Πάτρα.
- viii. 439 μ.Χ., Κρήτη ($M=7.6 - 35,7^\circ \text{ N } 25,2^\circ \text{ E} - \text{X}$)
Ο σεισμός ήταν τρομακτικός και κατέστρεψε όλη σχεδόν την νότια Κρήτη.
- ix. 448 μ.Χ., Κρήτη ($M=7 - 34,8^\circ \text{ N } 24,8^\circ \text{ E} - \text{IX}$)
Η Κρήτη επλήγη από θεομηνία με βλάβες σε όλο το νησί και πλήρη καταστροφή του δημόσιου κτιρίου της Μητρόπολης Γορτύνης το οποίο ανεγέρθη από τον Ιούλιο Καίσαρα.
- x. 796 μ.Χ. 7 Απριλίου, Κρήτη ($M=7.5 - 35,6^\circ \text{ N } 25,2^\circ \text{ E} - \text{VII}$)
Προκλήθηκαν σοβαρές ζημιές στην Κρήτη, υπήρξε βλάβη στον φάρο της Αλεξάνδρειας και έγινε αισθητός και στην Σικελία.
- xi. 1306 μ.Χ., Ηράκλειο ($M=6.5 - 35^\circ \text{ N } 25,2^\circ \text{ E} - \text{VIII}$)
Ο σεισμός προξένησε στην πόλη του Ηρακλείου κατάρρευση πολλών σπιτιών.
- xii. 1494 μ.Χ. 1 Ιουλίου, Ηράκλειο ($M=7.2 - 35^\circ \text{ N } 24,5^\circ \text{ E} - \text{X}$)
Από διηγήσεις περιηγητών αναφέρθηκαν ζημιές στο μοναστήρι του Αγίου Φραγκίσκου, σε κωδωνοστάσια πολλών εκκλησιών και στα σπίτια. Στο λιμάνι μεγάλα κύματα προκάλεσαν βίαιες συγκρούσεις μεταξύ των



- xiii. 1508 μ.Χ. 29 Μαΐου, Ιεράπετρα ($M=7.2 - 35^{\circ} \text{ N } 25,5^{\circ} \text{ E} - \text{X}$)
Σε επιστολή του Δούκα της Κρήτης Ιερώνυμου Δωνάτου αναφέρεται ότι στο Ηράκλειο μόνο 4 ή 5 σπίτια έμειναν κατοικήσιμα και σκοτώθηκαν 300 άτομα. Τρεις εκκλησίες κατέρρευσαν και όλα τα καμπαναριά. Ο σεισμός κατέστρεψε την Ιεράπετρα και τη Σητεία, βλάβες έπαθε η ανατολική Κρήτη και ο σεισμός έγινε αισθητός μέχρι την Εύβοια.
- xiv. 1595 μ.Χ. 26 Νοεμβρίου, Κρήτη ($M=6,8 - 34,9^{\circ} \text{ N } 25,3^{\circ} \text{ E} - \text{IX}$)
Ο σεισμός αυτός προκάλεσε πολλές ζημιές και καταστροφές.
- xv. 1604 μ.Χ., Κρήτη ($M=8,8 - 34,9^{\circ} \text{ N } 24,9^{\circ} \text{ E} - \text{VIII}$)
Από τον σεισμό προκλήθηκε καθίζηση στο έδαφος του νησιού και οι κάτοικοι του Ηρακλείου εγκατέλειψαν την πόλη.
- xvi. 1612 μ.Χ. 8 Νοεμβρίου, Ηράκλειο ($M=7.0 - 34.9^{\circ} \text{ N } 25,1^{\circ} \text{ E} - \text{VIII}$)
Καταστράφηκαν πολλά οικοδομήματα στο Ηράκλειο και βυθίστηκαν πολλά πλοία.
- xvii. 1665 μ.Χ., Ηράκλειο ($M=6.7 - 35^{\circ} \text{ N } 25,1^{\circ} \text{ E} - \text{VIII}$)
Καταστράφηκαν πολλές οικίες, πολλοί άνθρωποι χάθηκαν στα ερείπια.
- xviii. 1673 μ.Χ. 7 Μαΐου, Ηράκλειο ($M=6,8 - 34,9^{\circ} \text{ N } 25^{\circ} \text{ E} - \text{IX}$)
Ο σεισμός κατέστρεψε σπίτια στην πόλη του Ηρακλείου και έγινε αισθητός μέχρι την Ζάκυνθο
- xix. 1681 μ.Χ., Ηράκλειο ($M=7.0 - 34,9^{\circ} \text{ N } 24,8^{\circ} \text{ E} - \text{IX}$)
Το ένα τρίτο της πόλης καταστράφηκε ενώ για τρεις ημέρες σεισμικές δονήσεις σημειώνονταν στο νησί.
- xx. 1717 μ.Χ., Ηράκλειο ($M=6,7 - 35^{\circ} \text{ N } 24,9^{\circ} \text{ E} - \text{IX}$)
Σύμφωνα με τον επίσκοπο Αυλοποτάμου στην Κρήτη έγινε μεγάλος σεισμός που κατέστρεψε πολλά χωριά.
- xxi. 1810 μ.Χ. 16 Φεβρουαρίου, Ηράκλειο ($M=7.8 - 35,5^{\circ} \text{ N } 25,6^{\circ} \text{ E} - \text{IX}$)
Σύμφωνα με την αφήγηση του περιηγητή John Galt το ένα τρίτο των σπιτιών του Ηρακλείου καταστράφηκαν και σκοτώθηκαν χιλιάδες άνθρωποι (περίπου 2.000 με 3.000 θύματα). Το μοναστήρι του Αγίου Ασωμάτου στην νοτιοδυτική πλευρά του όρους Ίδη καταστράφηκε και ο σεισμός έγινε αισθητός στην Ιταλία, στην βόρεια Αφρική και στην Κύπρο.
- xxii. 1846 μ.Χ., Ηράκλειο ($M=7.7 - 35,8^{\circ} \text{ N } 25^{\circ} \text{ E} - \text{VII}$)
Στο Ηράκλειο σημειώθηκαν ρηγματώσεις σε πάνω από 100 οικήματα, δεν αναφέρεται η ύπαρξη θυμάτων ενώ βλάβες παρατηρήθηκαν και στην πόλη των Χανίων.
- xxiii. 1856 μ.Χ. 12 Οκτωβρίου, Ηράκλειο ($M=8.2 - 35,6^{\circ} \text{ N } 26^{\circ} \text{ E} - \text{IX}$)
Στο νησί της Κρήτης ζημιές προκλήθηκαν σε 11.317 κατοικίες εκ των οποίων 6.512 καταστράφηκαν ολοσχερώς. Μεταξύ των κτιρίων που καταστράφηκαν συμπεριλήφθηκαν και 48 καταστήματα στο Ηράκλειο τα οποία κάηκαν από την πυρκαγιά που ακολούθησε τον σεισμό. Καταγράφηκαν 538 θάνατοι και 637 σοβαροί τραυματισμοί, με τους νεκρούς να είναι πολλοί σε σχέση με τους τραυματίες εξαιτίας του μεγάλου βάρους που είχαν οι σκεπές των σπιτιών όπου με την πτώση τους συνέτριβαν τους κατοίκους. Στο Ηράκλειο, από τα 3.620 σπίτια που υπήρχαν στην πόλη, παρέμειναν κατοικήσιμα μόνο τα 18, ωστόσο, πολλά καταστήματα σώθηκαν καθώς είχαν κατασκευαστεί από ξύλο και ήταν ισόγεια. Τα χωριά Καλέσα, Πετροκέφαλο, Πενταμόδι, Άγιος Μύρων,

Κιθαρίδα και Ασσίτες γκρεμίστηκαν σχεδόν ολοσχερώς. Στο χωριό Βούτα δεν έμεινε τοίχος που να μην γκρεμιστεί ενώ από τους 400 κατοίκους σκοτώθηκαν 42. Ζημιές καταγράφηκαν στα πεδινά χωριά Επίσκοπη και Αϊτάνια, στις επαρχίες Μυραμπέλου και Ιεράπετρας και υπήρξαν 56 νεκροί. Η Σητεία καταστράφηκε ολοκληρωτικά και στα Χανιά όλα τα σπίτια υπέστησαν βλάβες αλλά λίγα κατέρρευσαν. Η περιοχή των Χανίων ονόματι Κίσσαμος βυθίστηκε και στην θέση της αναδύθηκε λίμνη με έντονη μυρωδιά από θειάφι. Στο Ρέθυμνο το σύνολο των σπιτιών υπέστησαν βλάβες αλλά δεν υπήρξε κανένα θύμα. Στη Ρόδο οκτώ χωριά υπέστησαν καταστροφές με απολογισμό 2.000 σπίτια μη κατοικήσιμα και 60 νεκροί. Στην Κάρπαθο καταστράφηκαν 8.000 οικίες και σκοτώθηκαν 20 άνθρωποι. Στην Κάσο τρία χωριά καταστράφηκαν, στην Σύμη και στο Καστελόριζο υπήρξαν ελαφρές βλάβες, αντίθετα από την Σαντορίνη όπου εκκλησίες, σπίτια και παλάτια καταστράφηκαν και έχασαν την ζωή τους 6 με 7 άτομα. Στο μετόχι της μονής Αμοργού έγινε μεγάλη καταστροφή και υπήρξαν θύματα. Βλάβες ακόμη προκλήθηκαν στην Πάτρα, στην Κύπρο και σε πόλεις των ακτών της Συρίας.

- xxiv. 1887 μ.Χ. 17 Ιουλίου, Ηράκλειο ($M=7.5 - 35,7^\circ \text{ N } 26^\circ \text{ E} - \text{VII}$)
Σημειώθηκε πολύ ισχυρή δόνηση και πολλές κατοικίες υπέστησαν ρηγματώσεις στο Ηράκλειο όπως και στην Ρόδο.
- xxv. 1908 μ.Χ. 17 Μαΐου, Ηράκλειο ($M=6,6 - 35,7^\circ \text{ N } 25,1^\circ \text{ E} - \text{V}$)
Στο Ηράκλειο ο σεισμός έγινε ιδιαίτερα αισθητός και είχε παρατεταμένη διάρκεια.
- xxvi. 1910 μ.Χ. 18 Φεβρουαρίου, Κρήτη ($M=6.9 - 35,7^\circ \text{ N } 24^\circ \text{ E} - \text{VIII}$)
Ο σεισμός προκάλεσε καταστροφές στα Χανιά και στην γύρω περιοχή και 6 άνθρωποι έχασαν την ζωή τους. Ακολούθησε μετασεισμός στις 20 Μαρτίου, ιδιαίτερα αισθητός σε όλο το νησί και προκάλεσε ρωγμές και καταρρεύσεις σε αρκετά σπίτια πόλεων και χωριών.
- xxvii. 1910 μ.Χ. 21 Αυγούστου, Κρήτη ($M=6.0 - 34,4^\circ \text{ N } 27^\circ \text{ E} - \text{VIII}$)
Ο σεισμός έγινε αισθητός στην ευρύτερη περιοχή.
- xxviii. 1930 μ.Χ. 14 Φεβρουαρίου, Ηράκλειο ($M=6,7 - 36,5^\circ \text{ N } 24,5^\circ \text{ E} - \text{IV}$)
Πολλές ζημιές σημειώθηκαν στο βόρειο και μεσαίο τμήμα της Κρήτης καθώς και πλήθος τραυματισμών. Βαρείς ζημιές καταγράφηκαν στις ακτές του Ηρακλείου και στο εσωτερικό της πόλης παρατηρήθηκαν ρωγμές σε πολλές οικίες και πτώση καπνοδόχων. Η Επίσκοπη και οι Γούβες καταστράφηκαν σε μεγάλο βαθμό και κατά το ήμισυ η Τύλισσος. Στο Ρέθυμνο σχεδόν σε όλα τα σπίτια δημιουργήθηκαν ρωγμές και στα Χανιά υπήρξαν ρηγματώσεις, πτώσεις σοβάδων και μια κατάρρευση όπως και στα Ανώγεια.
- xxix. 1935 μ.Χ. 25 Φεβρουαρίου, Ηράκλειο ($M=7.0 - 36^\circ \text{ N } 25^\circ \text{ E} - \text{VIII}$)
Πέντε χωριά στην επαρχία του Ηρακλείου κατέρρευσαν ολοκληρωτικά (Σκαλάνι, Ανώπολη, Επάνω Βάθεια, Καινούργιο και Γούρνες), έχασαν τη ζωή τους 8 άνθρωποι, 204 τραυματίστηκαν και 374 οικογένειες έμειναν άστεγες. Στην πόλη του Ηρακλείου υπέστησαν σοβαρές βλάβες το Ηλεκτρικό Εργοστάσιο, το Γυμνάσιο, η εκκλησία του Αγίου Μηνά, πολλά σχολεία, οικίες και πολλά εκθέματα του Αρχαιολογικού. Πολλές ήταν οι βλάβες που εντοπίστηκαν σε Ρέθυμνο και Χανιά.
- xxx. 1952 μ.Χ. 17 Δεκεμβρίου, Ηράκλειο ($M=7.0 - 34,4^\circ \text{ N } 24,5^\circ \text{ E} - \text{VI}$)
Έντονα αισθητός σεισμός.
- xxxi. 1959 μ.Χ. 14 Μαΐου, Ηράκλειο ($M=6.3 - 35,1^\circ \text{ N } 24,6^\circ \text{ E} - \text{VIII}$)



- xxxiii. 1965 μ.Χ. 9 Απριλίου, Χανιά ($M=6,1 - 35,1^\circ \text{ N } 24,3^\circ \text{ E} - \text{VI}$)
Ο σεισμός είχε το επίκεντρό του στην θάλασσα νότια και δυτικά της Κρήτης και έγινε έντονα αισθητός στους νομούς Χανίων, Ρεθύμνου και Ηρακλείου.
- xxxiii. 1969 μ.Χ. 12 Ιουνίου, Ηράκλειο ($M=5.3 - 34,4^\circ \text{ N } 25^\circ \text{ E} - \text{V}$)
Σεισμός έντονα αισθητός στο Ηράκλειο, ακολούθησε πλήθος μετασεισμών.
- xxxiv. 1972 μ.Χ. 4 Μαΐου, Χανιά ($M=6,5 - 35,1^\circ \text{ N } 23,6^\circ \text{ E} - \text{V}$)
Σεισμός έντονα αισθητός σε Ηράκλειο, Χανιά, Ρέθυμνο, Μήλο, Λακωνία και Αρκαδία.
- xxxv. 2021 μ.Χ. 27 Σεπτεμβρίου, Αρκαλοχώρι ($M=6,0 - 35,11^\circ \text{ N } 25,29^\circ \text{ E} - \text{VII}$)
Έντονα αισθητός σεισμός σε ολόκληρη την Κρήτη και την Σαντορίνη. Το επίκεντρο του εντοπίστηκε λίγα χιλιόμετρα από το χωριό Αρκαλοχώρι στο νομό Ηρακλείου. Χαρακτηρίστηκε ως ο ισχυρότερος σεισμός που έχει καταγραφεί ενόργανα από το 1900 και έπειτα στον χερσαίο χώρο της Κρήτης καθώς οι μέχρι τότε ισχυροί σεισμοί ήταν υποθαλάσσιοι. Η μέγιστη επιτάχυνση εδάφους είναι η μεγαλύτερη καταγεγραμμένη εδαφική επιτάχυνση στον ελλαδικό χώρο. Από τον σεισμό έχασε την ζωή του ένας άνθρωπος και 20 τραυματίστηκαν. Στα χωριά Αρκαλοχώρι, Πατισίδερος, Ρουσσοχώρια και Αρχοντικό σημειώθηκαν πολλές ζημιές σε κτίρια, από ελέγχους που διεξήχθησαν 3.906 κατοικίες κρίθηκαν μη κατοικήσιμες ενώ ως ακατάλληλα κρίθηκαν ακόμη 180 επαγγελματικά κτίρια, 211 δημόσια κτίρια και ναοί καθώς και 562 αποθηκευτικοί χώροι. Στα ενετικά τείχη του Ηρακλείου παρατηρήθηκε επιδείνωση υπαρχόντων ρηγματώσεων ενώ βλάβες σημειώθηκαν στο οδικό δίκτυο και στο δίκτυο υδροδότησης.

Καθίσταται σαφές ότι η σεισμική δραστηριότητα στην περιοχή της Κρήτης, και πιο συγκεκριμένα στην πόλη του Ηρακλείου, είναι ιδιαίτερα αυξημένη από την αρχαιότητα έως και σήμερα καθιστώντας την επαγρύπνηση των αρμοδίων αρχών και την ορθή εκτίμηση του σεισμικού κινδύνου αναγκαίες. Η συγκεκριμένη περιοχή έχει καταγράψει σεισμούς υψηλής έντασης, αρκετά καταστροφικούς με σημαντικές απώλειες ανθρώπινων ζωών, υλικές και οικονομικές. Τα σεισμικά γεγονότα που ενδέχεται να προκύψουν στην περιοχή αυτή, σύμφωνα με την μελέτη των ενεργών τεκτονικών δομών, δύνανται να φθάσουν το μέγεθος 7,0 σε επίπεδο σεισμικής ροπής.

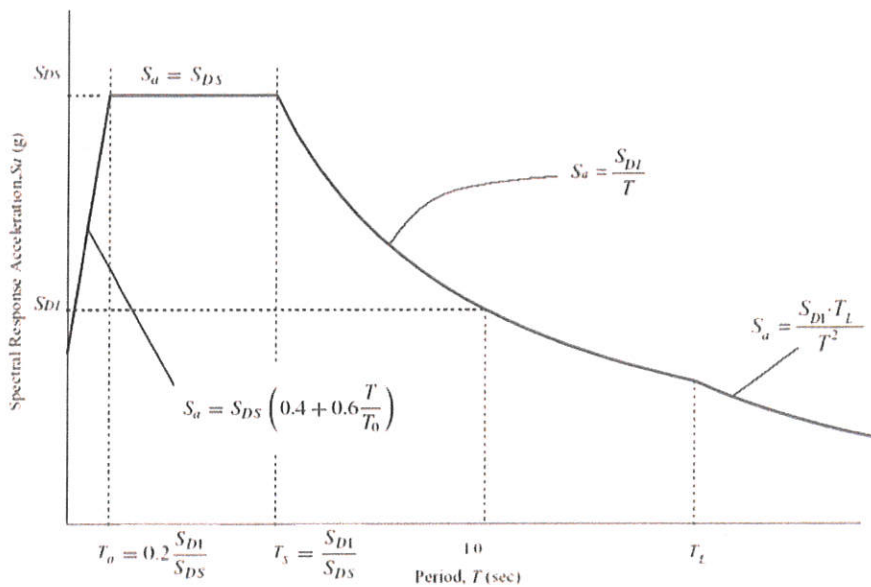
3 Μεθοδολογία

Η εκτίμηση του σεισμικού κινδύνου θα βασιστεί στις έννοιες που διέπουν τον Διεθνή Κώδικα Οικοδόμησης (International Building Code-IBC). Θα εξεταστούν δύο επίπεδα σεισμικής διέγερσης. Το πρώτο σχετίζεται με την σεισμική δράση που έχει πιθανότητα υπέρβασης 2% σε 50 χρόνια, δηλαδή μέση περίοδο επανάληψης 2475 χρόνια, η οποία έχει οριστεί ως οριακή κατάσταση οιονεί κατάρρευσης για συνήθεις κατασκευές και σχετίζεται με τον μέγιστο εξεταζόμενο σεισμό (Maximum Considered Earthquake-MCE) της υπό μελέτη περιοχής. Οι φασματικές τιμές για τον σεισμό αυτό μπορούν να

ληφθούν είτε από διαθέσιμους χάρτες σεισμικού κινδύνου είτε να εκτιμηθούν επίπαια από λεπτομερή έρευνα των χαρτογραφημένων ενεργών ρηγμάτων που εντοπίζονται εντός ενός εύρους απόστασης από την εξεταζόμενη περιοχή. Το δεύτερο επίπεδο σεισμικής διέγερσης σχετίζεται με σεισμική δράση που έχει πιθανότητα υπέρβασης 10% σε 50 χρόνια, δηλαδή μέση περίοδο επανάληψης 475 χρόνια και ορίζει την σταθμή επιτελεστικότητας προστασίας ζωής για συνήθεις κατασκευές.

Η τιμή της εδαφικής κίνησης, η οποία χαρακτηρίζει τον σεισμικό κίνδυνο είναι η μέγιστη ενεργός εδαφική επιτάχυνση (Effective Ground Acceleration). Η επιτάχυνση αυτή είναι συνήθως χαμηλότερη από την υψίσυχη μέγιστη εδαφική επιτάχυνση και σχετίζεται με τις σταθερές φασματικές τιμές περιόδων από 0,1 έως 0,5 sec, για απόσβεση ίση με 5%. Ένας συνήθης τρόπος για την εκτίμηση αυτής της τιμής είναι ο υπολογισμός της μέσης φασματικής επιτάχυνσης στην προαναφερθείσα περιοχή περιόδων για την συγκεκριμένη τιμή απόσβεσης διαιρεμένη με το 2,5.

Το φάσμα κατά τον IBC σχεδιάζεται σύμφωνα με δύο φασματικές τιμές, την φασματική επιτάχυνση για περίοδο ίση με 0,2 sec, τιμή που αναπαριστά την περιοχή σταθερής φασματικής επιτάχυνσης, και την φασματική επιτάχυνση για περίοδο ίση με 1 sec, τιμή χαρακτηριστική της περιοχής σταθερής φασματικής ταχύτητας. Με τον καθορισμό των δυο αυτών τιμών προσδιορίζεται η μορφή του φάσματος για όλες τις υπόλοιπες περιόδους (Εικόνα 3.1). Η περιοχή της σταθερής φασματικής ταχύτητας οριοθετείται από μια μέγιστη τιμή περιόδου (T_L) που σχετίζεται με την σεισμική ροπή του μέγιστου εξεταζόμενου σεισμικού γεγονότος MCE.



Εικόνα 3.1: Απεικόνιση εξισώσεων για την δημιουργία φάσματος κατά τον IBC [24].

Σε αυτή την μελέτη θα αξιολογηθούν οι τιμές της μέγιστης ενεργής εδαφικής επιτάχυνσης ανά σεισμικό σενάριο καθώς κι οι τιμές της φασματικής επιτάχυνσης για περίοδο ίση με 0,2 sec και 1 sec. Αρχικά θα υλοποιηθεί μια πιθανοτική αξιολόγηση του σεισμικού κινδύνου για την εξεταζόμενη περιοχή με χρήση του Ευρωπαϊκού-Μεσογειακού Μοντέλου Σεισμικής Διακινδύνευσης (ESHM13) το οποίο καθιστά



εφικτή την εκτίμηση των καμπυλών σεισμικού κινδύνου για διάφορες πιθανότητες υπέρβασης. Από τις καμπύλες αυτές θα επιλεγθούν οι τιμές που αντιστοιχούν σε πιθανότητες υπέρβασης 2% και 10% στα 50 χρόνια.

Οι προαναφερθείσες τιμές θα συγκριθούν στην συνέχεια με τις τιμές που θα προκύψουν από την λεπτομερή ανάλυση των ενεργών ρηγμάτων που εντοπίζονται πλησίον της εξεταζόμενης περιοχής. Η μελέτη αυτή περιλαμβάνει 26 χαρτογραφημένα ρήγματα στο νησί της Κρήτης και στην ευρύτερη θαλάσσια περιοχή, 16 εξ' αυτών είναι υποθαλάσσια ρήγματα και τα υπόλοιπα 10 εντοπίζονται σε όλη την έκταση της Κρήτης. Από τα 26 σεισμικά σενάρια, θα παρουσιαστούν εκτενώς τα 5 σημαντικότερα, μεταξύ αυτών και το σενάριο από το οποίο προέκυψε η μέγιστη εδαφική και φασματική επιτάχυνση για την εξεταζόμενη περιοχή.

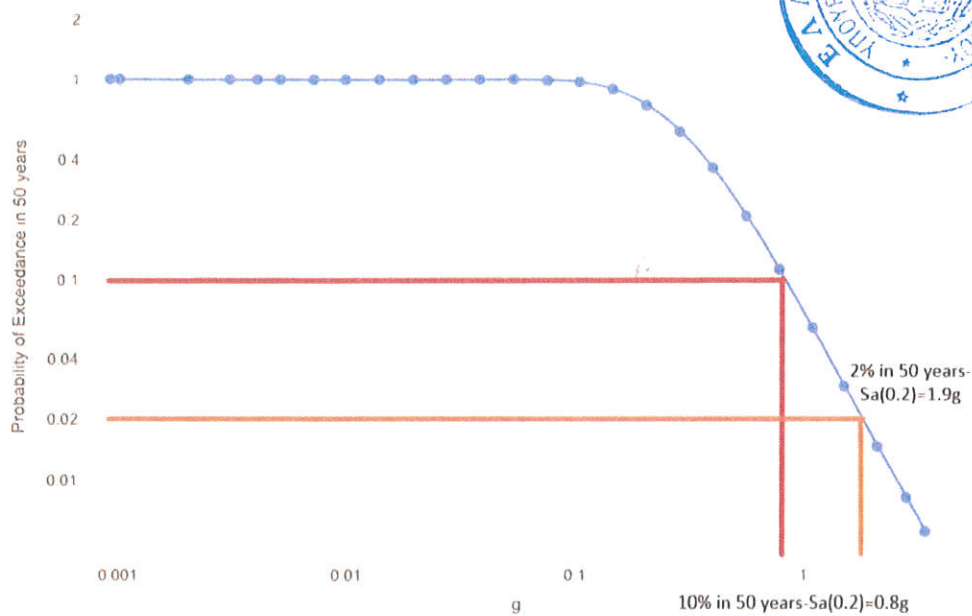
4 Πιθανοτική προσέγγιση

Η πιθανοτική προσέγγιση όσον αφορά την εύρεση του σεισμικού κινδύνου για μια εξεταζόμενη περιοχή στηρίζεται στα ευρωπαϊκά εργαλεία που έχουν αναπτυχθεί στην βάση δεδομένων EFEHR (European Facilities for Earthquake Hazard and Risk) για τον προσδιορισμό του σεισμικού κινδύνου. Η βάση δεδομένων EFEHR είναι ένα μη κερδοσκοπικό δίκτυο οργανισμών και κοινοτικών πόρων που στοχεύει στην βέλτιστη εκτίμηση του σεισμικού κινδύνου σε πανευρωπαϊκό επίπεδο. Ανάμεσα στους σημαντικότερους στόχους του δικτύου αυτού είναι ο προσδιορισμός του σεισμικού κινδύνου σε εθνικό και τοπικό επίπεδο με την παροχή ελεύθερης πρόσβασης σε σύγχρονο και εξειδικευμένο λογισμικό καθώς και σε νέα δεδομένα, μοντέλα και πληροφορίες σχετικά με σεισμολογικά ζητήματα.

Το Ευρωπαϊκό-Μεσογειακό Μοντέλο Σεισμικού Κινδύνου που αναπτύχθηκε το 2013 (ESHM13) στα πλαίσια του ευρωπαϊκού έργου SHARE από τους Giardini et al [31] χρησιμοποιήθηκε στην μελέτη αυτή. Το μοντέλο λαμβάνει υπόψη την Ευρωπαϊκή Βάση Σεισμογενών Ρηγμάτων (European Database of Seismogenic Faults - EDSF), η οποία περιλαμβάνει δομές ικανές να προκαλέσουν διαρρήξεις με σεισμική ροπή μεγαλύτερη ή ίση του 5,5. Σεισμικά γεγονότα με ροπή ίση ή μεγαλύτερη από 6,5 θεωρείται ότι μπορούν να συμβούν εντός της γεωμετρίας των ρηγμάτων, ενώ για μικρότερα σεισμικά γεγονότα λαμβάνεται υπόψη η σεισμικότητα της ευρύτερης περιοχής των ρηξιγενών ζωνών, μια περιοχή που περιλαμβάνει ένα σύστημα ρηγμάτων.

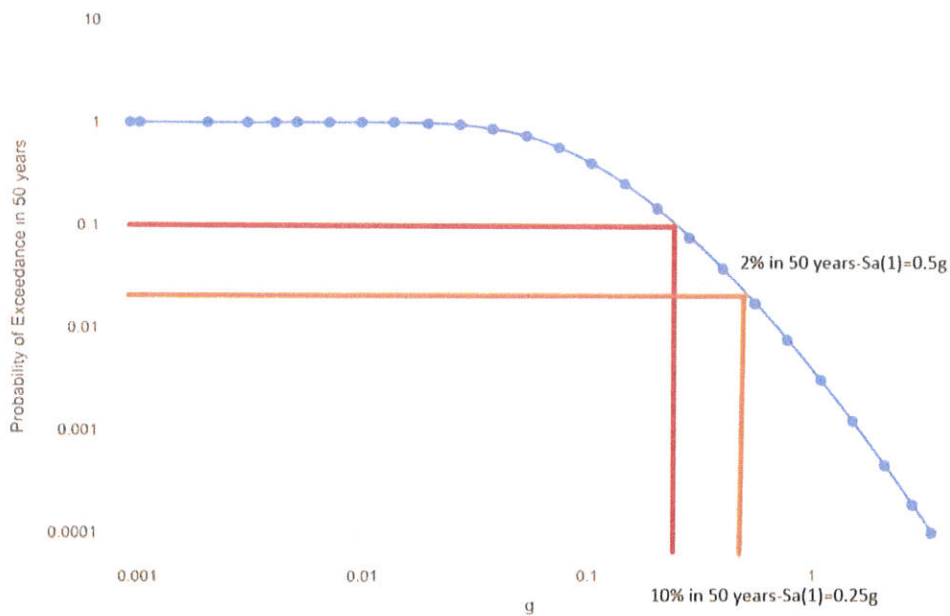
Στο μοντέλο ESHM13 έγινε εισαγωγή των γεωγραφικών συντεταγμένων του Ιερού Ναού Αγίου Μηνά όπου το γεωγραφικό πλάτος είναι 35,338 και το γεωγραφικό μήκος 25,131. Το έδαφος θεωρήθηκε εντόνως αποσαθρωμένο βραχώδες και ο κίνδυνος μετρήθηκε σε όρους μέσης μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης και μέσης φασματικής επιτάχυνσης στα 0,2 και 1 sec.

EFEHR Hazard Curves



Εικόνα 4.1: Καμπύλη σεισμικού κινδύνου για φασματική επιτάχυνση περιόδου 0,2 sec [34].

EFEHR Hazard Curves



Εικόνα 4.2: Καμπύλη σεισμικού κινδύνου για φασματική επιτάχυνση περιόδου 1,0 sec [34].

Από τις ανωτέρω καμπύλες προέκυψαν οι εξής τιμές:



Βασικές σεισμολογικές θεωρίες, σεισμολογικά μοντέλα και επιπρόσθετες αναλύσεις.
Τα ακόλουθα φαινόμενα ελήφθησαν υπόψη στην διαμόρφωση των μοντέλων.

1. Η επίδραση των σεισμικών μεγεθών σε μικρές αποστάσεις.
2. Η επιρροή της απόστασης μεταξύ εξεταζόμενης θέσης και ρήγματος.
3. Η κατευθυντικότητα της διάρρηξης.
4. Η επαύξηση της εδαφικής κίνησης στο άνω μέρος του ρήγματος (hanging wall) σε σχέση με το κάτω μέρος (foot wall).
5. Η επίδραση του τύπου του ρήγματος (κανονικό, ανάστροφο, οριζόντιο).
6. Η επίδραση της επιφανειακής ή μη εκδήλωσης της ρηγμάτωσης.
7. Η μεγέθυνση της εδαφικής κίνησης λόγω απόκρισης της εδαφικής στρώσης.
8. Η επαύξηση της εδαφικής κίνησης σε σχηματισμό λεκάνης.
9. Η ορθή εκτίμηση των σφαλμάτων που εμπεριέχονται στις σχέσεις μέσω της τυπικής απόκλισης.

Κάθε ομάδα εργασίας αποφάσισε ποια φαινόμενα θα ληφθούν υπόψη και ποιες παράμετροι θα εντάσσονται στην σχέση πρόβλεψης της εδαφικής κίνησης. Το φαινόμενο της κατευθυντικότητας δεν έχει μελετηθεί έως τώρα επαρκώς προκειμένου να συμπεριληφθεί. Οι δημιουργοί των μοντέλων NGA του 2008 είναι οι εξής:

1. Norman Abrahamson και Water Silva (AS08)
2. David Boore και Gail Atkinson (BA08)
3. Kenneth Campbell και Yousef Bozorgnia (CB08)
4. Brian Chiou και Robert Youngs (CY08)
5. Izzat Idriss (I08)

Στην τελευταία έκδοση των μοντέλων το 2014, στην πρώτη ερευνητική ομάδα προστέθηκε ο Ronnie Kamai (μοντέλο ASK14) και στην δεύτερη επιστημονική ομάδα προστέθηκαν οι Jonathan Stewart και Emel Seyhan (μοντέλο BSSA14). Οι υπόλοιπες ομάδες παρέμειναν ως είχαν (CB14, CY14 και IM14 αντίστοιχα).

Ακόμη μελετήθηκαν τα μοντέλα που δημιουργήθηκαν από τους Boore et al. για τον ελλαδικό χώρο (BGR20) από τους Akkar, Bommer και Sandikaya (ABS13) καθώς και το ιταλικό μοντέλο του Bindi (ITA10).

5.2 Επεξήγηση παραμέτρων

Οι σχέσεις πρόβλεψης της εδαφικής κίνησης περιλαμβάνουν παραμέτρους οι οποίες εισάγονται για το υπό μελέτη σεισμικό σενάριο. Οι ορισμοί των διαφόρων παραμέτρων δίνονται στους Πίνακες 5.1 και 5.2. Το πλήθος των παραμέτρων καθώς κι η πολυπλοκότητα της εκάστοτε σχέσης διαφέρουν σε κάθε μοντέλο. Ως πιο πολύπλοκα χαρακτηρίζονται τα μοντέλα ASK, CB και CY ενώ τα μοντέλα BSSA και IM έχουν πιο απλή μορφή. Επιπλέον τα μοντέλα BGR20, ABS13 και ITA10 δεν είναι ιδιαίτερα πολύπλοκα ενώ πληροφορίες για τα όρια εφαρμογής τους και για τις παραμέτρους που περιλαμβάνουν παρατίθενται στους πίνακες του Παραρτήματος Α. Το σύνολο των διαφορετικών παραμέτρων που χρησιμοποιούνται είναι 37 και μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ως εξής:

1. Το σεισμικό μέγεθος (M)
2. Ο τύπος του ρήγματος (ρήγμα ολίσθησης/κανονικό/ανάστροφο (W, δ, θ))
3. Απόσταση μεταξύ εξεταζόμενης περιοχής και ρήγματος ($R_{JB}, R_{hyp}, R_{yo}, R_{x}, CR_{JB}$)
4. Κατηγορία εδάφους και βάθος βραχώδους υποστρώματος ($V_{S30}, Z_{1.0}, Z_{2.5}$)
5. Βάθος διάρρηξης (Z_{TOR}, Z_{HYPO})
6. Επαύξηση κίνησης στο άνω τμήμα του ρήγματος (F_{HW})
7. Κατάταξη σεισμού (κύριος/μετασεισμός)
8. Περιοχή εφαρμογής (Καλιφόρνια/Ιαπωνία/Κίνα/Ταϊβάν/Ιταλία/Τουρκία)



5.2.1 Σεισμικό μέγεθος

Το σεισμικό μέγεθος εκφράζεται μέσω της σεισμικής ροπής M , η οποία υπολογίζεται από την Εξίσωση 5.1 ως το γινόμενο του εμβαδού της ρηγμάτωσης (A), της ολίσθησης του ρήγματος (δ) και του μέτρου διάτμησης του υλικού του φλοιού (G). Εκφράζει το μέτρο της εκλυόμενης ενέργειας που παράγεται κατά τη διάρκεια του σεισμού κι ισούται με το παραγόμενο έργο κατά την ολίσθηση του ρήγματος.

$$M = A \times G \times \delta, \quad (5.1)$$

5.2.2 Τύπος του ρήγματος

Οι διαφορετικοί τύποι ρήγματος είναι τρεις, οριζόντιο (strike-slip faulting), κανονικό (normal-slip faulting) και ανάστροφο ρήγμα (reverse-slip faulting). Στα μοντέλα BA08, BGR20, ITA10, ABS13 και BSSA14 ο τύπος ρήγματος προσδιορίζεται με την χρήση των παραμέτρων U , SS , NS , RS . Όταν ο τύπος του ρήγματος είναι άγνωστος τότε η παράμετρος U λαμβάνει την τιμή 1 ενώ όλες οι υπόλοιπες παράμετροι (SS , NS και RS) λαμβάνουν την τιμή 0. Αντίστοιχα όταν το ρήγμα είναι οριζόντιο η παράμετρος SS ισούται με 1, όταν το ρήγμα είναι κανονικό η παράμετρος NS λαμβάνει την τιμή 1 κι όταν το ρήγμα είναι ανάστροφο η παράμετρος RS γίνεται μονάδα κι οι υπόλοιπες παράμετροι μηδενίζονται. Στα μοντέλα I08 και IM14 ο τύπος του ρήγματος εκφράζεται μέσω της παραμέτρου F , η οποία λαμβάνει την τιμή 1 όταν το ρήγμα είναι ανάστροφο διαφορετικά λαμβάνει την τιμή 0. Για τα υπόλοιπα μοντέλα (AS08, ASK14, CB08, CB14, CY08 και CY14) χρησιμοποιούνται οι παράμετροι F_{NM} και F_{RV} . Η παράμετρος F_{NM} ισούται με μονάδα για κανονικά ρήγματα ειδάλλως μηδενίζεται και αντίστοιχα η παράμετρος F_{RV} ισούται με μονάδα για ανάστροφα ρήγματα.

Πέραν όμως του τύπου του ρήγματος, προσδιορίζονται μέσω παραμέτρων και τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του όπως το πλάτος W (km) της διάρρηξης, η κλίση δ ($^\circ$ -dip angle) του ρήγματος και η γωνία ολίσθησης λ ($^\circ$ -rake angle). Η κλίση δ ορίζεται ως η γωνία που σχηματίζεται από το επίπεδο του ρήγματος και το οριζόντιο επίπεδο κι είναι πάντα μικρότερη ή ίση των 90° . Η ολίσθηση χαρακτηρίζεται από ένα διάνυσμα πάνω στο επίπεδο του ρήγματος, που δείχνει τη σχετική μετακίνηση του άνω ως προς το κάτω τμήμα του. Η αριστερόστροφη γωνία ανάμεσα στην θετική φορά του ίχνους του ρήγματος και στο διάνυσμα ολίσθησης ονομάζεται γωνία ολίσθησης. Ως ίχνος ονομάζεται η τομή του επιπέδου του ρήγματος και του οριζοντίου επιπέδου. Το εύρος των τιμών της γωνίας ολίσθησης λ , σε περίπτωση που αυτή δεν είναι γνωστή, μπορεί να προσδιοριστεί ανάλογα με τον τύπο του ρήγματος (Πίνακας 5.1).



Πίνακας 5.1: Τιμές γωνίας ολίσθησης ανάλογα με τον τύπο του ρήγματος σύμφωνα με την θεώρηση των σχέσεων απόσβεσης νέας γενεάς.

Τύπος Ρήγματος/Μοντέλο	ASK14 & AS08	BSSA14 & BA08	CB14 & CB08	CY14 & CY08	IM14 & I08
Κανονικό Ρήγμα (Normal Faulting)	$-90^{\circ} \leq \lambda \leq -60^{\circ}$	$-90^{\circ} \leq \lambda \leq -30^{\circ}$	$-90^{\circ} \leq \lambda \leq -30^{\circ}$	$-90^{\circ} \leq \lambda \leq -60^{\circ}$	-
Οριζόντιο Ρήγμα (Strike-slip Faulting)	$-60^{\circ} < \lambda < 30^{\circ}$	$-30^{\circ} < \lambda < 30^{\circ}$	$-30^{\circ} < \lambda < 30^{\circ}$	$-60^{\circ} < \lambda < 30^{\circ}$	$-90^{\circ} < \lambda < 30^{\circ}$
Ανάστροφο Ρήγμα (Reverse Faulting)	$30^{\circ} \leq \lambda \leq 90^{\circ}$	$30^{\circ} \leq \lambda \leq 90^{\circ}$	$30^{\circ} \leq \lambda \leq 90^{\circ}$	$30^{\circ} \leq \lambda \leq 90^{\circ}$	$30^{\circ} \leq \lambda \leq 90^{\circ}$

5.2.3 Απόσταση ρήγματος – εξεταζόμενης θέσης

Οι αποστάσεις μεταξύ ρήγματος και εξεταζόμενης θέσης που εισήχθησαν με την μορφή παραμέτρων στα μοντέλα των σχέσεων απόσβεσης εδαφικής κίνησης είναι η απόσταση Joyner-Boore R_{JB} (km), η απόσταση πεδίου-διάρρηξης R_{RUP} (km), οι οριζόντιες αποστάσεις R_x (km) και R_{Y0} (km) κι η κεντροειδής απόσταση Joyner-Boore CR_{JB} (km). Η απόσταση R_{JB} ισούται με την οριζόντια απόσταση μεταξύ της επιλεχθείσας, προς εξέταση, θέσης και της οριζόντιας προβολής του επιπέδου του ρήγματος. Όταν η θέση που εξετάζουμε βρίσκεται εντός της οριζόντιας προβολής τότε η απόσταση αυτή λαμβάνει μηδενική τιμή.

Η οριζόντια απόσταση R_x ορίζεται ως η ελάχιστη απόσταση μεταξύ της εξεταζόμενης θέσης και του ίχνους του ρήγματος ή της επέκτασης αυτού. Λαμβάνει θετικές τιμές όταν εκτείνεται πάνω από το άνω τμήμα του ρήγματος και αντιστοίχως αρνητικές όταν βρίσκεται στο κάτω τμήμα.

Η απόσταση πεδίου-διάρρηξης R_{RUP} είναι η κοντινότερη απόσταση μεταξύ της εξεταζόμενης θέσης και του επιπέδου του ρήγματος.

Η οριζόντια απόσταση R_{Y0} υπολογίζεται παράλληλα στο ίχνος του ρήγματος μεταξύ της εξεταζόμενης θέσης και της άκρης της οριζόντιας προβολής του επιπέδου του ρήγματος. Αν δεν είναι εφικτό η απόσταση αυτή να υπολογισθεί δεν προκύπτει κάποιο κώλυμα με την εκτίμηση της εδαφικής κίνησης καθώς έχουν προβλεφθεί εναλλακτικές σχέσεις που εμπεριέχουν την απόσταση R_{JB} αντί της R_{Y0} .

Η απόσταση CR_{JB} είναι η κοντινότερη απόσταση μεταξύ της οριζόντιας προβολής του επιπέδου διάρρηξης του κύριου σεισμού με το κέντρο της οριζόντιας προβολής της επιφάνειας διάρρηξης του μετασεισμού. Επίσης αν αυτή η απόσταση δεν είναι γνωστή μπορεί να παραληφθεί χωρίς να προκύψει κάποιο κώλυμα στην εκτίμηση της εδαφικής κίνησης.

5.2.4 Κατηγορία εδάφους και μητρικό πέτρωμα

Η εδαφική στρώση χαρακτηρίζεται από την ταχύτητα διάδοσης των διατμητικών κυμάτων στα πρώτα 30m του εδάφους V_{s30} (m/s). Η ακριβής μέτρηση ή η εκτίμηση

της παραμέτρου αυτής λαμβάνεται υπόψη με την χρήση ξεχωριστών παραμέτρων που καταδεικνύουν την προέλευση της ταχύτητας ($F_{INF}=1$ όταν η ταχύτητα προκύπτει από εκτιμήσεις, διαφορετικά 0, $F_{MEAS}=1$ όταν η ταχύτητα προκύπτει από μετρήσεις, διαφορετικά 0).



Εξέχουσα σημασία για την πρόβλεψη της εδαφικής κίνησης, στα πλαίσια ενός σεισμικού γεγονότος, καταλαμβάνει και η γνώση του βάθους του μητρικού πετρώματος. Το βάθος αυτό εκφράζεται μέσω των παραμέτρων $Z_{1,0}$ και $Z_{2,5}$. Οι παράμετροι αυτοί εκφράζουν το βάθος της εδαφικής στρώσης στην οποία τα διατμητικά κύματα διαδίδονται με ταχύτητα 1,0 km/sec και 2,5 km/sec αντίστοιχα. Στην περίπτωση που οι παράμετροι αυτοί δεν διατίθενται για το υπό μελέτη σεισμικό σενάριο μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον υπολογισμό τους οι προτεινόμενες εξισώσεις του εκάστοτε μοντέλου.

5.2.5 Βάθος διάρρηξης

Η επιφανειακή ή μη εκδήλωση ενός σεισμού εκφράζεται μέσω των παραμέτρων Z_{TOR} και Z_{HYPO} . Το βάθος Z_{TOR} ορίζεται ως το βάθος από την επιφάνεια του εδάφους ως και την κορυφή του επιπέδου διάρρηξης. Εφόσον ένα ρήγμα είναι επιφανειακό, η κορυφή του επιπέδου διάρρηξης φθάνει ως και την επιφάνεια του εδάφους και η παράμετρος Z_{TOR} λαμβάνει μηδενική τιμή. Το βάθος Z_{HYPO} ισούται με την απόσταση του υποκέντρου από την επιφάνεια της θάλασσας. Το υπόκεντρο θεωρείται το ακριβές σημείο έναρξης της σεισμικής διάρρηξης. Κατά την πρόβλεψη ενός σεισμικού γεγονότος δεν είναι εκ των προτέρων γνωστό το σημείο διάρρηξης. Για τον λόγο αυτό, η μη εισαγωγή της παραμέτρου αυτής δεν δημιουργεί πρόβλημα στην εκτίμηση της εδαφικής κίνησης.

5.2.6 Επαύξηση κίνησης στο άνω τμήμα του ρήγματος

Το φαινόμενο της επαύξησης της φασματικής απόκρισης στο άνω τμήμα του ρήγματος για κοντινές αποστάσεις, ελήφθη υπόψη στην διαμόρφωση των μοντέλων ASK και CY. Και τα δύο μοντέλα χρησιμοποιούν την παράμετρο F_{HW} η οποία λαμβάνει την τιμή 1 για περιοχές στο άνω τμήμα του ρήγματος (hanging wall) ενώ μηδενίζεται σε αντίθετη περίπτωση. Στο μοντέλο AS08 χρησιμοποιείται μια ακόμα παράμετρος, η παράμετρος HW_{taper} που σκοπό έχει την μείωση των ατελειών που προκύπτουν εξαιτίας του φαινομένου αυτού. Η τιμή της παραμέτρου ισούται με 0 όταν χρησιμοποιείται η μείωση που προτάθηκε από τους Abrahamson και Silva, ενώ λαμβάνει την τιμή 1 όταν χρησιμοποιείται η μείωση που προτάθηκε και αναθεωρήθηκε από τον Abrahamson.

5.2.7 Κατάταξη σεισμού

Η κατάταξη των σεισμών περιλαμβάνει τη διάκριση τους σε κύριους και σε μετασεισμούς. Η διαφοροποίηση αυτή μεταξύ των σεισμών συμπεριλήφθηκε και σε ορισμένα μοντέλα των σχέσεων απόσβεσης. Για τα μοντέλα ASK και CY χρησιμοποιήθηκε η παράμετρος F_{AS} όπου λαμβάνει την τιμή 0 όταν πρόκειται για τον κύριο σεισμό ενώ όταν πρόκειται για μετασεισμό η τιμή της ισούται με μονάδα. Αντιστοίχως λειτουργεί και η παράμετρος Event Type η οποία χρησιμοποιείται στο μοντέλο BSSA.



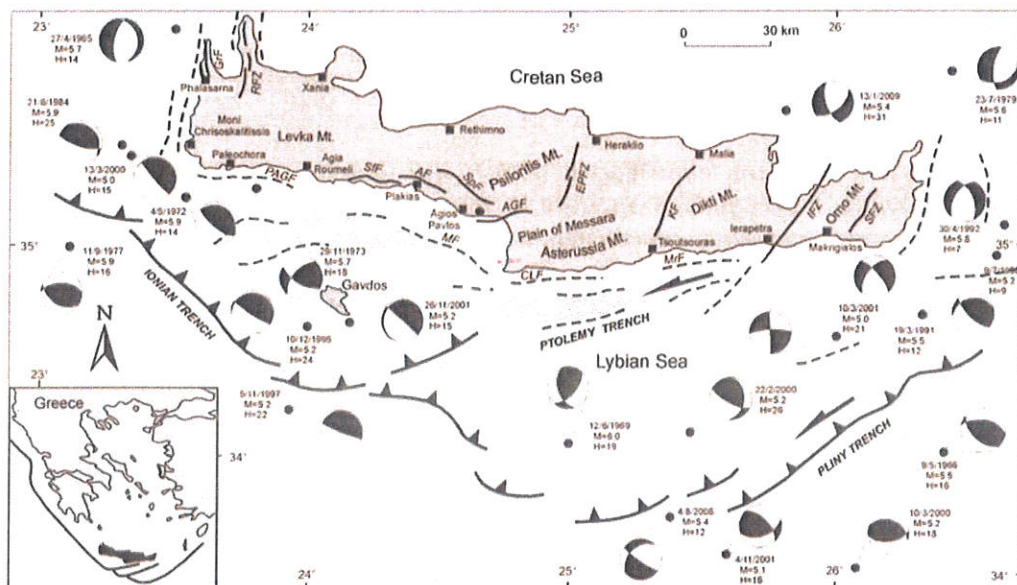
Κατά την διεξαγωγή ενός σεισμικού γεγονότος στο οποίο σημειώνονται βλάβες, συνήθως οι βλάβες αυτές παρατηρούνται σε μια περιοχή γύρω από το ρήγμα η οποία έχει διαστάσεις ανάλογες με την επιφάνεια ρηγμάτωσης. Η περιοχή αυτή ονομάζεται κοντινό πεδίο και η εδαφική κίνηση χαρακτηρίζεται από το φαινόμενο της κατευθυντικότητας. Όταν τα σεισμικά κύματα κατευθύνονται από την εστία του σεισμού προς μια θέση, παρουσιάζεται ένα φαινόμενο στη διάδοση των κυμάτων αντίστοιχο του Doppler. Η διάρρηξη επιτελείται σταδιακά σε επιμέρους περιοχές του ρήγματος. Κατά την διάρκεια κάθε τέτοιας διάρρηξης παράγεται ένας παλμός ταχύτητας που διαδίδεται ως κύμα μορφής S με ταχύτητα ανάλογη της ταχύτητας διάρρηξης. Εξαιτίας του γεγονότος αυτού, όταν η διάρρηξη πλησιάζει σε μια θέση οι παλμοί ταχύτητας των επιμέρους διαρρήξεων προστίθενται με αποτέλεσμα την δημιουργία ενός παλμού ταχύτητας μεγάλου εύρους και μικρής διάρκειας. Στην αντίθετη κατεύθυνση οι παλμοί διαδίδονται σε ακολουθία ο ένας με τον άλλον με αποτέλεσμα να προκύπτει μια σειρά παλμών μικρού εύρους αλλά μεγάλης διάρκειας. Οι παλμοί αυτοί εμφανίζονται συνήθως κάθετα στο ρήγμα. Στην παράλληλη προς το ρήγμα κατεύθυνση σημειώνεται μια μόνιμη μετακίνηση που οφείλεται στην συνολική ολίσθηση του ρήγματος. Το φαινόμενο αυτό είναι πιο ευδιάκριτο στα οριζόντια ρήγματα ενώ στους άλλους τύπους ρηγμάτων η κατάσταση περιπλέκεται καθώς οι δύο κινήσεις συντίθενται. Το φαινόμενο της κατευθυντικότητας απασχόλησε αρκετά τους μελετητές των σχέσεων απόσβεσης. Ωστόσο τα αποτελέσματα δεν ήταν ικανά ώστε να συμπεριληφθούν επαρκώς στα πλαίσια των σχέσεων και για τον λόγο αυτό το φαινόμενο παραλήφθηκε. Στην τελευταία έκδοση των σχέσεων απόσβεσης νέας γενιάς, πέντε διαφορετικά μοντέλα δημιουργήθηκαν με σκοπό την ένταξη του φαινομένου στις σχέσεις απόσβεσης. Το μοντέλο CY συμπεριέλαβε, μεταξύ των παραμέτρων του, την παράμετρο του «ακριβούς» σημείου (Direct Point Parameter-DPP) όπως προτάθηκε από το μοντέλο κατευθυντικότητας των Spudich et al. Η μέση τιμή της παραμέτρου αυτής είναι συνάρτηση της απόστασης και αναφέρεται στην διερεύνηση της σεισμικής διάρρηξης. Η παράλειψη της χρήσης της συγκεκριμένης παραμέτρου δεν δημιουργεί κάποιο κώλυμα στην εκτίμηση της εδαφικής κίνησης.

5.2.8 Περιοχές εφαρμογής

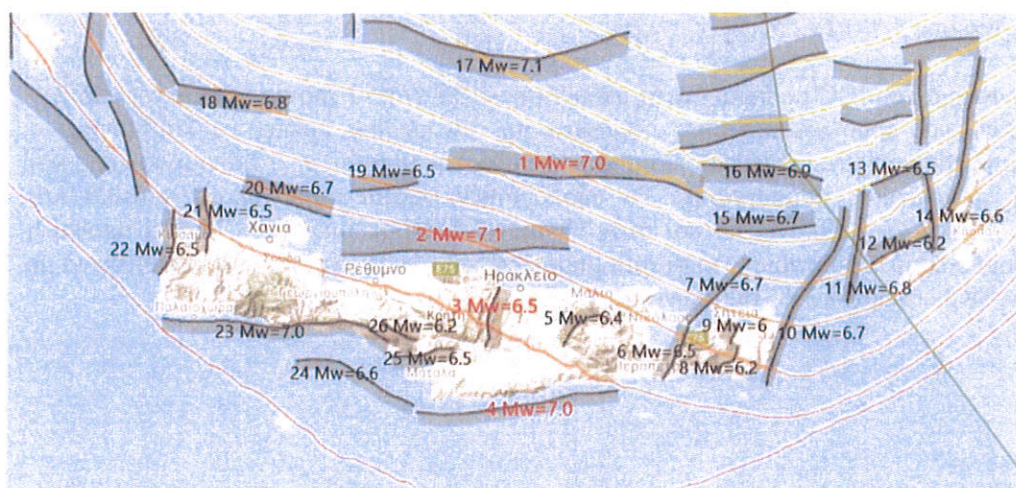
Ανάλογα με τον τόπο εφαρμογής των σχέσεων πρόβλεψης της εδαφικής κίνησης χρησιμοποιούνται παράμετροι προκειμένου να καθίσταται δυνατή η ορθή εφαρμογή των σχέσεων στην συγκεκριμένη περιοχή. Οι διαφοροποιήσεις στην πρόβλεψη της εδαφικής κίνησης ανάλογα με τον τόπο εκδήλωσης του σεισμικού γεγονότος οφείλεται στην διαφορετική απόσβεση των σεισμικών κυμάτων που έχει παρατηρηθεί σε διάφορες περιοχές παγκοσμίως. Πιο συγκεκριμένα, το μοντέλο CB χρησιμοποιεί την παράμετρο S_j η οποία ισούται με 1 όταν η σχέση εφαρμόζεται στην Ιαπωνία, διαφορετικά λαμβάνει την τιμή 0. Τα μοντέλα $BSSA$ και CY έχουν εισάγει στις σχέσεις τους την παράμετρο $Region$ η οποία ισούται με 0 όταν δεν γίνεται κάποια τοπολογική διόρθωση, 1 όταν η σχέση χρησιμοποιείται στην Καλιφόρνια, στην Νέα Ζηλανδία και στην Ταϊβάν (και σε αυτή την περίπτωση δεν υλοποιείται κάποια τοπολογική διόρθωση), 2 για την Κίνα και την Τουρκία και 3 για την Ιταλία και την Ιαπωνία. Το μοντέλο ASK περιλαμβάνει τις παραμέτρους F_{CL} , F_{JP} , F_{TW} και F_{CN} οι οποίες λαμβάνουν την τιμή 1 όταν οι σχέσεις εφαρμόζονται στην Καλιφόρνια, στην Ιαπωνία, στην Ταϊβάν και στην Κίνα αντίστοιχα ενώ διαφορετικά λαμβάνουν την τιμή 0. Τα μοντέλα $BGR20$ και $ITA10$ δημιουργήθηκαν για την εφαρμογή τους στον ελληνικό και ιταλικό χώρο αντίστοιχα ωστόσο μπορούν να χρησιμοποιηθούν, όπως και τα υπόλοιπα μοντέλα, σε περιοχές με παρόμοιο γεωτεκτονικό περιβάλλον.

5.3 Σεισμικά σενάρια

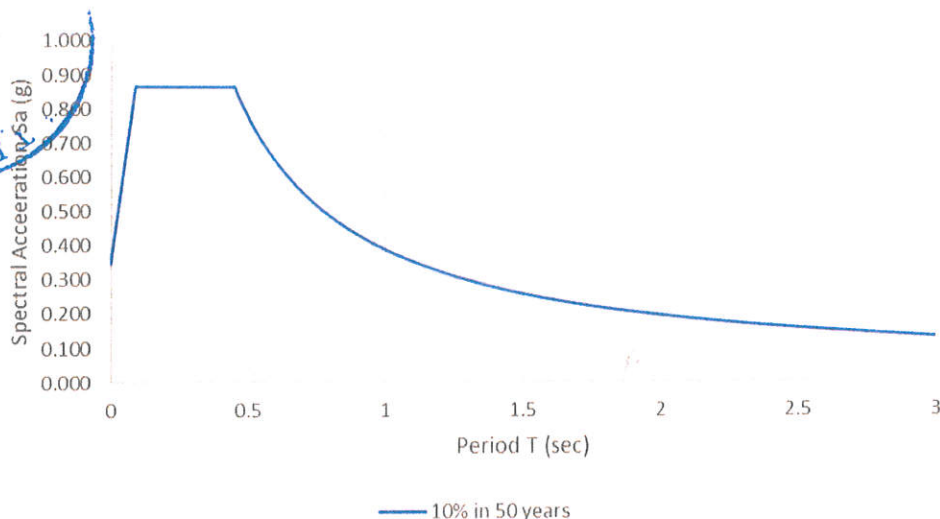
Τα ρήγματα που εντάχθηκαν στην μελέτη απεικονίζονται στις Εικόνες 5.1 και 5.2 και τα γεωλογικά χαρακτηριστικά των 5 επικρατέστερων σεισμικών σεναρίων παρατίθενται στον Πίνακα 5.2 [10,11,14,15,16,17,18,22,25,26,30,31]. Τα χαρακτηριστικά των ρηγμάτων που δεν ήταν διαθέσιμα στην βιβλιογραφία εκτιμήθηκαν με χρήση των σχέσεων που προτάθηκαν από τους Kaklamanos et al [23]. Οι αποστάσεις μεταξύ των ρηγμάτων και της υπό εξέταση περιοχής υπολογίστηκαν χρησιμοποιώντας το σύστημα συντεταγμένων WGS84 [28]. Οι φασματικές τιμές επιτάχυνσης για περίοδο 0,2 sec που εκτιμήθηκαν για τα διάφορα σεισμικά σενάρια παρατίθενται στον Πίνακα 5.3.



Εικόνα 5.1: Ρήγματα που εντοπίζονται στην περιοχή της Κρήτης [10].



Εικόνα 5.2: Ρήγματα που εντοπίζονται στην περιοχή της Κρήτης και στον ευρύτερο θαλάσσιο χώρο (τα 5 επικρατέστερα σεισμικά σενάρια διαθέτουν την αρίθμηση 1, 2, 3, 4, και 5) [34].



Εικόνα 5.4: Φάσμα επιτάχυνσης IBC (g) με πιθανότητα υπέρβασης 10% στα 50 χρόνια σύμφωνα με το πιθανοτικό σενάριο.

Πίνακας 5.4: Φάσμα κατά τον IBC με πιθανότητα υπέρβασης 10% στα 50 χρόνια σύμφωνα με το πιθανοτικό σενάριο.

T (sec)	10% in 50 years-Sa (g)	T (sec)	10% in 50 years-Sa (g)	T (sec)	10% in 50 years-Sa (g)
0	0.346	1.1	0.352	2.1	0.185
0.1	0.864	1.2	0.323	2.2	0.176
0.2	0.864	1.3	0.298	2.3	0.168
0.3	0.864	1.4	0.277	2.4	0.161
0.4	0.864	1.5	0.258	2.5	0.155
0.5	0.775	1.6	0.242	2.6	0.149
0.6	0.646	1.7	0.228	2.7	0.144
0.7	0.554	1.8	0.215	2.8	0.138
0.8	0.484	1.9	0.204	2.9	0.134
0.9	0.431	2	0.194	3	0.129
1	0.388	-	-	-	-

6 Επιλεχθείσες χρονοϊστορίες

Στα πλαίσια της ανάλυσης σεισμικού κινδύνου για την πόλη του Ηρακλείου και πιο συγκεκριμένα για τον Ιερό Ναό του Αγίου Μηνά, πέραν του υπολογισμού των φασμάτων σύμφωνα με τον κώδικα IBC, επιλέχθηκαν 12 τριάδες υφιστάμενων σεισμικών καταγραφών από την βάση δεδομένων NGA-West2 (Πίνακες 6.1 και 6.2) [30]. Οι καταγραφές αυτές αντιπροσωπεύουν, όσο είναι δυνατόν, τις τοπικές συνθήκες της υπό εξέταση περιοχής και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανάλυση κατασκευών υπό σεισμικά φορτία με εφαρμογή της μεθόδου ανελαστικών δυναμικών

αναλύσεων, σε περιπτώσεις όπου η μέθοδος του φάσματος σχεδιασμού δεν είναι κατάλληλη ή επαρκής.



Τα κριτήρια που οδήγησαν στην επιλογή των 12 καταγραφών ήταν τα εξής:

- Εύρος σεισμικής ροπής (M_w) από 5,5 έως 6,5.
- Εύρος απόστασης από την επιφάνεια διάρρηξης (R_{rup}) από 0 έως 20km.
- Κατηγορία εδάφους B κατά τον ΕΚ8 (V_{s30} : 360 – 800m/sec).
- Επιτρεπόμενοι συντελεστές κλιμάκωσης (SF) από 0,65 έως 1,35
- Έως 2 επιτρεπόμενες καταγραφές που προέρχονται από το ίδιο σεισμικό γεγονός.
- Μία επιτρεπόμενη καταγραφή από κάθε καταγραφικό σταθμό.
- 4 παλμικές καταγραφές με εύρος περιόδων παλμού (T_{pulse}) από 0,8 έως 1,8 sec.

Η επιλογή του εύρους της περιόδου των παλμών υλοποιήθηκε με γνώμονα την επιρροή των δυναμικών χαρακτηριστικών της υπό εξέτασης κατασκευής. Προκειμένου το παλμικό περιεχόμενο του κοντινού πεδίου να έχει επιπτώσεις στην σεισμική απόκριση του κτιρίου θα πρέπει η περίοδος του περιεχομένου παλμού να είναι περίπου διπλάσια από την περίοδο της κατασκευής.

Για την εκτίμηση της περιόδου της κατασκευής χρησιμοποιήθηκε η καταγραφή που προέκυψε από το σεισμικό γεγονός στο Αρκαλοχώρι (27 Σεπτεμβρίου 2021 – $M=6,0$). Ένας καταγραφικός σταθμός είναι εγκατεστημένος στο κωδωνοστάσιο του Ναού του Αγίου Μηνά. Οι χρονοϊστορίες επιτάχυνσης που καταγράφηκαν για τις δύο οριζόντιες και την μια κατακόρυφη συνιστώσα παρατίθενται στην Εικόνα 6.1. Για τις χρονοϊστορίες υπολογίστηκε ακόμη και το φάσμα Fourier που δίδεται στην Εικόνα 6.2. Από το φάσμα αυτό καθίσταται εφικτός ο υπολογισμός της ιδιοπεριόδου της κατασκευής για κάθε μια από τις οριζόντιες συνιστώσες. Στην πρώτη συνιστώσα το μέγιστο του φάσματος σημειώνεται στην συχνότητα 2Hz ($T_1=1/2=0,5$ sec) και στην δεύτερη εντοπίζεται στα 2,8Hz ($T_2=1/2.8=0,35$ sec).

Με τον προσδιορισμό της περιόδου της κατασκευής είναι εφικτός και ο προσδιορισμός του εύρους των περιόδων εντός του οποίου επιζητείται η σύγκλιση του στοχευόμενου φάσματος που εκτιμήθηκε από το πιθανοτικό μοντέλο με τις υφιστάμενες καταγραφές που επιλέχθηκαν. Η περιοχή αυτή ορίζεται μεταξύ του 20% της ελάχιστης περιόδου ($T_{min}=0,35$ sec – $0.2 \cdot T_{min}=0,07$ sec) και του 150% της μέγιστης περιόδου ($T_{max}=0,5$ sec – $1.5 \cdot T_{max}=0,75$ sec).

Στο παράρτημα Β δίνονται οι χρονοϊστορίες επιτάχυνσης, ταχύτητας και μετακίνησης για τις δύο οριζόντιες συνιστώσες των καταγραφών που επιλέχθηκαν στην αρχική τους μορφή (χωρίς να έχουν υποστεί κλιμάκωση), η σύγκριση του στοχευόμενου ελαστικού φάσματος (10% στα 50 χρόνια-Se) και των φασμάτων 0,5Se, 0,75Se και 1,30Se με το μέσο φάσμα των γεωμετρικών μέσων των δύο οριζόντιων συνιστωσών ($\sqrt{PSA_x \times PSA_y}$) για το σύνολο των σεισμικών γεγονότων. Επίσης δίδεται για κάθε μια εκ των 12 καταγραφών διάγραμμα που περιέχει τα φάσματα των δύο οριζόντιων επαυξημένων συνιστωσών (κλιμάκωση), τον γεωμετρικό μέσο αυτών καθώς και τα φάσματα Se, 0,5Se, 0,75Se και 1,30Se. Εξαιτίας των μικρών τιμών των συντελεστών κλιμάκωσης, το στοχευόμενο φάσμα μπορεί να αυξηθεί περαιτέρω προκειμένου να



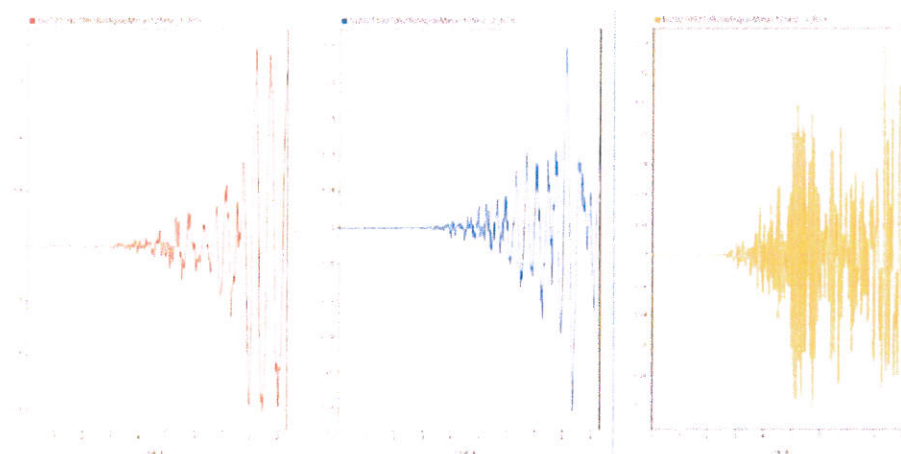
ληφθεί υπόψη η σπουδαιότητα της κατασκευής. Η επαύξηση αυτή μπορεί να είναι ίση με 20% σύμφωνα με τον ΕΚ8 είτε 25% σύμφωνα με τον IBC.

Πίνακας 6.1: Επιλεγθείσες καταγραφές.

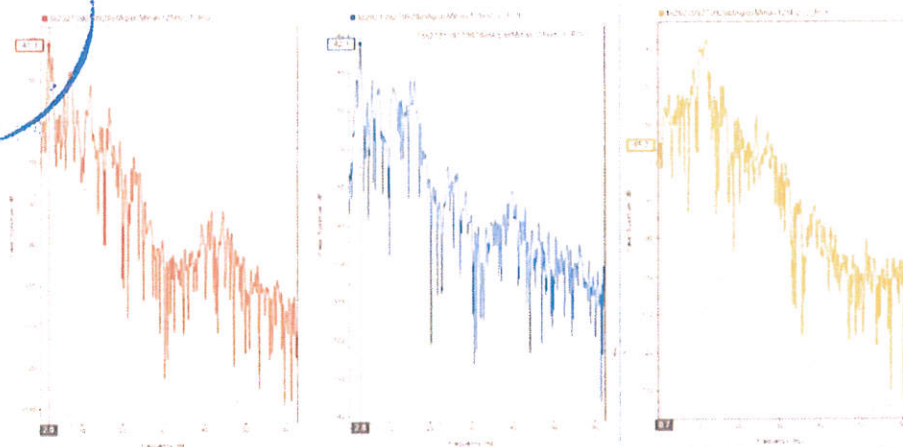
A/A	Αριθμός καταγραφής στη βάση	Όνομα	Γεγονός	Καταγραφικός Σταθμός	Χρονολογία	SF
1	125	A-TMZ	Friuli Italy-01	Tolmezzo	1976	1,33
2	150	G06	Coyote Lake	Gilroy Array #6	1979	1,34
3	231	I-LUL	Mammoth Lakes-01	Long Valley Dam	1980	1,35
4	265	CPE	Victoria Mexico	Cerro Prieto	1980	1,09
5	415	D-TSM	Coalinga-05	Transmitter Hill	1983	0,75
6	448	AND	Morgan Hill	Anderson Dam	1984	1,20
7	568	GIC	San Salvador	Geotech Investing Center	1986	0,75
8	690	A-GRN	Whittier Narrows-01	San Gabriel -E Grand Ave	1987	1,35
9	4141	UP05	Parkfield - 02 CA	Parkfield - Upsar 05	2004	1,35
10	4143	UP07	Parkfield - 02 CA	Parkfield - Upsar 07	2004	1,20
11	4480	GX066	L'Aquila Italy	L'Aquila - V. Aterno - Centro Valle	2009	0,79
12	4482	CU104	L'Aquila Italy	L'Aquila - V. Aterno - F. Aterno	2009	1,00

Πίνακας 6.2: Επιλεγθείσες καταγραφές.

Α/Α	Αριθμός καταγραφής στη βάση	M _w	R _{RUP} (km)	V _{S30} (m/sec)	PGA (g)	T _{pulse} (sec)
1	125	6,50	15,82	505,23	0,43	-
2	150	5,74	3,11	663,31	0,51	1,23
3	231	6,06	15,46	537,16	0,50	-
4	265	6,33	14,37	471,53	0,67	-
5	415	5,77	9,51	477,25	0,63	-
6	448	6,19	3,26	488,77	0,43	-
7	568	5,80	6,30	489,34	0,43	0,81
8	690	5,99	15,20	401,37	0,35	-
9	4141	6,00	9,61	440,59	0,40	-
10	4143	6,00	9,61	440,59	0,45	-
11	4480	6,30	6,27	475,00	0,44	1,07
12	4482	6,30	6,55	552,00	0,42	1,18



Εικόνα 6.1: Χρονοϊστορίες επιτάχυνσης (2 οριζόντιες -1 κατακόρυφη) από τον καταγραφικό σταθμό του Αγίου Μηνά (σεισμός Αρκαλοχωρίου 2021).



Εικόνα 6.2: Φάσματα Fourier για τις τρεις συνιστώσες της καταγραφής από τον καταγραφικό σταθμό του Αγίου Μηνά (σεισμός Αρκαλοχωρίου 2021).

7 Βιβλιογραφία



1. Abrahamson Norman A., Walter J. Silva and Ronnie Kamai, 2014, Summary of the ASK14 Ground Motion Relation for Active Crustal Regions.
2. Abrahamson Norman and Walter Silva, 2008, Summary of the Abrahamson & Silva NGA Ground-Motion Relations.
3. Akkar, S. M., Sandikkaya A. and Bommer, J. J., 2013, Empirical ground-motion models for point- and extended-source crustal earthquake scenarios in Europe and the Middle East.
4. D. Bindi, F. Pacor, L. Luzi, R. Puglia, M. Massa, G. Ameri, R. Paolucci, 2011, Ground motion prediction equations derived from the Italian strong motion database.
5. Boore David M., Stewart Jonathan, Skarlatoudis Andreas, Seyhan Emel, Margaritis Basil, Theodoulidis Nikos, Scordilis Emmanuel, Kalogeras Ioannis, Klimis Nikolaos and Melis Nikolaos, 2020, A ground – motion prediction model for shallow crustal earthquakes in Greece.
6. Boore David M. and Gail M. Atkinson, 2008, Ground-Motion Prediction Equations for the Average Horizontal Component of PGA, PGV, and 5%-Damped PSA at Spectral Periods between 0.01 s and 10.0 s.
7. Boore David M., Jonathan P. Stewart, Emel Seyhan and Gail M. Atkinson, 2014, NGA-West2 Equations for Predicting PGA, PGV, and 5% Damped PSA for Shallow Crustal Earthquakes.
8. Campbell Kenneth W. and Yousef Bozorgnia, 2008, NGA Ground Motion Model for the Geometric Mean Horizontal Component of PGA, PGV, PGD and 5% Damped Linear Elastic Response Spectra for Periods Ranging from 0.01 to 10 s.
9. Campbell Kenneth W. and Yousef Bozorgnia, 2014, NGA-West2 Ground Motion Model for the Average Horizontal Components of PGA, PGV, and 5% Damped Linear Acceleration Response Spectra.
10. Caputo Riccardo, Catalano Stefano, Monaco Carmelo, Romagnoli Gino, Tortorici Giuseppe and Luigi Tortorici, 2010, Active faulting on the island of Crete.
11. Caputo Riccardo, Monaco Carmelo, and Tortorici Giuseppe, 2006, Multiseismic cycle deformation rates from Holocene normal fault scarps on Crete (Greece).
12. Chiou Brian S.-J. and Robert R. Youngs, 2008, An NGA Model for the Average Horizontal Component of Peak Ground Motion and Response Spectra.
13. Chiou Brian S.-J. and Robert R. Youngs, 2014, Update of the Chiou and Youngs NGA Model for the Average Horizontal Component of Peak Ground Motion and Response Spectra.
14. Delibasis N., Ziazia M., Voulgaris N., Papadopoulos T., Stavrakakis G., Papanastassiou D. and Drakatow G., 1999, Microseismic activity and seismotectonics of Heraklion area (central Crete Island, Greece).
15. Fassoulas C., 1999, The structural evolution of central Crete: insight to the tectonic evolution of the South Aegean (Greece).
16. Fassoulas C., 2001, The tectonic development of a Neogene basin at the leading edge of the active European margin: the Heraklion basin, Crete, Greece.



17. Gaki-Papanastasiou K., Karymbalis E., Papanastassiou D. and Maroukian H., 2009, Quaternary marine terraces as indicators of neotectonics activity of the Ierapetra normal fault SE Crete (Greece).
18. Gällen, S., Wegmann, K., Bohnenstiehl D., Pazzaglia F., Brandon M. and Fassoulas C., 2014, Active simultaneous uplift and margin-normal extension in a forearc high, Crete, Greece.
19. Idriss I. M., 2008, An NGA Empirical Model for Estimating the Horizontal Spectral Values Generated by Shallow Crustal Earthquakes.
20. Idriss I. M., 2014, An NGA-West2 Empirical Model for Estimating the Horizontal Spectral Values Generated by Shallow Crustal Earthquakes.
21. Gis Hellenic Accelerograms Database – GHEAD, 2021, [Online] Available at: ghead.itsak.gr/map/
22. GreDass (2013) *Greek Database of Seismogenic Sources*. [online] Available at: <http://gredass.unife.it/gredassGM/> [Accessed 16 Dec 2016].
23. Kaklamanos, J., Baise, L. and Boore, D., 2011, Estimating Unknown Input Parameters when Implementing the NGA Ground-Motion Prediction Equations in Engineering Practice.
24. Luco N, Ellingwood BR, Hamburger RO, Hooper JD, Kimball JK, Kircher CA (2007) Risk-targeted versus current seismic design maps for the conterminous United States. In: SEAOC 2007 convention proceedings.
25. Mason J. and Reicherter K., 2017, The paleoseismological study of capable faults on Crete.
26. Monaco C. and Tortorici L., 2004, Faulting and effects of earthquakes on Minoan archaeological sites in Crete (Greece).
27. Municipality of Heraklion, 2021, [Online] Available at: <https://www.heraklion.gr/en/ourplace/heraklion-town/heraklion.html>
28. National Hurricane Center and Central Pacific Hurricane Center, 2021, [online] Available at: <https://www.nhc.noaa.gov/gccalc.shtml>
29. Papazachos B. and Papazachou K., 1989, Οι σεισμοί της Ελλάδας.
30. Peer Ground Motion Database, 2021, [online], Available at: <https://ngawest2.berkeley.edu/>
31. SHARE INGV, (2009). *The European Database of Seismogenic Faults*. [Online]. Available at: http://diss.rm.ingv.it/share-edsf/SHARE_WP3.2_Database.html [Accessed 31 May 2012].
32. Stewart I. and Hancock P., 1991, Scales of structural heterogeneity within neotectonic normal fault zones in the Aegean region.
33. Tee Online Portal, 2003, Ο χάρτης σεισμικής επικινδυνότητας της Ελλάδας, [Online] Available at: http://portal.tee.gr/portal/page/portal/SCIENTIFIC_WORK/ARTICLES
34. Wikipedia, 2021, Ηράκλειο Κρήτης, [Online] Available at: https://el.wikipedia.org/wiki/Ηράκλειο_Κρήτης



Παράρτημα Α

Στο παράρτημα αυτό παρατίθενται οι πίνακες οι οποίοι εμπεριέχουν τις παραμέτρους που εμπεριέχονται σε κάθε μοντέλο πρόβλεψης της εδαφικής κίνησης, τα όρια εφαρμογής, τους συμβολισμούς των παραμέτρων και τους σύντομους ορισμούς αυτών.

Πίνακας 5.1: Παράμετροι που χρησιμοποιούνται από τα μοντέλα NGA του 2008.

Παράμετρος/Μοντέλο		AS08	BA08	CB08	CY08	I08
Σεισμική ροπή	M	X	X	X	X	X
Κατάταξη εδάφους	V _{S30} (m/s)	X	X	X	X	X
Χαρακτηριστικά ρήγματος	U	-	X	-	-	-
	SS	-	X	-	-	-
	NS	-	X	-	-	-
	RS	-	X	-	-	-
	F _{RV}	X	-	X	X	-
	F _{NM}	X	-	X	X	-
	F	-	-	-	-	X
	W (km)	X	-	-	-	-
	Dip/δ (°)	X	-	X	X	-
	λ (°)	-	-	-	-	-
Απόσταση μεταξύ ρήγματος κι εξεταζόμενης περιοχής	R _{JB} (km)	X	X	X	X	-
	R _{RUP} (km)	X	-	X	X	X
	R _X (km)	X	-	-	X	-
	CR _{JB} (km)	-	-	-	-	-
	R _{Y0} (km)	-	-	-	-	-
	R _{EPI} (km)	-	-	-	-	-
	R _{HYPO} (km)	-	-	-	-	-
	Z _{TOR} (km)	X	-	X	X	-
	Z _{1,0} (m)	X	-	-	X	-
	Z _{2,5} (km)	-	-	X	-	-
	ΔZ _{TOR} (km)	-	-	-	-	-
	ΔZ _{1,0} (m)	-	-	-	-	-
	Z _{HYPO} (km)	-	-	-	-	-



Πίνακας Α.2: Παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν από τα μοντέλα NGA του 2008.

Παράμετρος/Μοντέλο		AS08	BA08	CB08	CY08	I08
Κατευθυντικότητα	DPP	-	-	-	-	-
	ΔDPP	-	-	-	-	-
Κατάταξη σεισμού	F _{AS}	X	-	-	X	-
	Event Type	-	-	-	-	-
Άνω τμήμα ρήγματος	F _{HW}	X	-	-	X	-
	HW Taper	X	-	-	-	-
Περιοχή	Region	-	-	-	-	-
	F _{CL}	-	-	-	-	-
	F _{CN}	-	-	-	-	-
	F _{JP}	-	-	-	-	-
	F _{TW}	-	-	-	-	-
	S _J	-	-	-	-	-
Εκτίμηση του V _{S30}	F _{INF}	-	-	-	X	-
	F _{MEAS}	X	-	-	X	-

Πίνακας Α.3: Παράμετροι που χρησιμοποιούνται από τα μοντέλα NGA του 2014.

Παράμετρος/Μοντέλο		ASK14	BSSA14	CB14	CY14	IM14
Σεισμική ροπή	M	X	X	X	X	X
Κατάταξη εδάφους	V _{S30} (m/s)	X	X	X	X	X
Χαρακτηριστικά ρήγματος	U	-	X	-	-	-
	SS	-	X	-	-	-
	NS	-	X	-	-	-
	RS	-	X	-	-	-
	F _{RV}	X	-	X	X	-
	F _{NM}	X	-	X	X	-
	F	-	-	-	-	X
	W (km)	X	-	X	-	-
	Dip/δ (°)	X	-	X	X	-
	λ (°)	-	-	X	-	-
Απόσταση μεταξύ εξεταζόμενης περιοχής και ρήγματος	R _{JB} (km)	X	X	X	X	-
	R _{RUP} (km)	X	-	X	X	X
	R _X (km)	X	-	X	X	-
	CR _{JB} (km)	X	-	-	-	-
	R _{Y0} (km)	X	-	-	-	-
	R _{EPI} (km)	-	-	-	-	-
	R _{HYP0} (km)	-	-	-	-	-
	Z _{TOR} (km)	X	X	X	X	-
	Z _{1,0} (m)	X	X	-	X	-
	Z _{2,5} (km)	-	-	X	-	-
	ΔZ _{TOR} (km)	-	-	-	X	-
	ΔZ _{1,0} (m)	-	-	-	X	-
	Z _{HYP0} (km)	-	X	X	-	-





Πίνακας Α.4: Παράμετροι που χρησιμοποιούνται από τα μοντέλα NGA του 2014.

Παράμετρος/Μοντέλο		ASK14	BSSA14	CB14	CY14	IM14
Κατευθυντικότητα	DPP	-	-	-	X	-
	ΔDPP	-	-	-	X	-
Κατάταξη σεισμού	F _{AS}	X	-	-	-	-
	Event Type	-	X	-	-	-
Άνω τμήμα ρήγματος	F _{HW}	X	-	-	X	-
	HW Taper	-	-	-	-	-
Περιοχή	Region	-	X	-	X	-
	F _{CL}	X	-	-	-	-
	F _{CN}	X	-	-	-	-
	F _{JP}	X	-	-	-	-
	F _{TW}	X	-	-	-	-
	S _J	-	-	X	-	-
Εκτίμηση του V _{S30}	F _{INF}	X	-	-	X	-
	F _{MEAS}	-	-	-	X	-

Πίνακας Α.5: Παράμετροι που χρησιμοποιούνται από το Ελληνικό και τα Ιταλικά μοντέλα



Παράμετρος/Μοντέλο		BGR20	ITA10	ABS13
Σεισμική ροπή	M	X	X	X
Κατάταξη εδάφους	V _{S30} (m/s)	X	X	X
Χαρακτηριστικά ρήγματος	U	X	X	X
	SS	X	X	X
	NS	X	X	X
	RS	X	X	X
	F _{RV}	-	-	-
	F _{NM}	-	-	-
	F	-	-	-
	W (km)	-	-	-
	Dip/δ (°)	-	-	-
	λ (°)	-	-	-
Απόσταση μεταξύ εξεταζόμενης περιοχής και ρήγματος	R _{JB} (km)	X	X	X
	R _{RUP} (km)	-	-	-
	R _X (km)	-	-	-
	CR _{JB} (km)	-	-	-
	R _{Y0} (km)	-	-	-
	R _{EPI} (km)	-	-	X
	R _{HYP0} (km)	-	-	X
	Z _{TOR} (km)	-	-	-
	Z _{1,0} (m)	-	-	-
	Z _{2,5} (km)	-	-	-
	ΔZ _{TOR} (km)	-	-	-
	ΔZ _{1,0} (m)	-	-	-
	Z _{HYP0} (km)	-	-	-



Πίνακας Α.6: Παράμετροι που χρησιμοποιούνται από το Ελληνικό τα Ιταλικά μοντέλα.

Parameter/Model		BGR20	ITA10	ABS13
Κατευθυντικότητα	DPP	-	-	-
	ΔDPP	-	-	-
Κατάταξη σεισμού	F _{AS}	-	-	-
	Event Type	-	-	-
Άνω τμήμα του ρήγματος	F _{HW}	-	-	-
	HW Taper	-	-	-
Περιοχή	Region	-	-	-
	F _{CL}	-	-	-
	F _{CN}	-	-	-
	F _{JP}	-	-	-
	F _{TW}	-	-	-
	S _J	-	-	-
Εκτίμηση του V _{S30}	F _{INF}	-	-	-
	F _{MEAS}	-	-	-

Πίνακας Α.7: Όρια εφαρμογής των μοντέλων NGA του 2008.

Παράμετρος/Μοντέλο	AS08	BA08	CB08	CY08	I08
Σεισμική ροπή M (Ρήγμα Οριζόντιας ολίσθησης)	$5 \leq M \leq 8,5$	$5 \leq M \leq 8$	$4 < M < 8,5$	$4 \leq M \leq 8,5$	$5 \leq M \leq 8,5$
Σεισμική ροπή M (Ανάστροφο ρήγμα)	$5 \leq M \leq 8$		$4 < M < 8$	$4 \leq M \leq 8$	$5 \leq M \leq 8$
Σεισμική ροπή M (Κανονικό ρήγμα)			$4 < M < 7,5$		$5 \leq M \leq 8,5$
Απόσταση διάρρηξης R_{RUP} (km)	$0 \leq R_{RUP} \leq 200$	-	$0 \leq R_{RUP} \leq 200$	$0 \leq R_{RUP} \leq 200$	$0 \leq R_{RUP} \leq 200$
Απόσταση Joyner-Boore R_{JB} (km)	-	$0 \leq R_{JB} \leq 200$	-	-	-
Ταχύτητα V_{S30} (m/s)	$150 \leq V_{S30} \leq 200$ 0	$180 \leq V_{S30} \leq 1300$	$150 \leq V_{S30} \leq 1500$	$150 \leq V_{S30} \leq 1500$	$450 \leq V_{S30} \leq 900$ και $V_{S30} > 900$
Βάθος $Z_{2,5}$ (km)	-	-	$0 \leq Z_{2,5} \leq 10$	-	-
Βάθος Z_{TOR} (km)	-	-	$0 \leq Z_{TOR} \leq 15$	-	-
Κλίση δ (°)	-	-	$15 \leq \delta \leq 90$	-	-
Ταχύτητα αναφοράς V_{ref} (m/s)	1100	760	1100	1130	-

Πίνακας Α.8: Όρια εφαρμογής των μοντέλων NGA του 2014.

Παράμετρος/Μοντέλο	ASK14	BSSA14	CB14	CY14	IM14
Σεισμική ροπή M (Ρήγμα οριζόντιας ολίσθησης)	$3 \leq M \leq 8,5$	$3 \leq M \leq 8,5$	$3,3 \leq M < 8,5$	$3,5 \leq M \leq 8,5$	$5 \leq M \leq 8$
Σεισμική ροπή M (Ανάστροφο ρήγμα)			$3,3 \leq M \leq 8$	$3,5 \leq M \leq 8$	
Σεισμική ροπή M (Κανονικό ρήγμα)		$3,3 \leq M \leq 7$	$3,3 \leq M < 7$		
Απόσταση διάρρηξης R_{RUP} (km)	$0 \leq R_{RUP} \leq 300$	$0 \leq R_{RUP} \leq 400$	$0 \leq R_{RUP} \leq 300$	$0 \leq R_{RUP} \leq 300$	$0 \leq R_{RUP} \leq 150$
Ταχύτητα V_{S30} (m/s)	$180 \leq V_{S30} \leq 1500$ 0	$150 \leq V_{S30} \leq 1500$	$150 \leq V_{S30} \leq 1500$	$180 \leq V_{S30} \leq 1500$	$450 \leq V_{S30} \leq 2000$
Βάθος Z_{TOR} (km)	-	-	-	$Z_{TOR} \leq 20$	-
Ταχύτητα αναφοράς V_{ref} (m/s)	1100	760	1100	1130	-

Πίνακας Α.9: Όρια εφαρμογής του Ελληνικού και των Ιταλικών μοντέλων.

Παράμετρος/Μοντέλο	BGR20	ITA10	ABS13
Σεισμική ροπή M (Ρήγμα οριζόντιας ολίσθησης)	$4 \leq M \leq 7$	$4 \leq M \leq 6.9$	$4 \leq M \leq 8$
Σεισμική ροπή M (Ανάστροφο ρήγμα)			
Σεισμική ροπή M (Κανονικό ρήγμα)			
Joyner-Boore Απόσταση R_{JB} (km)	$0 \leq R_{JB} \leq 300$	$0 \leq R_{JB} \leq 200$	$0 \leq R_{JB} \leq 200$
Υποκεντρική απόσταση R_{HYPO} (km)	-	-	$0 \leq R_{HYPO} \leq 200$
Επικεντρική απόσταση R_{EPI} (km)	-	-	$0 \leq R_{EPI} \leq 200$
Ταχύτητα V_{S30} (m/s)	$150 \leq V_{S30} \leq 1200$	$180 \leq V_{S30} \leq 1500$	$150 \leq V_{S30} \leq 1500$
Reference Velocity V_{ref} (m/s)	760	1100	750



Πίνακας Α10: Ορισμοί των παραμέτρων που χρησιμοποιήθηκαν από τα μοντέλα.

Παράμετρος		Ορισμός
Σεισμική ροπή	M	Σεισμική ροπή
Κατάταξη εδάφους	V _{S30} (m/s)	Μέση ταχύτητα διάδοσης των διατμητικών κυμάτων για τα ανώτερα 30m της εξεταζόμενης περιοχής
Χαρακτηριστικά του ρήγματος	U	Δείκτης για άγνωστο τύπο ρήγματος
	SS	Δείκτης για ρήγμα οριζόντιας ολίσθησης
	NS	Δείκτης για κανονικό τύπο ρήγματος
	RS	Δείκτης για ανάστροφο τύπο ρήγματος
	F _{RV}	Δείκτης για ανάστροφο ρήγμα
	F _{NM}	Δείκτης για κανονικό τύπο ρήγματος
	F	Δείκτης για τον τύπο του ρήγματος, 0 για οριζόντιας ολίσθησης και κανονικό ρήγμα, 1 για ανάστροφο ρήγμα
	W (km)	Πλάτος ρήγματος
	Dip/δ (°)	Κλίση ρήγματος
	λ (°)	Γωνία ολίσθησης του ρήγματος
Απόσταση μεταξύ εξεταζόμενης περιοχής και ρήγματος	R _{JB} (km)	Απόσταση Joyner-Boore, η κοντινότερη απόσταση μεταξύ της εξεταζόμενης περιοχής και της οριζόντιας προβολής του ρήγματος
	R _{RUP} (km)	Απόσταση διάρρηξης, η κοντινότερη απόσταση μεταξύ εξεταζόμενης περιοχής κι επιφάνειας διάρρηξης.
	R _X (km)	Απόσταση R _x , η κοντινότερη απόσταση μεταξύ της γραμμής που διέρχεται από το ίχνος του ρήγματος και της εξεταζόμενης περιοχής. Λαμβάνει θετικές τιμές όταν η εξεταζόμενη περιοχή βρίσκεται στο άνω τμήμα του ρήγματος και αρνητική στο κάτω.
	CR _{JB} (km)	Κεντροϊδής απόσταση Joyner-Boore, η κοντινότερη απόσταση από το κεντροϊδές ενός μετασεισμού και την προβολή της επιφάνειας διάρρηξης του κύριου σεισμού.
	R _{Y0} (km)	R _{Y0} απόσταση, η απόσταση, παράλληλη στο ίχνος του ρήγματος, μεταξύ εξεταζόμενης περιοχής και της οριζόντιας προβολής του ρήγματος.
	R _{EPI} (km)	Επικεντρική απόσταση, η απόσταση ανάμεσα στο επίκεντρο και στην εξεταζόμενη περιοχή.
	R _{HYP0} (km)	Υποκεντρική απόσταση, η απόσταση ανάμεσα στο υπόκεντρο και στην εξεταζόμενη περιοχή.
	Z _{TOR} (km)	Βάθος από την επιφάνεια του εδάφους ως την κορυφή του ρήγματος.
	Z _{1.0} (m)	Βάθος εδάφους στο οποίο η ταχύτητα διάδοσης των διατμητικών κυμάτων είναι 1.0 km/sec
	Z _{2.5} (km)	Βάθος εδάφους στο οποίο η ταχύτητα διάδοσης των διατμητικών κυμάτων είναι 2.5 km/sec
	ΔZ _{TOR} (km)	Κεντραρισμένη τιμή Z _{TOR}
	ΔZ _{1.0} (m)	Κεντραρισμένη τιμή Z _{1.0}
	Z _{HYP0} (km)	Βάθος του υποκέντρου μετρούμενο από την επιφάνεια της θάλασσας.



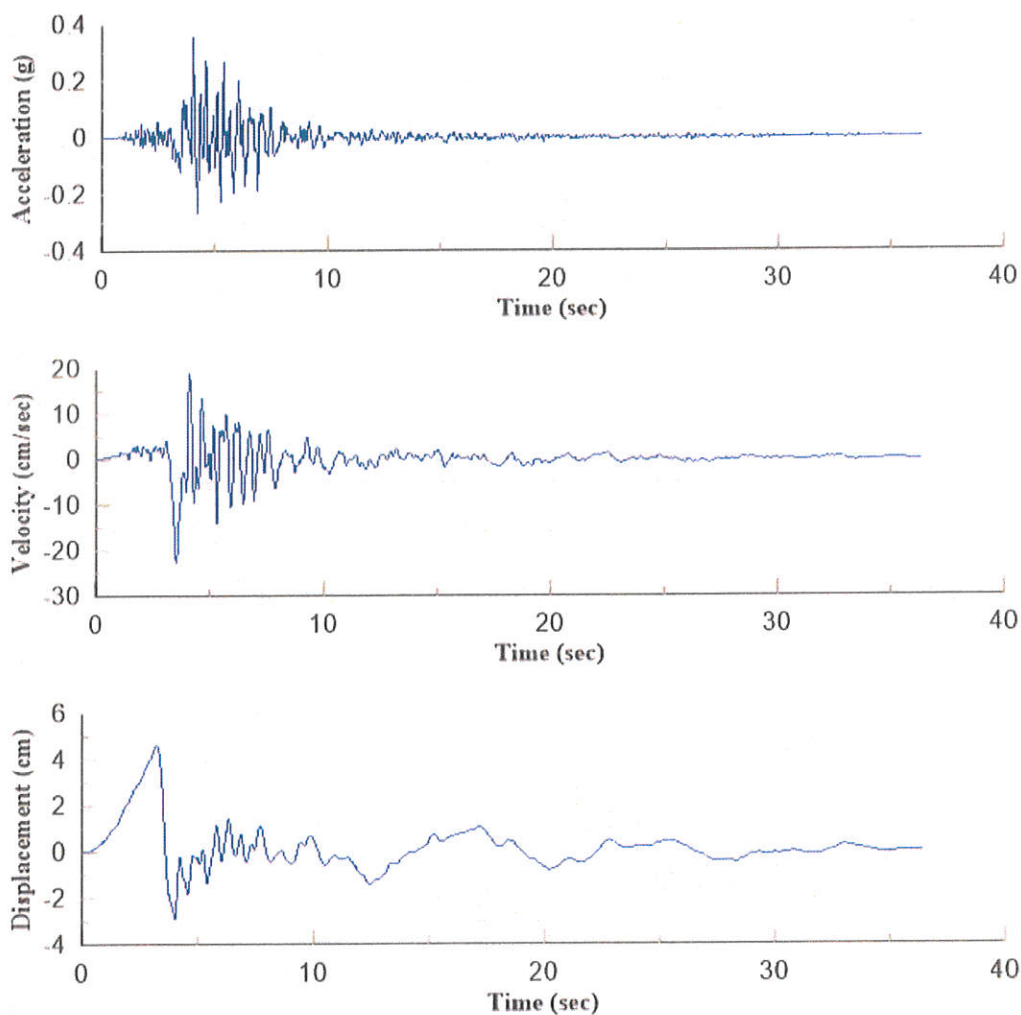
Πίνακας Α.11: Ορισμοί των παραμέτρων που χρησιμοποιήθηκαν από τα μοντέλα.

Παράμετρος		Ορισμός
Κατευθυντικότητα	DPP	Δείκτης φαινομένου κατευθυντικότητας
	ΔDPP	DPP κεντραρισμένος δείκτης για συγκεκριμένη περιοχή και συγκεκριμένο σεισμό DPP
Κατάταξη σεισμού	F _{AS}	Δείκτης για μετασεισμό, 0 για κύριο σεισμό (Class 1) και 1 για μετασεισμό (Class 2)
	Event Type	Δείκτης για μετασεισμό, 0 για κύριο σεισμό (Class 1) και 1 για μετασεισμό (Class 2)
Άνω τμήμα διάρρηξης	F _{HW}	Δείκτης για το αν η εξεταζόμενη περιοχή βρίσκεται στο άνω τμήμα του ρήγματος, 1 για περιοχή στο άνω τμήμα (HW), 0 διαφορετικά. Το όριο μεταξύ του κάτω τμήματος (FW) και του άνω τμήματος του ρήγματος HW καθορίζεται από την κατακόρυφη προβολή της κορυφής της διάρρηξης. Για κλίση ρήγματος 90° ο δείκτης είναι 0.
	HW Taper	Ο δείκτης αυτός αφορά το μοντέλο AS08. Λαμβάνει την τιμή 0 προκειμένου η επαύξηση της κίνησης στο άνω τμήμα της διάρρηξης να υπολογιστεί σύμφωνα με τους Abrahamson and Silva (2008) ή 1 για να υπολογιστεί σύμφωνα με τον Norm Abrahamson.
Περιοχή	Region	Δείκτης τόπου εφαρμογής του μοντέλου, 0 αν δεν πρέπει να ληφθεί υπόψη ο τόπος εφαρμογής, 1 για την Καλιφόρνια και την Νέα Ζηλανδία, 2 για Κίνα και Τουρκία, 3 για Ιταλία, 4 για Ιαπωνία και 5 για Ταϊβάν
	F _{CL}	Δείκτης τόπου εφαρμογής του μοντέλου, 1 αν η εξεταζόμενη περιοχή βρίσκεται στην Καλιφόρνια, αλλιώς 0
	F _{CN}	Δείκτης τόπου εφαρμογής του μοντέλου, 1 αν η εξεταζόμενη περιοχή βρίσκεται στην Κίνα, αλλιώς 0
	F _{JP}	Δείκτης τόπου εφαρμογής του μοντέλου, 1 αν η εξεταζόμενη περιοχή βρίσκεται στην Ιαπωνία, αλλιώς 0
	F _{TW}	Δείκτης τόπου εφαρμογής του μοντέλου, 1 αν η εξεταζόμενη περιοχή βρίσκεται στην Ταϊβάν, αλλιώς 0
	S _J	Δείκτης τόπου εφαρμογής του μοντέλου, 1 αν η εξεταζόμενη περιοχή βρίσκεται στην Ιαπωνία, αλλιώς 0
Εκτίμηση του V _{S30}	F _{INF}	Δείκτης για το αν η τιμή του V _{S30} έχει εκτιμηθεί ή μετρηθεί. 1 εάν έχει εκτιμηθεί, 0 σε κάθε άλλη περίπτωση
	F _{MEAS}	Δείκτης για το αν η τιμή του V _{S30} έχει εκτιμηθεί ή μετρηθεί. 1 εάν έχει μετρηθεί, 0 σε κάθε άλλη περίπτωση

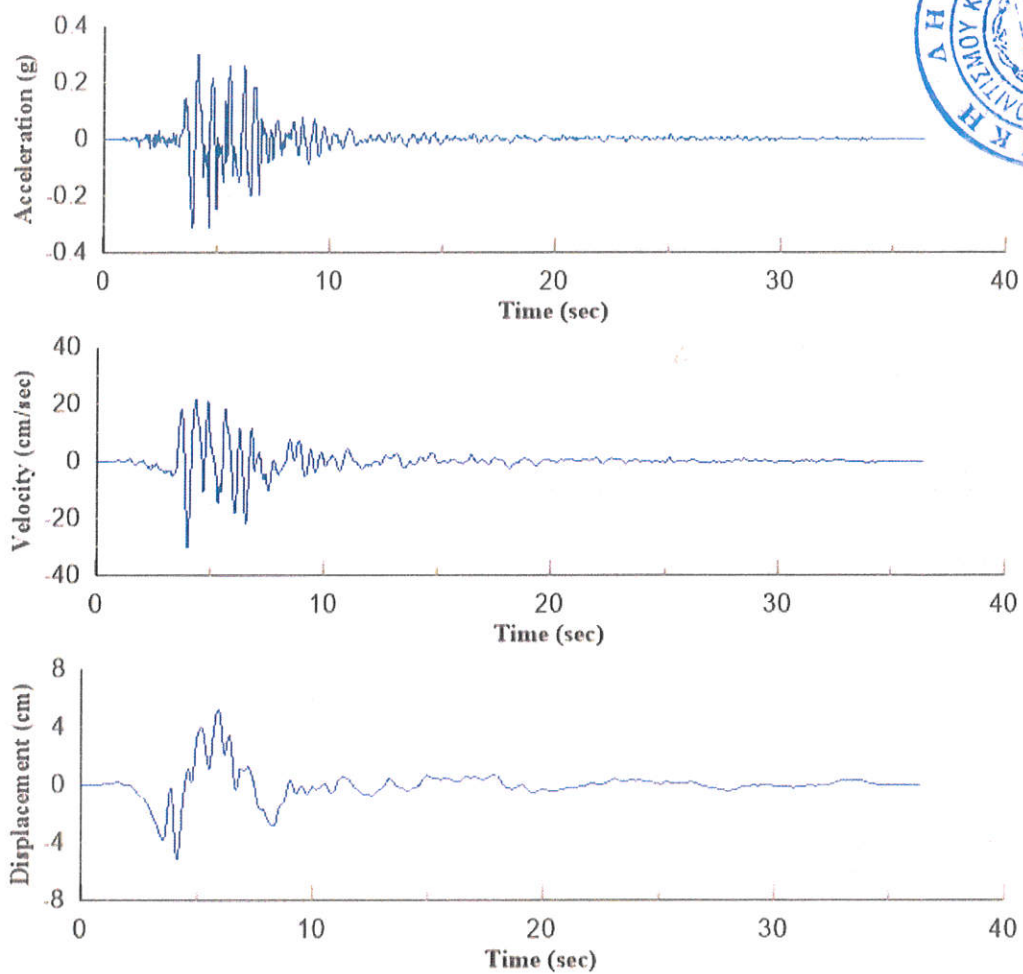


Παράρτημα Β.

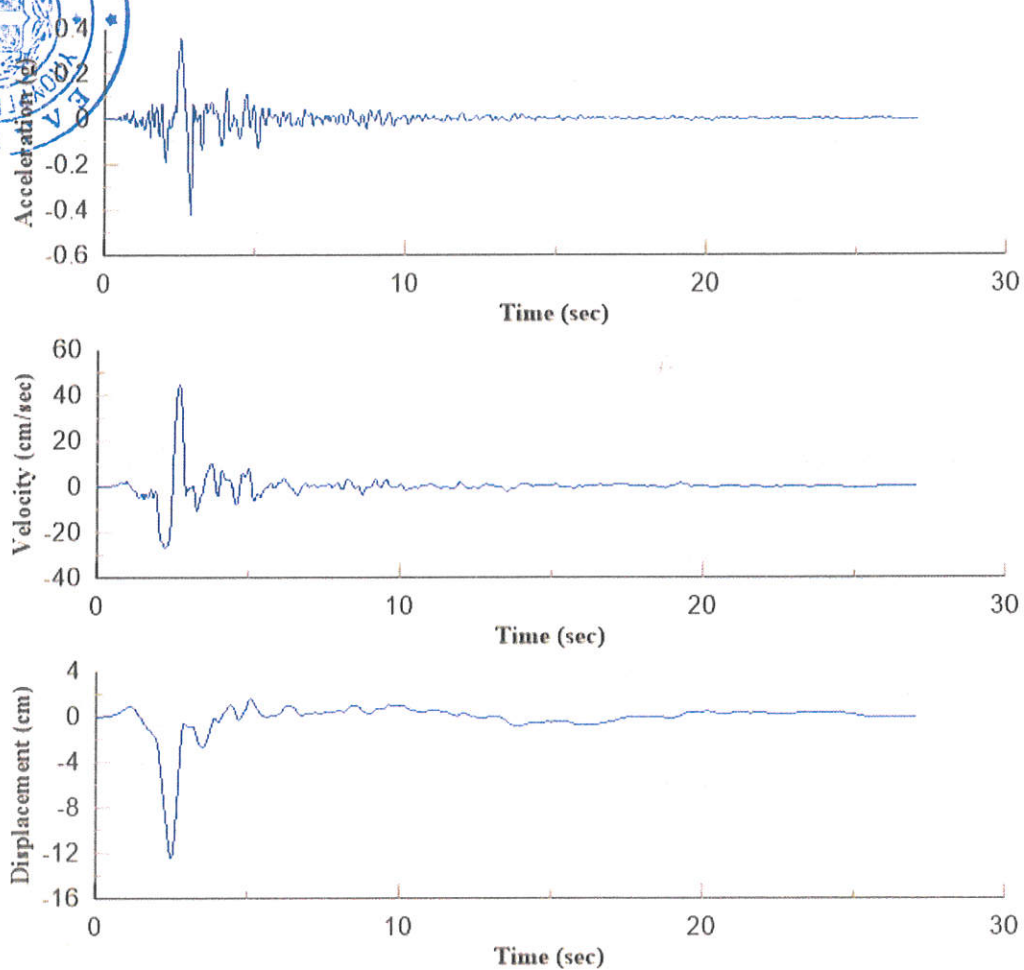
Δίδονται στις ακόλουθες εικόνες οι χρονοϊστορίες επιτάχυνσης, ταχύτητας και μετακίνησης στην αρχική τους μορφή για τις δύο οριζόντιες συνιστώσες των καταγραφών που επιλέχθηκαν. Ακολουθεί γράφημα που απεικονίζει το στοχευόμενο φάσμα (Se), τα φάσματα 0,5Se, 0,75Se, 1,30Se καθώς και το μέσο φάσμα των γεωμετρικών μέσων των δύο οριζόντιων συνιστωσών των καταγραφών για το σύνολο των σεισμικών γεγονότων, πριν και μετά την κλιμάκωση αυτών. Τέλος παρατίθενται τα γραφήματα που απεικονίζουν το στοχευόμενο φάσμα Se, τα φάσματα 0,5Se, 0,75Se, 1,30Se, τα φάσματα των δύο οριζόντιων συνιστωσών και τον γεωμετρικό μέσο αυτών μετά την κλιμάκωση για κάθε σεισμικό γεγονός.



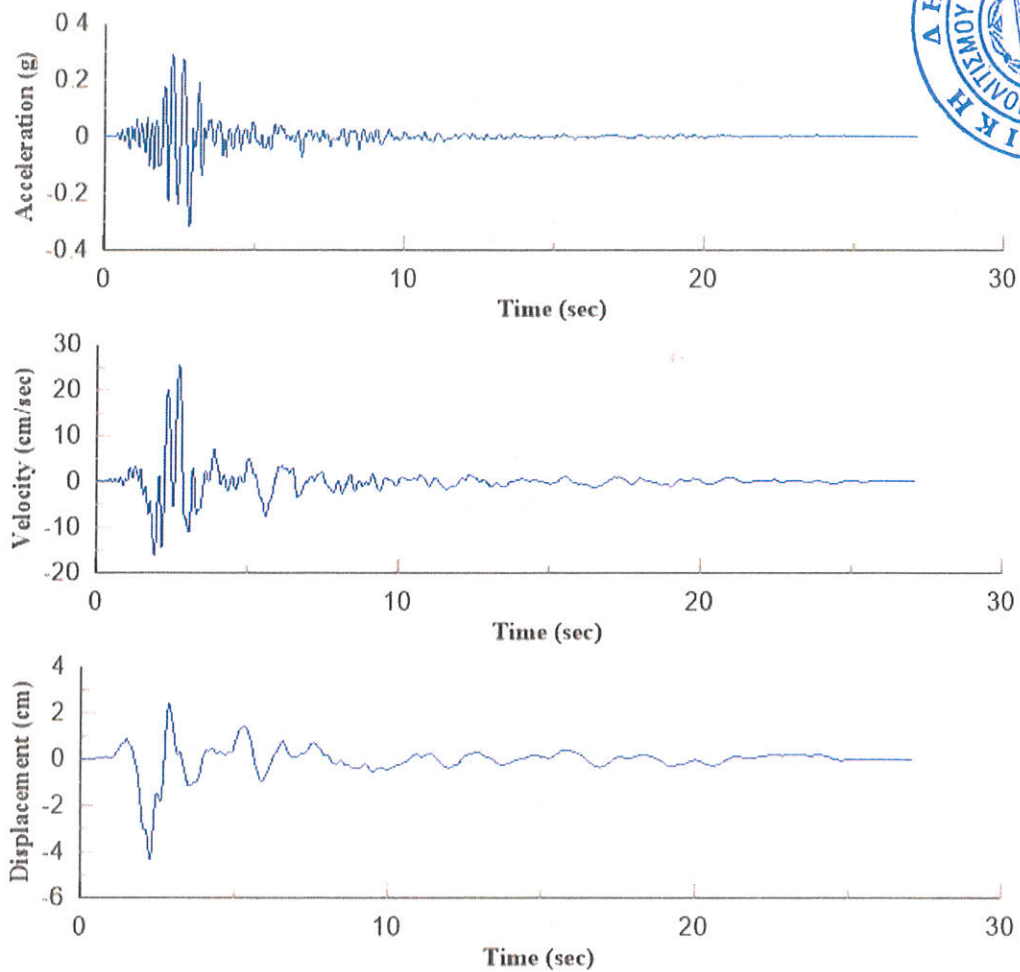
Εικόνα Β.1: Καταγραφή 125 - χρονοϊστορίες επιτάχυνσης, ταχύτητας και μετατόπισης – διαμήκης διεύθυνση.



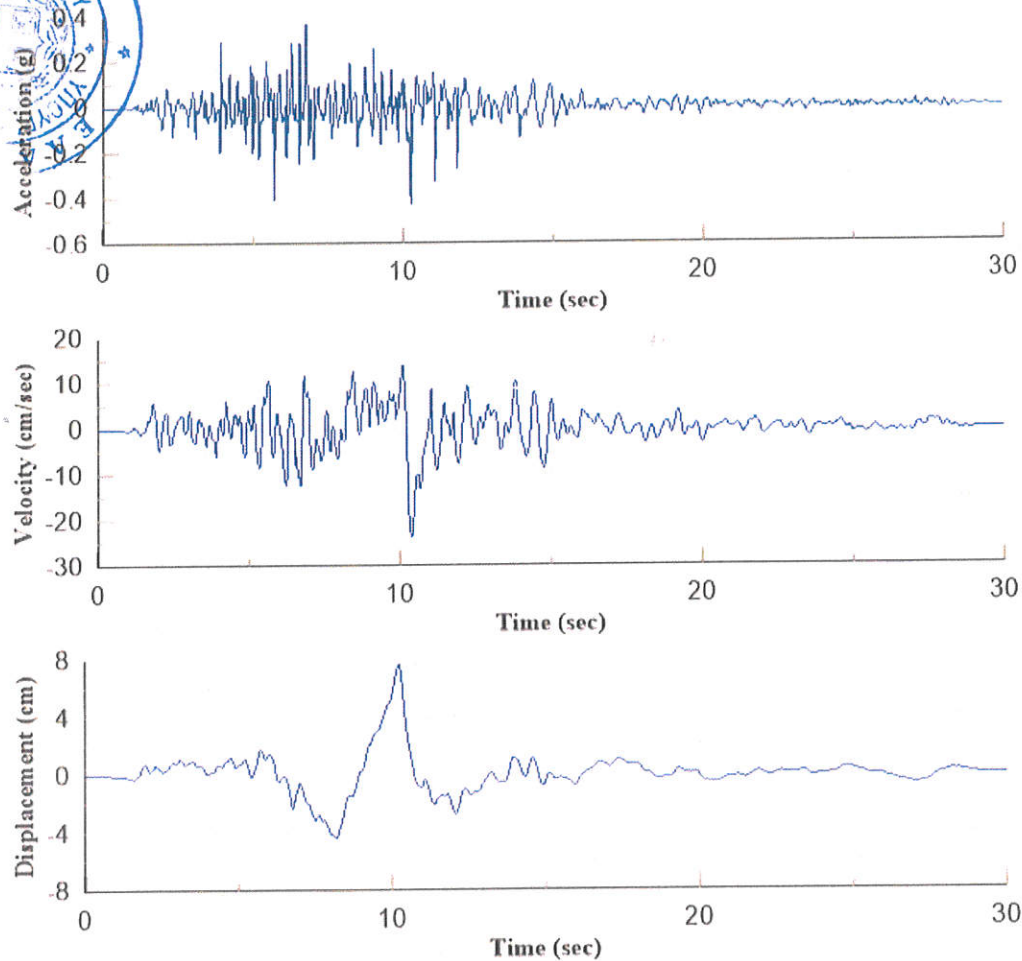
Εικόνα Β.2: Καταγραφή 125 - χρονοϊστορίες επιτάχυνσης, ταχύτητας και μετατόπισης - εγκάρσια διεύθυνση.



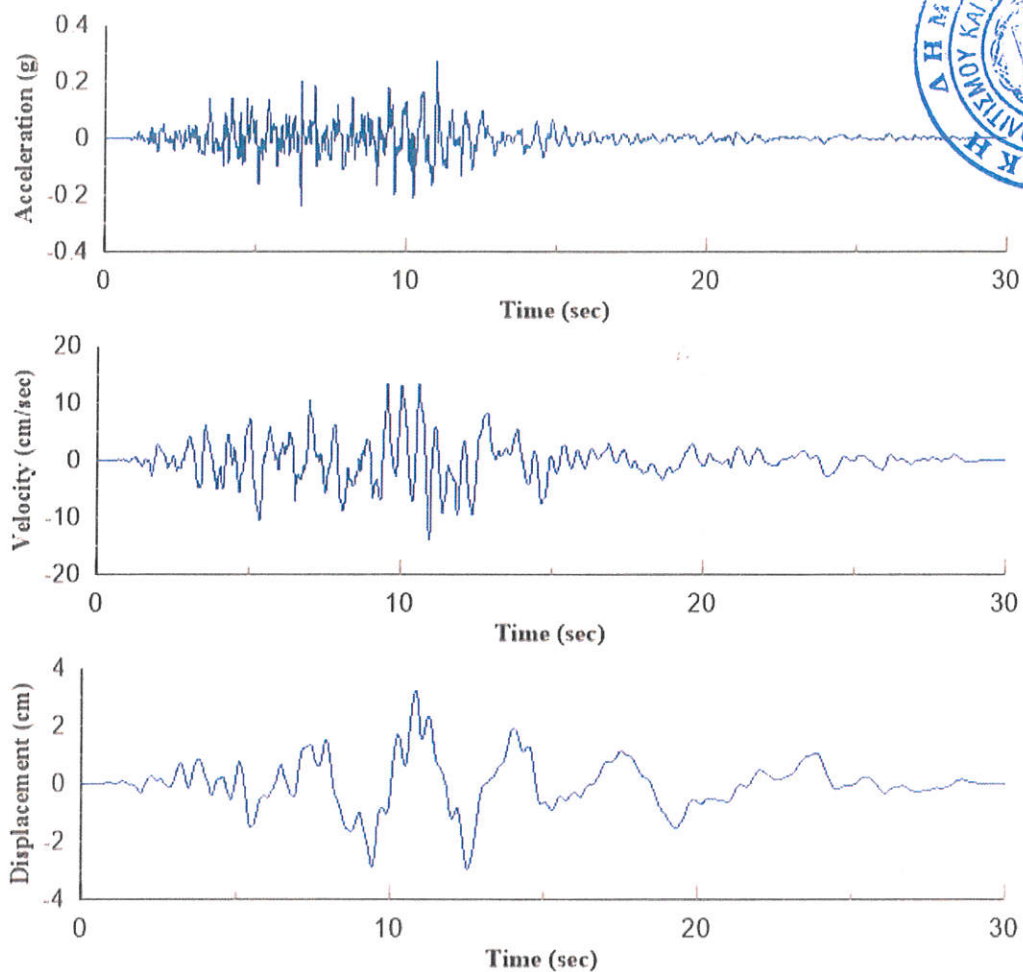
Εικόνα Β.3: Καταγραφή 150 - χρονοϊστορίες επιτάχυνσης, ταχύτητας και μετατόπισης – διαμήκης διεύθυνση.



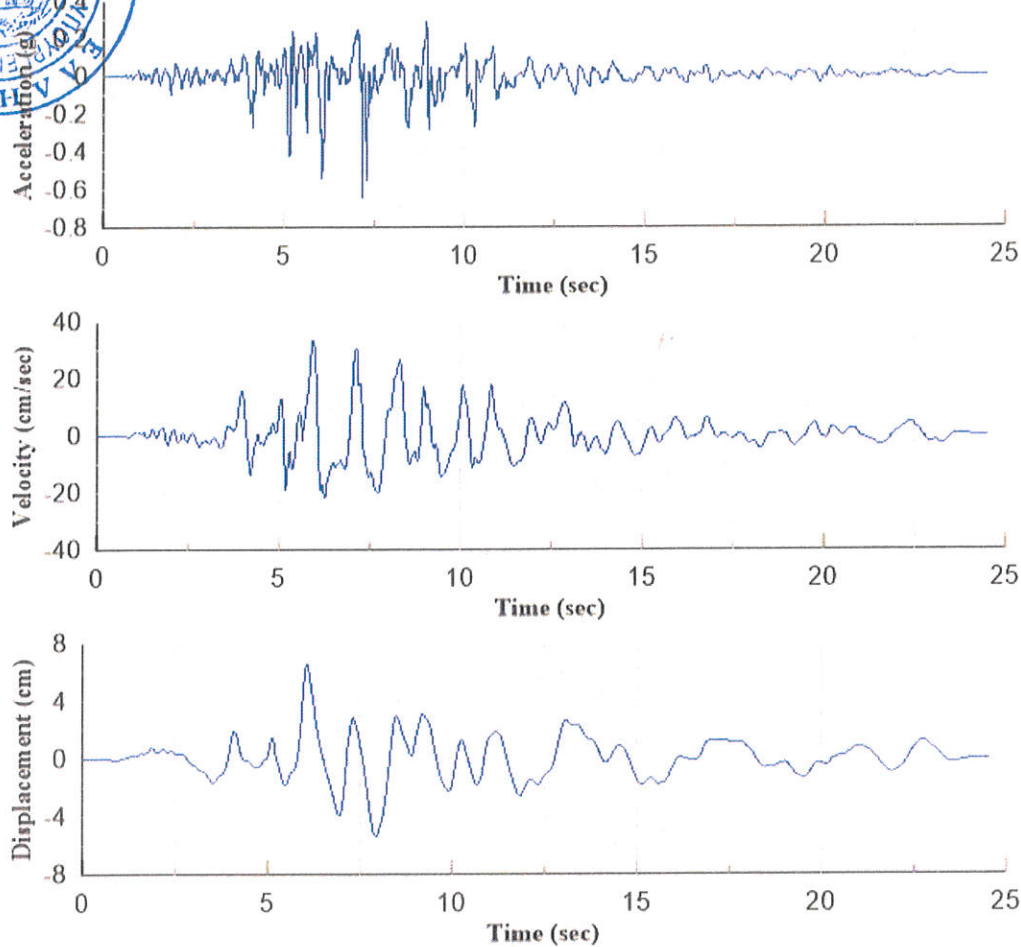
Εικόνα Β.4: Καταγραφή 150 - χρονοϊστορίες επιτάχυνσης, ταχύτητας και μετατόπισης – εγκάρσια διεύθυνση.



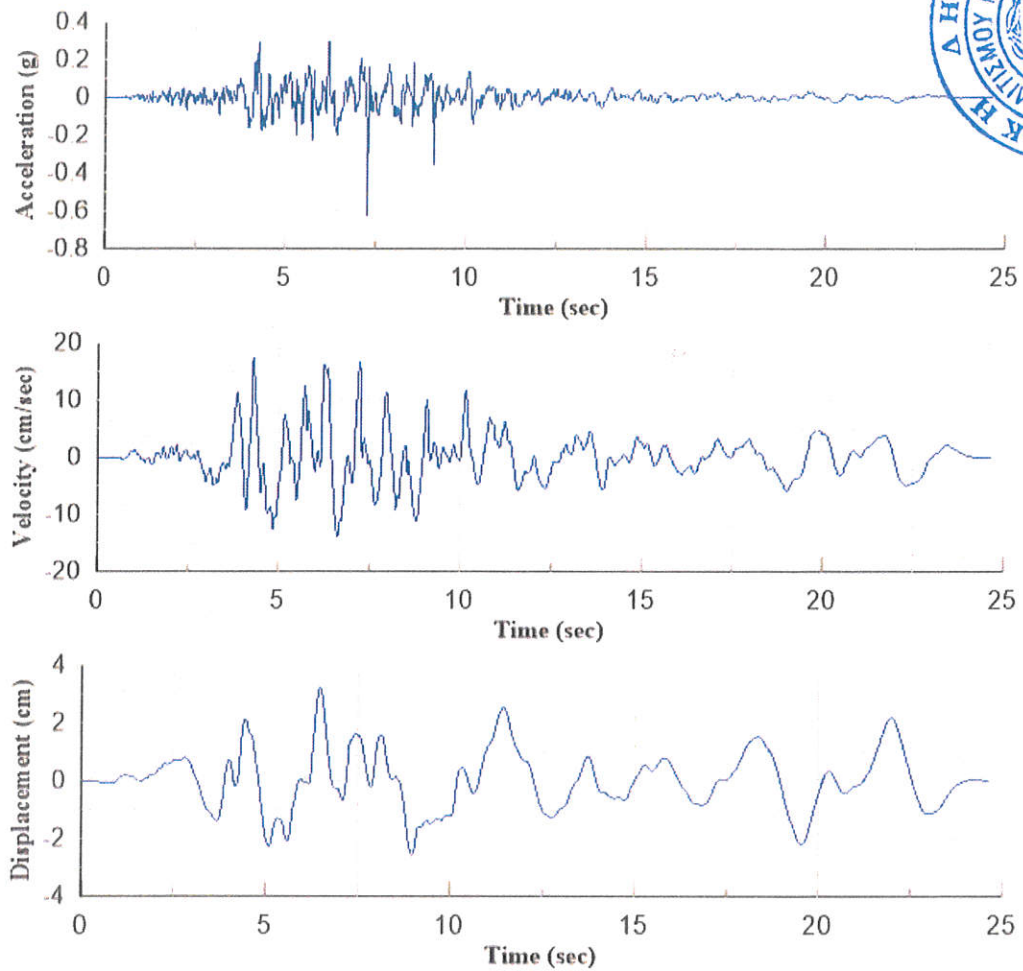
Εικόνα Β.5: Καταγραφή 231 - χρονοϊστορίες επιτάχυνσης, ταχύτητας και μετατόπισης – διαμήκης διεύθυνση.



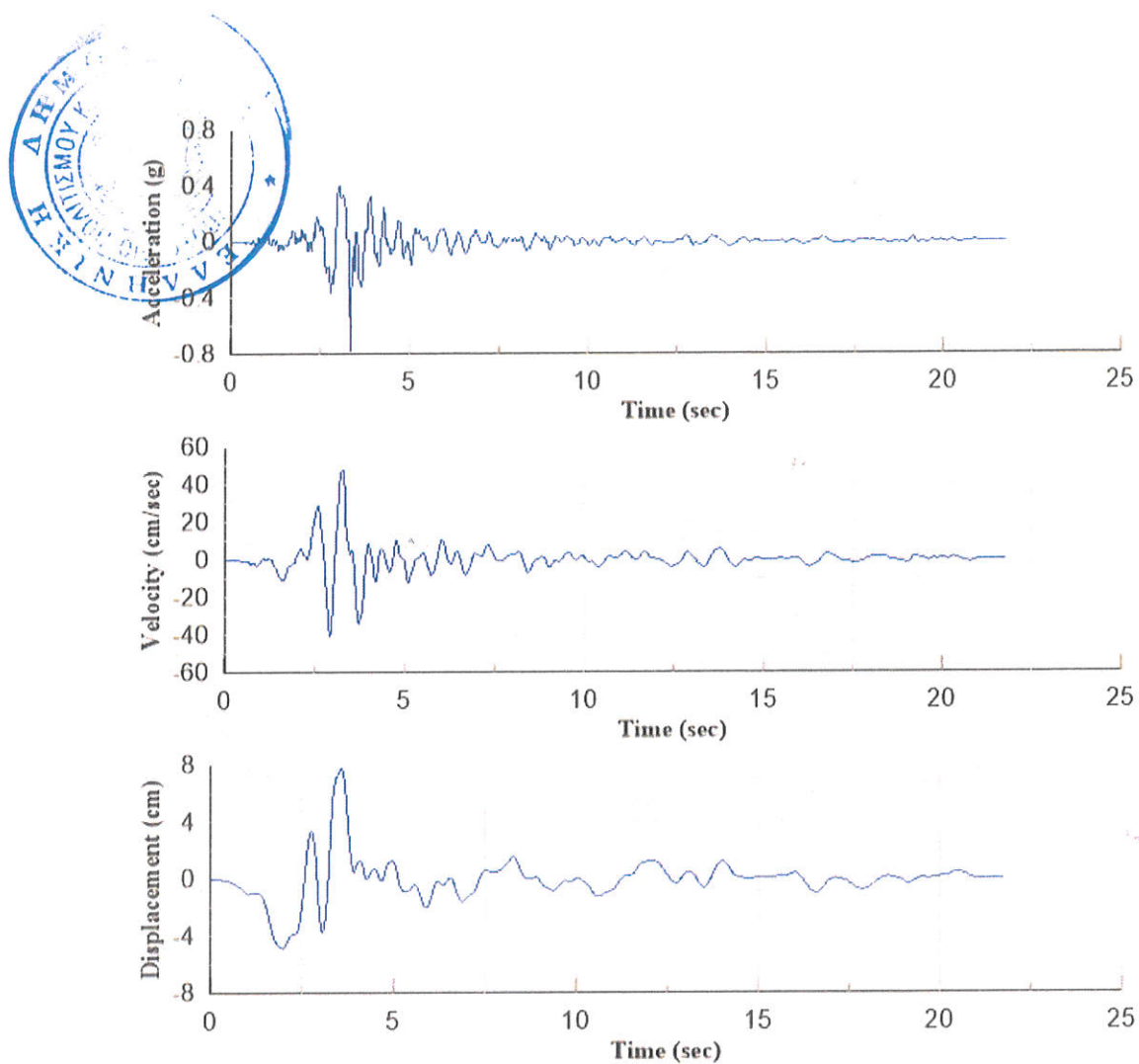
Εικόνα Β.6: Καταγραφή 231 - χρονοϊστορίες επιτάχυνσης, ταχύτητας και μετατόπισης - εγκάρσια διεύθυνση.



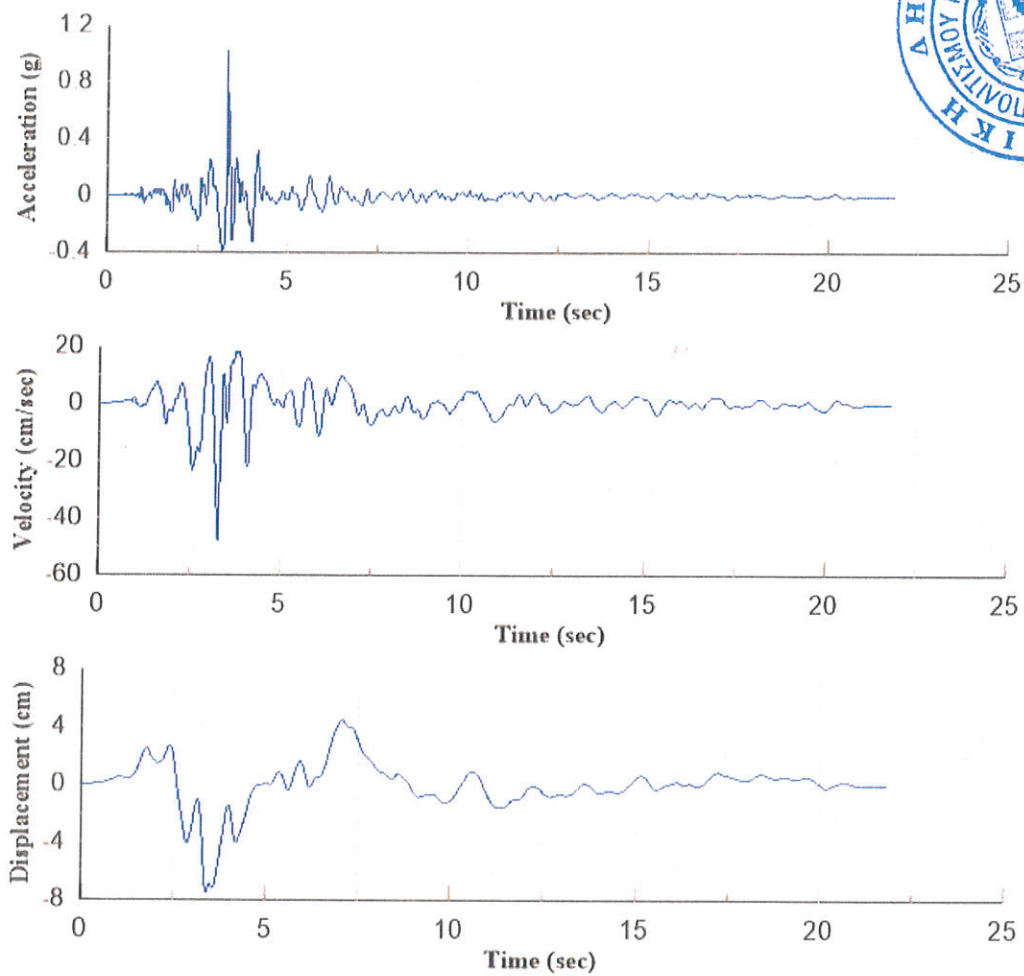
Εικόνα Β.7: Καταγραφή 265 - χρονοϊστορίες επιτάχυνσης, ταχύτητας και μετατόπισης – διαμήκης διεύθυνση.



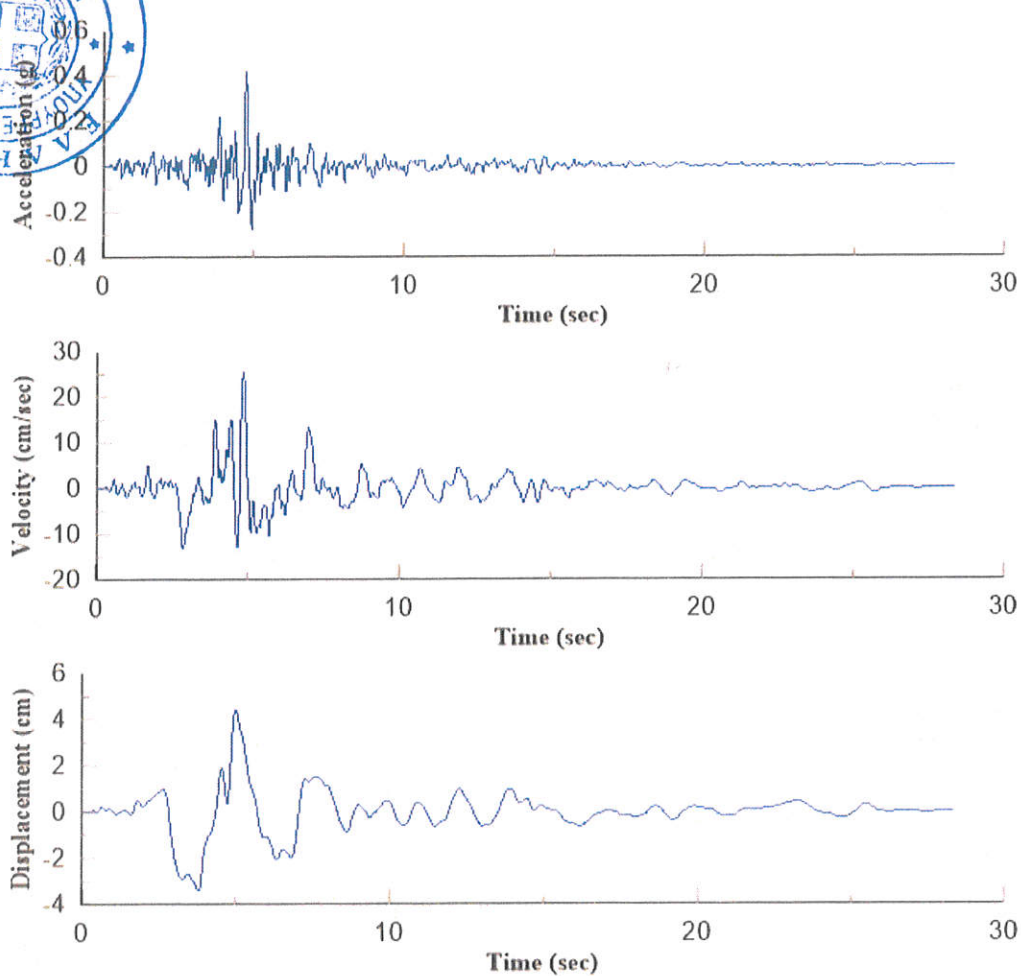
Εικόνα Β.8: Καταγραφή 265 - χρονοϊστορίες επιτάχυνσης, ταχύτητας και μετατόπισης - εγκάρσια διεύθυνση.



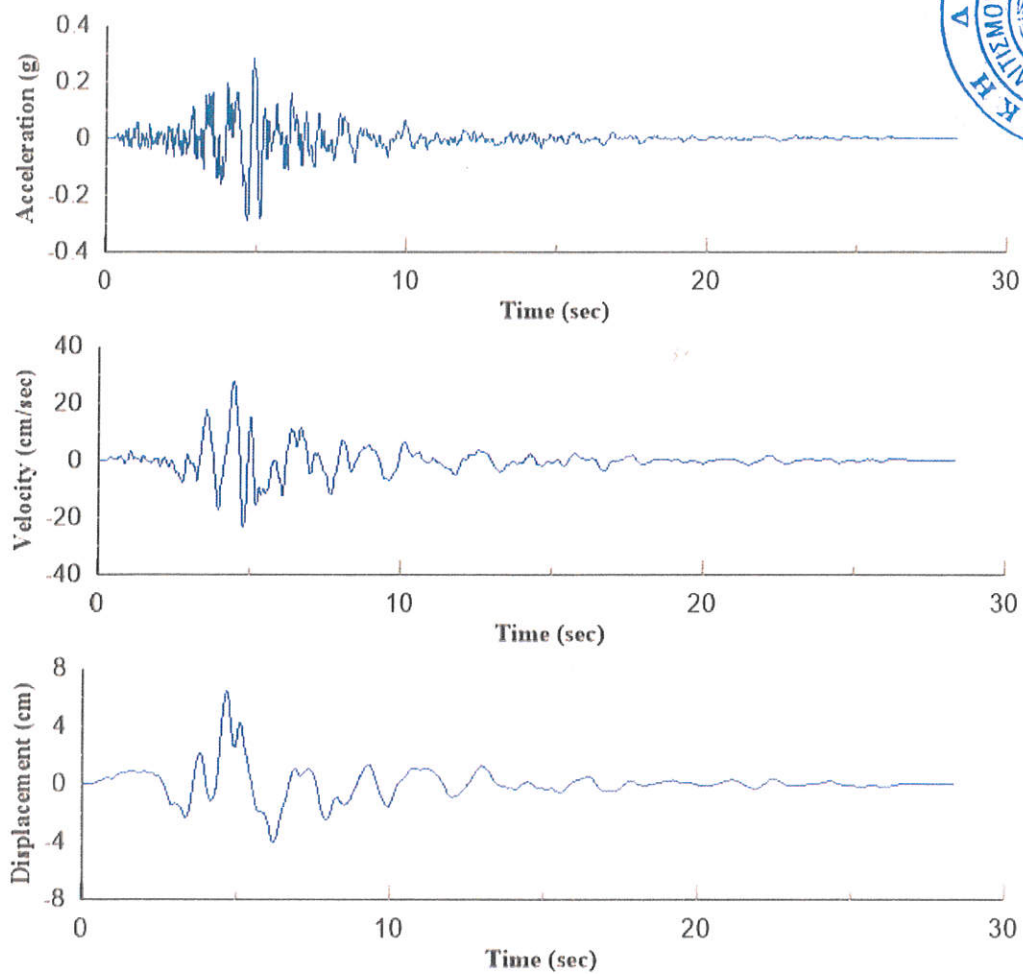
Εικόνα Β.9: Καταγραφή 415 - χρονοϊστορίες επιτάχυνσης, ταχύτητας και μετατόπισης - διαμήκης διεύθυνση.



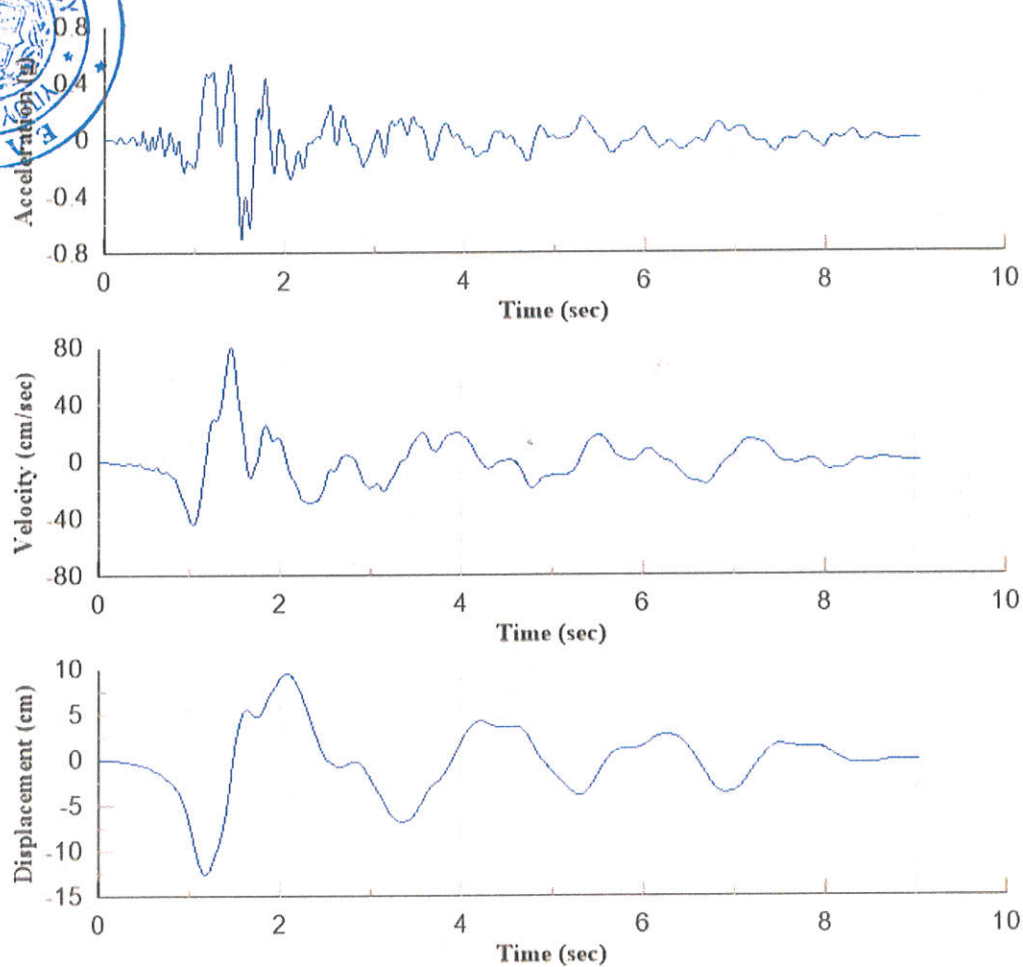
Εικόνα Β.10: Καταγραφή 415 - χρονοϊστορίες επιτάχυνσης, ταχύτητας και μετατόπισης – εγκάρσια διεύθυνση.



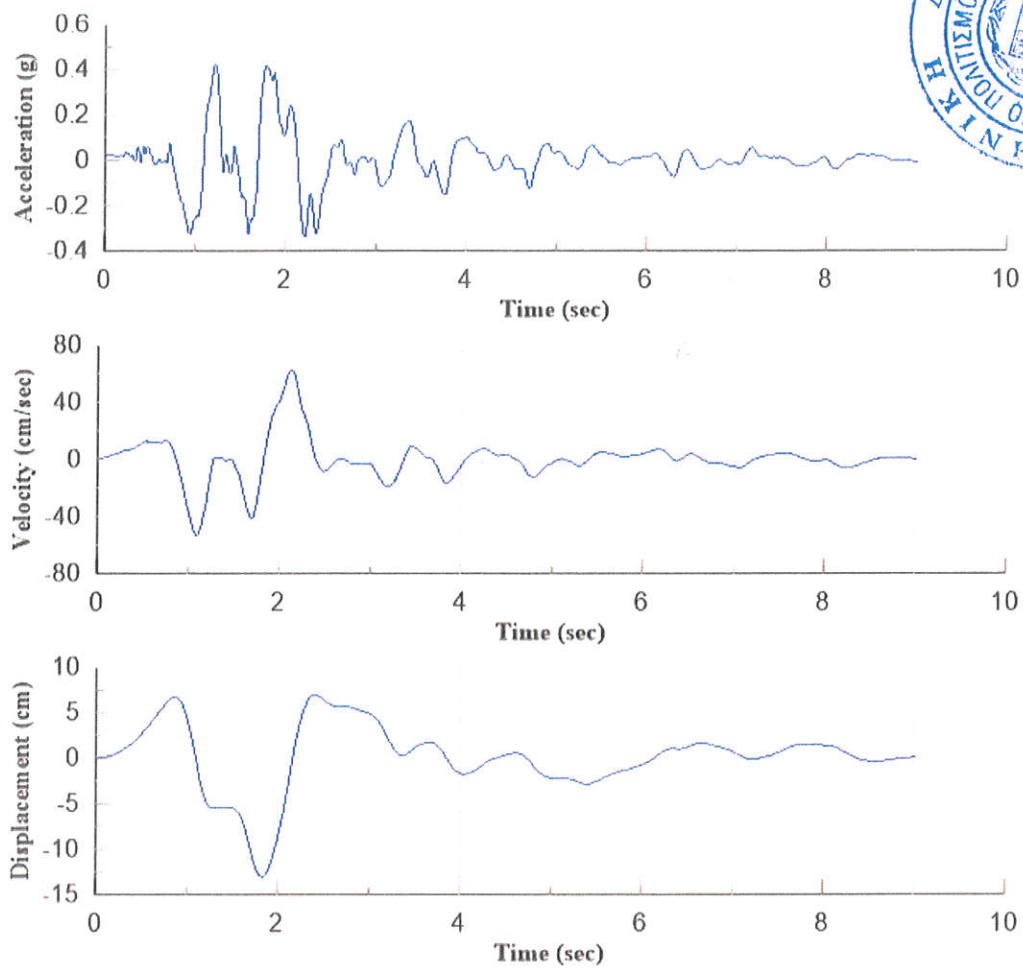
Εικόνα Β.11: Καταγραφή 448 - χρονοϊστορίες επιτάχυνσης, ταχύτητας και μετατόπισης – διαμήκης διεύθυνση.



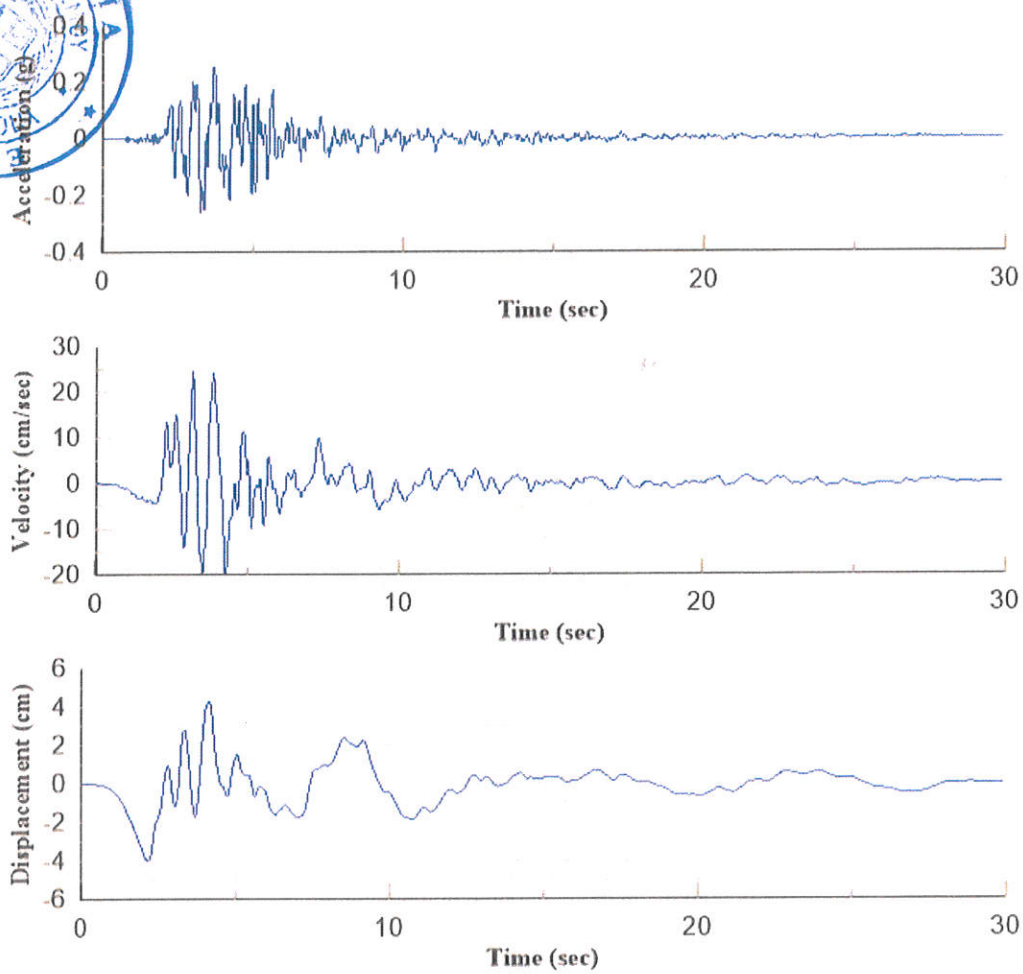
Εικόνα Β.12: Καταγραφή 448 - χρονοϊστορίες επιτάχυνσης, ταχύτητας και μετατόπισης – εγκάρσια διεύθυνση.



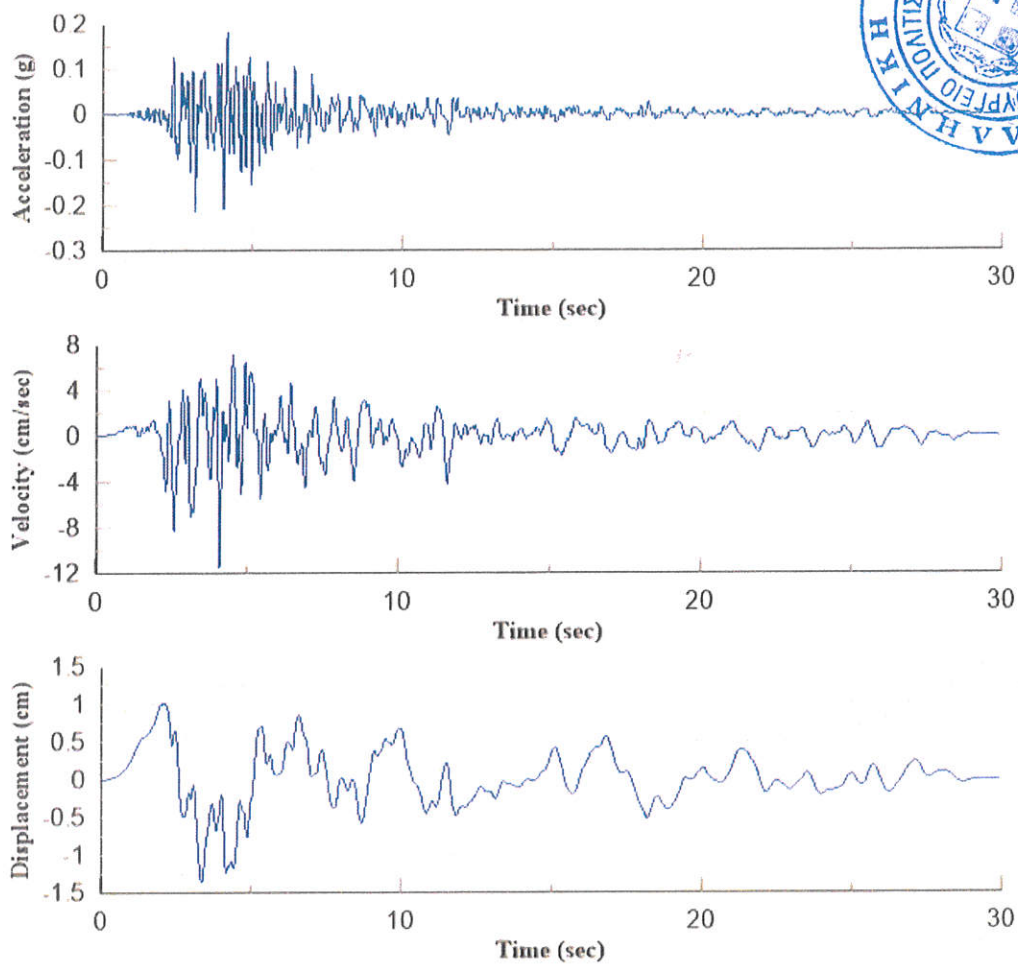
Εικόνα Β.13: Καταγραφή 568 - χρονοϊστορίες επιτάχυνσης, ταχύτητας και μετατόπισης – διαμήκης διεύθυνση.



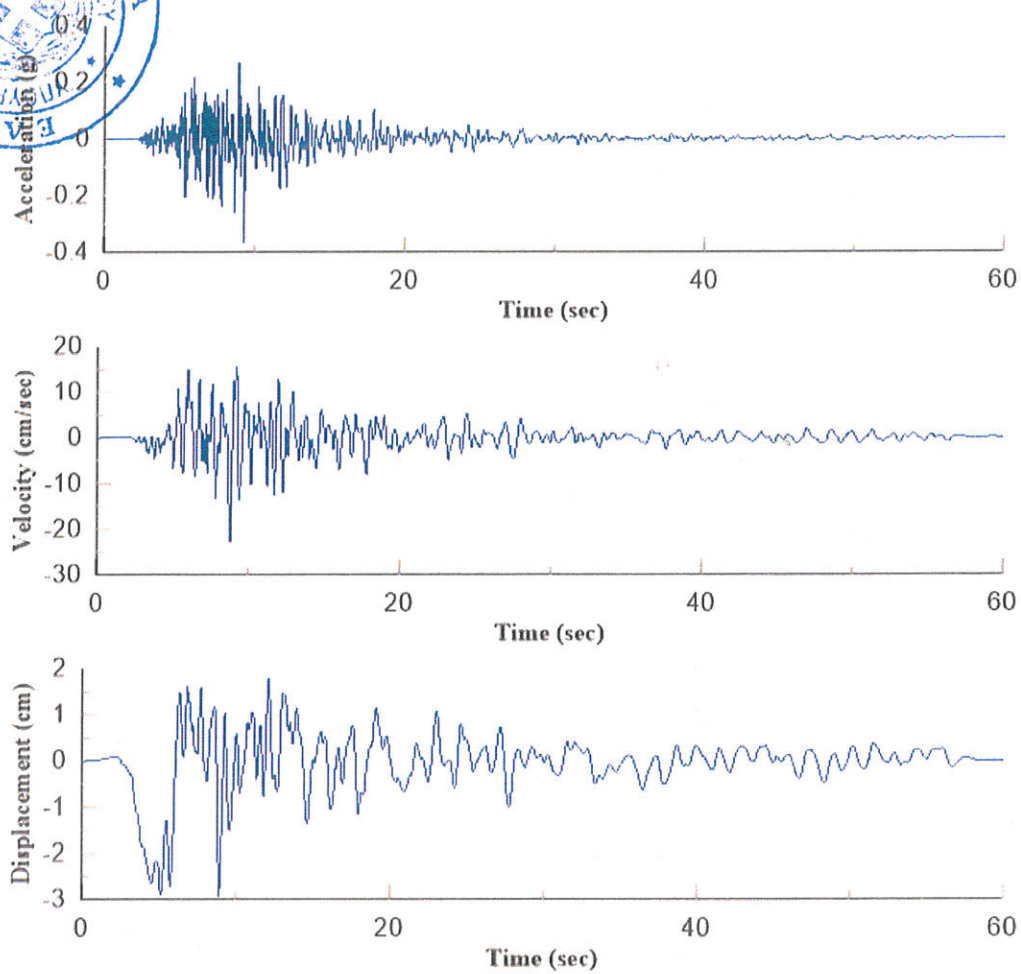
Εικόνα Β.14: Καταγραφή 568 - χρονοϊστορίες επιτάχυνσης, ταχύτητας και μετατόπισης – εγκάρσια διεύθυνση.



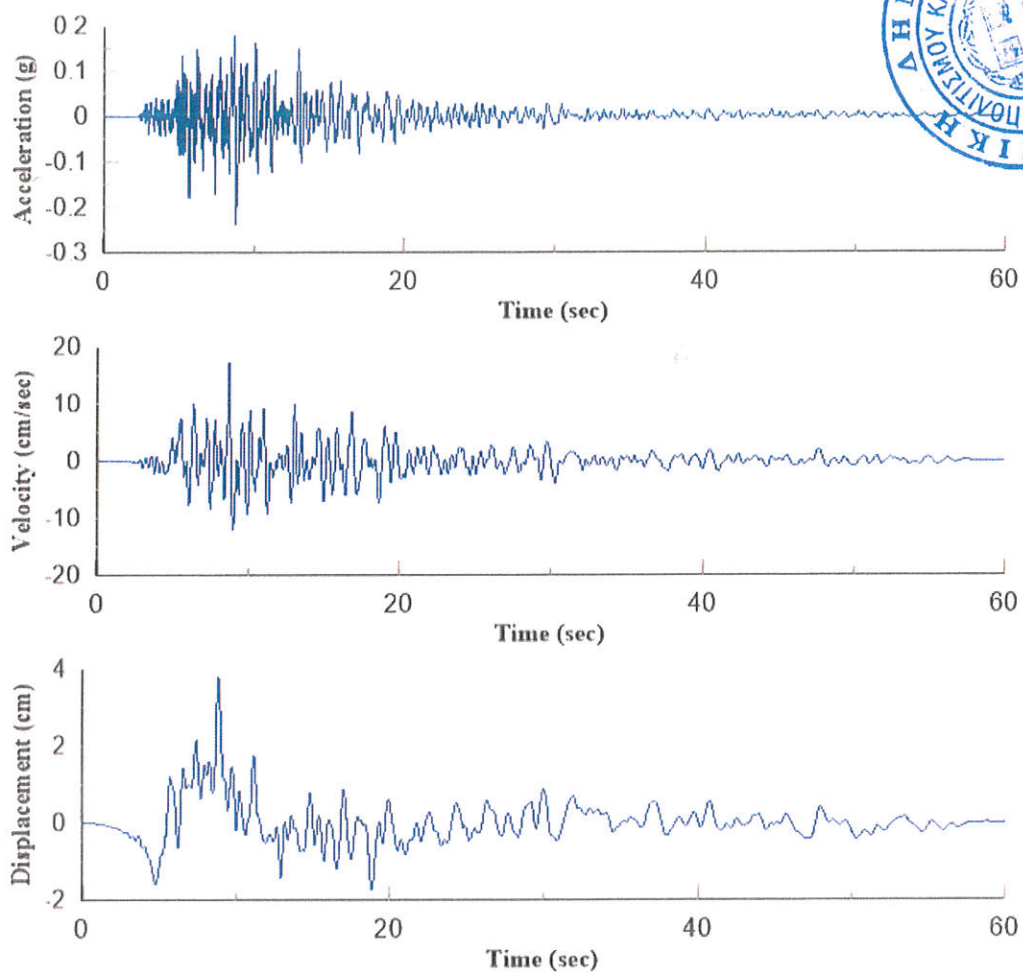
Εικόνα Β.15: Καταγραφή 690 - χρονοϊστορίες επιτάχυνσης, ταχύτητας και μετατόπισης - διαμήκης διεύθυνση.



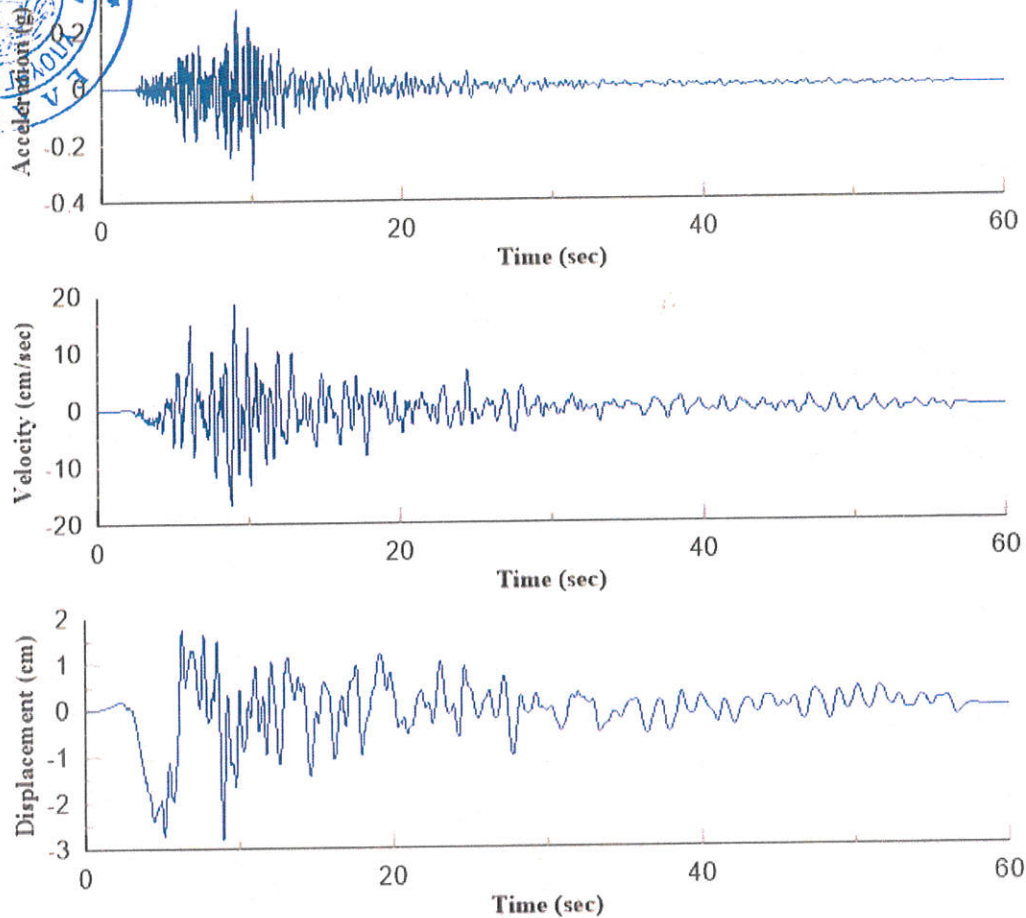
Εικόνα Β.16: Καταγραφή 690 - χρονοϊστορίες επιτάχυνσης, ταχύτητας και μετατόπισης – εγκάρσια διεύθυνση.



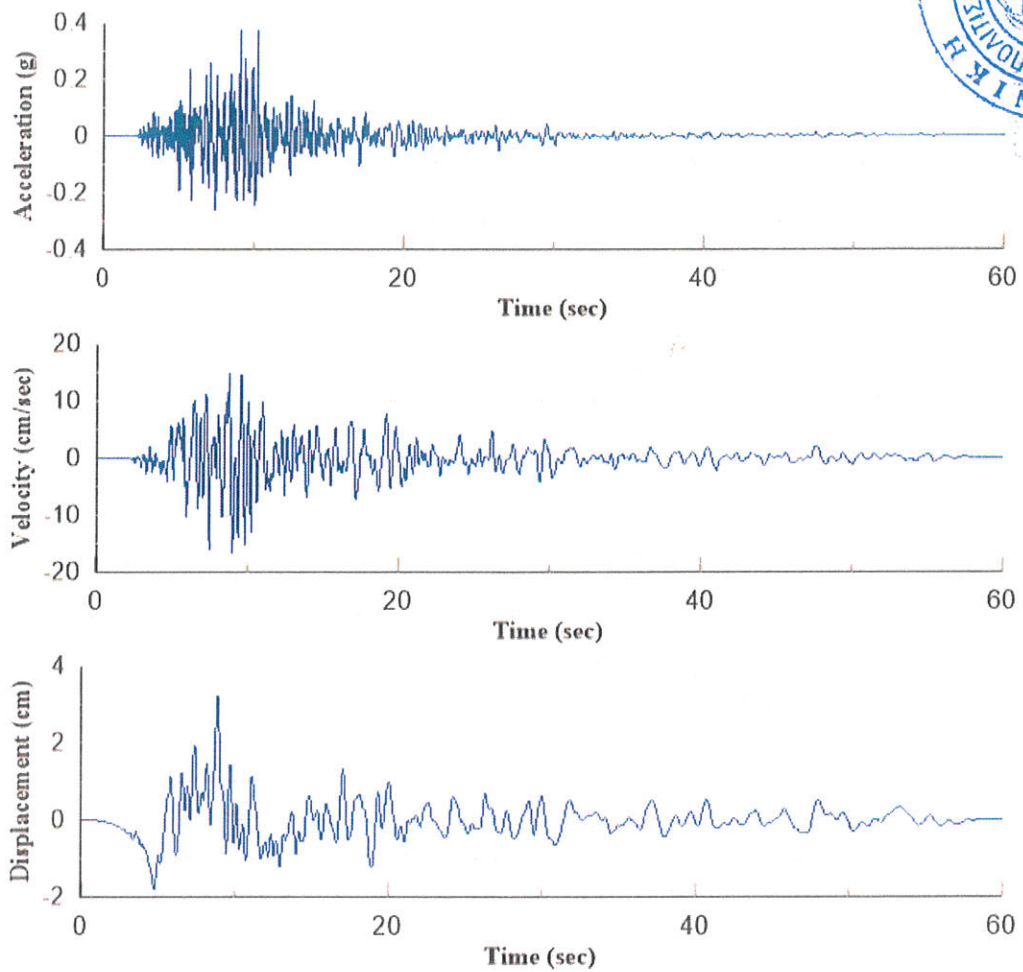
Εικόνα Β.17: Καταγραφή 4141 - χρονοϊστορίες επιτάχυνσης, ταχύτητας και μετατόπισης – διαμήκης διεύθυνση.



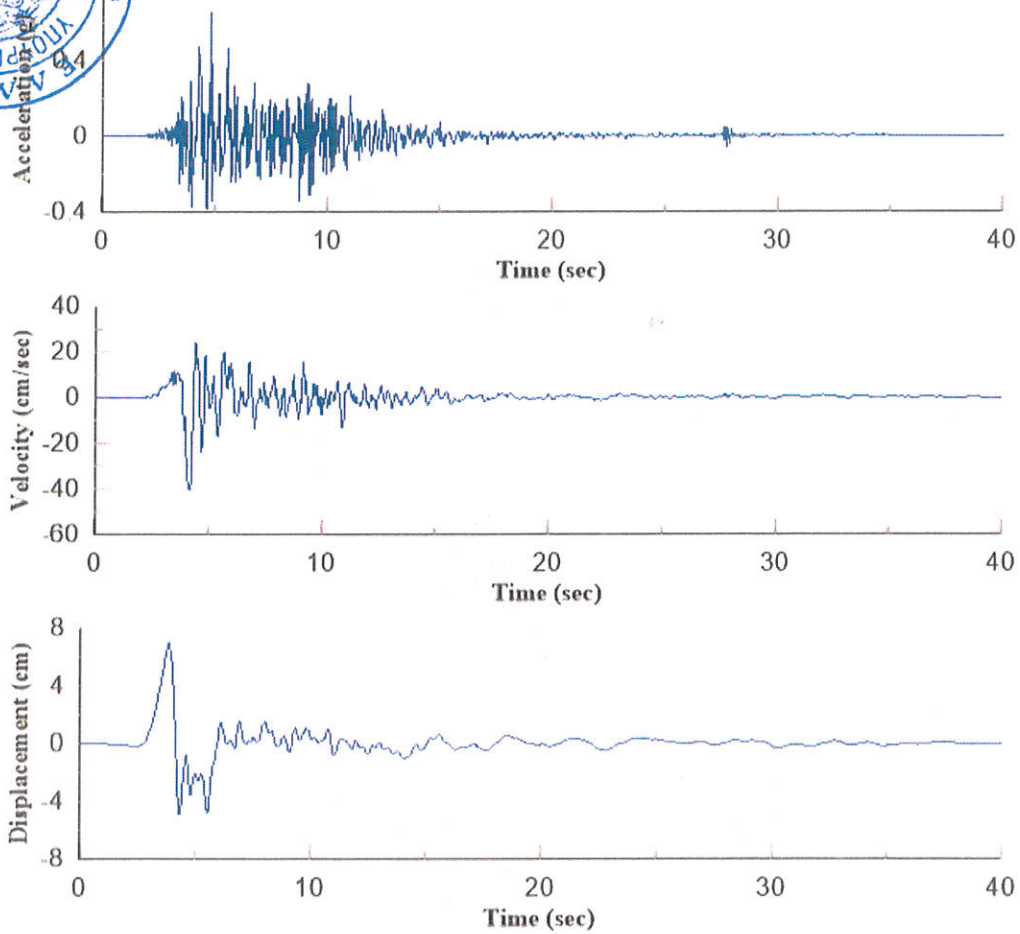
Εικόνα Β.18: Καταγραφή 4141 - χρονοϊστορίες επιτάχυνσης, ταχύτητας και μετατόπισης – εγκάρσια διεύθυνση.



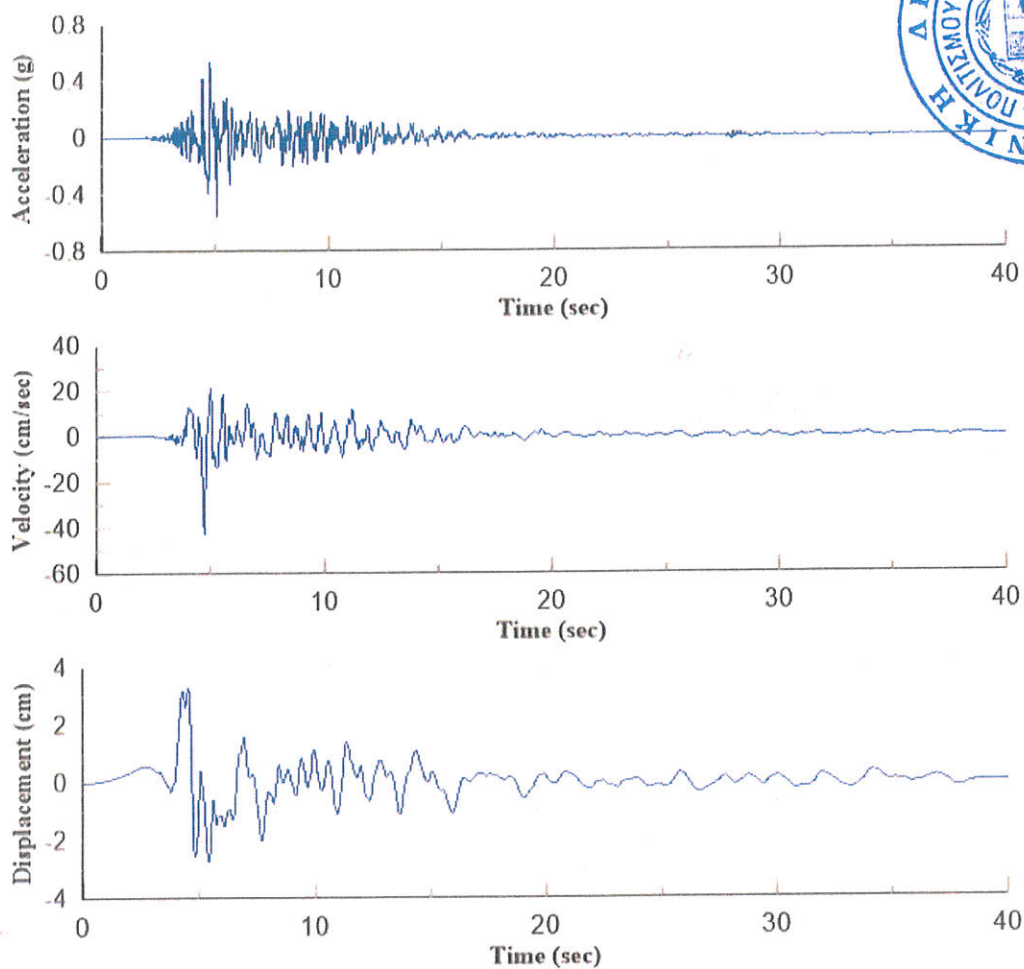
Εικόνα Β.19: Καταγραφή 4143 - χρονοϊστορίες επιτάχυνσης, ταχύτητας και μετατόπισης – διαμήκης διεύθυνση.



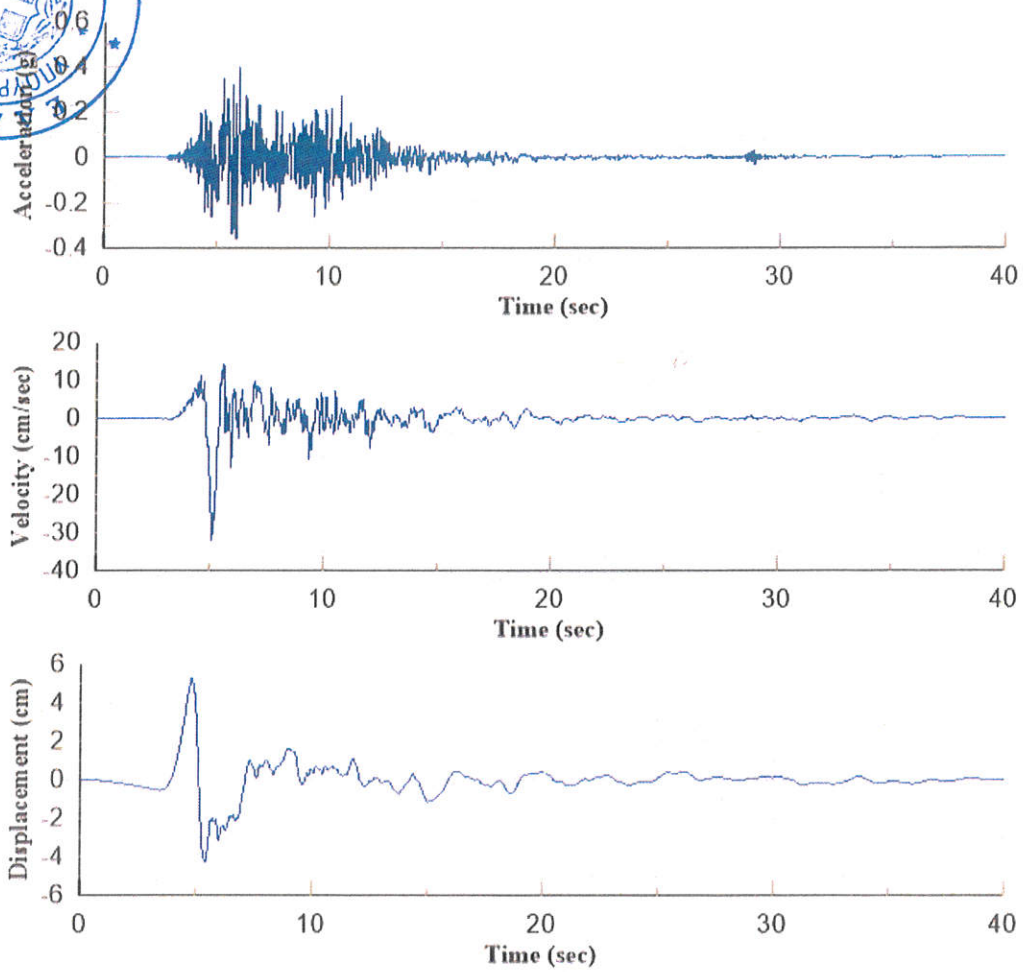
Εικόνα Β.20: Καταγραφή 4143 - χρονοϊστορίες επιτάχυνσης, ταχύτητας και μετατόπισης – εγκάρσια διεύθυνση.



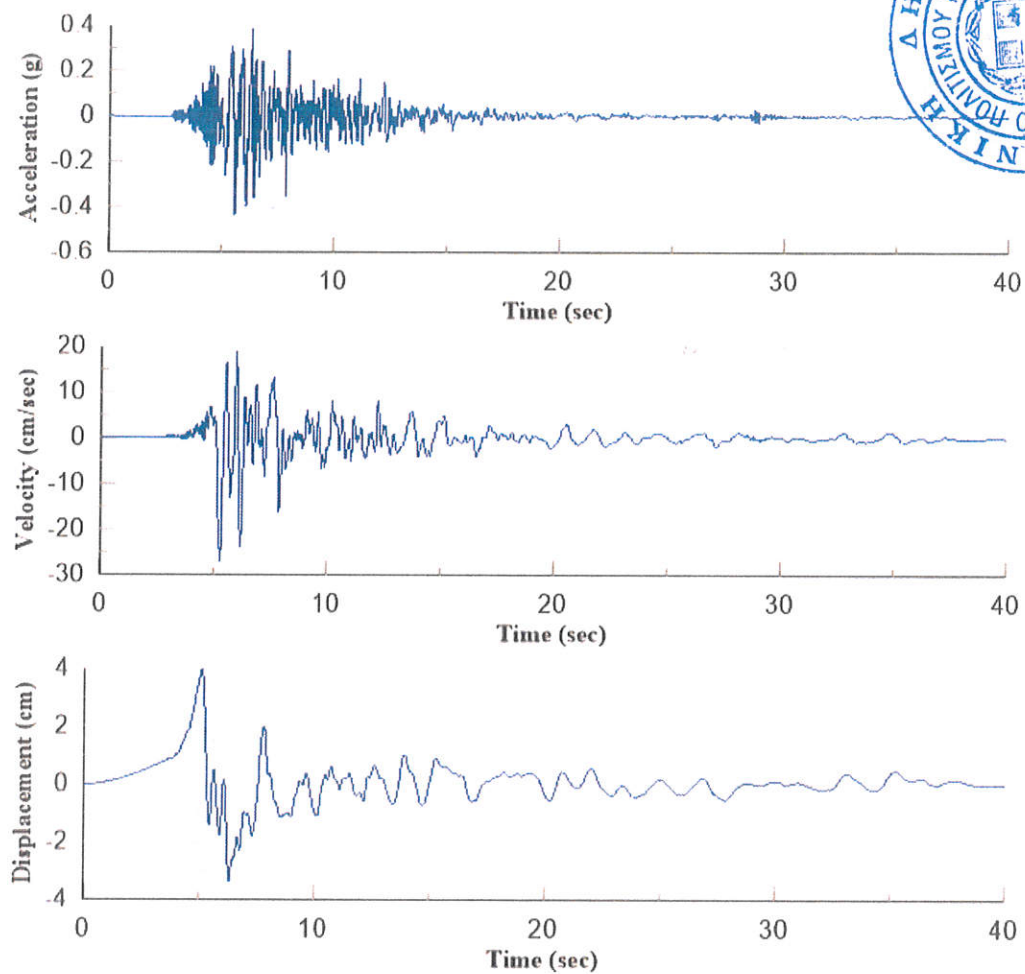
Εικόνα Β.21: Καταγραφή 4480 - χρονοϊστορίες επιτάχυνσης, ταχύτητας και μετατόπισης - διαμήκης διεύθυνση.



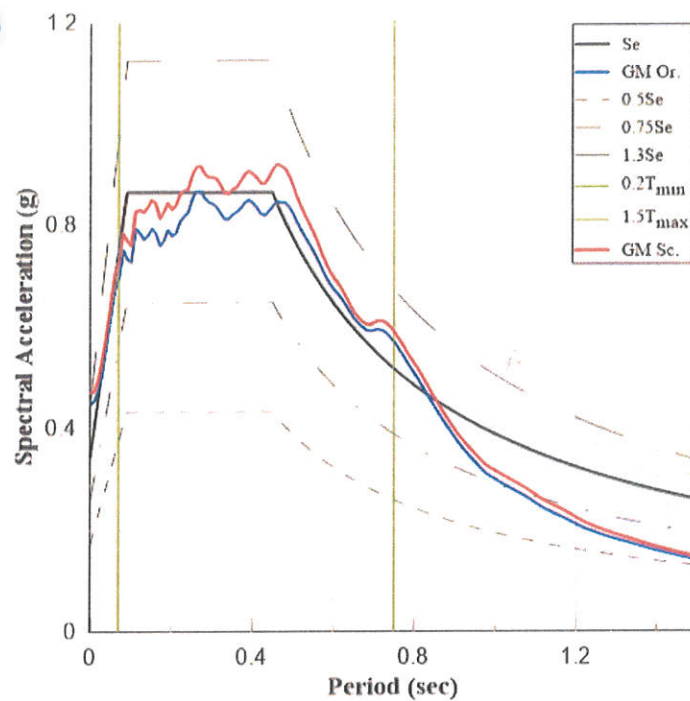
Εικόνα Β.22: Καταγραφή 4480 - χρονοϊστορίες επιτάχυνσης, ταχύτητας και μετατόπισης – εγκάρσια διεύθυνση.



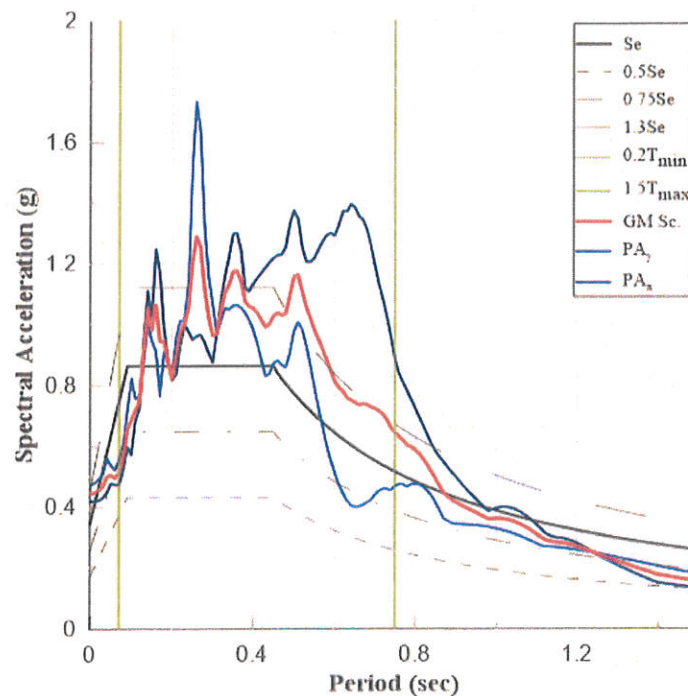
Εικόνα Β.23: Καταγραφή 4482 - χρονοϊστορίες επιτάχυνσης, ταχύτητας και μετατόπισης – διαμήκης διεύθυνση.



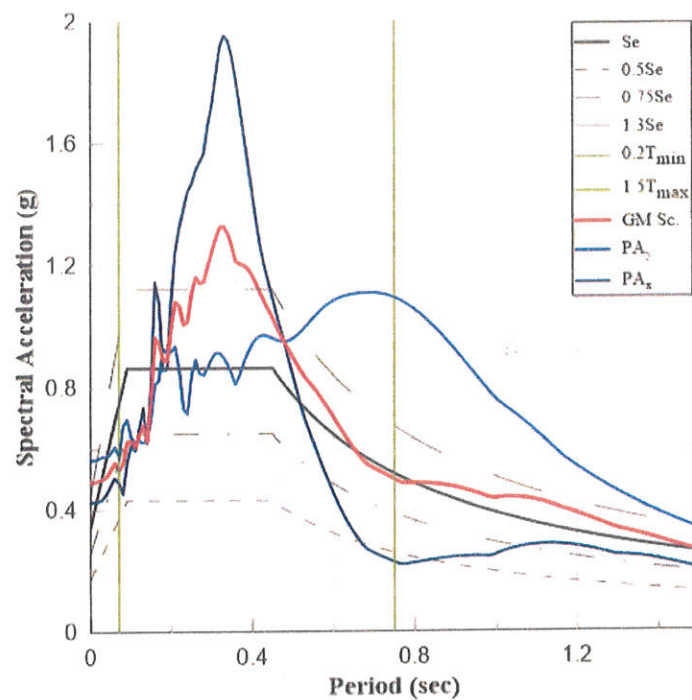
Εικόνα Β.24: Καταγραφή 4482 - χρονοϊστορίες επιτάχυνσης, ταχύτητας και μετατόπισης – εγκάρσια διεύθυνση.



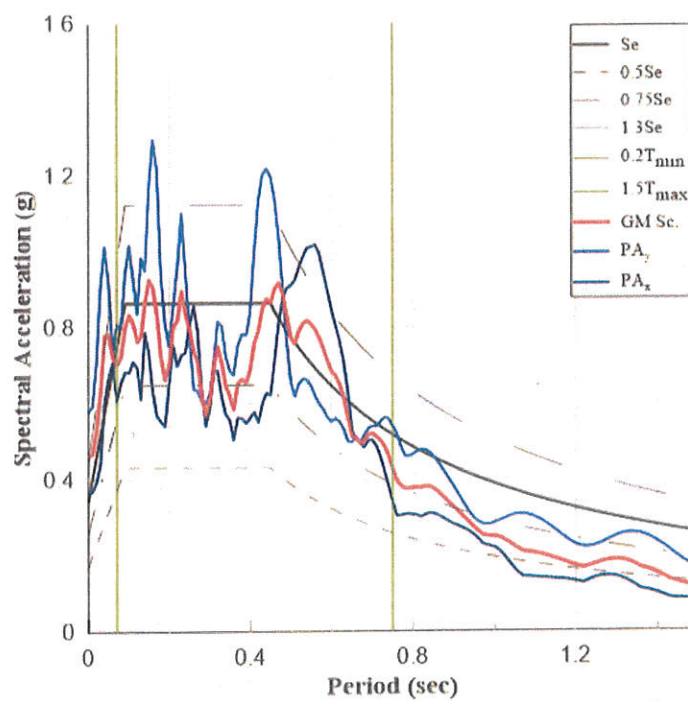
Εικόνα Β.25: Σύγκριση φασμάτων επιτάχυνσης (Se, 0.5Se, 0.75Se, 1.30Se, GM Or. και GM Sc.). Η μπλε γραμμή απεικονίζει το μέσο φάσμα των γεωμετρικών μέσων των αρχικών φασμάτων για το σύνολο των 12 επιλεγθέντων καταγραφών, η κόκκινη απεικονίζει το μέσο φάσμα των γεωμετρικών μέσων των επαυξημένων φασμάτων μέσω των συντελεστών κλιμάκωσης για το σύνολο των 12 καταγραφών και η μαύρη το στοχευόμενο φάσμα με πιθανότητα υπέρβασης 10% στα 50 χρόνια.



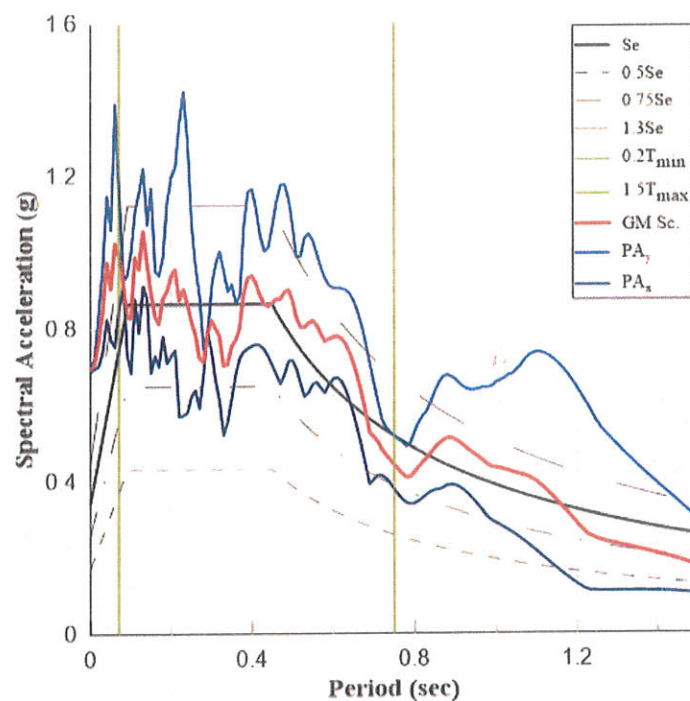
Εικόνα Β.26: Καταγραφή 125 - σύγκριση φασμάτων επιτάχυνσης (Se, 0.5Se, 0.75Se, 1.30Se, PA_x , PA_y και GM Sc.).



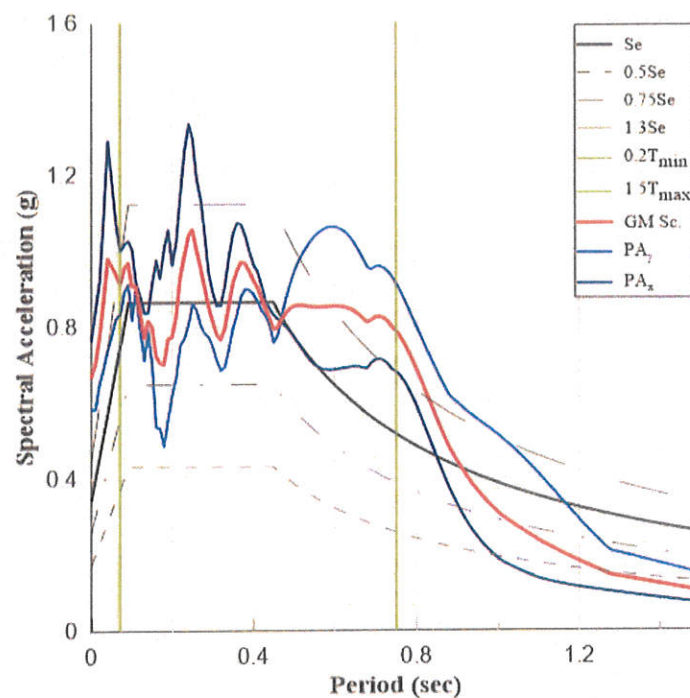
Εικόνα Β.27: Καταγραφή 150 - σύγκριση φασμάτων επιτάχυνσης (Se, 0.5Se, 0.75Se, 1.30Se, PA_x, PA_y και GM Sc.).



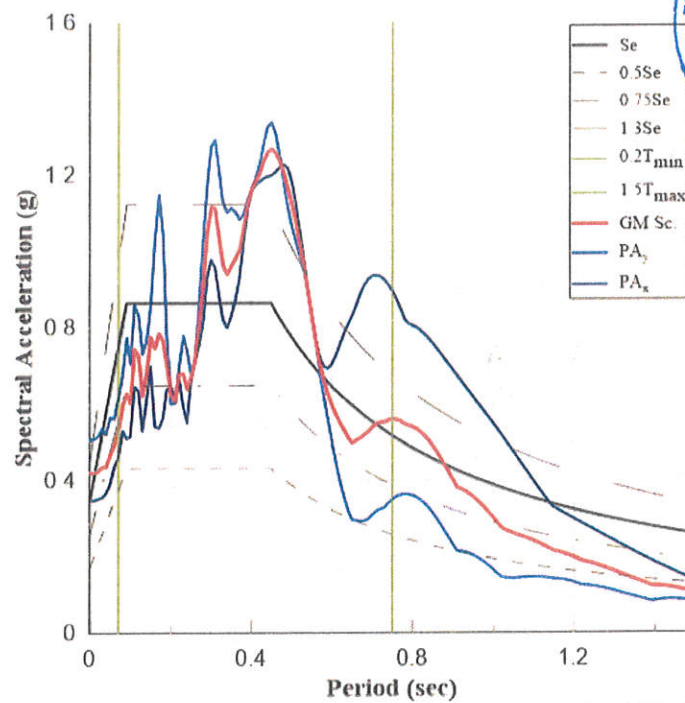
Εικόνα Β.28: Καταγραφή 231 - σύγκριση φασμάτων επιτάχυνσης (Se, 0.5Se, 0.75Se, 1.30Se, PA_x, PA_y και GM Sc.).



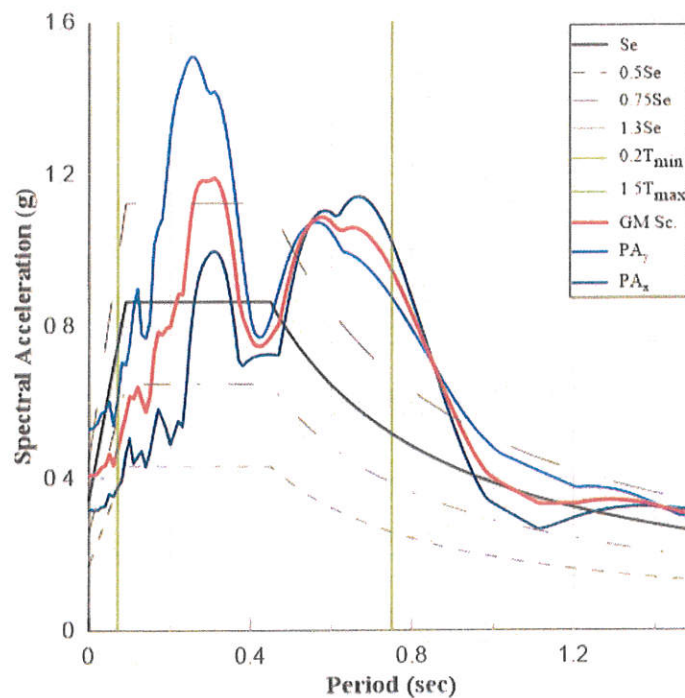
Εικόνα Β.29: Καταγραφή 265 - σύγκριση φασμάτων επιτάχυνσης (Se, 0.5Se, 0.75Se, 1.30Se, PA_x, PA_y και GM Sc.).



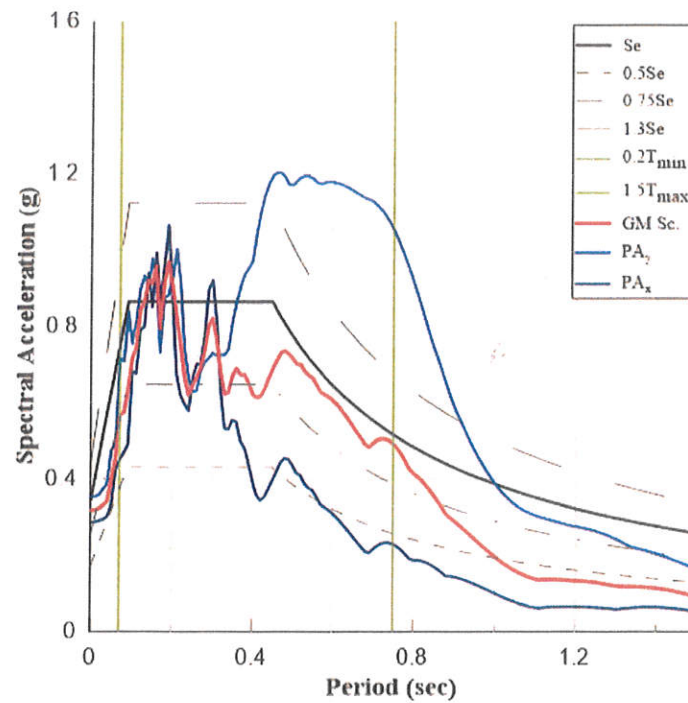
Εικόνα Β.30: Καταγραφή 415 - σύγκριση φασμάτων επιτάχυνσης (Se, 0.5Se, 0.75Se, 1.30Se, PA_x, PA_y και GM Sc.).



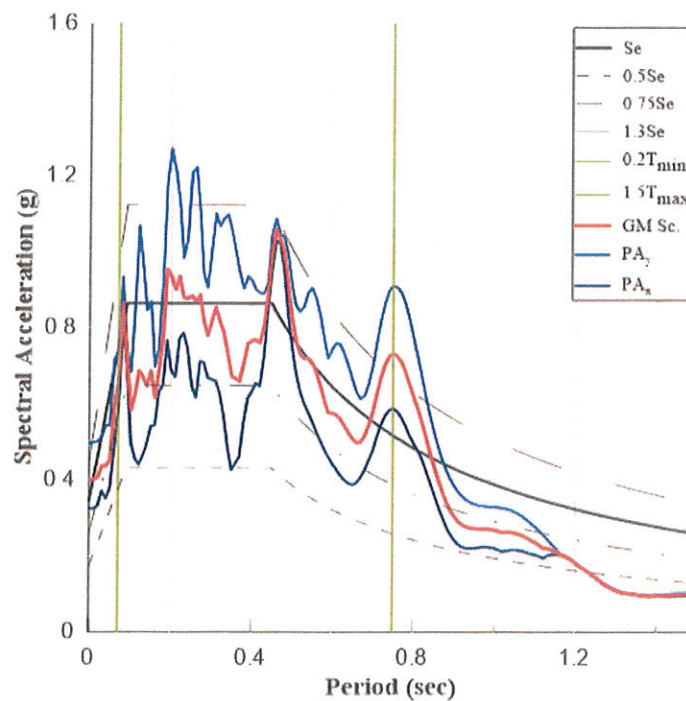
Εικόνα Β.31: Καταγραφή 448 - σύγκριση φασμάτων επιτάχυνσης (Se, 0.5Se, 0.75Se, 1.30Se, PA_x, PA_y και GM Sc.).



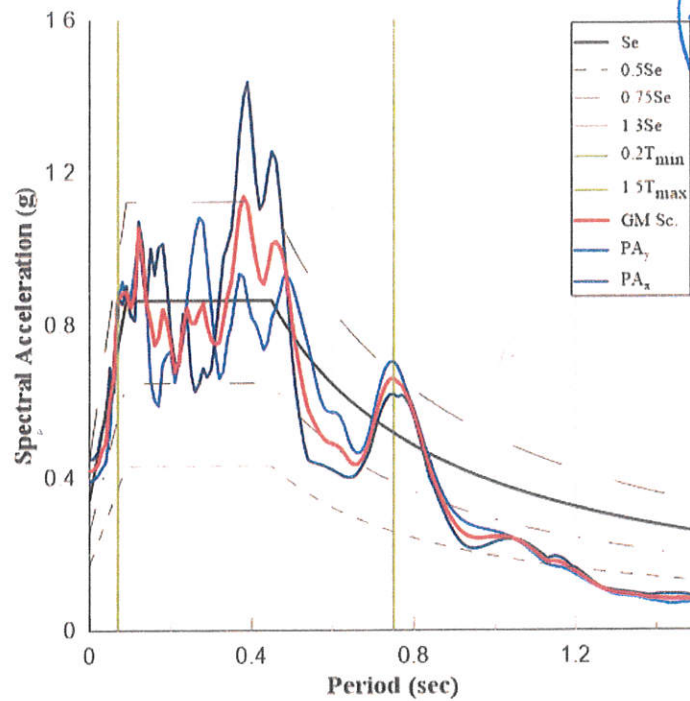
Εικόνα Β.32: Καταγραφή 568 - σύγκριση φασμάτων επιτάχυνσης (Se, 0.5Se, 0.75Se, 1.30Se, PA_x, PA_y και GM Sc.).



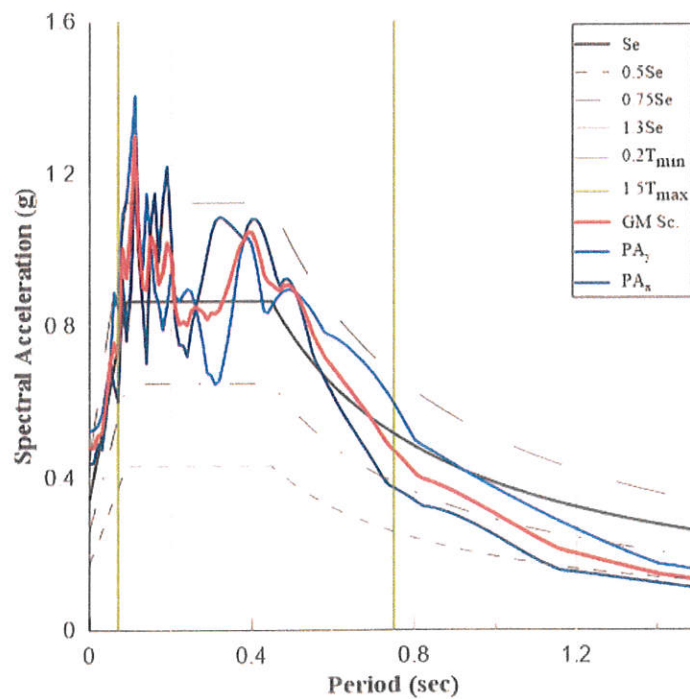
Εικόνα B.33: Καταγραφή 690 - σύγκριση φασμάτων επιτάχυνσης (Se, 0.5Se, 0.75Se, 1.30Se, PA_x , PA_y και GM Sc.).



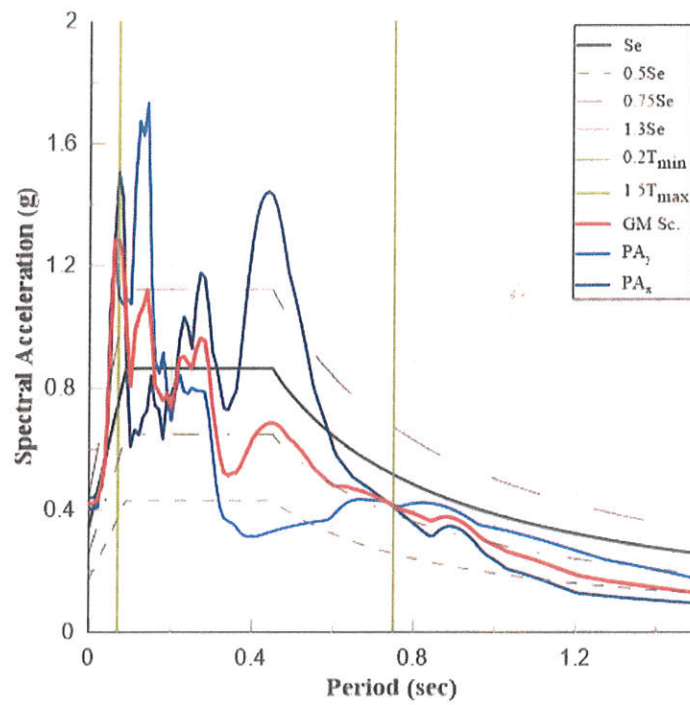
Εικόνα B.34: Καταγραφή 4141 - σύγκριση φασμάτων επιτάχυνσης (Se, 0.5Se, 0.75Se, 1.30Se, PA_x , PA_y και GM Sc.).



Εικόνα B.35: Καταγραφή 4143 - σύγκριση φασμάτων επιτάχυνσης (Se, 0.5Se, 0.75Se, 1.30Se, PA_x , PA_y και GM Sc.).



Εικόνα B.36: Καταγραφή 4480 - σύγκριση φασμάτων επιτάχυνσης (Se, 0.5Se, 0.75Se, 1.30Se, PA_x , PA_y και GM Sc.).



Εικόνα Β.37: Καταγραφή 4482 - σύγκριση φασμάτων επιτάχυνσης (Se, 0.5Se, 0.75Se, 1.30Se, PA_x , PA_y και GM Se.).

Αθήνα, Οκτώβριος 2021



Οι συντάξαντες μηχανικοί

Ιωάννης Ταφλαμπάς
Δρ. Πολιτικός Μηχανικός Ε.Μ.Π.

Κωνσταντίνα Μαστροδήμου
Πολιτικός Μηχανικός, Υπ. Διδ. Ε.Μ.Π.

Το παρόν σχέδιο συνοδεύει
την με αριθ. πρωτ. 334848/12-7-22
ΥΠ.ΠΟ.Α./ΓΔΑΜΤΕ/ΔΑΒΜΜ...../.....

Απόφαση.

Σ Προϊστάμενος της ΔΑΒΜΜ



Θεοδόκης Βλαχούλης
Αρχιτέκτων Μηχανικός με Α' βαθμό

