



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΔΟΜΟΣΤΑΤΙΚΗΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

Διπλωματική Εργασία

**Αξιολόγηση της Απόκρισης Μεταλλικού Πλαισίου
σε Σεισμούς Κοντινού Πεδίου
με Χρήση Κυματιδίων**

Diploma Thesis

**Evaluation of the Response of a Metal Frame subjected
to Near-Fault Seismic Ground Motions
by applying Wavelet Analysis**

Ελένη Κρεμμύδα

Επιβλέπων Καθηγητής : Μ.Φραγκιαδάκης, Καθηγητής Ε.Μ.Π

Συνεπιβλέπων: Ι. Ταφλαμπάς, Dr. Πολιτικός Μηχανικός

Αθήνα, Μάρτιος 2018

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ολοκληρώνοντας αυτή την εργασία, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή μου, κ. Μιχαηλ Φραγκιαδάκη για την καθοδήγηση του και το ενδιαφέρον που έδειξε όλο αυτό τον καιρό.

Επίσης, θερμές ευχαριστίες θα ήθελα να απευθύνω στον συνεπιβλέπων καθηγητή κ. Ιωάννη Ταφλαμπά για το ουσιαστικό ενδιαφέρον του και τις πολύτιμες συμβουλές του κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της εργασίας.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ στον επιστημονικό συνεργάτη του εργαστηρίου αντισεισμικής κ. Δημήτρη Χιώτη για την βοήθεια του σε ότι προβλήματα ή απορίες είχα σχετικά με τα λογισμικά που χρησιμοποιήθηκαν στην εργασία.

Να ευχαριστήσω ακόμα την οικογένεια μου, τους γονείς Ανθούλα και Γιώργο και τις αδερφές μου, Κατερίνα, Ελεάνα και Κωνσταντίνα, για τη στήριξη που μου έδειξαν σε όλη τη διάρκεια των σπουδών μου και που χωρίς αυτή δεν θα μπορούσα να τα καταφέρω.

Τέλος ένα τεράστιο ευχαριστώ στους παιδικούς μου φίλους Ιωάννα, Κωνσταντίνο, Μάρθα και Χριστίνα που είναι δίπλα μου όλα αυτά τα χρόνια και με στηρίζουν, καθώς και στους συμφοιτητές και πολύ καλούς μου φίλους Άννα, Βιβή Δ, Βιβή Θ, Μαριέττα, Νίκη, Γιώργο, Χρήστο. Και τον Άκη.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η μελέτη ενός σεισμικού γεγονότος έχει σκοπό την αναγνώριση και την εκτίμηση των χαρακτηριστικών του εδάφους, αλλά και της απόκρισης των κατασκευών. Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό που παρουσιάζει μεγάλο ενδιαφέρον για τους μηχανικούς είναι οι μετακινήσεις που μπορεί να υποστεί μια κατασκευή από έναν σεισμό και σαν συνέπεια και οι κινήσεις του εδάφους. Κοντά στην περιοχή του ρήγματος οι εδαφικές κινήσεις είναι ιδιαίτερα έντονες, αφού επηρεάζονται από το μηχανισμό διάρρηξης και τα φαινόμενα κατευθυντικότητας. Προκειμένου να εκτιμηθούν οι κινήσεις αυτές, τα τελευταία χρόνια οι μελέτες των ερευνητών έχουν κατευθυνθεί στον προσδιορισμό των σημαντικών παλμών μιας διέγερση κοντινού πεδίου, μέσω των οποίων θα μπορεί να περιγραφεί οποιαδήποτε χρονοιστορία.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία μελετάται η απόκριση ενός μεταλλικού πλαισίου σε σεισμούς κοντινού πεδίου με χρήση της ανάλυσης κυματιδίων. Σύμφωνα με τον ορισμό, η περιοχή στην οποία επικεντρώνονται οι βλάβες κατά την διάρκεια ενός σεισμού είναι συνήθως συγκεντρωμένη γύρω από το ρήγμα και ονομάζεται κοντινό πεδίο (*near fault area*). Στη συνέχεια, περιγράφεται το φαινόμενο και τα είδη της κατευθυντικότητας (*rupture directivity*) καθώς και ο τρόπος που επηρεάζει τα χαρακτηριστικά της απόκρισης σε σεισμούς κοντινού πεδίου. Γίνεται, επίσης, μια εκτεταμένη αναφορά στην ανάλυση με κυματίδια, καθώς σύμφωνα με έρευνες, κάποιες από τις απλοποιημένες μορφές παλμών που βρίσκονται στη χρονοιστορία ταχυτήτων μπορούν να απεικονίσουν τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά της απόκρισης κατασκευών. Στον προσδιορισμό των σημαντικών παλμών είναι ιδιαίτερα χρήσιμος ο χαρακτηρισμός των καταγραφών ως παλμικές ή μη, που προτάθηκε από τον *Baker*. Ακόμη, παρουσιάζεται η μέθοδος ταξινόμησης που χρησιμοποιείται στην εργασία αυτή, όπως προτάθηκε από τους ερευνητές (*P. Mimoglou, I. Psycharis, I. Taflampas, 2014*), στην οποία οι σημαντικοί παλμοί μιας εδαφικής κίνησης εξάγονται μέσω κυματικής ανάλυσης και η μαθηματική περιγραφή τους γίνεται με το κυματίδιο που χρησιμοποιούν στις έρευνές τους οι (*Mavroeidis and Papageorgiou, 2003*).

Όσον αφορά την ανάλυση του μεταλλικού πλαισίου, υλοποιείται χρησιμοποιώντας το λογισμικό *SAP*. Συγκεκριμένα, πραγματοποιούνται η *Ιδιομορφική Ανάλυση*, η *Ανελαστική Στατική Ανάλυση* και η *Δυναμική Ανελαστική Ανάλυση*. Επιβάλλονται στο φορέα 49 καταγραφές κοντινού πεδίου και προκύπτουν οι χρονοιστορίες μετακινήσεων, ταχυτήτων και επιταχύνσεων, για το κέντρο μάζας της ανώτερης στάθμης. Στη συνέχεια, οι χρονοιστορίες ταχυτήτων και επιταχύνσεων εισάγονται στο λογισμικό του *Seismosignal*, με σκοπό την *ανάλυση Fourier*. Τέλος, εκτελείται η ανάλυση κυματιδίων για τις χρονοϊστορίες ταχυτήτων, δια μέσω του υπολογιστικού κώδικα *CROSS5NEW-5*, ο οποίος αποτελεί εφαρμογή της μεθοδολογίας των (*Mimoglou et al, 2004*). Με αυτό τον τρόπο προκύπτουν τα 6 πιο σημαντικά κυματίδια και απ'το άθροισμά τους, μια νέα χρονοιστορία ταχυτήτων.

ABSTRACT

The study of a seismic event aims to identify and evaluate the characteristics of the soil, as well as the response of the structures. An important feature of great interest to engineers is the displacement that an earthquake can undergo as a consequence of ground motions. Near the fault area, the ground motions are particularly intense, since they are affected by the rupture mechanism and directivity effects. Last years, in order to evaluate these movements, researchers' studies have been directed to the identification of significant pulses of a near field stimulation, through which would be possible the description of any time-history chart.

This diploma thesis studies the response of a metal frame to near-fault seismic ground motions by applying wavelet analysis. At first, there is the definition of the near fault area, according to which, the area in which the damage is concentrated during an earthquake, is usually gathered around the fault and is called *near field area*. An extremely significant characteristic of it, is the appearance of a predominant pulse in ground velocity time history, which is resulted due to directivity effects. Then, it is described the phenomenon and the types of rupture directivity as well as how it affects the characteristics of the response to near fault earthquakes. There is also a widespread reference to wavelet analysis due to the fact that some of the simplified pulse patterns found in the velocity time history, can depict the most important features of the construction response. Furthermore, a quantitative classification for the recorded ground motions by *Baker* is presented, who via wavelet analysis introduced a process for the mathematical description of ground motions and a categorization of them in “*pulse-like*” or “*non-pulse-like*”. In this thesis, it is also presented, a new classification method, suggested by the researchers (*P. Mimoglou, I. Psycharis, I. Taflampas, 2014*), in which the significant pulses of a ground motion are exported through wavelet analysis, while the mathematical presentation of the pulse is described by the wavelet used by (*Mavroeidis and Papageorgiou, 2003*).

According to the analysis of the metal frame, implemented using the *SAP* software. In particular, *Eigenvalue analysis, Anelastic Static Analysis and Dynamic Anelastic Analysis* were performed. There were imposed 49 near field recordings and as a result came out the acceleration, velocity and displacement time histories for the upper level mass center. Subsequently, the velocity and acceleration time histories are introduced into the *Seismosignal* software in order to accomplish the Fourier analysis. Finally, the wavelet analysis for velocity time histories implemented, through the computational code *CROSS5NEW-5*, which is an application of the methodology of (*Mimoglou et al., 2004*). In this way the 6 most important wavelets derived and their summation consist of a new velocity time history.

ΔΙΑΡΘΡΩΣΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ

Η ενότητα αυτή παρουσιάζει τη διάταξη των κεφαλαίων της διπλωματικής εργασίας, δίνοντας μία συνοπτική εικόνα για το περιεχόμενο τους.

Κεφάλαιο 1

Το πρώτο κεφάλαιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας έχει ως στόχο την εξοικείωση του αναγνώστη με την έννοια και τα χαρακτηριστικά των σεισμών κοντινού πεδίου. Σε αυτό περιγράφονται επίσης, δύο μέθοδοι προσομοίωσης των εδαφικών κινήσεων με παλμό κατευθυντικότητας, χρησιμοποιώντας την ανάλυση κυματιδίων, οι οποίες προτάθηκαν από τους George P. Manroeidis & Parageorgiou (2003) και Baker (2007). Ο τελευταίος, διευκολύνει την προσομοίωση αυτή, ταξινομώντας αρχικά τις χρονοιστορίες σε παλμικές ή μη.

Κεφάλαιο 2

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζεται η μεθοδολογία που προτάθηκε από τους Mimoglou et al. (2014), η οποία αφορά τον εντοπισμό των σημαντικών παλμών μιας καταγραφής κοντινού πεδίου. Η μέθοδος αυτή, βασίζεται στη μαθηματική έκφραση που εισήχθη από τους George P. Manroeidis & Parageorgiou (2003) και χρησιμοποιεί το σύνθετο κυματίδιο *M&P* για την αναπαράσταση του παλμού της ταχύτητας. Ακόμη, περιγράφονται οι παράμετροι του κυματιδίου και γίνεται ο προσδιορισμός των περιόδων των σημαντικών παλμών.

Κεφάλαιο 3

Στη συνέχεια, στο κεφάλαιο 3 περιλαμβάνεται η περιγραφή του υπό εξέταση φορέα, ο οποίος είναι ένα μεταλλικό δώροφο πλαίσιο με μεταβλητές διατομές στο δοκάρι του ισογείου και η προσομοίωσή του στο λογισμικό SAP 2000. Η παρουσίαση της προσομοίωσης ξεκινά με την περιγραφή των υλικών, των διατομών και των φορτίων. Στη συνέχεια, παρατίθενται οι παραδοχές σχεδιασμού και περιγράφονται τα βήματα που ακολουθούνται για την εισαγωγή του φορέα στο πρόγραμμα.

Κεφάλαιο 4

Ακολουθεί το κεφάλαιο 4, στο οποίο περιγράφεται η διαδικασία ανάλυσης του μοντέλου στο λογισμικό. Συγκεκριμένα, πραγματοποιούνται η Ιδιομορφική Ανάλυση, η Ανελαστική Στατική Ανάλυση και η Δυναμική Ανελαστική Ανάλυση.

Κεφάλαιο 5

Αργότερα, στο κεφάλαιο 5 παρουσιάζεται η ανάλυση των χρονοϊστοριών ταχυτήτων και επιταχύνσεων στο λογισμικό Seismosignal, με στόχο την ανάλυση Fourier. Οι χρονοϊστορίες αυτές, έχουν προκύψει από την Δυναμική Ανελαστική Ανάλυση που πραγματοποιήθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο. Ακολουθεί η ανάλυση κυματιδίων για την προσέγγιση της χρονοϊστορίας ενός σήματος. Στην παρούσα εργασία η ανάλυση κυματιδίων έγινε μόνο για τις χρονοϊστορίες ταχυτήτων, δια μέσω του υπολογιστικού κώδικα CROSS5NEW-5 που αποτελεί εφαρμογή της μεθοδολογίας των Mimoglou et al, 2004.

Κεφάλαιο 6

Στο έκτο και τελευταίο κεφάλαιο, παρουσιάζονται τα συμπεράσματα της εργασίας συνοδευόμενα από χαρακτηριστικά σχήματα.

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ

<u>Εικόνα 1.1</u> : Διευθύνσεις ανάπτυξης των διαφορετικών τύπων κατευθυντικότητας.....	17
<u>Εικόνα 1.2</u> : Σχηματική απεικόνιση της συμβολής των παλμών των διατμητικών κυμάτων στην κατεύθυνση της διάρρηξης (έμπροσθεν κατευθυντικότητα) και της παράθεσης των παλμών στην αντίθετη κατεύθυνση (όπισθεν κατευθυντικότητα) (Benioff, 1955)	18
<u>Εικόνα 1.3</u> : Σχηματικό διάγραμμα επίδρασης της κατευθυντικότητας της διάρρηξης για οριζόντιο ρήγμα ολίσθησης. Η διάρρηξη αρχίζει στο υπόκεντρο και διαδίδεται με ταχύτητα περίπου ίση με το 80% της ταχύτητας των διατμητικών κυμάτων. Η εικόνα παρουσιάζει ένα στιγμιότυπο του μετώπου της ρήξης σε μία δεδομένη χρονική στιγμή (Somerville, Smith, Graves, & Abrahamson, 1997).....	18
<u>Εικόνα 1.4</u> : Αποτελέσματα της κατευθυντικότητας της διάρρηξης στις καταγεγραμμένες ιστορίες μετακινήσεων του σεισμού του Loma Prieta του 1989 για τις κάθετες (άνω) και τις παράλληλες (κάτω) στο ρήγμα συνιστώσες, EERI, 1995.....	19
<u>Εικόνα 1.5</u> : Σχηματικό διάγραμμα των προσανατολισμών της παραμένουσας μετακίνησης και του παλμού κατευθυντικότητας για ρήγμα οριζόντιας ολίσθησης και ρήγμα κεκλιμένης ολίσθησης.....	20
<u>Εικόνα 1.6</u> : Χρονοϊστορίες για ρήγμα οριζόντιας ολίσθησης και ρήγμα κατακόρυφης βύθισης στο οποίο η παραμένουσα μετακίνηση και ο παλμός κατευθυντικότητας παρουσιάζονται μαζί και χωριστά.....	21
<u>Εικόνα 1.7</u> : Παράμετροι που σχετίζονται με την διάρρηξη και καθορίζουν το εύρος στα φαινόμενα της πρόσω κατευθυντικότητας (Somerville et al, 1997).....	22
<u>Εικόνα 1.8</u> : Επίπτωση των παραμέτρων της διάρρηξης στην φασματική μεγέθυνση σε σχέση με συνήθεις καταγραφές (Somerville et al, 1997).....	22
<u>Εικόνα 1.9</u> : Απλοποιημένες μορφές παλμών κατευθυντικότητας.....	23
<u>Εικόνα 1.10</u> : Καθορισμός περιόδου παλμού από την ιστορία της ταχύτητας (Rodriguez-Marek, 2000).....	25
<u>Εικόνα 1.11</u> : α)Σχέσεις διάφορων μοντέλων για την περίοδο του παλμού, β)Σχέσεις υπολογισμού παλμού κατευθυντικότητας για διαφορετικές κατηγορίες εδάφους (Rodriguez-Marek, 2000).....	26
<u>Εικόνα 1.12</u> : Πρότυπα μητρικά κυματίδια (Baker,2007).....	28
<u>Εικόνα 1.13</u> : Μετασχηματισμοί κυματιδίων (Baker 2007).....	29
<u>Εικόνα 1.14</u> : Μορφές ανάλυσης με κυματίδια κατά Baker.....	30
<u>Εικόνα 1.15</u> : Περιγραφή της διαδικασίας αφαίρεσης παλμού (Baker 2007).....	31
<u>Εικόνα 1.16</u> : Παλμός στην αρχή της ιστορίας. α,β) ιστορία ταχύτητας και παλμού, γ) CSV (Baker 2007).....	32
<u>Εικόνα 1.17</u> : Παλμός στο τέλος της ιστορίας. α,β)ιστορία ταχύτητας και παλμού, γ) CSV (Baker 2007).....	33
<u>Εικόνα 1.18</u> : Σύγκριση της κυματομορφής των Mavroeidis & Papageorgiou (2003) με το κυματίδιο Gabor. (a) κωδωνόσχημες περιβάλλουσες, (b) ημιτονικά σήματα, (c) συνδυασμοί των (a) και (b).....	34
<u>Εικόνα 1.19</u> : Προσομοίωση παλμού (Loma Prieta 1989 Station STG) ,(Mavroeidis and Papageorgiou, 2003).....	37
<u>Εικόνα 1.20</u> : Φάσμα Fourier παλμού με παράμετρο $\gamma=1$ (Mavroeidis and Papageorgiou, 2003).....	38
<u>Εικόνα 1.21</u> : Φάσματα μετακινήσεων και ταχυτήτων παλμού με παράμετρο $\gamma=1$ (Mavroeidis et al, 2004).....	38

<u>Εικόνα 2.1</u> : Σχέση μεταξύ της μέγιστης φασματικής μετακίνησης $S_{d,max}$ και CAD για κυματίδιο M&P και διάφορες τιμές γ και ν . (a) μηδενική απόσβεση (b) απόσβεση 5% (Mimoglou et al 2014).....	43
<u>Εικόνα 3.1</u> : Προσομοίωμα πλαισίου.....	48
<u>Εικόνα 3.2</u> : Πρότυπη διατομή.....	49
<u>Εικόνα 3.3</u> : Πίνακας δυνατών μορφών σχεδίασης του προγράμματος.	50
<u>Εικόνα 3.4</u> : Πίνακας χαρακτηριστικών υλικού.....	51
<u>Εικόνα 3.5</u> : Η προσομοίωση του μεταλλικού πλαισίου στο SAP.....	52
<u>Εικόνα 3.6</u> : Τρισδιάστατη μορφή των διατομών του μεταλλικού πλαισίου.....	53
<u>Εικόνα 3.7</u> : Δέσμευση βαθμών ελευθερίας στηρίζων.....	53
<u>Εικόνα 3.8</u> : Απελευθέρωση της στροφής περί τον άξονα 3-3 της δοκού.....	54
<u>Εικόνα 3.9</u> : Ανάθεση μόνιμων φορτίων στο φορέα (3t ανά όροφο).....	55
<u>Εικόνα 4.1</u> : Επιλογή Ανάλυσης του φορέα στο επίπεδο XZ.....	57
<u>Εικόνα 4.2</u> : Πρώτη ιδιομορφή και ιδιοπεριόδοι για 2t και 3t ανά όροφο αντιστοίχως.....	58
<u>Εικόνα 4.3</u> : Ορισμός φορτιστικής κατάστασης κατακόρυφων φορτίων.....	60
<u>Εικόνα 4.4</u> : Ορισμός ιδιοτήτων πλαστικής άρθρωσης στη δοκό.....	60
<u>Εικόνα 4.5</u> : Ορισμός ανελαστικής στατικής ανάλυσης (Pushover).....	61
<u>Εικόνα 4.6</u> : Η καμπύλη ικανότητας έτσι όπως προκύπτει απο το λογισμικό SAP (2 τόνοι ανα όροφο και σεισμό διπλής έντασης).....	62
<u>Εικόνα 4.7</u> : Εισαγωγή καταγραφών στο λογισμικό SAP.....	63
<u>Εικόνα 4.8</u> : Ιδεατή καμπύλη F-δ δομικού στοιχείου.....	68
<u>Εικόνα 4.9</u> : Διάγραμμα ροπής καμπυλότητας πλαστικής άρθρωσης.....	69
<u>Εικόνα 4.10</u> : α) Χρονοιστορία μετακινήσεων, β) ταχυτήτων και γ) επιταχύνσεων της απόκρισης της κατασκευής στο σημείο KM2 για το σεισμό No2.....	70
<u>Εικόνα 4.11</u> : α) Χρονοιστορία μετακινήσεων, β) ταχυτήτων και γ) επιταχύνσεων της απόκρισης της κατασκευής στο σημείο KM2 για το σεισμό No20.....	71
<u>Εικόνα 4.12</u> : α) Χρονοιστορία μετακινήσεων, β) ταχυτήτων και γ) επιταχύνσεων της απόκρισης της κατασκευής στο σημείο KM2 για το σεισμό No22.....	72
<u>Εικόνα 4.14</u> : α) Χρονοιστορία μετακινήσεων, β) ταχυτήτων και γ) επιταχύνσεων της απόκρισης της κατασκευής στο σημείο KM2 για το σεισμό No25.....	73
<u>Εικόνα 4.15</u> : α) Χρονοιστορία μετακινήσεων, β) ταχυτήτων και γ) επιταχύνσεων της απόκρισης της κατασκευής στο σημείο KM2 για το σεισμό No31.....	74
<u>Εικόνα 5.1</u> : Εισαγωγή δεδομένων στο Seismosignal.....	77
<u>Εικόνα 5.2</u> : Ανάλυση κυματιδίων στον κώδικα CROSS5NEW-5.....	78
<u>Εικόνα 6.1</u> : Φάσματα Fourier για τις χρονοιστορίες των επιταχύνσεων (αριστερά) και των ταχυτήτων (δεξιά).....	87
<u>Εικόνα 6.2</u> : Παράδειγμα χρονοιστορίας απόκρισης και παλμού που προέκυψε από τη μέθοδο του κυματιδίου.....	88
<u>Εικόνα 6.3</u> : Χρονοιστορίας μετακινήσεων απόκρισης για την παραπάνω περίπτωση.....	88
<u>Εικόνα 6.4</u> : Παράδειγμα (α) χρονοιστορίας ταχυτήτων απόκρισης και (β) η προσεγγιστική μορφή που προέκυψε από τη μέθοδο του κυματιδίου.....	89

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 2.1 : Χαρακτηριστικά διατομών.....	49
Πίνακας 2.2 : Χαρακτηριστικά δομικού χάλυβα.....	49
Πίνακας 4.1: Ποσοστά των σεισμών που προκαλούν παραμένουσα μετακίνηση στο ΚΜ2.....	68
Πίνακας 6.1: Τιμές περιόδου του παλμού διέγερσης, απόκρισης και συντελεστής συσχέτισης.....	88
Πίνακας 6.2: Χαρακτηριστικά των 6 κυματιδίων της χρονιοστορίας που προέκυψε από τη μέθοδο του κυματιδίου.....	89

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	3
ABSTRACT.....	5
ΔΙΑΦΘΡΩΣΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ	7
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ	9
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ	11
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΤΑΓΡΑΦΩΝ ΚΟΝΤΙΝΟΥ ΠΕΔΙΟΥ	15
1.1 Εισαγωγή.....	17
1.2 Χαρακτηριστικά των εδαφικών κινήσεων κοντινού πεδίου	17
1.3 Το φαινόμενο της κατευθυντικότητας.....	18
1.4 Το φαινόμενο της παραμένουσας μετατόπισης	21
1.5 Παράμετροι περιγραφής της εδαφικής κίνησης των σεισμών κοντινού πεδίου	22
1.6 Η μέθοδος κυματιδίου	28
1.6.1 Η μέθοδος κυματιδίου σύμφωνα με τον Baker.....	28
1.6.1 Η μέθοδος κυματιδίου σύμφωνα με τους Manroeidis και Papageorgiou	35
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΠΑΛΜΟΥ ΤΗΣ ΧΡΟΝΟΙΣΤΟΡΙΑΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΤΩΝ ΚΥΜΑΤΙΔΙΩΝ	41
2.1 Εισαγωγή.....	43
2.2 Η μαθηματική έκφραση του παλμού της ταχύτητας	43
2.3 Προσδιορισμός της περιόδου των σημαντικών παλμών και των χαρακτηριστικών του κυματιδίου M&P	45
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 : ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΦΟΡΕΑ ΚΑΙ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΟΥ ΣΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ SAP	49
3.1 Γεωμετρία Φορέα.....	51
3.2 Υλικά.....	52
3.3 Εισαγωγή γεωμετρίας φορέα στο λογισμικό SAP	53
3.3.1 Σχεδίαση πλαισίου	53
3.3.2 Καθορισμός Υλικού	54
3.3.3 Εισαγωγή διατομών	55
3.3.4 Προσομοίωση στηρίξεων και εσωτερικών αρθρώσεων	56
3.4 Εισαγωγή φορτίων.....	57

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 : ΑΝΑΛΥΣΗ ΦΟΡΕΑ ΣΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ SAP	59
4.1 Εισαγωγή.....	61
4.2 Ιδιομορφική Ανάλυση.....	61
4.3 Ανελαστική Στατική Ανάλυση (Pushover Analysis).....	63
4.4 Δυναμική Ανελαστική Ανάλυση	66
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ SEISMOSIGNAL ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕ ΚΥΜΑΤΙΔΙΑ.....	75
5.1 Εισαγωγή.....	77
5.2 Ανάλυση Fourier στο λογισμικό Seismosignal	77
5.3 Ανάλυση κυματιδίων	78
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 : ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	85
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	91
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	95

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1:
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΤΑΓΡΑΦΩΝ
ΚΟΝΤΙΝΟΥ ΠΕΔΙΟΥ

1.1 Εισαγωγή

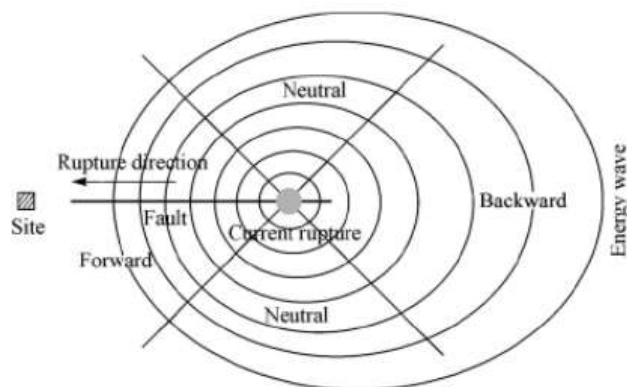
Στο κεφάλαιο 1 περιγράφονται τα κύρια χαρακτηριστικά των σεισμών κοντινού πεδίου, καθώς και του φαινομένου της κατευθυντικότητας, με στόχο να προσδιοριστεί ο τρόπος με τον οποίο επηρεάζονται οι εδαφικές κινήσεις σε μικρή απόσταση από την περιοχή του ρήγματος. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται δύο μέθοδοι εκτίμησης των σημαντικών παλμών μιας καταγραφής με βάση την ανάλυση κυματιδίων. Η πρώτη μέθοδος έχει προταθεί από τον (Baker, 2007), αφορά στην ταξινόμηση των καταγραφών σε παλμικές ή μη και ακολούθως στον εντοπισμό του σημαντικού παλμού στη Χρονοϊστορία ταχυτήτων. Οι (George P. Manroeidis & Parageorgiou, 2003) έχουν εισάγει τη δεύτερη μέθοδο, η οποία με βάση ένα σύνθετο κυματίδιο (κυματίδιο M&P) και τις απλές μαθηματικές του μορφές, στοχεύει στην ικανοποιητική προσέγγιση των παλμών σε σημαντικό αριθμό εδαφικών καταγραφών.

1.2 Χαρακτηριστικά των εδαφικών κινήσεων κοντινού πεδίου

Η εκδήλωση των σεισμικών γεγονότων εξαρτάται από τη διάρρηξη στο επίπεδο του ρήγματος, η οποία είναι αποτέλεσμα της ανάπτυξης μεγαλύτερων διατμητικών τάσεων από την φαινόμενη αντοχή του πετρώματος στην περιοχή της σεισμικής εστίας. Συνήθως, οι εδαφικές κινήσεις κοντά στην περιοχή της διάρρηξης ενός ρήγματος είναι σε μεγάλο βαθμό διαφορετικές από τις αντίστοιχες κινήσεις που καταγράφονται μακριά από την περιοχή του ρήγματος. Συγκεκριμένα, η περιοχή που βρίσκεται γύρω από το ρήγμα και σε απόσταση 20-60 χιλιόμετρα από αυτό ονομάζεται κοντινό πεδίο. Η περιοχή αυτή χρήζει ιδιαίτερης μελέτης, καθώς είναι το επίκεντρο συγκέντρωσης των σημαντικότερων βλαβών κατά τη διάρκεια του σεισμού. Μέσα σε αυτήν την ζώνη κοντινού πεδίου, τα χαρακτηριστικά των εδαφικών κινήσεων σχετίζονται με το μηχανισμό διάρρηξης, τη διεύθυνση διάρρηξης του ρήγματος σε σχέση με την εξεταζόμενη θέση και τις πιθανές μόνιμες εδαφικές μετατοπίσεις ως αποτέλεσμα της ολίσθησης του ρήγματος. Το σημαντικότερο χαρακτηριστικό αυτών των εδαφικών κινήσεων είναι η εμφάνιση ενός ή και περισσότερων παλμών στις χρονοϊστορίες των επιταχύνσεων, των ταχυτήτων και φυσικά των μετακινήσεων. Εξετάζοντας τέτοιους παλμούς είναι δυνατή η εκτίμηση σημαντικών χαρακτηριστικών που αφορούν όχι μόνο τη φύση προέλευσης του σεισμικού γεγονότος, αλλά και τις επιπτώσεις αυτού.

1.3 Το φαινόμενο της κατευθυντικότητας

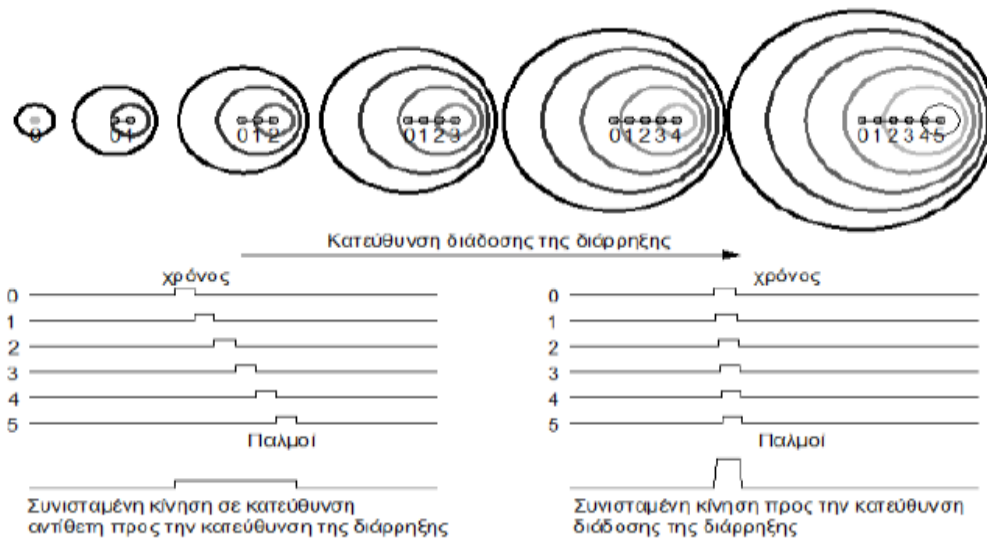
Οι εδαφικές κινήσεις μέσα στην περιοχή του κοντινού πεδίου, χαρακτηρίζονται από το φαινόμενο της *κατευθυντικότητας* (*directivity effect*). Η κατευθυντικότητα ενός σεισμικού κύματος μπορεί να κατηγοριοποιηθεί σε *έμπροσθεν* (*forward*), *όπισθεν* (*backward*) και *ουδέτερη* (*neutral*), ανάλογα με την κατεύθυνση διάρρηξης του ρήγματος και την θέση καταγραφής, όπως φαίνεται παρακάτω, στην εικόνα 1.1 .



Εικόνα 1.1: Διευθύνσεις ανάπτυξης των διαφορετικών τύπων κατευθυντικότητας

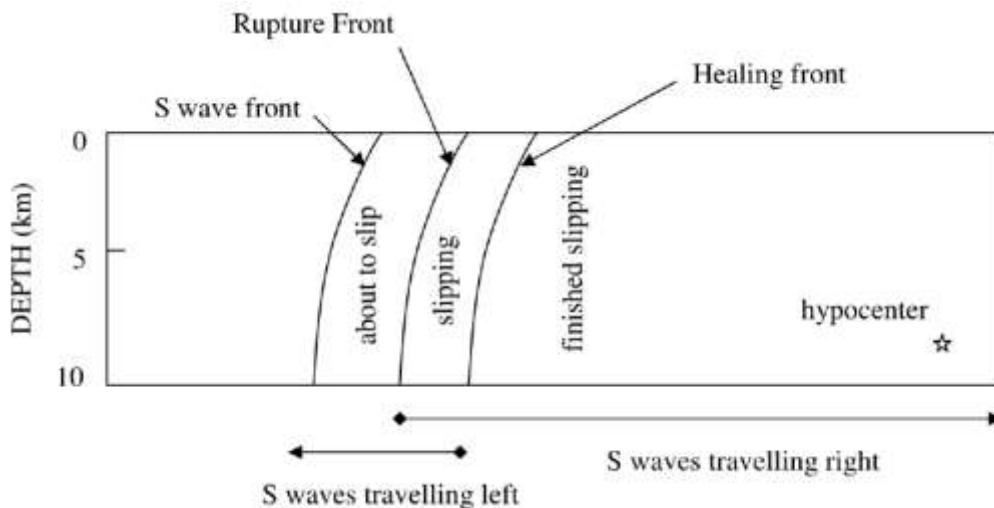
Η *έμπροσθεν κατευθυντικότητα* (*forward directivity*) συμβαίνει όταν η διάρρηξη κατευθύνεται προς τη θέση καταγραφής και θεωρείται η περισσότερο επικίνδυνη για τις κατασκευές. Εδώ εμφανίζονται ισχυροί παλμοί στην αρχή των σεισμικών κινήσεων, συνήθως κάθετα στο ρήγμα και οι παλμοί της είναι μικρής διάρκειας, αλλά μεγάλου εύρους. Συγκεκριμένα οι παλμοί ταχύτητας που παράγονται κατά τη διάδοση μιας διάρρηξης (η διάρρηξη γίνεται σταδιακά σε επιμέρους περιοχές του ρήγματος), διαδίδονται ως *διατμητικά κύματα S*, με ταχύτητα ανάλογη της ταχύτητας της διάρρηξης. Όταν η ταχύτητα της διάρρηξης στο ρήγμα είναι σχεδόν ίδια με την ταχύτητα των διατμητικών κυμάτων S του βράχου κοντά στην πηγή, καθώς η διάρρηξη πλησιάζει σε μια θέση, οι παλμοί των επιμέρους διαρρήξεων προστίθενται και δημιουργούν έναν παλμό κίνησης μεγάλου εύρους σε μεσαίες και μεγάλες περιόδους και μικρής διάρκειας.

Λόγω της πόλωσης των διατμητικών κυμάτων, η παλμική αυτή κίνηση είναι ιδιαίτερα έντονη στην κάθετη στο ίχνος του ρήγματος συνιστώσα της εδαφικής κίνησης. Η κατευθυντικότητα παρουσιάζει ένα φαινόμενο αντίστοιχο του φαινομένου *Doppler* της ακουστικής που θεωρεί την διάρρηξη σαν ένα κινούμενο υπόκεντρο, το οποίο σχηματικά παρουσιάζεται στην εικόνα 1.2.



Εικόνα 1.2 : Σχηματική απεικόνιση της συμβολής των παλμών των διατμητικών κυμάτων στην κατεύθυνση της διάρρηξης (έμπροσθεν κατευθυντικότητα) και της παράθεσης των παλμών στην αντίθετη κατεύθυνση (όπισθεν κατευθυντικότητα) (Benioff, 1955).

Στην περίπτωση ενός μηχανισμού οριζόντιας ολίσθησης (εικόνα 1.3) , οπού το μέτωπο διάρρηξης διαδίδεται μακριά από το υπόκεντρο και προς μία περιοχή, η ενέργεια η οποία εκλύεται από τις διαδοχικές ολισθήσεις του ρήγματος, συσσωρεύεται κοντά στο μέτωπο της διάρρηξης κατά μήκος του ρήγματος. Το μέτωπο των κυμάτων φθάνει ως ένας μεγάλος παλμός, ο οποίος χαρακτηρίζεται από μεγάλο πλάτος σε ενδιάμεσες μέχρι μεγάλες περιόδους και μικρή διάρκεια.

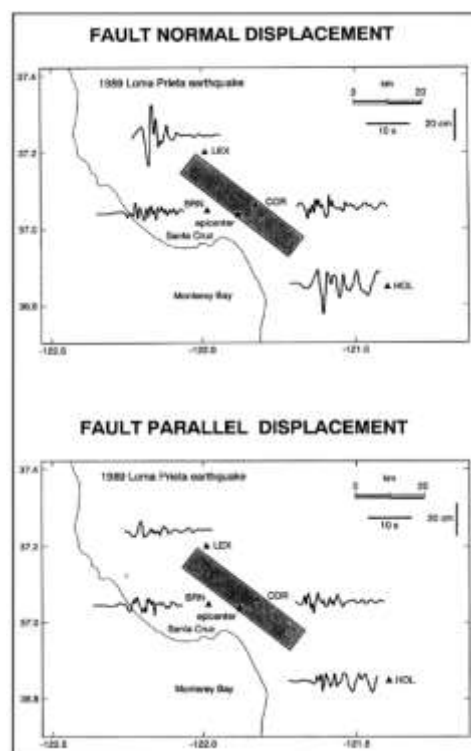


Εικόνα 1.3 : Σχηματικό διάγραμμα επίδρασης της κατευθυντικότητας της διάρρηξης για οριζόντιο ρήγμα ολίσθησης. Η διάρρηξη αρχίζει στο υπόκεντρο και διαδίδεται με ταχύτητα περίπου ίση με το 80% της ταχύτητας των διατμητικών κυμάτων. Η εικόνα παρουσιάζει ένα στιγμιότυπο του μετώπου της ρήξης σε μία δεδομένη χρονική στιγμή (Somerville, Smith, Graves, & Abrahamson, 1997).

Όπως γίνεται αντιληπτό η *όπισθεν κατευθυντικότητα* (*backward directivity*) συμβαίνει όταν η διάρρηξη απομακρύνεται από την εξεταζόμενη θέση, όπου παρατηρούνται παλμοί μεγάλης διάρκειας και μικρού εύρους και η άφιξη κάθε παλμού από τις επιμέρους ολισθήσεις, γίνεται στο τέλος του προηγούμενου του.

Η *ουδέτερη κατευθυντικότητα* (*neutral directivity*) εμφανίζεται σε θέσεις που βρίσκονται στο πλάι της επιφάνειας διάρρηξης του ρήγματος και επομένως, η διάρρηξη δεν διαδίδεται ούτε προς, ούτε μακριά από την περιοχή.

Για την καλύτερη κατανόηση του φαινομένου της κατευθυντικότητας ενός σεισμικού κύματος και την επιρροή του στις εδαφικές μετακινήσεις παραθέτονται στη συνέχεια δυο χαρακτηριστικά παραδείγματα. Το πρώτο, αφορά στον σεισμό που έγινε στο *Loma Prieta (Santa Cruz Mountains)* στην *California* το 1989, όπου στο επίκεντρο του σεισμού το οποίο είναι κοντά στο «Corralitos and Branciforte Drive», καταγράφονται μέτριες οριζόντιες εδαφικές μετακινήσεις τόσο στην παράλληλη (*fault parallel*), όσο και στην κάθετη (*fault normal*) συνιστώσα του ρήγματος, το οποίο αποδίδεται στο φαινόμενο της *όπισθεν κατευθυντικότητας*. Αντιθέτως, οι καταγραφές που έγιναν στα άκρα του ρήγματος στο «*Lexington Dam*» και το «*Hollister*», έδειξαν έντονες οριζόντιες εδαφικές μετακινήσεις στην κάθετη συνιστώσα του ρήγματος, ενώ στην παράλληλη με το ρήγμα συνιστώσα οι εδαφικές μετακινήσεις έχουν παρόμοιες τιμές με αυτές κοντά στο επίκεντρο. Οι μεγάλες παλμικές κινήσεις παρατηρούνται μόνο στην κάθετη στο ρήγμα συνιστώσα και μόνο μακριά από το επίκεντρο.

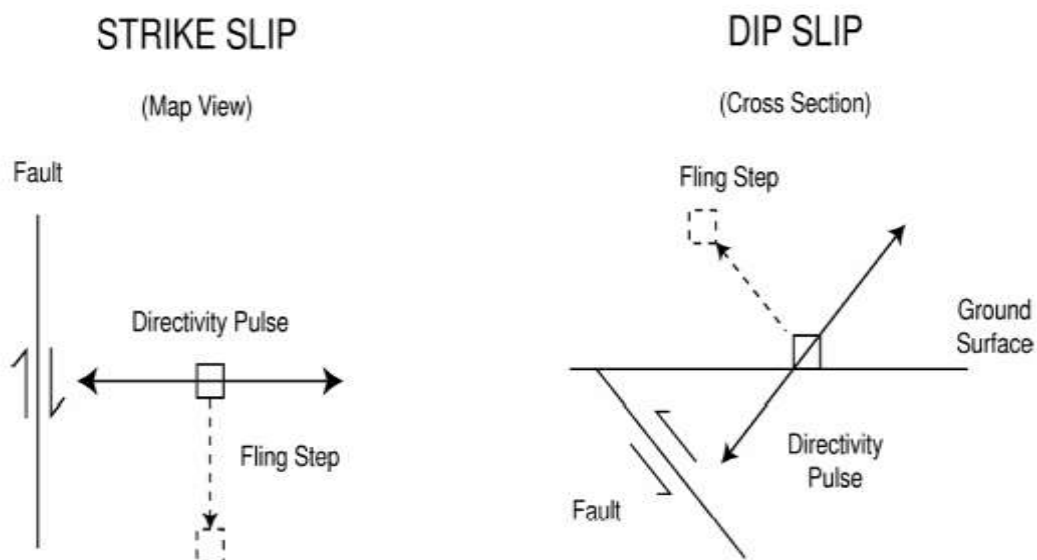


Εικόνα 1.4 : Αποτελέσματα της κατευθυντικότητας της διάρρηξης στις καταγεγραμμένες χρονοϊστορίες μετακινήσεων του σεισμού του Loma Prieta του 1989 για τις κάθετες (άνω) και τις παράλληλες (κάτω) στο ρήγμα συνιστώσες, EERI, 1995.

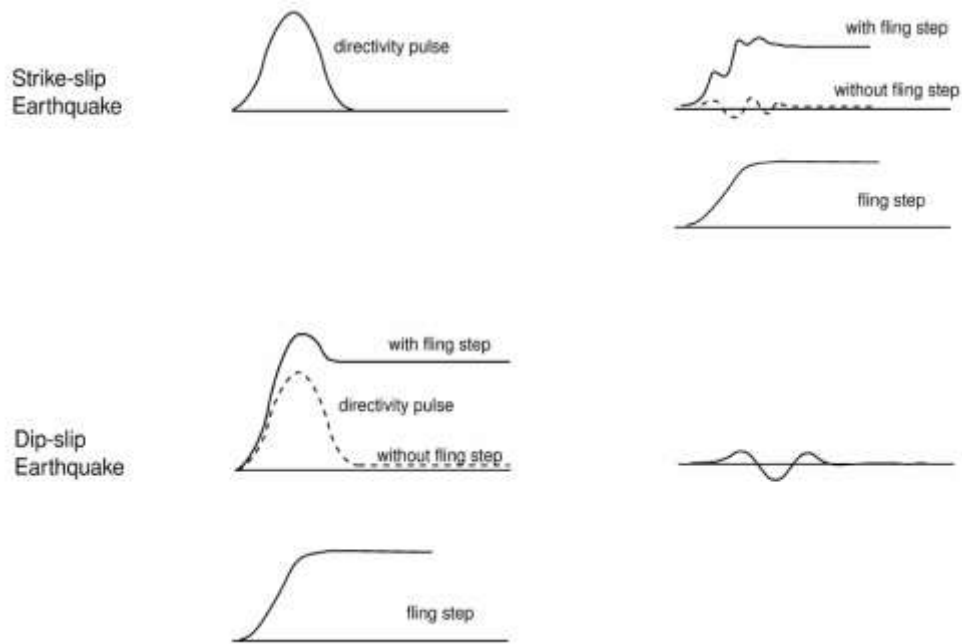
1.4 Το φαινόμενο της παραμένουσας μετατόπισης

Στις καταγραφές που γίνονται τα τελευταία χρόνια παρατηρείται έντονα, σε κάποιες περιοχές το φαινόμενο της παραμένουσας μετατόπισης, δηλαδή η μόνιμη παραμόρφωση του εδάφους στη διεύθυνση κατά την οποία μετακινείται το τμήμα του ρήγματος. Αυτές οι στατικές μετατοπίσεις, καλούνται *παραμένουσες μετακινήσεις (fling step)* και εμφανίζονται μετά από ένα χρονικό διάστημα αρκετών δευτερολέπτων, καθώς η ολίσθηση του ρήγματος προχωρά. Οι παραμένουσες μετακινήσεις εμφανίζονται παράλληλα στην διεύθυνση ολίσθησης του ρήγματος και άρα δεν συνδέονται άμεσα με τις δυναμικές μετακινήσεις, δηλαδή με τον παλμό της κατευθυντικότητας της διάρρηξης που αναφέρθηκε παραπάνω. Στα ρήγματα οριζόντιας ολίσθησης (*strike slip*), ο παλμός κατευθυντικότητας εμφανίζεται στην κάθετη συνιστώσα, ενώ η παραμένουσα μετακίνηση εμφανίζεται στην παράλληλη συνιστώσα. Το φαινόμενο αυτό παρατηρήθηκε έντονα στους σεισμούς του *Izmir* και του *Chi-Chi το 1999*. Αντίθετα στα ρήγματα κατακόρυφης βύθισης (*dip slip*), τόσο η παραμένουσα μετακίνηση, όσο και ο παλμός κατευθυντικότητας εμφανίζονται στην κάθετη συνιστώσα της διάρρηξης.

Οι προσανατολισμοί της παραμένουσας μετακίνησης και του παλμού κατευθυντικότητας για ρήγματα οριζόντιας ολίσθησης και κατακόρυφης βύθισης παρουσιάζονται στην εικόνα 1.6 και οι χρονοιστορίες μετακινήσεων στις διευθύνσεις αυτές που οφείλονται στα δύο φαινόμενα στην εικόνα 1.7



Εικόνα 1.5 : Σχηματικό διάγραμμα των προσανατολισμών της παραμένουσας μετακίνησης και του παλμού κατευθυντικότητας για ρήγμα οριζόντιας ολίσθησης και ρήγμα κεκλιμένης ολίσθησης.

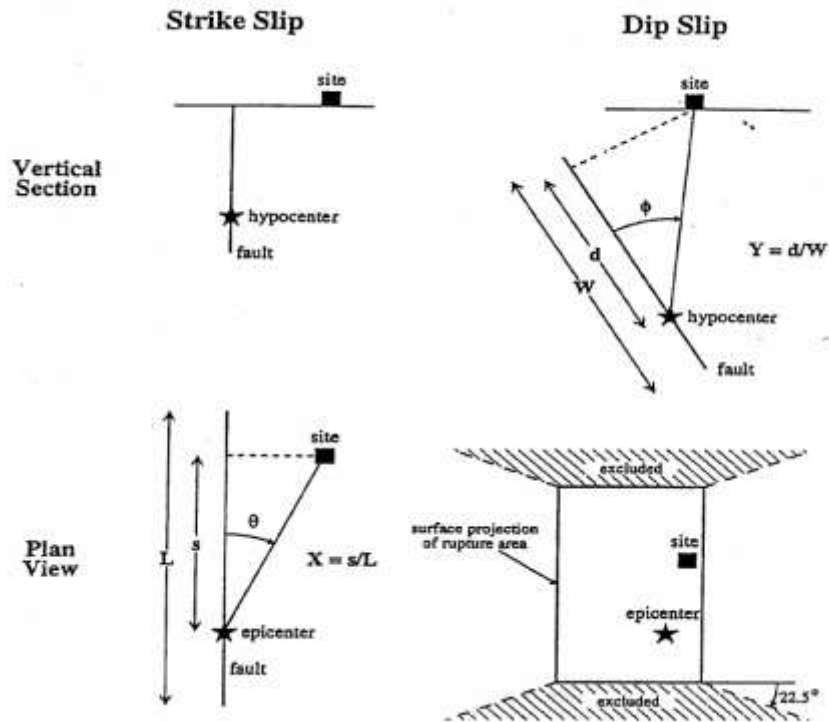


Εικόνα 1.6 : Χρονοϊστορίες για ρήγμα οριζόντιας ολίσθησης και ρήγμα κατακόρυφης βύθισης στο οποίο η παραμένουσα μετακίνηση και ο παλμός κατευθυντικότητας παρουσιάζονται μαζί και χωριστά.

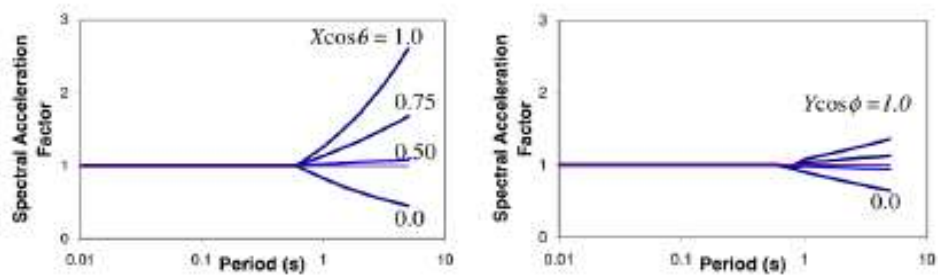
1.5 Παράμετροι περιγραφής της εδαφικής κίνησης των σεισμών κοντινού πεδίου

Το γεγονός ότι η κατευθυντικότητα δίνει σημαντικά στοιχεία για τους σεισμούς κοντινού πεδίου οδήγησε πολλούς επιστήμονες να ασχοληθούν εις βάθος με τη μελέτη του φαινομένου αυτού. Πιο συγκεκριμένα, οι (Someverville et al, 1997) προσπάθησαν να προσεγγίσουν το θέμα της κατευθυντικότητας εισάγοντας ορισμένες παραμέτρους ανάλογα με την εξεταζόμενη θέση και τη θέση του ρήγματος. Η πρώτη παράμετρος που εξέτασαν ήταν η γωνία μεταξύ της διεύθυνσης διάρρηξης του ρήγματος και της διεύθυνσης διάδοσης των σεισμικών κυμάτων προς την εξεταζόμενη θέση. Η γωνία αυτή συμβολίζεται ως θ (σε κάτοψη) για ρήγματα οριζόντιας ολίσθησης και ως φ (σε τομή) για ρήγματα κατακόρυφης βύθισης. Η δεύτερη παράμετρος είναι ο λόγος της επιφάνειας διάρρηξης, που βρίσκεται μεταξύ της εστίας και της εξεταζόμενης θέσης προς τη συνολική επιφάνεια του ρήγματος X και Y για ρήγματα οριζόντιας ολίσθησης και κατακόρυφης βύθισης αντιστοίχως.

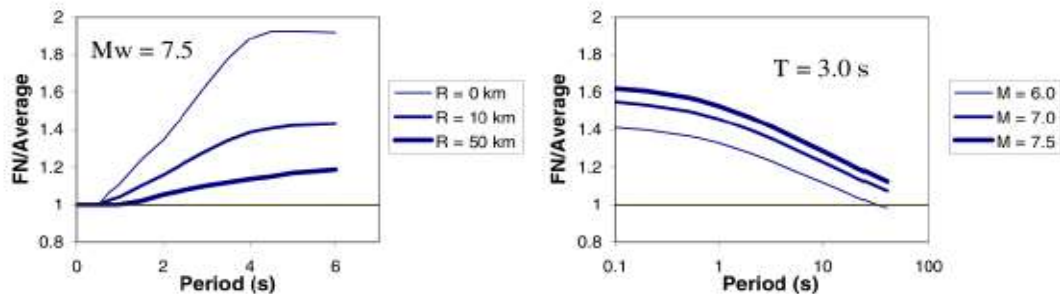
Για την επεξήγηση των αποτελεσμάτων της κατευθυντικότητας, οι (Somerville et al) συσχέτισαν τις συνιστώσες των φασμάτων απόκρισης για απόσβεση 5% με τις γεωμετρικές παραμέτρους, όπως φαίνεται στην εικόνα 1.8. Τα αποτελέσματα της συσχέτισης αυτής φαίνονται στην εικόνα 1.9.



Εικόνα 1.7 : Παράμετροι που σχετίζονται με την διάρρηξη και καθορίζουν το εύρος στα φαινόμενο της πρόσω κατευθυντικότητας (Somerville et al, 1997).



α) Μέση αναλογία φασματικής απόκρισης με εξάρτηση στις παραμέτρους της περιόδου και της διεύθυνσης

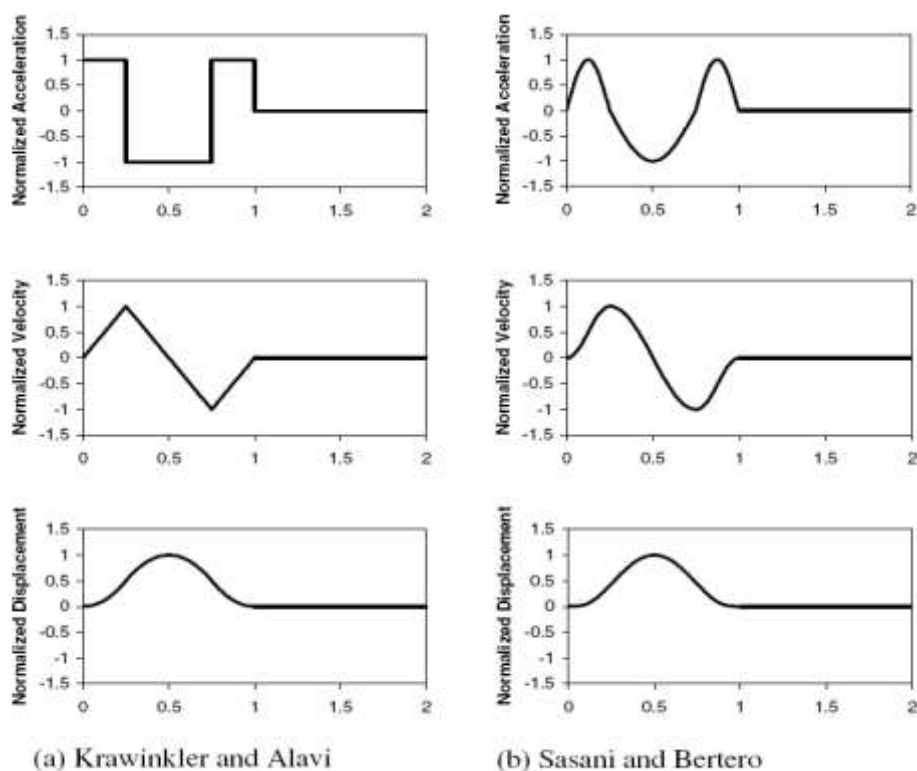


β) Αναλογία οριζόντιας φασματικής απόκρισης κάθετης στη ρήξη προς τη μέση οριζόντια για συνθήκες εμπρόσθιας κατευθυντικότητας ($X \cos \theta = 1$).

Εικόνα 1.8 : Επίπτωση των παραμέτρων της διάρρηξης στην φασματική μεγέθυνση σε σχέση με συνθήκες καταγραφές (Somerville et al, 1997).

Πολλές είναι οι έρευνες που έχουν ασχοληθεί με την απόκριση των κατασκευών σε σεισμούς κοντινού πεδίου και έχουν δείξει ότι η χρήση των εδαφικών μετακινήσεων με τη μορφή της χρονοϊστορίας δίνει πιο ικανοποιητικά αποτελέσματα απ'ότι όταν η απεικόνιση τους γίνεται με τη μορφή φάσματος απόκρισης. Γενικά, η μελέτη μιας εδαφικής κίνησης σε ένα χώρο συχνοτήτων, όπως σε ένα φάσμα απόκρισης, υποδηλώνει μια διαδικασία κατά την οποία συμβαίνει μια σχετικά ομοιόμορφη διαμονή ενέργειας καθ'όλη τη διάρκεια της κίνησης. Συνεπώς, όταν λαμβάνουν μέρος τα φαινόμενα κατευθυντικότητας, η απεικόνιση των εδαφικών μετακινήσεων με βάση ένα φάσμα απόκρισης δεν μπορεί να θεωρηθεί αντιπροσωπευτική, αφού στη συγκεκριμένη περίπτωση η ενέργεια συγκεντρώνεται σε έναν ή περισσότερους παλμούς με απλή μορφή στη χρονοϊστορία των ταχυτήτων.

Οι *Somerville* το έτος 1998 μετά από μελέτες κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι όταν η ενέργεια συγκεντρώνεται σε λίγους παλμούς κίνησης, το φαινόμενο του «συντονισμού», το οποίο το φάσμα απόκρισης ανέλαβε να παρουσιάσει, μπορεί να μη διαθέτει επαρκή χρόνο για να αναπτυχθεί. Επίσης, οι (*Krawinkler & Alavi, 1998*) και (*Sasani & Bertero, 2000*) στις έρευνές τους έχουν καταφέρει να δείξουν ότι κάποιες από τις απλοποιημένες μορφές παλμών που βρίσκονται στη χρονοϊστορία ταχυτήτων μπορούν να απεικονίσουν τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά της απόκρισης κατασκευών που υποβάλλονται σε εδαφικές κινήσεις κοντινού πεδίου. Μερικά παραδείγματα τέτοιων απλουστευμένων παλμών φαίνονται στην εικόνα 1.9.



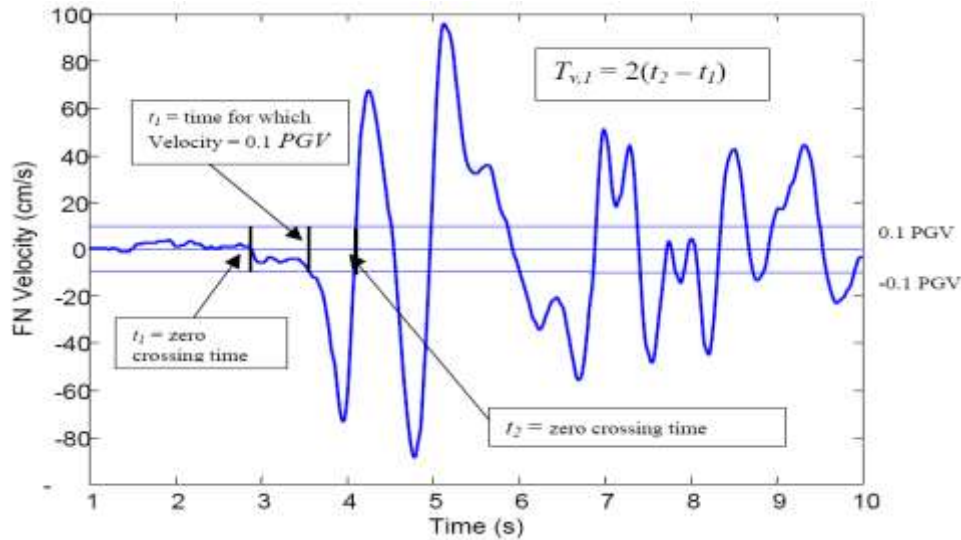
Εικόνα 1.9 : Απλοποιημένες μορφές παλμών κατευθυντικότητας.

Η γεωμετρική μορφή που προσεγγίζει σε πολύ μεγάλο βαθμό την απεικόνιση των παλμών στη χρονιοιστορία των ταχυτήτων για σεισμικές κινήσεις κοντινού πεδίου είναι η ημιτονοειδής. Για την περιγραφή των χαρακτηριστικών του ημιτονικού παλμού έχουν ορισθεί κάποιες παράμετροι, οι οποίες έχουν φυσική σημασία. Η πρώτη παράμετρος είναι ο αριθμός των παλμών μισού ημιτόνου (N), που περιέχει μια σεισμική κίνηση και ορίζεται ως ο αριθμός παλμών μισού ημιτόνου που έχουν μέγιστο πλάτος τουλάχιστον ίσο με το μισό της τιμής της μέγιστης ταχύτητας της σεισμικής καταγραφής. Άλλη μία παράμετρος είναι η *μέγιστη οριζόντια εδαφική ταχύτητα* (PHV ή PGV), η τιμή της οποίας εξαρτάται κυρίως από το μέγεθος του σεισμού, την απόσταση και τις συνθήκες του εδάφους στην εξεταζόμενη θέση. Τρίτη παράμετρος είναι η δεσπόζουσα περίοδος κάθε παλμού (T_p), η οποία ορίζεται ως το διπλάσιο του χρονικού διαστήματος στα άκρα του οποίου οι ταχύτητες μηδενίζονται ή έχουν τιμή ίση με το 10% της μέγιστης ταχύτητας του παλμού αυτού. Η περίοδος των παλμών κατευθυντικότητας της εδαφικής κίνησης θεωρείται η πιο κρίσιμη παράμετρος του ημιτονικού παλμού, γι'αυτό πολλοί ήταν οι ερευνητές που ασχολήθηκαν με τον προσδιορισμό της.

Από τους πρώτους που προσπάθησαν να μελετήσουν την περίοδο του δεσπόζοντος παλμού, ήταν οι (*Alani & Krawinkler, 2000*), οι οποίοι κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η περίοδος του παλμού προκύπτει από την αιχμή του φάσματος απόκρισης της ταχύτητας για απόσβεση 5%, μια μέθοδος η οποία έχει αμφισβητηθεί από πολλούς ερευνητές.

Μια άλλη μέθοδος για τον προσδιορισμό της περιόδου είναι η καλούμενη *The Peak Method* (μέθοδος του σημείου αιχμής), η οποία προτάθηκε από τους (*Zhai, Chang, Li & Xie, 2013*) και αναφέρει πως η περίοδος του παλμού είναι ίση με το χρονικό διάστημα στο οποίο ολοκληρώνεται εκείνος ο κύκλος της καταγραφής που περιέχει τη μέγιστη εδαφική ταχύτητα PGV .

Υπάρχουν και αρκετοί μελετητές, οι οποίοι προσδιορίζουν τον παλμό κατευθυντικότητας και σαν συνέπεια την περίοδο του, συσχετίζοντάς τον με το μέγιστο παλμό της εδαφικής επιτάχυνσης ή της εδαφικής ταχύτητας. Οι (*Makris & Black, 2004*) επιλέγουν το μέγιστο παλμό της εδαφικής επιτάχυνσης, ενώ ο (*Rodriguez-Marek, 2000*) επιλέγει το μέγιστο παλμό της εδαφικής ταχύτητας. Ο τελευταίος υποστηρίζει ότι η δεσπόζουσα περίοδος καθορίζεται από τη διάρκεια που χρειάζονται οι τιμές της χρονιοιστορία της ταχύτητας να διέλθουν από το μηδενικό άξονα (*zero crossing time*) ή από τον χρόνο στον οποίο η ταχύτητα ισούται το 10% της μέγιστης ταχύτητας γι'αυτόν τον παλμό. Η δεύτερη προσέγγιση μειώνει το σφάλμα στην περίπτωση κατακόρυφης μετάθεσης (*drift*) του σήματος. Στην εικόνα 1.10 φαίνεται ο καθορισμός του παλμού.



Εικόνα 1.10 : Καθορισμός περιόδου παλμού από την χρονοϊστορία της ταχύτητας (Rodriguez-Marek, 2000).

Οι (George P. Mavroeidis & Parageorgiou, 2003) αναφέρουν ότι η περίοδος του παλμού εξαρτάται από τη διαδικασία διάρρηξης του σεισμού και συγκεκριμένα από τη διάρκεια της διάρρηξης (τ), η οποία σχετίζεται με τα επιμέρους γεγονότα, του κύριου σεισμικού γεγονότος. Το *συνοριακό μοντέλο (specific barrier model)* που προτείνεται από τους (Parageorgiou & Aki, 1983), θεωρεί ότι τα επιμέρους σεισμικά γεγονότα προκαλούνται από προσεγγιστικά ισομεγέθεις κυκλικές επιφάνειες διάρρηξης που είναι ομοιόμορφα κατανομημένες στην επιφάνεια ενός ρήγματος και έχουν μια μέση διάμετρο $2\rho_0$, που σχετίζεται με το μέγεθος της σεισμικής ροπής M_w . Μετά το πέρας της μελέτης τους κατέληξαν σε μια σχέση, η οποία δείχνει ότι η περίοδος είναι ανεξάρτητη από την απόσταση της θέσης καταγραφής από το ρήγμα. Η σχέση αυτή δίνεται παρακάτω:

$$\log T_p = -2.9 + 0.5M_w$$

Επίσης, ο (Somerville, 1998) προτείνει μια σχέση πολύ κοντά στην παραπάνω:

$$\log(T_p) = -3.0 + 0.5M_w$$

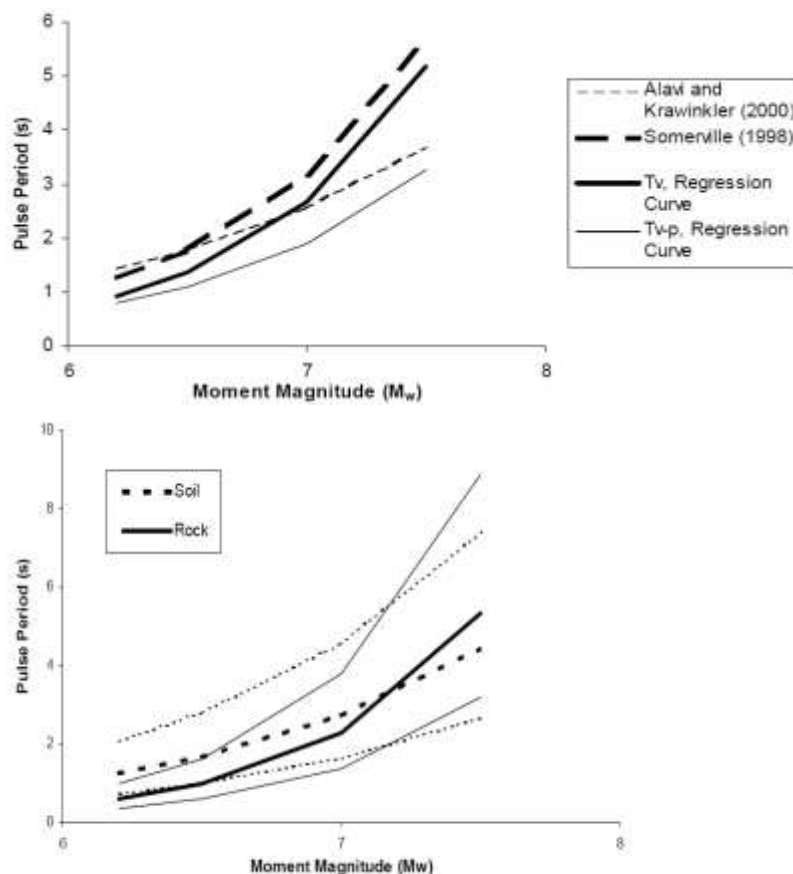
Οι (Alavi & Krawinkler, 2000) όρισαν την περίοδο του παλμού σαν τη δεσπόζουσα περίοδο του φάσματος ψευδοταχυτήτων T_{p-v} και την παριστάνουν με την παρακάτω σχέση:

$$\log(T_{p-v}) = -1.76 + 0.31M_w$$

Ο (Rodriguez-Marek, 2000) στηριζόμενος σε μία σειρά από σεισμικά γεγονότα, έκανε τη δική του διατύπωση, λαμβάνοντας υπόψη το σφάλμα που μπορεί να υπάρχει λόγω της εξάρτησης των αποτελεσμάτων και με βάση τις κατηγορίες του εδάφους, κατέληξε στις παρακάτω σχέσεις:

$\ln T_p = -8.33 + 1.33M_w$	για όλες τις κατηγορίες εδαφών
$\ln T_p = -11.10 + 1.70M_w$	για βράχο
$\ln T_p = -5.81 + 0.97M_w$	για μαλακό έδαφος
$\ln T_p = -6.92 + 1.08M_w$	για όλες τις κατηγορίες εδαφών
$\ln T_p = -9.53 + 1.42M_w$	για βράχο
$\ln T_p = -5.66 + 0.91M_w$	για μαλακό έδαφος

Όπως, φαίνεται από τις παραπάνω σχέσεις, οι τιμές που δίνουν οι σχέσεις αυτές για την δεσπόζουσα φασματική περίοδο T_{p-v} είναι μικρότερες από τις τιμές που δίνουν οι σχέσεις για τον υπολογισμό της περιόδου του παλμού T_p . Στην εικόνα 1.11 α) απεικονίζονται οι γραφικές παραστάσεις παλμού κατευθυντικότητας και σεισμικού μεγέθους σύμφωνα με τις σχέσεις των (Alavi & Krawinkler, Somerville και Rogriguez-Marek) και στην εικόνα 1.11 β) απεικονίζονται οι γραφικές παραστάσεις του παλμού κατευθυντικότητας για διαφορετικές κατηγορίες εδάφους με βάση τις σχέσεις που διατύπωσε ο Rogriguez-Marek.



Εικόνα 1.11 : α)Σχέσεις διάφορων μοντέλων για την περίοδο του παλμού, β)Σχέσεις υπολογισμού παλμού κατευθυντικότητας για διαφορετικές κατηγορίες εδάφους (Rodriguez-Marek , 2000).

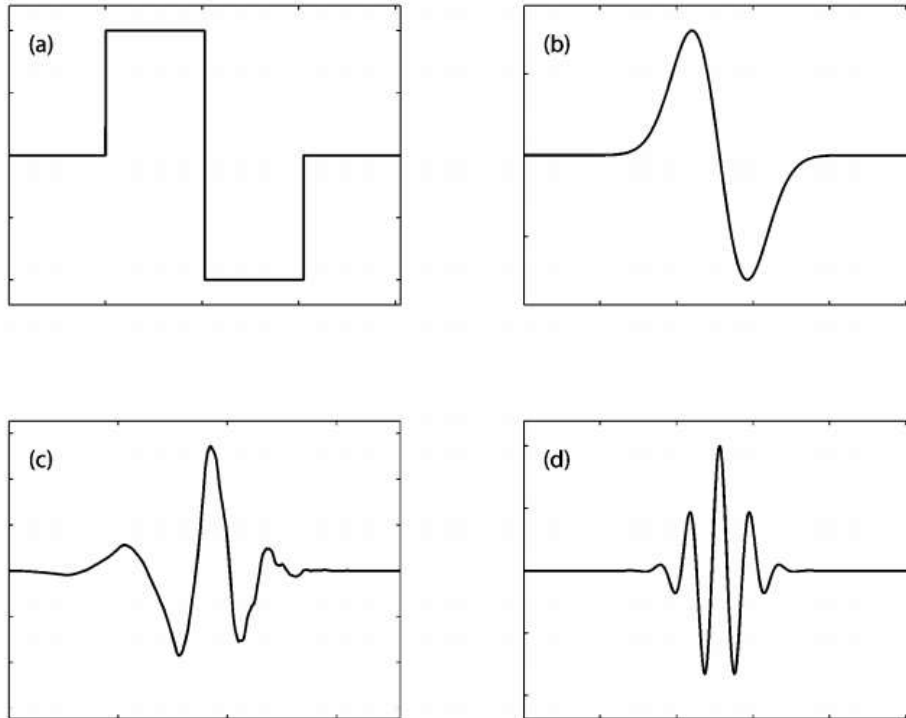
1.6 Η μέθοδος κυματιδίου

Μία αρκετά διαδεδομένη μέθοδος που χρησιμοποιείται για την επιλογή της περιόδου του παλμού είναι η μέθοδος του *κυματιδίου (wavelet)*, η οποία βασίζεται στην προσαρμογή ενός κυματιδίου στην χρονοιστορία της εδαφικής ταχύτητας, έτσι ώστε να γίνει η προσομοίωσή της με ένα απλό σήμα. Στη συγκεκριμένη περίπτωση θεωρείται ότι η περίοδος του παλμού είναι ίδια με την δεσπόζουσα περίοδο εκείνου του κυματιδίου που προσεγγίζει καλύτερα την χρονοιστορία.

1.6.1 Η μέθοδος κυματιδίου σύμφωνα με τον Baker

Ο (Baker, 2007) με τη μέθοδο του προσπάθησε να διαχωρίσει τις χρονοιστορίες σε παλμικές και μη. Σύμφωνα με τις μελέτες παλαιότερων ετών ο χαρακτηρισμός αυτός γινόταν εάν υπήρχε στην χρονοιστορία ταχύτητας ένας μεγάλος ορατός παλμός ή εάν εμφανιζόταν το φαινόμενο της κατευθυντικότητας. Η μέθοδος που προτάθηκε από τον Baker βασίζεται στην ανάλυση με κυματίδια και έχει ως στόχο να ορίσει τον ζητούμενο παλμό και στη συνέχεια να τον αφαιρέσει από την χρονοιστορία της ταχύτητας. Όταν ο αφαιρούμενος αυτός παλμός είναι μεγάλος συγκριτικά με τις τιμές των ταχυτήτων που έχουν απομείνει, η χρονοιστορία ονομάζεται παλμική. Επίσης, ο ίδιος ερευνητής υποστηρίζει ότι μια σεισμική κίνηση θεωρείται παλμική όταν ο παλμός της καταγραφής έχει μικρή διάρκεια, μεγάλο πλάτος και εμφανίζεται αρκετά νωρίς στην χρονοιστορία ταχυτήτων.

Η ανάλυση με κυματίδια (*Wavelet analysis*) τα τελευταία χρόνια χρησιμοποιείται πολύ συχνά για την μελέτη των σεισμικών εδαφικών κινήσεων του κοντινού πεδίου. Η μέθοδος αυτή δεν είναι εύκολα κατανοητή, γι' αυτό το λόγο θα γίνει μια προσπάθεια να κατανοηθεί μέσω της σύγκρισής της με την ανάλυση Fourier. Η ανάλυση Fourier αντιπροσωπεύει ένα σήμα χρησιμοποιώντας γραμμικό συνδυασμό ημιτονικών κυμάτων, που το καθένα αντιπροσωπεύει ένα σήμα απείρου μήκους και μιας μοναδικής συχνότητας. Απ' την άλλη, η ανάλυση με κυματίδια αποσυνθέτει ένα κύμα σε μικρότερα κυματίδια, ορισμένα στο χρόνο σε στενό εύρος συχνοτήτων. Τα κυματίδια είναι συναρτήσεις, με βάση τις οποίες προκύπτουν τα πρότυπα κυματίδια, που χρησιμοποιούνται για την αποσύνθεση ενός σήματος. Το πρότυπο κυματίδιο ονομάζεται *μητρικό κυματίδιο (mother wavelet)* και σκοπός είναι, να μπορεί να αποτελεί μια ομάδα βασικών συναρτήσεων. Η επιλογή του μητρικού κυματιδίου γίνεται λαμβάνοντας υπόψη τη συμμετρία, τη συμβατότητα κλπ όπως αναφέρει και ο (Mallat, 1999). Υπάρχουν κάποια πρότυπα μητρικά κυματίδια που χρησιμοποιούνται σε μεγάλο βαθμό, τα οποία απεικονίζονται στην εικόνα 1.12.



Εικόνα 1.12 : Πρότυπα μητρικά κυματίδια (Baker,2007).

Η βασική συνάρτηση του κυματιδίου σε μία χρονική στιγμή t έχει τη μορφή της παρακάτω σχέσης:

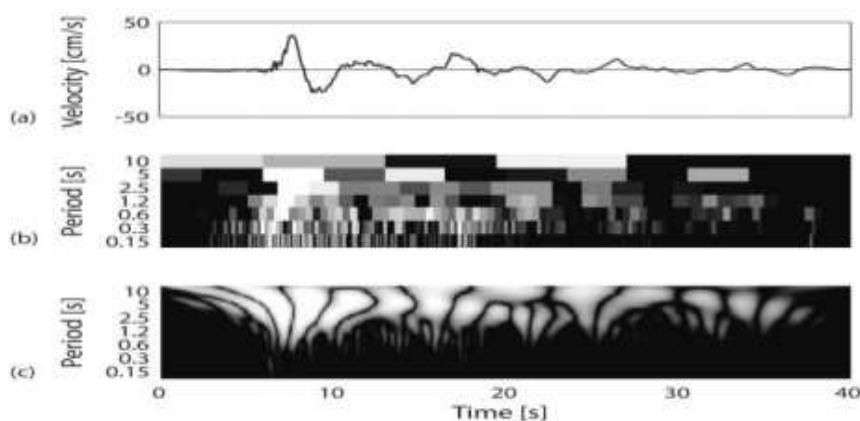
$$\Phi_{s,l} = \frac{1}{\sqrt{s}} \Phi\left(\frac{t-l}{s}\right)$$

όπου $\Phi_{s,l}$ είναι η μητρική συνάρτηση του κυματιδίου, s είναι η παράμετρος κλίμακας που διαστέλλει το κυματίδιο και l είναι η χωρική παράμετρος που συσχετίζει το κυματίδιο με το χρόνο. Κάθε σήμα $f(t)$ μπορεί να εκφραστεί σαν άθροισμα βασικών συναρτήσεων. Ουσιαστικά η έκφραση αυτή είναι ένας γραμμικός συνδυασμός και οι συντελεστές του, μπορούν να υπολογιστούν από το ολοκλήρωμα συνέλιξης (*convolution integral*), το οποίο έχει μορφή παρόμοια με τον μετασχηματισμό Fourier, όπως φαίνεται παρακάτω:

$$C_{s,l} = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \Phi_{s,l}(t) dt = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \frac{1}{\sqrt{s}} \Phi\left(\frac{t-l}{s}\right) dt$$

Υπάρχουν, δυο είδη μετασχηματισμών που μπορούν να αναλύσουν ένα σήμα ανάλογα με τα επίπεδα και τις θέσεις στις οποίες υπολογίζονται οι συντελεστές, ο συνεχής μετασχηματισμός κυματιδίου (*continuous wavelet transform*) και ο διακριτός μετασχηματισμός κυματιδίου (*discrete wavelet transform*). Το πρώτο

είδος υπολογίζει τους συντελεστές του κυματιδίου για κάθε τιμή ολοκληρώματος από κάθε επίπεδο και θέση. Με αυτόν τον τρόπο προκύπτει ένα σύνολο πληροφοριών για το περιεχόμενο συχνοτήτων του σήματος. Ένα σήμα, όμως μήκους n μπορεί να περιγραφεί χρησιμοποιώντας έναν μικρότερο αριθμό συντελεστών και αυτό ακριβώς είναι που κάνει ο διακριτός μετασχηματισμός του κυματιδίου. Για παράδειγμα, στην περίπτωση που ζητείται η περιγραφή ορθογωνικών κυματιδίων, αυτή μπορεί να γίνει με έναν περιορισμένο αριθμό κυματιδίων n που περιγράφουν τα πλάτη των n κυματιδίων σε διάφορες θέσεις και επίπεδα και παρέχεται από το διακριτό μετασχηματισμό. Στην εικόνα 1.13 φαίνονται δυο μετασχηματισμοί, έτσι όπως δίνονται από τον *Baker*.

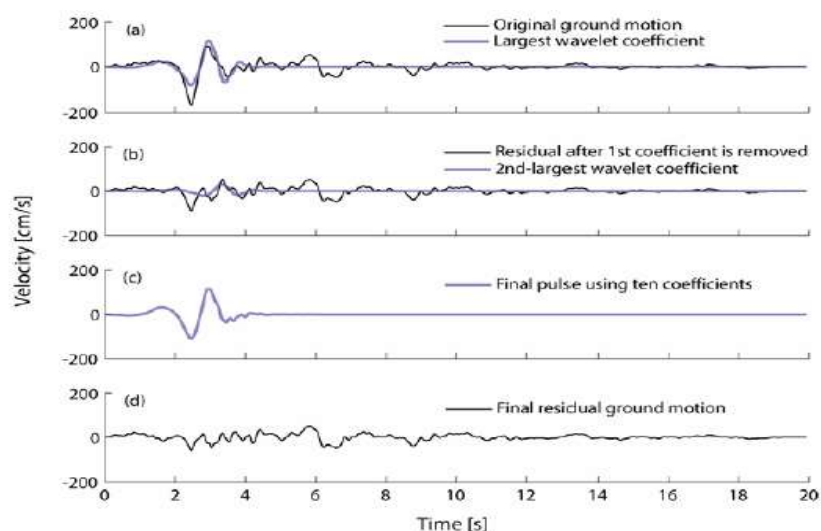


Εικόνα 1.13 : Μετασχηματισμοί κυματιδίων (Baker 2007).

Είναι λογικό οι συντελεστές που περιγράφουν το κύριο τμήμα του σήματος να είναι αρκετά μεγαλύτεροι από εκείνους που περιγράφουν το τμήμα που βρίσκεται κοντά στο μηδέν. Αυτό είναι πολύ σημαντικό, καθώς μπορεί η χρονοιστορία της εδαφικής κίνησης να περιγράφεται από έναν πολύ μικρό αριθμό κυματιδίων (ένα ή δύο κυματίδια) με μεγάλες βέβαια τιμές συντελεστών και όμως να καθίσταται δυνατή η ύπαρξη παλμού. Ο συνεχής μετασχηματισμός είναι απ'τη μια πλευρά, περισσότερο χρονοβόρος, καθώς απαιτείται ο υπολογισμός μεγάλου αριθμού συντελεστών, αλλά απ'την άλλη δεν επηρεάζεται από την εμφάνιση περισσότερων μηδενικών στην αρχή ή στο τέλος της χρονοιστορίας στην περίπτωση κάποιου προβλήματος που μπορεί να σχετίζεται με το μηχάνημα καταγραφής.

Για να φτάσει σε αποτελέσματα μεγαλύτερης βεβαιότητας σχετικά με τον ορισμό των μορφών που εμφανίζονται στη χρονοιστορία μετακινήσεων ως παλμικές η μη, ο *Baker* για κάθε μία από τις εδαφικές κινήσεις που μελέτησε, αφαίρεσε το μεγαλύτερο παλμό, ο οποίος προέκυπτε από την αποσύνθεση του κύματος, βάσει της ανάλυσης των κυματιδίων. Σε πρώτη φάση χρησιμοποίησε, τον συνεχή μετασχηματισμό, ώστε να προκύψουν οι συντελεστές με τις μεγαλύτερες τιμές και

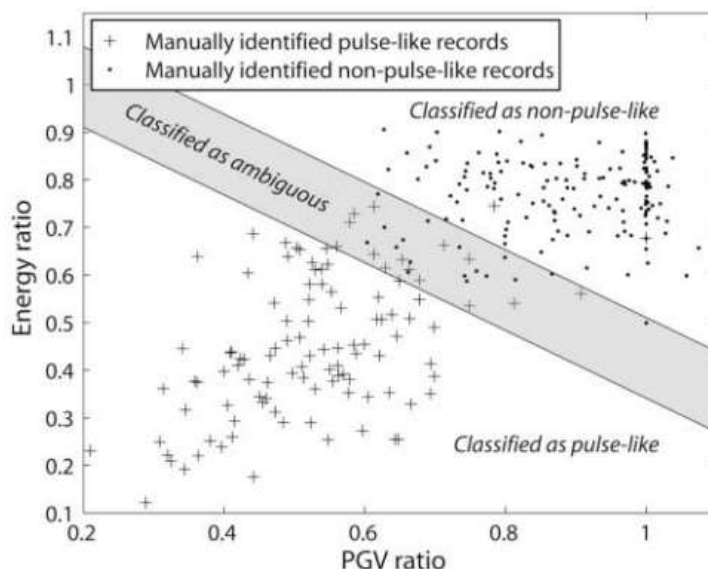
έτσι τα κυματίδια που συνδέονται με αυτούς τους συντελεστές να αναγνωρίσουν την περίοδο και τη θέση του παλμού. Στη συνέχεια υπολόγισε με τον ίδιο τρόπο τους συντελεστές για την εναπομείνουσα εδαφική κίνηση, επιλέγοντας κυματίδια, τα οποία έχουν ίδια θέση και περίοδο με αυτές του μεγαλύτερου παλμού.



Εικόνα 1.14 : Μορφές ανάλυσης με κυματίδια κατά Baker.

Η παραπάνω διαδικασία μπορεί να εφαρμοστεί για οποιαδήποτε καταγραφή εδαφικής κίνησης, η οποία όμως μπορεί να μην περιέχει κάποιον παλμό κατευθυντικότητας. Για να μπορεί να αναγνωρίσει τις εδαφικές κινήσεις στις οποίες υπάρχει μεγάλη πιθανότητα να εμφανιστεί ένας παλμός, ο Baker υπολόγισε ένα πλήθος μεταβλητών και αξιολόγησε ποιες μπορούν να αποτελέσουν δείκτες σημαντικότητας του παλμού. Χρησιμοποίησε 398 καταγραφές από τη βάση δεδομένων *Next Generation Attenuation (NGA)* για σεισμούς μεγέθους μεγαλύτερου από 5,5 και εντός περιοχής 30 χιλιομέτρων από κάθε σεισμικό γεγονός. Η ταξινόμηση των καταγραφών με εμφανή παλμικά ή μη παλμικά χαρακτηριστικά έγινε κυρίως βάσει οπτικών ελέγχων. Με αυτόν τον τρόπο προέκυψαν 124 πιθανώς παλμικές καταγραφές, 190 μη παλμικές και 84 ασαφείς. Στις μεταβλητές που χρησιμοποίησε, συμπεριλαμβανόταν το μέγεθος των συντελεστών που προκύπτουν από την αποσύνθεση του σήματος σε κυματίδια, οι φασματικές τιμές απόκρισης, οι μέγιστες εδαφικές ταχύτητες και ενεργειακές τιμές. Δύο μεταβλητές που είναι αφενός εύκολες στον υπολογισμό και αφετέρου δείχνουν την ικανότητα πρόβλεψης που αναζητείται, είναι η *μέγιστη εδαφική ταχύτητα (Peak Ground Velocity ή PGV)* της εναπομένουσας καταγραφής προς τη μέγιστη εδαφική ταχύτητα της αρχικής και η ενέργεια της εναπομένουσας καταγραφής προς την ενέργεια της αρχικής. Αυτές οι μεταβλητές αναφέρονται στις μελέτες του Baker ως *Λόγος PGV (PGV ratio)* και *Λόγος Ενεργειών (Energy ratio)*

αντίστοιχα. Στην εικόνα 1.15 εμφανίζεται ένα διάγραμμα μεταξύ των λόγων αυτών για τις καταγραφές που έχουν ταξινομηθεί χειροκίνητα, όπου φαίνεται ότι δείκτες επιβεβαιώνουν την ταξινόμηση.



Εικόνα 1.15 : Περιγραφή της διαδικασίας αφαίρεσης παλμού (Baker 2007).

Μετά τη διαδικασία αυτή, ο *Baker* κατέληξε στην παρακάτω σχέση:

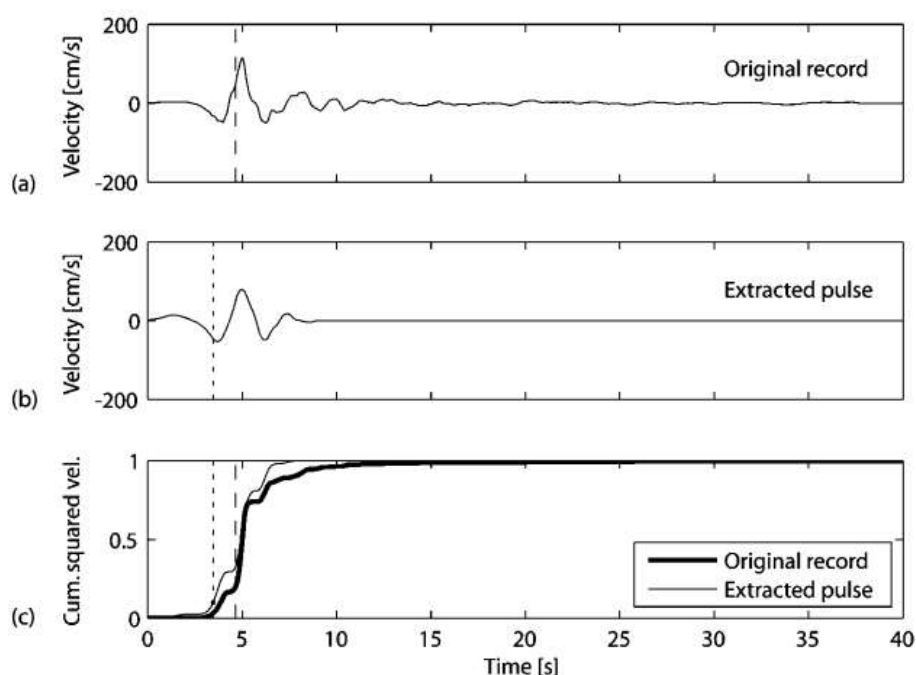
$$Pulse\ indicator = \frac{1}{1 + e^{-23.3 + 14.6(PGV_ratio) + 20.5(energy_ratio)}}$$

η οποία προβλέπει σε ικανοποιητικό βαθμό την ύπαρξη η όχι παλμού σε μία σεισμική κίνηση του εδάφους. Οι τιμές του συντελεστή κυμαίνονται από μηδέν έως ένα. Για τιμές αυτού μεγαλύτερες από 0,85 οι καταγραφές χαρακτηρίζονται ως παλμικές, ενώ για τιμές μικρότερες από 0,15 ως μη παλμικές.

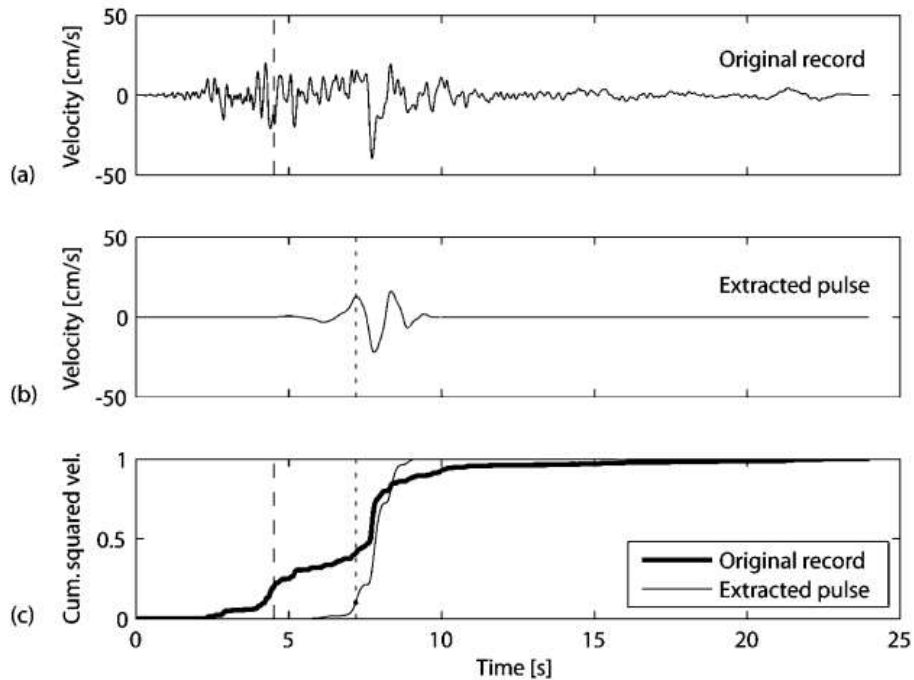
Η μελέτη του *Baker*, όμως δε σταμάτησε εδώ, αλλά προχώρησε στη διαδικασία αφαίρεσης των παλμών που δημιουργούνται μόνο λόγω του φαινομένου της κατευθυντικότητας για σεισμούς κοντινού πεδίου. Δεδομένου ότι οι παλμοί λόγω κατευθυντικότητας είναι εκείνοι που φτάνουν νωρίς στη χρονιστορία της ταχύτητας, σκοπός του ήταν να μπορέσει να εντοπίσει τους παλμούς που φτάνουν αργά στη χρονιστορία ταχύτητας και να τους αποκλείσει. Αυτοί οι παλμοί εντοπίζονται υπολογίζοντας το ολοκλήρωμα του τετραγώνου της ταχύτητας της αρχικής καταγραφής και του παλμού που έχει αφαιρεθεί, σύμφωνα με την παρακάτω σχέση:

$$CSV = \int_0^r V^2(u) du$$

όπου $V(u)$ είναι η ταχύτητα της εδαφικής κίνησης τη στιγμή u και η οποία ισχύει σε μία χρονική στιγμή t . Υπολογίζοντας το παραπάνω ολοκλήρωμα προσδιορίζουμε για την αρχική χρονοϊστορία και για τον παλμό, το ποσοστό $x\%$ του συνολικού CSV. Οι χρόνοι αυτοί στους οποίους επιτυγχάνονται τα ποσοστά συμβολίζονται ως $t_{x\%,orig}$ και $t_{x\%,pulse}$ για το αρχικό σήμα και τον παλμό αντίστοιχα. Ο Baker πρόσεξε ότι οι παλμοί που φτάνουν νωρίς στην χρονοϊστορία της ταχύτητας, έχουν τιμές χρόνου $t_{20\%,orig}$ μεγαλύτερες από το χρόνο $t_{10\%,pulse}$, πράγμα το οποίο τον οδήγησε στο συμπέρασμα ότι ένα σημαντικό ποσοστό του παλμού έχει εκδηλωθεί πριν σημειωθεί η έκλυση του σημαντικότερου μέρους της ενέργειας της αρχικής χρονοϊστορίας. Δύο παραδείγματα τέτοιων παλμών δίνονται στα παρακάτω σχήματα.



Εικόνα 1.16 : Παλμός στην αρχή της χρονοϊστορίας. α,β)χρονοϊστορία ταχύτητας και παλμού ,γ) CSV (Baker 2007).



Εικόνα 1.17 : Παλμός στο τέλος της χρονοϊστορίας. α,β)χρονοϊστορία ταχύτητας και παλμού ,γ) CSV (Baker 2007).

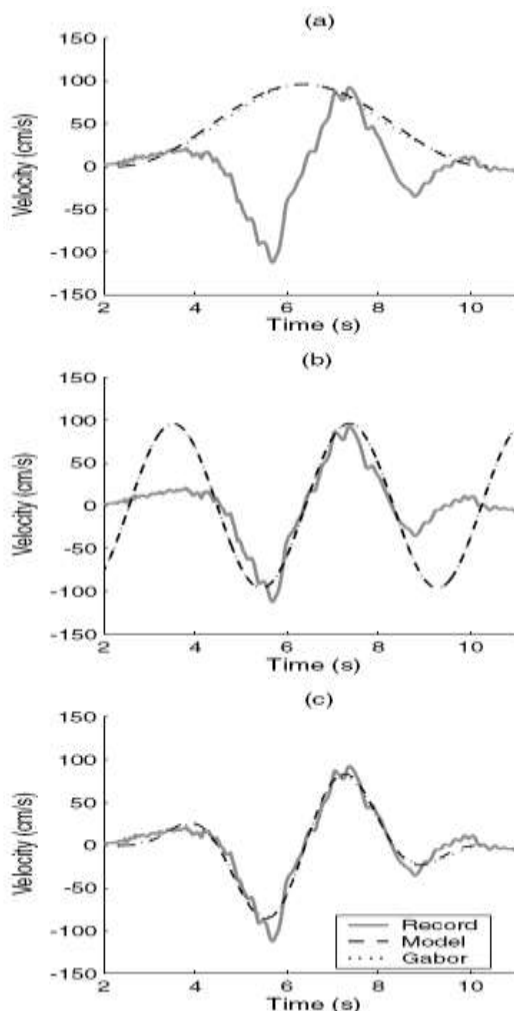
Τέλος, ο *Baker* μελέτησε την περίπτωση των σεισμών μικρής έντασης, οι οποίοι όμως εμφανίζουν παλμό στη χρονοϊστορία της ταχύτητας. Αυτό το φαινόμενο, παρατηρείται συχνά σε σεισμικές κινήσεις μικρού μεγέθους και μικρής διάρκειας, άρα οι παλμοί στη συγκεκριμένη περίπτωση οφείλονται στη μικρή διάρκειας κίνηση και όχι στην κατευθυντικότητα. Αφού, λοιπόν σε τέτοιες περιπτώσεις οι παλμοί δε δημιουργούνται λόγω του φαινομένου της κατευθυντικότητας, πρέπει να αποκλειστούν οι αντίστοιχες καταγραφές τους, το οποίο επιτυγχάνεται αγνοώντας τις σεισμικές εδαφικές κινήσεις με *PGV* μικρότερη των 30cm/s.

Μετά από μία σειρά ερευνών και πειραμάτων ο *Baker* κατέληξε να χαρακτηρίζει τις εδαφικές κινήσεις ως παλμικές ή μη, βασισμένος στα τρία παρακάτω κριτήρια:

- 1) Ο δείκτης παλμού P.I πρέπει να λαμβάνει τιμές μεγαλύτερες του 0.85
- 2) Για τον παλμό που φτάνει νωρίς στην χρονοϊστορία της ταχύτητας ισχύει ότι οι τιμές του χρόνου $t_{20\%orig}$ είναι μεγαλύτερες από το χρόνο $t_{10\%pulse}$.
- 3) Η αρχική εδαφική κίνηση έχει $PGV > 30\text{cm/s}$

1.6.1 Η μέθοδος κυματιδίου σύμφωνα με τους Μανροειδής και Παράγεοργιού

Οι (George P. Μανροειδής & Παράγεοργιού, 2003) πρότειναν μία διαφορετική μέθοδο για να περιγράψουν την εδαφική κίνηση που προκαλείται από σεισμούς κοντινού πεδίου, βασισμένη όμως στην ανάλυση με κυματίδια. Η μέθοδος αυτή συμπεριλαμβάνει ένα σύνθετο κυματίδιο (κυματίδιο M&P), το οποίο μπορεί να εκφραστεί με μία απλή μαθηματική σχέση και προσεγγίζει σε ικανοποιητικό βαθμό τους παλμούς των εδαφικών καταγραφών. Με τη χρήση της μαθηματικής αυτής σχέσης, υπολογίζεται η περίοδος του παλμού και μέσω του μετασχηματισμού Fourier οι παράμετροι του κυματιδίου. Συγκεκριμένα, η χρονοϊστορία της εδαφικής ταχύτητας προσομοιάζεται με ένα ημιτονικό σήμα, πολλαπλασιασμένο με μία κωδωνόσχημη περιβάλλουσα που προκύπτει από ένα μετατεθειμένο κύκλο συνημιτόνου (εικόνα 1.18).



Εικόνα 1.18 : Σύγκριση της κυματομορφής των Μανροειδής & Παράγεοργιού (2003) με το κυματίδιο Gabor. (a) κωδωνόσχημες περιβάλλουσες, (b) ημιτονικά σήματα, (c) συνδυασμοί των (a) και (b).

Η μαθηματική σχέση έχει την ακόλουθη μορφή:

$$f(t) = A \frac{1}{2} \left[1 + \cos \left(\frac{2\pi f_p}{\gamma} t \right) \right] \cos(2\pi f_p t + v)$$

όπου A είναι η παράμετρος που συσχετίζεται με το εύρος της εδαφικής ταχύτητας, f_p είναι η συχνότητα του σήματος, v η διαφορά φάσης της ημιτονικής συνιστώσας και γ το γινόμενο της διάρκειας της εδαφικής ταχύτητας επί την συχνότητα f_p . Η συνάρτηση ορίζεται στο παρακάτω χρονικό διάστημα:

$$-\frac{\gamma}{2f_p} \leq t \leq \frac{\gamma}{2f_p}$$

Για να έχει φυσική σημασία η κίνηση του εδάφους που προκύπτει από την παραπάνω σχέση, θα πρέπει η περίοδος του ημιτονικού σήματος να είναι μικρότερη από αυτήν της κωδωνόσχημης περιβάλλουσας:

$$\frac{1}{f_p} < \frac{\gamma}{f_p} \Rightarrow \gamma > 1, \quad T_p = \frac{1}{f_p}$$

Η παράμετρος γ είναι ο λόγος της διάρκειας του προσομοιώματος της εδαφικής ταχύτητας προς την περίοδό της και αντιστοιχεί σε έναν αριθμό ισοδύναμων ημιτονικών κύκλων της προσομοιωμένης εδαφικής ταχύτητας.

Η επιτάχυνση, ταχύτητα και μετακίνηση της εδαφικής κίνησης δίνονται από τις ακόλουθες σχέσεις:

$$a(t) = -\frac{A\pi f_p}{\gamma} \left[\sin \left(\frac{2\pi f_p}{\gamma} (t - t_0) \right) \cos(2\pi f_p (t - t_0) + v) + \gamma \sin(2\pi f_p (t - t_0) + v) \left[1 + \cos \left(\frac{2\pi f_p}{\gamma} (t - t_0) \right) \right] \right]$$

$$v(t) = A \frac{1}{2} \left[1 + \cos \left(\frac{2\pi f_p}{\gamma} (t - t_0) \right) \cos[2\pi f_p (t - t_0) + v] \right]$$

$$\text{για } -\frac{\gamma}{2f_p} \leq t \leq t_0 + \frac{\gamma}{2f_p} \quad \text{με } \gamma > 1$$

διαφορετικά $\alpha(t)=0, v(t)=0$

$$d(t) = \frac{A}{4\pi f_p} \left[\sin[2\pi f_p(t - t_0) + v] + \frac{1}{2} \frac{\gamma}{\gamma - 1} \sin \left[\frac{2\pi f_p(\gamma - 1)}{\gamma} (t - t_0) + v \right] + \frac{1}{2} \frac{\gamma}{\gamma + 1} \sin \left[\frac{2\pi f_p(\gamma + 1)}{\gamma} (t - t_0) + v \right] \right] + C$$

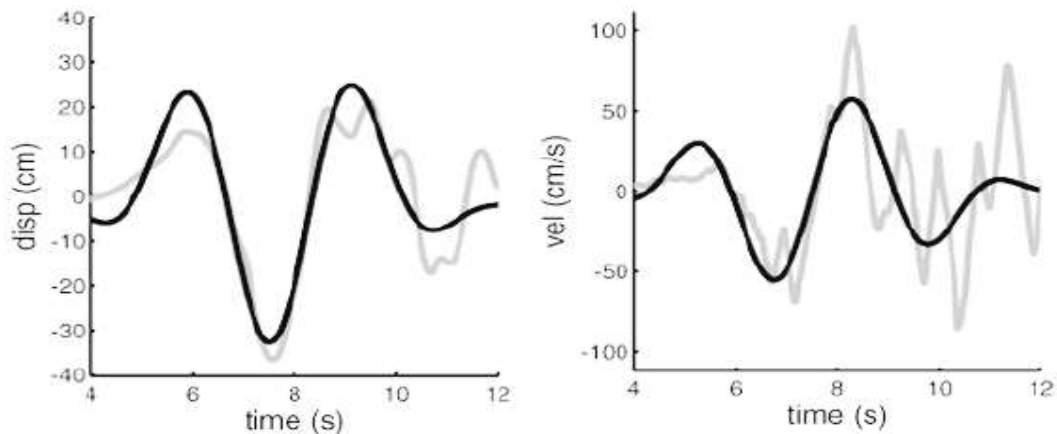
$$\text{για } t_0 - \frac{\gamma}{2f_p} \leq t \leq t_0 + \frac{\gamma}{2f_p} \quad \text{με } \gamma > 1 \quad \text{διαφορετικά,}$$

$$\mathbf{d}(t) = \frac{\mathbf{A}}{4\pi \mathbf{f}_p} \frac{\mathbf{1}}{(1 - \gamma^2)} \sin(v - \pi\gamma) + \mathbf{C} \quad \text{για } t < t_0 - \frac{\gamma}{2\mathbf{f}_p}$$

$$\mathbf{d}(t) = \frac{\mathbf{A}}{4\pi \mathbf{f}_p} \frac{\mathbf{1}}{(1 - \gamma^2)} \sin(v + \pi\gamma) + \mathbf{C} \quad \text{για } t > t_0 + \frac{\gamma}{2\mathbf{f}_p}$$

Για τον προσδιορισμό των παραμέτρων f_p , A , v και γ , αρχικά υπολογίζεται η περίοδος του σήματος T_p , που αντιστοιχεί στην συχνότητα f_p , έτσι ώστε η δεσπόζουσα περίοδος του φάσματος ταχυτήτων της πραγματικής καταγραφής και η δεσπόζουσα περίοδος του φάσματος που προκύπτει από την απλοποιημένη μαθηματική προσομοίωση του παλμού της εδαφικής ταχύτητας, να συμπίπτουν. Ο ορισμός της περιόδου βασίζεται στην παραδοχή της συσχέτισης ανάμεσα στην περίοδο του παλμού κατευθυντικότητας και στην δεσπόζουσα περίοδο της φασματικής ταχύτητας. Η περίοδος T_p , σύμφωνα με τους μελετητές, δεν συμπίπτει απαραίτητα με την δεσπόζουσα περίοδο του φάσματος, αν και η τιμή της είναι κοντά σε γενικές γραμμές.

Οι παράμετροι A , v και γ υπολογίζονται με σειρά δοκιμών, έτσι ώστε να επιτευχθεί καλή σύμπτωση του προσομοιώματος με την πραγματική χρονοϊστορία της εδαφικής ταχύτητας και της μετακίνησης, πέραν της σύμπτωσης των φασματικών τιμών. Ιδιαίτερη προσοχή θα πρέπει να αποδοθεί στο συνδυασμό των παραμέτρων A και γ καθώς επηρεάζουν και οι δύο το εύρος των φασματικών τιμών.

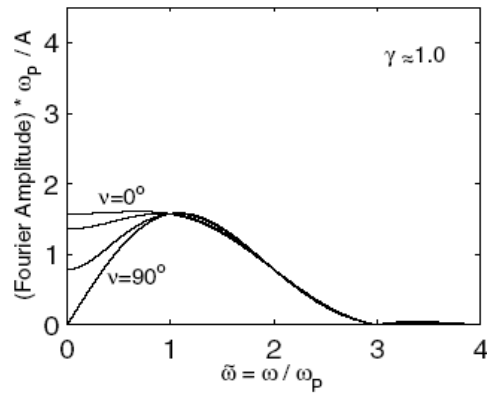


Εικόνα 1.19 : Προσομοίωση παλμού (Loma Prieta 1989 Station STG) ,(Mavroeidis and Parageorgiou , 2003).

Μπορεί σε πολλές περιπτώσεις ο παλμός της μέγιστης ταχύτητας να ταυτίζεται με τον παλμό κατευθυντικότητας, υπάρχουν όμως και περιπτώσεις που ο παλμός μέγιστης ταχύτητας εμφανίζεται σχετικά υψίσυχνος και γι'αυτό επιλέγεται σαν παλμός κατευθυντικότητας, ένας παλμός με μικρότερο εύρος και μεγαλύτερη περίοδο, που αντιστοιχεί σε μεγαλύτερο εμβαδόν από τον παλμό μέγιστης εδαφικής ταχύτητας. Σε αυτήν την περίπτωση τα χαρακτηριστικά του παλμού της κατευθυντικότητας καθορίζονται από τη μέγιστη εδαφική μετακίνηση και όχι από την μέγιστη εδαφική ταχύτητα.

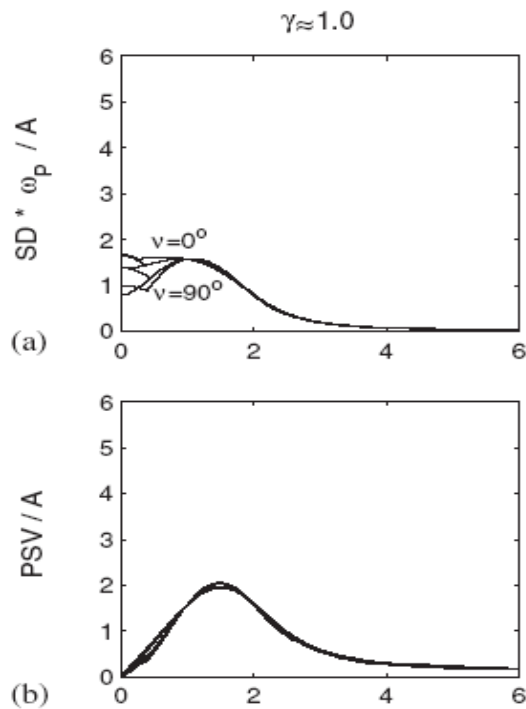
Οι (G. P. Mavroeidis et al, 2004) σε επόμενη τους εργασία και μετά από στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων, κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η τιμή της περιόδου του παλμού της κατευθυντικότητας είναι σχεδόν ίση με την φασματική περίοδο T_d , που ορίζει την μετάβαση από την περιοχή σταθερών φασματικών ταχυτήτων στην περιοχή σταθερών φασματικών μετακινήσεων, και εκτιμάται συναρτήσει της εδαφικής μετακίνησης PGD και της εδαφικής ταχύτητας PGV.

Ακόμη, η εδαφική μετακίνηση εφόσον προκύπτει από την ολοκλήρωση της εδαφικής ταχύτητας, πρέπει να σχετίζεται με τον παλμό της εδαφικής ταχύτητας που περικλείει το μεγαλύτερο εμβαδόν. Στην περίπτωση δύο διακριτών παλμών που αντιστοιχούν, ο ένας στην μέγιστη εδαφική ταχύτητα PGV και ο άλλος στο μέγιστο περικλειόμενο εμβαδόν, δηλαδή στην μέγιστη διαφορική μετακίνηση ID, φαίνεται ότι οι (G. P. Mavroeidis et al, 2004) επιλέγουν τον παλμό με την μεγαλύτερη διάρκεια, και επομένως την μέγιστη ID, για την εκτίμηση της περιόδου του παλμού κατευθυντικότητας (εικόνα 1.32).



Εικόνα 1.20 : Φάσμα Fourier παλμού με παράμετρο $\gamma=1$ (Mavroeidis and Parageorgiou, 2003).

Είναι, λοιπόν, εμφανής η συσχέτιση μεταξύ του φάσματος *Fourier* της εδαφικής ταχύτητας και του αντίστοιχου φάσματος μετακινήσεων. Στην περίπτωση αυτή, οι μέγιστες τιμές των δύο φασμάτων αντιστοιχούν στην συχνότητα που αντιστοιχεί στην συχνότητα του παλμού, ενώ στο αντίστοιχο φάσμα ταχυτήτων η μέγιστη τιμή αντιστοιχεί σε μεγαλύτερη συχνότητα. Για $\gamma=1$ η συσχέτιση απεικονίζεται στην εικόνα 1.21.



Εικόνα 1.21 : Φάσματα μετακινήσεων και ταχυτήτων παλμού με παράμετρο $\gamma=1$ (Mavroeidis et al ,2004).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 :
ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΠΑΛΜΟΥ ΤΗΣ
ΧΡΟΝΟΙΣΤΟΡΙΑΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ
ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΤΩΝ
ΚΥΜΑΤΙΔΙΩΝ

2.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο 2 παρουσιάζεται μία νέα μεθοδολογία για τον καθορισμό, αλλά και την περιγραφή των παλμών, για σεισμούς κοντινού πεδίου. Οι (Mimoglou et al, 2014) πρότειναν λοιπόν, μια μέθοδο, η οποία σχετίζεται με τον προσδιορισμό των σημαντικών παλμών μιας χρονοιστορίας και είναι βασισμένη στην μαθηματική έκφραση των (George P. Manroeidis & Parageorgiou, 2003). Εξάγοντας όλους τους σημαντικούς παλμού καταγραφής και συνδυάζοντάς τους, μπορεί να παραχθεί η προσομοίωση ολόκληρης της χρονοιστορίας. Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα της μεθόδου είναι η δημιουργία απλουστευμένων τεχνητών χρονοιστοριών (*synthesized time histories*) και η χρήση της ακόμα και σε μη γραμμικές αναλύσεις, με μεγάλη ακρίβεια.

2.2 Η μαθηματική έκφραση του παλμού της ταχύτητας

Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο η μέθοδος που προτάθηκε από τους (George P. Manroeidis & Parageorgiou, 2003) για την περιγραφή της εδαφικής κίνησης, είναι βασισμένη στην ανάλυση με κυματίδια και συγκεκριμένα στο σύνθετο κυματίδιο *M&P* (*M&P wavelet*). Οι παράμετροι που χαρακτηρίζουν το κυματίδιο *M&P* είναι η συχνότητα f_p , το εύρος A , η διαφορά φάσης ν και η διάρκεια του κυματιδίου γ , που αποτελεί τον αριθμό των ταλαντώσεων και ορίζεται ως $\gamma = t_p * f_p$, όπου $\gamma > 1$ και t_p η διάρκεια της εδαφικής ταχύτητας. Η χρήση των παραμέτρων αυτών καθιστά δυνατή την καλή προσέγγιση των σημαντικών παλμών, οι οποίοι αποδίδουν ικανοποιητικά την επίδρασή τους στην απόκριση των κατασκευών.

Το εύρος A του κυματιδίου υπολογίζεται έτσι ώστε το φάσμα απόκρισης μετακινήσεων του παλμού να προσομοιάζει όσο το δυνατόν καλύτερα το αντίστοιχο φάσμα της καταγραφής. Για το σκοπό αυτό, χρησιμοποιείται η έννοια της απόλυτης αθροιστικής μετακίνησης *CAD*, που εισήχθη από τους (Taflampas et al, 2009) κατά αναλογία με το δείκτη απόλυτης αθροιστικής ταχύτητας *CAV* (*Cumulative Absolute Velocity*), και ορίζεται ως το χρονικό ολοκλήρωμα της απόλυτης τιμής της εδαφικής ταχύτητας :

$$CAD = \int_0^{t_{tot}} |v_g| dt \quad [2.1]$$

Έστω μία αρμονική εδαφική κίνηση εύρους $d_{g,max}$, η οποία εφαρμόζεται ως διέγερση στην βάση ενός μη αποσβενύμενου μονοβάθμιου ταλαντωτή. Στο συντονισμό, το πλάτος της απόκρισης του ταλαντωτή μεταβάλλεται σχεδόν γραμμικά με τον αριθμό των κύκλων και για μία διέγερση γ κύκλων η μέγιστη απόκριση είναι:

$$S_{d,0}(T_{res}) = \gamma d_{g,max} \quad [2.2]$$

όπου $S_{d,0}(T_{res})$ εκφράζει τη φασματική μετακίνηση στο συντονισμό για μηδενική απόσβεση. Ακόμη, η τιμή του CAD στο τέλος του γ -οστού κύκλου μιας αρμονικής διέγερσης είναι:

$$CAD = 4\gamma d_{g,max} \quad [2.3]$$

Έτσι, για μια αρμονική διέγερση γ κύκλων, υπάρχει μία σταθερή σχέση μεταξύ της φασματικής μετακίνησης για μηδενική απόσβεση στο συντονισμό και του CAD , η οποία είναι:

$$\frac{S_{d,0}(T_{res})}{CAD} = \frac{\pi}{4} \quad [2.4]$$

Ακόμα και αν χρησιμοποιηθεί το *κυματίδιο M&P* αντί για μία καθαρά αρμονική διέγερση, η Εξίσωση [2.4] εξακολουθεί να ισχύει με ικανοποιητική ακρίβεια, παρά την ύπαρξη της κωδωνόσχημης συνάρτησης.

Μία παρόμοια σχέση μεταξύ της μέγιστης φασματικής μετακίνησης και του CAD μπορεί να παραχθεί και για άλλες τιμές της απόσβεσης. Για έναν μονοβάθμιο ταλαντωτή με απόσβεση ξ και για καθαρά αρμονική διέγερση, η μετακίνηση στο συντονισμό, $S_{d,t}(T_{res})$ είναι:

$$S_{d,\xi}(T_{res}) = \frac{1 - e^{-2\pi\gamma\xi}}{2\xi} d_{g,max} \quad [2.5]$$

Χρησιμοποιώντας την Εξίσωση [2.3] προκύπτει η παρακάτω σχέση:

$$\frac{S_{d,\xi}(T_{res})}{CAD} = \frac{1 - e^{-2\pi\gamma\xi}}{8\gamma\xi} \quad [2.6]$$

Αν η διέγερση δεν είναι καθαρά αρμονική, η Εξίσωση παρουσιάζει σφάλμα για μεγάλες τιμές του γ . Η παραμετρική έρευνα που πραγματοποιήθηκε έδειξε ότι πρέπει να εφαρμοστεί ένας διορθωτικός συντελεστής στην περίπτωση αυτή, ίσος με $1 + (\gamma - 1)\xi$. Έτσι, για *κυματίδια M&P* ισχύει η ακόλουθη σχέση:

$$\frac{S_{d,\xi}(T_{res})}{CAD} = \frac{1 - e^{-2\pi\gamma\xi}}{8\gamma\xi} [1 + (\gamma - 1)\xi] \quad [2.7]$$

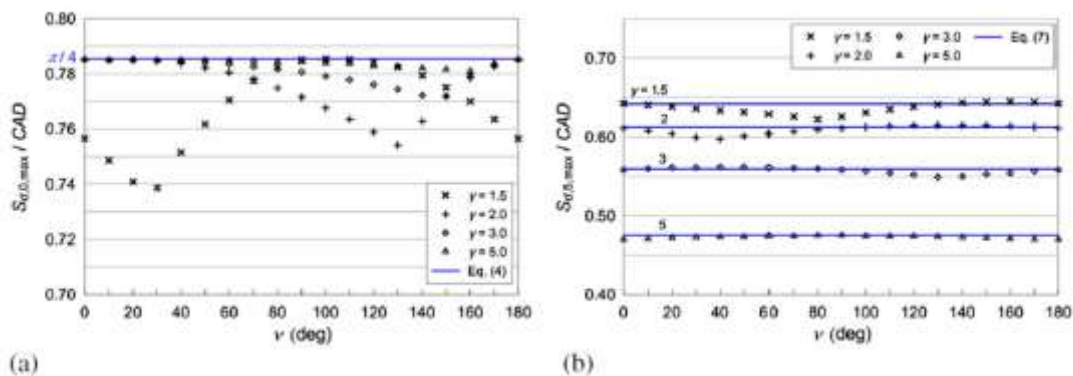
Η σύγκριση των τιμών που προκύπτουν από την Εξίσωση [2.7] με τις πραγματικές τιμές του λόγου $S_{d,\xi,max}/CAD$, για διαφορετικά ν και γ παρουσιάζονται στην εικόνα 2.1 για $\xi=5\%$. Όπως φαίνεται, η Εξίσωση [2.7] είναι ακριβής σε κάθε περίπτωση.

Με χρήση των εξισώσεων και της γνωστής σχέσης μεταξύ φασματικής μετακίνησης και ψευδο-ταχύτητας $PS_v=(2\pi/T)S_d$, προκύπτουν οι εξής σχέσεις:

$$\frac{PS_{v,0,max}}{CAD} = \frac{\pi^2}{2T_p} \quad \text{για μηδενική απόσβεση} \quad [2.8]$$

$$\frac{PS_{v,\xi,max}}{CAD} = \frac{\pi(1-e^{-2\pi\gamma\xi})[1+(\gamma-1)\xi]}{4\gamma\xi T_p} \quad \text{για απόσβεση } \xi \neq 0 \quad [2.9]$$

όπου, $PS_{v,0}$ και $PS_{v,\xi}$ υποδηλώνουν την ψευδοταχύτητα για μηδενική και για ίση με ξ απόσβεση, αντίστοιχα. Στη συνέχεια γίνεται χρήση των παραπάνω σχέσεων για τον υπολογισμό του εύρους.



Εικόνα 2.1 : Σχέση μεταξύ της μέγιστης φασματικής μετακίνησης $S_{d,max}$ και CAD για κυματίδιο M&P και διάφορες τιμές γ και ν . (a) μηδενική απόσβεση (b) απόσβεση 5% (Mimoglou et al 2014)

2.3 Προσδιορισμός της περιόδου των σημαντικών παλμών και των χαρακτηριστικών του κυματιδίου M&P

Για να εκφραστούν οι σημαντικοί παλμοί μιας καταγραφής μέσω του κυματιδίου M&P θα πρέπει να υπολογιστούν οι παράμετροι περιγραφής του κυματιδίου. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, αυτές είναι η παράμετρος A που συσχετίζεται με το εύρος της εδαφικής ταχύτητας, η συχνότητα f_p του σήματος, η διαφορά φάσης ν της ημιτονικής συνιστώσας και το γινόμενο γ της διάρκειας της εδαφικής

ταχύτητας επί την συχνότητα f_p . Πριν, όμως περιγραφεί η διαδικασία εκτίμησης των χαρακτηριστικών αυτών προσδιορίστηκε η περίοδος T_p των σημαντικών παλμών. Ο προσδιορισμός της περιόδου T_p του σημαντικού παλμού αποτέλεσε ένα κεφάλαιο της σεισμολογίας που απασχόλησε πολλούς ερευνητές με απόψεις διαφορετικές μεταξύ τους. Οι μέθοδοι εκτίμησης της T_p σχετίζονται κυρίως με το ελαστικό φάσμα απόκρισης της ψευδοταχύτητας και το φάσματος απόκρισης μετακινήσεων.

Σύμφωνα με την πρώτη μέθοδο, θεωρείται ότι η περίοδος T_p του δεσπόζοντος παλμού σχετίζεται με την τιμή της περιόδου για την οποία το ελαστικό φάσμα απόκρισης της ψευδοταχύτητας (PSV) για απόσβεση 5% εμφανίζει τη μέγιστη αιχμή του. Πρόκειται, όμως για μία μέθοδο που αμφισβητείται από πολλούς ερευνητές.

Ένας εναλλακτικός τρόπος υπολογισμού της περιόδου T_p θεωρείται η χρήση του φάσματος απόκρισης μετακινήσεων. Το συμπέρασμα αυτό προκύπτει από το γεγονός ότι το φάσμα μετακινήσεων αποτελεί σε ικανοποιητικό βαθμό την περιβάλλουσα του φάσματος ταχύτητας Fourier, όπως συμβαίνει και με το φάσμα ταχύτητας για μηδενική απόσβεση το οποίο θεωρείται περιβάλλουσα του φάσματος εδαφικής επιτάχυνσης Fourier. Η συγκεκριμένη θεώρηση αποδεικνύεται από τον Hudson και τη χρήση της παρακάτω σχέσης,

$$\tilde{\alpha}_g(\omega) \leq S_{v,o}(\omega) \quad [2.10]$$

όπου $\tilde{\alpha}_g(\omega)$ είναι τα πλάτη του φάσματος *Fourier* της εδαφικής επιτάχυνσης $a_g(t)$ και $S_{v,o}(\omega)$ είναι το φάσμα απόκρισης της ταχύτητας για μηδενική απόσβεση.

Για ταλαντωτές με μηδενική απόσβεση ($\xi=0$), μπορεί να γίνει η υπόθεση ότι το φάσμα απόκρισης της ταχύτητας $S_{v,o}(\omega)$ συμπίπτει με το φάσμα απόκρισης της ψευδοταχύτητας $PS_{v,o}(\omega)$, εκτός από τις περιοχές μεγάλων περιόδων. Έτσι, σε ένα μεγάλο εύρος περιόδων, μπορεί να γίνει η υπόθεση ότι $S_{v,o}(\omega) = \omega S_{d,o}(\omega)$, όπου $S_{d,o}(\omega)$ είναι το φάσμα μετακίνησης για μηδενική απόσβεση. Έπειτα, διαιρώντας και τα δύο μέλη της Εξίσωσης [2.10] με ω και λαμβάνοντας υπόψη ότι $\tilde{\alpha}_g(\omega) / \omega = \tilde{v}_g(\omega)$, όπου $\tilde{v}_g(\omega)$ το φάσμα *Fourier* της εδαφικής ταχύτητας, προκύπτει:

$$\tilde{v}_g(\omega) \leq S_{d,o}(\omega) \quad [2.11]$$

το οποίο δείχνει ότι το φάσμα απόκρισης της μετακίνησης είναι μια επαρκής περιβάλλουσα καμπύλη του φάσματος *Fourier* για την εδαφική ταχύτητα. Επομένως, θα μπορούσε να θεωρηθεί πιο σωστή η επιλογή της περιόδου με βάση το φάσμα απόκρισης μετακινήσεων για απόσβεση 5%, έναντι του φάσματος ψευδοταχυτήτων. Παρ'όλα αυτά η συγκεκριμένη επιλογή παρουσιάζει αρκετά μειονεκτήματα, καθώς η μέγιστη τιμή της μετακίνησης μπορεί να επηρεαστεί από την παρουσία σφαλμάτων σε μεγάλες περιόδους στην καταγραφή της εδαφικής επιτάχυνσης. Επίσης, η κορυφή του φάσματος μετακινήσεων είναι πιθανό να αντιστοιχεί σε παλμό που περικλείει μεγάλο εμβαδόν αλλά έχει μικρό πλάτος και ο οποίος να μην είναι ο κυρίαρχος. Ακόμη, το γεγονός ότι ο ορισμός της περιόδου δεν μπορεί να γενικευτεί αποτελεί άλλο ένα αρνητικό στοιχείο της μεθόδου.

Γίνεται σαφές, λοιπόν, ότι καμία από τις δύο μεθόδους προσδιορισμού της περιόδου του σημαντικού παλμού δεν ικανοποιεί τις συνθήκες γενίκευσης, πράγμα που συμβαίνει λόγω της εμφάνισης περισσοτέρων από ένας σημαντικό παλμό στις παλμικές καταγραφές.

Για το λόγο αυτό οι (*Mimoglou et al*) χρησιμοποίησαν ένα συνδυασμό των φασμάτων απόκρισης ταχυτήτων και μετακινήσεων για να αναγνωρίσουν τον σημαντικό παλμό μιας καταγραφής. Η μεθοδολογία τους βασίστηκε, επίσης στο γεγονός ότι ο παλμός επηρεάζει τόσο την εδαφική επιτάχυνση όσο και την εδαφική ταχύτητα και γ'αυτό ο παλμός κατευθυντικότητας θα αντιστοιχεί στην κορυφή του φάσματος *Fourier* της συνέλιξης της επιτάχυνσης και της ταχύτητας.

Όπως είναι γνωστό, το φάσμα *Fourier* του ολοκληρώματος συνέλιξης ισούται με το γινόμενο των φασμάτων *Fourier* των συνελιχθέντων σημάτων. Από την άλλη πλευρά, όπως προαναφέρθηκε, το φάσμα ταχύτητας για μηδενική απόσβεση, $S_{v,0}$, αποτελεί την περιβάλλουσα του φάσματος εδαφικής επιτάχυνσης *Fourier* και το φάσμα μετακίνησης για μηδενική απόσβεση, $S_{d,0}$, είναι αντίστοιχα η περιβάλλουσα του φάσματος *Fourier* ταχύτητας. Χρησιμοποιώντας αυτές τις ιδιότητες, το φάσμα *Fourier* του ολοκληρώματος συνέλιξης μπορεί να υπολογιστεί ως γινόμενο των $S_{d,0}(\omega) \times S_{v,0}(\omega)$ το οποίο θα αναφέρεται πλέον ως *φάσμα συνέλιξης (convolution spectrum)*. Αντίστοιχα η περίοδος του παλμού κατευθυντικότητας, μπορεί πλέον να υπολογιστεί από τις κορυφές του φάσματος συνέλιξης.

Το φάσμα που προέκυψε παραπάνω αντιστοιχεί σε μηδενική απόσβεση, οι (*Mimoglou et al*), όμως πρότειναν ο προσδιορισμός της περιόδου T_p να γίνεται μέσω του φάσματος $S_d \times S_v$ για απόσβεση 5%, που ορίζεται ως $S_{d,5} \times S_{v,5}$, όπου $S_{d,5}$ και $S_{v,5}$ είναι τα φάσματα μετακίνησης και ταχύτητας για απόσβεση 5%, αντίστοιχα, λόγω τριών σημαντικών χαρακτηριστικών. Πρώτο, η περίοδος που προκύπτει από το φάσμα για μηδενική απόσβεση, δεν συμπίπτει απαραίτητα με την αντίστοιχη για απόσβεση 5%. Δεύτερο, επειδή τα φάσματα του *Baker* αντιστοιχούν σε απόσβεση 5% και αποτελούν βάση σύγκρισης για τα αποτελέσματα των υπολοίπων, είναι απαραίτητο, ο προσδιορισμός της περιόδου να γίνεται για φάσματα με ίδια απόσβεση και τρίτο τα φάσματα με απόσβεση 5% είναι τα περισσότερο χρησιμοποιούμενα στον αντισεισμικό σχεδιασμό.

Όσον αφορά τα χαρακτηριστικά του *κυματιδίου M&P* υπολογίζονται έτσι ώστε το φάσμα απόκρισης μετακινήσεων του παλμού για απόσβεση 5% να συμπίπτει κατά το δυνατόν καλύτερα με το αντίστοιχο φάσμα της καταγραφής. Η μαθηματική έκφραση του *CAD (Cumulative Absolute Displacement)* συνδέεται με το πλάτος και τη διάρκεια γ και είναι της μορφής :

$$CAD = \frac{\gamma AT_p}{\pi} \quad [2.12]$$

Για την καλύτερη σύμπτωση των φασμάτων, αντικαθίσταται το *CAD* στην Εξίσωση [2.9] μέσω της Εξίσωσης [2.12], και η $PS_{v,\xi,max}$ με $PS_{v,\xi}(T_p)$, η οποία είναι η τιμή της ψευδοταχύτητας για περίοδο T_p και απόσβεση ξ και προκύπτει:

$$A = \frac{4\xi PS_{v,\xi}(T_p)}{(1 - e^{-2\pi\nu\xi})[1 + (\gamma - 1)\xi]} \quad [2.13]$$

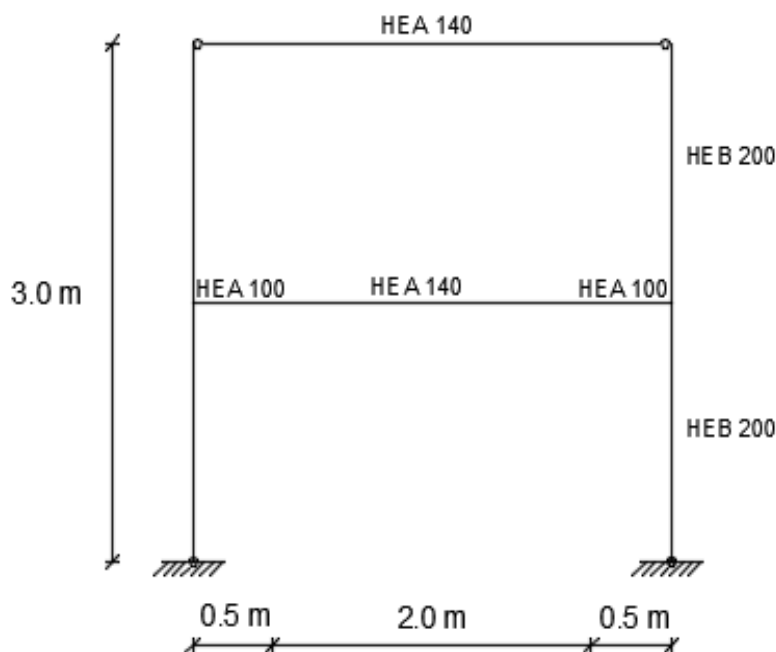
Για τον προσδιορισμό του πλάτους A από την Εξίσωση [2.13], η τιμή της διάρκειας γ πρέπει να είναι γνωστή. Επειδή όμως πρόκειται για μία άγνωστη παράμετρο, εξετάζονται όλες οι τιμές του γ σε ένα επιλεγμένο εύρος τιμών. Από όλα τα ζεύγη (A,γ) , απορρίπτονται εκείνα τα οποία δίνουν τιμές του πλάτους επιτάχυνσης, ταχύτητας ή μετακίνησης μεγαλύτερες από τις μέγιστες τιμές εδαφικής επιτάχυνσης (*PGA*), ταχύτητας (*PGV*) ή μετακίνησης (*PGD*), αντίστοιχα.

Στη συνέχεια, υπολογίζονται τα κυματίδια για τα ζεύγη που ικανοποιούν τις παραπάνω συνθήκες και για όλες τις τιμές της διαφοράς φάσης ν μεταξύ 0° και 360° . Για κάθε ένα από αυτά τα κυματίδια, εξετάζονται διάφορες τιμές της χρονικής υστέρησης t_d για την έναρξη του παλμού και έτσι προσδιορίζεται ένα σύνολο υποψήφιων κυματιδίων, κάθε ένα από τα οποία αντιστοιχεί σε διαφορετικό συνδυασμό παραμέτρων A , γ , ν και t_d . Από τις αντίστοιχες χρονοϊστορίες παλμών, $v_p(A,\gamma,\nu,t_d,t)$, επιλέγεται το κυματίδιο που σχετίζεται καλύτερα με τη χρονοϊστορία της εδαφικής ταχύτητας, $v_g(t)$. Έτσι, υπολογίζεται ο συντελεστής συσχέτισης r για κάθε ζεύγος χρονοϊστοριών (v_p, v_g) και επιλέγεται ο παλμός με το μεγαλύτερο r . Ακολουθώντας αυτή τη διαδικασία, μέσω του συντελεστή r δεν προσδιορίζεται μόνο ο παλμός που ταιριάζει καλύτερα στη χρονοϊστορία της ταχύτητας, αλλά και η στιγμή έναρξής του, t_d . Πρέπει να σημειωθεί ότι στην προτεινόμενη από τους (*Mavroeidis & Papageorgiou, 2003*) μέθοδο, αντί για τη χρονική υστέρηση t_d χρησιμοποιείται η χρονική στιγμή t_0 (περιοχή της κορυφής της περιβάλλουσας του κυματιδίου) για τον καθορισμό του παλμού. Η τιμή αυτή μπορεί να υπολογιστεί μέσω της σχέσης $t_0 = t_d + \gamma \frac{T_p}{2}$.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 :
ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΦΟΡΕΑ ΚΑΙ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ
ΤΟΥ ΣΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ SAP

3.1 Γεωμετρία Φορέα

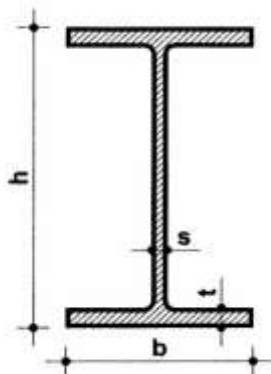
Ο φορέας που μελετάται στην παρούσα διπλωματική εργασία είναι ένα διώροφο μεταλλικό πλαίσιο, στο οποίο κάθε όροφος έχει ύψος $1,5\text{m}$ και πλάτος $3,0\text{m}$. Τα υποστυλώματα είναι διατομής $HEB\ 200$, ενώ τα δοκάρια αποτελούνται από μεταβλητή διατομή. Συγκεκριμένα, το δοκάρι του πρώτου ορόφου είναι διατομής $HEA\ 140$, ενώ το δοκάρι του ισογείου είναι διατομής $HEA\ 100$ στα μήκη $0,5\text{m}$ από τα άκρα του και στο ενδιάμεσο κομμάτι των 2m διατομής $HEA\ 140$. Οι συγκεκριμένες διαστάσεις και διατομές επιλέχθηκαν, έτσι ώστε να σχηματίζονται εύκολα πλαστικές αρθρώσεις στα άκρα της δοκού του ισογείου, οι οποίες θα είναι πλήρως αντικαταστάσιμες και επίσης να επιτραπεί η μελλοντική τοποθέτηση του στην σεισμική τράπεζα.



Εικόνα 3.1 : Προσομοίωμα πλαισίου.

Οι διατομές HEA και HEB είναι πρότυπες χαλύβδινες διατομές θερμής έλασης. Ονομάζονται, επίσης, πλατύπελμες καθώς το εμβαδόν των πελμάτων και των κορμών τους είναι μεγαλύτερο από άλλες κατηγορίες αντίστοιχων μεγεθών πρότυπων διατομών. Η αντοχή των διατομών αυτών σε κάμψη συνδέεται με την κατάταξη της διατομής σε κατηγορίες ανάλογα με το πάχος των μελών της (πέλμα, κορμός). Η πλαστική αντοχή σε τέμνουσα εξαρτάται από το εμβαδόν του κορμού της διατομής και η παρουσία σημαντικών αξονικών δυνάμεων απομειώνει την

αντοχή σε κάμψη. Με βάση τις παραπάνω παρατηρήσεις έγινε η επιλογή των διατομών αυτών. Στα παρακάτω σχήματα δίνονται τα θεωρητικά γεωμετρικά και τα στατικά χαρακτηριστικά τους.



Εικόνα 3.2 : Πρότυπη διατομή.

	b(mm)	h(mm)	s(mm)	t(mm)	A(cm ²)	I _y (cm ⁴)	I _z (cm ⁴)
HEA 100	100	96	5	8	21.2	349	134
HEA 140	140	133	5.5	8.5	31.4	1030	389
HEB 200	200	200	9	15	78.1	5700	2000

Πίνακας 3.1 : Χαρακτηριστικά διατομών.

3.2 Υλικά

Το μεταλλικό πλαίσιο που εξετάζεται, αποτελείται εξ'ολοκλήρου από δομικό χάλυβα ποιότητας S275 με τα παρακάτω χαρακτηριστικά, έτσι όπως παρέχονται από τον Ευρωκώδικα 3.

Μέτρο Ελαστικότητας	$E = 210000 \text{ Mpa}$
Μέτρο Διάτμησης	$G = E / [2*(1+\nu)] = 81000 \text{ Mpa}$
Λόγος Poisson	$\nu = 0.3$
Συντελεστής θερμικής διαστολής	$\alpha = 12*10^{-6} \text{ (για } T < 1000 \text{ } ^\circ\text{C)}$

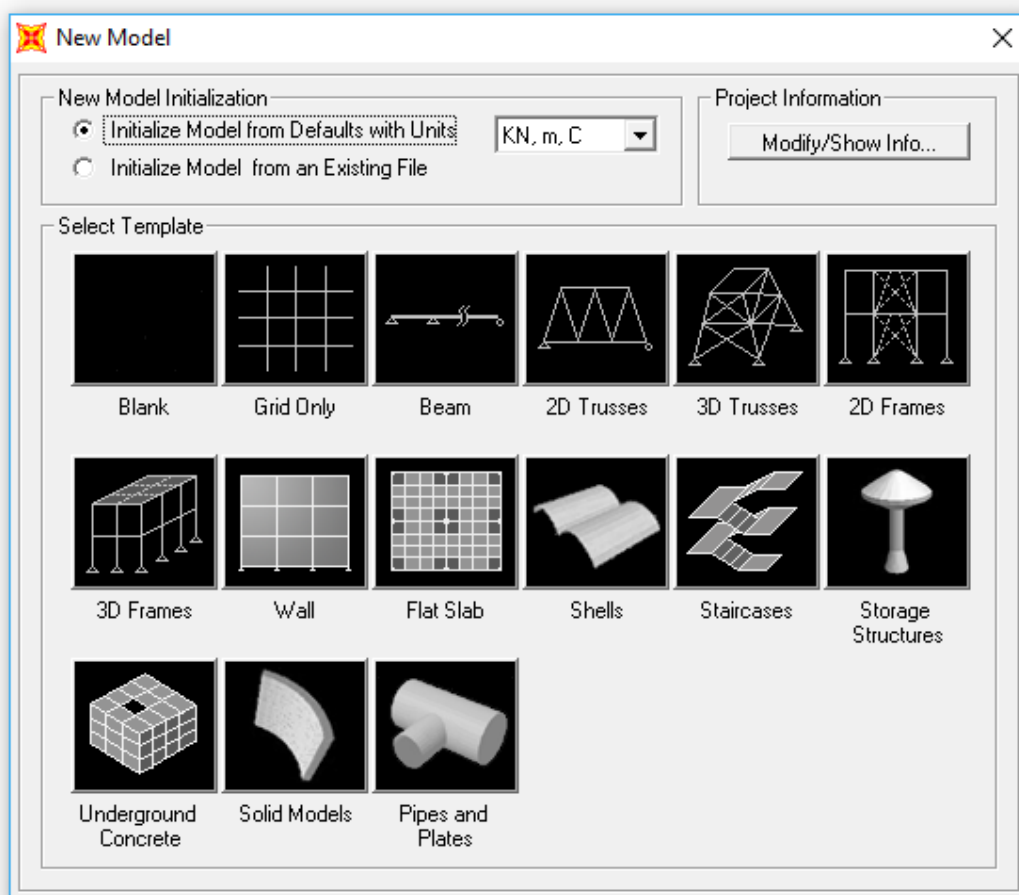
Πίνακας 3.2 : Χαρακτηριστικά δομικού χάλυβα.

3.3 Εισαγωγή γεωμετρίας φορέα στο λογισμικό SAP

Στην εργασία αυτή, για την διερεύνηση των χαρακτηριστικών του μεταλλικού πλαισίου υπό την επίδραση σεισμικών δράσεων, χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό προσομοίωσης και ανάλυσης που ονομάζεται *SAP2000*. Το βασικό χαρακτηριστικό του προγράμματος είναι οι δυνατότητες παραμετροποίησης και παρέμβασης που παρέχει στον χρήστη, ώστε να ικανοποιείται η απαίτηση για λεπτομερή προσδιορισμό των παραμέτρων της προσομοίωσης, λαμβάνοντας υπόψη τις απαιτήσεις των κανονισμών, αλλά και των παγκόσμιων προτύπων σχεδιασμού.

3.3.1 Σχεδίαση πλαισίου

Αρχικά δημιουργήθηκε το πλαίσιο, ακολουθώντας τα εξής βήματα *File-New Model-Grid Only* και ορίζοντας τις συντεταγμένες των σημείων στο πινακάκι που εμφανίστηκε αμέσως μετά την δημιουργία του καννάβου.



Εικόνα 3.3 : Πίνακας δυνατών μορφών σχεδίασης του προγράμματος

3.3.2 Καθορισμός Υλικού

Τα υλικό που επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθεί είναι ο χάλυβας κατηγορίας S275, τα χαρακτηριστικά του οποίου δίνονται από τον *Ευρωκώδικα 3*. Επιλέγοντας *Define - Materials -Add New Material*, δημιουργείται το υλικό του πλαισίου και οι βασικές παράμετροι που καθορίστηκαν είναι:

- 1) μέτρο ελαστικότητας υλικού,
- 2) πυκνότητα υλικού από την οποία μπορεί το πρόγραμμα να καθορίσει τη μάζα των δομικών στοιχείων του φορέα,
- 3) ειδικό βάρος υλικού, από το οποίο μπορεί το πρόγραμμα να καθορίσει το βάρος των δομικών στοιχείων του φορέα,
- 4) συντελεστής Poisson,
- 5) συντελεστής θερμικής διαστολής (ενεργοποιείται μόνο σε περίπτωση που δίνονται θερμοκρασιακές μεταβολές ως φορτία).

Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται τα χαρακτηριστικά του χάλυβα S275, έτσι όπως παρέχονται από το πρόγραμμα.

The image shows a software dialog box titled "Material Property Data" for defining the properties of S275 steel. The dialog is organized into several sections:

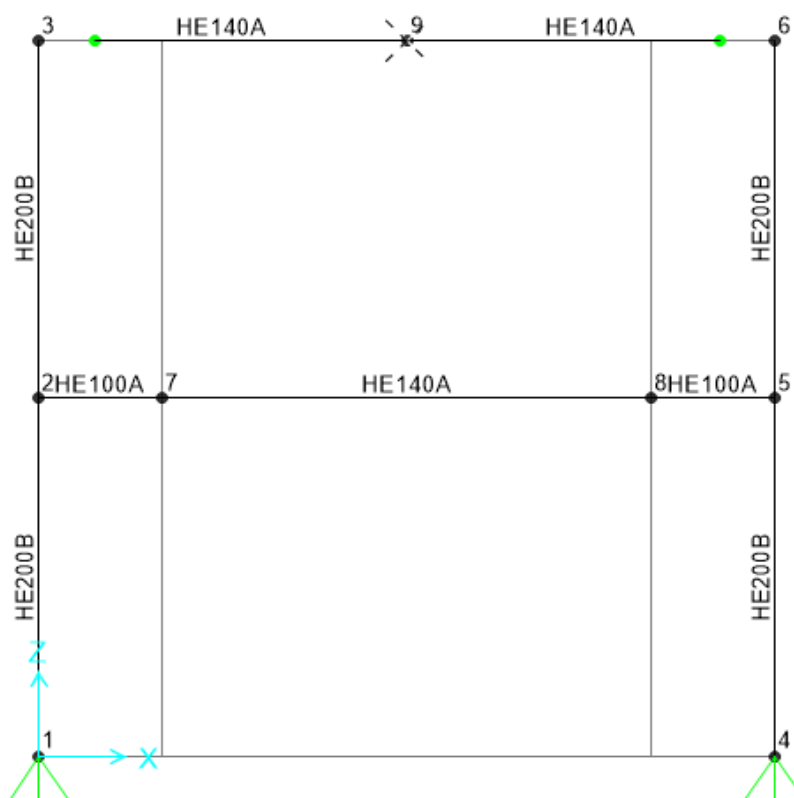
- General Data:** Material Name and Display Color is set to "S275" with a blue color swatch. Material Type is set to "Steel". A "Modify/Show Notes..." button is present.
- Weight and Mass:** Weight per Unit Volume is 76.9729 and Mass per Unit Volume is 7.849. A Units dropdown is set to "KN, m, C".
- Isotropic Property Data:** Modulus of Elasticity, E is 2.100E+08; Poisson's Ratio, U is 0.3; Coefficient of Thermal Expansion, A is 1.170E-05; Shear Modulus, G is 80769231.
- Other Properties for Steel Materials:** Minimum Yield Stress, Fy is 275000; Minimum Tensile Stress, Fu is 430000; Effective Yield Stress, Fye is 302500; Effective Tensile Stress, Fue is 473000.

At the bottom, there is a checkbox for "Switch To Advanced Property Display" (unchecked) and "OK" and "Cancel" buttons.

Εικόνα 3.4 : Πίνακας χαρακτηριστικών υλικού

3.3.3 Εισαγωγή διατομών

Οι διατομές ενός φορέα καθορίζουν την δυσκαμψία του, την αντοχή του αλλά και το μέγεθος του ίδιου βάρους του φορέα. Ο καθορισμός των διατομών των διαφόρων στοιχείων (γραμμικών, επιφανειακών ή χωρικών) που αποτελούν τον φορέα, αφορά στη γεωμετρία της κάθε διατομής (διαστάσεις και σχήμα διατομής) από την οποία προκύπτουν τα διάφορα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της (εμβαδόν, ροπές αδρανείας κτλ). Στη συγκεκριμένη περίπτωση η εισαγωγή των διατομών των δοκαριών και των υποστυλωμάτων στο πρόγραμμα έγινε με βάση ορισμένα τυποποιημένα πρότυπα που παρέχονται απ' αυτό. Ακολουθήθηκαν με τη σειρά οι εντολές *Define – Section Properties – Frame Sections - Import New Property - I/Wide Flange Euro.pro* και έτσι εισήχθησαν οι διατομές στο φορέα. Το αρχείο *Euro.pro* είναι η βάση δεδομένων από την οποία επιλέχθηκαν οι πρότυπες διατομές *HEA 100*, *HEA 140* και *HEB 200*. Μετά τον ορισμό όλων των παραπάνω χαρακτηριστικών, προκύπτει ο φορέας του μεταλλικού πλαισίου, όπως φαίνεται στην εικόνα 3.5.



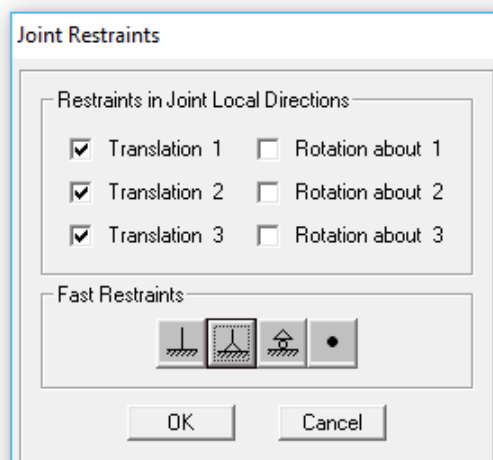
Εικόνα 3.5 : Η προσομοίωση του μεταλλικού πλαισίου στο SAP.



Εικόνα 3.6 : Τρισδιάστατη μορφή των διατομών του μεταλλικού πλαισίου.

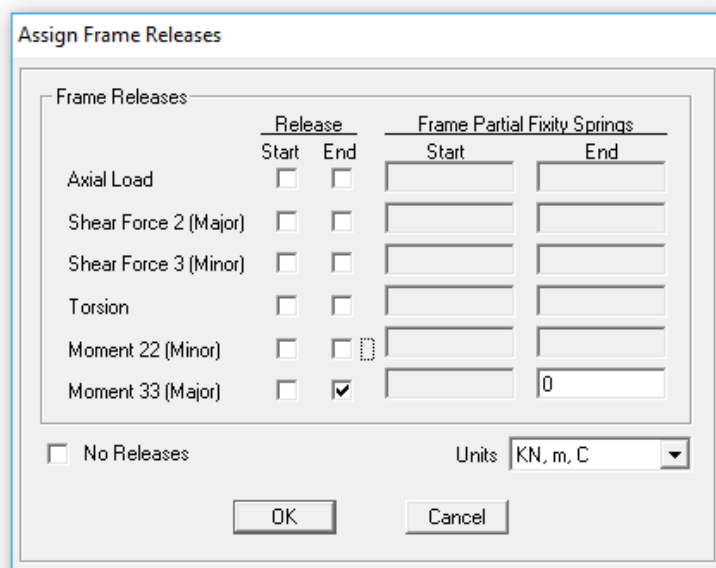
3.3.4 Προσομοίωση στηρίξεων και εσωτερικών αρθρώσεων

Αφού ο φορέας που μελετάται είναι πλαίσιο, πραγματοποιήθηκε επίπεδη ανάλυση. Για την προσομοίωση των στηρίξεων πρέπει αρχικά να καθοριστούν οι συνθήκες στήριξης του φορέα, δεσμεύοντας ή απελευθερώνοντας τους κατάλληλους βαθμούς ελευθερίας της κίνησης στους εμπλεκόμενους κόμβους. Οι δύο κόμβοι που αποτελούν στηρίξεις και συγκεκριμένα αρθρώσεις στην διεύθυνση εντός του επιπέδου και πακτώσεις εκτός επιπέδου, εισήχθησαν στο φορέα με τις εντολές *Assign-Joint-Restraints*, αφού επιλέχθηκαν πρώτα.



Εικόνα 3.7 : Δέσμευση βαθμών ελευθερίας στηρίξεων.

Στα άκρα του δοκαριού του 1^{ου} ορόφου έχουν τοποθετηθεί εσωτερικές αρθρώσεις. Η εσωτερική άρθρωση μπορεί να τεθεί ως ιδιότητα στο άκρο ενός από τα γραμμικά στοιχεία που αποτελούν τη δοκό. Πρόκειται πρακτικά για απελευθέρωση της δέσμευσης ενός βαθμού ελευθερίας στη θέση σύνδεσης του γραμμικού στοιχείου με το γειτονικό του. Εδώ επιλέγεται η αριστερή δοκός και με την εντολή *Assign-Frame-Releases-Partial Fixity* ορίζεται στο άκρο τέλους της δοκού (*End-J*) απελευθέρωση στον βαθμό ελευθερίας που σχετίζεται με την κάμψη της δοκού *Moment 33* και για τη δοκό. Η ίδια διαδικασία εκτελέστηκε και για την δεξιά δοκό, για το άκρο αρχής (*End-I*). Στην εικόνα 2.7 φαίνεται η εκτέλεση των παραπάνω βημάτων για την δεξιά δοκό.



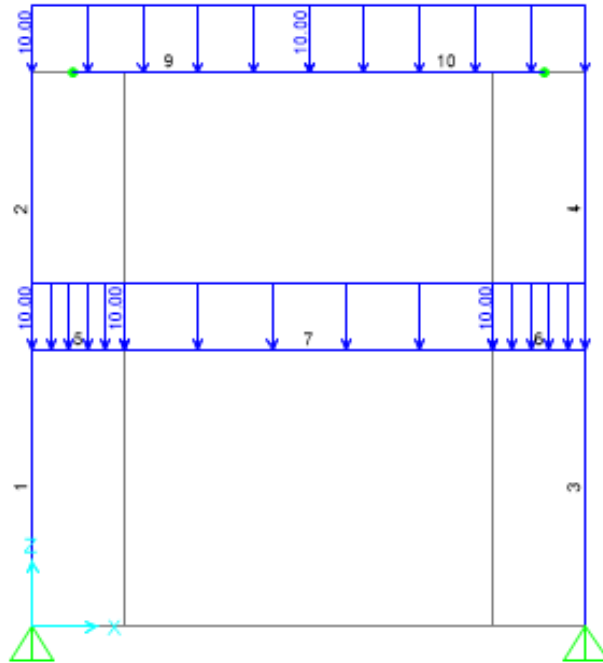
Εικόνα 3.8 : Απελευθέρωση της στροφής περί τον άξονα 3-3 της δοκού.

3.4 Εισαγωγή φορτίων

Οι μορφές φορτιστικών καταστάσεων που έχουν οριστεί είναι δύο , τα μόνιμα και τα σεισμικά φορτία. Η ανάλυση του φορέα έγινε επιβάλλοντας του 49 διαφορετικούς σεισμούς για τις ακόλουθες τέσσερις περιπτώσεις:

- α) Μόνιμο φορτίο ανά όροφο 2t και σεισμός με συντελεστή 1
- β) Μόνιμο φορτίο ανά όροφο 2t και σεισμός με συντελεστή 2
- γ) Μόνιμο φορτίο ανά όροφο 3t και σεισμός με συντελεστή 1
- δ) Μόνιμο φορτίο ανά όροφο 3t και σεισμός με συντελεστή 2

Ακολουθώντας τα βήματα *Define-Load Cases*, το μόνιμο φορτίο επιβλήθηκε στο πλαίσιο με τη μορφή καταναμεμένου φορτίου, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Εικόνα 3.9 : Ανάθεση μόνιμων φορτίων στο φορέα (3t ανά όροφο).

Η επιλογή των τιμών των μόνιμων φορτίων έγινε με σκοπό η ιδιοπερίοδος που θα προκύψει από την ιδιομορφική ανάλυση να βρίσκεται μέσα σε ένα συγκεκριμένο εύρος τιμών, αλλά και με βάση τη γεωμετρία του πλαισίου. Οι σεισμοί που χρησιμοποιήθηκαν στην ανάλυση έχουν συλλεχθεί από μια υπάρχουσα βάση δεδομένων. Η ανάθεση των μόνιμων φορτίων στο φορέα, φαίνεται παραπάνω.

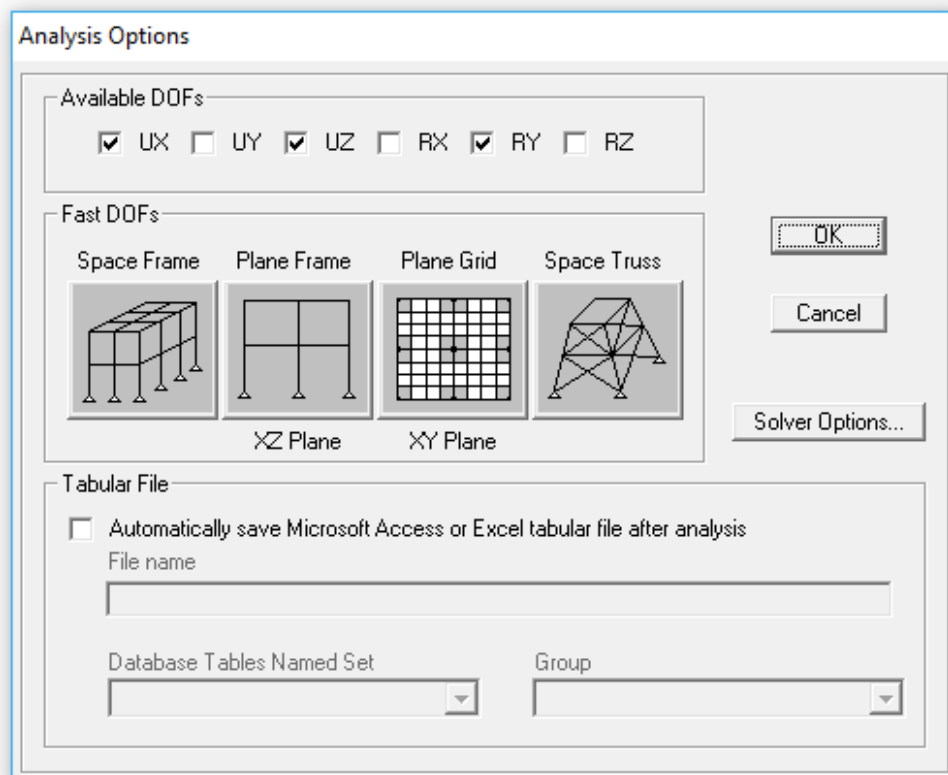
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 :
ΑΝΑΛΥΣΗ ΦΟΡΕΑ ΣΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ SAP

4.1 Εισαγωγή

Αφού έχει πραγματοποιηθεί η προσομοίωση του φορέα στο λογισμικό *SAP 2000*, στη συνέχεια εκτελούνται με την ακόλουθη σειρά τρεις αναλύσεις, η *Ιδιομορφική Ανάλυση*, η *Ανελαστική Στατική Ανάλυση* και η *Δυναμική Ανελαστική Ανάλυση*. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιούνται 49 εδαφικές καταγραφές της βάσης δεδομένων NGA οι οποίες είχαν ταξινομηθεί από τον (Baker, 2007) ως παλμικές. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, προκειμένου μια καταγραφή να θεωρείται παλμική πρέπει ο παλμός να μην φτάνει στο τέλος στη χρονοϊστορία ταχύτητας, η μέγιστη εδαφική ταχύτητα *PGV* να ξεπερνά τα 30cm/sec και οι τιμές του δείκτη πρόβλεψης παλμού *P.I.* να είναι μεγαλύτερες του 0.85 s.

4.2 Ιδιομορφική Ανάλυση

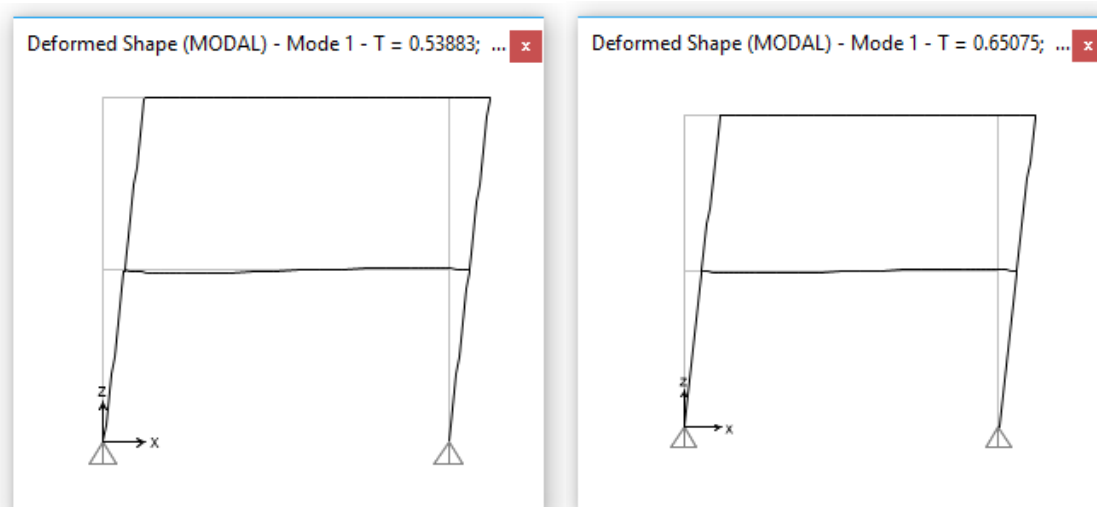
Η *ιδιομορφική ανάλυση (modal analysis)* είναι βασικής σημασίας για την προσέγγιση της επίλυσης του προβλήματος δυναμικής (μεταβλητής με το χρόνο) φόρτισης σε ένα σύστημα, δίνει ποιοτικά και ποσοτικά χαρακτηριστικά για τις επιβαλλόμενες μετακινήσεις και παραμορφώσεις που θα προκύψουν στο σύστημα, άρα και τις



Εικόνα 4.1 : Επιλογή Ανάλυσης του φορέα στο επίπεδο XZ.

δυνάμεις, αλλά και τις τάσεις που θα αναπτυχθούν. Η ανάλυση αυτή προηγείται της δυναμικής και γι'αυτό το λόγο ήταν η πρώτη που πραγματοποιήθηκε. Τόσο ο φορέας όσο και τα επιβαλλόμενα φορτία αφορούν πρόβλημα στο επίπεδο (η φόρτιση προκαλεί παραμόρφωση στο επίπεδο XZ και αφού υπάρχει η δυνατότητα, ορίζεται επίπεδη ανάλυση. Αυτό επιτυγχάνεται από την εντολή *Analyze-Set Analysis Options*. Με την συγκεκριμένη εντολή διατηρούνται μόνο οι βαθμοί ελευθερίας που σχετίζονται με απόκριση στο επίπεδο XZ, δηλαδή οι μετακινήσεις κατά X και Z και η στροφή γύρω από άξονα Y.

Ο σεισμός επιβάλλεται μόνο στη διεύθυνση X, γι'αυτό το λόγο είναι απαραίτητη η ιδιοπερίοδος T_x . Είναι γνωστό ότι ο υπολογισμός των ιδιοπεριοδών και κατά συνέπεια των ιδιομορφών ενός συστήματος, εξαρτάται αποκλειστικά από τα χαρακτηριστικά δυναμικής απόκρισης ενός κτιρίου, δηλαδή από τη μάζα και τη δυσκαμψία του. Ορίζοντας τις διατομές αλλά και τα φορτία του πλαισίου καθίσταται δυνατή η εκτέλεση της ιδιομορφικής ανάλυσης, μέσω των βημάτων *Define-Load Cases-Add New Load Cases* και με την προσθήκη της φορτιστικής κατάστασης *Modal*. Επειδή έχουν γίνει αναλύσεις για 2t και 3t ανά όροφο προκύπτουν δύο τιμές της ιδιοπεριόδου, μία για κάθε περίπτωση αντίστοιχα. Οι τιμές αυτές, φαίνονται στα παρακάτω σχήματα:



Εικόνα 4.2 : Πρώτη ιδιομορφή και τιμές ιδιοπεριοδών για 2t και 3t ανά όροφο αντίστοιχως.

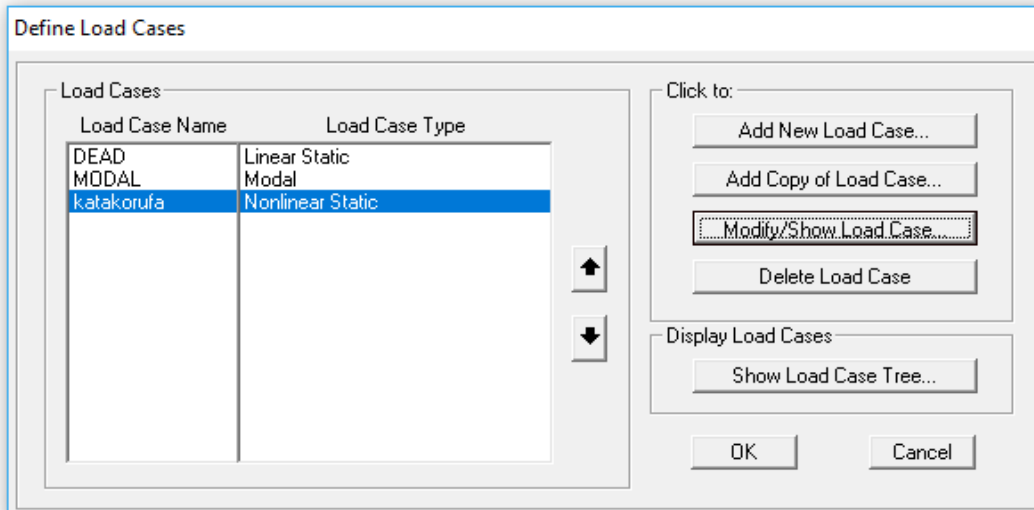
Λόγω του μεγάλου αριθμού των υπό εξέταση περιπτώσεων, δεν είναι δυνατή η παράθεση όλων των αποτελεσμάτων στις παρακάτω παραγράφους, γι'αυτό το λόγο στη συνέχεια θα παρουσιαστούν ενδεικτικά πέντε περιπτώσεις αποτελεσμάτων μόνο για την περίπτωση που το μόνιμο φορτίο ανά όροφο είναι τρεις τόνοι και ο σεισμός που επιβάλλεται είναι διπλής έντασης.

4.3 Ανελαστική Στατική Ανάλυση (Pushover Analysis)

Η ανελαστική στατική ανάλυση, γνωστή ως pushover analysis, αποτελεί την κυριότερη μη-γραμμική στατική μέθοδο για τον προσδιορισμό της σεισμικής απόκρισης των κατασκευών. Πρόκειται για μια διαδικασία απλούστερη σε απαιτήσεις προσομοίωσης και επίλυσης σε σχέση με την πλήρη δυναμική ανελαστική ανάλυση, η οποία όμως έχει ικανοποιητικά αποτελέσματα στην περίπτωση φορέων που συνήθως χαρακτηρίζονται «κανονικοί», με χαμηλή συμμετοχή των ανώτερων ιδιομορφών απόκρισης. Κατά την ανελαστική στατική ανάλυση εξετάζεται η συμπεριφορά του φορέα υπό τη δράση σταθερών φορτίων βαρύτητας και αυξανόμενων οριζόντιων φορτίων. Βασικό αποτέλεσμα της μεθόδου είναι η καμπύλη ικανότητας της κατασκευής, όπου αποτυπώνεται η μεταβολή της τέμνουσας βάσης με τη μετακίνηση του κόμβου ελέγχου, η θέση του οποίου συνήθως αφορά το κέντρο μάζας στην κορυφή του φορέα.

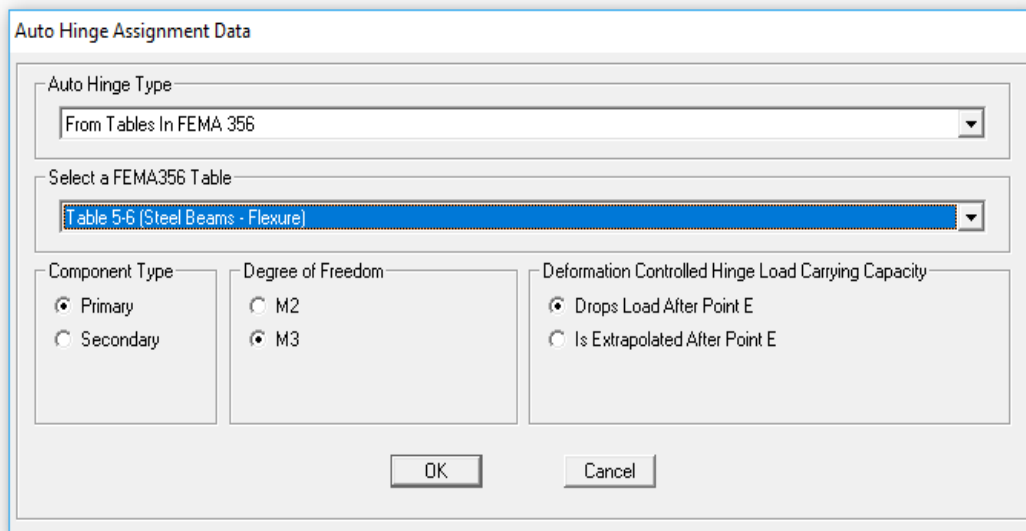
Για να τοποθετηθεί το κέντρο μάζας στον δεύτερο όροφο (KM2) του φορέα δημιουργήθηκε ένας κόμβος στο κέντρο της δοκού, όπου πρακτικά η δοκός «έσπασε» στα δύο, ακολουθώντας τα εξής βήματα *Edit- Edit Lines- Divide Frames* και επιλέγοντας την πρώτη επιλογή *Divide into Specified Number of Frames*. Για την εκτέλεση της ανελαστικής στατικής ανάλυσης στο συγκεκριμένο πρόγραμμα χρησιμοποιήθηκε η δυνατότητα προσομοίωσης της ανελαστικής συμπεριφοράς σε προκαθορισμένα σημεία ενός φορέα, με τη χρήση των σημειακών πλαστικών αρθρώσεων (*hinges*). Ως θέσεις πιθανής ανάπτυξης πλαστικών αρθρώσεων ορίζονται οι διατομές στην αρχή και στο τέλος των δομικών στοιχείων, καθώς πρόκειται για τα σημεία του φορέα όπου αναπτύσσονται οι μέγιστες καμπτικές ροπές κατά τη σεισμική φόρτιση. Η πλαστική άρθρωση σε μια διατομή ενεργοποιείται μόνο όταν η ροπή από την ανάλυση ξεπεράσει την αντίστοιχη ροπή διαρροής.

Πριν την τοποθέτηση των θέσεων των πλαστικών αρθρώσεων ορίστηκε μια νέα στατική φορτιστική κατάσταση (κατακόρυφα φορτία), η οποία ονομάστηκε «*katakorufa*», διότι κάποιες από τις τιμές της είναι χρήσιμες για την προσαρμογή των διαγραμμάτων στις πλαστικές αρθρώσεις. Αυτό, πραγματοποιήθηκε με τις εντολές *Define - Load Cases - Add New Load Case* και επιλέγοντας στον τύπο ανάλυσης *Non-linear* (εικόνα 4.3)



Εικόνα 4.3 : Ορισμός φορτιστικής κατάστασης κατακόρυφων φορτίων.

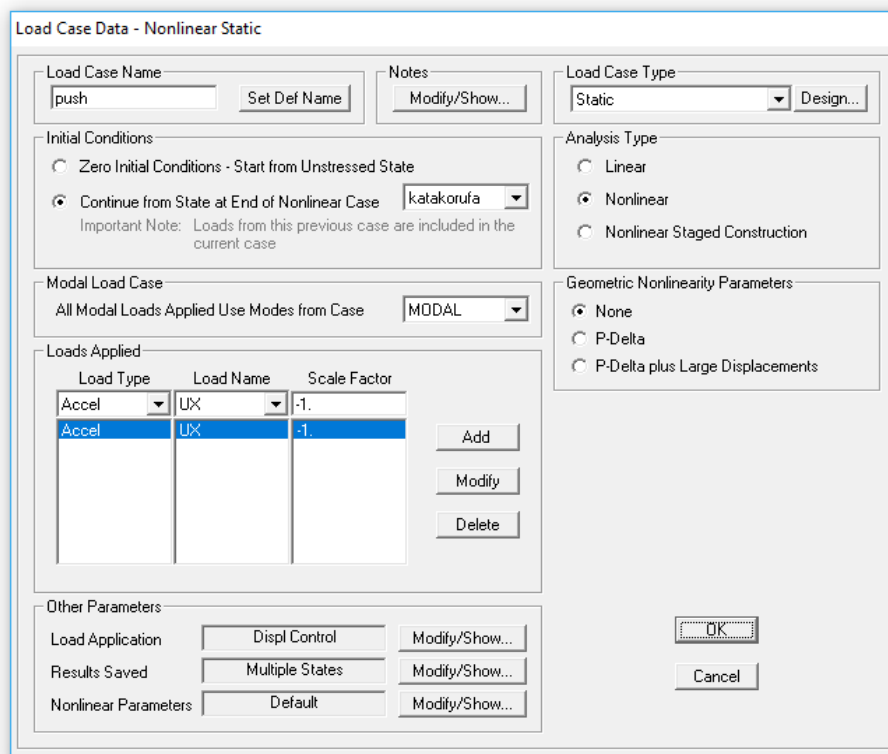
Όσον αφορά στην εισαγωγή των πλαστικών αρθρώσεων, έγινε ακολουθώντας τις εντολές *Assign-Frame-Hinges-Add*, προσθέτοντας για κάθε στοιχείο δύο σημεία τα *Auto M3(0)* και το *Auto M3(1)* στα άκρα του και επιλέγοντας κάθε φορά το κατάλληλο είδος υλικού και κατηγορία στοιχείου, όπως φαίνεται στην εικόνα 4.4 για τα δοκάρια του πλαισίου. Η ίδια διαδικασία εκτελείται και για τα υποστυλώματα του φορέα, με μόνη διαφορά την αλλαγή στην κατηγορία του στοιχείου.



Εικόνα 4.4 : Ορισμός ιδιοτήτων πλαστικής άρθρωσης στη δοκό

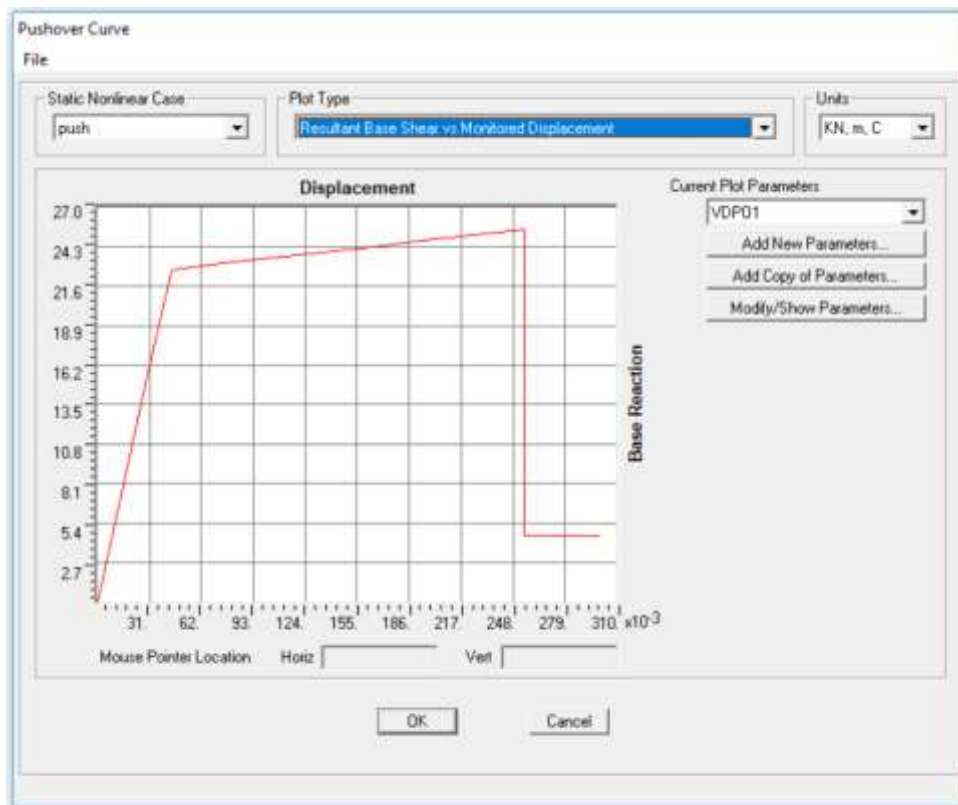
Για να είναι δυνατή η *ανελαστική στατική ανάλυση*, ορίστηκε, επίσης και το οριζόντιο φορτίο. Αυτό επιτεύχθηκε με τη δημιουργία μιας νέας επιβαλλόμενης φορτιστικής

κατάστασης, η οποία ονομάστηκε «push» και ορίζοντας το, με τη μορφή επιτάχυνσης κατά τη διεύθυνση X, με συντελεστή -1 και θέση επιβολής του τον αριστερά κόμβο (κόμβο 3) του πλαισίου. Συγκεκριμένα, η παραπάνω διαδικασία στο πρόγραμμα πραγματοποιήθηκε ακολουθώντας τα εξής βήματα *Define-Load Cases-Add New Load Case*, με έναρξη της «push» μετά το τέλος της ανελαστικής ανάλυσης των κατακόρυφων φορτίων (*katakorufa*), σύμφωνα με την εικόνα 4.5.



Εικόνα 4.5 : Ορισμός ανελαστικής στατικής ανάλυσης (Pushover ή Nonlinear Static Analysis).

Μετά την περάτωση της διαδικασίας που αναφέρθηκε παραπάνω, πραγματοποιήθηκε η ανάλυση του μοντέλου επιλέγοντας την εντολή *Run* και προέκυψε η καμπύλη ικανότητας του μεταλλικού πλαισίου για την περίπτωση όπου σε αυτό επιβλήθηκε φορτίο 3 τόνων ανά όροφο και σεισμός διπλής έντασης, όπως φαίνεται στην εικόνα 4.6 που ακολουθεί στη επόμενη σελίδα.

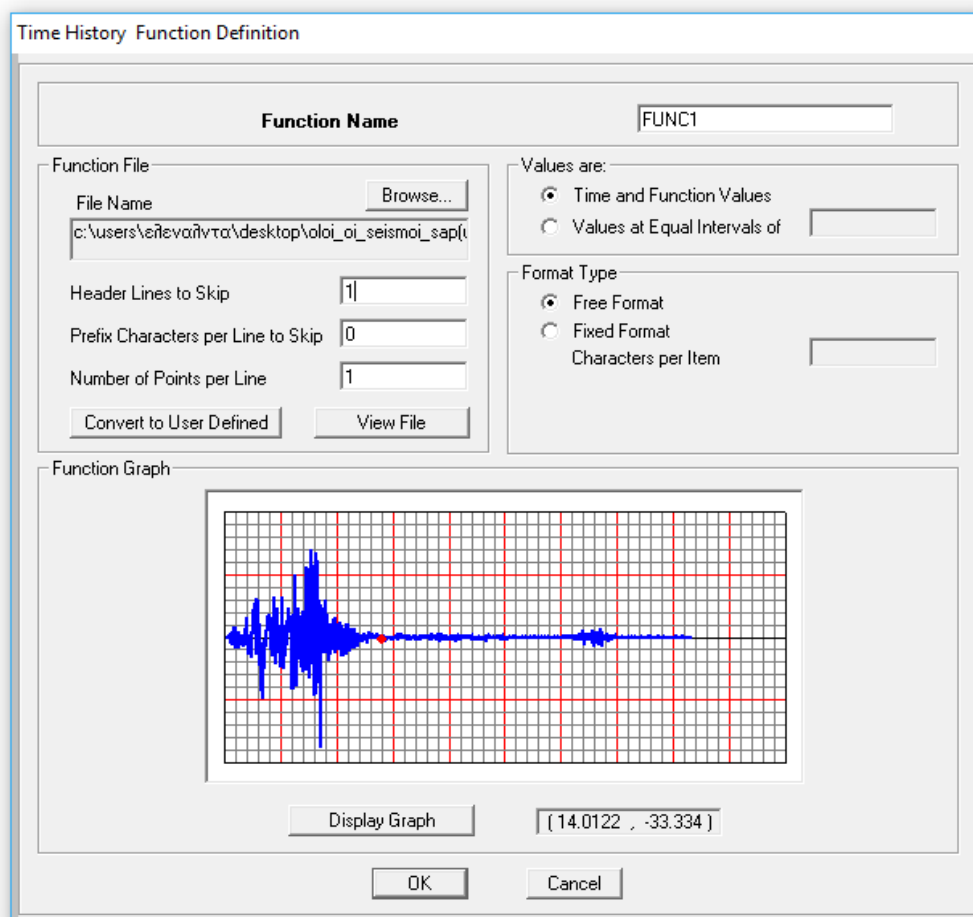


Εικόνα 4.6 : Η καμπύλη ικανότητας έτσι όπως προκύπτει από το λογισμικό SAP (3 τόνοι ανά όροφο και σεισμό διπλής έντασης).

4.4 Δυναμική Ανελαστική Ανάλυση

Οι περισσότερες δυναμικές αναλύσεις κτιρίων βασίζονται στην ελαστική συμπεριφορά του υλικού. Στην πραγματικότητα, όμως, μια κατασκευή υπό την επίδραση ισχυρών σεισμικών δυνάμεων συμπεριφέρεται ανελαστικά. Η δυναμική ανελαστική ανάλυση αφορά μη-γραμμική ανελαστική απόκριση του φορέα, όπου η δράση των οριζόντιων φορτίων είναι δυναμικού τύπου και προκαλεί την αδρανειακή απόκριση της κατασκευής. Στην περίπτωση που η δυναμική ανάλυση γίνεται χρησιμοποιώντας χρονοϊστορίες επιταχύνσεων, τότε αυτή αφορά στην καταγραφή της απόκρισης ενός φορέα όταν στον συγκεκριμένο επιβληθεί ως δύναμη το επιταχυνσιογράφημα ενός σεισμού, η πραγματική δηλαδή σεισμική κίνηση κατά τη διάρκεια του σεισμικού γεγονότος. Τέτοιας μορφής επιταχυνσιογραφήματα υπάρχουν τόσο από καταγραφές πραγματικών σεισμών όσο και τεχνητά, με κατάλληλα χαρακτηριστικά για την αντιμετώπιση συγκεκριμένων προβλημάτων. Στο μεταλλικό πλαίσιο που μελετάται επιβλήθηκε κάθε φορά μια νέα χρονοϊστορία επιταχύνσεων, εισάγωντάς την στο πρόγραμμα

από αρχείο δεδομένων (*Define-Function-Time History*), ορίζοντας την επιλογή μη-γραμμική ανάλυση (*Nonlinear Analysis*). Η διαδικασία ορισμού της δυναμικής ανελαστικής ανάλυσης έγινε, με τέτοιο τρόπο ώστε να λαμβάνονται υπόψη και τα κατακόρυφα φορτία που ασκούνται στον φορέα (*Continue from State at End of Nonlinear Case*), όπως άλλωστε συμβαίνει στην πραγματικότητα κατά τη σεισμική καταπόνηση μιας κατασκευής.



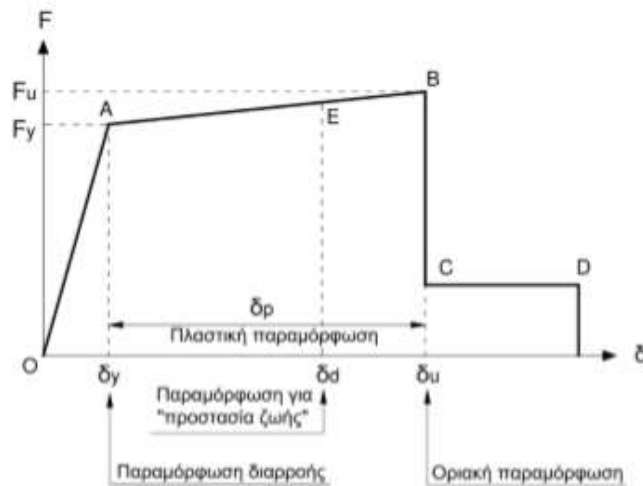
Εικόνα 4.7 : Εισαγωγή καταγραφών στο λογισμικό SAP.

Στα αποτελέσματα της δυναμικής ανελαστικής ανάλυσης παρατηρήθηκε ένα πολύ ενδιαφέρον χαρακτηριστικό στον μεγαλύτερο αριθμό των υπό εξέταση περιπτώσεων. Η ιδιαιτερότητα αυτή αφορά στις χρονιοιστορίες μετακινήσεων του κέντρου μάζας (*KM2*) της ανώτερης στάθμης. Τα διαγράμματα έδειξαν ότι το σημείο του *KM2* μετά την επιβολή της σεισμικής δύναμης δεν επανέρχεται στην θέση ισορροπίας του, αλλά έχει παραμένουσα μετακίνηση. Αυτό το φαινόμενο παρατηρήθηκε σε πολύ μεγάλο ποσοστό των περιπτώσεων. Στον παρακάτω πίνακα φαίνεται σε τί ποσοστό των περιπτώσεων που έχουν αναλυθεί στο *SAP*, στη χρονιοιστορία των μετακινήσεων προκύπτει παραμένουσα μετακίνηση.

	Ποσοστό
α) Μόνιμο φορτίο ανά όροφο 2t και σεισμός με συντελεστή 1	67.40%
β) Μόνιμο φορτίο ανά όροφο 2t και σεισμός με συντελεστή 2	95.90%
γ) Μόνιμο φορτίο ανά όροφο 3t και σεισμός με συντελεστή 1	73.50%
δ) Μόνιμο φορτίο ανά όροφο 3t και σεισμός με συντελεστή 2	91.80%

Πίνακας 4.1: Ποσοστά των σεισμών που προκαλούν παραμένουσα μετακίνηση στο ΚΜ2.

Σε αυτό το σημείο κρίνεται σκόπιμη η αναφορά στα χαρακτηριστικά συμπεριφοράς των πλαστικών αρθρώσεων. Στο παρακάτω σχήμα απεικονίζονται οι καταστάσεις που θα μπορούσε να βρίσκεται μία πλαστική άρθρωση.



Εικόνα 4.8 :
καμπύλη F-δ δομικού στοιχείου.

Ιδεατή

Τμήμα OA :

Αντιπροσωπεύει την ελαστική συμπεριφορά μέχρι το θεωρητικό σημείο διαρροής A.

Τμήμα AB :

Αντιπροσωπεύει τη μετελαστική συμπεριφορά του στοιχείου μέχρι το σημείο θεωρητικής αστοχίας B. Το σημείο B καθορίζεται από την οριακή παραμόρφωση αστοχίας δ_u , που ορίζεται ως η παραμόρφωση για την οποία έχει συμβεί ουσιαστική μείωση της ικανότητας παραλαβής φορτίων. Η παραμόρφωση δ_u ορίζει την ικανότητα πλαστικής παραμόρφωσης του στοιχείου, η οποία ορίζεται από το μετελαστικό τμήμα της παραμόρφωσης μέχρι την αστοχία, δηλαδή $\delta_p = \delta_u - \delta_y$.

Τμήμα CD :

Αντιπροσωπεύει την απομένουσα ικανότητα του στοιχείου. Συνήθως μετά την παραμόρφωση αστοχίας δ_u , η ικανότητα ενός μέλους να παραλάβει σεισμικά φορτία μειώνεται σημαντικά, αλλά δε μηδενίζεται και έτσι το στοιχείο εξακολουθεί να μπορεί να παραλαμβάνει κατακόρυφα φορτία. Στο σημείο D γίνεται η θεώρηση ότι το στοιχείο δε μπορεί να παραλάβει ούτε τα κατακόρυφα φορτία. Η τιμή της απομένουσας αντοχής εκτιμάται συνήθως ως το 20% της οριακής αντοχής.

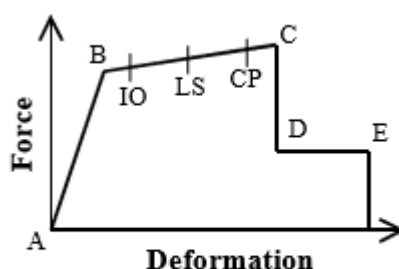


Figure 1: Force-Deformation For Pushover Hinge

Εικόνα 4.8 : Διάγραμμα ροπής καμπυλότητας πλαστικής άρθρωσης

Σημεία Διαγράμματος Ροπής – Στροφή

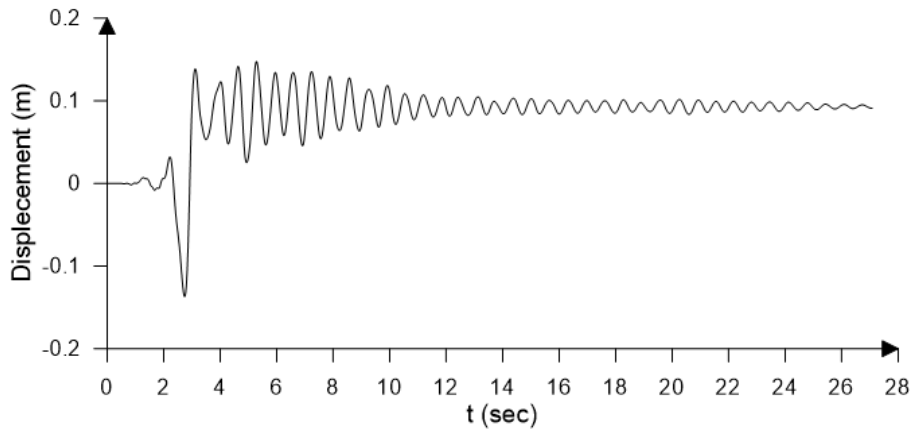
IO – Immediate Occupancy: άμεση χρήση μετά το σεισμό

LS – Life Safety: προστασία ανθρώπινης ζωής

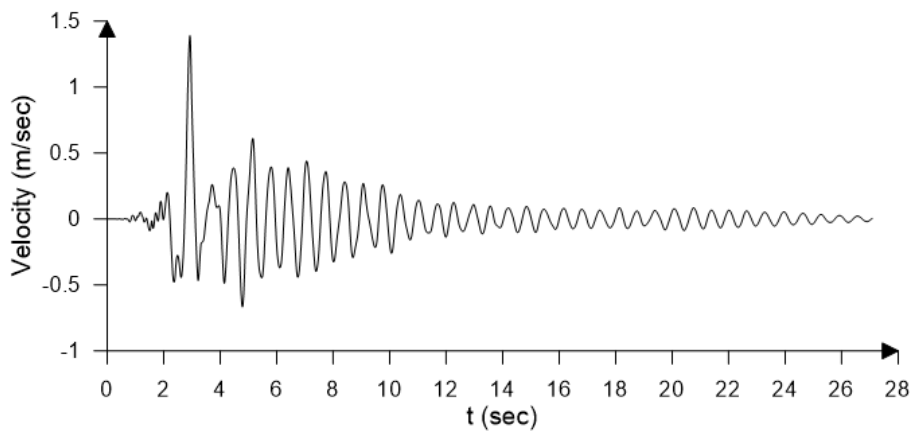
CP – Collapse Prevention: αποφυγή κατάρρευσης

Για κάθε μία περίπτωση από τις τέσσερις που εμφανίζονται στον παραπάνω πίνακα έχουν θεωρηθεί και αναλυθεί 49 σεισμικά γεγονότα σε μορφή χρονοιστορίας επιταχύνσεων. Συγκεκριμένα, για κάθε περίπτωση το ποσοστό προέκυψε σαν λόγος του αριθμού των σειμών που έδωσαν παραμένουσα μετακίνηση, προς τον συνολικό αριθμό των σειμών που χρησιμοποιήθηκαν. Στη συνέχεια παρατίθενται ενδεικτικά 5 αρχεία της περίπτωσης δ, στα οποία είναι εμφανές το παραπάνω χαρακτηριστικό.

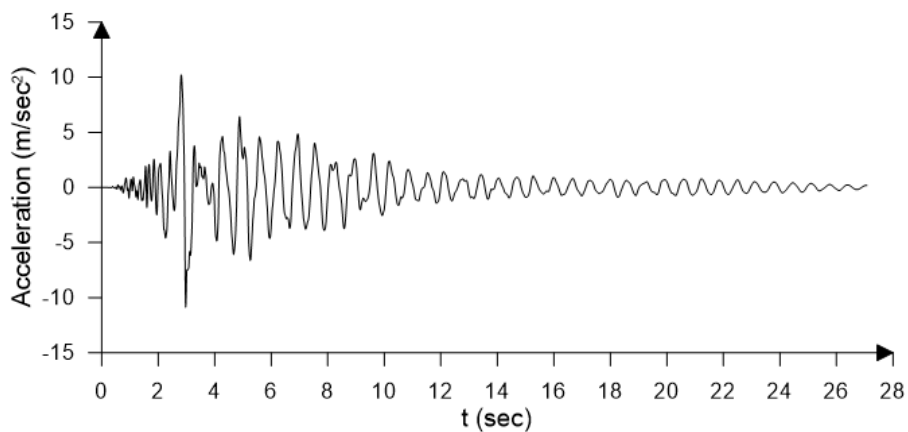
Χρονοιστορίες απόκρισης της καταγραφής Νο2



α) Χρονοιστορία μετακινήσεων



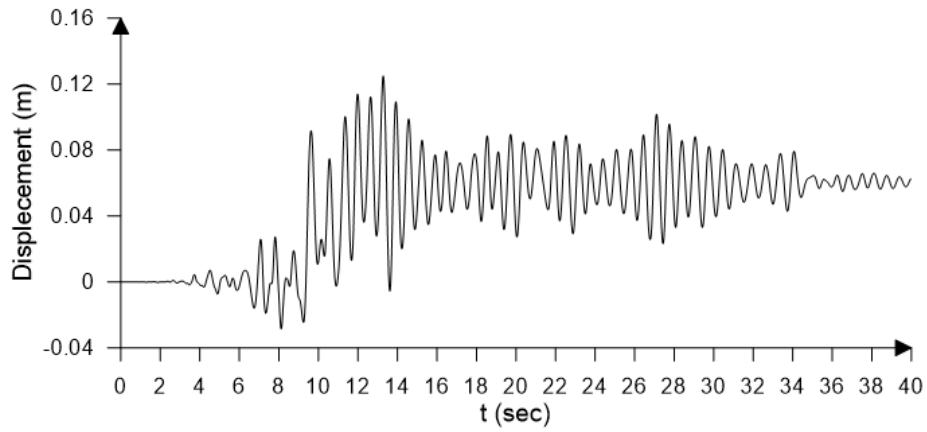
β) Χρονοιστορία ταχυτήτων



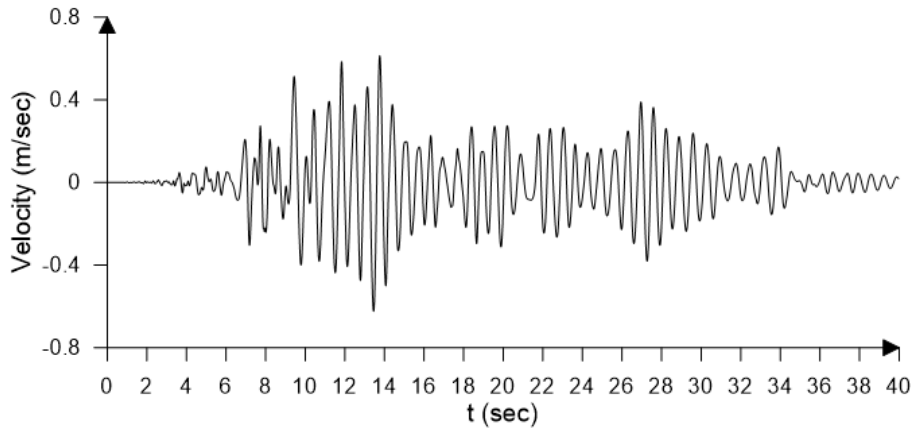
γ) Χρονοιστορία επιταχύνσεων

Εικόνα 4.9 : α) Χρονοιστορία μετακινήσεων, β) ταχυτήτων και γ) επιταχύνσεων της απόκρισης της κατασκευής στο σημείο KM2 για το σεισμό Νο2.

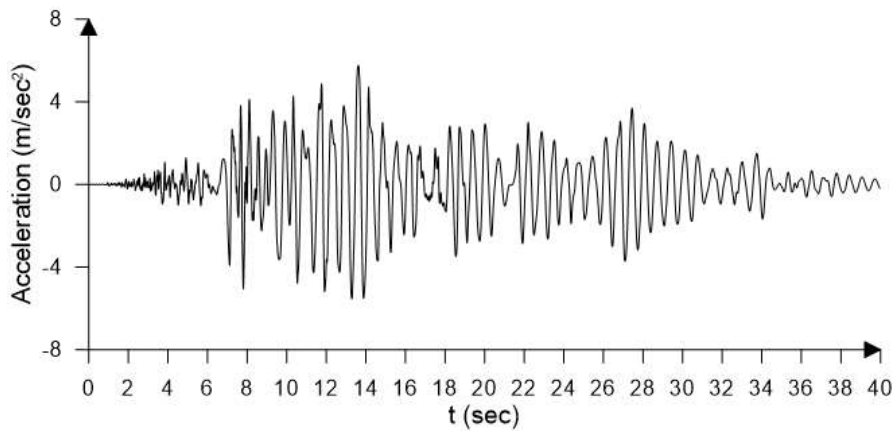
Χρονοιστορίες απόκρισης της καταγραφής Νο20



α) Χρονοιστορία μετακινήσεων



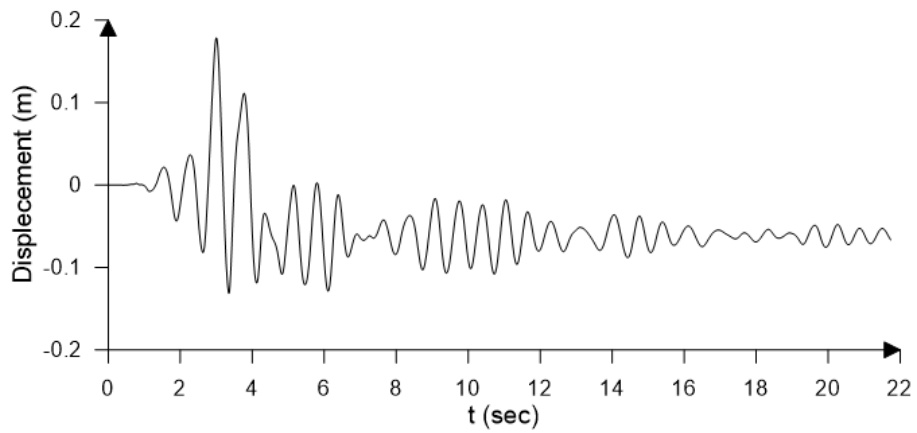
β) Χρονοιστορία ταχυτήτων



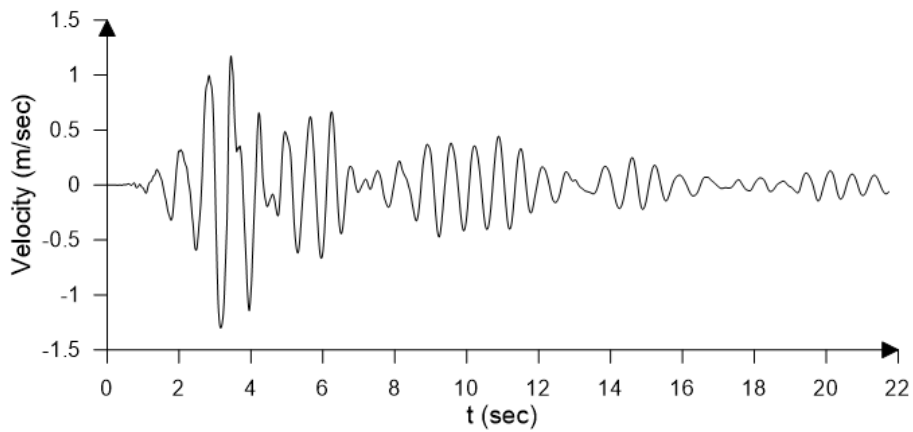
γ) Χρονοιστορία επιταχύνσεων

Εικόνα 4.10 : α) Χρονοιστορία μετακινήσεων, β) ταχυτήτων και γ) επιταχύνσεων της απόκρισης της κατασκευής στο σημείο ΚΜ2 για το σεισμό Νο20.

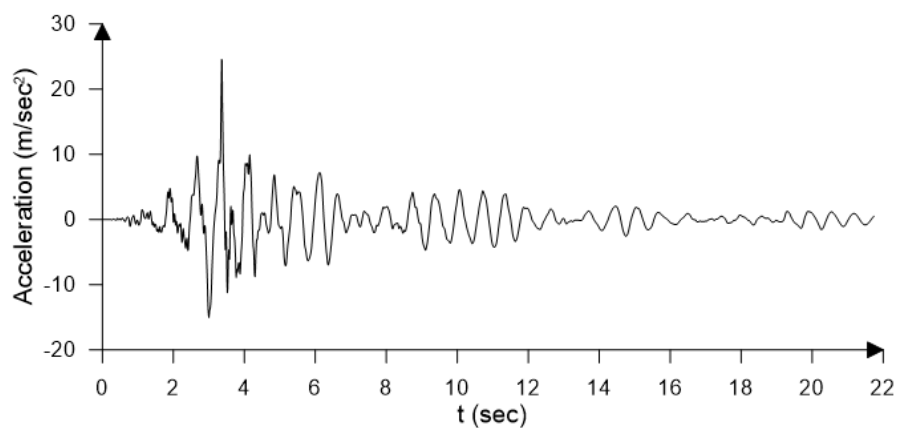
Χρονοιστορίες απόκρισης της καταγραφής Νο22



α) Χρονοιστορία μετακινήσεων



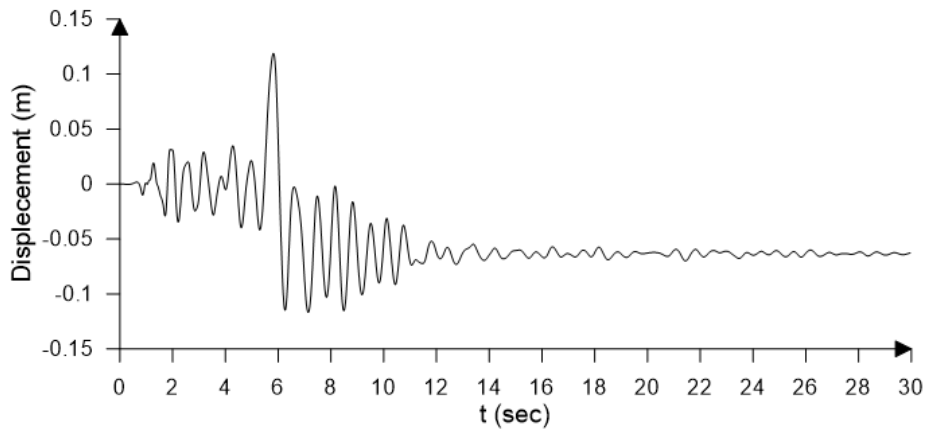
β) Χρονοιστορία ταχυτήτων



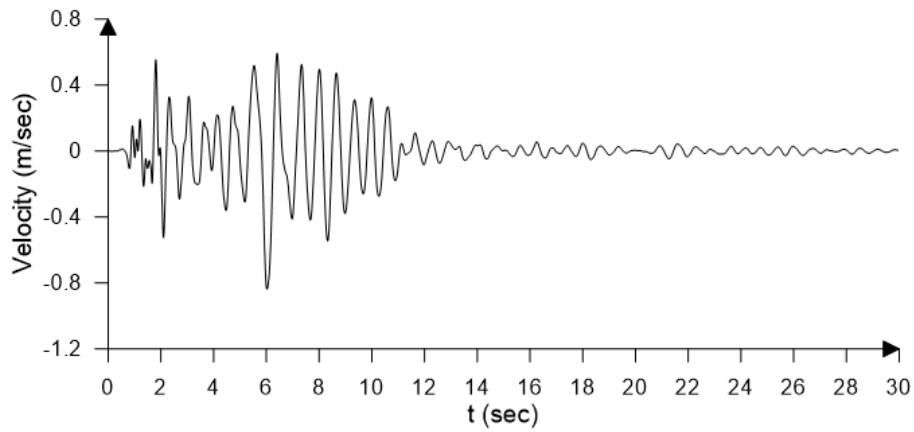
γ) Χρονοιστορία επιταχύνσεων

Εικόνα 4.11 : α) Χρονοιστορία μετακινήσεων, β) ταχυτήτων και γ) επιταχύνσεων της απόκρισης της κατασκευής στο σημείο KM2 για το σεισμό Νο22.

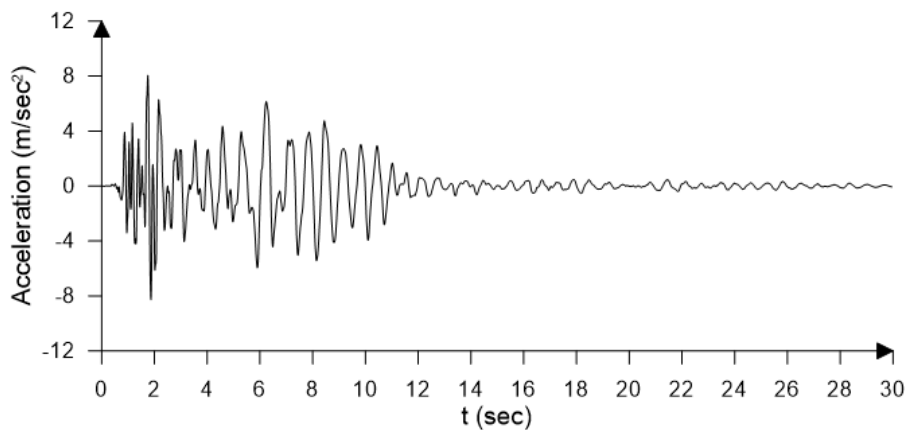
Χρονοιστορίες απόκρισης της καταγραφής Νο25



α) Χρονοιστορία μετακινήσεων



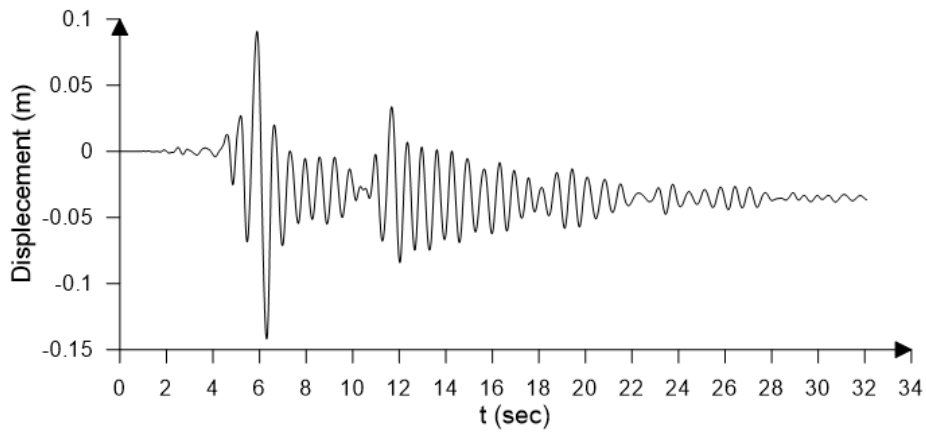
β) Χρονοιστορία ταχυτήτων



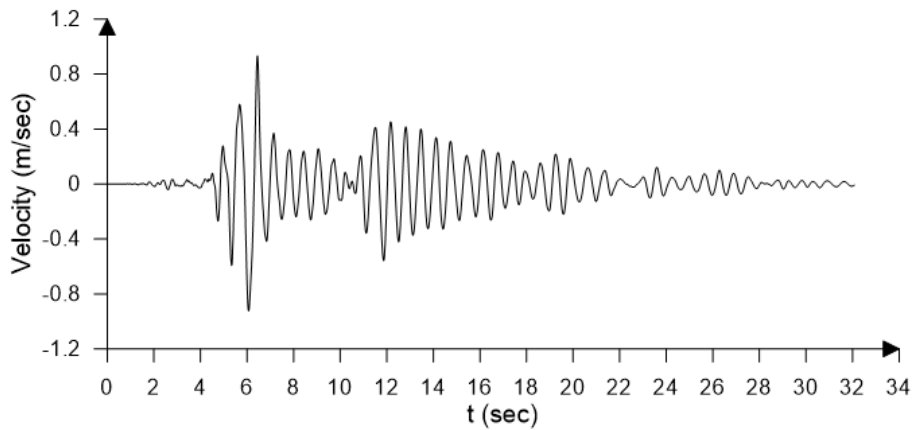
γ) Χρονοιστορία επιταχύνσεων

Εικόνα 4.12 : α) Χρονοιστορία μετακινήσεων, β) ταχυτήτων και γ) επιταχύνσεων της απόκρισης της κατασκευής στο σημείο KM2 για το σεισμό Νο25.

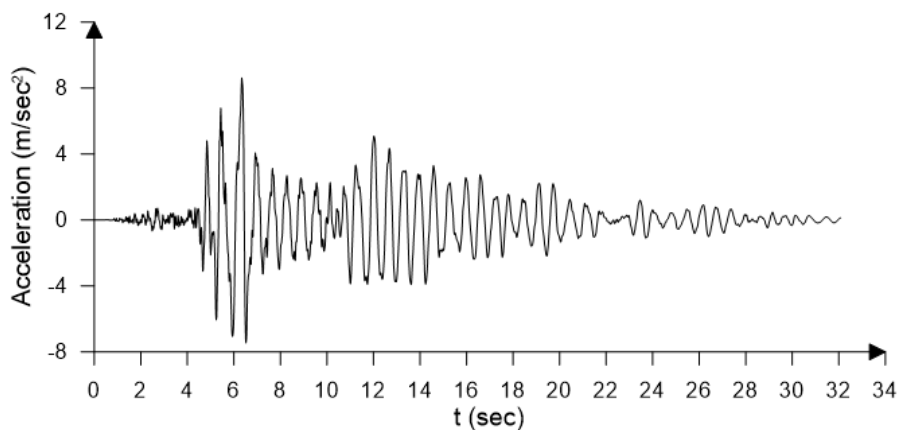
Χρονοιστορίες απόκρισης της καταγραφής Νο31



α) Χρονοιστορία μετακινήσεων



β) Χρονοιστορία ταχυτήτων



γ) Χρονοιστορία επιταχύνσεων

Εικόνα 4.13 : α) Χρονοιστορία μετακινήσεων, β) ταχυτήτων και γ) επιταχύνσεων της απόκρισης της κατασκευής στο σημείο ΚΜ2 για το σεισμό Νο31.

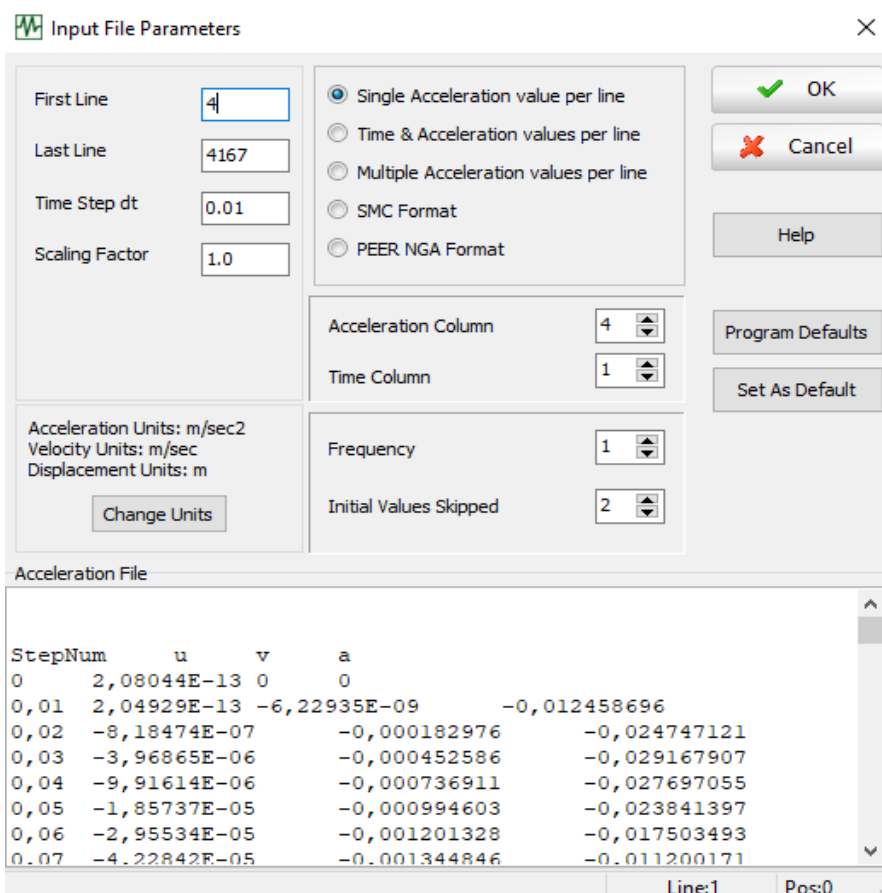
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 :
ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ SEISMOSIGNAL
ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕ
ΚΥΜΑΤΙΔΙΑ

5.1 Εισαγωγή

Ένας απ'τους στόχους της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι να εκφραστεί η χρονοιστορία της ταχύτητας του *KM2* του μεταλλικού πλαισίου, μέσω της ανάλυσης των κυματιδίων. Πιο συγκεκριμένα, πρόκειται για την προσέγγιση του σήματος της χρονοιστορίας της απόκρισης. Αυτό πραγματοποιείται, χρησιμοποιώντας έναν ειδικό υπολογιστικό κώδικα που αποτελεί εφαρμογή της μεθοδολογίας των Mimoglou et al, 2004.

5.2 Ανάλυση Fourier στο λογισμικό Seismosignal

Στο προηγούμενο κεφάλαιο χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό SAP, προκειμένου να επιβληθούν στο μεταλλικό πλαίσιο, 49 καταγραφές κοντινού πεδίου. Αφού ορίστηκαν καταλλήλως οι συνθήκες που ήταν απαραίτητες, έγινε η ανάλυση του φορέα και προέκυψαν τα ζητούμενα αποτελέσματα. Συγκεκριμένα, μέσω της ανάλυσης αυτής διαμορφώθηκαν οι χρονοιστορίες μετακινήσεων, ταχυτήτων και επιταχύνσεων της απόκρισης της κατασκευής του κέντρου μάζας του ανώτερου ορόφου (*KM2*), το οποίο θεωρήθηκε το πιο αντιπροσωπευτικό σημείο.



Εικόνα 5.1 : Εισαγωγή δεδομένων στο Seismosignal.

Στη συνέχεια τα αποτελέσματα εισήχθησαν στο λογισμικό του *Seismosignal*, με σκοπό την *ανάλυση Fourier* και ειδικότερα, τα διαγράμματα εύρους και περιόδου. Το *διάγραμμα Fourier* δείχνει ποια είναι η πιο ισχυρή συχνότητα μέσα στο σήμα. Στο πρόγραμμα έγινε η ανάλυση για τις χρονοιστορίες ταχυτήτων, αλλά και επιταχύνσεων. Για παράδειγμα στην εικόνα 5.1 φαίνεται η διαδικασία εισαγωγής μιας χρονοιστορίας επιταχύνσεων στο *Seismosignal*. Η παραπάνω εικόνα εμφανίζεται, αφού ανοιχτούν τα αρχεία βάσης (*Open*) και επιλεχθεί το αρχείο που απαιτείται. Συμπληρώθηκαν τα κενά στοιχεία και ορίστηκαν οι μονάδες μέτρησης, έτσι ώστε να είναι αντίστοιχες με αυτές των δεδομένων.

5.3 Ανάλυση κυματιδίων

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, σύμφωνα με τους μελετητές η ανάλυση με κυματίδια (*wavelet analysis*) είναι μια μέθοδος προσέγγισης της χρονοιστορίας ενός σήματος χρησιμοποιώντας μαθηματικές συναρτήσεις. Στην παρούσα εργασία η ανάλυση των κυματιδίων έγινε μόνο για τις χρονοιστορίες ταχυτήτων, διαμέσου του υπολογιστικού κώδικα *CROSS5NEW-5* που αποτελεί εφαρμογή της μεθοδολογίας των (*Mimoglou et al, 2004*). Η λογική του κώδικα είναι να επεξεργάζεται μία οποιαδήποτε χρονοιστορία (επιτάχυνσης, ταχύτητας κλπ), να την αναλύει έτσι ώστε να προκύψουν έξι κυματίδια κατά σειρά σημασίας περιόδου και κατά συνέπεια να διαμορφώσει το φάσμα συνέλιξης από το άθροισμά τους. Πιο συγκεκριμένα, ο κώδικας αναγνωρίζει το πρώτο κυματίδιο, το οποίο έχει την δεσπόζουσα περίοδο στη χρονοιστορία που μελετά, το αφαιρεί, απ'το υπολοιπόμενο βγάζει το δεύτερο το οποίο είναι το δεσπύζον στο υπολοιπόμενο τμήμα, το αφαιρεί και ούτω καθεξής μέχρι να καθοριστούν τα έξι κυματίδια και τα αποθηκεύει είτε το καθένα ξεχωριστά, είτε αθροιστικά. Υπολογίζονται, επίσης, σε ένα αρχείο τα χαρακτηριστικά κάθε κυματιδίου, το εύρος, η περίοδος, ο αριθμός των κύκλων του αρχικού ημιτόνου που χρησιμοποιήθηκε, τη διαφορά φάσης και το συντελεστή συσχέτισης του κυματιδίου που απομονώθηκε σε σχέση με την αρχική καταγραφή, με την αρχική χρονοιστορία.

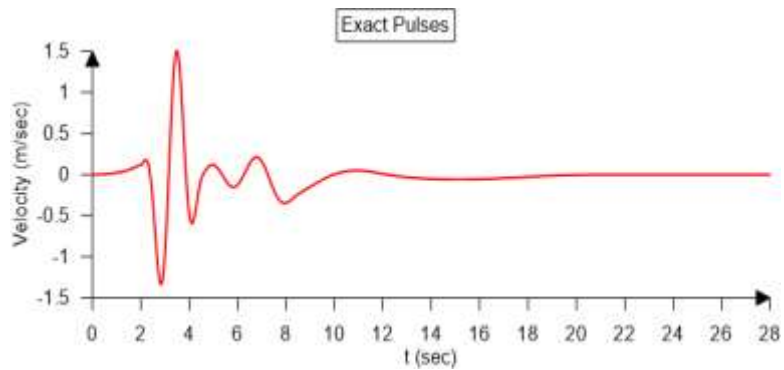
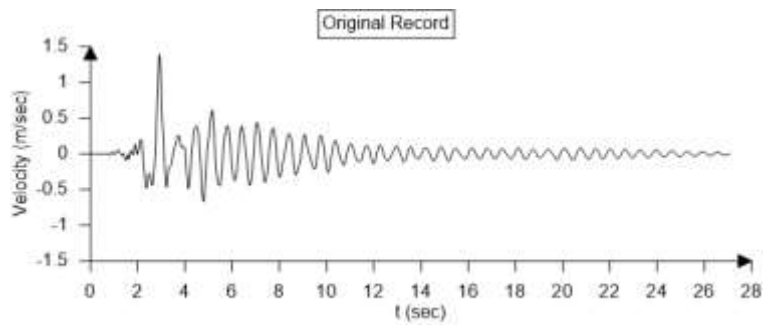
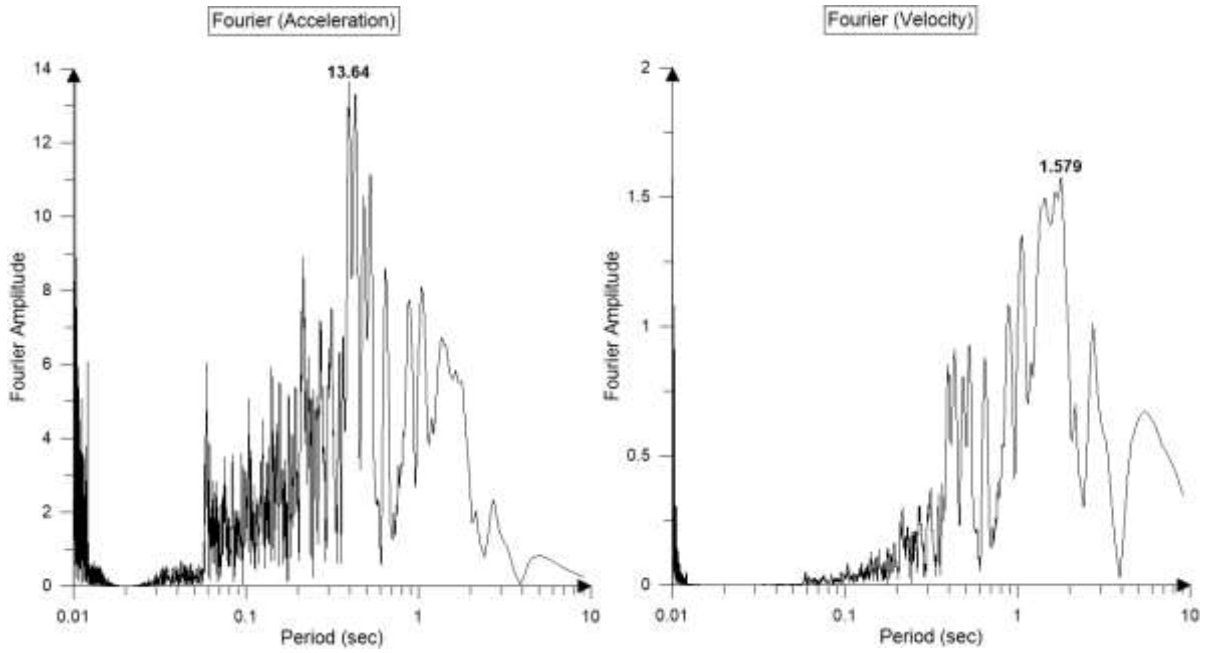
Τα αρχεία δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν προέκυψαν εισάγοντας στο λογισμικό *Seismosignal* τις χρονοιστορίες της ταχύτητας της απόκρισης του πλαισίου (όπως και παραπάνω) και αποθηκεύοντας τα αποτελέσματα σε μορφή *.dat* και ονομασία *DATA1*.


```
C:\WINDOWS\system32\cmd.exe
0.509999988600612 6.10000007599592 200.000000000000
0.509999988600612 6.10000007599592 205.000000000000
0.509999988600612 6.10000007599592 210.000000000000
0.509999988600612 6.10000007599592 215.000000000000
0.509999988600612 6.10000007599592 220.000000000000
0.509999988600612 6.10000007599592 225.000000000000
0.509999988600612 6.10000007599592 230.000000000000
0.509999988600612 6.10000007599592 235.000000000000
0.509999988600612 6.10000007599592 240.000000000000
0.509999988600612 6.10000007599592 245.000000000000
0.509999988600612 6.10000007599592 250.000000000000
0.509999988600612 6.10000007599592 255.000000000000
0.509999988600612 6.10000007599592 260.000000000000
0.509999988600612 6.10000007599592 265.000000000000
0.509999988600612 6.10000007599592 270.000000000000
0.509999988600612 6.10000007599592 275.000000000000
0.509999988600612 6.10000007599592 280.000000000000
0.509999988600612 6.10000007599592 285.000000000000
0.509999988600612 6.10000007599592 290.000000000000
0.509999988600612 6.10000007599592 295.000000000000
0.509999988600612 6.10000007599592 300.000000000000
0.509999988600612 6.10000007599592 305.000000000000
0.509999988600612 6.10000007599592 310.000000000000
0.509999988600612 6.10000007599592 315.000000000000
```

Εικόνα 5.2 : Ανάλυση κυματιδίων στον κώδικα CROSS5NEW-5

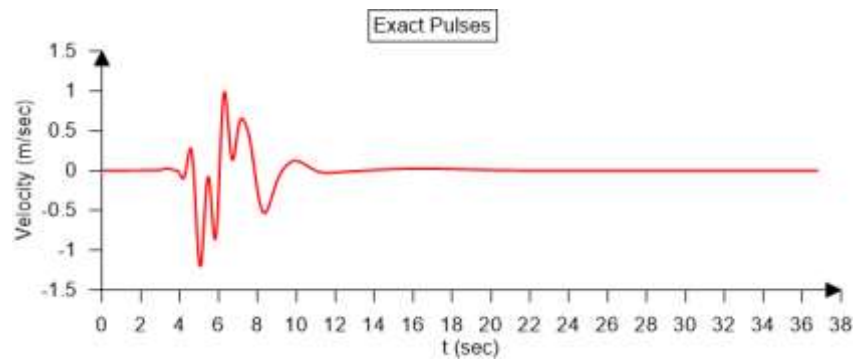
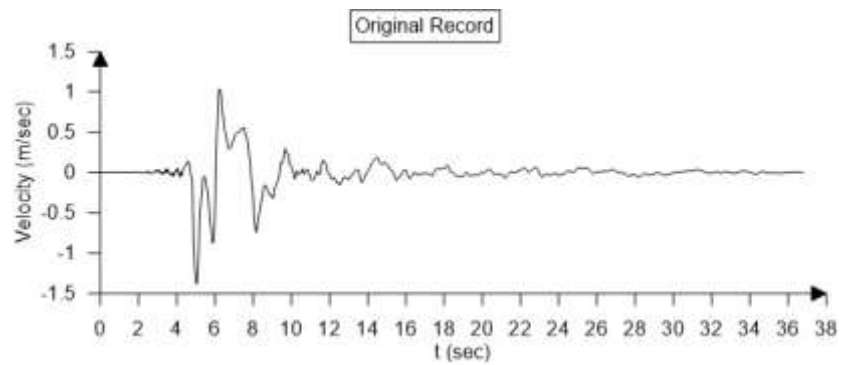
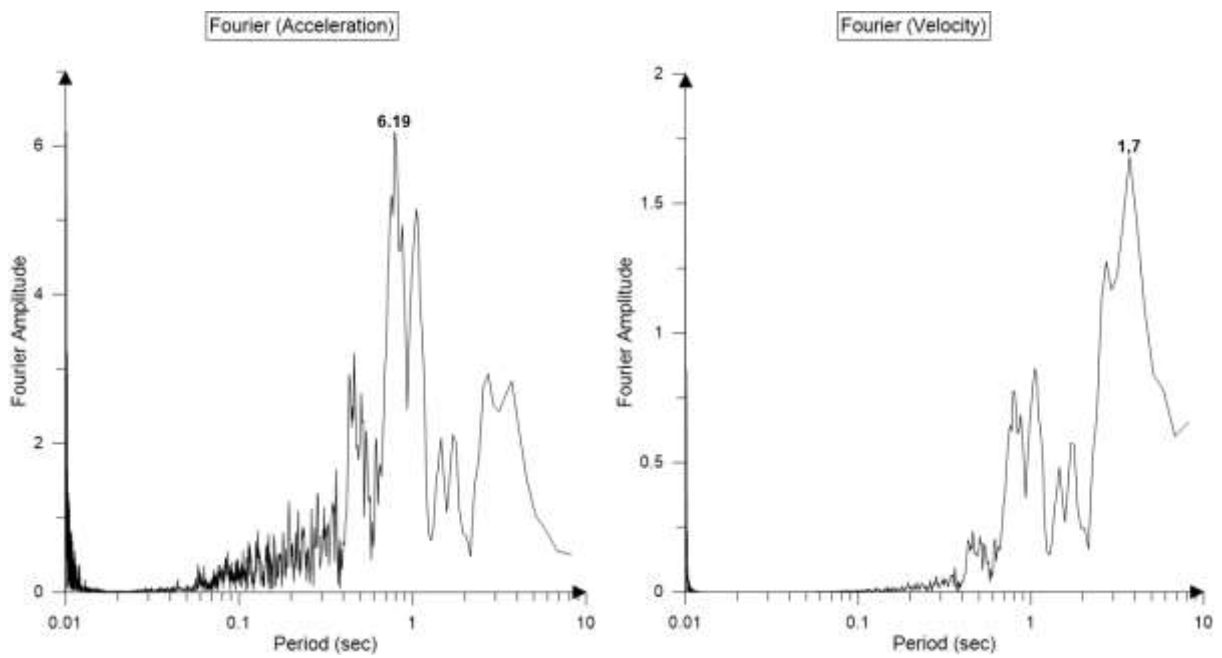
Στη συνέχεια , επισυνάπτονται για γεγονότα αποκρίσεων , τα αντίστοιχα αποτελέσματα της ανάλυσης Fourier των επιταχύνσεων και των ταχυτήτων, η χρονιοστορία ταχυτήτων της απόκρισης, η χρονιοστορία ταχυτήτων που προκύπτει με τη μέθοδο των κυματιδίων και τέλος ένας πίνακας με τα χαρακτηριστικά των έξι σημαντικών παλμών που έχουν χρησιμοποιηθεί για την μόνρφωση του προσεγγιστικού διαγράμματος. Τα χαρακτηριστικά που περιλαμβάνει ο πίνακας είναι το εύρος, η περίοδος, ο αριθμός κύκλων που περιέχει το κυματίδιο, η γωνία φάσης και ο συντελεστής συσχέτισης.

Καταγραφή απόκρισης Νο1



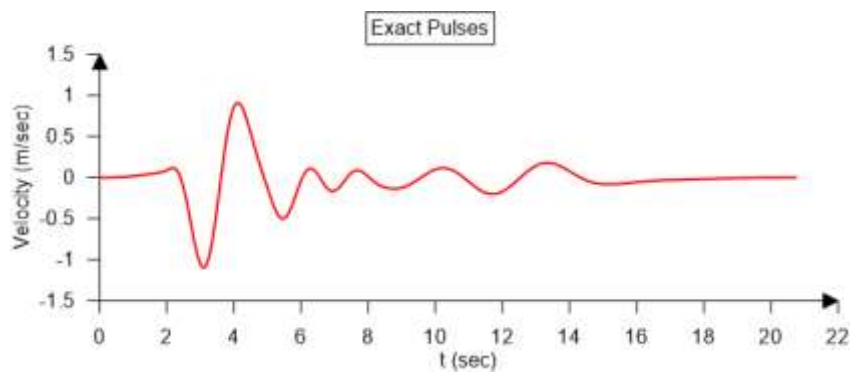
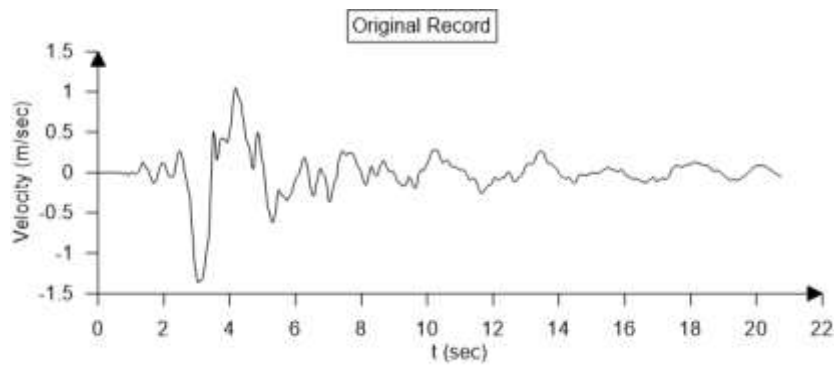
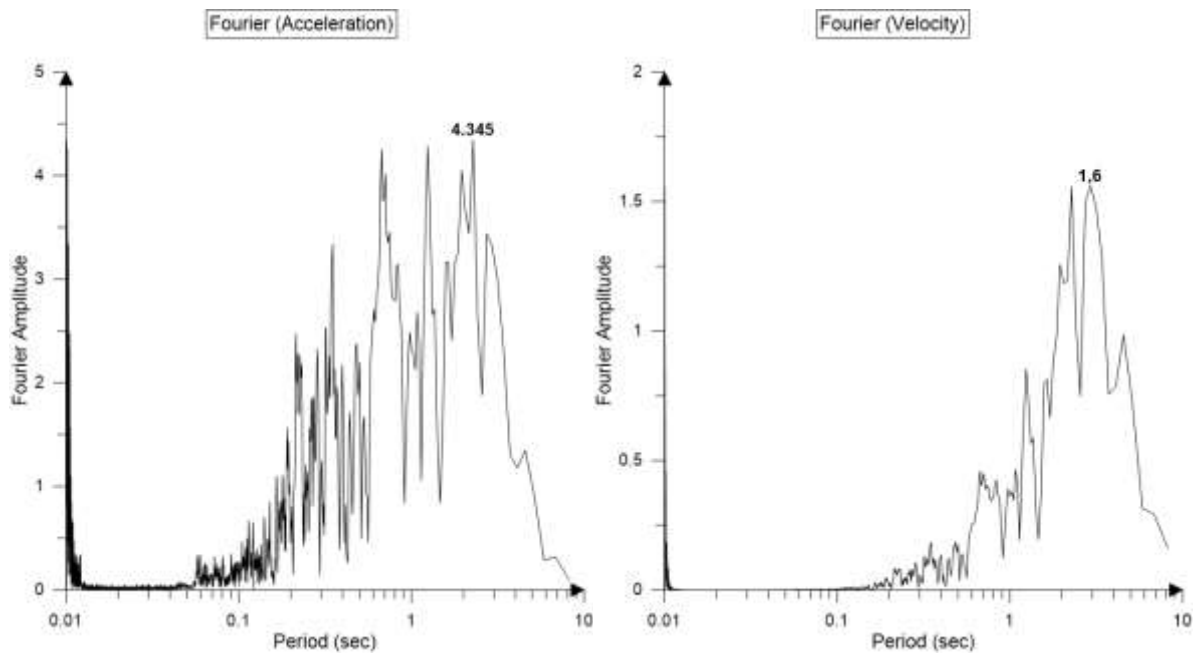
AMPLITUDE	PERIOD	GAMMA	N	CORRELATION
1.957	1.620	1.600	305.000	0.678
0.574	4.930	1.100	230.000	0.157
0.285	11.280	1.100	125.000	0.091
0.102	20.000	1.100	75.000	0.009
0.584	3.540	1.100	325.000	0.091
0.192	11.910	1.100	160.000	0.071

Καταγραφή απόκρισης Νο14



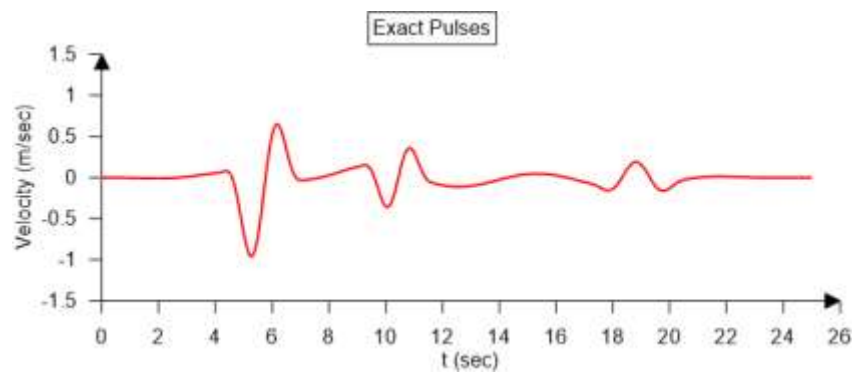
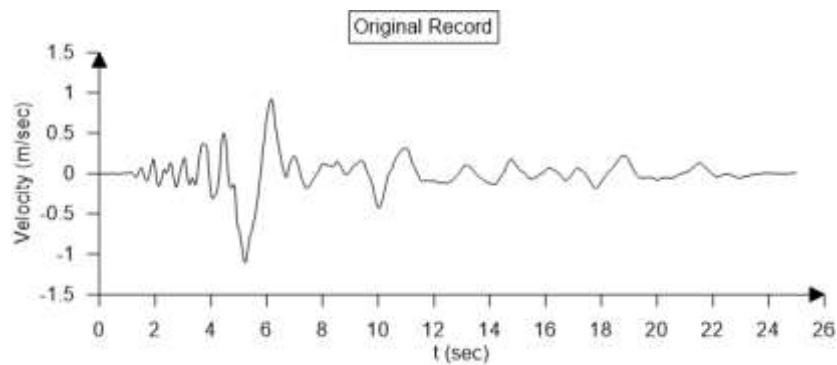
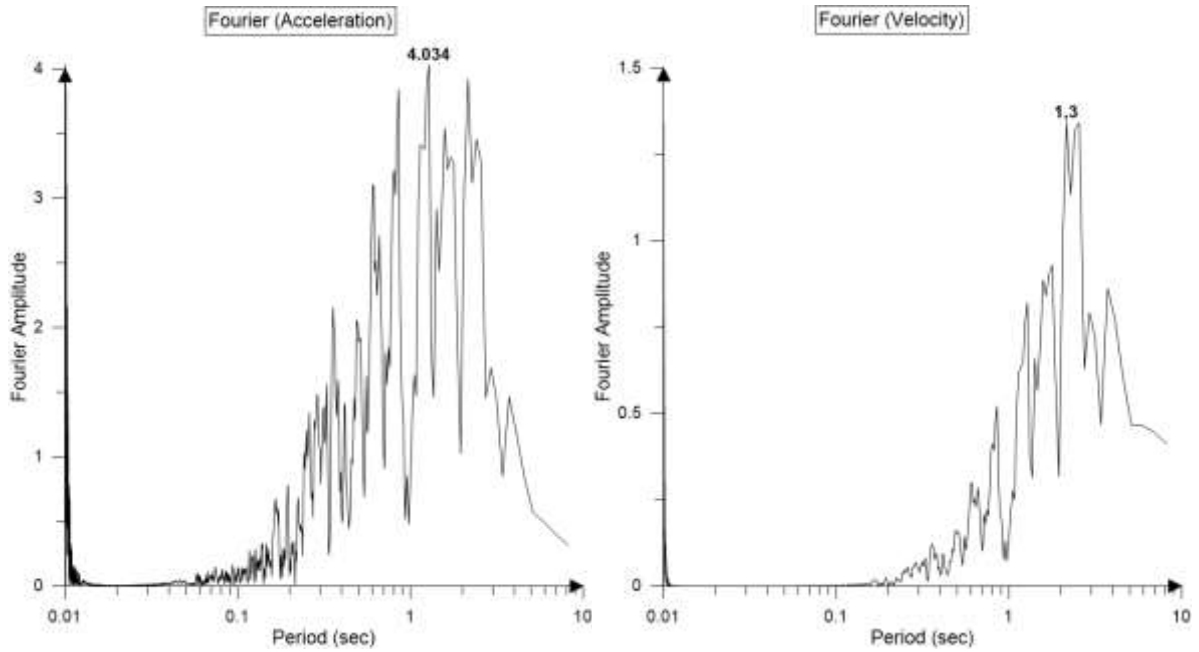
AMPLITUDE	PERIOD	GAMMA	N	CORRELATION
0.753	3.960	1.800	325.000	0.714
0.740	0.880	4.500	75.000	0.530
0.295	1.540	4.800	70.000	0.216
0.246	5.540	1.100	270.000	0.180
0.052	19.900	1.100	230.000	0.010
0.208	3.560	1.600	195.000	0.407

Καταγραφή απόκρισης Νο37



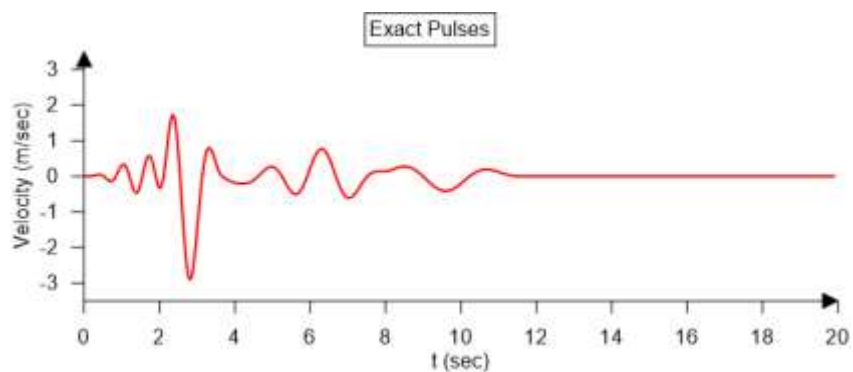
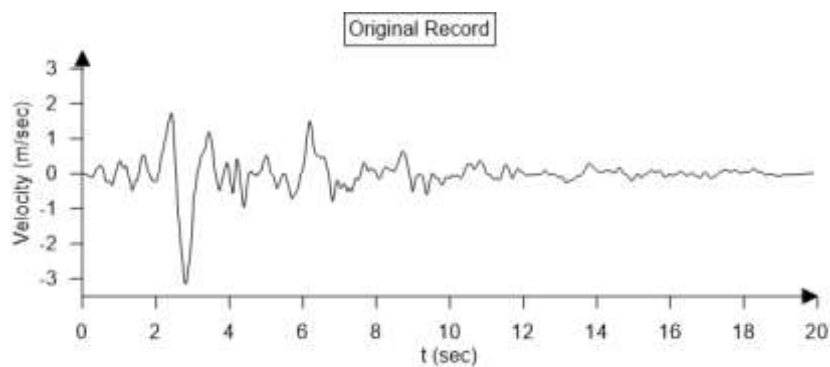
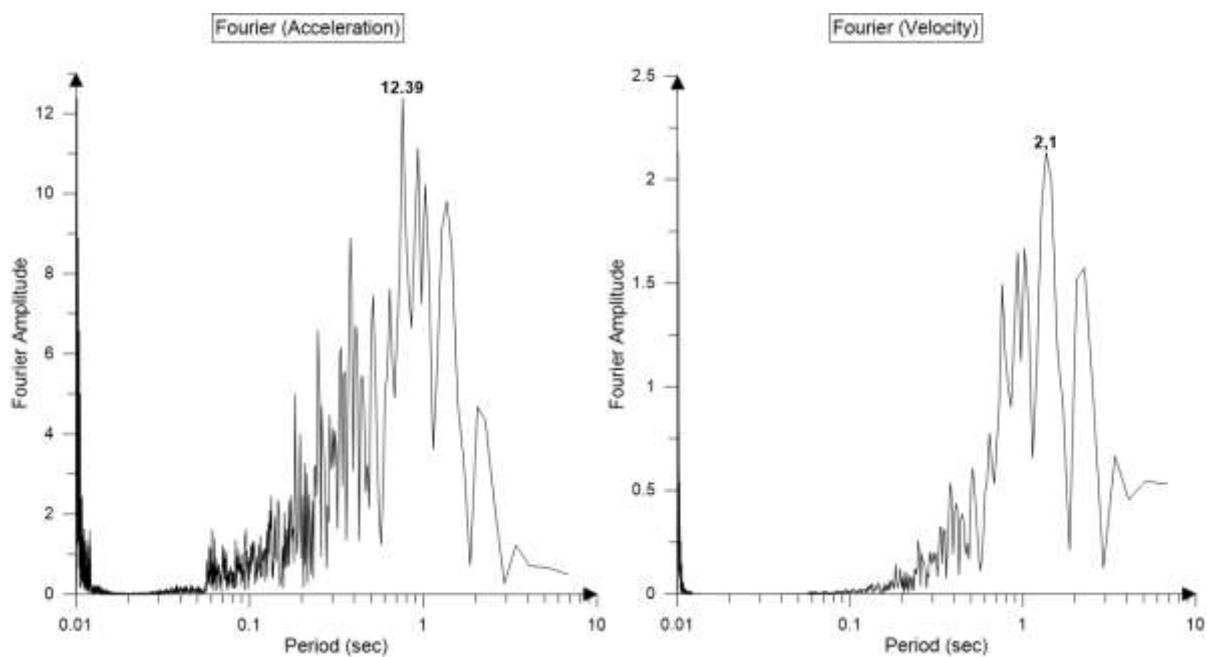
AMPLITUDE	PERIOD	GAMMA	N	CORRELATION
1.516	2.810	1.100	240.000	0.768
0.278	9.000	1.100	105.000	0.083
0.167	3.370	5.200	185.000	0.275
0.085	20.000	1.100	100.000	0.010
0.248	5.290	1.100	295.000	0.120
0.296	1.670	3.400	275.000	0.257

Καταγραφή απόκρισης Νο45



AMPLITUDE	PERIOD	GAMMA	N	CORRELATION
1.226	2.610	1.100	245.000	0.818
0.596	2.350	1.100	245.000	0.273
0.080	17.060	1.200	70.000	0.065
0.109	5.600	3.300	330.000	0.030
0.332	2.940	1.100	15.000	0.144
0.146	8.750	1.200	145.000	0.032

Καταγραφή απόκρισης Νο48



AMPLITUDE	PERIOD	GAMMA	N	CORRELATION
3.066	1.370	1.300	165.000	0.806
0.639	3.900	1.300	40.000	0.120
0.820	1.550	2.700	345.000	0.336
0.269	3.920	2.100	275.000	0.106
0.421	2.480	2.000	155.000	0.140
0.581	0.690	5.500	115.000	0.381

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 :
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας ήταν αξιολόγηση της απόκρισης μεταλλικού πλαισίου σε σεισμούς κοντινού πεδίου με χρήση κυματιδίων. Οι εδαφικές κινήσεις στην περιοχή του κοντινού πεδίου χαρακτηρίζονται από το φαινόμενο της κατευθυντικότητας. Όπως έχουμε ήδη αναφέρει, το σημαντικότερο γνώρισμα της κατευθυντικότητας είναι η εμφάνιση ενός ή περισσότερων σημαντικών παλμών στις χρονοιστορίες των μετακινήσεων, ταχυτήτων και επιταχύνσεων. Οι έρευνες των τελευταίων χρόνων, κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η χρονοιστορία των ταχυτήτων είναι η πιο κατάλληλη, για να μελετήσει κανείς τη συμπεριφορά του σήματος μιας οποιασδήποτε χρονοιστορίας. Έτσι, λοιπόν, στην εργασία αυτή, έγινε μία προσπάθεια να διερευνηθεί η συσχέτιση των χρονοιστοριών ταχυτήτων του εδάφους και της απόκρισης της κατασκευής, προσεγγίζοντας τη μορφή τους με τη μέθοδο των κυματιδίων. Συγκεκριμένα, , για την αναγνώριση του σημαντικού ή κυρίαρχου παλμού των χρονοιστοριών των ταχυτήτων χρησιμοποιήθηκε η μεθοδολογία των (Mimoglou et al., 2014), η οποία χρησιμοποιεί το σύνθετο κυματίδιο M&P των (George P. Manroeidis & Parageorgiou, 2003).

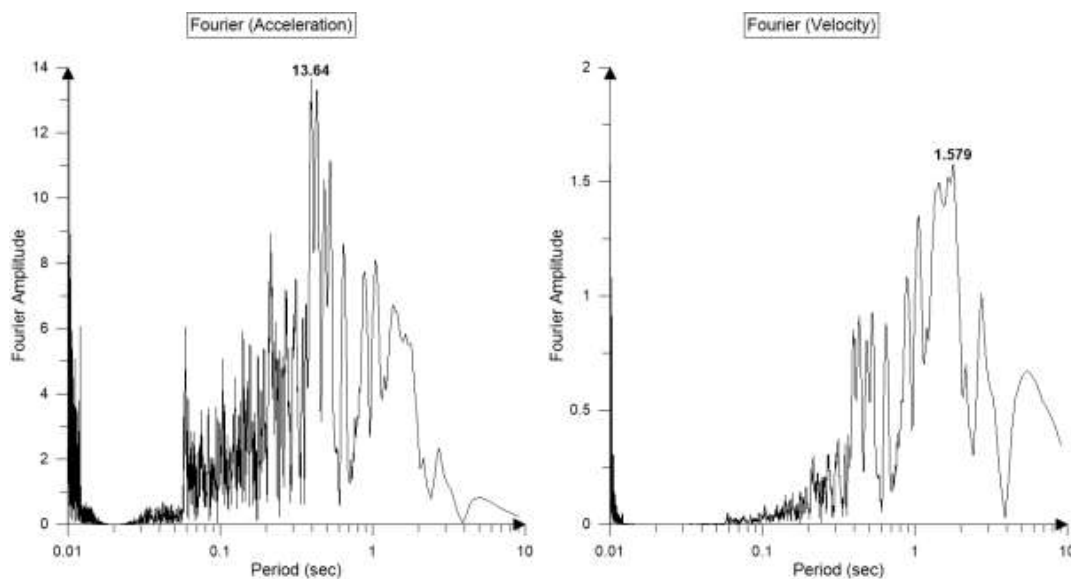
Μελετήθηκαν συνολικά 49 καταγραφές από τη βάση δεδομένων NGA (Next Generation Attenuation), που χαρακτηρίστηκαν από τον (Baker, 2007) ως παλμικές. Πραγματοποιήθηκαν οι παρακάτω 4 περιπτώσεις φόρτισης του πλαισίου:

- α) Μόνιμο φορτίο ανά όροφο 2t και σεισμός με συντελεστή 1
- β) Μόνιμο φορτίο ανά όροφο 2t και σεισμός με συντελεστή 2
- γ) Μόνιμο φορτίο ανά όροφο 3t και σεισμός με συντελεστή 1
- δ) Μόνιμο φορτίο ανά όροφο 3t και σεισμός με συντελεστή 2

Αρχικά ,έγινε η ανάλυση του φορέα για τις συγκεκριμένες καταγραφές για όλες τις περιπτώσεις φόρτισης στο λογισμικό SAP2000 με σκοπό να προκύψουν οι ιδιοπεριόδοι του κτιρίου, η καμπύλη ικανότητας και οι χρονοιστορίες μετακινήσεων, ταχυτήτων και επιταχύνσεων του κέντρου μάζας της ανώτερης στάθμης. Στη συνέχεια υλοποιήθηκε η ανάλυση Fourier για τις χρονοιστορίες των ταχυτήτων και των επιταχύνσεων και τέλος η ανάλυση κυματιδίων μέσω του υπολογιστικού κώδικα CROSS5NEW-5.

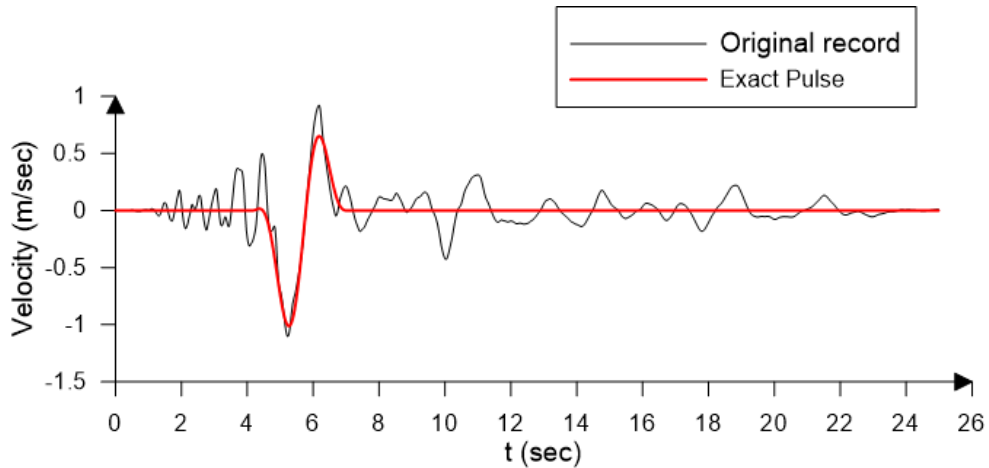
Μετά το πέρας των αναλύσεων και την εξαγωγή των αποτελεσμάτων, καταλήξαμε στα εξής συμπεράσματα, συνοδευόμενα από χαρακτηριστικά σχήματα:

- Τα φάσματα Fourier ταχυτήτων είναι ένας δείκτης για να αντιληφθούμε εάν στη χρονοιστορία που μελετάμε κυριαρχεί ένας σημαντικός παλμός ή η ελεύθερη ταλάντωση. Επίσης, παρατηρείται ότι το χαρακτηριστικό αυτό είναι εύκολα εμφανές στα συγκεκριμένα διαγράμματα, απ'ότι στα αντίστοιχα διαγράμματα των επιταχύνσεων. Στην εικόνα 6.1 στο αριστερό φάσμα των επιταχύνσεων δεν φαίνεται να υπάρχει κάποιος παλμός στο σήμα, αντιθέτως στο δεξί είναι φανερός ο κυρίαρχος παλμός. Τα δύο αυτά διαγράμματα αφορούν στην ίδια καταγραφή, η οποία είναι παλμική.



Εικόνα 6.1: Φάσματα Fourier για τις χρονιοιστορίες των επιταχύνσεων (αριστερά) και των ταχυτήτων (δεξιά).

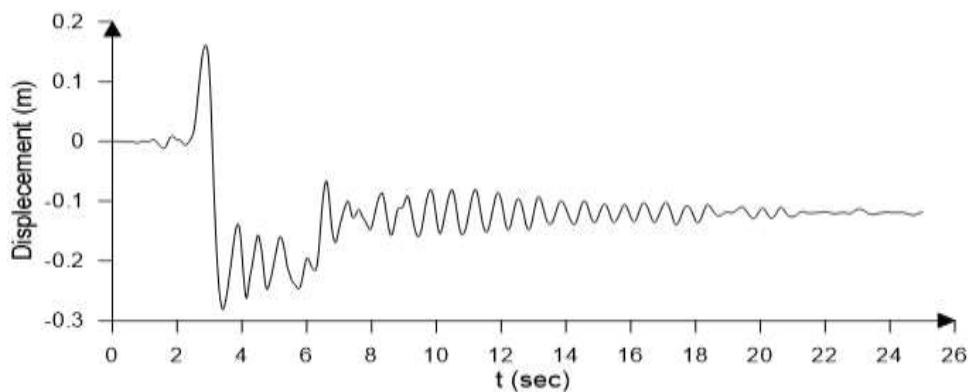
- Σε υψηλές στάθμες επιτελεστικότητας, οι οποίες σχετίζονται με σοβαρές βλάβες, ίσως και κατάρρευση, παρατηρείται ότι η απόκριση της κατασκευής καθορίζεται (σε αρκετές περιπτώσεις) πλήρως από την περίοδο του παλμού διέγερσης. Σε αυτή την περίπτωση στο σήμα της απόκρισης κυριαρχεί ο παλμός και η τιμή της περιόδου του είναι αρκετά κοντά στην τιμή της περιόδου του εδαφικού παλμού. Δηλαδή, στην διάρκεια της ισχυρής δόνησης (της κατευθυντικότητας) της καταγραφής, η κατασκευή αποκρίνεται με περίοδο περίπου ίση με την περίοδο του παλμού. Στη συνέχεια, επισυνάπτονται τα αποτελέσματα μιας καταγραφής για την τέταρτη περίπτωση φόρτισης του φορέα, καθώς σε αυτή παρατηρείται πιο έντονα η εμφάνιση του κυρίαρχου παλμού και η σύμπτωση του με τον παλμό της χρονιοιστορίας ταχυτήτων του εδάφους. Όπως, φαίνεται στην εικόνα 6.2 στη χρονιοιστορία ταχυτήτων της απόκρισης (μάυρη καμπύλη) υπάρχει ένας κυρίαρχος παλμός, ο οποίος οφείλεται στο φαινόμενο της κατευθυντικότητας. Επίσης, είναι εμφανής ο παλμός (κόκκινη καμπύλη) που προέκυψε από την ανάλυση με κυματίδια και ο οποίος προσεγγίζει ικανοποιητικά τον παλμό της απόκρισης, άρα είναι αντιπροσωπευτικός. Στο πίνακάκι 6.1 αναγράφεται οι τιμές της περιόδου του παλμού της διέγερσης και του παλμού της απόκρισης, οι οποίες είναι 2.37sec και 2.61sec, αντίστοιχα. Οι δύο τιμές είναι αρκετά κοντά και ο συντελεστής συσχέτισης της τιμής της περιόδου του παλμού της απόκρισης με την τιμή της περιόδου της πρότυπης χρονιοιστορίας είναι 0.818.



Εικόνα 6.2: Παράδειγμα χρονιοστορίας απόκρισης και παλμού που προέκυψε από τη μέθοδο του κυματιδίου

Περίοδος παλμού διέγερσης (sec)	Περίοδος παλμού απόκρισης (sec)	Συντελεστής συσχέτισης
2.37	2.61	0.818

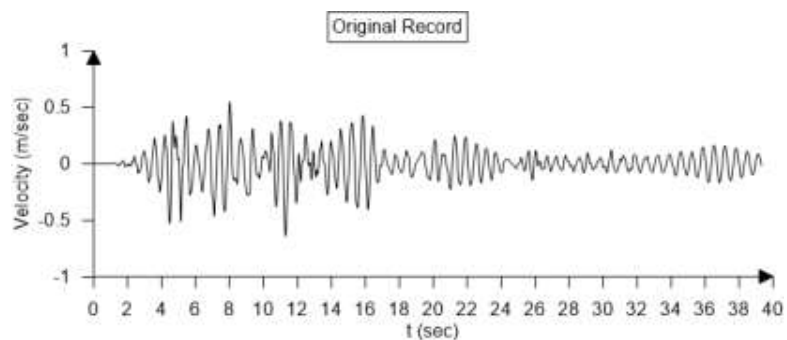
Πίνακας 6.1: Τιμές περιόδου του παλμού διέγερσης, απόκρισης και συντελεστής συσχέτισης.



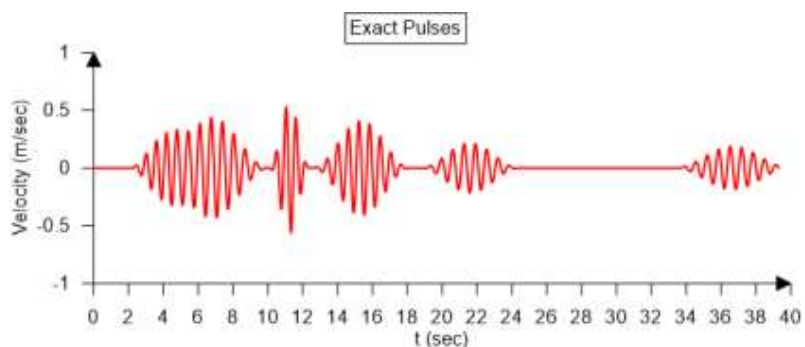
Εικόνα 6.3: Χρονιοστορίας μετακινήσεων απόκρισης για την παραπάνω περίπτωση.

Στην εικόνα 6.3 βλέπουμε ότι η μέγιστη μετακίνηση του κέντρου μάζας της ανώτερης στάθμης του φορέα είναι περίπου 28 εκατοστά. Με βάση την καμπύλη ικανότητας, προκύπτει ότι αυτή η τιμή αντιστοιχεί σε μεγάλη στάθμη επιτελεσματικότητας, καθώς ανήκει στο τμήμα CD, το οποίο αντιπροσωπεύει τη μειωμένη ικανότητα του στοιχείου να παραλάβει σεισμικά φορτία.

- Στην αντίθετη περίπτωση, όταν οι στάθμες επιτελεστικότητας είναι χαμηλές η περίοδος του παλμού της απόκρισης πλησιάζει την τιμή της ιδιοπεριόδου της κατασκευής $T_x=0.65$ sec. Σε αυτές τις περιπτώσεις στο σήμα κυριαρχεί η ελεύθερη ταλάντωση, όπως φαίνεται και στην εικόνα 6.3 με τις περιόδους των 6 κυματιδίων να είναι πολύ κοντά στην ιδιοπερίοδο της κατασκευής.



(α)



(β)

Εικόνα 6.4: Παράδειγμα (α) χρονιοστορίας ταχυτήτων απόκρισης και (β) η προσεγγιστική μορφή που προέκυψε από τη μέθοδο του κυματιδίου.

AMPLITUDE	PERIOD	GAMMA	N	CORRELATION
0.436	0.650	10.000	35.000	0.500
0.411	0.610	9.100	80.000	0.439
0.569	0.570	4.000	125.000	0.389
0.217	0.650	8.700	190.000	0.244
0.271	0.590	6.800	290.000	0.395
0.187	0.660	10.000	75.000	0.225

Πίνακας 6.2: Χαρακτηριστικά των 6 κυματιδίων της χρονιοστορίας που προέκυψε από τη μέθοδο του κυματιδίου.

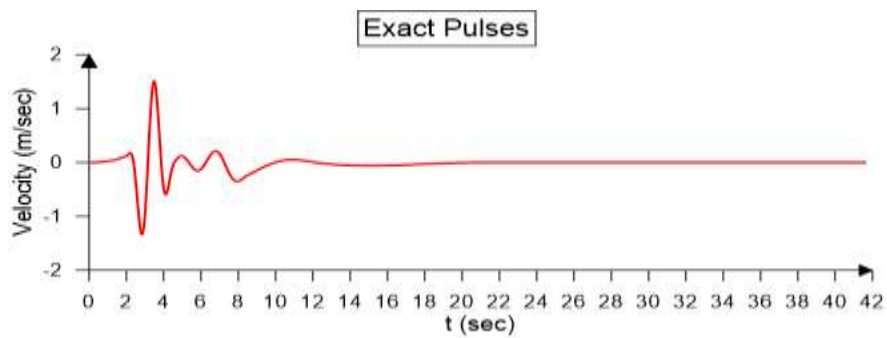
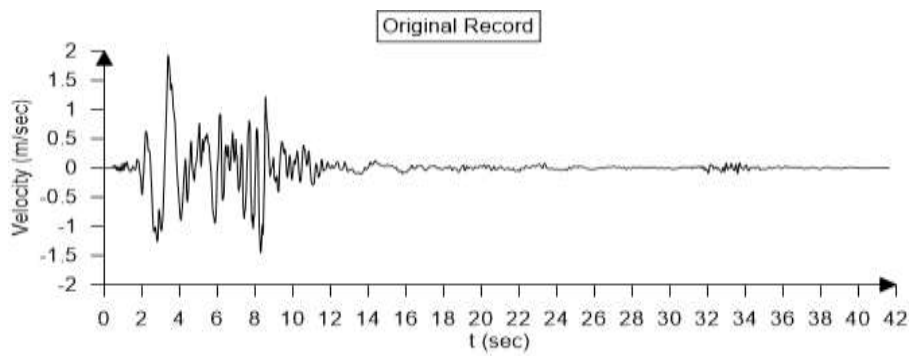
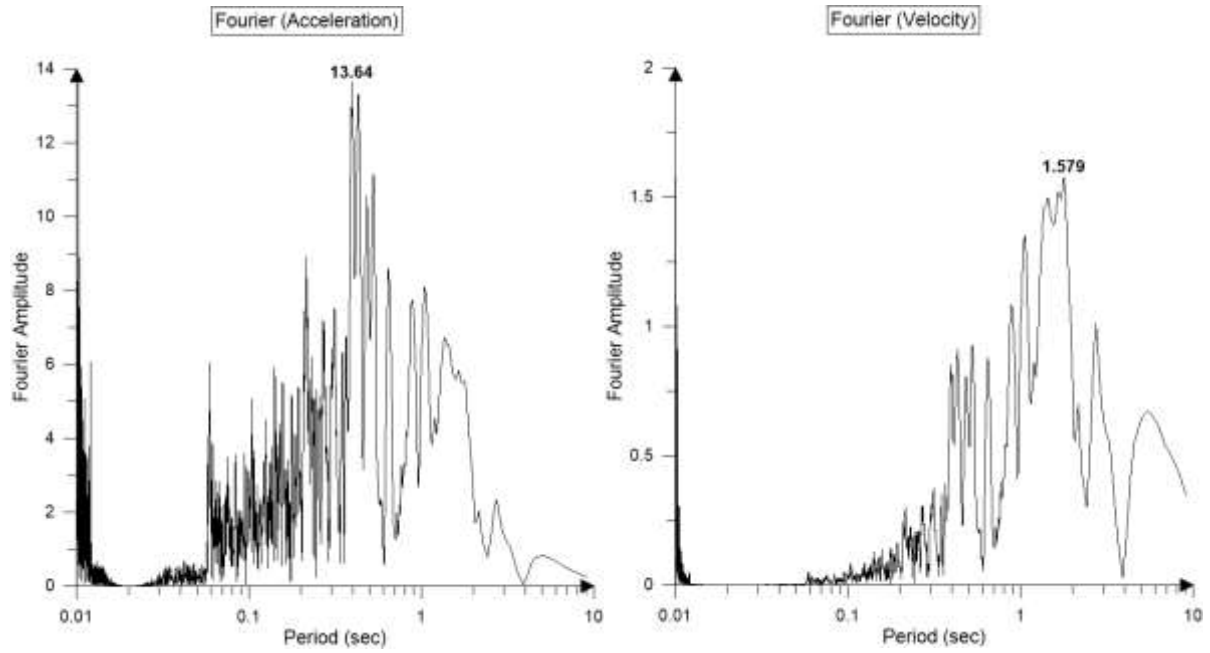
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Alavi, B., & Krawinkler, H. (2000).** Consideration of near-fault ground motion effects in seismic design. In *12th World Conference on Earthquake Engineering* (pp. 1–8). Retrieved from <http://www.iitk.ac.in/nicee/wcee/article/2665.pdf>
- Baker, J. W. (2007).** Quantitative classification of near-fault ground motions using wavelet analysis. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 97(5), 1486–1501. <https://doi.org/10.1785/0120060255>
- Benioff, H. (1955).** Mechanism and strain characteristics of the White Wolf fault as indicated by the aftershock sequence. *Calif. Div. Mines Bull*, 171, 199–202.
- Bray, J. D., & Rodriguez-Marek, A. (2004).** Characterization of forward-directivity ground motions in the near-fault region. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 24(11), 815–828. <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2004.05.001>
- CEN (2004).** *EN 1998–1: Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance, Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings*. Brussels: European Committee for Standardisation.
- Computers and Structures, Inc. (n.d.).** Modeling cracked section properties for shear wall and slab. CSi Knowledge Base. Retrieved from <https://wiki.csiamerica.com/display/etabs/Modeling+cracked+section+properties+for+shear+wall+a+nd+slab>
- Krawinkler, H., & Alavi, B. (1998).** Development of improved design procedures for near-fault ground motions. In *SMIP98, seminar on utilization of strong motion data*, Oakland, CA.
- Li, S., & Xie, L. L. (2007).** Progress and trend on near-field problems in civil engineering. *Acta Seismologica Sinica English Edition*, 20(1), 105–114. <https://doi.org/10.1007/s11589-007-0105-0>
- Makris, N., & Black, C. J. (2004).** Evaluation of peak ground velocity as a “good” intensity measure for near-source ground motions. *Journal of Engineering Mechanics*, 130(9), 1032–1044.
- Mallat, S. (2009).** *A Wavelet Tour of Signal Processing*. A Wavelet Tour of Signal Processing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374370-1.X0001-8>
- Mavroeidis, G. P., Dong, G., & Papageorgiou, A. S. (2004).** Near-fault ground motions, and the response of elastic and inelastic single-degree-of-freedom (SDOF) systems. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 33(9), 1023–1049. <https://doi.org/10.1002/eqe.391>
- Mavroeidis, G. P., & Papageorgiou, A. S. (2003).** A mathematical representation of near-fault ground motions. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 93(3), 1099–1131. <https://doi.org/10.1785/0120020100>
- Mimoglou, P., Psycharis, I. N., & Taflampas, I. M. (2014).** Explicit determination of the pulse inherent in pulse-like ground motions. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 43(15), 2261–2281. <https://doi.org/10.1002/eqe.2446>
- Nassar, A. A., & Krawinkler, H. (1991).** Seismic Demands for SDOF and MDOF systems. *Engineering*, (95), 204.

- Papageorgiou, A. S., & Aki, K. (1983).** A specific barrier model for the quantitative description of inhomogeneous faulting and the prediction of strong ground motion. I. Description of the model. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 73(3), 693–722. [https://doi.org/10.1016/0148-9062\(84\)90498-4](https://doi.org/10.1016/0148-9062(84)90498-4)
- Psycharis, I. N., Papastamatiou, D. Y., & Alexandris, a. P. (2000).** Parametric investigation of the stability of classical columns under harmonic and earthquake excitations. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 29(8), 1093–1109. [https://doi.org/10.1002/1096-9845\(200008\)29:8<1093::AID-EQE953>3.0.CO;2-S](https://doi.org/10.1002/1096-9845(200008)29:8<1093::AID-EQE953>3.0.CO;2-S)
- Rodriguez-Marek, A. (2000).** *Near-fault seismic site response (Vol. 1)*. University of California, Berkeley.
- Rossetto, T., & Elnashai, A. (2003).** Derivation of vulnerability functions for European-type RC structures based on observational data. *Engineering Structures*, 25(10), 1241–1263. [https://doi.org/10.1016/S0141-0296\(03\)00060-9](https://doi.org/10.1016/S0141-0296(03)00060-9)
- Sasani, M., & Bertero, V. V. (2000).** Importance of severe pulse-type ground motions in performance-based engineering: historical and critical review. *WORD CONFERENCE ON EARTHQUAKE ENGINEERING*.
- Somerville, P. G. (1998).** Development of an improved representation of near fault ground motions. In *SMIP98 Seminar on Utilization of Strong-Motion Data (Vol. 15)*.
- Somerville, P. G., Smith, N. F., Graves, R. W., & Abrahamson, N. A. (1997).** Modification of Empirical Strong Ground Motion Attenuation Relations to Include the Amplitude and Duration Effects of Rupture Directivity. *Seismological Research Letters*, 68(1), 199–222. <https://doi.org/10.1785/gssrl.68.1.199>
- Taflampas, I. M., Spyrakos, C. C., & Koutromanos, I. A. (2009).** A new definition of strong motion duration and related parameters affecting the response of medium-long period structures. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 29(4), 752–763. <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2008.08.005>
- Yun, S.-Y., Hamburger, R. O., Cornell, C. A., & Foutch, D. A. (2002).** Seismic performance evaluation for steel moment frames. *Journal of Structural Engineering*, 128(4), 534–545. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9445\(2002\)128:4\(534\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9445(2002)128:4(534))
- Zhai, C., Chang, Z., Li, S., & Xie, L. (2013).** Selection of the most unfavorable real ground motions for low- and mid-rise rc frame structures. *Journal of Earthquake Engineering*, 17(8), 1233–1251. <https://doi.org/10.1080/13632469.2013.837415>

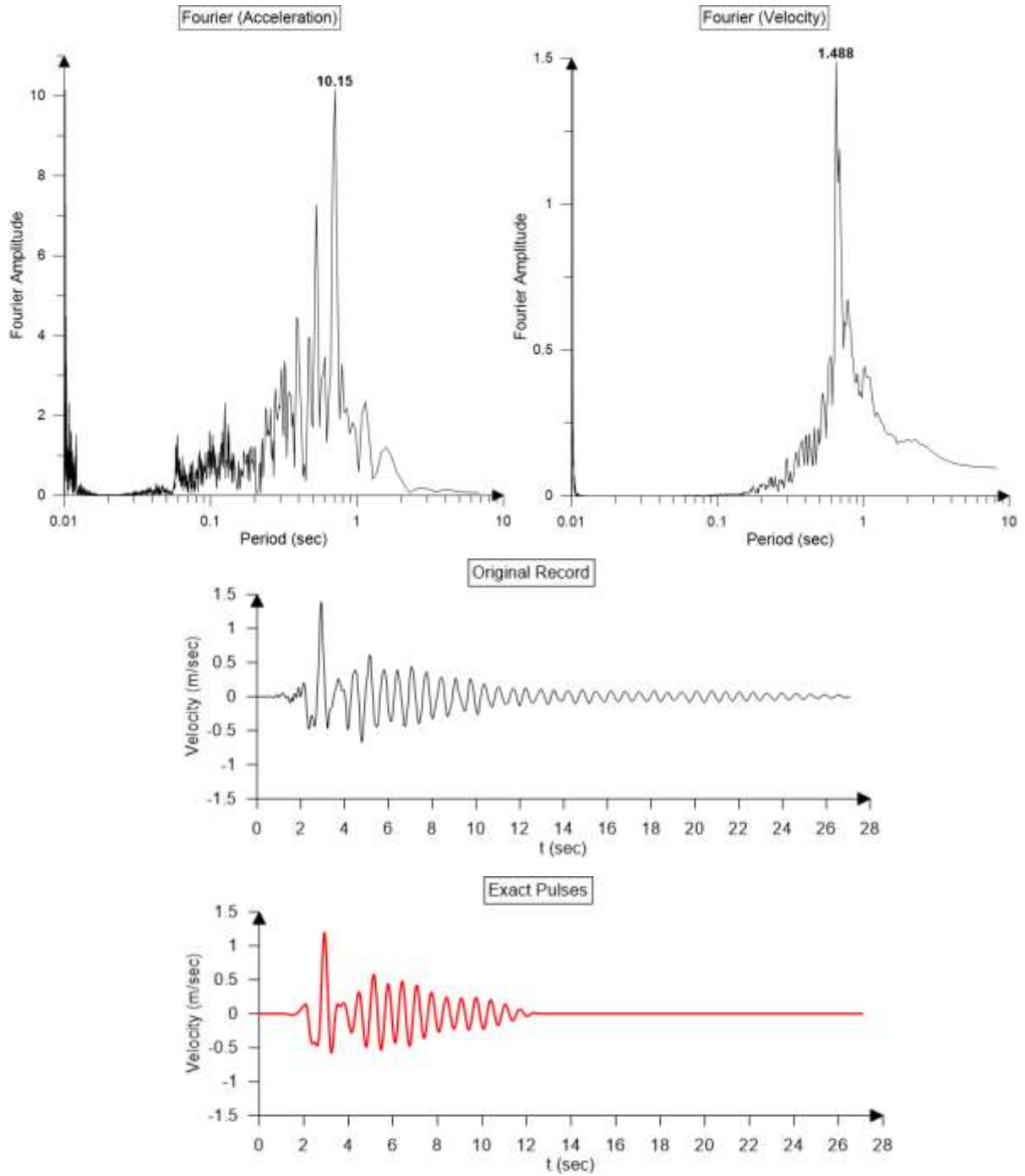
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Καταγραφή απόκρισης Νο1



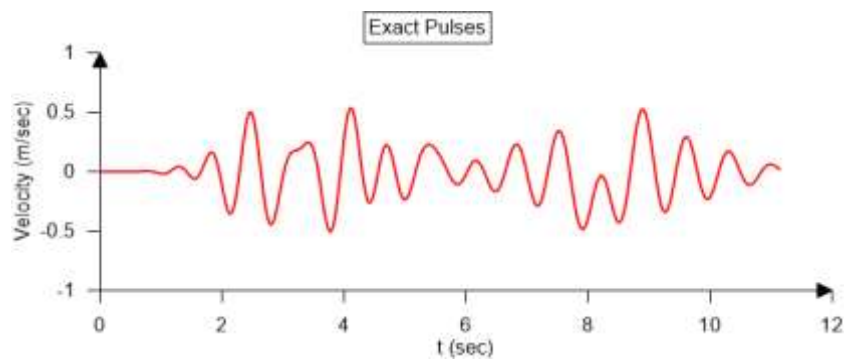
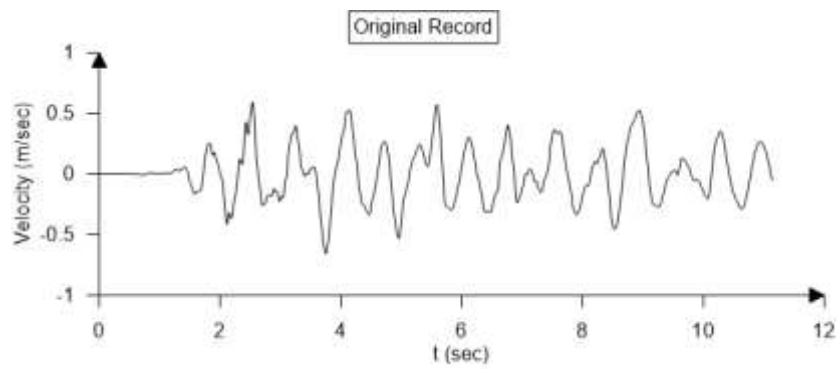
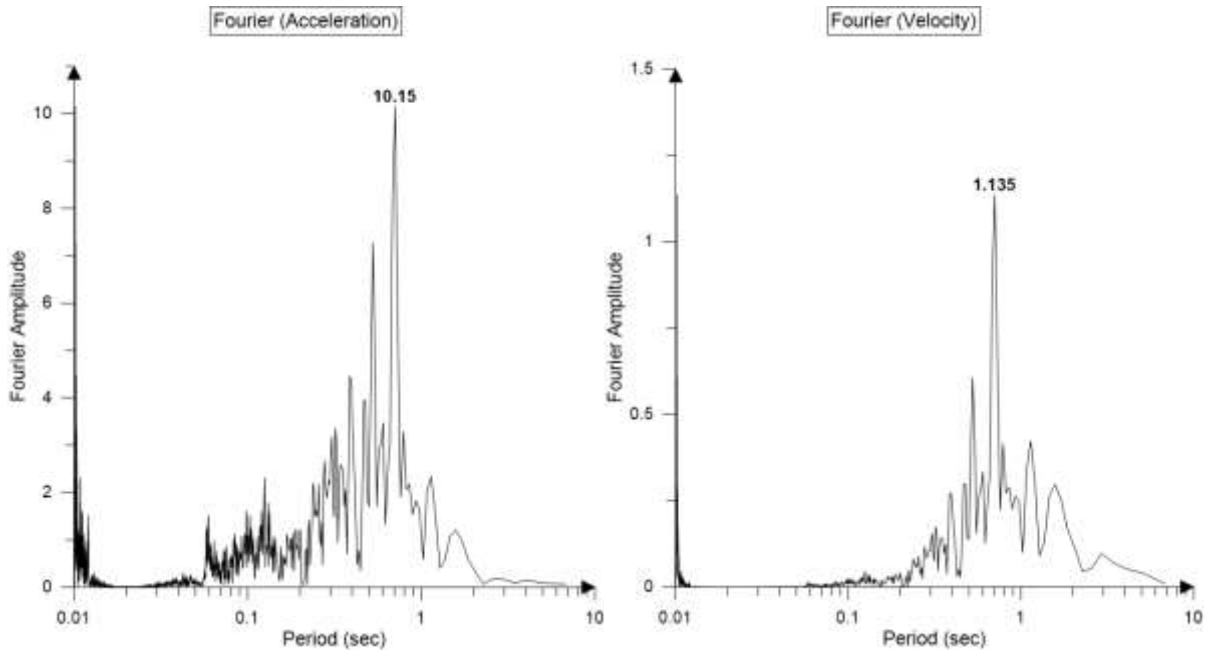
AMPLITUDE	PERIOD	GAMMA	N	CORRELATION
1.957	1.620	1.600	305.000	0.678
0.574	4.930	1.100	230.000	0.157
0.285	11.280	1.100	125.000	0.091
0.102	20.000	1.100	75.000	0.009
0.584	3.540	1.100	325.000	0.091
0.192	11.910	1.100	160.000	0.071

Καταγραφή απόκρισης Νο2



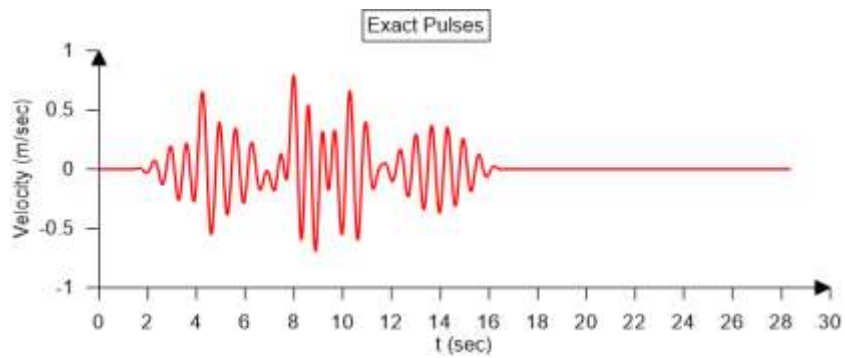
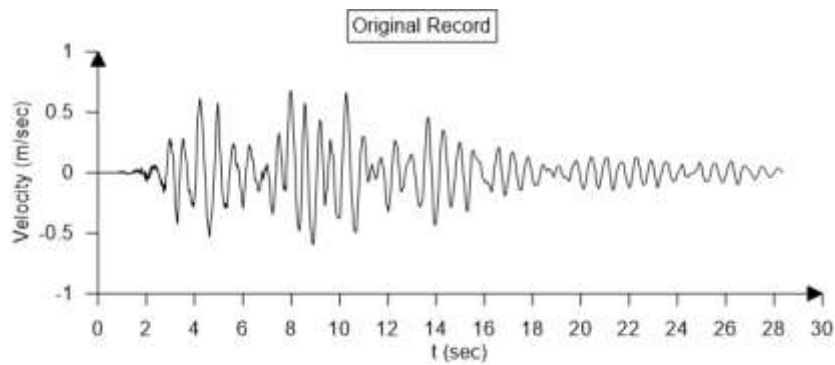
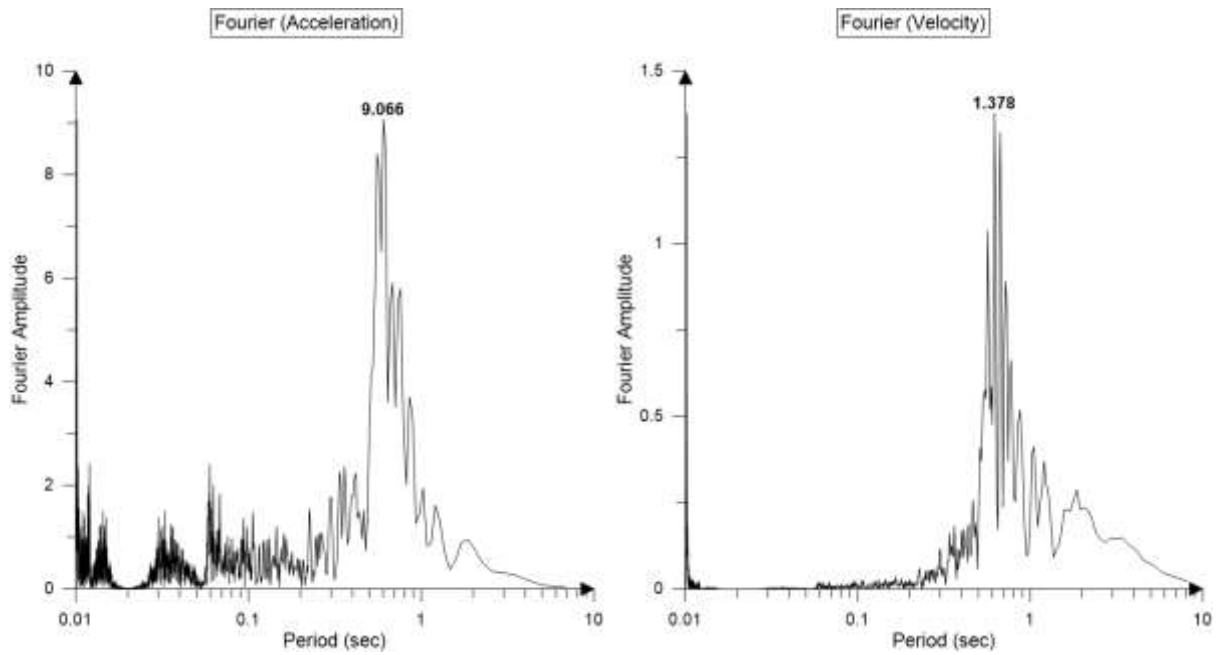
AMPLITUDE	PERIOD	GAMMA	N	CORRELATION
1.380	0.750	2.000	355.000	0.589
0.531	0.650	10.000	75.000	0.637
0.238	0.660	10.000	265.000	0.353
0.657	0.710	1.300	270.000	0.512
0.243	1.440	2.600	230.000	0.135
0.141	0.930	4.000	85.000	0.099

Καταγραφή απόκρισης Νο3



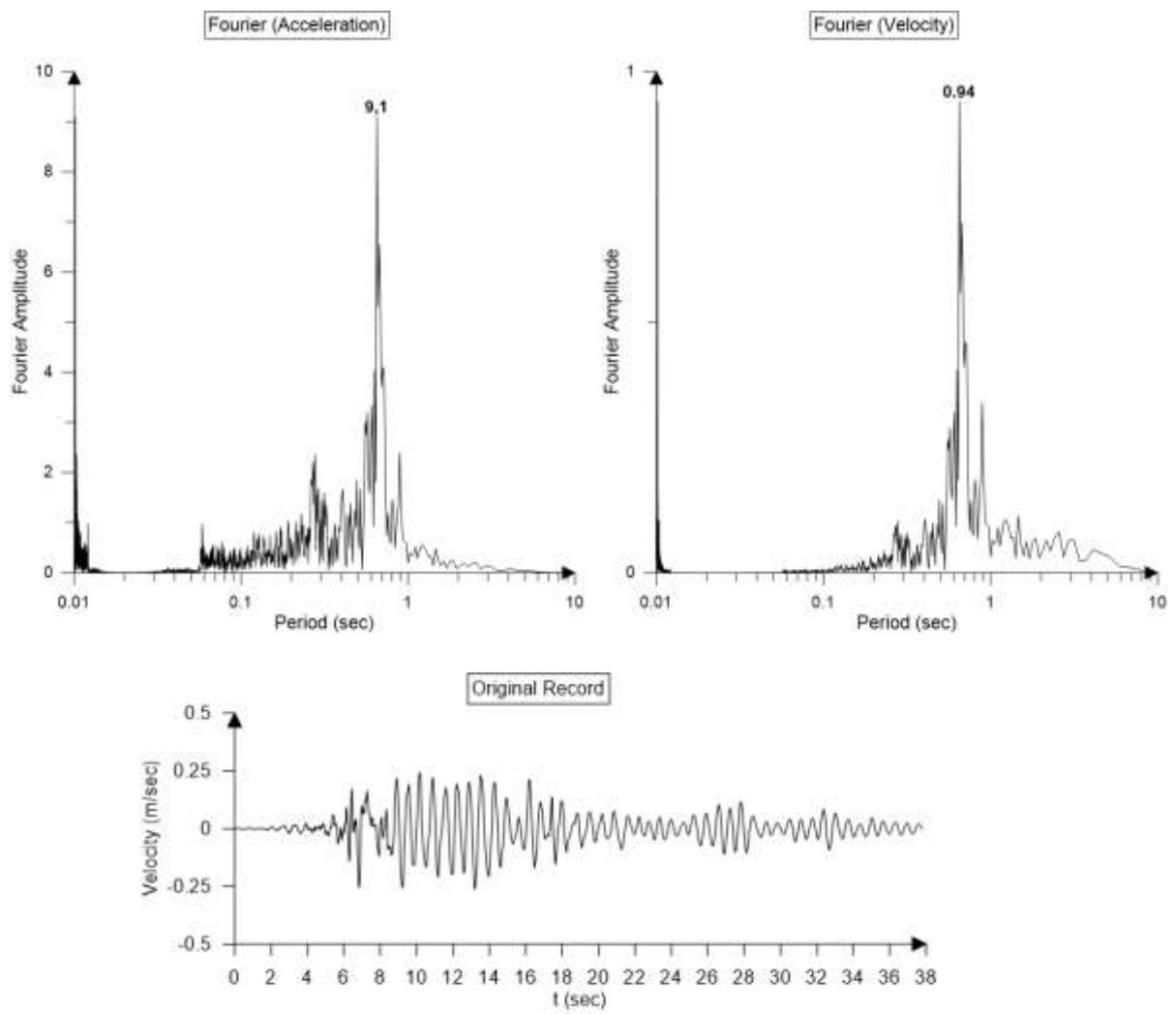
AMPLITUDE	PERIOD	GAMMA	N	CORRELATION
0.398	0.700	10.000	95.000	0.505
0.472	0.800	5.200	350.000	0.486
0.530	1.610	1.100	290.000	0.234
0.277	0.570	10.000	250.000	0.289
0.306	2.200	1.200	95.000	0.131
0.473	1.610	1.100	225.000	0.158

Καταγραφή απόκρισης Νο4



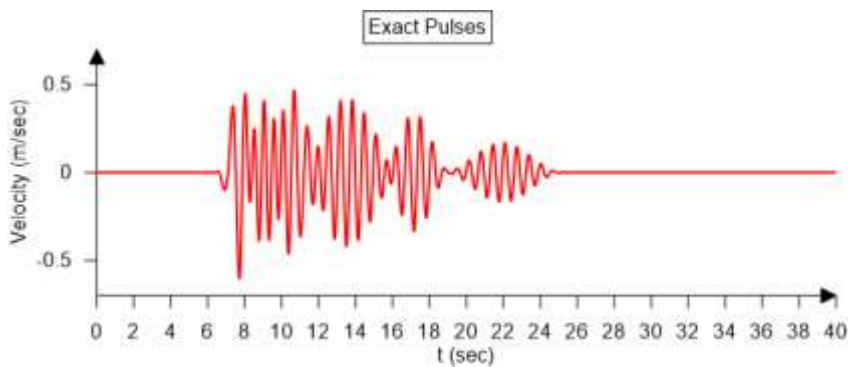
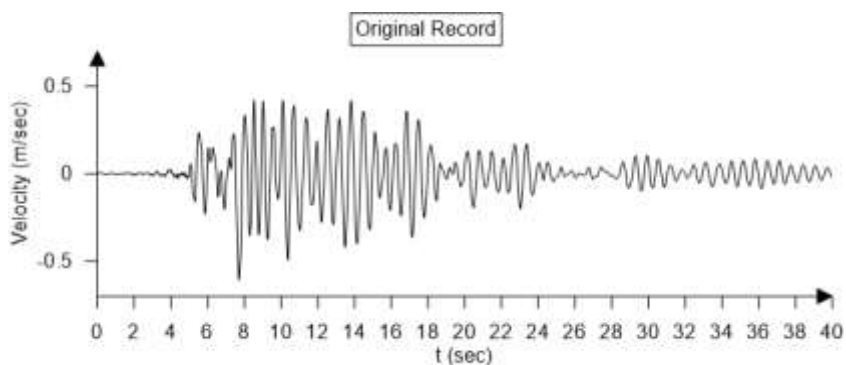
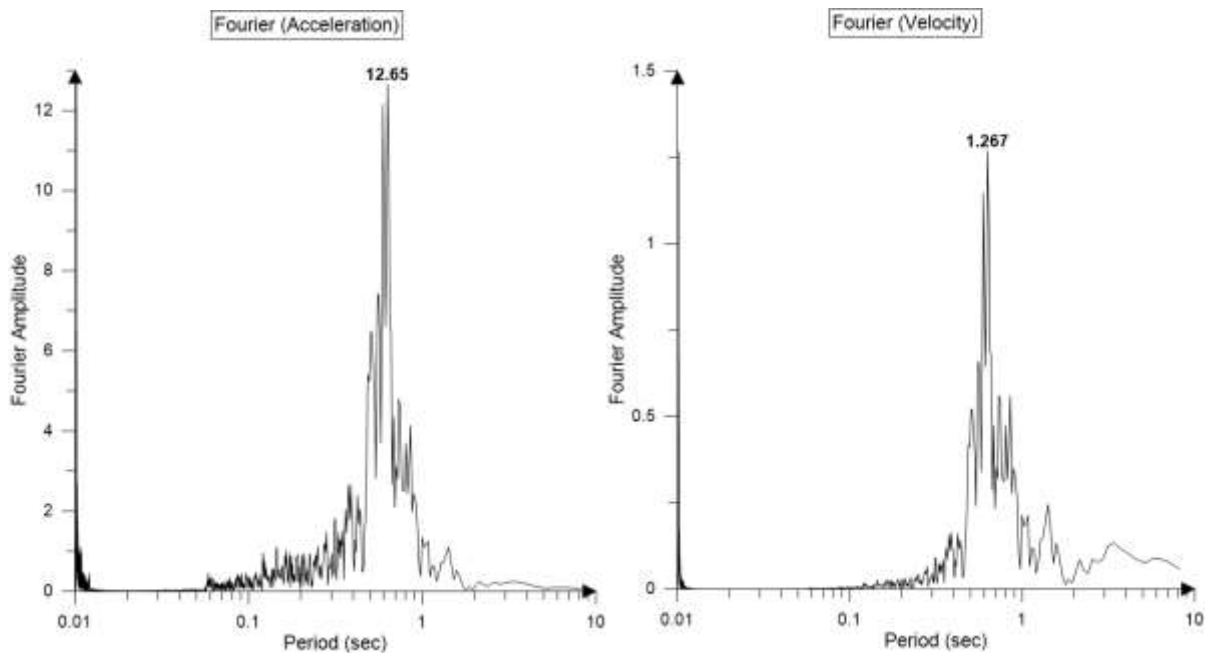
AMPLITUDE	PERIOD	GAMMA	N	CORRELATION
0.685	0.610	4.900	295.000	0.470
0.418	0.670	9.900	220.000	0.466
0.662	0.670	4.200	25.000	0.398
0.373	0.650	8.700	120.000	0.395
0.289	1.880	1.900	5.000	0.206
0.305	1.210	1.600	10.000	0.237

Καταγραφή απόκρισης Νο5



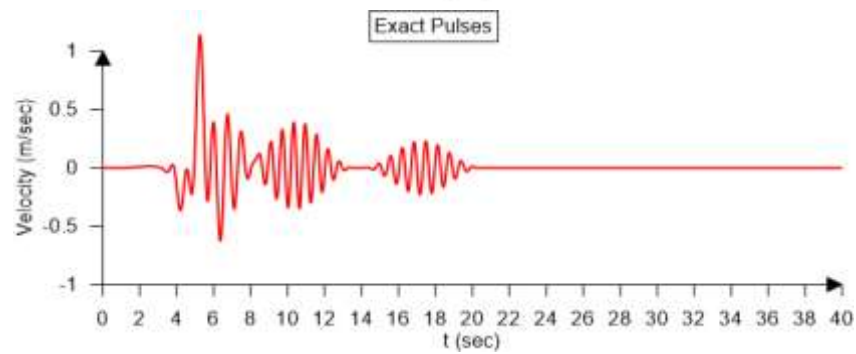
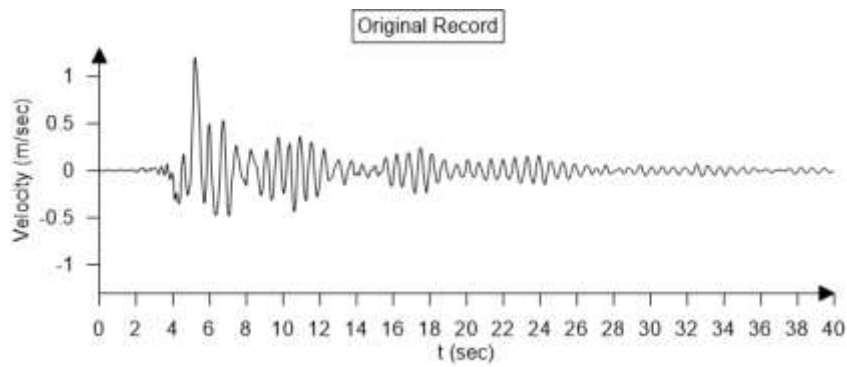
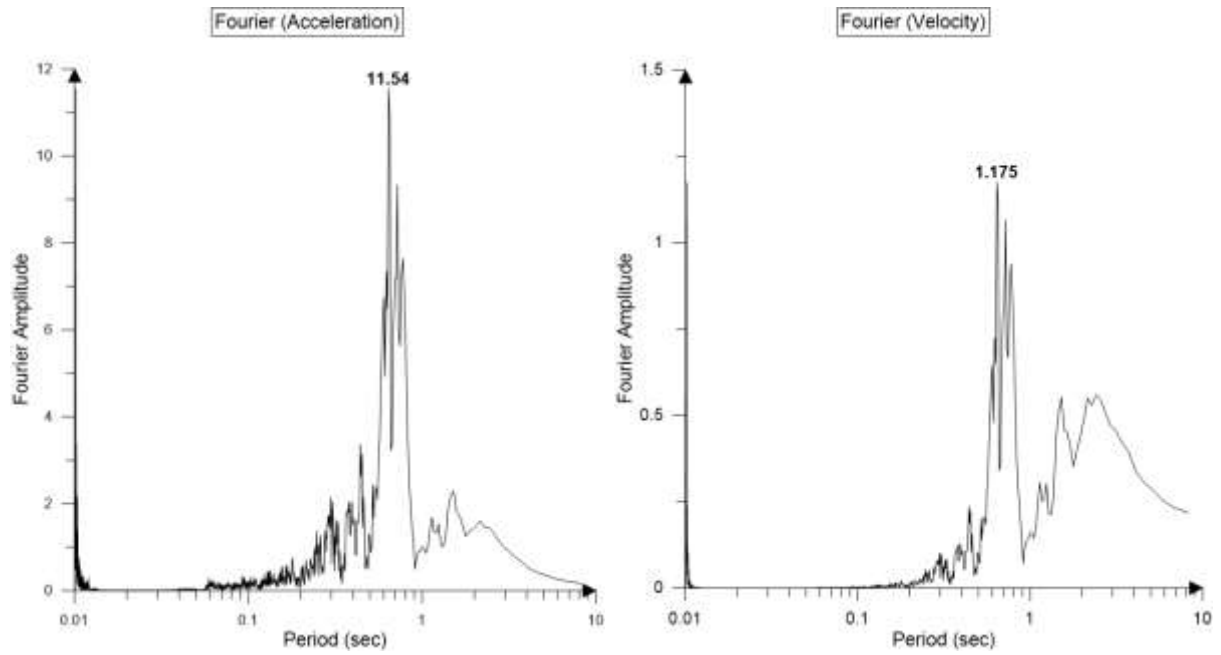
ΔΕΝ ΒΓΑΖΕΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ Ο ΚΩΔΙΚΑΣ

Καταγραφή απόκρισης Νο6



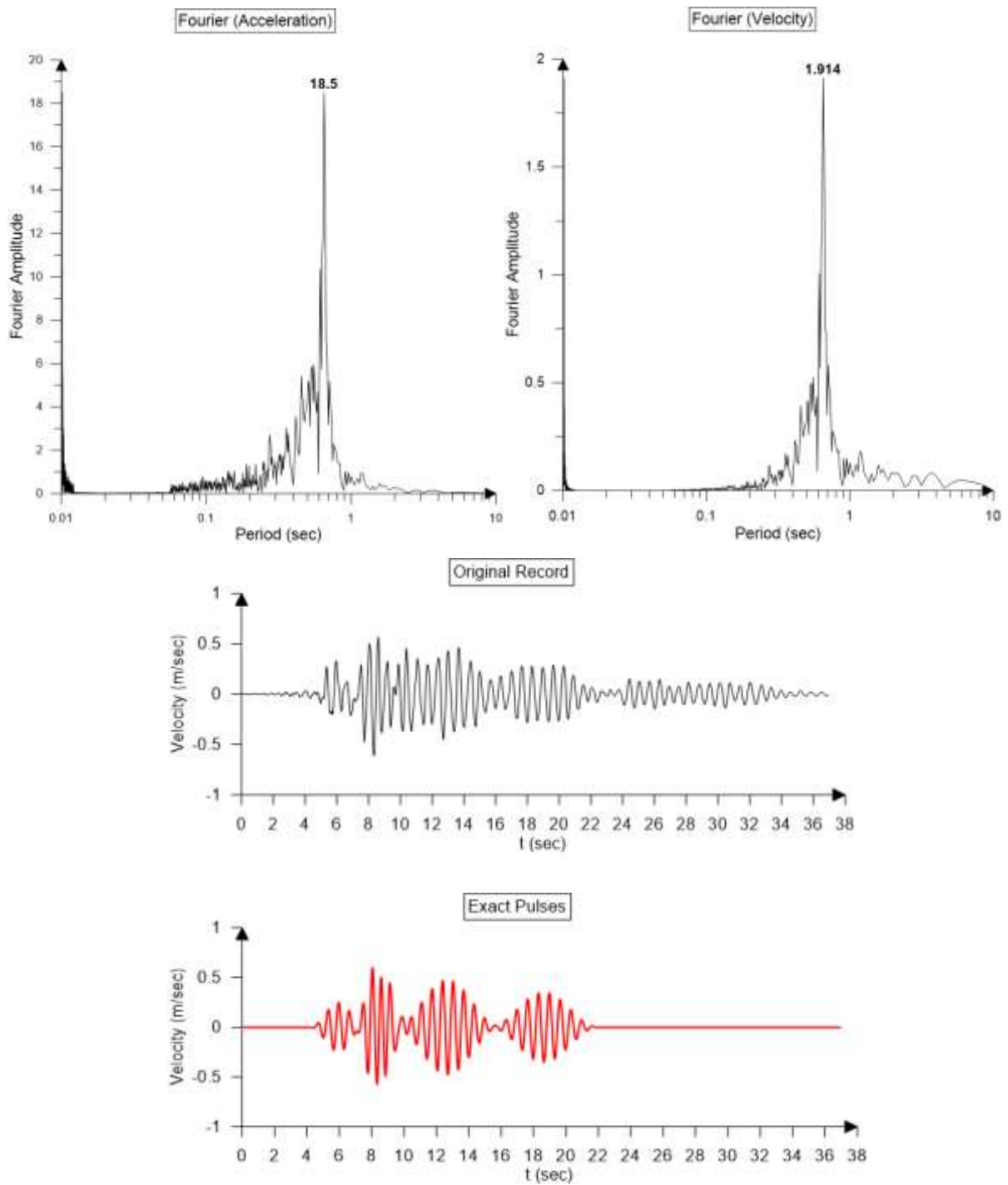
AMPLITUDE	PERIOD	GAMMA	N	CORRELATION
0.421	0.640	10.000	195.000	0.522
0.407	0.540	10.000	55.000	0.491
0.419	0.850	3.000	170.000	0.282
0.336	0.670	5.900	195.000	0.341
0.313	0.740	5.200	90.000	0.388
0.169	0.650	10.000	290.000	0.205

Καταγραφή απόκρισης Νο7



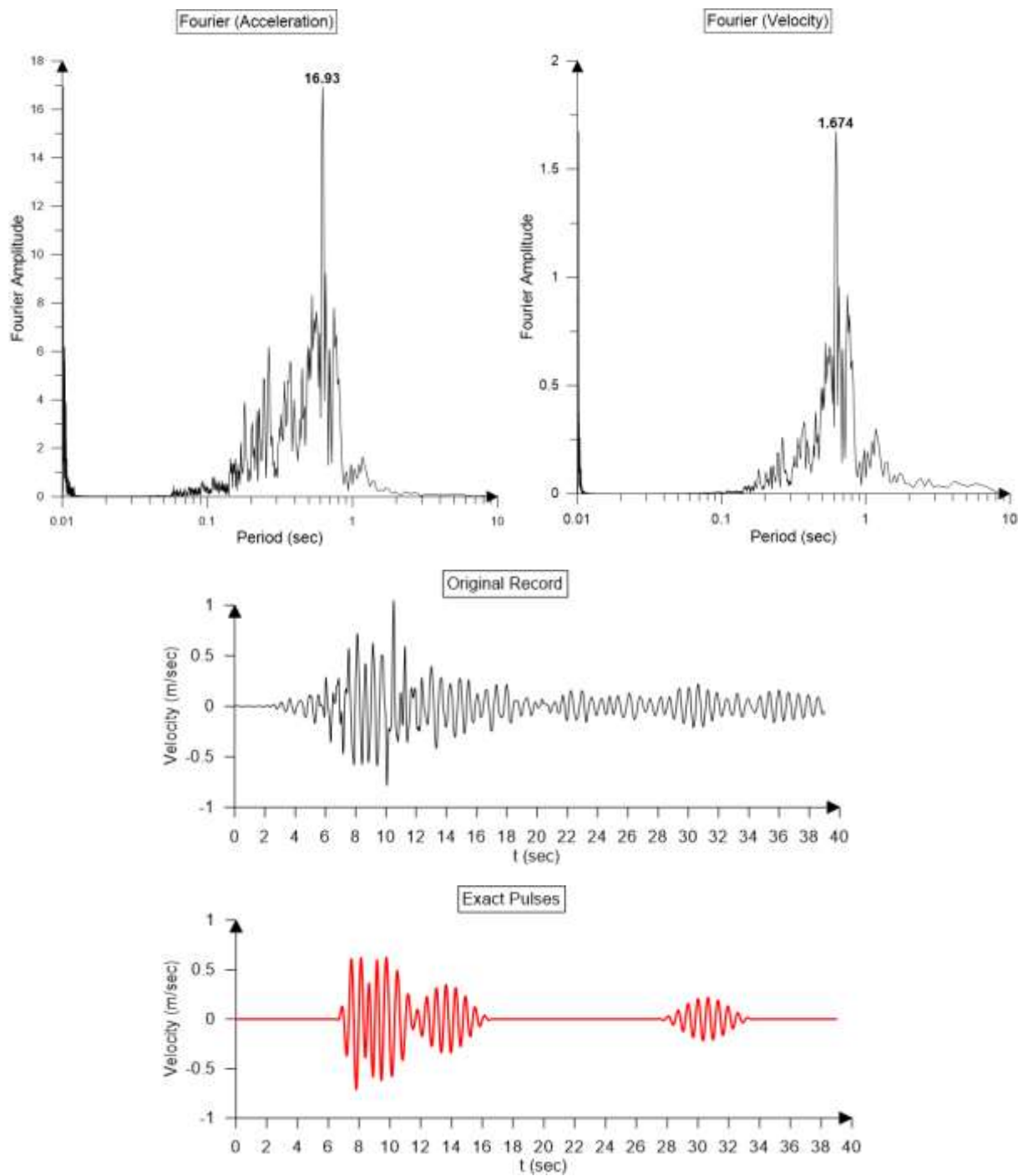
AMPLITUDE	PERIOD	GAMMA	N	CORRELATION
0.828	2.470	1.100	345.000	0.495
0.555	0.750	7.800	0.000	0.596
0.111	10.910	1.100	225.000	0.017
0.373	0.620	10.000	90.000	0.411
0.231	0.640	10.000	250.000	0.254
0.061	4.450	3.000	315.000	0.083

Καταγραφή απόκρισης Νο8



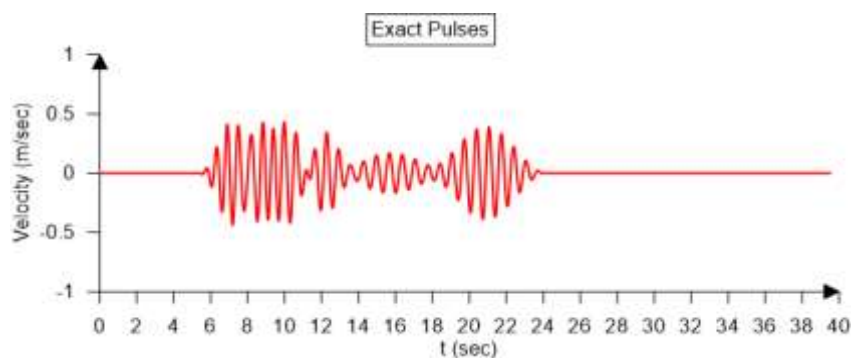
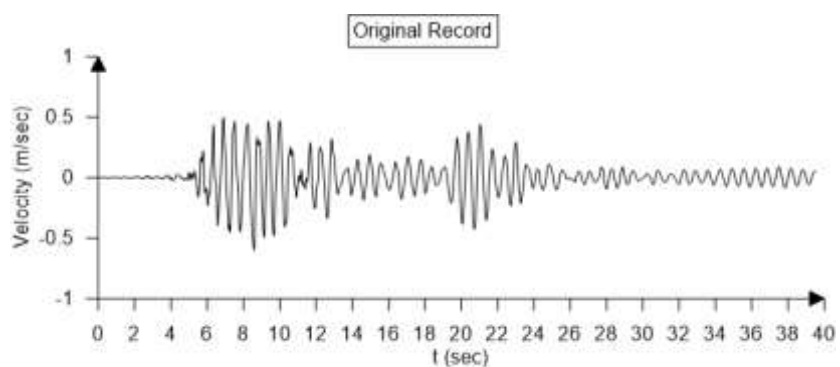
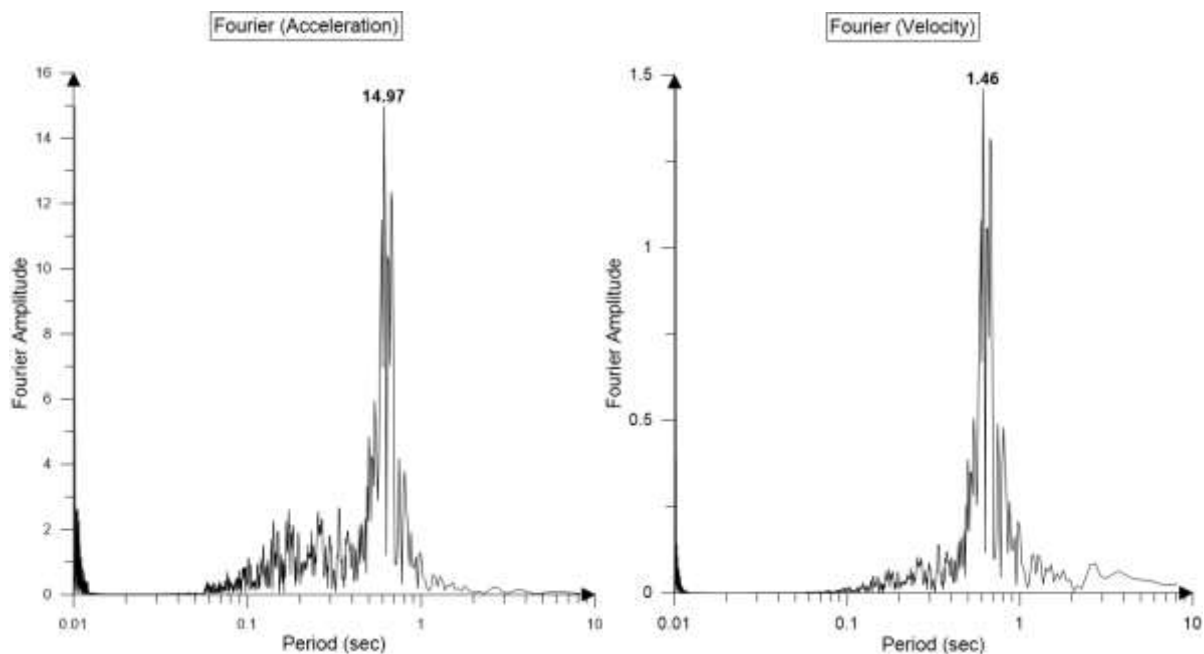
AMPLITUDE	PERIOD	GAMMA	N	CORRELATION
0.477	0.650	10.000	160.000	0.553
0.352	0.670	10.000	175.000	0.405
0.638	0.670	3.600	90.000	0.399
0.349	0.780	5.300	115.000	0.311
0.292	0.520	6.500	250.000	0.457
0.248	0.650	5.300	345.000	0.452

Καταγραφή απόκρισης Νο9



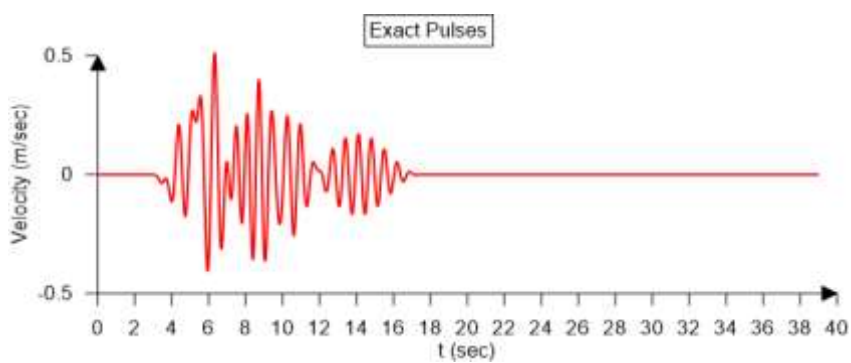
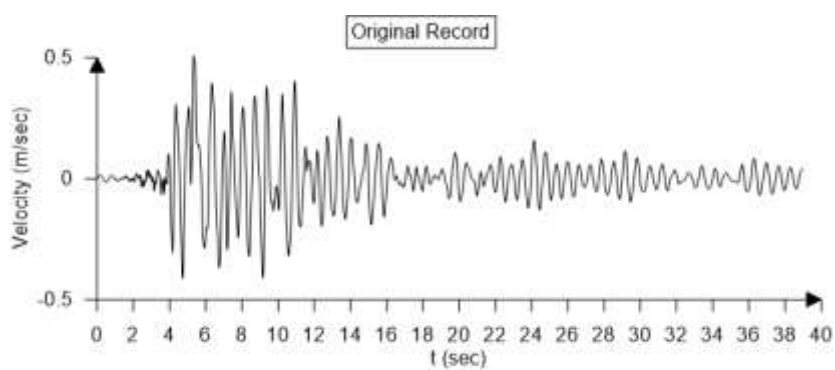
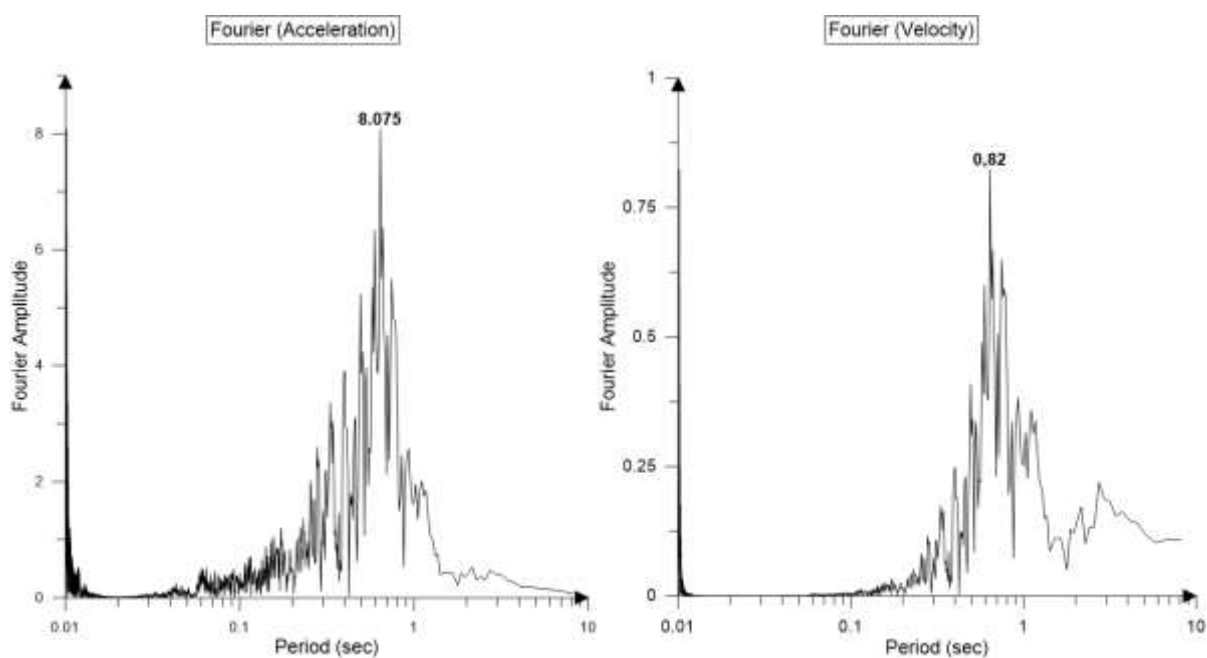
AMPLITUDE	PERIOD	GAMMA	N	CORRELATION
0.812	0.780	3.400	185.000	0.440
0.711	0.640	4.100	185.000	0.450
0.348	0.630	10.000	5.000	0.358
0.650	0.620	2.900	265.000	0.413
0.219	0.650	10.000	290.000	0.219
0.273	1.050	3.000	140.000	0.135

Καταγραφή απόκρισης Νο10



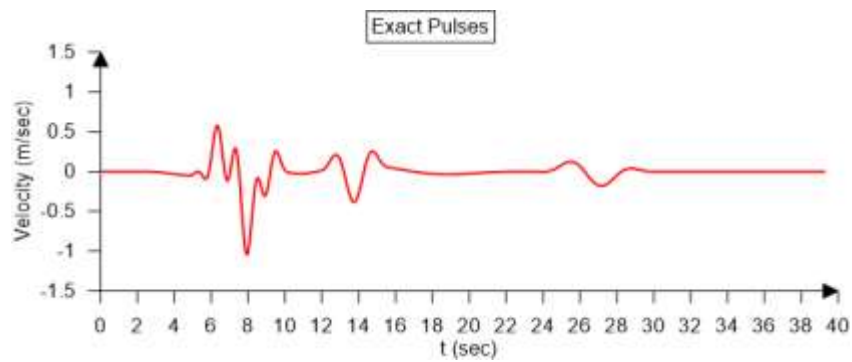
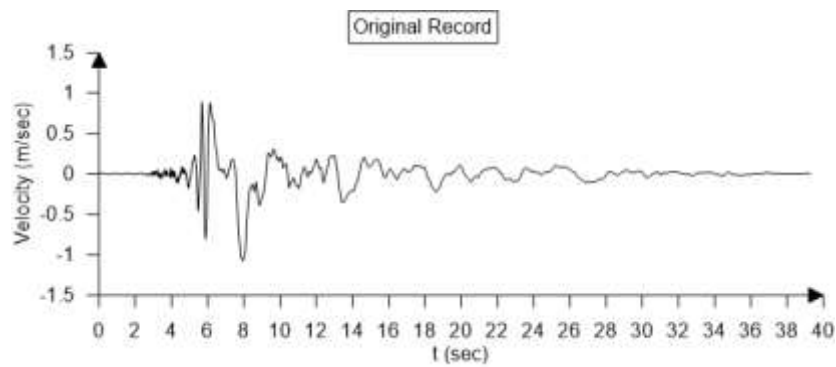
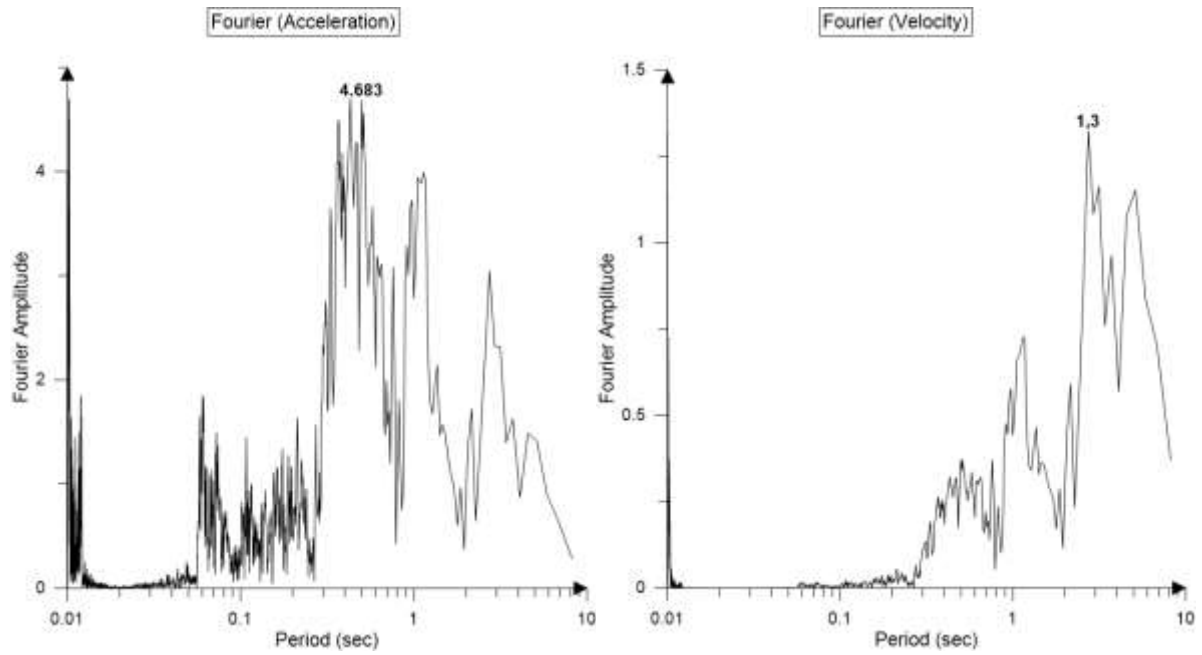
AMPLITUDE	PERIOD	GAMMA	N	CORRELATION
0.526	0.620	10.000	145.000	0.634
0.391	0.670	10.000	260.000	0.473
0.204	0.780	10.000	75.000	0.212
0.228	0.590	8.800	60.000	0.328
0.170	0.700	10.000	35.000	0.409
0.229	0.520	10.000	270.000	0.269

Καταγραφή απόκρισης Νο11



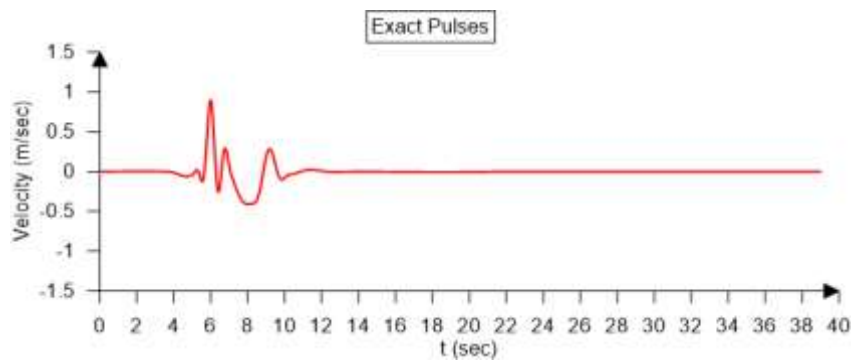
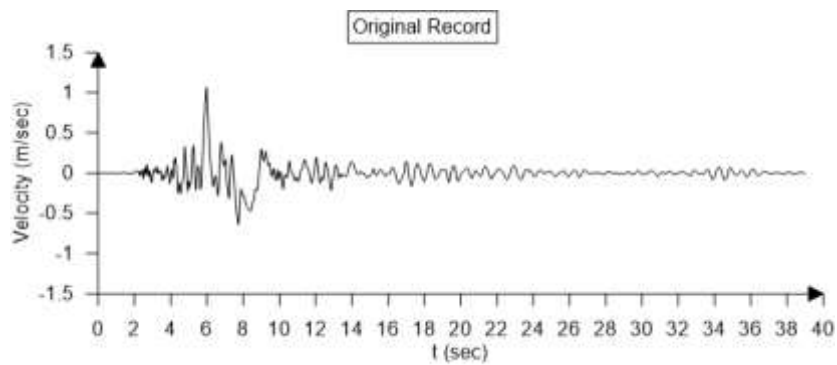
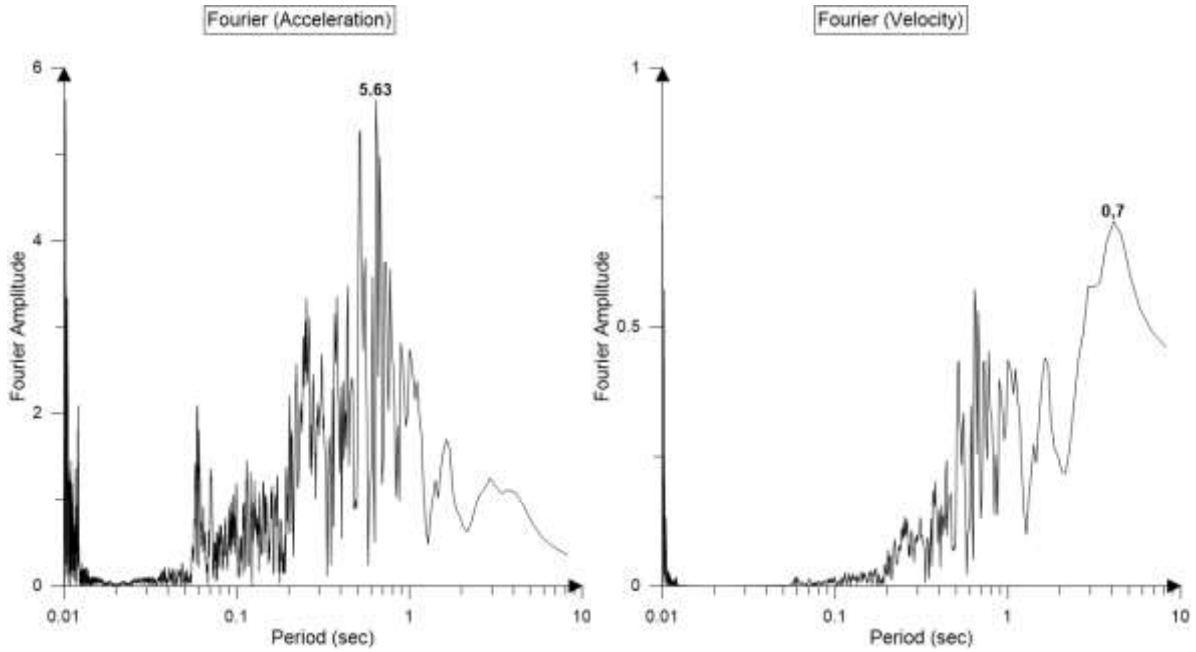
AMPLITUDE	PERIOD	GAMMA	N	CORRELATION
0.326	0.740	8.500	60.000	0.483
0.301	1.020	5.000	190.000	0.393
0.228	0.650	10.000	270.000	0.377
0.155	4.090	1.100	340.000	0.191
0.170	0.700	9.600	355.000	0.279
0.163	0.590	10.000	40.000	0.274

Καταγραφή απόκρισης Νο12



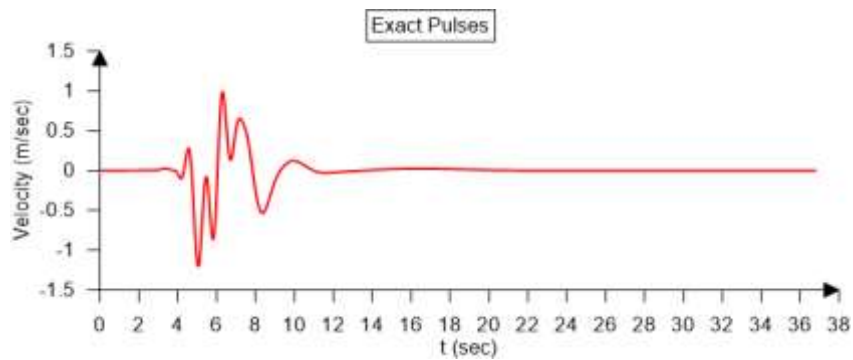
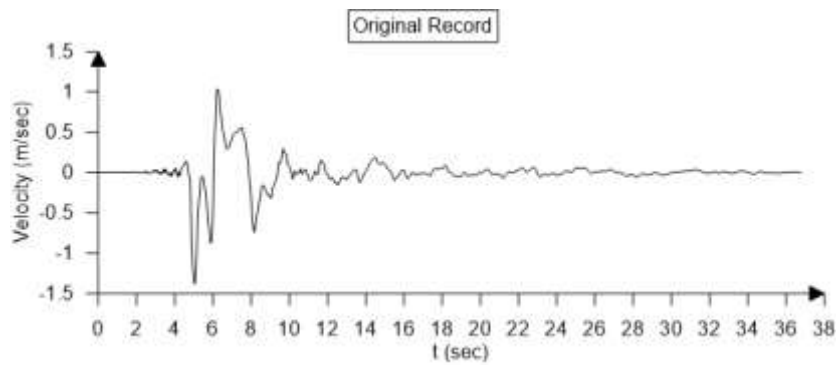
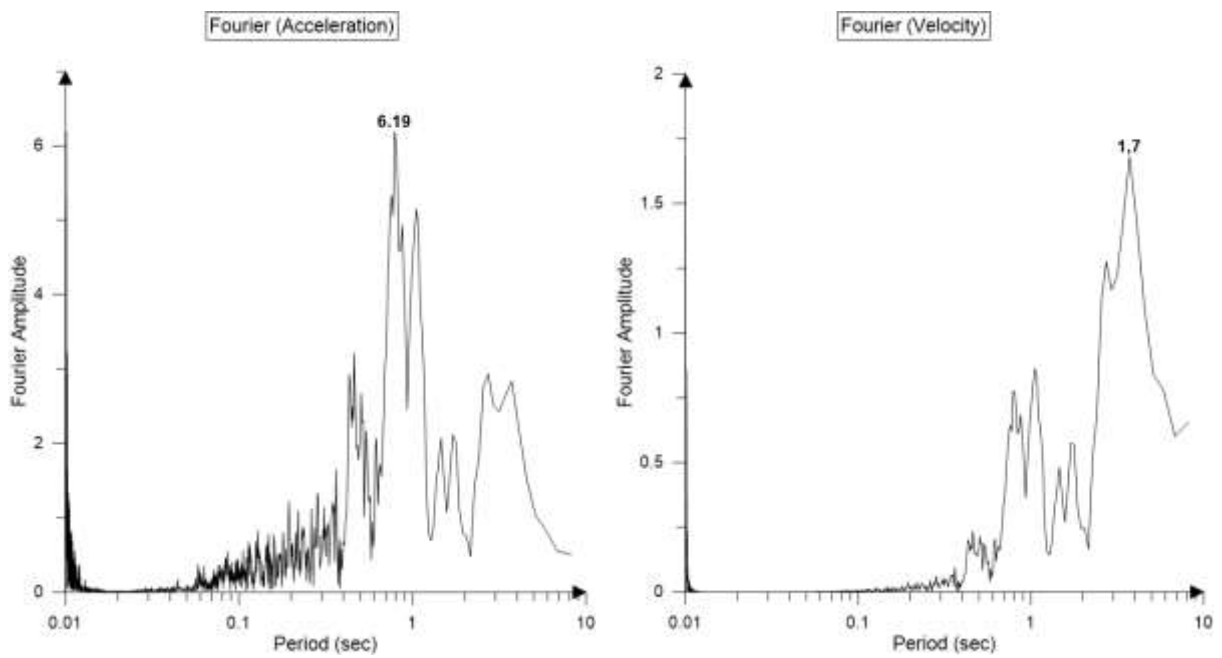
AMPLITUDE	PERIOD	GAMMA	N	CORRELATION
0.755	4.070	1.300	150.000	0.628
0.450	1.100	5.400	70.000	0.446
0.464	2.520	1.500	185.000	0.271
0.120	8.280	1.400	340.000	0.194
0.081	11.810	1.500	20.000	0.050
0.192	4.020	1.600	130.000	0.122

Καταγραφή απόκρισης Νο13



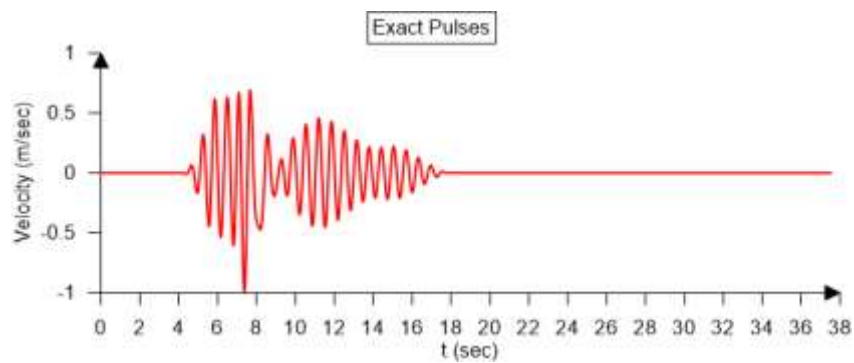
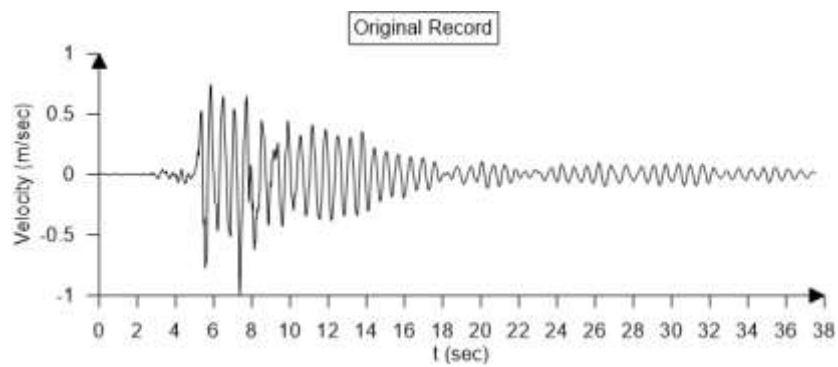
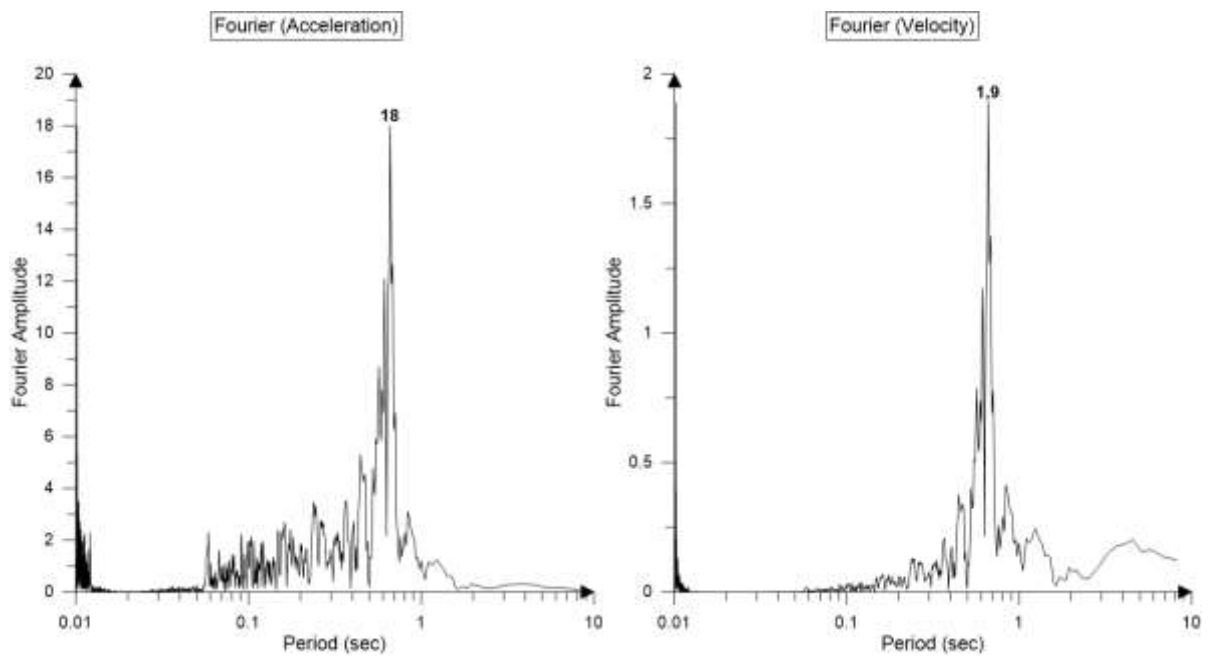
AMPLITUDE	PERIOD	GAMMA	N	CORRELATION
0.392	3.740	2.000	115.000	0.586
0.664	0.950	2.200	65.000	0.516
0.363	1.990	1.100	5.000	0.211
0.060	20.000	1.100	225.000	0.125
0.147	6.200	1.100	185.000	0.102
0.049	20.000	1.100	75.000	0.004

Καταγραφή απόκρισης Νο14



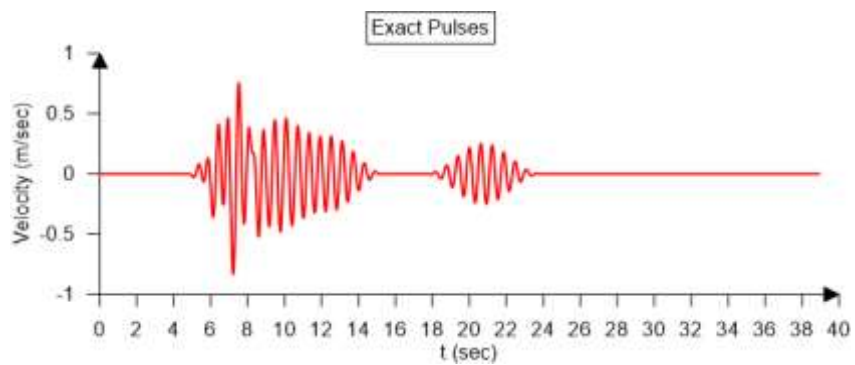
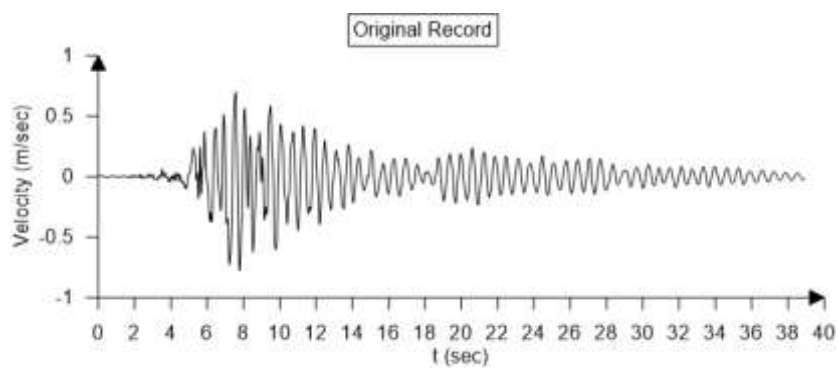
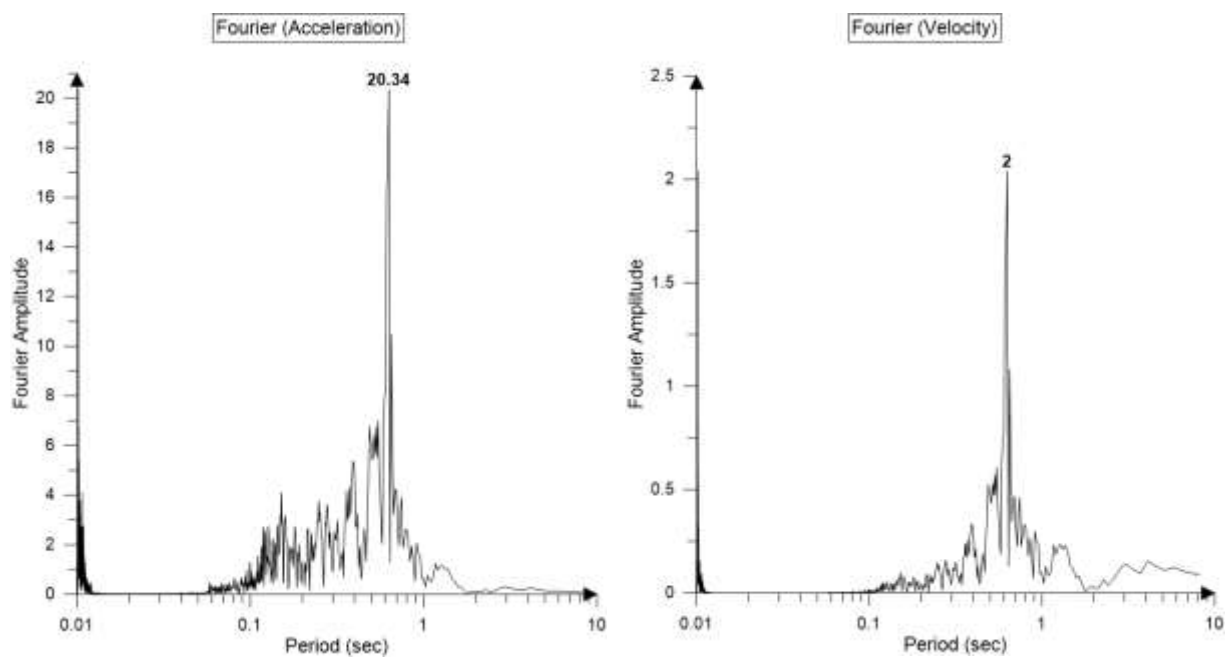
AMPLITUDE	PERIOD	GAMMA	N	CORRELATION
0.753	3.960	1.800	325.000	0.714
0.740	0.880	4.500	75.000	0.530
0.295	1.540	4.800	70.000	0.216
0.246	5.540	1.100	270.000	0.180
0.052	19.900	1.100	230.000	0.010
0.208	3.560	1.600	195.000	0.407

Καταγραφή απόκρισης Νο15



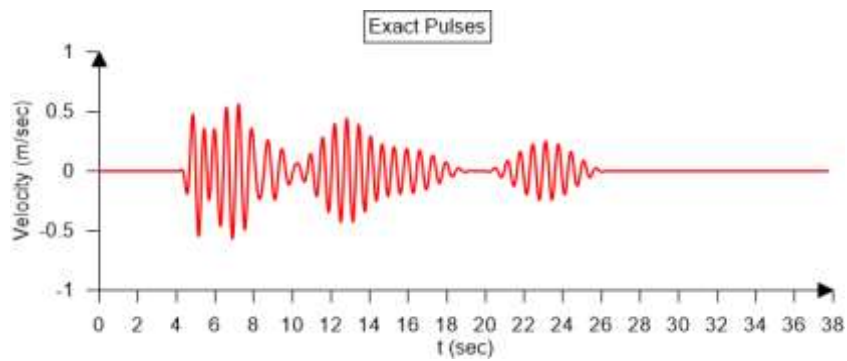
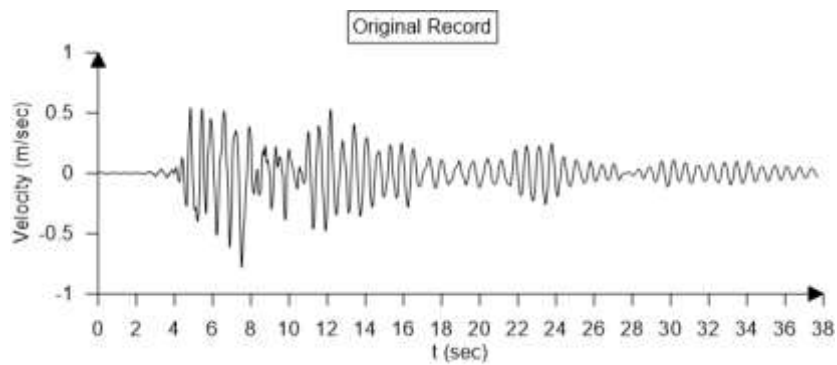
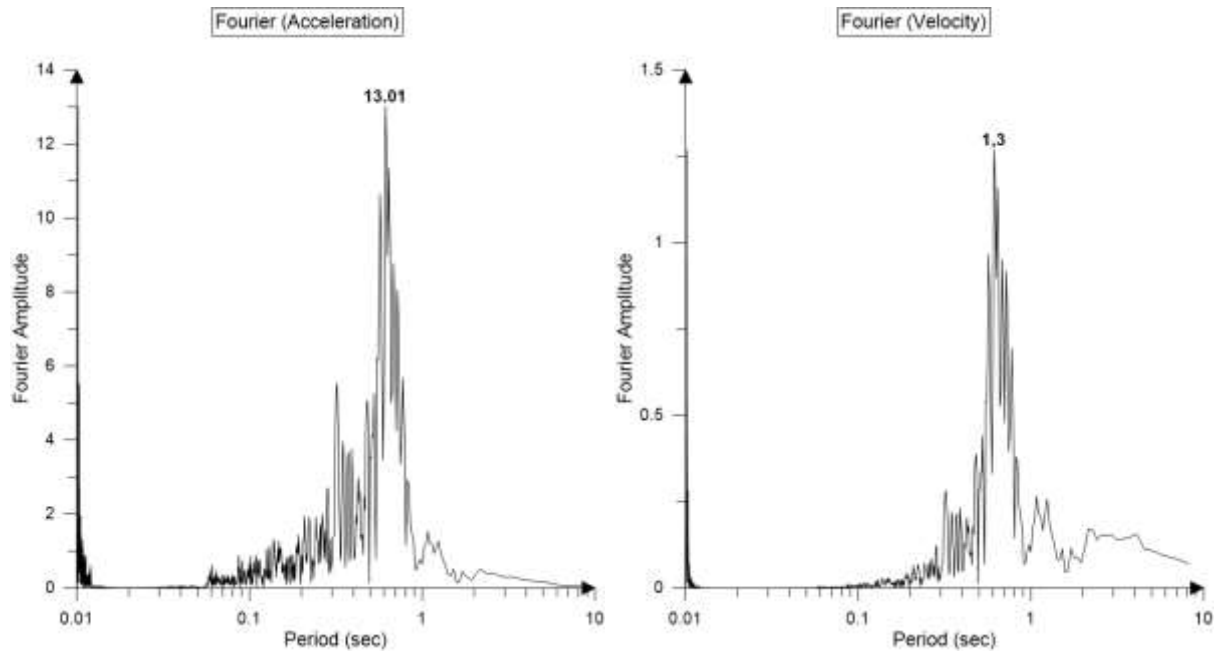
AMPLITUDE	PERIOD	GAMMA	N	CORRELATION
0.715	0.620	7.500	20.000	0.629
0.459	0.660	10.000	50.000	0.500
0.399	0.890	4.000	90.000	0.345
0.221	0.640	10.000	270.000	0.315
0.133	4.660	1.200	145.000	0.112
0.206	0.470	10.000	200.000	0.209

Καταγραφή απόκρισης Νο16



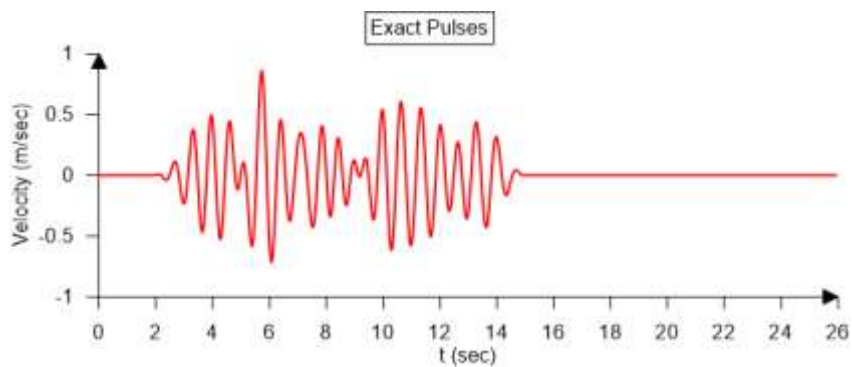
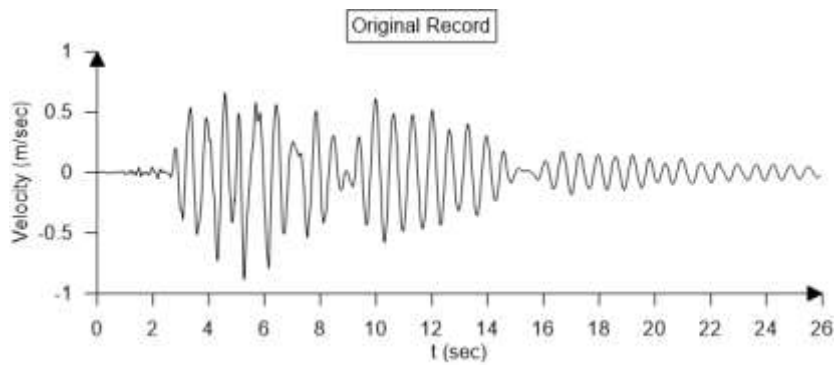
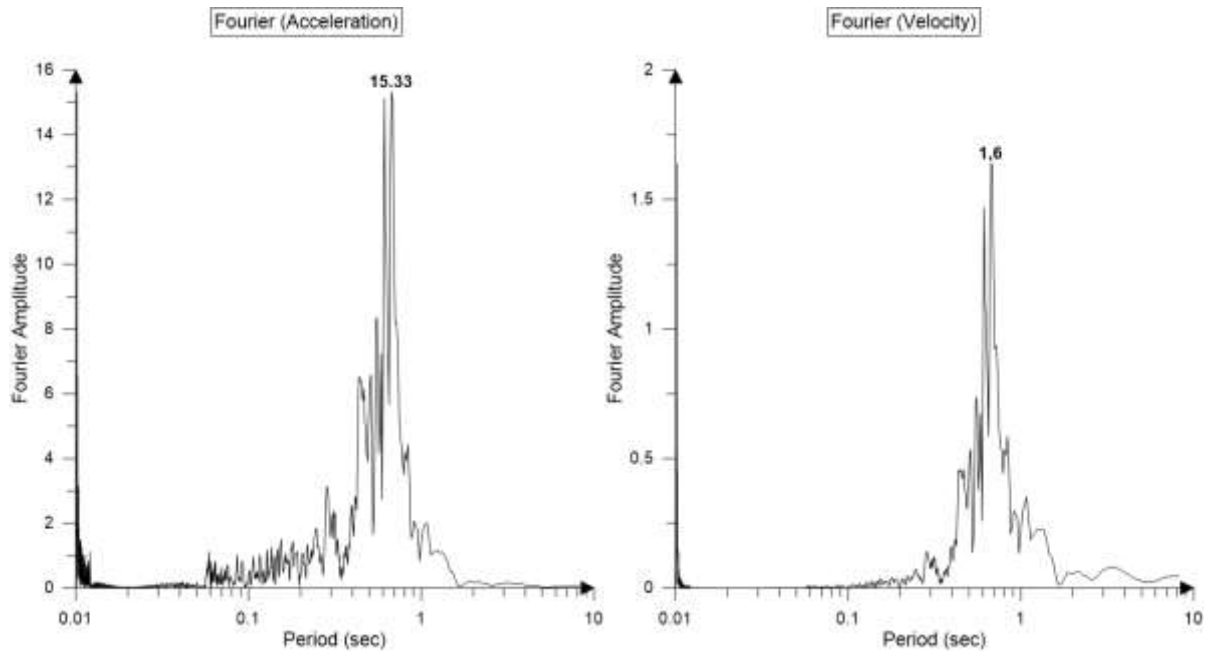
AMPLITUDE	PERIOD	GAMMA	N	CORRELATION
0.528	0.630	10.000	195.000	0.574
0.465	0.540	10.000	320.000	0.380
0.313	0.600	10.000	285.000	0.408
0.252	0.620	10.000	75.000	0.270
0.851	0.810	1.100	90.000	0.313
0.231	1.110	5.000	275.000	0.099

Καταγραφή απόκρισης Νο17



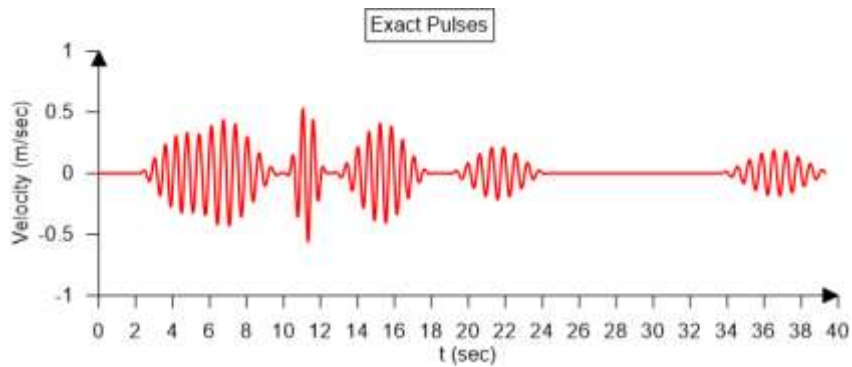
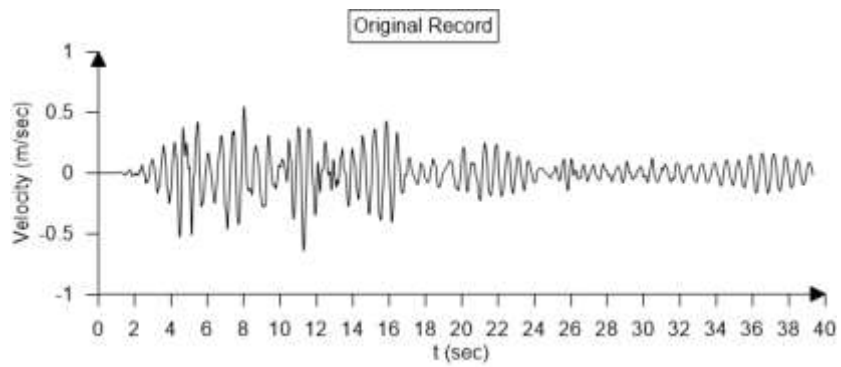
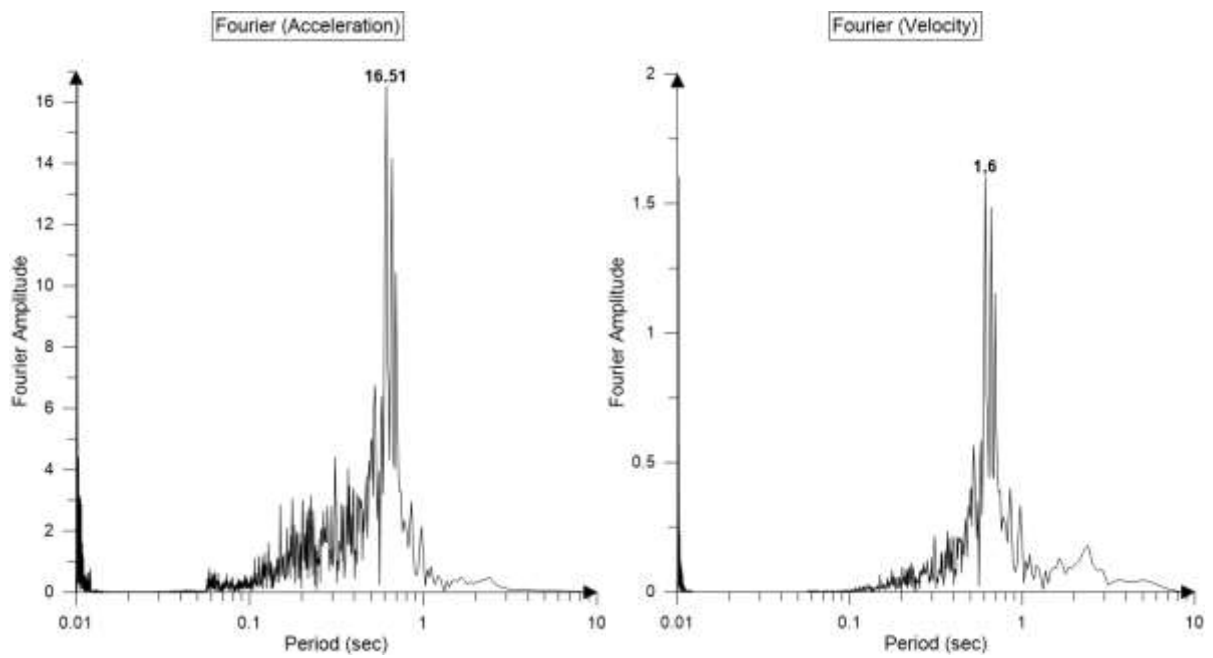
AMPLITUDE	PERIOD	GAMMA	N	CORRELATION
0.442	0.630	10.000	25.000	0.498
0.548	0.630	6.600	130.000	0.496
0.555	0.660	2.700	125.000	0.395
0.248	0.660	10.000	0.000	0.289
0.267	0.740	5.800	325.000	0.285
0.186	0.680	10.000	60.000	0.270

Καταγραφή απόκρισης Νο18



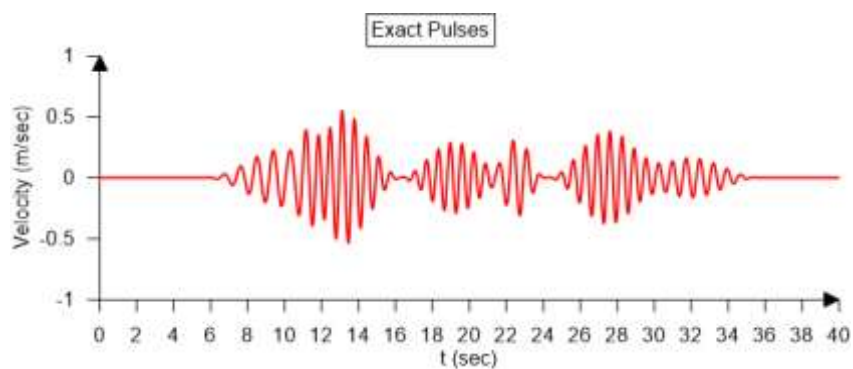
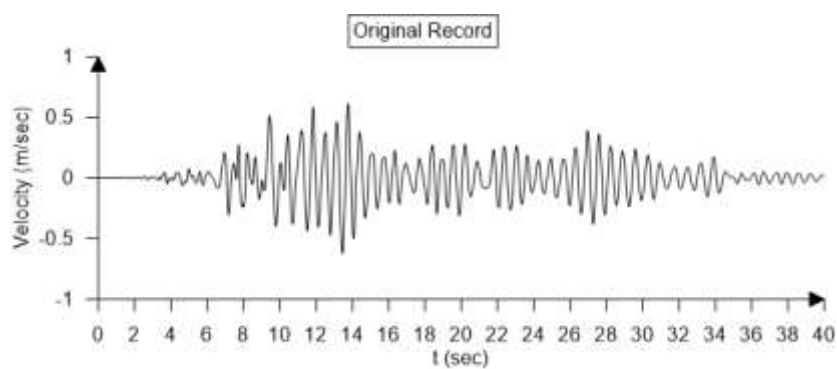
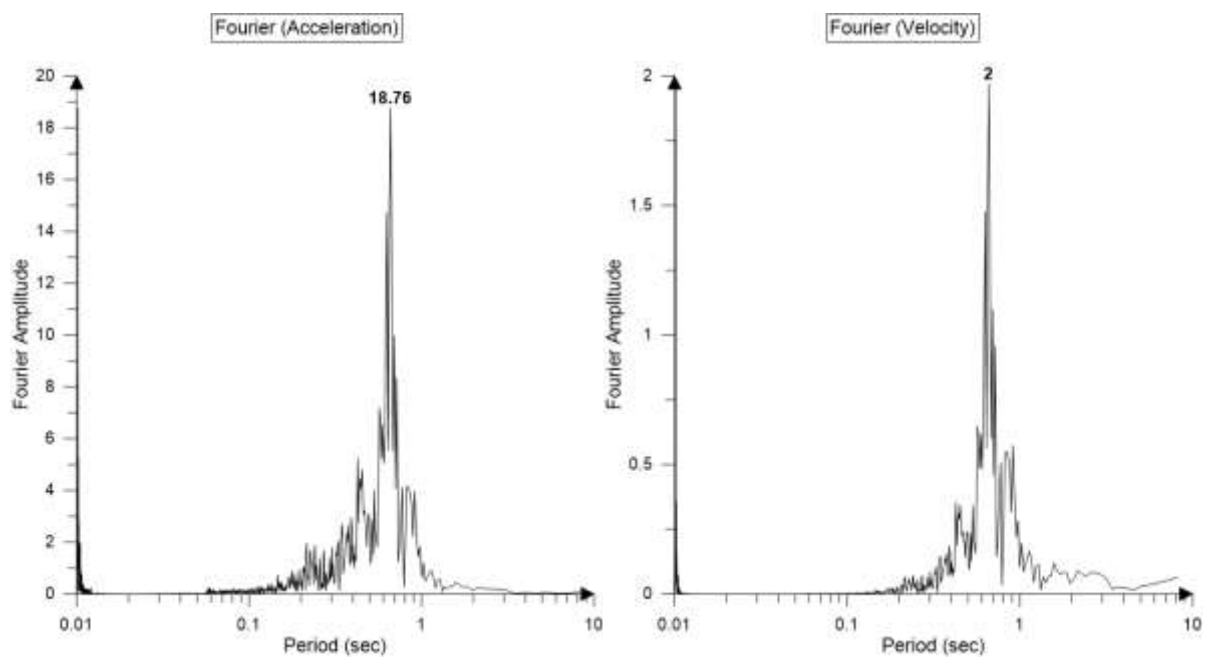
AMPLITUDE	PERIOD	GAMMA	N	CORRELATION
0.577	0.700	10.000	125.000	0.509
0.544	0.620	10.000	215.000	0.472
0.392	0.770	10.000	55.000	0.353
0.442	0.750	4.400	70.000	0.244
0.242	1.100	4.900	360.000	0.196
0.337	0.560	8.600	225.000	0.263

Καταγραφή απόκρισης Νο19



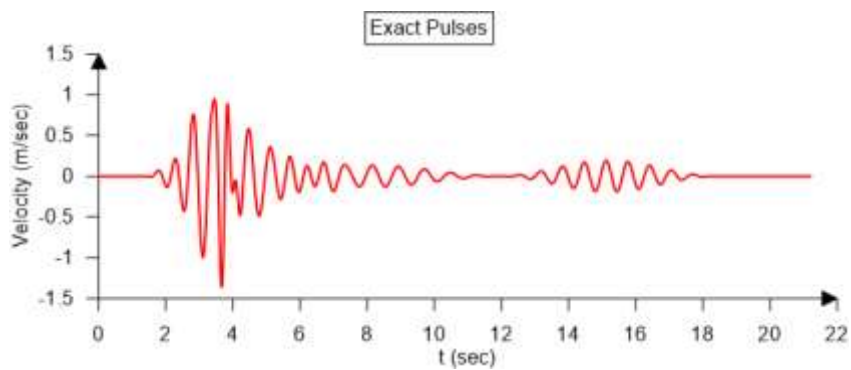
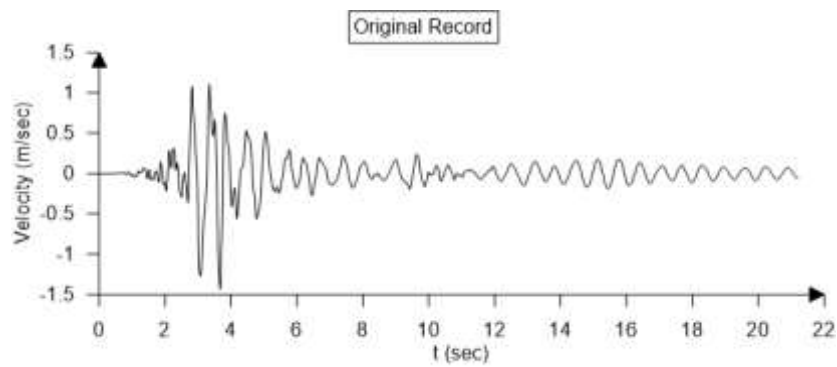
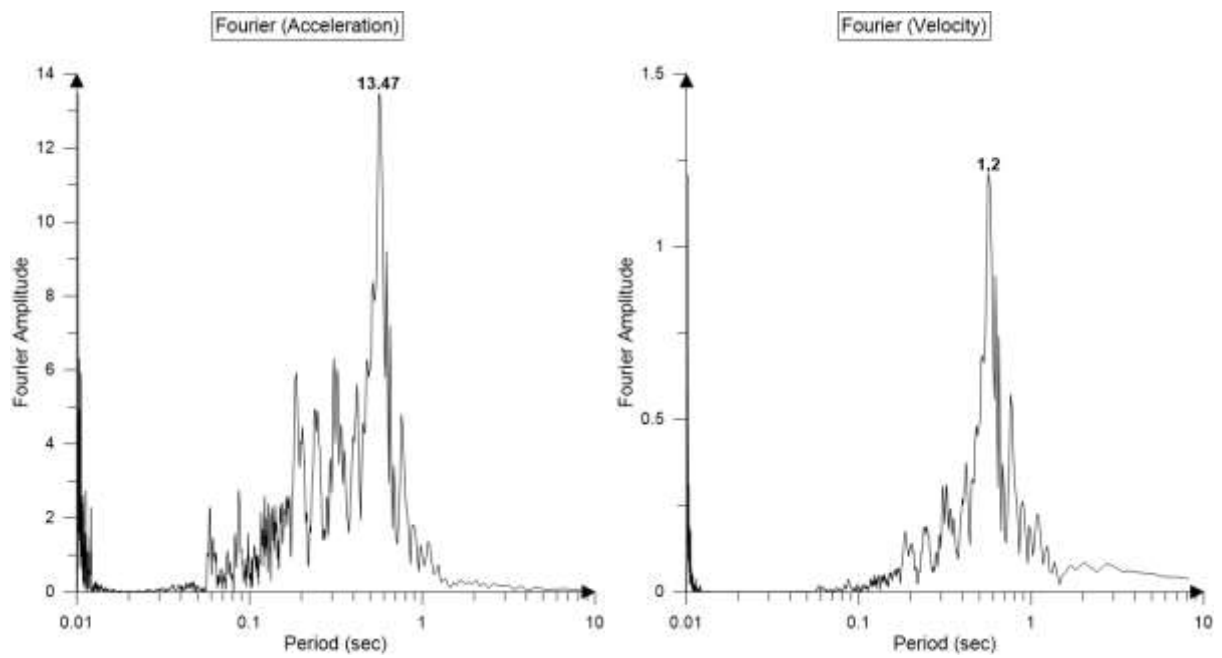
AMPLITUDE	PERIOD	GAMMA	N	CORRELATION
0.436	0.650	10.000	35.000	0.500
0.411	0.610	9.100	80.000	0.439
0.569	0.570	4.000	125.000	0.389
0.217	0.650	8.700	190.000	0.244
0.271	0.590	6.800	290.000	0.395
0.187	0.660	10.000	75.000	0.225

Καταγραφή απόκρισης Νο20



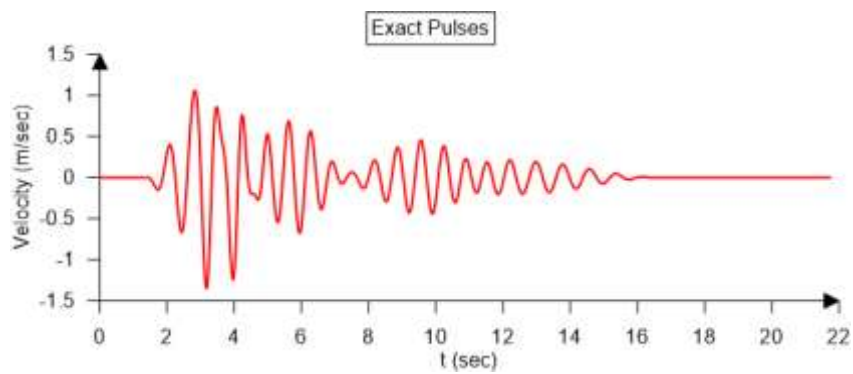
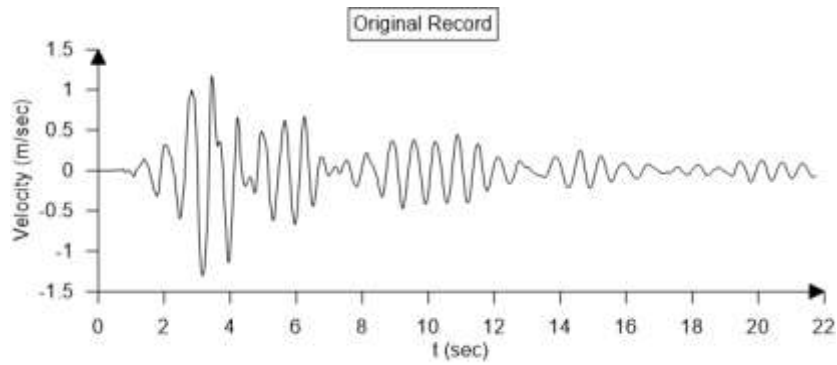
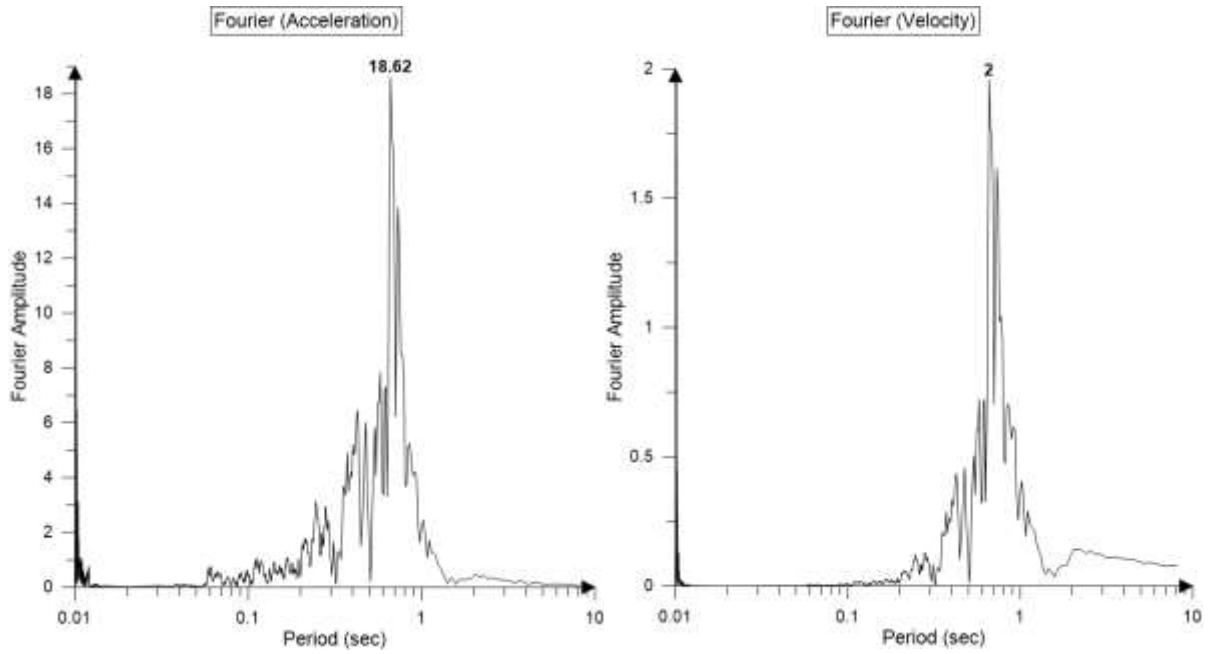
AMPLITUDE	PERIOD	GAMMA	N	CORRELATION
0.536	0.660	10.000	330.000	0.618
0.381	0.660	10.000	320.000	0.406
0.234	0.890	9.500	240.000	0.283
0.290	0.640	9.400	125.000	0.388
0.317	0.740	4.200	100.000	0.280
0.163	0.740	10.000	115.000	0.182

Καταγραφή απόκρισης Νο21



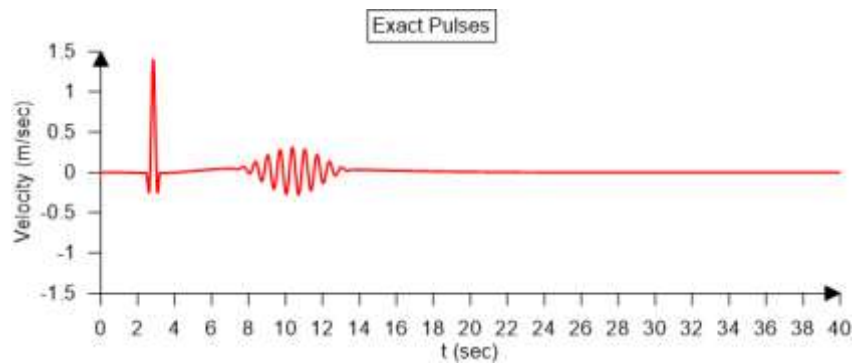
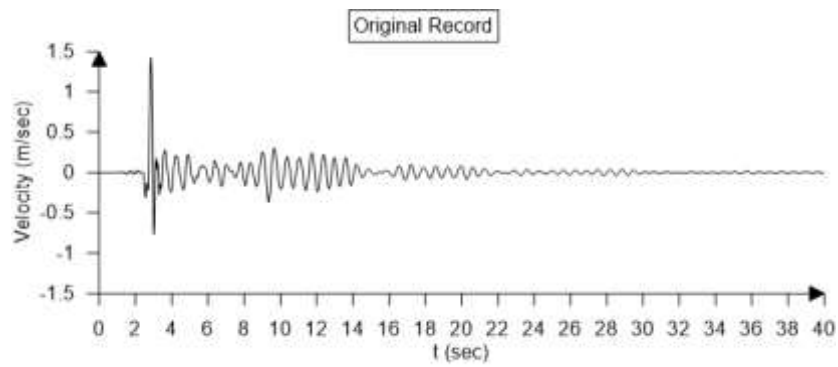
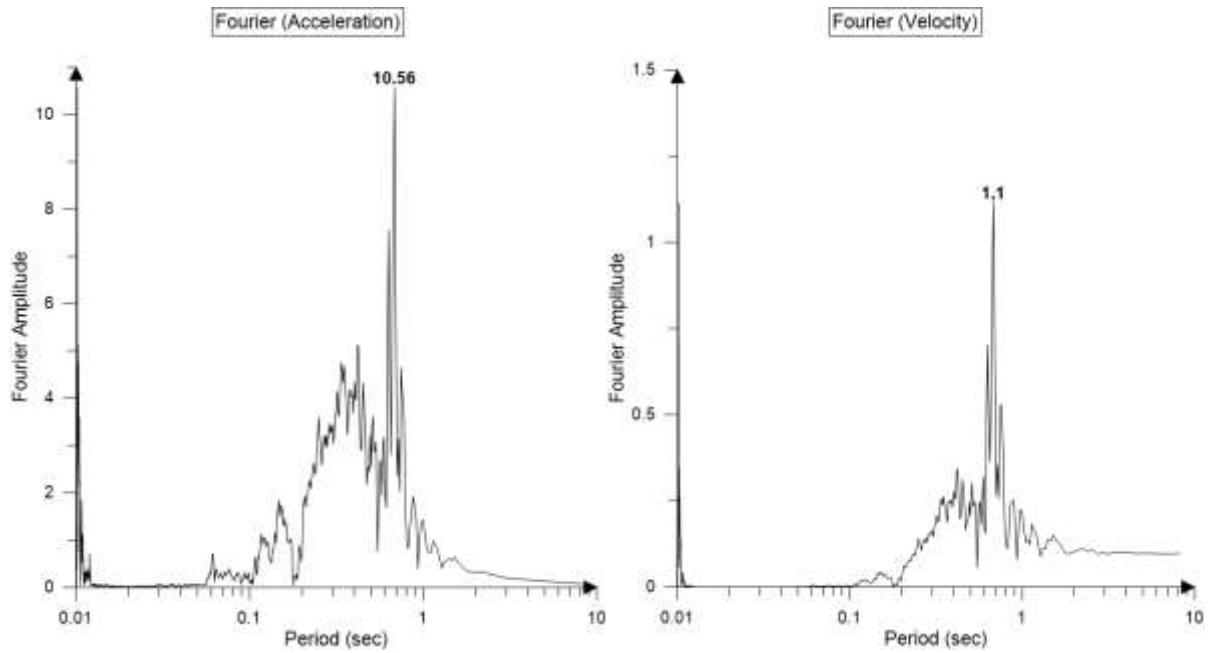
AMPLITUDE	PERIOD	GAMMA	N	CORRELATION
0.844	0.550	7.700	95.000	0.761
0.275	0.820	5.800	80.000	0.232
0.764	0.320	3.600	315.000	0.373
0.192	0.650	10.000	35.000	0.209
0.234	0.530	8.900	290.000	0.201
0.133	0.780	10.000	350.000	0.135

Καταγραφή απόκρισης Νο22



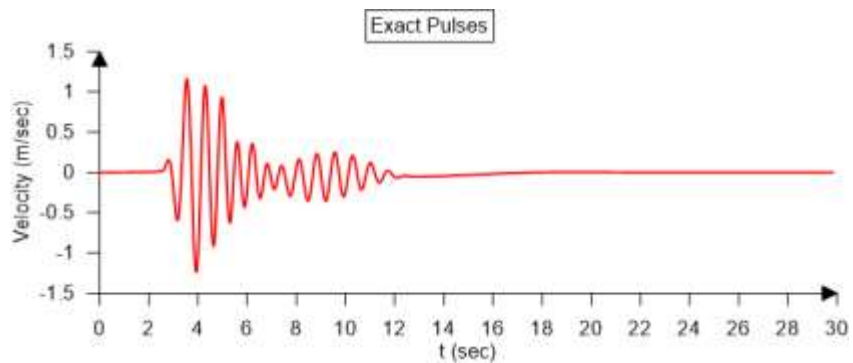
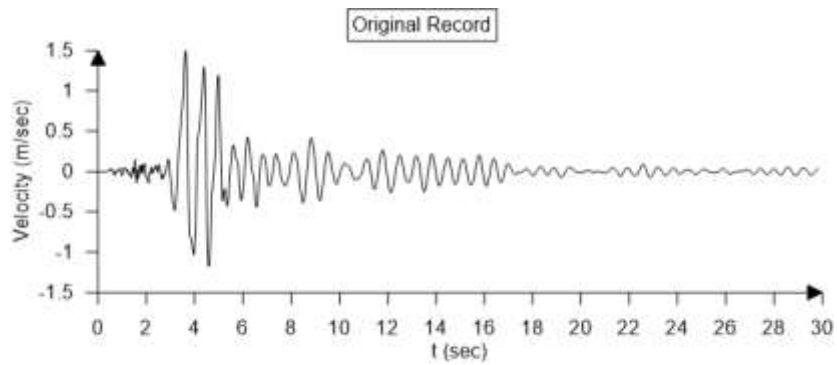
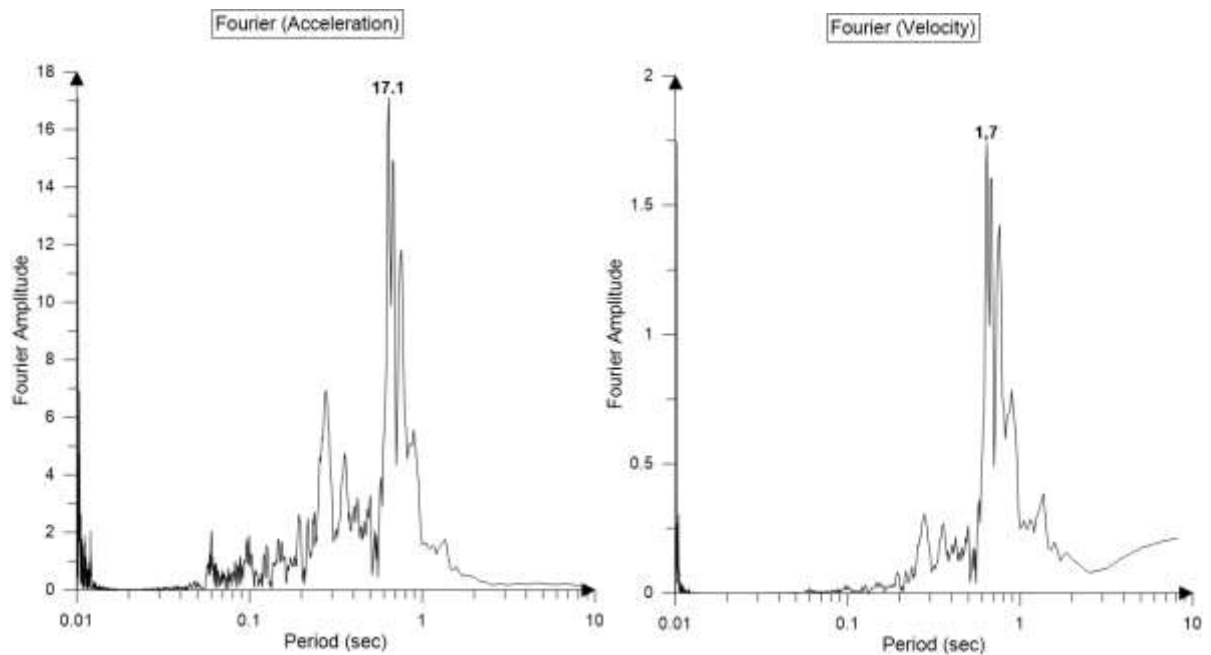
AMPLITUDE	PERIOD	GAMMA	N	CORRELATION
1.152	0.750	5.300	220.000	0.725
0.692	0.660	5.400	85.000	0.404
0.467	0.690	8.800	125.000	0.349
0.194	0.800	10.000	230.000	0.115
0.395	0.420	7.600	40.000	0.235
0.126	2.510	2.100	135.000	0.082

Καταγραφή απόκρισης Νο23



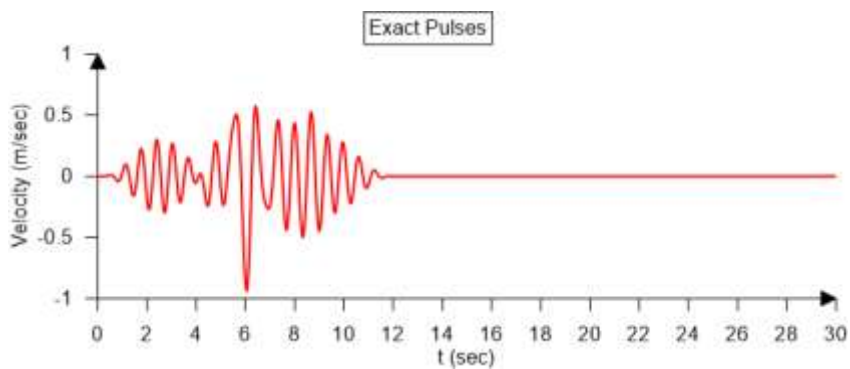
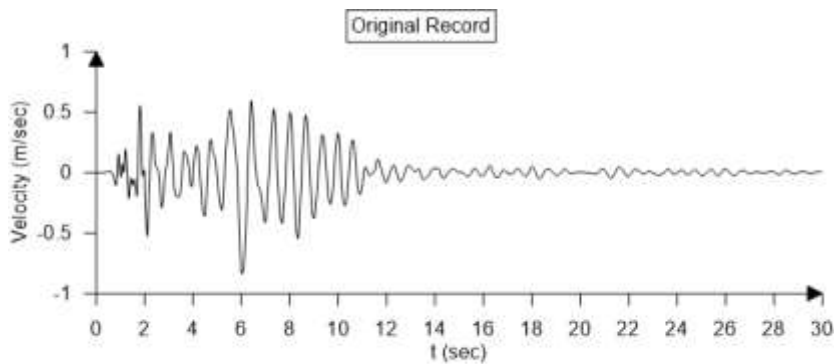
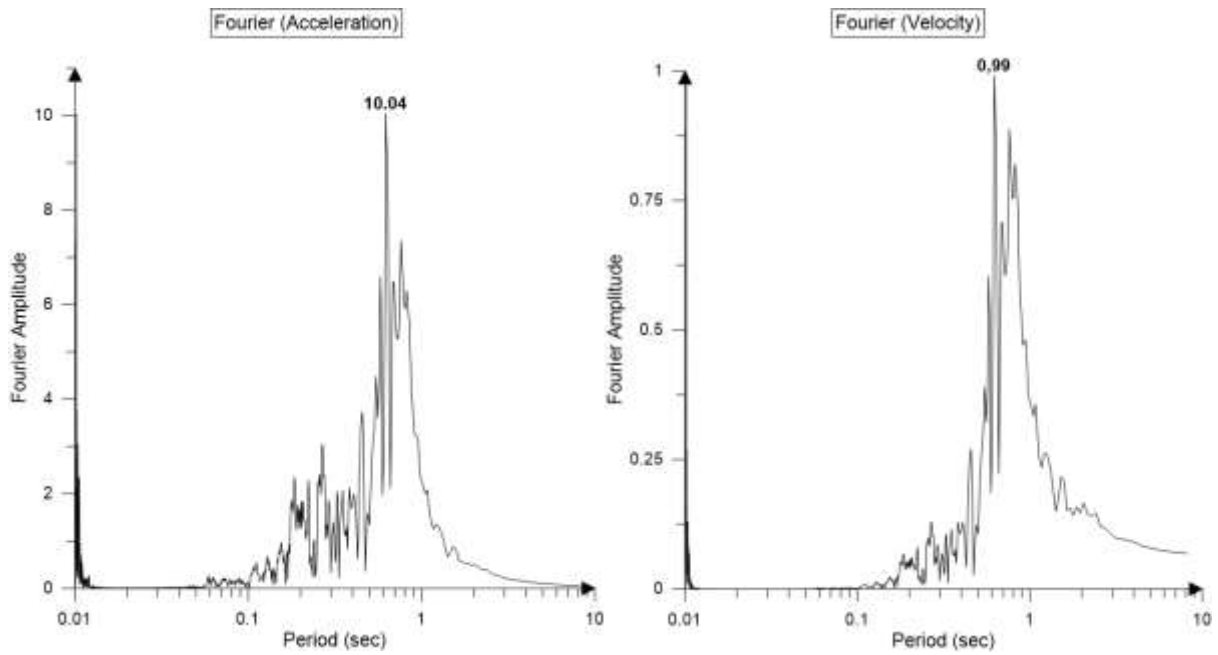
AMPLITUDE	PERIOD	GAMMA	N	CORRELATION
1.407	0.680	1.100	360.000	0.636
0.295	0.670	10.000	30.000	0.453
0.033	20.000	1.100	350.000	0.004
0.031	20.000	1.100	230.000	0.008
0.031	20.000	1.100	355.000	0.005
0.051	12.410	1.100	15.000	0.003

Καταγραφή απόκρισης Νο24



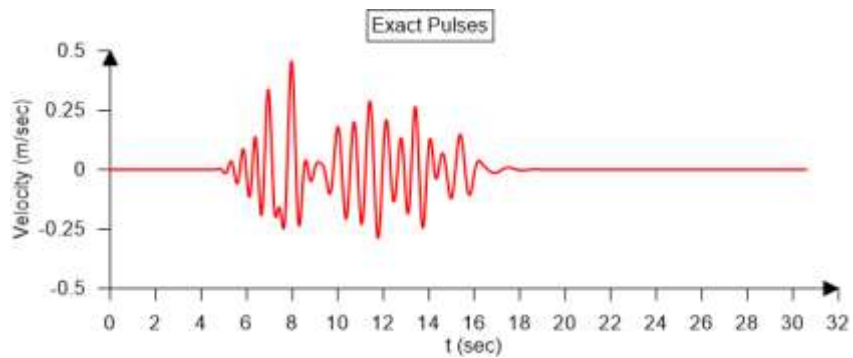
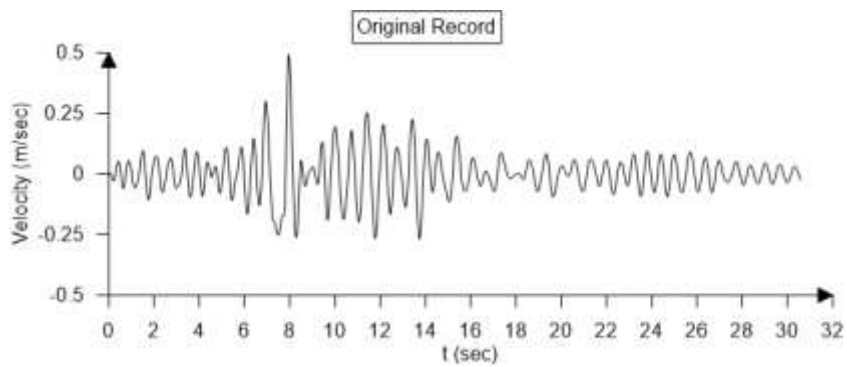
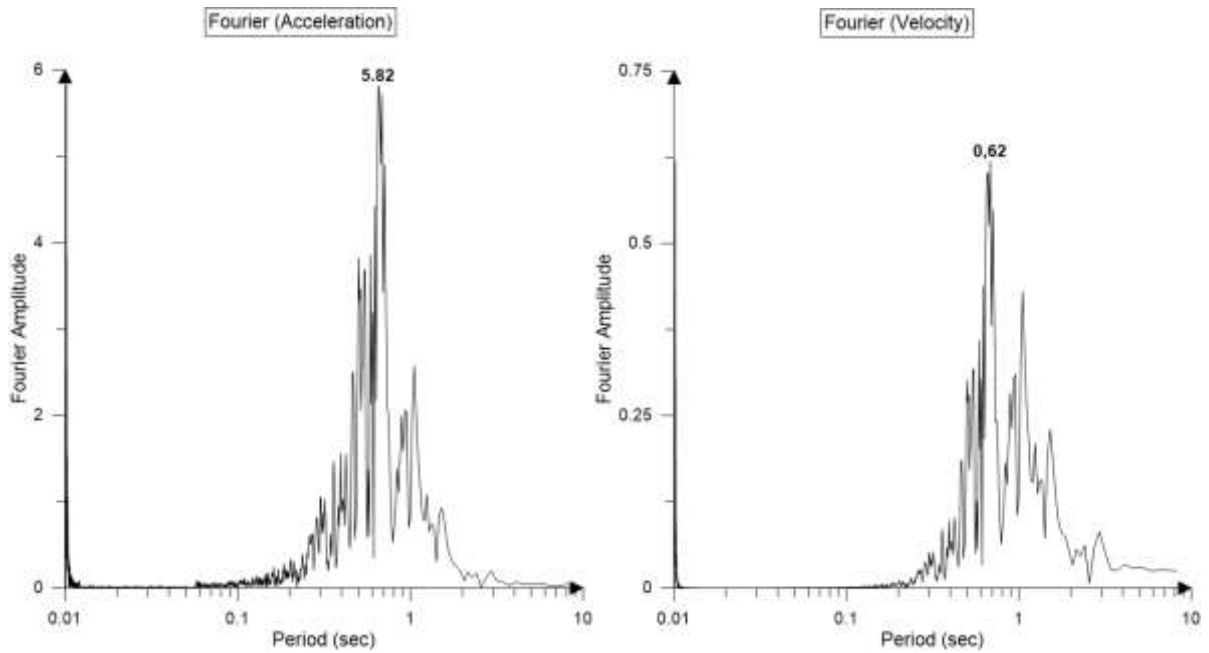
AMPLITUDE	PERIOD	GAMMA	N	CORRELATION
1.261	0.760	4.600	280.000	0.780
0.058	20.000	1.100	145.000	0.038
0.474	0.660	5.900	100.000	0.392
0.302	0.730	10.000	150.000	0.256
0.285	1.200	3.600	225.000	0.080
0.091	9.940	1.100	195.000	0.018

Καταγραφή απόκρισης Νο25



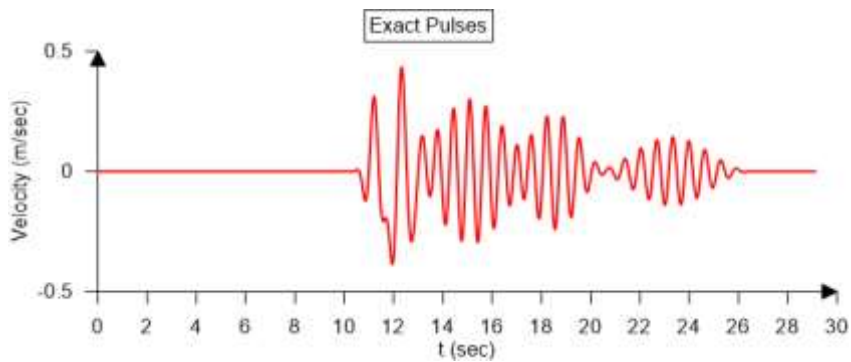
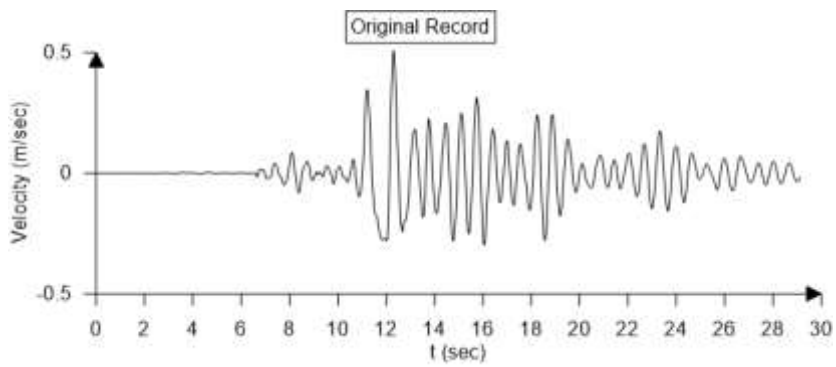
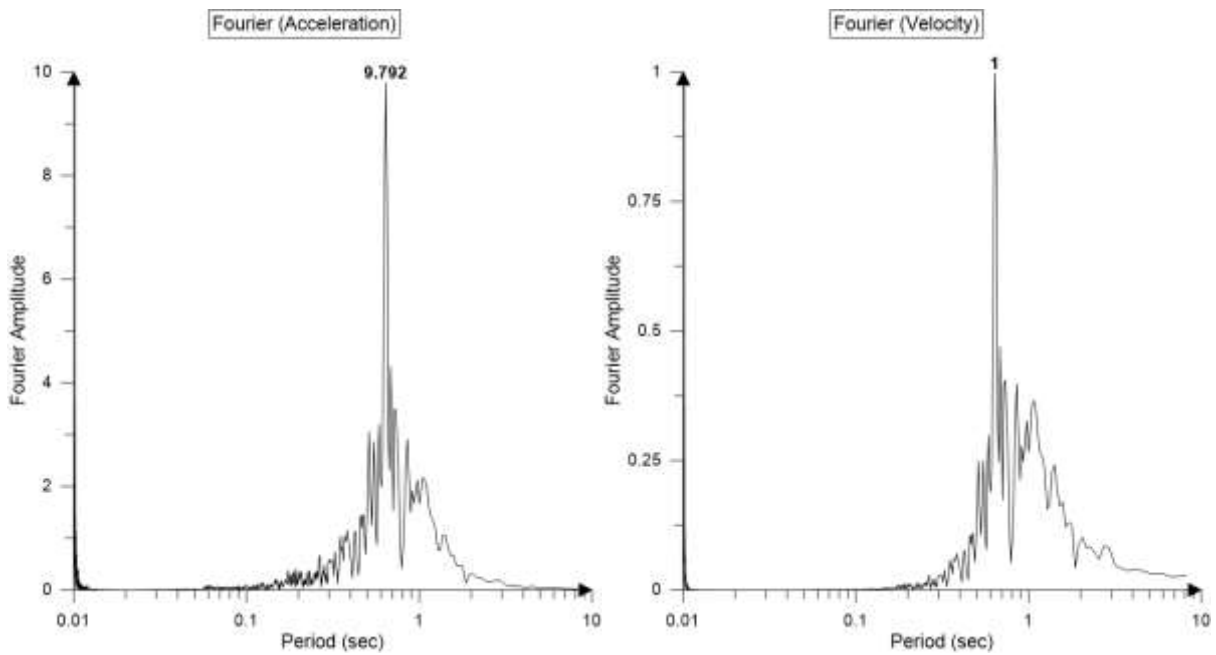
AMPLITUDE	PERIOD	GAMMA	N	CORRELATION
0.588	0.830	6.800	285.000	0.659
0.389	0.650	9.400	130.000	0.568
0.263	1.570	2.400	85.000	0.249
0.302	0.640	7.100	75.000	0.536
0.183	0.940	4.600	140.000	0.094
0.157	0.530	10.000	110.000	0.213

Καταγραφή απόκρισης Νο26



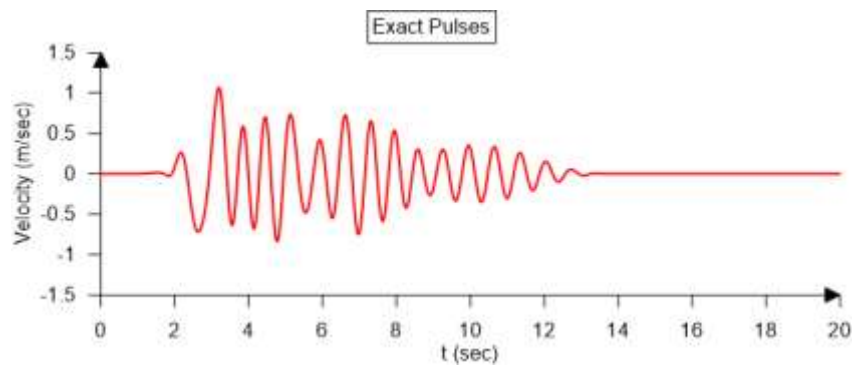
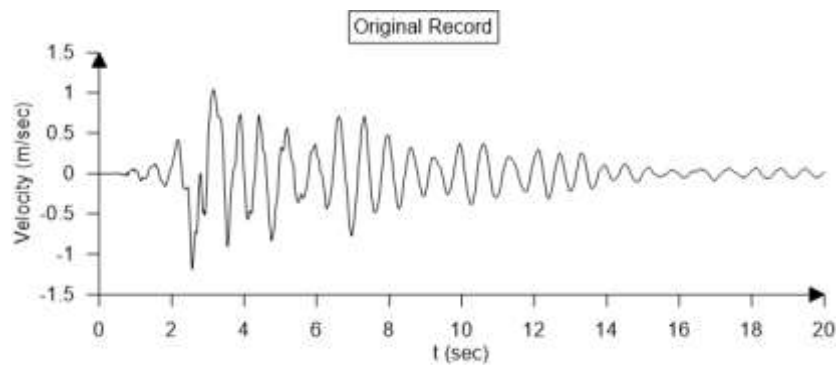
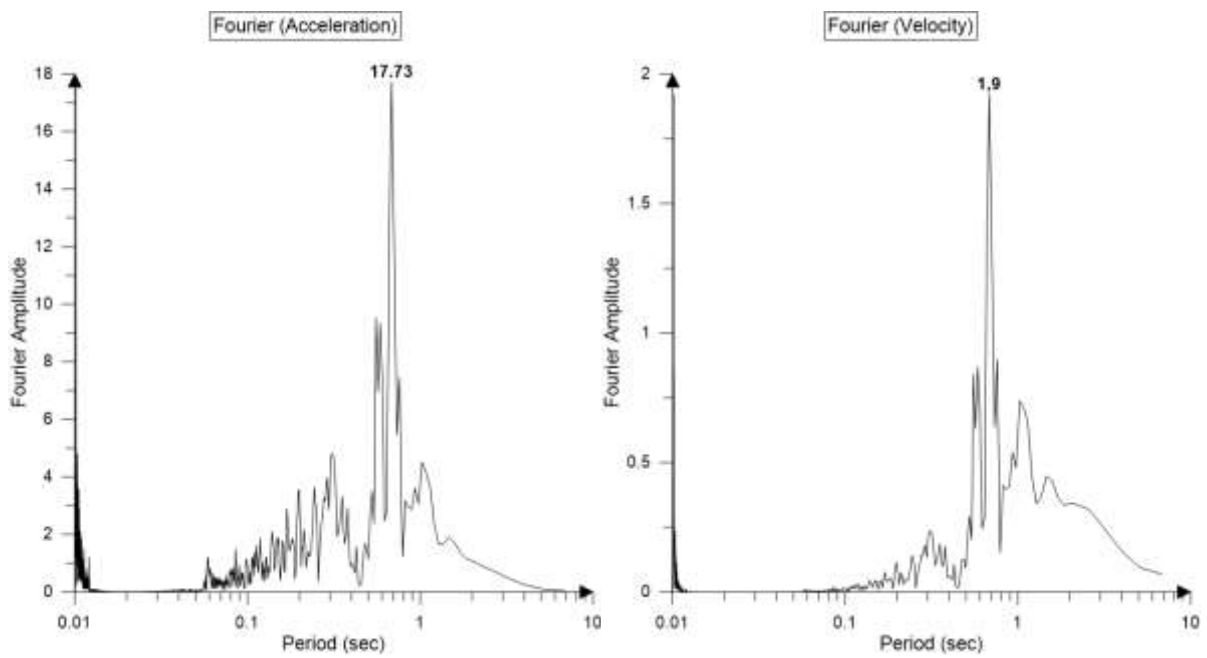
AMPLITUDE	PERIOD	GAMMA	N	CORRELATION
0.260	0.710	8.600	330.000	0.500
0.364	0.980	2.800	250.000	0.495
0.305	0.780	2.500	110.000	0.297
0.183	0.540	10.000	210.000	0.343
0.168	0.870	3.000	265.000	0.182
0.049	1.260	10.000	115.000	0.044

Καταγραφή απόκρισης Νο27



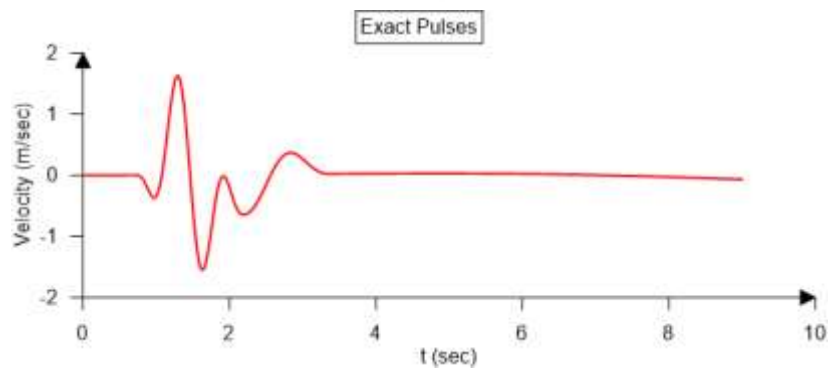
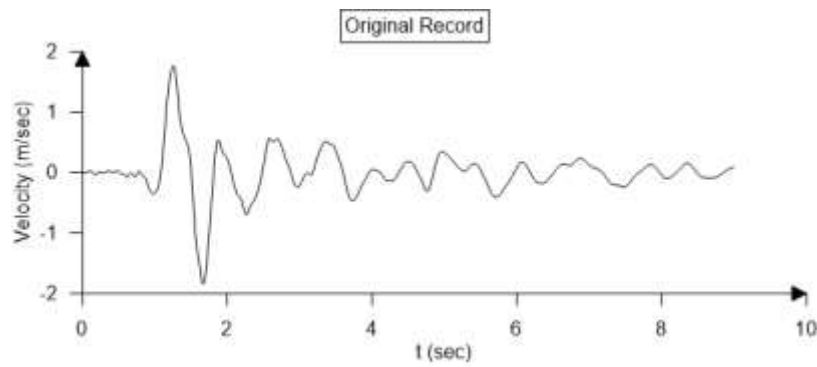
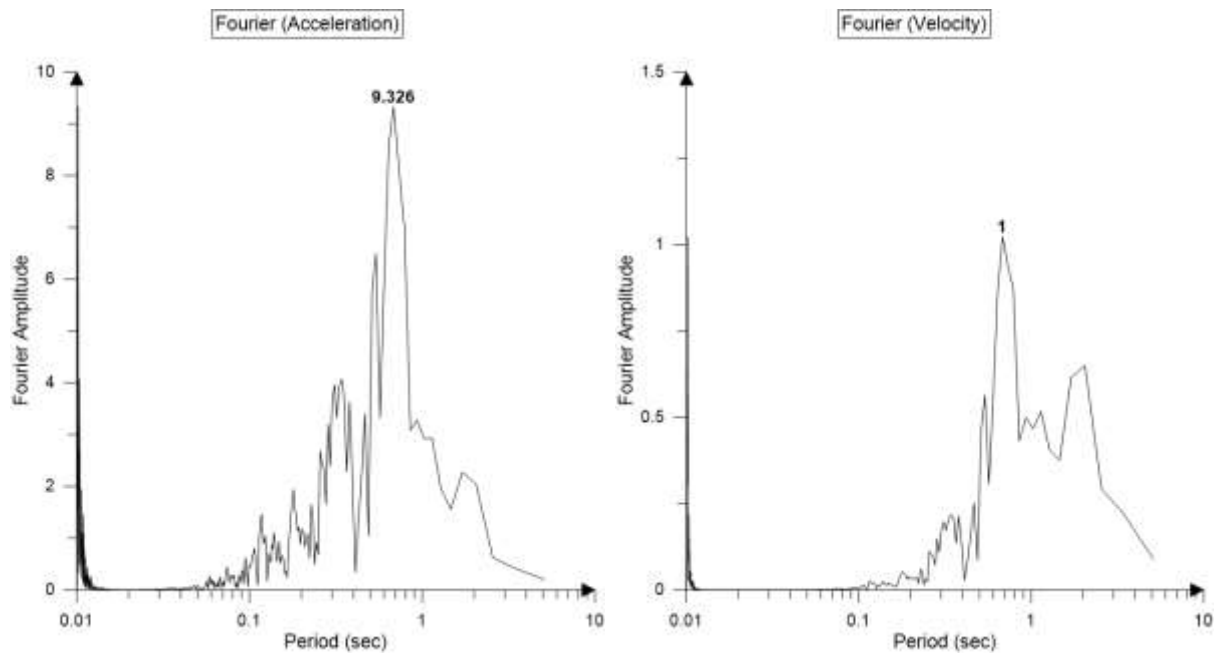
AMPLITUDE	PERIOD	GAMMA	N	CORRELATION
0.382	1.020	3.400	280.000	0.546
0.301	0.660	9.200	30.000	0.555
0.241	0.660	6.800	170.000	0.399
0.143	0.650	10.000	335.000	0.282
0.223	0.610	4.700	10.000	0.432
0.108	2.570	1.100	185.000	0.139

Καταγραφή απόκρισης Νο28



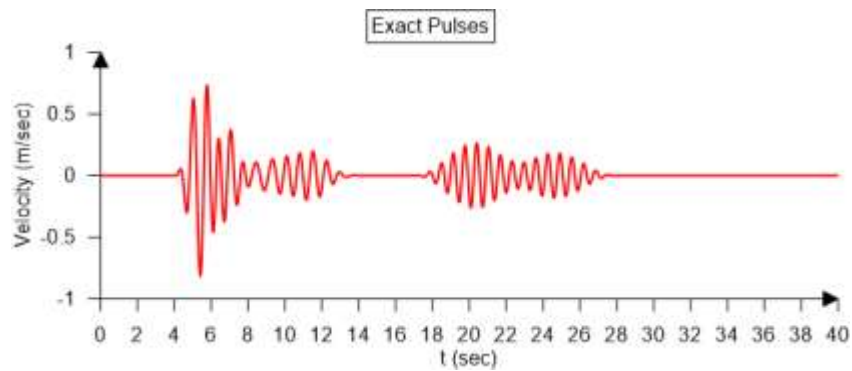
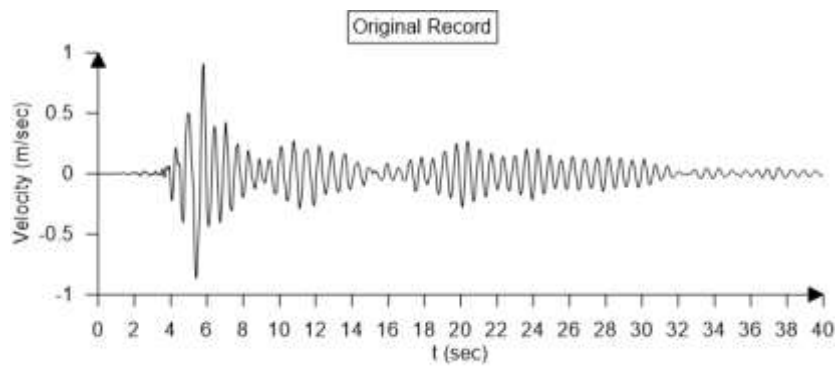
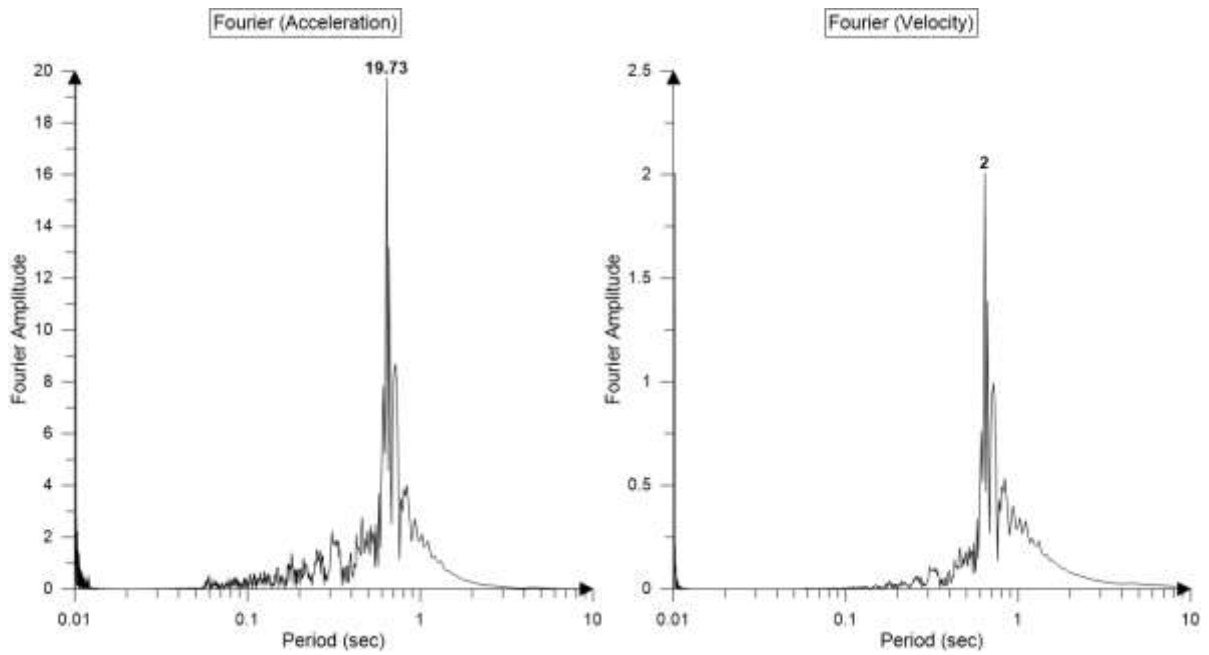
AMPLITUDE	PERIOD	GAMMA	N	CORRELATION
0.686	0.710	10.000	315.000	0.588
1.040	1.120	2.100	275.000	0.519
0.354	0.700	10.000	95.000	0.334
0.384	0.580	10.000	290.000	0.354
0.142	1.260	7.000	300.000	0.078
0.308	0.640	4.500	220.000	0.413

Καταγραφή απόκρισης Νο29



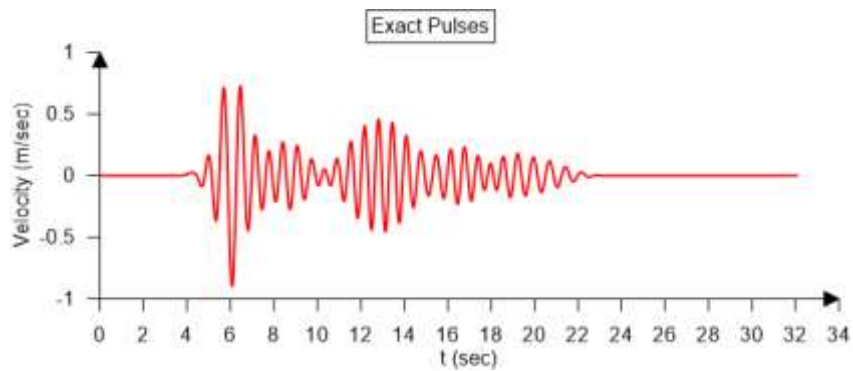
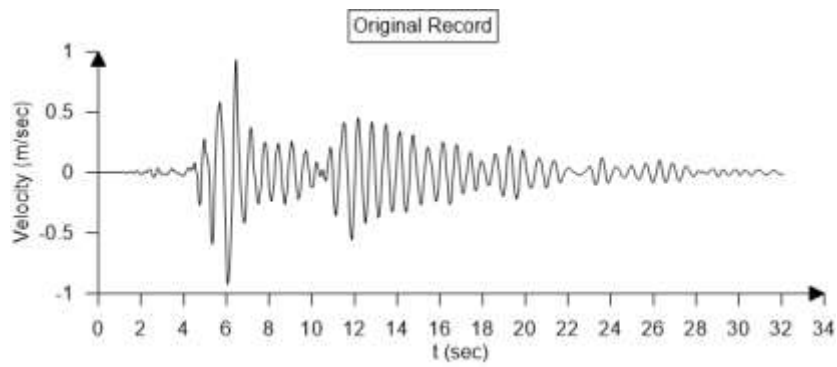
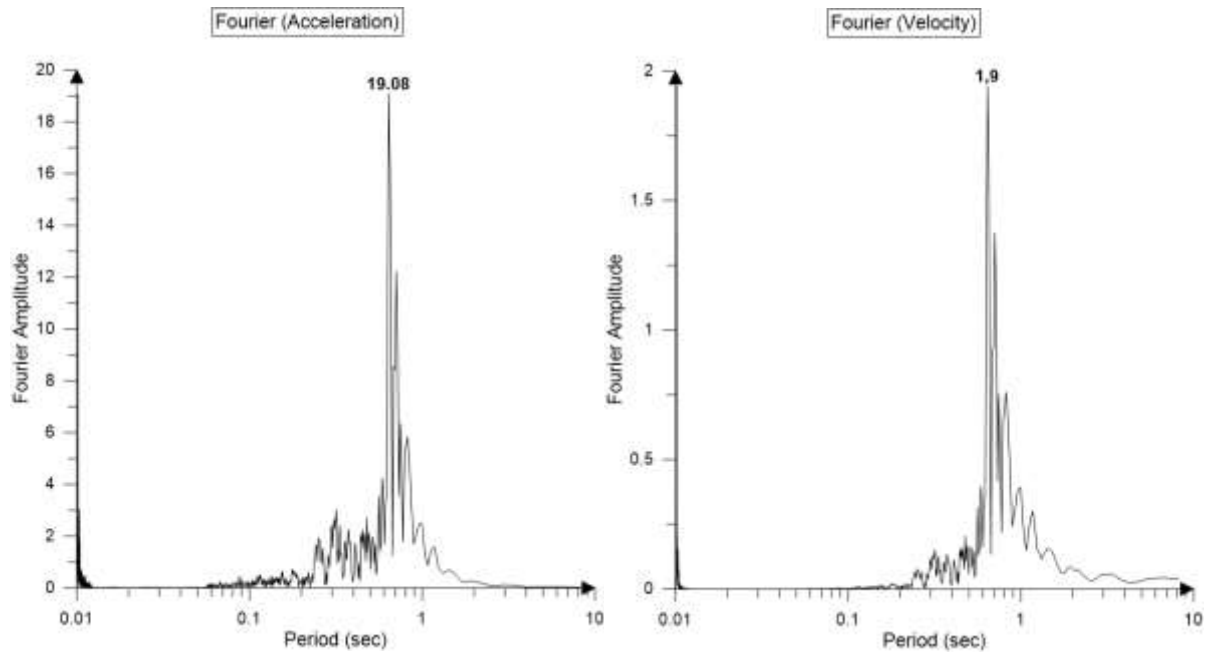
AMPLITUDE	PERIOD	GAMMA	N	CORRELATION
1.860	0.770	1.900	85.000	0.820
0.750	1.820	1.100	235.000	0.185
0.062	20.000	1.100	195.000	0.018
0.060	20.000	1.100	140.000	0.086
0.060	20.000	1.100	195.000	0.018
0.058	20.000	1.100	120.000	0.077

Καταγραφή απόκρισης Νο30



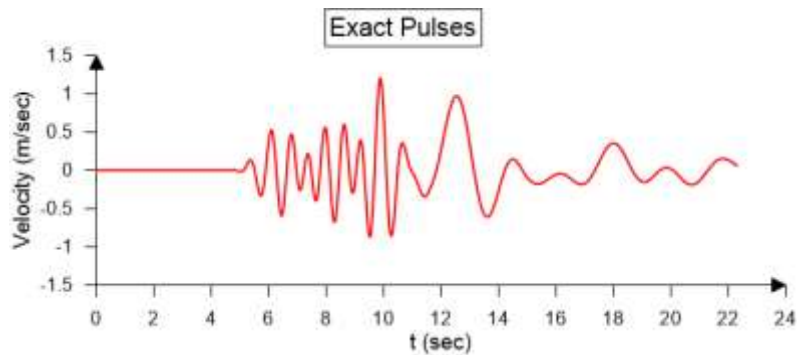
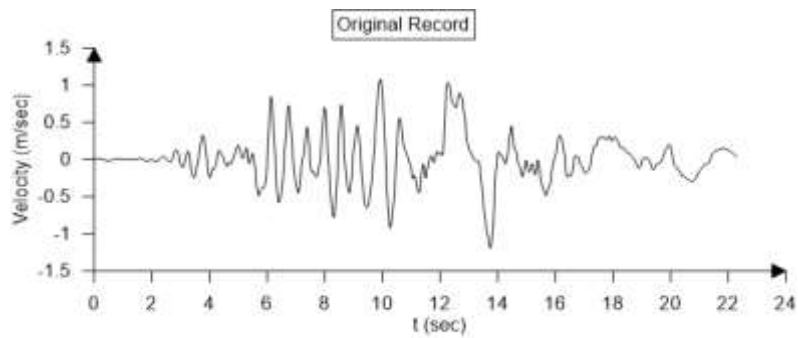
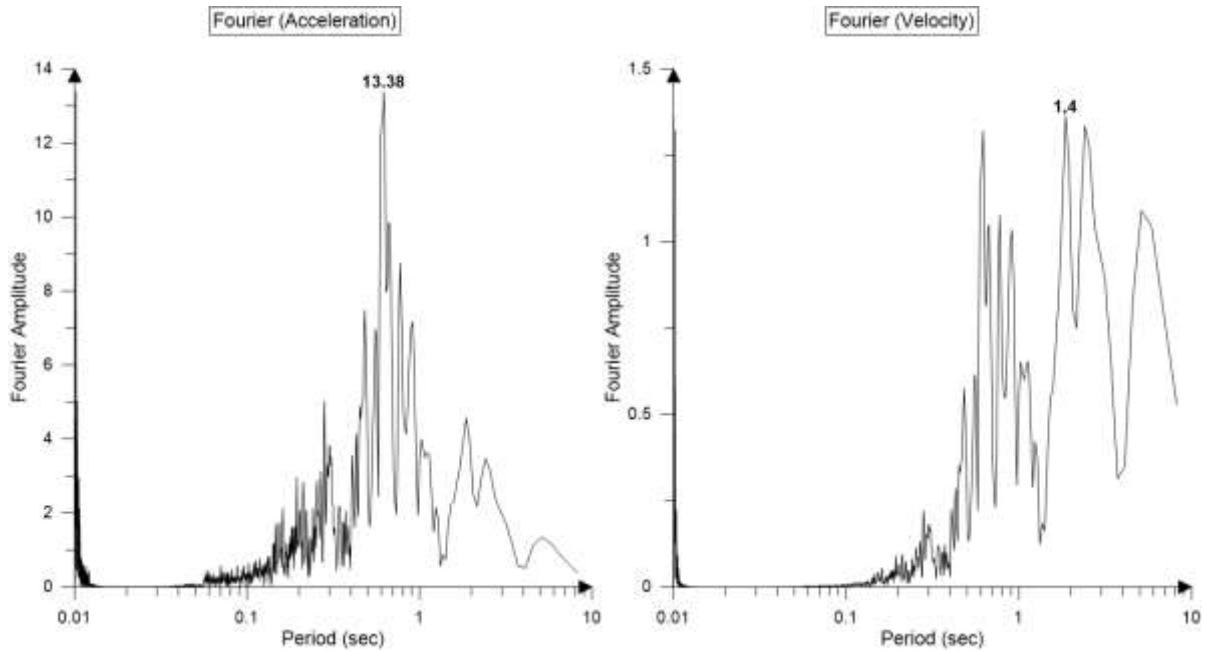
AMPLITUDE	PERIOD	GAMMA	N	CORRELATION
0.819	0.770	3.700	220.000	0.661
0.438	0.750	3.600	270.000	0.278
0.264	0.640	10.000	320.000	0.333
0.300	0.780	5.200	210.000	0.265
0.134	0.900	10.000	165.000	0.059
0.183	0.650	10.000	205.000	0.256

Καταγραφή απόκρισης Νο31



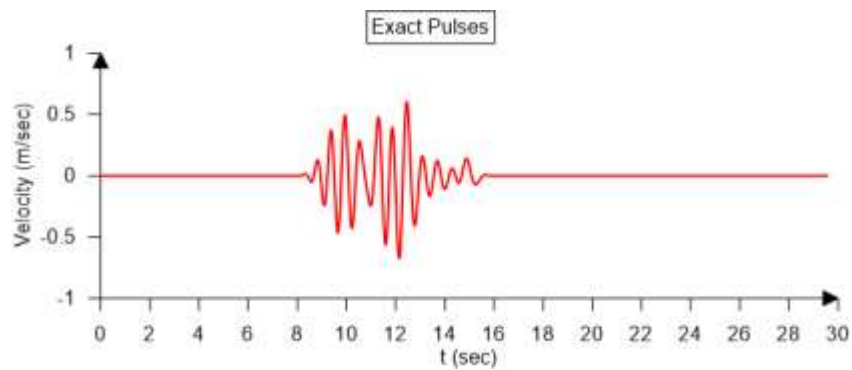
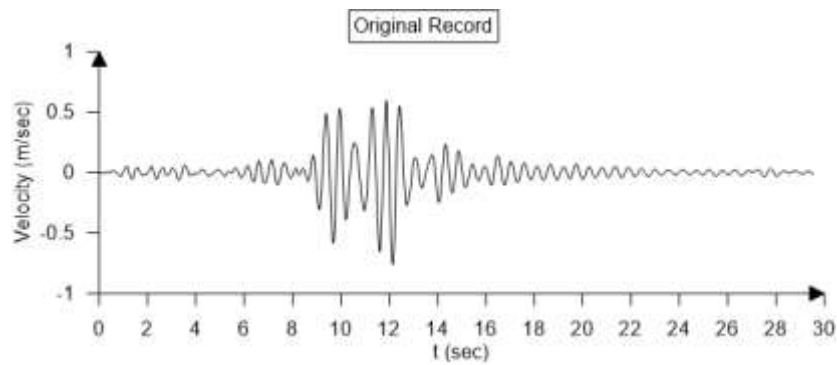
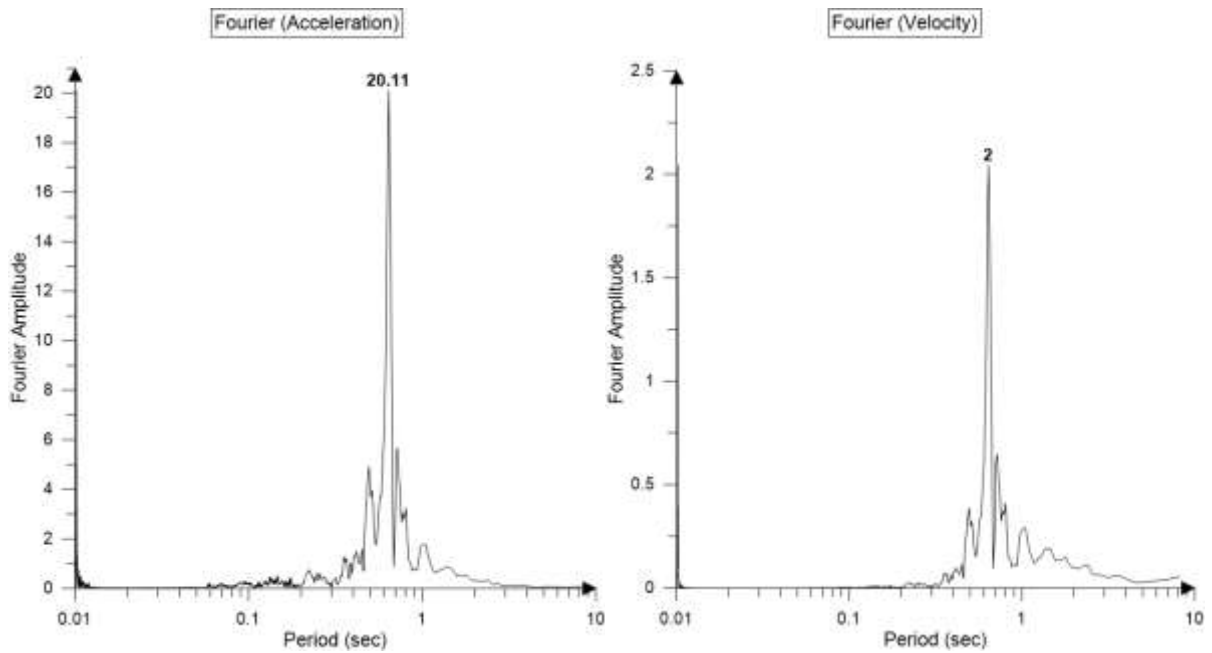
AMPLITUDE	PERIOD	GAMMA	N	CORRELATION
0.772	0.750	4.800	210.000	0.657
0.459	0.640	10.000	60.000	0.533
0.275	0.670	6.900	85.000	0.485
0.239	0.630	10.000	40.000	0.266
0.155	0.740	10.000	130.000	0.151
0.130	1.310	4.300	210.000	0.159

Καταγραφή απόκρισης Νο32



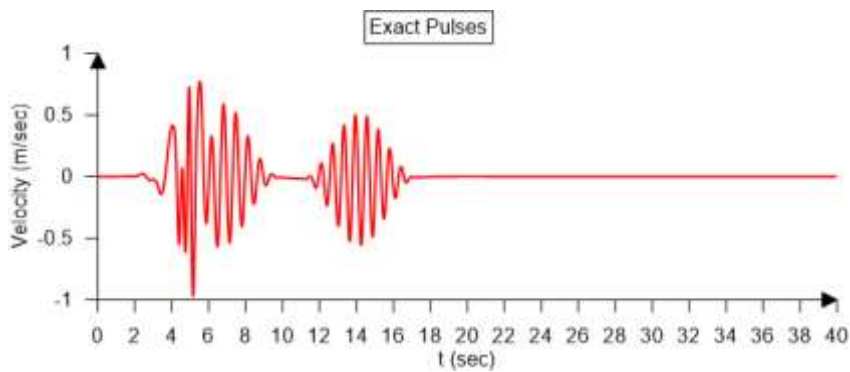
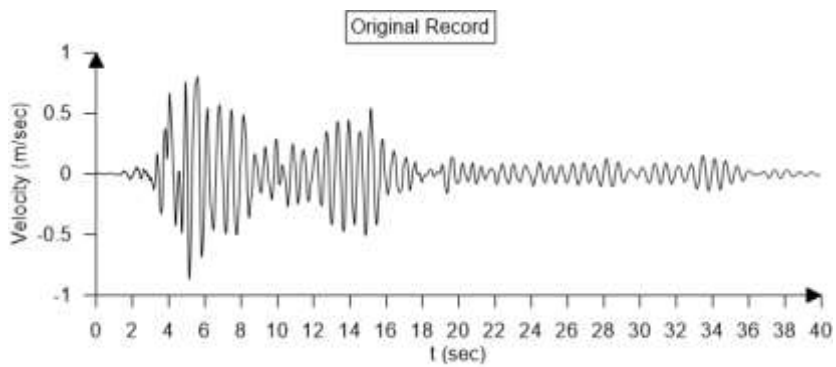
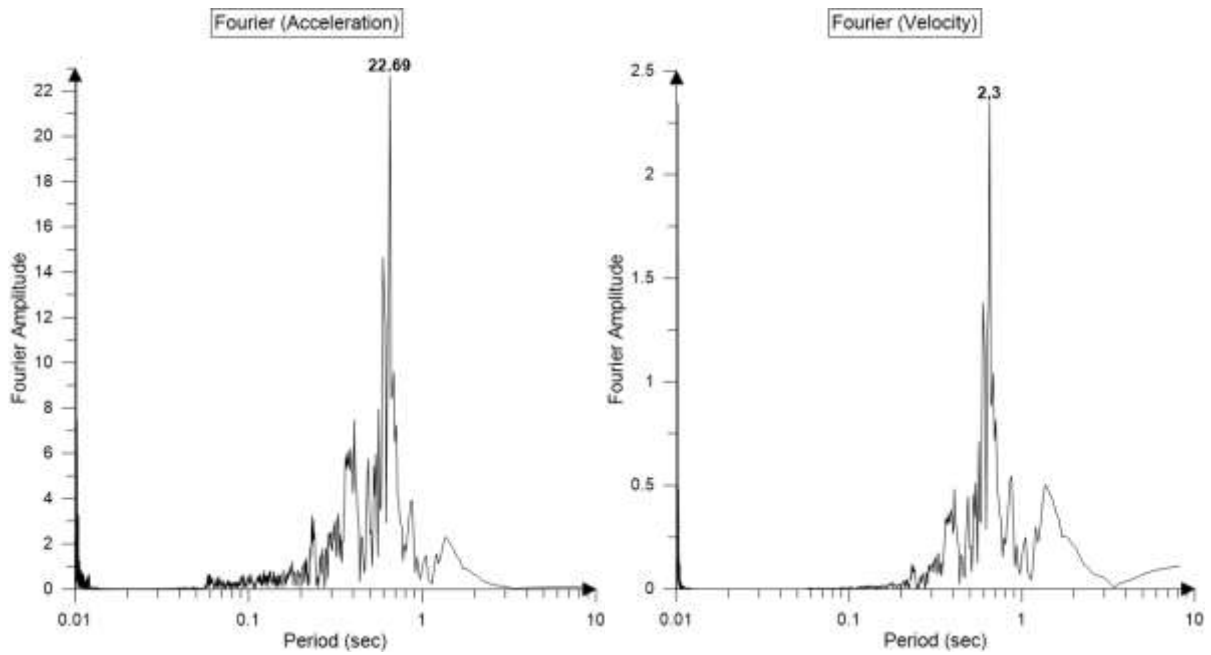
AMPLITUDE	PERIOD	GAMMA	N	CORRELATION
1.102	2.720	1.600	55.000	0.559
0.186	4.140	4.600	230.000	0.129
0.672	0.650	10.000	110.000	0.420
0.677	0.960	4.100	355.000	0.375
0.181	1.910	7.200	60.000	0.179
0.556	0.770	4.200	160.000	0.443

Καταγραφή απόκρισης Νο33



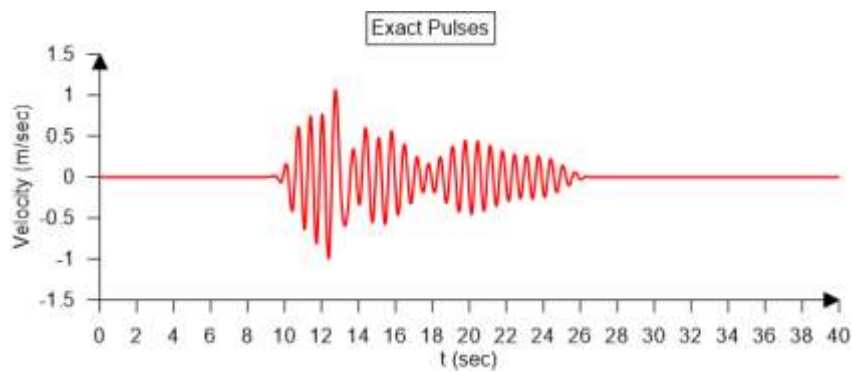
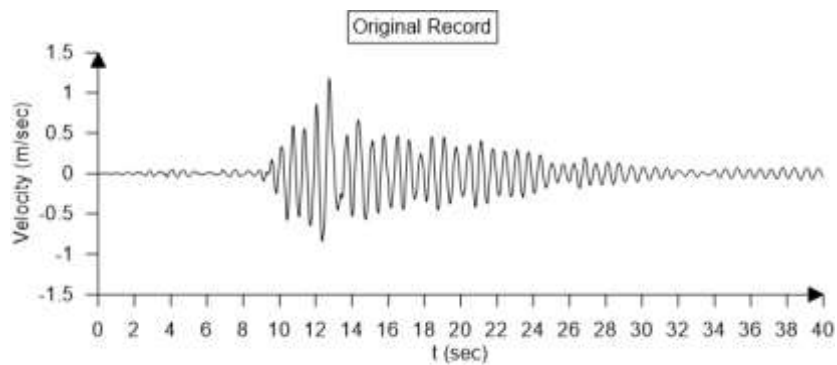
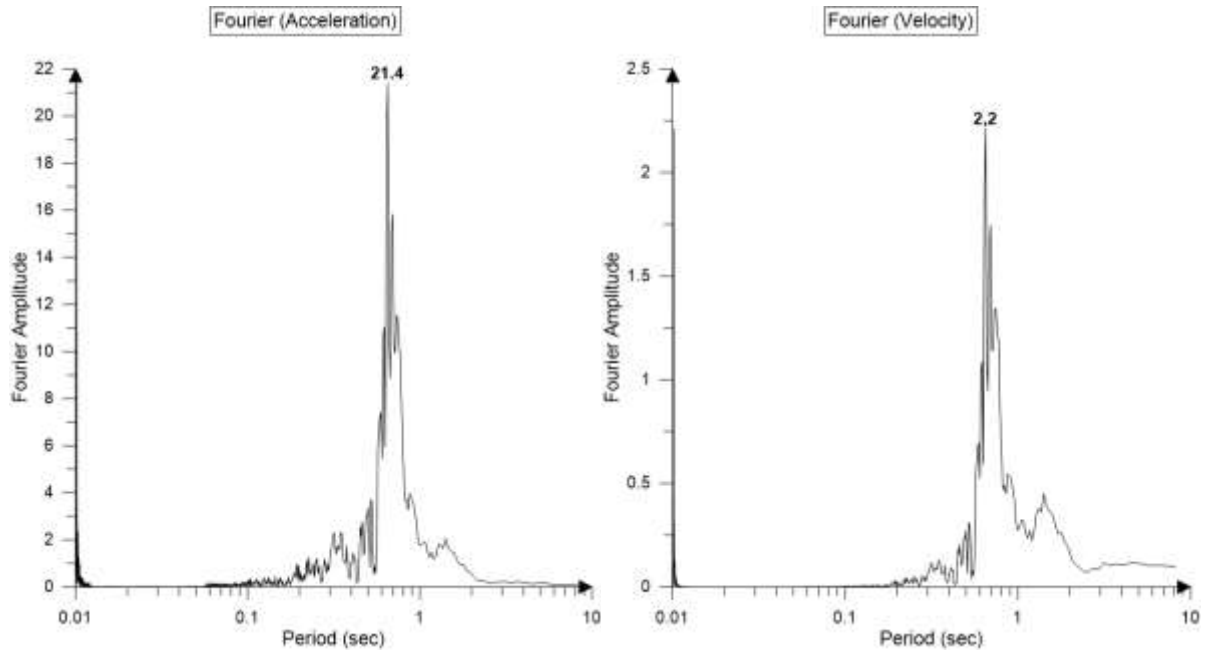
AMPLITUDE	PERIOD	GAMMA	N	CORRELATION
0.574	0.620	10.000	25.000	0.779
0.342	0.520	10.000	130.000	0.468
0.355	1.100	1.300	270.000	0.296
0.280	0.830	2.200	270.000	0.137
0.216	0.920	3.000	200.000	0.038
0.091	3.740	1.100	160.000	0.022

Καταγραφή απόκρισης Νο34



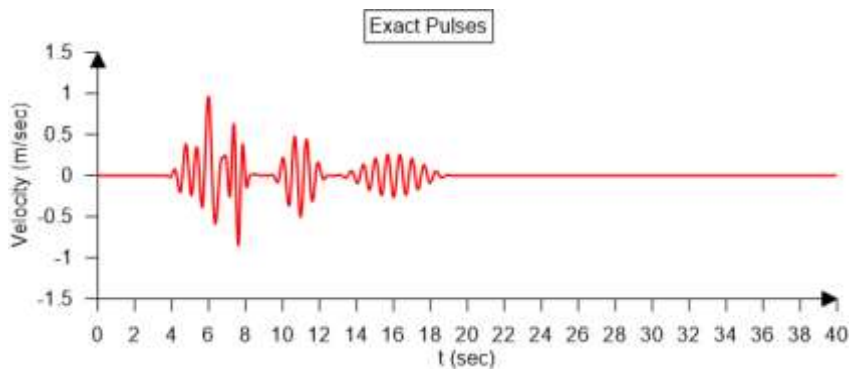
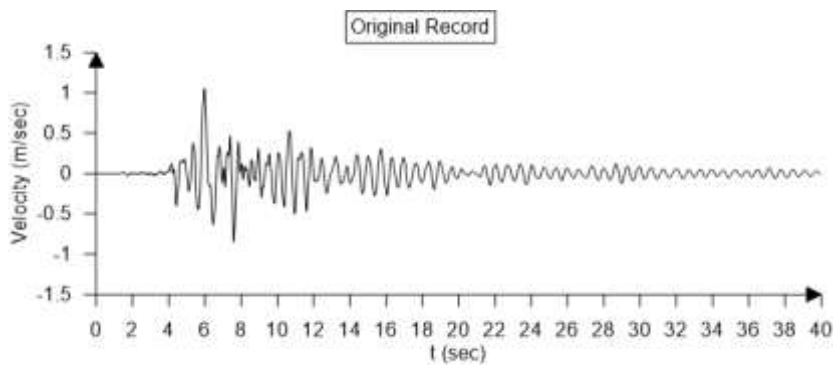
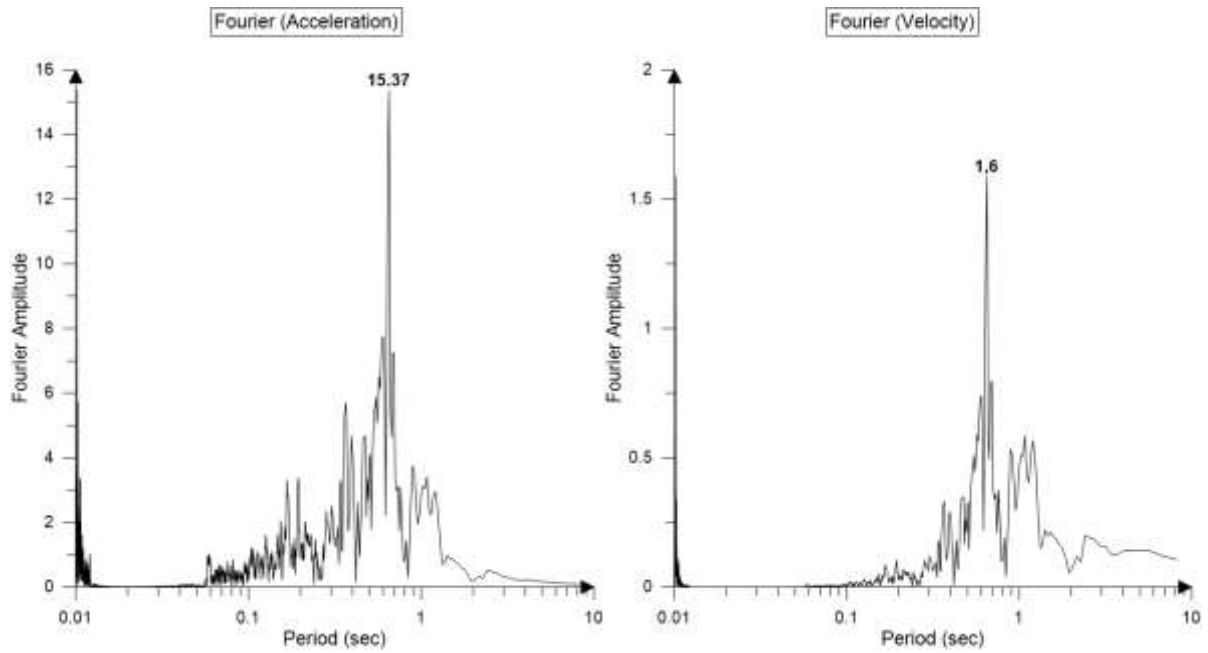
AMPLITUDE	PERIOD	GAMMA	N	CORRELATION
0.597	0.660	10.000	220.000	0.617
0.534	0.620	10.000	125.000	0.494
0.310	1.590	3.500	190.000	0.247
0.699	0.410	4.000	250.000	0.309
0.218	0.860	7.100	75.000	0.178
0.031	20.000	1.100	125.000	0.031

Καταγραφή απόκρισης Νο35



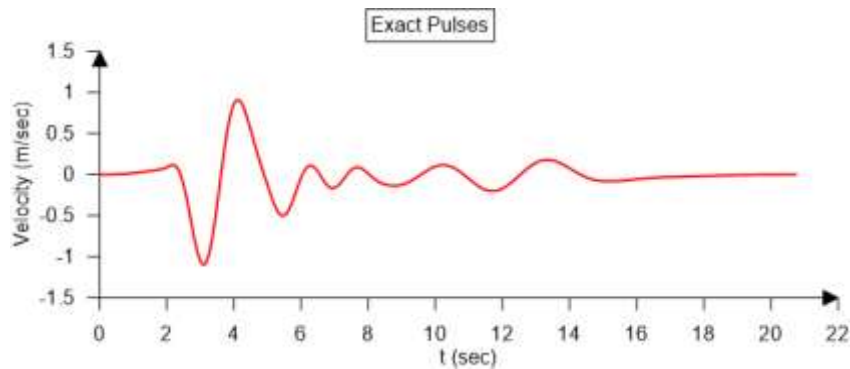
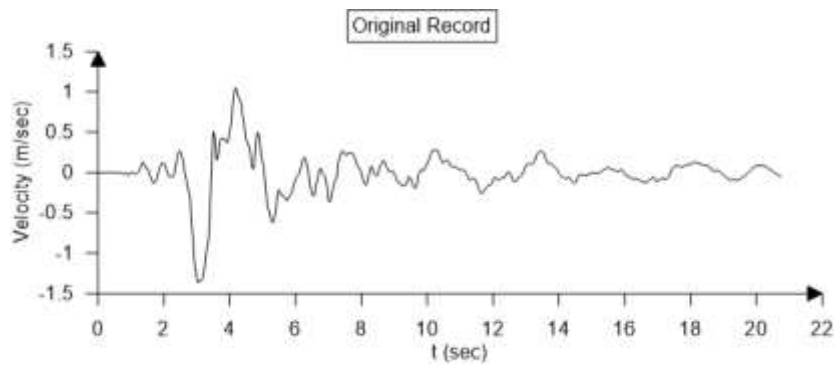
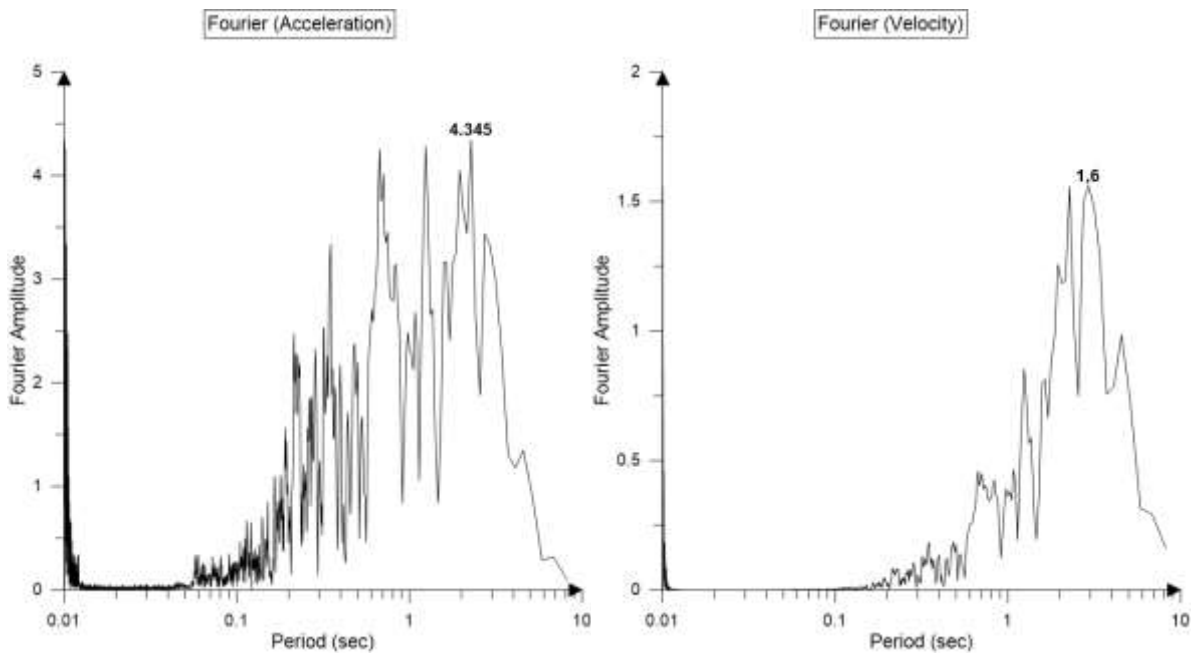
AMPLITUDE	PERIOD	GAMMA	N	CORRELATION
0.889	0.670	7.000	155.000	0.569
0.562	0.700	10.000	80.000	0.486
0.454	0.680	10.000	135.000	0.399
0.479	0.970	3.800	285.000	0.406
0.178	1.640	5.000	60.000	0.173
0.266	0.660	9.700	245.000	0.270

Καταγραφή απόκρισης Νο36



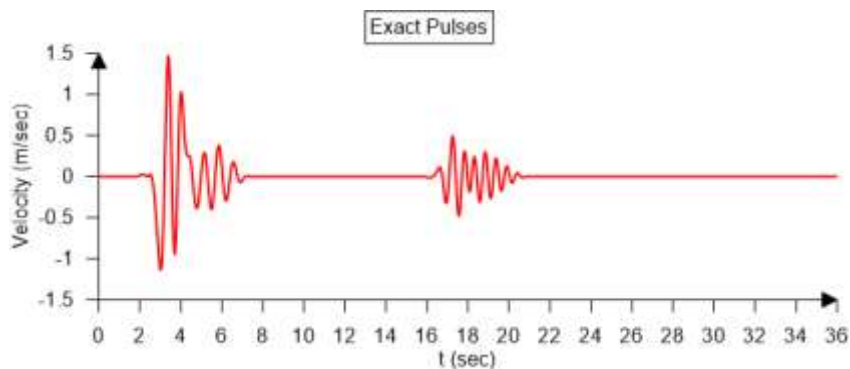
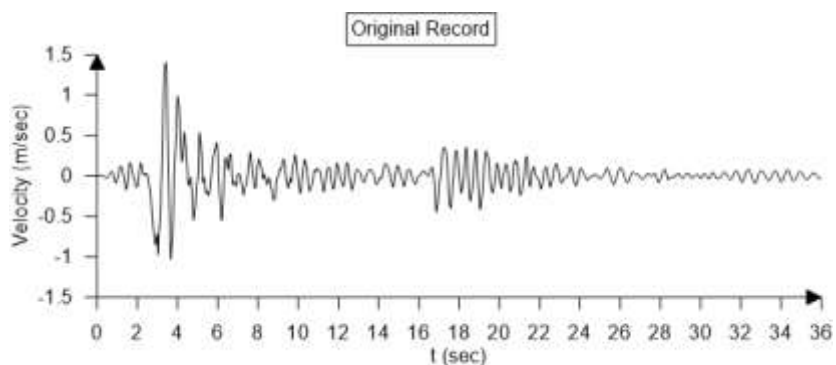
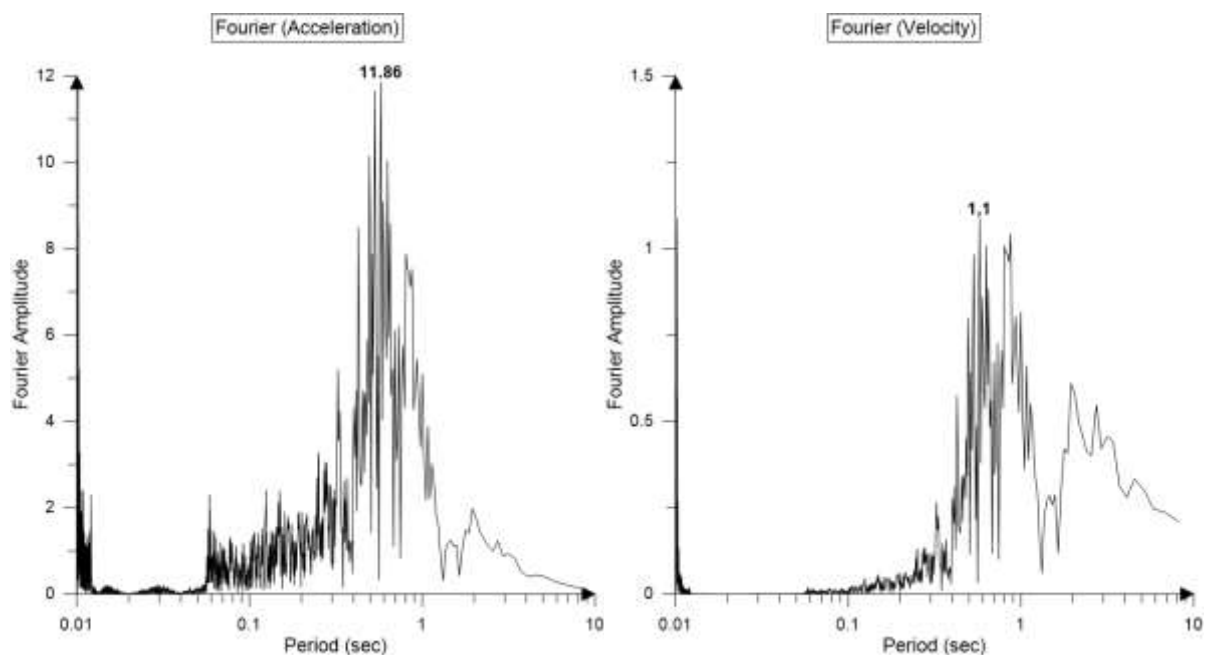
AMPLITUDE	PERIOD	GAMMA	N	CORRELATION
1.233	1.150	1.100	60.000	0.519
0.504	0.650	5.100	145.000	0.381
0.240	1.880	2.800	265.000	0.080
0.760	0.510	3.000	120.000	0.322
0.262	0.660	10.000	170.000	0.314
0.355	0.620	4.700	210.000	0.421

Καταγραφή απόκρισης Νο37



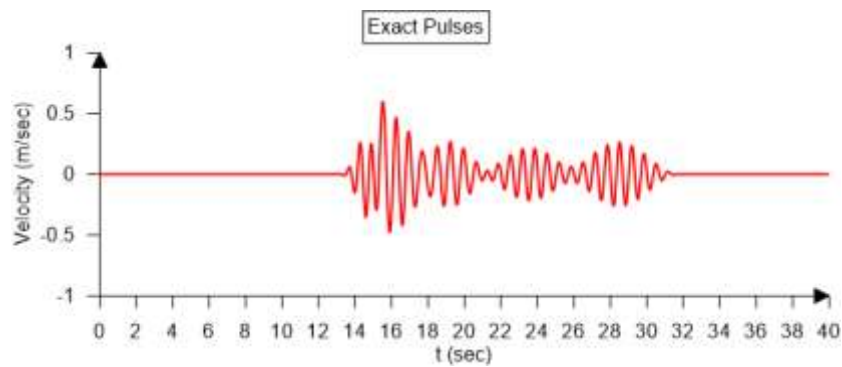
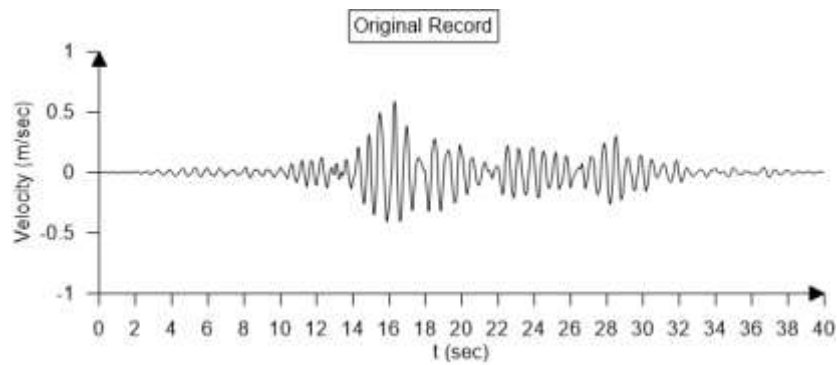
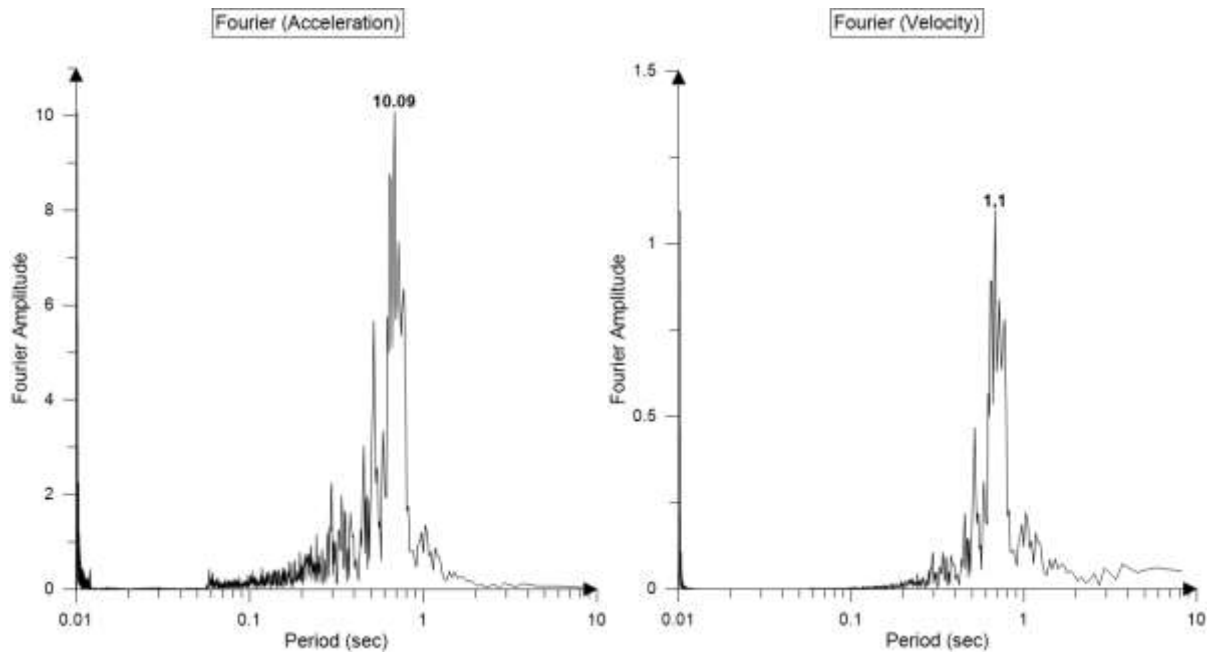
AMPLITUDE	PERIOD	GAMMA	N	CORRELATION
1.516	2.810	1.100	240.000	0.768
0.278	9.000	1.100	105.000	0.083
0.167	3.370	5.200	185.000	0.275
0.085	20.000	1.100	100.000	0.010
0.248	5.290	1.100	295.000	0.120
0.296	1.670	3.400	275.000	0.257

Καταγραφή απόκρισης Νο38



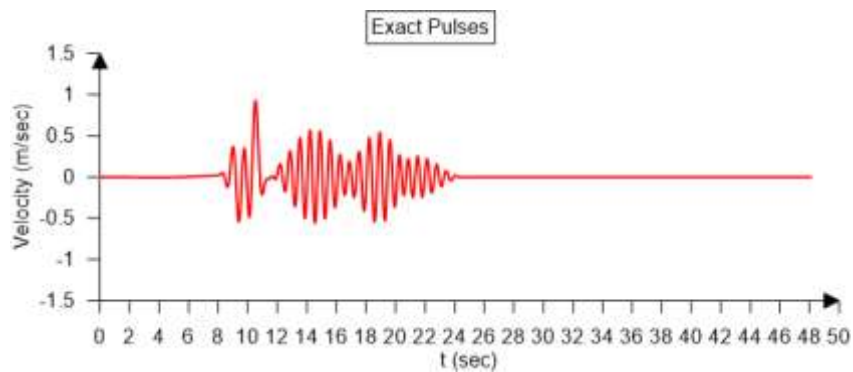
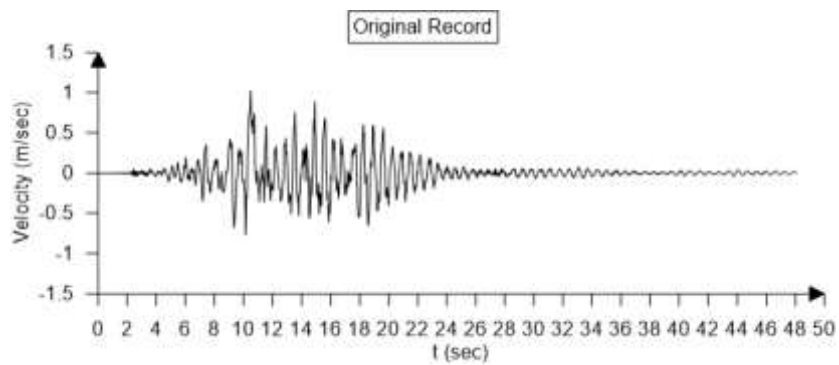
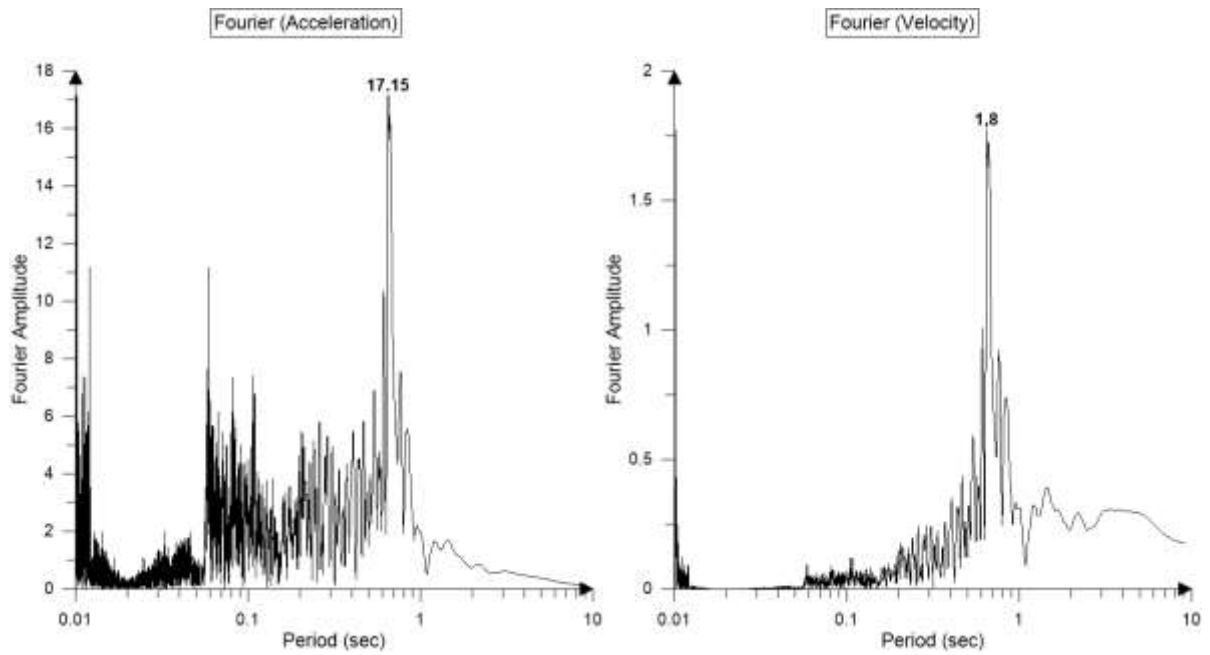
AMPLITUDE	PERIOD	GAMMA	N	CORRELATION
1.198	0.820	2.800	30.000	0.650
0.601	2.180	1.700	310.000	0.308
0.401	0.730	5.100	220.000	0.288
0.322	0.530	10.000	50.000	0.267
0.450	0.550	4.500	85.000	0.482
0.300	0.740	4.100	50.000	0.195

Καταγραφή απόκρισης Νο39



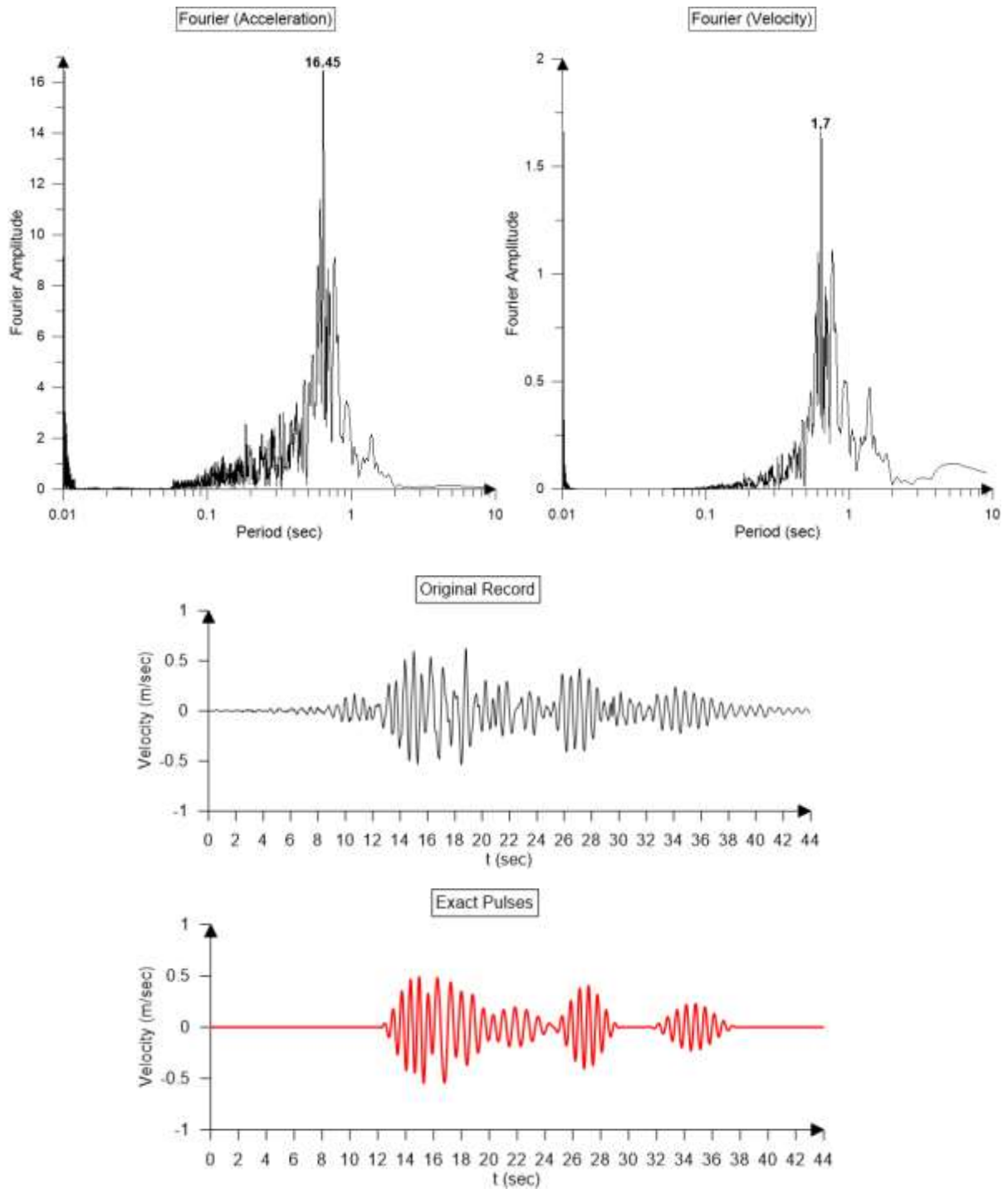
AMPLITUDE	PERIOD	GAMMA	N	CORRELATION
0.473	0.690	7.600	245.000	0.646
0.264	0.670	10.000	335.000	0.370
0.270	0.720	7.100	330.000	0.394
0.217	0.670	9.100	210.000	0.366
0.356	1.070	1.300	315.000	0.353
0.212	0.640	3.900	90.000	0.513

Καταγραφή απόκρισης Νο40



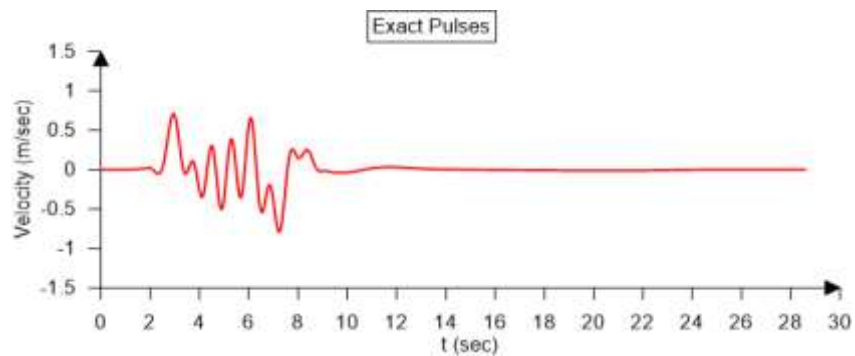
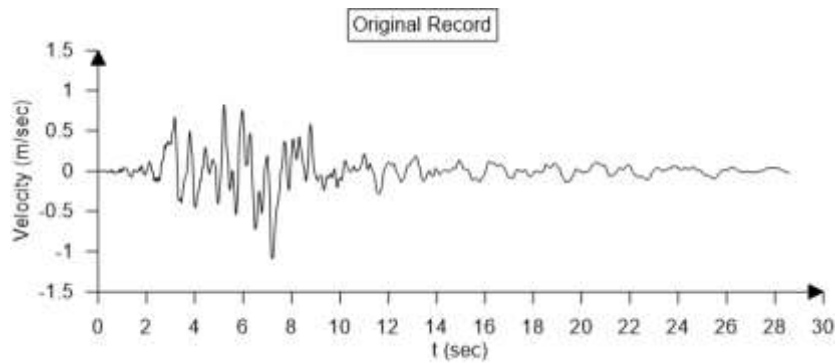
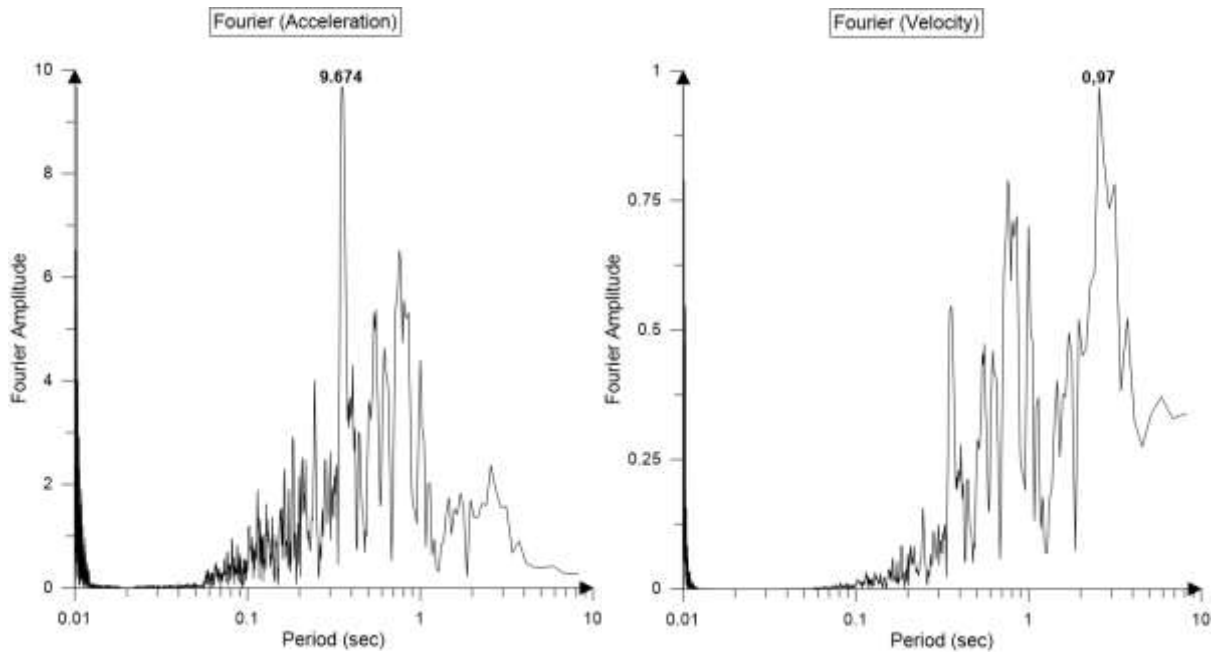
AMPLITUDE	PERIOD	GAMMA	N	CORRELATION
0.567	0.680	10.000	165.000	0.497
0.526	0.710	7.400	245.000	0.427
0.602	0.780	4.900	60.000	0.379
0.454	1.720	1.800	330.000	0.299
0.254	0.650	10.000	300.000	0.301
0.036	20.000	1.100	10.000	0.066

Καταγραφή απόκρισης Νο41



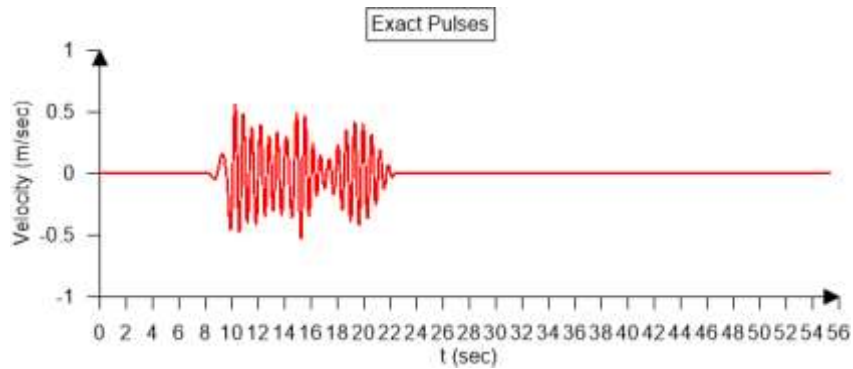
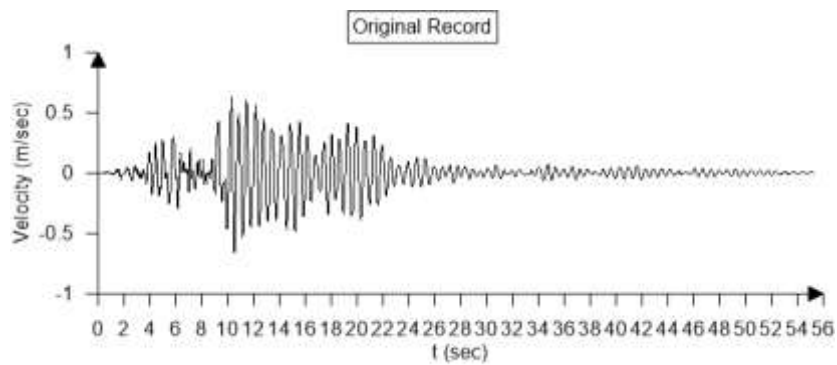
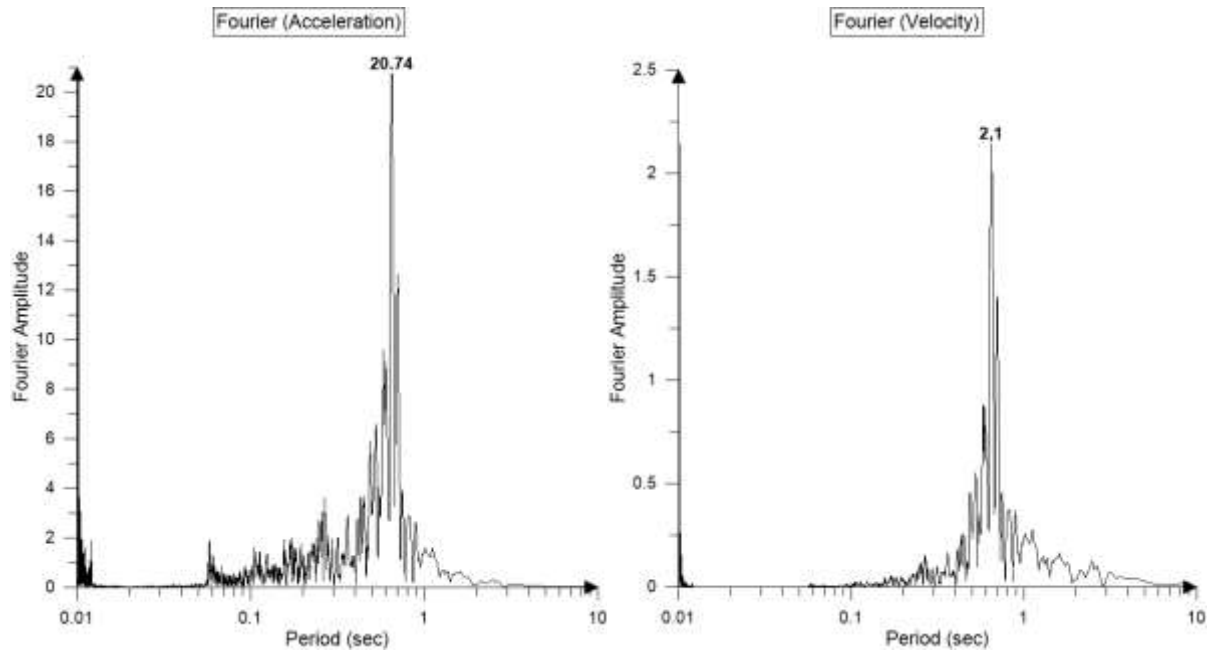
AMPLITUDE	PERIOD	GAMMA	N	CORRELATION
0.395	0.810	8.800	275.000	0.461
0.479	0.630	8.300	155.000	0.498
0.409	0.640	8.200	255.000	0.436
0.260	1.360	3.300	90.000	0.227
0.231	0.670	10.000	260.000	0.266
0.194	0.830	8.500	350.000	0.198

Καταγραφή απόκρισης Νο42



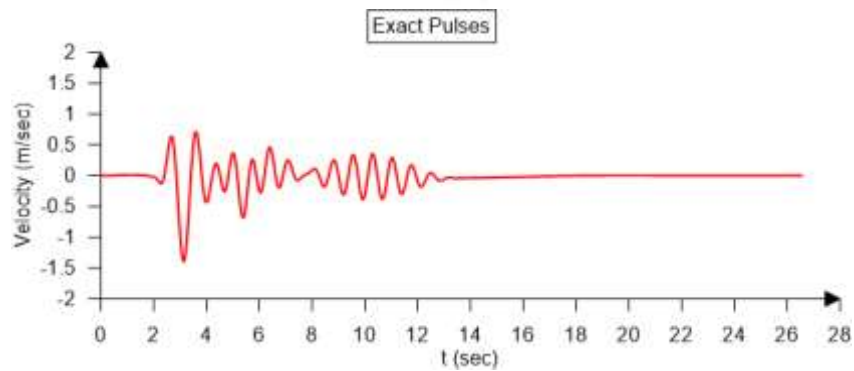
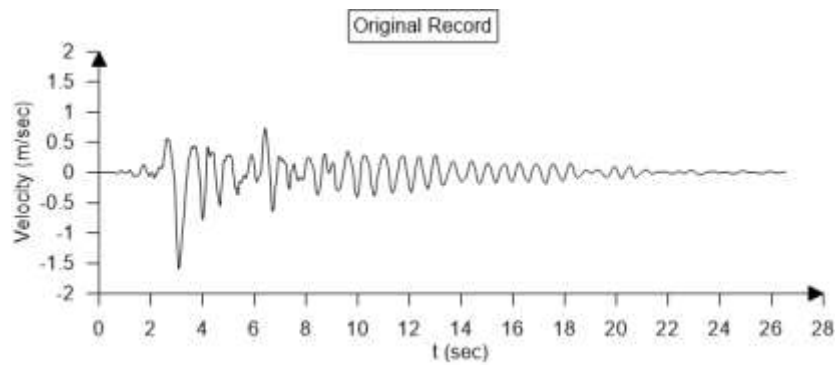
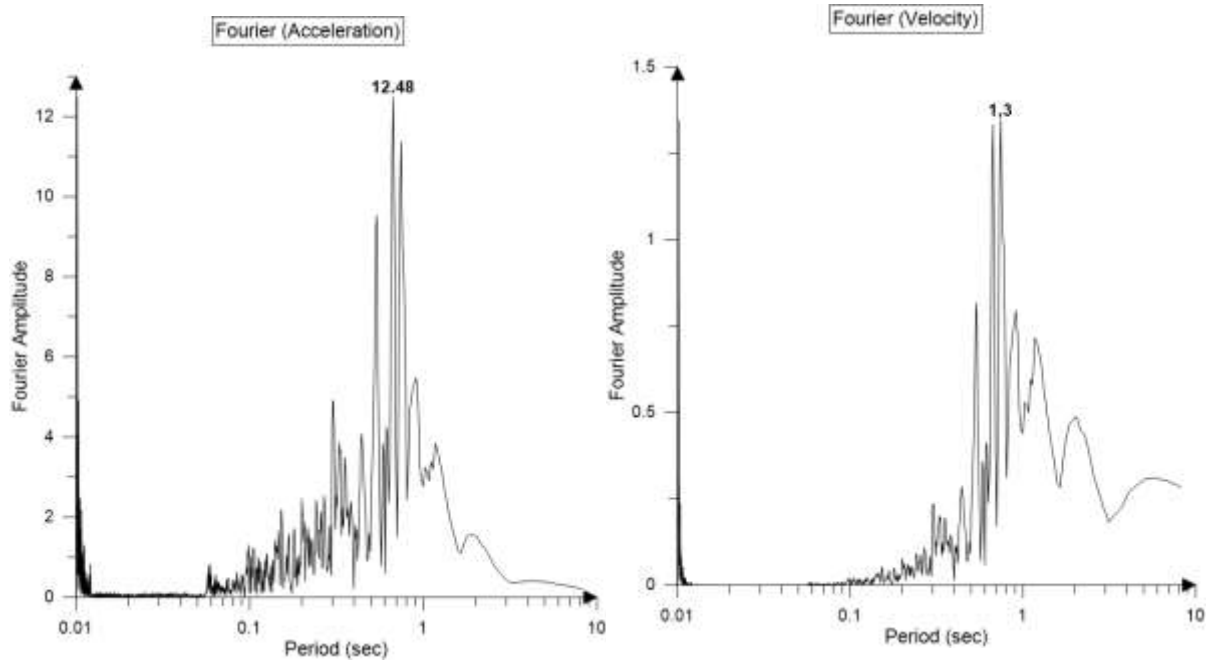
AMPLITUDE	PERIOD	GAMMA	N	CORRELATION
0.743	2.900	1.300	175.000	0.464
0.459	0.800	9.700	140.000	0.485
0.069	20.000	1.100	105.000	0.006
0.117	5.070	2.700	325.000	0.186
0.586	1.960	1.100	10.000	0.263
0.059	20.000	1.300	355.000	0.025

Καταγραφή απόκρισης Νο43



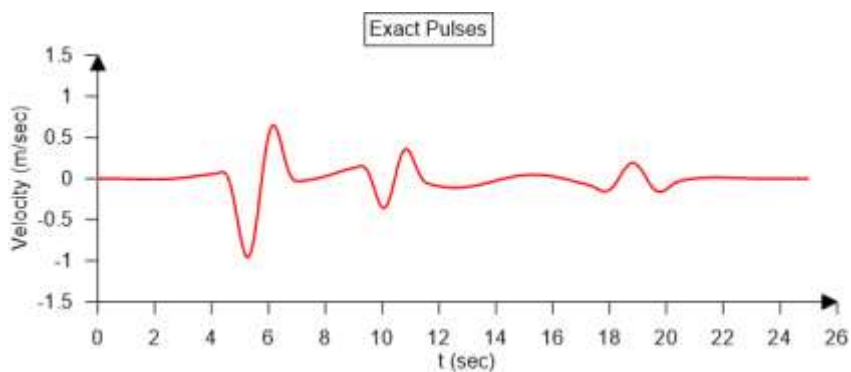
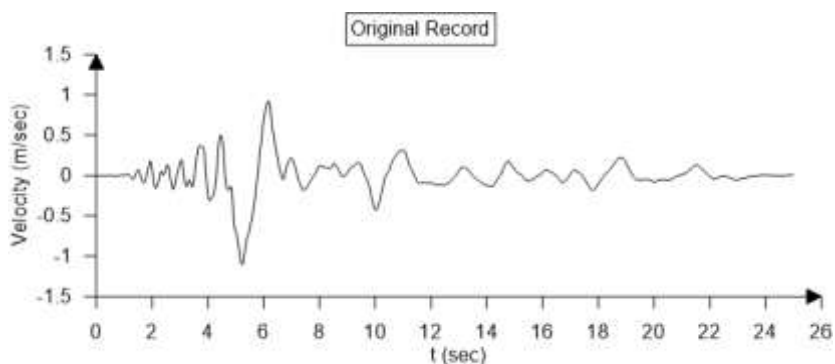
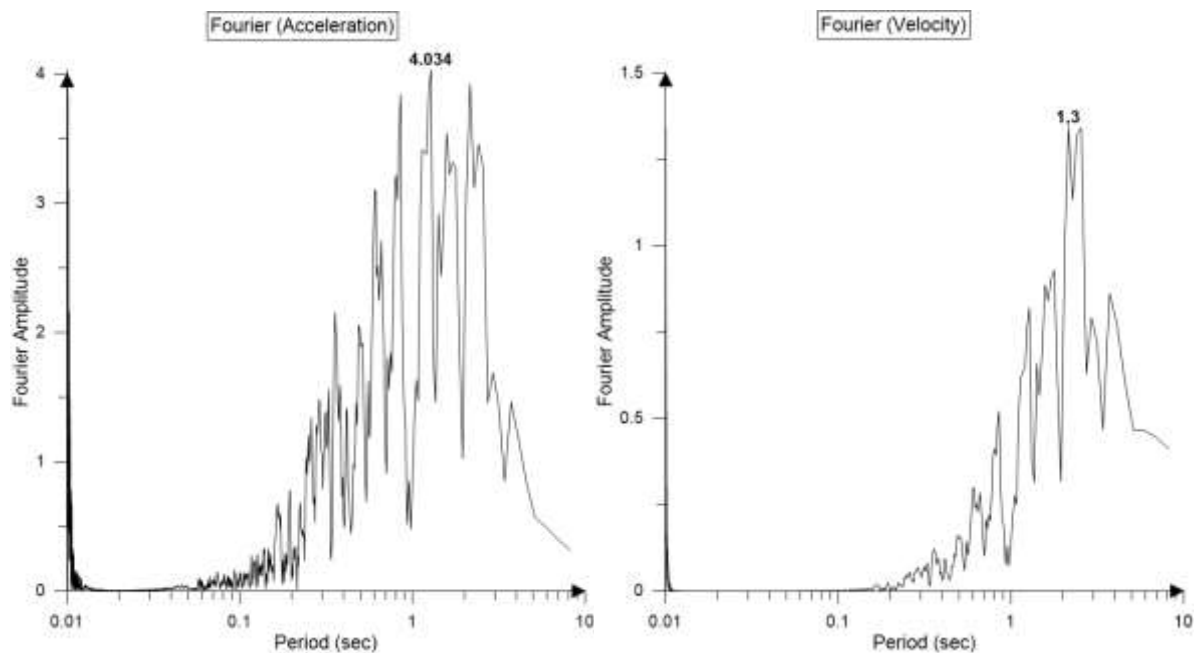
AMPLITUDE	PERIOD	GAMMA	N	CORRELATION
0.524	0.680	10.000	120.000	0.569
0.417	0.640	10.000	120.000	0.427
0.664	0.740	2.600	110.000	0.357
0.226	0.800	10.000	330.000	0.169
0.317	0.580	8.600	240.000	0.295
0.234	1.350	2.900	205.000	0.096

Καταγραφή απόκρισης Νο44



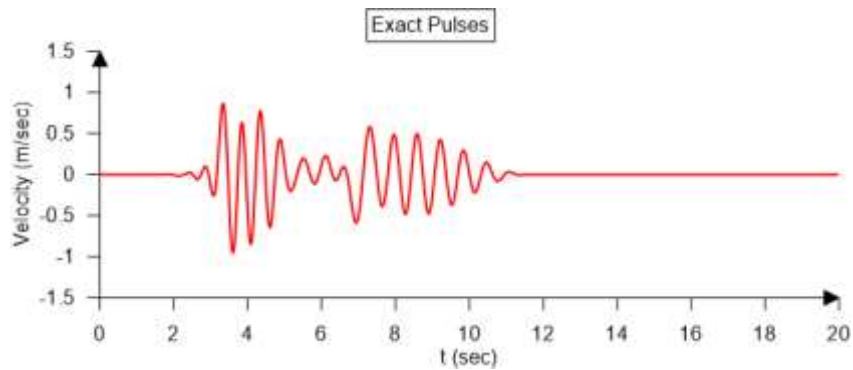
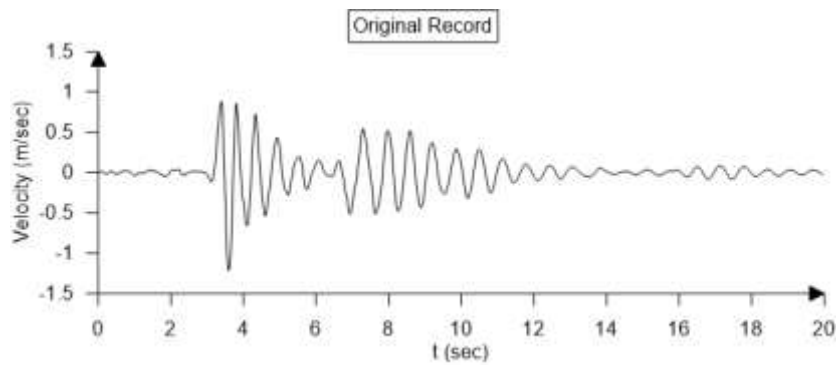
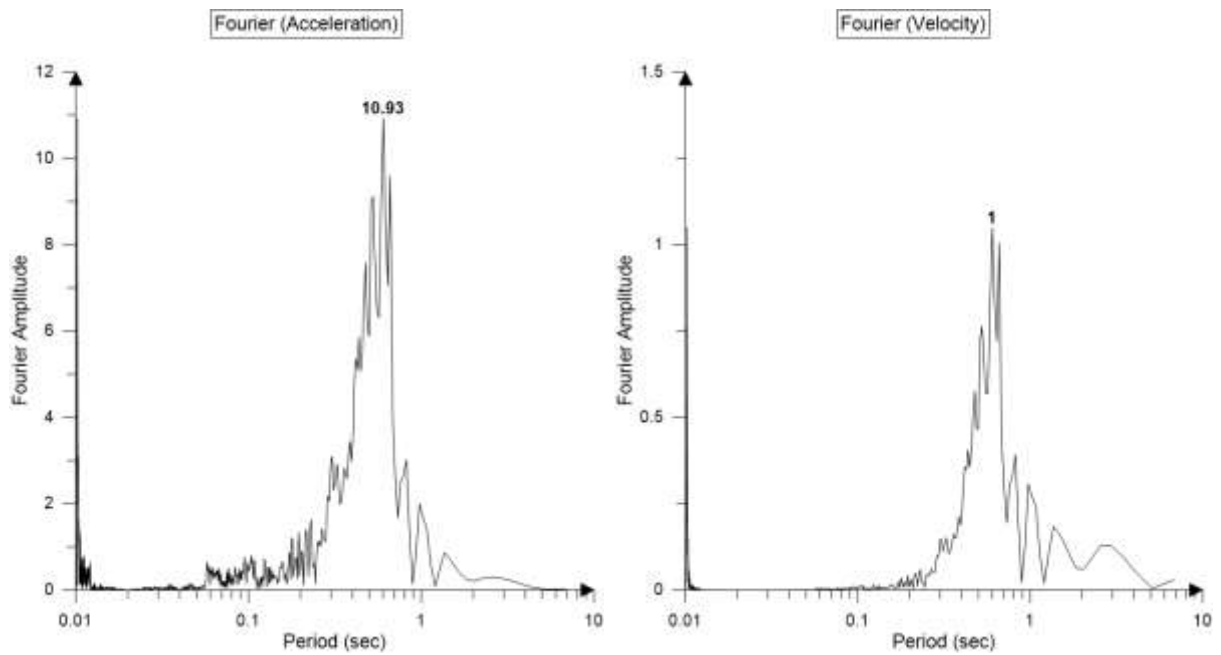
AMPLITUDE	PERIOD	GAMMA	N	CORRELATION
1.244	1.010	2.200	185.000	0.668
0.195	6.700	1.200	230.000	0.166
0.374	0.740	9.300	295.000	0.343
0.410	0.690	8.800	280.000	0.381
0.385	2.190	1.100	155.000	0.051
0.048	20.000	1.100	130.000	0.016

Καταγραφή απόκρισης Νο45



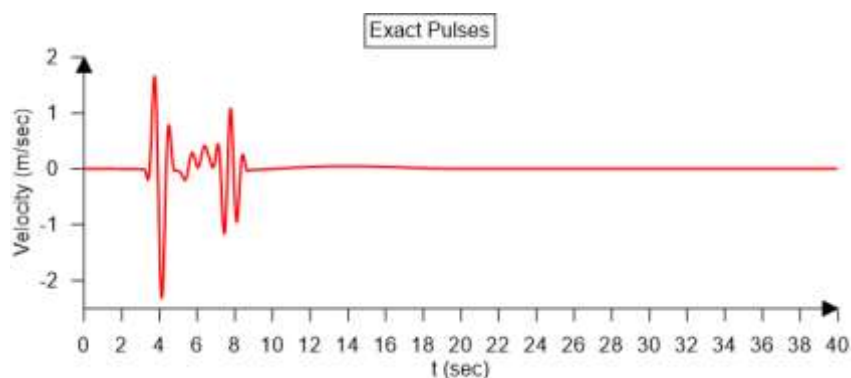
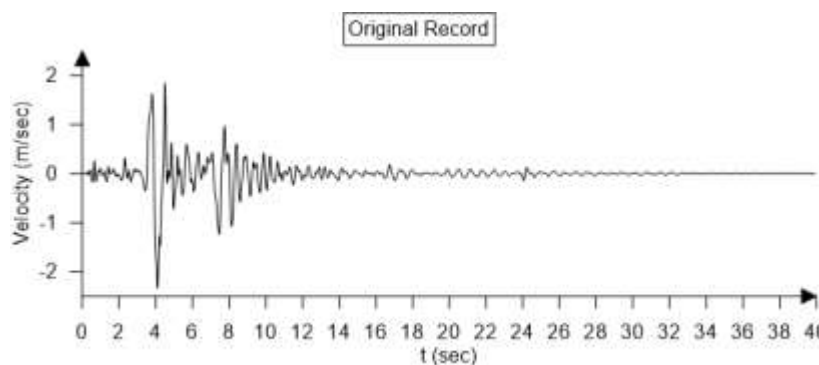
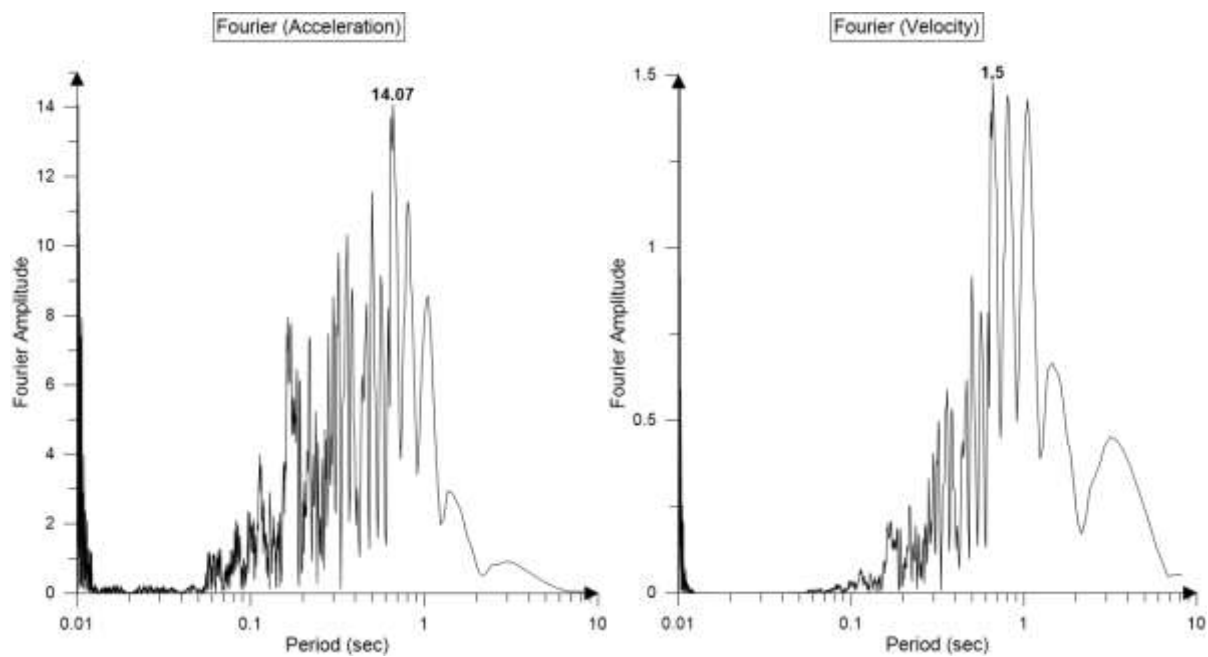
AMPLITUDE	PERIOD	GAMMA	N	CORRELATION
1.226	2.610	1.100	245.000	0.818
0.596	2.350	1.100	245.000	0.273
0.080	17.060	1.200	70.000	0.065
0.109	5.600	3.300	330.000	0.030
0.332	2.940	1.100	15.000	0.144
0.146	8.750	1.200	145.000	0.032

Καταγραφή απόκρισης Νο46



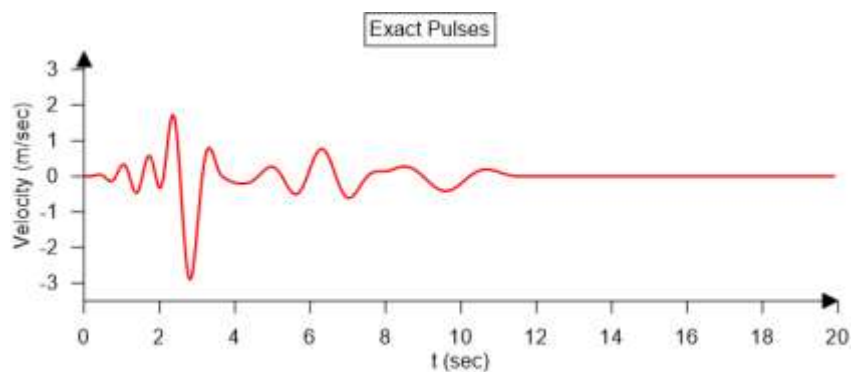
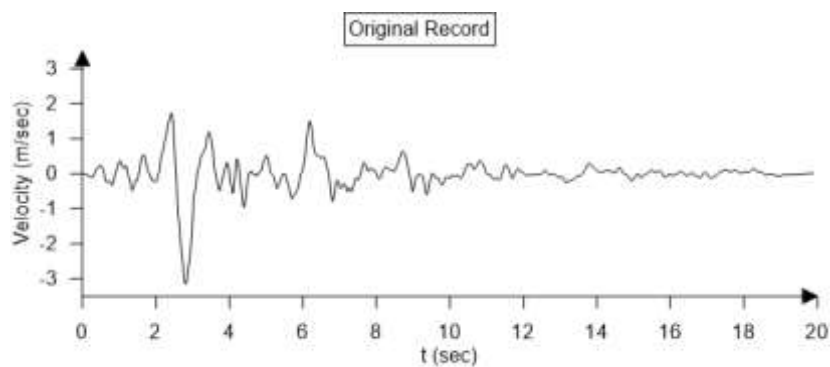
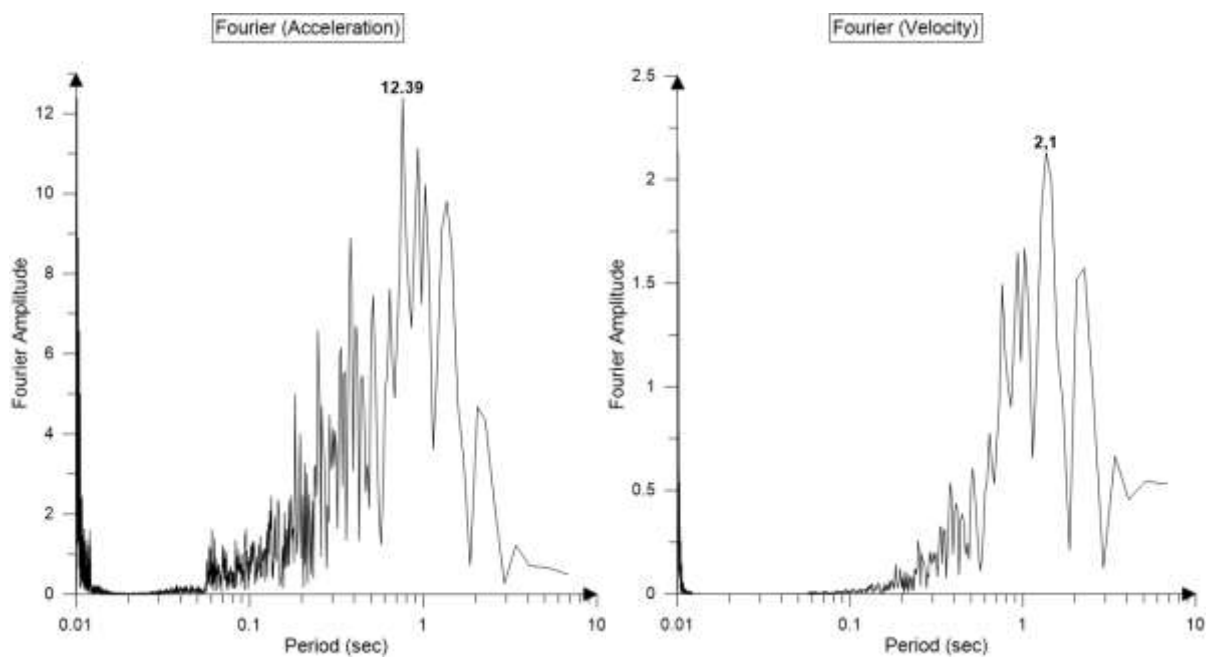
AMPLITUDE	PERIOD	GAMMA	N	CORRELATION
0.812	0.520	5.800	55.000	0.674
0.497	0.630	10.000	290.000	0.574
0.562	1.040	1.300	205.000	0.261
0.644	0.900	1.100	85.000	0.391
0.188	0.620	10.000	250.000	0.557
0.063	8.080	1.100	325.000	0.023

Καταγραφή απόκρισης Νο47



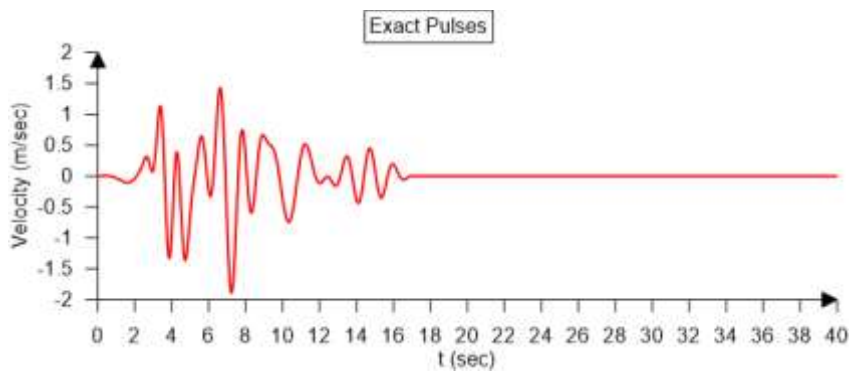
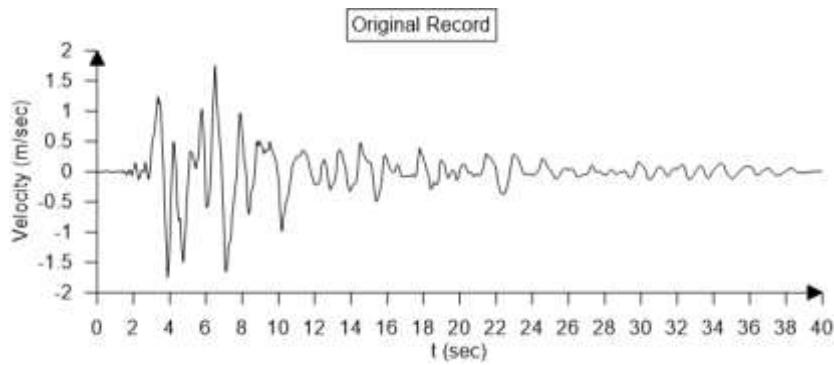
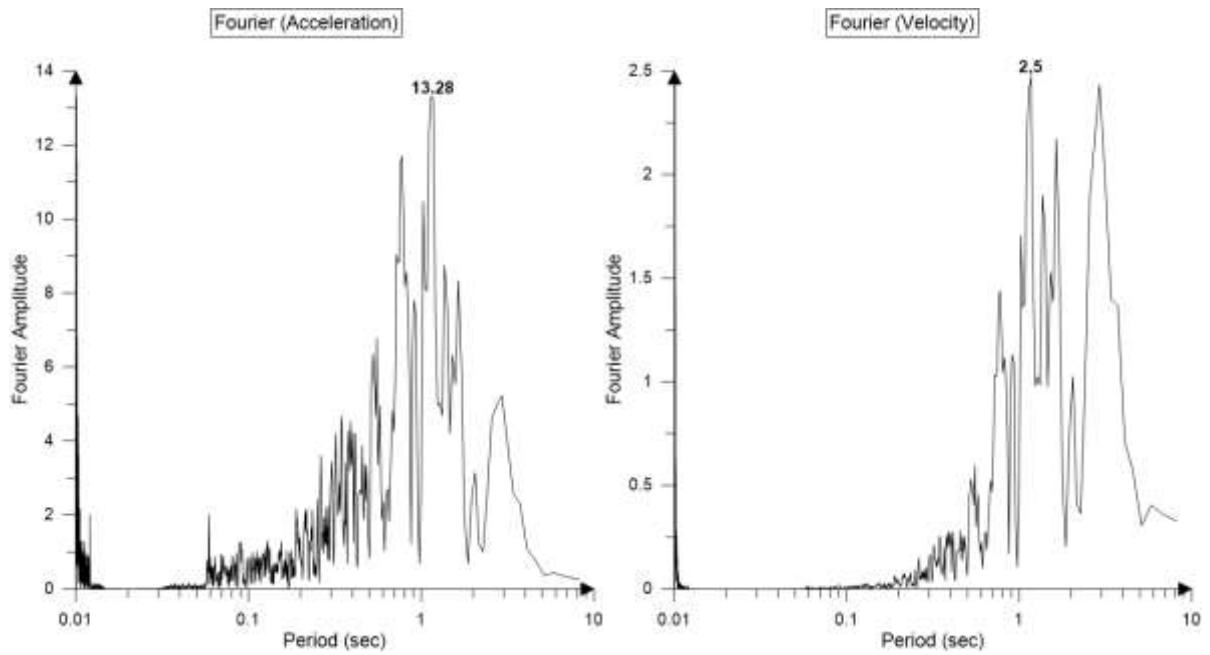
AMPLITUDE	PERIOD	GAMMA	N	CORRELATION
2.381	0.880	1.900	135.000	0.763
1.226	0.700	3.100	330.000	0.397
0.268	3.790	1.100	45.000	0.087
0.063	20.000	1.100	285.000	0.032
0.730	1.270	1.100	95.000	0.274
0.566	1.820	1.100	280.000	0.142

Καταγραφή απόκρισης Νο48



AMPLITUDE	PERIOD	GAMMA	N	CORRELATION
3.066	1.370	1.300	165.000	0.806
0.639	3.900	1.300	40.000	0.120
0.820	1.550	2.700	345.000	0.336
0.269	3.920	2.100	275.000	0.106
0.421	2.480	2.000	155.000	0.140
0.581	0.690	5.500	115.000	0.381

Καταγραφή απόκρισης Νο49



AMPLITUDE	PERIOD	GAMMA	N	CORRELATION
0.740	3.070	3.900	360.000	0.480
1.406	1.170	4.300	145.000	0.524
1.160	0.940	3.500	230.000	0.432
0.662	1.960	2.200	235.000	0.273
0.231	6.410	1.400	195.000	0.058
0.458	1.280	4.300	290.000	0.186

