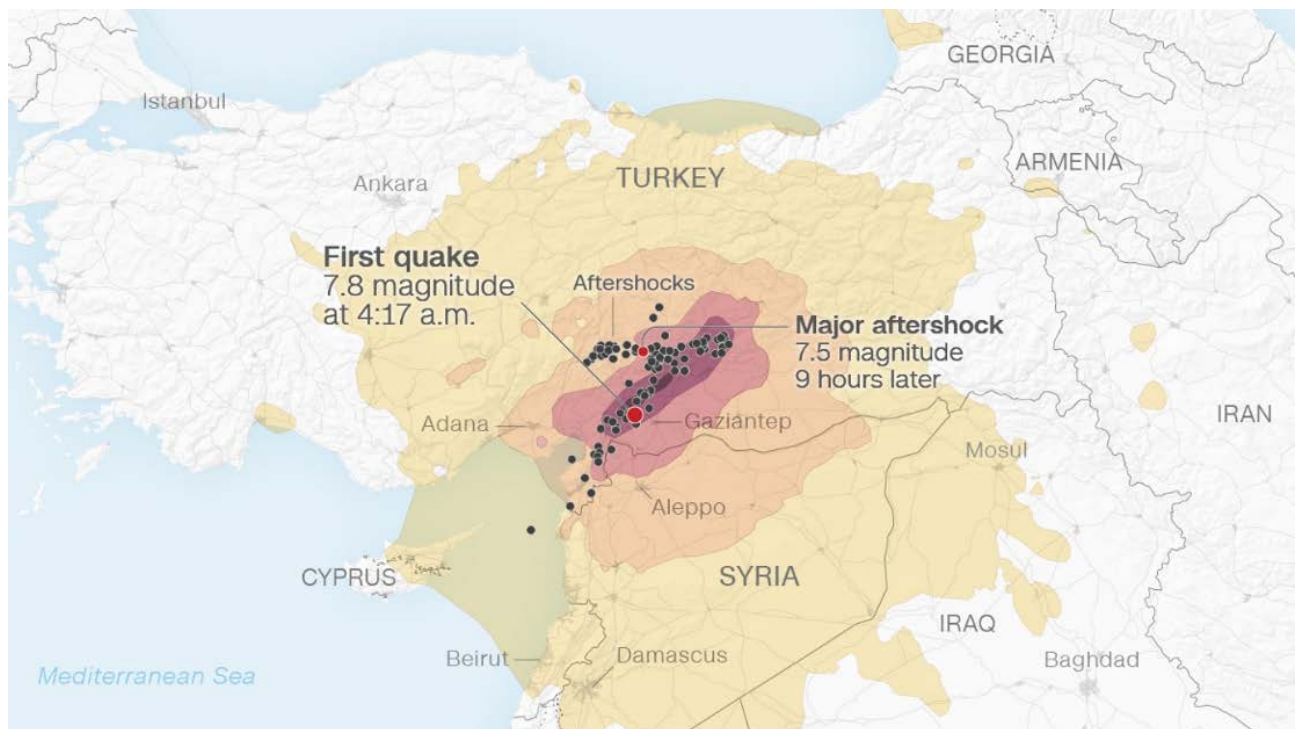




**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ**  
**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**  
**ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

## **Διπλωματική Εργασία**

**Ο Σεισμός της Τουρκίας 6 Φεβρουαρίου 2023 σεισμολογικά δεδομένα βλάβες κτιρίων και φάσματα απόκρισης**



**Φοιτητής: Ολάμιντε Ολουγουατόγιμι Αντελέκε**  
**ΑΜ: 18394087**

**Επιβλέπων Καθηγητής**

**Θεμιστοκλής Α. Αντωνόπουλος**  
**Ακαδημαϊκός Υπότροφος**

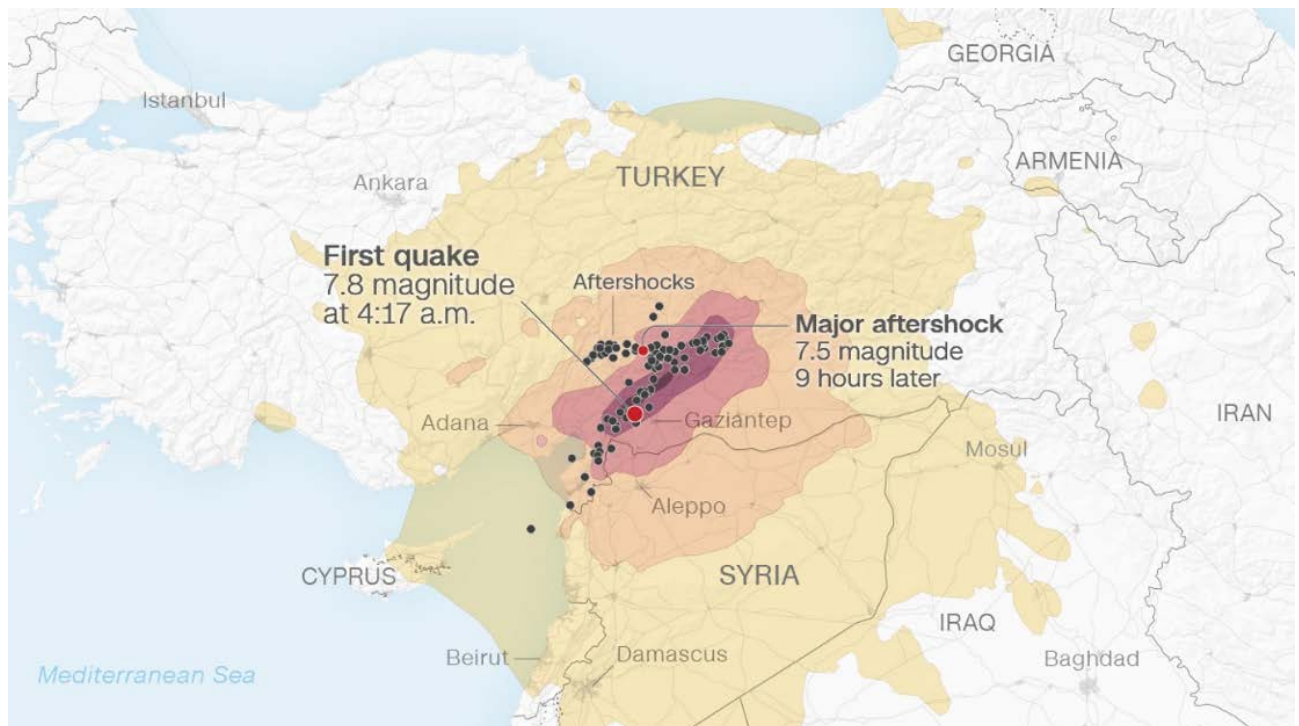
**ΑΘΗΝΑ-ΑΙΓΑΛΕΩ, ΑΠΡΙΛΙΟΣ 2024**



**UNIVERSITY OF WEST ATTICA**  
**FACULTY OF ENGINEERING**  
**DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING**

## **Diploma Thesis**

### **The 6 February 2023 Turkey Earthquake, seismological data, structural damages and response spectra**



**Student: Adeleke Oluwatoayomi Olamide**  
**Registration Number: 18394087**

**Supervisor**

**Themistocles A. Antonopoulos**  
**Academic Scholar**

**ATHENS-EGALEO, APRIL 2024**

Η Διπλωματική Εργασία έγινε αποδεκτή και βαθμολογήθηκε από την εξής τριμελή επιτροπή:

Θεμιστοκλής Α. Αντωνόπουλος, Ακαδημαϊκός Υπότροφος	Κωνσταντίνος Χ. Ρεπαπής, Αναπληρωτής Καθηγητής	Νικόλαος Γ. Πνευματικός, Καθηγητής
(Υπογραφή)	(Υπογραφή)	(Υπογραφή)

**Copyright ©** Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ και Ολάμιντε Ολουγουατοάγιμι Αντελέκε,  
Απρίλιος, 2024**

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τους συγγραφείς.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα του και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις θέσεις του επιβλέποντος, της επιτροπής εξέτασης ή τις επίσημες θέσεις του Τμήματος και του Ιδρύματος.

#### **ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ**

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Ολάμιντε Ολουγουατοάγιμι Αντελέκε του Ομοτόσο Αντεμουγιούα Αντελέκε, με αριθμό μητρώου 18394087 φοιτητής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ του Τμήματος ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ,

**δηλώνω υπεύθυνα ότι:**

«Είμαι συγγραφέας αυτής της διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του διπλώματός μου.

Επιθυμώ την απαγόρευση πρόσβασης στο πλήρες κείμενο της εργασίας μου μέχρι ..... και έπειτα από αίτησή μου στη Βιβλιοθήκη και έγκριση του επιβλέποντος καθηγητή.»

Ο Δηλών,

Ολάμιντε Ολουγουατοάγιμι Αντελέκε



(Υπογραφή φοιτητή)



## Περίληψη

Στην παρούσα διπλωματική εργασία μελετώνται οι σεισμοί που συνέβησαν στις 6 Φεβρουαρίου στην Τουρκία-Συρία μεγέθους  $M_w=7.8$  και  $M_w=7.5$  που προκάλεσε την απώλεια δεκάδων χιλιάδων ανθρώπινων ζωών, πολλές κατασκευές υπέστησαν μεγάλες βλάβες και άλλες κατέρρευσαν ολοσχερώς. Το επίκεντρο του πρώτου σεισμικού γεγονότος ήταν 37 km βορειοδυτικά της πόλης Γκαζιαντέπ ενώ το επίκεντρο του δεύτερου σεισμικού γεγονότος που προκλήθηκε 10 ώρες μετά τον πρώτο σεισμό ήταν 95 km βορειοδυτικά από τον πρώτο σεισμικό γεγονός. Η περιοχή της νοτιοανατολικής Τουρκίας είναι ιστορικά μια από τις πιο σεισμογενείς περιοχές στον κόσμο λόγω του σχηματισμού των τεκτονικών πλακών και στόχος της εργασίας είναι να μελετηθούν οι απαιτήσεις που προκάλεσαν οι εν λόγω σεισμοί στις κατασκευές και να εξαχθούν χρήσιμα συμπεράσματα για τον σχεδιασμό νέων κατασκευών αλλά και για τον ανασχεδιασμό των υφιστάμενων κατασκευών.

Στη συνέχεια αφού παρουσιαστούν τα σεισμολογικά δεδομένα της περιοχής, θα αναπτυχθούν οι βλάβες του δομικού πλούτου της περιοχής. Τα περισσότερα κτίρια στην περιοχή της νοτιοανατολικής Τουρκίας είναι κτίρια από οπλισμένο σκυρόδεμα και φέρουσα τοιχοποιία οπότε θα δοθεί περισσότερη έμφαση στις βλάβες αυτών των τύπων κατασκευών και αναλυτικότερα θα παρουσιαστεί ο τρόπος με τον οποίο οι κατασκευές αστοχούν ή καταρρέουν και θα καταταχθούν οι ζημιές των κατασκευών ανάλογα με τον τύπο τους. Έπειτα αναλύεται το θεωρητικό υπόβαθρο της εργασίας για την καλύτερη κατανόηση του αναγνώστη στους θεωρητικούς όρους που χρησιμοποιούνται για την ανάλυση του σεισμού, των ελαστικών και ανελαστικών φασμάτων απόκρισης αλλά και να τονισθούν οι βασικοί παράγοντες που τα επηρεάζουν.

Με τη λήψη στοιχείων από βάση δεδομένων του Υπουργείου Εσωτερικών της Τουρκίας, πιο συγκεκριμένα μέσω του δικτύου επιταχυνσιογράφων επιλέγονται οι καταγραφές που εμφάνισαν τις μεγαλύτερες εδαφικές επιταχύνσεις κατά Βορρά – Νότο και περιγράφονται τα χαρακτηριστικά τους. Στη συνέχεια αναλύονται πλήρως τα ελαστικά φάσματα απόκρισης των συγκεκριμένων καταγραφών, αναλύονται και συγκρίνονται με τα ελαστικά φάσματα που προβλέπει ο Ευρωκώδικας 8 σε συνδυασμό με τον Τούρκικο αντισεισμικό κανονισμό για όλες τις διευθύνσεις κάθε καταγραφής. Από την ανάλυση αυτή εξάγονται χρήσιμα συμπεράσματα σε ότι αφορά στις απαιτήσεις του εν λόγω σεισμού στους διάφορους τύπους κατασκευών.

Τέλος, για δυο κατάλληλα επιλεγμένους σταθμούς κατασκευάζονται τα ανελαστικά φάσματα απόκρισης μετακίνησης και μειωτικού συντελεστή για μια ακριβέστερη εκτίμηση των απαιτήσεων του σεισμού στις κατασκευές. Μελετάται η ανελαστική απόκριση δυο κατασκευών, οι οποίες προσομοιώνονται ως μονοβάθμιοι ταλαντωτές, αντιπροσωπευτικοί κατασκευών που έχουν σχεδιασθεί με βάση τους παλαιούς κανονισμούς χωρίς σύγχρονες αντιλήψεις για αντισεισμική συμπεριφορά και πλαστιμότητα. Προκύπτουν χρήσιμα συμπεράσματα ως προς τις απαιτήσεις πλαστιμότητας που προέκυψαν στις κατασκευές από το σεισμό αυτό.

## Λέξεις – κλειδιά

Σεισμός, Ισχυρή εδαφική κίνηση, Επιταχυνσιογράφος, Επιταχυνσιογραφήματα, Φάσμα απόκρισης επιταχύνσεων, Παθολογία κτιρίων, Φάσμα σχεδιασμού, Απόσβεση, Ευρωκώδικας 8.

## **Abstract**

This diploma thesis studies the earthquakes that occurred on February 6 in Turkey-Syria of magnitude  $M_w=7.8$  and  $M_w=7.5$  which caused the loss of tens of thousands of human lives, also many structures were severely damaged and others completely collapsed. The epicenter of the first seismic event was 37 km northwest of Gaziantep, while the epicenter of the second seismic event that occurred 10 hours after the first earthquake was 95 km northwest of the first seismic event. The region of southeastern Turkey is historically one of the most earthquake-prone regions in the world due to the formation of the tectonic plates. The aim of the thesis is to study the seismic demands on the structures caused by these earthquakes and to extract useful conclusions for the design of new structures but also for the rehabilitation of the existing ones.

Then, after presenting the seismological data of the area, will elaborate on the damage on the structural properties of the area. Most buildings in the region of southeastern Turkey are reinforced concrete buildings and masonry buildings, so more emphasis is given on the damage of these types of structures. Subsequently, a more detailed presentation is provided on how structures fail or collapse and the damage upon the structures will be classified according to the type of failure. Then the theoretical background of the thesis is analyzed for the readers' better understanding of the theoretical terms used for earthquake analysis, elastic and inelastic response spectrum but also to highlight the key factors that shape them.

By using the database of the Ministry of Interior of Turkey more specifically through the network of accelerographs, the selected records are those which showed the highest ground accelerations in the direction North-South. The characteristics of those records are described. The elastic response spectrum of the specific records is analyzed and compared with the elastic response spectrum provided by Eurocode 8 in combination with the Turkish Seismic Code in each direction for every record selected. This analysis provides useful results regarding the requirements for various types of structures for these earthquakes.

Finally, the inelastic displacement response spectrum and the R-Force reduction factor of two selected stations are designed for a more accurate estimation of earthquake requirements in construction. The inelastic response of two structures, which are modeled as single-degree of freedom systems, is studied. The two structures are representative of structures designed based on old regulations and seismic codes before the establishment of modern concepts such as anti-seismic behavior and ductility. On the basis of all the above, useful conclusions are provided for the behavior and the ductility requirements of new and existing buildings when subjected to strong earthquakes.

## **Keywords**

Earthquake, Strong ground motion, Accelerometer, Accelerograms, Acceleration response spectrum, Building pathology, Design spectrum, Damping, Eurocode 8.

Κατάλογος Πινάκων.....	10
Κατάλογος Εικόνων .....	11
<b>1 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1ο : Εισαγωγή.....</b>	<b>21</b>
1.1 Ο ιστορικός σεισμός της 6 Φεβρουαρίου 2023, σύντομη ανασκόπηση.....	21
1.2 Σεισμοτεκτονικά στοιχεία Τουρκίας.....	23
1.3 Στόχος της εργασίας .....	25
1.4 Διάρθρωση της εργασίας.....	25
<b>2 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2ο: Βλάβες κατασκευών από το σεισμό .....</b>	<b>27</b>
2.1 Κατασκευές οπλισμένου σκυροδέματος.....	27
2.2 Κατασκευές από φέρουσα τοιχοποιία .....	33
2.3 Άλλες κατασκευές.....	39
<b>3 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3ο: Θεωρητικό υπόβαθρο .....</b>	<b>43</b>
3.1 Απόκριση μονοβάθμιου συστήματος σε εδαφική σεισμική κίνηση .....	43
3.2 Ελαστικό Φάσμα απόκρισης.....	44
3.2.1 Επεξήγηση ορίων φάσματος σχεδιασμού .....	46
3.2.2 Παράγοντες που καθορίζουν τη μορφή των φασμάτων .....	47
3.2.3 Επιρροή της απόσβεσης, ζ, στα φάσματα απόκρισης .....	49
3.2.4 Ψευδο-φάσματα .....	50
3.3 Ελαστικό Φάσμα Σχεδιασμού .....	51
3.4 Ανελαστικά φάσματα απόκρισης .....	51
3.4.1 Ελαστοπλαστικό μονοβάθμιο σύστημα .....	52
3.4.2 Επιρροή του δείκτη πλαστιμότητας μ .....	53
<b>4 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4ο: Καταγραφές επιταχύνσεων στο σεισμό της Τουρκίας.....</b>	<b>55</b>
4.1 Γενικά.....	55
4.2 Αντισεισμικοί Κανονισμοί.....	57
4.2.1 Ευρωκώδικας 8 (EC-8).....	57
4.2.2 Τούρκικος Κανονισμός (TEC 2018) .....	58
4.2.3 Σεισμικές Ζώνες.....	58
4.3 Επιλογή καταγραφών προς ανάλυση .....	59
4.3.1 Σταθμός Νο 4614 .....	59
4.3.2 Σταθμός Νο 3129 .....	59
4.3.3 Σταθμός Νο 3126 .....	60
4.3.4 Σταθμός Νο 3141 .....	60
4.3.5 Σταθμός Νο 3125 .....	61
4.3.6 Σταθμός NAR .....	61
4.3.7 Σταθμός Νο 3135 .....	62
4.3.8 Σταθμός Νο 3123 .....	62
4.3.9 Σταθμός Νο 2718 .....	63
4.3.10 Σταθμός Νο 3142 .....	63
<b>5 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5ο: Ελαστικά Φάσματα Απόκρισης.....</b>	<b>65</b>
5.1 Σταθμός Νο 4614 .....	65
5.1.1 Ελαστικά φάσματα απόκρισης .....	65
5.1.2 Σύνοψη συμπεράσματα.....	69
5.2 Σταθμός Νο 3129 .....	71
5.2.1 Ελαστικά Φάσματα Απόκρισης.....	71
5.2.2 Σύνοψη συμπεράσματα.....	75
5.3 Σταθμός Νο 3126 .....	76
5.3.1 Ελαστικά Φάσματα Απόκρισης.....	76
5.3.2 Σύνοψη συμπεράσματα.....	80



5.4	Σταθμός Νο 3141 .....	81
5.4.1	Ελαστικά Φάσματα Απόκρισης.....	81
5.4.2	Σύνοψη συμπεράσματα.....	85
5.5	Σταθμός Νο 3125 .....	86
5.5.1	Ελαστικά φάσματα απόκρισης .....	86
5.5.2	Σύνοψη συμπεράσματα.....	90
5.6	Σταθμός NAR .....	91
5.6.1	Ελαστικά φάσματα απόκρισης .....	91
5.6.2	Σύνοψη συμπεράσματα.....	95
5.7	Σταθμός Νο 3135 .....	96
5.7.1	Ελαστικά φάσματα απόκρισης .....	96
5.7.2	Σύνοψη συμπεράσματα.....	100
5.8	Σταθμός Νο 3123 .....	101
5.8.1	Ελαστικά φάσματα απόκρισης .....	101
5.8.2	Σύνοψη συμπεράσματα.....	105
5.9	Σταθμός Νο 2718 .....	106
5.9.1	Ελαστικά φάσματα απόκρισης .....	106
5.9.2	Σύνοψη συμπεράσματα.....	110
5.10	Σταθμός Νο 3142 .....	111
5.10.1	Ελαστικά φάσματα απόκρισης .....	111
5.10.2	Σύνοψη συμπεράσματα.....	115
6	<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6<sup>ο</sup> : Ανελαστικά Φάσματα Απόκρισης .....</b>	<b>116</b>
6.1	Σταθμός Νο 4614 .....	116
6.2	Σταθμός Νο 3126 .....	119
6.3	Μη-γραμμική ανάλυση μονοβάθμιων συστημάτων .....	122
6.3.1	Ανάλυση κτιρίου χωρίς τοιχοπληρώσεις.....	122
6.3.2	Ανάλυση κτιρίου με τοιχοπληρώσεις.....	127
7	<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7<sup>ο</sup>: Συμπεράσματα.....</b>	<b>131</b>
7.1	Συμπεράσματα .....	131
7.2	Προτάσεις για μελλοντική έρευνα .....	132
	<b>Βιβλιογραφία – Αναφορές – Διαδικτυακές Πηγές.....</b>	<b>133</b>

## Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 2.1 Κατανομή βλαβών – ζημιών σε κτίρια (Işık, E. et al, 2023) .....	28
Πίνακας 2.2 Βαθμοί βλάβης σε κτίρια οπλισμένου σκυροδέματος, βάσει Ευρωπαϊκής Μακροσεισμικής Κλίμακας EMS 1998.....	30
Πίνακας 2.3 Βαθμοί βλάβης σε κτίρια από φέρουσα τοιχοποιία, βάσει Ευρωπαϊκής Μακροσεισμικής Κλίμακας EMS 1998.....	37
Πίνακας 2.4 Κατανομή βλαβών σε εκατό κτίρια αγροτικής περιοχής με βάση τα επίπεδα αστοχιών τους (Işık, E., 2023) .....	39
Πίνακας 4.1 Κατηγοριοποίηση εδάφους βάσει EC-8 (Πιτιλάκης, 2010) .....	57
Πίνακας 4.2 Κατηγοριοποίηση εδάφους βάσει TEC-2018 (Civelekler, E. et al., 2021).....	58
Πίνακας 4.3 Εδαφική επιτάχυνση αναφοράς ανά ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας (Gunes, O. 2015).....	59

## Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1.1 Χάρτης μακρο-σεισμικής έντασης αρχικού σεισμού (πηγή USGS).....	21
Εικόνα 1.2 Σημείο τριπλής επαφής (Evangelia G. et al,2023).....	22
Εικόνα 1.3 Χάρτης χωρικής κατανομής και μεγεθών των μετασεισμών (πηγή AFAD) .....	22
Εικόνα 1.4 Χάρτης Τουρκίας και καταγεγραμμένα επίκεντρα των σεισμών (AFAD) .....	23
Εικόνα 1.5 Κατανομή σεισμικών γεγονότων, ιστορικά, της περιοχής της νοτιοανατολικής Τουρκίας (Çabalar, 2008) .....	24
Εικόνα 1.6 Σεισμική δραστηριότητα της υπό μελέτη περιοχής, σεισμικά γεγονότα μεγέθους $M>3$ κατά την περίοδο 1/1/1990 με 29/3/2006 (Çabalar, 2008).....	25
Εικόνα 2.1 Παραδείγματα αστοχιών κτιρίων λόγω ανοικτού ισογείου ορόφου (Işık, E. et al,2023).....	28
Εικόνα 2.2 Παραδείγματα αστοχιών λόγω κοντών υποστυλωμάτων (Işık, E. et al,2023).....	28
Εικόνα 2.3 Παραδείγματα ολικής κατάρρευσης κτιρίων λόγω ανεπαρκών πλαισίων (Işık, E. et al,2023) .....	29
Εικόνα 2.4 Παραδείγματα αστοχίας σε μεγάλες αρχιτεκτονικές προεξοχές (Işık, E. et al,2023) .....	29
Εικόνα 2.5 Παραδείγματα αστοχιών σε επιμέρους δομικά στοιχεία (Işık, E. et al,2023) .....	29
Εικόνα 2.6 Παραδείγματα κτιρίων με αμελητέες ως ελαφρές βλάβες, Βαθμός 1 (Işık, E. et al,2023) .....	31
Εικόνα 2.7 Παραδείγματα κτιρίων με μέτριες βλάβες, Βαθμός 2 (Işık, E. et al,2023) .....	31
Εικόνα 2.8 Παραδείγματα κτιρίων με σημαντικές έως μεγάλες βλάβες, Βαθμός 3 (Işık, E. et al, 2023) .....	32
Εικόνα 2.9 Παραδείγματα κτιρίων με πολύ μεγάλες βλάβες Βαθμός 4 (Işık, E. et al,2023) .....	32
Εικόνα 2.10 Παραδείγματα κτιρίων με καταστροφικές βλάβες πολύ βαριές δομικές βλάβες, Βαθμός 5 (Işık, E. et al, 2023).....	32
Εικόνα 2.11 Καταρρεύσεις κτιρίων από φέρουσα τοιχοποιία (Işık, E. et al,2023) .....	33
Εικόνα 2.12 Μερική κατάρρευση κτιρίων από φέρουσα τοιχοποιία (Işık, E. et al,2023) .....	33
Εικόνα 2.13 Βλάβες σε κατασκευές από φέρουσα τοιχοποιία με διαφορετικούς τύπους λιθοσωμάτων (Işık, E., 2023).....	34
Εικόνα 2.14 Κατασκευές από πλινθοδομή όπου οι βαριές χωμάτινες στέγες κατέρρευσαν τελείως (Işık, E.,2023).....	34
Εικόνα 2.15 Βλάβες σε ξύλινα δοκάρια λόγω του ίδιου βάρους των χωμάτινων στεγών (Işık, E.,2023) .....	34
Εικόνα 2.16 Καταρρεύσεις κτιρίων φέρουσας τοιχοποιίας με βαριά φυτεμένη στέγη, εκτός επιπέδου αστοχίες τοίχων (Işık, E.,2023) .....	35
Εικόνα 2.17 Αστοχίες διαχωρισμού στις γωνίες ένωσης τοίχων (Işık, E.,2023) .....	35

<i>Ο Σεισμός της Τουρκίας 6 Φεβρουαρίου 2023 σεισμολογικά δεδομένα θλάβες κτιρίων και φάσματα απόκρισης</i>	
Εικόνα 2.18 Εκτός επιπέδου ζημιές στον τοίχο λόγω ανεπαρκούς στήριξης σε γωνιακά σημεία (Ιζίκ, Ε.,2023)	35
Εικόνα 2.19 Δομικές ζημιές λόγω ασύμμετρης αντοχής/ακαμψίας και κενού μεταξύ των ορόφων (Ιζίκ, Ε.,2023)	36
Εικόνα 2.20 Ζημιές λόγω της χαμηλής αντοχής του κονιάματος (Ιζίκ, Ε.,2023)	36
Εικόνα 2.21 Ρηγματώσεις τοιχοποιίας στις θέσεις ανοιγμάτων και θυρών (Ιζίκ, Ε., 2023)	36
Εικόνα 2.22 Παραδείγματα κτιρίων από φέρουσα τοιχοποιία με αμελητέες ως ελαφρές βλάβες Βαθμός 1 (Ιζίκ, Ε.,2023)	38
Εικόνα 2.23 Παραδείγματα κτιρίων από φέρουσα τοιχοποιία με μέτριες βλάβες Βαθμός 2 (Ιζίκ, Ε., 2023)	38
Εικόνα 2.24 Παραδείγματα κτιρίων από φέρουσα τοιχοποιία με σημαντικές έως μεγάλες βλάβες Βαθμός 3 (Ιζίκ, Ε., 2023)	38
Εικόνα 2.25 Παραδείγματα κτιρίων από φέρουσα τοιχοποιία με πολύ μεγάλες βλάβες Βαθμός 4 (Ιζίκ, Ε.,2023)	38
Εικόνα 2.26 Παραδείγματα κτιρίων από φέρουσα τοιχοποιία με καταστροφικές βλάβες πολύ βαριές δομικές βλάβες, Βαθμός 5 (Ιζίκ, Ε., 2023)	39
Εικόνα 2.27 Κατάρρευση νοσοκομείου Iskenderun State Hospital (Evangelia G. et al, 2023)	39
Εικόνα 2.28 Η εκκλησία της Iskenderun πριν και μετά τον σεισμό (Evangelia G. et al, 2023)	40
Εικόνα 2.29 Sakirpasa (Evangelia G. et al,2023)	40
Εικόνα 2.30 Αστοχίες στον διάδρομο του Αερολιμένα Χάταϊ (Evangelia G. et al, 2023)	41
Εικόνα 2.31 Τζαμί Yeni Matalya πριν και μετά τον σεισμό (Evangelia G. et al, 2023)	41
Εικόνα 2.32 Ξενοδοχείο Trend Garden Residence Hotel πριν και μετά τον σεισμό (Evangelia G. et al, 2023)	41
Εικόνα 2.33 Κάστρο Γκαζιαντέπ πριν τον σεισμό (Evangelia G. et al,2023)	42
Εικόνα 2.34 Κάστρο Γκαζιαντέπ μετά τον σεισμό (Evangelia G. et al,2023)	42
Εικόνα 3.1 Φάσμα απόκρισης σεισμού στο Northridge (Πνευματικός, 2018)	45
Εικόνα 3.2 Φάσμα απόκρισης σεισμού στο Kobe (Πνευματικός, 2018)	45
Εικόνα 3.3 Φάσμα απόκρισης σεισμού στο Λευκάδας (Πνευματικός, 2018)	45
Εικόνα 3.4 Ενδεικτικό φάσμα απόκρισης απόλυτης επιτάχυνσης και οριακές τιμές (Πνευματικός,2018)	46
Εικόνα 3.5 Ενδεικτικό φάσμα απόκρισης σχετικής ταχύτητας και οριακές τιμές (Πνευματικός,2018)	46
Εικόνα 3.6 Ενδεικτικό φάσμα απόκρισης σχετικής μετακίνησης και οριακές τιμές (Πνευματικός,2018)	46
Εικόνα 3.7 Χρονοϊστορίες επιτάχυνσης, ταχύτητας και μετακίνησης (17/1/1995), Kobe, Ιαπωνία- καταγραφές εγκάρσιως και παράλληλα προς το ρήγμα του σεισμού (Πιτιλάκης, 2010)	47
Εικόνα 3.8 Επιρροή του εδάφους (σκληρό, μαλακό) στο φάσμα απόκρισης (Πνευματικός,2018)	48

<i>Ο Σεισμός της Τουρκίας 6 Φεβρουαρίου 2023 σεισμολογικά δεδομένα θλάβες κτιρίων και φάσματα απόκρισης</i>	
Εικόνα 3.9 Μέσα φάσματα απόκρισης απόλυτων επιταχύνσεων διαφόρων σεισμών για $\zeta=5\%$ , ανάλογα με το είδος του εδάφους (Πιτιλάκης, 2010).....	48
Εικόνα 3.10 Φάσματα απόκρισης για μακρινούς ή κοντινούς σεισμούς (Πνευματικός,2018).....	48
Εικόνα 3.11 Φάσμα απόκρισης μετακίνησης για διαφορετικούς λόγους απόσβεσης.....	49
Εικόνα 3.12 Φάσμα απόκρισης ψευδο-ταχύτητας για διαφορετικούς λόγους απόσβεσης .....	50
Εικόνα 3.13 Φάσμα απόκρισης ψευδό-επιτάχυνσης για διαφορετικούς λόγους απόσβεσης.....	50
Εικόνα 3.14 Φάσματα απόκρισης διαφορετικών σεισμών το μέσο φάσμα τους και ένα ενδεικτικό φάσμα σχεδιασμού (Πνευματικός,2018) .....	51
Εικόνα 3.15 Πραγματική και εξιδανικευμένη ελαστοπλαστική σχέση δύναμης μετακίνησης μονοβάθμιου ταλαντωτή (Anil.K.C., 2008) .....	52
Εικόνα 3.16 Τυπικός κύκλος φόρτισης αποφόρτισης και επαναφόρτισης για ένα ελαστικό απολύτως πλαστικό σύστημα (Anil.K.C. 2008) .....	52
Εικόνα 3.17 Ελαστο-πλαστικό σύστημα και το αντίστοιχο γραμμικό σύστημα (Anil.K.C.2008) .....	53
Εικόνα 3.18 Φυσική έννοια του δείκτη πλαστικότητας (Πιτιλάκης, 2010) .....	53
Εικόνα 3.19 Σύγκριση ελαστικών και ανελαστικών φασμάτων καταγραφής σεισμού της Λευκάδας (Πιτιλάκης, 2010).....	54
Εικόνα 4.1 Χάρτης με τους συνολικά 1053 επιταχυνσιογράφους (AFAD) .....	55
Εικόνα 4.2 Κατανομή των μεγίστων εδαφικών επιταχύνσεων από το δίκτυο καταγραφής (AFAD) .....	56
Εικόνα 4.3 Κατανομή των μεγίστων εδαφικών επιταχύνσεων από το δίκτυο καταγραφής (AFAD) .....	56
Εικόνα 4.4 Κατανομή των μεγίστων εδαφικών μετατοπίσεων από το δίκτυο καταγραφής (AFAD) .....	57
Εικόνα 4.5 Χάρτης ζώνης σεισμικής επικινδυνότητας της Τουρκίας (Gunes, O. 2015) .....	58
Εικόνα 4.6 Σταθμός 4614 (AFAD) .....	59
Εικόνα 4.7 Σταθμός 3129 (AFAD) .....	60
Εικόνα 4.8 Σταθμός 3126 (AFAD) .....	60
Εικόνα 4.9 Σταθμός 3141 (AFAD) .....	61
Εικόνα 4.10 Σταθμός 3125 (AFAD) .....	61
Εικόνα 4.11 Σταθμός NAR (AFAD).....	62
Εικόνα 4.12 Σταθμός 3135 (AFAD) .....	62
Εικόνα 4.13 Σταθμός 3123 (AFAD) .....	63
Εικόνα 4.14 Σταθμός 2718 (AFAD) .....	63
Εικόνα 4.15 Σταθμός 3129 (AFAD) .....	64

<i>Ο Σεισμός της Τουρκίας 6 Φεβρουαρίου 2023 σεισμολογικά δεδομένα θλάβες κτιρίων και φάσματα απόκρισης</i>	
Εικόνα 5.1 Ελαστικά φάσματα απόκρισης ψευδό-επιταχύνσεων (4614 East-West) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8 .....	65
Εικόνα 5.2 Ελαστικά φάσματα απόκρισης μετακινήσεων (4614 East-West) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8 .....	66
Εικόνα 5.3 Ελαστικά φάσματα απόκρισης ψευδο-ταχυτήτων (4614 East-West) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8 .....	66
Εικόνα 5.4 Ελαστικά φάσματα απόκρισης ψευδο-επιταχύνσεων (4614 North-South) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8 .....	67
Εικόνα 5.5 Ελαστικά φάσματα απόκρισης μετακινήσεων (4614 North-South) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8 .....	67
Εικόνα 5.6 Ελαστικά φάσματα απόκρισης ψευδο-ταχυτήτων (4614 North-South) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8 .....	68
Εικόνα 5.7 Ελαστικά φάσματα απόκρισης ψευδο-επιταχύνσεων (4614 Up-Down) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8 .....	68
Εικόνα 5.8 Ελαστικά φάσματα απόκρισης μετακινήσεων (4614 Up-Down) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8 .....	69
Εικόνα 5.9 Ελαστικά φάσματα απόκρισης ψευδο-ταχυτήτων (4614 Up-Down) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8 .....	69
Εικόνα 5.10 Ελαστικά φάσματα απόκρισης ψευδό-επιταχύνσεων (3129 East-West) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8 .....	71
Εικόνα 5.11 Ελαστικά φάσματα απόκρισης μετακινήσεων (3129 East-West) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8 .....	71
Εικόνα 5.12 Ελαστικά φάσματα απόκρισης ψευδό-ταχυτήτων (3129 East-West) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8 .....	72
Εικόνα 5.13 Ελαστικά φάσματα απόκρισης ψευδό-επιταχύνσεων (3129 North-South) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8 .....	72
Εικόνα 5.14 Ελαστικά φάσματα απόκρισης μετακινήσεων (3129 North-South) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8 .....	73
Εικόνα 5.15 Ελαστικά φάσματα απόκρισης ψευδό-ταχυτήτων (3129 North-South) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8 .....	73
Εικόνα 5.16 Ελαστικά φάσματα απόκρισης ψευδό-επιταχύνσεων (3129 Up-Down) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8 .....	74
Εικόνα 5.17 Ελαστικά φάσματα απόκρισης μετακινήσεων (3129 Up-Down) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8 .....	74
Εικόνα 5.18 Ελαστικά φάσματα απόκρισης ψευδό-ταχυτήτων (3129 Up-Down) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8 .....	75

<i>Ο Σεισμός της Τουρκίας 6 Φεβρουαρίου 2023 σεισμολογικά δεδομένα θλάβες κτιρίων και φάσματα απόκρισης</i>	
Εικόνα 5.19 Ελαστικά φάσματα απόκρισης ψευδό-επιταχύνσεων (3126 East-West) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8.....	76
Εικόνα 5.20 Ελαστικά φάσματα απόκρισης μετακινήσεων (3126 East-West) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8.....	77
Εικόνα 5.21 Ελαστικά φάσματα απόκρισης ψευδό-ταχυτήτων (3126 East-West) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8.....	77
Εικόνα 5.22 Ελαστικά φάσματα απόκρισης ψευδό-επιταχύνσεων (3126 North-South) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8.....	78
Εικόνα 5.23 Ελαστικά φάσματα απόκρισης μετακινήσεων (3126 North-South) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8.....	78
Εικόνα 5.24 Ελαστικά φάσματα απόκρισης ψευδό-ταχυτήτων (3126 North-South) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8.....	79
Εικόνα 5.25 Ελαστικά φάσματα απόκρισης ψευδό-επιταχύνσεων (3126 Up-Down) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8.....	79
Εικόνα 5.26 Ελαστικά φάσματα απόκρισης μετακινήσεων (3126 Up-Down) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8.....	80
Εικόνα 5.27 Ελαστικά φάσματα απόκρισης ψευδό-ταχυτήτων (3126 Up-Down) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8.....	80
Εικόνα 5.28 Ελαστικά φάσματα απόκρισης ψευδό-επιταχύνσεων(3141 East-West) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8.....	81
Εικόνα 5.29 Ελαστικά φάσματα απόκρισης μετακινήσεων (3141 East-West) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8.....	82
Εικόνα 5.30 Ελαστικά φάσματα απόκρισης ψευδό-ταχυτήτων (3141 East-West) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8.....	82
Εικόνα 5.31 Ελαστικά φάσματα απόκρισης ψευδό-επιταχύνσεων (3141 North-South) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8.....	83
Εικόνα 5.32 Ελαστικά φάσματα απόκρισης μετακινήσεων (3141 North-South) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8.....	83
Εικόνα 5.33 Ελαστικά φάσματα απόκρισης ψευδό-ταχυτήτων (3141 North-South) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8.....	84
Εικόνα 5.34 Ελαστικά φάσματα απόκρισης ψευδό-επιταχύνσεων (3141 Up-Down) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8.....	84
Εικόνα 5.35 Ελαστικά φάσματα απόκρισης μετακινήσεων (3141 Up-Down) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8.....	85
Εικόνα 5.36 Ελαστικά φάσματα απόκρισης ψευδό-ταχυτήτων (3141 Up-Down) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8.....	85

<i>Ο Σεισμός της Τουρκίας 6 Φεβρουαρίου 2023 σεισμολογικά δεδομένα θλάβες κτιρίων και φάσματα απόκρισης</i>	
Εικόνα 5.37 Ελαστικά φάσματα απόκρισης ψευδό-επιταχύνσεων (3125 East-West) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8.....	86
Εικόνα 5.38 Ελαστικά φάσματα απόκρισης μετακινήσεων (3125 East-West) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8.....	87
Εικόνα 5.39 Ελαστικά φάσματα απόκρισης ψευδό-ταχυτήτων (3125 East-West) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8.....	87
Εικόνα 5.40 Ελαστικά φάσματα απόκρισης ψευδό-επιταχύνσεων (3125 North-South) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8.....	88
Εικόνα 5.41 Ελαστικά φάσματα απόκρισης μετακινήσεων (3125 North-South) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8.....	88
Εικόνα 5.42 Ελαστικά φάσματα απόκρισης ψευδό-ταχυτήτων (3125 North-South) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8.....	89
Εικόνα 5.43 Ελαστικά φάσματα απόκρισης ψευδό-επιταχύνσεων (3125 Up-Down) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8.....	89
Εικόνα 5.44 Ελαστικά φάσματα απόκρισης μετακινήσεων (3125 Up-Down) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8.....	90
Εικόνα 5.45 Ελαστικά φάσματα απόκρισης ψευδό-ταχυτήτων (3125 Up-Down) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8.....	90
Εικόνα 5.46 Ελαστικά φάσματα απόκρισης ψευδό-επιταχύνσεων (NAR East-West) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8.....	91
Εικόνα 5.47 Ελαστικά φάσματα απόκρισης μετακινήσεων (NAR East-West) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8.....	92
Εικόνα 5.48 Ελαστικά φάσματα απόκρισης ψευδό-ταχυτήτων (NAR East-West) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8.....	92
Εικόνα 5.49 Ελαστικά φάσματα απόκρισης ψευδό-επιταχύνσεων (NAR North-South) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8.....	93
Εικόνα 5.50 Ελαστικά φάσματα απόκρισης μετακινήσεων (NAR North-South) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8.....	93
Εικόνα 5.51 Ελαστικά φάσματα απόκρισης ψευδό-ταχυτήτων (NAR North-South) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8.....	94
Εικόνα 5.52 Ελαστικά φάσματα απόκρισης ψευδό-επιταχύνσεων (NAR Up-Down) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8.....	94
Εικόνα 5.53 Ελαστικά φάσματα απόκρισης μετακινήσεων (NAR Up-Down) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8.....	95
Εικόνα 5.54 Ελαστικά φάσματα απόκρισης ψευδό-ταχυτήτων (NAR Up-Down) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8.....	95



<i>Ο Σεισμός της Τουρκίας 6 Φεβρουαρίου 2023 σεισμολογικά δεδομένα θλάβες κτιρίων και φάσματα απόκρισης</i>	
Εικόνα 5.55 Ελαστικά φάσματα απόκρισης ψευδό-επιταχύνσεων (3135 East-West) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8.....	96
Εικόνα 5.56 Ελαστικά φάσματα απόκρισης μετακινήσεων (3135 East-West) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8.....	96
Εικόνα 5.57 Ελαστικά φάσματα απόκρισης ψευδό-ταχυτήτων (3135 East-West) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8.....	97
Εικόνα 5.58 Ελαστικά φάσματα απόκρισης ψευδό-επιταχύνσεων (3135 North-South) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8.....	97
Εικόνα 5.59 Ελαστικά φάσματα απόκρισης μετακινήσεων (3135 North-South) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8.....	98
Εικόνα 5.60 Ελαστικά φάσματα απόκρισης ψευδό-ταχυτήτων (3135 North-South) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8.....	98
Εικόνα 5.61 Ελαστικά φάσματα απόκρισης ψευδό-επιταχύνσεων (3135 Up-Down) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8.....	99
Εικόνα 5.62 Ελαστικά φάσματα απόκρισης μετακινήσεων (3135 Up-Down) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8.....	99
Εικόνα 5.63 Ελαστικά φάσματα απόκρισης ψευδό-ταχυτήτων (3135 Up-Down) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8.....	100
Εικόνα 5.64 Ελαστικά φάσματα απόκρισης ψευδό-επιταχύνσεων (3123 East-West) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8.....	101
Εικόνα 5.65 Ελαστικά φάσματα απόκρισης μετακινήσεων (3123 East-West) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8.....	101
Εικόνα 5.66 Ελαστικά φάσματα απόκρισης ψευδό-ταχυτήτων (3123 East-West) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8.....	102
Εικόνα 5.67 Ελαστικά φάσματα απόκρισης ψευδό-επιταχύνσεων (3123 North-South) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8.....	102
Εικόνα 5.68 Ελαστικά φάσματα απόκρισης μετακινήσεων (3123 North-South) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8.....	103
Εικόνα 5.69 Ελαστικά φάσματα απόκρισης ψευδό-ταχυτήτων (3123 North-South) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8.....	103
Εικόνα 5.70 Ελαστικά φάσματα απόκρισης ψευδό-επιταχύνσεων (3123 Up-Down) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8.....	104
Εικόνα 5.71 Ελαστικά φάσματα απόκρισης μετακινήσεων (3123 Up-Down) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8.....	104
Εικόνα 5.72 Ελαστικά φάσματα απόκρισης ψευδό-ταχυτήτων (3123 Up-Down) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8.....	105

<i>Ο Σεισμός της Τουρκίας 6 Φεβρουαρίου 2023 σεισμολογικά δεδομένα θλάβες κτιρίων και φάσματα απόκρισης</i>	
Εικόνα 5.73 Ελαστικά φάσματα απόκρισης ψευδό-επιταχύνσεων (2718 East-West) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8.....	106
Εικόνα 5.74 Ελαστικά φάσματα απόκρισης μετακινήσεων (2718 East-West) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8.....	106
Εικόνα 5.75 Ελαστικά φάσματα απόκρισης ψευδό-ταχυτήτων (2718 East-West) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8.....	107
Εικόνα 5.76 Ελαστικά φάσματα απόκρισης ψευδό-επιταχύνσεων (2718 North-South) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8.....	107
Εικόνα 5.77 Ελαστικά φάσματα απόκρισης μετακινήσεων (2718 North-South) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8.....	108
Εικόνα 5.78 Ελαστικά φάσματα απόκρισης ψευδό-ταχυτήτων (2718 North-South) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8.....	108
Εικόνα 5.79 Ελαστικά φάσματα απόκρισης ψευδό-επιταχύνσεων (2718 Up-Down) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8.....	109
Εικόνα 5.80 Ελαστικά φάσματα απόκρισης μετακινήσεων (2718 Up-Down) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8.....	109
Εικόνα 5.81 Ελαστικά φάσματα απόκρισης ψευδό-ταχυτήτων (2718 Up-Down) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8.....	110
Εικόνα 5.82 Ελαστικά φάσματα απόκρισης ψευδό-επιταχύνσεων (3142 East-West) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8.....	111
Εικόνα 5.83 Ελαστικά φάσματα απόκρισης μετακινήσεων (3142 East-West) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8.....	111
Εικόνα 5.84 Ελαστικά φάσματα απόκρισης ψευδό-ταχυτήτων (3142 East-West) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8.....	112
Εικόνα 5.85 Ελαστικά φάσματα απόκρισης ψευδό-επιταχύνσεων (3142 North-South) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8.....	112
Εικόνα 5.86 Ελαστικά φάσματα απόκρισης μετακινήσεων (3142 North-South) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8.....	113
Εικόνα 5.87 Ελαστικά φάσματα απόκρισης ψευδό-ταχυτήτων (3142 North-South) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8.....	113
Εικόνα 5.88 Ελαστικά φάσματα απόκρισης ψευδό-επιταχύνσεων (3142 Up-Down) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8.....	114
Εικόνα 5.89 Ελαστικά φάσματα απόκρισης μετακινήσεων (3142 Up-Down) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8.....	114
Εικόνα 5.90 Ελαστικά φάσματα απόκρισης ψευδό-ταχυτήτων (3142 Up-Down) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8.....	115

<i>Ο Σεισμός της Τουρκίας 6 Φεβρουαρίου 2023 σεισμολογικά δεδομένα θλάβες κτιρίων και φάσματα απόκρισης</i>	
Εικόνα 6.1 Ανελαστικά φάσματα απόκρισης μετακινήσεων (4614 East-West) για πλαστιμότητα $\mu=2$ και $\mu=4$	117
Εικόνα 6.2 R-Force Reduction Factor (μειωτικός συντελεστή δύναμης) (4614 East-West) για πλαστιμότητα $\mu=2$ και $\mu=4$	117
Εικόνα 6.3 Ανελαστικά φάσματα απόκρισης μετακινήσεων (4614 North - South) για πλαστιμότητα $\mu=2$ και $\mu=4$	118
Εικόνα 6.4 R-Force Reduction Factor (μειωτικός συντελεστή δύναμης) (4614 North - South) για πλαστιμότητα $\mu=2$ και $\mu=4$	118
Εικόνα 6.5 Ανελαστικά φάσματα απόκρισης μετακινήσεων (3126 East-West) για πλαστιμότητα $\mu=2$ και $\mu=4$	119
Εικόνα 6.6 R-Force Reduction Factor (μειωτικός συντελεστής δύναμης) (3126 East-West) για πλαστιμότητα $\mu=2$ και $\mu=4$	120
Εικόνα 6.7 Ανελαστικά φάσματα απόκρισης μετακινήσεων (3126 North-South) για πλαστιμότητα $\mu=2$ και $\mu=4$	120
Εικόνα 6.8 R-Force Reduction Factor (μειωτικός συντελεστής δύναμης) (3126North-South) για λόγους πλαστιμότητας $\mu=2$ και $\mu=4$	121
Εικόνα 6.9 Χρονοϊστορία μετατοπίσεων ελαστοπλαστικού συστήματος για την καταγραφή 4614 East-West	122
Εικόνα 6.10 Υστερητικό διάγραμμα Q-Δ τέμνουσας βάσης – μετατόπισης κορυφής του κτιρίου για την καταγραφή 4614 East-West	123
Εικόνα 6.11 Χρονοϊστορία μετατοπίσεων ελαστοπλαστικού συστήματος για την καταγραφή 4614 North South	123
Εικόνα 6.12 Υστερητικό διάγραμμα Q-Δ τέμνουσας βάσης – μετατόπισης κορυφής του κτιρίου για την καταγραφή 4614 North South	124
Εικόνα 6.13 Χρονοϊστορία μετατοπίσεων ελαστοπλαστικού συστήματος για την καταγραφή 3126 East-West	124
Εικόνα 6.14 Υστερητικό διάγραμμα Q-Δ τέμνουσας βάσης – μετατόπισης κορυφής του κτιρίου για την καταγραφή 3126 East West	125
Εικόνα 6.15 Χρονοϊστορία μετατοπίσεων ελαστοπλαστικού συστήματος για την καταγραφή 3126 North South	125
Εικόνα 6.16 Υστερητικό διάγραμμα Q-Δ τέμνουσας βάσης – μετατόπισης κορυφής του κτιρίου για την καταγραφή 3126 North South	125
Εικόνα 6.17 Χρονοϊστορία μετατοπίσεων ελαστοπλαστικού συστήματος για την καταγραφή 4614 East-West	127
Εικόνα 6.18 Υστερητικό διάγραμμα Q-Δ τέμνουσας βάσης – μετατόπισης κορυφής του κτιρίου για την καταγραφή 4614 East-West	127

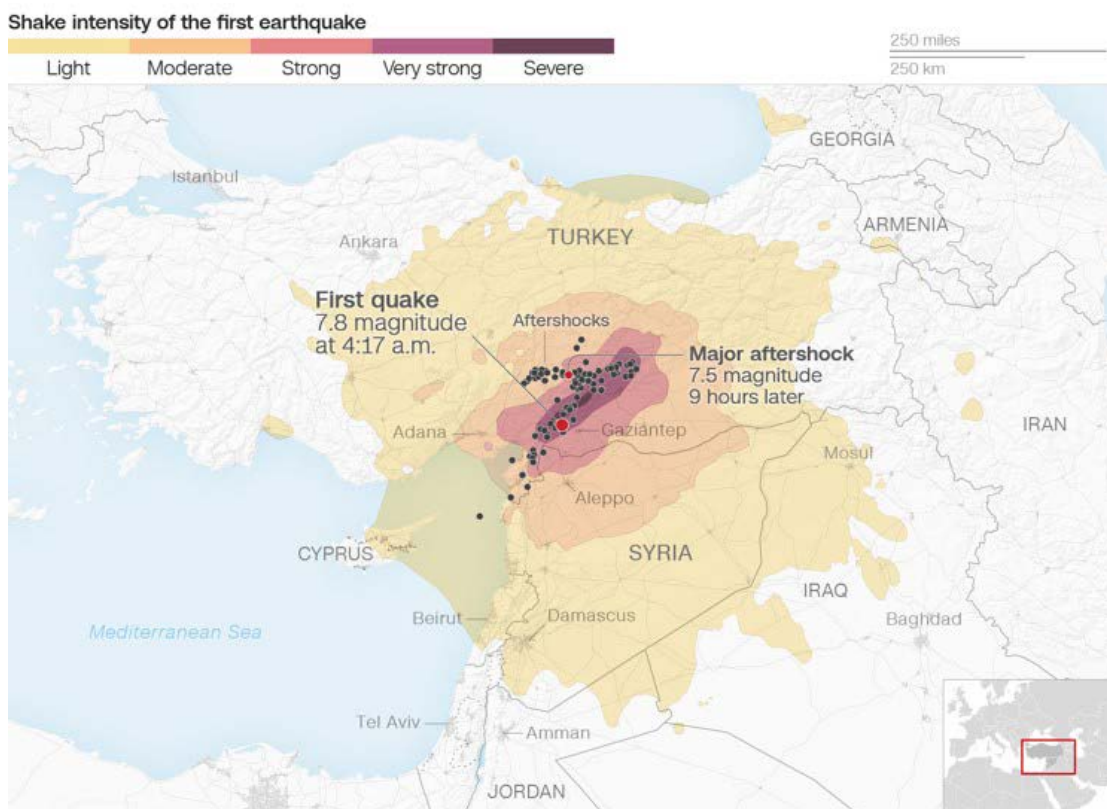
<i>Ο Σεισμός της Τουρκίας 6 Φεβρουαρίου 2023 σεισμολογικά δεδομένα θλάβες κτιρίων και φάσματα απόκρισης</i>	
Εικόνα 6.19 Χρονοϊστορία μετατοπίσεων ελαστοπλαστικού συστήματος για την καταγραφή 4614 North-South .....	128
Εικόνα 6.20 Υστερητικό διάγραμμα Q-Δ τέμνουσας βάσης – μετατόπισης κορυφής του κτιρίου για την καταγραφή 4614 North-South .....	128
Εικόνα 6.21 Χρονοϊστορία μετατοπίσεων ελαστοπλαστικού συστήματος για την καταγραφή 3126 East-West .....	129
Εικόνα 6.22 Υστερητικό διάγραμμα Q-Δ τέμνουσας βάσης – μετατόπισης κορυφής του κτιρίου για την καταγραφή 3126 East-West.....	129
Εικόνα 6.23 Χρονοϊστορία μετατοπίσεων ελαστοπλαστικού συστήματος για την καταγραφή 3126 North-South .....	129
Εικόνα 6.24 Υστερητικό διάγραμμα Q-Δ τέμνουσας βάσης – μετατόπισης κορυφής του κτιρίου για την καταγραφή 3126 North-South.....	130

## 1 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1ο : Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο εισάγεται το θέμα μελέτης της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Το κεφάλαιο ξεκινά με την παρουσίαση των γενικών στοιχείων του σεισμού που έγινε στην Τουρκία στις 6 Φεβρουαρίου του 2023 έτσι ώστε να υπάρξει μια καλύτερη κατανόηση του μεγέθους του συμβάντος. Επίσης, ορίζεται η έννοια του μετασεισμού, προκειμένου να υπάρχει μια καλύτερη αντίληψη του αντίκτυπου του σεισμού πάνω στην περιοχή της Τουρκίας. Στη συνέχεια ακολουθεί ιστορική αναδρομή της σεισμικότητας της περιοχής της Τουρκίας όπου πραγματοποιήθηκε ο σεισμός και αναπτύσσονται οι κινήσεις που πραγματοποιούν οι λιθοσφαιρικές πλάκες κοντά στην περιοχή του επίκεντρου του σεισμού, καθώς έχουν καθοριστική σημασία για τη γένεση τέτοιων σεισμών. Τέλος, θα αναλυθεί ο στόχος της εργασίας και παρουσιάζεται αναλυτικά η δομή και τα περιεχόμενα που έχει το κάθε κεφάλαιο στην παρούσα διπλωματική εργασία.

### 1.1 Ο ιστορικός σεισμός της 6 Φεβρουαρίου 2023, σύντομη ανασκόπηση

Στις 6 Φεβρουαρίου του 2023 σημειώθηκαν δυο ισχυρά σεισμικά γεγονότα στην νοτιοανατολική περιοχή της Τουρκίας, συγκεκριμένα στην επαρχία του Καχραμάνμαρα. Το πρώτο σεισμικό γεγονός μεγέθους  $M_w=7.8$  με διάρκεια 85 δευτερολέπτων και έντασης XII σημειώθηκε κοντά στην πόλη Γκαζιαντέπ. Ο δεύτερος σεισμός ήταν μεγέθους  $M_w=7.5$  είχε διάρκεια 30 δευτερόλεπτα και έντασης IX και σημειώθηκε στο Πάζαρτζικ. Ο σεισμός προκλήθηκε από ρήγμα ολίσθησης μικρού βάθους κοντά στο σημείο της τριπλής επαφής μεταξύ της Αφρικάνικης πλάκας, της Αραβικής πλάκας και της πλάκας της Ανατολίας. Η ολίσθηση περιελάβανε είτε σχεδόν κατακόρυφη πλευρική διάρρηξη με διεύθυνση βόρεια και ανατολική – νότιο δυτική, ή πλευρική διάρρηξη διεύθυνσης νότιο ανατολική-βόρειο δυτική. Υπολογίζεται ότι η διάρρηξη είχε μήκος περίπου 240 km και πλάτος περίπου 20 km. Το εστιακό βάθος του πρώτου σεισμού ήταν στα 20 km και το επίκεντρο ήταν 37 km βορειοδυτικά του Γκαζιαντέπ ενώ για τον δεύτερο σεισμό το εστιακό βάθος ήταν 10 km και το επίκεντρο του ήταν 95 km βορειοδυτικά από τον πρώτο σεισμό.

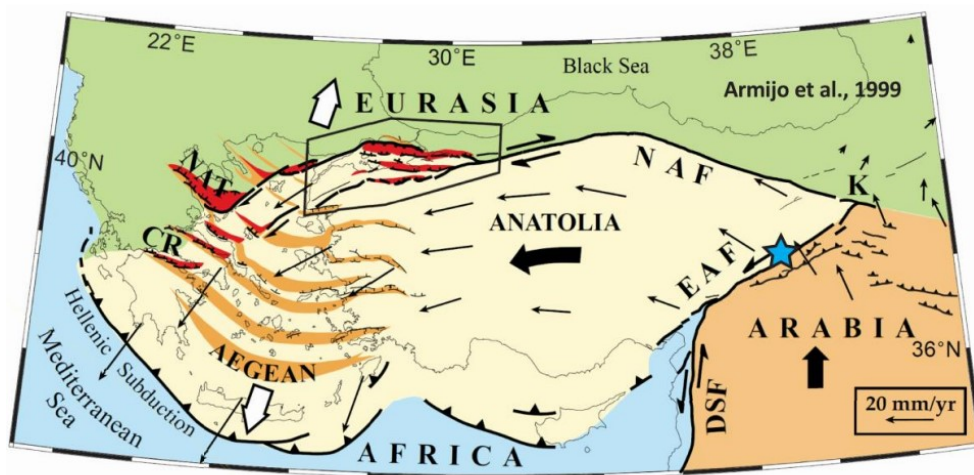


Εικόνα 1.1 Χάρτης μακρο-σεισμικής έντασης αρχικού σεισμού (πηγή USGS)

Ο Σεισμός της Τουρκίας 6 Φεβρουαρίου 2023 σεισμολογικά δεδομένα θλάβες κτιρίων και φάσματα απόκρισης  
 Στη συνέχεια υπήρξε μια σειρά από σεισμικές ακολουθίες ή αλλιώς ακολουθήσαν μετασεισμοί, μετασεισμός είναι το σεισμικό γεγονός που ακολουθεί τον κύριο σεισμό, συμβαίνει κοντά στο επίκεντρο του κύριου σεισμού και μπορεί να έχει επίσης μεγάλο μέγεθος, συγκρινόμενο με αυτό του κύριου σεισμού. Οι περισσότεροι μετασεισμοί συμβαίνουν κοντά στη ζώνη ρήξης του ρήγματος του κύριου σεισμού.

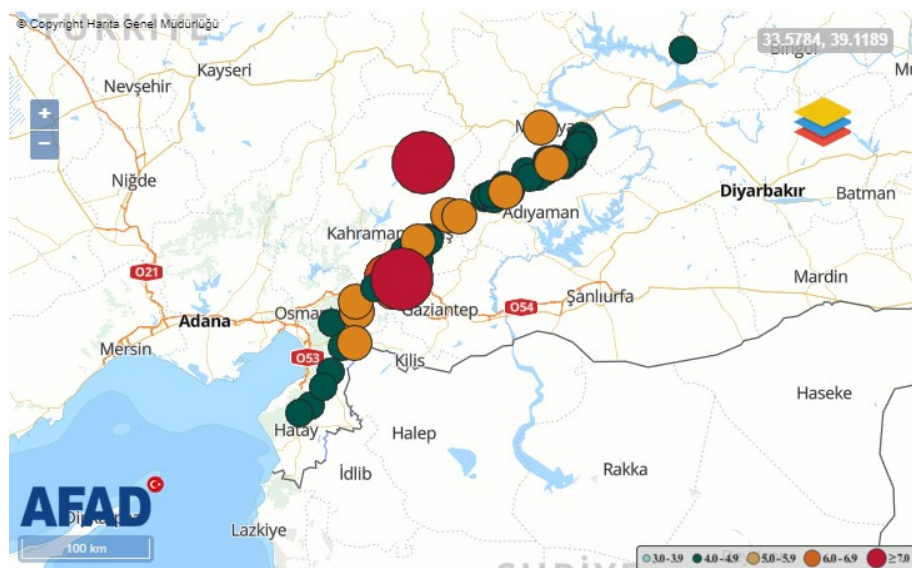
Στην περίπτωση του κυρίου σεισμού παρατηρήθηκε ότι όλοι οι μετασεισμοί έγιναν στο σημείο της τριπλής επαφής των πλακών. Από τις 01:17 που έγινε ο κύριος σεισμός ακολούθησαν 68 μετασεισμοί με μικρές μεταξύ τους χρονικές αποστάσεις, παύσεις, της τάξης των 5 λεπτών, με τα μεγέθη τους να κυμαίνονται από  $M_w=3.9$  έως  $M_w=6.6$  μέχρι και τις 10:24 που έγινε ο δεύτερος ισχυρός σεισμός που ακολούθησε.

Γενικά, οι μετασεισμοί δεν συμβαίνουν πάντα στο ίδιο ρήγμα με τον κύριο σεισμό για να θεωρηθούν μετασεισμοί, πρέπει ωστόσο να προκαλούνται και να συμβαίνουν κοντά στο επίκεντρό του κυρίου σεισμού. Στην εικόνα που ακολουθεί παρουσιάζεται το γεωτεκτονικό σημείο τριπλής επαφής των λιθосφαιρικών πλακών.



Εικόνα 1.2 Σημείο τριπλής επαφής (Evangelia G. et al,2023)

Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται ο χάρτης της ευρύτερης περιοχής κοντά στα επίκεντρα των δυο κύριων σεισμικών γεγονότων, η κατανομή, οι θέσεις και τα μεγέθη των ενδιάμεσων και των μετασεισμών που ακολούθησαν.



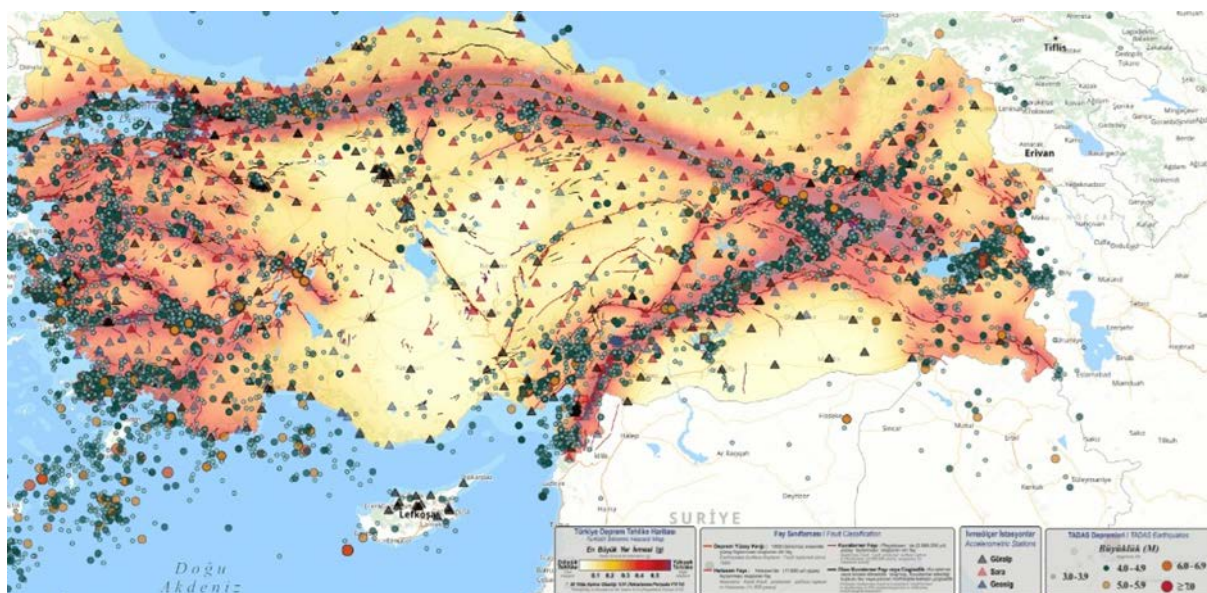
Εικόνα 1.3 Χάρτης χωρικής κατανομής και μεγεθών των μετασεισμών (πηγή AFAD)

## 1.2 Σεισμοτεκτονικά στοιχεία Τουρκίας

Η περιοχή στην οποία βρίσκεται η Τουρκία είναι στη τοποθεσία που συναντώνται η Ευρασιατική, η Αφρικανική και Αραβική πλάκα. Το μεγαλύτερο μέρος της Τουρκίας βρίσκεται στην πλάκα της Ανατολίας. Η πλάκα της Ανατολίας ωθείται προς τα δυτικά λόγω της σύγκρουσης μεταξύ της Αραβικής και της Ευρασιατικής πλάκας, έτσι δημιουργούνται κινήσεις και πιέσεις στο φλοιό της Γης με αποτέλεσμα να προκαλούνται σεισμοί.

Επιπλέον, υπάρχουν διάφορες ενεργές ζώνες ρηγμάτων που είτε διασχίζουν είτε περνάνε από την Τουρκία. Πιο συγκεκριμένα, η Ζώνη Ρηγμάτων της Βόρειας Ανατολίας (North Anatolian Fault Zone - NAFZ), η Ζώνη Ρηγμάτων Ανατολικής Ανατολίας (East Anatolian Fault Zone - EAFZ) και το Ρήγμα Μετασχηματισμού της Νεκράς Θάλασσας (Dead Sea Transform Fault). Η κίνηση προς τα δυτικά εντοπίζεται σε δύο μεγάλες ζώνες ρηγμάτων, του ρήγματος της Βόρειας Ανατολίας στη βόρεια Τουρκία και του ρήγματος της Ανατολικής Ανατολίας προς τα νοτιοανατολικά. Καθώς οι μεγαλύτερες αφρικανικές και αραβικές πλάκες μετατοπίζονται, η Τουρκία συμπιέζεται, ενώ η Ευρασιατική πλάκα εμποδίζει κάθε κίνηση προς τον βορρά. Το ρήγμα της Βόρειας Ανατολίας ειδικότερα έχει προκαλέσει μερικούς από τους πιο ισχυρούς σεισμούς στην ιστορία της Τουρκίας, γεγονός που την καθιστά μια από τις πιο σεισμικά ενεργές χώρες στον κόσμο.

Η σεισμικότητα αναφέρεται στην κατανομή συχνότητας και το μέγεθος των σεισμών που συμβαίνουν σε μια συγκεκριμένη περιοχή για μια χρονική περίοδο. Ουσιαστικά, είναι ένα μέτρο που δείχνει πόσο ενεργή είναι μια περιοχή λόγω της σεισμικής δραστηριότητας. Η Τουρκία, όπως αναφέρθηκε, καθώς βρίσκεται στο σημείο συνάντησης της Ευρασιατικής, της Αφρικανικής και της Αραβικής πλάκας αποτελεί μια από τις πιο σεισμικά ενεργές περιοχές της Μεσογείου. Όπως μπορεί κανείς να παρατηρήσει και στον παρακάτω χάρτη οι πιο σεισμογενείς περιοχές που εντοπίζονται στην Τουρκία συνολικά, είναι η δυτική Τουρκία καθώς και η νοτιοανατολική Τουρκία που είναι στα όρια της τεκτονικής πλάκας Ανατολίας.

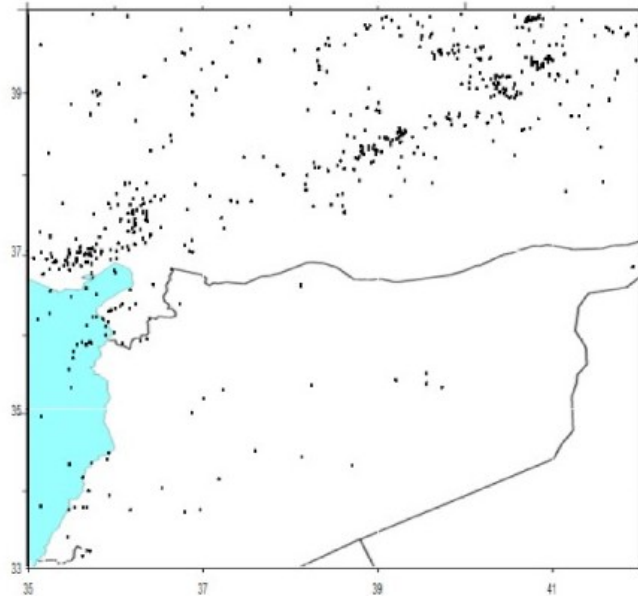


Εικόνα 1.4 Χάρτης Τουρκίας και καταγεγραμμένα επίκεντρα των σεισμών (AFAD)

Στην υπό μελέτη περιοχή της νοτιοανατολικής Τουρκίας, το ρήγμα που επηρεάζει σεισμολογικά τη λεκάνη του Γκαζιαντέπ είναι το ρήγμα της Νέκρας Θάλασσας (DSFZ). Πρόκειται για ρήγμα αριστερής πλευρικής κίνησης το οποίο εκτείνεται πάνω από 1000 km, οριοθετεί την Αφρικανική με







Εικόνα 1.6 Σεισμική δραστηριότητα της υπό μελέτη περιοχής, σεισμικά γεγονότα μεγέθους  $M > 3$  κατά την περίοδο 1/1/1990 με 29/3/2006 (Çabalar, 2008)

### 1.3 Στόχος της εργασίας

Στην εργασία αυτή μελετώνται τα σεισμολογικά στοιχεία του μεγάλου σεισμού της Τουρκίας της 6 Φεβρουαρίου του 2023. Πιο συγκεκριμένα, εξετάζονται τα χαρακτηριστικά ισχυρής εδαφικής κίνησης μέσω ανάλυσης ελαστικών και ανελαστικών φασμάτων απόκρισης των εδαφικών επιταχύνσεων όπως αυτές καταγράφηκαν σε σταθμούς επιταχυνσιογράφων στη γειτονιά του σεισμού. Τα ελαστικά φάσματα απόκρισης επιταχύνσεων, ταχυτήτων και μετατοπίσεων αποτελούν ένα από τα πιο χρήσιμα εργαλεία στην κατανόηση της συμπεριφοράς των κατασκευών όταν αυτές υποβάλλονται σε ισχυρές εδαφικές κινήσεις και στην ερμηνεία τυχόν βλαβών ή καταρρεύσεων. Αποτελούν επίσης τη βάση για την δημιουργία φασμάτων για το σχεδιασμό νέων κτιρίων (φάσματα σχεδιασμού). Στόχος της εργασίας είναι η ανάλυση και η ερμηνεία των ελαστικών φασμάτων απόκρισης κατάλληλα επιλεγμένων σταθμών καταγραφής του σεισμού από ψηφιακή βάση δεδομένων στο διαδίκτυο. Στη βάση δεδομένων που παρέχονται για κάθε σταθμό τα φάσματα αυτά στη συνέχεια συγκρίνονται με τα αντίστοιχα φάσματα σχεδιασμού της περιοχής και εξάγονται χρήσιμα συμπεράσματα τόσο για τη συμπεριφορά των υφιστάμενων κατασκευών όσο και για νέες κατασκευές που σχεδιάζονται κατά τους σύγχρονους κανονισμούς.

### 1.4 Διάρθρωση της εργασίας

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται εισαγωγή στο θέμα της εργασίας και ταυτοχρόνως γίνεται μια σύντομη ανασκόπηση για τον σεισμό της Νοτιοανατολικής Τουρκίας όπως και μια σύντομη περιγραφή των τεκτονικών χαρακτηριστικών της περιοχής για να υπάρχει καλύτερη κατανόηση του φαινομένου του σεισμού.

Στο δεύτερο κεφάλαιο αναφέρονται οι βλάβες που προκλήθηκαν στις κατασκευές από το σεισμό. Παρουσιάζονται τα κτίρια που συναντώνται περισσότερο στην Τουρκία τα οποία κατά κύριο λόγο αφορούν σε κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα και από φέρουσα τοιχοποιία όπως και άλλες κατασκευές. Κατηγοριοποιούνται οι ζημιές που υπέστησαν τα κτίρια του οπλισμένου σκυροδέματος και της φέρουσας τοιχοποιίας και έπειτα κατατάσσονται βάσει της Ευρωπαϊκής Μακροσεισμικής Κλίμακα EMS 1998 με βάση την οποία και γίνεται η κατάταξη των ζημιών.

Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζεται το θεωρητικό υπόβαθρο που χρησιμοποιήθηκε για την συγγραφή της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Όλοι οι όροι είναι αναγκαίοι για τη μελέτη και

Ο Σεισμός της Τουρκίας 6 Φεβρουαρίου 2023 σεισμολογικά δεδομένα βλάβες κτιρίων και φάσματα απόκρισης κατανόηση της εργασίας από το ελαστικό φάσμα απόκρισης όπως και οι παράγοντες που το επηρεάζουν μέχρι και τα ανελαστικά φάσματα απόκρισης. Αναλυτικότερα τα ελαστικά φάσματα απόκρισης σε συνδυασμό με το ελαστικό φάσμα σχεδιασμού θα είναι βάση για τα συμπεράσματα που θα προκύψουν από τις καταγραφές.

Στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται μια λεπτομερής αναφορά στους επιταχυνσιογράφους και τους αντισεισμικούς κανονισμούς της Ευρώπης και της Τουρκίας που χρησιμοποιήθηκαν για την παρούσα εργασία. Για τους σταθμούς που επιλέχθηκαν παρουσιάζονται η κατηγορία εδάφους τους, το υψόμετρο τους, η θέση του κάθε επιταχυνσιογράφου και η μέση ταχύτητα διατμητικών κυμάτων.

Στο πέμπτο κεφάλαιο, για τους επιταχυνσιογράφους που επιλέχθηκαν υπολογίζονται τα ελαστικά φάσματα απόκρισης ψευδο-επιταχύνσεων, ψευδο-ταχυτήτων και μετατοπίσεων για τις δυο οριζόντιες και τη μια κατακόρυφη συνιστώσα του σεισμού και συγκρίνονται με τα αντίστοιχα φάσματα σχεδιασμού της περιοχής. Ο σχολιασμός είναι πλήρης καθώς σχολιάζονται και οι τρεις συνιστώσες East-West, North-South, Up-Down και βγαίνουν τα συμπεράσματα για τον κάθε σταθμό ξεχωριστά έπειτα από συγκρίσεις των φασμάτων απόκρισης με τα αντίστοιχα ελαστικά φάσματα του Ευρωκώδικα 8 όπως ισχύουν για κάθε περιοχή καταγραφής.

Στο έκτο κεφάλαιο υπολογίζονται και παρουσιάζονται τα ανελαστικά φάσματα απόκρισης μετατοπίσεων για τις οριζόντιες συνιστώσες δυο κατάλληλα επιλεγμένων καταγραφών από τους σταθμούς που εξετάζονται, και για πλαστιμότητες  $\mu=2$  και  $\mu=4$ . Επίσης υπολογίζονται και κατασκευάζονται τα διαγράμματα του μειωτικού συντελεστή συναρτήσει της ιδιοπεριόδου. Εν συνεχεία, μελετάται η ανελαστική απόκριση δυο μονοβάθμιων συστημάτων (ταλαντωτών) των οποίων τα χαρακτηριστικά προσομοιώνουν κατασκευές που έχουν σχεδιασθεί με βάση τους παλαιούς κανονισμούς, ισοδύναμες με τα περισσότερα κτίρια της περιοχής στην οποία έγινε ο σεισμός. Η αποτίμηση της σεισμικής συμπεριφοράς των κτιρίων γίνεται σε όρους πλαστιμότητας και ανελαστικών μετακινήσεων. Προκύπτουν χρήσιμα συμπεράσματα ως προς τις απαιτήσεις πλαστιμότητας των εν λόγω σεισμών στις κατασκευές.

Στο έβδομο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από τη διπλωματική εργασία και προτείνονται προοπτικές για μελλοντική μελέτη πάνω στη σεισμική απόκριση και ενίσχυση κτιρίων, με χρήση λεπτομερών προσομοιωμάτων σε τυποποιημένες κατασκευές της περιοχής, οι οποίες είτε υπέστησαν βλάβες ή κατέρρευσαν ολοσχερώς στο σεισμό.

## 2 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup>: Βλάβες κατασκευών από το σεισμό

Μετά τα καταστροφικά αποτελέσματα του σεισμού προκύπτει ότι στην Τουρκία οι αντισεισμικοί κανονισμοί δεν εφαρμόζονται πλήρως, τα κτίρια έχουν υποβαθμισμένη ποιότητα, η διαμόρφωση του σκελετού και οι κατασκευαστικές λεπτομέρειες όπλισης σε πολλά από τα κτίρια είναι λανθασμένα και οι Τούρκοι εν γένει προτιμούν να δείχνουν περισσότερη επιμέλεια στην αρχιτεκτονική παρά στην αντισεισμική θωράκιση των κτιρίων. Έτσι προκλήθηκαν ζημιές κυρίως σε πολυώροφα κτίρια που ήταν κατασκευασμένα από οπλισμένο σκυρόδεμα, με πλαισιακούς φορείς, καθώς και σε κτίρια από φέρουσα τοιχοποιία. Επιπλέον, αξίζει να τονιστεί πως ο παράγοντας της ώρας του κύριου σεισμού είχε σημαντικό ρόλο στον θάνατο πολλών ανθρώπων λόγω της κατάρρευσης των κτιρίων καθώς ο σεισμός ξεκίνησε στις 01:17:00 το πρωί, μια ώρα που στην πλειονότητά του ο πληθυσμός βρίσκεται μέσα στα κτίρια.

Γενικά, το σκυρόδεμα ως υλικό προσφέρει μεγάλη αντοχή σε θλίψη, ενώ δεν έχει μεγάλη εφελκυστική αντοχή, η οποία προκύπτει κατά κύριο λόγο σε πλευρικές σεισμικές καταπονήσεις. Από την άλλη πλευρά ο χάλυβας προσφέρει μεγάλη αντοχή σε εφελκυσμό (και σε θλίψη) και μπορεί αποτελεσματικά να παραλάβει εφελκυστικές καταπονήσεις. Ο συνδυασμός σκυροδέματος και χάλυβα, δηλαδή το οπλισμένο σκυρόδεμα, μπορεί συνδυαστικά να προσφέρει κατάλληλη ασφάλεια σε μια κτιριακή δομή, μέσω αυτής της ισορροπίας αντοχής σε θλίψη και εφελκυσμό. Για τα αντισεισμικά κτίρια ο χαλύβδινος οπλισμός είναι κρίσιμος λόγω της ικανότητας που έχει ο χάλυβας απέναντι στον εφελκυσμό που προκαλείται από τον σεισμό. Επίσης, όρος κλειδί για τον χάλυβα είναι η πλαστιμότητα. Η πλαστιμότητα είναι η ικανότητα που έχουν τα δομικά μέλη και η κατασκευή στο σύνολό της να παραμορφώνεται πέραν του ορίου ελαστικής συμπεριφοράς χωρίς να χάνει την αντοχή της, απορροφώντας ταυτόχρονα μεγάλα ποσά ενέργειας.

Οι αντισεισμικοί κανονισμοί κάθε περιοχής οφείλουν να παρέχουν προδιαγραφές και για κτίρια από τοιχοποιία. Ο αντισεισμικός σχεδιασμός απαιτεί κατάλληλη ενίσχυση της τοιχοποιίας σε ευάλωτα σημεία, όπως γωνίες ανοιγμάτων, καθώς επίσης και να υπάρχει συνέχεια των στοιχείων μεταξύ διαδοχικών ανοιγμάτων. Σημαντικό ποσοστό καταρρεύσεων, επομένως και απώλειας ανθρώπινων ζωών, θα μπορούσε να είχε αποφευχθεί με την εφαρμογή κατάλληλων κανόνων του σχεδιασμού και με τους κατάλληλους οπλισμούς. Μετά τα καταστροφικά αποτελέσματα του σεισμού και τις καταρρεύσεις που προκλήθηκαν, προκύπτει ότι στην Τουρκία δεν εφαρμόστηκαν όλοι οι σύγχρονοι κανόνες σχεδιασμού και κατασκευής των κτιρίων. Η απουσία ή έλλειψη οπλισμού σήμαινε πως τα κτίρια ήταν περισσότερο ψαθυρά παρά πλάστιμα, με αποτέλεσμα να προκληθεί σημαντικός αριθμός καταρρεύσεων. Ωστόσο, αξίζει να τονισθεί ότι, ακόμη και με την εφαρμογή όλων των κανονιστικών διατάξεων, οι βλάβες δεν θα ήταν τελείως αναπόφευκτες. Εν τούτοις όμως, λόγω της πλαστιμότητας, οι κατασκευές θα είχαν τη δυνατότητα να αναπτύξουν σημαντικές παραμορφώσεις με ζημιές εν γένει επισκευάσιμες, και ο αριθμός των θυμάτων θα ήταν σημαντικά μειωμένος.

### 2.1 Κατασκευές οπλισμένου σκυροδέματος

Οι σεισμοί προκάλεσαν τεράστιες καταστροφές συγκεκριμένα στο 16% της χερσαίας έκτασης της χώρας. Η ένταση του σεισμού αλλά και η έκταση της περιοχής που επηρεάστηκε από τον σεισμό είναι πρωτοφανείς. Ως αποτέλεσμα των σεισμών περισσότεροι από 55.000 άνθρωποι έχασαν τη ζωή τους ο αριθμός των κτιρίων που υπέστησαν βλάβες ήταν πάνω από 500.000, οι υποδομές της ενέργειας και της επικοινωνίας υπέστησαν ζημιές και σημειώθηκαν σημαντικές οικονομικές απώλειες. Από τις 6 Μαρτίου του 2023 πραγματοποιήθηκαν μελέτες από τον Τουρκικό υπουργείο

Ο Σεισμός της Τουρκίας 6 Φεβρουαρίου 2023 σεισμολογικά δεδομένα θλάβες κτιρίων και φάσματα απόκρισης Περιβάλλοντος Αστικοποίησης και Κλιματικής Αλλαγής πάνω στην εκτίμηση ζημίας σε 1.700.000 δομές στις 11 πόλεις που επηρεάστηκαν από τον σεισμό. Τα αποτελέσματα της έρευνας αυτής συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα.

Damage Levels	Number of buildings
None-damaged	860,006
Slightly damaged	431,421
Moderately-damaged	40,228
Heavily damaged	179,786
Demolished	35,355
Will be demolished immediately	17,491
Could not detect	147,895
Total	1,712,182

Πίνακας 2.1 Κατανομή βλαβών – ζημιών σε κτίρια (Işık, E. et al, 2023)

Η σημασία του ορθού αντισεισμικού σχεδιασμού φανερώθηκε στις 6 Φλεβάρη που πραγματοποιήθηκαν οι σεισμοί και που προκάλεσαν καταστροφικές ζημιές συνολικά σε 11 επαρχίες. Γενικότερα στις αστικές περιοχές της Τουρκίας οι περισσότερες κατασκευές είναι από οπλισμένο σκυρόδεμα. Λόγω όμως εγγενών αδυναμιών των κτιρίων αναπτύχθηκαν σημαντικές βλάβες που οδήγησαν σε αυτές τις καταστροφικές καταρρεύσεις. Μια από αυτές τις αδυναμίες στα κτίρια είναι ο μαλακός ή αλλιώς αδύναμος όροφος (soft/weak story). Η διαφορά αντοχής και δυσκαμψίας μεταξύ των ορόφων προκάλεσαν συγκέντρωση σχετικών μετατοπίσεων στους ανοικτούς ορόφους μεγαλύτερες από αυτές που μπορούσε να αντέξει η κατασκευή. Οι ισόγειοι όροφοι των κτιρίων αυτών, παρέμεναν για εμπορικούς λόγους χωρίς τοιχοπληρώσεις, σε αντίθεση με τους τοιχοπληρωμένους (χτισμένους) ανώτερους ορόφους, γεγονός το οποίο κατά τα ανωτέρω προξένησε αστοχίες τύπου μαλακού ορόφου. Παραδείγματα κτιρίων των οποίων το ισόγειο κατέρρευσε μερικώς ή ολικώς λόγω αυτής της μη κανονικότητας και της διαφοράς στην αντοχή και τη δυσκαμψία μεταξύ των ορόφων παρουσιάζονται στην εικόνα που ακολουθεί.



Εικόνα 2.1 Παραδείγματα αστοχιών κτιρίων λόγω ανοικτού ισόγειου ορόφου (Işık, E. et al,2023)

Σημαντικές επίσης αστοχίες προκλήθηκαν λόγω υποστλωμάτων μικρού ύψους, κοντών υποστλωμάτων που είχαν κατασκευαστεί σε κτίρια για αρχιτεκτονικούς λόγους, για δημιουργία φεγγιτών κ.λπ. Παραδείγματα καταρρεύσεων λόγω αστοχίας κοντών υποστλωμάτων παρουσιάζονται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 2.2 Παραδείγματα αστοχιών λόγω κοντών υποστλωμάτων (Işık, E. et al,2023)

Ο Σεισμός της Τουρκίας 6 Φεβρουαρίου 2023 σεισμολογικά δεδομένα θλάβες κτιρίων και φάσματα απόκρισης  
Στην εικόνα που ακολουθεί παρουσιάζονται παραδείγματα καταρρέψεων κτιρίων στα οποία υπήρχαν ανεπαρκή πλαίσια οπλισμένου σκυροδέματος, ή η σύνδεση των οριζόντιων στοιχείων και των διαφραγμάτων πλακών ήταν ανεπαρκής.



Εικόνα 2.3 Παραδείγματα ολικής κατάρρευσης κτιρίων λόγω ανεπαρκών πλαισίων (Işik, E. et al,2023)

Ένας άλλος τύπος αστοχίας που παρατηρήθηκε στα κτίρια, όπως φαίνεται στην εικόνα που ακολουθεί, εντοπίστηκε σε μεγάλες αρχιτεκτονικές προεξοχές οι οποίες εξέχουν σε πρόβολο από τα πλαίσια του κτιρίου.




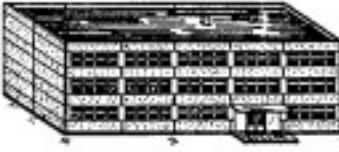
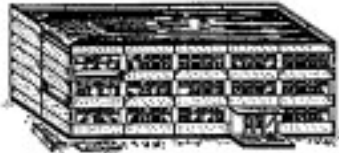
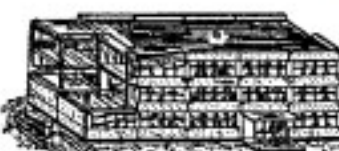

Εικόνα 2.4 Παραδείγματα αστοχίας σε μεγάλες αρχιτεκτονικές προεξοχές (Işik, E. et al,2023)

Η ανεπάρκεια του σκυροδέματος και του οπλισμού που χρησιμοποιείται στο οπλισμένο σκυρόδεμα επηρεάζει άμεσα τα επίπεδα ζημιάς που αναπτύσσονται στις κατασκευές. Οι μεγάλες εγκάρσιες αποστάσεις του οπλισμού, η μειωμένη ποιότητα του σκυροδέματος, ο αριθμός των ράβδων και άλλα στοιχεία όπως ανεπαρκείς επικαλύψεις οι οποίες οδηγούν σε διάβρωση, έχουν ως συνέπεια την ανάπτυξη αστοχιών σε επιμέρους δομικά μέλη της κατασκευής. Στις παρακάτω φωτογραφίες φαίνονται σχετικές αστοχίες σε επιμέρους δομικά στοιχεία κτιρίων.



Εικόνα 2.5 Παραδείγματα αστοχιών σε επιμέρους δομικά στοιχεία (Işik, E. et al,2023)

Βάσει της Ευρωπαϊκής Μακροσεισμικής Κλίμακας EMS 1998 γίνεται η κατάταξη των ζημιών που προκαλούνται στα κτίρια από οπλισμένο σκυρόδεμα (βαθμοί βλάβης 1 έως 5).

Κατηγορίες αστοχιών σε κτήρια από οπλισμένο σκυρόδεμα	
	<p><b>Βαθμός 1: Αμελητέες έως Ελαφρές Βλάβες</b> (καθόλου δομικές βλάβες, ελαφρές μη δομικές βλάβες)</p> <p>Λεπτές ρωγμές στο σοβά πάνω από στοιχεία του σκελετού ή σε τοίχους στη βάση. Λεπτές ρωγμές σε χωρίσματα και τοίχους πληρώσεως.</p>
	<p><b>Βαθμός 2: Μέτριες Βλάβες</b> (ελαφρές δομικές βλάβες, μέτριες μη δομικές βλάβες)</p> <p>Ρωγμές σε κολώνες και δοκούς του φέροντος σκελετού και σε δομικούς τοίχους. Ρωγμές σε χωρίσματα και τοίχους πληρώσεως. Πτώση σαθρής επένδυσης και σοβά. Πτώση ασβεστοκονιάματος από τους συνδέσμους των πανέλων τοιχοποιίας.</p>
	<p><b>Βαθμός 3: Σημαντικές έως Μεγάλες Βλάβες</b> (μέτριες δομικές βλάβες, βαριές μη δομικές βλάβες)</p> <p>Ρωγμές στις κολώνες και στους συνδέσμους υποστήριξης δοκών και κολωνών των σκελετών στη βάση και στους συνδέσμους τοίχων. Θρυμματισμός τσιμεντένιου επικαλύμματος, υποχώρηση οπλισμένων ράβδων. Μεγάλες ρωγμές σε χωρίσματα και γεμίσματα, αστοχία ξεχωριστών πλαισίων.</p>
	<p><b>Βαθμός 4: Πολύ Μεγάλες Βλάβες</b> (βαριές δομικές βλάβες, πολύ βαριές μη δομικές βλάβες)</p> <p>Μεγάλες ρωγμές στα δομικά στοιχεία με συμπιεστική αστοχία του οπλισμού και διάρρηξη των ράβδων. οπλισμού. Αστοχία συνδέσμων των οπλισμένων με δοκούς ράβδων, κλίση κολωνών. Κατάρρευση λίγων κολωνών ή ενός μεμονωμένου ανώτερου ορόφου.</p>
	<p><b>Βαθμός 5: Καταστροφικές Βλάβες</b> (πολύ βαριές δομικές βλάβες)</p> <p>Κατάρρευση ισογείου ή μέρους (π.χ. πτέρυγα) κτηρίων.</p>

Πίνακας 2.2 Βαθμοί βλάβης σε κτίρια οπλισμένου σκυροδέματος, βάσει Ευρωπαϊκής Μακροσεισμικής Κλίμακας EMS 1998

Ο Σεισμός της Τουρκίας 6 Φεβρουαρίου 2023 σεισμολογικά δεδομένα θλάβες κτιρίων και φάσματα απόκρισης  
Παρουσιάζονται έξι διαφορετικά παραδείγματα κτιρίων από οπλισμένο σκυρόδεμα με αμελητέες  
ως ελαφρές βλάβες (καθόλου δομικές βλάβες, ελαφρές μη δομικές βλάβες).



Εικόνα 2.6 Παραδείγματα κτιρίων με αμελητέες ως ελαφρές βλάβες, Βαθμός 1 (Işık, E. et al,2023)

Στη συνέχεια παρουσιάζονται παραδείγματα κτιρίων οπλισμένου σκυροδέματος που ανέπτυξαν  
μέτριες βλάβες. Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται κτίρια στα οποία εντοπίστηκαν τριχοειδείς  
ρωγμές σε κάποια στοιχεία δοκών, αλλά και στις τοιχοποιίες πλήρωσης.



Εικόνα 2.7 Παραδείγματα κτιρίων με μέτριες βλάβες, Βαθμός 2 (Işık, E. et al,2023)

Ο Βαθμός βλάβης 3 στην κλίμακα κατάταξης αφορά σε σημαντικές έως μεγάλες βλάβες. Πιο  
συγκεκριμένα στην κατηγορία αυτή παρατηρήθηκαν ρωγμές σε υποστυλώματα και στους κόμβους  
δοκών υποστυλωμάτων αλλά και αστοχίες στους τοίχους πλήρωσης. Εικόνες από σχετικές βλάβες  
σε κτίρια παρουσιάζονται παρακάτω.



Εικόνα 2.8 Παραδείγματα κτιρίων με σημαντικές έως μεγάλες βλάβες, Βαθμός 3 (Işık, E. et al, 2023)

Ο Βαθμός 4 της κατάταξης σημαίνει πολύ μεγάλες βλάβες (βαριές δομικές βλάβες, πολύ βαριές μη δομικές βλάβες). Στα παραδείγματα που ακολουθούν παρουσιάζονται αστοχίες και βλάβες βαθμού 4 όπου σημειώνονται βλάβες υποστυλωμάτων ή και αστοχίες ενός μεμονωμένου ορόφου του κτιρίου.



Εικόνα 2.9 Παραδείγματα κτιρίων με πολύ μεγάλες βλάβες Βαθμός 4 (Işık, E. et al, 2023)

Στις εικόνες που ακολουθούν παρουσιάζονται παραδείγματα κτιρίων οπλισμένου σκυροδέματος τα οποία υπέστησαν βλάβες Βαθμού 5, με μερική κατάρρευση (μη κατοικήσιμα) ή με ολική κατάρρευση.



Εικόνα 2.10 Παραδείγματα κτιρίων με καταστροφικές βλάβες πολύ βαριές δομικές βλάβες, Βαθμός 5 (Işık, E. et al, 2023)



## 2.2 Κατασκευές από φέρουσα τοιχοποιία

Οι κατασκευές από φέρουσα τοιχοποιία βρίσκονται κυρίως στις αγροτικές περιοχές της Τουρκίας. Τα υλικά κατασκευής των κτιρίων αυτών αποτελούνται από πλίνθους, πέτρες, τούβλα και κονιάματα. Τα κτίρια από φέρουσα τοιχοποιία έχουν κατά κύριο λόγο έναν έως δυο ορόφους. Το χαμηλό κόστος αλλά και η εύκολη διάθεση των υλικών αυτών αποτέλεσε τον κύριο λόγο κατασκευής των κτιρίων αυτών στις αγροτικές περιοχές. Ωστόσο, σε πολλά από αυτά τα κτίρια η ποιότητα των συνδετικών κονιαμάτων, που ήταν κατά κύριο λόγο ασβεστοκονιάματα, ήταν χαμηλή, και σε συνδυασμό με τη μη τήρηση κανονιστικών διατάξεων και κανόνων σχεδιασμού για κτίρια με φέρουσα τοιχοποιία οδήγησε σε σημαντικές έως καταστροφικές βλάβες στα κτίρια αυτά κατά τη διάρκεια του σεισμού όπως παρουσιάζεται στις παρακάτω εικόνες.



Εικόνα 2.11 Καταρρεύσεις κτιρίων από φέρουσα τοιχοποιία (Işık, E. et al,2023)

Το γεγονός ότι τα κτίρια από φέρουσα τοιχοποιία κατασκευάστηκαν χωρίς τη χρήση αντισεισμικών κανονισμών και από υλικά χαμηλών αντοχών οδηγεί σε μειωμένες αναμενόμενες αντοχές των κτιρίων κατά το σεισμό. Επίσης, η πλαστιμότητα των κτιρίων από πλινθοδομή είναι αρκετά χαμηλή με αποτέλεσμα τα κτίρια αυτά να μην μπορούν να απορροφήσουν ενέργεια κατά το σεισμό. Στις κατασκευές αυτές αναπτύσσονται ρωγμές ή και μερικές καταρρεύσεις στοιχείων κατά το σεισμό. Η χαμηλή εφελκυστική αντοχή του υλικού οδηγεί σε χαμηλές διατμητικές αντοχές και σε συνδυασμό με τα αυξημένα βάρη και τις ελλείψεις συνδέσεις πολλές φορές οδηγούν σε κατάρρευση των κτιρίων. Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζονται κτίρια από φέρουσα τοιχοποιία που έχουν μερικώς καταρρεύσει και είναι πλέον ακατάλληλα για χρήση.



Εικόνα 2.12 Μερική κατάρρευση κτιρίων από φέρουσα τοιχοποιία (Işık, E. et al,2023)

Από παρατηρήσεις που έγιναν στο πεδίο, μετά το σεισμό, διαπιστώθηκε ότι στα κτίρια από φέρουσα τοιχοποιία χρησιμοποιήθηκαν διαφορετικοί τύποι λιθωμάτων. Η σημαντική διασπορά στις αντοχές των υλικών και η μη συμβατότητα λιθωμάτων και κονιάματος οδήγησαν σε σημαντικά μειωμένες συνολικές αντοχές και κατά συνέπεια σε καταρρεύσεις πολλών από αυτά τα κτίρια. Σχετικές εικόνες παρουσιάζονται παρακάτω.



Εικόνα 2.13 Βλάβες σε κατασκευές από φέρουσα τοιχοποιία με διαφορετικούς τύπους λιθοσωμάτων (Ιζικ, Ε., 2023)

Επίσης, σε πολλές περιπτώσεις κτιρίων διαπιστώθηκε η εφαρμογή επιφανειών φύτευσης πάνω σε βαριές ξύλινες στέγες. Ως αποτέλεσμα της προσθήκης στρωμάτων εδάφους στις στέγες που έχουν φθαρεί με την πάροδο του χρόνου λόγω των κλιματικών συνθηκών, τα παλιά στρώματα συμπιέζονται και το βάρος τους αυξάνεται. Λόγω του αυξημένου βάρους και της μάζας των κτιρίων, προκλήθηκαν σημαντικές καταπονήσεις στα φέροντα στοιχεία της τοιχοποιίας των κτιρίων με αποτέλεσμα την καθολική κατάρρευσή τους, όπως φαίνεται στις παρακάτω εικόνες.



Εικόνα 2.14 Κατασκευές από πλινθοδομή όπου οι βαριές χωμάτινες στέγες κατέρρευσαν τελείως (Ιζικ, Ε.,2023)

Στις εικόνες που ακολουθούν παρουσιάζονται αστοχίες σε κεντρικά δοκάρια των χωμάτινων στεγών των κτιρίων στα οποία σημειώθηκε υπέρβαση της φέρουσας ικανότητάς τους λόγω αυξημένου βάρους.



Εικόνα 2.15 Βλάβες σε ξύλινα δοκάρια λόγω του ίδιου βάρους των χωμάτινων στεγών (Ιζικ, Ε.,2023)

Ο Σεισμός της Τουρκίας 6 Φεβρουαρίου 2023 σεισμολογικά δεδομένα θλάβες κτιρίων και φάσματα απόκρισης  
Στις παρακάτω εικόνες παρουσιάζονται αστοχίες σε κτίρια από φέρουσα τοιχοποιία με βαριές  
χωμάτινες στέγες, κατόπιν αστοχίας εκτός επιπέδου σε κατακόρυφους τοίχους, υπό την επίδραση  
οριζόντιων σεισμικών δράσεων. Προκύπτει ότι σε αυτές τις περιπτώσεις δεν ήταν επαρκής η  
σύνδεση μεταξύ τοιχοποιίας και φυτεμένης στέγης.



Εικόνα 2.16 Καταρρεύσεις κτιρίων φέρουσας τοιχοποιίας με βαριά φυτεμένη στέγη, εκτός επιπέδου  
αστοχίες τοίχων (Işık, E.,2023)

Σε πολλά από τα κτίρια παρατηρήθηκαν επίσης αποκολλήσεις, διαχωρισμοί ή και κατάρρευση στις  
γωνίες των κτιρίων, στα σημεία ένωσης κάθετων μεταξύ τους τοίχων. Η αστοχία αυτή υποδηλώνει  
αδυναμία μεταφοράς των φορτίων από έναν τοίχο στον εγκάρσιό του, γεγονός το οποίο αποδίδεται,  
όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, στην πολύ χαμηλή ποιότητα υλικών, καθώς και στη μη τήρηση  
ελάχιστων κατασκευαστικών διατάξεων και λεπτομερειών σχεδιασμού. Σε πολλές από αυτές τις  
περιπτώσεις, όπως φαίνεται και στις παρακάτω εικόνες, δεν έχει εφαρμοσθεί καμία τεχνική  
σύνδεσης των τοίχων μεταξύ τους, ούτε διακρίνονται στοιχεία λιθοσωμάτων (ακρογωνιαίοι λίθοι)  
σε διάταξη εναλλάξ.



Εικόνα 2.17 Αστοχίες διαχωρισμού στις γωνίες ένωσης τοίχων (Işık, E.,2023)



Εικόνα 2.18 Εκτός επιπέδου ζημιές στον τοίχο λόγω ανεπαρκούς στήριξης σε γωνιακά σημεία (Işık,  
E.,2023)

Ο Σεισμός της Τουρκίας 6 Φεβρουαρίου 2023 σεισμολογικά δεδομένα θλάβες κτιρίων και φάσματα απόκρισης  
Στις εικόνες που ακολουθούν παρουσιάζονται αστοχίες λόγω κατακόρυφης μη κανονικότητας, και σημαντικών διαφορών αντοχής και δυσκαμψίας μεταξύ των ορόφων ή σε επιμέρους τμήματα του κτιρίου.



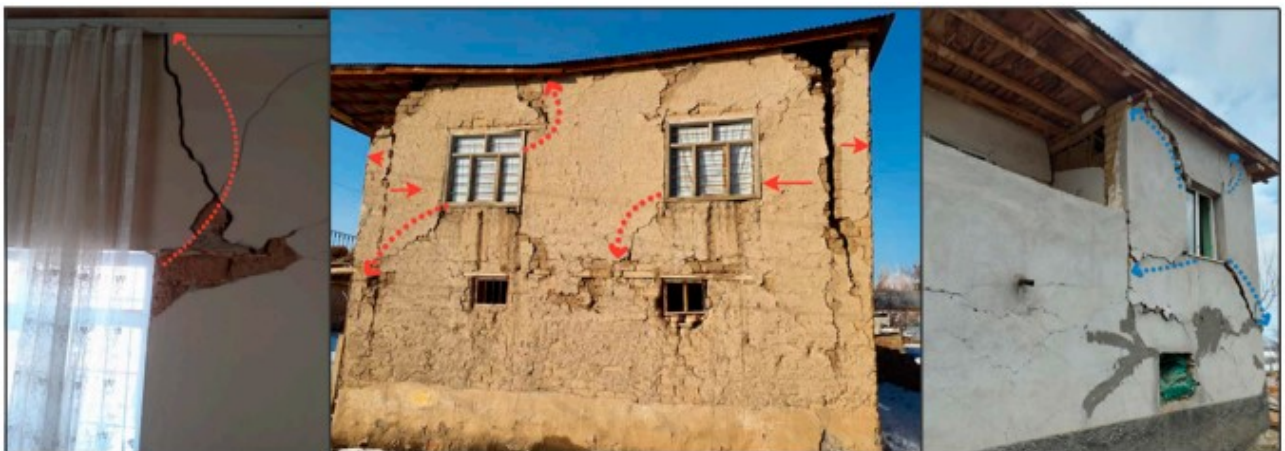
Εικόνα 2.19 Δομικές ζημιές λόγω ασύμμετρης αντοχής/ακαμψίας και κενού μεταξύ των ορόφων (Ιζίκ, Ε.,2023)

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, κρίσιμη παράμετρος στη συνολική συμπεριφορά της κατασκευής και της φέρουσας τοιχοποιίας είναι η αντοχή και η ποιότητα του κονιάματος. Κονιάματα χαμηλής αντοχής, πρακτικά οδηγούν σε ψαθυρές αστοχίες και πλήρη αποδιοργάνωση της τοιχοποιίας με εντός ή εκτός επιπέδου αστοχίες ολόκληρων τοίχων, όπως χαρακτηριστικά απεικονίζεται παρακάτω.








Εικόνα 2.20 Ζημιές λόγω της χαμηλής αντοχής του κονιάματος (Ιζίκ, Ε.,2023)

Στις εικόνες που ακολουθούν παρουσιάζονται χαρακτηριστικές επίσης αστοχίες σε κτίρια από φέρουσα τοιχοποιία, με διαγώνιες ρηγματώσεις οι οποίες ξεκινάνε από σημεία συγκέντρωσης εφελκυστικών τάσεων, στις θέσεις των ανοιγμάτων (πόρτες, παράθυρα) στις όψεις του κτιρίου.



Εικόνα 2.21 Ρηγματώσεις τοιχοποιίας στις θέσεις ανοιγμάτων και θυρών (Ιζίκ, Ε., 2023)

Ο Σεισμός της Τουρκίας 6 Φεβρουαρίου 2023 σεισμολογικά δεδομένα θλάβες κτιρίων και φάσματα απόκρισης Βάσει της Ευρωπαϊκής Μακροσεισμικής Κλίμακας EMS 1998 γίνεται η κατάταξη των ζημιών που προκαλούνται στα κτίρια από φέρουσα τοιχοποιία (βαθμοί βλάβης 1 έως 5).

Κατηγορίες αστοχιών σε κτήρια με τοιχοποιία	
	<p><b>Βαθμός 1: Αμελητέες έως Ελαφρές Βλάβες</b> (καθόλου δομικές βλάβες, ελαφρές μη δομικές βλάβες)</p> <p>Τριχοειδείς ρωγμές σε λίγα τοίχια. Πτώση μερικών μικρών κομματικών σοβάδων. Πτώση χαλαρών πλίνθων από τα ανώτερα τμήματα του κτιρίου σε πολύ λίγες περιπτώσεις.</p>
	<p><b>Βαθμός 2: Μέτριες Βλάβες</b> (ελαφρές δομικές βλάβες, μέτριες μη δομικές βλάβες)</p> <p>Ρωγμές σε πολλά τοίχια. Πτώση αρκετά μεγάλων κομματιών σοβά. Μερική κατάρρευση καπνοδόχων.</p>
	<p><b>Βαθμός 3: Σημαντικές έως Μεγάλες Βλάβες</b> (μέτριες δομικές βλάβες, βαριές μη δομικές βλάβες)</p> <p>Μεγάλες και εκτεταμένες ρωγμές στα περισσότερα τοίχια. Αποκόλληση κεραμιδιών. Ρωγμές σε καπνοδόχους κατά μήκος της γραμμής της οροφής. Βλάβες σε μεμονωμένα μη δομικά στοιχεία.</p>
	<p><b>Βαθμός 4: Πολύ Μεγάλες Βλάβες</b> (βαριές δομικές βλάβες, πολύ βαριές μη δομικές βλάβες)</p> <p>Σοβαρές βλάβες στους τοίχους. Μερική δομική αστοχία οροφών και δαπέδων.</p>
	<p><b>Βαθμός 5: Καταστροφικές Βλάβες</b> (πολύ βαριές δομικές βλάβες)</p> <p>Ολική ή σχεδόν ολική κατάρρευση</p>

Πίνακας 2.3 Βαθμοί βλάβης σε κτίρια από φέρουσα τοιχοποιία, βάσει Ευρωπαϊκής Μακροσεισμικής Κλίμακας EMS 1998

Ο Σεισμός της Τουρκίας 6 Φεβρουαρίου 2023 σεισμολογικά δεδομένα θλάβες κτιρίων και φάσματα απόκρισης  
Στις παρακάτω εικόνες παρουσιάζονται παραδείγματα βλαβών που κατατάσσονται ως αμελητέες  
ως ελαφρές βλάβες (καθόλου δομικές βλάβες, ελαφρές μη δομικές βλάβες). Αφορούν κυρίως σε  
τριχοειδείς ρωγμές ή και πτώση χαλαρών πλίνθων από ανώτερα τμήματα κτιρίου.



Εικόνα 2.22 Παραδείγματα κτιρίων από φέρουσα τοιχοποιία με αμελητέες ως ελαφρές βλάβες Βαθμός 1 (Ιşik, Ε.,2023)

Κατασκευές με μέτριες βλάβες (ελαφρές δομικές βλάβες, μέτριες μη δομικές βλάβες)  
κατατάσσονται στον Βαθμό 2, με βλάβες που παρατηρούνται σε ρωγμές τοίχων.



Εικόνα 2.23 Παραδείγματα κτιρίων από φέρουσα τοιχοποιία με μέτριες βλάβες Βαθμός 2 (Ιşik, Ε., 2023)

Στον Βαθμό 3 κατατάσσονται κτίρια που εμφανίζουν σημαντικές έως μεγάλες βλάβες. Στις  
παρακάτω εικόνες παρουσιάζονται κτίρια με εκτεταμένες ρωγμές στα περισσότερα φέροντα τοιχία  
τους.



Εικόνα 2.24 Παραδείγματα κτιρίων από φέρουσα τοιχοποιία με σημαντικές έως μεγάλες βλάβες Βαθμός 3 (Ιşik, Ε., 2023)

Στον Βαθμό 4 κατατάσσονται κτίρια με βαριές δομικές βλάβες ή και εκτεταμένες μη δομικές  
βλάβες. Στις εικόνες που ακολουθούν παρουσιάζονται κτίρια στα οποία έχουν αναπτυχθεί δομικές  
βλάβες Βαθμού 4, οι οποίες περιλαμβάνουν σοβαρές αστοχίες σε φέροντες τοίχους, μερική αστοχία  
ή κατάρρευση ορόφου.



Εικόνα 2.25 Παραδείγματα κτιρίων από φέρουσα τοιχοποιία με πολύ μεγάλες βλάβες Βαθμός 4 (Ιşik, Ε.,2023)

Ο Βαθμός 5 αφορά σε ολικές καταρρεύσεις κατασκευών όπως χαρακτηριστικά αποτυπώνεται στις εικόνες των παρακάτω κτιρίων από φέρουσα τοιχοποιία που κατέρρευσαν κατά το σεισμό.



Εικόνα 2.26 Παραδείγματα κτιρίων από φέρουσα τοιχοποιία με καταστροφικές βλάβες πολύ βαριές δομικές βλάβες, Βαθμός 5 (Işik, E., 2023)

Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζεται κατάταξη βλαβών για 100 κατασκευές από φέρουσα τοιχοποιία στις αγροτικές περιοχές της Χάταϊ, του Καχραμάνμαρα και του Αντιγιάμάν.

Damage Grade	Number of Buildings
Grade 1	11
Grade 2	15
Grade 3	19
Grade 4	30
Grade 5	25

Πίνακας 2.4 Κατανομή βλαβών σε εκατό κτίρια αγροτικής περιοχής με βάση τα επίπεδα αστοχιών τους (Işik, E., 2023)

Μερική ή ολική κατάρρευση εντοπίστηκε στο 25% περίπου των κτιρίων. Στο 30% των κτιρίων διαπιστώθηκαν πολύ σοβαρές βλάβες, ενώ σοβαρές βλάβες Βαθμού 3 ανέπτυξε το 19% των κτιρίων. Σε σύνολο 74% τα κτίρια κατέστησαν μη κατοικήσιμα, δηλαδή κατεδαφιστέα. Το 26% των κτιρίων κατατάσσεται στις κατηγορίες Βαθμού 1 και 2. Τα κτίρια αυτά προκύπτει πως ανέπτυξαν επαρκή αντίσταση στο σεισμό. Ωστόσο, τα παραπάνω στοιχεία καταδεικνύουν ότι τα περισσότερα κτίρια από φέρουσα τοιχοποιία είχαν σχεδιασθεί χωρίς ή με ελλιπείς αντισεισμικές διατάξεις και κατασκευαστικές λεπτομέρειες.

### 2.3 Άλλες κατασκευές

Σημαντικές ζημιές από τον καταστροφικό σεισμό σημειώθηκαν επίσης σε άλλες κατασκευές και υποδομές, όπως συγκοινωνιακά έργα, σε εγκαταστάσεις ηλεκτρικής ενέργειας και τηλεπικοινωνιών. Επίσης σημαντικές βλάβες καταγράφηκαν σε ιστορικές κατασκευές όπως τζαμιά και μιναρέδες τα οποία είναι και βασικά σύμβολα πίστης στην Τουρκία. Σημαντικές βλάβες προκλήθηκαν στο αρχαίο κάστρο του Γκαζιαντέπ. Στο Ντιγιάρμπακιρ κατέρρευσε ένα εμπορικό κέντρο, στην Χάταϊ προκλήθηκαν σημαντικές αστοχίες στον διάδρομο του αερολιμένα, σε δυο νοσοκομεία, ένα αστυνομικό τμήμα και τέλος σε εγκαταστάσεις φυσικού αερίου.



Εικόνα 2.27 Κατάρρευση νοσοκομείου Iskenderun State Hospital (Evangelia G. et al, 2023)



Εικόνα 2.28 Η εκκλησία της Iskenderun πριν και μετά τον σεισμό (Evangelia G. et al, 2023)



Εικόνα 2.29 Sakirpasa (Evangelia G. et al,2023)





Εικόνα 2.30 Αστοχίες στον διάδρομο του Αερολιμένα Χάταϊ (Evangelia G. et al, 2023)



Εικόνα 2.31 Τζαμί Yeni Matalya πριν και μετά τον σεισμό (Evangelia G. et al, 2023)



Εικόνα 2.32 Ξενοδοχείο Trend Garden Residence Hotel πριν και μετά τον σεισμό (Evangelia G. et al, 2023)



Εικόνα 2.33 Κάστρο Γκαζιαντέπ πριν τον σεισμό (Evangelia G. et al,2023)



Εικόνα 2.34 Κάστρο Γκαζιαντέπ μετά τον σεισμό (Evangelia G. et al,2023)

### 3 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup>: Θεωρητικό υπόβαθρο

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζεται το θεωρητικό υπόβαθρο με το οποίο σχετίζεται η παρούσα διπλωματική εργασία. Όροι όπως η απόκριση του μονοβάθμιου συστήματος, το ελαστικό φάσμα απόκρισης, το φάσμα σχεδιασμού, η απόσβεση, ο δείκτης πλαστιμότητας κλπ. αναλύονται σε αυτό το κεφάλαιο. Ο στόχος της θεωρίας είναι να προβληθούν σημαντικοί παράγοντες που καθορίζουν το φάσμα απόκρισης είτε είναι ελαστικά φάσματα ή ανελαστικά φάσματα και ακόμα περισσότερο να κατανοηθεί πλήρως το φάσμα απόκρισης από τον αναγνώστη όσο αφορά την έννοια και τη σημασία του φάσματος που αποτελεί βασικό τμήμα αυτής της εργασίας. Η σύντομη παρουσίαση του θεωρητικού υποβάθρου είναι σημαντική διότι η παρούσα εργασία αφορά στην ανάλυση και σχολιασμό των καταγραφών που έδωσε το δίκτυο των επιταχυνσιογράφων στην ευρύτερη περιοχή της Νοτιοανατολικής Τουρκίας κατά τον ισχυρό σεισμό ο οποίος προκάλεσε τεράστιες βλάβες, αστοχίες, καταρρεύσεις και απώλειες ανθρώπινων ζώων.

#### 3.1 Απόκριση μονοβάθμιου συστήματος σε εδαφική σεισμική κίνηση

Η απόκριση και η κίνηση μιας κατασκευής ξεκίνα με την σεισμική κίνηση του εδάφους του οποίου δέχεται. Έτσι καθώς η βάση διεγείρεται, στην κατασκευή αρχίζει να αναπτύσσεται ταχύτητα, επιτάχυνση και μετακίνηση. Έτσι, για να βρεθεί η απόκριση της μάζας,  $m$ , της κατασκευής χρησιμοποιούνται οι καταγραφές από ένα πολύ βασικό όργανο, τον επιταχυνσιογράφο, ο οποίος καταγράφει τις τρεις συνιστώσες επιτάχυνσης της εδαφικής κίνησης κατά την διάρκεια των σεισμών. Ο επιταχυνσιογράφος ή αλλιώς επιταχυνσιόμετρο λειτουργεί μονό αφού λάβει τα σεισμικά κύματα που θα φθάσουν πρώτα, έπειτα από υπέρβαση κάποιου επιπέδου επιτάχυνσης, έτσι δεν βρίσκεται σε συνεχή λειτουργία. Σταματά να δέχεται καταγραφές αφού περάσει ένα χρονικό διάστημα ή η σεισμική δόνηση πέσει σε επίπεδα που δεν είναι αντιληπτά.

Ιδανικά, στην περίπτωση ισχυρού σεισμού θα ήταν επιθυμητό να υπήρχαν πολλοί σταθμοί με επιταχυνσιογράφους ώστε να καταγραφούν οι εδαφικές μετακινήσεις σε πολλές περιοχές ενδιαφέροντος. Καθώς όμως δεν είναι γνωστό που και πότε θα συμβούν οι σεισμοί όπως και ο οικονομικός περιορισμός που υπάρχει για την εγκατάσταση όσο και για την συντήρησή τους σπανίως υπάρχει στη διάθεση καταγράφων από περιοχές με ισχυρές έντασης εδαφικές κινήσεις σε αντίθεση με τις περιοχές με μέτριας έντασης εδαφικές κινήσεις.

Ο υπολογισμός της απόκρισης μιας κατασκευής γίνεται αριθμητικά μέσω επίλυσης της διαφορικής εξίσωσης κίνησης. Η διαφορική εξίσωση που περιγράφει την απόκριση μονοβάθμιου ταλαντωτή σε σεισμική διέγερση είναι:

$$m\ddot{u} + C\dot{u} + Ku = -m\ddot{u}_g$$

Οπού:

$m$  : η μάζα του ταλαντωτή

$C$  : ο συντελεστής απόσβεσης

$K$  : η δυσκαμψία της κατασκευής

$\ddot{u}$ : η σχετική επιτάχυνση του ταλαντωτή

$\dot{u}$  : η ταχύτητα του ταλαντωτή

$u$  : η σχετική μετακίνηση του ταλαντωτή

$\ddot{u}_g$  : η εδαφική επιτάχυνση

Ο Σεισμός της Τουρκίας 6 Φεβρουαρίου 2023 σεισμολογικά δεδομένα θλάβες κτιρίων και φάσματα απόκρισης  
Διαιρώντας τη διαφορική εξίσωση με τη μάζα  $m$  προκύπτει:

$$\ddot{u} + 2\zeta\omega\dot{u} + \omega^2u = -\ddot{u}_g$$

Επομένως, αν γνωρίζουμε από κάποιο επιταχυνσιογράφο την επιτάχυνση του εδάφους,  $\ddot{u}_g$ , η διαφορική εξίσωση μπορεί να επιλυθεί αριθμητικά και να υπολογιστούν οι χρονοϊστορίες της μετακίνησης, της ταχύτητας και της επιτάχυνσης της κατασκευής.

Από την παραπάνω σχέση προκύπτει πως η χρονοϊστορία απόκρισης μετατόπισης  $u(t)$  του συστήματος, για δεδομένη εδαφική επιτάχυνση  $\ddot{u}_g(t)$ , εξαρτάται μόνο από την ιδιοσυχνότητα,  $\omega$ , ή την ιδιοπερίοδο,  $T$ , του συστήματος και το λόγο απόσβεσης του,  $\zeta$ . Οπότε, η απόκριση μετατόπισης είναι ίδια για δυο συστήματα που έχουν την ίδια ιδιοπερίοδο,  $T$ , και την ίδια απόσβεση,  $\zeta$ , ακόμη και αν τα δυο συστήματα έχουν διαφορετικές διαστάσεις και τιμές μάζας και δυσκαμψίας.

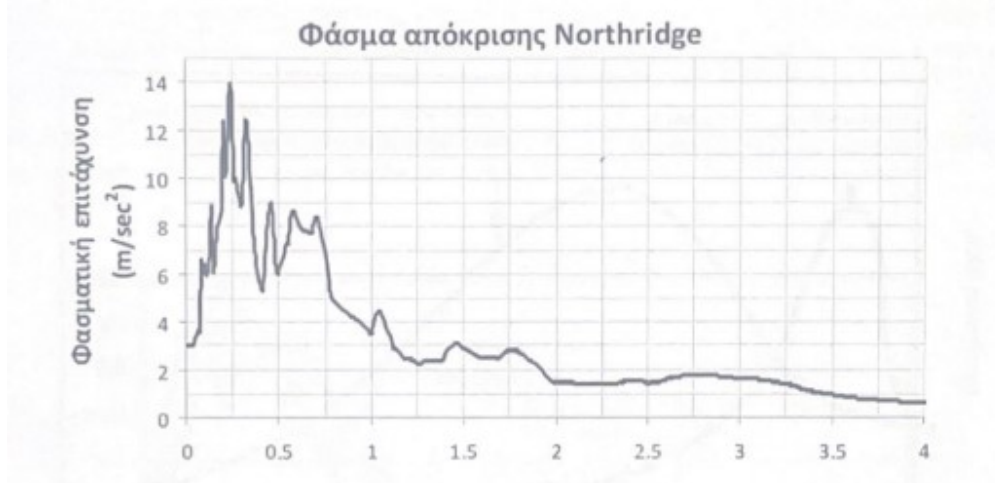
### 3.2 Ελαστικό Φάσμα απόκρισης

Η περιγραφή της μέγιστης απόκρισης μιας κατασκευής όταν της ασκηθεί ο σεισμός διαμέσου του εδάφους και των εδαφικών επιταχύνσεων γίνεται με χρήση του φάσματος απόκρισης. Το φάσμα απόκρισης, που μπορεί να είναι φάσμα απόκρισης μετακίνησης, ή φάσμα απόκρισης ταχύτητας και φάσμα απόκρισης επιτάχυνσης δείχνει την μέγιστη απόκριση, μετακίνηση, ταχύτητα ή επιτάχυνση ενός μονοβάθμιου ταλαντωτή με απόσβεση και με μια συγκεκριμένη σεισμική διέγερση στη βάση, σαν συνάρτηση της ιδιοπεριόδου (ή ιδιοσυχνότητας) και του συντελεστή απόσβεσης του δεδομένου μονοβάθμιου ταλαντωτή.

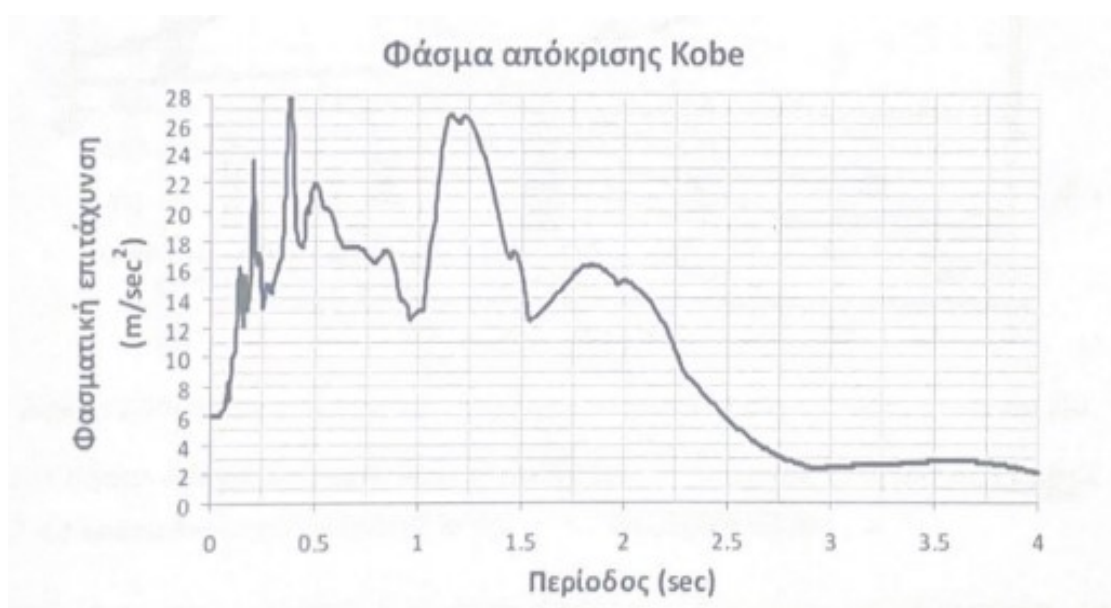
Στο ενδεχόμενο του σεισμού, κυρίας σημασίας για τον πολιτικό μηχανικό αποτελεί ο προσδιορισμός της μέγιστης ταλάντωσης (με μορφή μετακίνησης, ταχύτητας και επιτάχυνσης) που θα επιφέρει στην κατασκευή μια σεισμική εδαφική κίνηση που εισάγεται στη στάθμη θεμελίωσης. Οπότε, ένα φάσμα απόκρισης δείχνει για μια συγκεκριμένη εδαφική κίνηση την αντίστοιχη μέγιστη ταλάντωση σε μια πλήρη σειρά (φάσμα) μονοβάθμιων ταλαντωτών. Καλύπτοντας όλο το πιθανό φάσμα συχνοτήτων, θα πρέπει να εντάσσει την ιδιοσυχνότητα της κάθε κατασκευής, ανεξαρτήτως του εάν πρόκειται για σύστημα ενός ή πολλών βαθμών ελευθερίας. Οπότε για να είναι σωστός ο σχεδιασμός της κατασκευής θα πρέπει για τη συγκεκριμένη σεισμική εδαφική κίνηση η κατασκευή να σχεδιασθεί για την ταλάντωση που αντιστοιχεί στην ιδιοπεριόδό της.

Επίσης, λόγω των πλεονεκτημάτων που έχουν τα φάσματα απόκρισης όπως η απλότητα των υπολογισμών, η δυνατότητα ένταξης στους υπολογισμούς πολύπλοκων φαινομένων (π.χ. η επιρροή των τοπικών εδαφικών συνθηκών) και η ευκολία προσαρμογής τους στη φιλοσοφία των αντισεισμικών κανονισμών, έχουν εδραιώσει τη χρήση τους από τους κανονισμούς και τους μηχανικούς.

Για τον ίδιο σεισμό (δηλαδή για το ίδιο επιταχυνσιογράφημα) το φάσμα απόκρισης θα είναι διαφορετικό για κάθε διαφορετικό ποσοστό απόσβεσης,  $\zeta$ , καθώς η απόκριση της κατασκευής είναι διαφορετική όταν αλλάζει η απόσβεση. Επίσης, το φάσμα απόκρισης διαφέρει από μια σεισμική σε μια άλλη σεισμική κίνηση. Στις παρακάτω εικόνες παρουσιάζονται σχετικά παραδείγματα φασμάτων.



Εικόνα 3.1 Φάσμα απόκρισης σεισμού στο Northridge (Πνευματικός, 2018)



Εικόνα 3.2 Φάσμα απόκρισης σεισμού στο Kobe (Πνευματικός, 2018)



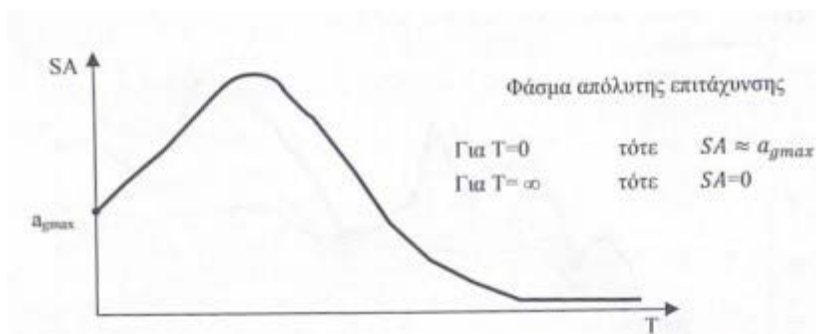
Εικόνα 3.3 Φάσμα απόκρισης σεισμού στο Λευκάδας (Πνευματικός, 2018)

### 3.2.1 Επεξήγηση ορίων φάσματος σχεδιασμού

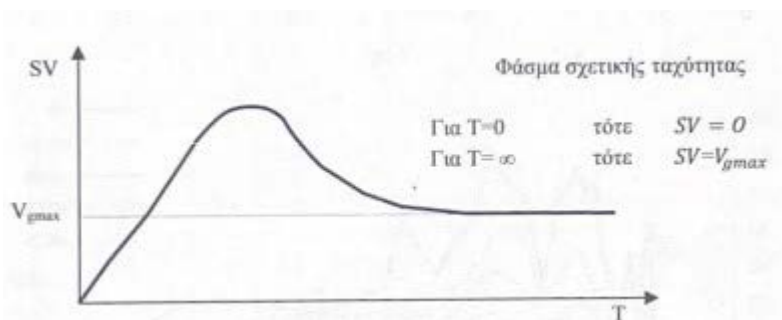
Εξετάζονται οι τιμές των φασμάτων σχεδιασμού για δυο ακραίες περιπτώσεις, όταν η ιδιοπερίοδος του ταλαντωτή είναι πολύ μικρή, και τείνει προς το μηδέν, ή όταν η ιδιοπερίοδος,  $T$ , της κατασκευής είναι πολύ μεγάλη δηλαδή τείνει προς το άπειρο. Οι περιπτώσεις αυτές αντιστοιχούν στα όρια ενός φάσματος απόκρισης. Στην πρώτη περίπτωση η κατασκευή, ο ταλαντωτής, είναι πολύ δύσκαμπτη, ενώ στη δεύτερη περίπτωση, της πολύ μεγάλης ιδιοπεριόδου είναι πάρα πολύ εύκαμπτη.

Όταν η κατασκευή είναι πολύ δύσκαμπτη, τότε κινείται μαζί με το έδαφος και η σχετική μετακίνηση όπως και η ταχύτητα είναι σχεδόν μηδενικές, ενώ η απόλυτη τιμή της επιτάχυνσης της μάζας ταυτίζεται με την επιτάχυνση του εδάφους.

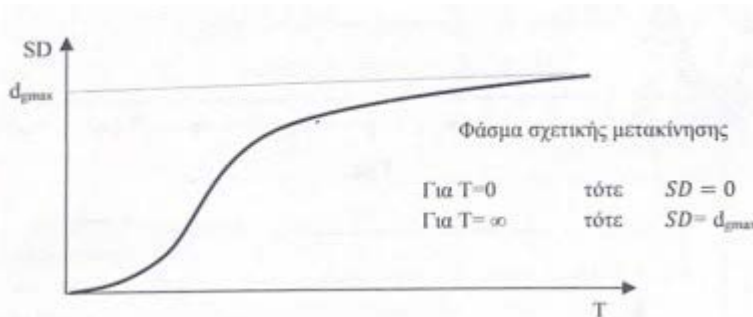
Όταν η κατασκευή είναι πολύ εύκαμπτη τότε η μάζα της πρακτικά παραμένει ακίνητη, δεν προλαβαίνει να αποκριθεί, και η βάση της ή αλλιώς το σημείο στήριξής της κινείται, παρακολουθεί την κίνηση του εδάφους. Η απόλυτη επιτάχυνση της μάζας παραμένει σχεδόν μηδενική, ενώ η σχετική μετακίνηση και ταχύτητα της μάζας είναι ίδια με τη μετακίνηση και την ταχύτητα του εδάφους. Οι ιδιότητες των φασμάτων αυτές, είναι γενικές και απεικονίζονται σχηματικά στις εικόνες που ακολουθούν.



Εικόνα 3.4 Ενδεικτικό φάσμα απόκρισης απόλυτης επιτάχυνσης και οριακές τιμές (Πνευματικός,2018)



Εικόνα 3.5 Ενδεικτικό φάσμα απόκρισης σχετικής ταχύτητας και οριακές τιμές (Πνευματικός,2018)

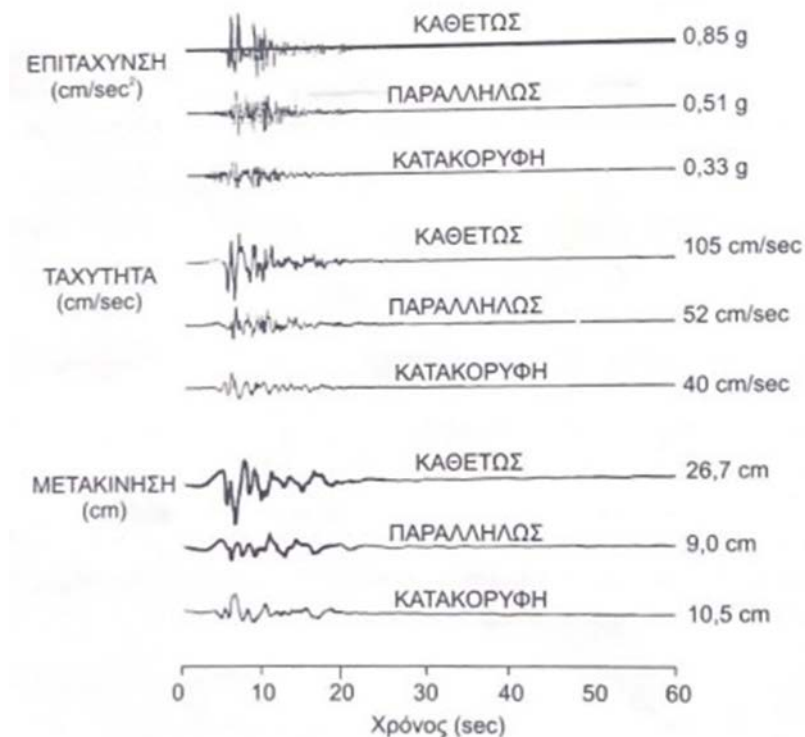


Εικόνα 3.6 Ενδεικτικό φάσμα απόκρισης σχετικής μετακίνησης και οριακές τιμές (Πνευματικός,2018)

### 3.2.2 Παράγοντες που καθορίζουν τη μορφή των φασμάτων

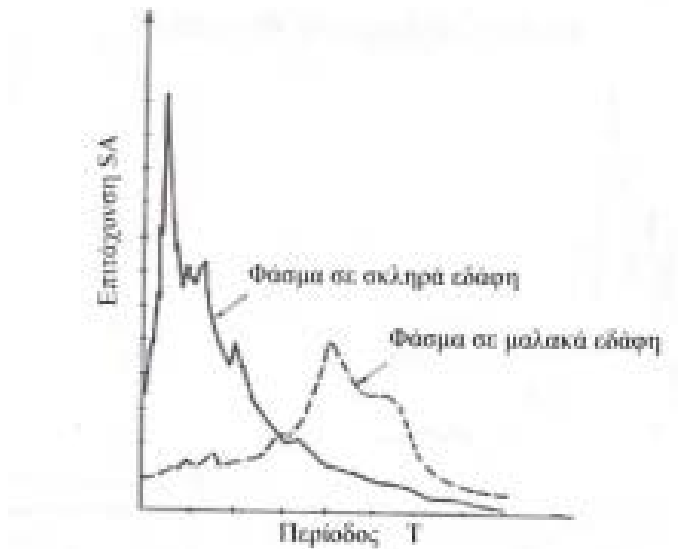
Οι τιμές των φασμάτων απόκρισης και η μορφή τους (σχηματικά) καθορίζονται και επηρεάζονται από μια σειρά παραγόντων, οι οποίες με τη σειρά τους καθορίζουν την εδαφική κίνηση, δηλαδή το επιταχυνσιογράφημα που καταγράφεται σε έναν σεισμό. Οι παράγοντες αυτοί είναι, το μέγεθος της σεισμικής διέγερσης, η απόσταση από το επίκεντρο, το βάθος του σεισμού, ο μηχανισμός θραύσης του ρήγματος, γεωλογικά χαρακτηριστικά της περιοχής, το μήκος διαδρομής των σεισμικών κυμάτων, τοπικές εδαφικές συνθήκες στη θέση της καταγραφής, και τοπική γεωμορφολογία.

Σεισμοί ίδιου μεγέθους, μπορούν να έχουν αρκετά διαφορετικά φάσματα ακόμη και στην ίδια επικεντρική απόσταση. Ακόμη και οι δυο οριζόντιες συνιστώσες μπορούν να εμφανίσουν σημαντικές διαφορές αναμεσά τους. Ο μηχανισμός διάρρηξης, η απόσταση από το σεισμικό ρήγμα και φαινόμενα που σχετίζονται τρισδιάστατα είτε με το χώρο ή την γεωλογία της περιοχής και αποτελούν τους σημαντικότερους λόγους για τις διαφορές αυτές. Στο σχήμα που ακολουθεί παρουσιάζονται καταγραφές επιτάχυνσης, ταχύτητας και μετατόπισης σε διαφορετικές διευθύνσεις από το μεγάλο σεισμό του Kobe στην Ιαπωνία το 1995.

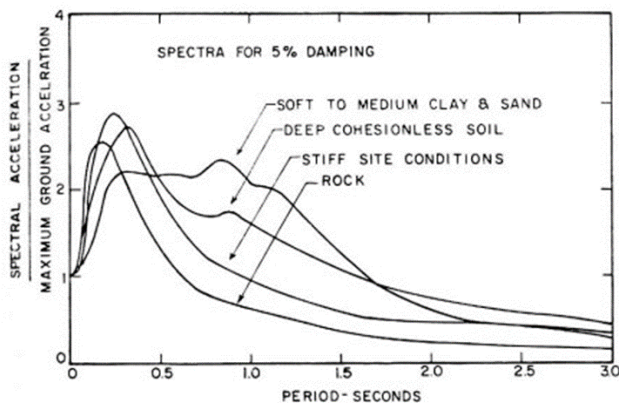


Εικόνα 3.7 Χρονοϊστορίες επιτάχυνσης, ταχύτητας και μετακίνησης (17/1/1995), Kobe, Ιαπωνία-καταγραφές εγκάρσιως και παράλληλα προς το ρήγμα του σεισμού (Πιτιλάκης, 2010)

Σημαντική επιρροή στα φάσματα απόκρισης έχουν οι τοπικές εδαφικές συνθήκες. Πιο συγκεκριμένα, σε σκληρά εδάφη τα φάσματα απόκρισης παρουσιάζουν υψηλές τιμές σε υψηλές συχνότητες, ή αλλιώς χαμηλές ιδιοπεριόδους, ενώ στα μαλακά εδάφη, τα μέγιστα των φασμάτων απόκρισης μετατοπίζονται προς τις χαμηλές συχνότητες, ή αλλιώς τις μεγάλες ιδιοπεριόδους, όπως χαρακτηριστικά αποτυπώνεται στο παρακάτω σχήμα.

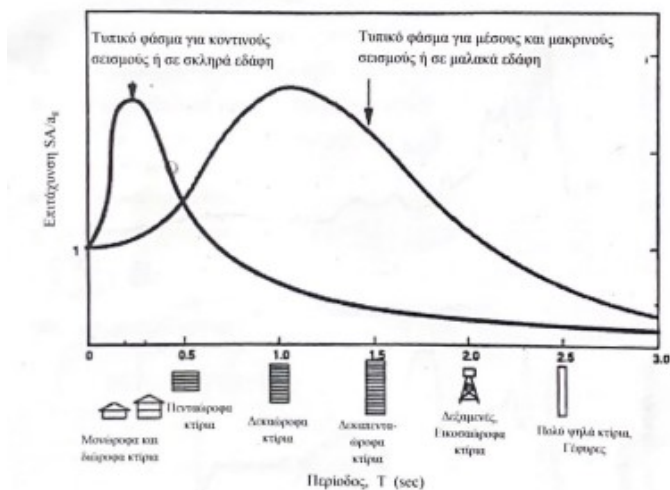


Εικόνα 3.8 Επιρροή του εδάφους (σκληρό, μαλακό) στο φάσμα απόκρισης (Πνευματικός,2018)



Εικόνα 3.9 Μέσα φάσματα απόκρισης απόλυτων επιταχύνσεων διαφόρων σεισμών για  $\zeta=5\%$ , ανάλογα με το είδος του εδάφους (Πιτιλάκης, 2010)

Στο σχήμα που ακολουθεί παρουσιάζεται η επιρροή της απόστασης του σεισμού (κοντινός ή μακρινός σεισμός) στη σχηματική μορφή ενός φάσματος απόκρισης και στον οριζόντιο άξονα των ιδιοπεριόδων, αποτυπώνονται τύποι κατασκευών που αντιστοιχούν σε χαρακτηριστικές τιμές ιδιοπεριόδων.



Εικόνα 3.10 Φάσματα απόκρισης για μακρινούς ή κοντινούς σεισμούς (Πνευματικός,2018)



### 3.2.3 Επιρροή της απόσβεσης, $\zeta$ , στα φάσματα απόκρισης

Για τον ίδιο σεισμό το φάσμα απόκρισης θα είναι διαφορετικό για κάθε διαφορετικό ποσοστό απόσβεσης καθώς η απόκριση της κατασκευής είναι διαφορετική. Αρά η απόσβεση επηρεάζει σημαντικά τα φάσματα απόκρισης. Η καμπύλη του φάσματος απόκρισης μηδενικής απόσβεσης χαρακτηρίζεται από έντονη μεταβλητότητα, το οποίο σημαίνει πως η απόκριση είναι πολύ ευαίσθητη σε μικροδιαφορές της ιδιοπερίοδου της κατασκευής. Καθώς εισάγεται η απόσβεση αυτομάτως η απόκριση καθίσταται πολύ λιγότερο ευαίσθητη στην ιδιοπερίοδο. Είναι αναμενόμενο ότι με την εισαγωγή της απόσβεσης θα προκύψει η μείωση της απόκρισης της κατασκευής.

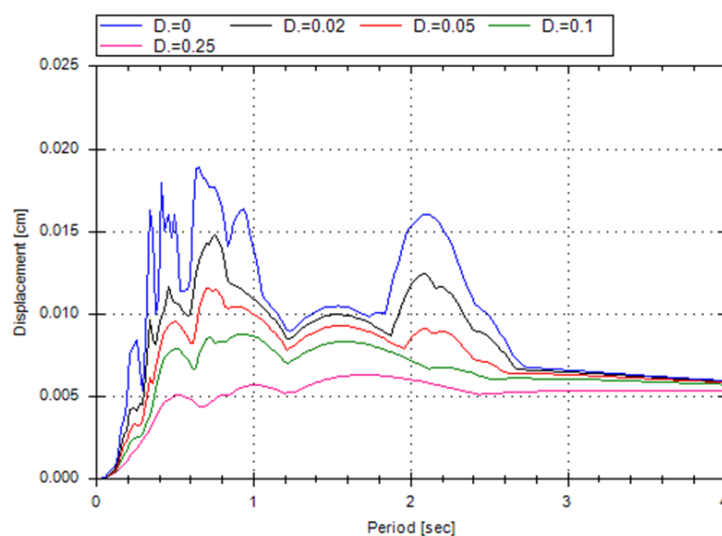
Στο ένα όριο καθώς η ιδιοπερίοδος τείνει προς το μηδέν ( $T_n \rightarrow 0$ ), η απόσβεση δεν θα επηρεάσει την απόκριση γιατί η κατασκευή κινείται άκαμπτα με το έδαφος. Στο άλλο όριο όπου η ιδιοπερίοδος τείνει στο άπειρο ( $T_n \rightarrow \infty$ ), η απόσβεση ξανά δεν θα επηρεάσει την απόκριση καθώς η μάζα της κατασκευής μένει ακίνητη ενώ υπάρχει κίνηση του εδάφους.

Η επιρροή της απόσβεσης μεγιστοποιείται στην ευαίσθητη σε ταχύτητα περιοχή του φάσματος, αφού είναι εξαρτώμενη από τα χαρακτηριστικά της εδαφικής κίνησης της συγκεκριμένης περιοχής και επίσης συναρτάται με τον όρο της ταχύτητας στην εξίσωση κίνησης.

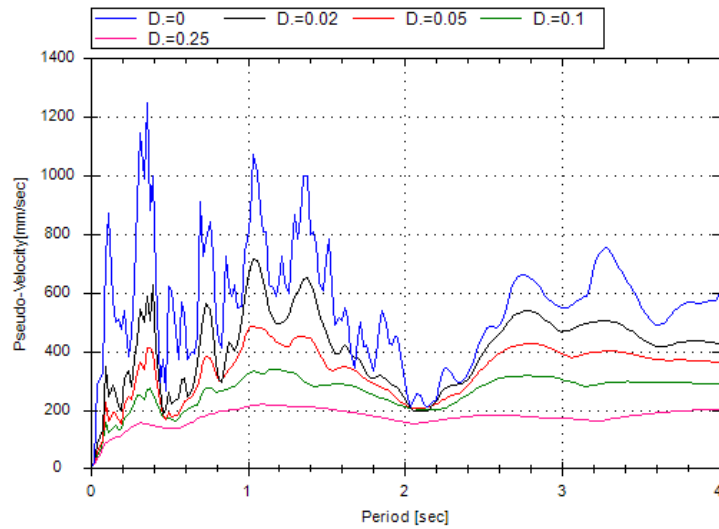
Η επιρροή της απόσβεσης είναι σημαντικά μεγάλη για συστήματα κοντά στον συντονισμό, αν η κίνηση του εδάφους είναι σχεδόν αρμονική για πολλούς κύκλους. Αντιθέτως, αν η κίνηση του εδάφους είναι μικρή σε διάρκεια με λίγους μόνο κύριους κύκλους, η επίδραση της απόσβεσης είναι μικρή.

Με την αύξηση της ενεργούς απόσβεσης («προσθήκη απόσβεσης») της κατασκευής είναι δυνατόν να μειωθεί η κίνηση μιας κατασκευής όπως και οι σχετικές με αυτήν δυνάμεις. Αυτό επιτυγχάνεται με τη προσθήκη μηχανισμών απόσβεσης χωρίς να αλλάξει ιδιαίτερος η ιδιοπερίοδος ταλάντωσης της κατασκευής. Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται ολοένα και εκτενέστερη εφαρμογή συστημάτων απόσβεσης στα κτίρια, τρόπος μέσω του οποίου μειώνονται σημαντικά οι μετακινήσεις που αναπτύσσουν, επομένως και οι βλάβες, κατά το σεισμό.

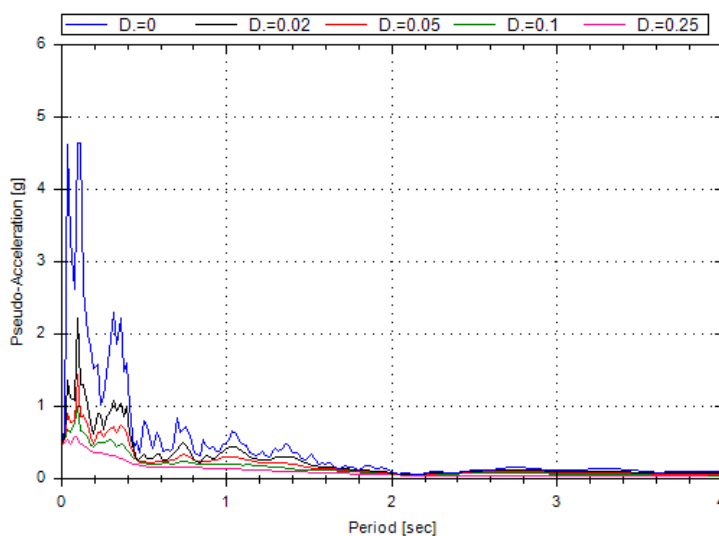
Στα παρακάτω σχήματα παρουσιάζονται ενδεικτικά γραφήματα φασμάτων απόκρισης στα οποία απεικονίζεται, ποιοτικά, η επιρροή της τιμής της απόσβεσης.



Εικόνα 3.11 Φάσμα απόκρισης μετακίνησης για διαφορετικούς λόγους απόσβεσης



Εικόνα 3.12 Φάσμα απόκρισης ψευδο-ταχύτητας για διαφορετικούς λόγους απόσβεσης



Εικόνα 3.13 Φάσμα απόκρισης ψευδο-επιτάχυνσης για διαφορετικούς λόγους απόσβεσης

### 3.2.4 Ψευδο-φάσματα

Τα φάσματα απόκρισης ψευδο-ταχύτητας και ψευδο-επιτάχυνσης, αποτελούν σημαντικά εργαλεία για τη μελέτη της συμπεριφοράς των κατασκευών και για τη συσχέτιση των κτιριακών κανονισμών μέσω των φασμάτων σχεδιασμού με τη δυναμική απόκριση των κατασκευών. Τα φάσματα ψευδο-επιτάχυνσης και ψευδο-ταχύτητας συνδέονται άμεσα με τα μεγέθη σχεδιασμού μιας κατασκευής π.χ. με την τέμνουσα βάσης σχεδιασμού, δηλαδή τη μέγιστη ελαστική δύναμη στην οποία υποβάλλεται ο μονοβάθμιος ταλαντωτής και προκύπτουν πολύ εύκολα από το φάσμα απόκρισης μετακινήσεων. Για πολύ μικρές τιμές απόσβεσης (π.χ.  $\xi < 2\%$ ) οι διαφορές μεταξύ φασμάτων και ψευδο-φασμάτων είναι πρακτικά αμελητέες. Τα φάσματα απόκρισης ψευδο-επιταχύνσεων και ψευδο-ταχυτήτων, προκύπτουν από το φάσμα απόκρισης μετατοπίσεων μέσω των παρακάτω σχέσεων:

$$PSA = \omega^2 SD$$

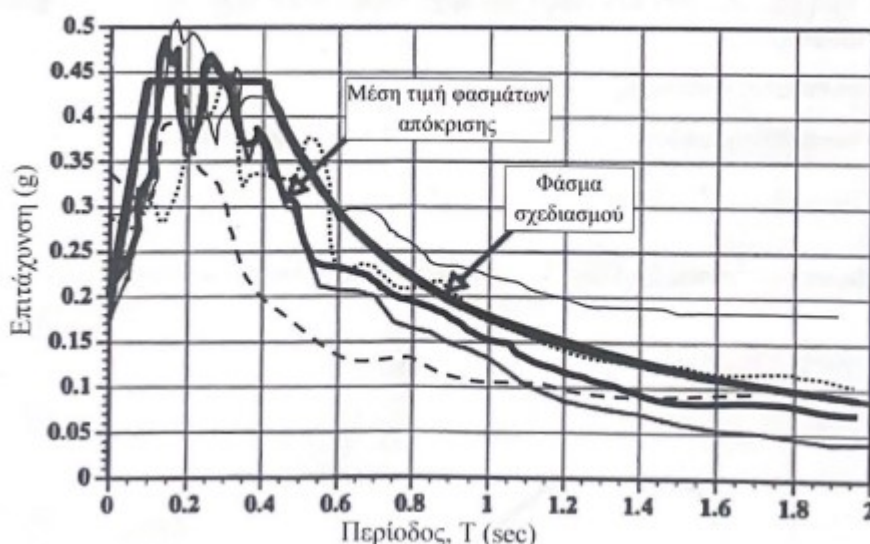
$$PSV = \omega SD$$

όπου, PSA : η ψευδο-επιτάχυνση, PSV : η ψευδο-ταχύτητα, SD : η φασματική μετακίνηση, και,  $\omega$  : η κυκλική συχνότητα του ταλαντωτή.

### 3.3 Ελαστικό Φάσμα Σχεδιασμού

Στην προηγούμενη ενότητα τονίστηκε ότι το φάσμα απόκρισης διαφέρει σημαντικά από σεισμό σε σεισμό. Οι διαφοροποιήσεις αυτές οφείλονται στα χαρακτηριστικά του εδάφους στα χαρακτηριστικά της κατασκευής και στα χαρακτηριστικά της σεισμικής διέγερσης, όπως αναλύθηκε παραπάνω. Για τις ανάγκες σχεδιασμού νέων κατασκευών, δημιουργείται το φάσμα σχεδιασμού, ένα εξομαλυσμένο φάσμα που αντικατοπτρίζει τη σεισμικότητα της περιοχής και καλύπτει όσο το δυνατόν περισσότερο τους τύπους των φασμάτων απόκρισης των σεισμών που πραγματοποιήθηκαν στην περιοχή.

Στο φάσμα σχεδιασμού, παράγοντες όπως τα χαρακτηριστικά του εδάφους της θεμελίωσης της κατασκευής, η ικανότητα της κατασκευής να απορροφά ενέργεια κατά τον σεισμό και το υλικό της κατασκευής έχουν σημαντικό ρόλο και λαμβάνονται υπόψη μέσω κατάλληλων τιμών σε αντίστοιχες παραμέτρους, οι οποίες καθορίζουν το σχήμα του ομαλοποιημένου φάσματος σχεδιασμού. Στην εικόνα που ακολουθεί παρουσιάζονται συγκριτικά, τα ελαστικά φάσματα απόκρισης, το μέσο φάσμα απόκρισης που προκύπτει από τα φάσματα αυτά και ένα αντίστοιχο αντιπροσωπευτικό ομαλοποιημένο φάσμα σχεδιασμού, τα τμήματα του οποίου περιγράφονται από συγκεκριμένες σχέσεις που παρέχει ο εκάστοτε αντισεισμικός κανονισμός.



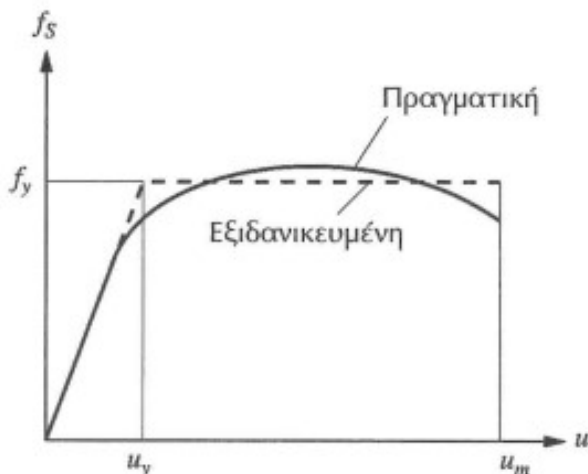
Εικόνα 3.14 Φάσματα απόκρισης διαφορετικών σεισμών το μέσο φάσμα τους και ένα ενδεικτικό φάσμα σχεδιασμού (Πνευματικός,2018)

### 3.4 Ανελαστικά φάσματα απόκρισης

Στην πράξη, όταν στις κατασκευές ασκούνται ισχυρές σεισμικές διεγέρσεις, οι κατασκευές συμπεριφέρονται μη-γραμμικά, δηλαδή, ανάλογα με τη γεωμετρία και το υλικό κατασκευής τους, παραμορφώνονται πέραν του ορίου ελαστικής συμπεριφοράς. Τα ανελαστικά φάσματα απόκρισης όπως και τα ελαστικά φάσματα απόκρισης, παρουσιάζουν την μέγιστη απόκριση μονοβάθμιου ταλαντωτή σε όρους μετατόπισης, ταχύτητας ή επιτάχυνσης, λαμβάνοντας ωστόσο υπόψιν τη μη-γραμμική συμπεριφορά του μονοβάθμιου συστήματος. Τα χαρακτηριστικά των ανελαστικών φασμάτων χρησιμοποιούνται επίσης κατά το σχεδιασμό νέων κατασκευών, δεδομένου ότι στις νέες κατασκευές αποδεχόμαστε ένα επίπεδο ανεκτών βλαβών κατά την απόκριση σε σεισμό επιπέδου σχεδιασμού.

### 3.4.1 Ελαστοπλαστικό μονοβάθμιο σύστημα

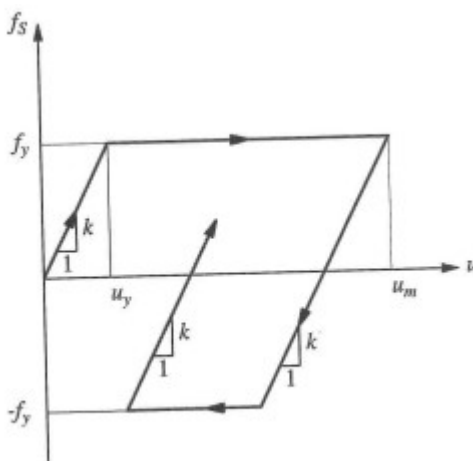
Πρόκειται για το απλούστερο δυνατό μονοβάθμιο σύστημα ανελαστικής συμπεριφοράς, δηλαδή με μη-γραμμική σχέση δύναμης μετατόπισης. Από το παρακάτω διάγραμμα παρατηρούμε τη σχέση δύναμης-μετακίνησης του συστήματος κατά τη διάρκεια της αρχικής φόρτισης και κατά τη διάρκεια της φάσης υπέρβασης της δύναμης διαρροής του συστήματος.



Εικόνα 3.15 Πραγματική και εξιδανικευμένη ελαστοπλαστική σχέση δύναμης μετακίνησης μονοβάθμιου ταλαντωτή (Anil.K.C., 2008)

Εξιδανικεύοντας την καμπύλη του διαγράμματος με μια ελαστο-πλαστική σχέση δύναμης-μετακίνησης δίνεται η δυνατότητα ευκολότερου υπολογισμού της απόκρισης του μονοβάθμιου ταλαντωτή, χωρίς σημαντική διαφοροποίηση των αποτελεσμάτων. Ένας τρόπος προσδιορισμού της εξιδανικευμένης ελαστο-πλαστικής καμπύλης είναι μέσω εξίσωσης των εμβαδών, δηλαδή των ενεργειών κάτω από τα τμήματα της καμπύλης για την ίδια τιμή της μέγιστης μετακίνησης,  $u_m$ .

Στο εξιδανικευμένο σύστημα όσο η αρχική φόρτιση δεν περνά την τιμή  $f_y$  το σύστημα παραμένει γραμμικό ελαστικό με την αντίστοιχη δυσκαμψία  $k$ . Αν η τιμή της δύναμης φτάσει την τιμή της  $f_y$ , δηλαδή, το όριο διαρροής τότε έχει ξεκινήσει η διαρροή οπότε και η δυσκαμψία μηδενίζεται (απόλυτα ελαστο-πλαστικό σύστημα).



Εικόνα 3.16 Τυπικός κύκλος φόρτισης αποφόρτισης και επαναφόρτισης για ένα ελαστικό απόλυτως πλαστικό σύστημα (Anil.K.C. 2008)

Είναι επιθυμητή η σύγκριση της μέγιστης παραμόρφωσης ενός γραμμικού συστήματος που προκαλεί μια σεισμική διέγερση με την μέγιστη παραμόρφωση του αντίστοιχου ελαστο-πλαστικού

Ο Σεισμός της Τουρκίας 6 Φεβρουαρίου 2023 σεισμολογικά δεδομένα θλάβες κτιρίων και φάσματα απόκρισης συστήματος που προκαλείται από την ίδια εδαφική κίνηση, αφού πρώτα αυτή υπολογισθεί. Στην αρχική φόρτιση τα ελαστικό και ελαστο-πλαστικό σύστημα πρέπει να έχουν την ίδια δυσκαμψία όπως η μάζα και η απόσβεση να είναι ίδια. Επομένως, το ελαστικό και το ελαστο-πλαστικό σύστημα έχουν την ίδια ιδιοπερίοδο όταν υπόκεινται σε μικρές ταλαντώσεις, δηλαδή μέσα στα όρια ελαστικής συμπεριφοράς. Σε μεγάλα εύρη ταλάντωσης, πέραν του ορίου διαρροής, δεν ορίζεται μονοσήμαντα η ιδιοπερίοδος του συστήματος, λόγω της μεταβλητής δυσκαμψίας.



Εικόνα 3.17 Ελαστο-πλαστικό σύστημα και το αντίστοιχο γραμμικό σύστημα (Anil.K.C.2008)

### 3.4.2 Επιρροή του δείκτη πλαστιμότητας $\mu$

Στα ανελαστικά φάσματα απόκρισης εισάγεται η έννοια του δείκτη πλαστιμότητας ο οποίος ορίζεται ως:

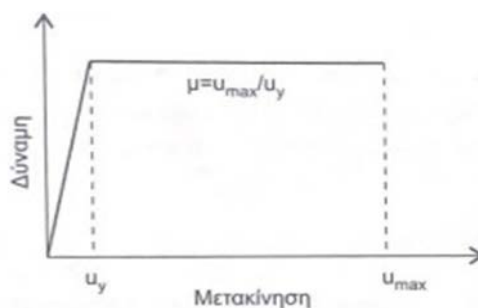
$$\mu = \frac{u_{max}}{u_y}$$

όπου :

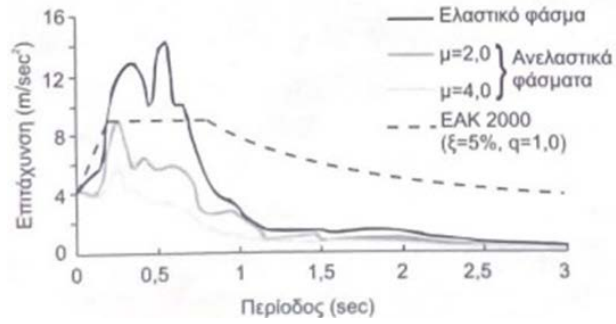
$u_{max}$  : η μέγιστη ανελαστική μετατόπιση της κατασκευής

$u_y$  : η μετατόπιση διαρροής

Η πλαστιμότητα είναι η ικανότητα που έχει η κατασκευή να παραμορφώνεται χωρίς να χάνει την αντοχή της και να απορροφά ενέργεια σε εναλλασσόμενους κύκλους φόρτισης αποφόρτισης. Ο δείκτης πλαστιμότητας είναι ενδεικτικός του βαθμού ανελαστικής απόκρισης μιας κατασκευής, λαμβάνει διαφορετικές τιμές ανάλογα με τον τύπο της κατασκευής και εν γένει όσο αυξάνεται η τιμή του, όσο δηλαδή εντονότερα μη-γραμμική είναι η απόκριση της κατασκευής, τόσο μειώνονται οι φασματικές επιταχύνσεις, σε αντίθεση με τις συνολικές μετακινήσεις, οι οποίες αυξάνονται.



Εικόνα 3.18 Φυσική έννοια του δείκτη πλαστικότητας (Πιτιλάκης, 2010)



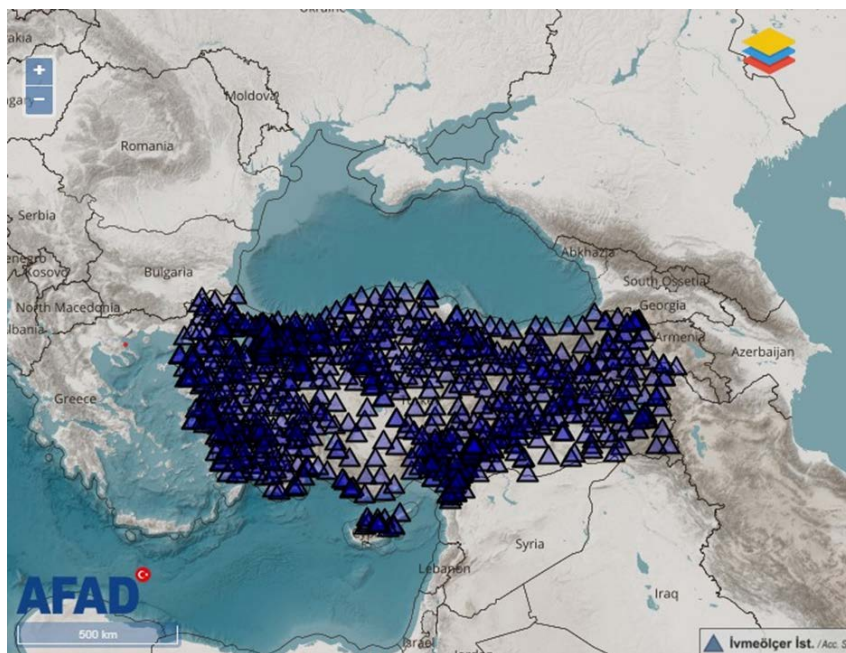
Εικόνα 3.19 Σύγκριση ελαστικών και ανελαστικών φασμάτων καταγραφής σεισμού της Λευκάδας (Πιτιλάκης, 2010)

## 4 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup>: Καταγραφές επιταχύνσεων στο σεισμό της Τουρκίας

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται αναλυτικά τα δεδομένα από τους επιταχυνσιογράφους από το δίκτυο καταγραφών στην Τουρκία. Ακόμη πιο συγκεκριμένα στο κεφάλαιο αναλύονται οι επιταχυνσιογράφοι με τις μεγαλύτερες τιμές εδαφικών επιταχύνσεων. Αρχικά περιγράφεται η θέση του κάθε σταθμού με το αντίστοιχο γεωγραφικό μήκος και πλάτος του σε σχέση με επίκεντρο του κυρίως σεισμού. Στη συνέχεια, αναφέρεται το υψόμετρο του σταθμού όπως και η μέση ταχύτητα διατμητικών κυμάτων που έχει και τέλος αναφέρεται η απόσταση από το επίκεντρο αφού έχει καταταχθεί πρώτα σε κατηγορία εδάφους βάση του EC-8, με τα ελαστικά φάσματα σχεδιασμού του οποίου γίνονται οι απαραίτητες συγκρίσεις.

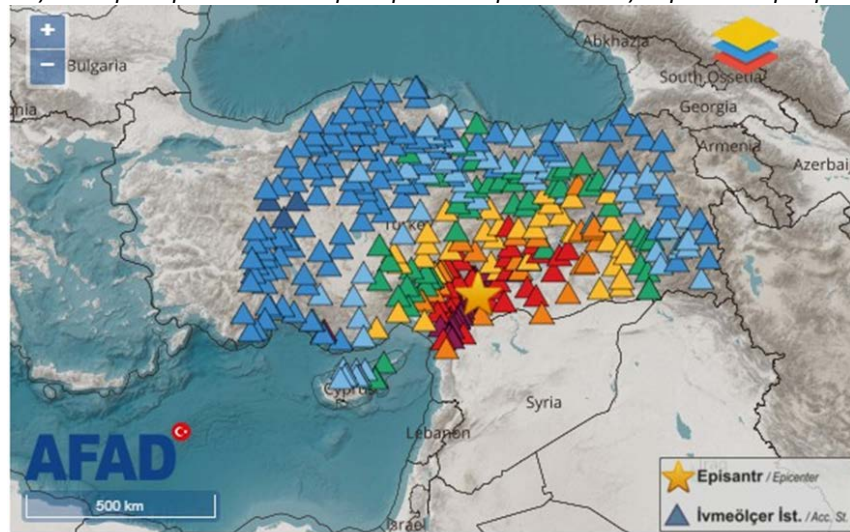
### 4.1 Γενικά

Το Υπουργείο Εσωτερικών της Τουρκίας και συγκεκριμένα το Τμήμα Διαχείρισης καταστροφών και εκτατών αναγκών (AFAD) είναι υπεύθυνο για το εθνικό δίκτυο καταγραφής των σεισμών της Τουρκίας. Ο σεισμός της Τουρκίας καταγράφηκε από επιταχυνσιογράφους που ο συνολικός αριθμός φτάνει τους 1053, με ενεργούς τους 858 και ανενεργούς τους 195 σταθμούς, όπως αυτοί είναι τοποθετημένοι σε όλη την έκταση της χώρας. Το δίκτυο επιταχυνσιογράφων απεικονίζεται χαρακτηριστικά στην παρακάτω εικόνα.



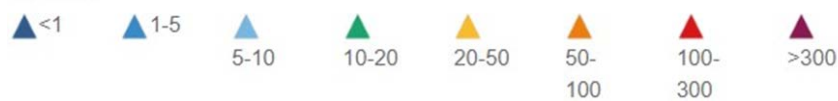
Εικόνα 4.1 Χάρτης με τους συνολικά 1053 επιταχυνσιογράφους (AFAD)

Στην περίπτωση του υπό μελέτη ισχυρού σεισμικού γεγονότος ενεργοποιήθηκαν 379 επιταχυνσιογράφοι και χρησιμοποιούνται τα δεδομένα από τους επιταχυνσιογράφους που έδωσαν τις δέκα ισχυρότερες καταγραφές επιταχύνσεων. Οι επιταχυνσιογράφοι με τις μεγαλύτερες επιταχύνσεις ήταν τοποθετημένοι κοντά στην περιοχή του ρήγματος αντιθέτως με τους απομακρυσμένους σταθμούς που εμφανίζουν μικρότερες τιμές εδαφικών επιταχύνσεων, όπως είναι αναμενόμενο λόγω της φυσικής εξασθένησης της σεισμικής κίνησης και των σεισμικών κυμάτων με την αύξηση της απόστασης από το επίκεντρο του σεισμού. Στην εικόνα που ακολουθεί παρουσιάζεται ο χάρτης με τις τιμές καταγραφών των μεγίστων εδαφικών επιταχύνσεων του σεισμού.



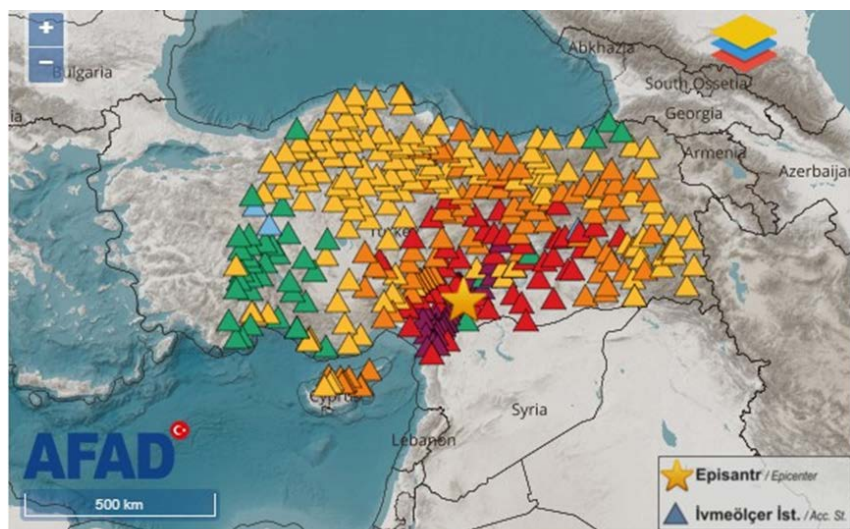
Distribution by:  PGA (cm/s<sup>2</sup>)  PGV (cm/s)  PGD (cm)

Legend



Εικόνα 4.2 Κατανομή των μεγίστων εδαφικών επιταχύνσεων από το δίκτυο καταγραφής (AFAD)

Στο παρακάτω χάρτη παρουσιάζονται οι εδαφικές ταχύτητες. Οι μεγαλύτερες εδαφικές ταχύτητες εμφανίζονται κοντά στο επίκεντρο του σεισμού δηλαδή στην περιοχή του ρήγματος.



Distribution by:  PGA (cm/s<sup>2</sup>)  PGV (cm/s)  PGD (cm)

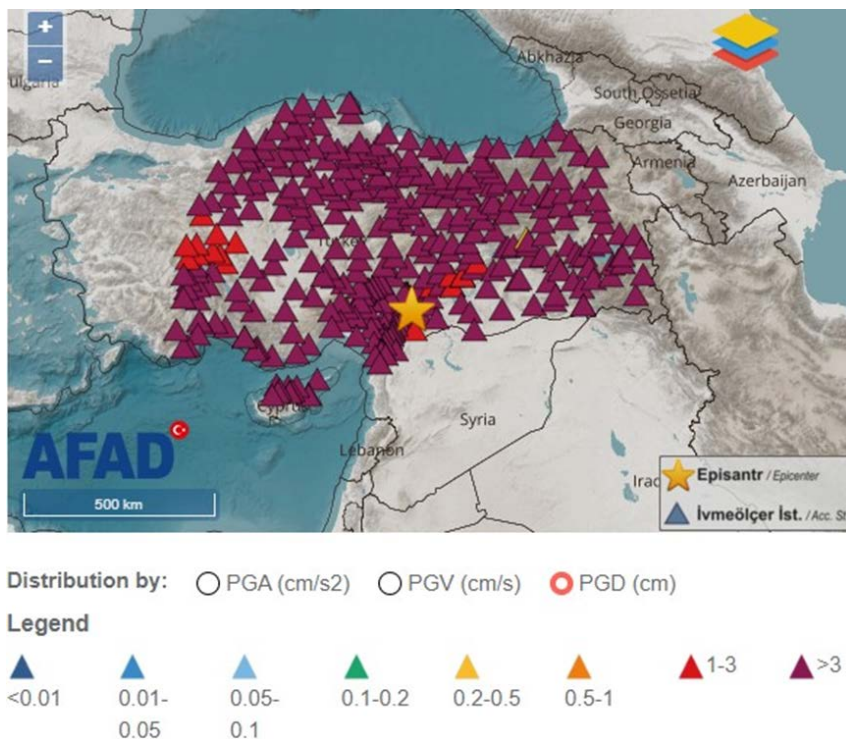
Legend



Εικόνα 4.3 Κατανομή των μεγίστων εδαφικών επιταχύνσεων από το δίκτυο καταγραφής (AFAD)

Σε όλη την έκταση της Τουρκίας οι μετακινήσεις ήταν μεγάλες όπως αποτυπώνεται στον παρακάτω χάρτη κατανομής των μεγίστων εδαφικών μετατοπίσεων κατά το σεισμό.





Εικόνα 4.4 Κατανομή των μεγίστων εδαφικών μετατοπίσεων από το δίκτυο καταγραφής (AFAD)

## 4.2 Αντισεισμικοί Κανονισμοί

### 4.2.1 Ευρωκώδικας 8 (EC-8)

Για τον σχεδιασμό και την κατασκευή έργων και κτιρίων σε σεισμικές περιοχές στα κράτη-μέλη που ανήκουν στην Ευρωπαϊκή Ένωση χρησιμοποιείται ο Ευρωκώδικας 8 (EC-8). Με την προσθήκη εθνικών παραρτημάτων όπως είναι η σεισμική επικινδυνότητα την οποία έχει κάθε χώρα αλλά και για τον σεισμό για τον οποίο σχεδιάζονται τα έργα αποτελεί ένα εγχειρίδιο που είναι δυνατόν να αντικαταστήσει τους εθνικούς κανονισμούς της κάθε χώρας και να αποτελέσει τον μοναδικό κανονισμό.

Για τον χαρακτηρισμό των εδαφών χρησιμοποιούνται παράμετροι όπως η πρότυπη δοκιμή διείσδυσης  $N_{SPT}$  που γίνεται μέσω μέτρησης κτύπων, η αστράγγιστης αντοχή  $c_u$ , ή η μέση ταχύτητα διατμητικών κυμάτων,  $V_{s,30}$ , στα ανώτερα 30m του εδάφους θεμελίωσης. Οπότε, βάσει της  $V_{s,30}$ , εφόσον είναι γνωστή η τιμή της πρέπει να κατατάσσεται το έδαφος στο οποίο έχει θεμελιωθεί το έργο διαφορετικώς, θα χρησιμοποιηθεί η τιμή  $N_{SPT}$  εφόσον είναι γνωστή. Αν και η τιμή  $N_{SPT}$  δεν είναι γνωστή χρησιμοποιείται η  $c_u$ . Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται οι κατηγορίες εδάφους του EC-8.

Κατηγορία Εδάφους	$V_{s,30}$ (m/s)	$N_{SPT}$	$c_u$ (kPa)
A Βράχος με έως 5m ασθενέστερο επιφανειακό υλικό	>800	—	—
B Πολύ πυκνή άμμος ή αμμοχάλικο, ή πολύ σκληρή άργιλος, δεκάδων m με αύξηση μηχανικών ιδιοτήτων με το βάθος	360-800	>50	>250
C Πυκνή άμμος ή αμμοχάλικο, ή σκληρή άργιλος, αρκετών δεκάδων ή εκατοντάδων m	180-360	15-50	70-250
D Χαλαρή έως μετρίως χαλαρή άμμος ή αμμοχάλικο ή μαλακή έως μετρίως σκληρή άργιλος	<180	<15	<70
E Επιφανειακό στρώμα C ή D πάχους 5 έως 20m και υπόστρωμα με $v_s > 800$ m/s			
S <sub>1</sub> ≥ 10m μαλακή άργιλος/ίλυς με δείκτη πλαστικότητας $PI > 40$ και υψηλή περιεκτικότητα νερού	<100	—	10-20
S <sub>2</sub> Ευαίσθητη άργιλος, εδάφη ρευστοποιήσιμα ή εκτός A-E ή S <sub>1</sub>			

Πίνακας 4.1 Κατηγοριοποίηση εδάφους βάσει EC-8 (Πιτιλάκης, 2010)

#### 4.2.2 Τούρκικος Κανονισμός (TEC 2018)

Στον τουρκικό αντισεισμικό κανονισμό (TEC 2018) η κατηγοριοποίηση των εδαφών γίνεται με τη μέση ταχύτητα διατμητικών κυμάτων στα ανώτερα 30m του εδάφους  $V_{s,30}$  (m/s) και παρουσιάζει ομοιότητες με τον αμερικάνικο κανονισμό IBC2000.

Soil type		Definition	
TEC 2007	TEC 2018	TEC 2007	TEC 2018
Z1	ZA	Very dense sediment, gravel and solid clay $V_s > 700$ m/s	Sound, hard rocks $V_{s(30)} > 1500$
Z2	ZB	Dense sediment gravel, very stiff clay $300 \text{ m/s} < V_s < 700 \text{ m/s}$	Slightly weathered, medium sound rocks $760 < V_{s(30)} < 1500$
Z3	ZC	Medium dense sediment and gravel, stiff clay $200 \text{ m/s} < V_s < 300 \text{ m/s}$	Very dense sand, gravel and hard clay layers or dissociated, very cracked weak rocks $360 < V_{s(30)} < 760$
Z4	ZD	Weak sediment, soft clay with alluvium layer High water table $V_s < 200$ m/s	Medium dense – dense sand, gravel or very solid clay layers $180 < V_{s(30)} < 360$
	ZE		Loose sand, gravel or soft—solid clay layers or profiles with a soft clay layer ( $c_u < 25$ kPa) thicker than 3 m, providing $PI > 20$ and $w > 40\%$ conditions $V_{s(30)} < 180$
	ZF*		

Πίνακας 4.2 Κατηγοριοποίηση εδάφους βάσει TEC-2018 (Civelekler, E. et al., 2021)

Πιο συγκεκριμένα, η κατηγοριοποίηση των εδαφών γίνεται ως ακολούθως.

ZA: Σκληροί βράχοι  $V_{s,30} > 1500$

ZB: Αποσαθρωμένοι βράχοι  $760 < V_{s,30} < 1500$

ZC: Πολύ πυκνή άμμος, αμμοχάλικο και στιφρής αργίλου ή ραγισμένα και αδύναμα βράχοι  $360 < V_{s,30} < 760$

ZD: Μέσης πυκνότητας άμμος χαλικιών ή στιφρής αργίλου  $180 < V_{s,30} < 360$

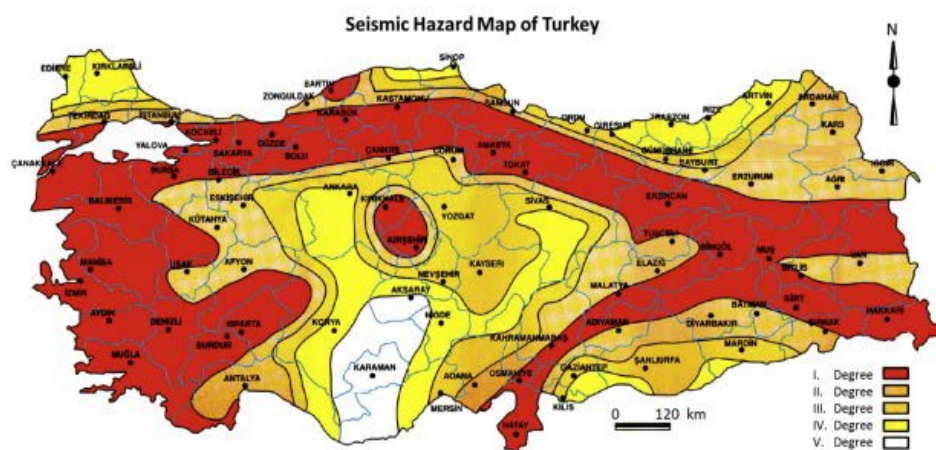
ZE: Μη συνεκτικά εδάφη, χαλαρή άμμο ή αμμοχάλικο  $V_{s,30} < 180$

ZF: Είναι για εδάφη που απαιτούν ειδική έρευνα και αξιολόγηση όπως:

1. Εδάφη υπό κίνδυνο αστοχίας και υπερβολικής καθίζησης
2. Εδάφη με οργανική άργιλο πάχους μεγαλύτερου των 3 m
3. Άργιλοι με υψηλή πλαστικότητα ( $PI > 50$ ) και με συνολικό πάχος άνω των 8 m
4. Πολύ πυκνές (>35 m) μαλακοί ή μέτρια στερεές άργιλοι

#### 4.2.3 Σεισμικές Ζώνες

Ανάλογα με την περιοχή που πρόκειται να σχεδιασθεί μια κατασκευή λαμβάνεται αντίστοιχη εδαφική επιτάχυνση  $a_{gr}$  σχεδιασμού με βάση τον Αντισεισμικό Κανονισμό. Η Τουρκία διαθέτει πέντε ζώνες διαφορετικών εδαφικών επιταχύνσεων όπως απεικονίζεται στον παρακάτω χάρτη σεισμικής επικινδυνότητας. Ουσιαστικά, η μέγιστη επιτάχυνση σχεδιασμού του εδάφους διαφέρει από περιοχή σε περιοχή οπότε δεν είναι κοινή για όλες τις περιοχές της χώρας.



Εικόνα 4.5 Χάρτης ζώνης σεισμικής επικινδυνότητας της Τουρκίας (Gunes, O. 2015)

Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται οι τιμές των εδαφικών επιταχύνσεων σχεδιασμού που αντιστοιχούν σε κάθε μια από τις πέντε σεισμικές ζώνες.

Seismic Zone	
I	pga=0.4g
II	pga=0.3g
III	pga=0.2g
IV	pga=0.1g
V	pga<0.1g

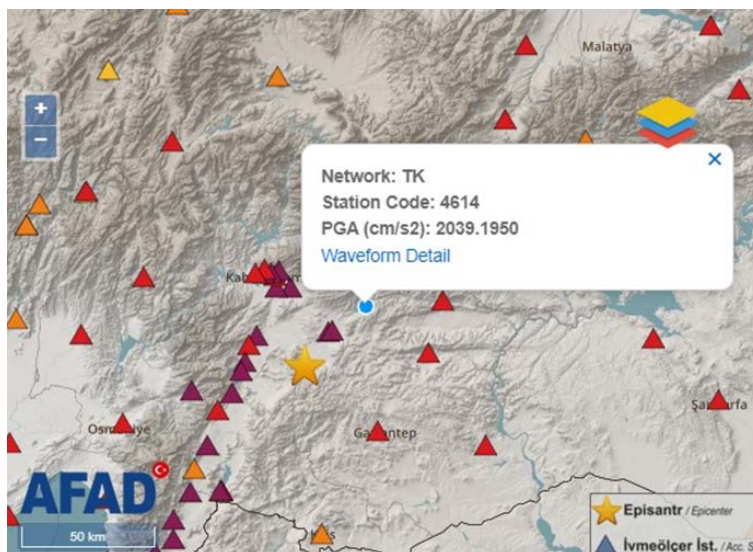
Πίνακας 4.3 Εδαφική επιτάχυνση αναφοράς ανά ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας (Gunes, O. 2015)

### 4.3 Επιλογή καταγραφών προς ανάλυση

Οι καταγραφές που αναλύονται στην διπλωματική εργασία είναι αυτές που εμφάνισαν τις μεγαλύτερες εδαφικές επιταχύνσεις κατά Βορρά – Νότο.

#### 4.3.1 Σταθμός No 4614

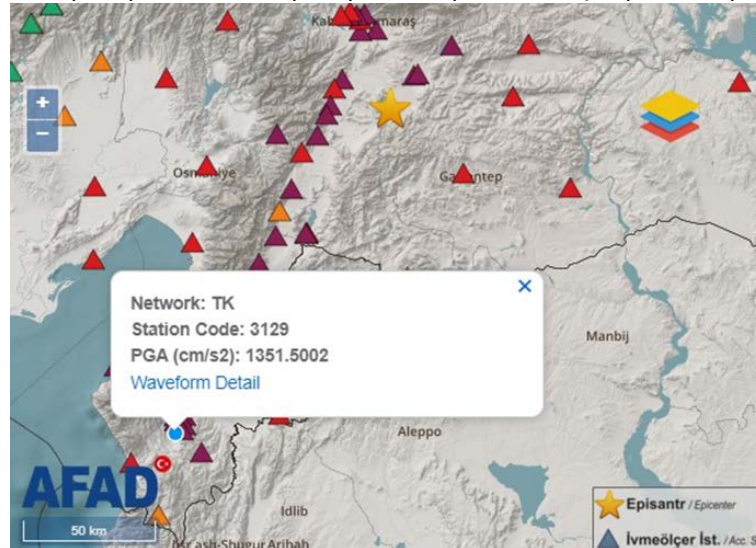
Ο επιταχυνσιογράφος 4614 βρίσκεται στην επαρχία Καχραμανμάρα συγκεκριμένα στην περιοχή Pazarcik με γεωγραφικό πλάτος 37.4851 και γεωγραφικό μήκος 37.2977. Το υψόμετρο του σταθμού είναι στα 771m, και η μέση ταχύτητα διατμητικών κυμάτων  $V_{s,30}=541$  m/s. Κατηγορία εδάφους B βάσει του EC-8 και η απόσταση από το επίκεντρο στα 31.42 km.



Εικόνα 4.6 Σταθμός 4614 (AFAD)

#### 4.3.2 Σταθμός No 3129

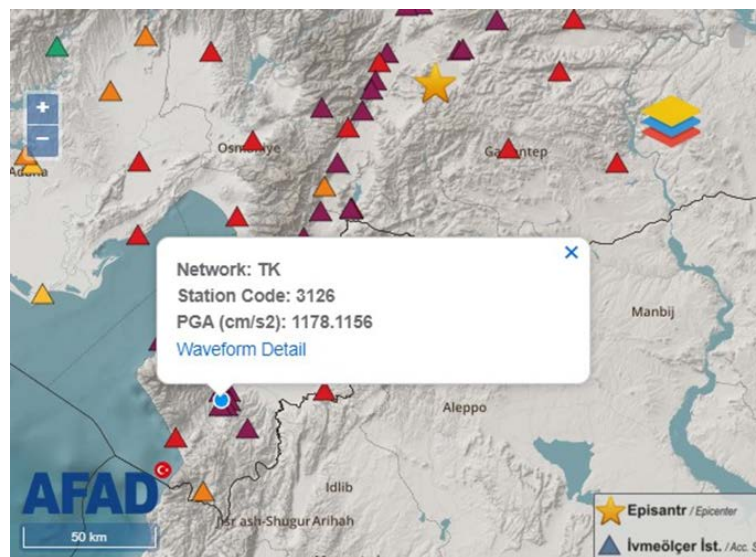
Ο επιταχυνσιογράφος 3129 βρίσκεται στην επαρχία Χατάϊ με γεωγραφικό πλάτος 36.1912 και γεωγραφικό μήκος 36.1343. Το υψόμετρο του σταθμού είναι στα 106m, και η μέση ταχύτητα διατμητικών κυμάτων  $V_{s,30}=447$  m/s. Κατηγορία εδάφους B βάσει του EC-8 και η απόσταση από το επίκεντρο στα 146.39 km.



Εικόνα 4.7 Σταθμός 3129 (AFAD)

#### 4.3.3 Σταθμός No 3126

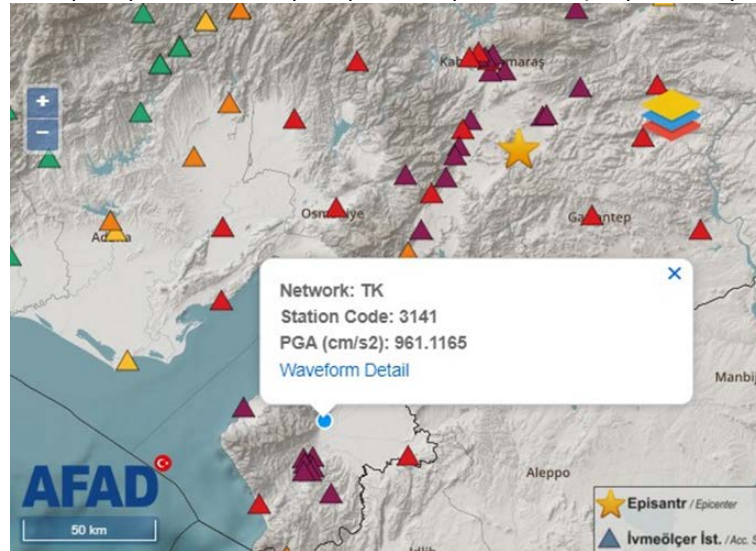
Ο επιταχυνσιογράφος 3126 βρίσκεται στην επαρχία Χατάϊ συγκεκριμένα στην περιοχή Antakya με γεωγραφικό πλάτος 36.2202 και γεωγραφικό μήκος 36.1375. Το υψόμετρο του σταθμού είναι στα 123m, και η μέση ταχύτητα διατμητικών κυμάτων  $V_{s,30}=350$  m/s. Κατηγορία εδάφους C βάσει του EC-8 και η απόσταση από το επίκεντρο στα 143.54 km.



Εικόνα 4.8 Σταθμός 3126 (AFAD)

#### 4.3.4 Σταθμός No 3141

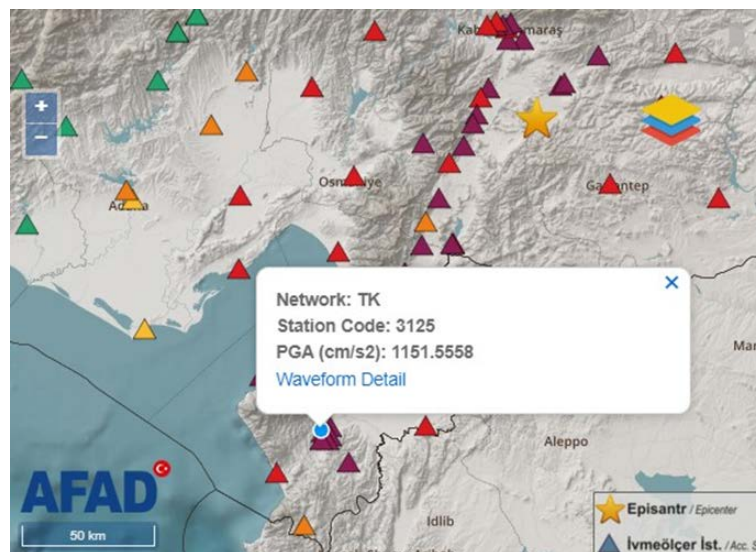
Ο επιταχυνσιογράφος 3141 βρίσκεται στην επαρχία Χατάϊ συγκεκριμένα στην περιοχή Antakya με γεωγραφικό πλάτος 36.3726 και γεωγραφικό μήκος 36.2197. Το υψόμετρο του σταθμού είναι στα 111m, και η μέση ταχύτητα διατμητικών κυμάτων  $V_{s,30}=338$  m/s. Κατηγορία εδάφους C βάσει του EC-8 και η απόσταση από το επίκεντρο στα 125.42 km.



Εικόνα 4.9 Σταθμός 3141 (AFAD)

#### 4.3.5 Σταθμός No 3125

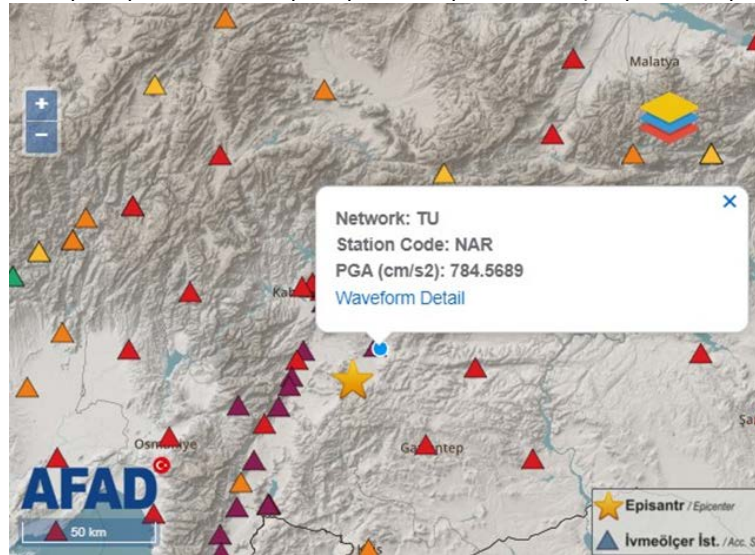
Ο επιταχυνσιογράφος 3125 βρίσκεται στην επαρχία Χατάϊ συγκεκριμένα στην περιοχή Antakya με γεωγραφικό πλάτος 36.2381 και γεωγραφικό μήκος 36.1326. Το υψόμετρο του σταθμού είναι στα 156 m, και η μέση ταχύτητα διατμητικών κυμάτων  $V_{s,30}=448$  m/s. Κατηγορία εδάφους B βάσει του EC-8 και η απόσταση από το επίκεντρο στα 142.15 km.



Εικόνα 4.10 Σταθμός 3125 (AFAD)

#### 4.3.6 Σταθμός NAR

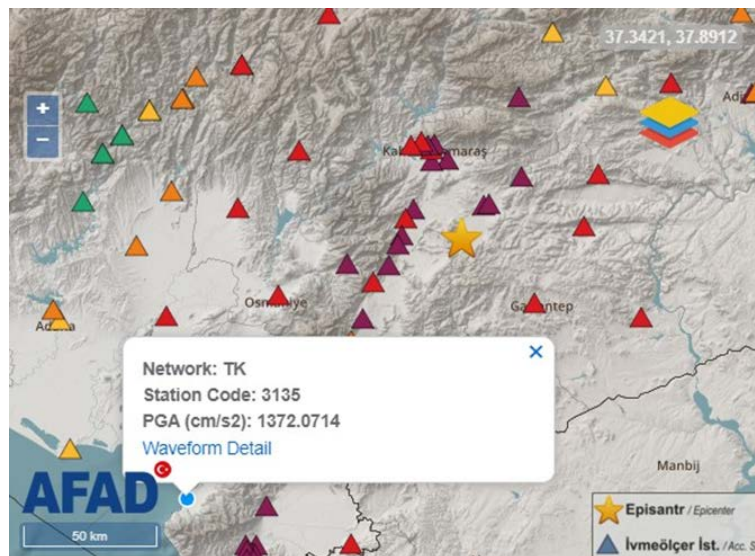
Ο επιταχυνσιογράφος NAR βρίσκεται επαρχία Καχραμανμάρα συγκεκριμένα στην περιοχή Πάζαρτζικ με γεωγραφικό πλάτος 37.3919 και γεωγραφικό μήκος 37.1574. Το υψόμετρο του σταθμού είναι στα 650m, και η κατηγορία εδάφους θεωρήθηκε στην B κατά τον EC-8 δεδομένου ότι δεν διατίθενται στοιχεία για το σταθμό αυτό. Η απόσταση από το επίκεντρο είναι ίση με 15.35 km.



Εικόνα 4.11 Σταθμός NAR (AFAD)

#### 4.3.7 Σταθμός No 3135

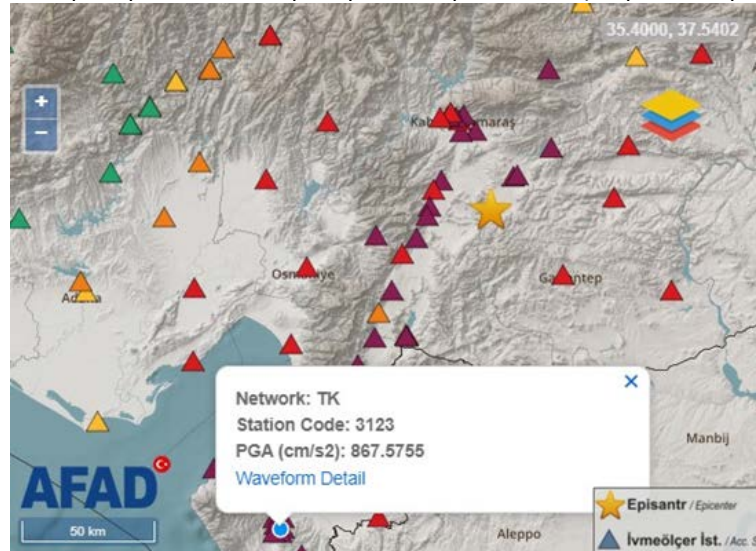
Ο επιταχυνσιογράφος 3135 βρίσκεται στην επαρχία Χατάϊ συγκεκριμένα στην περιοχή Arsuz με γεωγραφικό πλάτος 36.4088 και γεωγραφικό μήκος 35.8831. Το υψόμετρο του σταθμού είναι στα 3 m πολύ κοντά στη θάλασσα, και η μέση ταχύτητα διατμητικών κυμάτων  $V_{s30}=460$  m/s. Κατηγορία εδάφους B βάσει του EC-8 και η απόσταση από το επίκεντρο στα 142.15 km.



Εικόνα 4.12 Σταθμός 3135 (AFAD)

#### 4.3.8 Σταθμός No 3123

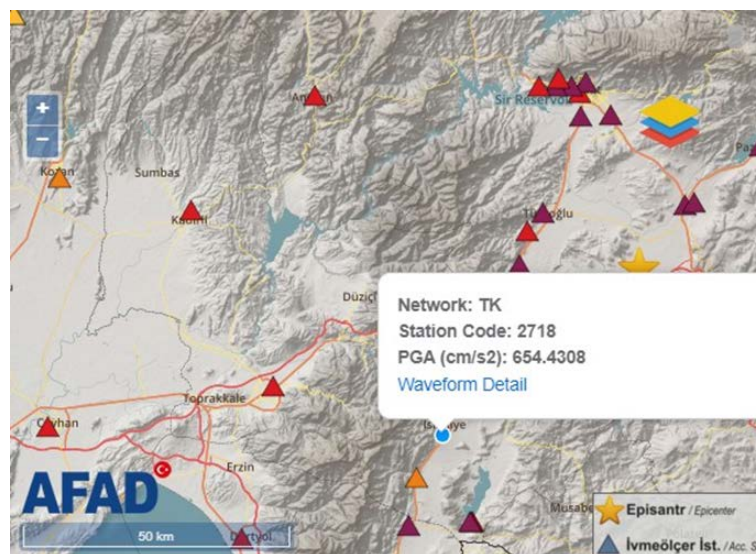
Ο επιταχυνσιογράφος 3123 βρίσκεται στην επαρχία Χατάϊ συγκεκριμένα στην περιοχή Antakya με γεωγραφικό πλάτος 36.2142 και γεωγραφικό μήκος 36.1597. Το υψόμετρο του σταθμού είναι στα 85 m, και η μέση ταχύτητα διατμητικών κυμάτων  $V_{s30}=470$  m/s. Κατηγορία εδάφους B βάσει του EC-8 και η απόσταση από το επίκεντρο στα 143 km.



Εικόνα 4.13 Σταθμός 3123 (AFAD)

#### 4.3.9 Σταθμός No 2718

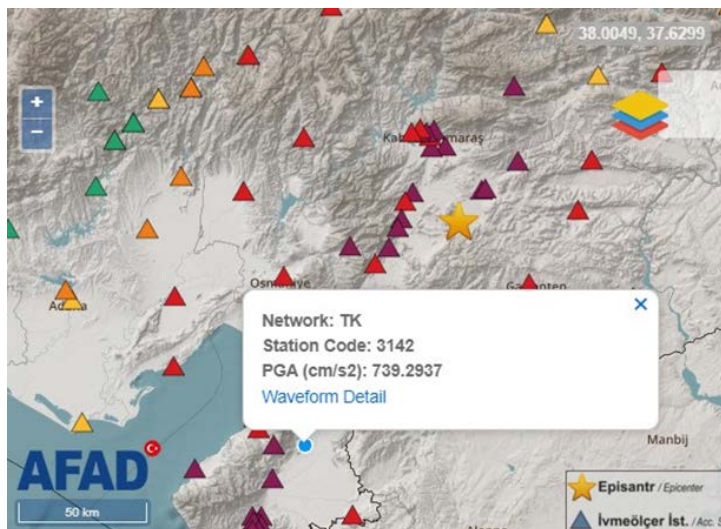
Ο επιταχυνσιογράφος 2718 βρίσκεται στην επαρχία Γκαζιαντέπ συγκεκριμένα στην περιοχή İslahiye με γεωγραφικό πλάτος 37.0077 και γεωγραφικό μήκος 36.6266. Το υψόμετρο του σταθμού είναι στα 527m, η απόσταση από το επίκεντρο ίση με 48.30 km, ενώ απουσία δεδομένων η κατηγορία εδάφους θεωρήθηκε B κατά τον EC-8.



Εικόνα 4.14 Σταθμός 2718 (AFAD)

#### 4.3.10 Σταθμός No 3142

Ο επιταχυνσιογράφος 3142 βρίσκεται στην επαρχία Χατάϊ συγκεκριμένα στην περιοχή Kırıkhan με γεωγραφικό πλάτος 36.4979 και γεωγραφικό μήκος 36.3661. Το υψόμετρο του σταθμού είναι στα 139m, και η μέση ταχύτητα διατμητικών κυμάτων  $V_{s,30}=539$  m/s. Κατηγορία εδάφους B βάσει του EC-8 και η απόσταση από το επίκεντρο στα 106.49 km.



Εικόνα 4.15 Σταθμός 3129 (AFAD)



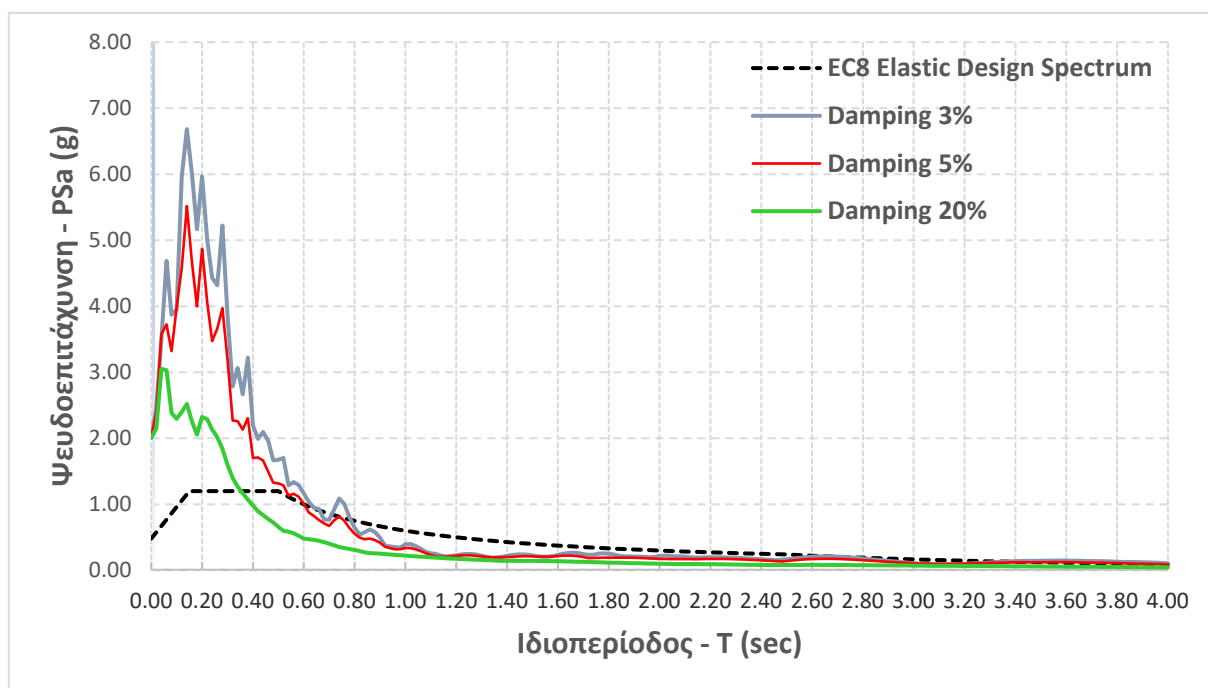
## 5 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5<sup>ο</sup>: Ελαστικά Φάσματα Απόκρισης

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται και αναλύονται τα ελαστικά φάσματα απόκρισης του σεισμού για τις επιταχύνσεις που καταγράφηκαν στην παραπάνω ομάδα επιταχυνσιογράφων. Πιο συγκεκριμένα για κάθε σταθμό υπολογίζονται και παρουσιάζονται τα ελαστικά φάσματα απόκρισης των δυο οριζόντιων και της κατακόρυφης συνιστώσας για απόσβεση 3% (μεταλλικές κατασκευές), 5% (κατασκευές οπλισμένου σκυροδέματος και τοιχοποιίας) και 20% (άλλες κατασκευές με μεγαλύτερη απόσβεση). Τα φάσματα αντιπαραβάλλονται με το φάσμα σχεδιασμού του EC-8 για την κατηγορία εδάφους στην οποία κατατάσσεται ο κάθε σταθμός και γίνεται σχολιασμός των αποτελεσμάτων χωριστά για τις οριζόντιες και την κατακόρυφη συνιστώσα του σεισμού. Για κάθε συνιστώσα δίνονται τα φάσματα ψευδο-επιταχύνσεων, τα φάσματα μετακινήσεων και το φάσμα απόκρισης ψευδο-ταχυτήτων. Τέλος, να τονισθεί ότι για την εξαγωγή των ελαστικών φασμάτων αποκρίσεως χρησιμοποιείται το πρόγραμμα PRISM for Earthquake Engineering (Seong-Hoon Jeong et al., 2024).

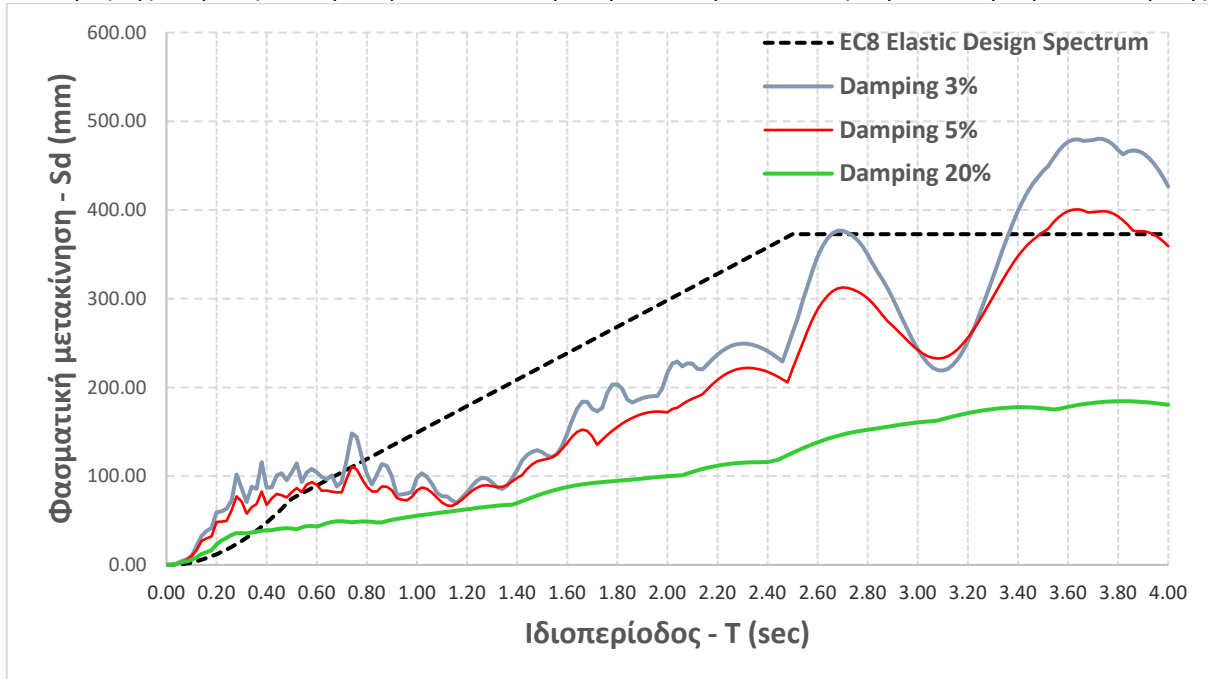
### 5.1 Σταθμός No 4614

#### 5.1.1 Ελαστικά φάσματα απόκρισης

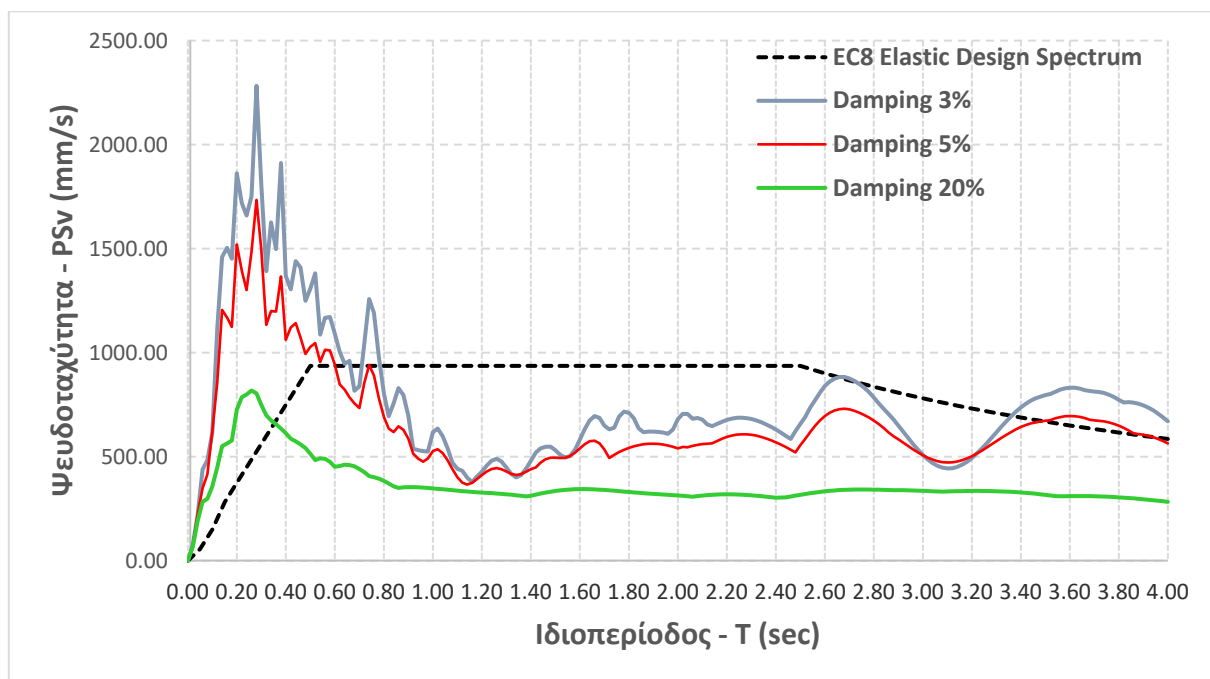
##### Συνιστώσα East – West



Εικόνα 5.1 Ελαστικά φάσματα απόκρισης ψευδο-επιταχύνσεων (4614 East-West) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8

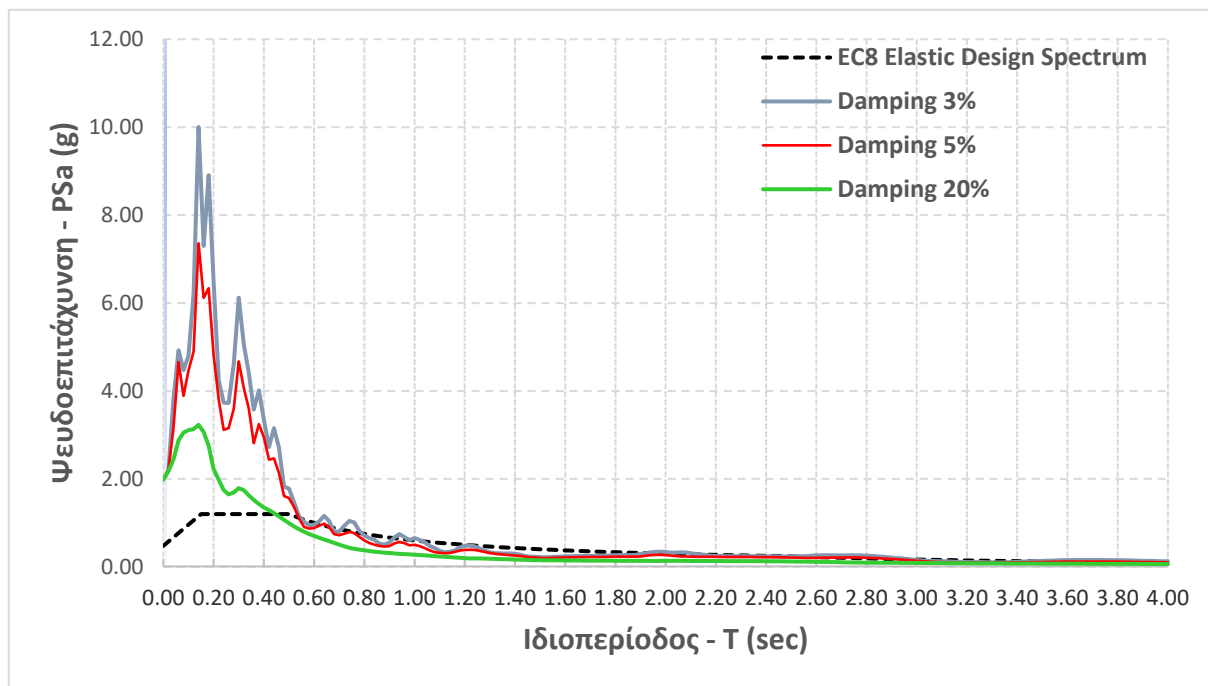


Εικόνα 5.2 Ελαστικά φάσματα απόκρισης μετακινήσεων (4614 East-West) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8

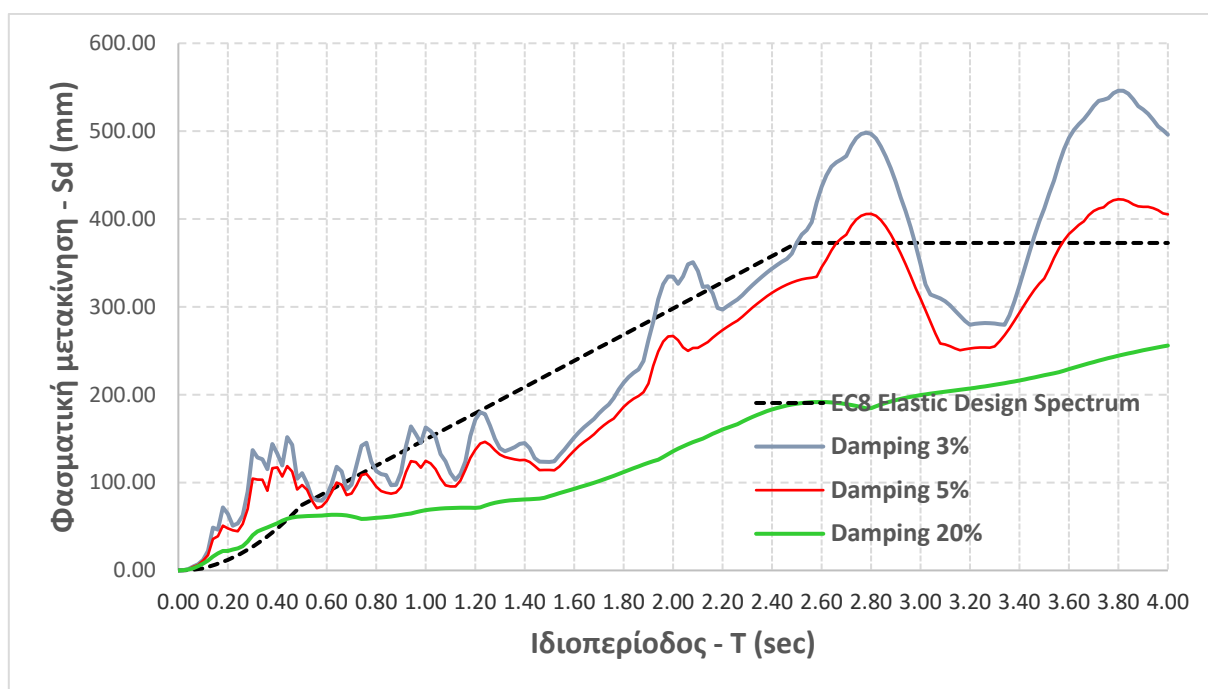


Εικόνα 5.3 Ελαστικά φάσματα απόκρισης ψευδο-ταχυτήτων (4614 East-West) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8

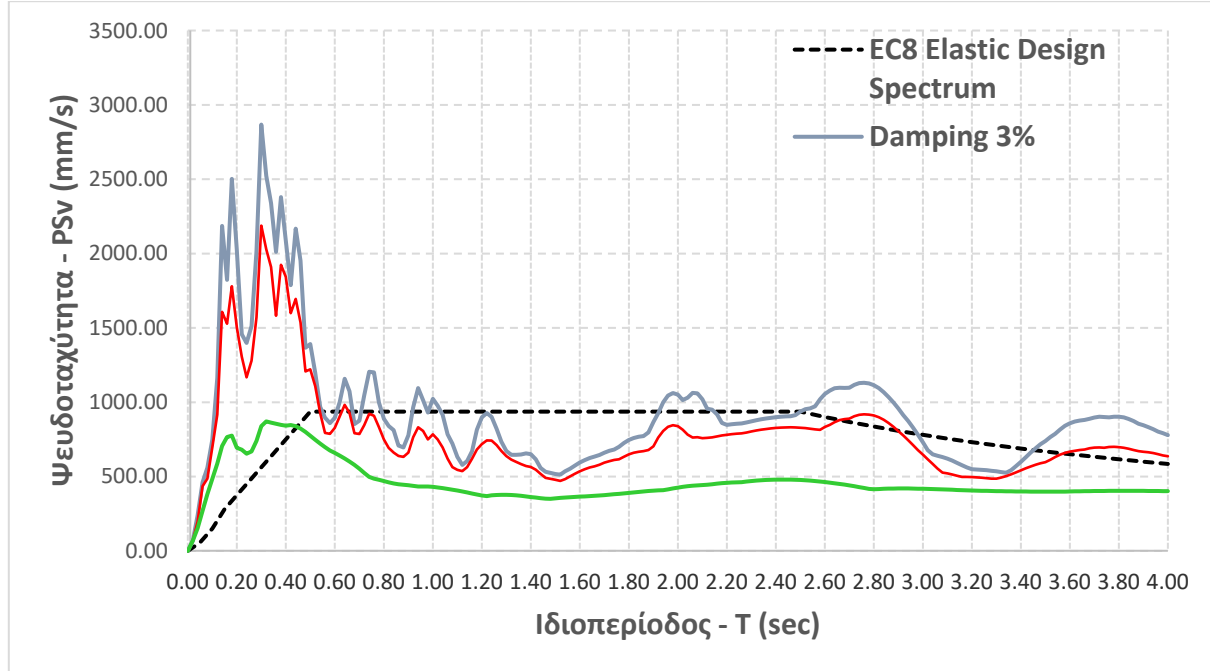
### Συνιστώσα NORTH-SOUTH



Εικόνα 5.4 Ελαστικά φάσματα απόκρισης ψευδο-επιταχύνσεων (4614 North-South) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8

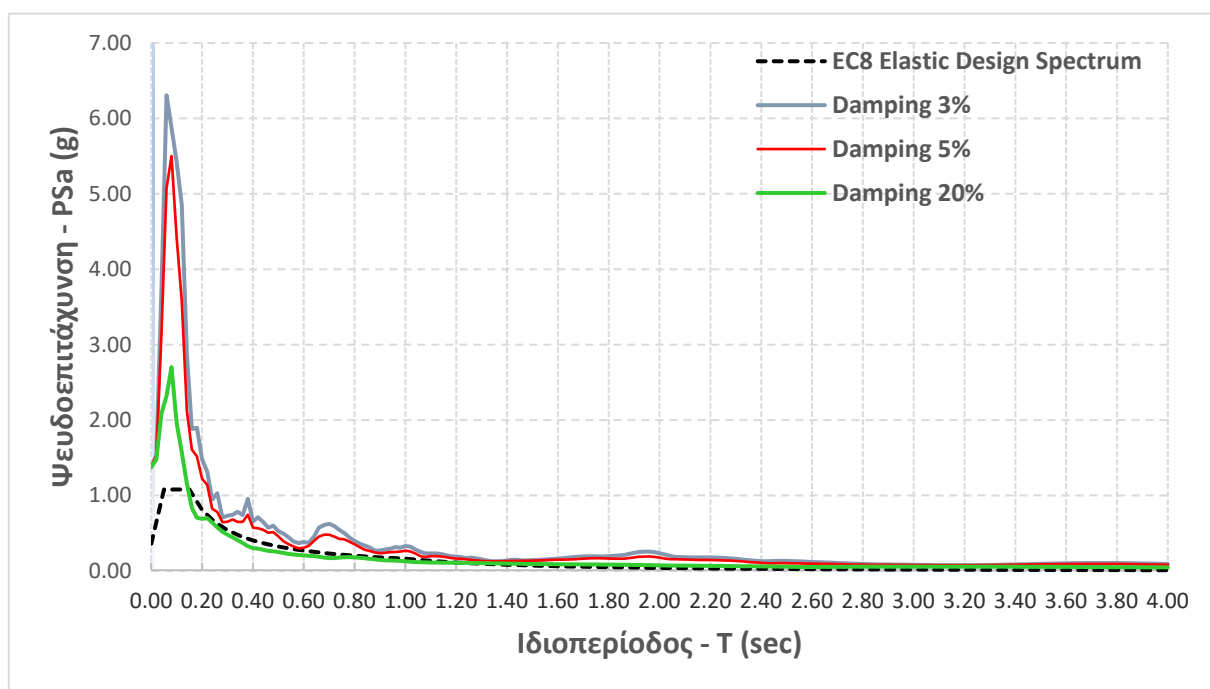


Εικόνα 5.5 Ελαστικά φάσματα απόκρισης μετακινήσεων (4614 North-South) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8

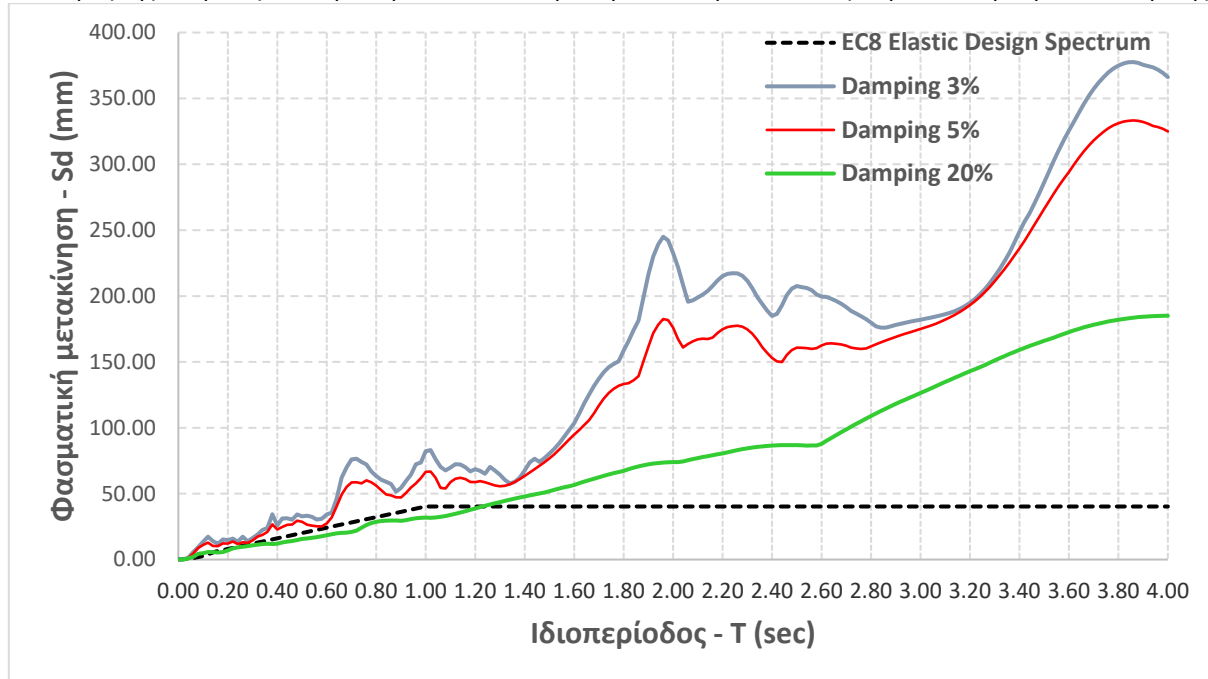


Εικόνα 5.6 Ελαστικά φάσματα απόκρισης ψευδο-ταχυτήτων (4614 North-South) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8

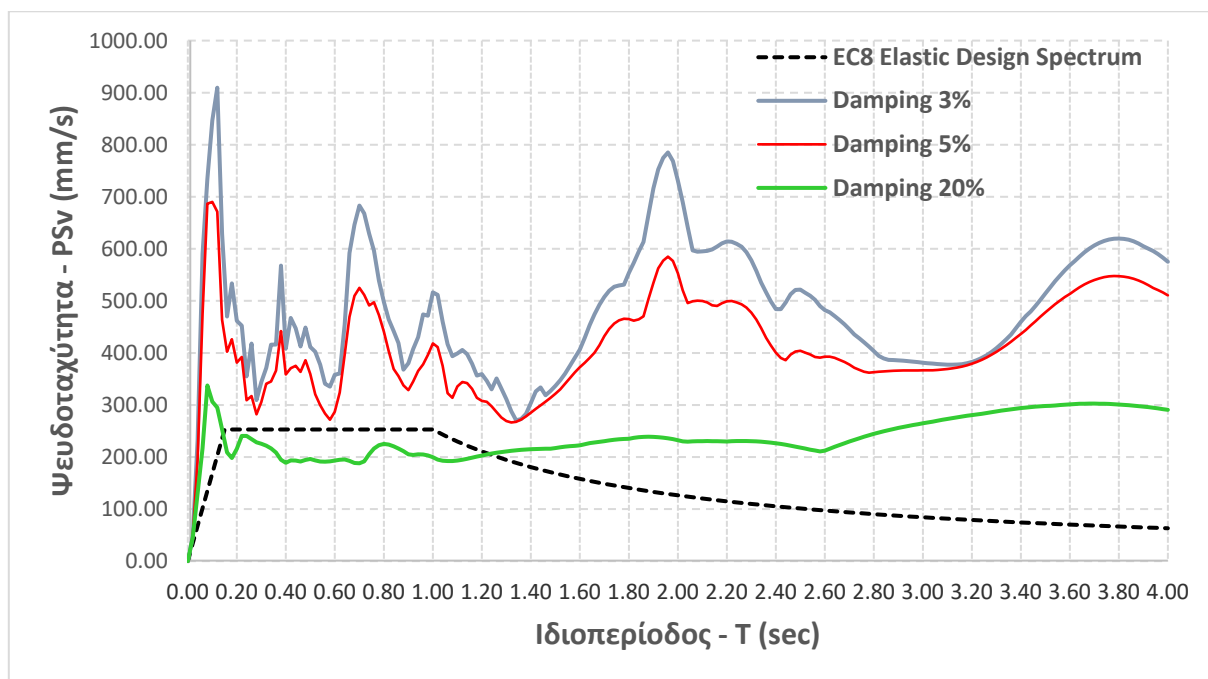
### Συνιστώσα UP-DOWN



Εικόνα 5.7 Ελαστικά φάσματα απόκρισης ψευδο-επιταχύνσεων (4614 Up-Down) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8



Εικόνα 5.8 Ελαστικά φάσματα απόκρισης μετακινήσεων (4614 Up-Down) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8



Εικόνα 5.9 Ελαστικά φάσματα απόκρισης ψευδο-ταχυτήτων (4614 Up-Down) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8

### 5.1.2 Σύνοψη συμπεράσματα

Εξετάζοντας το φάσμα απόκρισης ψευδο-επιτάχυνσης για απόσβεση 5%, η οποία αντιστοιχεί σε κτίρια οπλισμένου σκυροδέματος, παρατηρείται ότι το έδαφος μπορεί να χαρακτηριστεί ως σκληρό. Το αποτέλεσμα του φάσματος είναι δικαιολογημένο καθώς ο σταθμός 4614 βρίσκεται σε κατηγορία εδάφους Β που είναι οι αποσαθρωμένοι βράχοι. Η επιρροή του εδάφους είναι ίδια για τις συνιστώσες E-W και N-S όπως και επηρεάζονται κτίρια με μικρές ιδιοπεριόδους όπου οι τιμές τους κυμαίνονται από 0s έως και 0.5s συμπερασματικώς τα χαμηλά κτίρια υπέστησαν τις μεγαλύτερες βλάβες στην περιοχή δηλαδή κτίρια τύπου 2 ορόφων μέχρι και 5 οροφών λόγω των υψηλών επιταχύνσεων στις μικρές ιδιοπεριόδους.

*Ο Σεισμός της Τουρκίας 6 Φεβρουαρίου 2023 σεισμολογικά δεδομένα βλάβες κτιρίων και φάσματα απόκρισης*  
Επιπλέον, εξετάζοντας το φάσμα της ψευδό-επιτάχυνσης προκύπτει ότι η σεισμική επιτάχυνση που δέχθηκαν τα κτίρια είναι πέντε φορές μεγαλύτερη από την επιτάχυνση του ελαστικού φάσματος σχεδιασμού των κτιρίων δηλαδή από 1.2g στα 6.2g. Στις μεγαλύτερες ιδιοπεριόδους πάνω από 0.5 s τα φάσματα της ψευδό-επιτάχυνσης καλύπτονται από το φάσμα σχεδιασμού οπότε οι κατασκευές αυτές αναμένεται να είχαν ελάχιστες βλάβες.

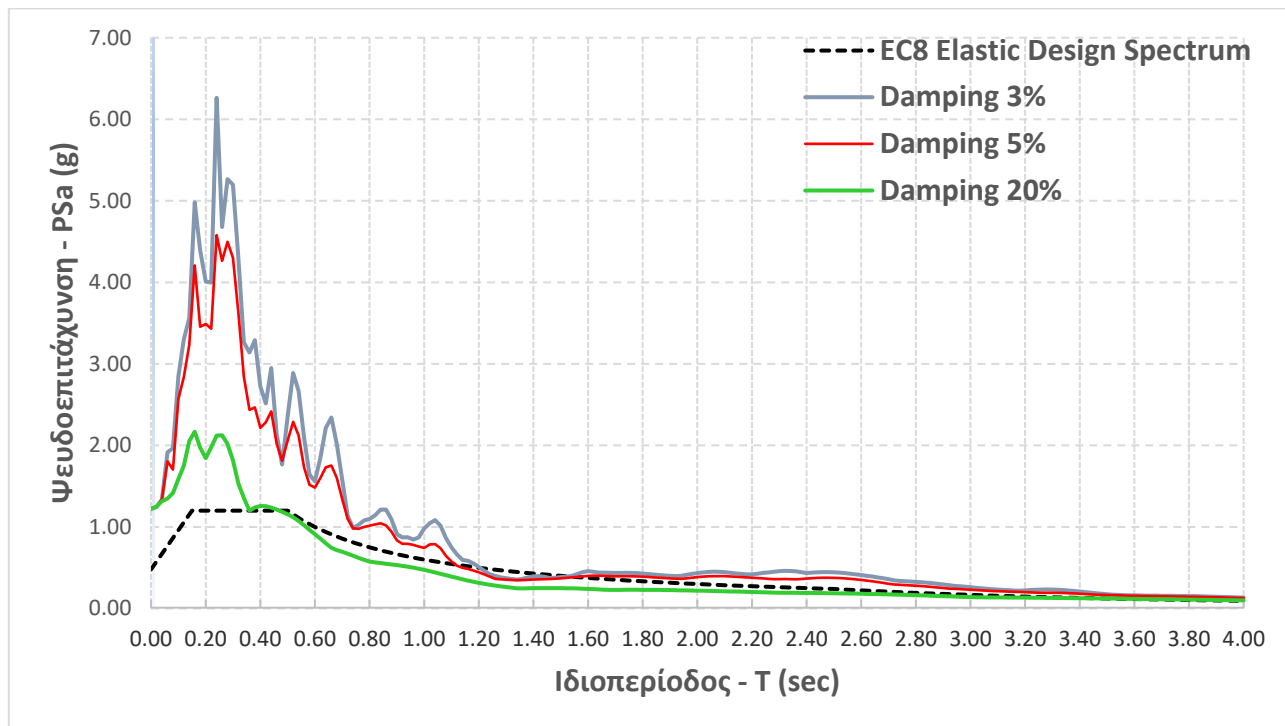
Εξετάζοντας την κατακόρυφη συνιστώσα του σεισμού UP-DOWN προκύπτει ότι όλες οι κατασκευές δέχονται μεγαλύτερη σεισμική επιτάχυνση από την επιτάχυνση του ελαστικού φάσματος σχεδιασμού. Τα κτίρια όμως με μικρές ιδιοπεριόδους όπου οι τιμές τους κυμαίνονται από 0s έως και 0.15s άρα τα χαμηλότερα κτίρια υπέστησαν τις μεγαλύτερες βλάβες στην περιοχή, δηλαδή κτίρια τύπου 2 ορόφων λόγω των υψηλών εδαφικών επιταχύνσεων στις μικρές ιδιοπεριόδους. Ακόμη, προκύπτει ότι η σεισμική επιτάχυνση που δέχθηκαν τα κτίρια είναι πέντε φορές μεγαλύτερη από την επιτάχυνση του ελαστικού φάσματος σχεδιασμού δηλαδή από 1.g στα 5.2g. Στις μεγαλύτερες ιδιοπεριόδους πάνω από 0.15s το φάσμα της ψευδό-επιτάχυνσης τείνει να ταυτιστεί με το ελαστικό φάσμα σχεδιασμού επομένως σε αυτή την περιοχή περιόδων δεν αναπτύχθηκαν σημαντικά μεγαλύτερες δράσεις στις κατασκευές από αυτές που προβλέπει το φάσμα σχεδιασμού.

Στο φάσμα μετακινήσεων της διεύθυνσης East-West παρατηρείται ξανά ότι στα κτίρια με ιδιοπερίοδο 0 έως και 0.5s υπάρχει μεγάλη απόκλιση τιμών από την ελαστική μετακίνηση σχεδιασμού με αυτή την οποία δέχθηκαν να προκύπτει περίπου διπλάσια. Λόγω αυτών των τιμών των μετακινήσεων στα φάσματα αναμένεται να προέκυψαν σημαντικές βλάβες ή και καταρρεύσεις στα κτίρια με μικρή ιδιοπερίοδο δηλαδή τα χαμηλότερα κτίρια.

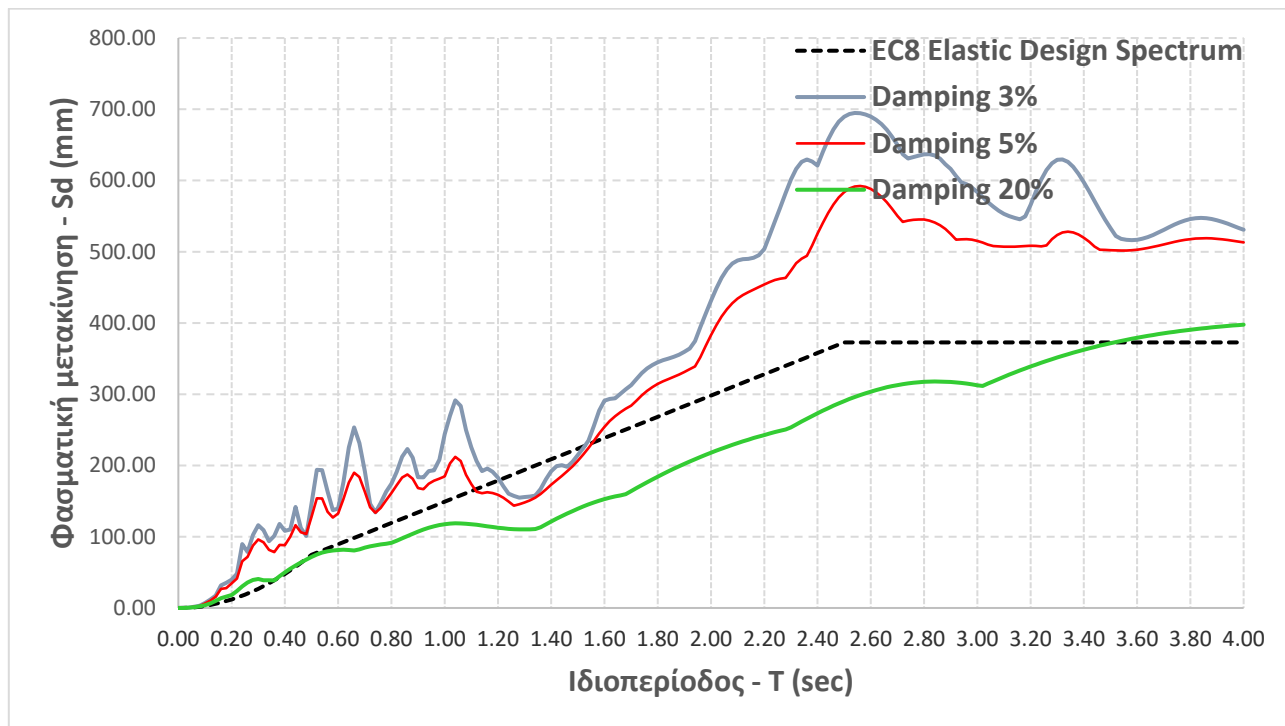
## 5.2 Σταθμός No 3129

### 5.2.1 Ελαστικά Φάσματα Απόκρισης

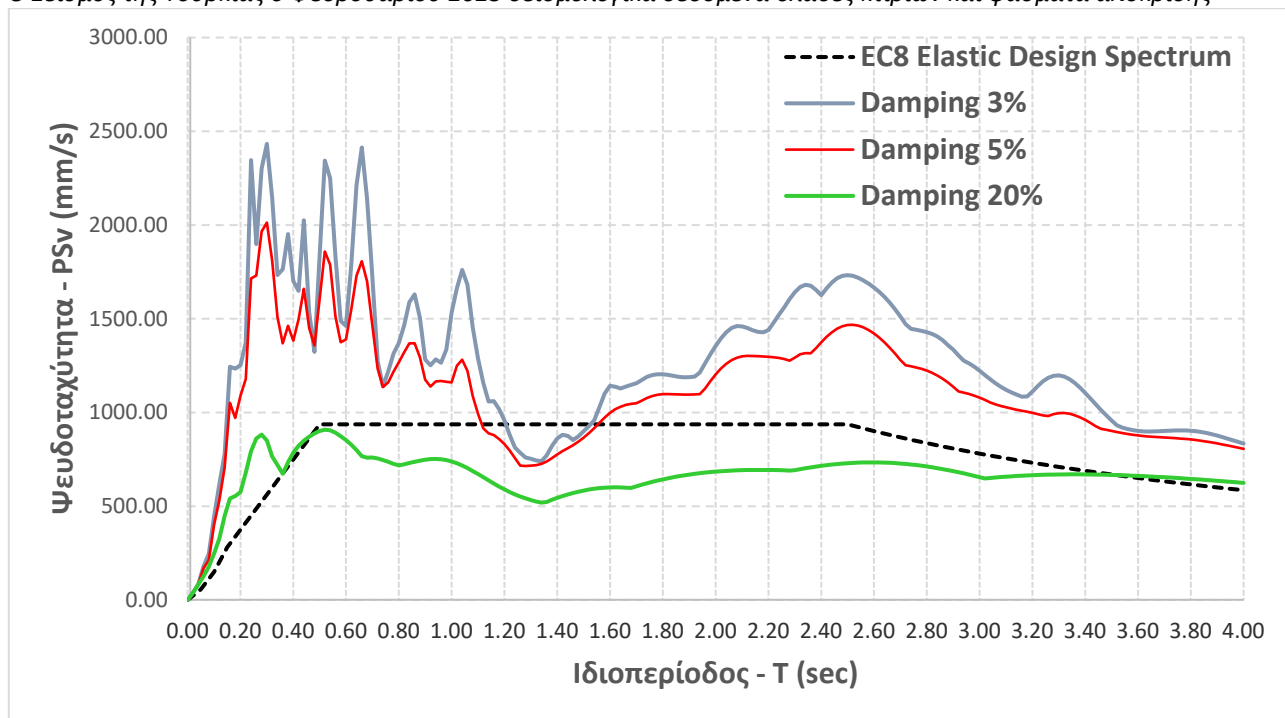
#### Συνιστώσα EAST-WEST



Εικόνα 5.10 Ελαστικά φάσματα απόκρισης ψευδο-επιταχύνσεων (3129 East-West) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8

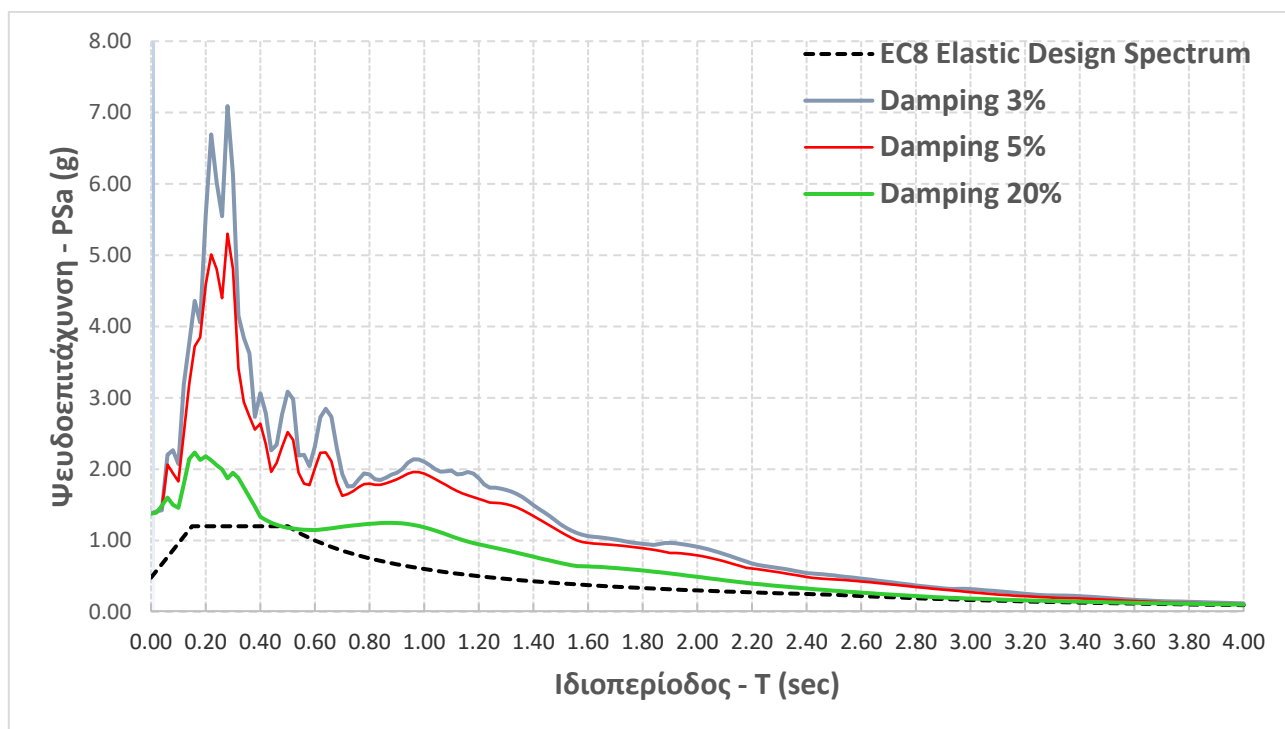


Εικόνα 5.11 Ελαστικά φάσματα απόκρισης μετακινήσεων (3129 East-West) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8



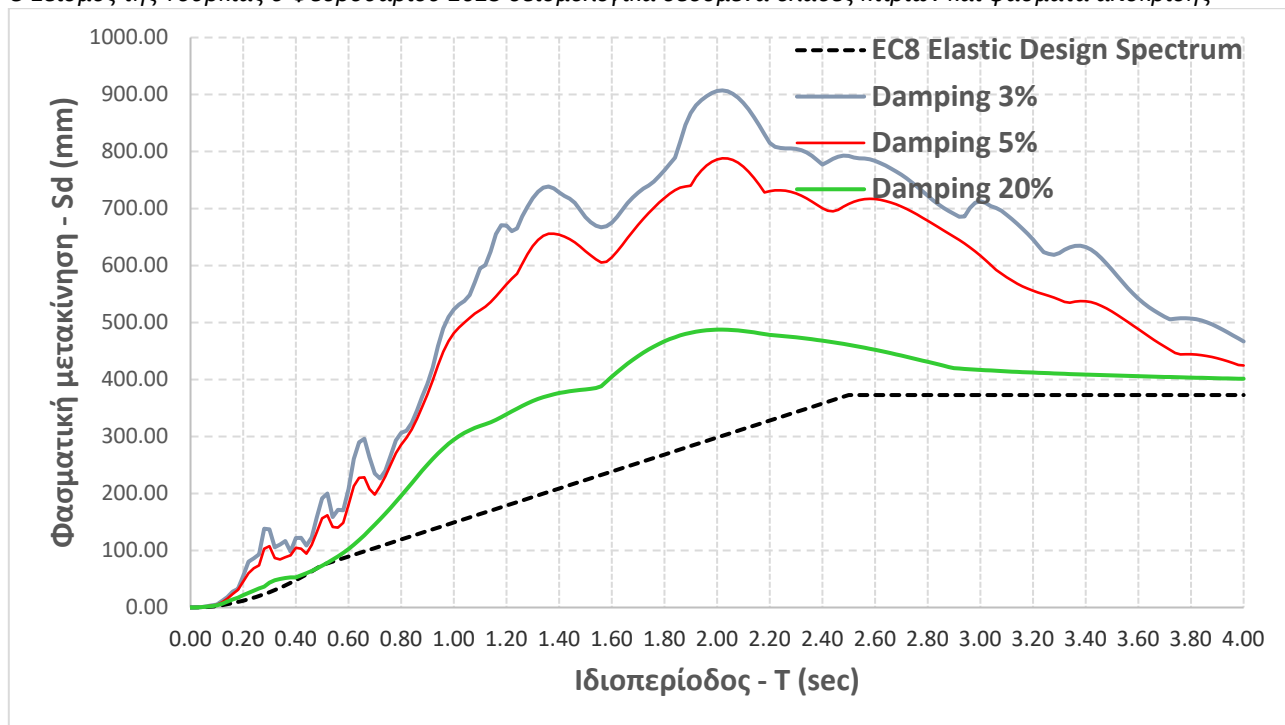
Εικόνα 5.12 Ελαστικά φάσματα απόκρισης ψευδο-ταχυτήτων (3129 East-West) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8

### Συνιστώσα NORTH-SOUTH

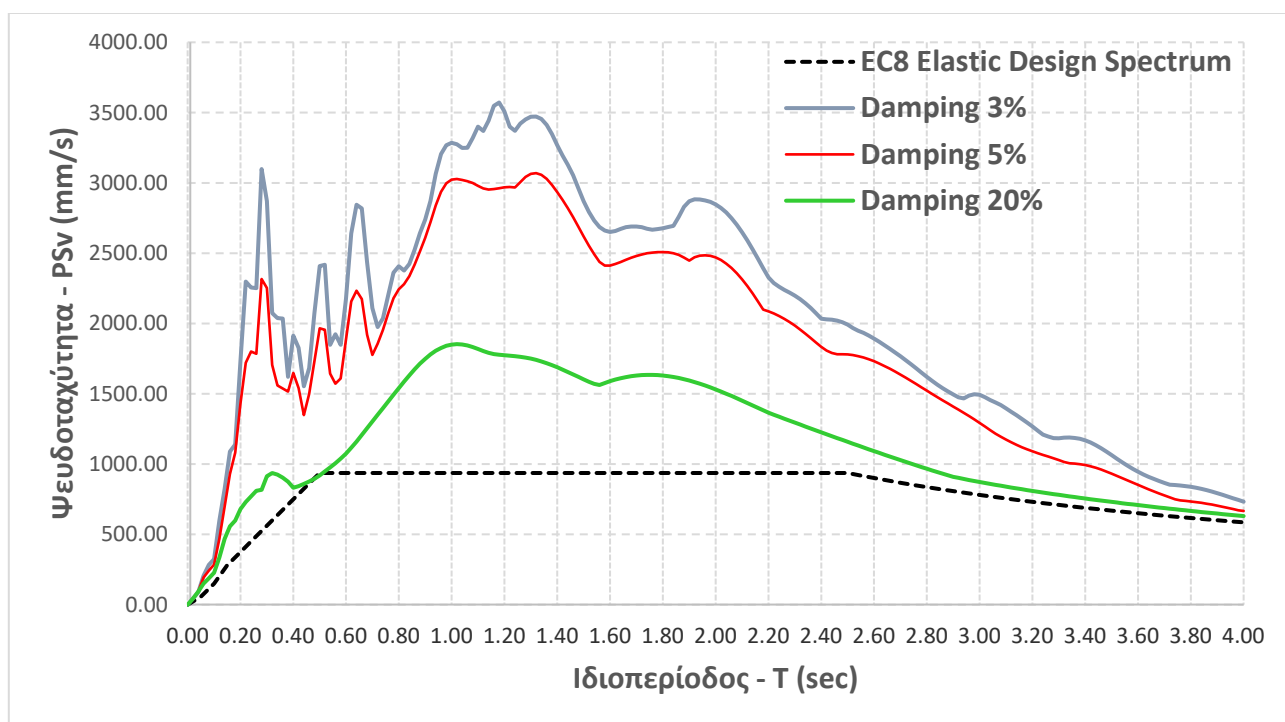


Εικόνα 5.13 Ελαστικά φάσματα απόκρισης ψευδο-επιταχύνσεων (3129 North-South) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8



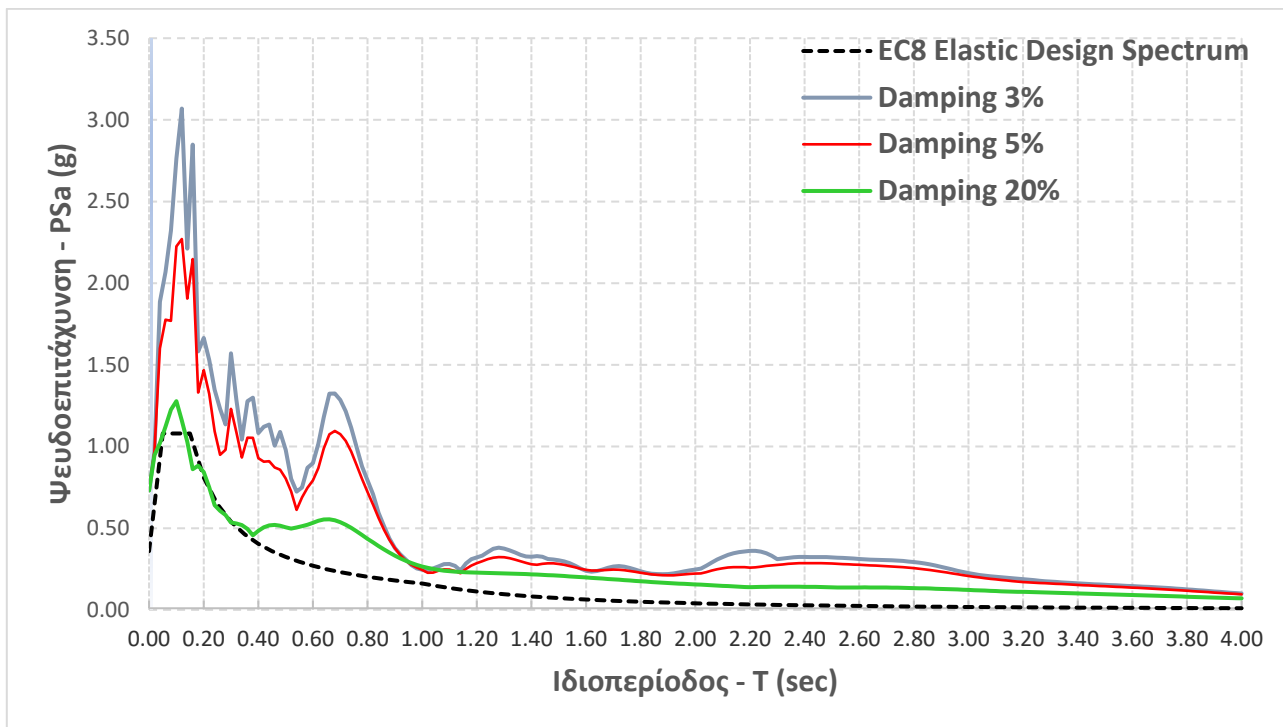


Εικόνα 5.14 Ελαστικά φάσματα απόκρισης μετακινήσεων (3129 North-South) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8

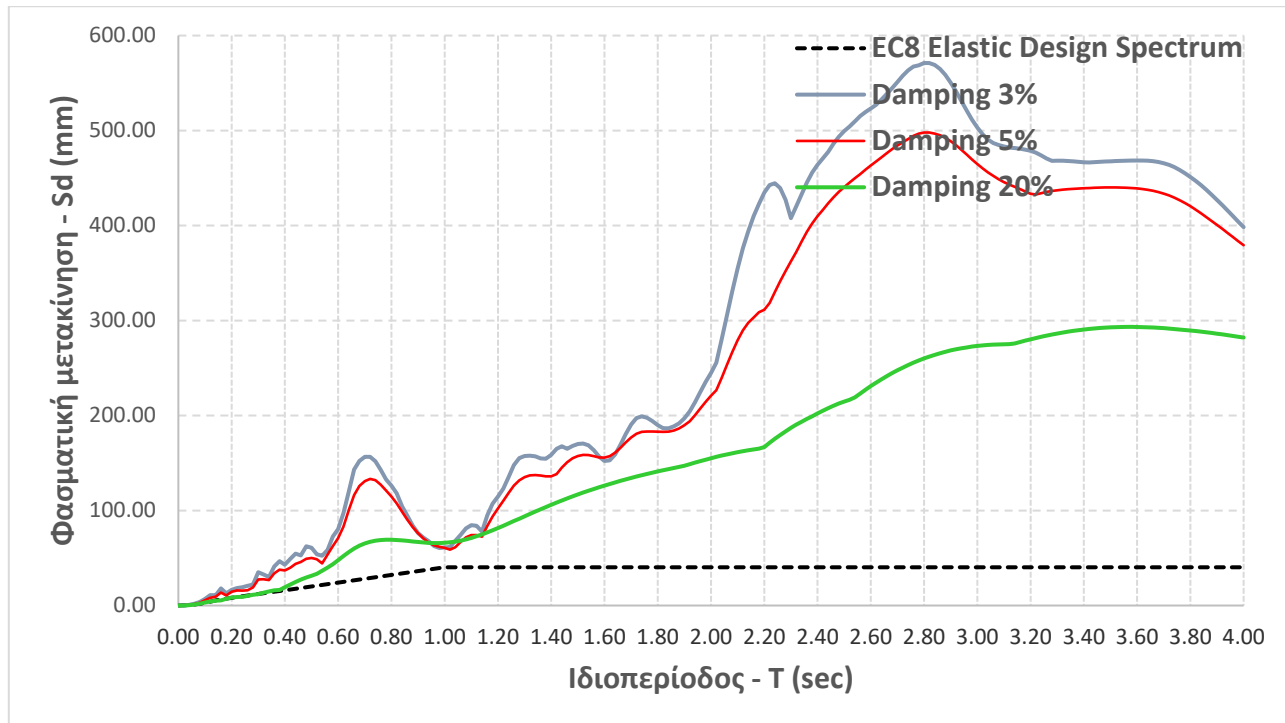


Εικόνα 5.15 Ελαστικά φάσματα απόκρισης ψευδο-ταχυτήτων (3129 North-South) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8

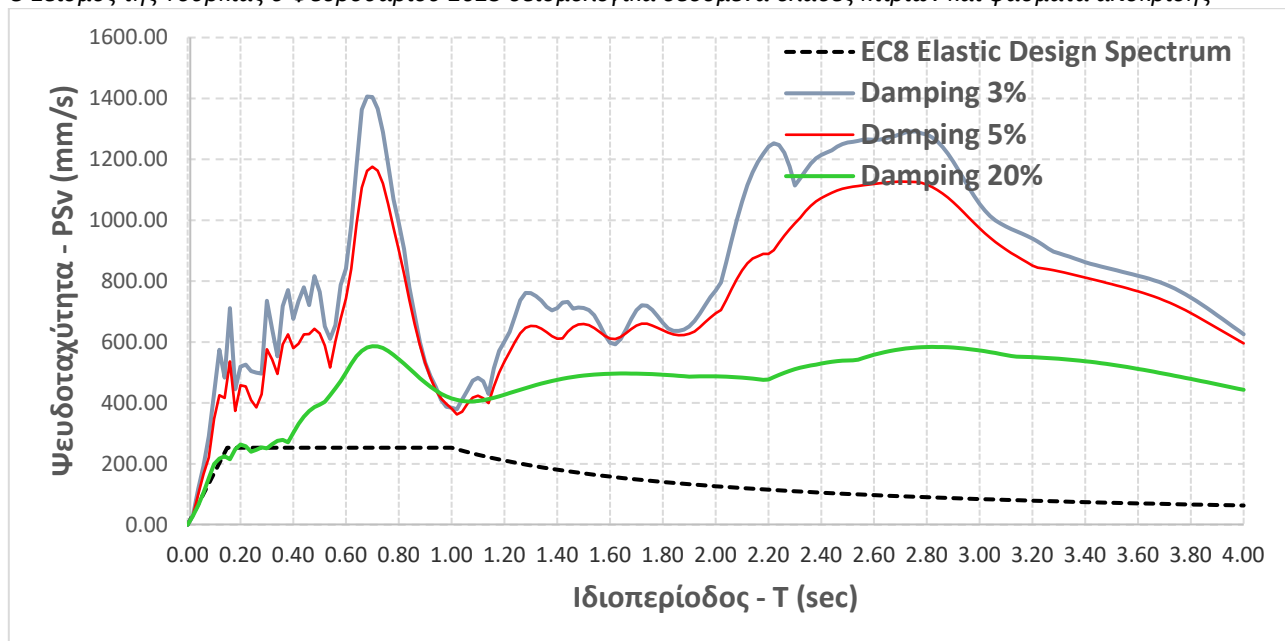
### Συνιστώσα UP-DOWN



Εικόνα 5.16 Ελαστικά φάσματα απόκρισης ψευδο-επιταχύνσεων (3129 Up-Down) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8



Εικόνα 5.17 Ελαστικά φάσματα απόκρισης μετακινήσεων (3129 Up-Down) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8



Εικόνα 5.18 Ελαστικά φάσματα απόκρισης ψευδο-ταχυτήτων (3129 Up-Down) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8

### 5.2.2 Σύνοψη συμπεράσματα

Εξετάζοντας το φάσμα ψευδο-επιτάχυνσης για απόσβεση 5% προκύπτει πως το έδαφος στη θέση αυτή χαρακτηρίζεται ως σκληρό, και εν γένει συμφωνεί με την κατηγοριοποίηση τύπου B του EC-8. Δεδομένου ότι ο σταθμός έχει μεγαλύτερη επικεντρική απόσταση από τον πρώτο σταθμό οι εδαφικές επιταχύνσεις προέκυψαν μικρότερες. Παρατηρείται διαφοροποίηση ανάμεσα στις συνιστώσες E-W και N-S καθώς στην πρώτη συνιστώσα επηρεάζονται οι κατασκευές που η ιδιοπερίοδος τους κυμαίνεται από 0s με 1.05s δηλαδή κτίρια κατοικιών από μονώροφα κτίρια έως και δεκαώροφα κτίρια αυτό οφείλεται στο ότι η σεισμική επιτάχυνση εμφανίζει τη μέγιστη τιμή της στο διάστημα αυτό. Αντιθέτως, στην άλλη συνιστώσα N-S επηρεάζονται όλοι οι τύποι των κατασκευών αφού το φάσμα της ψευδο-επιτάχυνσης είναι πάνω από το φάσμα σχεδιασμού σε όλο το εύρος των περιόδων όμως τις μεγαλύτερες βλάβες αναμένεται να τις ανέπτυξαν οι κατασκευές με περίοδο μεταξύ 0.1s - 0.4s δηλαδή τα κτίρια τύπου 2 ορόφων μέχρι και 5 οροφών. Στην συνιστώσα E-W τα κτίρια δέχονται περίπου τρεις φορές μεγαλύτερη σεισμική επιτάχυνση από την επιτάχυνση σχεδιασμού από 1.2g στα 4.2g ενώ στην συνιστώσα N-S τα κτίρια δέχονται περίπου τέσσερις φορές μεγαλύτερη σεισμική επιτάχυνση από την επιτάχυνση σχεδιασμού από 1.2g στα 5.2g. Για τις ιδιοπεριόδους με  $T > 1.05s$  στην συνιστώσα E-W και για  $T > 3s$  στην συνιστώσα N-S τα φάσματα της ψευδο-επιτάχυνσης τείνουν προς τις τιμές του φάσματος σχεδιασμού.

Εξετάζοντας τα αποτελέσματα της συνιστώσας UP-DOWN προκύπτει ότι όλες οι κατασκευές πιθανότατα δέχθηκαν επιταχύνσεις μεγαλύτερες από αυτές που προβλέπει το φάσμα σχεδιασμού. Στην αρχή του φάσματος της ψευδο-επιτάχυνσης εμφανίζονται οι μεγαλύτερες τιμές της σεισμικής επιτάχυνσης κυρίως στις κατασκευές με ιδιοπερίοδο 0s έως 0.7s άρα κυρίως τα χαμηλότερα κτίρια θα υποστούν τις μεγαλύτερες βλάβες καθώς η επιτάχυνση είναι διπλάσια σχεδόν από αυτή του σχεδιασμού, από 1.2g στα 2.2g. Όσο μεγαλώνει η ιδιοπερίοδος τόσο το φάσμα της ψευδο-επιτάχυνσης μοιάζει με το φάσμα σχεδιασμού άρα τόσο και ελαχιστοποιούνται οι βλάβες που αναμένεται να δεχθούν οι κατασκευές.

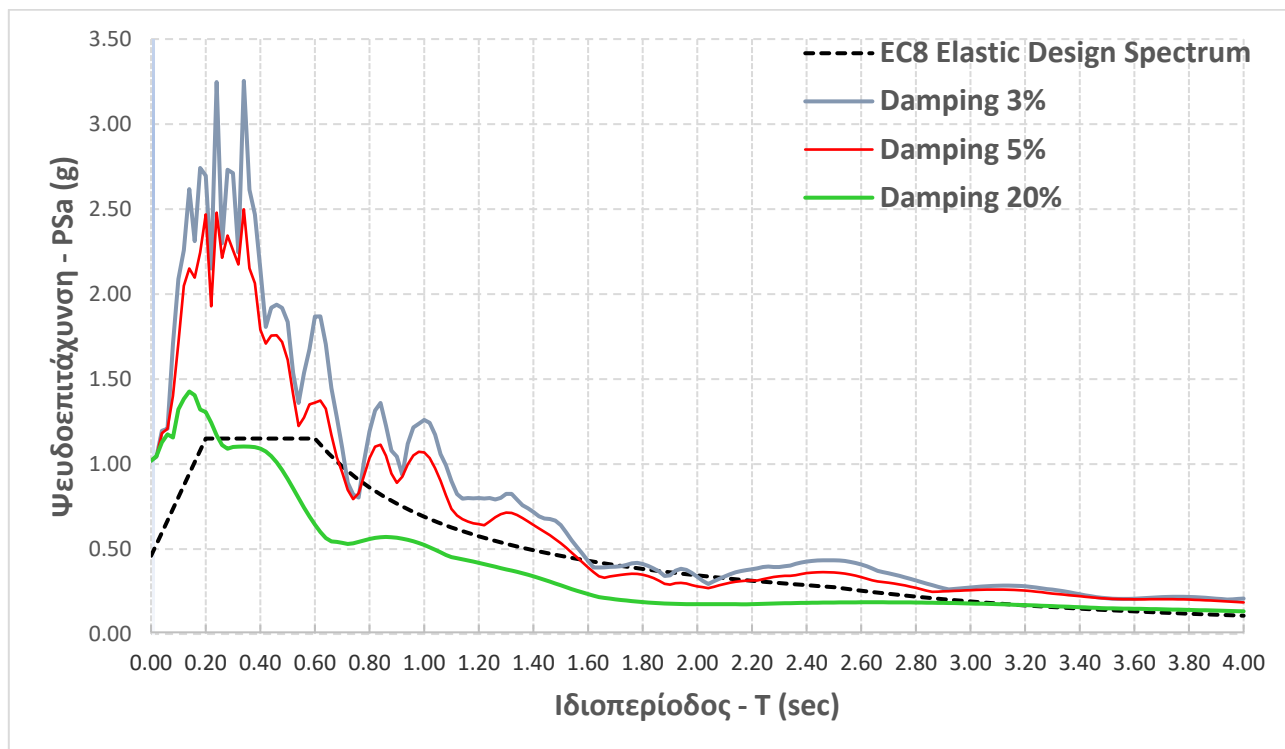
Στο φάσμα μετακινήσεων της διεύθυνσης EAST-WEST οι κατασκευές με ιδιοπερίοδο 0s έως 1.05s αποκλίνουν από το ελαστικό φάσμα σχεδιασμού της μετακίνησης και η διαφορά είναι της τάξεως των 100mm άρα περίπου διπλάσια. Λόγω αυτών των τιμών των μετακινήσεων αναμένεται

Ο Σεισμός της Τουρκίας 6 Φεβρουαρίου 2023 σεισμολογικά δεδομένα θλάβες κτιρίων και φάσματα απόκρισης να προέκυψαν σημαντικές βλάβες ή και καταρρεύσεις στα κτίρια που εμπίπτουν μεταξύ αυτών των ιδιοπεριόδων. Στο φάσμα μετακινήσεων της διεύθυνσης NORTH-SOUTH μέχρι για  $T=2s$  όσο μεγαλώνει η ιδιοπερίοδος τόσο διαφέρει το φάσμα από την ελαστική μετακίνηση σχεδιασμού άρα τόσο μεγαλύτερες αναμένεται να είναι οι δυνάμεις που θα ασκηθούν στις κατασκευές. Για  $T>2s$  οι αποκλίσεις από το ελαστικό φάσμα μετακίνησης ελαχιστοποιούνται άρα και οι βλάβες αναμένονται να ελαχιστοποιηθούν.

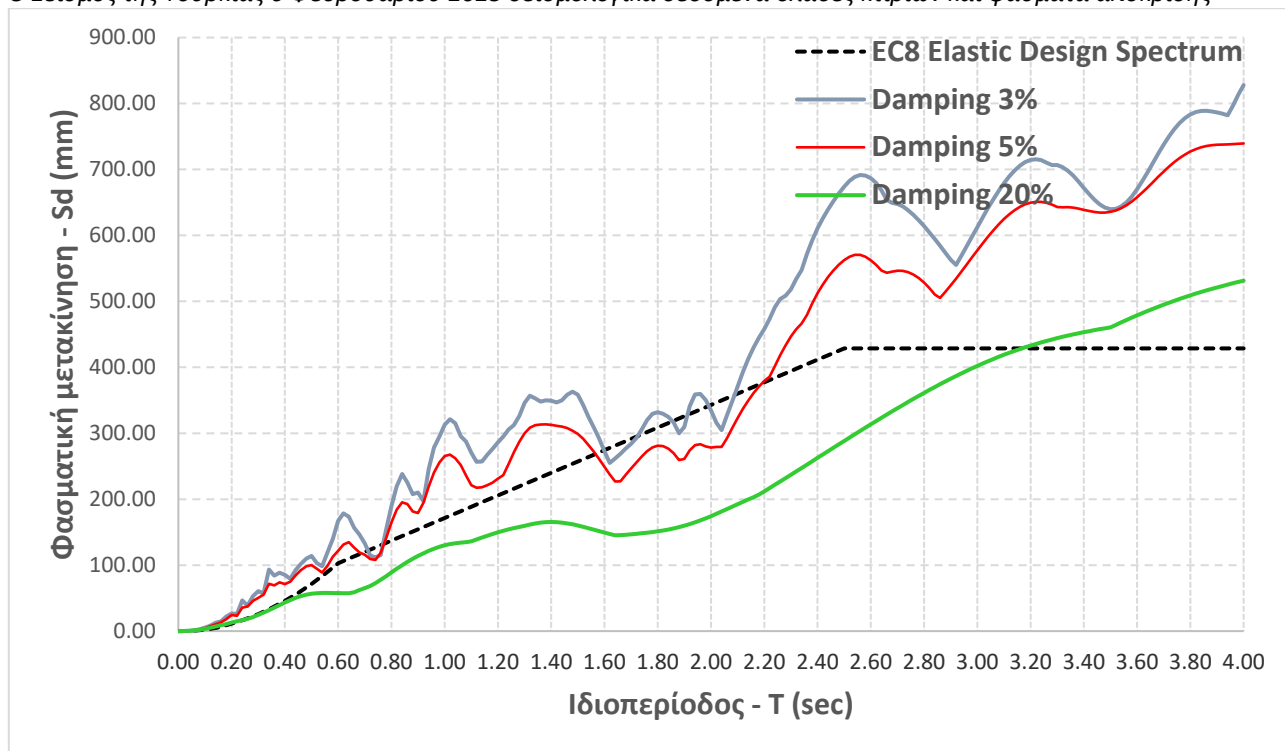
### 5.3 Σταθμός No 3126

#### 5.3.1 Ελαστικά Φάσματα Απόκρισης

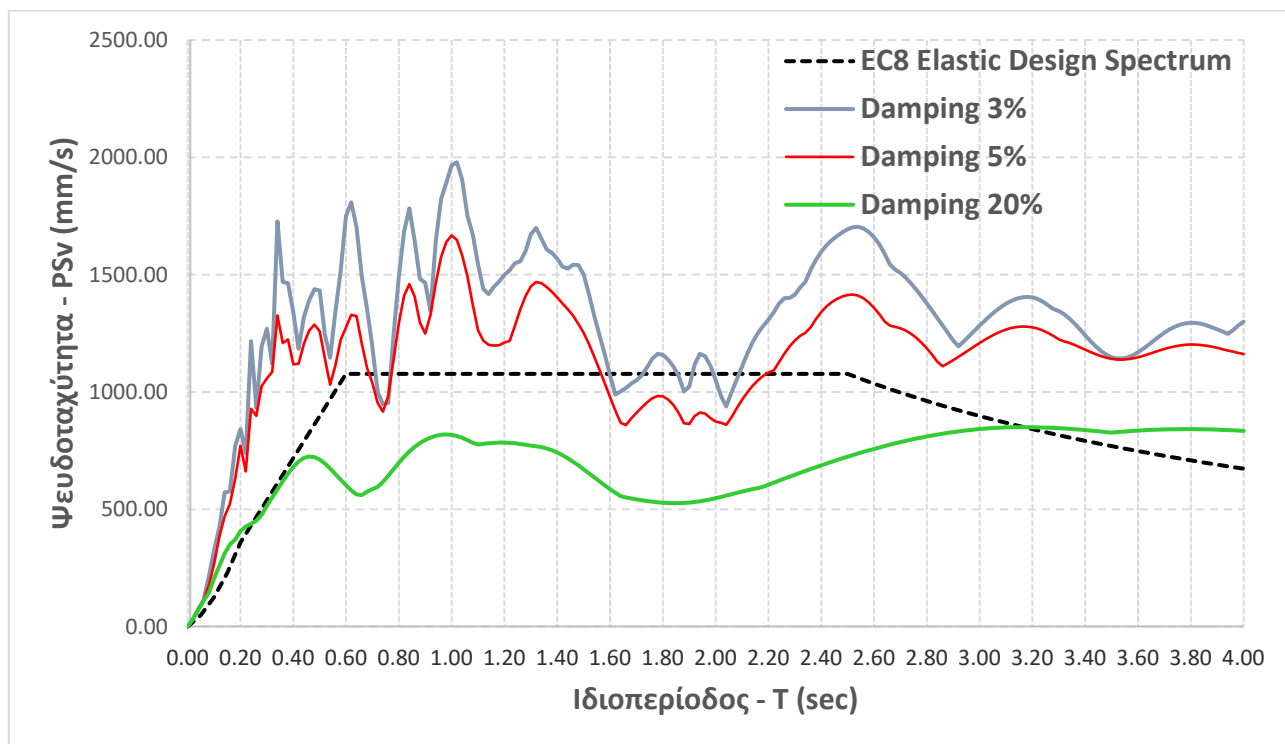
##### Συνιστώσα East – West



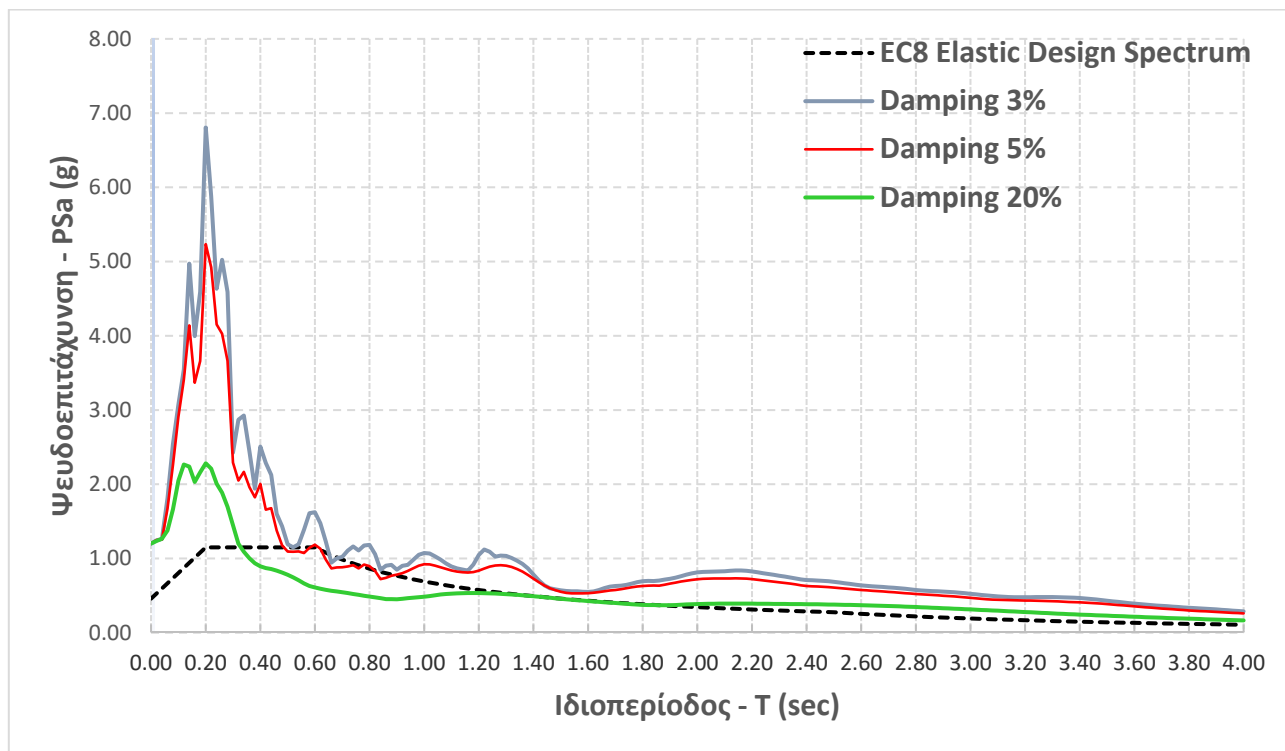
Εικόνα 5.19 Ελαστικά φάσματα απόκρισης ψευδο-επιταχύνσεων (3126 East-West) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8



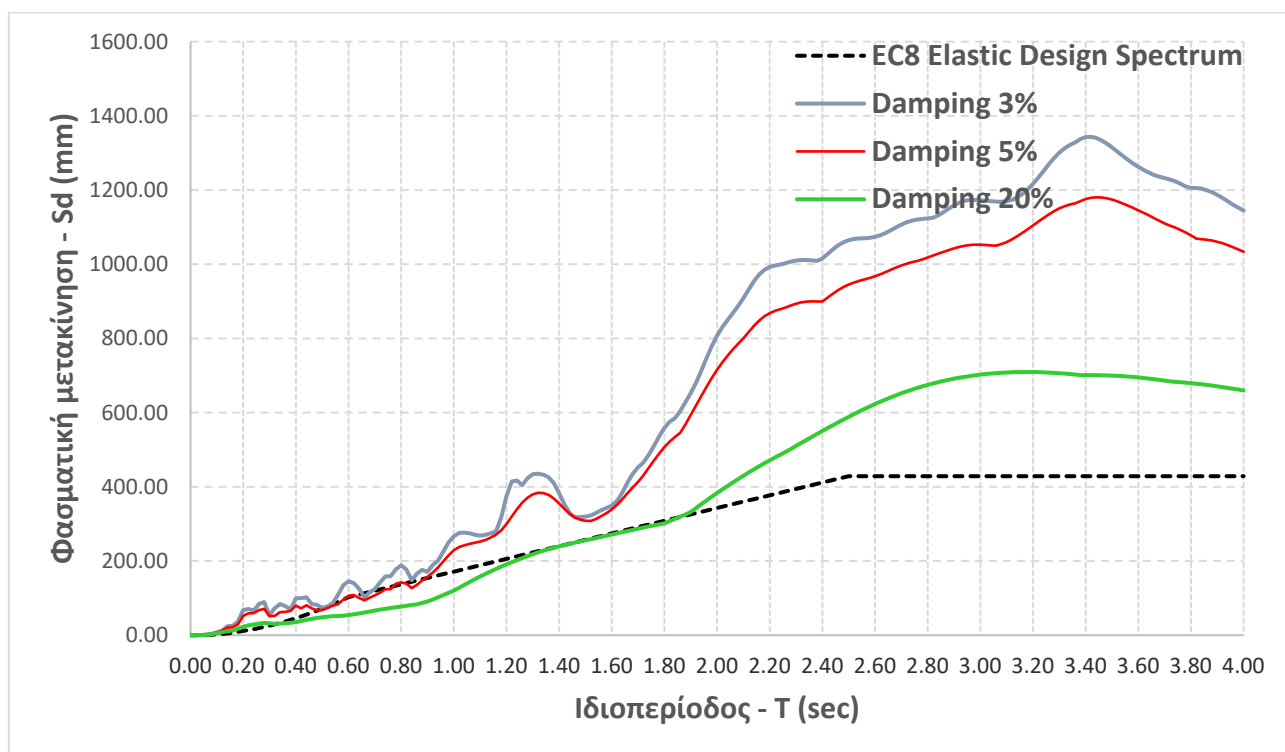
Εικόνα 5.20 Ελαστικά φάσματα απόκρισης μετακινήσεων (3126 East-West) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8



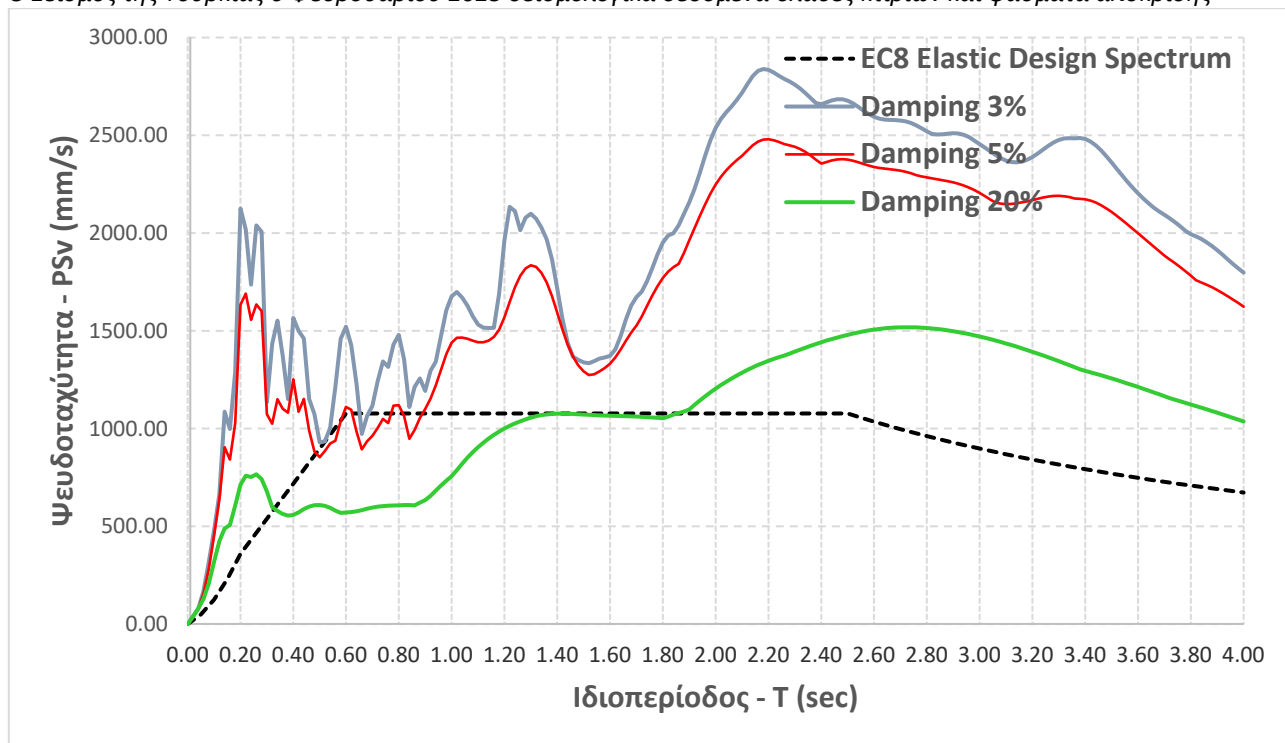
Εικόνα 5.21 Ελαστικά φάσματα απόκρισης ψευδο-ταχυτήτων (3126 East-West) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8



Εικόνα 5.22 Ελαστικά φάσματα απόκρισης ψευδό-επιταχύνσεων (3126 North-South) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8

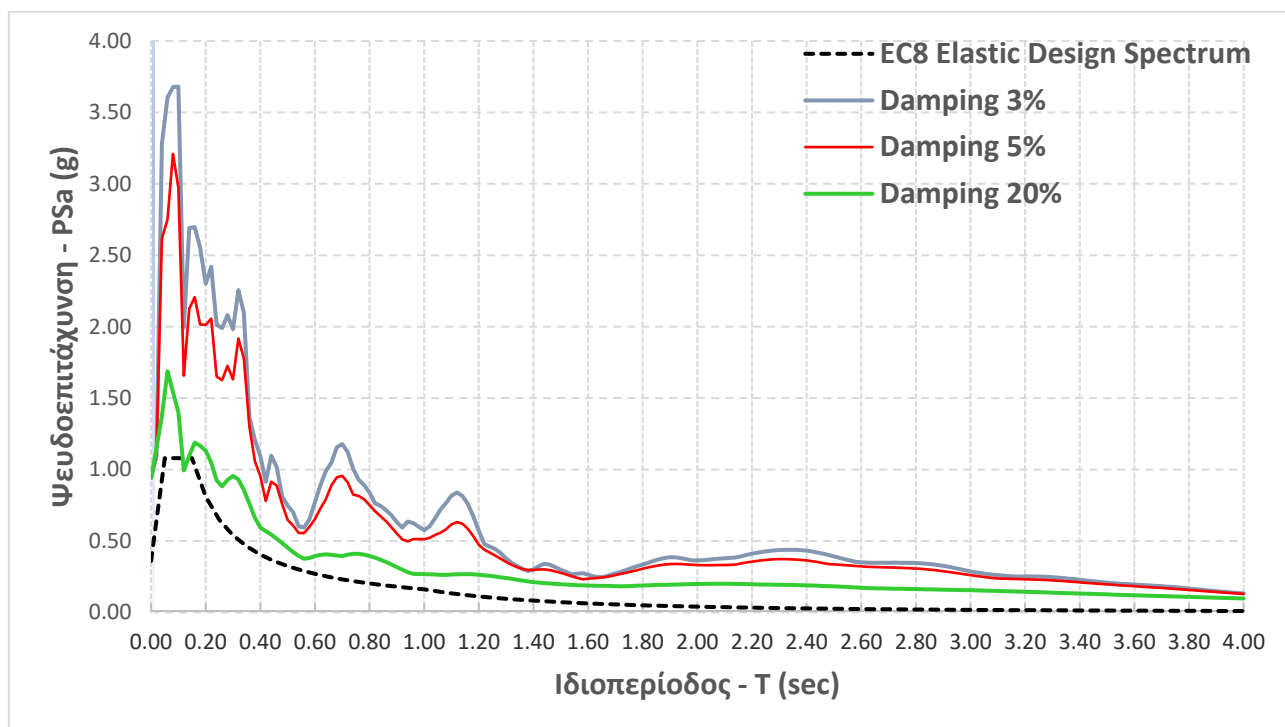


Εικόνα 5.23 Ελαστικά φάσματα απόκρισης μετακινήσεων (3126 North-South) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8

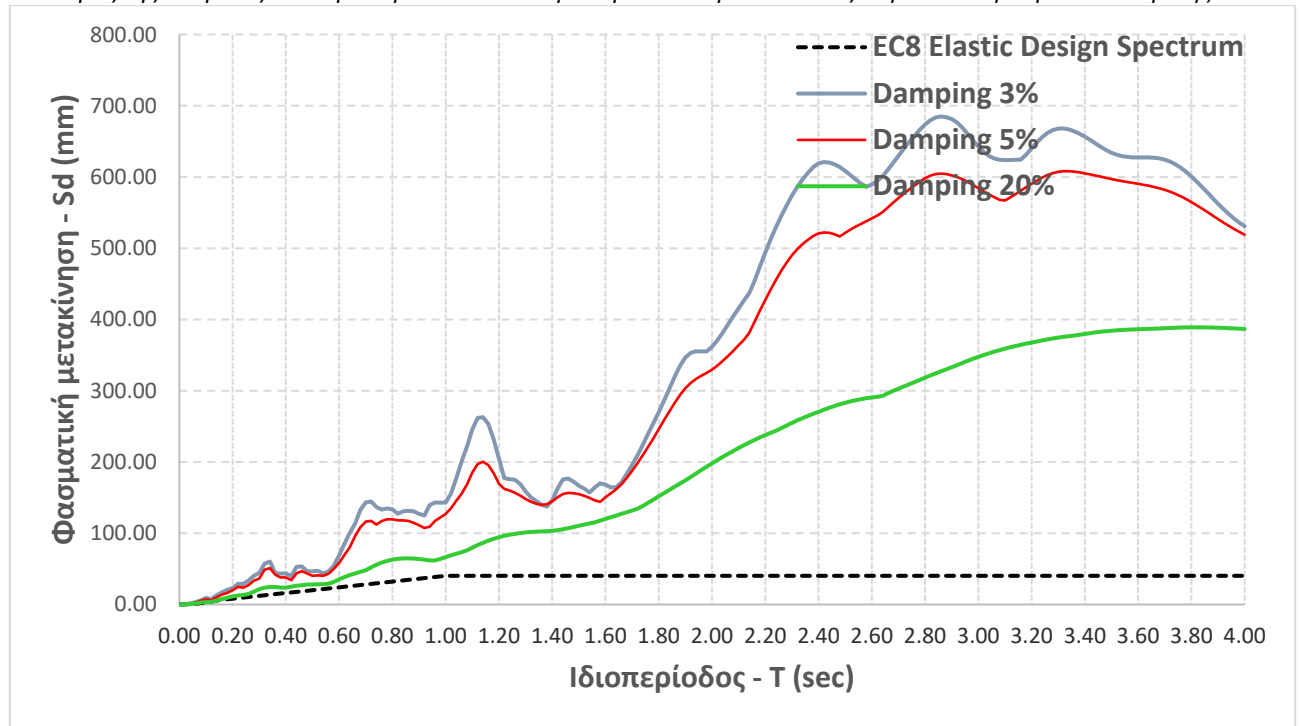


Εικόνα 5.24 Ελαστικά φάσματα απόκρισης ψευδο-ταχυτήτων (3126 North-South) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8

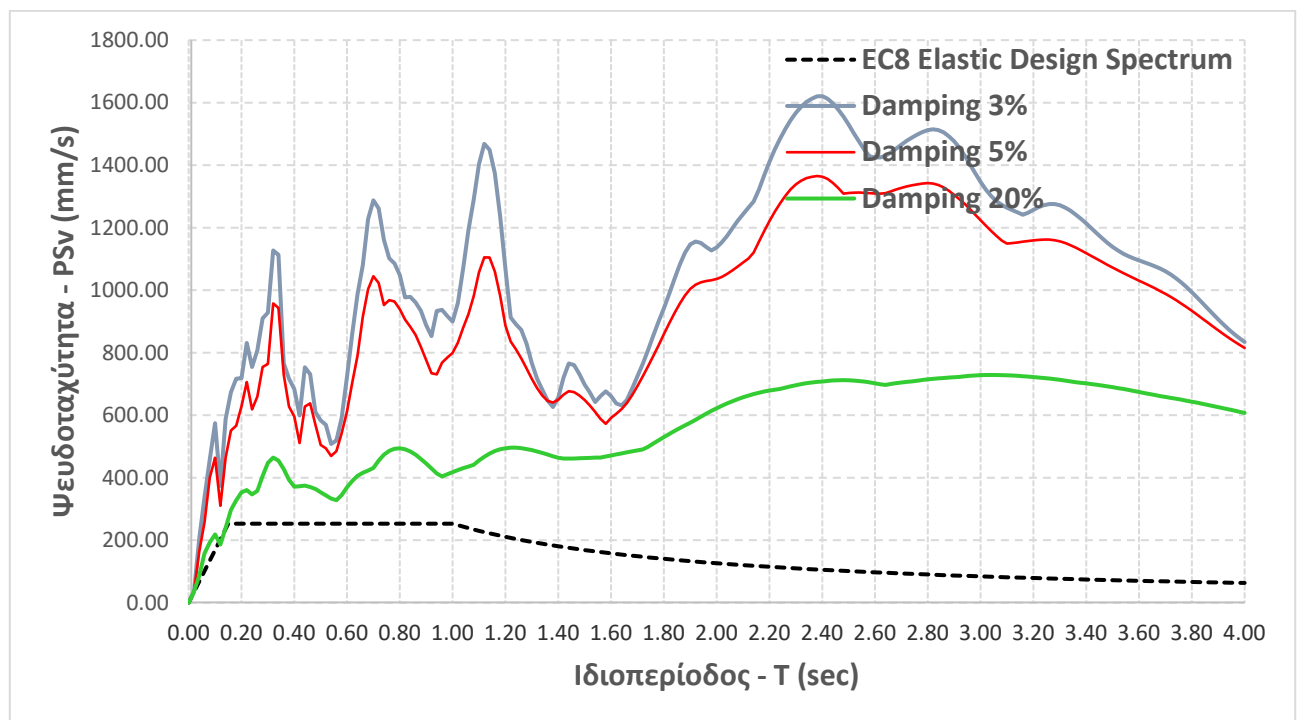
### Συνιστώσα UP-DOWN



Εικόνα 5.25 Ελαστικά φάσματα απόκρισης ψευδο-επιταχύνσεων (3126 Up-Down) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8



Εικόνα 5.26 Ελαστικά φάσματα απόκρισης μετακινήσεων (3126 Up-Down) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8



Εικόνα 5.27 Ελαστικά φάσματα απόκρισης ψευδο-ταχυτήτων (3126 Up-Down) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8

### 5.3.2 Σύνοψη συμπεράσματα

Αν και η κατηγορία εδάφους στη θέση του σταθμού είναι C από τα φάσματα εξάγεται το συμπέρασμα ότι το έδαφος πλησιάζει περισσότερο στην κατηγορία σκληρών εδαφών. Με εξαίρεση τις κατασκευές με περιόδους μεταξύ περίπου 0.68s - 0.78s άρα κατοικίες τύπου 5 ορόφων με 8 οροφών, σε όλο το υπόλοιπο φάσμα περιόδων παρατηρούνται σημαντικές υπερβάσεις των επιταχύνσεων του ελαστικού φάσματος σχεδιασμού. Στο φάσμα ψευδο-επιταχύνσεων της



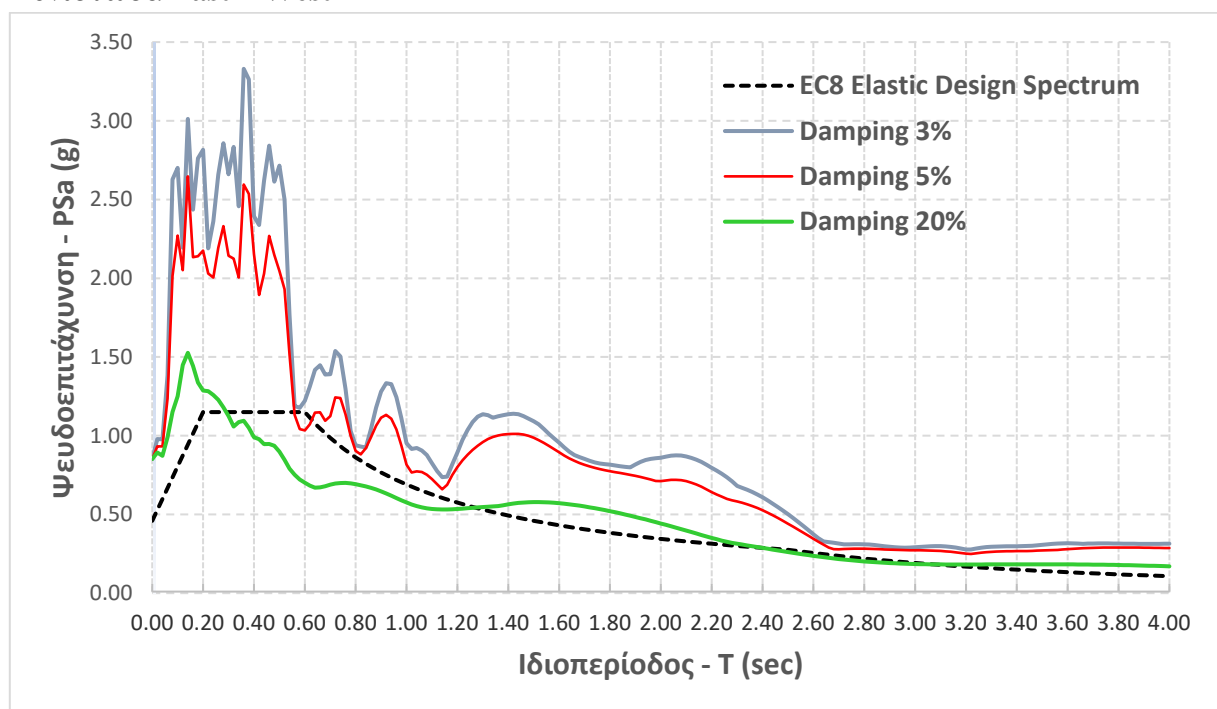
Ο Σεισμός της Τουρκίας 6 Φεβρουαρίου 2023 σεισμολογικά δεδομένα θλάβες κτιρίων και φάσματα απόκρισης συνιστώσας E-W προέκυψαν φασματικές επιταχύνσεις με τιμές περίπου 2.5g μιάμιση περίπου φορά μεγαλύτερες από την επιτάχυνση του ελαστικού φάσματος σχεδιασμού που έχει τιμή 1.15g και στις μεγαλύτερες ιδιοπεριόδους πάνω από 1.6s το φάσματα της ψευδο-επιτάχυνσης ομαλοποιείται και πλησιάζει προς το φάσμα σχεδιασμού. Οι φασματικές επιταχύνσεις της συνιστώσας N-S προέκυψαν περίπου τέσσερις φορές μεγαλύτερες από την επιτάχυνση του φάσματος σχεδιασμού με μέγιστη τιμή τα 5.2g. Προκύπτει ότι στα κτίρια αναμένεται να αναπτύχθηκαν σημαντικά μεγαλύτερες δράσεις από αυτές που προβλέπει ο κανονισμός. Το φάσμα μετακινήσεων της διεύθυνσης E-W παρατηρείται ότι στις κατασκευές με ιδιοπερίοδο μικρότερη από 2.2s πλησιάζει το φάσμα σχεδιασμού με ελάχιστες αυξομειώσεις ενώ πάνω από 2.2s ξεκινάει να αποκλίνει το φάσμα μετακίνησης από την ελαστική μετακίνηση με τις υπερβάσεις να φθάνουν έως και τα 300mm. Για την διεύθυνση N-S οι κατασκευές με ιδιοπερίοδο μικρότερη από τα 0.9s είναι κοντά στο φάσμα σχεδιασμού με μικρές αυξομειώσεις ενώ πάνω από 0.9s η απόκλιση των τιμών από την ελαστική μετακίνηση σχεδιασμού είναι μεγάλη σε σύγκριση με αυτή που σχεδιάστηκαν με τη διαφορά να φτάνει έως και τα 800 mm.

Η κατακόρυφη συνιστώσα του σεισμού παρουσιάζει σημαντικές υπερβάσεις σε όλο το εύρος των ιδιοπεριόδων. Από τα αποτελέσματα προκύπτει ότι τα χαμηλότερα κτίρια δηλαδή τα κτίρια που η ιδιοπερίοδος τους κυμαίνεται από 0.1s μέχρι και 0.35s (κτίρια τύπου 1 ορόφων με 2 ορόφων) υπέστησαν τις μεγαλύτερες κατακόρυφες επιταχύνσεις. Ακόμη στο φάσμα της ψευδο-επιτάχυνσης φαίνεται ότι η σεισμική επιτάχυνση που δέχθηκαν τα κτίρια είναι περίπου δύο φορές μεγαλύτερη από την επιτάχυνση του ελαστικού φάσματος σχεδιασμού των κτιρίων δηλαδή από 1.15g στα 3.25g. Μετά τα 0.35s, όσο μεγαλώνει η ιδιοπερίοδος το φάσμα της ψευδο-επιτάχυνσης τείνει να μοιάσει με το φάσμα σχεδιασμού οπότε καθώς ομαλοποιείται τα κτίρια αναμένεται να αναπτύξουν μικρότερες βλάβες στην κατακόρυφη διεύθυνση.

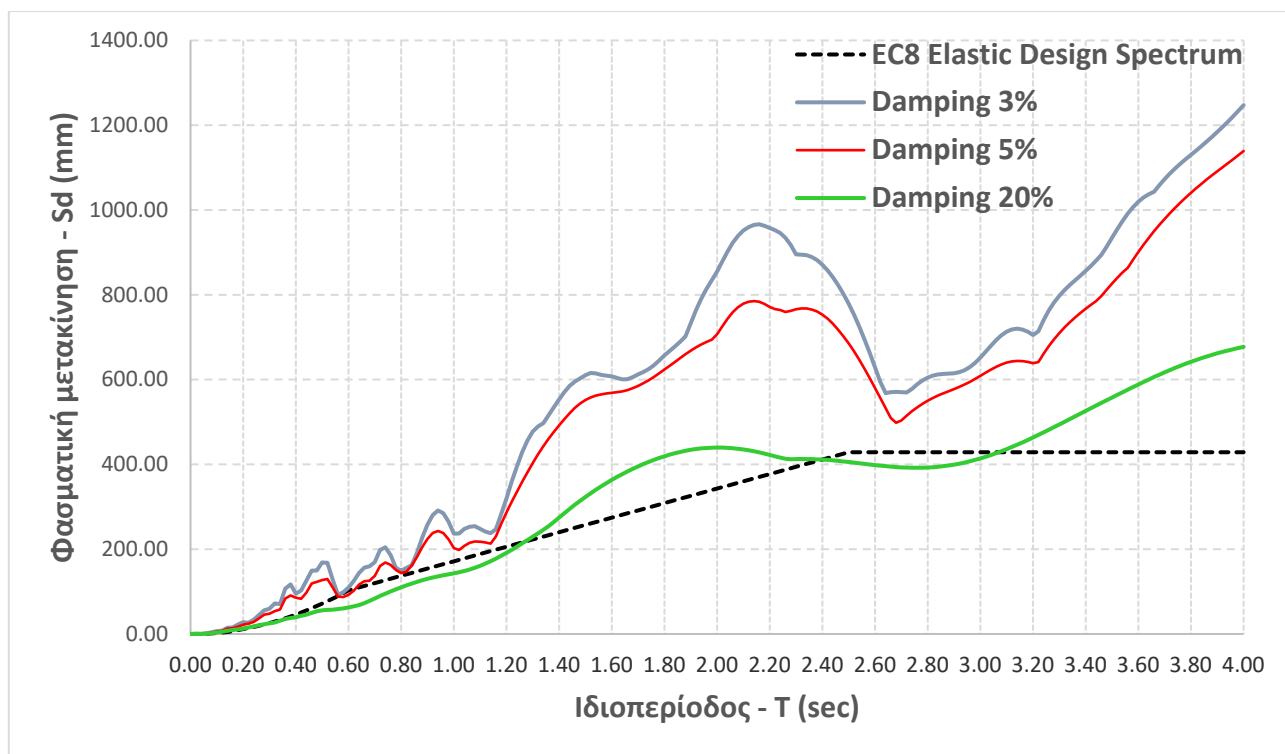
## 5.4 Σταθμός No 3141

### 5.4.1 Ελαστικά Φάσματα Απόκρισης

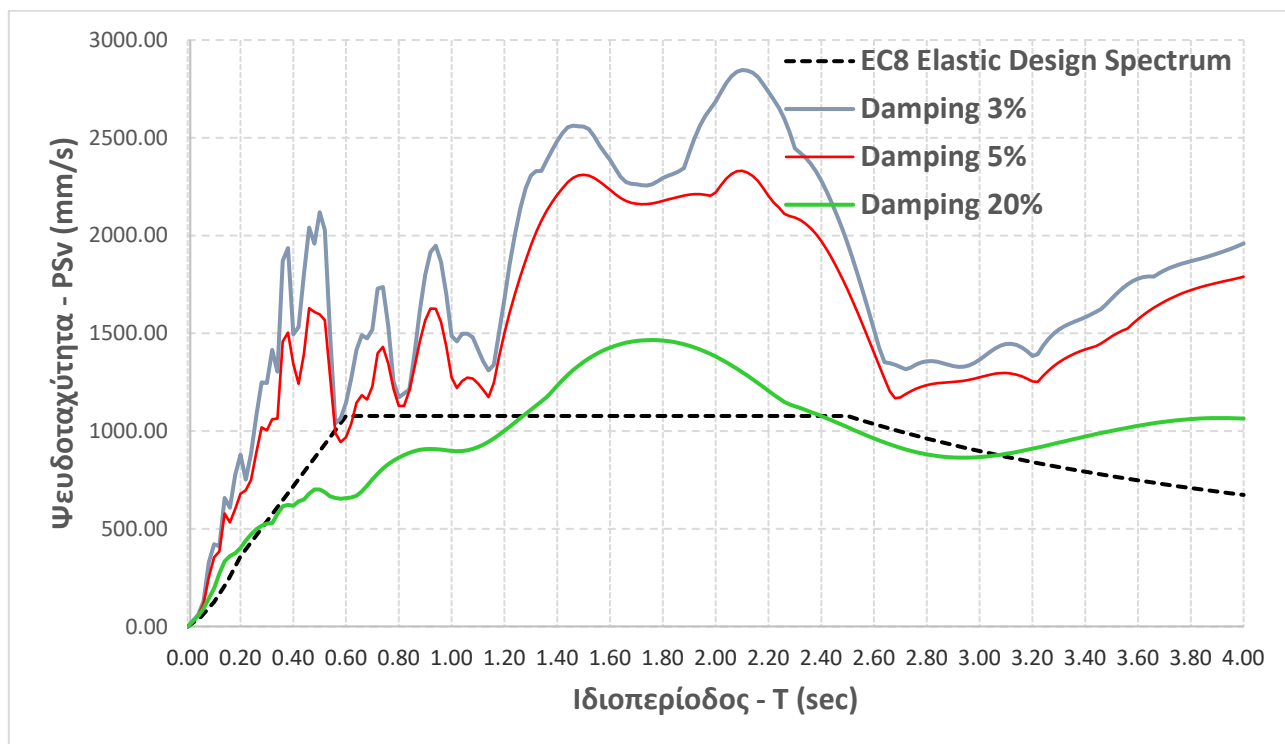
#### Συνιστώσα East – West



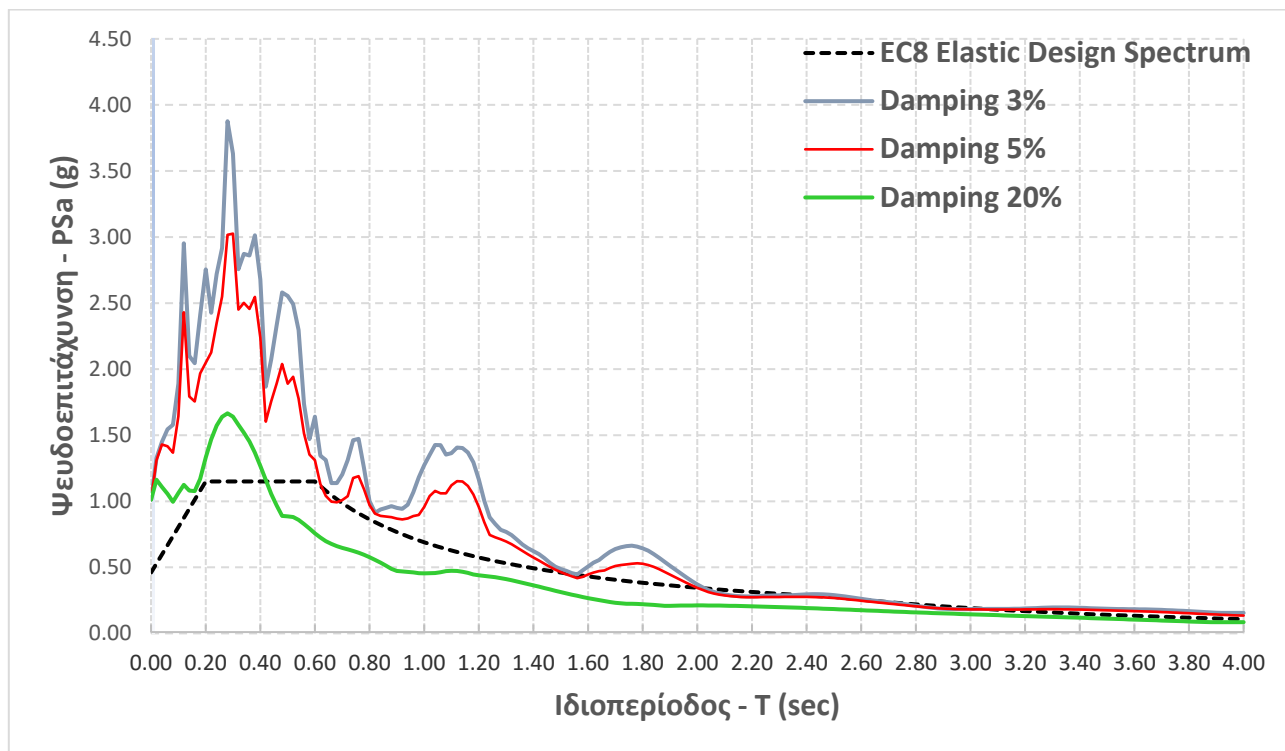
Εικόνα 5.28 Ελαστικά φάσματα απόκρισης ψευδο-επιταχύνσεων(3141 East-West) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8



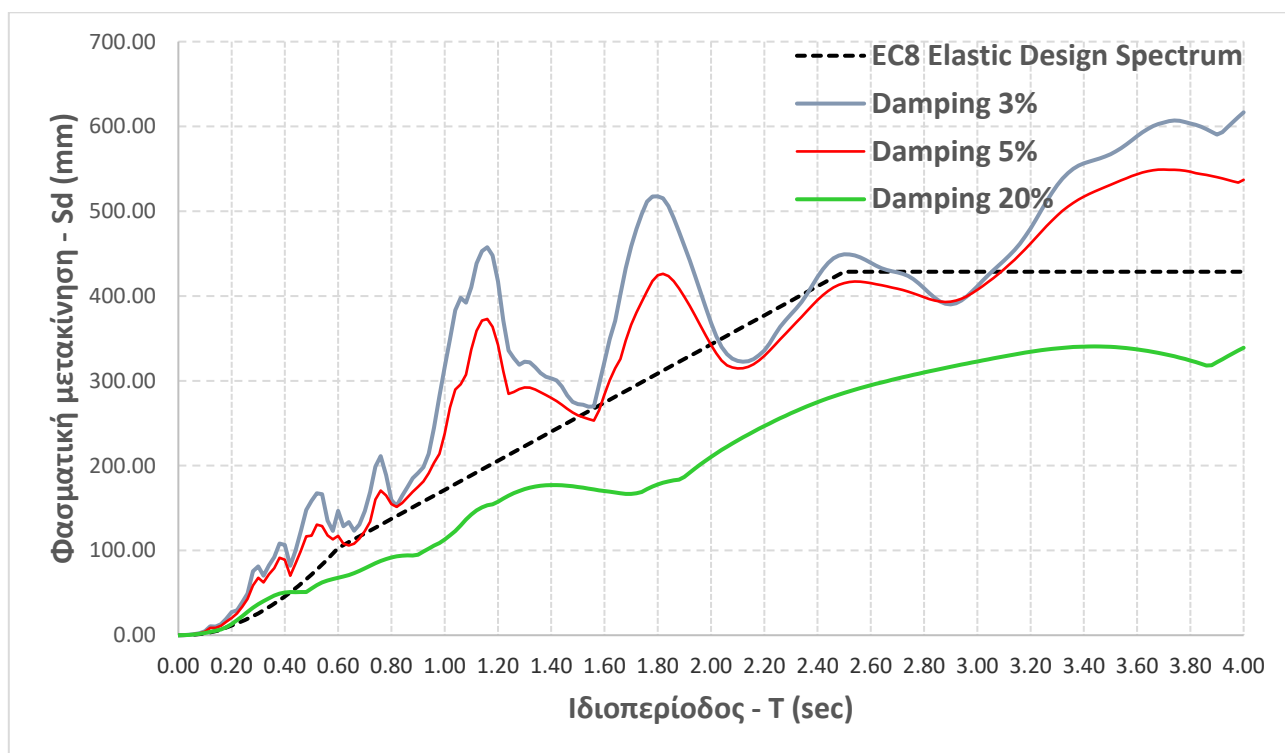
Εικόνα 5.29 Ελαστικά φάσματα απόκρισης μετακινήσεων (3141 East-West) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8



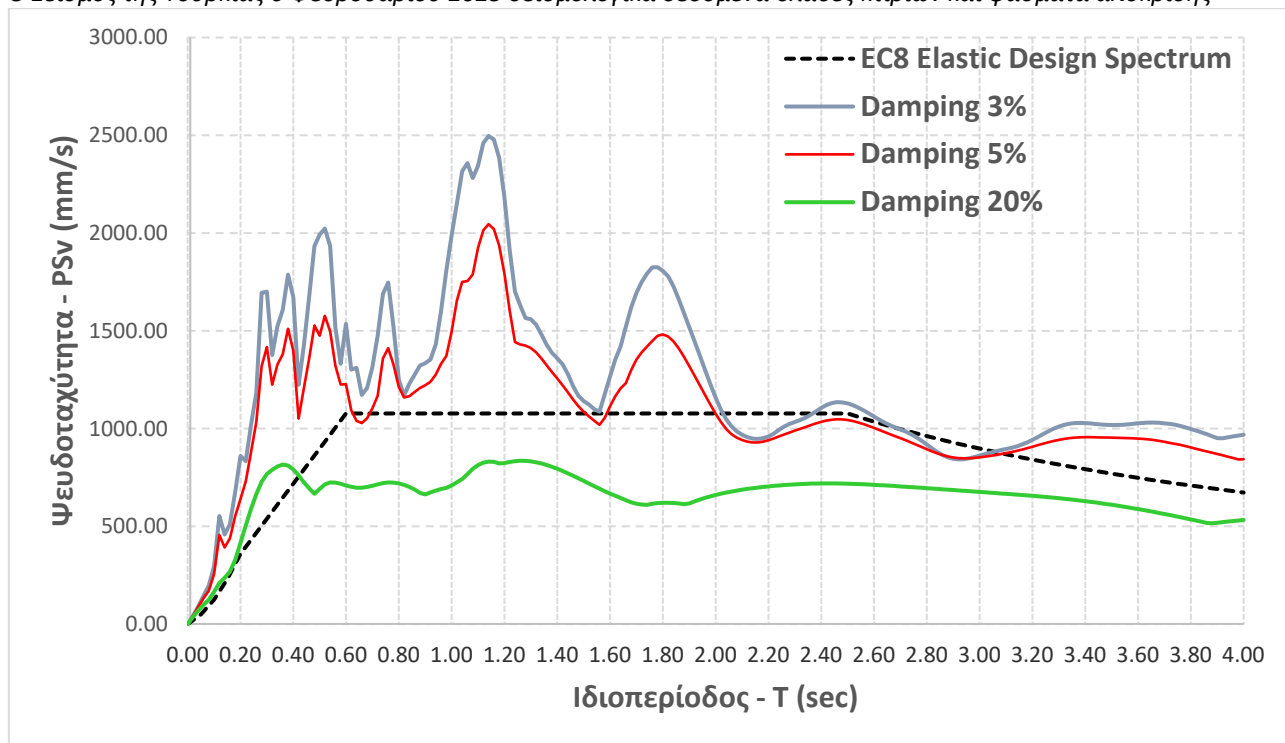
Εικόνα 5.30 Ελαστικά φάσματα απόκρισης ψευδο-ταχυτήτων (3141 East-West) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8



Εικόνα 5.31 Ελαστικά φάσματα απόκρισης ψευδο-επιταχύνσεων (3141 North-South) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8

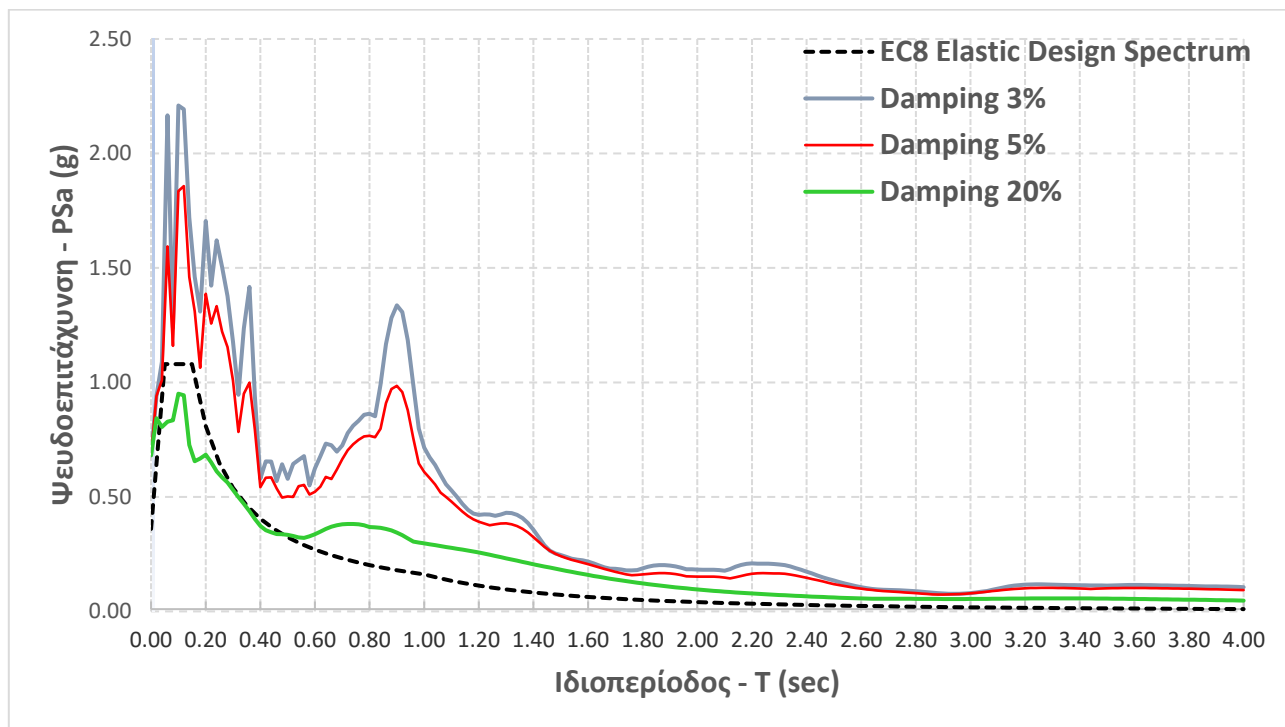


Εικόνα 5.32 Ελαστικά φάσματα απόκρισης μετακινήσεων (3141 North-South) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8

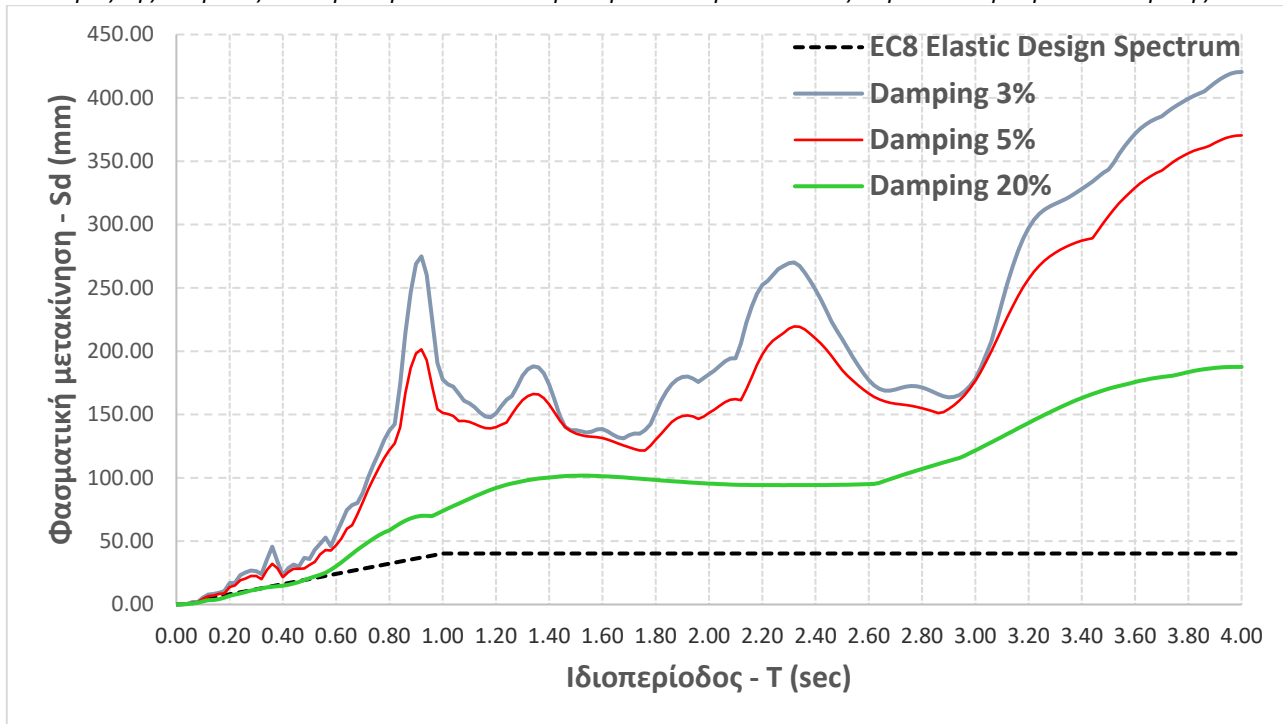


Εικόνα 5.33 Ελαστικά φάσματα απόκρισης ψευδο-ταχυτήτων (3141 North-South) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8

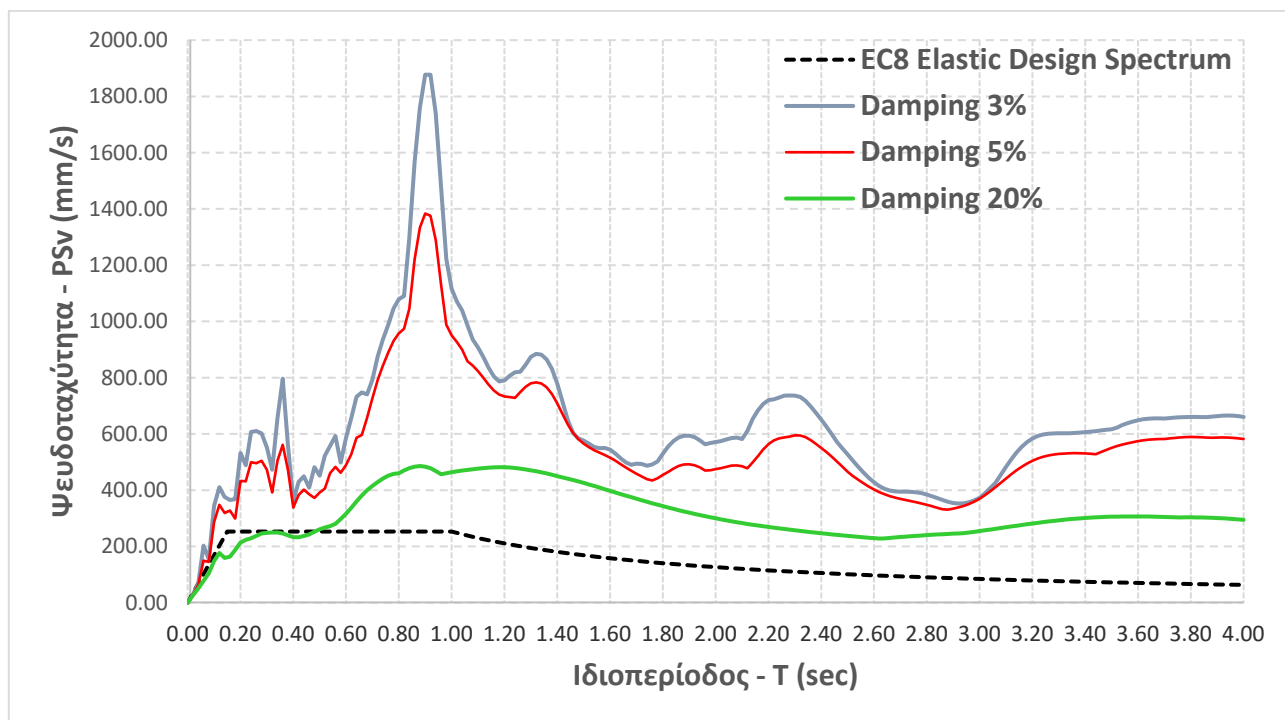
### Συνιστώσα UP-DOWN



Εικόνα 5.34 Ελαστικά φάσματα απόκρισης ψευδο-επιταχύνσεων (3141 Up-Down) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8



Εικόνα 5.35 Ελαστικά φάσματα απόκρισης μετακινήσεων (3141 Up-Down) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8



Εικόνα 5.36 Ελαστικά φάσματα απόκρισης ψευδο-ταχυτήτων (3141 Up-Down) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8

#### 5.4.2 Σύνοψη συμπεράσματα

Από το σχήμα των φασματικών επιταχύνσεων επιβεβαιώνεται η κατάταξη του εδάφους στην κατηγορία C, δεδομένου ότι εμφανίζονται αυξημένες φασματικές τιμές και στις μεσαίες και μεγάλες περιόδους. Εμφανίζεται παρόμοια εδαφική επιρροή και στις δυο οριζόντιες συνιστώσες E-W και N-S όπως και επηρεάζονται όλες οι κατασκευές καθώς δεν καλύπτονται από το φάσμα σχεδιασμού της επιτάχυνσης σε όλο το φάσμα των ιδιοπεριόδων.

Ο Σεισμός της Τουρκίας 6 Φεβρουαρίου 2023 σεισμολογικά δεδομένα θλάβες κτιρίων και φάσματα απόκρισης  
 Τη μεγαλύτερη καταπόνηση αναμένεται να δέχθηκαν οι κατασκευές με ιδιοπεριόδους που κυμαίνονται στο εύρος 0.1s - 0.55s δηλαδή κτίρια τύπου 1 ορόφων μέχρι και 5 οροφών. Επιπροσθέτως, στο φάσμα της ψευδο-επιτάχυνσης προκύπτει ότι η σεισμική επιτάχυνση που δέχθηκαν οι κατασκευές στην διεύθυνση E-W είναι περίπου μιάμιση φορά μεγαλύτερη από την επιτάχυνση του ελαστικού φάσματος σχεδιασμού των κτιρίων δηλαδή από 1.15g στα 2.65g ενώ για την διεύθυνση N-S οι κατασκευές υπέστησαν 3g αντί για 1.15g η οποία ήταν η τιμή που είχε το ελαστικό φάσμα σχεδιασμού για τις κατασκευές μεταξύ αυτών των ιδιοπεριόδων.

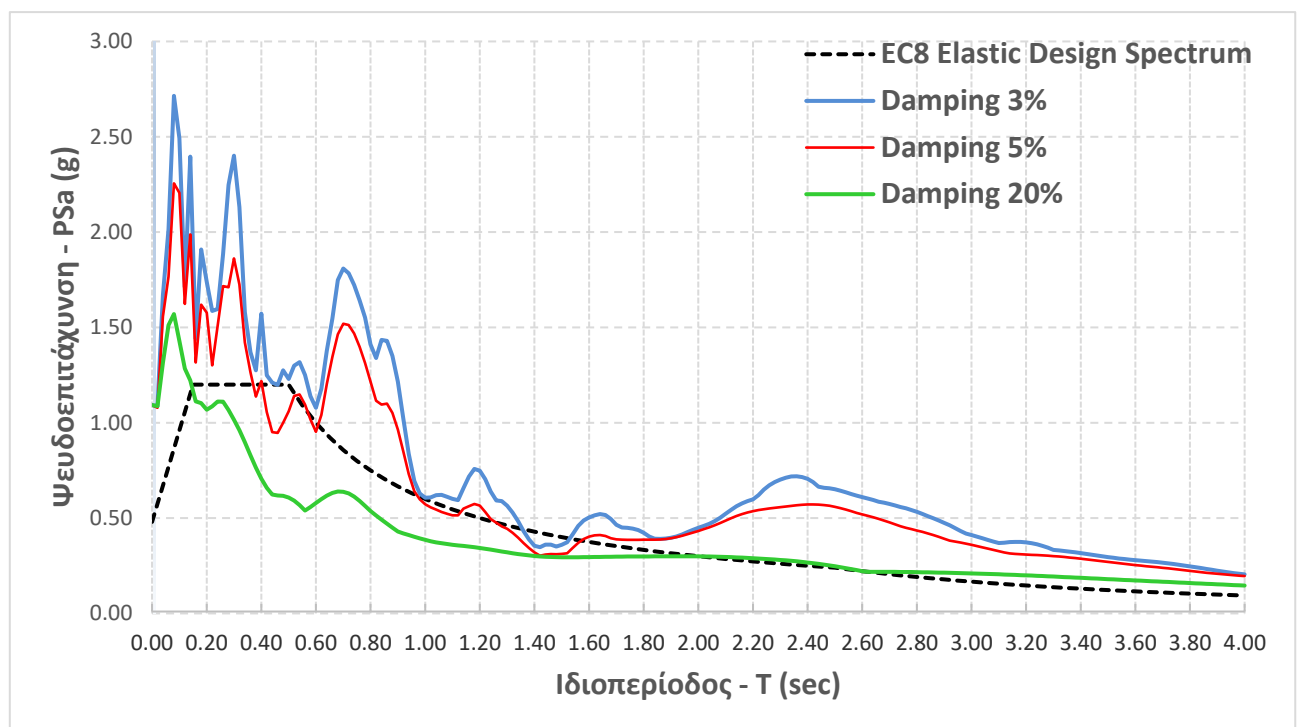
Στην κατακόρυφη συνιστώσα UP-DOWN παρατηρείται υπέρβαση των φασματικών τιμών σχεδιασμού σε όλο το εύρος των περιόδων. Στο διάστημα που η ιδιοπερίοδος έχει τιμές 0.05 s με 1.15s όπου εμφανίζεται και η μέγιστη επιτάχυνση του φάσματος 1.75g προβλέπεται ότι τα κτίρια θα δέχθηκαν μεγάλες καταπονήσεις δεδομένου ότι οι επιταχύνσεις είναι σημαντικά μεγαλύτερες από την επιτάχυνση σχεδιασμού.

Στο φάσμα μετακινήσεων της διεύθυνσης E-W παρατηρείται ότι στις κατασκευές που η ιδιοπερίοδος έχει τιμές μεταξύ 0s -1.18s μοιάζει με το φάσμα σχεδιασμού με ελάχιστες αποκλίσεις ενώ μετά τα 1.18s αρχίζει να διαφέρει το φάσμα μετακίνησης από την ελαστική μετακίνηση σχεδιασμού. Η απόκλιση μεταξύ των δύο φασμάτων φτάνει ως και τα 700mm. Για το φάσμα της μετακίνησης στην διεύθυνση N-S οι κατασκευές με ιδιοπερίοδο 0.95s-1.55s και 1.6s-2.35s έχουν μια απόκλιση της τάξεως 180mm και 120mm αντιστοίχως, όπου, πριν ανάμεσα και μετά τα διαστήματα των ιδιοπεριόδων αυτών το φάσμα της μετακίνησης είναι κοντά στο φάσμα σχεδιασμού ή και καλύπτεται σε ορισμένες περιπτώσεις μέχρι να φτάσει το φάσμα στις κατασκευές με ιδιοπερίοδο 3.05s που ξεκίνα το φάσμα της μετακίνησης να αποκλίνει από το ελαστικό φάσμα σχεδιασμού της μετακίνησης, μια διαφορά που φτάνει τα 220mm.

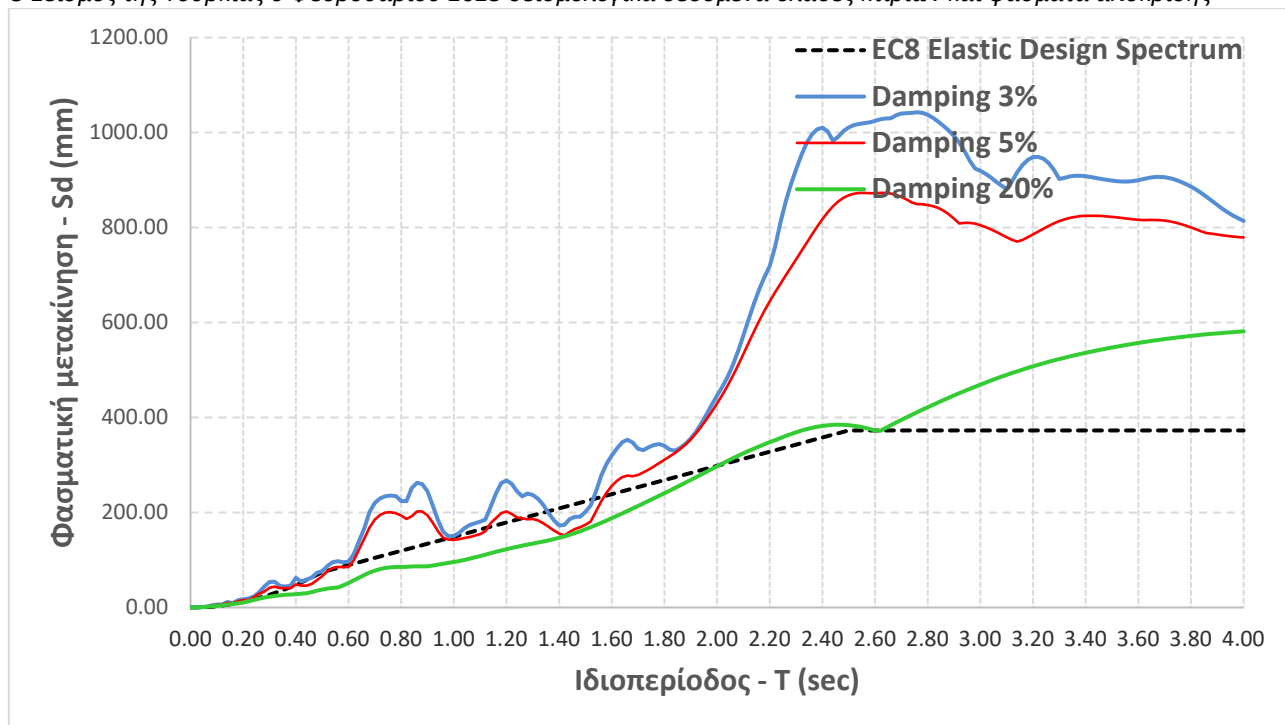
## 5.5 Σταθμός No 3125

### 5.5.1 Ελαστικά φάσματα απόκρισης

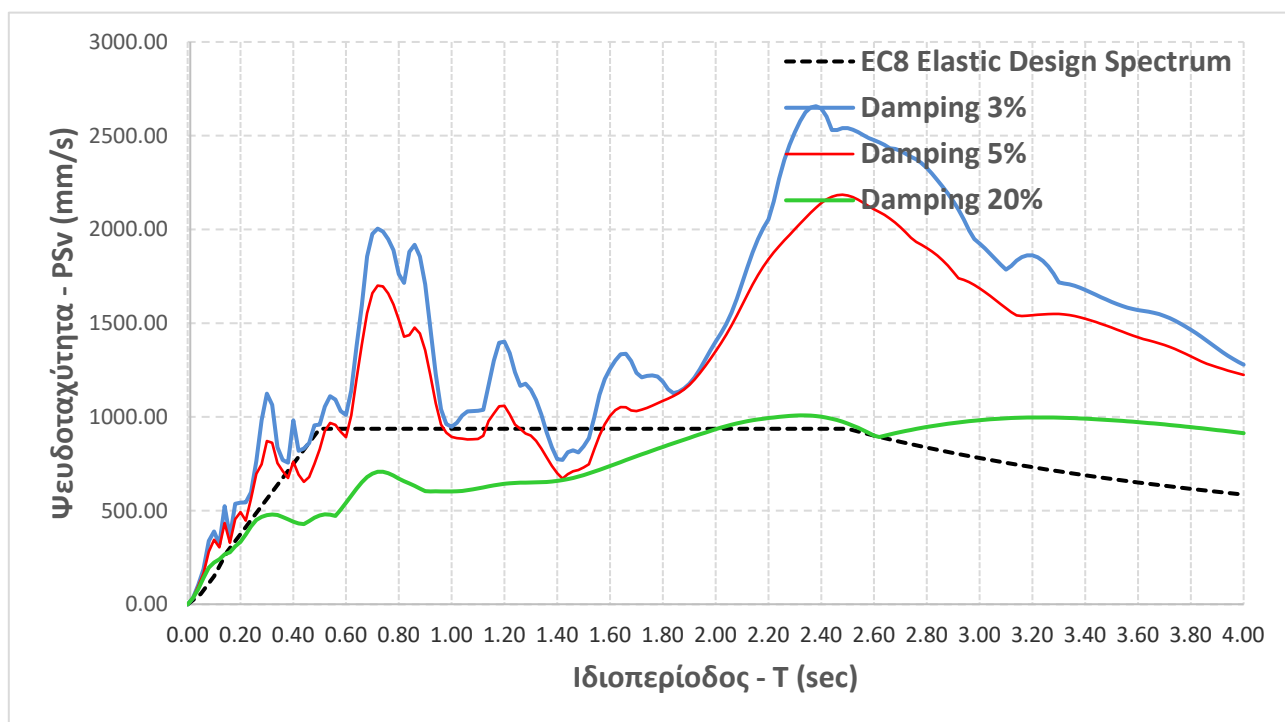
#### Συνιστώσα East – West



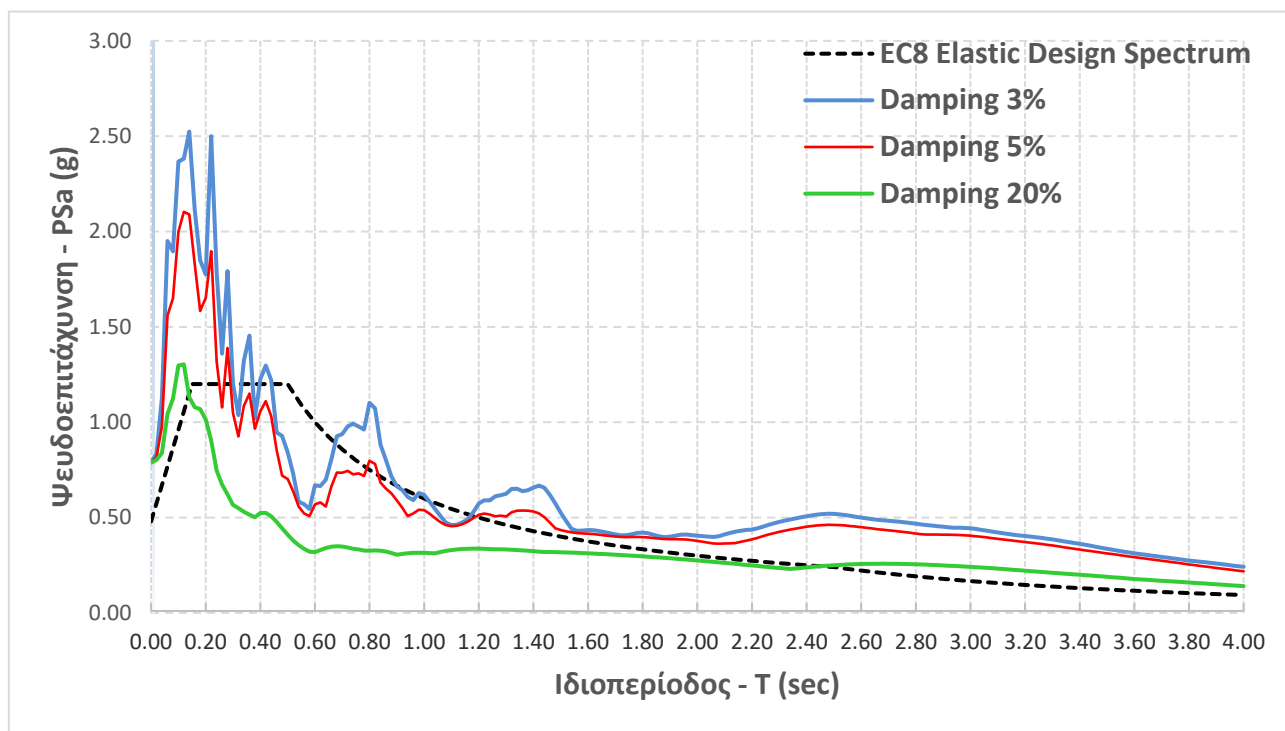
Εικόνα 5.37 Ελαστικά φάσματα απόκρισης ψευδο-επιταχύνσεων (3125 East-West) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8



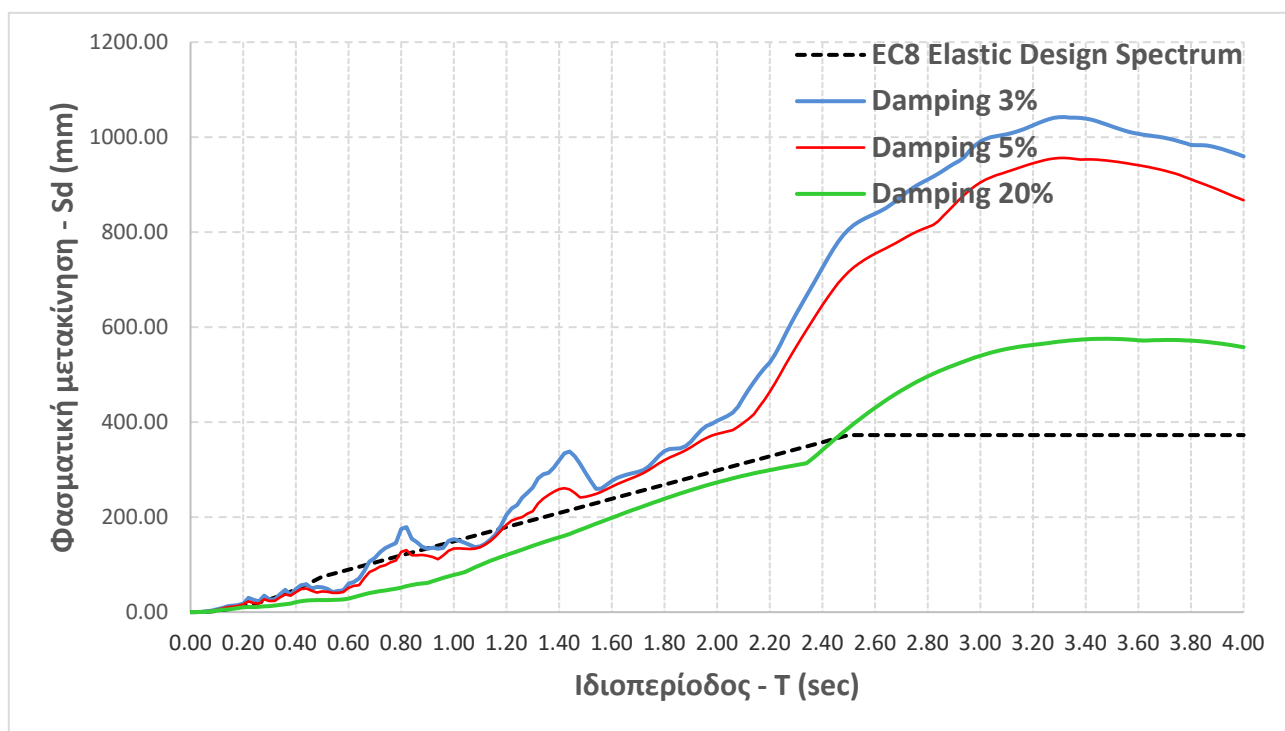
Εικόνα 5.38 Ελαστικά φάσματα απόκρισης μετακινήσεων (3125 East-West) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8



Εικόνα 5.39 Ελαστικά φάσματα απόκρισης ψευδο-ταχυτήτων (3125 East-West) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8

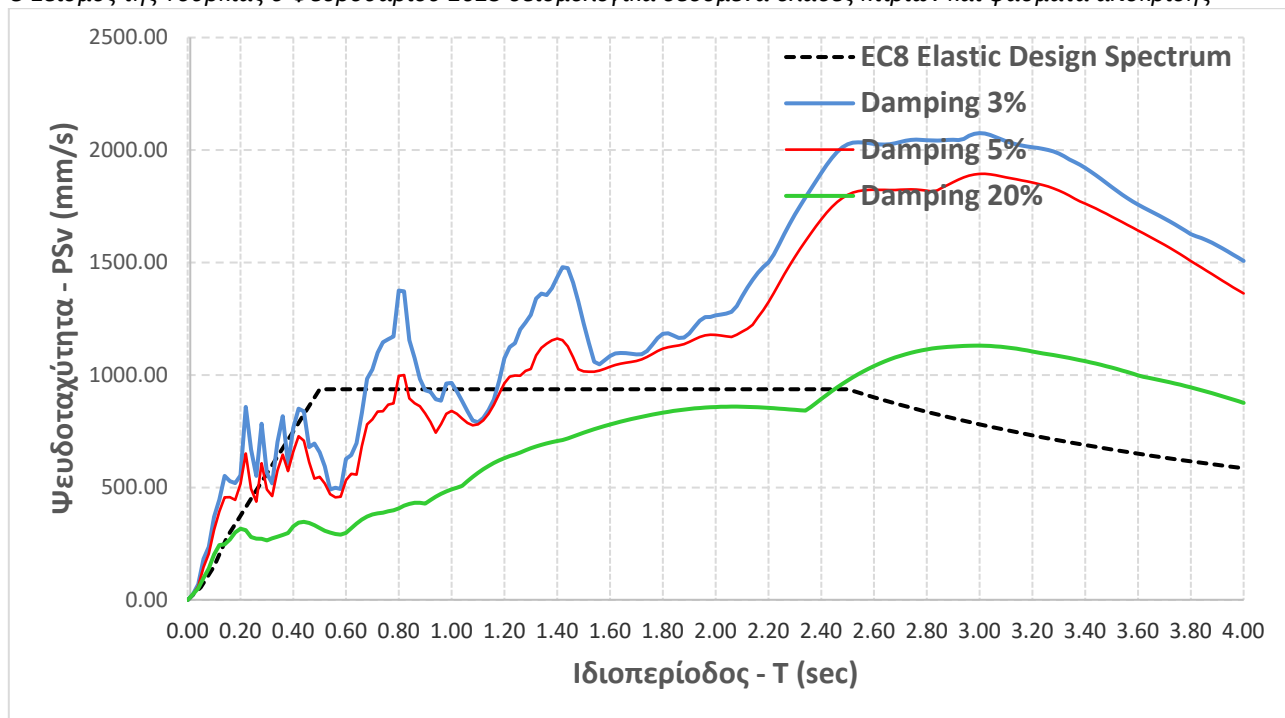


Εικόνα 5.40 Ελαστικά φάσματα απόκρισης ψευδο-επιταχύνσεων (3125 North-South) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8



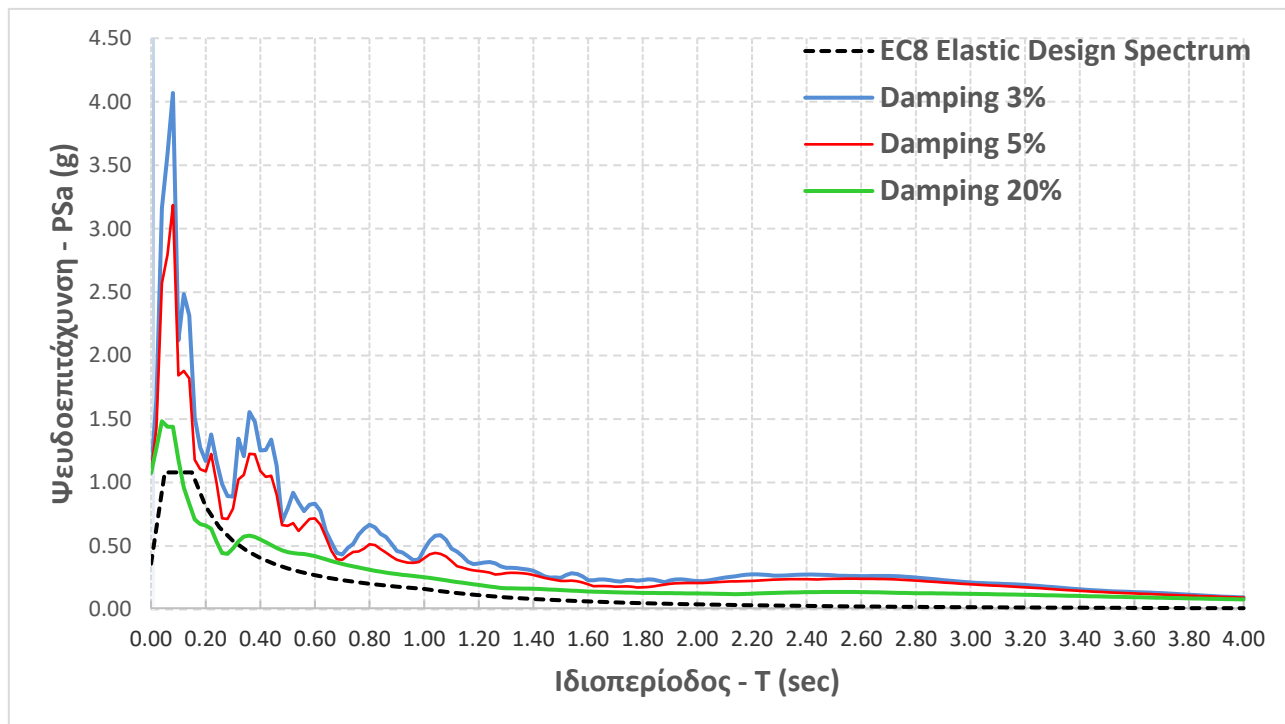
Εικόνα 5.41 Ελαστικά φάσματα απόκρισης μετακινήσεων (3125 North-South) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8



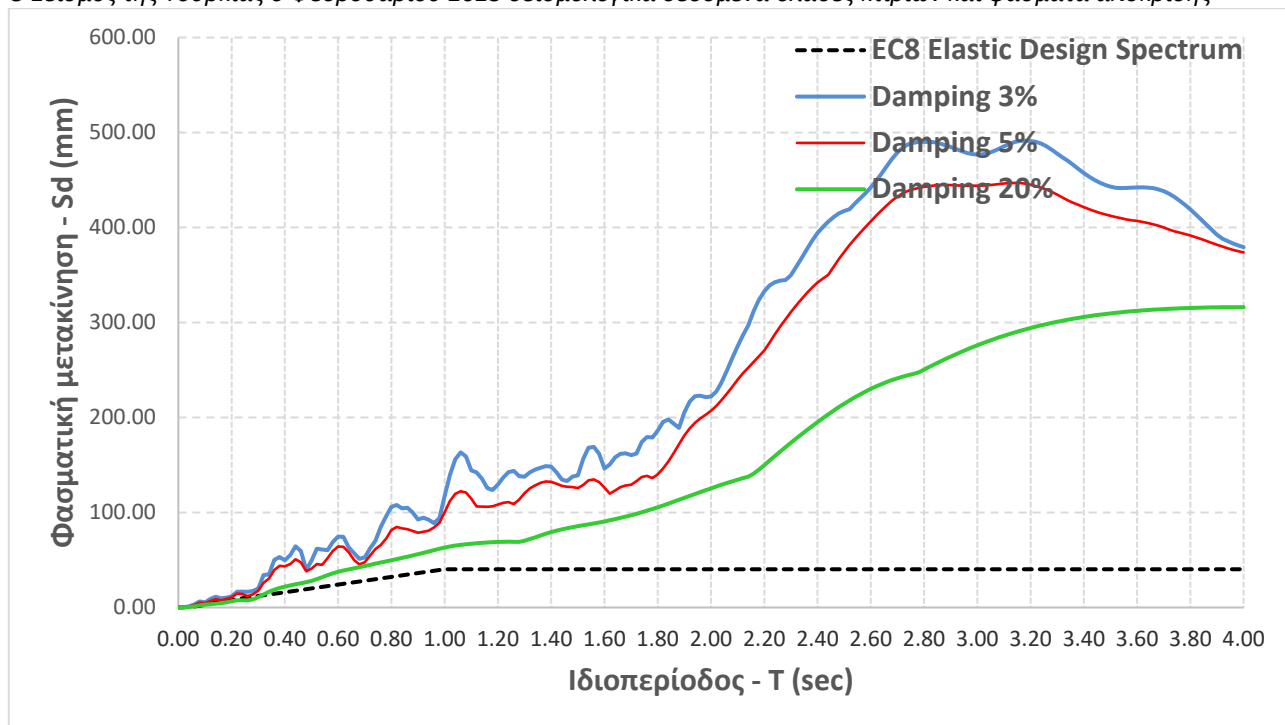


Εικόνα 5.42 Ελαστικά φάσματα απόκρισης ψευδο-ταχυτήτων (3125 North-South) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8

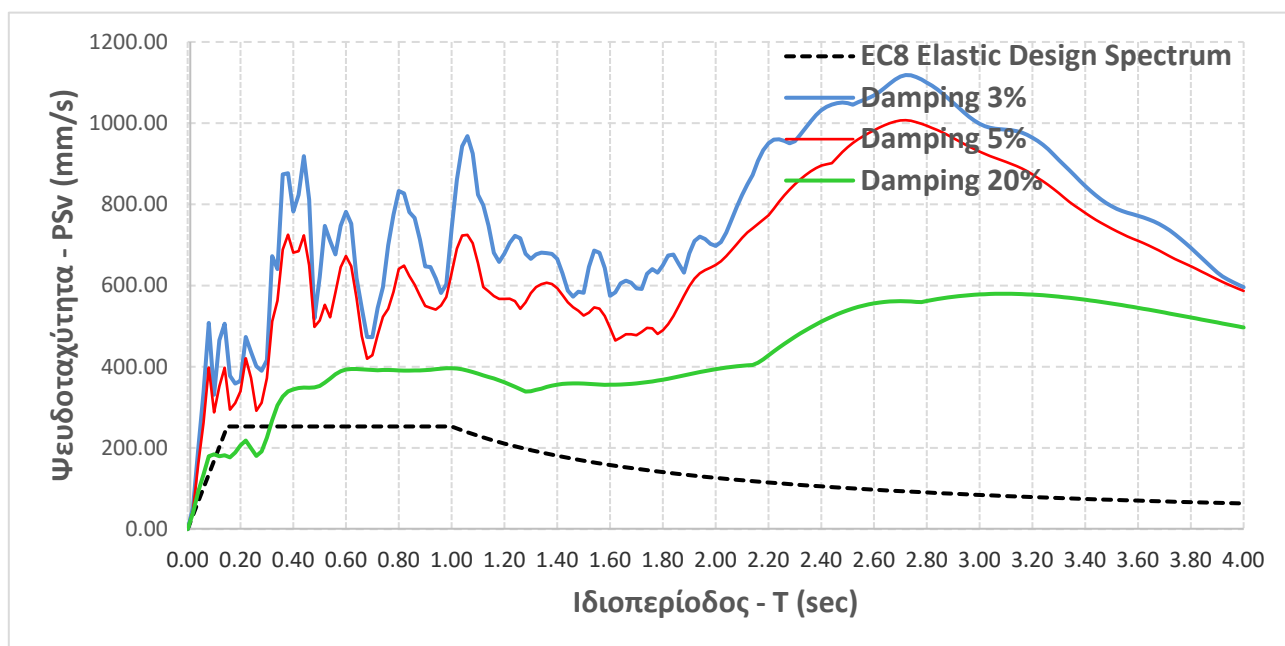
### Συνιστώσα UP-DOWN



Εικόνα 5.43 Ελαστικά φάσματα απόκρισης ψευδο-επιταχύνσεων (3125 Up-Down) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8



Εικόνα 5.44 Ελαστικά φάσματα απόκρισης μετακινήσεων (3125 Up-Down) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8



Εικόνα 5.45 Ελαστικά φάσματα απόκρισης ψευδο-ταχυντήτων (3125 Up-Down) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8

### 5.5.2 Σύνοψη συμπεράσματα

Εξετάζοντας τις φασματικές επιταχύνσεις και στις δυο οριζόντιες συνιστώσες επιβεβαιώνεται η κατηγορία εδάφους, τύπου B, που αντιστοιχεί σε αποσαθρωμένους βράχους, ενώ παρατηρούνται σημαντικές ομοιότητες και ως προς τη μορφή των φασμάτων. Στη διεύθυνση E-W, για τις κατασκευές όπου οι τιμές των ιδιοπεριόδων κυμαίνονται από 0s - 0.35s και 0.6s - 0.9s συμπερασματικώς για τις κατοικίες κυρίως, επλήγησαν το μεγαλύτερο στην περιοχή δηλαδή κτίρια τύπου 2 ορόφων μέχρι και 10 οροφών, λόγω των υψηλών επιταχύνσεων στις συγκεκριμένες ιδιοπεριόδους.

Ο Σεισμός της Τουρκίας 6 Φεβρουαρίου 2023 σεισμολογικά δεδομένα θλάβες κτιρίων και φάσματα απόκρισης. Επίσης, τα κτίρια δέχονται έως και 1 φορά μεγαλύτερη σεισμική επιτάχυνση από την επιτάχυνση του ελαστικού φάσματος σχεδιασμού των κτιρίων δηλαδή περίπου 2.3g αντί για από 1.2g. Στη διεύθυνση N-S επηρεάζονται μόνο τα χαμηλά κτίρια εννοώντας τις κατασκευές που ιδιοπερίοδος τους είναι μεταξύ 0s - 0.3s, για τις μεγαλύτερες ιδιοπεριόδους πάνω από 0.3s τα φάσματα της ψευδο-επιτάχυνσης τείνουν να μοιάζουν ή καλύπτονται από το φάσμα σχεδιασμού οπότε οι κατασκευές αυτές αναμένεται να είχαν ελάχιστες βλάβες.

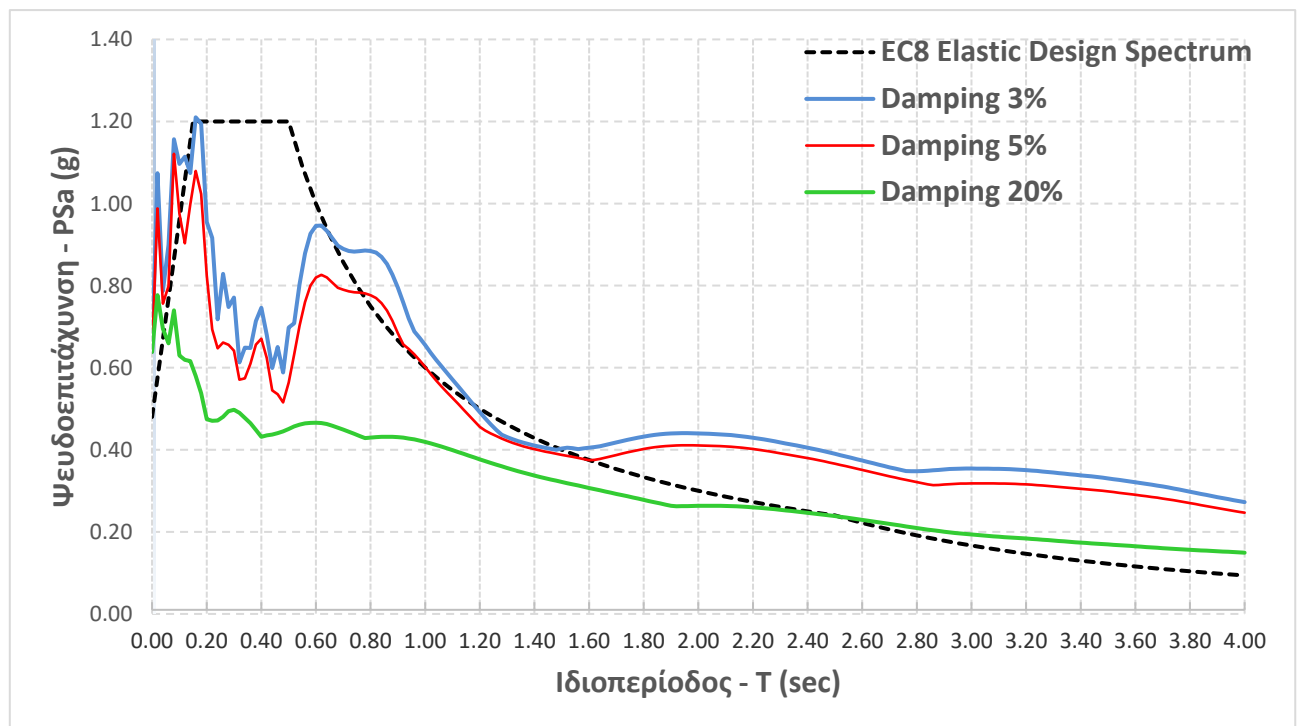
Στην κατακόρυφη διεύθυνση παρατηρούνται υπερβάσεις των επιταχύνσεων του φάσματος σχεδιασμού σε όλο το εύρος των ιδιοπεριόδων. Οι υπερβάσεις αυτές μεγιστοποιούνται στις περιόδους που κυμαίνονται από 0s έως 0.1s με φασματικές τιμές έως και 2 φορές μεγαλύτερες. Μετά τα 0.1s παρουσιάζονται μεγάλες επιταχύνσεις απλά είναι μικρότερες από το διάστημα των χαμηλών κτιρίων και το φάσμα της ψευδο-επιτάχυνσης τείνει να μοιάσει με το φάσμα σχεδιασμού καθώς ομαλοποιείται οπότε τα κτίρια αναμένεται να αναπτύξουν μικρότερες βλάβες στην συνιστώσα UP-DOWN.

Στο φάσμα μετακινήσεων της διεύθυνσης E-W παρατηρείται στις κατασκευές με ιδιοπερίοδο πάνω από 1.6s μεγάλη απόκλιση τιμών από την ελαστική μετακίνηση σχεδιασμού ενώ πριν τα 1.6s το φάσμα της μετακίνησης συμπίπτει αρκετά με την ελαστική μετακίνηση σχεδιασμού. Αντίστοιχη περίπτωση είναι για το φάσμα μετακίνησης της διεύθυνσης N-S καθώς οι κατασκευές με ιδιοπερίοδο μέχρι και 1.2s καλύπτονται από την ελαστική μετακίνηση σχεδιασμού, ενώ, αυτές με μεγαλύτερη ιδιοπερίοδο παρουσιάζουν μεγάλες διαφορές από το φάσμα σχεδιασμού. Οι μεγάλες φασματικές μετατοπίσεις που προκύπτουν στις περιοχές των μεγάλων περιόδων, άνω των 2s αναμένεται να οδήγησαν σε σημαντικές βλάβες ή και καταρρεύσεις σε κτίρια εύκαμπτα, πολλών ορόφων.

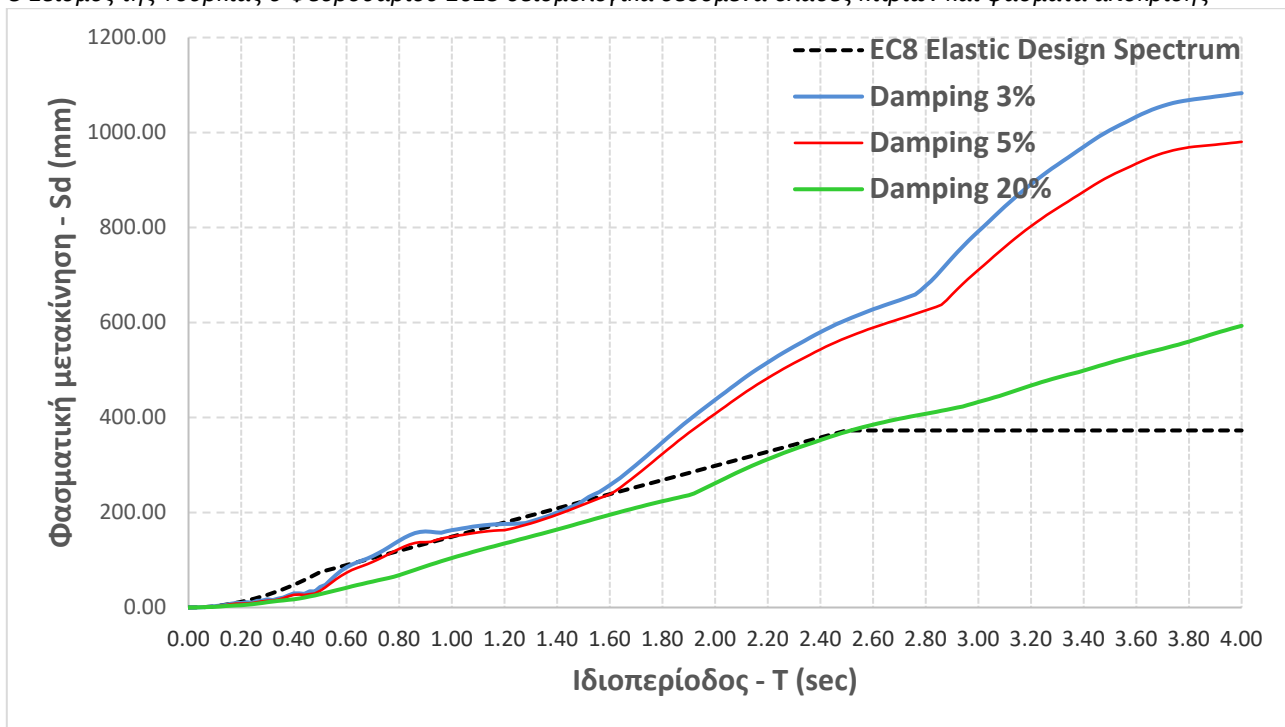
## 5.6 Σταθμός NAR

### 5.6.1 Ελαστικά φάσματα απόκρισης

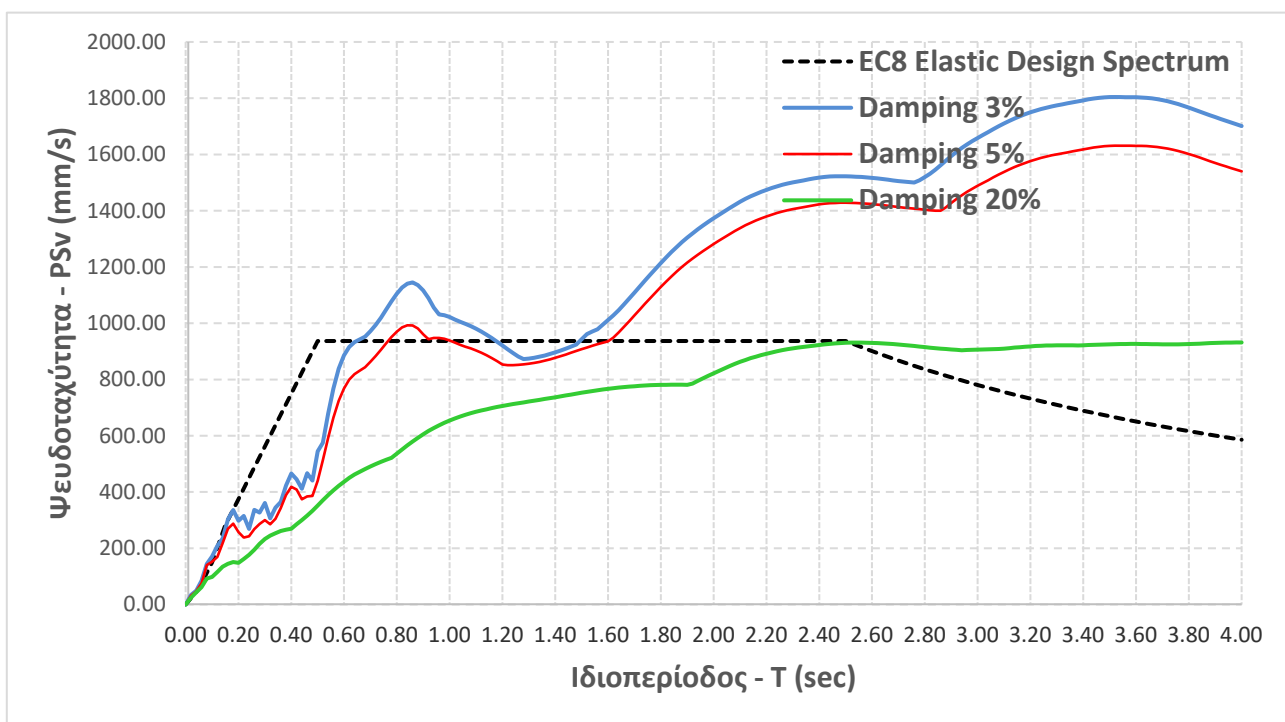
#### Συνιστώσα East – West



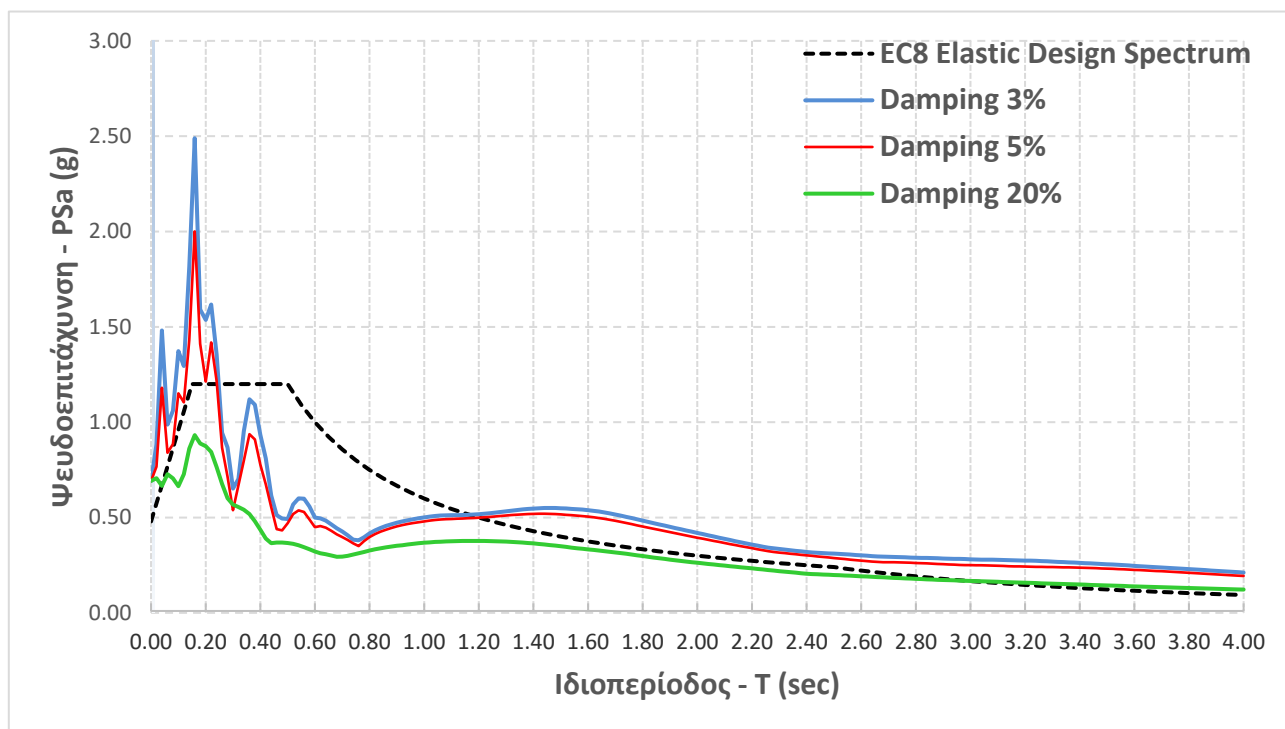
Εικόνα 5.46 Ελαστικά φάσματα απόκρισης ψευδο-επιταχύνσεων (NAR East-West) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8



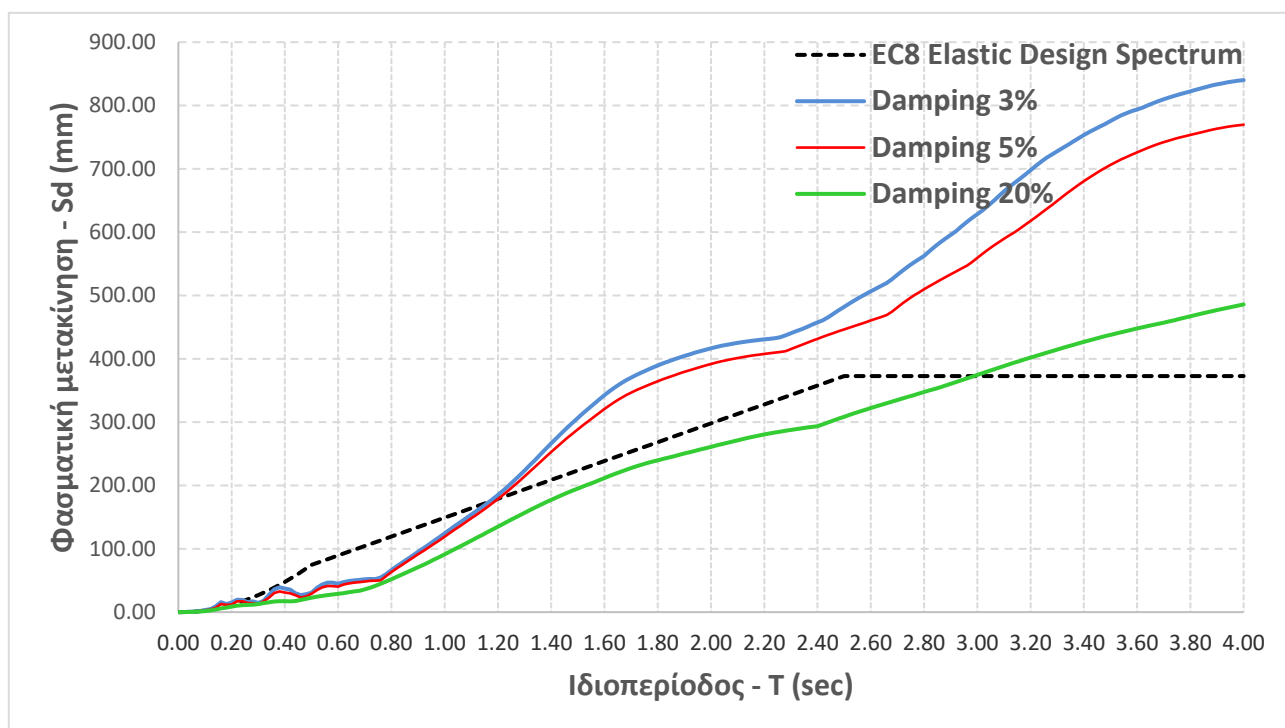
Εικόνα 5.47 Ελαστικά φάσματα απόκρισης μετακινήσεων (NAR East-West) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8



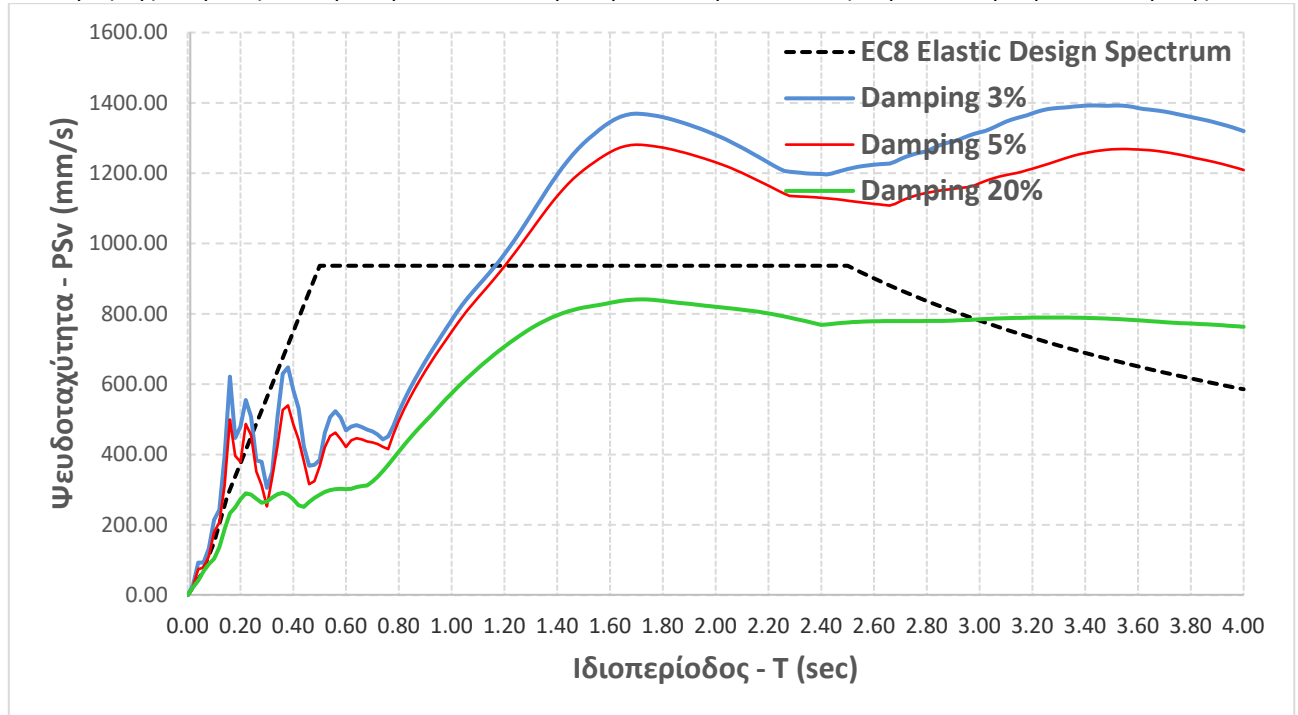
Εικόνα 5.48 Ελαστικά φάσματα απόκρισης ψευδο-ταχυτήτων (NAR East-West) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8



Εικόνα 5.49 Ελαστικά φάσματα απόκρισης ψευδο-επιταχύνσεων (NAR North-South) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8

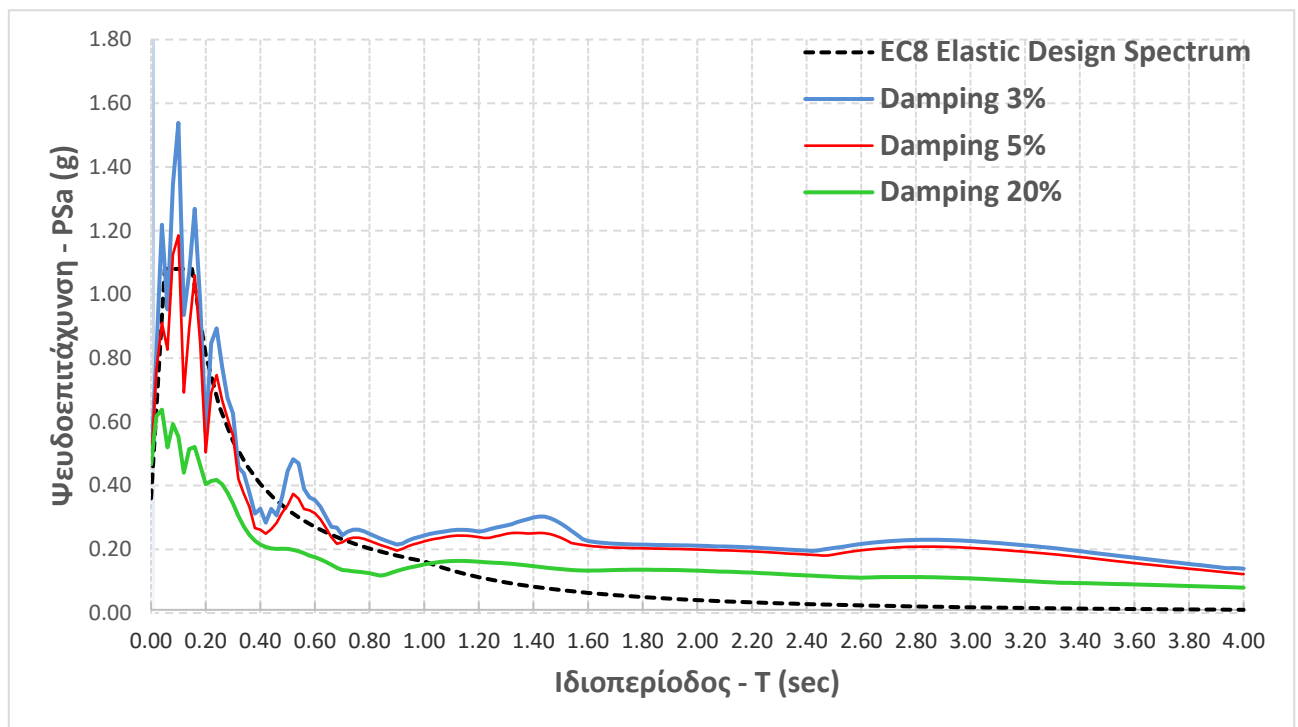


Εικόνα 5.50 Ελαστικά φάσματα απόκρισης μετακινήσεων (NAR North-South) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8

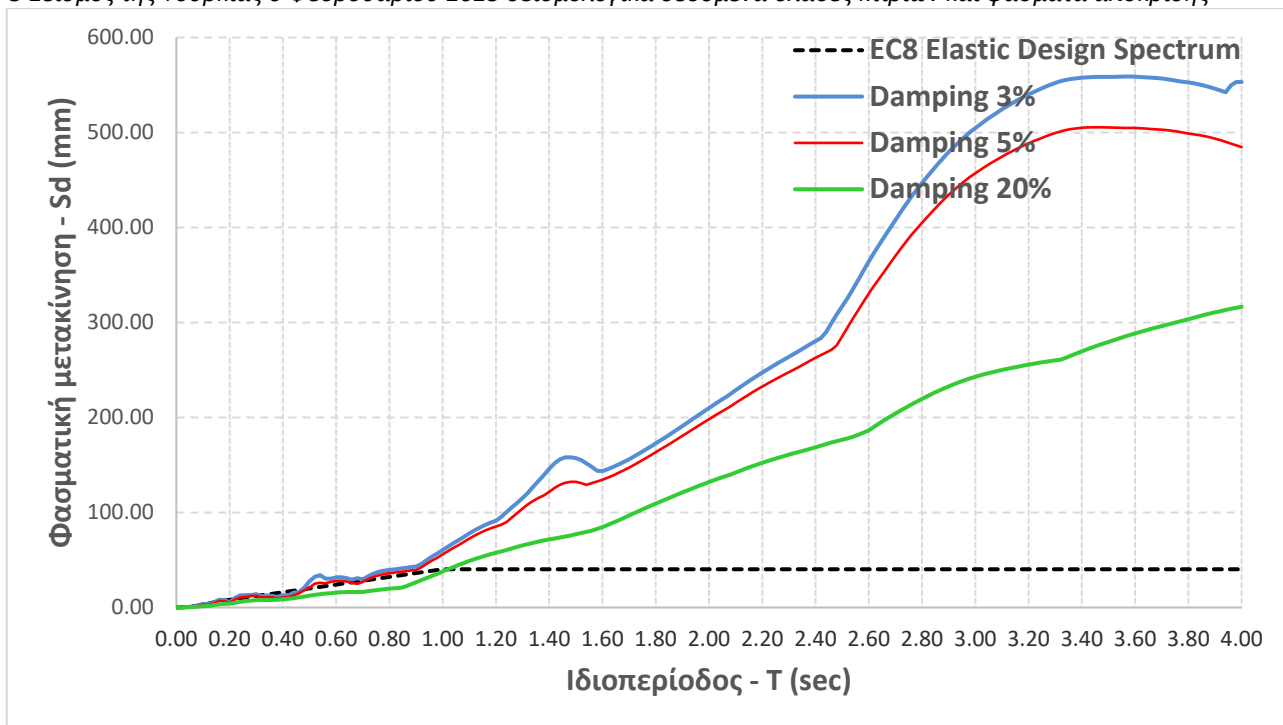


Εικόνα 5.51 Ελαστικά φάσματα απόκρισης ψευδο-ταχυτήτων (NAR North-South) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8

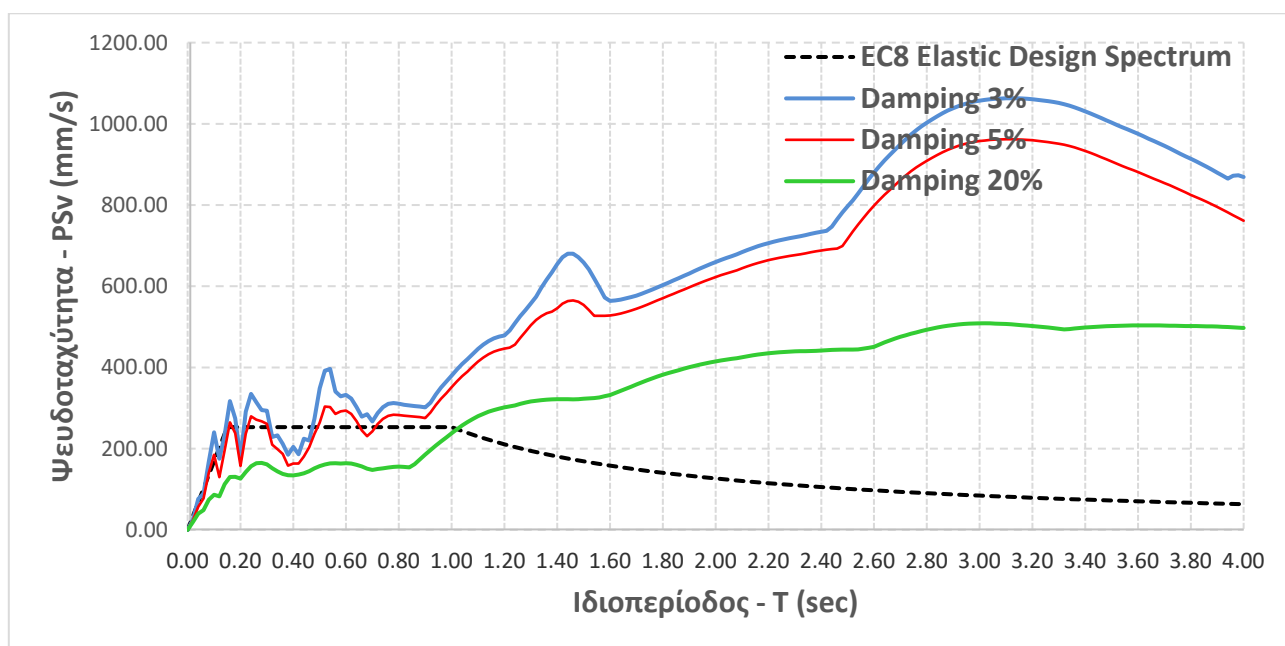
### Συνιστώσα UP-DOWN



Εικόνα 5.52 Ελαστικά φάσματα απόκρισης ψευδο-επιταχύνσεων (NAR Up-Down) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8



Εικόνα 5.53 Ελαστικά φάσματα απόκρισης μετακινήσεων (NAR Up-Down) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8



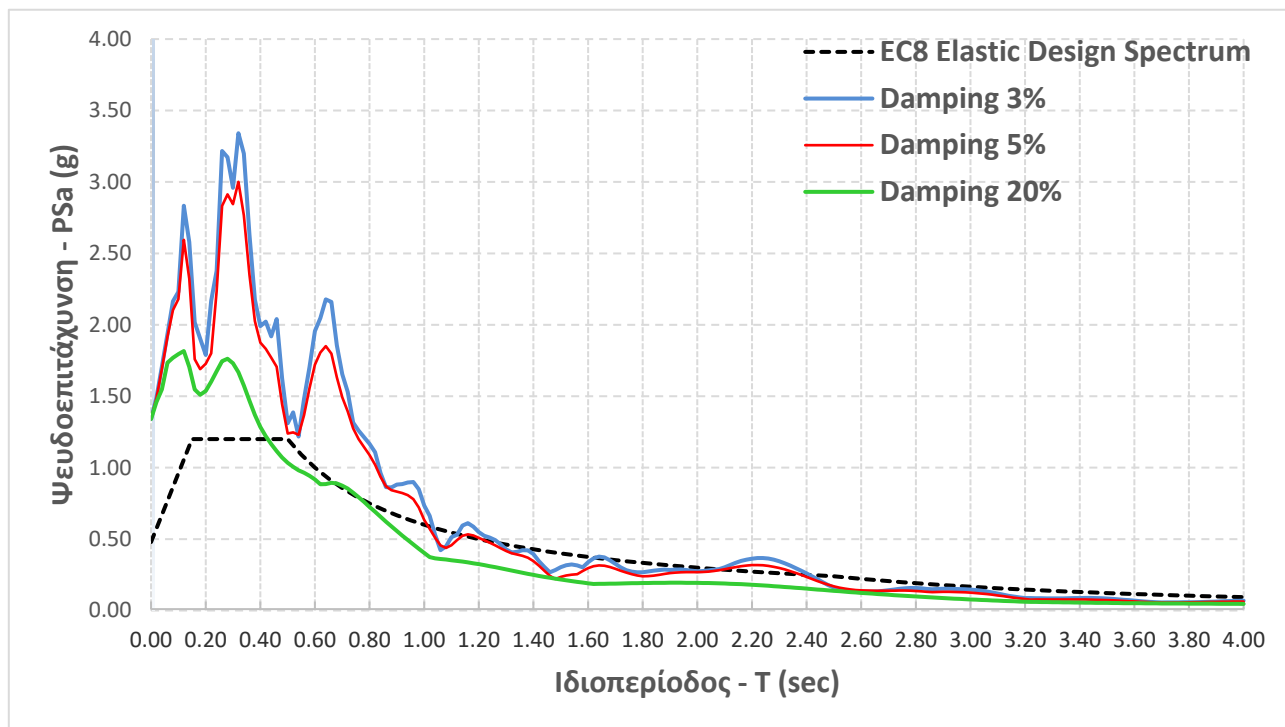
Εικόνα 5.54 Ελαστικά φάσματα απόκρισης ψευδο-ταχυτήτων (NAR Up-Down) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8

### 5.6.2 Σύνοψη συμπεράσματα

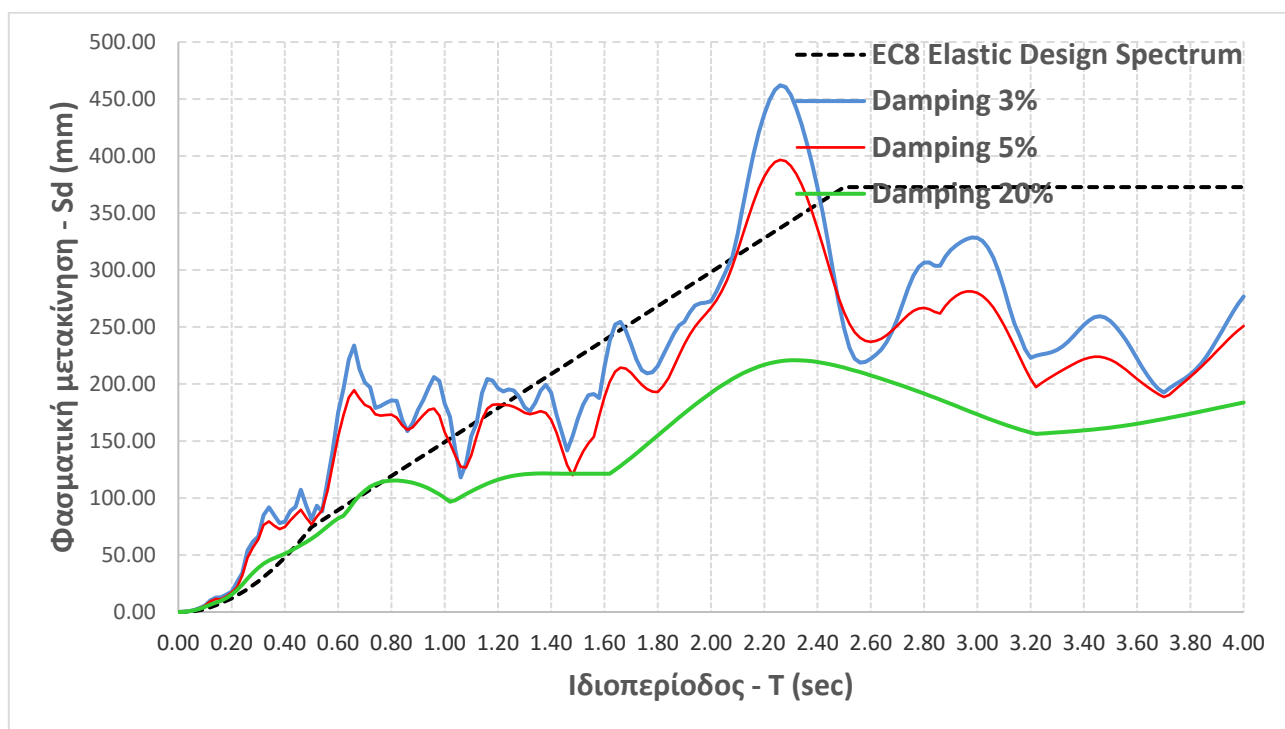
Ο εν λόγω σταθμός προκαλεί προβληματισμούς καθώς από όλους τους σταθμούς που αναλύονται είναι ο πιο κοντινός στην εστία του σεισμού (15.35km), όμως οι φασματικές επιταχύνσεις που δίνει η καταγραφή είναι πολύ χαμηλές σε σύγκριση με τους άλλους σταθμούς που βρίσκονται πιο μακριά από την εστία του σεισμού. Αυτό μπορεί να αποδοθεί είτε σε επίδραση τοπικών εδαφικών συνθηκών, οι οποίες να τονισθεί ότι δεν διατίθενται, είτε σε σφάλμα καταγραφής. Τα φάσματα της ψευδο-επιτάχυνσης των συνιστωσών E-W και N-S ποιοτικά μοιάζουν με φάσματα καταγραφής σε σκληρό έδαφος, το ίδιο ισχύει και για την κατακόρυφη συνιστώσα. Αξίζει επίσης να τονισθεί πως παρατηρούνται πολύ μεγάλες φασματικές μετατοπίσεις άρα και βλάβες για περιόδους  $T > 1.4s$ .

### 5.7.1 Ελαστικά φάσματα απόκρισης

#### Συνιστώσα East – West

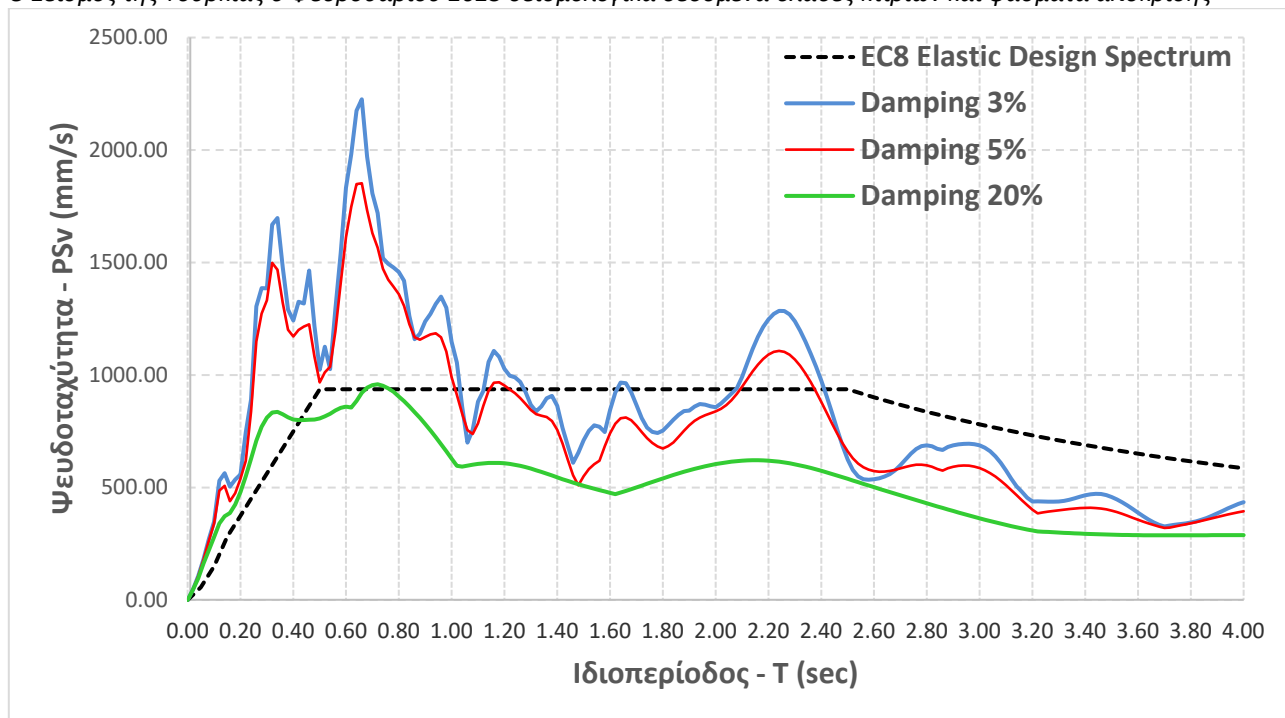


Εικόνα 5.55 Ελαστικά φάσματα απόκρισης ψευδο-επιταχύνσεων (3135 East-West) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8



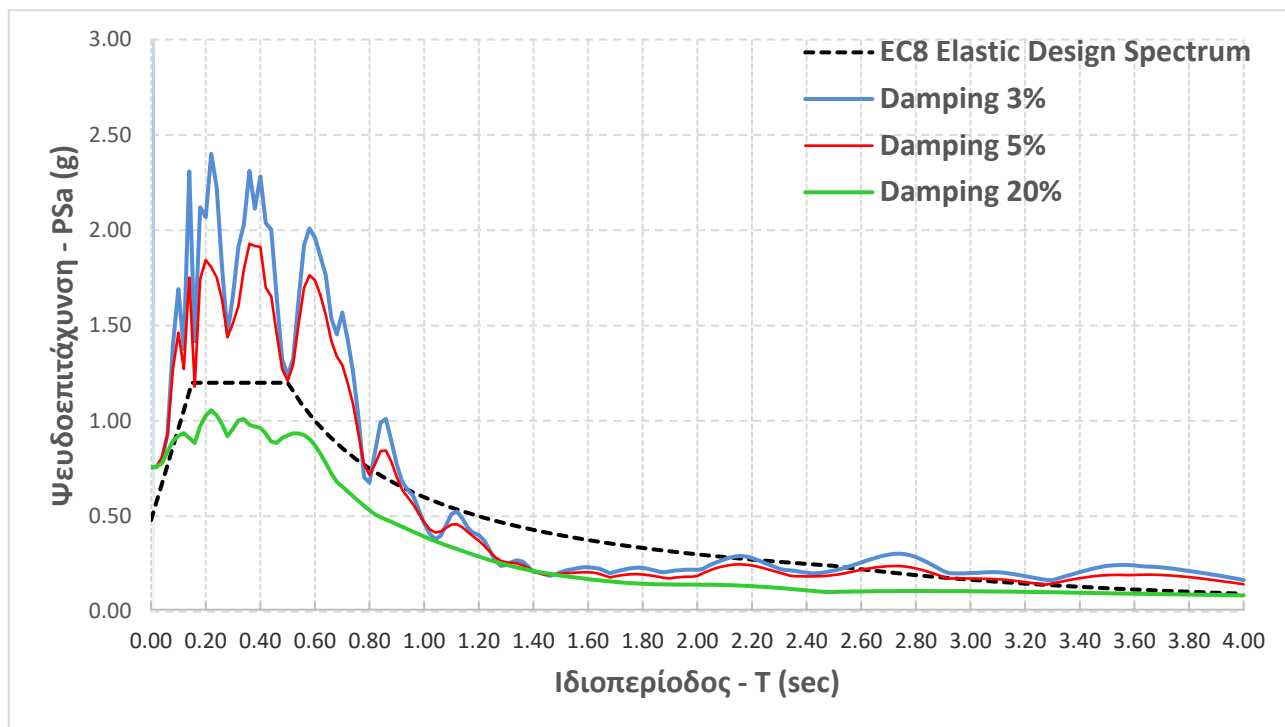
Εικόνα 5.56 Ελαστικά φάσματα απόκρισης μετακινήσεων (3135 East-West) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8



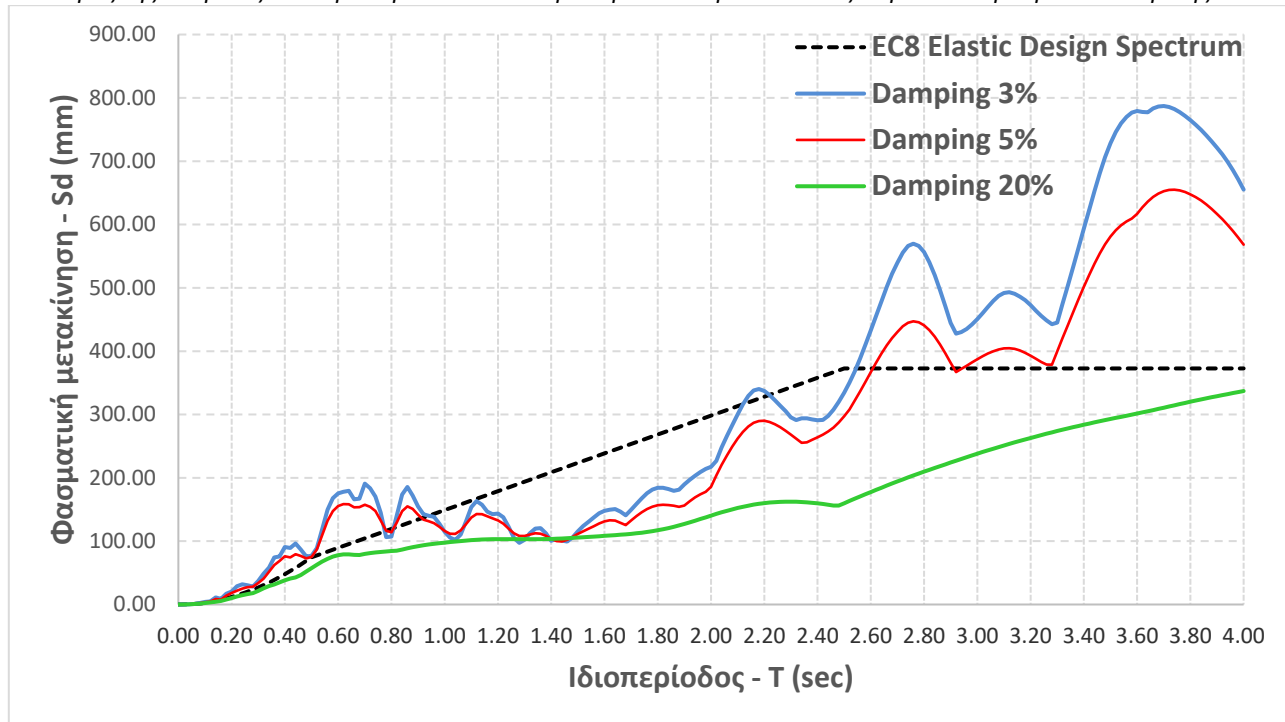


Εικόνα 5.57 Ελαστικά φάσματα απόκρισης ψευδο-ταχυτήτων (3135 East-West) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8

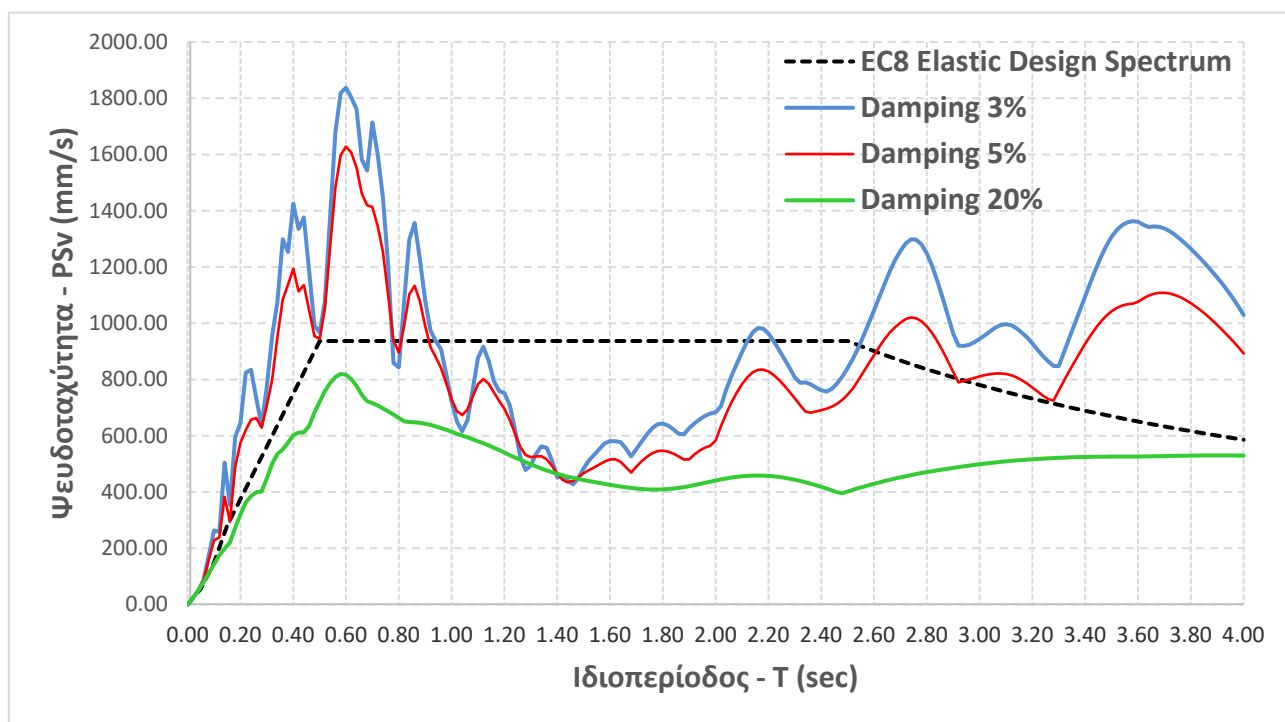
### Συνιστώσα NORTH-SOUTH



Εικόνα 5.58 Ελαστικά φάσματα απόκρισης ψευδο-επιταχύνσεων (3135 North-South) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8

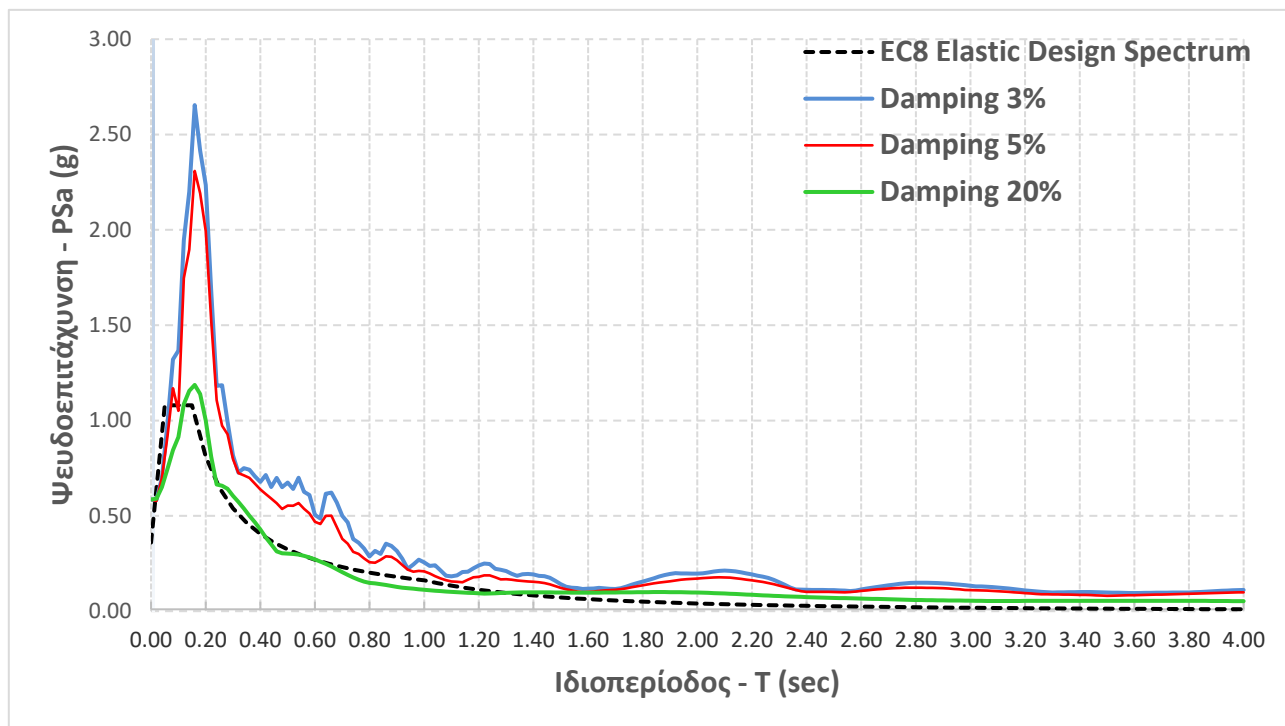


Εικόνα 5.59 Ελαστικά φάσματα απόκρισης μετακινήσεων (3135 North-South) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8

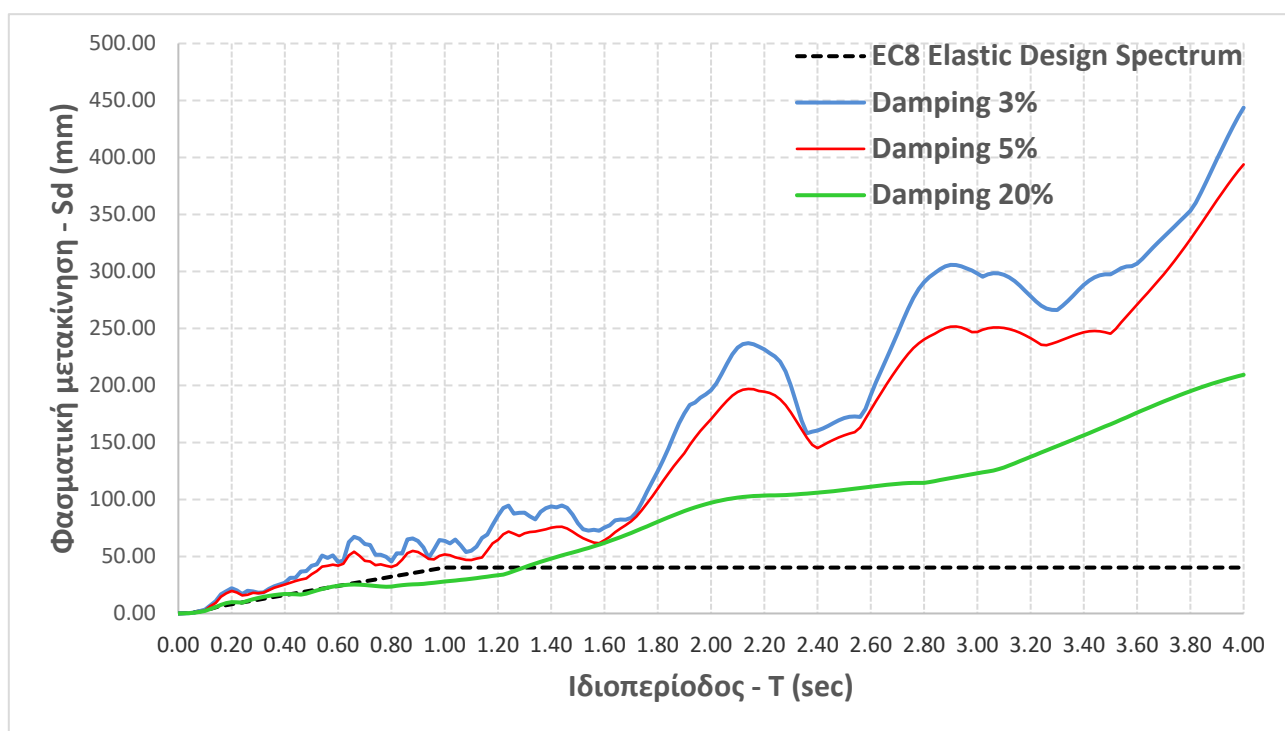


Εικόνα 5.60 Ελαστικά φάσματα απόκρισης ψευδο-ταχυτήτων (3135 North-South) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8

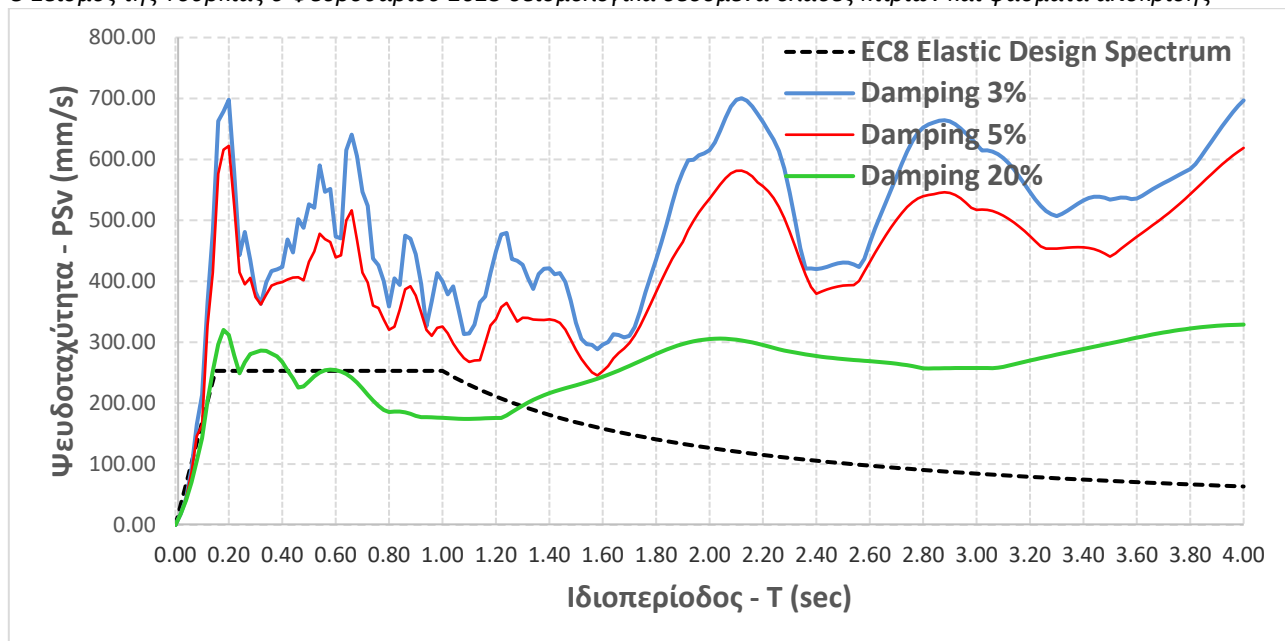
### Συνιστώσα UP-DOWN



Εικόνα 5.61 Ελαστικά φάσματα απόκρισης ψευδο-επιταχύνσεων (3135 Up-Down) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8



Εικόνα 5.62 Ελαστικά φάσματα απόκρισης μετακινήσεων (3135 Up-Down) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8



Εικόνα 5.63 Ελαστικά φάσματα απόκρισης ψευδο-ταχυτήτων (3135 Up-Down) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8

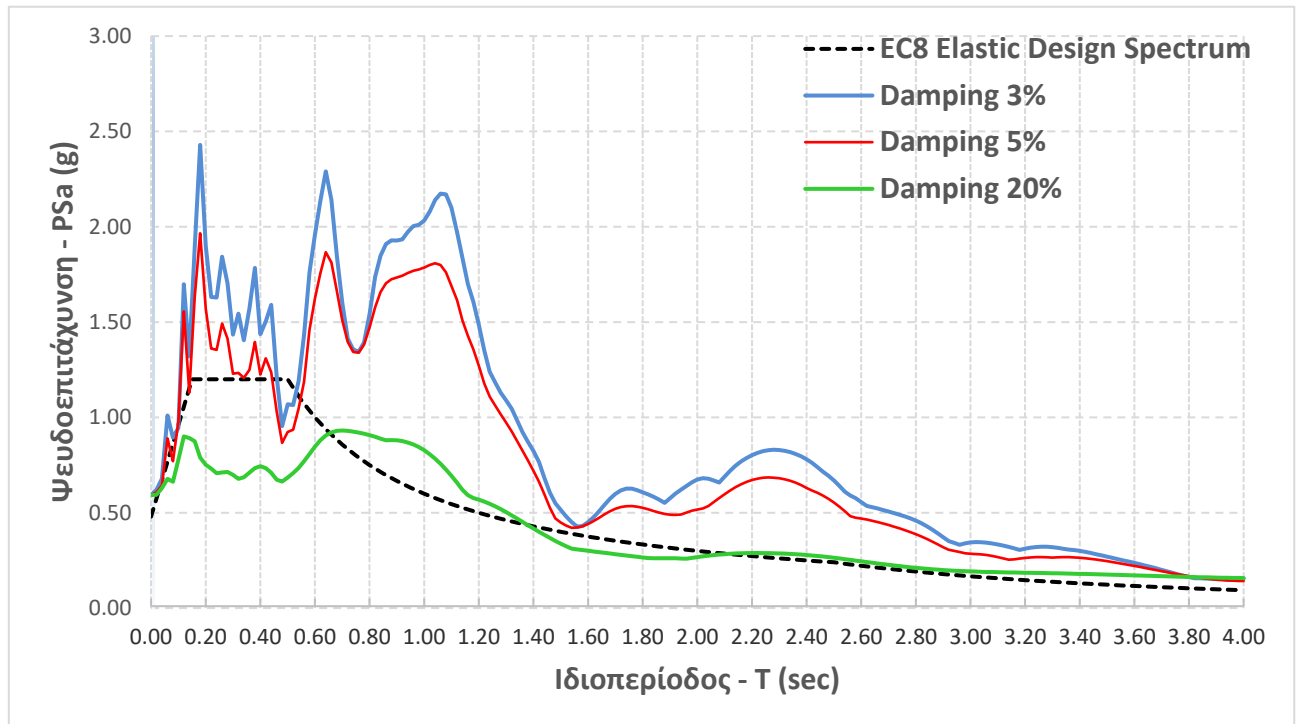
### 5.7.2 Σύνοψη συμπεράσματα

Οι φασματικές επιταχύνσεις που προκύπτουν για το συγκεκριμένο σταθμό, επιβεβαιώνουν το σκληρό έδαφος, κατηγορία εδάφους Β στην οποία κατατάσσεται η εν λόγω περιοχή. Οι φασματικές επιταχύνσεις των οριζοντίων συνιστωσών παρουσιάζουν σημαντικές υπερβάσεις στην περιοχή περιόδων 0s-1s εντός της οποίας συναντάμε τις περισσότερες κατασκευές οπλισμένου σκυροδέματος, οι οποίες επλήγησαν και από το σεισμό. Στη συνιστώσα E-W εντοπίζονται φασματικές επιταχύνσεις περίπου 3 φορές μεγαλύτερες από τις τιμές του ελαστικού φάσματος σχεδιασμού, ενώ για τις περιόδους άνω του 1s τα φάσματα σχεδόν καλύπτονται από το ελαστικό φάσμα σχεδιασμού.

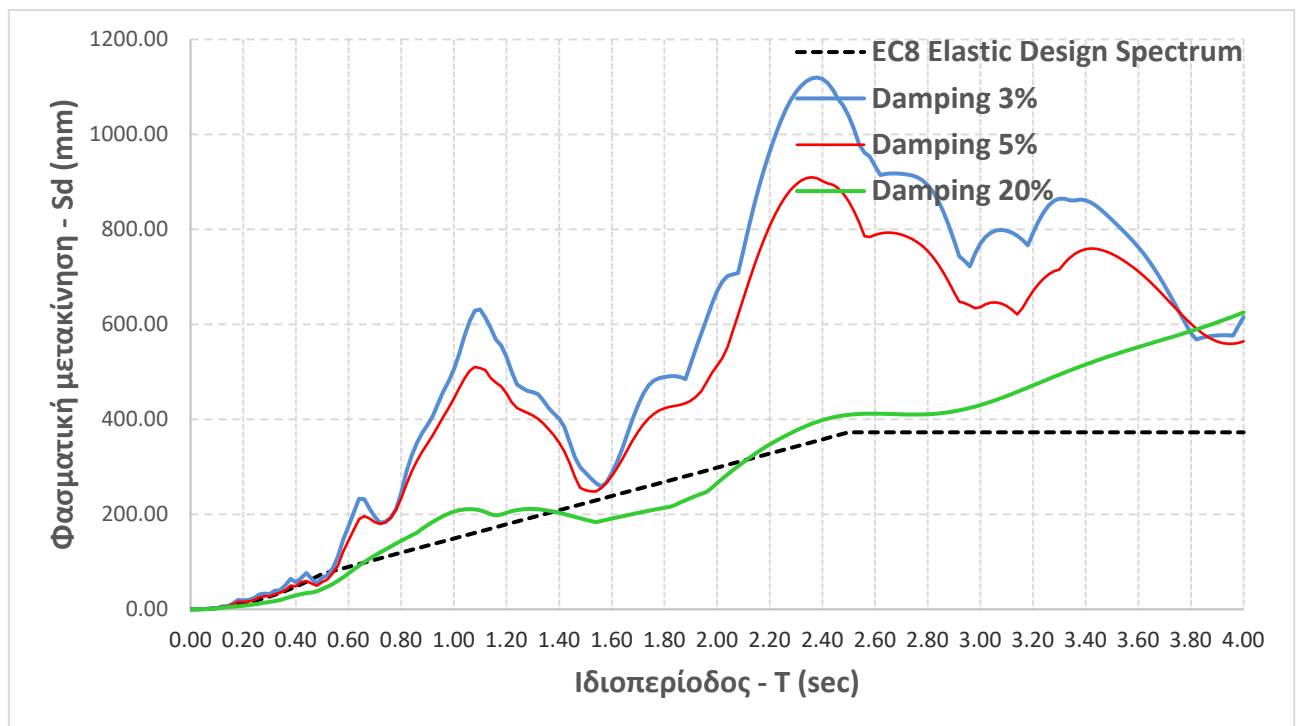
Στην κατακόρυφη συνιστώσα του σεισμού παρατηρούνται υπερβάσεις σε όλο το εύρος των περιόδων με τις φασματικές τιμές να είναι σχεδόν διπλάσιες από τις τιμές του ελαστικού φάσματος σχεδιασμού. Στα φάσματα μετατοπίσεων εντοπίζονται υπερβάσεις σε μια περιορισμένη ζώνη περιόδων από 0.6s-1s που αντιστοιχούν σε τυπικές κατασκευές σκυροδέματος, ενώ οι μετακινήσεις στη συνιστώσα N-S για περιόδους μεγαλύτερες της τιμής 2.6s προκύπτουν σημαντικά μεγαλύτερες από τις αναμενόμενες.

### 5.8.1 Ελαστικά φάσματα απόκρισης

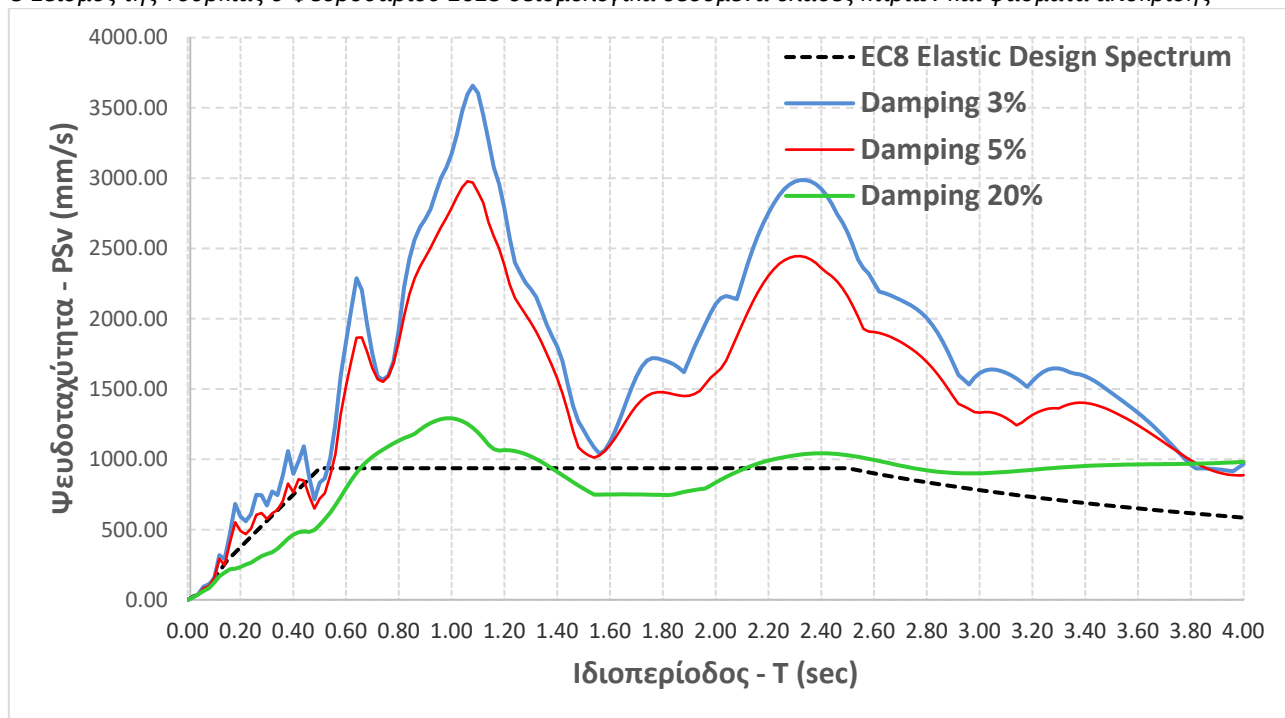
#### Συνιστώσα East – West



Εικόνα 5.64 Ελαστικά φάσματα απόκρισης ψευδο-επιταχύνσεων (3123 East-West) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8

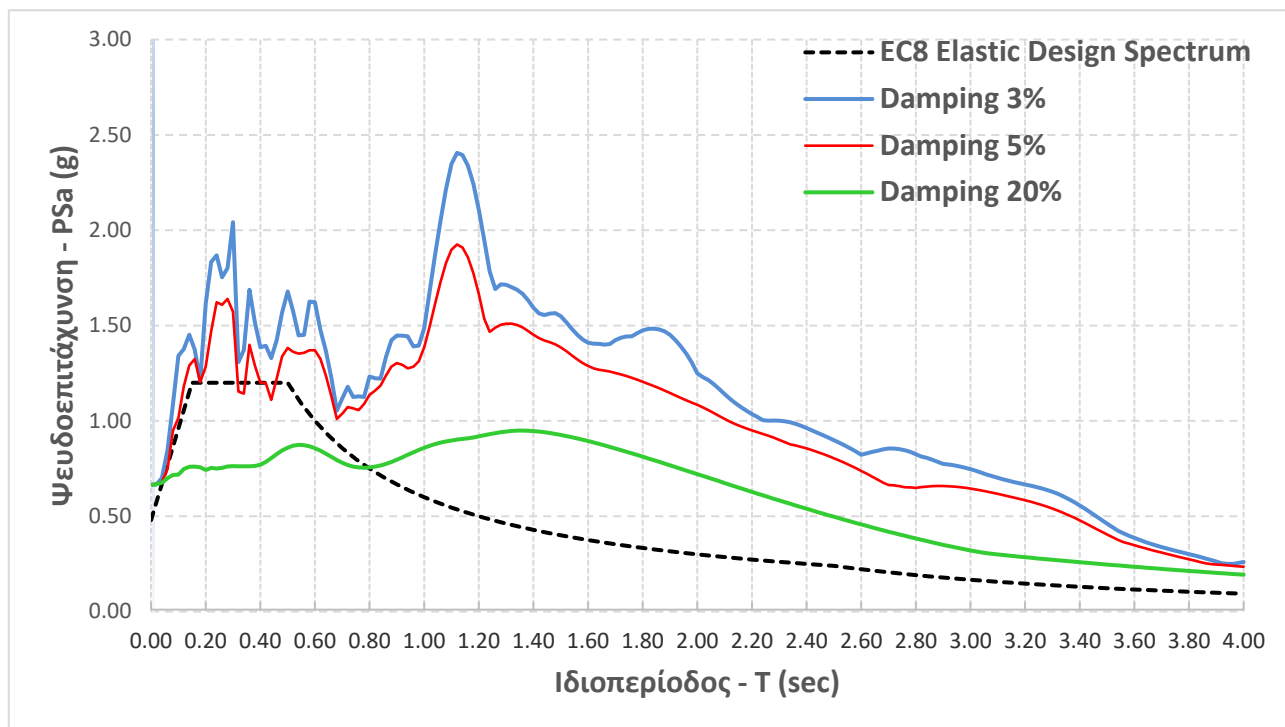


Εικόνα 5.65 Ελαστικά φάσματα απόκρισης μετακινήσεων (3123 East-West) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8

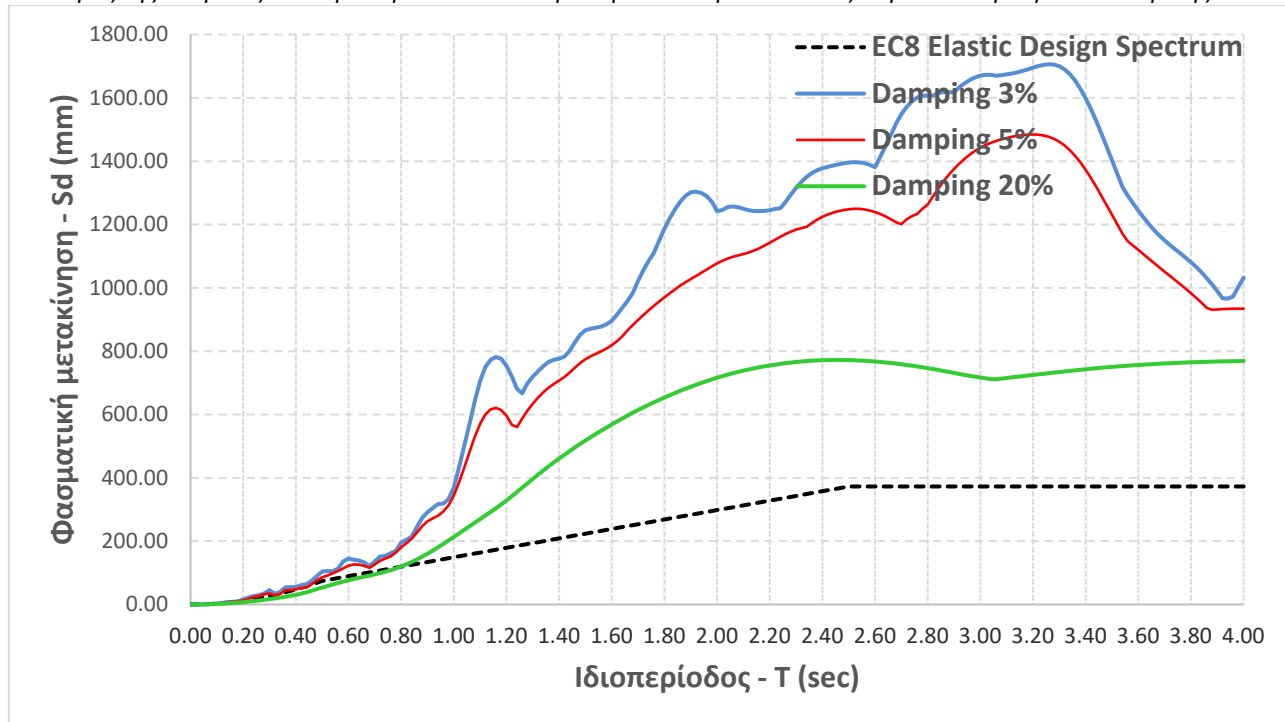


Εικόνα 5.66 Ελαστικά φάσματα απόκρισης ψευδο-ταχυτήτων (3123 East-West) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8

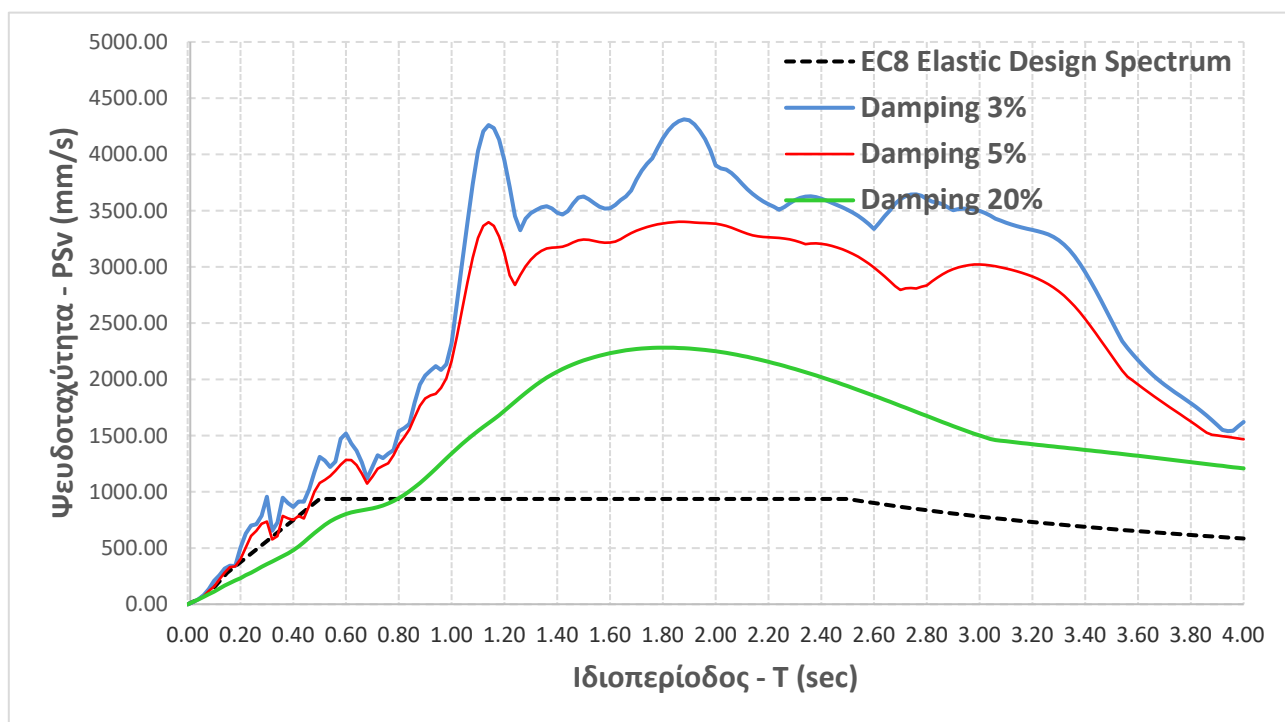
### Συνιστώσα NORTH-SOUTH



Εικόνα 5.67 Ελαστικά φάσματα απόκρισης ψευδο-επιταχύνσεων (3123 North-South) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8

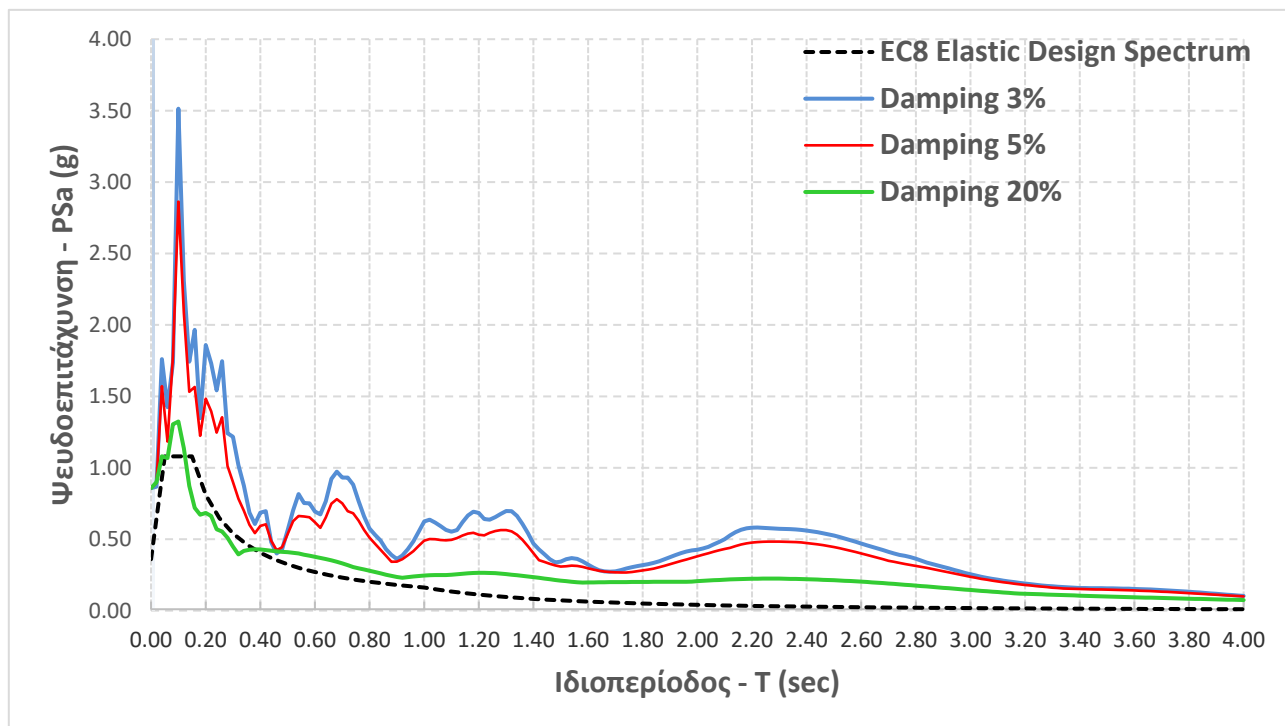


Εικόνα 5.68 Ελαστικά φάσματα απόκρισης μετακινήσεων (3123 North-South) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8

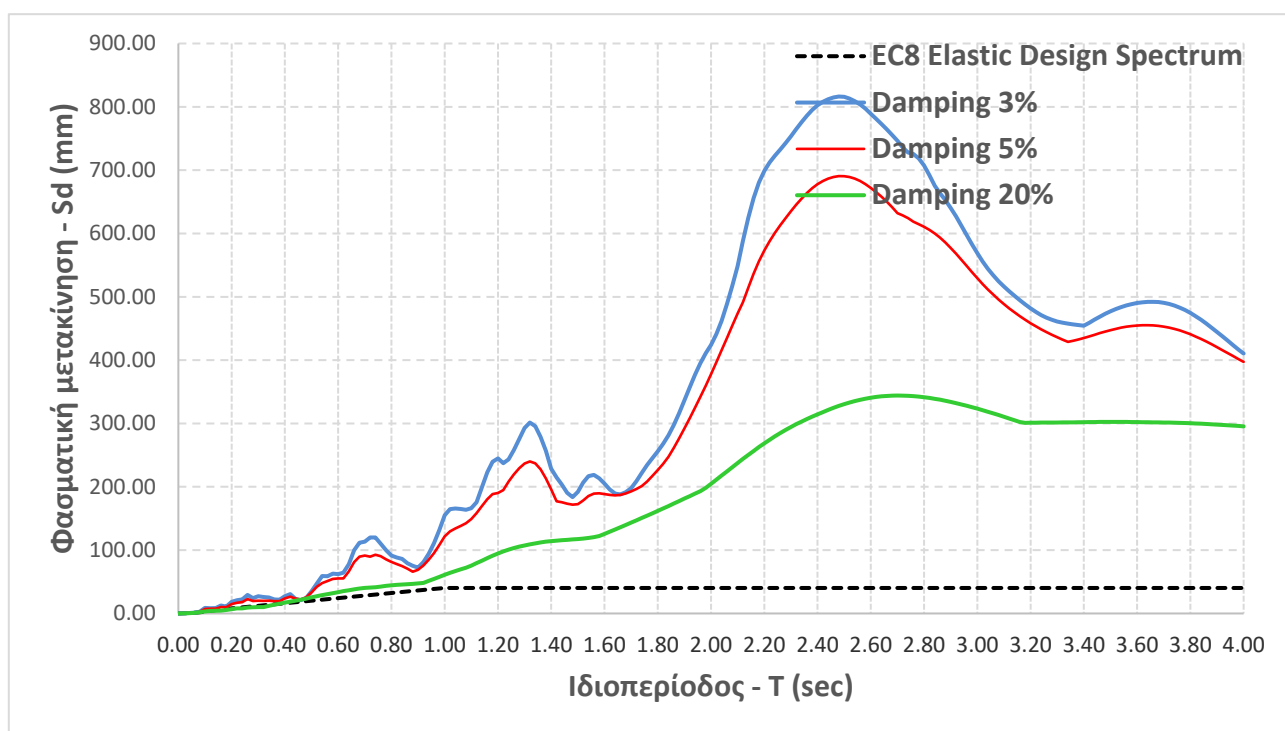


Εικόνα 5.69 Ελαστικά φάσματα απόκρισης ψευδο-ταχυτήτων (3123 North-South) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8

### Συνιστώσα UP-DOWN

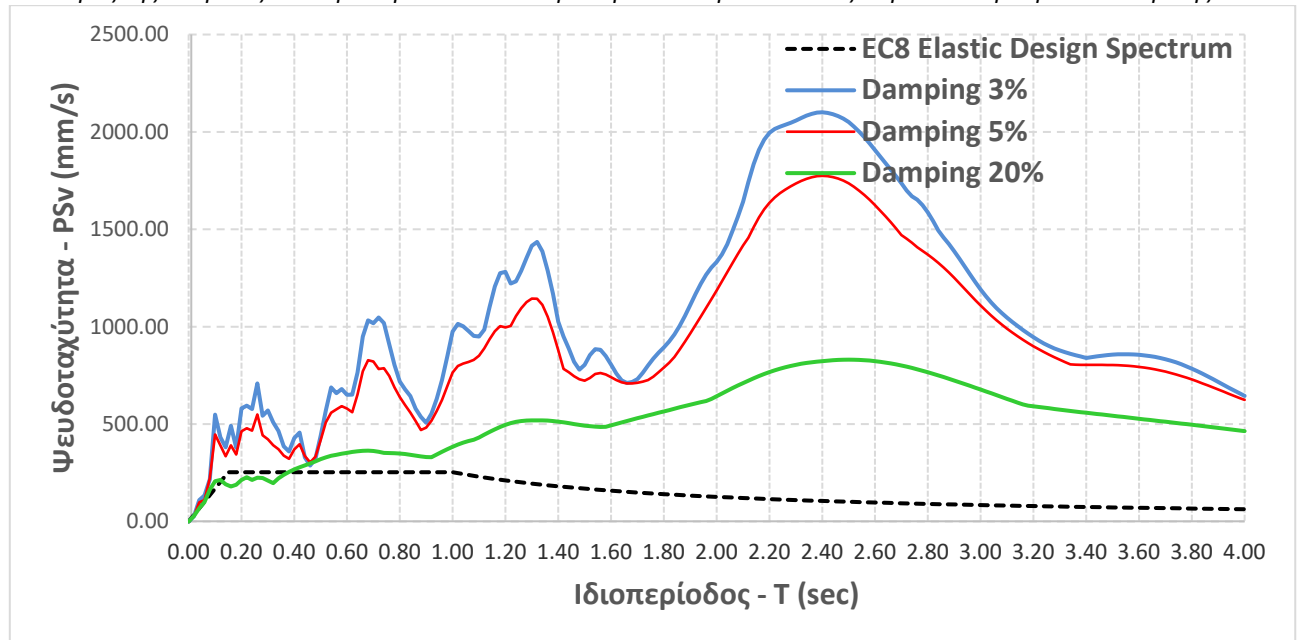


Εικόνα 5.70 Ελαστικά φάσματα απόκρισης ψευδο-επιταχύνσεων (3123 Up-Down) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8



Εικόνα 5.71 Ελαστικά φάσματα απόκρισης μετακινήσεων (3123 Up-Down) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8





Εικόνα 5.72 Ελαστικά φάσματα απόκρισης ψευδο-ταχυτήτων (3123 Up-Down) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8

### 5.8.2 Σύνοψη συμπεράσματα

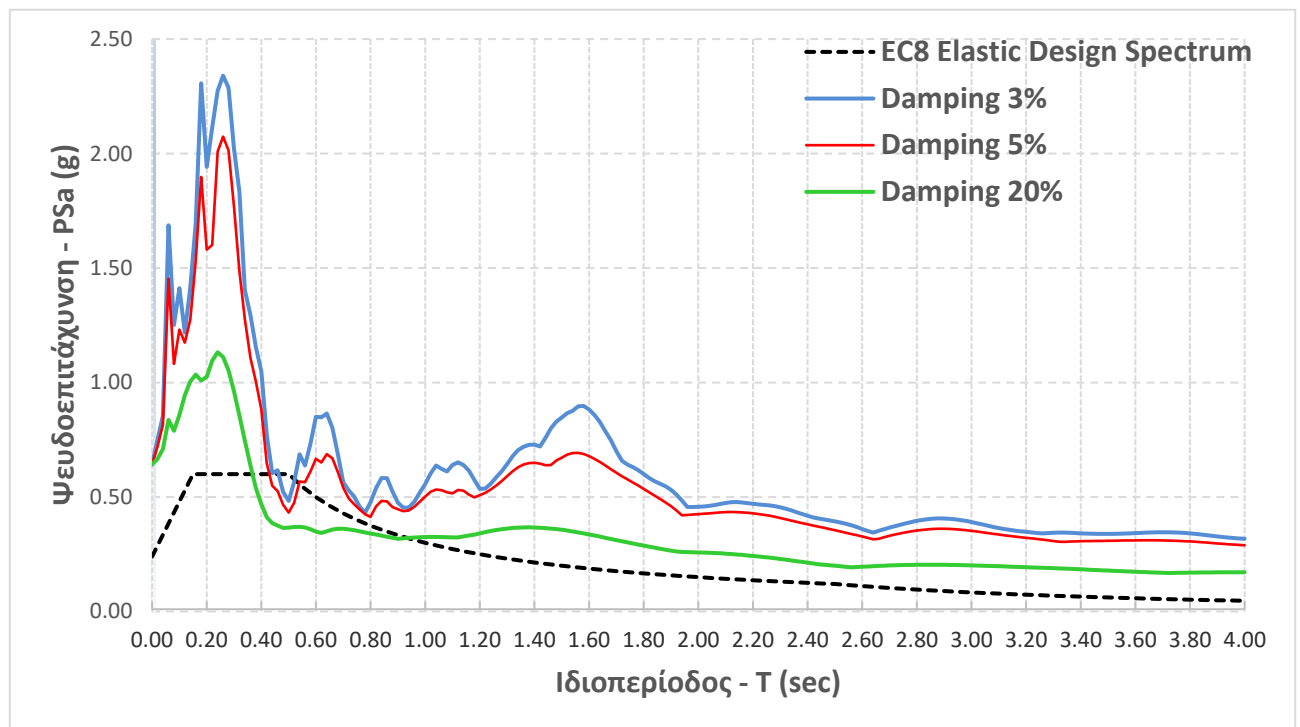
Εξετάζοντας τα φάσματα επιταχύνσεων των οριζόντιων συνιστωσών προκύπτει ότι το έδαφος θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως μαλακό, αν και από την ταχύτητα διατμητικών κυμάτων και τα στοιχεία που διατίθενται για το σταθμό αυτό το έδαφος δηλώνεται κατηγορίας B. Στις συνιστώσες E-W και N-S το φάσμα σχεδιασμού της ψευδο-επιτάχυνσης δεν καλύπτει το ελαστικό φάσμα σχεδιασμού πέρα από το διάστημα που η ιδιοπερίοδος έχει τιμές από 0.44s - 0.54s στη συνιστώσα E-W ενώ στην συνιστώσα N-S οι κατασκευές με ιδιοπερίοδο 0.34s και 0.46s είναι οι μόνες που καλύπτονται από το φάσμα σχεδιασμού.

Συμπερασματικώς, όλες οι κατασκευές στην εν λόγω περιοχή αναμένεται να υποβλήθηκαν σε δράσεις σημαντικά μεγαλύτερες από αυτές για τις οποίες σχεδιάστηκαν. Στο φάσμα απόκρισης επιταχύνσεων της κατακόρυφης συνιστώσας του σεισμού παρατηρούνται υπερβάσεις σε όλο το εύρος των περιόδων.

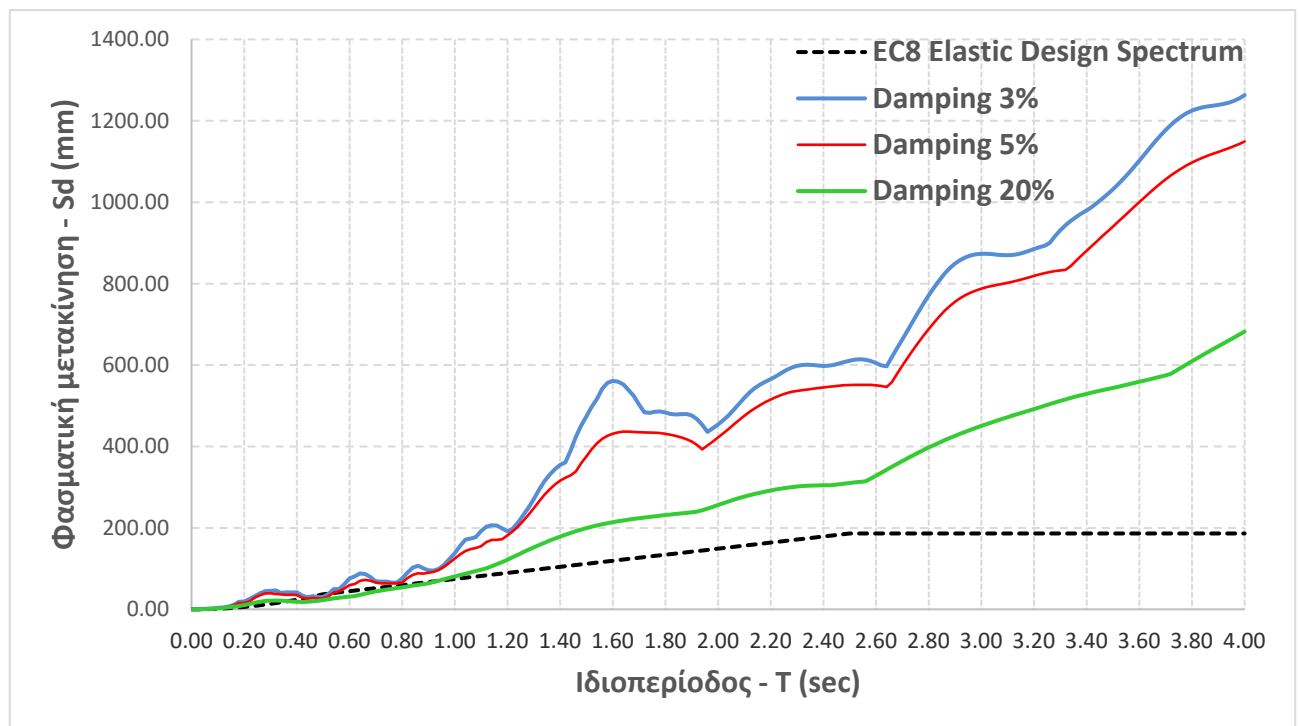
Τέλος, αξίζει να τονισθεί ότι σε όλα τα φάσματα μετατοπίσεων παρουσιάζονται σημαντικές υπερβάσεις των αναμενόμενων μετατοπίσεων, με τις φασματικές τιμές των οριζόντιων συνιστωσών να παρουσιάζουν αποκλίσεις της τάξης των 530mm στην διεύθυνση E-W και 1080mm στην διεύθυνση N-S, γεγονός το οποίο υποδηλώνει ότι οι κατασκευές στην εν λόγω περιοχή του σταθμού υποβλήθηκαν σε μετατοπίσεις που πρακτικά δεν μπορούν να αναπτύξουν χωρίς αστοχία ή κατάρρευση.

### 5.9.1 Ελαστικά φάσματα απόκρισης

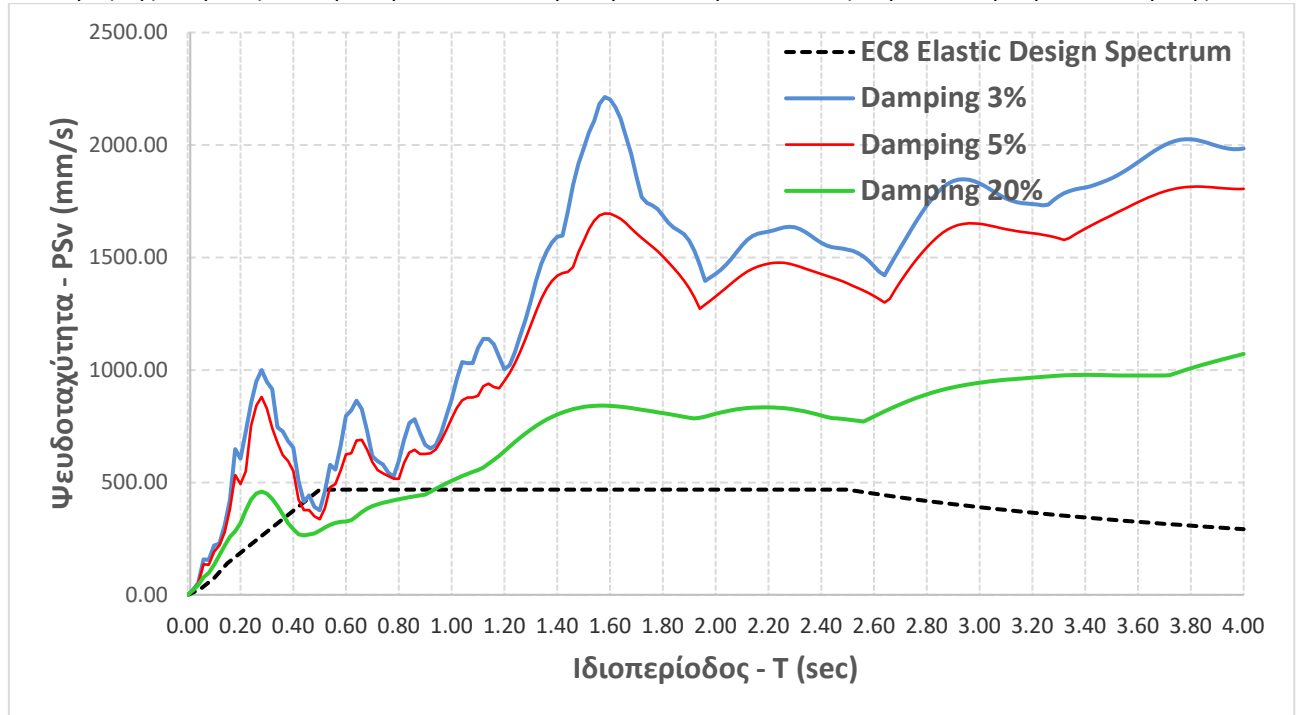
#### Συνιστώσα East – West



Εικόνα 5.73 Ελαστικά φάσματα απόκρισης ψευδο-επιταχύνσεων (2718 East-West) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8

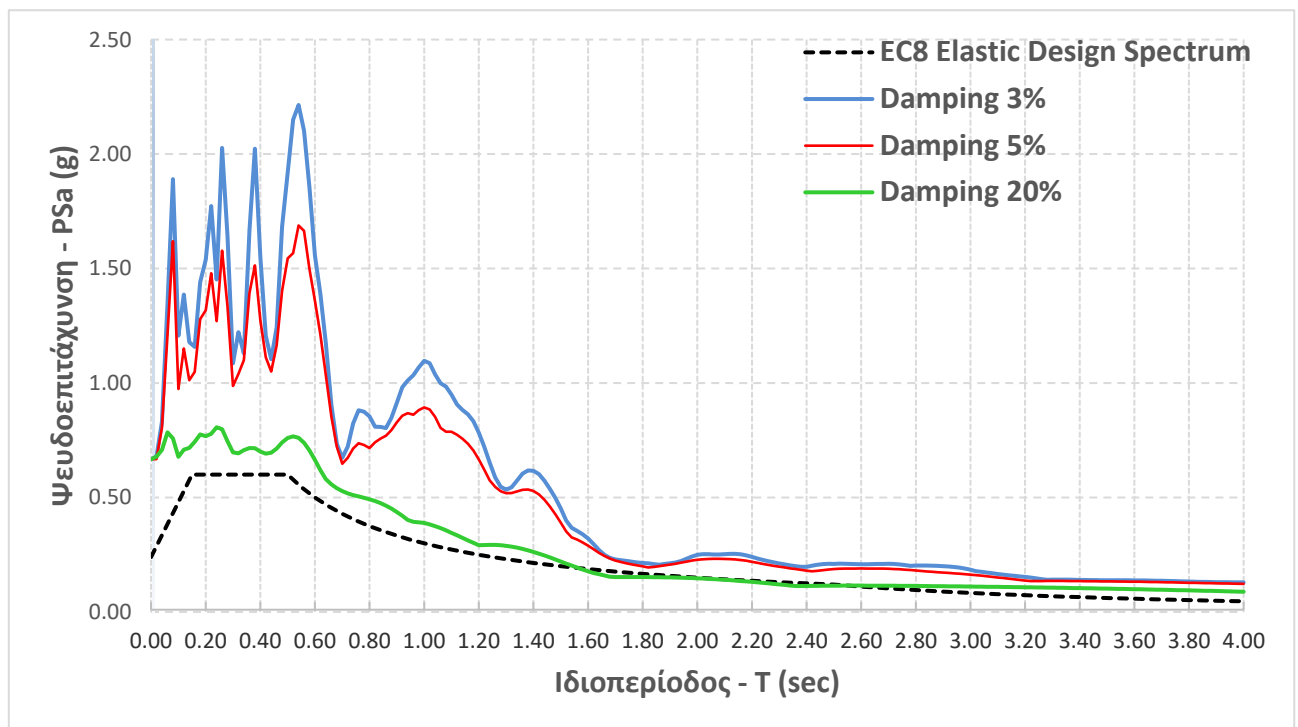


Εικόνα 5.74 Ελαστικά φάσματα απόκρισης μετακινήσεων (2718 East-West) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8

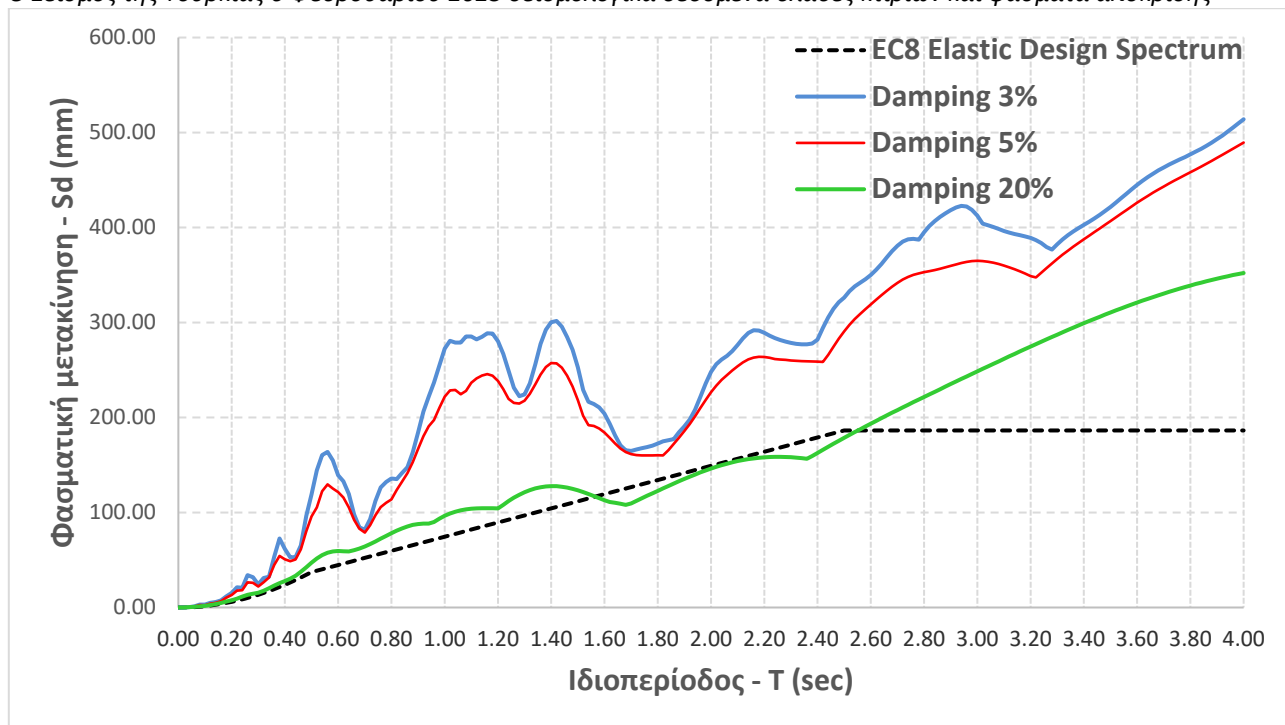


Εικόνα 5.75 Ελαστικά φάσματα απόκρισης ψευδο-ταχυτήτων (2718 East-West) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8

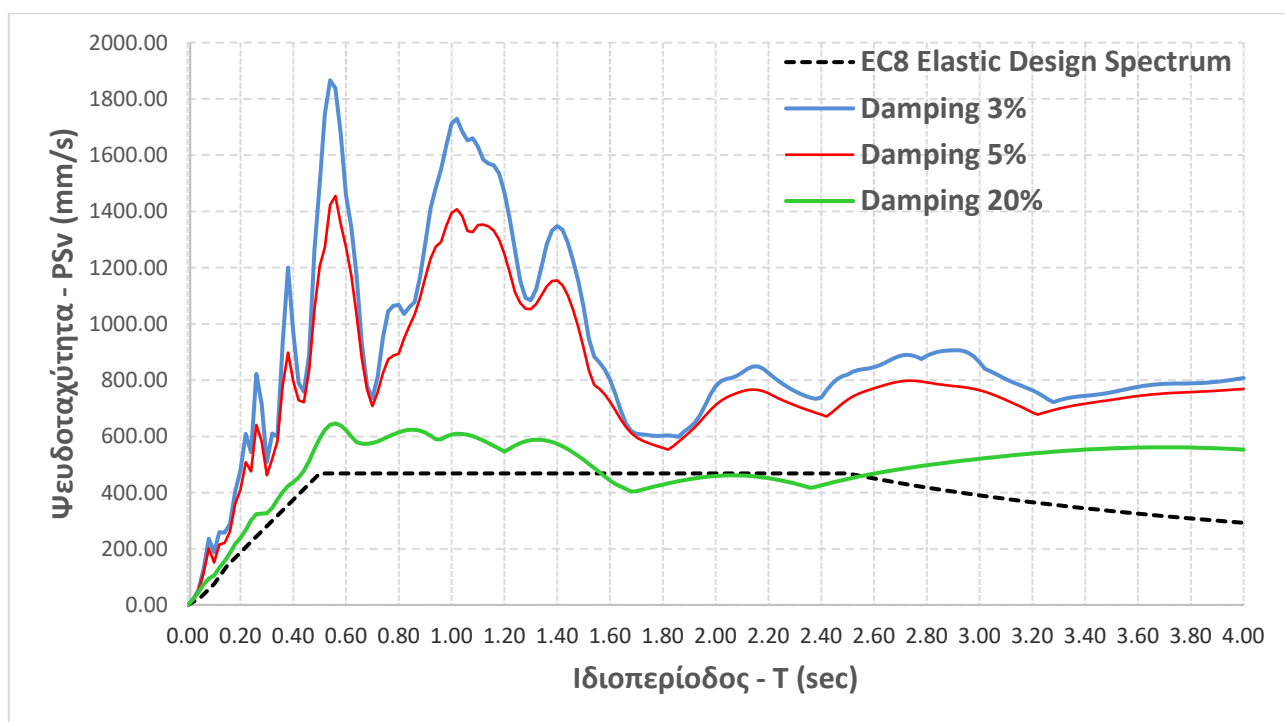
### Συνιστώσα NORTH-SOUTH



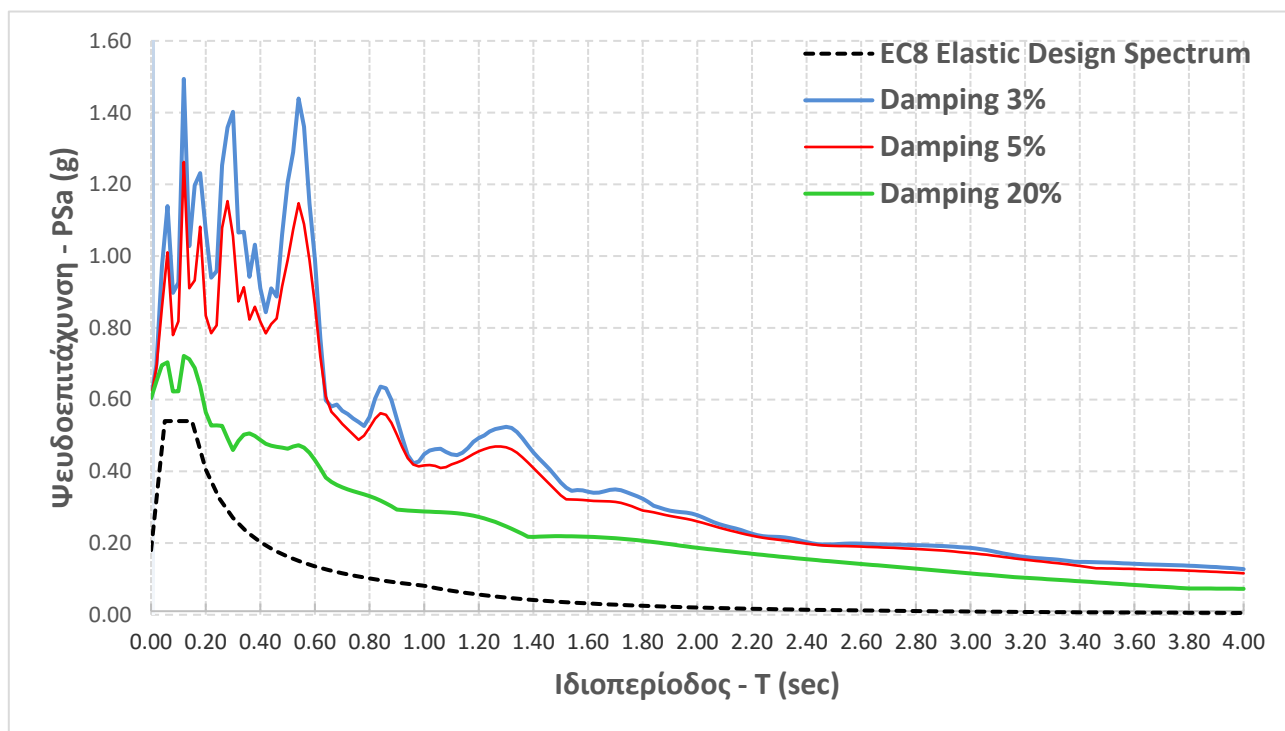
Εικόνα 5.76 Ελαστικά φάσματα απόκρισης ψευδο-επιταχύνσεων (2718 North-South) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8



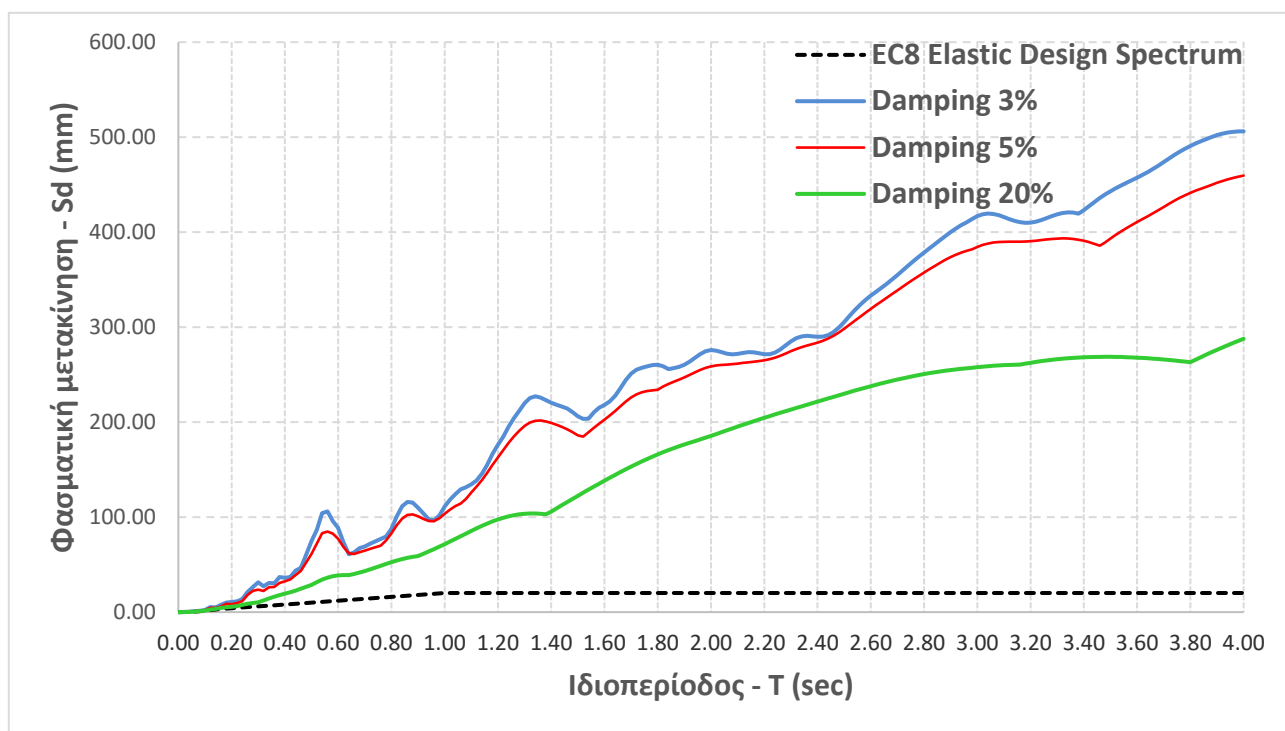
Εικόνα 5.77 Ελαστικά φάσματα απόκρισης μετακινήσεων (2718 North-South) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8



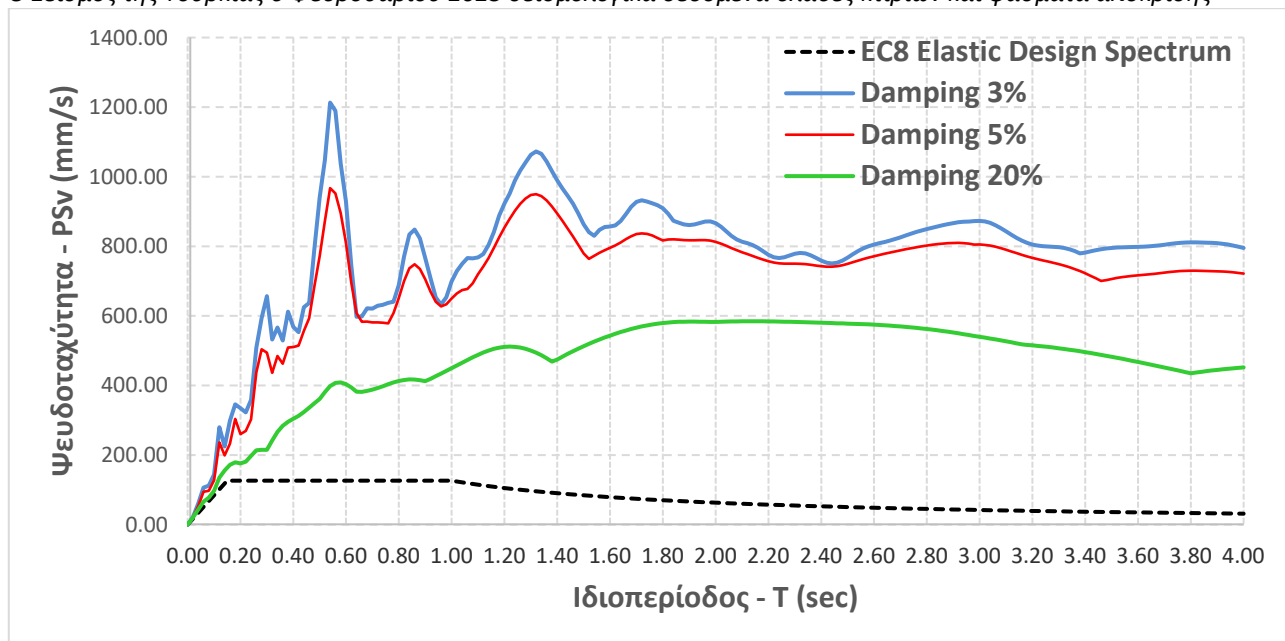
Εικόνα 5.78 Ελαστικά φάσματα απόκρισης ψευδο-ταχυτήτων (2718 North-South) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8



Εικόνα 5.79 Ελαστικά φάσματα απόκρισης ψευδο-επιταχύνσεων (2718 Up-Down) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8



Εικόνα 5.80 Ελαστικά φάσματα απόκρισης μετακινήσεων (2718 Up-Down) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8



Εικόνα 5.81 Ελαστικά φάσματα απόκρισης ψευδο-ταχυτήτων (2718 Up-Down) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8

### 5.9.2 Σύνοψη συμπεράσματα

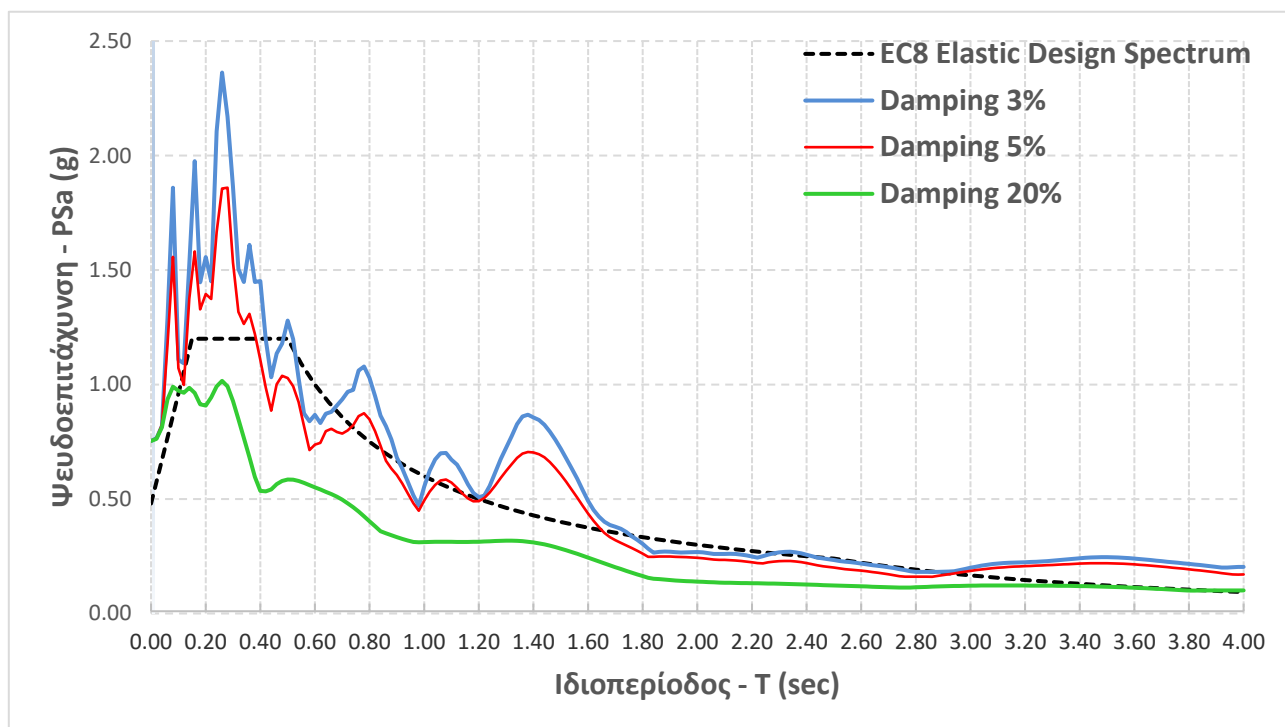
Ο σταθμός 2718 παρουσιάζει την ίδια ιδιαιτερότητα με το σταθμό NAR δεδομένου ότι και σε αυτή την περίπτωση, παρά την μικρή απόσταση του σταθμού από την εστία του σεισμού, οι φασματικές επιταχύνσεις είναι μικρότερες από τις αναμενόμενες. Αυτό επίσης μπορεί να αποδίδεται σε ιδιαίτερες τοπικές συνθήκες στη θέση που βρίσκεται ο σταθμός, ή σε σφάλμα καταγραφής. Δεν διατίθενται στοιχεία για τον τύπο του εδάφους στη θέση αυτή.

Εξετάζοντας ποιοτικά τα διαγράμματα, το έδαφος μπορεί να καταταχθεί στην κατηγορία B, σκληρό έδαφος αλλά όχι βράχος. Σε κάθε περίπτωση τα φάσματα παρουσιάζουν υπερβάσεις που στην περίπτωση των μετακινήσεων είναι σημαντικά μεγαλύτερες από αυτές του κανονισμού, επομένως, στην περιοχή δικαιολογούνται και αναμένονται σημαντικές βλάβες στα κτίρια και τις κατασκευές.

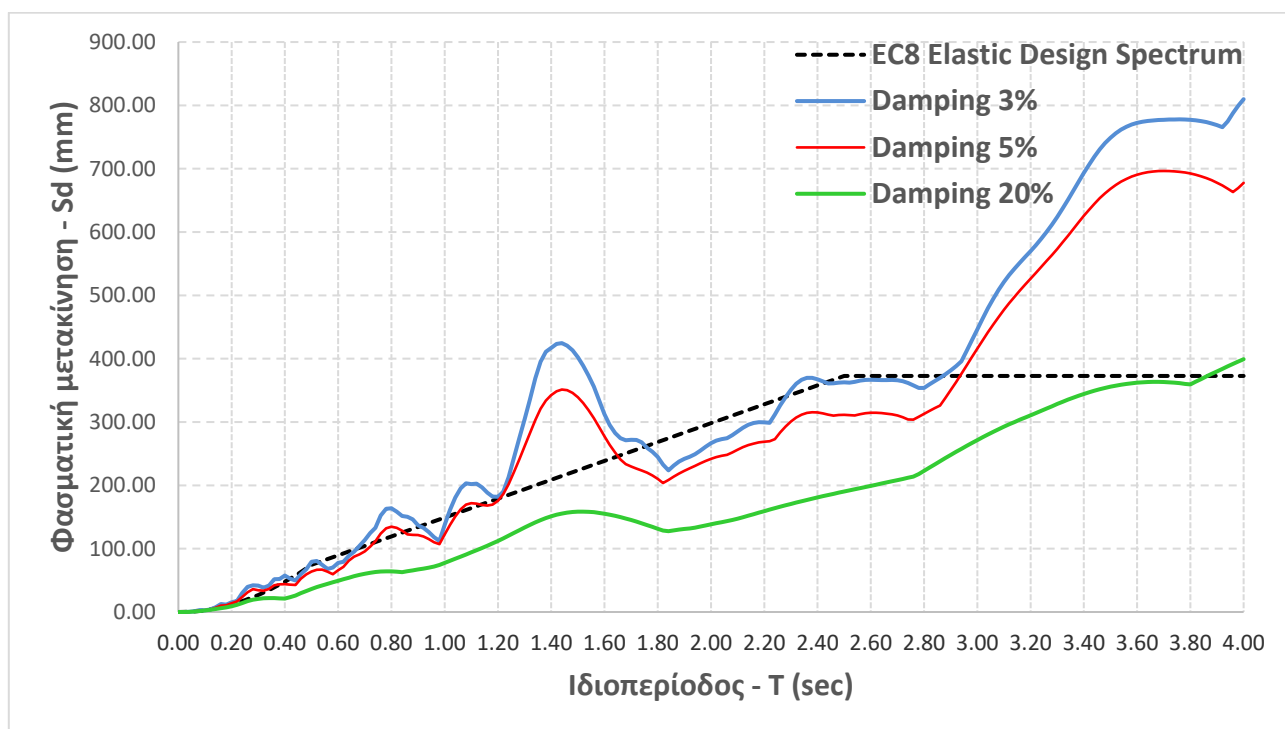
## 5.10 Σταθμός Νο 3142

### 5.10.1 Ελαστικά φάσματα απόκρισης

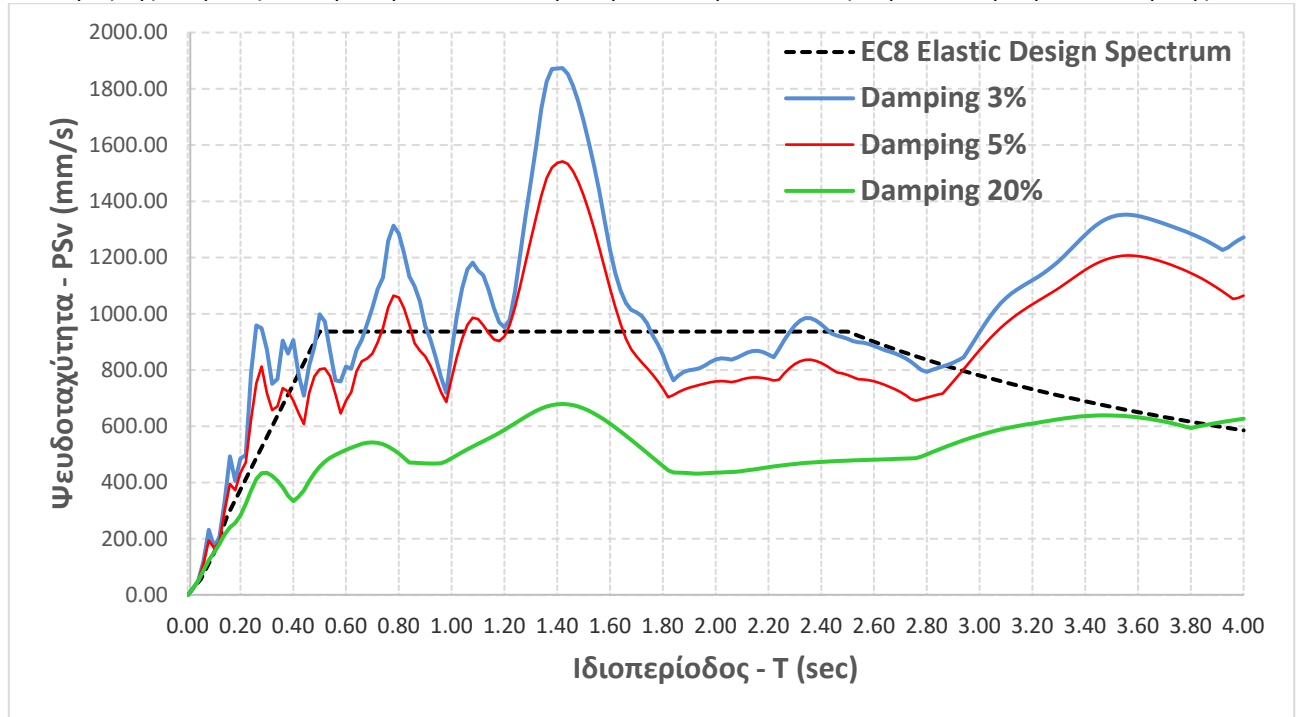
#### Συνιστώσα East – West



Εικόνα 5.82 Ελαστικά φάσματα απόκρισης ψευδο-επιταχύνσεων (3142 East-West) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8

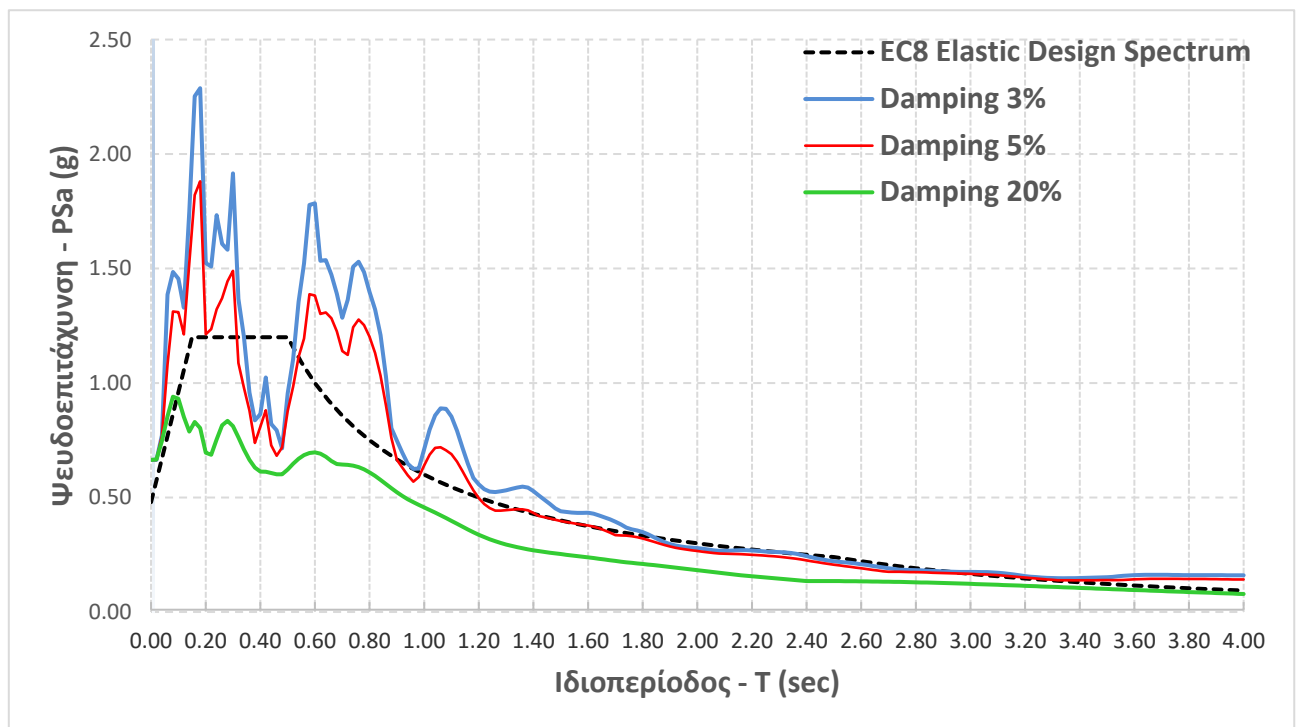


Εικόνα 5.83 Ελαστικά φάσματα απόκρισης μετακινήσεων (3142 East-West) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8



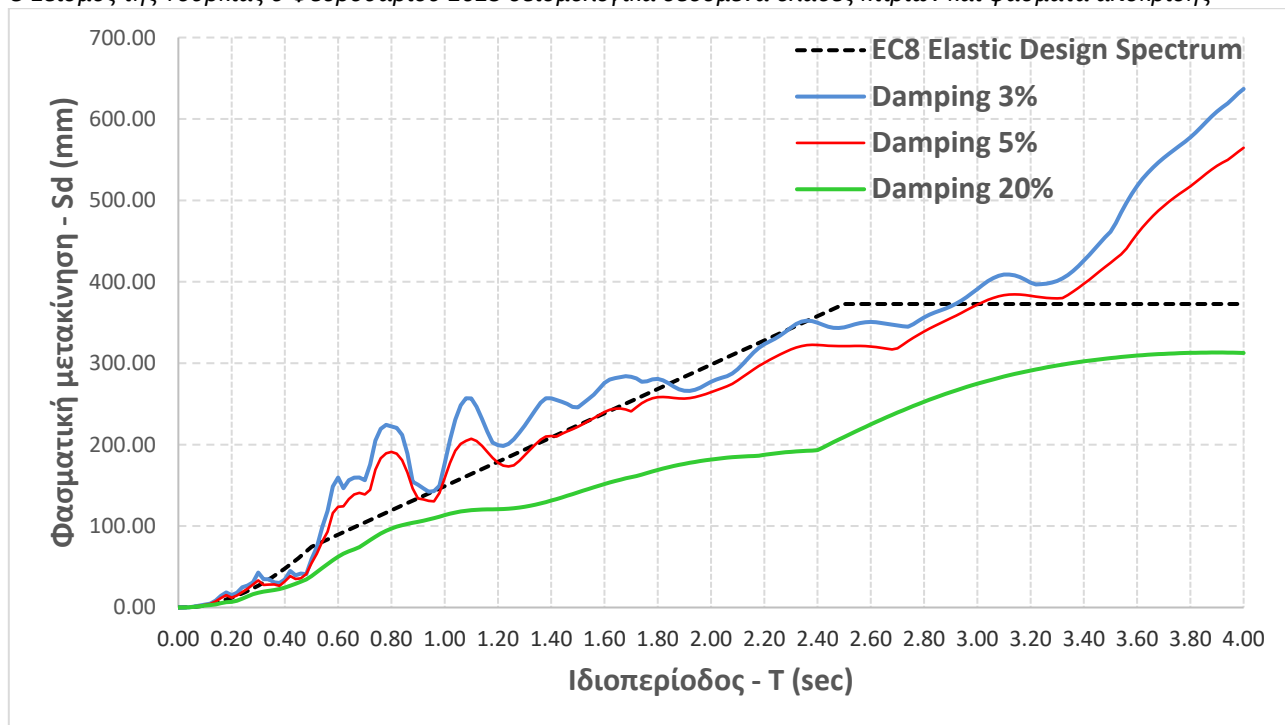
Εικόνα 5.84 Ελαστικά φάσματα απόκρισης ψευδο-ταχυτήτων (3142 East-West) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8

### Συνιστώσα NORTH-SOUTH

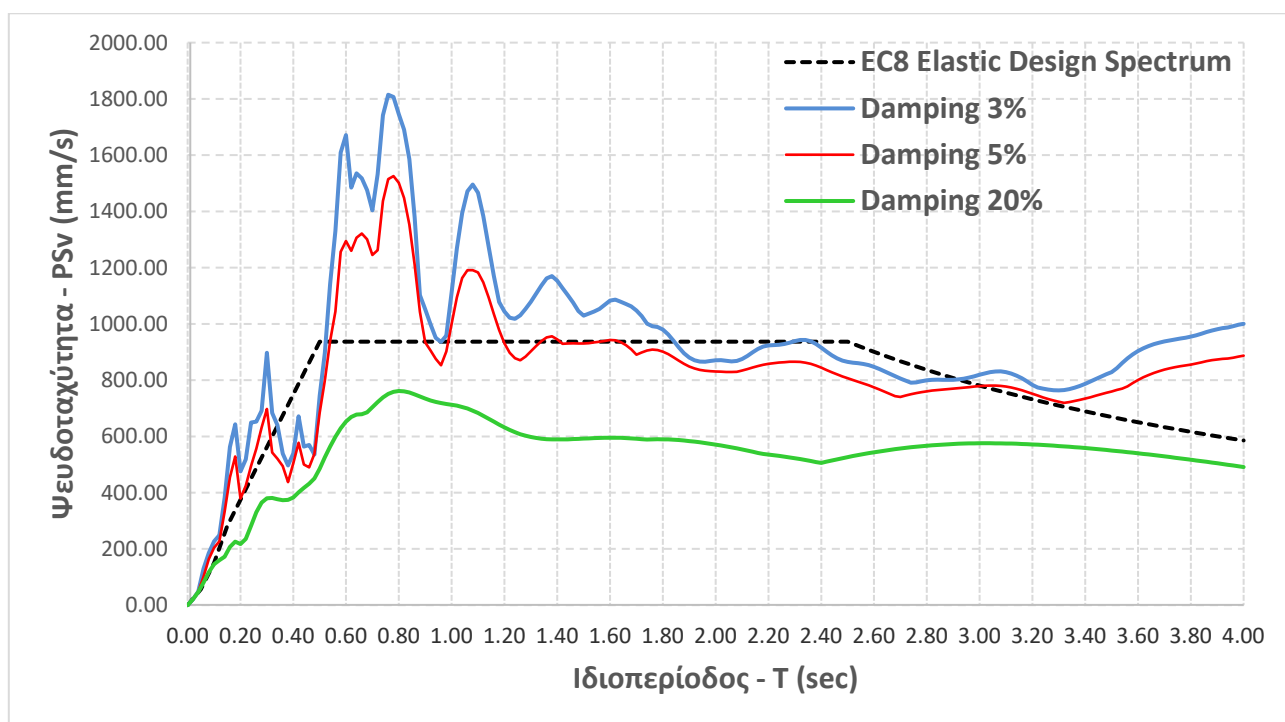


Εικόνα 5.85 Ελαστικά φάσματα απόκρισης ψευδο-επιταχύνσεων (3142 North-South) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8

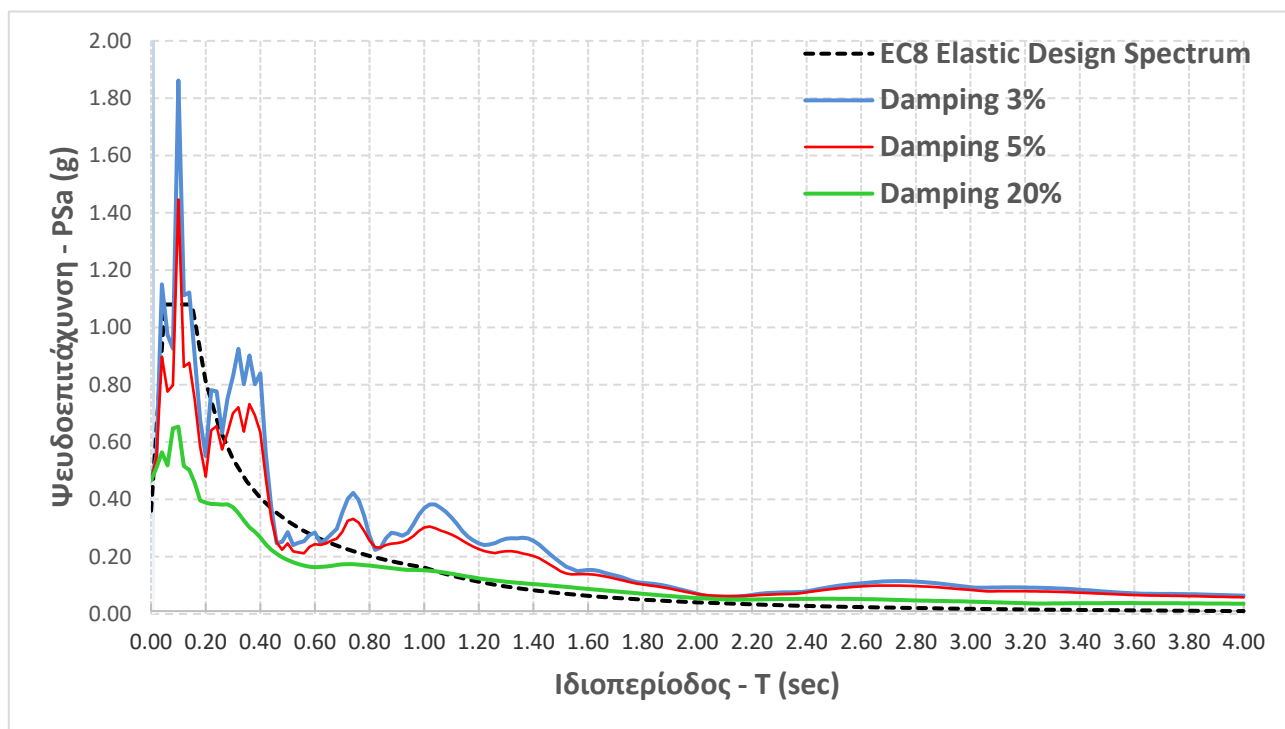




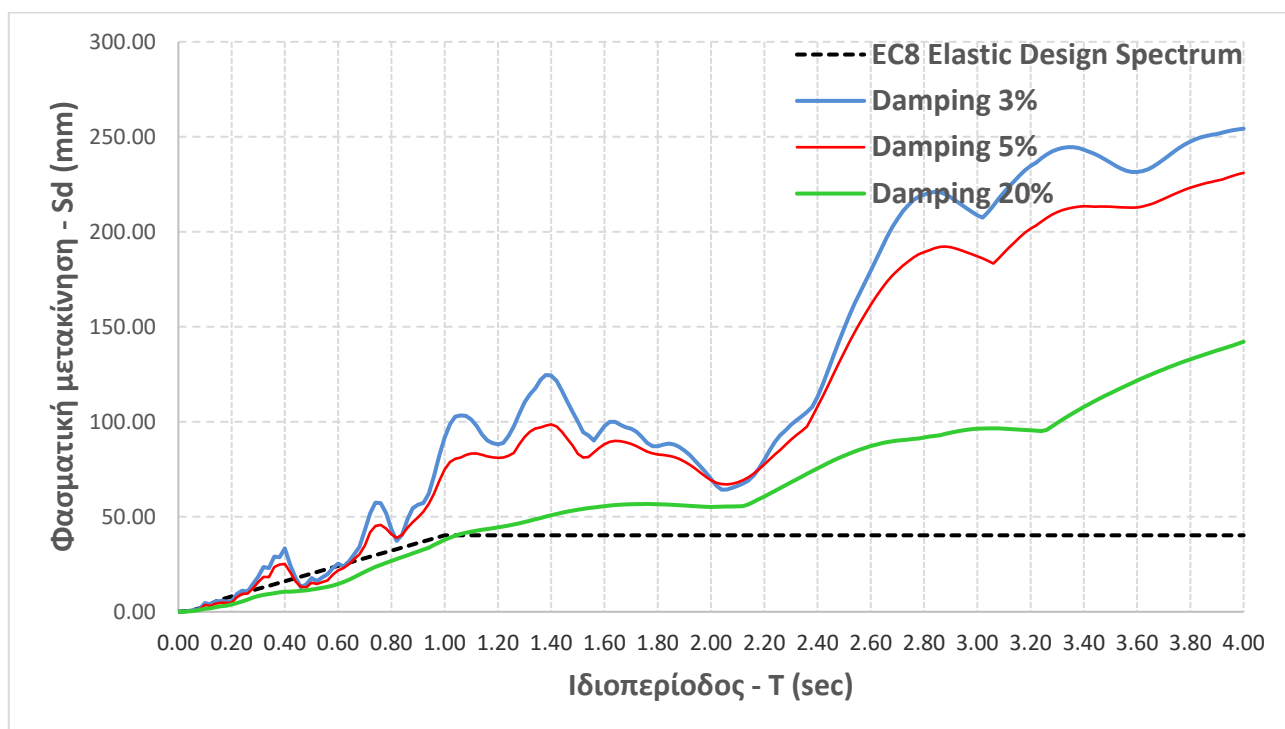
Εικόνα 5.86 Ελαστικά φάσματα απόκρισης μετακινήσεων (3142 North-South) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8



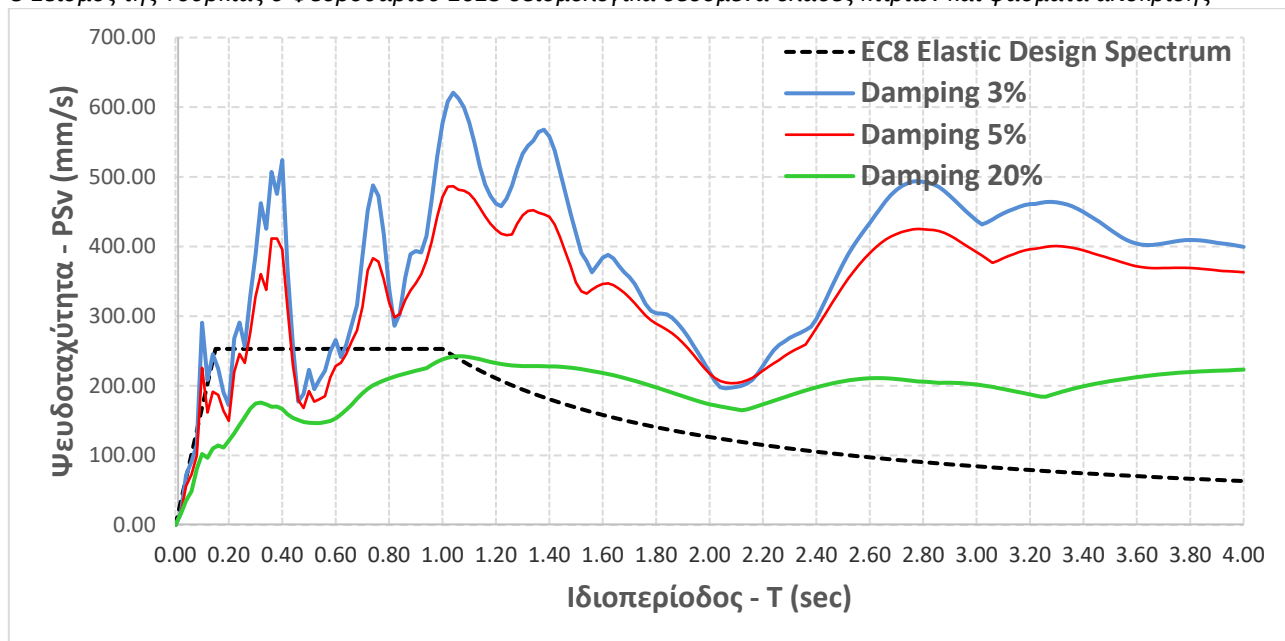
Εικόνα 5.87 Ελαστικά φάσματα απόκρισης ψευδο-ταχυτήτων (3142 North-South) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8



Εικόνα 5.88 Ελαστικά φάσματα απόκρισης ψευδο-επιταχύνσεων (3142 Up-Down) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8



Εικόνα 5.89 Ελαστικά φάσματα απόκρισης μετακινήσεων (3142 Up-Down) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8



Εικόνα 5.90 Ελαστικά φάσματα απόκρισης ψευδο-ταχυτήτων (3142 Up-Down) και σύγκριση με το ελαστικό φάσμα του EC-8

### 5.10.2 Σύνοψη συμπεράσματα

Εξετάζοντας το φάσμα της ψευδο-επιτάχυνσης για απόσβεση 5% επιβεβαιώνεται η κατάταξη του εδάφους στο οποίο βρίσκεται ο σταθμός 3142 στην κατηγορία B. Μεταξύ των δυο οριζοντίων συνιστωσών E-W και N-S εντοπίζονται διαφοροποιήσεις. Στην πρώτη συνιστώσα επηρεάζονται οι κατασκευές που η ιδιοπερίοδος τους κυμαίνεται από 0s - 0.35s και 1.2s - 1.6s δηλαδή κτίρια κατοικιών από μονώροφα κτίρια έως και δεκαώροφα κτίρια. Αντιθέτως, στη δεύτερη συνιστώσα N-S επηρεάζονται οι κατασκευές με ιδιοπερίοδο 0s - 0.38s και 0.55s - 0.9s πάλι αποτελούν κατασκευές που είναι κτίρια κατοικιών λίγων ορόφων ή και πολυώροφα, δηλαδή πολυκατοικίες.

Στη συνιστώσα E-W τα κτίρια υποβλήθηκαν σε σεισμική επιτάχυνση 1.8g αντί για 1.2g και 0.7g αντί για 0.4g που είναι η επιτάχυνση του ελαστικού φάσματος σχεδιασμού ενώ στην συνιστώσα N-S τα κτίρια υποβλήθηκαν σε 1.8g αντί για 1.2g και 1.4g αντί για 0.8g που είναι η επιτάχυνση του ελαστικού φάσματος σχεδιασμού.

Τα φάσματα απόκρισης ψευδο-επιταχύνσεων της κατακόρυφης συνιστώσας σχεδόν ταυτίζονται με το ελαστικό φάσμα σχεδιασμού του κανονισμού, πλην του διαστήματος 0.1s-0.12s στο οποίο εντοπίζονται και οι μέγιστες φασματικές τιμές.

Στο φάσμα μετακινήσεων της διεύθυνσης E-W παρατηρείται ότι στις κατασκευές με ιδιοπερίοδο 1.2s έως και 1.6s και στις τιμές πέραν των 2.9s υπάρχει μια απόκλιση τιμών από την ελαστική μετακίνηση σχεδιασμού, όπως, αντίστοιχα, και για το φάσμα μετακινήσεων της διεύθυνσης N-S, οι κατασκευές με ιδιοπερίοδο 0.6s-0.85s και 1s-1.2s και αυτές με ιδιοπερίοδο μεγαλύτερες των 3s αποκλίνουν από την ελαστική μετακίνηση σχεδιασμού. Οι υπερβάσεις αυτές υποδηλώνουν ότι οι κατασκευές που εμπίπτουν σε αυτές τις ζώνες περιόδων αναμένεται να υποβλήθηκαν σε αρκετά μεγαλύτερες μετακινήσεις από αυτές για τις οποίες έχουν σχεδιασθεί.

## 6 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6<sup>ο</sup> : Ανελαστικά Φάσματα Απόκρισης

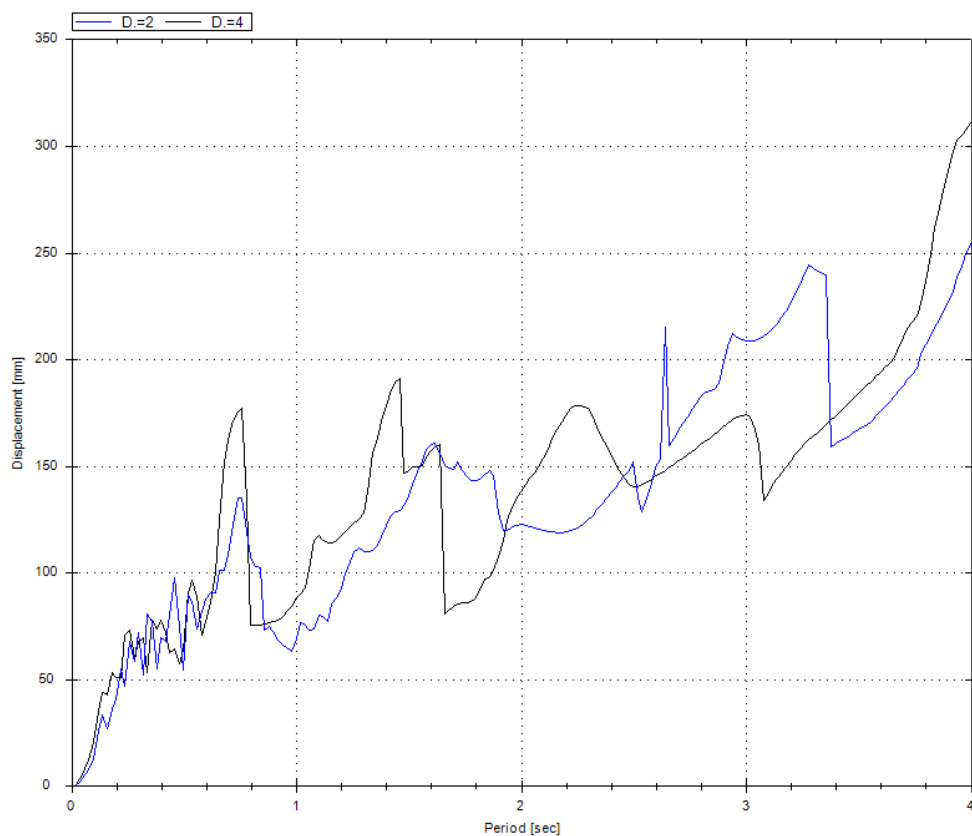
Οι κατασκευές σχεδιάζονται προκειμένου να ανθίστανται στις δυνάμεις σχεδιασμού. Όταν ξεπεραστεί η δύναμη διαρροής, που είναι μεγαλύτερη από τη δύναμη σχεδιασμού τότε οι κατασκευές διαρρέουν και συμπεριφέρονται μη-γραμμικά και πέρα από το όριο ελαστικότητας. Όταν οι δυνάμεις είναι μικρότερες από το όριο διαρροής της κατασκευής τότε η κατασκευή παραμένει ελαστική, δεν έχει διαρρεύσει ακόμη. Η διαρροή της κατασκευής εμφανίζεται με την ανάπτυξη πλαστικών αρθρώσεων σε διάφορες θέσεις. Στην πραγματικότητα, η συμπεριφορά των περισσότερων κατασκευών όταν υποβάλλονται σε ισχυρούς σεισμούς είναι μη-γραμμική, ή αλλιώς ελαστο-πλαστική, και μόνο μια μη-γραμμική ανάλυση μπορεί να απεικονίσει ρεαλιστικά το βαθμό των βλαβών που αναπτύσσονται. Μετά τη διαρροή, η κατασκευή παραμορφώνεται ανελαστικά, μέχρι ενός επιπέδου οριακής παραμόρφωσης που μπορεί να αντέξει και πέραν του οποίου αστοχεί. Η χρήση μη-γραμμικής ανάλυσης και ο υπολογισμός ανελαστικών φασμάτων οδηγούν σε ρεαλιστικότερα αποτελέσματα. Εδώ εισάγεται η έννοια της πλαστιμότητας δηλαδή η ικανότητα της κατασκευής να παραμορφώνεται και να απορροφά ενέργεια χωρίς να χάνει την αντοχή της. Στο κεφάλαιο αυτό μελετάται και αναλύεται η μη-γραμμική συμπεριφορά κατάλληλα επιλεγμένων μονοβάθμιων ταλαντωτών που αντιπροσωπεύουν κατασκευές χωρίς σύγχρονες αντισεισμικές διατάξεις και υπολογίζονται τα ανελαστικά φάσματα απόκρισης για επιλεγμένες καταγραφές του σεισμού. Από τους σταθμούς που παρουσιάστηκαν στο κεφάλαιο 4 επιλέγονται ο σταθμός 4614 σε έδαφος κατηγορίας Β και ο σταθμός 3126 σε έδαφος κατηγορίας C κατά τον Ευρωκώδικα. Για τις οριζόντιες συνιστώσες των σταθμών αυτών θα υπολογισθούν τα ανελαστικά φάσματα απόκρισης μετατοπίσεων και το φάσμα μειωτικού συντελεστή δύναμης για δυο περιπτώσεις πλαστιμότητας,  $\mu=2$  και  $\mu=4$ , που κατά προσέγγιση αντιστοιχούν σε διαθέσιμες πλαστιμότητες κτιρίων οπλισμένου σκυροδέματος χωρίς και με κατασκευαστικές διατάξεις για αντισεισμικότητα, αντίστοιχα. Τέλος, για τα παραπάνω κατάλληλα επιλεγμένα μονοβάθμια συστήματα υπολογίζεται η χρονοϊστορία απόκρισης ανελαστικών μετατοπίσεων και εξετάζεται η απαιτούμενη πλαστιμότητα σε σχέση με τη διαθέσιμη πλαστιμότητά τους.

### 6.1 Σταθμός No 4614

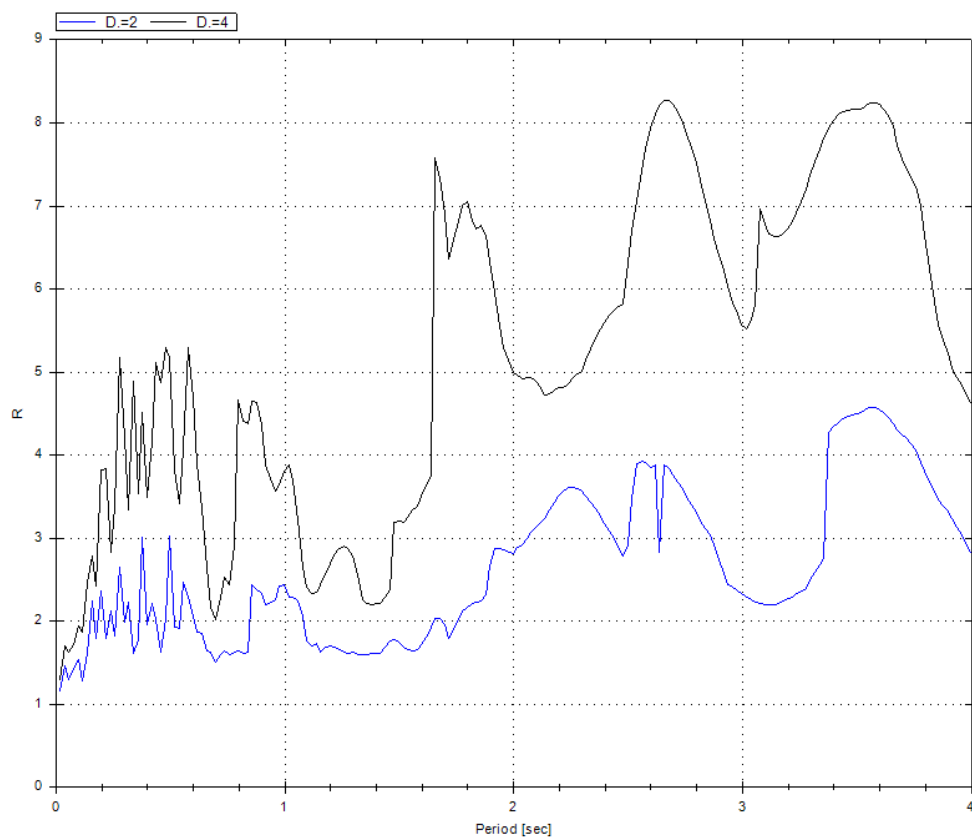
Στα σχήματα 6.1 έως 6.4 παρουσιάζονται τα ανελαστικά φάσματα μετατοπίσεων και μειωτικού συντελεστή δύναμης διαρροής για τις δυο οριζόντιες συνιστώσες του σταθμού, τις East-West και North-South, αντίστοιχα, και για τις δυο τιμές δείκτη πλαστιμότητας,  $\mu=2$  και  $\mu=4$ , για τις οποίες υπολογίστηκαν. Εξετάζοντας το ανελαστικό φάσμα απόκρισης μετακινήσεων, παρατηρείται, όπως ήταν αναμενόμενο, ότι τα κτίρια με μεγαλύτερη ιδιοπερίοδο, παρουσιάζουν μεγαλύτερες ανελαστικές μετατοπίσεις. Δηλαδή με την αύξηση της περιόδου, αυξάνονται οι απαιτούμενες μετατοπίσεις της κατασκευής.

Για δείκτη πλαστιμότητας  $\mu=4$ , οι μέγιστες φασματικές μετατοπίσεις αγγίζουν τα 300mm, ενώ για δείκτη πλαστιμότητας  $\mu=2$ , η μέγιστη ανελαστική μετατόπιση προκύπτει περίπου ίση με 250mm σε ιδιοπερίοδο λίγο μεγαλύτερη των 3sec. Αξίζει να σημειωθεί ότι η τιμή του δείκτη πλαστιμότητας, δεν έχει αναλογική σχέση με τις απαιτούμενες μετατοπίσεις, δηλαδή, αύξηση του δείκτη πλαστιμότητας δεν συνεπάγεται και αύξηση των ανελαστικών μετατοπίσεων, για όλο το εύρος των ιδιοπεριόδων, αλλά η ιδιοπερίοδος του συστήματος είναι αυτή που καθορίζει τη μετακίνηση της κατασκευής.

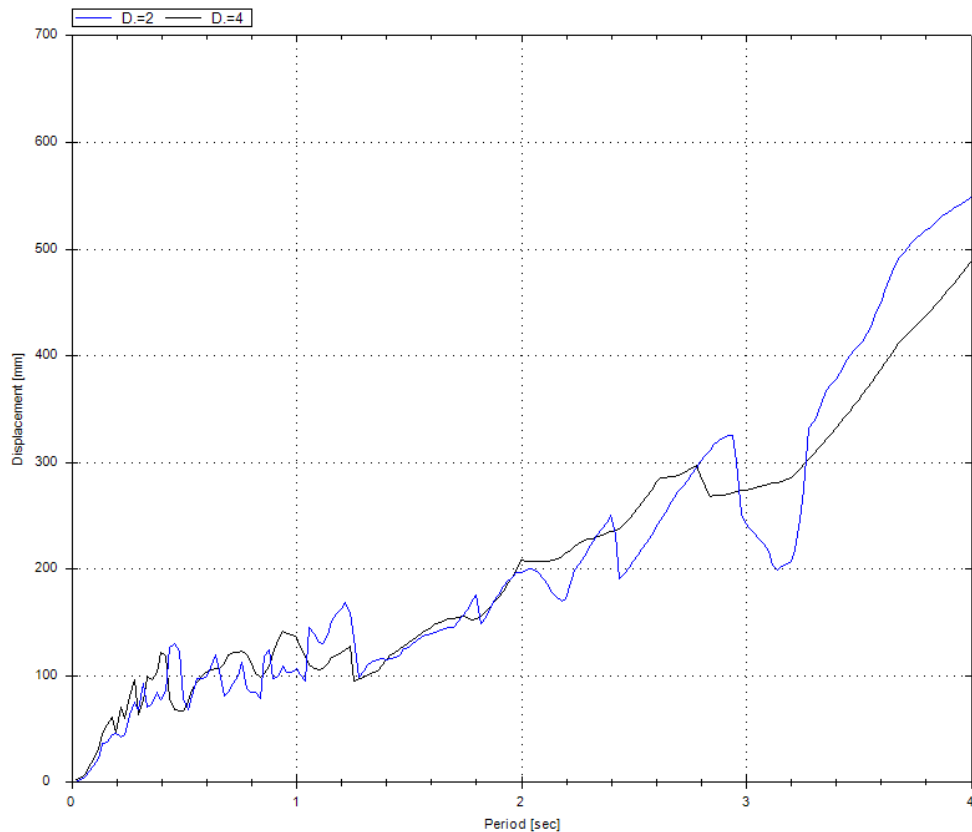
Εξετάζοντας τα διαγράμματα μειωτικού συντελεστή δύναμης διαρροής προκύπτει ότι οι κατασκευές με μεγαλύτερη απαίτηση πλαστιμότητας αντιστοιχούν σε μεγαλύτερες τιμές μειωτικού συντελεστή, δηλαδή η τιμή του μειωτικού συντελεστή δύναμης διαρροής παρουσιάζει αναλογικότητα σε σχέση με την τιμή του δείκτη πλαστιμότητας.



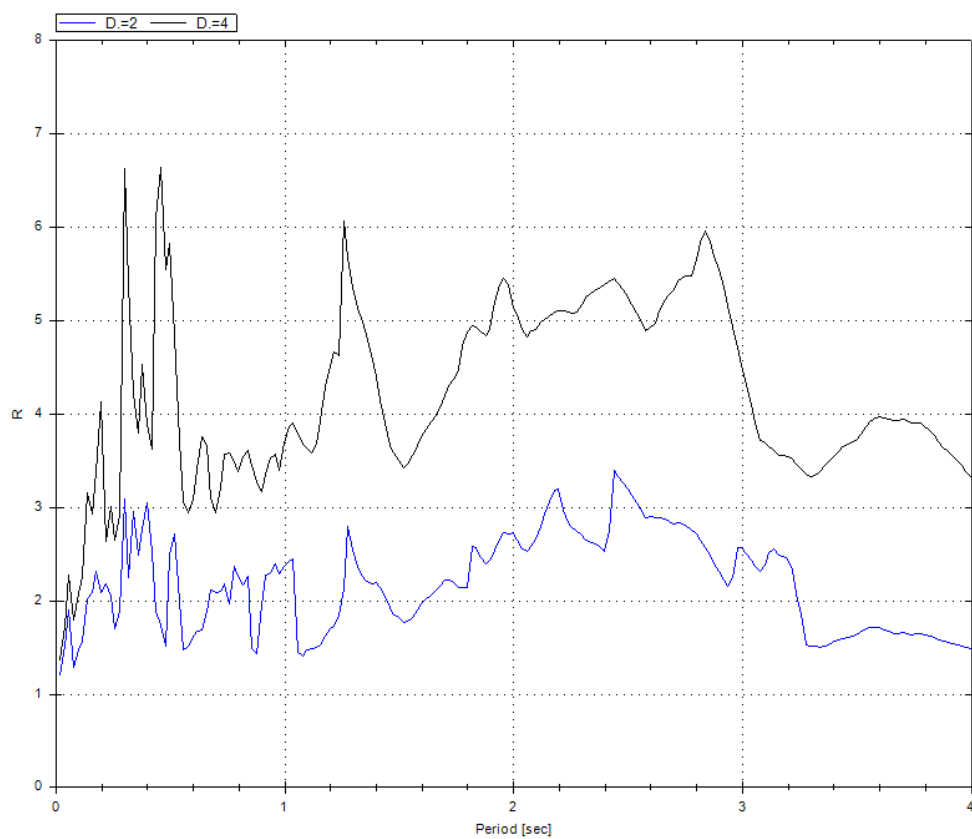
Εικόνα 6.1 Ανελαστικά φάσματα απόκρισης μετακινήσεων (4614 East-West) για πλαστιμότητα  $\mu=2$  και  $\mu=4$



Εικόνα 6.2 R-Force Reduction Factor (μειωτικός συντελεστής δύναμης) (4614 East-West) για πλαστιμότητα  $\mu=2$  και  $\mu=4$



Εικόνα 6.3 Ανελαστικά φάσματα απόκρισης μετακινήσεων (4614 North - South) για πλαστιμότητα  $\mu=2$  και  $\mu=4$



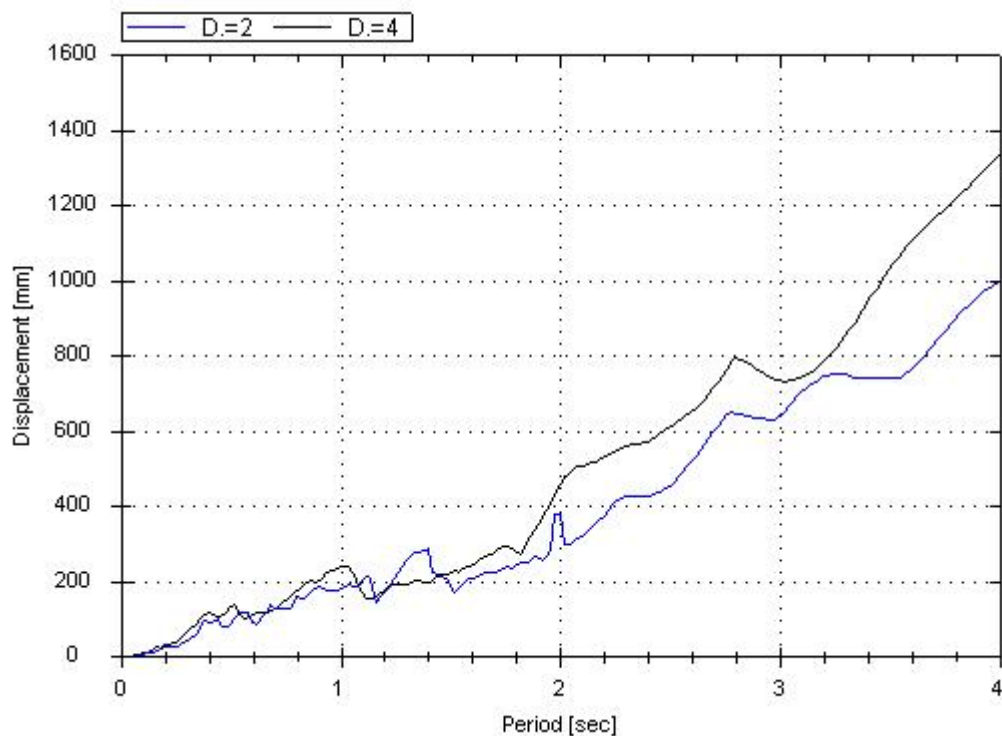
Εικόνα 6.4 R-Force Reduction Factor (μειωτικός συντελεστής δύναμης) (4614 North-South) για πλαστιμότητα  $\mu=2$  και  $\mu=4$

Στο διάγραμμα του μειωτικού συντελεστή διαρροής φαίνεται ότι οι κατασκευές με  $\mu=4$  ανεξαρτήτως ιδιοπεριόδου του κτιρίου εμφανίζουν μεγαλύτερες τιμές σε σύγκριση με τις κατασκευές με δείκτη πλαστιμότητας  $\mu=2$  με τη μέγιστη τιμή να προκύπτει ίση με  $R=8.2$  για ιδιοπερίοδο  $T=2.63s$  για τις κατασκευές με  $\mu=4$ , και  $R=4.6$  σε ιδιοπερίοδο  $T=3.6s$  για τις κατασκευές με  $\mu=2$ .

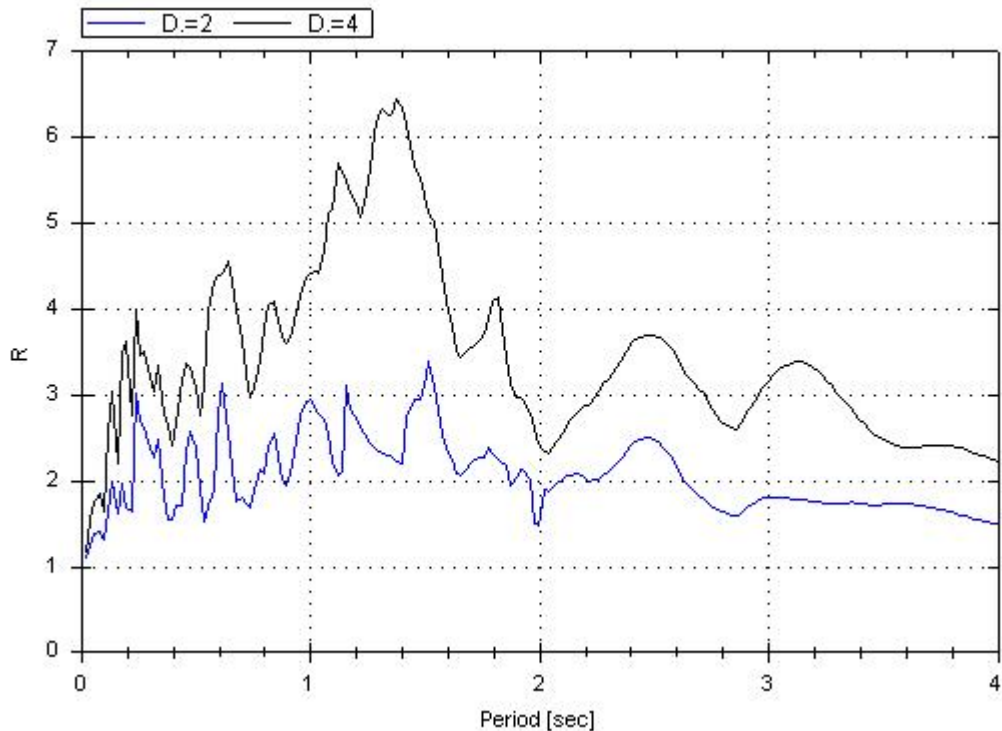
Εξετάζοντας το ανελαστικό φάσμα απόκρισης μετατοπίσεων παρατηρείται ότι οι μεγαλύτερες μετατοπίσεις παρουσιάζονται στις κατασκευές με τις μεγαλύτερες ιδιοπεριόδους με τιμές μετατοπίσεων έως και 550 mm για κατασκευές με  $\mu=2$  και 490mm για κατασκευές με  $\mu=4$ . Στην προκειμένη περίπτωση που μελετάμε τις μεγαλύτερες μετατοπίσεις εμφανίζουν οι κατασκευές με  $\mu=2$  για  $T=4s$  και το αίτιο είναι ότι η ιδιοπερίοδος των κατασκευών καθορίζει την μετακίνηση της κατασκευής και όχι ο δείκτης πλαστιμότητας  $\mu$ .

Στο διάγραμμα του μειωτικού συντελεστή διαρροής φαίνεται ότι οι κατασκευές με  $\mu=2$  ανεξαρτήτως ιδιοπεριόδου του κτιρίου εμφανίζουν μικρότερες τιμές σε σύγκριση με τις κατασκευές με δείκτη πλαστιμότητας  $\mu=4$ , με μέγιστο  $R=6.6$  για  $T=0.43s$  για την δεύτερη περίπτωση των κατασκευών ενώ για την πρώτη περίπτωση των κατασκευών μέγιστο  $R=3.3$  για  $T= 2.5s$ .

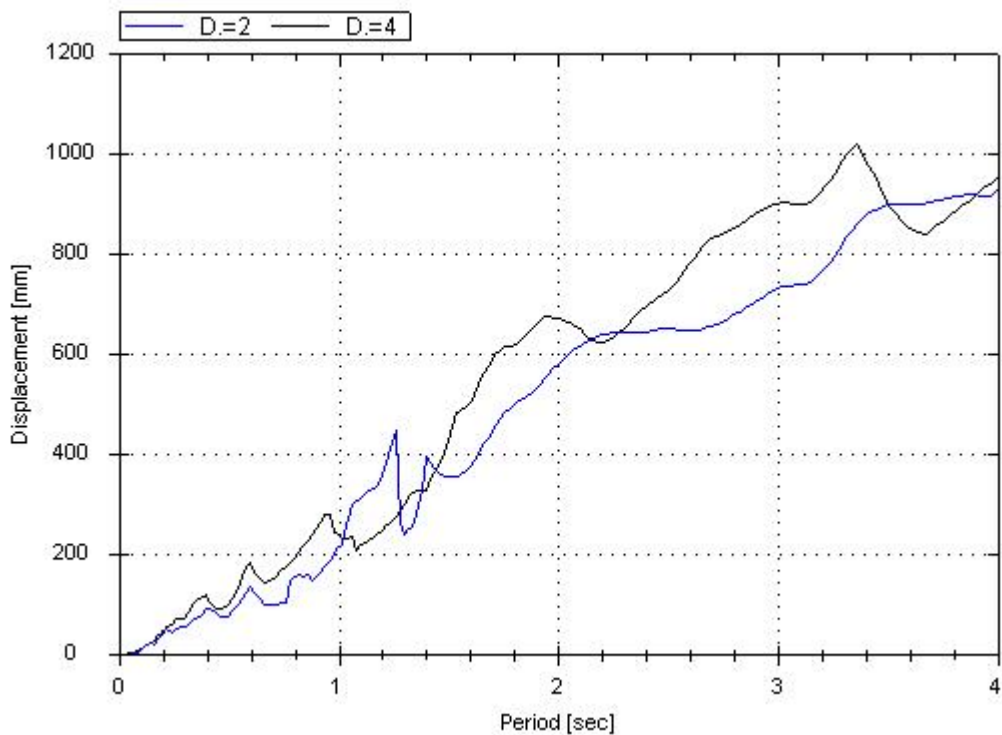
## 6.2 Σταθμός No 3126



Εικόνα 6.5 Ανελαστικά φάσματα απόκρισης μετακινήσεων (3126 East-West) για πλαστιμότητα  $\mu=2$  και  $\mu=4$

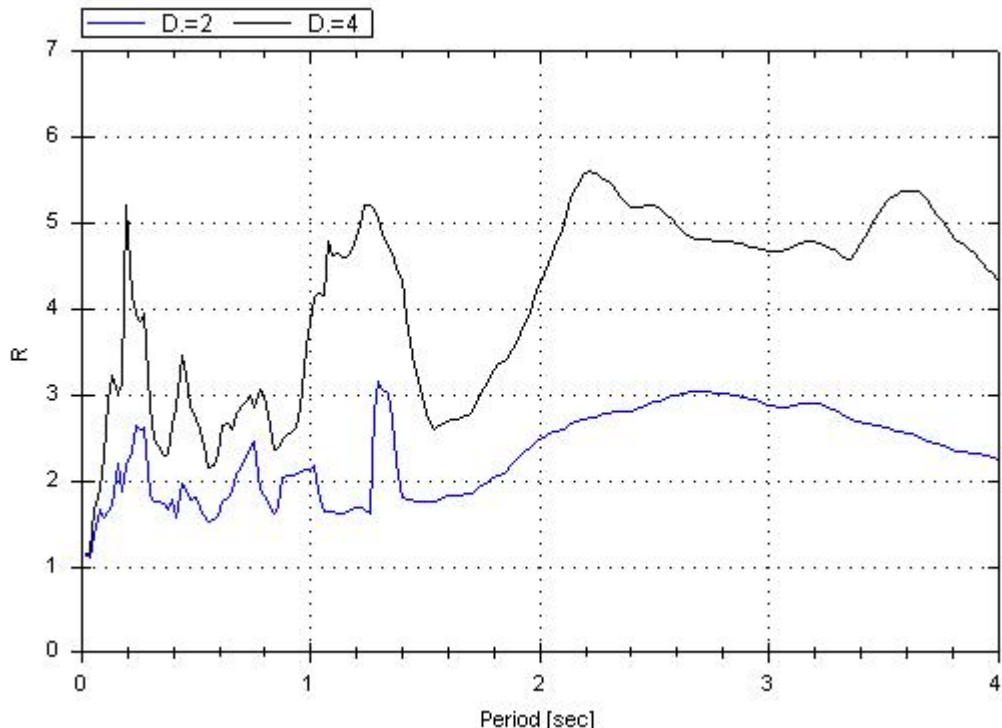


Εικόνα 6.6 R-Force Reduction Factor (μειωτικός συντελεστής δύναμης) (3126 East-West) για πλαστιμότητα  $\mu=2$  και  $\mu=4$



Εικόνα 6.7 Ανελαστικά φάσματα απόκρισης μετακινήσεων (3126 North-South) για πλαστιμότητα  $\mu=2$  και  $\mu=4$





Εικόνα 6.8 R-Force Reduction Factor (μειωτικός συντελεστής δύναμης) (3126North-South) για λόγους πλαστιμότητας  $\mu=2$  και  $\mu=4$

Εξετάζοντας το ανελαστικό φάσμα απόκρισης μετακινήσεων επιβεβαιώνεται πάλι ότι όσο αυξάνεται η ιδιοπερίοδος των κατασκευών, τόσο αυξάνονται οι μετατοπίσεις των κατασκευών με τις μέγιστες μετατοπίσεις να συμβαίνουν στις τιμές των μεγίστων ιδιοπεριοδών, εν προκειμένω για  $T=4s$  τόσο για τα κτίρια με δείκτη πλαστιμότητας  $\mu=2$ , με μετατόπιση 1000mm, όσο και για τα κτίρια με πλαστιμότητα  $\mu=4$  με μετατόπιση 1360mm.

Στο διάγραμμα του μειωτικού συντελεστή διαρροής φαίνεται ότι οι κατασκευές με  $\mu=4$  παρουσιάζουν μέγιστο  $R=6.5$  για  $T=1.4s$  και οι κατασκευές με  $\mu=2$  παρουσιάζουν μέγιστο  $R=3.3$  για  $T=1.5s$ . Ανεξαρτήτως της ιδιοπεριόδου που έχει η κατασκευή, οι μεγαλύτερες τιμές του μειωτικού συντελεστή δύναμης διαρροής εντοπίζονται όπως είναι αναμενόμενο στις κατασκευές με δείκτη πλαστιμότητας  $\mu=4$  σε σύγκριση με τα αποτελέσματα για δείκτη πλαστιμότητας  $\mu=2$ .

Στο ανελαστικό φάσμα απόκρισης μετακινήσεων παρατηρείται ότι μετακινήσεις των κατασκευών και για τις δύο τιμές των πλαστιμότητων εναλλάσσονται δηλαδή για ορισμένες ιδιοπεριόδους μέχρι και  $T=1s$  οι κατασκευές με  $\mu=4$  έχουν μεγαλύτερες μετακινήσεις σε σύγκριση για τις κατασκευές με  $\mu=2$  που μετά γίνεται το αντίστροφο για  $1s < T < 1.4s$  όπου οι εναλλαγές αυτές συνεχίζονται μέχρι τις μέγιστες μετατοπίσεις που παρουσιάζονται στις μεγαλύτερες ιδιοπεριόδους π.χ. για  $T=4s$  που για  $\mu=4$  είναι 960mm και για  $\mu=2$  είναι 920mm.

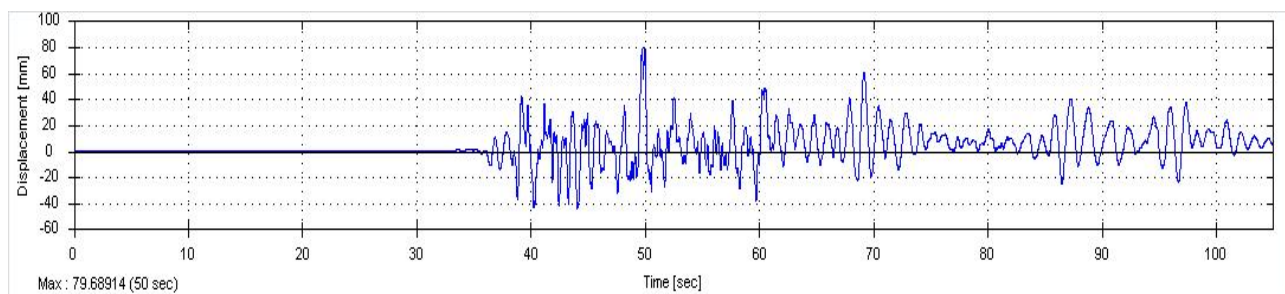
Εξετάζοντας το διάγραμμα του μειωτικού συντελεστή διαρροής προκύπτει ότι οι κατασκευές με  $\mu=2$  παρουσιάζουν μέγιστο  $R=3.1$  για  $T=1.15s$  και οι κατασκευές με  $\mu=4$  παρουσιάζουν μέγιστο  $R=5.5$  για  $T=2.2s$ .

### 6.3 Μη-γραμμική ανάλυση μονοβάθμιων συστημάτων

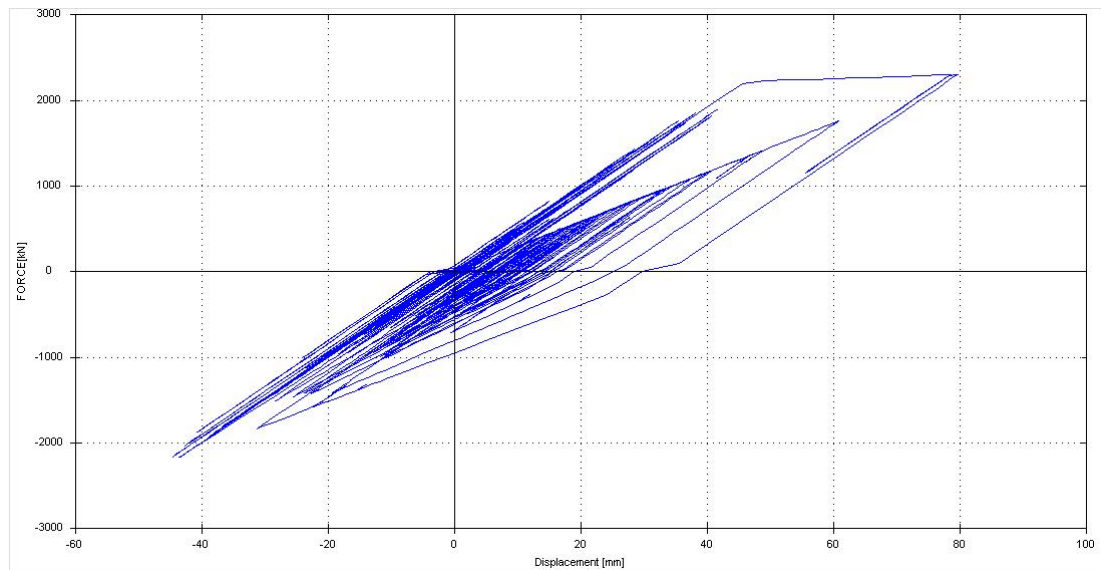
Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από τη μη γραμμική ανάλυση μονοβάθμιων συστημάτων τα οποία είναι αντιπροσωπευτικά κτιρίων που έχουν κατασκευαστεί είτε χωρίς αντισεισμικό ή με παλαιούς αντισεισμικούς κανονισμούς. Για το σκοπό αυτό αντλήθηκαν στοιχεία από τη βιβλιογραφία (Reparis et al., 2006) για ιδιότητες μονοβάθμιων συστημάτων που αντιστοιχούν αφενός στα δυναμικά χαρακτηριστικά π.χ. ιδιοπερίοδος, αλλά και στην καθολική φέρουσα ικανότητα (τέμνουσα δύναμη) του κτιρίου καθώς και την ικανότητα ανελαστικής παραμόρφωσης όπως αυτή ποσοτικοποιείται μέσω του καθολικού δείκτη πλαστιμότητας μετατοπίσεων. Πιο συγκεκριμένα, από την εργασία των Reparis et al., 2006, επιλέχθηκαν δυο κτίρια αντιπροσωπευτικά της δεκαετίας του 80' τα οποία παρουσιάζουν τα χαρακτηριστικά κτιρίων που έχουν σχεδιασθεί και κατασκευαστεί πριν την εφαρμογή σύγχρονων κανονιστικών προτύπων (Ευρωκώδικες). Αρκετά από τα κτίρια στις περιοχές που επλήγησαν από το σεισμό της Τουρκίας πιθανολογείται ότι ανήκουν στην κατηγορία αυτή, παρουσιάζουν κοινά ή και δυσμενέστερα χαρακτηριστικά σε ότι αφορά στην ικανότητά τους στην ανάληψη σεισμικών δράσεων. Τα δυο αυτά κτίρια έχουν 7 ορόφους σε αριθμό, ύψος ορόφου 3m και διαστάσεις ανοιγμάτων σε κάτοψη 6m. Κατασκευάζονται από σκυρόδεμα κατηγορίας C16 με διαμήκη οπλισμό κατηγορίας S400 και εγκάρσιο οπλισμό (τσέρκια) κατηγορίας S220. Ο πρώτος τύπος μονοβάθμιου ταλαντωτή με κωδικό K80A84 στην εργασία αντιστοιχεί σε κτίριο πλαισιακού φορέα χωρίς τοιχοπληρώσεις, ενώ ο δεύτερος τύπος αντιστοιχεί σε κτίριο με φέροντα οργανισμό από πλαίσια, πλήρως τοιχοπληρωμένα σε όλους τους ορόφους, και κωδικό T180A84.

#### 6.3.1 Ανάλυση κτιρίου χωρίς τοιχοπληρώσεις

Το πρώτο κτίριο (μη τοιχοπληρωμένος φορέας) έχει τα χαρακτηριστικά μονοβάθμιου συστήματος, ιδιοπερίοδο  $T=1.17s$ , συνολική αντοχή κτιρίου  $V_{max}=2252.6kN$ , διαθέσιμη πλαστιμότητα  $\mu=1.11$  και μετακίνηση αστοχίας  $\delta_u=0.05m$ . Για τη μη γραμμική ανάλυση του κτιρίου ως ισοδύναμου μονοβάθμιου ελαστοπλαστικού συστήματος υιοθετείται ο υστερητικός νόμος (τροποποιημένο προσομοίωμα) Takeda κατά Otani (1974) το οποίο προσομοιώνει ικανοποιητικά τη μετελαστική καμπύλη φόρτισης – αποφόρτισης σε επίπεδο μέλους ή κατασκευής από οπλισμένο σκυρόδεμα. Παρουσιάζονται οι χρονοϊστορίες απόκρισης μετατοπίσεων του κτιρίου καθώς και οι χρονοϊστορίες, διαγράμματα, δύναμης (τέμνουσας βάσης) – μετατόπισης κορυφής του κτιρίου για τις δυο συνιστώσες των καταγραφών που έχουν επιλεγεί σε αυτό το κεφάλαιο. Στα παρακάτω σχήματα παρουσιάζονται το διάγραμμα των μετατοπίσεων στην κορυφή του κτιρίου σαν συνάρτηση του χρόνου, για την καταγραφή East – West του σταθμού 4614 καθώς και το αντίστοιχο διάγραμμα τέμνουσας – μετατόπισης, Q-Δ.



Εικόνα 6.9 Χρονοϊστορία μετατοπίσεων ελαστοπλαστικού συστήματος για την καταγραφή 4614 East-West

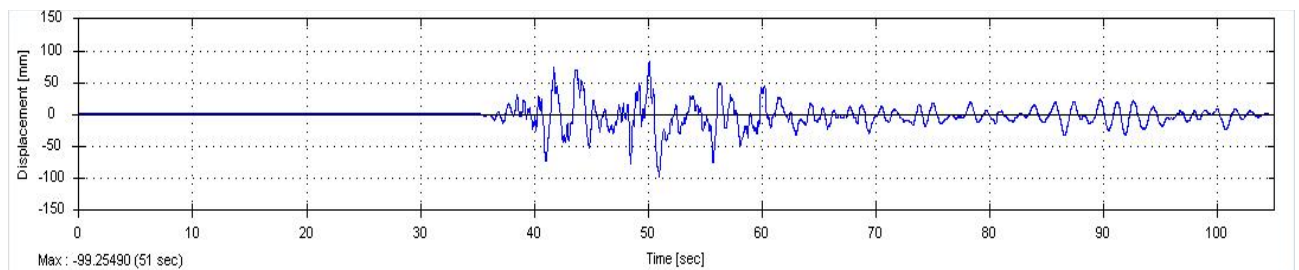


Εικόνα 6.10 Υστερητικό διάγραμμα Q-Δ τέμνουσας βάσης – μετατόπισης κορυφής του κτιρίου για την καταγραφή 4614 East-West

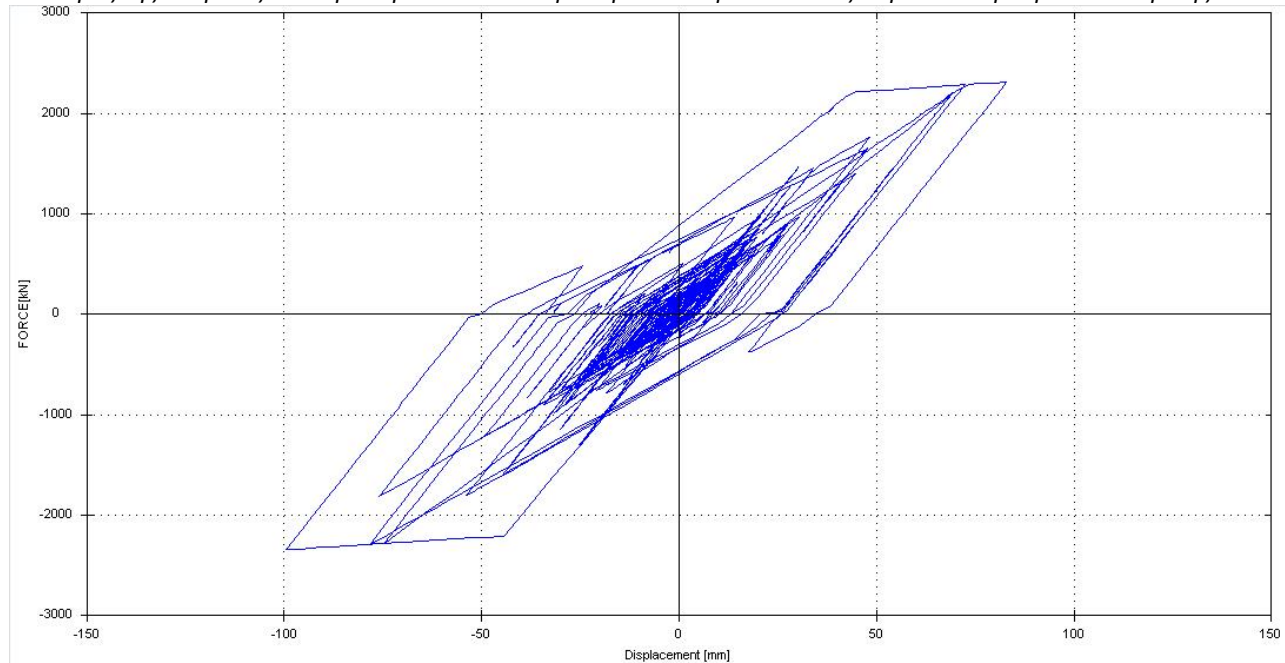
Από το διάγραμμα Q-Δ τέμνουσας δύναμης με μετατόπιση κορυφής προκύπτει ότι το κτίριο συμπεριφέρθηκε ελαστοπλαστικά στη συγκεκριμένη συνιστώσα της καταγραφής του σεισμού, με μέγιστη μετατόπιση  $\delta_{max}=79.689mm$ . Δεδομένου ότι η μετατόπιση διαρροής του εν λόγω κτιρίου είναι  $\delta_y=45mm$  προκύπτει ότι η απαίτηση πλαστιμότητας της κατασκευής για το συγκεκριμένο σεισμό προέκυψε ίση με:

$$\mu = \frac{\delta_{max}}{\delta_y} = 1.77$$

Δεδομένου ότι η διαθέσιμη πλαστιμότητα του κτιρίου, όπως αυτή έχει υπολογισθεί από τους Reparis et al., 2006, είναι  $\mu=1.11$ , παρατηρείται περίπου 60% υπέρβαση της διαθέσιμης πλαστιμότητας η οποία πρακτικά αντιστοιχεί σε κατάρρευση. Εναλλακτικά, η σύγκριση θα μπορούσε να γίνει σε όρους μεγίστων αναπτυσσόμενων μετατοπίσεων, όπου προκύπτει πως η απαίτηση μετατόπισης 79.7mm είναι σημαντικά μεγαλύτερη από τη μετατόπιση 50mm που αντιστοιχεί στην αστοχία της κατασκευής.



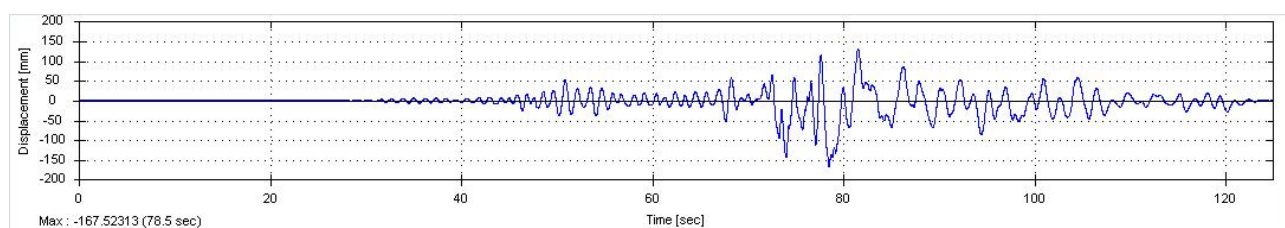
Εικόνα 6.11 Χρονοϊστορία μετατοπίσεων ελαστοπλαστικού συστήματος για την καταγραφή 4614 North South



Εικόνα 6.12 Υστερητικό διάγραμμα Q-Δ τέμνουσας βάσης – μετατόπισης κορυφής του κτιρίου για την καταγραφή 4614 North-South

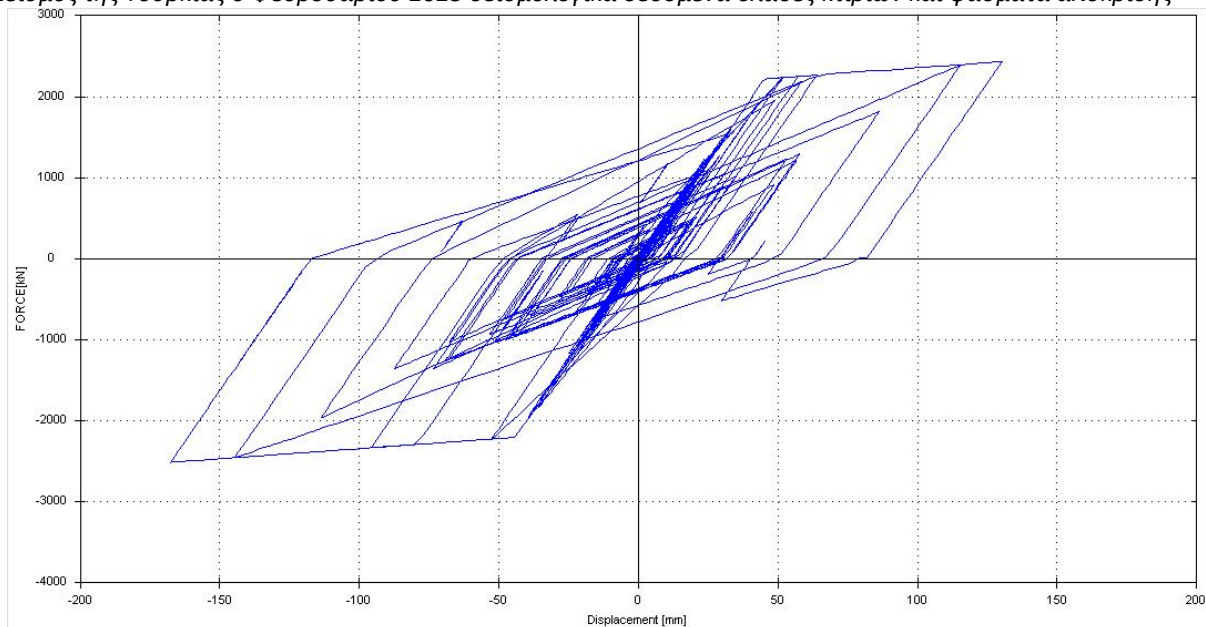
Από την ανάλυση του κτιρίου στη συνιστώσα North-South προκύπτει επίσης μη γραμμική απόκριση με μέγιστη μετακίνηση του μονοβάθμιου ταλαντωτή ίση με  $\delta_{max}=99.254mm$  βάσει του γραφήματος της μετακινήσεως. Η μετακίνηση διαρροής είναι  $\delta_y=45mm$ . Συνεπώς προκύπτει ότι η απαιτούμενη πλαστιμότητα για το κτίριο είναι  $\mu=2.2$ . Δεδομένου ότι η διαθέσιμη πλαστιμότητα του κτιρίου είναι  $\mu=1.11$  δηλαδή δυο φορές μικρότερη της απαιτούμενης πλαστιμότητας προκύπτει ότι η αντοχή ξεπερνιέται οπότε ο σεισμός προκαλεί στο κτίριο μεγαλύτερες μετακινήσεις από αυτές στην πραγματικότητα το κτίριο μπορεί να δεχθεί, γεγονός το οποίο υποδηλώνει κατάρρευση.

Στο σχήμα που ακολουθεί παρουσιάζεται η χρονοϊστορία απόκρισης μετατοπίσεων του κτιρίου για την οριζόντια συνιστώσα East-West του σταθμού 3126 και παρακάτω παρουσιάζεται το αντίστοιχο διάγραμμα υστερητικής συμπεριφοράς του ταλαντωτή.



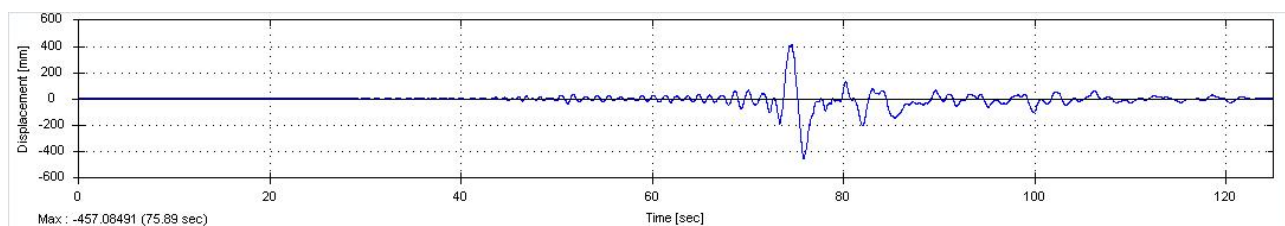
Εικόνα 6.13 Χρονοϊστορία μετατοπίσεων ελαστοπλαστικού συστήματος για την καταγραφή 3126 East-West

Από το υστερητικό διάγραμμα Q-Δ προκύπτει έντονη ανελαστική απόκριση του κτιρίου στη συγκεκριμένη καταγραφή. Η μέγιστη μετακίνηση του κτιρίου προέκυψε ίση με  $\delta_{max}=167.523mm$  η οποία αντιστοιχεί σε δείκτη πλαστιμότητας  $\mu=3.7$ , τιμή σημαντικά μεγαλύτερη από τη διαθέσιμη πλαστιμότητα του κτιρίου,  $\mu=1.11$ .

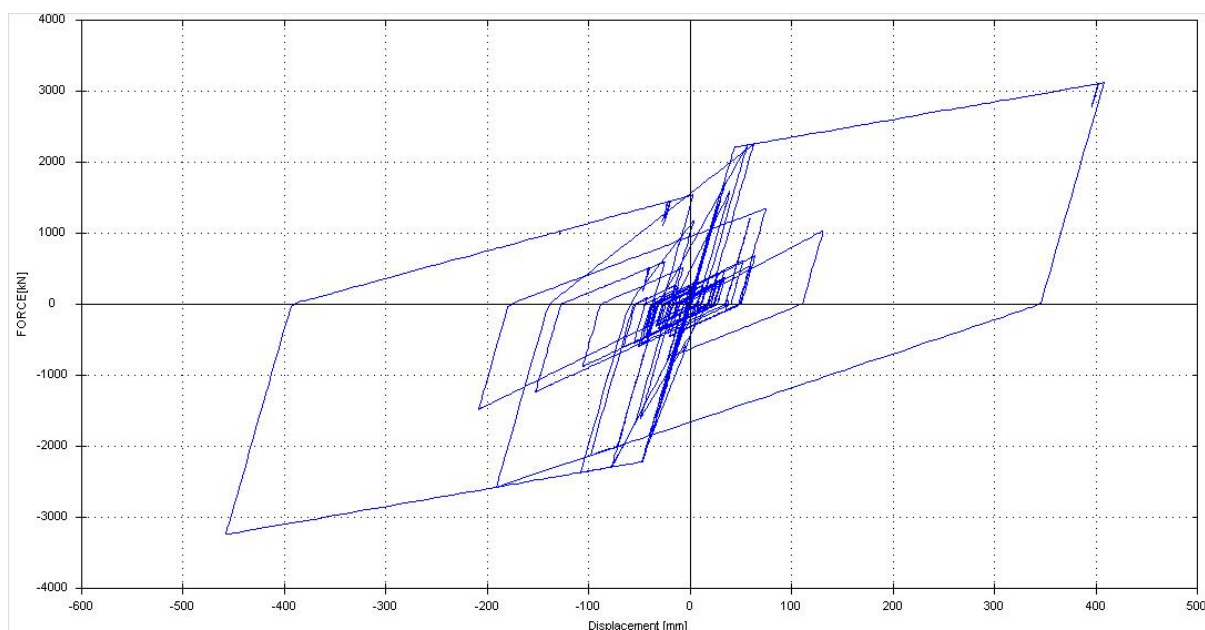


Εικόνα 6.14 Υστερητικό διάγραμμα Q-Δ τέμνουσας βάσης – μετατόπισης κορυφής του κτιρίου για την καταγραφή 3126 East West

Στα παρακάτω σχήματα παρουσιάζονται οι ανελαστικές μετατοπίσεις και το υστερητικό διάγραμμα, αντίστοιχα, για τη συνιστώσα North South του σταθμού 3126.



Εικόνα 6.15 Χρονοϊστορία μετατοπίσεων ελαστοπλαστικού συστήματος για την καταγραφή 3126 North-South



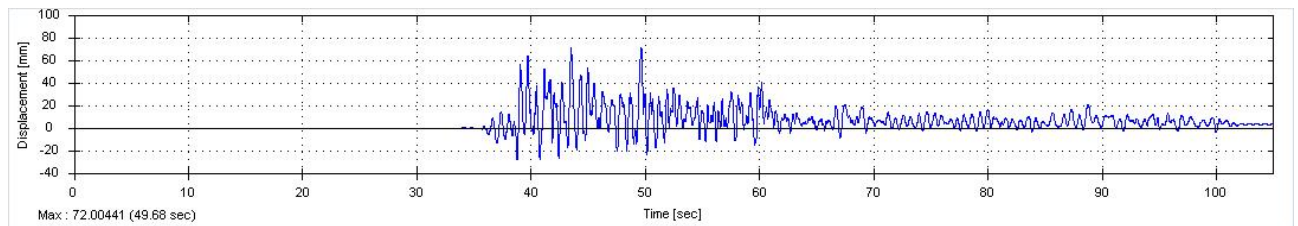
Εικόνα 6.16 Υστερητικό διάγραμμα Q-Δ τέμνουσας βάσης – μετατόπισης κορυφής του κτιρίου για την καταγραφή 3126 North-South

Η συγκεκριμένη συνιστώσα καταπονεί κατά τον εντονότερο τρόπο τη συγκεκριμένη κατασκευή, δεδομένου ότι όπως προκύπτει από την παραπάνω απόκριση η μέγιστη μετατόπιση του κτιρίου προκύπτει ίση με  $\delta_{max}=457.064mm$  και αντιστοιχεί σε απαίτηση πλαστιμότητας ίση με  $\mu=10.15$ , σχεδόν δεκαπλάσια της διαθέσιμης πλαστιμότητας του κτιρίου η οποία υποδηλώνει πλήρη κατάρρευση.

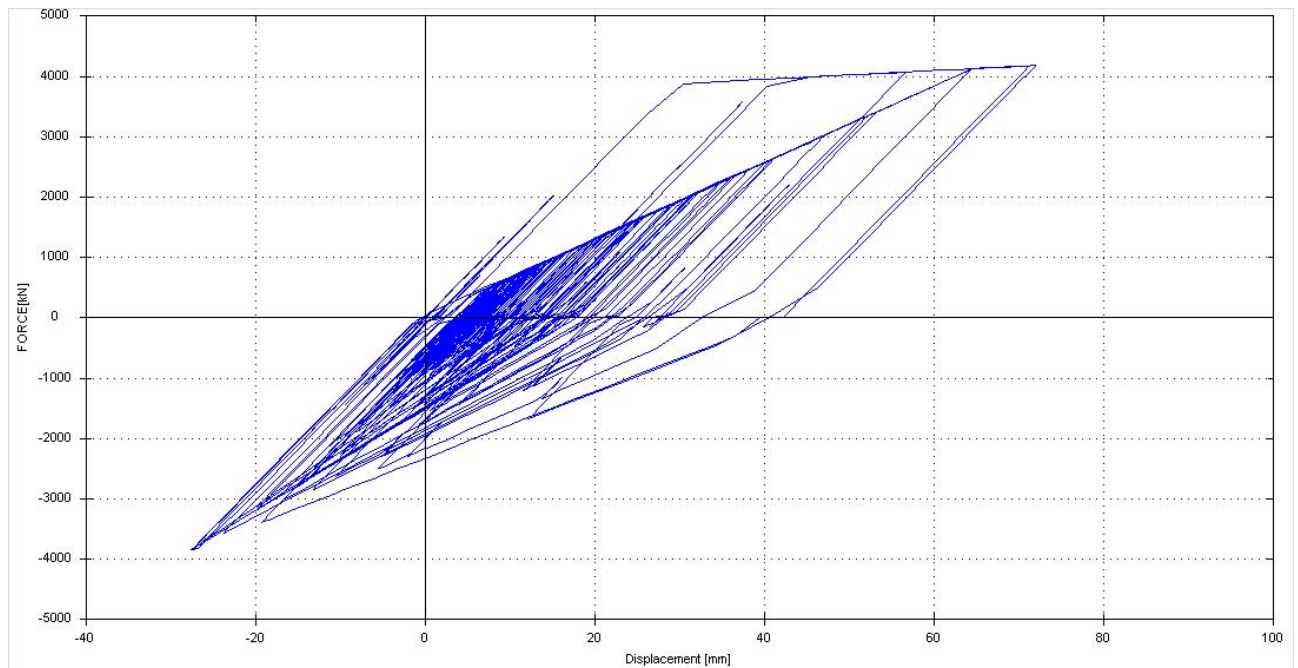
Εξετάζοντας τα παραπάνω σχήματα αξίζει να σημειωθεί πως η καταγραφή του σταθμού 3126 καταπονεί την κατασκευή το ίδιο τόσο προς τα θετικά όσο και προς τα αρνητικά, όπως προκύπτει από τα υστερητικά διαγράμματα τα οποία παρουσιάζουν συμμετρική συμπεριφορά. Από τα διαγράμματα των αναπτυσσόμενων μετατοπίσεων του κτιρίου και ειδικά από τις μετατοπίσεις που αναπτύσσει η κατασκευή στη συνιστώσα North-South 3126, είναι χαρακτηριστική η επιρροή των εδαφικών συνθηκών στην καταγραφή του επιταχυνσιογραφήματος, κατά επέκταση και στη συμπεριφορά της κατασκευής, η οποία αφενός στο σταθμό 4614 με σκληρότερο έδαφος παρουσιάζει έντονες εναλλαγές μετατοπίσεων, ενώ η καταγραφή 3126 που αντιστοιχεί σε πιο μαλακό έδαφος αλλάζει σημαντικά την απόκριση του κτιρίου.

### 6.3.2 Ανάλυση κτιρίου με τοιχοπληρώσεις

Τα χαρακτηριστικά του μονοβάθμιου συστήματος για το δεύτερο κτίριο (τοιχοπληρωμένος φορέας) είναι ιδιοπερίοδος  $T=0.67s$ , συνολική αντοχή κτιρίου  $V_{max}=3797.1kN$ , διαθέσιμη πλαστιμότητα  $\mu=1.25$  και μετακίνηση αστοχίας  $\delta_u=0.033m$ . Ο υστερητικός νόμος (τροποποιημένο προσομοίωμα) Takeda κατά Otani (1974) θα χρησιμοποιηθεί για τη μη γραμμική ανάλυση του κτιρίου ως ισοδύναμου μονοβάθμιου ελαστοπλαστικού συστήματος καθώς η προσομοίωση ικανοποιεί τη μετελαστική καμπύλη φόρτισης – αποφόρτισης σε επίπεδο μέλους ή κατασκευής από οπλισμένο σκυρόδεμα. Στη συνέχεια θα παρουσιαστούν οι χρονοϊστορίες απόκρισης μετατοπίσεων του κτιρίου καθώς και τα διαγράμματα δύναμης (τέμνουσας βάσης) – μετατόπισης κορυφής του κτιρίου για τις δυο συνιστώσες των καταγραφών που επιλέχθηκαν σε αυτό το κεφάλαιο. Στα παρακάτω σχήματα παρουσιάζονται το διάγραμμα των μετατοπίσεων στην κορυφή του κτιρίου συνάρτηση του χρόνου, για την καταγραφή East – West του σταθμού 4614 καθώς και το αντίστοιχο διάγραμμα τέμνουσας – μετατόπισης, Q-Δ.



Εικόνα 6.17 Χρονοϊστορία μετατοπίσεων ελαστοπλαστικού συστήματος για την καταγραφή 4614 East-West

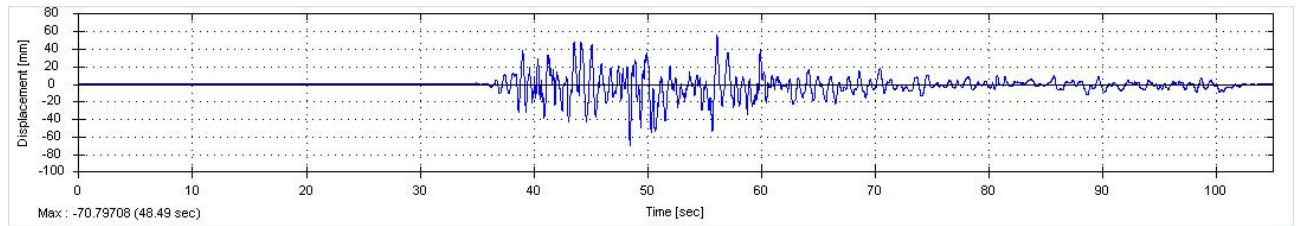


Εικόνα 6.18 Υστερητικό διάγραμμα Q-Δ τέμνουσας βάσης – μετατόπισης κορυφής του κτιρίου για την καταγραφή 4614 East-West

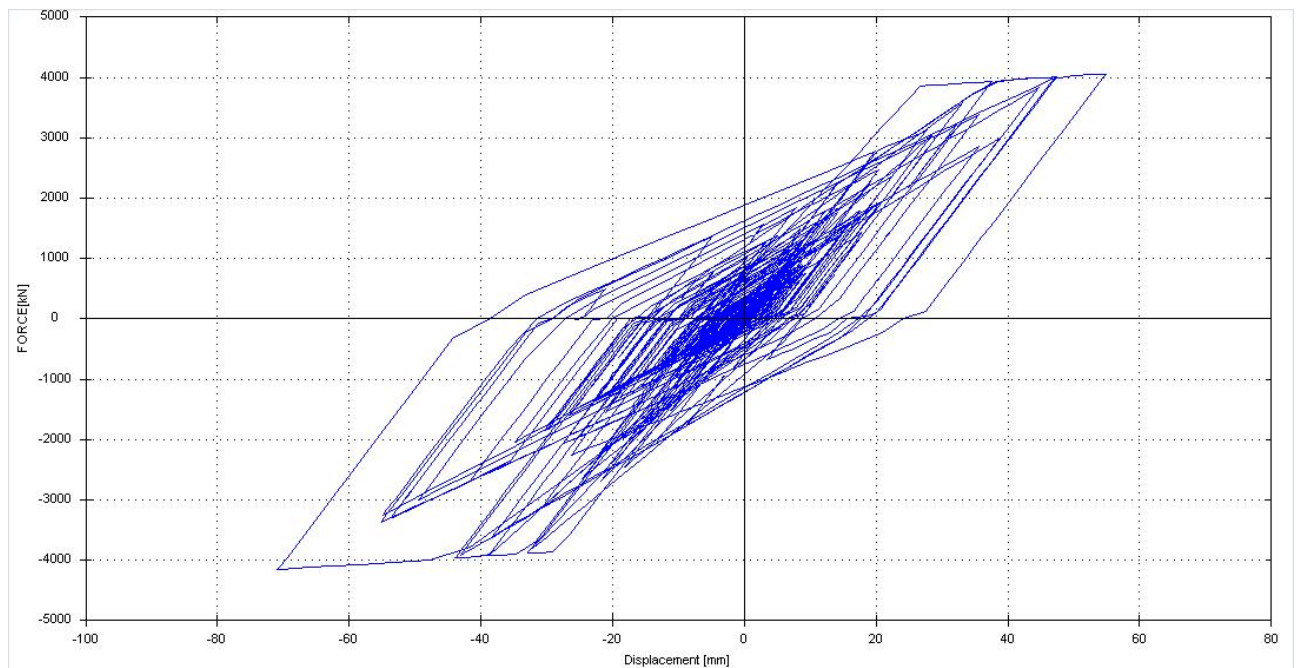
Σε αυτή την συνιστώσα η συμπεριφορά του κτιρίου είναι ελαστο-πλαστική βάσει του διαγράμματος Q-Δ τέμνουσας δύναμης με μετατόπιση κορυφής και η μέγιστη μετατόπιση,  $\delta_{max}=72.004mm$  Καθώς η μετατόπιση διαρροής του συγκεκριμένου κτιρίου είναι  $\delta_y=26mm$  συνεπώς προκύπτει ότι η απαίτηση πλαστιμότητας της κατασκευής για το συγκεκριμένο σεισμό ισούται με:

$$\mu = \frac{\delta_{max}}{\delta_y} = 2.77$$

Ο Σεισμός της Τουρκίας 6 Φεβρουαρίου 2023 σεισμολογικά δεδομένα θλάβες κτιρίων και φάσματα απόκρισης. Οπότε, συγκρίνοντας τη διαθέσιμη πλαστιμότητα του κτιρίου που δόθηκε από τους Reparis et al., 2006,  $\mu=1.25$ , με την απαιτούμενη πλαστιμότητα  $\mu=2.76$ , η διαφορά τους είναι σχεδόν διπλάσια με αποτέλεσμα η κατασκευή να καταρρεύσει. Ακριβώς ίδιο θα ήταν το αποτέλεσμα αν η σύγκριση γινόταν με τις μετατοπίσεις που αναπτύχθηκαν καθώς η απαίτηση μετατόπισης 72.0mm είναι μεγαλύτερη από την μετατόπιση που οδηγεί την κατασκευή σε αστοχία 33mm.



Εικόνα 6.19 Χρονοϊστορία μετατοπίσεων ελαστοπλαστικού συστήματος για την καταγραφή 4614 North-South

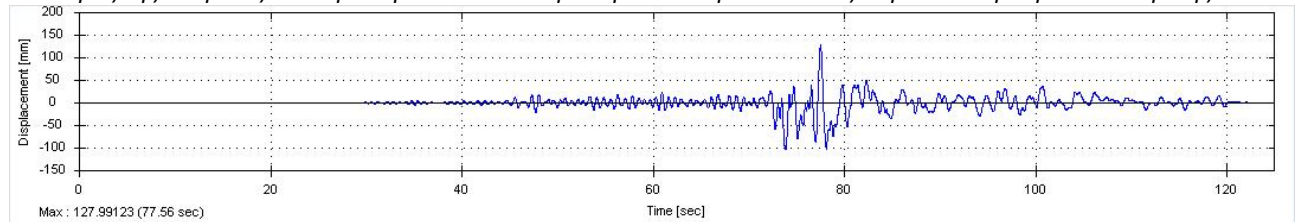


Εικόνα 6.20 Υστερητικό διάγραμμα Q-Δ τέμνουσας βάσης – μετατόπισης κορυφής του κτιρίου για την καταγραφή 4614 North-South

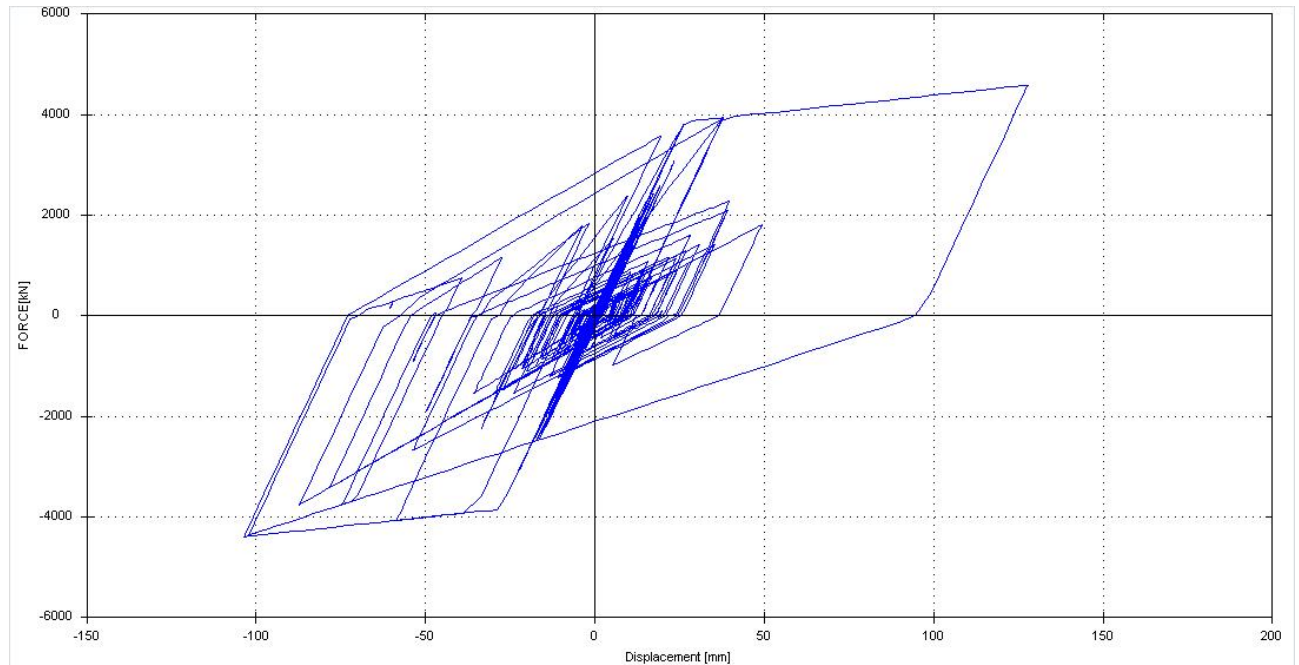
Αναλύοντας τη κατασκευή στη συνιστώσα North-South προκύπτει μη γραμμική απόκριση με μέγιστη μετακίνηση του μονοβάθμιου ταλαντωτή ίση με  $\delta_{max}=70.797mm$  λόγω του γραφήματος της μετακινήσεως. Ακόμη, από τα χαρακτηριστικά του ταλαντωτή είναι γνωστό ότι η μετακίνηση διαρροής ισούται με  $\delta_y=26mm$  επομένως η απαιτούμενη πλαστιμότητα  $\mu=2.72$ . Δεδομένου ότι η διαθέσιμη πλαστιμότητα του κτιρίου είναι  $\mu=1.25$  δηλαδή περίπου δυο φορές μικρότερη της απαιτούμενης πλαστιμότητας σημαίνει ότι η αντοχή ξεπερνιέται και το κτίριο δέχεται μεγαλύτερες μετατοπίσεις από αυτές που μπορεί να δεχθεί ρεαλιστικά με αποτέλεσμα το κτίριο να καταρρεύσει. Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται η χρονοϊστορία απόκρισης μετατοπίσεων του κτιρίου για την οριζόντια συνιστώσα East-West του σταθμού 3126 και στη συνέχεια παρουσιάζεται το αντίστοιχο διάγραμμα υστερητικής συμπεριφοράς του ταλαντωτή.



Ο Σεισμός της Τουρκίας 6 Φεβρουαρίου 2023 σεισμολογικά δεδομένα θλάβες κτιρίων και φάσματα απόκρισης



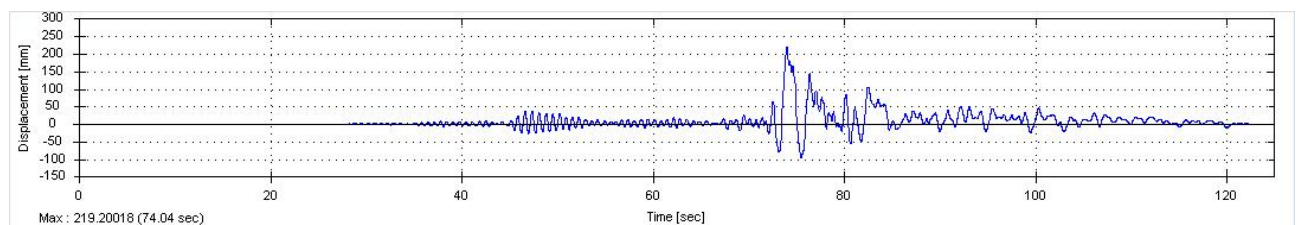
Εικόνα 6.21 Χρονοϊστορία μετατοπίσεων ελαστοπλαστικού συστήματος για την καταγραφή 3126 East–West



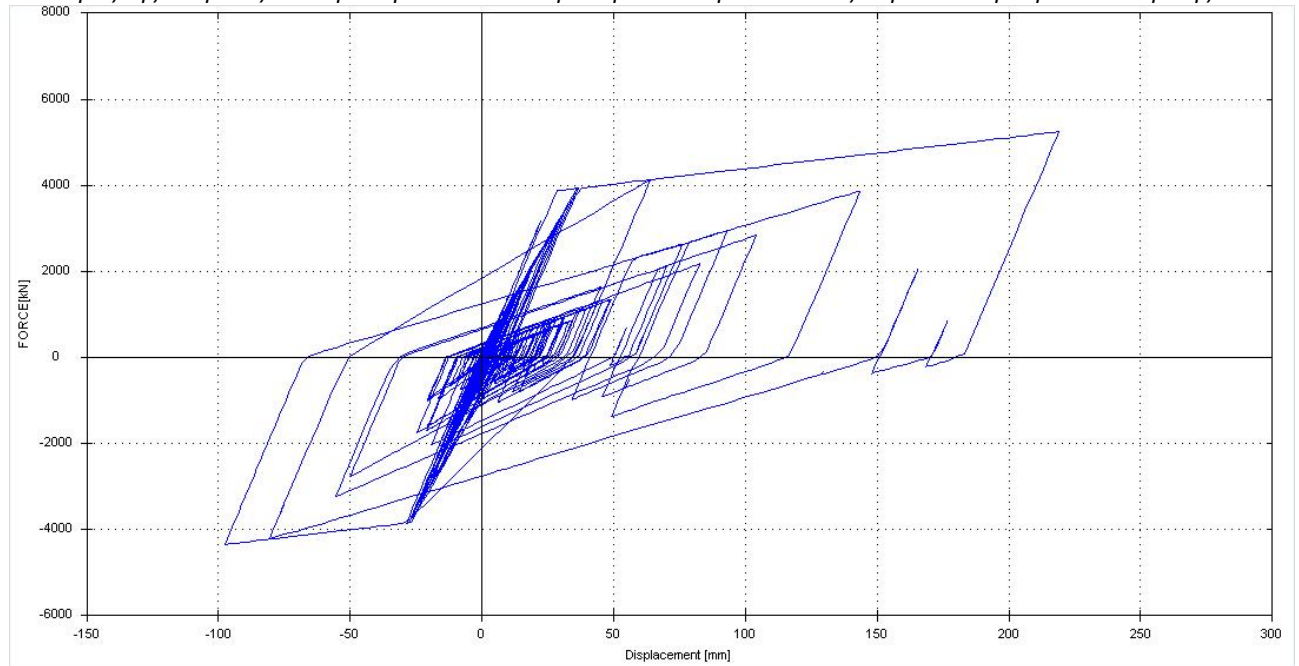
Εικόνα 6.22 Υστερητικό διάγραμμα Q-Δ τέμνουσας βάσης – μετατόπισης κορυφής του κτιρίου για την καταγραφή 3126 East–West

Η καταγραφή παρουσιάζει ανελαστική συμπεριφορά όπως προκύπτει από το υστερητικό διάγραμμα Q-Δ. Η μέγιστη μετακίνηση του κτιρίου προέκυψε ίση με  $\delta_{max}=127.991mm$  που αντιστοιχεί σε δείκτη πλαστιμότητας  $\mu=4.92$ , μια τιμή πολύ μεγαλύτερη από τη διαθέσιμη πλαστιμότητα του κτιρίου,  $\mu=1.25$ .

Στα παρακάτω σχήματα παρουσιάζονται οι ελαστο-πλαστικές μετατοπίσεις και το υστερητικό διάγραμμα Q-Δ, αντίστοιχα, για τη συνιστώσα North-South του σταθμού 3126.



Εικόνα 6.23 Χρονοϊστορία μετατοπίσεων ελαστοπλαστικού συστήματος για την καταγραφή 3126 North–South



Εικόνα 6.24 Υστερητικό διάγραμμα Q-Δ τέμνουσας βάσης – μετατόπισης κορυφής του κτιρίου για την καταγραφή 3126 North-South

Στη τελευταία συνιστώσα που αναλύεται παρουσιάζεται η μέγιστη καταπόνηση που ασκείται στην συγκεκριμένη κατασκευή. Όπως προκύπτει από το διάγραμμα των μετακινήσεων  $\delta_{max}=219.2mm$  που αντιστοιχεί σε απαίτηση πλαστιμότητας  $\mu=8.43$ , μια αύξησή γύρω στο 650% της διαθέσιμης πλαστιμότητας του κτιρίου που προφανώς υποδηλώνει ολική κατάρρευση.

Παρατηρώντας το υστερητικό διάγραμμα της καταγραφής του σταθμού, η κατασκευή καταπονείται περισσότερο προς τα θετικά παρά τα αρνητικά. Ακόμη να τονισθεί ότι οι εδαφικές συνθήκες επηρεάζουν την καταγραφή του επιταχυνσιογραφήματος. Αυτό παρουσιάζεται έντονα από τα διαγράμματα των αναπτυσσόμενων μετατοπίσεων της κατασκευής τόσο στη συνιστώσα North-South 3126 που το έδαφος είναι μαλακό όσο και στον σταθμό 4614 που το έδαφος είναι σκληρό. Στα μαλακά εδάφη η απόκριση του κτιρίου παρουσιάζει ήπιες εναλλαγές μετατοπίσεων κατά την διάρκεια του σεισμού σε αντίθεση με τα σκληρά εδάφη που οι εναλλαγές των μετατοπίσεων είναι εντονότερες.

Εξετάζοντας τα γραφήματα του μειωτικού συντελεστή δύναμης για τιμές των ιδιοπεριόδων στην περιοχή του  $T=1s$ , τιμή αντιπροσωπευτική για υφιστάμενα πολυώροφα κτίρια από οπλισμένο σκυρόδεμα, με ή χωρίς τοιχοπληρώσεις, οι τιμές του συντελεστή R για απαιτούμενη πλαστιμότητα  $\mu=2$  κυμαίνονται κοντά στο  $R=2$ . Πρακτικά, αυτό σημαίνει πως η ανηγμένη τέμνουσα βάσης σχεδιασμού των εν λόγω κτιρίων, θα πρέπει να είναι ίση με  $1/R=0.5$  ή και μεγαλύτερη, προκειμένου η πλαστιμότητα που θα αναπτύξουν να είναι ίση ή μικρότερη του  $\mu=2$ . Κάτι τέτοιο δεν ισχύει για κτίρια που έχουν κατασκευαστεί στην Τουρκία με παλιούς κανονισμούς, δεδομένου ότι οι κανονισμοί αυτοί κατά τις δεκαετίες 60, 70 και 80, προέβλεπαν χαμηλούς σεισμικούς συντελεστές, σημαντικά μικρότερους από το 0.5, γεγονός που οδηγεί στο συμπέρασμα πως πολλά από τα κτίρια αυτά υποβλήθηκαν σε μεγάλες απαιτήσεις πλαστιμότητας και ανέπτυξαν εκτεταμένες βλάβες έως και καταρρεύσεις.

## 7 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7<sup>ο</sup>: Συμπεράσματα

### 7.1 Συμπεράσματα

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκε ο ισχυρός σεισμός της 6 Φεβρουαρίου του 2023 που έγινε στην νοτιοανατολική Τουρκία και ο οποίος προκάλεσε τεράστιες καταστροφές σε μεγάλη έκταση της χώρας. Η μελέτη του σεισμού έγινε με χρήση πραγματικών επιταχυνσιογραφημάτων, τα οποία αντλήθηκαν από ελεύθερα προσβάσιμη ηλεκτρονική βάση δεδομένων στην οποία συλλέγονται και διατίθενται ψηφιακά αρχεία καταγραφών από το δίκτυο επιταχυνσιογράφων της χώρας. Από τους επιταχυνσιογράφους αυτούς επιλέχθηκαν εκείνοι οι οποίοι κατέγραψαν τις μεγαλύτερες εδαφικές επιταχύνσεις στη συνιστώσα Βορράς – Νότος.

Η διερεύνηση του σεισμού βασίστηκε πάνω στον υπολογισμό και ανάλυση ελαστικών φασμάτων απόκρισης ψευδο-επιταχύνσεων, ψευδο-ταχυτήτων και μετατοπίσεων για τους σταθμούς που επιλέχθηκαν. Τα φάσματα απόκρισης αποτελούν ένα απλό αλλά πολύ χρήσιμο εργαλείο στη σεισμική μηχανική, δεδομένου ότι παρέχουν ουσιώδεις πληροφορίες για ένα σεισμό, για την καταγραφή του, και για ένα ευρύ φάσμα περιόδων που καλύπτει το σύνολο σχεδόν των κατασκευών που συναντώνται στην πράξη.

Πιο συγκεκριμένα, για τους σταθμούς που επιλέχθηκαν κατασκευάστηκαν τα ελαστικά φάσματα απόκρισης για τρεις τιμές της απόσβεσης, 3% (μεταλλικά κτίρια), 5% (κτίρια οπλισμένου σκυροδέματος) και 20% (κτίρια ή τεχνικά έργα με μεγαλύτερη απόσβεση). Προκειμένου για την αξιολόγηση των φασμάτων αυτών, και δεδομένου ότι υπάρχουν διαθέσιμα στοιχεία για την κατηγορία εδάφους που αντιστοιχεί σε κάθε σταθμό καταγραφής, παράλληλα κατασκευάστηκαν τα ελαστικά φάσματα σχεδιασμού του Ευρωκώδικα 8, με βάση την εδαφική επιτάχυνση σχεδιασμού που ισχύει στην εκάστοτε θέση καθώς και την παραπάνω κατηγορία εδάφους.

Στο κεφάλαιο πέντε της εργασίας παρουσιάστηκαν αναλυτικά τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την ανάλυση των ελαστικών φασμάτων απόκρισης και τη σύγκρισή τους με το ελαστικό φάσμα του κανονισμού. Από την ανάλυση αυτή προκύπτει ότι σε μεγάλο βαθμό οι απαιτήσεις του εν λόγω σεισμού (σε όρους επιταχύνσεων ή μετατοπίσεων) στις κατασκευές, ξεπέρασαν σημαντικά τις απαιτήσεις που θα έθετε ο κανονισμός για σύγχρονα κτίρια και μάλιστα σε μια εκτεταμένη γεωγραφικά περιοχή όπως αυτή καλύπτεται από τους παραπάνω σταθμούς. Αυτό, πρακτικά ερμηνεύει και το μεγάλο αριθμό βλαβών και καταρρεύσεων που προκλήθηκαν στα κτίρια, μιας και τα περισσότερα από αυτά αφορούσαν σε πολώροφες κατασκευές οπλισμένου σκυροδέματος κατασκευασμένες όχι με σύγχρονες διατάξεις και χωρίς κατασκευαστικές λεπτομέρειες για αντισεισμική συμπεριφορά.

Από την ανάλυση των ελαστικών φασμάτων απόκρισης, σε πολλές περιπτώσεις προέκυψαν σημαντικές υπερβάσεις των τιμών σχεδιασμού του κανονισμού, για όλες τις περιπτώσεις αποσβέσεων, είτε στις περιοχές χαμηλών ιδιοπεριόδων, που αντιστοιχούν σε χαμηλά κτίρια, δύσκαμπτα, τοιχωματικά ή κτίρια από φέρουσα τοιχοποιία, ή και στις περιοχές μεγάλων ιδιοπεριόδων, που αντιστοιχούν σε ψηλά εύκαμπτα κτίρια οπλισμένου σκυροδέματος, τα οποία είναι ευαίσθητα σε μεγάλες μετακινήσεις, και στα οποία παρατηρήθηκε σημαντικός αριθμός καταρρεύσεων. Αξίζει επίσης να τονισθεί ότι σημαντικά μεγάλες φασματικές τιμές, πολύ μεγαλύτερες από τις απαιτήσεις του κανονισμού, προέκυψαν για το σύνολο σχεδόν των κατακορύφων συνιστωσών όλων των σταθμών, γεγονός το οποίο μπορεί επίσης να αποτέλεσε δυσμενή απαίτηση για τις κατασκευές.

Τα αποτελέσματα της αξιολόγησης των ελαστικών φασμάτων απόκρισης του σεισμού επιβεβαιώθηκαν και από τις αναλύσεις ανελαστικών φασμάτων, οι οποίες πραγματοποιήθηκαν

Ο Σεισμός της Τουρκίας 6 Φεβρουαρίου 2023 σεισμολογικά δεδομένα θλάβες κτιρίων και φάσματα απόκρισης μόνο για δυο επιλεγμένους σταθμούς, και για τιμές πλαστιμότητας που αντιπροσωπεύουν παλιά και σύγχρονα κτίρια καθώς και από τις αναλύσεις περίπτωσης οι οποίες πραγματοποιήθηκαν σε μη γραμμικούς μονοβάθμιους ταλαντωτές, με χαρακτηριστικά που αντιπροσωπεύουν υφιστάμενες κατασκευές χωρίς αντισεισμικές κατασκευαστικές διατάξεις.

Συμπερασματικά, προκύπτει ότι ανεξάρτητα από τον τύπο εδάφους και τις τοπικές συνθήκες, οι αναμενόμενες απαιτήσεις πλαστιμότητας προκύπτουν σημαντικά μεγάλες για παλιά κτίρια, πολύ μεγαλύτερες από τη διαθέσιμη πλαστιμότητά τους, όπως αυτή έχει εκτιμηθεί στη βιβλιογραφία, επιβεβαιώνεται από πειραματικά αποτελέσματα, αλλά και από το σημαντικά μεγάλο αριθμό καταρρεύσεων κτιρίων που καταγράφηκε στις περιοχές που επηρεάστηκαν από το σεισμό.

Αξιίζει τέλος να τονισθεί, ότι παρά το μεγάλο μέγεθος του σεισμού, και τις μεγάλες επιταχύνσεις που καταγράφηκαν, η ανάλυση των ελαστικών φασμάτων σχεδιασμού έδειξε πως σε αρκετές περιπτώσεις καταγραφών, και για ικανοποιητικό εύρος ιδιοπεριόδων, το ελαστικό φάσμα σχεδιασμού και οι αντίστοιχες φασματικές τιμές σχεδιασμού κάλυψαν τις απαιτήσεις μετατοπίσεων, ταχυτήτων ή επιταχύνσεων του σεισμού, γεγονός που υποδηλώνει ότι εάν οι κατασκευές της περιοχής είχαν σχεδιαστεί με βάση σύγχρονα πρότυπα και αντισεισμικές αντιλήψεις, ενδεχομένως να είχαν υποστεί το συγκεκριμένο σεισμό με περιορισμένες ή και καθόλου βλάβες και καταρρεύσεις.

## **7.2 Προτάσεις για μελλοντική έρευνα**

Σε συνέχεια της παρούσας διπλωματικής, με προοπτική επόμενες μελλοντικές έρευνες θα ήταν δυνατό να αντληθούν τα χαρακτηριστικά συγκεκριμένων τύπων κατασκευών που καταρρεύσανε (π.χ. 8-ώροφες ή 10-ώροφες πολυκατοικίες από οπλισμένο σκυρόδεμα με και χωρίς τοιχοπληρώσεις) και να αναλυθούν με στόχο την ενίσχυσή τους. Συγκεκριμένα, από τις πραγματικές σεισμικές καταγραφές που δίνονται βάσει των επιταχυνσιογράφων, σε συνδυασμό με πραγματικά χωρικά προσομοιώματα που θα δημιουργηθούν με τη χρήση κατάλληλου λογισμικού πεπερασμένων στοιχείων, θα παρατηρηθεί που καταπονούνται οι κατασκευές περισσότερο. Ως αποτέλεσμα θα προταθεί η βέλτιστη μέθοδος για την ενίσχυσή τους (π.χ. με χρήση μανδύων οπλισμένου σκυροδέματος ή σύνθετων υλικών FRP), προκειμένου να επιτευχθεί η αναγκαία αύξηση αντοχής και πλαστιμότητας η οποία θα τους εξασφαλίσει ασφαλέστερη απόκριση σε πιθανό αντίστοιχο μελλοντικό σεισμό.

## Βιβλιογραφία – Αναφορές – Διαδικτυακές Πηγές

1. AFAD (*Turkish accelerometric database and analysis system*), Τούρκικο Υπουργείο Εσωτερικών, Τμήμα διαχείρισης έκτακτων αναγκών και καταστροφών.  
<https://tadas.afad.gov.tr>
2. Seong-Hoon Jeong, Kwang-Ho Lee, Won-Seok Jang, 2024, *PRISM for Earthquake Engineering, A Program for seismic response analysis of SDOF systems, User Manual Version 2.0.0, Earthquake Engineering Research Group, Department of Architectural Engineering, INHA University.*
3. Constantinos Repapis, Elisabeth Vintzileou & Christos Zeris (2006) *Evaluation of the Seismic Performance of Existing RC Buildings: I. Suggested Methodology, Journal of Earthquake Engineering*, 10:2, 265-287, DOI: 10.1080/13632460609350596.
4. Constantinos Repapis, Christos Zeris & Elisabeth Vintzileou (2006) *Evaluation of the Seismic Performance of Existing RC Buildings: II. A Case Study for Regular and Irregular Buildings, Journal of Earthquake Engineering*, 10:3, 429-452, DOI: 10.1080/13632460609350604.
5. S. Otani, “*Inelastic analysis of R/C frame structures*”, *ASCE J. of Struct. Div.* V.100, p1433-1449, 1974
6. *Earthquake Hazards Program (March 6, 2023) Frequently Asked Questions about 2023 Earthquakes in Türkiye.*  
<https://www.usgs.gov/programs/earthquake-hazards/science/frequently-asked-questions-about-2023-earthquakes-turkiye>
7. Çabalar, A. F. (2008). *An Assessment of Earthquake Hazard in Gaziantep, Turkey*. 13.
8. Güllü, H., Ansal, A. M., & Özbay, A. (2008). *Seismic hazard studies for Gaziantep city in South Anatolia of Turkey. Natural Hazards*, 44(1), 19–50.  
<https://doi.org/10.1007/s11069-007-9140-3>
9. Evangelia G., George G. (2023) *The 2 earthquakes of February 6<sup>th</sup> 2023 in Turkey.*
10. Xiao, J., Deng, Q., Hou, M., Shen, J., & Gencel, O. (2023). *Where are demolition wastes going: Reflection and analysis of the February 6, 2023 earthquake disaster in Turkey. Low-Carbon Materials and Green Construction*, 1(1), 17.  
<https://doi.org/10.1007/s44242-023-00017-3>

11. Işık, E. (2023). *Structural Failures of Adobe Buildings during the February 2023 Kahramanmaraş (Türkiye) Earthquakes*. *Applied Sciences*, 13(15), Article 15. <https://doi.org/10.3390/app13158937>
12. Tao, W., Jie, C., Yujiang, Z., Xiaoqing, W., Xuchuan, L., Xiaoting, W., & Qingxue, S. (2023). *Preliminary investigation of building damage in Hatay under February 6, 2023 Turkey earthquakes*. *Earthquake Engineering and Engineering Vibration*. <https://doi.org/10.1007/s11803-023-2201-0>
13. Ahmed, I. (2023). *Key Building Design and Construction Lessons from the 2023 Türkiye–Syria Earthquakes*. *Architecture*, 3(1), Article 1. <https://doi.org/10.3390/architecture3010007>
14. Işık, E., Shendkar, M., Avcil, F., Buyuksarac, A., & Deshpande, S. (2023). *A Study on the Determination of Damage Levels in Reinforced Concrete Structures during the Kahramanmaraş Earthquake on February 06, 2023*. *E3S Web of Conferences*, 405. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202340504029>
15. Πνεύματικός Ν.Γ (2018) Εισαγωγή στη μελέτη αντισεισμικών κατασκευών – Σεισμική καταπόνηση στις κατασκευές © Copyright 2017, Πνευματικός Νίκος.
16. Πιτιλάκης Δ.Κ (2010) Γεωτεχνική σεισμική μηχανική –Ισχυρή εδαφική κίνηση © Copyright, Πιτιλάκης Κυριάκης, Εκδόσεις Ζήτη , Σεπτέμβριος 2010, Θεσσαλονίκη.
17. Πιτιλάκης Δ.Κ (2010) Γεώτεχνική σεισμική μηχανική – Επирροή των τοπικών εδαφικών συνθηκών στην ισχυρή εδαφική κίνηση (ΕΤΕΣ) © Πιτιλάκης Κυριάκης, Εκδόσεις Ζήτη , Σεπτέμβριος 2010, Θεσσαλονίκη.
18. Anil K.C. Δυναμική των κατασκευών: Θεωρία και εφαρμογές στη σεισμική μηχανική – Σεισμική απόκριση γραμμικών συστημάτων © Copyright Anil K.Chopra, Εκδόσεις Μ.Γκιούρδα, Τρίτη Έκδοση.
19. Anil K.C. (2008) Δυναμική των κατασκευών : Θεωρία και εφαρμογές στη σεισμική μηχανική – Σεισμική απόκριση ανελαστικών συστημάτων © Copyright Anil K.Chopra, Εκδόσεις Μ.Γκιούρδα, Τρίτη Έκδοση.
20. Gunes, O. (2015). *Turkey’s grand challenge: Disaster-proof building inventory within 20 years*. *Case Studies in Construction Materials*, 2, 18–34. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2014.12.003>
21. Civelekler, E., Okur, V. D., & Afacan, K. B. (2021). *A study of the local site effects on the ground response for the city of Eskişehir, Turkey*. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 80(7), 5589–5607. <https://doi.org/10.1007/s10064-021-02285-4>