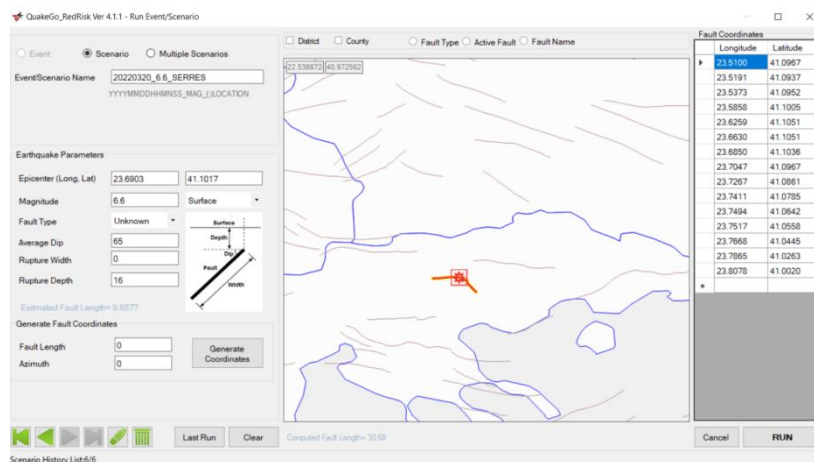




ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



(πηγή: QuakeGo_V.4.1.1)

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΡΡΟΗΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΤΟΥ ΣΕΙΣΜΟΥ ΣΤΗΝ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΔΙΑΚΙΝΔΥΝΕΥΣΗΣ ΤΟΥ ΚΤΙΡΙΑΚΟΥ ΑΠΟΘΕΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΠΟΛΗΣ ΤΩΝ ΣΕΡΡΩΝ

ΠΑΡΙΣΗΣ ΑΠΟΣΤΟΛΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

ΚΙΡΤΑΣ ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ

ΔΙΕΘΝΕΣ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ | ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΡΡΟΗΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΤΟΥ ΣΕΙΣΜΟΥ
ΣΤΗΝ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΔΙΑΚΙΝΔΥΝΕΥΣΗΣ ΤΟΥ
ΚΤΙΡΙΑΚΟΥ ΑΠΟΘΕΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΠΟΛΗΣ ΤΩΝ ΣΕΡΡΩΝ

ΠΑΡΙΣΗΣ ΑΠΟΣΤΟΛΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ
ΚΙΡΤΑΣ ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ

Η παρούσα εργασία αποτελεί πνευματική ιδιοκτησία του φοιτητή Παρίση Απόστολου που την εκπόνησε. Στο πλαίσιο της πολιτικής ανοικτής πρόσβασης ο συγγραφέας/δημιουργός εκχωρεί στο ΔΙΕΘΝΕΣ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ, μη αποκλειστική άδεια χρήσης του δικαιώματος αναπαραγωγής, προσαρμογής, δημόσιου δανεισμού, παρουσίασης στο κοινό και ψηφιακής διάχυσής τους διεθνώς, σε ηλεκτρονική μορφή και σε οποιοδήποτε μέσο, για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, άνευ ανταλλάγματος και για όλο το χρόνο διάρκειας των δικαιωμάτων πνευματικής ιδιοκτησίας. Η ανοικτή πρόσβαση στο πλήρες κείμενο για μελέτη και ανάγνωση δεν σημαίνει καθ' οιονδήποτε τρόπο παραχώρηση δικαιωμάτων διανοητικής ιδιοκτησίας του συγγραφέα/δημιουργού ούτε επιτρέπει την αναπαραγωγή, αναδημοσίευση, αντιγραφή, αποθήκευση, πώληση, εμπορική χρήση, μετάδοση, διανομή, έκδοση, εκτέλεση, «μεταφόρτωση» (downloading), «ανάρτηση» (uploading), μετάφραση, τροποποίηση με οποιονδήποτε τρόπο, τμηματικά ή περιληπτικά της εργασίας, χωρίς τη ρητή προηγούμενη έγγραφη συναίνεση του συγγραφέα/δημιουργού. Ο συγγραφέας/δημιουργός διατηρεί το σύνολο των ηθικών και περιουσιακών του δικαιωμάτων.

Στα παιδιά μου Δημήτρη και Νικόλα

Πρόλογος

Η παρούσα διπλωματική εργασία υλοποιήθηκε στο πλαίσιο του μεταπτυχιακού προγράμματος με τίτλο «ΕΠΕΜΒΑΣΕΙΣ ΣΕ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΑ ΚΤΗΡΙΑ ΚΑΙ ΑΣΤΙΚΑ ΣΥΝΟΛΑ: ΕΝΙΣΧΥΣΕΙΣ, ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΗ ΚΑΙ ΧΩΡΙΚΕΣ ΑΝΑΠΛΑΣΕΙΣ» του Διεθνούς Πανεπιστημίου Ελλάδος. Από τη θέση αυτή, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον Αναπληρωτή Καθηγητή του τμήματος Πολιτικών Μηχανικών του Διεθνούς Πανεπιστημίου της Ελλάδος και επιβλέποντα της διπλωματικής εργασίας κ. Κίρτα Εμμανουήλ, που μου έδωσε την ευκαιρία να ασχοληθώ με ένα τόσο σημαντικό αντικείμενο, τη σεισμική διακινδύνευση καθώς και για την συνεχή καθοδήγηση του.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Λέκτορα του τμήματος Πολιτικών Μηχανικών του Διεθνούς Πανεπιστημίου της Ελλάδος κ. Παναγόπουλο Γιώργο για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση του καθώς και τον καθηγητή Dr. Yasin Fahjan για την βοήθεια του κατά την εφαρμογή του προγράμματος.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για την συμπαράσταση της καθ' όλη την διάρκεια του προγράμματος σπουδών του μεταπτυχιακού.

Περίληψη

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η εκτίμηση και ο προσδιορισμός της σεισμικής διακινδύνευσης κτιριακών κατασκευών σε επίπεδο αστικού ιστού και η διερεύνηση της επιρροής μιας σειράς από παραμέτρους που αφορούν το φαινόμενο του σεισμού και της διάδοσης των σεισμικών κυμάτων και υπεισέρχονται στην υπολογιστική διαδικασία. Στο πλαίσιο αυτό, εκτελείται εφαρμογή λογισμικού για την εκτίμηση και τον προσδιορισμό της σεισμικής διακινδύνευσης του κτιριακού αποθέματος της πόλης των Σερρών με χρήση καμπυλών τρωτότητας, πραγματοποιείται παραμετρική ανάλυση των στοιχείων που την επηρεάζουν και εξάγονται αντίστοιχοι χάρτες σεισμικής διακινδύνευσης.

Σε πρώτη φάση περιγράφεται το υπόβαθρο της διαδικασίας και παρουσιάζονται τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται κατά τη μελέτη αναφορικά με τα στοιχεία υπό διακινδύνευση (έτος κατασκευής και χαρακτηριστικά των κτιρίων που σχετίζονται με τη σεισμική τους απόκριση), όπως και τα χαρακτηριστικά του εδάφους που καθορίζουν την εδαφική απόκριση και τη σεισμική κίνηση στην επιφάνεια της περιοχής ενδιαφέροντος.

Σε επόμενη φάση, ακολουθείται η διαδικασία εκτίμησης της σεισμικής διακινδύνευσης με χρήση του εξειδικευμένου λογισμικού Quake Go και πραγματοποιείται σύγκριση αποτελεσμάτων με την αντίστοιχη εκτίμηση που πραγματοποιήθηκε από την ερευνητική ομάδα του προγράμματος Sei.V.A.S. Από την σύγκριση διαπιστώνεται ότι υπάρχει ικανοποιητική σύγκλιση των αποτελεσμάτων.

Στην συνέχεια της εργασίας ελέγχεται η επιρροή του μεγέθους του σεισμού στα αποτελέσματα σεισμικής διακινδύνευσης. Χρησιμοποιήθηκαν 3 διαφορετικά σεισμικά σενάρια πέραν του βασικού των 6.6 R. (6.2R, 6.4R και 6.8R). Στα διαγράμματα που εξαχθήκαν διαφαίνεται πόσο επηρεάζει μια ποσοτική μεταβολή των 0.2 R τις αναμενόμενες βλάβες σε έναν αστικό ιστό.

Κλείνοντας πραγματοποιείται παραμετρική ανάλυση διαφοροποιώντας στοιχεία-παραμέτρους του σεισμικού σεναρίου. Συγκεκριμένα πραγματοποιούνται αλλαγές στο είδος ρήγματος, βάθος, μήκος και γωνία ρήγματος καθώς και στην επιλογή των σχέσεων εξασθένισης. Αποτυπώνονται σε γραφήματα και πίνακες οι μεταβολές του σεισμικού κινδύνου.

Λέξεις Κλειδιά:

Τρωτότητα, Σεισμική επικινδυνότητα, Σεισμική διακινδύνευση, Δομικές βλάβες

Summary

This diploma thesis aims to assess and determine the seismic risk of building structures at the level of the urban fabric and to investigate the influence of a series of parameters related to the phenomenon of the earthquake and the propagation of seismic waves involved in the computational process. In this context, a software application is performed to assess and determine the seismic risk of Serres' building stock using vulnerability curves and parametric analysis of the elements that affect it; corresponding seismic risk maps are also extracted.

In the first phase, the background of the process is described. The data used during the study are presented regarding the elements under risk (year of construction and characteristics of the buildings related to their seismic response), as well as the soil characteristics that determine the soil response and seismic movement on the surface of the area of interest.

In the next phase, the seismic risk assessment procedure is followed using the specialized Quake Go software, and a comparison of results with the corresponding assessment carried out by the Sei.V.A.S. project research team is performed. The comparison shows that there is a good convergence of results.

In the thesis' continuation, the influence of the earthquake's magnitude on the seismic risk results is checked. 3 different seismic scenarios were used in addition to the basic one of 6.6 R. (6.2R, 6.4R, and 6.8R). The graphs show how much a quantitative change of 0.2 R affects the expected damage to the urban fabric.

In closing, a parametric analysis is performed, differentiating elements- parameters of the seismic scenario. In particular, changes are made to the type of fault, depth, length, and angle of the fault, and the choice of attenuation relationships. The changes in seismic risk are plotted in graphs and tables.

Keywords:

Vulnerability, Seismic hazard, Seismic risk, Buildings structural damage

Πίνακας Περιεχομένων

| | |
|--|----|
| Πρόλογος..... | 5 |
| Περίληψη | 6 |
| Summary | 8 |
| Πίνακας Περιεχομένων | 9 |
| Κατάλογος Εικόνων..... | 12 |
| Κατάλογος Πινάκων | 18 |
| Κεφάλαιο 1 | |
| Εισαγωγή..... | 21 |
| Κεφάλαιο 2 | |
| Σεισμική Κίνηση | 24 |
| 2.1 Γέννηση Σεισμών..... | 24 |
| 2.2 Σχέσεις εξασθένισης – απόσβεσης | 28 |
| 2.3 Μέγεθος και Ένταση Σεισμού | 29 |
| 2.3.1 Μέγεθος Σεισμού | 29 |
| 2.3.2 Ένταση Σεισμού | 30 |
| 2.3.3 Συσχέτιση κλίμακας Richter με κλίμακα Mercalli | 31 |
| 2.4 Γεωδυναμική κατάσταση στον Ελλαδικό χώρο και στην Ανατολική Μεσόγειο | 31 |
| Κεφάλαιο 3 | |
| Σεισμοί και κατασκευές (Βασικές Έννοιες)..... | 37 |
| 3.1 Σεισμικότητα (Seismicity)..... | 37 |
| 3.2 Σεισμική επικινδυνότητα (seismic hazard)..... | 37 |
| 3.3 Τρωτότητα | 40 |
| 3.4 Σεισμική διακινδύνευση ή σεισμικός κίνδυνος | 40 |
| 3.5 Καμπύλες τρωτότητας – Στάθμες βλάβης..... | 41 |
| 3.6 Στάθμες επιτελεστικότητας – Καμπύλη ικανότητας - αντίστασης | 43 |
| Κεφάλαιο 4 | |
| Λογισμικά εκτίμησης σεισμικής διακινδύνευσης..... | 44 |
| 4.1 HAZUS..... | 44 |

| | | |
|------|-----------------|----|
| 4.2 | EQRM..... | 44 |
| 4.3 | LNECLOSS..... | 45 |
| 4.4 | QUAKELOSS | 45 |
| 4.5 | EPEDAT | 45 |
| 4.6 | NHEMATIS..... | 46 |
| 4.7 | SIGE..... | 46 |
| 4.8 | KOERILOSS | 46 |
| 4.9 | MAEVIZ..... | 46 |
| 4.10 | OPENQUAKE | 47 |
| 4.11 | ELER | 47 |

Κεφάλαιο 5

| | | |
|-------|---|----|
| | Εισαγωγή στο λογισμικό QuakeGo | 48 |
| 5.1 | Περίληψη Κεφαλαίου..... | 48 |
| 5.2 | Περιγραφή λογισμικού..... | 48 |
| 5.3 | Δομή Λογισμικού..... | 48 |
| 5.3.1 | Λειτουργικές Παράμετροι (Operational Parameters) | 49 |
| 5.3.2 | Παράμετροι Βάσης Δεδομένων (Database Parameters) | 51 |
| 5.3.3 | Επιλογές Ανάλυσης (Analyses Options) | 52 |
| 5.3.4 | Παράμετροι σεισμικών σταθμών (EQ Stations Parameters) | 53 |
| 5.3.5 | Προ-επεξεργασία (Pre Processing)..... | 53 |
| 5.3.6 | Σχέσεις Εξασθένισης (Attenuation Relationship)..... | 54 |
| 5.3.7 | Καμπύλες Τρωτότητας (Vulnerabilities)..... | 55 |
| 5.3.8 | Γεγονός/Σενάριο (Event/Scenario)..... | 58 |
| 5.3.9 | Αναφορά (Reporting)..... | 60 |

Κεφάλαιο 6

| | | |
|-----|---|----|
| | Γεωδυναμικά χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης | 63 |
| 6.1 | Γεωλογικά δεδομένα..... | 63 |
| 6.2 | Ενεργά ρήγματα | 70 |

Κεφάλαιο 7

| | | |
|-----|--------------------------------------|----|
| | Κτιριακό απόθεμα πόλης Σερρών..... | 74 |
| 7.1 | Καταγραφή κτιριακού αποθέματος | 74 |
| 7.2 | Ταξινόμηση Κτιρίων | 82 |

| | |
|---|----|
| 7.3 Κατανομή τυπολογιών ανά καμπύλη τρωτότητας..... | 86 |
|---|----|

Κεφάλαιο 8

| | |
|---|-----|
| Εφαρμογή λογισμικού εκτίμησης σεισμικής διακινδύνευσης στην πόλη των Σερρών | 90 |
| 8.1 Υπολογισμός ταχύτητας διατμητικών κυμάτων στην περιοχή μελέτης | 90 |
| 8.2 Εισαγωγή βάσης δεδομένων κτιρίων σε λογισμικό..... | 92 |
| 8.3 Εισαγωγή λειτουργικών παραμέτρων..... | 95 |
| 8.4 Δεδομένα ανάλυσης – Σχέσεις Εξασθένισης – Καμπύλες Τρωτότητας | 96 |
| 8.5 Εισαγωγή σεισμικού σεναρίου | 98 |
| 8.6 Αποτελέσματα Ανάλυσης..... | 99 |
| 8.6.1 Εδαφικές επιταχύνσεις στην περιοχή μελέτης | 99 |
| 8.6.2 Αποτελέσματα σεισμικής διακινδύνευσης στην περιοχή μελέτης..... | 102 |
| 8.7 Σύγκριση αποτελεσμάτων..... | 105 |
| 8.7.1 Εδαφικές επιταχύνσεις (PGA)..... | 105 |
| 8.7.2 Σεισμική διακινδύνευση..... | 106 |

Κεφάλαιο 9

| | |
|---|-----|
| Διερεύνηση εναλλακτικών σεισμικών σεναρίων..... | 113 |
| 9.1 Γενικά..... | 113 |
| 9.2 Σεισμικό σενάριο με μέγεθος σεισμού 6.2R..... | 113 |
| 9.3 Σεισμικό σενάριο με μέγεθος σεισμού 6.4R..... | 115 |
| 9.4 Σεισμικό σενάριο με μέγεθος σεισμού 6.8R..... | 117 |
| 9.5 Σύγκριση σεισμικής διακινδύνευσης εναλλακτικών σεναρίων | 119 |

Κεφάλαιο 10

| | |
|--|-----|
| Διερεύνηση επιρροής παραμέτρων σεισμικού ρήγματος..... | 122 |
| 10.1 Γενικά..... | 122 |
| 10.2 Είδος ρήγματος (Fault Type) | 122 |
| 10.3 Μήκος ρήγματος (Fault Length)..... | 125 |
| 10.4 Βάθος και γωνία ρήγματος (Rupture Depth & Average Dip)..... | 127 |
| 10.5 Σχέσεις εξασθένισης..... | 129 |

Κεφάλαιο 11

| | |
|-------------------|-----|
| Συμπεράσματα..... | 131 |
|-------------------|-----|

Βιβλιογραφία

Κατάλογος Εικόνων

| | |
|---|----|
| Εικόνα 1.1 Περιοχή Μελέτης (πηγή: https://google maps)..... | 21 |
| Εικόνα 2.1 Λιθοσφαιρικές Πλάκες (πηγή: https://geology.com/plate-tectonics.shtml#boundaries)..... | 24 |
| Εικόνα 2.2 Χάρτης παγκόσμιας τεκτονικής και ηφαιστειακής δραστηριότητας από τον Paul D. Lowman Jr., NASA Goddard Space Flight Center (πηγή: https://geology.com/plate-tectonics.shtml#boundaries) | 25 |
| Εικόνα 2.3 Παράμετροι σεισμικής διάρρηξης (πηγή: Πιτιλάκης 2010, επανασχεδιασμένο) | 26 |
| Εικόνα 2.4 Είδη σεισμικών κυμάτων (πηγή: http://geosakht.ir/wp-content/uploads/2018/08/?MA) | 27 |
| Εικόνα 2.5 Χρονική άφιξη σεισμικών κυμάτων στην περιοχή ενδιαφέροντος (πηγή: http://higherdbcs.wiley.com)..... | 27 |
| Εικόνα 2.6 Διάδοση σεισμικής κίνησης (πηγή: μεταπτυχιακές σημειώσεις, Κίρτας 2019) | 28 |
| Εικόνα 2.7 Τύποι ρηγμάτων (πηγή: https://www.geodifhs.com/gammaalphaiotaalpha/9) | 32 |
| Εικόνα 2.8 Βασικά στοιχεία ρήγματος (πηγή: QuakeGo_RedRisk Ver 4.1.1) | 33 |
| Εικόνα 2.9 Χάρτης γεωδυναμικής κατάστασης Ανατολικής Μεσογείου (κατά Παπαζάχος 2001). (πηγή: http://www.geo.auth.gr/courses/ggg/ggg871y/ch5.htm) | 33 |
| Εικόνα 2.10 Ελληνική περιφερειακή τάφρος (Hellenic trench) (πηγή: http://www.geo.auth.gr/871) | 34 |
| Εικόνα 2.11 Στερεογραφικό σκαρίφημα βύθισης της Αφρικανικής πλάκας κάτω από Ευρασιατικό περιθώριο στο χώρο του Νοτίου Αιγαίου (Κατά Angelier 1979). (πηγή: http://www.geo.auth.gr/courses/ggg/ggg871y/ch5.htm) | 35 |
| Εικόνα 2.12 Κύρια χαρακτηριστικά της ενεργού τεκτονικής του Ελληνικού τόξου και του ευρύτερου Αιγαίου χώρου (πηγή: http://www.geo.auth.gr/courses/ggg/ggg871y/ch5.htm) | 36 |
| Εικόνα 2.13 Χάρτης με τα μεγάλα ενεργά ρήγματα του Βόρειου Ελληνικού Χώρου (πηγή: http://www.geo.auth.gr/courses/ggg/ggg871y/ch5.htm) | 36 |
| Εικόνα 3.1 Χάρτης Σεισμικής Επικινδυνότητας της Ελλάδας σε επίπεδο δήμων (πηγή: https://gistraining.gr/2019/01/27/%CF%87%CE%B1%CF%81%CF%84%CE%B7%CF%83-%CF%83%CE%B5%CE%B9%CF%83%CE%BC%CE%B9%CE%BA%CE%B7%CF%83-%CE%B5%CF%80i%CE%BA%CE%B9%CE%BD%CE%B4%CF%85%CE%BD%CE%BF%CF%84%CE%B7%CF%84%CE%B1%CF%83-%CF%84%CE%B7%CF%83/) | 39 |
| Εικόνα 3.2 Παράγοντες διακινδύνευσης και δομή της διαχείρισης σεισμικού κινδύνου (Πιτιλάκης Κ. και συνεργάτες, 2018) | 41 |

| | |
|--|----|
| Εικόνα 3.3 Ενδεικτική σχηματική απεικόνιση καμπυλών τρωτότητας (Πιτιλάκης Κ. και συνεργάτες, 2020) | 42 |
| Εικόνα 3.4 Καμπύλες τρωτότητας για διάφορες στάθμης βλάβης. Σχηματική απεικόνιση καμπυλών τρωτότητας για τα διάφορα επίπεδα βλάβης (Πιτιλάκης Κ. και συνεργάτες, 2020) | 42 |
| Εικόνα 3.5 Καμπύλη αντίστασης και στάθμες επιτελεστικότητας κατασκευών (FEMA 273/356) | 43 |
| Εικόνα 5.1 Περιβάλλον λογισμικού QuakeGo (πηγή: QuakeGo_RedRisk Ver 4.1.1) | 48 |
| Εικόνα 5.2 Ενότητα Λειτουργικών παραμέτρων (πηγή: QuakeGo_RedRisk Ver 4.1.1) | 50 |
| Εικόνα 5.3 Ενότητα Εισαγωγής Βάσεων Δεδομένων (πηγή: QuakeGo_RedRisk Ver 4.1.1) | 51 |
| Εικόνα 5.4 Ενότητα Επιλογών Ανάλυσης (πηγή: QuakeGo_RedRisk Ver 4.1.1) | 52 |
| Εικόνα 5.5 Ενότητα προεπεξεργασίας (πηγή: QuakeGo_RedRisk Ver 4.1.1) | 53 |
| Εικόνα 5.6 Επιλογή σχέσεων εξασθένισης (πηγή: QuakeGo_RedRisk Ver 4.1.1) | 54 |
| Εικόνα 5.7 Διαγράμματα σχέσεων εξασθένισης (πηγή: QuakeGo_RedRisk Ver 4.1.1) | 55 |
| Εικόνα 5.8 Παράμετροι Καμπυλών Τρωτότητας (πηγή: QuakeGo_RedRisk Ver 4.1.1) | 55 |
| Εικόνα 5.9 Εισαγωγή δεδομένων (πηγή: QuakeGo_RedRisk Ver 4.1.1) | 56 |
| Εικόνα 5.10 Εισαγωγή παραμέτρων ενότητας καμπυλών τρωτότητας QuakeGo (πηγή: QuakeGo_RedRisk Ver 4.1.1) | 57 |
| Εικόνα 5.11 Διαγραμματική απεικόνιση καμπυλών τρωτότητας QuakeGo (πηγή: QuakeGo_RedRisk Ver 4.1.1) | 57 |
| Εικόνα 5.12 Σεισμικό γεγονός - Σενάριο (πηγή: QuakeGo_RedRisk Ver 4.1.1) | 58 |
| Εικόνα 5.13 Εισαγωγή παραμέτρων σεισμού QuakeGo (πηγή: QuakeGo_RedRisk Ver 4.1.1) | 59 |
| Εικόνα 5.14 Έναρξη ανάλυσης στο QuakeGo (πηγή: QuakeGo_RedRisk Ver 4.1.1) | 59 |
| Εικόνα 5.15 Αποτελέσματα ανάλυσης QuakeGo (πηγή: QuakeGo_RedRisk Ver 4.1.1) | 60 |
| Εικόνα 5.16 Αποτελέσματα ανάλυσης QuakeGo σε μορφή πίνακα (πηγή: QuakeGo_RedRisk Ver 4.1.1) | 61 |
| Εικόνα 5.17 Αποτελέσματα ανάλυσης QuakeGo σε μορφή χάρτη (πηγή: QuakeGo_RedRisk Ver 4.1.1) | 61 |
| Εικόνα 5.18 Επιλογές Αναφοράς (Reporting Options) QuakeGo (πηγή: QuakeGo_RedRisk Ver 4.1.1) | 62 |
| Εικόνα 6.1 Γεωλογικός χάρτης στην ευρύτερη περιοχή της πόλης των Σερρών (IGME) | 63 |
| Εικόνα 6.2 Γεωλογικοί σχηματισμοί στο χάρτη της πόλης των Σερρών. Διακρίνονται οι θέσεις των γεωφυσικών διασκοπήσεων τύπου arrays όπως και θέσεις υφιστάμενων στοιχείων από γεωτεχνικές μ.ελέτες (Χάρτης από την υπηρεσία Google maps https://www.google.com/maps , SeiVAS,2015) | 64 |

| | |
|--|----|
| Εικόνα 6.3 Απλοποιημένη εδαφική τομή με το προφίλ των διατμητικών ταχυτήτων στη θέση ΝΓ21 όπως προκύπτει από διάφορες σχέσεις υπολογισμού με το NSPT (Σημειώνεται πως λόγω της μη πλήρους αντιστοιχίας των εξεταζόμενων εδαφών με τις σχέσεις που προτείνονται, ενδέχεται να υπάρχει απόκλιση της τάξης του 30% από τις τιμές του διαγράμματος) (SeiVAS, 2015)..... | 66 |
| Εικόνα 6.4 Απλοποιημένη εδαφική τομή με το προφίλ των διατμητικών ταχυτήτων στη θέση ΝΓ22 όπως προκύπτει από διάφορες σχέσεις υπολογισμού με το NSPT (Σημειώνεται πως λόγω της μη πλήρους αντιστοιχίας των εξεταζόμενων εδαφών με τις σχέσεις που προτείνονται, ενδέχεται να υπάρχει απόκλιση της τάξης του 30% από τις τιμές του διαγράμματος) (SeiVas, 2015) | 68 |
| Εικόνα 6.5 Εξεταζόμενα προσομοιώματα διατμητικών ταχυτήτων στις 3 περιοχές (Array 1,2,3) του προγράμματος SeiVAS (SeiVas, 2015) | 69 |
| Εικόνα 6.6 Τα κύρια σεισμικά ρήγματα επιφανειακών σεισμών στον ευρύτερο Αιγαϊακό χώρο (Παπαζάχος και συν., 2001) | 70 |
| Εικόνα 6.7 Ρήγματα Ευρύτερης Περιοχής Σερρών(πηγή: http://gredass.unife.it/gredassGM) | 71 |
| Εικόνα 6.8 Ενεργά ρήματα Βορείου Ελλάδος (SeiVAS,2015) | 71 |
| Εικόνα 6.9 Ρήγμα Σερρών (πηγή: http://gredass.unife.it/gredassGM) | 72 |
| Εικόνα 7.1 Η περιοχή μελέτης της πόλης των Σερρών σε κάρναβο (πηγή: https://www.google.com/maps)..... | 74 |
| Εικόνα 7.2 Χάρτης της πόλης Σερρών με απεικόνιση των οικοδομικών πολυγώνων (Τμήμα Γεωπληροφορικής και Τοπογραφίας, Kariotis et al. 2003) | 75 |
| Εικόνα 7.3 Κατανομή κτιρίων ανάλογα με το υλικό κατασκευής (πηγή: Π.Ε.4 του ερευνητικού προγράμματος Sei.V.A.S)..... | 77 |
| Εικόνα 7.4 Κατανομή κτιρίων ανάλογα με τον Αντισεισμικό Κανονισμό (πηγή: Π.Ε.4 του ερευνητικού προγράμματος Sei.V.A.S)..... | 79 |
| Εικόνα 7.5 Κατανομή κτιρίων Φέρουσας Τοιχοποιίας ανάλογα με τον τρόπο κατασκευής (πηγή: Π.Ε.4 του ερευνητικού προγράμματος Sei.V.A.S)..... | 80 |
| Εικόνα 7.6 Κατανομή κτιρίων Ο/Σ ανάλογα με το φέροντα οργανισμού τους (πηγή: Π.Ε.4 του ερευνητικού προγράμματος Sei.V.A.S) | 81 |
| Εικόνα 7.7 Κατανομή κτιρίων Οπλισμένου Σκυροδέματος (Ο/Σ), ανάλογα με την ύπαρξη ή όχι κοντών υποστυλωμάτων (πηγή: Π.Ε.4 του ερευνητικού προγράμματος Sei.V.A.S)..... | 82 |
| Εικόνα 7.8 Καμπύλες τρωτότητας για τις βασικές τυπολογίες κτιρίων που εμφανίζονται στο κτιριακό απόθεμα των Σερρών (MSt12 & MBr12) (πηγή: Π.Ε.6 του ερευνητικού προγράμματος Sei.V.A.S) | 86 |
| Εικόνα 7.9 Καμπύλες τρωτότητας για τις βασικές τυπολογίες κτιρίων που εμφανίζονται στο κτιριακό απόθεμα των Σερρών (Mas3+ & RC3.1LH) (πηγή: Π.Ε.6 του ερευνητικού προγράμματος Sei.V.A.S)..... | 87 |

| | |
|---|-----|
| Εικόνα 7.10 Καμπύλες τρωτότητας για τις βασικές τυπολογίες κτιρίων που εμφανίζονται στο κτιριακό απόθεμα των Σερρών (RC3.1LL & RC3.1LM) (πηγή: Π.Ε.6 του ερευνητικού προγράμματος Sei.V.A.S)..... | 87 |
| Εικόνα 7.11 Καμπύλες τρωτότητας για τις βασικές τυπολογίες κτιρίων που εμφανίζονται στο κτιριακό απόθεμα των Σερρών (RC3.1ML & RC3.2MH) (πηγή: Π.Ε.6 του ερευνητικού προγράμματος Sei.V.A.S)..... | 87 |
| Εικόνα 7.12 Καμπύλες τρωτότητας για τις βασικές τυπολογίες κτιρίων που εμφανίζονται στο κτιριακό απόθεμα των Σερρών (RC4.2LH & RC4.2LL) (πηγή: Π.Ε.6 του ερευνητικού προγράμματος Sei.V.A.S)..... | 88 |
| Εικόνα 7.13 Καμπύλες τρωτότητας για τις βασικές τυπολογίες κτιρίων που εμφανίζονται στο κτιριακό απόθεμα των Σερρών (RC4.2LM & RC4.2MH) (πηγή: Π.Ε.6 του ερευνητικού προγράμματος Sei.V.A.S)..... | 88 |
| Εικόνα 7.14 Καμπύλες τρωτότητας για τις βασικές τυπολογίες κτιρίων που εμφανίζονται στο κτιριακό απόθεμα των Σερρών (RC4.2ML & RC4.2MM) (πηγή: Π.Ε.6 του ερευνητικού προγράμματος Sei.V.A.S)..... | 88 |
| Εικόνα 7.15 Καμπύλες τρωτότητας για τις βασικές τυπολογίες κτιρίων που εμφανίζονται στο κτιριακό απόθεμα των Σερρών (RC4.3MH & RC4.3MM) (πηγή: Π.Ε.6 του ερευνητικού προγράμματος Sei.V.A.S)..... | 89 |
| Εικόνα 8.1 Δημιουργία χάρτη Vs30 βάσει τιμών USGS για την ευρύτερη περιοχή της πόλης των Σερρών | 90 |
| Εικόνα 8.2 Χάρτης Vs30 βάσει τιμών USGS σε περιβάλλον QuakeGo | 91 |
| Εικόνα 8.3 Εμφάνιση του χάρτη των Vs30 με εισαγωγή του shapefile στο QGIS | 91 |
| Εικόνα 8.4 Τιμές Vs30 στην περιοχή μελέτης (ανά κελί κανάβου) στο QGIS | 92 |
| Εικόνα 8.5 Εισαγωγή πρότυπου αρχείου shp σε QGIS | 92 |
| Εικόνα 8.6 Τροποποίηση πεδίων σύμφωνα με πρότυπο αρχείο QuakeGo | 94 |
| Εικόνα 8.7 Εισαγωγή αρχείου shp στο QuakeGo..... | 95 |
| Εικόνα 8.8 Επιλογή λειτουργικών παραμέτρων | 96 |
| Εικόνα 8.9 Δεδομένα επιλογών ανάλυσης | 96 |
| Εικόνα 8.10 Εισαγωγή δεδομένων καμπυλών τρωτότητας στο πρόγραμμα QuakeGo. | 98 |
| Εικόνα 8.11 Εισαγωγή δεδομένων σεισμικού σεναρίου. | 98 |
| Εικόνα 8.12 Αποτελέσματα εδαφικής επιτάχυνσης (PGA) σε περιβάλλον Quake GO | 99 |
| Εικόνα 8.13 Αποτελέσματα εδαφικής επιτάχυνσης (PGA) σε περιβάλλον QGIS στην περιοχή μελέτης | 100 |
| Εικόνα 8.14 Αποτελέσματα σεισμικής διακινδύνευσης QuakeGo | 102 |

| | |
|---|-----|
| Εικόνα 8.15 Χάρτης σεισμικής διακινδύνευσης περιοχής μελέτης από QGIS (Σεισμικό σενάριο 6.6R) | 104 |
| Εικόνα 8.16 Χάρτης σεισμικής διακινδύνευσης περιοχής μελέτης από QGIS (Σεισμικό σενάριο 6.6R - μεγέθυνση προηγούμενου σχήματος) | 104 |
| Εικόνα 8.17 Χάρτης με τον αριθμό των κτιρίων στο τελευταίο επίπεδο βλάβης (CDAMAGE) ανά κελί κανάβου (Σεισμικό σενάριο 6.6R) | 105 |
| Εικόνα 8.18 Σύγκριση μεταξύ SeiV.A.S και παρούσας διπλωματικής ανά κελί κανάβου για το επίπεδο βλάβης NDAMAGE (Σεισμικό σενάριο 6.6R) | 110 |
| Εικόνα 8.19 Σύγκριση μεταξύ SeiV.A.S και παρούσας διπλωματικής ανά κελί κανάβου για το επίπεδο βλάβης SDAMAGE (Σεισμικό σενάριο 6.6R) | 110 |
| Εικόνα 8.20 Σύγκριση μεταξύ SeiV.A.S και παρούσας διπλωματικής ανά κελί κανάβου για το επίπεδο βλάβης MDAMAGE (Σεισμικό σενάριο 6.6R) | 111 |
| Εικόνα 8.21 Σύγκριση μεταξύ SeiV.A.S και παρούσας διπλωματικής ανά κελί κανάβου για το επίπεδο βλάβης EDAMAGE (Σεισμικό σενάριο 6.6R) | 111 |
| Εικόνα 8.22 Σύγκριση μεταξύ SeiV.A.S και παρούσας διπλωματικής ανά κελί κανάβου για το επίπεδο βλάβης CDAMAGE (Σεισμικό σενάριο 6.6R) | 112 |
| Εικόνα 9.1 Χάρτης σεισμικής διακινδύνευσης περιοχής μελέτης από QGIS (Σεισμικό σενάριο 6.2R) | 113 |
| Εικόνα 9.2 Χάρτης με τον αριθμό των κτιρίων στο τελευταίο επίπεδο βλάβης (CDAMAGE) ανα κελί κανάβου (Σεισμικό σενάριο 6.2R) | 115 |
| Εικόνα 9.3 Χάρτης σεισμικής διακινδύνευσης περιοχής μελέτης από QGIS (Σεισμικό σενάριο 6.4R) | 115 |
| Εικόνα 9.4 Χάρτης με τον αριθμό των κτιρίων στο τελευταίο επίπεδο βλάβης (CDAMAGE) ανα κελί κανάβου (Σεισμικό σενάριο 6.4R) | 117 |
| Εικόνα 9.5 Χάρτης σεισμικής διακινδύνευσης περιοχής μελέτης από QGIS (Σεισμικό σενάριο 6.8R) | 117 |
| Εικόνα 9.6 Χάρτης με τον αριθμό των κτιρίων στο τελευταίο επίπεδο βλάβης (CDAMAGE) ανα κελί κανάβου (Σεισμικό σενάριο 6.8R) | 119 |
| Εικόνα 9.7 Συγκριτικό ραβδογράφημα αποτελεσμάτων σεισμικής διακινδύνευσης εναλλακτικών σεναρίων (με βασικό σεισμό των 6.6R και με τα εναλλακτικά σεισμικά σενάρια παραμετρικής ανάλυσης των 6.2R, 6.4R, 6.8R) | 120 |
| Εικόνα 10.1 Επιλογή διαφορετικού τύπου ρήγματος στο πρόγραμμα (με βασικό σεισμό των 6.6R) | 123 |
| Εικόνα 10.2 Συγκριτικό ραβδογράφημα αποτελεσμάτων σεισμικής διακινδύνευσης με διαφορετικό τύπο ρήγματος (με βασικό σεισμό των 6.6R) | 124 |
| Εικόνα 10.3 Εμπερικός τύπος σχέσης εξασθένισης κατά Boore, et al, 1997 ($10 < R < 100 \text{ km}$, $5,5 < M_w < 7,5$) | 124 |
| Εικόνα 10.4 Επιλογή διαφορετικού μήκους ρήγματος διαφοροποιώντας τις συντεταγμένες του (με βασικό σεισμό των 6.6R) | 126 |

| | |
|--|-----|
| Εικόνα 10.5 Σημεία ρήγματος βασικού σεναρίου | 126 |
| Εικόνα 10.6 Αλλαγές παραμέτρου γωνίας ρήγματος στην καρτέλα event/scenario (πηγή: QuakeGo_RedRisk Ver 4.1.1)..... | 128 |
| Εικόνα 10.7 Αλλαγές παραμέτρου βάθους ρήγματος στην καρτέλα event/scenario (πηγή: QuakeGo_RedRisk Ver 4.1.1)..... | 128 |
| Εικόνα 10.8 Επιλογή σχέσεων εξασθένισης στην καρτέλα Attenuation Relationship (πηγή: QuakeGo_RedRisk Ver 4.1.1)..... | 129 |
| Εικόνα 10.9 Συγκριτικό ραβδογράφημα με χρήση εναλλακτικών σχέσεων εξασθένισης. | 130 |

Κατάλογος Πινάκων

| | |
|---|----|
| Πίνακας 2.1 Τροποποιημένη κλίμακα Mercalli (πηγή: https://el.wikipedia.org/wiki)..... | 31 |
| Πίνακας 6.1 Υπολογισμός Vs στη θέση ΝΓ21 μέσω αριθμού χτύπων SPT από διάφορες σχέσεις (SeiVas, 2015)..... | 65 |
| Πίνακας 6.2 Υπολογισμός Vs στη θέση ΝΓ22 μέσω αριθμού χτύπων SPT από διάφορες σχέσεις(SeiVas, 2015)..... | 67 |
| Πίνακας 6.3 Σεισμοτεκτονικές παράμετροι ρηγμάτων Βορείου Ελλάδος (πηγή: Caputo R., Chatzipetros A., Pavlides S. and Sboras S. (2012): The Greek Database of Seismogenic Sources (GreDaSS): state-of-the-art for northern Greece. <i>Ann. Geophys.</i> , 55(5), 859-894). | 72 |
| Πίνακας 7.1 Κατανομή του αριθμού των κτιρίων ανά κελί κανάβου (πηγή: Π.Ε.4 του ερευνητικού προγράμματος Sei.V.A.S)..... | 76 |
| Πίνακας 7.2 Κατανομή κτιρίων ανάλογα με το υλικό κατασκευής (πηγή: Π.Ε.4 του ερευνητικού προγράμματος Sei.V.A.S)..... | 77 |
| Πίνακας 7.3 Κατανομή του αριθμού των κτιρίων ανά πλήθος ορόφων (πηγή: Π.Ε.4 του ερευνητικού προγράμματος Sei.V.A.S)..... | 78 |
| Πίνακας 7.4 Κατανομή κτιρίων ανάλογα με τον Αντισεισμικό Κανονισμό (πηγή: Π.Ε.4 του ερευνητικού προγράμματος Sei.V.A.S)..... | 79 |
| Πίνακας 7.5 Κατανομή κτιρίων Φέρουσας Τοιχοποιίας ανάλογα με τον τρόπο κατασκευής (πηγή: Π.Ε.4 του ερευνητικού προγράμματος Sei.V.A.S)..... | 80 |
| Πίνακας 7.6 Κατανομή κτιρίων Ο/Σ ανάλογα με το φέροντα οργανισμού τους (πηγή: Π.Ε.4 του ερευνητικού προγράμματος Sei.V.A.S) | 81 |
| Πίνακας 7.7 Κατανομή κτιρίων Ο/Σ ανάλογα με την ύπαρξη ή όχι μαλακού ορόφου (πηγή: Π.Ε.4 του ερευνητικού προγράμματος Sei.V.A.S) | 81 |
| Πίνακας 7.8 Κατανομή κτιρίων Οπλισμένου Σκυροδέματος (Ο/Σ), ανάλογα με την ύπαρξη ή όχι κοντών υποστυλωμάτων (πηγή: Π.Ε.4 του ερευνητικού προγράμματος Sei.V.A.S)..... | 82 |
| Πίνακας 7.9 Τυπολογίες ΑΠΘ για τα κτίρια από Ο/Σ (πηγή: Π.Ε.5 του ερευνητικού προγράμματος Sei.V.A.S)..... | 83 |
| Πίνακας 7.10 Αντιστοίχιση τυπολογιών ΑΠΘ βάσει του αριθμού των κτιρίων στην πόλη (πηγή: Π.Ε.6 του ερευνητικού προγράμματος Sei.V.A.S)..... | 84 |
| Πίνακας 7.11 Αντιστοιχία τυπολογιών Sei.V.A.S και παρούσας διπλωματικής εργασίας..... | 86 |
| Πίνακας 8.1 Στάθμες βλαβών καμπυλών τρωτότητας (Κάππος & Παναγόπουλος 2010)..... | 97 |

| | | |
|--------------|--|-----|
| Πίνακας 8.2 | Εδαφικές επιταχύνσεις στην περιοχή μελέτης ανά κελί κανάβου | 101 |
| Πίνακας 8.3 | Αποτελέσματα σεισμικής διακινδύνευσης περιοχής μελέτης ανά κελί κανάβου (Σεισμικό σενάριο 6.6R)..... | 103 |
| Πίνακας 8.4 | Διαφορές εδαφικών επιταχύνσεων μεταξύ SeiV.A.S και παρούσας διπλωματικής (Σεισμικό σενάριο 6.6R)..... | 106 |
| Πίνακας 8.5 | Διαφορές σεισμικής διακινδύνευσης μεταξύ SeiV.A.S και παρούσας διπλωματικής (Σεισμικό σενάριο 6.6R). | 107 |
| Πίνακας 8.6 | Ποσοστά κτιρίων ανά κατηγορία βλάβης στο έργο Sei.V.A.S. και στην παρούσα διπλωματική εργασία (Σεισμικό σενάριο 6.6R) | 108 |
| Πίνακας 8.7 | Ποσοστιαία διαφορά σεισμικής διακινδύνευσης μεταξύ SeiV.A.S και παρούσας διπλωματικής για το επίπεδο βλάβης NDAMAGE (Σεισμικό σενάριο 6.6R) | 109 |
| Πίνακας 8.8 | Ποσοστιαία διαφορά σεισμικής διακινδύνευσης μεταξύ SeiV.A.S και παρούσας διπλωματικής για το επίπεδο βλάβης SDAMAGE (Σεισμικό σενάριο 6.6R)..... | 109 |
| Πίνακας 8.9 | Ποσοστιαία διαφορά σεισμικής διακινδύνευσης μεταξύ SeiV.A.S και παρούσας διπλωματικής για το επίπεδο βλάβης MDAMAGE (Σεισμικό σενάριο 6.6R) | 109 |
| Πίνακας 8.10 | Ποσοστιαία διαφορά σεισμικής διακινδύνευσης μεταξύ SeiV.A.S και παρούσας διπλωματικής για το επίπεδο βλάβης EDAMAGE (Σεισμικό σενάριο 6.6R)..... | 109 |
| Πίνακας 8.11 | Ποσοστιαία διαφορά σεισμικής διακινδύνευσης μεταξύ SeiV.A.S και παρούσας διπλωματικής για το επίπεδο βλάβης CDAMAGE (Σεισμικό σενάριο 6.6R) | 109 |
| Πίνακας 9.1 | Αποτελέσματα σεισμικής διακινδύνευσης περιοχής μελέτης ανά κελί κανάβου (Σεισμικό σενάριο 6.2R)..... | 114 |
| Πίνακας 9.2 | Αποτελέσματα σεισμικής διακινδύνευσης περιοχής μελέτης ανά κελί κανάβου (Σεισμικό σενάριο 6.4R)..... | 116 |
| Πίνακας 9.3 | Αποτελέσματα σεισμικής διακινδύνευσης περιοχής μελέτης ανά κελί κανάβου (Σεισμικό σενάριο 6.8R)..... | 118 |
| Πίνακας 9.4 | Συγκριτικός πίνακας σεισμικής διακινδύνευσης εναλλακτών σεναρίων (με βασικό σεισμό των 6.6R και με τα εναλλακτικά σεισμικά σενάρια παραμετρικής ανάλυσης των 6.2R, 6.4R, 6.8R)..... | 119 |
| Πίνακας 9.5 | Ποσοστιαίος (% επί του συνόλου των κτιρίων) συγκριτικός πίνακας σεισμικής διακινδύνευσης εναλλακτικών σεναρίων (με βασικό σεισμό των 6.6R και με τα εναλλακτικά σεισμικά σενάρια παραμετρικής ανάλυσης των 6.2R, 6.4R, 6.8R) | 120 |
| Πίνακας 10.1 | Συγκριτικός πίνακας σεισμικής διακινδύνευσης με διαφορετικό τύπο ρήγματος (με βασικό σεισμό των 6.6R)..... | 123 |
| Πίνακας 10.2 | Συντελεστές τύπου σχέσης εξασθένισης κατά Boore, et al, 1997 ($10 < R < 100 \text{ km}$, $5,5 < M_w < 7,5$)..... | 125 |

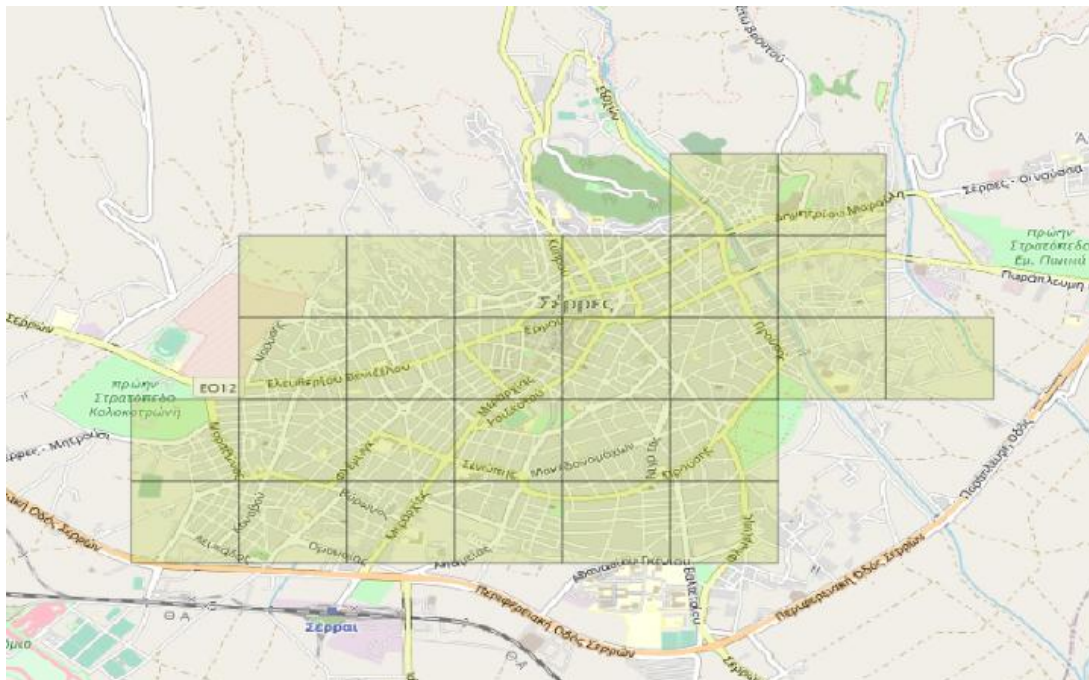
| | |
|---|-----|
| Πίνακας 10.3 Συντεταγμένες 5 διαφορετικών μηκών ρήγματος (με βασικό σεισμό των 6.6R)..... | 127 |
| Πίνακας 10.4 Συγκριτικός πίνακας σεισμικής διακινδύνευσης με εναλλακτικές σχέσεις εξασθένισης (με βασικό σεισμό των 6.6R) | 130 |

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η εκτίμηση και ο προσδιορισμός της σεισμικής διακινδύνευσης κτιριακών κατασκευών στον ελλαδικό χώρο και η διερεύνηση της επιρροής μιας σειράς από σεισμικές παραμέτρους που υπεισέρχονται στην υπολογιστική διαδικασία. Τα παραπάνω επιτυγχάνονται με την εφαρμογή του λογιστικού QuakeGo_RedRisk V4. Το λογισμικό αυτό έχει αναπτυχθεί από τον καθηγητή Dr. Yasin Fahjan.

Περιοχή μελέτης για την εργασία αποτελεί το κτιριακό απόθεμα της πόλης των Σερρών όπως αποτυπώνεται στην Εικόνα 1.1 Τα δεδομένα του κτιριακού αποθέματος αντλήθηκαν από την έκθεση του έργου “Εκτίμηση της Σεισμικής Τρωτότητας του Κτιριακού Αποθέματος της Πόλης των Σερρών – SEIVAS” που εκπονήθηκε στο πλαίσιο του ερευνητικού προγράμματος «Αρχιμήδης ΙΙΙ – Ενίσχυση Ερευνητικών Ομάδων στο ΤΕΙ Σερρών» από το Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών και Μηχανικών Τοπογραφίας και Γεωπληροφορικής ΤΕ του ΤΕΙ Κεντρικής Μακεδονίας στις Σέρρες.



Εικόνα 1.1 Περιοχή Μελέτης (πηγή: <https://google maps>)

Στόχος της εν λόγω ανάλυσης της σεισμικής διακινδύνευσης είναι η ορθότερη εκτίμηση των απωλειών τόσο για οικονομικούς όσο και για κοινωνικούς παράγοντες, για δεδομένο σεισμικό σενάριο.

Η διάρθρωση και η πορεία της διπλωματικής εργασίας περιγράφονται παρακάτω.

Στο παρόν 1^ο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στον σκοπό της εργασίας, στα αποτελέσματα που προκύπτουν καθώς και στην πορεία και την διάρθρωση της μέσω της συνοπτικής περιγραφής των κεφαλαίων που την απαρτίζουν.

Στο 2^ο κεφάλαιο αναλύεται η σεισμική κίνηση με αναφορές στην γέννηση των σεισμών, στα σεισμικά κύματα, στο μέγεθος και στην ένταση του σεισμού. Επιπλέον γίνεται μια συνοπτική αναφορά στην γεωδυναμική κατάσταση στον ελλαδικό χώρο και στην Ανατολική Μεσόγειο.

Στο 3^ο κεφάλαιο αναλύονται βασικές έννοιες, όπως της τρωτότητας, της σεισμικής διακινδύνευσης και επικινδυνότητας, έννοιες απαραίτητες για την κατανόηση της ανάλυσης που θα ακολουθήσει. Επίσης, περιγράφεται η μεθοδολογία υπολογισμού των καμπυλών τρωτότητας καθώς και οι στάθμες βλάβης των κατασκευών.

Στο 4^ο κεφάλαιο γίνεται συνοπτική περιγραφή ενδεικτικών προγραμμάτων εκτίμησης σεισμικής διακινδύνευσης που χρησιμοποιούνται από διάφορες ερευνητικές ομάδες.

Στο 5^ο κεφάλαιο γίνεται αναλυτική περιγραφή του προγράμματος που χρησιμοποιείται στην παρούσα διπλωματική εργασία με αναφορά στις κυριότερες λειτουργίες του.

Στο 6^ο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα γεωδυναμικά χαρακτηριστικά της πόλης των Σερρών. Εδαφικά χαρακτηριστικά, ενεργά ρήγματα, ταχύτητα διατμητικών κυμάτων στο υπέδαφος είναι κάποιες από τις βασικές παραμέτρους που σχετίζονται με την σεισμική επικινδυνότητα και την αναμενόμενη σεισμική κίνηση στην επιφάνεια του εδάφους.

Στο 7^ο κεφάλαιο αναλύονται τα στοιχεία υπό διακινδύνευση. Η παρούσα εργασία εστιάζει αποκλειστικά στο κτιριακό απόθεμα της πόλης των Σερρών. Γίνεται διαχωρισμός των κτιρίων ανά κατηγορία ώστε να αντιστοιχηθούν σε καμπύλες τρωτότητας καθώς και να είναι συμβατές και με το λογισμικό που χρησιμοποιείται.

Στο 8^ο κεφάλαιο πραγματοποιείται εφαρμογή της διαδικασίας εκτίμησης σεισμικής διακινδύνευσης του κτιριακού αποθέματος των Σερρών με χρήση του λογισμικού QuakeGo_RedRisk V4 για σεισμικό σενάριο 6.6R και στην συνέχεια πραγματοποιείται σύγκριση με τα αντίστοιχα αποτελέσματα που προκύψαν από την ερευνητική ομάδα του προγράμματος SeiVAS.

Στο 9^ο κεφάλαιο εφαρμόζονται 3 διαφορετικά σεισμικά σενάρια διαφοροποιώντας το μέγεθος του σεισμού και συγκρίνονται τα εξαγόμενα αποτελέσματα σεισμικής διακινδύνευσης.

Στο 10^ο κεφάλαιο πραγματοποιείται παραμετρική ανάλυση διαφοροποιώντας στοιχεία – παραμέτρους του σεισμικού σεναρίου, όπως το είδος του ρήγματος, το βάθος, τη γωνία και

το μήκος του ρήγματος καθώς και των σχέσεων εξασθένησης της σεισμικής κίνησης που λαμβάνονται υπόψη κατά την εκτέλεση της ανάλυσης του προγράμματος.

Στο 11^ο κεφάλαιο συγκεντρώνονται τα συμπεράσματα της μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας.

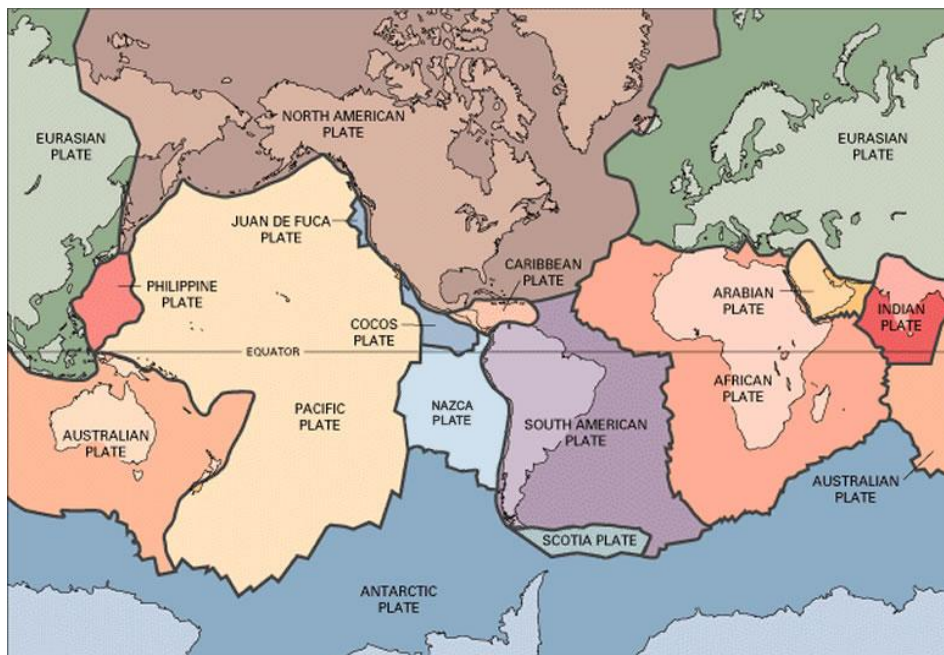
Κεφάλαιο 2

Σεισμική Κίνηση

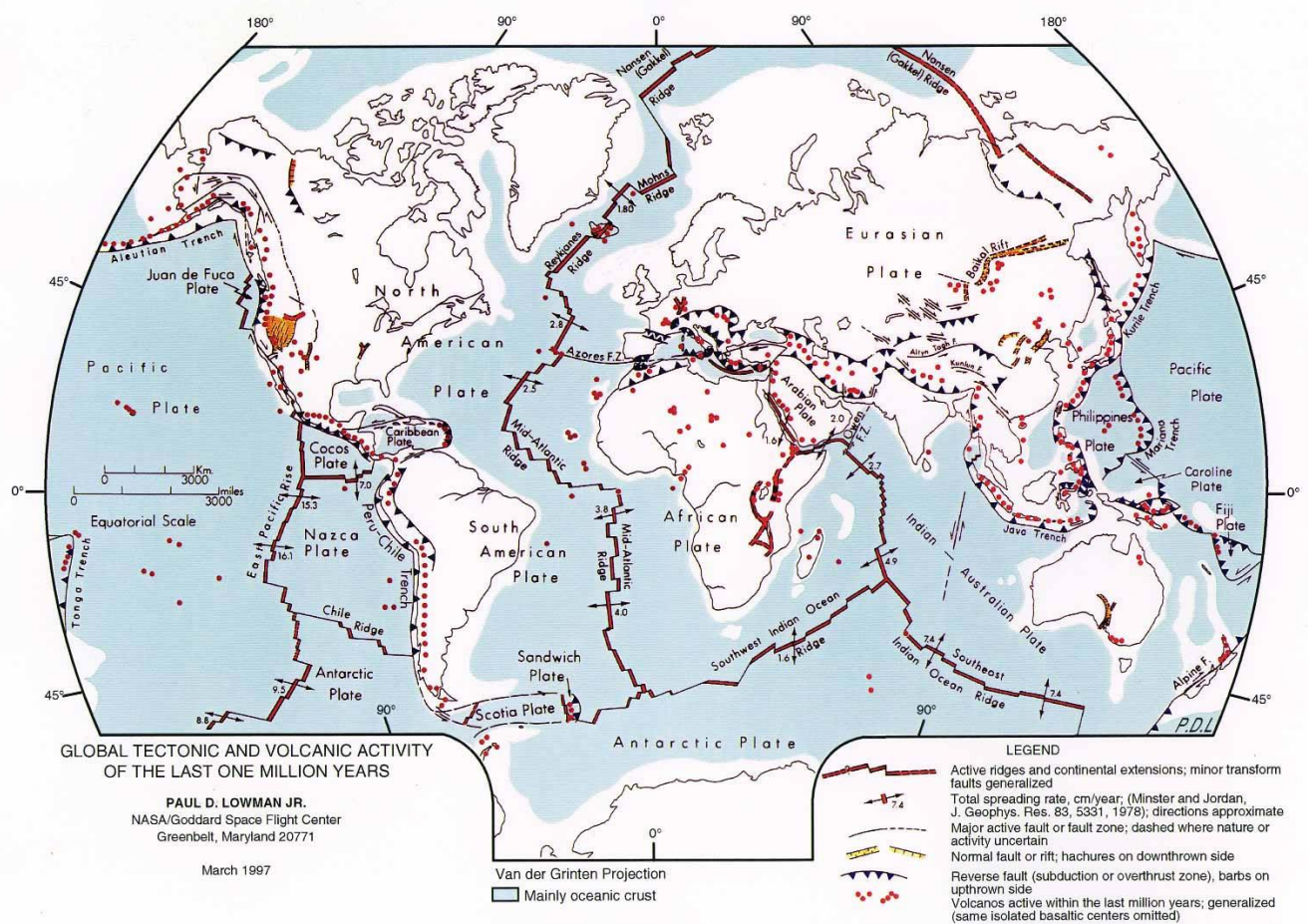
2.1 Γέννηση Σεισμών

Προκειμένου να γίνει ορθή κατανόηση της μελέτης και των επιπτώσεων των σεισμών σε μια περιοχή, βασική προϋπόθεση είναι να αναφερθεί πρώτα η διαδικασία γέννησης των σεισμών καθώς και η πορεία μεταφοράς της εδαφικής σεισμικής κίνησης (σεισμικών κυμάτων) από το σημείο του ρήγματος έως και το σημείο ενδιαφέροντος.

Συγκεκριμένα, οι σεισμοί αποτελούν ένα φυσικό φαινόμενο το οποίο αποδίδεται κυρίως στις σχετικές κινήσεις και συγκρούσεις των λιθοσφαιρικών πλακών (τεκτονικών). Αναλόγως των κινήσεων αυτών οι λιθοσφαιρικές πλάκες μπορεί να συγκλίνουν, να αποκλίνουν ή να βυθίζεται πλάγια η μία κάτω από την άλλη. Οι σεισμοί που προκαλούνται από το ανωτέρω αίτιο ονομάζονται τεκτονικοί και αποτελούν σχεδόν το σύνολο των σεισμών. Στην Εικόνα 2.1 αποτυπώνονται οι θέσεις των τεκτονικών πλακών ενώ στην Εικόνα 2.2 οι σχετικές κινήσεις τους καθώς και λεπτομέρειες σχετικά με την τεκτονική και ηφαιστειακή δραστηριότητα.



Εικόνα 2.1 Λιθοσφαιρικές Πλάκες (πηγή: <https://geology.com/plate-tectonics.shtml#boundaries>)



F221.001 OD7

Εικόνα 2.2 Χάρτης παγκόσμιας τεκτονικής και ηφαιστειακής δραστηριότητας από τον Paul D. Lowman Jr., NASA Goddard Space Flight Center (πηγή: <https://geology.com/plate-tectonics.shtml#boundaries>)

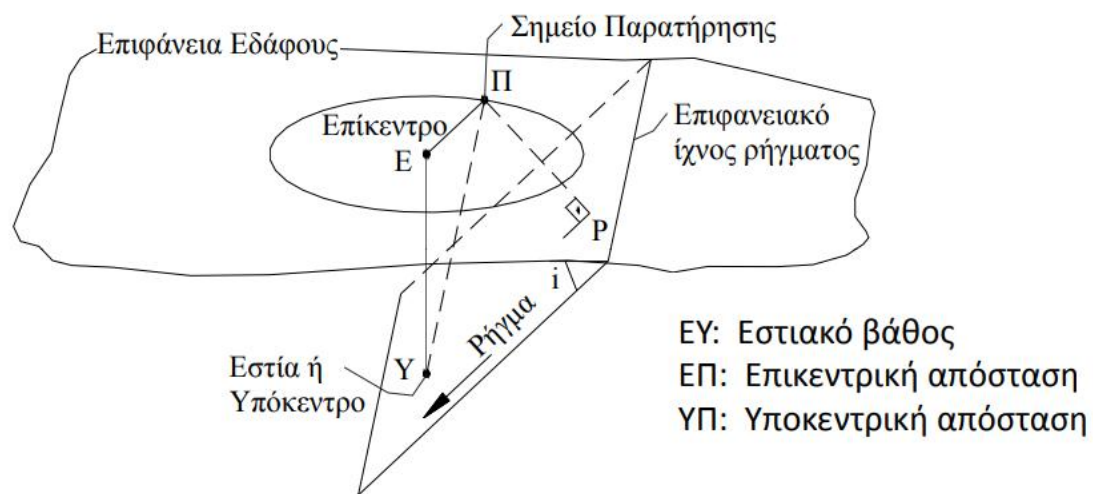
Άλλα είδη σεισμών από διαφορετικά αίτια, με μικρότερη συχνότητα σε σχέση με τους τεκτονικούς, είναι οι ηφαιστιογενείς, οι σεισμοί εγκατακρημνίσεως καθώς και οι σεισμοί που προέρχονται από ανθρωπογενείς δραστηριότητες.

Ο σεισμός είναι ένα φυσικό φαινόμενο, το οποίο προκαλείται από ξαφνική απελευθέρωση μηχανικής ενέργειας από το εσωτερικό της γης με συνέπεια τη δημιουργία σεισμικών κυμάτων. Τα κύματα αυτά μεταφέρουν την ενέργεια του σεισμού και προκαλούν ταλαντώσεις και αναταράξεις του εδάφους.

Οι προηγούμενες κινήσεις των πλακών συνεπάγονται την προοδευτική αύξηση των τάσεων και των παραμορφώσεων στις περιοχές επαφής τους και την αποθήκευση μεγάλων ποσοτήτων ενέργειας παραμορφώσεως. Έτσι όταν οι αναπτυσσόμενες τάσεις υπερβούν την αντοχή των πετρωμάτων επέρχεται απότομη θραύση και δημιουργία του πρώτου σεισμικού

ρήγματος. Η ενέργεια που απελευθερώνεται θέτει σε παλμική κίνηση τα εκατέρωθεν του ρήγματος πετρώματα, που διαδίδεται στη συνέχεια στο χώρο με τη μορφή σεισμικών κυμάτων. (Αναστασιάδης, 1989).

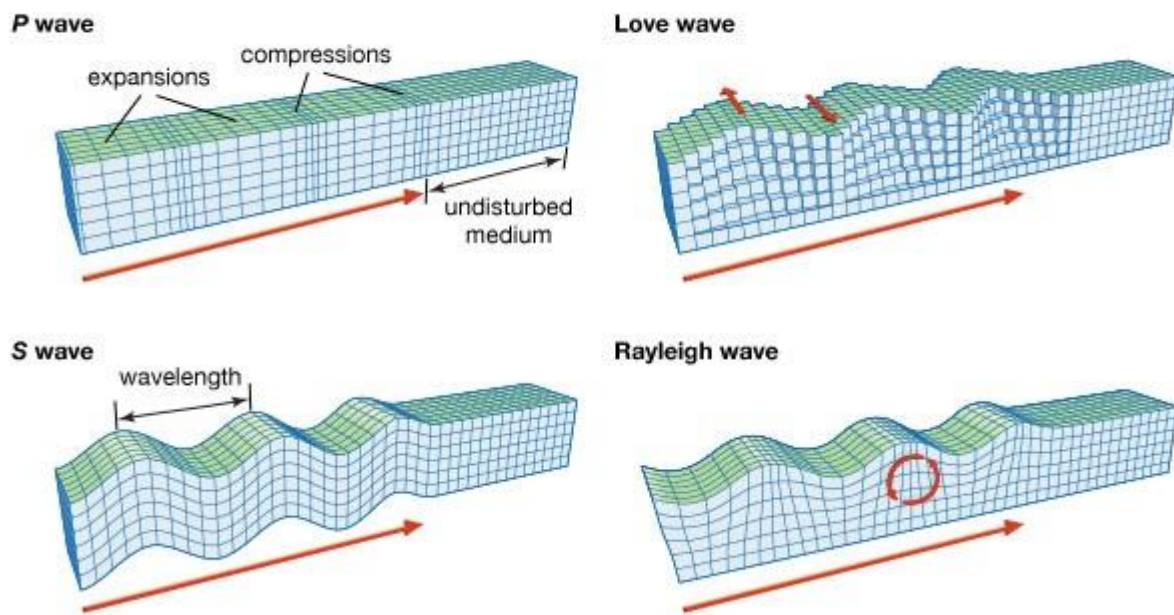
Στο παρακάτω σχήμα επισημαίνονται οι βασικές παράμετροι μιας σεισμικής διάρρηξης. Συγκεκριμένα, η εστία ή υπόκεντρο του σεισμού (το σημείο διάρρηξης), όπως και η επικεντρική και υποκεντρική απόσταση από τη θέση ενδιαφέροντος (π.χ. την περιοχή μελέτης).



Εικόνα 2.3 Παράμετροι σεισμικής διάρρηξης (πηγή: Πιτιλάκης 2010, επανασχεδιασμένο)

Τα σεισμικά κύματα που διαδίδονται από την εστία του σεισμού, όπως φαίνονται και στην Εικόνα 2.3, διαχωρίζονται στις κάτωθι κατηγορίες:

- Κύματα χώρου (διαδίδονται προς όλες τις κατευθύνσεις στο εσωτερικό της Γης)
 - Διαμήκη κύματα P
 - Εγκάρσια κύματα S
- Επιφανειακά κύματα (διαδίδονται κατά μήκος των επιφανειακών στρωμάτων της Γης).
 - Κύματα Love
 - Κύματα Rayleigh



Εικόνα 2.4 Είδη σεισμικών κυμάτων (πηγή: <http://geosakht.ir/wp-content/uploads/2018/08/?MA>)

Η εμφάνιση των διαφόρων τύπων σεισμικών κυμάτων δεν είναι ταυτόχρονη στην επιφάνεια του εδάφους καθώς αυτά διαδίδονται με διαφορετικές ταχύτητες μέσα στο έδαφος. Η πρώτη άφιξη αφορά τα κύματα P κυμάτων (primary - πρωτεύοντα) που ταξιδεύουν γρηγορότερα εντός του εδάφους και χαρακτηρίζονται από μεγαλύτερη συχνότητα. Στην συνέχεια ακολουθούν τα κύματα S (secondary - δευτερεύοντα) μικρότερης συχνότητας και τελευταία εμφανίζονται τα επιφανειακά κύματα Love και Rayleigh.



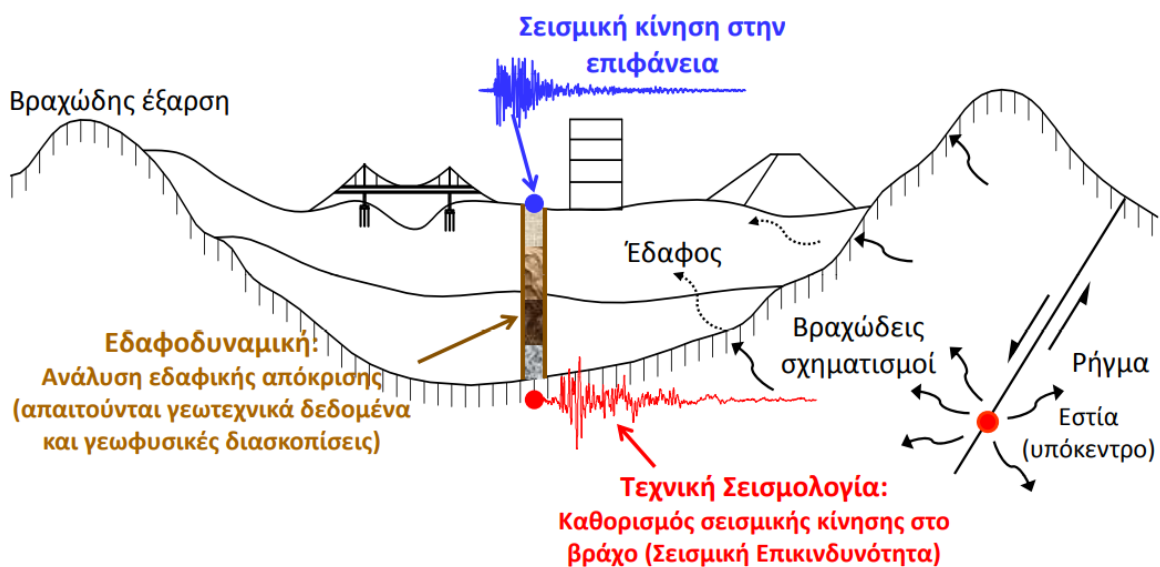
Εικόνα 2.5 Χρονική άφιξη σεισμικών κυμάτων στην περιοχή ενδιαφέροντος (πηγή: <http://higheredbcs.wiley.com>)

Για την καταγραφή των ανωτέρω σεισμικών κινήσεων στην επιφάνεια του εδάφους χρησιμοποιούνται 2 βασικές κατηγορίες οργάνων:

- Τα σεισμόμετρα τα οποία καταγράφουν τη μετακίνηση του εδάφους ως συνάρτηση του χρόνου.
- Τα επιταχυνσιόμετρα τα οποία καταγράφουν την επιτάχυνση του εδάφους (οριζόντια και κατακόρυφα) ως συνάρτηση του χρόνου.

2.2 Σχέσεις εξασθένησης – απόσβεσης

Η σεισμική κίνηση μεταφέρεται από το σημείο διάρρηξης μέχρι την επιφάνεια του σημείου ενδιαφέροντος μέσω των βραχωδών και εδαφικών σχηματισμών. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα οι ιδιότητες των ανωτέρω σχηματισμών να επηρεάζουν σημαντικά την μορφή της σεισμικής κίνησης που τελικώς καταφθάνει στην επιφάνεια.



Εικόνα 2.6 Διάδοση σεισμικής κίνησης (πηγή: μεταπτυχιακές σημειώσεις, Κίρτας 2019)

Η εδαφική κίνηση επηρεάζεται από τους παράγοντες που αναφέρονται παρακάτω και σχηματικά αποτυπώνεται στην ακόλουθη σχέση.

Εδαφική κίνηση = (Επιρροή πηγής) x (Επιρροή διαδρομής) x (Τοπικές εδαφικές συνθήκες)

- Πηγή: Το είδος του ρήγματος (κανονικό, ανάστροφο, οριζόντιας μετάθεσης), το μέγεθος, το μήκος, την γωνία και το βάθος του ρήγματος κτλ.
- Διαδρομή: Την απόσταση αλλά και το είδος των πετρωμάτων που μεσολαβούν μεταξύ του σημείου διάρρηξης και της θέσης ενδιαφέροντος

- Τοπικές εδαφικές συνθήκες: Τα χαρακτηριστικά της εδαφικής απόθεσης αλλά και η τοπική γεωμορφολογία στη θέση ενδιαφέροντος.

Λαμβάνοντας υπόψη τις ανωτέρω παραμέτρους επιρροής έχουν διαμορφωθεί, κατά καιρούς από μεγάλο αριθμό μελετητικών ομάδων, εμπειρικές σχέσεις για την εκτίμηση βασικών χαρακτηριστικών της σεισμικής κίνησης και κυρίως για το μέγιστο πλάτος της επιτάχυνσης, ταχύτητας και μετακίνησης όπως και για τα αντίστοιχα φάσματα απόκρισης.

Οι σχέσεις αυτές είναι γνωστές ως «σχέσεις εξασθένισης», λόγω της συνήθους μείωσης χαρακτηριστικών της κίνησης με την αύξηση της επικεντρικής απόστασης. Επικρατέστερος και σωστότερος όρος τις αναφέρει ως «σχέσεις εκτίμησης της εδαφικής κίνησης» (GMPE – Ground Motion Prediction Equations Equations). Είναι σημαντικό αυτές οι σχέσεις να χρησιμοποιούνται με ιδιαίτερη προσοχή καθότι οι εκτιμήσεις που πραγματοποιούνται με την χρήση τους έχουν σημαντικό βαθμό αβεβαιότητας. (Μεταπτυχιακές σημειώσεις, Κίρτας 2019)

2.3 Μέγεθος και Ένταση Σεισμού

2.3.1 Μέγεθος Σεισμού

Το μέγεθος του σεισμού αποτελεί μια μέθοδο που χρησιμοποιείται ευρέως για τη μέτρηση της ενέργειας ενός σεισμού και βασίζεται σε μετρήσεις των πλατών των σεισμικών κυμάτων που καταγράφονται από τα σεισμόμετρα. Για την ποσοτική σύγκριση των σεισμών χρησιμοποιούνται διαφορετικές κλίμακες μεγεθών με την πιο γνωστή και ευρέως διαδεδομένη, την κλίμακα Richter. Ο Richter όρισε αρχικά το 1935 το τοπικό μέγεθος ML που δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$ML = \log A - \log A'$$

όπου A' : μέγιστο πλάτος του πρότυπου σεισμού ή μηδενικού σεισμού

A : μέγιστο πλάτος του θεωρούμενου σεισμού

Η ενέργεια που εκλύεται κατά την διάρκεια του σεισμού δίνεται συναρτήσεως του μεγέθους ML από τον παρακάτω τύπο:

$$\log E = 12.24 + 1.44M$$

Πέραν του ανωτέρω τρόπου προσδιορισμού έχουν αναπτυχθεί και άλλες μεθοδολογίες. Συγκεκριμένα:

- Το τοπικό μέγεθος ML που αναφέρθηκε παραπάνω το οποίο είναι κατάλληλο μόνο για κοντινούς σεισμούς
- Επιφανειακό μέγεθος M_s (Gutenberg 1945) για τον υπολογισμό μεγέθους σεισμού με διάφορα εστιακά βάθη και σε μεγάλες αποστάσεις
- Χωρικό μέγεθος m_b για τον υπολογισμό μεγέθους σεισμού σε εστιακά βάθη $>60\text{km}$.

- Μέγεθος σεισμικής ροπής υπολογίζεται από τη σεισμική ροπή M_0 και δεν επηρεάζεται από τη μεταβολή του πλάτους σε διάφορες περιόδους. Είναι η πιο αξιόπιστη μέθοδος καθώς δεν εμφανίζει κορεσμό σε μεγάλους σεισμούς.

2.3.2 Ένταση Σεισμού

Η Ένταση του σεισμού (ή μακροσεισμική ένταση) μας δείχνει τις επιπτώσεις ενός σεισμού σε διαφορετικές θέσεις. Προκύπτει από την αξιολόγηση (υποκειμενική ή με αυτόματο υπολογιστικό τρόπο) των παρατηρήσεων των επιπτώσεων του κάθε σεισμού, π.χ. πώς αισθάνθηκε ο καθένας το σεισμό, αν δημιουργήθηκε πανικός, αν έγιναν ή όχι ζημιές σε κτήρια, αν έγιναν κατολισθήσεις, κλπ. Ένας σημαντικός σεισμός μακριά από οικισμούς μπορεί να έχει πολλές μικρές μακροσεισμικές εντάσεις ή ακόμα και να μη γίνει αισθητός, ενώ ο ίδιος σημαντικός σεισμός με επίκεντρο κοντά σε οικισμούς μπορεί να έχει σημαντικές επιπτώσεις σε ανθρώπινες ζωές και κτήρια. Επομένως, σε αυτήν την περίπτωση οι μακροσεισμικές εντάσεις είναι μεγάλες στους οικισμούς κοντά στο επίκεντρο και μειώνονται όσο απομακρυνόμαστε από το επίκεντρο. Η μακροσεισμική ένταση σήμερα εκτιμάται συνήθως στη 12βάθμια Ευρωπαϊκή Μακροσεισμική Κλίμακα EMS98.

Η ένταση ενός σεισμού μας δείχνει τα μακροσεισμικά αποτελέσματα μιας σεισμικής δόνησης. Όταν γίνεται αναφορά σε μακροσκοπικά αποτελέσματα εννοούνται οι επιπτώσεις που έχει ο εκάστοτε σεισμός στον άνθρωπο, στο περιβάλλον και στις κατασκευές. Οι επιπτώσεις που μπορεί να προκαλέσει ένα σεισμικό γεγονός είναι πολλές και διαφορετικές μεταξύ τους και δεν είναι δυνατόν να καθοριστούν με ένα φυσικό μέγεθος καθώς επηρεάζονται από πλήθος παραγόντων (επιτάχυνση, ταχύτητα σεισμικών κυμάτων, ιδιοπερίοδος, πλαστιμότητα κατασκευών, παράγοντες απόσβεσης σεισμικής κίνησης). Γι αυτό το λόγο, γίνεται συνήθως ποιοτική εκτίμηση των βλαβών αυτών με βάσει εμπειρικές κλίμακες μακροσεισμικών εντάσεων (Παπαζάχος και Παπαζάχου 1999, όπως μεταφέρεται από την Σινοπούλου 2018).

Η κλίμακα που χρησιμοποιούμε στην Ελλάδα είναι η αναθεωρημένη κλίμακα Mercalli, η οποία πήρε το όνομα της από τον Ιταλό ηφαιστειολόγο Τζουζέπε Μερκάλι (Giuseppe Mercalli). Η κλίμακα Mercalli ασχολείται με τις επιπτώσεις που έχει έναν σεισμός σε ένα δομημένο περιβάλλον σε αντίθεση με το μέγεθος που μετρά την ενέργεια που απελευθερώνεται. Συνέπεια του ανωτέρω είναι ότι η κλίμακα Mercalli είναι πιο αξιόπιστη σε πυκνοκατοικημένες περιοχές. Η κλίμακα Mercalli ταξινομεί τους σεισμούς σε 12 επίπεδα από το I έως και το XII, ανάλογα με την ένταση και τις ζημιές που επιφέρουν. Όταν ένας σεισμός δεν επιφέρει ζημιές κατατάσσεται αναλόγως με το πόσο αισθητός γίνεται από τους ανθρώπους. Η κατηγοροποίηση των σεισμών με την εν λόγω κλίμακα φαίνεται στον Πίνακα 2.1.

| | |
|---|--|
| I. Μη αισθητός | Δεν γίνεται αισθητός. Καταγράφεται μόνο από σεισμογράφους. |
| II. Ελάχιστα αισθητός | Αισθητός από μερικούς ανθρώπους που βρίσκονται σε ανάπαυση στους υψηλότερους ορόφους κτιρίων. |
| III. Ασθενής | Αισθητός μέσα στα σπίτια, ως δονήσεις σαν να περνάει ελαφρύ φορτηγό. Μπορεί να μην αναγνωριστεί ως σεισμός. |
| IV. Μέτριος | Αισθητός μέσα στα σπίτια, ως δονήσεις σαν να περνάει βαρύ φορτηγό δίπλα στο σπίτι. Λιγότερο αισθητός στην ύπαιθρο. Τίθενται σε κίνηση κρεμασμένα αντικείμενα. Τζάμια τρίζουν. Κρότοι πιάτων και παραθύρων, χτύπος στις πόρτες. Σταματημένα αυτοκίνητα κλυδωνίζονται. Την νύχτα μερικοί ξυπνούν. |
| V. Σχετικά Ισχυρός | Αισθητός από όλους μέσα στα σπίτια, ως δονήσεις σαν να περνάει τρένο δίπλα στο σπίτι. Ενδεχομένως μη αισθητός στην ύπαιθρο υπό ορισμένες συνθήκες. Αίωρηση κρεμασμένων αντικειμένων. Ανατροπή μερικών μικρών αντικειμένων και σπάσιμο πιάτων. Ανοιχτές πόρτες ταλαντεύονται. Υγρά από δοχεία χύνονται. Την νύχτα όλοι ξυπνούν. |
| VI. Ισχυρός | Αισθητός από όλους. Πολλοί τρομοκρατούνται και τρέχουν έξω από τα κτίρια. Οι άνθρωποι περπατούν με αστάθεια. Μετακίνηση ή ανατροπή πολυάριθμων μεγάλων αντικειμένων και επίπλων. Τζάμια σπάζουν. Βλάβες σε σοβάδες, κεραμίδια, καπνοδόχους. Μικρές καμπάνες ηχούν. Ζημιές λίγες και ελαφρές. |
| VII. Πολύ Ισχυρός | Δύσκολη η όρθια στάση. Πτώση πολυάριθμων κεραμιδιών, καπνοδόχων. Μικρές ζημιές σε ισχυρές κατασκευές. Σοβάδες και τοιχοποιία ρηγματώνονται στις συνθησμένες κατασκευές. Στις κακές κατασκευές πέφτουν σοβάδες, αποκολλώνται τούβλα και πέτρες. Γίνεται αισθητός από οδηγούς αυτοκινήτων. Μεγάλες καμπάνες ηχούν. Κυματισμός στις λίμνες. Θόλωμα νερού από λάσπη. |
| VIII. Καταστροφικός | Επηρεάζεται η οδήγηση των αυτοκινήτων. Αρκετές ζημιές και μερική κατάρρευση στις συνθησμένες κατασκευές. Μέτριες ζημιές στην τοιχοποιία των καλών κατασκευών και μεγάλες στις κακές κατασκευές. Κλαδιά σπάνε από τα δένδρα. Αλλαγές στη ροή και στη θερμοκρασία του νερού σε πηγές και σε πηγάδια. |
| IX. Πολύ Καταστροφικός | Γενικός πανικός. Σοβαρές βλάβες στην τοιχοποιία των καλών κατασκευών. Γενική καταστροφή στις κακές κατασκευές. Μικρού μεγέθους κτίρια αποσπώνται από τα θεμέλια. Υπόγειοι αγωγοί σπάζουν. Εμφανίζονται ρωγμές στο έδαφος. Σε περιοχές με υπόγεια ύδατα, αναβλύζει από το έδαφος λεπτή άμμος, ιλύς και νερό. |
| X. Εξαιρετικά Καταστροφικός | Τα περισσότερα κτίρια καταστρέφονται. Πτώση μερικών καλών κατασκευών, ανθεκτικών ξύλινων κτιρίων και γεφυρών. Σχεδόν όλες οι κατασκευές τοιχοποιίας και τα προκατασκευασμένα κτίσματα καταρρέουν μέχρι θεμελίων. Σοβαρές ζημιές στο οδικό δίκτυο και σε φράγματα, υδροφράκτες και αναχώματα. Οι σιδηροτροχιές κάμπτονται ελαφρά. Μεγάλες κατολισθήσεις. |
| XI. Ασύλληπτα Καταστροφικός | Ελάχιστα κτίρια μένουν όρθια. Πτώση σχεδόν όλων των ανθρώπινων κατασκευών. Υπόγειοι αγωγοί και γραμμές μεταφοράς ενέργειας καταστρέφονται εντελώς. Καταστροφή οδικού δικτύου, πτώση γεφυρών και αναστέδων κόμβων. Οι σιδηροτροχιές κάμπτονται έντονα (ή και σπάζουν). Πολυάριθμες κατολισθήσεις, ρήγματα και παραμορφώσεις του εδάφους. |
| XII. Ολική Καταστροφή (ή Κατακλιμασία) | Ολική καταστροφή. Κατάρρευση όλων των κτιρίων μέχρι θεμελίων. Τεράστιες παραμορφώσεις του φλοιού της Γης. Το έδαφος κινείται σε κύματα ή ανυψώνεται και υποχωρεί αρκετά μέτρα και τα σεισμικά κύματα φαίνονται στην επιφάνεια. Αλλαγές στο ανάγλυφο του εδάφους και τη γραμμή του ορίζοντα. Μεγάλες ποσότητες βράχων αλλάζουν θέση. Αλλαγή ροής ποταμών. Δημιουργία νέων καταρρακτών. Μεγάλα αντικείμενα εκτινάσσονται στον αέρα. Το επίπεδο XII έχει καταγραφεί μόλις μία φορά στην ανθρώπινη ιστορία. |

Πίνακας 2.1 Τροποποιημένη κλίμακα Mercalli (πηγή: <https://el.wikipedia.org/wiki>)

2.3.3 Συσχέτιση κλίμακας Richter με κλίμακα Mercalli

Σε συνέχεια των ανωτέρω, και προκειμένου να υπάρχει μια ενδεικτική συσχέτιση των δύο κλιμάκων, έχουν προταθεί για τον Ελλαδικό χώρο οι κάτωθι εμπειρικές σχέσεις κλίμακας Richter με την κλίμακα Mercalli (Παπαϊωάννου, 1994)

$$\text{Για επιφανειακούς σεισμούς:} \quad I=6.59+1.18M_s-4.5\log(R+17)$$

$$\text{Για σεισμούς ενδιάμεσου βάθους:} \quad I=1.87+1.69M_s-3.94\log(R+30)$$

Όπου R: επικεντρική απόσταση

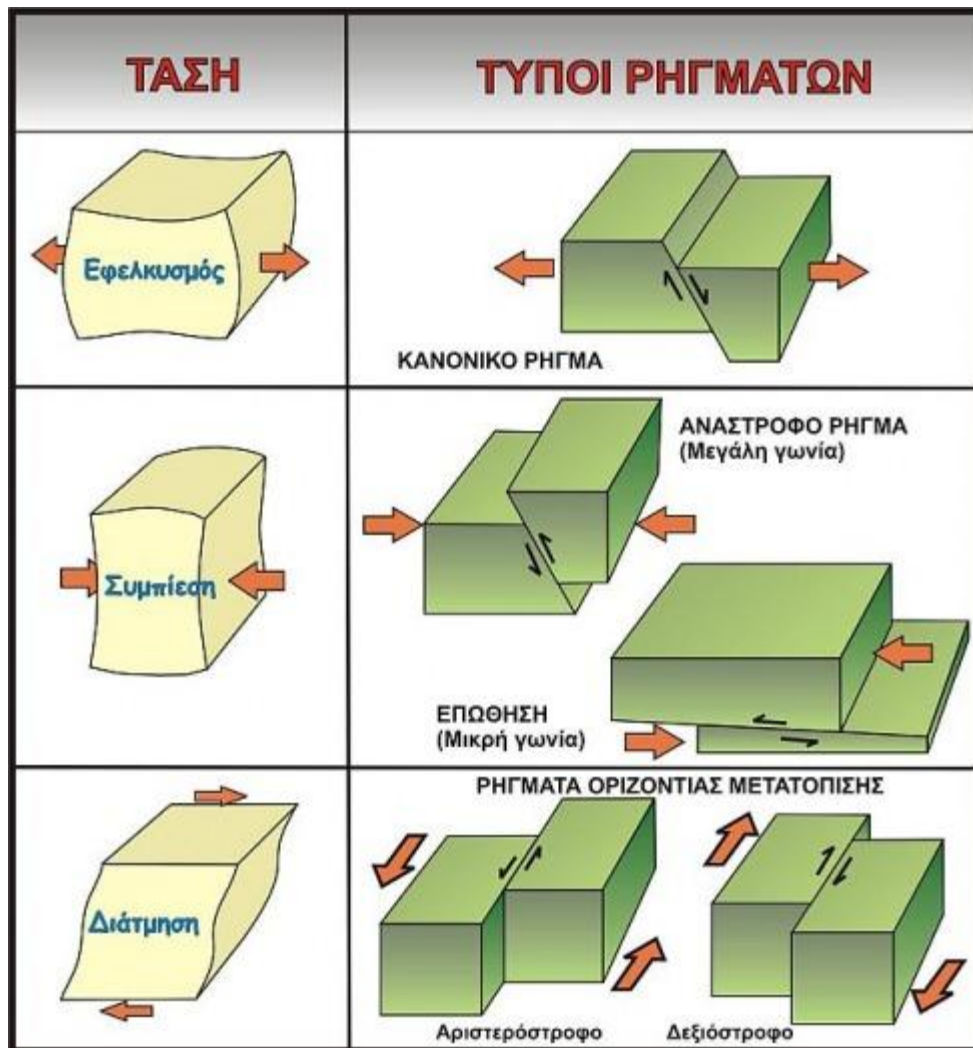
R1: υποκεντρική απόσταση

2.4 Γεωδυναμική κατάσταση στον Ελλαδικό χώρο και στην Ανατολική Μεσόγειο

Τα γεωλογικά ρήγματα που είναι ικανά να προκαλέσουν σεισμούς, έστω και μικρής ισχύος σύμφωνα με τους παραπάνω μηχανισμούς ονομάζονται σεισμικά ρήγματα ή σεισμικώς ενεργά ρήγματα. Προκειμένου να είναι εύκολη η ανάγνωση των χαρτών γεωδυναμικής κατάστασης παρατίθενται παρακάτω οι τύποι ρηγμάτων που συναντώνται.

Τα ρήγματα διακρίνονται σε τρεις βασικές κατηγορίες, ανάλογα με το είδος της σχετικής κίνησης στην επιφάνεια αστοχίας:

- Κανονικά ρήγματα
- Ανάστροφα ρήγματα
- Ρήγματα οριζόντιας μετατόπισης

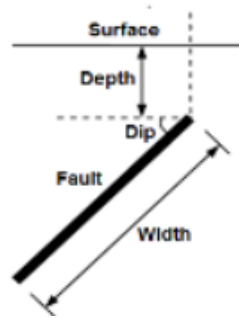


Εικόνα 2.7 Τύποι ρηγμάτων (πηγή: <https://www.geodifhs.com/gammaalphaiotaalpha/9>)

Ένα ρήγμα χαρακτηρίζεται (πέραν του τύπου του), όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.8, και από τα κάτωθι βασικά στοιχεία:

- Προσανατολισμός
- Μήκος (length)
- Πλάτος (width)
- Βάθος (depth)

- Γωνία (dip)



Εικόνα 2.8 Βασικά στοιχεία ρήγματος (πηγή: QuakeGo_RedRisk Ver 4.1.1)

Το γεωτεκτονικό καθεστώς του ελλαδικού χώρου αποτυπώνεται στην Εικόνα 2.9 όπου διακρίνεται το ελληνικό τόξο, που αναφέρεται πολλές φορές και ως Αιγαιακό τόξο και είναι δημιούργημα σύνθετων φαινομένων που προέρχονται από την σύγκλιση των λιθοσφαιρικών πλακών Ευρώπης και Αφρικής, καθώς και πλήθος ρηγμάτων σε όλη την επικράτεια.

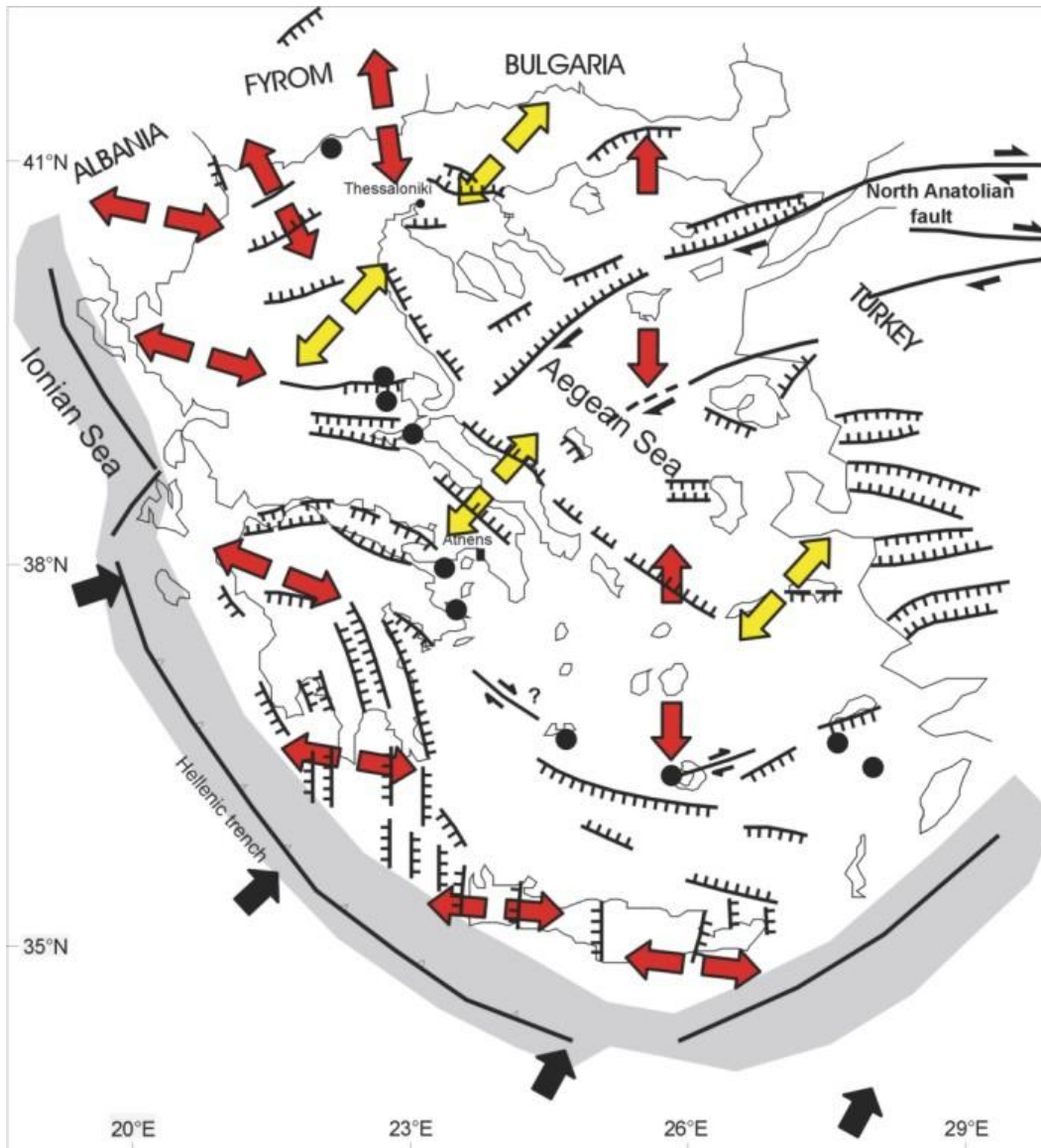


Εικόνα 2.9 Χάρτης γεωδυναμικής κατάστασης Ανατολικής Μεσογείου (κατά Παπαζάχος 2001). (πηγή: <http://www.geo.auth.gr/courses/ggg/ggg871y/ch5.htm>)

Η βύθιση της πλάκας της Αφρικής κάτω από την Ευρασιατική πιστεύεται ότι είναι αμφιθεατρική και στο γεγονός αυτό οφείλεται το τοξοειδές σχήμα του Ελληνικού τόξου.

Τα κύρια μορφοτεκτονικά στοιχεία από τα οποία συγκροτείται το Ελληνικό τόξο (Hellenic arc) είναι τα εξής:

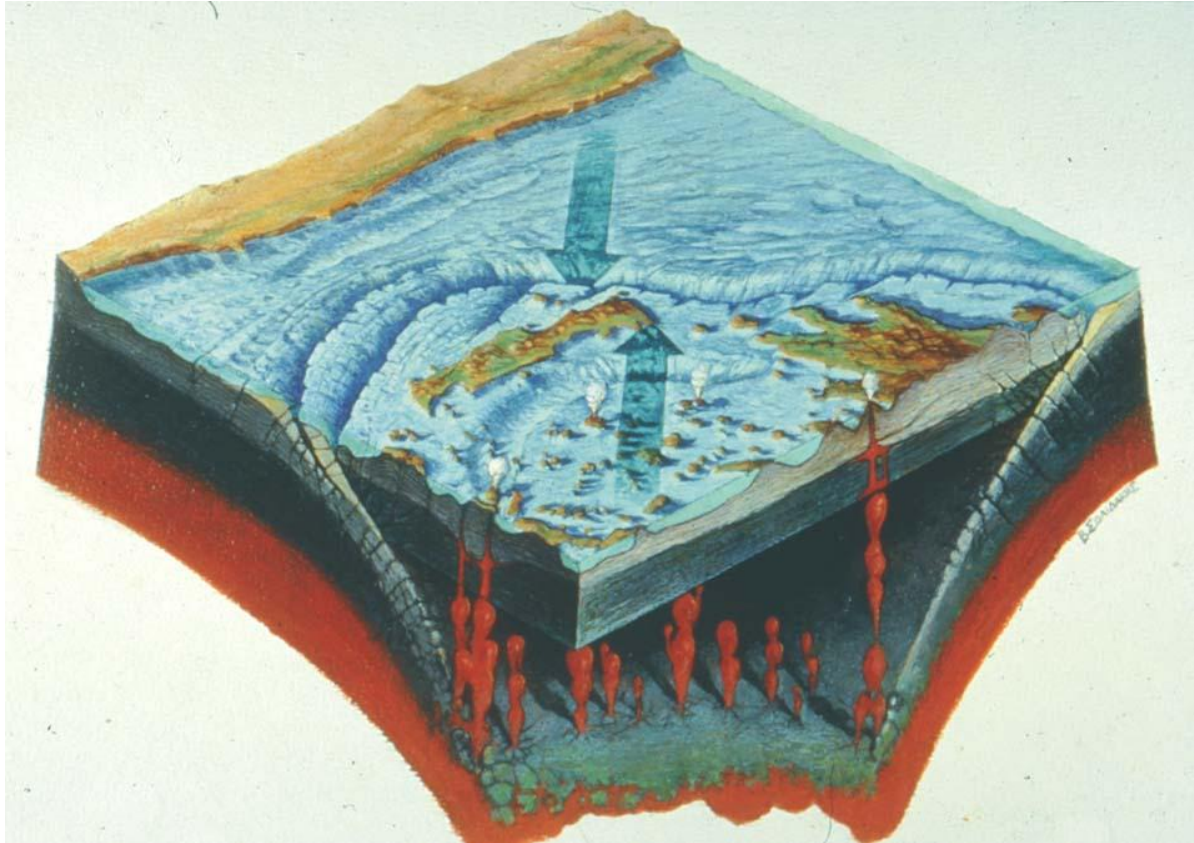
- Το Εξωτερικό τόξο που ονομάστηκε από την αρχή από τους γεωφυσικούς "Εξωτερικό ιζηματογενές τόξο" με την ευρεία του έννοια και που για τον Ελληνικό χώρο περιλαμβάνει τις Δυτικές εξωτερικές οροσειρές της ηπειρωτικής Ελλάδας, την Κρήτη και τα Δωδεκάνησα.
- Η Ελληνική περιφερειακή τάφρος (Hellenic trench) που περιβάλλει από τα εξωτερικά (κυρτό μέρος) το ιζηματογενές τόξο, από το Ιόνιο πέλαγος μέχρι τα νότια της Κρήτης και της Ρόδου και αποτελεί σύστημα βαθιών (βάθη 2000 - 5000 m) υποθαλάσσιων βυθισμάτων.



Εικόνα 2.10 Ελληνική περιφερειακή τάφρος (Hellenic trench) (πηγή: <http://www.geo.auth.gr/871>)

- Το ηφαιστειακό τόξο του Αιγαίου που βρίσκεται στο εσωτερικό μέρος και αποτελείται από τα ενεργά και Πλειο-Τεταρτογενή ηφαιστεια της Σαντορίνης, της Μήλου, της Νισύρου, των Μεθάνων, της Κρομμυωνίας, των Λιχάδων, της Κω, της Πάτμου, της Αντιπάρου και της Ψαθούρα.

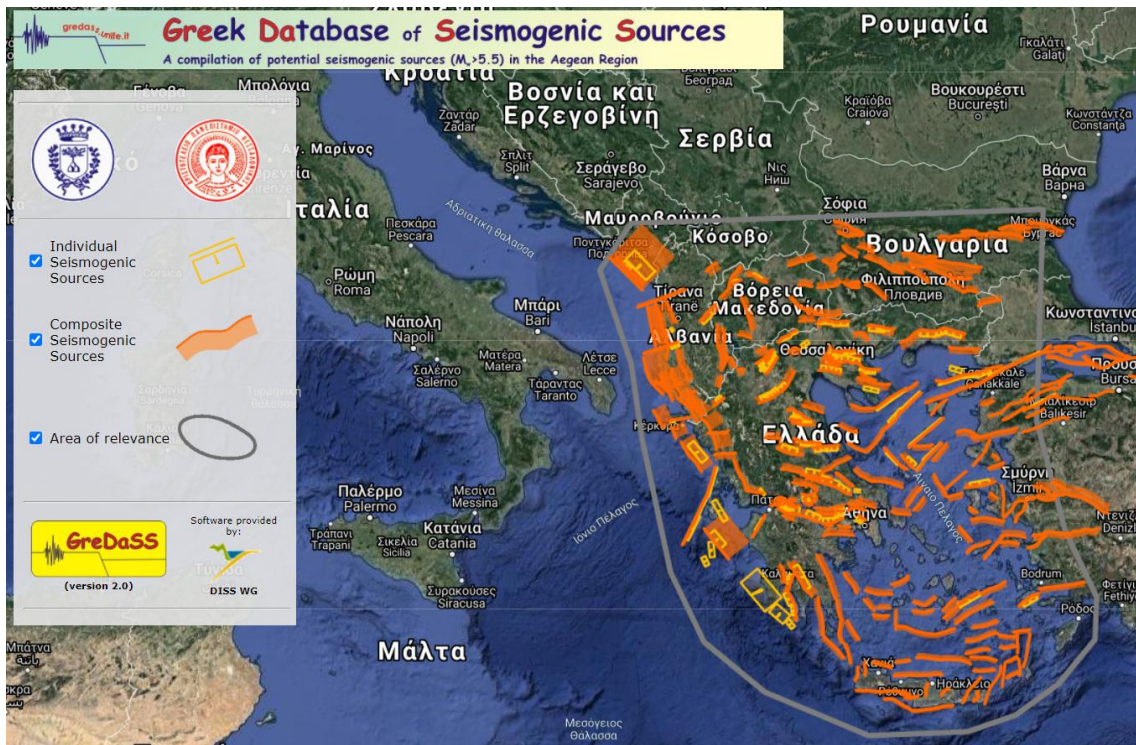
Τα ηφαίστεια αυτά συνδέονται με τη βύθιση και την τήξη της πλάκας της Αφρικής σε βάθος περίπου 150 km, πίσω από το μέτωπο σύγκλισης των πλακών.



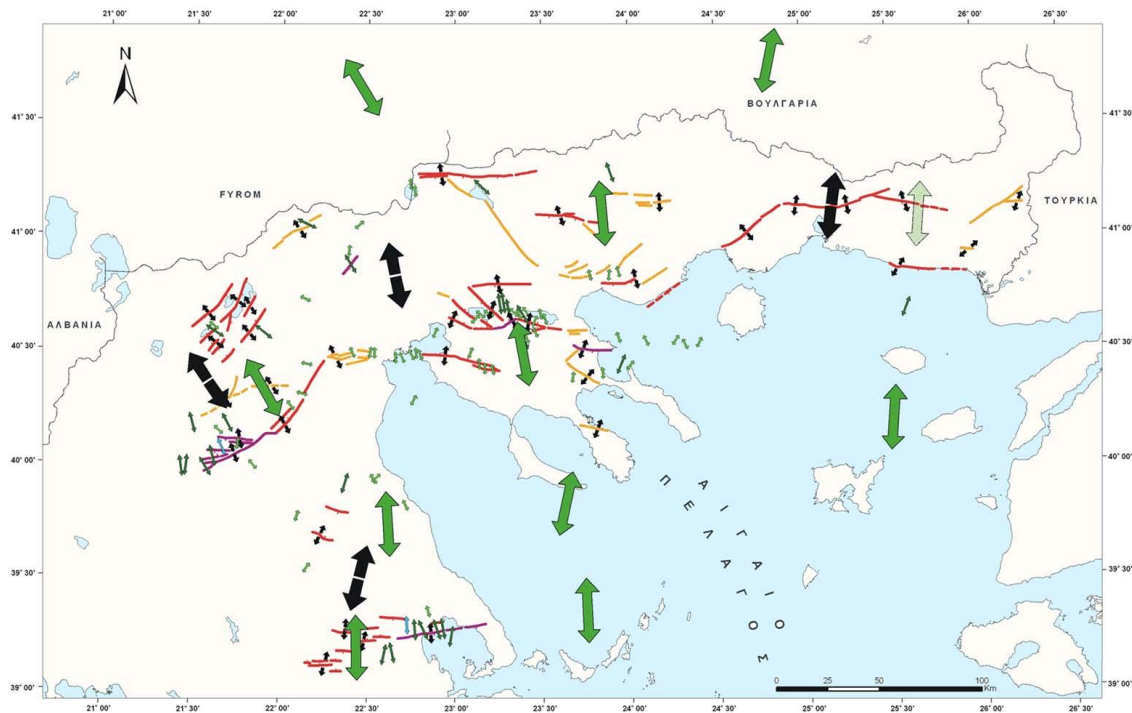
Εικόνα 2.11 Στερεογραφικό σκαρίφημα βύθισης της Αφρικανικής πλάκας κάτω από Ευρασιατικό περιθώριο στο χώρο του Νοτίου Αιγαίου (Κατά Angelier 1979). (πηγή: <http://www.geo.auth.gr/courses/ggg/ggg871y/ch5.htm>)

- Η λεκάνη πίσω από το τόξο (back-arc basin) που δημιουργείται από τις εφελκυστικές τάσεις πίσω από το τόξο και ιδιαίτερα πίσω απ' το πρίσμα επαύξησης.

Στην Εικόνα 2.12 αποτυπώνονται τα ρήγματα που έχουν καταγραφεί από ερευνητικές ομάδες και έχουν ενσωματωθεί στο GreDaSS (Greek Database of Seismogenic Sources) ενώ στην Εικόνα 2.13 διακρίνονται τα μεγάλα ενεργά ρήγματα του Βόρειου Ελληνικού χώρου.



Εικόνα 2.12 Κύρια χαρακτηριστικά της ενεργού τεκτονικής του Ελληνικού τόξου και του ευρύτερου Αιγαϊακού χώρου (πηγή: <http://www.geo.auth.gr/courses/ggg/ggg871y/ch5.htm>)



Εικόνα 2.13 Χάρτης με τα μεγάλα ενεργά ρήγματα του Βόρειου Ελληνικού Χώρου (πηγή: <http://www.geo.auth.gr/courses/ggg/ggg871y/ch5.htm>)

Κεφάλαιο 3

Σεισμοί και κατασκευές (Βασικές Έννοιες)

3.1 Σεισμικότητα (Seismicity)

Η σεισμικότητα είναι μια ποσότητα που αυξάνει τόσο με το μέγεθος όσο και με τη συχνότητα των σεισμών στην περιοχή γενέσεώς τους. Ο καθορισμός της σεισμικότητας μιας περιοχής βασίζεται στο στατιστικό νόμο του Gutenberg, ο οποίος δίνει τη συχνότητα των σεισμών (αριθ. σεισμών/έτος) σε συνάρτηση προς το μέγεθός τους από τη σχέση:

$$\log N = a - b M$$

όπου

N: συχνότητα σεισμών μεγέθους M και άνω

M: μέγεθος του σεισμού

a,b: σταθερές προσδιοριζόμενες με στατιστική επεξεργασία καταγραφών.

Με βάση τις τιμές a και b μπορούν να υπολογιστούν διάφορες ποσότητες που χρησιμοποιούνται ως μέτρα της σεισμικότητας. Έτσι πχ. ο ετήσιος αριθμός των σεισμών Nm, οι οποίοι έχουν μέγεθος M ή μεγαλύτερο και η μέση περίοδος Tm επαναλήψεώς τους σε έτη δίνονται από τις σχέσεις: $N_m = 10^a / 10^{bM}$, $T_m = 10^{bM} / 10^a$

Τα αποτελέσματα των υπολογισμών δίνονται υπό μορφή χαρτών σεισμικότητας. (Πενέλης, Κάππος 1999)

3.2 Σεισμική επικινδυνότητα (seismic hazard)

Η σεισμική επικινδυνότητα σε ένα τόπο εκφράζεται ποσοτικά είτε με την πιθανότητα να παρατηρηθεί στον τόπο αυτό σεισμική επιτάχυνση ή ένταση I μεγαλύτερη ορισμένης τιμής μέσα σε ορισμένο χρόνο, είτε με την τιμή της επιταχύνσεως A ή εντάσεως I για την οποία η πιθανότητα να υπάρξει υπέρβαση της τιμής της σε ορισμένο χρονικό διάστημα είναι κάτω ορισμένου ορίου. Όπως ήδη αναφέρθηκε στην προηγούμενη παράγραφο η εκδηλούμενη ένταση I ενός σεισμού ή η μέγιστη επιτάχυνση A, εξασθενεί καθώς μεγαλώνει η απόσταση

από το επίκεντρο. Από τη στατιστική αξιολόγηση μεγάλου αριθμού σεισμών έχουν προκύψει εμπειρικοί νόμοι εξασθενήσεως οι οποίοι συνδέουν την ένταση I ή τη μέγιστη επιτάχυνση A με το μέγεθος του σεισμού M και την επικεντρική απόσταση Δ .

Για τον ελληνικό χώρο έχουν προκύψει οι παρακάτω νόμοι εξασθενήσεως.

$$I=6.362+1.20M-4.402 \log(\Delta+15) \text{ και}$$

$$\log A=3.775+0.38M-2.370 \log(\Delta+13)$$

όπου

I : η ένταση (M.M.)

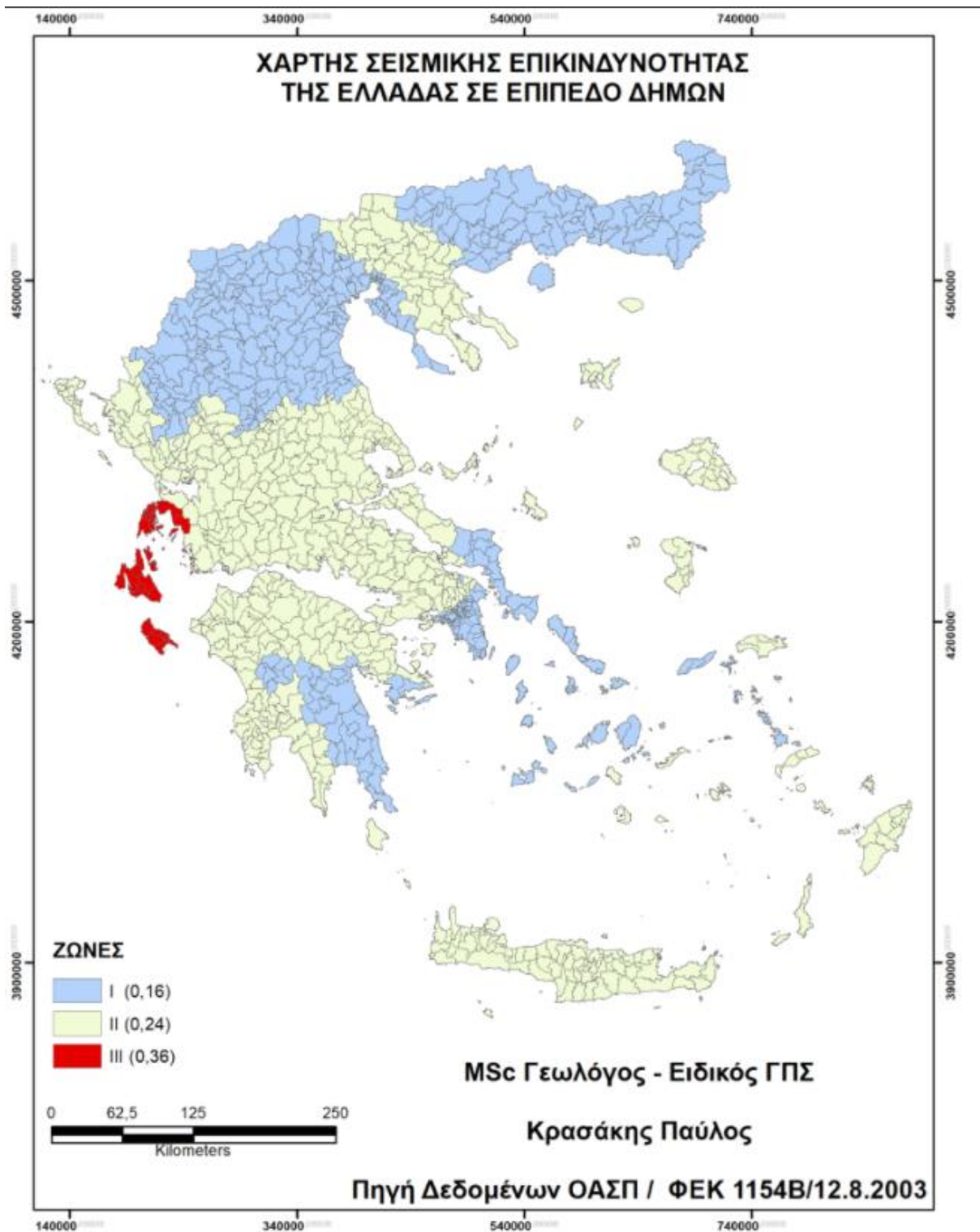
Δ : η επικεντρική απόσταση σε km

A : η μεγ. επιτάχυνση εδάφους (Σε gal:1000 gal=g)

M : το μέγεθος του σεισμού (κλίμακα Richter).

Με βάση τα παραπάνω όταν είναι γνωστή η σεισμικότητα των επικέντρων από τα οποία απειλείται ένας τόπος, είναι δυνατός ο υπολογισμός της στατιστικής κατανομής μιας παραμέτρου της σεισμικής κινήσεως (πχ. της μεγ. επιταχύνσεως A) ή της σεισμικής εντάσεως (I σε M.M.) στον τόπο αυτό, αφού είναι γνωστές οι επί μέρους επικεντρικές αποστάσεις Δ και η στατιστική κατανομή χρονικά του μεγέθους M σε κάθε επίκεντρο.

Με βάση τη στατιστική κατανομή των A ή I συντάσσονται πίνακες ή χάρτες σεισμικής επικινδυνότητας. Χάρτες ή πίνακες της παραπάνω μορφής αποτελούν επί του παρόντος τη μέγιστη συνεισφορά από πλευράς τεχνικής σεισμολογίας στο σχεδιασμό των κατασκευών και παρέχουν ουσιαστικά τη μέγιστη επιτάχυνση σχεδιασμού σε μια περιοχή. Δεν πρέπει όμως να λησμονείται ο υψηλός βαθμός αβεβαιότητας τόσο ως προς την τιμή της μέγιστης επιταχύνσεως όσο κυρίως και των λοιπών στοιχείων που δεν απεικονίζονται σ' αυτούς τους χάρτες, όπως περίοδος ισχυρών μετακινήσεων, διάρκεια ισχυρών μετακινήσεων κλπ (Πενέλης, Κάππος 1999).



Εικόνα 3.1 Χάρτης Σεισμικής Επικινδυνότητας της Ελλάδας σε επίπεδο δήμων (πηγή: <https://gistraining.gr/2019/01/27/%CF%87%CE%B1%CF%81%CF%84%CE%B7%CF%83-%CF%83%CE%B5%CE%B9%CF%83%CE%BC%CE%B9%CE%BA%CE%B7%CF%83-%CE%B5%CF%80%CE%BA%CE%B9%CE%BD%CE%B4%CF%85%CE%BD%CE%BF%CF%84%CE%B7%CF%84%CE%B1%CF%83-%CF%84%CE%B7%CF%83/>)

3.3 Τρωτότητα

Η τρωτότητα (vulnerability) ή σεισμική τρωτότητα ορίζεται ως ο αναμενόμενος βαθμός άμεσων απωλειών ενός συγκεκριμένου στοιχείου, από ένα συγκεκριμένο σεισμικό συμβάν. Υπό μία ευρύτερη έννοια, η τρωτότητα μπορεί να αφορά και τις έμμεσες απώλειες από τις βλάβες στις τεχνικές κατασκευές, όπως είναι οι οικονομικές απώλειες, η διατάραξη της κοινωνικής ζωής, αλλά και των πάσης φύσεως ανθρωπίνων δραστηριοτήτων.

3.4 Σεισμική διακινδύνευση ή σεισμικός κίνδυνος

Η σεισμική διακινδύνευση (seismic risk) ορίζεται αναμενόμενος βαθμός ζημιών και απωλειών υλικών και άυλων αγαθών, ο οποίος αναμένεται από το συγκεκριμένο σεισμό στη δεδομένη θέση ή περιοχή. Το μέτρο της προσδιορίζεται από την απώλεια ανθρώπινων ζώων, τις πάσης φύσεως και βαθμού βλάβες στις τεχνικές κατασκευές και από διάφορες «άυλες» απώλειες, όπως η αποδιοργάνωση της οικονομικής – κοινωνικής ακόμη και της πολιτιστικής ζωής ενός τόπου.

Η σεισμική διακινδύνευση [R] για κάθε στοιχείο που εκτίθεται [E], στο σεισμικό κίνδυνο, είναι δυνατό να εκφρασθεί ως η συνέλιξη της σεισμικής επικινδυνότητας [H] και της σεισμικής τρωτότητας [V] με τη σχέση:

$$[R] = [H] \cdot [V] \cdot [E]$$

Από τα παραπάνω συνεπάγεται, ότι η μείωση της σεισμικής διακινδύνευσης επιτυγχάνεται με την μείωση της τρωτότητας των κατασκευών, δηλαδή με τον καλύτερο σχεδιασμό, κατασκευή και συντήρηση των τεχνικών έργων. Το μέτρο της σεισμικής επικινδυνότητας όπως ορίστηκε προηγουμένως, πέρα από την σεισμικότητα και τις ιδιότητες του σεισμογόνου χώρου, εξαρτάται από την επιλογή της πιθανότητας και της χρονικής περιόδου, όπως επίσης και από την επιλογή του μεγέθους της παραμέτρου της εδαφικής ταλάντωσης, για παράδειγμα της κορυφαίας επιτάχυνσης. Η τελευταία, όμως, ποσότητα προσδιορίζει, με βάση τους ισχύοντες κανονισμούς, για τον κάθε τύπο κατασκευής και τον αναμενόμενο βαθμό ή ποσοστό βλάβης και αστοχιών βλάβης. Αντιστρόφως, αν προσδιορισθεί ή επιλεγεί ο αποδεκτός βαθμός αστοχίας (συνήθως αυτό γίνεται από την πολιτεία δια των κανονιστικών αποφάσεων), προσδιορίζεται για συγκεκριμένη πιθανότητα και χρονική περίοδο το ζητούμενο μέτρο της σεισμικής επικινδυνότητας συνηθέστατα με όρους εδαφικής επιτάχυνσης. Κατά συνέπεια στον αντισεισμικό σχεδιασμό των κατασκευών η εκτίμηση του μέτρου της σεισμικής επικινδυνότητας εξαρτάται από την τρωτότητα και τη σεισμική διακινδύνευση, που σε μεγάλο βαθμό εξαρτώνται από τις ισχύουσες κανονιστικές διατάξεις (Γεωργουσάκη, 2019).

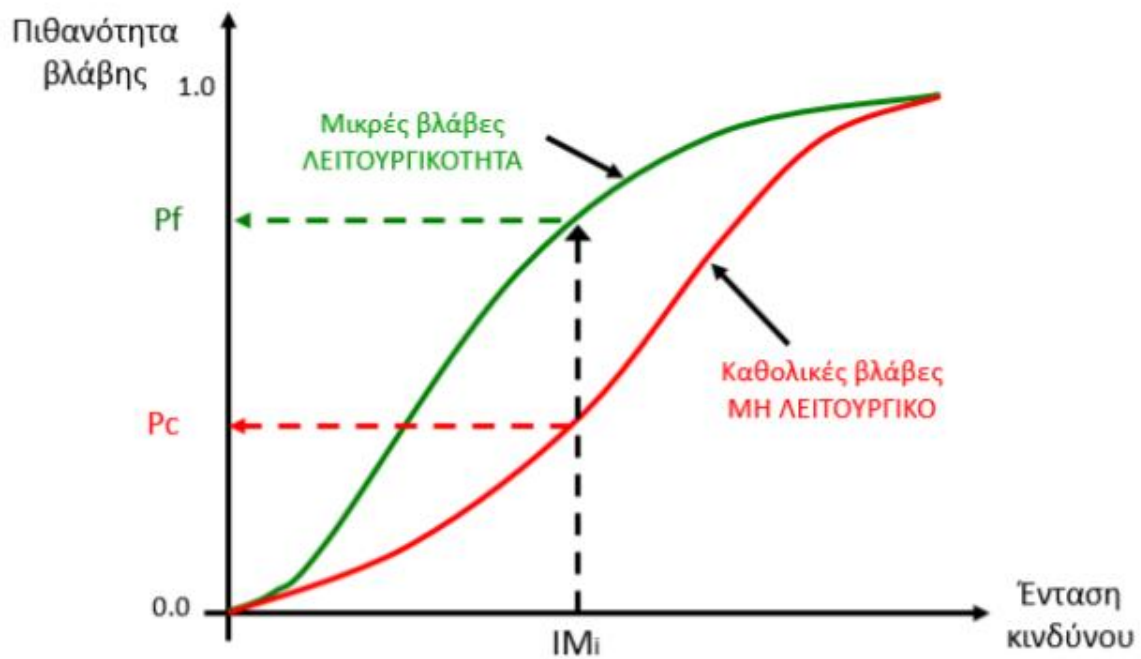


Εικόνα 3.2 Παράγοντες διακινδύνευσης και δομή της διαχείρισης σεισμικού κινδύνου (Πιτιλάκης Κ. και συνεργάτες, 2018)

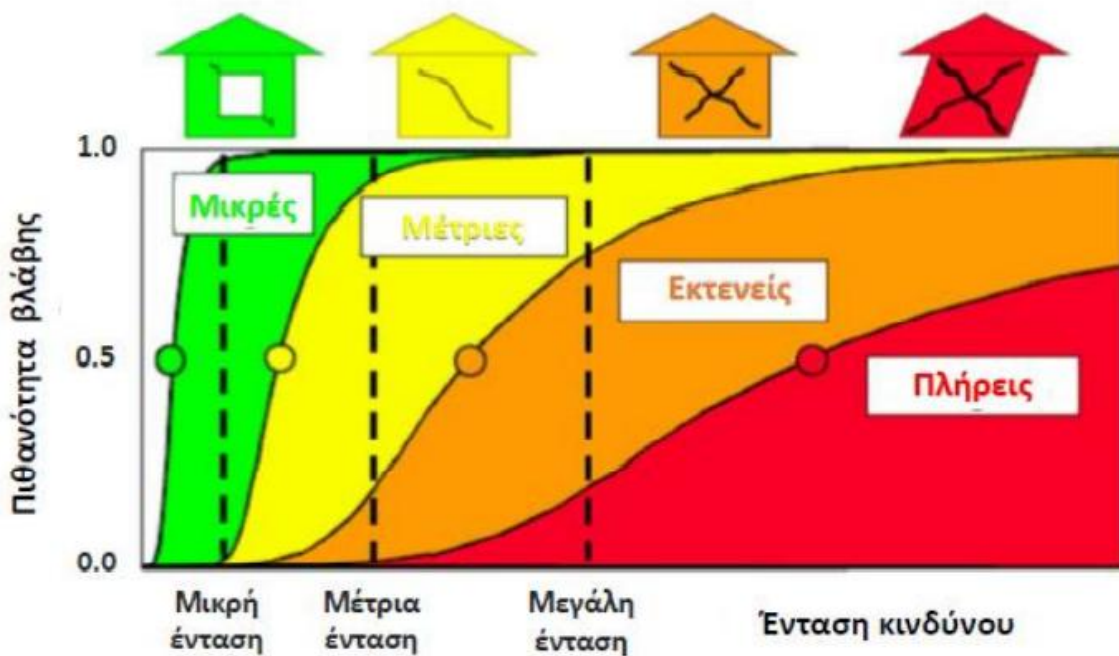
3.5 Καμπύλες τρωτότητας – Στάθμες βλάβης

Όπως προαναφέρθηκε, η τρωτότητα είναι ο αναμενόμενος βαθμός απωλειών ενός τεχνικού έργου ή οποιασδήποτε άλλης ενέργειας, που προκαλείται από τη σεισμική δόνηση. Επομένως, η τρωτότητα συνδέει τη σεισμική διέγερση με τις προκαλούμενες βλάβες και εκφράζεται καλύτερα μέσω των καμπυλών τρωτότητας. Μια καμπύλη τρωτότητας εκφράζει την πιθανότητα η βλάβη που υφίσταται μια κατασκευή να είναι ίση ή μεγαλύτερη από ένα συγκεκριμένο επίπεδο βλάβης, υπό ένα δεδομένο επίπεδο σεισμικής έντασης. Η καμπύλη τρωτότητας εκφράζει μια λογαριθμοκανονική συνάρτηση σωρευτικής κατανομής της πιθανότητας υπέρβασης δομικών ή μη δομικών επιπέδων βλάβης (π.χ. μικρές, μέτριες, εκτεταμένες, πλήρεις), για συγκεκριμένη ένταση, που μπορεί να αντιστοιχεί στη μέγιστη τιμή της εδαφικής επιτάχυνσης, ταχύτητας ή μετακίνησης ή στις φασματικές τιμές τους ή ακόμη και στη μόνιμη εδαφική μετακίνηση.

Παρακάτω παρατίθενται σχήματα που απεικονίζουν τη σχέση σεισμικής έντασης και βλάβης, μέσω καμπυλών τρωτότητας, μέσω των οποίων μπορούμε να εκτιμήσουμε την πιθανότητα εμφάνισης κάποιου βαθμού βλάβης (ενδεικτικά μικρή βλάβη, σοβαρή βλάβη στην Εικόνα 3.3) για ένα συγκεκριμένο επίπεδο σεισμικής έντασης (Καραγκούνη, 2018). Πιο συνηθισμένη είναι η χρήση καμπυλών τρωτότητας που μπορούν να αντιστοιχηθούν με περισσότερα επίπεδα βλάβης, από καθόλου ή πολύ χαμηλές βλάβες έως και κατάρρευση, όπως εμφανίζεται στην Εικόνα 3.4.



Εικόνα 3.3 Ενδεικτική σχηματική απεικόνιση καμπυλών τρωτότητας (Πιτιλάκης Κ. και συνεργάτες, 2020)



Εικόνα 3.4 Καμπύλες τρωτότητας για διάφορες στάθμες βλάβης. Σχηματική απεικόνιση καμπυλών τρωτότητας για τα διάφορα επίπεδα βλάβης (Πιτιλάκης Κ. και συνεργάτες, 2020)

3.6 Στάθμες επιτελεσιμότητας – Καμπύλη ικανότητας - αντίστασης

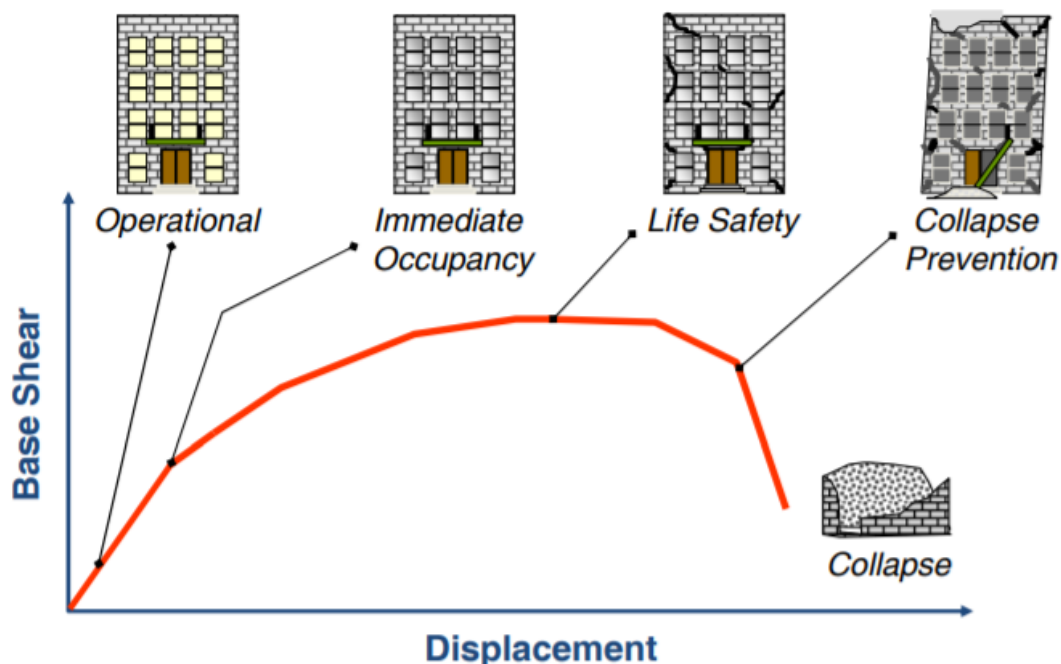
Οι στάθμες επιτελεσιμότητας, χρησιμοποιούνται κατά τον αντισεισμικό σχεδιασμό των κατασκευών, και αποτελούν το αποδεκτό επίπεδο βλαβών που αναμένεται κατά την εμφάνιση συγκεκριμένης σεισμικής επιτάχυνσης σχεδιασμού.

Προκειμένου να επιλεγθεί η κατάλληλη στάθμη επιτελεσιμότητας κατά τον σχεδιασμό πρέπει σε 1^η φάση να καθοριστεί ο στόχος της σεισμικής ικανότητας – αντίστασης της κατασκευής.

Οι στόχοι της σεισμικής ικανότητας μιας κατασκευής αποτελούν συνδυασμούς μιας στάθμης επιτελεσιμότητας (δηλαδή του αποδεκτού επιπέδου βλαβών) και ενός επιπέδου της σεισμικής δράσης.

Ο καθορισμός των διάφορων σταθμών επιτελεσιμότητας γίνεται πάνω στην καμπύλη ικανότητας-αντίστασης της κατασκευής, η οποία εκφράζει τη μη-γραμμική σχέση μεταξύ του επιβαλλόμενου οριζόντιου φορτίου και της μετατόπισης της κορυφής. (Ψυχάρης Γ.,2015)

Στην παρακάτω εικόνα αποτυπώνεται ένα παράδειγμα καμπύλης αντίστασης καθώς και σταθμών επιτελεσιμότητας κατασκευών σύμφωνα με την FEMA.



Εικόνα 3.5 Καμπύλη αντίστασης και στάθμες επιτελεσιμότητας κατασκευών (FEMA 273/356)

Κεφάλαιο 4

Λογισμικά εκτίμησης σεισμικής διακινδύνευσης

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η εκτίμηση της σεισμικής διακινδύνευσής και των οικονομικών απωλειών αποτελούν θέματα καίριας σημασίας στη λήψη αποφάσεων σχετικά με τον περιορισμό της έκτασης των ζημιών που ενδέχεται να προκληθούν από έναν σεισμό σε τοπικό ή ακόμη και σε εθνικό επίπεδο. Για τον λόγο αυτόν έχουν αναπτυχθεί πολλά λογισμικά προγράμματα με τα οποία γίνεται μια προσπάθεια όσο το δυνατόν καλύτερης προσέγγισης. Παρακάτω παρατίθενται ενδεικτικά μερικά από αυτά τα λογισμικά συνοδευόμενα από μια συνοπτική περιγραφή, όπως αυτή περιλαμβάνεται στους Erdiketal (2010).

4.1 HAZUS

Το HAZUS HAZUS-MH (FEMA και NIBS 2003) αναπτύχθηκε από την Ομοσπονδιακή Υπηρεσία Διαχείρισης Έκτακτης Ανάγκης των Ηνωμένων Πολιτειών (FEMA) για την πρόβλεψη και τον μετριασμό απωλειών λόγω σεισμών (HAZUS), τυφώνων και πλημμυρών. Το πακέτο προορίζεται βασικά μόνο για εφαρμογές στις ΗΠΑ και περιλαμβάνει προεπιλεγμένα δεδομένα που συλλέγονται από ομοσπονδιακό επίπεδο, αν και η μεθοδολογία που ακολουθείται έχει τύχει ευρείας αποδοχής και χρήσης και σε πολλά μέρη του κόσμου. Το απόθεμα ταξινομείται με βάση 36 διαφορετικούς τύπους κτιρίων με βάση τα πρότυπα κατασκευής και το υλικό, καθώς και το μέγεθος και τη χρήση του κτιρίου. Η έκδοση HAZUS-MH MR2, που κυκλοφόρησε το 2006, περιλαμβάνει τη δυνατότητα ταχείας εκτίμησης απωλειών μετά το συμβάν.

4.2 EQRM

Το EQRM EarthQuake Risk Management (EQRM), που αναπτύχθηκε από τη Geoscience Australia, είναι ένα εργαλείο που αφορά στη μοντελοποίηση απωλειών για συγκεκριμένα σεισμικά σενάρια καθώς και στην εκτίμηση της σεισμικής επικινδυνότητας και διακινδύνευσης. (Robinson et al. 2005, 2006). Η μεθοδολογία εκτίμησης κινδύνου βασίζεται στη μεθοδολογία HAZUS με ορισμένες τροποποιήσεις για να προσαρμοστεί στις συνθήκες

της Αυστραλίας. Έχει τη δυνατότητα να χρησιμοποιηθεί με προγράμματα παρακολούθησης σεισμών για να παρέχει αυτόματες εκτιμήσεις απωλειών.

4.3 LNECLOSS

Το LNECLOSS είναι ένα λογισμικό που αναπτύχθηκε από το Laboratorio Nacional de Engenharia Civil (LNEC) στη Λισαβόνα της Πορτογαλίας (Sousa et al. 2004). Το LNECloss είναι ένα εργαλείο εκτίμησης απωλειών σεισμού, ενσωματωμένο σε ένα Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών (GIS). Περιλαμβάνει ενότητες για τον υπολογισμό σεισμικών σεναρίων, τοπικών επιπτώσεων στο έδαφος, τρωτότητας και ανάλυσης τρωτότητας, ανθρώπινων και οικονομικών απωλειών. Το LNECloss εφαρμόστηκε στη Μητροπολιτική Περιοχή της Λισαβόνας (Zonno et al. 2009).

4.4 QUAKELOSS

Το QUAKELOSS είναι ένα εργαλείο υπολογιστή για την εκτίμηση των ανθρώπινων απωλειών και των κτιρίων λόγω των σεισμών, που αναπτύχθηκε από το προσωπικό του Κέντρου Ερευνών Extreme Situations στη Μόσχα. Το λογισμικό QUAKELOSS χρησιμοποιείται από τον Παγκόσμιο Οργανισμό Πλανητικής Παρακολούθησης και Μείωσης Κινδύνου Σεισμών (WAPMERR) για να παρέχει εκτιμήσεις σχεδόν σε πραγματικό χρόνο για τους θανάτους και τους τραυματισμούς που προκαλούνται από σεισμούς οπουδήποτε στον κόσμο. Σύμφωνα με πληροφορίες, το απόθεμα κτιρίων ενσωματώνει δεδομένα από περίπου δύο εκατομμύρια οικισμούς σε όλο τον κόσμο.

4.5 EPEDAT

Το EPEDAT (Εργαλείο εκτίμησης ζημιών πρώιμου σεισμού) έχει σχεδιαστεί από την EQE International, Inc. για εκτίμηση απωλειών μετά τον σεισμό (Eguchi et al. 1997). Ως δεδομένα εξόδου μπορεί να περιλαμβάνει ζημιές (κτίριο και δίκτυα) και ατυχήματα για την Καλιφόρνια με βάση τη συγκεκριμένη κομητεία και τα δημογραφικά δεδομένα. Χρησιμοποιεί την Modified Mercalli Intensity για τον ποσοτικό προσδιορισμό του κινδύνου. Παρέχει ταχεία εκτίμηση απωλειών σεισμού.

4.6 NHEMATIS

Το NHEMATIS (Natural Hazards Electronic Map and Assessment Tools Information System) έχει αναπτυχθεί για την αντιμετώπιση καταστάσεων έκτακτης ανάγκης στον Καναδά. (Couture et al. 2002). Πρόκειται για αυτοματοποιημένη εγκατάσταση εθνικής κλίμακας για τη συλλογή και ανάλυση πληροφοριών φυσικού κινδύνου σε συνδυασμό με τα χαρακτηριστικά των υποδομών και του πληθυσμού που επιτρέπουν την ανάλυση κινδύνων. Παρόμοια με το HAZUS, το NHEMATIS ενσωματώνει μια βάση κανόνων ειδικών συστημάτων, ένα σύστημα γεωγραφικών πληροφοριών (GIS), σχεσιακές βάσεις δεδομένων και ποσοτικά μοντέλα που επιτρέπουν την εκτίμηση των επιπτώσεων κινδύνου.

4.7 SIGE

Το SIGE, που αναπτύχθηκε από την Ιταλική Εθνική Σεισμική Υπηρεσία του Τμήματος Πολιτικής Προστασίας, χρησιμοποιείται για ταχεία κατά προσέγγιση εκτίμηση των ζημιών. (Di Pasquale et al. 2004). Η πρώτη ενημέρωση του προγράμματος (FACES) εξετάζει γραμμικές σεισμικές πηγές, επιρροής της κατευθυντικότητας και την επίδραση του εστιακού βάθους. Η πιο πρόσφατη τροποποίηση του κώδικα έχει εφαρμοστεί σε ένα νέο μοντέλο που ονομάζεται ESPAS (Earthquake Scenario Probabilistic Assessment).

4.8 KOERILOSS

Το KOERILOSS είναι ένα μοντέλο εκτίμησης απωλειών κτιρίων και απωλειών που βασίστηκε σε σενάριο που αναπτύχθηκε από το Πανεπιστήμιο Bogazici (Erdik και Aydinoglu (2002); Erdiketal (2003); Erdik and Fahjan (2006)) για την εκτίμηση των ζημιών από σεισμούς στην Κωνσταντινούπολη, τη Σμύρνη, το Μπισκέκ και την Τασκένδη. Η μεθοδολογία εξετάζει τόσο ντετερμινιστικές (σενάριο) όσο και πιθανολογικές προσεγγίσεις πρόβλεψης. Οι υπολογισμοί τρωτότητας μπορούν να βασίζονται σε εμπειρικά αποτελέσματα (βάσει έντασης EMS) ή σε μια μέθοδο βασισμένη στο φάσμα απόκρισης παρόμοια με το HAZUS.

4.9 MAEVIZ

Το MAEviz αναπτύχθηκε στο Mid-America Earthquake Center στο Πανεπιστήμιο του Ιλινόις, στο οποίο εισάγονται χωρικές πληροφορίες, δεδομένα και οπτικές πληροφορίες για την πραγματοποίηση σεισμικής αξιολόγησης και ανάλυσης κινδύνου. Μπορεί να πραγματοποιήσει εκτίμηση σεισμικής διακινδύνευσης κτιρίων, γεφυρών και δικτύων

φυσικού αερίου με ενσωματωμένη βιβλιοθήκη καμπυλών τρωτότητας. Εκτός από την εφαρμογή του στις Η.Π.Α., σημαντική εφαρμογή του λογισμικού έχει διεξαχθεί και για την περιοχή Zeytinburnu της Κωνσταντινούπολης.

4.10 OPENQUAKE

Το OPENQUAKE είναι ένα λογισμικό ανοιχτού κώδικα με ελεύθερη πρόσβαση, το οποίο έχει γνωρίσει ιδιαίτερη εκτεταμένη εφαρμογή την τελευταία δεκαετία. Οι χρήστες έχουν τη δυνατότητα να εισάγουν στο λογισμικό δικά τους δεδομένα σχετικά με τις εδαφικές συνθήκες, τη σεισμική τρωτότητα, τη σεισμική επικινδυνότητα, όπως και για τα στοιχεία διακινδύνευσης. Με το λογισμικό μπορούν να πραγματοποιηθούν σε κοινή ανάλυση, αναλύσεις σεισμικής διακινδύνευσης (seismic risk) και σεισμικής επικινδυνότητας (seismic hazard) και να δημιουργηθούν σεισμικά σενάρια τα οποία να περιλαμβάνουν βλάβες ή απώλειες από σεισμικές καταγραφές που υπάρχουν. Το λογισμικό παρέχει στους χρήστες μια μεγάλη γκάμα αποτελεσμάτων όπως χάρτες καταγραφής απωλειών και βλαβών καθώς και μέσου ετήσιου κόστους (Παππάς, 2020).

4.11 ELER

Το λογισμικό ELER (Earthquake Loss Estimation Routine) αναπτύχθηκε στο πλαίσιο εργασίας JRA3 του προγράμματος NERIES. Παρέχει ταχεία εκτίμηση της σεισμικής κίνησης και των απωλειών στην ευρωμεσογειακή περιοχή. Ο κώδικας έχει δύο ενότητες που είναι το EHA (Earthquake Hazard Assessment) και το ELA (Earthquake Loss Assessment). Η ενότητα ELA έχει τρία επίπεδα ανάλυσης. Στο επίπεδο 0 εκτιμά τα θύματα με βάση τις πληροφορίες για το μέγεθος και την ένταση του σεισμού. Στο επίπεδο 1 γίνεται εκτίμηση για τα θύματα και τις ζημιές των κτιρίων με βάση τις πληροφορίες για την ένταση του σεισμού. Τέλος στο επίπεδο 2 πραγματοποιείται εκτίμηση των θυμάτων και των κτιριακών βλαβών με βάση την εδαφική κίνηση και τις φασματικές παραμέτρους του σεισμού.

Κεφάλαιο 5

Εισαγωγή στο λογισμικό QuakeGo

5.1 Περίληψη Κεφαλαίου

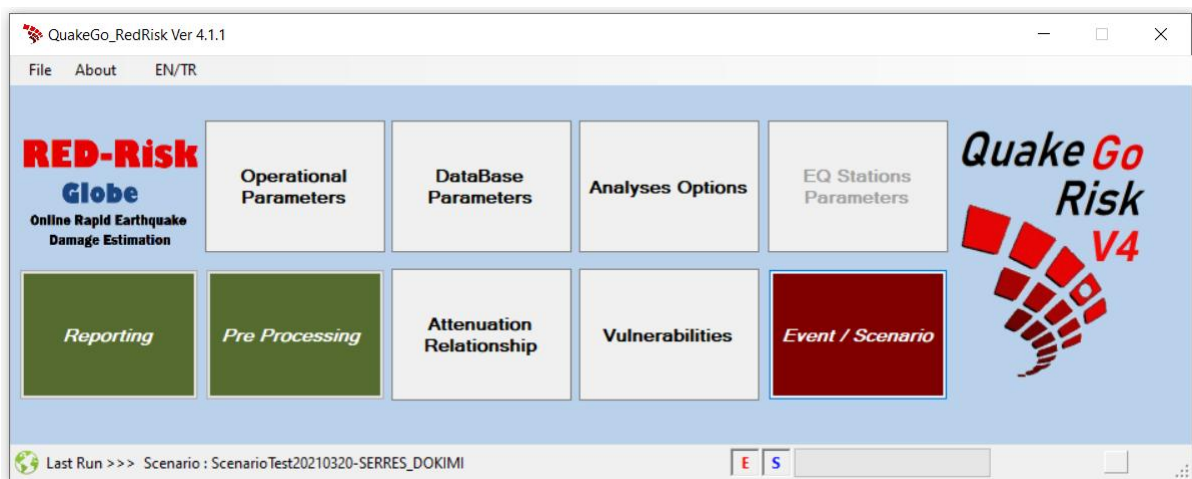
Στο παρόν Κεφάλαιο πραγματοποιείται μια περιεκτική παρουσίαση του προγράμματος QuakeGo, το οποίο χρησιμοποιείται στην παρούσα διπλωματική για την εκτίμηση της σεισμικής διακινδύνευσης του κτιριακού αποθέματος της πόλης των Σερρών.

5.2 Περιγραφή λογισμικού

Το QuakeGo_RedRisk V4 είναι ένα λογισμικό υπολογισμού σεισμικής επικινδυνότητας (seismic hazard) και σεισμικής διακινδύνευσης (seismic risk), που ανέπτυξε ο καθηγητής Dr. Yasin Fahjan.

5.3 Δομή Λογισμικού

Το περιβάλλον του λογισμικού που αποτυπώνεται στην Εικόνα 5.1 αποτελείται από εννέα ενότητες και συγκεκριμένα τις κάτωθι:



Εικόνα 5.1 Περιβάλλον λογισμικού QuakeGo (πηγή: QuakeGo_RedRisk Ver 4.1.1)

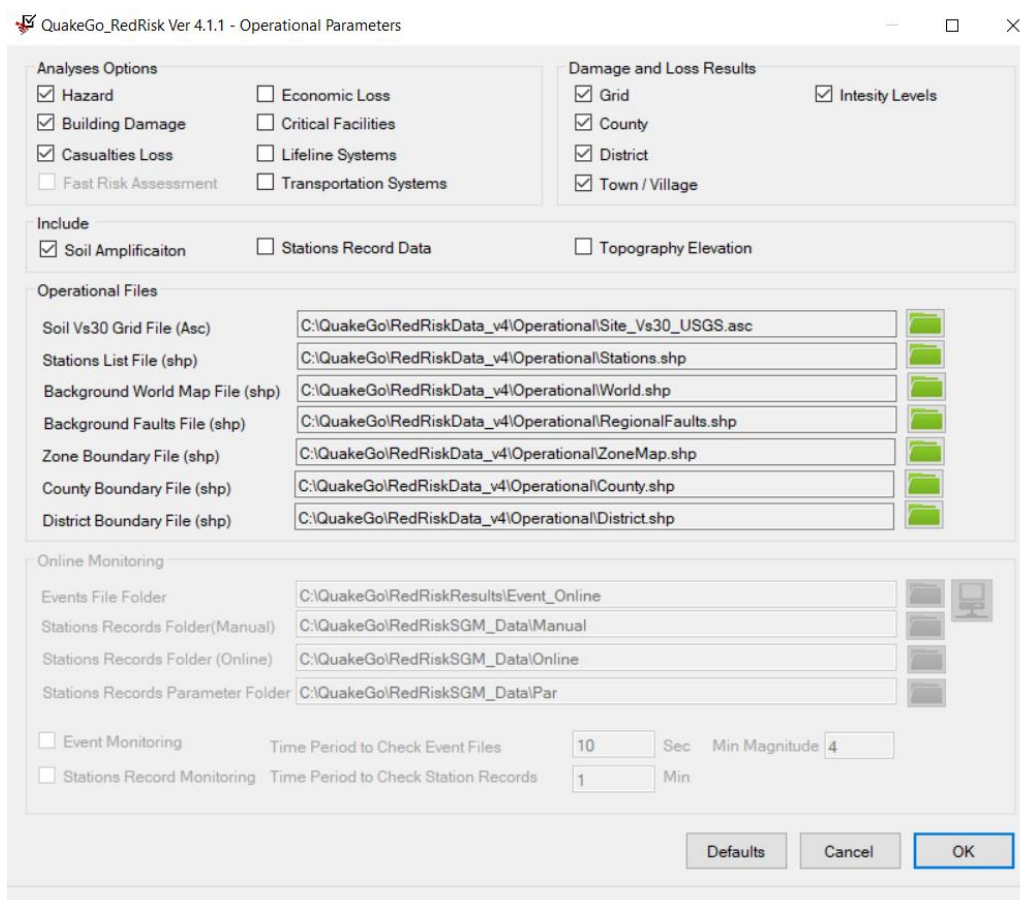
- Λειτουργικές Παράμετροι (Operational Parameters)
- Παράμετροι Βάσης Δεδομένων (Database Parameters)
- Επιλογές Ανάλυσης (Analyses Options)
- Παράμετροι σεισμικών σταθμών (EQ Stations Parameters)
- Προ-επεξεργασία (Pre Processing)
- Σχέσεις Εξασθένησης (Attenuation Relationship)
- Καμπύλες Τρωτότητας (Vulnerabilities)
- Γεγονός/Σενάριο (Event/Scenario)
- Αναφορά (Reporting)

5.3.1 Λειτουργικές Παράμετροι (Operational Parameters)

Στην ενότητα των λειτουργικών παραμέτρων διακρίνονται 5 υποενότητες όπως αποτυπώνεται στην παρακάτω Εικόνα 5.2, με τις ακόλουθες δυνατότητες:

- Υποενότητα Επιλογές Ανάλυσης (Analyses Options) όπου επιλέγεται το είδος της ανάλυσης που επιθυμεί ο χρήστης.
 - Επικινδυνότητα (Hazard)
 - Βλάβες κτιρίων (Building damage)
 - Ανθρώπινες απώλειες (casualties loss)
 - Άμεση εκτίμηση κινδύνου (fast risk assessment)
 - Οικονομικές απώλειες (economic loss)
 - Κρίσιμες εγκαταστάσεις (critical facilities)
 - Δίκτυα (lifeline systems)
 - Συστήματα μεταφοράς (transportation systems)
- Υποενότητα αποτελέσματα βλαβών και απωλειών (Damage and Loss results) όπου επιλέγεται ο ορισμός της περιοχής ενδιαφέροντος για την οποία ζητούνται τα αποτελέσματα.
 - Κάνναβος (grid)
 - Δήμος (county)
 - Περιφερειακή/νομαρχιακή ενότητα (district)
 - Πόλη/χωριό (Town/village)

- Αναλόγως των επιπέδων έντασης του σεισμού (Intensity Levels)
- Υποεπότητα Include στην οποία υπάρχουν τρεις παράμετροι που μπορούν να επιλεγθούν για χρήση στην ανάλυση.
 - Συντελεστής ενίσχυσης εδάφους
 - Σταθμοί καταγραφής δεδομένων
 - Τοπογραφική ανύψωση (Topography Elevation)
- Υποεπότητα Λειτουργικά Αρχεία (Operational Files) στην οποία εισάγονται αρχεία σε μορφή asc και shapfiles τα οποία συμπεριλαμβάνουν τα κάτωθι στοιχεία:
 - Ταχύτητα διατμητικών κυμάτων στο έδαφος (Soil Vs30 Grid File)
 - Λίστα σταθμών καταγραφής (Stations list file)
 - Παγκόσμιος Χάρτης
 - Χάρτης ρηγμάτων
 - Αρχεία με όρια ζωνών, δήμων και περιοχών
- Υποεπότητα παρακολούθησης μέσω διαδικτύου

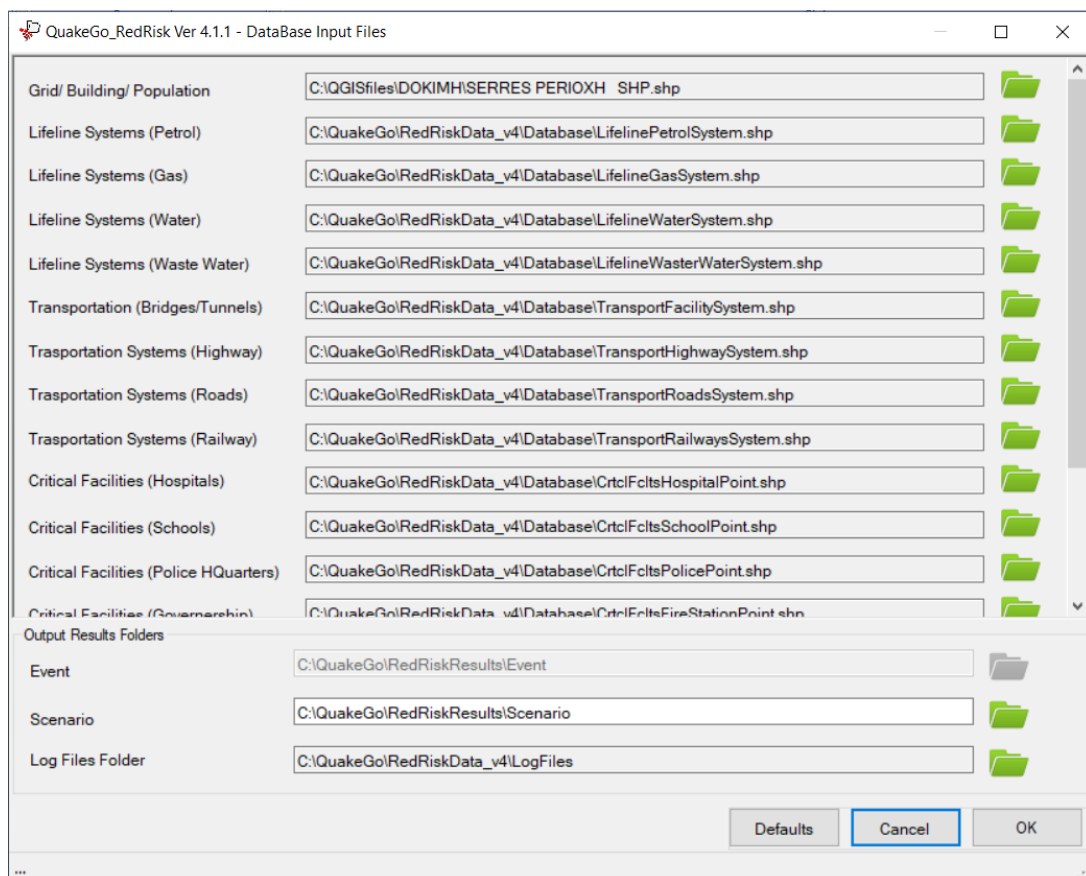


Εικόνα 5.2 Ενότητα Λειτουργικών παραμέτρων (πηγή: QuakeGo_RedRisk Ver 4.1.1)

5.3.2 Παράμετροι Βάσης Δεδομένων (Database Parameters)

Στην ενότητα database parameters όπως αποτυπώνεται στην Εικόνα 5.3 διακρίνονται 2 υποενότητες:

- Υποενότητα αρχείων βάσεως δεδομένων όπου εισάγονται όλα τα απαιτούμενα αρχεία σε μορφή shapfiles δηλαδή σε format χωρικών δεδομένων όπου αποθηκεύεται γεωμετρική και περιγραφική πληροφορία. Συγκεκριμένα εισάγονται shapfiles με τις κάτωθι πληροφορίες για την περιοχή μελέτης :
 - Κτίρια
 - Πληθυσμός
 - Συστήματα μεταφοράς
 - Δίκτυα (ύδρευσης, αποχέτευσης, φυσικού αερίου)
 - Κρίσιμες εγκαταστάσεις.
- Υποενότητα output results folder όπου επιλέγεται η θέση αποθήκευσης των αρχείων εξαγωγής αποτελεσμάτων.



Εικόνα 5.3 Ενότητα Εισαγωγής Βάσεων Δεδομένων (πηγή: QuakeGo_RedRisk Ver 4.1.1)

5.3.3 Επιλογές Ανάλυσης (Analyses Options)

Η ενότητα analyses options αποτελείται από 8 υποενότητες όπως αποτυπώνεται στην Εικόνα 5.4

- Υποενότητα μετατροπής μεγέθους (magnitude conversion): δίνεται η δυνατότητα μετατροπής ενός τοπικού M_s και ενός επιφανειακού μεγέθους M_I με την χρήση των κατάλληλων συντελεστών σε μέγεθος σεισμικής ροπής. ($M_w = a + b * M$).
- Υποενότητα συσχέτισης μεγέθους σεισμού με μήκος ρήγματος (magnitude – fault length): Εισάγονται συντελεστές των παραμέτρων a και b που χρησιμοποιούνται στην σχέση $M (M_w, M_s, M_l) = a + b \times \log 10 L$ με την οποία συσχετίζεται το μέγεθος ενός σεισμού με το μήκος του ρήγματος.
- Υποενότητα επιλογής μεθοδολογίας ανάλυσης ενίσχυσης εδάφους.
- Υποενότητα επεξεργασίας δεδομένων σταθμών καταγραφής.
- Υποενότητα επιλογής μονάδων των εξαγόμενων αποτελεσμάτων.
- Υποενότητα επιλογής διαστάσεων καννάβου.
- Υποενότητα επιλογής του εύρους της ανάλυσης (ως προς απόσταση και βάσει παραμέτρων σεισμικής έντασης).
- Υποενότητα καθορισμού των ορίων της προς ανάλυση περιοχής. (εισαγωγή συντεταγμένων).

The screenshot shows the 'Analyses Options' dialog box for QuakeGo_RedRisk Ver 4.1.1. The dialog is organized into several sections:

- Magnitude Conversion $M_w = a + b * M$** : Contains input fields for M_s (a: 2.81, b: 0.54) and M_I (a: -2.66, b: 1.57).
- Magnitude-Fault Length, $M = a + b * \log_{10}(L)$** : Contains input fields for M_w (a: 5.23, b: 1.16), M_s (a: 4.4815, b: 2.1481), and M_I (a: 5.0255, b: 0.73881).
- Analyses Methodology**: Includes 'Soil Amplification Methodology' (NEHRP 1997) and 'Interpolation Method' (Radial).
- Station Record Process**: Includes checkboxes for 'Base Line Correction' and 'Filtering', and input fields for 'Highpass(Hz)' (0.1), 'Lowpass(Hz)' (20), 'Interpolation Radius' (10), and 'Power' (2).
- Results Output Units**: Includes dropdowns for 'PGA' (gal (cm/sec²)) and 'PGV' (cm/sec), and input fields for 'Number of Decimel Digits (Hazard)' (4) and 'Number of Decimel Digits (Loss)' (4).
- Gridding System**: Includes input fields for 'Event Grid Size' (0.05) and 'Scenario Grid Size' (0.05), with 'Optimized' checkboxes.
- Optimized Map Limits**: Includes input fields for '(Left, Lower)' (25.4, 35.8), '(Right, Upper)' (44.9, 42.1), and 'Centralized Map for Report' (checked).
- Analyses Range**: Includes input fields and checkboxes for 'Max Range for Hazard Maps' (5 km), 'Max Range for Risk Analysis' (5 km), and 'Min Intensity' values for Hazard Analyses (3), Building Damages (6), Fatality Losses (7), and Lifeline Losses (7).

Buttons for 'Defaults', 'Cancel', and 'OK' are located at the bottom right of the dialog.

Εικόνα 5.4 Ενότητα Επιλογών Ανάλυσης (πηγή: QuakeGo_RedRisk Ver 4.1.1)

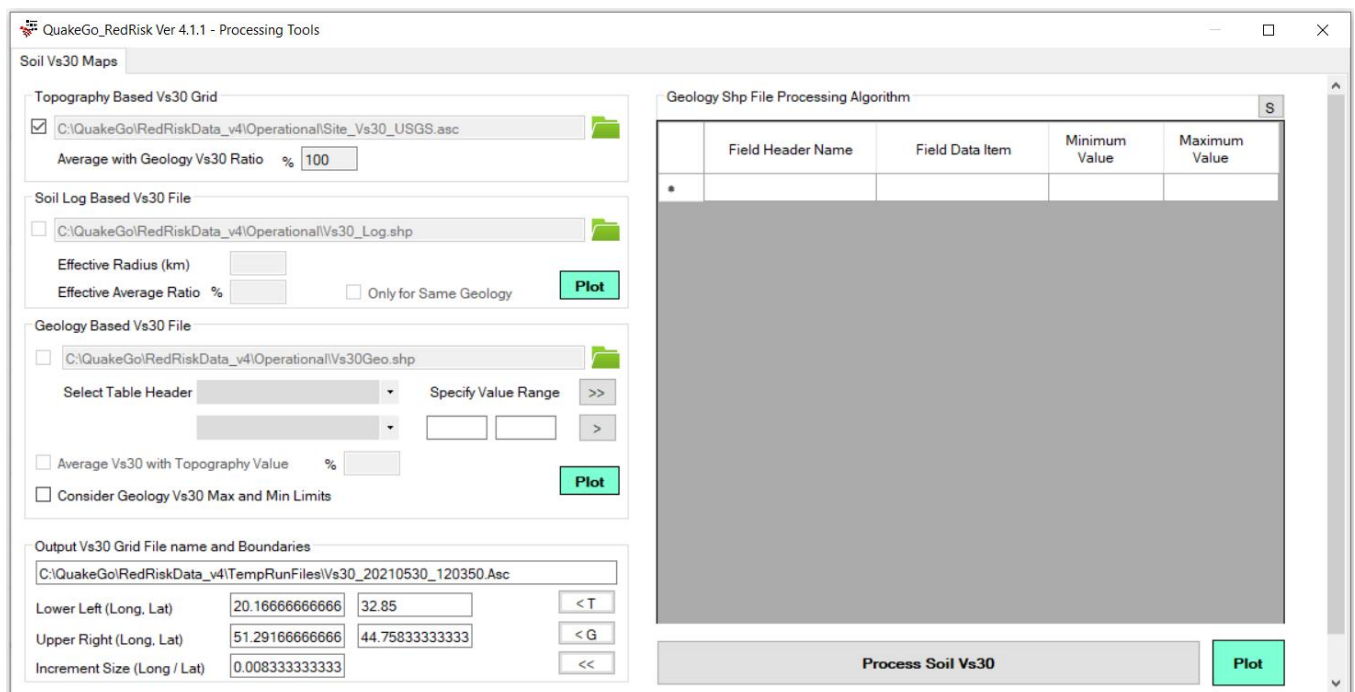
5.3.4 Παράμετροι σεισμικών σταθμών (EQ Stations Parameters)

Αυτή η ενότητα δύναται να περιέχει πληροφορίες σεισμικών σταθμών πλησίον της περιοχής μελέτης (εφόσον υπάρχουν).

Συγκεκριμένα για κάθε σταθμό που υφίσταται στην περιοχή εισάγονται γενικά στοιχεία (όνομα, κωδικός ταυτότητας, πόλη, περιοχή, συντεταγμένες) καθώς και γεωμορφολογικά στοιχεία, όπως υψόμετρο και ταχύτητα διατμητικών κυμάτων των πρώτων 30m (Vs30).

Επιλέγοντας το συγκεκριμένο πεδίο, οι τρέχουσες πληροφορίες σταθμού με τα δεδομένα του ενσωματώνονται στο λογισμικό και διορθώνουν τον αυτοποιημένο χάρτη Vs 30.

5.3.5 Προ-επεξεργασία (Pre Processing)



Εικόνα 5.5 Ενότητα προεπεξεργασίας (πηγή: QuakeGo_RedRisk Ver 4.1.1)

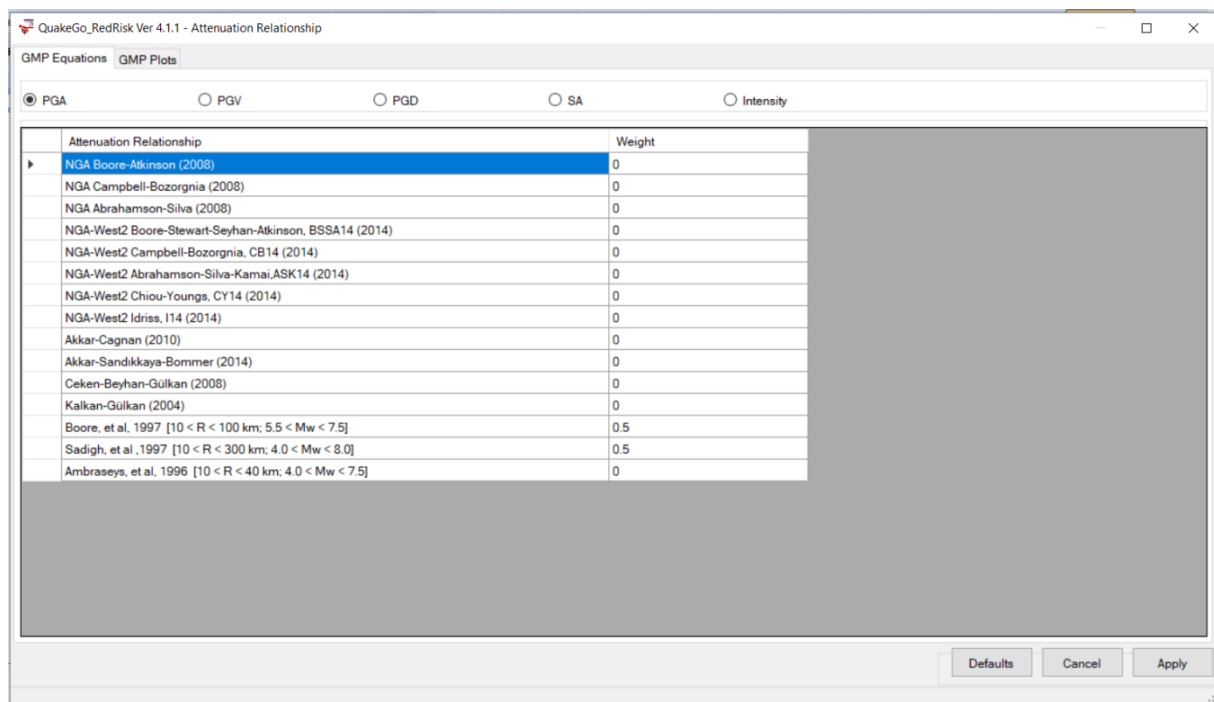
Στην ενότητα αυτήν εισάγονται δεδομένα-στοιχεία της ταχύτητας των διατμητικών κυμάτων σε βάθος 30μ (Vs30). Η ταχύτητα διατμητικών κυμάτων επηρεάζει σε σημαντικό βαθμό την μεταφορά της σεισμικής κίνησης στην θέση ενδιαφέροντος από το βραχώδες υπόβαθρο μέχρι την επιφάνεια.

Συγκεκριμένα:

- Στην υποενότητα topography based Vs 30 Grid εισάγεται αρχείο σε μορφή asc με την ταχύτητα διατμητικών κυμάτων ανα κελί καννάβου υπολογισμένη βάσει των γεωλογικών και τοπογραφικών δεδομένων του USGS (U.S. Geological Survey).

- Στις υποενότητες soil log Based Vs30 file και Geology Based Vs30 File εισάγονται αρχεία sharfile με γεωλογικά δεδομένα και στοιχεία γεωτρήσεων, με την βοήθεια των οποίων διορθώνονται οι τιμές που έχουν εισαχθεί από το αρχείο
- Στην υποενότητα output Vs30 Grid File name and Boundaries εισάγονται τα όρια της περιοχής μελέτης για την οποία ζητείται και υπολογίζεται το Vs30 , περιορίζοντας με αυτόν τον τρόπο τον υπολογιστικό όγκο του προγράμματος στο απολύτως απαραίτητο.

5.3.6 Σχέσεις Εξασθένησης (Attenuation Relationship)



Εικόνα 5.6 Επιλογή σχέσεων εξασθένησης (πηγή: QuakeGo_RedRisk Ver 4.1.1)

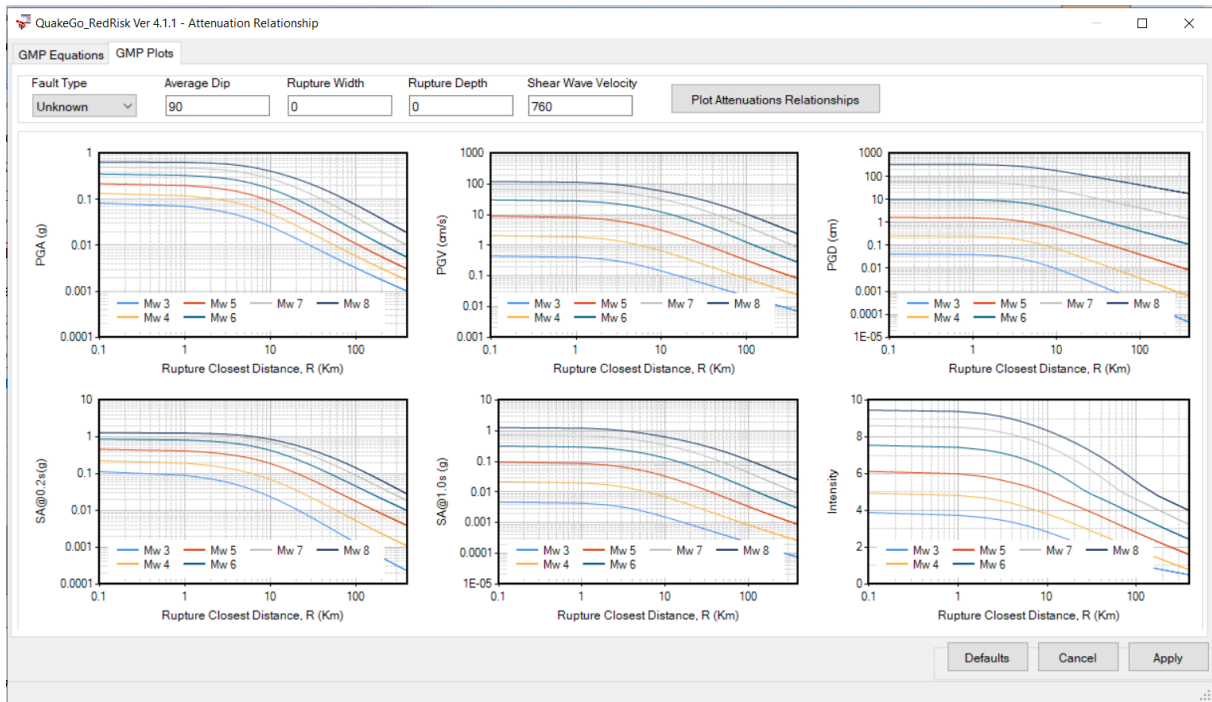
Στην ενότητα αυτήν επιλέγεται η σχέση εξασθένησης με την οποία θα υπολογιστεί η απόσβεση της σεισμικής κίνησης από το σημείο του ρήγματος μέχρι το σημείο ενδιαφέροντος. Η επιλογή πραγματοποιείται θέτοντας στην σχέση τον αριθμό 1 στο πεδίο weight.

Υπάρχει δυνατότητα επιλογής συνδυασμού σχέσεων όπως π.χ. αποτυπώνεται στην Εικόνα 5.6 (50% και 50%) προσέχοντας πάντοτε το άθροισμα να είναι ίσο με 1.

Στο πεδίο GMP Plots, όπως φαίνεται στην παρακάτω Εικόνα 5.7, αποτυπώνονται διαγραμματικά οι σχέσεις εξασθένησης, εισάγοντας τα κάτωθι στοιχεία:

- Είδος ρήγματος
- Μέσο βάθος
- Πλάτος ρήγματος

- Βάθος ρήγματος
- Ταχύτητα διατμητικών κυμάτων



Εικόνα 5.7 Διαγράμματα σχέσεων εξασθένισης (πηγή: QuakeGo_RedRisk Ver 4.1.1)

5.3.7 Καμπύλες Τρωτότητας (Vulnerabilities curves)

Στην παρούσα ενότητα εισάγονται όλες οι παράμετροι των καμπυλών τρωτότητας που θα χρησιμοποιηθούν από το πρόγραμμα.

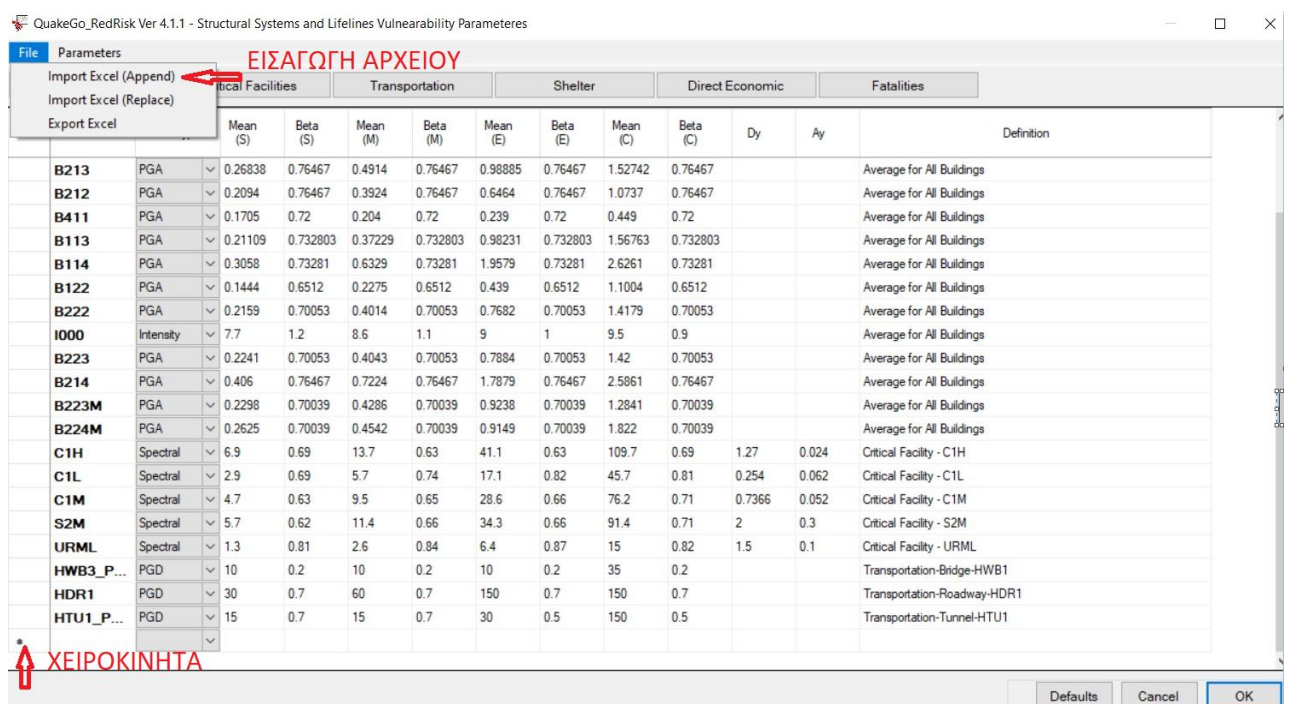
| Class ID | Vul Type | Mean (S) | Beta (S) | Mean (M) | Beta (M) | Mean (E) | Beta (E) | Mean (C) | Beta (C) | Dy | Ay | Total Cost | Cost Ratio (S) | Cost Ratio (M) | Cost Ratio (E) | Cost Ratio (C) | Severity1 (S) | Sev (f) |
|-----------|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|--------|-------|------------|----------------|----------------|----------------|----------------|---------------|---------|
| I000 | Intensity | 7.5 | 1.2 | 8 | 1.1 | 8.5 | 1 | 9.5 | 0.9 | | | 100 | 5 | 20 | 50 | 100 | 0.05 | 0.2 |
| S000 | Spectral | 8 | 0.7 | 15 | 0.75 | 23 | 0.85 | 46 | 0.95 | 2.5 | 0.17 | 100 | 5 | 20 | 50 | 100 | 0.05 | 0.2 |
| S2M | Spectral | 5.7 | 0.62 | 11.4 | 0.66 | 34.3 | 0.66 | 91.4 | 0.71 | 2 | 0.3 | 100 | 5 | 20 | 50 | 100 | 0.05 | 0.2 |
| C1L | Spectral | 2.9 | 0.69 | 5.7 | 0.74 | 17.1 | 0.82 | 45.7 | 0.81 | 0.254 | 0.062 | 100 | 5 | 20 | 50 | 100 | 0.05 | 0.2 |
| C1M | Spectral | 4.7 | 0.63 | 9.5 | 0.65 | 28.6 | 0.66 | 76.2 | 0.71 | 0.7366 | 0.052 | 100 | 5 | 20 | 50 | 100 | 0.05 | 0.2 |
| C1H | Spectral | 6.9 | 0.69 | 13.7 | 0.63 | 41.1 | 0.63 | 109.7 | 0.69 | 1.27 | 0.024 | 100 | 5 | 20 | 50 | 100 | 0.05 | 0.2 |
| URML | Spectral | 1.3 | 0.81 | 2.6 | 0.84 | 6.4 | 0.87 | 15 | 0.82 | 1.5 | 0.1 | 100 | 5 | 20 | 50 | 100 | 0.05 | 0.2 |
| HDR1 | PGD | 30 | 0.7 | 60 | 0.7 | 150 | 0.7 | 150 | 0.7 | | | 100 | 5 | 25 | 70 | 100 | 0 | 0 |
| HWB3_P... | PGD | 10 | 0.2 | 10 | 0.2 | 10 | 0.2 | 35 | 0.2 | | | 100 | 5 | 25 | 70 | 100 | 0 | 0 |
| HTU1_P... | PGD | 15 | 0.7 | 15 | 0.7 | 30 | 0.5 | 150 | 0.5 | | | 100 | 5 | 25 | 70 | 100 | 0 | 0 |
| I111 | Intensity | 7.7 | 1.2 | 8.6 | 1.1 | 9 | 1 | 9.5 | 0.9 | | | 100 | 5 | 20 | 50 | 100 | 0.05 | 0.2 |
| I112 | Intensity | 7.7 | 1.2 | 8.6 | 1.1 | 9 | 1 | 9.5 | 0.9 | | | 100 | 5 | 20 | 50 | 100 | 0.05 | 0.2 |
| I113 | Intensity | 7.7 | 1.2 | 8.6 | 1.1 | 9 | 1 | 9.5 | 0.9 | | | 100 | 5 | 20 | 50 | 100 | 0.05 | 0.2 |
| I121 | Intensity | 7.7 | 1.2 | 8.6 | 1.1 | 9 | 1 | 9.5 | 0.9 | | | 100 | 5 | 20 | 50 | 100 | 0.05 | 0.2 |
| I122 | Intensity | 7.7 | 1.2 | 8.6 | 1.1 | 9 | 1 | 9.5 | 0.9 | | | 100 | 5 | 20 | 50 | 100 | 0.05 | 0.2 |
| I123 | Intensity | 7.7 | 1.2 | 8.6 | 1.1 | 9 | 1 | 9.5 | 0.9 | | | 100 | 5 | 20 | 50 | 100 | 0.05 | 0.2 |
| I131 | Intensity | 7.7 | 1.2 | 8.6 | 1.1 | 9 | 1 | 9.5 | 0.9 | | | 100 | 5 | 20 | 50 | 100 | 0.05 | 0.2 |
| I132 | Intensity | 7.7 | 1.2 | 8.6 | 1.1 | 9 | 1 | 9.5 | 0.9 | | | 100 | 5 | 20 | 50 | 100 | 0.05 | 0.2 |
| I133 | Intensity | 7.7 | 1.2 | 8.6 | 1.1 | 9 | 1 | 9.5 | 0.9 | | | 100 | 5 | 20 | 50 | 100 | 0.05 | 0.2 |
| I211 | Intensity | 7.7 | 1.2 | 8.6 | 1.1 | 9 | 1 | 9.5 | 0.9 | | | 100 | 5 | 20 | 50 | 100 | 0.05 | 0.2 |
| I212 | Intensity | 7.7 | 1.2 | 8.6 | 1.1 | 9 | 1 | 9.5 | 0.9 | | | 100 | 5 | 20 | 50 | 100 | 0.05 | 0.2 |

Εικόνα 5.8 Παράμετροι Καμπυλών Τρωτότητας (πηγή: QuakeGo_RedRisk Ver 4.1.1)

Η ενότητα διαχωρίζεται στις κάτωθι 6 υποενότητες αναλόγως του αντικειμένου της μελέτης.

- Κτίρια (Buildings)
- Κρίσιμες εγκαστάσεις (Critical facilities)
- Οδικό – σιδηροδρομικό δίκτυο –γέφυρες –σήραγγες (transportation)
- Καταφύγια (Shelter)
- Οικονομικές απώλειες (direct economic damage)
- Ανθρώπινες απώλειες (fatalities)

Οι παράμετροι για τις καμπύλες τρωτότητας εισάγονται στο λογισμικό είτε σε μορφή excell, από την επιλογή στην επάνω αριστερή γωνία της ενότητας είτε χειροκίνητα όπως φαίνεται στην Εικόνα 5.9.



Εικόνα 5.9 Εισαγωγή δεδομένων (πηγή: QuakeGo_RedRisk Ver 4.1.1)

Στις στήλες της ενότητας διακρίνονται τεσσάρων (4) ειδών κατηγορίες βλαβών.

- Ελαφριές βλάβες (slight damage (S))
- Μέτριες βλάβες (medium damage (M))
- Βαριές βλάβες (Extensive damage (E))
- Ολική καταστροφή (Complete damage (C))

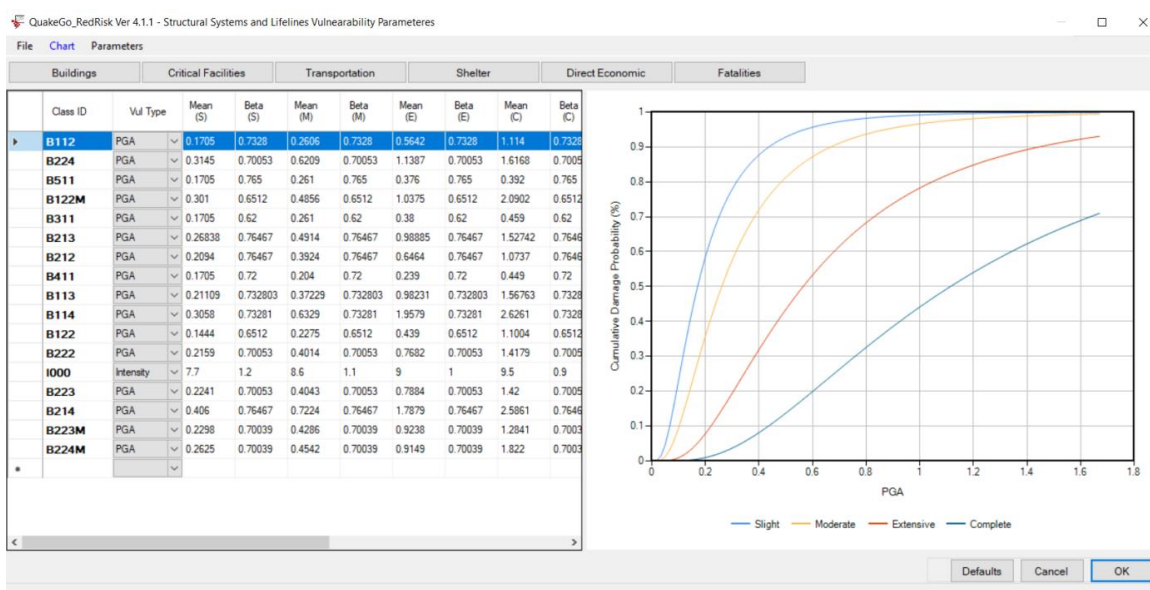
Ο όρος MEAN (average) αντιπροσωπεύει τον μέσο όρο και ενώ ο όρος BETA (standard deviation) την τυπική απόκλιση. Οι όροι D_y και A_y αναφέρονται στην φασματική μετατόπιση και φασματική επιτάχυνση αντίστοιχα.

Επιλέγοντας το πεδίο παραμέτρων, όπως φαίνεται στην Εικόνα 5.10 δίνεται η δυνατότητα από την δεξιά στήλη να επιλεγεί η μέθοδος εκτίμησης απωλειών καθώς και αποτυπώνονται οι μονάδες που χρησιμοποιούνται.

| Class ID | Vul Type | Mean (S) | Beta (S) | Mean (M) | Beta (M) | Mean (E) | Beta (E) | Mean (C) | Beta (C) | D_y | A_y | Definition |
|----------|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-------|-------|---------------------------|
| B112 | PGA | 0.1705 | 0.7328 | 0.2606 | 0.7328 | 0.5642 | 0.7328 | 1.114 | 0.7328 | | | |
| B224 | PGA | 0.3145 | 0.70053 | 0.6209 | 0.70053 | 1.1387 | 0.70053 | 1.6168 | 0.70053 | | | Average for All Buildings |
| B511 | PGA | 0.1705 | 0.765 | 0.261 | 0.765 | 0.376 | 0.765 | 0.392 | 0.765 | | | Average for All Buildings |
| B122M | PGA | 0.301 | 0.6512 | 0.4856 | 0.6512 | 1.0375 | 0.6512 | 2.0902 | 0.6512 | | | Average for All Buildings |
| B311 | PGA | 0.1705 | 0.62 | 0.261 | 0.62 | 0.38 | 0.62 | 0.459 | 0.62 | | | Average for All Buildings |
| B213 | PGA | 0.26838 | 0.76467 | 0.4914 | 0.76467 | 0.98885 | 0.76467 | 1.52742 | 0.76467 | | | Average for All Buildings |
| B212 | PGA | 0.2094 | 0.76467 | 0.3924 | 0.76467 | 0.6464 | 0.76467 | 1.0737 | 0.76467 | | | Average for All Buildings |
| B411 | PGA | 0.1705 | 0.72 | 0.204 | 0.72 | 0.239 | 0.72 | 0.449 | 0.72 | | | Average for All Buildings |
| B113 | PGA | 0.21109 | 0.732803 | 0.37229 | 0.732803 | 0.98231 | 0.732803 | 1.56763 | 0.732803 | | | Average for All Buildings |
| B114 | PGA | 0.3058 | 0.73281 | 0.6329 | 0.73281 | 1.9579 | 0.73281 | 2.6261 | 0.73281 | | | Average for All Buildings |
| B122 | PGA | 0.1444 | 0.6512 | 0.2275 | 0.6512 | 0.439 | 0.6512 | 1.1004 | 0.6512 | | | Average for All Buildings |
| B222 | PGA | 0.2159 | 0.70053 | 0.4014 | 0.70053 | 0.7682 | 0.70053 | 1.4179 | 0.70053 | | | Average for All Buildings |
| I000 | Intensity | 7.7 | 1.2 | 8.6 | 1.1 | 9 | 1 | 9.5 | 0.9 | | | Average for All Buildings |
| B223 | PGA | 0.2241 | 0.70053 | 0.4043 | 0.70053 | 0.7884 | 0.70053 | 1.42 | 0.70053 | | | Average for All Buildings |
| B214 | PGA | 0.406 | 0.76467 | 0.7224 | 0.76467 | 1.7879 | 0.76467 | 2.5861 | 0.76467 | | | Average for All Buildings |
| B223M | PGA | 0.2298 | 0.70039 | 0.4286 | 0.70039 | 0.9238 | 0.70039 | 1.2841 | 0.70039 | | | Average for All Buildings |
| B224M | PGA | 0.2625 | 0.70039 | 0.4542 | 0.70039 | 0.9149 | 0.70039 | 1.822 | 0.70039 | | | Average for All Buildings |

Εικόνα 5.10 Εισαγωγή παραμέτρων ενότητας καμπυλών τρωτότητας QuakeGo (πηγή: QuakeGo_RedRisk Ver 4.1.1)

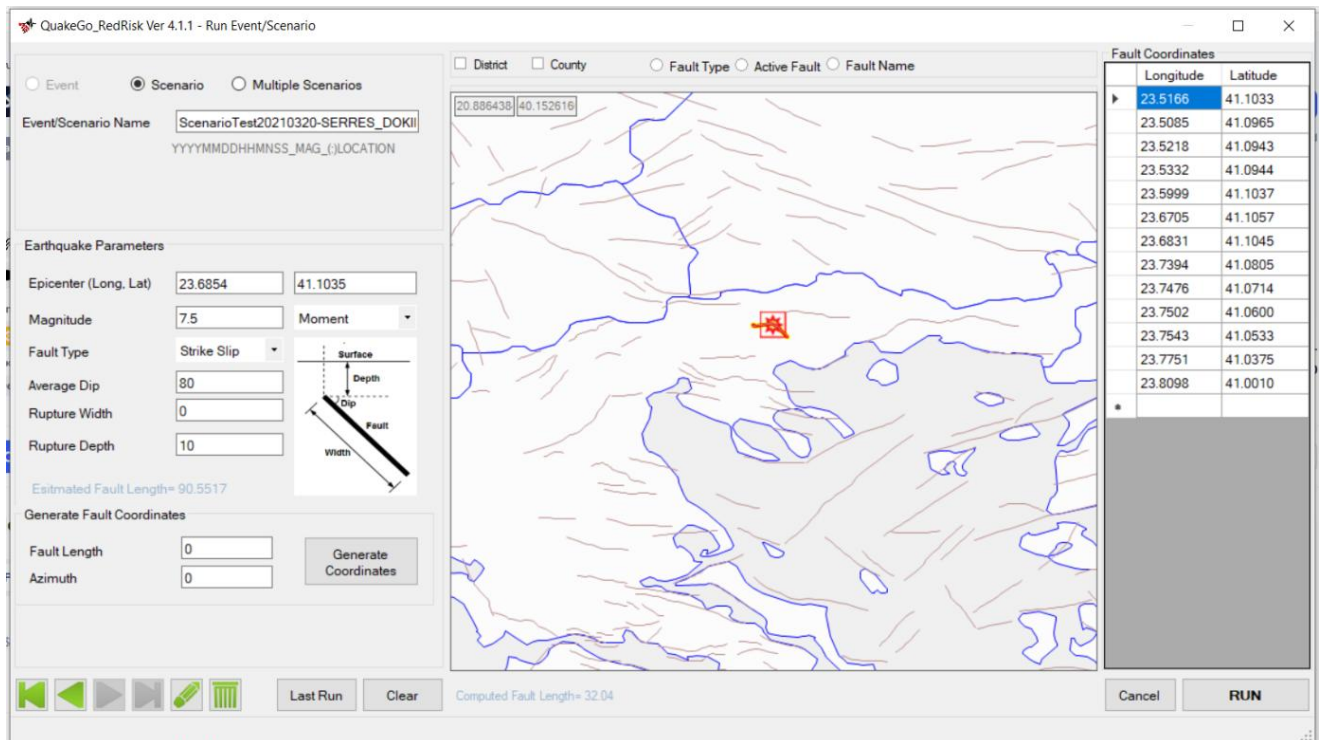
Στα πεδία “buildings”, “critical facilities” και “transportation” υπάρχει δυνατότητα διαγραμματικής απεικόνισης των καμπυλών τρωτότητας επιλέγοντας το πεδίο “chart” όπως φαίνεται στην Εικόνα 5.11.



Εικόνα 5.11 Διαγραμματική απεικόνιση καμπυλών τρωτότητας QuakeGo (πηγή: QuakeGo_RedRisk Ver 4.1.1)

5.3.8 Γεγονός/Σενάριο (Event/Scenario)

Στην ενότητα Run Event/Scenario εισάγεται από τον χρήστη είτε ένα σεισμικό γεγονός είτε σεισμικό σενάριο με χαρακτηριστικά που επιλέγονται από τον ίδιο είτε πολλαπλά σενάρια.



Εικόνα 5.12 Σεισμικό γεγονός - Σενάριο (πηγή: QuakeGo_RedRisk Ver 4.1.1)

Στην υποενότητα Earthquake Parameters όπως φαίνεται στην Εικόνα 5.13, εισάγονται οι παράμετροι του σεισμού και συγκεκριμένα:

- το επίκεντρο του (γεωγραφικό μήκος και πλάτους)
- το μέγεθος του σεισμού
- ο τύπος του σεισμού (Moment, Surface, Local)
- το είδος του ρήγματος (κανονικό, ανάστροφο κτλ)
- οι τιμές της μέσης γωνίας, του πλάτους και του βάθους του ρήγματος

Earthquake Parameters

Epicenter (Long, Lat)

Magnitude Surface

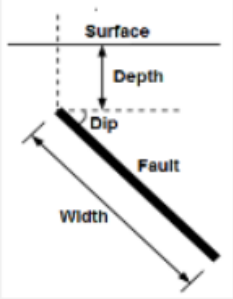
Fault Type

Average Dip

Rupture Width

Rupture Depth

Estimated Fault Length= 9.6877



Generate Fault Coordinates

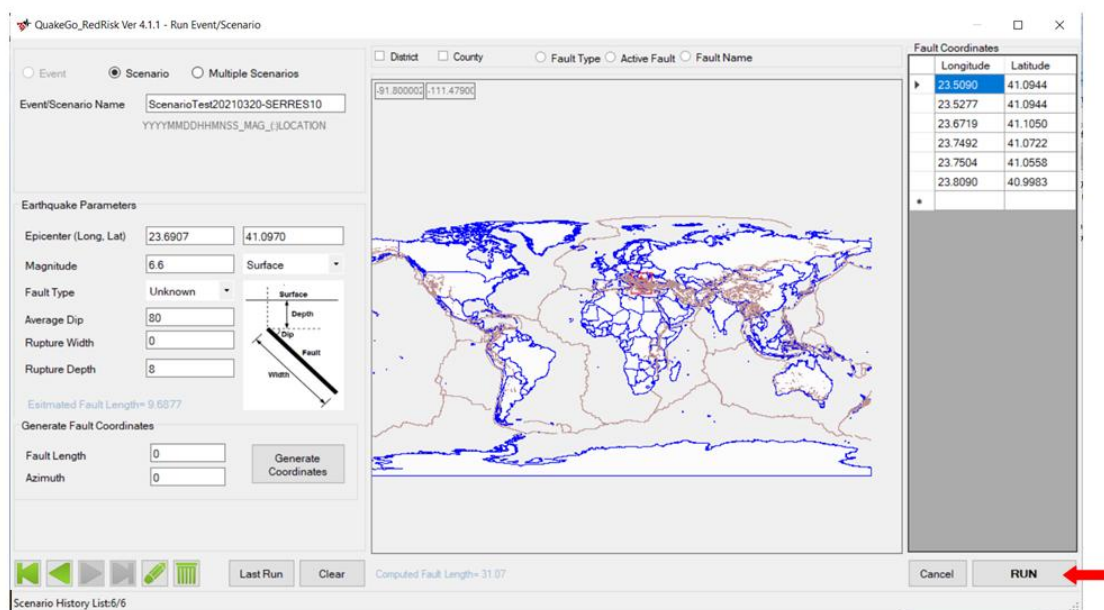
Fault Length

Azimuth

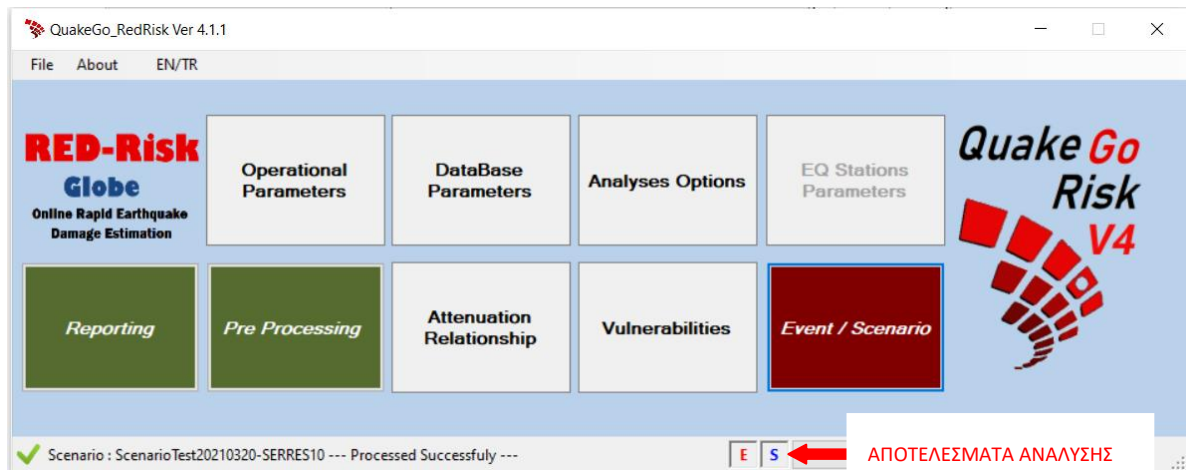
Εικόνα 5.13 Εισαγωγή παραμέτρων σεισμού QuakeGo (πηγή: QuakeGo_RedRisk Ver 4.1.1)

Πατώντας στο πεδίο generate coordinates εισάγονται από τον χρήστη οι συντεταγμένες του ρήγματος και στην συνέχεια αυτόματα προκύπτει και το εκτιμώμενο μήκος του ρήγματος.

Αφού ολοκληρωθεί η διαδικασία της συμπλήρωσης των παραμέτρων, η διαδικασία της ανάλυσης ξεκινάει πατώντας το πεδίο run (Εικόνα 5.14) και τα αποτελέσματα της ανάλυσης αποτυπώνονται στο αρχικό μενού στην θέση που φαίνεται στην Εικόνα 5.15 (πατώντας στο s της κάτω μπάρας).



Εικόνα 5.14 Έναρξη ανάλυσης στο QuakeGo (πηγή: QuakeGo_RedRisk Ver 4.1.1)



Εικόνα 5.15 Αποτελέσματα ανάλυσης QuakeGo (πηγή: QuakeGo_RedRisk Ver 4.1.1)

5.3.9 Αναφορά (Reporting)

Στην ενότητα αναφορά (Reporting) δίνεται η δυνατότητα είτε να επιλεγθούν αποκλειστικά τα εξαγόμενα αποτελέσματα που επιθυμεί ο χρήστης είτε να εξαχθεί αρχείο word με όλα τα αποτελέσματα της ανάλυσης. Η ενότητα αποτελείται από δύο (2) μέρη.

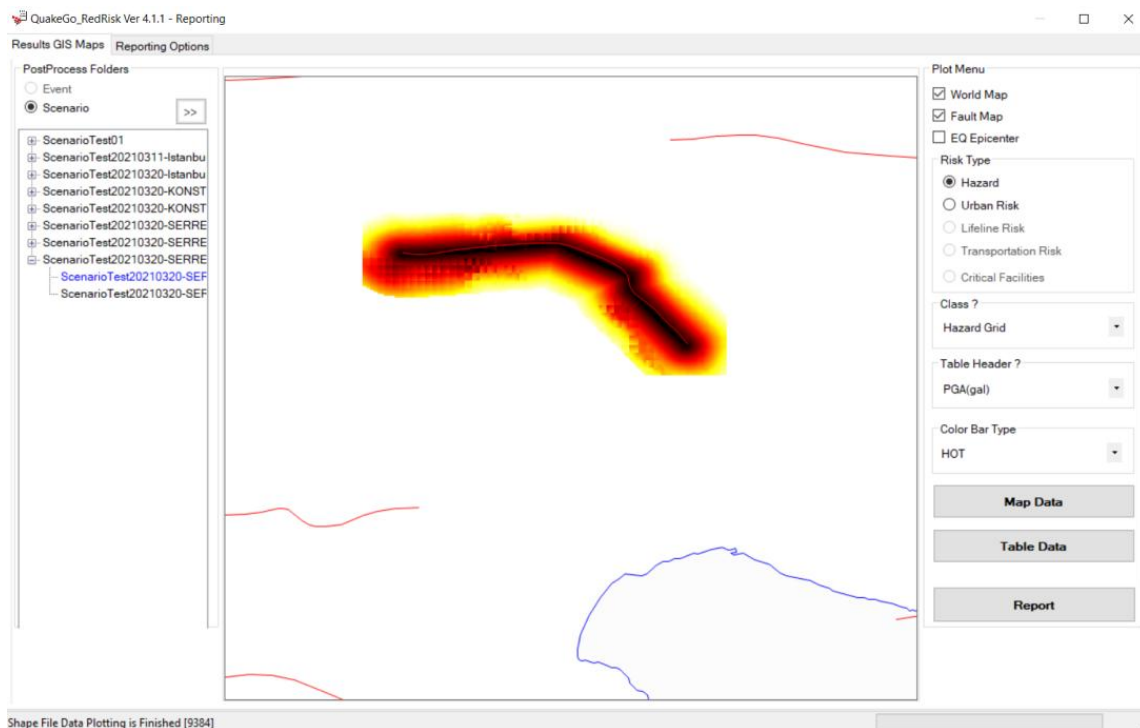
- Αποτελέσματα σε χάρτες GIS (Results GIS Maps)
- Επιλογές Αναφοράς (Reporting Options)

Αποτελέσματα σε χάρτες GIS (Results GIS Maps)

Το σενάριο για το οποίο θα εξαχθούν τα αντίστοιχα αποτελέσματα επιλέγεται από την αριστερή στήλη της ενότητας. Στην δεξιά πλευρά της ενότητας δίνεται η δυνατότητα να επιλεγθεί ο τρόπος που θα εμφανιστούν τα αποτελέσματα είτε σε μορφή πίνακα είτε αποτυπωμένα σε χάρτη καθώς και να επιλεγθούν τα δεδομένα που θέλουμε να εμφανιστούν. (Risk type, class, table header)

| | NUMBUILD | SDAMAGE | MDAMAGE | EDAMAGE | CDAMAGE | TPOP | INJ1 |
|-----|----------|---------|---------|---------|---------|--------|--------|
| ... | 11.00 | 1.5231 | 1.3129 | 1.1434 | 3.0100 | 0.0000 | 0.0000 |
| ... | 11.00 | 1.2938 | 0.9937 | 1.4294 | 3.3798 | 0.0000 | 0.0000 |
| ... | 100.00 | 10.1600 | 12.1918 | 11.7754 | 27.8398 | 0.0000 | 0.0000 |
| ... | 169.00 | 18.1863 | 23.4629 | 21.8988 | 41.7304 | 0.0000 | 0.0000 |
| ... | 155.00 | 17.2188 | 22.7670 | 27.8920 | 30.3864 | 0.0000 | 0.0000 |
| ... | 80.00 | 10.9920 | 15.3829 | 11.1799 | 10.8764 | 0.0000 | 0.0000 |
| ... | 24.00 | 4.2127 | 6.1886 | 1.3938 | 1.4629 | 0.0000 | 0.0000 |
| ... | 124.00 | 9.1601 | 11.7980 | 11.5767 | 43.3844 | 0.0000 | 0.0000 |
| ... | 133.00 | 14.4661 | 21.2000 | 20.7192 | 23.7431 | 0.0000 | 0.0000 |
| ... | 262.00 | 32.4208 | 38.5010 | 43.2828 | 48.6351 | 0.0000 | 0.0000 |
| ... | 115.00 | 11.7981 | 17.4985 | 24.5188 | 18.2348 | 0.0000 | 0.0000 |
| ... | 71.00 | 8.0984 | 11.6287 | 10.0830 | 12.9170 | 0.0000 | 0.0000 |
| ... | 72.00 | 7.9311 | 11.5991 | 6.9424 | 15.6391 | 0.0000 | 0.0000 |
| ... | 2.00 | 0.3206 | 0.6049 | 0.0655 | 0.0043 | 0.0000 | 0.0000 |
| ... | 71.00 | 5.1656 | 5.8634 | 8.2552 | 24.6113 | 0.0000 | 0.0000 |
| ... | 168.00 | 15.0246 | 20.8378 | 19.5939 | 48.2264 | 0.0000 | 0.0000 |
| ... | 157.00 | 19.3688 | 25.9380 | 23.0191 | 27.3042 | 0.0000 | 0.0000 |
| ... | 122.00 | 12.7970 | 20.5395 | 21.2867 | 19.7159 | 0.0000 | 0.0000 |
| ... | 83.00 | 9.8781 | 14.3416 | 11.3781 | 14.7771 | 0.0000 | 0.0000 |
| ... | 64.00 | 5.4199 | 6.2693 | 6.6048 | 21.2129 | 0.0000 | 0.0000 |
| ... | 35.00 | 1.5104 | 2.1680 | 4.2042 | 13.3106 | 0.0000 | 0.0000 |
| ... | 65.00 | 8.4726 | 6.9946 | 8.0491 | 17.0072 | 0.0000 | 0.0000 |
| ... | 17.00 | 2.7429 | 3.1509 | 1.7169 | 2.4224 | 0.0000 | 0.0000 |
| ... | 87.00 | 8.5985 | 10.2204 | 10.1556 | 24.1871 | 0.0000 | 0.0000 |
| ... | 137.00 | 15.4761 | 15.9901 | 15.3804 | 38.9915 | 0.0000 | 0.0000 |
| ... | 17.00 | 1.4814 | 2.3379 | 1.8821 | 4.6634 | 0.0000 | 0.0000 |

Εικόνα 5.16 Αποτελέσματα ανάλυσης QuakeGo σε μορφή πίνακα (πηγή: QuakeGo_RedRisk Ver 4.1.1)

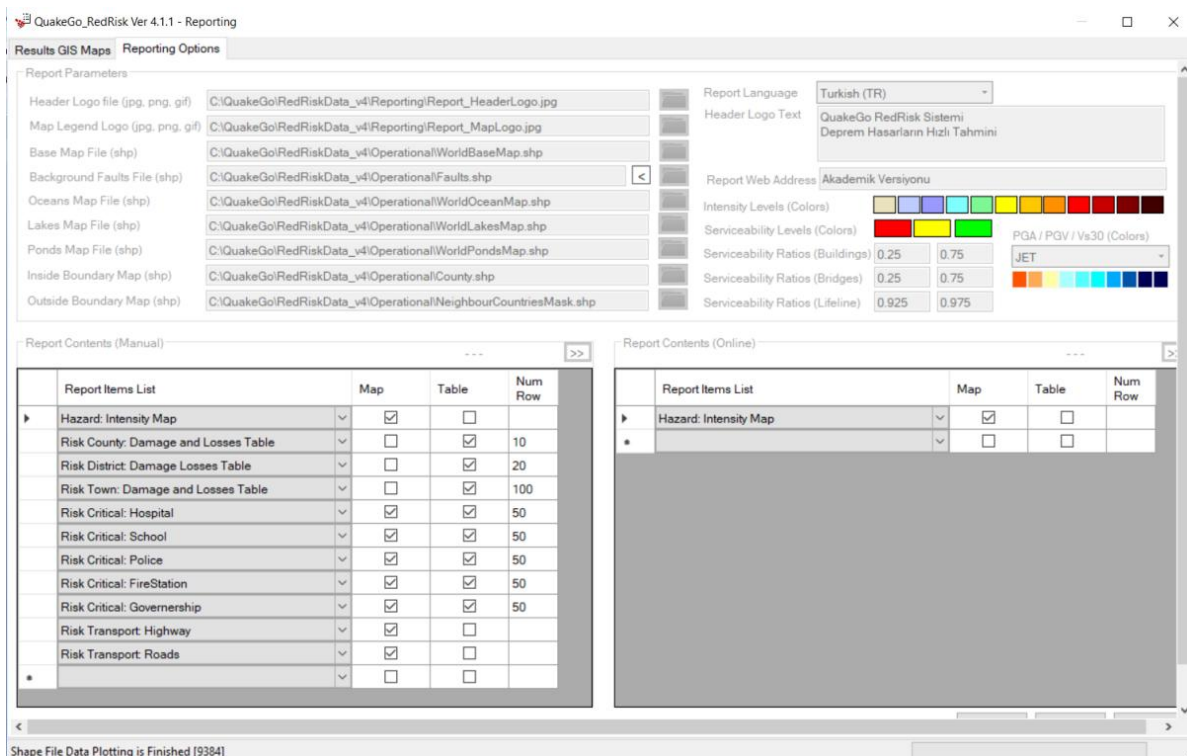


Εικόνα 5.17 Αποτελέσματα ανάλυσης QuakeGo σε μορφή χάρτη (πηγή: QuakeGo_RedRisk Ver 4.1.1)

Τέλος, πατώντας στο πεδίο report εξάγεται αρχείο word συμπεριλαμβάνοντας όλα τα αποτελέσματα που έχουν επιλεγθεί από τον χρήστη στην υποενότητα reporting options.

Επιλογές Αναφοράς (Reporting Options)

Η υποενότητα “επιλογές αναφοράς” (Reporting Options) διαχωρίζεται σε δύο μέρη. Στην αριστερή πλευρά επιλέγονται από τον χρήστη ο τρόπος και το είδος των δεδομένων που θέλει να εμφανιστούν στα εξαγόμενα αποτελέσματα ενώ στην δεξιά πλευρά αυτό πραγματοποιείται online.



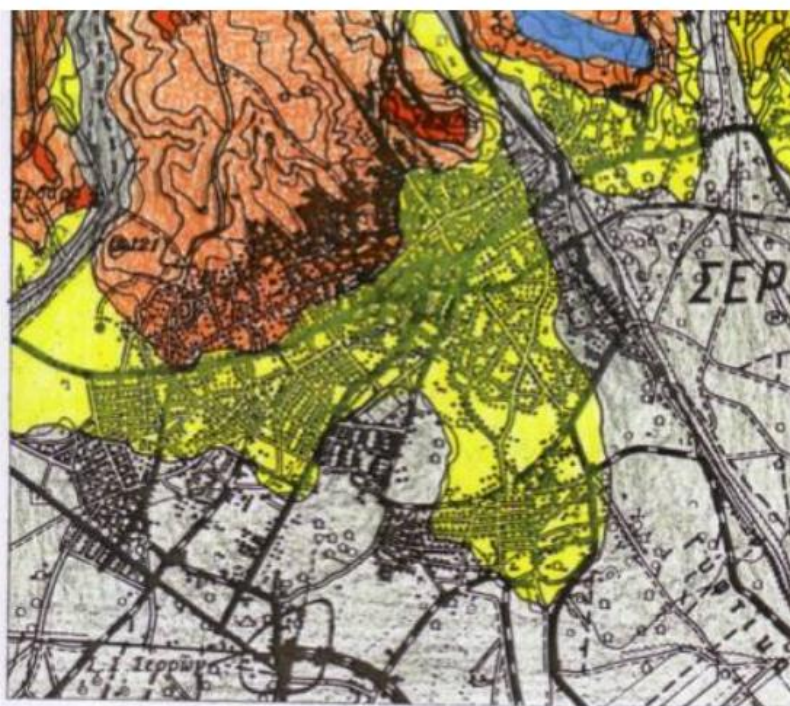
Εικόνα 5.18 Επιλογές Αναφοράς (Reporting Options) QuakeGo (πηγή: QuakeGo_RedRisk Ver 4.1.1)

Κεφάλαιο 6

Γεωδυναμικά χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης

6.1 Γεωλογικά δεδομένα

Τα στοιχεία για το γεωλογικό υπόβαθρο τη πόλης των Σερρών αντλούνται από τις τεχνικές εκθέσεις των παραδοτέων του ερευνητικού έργου SeiVAS (Πακέτο Εργασίας 2 του έργου, Θεοδουλίδης και συναργάτες 2015) και από τον παρακάτω γεωλογικό χάρτη του ΙΓΜΕ όπου διακρίνονται 5 διαφορετικές κατηγορίες εδαφών στην ευρύτερη περιοχή.

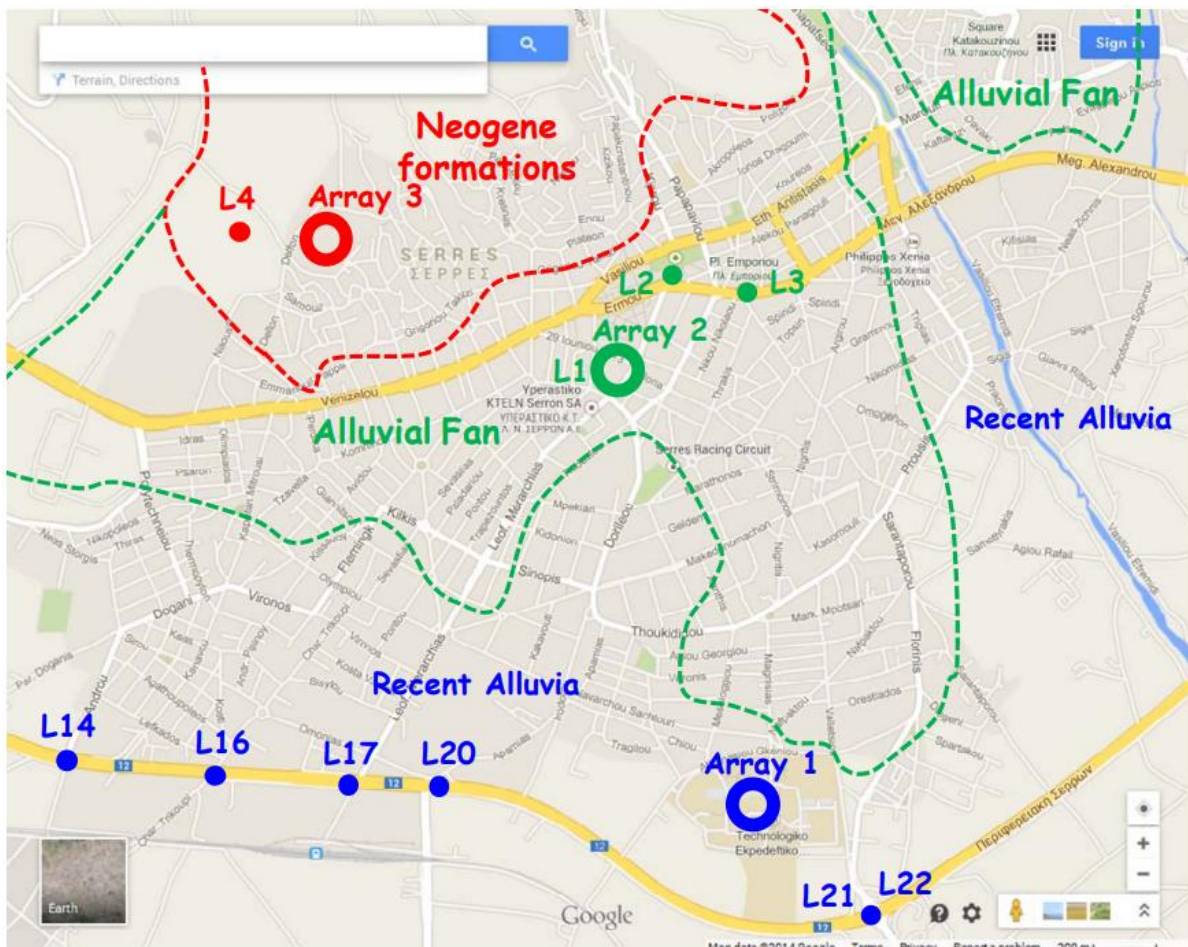


- | | |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> Προσθσεις κοιλάδων : αμμοχάλκινοι θρύλλοι, θρύλλοι, ιλλοί, άμμοι με χαλκίνα κατά θέσεις. Κατώτερο σύστημα αναβαθμών. Αποτελείται από άμμοις, χαλκίνα, κηλοσί, ερυθροαίτες με κατά τόπους κροκίτες μαρμαίρον. Λιμνοχερσαίτες αποθέσεις. Κροκαλοπαγή, φασμίτες, ηλιίτες, άμμοι, χαλκίνα, αργιλοάχοι άμμοι και ερυθροαίτες | <ul style="list-style-type: none"> Εναλλαγές και πλευρικές μεταβάσεις μεταξύ μαργαίτων και τραβερτινοειδών ασβεστολίθων. Τα συμπαγή τραβερτινοειδή περιέχουν κρυσταλλικά συγκρήματα και λεπτούς αλληνοειδείς σχηματισμούς. Στρώματα αργιλικά και αμμόδη ή αργιλοαμμόδη, φασμίτες, ιλλοίτες. Πηλίτες με καλή ταξινόμηση των υλικών με ανθρακομίγεις και λιγνιτικές στρώσεις, χαρακτηριστικοί οφίζοντες από κηλοσί. Στα ανώτερα στρώματα μικρές παρεμβολές από μάρμας. Συνιζηματογενείς ολισθλίθοι και ολισθοστρώματα από τα κρυσταλλοσχιστέδη και του υποκρημαίτων. |
|---|--|

Εικόνα 6.1 Γεωλογικός χάρτης στην ευρύτερη περιοχή της πόλης των Σερρών (ΙΓΜΕ)

Στα πλαίσια του Π.Ε.2 του έργου Sei.V.A.S., ο παραπάνω χάρτης αποτυπώθηκε στην Εικόνα 6.2 (μέσω google maps) όπου ενσωματώθηκαν και οι υπάρχουσες γεωτεχνικές μελέτες που ανευρέθησαν από την ερευνητική ομάδα.

Διακρίνονται τρεις σχηματισμοί επιφανειακά, που στο νότιο τμήμα της πόλης αφορούν πρόσφατες αλλουβιακές αποθέσεις (recent alluvia), στο κεντρικό τμήμα της πόλης σχηματισμούς που μπορούν να χαρακτηριστούν ως ριπίδια (alluvial fan), ενώ βορειότερα σκληρότερους σχηματισμούς (Νεογενή – Neogene formations) (SeiVAS, 2014).



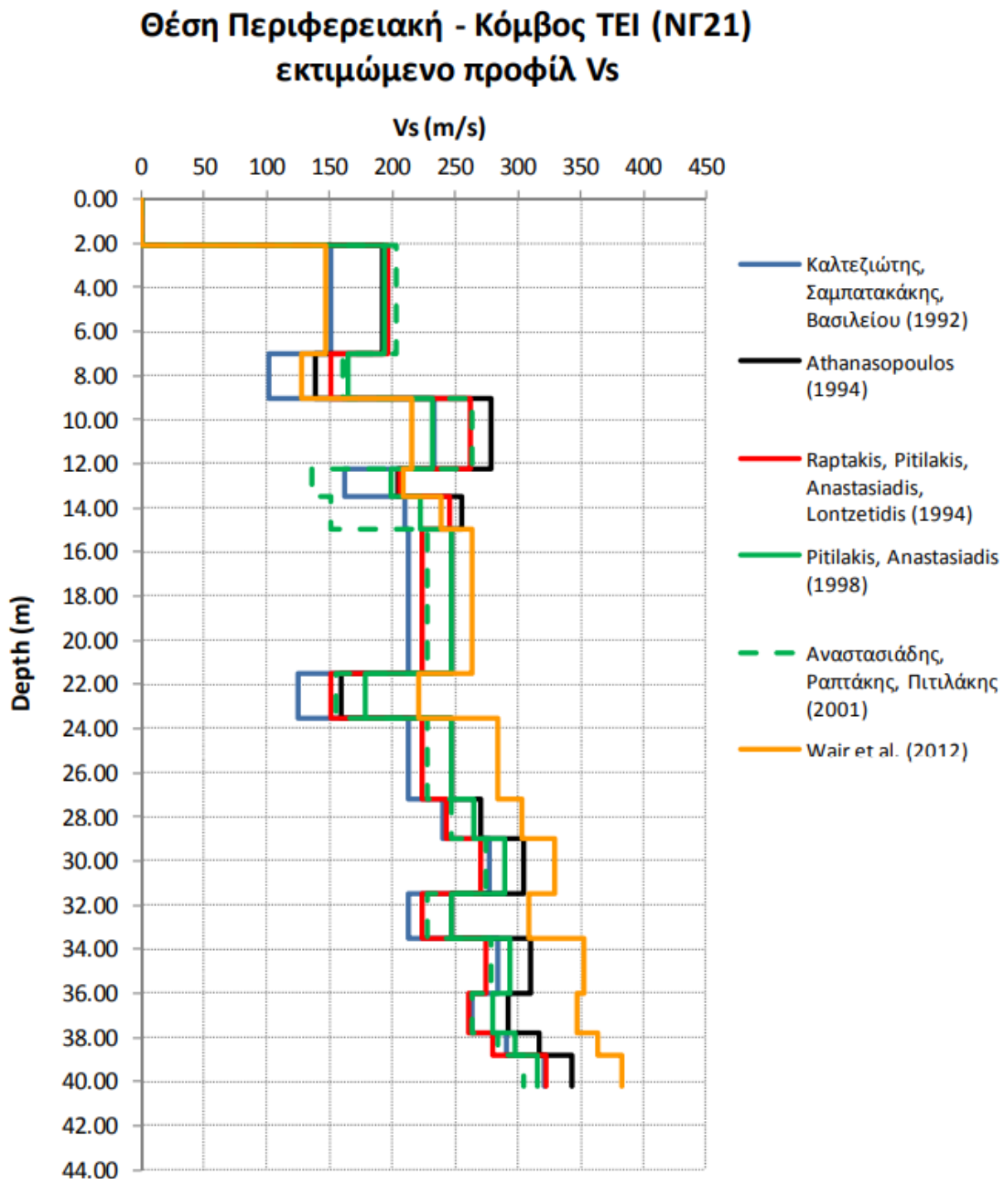
Εικόνα 6.2 Γεωλογικοί σχηματισμοί στο χάρτη της πόλης των Σερρών. Διακρίνονται οι θέσεις των γεωφυσικών διασκοπήσεων τύπου arrays όπως και θέσεις υφιστάμενων στοιχείων από γεωτεχνικές μελέτες (Χάρτης από την υπηρεσία Google maps <https://www.google.com/maps>, SeiVAS,2015)

Οι θέσεις L1 έως L4 και L14 έως L22 αποτελούν σημεία του χάρτη για τα οποία ανευρέθησαν γεωτεχνικές μελέτες και κατ' επέκταση σημαντικά δεδομένα για την στρωματογραφία της περιοχής καθώς και για την ταχύτητα των διατμητικών σεισμικών κυμάτων μέσα στο έδαφος.

Στους παρακάτω πίνακες και εικόνες που ακολουθούν διακρίνονται ενδεικτικά αποτελέσματα των υπολογισμών που πραγματοποιήθηκαν από την ερευνητική ομάδα του SeiVAS όσον αφορά την ταχύτητα των διατμητικών κυμάτων Vs (m/s).

| Στρώση | Βάθος (m) | Ταχύτητα διατμητικών κυμάτων Vs (m/s) | | | | | |
|--------|-------------|---|-----------------------|---|--------------------------------|--|--------------------|
| | | Καλτεζιώτης, Σαμπατακάκης, Βασιλείου (1992) | Athanasopoulos (1994) | Raptakis, Pitolakis, Anastasiadis, Lontzetidis (1994) | Pitolakis, Anastasiadis (1998) | Αναστασιάδης, Ραπτάκης, Πιπιλάκης (2001) | Wair et al. (2012) |
| A | 0.00-2.10 | - | - | - | - | - | - |
| B | 2.10-7.00 | 150.53 | 192.06 | 195.60 | 193.10 | 202.62 | 147.52 |
| B | 7.00-9.00 | 102.16 | 138.10 | 150.50 | 164.04 | 160.26 | 127.24 |
| B | 9.00-12.20 | 232.68 | 278.24 | 262.57 | 231.94 | 263.73 | 214.79 |
| Γ | 12.20-13.50 | 162.60 | 205.09 | 206.07 | 199.47 | 136.45 | 208.05 |
| Γ | 13.50-15.00 | 210.12 | 255.10 | 245.07 | 222.20 | 151.62 | 238.54 |
| Δ | 15.00-21.50 | 213.28 | 246.50 | 223.33 | 246.36 | 227.21 | 263.36 |
| Δ | 21.50-23.50 | 124.81 | 159.80 | 151.01 | 177.78 | 154.75 | 220.81 |
| Δ | 23.50-27.20 | 213.28 | 246.50 | 223.33 | 246.36 | 227.21 | 283.95 |
| E | 27.20-29.00 | 239.69 | 270.91 | 243.21 | 264.52 | 247.04 | 303.05 |
| E | 29.00-31.50 | 277.04 | 304.59 | 270.34 | 288.90 | 274.07 | 328.87 |
| E | 31.50-33.50 | 213.28 | 246.50 | 223.33 | 246.36 | 227.21 | 308.54 |
| E | 33.50-36.00 | 283.79 | 310.57 | 275.14 | 293.17 | 278.84 | 352.13 |
| E | 36.00-37.80 | 262.89 | 291.94 | 260.19 | 279.83 | 263.96 | 347.38 |
| ΣΤ | 37.80-38.80 | 290.34 | 316.36 | 279.76 | 297.27 | 283.44 | 363.83 |
| Z | 38.80-40.25 | 320.65 | 342.82 | 322.48 | 315.80 | 304.35 | 382.36 |

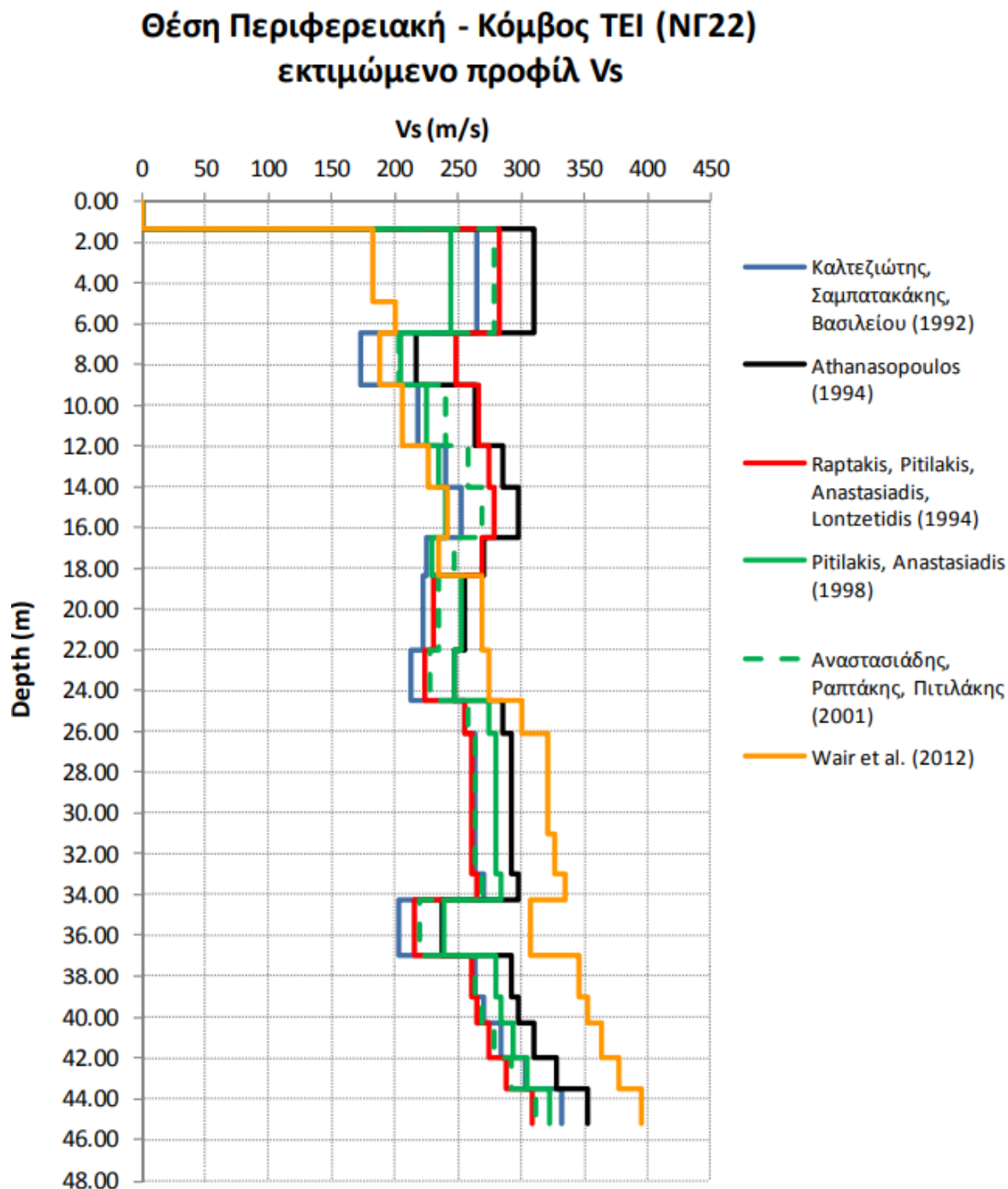
Πίνακας 6.1 Υπολογισμός Vs στη θέση ΝΓ21 μέσω αριθμού χτύπων SPT από διάφορες σχέσεις (SeiVas, 2015)



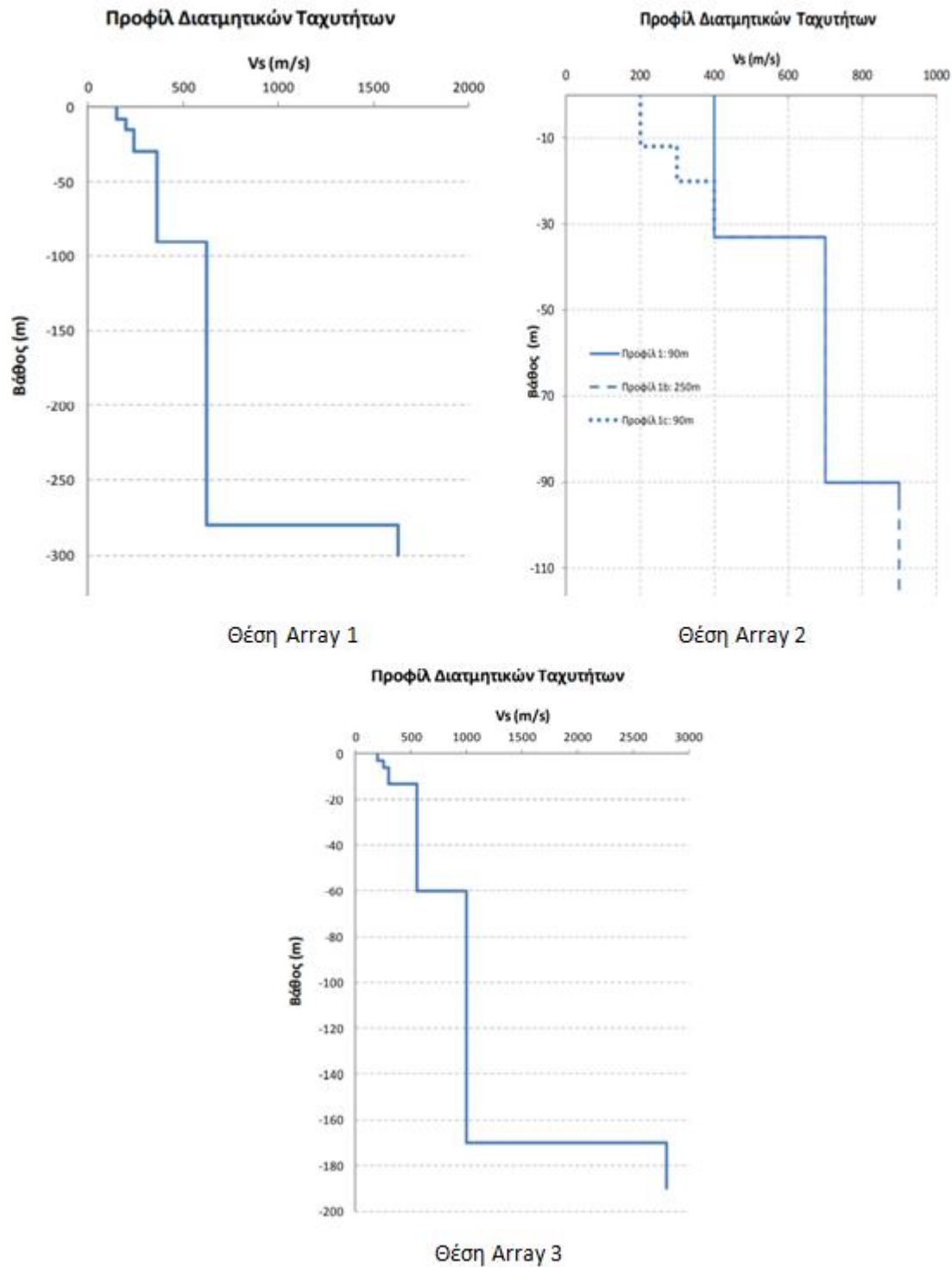
Εικόνα 6.3 Απλοποιημένη εδαφική τομή με το προφίλ των διατμητικών ταχυτήτων στη θέση ΝΓ21 όπως προκύπτει από διάφορες σχέσεις υπολογισμού με το NSPT (Σημειώνεται πως λόγω της μη πλήρους αντιστοιχίας των εξεταζόμενων εδαφών με τις σχέσεις που προτείνονται, ενδέχεται να υπάρχει απόκλιση της τάξης του 30% από τις τιμές του διαγράμματος) (SeiVAS, 2015)

| Στρώση | Βάθος (m) | Ταχύτητα διατμητικών κυμάτων Vs (m/s) | | | | | |
|--------|-------------|--|-----------------------|---|--------------------------------|--|--------------------|
| | | Κατεζιώτης, Σαμπατακάκης, Βασιλείου (1992) | Athanasopoulos (1994) | Raptakis, Pitolakis, Anastasiadis, Lontzetidis (1994) | Pitolakis, Anastasiadis (1998) | Αναστασιάδης, Ραπτάκης, Πιπιλάκης (2001) | Wair et al. (2012) |
| A | 0.00-1.40 | - | - | - | - | - | - |
| B | 1.40-4.90 | 264.77 | 310.57 | 282.97 | 244.90 | 278.84 | 182.99 |
| Γ | 4.90-6.50 | 264.77 | 310.57 | 282.97 | 244.90 | 278.84 | 200.31 |
| Γ | 6.50-9.00 | 173.55 | 216.79 | 248.28 | 205.02 | 202.77 | 187.59 |
| Δ | 9.00-12.00 | 218.00 | 263.22 | 266.44 | 225.66 | 240.82 | 206.45 |
| Δ | 12.00-14.00 | 239.58 | 285.24 | 274.34 | 234.81 | 258.58 | 225.86 |
| Δ | 14.00-16.50 | 252.60 | 298.38 | 278.88 | 240.10 | 269.12 | 242.21 |
| Δ | 16.50-18.40 | 225.50 | 270.91 | 269.25 | 228.90 | 247.04 | 234.00 |
| E | 18.40-22.00 | 222.52 | 255.10 | 230.36 | 252.81 | 234.22 | 269.64 |
| E | 22.00-24.50 | 213.28 | 246.50 | 223.33 | 246.36 | 227.21 | 274.60 |
| E | 24.50-26.10 | 255.45 | 285.24 | 254.79 | 274.98 | 258.58 | 300.22 |
| ΣΤ | 26.10-31.00 | 262.89 | 291.94 | 260.19 | 279.83 | 263.96 | 320.71 |
| Z | 31.00-33.00 | 262.89 | 291.94 | 260.19 | 279.83 | 263.96 | 327.19 |
| Z | 33.00-34.30 | 270.08 | 298.38 | 265.37 | 284.46 | 269.12 | 334.69 |
| H | 34.30-37.00 | 203.51 | 237.32 | 215.81 | 239.43 | 219.70 | 307.77 |
| H | 37.00-39.00 | 262.89 | 291.94 | 260.19 | 279.83 | 263.96 | 345.16 |
| H | 39.00-40.30 | 270.08 | 298.38 | 265.37 | 284.46 | 269.12 | 352.41 |
| Θ | 40.30-42.00 | 283.79 | 310.57 | 275.14 | 293.17 | 278.84 | 363.92 |
| I | 42.00-43.50 | 302.92 | 327.40 | 288.56 | 305.05 | 292.19 | 377.31 |
| I | 43.50-45.25 | 331.82 | 352.45 | 308.42 | 322.46 | 311.91 | 395.64 |

Πίνακας 6.2 Υπολογισμός Vs στη θέση ΝΓ22 μέσω αριθμού χτύπων SPT από διάφορες σχέσεις (SeiVas, 2015)



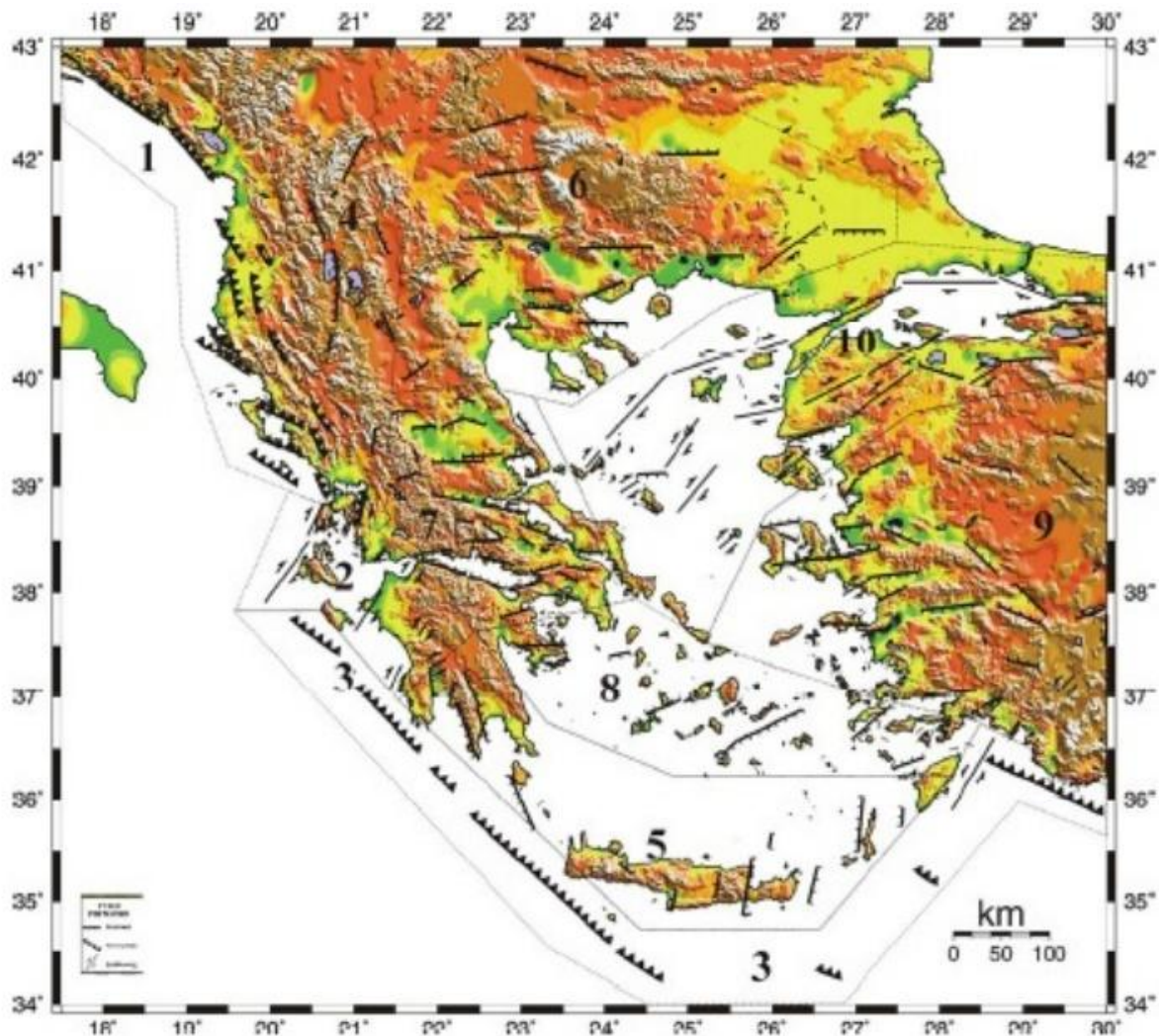
Εικόνα 6.4 Απλοποιημένη εδαφική τομή με το προφίλ των διατμητικών ταχυτήτων στη θέση ΝΓ22 όπως προκύπτει από διάφορες σχέσεις υπολογισμού με το NSPT (Σημειώνεται πως λόγω της μη πλήρους αντιστοιχίας των εξεταζόμενων εδαφών με τις σχέσεις που προτείνονται, ενδέχεται να υπάρχει απόκλιση της τάξης του 30% από τις τιμές του διαγράμματος) (SeiVas, 2015)



Εικόνα 6.5 Εξεταζόμενα προσομοιώματα διατμητικών ταχυτήτων στις 3 περιοχές (Array 1,2,3) του προγράμματος SeiVAS (SeiVAS, 2015)

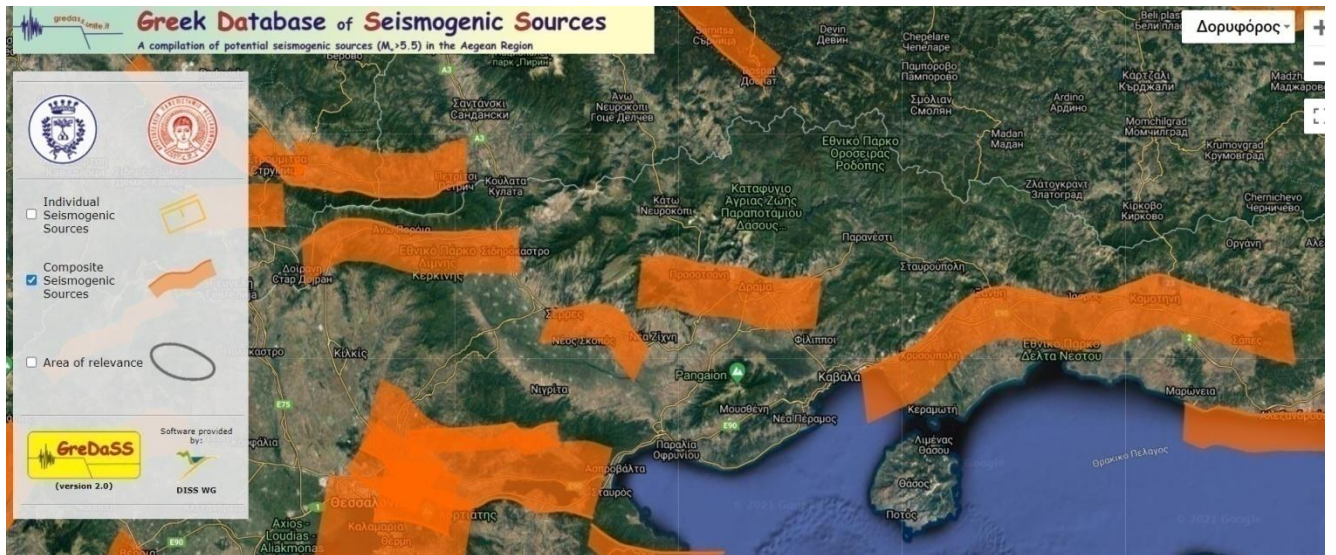
6.2 Ενεργά ρήγματα

Ο Παπαζάχος και συνεργάτες (2001) με την συλλογή, μελέτη και αξιολόγηση όλων των σημαντικών γνωστών δημοσιευμένων γεωφυσικών και γεωλογικών παρατηρήσεων για την ευρύτερη περιοχή του Αιγαίου εντόπισαν και κατέγραψαν τα κύρια ρήγματα (ζωνών διάρρηξης) του ελληνικού χώρου και των γύρω περιοχών (όπου συνέβησαν ισχυροί σεισμοί ($M \geq 6.0$), από τον 5ο π.Χ. αιώνα μέχρι το 2000 (Parazachos and Parazachou, 1997, 2003).

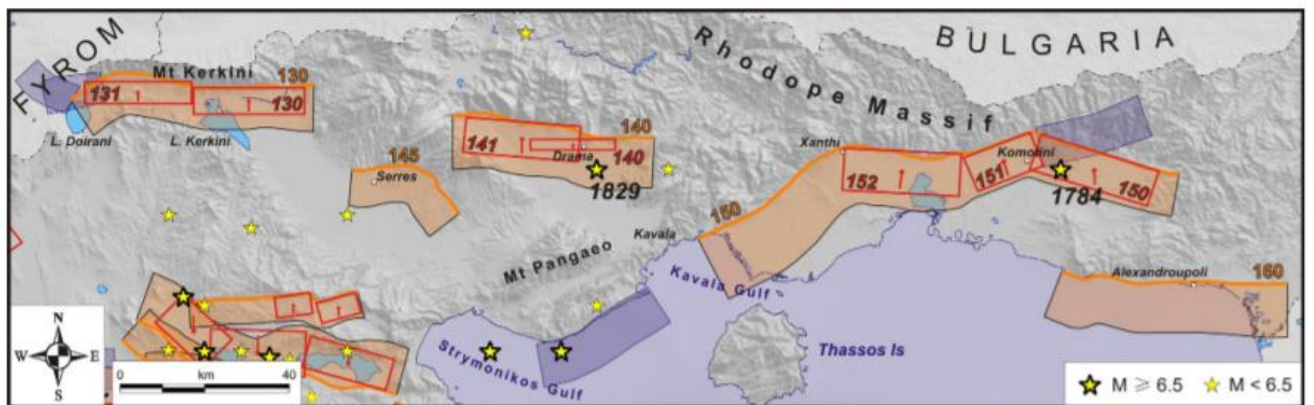


Εικόνα 6.6 Τα κύρια σεισμικά ρήγματα επιφανειακών σεισμών στον ευρύτερο Αιγαϊακό χώρο (Παπαζάχος και συν., 2001)

Στην παρακάτω Εικόνα 6.7 αποτυπώνονται τα ενεργά ρήγματα της Βορείου Ελλάδος που επηρεάζουν γεωδυναμικά την ευρύτερη περιοχή της πόλης των Σερρών.



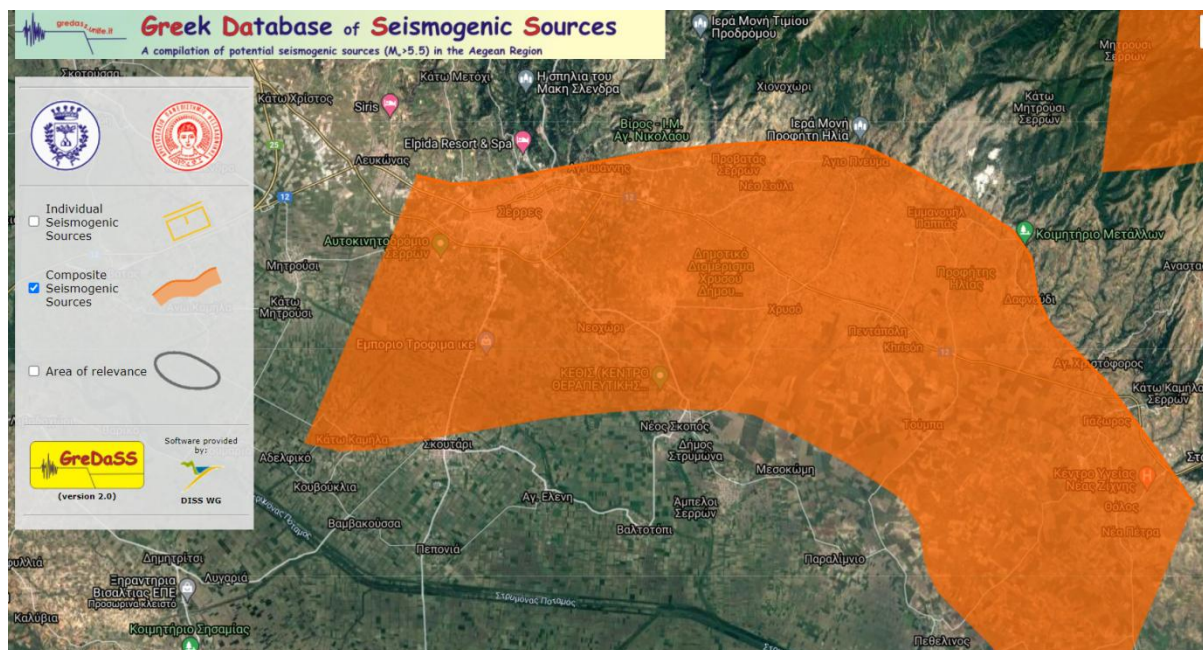
Εικόνα 6.7 Ρήγματα Ευρύτερης Περιοχής Σερρών(πηγή: <http://gredass.unife.it/gredassGM>)



Εικόνα 6.8 Ενεργά ρήματα Βορείου Ελλάδος (SeiVAS,2015)

Το ρήγμα των Σερρών που επηρεάζει την περιοχή μελέτης έχει τα κάτωθι κύρια χαρακτηριστικά

- Προσανατολισμό Ανατολή – Δύση (E-W)
- Μήκος 31,1 Km
- Πλάτος 18,6 km
- Μέγιστο βάθος 16 Km
- Κλίση 50-80



Εικόνα 6.9 Ρήγμα Σερρών (πηγή: <http://gredass.unife.it/gredassGM>)

| Seismogenic source | Type | Code | Length (km) | Width (km) | Min. depth (km) | Max. depth (km) | Strike (°) | Dip (°) | Rake (°) | Slip per event (m) | Slip rate (mm/a) | Recurrence interval (ka) | Potential M_w |
|--------------------|------|------|-------------|------------|-----------------|-----------------|------------|---------|----------|--------------------|------------------|--------------------------|-----------------|
| Maronia | CSS | 160 | 54.0 | 17.1 | 0 | 14 | 80-120 | 45-75 | 230-280 | 1.56 | 0.4-0.7 | n/a | 7.0 |
| Thrace | CSS | 150 | 123 | 19.5 | 0 | 14 | 40-115 | 35-75 | 200-290 | 1.56 | 0.2-0.5 | n/a | 7.0 |
| Komotini | ISS | 150 | 29.0 | 15.5 | 0 | 12.7 | 108 | 55 | 290 | 0.90 | n/a | n/a | 6.7 |
| Iasmos | ISS | 151 | 16.7 | 15.5 | 0 | 12.7 | 68 | 55 | 265 | 0.55 | n/a | n/a | 6.4 |
| Xanthi | ISS | 152 | 27.5 | 16 | 0 | 12.3 | 93 | 50 | 265 | 0.7 | n/a | n/a | 6.6 |
| Drama | CSS | 140 | 48.1 | 19.9 | 0 | 15.0 | 80-135 | 40-65 | 265-280 | 1.56 | 0.2-0.4 | n/a | 7.0 |
| Prosotsani | ISS | 141 | 27.0 | 15.0 | 0 | 12.3 | 95 | 55 | 275 | 0.70 | n/a | n/a | 6.6 |
| Drama | ISS | 140 | 20 | 10 | 0 | 9.7 | 90 | 75 | 275 | 0.50 | n/a | n/a | 6.3 |
| Serres | CSS | 145 | 31.1 | 18.6 | 0 | 16.0 | 80-140 | 50-80 | 260-280 | 1.16 | 0.05-0.1 | n/a | 6.8 |
| Belles | CSS | 130 | 59.3 | 18.6 | 0 | 15.0 | 50-115 | 45-70 | 250-280 | 1.56 | 0.2-0.4 | n/a | 7.0 |
| Petritsi | ISS | 130 | 26.0 | 13.0 | 0 | 11.3 | 90 | 60 | 270 | 0.61 | n/a | n/a | 6.5 |
| Kastanoussa | ISS | 131 | 25.0 | 13.0 | 0 | 11.8 | 90 | 65 | 270 | 0.60 | n/a | n/a | 6.5 |

Πίνακας 6.3 Σεισμοτεκτονικές παράμετροι ρηγμάτων Βορείου Ελλάδος (πηγή: Caruto R., Chatzipeiros A., Pavlides S. and Sboras S. (2012): The Greek Database of Seismogenic Sources (GreDaSS): state-of-the-art for northern Greece. *Ann. Geophys.*, **55**(5), 859-894).

Στο πλαίσιο του Προγράμματος SRM-LIFE (Ανάπτυξη Ολοκληρωμένης Μεθοδολογίας Εκτίμησης της Σεισμικής Τρωτότητας Δικτύων κοινής Ωφέλειας Υποδομών) από τον κ. Παυλίδη (2004: 1η Ετήσια Έκθεση) προτάθηκε για τη περιοχή της πόλης των Σερρών ενεργά

τεκτονικό ρήγμα με πιθανότητα σύνδεσης με σεισμική δραστηριότητα σεισμικών μεγεθών $M_{6.2} - 6.7$. Σε αυτό το εύρος θα κυμανθεί και το σεισμικό σενάριο που θα χρησιμοποιηθεί απο την παρούσα διπλωματική εργασία.

Κεφάλαιο 7

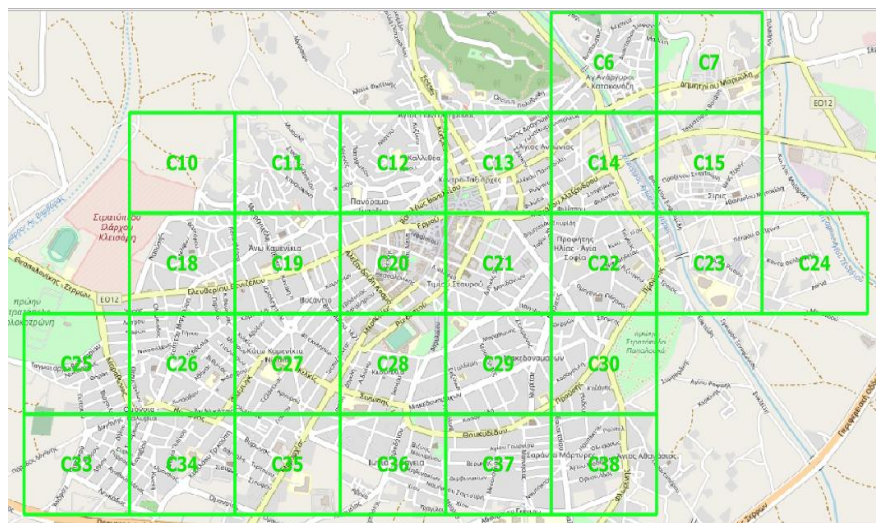
Κτιριακό απόθεμα πόλης Σερρών

7.1 Καταγραφή κτιριακού αποθέματος

Τα δεδομένα του κτιριακού αποθέματος της περιοχής μελέτης (Εικόνα 7.1, Εικόνα 7.2) που χρησιμοποιούνται στην παρούσα διπλωματική, αντλήθηκαν από το παραδοτέο «Π.Ε.4: Καταγραφή του κτιριακού αποθέματος της πόλης των Σερρών» του ερευνητικού προγράμματος Sei.V.A.S. (Κάππος κ.ά., 2015). Η καταγραφή από την ερευνητική ομάδα του Sei.V.A.S. πραγματοποιήθηκε εφαρμόζοντας την μεθοδολογία του Ταχέος Οπτικού Ελέγχου – ΤΟΕ, με τροποποιήσεις στα έντυπα συλλογής στοιχείων και στην όλη διαδικασία που προτείνεται από τον ΟΑΣΠ, με στόχο μια αποτελεσματική και πλήρη συλλογή πληροφοριών για τα υπό εξέταση κτίρια.

Η διαδικασία καταγραφής εφαρμόστηκε σε ένα ικανοποιητικά αντιπροσωπευτικό δείγμα που περιλαμβάνει σημαντικό αριθμό κτιρίων (άνω του 20% του κτιριακού αποθέματος της πόλης). Η μεθοδολογία τροποποιήθηκε ώστε να γίνει λιγότερο χρονοβόρος, διατηρώντας όμως παράλληλα όλα τα απαραίτητα στοιχεία για την αξιόπιστη αποτίμηση της τρωτότητας των εξεταζόμενων κατασκευών.

Στον παρακάτω χάρτη (Εικόνα 7.1) αποτυπώνεται σε μορφή καννάβου η περιοχή μελέτης της πόλης των Σερρών.



Εικόνα 7.1 Η περιοχή μελέτης της πόλης των Σερρών σε κάνναβο (πηγή: <https://www.google.com/maps>)

Η βασική αρχή της ερευνητικής ομάδας Sei.V.A.S. όσον αφορά την καταγραφή είχε να κάνει με την αναλογική αντιπροσώπευση των επιμέρους δομημένων περιοχών που εντοπίζονται στον αστικό ιστό της πόλης (διαφορετικό συντελεστή και πυκνότητα δόμησης, διαφορετική χρονική περίοδο μελέτης, διαφορετικά χαρακτηριστικά κατασκευών κτλ.).

Συνολικά έγινε καταγραφή 2436 κτηρίων, που αντιστοιχεί στο 20% - 25% του συνολικού αριθμού των κτηρίων του αστικού ιστού με την κάτωθι κατανομή ανά κελί καννάβου.

| Αριθμός Κελιού | Σύνολο κτιρίων |
|----------------|----------------|
| C6 | 84 |
| C7 | 11 |
| C10 | 11 |
| C11 | 96 |
| C12 | 173 |
| C13 | 155 |
| C14 | 80 |
| C15 | 24 |
| C18 | 124 |
| C19 | 133 |
| C20 | 262 |
| C21 | 115 |
| C22 | 71 |
| C23 | 72 |
| C24 | 2 |
| C25 | 71 |
| C26 | 168 |
| C27 | 157 |
| C28 | 122 |
| C29 | 83 |
| C30 | 64 |
| C33 | 35 |
| C34 | 65 |
| C35 | 17 |
| C36 | 87 |
| C37 | 137 |
| C38 | 17 |
| Σύνολο | 2436 |

Πίνακας 7.1 Κατανομή του αριθμού των κτιρίων ανά κελί κανάβου (πηγή: Π.Ε.4 του ερευνητικού προγράμματος Sei.V.A.S)

Ο ανωτέρω αριθμός κτιρίων κατανεμήθηκε από την ερευνητική ομάδα του Sei.V.A.S σε διάφορες κατηγορίες αναλόγως του υλικού δόμησης, τον αριθμό των ορόφων, του κανονισμού δόμησης που κατασκευάστηκε κ.α. όπως φαίνεται παρακάτω.

- Κατανομή ανά υλικό δόμησης κατασκευών

Από τα αποτελέσματα διαπιστώνεται ότι στην πόλη των Σερρών, το μεγαλύτερο μέρος των κατασκευών είναι κατασκευασμένο από οπλισμένο σκυρόδεμα (περίπου 2/3) ενώ το υπόλοιπο από φέρουσα τοιχοποιία.



Εικόνα 7.3 Κατανομή κτιρίων ανάλογα με το υλικό κατασκευής (πηγή: Π.Ε.4 του ερευνητικού προγράμματος Sei.V.A.S)

| Υλικό κατασκευής κτιρίου | Αριθμός κτιρίων |
|--------------------------|-----------------|
| Οπλισμένο Σκυρόδεμα | 1513 |
| Φέρουσα Τοιχοποιία | 912 |
| Ξύλινη κατασκευή | 2 |
| Σύνολο κτιρίων | 2436 |

Πίνακας 7.2 Κατανομή κτιρίων ανάλογα με το υλικό κατασκευής (πηγή: Π.Ε.4 του ερευνητικού προγράμματος Sei.V.A.S)

- Κατανομή ανά αριθμό ορόφων

Από την συγκεκριμένη κατανομή διαπιστώνεται ότι το μεγαλύτερο μέρος των κτιρίων της πόλης των Σερρών αποτελείται από κτίρια έως 3 ορόφων ενώ υπάρχει και σημαντικός αριθμός κτιρίων με εύρος ορόφων μεταξύ 5 και 6.

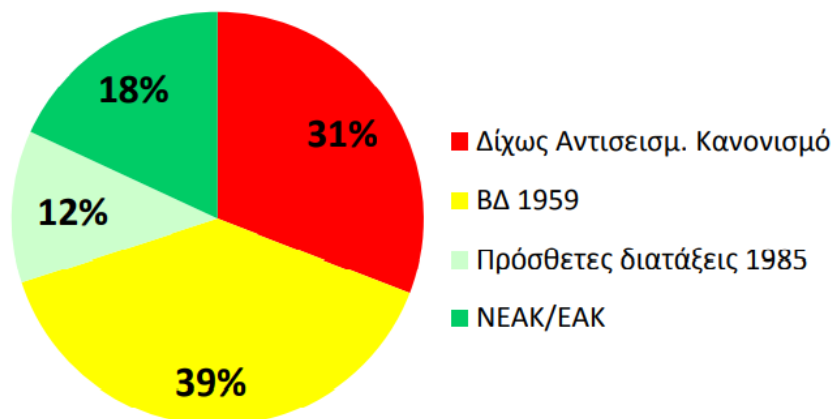
| Αριθμός ορόφων | Αριθμός κτιρίων |
|-----------------------|-----------------|
| 1όροφα | 674 |
| 2όροφα | 622 |
| 3όροφα | 381 |
| 4όροφα | 158 |
| 5όροφα | 200 |
| 6όροφα | 265 |
| 7όροφα | 94 |
| 8όροφα | 34 |
| 9όροφα | 8 |
| Σύνολο κτιρίων | 2436 |

Πίνακας 7.3 Κατανομή του αριθμού των κτιρίων ανά πλήθος ορόφων (πηγή: Π.Ε.4 του ερευνητικού προγράμματος Sei.V.A.S)

- Κατανομή αναλόγως του κανονισμού δόμησης

Απο την κατανομή αναλόγως του κανονισμού δόμησης διακρίνεται ότι το μεγαλύτερο μέρος των κτιρίων θεωρούνται παλαιά καθώς περίπου το 70% των κτιρίων έχει κατασκευαστεί πριν τις πρόσθετες διατάξεις του 1985.

Αντισεισμικός Κανονισμός



Εικόνα 7.4 Κατανομή κτιρίων ανάλογα με τον Αντισεισμικό Κανονισμό (πηγή: Π.Ε.4 του ερευνητικού προγράμματος Sei.V.A.S)

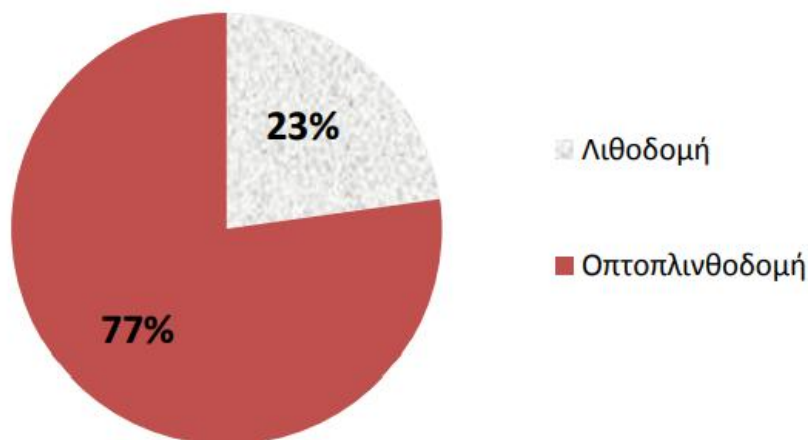
| Αντισεισμικός Κανονισμός | Αριθμ. Κτιρίων |
|----------------------------|----------------|
| Δίχως Αντισεισμ. Κανονισμό | 752 |
| ΒΔ 1959 | 953 |
| Πρόσθετες διατάξεις 1985 | 290 |
| ΝΕΑΚ/ΕΑΚ | 441 |
| Σύνολο κτιρίων | 2436 |

Πίνακας 7.4 Κατανομή κτιρίων ανάλογα με τον Αντισεισμικό Κανονισμό (πηγή: Π.Ε.4 του ερευνητικού προγράμματος Sei.V.A.S)

- Κατανομή κτιρίων φέρουσας τοιχοποιίας

Από το σύνολο των 2.436 κτιρίων που καταγράφηκαν τα 912 κατασκευάστηκαν από φέρουσα τοιχοποιία. Το 77% εξ' αυτών από οπτοπλινθοδομή ενώ τα υπόλοιπα από λιθοδομή. Αποτελούν κτίρια κυρίως που κατασκευάστηκαν μεταξύ των δεκαετιών 1930-1970 και κυρίως στην περιμετρο του αστικού ιστού.

Φέρουσα τοιχοποιία



Εικόνα 7.5 Κατανομή κτιρίων Φέρουσας Τοιχοποιίας ανάλογα με τον τρόπο κατασκευής (πηγή: Π.Ε.4 του ερευνητικού προγράμματος Sei.V.A.S)

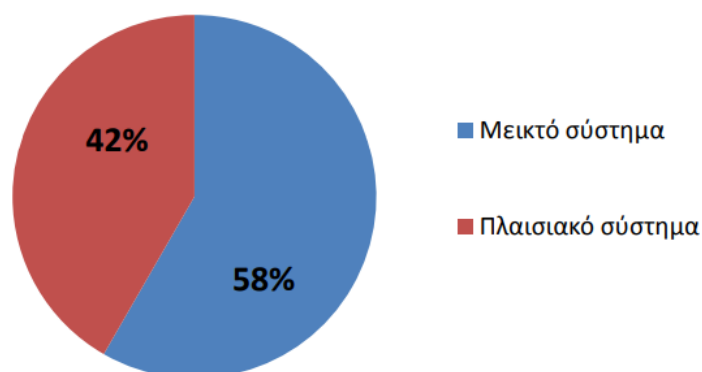
| Φέρουσα Τοιχοποιία | Αριθμός κτιρίων |
|-----------------------|-----------------|
| Λιθοδομή | 210 |
| Οπτοπλινθοδομή | 711 |
| Σύνολο κτιρίων | 921 |

Πίνακας 7.5 Κατανομή κτιρίων Φέρουσας Τοιχοποιίας ανάλογα με τον τρόπο κατασκευής (πηγή: Π.Ε.4 του ερευνητικού προγράμματος Sei.V.A.S)

- Κατανομή κτιρίων οπλισμένου σκυροδέματος

Στην Εικόνα 7.6 και στον Πίνακα 7.6 αποτυπώνεται ο διαχωρισμός των κατασκευών οπλισμένου σκυροδέματος ανάλογα με τον τύπο του φέροντος οργανισμού. Το μεικτό σύστημα (πλαισιακό σύστημα + τοιχώματα) επικρατεί καθώς αποτελεί την κατασκευαστική πρακτική των τελευταίων δεκαετιών. Το σημαντικό ποσοστό του αμιγώς πλαισιακού συστήματος προκύπτει από το γεγονός ότι στην πόλη των Σερρών υφίσταται μεγάλος αριθμός κτιρίων με λίγους ορόφους όπου δεν απαιτείται η ύπαρξη τοιχωμάτων.

Οπλισμένο σκυρόδεμα



Εικόνα 7.6 Κατανομή κτιρίων Ο/Σ ανάλογα με το φέροντα οργανισμού τους (πηγή: Π.Ε.4 του ερευνητικού προγράμματος Sei.V.A.S)

| Οπλισμένο σκυρόδεμα | Αριθμ. Κτιρίων |
|-----------------------|----------------|
| Μεικτό σύστημα | 882 |
| Πλαισιακό σύστημα | 631 |
| Σύνολο κτιρίων | 1513 |

Πίνακας 7.6 Κατανομή κτιρίων Ο/Σ ανάλογα με το φέροντα οργανισμού τους (πηγή: Π.Ε.4 του ερευνητικού προγράμματος Sei.V.A.S)

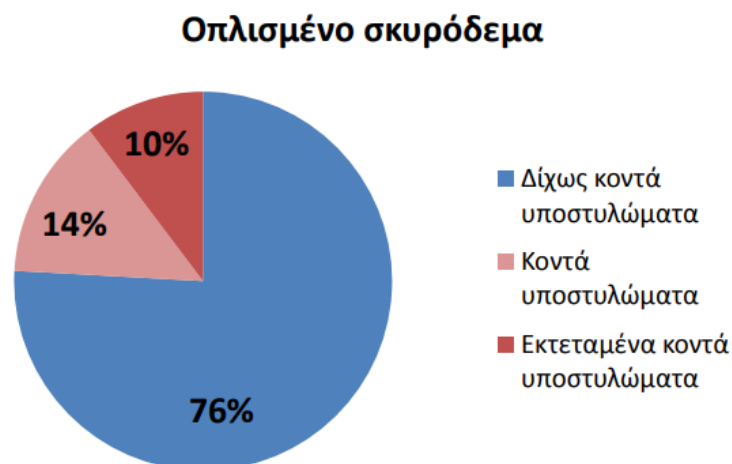
- Κατανομή κτιρίων Ο/Σ με μαλακό όροφο

Στον παρακάτω πίνακα αποτυπώνεται η κατανομή των κτιρίων αναλόγως της ύπαρξης ή όχι μαλακού ορόφου. Διαπιστώνεται ότι υφίσταται ένας σημαντικός αριθμός κτιρίων όπου υπάρχει μαλακός όροφος. Στις περισσότερες των περιπτώσεων αφορούν το ισόγειο των πολυκατοικιών, με σύστημα *riolitis* για την διασφάλιση θέσεων στάθμευσης ή την αντικατάσταση τοιχοπληρώσεων από υαλοπίνακες σε καταστήματα και λοιπές εμπορικές επιχειρήσεις. Το θετικό γεγονός είναι πως σχεδόν στο σύνολό τους τα υπόψιν κτίρια έχουν μεικτό σύστημα δόμησης, με ταυτόχρονη ύπαρξη τοιχωμάτων.

| Οπλισμένο σκυρόδεμα | Αριθμ. Κτιρίων |
|-------------------------|----------------|
| Κανονικά τοιχοπληρωμένο | 1.152 |
| Μαλακός όροφος | 336 |
| Χωρίς τοιχοπληρώσεις | 25 |
| Σύνολο κτιρίων | 1513 |

Πίνακας 7.7 Κατανομή κτιρίων Ο/Σ ανάλογα με την ύπαρξη ή όχι μαλακού ορόφου (πηγή: Π.Ε.4 του ερευνητικού προγράμματος Sei.V.A.S)

- Κατανομή κτιρίων Ο/Σ με κοντά υποστυλώματα



Εικόνα 7.7 Κατανομή κτιρίων Οπλισμένου Σκυροδέματος (Ο/Σ), ανάλογα με την ύπαρξη ή όχι κοντών υποστυλωμάτων (πηγή: Π.Ε.4 του ερευνητικού προγράμματος Sei.V.A.S)

| Οπλισμένο σκυρόδεμα | Αριθμ. Κτιρίων |
|-------------------------------|----------------|
| Δίχως κοντά υποστυλώματα | 1.148 |
| Κοντά υποστυλώματα | 209 |
| Εκτεταμένα κοντά υποστυλώματα | 156 |
| Σύνολο κτιρίων | 1513 |

Πίνακας 7.8 Κατανομή κτιρίων Οπλισμένου Σκυροδέματος (Ο/Σ), ανάλογα με την ύπαρξη ή όχι κοντών υποστυλωμάτων (πηγή: Π.Ε.4 του ερευνητικού προγράμματος Sei.V.A.S)

7.2 Ταξινόμηση Κτιρίων

Η ταξινόμηση των ανωτέρω κτιρίων πραγματοποιήθηκε από την ερευνητική ομάδα του Sei.V.A.S. σύμφωνα με τον διαχωρισμό των τυπολογιών της ομάδας ΕΚΟΣΦΤ του τμήματος Πολιτικών Μηχανικών του ΑΠΘ.

Οι τυπολογίες των κτιρίων από οπλισμένο σκυρόδεμα (Ο/Σ) που χρησιμοποιούνται παρουσιάζονται στον **Πίνακας 7.9** και βασίζονται στις πρακτικές σχεδιασμού που επικρατούν στον ελληνικό χώρο αλλά και στη διεθνή πρακτική. Πραγματοποιείται διαχωρισμός ανάλογα με την ηλικία (κανονιστικές διατάξεις), το ύψος των κτιρίων, το στατικό σύστημα καθώς και την ύπαρξη ή μη τοιχοπληρώσεων, καταλήγοντας τελικά σε 54 τυπολογίες κτιρίων (ή 72, αν ληφθούν υπόψη και τα κτίρια που κατασκευάστηκαν χωρίς κανονισμούς, πριν το 1959).

Αντίστοιχα, για τα κτίρια από άοπλη τοιχοποιία ορίζονται 4 κατηγορίες, ανάλογα με το υλικό κατασκευής (λιθοδομή [MSt] ή οπτοπλινθοδομή [Mst]) και το ύψος του κτιρίου (χαμηλά: 1 ή 2 όροφοι και υψηλά: 3+ όροφοι).

| Τύπος | Στατικό σύστημα | Ύψος (Αριθμός ορόφων) | Κανονιστικές διατάξεις σχεδιασμού |
|-------|---------------------------------------|--|---|
| RC1 | Πλαισιακό σύστημα | (L) Χαμηλά (1-3) (M) Μέσο (4-7) (H) Υψηλά (8+) | (N) Χωρίς κανονισμό |
| RC3 | Πλαισιακό σύστημα με τοιχοπληρώσεις | | (L) Παλαιοί κανονισμοί (ΒΔ59) |
| 3.1 | Κανονικά τοιχοπληρωμένα | | |
| 3.2 | Μαλακός όροφος (pilotis) | | |
| RC4 | Μικτό σύστημα (πλαισίων – τοιχωμάτων) | | (M) Ενδιάμεσοι κανονισμοί (ΠΑ84) |
| 4.1 | Χωρίς τοιχοπληρώσεις | | (H) Σύγχρονοι κανονισμοί (N)ΕΑΚ |
| 4.2 | Κανονικά τοιχοπληρωμένα | | |
| 4.3 | Μαλακός όροφος (pilotis) | | |

Πίνακας 7.9 Τυπολογίες ΑΠΘ για τα κτίρια από Ο/Σ (πηγή: Π.Ε.5 του ερευνητικού προγράμματος Sei.V.A.S)

Η ομάδα του ΕΚΟΣΦΤ του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών του ΑΠΘ με βάση αυτήν την ταξινόμηση ανέπτυξε μια υβριδική μεθοδολογία εκτίμησης της σεισμικής τρωτότητας των κτιριακών κατασκευών (χρήση καμπυλών τρωτότητας, εμπλουτισμός με νέα στατιστικά στοιχεία βλαβών, βελτιστοποίηση συσχέτισης στατιστικών στοιχείων με τα αποτελέσματα αναλύσεων κ.α.) προσπαθώντας να καλύψει το σύνολο των κτιριακών κατασκευών που εμφανίζονται στα αστικά κέντρα της ελληνικής επικράτειας (Karros et al. 2002, 2006, 2010, Karros & Panagoroulos 2010, Παναγόπουλος & Κάππος, 2006).

Στον παρακάτω πίνακα φαίνεται ο καταμερισμός των 2.436 κτιρίων στις 58 κατηγορίες των τυπολογιών κτιρίων της ομάδας του ΑΠΘ. Ορισμένες από αυτές εμφανίζονται με ένα πολύ μικρό αριθμό κτιρίων ενώ κάποιες άλλες δεν εμφανίζονται καθόλου (πχ κτίρια χωρίς τοιχοπληρώσεις, κτίρια μεγάλου ύψους κτλ).

| Τυπολογία ΑΠΘ | Αριθμός κτιρίων | Τυπολογία SeiVAS | | Τυπολογία ΑΠΘ | Αριθμός κτιρίων | Τυπολογία SeiVAS |
|---------------|-----------------|------------------|--|---------------|-----------------|------------------|
| MBr12 | 675 | SeiVAS-MBr12 | | RC4.1LH | 1 | SeiVAS-RC4.2LH |
| MBr3+ | 36 | SeiVAS-Mas3+ | | RC4.1LL | 2 | SeiVAS-RC4.2LL |
| MSt12 | 203 | SeiVAS-MSt12 | | RC4.1MH | 1 | SeiVAS-RC4.2MH |
| MSt3+ | 7 | SeiVAS-Mas3+ | | RC4.1ML | 2 | SeiVAS-RC4.2ML |
| RC1HM | 1 | SeiVAS-RC3.1MM | | RC4.1MM | 3 | SeiVAS-RC4.2MM |
| RC1LH | 1 | SeiVAS-RC3.1LH | | RC4.2HH | 4 | SeiVAS-RC4.2MH |
| RC1LL | 7 | SeiVAS-RC3.1LL | | RC4.2HM | 4 | SeiVAS-RC4.2MM |
| RC1ML | 3 | SeiVAS-RC3.1ML | | RC4.2LH | 115 | SeiVAS-RC4.2LH |
| RC3.1LH | 31 | SeiVAS-RC3.1LH | | RC4.2LL | 98 | SeiVAS-RC4.2LL |
| RC3.1LL | 300 | SeiVAS-RC3.1LL | | RC4.2LM | 63 | SeiVAS-RC4.2LM |
| RC3.1LM | 80 | SeiVAS-RC3.1LM | | RC4.2MH | 111 | SeiVAS-RC4.2MH |
| RC3.1MH | 8 | SeiVAS-RC3.2MH | | RC4.2ML | 144 | SeiVAS-RC4.2ML |
| RC3.1ML | 137 | SeiVAS-RC3.1ML | | RC4.2MM | 49 | SeiVAS-RC4.2MM |
| RC3.1MM | 8 | SeiVAS-RC3.1MM | | RC4.3HH | 15 | SeiVAS-RC4.2MH |
| RC3.2LH | 4 | SeiVAS-RC3.1LH | | RC4.3HM | 13 | SeiVAS-RC4.2MM |
| RC3.2LL | 19 | SeiVAS-RC3.1LL | | RC4.3LH | 10 | SeiVAS-RC4.2LH |
| RC3.2LM | 9 | SeiVAS-RC3.1LM | | RC4.3LL | 8 | SeiVAS-RC4.2LL |
| RC3.2MH | 3 | SeiVAS-RC3.2MH | | RC4.3LM | 9 | SeiVAS-RC4.2LM |
| RC3.2ML | 13 | SeiVAS-RC3.1ML | | RC4.3MH | 126 | SeiVAS-RC4.3MH |
| RC3.2MM | 6 | SeiVAS-RC3.1MM | | RC4.3ML | 24 | SeiVAS-RC4.2ML |
| RC3.2HH | 1 | SeiVAS-RC3.2MH | | RC4.3MM | 76 | SeiVAS-RC4.3MM |
| RC4.1HH | 4 | SeiVAS-RC4.2MH | | Ξύλινα | 2 | SeiVAS-MBr12 |

Πίνακας 7.10 Αντιστοίχιση τυπολογιών ΑΠΘ βάσει του αριθμού των κτιρίων στην πόλη (πηγή: Π.Ε.6 του ερευνητικού προγράμματος Sei.V.A.S)

Προκειμένου οι ανωτέρω τυπολογίες των κτιρίων να είναι συμβατές με το πρόγραμμα QuakeGo απαιτείται η κωδικοποίηση τους με βάση ενός τριψήφιου αριθμού Β_ΒΧΧΧ. Ο διαχωρισμός στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής πραγματοποιήθηκε ως εξής:

Ο πρώτος αριθμός δηλώνει το υλικό κατασκευής ως ακολούθως:

- 1: κτήρια από Ο/Σ (πλαισιακό σύστημα)
- 2: κτήρια από Ο/Σ (μεικτό σύστημα)
- 3: κτήρια από φέρουσα τοιχοποιία
- 4: κτήρια από φέρουσα άοπλη οπτοπλινθοδομή
- 5: κτήρια από φέρουσα λαξευτή λιθοδομή

Ο δεύτερος αριθμός δηλώνει το ύψος ως ακολούθως:

- 1: κτήρια από 1-3 ορόφους
- 2: κτήρια από 4-7 ορόφους
- 3: κτήρια από 8+ ορόφους

Ο τρίτος αριθμός δηλώνει τον αντισεισμικό κανονισμό κατασκευής ως ακολούθως:

- 1: χωρίς αντισεισμικό κανονισμό
- 2: βάσει ΒΔ 1959
- 3: βάσει Π.Δ 1984
- 4: βάσει ΝΕΑΚ

Στον παρακάτω πίνακα αποτυπώνεται η αντιστοιχία των τυπολογιών του προγράμματος Sei.V.A.S. με τους αντίστοιχους της παρούσας διπλωματικής.

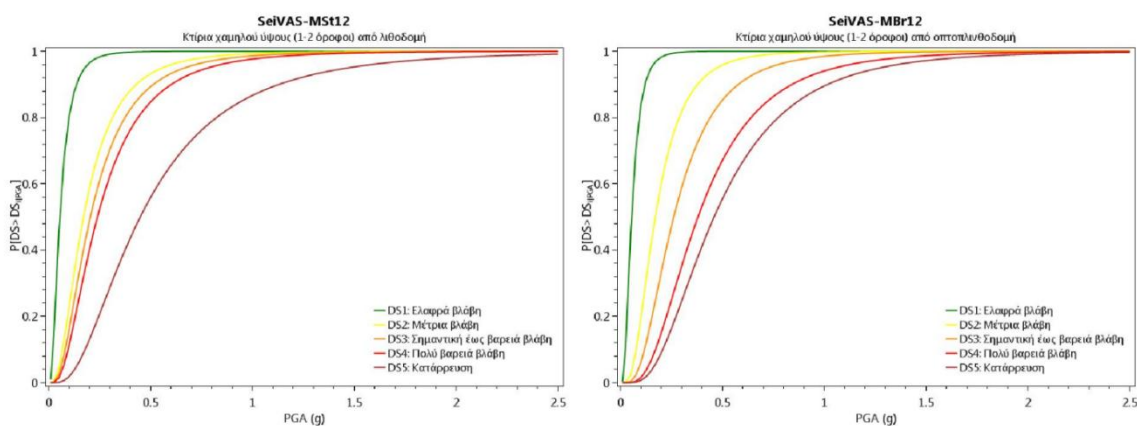
| Τυπολογία SeiVAS | Περιγραφή | Τυπολογία παρούσας εργασίας | Περιγραφή |
|------------------|--|-----------------------------|--|
| SeiVAS - Mas3 | Κτήρια μέσου ύψους (3+όροφοι) από φέρουσα τοιχοποιία | B_B311 | Τριώροφα κτήρια από φέρουσα, άοπλη τοιχοποιία χωρίς πλαστιμότητα |
| SeiVAS - MBr12 | Κτίρια χαμηλού ύψους (1 - 2 όροφοι) από οπτοπλινθοδομή | B_B411 | Διώροφα κτήρια από φέρουσα άοπλη οπτοπλινθοδομή χωρίς πλαστιμότητα |
| SeiVAS - MSt12 | Κτίρια χαμηλού ύψους(1 - 2 όροφοι) από λιθοδομή | B_B511 | Διώροφα κτήρια από φέρουσα λαξευτή λιθοδομή χωρίς πλαστιμότητα |
| SeiVAS - RC3.1LH | Πλαισιακά κανονικά τοιχοπληρωμένα κτίρια Ο/Σ χαμηλού ύψους (1 - 3 όροφοι)(ΕΑΚ | B_B114 | Διώροφα, πλαισιακά, κανονικά τοιχοπληρωμένα κτήρια υψηλής πλαστιμότητας |
| SeiVAS - RC3.1LL | Πλαισιακά κανονικά τοιχοπληρωμένα κτίρια Ο/Σ χαμηλού ύψους (1 - 3 όροφοι)(ΒΔ59) | B_B112 | Διώροφα, πλαισιακά, κανονικά τοιχοπληρωμένα κτήρια χαμηλής πλαστιμότητας |
| SeiVAS - RC3.1LM | Πλαισιακά κανονικά τοιχοπληρωμένα κτίρια Ο/Σ χαμηλού ύψους (1 - 3 όροφοι)(ΠΑ84 | B_B113 | Διώροφα, πλαισιακά, κανονικά τοιχοπληρωμένα κτήρια μέσης πλαστιμότητας |
| SeiVAS - RC3.1ML | Πλαισιακά κανονικά τοιχοπληρωμένα κτίρια Ο/Σ μέσου ύψους (4 - 7 όροφοι)(ΒΔ59) | B_B122 | Πενταώροφα, πλαισιακά, κανονικά τοιχοπληρωμένα κτήρια, χαμηλής πλαστιμότητας |
| SeiVAS - RC3.2MH | Πλαισιακά κτίρια Ο/Σ με μαλακό όροφο μέσου ύψους (4 - 7 όροφοι)(ΕΑΚ) | B_B122sos | Πενταώροφα, πλαισιακά, κανονικά τοιχοπληρωμένα κτήρια, χαμηλής πλαστιμότητας με μαλακό όροφο |
| SeiVAS - RC4.2LH | Μικτού συστήματος κανονικά τοιχοπληρωμένα κτίρια Ο/Σ χαμηλού ύψους (1 - 3 όροφοι)(ΕΑΚ) | B_B214 | Διώροφα κτίρια, μικτού συστήματος, υψηλής πλαστιμότητας |
| SeiVAS - RC4.2LL | Μικτού συστήματος κανονικά τοιχοπληρωμένα κτίρια Ο/Σ χαμηλού ύψους (1 - 3 όροφοι)(ΒΔ 59) | B_B212 | Διώροφα κτίρια, μικτού συστήματος, χαμηλής πλαστιμότητας |

| | | | |
|------------------|--|--------|---|
| SeiVAS - RC4.2LM | Μικτού συστήματος κανονικά τοιχοπληρωμένα κτίρια Ο/Σ χαμηλού ύψους (1 - 3 όροφοι)(ΠΑ 84) | B_B213 | Διώροφα κτίρια, μικτού συστήματος, μέσης πλαστιμότητα |
| SeiVAS - RC4.2MH | Μικτού συστήματος κανονικά τοιχοπληρωμένα κτίρια Ο/Σ μέσου ύψους (4 - 7 όροφοι)(ΕΑΚ) | B_B224 | Πενταώροφα κτίρια, μικτού συστήματος, υψηλής πλαστιμότητας |
| SeiVAS - RC4.2ML | Μικτού συστήματος κανονικά τοιχοπληρωμένα κτίρια Ο/Σ μέσου ύψους (4 - 7 όροφοι)(ΒΔ 59) | B_B222 | Πενταώροφα κτίρια, μικτού συστήματος, χαμηλής πλαστιμότητας |
| SeiVAS - RC4.2MM | Μικτού συστήματος κανονικά τοιχοπληρωμένα κτίρια Ο/Σ μέσου ύψους (4 - 7 όροφοι)(ΠΑ 84) | B_B223 | Πενταώροφα κτίρια, μικτού συστήματος, μέσης πλαστιμότητας |
| SeiVAS - RC4.3MH | Μικτού συστήματος κτίρια Ο/Σ με μαλακό όροφο μέσου ύψους (4 - 7 όροφοι) (ΕΑΚ) | B_B224 | Πενταώροφα κτίρια, μικτού συστήματος, υψηλής πλαστιμότητας |
| SeiVAS - RC4.3MM | Μικτού συστήματος κτίρια Ο/Σ με μαλακό όροφο μέσου ύψους (4 - 7 όροφοι) (ΠΑ 84) | B_B223 | Πενταώροφα κτίρια, μικτού συστήματος, μέσης πλαστιμότητας |

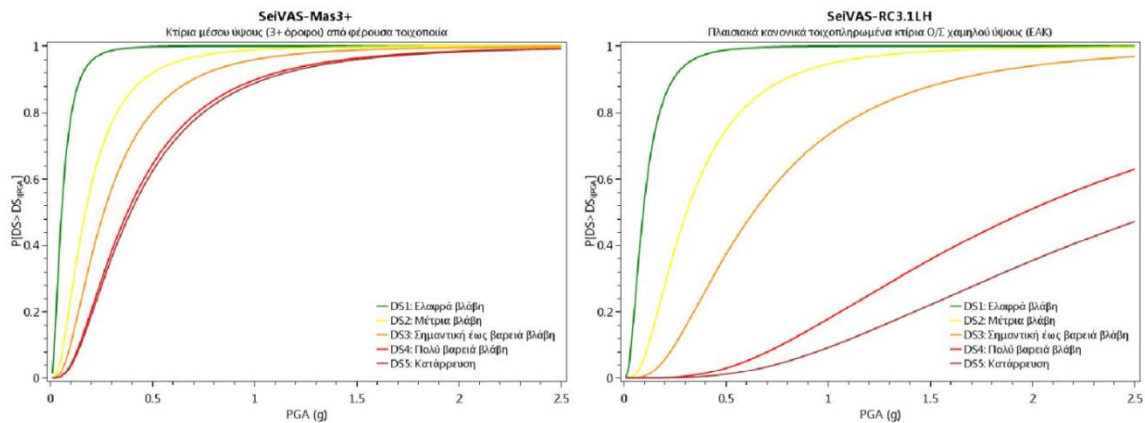
Πίνακας 7.11 Αντιστοιχία τυπολογιών Sei.V.A.S και παρούσας διπλωματικής εργασίας

7.3 Κατανομή τυπολογιών ανά καμπύλη τρωτότητας

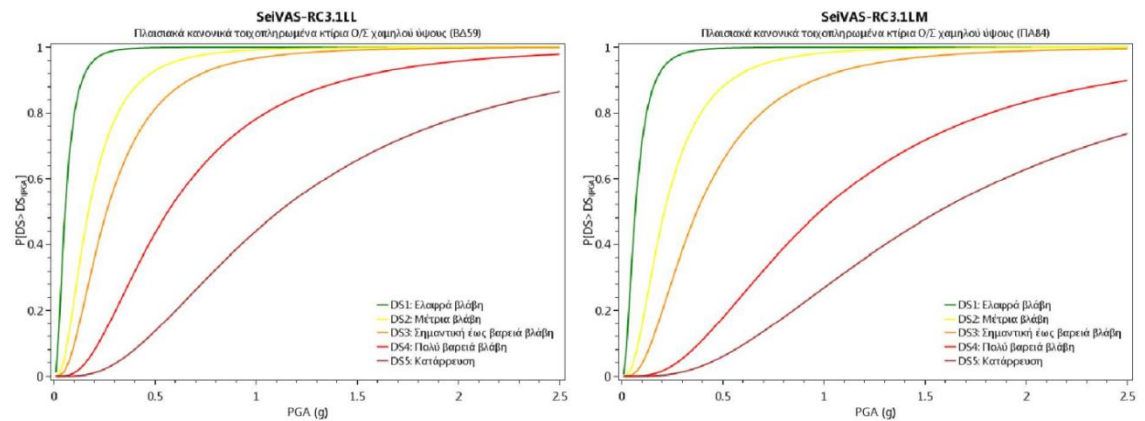
Σύμφωνα με τα παραπάνω και λαμβάνοντας ως αφετηρία τις καμπύλες τρωτότητας που είχαν παραχθεί από την ομάδα του ΑΠΘ στο ερευνητικό πρόγραμμα SRMDGC για την πόλη των Γρεβενών, η ερευνητική ομάδα του Sei.V.A.S. πραγματοποίησε ομαδοποιήσεις των τυπολογιών και χρησιμοποιώντας κατάλληλους συντελεστές αναγωγής σύμφωνα με την παρ 3.2.1. του Π.Ε.6 (Σενάρια σεισμικής διακινδύνευσης του κτιριακού αποθέματος) προέκυψε τελικά μια νέα σειρά καμπυλών τρωτότητας στοχευμένη στα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του κτιριακού αποθέματος της πόλης των Σερρών αλλά και των σεισμικών διεγέρσεων που αναμένεται να την πλήξουν. Οι καμπύλες αυτές παρουσιάζονται στις παρακάτω εικόνες.



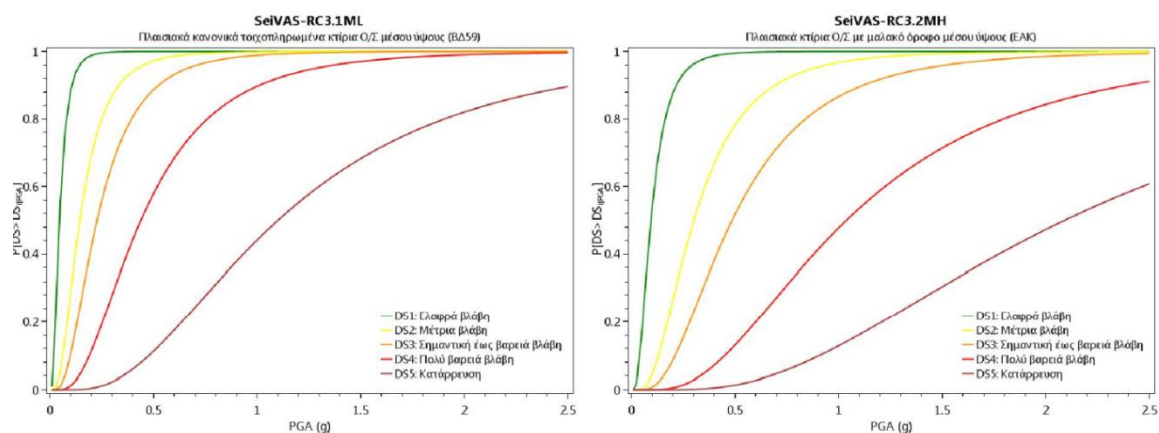
Εικόνα 7.8 Καμπύλες τρωτότητας για τις βασικές τυπολογίες κτιρίων που εμφανίζονται στο κτιριακό απόθεμα των Σερρών (MSt12 & MBr12) (πηγή: Π.Ε.6 του ερευνητικού προγράμματος Sei.V.A.S)



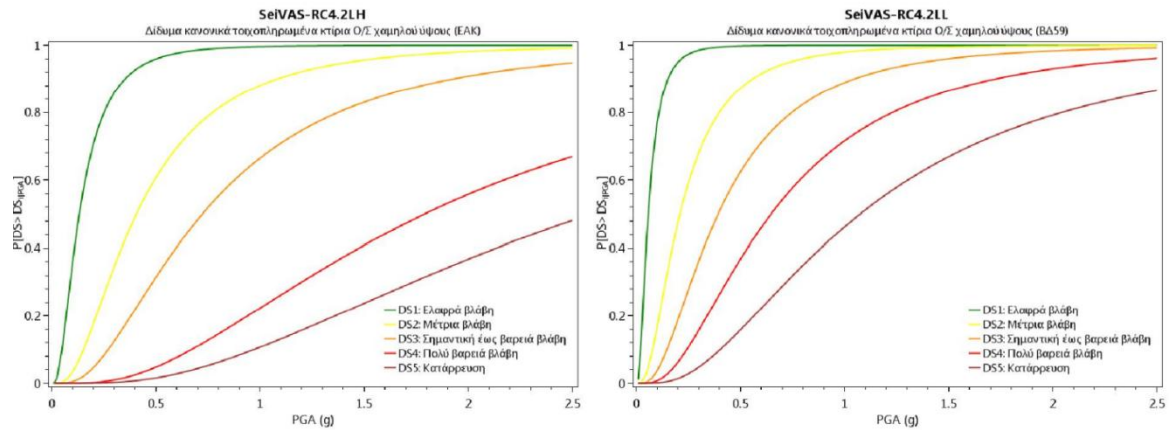
Εικόνα 7.9 Καμπύλες τρωτότητας για τις βασικές τυπολογίες κτιρίων που εμφανίζονται στο κτιριακό απόθεμα των Σερρών (Mas3+ & RC3.1LH) (πηγή: Π.Ε.6 του ερευνητικού προγράμματος Sei.V.A.S)



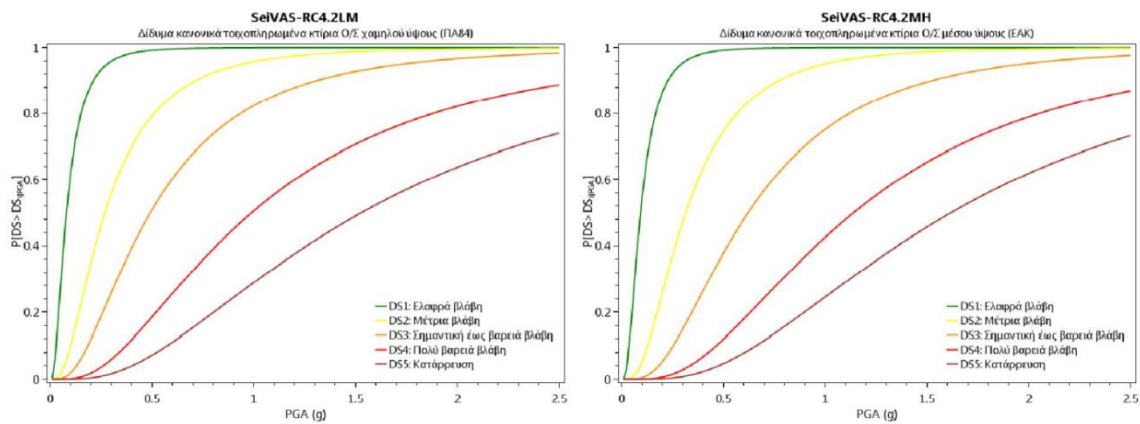
Εικόνα 7.10 Καμπύλες τρωτότητας για τις βασικές τυπολογίες κτιρίων που εμφανίζονται στο κτιριακό απόθεμα των Σερρών (RC3.1LL & RC3.1LM) (πηγή: Π.Ε.6 του ερευνητικού προγράμματος Sei.V.A.S)



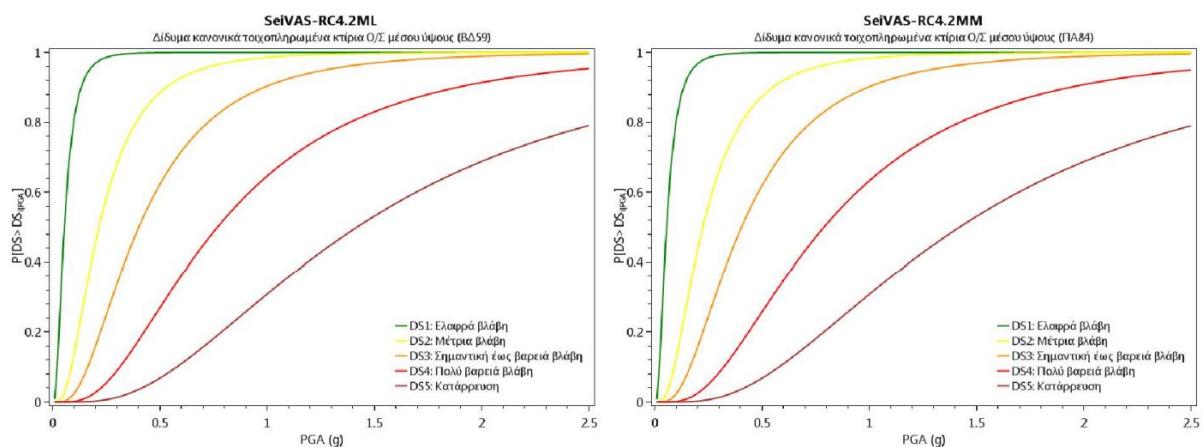
Εικόνα 7.11 Καμπύλες τρωτότητας για τις βασικές τυπολογίες κτιρίων που εμφανίζονται στο κτιριακό απόθεμα των Σερρών (RC3.1ML & RC3.2MH) (πηγή: Π.Ε.6 του ερευνητικού προγράμματος Sei.V.A.S)



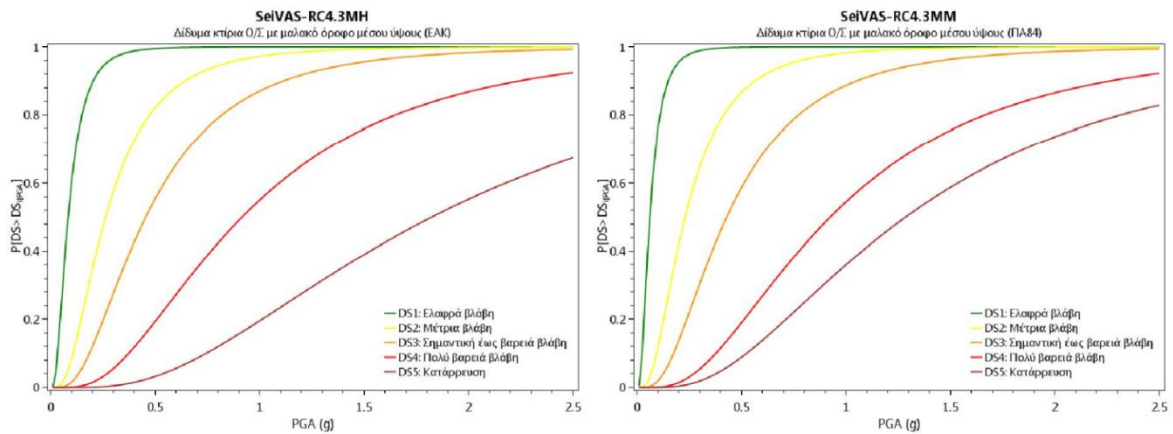
Εικόνα 7.12 Καμπύλες τρωτότητας για τις βασικές τυπολογίες κτιρίων που εμφανίζονται στο κτιριακό απόθεμα των Σερρών (RC4.2LH & RC4.2LL) (πηγή: Π.Ε.6 του ερευνητικού προγράμματος Sei.V.A.S)



Εικόνα 7.13 Καμπύλες τρωτότητας για τις βασικές τυπολογίες κτιρίων που εμφανίζονται στο κτιριακό απόθεμα των Σερρών (RC4.2LM & RC4.2MH) (πηγή: Π.Ε.6 του ερευνητικού προγράμματος Sei.V.A.S)



Εικόνα 7.14 Καμπύλες τρωτότητας για τις βασικές τυπολογίες κτιρίων που εμφανίζονται στο κτιριακό απόθεμα των Σερρών (RC4.2ML & RC4.2MM) (πηγή: Π.Ε.6 του ερευνητικού προγράμματος Sei.V.A.S)



Εικόνα 7.15 Καμπύλες τρωτότητας για τις βασικές τυπολογίες κτιρίων που εμφανίζονται στο κτιριακό απόθεμα των Σερρών (RC4.3MH & RC4.3MM) (πηγή: Π.Ε.6 του ερευνητικού προγράμματος Sei.V.A.S)

Οι ανωτέρω καμπύλες θα χρησιμοποιηθούν και στην παρούσα διπλωματική εργασία αφενός γιατί αποτελούν τις πιο αντιπροσωπευτικές για το κτιριακό απόθεμα των Σερρών και αφετέρου καθότι θα δοθεί η δυνατότητα σύγκρισης των αποτελεσμάτων σεισμικής διακινδύνευσης του SeiVAS με των αντίστοιχων που θα προκύψουν από το πρόγραμμα QuakeGo.

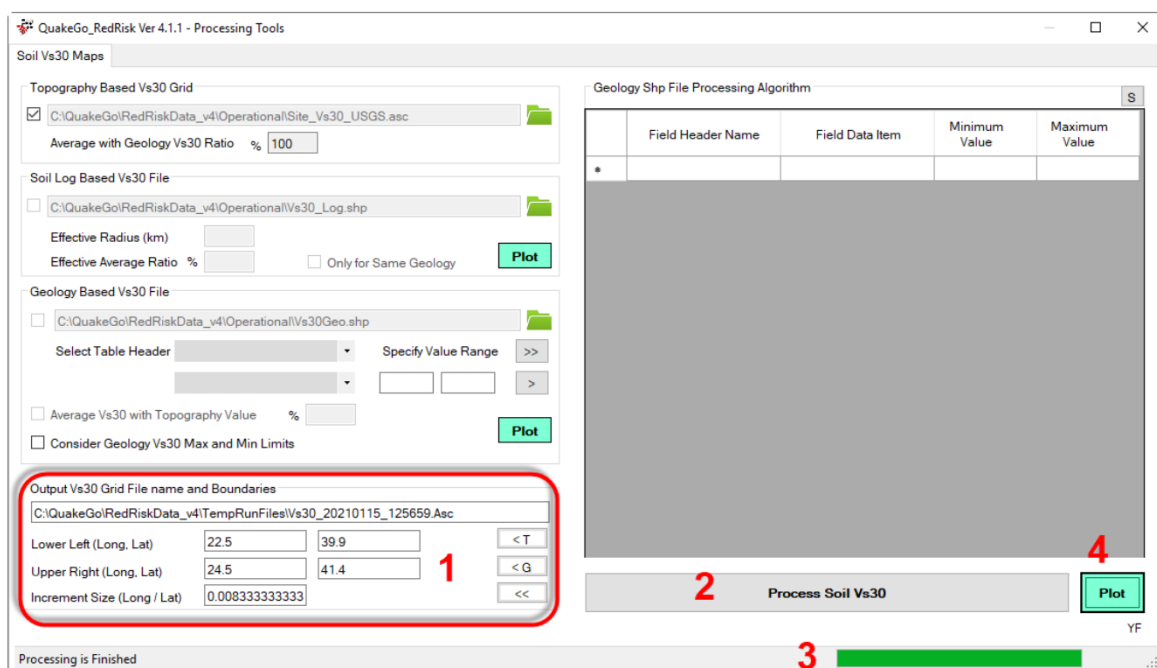
Κεφάλαιο 8

Εφαρμογή λογισμικού εκτίμησης σεισμικής διακινδύνευσης στην πόλη των Σερρών

8.1 Υπολογισμός ταχύτητας διατμητικών κυμάτων στην περιοχή μελέτης

Για να ληφθεί υπόψη η εδαφική ενίσχυση της σεισμικής κίνησης (local site effects) στο πρόγραμμα QuakeGo χρησιμοποιείται μια προσεγγιστική διαδικασία με τους συντελεστές ενίσχυσης χαμηλών και υψηλών περιόδων που περιγράφονται στο NEHRP 1997. Η διαδικασία βασίζεται στην κατηγοριοποίηση της εδαφικής απόθεσης σε έναν τύπο εδάφους βάσει συγκεκριμένων χαρακτηριστικών με πιο σημαντικό την τιμή Vs30 (ταχύτητα διατμητικών κυμάτων στα άνω 30m της εδαφικής απόθεσης).

Όπως αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 5 στην ενότητα pre processing και υποενότητα output Vs30 Grid File name and Boundaries εισάγονται τα όρια της περιοχής μελέτης για την οποία ζητείται και υπολογίζεται το Vs30.



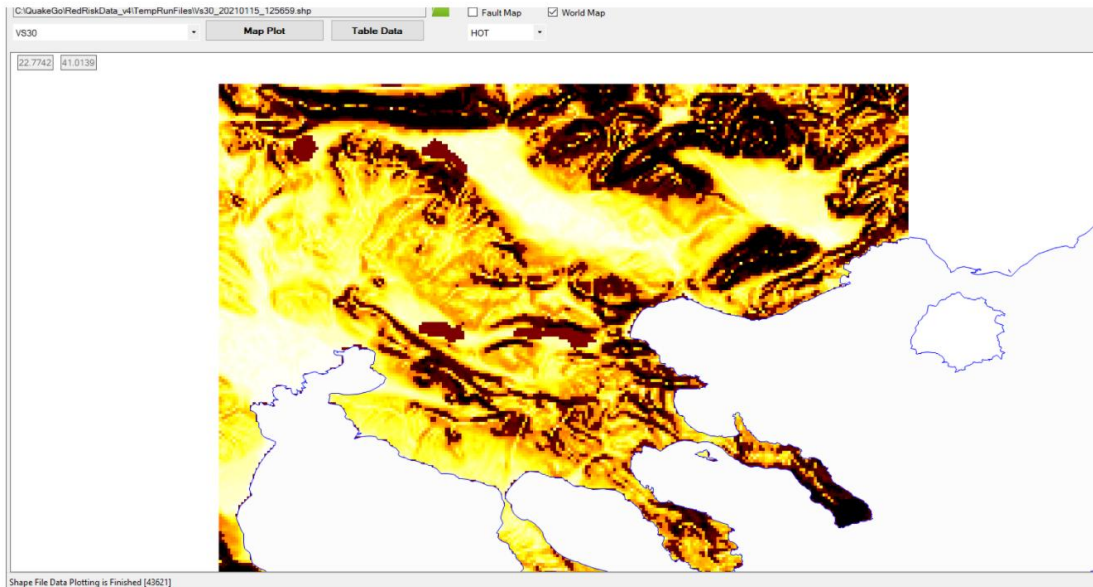
Εικόνα 8.1 Δημιουργία χάρτη Vs30 βάσει τιμών USGS για την ευρύτερη περιοχή της πόλης των Σερρών

Στην παρούσα διπλωματική εισάγονται τα δεδομένα που φαίνονται στην περιοχή 1 Εικόνα 8.1 και συγκεκριμένα:

Lower Left: 22.5 , 39.9

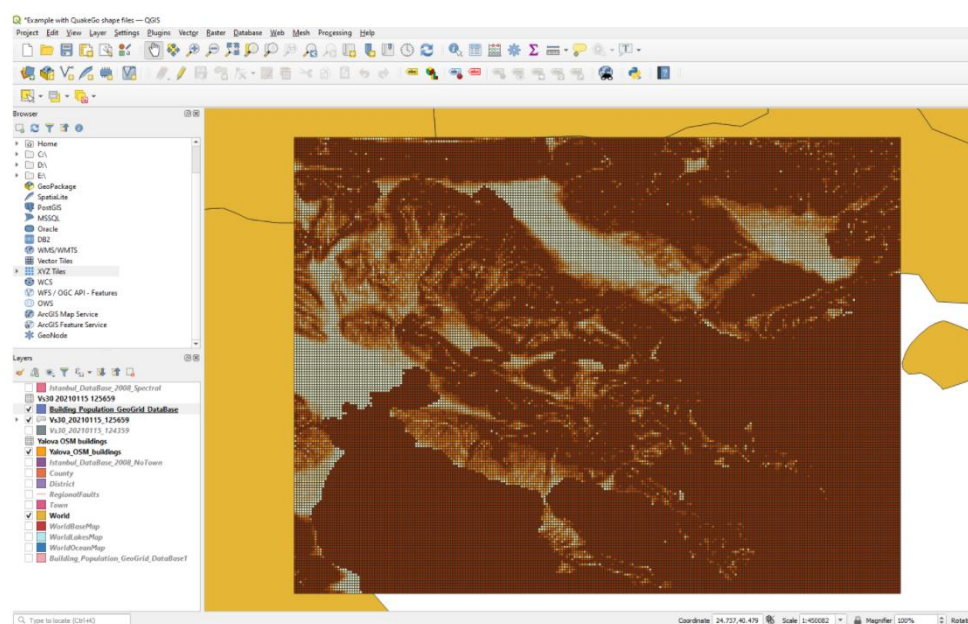
Upper Right: 24.5 , 41.4

Στην συνέχεια επιλέγοντας το process Soil Vs30 αναμένουμε την ολοκλήρωση της διαδικασίας. Μετά την ολοκλήρωση επιλέγουμε το plot από το οποίο εξάγεται ο χάρτης Vs30 σε περιβάλλον του προγράμματος QuakeGo όπως φαίνεται στην Εικόνα 8.2.

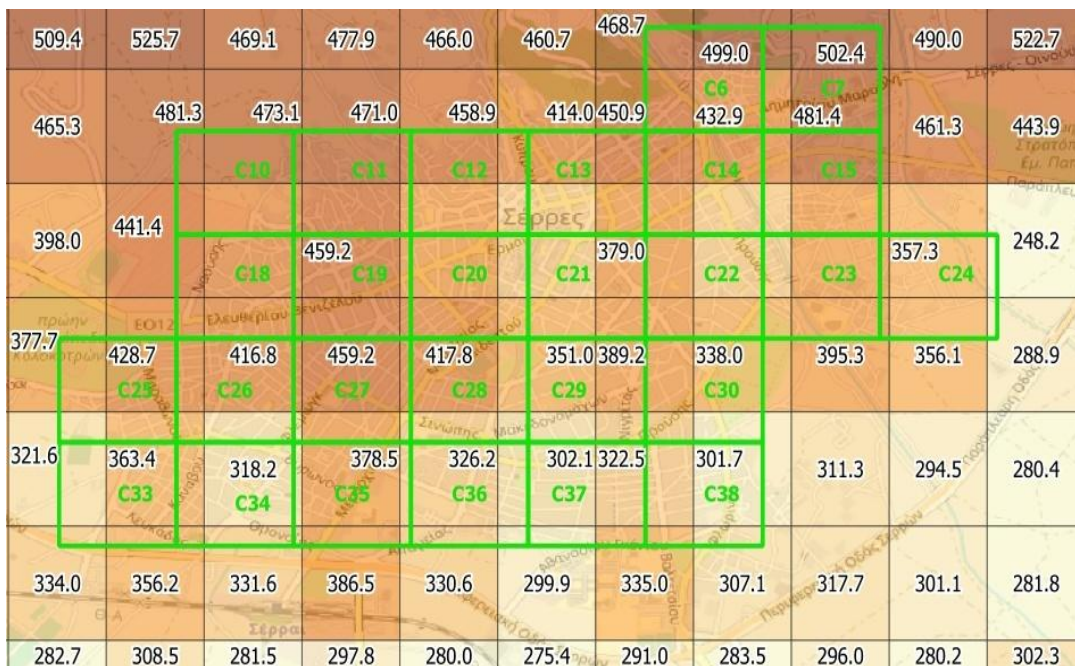


Εικόνα 8.2 Χάρτης Vs30 βάσει τιμών USGS σε περιβάλλον QuakeGo

Στην Εικόνα 8.3 αποτυπώνεται ο χάρτης των Vs30 μετά την εισαγωγή του shaperefile στο QGIS, ενώ στην Εικόνα 8.4 φαίνονται οι τιμές του Vs 30 στην περιοχή μελέτης.



Εικόνα 8.3 Εμφάνιση του χάρτη των Vs30 με εισαγωγή του shaperefile στο QGIS

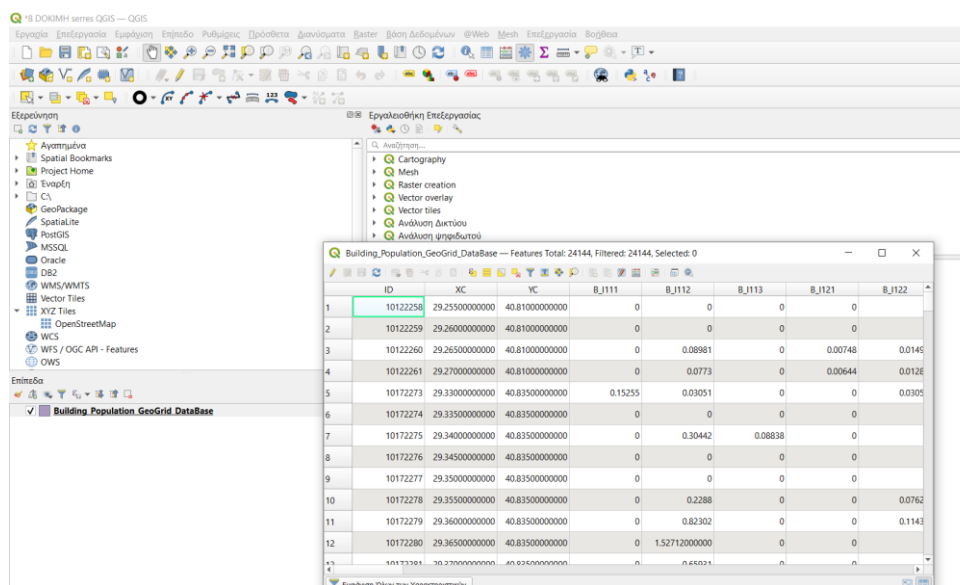


Εικόνα 8.4 Τιμές Vs30 στην περιοχή μελέτης (ανά κελί κανάβου) στο QGIS

8.2 Εισαγωγή βάσης δεδομένων κτιρίων σε λογισμικό

Η εισαγωγή των δεδομένων των κτιρίων στο QuakeGo πραγματοποιείται μέσω του πρότυπου αρχείου του προγράμματος.

Σε πρώτη φάση εισάγεται το πρότυπο αρχείο shp στο πρόγραμμα QGIS (Εικόνα 8.5) ώστε από εκεί να γίνει εξαγωγή του σε πρόγραμμα excel προκειμένου η επεξεργασία να γίνει πιο εύκολα για τον χρήστη.



Εικόνα 8.5 Εισαγωγή πρότυπου αρχείου shp σε QGIS

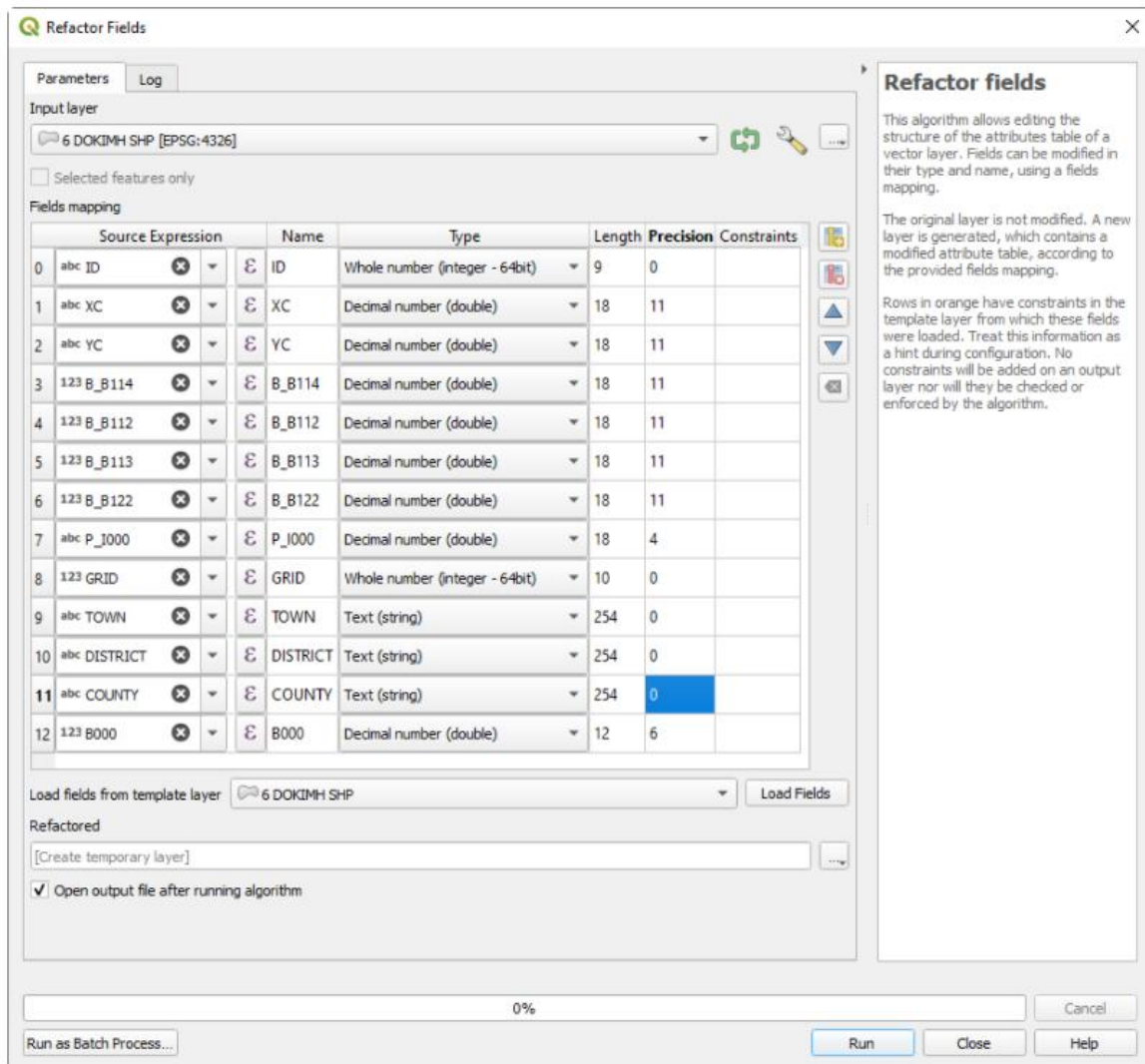
Ο πίνακας (Table) επεξεργάζεται από τον χρήστη στο excel σύμφωνα με τα ακόλουθα βήματα:

- Στην στήλη ID εισάγουμε την αρίθμηση των κελιών του κανάβου της περιοχής μελέτης όπως φαίνεται στην Εικόνα 7.1. (χωρίς τον λατινικό χαρακτήρα δηλαδή π.χ. 13 και όχι c13)
- Στις στήλες XC και YC εισάγουμε τις συντεταγμένες των κελιών του κανάβου.
- Στις στήλες των καμπυλών τρωτότητας συμπληρώνουμε τα στοιχεία που εμφανίζει ο Πίνακας 7.10 και ο Πίνακας 7.11.
- Στη στήλη B000 εισάγεται το άθροισμα των κτιρίων.

Στη συνέχεια, πρέπει να μετατραπεί το αρχείο excel σε αρχείο shp προκειμένου να μπορεί να εισαχθεί στο πρόγραμμα QuakeGo. Η εν λόγω μετατροπή γίνεται με τον παρακάτω τρόπο:

- Αποθηκεύεται το αρχείο excel που δημιουργήθηκε σε μορφή csv (οριοθετημένο με κόμμα)
- Το αρχείο csv εισάγεται στο QGIS: Επίπεδο→ προσθήκη επιπέδου→ add delimited text layer (όπου στο πεδίο geometry definition ορίζουμε well known text).
- Ορίζουμε σωστά τον τύπο (type) των δεδομένων του πίνακα (table), προκειμένου να διαβαστεί ορθά από το πρόγραμμα AFAD RED Quake Go V 4.1.1., μέσω της παρακάτω διαδικασίας:

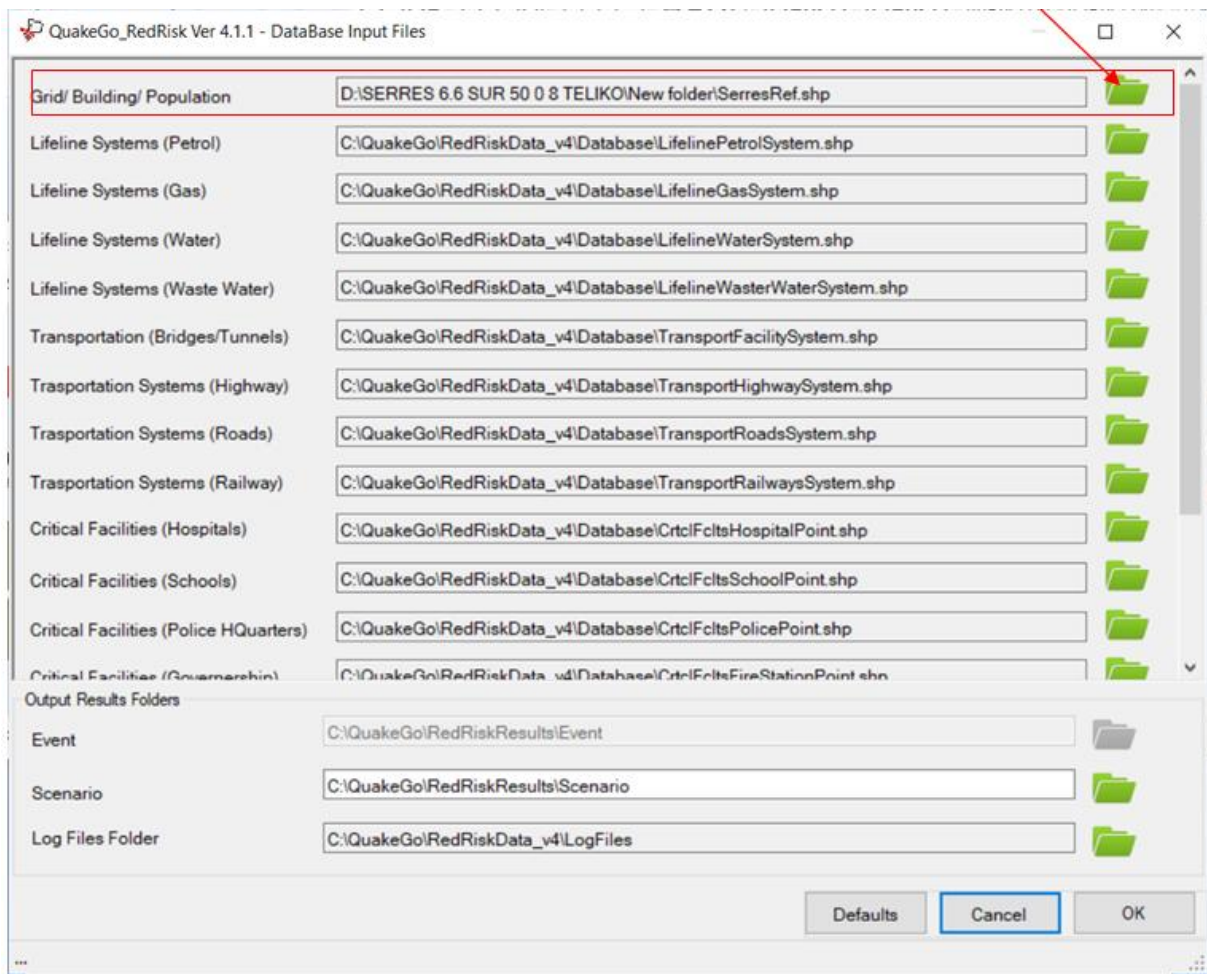
Processing → Toolbox και στα εργαλεία που εμφανίζονται ανοίγουμε (διπλό κλικ) το Vector Table → Refactor fields. Τροποποιούμε το Type, ώστε να ανταποκρίνεται στο type των αντίστοιχων πεδίων του πρότυπου αρχείου του QuakeGo όπως φαίνεται στην Εικόνα 8.6.



Εικόνα 8.6 Τροποποίηση πεδίων σύμφωνα με πρότυπο αρχείο QuakeGo

Στην συνέχεια αφού πατήσουμε το Run δημιουργείται αυτόματα ένα νέο layer στο QGIS με την ονομασία Refactored.

Το layer Refactored που δημιουργήθηκε το κάνουμε εξαγωγή ως εξής: Export → Save Feature As και μετά ορίζουμε File name και σημείο αποθήκευσης. Τα αρχεία που παράγονται τα μεταφέρουμε στο φάκελο Database του πρόγραμμα QuakeGo. Απο εκεί εισάγεται στο πρόγραμμα στην ενότητα database parameters στην θέση που φαίνεται στην Εικόνα 8.7.

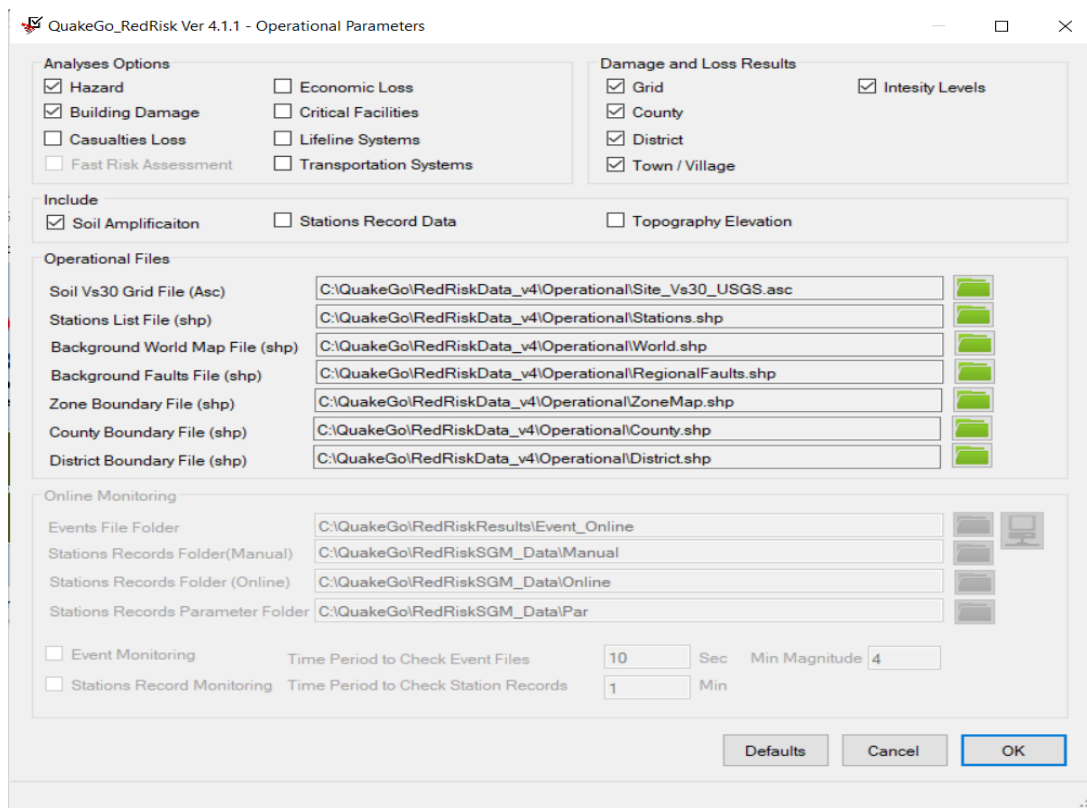


Εικόνα 8.7 Εισαγωγή αρχείου shp στο QuakeGo

8.3 Εισαγωγή λειτουργικών παραμέτρων

Στο operational parameters επιλέγεται:

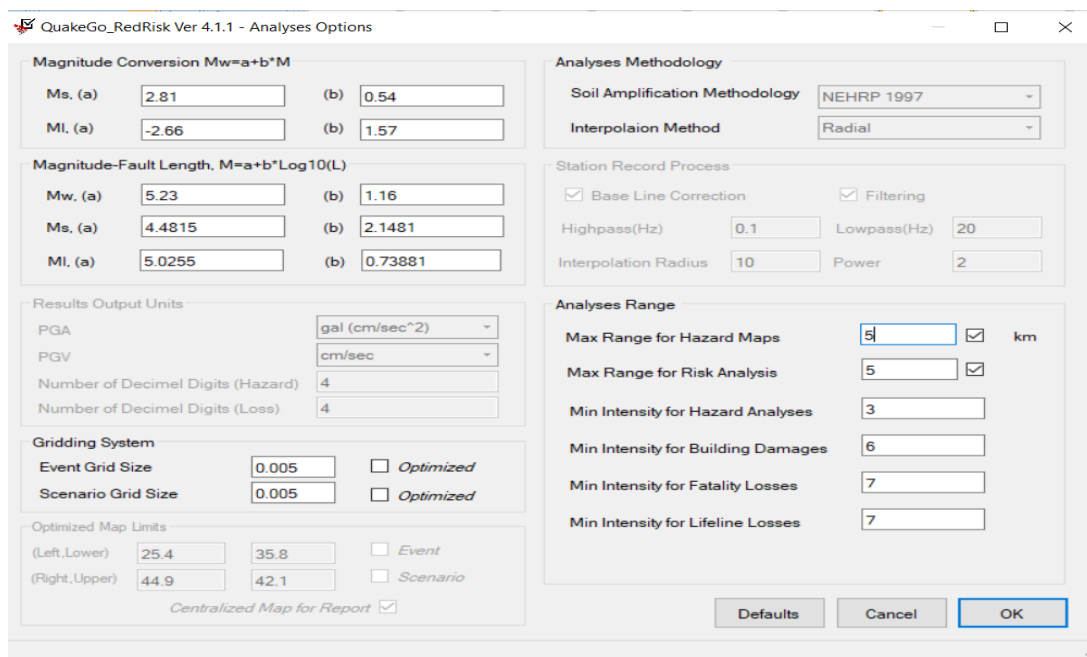
- να πραγματοποιηθεί ανάλυση για τον σεισμικό κίνδυνο (hazard) και για τις βλάβες των κτιρίων.
- Να υπολογιστούν αποτελέσματα (damage and loss results) για όλες των περιπτώσεων.
- Να συνυπολογιστεί η εδαφική ενίσχυση μέσω των V_s30



Εικόνα 8.8 Επιλογή λειτουργικών παραμέτρων

8.4 Δεδομένα ανάλυσης – Σχέσεις Εξασθένισης – Καμπύλες Τρωτότητας

Στην ενότητα επιλογές ανάλυσης επιλέγονται τα δεδομένα που αποτυπώνονται στην Εικόνα 8.9.



Εικόνα 8.9 Δεδομένα επιλογών ανάλυσης

Στην ενότητα σχέσεις εξασθένησης (attenuation relationship) διατηρούνται οι προεπιλογές του προγράμματος όπως φαίνεται στην Εικόνα 5.6, ενώ στην ενότητα καμπύλες τρωτότητας (vulnerabilities) εισάγονται οι καμπύλες τρωτότητας της ερευνητικής ομάδας Sei.V.A.S όπως αναφέρθηκε στις παραγράφους 7.2 και 7.3. Σημειώνεται ότι από τις καμπύλες τρωτότητας που μελετήθηκαν στο έργο Sei.V.A.S αφαιρέθηκε το 1^ο επίπεδο βλάβης ds1 (από τα 5 συνολικά επίπεδα βλάβης), προκειμένου να συμβαδίζει με τον αριθμό των καμπύλων τρωτότητας του προγράμματος QuakeGo που αφορά μόνο 4 επίπεδα βλάβης.

| typology SeiVAS | Τυπολογία εργασίας | θ_{ds2} | θ_{ds3} | θ_{ds4} | θ_{ds5} | β_{ds2} | β_{ds3} | β_{ds4} | β_{ds5} |
|-----------------|--------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| SeiVAS-MBr12 | B_B411 | 0,1705 | 0,261 | 0,38 | 0,459 | 0,62 | 0,62 | 0,62 | 0,62 |
| SeiVAS-MSt12 | B_B511 | 0,1705 | 0,204 | 0,239 | 0,449 | 0,72 | 0,72 | 0,72 | 0,72 |
| SeiVAS-Mas3+ | B_B311 | 0,1705 | 0,261 | 0,376 | 0,392 | 0,765 | 0,765 | 0,765 | 0,765 |
| SeiVAS-RC3.1LH | B_B114 | 0,3058 | 0,6329 | 1,9579 | 2,6261 | 0,73281 | 0,73281 | 0,73281 | 0,73281 |
| SeiVAS-RC3.1LL | B_B112 | 0,1705 | 0,2606 | 0,5642 | 1,114 | 0,7328 | 0,7328 | 0,7328 | 0,7328 |
| SeiVAS-RC3.1LM | B_B113 | 0,21109 | 0,37229 | 0,98231 | 1,56763 | 0,732803 | 0,732803 | 0,732803 | 0,732803 |
| SeiVAS-RC3.1ML | B_B122 | 0,1444 | 0,2275 | 0,439 | 1,1004 | 0,6512 | 0,6512 | 0,6512 | 0,6512 |
| SeiVAS-RC3.2MH | B_B122M | 0,301 | 0,4856 | 1,0375 | 2,0902 | 0,6512 | 0,6512 | 0,6512 | 0,6512 |
| SeiVAS-RC4.2LH | B_B214 | 0,406 | 0,7224 | 1,7879 | 2,5861 | 0,76467 | 0,76467 | 0,76467 | 0,76467 |
| SeiVAS-RC4.2LL | B_B212 | 0,2094 | 0,3924 | 0,6464 | 1,0737 | 0,76467 | 0,76467 | 0,76467 | 0,76467 |
| SeiVAS-RC4.2LM | B_B213 | 0,26838 | 0,4914 | 0,98885 | 1,52742 | 0,76467 | 0,76467 | 0,76467 | 0,76467 |
| SeiVAS-RC4.2MH | B_B224 | 0,3145 | 0,6209 | 1,1387 | 1,6168 | 0,70053 | 0,70053 | 0,70053 | 0,70053 |
| SeiVAS-RC4.2ML | B_B222 | 0,2159 | 0,4014 | 0,7682 | 1,4179 | 0,70053 | 0,70053 | 0,70053 | 0,70053 |
| SeiVAS-RC4.2MM | B_B223 | 0,2241 | 0,4043 | 0,7884 | 1,42 | 0,70053 | 0,70053 | 0,70053 | 0,70053 |
| SeiVAS-RC4.3MH | B_B224M | 0,2625 | 0,4542 | 0,9149 | 1,822 | 0,70039 | 0,70039 | 0,70039 | 0,70039 |
| SeiVAS-RC4.3MM | B_B223M | 0,2298 | 0,4286 | 0,9238 | 1,2841 | 0,70039 | 0,70039 | 0,70039 | 0,70039 |

Πίνακας 8.1 Στάθμες βλαβών καμπυλών τρωτότητας (Κάππος & Παναγόπουλος 2010)

QuakeGo_RedRisk Ver 4.1.1 - Structural Systems and Lifelines Vulnerability Parameters

File Chart Parameters

| Buildings | | Critical Facilities | | Transportation | | Shelter | | Direct Economic | | Fatalities | | Definition | |
|-----------|-----------|---------------------|----------|----------------|----------|----------|----------|-----------------|----------|------------|----|---------------------------|--|
| Class ID | Vul Type | Mean (S) | Beta (S) | Mean (M) | Beta (M) | Mean (E) | Beta (E) | Mean (C) | Beta (C) | Dy | Ay | | |
| B112 | PGA | 0.1705 | 0.7328 | 0.2606 | 0.7328 | 0.5642 | 0.7328 | 1.114 | 0.7328 | | | | |
| B224 | PGA | 0.3145 | 0.70053 | 0.6209 | 0.70053 | 1.1387 | 0.70053 | 1.6168 | 0.70053 | | | Average for All Buildings | |
| B511 | PGA | 0.1705 | 0.765 | 0.261 | 0.765 | 0.376 | 0.765 | 0.392 | 0.765 | | | Average for All Buildings | |
| B122M | PGA | 0.301 | 0.6512 | 0.4856 | 0.6512 | 1.0375 | 0.6512 | 2.0902 | 0.6512 | | | Average for All Buildings | |
| B311 | PGA | 0.1705 | 0.62 | 0.261 | 0.62 | 0.38 | 0.62 | 0.459 | 0.62 | | | Average for All Buildings | |
| B213 | PGA | 0.26838 | 0.76467 | 0.4914 | 0.76467 | 0.98885 | 0.76467 | 1.52742 | 0.76467 | | | Average for All Buildings | |
| B212 | PGA | 0.2094 | 0.76467 | 0.3924 | 0.76467 | 0.6464 | 0.76467 | 1.0737 | 0.76467 | | | Average for All Buildings | |
| B411 | PGA | 0.1705 | 0.72 | 0.204 | 0.72 | 0.239 | 0.72 | 0.449 | 0.72 | | | Average for All Buildings | |
| B113 | PGA | 0.21109 | 0.732803 | 0.37229 | 0.732803 | 0.98231 | 0.732803 | 1.56763 | 0.732803 | | | Average for All Buildings | |
| B114 | PGA | 0.3058 | 0.73281 | 0.6329 | 0.73281 | 1.9579 | 0.73281 | 2.6261 | 0.73281 | | | Average for All Buildings | |
| B122 | PGA | 0.1444 | 0.6512 | 0.2275 | 0.6512 | 0.439 | 0.6512 | 1.1004 | 0.6512 | | | Average for All Buildings | |
| B222 | PGA | 0.2159 | 0.70053 | 0.4014 | 0.70053 | 0.7682 | 0.70053 | 1.4179 | 0.70053 | | | Average for All Buildings | |
| I000 | Intensity | 7.7 | 1.2 | 8.6 | 1.1 | 9 | 1 | 9.5 | 0.9 | | | Average for All Buildings | |
| B223 | PGA | 0.2241 | 0.70053 | 0.4043 | 0.70053 | 0.7884 | 0.70053 | 1.42 | 0.70053 | | | Average for All Buildings | |
| B214 | PGA | 0.406 | 0.76467 | 0.7224 | 0.76467 | 1.7879 | 0.76467 | 2.5861 | 0.76467 | | | Average for All Buildings | |
| B223M | PGA | 0.2298 | 0.70039 | 0.4286 | 0.70039 | 0.9238 | 0.70039 | 1.2841 | 0.70039 | | | Average for All Buildings | |
| B224M | PGA | 0.2625 | 0.70039 | 0.4542 | 0.70039 | 0.9149 | 0.70039 | 1.822 | 0.70039 | | | Average for All Buildings | |

Defaults Cancel OK

Εικόνα 8.10 Εισαγωγή δεδομένων καμπυλών τρωτότητας στο πρόγραμμα QuakeGo.

8.5 Εισαγωγή σεισμικού σεναρίου

Τέλος, στην Εικόνα 8.11 εισάγονται τα δεδομένα του σεισμικού σεναρίου και επιλέγεται το run προκειμένου να ξεκινήσει η ανάλυση.

QuakeGo_RedRisk Ver 4.1.1 - Run Event/Scenario

Event Scenario Multiple Scenarios

Event/Scenario Name: 20220320_6_6_SERRES
YYYYMMDDHHMNSS_MAG_(LOCATION)

Earthquake Parameters

Epicenter (Long, Lat): 23.6903, 41.1017

Magnitude: 6.6 Surface

Fault Type: Unknown

Average Dip: 65

Rupture Width: 18.6

Rupture Depth: 16

Estimated Fault Length= 9.6877

Generate Fault Coordinates

Fault Length: 0 Generate Coordinates

Azimuth: 0

Map: District County Fault Type Active Fault Fault Name

Coordinates: 23.036719, 40.932718

Fault Coordinates

| Longitude | Latitude |
|-----------|----------|
| 23.5100 | 41.0967 |
| 23.5191 | 41.0937 |
| 23.5373 | 41.0952 |
| 23.5858 | 41.1005 |
| 23.6259 | 41.1051 |
| 23.6630 | 41.1051 |
| 23.6850 | 41.1036 |
| 23.7047 | 41.0967 |
| 23.7267 | 41.0861 |
| 23.7411 | 41.0785 |
| 23.7494 | 41.0642 |
| 23.7517 | 41.0558 |
| 23.7668 | 41.0445 |
| 23.7865 | 41.0263 |
| 23.8078 | 41.0020 |

Last Run Clear Computed Fault Length= 30.68

Cancel RUN

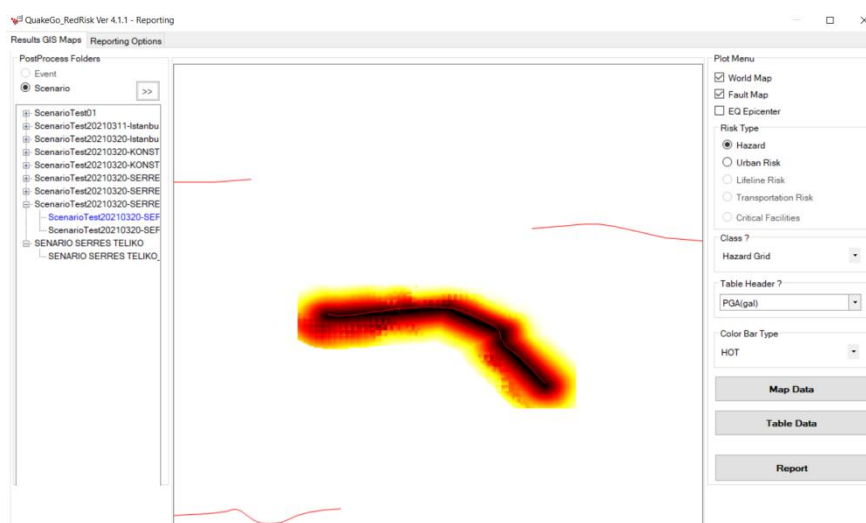
Εικόνα 8.11 Εισαγωγή δεδομένων σεισμικού σεναρίου.

8.6 Αποτελέσματα Ανάλυσης

Στην ενότητα reporting αποτυπώνονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης. Στις παρακάτω υποπαραγράφους παρατίθενται ενδεικτικά τα πιο σημαντικά αποτελέσματα που εξάγονται από το πρόγραμμα.

8.6.1 Εδαφικές επιταχύνσεις στην περιοχή μελέτης

Στην Εικόνα 8.12 φαίνονται σε μορφή χάρτη οι εδαφικές επιταχύνσεις (PGA) που υπολογίστηκαν από το πρόγραμμα, χάρτης ο οποίος μεταφέρεται σε ένα πρόγραμμα γεωγραφικού συστήματος πληροφοριών προκειμένου να είναι πιο εύκολη η ανάγνωση του από τους χρήστες.



Εικόνα 8.12 Αποτελέσματα εδαφικής επιτάχυνσης (PGA) σε περιβάλλον Quake GO

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----|----|
| 1.2109 | 412.1113 | 412.094 | 411.6611 | 411.2138 | 410.7666 | 410.3195 | 409.8726 | 409.4259 | 408.9793 | 408.5329 | 408.0866 | 407.6404 | 413.2199 | 408.9127 | 406.3029 | 405.8574 | 405.412 | 410.0363 | 404.5217 | 404.0767 | 403.6319 | 410.1062 | 402.278 | 402.2983 | 40 | |
| 5.0497 | 406.0501 | 406.0384 | 405.6297 | 405.1829 | 404.7363 | 404.2899 | 403.8436 | 403.3974 | 402.9514 | 402.5055 | 402.0598 | 401.6142 | 405.7185 | 401.5832 | 400.2784 | 399.8334 | 399.3886 | 403.9691 | 398.4993 | 398.0549 | 397.6107 | 404.2626 | 397.3913 | 396.2789 | 39 | |
| 9.9966 | 399.997 | 399.9882 | 399.6061 | 399.16 | 398.7139 | 398.268 | 397.8223 | 397.3767 | 396.9313 | 396.486 | 396.0409 | 395.5959 | 398.0252 | 394.7064 | 394.2619 | 393.8175 | 393.3734 | 397.8674 | 392.4855 | 392.1762 | 391.6799 | 398.8006 | 392.1814 | 391.0624 | 38 | |
| 3.9517 | 393.952 | 393.945 | 393.5908 | 393.1453 | 392.6999 | 392.2032 | 391.9968 | 391.6754 | 391.4584 | 391.1386 | 390.8018 | 390.4483 | 391.4128 | 390.1298 | 389.7971 | 389.4519 | 389.0939 | 393.6408 | 388.8081 | 388.3974 | 387.9675 | 394.846 | 388.6194 | 387.2671 | 38 | |
| 9.6723 | 396.8899 | 392.6116 | 389.4582 | 389.0813 | 401.7769 | 396.1182 | 390.4716 | 388.0223 | 400.5602 | 396.8734 | 393.1941 | 389.5224 | 398.9011 | 397.3795 | 395.8606 | 394.3442 | 392.8394 | 398.1736 | 397.1061 | 396.0401 | 394.9757 | 399.6448 | 398.3557 | 397.0686 | 39 | |
| 5.0777 | 392.3584 | 388.8114 | 385.7633 | 385.3035 | 396.6459 | 391.2552 | 385.8762 | 384.1831 | 397.1563 | 392.9338 | 388.7202 | 384.5155 | 395.1637 | 393.1628 | 391.1656 | 389.1723 | 387.1826 | 393.7714 | 392.6797 | 391.5896 | 390.5012 | 395.0102 | 393.8018 | 392.5954 | 39 | |
| 3.181 | 387.7889 | 384.9519 | 382.0417 | 381.5379 | 391.495 | 386.5665 | 381.2491 | 380.2541 | 393.6792 | 388.9396 | 384.2101 | 379.5167 | 391.3649 | 388.9006 | 386.4412 | 383.9867 | 381.5372 | 389.3299 | 388.2154 | 387.1028 | 385.9918 | 390.344 | 389.2146 | 388.087 | 38 | |
| 2.2008 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 38 |

Εικόνα 8.13 Αποτελέσματα εδαφικής επιτάχυνσης (PGA) σε περιβάλλον QGIS στην περιοχή μελέτης

| CELL | PGA (cm/s ²) απο AFAD RED Quake Go V 4.1.1 |
|------|--|
| C6 | 425,46 |
| C7 | 425,46 |
| C10 | 425,46 |
| C11 | 421,96 |
| C12 | 420,17 |
| C13 | 419,27 |
| C14 | 419,93 |
| C15 | 416,59 |
| C18 | 411,21 |
| C19 | 409,87 |
| C20 | 408,53 |
| C21 | 413,22 |
| C22 | 410,03 |
| C23 | 404,58 |
| C24 | 410,10 |
| C25 | 399,99 |
| C26 | 399,16 |
| C27 | 397,82 |
| C28 | 396,48 |
| C29 | 398,02 |
| C30 | 398,17 |
| C33 | 392,35 |
| C34 | 396,65 |
| C35 | 397,15 |
| C36 | 392,93 |
| C37 | 395,16 |
| C38 | 393,77 |

Πίνακας 8.2 Εδαφικές επιταχύνσεις στην περιοχή μελέτης ανά κελί κανάβου

8.6.2 Αποτελέσματα σεισμικής διακινδύνευσης στην περιοχή μελέτης

Στην Εικόνα 8.14 φαίνονται τα πεδία που επιλέγονται προκειμένου να εξαχθεί ο πίνακας με τα αποτελέσματα της σεισμικής διακινδύνευσης της περιοχής μελέτης.

QuakeGo_RedRisk Ver 4.1.1 - Reporting

Results GIS Maps Reporting Options

PostProcess Folders

Event Scenario

| FRICT | COUNTY | NUMBUILD | SDAMAGE | MDAMAGE | EDAMAGE | CDAMAGE |
|-------|--------|----------|---------|---------|---------|---------|
| 15 | Greece | 84.00 | 12.9377 | 13.2332 | 9.4624 | 17.7335 |
| 15 | Greece | 11.00 | 1.5231 | 1.3129 | 1.1434 | 3.0100 |
| 15 | Greece | 11.00 | 1.2938 | 0.9937 | 1.4294 | 3.3798 |
| 15 | Greece | 100.00 | 10.1600 | 12.1918 | 11.7754 | 27.8398 |
| 15 | Greece | 169.00 | 18.1863 | 23.4629 | 21.8988 | 41.7304 |
| 15 | Greece | 155.00 | 17.2188 | 22.7670 | 27.8920 | 30.3864 |
| 15 | Greece | 80.00 | 10.9920 | 15.3829 | 11.1799 | 10.8764 |
| 15 | Greece | 24.00 | 4.2127 | 6.1886 | 1.3938 | 1.4629 |
| 15 | Greece | 124.00 | 9.1601 | 11.7980 | 11.5767 | 43.3844 |
| 15 | Greece | 133.00 | 14.4661 | 21.2000 | 20.7192 | 23.7431 |
| 15 | Greece | 262.00 | 32.4208 | 38.5010 | 43.2828 | 48.6351 |
| 15 | Greece | 115.00 | 11.7981 | 17.4985 | 24.5188 | 18.2348 |
| 15 | Greece | 71.00 | 8.0984 | 11.6287 | 10.0830 | 12.9170 |
| 15 | Greece | 72.00 | 7.9311 | 11.5991 | 6.9424 | 15.6391 |
| 15 | Greece | 2.00 | 0.3206 | 0.6049 | 0.0655 | 0.0043 |
| 15 | Greece | 71.00 | 5.1656 | 5.8634 | 8.2552 | 24.6113 |
| 15 | Greece | 168.00 | 15.0246 | 20.8378 | 19.5939 | 48.2264 |
| 15 | Greece | 157.00 | 19.3688 | 25.9380 | 23.0191 | 27.3042 |
| 15 | Greece | 122.00 | 12.7970 | 20.5395 | 21.2867 | 19.7159 |
| 15 | Greece | 83.00 | 9.8781 | 14.3416 | 11.3781 | 14.7771 |
| 15 | Greece | 64.00 | 5.4199 | 6.2693 | 6.6048 | 21.2129 |
| 15 | Greece | 35.00 | 1.5104 | 2.1680 | 4.2042 | 13.3106 |
| 15 | Greece | 65.00 | 8.4726 | 6.9946 | 8.0491 | 17.0072 |
| 15 | Greece | 17.00 | 2.7429 | 3.1509 | 1.7169 | 2.4224 |
| 15 | Greece | 87.00 | 8.5985 | 10.2204 | 10.1556 | 24.1871 |
| 15 | Greece | 137.00 | 15.4761 | 15.9901 | 15.3804 | 38.9915 |
| 15 | Greece | 17.00 | 1.4814 | 2.3379 | 1.8821 | 4.6634 |

Plot Menu

World Map

Fault Map

EQ Epicenter

Risk Type

Hazard

Urban Risk

Lifeline Risk

Transportation Risk

Critical Facilities

Class ?

Risk Geo

Table Header ?

TOWN

Color Bar Type

HOT

Map Data

Table Data

Report

Shape File [C:\QuakeGo\RedRiskResults\Scenario\ScenarioTest20210320-SERRES10\ScenarioTest20210320-SERRES10_1\ScenarioTest20210320-SERRES10_Risk_Geo.shp] is shown

Εικόνα 8.14 Αποτελέσματα σεισμικής διακινδύνευσης QuakeGo

Στις πρώτες στήλες υπάρχουν περιγραφές της περιοχής, ενώ στην συνέχεια αναφέρονται τα κάτωθι:

NUMBUILD: Συνολικός αριθμός κτιρίων/κελί

SDAMAGE: Αριθμός κτιρίων που έχουν υποστεί ελαφριές βλάβες

MDAMAGE: Αριθμός κτιρίων που έχουν υποστεί μέτριες βλάβες

EDAMAGE: Αριθμός κτιρίων που έχουν υποστεί σημαντικές βλάβες

CDAMAGE: Αριθμός κτιρίων που έχουν υποστεί από σημαντικές βλάβες έως κατάρρευση

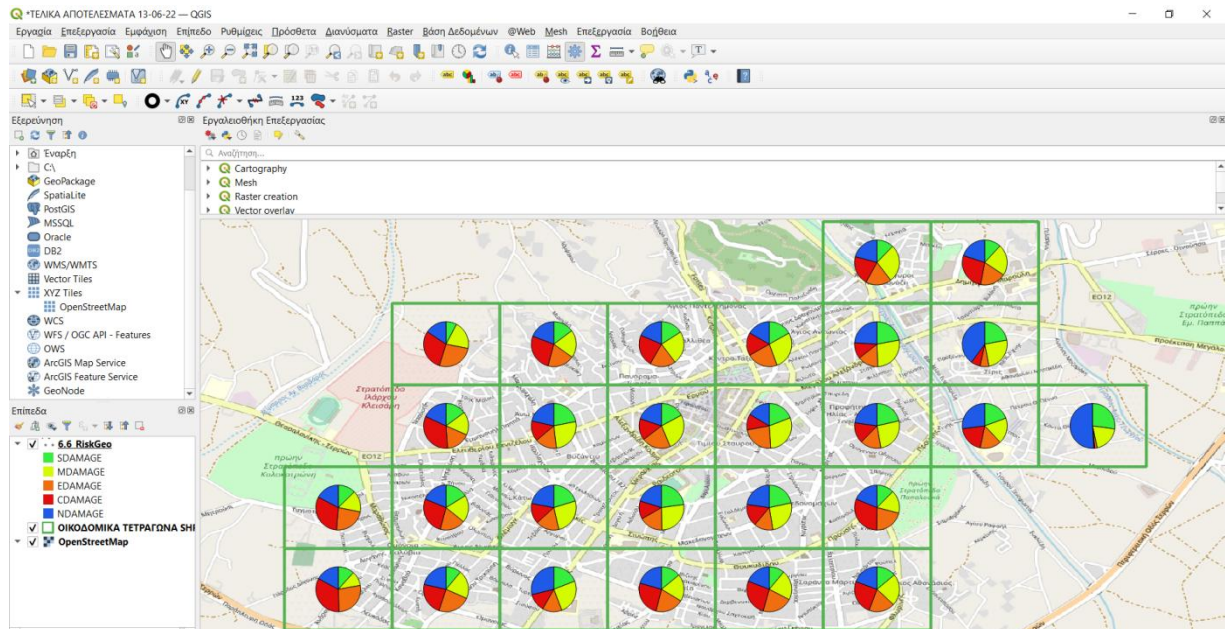
Στις επόμενες στήλες εμφανίζονται τα αποτελέσματα που αφορούν το κόστος αποκατάστασης των βλαβών. Ο Πίνακας 8.3 αποτυπώνει τα ανωτέρω αποτελέσματα σε μορφή που λαμβάνεται μέσω του excel.

Λόγω του ότι η διαδικασία υπολογίζει πιθανότητες ένταξης σε κάποιο επίπεδο βλάβης, ο αριθμός κτιρίων σε κάθε οικοδομική περιοχή, που υπολογίζεται ότι ανήκει σε ένα επίπεδο βλάβης, δύναται να είναι δεκαδικός αριθμός, όπως αποτυπώνεται στην Εικόνα 8.17 και στον Πίνακας 8.3.

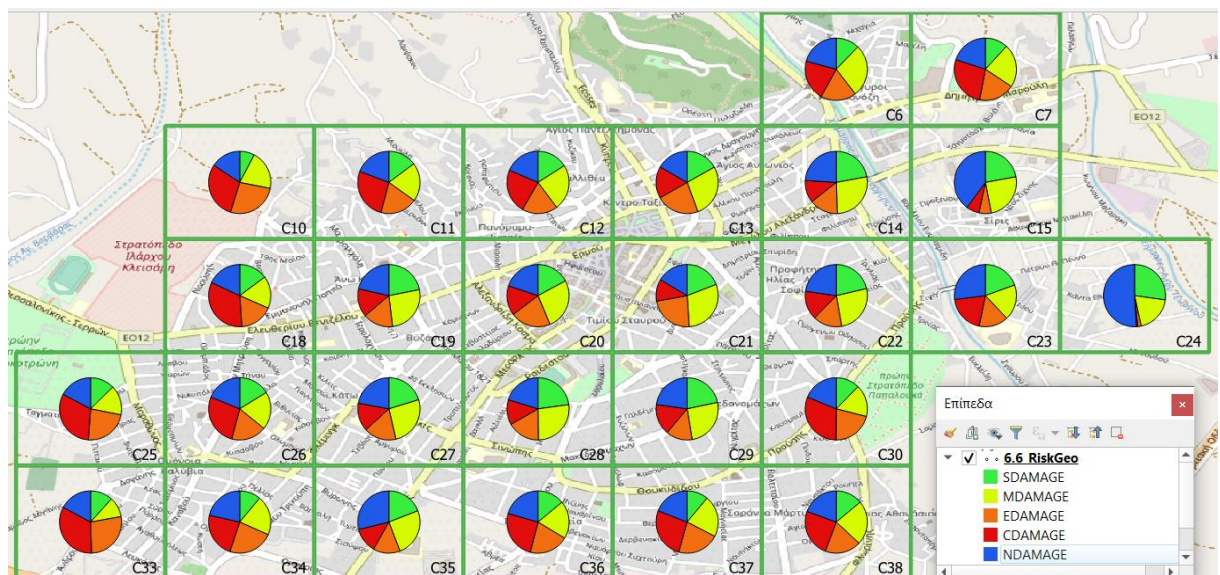
| | ΣΥΝΟΛΟ ΚΤΙΡΙΩΝ | ΧΩΡΙΣ ΒΛΑΒΗ | ΜΙΚΡΕΣ ΒΛΑΒΕΣ | ΜΕΤΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ | ΣΗΜΑΝΤΙΚΕΣ ΒΛΑΒΕΣ | ΕΩΣ ΚΑΤΑΡΡΕΥΣΗ |
|-----------------------|----------------|--------------|---------------|----------------|-------------------|----------------|
| ID | NUMBUILD | NDAMAGE | SDAMAGE | MDAMAGE | EDAMAGE | CDAMAGE |
| 6 | 84 | 17.5 | 10.3 | 22.9 | 15.6 | 17.7 |
| 7 | 11 | 2.2 | 1.3 | 2.5 | 2.1 | 3.0 |
| 10 | 11 | 1.7 | 0.9 | 2.2 | 2.9 | 3.2 |
| 11 | 100 | 19.2 | 14.8 | 20.1 | 19.3 | 26.7 |
| 12 | 169 | 31.3 | 27.0 | 40.2 | 31.4 | 39.1 |
| 13 | 155 | 25.9 | 26.1 | 42.7 | 34.8 | 25.5 |
| 14 | 80 | 19.2 | 17.7 | 22.0 | 11.9 | 9.3 |
| 15 | 24 | 9.6 | 5.3 | 6.0 | 1.5 | 1.6 |
| 18 | 124 | 22.4 | 18.4 | 20.8 | 21.5 | 40.9 |
| 19 | 133 | 28.5 | 29.2 | 34.8 | 20.9 | 19.6 |
| 20 | 262 | 52.0 | 44.9 | 69.6 | 54.9 | 40.5 |
| 21 | 115 | 18.9 | 22.0 | 34.3 | 26.7 | 13.1 |
| 22 | 71 | 16.2 | 15.2 | 18.3 | 10.7 | 10.7 |
| 23 | 72 | 19.4 | 14.0 | 13.3 | 11.0 | 14.2 |
| 24 | 2 | 1.0 | 0.5 | 0.4 | 0.0 | 0.0 |
| 25 | 71 | 12.2 | 9.0 | 11.0 | 16.4 | 22.4 |
| 26 | 168 | 31.6 | 27.2 | 33.0 | 30.8 | 45.4 |
| 27 | 157 | 34.6 | 31.8 | 41.0 | 26.5 | 23.0 |
| 28 | 122 | 24.7 | 27.9 | 32.9 | 20.7 | 15.9 |
| 29 | 83 | 18.9 | 18.0 | 21.3 | 11.4 | 13.3 |
| 30 | 64 | 12.1 | 7.9 | 10.6 | 13.6 | 19.8 |
| 33 | 35 | 6.0 | 4.1 | 3.7 | 9.6 | 11.7 |
| 34 | 65 | 14.0 | 7.2 | 13.4 | 15.3 | 15.2 |
| 35 | 17 | 4.9 | 3.2 | 4.3 | 2.4 | 2.2 |
| 36 | 87 | 17.9 | 12.2 | 17.1 | 17.7 | 22.1 |
| 37 | 137 | 26.2 | 15.2 | 29.5 | 29.9 | 36.3 |
| 38 | 17 | 3.3 | 2.4 | 3.9 | 3.2 | 4.2 |
| ΣΥΝΟΛΟ ΚΤΙΡΙΩΝ | 2436 | 491.4 | 413.8 | 571.7 | 462.5 | 496.6 |

Πίνακας 8.3 Αποτελέσματα σεισμικής διακινδύνευσης περιοχής μελέτης ανά κελί κανάβου (Σεισμικό σενάριο 6.6R)

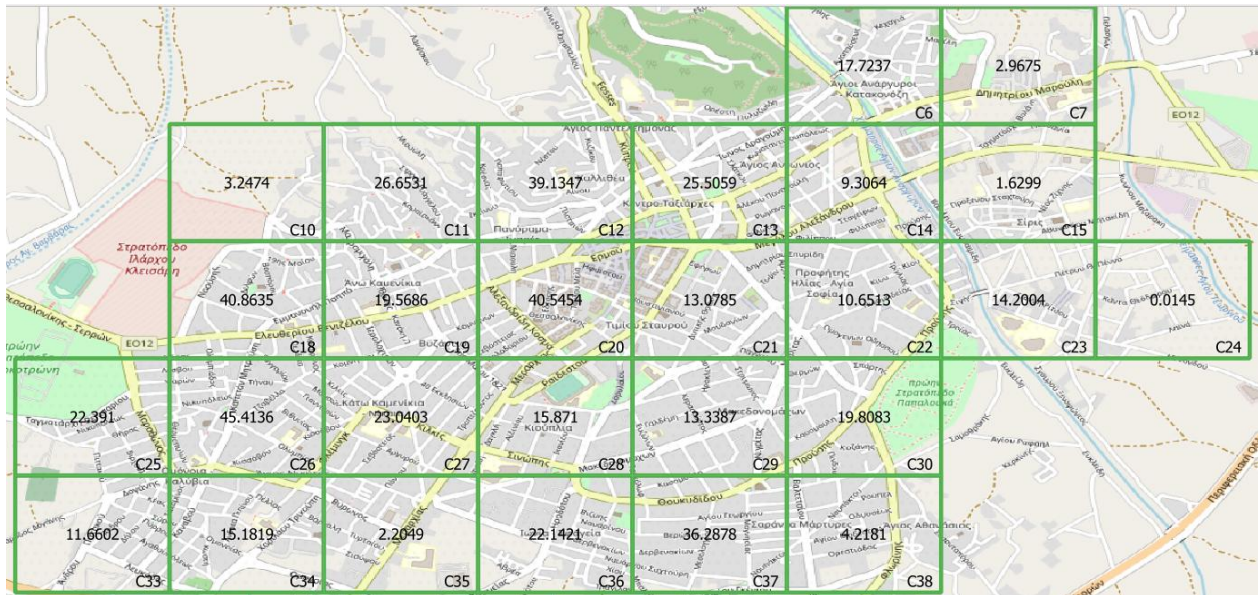
Το αρχείο που προκύπτει από την ανωτέρω ανάλυση (.shp) εισάγεται στο πρόγραμμα QGIS, το οποίο μας δίνει δυνατότητα εξαγωγής χαρτών σεισμικής διακινδύνευσης με δημιουργία αντίστοιχων διαγραμμάτων.



Εικόνα 8.15 Χάρτης σεισμικής διακινδύνευσης περιοχής μελέτης από QGIS (Σεισμικό σενάριο 6.6R)



Εικόνα 8.16 Χάρτης σεισμικής διακινδύνευσης περιοχής μελέτης από QGIS (Σεισμικό σενάριο 6.6R - μεγέθυνση προηγούμενου σχήματος)



Εικόνα 8.17 Χάρτης με τον αριθμό των κτιρίων στο τελευταίο επίπεδο βλάβης (CDAMAGE) ανά κελί κανάβου (Σεισμικό σενάριο 6.6R).

8.7 Σύγκριση αποτελεσμάτων

Στο παρόν υποκεφάλαιο πραγματοποιείται συνοπτική σύγκριση των αποτελεσμάτων της παρούσας διπλωματικής εργασίας με τα αντίστοιχα που προέκυψαν από το ερευνητικό έργο SEI.V.A.S. για το ίδιο σεισμικό σενάριο με παρόμοιες σεισμικές επιταχύνσεις(σενάριο 1 SEI.V.A.S. 475 έτη). Το εν λόγω βασικό σενάριο συμφωνεί με την μελέτη σεισμικής επικινδυνότητας των Παπαζάχος και συνεργάτες (1996) που αφορά την περιοχή του Νοσοκομείου Σερρών, που οδηγεί σε μέγιστη εδαφική επιτάχυνση της τάξης των 0.22g (Μάργαρης και συνεργάτες, 2014).

8.7.1 Εδαφικές επιταχύνσεις (PGA)

Στον παρακάτω πίνακα αποτυπώνονται οι διαφορές στις εδαφικές επιταχύνσεις ανα κελί κανάβου.

Από τα αποτελέσματα της σύγκρισης διαπιστώνεται ότι υπάρχει ικανοποιητική συμφωνία τιμών. Η μέση απόκλιση είναι της τάξεως του 8.5% με σημαντικότερη διαφορά στα κελιά C23 και C24. Η στήλη του αριθμού των κτιρίων έχει εισαχθεί ώστε να είναι κατανοητό από τον αναγνώστη ότι οι διαφορές στην εδαφική σεισμική επιτάχυνση έχει νόημα να ελεγχθούν όταν υφίστανται σημαντικός αριθμός κατασκευών υπο διακινδύνευση. Συγκεκριμένα στο κελί C24 υφίστανται μόνο 2 κτίρια (στα πλαίσια της μελέτης που έχει λάβει υπόψη το 20% του κτιριακού αποθέματος της πόλης των Σερρών), με αποτέλεσμα η διαφορά της τάξεως του 22,9% της εδαφικής επιτάχυνσης να έχει ελάχιστη επιρροή στα συνολικά αποτελέσματα της σύγκρισης.

| CELL | ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΤΙΡΙΩΝ ΑΝΑ ΚΕΛΙ | PGA (cm/s ²) σεισμικό σενάριο 1 Seivas 475 έτη | PGA (cm/s ²) απο AFAD RED Quake Go | Διαφορά % |
|------|-----------------------------|--|--|-----------|
| C6 | 84 | 416,9 | 429,7 | +3,1 |
| C7 | 11 | 463 | 431,3 | -6,9 |
| C10 | 11 | 465 | 436,7 | -6,1 |
| C11 | 100 | 455,2 | 436,7 | -4,1 |
| C12 | 169 | 414 | 433,5 | +4,7 |
| C13 | 155 | 413 | 431,9 | +4,6 |
| C14 | 80 | 413 | 428,6 | +3,8 |
| C15 | 24 | 416,9 | 426,9 | +2,4 |
| C18 | 124 | 465 | 421,4 | -9,4 |
| C19 | 133 | 465 | 420,0 | -9,7 |
| C20 | 262 | 415 | 418,4 | +0,8 |
| C21 | 115 | 413 | 416,7 | -0,9 |
| C22 | 71 | 400,2 | 413,4 | +3,3 |
| C23 | 72 | 336,5 | 411,7 | +22,4 |
| C24 | 2 | 336,5 | 410,1 | +22,9 |
| C25 | 71 | 441,4 | 407,5 | -7,7 |
| C26 | 168 | 455,2 | 406,2 | -10,8 |
| C27 | 157 | 463 | 404,9 | -12,6 |
| C28 | 122 | 386,5 | 403,2 | +4,3 |
| C29 | 83 | 405,2 | 401,6 | -0,9 |
| C30 | 64 | 404,2 | 398,3 | -1,5 |
| C33 | 35 | 348,3 | 392,3 | +12,6 |
| C34 | 65 | 348,3 | 391,0 | +12,3 |
| C35 | 17 | 352,2 | 389,8 | +10,7 |
| C36 | 87 | 329,6 | 388,1 | +17,7 |
| C37 | 137 | 328,6 | 386,5 | +17,6 |
| C38 | 17 | 328,6 | 383,0 | +16,5 |

Πίνακας 8.4 Διαφορές εδαφικών επιταχύνσεων μεταξύ SeiV.A.S και παρούσας διπλωματικής (Σεισμικό σενάριο 6.6R).

8.7.2 Σεισμική διακινδύνευση

Στους παρακάτω πίνακες αποτυπώνονται οι διαφορές στα αποτελέσματα σεισμικής διακινδύνευσης μεταξύ του προγράμματος QuakeGo και του ερευνητικού έργου Sei.V.A.S. για όλες τις στάθμες βλάβης ανά κελί κανάβου.

| | | QUAKEGO | | | | | Sei.V.A.S. | | | | |
|----|----------------|--------------|---------------|----------------|-------------------|----------------|--------------|---------------|----------------|-------------------|----------------|
| | ΣΥΝΟΛΟ ΚΤΙΡΙΩΝ | ΧΩΡΙΣ ΒΛΑΒΗ | ΜΙΚΡΕΣ ΒΛΑΒΕΣ | ΜΕΤΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ | ΣΗΜΑΝΤΙΚΕΣ ΒΛΑΒΕΣ | ΕΩΣ ΚΑΤΑΡΡΕΥΣΗ | ΧΩΡΙΣ ΒΛΑΒΗ | ΜΙΚΡΕΣ ΒΛΑΒΕΣ | ΜΕΤΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ | ΣΗΜΑΝΤΙΚΕΣ ΒΛΑΒΕΣ | ΕΩΣ ΚΑΤΑΡΡΕΥΣΗ |
| ID | NUMBUILD | NDAMAGE | SDAMAGE | MDAMAGE | EDAMAGE | CDAMAGE | NDAMAGE | SDAMAGE | MDAMAGE | EDAMAGE | CDAMAGE |
| 6 | 84 | 17.5 | 10.3 | 22.9 | 15.6 | 17.7 | 13.4 | 15.3 | 24.9 | 13.5 | 16.9 |
| 7 | 11 | 2.2 | 1.3 | 2.5 | 2.1 | 3.0 | 1.4 | 1.7 | 2.7 | 2.1 | 3.2 |
| 10 | 11 | 1.7 | 0.9 | 2.2 | 2.9 | 3.2 | 0.8 | 1.6 | 3.0 | 1.9 | 3.7 |
| 11 | 100 | 19.2 | 14.8 | 20.1 | 19.3 | 26.7 | 13.3 | 17.6 | 24.3 | 16.2 | 28.6 |
| 12 | 169 | 31.3 | 27.0 | 40.2 | 31.4 | 39.1 | 26.3 | 32.1 | 43.9 | 29.5 | 37.1 |
| 13 | 155 | 25.9 | 26.1 | 42.7 | 34.8 | 25.5 | 22.0 | 31.5 | 46.1 | 29.8 | 25.6 |
| 14 | 80 | 19.2 | 17.7 | 22.0 | 11.9 | 9.3 | 17.0 | 19.6 | 22.8 | 11.5 | 9.1 |
| 15 | 24 | 9.6 | 5.3 | 6.0 | 1.5 | 1.6 | 8.7 | 5.7 | 5.9 | 2.2 | 1.5 |
| 18 | 124 | 22.4 | 18.4 | 20.8 | 21.5 | 40.9 | 13.8 | 18.2 | 24.0 | 21.7 | 46.2 |
| 19 | 133 | 28.5 | 29.2 | 34.8 | 20.9 | 19.6 | 17.9 | 27.4 | 37.0 | 25.4 | 25.3 |
| 20 | 262 | 52.0 | 44.9 | 69.6 | 54.9 | 40.5 | 37.8 | 55.2 | 78.5 | 46.8 | 43.8 |
| 21 | 115 | 18.9 | 22.0 | 34.3 | 26.7 | 13.1 | 15.3 | 23.5 | 35.4 | 26.7 | 14.0 |
| 22 | 71 | 16.2 | 15.2 | 18.3 | 10.7 | 10.7 | 13.4 | 16.8 | 19.8 | 10.4 | 10.6 |
| 23 | 72 | 19.4 | 14.0 | 13.3 | 11.0 | 14.2 | 22.2 | 17.5 | 15.3 | 6.8 | 10.3 |
| 24 | 2 | 1.0 | 0.5 | 0.4 | 0.0 | 0.0 | 1.2 | 0.5 | 0.3 | 0.0 | 0.0 |
| 25 | 71 | 12.2 | 9.0 | 11.0 | 16.4 | 22.4 | 7.7 | 11.7 | 15.9 | 10.9 | 24.7 |
| 26 | 168 | 31.6 | 27.2 | 33.0 | 30.8 | 45.4 | 21.2 | 30.1 | 40.3 | 26.3 | 50.1 |
| 27 | 157 | 34.6 | 31.8 | 41.0 | 26.5 | 23.0 | 21.0 | 34.0 | 47.7 | 25.0 | 29.4 |
| 28 | 122 | 24.7 | 27.9 | 32.9 | 20.7 | 15.9 | 24.0 | 31.0 | 34.9 | 17.5 | 14.6 |
| 29 | 83 | 18.9 | 18.0 | 21.3 | 11.4 | 13.3 | 16.6 | 19.5 | 22.2 | 12.0 | 12.7 |
| 30 | 64 | 12.1 | 7.9 | 10.6 | 13.6 | 19.8 | 9.5 | 11.3 | 14.7 | 8.9 | 19.5 |
| 33 | 35 | 6.0 | 4.1 | 3.7 | 9.6 | 11.7 | 6.3 | 7.6 | 7.9 | 3.9 | 9.3 |
| 34 | 65 | 14.0 | 7.2 | 13.4 | 15.3 | 15.2 | 12.9 | 14.0 | 17.6 | 8.8 | 11.7 |
| 35 | 17 | 4.9 | 3.2 | 4.3 | 2.4 | 2.2 | 4.7 | 4.2 | 4.4 | 1.9 | 1.8 |
| 36 | 87 | 17.9 | 12.2 | 17.1 | 17.7 | 22.1 | 19.7 | 19.4 | 21.5 | 10.4 | 15.9 |
| 37 | 137 | 26.2 | 15.2 | 29.5 | 29.9 | 36.3 | 27.3 | 29.2 | 37.1 | 18.3 | 25.1 |
| 38 | 17 | 3.3 | 2.4 | 3.9 | 3.2 | 4.2 | 3.6 | 3.7 | 4.6 | 2.1 | 3.0 |
| | 2436 | 491.4 | 413.8 | 571.7 | 462.5 | 496.6 | 398.8 | 500 | 652.8 | 390.6 | 493.7 |

Πίνακας 8.5 Διαφορές σεισμικής διακινδύνευσης μεταξύ SeiV.A.S και παρούσας διπλωματικής (Σεισμικό σενάριο 6.6R).

| ID | ΣΥΝΟΛΟ ΚΤΙΡΙΩΝ | QUAKEGO | | | | | Sei.V.A.S. | | | | |
|-----------------------|----------------|--------------|---------------|----------------|-------------------|----------------|--------------|---------------|----------------|-------------------|----------------|
| | | ΧΩΡΙΣ ΒΛΑΒΗ | ΜΙΚΡΕΣ ΒΛΑΒΕΣ | ΜΕΤΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ | ΣΗΜΑΝΤΙΚΕΣ ΒΛΑΒΕΣ | ΕΩΣ ΚΑΤΑΡΡΕΥΣΗ | ΧΩΡΙΣ ΒΛΑΒΗ | ΜΙΚΡΕΣ ΒΛΑΒΕΣ | ΜΕΤΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ | ΣΗΜΑΝΤΙΚΕΣ ΒΛΑΒΕΣ | ΕΩΣ ΚΑΤΑΡΡΕΥΣΗ |
| | | NDAMAGE | SDAMAGE | MDAMAGE | EDAMAGE | CDAMAGE | NDAMAGE | SDAMAGE | MDAMAGE | EDAMAGE | CDAMAGE |
| 6 | 84 | 20.8% | 12.3% | 27.3% | 18.6% | 21.1% | 16.0% | 18.2% | 29.6% | 16.1% | 20.1% |
| 7 | 11 | 20.0% | 11.8% | 22.7% | 19.1% | 27.3% | 12.7% | 15.5% | 24.5% | 19.1% | 29.1% |
| 10 | 11 | 15.5% | 8.2% | 20.0% | 26.4% | 29.1% | 7.3% | 14.5% | 27.3% | 17.3% | 33.6% |
| 11 | 100 | 19.2% | 14.8% | 20.1% | 19.3% | 26.7% | 13.3% | 17.6% | 24.3% | 16.2% | 28.6% |
| 12 | 169 | 18.5% | 16.0% | 23.8% | 18.6% | 23.1% | 15.6% | 19.0% | 26.0% | 17.5% | 22.0% |
| 13 | 155 | 16.7% | 16.8% | 27.5% | 22.5% | 16.5% | 14.2% | 20.3% | 29.7% | 19.2% | 16.5% |
| 14 | 80 | 24.0% | 22.1% | 27.5% | 14.9% | 11.6% | 21.3% | 24.5% | 28.5% | 14.4% | 11.4% |
| 15 | 24 | 40.0% | 22.1% | 25.0% | 6.3% | 6.7% | 36.3% | 23.8% | 24.6% | 9.2% | 6.3% |
| 18 | 124 | 18.1% | 14.8% | 16.8% | 17.3% | 33.0% | 11.1% | 14.7% | 19.4% | 17.5% | 37.3% |
| 19 | 133 | 21.4% | 22.0% | 26.2% | 15.7% | 14.7% | 13.5% | 20.6% | 27.8% | 19.1% | 19.0% |
| 20 | 262 | 19.8% | 17.1% | 26.6% | 21.0% | 15.5% | 14.4% | 21.1% | 30.0% | 17.9% | 16.7% |
| 21 | 115 | 16.4% | 19.1% | 29.8% | 23.2% | 11.4% | 13.3% | 20.4% | 30.8% | 23.2% | 12.2% |
| 22 | 71 | 22.8% | 21.4% | 25.8% | 15.1% | 15.1% | 18.9% | 23.7% | 27.9% | 14.6% | 14.9% |
| 23 | 72 | 26.9% | 19.4% | 18.5% | 15.3% | 19.7% | 30.8% | 24.3% | 21.3% | 9.4% | 14.3% |
| 24 | 2 | 50.0% | 25.0% | 20.0% | 0.0% | 0.0% | 60.0% | 25.0% | 15.0% | 0.0% | 0.0% |
| 25 | 71 | 17.2% | 12.7% | 15.5% | 23.1% | 31.5% | 10.8% | 16.5% | 22.4% | 15.4% | 34.8% |
| 26 | 168 | 18.8% | 16.2% | 19.6% | 18.3% | 27.0% | 12.6% | 17.9% | 24.0% | 15.7% | 29.8% |
| 27 | 157 | 22.0% | 20.3% | 26.1% | 16.9% | 14.6% | 13.4% | 21.7% | 30.4% | 15.9% | 18.7% |
| 28 | 122 | 20.2% | 22.9% | 27.0% | 17.0% | 13.0% | 19.7% | 25.4% | 28.6% | 14.3% | 12.0% |
| 29 | 83 | 22.8% | 21.7% | 25.7% | 13.7% | 16.0% | 20.0% | 23.5% | 26.7% | 14.5% | 15.3% |
| 30 | 64 | 18.9% | 12.3% | 16.6% | 21.3% | 30.9% | 14.8% | 17.7% | 23.0% | 13.9% | 30.5% |
| 33 | 35 | 17.1% | 11.7% | 10.6% | 27.4% | 33.4% | 18.0% | 21.7% | 22.6% | 11.1% | 26.6% |
| 34 | 65 | 21.5% | 11.1% | 20.6% | 23.5% | 23.4% | 19.8% | 21.5% | 27.1% | 13.5% | 18.0% |
| 35 | 17 | 28.8% | 18.8% | 25.3% | 14.1% | 12.9% | 27.6% | 24.7% | 25.9% | 11.2% | 10.6% |
| 36 | 87 | 20.6% | 14.0% | 19.7% | 20.3% | 25.4% | 22.6% | 22.3% | 24.7% | 12.0% | 18.3% |
| 37 | 137 | 19.1% | 11.1% | 21.5% | 21.8% | 26.5% | 19.9% | 21.3% | 27.1% | 13.4% | 18.3% |
| 38 | 17 | 19.4% | 14.1% | 22.9% | 18.8% | 24.7% | 21.2% | 21.8% | 27.1% | 12.4% | 17.6% |
| ΣΥΝΟΛΟ ΚΤΙΡΙΩΝ | 2436 | 20.2% | 17.0% | 23.5% | 19.0% | 20.4% | 16.4% | 20.5% | 26.8% | 16.0% | 20.3% |

Πίνακας 8.6 Ποσοστά κτιρίων ανά κατηγορία βλάβης στο έργο Sei.V.A.S. και στην παρούσα διπλωματική εργασία (Σεισμικό σενάριο 6.6R)

Από τον Πίνακα 8.6 διαφαίνεται ότι υπάρχει ικανοποιητική συμφωνία τιμών. Για την καλύτερη και ευκρινέστερη εποπτική σύγκριση παρατίθενται οι παρακάτω πίνακες και τα ραβδογραφήματα.

| ΣΥΝΟΛΟ ΚΤΙΡΙΩΝ | QUAKEGO (NDAMAGE) | | Sei.V.A.S. (NDAMAGE) | |
|----------------|-------------------|-------------------|----------------------|-------------------|
| | ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΤΙΡΙΩΝ | % ΕΠΙ ΤΟΥ ΣΥΝΟΛΟΥ | ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΤΙΡΙΩΝ | % ΕΠΙ ΤΟΥ ΣΥΝΟΛΟΥ |
| 2436 | 491.4 | 20.2 | 398.8 | 16,4 |

Πίνακας 8.7 Ποσοστιαία διαφορά σεισμικής διακινδύνευσης μεταξύ SeiV.A.S και παρούσας διπλωματικής για το επίπεδο βλάβης NDAMAGE (Σεισμικό σενάριο 6.6R)

| ΣΥΝΟΛΟ ΚΤΙΡΙΩΝ | QUAKEGO (SDAMAGE) | | Sei.V.A.S. (SDAMAGE) | |
|----------------|-------------------|-------------------|----------------------|-------------------|
| | ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΤΙΡΙΩΝ | % ΕΠΙ ΤΟΥ ΣΥΝΟΛΟΥ | ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΤΙΡΙΩΝ | % ΕΠΙ ΤΟΥ ΣΥΝΟΛΟΥ |
| 2436 | 413.8 | 17 | 500 | 20.5 |

Πίνακας 8.8 Ποσοστιαία διαφορά σεισμικής διακινδύνευσης μεταξύ SeiV.A.S και παρούσας διπλωματικής για το επίπεδο βλάβης SDAMAGE (Σεισμικό σενάριο 6.6R)

| ΣΥΝΟΛΟ ΚΤΙΡΙΩΝ | QUAKEGO (MDAMAGE) | | Sei.V.A.S. (MDAMAGE) | |
|----------------|-------------------|-------------------|----------------------|-------------------|
| | ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΤΙΡΙΩΝ | % ΕΠΙ ΤΟΥ ΣΥΝΟΛΟΥ | ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΤΙΡΙΩΝ | % ΕΠΙ ΤΟΥ ΣΥΝΟΛΟΥ |
| 2436 | 571.7 | 23.5 | 652.8 | 26.8 |

Πίνακας 8.9 Ποσοστιαία διαφορά σεισμικής διακινδύνευσης μεταξύ SeiV.A.S και παρούσας διπλωματικής για το επίπεδο βλάβης MDAMAGE (Σεισμικό σενάριο 6.6R)

| ΣΥΝΟΛΟ ΚΤΙΡΙΩΝ | QUAKEGO (EDAMAGE) | | Sei.V.A.S. (EDAMAGE) | |
|----------------|-------------------|-------------------|----------------------|-------------------|
| | ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΤΙΡΙΩΝ | % ΕΠΙ ΤΟΥ ΣΥΝΟΛΟΥ | ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΤΙΡΙΩΝ | % ΕΠΙ ΤΟΥ ΣΥΝΟΛΟΥ |
| 2436 | 462.5 | 19 | 390.6 | 16 |

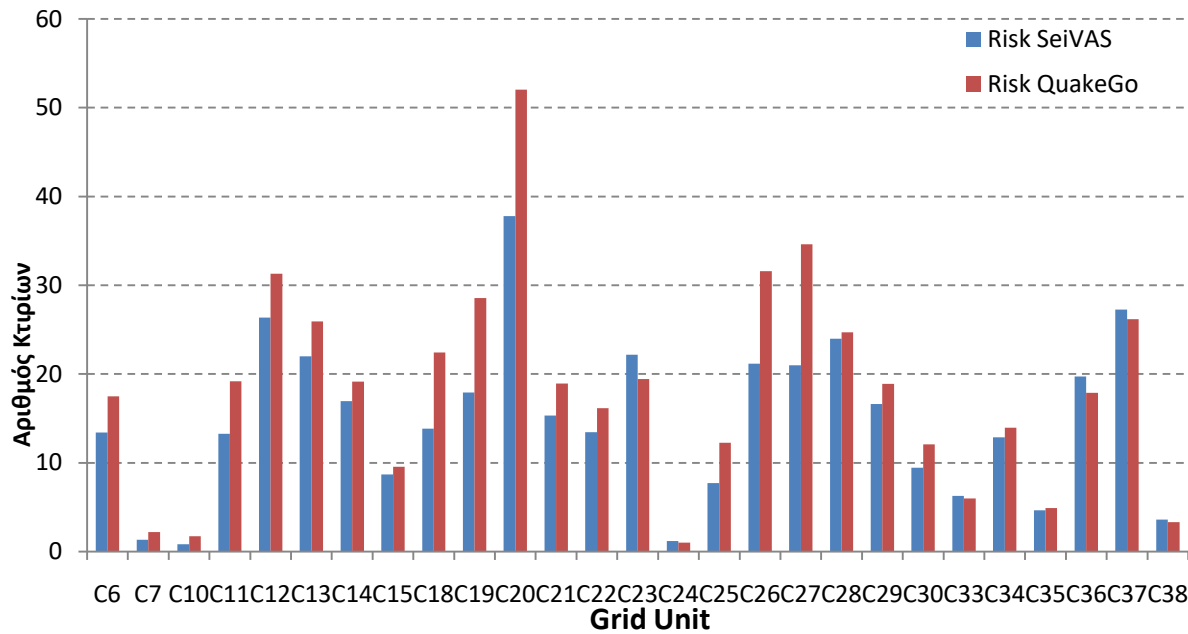
Πίνακας 8.10 Ποσοστιαία διαφορά σεισμικής διακινδύνευσης μεταξύ SeiV.A.S και παρούσας διπλωματικής για το επίπεδο βλάβης EDAMAGE (Σεισμικό σενάριο 6.6R)

| ΣΥΝΟΛΟ ΚΤΙΡΙΩΝ | QUAKEGO (CDAMAGE) | | Sei.V.A.S. (CDAMAGE) | |
|----------------|-------------------|-------------------|----------------------|-------------------|
| | ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΤΙΡΙΩΝ | % ΕΠΙ ΤΟΥ ΣΥΝΟΛΟΥ | ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΤΙΡΙΩΝ | % ΕΠΙ ΤΟΥ ΣΥΝΟΛΟΥ |
| 2436 | 496.6 | 20.4 | 493.7 | 20.3 |

Πίνακας 8.11 Ποσοστιαία διαφορά σεισμικής διακινδύνευσης μεταξύ SeiV.A.S και παρούσας διπλωματικής για το επίπεδο βλάβης CDAMAGE (Σεισμικό σενάριο 6.6R)

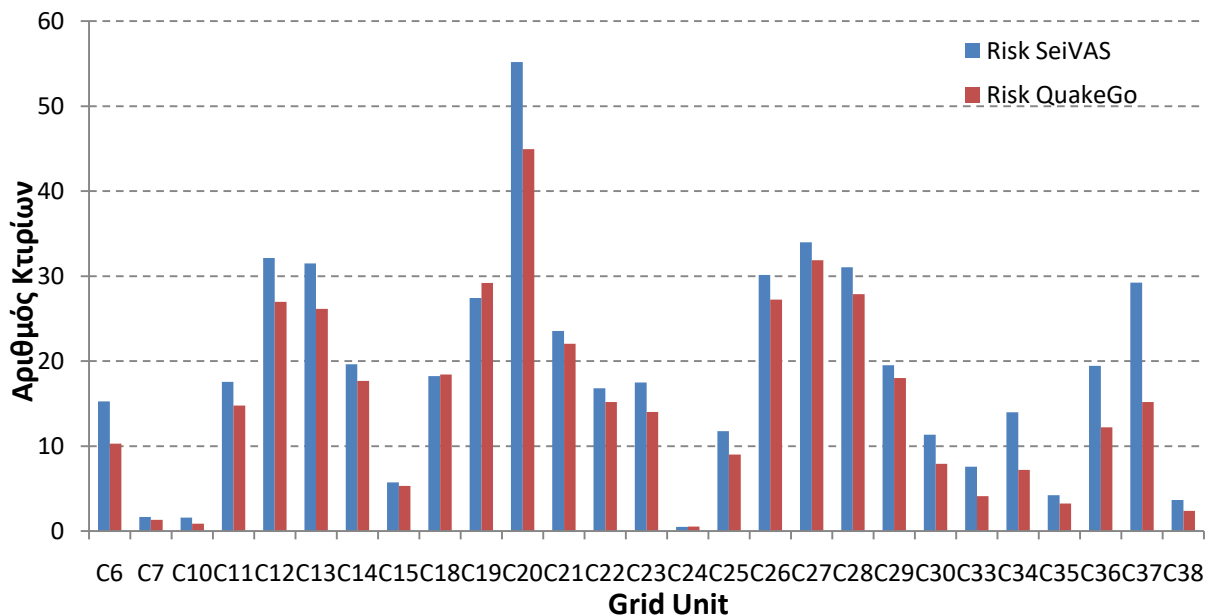
Στον παραπάνω πίνακα διαπιστώνεται ότι το ποσοστό των κτιρίων που εμφανίζουν το τελευταίο επίπεδο βλαβών και στις δύο περιπτώσεις σχεδόν ταυτίζεται.

Risk SeiVAS vs Risk QuakeGo (NDAMAGE)



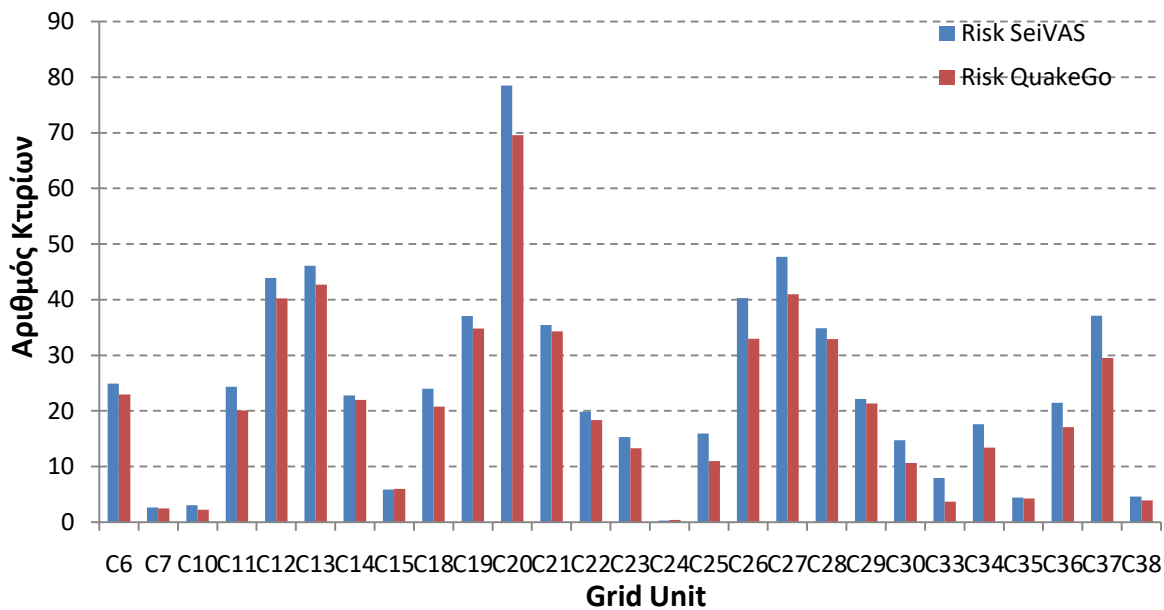
Εικόνα 8.18 Σύγκριση μεταξύ SeiV.A.S και παρούσας διπλωματικής ανά κελί κανάβου για το επίπεδο βλάβης NDAMAGE (Σεισμικό σενάριο 6.6R).

Risk SeiVAS vs Risk QuakeGo (SDAMAGE)



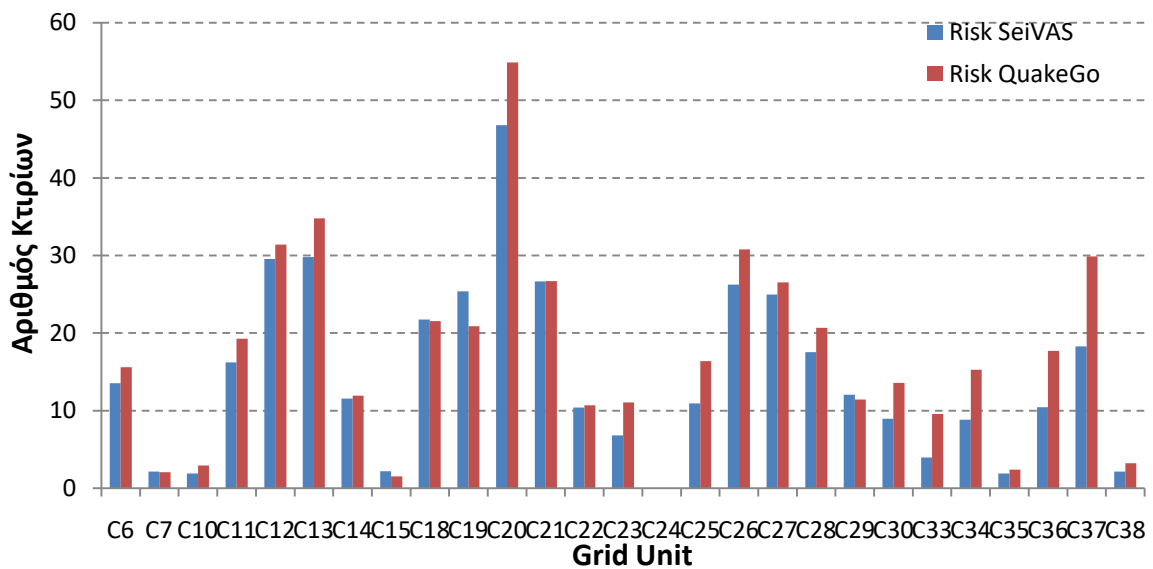
Εικόνα 8.19 Σύγκριση μεταξύ SeiV.A.S και παρούσας διπλωματικής ανά κελί κανάβου για το επίπεδο βλάβης SDAMAGE (Σεισμικό σενάριο 6.6R).

Risk SeiVAS vs Risk QuakeGo (MDAMAGE)



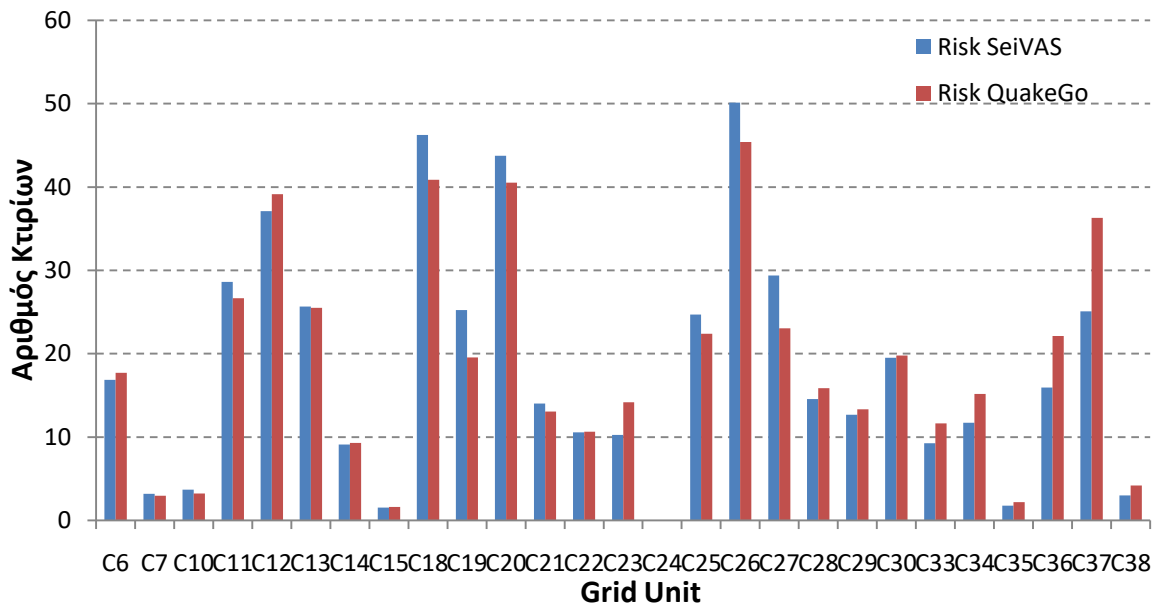
Εικόνα 8.20 Σύγκριση μεταξύ SeiV.A.S και παρούσας διπλωματικής ανά κελί κανάβου για το επίπεδο βλάβης MDAMAGE (Σεισμικό σενάριο 6.6R).

Risk OpenQuake vs Risk QuakeGo (EDAMAGE)



Εικόνα 8.21 Σύγκριση μεταξύ SeiV.A.S και παρούσας διπλωματικής ανά κελί κανάβου για το επίπεδο βλάβης EDAMAGE (Σεισμικό σενάριο 6.6R).

Risk SeiVAS vs Risk QuakeGo (CDAMAGE)



Εικόνα 8.22 Σύγκριση μεταξύ SeiV.A.S και παρούσας διπλωματικής ανά κελί κανάβου για το επίπεδο βλάβης CDAMAGE (Σεισμικό σενάριο 6.6R).

Κεφάλαιο 9

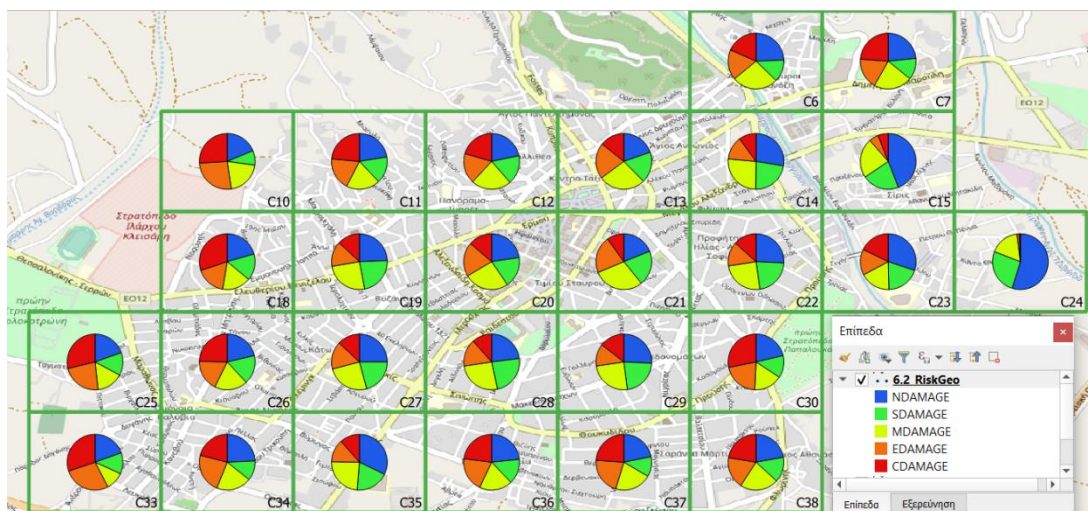
Διερεύνηση εναλλακτικών σεισμικών σεναρίων

9.1 Γενικά

Στο παρόν κεφάλαιο στόχος είναι να διαπιστωθεί κατά πόσον η μεταβολή του μεγέθους του σεισμικού σεναρίου μεταξύ 6.2-6.8R δίνει σημαντική διαφορά στα αποτελέσματα διακινδύνευσης των κτιρίων του αστικού ιστού. Για τον λόγο αυτό εξετάζονται 3 επιπλέον σεισμικά σεναρία, πέραν του σεισμικού σεναρίου των 6.6R, και παρατίθενται οι αντίστοιχοι χάρτες σεισμικής διακινδύνευσης καθώς και οι αντίστοιχοι αριθμητικοί πίνακες αποτελεσμάτων.

9.2 Σεισμικό σενάριο με μέγεθος σεισμού 6.2R

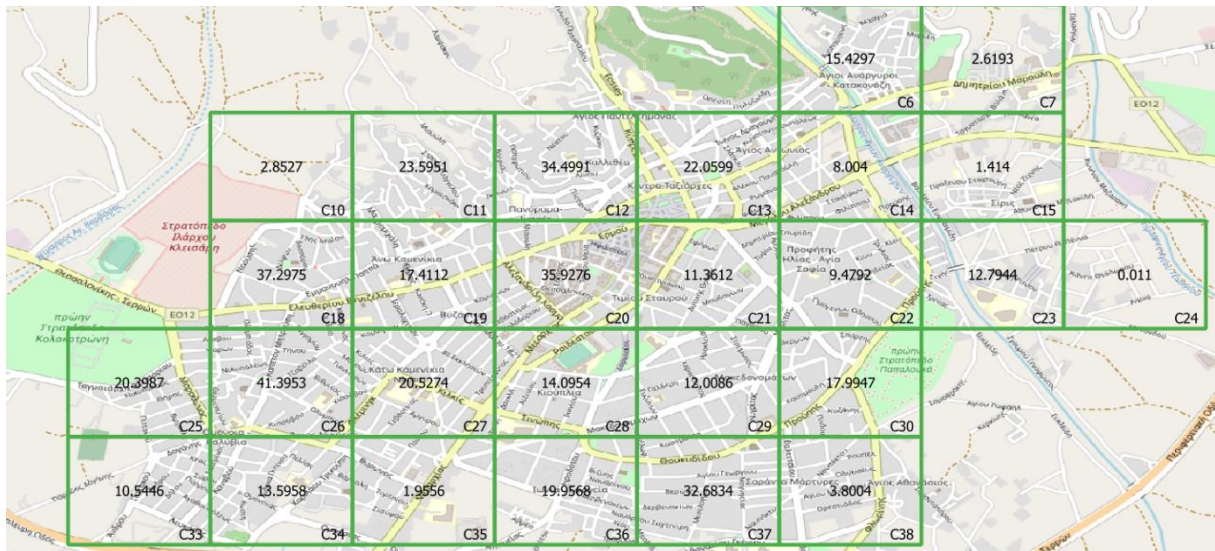
Ακολουθείται η ίδια διαδικασία που προαναφέρθηκε στο Κεφάλαιο 8 διαφοροποιώντας την τιμή του μεγέθους M. Το μέγεθος των 6.2 R ελήφθησε από την πρόταση του κ. Παυλίδη (2004: 1^η Ετήσια Έκθεση) στο πλαίσιο του Προγράμματος SRM-LIFE (Ανάπτυξη Ολοκληρωμένης Μεθοδολογίας Εκτίμησης της Σεισμικής Τρωτότητας Δικτύων κοινής Ωφέλειας Υποδομών) για τη περιοχή της πόλης των Σερρών με ενεργά τεκτονικό ρήγμα με πιθανότητα σύνδεσης με σεισμική δραστηριότητα σεισμικών μεγεθών M6.2 – 6.7. Στις επόμενες εικόνες-πίνακες αποτυπώνονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την ανάλυση.



Εικόνα 9.1 Χάρτης σεισμικής διακινδύνευσης περιοχής μελέτης από QGIS (Σεισμικό σενάριο 6.2R)

| | ΣΥΝΟΛΟ ΚΤΙΡΙΩΝ | ΧΩΡΙΣ ΒΛΑΒΗ | ΜΙΚΡΕΣ ΒΛΑΒΕΣ | ΜΕΤΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ | ΣΗΜΑΝΤΙΚΕΣ ΒΛΑΒΕΣ | ΕΩΣ ΚΑΤΑΡΡΕΥΣΗ |
|-----------------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------------------|-----------------|
| ID | NUMBUILD | NDAMAGE | SDAMAGE | MDAMAGE | EDAMAGE | CDAMAGE |
| 6 | 84 | 20.4884 | 10.7849 | 22.5476 | 14.7494 | 15.4297 |
| 7 | 11 | 2.5784 | 1.3682 | 2.4581 | 1.976 | 2.6193 |
| 10 | 11 | 2.0635 | 0.9278 | 2.2545 | 2.9015 | 2.8527 |
| 11 | 100 | 22.4872 | 15.4302 | 19.6835 | 18.804 | 23.5951 |
| 12 | 169 | 36.7845 | 28.4095 | 39.4763 | 29.8306 | 34.4991 |
| 13 | 155 | 30.5084 | 27.8145 | 42.2704 | 32.3468 | 22.0599 |
| 14 | 80 | 22.0527 | 18.1137 | 20.9765 | 10.8531 | 8.004 |
| 15 | 24 | 10.5763 | 5.158 | 5.5221 | 1.3296 | 1.414 |
| 18 | 124 | 25.5355 | 19.1784 | 20.5854 | 21.4032 | 37.2975 |
| 19 | 133 | 32.474 | 30.0451 | 33.7504 | 19.3193 | 17.4112 |
| 20 | 262 | 59.3141 | 46.6877 | 68.2791 | 51.7915 | 35.9276 |
| 21 | 115 | 21.8085 | 23.208 | 34.0093 | 24.613 | 11.3612 |
| 22 | 71 | 18.287 | 15.6191 | 17.6322 | 9.9825 | 9.4792 |
| 23 | 72 | 21.696 | 14.0405 | 12.6429 | 10.8262 | 12.7944 |
| 24 | 2 | 1.0965 | 0.5218 | 0.3423 | 0.0284 | 0.011 |
| 25 | 71 | 13.9336 | 9.3883 | 10.9442 | 16.3352 | 20.3987 |
| 26 | 168 | 35.922 | 28.1478 | 32.2667 | 30.2682 | 41.3953 |
| 27 | 157 | 39.2358 | 32.6852 | 39.488 | 25.0636 | 20.5274 |
| 28 | 122 | 28.097 | 28.7875 | 31.7804 | 19.2397 | 14.0954 |
| 29 | 83 | 21.3614 | 18.4438 | 20.5284 | 10.6578 | 12.0086 |
| 30 | 64 | 13.7094 | 8.2282 | 10.5472 | 13.5205 | 17.9947 |
| 33 | 35 | 6.8462 | 4.2726 | 3.6967 | 9.6399 | 10.5446 |
| 34 | 65 | 15.7923 | 7.4364 | 13.2679 | 14.9076 | 13.5958 |
| 35 | 17 | 5.474 | 3.251 | 4.0761 | 2.2433 | 1.9556 |
| 36 | 87 | 20.3476 | 12.6077 | 16.7038 | 17.3841 | 19.9568 |
| 37 | 137 | 29.9512 | 15.8748 | 29.1524 | 29.3382 | 32.6834 |
| 38 | 17 | 3.7721 | 2.4875 | 3.8023 | 3.1377 | 3.8004 |
| ΣΥΝΟΛΟ ΚΤΙΡΙΩΝ | 2436 | 562.1936 | 428.9182 | 558.6847 | 442.4909 | 443.7126 |

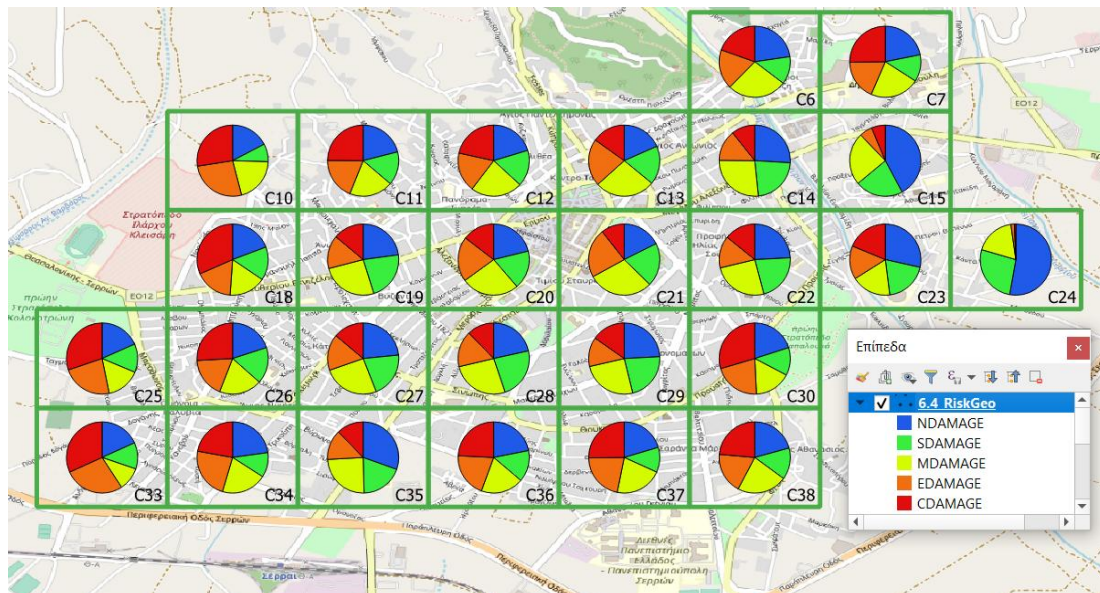
Πίνακας 9.1 Αποτελέσματα σεισμικής διακινδύνευσης περιοχής μελέτης ανά κελί κανάβου (Σεισμικό σενάριο 6.2R)



Εικόνα 9.2 Χάρτης με τον αριθμό των κτιρίων στο τελευταίο επίπεδο βλάβης (CDAMAGE) ανα κελί κανάβου (Σεισμικό σενάριο 6.2R)

9.3 Σεισμικό σενάριο με μέγεθος σεισμού 6.4R

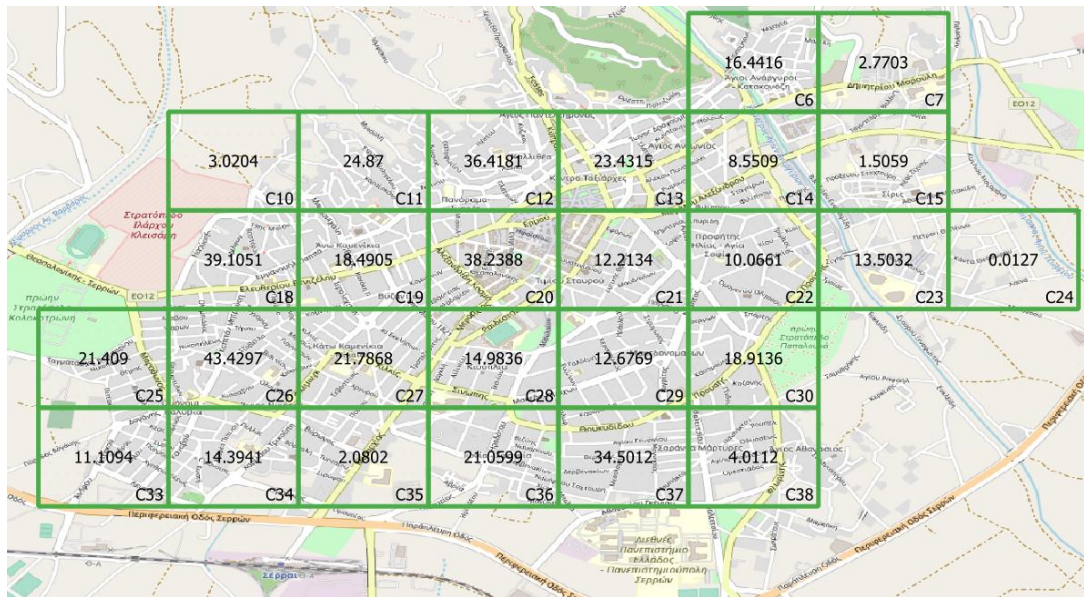
Στην παρούσα υποενότητα παρατίθενται τα αποτελέσματα σεισμικής διακινδύνευσης για το σεισμικό σενάριο με μέγεθος σεισμού 6.4R λαμβάνοντας υπόψη την προαναφερόμενη πρόταση του κ. Παυλίδη.



Εικόνα 9.3 Χάρτης σεισμικής διακινδύνευσης περιοχής μελέτης από QGIS (Σεισμικό σενάριο 6.4R)

| | ΣΥΝΟΛΟ ΚΤΙΡΙΩΝ | ΧΩΡΙΣ ΒΛΑΒΗ | ΜΙΚΡΕΣ ΒΛΑΒΕΣ | ΜΕΤΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ | ΣΗΜΑΝΤΙΚΕΣ ΒΛΑΒΕΣ | ΕΩΣ ΚΑΤΑΡΡΕΥΣΗ |
|-----------------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------------------|-----------------|
| ID | NUMBUILD | NDAMAGE | SDAMAGE | MDAMAGE | EDAMAGE | CDAMAGE |
| 6 | 84 | 19.0952 | 10.5757 | 22.7542 | 15.1333 | 16.4416 |
| 7 | 11 | 2.4075 | 1.3417 | 2.4672 | 2.0133 | 2.7703 |
| 10 | 11 | 1.9104 | 0.8951 | 2.2507 | 2.9234 | 3.0204 |
| 11 | 100 | 21.0526 | 15.1717 | 19.8823 | 19.0234 | 24.87 |
| 12 | 169 | 34.4093 | 27.8345 | 39.8322 | 30.5059 | 36.4181 |
| 13 | 155 | 28.5679 | 27.1499 | 42.4944 | 33.3563 | 23.4315 |
| 14 | 80 | 20.7702 | 17.9456 | 21.4214 | 11.3119 | 8.5509 |
| 15 | 24 | 10.1294 | 5.2277 | 5.7236 | 1.4134 | 1.5059 |
| 18 | 124 | 23.9195 | 18.7996 | 20.6842 | 21.4916 | 39.1051 |
| 19 | 133 | 30.4361 | 29.6285 | 34.3317 | 20.1132 | 18.4905 |
| 20 | 262 | 55.5228 | 45.8363 | 69.0082 | 53.3939 | 38.2388 |
| 21 | 115 | 20.3002 | 22.6265 | 34.1854 | 25.6745 | 12.2134 |
| 22 | 71 | 17.1797 | 15.4155 | 18.007 | 10.3317 | 10.0661 |
| 23 | 72 | 20.5291 | 14.0337 | 12.9911 | 10.9429 | 13.5032 |
| 24 | 2 | 1.0565 | 0.5338 | 0.3652 | 0.0318 | 0.0127 |
| 25 | 71 | 13.053 | 9.1942 | 10.9705 | 16.3733 | 21.409 |
| 26 | 168 | 33.6733 | 27.7007 | 32.6489 | 30.5474 | 43.4297 |
| 27 | 157 | 36.8415 | 32.2901 | 40.2685 | 25.8131 | 21.7868 |
| 28 | 122 | 26.3204 | 28.3518 | 32.3787 | 19.9655 | 14.9836 |
| 29 | 83 | 20.085 | 18.2402 | 20.9589 | 11.039 | 12.6769 |
| 30 | 64 | 12.8541 | 8.0743 | 10.6002 | 13.5578 | 18.9136 |
| 33 | 35 | 6.4021 | 4.1818 | 3.6908 | 9.6159 | 11.1094 |
| 34 | 65 | 14.8435 | 7.3152 | 13.3404 | 15.1068 | 14.3941 |
| 35 | 17 | 5.1776 | 3.2526 | 4.1751 | 2.3145 | 2.0802 |
| 36 | 87 | 19.0642 | 12.4175 | 16.9017 | 17.5567 | 21.0599 |
| 37 | 137 | 27.9803 | 15.527 | 29.3649 | 29.6266 | 34.5012 |
| 38 | 17 | 3.528 | 2.434 | 3.8562 | 3.1706 | 4.0112 |
| ΣΥΝΟΛΟ ΚΤΙΡΙΩΝ | 2436 | 527.1094 | 421.9952 | 565.5536 | 452.3477 | 468.9941 |

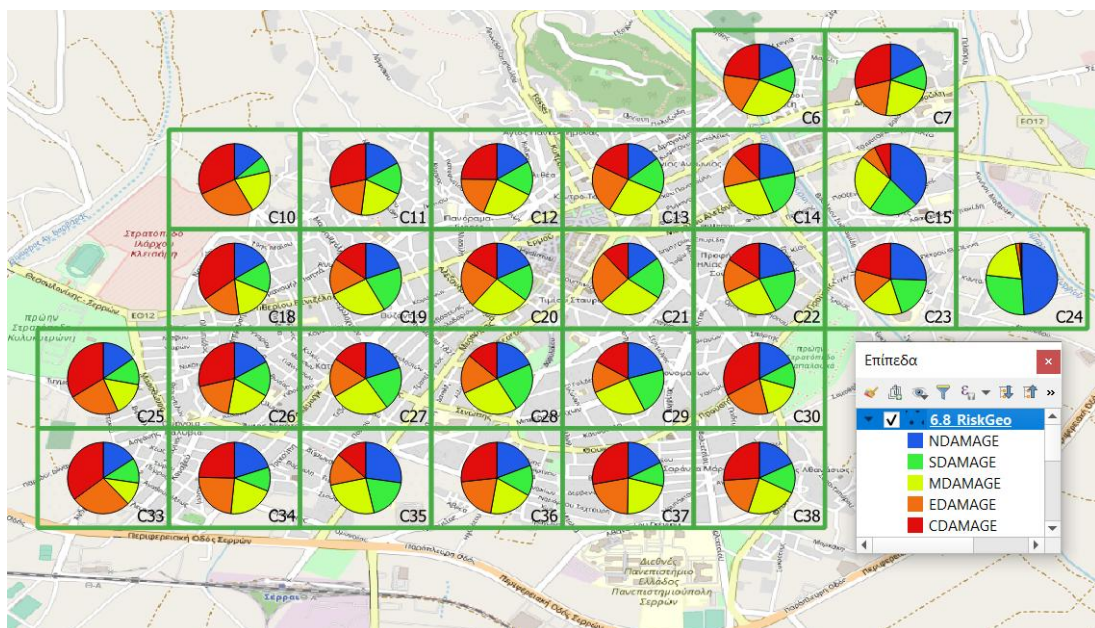
Πίνακας 9.2 Αποτελέσματα σεισμικής διακινδύνευσης περιοχής μελέτης ανά κελί κανάβου (Σεισμικό σενάριο 6.4R)



Εικόνα 9.4 Χάρτης με τον αριθμό των κτιρίων στο τελευταίο επίπεδο βλάβης (CDAMAGE) ανα κελί κανάβου (Σεισμικό σενάριο 6.4R)

9.4 Σεισμικό σενάριο με μέγεθος σεισμού 6.8R

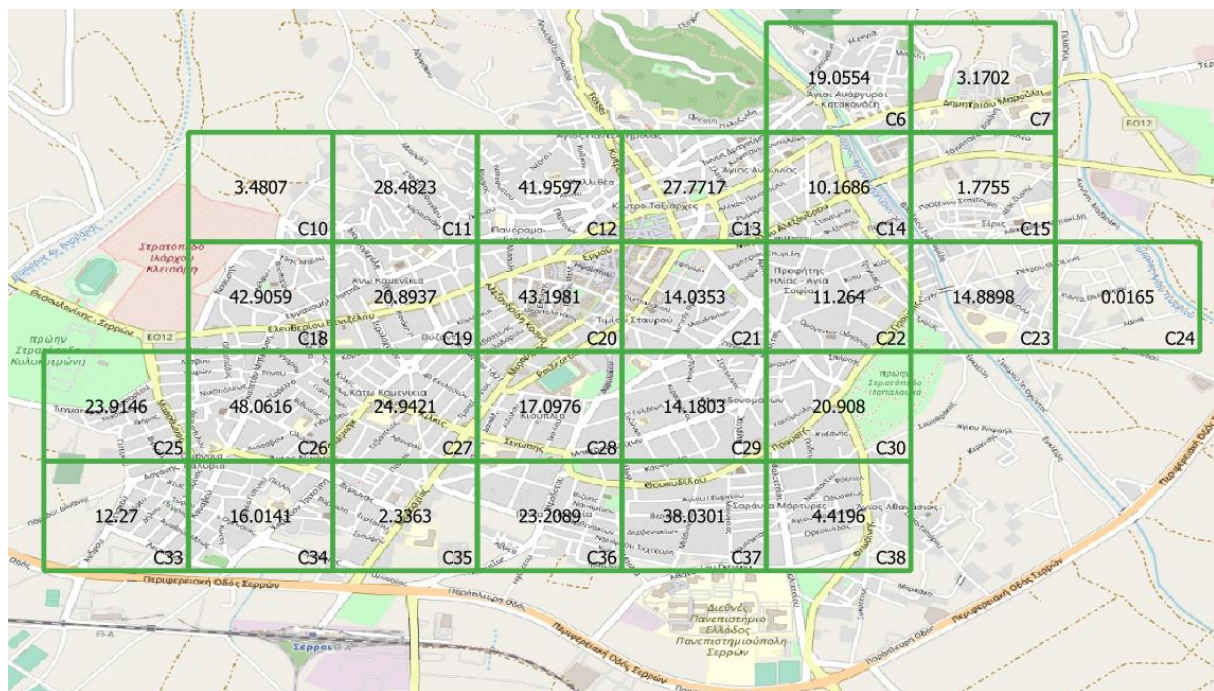
Στην συνέχεια, πέρα των ανωτέρω σεναρίων, εφαρμόστηκε σενάριο με πιθανό μέγεθος σεισμού 6.8R (πηγή Caruto R., Chatzipetros A., Pavlides S. and Sboras S. (2012)). Τα αποτελέσματα που προέκυψαν παρατίθενται παρακάτω.



Εικόνα 9.5 Χάρτης σεισμικής διακινδύνευσης περιοχής μελέτης από QGIS (Σεισμικό σενάριο 6.8R)

| | ΣΥΝΟΛΟ ΚΤΙΡΙΩΝ | ΧΩΡΙΣ ΒΛΑΒΗ | ΜΙΚΡΕΣ ΒΛΑΒΕΣ | ΜΕΤΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ | ΣΗΜΑΝΤΙΚΕΣ ΒΛΑΒΕΣ | ΕΩΣ ΚΑΤΑΡΡΕΥΣΗ |
|-----------------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|-------------------|-----------------|
| ID | NUMBUILD | NDAMAGE | SDAMAGE | MDAMAGE | EDAMAGE | CDAMAGE |
| 6 | 84 | 15.9344 | 9.9824 | 23.0405 | 15.9873 | 19.0554 |
| 7 | 11 | 2.0046 | 1.2643 | 2.4668 | 2.0941 | 3.1702 |
| 10 | 11 | 1.5429 | 0.8045 | 2.2168 | 2.9551 | 3.4807 |
| 11 | 100 | 17.4304 | 14.3376 | 20.2577 | 19.492 | 28.4823 |
| 12 | 169 | 28.3765 | 26.0286 | 40.4354 | 32.1998 | 41.9597 |
| 13 | 155 | 23.3447 | 25.0139 | 42.698 | 36.1717 | 27.7717 |
| 14 | 80 | 17.5114 | 17.3079 | 22.4574 | 12.5547 | 10.1686 |
| 15 | 24 | 8.9594 | 5.3621 | 6.2539 | 1.6491 | 1.7755 |
| 18 | 124 | 20.7985 | 17.9381 | 20.7926 | 21.5649 | 42.9059 |
| 19 | 133 | 26.4077 | 28.5665 | 35.353 | 21.7791 | 20.8937 |
| 20 | 262 | 48.3174 | 43.8761 | 70.082 | 56.5264 | 43.1981 |
| 21 | 115 | 17.535 | 21.3914 | 34.3134 | 27.7249 | 14.0353 |
| 22 | 71 | 15.1531 | 14.933 | 18.6456 | 11.0043 | 11.264 |
| 23 | 72 | 18.4087 | 13.9426 | 13.6288 | 11.1301 | 14.8898 |
| 24 | 2 | 0.981 | 0.5535 | 0.41 | 0.039 | 0.0165 |
| 25 | 71 | 11.0774 | 8.6798 | 10.9716 | 16.3566 | 23.9146 |
| 26 | 168 | 29.0053 | 26.5524 | 33.3375 | 31.0432 | 48.0616 |
| 27 | 157 | 31.5443 | 31.1061 | 41.8554 | 27.5521 | 24.9421 |
| 28 | 122 | 22.6152 | 27.191 | 33.5113 | 21.5849 | 17.0976 |
| 29 | 83 | 17.5012 | 17.6815 | 21.774 | 11.863 | 14.1803 |
| 30 | 64 | 11.1539 | 7.7123 | 10.6643 | 13.5615 | 20.908 |
| 33 | 35 | 5.5708 | 3.9849 | 3.6673 | 9.507 | 12.27 |
| 34 | 65 | 13.0929 | 7.0479 | 13.4138 | 15.4313 | 16.0141 |
| 35 | 17 | 4.6245 | 3.2354 | 4.3533 | 2.4505 | 2.3363 |
| 36 | 87 | 16.7728 | 11.9982 | 17.205 | 17.8151 | 23.2089 |
| 37 | 137 | 24.4922 | 14.8092 | 29.6254 | 30.0431 | 38.0301 |
| 38 | 17 | 3.0968 | 2.3229 | 3.9406 | 3.2201 | 4.4196 |
| ΣΥΝΟΛΟ ΚΤΙΡΙΩΝ | 2436 | 453.253 | 403.6241 | 577.3714 | 473.3009 | 528.4506 |

Πίνακας 9.3 Αποτελέσματα σεισμικής διακινδύνευσης περιοχής μελέτης ανά κελί κανάβου (Σεισμικό σενάριο 6.8R)



Εικόνα 9.6 Χάρτης με τον αριθμό των κτιρίων στο τελευταίο επίπεδο βλάβης (CDAMAGE) ανα κελί κανάβου (Σεισμικό σενάριο 6.8R)

9.5 Σύγκριση σεισμικής διακινδύνευσης εναλλακτικών σεναρίων

Σε συνέχεια των παραπάνω, ομαδοποιήθηκαν τα αποτελέσματα σεισμικής διακινδύνευσης κάθε σεισμικού σεναρίου ώστε να είναι δυνατή η σύγκριση τους και συμπληρώθηκαν οι παρακάτω πίνακες. Η διαφορετική απόχρωση των κελιών ακολουθεί αυτήν των χαρτών διακινδύνευσης με σκοπό την διευκόλυνση εξαγωγής συμπερασμάτων από τον αναγνώστη.

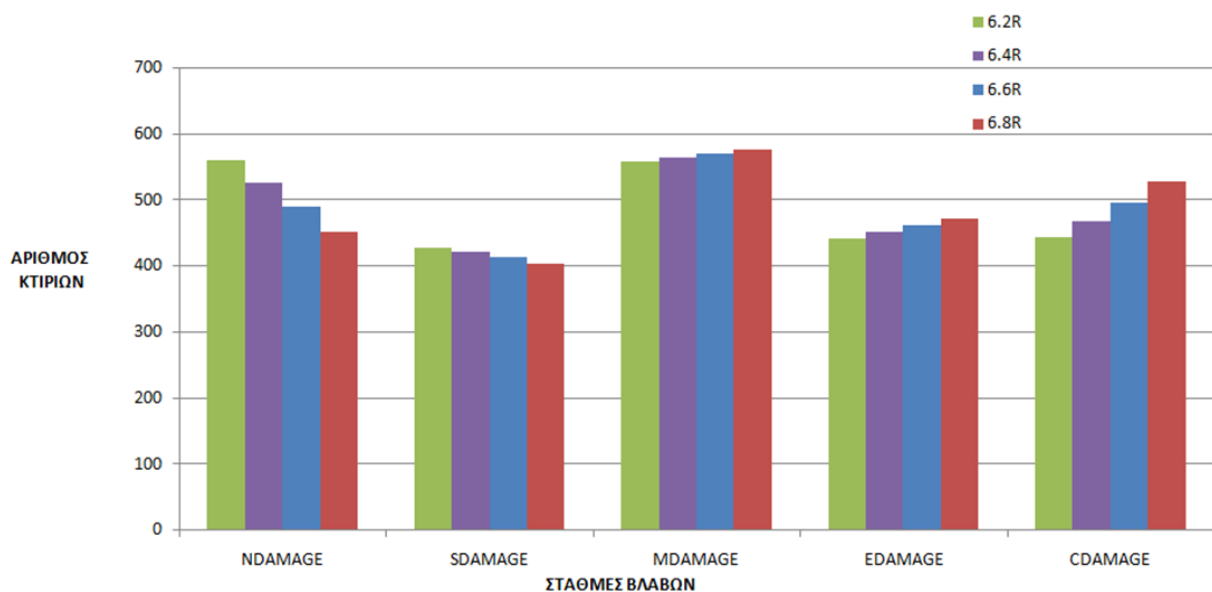
Από την παραμετρική ανάλυση διαπιστώνεται ότι πράγματι η εν λόγω παράμετρος (Μέγεθος σεισμού) με τον τρόπο που χρησιμοποιείται στο συγκεκριμένο λογισμικό, έχει ουσιαστική επιρροή στα αποτελέσματα.

| ΣΕΙΣΜΙΚΟ ΣΕΝΑΡΙΟ | ΣΥΝΟΛΟ ΚΤΙΡΙΩΝ | ΧΩΡΙΣ ΒΛΑΒΗ | ΜΙΚΡΕΣ ΒΛΑΒΕΣ | ΜΕΤΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ | ΣΗΜΑΝΤΙΚΕΣ ΒΛΑΒΕΣ | ΕΩΣ ΚΑΤΑΡΡΕΥΣΗ |
|---------------------|-------------------|----------------|------------------|-------------------|----------------------|-------------------|
| | NUMBUILD | NDAMAGE | SDAMAGE | MDAMAGE | EDAMAGE | CDAMAGE |
| 6.2R | 2436 | 562.2 | 428.9 | 558.7 | 442.5 | 443.7 |
| 6.4R | 2436 | 527.1 | 422 | 565.6 | 452.3 | 469 |
| 6.6R | 2436 | 491.4 | 413.8 | 571.7 | 462.5 | 496.6 |
| 6.8R | 2436 | 453.3 | 403.6 | 577.4 | 473.3 | 528.4 |

Πίνακας 9.4 Συγκριτικός πίνακας σεισμικής διακινδύνευσης εναλλακτικών σεναρίων (με βασικό σεισμό των 6.6R και με τα εναλλακτικά σεισμικά σενάρια παραμετρικής ανάλυσης των 6.2R, 6.4R, 6.8R)

| ΣΕΙΣΜΙΚΟ ΣΕΝΑΡΙΟ | ΣΥΝΟΛΟ ΚΤΙΡΙΩΝ | ΧΩΡΙΣ ΒΛΑΒΗ | ΜΙΚΡΕΣ ΒΛΑΒΕΣ | ΜΕΤΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ | ΣΗΜΑΝΤΙΚΕΣ ΒΛΑΒΕΣ | ΕΩΣ ΚΑΤΑΡΡΕΥΣΗ |
|------------------|----------------|-------------|---------------|----------------|-------------------|----------------|
| | NUMBUILD | NDAMAGE | SDAMAGE | MDAMAGE | EDAMAGE | CDAMAGE |
| 6.2R | 2436 | 23.1 | 17.6 | 22.9 | 18.2 | 18.2 |
| 6.4R | 2436 | 21.6 | 17.3 | 23.2 | 18.6 | 19.3 |
| 6.6R | 2436 | 20.2 | 17 | 23.5 | 19 | 20.4 |
| 6.8R | 2436 | 18.6 | 16.6 | 23.7 | 19.4 | 21.7 |

Πίνακας 9.5 Ποσοστιαίος (% επί του συνόλου των κτιρίων) συγκριτικός πίνακας σεισμικής διακινδύνευσης εναλλακτικών σεναρίων (με βασικό σεισμό των 6.6R και με τα εναλλακτικά σεισμικά σενάρια παραμετρικής ανάλυσης των 6.2R, 6.4R, 6.8R)



Εικόνα 9.7 Συγκριτικό ραβδογράφημα αποτελεσμάτων σεισμικής διακινδύνευσης εναλλακτικών σεναρίων (με βασικό σεισμό των 6.6R και με τα εναλλακτικά σεισμικά σενάρια παραμετρικής ανάλυσης των 6.2R, 6.4R, 6.8R)

Διαφαίνεται ότι η σταδιακή αύξηση του μεγέθους του σεισμού επιφέρει και σημαντική αύξηση των βλαβών. Διαπιστώνεται ότι η αύξηση των βλαβών δεν είναι ανάλογη της αύξησης του μεγέθους, καθώς δεν υπάρχει γραμμική συσχέτιση μεταξύ της αύξησης του μεγέθους σεισμού με την αναπτυσσόμενη μέγιστη εδαφική επιτάχυνση στην επιφάνεια του εδάφους αλλά και με την πιθανότητα εμφάνισης κάποιου επιπέδου βλάβης όπως εκφράζεται από τις καμπύλες τρωτότητας.

Το ανωτέρω γίνεται πιο εύκολα κατανοητό στο τελευταίο επίπεδο βλαβών όπου:

- Για αύξηση 0,2 R από 6.2R σε 6.4R έχουμε αύξηση των κτιρίων στο τελευταίο επίπεδο βλαβών κατά 0,9%

- Για αύξηση 0,2 R από 6.4R σε 6.6R έχουμε αύξηση των κτιρίων στο τελευταίο επίπεδο βλαβών κατά 1,1%
- Για αύξηση 0,2 R από 6.6R σε 6.8R έχουμε αύξηση των κτιρίων στο τελευταίο επίπεδο βλαβών κατά 1,3%

Κεφάλαιο 10

Διερεύνηση επιρροής παραμέτρων σεισμικού ρήγματος

10.1 Γενικά

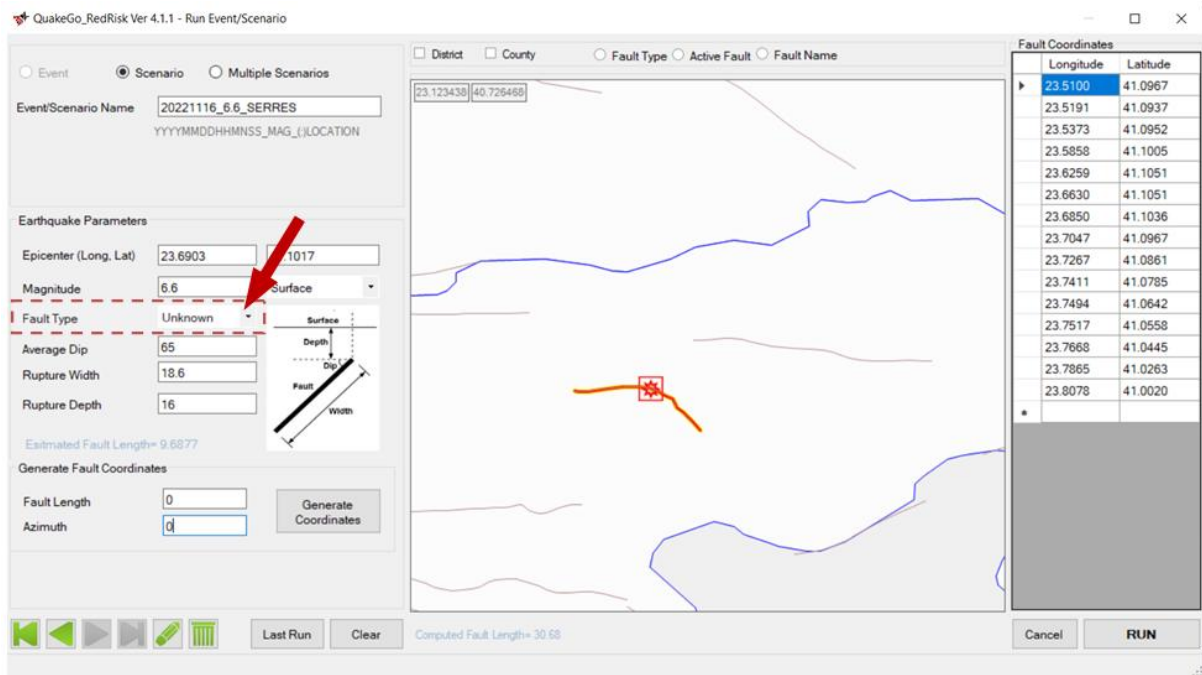
Στο παρόν κεφάλαιο εξετάζεται ένας αριθμός παραμέτρων του σεισμικού σεναρίου (πλην του μεγέθους που εξετάστηκε στο κεφάλαιο 9) με σκοπό να εξακριβωθεί κατά πόσον οι αλλαγές των εν λόγω παραμέτρων επηρεάζουν τα τελικά αποτελέσματα σεισμικής διακινδύνευσης που εξάγονται από το πρόγραμμα. Συγκεκριμένα εξετάζεται η επιρροή:

- α) του είδους του ρήγματος (Fault Type)
- β) του μήκους του ρήγματος (Fault Length)
- γ) της γωνίας του ρήγματος (Average Dip)
- δ) του βάθους του ρήγματος (Rupture Depth)
- ε) των σχέσεων εξασθένισης (Attenuation Relationship)

10.2 Είδος ρήγματος (Fault Type)

Στο βασικό σενάριο όπως φαίνεται στην Εικόνα 8.11 επιλέχθηκε ως είδος ρήγματος η επιλογή του απροσδιόριστου (unknown) καθώς το ρήγμα παρουσιάζει μια πολύπλοκη γεωμετρία συμπεριλαμβάνοντας πολλά διαφορετικού τύπου υποτμήματα. (Tranos and Mountrakis (2004)

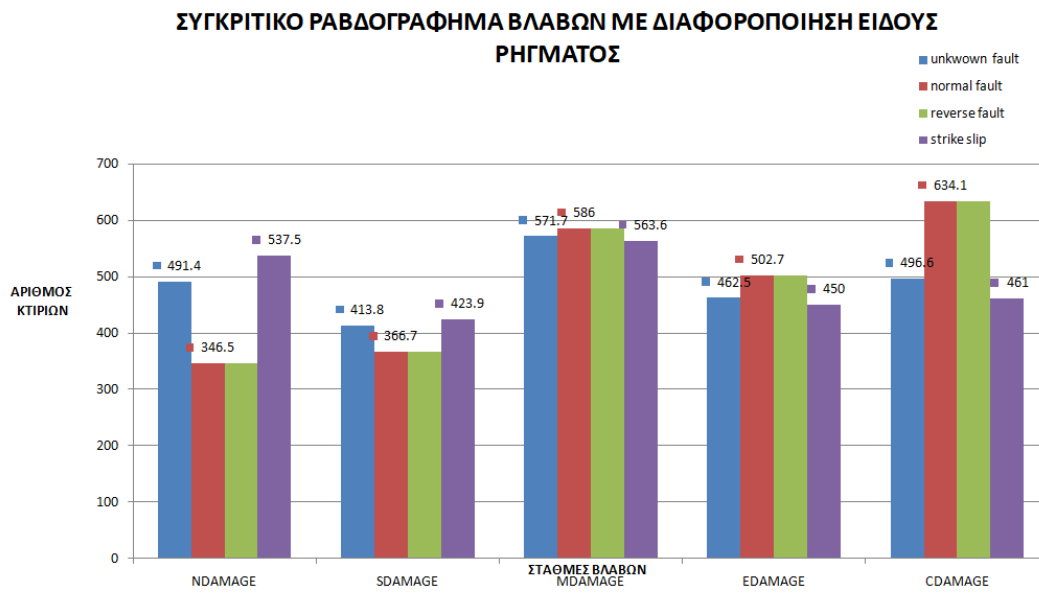
Στην παρούσα υποενότητα, στον Πίνακα 10.1, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προκύπτουν διαφοροποιώντας το είδος του ρήγματος στο αντίστοιχο πεδίο του προγράμματος που φαίνεται στην Εικόνα 10.1. Με τον τρόπο αυτόν διαπιστώνεται πόσο σημαντική είναι η ορθή επιλογή του είδους ρήγματος η οποία σε κάθε περίπτωση οδηγεί σε διαφορετικά συμπεράσματα.



Εικόνα 10.1 Επιλογή διαφορετικού τύπου ρήγματος στο πρόγραμμα (με βασικό σεισμό των 6.6R)

| ΕΙΔΟΣ ΡΗΓΜΑΤΟΣ | ΣΥΝΟΛΟ ΚΤΙΡΙΩΝ | ΧΩΡΙΣ ΒΛΑΒΗ | ΜΙΚΡΕΣ ΒΛΑΒΕΣ | ΜΕΤΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ | ΣΗΜΑΝΤΙΚΕΣ ΒΛΑΒΕΣ | ΕΩΣ ΚΑΤΑΡΡΕΥΣΗ |
|------------------------|----------------|-------------|---------------|----------------|-------------------|----------------|
| | NUMBUILD | NDAMAGE | SDAMAGE | MDAMAGE | EDAMAGE | CDAMAGE |
| ΑΓΝΩΣΤΟ | 2436 | 491.4 | 413.8 | 571.7 | 462.5 | 496.6 |
| ΚΑΝΟΝΙΚΟ | 2436 | 346.5 | 366.7 | 586 | 502.7 | 634.1 |
| ΑΝΑΣΤΡΟΦΟ | 2436 | 346.5 | 366.7 | 586 | 502.7 | 634.1 |
| ΟΡΙΖΟΝΤΙΑΣ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗΣ | 2436 | 537.5 | 423.9 | 563.6 | 450 | 461 |

Πίνακας 10.1 Συγκριτικός πίνακας σεισμικής διακινδύνευσης με διαφορετικό τύπο ρήγματος (με βασικό σεισμό των 6.6R)



Εικόνα 10.2 Συγκριτικό ραβδογράφημα αποτελεσμάτων σεισμικής διακινδύνευσης με διαφορετικό τύπο ρήγματος (με βασικό σεισμό των 6.6R)

Κατά τον έλεγχο των ανωτέρω διαπιστώνονται τα κάτωθι:

- Είτε επιλεγεί στο πρόγραμμα QuakeGo ο κανονικός τύπος ρήγματος είτε ο ανάστροφος δεν υπάρχει καμία διαφοροποίηση στα αποτελέσματα.
- Τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την επιλογή αγνώστου τύπου ρήγματος συγκλίνουν με αυτά του ρήγματος οριζόντιας μετατόπισης.
- Αναμένεται μεγαλύτερο ποσοστό κτιρίων στο τελευταίο επίπεδο βλαβών στις περιπτώσεις του κανονικού και του ανάστροφου ρήγματος.

Οι ανωτέρω διαπιστώσεις επιβεβαιώνονται μελετώντας τον τύπο της σχέσης εξασθένισης Boore, et al, 1997 ($10 < R < 100 \text{ km}$, $5,5 < M_w < 7,5$) που χρησιμοποιείται κατά 50% στην ανάλυση του προγράμματος. Ο τύπος που χρησιμοποιείται φαίνεται στην παρακάτω εικόνα:

$$\ln Y = b_1 + b_2(M - 6) + b_3(M - 6)^2 + b_5 \ln r + b_7 \ln \frac{V_s}{V_A}$$

$$r = \sqrt{r_{j0}^2 + h^2}$$

$$b_1 = \begin{cases} b_{1SS} & \text{for strike - slip earthquakes} \\ b_{1RV} & \text{for reverse - slip earthquakes} \\ b_{1ALL} & \text{if mechanism is not specified} \end{cases}$$

Y : peak horizontal acceleration or pseudo acceleration response (g)
 M : moment magnitude
 r_{j0} : closest horizontal distance to the surface projection of the rupture plane (km)
 V_s : average shear - wave velocity to 30m (m/sec)

Εικόνα 10.3 Εμπειρικός τύπος σχέσης εξασθένισης κατά Boore, et al, 1997 ($10 < R < 100 \text{ km}$, $5,5 < M_w < 7,5$)

Στον ανωτέρω τύπο ο συντελεστής b_1 μεταβάλλεται αναλόγως του τύπου του ρήγματος και παίρνει τις τιμές που φαίνονται στον παρακάτω πίνακα. Ο συντελεστής b_{1ss} αφορά την τιμή για ρήγμα οριζόντιας μετατόπισης, ο συντελεστής b_{1rv} για ανάστροφο ρήγμα και αντίστοιχα ο συντελεστής b_{1all} για αγνώστου τύπου ρήγμα. Από τον πίνακα προκύπτει ότι για κάθε περίοδο ο $b_{1rv} > b_{1all} > b_{1ss}$ κάτι που αποτυπώνεται και στο ραβδογράφημα της Εικόνα 10.2.

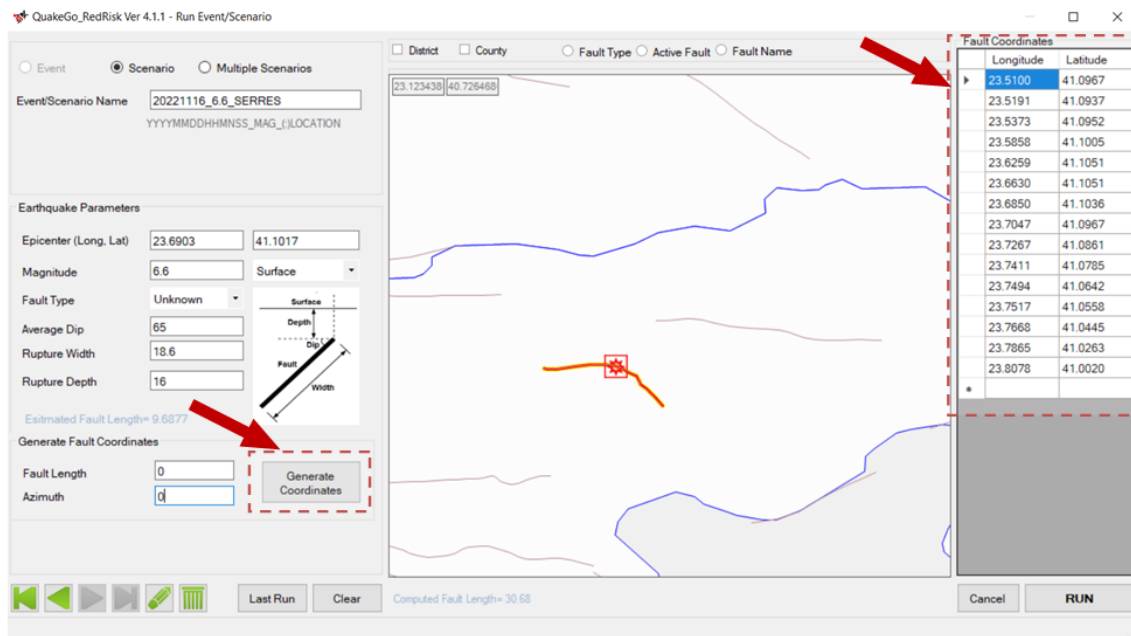
| Period | B_{1SS} | B_{1RV} | B_{1ALL} | B_2 | B_3 | B_5 | B_V | V_A | h | σ_1 | σ_c | σ_r | σ_e | σ_{lnY} |
|--------|-----------|-----------|------------|-------|--------|--------|--------|-------|------|------------|------------|------------|------------|----------------|
| 0.000 | -0.313 | -0.117 | -0.242 | 0.527 | 0.000 | -0.778 | -0.371 | 1396 | 5.57 | 0.431 | 0.226 | 0.486 | 0.184 | 0.520 |
| 0.100 | 1.006 | 1.087 | 1.059 | 0.753 | -0.226 | -0.934 | -0.212 | 1112 | 6.27 | 0.440 | 0.189 | 0.479 | 0.000 | 0.479 |
| 0.110 | 1.072 | 1.164 | 1.130 | 0.732 | -0.230 | -0.937 | -0.211 | 1291 | 6.65 | 0.437 | 0.200 | 0.481 | 0.000 | 0.481 |
| 0.120 | 1.109 | 1.215 | 1.174 | 0.721 | -0.233 | -0.939 | -0.215 | 1452 | 6.91 | 0.437 | 0.210 | 0.485 | 0.000 | 0.485 |
| 0.130 | 1.128 | 1.246 | 1.200 | 0.711 | -0.233 | -0.939 | -0.221 | 1596 | 7.08 | 0.435 | 0.216 | 0.486 | 0.000 | 0.486 |
| 0.140 | 1.135 | 1.261 | 1.208 | 0.707 | -0.230 | -0.938 | -0.228 | 1718 | 7.18 | 0.435 | 0.223 | 0.489 | 0.000 | 0.489 |
| 0.150 | 1.128 | 1.264 | 1.204 | 0.702 | -0.228 | -0.937 | -0.238 | 1820 | 7.23 | 0.435 | 0.230 | 0.492 | 0.000 | 0.492 |
| 0.160 | 1.112 | 1.257 | 1.192 | 0.702 | -0.226 | -0.935 | -0.248 | 1910 | 7.24 | 0.435 | 0.235 | 0.495 | 0.000 | 0.495 |
| 0.170 | 1.090 | 1.242 | 1.173 | 0.702 | -0.221 | -0.933 | -0.258 | 1977 | 7.21 | 0.435 | 0.239 | 0.497 | 0.000 | 0.497 |
| 0.180 | 1.063 | 1.222 | 1.151 | 0.705 | -0.216 | -0.930 | -0.270 | 2037 | 7.16 | 0.435 | 0.244 | 0.499 | 0.002 | 0.499 |
| 0.190 | 1.032 | 1.198 | 1.122 | 0.709 | -0.212 | -0.927 | -0.281 | 2080 | 7.10 | 0.435 | 0.249 | 0.501 | 0.005 | 0.501 |
| 0.200 | 0.999 | 1.170 | 1.089 | 0.711 | -0.207 | -0.924 | -0.292 | 2118 | 7.02 | 0.435 | 0.251 | 0.502 | 0.009 | 0.502 |
| 0.220 | 0.925 | 1.104 | 1.019 | 0.721 | -0.198 | -0.918 | -0.315 | 2158 | 6.83 | 0.437 | 0.258 | 0.508 | 0.016 | 0.508 |
| 0.240 | 0.847 | 1.033 | 0.941 | 0.732 | -0.189 | -0.912 | -0.338 | 2178 | 6.62 | 0.437 | 0.262 | 0.510 | 0.025 | 0.511 |
| 0.260 | 0.764 | 0.958 | 0.861 | 0.744 | -0.180 | -0.906 | -0.360 | 2173 | 6.39 | 0.437 | 0.267 | 0.513 | 0.032 | 0.514 |
| 0.280 | 0.681 | 0.881 | 0.780 | 0.758 | -0.168 | -0.899 | -0.381 | 2158 | 6.17 | 0.440 | 0.272 | 0.517 | 0.039 | 0.518 |
| 0.300 | 0.598 | 0.803 | 0.700 | 0.769 | -0.161 | -0.893 | -0.401 | 2133 | 5.94 | 0.440 | 0.276 | 0.519 | 0.048 | 0.522 |
| 0.320 | 0.518 | 0.725 | 0.619 | 0.783 | -0.152 | -0.888 | -0.420 | 2104 | 5.72 | 0.442 | 0.279 | 0.523 | 0.055 | 0.525 |
| 0.340 | 0.439 | 0.648 | 0.540 | 0.794 | -0.143 | -0.882 | -0.438 | 2070 | 5.50 | 0.444 | 0.281 | 0.526 | 0.064 | 0.530 |
| 0.360 | 0.361 | 0.570 | 0.462 | 0.806 | -0.136 | -0.877 | -0.456 | 2032 | 5.30 | 0.444 | 0.283 | 0.527 | 0.071 | 0.532 |
| 0.380 | 0.286 | 0.495 | 0.385 | 0.820 | -0.127 | -0.872 | -0.472 | 1995 | 5.10 | 0.447 | 0.286 | 0.530 | 0.078 | 0.536 |
| 0.400 | 0.212 | 0.423 | 0.311 | 0.831 | -0.120 | -0.867 | -0.487 | 1954 | 4.91 | 0.447 | 0.288 | 0.531 | 0.085 | 0.538 |
| 0.420 | 0.140 | 0.352 | 0.239 | 0.840 | -0.113 | -0.862 | -0.502 | 1919 | 4.74 | 0.449 | 0.290 | 0.535 | 0.092 | 0.542 |
| 0.440 | 0.073 | 0.282 | 0.169 | 0.852 | -0.108 | -0.858 | -0.516 | 1884 | 4.57 | 0.449 | 0.292 | 0.536 | 0.099 | 0.545 |
| 0.460 | 0.005 | 0.217 | 0.102 | 0.863 | -0.101 | -0.854 | -0.529 | 1849 | 4.41 | 0.451 | 0.295 | 0.539 | 0.104 | 0.549 |
| 0.480 | -0.058 | 0.151 | 0.036 | 0.873 | -0.097 | -0.850 | -0.541 | 1816 | 4.26 | 0.451 | 0.297 | 0.540 | 0.111 | 0.551 |
| 0.500 | -0.122 | 0.087 | -0.025 | 0.884 | -0.090 | -0.846 | -0.553 | 1782 | 4.13 | 0.454 | 0.299 | 0.543 | 0.115 | 0.556 |
| 0.550 | -0.268 | -0.063 | -0.176 | 0.907 | -0.078 | -0.837 | -0.579 | 1710 | 3.82 | 0.456 | 0.302 | 0.547 | 0.129 | 0.562 |
| 0.600 | -0.401 | -0.203 | -0.314 | 0.928 | -0.069 | -0.830 | -0.602 | 1644 | 3.57 | 0.458 | 0.306 | 0.551 | 0.143 | 0.569 |
| 0.650 | -0.523 | -0.331 | -0.440 | 0.946 | -0.060 | -0.823 | -0.622 | 1592 | 3.36 | 0.461 | 0.309 | 0.554 | 0.154 | 0.575 |
| 0.700 | -0.634 | -0.452 | -0.555 | 0.962 | -0.053 | -0.818 | -0.639 | 1545 | 3.20 | 0.463 | 0.311 | 0.558 | 0.166 | 0.582 |
| 0.750 | -0.737 | -0.562 | -0.661 | 0.979 | -0.046 | -0.813 | -0.653 | 1507 | 3.07 | 0.465 | 0.313 | 0.561 | 0.175 | 0.587 |
| 0.800 | -0.829 | -0.666 | -0.760 | 0.992 | -0.041 | -0.809 | -0.666 | 1476 | 2.98 | 0.467 | 0.315 | 0.564 | 0.184 | 0.593 |
| 0.850 | -0.915 | -0.761 | -0.851 | 1.006 | -0.037 | -0.805 | -0.676 | 1452 | 2.92 | 0.467 | 0.320 | 0.567 | 0.191 | 0.598 |
| 0.900 | -0.993 | -0.848 | -0.933 | 1.018 | -0.035 | -0.802 | -0.685 | 1432 | 2.89 | 0.470 | 0.322 | 0.570 | 0.200 | 0.604 |
| 0.950 | -1.066 | -0.932 | -1.010 | 1.027 | -0.032 | -0.800 | -0.692 | 1416 | 2.88 | 0.472 | 0.325 | 0.573 | 0.207 | 0.609 |
| 1.000 | -1.133 | -1.009 | -1.080 | 1.036 | -0.032 | -0.798 | -0.698 | 1406 | 2.90 | 0.474 | 0.325 | 0.575 | 0.214 | 0.613 |
| 1.100 | -1.249 | -1.145 | -1.208 | 1.052 | -0.030 | -0.795 | -0.706 | 1396 | 2.99 | 0.477 | 0.329 | 0.579 | 0.226 | 0.622 |
| 1.200 | -1.345 | -1.265 | -1.315 | 1.064 | -0.032 | -0.794 | -0.710 | 1400 | 3.14 | 0.479 | 0.334 | 0.584 | 0.235 | 0.629 |
| 1.300 | -1.428 | -1.370 | -1.407 | 1.073 | -0.035 | -0.793 | -0.711 | 1416 | 3.36 | 0.481 | 0.338 | 0.588 | 0.244 | 0.637 |
| 1.400 | -1.495 | -1.460 | -1.483 | 1.080 | -0.039 | -0.794 | -0.709 | 1442 | 3.62 | 0.484 | 0.341 | 0.592 | 0.251 | 0.643 |
| 1.500 | -1.552 | -1.538 | -1.550 | 1.085 | -0.044 | -0.796 | -0.704 | 1479 | 3.92 | 0.486 | 0.345 | 0.596 | 0.256 | 0.649 |
| 1.600 | -1.598 | -1.608 | -1.605 | 1.087 | -0.051 | -0.798 | -0.697 | 1524 | 4.26 | 0.488 | 0.348 | 0.599 | 0.262 | 0.654 |
| 1.700 | -1.634 | -1.668 | -1.652 | 1.089 | -0.058 | -0.801 | -0.689 | 1581 | 4.62 | 0.490 | 0.352 | 0.604 | 0.267 | 0.660 |
| 1.800 | -1.683 | -1.718 | -1.689 | 1.087 | -0.067 | -0.804 | -0.679 | 1644 | 5.01 | 0.493 | 0.355 | 0.607 | 0.269 | 0.664 |
| 1.900 | -1.685 | -1.763 | -1.720 | 1.087 | -0.074 | -0.808 | -0.667 | 1714 | 5.42 | 0.493 | 0.359 | 0.610 | 0.274 | 0.669 |
| 2.000 | -1.699 | -1.801 | -1.743 | 1.085 | -0.085 | -0.812 | -0.655 | 1795 | 5.85 | 0.495 | 0.362 | 0.613 | 0.276 | 0.672 |

Πίνακας 10.2 Συντελεστές τύπου σχέσης εξασθένισης κατά Boore, et al, 1997 ($10 < R < 100 \text{ km}$, $5,5 < M_w < 7,5$)

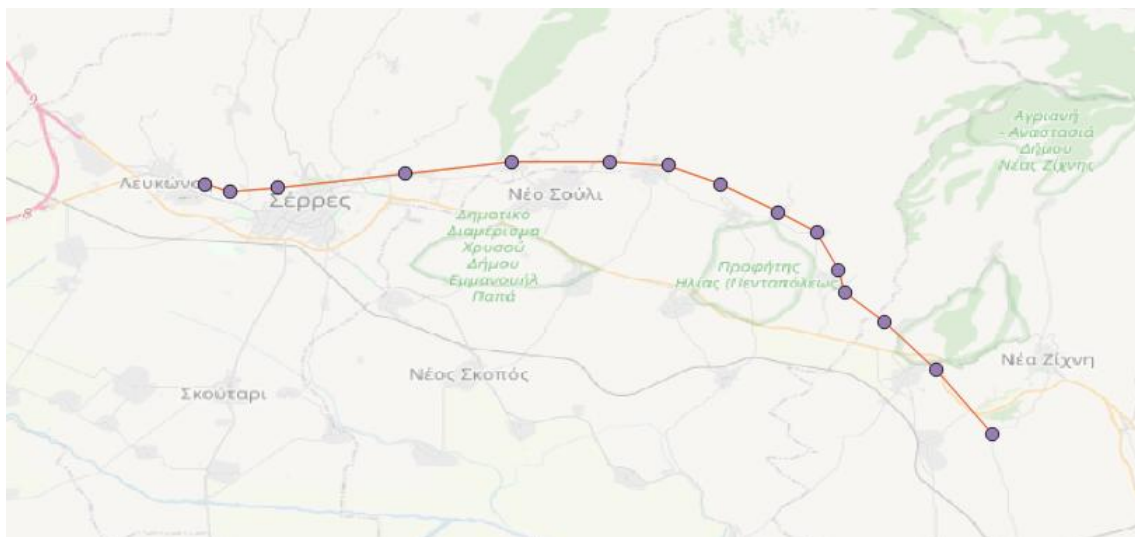
10.3 Μήκος ρήγματος (Fault Length)

Στην παρούσα υποενότητα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα μετά από τις διαφοροποιήσεις που πραγματοποιήθηκαν στο μήκος του ρήγματος (Εικόνα 10.4). Ακολουθήθηκε διαδικασία σταδιακής μείωσης του μήκους του ρήγματος αφαιρώντας σημεία από την ανατολική πλευρά του. Σκοπός της διαδικασίας ήταν να διαπιστωθεί κατά πόσο επηρεάζει το μήκος του ρήγματος την ανάλυση του προγράμματος.

Στην παρακάτω Εικόνα 10.5 φαίνονται τα σημεία του ρήγματος του βασικού σεναρίου που προκύψαν από την εισαγωγή των συντεταγμένων στην Εικόνα 10.4.



Εικόνα 10.4 Επιλογή διαφορετικού μήκους ρήγματος διαφοροποιώντας τις συντεταγμένες του (με βασικό σεισμό των 6.6R)



Εικόνα 10.5 Σημεία ρήγματος βασικού σεναρίου

Στην συνέχεια εκτελέστηκαν τέσσερις (4) διαφορετικές αναλύσεις με τις συντεταγμένες ρήγματος που αποτυπώνονται στον Πίνακα 10.3, αφαιρώντας κάθε φορά ένα σημείο από το προηγούμενο σενάριο.

| ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ ΡΗΓΜΑΤΟΣ | | | | | | | | | |
|------------------------|---------|-----------|---------|-----------|---------|-----------|---------|-----------|---------|
| ΒΑΣΙΚΟ ΣΕΝΑΡΙΟ | | 1η ΑΛΛΑΓΗ | | 2η ΑΛΛΑΓΗ | | 3η ΑΛΛΑΓΗ | | 4η ΑΛΛΑΓΗ | |
| Χ | Ψ | Χ | Ψ | Χ | Ψ | Χ | Ψ | Χ | Ψ |
| 23.5100 | 41.0967 | 23.5100 | 41.0967 | 23.5100 | 41.0967 | 23.5100 | 41.0967 | 23.5100 | 41.0967 |
| 23.5191 | 41.0937 | 23.5191 | 41.0937 | 23.5191 | 41.0937 | 23.5191 | 41.0937 | 23.5191 | 41.0937 |
| 23.5373 | 41.0952 | 23.5373 | 41.0952 | 23.5373 | 41.0952 | 23.5373 | 41.0952 | 23.5373 | 41.0952 |
| 23.5858 | 41.1005 | 23.5858 | 41.1005 | 23.5858 | 41.1005 | 23.5858 | 41.1005 | 23.5858 | 41.1005 |
| 23.6259 | 41.1051 | 23.6259 | 41.1051 | 23.6259 | 41.1051 | 23.6259 | 41.1051 | 23.6259 | 41.1051 |
| 23.6630 | 41.1051 | 23.6630 | 41.1051 | 23.6630 | 41.1051 | 23.6630 | 41.1051 | 23.6630 | 41.1051 |
| 23.6850 | 41.1036 | 23.6850 | 41.1036 | 23.6850 | 41.1036 | 23.6850 | 41.1036 | 23.6850 | 41.1036 |
| 23.7047 | 41.0967 | 23.7047 | 41.0967 | 23.7047 | 41.0967 | 23.7047 | 41.0967 | 23.7047 | 41.0967 |
| 23.7267 | 41.0861 | 23.7267 | 41.0861 | 23.7267 | 41.0861 | 23.7267 | 41.0861 | 23.7267 | 41.0861 |
| 23.7411 | 41.0785 | 23.7411 | 41.0785 | 23.7411 | 41.0785 | 23.7411 | 41.0785 | 23.7411 | 41.0785 |
| 23.7494 | 41.0642 | 23.7494 | 41.0642 | 23.7494 | 41.0642 | 23.7494 | 41.0642 | 23.7494 | 41.0642 |
| 23.7517 | 41.0558 | 23.7517 | 41.0558 | 23.7517 | 41.0558 | 23.7517 | 41.0558 | | |
| 23.7668 | 41.0445 | 23.7668 | 41.0445 | 23.7668 | 41.0445 | | | | |
| 23.7865 | 41.0263 | 23.7865 | 41.0263 | | | | | | |
| 23.8078 | 41.0020 | | | | | | | | |

Πίνακας 10.3 Συντεταγμένες 5 διαφορετικών μηκών ρήγματος (με βασικό σεισμό των 6.6R)

Μετά την ανωτέρω ανάλυση διαπιστώθηκε ότι, ενώ στην καρτέλα event/scenario υπήρχε διαφοροποίηση και του επίκεντρου του σεισμού, στα αποτελέσματα σεισμικής διακινδύνευσης δεν υπήρξε καμία μεταβολή. Κατά συνέπεια, φαίνεται πως όταν δηλώνεται το μέγεθος M του σεισμού στο αντίστοιχο πεδίο είναι αυτό που παίζει τον καθοριστικό ρόλο στον προσδιορισμό του επιπέδου της σεισμικής ενέργειας που εκλύεται, και δεν υπάρχει στο λογισμικό άμεση συσχέτιση με τις διαστάσεις του ρήγματος, όπως αυτές προκύπτουν από τα σημεία που ορίζουν τη γεωμετρία του. (fault coordinates στην Εικόνα 10.4).

10.4 Βάθος και γωνία ρήγματος (Rupture Depth & Average Dip)

Στην παρούσα υποενότητα παρουσιάζονται οι παράμετροι βάθος και γωνία ρήγματος που εξετάστηκαν στο πρόγραμμα QuakeGo. Ακολουθήθηκε σταδιακή αλλαγή των παραμέτρων χρησιμοποιώντας τα δεδομένα του Πίνακας 6.3.

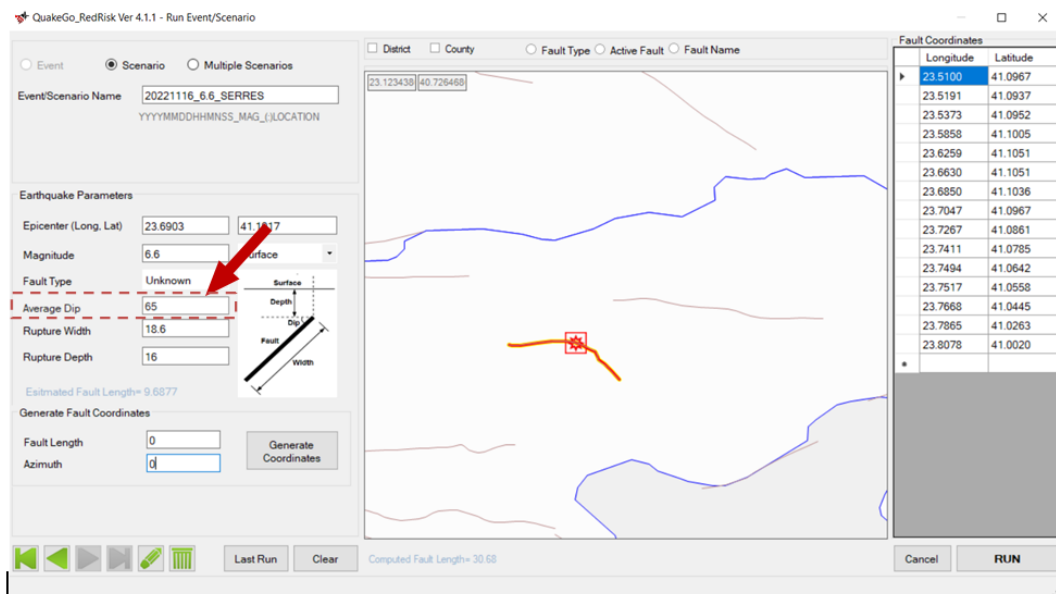
Συγκεκριμένα έγιναν οι κάτωθι δοκιμές μεταβάλλοντας στην καρτέλα event/scenario πάντα μόνο μια παράμετρο σε σχέση με το βασικό σενάριο.

1. Γωνία ρήγματος (Average Dip):

1.1. 50°

1.2. 65°

1.3. 80°



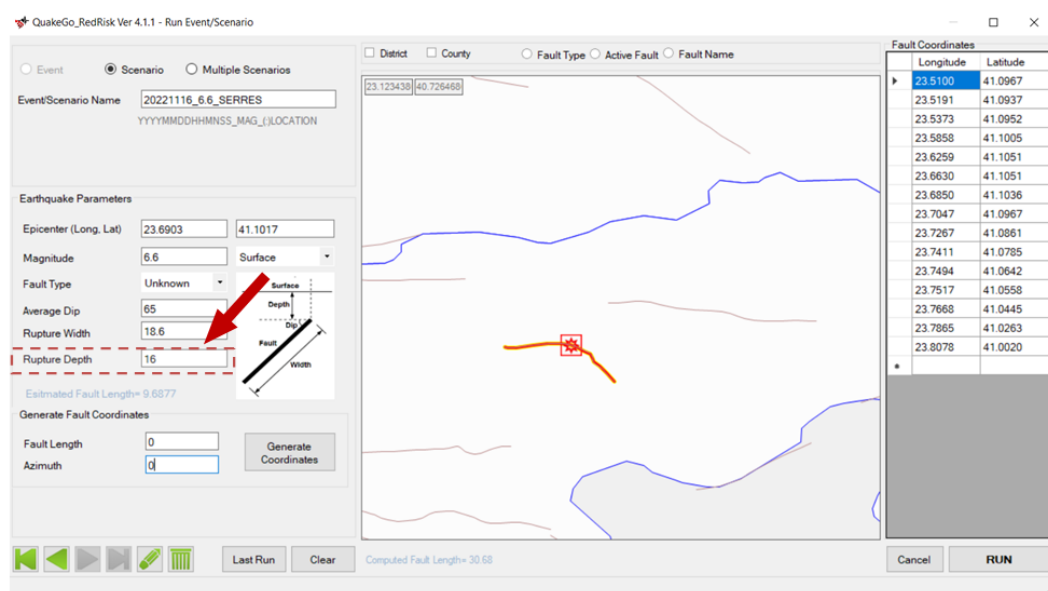
Εικόνα 10.6 Αλλαγές παραμέτρου γωνίας ρήγματος στην καρτέλα event/scenario (πηγή: QuakeGo_RedRisk Ver 4.1.1)

2. Βάθος ρήγματος (Rupture Depth)

2.1. 0km

2.2. 8km

2.3. 16km



Εικόνα 10.7 Αλλαγές παραμέτρου βάθους ρήγματος στην καρτέλα event/scenario (πηγή: QuakeGo_RedRisk Ver 4.1.1)

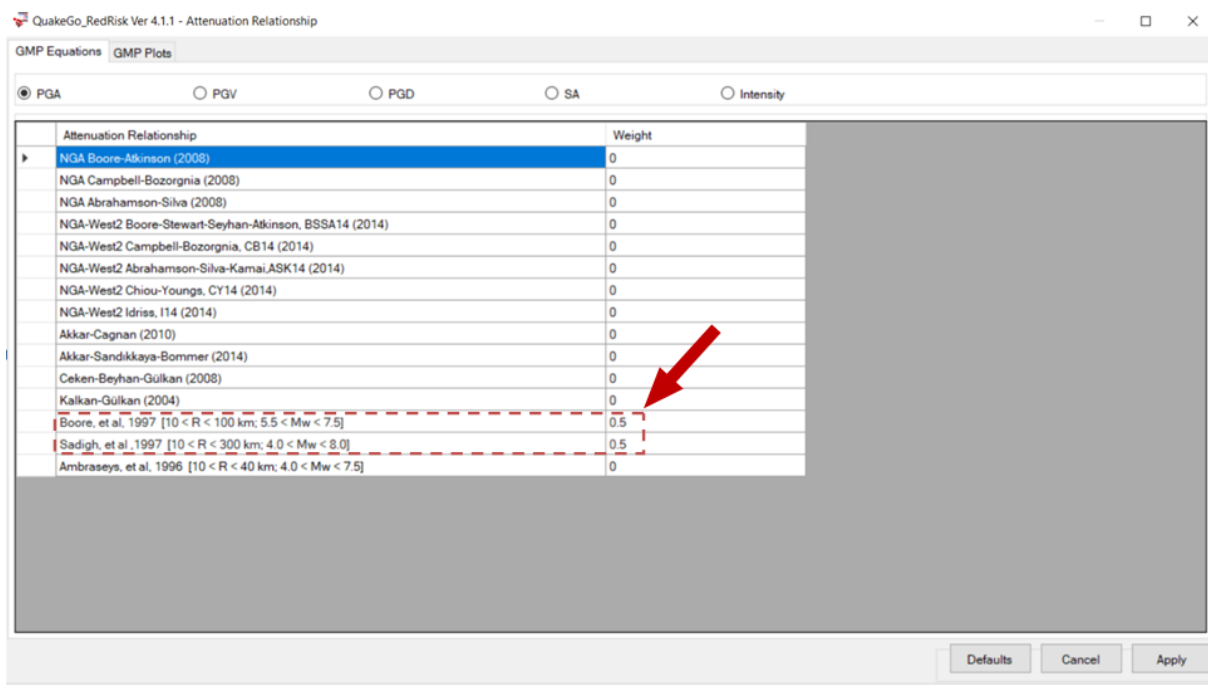
Διαπιστώθηκε ότι όπως και στην προηγούμενη υποενότητα δεν επήλθαν διαφοροποιήσεις στα αποτελέσματα της σεισμικής διακινδύνευσης.

10.5 Σχέσεις εξασθένησης

Στην παρούσα υποενότητα εξετάστηκε η επιρροή των σχέσεων εξασθένησης στα τελικά αποτελέσματα σεισμικής διακινδύνευσης.

Στο βασικό σενάριο χρησιμοποιήθηκαν ισομερώς (50%-50%), όπως φαίνεται στην Εικόνα 10.8, οι προεπιλεγμένες σχέσεις εξασθένησης του προγράμματος, όπως φαίνονται και παρακάτω:

- 0,5 Boore, et al, 1997 (10<R<100km , 5,5<Mw<7.5)
- 0.5 Sadigh, et al, 1997 (10<R<300km , 4,0<Mw<8,0)



Εικόνα 10.8 Επιλογή σχέσεων εξασθένησης στην καρτέλα Attenuation Relationship (πηγή: QuakeGo_RedRisk Ver 4.1.1)

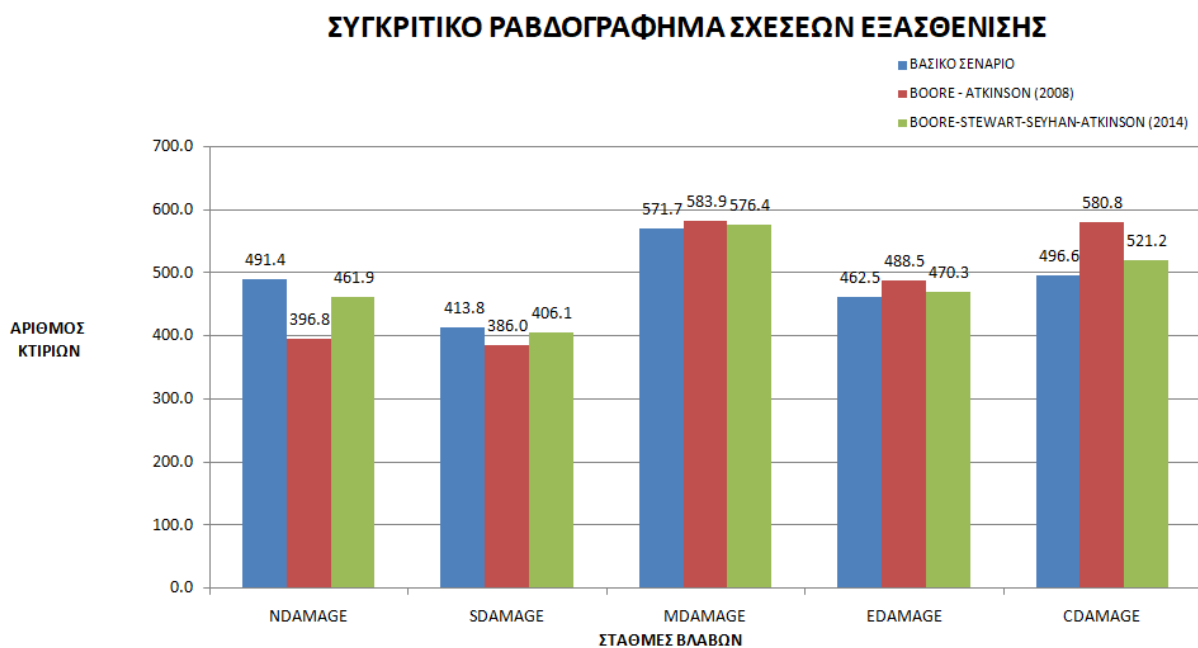
Στην συνέχεια πραγματοποιήθηκαν νέες αναλύσεις στο πρόγραμμα κάνοντας χρήση διαφορετικών σχέσεων εξασθένησης. Χρησιμοποιήθηκαν οι κάτωθι εναλλακτικές σχέσεις:

- NGA Boore - Atkinson (2008), οι οποίες αποτελούν μια αναθεώρηση των εξισώσεων που δημοσιεύτηκαν από τον Boore και τους συνεργάτες του το 2007.
- NGA-WEST 2 Boore-Stewart-Seyhan-Atkinson BSSA14 (2014)

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης του βασικού σεναρίου συγκρίνονται με τα αντίστοιχα αποτελέσματα που προκύπτουν από την χρήση των ανωτέρω εναλλακτικών σχέσεων. Στον παρακάτω Πίνακας 10.4 και την Εικόνα 10.9 αποτυπώνονται οι διαφοροποιήσεις που προκύπτουν στην σεισμική διακινδύνευση.

| ΣΧΕΣΕΙΣ ΕΞΑΣΘΕΝΙΣΗΣ | ΣΥΝΟΛΟ ΚΤΙΡΙΩΝ | ΧΩΡΙΣ ΒΛΑΒΗ | ΜΙΚΡΕΣ ΒΛΑΒΕΣ | ΜΕΤΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ | ΣΗΜΑΝΤΙΚΕΣ ΒΛΑΒΕΣ | ΕΩΣ ΚΑΤΑΡΡΕΥΣΗ |
|--------------------------------------|----------------|-------------|---------------|----------------|-------------------|----------------|
| | NUMBUILD | NDAMAGE | SDAMAGE | MDAMAGE | EDAMAGE | CDAMAGE |
| ΒΑΣΙΚΟΥ ΣΕΝΑΡΙΟΥ | 2436 | 491.4 | 413.8 | 571.7 | 462.5 | 496.6 |
| BOORE-ATKINSON (2008) | 2436 | 396.8 | 386.0 | 583.9 | 488.5 | 580.8 |
| BOORE-STEWART-SEYHAN-ATKINSON (2014) | 2436 | 461.9 | 406.1 | 576.4 | 470.3 | 521.2 |

Πίνακας 10.4 Συγκριτικός πίνακας σεισμικής διακινδύνευσης με εναλλακτικές σχέσεις εξασθένισης (με βασικό σεισμό των 6.6R)



Εικόνα 10.9 Συγκριτικό ραβδογράφημα με χρήση εναλλακτικών σχέσεων εξασθένισης.

Από όσα παρουσιάζονται παραπάνω προκύπτει πως η επιλογή της σχέσης εξασθένισης μπορεί να παίξει σημαντικό ρόλο στην εκτίμηση της σεισμικής διακινδύνευσης και του επιπέδου βλάβης των κτιρίων της περιοχής που εξετάζεται. Αν και στις ενδιάμεσες στάθμες βλάβης δεν φαίνεται ουσιαστική διαφοροποίηση, η επιρροή στα εκτιμώμενα ποσοστά κτιρίων που θα εμφανίσουν πολύ σημαντικές βλάβες έως κατάρρευσή είναι σημαντική.

Κεφάλαιο 11

Συμπεράσματα

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτέλεσε η εκτίμηση της σεισμικής διακινδύνευσης του κτιριακού αποθέματος της πόλης των Σερρών κάνοντας χρήση του λογισμικού QuakeGo. Στο πλαίσιο αυτό, εξετάστηκε και η επιρροή παραμέτρων της σεισμικής διέγερσης στη σεισμική διακινδύνευση των κτιρίων. Συνοπτικά αναφέρονται τα παρακάτω συμπεράσματα:

- Το νέο πρόγραμμα QuakeGo αποτελεί ολοκληρωμένο λογισμικό εκτίμησης σεισμικής επικινδυνότητας και σεισμικής διακινδύνευσης. Είναι κλειστού κώδικα χωρίς δυνατότητα επέμβασης στον τρόπο υπολογισμού της σεισμικής διακινδύνευσης.
- Κατά την διαδικασία της ανάλυσης προκύψαν προβλήματα κυρίως στον τρόπο εισαγωγής των δεδομένων στο πρόγραμμα, τα οποία λύθηκαν με την συνδρομή του δημιουργού του λογισμικού. Τελικώς κρίνεται ότι το πρόγραμμα είναι φιλικό προς τον χρήστη.
- Στα θετικά του προγράμματος συγκαταλέγεται το ότι δίνεται η δυνατότητα άμεσης εξαγωγής χαρτών σεισμικής διακινδύνευσης.
- Από την ανάλυση που πραγματοποιήθηκε διαφαίνεται ότι είναι ένα αξιόπιστο λογισμικό καθότι πραγματοποιήθηκε διασταύρωση των αποτελεσμάτων με τα αντίστοιχα της μελέτης σεισμικής διακινδύνευσης του Sei.V.A.S. με μικρές διαφοροποιήσεις.
- Τα αποτελέσματα των δύο αναλύσεων για το τελευταίο επίπεδο βλαβών, που αποτελεί και το πιο κρίσιμο για την προστασία της ζωής, συμπίπτουν.
- Όσον αφορά τα εξαγόμενα αποτελέσματα κρίσιμότερο θεωρείται το γεγονός ότι στο κέντρο της πόλης, που το μεγαλύτερο μέρος των κτηρίων είναι κατασκευασμένο

προ του 1984, συγκεντρώνεται και ο μεγαλύτερος βαθμός σεισμικής διακινδύνευσης για κάθε εξεταζόμενο σενάριο. Συγκεκριμένα στα κελιά κανάβου C12,C18,C20 και C26 αναμένονται τα περισσότερα προβλήματα σε περίπτωση σεισμικής δραστηριότητας στην περιοχή της πόλης των Σερρών.

- Σύμφωνα με το βασικό σενάριο των 6.6R (αντίστοιχο του έργου Sei.V.A.S.) από τα 2436 κτίρια που εξετάστηκαν για την πόλη των Σερρών αναμένεται το **20,2%** να μην υποστεί βλάβες, το **17%** να υποστεί μικρές βλάβες, το **23,5%** να υποστεί μέτριες βλάβες, το **19%** να υποστεί σημαντικές βλάβες και το υπόλοιπο **20,4%** να υποστεί βλάβες από σημαντικές ως κατάρρευση. Το εν λόγω βασικό σενάριο συμφωνεί με την μελέτη σεισμικής επικινδυνότητας των Παπαζάχος και συνεργάτες (1996) που αφορά την περιοχή του Νοσοκομείου Σερρών, που οδηγεί σε μέγιστη εδαφική επιτάχυνση της τάξης των 0.22g (Μάργαρης και συνεργάτες, 2014). Σημειώνεται όμως ότι η ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας στην οποία κατατάσσεται η πόλη των Σερρών βάσει του ΕΑΚ 2003 είναι η Ζώνη Ι με μέγιστη εδαφική επιτάχυνση ίση με 0.16g.»
- Σύμφωνα με το δυσμενέστερο σενάριο των 6.8R (πηγή Caputo R., Chatzipetros A., Pavlides S. and Sboras S. (2012)) από τα 2436 κτίρια που εξετάστηκαν για την πόλη των Σερρών αναμένεται το **18,6%** να μην υποστεί βλάβες, το **16,6%** να υποστεί μικρές βλάβες, το **23,7%** να υποστεί μέτριες βλάβες, το **19,4%** να υποστεί σημαντικές βλάβες και το υπόλοιπο **21,7%** να υποστεί βλάβες από σημαντικές ως κατάρρευση.
- Αύξηση του μεγέθους του σεισμού κατά 0.6R από **6.2R σε 6.8R** επιφέρει αύξηση του τελευταίου επιπέδου βλαβών κατά **3,5%** (από 18,2% σε 21,7%).
- Κατά την παραμετρική ανάλυση, διαπιστώθηκε ότι στην φοιτητική άδεια του προγράμματος Quake Go οι αλλαγές σε μήκος, γωνία και βάθος ρήγματος δεν επηρεάζουν τα αποτελέσματα της σεισμικής διακινδύνευσης.
- Διαφοροποιώντας το είδος του ρήγματος, κατά την ανάλυση στο πρόγραμμα QuakeGo, διαπιστώθηκε ότι το κανονικό ρήγμα και το ανάστροφο επιφέρουν ίδια αποτελέσματα σεισμικής διακινδύνευσης.
- Κατά τις αναλύσεις του προγράμματος με αλλαγές στο είδος του ρήγματος, προκειμένου να διαπιστωθεί η επιρροή της συγκεκριμένης παραμέτρου στα αποτελέσματα, προέκυψε μεγαλύτερο ποσοστό κτιρίων στο τελευταίο επίπεδο βλαβών στις περιπτώσεις του κανονικού και του ανάστροφου ρήγματος (**26,03%**) σε

σύγκριση με του ρήγματος οριζόντιας μετατόπισης **(18,92%)** και του απροσδιόριστου **(20,39%)**.

- Τα αποτελέσματα των ανωτέρω σεναρίων, με κυριότερα αυτά του δυσμενέστερου, αποτελούν σημαντικό εργαλείο για τους κρατικούς μηχανισμούς στον σχεδιασμό αντιμετώπισης κρίσεων, στον οποίο θα πρέπει να συνεκτιμηθούν.

Βιβλιογραφία

- Αναστασιάδης Κυριάκος (1989). *Αντισεισμικές Κατασκευές Ι. Θεσσαλονίκη*: Εκδόσεις Ζήτη.
- Ανατολή Σισμανίδου (2020). Σεισμική Διακινδύνευση του κτιριακού αποθέματος Ελληνικών πόλεων. Σέρρες: Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Διεθνές Πανεπιστήμιο Ελλάδας.
- Αποστολάκη Στεφανία (2018). Εκτίμηση της Σεισμικής Διακινδύνευσης στην Ελλάδα σε περιφερειακό και εθνικό επίπεδο. Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία. Θεσσαλονίκη: Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκη.
- Βασίλης και Κατερίνα Παπαζάχου (1999). Οι σεισμοί της Ελλάδας. Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Ζήτη.
- Γεωργουσάκη Αικατερίνη (2019). *Παραδοσιακές Κατοικίες στο Νομό Σερρών*. Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία. Θεσσαλονίκη: Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκη.
- Θεοδουλίδης Νικόλαος (1991). Συμβολή στη μελέτη της ισχυρής σεισμικής κίνησης στον ελληνικό χώρο. Διδακτορική Διατριβή. Θεσσαλονίκη: Τμήμα Γεωλογίας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
- Θεοδουλίδης Ν., Μάργαρης Β., Σαββαΐδης Α., Ροβίθης Ε., Μουρατίδης Ε., Λιαλιαμπής Ι., Κίρτας Ε. (2015), "ΠΕ2: Προσδιορισμός των γεωτεχνικών και γεωφυσικών χαρακτηριστικών των επιφανειακών γεωλογικών σχηματισμών στην πόλη των Σερρών", Ερευνητικό έργο: SeiVAS - Εκτίμηση σεισμικής τρωτότητας κτιριακού αποθέματος της πόλης των Σερρών (Αρχιμήδης ΙΙΙ), ΤΕΙ Κεντρικής Μακεδονίας, Σέρρες
- Καραγκούνη Αναστασία (2018). Σεισμική Διακινδύνευση δύο Τυπικών Σχολικών Μονάδων του Δήμου Θεσσαλονίκης. Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία. Θεσσαλονίκη: Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκη.
- Κίρτας Ε. (2019), "Σημειώσεις θεωρίας μαθήματος: Τεχνική Γεωλογία, Σεισμολογία και Εδαφοδυναμική (διάλεξη: Δυναμική απόκριση εδαφικής απόθεσης)", ΠΜΣ, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Διεθνές Πανεπιστήμιο της Ελλάδος, Σέρρες.
- Κίρτας Ε., Κολιόπουλος Π.Κ. (2015), "ΠΕ3: Εκτίμηση φασμάτων απόκρισης σε διάφορες θέσεις της πόλης των Σερρών για επιλεγμένα σεισμικά σενάρια", Ερευνητικό έργο: SeiVAS - Εκτίμηση σεισμικής τρωτότητας κτιριακού αποθέματος της πόλης των Σερρών (Αρχιμήδης ΙΙΙ), ΤΕΙ Κεντρικής Μακεδονίας, Σέρρες.
- Μάργαρης Β., Θεοδουλίδης Ν., Σαββαΐδης Α., Ροβίθης Ε. (2014), "ΠΕ1: Προσδιορισμός της σεισμικής επικινδυνότητας της ευρύτερης περιοχής της πόλης των Σερρών", Ερευνητικό έργο: SeiVAS - Εκτίμηση σεισμικής τρωτότητας κτιριακού αποθέματος της πόλης των Σερρών (Αρχιμήδης ΙΙΙ), ΤΕΙ Κεντρικής Μακεδονίας, Σέρρες
- Παναγόπουλος, Γ., & Κάππος, Α. Ι. (2006). Υπολογισμός καμπυλών τρωτότητας για ελληνικά κτίρια από Ο/Σ. 15ο Ελληνικό Συνέδριο Σκυροδέματος. Αλεξανδρούπολη

- Παναγόπουλος Γ., Κίρτας Ε., Σους Ι., Κάππος Α., Λιαλιαμπής Ι., Χασάπης Δ. (2015), "ΠΕ4: Καταγραφή του κτιριακού αποθέματος της πόλης των Σερρών", Ερευνητικό έργο: SeiVAS - Εκτίμηση σεισμικής τρωτότητας κτιριακού αποθέματος της πόλης των Σερρών (Αρχιμήδης ΙΙΙ), ΤΕΙ Κεντρικής Μακεδονίας, Σέρρες
- Παναγόπουλος Γ., Κάππος Α., Κολιόπουλος Π.Κ., Σους Ι. (2015), "ΠΕ5: Μεθοδολογία και εργαλεία υπολογισμού της σεισμικής τρωτότητας των κτιρίων", Ερευνητικό έργο: SeiVAS - Εκτίμηση σεισμικής τρωτότητας κτιριακού αποθέματος της πόλης των Σερρών (Αρχιμήδης ΙΙΙ), ΤΕΙ Κεντρικής Μακεδονίας, Σέρρες
- Παναγόπουλος, Γ., Κάππος, Α., Κολιόπουλος, Π., Μιμίδης, Κ., Αντωνιάδης, Π., Χασάπης, Δ. (2015). "Π.Ε.6: Σενάρια σεισμικής διακινδύνευσης του κτιριακού αποθέματος". Ερευνητικό έργο: SeiVAS - Εκτίμηση σεισμικής τρωτότητας κτιριακού αποθέματος της πόλης των Σερρών (Αρχιμήδης ΙΙΙ). ΤΕΙ Κεντρικής Μακεδονίας. Σέρρες.
- Παπαζάχος, Β. Κ., Δ. Μ., Μουντράκης, Π. Χατζηδημητρίου, Δ. Παναγιωτόπουλος, Α.Κυρατζή, Γ. Καρακαϊσης, Ε.Παπαδημητρίου, Θ. Τσάπανος, Β. Καρακώστας,Ε. Σκορδύλης, Ν. Θεοδουλίδης, Β. Μάργαρης, Χρ.Παπαϊωάννου, Κ.Παπαζάχος, Β. Λεκίδης, Χ. Καρακώστας, Π. Κολιόπουλος, Κ. Παπούλια, Σ.Παυλίδης, Ε. Βαβλιάκης, Α. Κίλιας, και Μ. Τρανός (1996). Σεισμικότητα και Σεισμική Επικινδυνότητα στην περιοχή ανέγερσης του Νομαρχιακού Γενικού Νοσοκομείου Σερρών., Εργαστ. Γεωφυσικής, ΑΠΘ
- Παπαζάχος, Β. Κ., Δ. Μ., Μουντράκης, Κ.Β. Παπαζάχος, Μ. Δ. Τρανός, Γ. Φ, Καρακαϊσης, και Α. Σ. Σαββαϊδης (2001). Τα ρήγματα που προκάλεσαν τους γνωστούς ισχυρούς σεισμούς στην Ελλάδα και τη γύρω περιοχή από τον 5ο αιώνα π.Χ. μέχρι σήμερα. 2ο Πανελλήνιο Συνέδριο Αντισεισμικής Μηχανικής & Τεχνικής Σεισμολογίας, Θεσσαλονίκη, 28-30 Νοεμβρίου 2001, Α, 17-26.
- Παππάς Ελευθέριος (2020). Εκτίμηση σεισμικού κινδύνου και υπολογισμός απωλειών στα Δίκτυα Ζωής. Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία. Πάτρα: Σχολή Θετικών Επιστημών και Τεχνολογίας, Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο.
- Παυλίδης Σπ. (2004). Τεχνική Έκθεση των γεωλογικών – σεισμοτεκτονικών δεδομένων, «Πρώτη Ετήσια Έκθεση, των Ενεργών και πιθανά ενεργών ρηγμάτων της ευρύτερης περιοχής της πόλης της Θεσσαλονίκης που θα επηρεάσουν το πολεοδομικό συγκρότημα σε πιθανή ενεργοποίησή τους», Πρόγραμμα SRM-LIFE.
- Πενέλης Γεώργιος – Κάππος Ανδρέας (1999). Αντισεισμικές Κατασκευές από Σκυρόδεμα. Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Ζήτη.
- Πιτιλάκης Κ. και συνεργάτες (2018). Σεισμική τρωτότητα και διακινδύνευση της Θεσσαλονίκης και των υποδομών της, The Thessaloniki 2018 Earthquake – Special Session Commemoration of the Thessaloniki 1978 Earthquake, Challenges and achievements- 40 Years of a Fragmentary Process, Παρουσίαση στο πλαίσιο του 16th ECEE (European Conference on Earthquake Engineering), Θεσσαλονίκη, 18-20 Ιουνίου.
- Πιτιλάκης Κ, Αργυρούδης Σ, Ρήγα Ε, Καρατζέτζου Α. (2020). Σημειώσεις μαθήματος: Τρωτότητα, διακινδύνευση και σχεδιασμός τεχνικών έργων έναντι σεισμού και άλλων

- φυσικών κινδύνων με τις αρχές της ανθεκτικότητας, της αειφορίας και της βιωσιμότητας (ΑΣΤΕ 13), Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
- Σινοπούλου Αθανασία (2018). Εκτίμηση σεισμικού κινδύνου και απωλειών κτιρίων από Ο/Σ με τη χρήση του λογισμικού προγράμματος PACT. Αθήνα: Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής.
- ΤΕΕ Ομάδα Εργασίας, αρ. Ι. 2 (2002) «Τελική έκθεση Εκτίμησης Σεισμικής Τρωτότητας κτιρίων», Αθήνα.
- ΤΕΕ (με την συνεργασία των Ο.Α.Σ.Π.- Ι.Τ.Σ.Α.Κ.-Σ.Π.Μ.Ε.) (2001). 2^ο πανελλήνιο συνέδριο αντισεισμικής μηχανικής και τεχνικής σεισμολογίας Τόμος Α'. Θεσσαλονίκη.
- Ψυχάρης Γ. (2015). Αντισεισμικός σχεδιασμός με στάθμες επιτελεσματικότητας. Σημειώσεις για το μάθημα του 9ου Εξαμήνου Αντισεισμική Τεχνολογία 2. Αθήνα: Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβειο Πολυτεχνείο.
- AFAD RED MANUAL 2019_English Google.
- Boore, D. M., Joyner, W. B., & Fumal, T. E. (1997). Equations for estimating horizontal response spectra and peak acceleration from western North American earthquakes: A summary of recent work. *Seismological research letters*, 68(1), 128-153.
- Boore, D. M., & Atkinson, G. M. (2008). Ground-motion prediction equations for the average horizontal component of PGA, PGV, and 5%-damped PSA at spectral periods between 0.01 s and 10.0 s. *Earthquake spectra*, 24(1), 99-138.
- Boore, D. M., Stewart, J. P., Seyhan, E., & Atkinson, G. M. (2014). NGA-West2 equations for predicting PGA, PGV, and 5% damped PSA for shallow crustal earthquakes. *Earthquake Spectra*, 30(3), 1057-1085.
- BSSC (Building Seismic Safety Council) (1997), "FEMA 302 - NEHRP Recommended Provisions for the Development of Seismic Regulations for New Buildings", Federal Emergency Management Agency, Washington D.C.
- Caputo R., Chatzipetros A., Pavlides S. and Sboras S. (2012): The Greek Database of Seismogenic Sources (GreDaSS): state-of-the-art for northern Greece. *Ann. Geophys.*, 55(5), 859-894.
- Couture R, Evans SG, Locat J (2002) Introduction. *Nat Hazards* 26(1–6):2002
- Di Pasquale G, Ferlito R, Orsini G, Papa F, Pizza AG, Van Dyck J, Veneziano D (2004) Seismic scenarios tools for emergency planning and management. In: Proceedings of the XXIX general assembly of the European seismological commission, Potsdam, Germany
- Erdik M, Aydinoglu N (2002) Earthquake performance and fragility of buildings in Turkey: report prepared for World Bank disaster management facility, Washington, DC
- Erdik M, Fahjan Y (2006) Damage scenarios and damage evaluation. In: Oliveira CS, Roca A, Goula X (eds) Assessing and managing earthquake risk. Springer, Dordrecht, pp 213–237
- Erdik, Mustafa, et al. "Earthquake risk assessment for Istanbul metropolitan area." *Earthquake Engineering and Engineering Vibration* 2.1 (2003): 1-23.

- Erdik, Mustafa, et al. "Rapid earthquake loss assessment after damaging earthquakes." *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* 31.2 (2011): 247-266.
- Eguchi RT, Goltz JD, Seligson HA, Flores PJ, Blais NC, Heaton TH, Bortugno E (1997) Real-time loss estimation as an emergency response decision support system: the Early Post-Earthquake Damage Assessment Tool (EPEDAT). *Earth Spectra* 13(4):815–832
- FEMA, (2003) FEMA (1988) "Rapid visual screening of buildings for potential seismic hazards: A Handbook (FEMA 154)", ATC, Redwood City, California.
- Kam, W. Y., & Jury, R. (2017). Performance-Based Seismic Assessment: Simplified Methods and Collapse Indicators. In 16th World Conference on Earthquake Engineering (WCEE), Santiago, Chile.
- Kappos, A., Pitilakis, K., Morfidis, K. and Hatzinikolaou, N. (2002) Vulnerability and risk study of Volos Greece) metropolitan area. CD ROM Proceed. 12th ECEE (London, UK, Sep. 2002), Paper 074
- Kappos, A. J., Panagopoulos, G., Panagiotopoulos, Ch. and Penelis, Gr. (2006) "A hybrid method for the vulnerability assessment of R/C and URM buildings", *Bull. of Earthquake Engineering*, V. 4, No. 4, 391-413.
- Kappos, A. J., & Panagopoulos, G. (2010). Fragility curves for reinforced concrete buildings in Greece. *Structure and Infrastructure Engineering*, 6(1-2), 39–53.
- Kappos, A. J., Panagopoulos, G. K., Sextos, A. G., Papanikolaou, V. K., & Stylianidis, K. C. (2010). Development of comprehensive earthquake loss scenarios for a Greek and a Turkish city - structural aspects. *Earthquakes and Structures*, 1(2), 197–214
- Kappos, A. J., & Panagopoulos, G. (2010). Fragility curves for reinforced concrete buildings in Greece. *Structure and Infrastructure Engineering*, 6(1-2), 39-53.
- Mountarkis D., M. Tranos , C. Papazachos , E. Thomaidou , E. Karagianni & D. Vamvakaris (2006), Neotectonic and seismological data concerning major active faults, and the stress regimes of Northern Greece. Department of Geology, School of Geology, Aristotle University of Thessaloniki
- Pavlidis, S., and R. Caputo (2004). Magnitude versus faults'surface parameters: quantitative relationships from the Aegean.
- QGIS.org, 2022. QGIS Geographic Information System. QGIS Association. (<http://www.qgis.org>)
- Robinson D, Fulford G, Dhu T (2005) EQRM: Geoscience Australia's earthquake risk model. Geoscience Australia Record 2005/01. Geoscience Australia, Canberra, p 151
- Robinson D, Fulford G, Dhu T (2006) EQRM: Geoscience Australia's earthquake risk model: technical manual version 3.0, Book Bib ID 3794291, Geoscience Australia
- Sadigh, K., Chang, C. Y., Egan, J. A., Makdisi, F., & Youngs, R. R. (1997). Attenuation relationships for shallow crustal earthquakes based on California strong motion data. *Seismological research letters*, 68(1), 180-189.

- Sousa ML, Campos Costa A, Carvalho A, Coelho E (2004) An automatic seismic scenario loss methodology integrated on a geographic information system. In: Proceedings of the 13th world conference on earthquake engineering, Vancouver, Canada.
- Tranos M.D. & Mountrakis D.M (2004).The Serres fault zone (SZF): an active fault zone in Eastern Macedonia- (Northern Greece). Department of Geology, Aristotle UniversityThessaloniki,Greece.
- Zonno, G., Carvalho, A., Franceschina, G., Akinci, A., Costa, A. C., Coelho, E., ... & Cocco, M. (2009). Simulating earthquake scenarios in the European Project LESSLOSS: the Case of Lisbon. In *The 1755 Lisbon Earthquake: Revisited* (pp. 233-243). Springer, Dordrecht.

Με ατομική μου ευθύνη και γνωρίζοντας τις κυρώσεις που προβλέπονται στον Οργανισμό και στον Εσωτερικό Κανονισμό του Ιδρύματος, δηλώνω υπεύθυνα ότι για τη συγγραφή της Διπλωματικής μου Εργασίας δεν χρησιμοποίησα ολόκληρο ή μέρος έργου άλλου συγγραφέα χωρίς να γίνεται αναφορά στην πηγή προέλευσης (βιβλίο, άρθρο από επιστημονικό περιοδικό ή εφημερίδα, ιστοσελίδα κ.λπ.) και ότι χρησιμοποίησα μόνο τις πηγές που αναφέρονται στη βιβλιογραφία.

[ΥΠΟΓΡΑΦΗ]

ΠΑΡΙΣΗΣ ΑΠΟΣΤΟΛΟΣ