

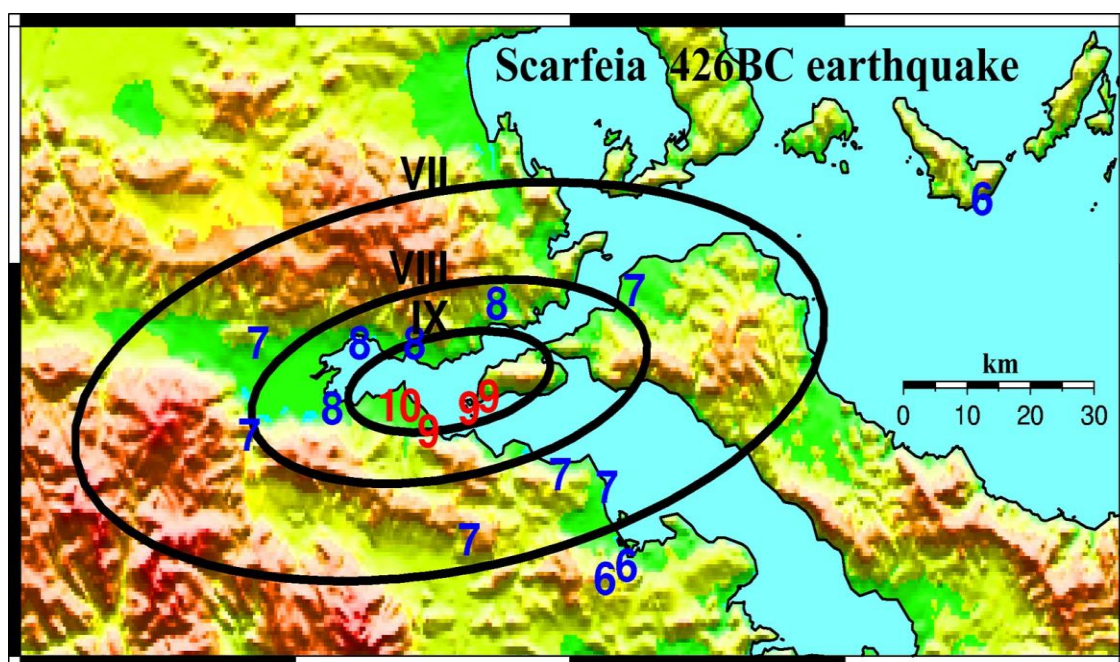
ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ



ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ Ζ. ΖΑΧΑΡΑΚΟΠΟΥΛΟΣ

ΜΑΚΡΟΣΕΙΣΜΙΚΗ ΕΝΤΑΣΗ ΚΑΙ ΣΤΟΧΑΣΤΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ
ΤΗΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΙΣΤΟΡΙΚΟ ΣΕΙΣΜΟ ΤΗΣ ΣΚΑΡΦΕΙΑΣ ΤΟ 426 π.Χ.

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ

2019

ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ Ζ. ΖΑΧΑΡΑΚΟΠΟΥΛΟΣ
Φοιτητής Τμήματος Γεωλογίας, ΑΕΜ: 5246

ΜΑΚΡΟΣΕΙΣΜΙΚΗ ΕΝΤΑΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΗΣ ΓΙΑ ΤΟΝ
ΙΣΤΟΡΙΚΟ ΣΕΙΣΜΟ ΤΗΣ ΣΚΑΡΦΕΙΑΣ ΤΟ 426 π.Χ.

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας, Τομέα Γεωφυσικής,
Εργαστήριο Εφαρμοσμένης Γεωφυσικής

Επιβλέποντες

ΠΑΠΑΖΑΧΟΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ, Καθηγητής
ΚΚΑΛΛΑΣ ΧΑΡΑΛΑΜΠΟΣ, Μεταδιδάκτορας

© Δημήτριος Ζ. Ζαχαράκοπουλος, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., Τομέας Γεωφυσικής, 2019
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

ΜΑΚΡΟΣΕΙΣΜΙΚΗ ΕΝΤΑΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΗΣ ΓΙΑ ΤΟΝ
ΙΣΤΟΡΙΚΟ ΣΕΙΣΜΟ ΤΗΣ ΣΚΑΡΦΕΙΑΣ ΤΟ 426 π.Χ. – *Διπλωματική Εργασία*

© Dimitrios Z. Zacharakopoulos, School of Geology, Dept. of Geophysics, 2018
All rights reserved.

MACROSEISMIC INTENSITY AND STOCHASTIC SIMULATION FOR THE
HISTORICAL EARTHQUAKE OF SKARFIA IN 426 B.C. – *Bachelor Thesis*

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

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευτεί ότι εκφράζουν τις επίσημες θέσεις του Α.Π.Θ.

Εικόνα Εξωφύλλου: ΜΑΚΡΟΣΕΙΣΜΙΚΕΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΣΥΝΘΕΤΙΚΕΣ ΙΣΟΣΕΙΣΤΕΣ ΤΟΥ ΙΣΤΟΡΙΚΟΥ ΣΕΙΣΜΟΥ ΤΗΣ ΣΚΑΡΦΕΙΑΣ ΤΟ 426 π.Χ.

Πίνακας περιεχομένων

ΠΡΟΛΟΓΙΚΟ ΣΗΜΕΙΩΜΑ.....	5
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	6
1.1. ΜΑΚΡΟΣΕΙΣΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	6
1.2 ΙΣΤΟΡΙΚΟΙ ΣΕΙΣΜΟΙ	13
1.2.1 Οπούντα, 105 π.Χ.	14
1.2.2 Εχινός, 551 π.Χ.....	14
1.2.3 Θερμοπύλες, 1740.....	15
1.2.4 Φθιώτιδα, 1894	16
1.2.5 Χαϊρώνεια, 551μ.Χ.....	18
1.3 ΣΕΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΣΚΑΡΦΕΙΑΣ	18
1.4 ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΚΑΙ ΤΕΚΤΟΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΓΥΡΩ ΑΠΟ ΤΟ ΜΑΛΙΑΚΟ ΚΟΛΠΟ	24
1.4.1 Γεωλογία.....	24
1.4.2 Τεκτονική	26
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	28
2.1 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ.....	28
2.2 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ.....	30
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	33
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	52
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	53

ΠΡΟΛΟΓΙΚΟ ΣΗΜΕΙΩΜΑ

Η παρούσα εργασία έχει ως στόχο να αναδείξει τη μέθοδο της στοχαστικής προσομοίωσης της ισχυρής εδαφικής κίνησης από σενάρια σεισμών ως ένα σημαντικό εργαλείο για την απεικόνιση της μακροσεισμικής έντασης, ιστορικών κυρίως αλλά και πιο πρόσφατων σεισμών, στο χώρο αλλά και τη σύγκριση των συνθετικών αποτελεσμάτων με τα υπάρχοντα παρατηρούμενα πραγματικά.

Επίσης, ένας ακόμη στόχος είναι η κατανόηση του βαθμού της σημαντικότητας της όσο το δυνατόν καλύτερης γνώσης των παραμέτρων και των στοιχείων παλαιότερων κύριων σεισμών, από τις διαθέσιμες υπάρχουσες πηγές, έτσι ώστε να επιτευχθεί η ορθή χρήση της μεθόδου της προσομοίωσης και να καταλήξει σε ακριβέστερα αποτελέσματα.

Το περιεχόμενο της πτυχιακής εργασίας έχει χωριστεί σε τέσσερα κεφάλαια. Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στα μακροσεισμικά στοιχεία όπως καθορισμός χρόνου γένεσης σεισμού, γεωγραφικές συντεταγμένες εστιακού βάθους, επικέντρου, μεγέθους σεισμού για ισχυρούς ιστορικούς αλλά και ποιο πρόσφατους σεισμούς. Αναφέρονται πληροφορίες για τους ιστορικούς ισχυρούς σεισμούς που συνέβησαν στον ελληνικό χώρο, αλλά και τον σεισμό της περιοχής μελέτης. Επίσης, παρουσιάζονται τα γεωλογικά και τεκτονικά χαρακτηριστικά της περιοχής γύρω από το Μαλιακό κόλπο, όπου συνέβησε ο σεισμός της Σκάρφειας. Στο δεύτερο κεφάλαιο, γίνεται παρουσίαση των μεθόδων της στοχαστικής προσομοίωσης και της ανάλυσης της μεθοδολογίας EXSIM που χρησιμοποιήθηκε. Στο τρίτο, περιγράφεται η εφαρμογή της συγκεκριμένης μεθοδολογίας για τον σεισμό της Σκάρφειας και η επεξεργασία των δεδομένων που έγινε.

Τέλος, στο τέταρτο κεφάλαιο συνοψίζονται τα συμπεράσματα της πτυχιακής εργασίας και έπειτα ακολουθούν οι βιβλιογραφικές πηγές.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1. ΜΑΚΡΟΣΕΙΣΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Στο σημείο αυτό, κρίνεται να δοθούν πληροφορίες για τα μακροσεισμικά και ορισμένα ακόμη στοιχεία για τους ισχυρούς σεισμούς που έχουν λάβει χώρα στον Ελλαδικό χώρο και στις γύρω κοντινές σχετικά περιοχές κατά την περίοδο των ετών 550 π.χ. έως και το 2001.

Κρίνεται αναγκαίο, αρχικά, να προσδιοριστούν τα κριτήρια για τη μέθοδο καθορισμού του χρόνου γένεσης, της μακροσεισμικής έντασης, των γεωγραφικών συντεταγμένων του epicέντρου, του εστιακού βάθους και του μεγέθους για όλους τους ισχυρούς σεισμούς, δηλαδή σεισμοί που εμφανίζουν την παράμετρο $M > 6.0$, καθώς και εκτιμήσεις των μη βεβαιωμένων (σφαλμάτων) αυτών των παραμέτρων, για να καθίσταται εφικτό να εκτιμηθεί η σημασία τους και μετέπειτα η πρακτική αξιοποίησή τους.

Όσον αφορά το χρόνο γένεσης των σεισμών, για την απόδοση ακριβούς παροχής ορισμού του χρόνου που πραγματοποιήθηκε ένας σεισμός, οφείλουν να περιλαμβάνονται τα εξής:

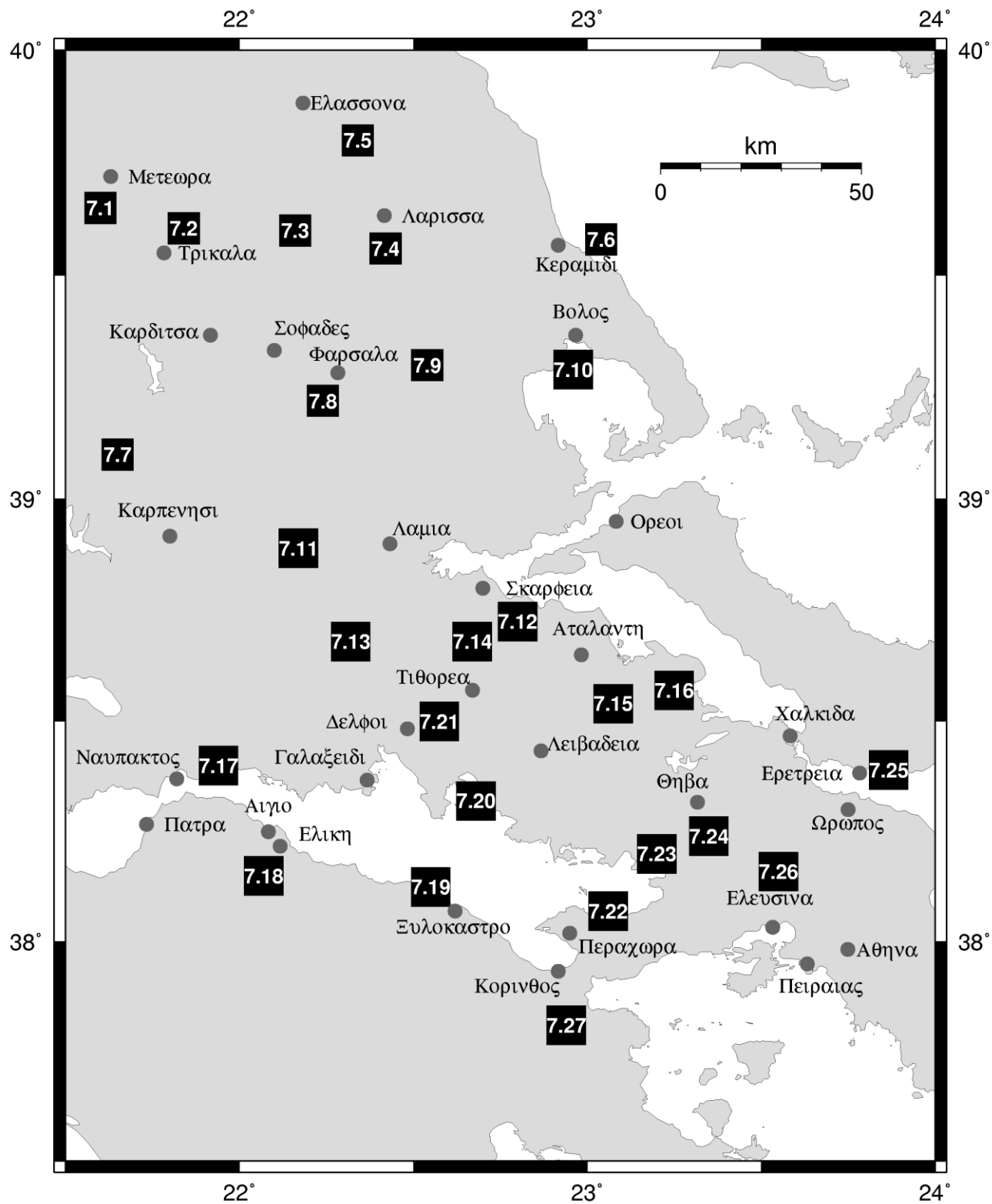
1. Η ημερομηνία (χρονολογία, μήνας, ημέρα).
2. Ο ακριβής χρόνος γένεσης (ώρα, λεπτά, δευτερόλεπτα).

Η δυνατότητα όμως αυτή υπάρχει μόνο για τους σεισμούς της πρόσφατης (ενόργανης) περιόδου (έτη 1911 – 2001). Για τους σεισμούς αυτής της χρονικής

περιόδου παρέχεται η ημερομηνία στο νέο (Γρηγοριανό) ημερολόγιο και ο χρόνος γένεση σε GMT (χρόνος Greenwich).

Αναφορικά με τους σεισμούς, οι οποίοι εξελίχτηκαν κατά την προηγούμενη ιστορική περίοδο (550 π.Χ. – 1910) μόνο εν μέρη είναι γνωστός ο χρόνος που αναπτύχθηκε κάθε ένας από τους σεισμούς. Για τους πιο παλαιούς σεισμούς μόνο η ημερομηνία είναι συνηθέστερα γνωστή. Αυτή η ημερομηνία δίνεται στο παλιό (Ιουλιανό) ημερολόγιο για τους σεισμούς που έγιναν μέχρι το 1582. Σχετικά με τους σεισμούς που παρατηρήθηκαν μετά το έτος αυτό, η ημερομηνία δίνεται στο νέο (Γρηγοριανό) ημερολόγιο.

Παρακάτω στην Εικόνα 1.1 παρατηρούμε τα σημεία όπου βρίσκονται μόνο τα κανονικά ρήγματα από τα 160 κύρια συνολικά όπου έγιναν όλοι οι ισχυροί ($M \geq 6.0$) επιφανειακοί κύριοι σεισμοί του ελληνικού χώρου και των γύρω περιοχών από το 480 π.Χ. μέχρι σήμερα. Μέσα σε αυτά αναφέρεται το ρήγμα του ισχυρού σεισμού της Σκάρφειας που μας ενδιαφέρει και για το οποίο γίνεται η στοχαστική προσομοίωση της ισχυρής εδαφικής κίνησης.



Εικόνα 1.1. Οι θέσεις των 27 κανονικών ρηγμάτων στην ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΕΛΛΑΔΑ (7.1, ..., 7.27).
Θέση ρήγματος της περιοχής μελέτης 7.12, Σκάρφεια.

Η μετατροπή από το παλιό στο νέο ημερολόγιο γίνεται με πρόσθεση στην ημερομηνία του παλαιού του χρόνου: $t = (t_i - 325)/128$ όπου t_i είναι η ημερομηνία στο Ιουλιανό (παλαιό) ημερολόγιο.

Υφίστανται, παρόλα αυτά και περιπτώσεις, κατά τις οποίες δεν είναι αρκετά σαφές αν η ημερομηνία που υφίσταται βρίσκεται στο παλαιό ή στο νέο ημερολόγιο. Όταν συμβαίνει αυτό, συνηθίζεται να δίδεται η ημερομηνία όπως είναι στην πρωτογενή πηγή.

Για ορισμένους παλαιούς σεισμούς, μόνο το έτος γένεσης είναι γνωστό. Σε μερικές περιπτώσεις και το έτος γένεσης είναι αβέβαιο και γι' αυτό στις περιπτώσεις αυτές το έτος τοποθετείται σε παρένθεση. Χρειάζεται, ωστόσο να τονισθεί ότι ακόμα και στις προκείμενες τις περιπτώσεις το σφάλμα στο χρόνο σπανίως είναι μεγαλύτερο από λίγα έτη.

Ακόμη, σημαντικό δεδομένο αποτελεί η ορθή γνώση σχετικά με τα μεγέθη της μακροσεισμικής έντασης, I , στις θέσεις όπου ο σεισμός προξένησε ζημιές ή σημειώθηκε αισθητός. Είναι, λοιπόν, εξαιρετικής σημασίας, γιατί οι τιμές αυτές χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό και την έκφραση των επικέντρων και των μεγεθών των σεισμών, οι οποίοι έγιναν κατά τη διάρκεια όλης της ιστορικής περιόδου (550 π.Χ. – 1910) καθώς και για τον προσδιορισμό και την έκφραση των επικέντρων αρκετών σεισμών που έγιναν κατά την ενόργανη περίοδο.

Ιδιαίτερης σημασίας για τέτοια χρήση είναι η τιμή μέγιστης μακροσεισμικής έντασης, I_o , ή πιο συγκεκριμένα η ένταση στο μέσο της πλειόσειστης περιοχής, που συμπίπτει, συχνότερα, στους επιφανειακούς σεισμούς με τη ζώνη διάρρηξης (ρήγμα) του σεισμού.

Οι μακροσεισμικές εντάσεις ταξινομούνται στην κλίμακα MM (Modified Mercalli Scale), όπως παρατηρούμε στην Εικόνα 1.2, και έχουν καθορισθεί σύμφωνα με την επιρροή του σεισμού στους ανθρώπους και τις τεχνικές κατασκευές.

Μακροσεισμική Κλίμακα Mercalli-Sieberg

Βαθμοί	Μακροσεισμικά Αποτελέσματα
I	Γράφεται μόνο από τα σεισμικά όργανα
II	Αισθητός από μερικούς σε ησυχία στους ψηλότερους ορόφους
III	Αισθητός από λίγους στα σπίτια
IV	Αισθητός από πολλούς στα σπίτια, από μερικούς στο ύπαιθρο. Ξύπνημα λίγων. Φυγή λίγων στο ύπαιθρο. Κρότος παραθύρων, χτύπος στις πόρτες
V	Αισθητός από όλους στα σπίτια και στο ύπαιθρο. Ξύπνημα πολυάριθμων. Φυγή πολυάριθμων στο ύπαιθρο. Αιώρηση ελεύθερα κρεμασμένων αντικειμένων. Ήχηση κουδουνιών ρολογιών. Ανατροπή μερικών μικρών αντικειμένων.
VI	Ήχηση μικρών καμπάνων. Ανατροπή πολυάριθμων μεγάλων αντικειμένων. Πτώση λίγων κεραμιδιών, καπνοδόχων. Βλάβες λίγες, ελαφρές
VII	Ήχηση μεγάλων καμπάνων. Πτώση πολυάριθμων κεραμιδιών, καπνοδόχων. Βλάβες μέτριες, πολλές. Μερική καταστροφή λίγων οικοδομών.
VIII	Μερική καταστροφή σε ποσοστό μεγαλύτερο του 25% του ολικού αριθμού των κανονικών οικοδομών. Ολική καταστροφή λίγων κτιρίων.
IX	Μερική καταστροφή σε ποσοστό μεγαλύτερο του 50% του ολικού αριθμού των κανονικών οικοδομών. Ολική καταστροφή σε ποσοστό μεγαλύτερο του 25% του ολικού αριθμού των κτιρίων.
X	Μερική καταστροφή όλων των κανονικών οικοδομών. Ολική καταστροφή σε ποσοστό μεγαλύτερο του 50% του ολικού αριθμού των κτιρίων.
XI	Ολική καταστροφή όλων των κτιρίων.
XII	Κατάρρευση όλων των οικοδομών μέχρι τα θεμέλια

Εικόνα 1.2 Μακροσεισμική κλίμακα Modified Mercalli. Περιγραφή βλαβών για κάθε βαθμό της μακροσεισμικής έντασης, IMM.

(from: http://www.geo.auth.gr/courses/ggp/ggp211y/pdf/Mathima_10_Makroseismika_Apotelesmata.pdf)

Επιρροές και επιδράσεις των σεισμών στο τμήμα του υπόγειου νερού ή / και του θαλάσσιου λήφθηκαν, επιπρόσθετα, υπόψη όταν υπήρχαν σχετικές πληροφορίες περί αυτού.

Οι μικρής τιμής μακροσεισμικές εντάσεις ($VI > I$) για σεισμούς που είχαν λάβει χώρα σε ιστορικές εποχές, μπορεί να εκτιμηθούν με απευθείας εφαρμογή της κλίμακας MM (είτε MKS) διότι η εκτίμηση αυτή βασίζεται στην επιρροή των σεισμών στους ανθρώπους, η οποία δεν μεταβάλλεται πολύ με την πάροδο του χρόνου. Συνθήκη, που, όμως, δεν ισχύει ίσως για μεγάλες τιμές των μακροσεισμικών εντάσεων (VII, VIII, IX, X, XI) επειδή η εκτίμηση αυτών των τιμών βασίζεται στην επίπτωση των σεισμών στα κτίρια των οποίων ο σχεδιασμός και η κατασκευή έχει μεταβληθεί με το πέρασμα των ετών.

Έτσι, τα σύγχρονα κτίρια κατασκευάζονται με σύγχρονα υλικά και τεχνικές (ενισχυμένο είδος από σκυρόδεμα, νέοι αντισεισμικοί κανονισμοί, κ.λ.π) και οι μεγάλες τιμές των χρησιμοποιούμενων στις μέρες μας κλιμάκων έχουν καθορισθεί με αναφορά την επίδραση των σεισμών σε τέτοια κτίρια.

Θεωρείται, συνεπώς, αναγκαίο να τεθούν κάποιοι κανόνες αντιστοιχίας μεταξύ των μακροσεισμικών εντάσεων μεγάλων τιμών (με τη σημερινή σημασία) και την επίδραση των σεισμών σε παλαιά κτίρια για να δημιουργηθεί ένας κατάλογος χωρίς διακυμάνσεις.

Για το σκοπό αυτό, λοιπόν, χρησιμοποιείται, βάση από δεδομένα ιστορικών σεισμών, για τους οποίους υπάρχουν μακροσεισμικές εντάσεις σε μεγάλες αποστάσεις (χαμηλές τιμές) και μακροσεισμικά αποτελέσματα σε μικρές αποστάσεις. Οι διαθέσιμες χαμηλές εντάσεις για κάθε σεισμό χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό του μεγέθους του σεισμού και μετά για τον υπολογισμό των μακροσεισμικών εντάσεων σε μικρές αποστάσεις.

Λόγω του ότι τα μακροσεισμικά αποτελέσματα του σεισμού κοντά στο επίκεντρο είναι επίσης γνωστά, κατέστη δυνατή μια αντιστοιχία μεταξύ των σεισμικών επιδράσεων σε παλιά κτίρια και των υπολογισμών περί των εντάσεων του σεισμού σε σύγχρονη μακροσεισμική κλίμακα. Τα πιο καθοριστικά από αυτά τα αποτελέσματα που αντιστοιχούν σε κάθε μια από τις πέντε υψηλές εντάσεις της κλίμακας MM είναι τα ακόλουθα:

Ένταση VII: Ρωγμές σε πολλές κατασκευές όπως σπίτια, τείχη, κάστρα, κλπ και μικρές ζημιές σε διάφορες κατασκευές. Ακόμη, καταρρεύσεις μερικών ασθενών κατασκευών όπως αγροικιών, κ.λ.π και τέλος των μη δομικών τμημάτων ορισμένων κτιρίων.

Ένταση VIII: πρόκειται για σημαντικές βλάβες σε πολλές κατασκευές καθώς και την καταστροφή αρκετών κατασκευών. Επίσης, κατάρρευση μερικών κανονικών κατασκευών.

Ένταση IX: εδώ, γίνεται αναφορά για παρατήρηση από εκτεταμένες βλάβες. Σημειωτέα είναι η καταστροφή πολλών κατασκευών και ακόμη η κατάρρευση αρκετών κατασκευών.

Ένταση X: Εκτεταμένες καταστροφές. Επίσης, σημειώνεται η κατάρρευση πολλών κατασκευών.

Ένταση XI: Κατάρρευση σχεδόν όλων των κατασκευών.

1.2 ΙΣΤΟΡΙΚΟΙ ΣΕΙΣΜΟΙ

1.2.1 Οπούντα, 105 π.Χ.

Το 105 μ.Χ., 38.8ο N, 23.0ο E, $h = n$, $M = (6.4)$, στην Οπούντα (VIII), σύμφωνα με πληροφορίες που φανέρωσε στα βιβλιογραφία αρχεία ο Ευσέβιος, σεισμός κατέστρεψε τον Οπούντα και τους Ωρεούς στις περιοχές της Λοκρίδας και της Βόρειας Εύβοιας.

1.2.2 Εχινός, 551 π.Χ.

Στον Εχινό, σημειώθηκε σεισμός, 38.8ο N, 22.8ο E, $h = n$, $M = (6.8)$, (VIII), όπως αναφέρει ο Προκόπιος ο Καισαρεύς, εκείνο τον καιρό συνέβησαν ασυνήθιστοι σεισμοί στην Ελλάδα, που δόνησαν τη Βοιωτία, την Αχαΐα και την περιοχή γύρω από τον Κρισαίο κόλπο (κόλπος της Ιτέας).

Μεγάλος αριθμός από μικρά χωριά και οκτώ αστικές περιοχές ισοπεδώθηκαν ολοσχερώς. Ανάμεσα στις περιοχές αυτές βρισκόταν και η Χαιρώνεια, η Κορώνεια, η Πάτρα και ολόκληρη η Ναύπακτος, στην οποία πολυάριθμοι άνθρωποι έχασαν τη ζωή τους.

Το έδαφος σχίστηκε σε πολλά μέρη και σχηματίστηκαν χάσματα. Μερικά από τα χάσματα χάθηκαν όμως σε άλλες περιοχές αυτά παρέμειναν ανοιχτά.

Στον κόλπο ανάμεσα στη Θεσσαλία και τη Βοιωτία (Μαλιακός κόλπος) ένα ξαφνικό, θαλάσσιο κύμα (τσουνάμι) έπληξε τις πόλεις του Εχίνου και της Σκάρφειας και προχώρησε αρκετά πάνω στη στεριά όπου κατάκλυσε τα γύρω χωριά, ισοπεδώνοντάς τα άμεσα. Αυτό το θαλάσσιο κύμα πλημμύρισε την ενδοχώρα έως τα βουνά και όταν αυτό αποσύρθηκε στην αρχική θέση του, ποικίλα θαλάσσια ζώα παρέμειναν στο έδαφος. Σε μια περιοχή όπου βρίσκεται η πολυαναφερόμενη, ονομαστή τοποθεσία Σχίσμα, ο φοβερός σεισμός κόστισε σε ανθρώπινες ζωές όσο σε όλα τα υπόλοιπα μέρη μαζί σε σύνολο.

Το φαινόμενο αυτό παρατηρήθηκε γιατί είχε τότε μαζευτεί εκεί πληθυσμός από όλη την Ελλάδα για κάποια εθιμική γιορτή.

Η περιγραφή του Προκοπίου σκιαγραφεί μια σεισμική έξαρση στην ευρύτερη έκταση της Κεντρικής Ελλάδας, η οποία και μπορεί να αποδοθεί σε 3 σεισμικές ακολουθίες, με 3 αντίστοιχους κύριους σεισμούς.

1. Στο Μαλιακό κόλπο,
2. Στο βορειοανατολικό Κορινθιακό κόλπο (Κρισαίο κόλπο, Χαιρώνεια, Κορώνεια)
3. Στον Πατραϊκό κόλπο (Πάτρα, Ναύπακτος).

Η ερμηνεία αυτή φαίνεται να συμφωνεί με τη σχετική άποψη του ερευνητή Παπαϊωάννου και των υπόλοιπων επιστημόνων που εργάζονταν μαζί του εκείνη την εποχή (1994).

Για το λόγο, λοιπόν, τούτο δίνονται στη συνέχεια χωριστά πληροφοριακά δεδομένα σχετικά με το σεισμό στον Κρισαίο κόλπο καθώς και το σεισμό του Πατραϊκού κόλπου.

1.2.3 Θερμοπύλες, 1740

Τον Οκτώβριο, 4, 38.9ο N, 22.6ο E, $h = n$, $M = 6.6$, στις Θερμοπύλες (VIII) μέσα από την περιγραφή του περιηγητή Roscoe, διατυπώνεται πως, όταν αυτός κατέφθασε στο Ζητούνι (Λαμία), που είχε τότε 300 – 400 οικήματα, ένας σεισμός έκανε την εμφάνιση του τη νύχτα στις 23 Σεπτεμβρίου.

Όλα τα ελληνικά οικήματα, τα οποία ήταν κατασκευασμένα χρησιμοποιώντας λάσπη, κατέρρευσαν και σκότωσαν κάποιους ανθρώπους. Από την άλλη μεριά, δεν κατέρρευσαν Τουρκικές εστίες κι αυτό γιατί αυτές ήταν κατασκευασμένες με ασβεστοκονίαμα. Ο σεισμός κατέστρεψε βέβαια και τα γειτονικά χωριά και πιο

συγκεκριμένα τις Θερμοπύλες, το Μώλο, το Ρεγγίνιο και την Παλαιόπετρα (Υπάτη). Από το σεισμό αυτό γκρεμίστηκε και η Μονή Αγάθωνος κοντά στην Υπάτη. Ρωγμές έξι ιντσών πλάτους παρατηρήθηκαν στην πεδιάδα.

Σύμφωνα με ενθύμηση που γράφτηκε στη Μονή Ταξιαρχών της Ζαγοράς, ο σεισμός ήταν μεγάλος και με βοή και στις περιοχές της Εύβοιας και της Λαμίας έριξε πολλά σπίτια και εκκλησίες και κατεδάφισε χωριά. Σύμφωνα με άλλη ενθύμηση της Ιεράς Μονής προς τιμήν του Βαρλαάμ των Μετεώρων στη Θεσσαλία, ο σεισμός αυτός έγινε έντονα αισθητός στη Ζαγορά. Ο σεισμός ήταν έντονα αισθητός και στην πόλη των Ιωαννίνων.

1.2.4 Φθιώτιδα, 1894

Ο σεισμός 27, 19:21, 38.56ο N, 23.24ο E, $h = n$, $M = 7.0$, στη Φθιώτιδα (X, Άγιος Κωνσταντίνος) σημειώθηκε στις 27 Απριλίου αφού προηγήθηκε καταστρεπτικός προσεισμός στις 20 Απριλίου ($h = 16h\ 52m$, 38.4ο N, 23.3ο E, $h = n$, $M = 6.6$, Io= X Μαλεσίνα, Μαρτίνο). Εξαιτίας του λόγου αυτού, παραδίνονται κοινά στοιχεία και για τους δύο αυτούς μεγάλους σεισμούς.

Οι σεισμοί αυτοί άδειασαν όλες τις ανατολικές κοινότητες της Λοκρίδας. Η περιοχή της μέγιστης έντασης συμπεριλαμβάνει τη χερσόνησο της Λάρυμνας και τη γειτονική Αταλάντη.

Τις εντονότερες βλάβες από τον πρώτο σεισμό υπέστησαν τα χωριά Πρόσκυνα, Μαλεσίνα και Μαρτίνο, όπου οι κάτοικοι στη λήξη του σεισμικού κραδασμού αισθάνθηκαν το έδαφος να βουλιάζει κάτω από τα πόδια τους. Από τον επόμενο, δεύτερο σε σειρά σεισμό καταστράφηκε ο Άγιος Κωνσταντίνος.

Στη Μαλεσίνα καταστράφηκε και το Μοναστήρι του Αγίου Γεωργίου, του οποίου η εκκλησία κτίστηκε το 1512. Στη Λάριμνα (στη θέση Μπουκουρίρα) υπήρχε ένας θαυμαστός ναός του Αγίου Νικολάου, ο οποίος ανήκε στα βυζαντινά μνημεία (11ου – 12ου αιώνα) καταστράφηκε από το σεισμό. Το συνολικό άθροισμα των δύο σεισμών

είναι 255 χαμένες ζωές και η καταστροφή 3783 εστιών σε 69 οικισμούς. Παρατηρήθηκε, ακόμη, επιφανειακό ίχνος κανονικού ρήγματος συνολικής έκτασης 55 χιλιομέτρων και φοράς BBD-NNA (από το Σκορπονέρι μέχρι το Μώλο της Λαμίας) με βύθιση του βόρειο-ανατολικού τμήματος και μια παρατηρούμενη μικρή αριστερόστροφη συνιστώσα. Ολόκληρη η χώρα των Οπούντων Λοκρών υπέστη καθίζηση ενός μέτρου ως ενάμιση. Παρατηρήθηκαν πολλές κατολισθήσεις και μεταβολές στα νερά των πηγαδιών.

Παρατηρήθηκε επίσης, θαλάσσιο κύμα στην περιοχή Αλμυρά, κοντά στο χωριό Κυπαρίσσι, ύψους τριών μέτρων, που προχώρησε πιο μέσα για ένα χιλιόμετρο και κατέκλυσε τον εθνικό δρυμό. Η περιοχή των καταστροφών περιλαμβάνει την Αταλάντη, Σκεντέρ – Αγά, Αρκίτσα και τις Λειβανάτες. Η περιοχή της μερικής καταστροφής περιλαμβάνει τις επαρχίες Λιβαδειάς, Θήβας, Χαλκίδας και Ξηροχωρίου, ενώ ο τόπος των ελαφρότερων βλαβών χαράζει μια έλλειψη από τον Πειραιά μέχρι την Στυλίδα και από την Άμφισσα μέχρι την Αγία Άννα της Εύβοιας. Στη Χαλκίδα οι σεισμοί προκάλεσαν σημαντικά προβλήματα.

Ο δυνατότερος προσεισμός ήταν ισχυρότερος του κυρίου σεισμού και σκοτώθηκαν από αυτόν 2 άτομα και τραυματίστηκαν 4. Προηγήθηκε αυτού τρομερός κρότος.

Ο κύριος σεισμός ήταν στην Χαλκίδα, κυματοειδής, πιο ασθενής του προσεισμού αλλά μεγαλύτερης διάρκειας. Στην Αθήνα ο σεισμός προκάλεσε πολύ μεγάλο τρόμο και μερικές οικίες και άλλα κτίρια έπαθαν ρωγμές όπως ο χώρος του Πανεπιστημίου που βρισκόταν εκεί.

Αξίζει να σημειωθεί για τον εν λόγω σεισμό, πως έγινε αισθητός ως και από τη Θεσσαλονίκη έως τη Μυτιλήνη και τη νήσο της Κρήτης.

Δεν προηγήθηκαν σεισμοί του πρώτου σεισμού της 20 Απριλίου. Ωστόσο, ένας αγρότης που εργάζονταν στο κτήμα του στον κόλπο του Σκορπονερίου (περιοχή Θεολόγου), άκουγε ολόκληρη τη μέρα, πριν από το σεισμό, ανεξήγητους θορύβους, σαν κανονιοβολισμούς, να πηγάζουν μέσα από τον κόλπο. Ισόσειστες του κυρίου σεισμού

και του μεγαλύτερου προσεισμού παρατίθενται στον Άτλαντα του Εργαστηρίου Γεωφυσικής του ΑΠΘ.

1.2.5 Χαιρώνεια, 551μ.Χ.

Αναλογιζόμενοι των δεδομένων που παραδίδονται από τον Προκόπιο, η περιοχή , η οποία εκτείνεται γύρω από τον Κρυσαίο κόλπο, σύμφωνα και με τις μαρτυρίες δονήθηκε πολύ έντονα από το σεισμό (551, 38.4ο N, 22.7ο E, h = n, M = 6.8, X).

Η Χαιρώνεια και η Κορώνεια καθώς επίσης και πολλά χωριά ισοπεδώθηκαν. Μέσα από τα πορίσματα, στα οποία κατέφθασε η ομάδα με τον Παπαϊωάννου και του συνεργάτες του, στην περιοχή αυτή βρίσκεται και η τοποθεσία Σχίσμα, όπου σκοτώθηκαν πολλοί άνθρωποι.

Αναφέρεται από έτερα πηγή επίσης, ότι η Κόρινθος ήταν μια από τις οκτώ πόλεις που καταστράφηκαν από αυτό το σεισμό. Ο Τιγκαράκης αναφέρει ότι από το σεισμό αυτό κατέρρευσε ένας παμμεγέθης επιβλητικός ναός (90 x 120m) στο Λέχαιον της περιοχής της Κορίνθου, ο οποίος ήταν αφιερωμένος στον Άγιο Λεωνίδα και στις εφτά παρθένες.

1.3 ΣΕΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΣΚΑΡΦΕΙΑΣ

Το έτος 426 π.Χ., κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, 38.85οN, 22.78οE, h = n, M = 7.0, στην Σκάρφεια (X) πραγματοποιήθηκε ένας από τους καταστρεπτικότερους και πιο διαδεδομένους σεισμούς που συνέβησαν στην Αρχαία Ελλάδα.

Ο σεισμός στην Σκάρφεια, συνοδεύτηκε από μεγάλο θαλάσσιο κύμα καθώς και από σημαντικές εδαφικές αλλαγές και προκάλεσε καταρρεύσεις οικοδομών και πλήθος από θανάτους. Οι αφηγήσεις και περιγραφές των συνεπειών του σεισμού από αρχαίους συγγραφείς είναι αρκετά λεπτομερείς ώστε επιτεύχθηκε να γίνει χάραξη από ισόσειστες

του σεισμού. Για το σεισμό αυτόν έχουν πληροφορίες αρκετοί αρχαίοι συγγραφείς όπως ο ιστορικός Θουκυδίδης, ο Καλατιανός (όπως αναφέρεται από το Στράβωνα) και ο Διόδωρος.

Πιο συγκεκριμένα, ο Θουκυδίδης αναφέρει ότι κατά το καλοκαιρινό διάστημα του 426 π.Χ. οι στρατιώτες της Πελοποννήσου και οι σύμμαχοι τους, υπό την καθοδήγηση του Άγη του Αρχίδαμου, βασιλέα των Λακεδαιμονίων, έφθασαν μέχρι τον Ισθμό της Κορίνθου για να εισβάλουν στην Αττική αλλά συνέβη πλήθος σεισμών που τους ανάγκασαν να επιστρέψουν και κατά αυτόν τον τρόπο δεν έγινε τελικά η εισβολή αυτή.

Κατά το χρόνο των σεισμών αυτών, ήταν που η θάλασσα στις Οροβίες (Ροβιές) του νομού της Εύβοιας αποσύρθηκε από τις ακτές εκείνης της εποχής και ύστερα επανήλθε ως τεράστιο κύμα επί της πόλης και κατέλαβε και μέρος της. Μέρος τούτων των υδάτων καταδύθηκε και επιπλέον ένα άλλο μέρος εξακολούθησε να κατακλύζει τη ξηρά ούτος ώστε τα μέρη αυτά που ανήκαν στη στεριά να είναι τώρα θάλασσα. Αφαίρεσε τη ζωή από τους ανθρώπους, οι οποίοι δεν πρόλαβαν να απομακρυνθούν σε υψηλότερα μέρη.

Παρόμοια μεγάλα κύματα παρατηρήθηκαν και στη νήσο με όνομα Αταλάντη, η οποία βρίσκεται εκτός των ακτών της γης των Οπουντίων Λοκρών, όπου τμήμα του φρουρίου των Αθηναίων κατέρρευσε και κατέστρεψε το ένα από τα δύο πλοία που ήταν σε κοντινή απόσταση στην παραλία.

Συνέβη, επιπλέον, απόσυρση της θάλασσας στην Πεπάρηθο (Σκόπελο) αλλά όχι πλημμύρα και ο σεισμός εξαφάνισε κομμάτι του τείχους, το Πρυτανείο (δημόσιο κτίριο συνεδρίασης των αρχόντων) και ορισμένες οικίες.

Σύμφωνα με τον Στράβωνα, ο Δημήτριος ο Καλατιανός, που έγραψε βιβλίο για τους σεισμούς της Ελλάδας (το οποίο χάθηκε και μόνο τμήμα του σώθηκε στα έργα του Στράβωνα), αναφέρει ότι ένα μεγάλο κομμάτι των νησιών Λιχάδων και του Κηναίου καταδύθηκαν και οι περίφημες θερμές πηγές της Αιδηψού και των Θερμοπυλών

στέρεψαν για τρεις ημέρες και επανήλθαν και της Αιδηψού άρχισαν να αναβλύζουν και από άλλες θέσεις.

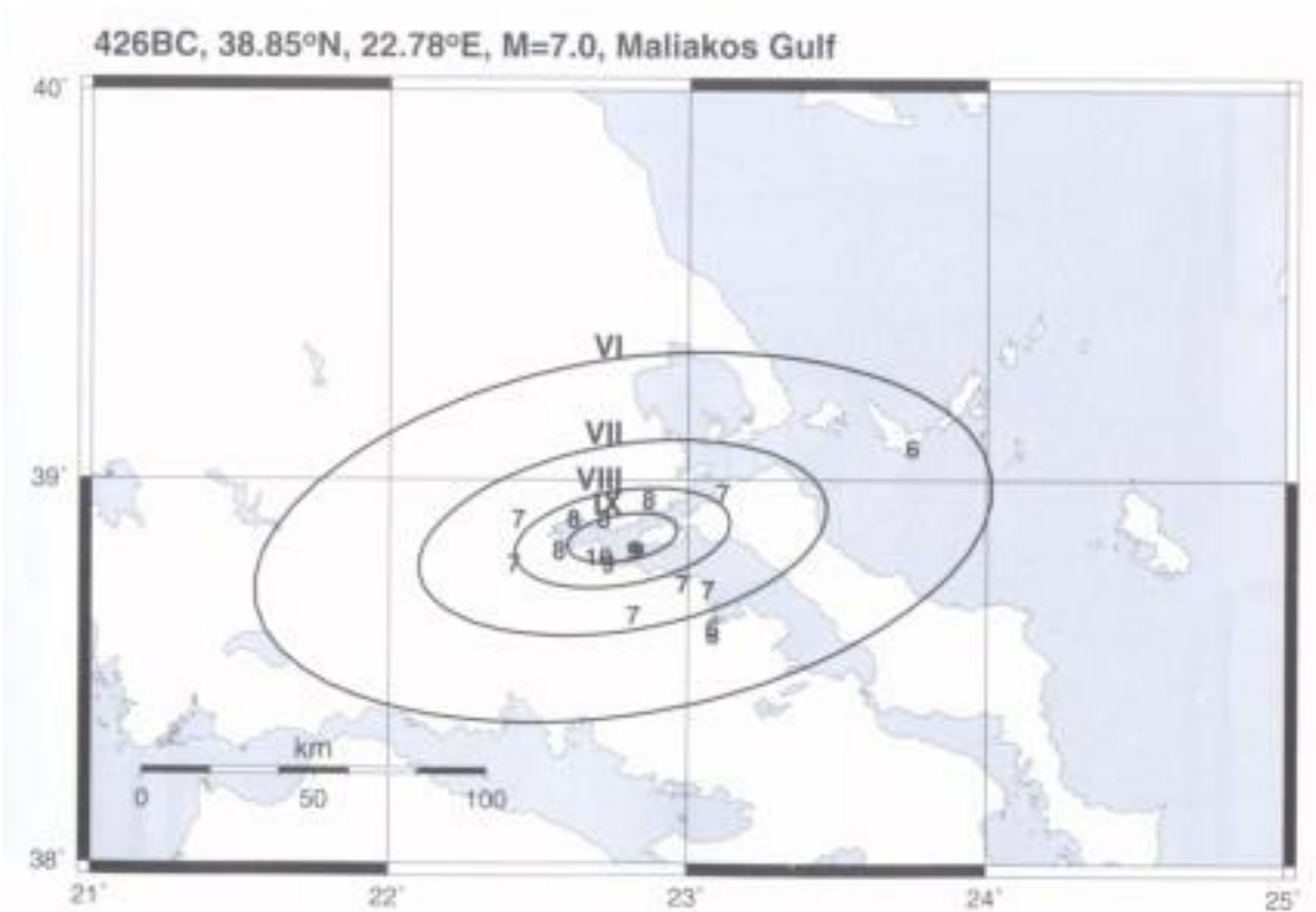
Στους Ωρεούς το προς τη θάλασσα τείχος και περί τα 700 οικήματα καταστράφηκαν. Ένα μεγάλο μέρος του Εχίνου, των Φαλάρων και της Ηράκλειας της Τραχιναίας έπεσε αλλά τα κτίσματα στα Φάλαρα καταστράφηκαν μέχρι τα θεμέλια. Παρόμοια συνέβησαν στην περιοχή της Λαμίας και της Λάρισας (η οποία βρισκόταν κοντά και βορειοανατολικά του Εχίνου). Η Σκάρφεια καταστράφηκε εκ των θεμελίων της και υπήρξαν εκεί κάτω από τα ερείπια όχι λιγότεροι από 1700 νεκροί άνθρωποι και στο Θρόνιο θανατώθηκαν πάνω από τους μισούς αυτών που θανατώθηκαν στη Σκάρφεια.

Εντωμεταξύ, έκανε την εμφάνιση του ένα τριπλό κύμα, του οποίου το ένα μέρος οδηγήθηκε προς την Τάρφη και το Θρόνιο (προς νότο), το άλλο προς τις Θερμοπύλες (προς δυσμάς) και το τελευταίο προς το Δαφνούντα της Φωκίδας (προς νοτιοανατολικά). Πηγές ποταμών στέρεψαν για μερικές ημέρες, ο ποταμός Σπερχειός άλλαξε κοίτη και έκανε πλωτές τις οδούς ενώ ο Βοάγριος άλλαξε φαράγγι ροής. Πολλά μέρη της Αλόπης, του Κύνου και του Οπούντα υπέστησαν σοβαρές πληγές ενώ το Οίον, δηλαδή το κάστρο που υπέρκειται του Οπούντα, καταστράφηκε εντελώς. Μέρος των τειχών της Ελάτειας κατέρρευσαν.

Στην Άλπωνα (περιοχή κοντά στις Θερμοπύλες), όπου πραγματοποιούνταν η γιορτή των Θεσμοφορίων (γιορτή προς τιμή της Θεσμοφόρου Θεάς Δήμητρας που γινόταν στο τέλος κάθε Οκτωβρίου), 25 νεαρά κορίτσια, τα οποία ανηφόρισαν σε πύργο με απώτερο σκοπό να βλέπουν καλύτερα, κατέπεσαν στη θάλασσα μαζί με τον ίδιο τον πύργο.

Αναφέρεται, ότι το μέσα μέρος της περιοχής της Αταλάντης χωρίστηκε στα δύο σε τέτοιο βαθμό ώστε είχαν την ικανότητα να διασχίσουν την απόσταση τα πλοία και κάποιες από τις πεδιάδες πλημμύρισαν μέχρι και 20 στάδια (περίπου 4km) μέσα στην ξηρά. Ακόμη, περιγράφεται μια τριήρης εκσφενδονίστηκε κυριολεκτικά επάνω στο τείχος.

Ο Διόδωρος αναφέρει επίσης για την επιστροφή των Πελοποννησίων από τον Ισθμό εξαιτίας του σεισμού και προσθέτει πως οι σεισμοί ήταν ισχυροί σε πολλά από τα μέρη της Ελλάδας και το θαλάσσιο κύμα που προκλήθηκε σάρωσε πολλές παραθαλάσσιες αστικές κοινότητες. Στη Λοκρίδα μια λωρίδα γης που σχημάτιζε μία χερσόνησο κόπηκε και δημιουργήθηκε έτσι το νησί Αταλάντη. Επειδή η γιορτή των Θεσμοφορίων λάμβανε χώρα περί το τέλος Οκτώβρη και όχι το καλοκαίρι που έγινε ο μεγάλος σεισμός, η καταστροφή στην Άλπωνα πιθανότατα να οφείλεται σε ισχυρό μετασεισμό με άλλο επίκεντρο.



Εικόνα 1.3 Ισόσειστες καμπύλες και μακροσεισμικές εντάσεις του σεισμού της Σκαρφειας 426 π.Χ. (from: “Atlas of isoseismal maps for strong shallow earthquakes in Greece and surrounding area (426BC - 1995)”, Papazachos B.C., Papaioannou Ch. A., Papazachos C.B., Savvaidis A.S.)

1.4 ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΚΑΙ ΤΕΚΤΟΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΓΥΡΩ ΑΠΟ ΤΟ ΜΑΛΙΑΚΟ ΚΟΛΠΟ

1.4.1 Γεωλογία

Η περιοχή μελέτης που ανήκει γεωγραφικά στην Ανατολική Στερεά Ελλάδα, στο νομό Φθιώτιδας, αποτελείται από αλπικούς σχηματισμούς που συνθέτουν το γεωλογικό υπόβαθρο.

Πιο συγκεκριμένα, δομείται από εκρηξιγενή και ιζηματογενή πετρώματα, τα οποία διακρίνονται σε τρεις μεγάλες κύριες λιθολογικές ενότητες που είναι οι σχηματισμοί της Πελαγονικής και Υποπελαγονικής ζώνης. Η Υποπελαγονική ζώνη οριοθετείται από τους ορεινούς όγκους του Καλλιδρόμμου και της Όθρυος.

Ανατρέχοντας γύρω από το Μαλιακό κόλπο, στην ουσία συμπεριλαμβάνοντας τη λεκάνη του Σπερχιού ποταμού, ο οποίος χύνεται στο χώρο του Μαλιακού κόλπου εκτυλίσσεται η διαδικασία της αποκωδικοποίησης της γεωλογίας και της τεκτονικής της περιοχής.

Πελαγονική ζώνη

Η Πελαγονική ζώνη γενικά συγκροτείται από το κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο, τους γνευσιωμένους γρανίτες, τα ημιμεταμορφωμένα Περμο-Τριαδικά πετρώματα, τα δύο ανθρακικά καλύμματα Τριαδικού – Ιουρασικού, τους οφειόλιθους και τα Ανωκρητιδικά επικλυσιογενή ιζήματα.

Στη περιοχή μελέτης γύρω από το Μαλιακό κόλπο, συναντώνται ανθρακικά ιζήματα που αντιπροσωπεύουν την κύρια Αλπική ιζηματογένεση της Πελαγονικής ζώνης, η οποία είναι νηρητική, ανθρακική στη διάρκεια Τριαδικού-Ιουρασικού. Ως προς τους σχηματισμούς, παρατηρούνται ανακρυσταλλωμένοι ασβεστόλιθοι, μάρμαρα, σιπολίτες, δολομίτες αυτόχθονες ή επωθημένοι, παχυστρωματώδεις ως άστρωτοι και

καρστικοί με σπάνιες ενστρώσεις σχιστοψαμμιτών εμφανίζονται με συνολικό πάχος πάνω από τα 1000 m.

Υποπελαγονική ζώνη

Το πιο εκφραστικό χαρακτηριστικό της ζώνης αυτής είναι η ύπαρξη των οφιολιθικών μαζών καθώς και η σχιστοκερατολιθική διάπλαση που υπόκειται αυτών.

Η σχιστοκερατολιθική σχηματική εικόνα αποτελείται γενικά από λεπτόκοκκα ιζήματα δηλαδή, από μια μεγάλου πάχους κλαστική ομάδα αργιλικών σχιστολίθων, οι οποίοι εναλλάσσονται με μάργες, ψαμμίτες, ραδιολαρίτες και πελαγικούς ασβεστόλιθους.

Η στρωματογραφική σειρά της διάπλασης, συνεχίζεται με το οφιολιθικό κάλυμμα, το οποίο υπέρκειται της σχιστοκερατολιθικής σχηματικής γραμμής και στη βάση των οφιολιθικών μαζών παρατηρείται σχηματισμός τεκτονικών οφιολιθικών μιγμάτων. Οι μάζες αυτές αποτελούνται από βασικά και υπερβασικά πετρώματα πλουτωνικά και ηφαιστειακά όπως σερμπεντινίτες, χαρτσβουργίτες, δουνίτες, γάββροι, διαβάσες, λερζόλιθοι, νορίτες, δολερίτες, βασάλτες, μορφές pillowlavas.

Συγκεκριμένα στη περιοχή μελέτης εμφανίζονται βασικά και υπερβασικά εκρηξιγενή πετρώματα, κυρίως περιδοτίτες , σερμπεντίνες και κατά θέσεις γάββροι και νορίτες.

Νεογενή ιζήματα

Τα Νεογενή ιζήματα αποθέτονται σε λεκάνες τεκτονικές ή μη, οι οποίες σχηματίστηκαν μετά την ορογένεση. Τα ιζήματα αυτά μπορεί να είναι θαλάσσια, λιμναία ή ποταμοχειμάρια και είναι κροκαλλοπαγή, ψαμμίτες, άμμοι, μάργες, ιλυόλιθοι και ασβεστόλιθοι.

Όσων αφορά το Νεογενή χαρακτηρισμό της περιοχής, ορίζεται από τα εξής σημεία :

Α) Τα Μολασσικά ιζήματα, όπου πρόκειται για τις παρατηρήσεις κροκαλοπαγών, δημιουργήθηκαν από τη συνεχή πορεία της διάβρωσης των σχηματισμών της Μεσοελληνικής αύλακας, ιδιαίτερα των ασβεστόλιθων και των ψαμμιτών. Αυτά, αποτέθηκαν κατά το Ολιγομειόκαινο.

Β) Για το αδιαίρετο Νεογενές, οι σχηματισμοί που εμφανίζονται είναι ηλικίας ανώτερου Μειόκαινου-Πλειόκαινου αποτελούνται από συνεκτική μάργα, αργίλους, κροκαλοπαγή, χάλικες και μαργαϊκούς ασβεστόλιθους.

Γ) Οι λιμναίες αποθέσεις επιδεικνύουν σχηματισμό που είναι πλειοκαινικής ηλικίας και αποτελείται από μάργες, αργίλους, ψαμμίτες, κροκαλοπαγή με παρεμβολές λιγνιτών ασήμαντου πάχους.

Συγκεκριμένα, στη περιοχή μελέτης εμφανίζονται μάργες, μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι, αργιλούχες μάργες, άργιλοι, άμμοι, ψαμμίτες, κροκαλοπαγή νεογενούς και κατά θέσεις πλειστοκαινικής ηλικίας. Τα μηχανικά χαρακτηριστικά τους κυμαίνονται ανάλογα με τη λιθολογική φάση. Η συνεκτικότητα είναι μέτρια. Οι άργιλοι χαρακτηρίζονται συχνά από αξιόλογη συμπίεστικότητα, οι μάργες παρουσιάζουν καλύτερα μηχανικά χαρακτηριστικά και δεν απαντάται υδροφόρος ορίζοντας. Το πάχος κυμαίνεται στα μερικά δεκάδες μέτρα.

1.4.2 Τεκτονική

Η περιοχή του Μαλιακού κόλπου και γύρω από αυτόν που αποτελεί κομμάτι της λεκάνης του Σπερχειού ποταμού, εμφανίζει έντονο τεκτονισμό, που έχει παίζει πρωτεύοντα ρόλο τόσο στη δομή της λεκάνης, όσο και στις υδρογεωλογικές συνθήκες αυτής.

Πιο συγκεκριμένα, υφίσταται ένα ασύμμετρο τεκτονικό βύθισμα, το οποίο διαμορφώνεται από μια ρηξιγενή ζώνη.

Ορισμένα ρήγματα τέμνουν κάθετα τους άξονες των πτυχώσεων. Επίσης, το ίδιο συμβαίνει και για τις επαφές των διαφόρων τεκτονικών ενοτήτων. Στην περιοχή έχουν

παρατηρηθεί επίσης διαρρήξεις, οι οποίες λαμβάνονται υπόψιν ως υπεύθυνες για τις στρωματογραφικές ανακατατάξεις των αποθέσεων, στο κέντρο της λεκάνης.

Βασικό σύστημα ρηγμάτων νότια της λεκάνης, το οποίο σχημάτισε την ακανόνιστη τοπογραφία της περιοχής, υποδιαιρείται στο δυτικό επιμέρους τμήμα που είναι η ρηξιγενής ζώνη Σπερχειού- Υπάτης και στο ανατολικό τμήμα που είναι η ρηξιγενής ζώνη Καμένα Βούρλα – Αρκίτσα, η οποία συνορεύει με το νότιο τμήμα του Μαλιακού κόλπου και μας ενδιαφέρει αφού αποτελεί και την περιοχή έρευνας.

Οι τεκτονικές παραμορφώσεις άρχισαν στο τέλος του Πλειοκαίνου, ενώ συνεχίστηκαν έως το Πλειστόκαινο και συνεχίζουν έως και σήμερα, με την δράση σεισμών και νεοτεκτονικών κινήσεων. Λόγω των κινήσεων αυτών οι Πλειοκαινικές αποθέσεις, οι οποίες βρίσκονται νότια του Μαλιακού κόλπου έχουν ανεβεί περισσότερο από 500 μ.

Κατά την αλπική πτύχωση σχηματίστηκαν πτυχές, λεπιώσεις, επωθήσεις και ρήγματα, η δράση των οποίων είναι ενεργή ως και στη σημερινή εποχή. Κατά το Τεταρτογενές, η τεκτονική δραστηριότητα ήταν αιτία πρόκλησης της ανόδου και της βύθισης περιοχών, με απόρροια τη δημιουργία πλευρικής επαφής αδιαπέρατων με διαπερατούς σχηματισμούς.

Η τεκτοορογενετική εξέλιξη της Πελαγονικής ζώνης αναλύεται σε τρεις τεκτονικές φάσεις.

Η πρώτη περιλαμβάνει την παραμόρφωση του κρυσταλλοσχιστώδους υποβάθρου πριν το Άνω Λιθανθρακοφόρο με αποτέλεσμα τον σχηματισμό πτυχών.

Στη δεύτερη τεκτονική φάση, κατά το Άνω Ιουρασικό – Κάτω Κρητιδικό επωθήθηκαν οι οφιόλιθοι της ζώνης Αξιού στο ανθρακικό κάλυμμα της Πελαγονικής με αποτέλεσμα τον σχηματισμό πτύχωσης. Ταυτόχρονα έγινε επώθηση του ανθρακικού καλύμματος πάνω στο υπόβαθρο της ζώνης.

Κατά την τρίτη ορογενετική περίοδο, το Τριτογενές, αναδύθηκε οριστικά η Πελαγονική ζώνη με τη ταυτόχρονη παρουσία δύο ομάδων πτυχώσεων, η οποία προκλήθηκε από την ηπειρωτική σύγκρουση της Απουλίας πλάκας με την Πελαγονική, που αποτελεί Κιμμερικό τέμαχος, και την Ευρασία. Επίσης με τη συμπίεστική τεκτονική

φάση πραγματοποιήθηκε λεπίωση των σχηματισμών. Τελικά, ακολούθησε εφελκυστική τεκτονική που προκάλεσε κατάρρευση του ορογενούς.

Όσο αφορά την τεκτοορογενετική εξέλιξη της Υποπελαγονικής ζώνης, αυτή ανήκει στις εσωτερικές Ελληνίδες και υπέστη δύο τεκτονικών φάσεων που είχαν ως αποτέλεσμα δύο σειρές πτυχώσεων.

Η πρώτη σειρά τοποθετείται στο πιο υψηλό Ιουρασικό έως το κατώτερο Κρητιδικό, στη διάρκεια της οποίας ολοκληρώθηκε η σχιστοκερατολιθική διάπλαση αλλά και συνέβη η απόθεση του οφιολιθικού καλύμματος. Μετά την απόθεση των οφιολίθων, οι εσωτερικές ζώνες καταβυθίστηκαν και ξεκίνησε η ανωκρητιδική επίκλυση, η επίδραση της οποίας είχε αντίκτυπο την απόθεση νηριτικών ασβεστολίθων, του Κενομάνιου. Οι ασβεστόλιθοι αυτοί σταδιακά εξελίσσονται σε πελαγικούς και στη συνέχεια κατά το άνω Κρητιδικό, σε φλύσχη.

Η δεύτερη σειρά έλαβε χώρα στο άνω Ηώκαινο-Ολιγόκαινο και είχε ως αποτέλεσμα να επαναπτυχωθούν οι εσωτερικές περιοχές και εν συνεχεία να επωθηθούν επί των εξωτερικών.

Με βάση τα παραπάνω προκύπτει το συμπέρασμα ότι η τεκτονική δραστηριότητα της ευρύτερης περιοχής υπήρξε αρκετά έντονη. Προϊόν αυτού, είναι η ακανόνιστη τοπογραφία της περιοχής, δηλαδή οι απότομες πλαγιές, οι ποτάμιες αναβαθμίδες, η μετατόπιση της κοίτης από το ποτάμι του Σπερχείου ,που χύνεται στο Μαλιακό κόλπο, καθώς και η απόθεση αλλουβιακών ριπιδίων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

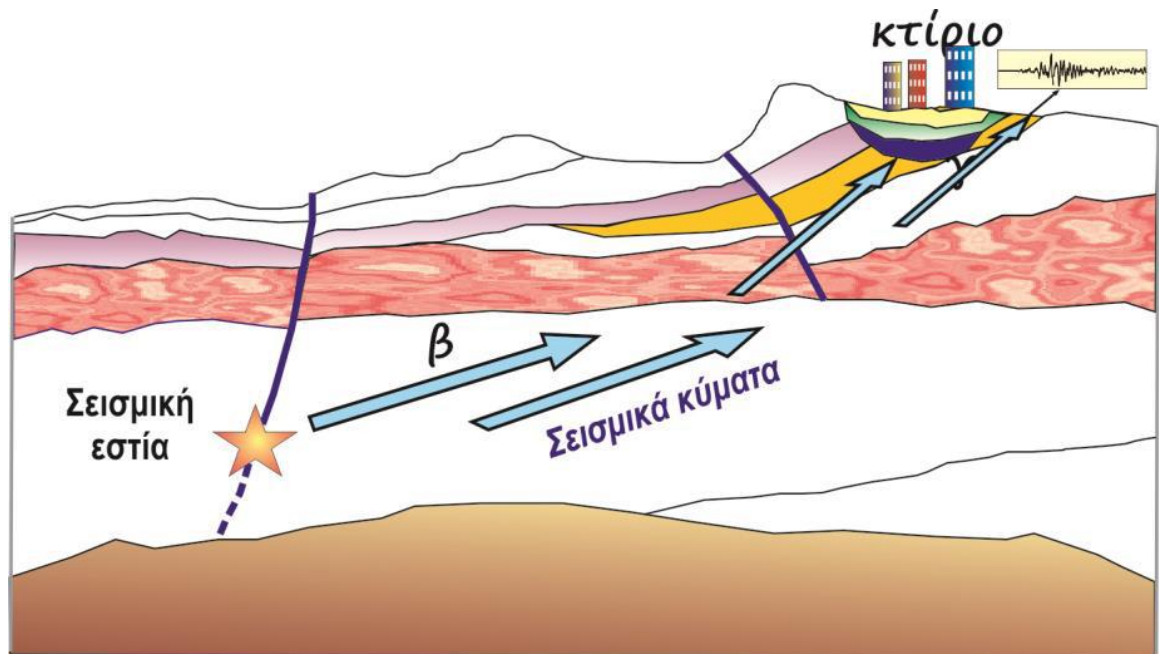
2.1 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Η μεθοδολογία στοχαστικής προσομοίωσης (Stochastic simulation methodology) της ισχυρής εδαφικής κίνησης είναι από τις πιο σημαντικές στο κλάδο της Σεισμολογίας

για την προσομοίωση σεισμικών κινήσεων αφού αποτελεί ένα πολύ σημαντικό εργαλείο για την εκτίμηση τους από τη γένεση ισχυρών σεισμών.

Αρχικά, προτάθηκε το μοντέλο της σημειακής πηγής SMSIM (Boore 1983), που χρησιμοποιήθηκε επιτυχώς σε σημαντικό αριθμό ερευνητικών εργασιών και όχι μόνο για την προσομοίωση της ισχυρής εδαφικής κίνησης.

Όμως, η κατευθυντικότητα της διάρρηξης, η ταχύτητα της και οι διαστάσεις του ρήγματος επηρεάζουν σε ένα βαθμό τις σεισμικές καταγραφές. Για τον λόγο αυτό, προτάθηκε μία νέα τεχνική από τους Beresnev and Atkinson (1997), η μέθοδος πεπερασμένου ρήγματος, FINSIM. Σε αυτή τη περίπτωση, η σημειακή πηγή αντικαθίσταται από ένα ρήγμα με πεπερασμένες διαστάσεις, το οποίο διαχωρίζεται σε υπορήγματα, δηλαδή σε υποπηγές. Κάθε μία υποπηγή μπορεί να θεωρηθεί ως μία νέα σημειακή πηγή του ρήγματος για την οποία υιοθετείται ένα φάσμα τύπου ω^2 . Γίνεται στην ουσία η στοχαστική προσομοίωση για την κάθε υποπηγή του ρήγματος και τα αποτελέσματα της συναθροίζονται στον σταθμό παρατήρησης.



Εικόνα 2.1 Σχηματική απεικόνιση των τριών παραγόντων που διαμορφώνουν μια καταγραφή ισχυρής σεισμικής κίνησης. (Motazedian and Aktinson, 2005, as modified by Boore, 2009)

Στο μοντέλο της στοχαστικής προσομοίωσης ρήγματος με πεπερασμένες διαστάσεις, η διάρρηξη αρχίζει από την σεισμική εστία και διαδίδεται μέχρι να ενεργοποιηθούν όλες οι υποπεριοχές του ρήγματος. Η σεισμική κίνηση στον σταθμό παρατήρησης, μπορεί να θεωρηθεί ως το άθροισμα που προκύπτει από τη συνεισφορά της κίνησης της κάθε υποπηγής. Η στοχαστική προσομοίωση για ρήγματα με πεπερασμένες διαστάσεις έχει χρησιμοποιηθεί σε πληθώρα εργασιών για την εκτίμηση σεισμικών κινήσεων σε διάφορα τεκτονικά περιβάλλοντα τόσο διεθνώς όσο και στον ελληνικό χώρο.

Οι στοχαστικές προσομοιώσεις υλοποιούνται με τη χρήση του κώδικα EXSIM από τους περισσότερους μελετητές. Ο κώδικας προτάθηκε από τους Motazedian and Atkinson (2005) και αργότερα τροποποιήθηκε από τον Boore (2009).

2.2 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ

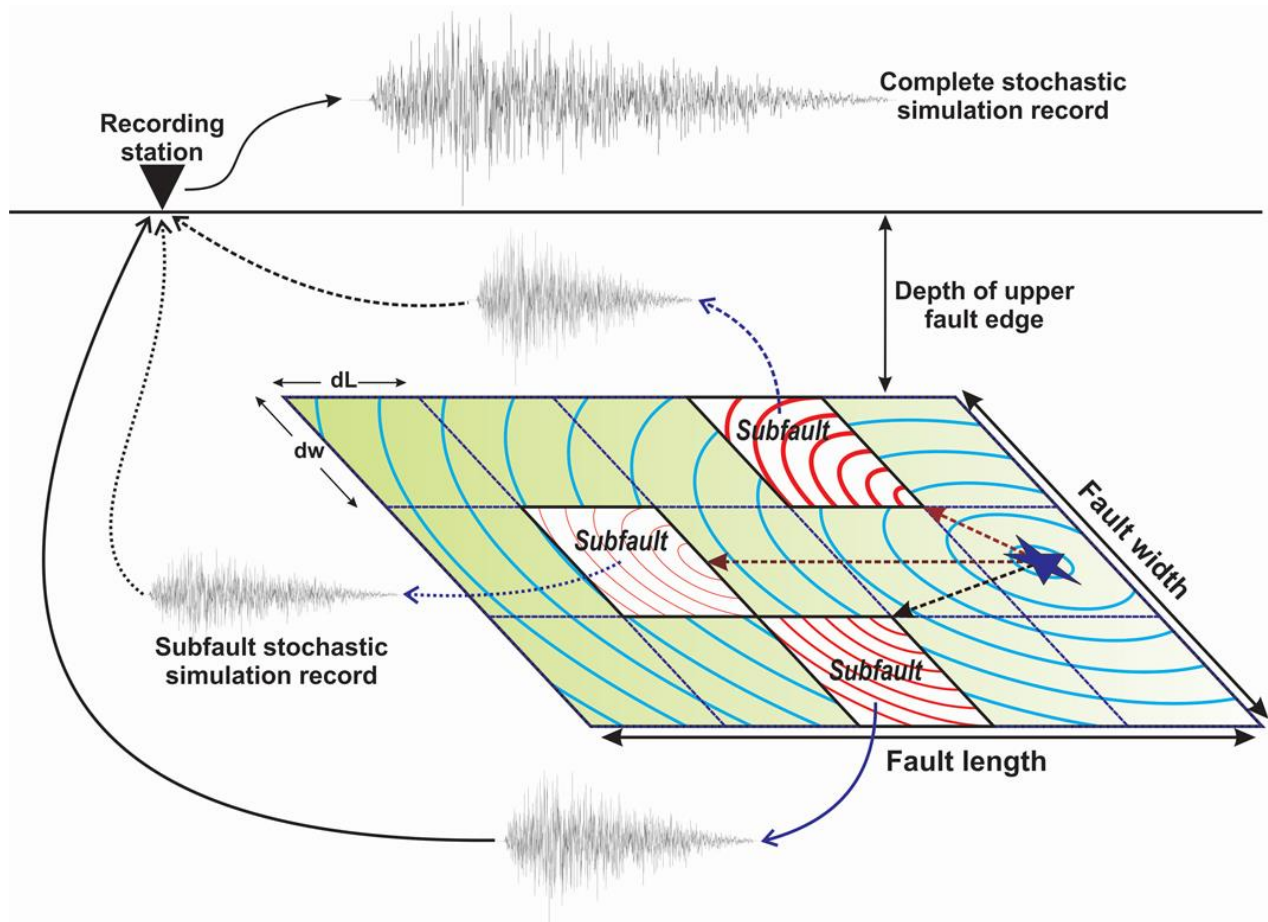
Πιο συγκεκριμένα, η μεθοδολογία EXSIM, όπως φαίνεται στην εικόνα 2.2, αποτελείται από κάποια βήματα. Ο σεισμολόγος συλλέγει τα απαραίτητα μακροσεισμικά δεδομένα από τις παρατηρούμενες εντάσεις στους οικισμούς της περιοχής όπου συνέβη το σεισμικό γεγονός και προκλήθηκαν βλάβες. Αυτές οι εντάσεις αποτελούν στην ουσία τις θέσεις – στόχους των προσομοιώσεων. Έπειτα, χαρακτηρίζονται οι οικισμοί με τη χρήση της γεωλογίας, δηλαδή με τους διάφορους γεωλογικούς σχηματισμούς.

Εν συνεχεία, καθορίζεται η θέση του ρήγματος από δημοσιευμένες εστιακές παραμέτρους (θέση υποκέντρου και ρήγματος, διεύθυνση και κλίση ρήγματος, τύπος διάρρηξης) που προτάθηκαν από Papazachos et al. (2001).

Εκτιμώνται οι διαστάσεις του ρήγματος, μήκος (L) και πλάτος (w), μέσω του μεγέθους σεισμού από τις εξισώσεις 2.1 και 2.2, οι οποίες έχουν προταθεί για την εκτίμηση των διαστάσεων του ρήγματος από στιγμιαίο μέγεθος για ηπειρωτικά ρήγματα ολίσθησης.

Επίσης, εκτιμώνται οι διαστάσεις του κάθε υπορήγματος, μήκος (dL) και πλάτος (dw) από την εξίσωση 2.3 που προτάθηκε από τους Beresnev και Atkinson (1999).

$$\log L = 0.5M - 1.86 \quad (2.1)$$



$$\log w = 0.28M - 0.70 \quad (2.2)$$

$$\log dL = -2 + 0.4M \quad (2.3)$$

Εικόνα 2.2 Απεικόνιση στοχαστικής προσομοίωσης ισχυρής εδαφικής κίνησης με τη μεθοδολογία EXSIM. (Motazedian and Aktinson, 2005, as modified by Boore, 2009)

Υλοποιείται η προσομοίωση συνθετικών σειсмоγραμάτων χωρίς να ληφθεί υπόψη η επίδραση των τοπικών εδαφικών συνθηκών, δηλαδή όλοι οι σχηματισμοί θεωρούνται ως γεωλογικό υπόβαθρο, δηλαδή κατηγορία A/B.

Έπειτα, οι υπολογισμένες τιμές της μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης (PGA) και μέγιστης εδαφικής ταχύτητας (PGV) που προκύπτουν από την προσομοίωση, διορθώνονται για την επίδραση των τοπικών εδαφικών συνθηκών, με τη χρήση των συντελεστών ενίσχυσης που υπολογίστηκαν από τον Skarlatoudis et al. (2003). Για τον υπολογισμό θεωρήθηκε ότι το γεωλογικό υπόβαθρο, τα Μολλασικά / Νεογενή καθώς και τα Τεταρτογενή / Πλιο- Πλειστοκαινικά ιζήματα αντιστοιχούν στις κατηγορίες εδάφους A/B, C και D καθώς και αυτές προτάθηκαν από Skarlatoudis et al. (2003). Επιπλέον, πραγματοποιούνται επιπλέον προσομοιώσεις με τη χρήση γενικευμένων συναρτήσεων μεταφοράς των Klimis et al. (1999) για τον ελληνικό χώρο. Οι προσομοιώσεις υλοποιούνται αποκλειστικά για τις εδαφικές κλάσεις C και D.

Το τελευταίο στάδιο της στοχαστικής προσομοίωσης αφορά στον υπολογισμό των αναμενόμενων μακροσεισμικών εντάσεων από τα συνθετικά σειсмоγράμματα. Για το σκοπό αυτό υιοθετήθηκε μια τυποποιημένη προσέγγιση, όπου οι τιμές PGA και PGV από τις συνθετικές κυματομορφές μετατρέπονται σε μακροσεισμικές εντάσεις. Έτσι, προέκυψαν οι σχέσεις για τον ελληνικό χώρο μεταξύ PGA/PGV και IMM από τους Theodulidis και Papazachos (1992), Koliopoulos et al. (1998) και Tselentis και Danciu (2008). Τελικά υιοθετήθηκαν οι σχέσεις των Tselentis και Danciu (2008) που είναι οι εξισώσεις 2.4 και 2.5.

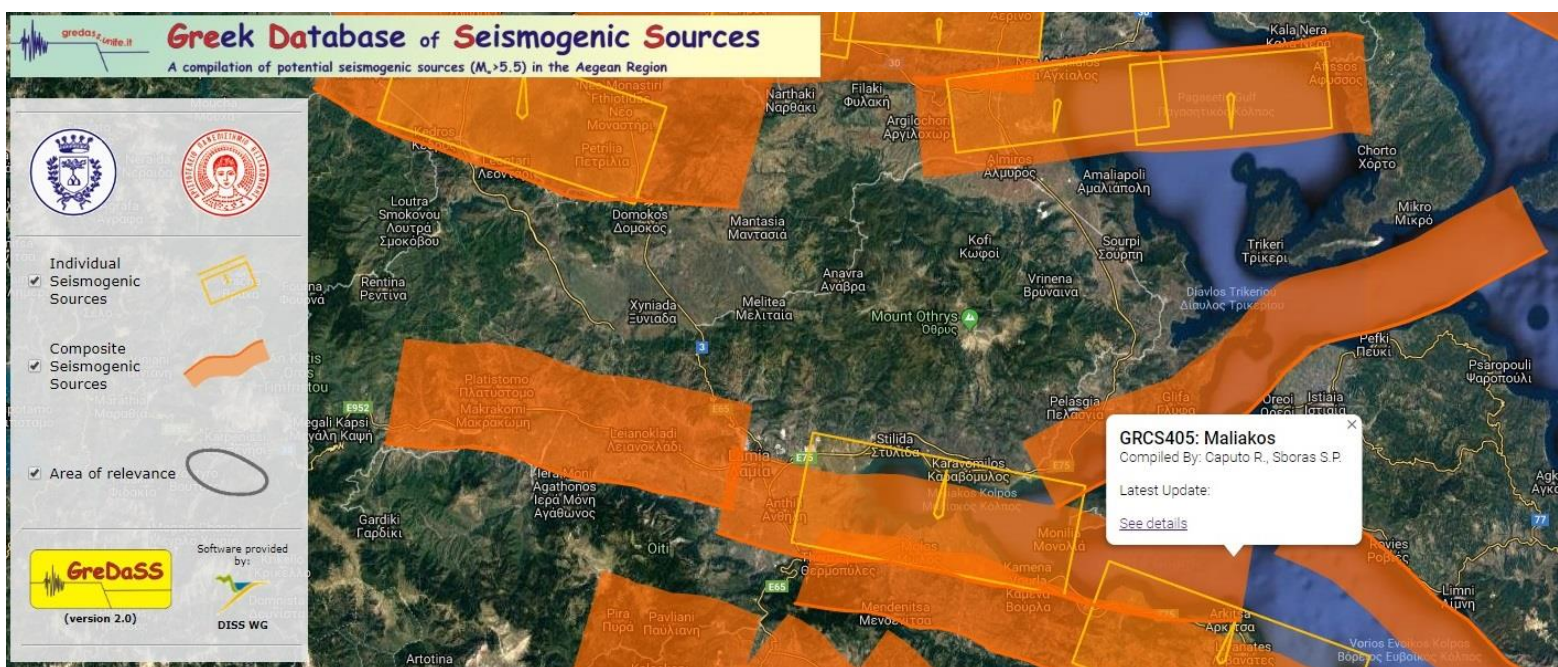
$$IMM = -0.946 + 3.563 \cdot \log PGA \quad (2.4)$$

$$IMM = 3.3 + 3.358 \cdot \log PGV \quad (2.5)$$

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

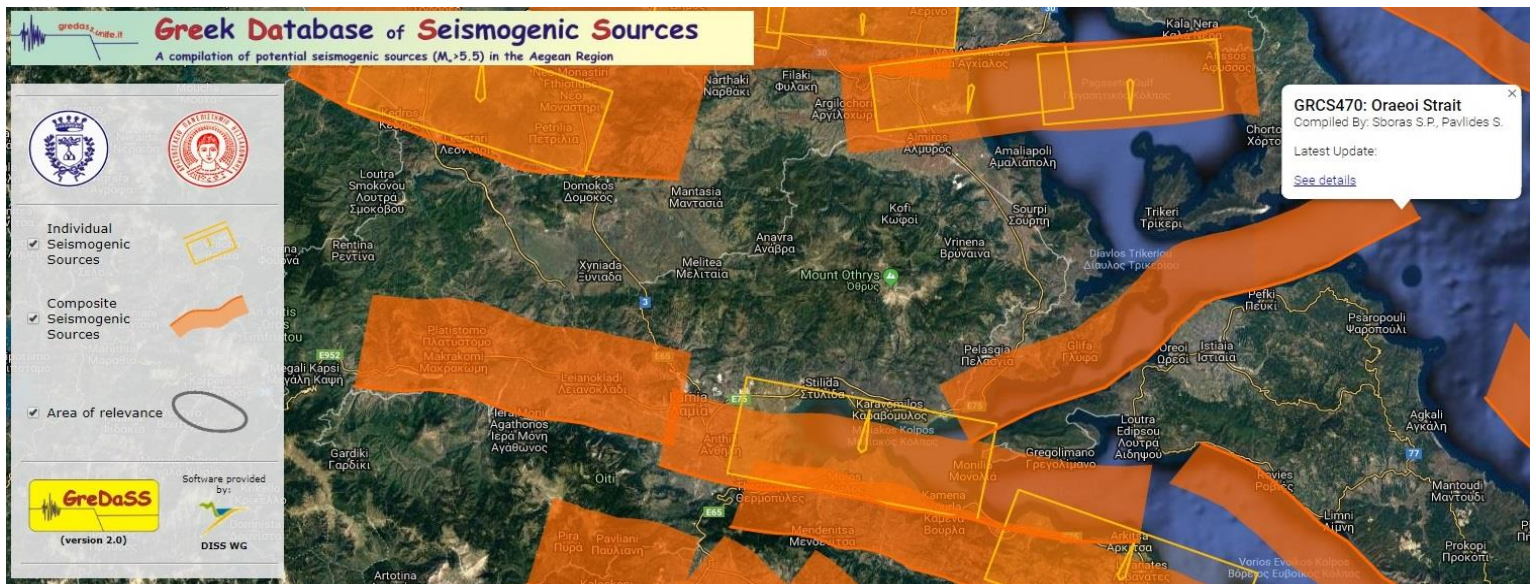
Όσο αφορά την επεξεργασία των δεδομένων, με σκοπό την προσομοίωση του σεισμού της Σκάρφειας, πρώτο βήμα αποτέλεσε η συλλογή των συντεταγμένων (φ, γεωγραφικό πλάτος και λ, γεωγραφικό μήκος) των περιοχών στις οποίες έγινε αισθητός ο σεισμός και παρουσιάστηκαν βλάβες. Οι συντεταγμένες αντλήθηκαν από ένα αρχείο που περιέχει πληροφορίες για ιστορικούς και παλαιότερους πιο πρόσφατους σεισμούς. Συγκεκριμένα, για τον σκοπό αυτό κατασκευάστηκαν δύο Άτλαντες ισόσειστων καμπυλών από το Εργαστήριο Γεωφυσικής του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης για τον Ελληνικό χώρο (Papazachos et al. 1982, 1997). Τα 23 σημεία του σεισμού συγκεντρώθηκαν με τα χαρακτηριστικά τοπωνύμια της κάθε περιοχής, τις συντεταγμένες τους και υπέστησαν μία μικρή διόρθωση χρησιμοποιώντας τους χάρτες στο διαδίκτυο ώστε να υπάρχει ακρίβεια.

Έπειτα, καθορίστηκε το πιθανό ρήγμα που έδωσε το σεισμό της Σκάρφειας, χρησιμοποιώντας τη βάση δεδομένων GreDaSS (Greek Database of Seismogenic Sources), η οποία στην ουσία απεικονίζει πάνω στο πρόγραμμα Google Earth τα ενεργά ρήγματα του Ελληνικού χώρου. Για το ρήγμα αυτό θα γίνει αργότερα και η στοχαστική προσομοίωση. Παρακάτω βλέπουμε τα δύο ρήγματα και τις παραμέτρους τους, που χρησιμοποιήθηκαν για τις στοχαστικές προσομοιώσεις της ισχυρής εδαφικής κίνησης, Εικόνα 3.1, 3.2, 3.3, 3.4.



Εικόνα 3.1 Το ένα ρήγμα, Maliakos που χρησιμοποιήθηκε για την στοχαστική προσομοίωση της ισχυρής εδαφικής κίνησης. Βάση δεδομένων GreDaSS

Εικόνα 3.2 Το ένα ρήγμα, Oraioi Strait που χρησιμοποιήθηκε για την στοχαστική προσομοίωση της ισχυρής εδαφικής κίνησης. Βάση δεδομένων GreDaSS



General information

Code	GRCS405
Name	Maliakos
Compiled By	Caputo R.(1), Sboras S.P.(1)
With contributions from	Pavlidis S.(2)
Created	
Latest Update	

Parametric information

	Parameter	Qual.	Evidence
Min Depth (km)	0	LD	based on geomorphic records (various authors)
Max Depth (km)	13	EJ	inferred from microseismic spatial distribution (Papoulia et al., 2006)
Strike (deg)	270 - 300	LD	based on various morphotectonic maps
Dip (deg)	45 - 70	EJ	based on Anderson's theory
Rake (deg)	260 - 280	LD	based on geomorphic markers & field on-fault measurements (various authors)
Slip Rate (mm/y)	0.7 - 1.2	LD	river terraces and GPS measurements (Walker et al., 2010)
Max Magnitude (Mw)	7	ER	calculated from seismic scaling relationships (Wells & Coppersmith, 1994)
Q-keys:	LD = Literature Data; OD = Original Data; ER = Empirical Relationship; AR = Analytical Relationship; EJ = Expert Judgement		

Affiliations

- 1) University of Ferrara; Dept. Physics & Earth Sciences; Via Saragat 1, 44122 Ferrara, Italy
 2) Aristotle University of Thessaloniki; Department of Geology; 54124 Thessaloniki, Greece

General information

Code	GRCS470
Name	Oraei Strait
Compiled By	Sboras S.P.(1), Pavlidis S.(2)
With contributions from	Caputo R.(1)
Created	
Latest Update	

Parametric information

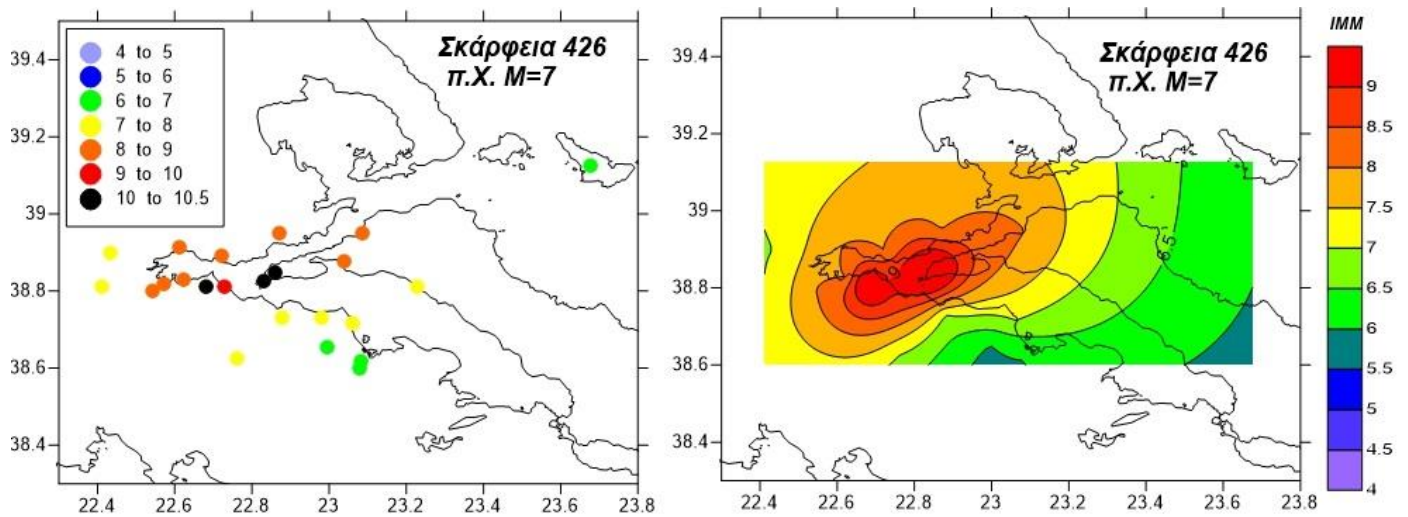
	Parameter	Qual.	Evidence
Min Depth (km)	0	UN	
Max Depth (km)	11.5	UN	
Strike (deg)	210 - 250	UN	
Dip (deg)	45 - 80	UN	
Rake (deg)	250 - 270	UN	
Slip Rate (mm/y)	0.5 - 0.8	OD	calculated from various geodetic strain rate maps
Max Magnitude (Mw)	6.9	ER	calculated from seismic scaling relationships (Wells & Coppersmith, 1994)
Q-keys:	LD = Literature Data; OD = Original Data; ER = Empirical Relationship; AR = Analytical Relationship; EJ = Expert Judgement		

Affiliations

- 1) University of Ferrara; Dept. Physics & Earth Sciences; Via Saragat 1, 44122 Ferrara, Italy
 2) Aristotle University of Thessaloniki; Department of Geology; 54124 Thessaloniki, Greece

Εικόνα 3.3, 3.4 Παράμετροι και στοιχεία των δύο ρηγμάτων της προσομοίωσης.

Επίσης, χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Surfer ώστε να απεικονιστεί η περιοχή του σεισμού με τις παρατηρούμενες πραγματικές μακροσεισμικές εντάσεις, όπως παρατηρούμε στην εικόνα 3.5. Οι εντάσεις αντλήθηκαν από το αρχείο που αναφέρθηκε λίγο παραπάνω, και τον τρόπο με τον οποίο κατανέμονται στο χώρο.



Εικόνα 3.5 Πραγματικές παρατηρούμενες μακροσεισμικές εντάσεις και κατανομή τους στο χώρο με τις ισόσειστες καμπύλες. Προσομοίωση για το ρήγμα Maliakos.

Αφού προσδιορίστηκαν οι παράμετροι και οι διαστάσεις του ρήγματος, με τον τρόπο που αναφέρθηκε παραπάνω με τις σχέσεις 2.1 και 2.2, έγινε η στοχαστική προσομοίωση θεωρώντας ότι οι σχηματισμοί είναι όλοι γεωλογικό υπόβαθρο, δηλαδή κατηγορία εδάφους A/B.

Πιο αναλυτικά, για να “τρέξει” ο αλγόριθμος EXSIM, στο ειδικό αρχείο (parameter file) του αλγορίθμου καθορίστηκαν το μέγεθος του σεισμού (M_w),

παράμετροι που αφορούν το μέγεθος, η παράμετρος τάσης (Stress) , οι συντεταγμένες της προβολής του σημείου O (πάνω αριστερά γωνία του ρήγματος όπως φαίνεται από την κατεύθυνση κλίσης) στην επιφάνεια, οι παράμετροι strike (Φ) και dip (δ) που αντιστοιχούν στην παράταξη και κλίση του ρήγματος. Επίσης, το βάθος του ανώτερου σημείου του ρήγματος που συμπίπτει με το βάθος του σημείου O, καθορίζεται με την παράμετρο depth of fault (h), το μήκος, L(km), και πλάτος, W(km), αντιστοιχούν στις παραμέτρους length και width, οι οποίες χωρίζονται σε ένα αριθμό τμημάτων μήκους dl και πλάτους dw, τα οποία δημιουργούν τις υποπηγές του πεπερασμένου ρήγματος. Το υπόκεντρο (σημείο έναρξης της διάρρηξης) που καθορίζεται από τις τιμές $i0,j0$ όπου οι δείκτες i και j καθορίζουν τον αύξοντα αριθμό της υποπηγής κατά μήκος και πλάτος.

Από την πρώτη προσομοίωση λήφθηκαν οι πρώτες τιμές PGA, PGV και με τη χρήση των εμπειρικών σχέσεων 2.4 και 2.5 προέκυψαν οι τιμές των συνθετικών μακροσεισμικών εντάσεων IMM.

Στη συνέχεια, έγιναν προσομοιώσεις θεωρώντας ότι όλοι οι γεωλογικοί σχηματισμοί είναι κατηγορία εδάφους C και έπειτα D, όπου για την κάθε μία αλλάζει η παράμετρος kappa με τιμή 0.044 και 0.066 αντίστοιχα. Ομοίως, προκύπτουν οι συνθετικές τιμές IMM όπως περιγράφεται παραπάνω.

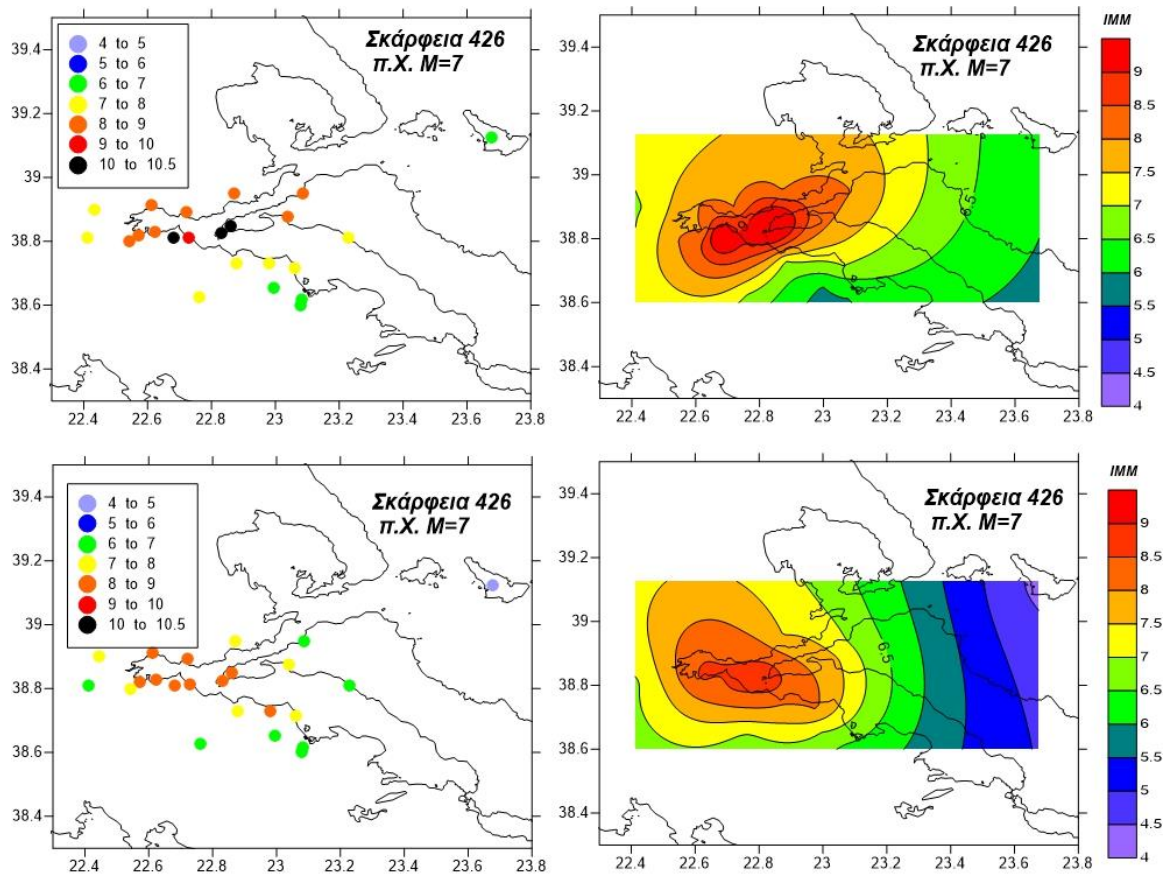
Επίσης πραγματοποιήθηκε μία προσομοίωση λαμβάνοντας υπόψη τη κατηγορία εδάφους, με βάση τις εδαφικές συνθήκες, στην οποία ανήκει το κάθε σημείο από τα 23 που συμμετέχουν στη προσομοίωση της ισχυρής εδαφικής κίνησης. Η κατηγορία προέκυψε από το γεωλογικό χαρακτηρισμό της περιοχής του κάθε σημείου.

Ο χαρακτηρισμός με βάση τη γεωλογία του κάθε σημείου επιτεύχθηκε με το πρόγραμμα Global mapper, όπου τα ψηφιακά φύλλα γεωλογικών χαρτών της περιοχής μελέτης προσαρμόστηκαν μαζί με τα 23 σημεία και έτσι γνωρίζουμε τον γεωλογικό σχηματισμό πάνω στον οποίο “πέφτει” το κάθε ένα. Η εύρεση του αντίστοιχου φύλλου χάρτη για το κάθε σημείο έγινε με τη βοήθεια του προγράμματος coord, στο οποίο εισχωρώντας τις συντεταγμένες ϕ και λ του κάθε σημείου, επιστρέφει το όνομα του αντίστοιχου φύλλου χάρτη.

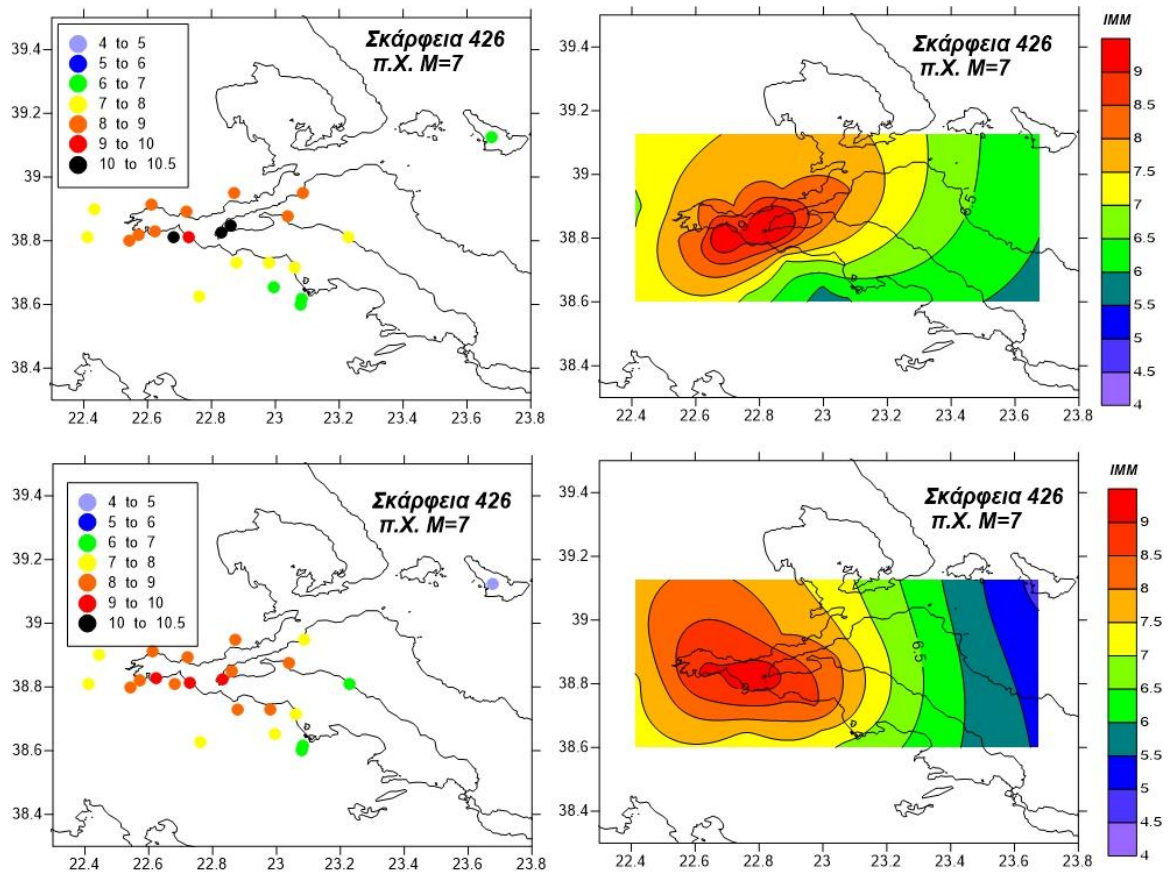
Οι τελευταίες προσομοιώσεις που πραγματοποιήθηκαν ήταν εκείνη με βάση μόνο τη γεωλογία, τη κλίση και τον συνδυασμό των δύο. Χρησιμοποιώντας τις τοπογραφικές κλίσεις των σημείων προέκυψαν οι ταχύτητες των εγκαρσίων κυμάτων s για τα πρώτα 30 μέτρα βάθους, Vs30. Από τις ταχύτητες αυτές προσδιορίστηκε η κατηγορία εδάφους για κάθε σημείο με βάση τη κλίση του. Έπειτα καθορίστηκε η κλάση εδάφους με βάση το συνδυασμό γεωλογίας και κλίσης από τις ταχύτητες Vs30 που υπολογίστηκαν από την εξίσωση 3.1.

Οι στοχαστικές προσομοιώσεις της ισχυρής εδαφικής κίνησης πραγματοποιήθηκαν για δύο πιθανά ρήγματα, Maliakos και Oraioi Strait, τα οποία παρουσιάζουν διαφορετικές διαστάσεις και παραμέτρους. Η συμμετοχή δύο ρηγμάτων έγινε με σκοπό να γίνει σαφές ότι το ένα από τα δύο παρουσιάζει μία κατανομή μακροσεισμικών εντάσεων που να ταιριάζει με τη θέση του ρήγματος στο χώρο. Έτσι φαίνεται ότι το ρήγμα Maliakos σχετίζεται με τον ιστορικό σεισμό της Σκάρφειας.

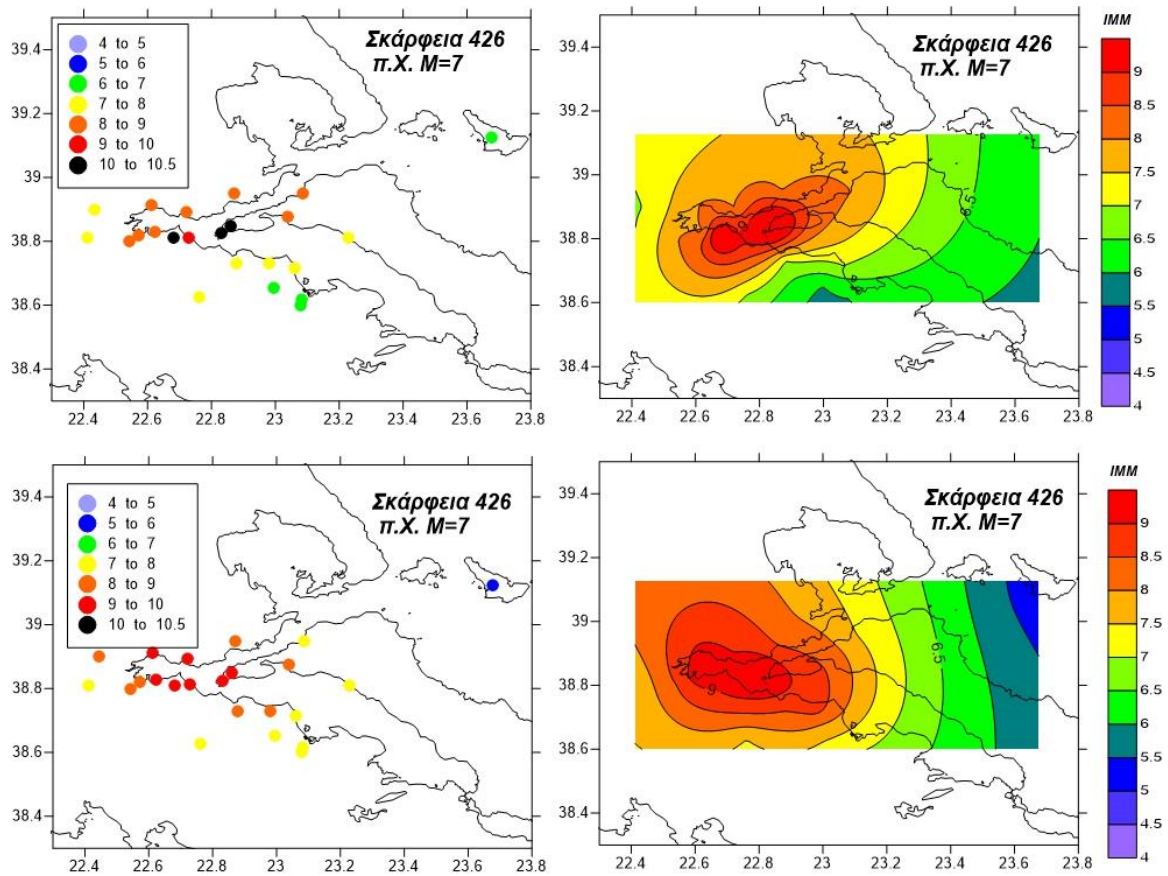
Με το λογισμικό Surfer όπως αναφέρθηκε και παραπάνω έγινε η απεικόνιση της κατανομής των μακροσεισμικών εντάσεων στο χώρο, δηλαδή στη περιοχή μελέτης γύρω από το Μαλιακό κόλπο. Εδώ, ήταν απαραίτητη η απεικόνιση των συνθετικών και των πραγματικών εντάσεων με σκοπό την ανάδειξη της διαφοράς τους και τον βαθμό που συσχετίζονται. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιήθηκε και για τα δύο ρήγματα, ώστε να φανεί ξεκάθαρα ότι το ρήγμα Maliakos προκάλεσε το σεισμό και είναι υπεύθυνο για τις βλάβες στη περιοχή, όπως παρατηρούμε στις εικόνες 3.5, 3.6, 3.7, 3.8, 3.9, 3.10, 3.11, 3.12, 3.13, 3.14.



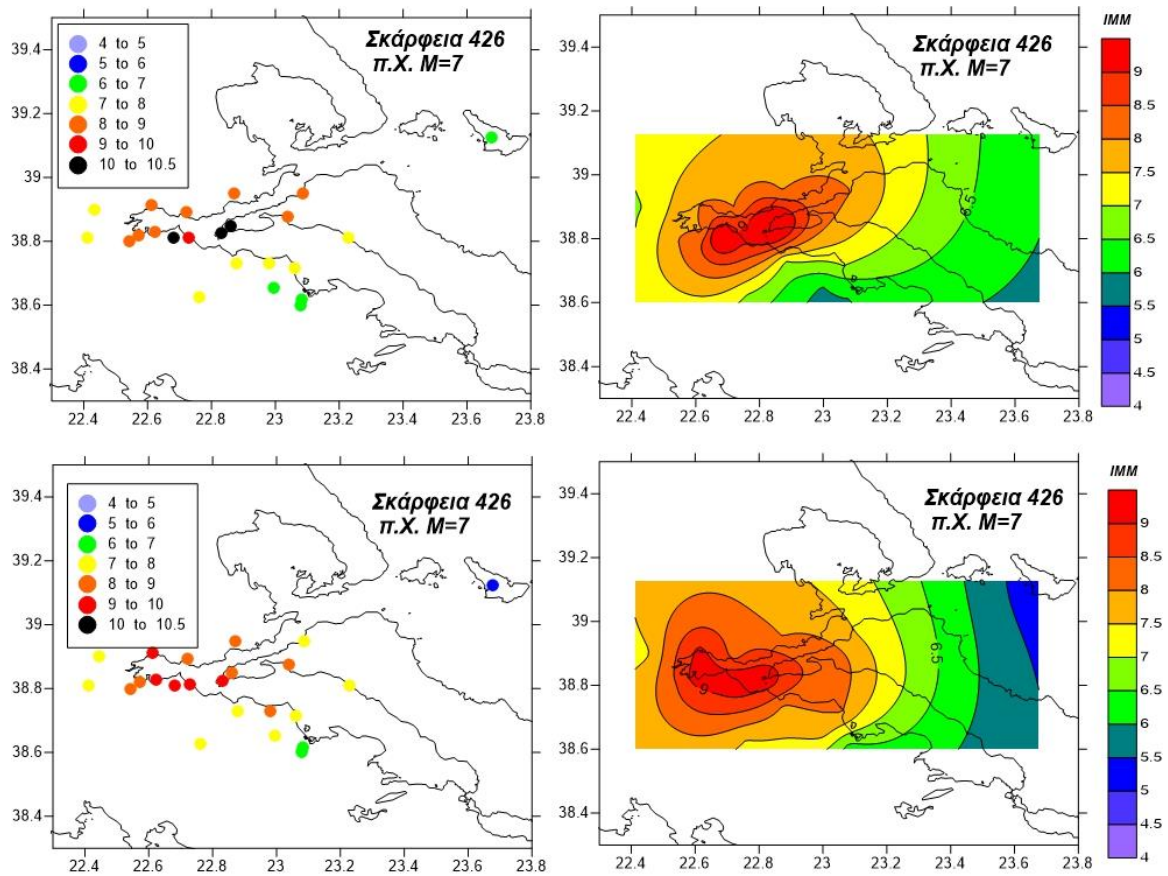
Εικόνα 3.5 Πραγματικές(πάνω) και συνθετικές (κάτω) μακροσεισμικές εντάσεις θεωρώντας όλα τα σημεία ως γεωλογικό υπόβαθρο, δηλαδή κατηγορία εδάφους A/B. Προσομοίωση για το ρήγμα Maliakos.



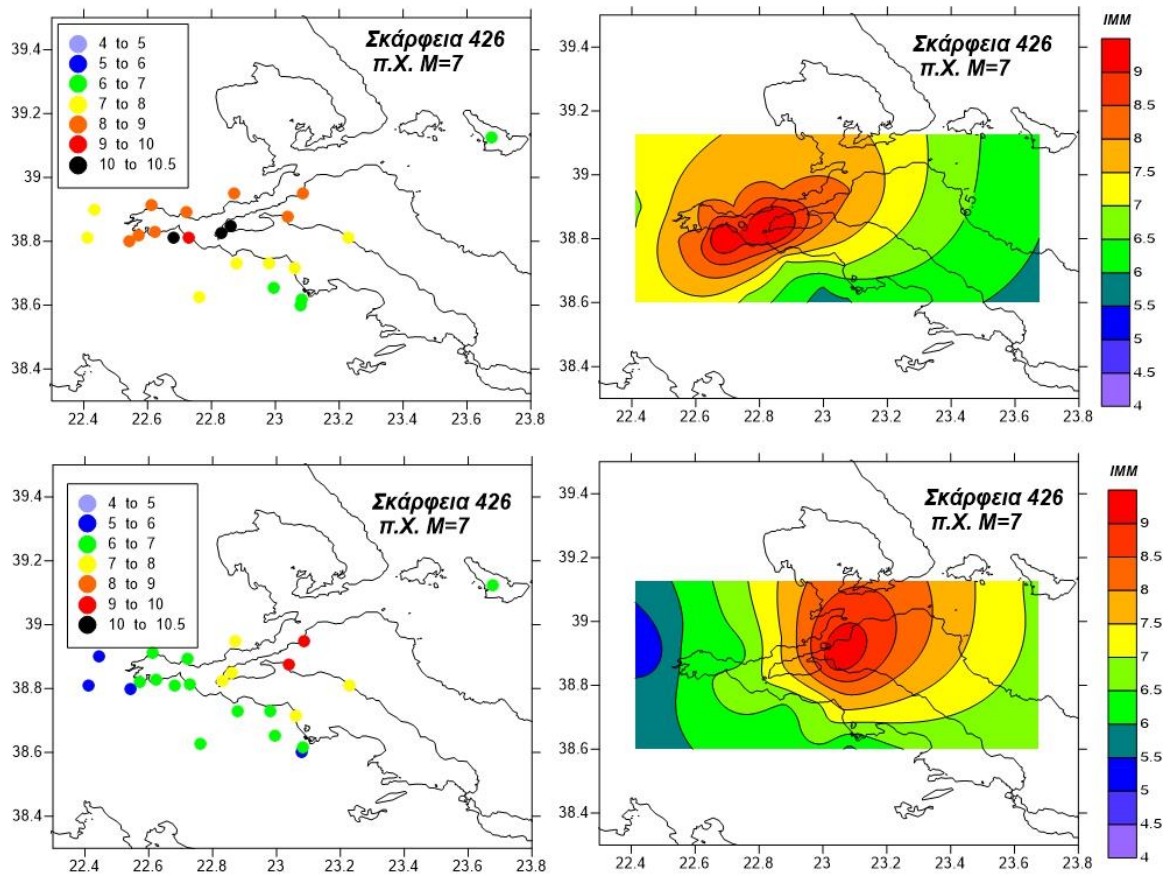
Εικόνα 3.6 Πραγματικές(πάνω) και συνθετικές (κάτω) μακροσεισμικές εντάσεις θεωρώντας όλα τα σημεία κατηγορία εδάφους C. Προσομοίωση για το ρήγμα Maliakos.



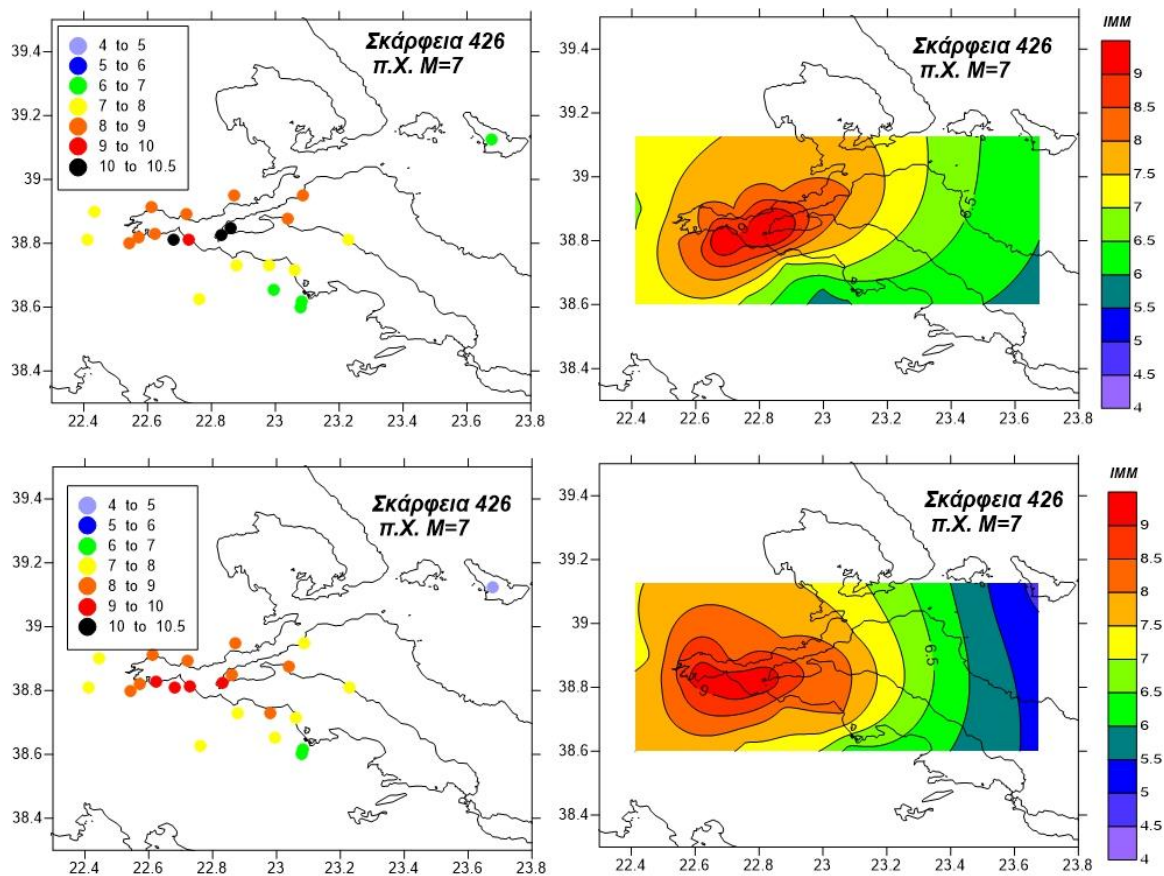
Εικόνα 3.7 Πραγματικές(πάνω) και συνθετικές (κάτω) μακροσεισμικές εντάσεις θεωρώντας όλα τα σημεία κατηγορία εδάφους D. Προσομοίωση για το ρήγμα Maliakos.



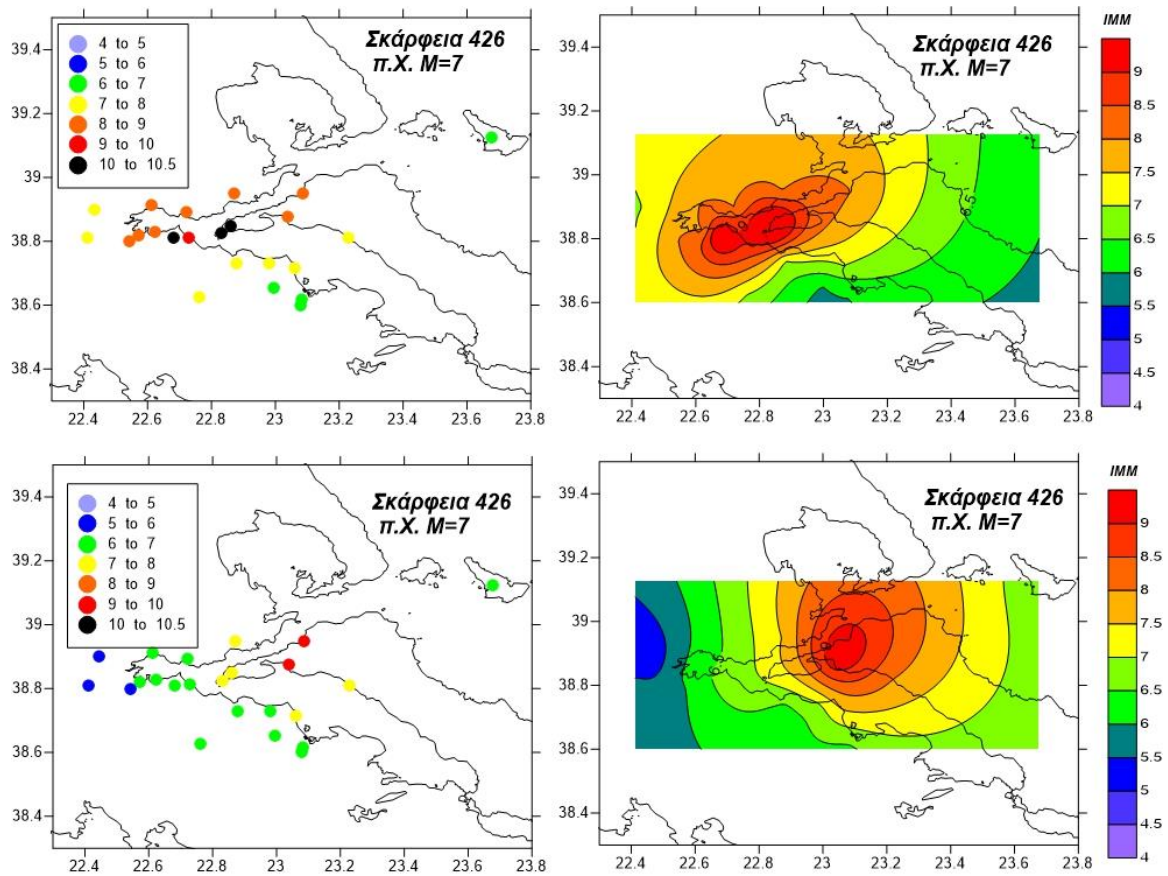
Εικόνα 3.8 Πραγματικές(πάνω) και συνθετικές (κάτω) μακροσεισμικές εντάσεις λαμβάνοντας υπόψη τις εδαφικές συνθήκες στο κάθε σημείο όπου το κάθε ένα ανήκει σε διαφορετική κατηγορία εδάφους A/B, C ή D. Προσομοίωση για το ρήγμα Maliakos.



Εικόνα 3.9 Πραγματικές(πάνω) και συνθετικές (κάτω) μακροσεισμικές εντάσεις με βάση τη γεωλογία που προέκυψε από τις τιμές Vs30 . Προσομοίωση για το ρήγμα Oraiou Strait.

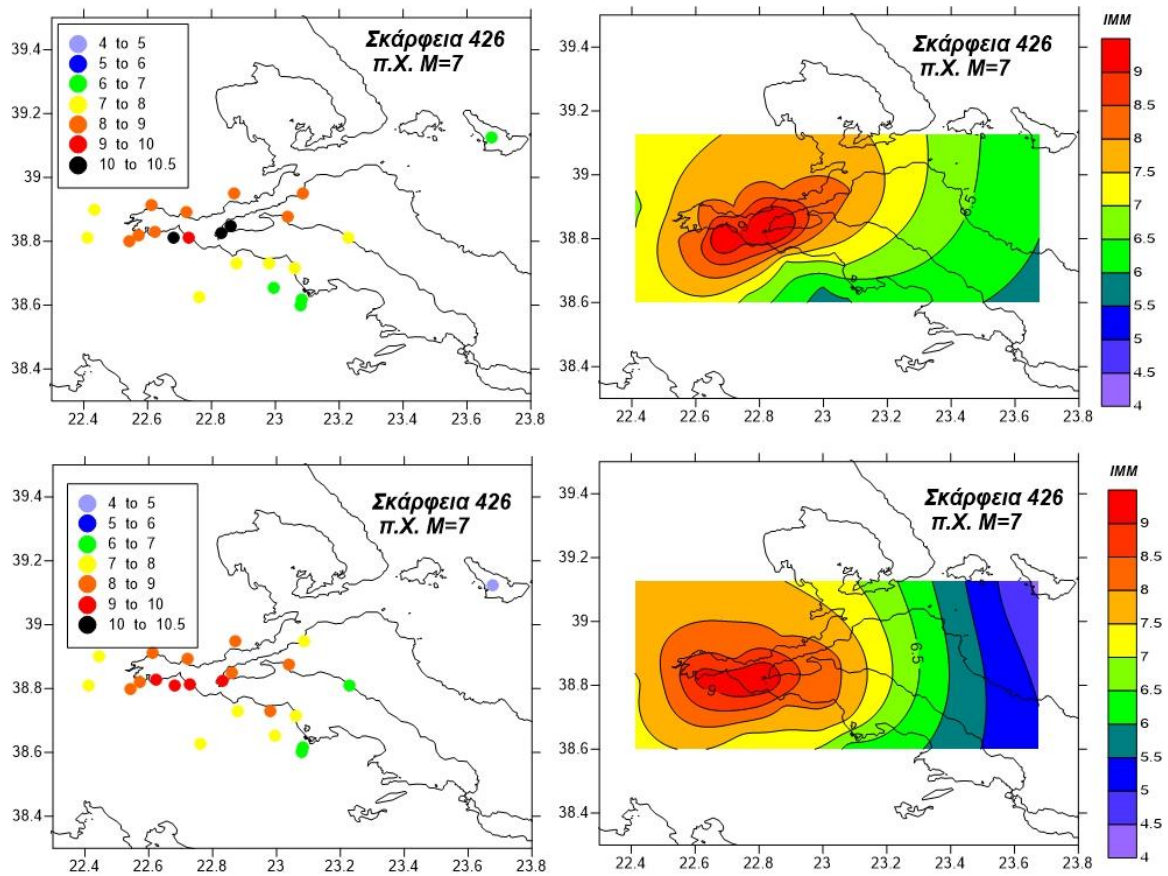


Εικόνα 3.10 Πραγματικές(πάνω) και συνθετικές (κάτω) μακροσεισμικές εντάσεις με βάση τη γεωλογία. Προσομοίωση για το ρήγμα Maliakos.

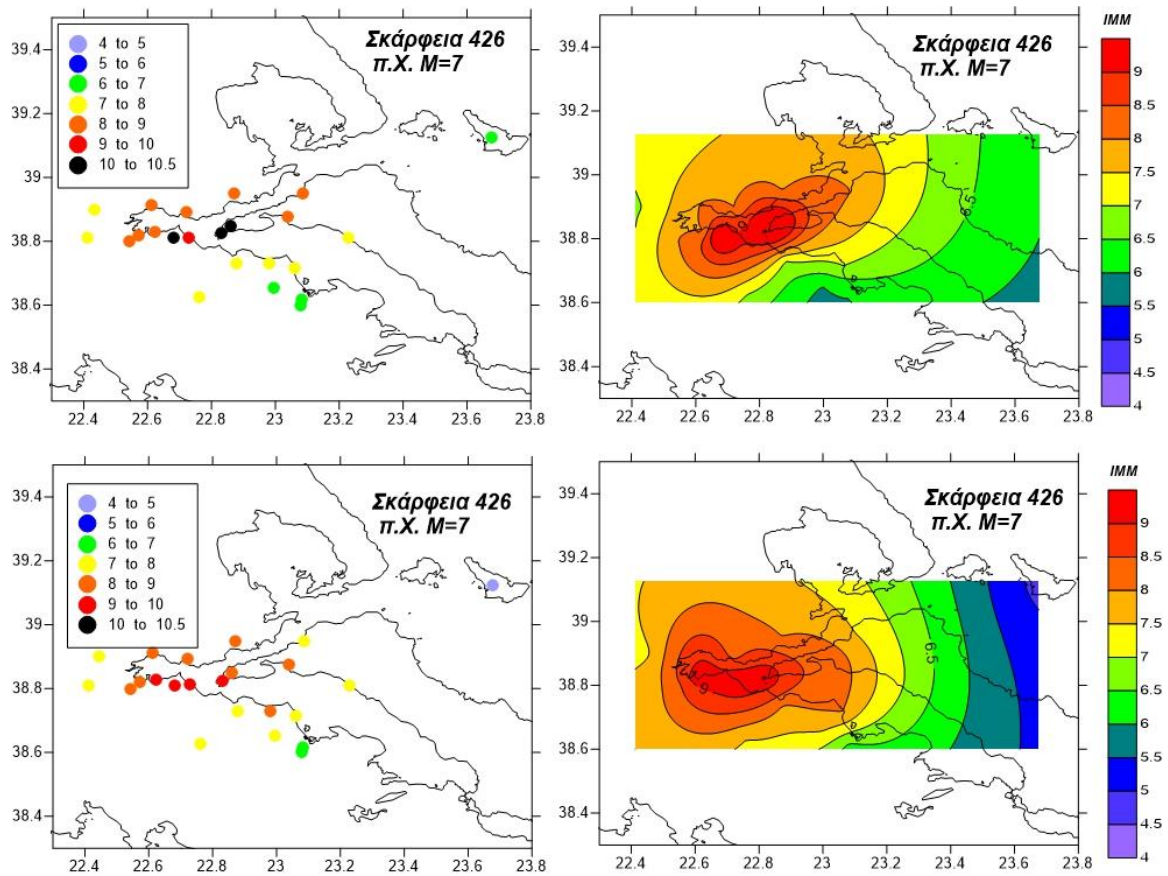


Εικόνα 3.11 Πραγματικές(πάνω) και συνθετικές (κάτω) μακροσεισμικές εντάσεις μα βάση τη τοπογραφική κλίση των σημείων που προέκυψε από τις τιμές Vs30 .

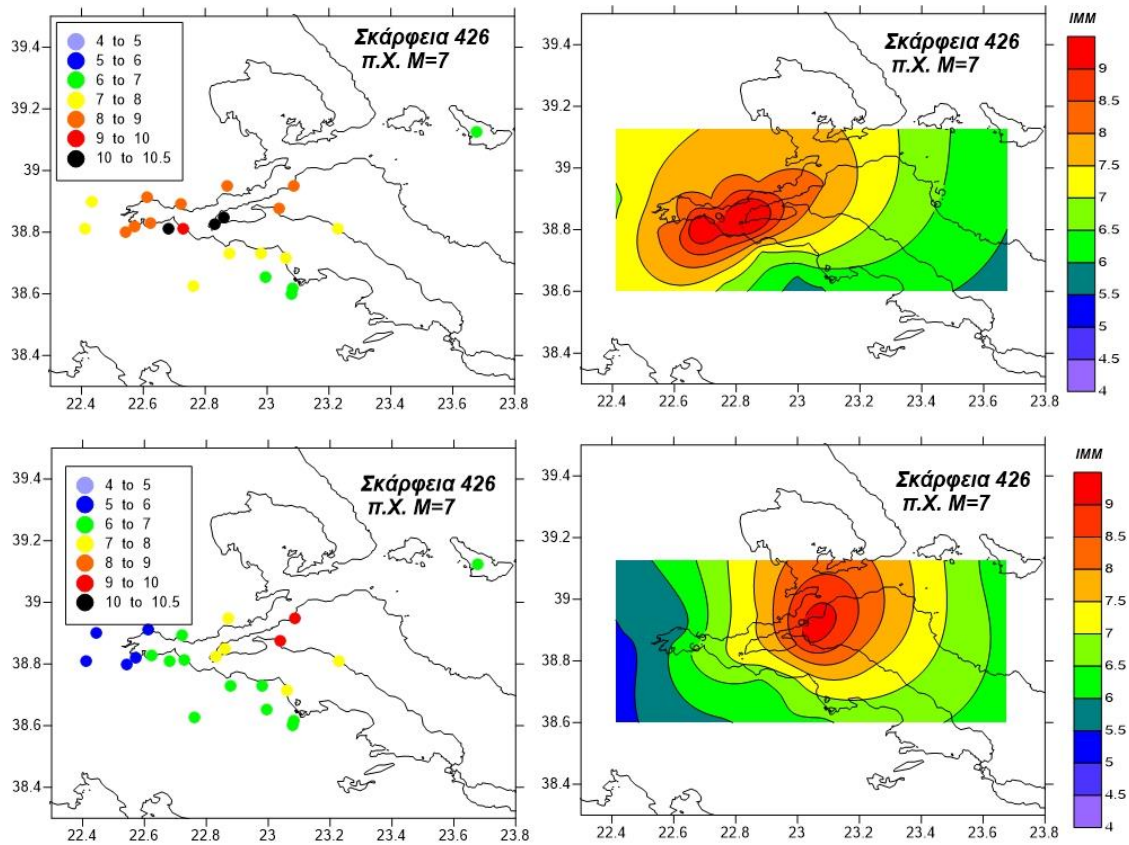
Προσομοίωση για το ρήγμα Oraiou Strait.



Εικόνα 3.12 Πραγματικές(πάνω) και συνθετικές (κάτω) μακροσεισμικές εντάσεις μα βάση τη τοπογραφική κλίση των σημείων που προέκυψε από τις τιμές Vs30 . Προσομοίωση για το ρήγμα Maliakos.



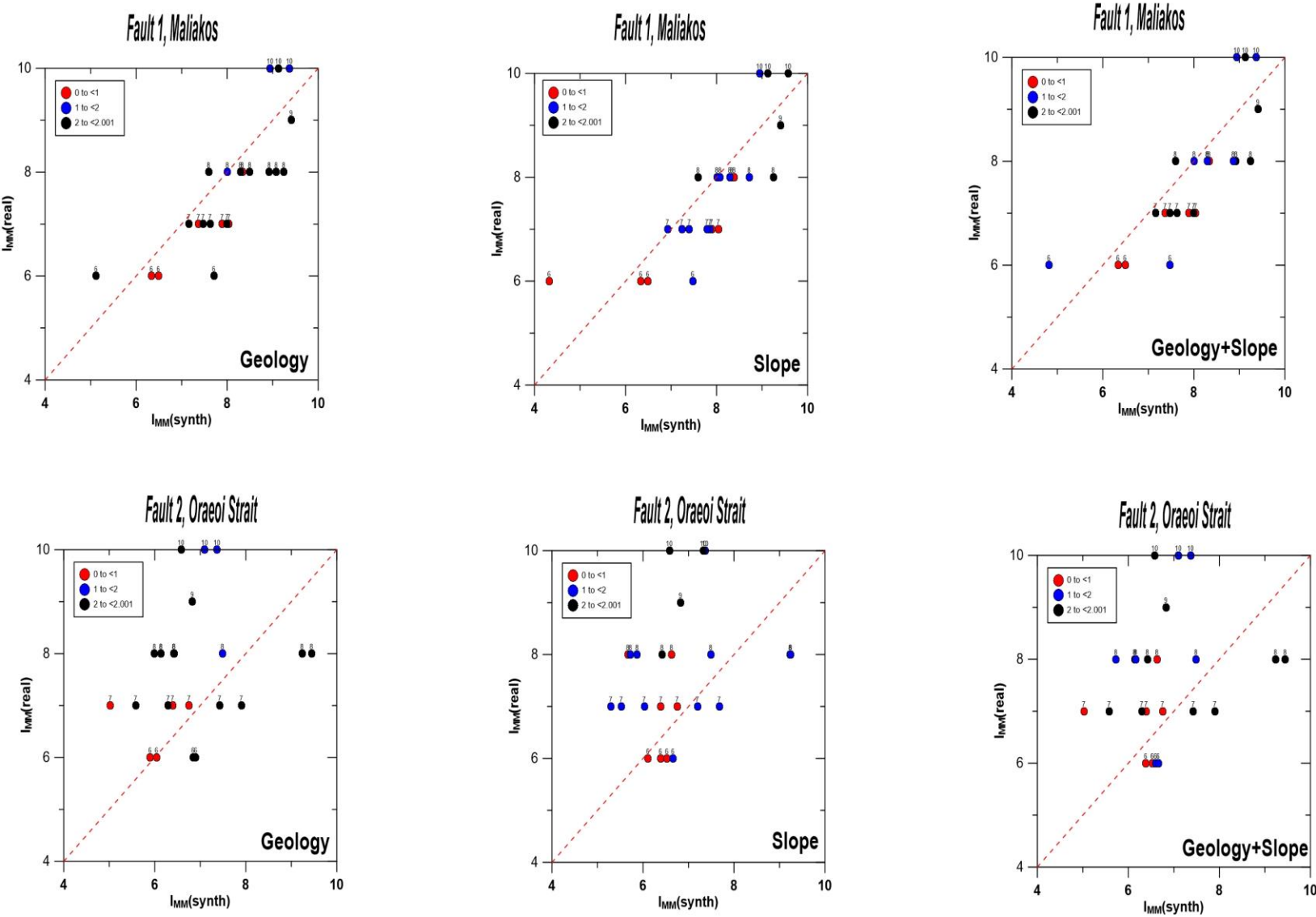
Εικόνα 3.13 Πραγματικές(πάνω) και συνθετικές (κάτω) μακροσεισμικές εντάσεις μα βάση τον συνδυασμό γεωλογίας και κλίσης των σημείων που προέκυψε από τις τιμές Vs30 . Προσομοίωση για το ρήγμα Maliakos.



Εικόνα 3.14 Πραγματικές(πάνω) και συνθετικές (κάτω) μακροσεισμικές εντάσεις με βάση τον συνδυασμό γεωλογίας και κλίσης των σημείων . Προσομοίωση για το ρήγμα Orai Strait.

Απαραίτητη ήταν η σύγκριση των πραγματικών μακροσεισμικών εντάσεων IMMreal και των συνθετικών IMMsynth, που υλοποιήθηκε με τη χρήση του προγράμματος Grapher. Στη σύγκριση συμμετείχαν οι συνθετικές εντάσεις με βάση τη κλίση, τη γεωλογία και τον συνδυασμό γεωλογίας-κλίσης. Στην περίπτωση που οι εντάσεις πραγματικές και συνθετικές πλησιάζουν και κατανέμονται κατά μήκος και κοντά στη διχοτόμο σημαίνει ότι η προσομοίωση της σεισμικής κίνησης πλησιάζει τη πραγματικότητα, είναι πιο ρεαλιστική και προφανώς το ρήγμα που επιλέχθηκε είναι αντιπροσωπευτικό. Η διαδικασία πραγματοποιήθηκε για τα δύο ρήγματα, Maliakos και Oraioi Strait γεγονός που αναδεικνύει ποιο από τα δύο προκάλεσε την ισχυρή σεισμική κίνηση στη περιοχή μελέτης.

Στην εικόνα 3.15 διακρίνουμε ότι οι εντάσεις για ρήγμα Maliakos βρίσκονται πιο κοντά στη διχοτόμο και παρουσιάζουν μία ικανοποιητική κατανομή ως προς αυτήν, ενώ οι αντίστοιχες εντάσεις για το ρήγμα Oraioi Strait φαίνεται ότι δεν πλησιάζουν τη διχοτόμο και είναι διασκορπισμένες χωρίς να κατανέμονται κατά μήκος της.



Εικόνα 3.15 Σύγκριση των μακροσεισμικών εντάσεων πραγματικών και συνθετικών για το ρήγμα Maliakos θέση 1 και για το ρήγμα Oraeoi Strait θέση 2. Παρατηρείται καλή συσχέτιση των εντάσεων $I_{MM}(\text{real})$ και $I_{MM}(\text{synth})$ στο πρώτο σενάριο για το ρήγμα 1.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Αρχικά, από τις εικόνες 3.9, 3.11, 3.14, καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι το ρήγμα Oraioi Strait δεν αποτελεί το ρήγμα που αντιπροσωπεύει το σεισμικό γεγονός για το οποίο εκτελέστηκαν οι μακροσεισμικές προσομοιώσεις της ισχυρής εδαφικής κίνησης. Αυτό φαίνεται ξεκάθαρα αφού οι συνθετικές ισόσειστες καμπύλες που προέκυψαν, παρουσιάζουν τέτοια κατανομή της έντασης που δε ταιριάζει σε κανένα βαθμό με τις ισόσειστες που προέκυψαν από τις πραγματικές μακροσεισμικές εντάσεις.

Γενικά, προς τη φορά που παρατηρούνται οι μεγαλύτεροι βαθμοί της μακροσεισμικής έντασης, προς την ίδια φορά κλίνει το ρήγμα και ολισθαίνει το άνω τέμαχος του(κανονική διάρρηξη).

Αντίθετα, στις εικόνες 3.10, 3.12, 3.13 συμπεραίνεται ότι το ρήγμα Maliakos αντιπροσωπεύει τον σεισμό της Σκάρφειας 426 π.Χ., αφού παρατηρείται συσχέτιση των συνθετικών ισόσειστων καμπυλών με τις πραγματικές και έτσι καταργείται η αμφιβολία για την ύπαρξη ρήγματος στη περιοχή μελέτης που να είναι εκείνο το κύριο που προκάλεσε τον σεισμό.

Επιπρόσθετα, από την εικόνα 3.15 παρατηρείται μεγαλύτερη συσχέτιση πραγματικών και συνθετικών μακροσεισμικών εντάσεων για το ρήγμα 1 Maliakos. Στις τρεις περιπτώσεις γεωλογίας, κλίσης και συνδυασμού των δύο, η καλή συσχέτιση αποδεικνύεται από την πιο ομοιόμορφη και ομαλή κατανομή των εντάσεων κατά μήκος της διχοτόμου και συγκέντρωσή τους πιο κοντά σε αυτήν σε σχέση με τις συνθετικές εντάσεις του ρήγματος 2 Oraioi Strait που σε καμία περίπτωση δεν παρουσιάζουν μία τέτοια κατανομή.

Τέλος, ένα βασικό συμπέρασμα της επεξεργασίας των δεδομένων με τη μεθοδολογία EXSIM, είναι ότι η στοχαστική προσομοίωση των μακροσεισμικών εντάσεων με διάφορα σενάρια επιτρέπει την κατάληξη σε ακριβέστερα και πιο ορθά αποτελέσματα και η μελέτη ιστορικών αλλά και πιο πρόσφατων σημαντικών σεισμών του Ελληνικού χώρου, από πολλές οπτικές γωνίες με τη χρήση μόνο βασικών στοιχείων και παραμέτρων της σεισμικής κίνησης και διάρρηξης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Klimis, N., Margaris, B., Anastasiadis, A., Koliopoulos, P., and Kirtas, Em., 2006. Smoothed Hellenic Rock Site Amplification Factors', 5th Hellenic Congress of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, Vol. 2, p. 239-246, Xanthi, Greece [in Greek].
- Klimis, N. S., Margaris, B. N., and Koliopoulos, P. K., 1999. Site-dependent amplification functions and response spectra in Greece., *Journal of Earthquake Engineering*, 3(02), 237–270.
- Papazachos, B. C., and Papazachou, C. B., 2003. The earthquakes of Greece, Ziti, Thessaloniki.
- Papazachos, G., Papazachos, C., Skarlatoudis, A., Kkallas, H., and Lekkas, E., 2015. Modelling macroseismic observations for historical earthquakes: the cases of the $M = 7.0$, 1954 Sofades and $M = 6.8$, 1957 Velestino events (central Greece), *Journal of Seismology*.
- Papazachos, G., 2013. Study of the earthquake site-effects of the broader Karditsa urban area and deterministic strong ground motion simulation for the main seismic/active faults of the Thessaly area, using field measurements, stochastic simulations, and Geographic Information Systems, MSc Thesis, National and Kapodestrian University of Athens.
- Papazachos, B. C., Mountrakis, D. M., Papazachos, C. B., Tranos, M. D., Karakaisis, G. F., and Savvaidis, A. S., 2001, November. The faults which have caused the known major earthquakes in Greece and surrounding region between the 5th century BC and today.
- Papoulia, J., Makris, J., and Drakopoulou, V., 2006. Local seismic array observations at north Evoikos, central Greece, delineate crustal deformation between the North Aegean Trough and Corinthiakos Rift.
- Stewart, J. P., Klimis, N., Savvaidis, A., Theodoulidis, N., Zargli, E., Athanasopoulos, G., Pelekis, P., Mylonakis, G., and Margaris, B., 2014. Compilation of a Local VS Profile Database and Its Application for Inference of VS30 from Geologic- and Terrain-Based Proxies, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 104(6), 2827-2841.
- Walker, R.T., Claisse, S., Telfer, M., Nissen, E., England, P., Bryant, C., and Bailey, R., 2010. Preliminary estimate of Holocene slip rate on active normal faults bounding the southern coast of the Gulf of Evia, central Greece.

Ελληνική Βιβλιογραφία

Καραμήτρου, Α., 2008. Προσομοίωση της σεισμικής εδαφικής κίνησης από σενάρια σεισμών με έμφαση τα αστικά κέντρα. MSc Thesis, Α.Π.Θ, Θεσσαλονίκη.

Κκαλλάς, Χ., 2018. Συμβολή στη μελέτη της σεισμικότητας, της σεισμικής επικινδυνότητας και της ενεργού τεκτονικής στο Ν. Αιγαίο. Ph.D thesis, Α.Π.Θ, Θεσσαλονίκη.

Μουντράκης, Δημοσθένης Μ., 2010. Γεωλογία και γεωτεκτονική εξέλιξη της Ελλάδας, University Studio Press, Θεσσαλονίκη

Διαδικτυακές Πηγές

<http://www.geo.auth.gr/>

<http://eqgeogr.weebly.com/>

<http://gredass.unife.it/>

<http://www.oasp.gr/usefulLinks>

http://nemertes.lis.upatras.gr/jspui/bitstream/10889/7879/3/Nimertis_Karli%28geo%29.pdf