



ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

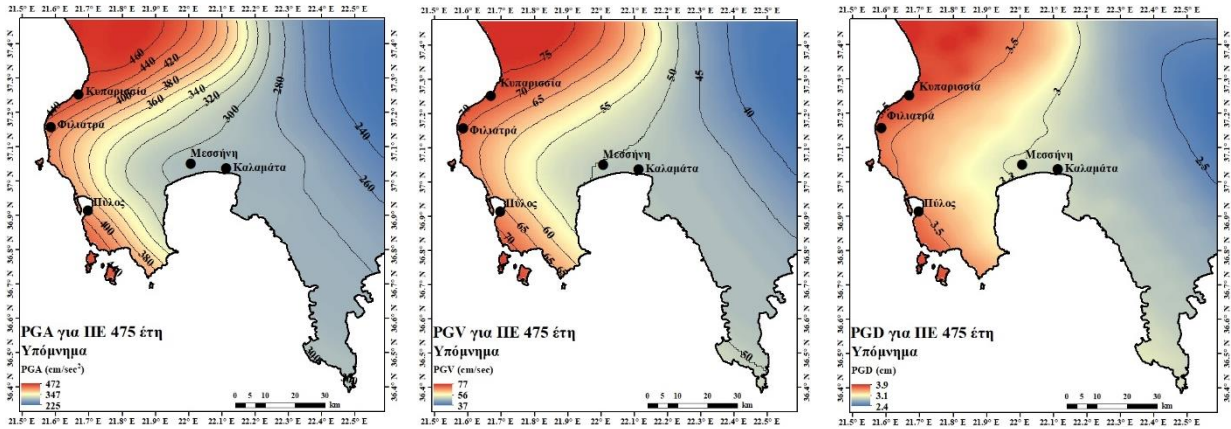
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΓΕΩΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ ΚΑΙ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

# ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΜΕΣΣΗΝΙΑΣ



ΑΓΓΕΛΟΣ ΖΥΜΒΡΑΓΑΚΗΣ

1114201700032

Επιβλέπων Καθηγητής

Γεώργιος Καβύρης (Αναπληρωτής Καθηγητής)

ΑΘΗΝΑ, 2021



# ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στο πλαίσιο του Προπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών του Τμήματος Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών. Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή της εργασίας, Γεώργιο Καβύρη καθώς με τη στήριξή του, την κατανόησή του όποτε έκανα λάθος και τις αρκετές συζητήσεις που είχαμε, καταφέραμε να πάμε τη διπλωματική αυτή εργασία ένα βήμα παρακάτω. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω ορισμένους ανθρώπους που με βοήθησαν πάρα πολύ σε συγκεκριμένα κομμάτια. Ξεκινώντας με τον Ιωάννη Σπίγγο σχετικά με τις συμβουλές του στην Python, τον Νίκο Σακελλαρίου για τη συλλογή και οργάνωση δεδομένων στο ArcMap, τον Παύλο Μπονάτη για τις συμβουλές του στο R-CRISIS και την Παυλίνα Μπαρδούλη για την πολύωρη βοήθειά της στο ArcMap. Συνεχίζοντας, θα ήθελα να ευχαριστήσω πολύ την αγαπημένη μου Νεφέλη Ανδρουτσοπούλου για τη σημαντική στήριξη τα τελευταία τρία χρόνια και τη σημαντική της βοήθεια στο ArcMap. Ένα πολύ μεγάλο ευχαριστώ στους στενούς φίλους μου Αντώνη Διακογιάννη και Νικηφόρο Τσούλια για την αμέριστη στήριξή τους. Επίσης, θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου σε όλη την παρέα της περιοχής μου για την κατανόηση που μου έδειχναν όταν θυσίαζα αρκετές βόλτες και γενικά για τη μεγάλη αγάπη που μου έδειχναν, αλλά και τα δύο σημαντικά άτομα που γνώρισα στη σχολή (Αντώνη Κόλλια και Γιώργο Νομικό) για τη στήριξη και τη βοήθειά τους όποτε τους χρειαζόμουν. Τέλος και περισσότερο σημαντικό για εμένα, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου για την τεράστια κατανόηση και στήριξη που μου έδιναν και συνεχίζουν να μου δίνουν κατά τη διάρκεια των σπουδών μου και σε όλα τα θέματα.

" My brain is only a receiver, in the Universe there is a core from which we obtain knowledge, strength and inspiration." ~ Nikola Tesla.

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....</b>	<b>8</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>8</b>
<b>1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....</b>	<b>9</b>
<b>1.1 Ιστορικά – δημογραφικά στοιχεία.....</b>	<b>11</b>
<b>1.2 Γεωμορφολογία Μεσσηνίας.....</b>	<b>12</b>
<b>1.3 Γεωλογία Μεσσηνίας.....</b>	<b>13</b>
<b>1.4 Τεκτονική Μεσσηνίας.....</b>	<b>14</b>
1.4.1 Ανενεργά ρήγματα.....	14
1.4.2 Ενεργά ρήγματα.....	16
<b>1.5 Σεισμικότητα Μεσσηνίας.....</b>	<b>26</b>
1.5.1 Εισαγωγή.....	26
<i>1.5.1.1 Η σεισμικότητα στην Ελλάδα.....</i>	<i>26</i>
1.5.2 Ενόργανη σεισμικότητα Μεσσηνίας.....	32
<i>1.5.2.1 Ο Επικαιροποιημένος Κατάλογος Σεισμών Ευρύτερου Ελλαδικού Χώρου 1900 - 2009</i>	<i>32</i>
<i>1.5.2.2 Δημιουργία καταλόγου περιόδου 1900 - 2020 .....</i>	<i>34</i>
<i>1.5.3.3 Αναφορές σε σημαντικούς σεισμούς.....</i>	<i>37</i>
<b>2. ΠΙΘΑΝΟΛΟΓΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ.....</b>	<b>42</b>
<b>2.1 Βασικές έννοιες Τεχνικής Σεισμολογίας .....</b>	<b>42</b>
<b>2.2 Θεωρία ακραίων τιμών .....</b>	<b>44</b>
<b>2.3 Σχέσεις απόσβεσης.....</b>	<b>45</b>
2.3.1 Orphal and Lahoud (1974).....	45
2.3.2 Makropoulos (1978).....	46
2.3.3 Ambraseys (1990).....	46
2.3.4 Theodulidis and Papazachos (1994) .....	46
2.3.5 Theodulidis (1998).....	46
2.3.6 Theodulidis et al. (1998) .....	46
2.3.7 Margaritis et al. (2002).....	47
2.3.8 Skarlatoudis et al. (2003, 2007) .....	47
2.3.9 Danciu (2006) και Danciu and Tselentis (2007).....	48
2.3.10 Segou and Voulgaris (2013) .....	48
2.3.11 Sakkas (2016).....	48
2.3.12 Chousianitis et al. (2018) .....	49
2.3.13 Σχέσεις απόσβεσης εργασίας .....	49
<i>2.3.13.1 Καθαρά στατιστική μέθοδος .....</i>	<i>49</i>

2.3.13.2 Ημιστατιστική μέθοδος .....	49
<b>2.4 Καθαρά στατιστική μέθοδος εκτίμησης σεισμικής επικινδυνότητας .....</b>	<b>50</b>
2.4.1 Το πρόγραμμα HAZAN .....	50
2.4.2 Σφάλματα .....	52
2.4.3 Έναρξη υπολογιστικής διαδικασίας.....	52
2.4.4 Επιλογή μεθόδου.....	54
2.4.5 Αποτελέσματα.....	55
2.4.5.1 Μέγιστη αναμενόμενη εδαφική επιτάχυνση (PGA) .....	56
2.4.5.2 Μέγιστη αναμενόμενη εδαφική ταχύτητα (PGV).....	58
2.4.5.3 Μέγιστη αναμενόμενη εδαφική μετατόπιση (PGD).....	61
2.4.5.4 Μέγιστη αναμενόμενη εδαφική επιτάχυνση (PGA) σε όλη την περιοχή μελέτης.....	62
2.4.6 Σύγκριση αποτελεσμάτων με τη βιβλιογραφία.....	64
2.4.6.1 Σύγκριση με τον Ελληνικό Αντισεισμικό Κανονισμό.....	64
2.4.6.2 Σύγκριση με τη δημοσίευση των Makropoulos et al. (2013).....	66
2.4.6.3 Σύγκριση με την εργασία των Burton et al. (2003).....	73
2.4.6.4 Σύγκριση με την εργασία των Banitsiotou et al. (2004).....	75
2.4.6.5 Σύγκριση με την εργασία των Tselentis and Danciu (2010). .....	77
2.4.6.6 Σύγκριση με την εργασία των Tsarpanos et al. (2004).....	79
2.4.6.7 Σύγκριση με την εργασία των Kouskouna and Kaviris (2014).....	80
2.4.6.8 Σύγκριση με την εργασία των Slejko et al., (2010).....	81
2.4.6.9 Σύγκριση με την εργασία των Woessner et al., (2015).....	84
<b>2.5 Ημιστατιστική μέθοδος εκτίμησης σεισμικής επικινδυνότητας .....</b>	<b>85</b>
2.5.1 Το πρόγραμμα CRISIS .....	85
2.5.2 Έναρξη υπολογιστικής διαδικασίας.....	89
2.5.3 Παρουσίαση αποτελεσμάτων R-CRISIS .....	95
2.5.3.1 Μέγιστη αναμενόμενη εδαφική επιτάχυνση (PGA) .....	95
2.5.3.2 Μέγιστη αναμενόμενη εδαφική ταχύτητα (PGV).....	97
2.5.3.3 Μέγιστη αναμενόμενη εδαφική μετατόπιση (PGD).....	99
2.5.4 Σύγκριση αποτελεσμάτων R-CRISIS με HAZAN.....	101
2.5.4.1 Μέγιστη αναμενόμενη εδαφική επιτάχυνση (PGA) .....	102
2.5.4.2 Μέγιστη αναμενόμενη εδαφική ταχύτητα (PGV).....	104
2.5.4.3 Μέγιστη αναμενόμενη εδαφική μετατόπιση (PGD).....	105
2.5.5 Σύγκριση αποτελεσμάτων R-CRISIS με την εργασία των Makropoulos et al. (2013).....	106
2.5.5.1 Μέγιστη αναμενόμενη εδαφική επιτάχυνση (PGA) .....	107
2.5.5.2 Μέγιστη αναμενόμενη εδαφική ταχύτητα (PGV).....	109
2.5.5.3 Μέγιστη αναμενόμενη εδαφική μετατόπιση (PGD).....	111

2.5.6 Δημιουργία χαρτών με πιο σύγχρονες σχέσεις απόσβεσης.....	112
2.5.6.1 <i>Margaris et al. (2002)</i> .....	113
2.5.6.1.1 Μέγιστη αναμενόμενη εδαφική επιτάχυνση (PGA) .....	113
2.5.6.1.2 Μέγιστη αναμενόμενη εδαφική ταχύτητα (PGV).....	115
2.5.6.1.3 Μέγιστη αναμενόμενη εδαφική μετατόπιση (PGD) .....	117
2.5.6.2 <i>Skarlatoudis et al. (2003, 2007)</i> .....	119
2.5.6.2.1 Μέγιστη αναμενόμενη εδαφική επιτάχυνση (PGA) .....	119
2.5.6.2.2 Μέγιστη αναμενόμενη εδαφική ταχύτητα (PGV).....	121
2.5.6.2.3 Μέγιστη αναμενόμενη εδαφική μετατόπιση (PGD) .....	123
2.5.6.3 <i>Danciu and Tselentis (2007)</i> .....	125
2.5.6.3.1 Μέγιστη αναμενόμενη εδαφική επιτάχυνση (PGA) .....	125
2.5.6.3.2 Μέγιστη αναμενόμενη εδαφική ταχύτητα (PGV).....	127
2.5.6.3.3 Μέγιστη αναμενόμενη εδαφική μετατόπιση (PGD) .....	129
2.5.6.4 <i>Sakkas (2016)</i> .....	131
2.5.6.4.1 Μέγιστη αναμενόμενη εδαφική επιτάχυνση (PGA) .....	131
2.5.6.5 <i>Chousianitis et al. (2018)</i> .....	133
2.5.6.5.1 Μέγιστη αναμενόμενη εδαφική επιτάχυνση (PGA) .....	133
2.5.7 ΤΕΛΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ: Το λογικό δέντρο.....	136
2.5.7.1 Μέγιστη αναμενόμενη εδαφική επιτάχυνση (PGA) .....	137
2.5.7.2 Μέγιστη αναμενόμενη εδαφική ταχύτητα (PGV).....	139
2.5.7.3 Μέγιστη αναμενόμενη εδαφική μετατόπιση (PGD).....	141
2.5.8 Σύγκριση αποτελεσμάτων υβριδικής σχέσης απόσβεσης με τη βιβλιογραφία .....	143
2.5.8.1 Σύγκριση με τον <i>Ελληνικό Αντισεισμικό Κανονισμό</i> .....	143
2.5.8.2 Σύγκριση με την εργασία των <i>Burton et al. (2003)</i> .....	144
2.5.8.3 Σύγκριση με την εργασία των <i>Banitsiotou et al. (2004)</i> .....	145
2.5.8.4 Σύγκριση με την εργασία των <i>Tsapanos et al. (2004)</i> .....	146
2.5.8.5 Σύγκριση με την εργασία των <i>Tselentis and Danciu (2010)</i> .....	147
2.5.8.6 Σύγκριση με την εργασία των <i>Slejko et al. (2010)</i> .....	148
2.5.8.7 Σύγκριση με τη δημοσίευση των <i>Makropoulos et al. (2013)</i> .....	149
2.5.8.7.1 Μέγιστη αναμενόμενη εδαφική επιτάχυνση (PGA) .....	149
2.5.8.7.2 Μέγιστη αναμενόμενη εδαφική ταχύτητα (PGV).....	150
2.5.8.7.3 Μέγιστη αναμενόμενη εδαφική μετατόπιση (PGD) .....	151
2.5.9 Φάσματα ομοιόμορφης επικινδυνότητας (Uniform Hazard Spectrum – UHS).....	152
2.5.9.1 <i>Αποτελέσματα UHS και σύγκριση με E.A.K, SHARE και Eurocode 8</i> .....	154
<b>3. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ .....</b>	<b>156</b>

<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....</b>	<b>158</b>
<b>Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία.....</b>	<b>158</b>
<b>Ελληνική Βιβλιογραφία.....</b>	<b>167</b>

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιείται πιθανολογική εκτίμηση σεισμικής επικινδυνότητας στην ευρύτερη περιοχή του νομού Μεσσηνίας (ΝΔ Πελοπόννησο) με καθαρά στατιστικές και ημιστατιστικές μεθόδους. Η περιοχή μελέτης καλύπτει σημαντικές τεκτονικές δομές, όπως το κέρασ του Ταυγέτου, το ρήγμα της Σπάρτης, το τεκτονικό βύθισμα της Καλαμάτας και το τμήμα του ελληνικού ορογενετικού τόξου νότια και δυτικά της ξηράς. Επιπλέον, έχουν καταγραφεί ισχυροί σεισμοί, όπως της Καλαμάτας το 1986 και η σεισμική ακολουθία νότια της Μεθώνης το 2008. Η εκτίμηση της σεισμικής επικινδυνότητας εκφράστηκε σε όρους μέγιστης αναμενόμενης εδαφικής επιτάχυνσης (Peak Ground Acceleration - PGA), μέγιστης αναμενόμενης εδαφικής ταχύτητας (Peak Ground Velocity – PGV) και μέγιστης αναμενόμενης εδαφικής μετατόπισης (Peak Ground Displacement – PGD). Η εκτίμηση της σεισμικής επικινδυνότητας με χρήση καθαρής στατιστικής μεθόδου έγινε αξιοποιώντας τη θεωρία ακραίων τιμών, που προτάθηκε από τον Gumbel, μέσω του προγράμματος HAZAN. Η εκτίμηση της επικινδυνότητας με χρήση ημιστατιστικής μεθόδου πραγματοποιήθηκε λαμβάνοντας υπόψη την προσέγγιση των Cornell – McGuire, που χρησιμοποιείται ευρέως τα τελευταία χρόνια, μέσω της πιο πρόσφατης έκδοσης του λογισμικού CRISIS (R-CRISIS V20). Τα αποτελέσματα PGA, PGV και PGD που προέκυψαν από τις δύο μεθόδους συγκρίθηκαν μεταξύ τους, αλλά και με προηγούμενες εργασίες. Τα τελικά αποτελέσματα της ημιστατιστικής μεθόδου προκύπτουν με χρήση μιας σχέσης απόσβεσης που προκύπτει από προσέγγιση λογικού δέντρου από άλλες υβριδικές σχέσεις απόσβεσης για τη μείωση υπολογιστικών σφαλμάτων. Τέλος, δημιουργήθηκαν φάσματα ομοιόμορφης επικινδυνότητας (Uniform Hazard Spectrum – UHS) για τις πέντε πιο σημαντικές πόλεις του νομού Μεσσηνίας (Καλαμάτα, Μεσσήνη, Πύλο, Φιλιατρά και Κυπαρισσία). Τα φάσματα αυτά, συγκρίθηκαν με τα αντίστοιχα του Ευρωκώδικα 8 (Eurocode 8), του Εθνικού Αντισεισμικού Κανονισμού (Ε.Α.Κ.) και του φορέα Seismic Hazard Harmonization in Europe (SHARE).

## ABSTRACT

In the current bachelor thesis, the seismic hazard in the broader area of Messinia (SW Peloponnese) is assessed using probabilistic methods. The study area includes important tectonic structures, such as the horst of mountain Taygetos, Sparta's fault, Kalamata's graben and part of the Hellenic arc located south and west of Messinia. The region has hosted large earthquakes, as the 1986 Kalamata earthquake and the 2008 Methoni seismic sequence. Seismic hazard assessment in terms of Peak Ground Acceleration (PGA), Peak Ground Velocity (PGV) and Peak Ground Displacement (PGD) was performed taking into consideration Gumbel's extreme values theory via HAZAN software and the Cornell – McGuire approach, which is broadly utilized worldwide recently, using the latest version of the CRISIS software (R-CRISIS V20). The obtained results of the two methodologies are compared, as well as with previous studies. The final results of the Cornell - McGuire approach are obtained via a GMPE model constructed via a logic tree approach from other hybrid GMPE models in order to reduce computation uncertainties. Last, the Uniform Hazard Spectrums (UHS) for the five most populated cities in the study area (Kalamata, Messini, Pylos, Filiatra and Kyparissia) are obtained and compared to those proposed by Eurocode 8, the National Building Code and SHARE.



## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η Ελλάδα θεωρείται παγκοσμίως ως ένα γεωλογικό ζωντανό μουσείο που εξελίσσεται συνεχώς. Η Αφρικάνικη πλάκα υποβυθίζεται κάτω από την Ευρασιατική μέσω του ωκεανού της Τηθύος (που το υπόλειμμα του είναι η σημερινή ανατολική Μεσόγειος) με πολύ αργό ρυθμό με αποτέλεσμα νότια της Κρήτης, στη λεκάνη του Ηροδότου, ο ωκεάνιος φλοιός να υψώνεται. Όταν η υποβύθιση του ωκεανού ολοκληρωθεί, θα συγκρουστούν οι δύο πλάκες με αποτέλεσμα να δημιουργηθεί μια οροσειρά νότια της Κρήτης. Η υποβύθιση προβάλλεται στην επιφάνεια ως το καμπυλόγραμμο ορογενετικό τόξο που ξεκινάει νοτιοδυτικά της Ζακύνθου, συνεχίζει νότια της Κρήτης και καταλήγει ανατολικά της Ρόδου. Ο Ελλαδικός χώρος αποτελεί το μοναδικό μέρος όπου δεν έχει ολοκληρωθεί η υποβύθιση του ωκεανού της Τηθύος.

Η Ελλάδα πλήττεται από σεισμούς όπως για παράδειγμα ο ισχυρός σεισμός  $M_w = 6.0$  της Αθήνας στις 7/9/1999. Η ανθρωπότητα δεν μπορεί να κάνει τίποτα για την αντιμετώπιση των σεισμών και άλλων φυσικών φαινομένων, παρά μόνο να θωρακίσει τις κοινωνίες της, ώστε να μην υπάρξουν φυσικές καταστροφές. Για να επιτευχθεί αυτό πρέπει να υπάρχει ένας επαρκής και αποτελεσματικός αντισεισμικός κανονισμός (μακροπρόθεσμη πρόγνωση σεισμών). Για τη δημιουργία ή την επικαιροποίηση των αντισεισμικών κανονισμών, λαμβάνονται πολύ σοβαρά υπόψη πιθανολογικές μελέτες σεισμικής επικινδυνότητας. Αυτές εκφράζουν τη μέγιστη αναμενόμενη τιμή μιας παραμέτρου σεισμικής επικινδυνότητας σε μια περιοχή μελέτης για μια συγκεκριμένη περίοδο επανάληψης (πιθανότητα υπέρβασης ή μη υπέρβασης σε κάποια χρόνια). Ως παράμετροι σεισμικής επικινδυνότητας θεωρούνται, μεταξύ άλλων, το μέγεθος του σεισμού και οι εδαφικές παράμετροι, ήτοι μέγιστη αναμενόμενη εδαφική επιτάχυνση (Peak Ground Acceleration - PGA), μέγιστη αναμενόμενη εδαφική ταχύτητα (Peak Ground Velocity - PGV) και μέγιστη αναμενόμενη εδαφική μετατόπιση (Peak Ground Displacement - PGD).

Στα πλαίσια της παρούσας πτυχιακής εργασίας πραγματοποιείται η εκτίμηση σεισμικής επικινδυνότητας για την ευρύτερη περιοχή του νομού Μεσσηνίας (ΝΔ Πελοπόννησος). Νότια του νομού στον θαλάσσιο χώρο εντοπίζεται το Ελληνικό ορογενετικό τόξο, όπου κυριαρχούν ανάστροφοι μηχανισμοί γένεσης. Παράλληλα, στην ξηρά εντοπίζονται κανονικοί μηχανισμοί γένεσης (π.χ. τεκτονικό βύθισμα της Καλαμάτας). Την αξιοσημείωτη αυτή σεισμοτεκτονική αντικατοπτρίζουν σημαντικοί σεισμοί που έγιναν στην περιοχή, όπως στις 13 Σεπτεμβρίου 1986 στην Καλαμάτα ( $M_w = 5.7$ ) και η σεισμική ακολουθία νότια της Μεθώνης κατά το διάστημα Αύγουστος – Οκτώβριος 2011.

Η εκτίμηση σεισμικής επικινδυνότητας εκφράστηκε μέσω των εδαφικών παραμέτρων PGA, PGV και PGD για περίοδο επανάληψης 475 έτη (90% πιθανότητα μη υπέρβασης για τα επόμενα 50 χρόνια) και 950 έτη (90% πιθανότητα μη υπέρβασης για τα επόμενα 100 χρόνια). Πραγματοποιήθηκαν πιθανολογικές μέθοδοι εκτίμησης, συγκεκριμένα καθαρά στατιστική και ημιστατιστική. Στην πρώτη λαμβάνεται υπόψη μόνο ο κατάλογος σεισμών και σχέσεις απόσβεσης, ενώ στη δεύτερη χρειάζεται να οριστεί και το σεισμοτεκτονικό μοντέλο της περιοχής. Για την καθαρά στατιστική μέθοδο χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό HAZAN που λαμβάνει υπόψη τη θεωρία ακραίων τιμών του Gumbel, ενώ για την ημιστατιστική μέθοδο χρησιμοποιήθηκε η προσέγγιση των Cornell – McGuire μέσω της πιο πρόσφατης έκδοσης του λογισμικού CRISIS (R-CRISIS V20). Στο CRISIS, οι σχέσεις απόσβεσης που λήφθηκαν υπόψη είναι από τις πιο πρόσφατες που έχουν προταθεί για τον Ελλαδικό χώρο και λαμβάνουν υπόψη τον τύπο μηχανισμού γένεσης και του εδάφους. Ως τελικά αποτελέσματα PGA, PGV και PGD θεωρήθηκαν αυτά που προέκυψαν με χρήση σχέσης απόσβεσης που περιέχει όλες τις σχέσεις απόσβεσης που εξετάστηκαν (αφού μετατράπηκαν σε υβριδικές) με ίσους συντελεστές βαρύτητας για

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

κάθε σχέση, ώστε να περιοριστούν τα υπολογιστικά σφάλματα. Στην εργασία γίνονται συγκρίσεις με αποτελέσματα άλλων ερευνών για την επιβεβαίωση της ορθότητας τους. Πέραν αυτού, γίνεται και σύγκριση των αποτελεσμάτων μεταξύ των δύο μεθόδων εκτίμησης σεισμικής επικινδυνότητας.

Τέλος, δημιουργήθηκαν φάσματα ομοιόμορφης επικινδυνότητας (Uniform Hazard Spectrum – UHS) για τις πέντε μεγαλύτερες πόλεις του νομού Μεσσηνίας (Καλαμάτα, Μεσσήνη, Πύλο, Φιλιατρά και Κυπαρισσία). Σκοπός είναι να εκτιμηθεί η μέγιστη αναμενόμενη απόκριση του εδάφους σε συγκεκριμένες συχνότητες, ώστε να χρησιμοποιηθούν τα φάσματα αυτά για σχεδιασμό κτηρίων. Για τον έλεγχο της αξιοπιστίας των αποτελεσμάτων έγινε σύγκριση με τα φάσματα σχεδιασμού που προκύπτουν από τον Εθνικό Αντισεισμικό Κανονισμό (Ε.Α.Κ.), τον Ευρωκώδικα 8 (Eurocode 8) και του φορέα Seismic Hazard Harmonization in Europe (SHARE).

## 1.1 Ιστορικά – δημογραφικά στοιχεία

Η Μεσσηνία είναι νομός της Ελλάδας ο οποίος βρίσκεται στη νοτιοδυτική Πελοπόννησο και συνορεύει με τους νομούς Λακωνίας, Αρκαδίας και Ηλείας, δυτικά βρέχεται από το Ιόνιο Πέλαγος και τον Κυπαρισσιακό Κόλπο ενώ στα νότια από τον Μεσσηνιακό Κόλπο. Στον νομό ανήκουν και τα γειτονικά νησιά Πρώτη, Σαπιέντζα, Σφακτηρία, Σχίζα καθώς και ορισμένες ακατοίκητες νησίδες. Πρωτεύουσα του νομού είναι η Καλαμάτα και άλλες σημαντικές πόλεις είναι η Μεσσήνη, η Κυπαρισσία, τα Φιλιατρά, οι Γαργαλιάνοι, η Πύλος, η Μεθώνη και η Κορώνη. Η συνολική έκταση του νομού καλύπτει το 14% της επιφάνειας της Πελοποννήσου (2,996 m<sup>2</sup>) με πληθυσμό 159,954 κατοίκων εκ των οποίων οι 54,100 κατοικούν στην Καλαμάτα (ΕΛΣΤΑΤ, 2011).

Η περιοχή ήταν κατοικημένη από τα προϊστορικά χρόνια λόγω των εύφορων πεδιάδων της. Κοντά στη Χώρα (ή Λιγούδιστα) βρίσκονται τα απομεινάρια του μυκηναϊκού Ανακτόρου του Νέστορα, ο μυθικός βασιλιάς, που αναφέρεται και στα Ομηρικά Έπη. Από τον 8ο έως τον 5ο αιώνα π.Χ. οι Σπαρτιάτες κατέκτησαν τη Μεσσηνία με τους Μεσσηνιακούς Πολέμους (743 – 724 π.Χ. και 685 – μετά το 669 π.Χ.) αλλά οι Θηβαίοι την απελευθέρωσαν το 369 π.Χ. όμως, ξανά κατακτήθηκε από τους Ρωμαίους το 183 π.Χ. Στη Βυζαντινή Εποχή τον 13ο αιώνα κατακτήθηκε από τους Φράγκους, για να περάσει στα χέρια των Οθωμανών το 1498. Κατά την περίοδο της Δεύτερης Ενετοκρατίας (1683/84 – 1715), οι Βενετοί κατείχαν εκ νέου την Πελοπόννησο, γνωστή τότε ως Βασίλειο του Μορέως (1688 – 1715), από τον πόλεμο του Μορέως (1684 – 1699) κατά της Οθωμανικής Αυτοκρατορίας, όμως οι Οθωμανοί κέρδισαν σε μία σύντομη εκστρατεία τους Βενετούς διεκδικώντας έτσι πίσω την Πελοπόννησο μεταξύ Ιουνίου – Σεπτεμβρίου του 1715. Ο Γρηγόριος Παπαφλέσσας κήρυξε την επανάσταση κατά των Τούρκων στις 23 Μαρτίου 1821 και το 1833 έγινε η τυπική σύσταση του Νομού Μεσσηνίας (Σχήμα 1.1) από την Κυβέρνηση Μαυροκορδάτου.



Σχήμα 1.1: Ο νομός Μεσσηνίας (πράσινο χρώμα), ως ένας από τους 10 αρχικούς νομούς της Ελλάδας του 1833 από την απόφαση της διοικητικής διαίρεσης ([https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Dioikitiki\\_diairesi\\_1833\\_map.PNG](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Dioikitiki_diairesi_1833_map.PNG)).

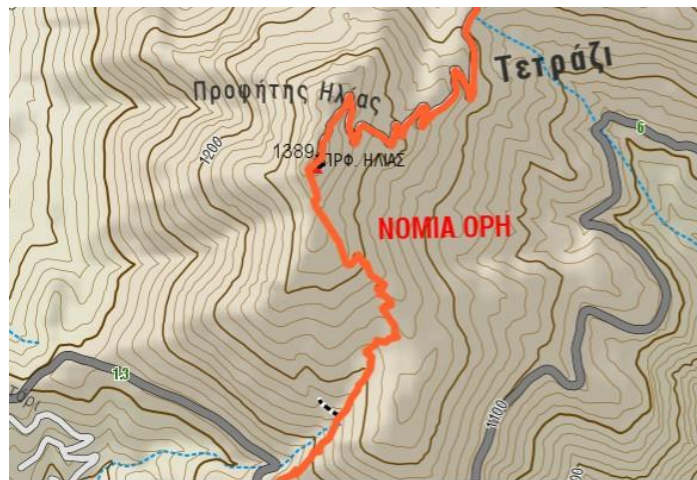
## 1.2 Γεωμορφολογία Μεσσηνίας

Τα υψηλότερα όρη του νομού Μεσσηνίας είναι στη βόρεια περιοχή, τα όρη Νόμια ή Τετράζι (1,389 m) (Σχήμα 1.2, 1.3) και Ελληνίτσα (1285 m) στα σύνορα του νομού με την Αρκαδία. Στο νότιο τμήμα του νομού, παρουσιάζεται το όρος Λυκόδημο (959 m) και νοτιότερα το όρος Κούκουρας που αποτελεί το νότιο άκρο της Χερσονήσου της Μεσσηνίας. Η Ιθώμη αποτελεί ένα βουνό σχετικά μικρού ύψους (περίπου 800 m). Η διαμόρφωση του εδάφους σε συνδυασμό με τα ετήσια ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα, έχουν ως αποτέλεσμα την αφθονία υπόγειων νερών, πηγών, ποταμών και χειμάρρων.

Οι κυριότεροι ποταμοί της Μεσσηνίας είναι ο Πάμισος και η Νέδα. Ο Πάμισος έχει μήκος 43 km και πηγάζει από την Κεντρική Μεσσηνία, διασχίζει τον νομό από βορρά προς νότο και εκβάλλει στο Μεσσηνιακό Κόλπο κοντά στη Μεσσήνη. Η Νέδα πρόκειται για ένα από τα λίγα ποτάμια θηλυκού γένους της Ελλάδας, η ονομασία προκύπτει από τη Νέδα που ήταν νύμφη της Αρκαδίας και κόρη του Ωκεανού (υιός του Ουρανού και της Γαίας). Πηγάζει από το όρος Λύκαιο, ρέει προς τα δυτικά και εκβάλλει στο Ιόνιο πέλαγος, μεταξύ των ακτών της Κυπαρισσίας και της Ζαχάρως, το μήκος της είναι 32 km. Εκτός των δύο παραπάνω ποταμών, υπάρχουν επίσης και δύο σημαντικοί χειμάρροι, ο Νέδων και ο Βαλύρας. Ο πρώτος, πηγάζει από τα όρη της Αλαγονίας, διατρέχει την πεδιάδα των Καλαμών και εκβάλλει στο Μεσσηνιακό Κόλπο διαβρώνοντας από τη συνολική πορεία του τους σχηματισμούς που συναντά με αποτέλεσμα την απόθεση φερτών υλικών αυξάνοντας τον βαθμό αξιοποίησης για κάθε χρήση (γεωργική, αστική και βιομηχανική). Τέλος, ο νομός Μεσσηνίας στερείται λιμνών. Ιστορικά στοιχεία όμως αναφέρουν την ύπαρξη μίας λεκάνης στα βόρεια του νομού μεταξύ των όρων Νόμια, Ιθώμη και Ελληνίτσα (Καρανίκα, 2003).



Σχήμα 1.2: Το όρος Τετράζι, όγκος των κορυφών από τα βόρεια. Στο πρώτο πλάνο, το χωριό Νέδα. <http://www.topoguide.gr/mountains/peloponnese/img/tetrazi.jpg>.



Σχήμα 1.3: Απόσπασμα τοπογραφικού χάρτη περιοχής (εφαρμογή Toponavigator).

### 1.3 Γεωλογία Μεσσηνίας

Η περιοχή της Μεσσηνίας ανήκει στις ενότητες Τρίπολης και Πίνδου, όμως διαθέτει και μετατεκτονικά ιζήματα (Σχήμα 1.4). Η ενότητα της Πίνδου ξεκινάει από τα σύνορα Ελλάδας – Αλβανίας και εκτείνεται νοτιότερα προς την ηπειρωτική Ελλάδα με την κυρίαρχη εμφάνισή της στην οροσειρά της Πίνδου. Θεωρείται η “βάση” των ενοτήτων της Ελλάδας διότι οι γεωλογικοί σχηματισμοί μαρτυρούν αβυσσικό γεωλογικό περιβάλλον σχηματισμού τους. Επομένως, ο τρόπος παραμόρφωσης των πετρωμάτων αυτών είναι περισσότερο εύπλαστος παρά ψαθυρός. Οι γεωλογικοί σχηματισμοί της ενότητας Πίνδου στην περιοχή της Μεσσηνίας είναι:

- C<sub>2</sub>: πελαγικοί ασβεστόλιθοι, κυρίως βιομικρίτες, ηλικίας Α. Κρητιδικού,
- t: πυριτικοί σχιστόλιθοι και ασβεστόλιθοι με Halobia και υποκείμενος φλύσχης κατά τόπους Τριαδικής ηλικίας,
- jc: ο πρώτος φλύσχης και η σειρά πηλιτών και ραδιολαριτών με ψαμμίτες και ενίοτε λεπτοπλακώδεις ασβεστόλιθους και
- fo: φλύσχης.

Η ενότητα Τρίπολης βρίσκεται εσωτερικά του μετώπου της ενότητας Πίνδου και εμφανίζεται ως τεκτονικό παράθυρο. Πολλές φορές μπερδεύεται με την ενότητα Γαβρόβου η οποία εμφανίζεται πάντα εξωτερικά του μετώπου της Πίνδου και επωθείται τεκτονικά κατώτερα της. Παρόλα αυτά τόσο η ενότητα Γαβρόβου, όσο και της Τρίπολης έχουν την ίδια παλαιογεωγραφία, δηλαδή νηρητική ανθρακική ιζηματογένεση. Οι γεωλογικοί σχηματισμοί της ενότητας Τρίπολης που απαντούν στη Μεσσηνία είναι:

- e: παχυστρωματώδεις ασβεστόλιθοι ηλικίας Παλαιοκαίνου – Μ. Ηώκαινου και
- ft: φλύσχης.

Τα μετατεκτονικά (μετα-ορογενετικά) ιζήματα είναι:

- p: κροκαλοπαγή, άμμοι, άργιλοι, μάργες, μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι, ενίοτε και στρώματα γύψου, ηλικίας Πλειόκαινου,
- m<sub>q1</sub>: θαλάσσιες αποθέσεις: μάργες, άργιλοι, άμμοι, κροκαλοπαγή και παράκτιες αναβαθμίδες ηλικίας Πλειστόκαινου και

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

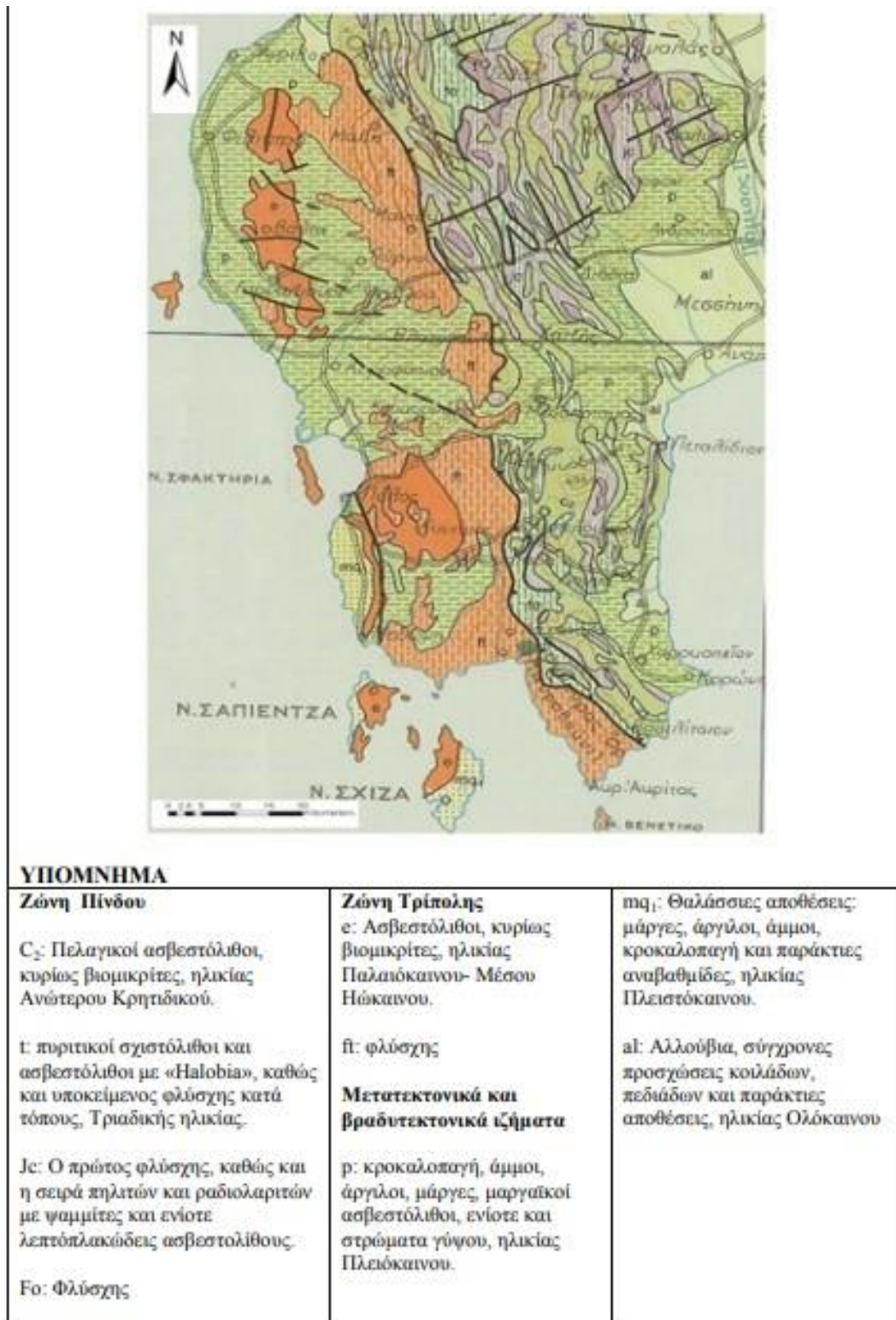
- al: αλλούβια, σύγχρονες προσχώσεις κοιλάδων, πεδιάδων και παράκτιες αποθέσεις ηλικίας Ολόκαινου.

Στο μεγαλύτερο τμήμα της, η περιοχή έχει κροκαλοπαγή, άμμους, αργίλους, μάργες και μαργαϊκούς ασβεστολίθους Πλειοκαινικής ηλικίας. Στον Μεσσηνιακό Κόλπο υπάρχουν αλλουβιακές αποθέσεις του Ολόκαινου από τα φερτά υλικά των υδρογραφικών δικτύων της περιοχής. Στο δυτικό τμήμα εντοπίζονται ασβεστόλιθοι, στο κεντρικό φλύσχη και στο νοτιοδυτικό θαλάσσιες αποθέσεις, για παράδειγμα στις νήσους Σχίζα και Σαπιέντζα. Οι υπόλοιποι σχηματισμοί εντοπίζονται στο βόρειο τμήμα.

### 1.4 Τεκτονική Μεσσηνίας

#### 1.4.1 Ανενεργά ρήγματα

Η περιοχή μελέτης ανήκει στη νότια μορφοτεκτονική περιοχή (Mariolakos and Fountoulis, 2004) (Σχήμα 1.5). Ειδικότερα, χωρίζεται σε τρεις τομείς, με βάση τη γενική διεύθυνση των μορφολογικών ασυνεχειών και των νεοτεκτονικών κύριων ζωνών διάρρηξης, που επικρατούν σε κάθε περιοχή (Mariolakos and Papanikolaou, 1981; Mariolakos et al., 1985; Μαριολάκος και Παπανικολάου, 1987). Παρουσιάζονται κέρατα και βυθίσματα πρώτης τάξης νεοτεκτονικές μακροδομές, τα οποία οριοθετούνται από ρήγματα και ρηξιγενείς ζώνες (Ladas et al., 2004) (Σχήμα 1.5). Η περιστροφή των ρηξιτεμάχων αυτών διαφοροποιεί τους ρυθμούς ανύψωσης και βύθισης στα περιθώρια και το εσωτερικό τους με αποτέλεσμα την πολύπλοκη κινηματική εξέλιξή τους (Mariolakos et al., 1989, 1994; Ladas et al., 2004). Τέλος, παρατηρούνται και μικρότερα κέρατα και βυθίσματα, δηλαδή δεύτερης τάξης νεοτεκτονικές μακροδομές. Βρίσκονται στο εσωτερικό των πρώτης τάξης, αλλά και κατά μήκος των περιθωρίων της ΝΔ Πελοποννήσου.



Σχήμα 1.4: Απόσπασμα γεωλογικού χάρτη Μεσσηνίας (Μπορνόβας και Ροντογιάννη - Τσιαμπάου, 1983).

### 1.4.2 Ενεργά ρήγματα

Χερσαίες αλλά και υποθαλάσσιες έρευνες που έχουν εκπονηθεί από διάφορους ερευνητές (Papanikolaou et al., 1988, 2007) αποκαλύπτουν ότι το νότιο και νοτιοδυτικό τμήμα της Πελοποννήσου συνίσταται από κύριες νεοτεκτονικές μακροδομές που οριοθετούνται από ρηξιγενείς ζώνες με διεύθυνση Β – Ν και Α – Δ (Σχήματα 1.5 και 1.6). Αυτές οι μακροδομές από Α προς Δ έχουν ως εξής (Fountoulis and Mavroulis, 2013):

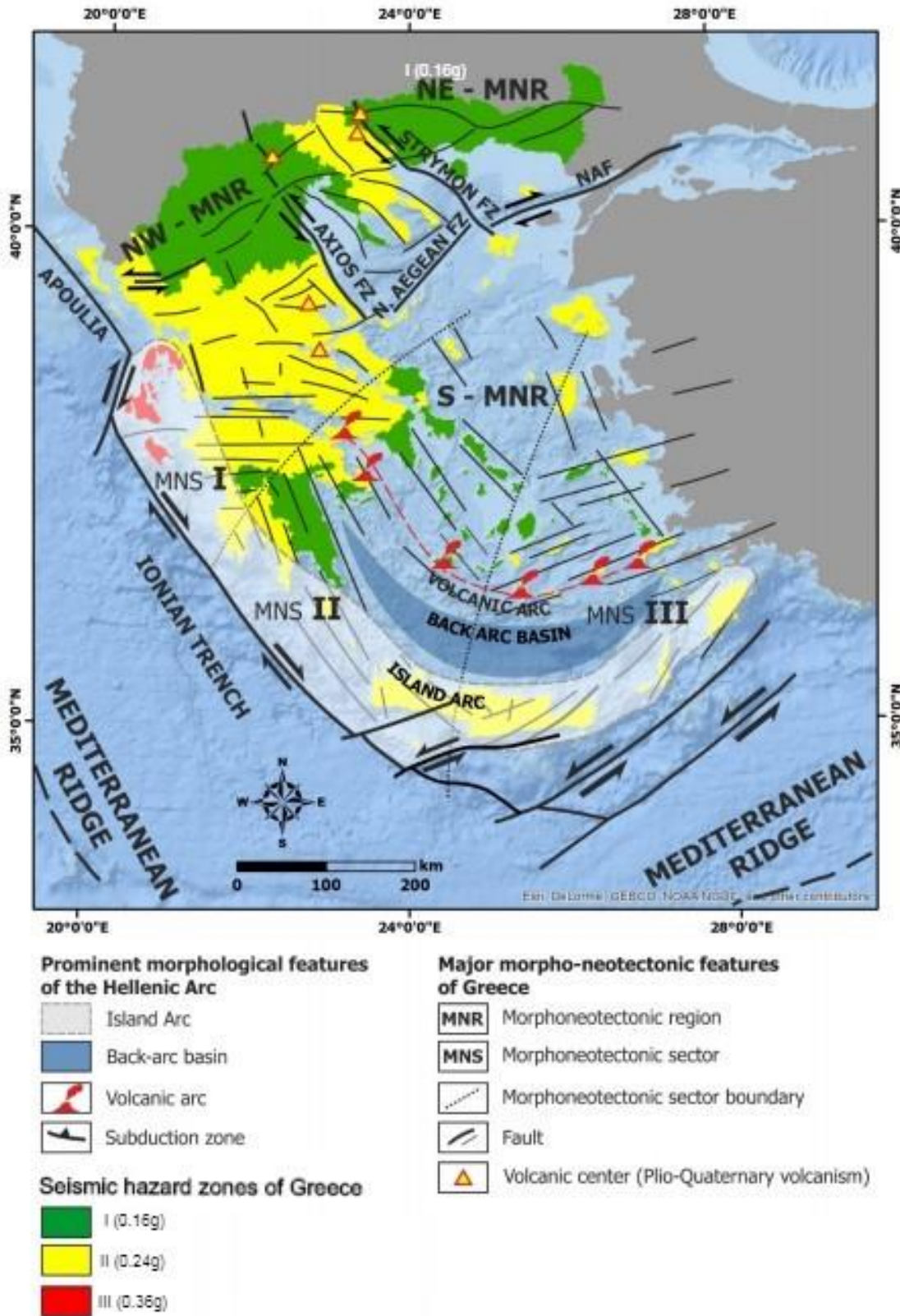
- η λεκάνη της Σπάρτης - Ευρώτα (ΒΔ – ΝΑ),
- το κέρασ του Ταΰγετου (Β – Ν),
- το σύνθετο μορφοτεκτονικό βύθισμα Καλαμάτας – Κυπαρισσίας (Β – Ν στο νότιο τμήμα του και Α – Δ στο βόρειο),
- η μορφοτεκτονική μεγαδομή ορέων Κυπαρισσίας – Λυκόδημου (Β – Ν) και
- το μεγακέρασ Γαργαλιάνων – Πύλου κατά μήκος της δυτικής παράκτιας περιοχής της Μεσσηνίας.

Αυτές οι χερσαίες μακροδομές οριοθετούνται από ενεργές ρηξιγενείς ζώνες και ρήγματα (Σχήμα 1.5). Χαρακτηριστικά παραδείγματα των τελευταίων είναι το ρήγμα που αναπτύσσεται στο ανατολικό περιθώριο της λεκάνης της Κάτω Μεσσηνίας. Επιπροσθέτως, το ρήγμα που αναπτύσσεται στο δυτικό περιθώριο της λεκάνης Σπάρτης – Ευρώτα. Υποθαλάσσιες έρευνες στους κόλπους της Μεσσηνίας και της Κυπαρισσίας (Papanikolaou et al., 1988, 2007) απέδειξαν ότι ορισμένα από τα περιθωριακά ενεργά ρήγματα που χαρτογραφήθηκαν στη χέρσο, συνεχίζουν και στον παρακείμενο υποθαλάσσιο χώρο της Μεσσηνίας και Κυπαρισσίας (Σχήμα 1.5).

Προτείνεται ένα μοντέλο δύο σταδίων για την εξέλιξη της Νότιας Πελοποννήσου (Skourtsos and Fountoulis, 2010). Ο εφελκυσμός κατά το Α. Μειόκαινο – Κ. Πλειόκαινο αποδίδεται στη δράση ρηγμάτων αποκόλλησης, που εμφανίζονται ΝΔ του Ταΰγετου. Από το Α. Πλειόκαινο και μετά, σχηματίζονται μεγάλης κλίσης κανονικά ρήγματα στη θέση των Νεογενών εκτατικών δομών. Το νέο ρηξιγενές σύστημα περιέστρεψε τις παλαιότερες εκτατικές δομές και δημιούργησε μία συναζονική παραμόρφωση διεύθυνσης ΑΒΑ – ΔΝΔ. Ο συνιζηματογενής τεκτονισμός εντός των νεοσχηματισθέντων λεκανών στην περιοχή της Μεσσηνίας ήταν κυρίως θαλάσσιας φάσης. Η ιζηματογένεση διαμορφώθηκε από την αλληλεπίδραση τεκτονικής ανύψωσης και ευστατισμού. Οι ανυψωμένες θαλάσσιες αναβαθμίδες του Α. Πλειστοκαίνου στα υποκείμενα τεμάχη των ρηγμάτων σε συνάρτηση και με τη σεισμική δραστηριότητα, υποδεικνύουν ότι η ανύψωση των εσωτερικών τμημάτων των δομών αυτών μπορεί να χαρακτηριστεί ενεργή.



# 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ



Σχήμα 1.5: Τα κυριότερα μορφοτεκτονικά χαρακτηριστικά του Ελληνικού τόξου και οι κύριες μορφονεοτεκτονικές περιοχές του. Παρουσιάζονται και τα ανενεργά και τα ενεργά ρήγματα της περιοχής μελέτης καθώς και οι μακροδομές (Μαντουλίδης, 2020, τροποποιημένο).

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ



Σχήμα 1.6: Νεοτεκτονικές μακροδομές ολόκληρης Δυτικής Πελοποννήσου (Φουντούλης, 1994, τροποποιημένο από Μαυρούλης, 2009).

Το μεγαβύθισμα Καλαμάτας – Κυπαρισσίας (νούμερο 7 Σχήματος 1.6) αποτελεί μία πρώτης τάξης νεοτεκτονική δομή που περιλαμβάνει μικρότερες δεύτερης τάξης δομές οι οποίες συνδέουν τον Μεσσηνιακό Κόλπο στα νότια με τον Κυπαρισσιακό κόλπο στα ΒΔ. Από ΝΑ προς ΒΔ οι δεύτερης τάξης δομές έχουν ως εξής:

- η λεκάνη Κάτω Μεσσηνίας, εντοπίζεται βόρεια του Μεσσηνιακού Κόλπου και βρέθηκε σε συνθήκες χέρσου μετά το Κ. Πλειστόκαινο (Σχήμα 1.7) και
- η λεκάνη Άνω Μεσσηνίας (Σχήμα 1.8), μία κλειστή λεκάνη από όλες τις πλευρές της με εξαίρεση ένα στενό τμήμα πλάτους 50 m. Προς τα δυτικά, η λεκάνη Άνω Μεσσηνίας συνδέεται με τη λεκάνη Άνω Δώριου μέσω μίας στενής κοιλάδας. Εντός της πρώτης λεκάνης αναπτύσσεται ένα πολύ μεγαλύτερο τεκτονικό βύθισμα. Το ανατολικό περιθώριο της συμπίπτει με την ανατολική περιθωριακή ρηξιγενή ζώνη του βυθίσματος, ενώ τα δυτικά όρια της λεκάνης συμπίπτουν με ένα παλαιοανάγλυφο.

Το μεγακέρας του Ταΰγετου (νούμερο 8 Σχήματος 1.6), (Σχήμα 1.7) δομείται κυρίως από πετρώματα της ενότητας Τρίπολης (Aubouin et al., 1976; Jacobshagen et al., 1978). Ανυψώθηκε και

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

πτυχώθηκε κατά τη διάρκεια της ελληνικής ορογένεσης του Παλαιοκαίνου. Το δυτικό μισό της δομής περιλαμβάνει γεωλογικούς σχηματισμούς της ενότητας Άρνας (ή αλλιώς φυλλιτών χαλαζιτών) (Jacobshagen et al., 1978). Η υποβύθιση και η υποεπώθηση κατά μήκος της ελληνικής τάφρου στο Μέσο έως Ανώτερο Μειόκαινο προκάλεσε φάση ανύψωσης της Πελοποννήσου, με τον Ταΰγετο και τη λεκάνη Σπάρτης να έχουν κατακόρυφη μετατόπιση της τάξης των 0.4 mm/yr (Le Pichon and Angelier, 1981).

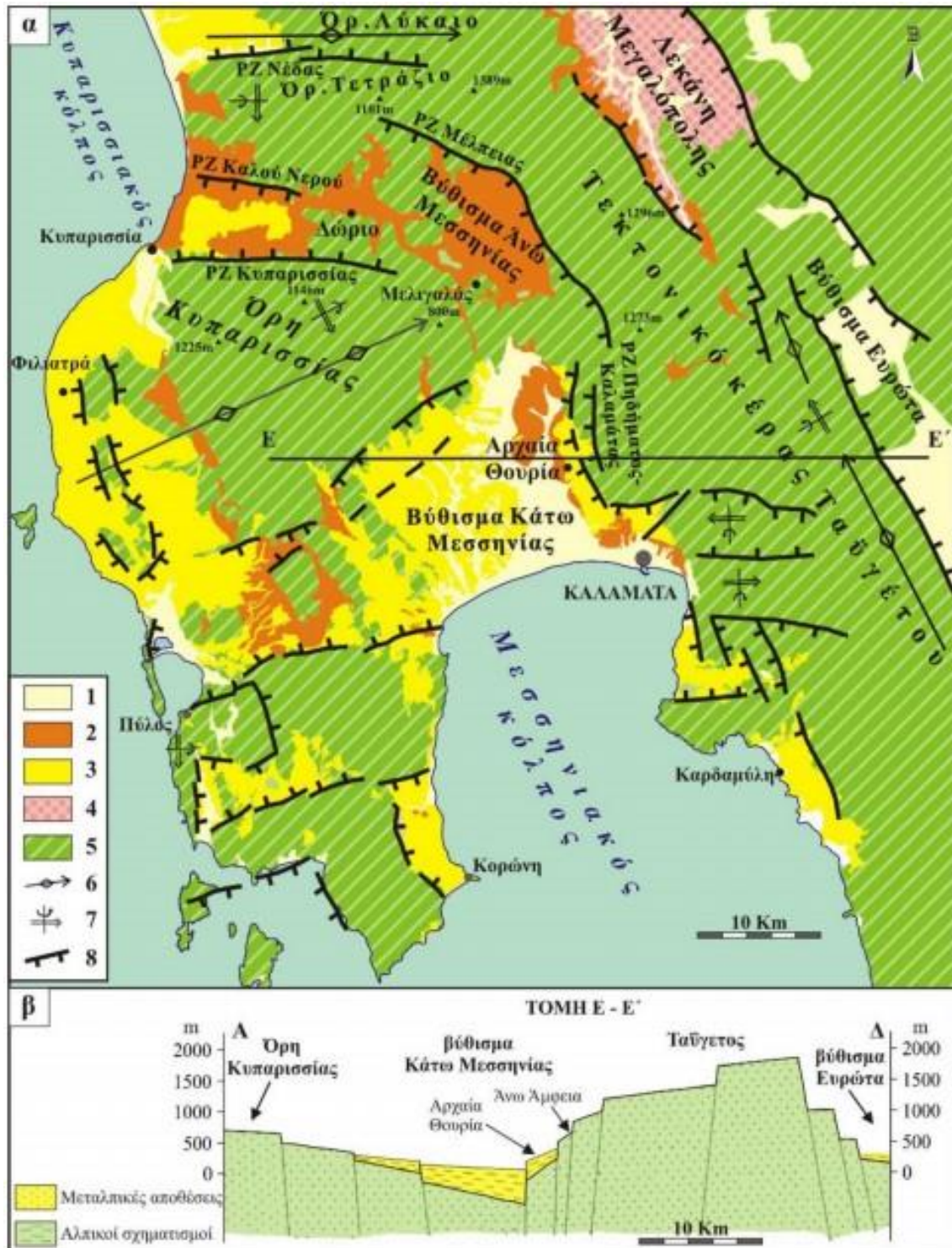
Το σύνθετο νεοτεκτονικό κέρασ των ορέων της Πυλίας (Σχήμα 1.9) διεύθυνσης B – N οριοθετείται στα βόρεια από μία ρηξιγενή ζώνη με προσανατολισμό A – Δ (Ladas et al., 2004). Οι επαναδραστηριοποιήσεις της ρηξιγενούς ζώνης έχουν δημιουργήσει μεγάλες ασυνέχειες στη μορφολογία δυτικά της Πύλου. Ρηξιγενείς επιφάνειες αναπτύσσονται πάνω σε ανθρακικούς σχηματισμούς της ενότητας Τρίπολης. Διασχίζει όλη τη χερσόνησο και περιλαμβάνει πολλά ρήγματα σε κλιμακωτή διάταξη των οποίων οι γραμμές ολίσθησης πάνω στα κάτοπτρα μαρτυρούν το είδος των ρηγμάτων σε πλαγιοκανονικά αριστερόστροφα. Οι δεύτερης δομής μακροδομές που αναπτύσσονται είναι (Ladas et al., 2004):

- κέρασ Αγίου Νικολάου,
- βύθισμα Πύλου – Μεθώνης,
- κέρασ Κυνηγού,
- τεκτονική δομή Λυκοδήμου,
- λεκάνη Πήδασσου.
- κέρασ Μαυροβουνίου,
- λεκάνη Φαλάνθης και
- λεκάνη Αχλαδοχωρίου.

Η λεκάνη Φαλάνθης έχει χαρακτηριστικό σχήμα επιμήκους ορθογωνίου παραλληλόγραμμου από BBD μέχρι NNA. Οροθετείται στα δυτικά από το κέρασ του Μαυροβουνίου μέσω της ρηξιγενούς ζώνης Φαλάνθης (BD – NA) που σταματάει όταν διασταυρώνεται με τη ρηξιγενή ζώνη Λόγγα – Ευαγγελισμού. Άξιο προς αναφορά είναι ότι έχουν παρατηρηθεί πέρα των κανονικών ρηγμάτων και ανάστροφα (Ladas et al., 2004).

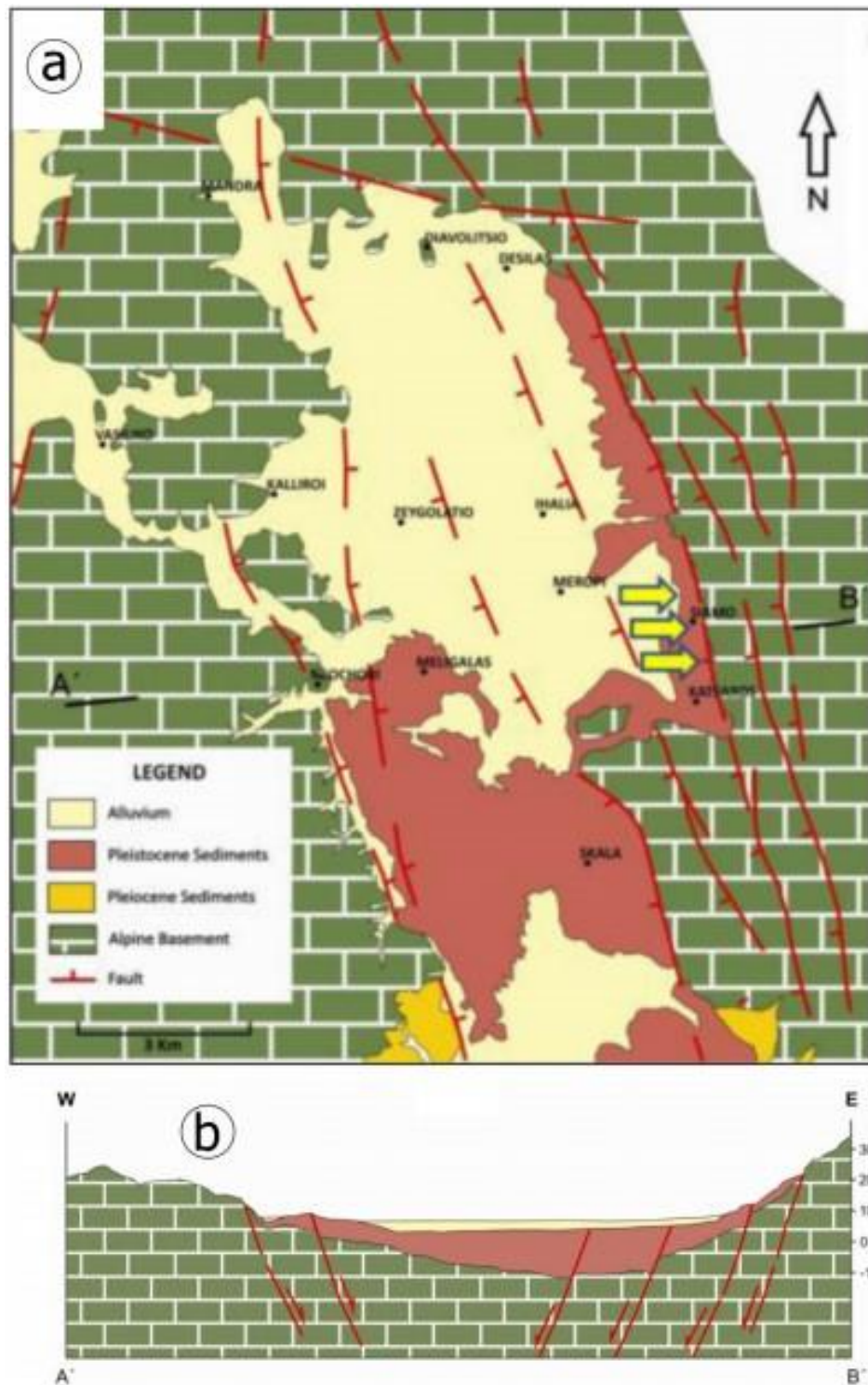
Η λεκάνη της Σπάρτης (Σχήμα 1.10) περιλαμβάνει την περιοχή που αναπτύσσεται ανάμεσα στους ορεινούς όγκους του Ταΰγετου από τα δυτικά με υψόμετρο 2407 m και του Πάρωνα στα ανατολικά με ύψος 1935 m (Γάκη – Παπαναστασίου και συν., 1995; Papanastassiou, 1999; Papanastassiou et al., 2005). Η περιοχή είναι τεκτονικά ενεργή με τα ρήγματα να έχουν κανονικό μηχανισμό και προσανατολισμό BBD – NNA. Στον Ταΰγετο κλίνουν προς ανατολικά, ενώ στον Πάρωνα προς δυτικά, τέλος παρατηρείται και μία δευτερεύουσα ομάδα ρηγμάτων με διεύθυνση ABA – ΔNΔ που είναι κάθετη στην προηγούμενη.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ



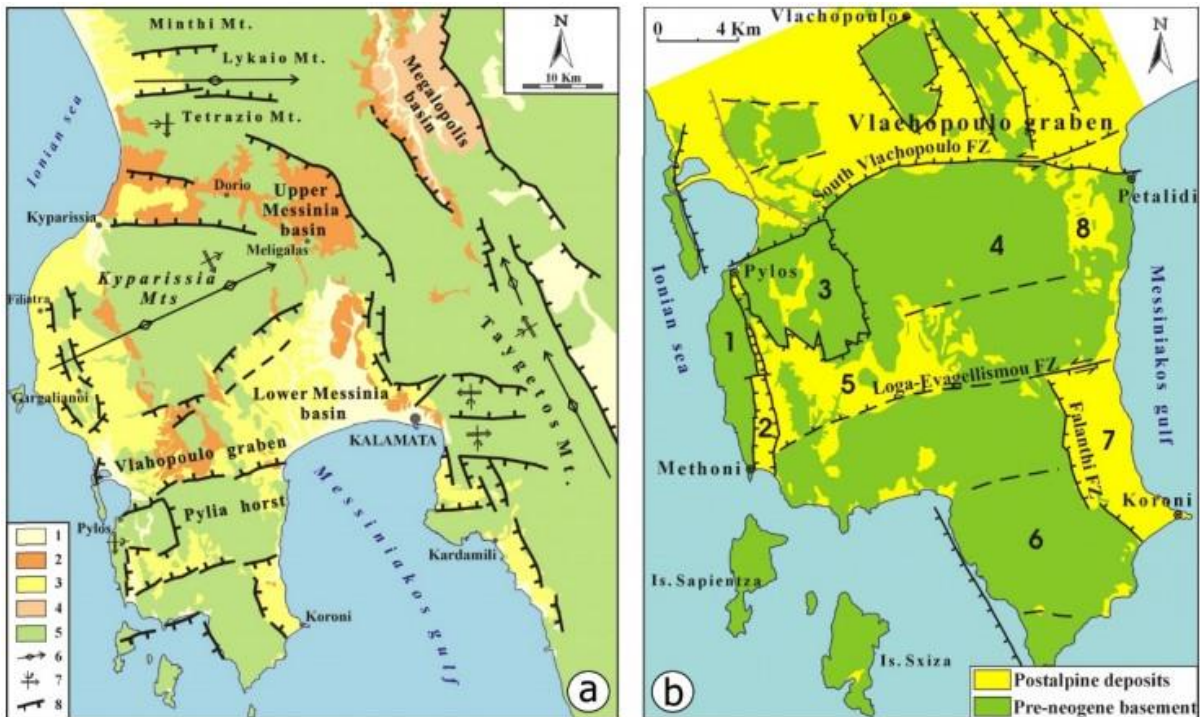
Σχήμα 1.7: (α) Νεοτεκτονικός χάρτης της ΝΑ Πελοποννήσου και της λεκάνης Κάτω Μεσσηνίας. (β) Γεωλογική τομή (E-E') διεύθυνσης Α-Δ εγκάρσια στις ενεργές μακροδομές (Mariolakos et al., 1994, τροποποιημένο από Λαδάς και συν., 2014).

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ



Σχήμα 1.8: (a) Γεωλογικός χάρτης της λεκάνης Άνω Μεσσηνίας με τα ενεργά ρήγματα της ευρύτερης περιοχής. Τα κίτρινα βέλη είναι οι θέσεις εδαφικών ρωγμών που παρατηρήθηκαν στον οικισμό Σιάμο κατά τη σεισμική ακολουθία του 2011. (b) Γεωλογική τομή διεύθυνσης ΔΝΔ – ΑΒΑ κάθετη στο ανατολικό περιθώριο της λεκάνης Άνω Μεσσηνίας (Ganas et al., 2012).

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ



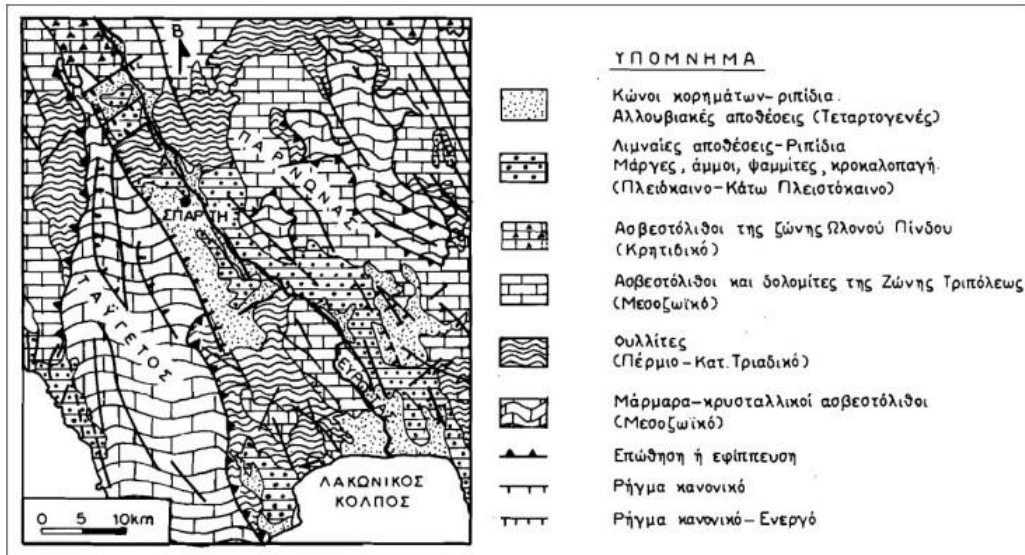
Σχήμα 1.9: (a) Νεοτεκτονική μακροδομή ΝΑ Πελοποννήσου (το 7 είναι ο άξονας περιστροφής και το 8 ρηξιγενής ζώνη κατά Ladas et al., 2004). (b) Οι δεύτερης τάξης δομές που εντάσσονται στο κέρασ της χερσονήσου Πυλίας (ακολουθεί η ίδια αρίθμηση με το κείμενο, δηλαδή το 1 είναι το κέρασ Αγίου Νικολάου και το 8 είναι η λεκάνη του Αχλαδοχωρίου, σύμφωνα με τους (Ladas et al., 2004).

Το ρήγμα της Σπάρτης (Σχήμα 1.11) αναπτύσσεται σε απόσταση 5 km από την ομώνυμη πόλη. Αποτελεί τμήμα ενός κύριου ρηξιγενούς συστήματος με μήκος μεγαλύτερο των 150 km, το οποίο διαχωρίζει το ανατολικό τμήμα της Πελοποννήσου με το κεντρικό. Έχει διεύθυνση Β30°Δ, μήκος μεγαλύτερο από 64 km και κλίση 40° προς Α. Βάσει των γεωλογικών και γεωμορφολογικών χαρακτηριστικών, το ρήγμα της Σπάρτης αποτελείται από δύο διαδοχικά τμήματα σε κλιμακωτή διάταξη (Papanastassiou et al., 2005).

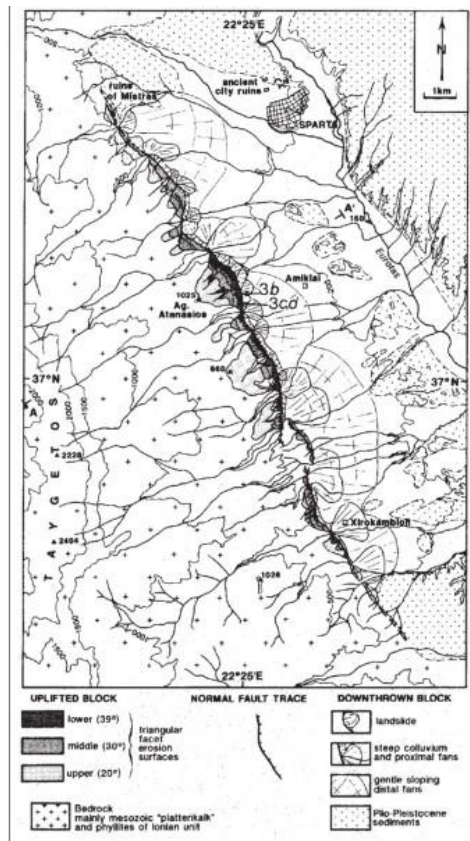
Ο Μεσσηνιακός Κόλπος βρίσκεται στο ΝΔ τμήμα της Πελοποννήσου, σε απόσταση 50 km ανατολικά της ελληνικής τάφρου και αποτελεί τμήμα του ενεργού ηπειρωτικού περιθωρίου του νησιωτικού τόξου, που περιλαμβάνει την Πελοπόννησο, τα Κύθηρα, την Κρήτη και τα Δωδεκάνησα. Οι κύριες τεκτονικές δομές του Μεσσηνιακού Κόλπου θεωρούνται κανονικά ρήγματα με ενδείξεις κατακόρυφης μετατόπισης (Σχήμα 1.12). Ωστόσο, η συμμετοχή ή όχι της οριζόντιας συνιστώσας της ολίσθησης δεν είναι δυνατόν να προσδιοριστεί. Κατατάσσονται στην κατηγορία των ενεργών ρηγμάτων και το άλμα τους αυξάνει προς τα κάτω (Μαυρούλης, 2020).

Το κυριότερο ρήγμα αναπτύσσεται με ΒΔ – ΝΑ διεύθυνση παράλληλα με την ακτογραμμή της χερσονήσου Κιτριών και χωρίζει τις βαθιές επίπεδες περιοχές του Κόλπου από τα πολύ απότομα ανατολικά υποθαλάσσια πρανή. Ένα ρήγμα διεύθυνσης περίπου Β – Ν αναπτύσσεται με μήκος μεγαλύτερη των 12 km νότια του λιμανιού της Καλαμάτας (Σχήμα 1.12). Το άλμα που αυξάνεται από βορρά που είναι 48 m προς νότο είναι 151 m. Αποτελεί την προς νότο προέκταση της ρηξιγενούς ζώνης. Στο βόρειο άκρο του υποθαλάσσιου αυτού ρήγματος, εντοπίστηκε μία ζώνη μικροδιαρρήξεων, οι οποίες αποδίδονται στη σεισμική δραστηριότητα του 1986.

# 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

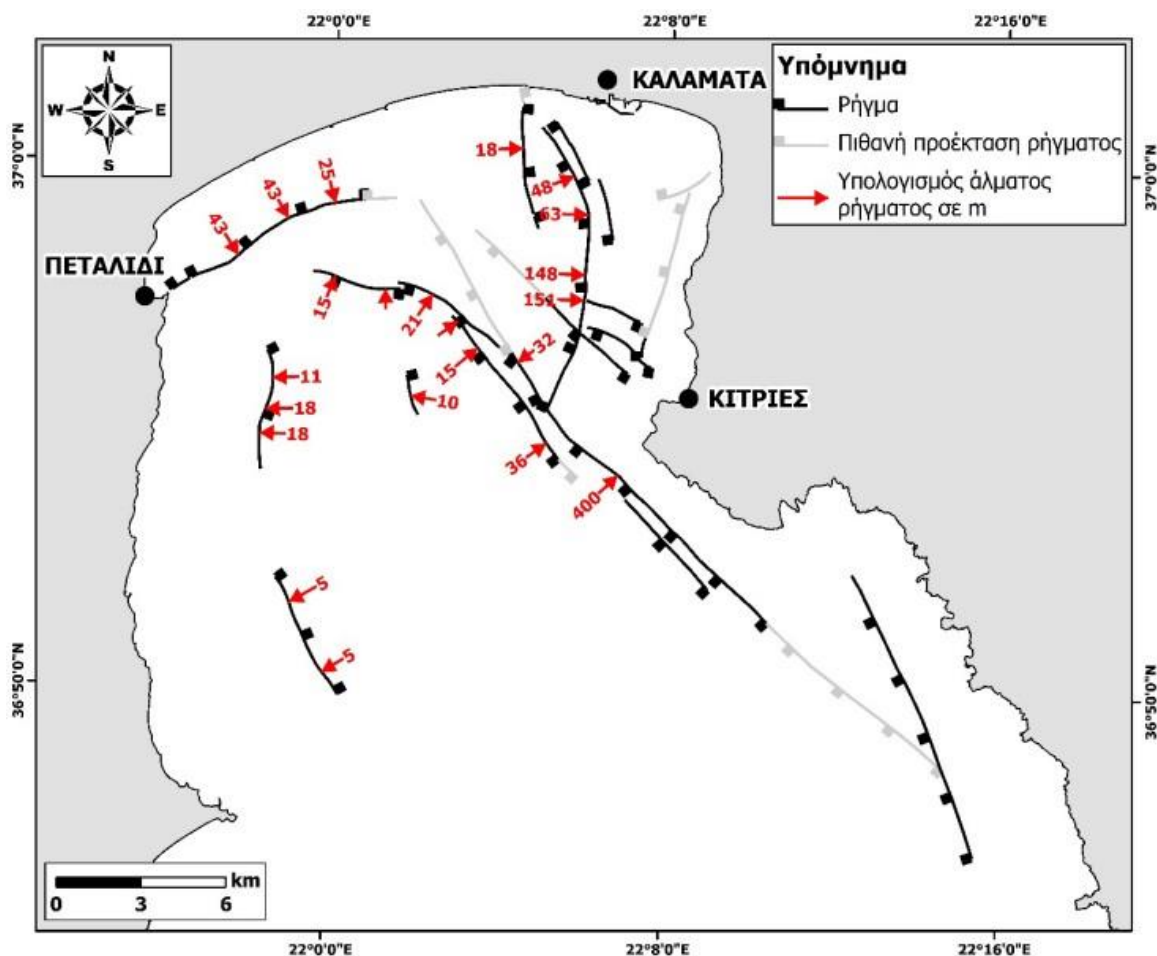


Σχήμα 1.10: Γεωλογικός χάρτης Ταΰγετου – λεκάνης Σπάρτης – Πάρνονα (από Γάκη – Παπαναστασίου και συν., 1995).



Σχήμα 1.11: Χάρτης του ρήγματος της Σπάρτης με το ανερχόμενο δυτικό ρηξιτέμαχος του Ταΰγετου και το ανατολικό κατερχόμενο ρηξιτέμαχος, όπου αναπτύσσεται η λεκάνη της Σπάρτης (Papanastassiou et al., 2005).

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ



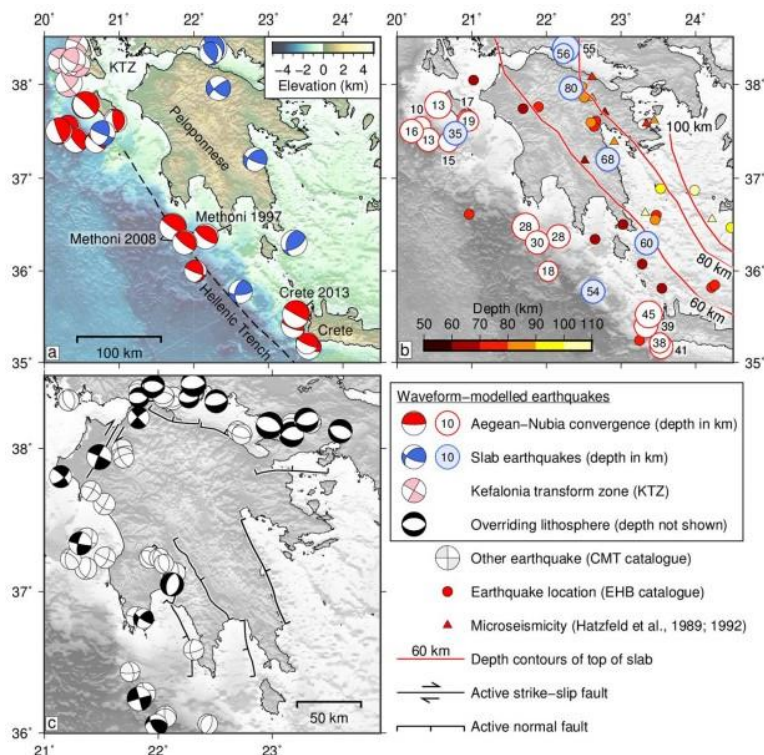
Σχήμα 1.12: Τα κύρια υποθαλάσσια ρήγματα του Μεσσηνιακού Κόλπου μαζί με τα άλμάτά τους σε μέτρα (Παπανικολάου και συν., 1988, τροποποιημένο από Μαυρούλης, 2020).

Στο θαλάσσιο τμήμα της ΝΔ Πελοποννήσου βρίσκεται το ελληνικό ορογενετικό τόξο, όπου η Αφρικανική πλάκα υπάγεται κατακόρυφα σε μεγαλύτερα βάθη από αυτό με ρυθμό 40 mm/yr (Reilinger et al., 2006; Noequet, 2012). Το παράδοξο σε αυτή τη γεωγραφική περιοχή είναι η εκδήλωση σεισμών σημαντικού μεγέθους μεγαλύτερου ή ίσου με 8.0 (365 μ.Χ. και 1303 μ.Χ., Ambraseys, 2009). Οι σεισμοί ανέπτυξαν μεγαλύτερων διαστάσεων ρήγματα που έδωσαν στη σύγχρονη εποχή μεγέθη κοντά στο 7. Αν και περίεργο να συζητείται σεισμός μεγέθους κοντά στο 8 στον Ελλαδικό χώρο, οι Shaw et al. (2008) και England et al. (2015) θεωρούν πως αυτοί οι σπάνιοι σεισμοί οφείλονται στη δράση υποθαλάσσιων ρηγμάτων με ανάστροφο χαρακτήρα που εντοπίζονται πάνω από την επαφή της υποβύθισης και μέσα στον φλοιό του Αιγαίου.

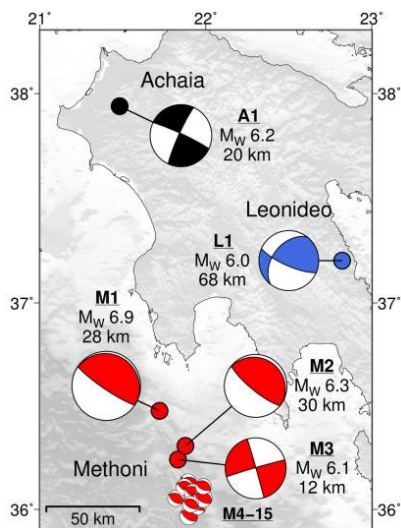
Η παρουσία των ανάστροφων ρηγμάτων δικαιολογεί και την αλλαγή βαθυμετρίας της περιοχής (Σχήμα 1.13, 1.14), αλλά και την παρουσία σημαντικού μεγέθους σεισμών σε μία κατά κύριο λόγο σεισμική ζώνη υποβύθισης. Τέτοιοι τύποι μηχανισμών γένεσης μπορούν να εξηγήσουν και τη χωρική κατανομή παλαιό – ακτογραμμών Ολοκαίνου στην Κρήτη (Pirazzoli et al., 1982; Shaw et al., 2008) και στη Ρόδο (Kontogianni et al., 2002; Howell et al., 2015).



# 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ



Σχήμα 1.13: (α) Χάρτης χωρικής κατανομής μηχανισμών γένεσης. (β) Βαθυμετρικός χάρτης (km), ενώ ο αριθμός στους κύκλους και το χρώμα δηλώνουν το εστιακό βάθος και τον τύπο μηχανισμού γένεσης του (α) και (γ) χάρτης μηχανισμών γένεσης που προσδιορίστηκαν μέσω μοντελοποίησης κυματομορφών (Hatzfeld et al., 1989; Hatzfeld, 1994; Engdahl et al., 1998; Kiratzi, 2003; Benetatos et al., 2004; Shaw and Jackson, 2010; Caputo et al., 2013; International Seismological Centre, 2016; Howell et al., 2017).



Σχήμα 1.14: Μηχανισμοί γένεσης σεισμών που συνέβησαν το έτος 2008. Παρατηρείται ο ανάστροφος χαρακτήρας των ρηγμάτων της Μεθώνης που βρίσκονται στο ελληνικό ορογενετικό τόξο (Howell et al., 2017).

### 1.5 Σεισμικότητα Μεσσηνίας

#### 1.5.1 Εισαγωγή

##### 1.5.1.1 Η σεισμικότητα στην Ελλάδα

Για την κατανόηση τόσο της σεισμικότητας της Μεσσηνίας όσο και της Ελλάδας γενικότερα, πρέπει να γίνει αναφορά στο γεωτεκτονικό περιβάλλον της θέσης όπου βρίσκεται η χώρα. Εντοπίζεται στην Α. Μεσόγειο, η οποία αποτελεί υπόλειμμα του ωκεανού της Τηθύος που υπάγεται κάτω από την Ευρασιατική πλάκα. Η προβολή της καμπυλωτής υποβύθισης στην επιφάνεια είναι το ορογενετικό τόξο με την κλασσική τοξοειδή μορφή.

Ωστόσο, δεν υπάρχει μόνο αυτή η κίνηση πλακών στην ευρύτερη περιοχή. Με σταθερή την Αφρικανική πλάκα, η Αραβία κινείται προς τον βορρά με ταχύτητα 10 mm/yr, η Ανατολία ωθείται προς τα δυτικά από τη σύγκρουση της Ευρασιατικής με την Αραβική πλάκα με ρυθμό 20 mm/yr και τέλος η μικροπλάκα του Αιγαίου κινείται προς τα ΝΝΔ με ταχύτητα 40 – 50 mm/yr (Kahle et al., 1995). Η πορεία της τελευταίας μικροπλάκας τερματίζεται από την υποβύθιση της Αφρικανικής πλάκας που κινείται αργά προς το βορρά (Jackson, 1994).

Κατά μήκος του ελληνικού τόξου παρατηρούνται συμπίεσεις και αναστροφές μηχανισμοί γένεσης λόγω της υποβύθισης. Αποτέλεσμά της είναι η σταδιακή πάχυνση του φλοιού (π.χ. λεκάνη Ηροδότου), αλλά λόγω της αρχής διατήρησης της μάζας πρέπει να υπάρχει και ένα εφελκυστικό καθεστώς που θα αντισταθμίζει την πάχυνση του φλοιού. Αυτή η περιοχή βρίσκεται βορειότερα της υποβύθισης και είναι ο χώρος του Αιγαίου πελάγους και άλλων περιοχών (π.χ. Κορινθιακός Κόλπος) με μηχανισμούς γένεσης κανονικού χαρακτήρα (Παπανικολάου, 2015).

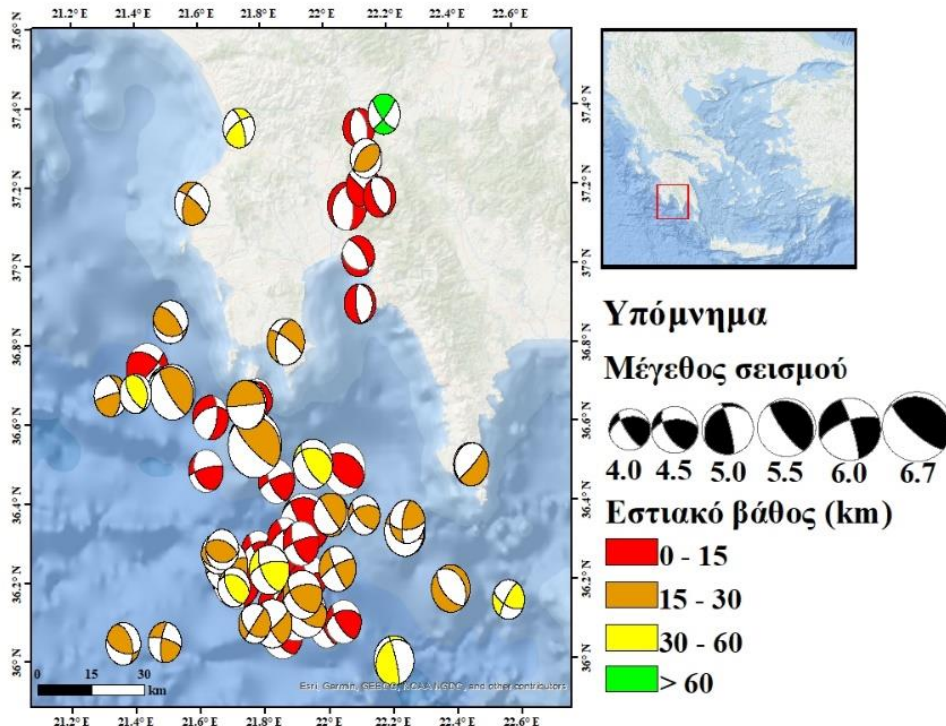
Το ίδιο ακριβώς συμβαίνει και στη Μεσσηνία (Σχήμα 1.15) διότι βρίσκεται λίγο βορειότερα της ελληνικής τάφρου που σημαίνει πως έχει εφελκυστικού χαρακτήρα ενεργά ρήγματα (σεισμός Καλαμάτας 1986), αλλά παράλληλα εντός του τόξου, παρατηρούνται και αναστροφές μηχανισμοί γένεσης (π.χ. σεισμός Μεθώνης 2008). Αυτή η πολυπλοκότητα και ποικιλία έχει κάνει την περιοχή μελέτης άκρως ενδιαφέρουσα στην εκτίμηση της σεισμικής επικινδυνότητας.

##### 1.5.1.2 Κατάλογοι σεισμών (εισαγωγικά στοιχεία)

Πληροφορίες για τη σεισμικότητα της Ελλάδας υπάρχουν από τον 6ο αιώνα π.Χ. διότι Έλληνες και Λατινικοί ιστορικοί αλλά και άλλοι συγγραφείς (Ηρόδοτος, Θουκυδίδης, Στράβων κτλ) περιέγραψαν τις μακροσεισμικές επιπτώσεις. Τέτοιες καταγραφές, καλύπτουν την περίοδο 550 π.Χ. – 300 μ.Χ. Ακολούθως, οι περιγραφές σεισμών μέχρι και το 1550 έγιναν κυρίως από βυζαντινούς συγγραφείς (Προκόπιος, Θεοφάνης, Κεδρηνός κτλ).

Οι καταγραφές ήταν περισσότερες και πιο ακριβείς από την έναρξη της ενόργανης περιόδου, το 1900, αλλά λόγω του μικρού αριθμού και της ποιότητας των οργάνων και της χωρικής κατανομής του δικτύου, υπήρχαν σφάλματα. Αλλά και πάλι η παρουσία ενός δικτύου εξασφάλιζε μεγαλύτερη αντικειμενικότητα και ακρίβεια από τις ιστορικές καταγραφές. Οπότε, οι κατάλογοι σεισμών διακρίνονται σε δύο κατηγορίες, τους ιστορικούς και τους ενόργανους.

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ



Σχήμα 1.15: Μηχανισμοί γένεσης στην ευρύτερη περιοχή της Μεσσηνίας. Τα διαφορετικά χρώματα αντικατοπτρίζουν τα διαφορετικά εστιακά βάθη των επικέντρων. Κυριαρχεί ο εφελκυστικός χαρακτήρας στην ξηρά ενώ στην περιοχή της τάφρου υπάρχει κυρίως ανάστροφος χαρακτήρας.

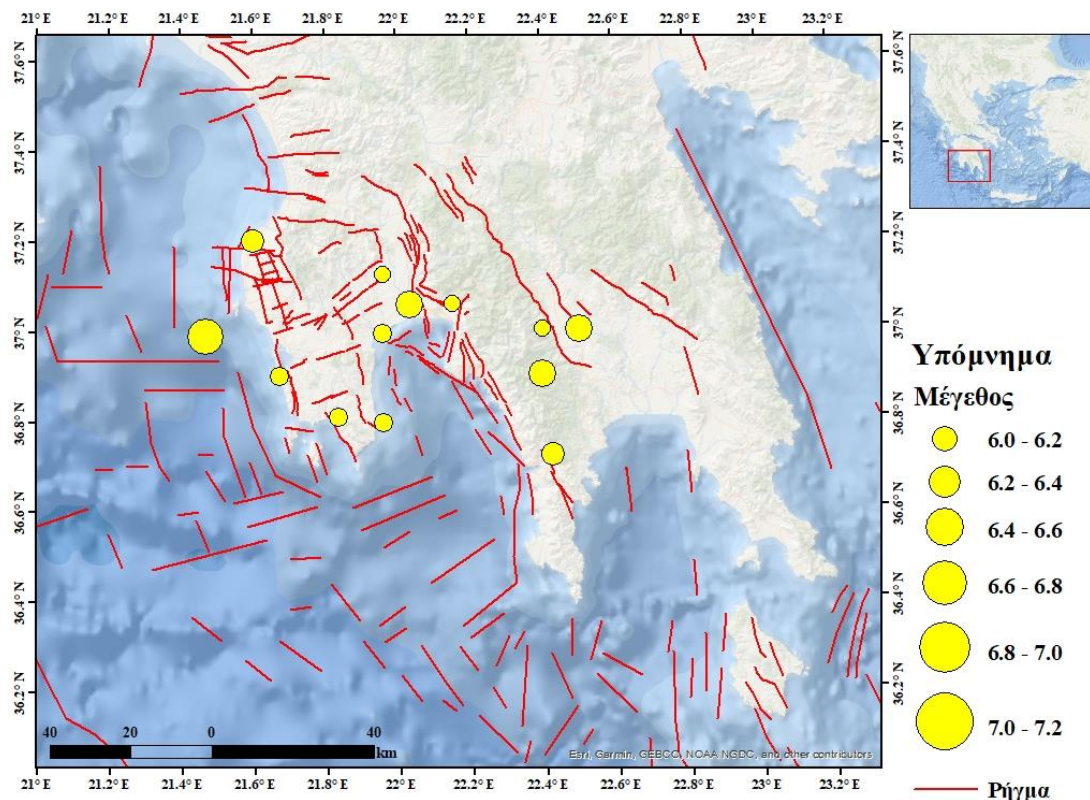
### 1.5.2 Ιστορική σεισμικότητα Μεσσηνίας

Στα πλαίσια της εργασίας, χρησιμοποιήθηκε κυρίως ο ιστορικός κατάλογος σεισμών των Παπαζάχου και Παπαζάχου (2003) για τις γεωγραφικές συντεταγμένες της περιοχής μελέτης (Γ.Π.:  $36^{\circ}.00\text{B} - 37.50^{\circ}\text{B}$ , Γ.Μ.:  $21.20^{\circ}\text{A} - 22.60^{\circ}\text{A}$ ), ο οποίος περιλαμβάνει καταγραφές από το 550 π.Χ. έως και το 1899. Πληροφορίες για τη χρονική περίοδο 1000 – 1899 λήφθηκαν και από τον κατάλογο SHEEC (SHARE European Earthquake Catalogue), ο οποίος περιλαμβάνει δεδομένα από το ευρωπαϊκό αρχείο ιστορικής σεισμικότητας AHEAD (Archive of Historical Earthquake Data) (Stucchi et al., 2012). Όσοι σεισμοί βρίσκονται και στους δύο καταλόγους, επιλέχθηκαν από τον τελευταίο για τη δημιουργία ενός ιστορικού καταλόγου για τη περιοχή μελέτης. Το τελικό αποτέλεσμα απεικονίζεται στον Πίνακα 1, του οποίου τα δεδομένα οπτικοποιούνται στο Σχήμα 1.16.

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

ΕΤΟΣ	ΜΗΝΑΣ	ΗΜΕΡΑ	ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟ ΜΗΚΟΣ - λ (DEG)	ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟ ΠΛΑΤΟΣ - φ (DEG)	M
-550	0	0	22.40	36.90	6.8
-464	0	0	22.50	37.00	6.8
-413	0	0	22.40	37.00	6.0
1422	4	13	21.96	36.99	6.4
1428	5	1	21.83	36.81	6.4
1642	5	30	21.96	36.80	6.4
1796	8	1	21.67	36.90	6.3
1842	4	18	22.15	37.06	6.2
1846	6	10	22.03	37.06	6.8
1867	9	20	22.42	36.72	6.5
1885	3	28	21.96	37.13	6.1
1886	8	27	21.47	36.99	7.2
1899	1	22	21.60	37.20	6.5

Πίνακας 1.1: Κατάλογος ιστορικών σεισμών για την ευρύτερη περιοχή της Μεσσηνίας. Τα δεδομένα π.Χ. λήφθηκαν από τους Παπαζάχος και Παπαζάχου (2003), ενώ κατά το 1422 – 1899 από το ευρωπαϊκό αρχείο ιστορικής σεισμικότητας AHEAD (Archive of Historical Earthquake Data) (Stucchi et al., 2012).



Σχήμα 1.16: Χάρτης ιστορικής σεισμικότητας για την ευρύτερη περιοχή της Μεσσηνίας, με δεδομένα από τον Πίνακα 1.

Παρατηρούνται τρία επίκεντρα κοντά στο ρήγμα της Σπάρτης, πρόκειται για τους τρεις πρώτους σεισμούς του Πίνακα 1 που συνέβησαν σε αυτή την περιοχή. Η αβεβαιότητα των τριών αυτών επίκεντρων είναι μεγάλη, καθώς πρόκειται αποκλειστικά για σεισμούς που συνέβησαν κατά τον 5<sup>ο</sup> και

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

6<sup>ο</sup> αιώνα π.Χ. Η χωρική κατανομή των επικέντρων αυξάνεται στις περιοχές της Καλαμάτας και της Μεσσηνίας, γεγονός που οφείλεται στο τεκτονικό βύθισμα της Καλαμάτας και στο τεκτονικό κέρασ του Ταΰγετου. Η γενική εικόνα δεν ακολουθεί κάποιο συγκεκριμένο μοτίβο λόγω του μικρού αριθμού δεδομένων. Ο μεγαλύτερος σεισμός που απεικονίζει το Σχήμα 1.16 είναι μεγέθους 7.2 με επίκεντρο κοντά στη δυτική ακτή της Μεσσηνίας. Ο συγκεκριμένος σεισμός έγινε στις 27 Αυγούστου 1886 και μετασεισμοί σημειώνονταν καθημερινά μέχρι τις 6/10/1886. Ακολουθεί σύντομη περιγραφή των σημαντικότερων ιστορικών σεισμών της περιοχής μελέτης.

### **550 π.Χ., 36.90°B, 22.40°A, M = 6.8, Σπάρτη**

Αυτός ο σεισμός μετέτρεψε τη Σπάρτη σε πολλά ερείπια. Είχε τόσο μεγάλη ένταση, που ένα κομμάτι της κορυφής του όρους Ταΰγετου αστόχησε και κατολίσθησε. Το εντυπωσιακό όμως είναι η πετυχημένη πρόγνωση του σεισμού από τον φιλόσοφο Αναξίμανδρο, ο οποίος προειδοποίησε τους Σπαρτιάτες να εκκενώσουν την περιοχή. Αναφορές γίνονται πως η πετυχημένη πρόγνωση ήταν αποτέλεσμα έκπληξης των ανθρώπων όταν είδαν σε ένα στάδιο αγώνων να εισέρχεται μία αλεπού τρομαγμένη και το έλαβαν σαν κάτι ασυνήθιστο διότι ζώα σαν την αλεπού φοβούνται τον άνθρωπο αλλά παρόλα αυτά εισήλθε σε ένα στάδιο γεμάτο Σπαρτιάτες, άρα θεώρησαν πως κάτι πιο σπουδαίο από τον άνθρωπο τρόμαξε την αλεπού (Mallet, 1854; Guidoboni et al., 1994).

Πρόκειται για μία από τις πρώτες πετυχημένες προγνώσεις σεισμών με μία τεχνική που εφαρμόζεται και σήμερα, δηλαδή την καταγραφή της συμπεριφοράς διαφόρων ζώων και τότε παρεκκλίνει του φυσιολογικού και πώς ερμηνεύεται.

### **464 π.Χ., 36.90°B, 22.50°A, M = 7.0, Σπάρτη**

Ένας πάρα πολύ καταστροφικός σεισμός, με τις βλάβες του να περιγράφονται από τον Θουκυδίδη, Πausanias, Στράβωνα και Πλούταρχο (Schmidt, 1867a; Georgiades, 1904; Guidoboni et al., 1994). Σύμφωνα με τον Πλούταρχο, όταν ο Αρχίμαδος ήταν για τέταρτη χρονιά βασιλιάς της Σπάρτης, έγινε ο αναφερόμενος σεισμός και μάλιστα η περιοχή δεν είχε γνωρίσει μεγαλύτερη ένταση από αυτήν, ο Ταΰγετος «κουνήθηκε» τόσο πολύ που πολλές κορυφές άρχισαν να αστοχούν. Όλη η πόλη της Σπάρτης καταστράφηκε εκτός από 5 σπίτια.

### **413 π.Χ., Χειμώνας, 37.00°B, 22.40°A, M < 6.0, Σπάρτη**

Σύμφωνα με τον Θουκυδίδη, όταν οι Σπαρτιάτες ήταν έτοιμοι να στείλουν ναυτική αποστολή για ενίσχυση της δύναμης της Χίου στην επανάσταση κατά της Αθήνας, έγινε ο σεισμός. Για αυτόν τον λόγο, οι Σπαρτιάτες έστειλαν 5 καράβια αντί για 10 που είχαν συμφωνήσει εξαρχής (Labros, 1881; Georgiades, 1904; Guidoboni et al., 1994).

### **1428, Μάιος, M = 6.4, Μεθώνη – Κορώνη**

Σε ένα ενετικό χειρόγραφο χρονικό καταγράφεται σεισμός μεγάλης έντασης στην περιοχή Μεθώνης – Κορώνης, μία μέρα του Μαΐου το 1428 (Papadopoulos et al., 2014).

### **1642, 30 Μαΐου, 36.80°B, 21.70°A, M=6.8, Κορώνη**

Οθωμανικό έγγραφο καταγράφει μεγάλο σεισμό που προκάλεσε κατάρρευση τμημάτων του κάστρου της Κορώνης (Ambraseys and Finkel, 1999; Παπαζάχος και Παπαζάχου, 2003; Ambraseys, 2009; Papadopoulos et al., 2014).

### **1684, Σεπτέμβριος, Καλαμάτα**

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι πληροφορίες δεν είναι πάρα πολλές, αλλά από οθωμανικές πηγές αναφέρεται πως πριν τις 26/9/1684 η περιοχή της Καλαμάτας επλήγη από σεισμό (Ambraseys and Finkel, 1999; Ambraseys, 2009; Papadopoulos et al., 2014).

### ***1736, Ιούνιος, Κορώνη***

Τον Ιούνιο του 1736 στην περιοχή της Κορώνης υπήρξαν βλάβες από σεισμός. Οι πληροφορίες πάρθηκαν και πάλι από τα Οθωμανικά έγγραφα (Ambraseys and Finkel, 1999; Ambraseys, 2009; Papadopoulos et al., 2014).

### ***1796, Αύγουστος, $M = 6.3$ , Ναυαρίνο***

Στο Ναυαρίνο (κωμόπολη της Πύλου), μέρος του καναλιού ύδρευσης καταστράφηκε εξαιτίας σεισμού (Ambraseys and Finkel, 1999; Παπαζάχος και Παπαζάχου, 2003; Ambraseys, 2009; Papadopoulos et al., 2014).

### ***1805, 18 Απριλίου, $37.03^{\circ}B$ , $22.30^{\circ}A$ , Καλαμάτα***

Ασθενής δόνηση στην Καλαμάτα (Papadopoulos et al., 2014).

### ***1838, 28 Νοεμβρίου, Καλαμάτα***

Σφοδρός σεισμός στην περιοχή της Καλαμάτας (Γαλανόπουλος, 1947; Ambraseys, 2009; Papadopoulos et al., 2014).

### ***1842, 18 Απριλίου, $36.70^{\circ}B$ , $22.30^{\circ}A$ , $h=n$ , $M=6.7$ , Μάνη***

Το επίκεντρο του σεισμού έλαβε χώρα στη ΝΔ ακτή της Πελοποννήσου και προκλήθηκαν ποικίλες βλάβες. Η πρώτη δόνηση εκδηλώθηκε στις 09:47 της 6/4/1842, η οποία στην περιοχή της Σπάρτης διήρκησε 25 – 30 sec (Papadopoulos et al., 2014), στην Πάτρα 2.5 min και στην Αθήνα 2.25 min (Papadopoulos et al., 2014). Μέσα σε 5 min μετά την εκδήλωση του κύριου σεισμού, έγιναν δύο δονήσεις διάρκειας 25 sec. Μετασεισμοί ακολούθησαν το απόγευμα της ίδιας ημέρας (18:15) και συνέχισαν μέχρι τις 12/7/1842 (Schmidt, 1867).

Οι σοβαρότερες βλάβες προκλήθηκαν στην κοιλάδα του ποταμού Πάμισου. Σχεδόν όλα τα σπίτια κατέρρευσαν στην Ανδρούσα, ενώ η εκκλησία έπαθε σοβαρές βλάβες. Μεγάλες βραχοπτώσεις υπήρχαν και στην Εύα, όπου πολλές κατοικίες καταστράφηκαν, όπως και το σχολείο, με αποτέλεσμα την απώλεια ενός ανθρώπου και τον τραυματισμό 8 άλλων. Καταστροφές σπιτιών υπήρξαν και στη Μεσσήνη, ενώ στην Ανάληψη έλαβαν χώρα φαινόμενα ρευστοποίησης και στο Καστερόλι οι κατοικίες και η εκκλησία κατέρρευσαν. Παλαιές κατασκευές στην Κορώνη γκρεμίστηκαν και παράλληλα σημειώθηκαν βλάβες εντός του κάστρου. Βλάβες λόγω των δονήσεων υπήρξαν και στη Μεθώνη. Απώλειες ζώων και καταστροφές οικισμών έλαβαν χώρα στις δυτικές πλαγιές του Ταΰγετου. Περισσότερες πληροφορίες των μακροσεισμικών επιπτώσεων αναφέρονται στην εργασία του Ambraseys (2009) και στη διδακτορική διατριβή του Μαυρούλη (2020).

### ***1842, 19 Απριλίου, Μεσσηνία***

Στις 19/4/1842 και ώρα 22.00 εκδηλώθηκε ισχυρός σεισμός που έγινε αισθητός σε μεγάλη περιοχή, ενώ ακολούθησαν και 2 μετασεισμοί (Ambraseys, 2009).

### ***1842, 12 Ιουλίου, Μεσσηνία***

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Πρόκειται για μετασεισμό του σεισμού της 19<sup>ης</sup> Απριλίου. Έλαβε χώρα στις 16.45. Το Ελαιοχώρι καταστράφηκε ολοσχερώς, 30 σπίτια κατέρρευσαν και το υπόλοιπο ερημώθηκε. Στην Καλαμάτα, καταστράφηκε ολικώς ο μητροπολιτικός ναός του Αγίου Γεωργίου, σοβαρές βλάβες προκλήθηκαν σε 40 κατοικίες και σε 2 ακόμα εκκλησίες. Η σεισμική δόνηση ήταν αισθητή στη Σπάρτη και αντιληπτή στη Ζάκυνθο (Barbiani and Barbiani, 1863).

### **1846, 10 Ιουνίου, 37.15°B, 22.00°A, M=6.6, Μεσσήνη**

Στις 10 Ιουνίου, στις 4:00 το πρωί, εκδηλώθηκε σφοδρότατος σεισμός με επίκεντρο κοντά στον οικισμό Μικρομάνη. Έγινε αισθητός σε απόσταση 470 km, μέχρι και τη Μικρά Ασία (Papadopoulos et al., 2014). Ο πιο ισχυρός μετασεισμός της ακολουθίας πραγματοποιήθηκε 16 ώρες μετά τη γένεση του κύριου και προκάλεσε επιπλέον καταστροφές.

Ελάχιστες κατοικίες παρέμειναν άθικτες, αλλά σχεδόν καμία δεν κατέρρευσε. Οι ολικές καταστροφές οικισμών πραγματοποιήθηκαν στην περιοχή της Μεσσήνης, Μικρομάνη, Ασπρόχωμα, Καλάμι, Άρις, Άμμος και Αλώνια (Παπαζάχος και Παπαζάχου, 2003).

Οι κάτοικοι σκορπίστηκαν στην ύπαιθρο και στην προσπάθειά τους να προστατευτούν από τον ήλιο, μετακινήθηκαν σε σπηλιές, σε δάση και άλλοι ζούσαν σε σκηνές. Οι απώλειες των ανθρώπων έφθαναν τις 30, οι καταρρεύσεις κτηρίων ήταν 2500 και η οικονομική ζημιά ήταν τάξης μεγέθους των 4 εκατομμυρίων φράγκων.

### **1859-1878, Απρίλιος 1865**

Κατά την περίοδο αυτή εκδηλώθηκαν 35 σεισμοί, εκ των οποίων οι 26 στην Καλαμάτα, οι 8 στην Πύλο και ένας στην Κυπαρισσία. Οι σεισμοί του Απριλίου του 1865 προκάλεσαν ελαφρές βλάβες στην Καλαμάτα (Γαλανόπουλος, 1947).

### **1867, 20 Σεπτεμβρίου, 36.73°B, 22.45°A, M=6.8, Μάνη, Μαρούλια**

Προκλήθηκαν καταστροφές στα χωριά Μαρούλια, Μοναστήρι, Γκάλα και σε άλλα χωριά της δυτικής Μάνης. Στο Οίτυλο, την Αρεόπολη και στο ακρωτήρι Δρόσος υπήρξαν καταστροφές και μερικές απώλειες. Ο σεισμός έγινε αισθητός στη Μάλτα, τη Σικελία και το Μπρίντζι.

Αποτέλεσμα του σεισμού ήταν μεγάλο ύψους κύμα, το οποίο εισχώρησε με ορμή και δύναμη στην ακτή του κόλπου του Γυθείου προκαλώντας έντονες βλάβες. Από το θαλάσσιο κύμα βαρύτητας (τσουνάμι) επίσης προσβλήθηκαν και άλλα λιμάνια, όπως του Μεσσηνιακού Κόλπου, της Σύρου και του Ληξουρίου (Παπαζάχος και Παπαζάχου, 2003).

### **1885, 28 Μαρτίου, 18:30, 37.00°B, 21.90°A, M=6.1, Μεσσήνη**

Καταστροφές υπήρξαν στη Μεσσήνη, Μάνεσι και Λόι, διότι σημειώθηκαν καταρρεύσεις κατοικιών, ενώ μικρότερες βλάβες προκλήθηκαν στα Γιαννιτσάνικα, Καλαμάτα, Μελιγαλά, Κατσαρό, Καρυές, Άγιο Ιωάννη με αποτέλεσμα 3 απώλειες και αρκετούς τραυματισμούς στη Μεσσήνη (Παπαζάχος και Παπαζάχου, 2003).

Ο σεισμός έγινε αισθητός σε απόσταση 180 km (Παπαζάχος και Παπαζάχου, 2003; Papadopoulos et al., 2014). Είχαν σημειωθεί 10 μετασεισμοί από τις 28/3/1855 – 10/10/1855 με τον ισχυρότερο να είναι στις 31 Αυγούστου.

### **1886, 27 Αυγούστου, 21:32, 37.00°B, 21.50°A, h=n, M=7.5 Φιλιατρά**

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το επίκεντρο εντοπίστηκε στη δυτική ακτή της Μεσσηνίας. Πολλοί μετασεισμοί σημειώνονταν καθημερινά μέχρι τις 6/10/1886.

Η εγγύτερη του επικέντρου περιοχή περιλαμβάνει την παραλία της Κυπαρισσίας μέχρι την αρχή του λιμανιού του Ναυαρίνου, όπου τα Φιλιατρά, οι Γαργαλιάνοι, καθώς και άλλοι 123 οικισμοί καταστράφηκαν ολοσχερώς.

**1899, 22 Ιανουαρίου, 09:56, 37.20°B, 21.60°A, h=n, M=6.5, Κυπαρισσία**

Πολλοί τραυματισμοί και σοβαρές βλάβες προκλήθηκαν σε πολλούς οικισμούς της Μεσσηνίας. Το επίκεντρο βρισκόταν νότια της Κυπαρισσίας, στην περιοχή όπου τέμνονται το ρήγμα Χαραυγής και το ρήγμα της βόρειας παρυφής της νήσου Πρώτης (Γαλανόπουλος, 1947). Οι μεγαλύτερες βλάβες εντοπίστηκαν στην Κυπαρισσία, διότι γκρεμίστηκαν 53 σπίτια, ενώ σε 70 σπίτια που ήταν χτισμένα σε χαλαρό έδαφος χωρίς ξυλοδεσιές προκλήθηκαν βλάβες (Παπαζάχος και Παπαζάχου, 2003).

Λίγο πριν τον σεισμό, προηγήθηκε δόνηση ίδιας εντάσεως και διάρκειας που συνοδεύτηκε με ισχυρή βοή. Ακολούθησε μετασεισμική ακολουθία 65 μετασεισμών μέχρι το τέλος Σεπτεμβρίου του ίδιου έτους. Οι ισχυρότεροι από αυτούς ήταν στις 26/1, 6/4 και 3/5. Λόγω του τελευταίου, κατέρρευσαν στη Χώρα αρκετές ακόμα κατοικίες και άλλες κρίθηκαν ακατοίκητες.

### 1.5.2 Ενόργανη σεισμικότητα Μεσσηνίας

#### 1.5.2.1 Ο Επικαιροποιημένος Κατάλογος Σεισμών Ευρύτερου Ελλαδικού Χώρου 1900 - 2009

Ο κατάλογος σεισμών που χρησιμοποιήθηκε για την ενόργανη σεισμικότητα της Μεσσηνίας είναι αυτός των Makropoulos et al. (2012). Περιέχει 7352 σεισμούς που έγιναν στην Ελλάδα και σε γειτονικές χώρες, για την περίοδο 1900 – 2009 και έχει ως σκοπό να χρησιμοποιείται σε μελέτες σεισμικής επικινδυνότητας. Το τελευταίο εξηγεί και το γεγονός ότι το ελάχιστο επιφανειακό μέγεθος που περιλαμβάνει είναι το  $M_s = 4$ , διότι ο κατάλογος είναι επαρκής για την κατασκευή κτηρίων ακολουθώντας τον Εθνικό Αντισεισμικό Κανονισμό και τον Eurocode 8. Ο κατάλογος σεισμών Makropoulos et al. (2012) αποτελεί μια χρονική επέκταση των καταλόγων των Makropoulos and Burton (1981) και Makropoulos et al. (1989) από το 1900 – 1985, για την περίοδο 1986 – 2009. Αυτό σημαίνει πως τα μεγέθη παρέμειναν στην κλίμακα επιφανειακού μεγέθους  $M_s$ , αλλά πλέον προστέθηκε και το μέγεθος σεισμικής ροπής  $M_w$  για κάθε σεισμό όλης της περιόδου του Makropoulos et al. (2012).

Τα επιφανειακά μεγέθη είχαν υπολογιστεί από τους Makropoulos and Burton (1981) από τις καταγραφές των σταθμών Uppsala (UPP) και Ökiruna (KIR) στη Σουηδία. Η σχέση που χρησιμοποιήθηκε είναι:  $M_s = \log(A/T) + 1.66 \log(\Delta) + 3.3$  (1) όπου T είναι η περίοδος (10 – 30 sec), Δ η επικεντρική απόσταση σε μίρες και A το πλάτος εδαφικής μετατόπισης σε μικρόμετρα. Για όσους σεισμούς δεν υπήρχε καλή καταγραφή πλάτους, χρησιμοποιήθηκε μία εξίσωση μορφής  $y = ax + b$  όπου y ήταν το επιφανειακό μέγεθος ( $M_s$ ) και x ήταν το χωρικό μέγεθος ( $m_b$ ) που υπήρχε για τον εκάστοτε σεισμό, υπολογισμένο από το International Seismological Center (ISC). Άρα, με τη συσχέτιση χωρικού μεγέθους με το επιφανειακό βρέθηκε μια γραμμική σχέση που υπολόγιζε το επιφανειακό μέγεθος ( $M_s$ ). Η χρονική διάρκεια του καταλόγου είναι για το διάστημα 1900 – 1978.

Ο επόμενος κατάλογος χρονικά, δηλαδή των Makropoulos et al. (1989), χρησιμοποίησε την ίδια μέθοδο με τον Makropoulos and Burton (1981), αλλά πρόσθεσε 903 σεισμούς για την περίοδο 1900 – 1974. Οι άλλες σεισμικές παράμετροι ελέγχθηκαν και αναβαθμίστηκαν επίσης με χρήση τοπικών μακροσεισμικών παρατηρήσεων. Η χρονική διάρκεια του καταλόγου είναι από το 1900 – 1985.



## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι κατάλογοι Makropoulos and Burton (1981) και Makropoulos et al. (1989) δεν περιλάμβαναν μέγεθος σεισμικής ροπής ( $M_w$ ) για κανέναν σεισμό. Η κλίμακα μεγέθους σεισμικής ροπής θεωρείται παγκοσμίως η πιο αξιόπιστη, διότι δεν εξαρτάται της συχνότητας με αποτέλεσμα να μην υφίσταται κορεσμό. Στους προηγούμενους καταλόγους δεν υπήρχε στήλη με το μέγεθος σεισμικής ροπής οπότε ήταν ένα επιπλέον στοιχείο που προσέφερε ο κατάλογος Makropoulos et al. (2012). Ενώ στην αρχή χρησιμοποιήθηκαν οι εμπειρικές σχέσεις του Scordilis (2006), που συσχετίζουν το μέγεθος της σεισμικής ροπής με το επιφανειακό μέγεθος, παρατηρήθηκε από τους Makropoulos et al. (2012) πως για ενδιάμεσου μεγέθους γεγονότα, το μέγεθος της σεισμικής ροπής υπερεκτιμάται. Μάλιστα αναφέρουν πως για τιμές μεγέθους  $M_s=4.0$  και  $M_s=4.1$ , οι σχέσεις έδιναν  $M_w=4.8$ , ενώ για τιμές  $M_s=4.3$  και  $M_s=4.4$ , το αποτέλεσμα προέκυπτε  $M_w=5.0$ .

Για τον λόγο αυτόν οι Makropoulos et al. (2012) δημιούργησαν δικό τους μοντέλο υπολογισμού μεγέθους σεισμικής ροπής από τα ήδη υπάρχοντα επιφανειακά μεγέθη, με σκοπό την ομοιογένεια και την ακρίβεια του καταλόγου. Υπήρχαν διαθέσιμοι σεισμοί με υπολογισμένα μεγέθη σεισμικής ροπής από μοντελοποίηση κυματομορφών περιφερειακών σεισμών και τηλεσεισμών από διάφορους φορείς. Οπότε, με συσχέτιση των πραγματικών μεγεθών σεισμικής ροπής με τα ήδη υπολογισμένα από τον κατάλογο επιφανειακά μεγέθη, υπολογίστηκε μία ευθεία γραμμή τάσης της οποίας η εξίσωση – μοντέλο να υπολογίζει τα μεγέθη σεισμικής ροπής για κάθε δεδομένο επιφανειακό μέγεθος. Οι σεισμοί με διαθέσιμα μεγέθη σεισμικής ροπής από μοντελοποίηση ήταν 559 και οι φορείς με σειρά προτεραιότητας είναι:

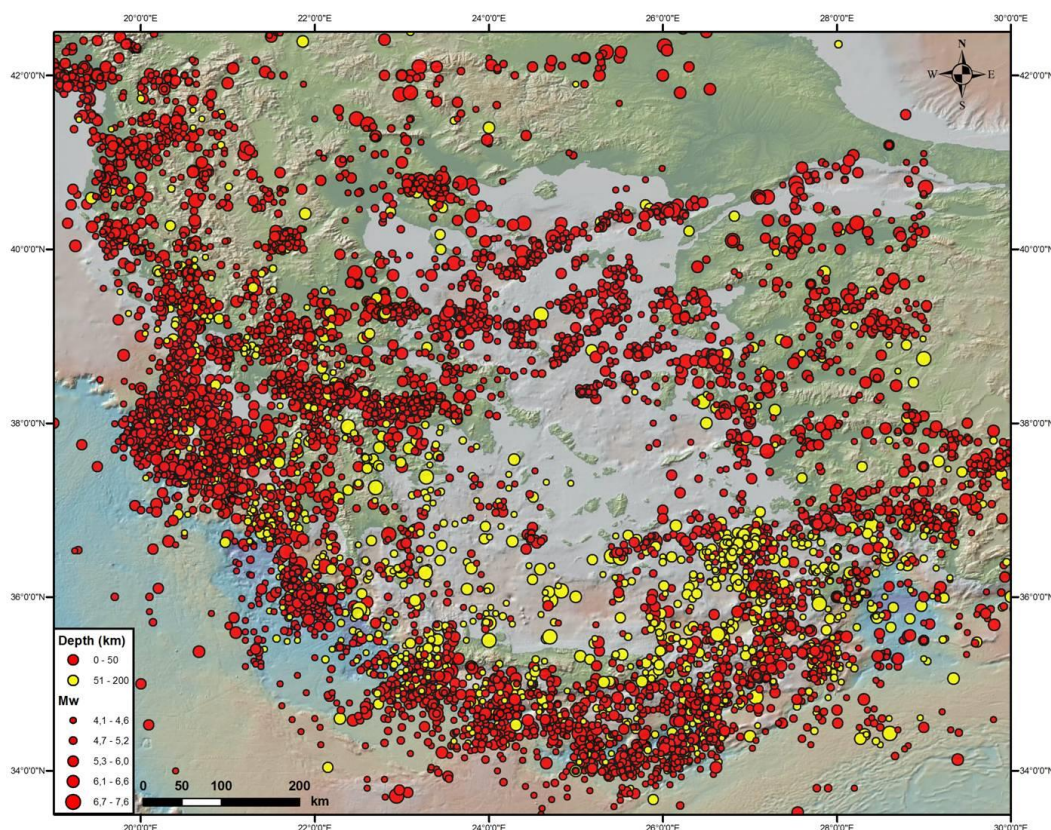
- Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τομέας Γεωφυσικής και Γεωθερμίας, για την περίοδο 2003 – 2007 και εύρος τιμών μεγέθους από 4.0 – 6.6. Καταγραφές: 148 (<http://www.geophysics.geol.uoa.gr>, Agalos et al., 2007; Moshou et al., 2010),
- το Global Centroid – Moment – Tensor (CMT) Project για την περίοδο 1976 – 2007 και εύρος τιμών μεγέθους από 4.6 – 6.8. Καταγραφές: 279 (<http://www.globalcmt.org>),
- ο κατάλογος Konstantinou et al. (2010) που περιέχει τη βάση δεδομένων του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών για την περίοδο 2001 – 2006 και εύρος τιμών μεγέθους από 3.6 – 6.5. Καταγραφές: 306 και
- το Γεωδυναμικό Ινστιτούτο του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών, για την περίοδο 2005 – 2007 και εύρος τιμών μεγέθους από 3.9 – 6.4. Καταγραφές: 75 (<http://bbnet.gein.noa.gr>, Melis and Konstantinou, 2006).

Ο έλεγχος της πληρότητας του καταλόγου πραγματοποιήθηκε με την αναλυτική μέθοδο που προτάθηκε από τον Stepp (1971). Το αποτέλεσμα ήταν ο καθορισμός χρονικών διαστημάτων κατά τα οποία για μια τιμή μεγέθους ο κατάλογος να θεωρείται πλήρης. Η μέθοδος βασίζεται στον προσδιορισμό της χρονικής περιόδου που απαιτείται για την αποκατάσταση σταθερού ρυθμού έκλυσης ενέργειας του συγκεκριμένου εύρους τιμών. Στον Πίνακα 2 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του ελέγχου του βαθμού πληρότητας και στο Σχήμα 1.16 η χωρική κατανομή των επικέντρων για επιφανειακούς και ενδιάμεσου βάρους σεισμούς του καταλόγου Makropoulos et al. (2012).

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Επιφανειακό Μέγεθος ( $M_s$ )	Χρονική περίοδος με πλήρη δεδομένα
$M_s \geq 4.0$	1976 - 2009
$M_s \geq 4.5$	1950 - 2009
$M_s \geq 5.0$	1940 - 2009
$M_s \geq 5.5$	1911 - 2009
$M_s \geq 6.0$	1900 - 2009

Πίνακας 1.2: Αποτελέσματα πληρότητας καταλόγου Makropoulos et al. (2012). Εφαρμόστηκε η αναλυτική μέθοδος του Stepp (1971). Ο κατάλογος είναι πλήρης για όλη τη διάρκεια του για τιμές επιφανειακού μεγέθους  $M_s \geq 6.0$ .



Σχήμα 1.16: Χωρική κατανομή επικέντρων σεισμών με επιφανειακό εστιακό βάθος (0 – 50 km) (κόκκινες σφαίρες που το μέγεθος τους είναι ανάλογο με την τιμή του μεγέθους σεισμικής ροπής  $M_w$ ). Με τον ίδιο τρόπο αλλά με κίτρινο χρώμα απεικονίζονται τα επίκεντρα με ενδιάμεσα εστιακά βάθη (51 – 200 km) (Makropoulos et al., 2012).

### 1.5.2.2 Δημιουργία καταλόγου περιόδου 1900 - 2020

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, ο κατάλογος Makropoulos et al. (2012) καλύπτει τους σεισμούς που συνέβησαν στον ευρύτερο ελλαδικό χώρο για τη χρονική περίοδο 1900 – 2009. Όμως, για τη συμπλήρωση του υποκεφαλαίου της σεισμικότητας της Μεσσηνίας, έπρεπε να βρεθεί πληροφορία και για το διάστημα 2010 – 2020. Με σκοπό την επίτευξη του ζητούμενου αυτού, χρησιμοποιήθηκαν δύο καταλόγοι:

1. κατάλογος σημαντικών σεισμών 2003 – 2020 ΕΚΠΑ (Significant Earthquakes – NKUA), [http://www.geophysics.geol.uoa.gr/stations/gmapv3\\_db/index.php?lang=en](http://www.geophysics.geol.uoa.gr/stations/gmapv3_db/index.php?lang=en) και

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

2. κατάλογος σεισμών του Γεωδυναμικού Ινστιτούτου του Εθνικού Αστεροσκοπείου 2008 – 2020, <https://bbnet.gein.noa.gr/HL/databases/database>.

Επιλέχθηκε κυρίως εκείνος του Αστεροσκοπείου Αθηνών διότι ο πρώτος βοήθησε στη συμπλήρωση σεισμών που έλειπαν με σκοπό την επίτευξη μεγαλύτερης πληρότητας. Μία σημαντική διαφορά όμως είναι πως ο κατάλογος περιόδου 2008 – 2020 χρησιμοποιεί διαφορετική κλίμακα μεγέθους από τον κατάλογο των Makropoulos et al. (2012). Συγκεκριμένα, περιλαμβάνει στήλη με τοπικό μέγεθος ( $M_L$ ) και όχι επιφανειακό. Έτσι, για την τελική συγχώνευση όλης της πληροφορίας όλων των καταλόγων, σε έναν κατάλογο με γεωγραφικές συντεταγμένες της περιοχής μελέτης, θα πρέπει να γίνει και διαχωρισμός των διαφορετικών μεγεθών. Για την περίοδο 1900 – 2009 οι πληροφορίες πάρθηκαν από τον κατάλογο των Makropoulos et al. (2012) και έχουν κλίμακα επιφανειακού μεγέθους ( $M_s$ ), ενώ για την περίοδο 2010 – 2020 έχουν κλίμακα τοπικού μεγέθους ( $M_L$ ) και πάρθηκαν από τον κατάλογο του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών με συμπλήρωση όπου χρειαζόταν από τον κατάλογο 2003 – 2020 του ΕΚΠΑ.

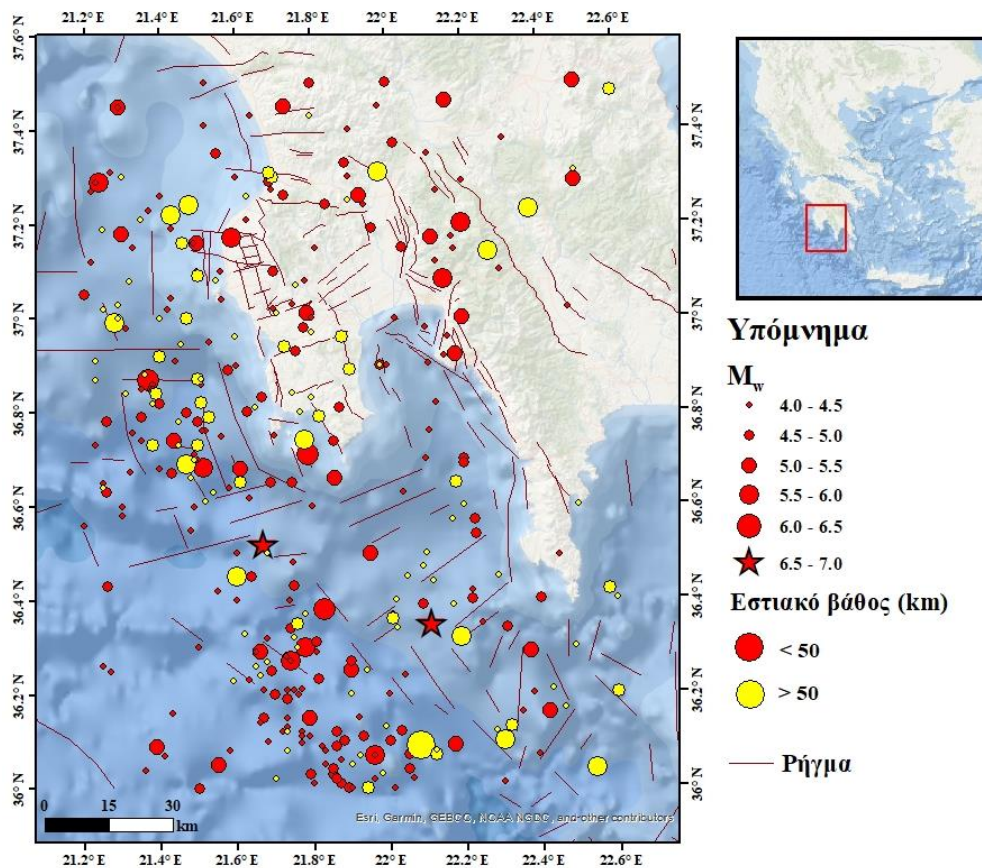
Μετά τη συγχώνευση των δύο καταλόγων, προέκυψαν σεισμοί που δεν είχαν είτε κλίμακα τοπικού μεγέθους, είτε κλίμακα μεγέθους σεισμικής ροπής. Για τη συμπλήρωση των κενών κελιών, χρησιμοποιήθηκε η εμπειρική σχέση που συνδέει το μέγεθος σεισμικής ροπής με το τοπικό μέγεθος (Καβύρης, 2003). Στον Πίνακα 3 παρουσιάζεται ο τελικός κατάλογος σεισμών περιόδου 1900 – 2020 για την ευρύτερη περιοχή της Μεσσηνίας για μεγέθη  $M_w > 5$ . Ακολουθεί η οπτικοποίηση των δεδομένων σε χάρτη στο Σχήμα 1.17.

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

ΕΤΟΣ	ΜΗΝΑΣ	ΗΜΕΡΑ	ΩΡΑ	ΛΕΠΤΟ	ΔΕΥΤΕΡΟΛΕΠΤΟ	ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟ ΠΛΑΤΟΣ - φ (DEG)	ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟ ΜΗΚΟΣ - λ (DEG)	ΕΣΤΙΑΚΟ ΒΑΘΟΣ (km)	M <sub>S</sub> /M <sub>L</sub>	M <sub>w</sub>
1901	10	25	16	18	30.0	37.00	22.20	20	5.4	5.3
1901	12	24	23	18	00.0	37.20	22.20	15	5.8	5.7
1911	9	20	23	24	28.0	37.50	22.50	20	5.2	5.2
1926	2	26	15	46	34.8	37.17	21.59	8	5.8	5.7
1926	9	19	1	4	01.9	36.09	22.08	71	5.9	5.8
1931	11	23	23	32	13.0	36.99	21.28	64	5.1	5.1
1936	1	14	15	11	25.8	36.10	22.30	74	5.2	5.2
1936	10	24	14	6	15.0	36.04	22.54	61	5.2	5.2
1944	7	30	4	0	45.6	37.14	22.27	85	5.6	5.5
1947	6	1	11	18	45.3	36.74	21.78	62	5.6	5.5
1947	10	6	19	55	36.3	36.71	21.79	2	6.7	6.5
1948	9	21	17	54	01.1	36.45	21.60	59	5.6	5.5
1951	8	24	10	27	34.1	37.22	21.43	51	5.1	5.1
1952	6	13	1	7	30.2	37.31	21.98	55	5.3	5.2
1954	12	30	11	5	59.8	36.15	21.79	9	5.2	5.2
1955	4	13	20	45	51.3	37.29	22.50	19	5.2	5.2
1956	8	16	0	38	39.0	36.25	21.90	15	5.4	5.3
1957	2	19	7	44	00.1	36.27	21.74	28	6.0	5.9
1958	1	2	2	8	22.4	36.29	22.37	42	5.1	5.1
1958	11	15	5	42	40.5	37.45	21.73	31	5.5	5.4
1959	8	16	18	42	09.5	37.23	22.38	63	5.1	5.1
1961	10	2	7	21	45.1	36.66	21.86	19	5.4	5.3
1966	9	1	14	22	56.9	37.46	22.16	15	5.4	5.3
1978	3	16	5	51	55.8	36.68	21.61	49	5.1	5.1
1979	5	27	3	20	51.0	36.69	21.47	58	5.1	5.1
1980	12	25	5	48	56.8	36.87	21.37	1	6.6	6.4
1982	6	22	3	4	29.7	37.18	21.30	39	5.4	5.3
1984	10	9	4	30	42.6	37.01	21.79	31	5.4	5.3
1985	9	7	10	20	51.2	37.45	21.29	30	5.6	5.5
1985	9	19	17	24	23.8	36.29	21.66	34	5.1	5.1
1985	12	13	15	30	16.0	36.09	22.17	43	5.1	5.1
1986	6	8	4	55	1.0	36.05	21.55	23	5.3	5.2
1986	9	13	17	24	34.3	37.08	22.15	9	5.8	5.7
1986	9	15	11	41	27.9	36.92	22.18	15	5.1	5.1
1987	6	10	14	50	11.9	37.24	21.48	48	5.4	5.3
1989	8	20	18	32	30.7	37.29	21.24	16	5.7	5.6
1990	7	31	6	49	31.9	37.24	21.48	59	5.1	5.1
1993	3	5	6	55	8.7	37.16	21.50	39	5.5	5.4
1997	10	13	13	39	36.0	36.35	22.11	13	6.8	6.6
2001	9	16	2	0	47.2	37.26	21.93	10	5.5	5.4
2004	2	9	3	48	14.4	36.16	22.42	40	5.1	5.1
2004	3	1	0	35	56.9	37.17	22.12	14	5.5	5.4
2008	2	14	10	9	23.17	36.52	21.67	32	6.8	6.6
2008	2	14	12	8	57.10	36.38	21.83	35	6.3	6.1
2008	2	20	18	27	07.02	36.30	21.78	17	6.1	5.9
2008	5	10	20	53	04.95	36.32	22.19	51	5.1	5.1
2008	6	21	11	36	25.08	36.07	21.96	24	5.7	5.6
2009	11	26	15	9	14.70	36.09	21.39	17	5.1	5.1
2010	2	11	21	53	34.37	36.50	21.95	43	5.2	5.3
2012	4	16	11	23	42.00	36.66	21.54	33.2	5.2	5.7
2018	9	27	10	21	50.00	36.66	21.50	13.5	5.2	5.1
2018	6	25	5	14	47.00	36.68	21.37	5.2	5.2	5.5

Πίνακας 1.3: Κατάλογος ενόργανης σεισμικότητας για την ευρύτερη περιοχή της Μεσσηνίας.

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ



Σχήμα 1.17: Χάρτης ενόργανης σεισμικότητας για την ευρύτερη περιοχή της Μεσσηνίας, με δεδομένα από τον Πίνακα 3.

Η μεγαλύτερη συγκέντρωση επικέντρων κατά την ενόργανη περίοδο στον θαλάσσιο χώρο κατά μήκος του ελληνικού ορογενετικού τόξου. Μάλιστα ταυτίζεται και με τον χάρτη των Makropoulos et al. (2012) (Σχήμα 1.16). Συγκέντρωση επικέντρων εντοπίζεται στον υποθαλάσσιο χώρο νότια της Πελοποννήσου, στην περιοχή όπου συνέβη η σεισμική ακολουθία της Μεθώνης το 2008 (Σχήματα 1.13, 1.14). Παρατηρείται ότι τα εστιακά βάθη αυξάνονται ΝΑ του τόξου. Το ίδιο συμβαίνει και στον χάρτη των Makropoulos et al., (2012).

Όσον αφορά τη χέρσο, διακρίνονται τα επίκεντρα ισχυρών επιφανειακών σεισμών που συνέβησαν στην Καλαμάτα, την Πύλο και τα Φιλιατρά. Η κατανομή των επικέντρων αυτών εντάσσεται εντός σημαντικών τεκτονικών δομών. Πιο συγκεκριμένα, εντοπίζονται επίκεντρα σεισμών στο τεκτονικό βύθισμα της Καλαμάτας, στο κέρασ του Ταυγέτου, στη σύνθετη μορφοτεκτονική δομή των ορέων Κυπαρισσίας και στο τεκτονικό βύθισμα Βλαχοπούλου. Τέλος, διακρίνεται μια έλλειψη σεισμικότητας στην περιοχή της Σπάρτης μέχρι και τη χέρσο του Λακωνικού κόλπου.

### 1.5.3.3 Αναφορές σε σημαντικούς σεισμούς

**1901, 25 Οκτωβρίου, 16:18:30, 37.00°B, 22.20°A,  $h = 20$  km,  $M_s = 5.4$ ,  $M_w = 5.3$  ΝΑ Καλαμάτας**

Ο σεισμός ήταν ισχυρός και το αποτέλεσμα του ήταν η δημιουργία ρωγμών σε τοιχοποιίες σπιτιών στην Καλαμάτα και η αποκοπή πολλών τεμαχών γύψου. Έγινε αισθητός στους οικισμούς Σπιτάλι, Θουρία, Μεσσήνη, Εύα, Οιχαλία, Καρδαμύλη, Μάλτα, Μεγαλόπολη, Κορώνη, Σπάρτη και Άστρο. Στον οικισμό Σπιτάλι αναφέρθηκαν 2 μετασεισμοί.

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### **1919, 24 Φεβρουαρίου, 01:56, 37.30°B, 21.30°A, M = 6.3, Κυπαρισσία**

Δημιουργήθηκαν κατακόρυφες ρωγμές στις κατοικίες της Κυπαρισσίας, ενώ στην Αμαλιάδα προκλήθηκαν καταρρεύσεις εσωτερικών δομικών στοιχείων των σπιτιών. Έγινε πολύ αισθητός στη Χώρα, μετρίως στην Καλαμάτα, Μεθώνη, Καρδαμύλη, Κοντοβάζαινα, στον νομό Αρκαδίας και Πύργο, Αμαλιάδα, Χάβαρι και Γαστούνη στον νομό Ηλείας, ελαφρώς σε Πύλο, Κορώνη, Σπάρτη, Μεγαλόπολη, Ανδρίτσαινα, Πάτρα και Ζάκυνθο (Γαλανόπουλος, 1947). Ο μεγαλύτερος προσεισμός μεγέθους  $M = 4.8$  σημειώθηκε στις 6 Φεβρουαρίου (14:17). Αντιστοίχως, ο μεγαλύτερος μετασεισμός μεγέθους  $M = 4.7$  έλαβε χώρα στις 6 Μαρτίου (13:12).

### **1926, 19 Σεπτεμβρίου, 01:04:01:09, 36.09°B, 22.08°A, h = 71 km, $M_s = 5.9$ , $M_w = 5.8$ Κορώνη**

Ο σεισμός ταρακούνησε πολύ βίαια το ΝΑ τμήμα της Πελοποννήσου. Ο μεγαλύτερος μετασεισμός της ακολουθίας σημειώθηκε την ίδια μέρα 14:37,  $M = 5.3$ .

### **1947, 6 Οκτωβρίου, 19:55:31, 36.96°B, 21.68°A, M = 7.0, Πυλία**

Το αποτέλεσμα του ισχυρού σεισμού ήταν οι απώλειες 3 ανθρώπων και ο τραυματισμός 40. Σοβαρές βλάβες καταγράφηκαν σε 54 οικισμούς στην επαρχία της Πυλίας. Στην Καλαμάτα ο σεισμός είχε διάρκεια 80 sec και στην Πάτρα 65 sec. Ο μεγαλύτερος μετασεισμός μεγέθους  $M = 5.0$  έλαβε χώρα στις 7 Οκτωβρίου και ώρα 19:15. Προκλήθηκαν βλάβες σε 54 οικισμούς στην επαρχία της Πυλίας, όπου από τις 4888 κατασκευές, οι 293 και 4 εκκλησίες καταστράφηκαν πλήρως ενώ 819 κατοικίες μερικώς και 17 εκκλησίες, 5 σχολεία και 468 κατοικίες υπέστησαν ελαφρές ζημιές. Στη Λακωνία από τις 2638 κατασκευές, οι 9 καταστράφηκαν πλήρως, 78 κτήρια μερικώς και 120 κατοικίες υπέστησαν ελαφρές βλάβες. Φαινόμενα ρευστοποίησης σημειώθηκαν κατά μήκος της ακτής από το Πεταλίδι έως τη Μεσσήνη και μέχρι την Καλαμάτα στα ανατολικά με αποτέλεσμα την καταστροφή τμήματος του συστήματος άρδευσης του Πάμισου ποταμού. Ενδείξεις για τεκτονικές ανυψώσεις και βυθίσεις δεν υπήρξαν.

### **1984, 9 Οκτωβρίου, 06:31 (τοπική ώρα), 37.04°B, 21.50°A, M = 5.1, Πελεκανάδα**

Σημειώθηκαν δύο δονήσεις στην περιοχή της Πυλίας στη Μεσσηνία. Η πρώτη έγινε στις 04:12 με  $M=4.5$  και η δεύτερη στις 06:31 με μέγεθος  $M=5.1$ . Το επίκεντρο του σεισμού εντοπίστηκε σε απόσταση 200 km ΝΔ της Αθήνας και συγκεκριμένα στα ΝΔ παράλια του νομού Μεσσηνίας. Οι μεγαλύτερες βλάβες προκλήθηκαν σε μία στενή ζώνη που περιλαμβάνει τους οικισμούς Πελεκανάδα – Κουρτάκι – Μηλιώτη. Στην Πελεκανάδα υπήρξαν μερικές καταρρεύσεις τμημάτων παλαιότερων κατασκευών, πτώσεις κεραμιδιών και αποκολλήσεις της εξωτερικής πλευράς των τοιχοποιιών. Εντοπίστηκαν και ρωγμές των οποίων οι διαστάσεις εξαρτώνταν από την ηλικία της κατασκευής.

Στον οικισμό Κουρτάκι (2 km ΝΔ της Πελεκανάδας) σημειώθηκαν καταρρεύσεις τμημάτων παλαιών κατασκευών και αρκετές ρωγμές σε πολλά σπίτια. Όσον αφορά την εκκλησία του χωριού, έπαθε σοβαρές βλάβες. Από την πτώση πλίνθων σε ετοιμόρροπο σπίτι, σημειώθηκε και ο τραυματισμός μίας ηλικιωμένης γυναίκας. Στο Μηλιώτη που απέχει 3 km βορειοδυτικά της Πελεκανάδας, οι τοίχοι πολλών κτηρίων, εκ των οποίων μερικά ήταν και νέα, υπέστησαν εκτεταμένες ρωγμές. Μέσα και έξω από το χωριό παρατηρήθηκε εδαφική ρωγμή με διεύθυνση Β – Ν, μήκους 20 m και εύρους 6 – 8 mm.

### **1986, 13 Σεπτεμβρίου, 17:24:34:30, 37.08°B, 22.15°A, h = 9 km, $M_s = 5.8$ , $M_w = 5.7$ Καλαμάτα**

Ο σεισμός ήταν επιφανειακός ( $h < 10$  km) και έπληξε την πόλη της Καλαμάτας και τις γύρω περιοχές. Υπήρξαν 20 απώλειες, πάνω από 300 τραυματίες, πολλές υλικές βλάβες και περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Το επίκεντρο του σεισμού εντοπίστηκε 10 km ΒΒΑ της Καλαμάτας και η κλίμακα

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

επιφανειακού μεγέθους ( $M_s$ ) ήταν 6.2. Ο μηχανισμός γένεσης αποκάλυψε εφελκυσμό σε διεύθυνση A – Δ (Lyon-Caen et al., 1988). Μέσα σε 48 ώρες μετά τον κύριο σεισμό προκλήθηκε μετασεισμός με παρόμοιο εστιακό βάθος και μέγεθος  $M_s = 5.4$  κοντά στην Καλαμάτα.

Οι Tselentis et al. (1988), μελετώντας τα χαρακτηριστικά των ρηξιγενών επιφανειών και τους μηχανισμούς γένεσης, διαπίστωσαν πως η περιοχή χαρακτηρίζεται από πολύπλοκη τεκτονική δομή. Η μελέτη της βόρειας συστάδας επικέντρων μετασεισμών υποδηλώνει την ύπαρξη δύο ομάδων ρηγμάτων με διαφορετικό προσανατολισμό και κλίσεις προς διαφορετικές διευθύνσεις. Η νότια συστάδα χαρακτηρίζεται από ρήγματα με ομοιόμορφα χαρακτηριστικά. Δύο εβδομάδες πριν την εκδήλωση του κύριου σεισμού, υπόκωφοι κρότοι έγιναν αντιληπτοί από κατοίκους στον οικισμό Μικρά Μαντίνεια. Δύο ημέρες πριν, η στάθμη της θάλασσας ανέβηκε κατά μισό μέτρο και εισήλθε στην ξηρά μέχρι βάθος 7 m. Οι πιο σημαντικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις ήταν εκείνες που περιλάμβαναν τεκτονική βύθιση, επαναδραστηριοποίηση ρηγμάτων, σεισμικές διαρρήξεις, αστοχίες πρανών και υδρογεωλογικές ανωμαλίες (Mariolakos et al., 1989; Mariolakos and Fountoulis, 1998; Fountoulis, 2004; Fountoulis and Mavroulis, 2013).

**1997, 13 Οκτωβρίου, 13:39:36, 36.35°B, 22.11°A, h = 13 km,  $M_s = 6.8$ ,  $M_w = 6.6$  Κορώνη**

Μικρές βλάβες προκλήθηκαν στην Κορώνη. Ο σεισμός έγινε έντονα αισθητός σε διάφορα μέρη της Μεσσηνίας και της Λακωνίας, αισθητός σε Αχαΐα, Αργολίδα, Φωκίδα, Ζάκυνθο και δυτική Κρήτη αλλά και μέχρι την Καρδίτσα, Κάρυστο, Κέα και Νάξο (Παπαζάχος και Παπαζάχου, 2003). Ο μεγαλύτερος σεισμός της προσεισμικής ακολουθίας έγινε στις 21 Αυγούστου (15:52) με  $M = 4.0$  και της μετασεισμικής στις 3 Νοεμβρίου (06:32) με  $M = 4.8$  (Παπαζάχος και Παπαζάχου, 2003).

**2001, 16 Σεπτεμβρίου, 02:00:47:20, 37.26°B, 21.93°A, h = 10 km,  $M_s = 5.5$ ,  $M_w = 5.4$  ΒΔ Μελιγαλάς**

Η ισχυρή σεισμική δόνηση έγινε στην ίδια περιοχή με προγενέστερο σεισμό, που εκδηλώθηκε στις 26 Ιουλίου 2000 ( $M = 5.3$ ). Σύμφωνα με τους Ganas et al. (2012), ο μηχανισμός γένεσης υποδεικνύει την ενεργοποίηση κανονικού ρήγματος διεύθυνσης A – Δ, που συμπίπτει με τις διευθύνσεις των περιθωριακών ρηγμάτων ίδιας διεύθυνσης με εκείνης των ορέων Τετράζιου και Λύκαιου. Βλάβες υπήρξαν σε κτήρια στα διοικητικά όρια των τότε δήμων Ανδανίας, Μελιγαλά, Οιχαλίας, Δωρίου, Αρφαρών, Αυλώνος, Ανδρούσας, Αετού και Είρας και ειδικότερα στους οικισμούς Λουτρό, Ζευγολατιό, Οιχαλία, Μερόπη, Ανδανία, Μαντζάρι, Μάλτα, Πολίχνη, Καλλιρρόη και Κεντρικό. Σοβαρές βλάβες υπέστησαν λιθόκτιστα κτήρια που είχαν πληγεί από τον σεισμό της 26<sup>ης</sup> Ιουλίου.

**2004, 1 Μαρτίου, 00:35:56:09, 37.17°B, 22.12°A, h = 14 km,  $M_s = 5.5$ ,  $M_w = 5.4$  Καλαμάτα**

Ενδιαμέσου μεγέθους σεισμός έλαβε χώρα σε μικρή απόσταση βόρεια της Καλαμάτας, με αποτέλεσμα τον τραυματισμό δύο ανθρώπων και βλάβες σε κατοικίες και καταστήματα της περιοχής. Στο κέντρο της Καλαμάτας υπήρξε κατάρρευση ενός μπαλκονιού μιας εγκαταλελειμμένης κατοικίας, επιφανειακές ρωγμές σε τοιχοποιίες πλήρωσης κατοικιών και θραύση υαλοπινάκων καταστημάτων. Αρκετές θέσεις δρόμων, γύρω από την επικεντρική περιοχή, παρουσίασαν αποκολλήσεις – αστοχίες – βραχοπτώσεις, προκαλώντας έτσι διάφορα προβλήματα μετακίνησης σε οδικά δίκτυα από τους κατοίκους. Περίπου 7 km από την Καλαμάτα και επί μήκους 100 – 120 m, το ανάντη πρανές, που δομείται από ασβεστόλιθους, έδειξε σημαντική ευστάθεια. Επίσης, σημαντικού μεγέθους βραχώδη τεμάχια (δηλαδή ογκόλιθοι) αστόχησαν και κατέπεσαν στο οδόστρωμα σε μεγάλη έκταση. Παρόμοιες εκδηλώσεις κατολισθήσεων και βραχοπτώσεων παρατηρήθηκαν και λίγο πριν το Ελαιχώρι.

**2008, 14 Φεβρουαρίου, Σεισμική ακολουθία N – NNA Μεθώνης, τμήμα ελληνικού ορογενετικού τόξου (Σχήματα 1.13, 1.14)**

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1. 10:09:23:17, 36.52°B, 21.67°A,  $h = 32 \text{ km}$ ,  $M_s = 6.8$ ,  $M_w = 6.6$
2. 10:36:19:33, 36.37°B, 21.78°A,  $h = 61 \text{ km}$ ,  $M_s = 4.3$ ,  $M_w = 4.4$
3. 11:12:57:99, 36.10°B, 21.68°A,  $h = 10 \text{ km}$ ,  $M_s = 4.2$ ,  $M_w = 4.3$
4. 12:08:57:10, 36.38°B, 21.83°A,  $h = 35 \text{ km}$ ,  $M_s = 6.3$ ,  $M_w = 6.1$
5. 14:17:11:85, 36.24°B, 21.66°A,  $h = 55 \text{ km}$ ,  $M_s = 4.0$ ,  $M_w = 4.1$
6. 17:26:44:23, 36.34°B, 21.74°A,  $h = 44 \text{ km}$ ,  $M_s = 4.8$ ,  $M_w = 4.8$

Πρόκειται για τον μεγαλύτερο σεισμό που έγινε στο μέτωπο της υποβύθισης από το 1960 (Anderson and Jackson 1987; Shaw and Jackson 2010). Οι εδαφικές μετατοπίσεις που καταγράφηκαν σε χερσαίους σταθμούς G.N.S.S είναι συγκρίσιμες με αυτές που έλαβαν χώρα στα επίκεντρα των σεισμών, δηλαδή εντός του τόξου. Ελαστικά μοντέλα παραμόρφωσης έδειξαν πως το μεγαλύτερο μέρος του μετώπου μπορεί να ολισθαίνει ασεισμικά. Οι Howell et al. (2017) αναφέρουν πως στην ελληνική αλλά και σε άλλες ζώνες υποβύθισης, η σχέση μεταξύ σεισμών στη διεπαφή της υποβύθισης και στην παρατηρούμενη μακροχρόνια τεκτονική ανύψωση, είναι δυσνόητη.

Στις 14 Φεβρουαρίου 2008, ξεκίνησε η σεισμική ακολουθία της Μεθώνης (10:09). Ο μηχανισμός γένεσης ήταν ανάστροφου χαρακτήρα (Σχήματα 1.13, 1.14). Μετά από 6 μέρες (20/2), εκδηλώθηκε σεισμός μεγέθους  $M_w = 6.1$  και εστιακού βάθους 12 km (στην προελαύνουσα πλάκα), με οριζόντιας ολίσθησης μηχανισμό γένεσης (Shaw and Jackson 2010). Η σεισμικότητα της περιοχής ήταν σε υψηλό και έντονο επίπεδο για τους επόμενους 4 μήνες (12 μετασεισμοί  $4.8 \leq M_w < 6.0$ ). Τα επίκεντρα των σεισμών βοήθησαν στη λύση ενός άλυτου προβλήματος όσον αφορά την τεκτονική της Α. Μεσογείου και πώς συμβάλει στην τεκτονική ανύψωση της ΝΔ Ελλάδας επειδή βρέθηκε άμεση σχέση με την παραμόρφωση που προκλήθηκε στα Νεογενή ιζήματα του πρίσματος προσαύξησης της ελληνικής προτάφρου (Howell et al. 2017).

Η εφημερίδα το ΒΗΜΑ αναφέρει σε άρθρο της (Σχήμα 1.20) πως ο σεισμός ήταν αισθητός στις περισσότερες περιοχές της χώρας. Στη Μεθώνη, λίγες ώρες μετά τον σεισμό, η πόλη ερήμωσε διότι οι 2700 κάτοικοι μετακινήθηκαν σε πιο ασφαλή μέρη. Όμως, πέρα από τον πανικό που δημιουργήθηκε, ο δήμαρχος της περιοχής σε συνέντευξή του ανέφερε ότι στην αρχή δεν υπήρξε ιδιαίτερος φόβος από κανέναν και ούτε καταγράφηκαν σημαντικές ζημιές. Οι κάτοικοι ήταν συνηθισμένοι λόγω του τεκτονικού καθεστώτος, αλλά έπρεπε να ληφθούν μέτρα προστασίας. Εν τέλει, ιδιαίτερες βλάβες δεν υπήρξαν ούτε στο υδρευτικό σύστημα, ούτε σε σχολεία, ούτε στην εκκλησία της πόλης. Αναφέρεται μάλιστα πως είχαν προειδοποιηθεί οι κάτοικοι για έναν μεγάλο σεισμό, ήταν χαρμόσυνο το γεγονός πως δεν υπήρξαν βλάβες και που η φύση «ηρέμησε».

## Στο «επίκεντρο» των 6,5 ρίχτερ

ΜΕΘΩΝΗ. Οι τηλεοράσεις διακόπτουν την κανονική ροή του προγράμματός τους και με έκτακτα δελτία κάνουν λόγο για μεγάλο σεισμό στην Πελοπόννησο. Οι πληροφορίες είναι συγκεχυμένες στα πρώτα κρίσιμα λεπτά. Ο σεισμός έχει γίνει αισθητός στις περισσότερες περιοχές της χώρας. Λίγο αργότερα θα γίνει γνωστό ότι ο Εγκέλαδος ήταν εντάσεως 6,5 βαθμών της κλίμακας Ρίχτερ με επίκεντρο τον θαλάσσιο χώρο 60 χλμ. νότια-νοτιοδυτικά της Καλαμάτας και πιο συγκεκριμένα νότια της Μεθώνης. Δύο ώρες αργότερα θα ακολουθήσει και δεύτερη σεισμική δόνηση 6,4 βαθμών αυτή τη φορά.

Σχήμα 1.17: Ο τίτλος και η περίληψη του άρθρου της εφημερίδας το ΒΗΜΑ σχετικά με τον σεισμό της Μεθώνης <https://www.tovima.gr/2008/11/25/politics/sto-epikentro-twn-6-5-rixter/>.



**2011, σημιοσειρά σεισμών Αυγούστου – Οκτωβρίου:**

- 1. 14 Αυγούστου, 01:05:01, 37.25°B, 22.00°A,  $h = 13.9$  km,  $M_L = 4.5$ ,  $M_w = 4.8$ , 1.06 km Βόρεια από το Μερόπη,**
- 2. 14 Σεπτεμβρίου, 03:35:27, 37.19°B, 22.05°A,  $h = 10$  km,  $M_L = 4.5$ ,  $M_w = 4.6$ , 183 m ΝΑ από τον Ιερό Ναό Αγίου Νικολάου, Βρωμόβρυση και**
- 3. 10 Οκτωβρίου, 19:07:00, 37.19°B, 22.04°A,  $h = 11.1$  km,  $M_L = 4.5$ ,  $M_w = 4.7$ , 440 m ΝΔ από τον Ιερό Ναό Αγίου Νικολάου, Βρωμόβρυση.**

Στο δεύτερο εξάμηνο του 2011, σημειώθηκε σημιοσειρά σεισμών μικρού και ενδιάμεσου μεγέθους (Γκανάς και συν., 2011; Ganas et al., 2012). Εκδηλώθηκαν πάνω από 2000 γεγονότα μεγέθους  $M > 1$  από τον Ιούνιο 2011 – Ιούνιο 2012, πολλά από τα οποία είχαν μέγεθος  $M > 4$ . Οι σεισμοί που είχαν το μεγαλύτερο μέγεθος ( $M_w$ ), ήταν εκείνοι που αναγράφονται παραπάνω (Γκανάς και συν., 2011; Ganas et al., 2012). Αυτή η ακολουθία, θεωρείται από το Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών, πως ήταν παρόμοια με εκείνη που σημειώθηκε το 1917 (8 Μαΐου – 20 Σεπτεμβρίου) (Ganas et al., 2012).

Η χωρική κατανομή των σεισμών είχε μήκος περίπου 20 km, πλάτος 10 km και τα περισσότερα υπόκεντρα εντοπίστηκαν στα ανώτερα 10 km του φλοιού (Chouliaras et al., 2013). Ο προσανατολισμός των επικέντρων είναι ΒΔ – ΝΑ και συμπίπτει με αυτόν της λεκάνης Άνω Μεσσηνίας και τα ρήγματα στο ανατολικό της περιθώριο. Μετά τον σεισμό της 14<sup>ης</sup> Αυγούστου, δημιουργήθηκαν ρωγμές με ΒΒΔ – ΝΝΑ διεύθυνση στον οικισμό Σιάμο Μεσσηνίας με μήκος 500 m. Η πλειοψηφία των ρωγμών παρουσίασε μικρό άλμα της τάξης των 0.1 cm – 3.0 cm προς τα δυτικά. Παρόλο που ο σεισμός έγινε αισθητός από τους κατοίκους στον οικισμό Κατσαρός Μεσσηνίας, δεν παρατηρήθηκαν ρωγμές.

## 2. ΠΙΘΑΝΟΛΟΓΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ

### 2.1 Βασικές έννοιες Τεχνικής Σεισμολογίας

Η Τεχνική Σεισμολογία αποτελεί κλάδο της Εφαρμοσμένης Σεισμολογίας. Σκοπός της είναι η μείωση, ακόμη και η ελαχιστοποίηση του σεισμικού κινδύνου (seismic risk) μέσω της αξιοποίησης σεισμολογικών δεδομένων και συνδυασμό διαφόρων μεθόδων. Ο σεισμικός κίνδυνος, αποτελεί συνάρτηση των όρων: α) σεισμική επικινδυνότητα (seismic hazard) και β) τρωτότητα (vulnerability).

Ο όρος σεισμικός κίνδυνος ή σεισμική διακινδύνευση (seismic risk) χρησιμοποιείται για την περιγραφή του βαθμού (έκταση και κρισιμότητα) των βλαβών που αναμένεται να υποστεί μία κατασκευή ή ένα οικιστικό σύνολο εξαιτίας της εκδήλωσης ενός επερχόμενου σεισμού. Υπό την ευρύτερη έννοια, ο όρος αυτός είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί και προκειμένου να περιγραφούν οι αναμενόμενες υλικές και οικονομικές συνέπειες ενός σεισμού, καθώς και οι τραυματισμοί και οι απώλειες ανθρώπινων ζωών.

Η σεισμική επικινδυνότητα (seismic hazard), ορίζεται ως η μέγιστη αναμενόμενη τιμή μιας σεισμικής παραμέτρου (μέγεθος, ένταση, εδαφικές παράμετροι και συχνοτικό περιεχόμενο) σε μια συγκεκριμένη θέση, για δεδομένη περίοδο επανάληψης ή για δεδομένη πιθανότητα μη υπέρβασης σε ορισμένο χρονικό διάστημα.

Η τρωτότητα (vulnerability), αποτελεί χαρακτηριστική ιδιότητα – παράμετρο κάθε τεχνικής κατασκευής και εκφράζει την αναμενόμενη απόκρισή της σε ενδεχομένη σεισμική κίνηση. Πέρα του τεχνικού παράγοντα, περιλαμβάνει και το οικονομικό στοιχείο της κατασκευής στο οποίο αναφέρεται η εκτίμηση του σεισμικού κινδύνου. Οι δύο παράγοντες μπορούν να διαχωριστούν, έτσι ο όρος τρωτότητα περιλαμβάνει τα τεχνικά στοιχεία, ενώ τα οικονομικά τα περιλαμβάνει ο όρος της διακινδυνευόμενης αξίας.

Η συνάρτηση μεταξύ σεισμικού κινδύνου και των υπόλοιπων παραγόντων είναι:

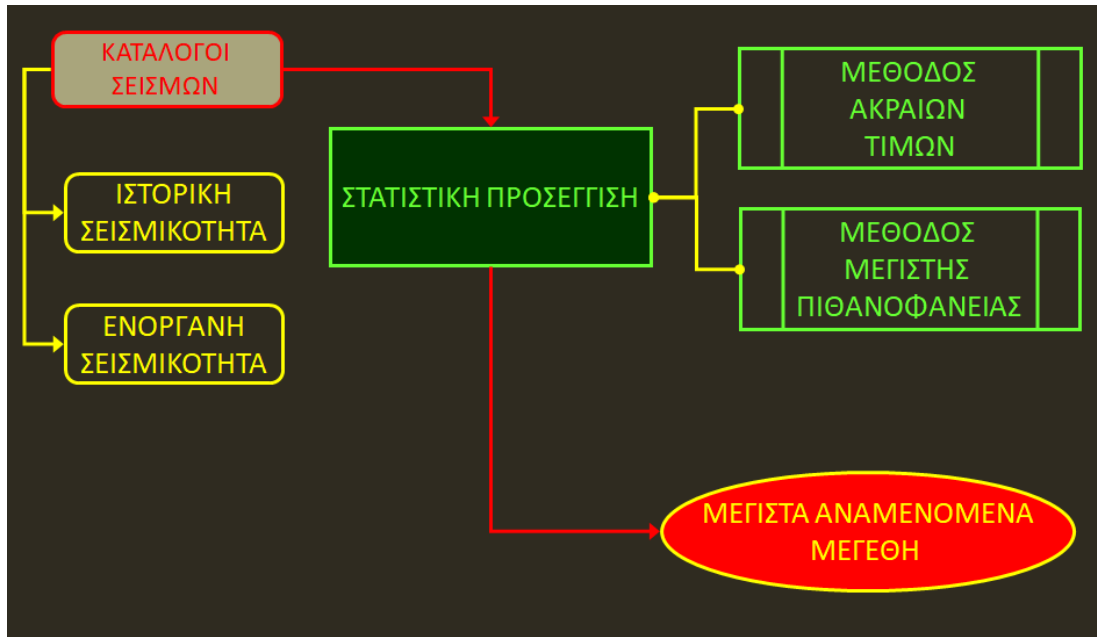
$$\text{Σεισμικός κίνδυνος} = \text{Σεισμική επικινδυνότητα} \times \text{Τρωτότητα} \times \text{Διακινδυνευόμενη αξία}$$

Παρατηρείται ότι για την ελαχιστοποίηση ή τη μείωση της σεισμικής διακινδύνευσης, αρκεί να ελαττωθεί η τιμή μίας μόνο μεταβλητής. Η σεισμική επικινδυνότητα δεν τροποποιείται από τον άνθρωπο, διότι είναι χαρακτηριστική της σεισμοτεκτονικής για την εκάστοτε περιοχής μελέτης. Ωστόσο, τα αποτελέσματά της βοηθούν στην επικαιροποίηση του Εθνικού Αντισεισμικού Κανονισμού για τη θωράκιση των τεχνικών κατασκευών, που οδεύει εν τέλει στη μείωση της τρωτότητας αυτών, άρα και στη μείωση του σεισμικού κινδύνου. Η διακινδυνευόμενη αξία αποτελεί όρο της εξίσωσης του σεισμικού κινδύνου, διότι συσχετίζεται με σημαντικά τεχνικά έργα που εξυπηρετούν την ανθρώπινη καθημερινότητα (π.χ. γέφυρες, σήραγγες κτλ.) (Βούλγαρης, 2006).

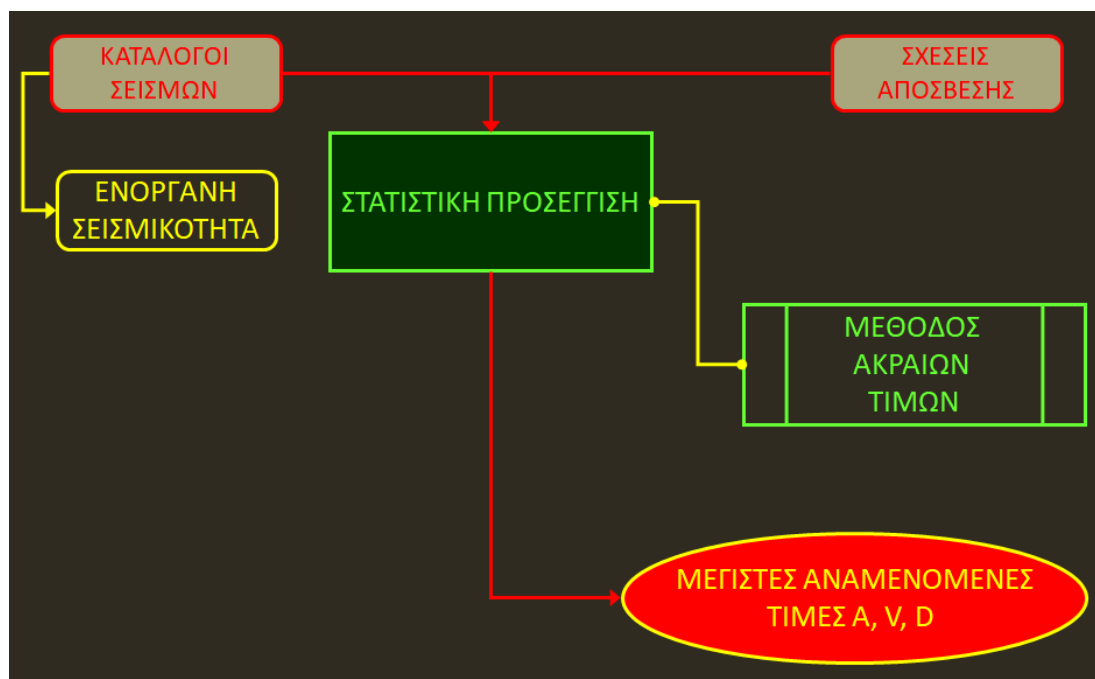
Η σεισμική επικινδυνότητα και ο σεισμικός κίνδυνος είναι δύο έννοιες που χρησιμοποιούνται συχνά με ταυτόσημο τρόπο, όμως αποτελούν θεμελιωδώς διαφορετικές έννοιες. Η πρώτη, αναφέρεται στα δευτερογενή φυσικά φαινόμενα που προκαλούνται από έναν σεισμό, δηλαδή στα επακόλουθα φαινόμενα, όπως ρευστοποιήσεις, δονήσεις εδαφών κτλ. Ο σεισμικός κίνδυνος αναφέρεται στο ανθρωπογενές περιβάλλον και στις επιπτώσεις όταν αυτό εκτεθεί σε έναν βαθμό σεισμικής επικινδυνότητας.

## 2. ΠΙΘΑΝΟΛΟΓΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ

Οι μεθοδολογίες εκτίμησης σεισμικής επικινδυνότητας είναι η πιθανολογική, η αιτιοκρατική και η υβριδική. Η πρώτη, χωρίζεται στην καθαρά στατιστική και στην ημιστατιστική μέθοδο. Οι καθαρά στατιστικές μέθοδοι βασίζονται στην επεξεργασία σεισμολογικών δεδομένων που προέρχονται από καταλόγους ιστορικής και ενόργανης σεισμικότητας για την περιοχή μελέτης. Η μόνη διαφορά μεταξύ τους, όπως απεικονίζεται και στο Σχήμα 2.1, είναι ως προς τους νόμους κατανομής που υιοθετούν. Οι ημιστατιστικές μέθοδοι (Σχήμα 2.2), λαμβάνουν υπόψη τους και εισάγουν προς στατιστική επεξεργασία την επιμέρους κατανομή των σεισμικών εστιών σαν αποτέλεσμα του γεωτεκτονικού καθεστώτος της περιοχής. Δηλαδή, εισάγουν ένα σεισμοτεκτονικό μοντέλο με τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά και τη δυναμικότητα των σεισμικών πηγών και συνθέτουν τη συμβολή κάθε μίας στην τελική διαμόρφωση της στάθμης επικινδυνότητας της θέσης μελέτης (Βούλγαρης, 2006).



Σχήμα 2.1: Διάγραμμα ροής για την εκτίμηση σεισμικής επικινδυνότητας με καθαρά στατιστικές μεθόδους. Προκύπτουν μέγιστα αναμενόμενα μεγέθη (για μία περίοδο επανάληψης), ενώ για τις μέγιστες αναμενόμενες τιμές εδαφικών παραμέτρων πρέπει να χρησιμοποιηθούν και σχέσεις απόσβεσης (Παράγραφος 2.3) (Βούλγαρης, 2006).



Σχήμα 2.2: Διάγραμμα ροής για την εκτίμηση σεισμικής επικινδυνότητας με ημιστατιστικές μεθόδους. Υπολογίζονται οι μέγιστες αναμενόμενες τιμές εδαφικών παραμέτρων (για μία περίοδο επανάληψης). Η χρήση σχέσεων απόσβεσης είναι απαραίτητη (Παράγραφος 2.3) (Βούλγαρης, 2006).

## 2.2 Θεωρία ακραίων τιμών

Η μέθοδος ακραίων τιμών βασίζεται στη θεωρία του Gumbel (1958). Μελετά τη συμπεριφορά των ακρότατων μιας πανομοιότυπης κατανομής δειγμάτων ανεξαρτήτων τυχαίων μεταβλητών. Δηλαδή εάν μια κατανομή έχει δείγματα με τιμές  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ , με αύξουσα σειρά, η μέθοδος ακραίων τιμών μελετά τη συμπεριφορά των δειγμάτων  $x_1$  και  $x_n$ , ουσιαστικά το πώς προσεγγίζουν ένα κατώτατο ή ανώτατο όριο. Στη σεισμολογία το ενδιαφέρον επικεντρώνεται αποκλειστικά στις μέγιστες τιμές.

Η μέθοδος είναι χρήσιμη στη μέτρηση και μοντελοποίηση γεγονότων που συμβαίνουν με πολύ μικρή πιθανότητα. Αυτός είναι και ο λόγος που ενδείκνυται η χρήση της σε μοντέλα σεισμικής επικινδυνότητας. Έχει ποικίλες εφαρμογές, μεταξύ άλλων, στα οικονομικά, στην υδρολογία, στη μετεωρολογία και στη σεισμολογία. Έχει αποδειχθεί ότι οι ακραίες τιμές μιας κατανομής τείνουν προς κάποιο συγκεκριμένο όριο με ασυμπτωτική συμπεριφορά. Έτσι, διακρίνονται τρεις ασυμπτωτικές κατανομές (θεωρία πρώτης, δεύτερης και τρίτης κατανομής).

- Πρώτη ασυμπτωτική κατανομή: Δεν έχει άνω και κάτω όριο, οπότε χρησιμοποιείται για την εκπόνηση μελετών σεισμικής επικινδυνότητας υπό το πρίσμα των εδαφικών παραμέτρων,
- δεύτερη ασυμπτωτική κατανομή: έχει μόνο κάτω όριο με αποτέλεσμα να μη χρησιμοποιείται στη σεισμολογία και
- τρίτη ασυμπτωτική κατανομή: έχει μόνο άνω όριο, επομένως, χρησιμοποιείται για την εκπόνηση μελετών σεισμικής επικινδυνότητας υπό το πρίσμα του μεγέθους.

Οι εξισώσεις που περιγράφουν τις τρεις ασυμπτωτικές κατανομές είναι:

- Πρώτη ασυμπτωτική κατανομή:  

$$G^I(x) = e^{-e^{-a(x-u)}} \quad (2), \quad a > 0,$$
- δεύτερη ασυμπτωτική κατανομή:

$$G^II(x) = e^{-\left(\frac{x-\gamma}{x-\gamma}\right)^k} \quad (3), \quad k > 0, x \geq \gamma, u > \gamma \geq 0 \text{ και}$$

- τρίτη ασυμπτωτική κατανομή:

$$G^III(x) = e^{-\left(\frac{\omega-x}{\omega-u}\right)^k} \quad (4), \quad k > 0, x \leq \omega, u < \omega.$$

Ο πρώτος όρος κάθε εξίσωσης, δηλαδή το  $G(x)$ , είναι η πιθανότητα η μεταβλητή  $x$  (μέγεθος, ένταση, εδαφικές παράμετροι) να είναι η μέγιστη ετήσια. Δηλαδή, εκφράζει την πιθανότητα μη υπέρβασης της τιμής  $x$ . Υπάρχει μια χαρακτηριστική τιμή του  $x$ , η μεταβλητή  $u$ , για την οποία ισχύει  $G(u)=1/e=0.36$  (36%). Η μεταβλητή  $u$  υπάρχει και στις τρεις κατανομές.

Η παράμετρος  $\omega$ , που συναντάται στην τρίτη ασυμπτωτική κατανομή (4) (δηλαδή με μόνο άνω όριο, άρα για μελέτες υπό το πρίσμα του μεγέθους), είναι ένα ανώτατο όριο, με αποτέλεσμα η μεταβλητή  $x$  (μέγεθος) να είναι πάντα μικρότερη ή το πολύ ίση με αυτό. Γίνεται κατανοητό, πως η παράμετρος  $\omega$  είναι χαρακτηριστική για κάθε περιοχή μελέτης. Η παράμετρος  $k = 1/\lambda$  ονομάζεται παράμετρος μορφής και είναι σημαντική για τον προσδιορισμό της σεισμικότητας μιας περιοχής. Σχετίζεται άμεσα με την καμπυλότητα της κατανομής των μεγεθών (τρίτη ασυμπτωτική κατανομή), οπότε δείχνει τον ρυθμό με τον οποίο η κατανομή πλησιάζει το ανώτατο όριο  $\omega$ . Άρα, τη συχνότητα εμφάνισης ισχυρού μεγέθους σεισμών σε μια περιοχή μελέτης.

## 2.3 Σχέσεις απόσβεσης

Στις περιγραφές των Σχημάτων 2.1, 2.2, αναφέρθηκε πως αν η μέγιστη αναμενόμενη τιμή για μια συγκεκριμένη περίοδο επανάληψης αναφέρεται σε μια από τις εδαφικές παραμέτρους (εδαφική επιτάχυνση, ταχύτητα και μετατόπιση), τότε στα στάδια μελέτης προστίθενται και οι σχέσεις απόσβεσης.

Το μέσο διάδοσης είναι ανομοιογενές, ανομοιομόρφο, ανισότροπο, μη συνεχές και μη διακριτό, οπότε δεν είναι γνωστή η επίδρασή του στην ενέργεια των σεισμικών κυμάτων. Για αυτόν τον λόγο, υπάρχουν οι σχέσεις απόσβεσης, δηλαδή, εμπειρικές εξισώσεις που καθορίζουν την απόσβεση της σεισμικής ενέργειας συναρτήσει της απόστασης. Είναι συνήθως της μορφής  $\log(A,V,D)=a+bM+cR$  όπου  $M$  είναι το μέγεθος του σεισμού,  $R$  η υποκεντρική ή επικεντρική απόσταση (και επιφάνειας ρήγματος – σημείου ενδιαφέροντος, αλλά είναι σπάνιο για τον ελλαδικό χώρο λόγω μη εκδήλωσης ρηγμάτων στην επιφάνεια),  $a$ ,  $b$ ,  $c$  είναι αριθμητικοί συντελεστές και  $A$ ,  $V$ ,  $D$  είναι η εδαφική επιτάχυνση, ταχύτητα και μετατόπιση αντιστοίχως. Με το πέρασμα του χρόνου, εισήλθαν και νέες παράμετροι στις σχέσεις απόσβεσης. Για παράδειγμα, η παράμετρος  $S$  που αντικατοπτρίζει το είδος των επιφανειακών σχηματισμών και λαμβάνει τιμές  $[0,2]$ . Το μέσο διάδοσης επηρεάζει τις ιδιότητες των σεισμικών κυμάτων με αποτέλεσμα την ενίσχυση ή την απόσβεσή της ενέργειάς τους στα τελευταία 30 m βάθους (δηλαδή στο βάθος των επιφανειακών σχηματισμών). Μάλιστα, ένας χαλαρός – μη συνεκτικός εδαφικός σχηματισμός ενισχύει πολύ περισσότερο την ενέργεια των σεισμικών κυμάτων από ένα σκληρό – συνεκτικό. Η παράμετρος  $F$  απεικονίζει το είδος του μηχανισμού γένεσης και ομοίως λαμβάνει τιμές  $[0,2]$ . Παρακάτω παρουσιάζονται οι σχέσεις απόσβεσης για τον Ελλαδικό χώρο με χρονολογική σειρά.

### 2.3.1 Orphal and Lahoud (1974)

$$\text{PGA: } A = 0.066 \times 10^{0.4M} \times R^{-1.39} \quad (5),$$

$$\text{PGV: } V = 7.26 \times 10^{-1} \times 10^{0.52M} \times R^{-1.34} \quad (6),$$

## 2. ΠΙΘΑΝΟΛΟΓΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ

$$\text{PGD: } D = 4.71 \times 10^{-2} \times 10^{0.57M} \times R^{-1.18} \quad (7),$$

όπου  $A$  = Μέγιστη Εδαφική Επιτάχυνση (g),  $V$  = Μέγιστη Εδαφική Ταχύτητα (cm/sec),  $D$  = Μέγιστη Εδαφική Μετατόπιση (cm),  $M$  = τοπικό μέγεθος και  $R$  = υποκεντρική απόσταση (km)

### 2.3.2 Makropoulos (1978)

$$\text{PGA: } A = 2164e^{0.7M} \times (R + 20)^{-1.8} \quad (8),$$

όπου  $A$  = Μέγιστη Εδαφική Επιτάχυνση (cm/sec<sup>2</sup>),  $M$  το μέγεθος του σεισμού και  $R$  = υποκεντρική απόσταση σε km.

### 2.3.3 Ambraseys (1990)

$$\text{PGA: } \log A_w = -1.101 + 0.2615M_w - \log(r) - 0.00255(r) + 0.25P \quad (9),$$

$$\text{PGV: } \log V_w = -0.533 + 0.4676M_w - \log(r) - 0.00255(r) + 0.24P + 0.17S \quad (10),$$

όπου  $r^2 = (d^2 + 7.2^2)$  στην πρώτη και  $r^2 = (d^2 + 4.0^2)$  στη δεύτερη. Η μεταβλητή  $d$  είναι η κοντινότερη απόσταση από το ρήγμα (σε km). Συνεχίζοντας,  $A_w$  = Μέγιστη Εδαφική Επιτάχυνση (g) και  $V_w$  = Μέγιστη Εδαφική Ταχύτητα (cm/sec). Η μεταβλητή  $P$  είναι ίση με 0 για 50 εκατοστημόρια των τιμών και με 1 για 80 εκατοστημόρια των τιμών. Η μεταβλητή  $S$  είναι ίση με 0 για βράχο και 1 για έδαφος.

### 2.3.4 Theodulidis and Papazachos (1994)

$$\text{PGA: } \ln a_g = 3.88 + 1.12M_s - 1.65 \ln(R + 15) + 0.41S + 0.71P \quad (11),$$

$$\text{PGV: } \ln v_g = -0.79 + 1.41M_s - 1.621 \ln(R + 10) - 0.22S + 0.80P \quad (12),$$

$$\text{PGD: } \ln d_g = -5.92 + 2.08M_s - 1.85 \ln(R + 5) - 0.97S + 1.23P \quad (13),$$

όπου  $a_g$  = Μέγιστη Εδαφική Επιτάχυνση (cm/sec<sup>2</sup>),  $v_g$  = Μέγιστη Εδαφική Ταχύτητα (cm/sec),  $d_g$  = Μέγιστη Εδαφική Μετατόπιση (cm),  $M_s$  = επιφανειακό μέγεθος,  $R$  = επικεντρική απόσταση (km) και  $S = 0$  σε χαλαρά μη συνεκτικά εδάφη και  $S = 1$  σε βράχο.

### 2.3.5 Theodulidis (1998)

$$\text{PGA: } \ln \text{PGA} = C_1 + C_2M + C_3 \ln R \quad (14),$$

όπου  $\text{PGA}$  = Μέγιστη Εδαφική Επιτάχυνση (cm/sec<sup>2</sup>),  $C_1 = 0.47$ ,  $C_2 = 1.15$ ,  $C_3 = -1.22$  και  $R$  = υποκεντρική απόσταση (km).

Αν  $R$  είναι η επικεντρική απόσταση (km), τότε η σχέση γίνεται:

$$\text{PGA: } \ln \text{PGA} = C_1 + C_2M + C_3 \ln(R + R_0) \quad (15),$$

όπου  $C_1 = 2.18$ ,  $C_2 = 1.19$ ,  $C_3 = -1.64$  και  $R_0 = 10$ . Ισχύει και στις δύο περιπτώσεις ο περιορισμός ότι το εστιακό βάθος πρέπει να ανήκει στο κλειστό διάστημα  $[0, 15]$  km.

### 2.3.6 Theodulidis et al. (1998)

$$\text{PGA: } \ln Y = C_1 + C_2M + C_3 \ln(\Delta + 15) + 0.31S \quad (16),$$

## 2. ΠΙΘΑΝΟΛΟΓΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ

όπου  $Y$  = Μέγιστη Εδαφική Επιτάχυνση ( $\text{cm/sec}^2$ ),  $C_1 = 4.85$ ,  $C_2 = 1.02$  και  $C_3 = -1.90$ . Οι αριθμητικοί συντελεστές 15, 0.31 επιλέχθηκαν από τη σχέση των Theodulidis and Papazachos (1992) διότι δεν μπορούσαν να δημιουργηθούν από τα δεδομένα των Theodulidis et al. (1998). Ο συντελεστής  $S$  λαμβάνει τιμή 0 για μητρικά πετρώματα (βράχο) και 1 για αλλούβια (εδάφη).

### 2.3.7 Margaris et al. (2002)

PGA:  $\ln\text{PGA} = 4.16 + 0.69M_w - 1.24 \ln(R + 6) + 0.12S + 0.70$  (17), για όλες τις τιμές  $M_w$ .

PGA:  $\ln\text{PGA} = 3.52 + 0.70M_w - 1.14 \ln\sqrt{(R^2 + 7^2)} + 0.12S + 0.70$  (18), αν  $M_w \geq 5$ .

PGV:  $\ln\text{PGV} = -1.51 + 1.11M_w - 1.20 \ln(R + 5) + 0.29S + 0.80$  (19), για όλες τις τιμές  $M_w$ .

PGV:  $\ln\text{PGV} = -2.08 + 1.13M_w - 1.11 \ln\sqrt{(R^2 + 6^2)} + 0.29S + 0.80$  (20), αν  $M_w \geq 5$ .

PGD:  $\ln\text{PGD} = -6.63 + 1.66M_w - 1.34 \ln(R + 5) + 0.50S + 1.08$  (21), για όλες τις τιμές  $M_w$ .

PGD:  $\ln\text{PGD} = -7.26 + 1.68M_w - 1.24 \ln\sqrt{(R^2 + 6^2)} + 0.50S + 1.08$  (22), αν  $M_w \geq 5$ ,

όπου PGA = Μέγιστη Εδαφική Επιτάχυνση ( $\text{cm/sec}^2$ ), PGV = Μέγιστη Εδαφική Ταχύτητα ( $\text{cm/sec}$ ), PGD = Μέγιστη Εδαφική Μετατόπιση ( $\text{cm}$ ),  $R$  = επικεντρική απόσταση ( $\text{km}$ ),  $S = 0$  για έδαφος κατηγορίας B (βράχος με ταχύτητα διατμητικών κυμάτων  $760 \text{ m/s} < V_s \leq 1500 \text{ m/s}$ ),  $S = 1$  για έδαφος κατηγορίας C (πολύ πυκνός εδαφικός σχηματισμός ή χαλαρός βράχος με ταχύτητα διατμητικών κυμάτων  $360 \text{ m/s} < V_s \leq 760 \text{ m/s}$ ) και  $S = 2$  για έδαφος κατηγορίας D (σκληρό έδαφος με ταχύτητα διατμητικών κυμάτων  $180 \text{ m/s} \leq V_s \leq 360 \text{ m/s}$ ). Η κατηγοριοποίηση του εδάφους σε τύπου A – F προέρχεται από τον φορέα NEHRP (1994).

### 2.3.8 Skarlatoudis et al. (2003, 2007)

PGA:  $\log\text{PGA} = 0.86 + 0.45M - 1.27 \log\sqrt{(R^2 + h^2)} + 0.10F + 0.06S \pm 0.286$  (23), αν  $M_w \geq 5$ .

PGA:  $\log\text{PGA} = 1.07 + 0.45M - 1.35 \log(R + 6) + 0.09F + 0.06S \pm 0.286$  (24), για όλες τις τιμές  $M_w$ .

PGV:  $\log\text{PGV} = -1.66 + 0.65M - 1.224 \log\sqrt{(R^2 + h^2)} + 0.03F + 0.15S \pm 0.321$  (25), αν  $M_w \geq 5$ .

PGV:  $\log\text{PGV} = -1.46 + 0.64M - 1.29 \log(R + 6) + 0.02F + 0.14S \pm 0.32$  (26), για όλες τις τιμές  $M_w$ .

PGD:  $\log\text{PGD} = -4.08 + 0.88M - 1.27 \log\sqrt{(R^2 + h^2)} - 0.02F + 0.25S \pm 0.424$  (27), αν  $M_w \geq 5$ .

PGD:  $\log\text{PGD} = -3.87 + 0.87M - 1.31 \log(R + 6) - 0.04F + 0.24S \pm 0.428$  (28), για όλες τις τιμές  $M_w$ ,

όπου η εξαρτημένη μεταβλητή λαμβάνει τιμές σε  $\text{cm/sec}^2$ ,  $\text{cm/sec}$  και  $\text{cm}$ , ανάλογα με την παράμετρο σεισμικής επικινδυνότητας. Στην έκδοση του 2007, οι Skarlatoudis et al. (2007) διόρθωσαν τις σχέσεις PGV. Οι Skarlatoudis et al. (2003, 2007) συμβολίζουν με  $M$  το μέγεθος σεισμικής ροπής. Η μεταβλητή  $R$  είναι η επικεντρική απόσταση ( $\text{km}$ ), η  $F$  είναι ο τύπος μηχανισμού γένεσης για ανάστροφα και οριζόντια ολίσθησης ρήγματα (λόγω ίδιων αποτελεσμάτων στις εξισώσεις) αλλά και για κανονικά όταν λαμβάνει τη τιμή  $F = 0$ , αλλιώς είναι  $F = 1$ . Η μεταβλητή  $S$  λαμβάνει τιμές 0, 1, 2 για έδαφη κατηγορίας B, C, D κατά NEHRP (1994), αντιστοίχως.

### 2.3.9 Danciu (2006) και Danciu and Tselentis (2007)

$$\text{PGA: } \log Y = a + bM - c \log \sqrt{R^2 + h^2} + eS + fF \quad (29),$$

όπου  $Y =$  Μέγιστη Εδαφική Επιτάχυνση ( $\text{cm/sec}^2$ ),  $a = 0.883$ ,  $b = 0.458$ ,  $c = 1.278$ ,  $h = 11.515$ ,  $e = 0.038$  και  $f = 0.116$ . Η μεταβλητή  $S$  λαμβάνει τιμή 0 για βράχο με  $V_{S30} > 800\text{m/sec}$  ( $V_{S30}$  καλείται η ταχύτητα διάδοσης των εγκαρσίων κυμάτων σε βάθος 30 m), τιμή 1 για δύσκαμπτο έδαφος με  $360 \leq V_{S30} \leq 665 \text{ m/sec}$  και τιμή 2 για μαλακό έδαφος με  $200 \leq V_{S30} \leq 360 \text{ m/sec}$ . Οι τιμές εστιακού βάθους πρέπει να ανήκουν στο κλειστό διάστημα  $[0, 30]$  km. Η μεταβλητή  $F$  λαμβάνει τιμή 0 για κανονικό μηχανισμό γένεσης, 1 για οριζόντιας ολίσθησης και ανάστροφο. Στον Πίνακα 2.1 δίνεται η σχέση μαζί με τις τιμές των μεταβλητών για εδαφική ταχύτητα και μετατόπιση.

$$\log_{10}(Y_p) = a + bM_i + c \log_{10} \sqrt{R_{epi}^2 + h^2} + eS_0 + fF_0 + \epsilon_p$$

	a	b	c	h	e	f	τ	σ	$\epsilon_{pM}$
PGA	0.883	0.458	-1.278	11.515	0.038	0.116	0.109	0.270	0.291
PGV	-1.436	0.625	-1.152	10.586	0.026	0.086	0.124	0.288	0.309

**Πίνακας 2.1: Η σχέση απόσβεσης για ανεξάρτητη μεταβλητή την εδαφική ταχύτητα και μετατόπιση (πάνω). Οι στήλες του Πίνακα συμβολίζουν τις μεταβλητές της σχέσης (Danciu 2006 και Danciu and Tselentis 2007).**

### 2.3.10 Segou and Voulgaris (2013)

$$\text{PGA, PGV: } \log Y = a + bM + cM^2 + (d + eM) \log \sqrt{R_{epi}^2 + (H - h)^2} + f_1RS + f_2SS + e_1ST_S + e_2SF_S + a_{\log 10}(Y) \quad (30),$$

όπου  $Y =$  Μέγιστη Εδαφική Επιτάχυνση ( $\text{cm/sec}^2$ ) ή Μέγιστη Εδαφική Ταχύτητα ( $\text{cm/sec}$ ), ανάλογα την παράμετρο σεισμικής επικινδυνότητας. Η μεταβλητή  $R_{epi}$  είναι η επικεντρική απόσταση σε km. Το μέγεθος  $M$  είναι αυτό της σεισμικής ροπής και λαμβάνει τιμές στο κλειστό διάστημα  $[4.5, 6.6]$ . Οι μεταβλητές  $e_1 - e_2$ ,  $f_1 - f_2$  είναι τυχαίες μεταβλητές από τη μοντελοποίηση εδάφους και ρηγμάτων που έκαναν οι Segou and Voulgaris (2013). Οι όροι  $SS$ ,  $RS$ ,  $ST_S$  και  $SF_S$  είναι εικονικές μεταβλητές για ανάστροφα και οριζόντιας ολίσθησης μηχανισμούς γένεσης και για δύσκαμπτο και μαλακό έδαφος, αντιστοίχως. Αν  $SS = RS = 0$  και  $ST_S = SF_S = 0$ , τότε η σχέση απόσβεσης αντιστοιχεί σε κανονικό μηχανισμό γένεσης. Τέλος, ο γεωμετρικός όρος  $(d + eM)$  απεικονίζει την εξάρτηση του μεγέθους του σεισμού συναρτήσει της κλίσης του ρήγματος.

### 2.3.11 Sakkas (2016)

$$\text{PGA: } \log \text{PGA} = 0.814 + 0.472M_n \pm 1.319 \log \sqrt{R^2 + 11.056^2} + 0.047S + 0.097F \pm 0.298 \quad (31).$$

Η παραπάνω σχέση απόσβεσης έχει παρόμοιες μεταβλητές με αυτή των Skarlatoudis et al. (2003) and Danciu and Tselentis (2007). Δηλαδή, η μεταβλητή  $F$  λαμβάνει τιμή 0 για κανονικό μηχανισμό γένεσης, 1 για οριζόντιας ολίσθησης και ανάστροφο, ενώ η μεταβλητή  $S$  λαμβάνει τιμές 0, 1, 2 για εδάφη κατηγορίας B, C, D κατά NEHRP (1994) και  $R$  είναι η επικεντρική απόσταση σε km. Χρησιμοποιείται κυρίως για σεισμούς μεγέθους μεταξύ 4 και 4.5.



### 2.3.12 Chousianitis et al. (2018)

PGA:  $\log \text{PGA} = 0.787 + 0.478M - 1.092 \log \sqrt{R^2 + 10.688^2} - 0.0044 \sqrt{R^2 + 10.688^2} + 0.096s + 0.146m \pm 0.285$  (32), αν είναι γνωστή η γεωλογία και ο μηχανισμός γένεσης.

PGA:  $\log \text{PGA} = 0.829 + 0.474M - 1.062 \log \sqrt{R^2 + 10.772^2} - 0.004 \sqrt{R^2 + 10.772^2} + 0.082s \pm 0.291$  (33), αν δεν είναι γνωστός ο μηχανισμός γένεσης.

PGA:  $\log \text{PGA} = 0.881 + 0.479M - 1.1072 \log \sqrt{R^2 + 10.802^2} - 0.0043 \sqrt{R^2 + 10.802^2} + 0.142m \pm 0.289$  (34), αν δεν είναι γνωστή η γεωλογία.

PGA:  $\log \text{PGA} = 0.907 + 0.474M - 1.074 \log \sqrt{R^2 + 10.763^2} - 0.004 \sqrt{R^2 + 10.763^2} \pm 0.296$  (35), αν δεν είναι γνωστά ο μηχανισμός γένεσης και η γεωλογία της περιοχής μελέτης.

PGV:  $\log \text{PGV} = -1.082 + 0.692M - 1.614 \log \sqrt{R^2 + 12.641^2} + 0.137s_1 + 0.31s_2 + 0.068m \pm 0.306$  (36), αν είναι γνωστή η γεωλογία και ο μηχανισμός γένεσης.

PGV:  $\log \text{PGV} = -1.095 + 0.691M - 1.577 \log \sqrt{R^2 + 12.546^2} + 0.128s_1 + 0.306s_2 \pm 0.307$  (37), αν είναι άγνωστος ο μηχανισμός γένεσης.

PGV:  $\log \text{PGV} = -0.869 + 0.661M - 1.542 \log \sqrt{R^2 + 11.677^2} + 0.067m \pm 0.326 \pm 0.307$  (38), αν είναι άγνωστη η γεωλογία.

PGV:  $\log \text{PGV} = -0.887 + 0.662M - 1.504 \log \sqrt{R^2 + 11.506^2} \pm 0.328$  (39), αν δεν είναι γνωστά ο μηχανισμός γένεσης και η γεωλογία της περιοχής μελέτης,

όπου R: επικεντρική απόσταση (km), M το μέγεθος σεισμικής ροπής, m είναι η μεταβλητή που εξαρτάται από τον τύπο μηχανισμού γένεσης (m=0 για κανονικό και m=1 για ανάστροφο ή οριζόντιας ολίσθησης μηχανισμό αντιστοίχως). και  $s_{1,2}$  είναι μεταβλητές που λαμβάνουν την τιμή 0 για βράχο, ενώ για δύσκαμπτο ή μαλακό έδαφος η  $s_1$  έχει τιμή 1 και η  $s_2$  τιμή 0.

### 2.3.13 Σχέσεις απόσβεσης εργασίας

#### 2.3.13.1 Καθαρά στατιστική μέθοδος

Οι σχέσεις απόσβεσης που χρησιμοποιήθηκαν για την παρούσα μελέτη πιθανολογικής εκτίμησης σεισμικής επικινδυνότητας με χρήση καθαρής στατιστικής μεθόδου είναι:

PGA: Makropoulos (1978) (8),

PGV: Orphal and Lahoud (1974) (6) και

PGD: Orphal and Lahoud (1974) (7).

#### 2.3.13.2 Ημιστατιστική μέθοδος

Οι σχέσεις απόσβεσης που χρησιμοποιήθηκαν για την παρούσα μελέτη πιθανολογικής εκτίμησης σεισμικής επικινδυνότητας με χρήση καθαρής στατιστικής μεθόδου είναι:

PGA: Makropoulos (1978) (8), Margaris et al. (2002) (17), Skarlatoudis et al. (2003) (24), Danciu and Tselentis (2007) (29), Sakkas (2016) (31) και Chousianitis et al. (2018) (32).

PGV: Orphal and Lahoud (1974) (6), Margaritis et al. (2002) (19), Skarlatoudis et al. (2007) (26), Danciu and Tselentis (2007) και Chousianitis et al. (2018) (36).

PGD: Orphal and Lahoud (1974) (7), Margaritis et al. (2002) (21), Skarlatoudis et al. (2003) (28) και Danciu and Tselentis (2007)

### 2.4 Καθαρά στατιστική μέθοδος εκτίμησης σεισμικής επικινδυνότητας

#### 2.4.1 Το πρόγραμμα HAZAN

Η ανάγκη εκτίμησης των μέγιστων αναμενόμενων τιμών σεισμικών παραμέτρων σε μια περιοχή μελέτης για μια συγκεκριμένη περίοδο επανάληψης, οδηγεί τους σεισμολόγους στη χρήση στατιστικών μεθόδων. Πολλά αποτελέσματα, όμως, δεν ήταν ικανοποιητικά λόγω προβλημάτων πληρότητας δεδομένων (Burton, 1979).

Με βάση το τελευταίο, τα στατιστικά μοντέλα χωρίζονται σε δύο κατηγορίες. Στην πρώτη, ανήκουν εκείνα που χρησιμοποιούν όλο το πλήθος δεδομένων, όπως για παράδειγμα ο νόμος σωρευτικής συχνότητας - κατανομής σεισμών Gutenberg – Richter (Gutenberg and Richter, 1944). Στη δεύτερη, υπάρχουν τα στατιστικά μοντέλα που αξιοποιούν μόνο τις ακραίες τιμές μέσα σε ένα πλήθος δεδομένων (τα ακρότατα σε μια κατανομή), χρησιμοποιώντας τη μέθοδο ακραίων τιμών του Gumbel (1958) (βλ. Παράγραφο 2.2). Για τις μελέτες σεισμικής επικινδυνότητας, όπου λαμβάνονται υπόψη ισχυροί σεισμοί και για την αποφυγή προβλημάτων πληρότητας καταλόγων, χρησιμοποιείται κυρίως η δεύτερη κατηγορία στατιστικών μοντέλων (Makropoulos and Burton, 1986).

Το πρόγραμμα HAZAN, είναι κατασκευασμένο στη γλώσσα προγραμματισμού FORTAN και υπολογίζει τις παραμέτρους σεισμικής επικινδυνότητας μέσω πιθανολογικής προσέγγισης, χρησιμοποιώντας τη θεωρία ακραίων τιμών. Αναπτύχθηκε το 1986 από τον Κ. Μακρόπουλο (Τομέας Γεωφυσικής – Γεωθερμίας ΕΚΠΑ) και τον P. Burton (Natural Environmental Council, British Geological Survey). Το πρόγραμμα, δεν υπολογίζει μέγιστες αναμενόμενες τιμές παραμέτρων σεισμικής επικινδυνότητας με τη συμβατική λύση ελαχίστων τετραγώνων, αλλά με τη μη γραμμική μέθοδο αυτών, που περιγράφεται από τον Levenberg (1994), αναπτύχθηκε από τον Marquardt (1963) και προγραμματίστηκε από τον Bevington (1969), όπως αναφέρεται από τους Makropoulos and Burton (1986).

Η υπολογιστική διαδικασία στο πρόγραμμα HAZAN, ξεκινάει με τη δημιουργία ενός καννάβου (grid), όπου κάθε σημείο λαμβάνει και μια συγκεκριμένη θέση στον χώρο γύρω από την περιοχή μελέτης. Το πρώτο βήμα είναι ο χρήστης να ορίσει τις 4 τιμές του πλέγματος (πεδία BOLA°, TOLA°, LFLO°, RTLO° του Πίνακα 2.2) και το βήμα, δηλαδή η απόσταση, ανάμεσα στα διαδοχικά σημεία του πλέγματος (πεδίο STEP° του Πίνακα 2.2), έτσι ώστε το πρόγραμμα να προβεί στη δημιουργία του καννάβου με βάση τα χαρακτηριστικά αυτά. Το δεύτερο βήμα, εφόσον πλέον υπάρχει το πλέγμα, είναι να επιλέξει ο χρήστης την ακτίνα των κύκλων που θα δημιουργηθούν με κέντρο κάθε σημείο του πλέγματος ξεχωριστά (πεδίο SIZE° στον Πίνακα 2.2). Έτσι, ο χρήστης δίνει τη δυνατότητα στο πρόγραμμα να εξάγει από τον κατάλογο σεισμών, στην παρούσα εργασία των Makropoulos et al. (2012), όλους τους σεισμούς που έγιναν εντός της κυκλικής περιοχής με κέντρο το κάθε σημείο του πλέγματος. Οπότε, στο δεύτερο βήμα, συλλέγονται σεισμοί των οποίων τα επίκεντρα βρίσκονται στις γεωγραφικές συντεταγμένες του εκάστοτε σημείο του καννάβου  $\pm$  SIZE°, θεωρώντας ότι 1° είναι ίση με 111.1 km. Το τρίτο και τελευταίο βήμα, είναι η δημιουργία ενός υποσυνόλου δεδομένων για κάθε σημείο, το οποίο περιέχει τη μέγιστη αναμενόμενη τιμή σεισμικής παραμέτρου με τα σφάλματά της (Makropoulos and Burton, 1986).

## 2. ΠΙΘΑΝΟΛΟΓΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ

Εάν η σεισμική παράμετρος είναι το μέγεθος (πεδία IDENT και INT του Πίνακα 2.2), τότε η διαδικασία υπολογισμού της μέγιστης αναμενόμενης τιμής του είναι το αποτέλεσμα μιας απλής αριθμητικής σύγκρισης. Ωστόσο, αν έχει επιλεγεί η ανάλυση να γίνει υπό το πρίσμα των εδαφικών παραμέτρων, τότε εισέρχονται στους υπολογισμούς οι σχέσεις απόσβεσης που αναφέρθηκαν στο τέλος της Παραγράφου 2.3.

Οι διαφορές μεταξύ των αποτελεσμάτων μεγέθους και εδαφικών παραμέτρων, αντικατοπτρίζουν το γεγονός πως η υποκεντρική απόσταση έχει σημαντικό ρόλο στην περίπτωση των εδαφικών παραμέτρων. Για παράδειγμα, στις περιοχές του Ηρακλείου και της Ρόδου, επικρατούν σεισμοί υψηλού μεγέθους αλλά χαμηλών εδαφικών παραμέτρων (π.χ. χαμηλής PGA), λόγω μεγαλύτερου εστιακού βάθους, άρα κατ'επέκταση και μεγαλύτερων υποκεντρικών αποστάσεων. Επίσης, οι μελέτες για τις μέγιστες αναμενόμενες τιμές μεγέθους, δεν εκπροσωπούν ακριβώς την περιοχή μελέτης αλλά μια ευρύτερης περιοχή συνήθως  $0.5^\circ \times 0.5^\circ$  (Makropoulos and Burton, 1986).

Στον Πίνακα 2.3 παρουσιάζονται οι τιμές των πεδίων του Πίνακα 2.2 για την ευρύτερη περιοχή της Μεσσηνίας στα πλαίσια της παρούσας Εργασίας. Πρέπει να σημειωθεί πως το πεδίο MODE είναι η μέθοδος με την οποία αντισταθμίζονται οι μέγιστες ετήσιες τιμές. Οι μέθοδοι είναι: Xi, EQUAL, SIGMA. Στην πρώτη, η στάθμιση είναι ίση με  $1/Xi$ , όπου Xi οι ετήσιες ακραίες τιμές. Στη δεύτερη επικρατεί ίση στάθμιση σε όλες τις τιμές Xi και στην τρίτη η στάθμιση είναι ίση με  $1/SIGMA$  όπου SIGMA η τυπική απόκλιση (βλ. Παράγραφο 2.5). Στη διπλωματική εργασία δοκιμάστηκαν και οι τρεις μέθοδοι στάθμισης (μέχρι να επιλεγεί με την αριθμητική σύγκριση των σφαλμάτων μια μέθοδος για κάθε παράμετρο επικινδυνότητας). Αφού εισαχθούν στο πρόγραμμα οι απαραίτητες πληροφορίες και επεξεργαστούν, εξάγονται τα αρχεία που περιέχουν τα αποτελέσματα σεισμικής επικινδυνότητας (Πίνακας 2.4).

BOLA <sup>o</sup>	Το κάτω όριο του γεωγραφικού πλάτους της επιλεγμένης περιοχής.
TOLA <sup>o</sup>	Το άνω όριο του γεωγραφικού πλάτους της επιλεγμένης περιοχής.
LFLO <sup>o</sup>	Το αριστερό όριο του γεωγραφικού μήκους της επιλεγμένης περιοχής.
RTLO <sup>o</sup>	Το δεξιό όριο του γεωγραφικού μήκους της επιλεγμένης περιοχής.
STEP <sup>o</sup>	Το βήμα ανάμεσα στα σημεία του πλέγματος.
SIZE <sup>o</sup>	Η ακτίνα της κυκλικής περιοχής
IDENT	Το είδος της σεισμικής παραμέτρου (M, PGA, PGV, PGD).
INT	Το είδος της ασυμπτωτικής κατανομής (I, III) του Gumbel.
MODE	Η μέθοδος με την οποία οι μέγιστες ετήσιες τιμές σταθμίζονται (Xi, EQUAL, SIGMA).

Πίνακας 2.2: Τα πεδία που ορίζει ο χρήστης για να ξεκινήσει η υπολογιστική διαδικασία του προγράμματος HAZAN.

BOLA <sup>o</sup>	36.0
TOLA <sup>o</sup>	37.5
LFLO <sup>o</sup>	21.2
RTLO <sup>o</sup>	22.6
STEP <sup>o</sup>	0.05 (M), 0.01 (PGA, PGV, PGD)
SIZE <sup>o</sup>	0.5

Πίνακας 2.3: Οι τιμές των πεδίων του Πίνακα 2.2 στην παρούσα διπλωματική εργασία για την περιοχή της Μεσσηνίας. Το βήμα για τη μεταβλητή του μεγέθους έχει αυξηθεί για τις ανάγκες ανταπόκρισης του προγράμματος.

## 2. ΠΙΘΑΝΟΛΟΓΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ

GEOGR.COORD	Οι γεωγραφικές συντεταγμένες κάθε σημείου του πλέγματος.
AN.MODE	Η πιθανότερη ετήσια μέγιστη τιμή της σεισμικής παραμέτρου.
50.YMODE	Η πιθανότερη μέγιστη τιμή της σεισμικής παραμέτρου για τα επόμενα 50 έτη.
50.Y90%NBE	Η μέγιστη τιμή της σεισμικής παραμέτρου με πιθανότητα μη υπέρβασης 90% για τα επόμενα 50 έτη.
100.YMODE	Η πιθανότερη μέγιστη τιμή της σεισμικής παραμέτρου για τα επόμενα 100 έτη.
100Y90%NBE	Η μέγιστη τιμή της σεισμικής παραμέτρου με πιθανότητα μη υπέρβασης 90% για τα επόμενα 100 έτη.
MAXOBS	Η μέγιστη παρατηρηθείσα τιμή της σεισμικής παραμέτρου στην εξεταζόμενη περιοχή.

Πίνακας 2.4: Οι στήλες του αρχείου με τα αποτελέσματα.

### 2.4.2 Σφάλματα

Το πρόγραμμα HAZAN παρέχει τη δυνατότητα στον χρήστη να εξετάσει τα σφάλματα των αποτελεσμάτων του, χρησιμοποιώντας τρεις διαφορετικές μεθοδολογίες υπολογισμού τους (Χi, EQUAL, SIGMA), με τη διαφορά τους να βρίσκεται στο κομμάτι της αντιστάθμισης των ακραίων τιμών. Για κάθε σημείο, παρατίθεται η λίστα με τα δεδομένα και στο τέλος τους, οι τιμές των τυπικών αποκλίσεων και ο συντελεστής συσχέτισης..

Στην περίπτωση που η μελέτη γίνεται υπό το πρίσμα του μεγέθους, υπολογίζονται οι παράμετροι  $\omega$ ,  $u$ ,  $\lambda$  με τις αντίστοιχες τυπικές αποκλίσεις τους. Ομοίως, για τις εδαφικές παραμέτρους, οι παράμετροι  $u$ ,  $1/A$  ( $A$  η παράμετρος καμπυλότητας). Το πρόγραμμα παρουσιάζει και ορισμένες τιμές τυπικών αποκλίσεων και συντελεστών συσχέτισης με αστερίσκους, διότι τα αποτελέσματα ήταν μη ικανοποιητικά, ωστόσο για τις στατιστικές ανάγκες θα συμπληρωθούν με τις υψηλότερες τιμές των τυπικών αποκλίσεων και τη χαμηλότερη του συντελεστή που θα υπάρξουν στην αντίστοιχη κατανομή. Σε τελευταίο στάδιο, συγκεντρώνοντας όλες τις τιμές τυπικών αποκλίσεων και συντελεστών συσχέτισης των τριών διαφορετικών μεθόδων για κάθε σημείο στο κάνναβο, τα αποτελέσματα, μπορούσαν να συγκριθούν μεταξύ τους για την τελική επιλογή μεθόδου αντιστάθμισης.

### 2.4.3 Έναρξη υπολογιστικής διαδικασίας

Έχοντας εισάγει τα πεδία των τιμών του Πίνακα 2.3, η υπολογιστική διαδικασία ξεκινάει. Στο Σχήμα 2.3 απεικονίζεται το αρχείο των 10 πρώτων αποτελεσμάτων (.mod αρχείο) για τη μέγιστη αναμενόμενη εδαφική επιτάχυνση (PGA) με τη μέθοδο αντιστάθμισης EQUAL και περιόδους επανάληψης 475 και 949 έτη. Αυτό θα χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία χαρτών σεισμικής επικινδυνότητας στην ευρύτερη περιοχή της Μεσσηνίας. Όπως αναφέρθηκε και στην Παράγραφο των σφαλμάτων, οι μέθοδοι αντιστάθμισης που διατίθενται στο πρόγραμμα HAZAN είναι τρεις (EQUAL, SIGMA, Χi), οπότε πριν τη δημιουργία χαρτών, έπρεπε να γίνει η επιλογή της βέλτιστης μεθόδου αντιστάθμισης για κάθε παράμετρο σεισμικής επικινδυνότητας.

Στο αρχείο .var απεικονίζονται όλα τα αποτελέσματα για κάθε σημείο του πλέγματος, καθώς και οι τυπικές αποκλίσεις των μεταβλητών  $u$  και  $1/A$  και ο συντελεστής αξιοπιστίας  $R^2$ . Η μεταβλητή  $R^2$  περιγράφει το πόσο καλά προσεγγίζουν τα δείγματα μέτρησης τη μέση τιμή (mean) τους, στη συγκεκριμένη περίπτωση μια ευθεία  $y = ax + b$ . Λαμβάνει τιμές στο διάστημα  $[0, 1]$  και όταν  $R^2 = 0$  οι μετρήσεις δεν είναι αξιόπιστες (δεν προσεγγίζουν τη μέση τιμή), σε αντίθεση με τη τιμή  $R^2 = 1$  η οποία είναι η βέλτιστη. Στο Σχήμα 2.4 απεικονίζεται το αρχείο .var στο σημείο που δείχνει το πρώτο αποτέλεσμα για τη μέγιστη αναμενόμενη εδαφική επιτάχυνση με μέθοδο αντιστάθμισης EQUAL. Για να υπάρχει μια εκτίμηση της αξιοπιστίας των αποτελεσμάτων, θα πρέπει σε κάθε .var αρχείο να

## 2. ΠΙΘΑΝΟΛΟΓΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ

υπολογιστούν οι μέσες τιμές του συντελεστή αξιοπιστίας και της τυπικής απόκλισης των  $u$ ,  $1/A$ . Έτσι, με μια αριθμητική σύγκριση των μέσων όρων των τριών μεθόδων αντιστάθμισης, θα είναι δυνατή η επιλογή μεταξύ τους.

Η παραπάνω διαδικασία επαναλαμβάνεται και για τις υπόλοιπες παραμέτρους σεισμικής επικινδυνότητας, δηλαδή τη μέγιστη αναμενόμενη εδαφική ταχύτητα και μετατόπιση. Δεδομένου του μεγέθους του πλέγματος, η επιλογή των τιμών  $u$ ,  $1/A$ , των τυπικών αποκλίσεών τους και του συντελεστή  $R^2$  θα ήταν χρονοβόρα. Συνεπώς, παρόλο που θα μπορούσαν να επιλεγθούν τα πρώτα 100 σημεία για κάθε .var αρχείο, προγραμματίστηκε κώδικας σε γλώσσα Python 2.7 για να ληφθούν υπόψη τα αποτελέσματα όλων των σημείων του πλέγματος. Πιο συγκεκριμένα, πρόκειται για ένα πρόγραμμα που διαβάζει το αρχείο .var και αποκόπει όλες τις τιμές των μεταβλητών που αναφέρθηκαν. Ταυτόχρονα, τις μεταφέρει σε ένα νέο αρχείο κειμένου που δημιουργεί, ώστε οι χρήστες να μπορούν να το ανοίξουν με λογισμικά στατιστικής επεξεργασίας, όπως το Excel. Η πηγή του κώδικα απεικονίζεται στο Σχήμα 2.5.

1	LAT	LON	50YRSM	50YRS90%	100YRSM	100YRS90%
2	37.50	21.20	125.76	185.81	144.26	204.31
3	37.50	21.21	125.64	185.28	144.01	203.65
4	37.50	21.22	125.36	185.08	143.76	203.48
5	37.50	21.23	124.61	183.99	142.90	202.28
6	37.50	21.24	124.08	183.29	142.32	201.53
7	37.50	21.25	123.07	181.71	141.13	199.78
8	37.50	21.26	122.13	180.29	140.04	198.20
9	37.50	21.27	120.96	178.47	138.67	196.19
10	37.50	21.28	119.77	176.66	137.29	194.18

Σχήμα 2.3: Τα πρώτα 10 σημεία του αρχείου .var για την εδαφική επιτάχυνση με μέθοδο αντιστάθμισης EQUAL.

```

3189818          NUMBER OF OBSERVED SHOCKS      62
3189819          BETWEEN 1900 - 2009 YEARS
3189820          U=21.3801  S.D.OF U=1.7191  1/A=26.6830  S.D.OF 1/A=0.9848  R=0.9615
3189821
3189822
3189823          21.38      81.43      1 YEAR
3189824          107.27     167.32     25 YEARS
3189825          125.76     185.81     50 YEARS
3189826          144.26     204.31    100 YEARS
3189827          162.76     222.80    200 YEARS
3189828
3189829          LAT      LON      1YEAR  25YRS  50YRS  100 YRS  200YRS
3189830          37.50   21.20   21.38  107.27  125.76  144.26  162.76      MODE
3189831          37.50   21.20   81.43  167.32  185.81  204.31  222.80  90.% PR. OF NBE
3189832
3189833          1
3189834          37.50 N  21.21 E
    
```

Σχήμα 2.4: Τα αποτελέσματα των μεταβλητών  $u$ ,  $1/A$  και των τυπικών αποκλίσεών τους και ο συντελεστής αξιοπιστίας  $R^2$  (κόκκινο πλαίσιο), για το πρώτο σημείο του πλέγματος (πράσινο πλαίσιο). Στο κίτρινο πλαίσιο ξεκινάει η στατιστική επεξεργασία του επόμενου σημείου. Αριστερά φαίνεται ο μεγάλος αριθμός των γραμμών που έχει φθάσει το αρχείο .var για την ανάγνωση του πρώτου αποτελέσματος.

## 2. ΠΙΘΑΝΟΛΟΓΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ

```

1 f=open(r"E:\your folder", "r")
2
3 lines=[]
4
5 final=open("ZYM.txt", "w+")
6
7 for line in f:
8     if (len(line)>1):
9         if(line[1] == "U"): lines.append(line)
10
11
12
13 for number in lines :
14     string= number[3:11]+" "+number[21:27]+" "+number[33:40]+" "+number[53:59]+" "+number[63:69]+ "\n"
15     final.write(string)
16
17 final.close()

```

Σχήμα 2.5: Πηγή κώδικα (source code) σε περιβάλλον Python 2.7. Σκοπός είναι να αποκόψει τα αποτελέσματα των μεταβλητών για κάθε σημείο του πλέγματος (το κόκκινο πλαίσιο του Σχήματος 2.4). Επάνω δεξιά φαίνονται τα πρώτα 10 αποτελέσματα του προγράμματος. Τα αποτελέσματα της πρώτης γραμμής είναι για το πρώτο σημείο, οπότε είναι ίδια με το κόκκινο πλαίσιο. Έτσι επαληθεύεται το πρόγραμμα για χρήση του.

### 2.4.4 Επιλογή μεθόδου

Τρέχοντας τον κώδικα του Σχήματος 2.5 συγκεντρώθηκαν όλες οι τιμές των μεταβλητών για κάθε σημείο του πλέγματος. Σε επόμενο βήμα, έγινε η καταγραφή των αστερίσκων που υπενθυμίζεται πως είναι τα σημεία με πολύ μεγάλα σφάλματα. Άξιο αναφοράς είναι πως στην εδαφική ταχύτητα και μετατόπιση, η μέθοδος αντιστάθμισης SIGMA είχε σε κάθε αποτέλεσμα αστερίσκους. Οπότε, αυτομάτως στις παραμέτρους PGV και PGD, απορρίφθηκε η μέθοδος SIGMA και έγινε η σύγκριση με τις μεθόδους EQUAL και Xi.

Επόμενο βήμα ήταν ο υπολογισμός μέσης τιμής για τις τυπικές αποκλίσεις των  $u$ ,  $1/A$  και  $R^2$  (Πίνακας 2.5). Σε περίπτωση που οι τιμές είχαν αστερίσκους, τότε ανάλογα με το σε ποια στήλη βρέθηκαν, αντικαταστάθηκαν με τις μέγιστες τιμές των τυπικών αποκλίσεων της στήλης ή με την ελάχιστη τιμή του συντελεστή  $R^2$  (αν και δε βρέθηκαν σε καμία μέθοδο μεγάλα σφάλματα στο πεδίο του  $R^2$ ). Τέλος, συγκεντρώθηκαν οι μέσες τιμές κάθε μεταβλητής για κάθε μέθοδο αντιστάθμισης σε όλες τις σεισμικές παραμέτρους για να γίνει η επιλογή της μεθόδου που θα υιοθετηθεί για την εκτίμηση της σεισμικής επικινδυνότητας κάθε παραμέτρου και με την οποία θα δημιουργηθούν οι χάρτες σε επόμενο βήμα (Πίνακας 2.6).

S.D OF U	S.D OF 1/A	R <sup>2</sup>
1.7191	0.9848	0.9615
1.7291	0.9905	0.9606
1.6404	0.9472	0.9633
1.6000	0.9239	0.9646
1.5348	0.8862	0.9671
1.5104	0.8721	0.9675
1.4562	0.8408	0.9692
1.4103	0.8144	0.9704
1.3618	0.7863	0.9717

	S.D OF U	S.D OF 1/A	R <sup>2</sup>
AVERAGE	3.24	1.72	0.95
*	978		

Πίνακας 2.5: Οι τιμές  $R^2$  και τυπικής απόκλισης  $u$ ,  $1/A$  για τα πρώτα 10 σημεία του αρχείου .nar χρησιμοποιώντας τον κώδικα του Σχήματος 2.5 (αριστερά) και η μέση τιμή για κάθε στήλη καθώς και ο αριθμός των σημείων με αστερίσκους (δεξιά). Ο Πίνακας 2.4 αφορά απόσπασμα του αρχείου της εδαφικής επιτάχυνσης (PGA) με μέθοδο αντιστάθμισης EQUAL.

## 2. ΠΙΘΑΝΟΛΟΓΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ

PGA	Μ.Ο τυπικής απόκλισης $\sigma$	Μ.Ο τυπικής απόκλισης $1/A$	Μ.Ο. Συντελεστή $R^2$	*
EQUAL	3.24	1.72	0.947	978
SIGMA	5.11	4.84	0.974	2
$\chi_i$	1.53	1.09	0.954	0

PGV	Μ.Ο τυπικής απόκλισης $\sigma$	Μ.Ο τυπικής απόκλισης $1/A$	Μ.Ο. Συντελεστή $R^2$	*
EQUAL	0.54	0.27	0.919	0
$\chi_i$	0.45	0.33	0.914	0

PGD	Μ.Ο τυπικής απόκλισης $\sigma$	Μ.Ο τυπικής απόκλισης $1/A$	Μ.Ο. Συντελεστή $R^2$	*
EQUAL	0.19	0.10	0.871	143
$\chi_i$	0.14	0.11	0.835	0

**Πίνακας 2.6:** Συγκέντρωση όλων των αποτελεσμάτων για επιλογή μεθόδου αντιστάθμισης για κάθε εδαφική παράμετρο (υπενθυμίζεται πως στην εδαφική ταχύτητα και μετατόπιση απορρίφθηκε η μέθοδος SIGMA λόγω μεγάλων σφαλμάτων).

Για την εδαφική επιτάχυνση επιλέχθηκε η μέθοδος αντιστάθμισης  $\chi_i$  διότι έχει τις μικρότερες τιμές τυπικών αποκλίσεων και κανένα σημείο στο πλέγμα με αστερίσκους. Παρατηρήθηκε πως δεν έχει τη μεγαλύτερη τιμή στον συντελεστή  $R^2$ , αλλά δεν ήταν μεγάλη η διαφορά με τις άλλες δύο μεθόδους. Για την εδαφική μετατόπιση (PGD) επιλέχθηκε η μέθοδος  $\chi_i$ , καθώς δεν έχει κανένα σημείο στο πλέγμα με μεγάλα σφάλματα (αστερίσκους). Προφανώς η λίγο μικρότερη τιμή του συντελεστή  $R^2$  δεν αποτέλεσε εμπόδιο στην επιλογή της. Η εδαφική ταχύτητα έχει παρόμοια αποτελέσματα μεταξύ των μεθόδων  $\chi_i$  και EQUAL. Η μέθοδος EQUAL είχε μεγαλύτερη τιμή τυπικής απόκλισης του  $\sigma$  από την  $\chi_i$  και στα υπόλοιπα πεδία ήταν καλύτερη, όμως η διαφορά στην πρώτη στήλη ήταν σημαντική σε αντίθεση με τις υπόλοιπες δύο. Έτσι, επελέγη η μέθοδος  $\chi_i$  και για την PGV. Συνοψίζοντας λοιπόν, επιλέχθηκε η μέθοδος  $\chi_i$  για κάθε εδαφική παράμετρο.

### 2.4.5 Αποτελέσματα

Για την οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων, δημιουργήθηκαν 8 χάρτες σε περιβάλλον G.I.S (arcmap). Οι 6 από αυτούς απεικονίζουν τη χωρική κατανομή κάθε εδαφικής παραμέτρου για περίοδο επανάλιψης 475 και 950 έτη, ενώ 2 χάρτες απεικονίζουν την κατανομή της μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης για τις δύο περιόδους επανάλιψης και στον θαλάσσιο χώρο. Κανονικά, οι μελέτες σεισμικής επικινδυνότητας επικεντρώνονται στην ξηρά διότι οι εδαφικές παράμετροι αναφέρονται πάντα σε χέρσο, λαμβάνοντας υπόψη σχέσεις απόσβεσης. Επιπλέον, η μείωση του σεισμικού κινδύνου επιτυγχάνεται με τη μείωση της τρωτότητας των κτηρίων οπότε η θάλασσα δεν απασχολεί σε τέτοιες έρευνες. Παρόλα αυτά, οι μέγιστες τιμές υπολογίστηκαν στον θαλάσσιο χώρο νότια της Πελοποννήσου, οπότε για αυτό δημιουργήθηκαν οι 2 χάρτες όπως αναφέρθηκε παραπάνω.

Τα αρχεία εξόδου του HAZAN είχαν σημειακή πληροφορία (vector), ανάλογα με το βήμα που είχε οριστεί (STEP°). Όμως, για την καλύτερη οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων, έπρεπε να γίνει χωρική παρεμβολή (interpolation), ώστε το αρχείο να απεικονίζει τη χωρική κατανομή στο πλέγμα (raster) και όχι τη σημειακή. Η μέθοδος χωρικής παρεμβολής που χρησιμοποιήθηκε στη διπλωματική εργασία ήταν η γραμμική παρεμβολή σε συνδυασμό με την ελαχιστοποίηση του τετραγωνικού σφάλματος της εκτίμησης, γνωστή ως Kriging.

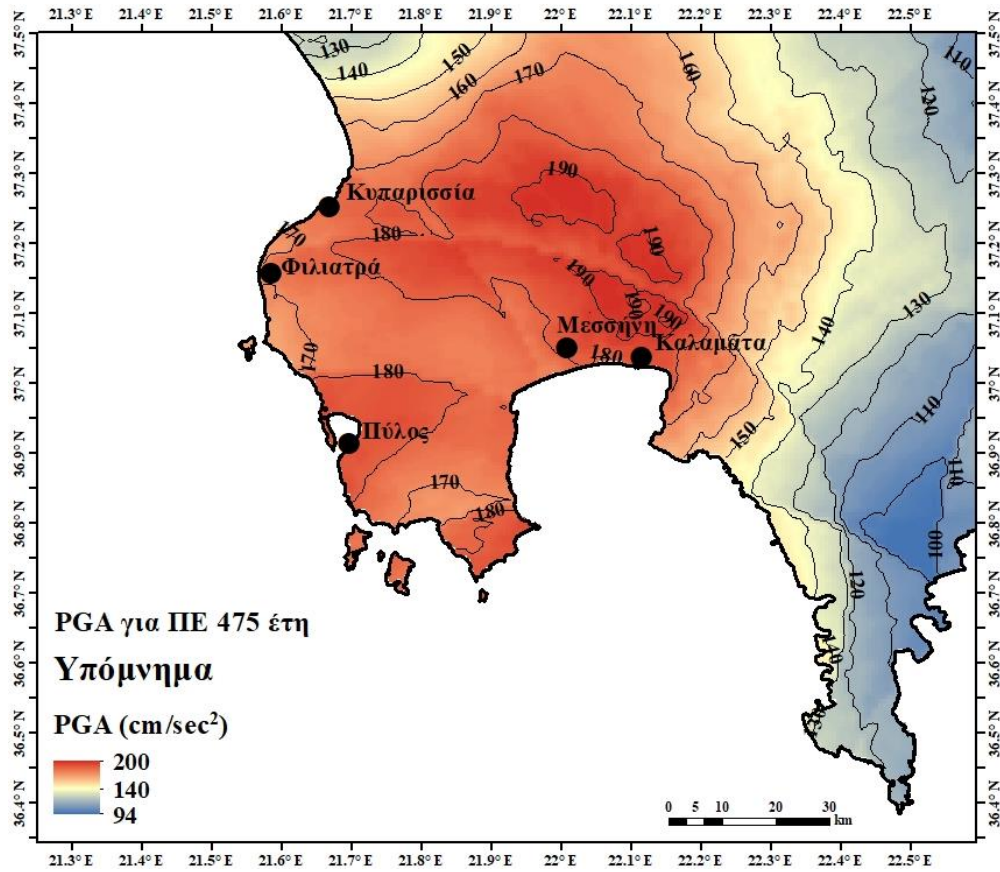
### 2.4.5.1 Μέγιστη αναμενόμενη εδαφική επιτάχυνση (PGA)

Τα αποτελέσματα για τη μέγιστη εδαφική επιτάχυνση παρουσιάζονται στα Σχήματα 2.6 και 2.7 για Περίοδο Επανάληψης 475 και 950 έτη, αντίστοιχα. Ο χάρτης του Σχήματος 2.7 έχει μεγαλύτερες τιμές PGA από αυτόν του Σχήματος 2.6 διότι αυξάνεται η περίοδος επανάληψης. Οι μέγιστες τιμές και στους δύο χάρτες παρατηρούνται βόρεια της Μεσσηνίας και της Καλαμάτας και ανατολικά-νοτιοανατολικά της Κυπαρισσίας και των Φιλιατρών ( $\approx 200 \text{ cm/sec}^2$  και  $\approx 220 \text{ cm/sec}^2$  για Π.Ε. = 475 και 950 έτη, αντιστοίχως). Οι Πύλος, Κορώνη και Σχίζα βρίσκονται σε μια ζώνη αυξημένων τιμών εδαφικής επιτάχυνσης ( $180 < \text{PGA} < 190 \text{ cm/sec}^2$  και  $200 < \text{PGA} < 210 \text{ cm/sec}^2$  για Π.Ε. = 475 και 950 έτη, αντιστοίχως).

Οι μέγιστες τιμές οφείλονται στις τεκτονικές δομές που αναλύθηκαν στην Παράγραφο 1.4, συγκεκριμένα στο τεκτονικό κέρασ του Ταυγέτου, στο τεκτονικό βύθισμα της Καλαμάτας, στη σύνθετη μορφοτεκτονική δομή ορέων Κυπαρισσίας και στο τεκτονικό βύθισμα Βλαχοπούλου. Αυτές οι τεκτονικές δομές βρίσκονται διασκορπισμένες βόρεια του Μεσσηνιακού κόλπου οπότε είναι λογικό να απαντώνται και γενικά οι υψηλότερες τιμές σε σχεδόν ολόκληρη την περιοχή μελέτης. Οι χαμηλότερες τιμές απαντώνται στο βόρειο άκρο του χάρτη και στο ανατολικό. Αυτό συμβαίνει διότι οι τεκτονικές δομές εκεί ελαχιστοποιούνται και ειδικά στον Λακωνικό κόλπο, όπου λαμβάνονται οι χαμηλότερες τιμές εδαφικής επιτάχυνσης ( $94 \text{ cm/sec}^2$  και  $105 \text{ cm/sec}^2$  για Π.Ε. = 475 και 950 έτη αντιστοίχως). Οι υψηλές τιμές στις αναφερόμενες περιοχές επαληθεύονται και με ισχυρούς σεισμούς που αναφέρθηκαν στην Παράγραφο 1.5.3.3 (Καλαμάτα, 1986,  $M_w=5.7$ , Κυπαρισσία, 1919,  $M=6.3$ ).

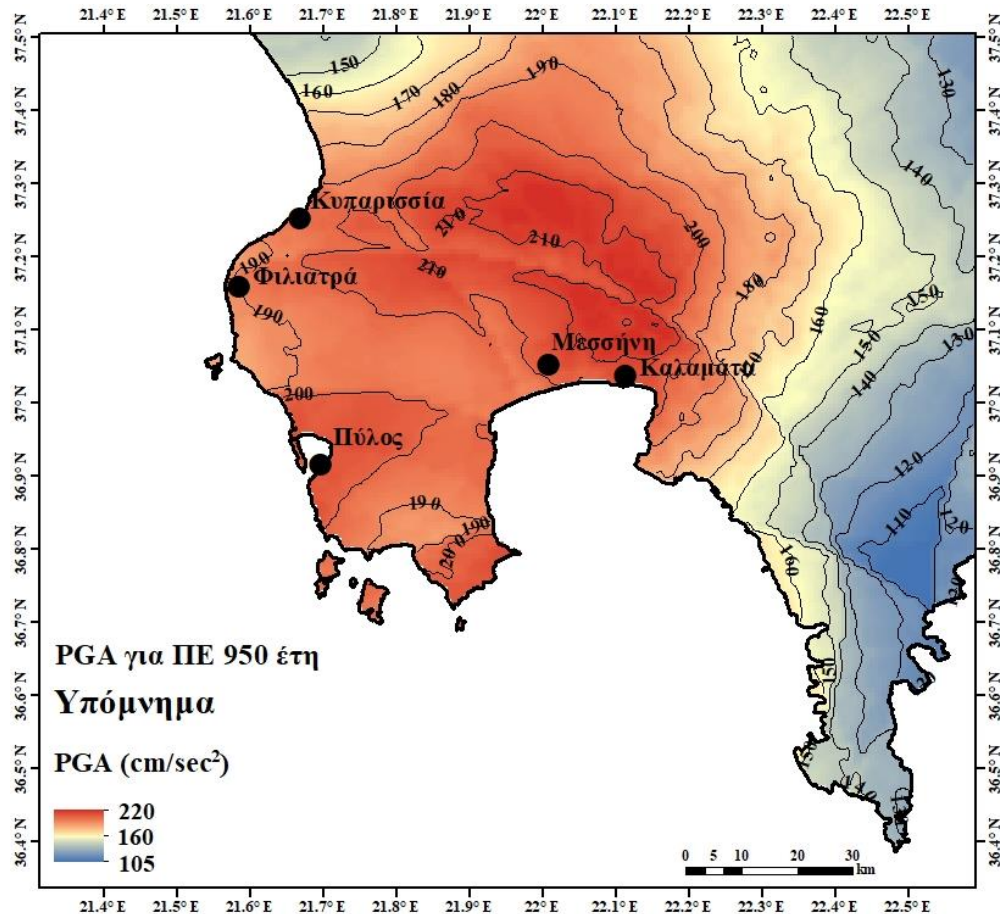


## 2. ΠΙΘΑΝΟΛΟΓΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ



Σχήμα 2.6: Χάρτης μέγιστης αναμενόμενης εδαφικής επιτάχυνσης (PGA) με 90% πιθανότητα μη υπέρβασης στα επόμενα 50 χρόνια (περίοδο επανάληψης Π.Ε. = 475 έτη) με αποτελέσματα που λήφθηκαν από τη μέθοδο ακραίων τιμών.

## 2. ΠΙΘΑΝΟΛΟΓΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ

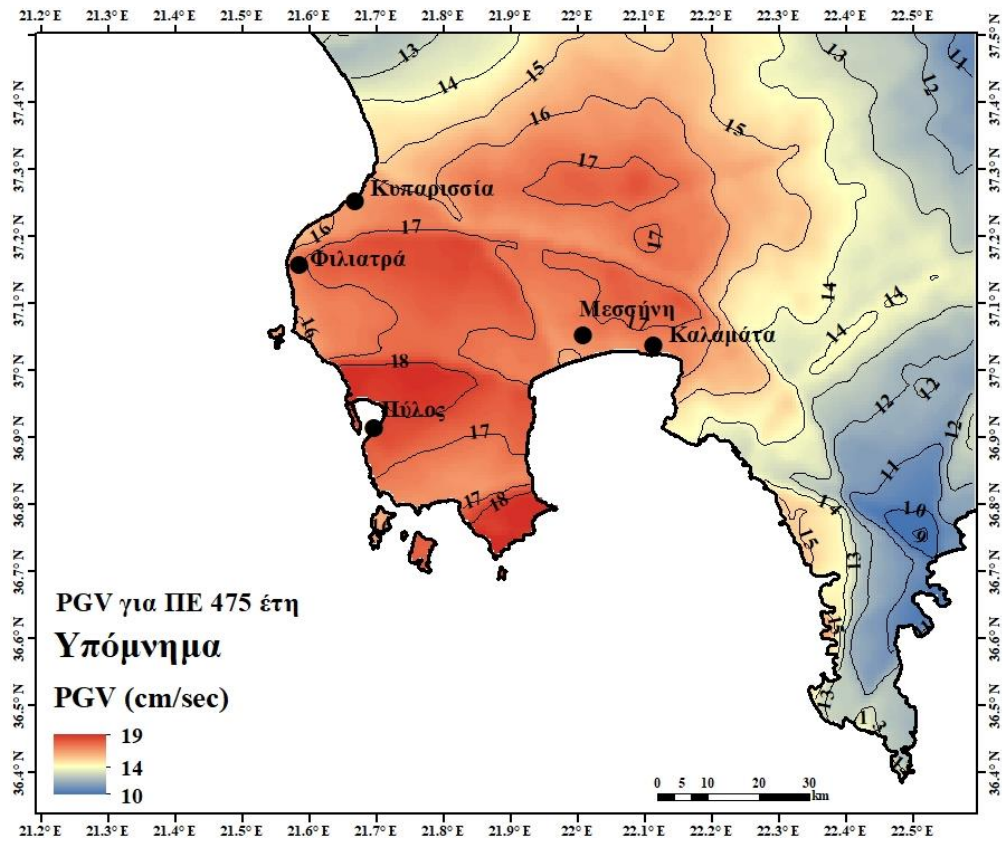


Σχήμα 2.7: Χάρτης μέγιστης αναμενόμενης εδαφικής επιτάχυνσης (PGA) με 90% πιθανότητα μη υπέρβασης στα επόμενα 100 χρόνια (περίοδο επανάλιψης ΠΕ = 950 έτη) με αποτελέσματα που λήφθηκαν από τη μέθοδο ακραίων τιμών.

### 2.4.5.2 Μέγιστη αναμενόμενη εδαφική ταχύτητα (PGV)

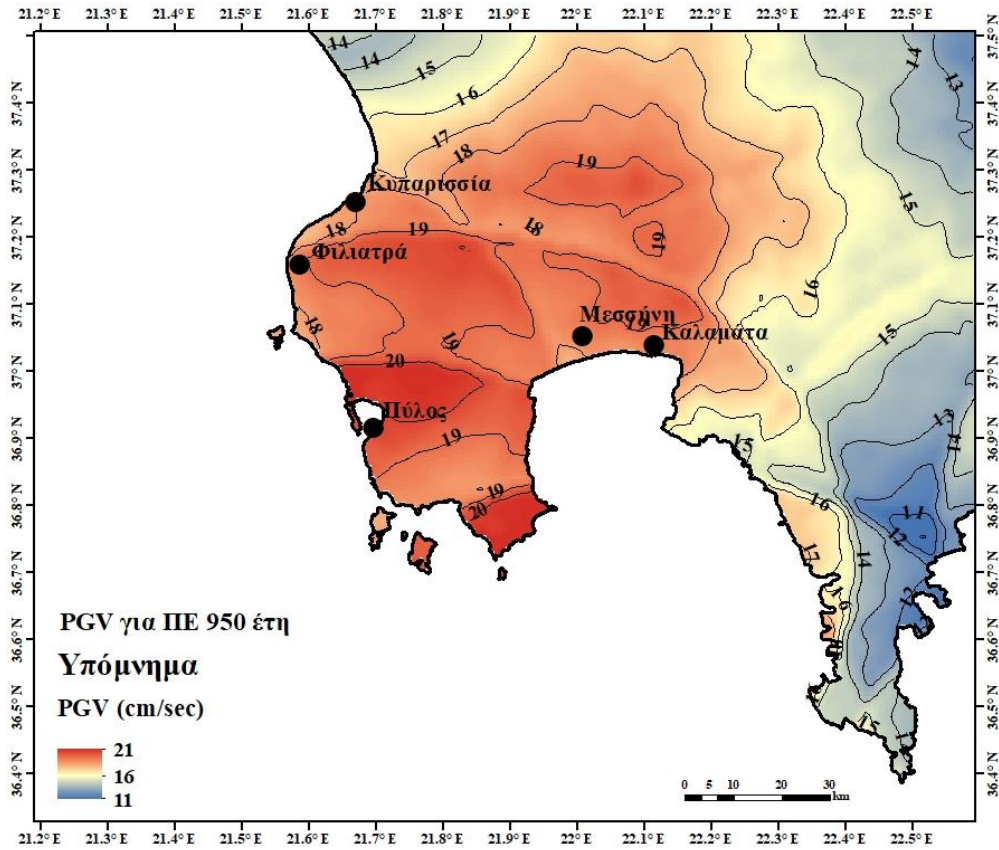
Τα αποτελέσματα για τη μέγιστη εδαφική ταχύτητα παρουσιάζονται στα Σχήματα 2.8 και 2.9 για Περίοδο Επανάλιψης 475 και 950 έτη, αντίστοιχα. Παρατηρείται το ίδιο μοτίβο με τους χάρτες εδαφικής επιτάχυνσης με μια διαφορά. Οι μέγιστες τιμές εδαφικών ταχυτήτων παρατηρούνται στις περιοχές Πύλο, Κορώνη και Σχίζα ( $\approx 19$  cm/sec και  $\approx 21$  cm/sec για Π.Ε. = 475 και 950 έτη, αντιστοίχως). Υψηλές τιμές υπολογίστηκαν επίσης βόρεια της Μεσσήνης και της Καλαμάτας και ανατολικά-νοτιοανατολικά της Κυπαρισσίας και των Φιλιατρών ( $17 < PGV < 19$  cm/sec και  $19 < PGV < 21$  cm/sec για Π.Ε. = 475 και 950 έτη, αντιστοίχως). Οι λόγοι της χωρικής κατανομής των υψηλών τιμών είναι οι ίδιοι με αυτούς της εδαφικής επιτάχυνσης. Ακολουθώντας το ίδιο μοτίβο, οι μικρότερες τιμές απαντώνται στο βόρειο άκρο της περιοχής μελέτης και βόρεια του Λακωνικού κόλπου, όπου πάλι, όπως και στο PGA, εμφανίζονται οι χαμηλότερες τιμές (10 cm/sec και 11 cm/sec για Π.Ε. = 475 και 950 έτη, αντιστοίχως). Οι υψηλές τιμές στις αναφερόμενες περιοχές επαληθεύονται και από ισχυρούς σεισμούς που αναφέρθηκαν στην Παράγραφο 1.5.3.3 (Κορώνη, 1997,  $M_w = 6.6$ ).

## 2. ΠΙΘΑΝΟΛΟΓΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ



Σχήμα 2.8: Χάρτης μέγιστης αναμενόμενης εδαφικής ταχύτητας (PGV) με 90% πιθανότητα μη υπέρβασης στα επόμενα 50 χρόνια (περίοδο επανάληψης Π.Ε. = 475 έτη) με αποτελέσματα που λήφθηκαν από τη μέθοδο ακραίων τιμών.

## 2. ΠΙΘΑΝΟΛΟΓΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ

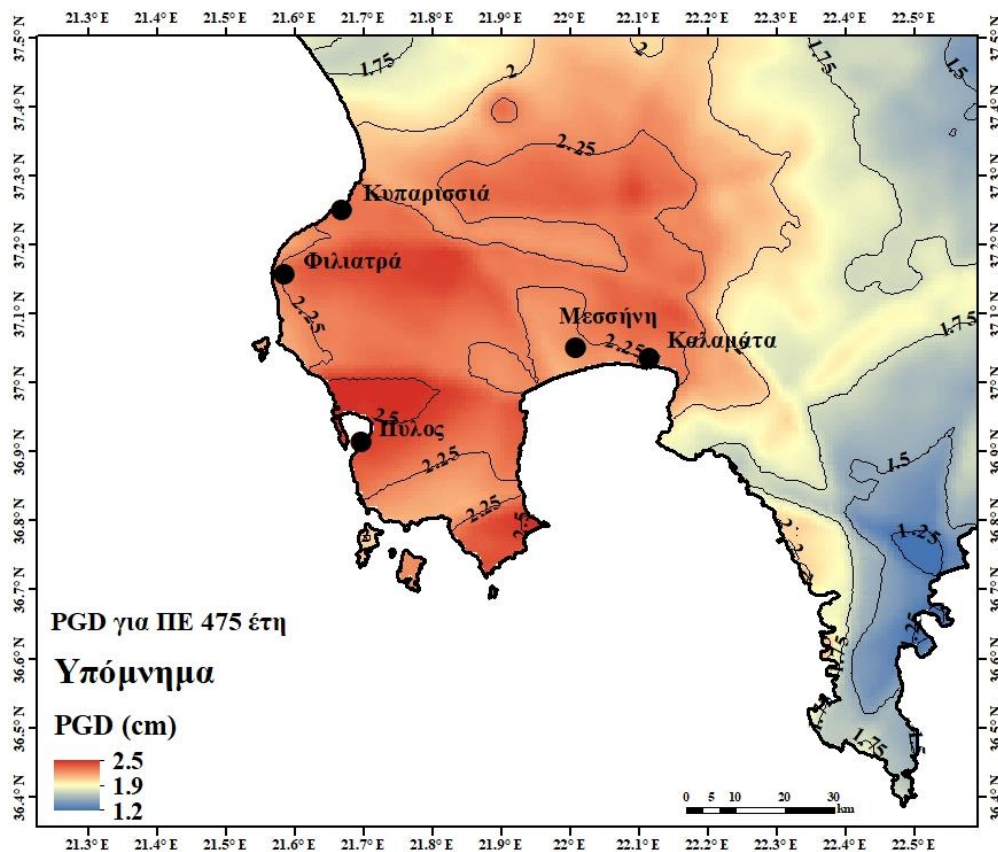


Σχήμα 2.9: Χάρτης μέγιστης αναμενόμενης εδαφικής ταχύτητας (PGV) με 90% πιθανότητα μη υπέρβασης στα επόμενα 100 χρόνια (περίοδο επανάλιψης Π.Ε. = 950 έτη) με αποτελέσματα που λήφθηκαν από τη μέθοδο ακραίων τιμών.

## 2. ΠΙΘΑΝΟΛΟΓΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ

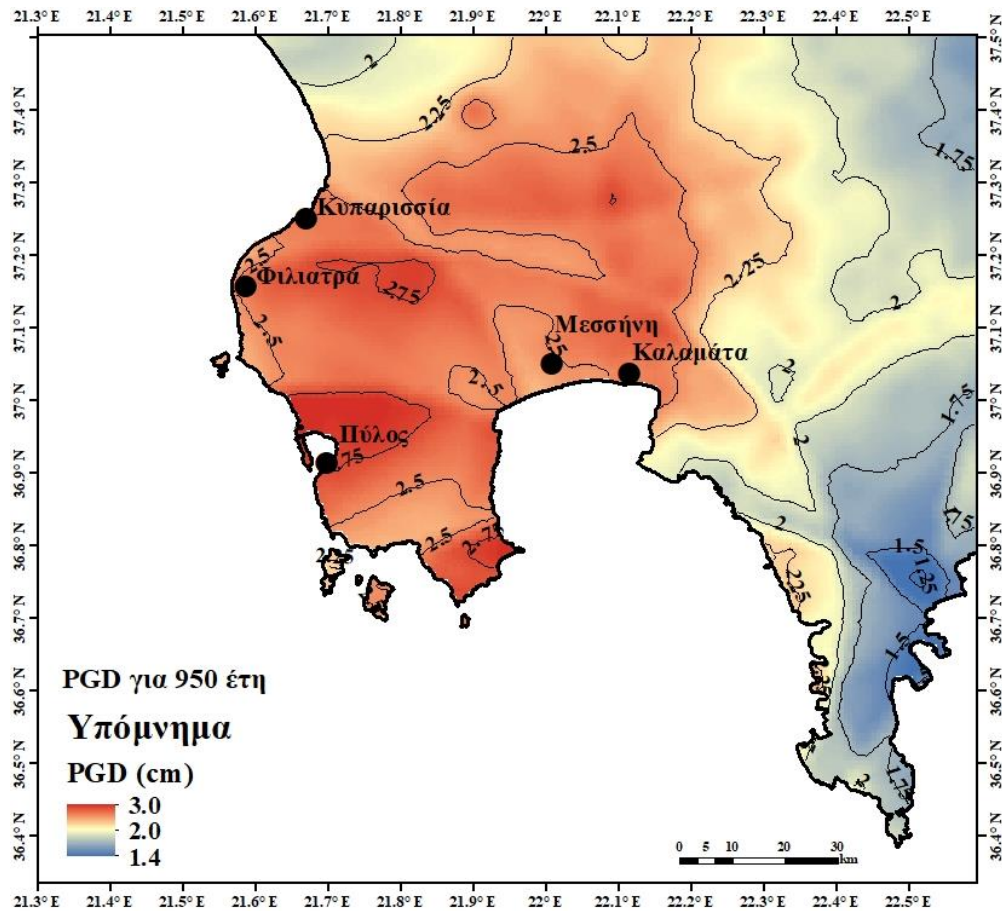
### 2.4.5.3 Μέγιστη αναμενόμενη εδαφική μετατόπιση (PGD)

Τα αποτελέσματα για τη μέγιστη εδαφική μετατόπιση παρουσιάζονται στα Σχήματα 2.10 και 2.11 για Περίοδο Επανάληψης 475 και 950 έτη, αντίστοιχα. Οι παρατηρήσεις είναι παρόμοιες με αυτές που έγιναν για την εδαφική ταχύτητα. Δηλαδή, οι μέγιστες τιμές εδαφικής μετατόπισης παρατηρούνται στις περιοχές Πύλο, Κορώνη και Σχίζα ( $\approx 2.5$  cm και  $\approx 3$  cm για ΠΕ = 475 και 950 έτη, αντιστοίχως). Υψηλές τιμές PGD υπολογίστηκαν και στις περιοχές βόρεια της Μεσσήνης και της Καλαμάτας και ανατολικά-νοτιοανατολικά της Κυπαρισσίας και των Φιλιατρών ( $2.25 < \text{PGD} < 2.50$  cm και  $2.50 < \text{PGD} < 3.00$  cm για ΠΕ = 475 και 950 έτη, αντιστοίχως). Οι μικρότερες τιμές απαντώνται στο βόρειο άκρο της περιοχής μελέτης και βόρεια του Λακωνικού κόλπου, ο οποίος πάλι παρουσιάζει τις χαμηλότερες τιμές (1.20 cm και 1.25 cm για ΠΕ = 475 και 950 έτη αντιστοίχως).



Σχήμα 2.10: Χάρτης μέγιστης αναμενόμενης εδαφικής μετατόπισης (PGD) με 90% πιθανότητα μη υπέρβασης στα επόμενα 50 χρόνια (περίοδο επανάληψης Π.Ε. = 475 έτη) με αποτελέσματα που λήφθηκαν από τη μέθοδο ακραίων τιμών.

## 2. ΠΙΘΑΝΟΛΟΓΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ



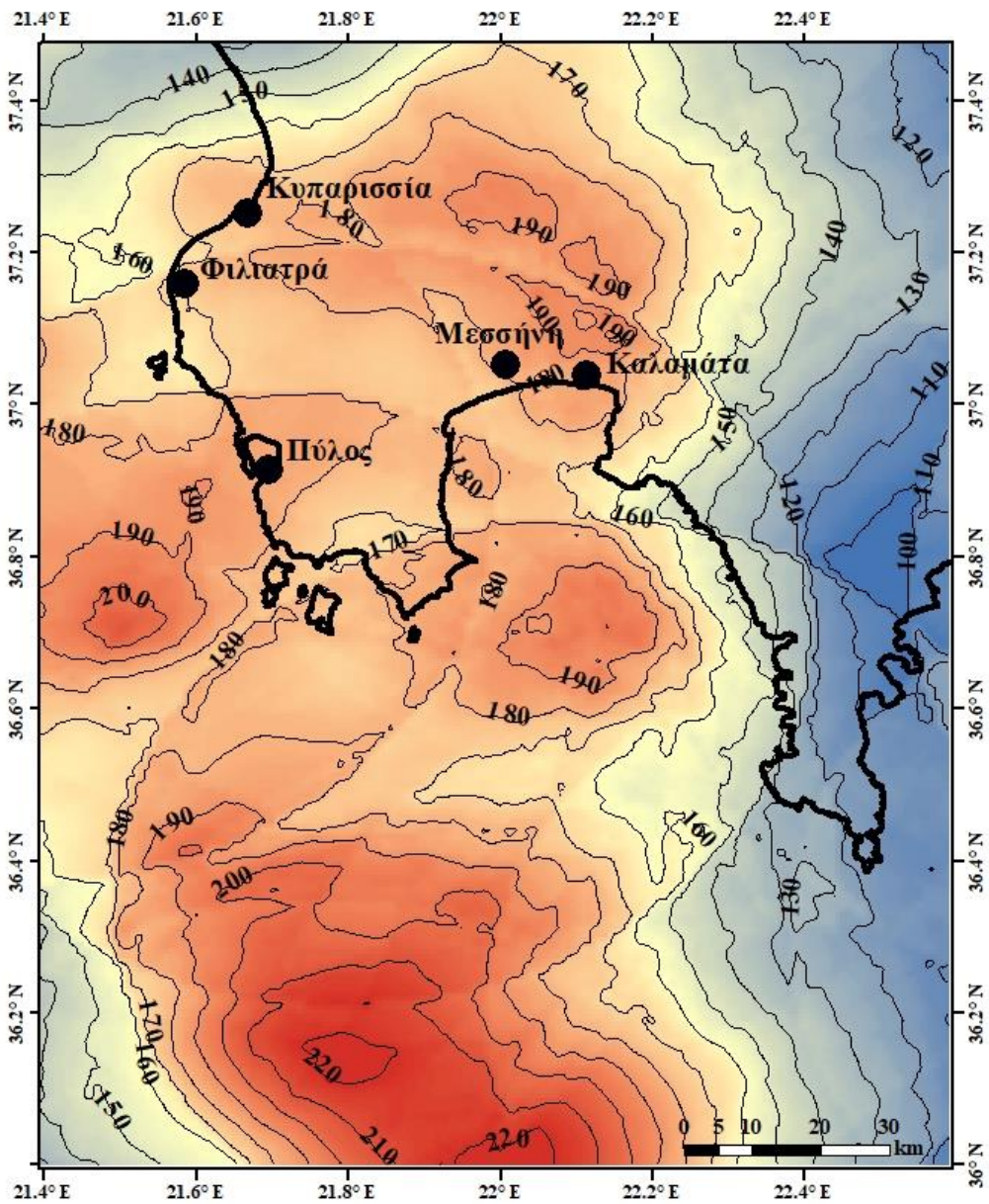
Σχήμα 2.11: Χάρτης μέγιστης αναμενόμενης εδαφικής μετατόπισης (PGV) με 90% πιθανότητα μη υπέρβασης στα επόμενα 100 χρόνια (περίοδο επανάλιψης Π.Ε. = 950 έτη) με αποτελέσματα που λήφθηκαν από τη μέθοδο ακραίων τιμών.

### 2.4.5.4 Μέγιστη αναμενόμενη εδαφική επιτάχυνση (PGA) σε όλη την περιοχή μελέτης

Οι υψηλότερες τιμές που υπολογίστηκαν για όλες τις εδαφικές παραμέτρους (PGA, PGV και PGD) με τη μέθοδο των ακραίων τιμών, ελέγχοντας όλα τα σημεία του καννάβου, δεν εντοπίστηκαν στη χέρσο αλλά στον θαλάσσιο χώρο νότια της Πελοποννήσου. Για αυτόν τον λόγο κρίθηκε αναγκαίο να δημιουργηθούν άλλοι δύο χάρτες εδαφικής επιτάχυνσης (λόγω μικρότερων σφαλμάτων), όπου παρουσιάζονται οι τιμές που υπολογίστηκαν με το λογισμικό HAZAN σε όλη την περιοχή μελέτης, ήτοι και εκτός της χέρσου (Σχήματα 2.12, 2.13).

Οι μέγιστες τιμές παρατηρούνται σε μια περιοχή γεωγραφικών συντεταγμένων: 36.0°B – 36.4°B και 21.6A° - 22.2A°. Αυτή η περιοχή προσεγγίζει γεωγραφικά την περιοχή όπου συνέβη η σεισμική ακολουθία της Μεθώνης, (τμήμα ελληνικού ορογενετικού τόξου) (Σχήματα 1.13, 1.14) το 2008.

### PGA για ΠΕ 475 έτη



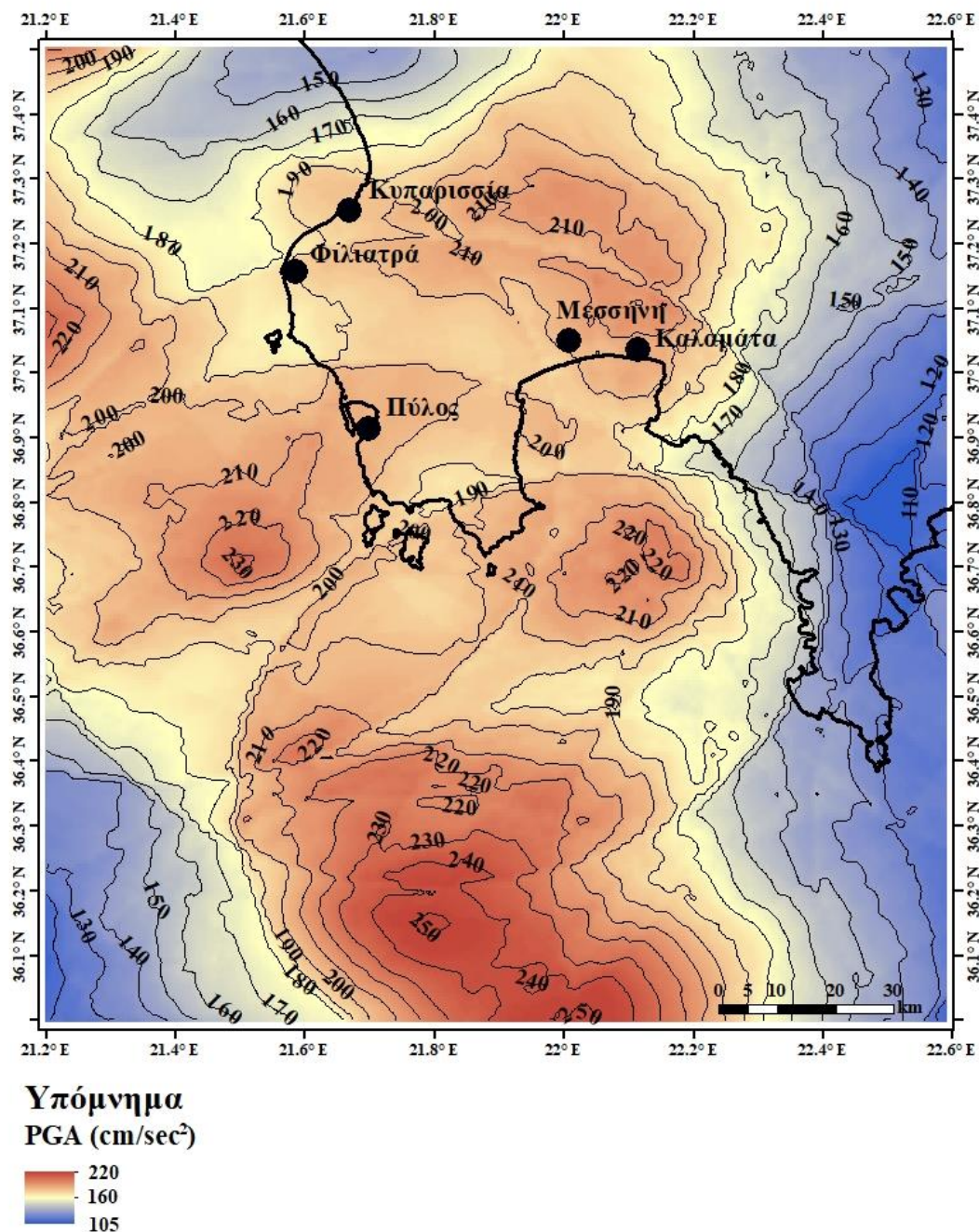
#### Υπόμνημα

PGA (cm/sec<sup>2</sup>)



Σχήμα 2.12: Χάρτης PGA για Π.Ε. = 475 έτη σε όλο το πλέγμα που ορίστηκε στο HAZAN.

PGA για ΠΕ 950 έτη



Σχήμα 2.13: Χάρτης PGA για Π.Ε. = 950 έτη σε όλο το πλέγμα που ορίστηκε στο HAZAN.

2.4.6 Σύγκριση αποτελεσμάτων με τη βιβλιογραφία

2.4.6.1 Σύγκριση με τον Ελληνικό Αντισεισμικό Κανονισμό

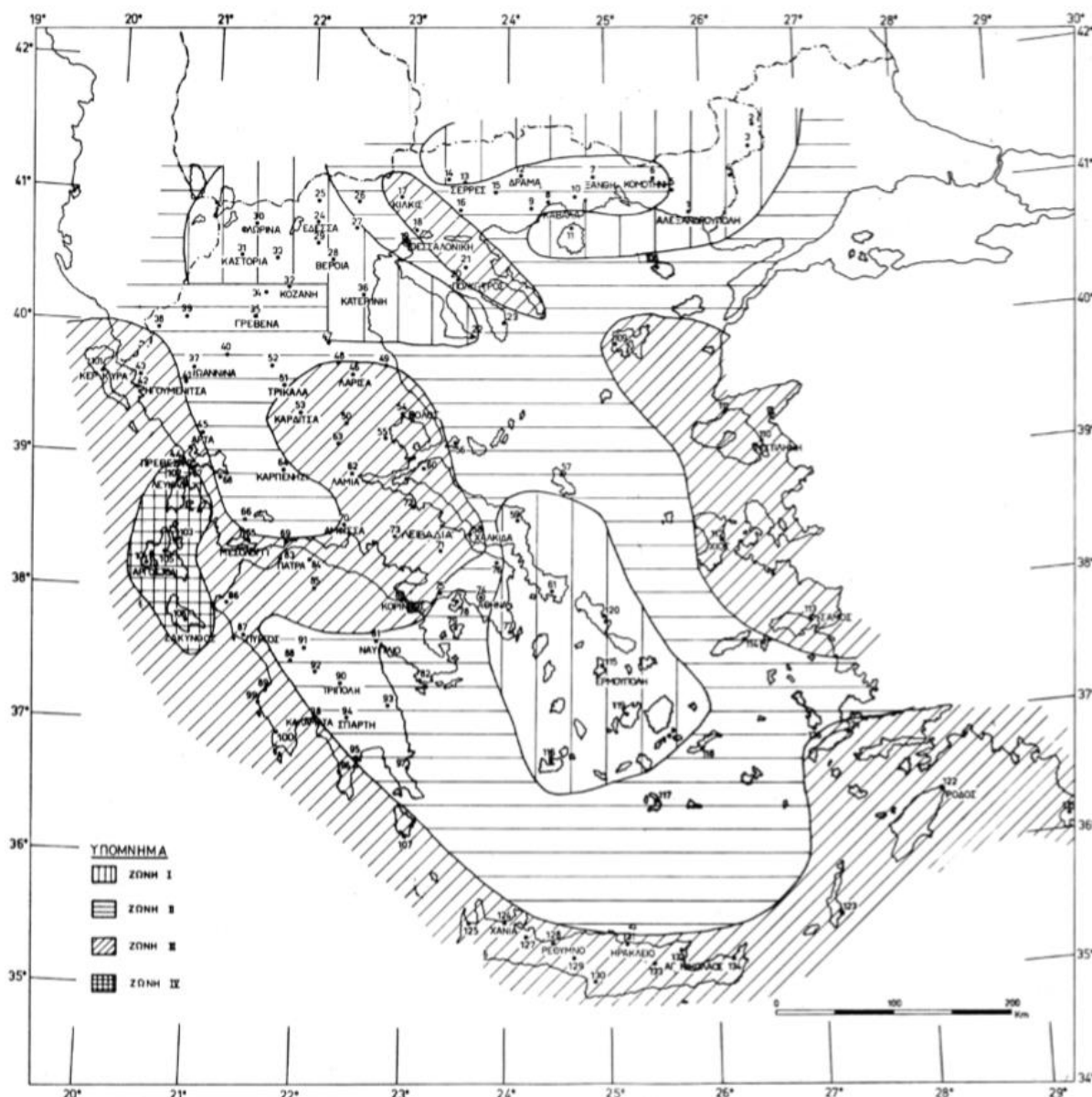
Ο Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός (Ε.Α.Κ) που εκδόθηκε το 2000 χώριζε την Ελλάδα σε τέσσερις ζώνες (Σχήμα 2.14), ανάλογα με την τιμή μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης (Πίνακας 2.7) η οποία ήταν το γινόμενο της τιμής της κάθε ζώνης με την επιτάχυνση της βαρύτητας ( $g = 980.665 \text{ cm/sec}^2$ ). Η μελέτη έχει γίνει για περίοδο επανάληψης 475 έτη.



## 2. ΠΙΘΑΝΟΛΟΓΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ

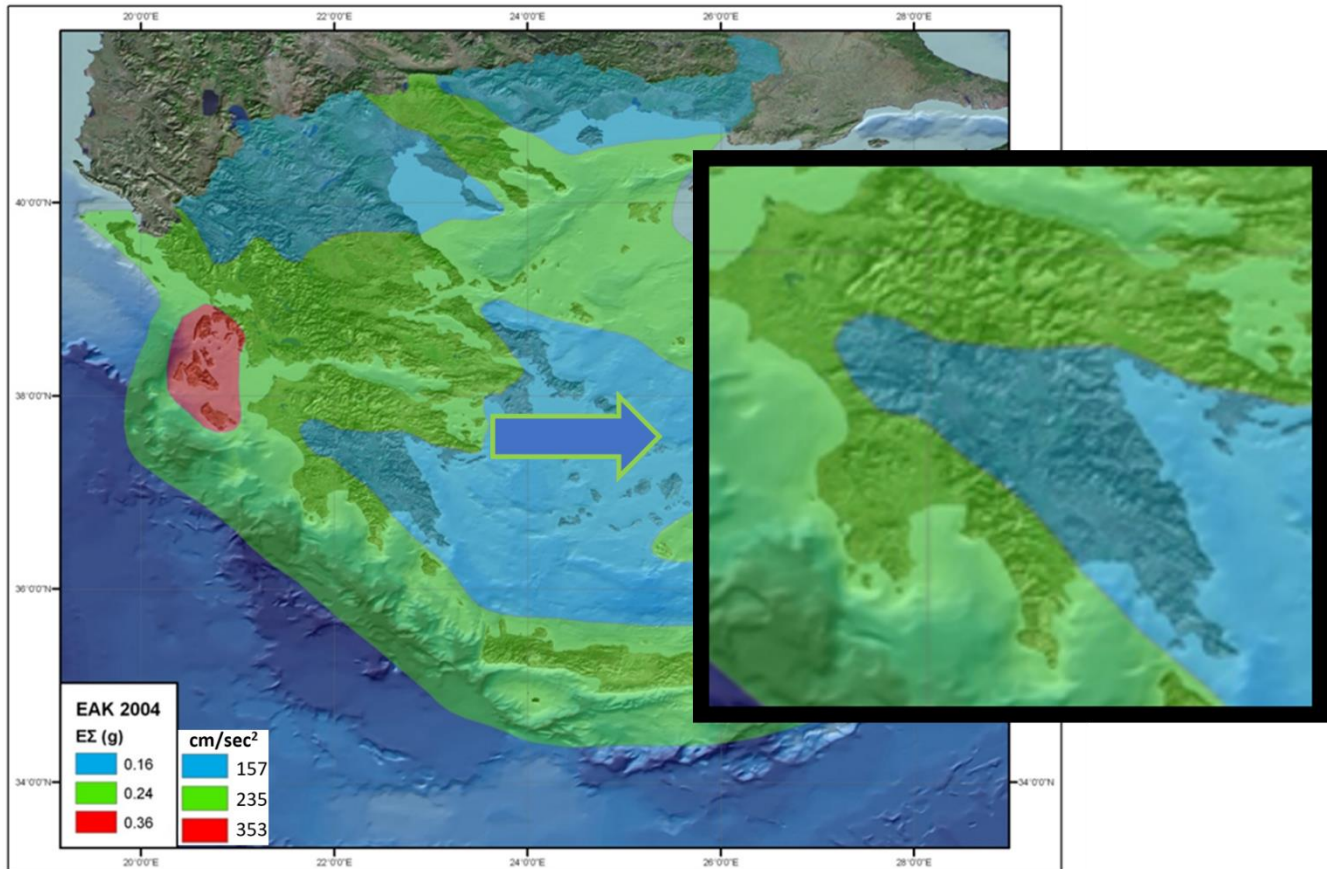
Ζώνη Σεισμικής Επικινδυνότητας	I	II	III	IV
α	0.12	0.16	0.24	0.36

Πίνακας 2.7: Οι τιμές για κάθε ζώνη του Ε.Α.Κ (Ο.Α.Σ.Π., 2000).



Σχήμα 2.14: Χάρτης ζωνών σεισμικής επικινδυνότητας στον Ελλαδικό χώρο (Ο.Α.Σ.Π., 2000).

Ακολούθησε τροποποίηση του Ε.Α.Κ. που έγινε το 2003, με αποτέλεσμα την αναθεώρηση του αριθμού των ζωνών σεισμικής επικινδυνότητας από τέσσερις (I – IV) σε τρεις (I – III) (Φ.Ε.Κ, 2003). Έτσι, ο νεότερος χάρτης που ισχύει και σήμερα για σκληρό έδαφος και θα συγκριθεί με τους χάρτες της διπλωματικής εργασίας απεικονίζεται στο Σχήμα 2.15. Σημειώνεται ότι στον Ε.Α.Κ. (2003) περιλαμβάνεται και ένας συντελεστής για το έδαφος, καθώς λαμβάνονται υπόψη τέσσερις γενικευμένες κατηγορίες εδάφους: σκληρό, μετρίως σκληρό, μαλακό, πολύ μαλακό.



Σχήμα 2.15: Ο ισχύων χάρτης ζωνών σεισμικής επικινδυνότητας. Δεξιά είναι υπό μεγέθυνση η Πελοπόννησος. Οι μονάδες μέτρησης έχουν μετατραπεί σε cm/sec<sup>2</sup> (Ο.Α.Σ.Π., 2003, τροποποιημένο).

Στην περιοχή μελέτης της διπλωματικής εργασίας απαντώνται δύο ζώνες: η ζώνη I (0.16g=157 cm/sec<sup>2</sup>) και η ζώνη II (0.24g=235 cm/sec<sup>2</sup>). Είναι κατανοητό πως αυτός ο χάρτης δεν έχει πολλές διακυμάνσεις τιμών, οπότε όλη η χέρσος γύρω από τον Μεσσηνιακό κόλπο έχει τιμή PGA = 235 cm/sec<sup>2</sup> (στα όρια της περιοχής μελέτης της διπλωματικής εργασίας). Επίσης, και η ξηρά δυτικά του Λακωνικού κόλπου εντάσσεται στη ζώνη II, με αποτέλεσμα σχεδόν όλη η περιοχή μελέτης να έχει PGA = 235 cm/sec<sup>2</sup>.

Συγκρίνοντας το χάρτη του Ε.Α.Κ (Σχήμα 2.15) με τον χάρτη PGA για ΠΕ = 475 έτη (Σχήμα 2.6), γίνεται αμέσως αντιληπτό πως οι τιμές του χάρτη που προέκυψαν με τη μέθοδο των ακραίων τιμών είναι λίγο μικρότερες, εφόσον η μέγιστη τιμή που αναδεικνύεται στο υπόμνημα είναι 200 cm/sec<sup>2</sup>. Είναι λογικό να υπάρχουν τέτοιες διαφοροποιήσεις διότι η διπλωματική εργασία εστίασε στη ΝΔ Πελοπόννησο και όχι σε ολόκληρη την Ελλάδα, άρα σαφώς υπάρχει μια μεγαλύτερη ακρίβεια στη διακύμανση τιμών.

#### 2.4.6.2 Σύγκριση με τη δημοσίευση των Makropoulos et al. (2013)

Οι χάρτες που θα απεικονισθούν σε αυτή την Παράγραφο (Σχήματα 2.16 – 2.21) δημοσιεύθηκαν στο Συνέδριο της Ευρωπαϊκής Ένωσης Γεωεπιστημών (European Geosciences Union). Η σύγκριση θα είναι πιο ακριβής εδώ διότι αυτοί οι χάρτες κατασκευάστηκαν από το ίδιο πρόγραμμα (HAZAN) χρησιμοποιώντας ίδιο κατάλογο σεισμών (Makropoulos et al., 2012), τις ίδιες σχέσεις απόσβεσης (Orphal and Lahoud, 1974; Makropoulos, 1978 για PGV, PGD και PGA αντιστοίχως) και τη μέθοδο ακραίων τιμών.

## 2. ΠΙΘΑΝΟΛΟΓΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ

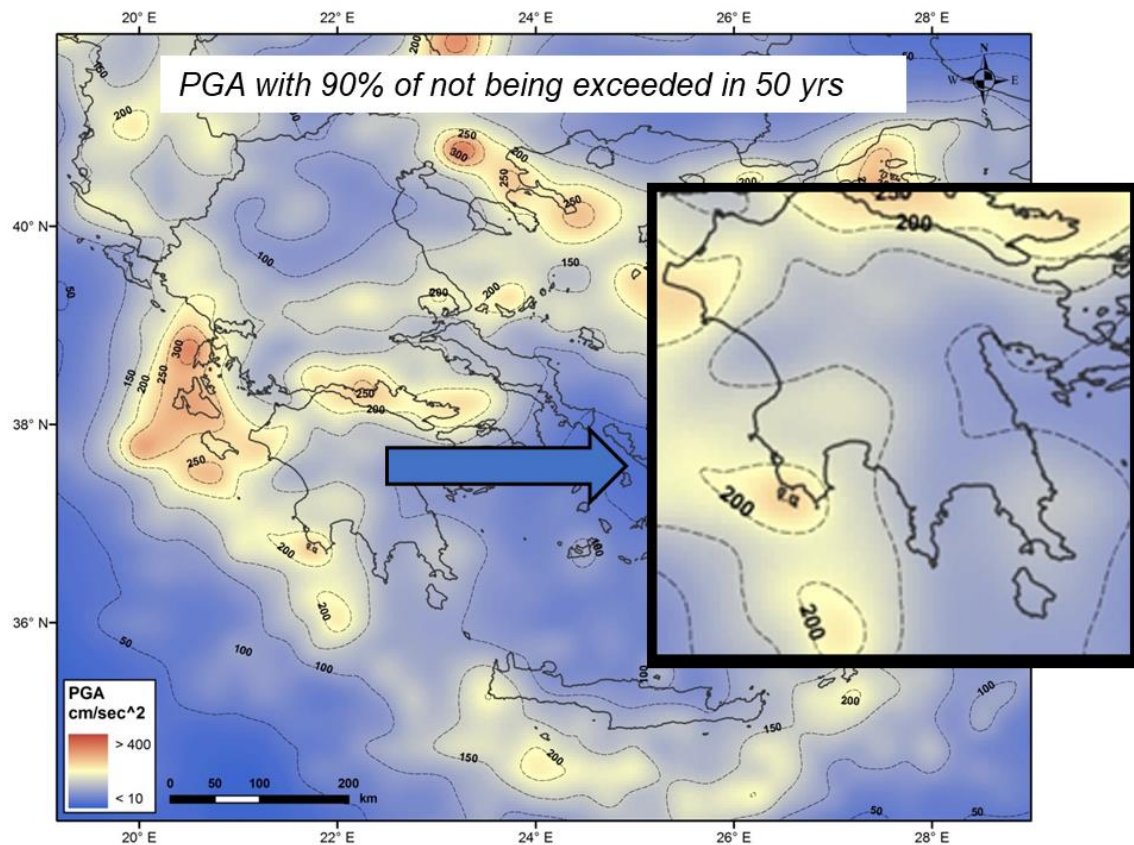
Παρατηρούνται τρεις διαφορετικές ζώνες εστιάζοντας στην περιοχή μελέτης: η πρώτη και υψηλότερη με τιμές στο διάστημα  $[200, 250)$   $\text{cm/sec}^2$  εντοπίζεται στην Πύλο, Κορώνη και Σχίζα η δεύτερη και ενδιάμεση με τιμές στο διάστημα  $[150, 200)$   $\text{cm/sec}^2$  εντοπίζεται στην περιοχή που καλύπτει την Καλαμάτα, Μεσσήνη, Φιλιατρά και Κυπαρισσία και η τρίτη με τις χαμηλότερες τιμές που ανήκουν στο διάστημα  $[100, 150)$   $\text{cm/sec}^2$  βρίσκεται στη χέρσο του Λακωνικού κόλπου και βορειότερα της περιοχής μελέτης.

Εφόσον υπάρχουν ομοιότητες στη διαδικασία εκτίμησης της σεισμικής επικινδυνότητας, αναμένεται μια ταύτιση τιμών με τον αντίστοιχο χάρτη της διπλωματικής εργασίας (Σχήμα 2.6). Πρέπει να σημειωθεί πως η ισοδιάσταση των καμπυλών με ίσες τιμές PGA είναι  $50 \text{ cm/sec}^2$  ενώ στον χάρτη της διπλωματικής εργασίας είναι  $10 \text{ cm/sec}^2$ . Οπότε, είναι λογικό να μην είναι ακριβώς γνωστές οι τιμές παρά μόνο το εύρος που δόθηκε παραπάνω στο Σχήμα 2.16, άρα δεν πρόκειται για διαφοροποίηση αν δεν υπάρχει πλήρης ταύτιση τιμών με το Σχήμα 2.6.

Οι υψηλότερες τιμές δεν είναι στην Πύλο, Κορώνη και Σχίζα, αλλά βόρεια της Καλαμάτας και της Μεσσήνης με τιμές  $[190 - 200)$   $\text{cm/sec}^2$ . Η τιμή  $200 \text{ cm/sec}^2$  που λήφθηκε στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας εντοπίζεται στον θαλάσσιο χώρο, στο ίδιο σημείο με τον χάρτη των Makropoulos et al. (2013). όμως, η απόκλιση δεν είναι μεγαλύτερη των  $10 \text{ cm/sec}^2$ , διότι οι τιμές είναι σίγουρα μεγαλύτερες των  $190 \text{ cm/sec}^2$ . Επίσης, υπάρχει και μια ταύτιση της μορφής της καμπύλης των  $150 \text{ cm/sec}^2$ , καθώς παρουσιάζει ακριβώς την ίδια κάμψη βόρεια της Καλαμάτας και στον χάρτη της διπλωματικής με τη χρήση των ακραίων τιμών.

Μεγαλύτερη απόκλιση ( $\approx 20 \text{ cm/sec}^2$ ) εντοπίζεται στην Πύλο την Κορώνη και τη Σχίζα διότι ο χάρτης της διπλωματικής εργασίας φέρνει την ισοκαμπύλη των  $180 \text{ cm/sec}^2$  και δε συναντάται εντός η καμπύλη των  $190 \text{ cm/sec}^2$ . Τέτοιες διαφορές οφείλονται στην έλλειψη ακρίβειας των Makropoulos et al., (2013) διότι η έρευνα τους ήταν για όλο τον Ελλαδικό χώρο και όχι για την περιοχή της ΝΔ Πελοποννήσου, χωρίς να σημαίνει πως υπάρχει λάθος στους δύο αυτούς χάρτες. Ταύτιση τιμών παρατηρείται στο τμήμα της ξηράς βόρεια του Λακωνικού κόλπου, καθώς τόσο ο χάρτης των Makropoulos et al. (2013), όσο και ο χάρτης της διπλωματικής εργασίας (Σχήμα 2.6) έχουν ακριβώς το ίδιο εύρος τιμών, δηλαδή το διάστημα  $[100, 150)$   $\text{cm/sec}^2$ .

## 2. ΠΙΘΑΝΟΛΟΓΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ

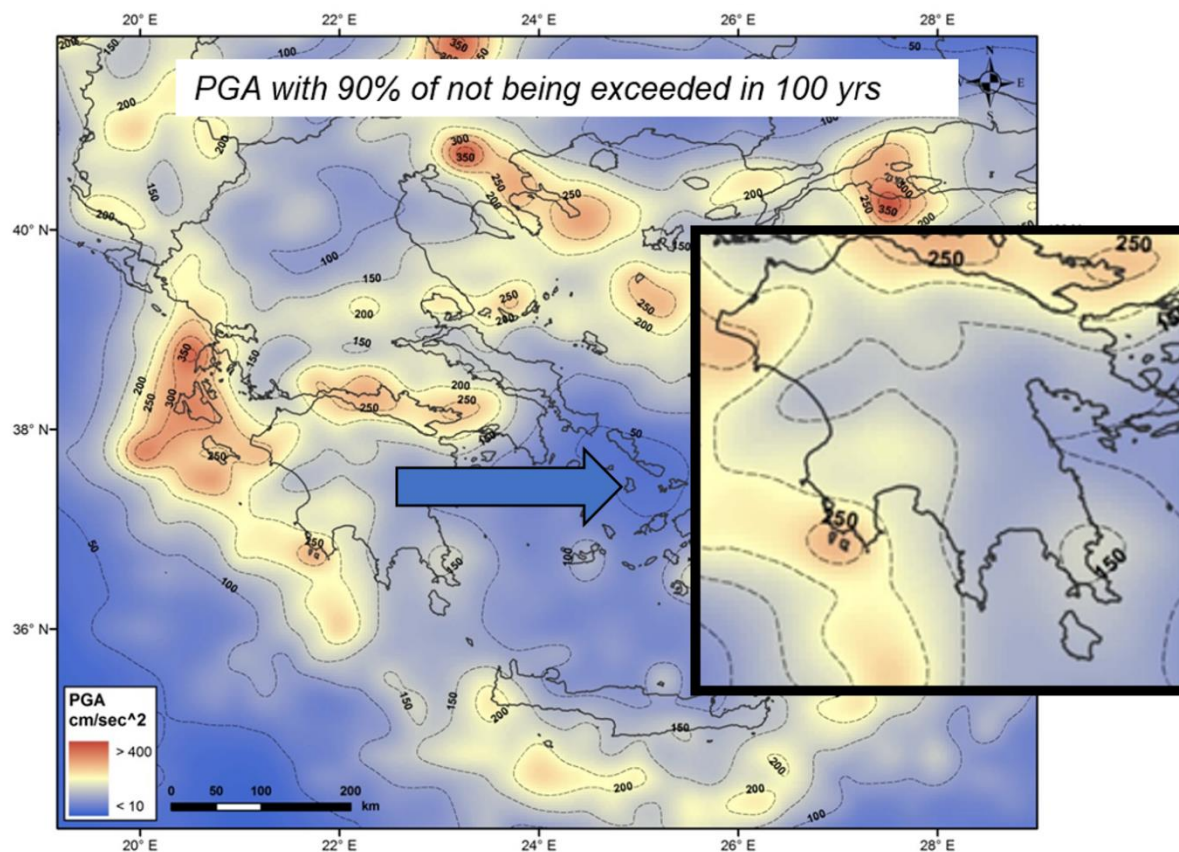


Σχήμα 2.16: Χάρτης μέγιστης αναμενόμενης εδαφικής επιτάχυνσης (PGA) για περίοδο επανάληψης (Π.Ε.) 475 έτη με χρήση της μεθόδου ακραίων τιμών. Δεξιά είναι υπό μεγέθυνση η Πελοπόννησος (Μακροπούλος et al., 2013, τροποποιημένο).

Όσον αφορά τη σύγκριση των αποτελεσμάτων PGA για Π.Ε.=950 έτη, σύμφωνα με τα αποτελέσματα των Μακροπούλος et al. (2013) υπάρχουν τέσσερα διαστήματα τιμών PGA. Το διάστημα με τις υψηλότερες τιμές βρίσκεται στην Πύλο και τη Σχίζα με τιμές  $[250, 300)$   $\text{cm}/\text{sec}^2$ , ακολουθεί το διάστημα  $[200, 250)$   $\text{cm}/\text{sec}^2$  που εντοπίζεται στην Κορώνη, το διάστημα  $[150, 200)$   $\text{cm}/\text{sec}^2$  στη χέρσο βόρεια του Μεσσηνιακού Κόλπου και τέλος το χαμηλότερο διάστημα τιμών  $[100, 150)$   $\text{cm}/\text{sec}^2$  το οποίο εντοπίζεται στη χέρσο του Λακωνικού κόλπου. Στον αντίστοιχο χάρτη της διπλωματικής εργασίας με χρήση της μεθόδου ακραίων τιμών (Σχήμα 2.7), οι τιμές δε φθάνουν την τιμή των  $220 \text{ cm}/\text{sec}^2$ , καθώς αυτή είναι η υψηλότερη και εντοπίζεται στον θαλάσσιο χώρο. Οι αποκλίσεις είναι μεγαλύτερες από την προηγούμενη σύγκριση για τα 475 έτη και αυτό οφείλεται στις μεγαλύτερες τιμές που θα εμφανίζονται σε ολόκληρη την Ελλάδα και όχι μόνο στην Πελοπόννησο. Οπότε πάλι ευθύνεται κατά κύριο λόγο η διαφορετική χωρική κλίμακα για τις αποκλίσεις αυτές. Πέρα αυτού, η μορφή των ισοκαμπυλών PGA είναι παρόμοια με αυτή της πτυχιακής εργασίας, μάλιστα η ζώνωση γύρω από την περιοχή της Πύλου είναι ίδια και στους δύο χάρτες, αλλά η τιμή έχει την απόκλιση που αναφέρθηκε.

Οι μεγαλύτερες τιμές στη χέρσο, σύμφωνα με τον χάρτη της παρούσας διπλωματικής, εντοπίζονται βόρεια του Μεσσηνιακού κόλπου και είναι της τάξης των  $220 \text{ cm}/\text{sec}^2$ , ενώ στην Πύλο, τη Σχίζα και την Κορώνη συναντώνται τιμές  $\approx 210 \text{ cm}/\text{sec}^2$ . Οι αποκλίσεις φθάνουν μέχρι και τα  $100 \text{ cm}/\text{sec}^2$  (στην περιοχή της Πύλου), ενώ μειώνονται στις άλλες περιοχές μέχρι να υπάρχει πλήρη ταύτιση πάλι στις περιοχές που εντοπίζονται οι μικρότερες τιμές. Τα αποτελέσματα της μέγιστης αναμενόμενης εδαφικής επιτάχυνσης φαίνονται να είναι αξιόπιστα.

## 2. ΠΙΘΑΝΟΛΟΓΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ

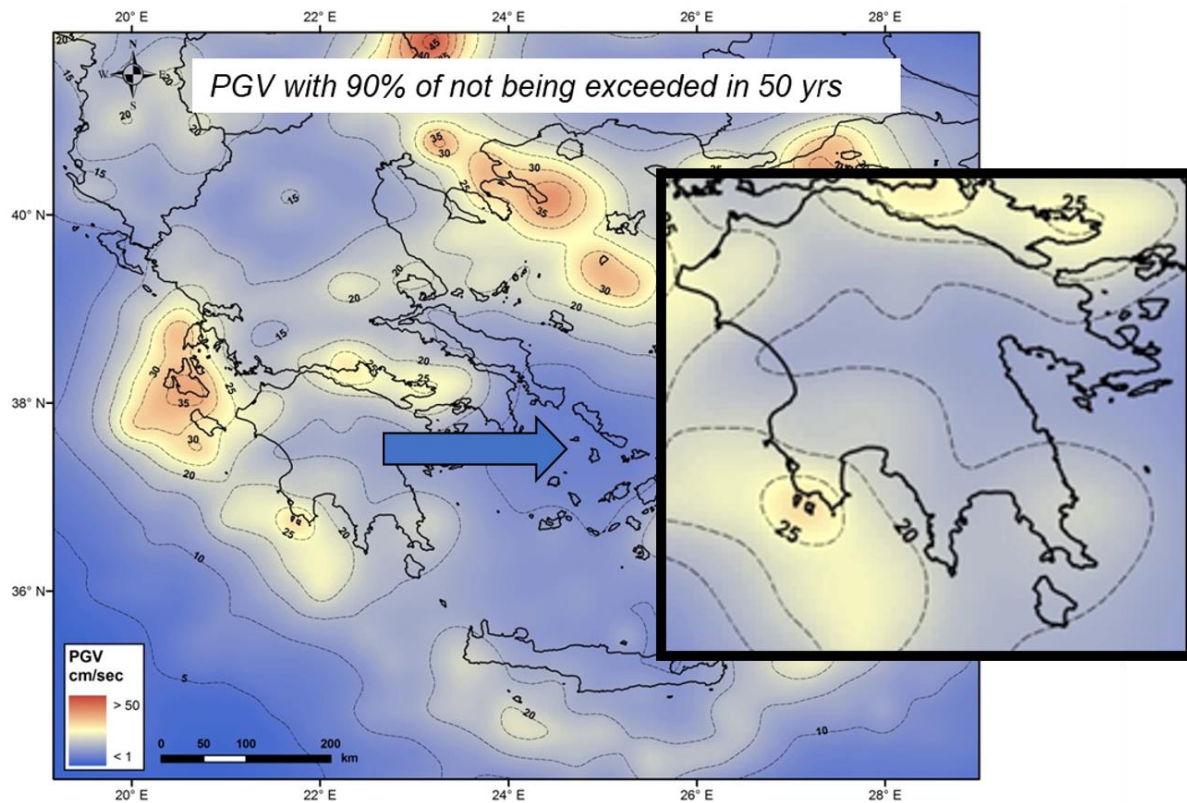


Σχήμα 2.17: Χάρτης μέγιστης αναμενόμενης εδαφικής επιτάχυνσης (PGA) για περίοδο επανάληψης (Π.Ε.) 950 έτη με χρήση της μεθόδου ακραίων τιμών. Δεξιά είναι υπό μεγέθυνση η Πελοπόννησος (Μακροπούλος et al., 2013, τροποποιημένο).

Όσον αφορά στα αποτελέσματα μέγιστης εδαφικής ταχύτητας για Π.Ε.=475 έτη των Μακροπούλος et al. (2013) με τη μέθοδο των ακραίων τιμών, το υψηλότερο διάστημα τιμών PGV είναι αυτό των [25, 30) cm/sec και απαντάται στην Πύλο, τη Σχίζα και την Κορώνη. Η περιοχή ανάμεσα στα Φιλιατρά και λίγο βόρεια από την Κορώνη ανήκει στο δεύτερο διάστημα των [20, 25) cm/sec. Η υπόλοιπη περιοχή μελέτης έχει τιμές PGV στο [15, 20) cm/sec. Στον αντίστοιχο χάρτη PGV της διπλωματικής (Σχήμα 2.8) οι τιμές φαίνεται να έχουν μια απόκλιση από αυτές των Μακροπούλος et al. (2013) στις περιοχές που διακρίνονται οι υψηλές τιμές.

Συγκεκριμένα, σε όλη την περιοχή μελέτης υπολογίστηκαν τιμές που ανήκουν στο διάστημα [10, 20) cm/sec, μάλιστα δεν συναντάται η τιμή των 25 cm/sec, διότι η μέγιστη τιμή είναι 19 cm/sec. Η διαφορά οφείλεται στην ισοδιάσταση των καμπυλών ίσης κατανομής PGV, διότι στην εργασία των Μακροπούλος et al., (2013) είναι ανά 5 cm/sec ενώ στη διπλωματική εργασία είναι ανά 1 cm/sec. Συγκεκριμένα, στην περιοχή της Πύλου και της Σχίζας οι μέγιστες τιμές που απαντώνται είναι  $\approx 19$  cm και όχι  $\approx 25$  cm όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.18. Όπως έχει ήδη αναφερθεί, δεν υπάρχει σημαντική διαφοροποίηση στους χάρτες, αλλά στον χάρτη της διπλωματικής εργασίας υπάρχει μεγαλύτερη ακρίβεια στη ΝΔ Πελοπόννησο, διότι το θέμα της εργασίας δεν είναι ολόκληρη η χώρα όπως μελετήθηκε από τους Μακροπούλος et al., (2013).

## 2. ΠΙΘΑΝΟΛΟΓΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ

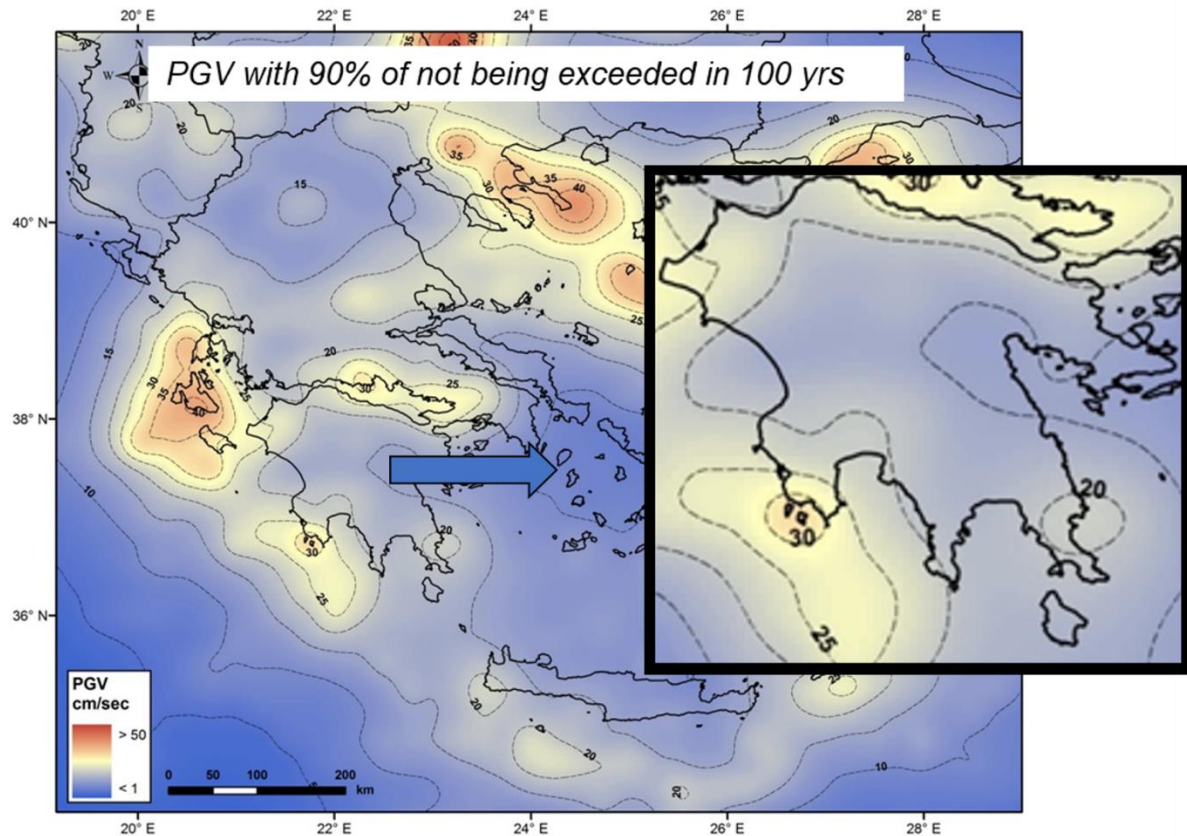


Σχήμα 2.18: Χάρτης μέγιστης αναμενόμενης εδαφικής ταχύτητας (PGV) για περίοδο επανάληψης (Π.Ε.) 475 έτη με χρήση της μεθόδου ακραίων τιμών. Δεξιά είναι υπό μεγέθυνση η Πελοπόννησος (Makrooulos et al., 2013, τροποποιημένο).

Για τις τιμές PGV για Π.Ε.=950 έτη των Makrooulos et al. (2013) με τη μέθοδο των ακραίων τιμών, παρατηρείται χωρική κατανομή της μέγιστης τιμής ( $\approx 30$  cm/sec) στην Πύλο, Σχίζα, με εικόνα παρόμοια με εκείνη των 475 ετών Π.Ε., ίδια αλλά αυξημένη κατά 5 cm/sec. Στο διάστημα μεταξύ 25 και 30 cm/sec βρίσκεται η περιοχή ανάμεσα στα Φιλιατρά και στην Κορώνη, ενώ η υπόλοιπη περιοχή μελέτης χαρακτηρίζεται από τιμές PGV που ανήκουν στο διάστημα [20, 25) cm/sec.

Οι τιμές PGV για Π.Ε.=950 έτη έχουν μεγαλύτερη απόκλιση από τον χάρτη της διπλωματικής εργασίας (Σχήμα 2.9), γεγονός που οφείλεται τόσο στην έλλειψη ακρίβειας των Makrooulos et al., (2013) στην περιοχή μελέτης αλλά και στο ότι οι τιμές επηρεάζονται από εκείνες των γειτονικών περιοχών. Ο χάρτης της παρούσας διπλωματικής εργασίας διακρίνει ένα μέγιστο στην Πύλο και τη Σχίζα με τιμή  $\approx 21$  cm/sec, μια απόκλιση περίπου 10 cm/sec από αυτή των Makrooulos et al. (2013). Η περιοχή ανάμεσα στα Φιλιατρά και στην Κορώνη έχει τιμές PGV περίπου 20 cm/sec, άρα υπάρχει μια απόκλιση της τάξης των 5-10 cm/sec, όπως άλλωστε συμβαίνει και με την υπόλοιπη περιοχή μελέτης. Τα αποτελέσματα της μέγιστης αναμενόμενης εδαφικής ταχύτητας φαίνονται να είναι αξιόπιστα.

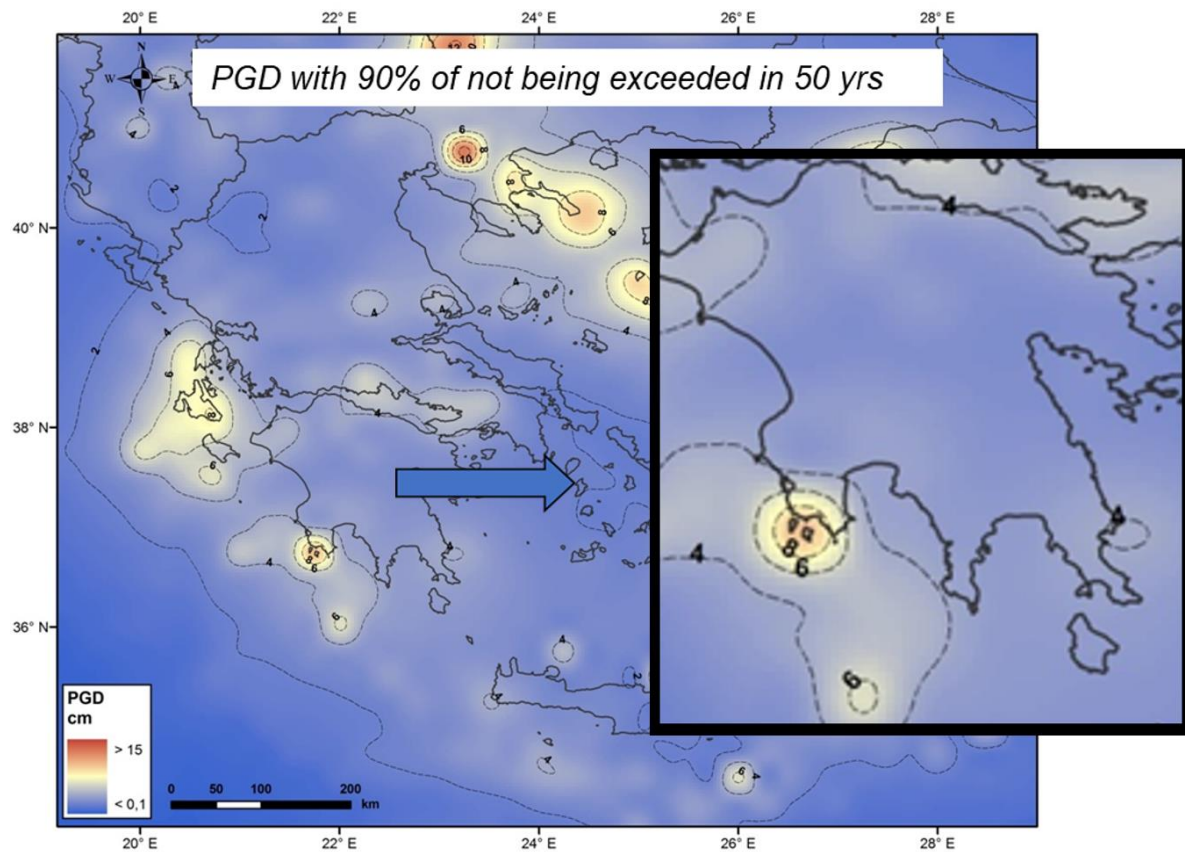
## 2. ΠΙΘΑΝΟΛΟΓΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ



Σχήμα 2.19: Χάρτης μέγιστης αναμενόμενης εδαφικής ταχύτητας (PGV) για περίοδο επανάλιψης (Π.Ε.) 950 έτη με χρήση της μεθόδου ακραίων τιμών. Δεξιά είναι υπό μεγέθυνση η Πελοπόννησος (Makropoulos et al., 2013, τροποποιημένο).

Η χωρική κατανομή των τιμών PGD των Makropoulos et al. (2013) για Π.Ε. 475 έτη με χρήση της μεθόδου ακραίων τιμών είναι πολύ απλή διότι η μέγιστη τιμή που παρατηρείται στην περιοχή μελέτης ανήκει στις περιοχές Πύλος, Σχίζα και Κορώνη και είναι 6 – 8 cm. Η υπόλοιπη ξηρά μέχρι και τα Φιλιατρά χαρακτηρίζεται από τιμές στο διάστημα [4, 6) cm, ενώ η υπόλοιπη περιοχή μελέτης βρίσκεται στο διάστημα [2, 4) cm. Στον αντίστοιχο χάρτη της διπλωματικής εργασίας (Σχήμα 2.10) παρατηρούνται και οι μεγαλύτερες αποκλίσεις διότι δεν συναντάται η τιμή των 4 cm. Επίσης, οι τιμές βόρεια της Καλαμάτας και της Μεσσήνης αυξάνονται μέχρι και  $\approx 2.5$  cm αλλά αυτό οφείλεται στη μεγάλη διακριτική ικανότητα της ισοδιάστασης (0.25 cm). Τέλος, η μέγιστη τιμή PGD παρατηρείται στον θαλάσσιο χώρο, ενώ στην εργασία των Makropoulos et al., (2013) τοποθετείται στις περιοχές Πύλος, Σχίζα και Κορώνη όπως αναφέρθηκε.

## 2. ΠΙΘΑΝΟΛΟΓΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ



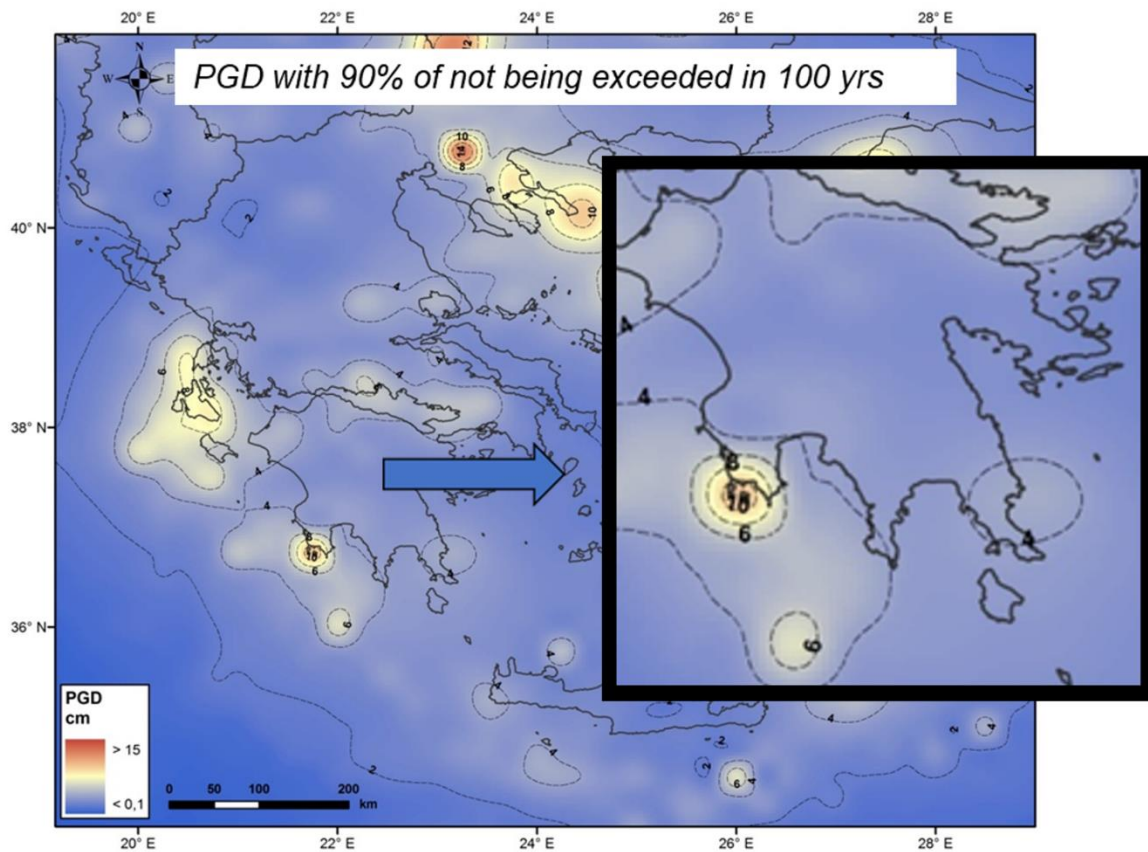
Σχήμα 2.20: Χάρτης μέγιστης αναμενόμενης εδαφικής μετατόπισης (PGD) για περίοδο επανάληψης (Π.Ε.) 475 έτη με χρήση της μεθόδου ακραίων τιμών. Δεξιά είναι υπό μεγέθυνση η Πελοπόννησος (Μακροπούλος et al., 2013, τροποποιημένο).

Το μοτίβο χωρικής κατανομής των τιμών PGD των Μακροπούλος et al. (2013) για Π.Ε. 950 έτη με χρήση της μεθόδου ακραίων τιμών είναι ίδιο, απλά οι καμπύλες καλύπτουν μεγαλύτερη επιφάνεια κάθε φορά. Το μέγιστο που υπάρχει στις περιοχές Πύλος, Σχίζα και Κορώνη φθάνει τα  $\approx 10$  cm. Η περιοχή ανάμεσα στα Φιλιατρά και βόρεια από την Κορώνη έχει τιμές PGD στο διάστημα [4, 6] cm, ενώ η υπόλοιπη περιοχή ανήκει στο διάστημα [2, 4] cm. Στον αντίστοιχο χάρτη της διπλωματικής εργασίας (Σχήμα 2.11), όπως συμβαίνει και για την ΠΕ = 475 έτη, υπάρχουν σημαντικές αποκλίσεις στα μέγιστα και στην υπόλοιπη περιοχή μελέτης. Η μεγαλύτερη από αυτές είναι στη περιοχή μεταξύ Πύλου, Σχίζας και Κορώνης που έχουν τιμή  $\approx 2.8$  cm ενώ ο χάρτης των Μακροπούλος et al., (2013) δίνει τιμές  $\approx 10$  cm.

Ένα τελικό συμπέρασμα κάνοντας τη σύγκριση σε όλους τους χάρτες των Μακροπούλος et al. (2013) με τους αντίστοιχους της διπλωματικής εργασίας είναι ότι οι τιμές που υπολογίστηκαν στα πλαίσια της παρούσας εργασίας είναι μικρότερες. Η απόκλιση δεν ήταν σημαντική εκτός από τη σύγκριση της εδαφικής μετατόπισης, αλλά εξηγήθηκε ότι αυτή η σεισμική παράμετρος έχει τα μεγαλύτερα σφάλματα. Εφόσον οι αποκλίσεις είναι ελάχιστες στους χάρτες μέγιστης αναμενόμενης εδαφικής επιτάχυνσης, δεν υπάρχει αβεβαιότητα στην αξιοπιστία των αποτελεσμάτων. Το γεγονός ότι οι Μακροπούλος et al. (2013) διενέργησαν μελέτη σεισμικής επικινδυνότητας για όλη την Ελλάδα, ενώ η παρούσα διπλωματική εργασία εκτιμά τη σεισμική επικινδυνότητα στην ευρύτερη περιοχή της Μεσσηνίας, είναι και ο λόγος που η διαφοροποίηση δεν αξιολογείται ως σημαντική.



## 2. ΠΙΘΑΝΟΛΟΓΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ



Σχήμα 2.21: Χάρτης μέγιστης αναμενόμενης εδαφικής μετατόπισης (PGD) για περίοδο επανάλυσης (ΠΕ) 950 έτη με χρήση της μεθόδου ακραίων τιμών. Δεξιά είναι υπό μεγέθυνση η Πελοπόννησος (Makropoulos et al., 2013, τροποποιημένο).

### 2.4.6.3 Σύγκριση με την εργασία των Burton et al. (2003)

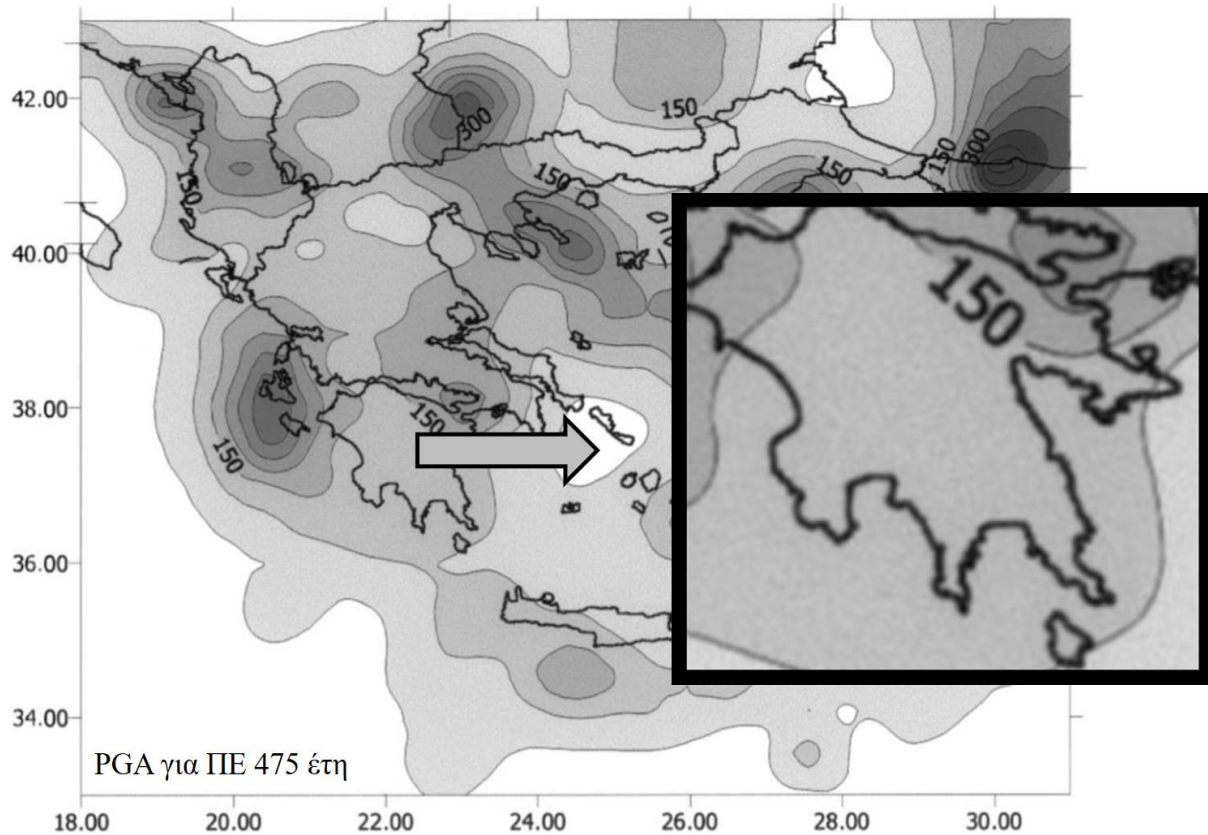
Η εργασία των Burton et al. (2003) με τίτλο «Strong ground acceleration seismic hazard in Greece and neighboring regions» είχε ως στόχο την επικαιροποίηση των χαρτών εκτίμησης της μέγιστης αναμενόμενης εδαφικής επιτάχυνσης (PGA) για διάφορες περιόδους επανάλυσης. Θα συγκριθούν οι χάρτες της διπλωματικής εργασίας (PGA για ΠΕ 475, 950 έτη, Σχήματα 2.6, 2.7 αντιστοίχως) με τους αντίστοιχους χάρτες των Burton et al. (2003) (Σχήματα 2.22, 2.23). Αναμένονται αποκλίσεις διότι οι παραπάνω επιστήμονες στην εργασία τους χρησιμοποίησαν άλλον κατάλογο ενόργανης σεισμικότητας, συγκεκριμένα τον κατάλογο των Burton et al., (2002), που περιλαμβάνει δεδομένα για τη χρονική περίοδο 1900 – 1999 και επιφανειακού μεγέθους  $M_s \geq 5.5$ . Ωστόσο, η σχέση απόσβεσης (Makropoulos, 1978), η μέθοδος (ακραίων τιμών) και το λογισμικό (HAZAN) είναι ίδια.

Για τα αποτελέσματα PGA για Π.Ε.=475 έτη, εμφανίζεται και πάλι το πρόβλημα της κλίμακας όπως και στην εργασία των Makropoulos et al., (2013), καθώς και η εργασία των Burton et al. (2003) αναφέρεται σε ολόκληρο τον Ελλαδικό χώρο. Η ισοδιάσταση των ισοκαμπυλών PGA είναι ανά  $50 \text{ cm/sec}^2$ , ενώ στον αντίστοιχο χάρτη της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι ανά  $10 \text{ cm/sec}^2$ . Είναι λογικό να μη φαίνεται η χωρική κατανομή των τιμών στη ΝΔ Πελοπόννησο όταν η εργασία εστιάζεται σε ολόκληρη τη χώρα.

Πέρα αυτού, υπάρχει μια απόκλιση τιμών διότι σύμφωνα με τους Burton et al., (2003), η περιοχή μελέτης έχει τιμές στο διάστημα  $[100, 150] \text{ cm/sec}^2$ , αυτό το διάστημα τιμών εμφανίζεται στην περιοχή βόρεια του Λακωνικού κόλπου (όπου απαντώνται οι μικρότερες τιμές). Η υπόλοιπη περιοχή έχει τιμές ανώτερες των  $150 \text{ cm/sec}^2$ , οπότε θα έπρεπε να απεικονιζόταν στον χάρτη των Burton et al. (2003) η

## 2. ΠΙΘΑΝΟΛΟΓΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ

καμπύλη των  $150 \text{ cm/sec}^2$  εντός της περιοχής μελέτης. Οι παραπάνω παρατηρήσεις δεν οδηγούν στο συμπέρασμα πως κάποιος χάρτης είναι λάθος λόγω διαφορετικού καταλόγου και κλίμακας.

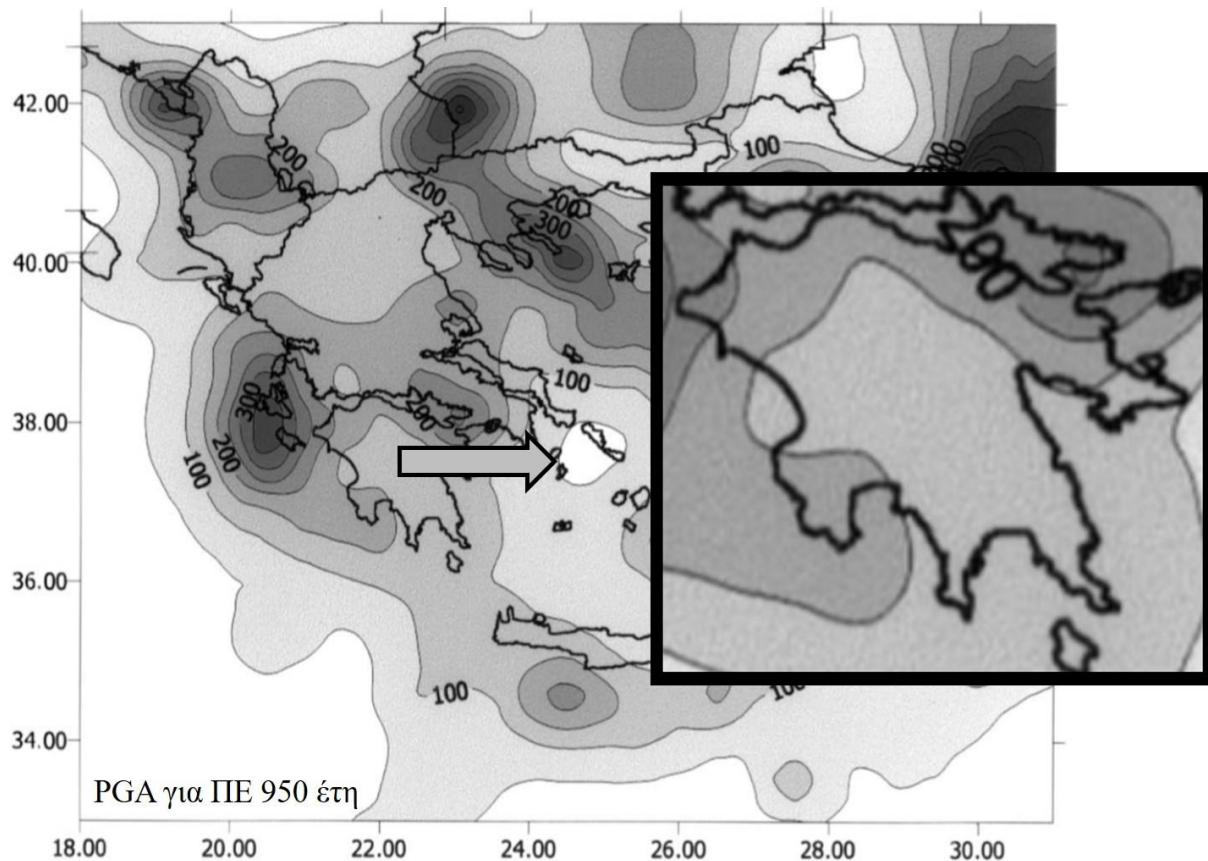


Σχήμα 2.22: Χάρτης μέγιστης αναμενόμενης εδαφικής επιτάχυνσης (PGA) για περίοδο επανάλιψης (ΠΕ) 475 έτη. Δεξιά απεικονίζεται υπό μεγέθυνση η Πελοπόννησος (Burton et al., 2003, τροποποιημένο).

Όσον αφορά στα αποτελέσματα PGA για Π.Ε.=950 έτη, η χωρική κατανομή των τιμών είναι παρόμοια, αυξημένη κατά  $50 \text{ cm/sec}^2$ , ωστόσο σε αντίθεση με το Σχήμα 2.22 παρατηρείται και μια ζώνωση εντός της περιοχής μελέτης της παρούσας εργασίας. Η ζώνωση αυτή, ταυτίζεται με αυτή της Πύλου, Σχίζας και Κορώνης, καθώς και Μεσσήνης, Καλαμάτας και Φιλιατρών που εμφάνιζε υψηλές τιμές. Έτσι, ο χάρτης των Burton et al. (2003) δείχνει πως οι προαναφερθείσες περιοχές έχουν τιμή PGA λίγο ανώτερη των  $150 \text{ cm/sec}^2$ , χωρίς να φτάνουν τα  $200 \text{ cm/sec}^2$ . Η υπόλοιπη περιοχή μελέτης έχει τιμές στο διάστημα  $[100, 150) \text{ cm/sec}^2$ .

Ο χάρτης της πτυχιακής εργασίας (Σχήμα 2.7) έχει τιμές ανώτερες των  $200 \text{ cm/sec}^2$  στις περιοχές που αναφέρθηκαν (μαζί όμως με την Κυπαρισσία). Το διάστημα  $[100, 150) \text{ cm/sec}^2$  απαντάται στον Λακωνικό κόλπο, σε αντίθεση με το Σχήμα 2.23 που περιλαμβάνει όλη την υπόλοιπη περιοχή μελέτης. Τα αποτελέσματα έχουν αποκλίσεις, αλλά δικαιολογημένες, λόγω διαφορετικού καταλόγου σεισμών και κλίμακας.

## 2. ΠΙΘΑΝΟΛΟΓΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ



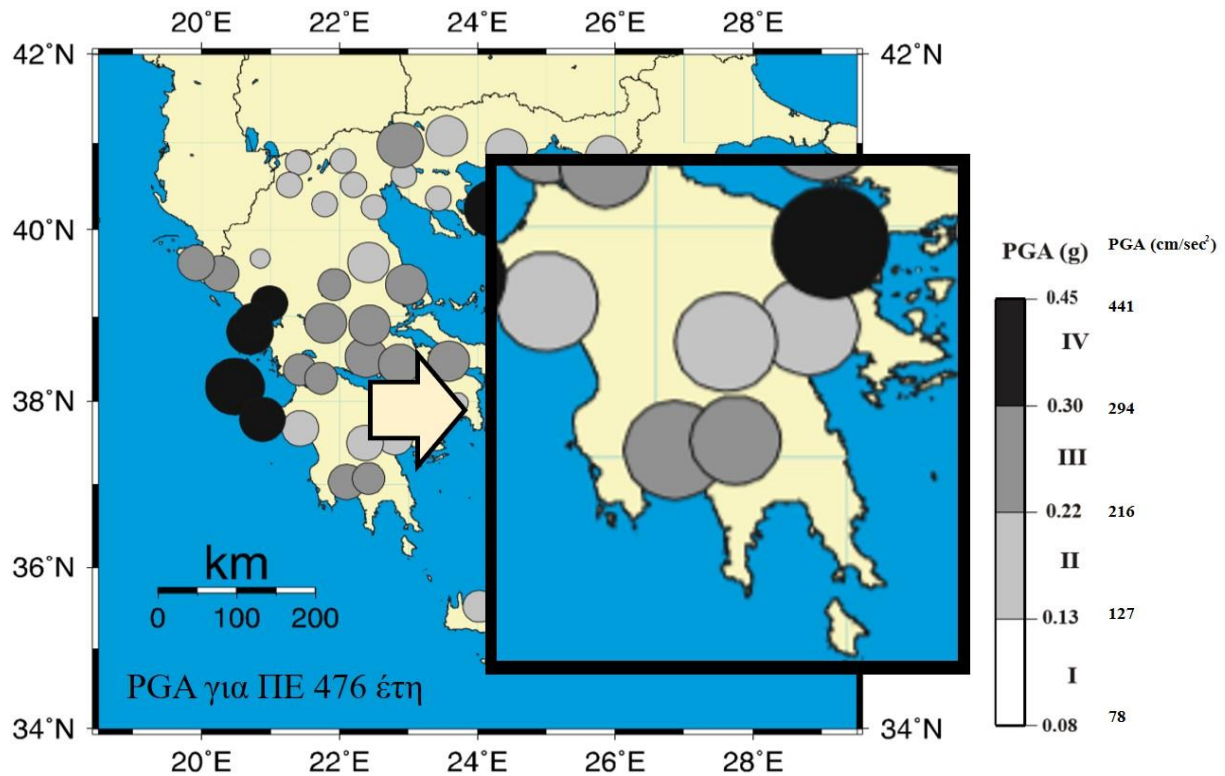
Σχήμα 2.23: Χάρτης μέγιστης αναμενόμενης εδαφικής επιτάχυνσης (PGA) για περίοδο επανάληψης (ΠΕ) 950 έτη. Δεξιά απεικονίζεται υπό μεγέθυνση η Πελοπόννησος (Burton et al., 2003, τροποποιημένο).

### 2.4.6.4 Σύγκριση με την εργασία των Banitsiotou et al. (2004)

Η εργασία των Banitsiotou et al. (2004) παρουσιάζει έναν χάρτη μέγιστης αναμενόμενης εδαφικής επιτάχυνσης (PGA) με περίοδο επανάληψης (ΠΕ) 476 έτη, σε μονάδες επιτάχυνσης βαρύτητας (g) και έναν μέγιστης αναμενόμενης εδαφικής ταχύτητας (PGV) με περίοδο επανάληψης (ΠΕ) 476 έτη, σε μονάδες cm/sec (Σχήματα 2.24, 2.25, αντιστοίχως).

Δεν υπάρχει καμία ομοιότητα στη διαδικασία εξαγωγής των δεδομένων, διότι οι Banitsiotou et al. (2004), χρησιμοποίησαν άλλη προσέγγιση, συγκεκριμένα αυτή που προτάθηκε από τους Kijko and Graham (1998). Αυτή η προσέγγιση επιτρέπει την είσοδο ιστορικών καταλόγων σεισμικότητας σε συνδυασμό με ενόργανους, άρα αναμένονται σφάλματα λόγω έλλειψης οργάνων, άρα και ακρίβειας προσδιορισμού επικέντρου και μεγέθους, κατά την ιστορική περίοδο. Οπότε οι Banitsiotou et al. (2004) χρησιμοποίησαν έναν κατάλογο ιστορικής και ενόργανης σεισμικότητας, αυτόν που προτάθηκε από τους Papazachos et al. (2000) για τη χρονική περίοδο 550 π.Χ. – 1999 μ.Χ. Τέλος, οι σχέσεις απόσβεσης που επιλέχθηκαν για την εδαφική επιτάχυνση και την ταχύτητα, είναι αυτές των Margaritis et al. (2002). Εν κατακλείδι, αναμένονται μεγάλες αποκλίσεις διότι η προσέγγιση, ο κατάλογος και η σχέση απόσβεσης είναι διαφορετικά από αυτά που επιλέχθηκαν στην παρούσα πτυχιακή εργασία. Η πληροφορία που αντλείται από τους χάρτες των Banitsiotou et al. (2004), (Σχήματα 2.24, 2.25), είναι σημειακή (Καλαμάτα και Σπάρτη), με αποτέλεσμα η σύγκριση να γίνει σε αυτές τις δύο περιοχές μόνο.

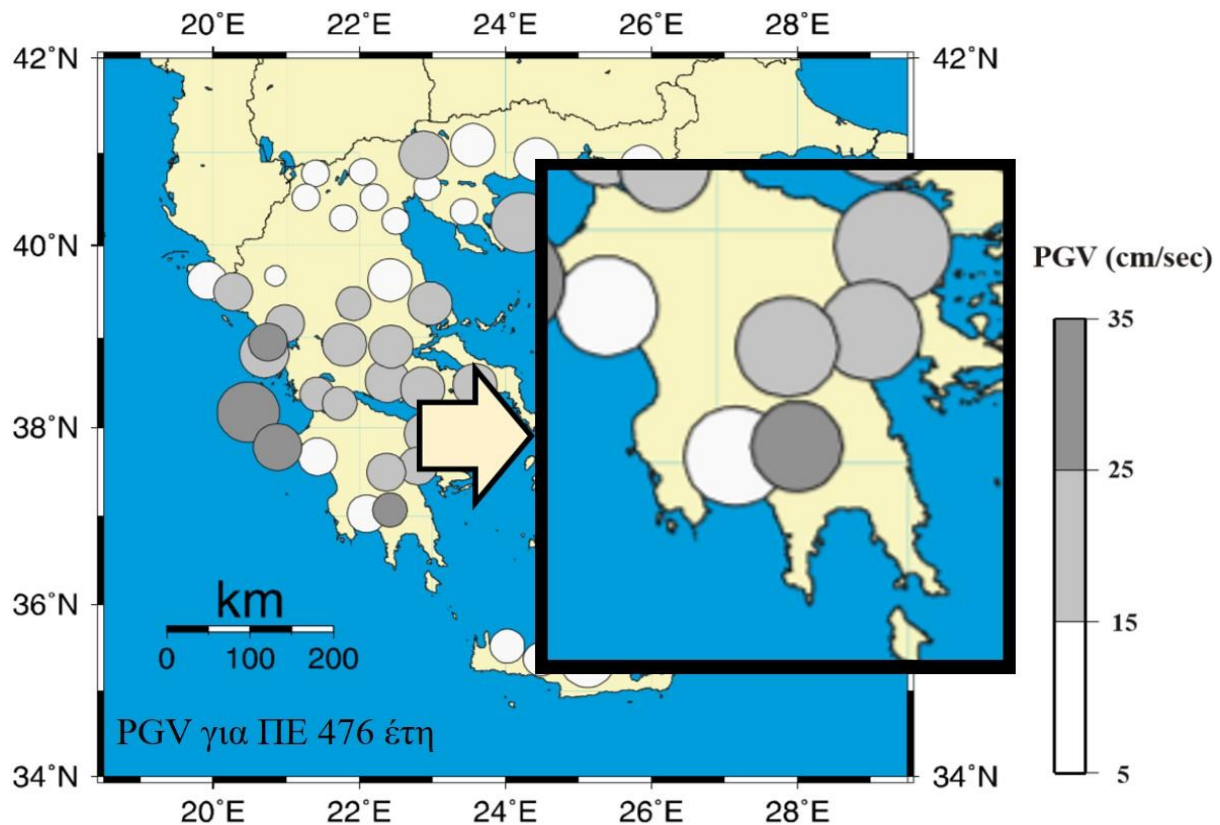
## 2. ΠΙΘΑΝΟΛΟΓΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ



Σχήμα 2.24: Χάρτης μέγιστης αναμενόμενης εδαφικής επιτάχυνσης (PGA) για περίοδο επανάλιψης (ΠΕ) 476 έτη. Δεξιά είναι υπό μεγέθυνση η Πελοπόννησος. Οι μονάδες μέτρησης έχουν μετατραπεί σε cm/sec<sup>2</sup> (Banitsiotou et al., 2004, τροποποιημένο).

Σύμφωνα με τους υπολογισμούς των Banitsiotou et al. (2004) και οι δύο περιοχές εντάσσονται στην τρίτη ζώνη του υπομνήματος με κατώτερο όριο εδαφικής επιτάχυνσης 216 cm/sec<sup>2</sup> και 294 cm/sec<sup>2</sup> το ανώτερο αντίστοιχα. Η μέθοδος ακραίων τιμών είχε μέγιστη τιμή 220 cm/sec<sup>2</sup> στον θαλάσσιο χώρο, οπότε η Καλαμάτα και η Σπάρτη έχουν μικρότερες τιμές, συγκεκριμένα, η πρώτη βρίσκεται στο διάστημα (180, 190) cm/sec<sup>2</sup> και η δεύτερη στο (170, 180) cm/sec<sup>2</sup>. Τα αποτελέσματα αυτά εντάσσονται στη δεύτερη ζώνη στο υπόμνημα των Banitsiotou et al. (2004), οπότε η μέθοδος των ακραίων τιμών υποεκτιμά τα αποτελέσματα της εδαφικής επιτάχυνσης.

## 2. ΠΙΘΑΝΟΛΟΓΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ



Σχήμα 2.25: Χάρτης μέγιστης αναμενόμενης εδαφικής ταχύτητας (PGV) για περίοδο επανάληψης (ΠΕ) 476 έτη. Δεξιά είναι υπό μεγέθυνση η Πελοπόννησος (Banitsiotou et al., 2004, τροποποιημένο).

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της εδαφικής ταχύτητας, οι δύο πόλεις δεν ανήκουν στην ίδια ζώνη όπως συνέβαινε με την εδαφική επιτάχυνση. Παρά την κοντινή απόσταση μεταξύ των δύο περιοχών, η Σπάρτη βρίσκεται στην ύψιστη ζώνη ενώ η Καλαμάτα στην κατώτερη. Κατά αντιστοιχία με τους υπολογισμούς της διπλωματικής εργασίας, η Καλαμάτα έχει τιμές στο διάστημα (16, 17) cm/sec και η Σπάρτη στο (15, 16) cm/sec. Αυτά τα αποτελέσματα εντάσσονται στην ενδιάμεση ζώνη του υπομνήματος των Banitsiotou et al. (2004) και δεν μπορούν να χαρακτηριστούν στο σύνολό τους υπερεκτιμημένα ή το αντίθετο διότι είναι μικρότερα από τα αντίστοιχα της Σπάρτης και μεγαλύτερα από αυτά της Καλαμάτας.

### 2.4.6.5 Σύγκριση με την εργασία των Tselentis and Danciu (2010).

Η εργασία των Tselentis and Danciu, (2010) με τίτλο «Probabilistic seismic hazard assessment in Greece – Part 1: Engineering ground motion parameters» έχει αρκετές διαφορές με την παρούσα διπλωματική εργασία. Η πιο σημαντική είναι πως δεν χρησιμοποιείται η καθαρά στατιστική μέθοδος, αλλά η ημιστατιστική, αυτό σημαίνει πως εισάχθηκαν και σεισμικές ζώνες στην εργασία, συγκεκριμένα αυτές που προτάθηκαν από τους Papaioannou and Papazachos (2000). Επιλέχθηκε ο κατάλογος ιστορικής και ενόργανης σεισμικότητας των Papazachos et al. (2000) και Burton et al. (2004). Τέλος, οι σχέσεις απόσβεσης δεν είναι ίδιες, καθώς οι Tselentis and Danciu (2010) επέλεξαν αυτές των Danciu and Tselentis (2007). Οπότε αναμένεται σημαντική διαφοροποίηση των αποτελεσμάτων. Θα συγκριθούν οι χάρτες PGA, PGV για ΠΕ = 475 έτη της διπλωματικής εργασίας (Σχήματα 2.6, 2.8) με τους αντίστοιχους των Tselentis and Danciu (2010) (Σχήματα 2.26, 2.27).

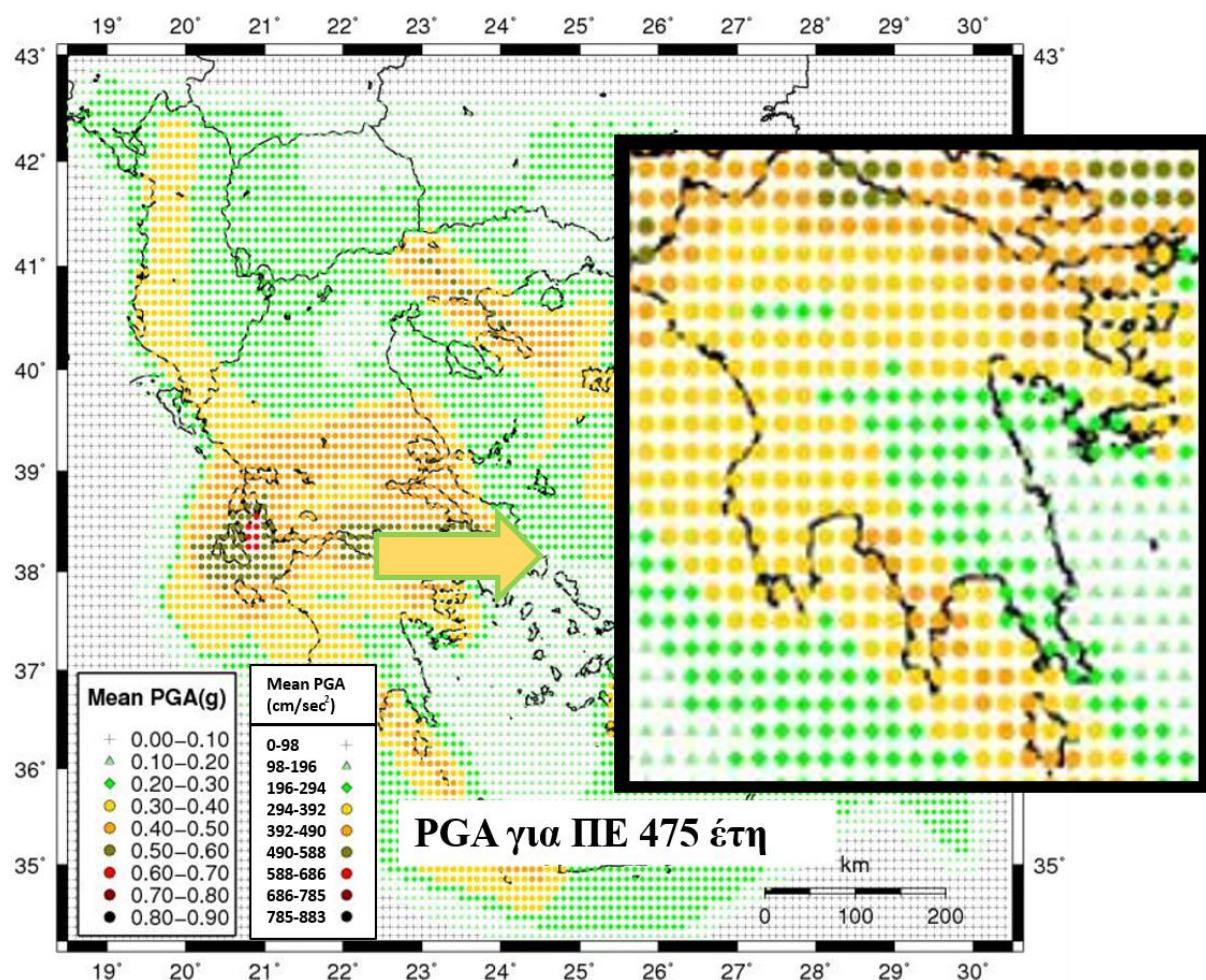
Για τη μέγιστη εδαφική επιτάχυνση, εστιάζοντας στην περιοχή μελέτης, υπάρχουν δύο διαστήματα τιμών. Το πρώτο και υψηλότερο απαντάται στην ξηρά ανατολικά του Μεσσηνιακού κόλπου με τιμές

## 2. ΠΙΘΑΝΟΛΟΓΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ

[392, 490] cm/sec<sup>2</sup>. Το δεύτερο που εντοπίζεται στην υπόλοιπη περιοχή μελέτης, έχει τιμές στο διάστημα [294, 392] cm/sec<sup>2</sup>. Στο θαλάσσιο χώρο νότια της Πελοποννήσου, υπάρχουν τιμές στο διάστημα [196, 294] cm/sec<sup>2</sup>.

Οι τιμές έχουν μεγάλη απόκλιση από αυτές της διπλωματικής εργασίας, καθώς φθάνουν κοντά στα 500 cm/sec<sup>2</sup> στην εργασία των Tselentis and Danciu (2010), ενώ η μεγαλύτερη τιμή της διπλωματικής εργασίας φθάνει τα 220 cm/sec<sup>2</sup> στον θαλάσσιο χώρο. Οι μεγαλύτερες αποκλίσεις υπάρχουν ανατολικά του Μεσσηνιακού κόλπου, διότι από εκείνο το σημείο και ανατολικότερα (στον Λακωνικό κόλπο) άρχιζαν να εμφανίζονται οι χαμηλότερες τιμές της διπλωματικής εργασίας (<150 cm/sec<sup>2</sup>).

Το συμπέρασμα που προκύπτει είναι πως οι τιμές της διπλωματικής εργασίας είναι στην καλύτερη περίπτωση μειωμένες κατά 100 cm/sec<sup>2</sup> και πως δεν υπάρχει αύξηση τιμών ανατολικά του Μεσσηνιακού κόλπου. Το τελευταίο οφείλεται στην επίδραση των σεισμικών ζωνών της ημιστατιστικής μεθόδου. Γενικά, δεν υπάρχει βαθμός αβεβαιότητας και αμφιβολίας των αποτελεσμάτων, διότι ακολουθήθηκε μια τελείως διαφορετική διαδικασία από αυτή των Tselentis and Danciu (2010).

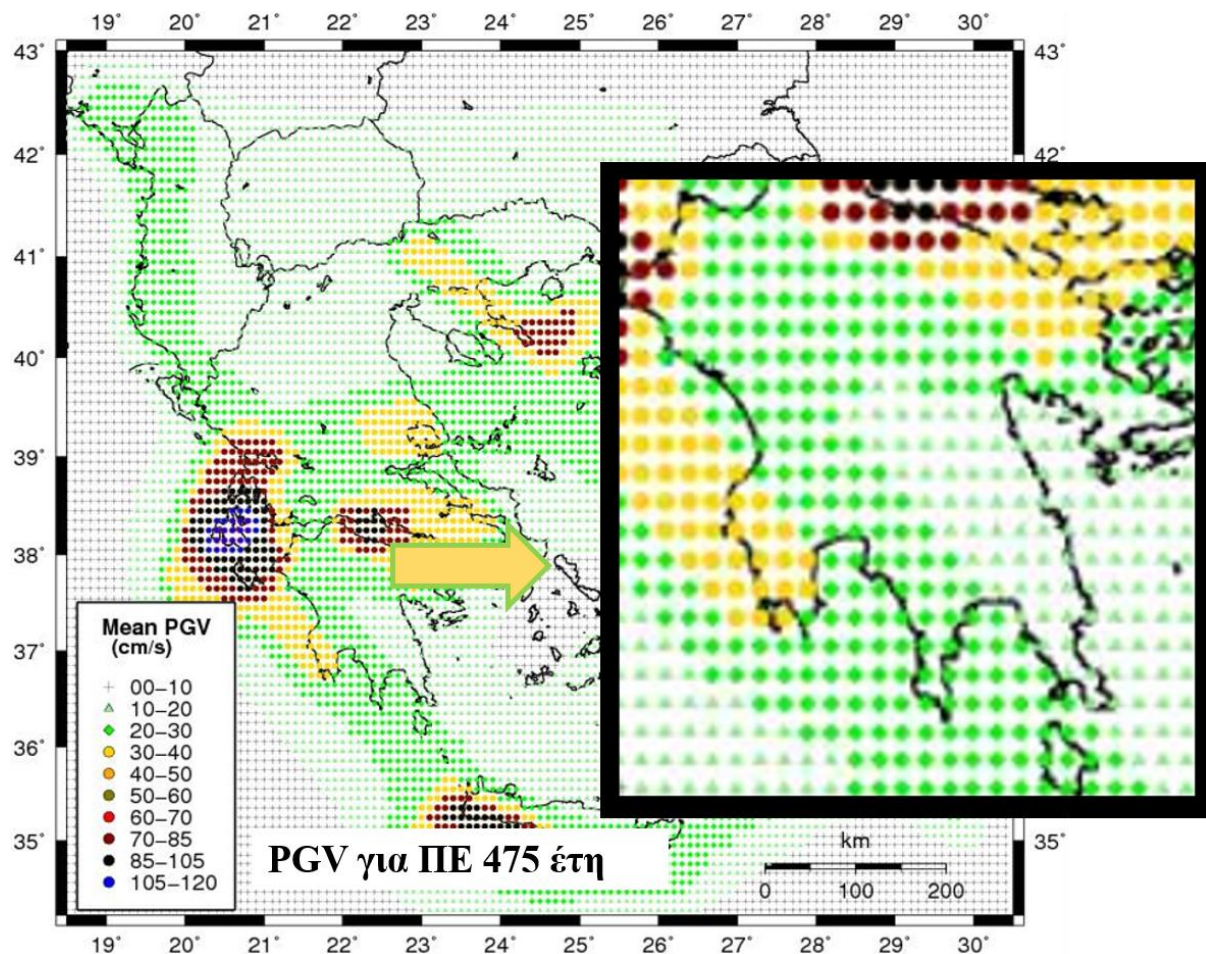


Σχήμα 2.26: Χάρτης μέγιστης αναμενόμενης εδαφικής επιτάχυνσης (PGA) για περίοδο επανάληψης (ΠΕ) 475 έτη. Δεξιά είναι υπό μεγέθυνση η Πελοπόννησος. Το υπόμνημα τροποποιήθηκε για να απεικονίζει και τις μονάδες μέτρησης cm/sec<sup>2</sup> (Tselentis and Danciu, 2010, τροποποιημένο).

Οι μεγαλύτερες τιμές PGV εντοπίζονται στην περιοχή γύρω από την Πύλο και τα Φιλιατρά αλλά όχι γύρω από την Κορώνη. Εντάσσονται στο κλειστό διάστημα [30, 40] cm/sec, ενώ η Κορώνη και η υπόλοιπη περιοχή μελέτης έχει τιμές στο διάστημα [20, 30] cm/sec. Ο χάρτης της πτυχιακής εργασίας

## 2. ΠΙΘΑΝΟΛΟΓΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ

έχει απόκλιση [10, 20] cm/sec ανάλογα την επιλογή τιμών του υπομνήματος στην Πύλο και τα Φιλιατρά, διότι οι τιμές είναι κοντά στα 20 cm/sec. Ανατολικότερα, στον χάρτη της πτυχιακής οι τιμές μειώνονται μέχρι να φθάσουν ένα ελάχιστο στον Λακωνικό κόλπο (10 cm/sec). Η απόκλιση λοιπόν συνεχώς αυξάνεται μέχρι να φθάσει το διάστημα [10, 20] cm/sec σε αυτή την περιοχή.



Σχήμα 2.27: Χάρτης μέγιστης αναμενόμενης εδαφικής ταχύτητας (PGV) για περίοδο επανάλυσης (ΠΕ) 475 έτη. Δεξιά είναι υπό μεγέθυνση η Πελοπόννησος. (Tselentis and Danciu, 2010, τροποποιημένο).

### 2.4.6.6 Σύγκριση με την εργασία των Tsarpanos et al. (2004)

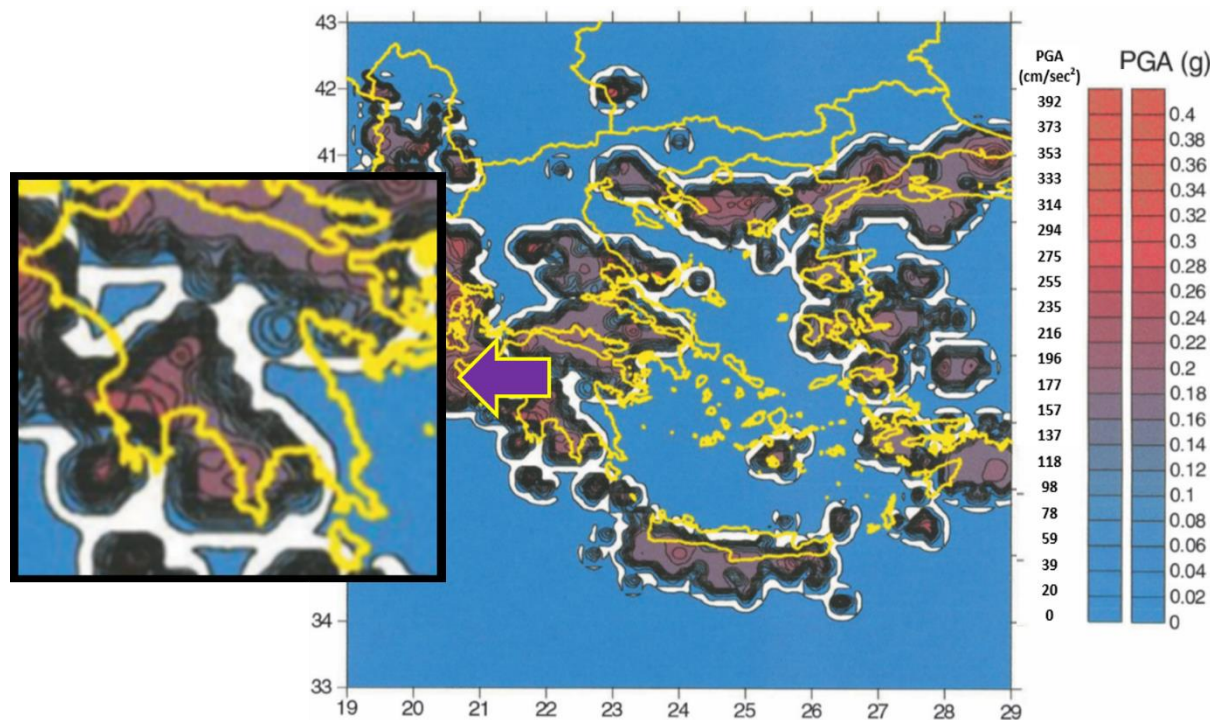
Η εργασία των Tsarpanos et al. (2004) με τίτλο «A probabilistic seismic hazard assessment for Greece and the surrounding region including site-specific considerations» έχει και αυτή διαφορές στη διαδικασία της με αυτή της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Αρχικά χρησιμοποιήθηκε η προσέγγιση των Kijko and Graham (1998), έπειτα η σχέση απόσβεσης των Margaris et al. (2002), και τέλος ο κατάλογος ιστορικής και ενόργανης σεισμικότητας των Papazachos et al. (2000). Δημιουργήθηκε ένας χάρτης μέγιστης αναμενόμενης εδαφικής επιτάχυνσης (PGA) για περίοδο επανάλυσης 475 έτη (Σχήμα 2.28) και θα συγκριθεί με τον αντίστοιχο της διπλωματικής εργασίας.

Οι τιμές στην περιοχή μελέτης εντάσσονται στο διάστημα [157, 275] cm/sec<sup>2</sup> με τη μέγιστη τιμή να απαντάται στη Μεσσήνη, Καλαμάτα, Φιλιατρά, Κυπαρισσία, Πύλο, Κορώνη και Σχίζα (275 cm/sec<sup>2</sup>). Η υπόλοιπη περιοχή μελέτης έχει μικρότερες τιμές μέχρι να εμφανιστεί η τιμή των 157 cm/sec<sup>2</sup> στην ξηρά βόρεια του Λακωνικού κόλπου. Η μέγιστη τιμή που απαντάται στις αναφερόμενες περιοχές δε συναντάται στον αντίστοιχο χάρτη της διπλωματικής εργασίας. Στο Σχήμα 2.6 η μέγιστη

## 2. ΠΙΘΑΝΟΛΟΓΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ

τιμή είναι  $220 \text{ cm/sec}^2$  στον θαλάσσιο χώρο, άρα υπάρχει μια απόκλιση  $55 \text{ cm/sec}^2$ . Οι υπόλοιπες τιμές λίγο πολύ ταυτίζονται αλλά και πάλι υπάρχουν αποκλίσεις.

Οι τιμές δεν έχουν τόση σημαντική απόκλιση όπως φάνηκε να έχουν με άλλες εργασίες. Επίσης, η διαφορά δεν είναι μεγάλη, λαμβάνοντας επιπλέον υπόψη πως η διαδικασία που ακολουθήθηκε στην εργασία των Tsarpanos et al. (2004) είναι τελείως διαφορετική από αυτή της διπλωματικής εργασίας.



Σχήμα 2.28: Χάρτης μέγιστης αναμενόμενης εδαφικής επιτάχυνσης (PGA) για περίοδο επανάληψης (ΠΕ) 475 έτη. Αριστερά είναι υπό μεγέθυνση η Πελοπόννησος και δεξιά έχει τοποθετηθεί επιπλέον υπόμνημα με μονάδες μέτρησης  $\text{cm/sec}^2$  (Tsarpanos et al., 2004, τροποποιημένο).

### 2.4.6.7 Σύγκριση με την εργασία των Kouskouna and Kaviris (2014)

Η εργασία των Kouskouna and Kaviris (2014), με τίτλο «SEISMIC HAZARD STUDY IN MESSINIA (SW PELOPONNESE) AREA» έχει ίδια διαδικασία εξαγωγής αποτελεσμάτων με αυτή της πτυχιακής εργασίας. Δηλαδή, χρησιμοποιήθηκε η προσέγγιση των ασύμπτωτων κατανομών του Gumbel, το λογισμικό HAZAN, ο κατάλογος ενόργανης σεισμικότητας των Makropoulos et al. (2012) και οι ίδιες σχέσεις απόσβεσης (Makropoulos, 1978, για PGA και Orphal and Lahoud, 1974, για PGV και PGD).

Η μόνη διαφορά είναι ότι στην εργασία των Kouskouna and Kaviris (2014) δεν δημιουργήθηκε χάρτης, αλλά ένας πίνακας (Πίνακας 2.8) όπου αναφέρονται οι τιμές PGA, PGV και PGD για περίοδο επανάληψης 475 έτη σε συγκεκριμένες πόλεις της ΝΔ Πελοποννήσου (Καλαμάτα, Πύλος και Φιλιατρά). Οι πόλεις αυτές έχουν τοποθετηθεί και στους αντίστοιχους χάρτες της πτυχιακής εργασίας (Σχήματα 2.6, 2.8, 2.10), οπότε η σημειακή σύγκριση πραγματοποιείται παρακάτω.

Στην εργασία των Kouskouna and Kaviris (2014) έχουν υπολογισθεί επιπλέον, για τις πόλεις που αναφέρθηκαν, το μέγιστο αναμενόμενο μέγεθος και η μέγιστη αναμενόμενη ένταση. Για τις ανάγκες της διπλωματικής εργασίας οι αντίστοιχες στήλες αφαιρέθηκαν και έτσι δημιουργήθηκε νέος πίνακας με τις ίδιες τιμές που υπολόγισαν οι παραπάνω επιστήμονες. Τέλος, δημιουργήθηκε πίνακας (Πίνακας



## 2. ΠΙΘΑΝΟΛΟΓΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ

2.9), όμοιος με τον Πίνακα 2.8, αλλά με τις τιμές των χαρτών της διπλωματικής εργασίας, ενώ ο Πίνακας 2.10 περιλαμβάνει τις αποκλίσεις των τιμών μεταξύ των δύο εργασιών.

Περιοχή	PGA(cm/sec <sup>2</sup> )	PGV (cm/sec)	PGD (cm)
Καλαμάτα	185	19	3.2
Πύλος	188	23	3.9
Φιλιατρά	172	20	3.5

**Πίνακας 2.8:** Οι τιμές των εδαφικών παραμέτρων των Kouskouna and Kaviris (2014) για τις αναφερόμενες περιοχές (ΠΕ=475 έτη). Ο πίνακας δημιουργήθηκε εκ νέου για να εξυπηρετεί τη σύγκριση με τη διπλωματική εργασία.

Περιοχή	PGA(cm/sec <sup>2</sup> )	PGV (cm/sec)	PGD (cm)
Καλαμάτα	185	16	2.3
Πύλος	188	18	2.5
Φιλιατρά	172	17	2.3

**Πίνακας 2.9:** Οι τιμές των εδαφικών παραμέτρων (ΠΕ=475 έτη) για τις αναφερόμενες πόλεις από τους χάρτες της διπλωματικής εργασίας (Σχήματα 2.6, 2.8, 2.10).

Περιοχή	PGA(cm/sec <sup>2</sup> )	PGV (cm/sec)	PGD (cm)
Καλαμάτα	0	3	1.0
Πύλος	0	5	1.4
Φιλιατρά	0	3	1.2

**Πίνακας 2.10:** Οι αποκλίσεις που προκύπτουν συγκρίνοντας τους Πίνακες 2.8, 2.9 μεταξύ τους.

Οι αποκλίσεις όσον αφορά στη σύγκριση των μέγιστων αναμενόμενων τιμών εδαφικής επιτάχυνσης (PGA) ήταν πολύ μικρές, πρακτικά μηδαμινές. Δεδομένου ότι η εδαφική επιτάχυνση είναι η σεισμική παράμετρος με τα μικρότερα σφάλματα, τα επίπεδα αμφιβολίας της αξιοπιστίας των δεδομένων είναι ελάχιστα. Οι μεγαλύτερες αποκλίσεις στο πεδίο της εδαφικής ταχύτητας (PGV) υπήρξαν στην Πύλο που ήταν 5 cm/sec. Η διαφορά ωστόσο δεν ήταν μεγάλη σε αντίθεση με κάποιες εργασίες που αναφέρθηκαν στις προηγούμενες Παραγράφους.

### 2.4.6.8 Σύγκριση με την εργασία των Slejko et al., (2010)

Η εργασία των Slejko et al., (2010) με τίτλο «Preliminary seismic hazard assessments for the area of Pylos and surrounding region (SW Peloponnese)» εστιάζει περισσότερο στην περιοχή μελέτης συγκριτικά με τις υπόλοιπες εργασίες (με εξαίρεση αυτή των Kouskouna and Kaviris, 2014). Ωστόσο, η διαδικασία εξαγωγής των αποτελεσμάτων δεν έχει καμιά ομοιότητα με αυτή της πτυχιακής εργασίας. Οι Slejko et al. (2010) εκτίμησαν τη σεισμική επικινδυνότητα στη ΝΔ Πελοπόννησο χρησιμοποιώντας ημιστατιστικές μεθόδους, άρα δεν εφαρμόστηκε το λογισμικό HAZAN, αλλά το CRISIS. Η σχέση απόσβεσης που επέλεξαν οι αναφερόμενοι επιστήμονες ήταν αυτή των Theodulidis and Papazachos (1992), αποτιμώντας τη γεωλογία της περιοχής σαν βράχο. Εισηγάγαν σεισμικές ζώνες που έχουν προταθεί από τους Papazachos and Papazachou, (1997). Ο κατάλογος σεισμών δεν ήταν ένας, αλλά συνδυασμός τριών: α) ο κατάλογος ιστορικής σεισμικότητας των Papazachos and Papazachou (1997) που καλύπτει τη χρονική περίοδο 550 π.Χ. – 1963 μ.Χ., β) ο κατάλογος ενόργανης σεισμικότητας του Γεωδυναμικού Ινστιτούτου του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών, που καλύπτει τη χρονική περίοδο 1964 – 2006 και γ) τα σύγχρονα για την εποχή δεδομένα του Γεωδυναμικού Ινστιτούτου του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών (καταγραφές σεισμών από το 2007 έως τον Απρίλιο του 2008). Αναμένοντας αρκετές αποκλίσεις, συγκρίνεται ο χάρτης μέγιστης αναμενόμενης εδαφικής επιτάχυνσης (PGA) για

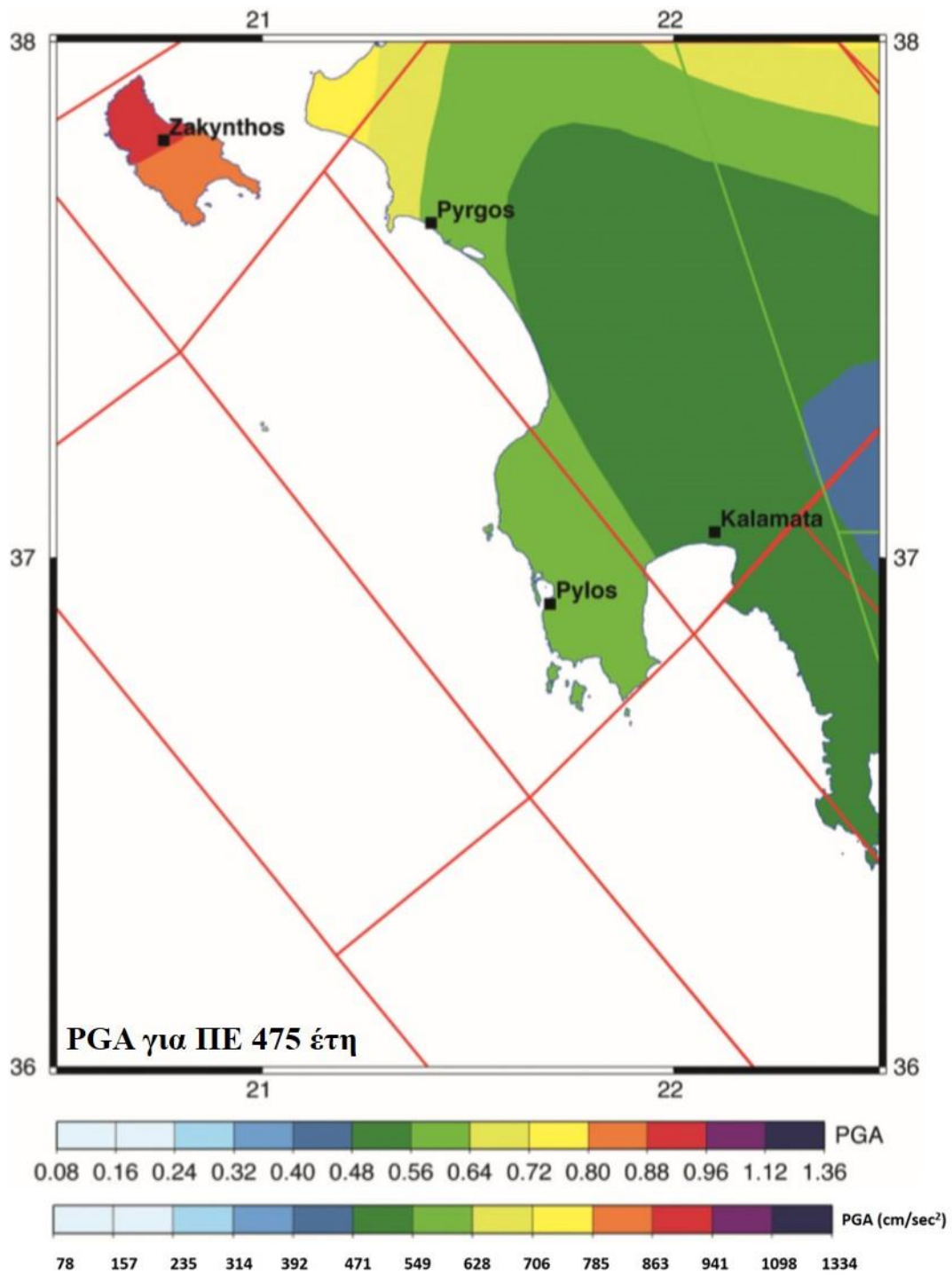
## 2. ΠΙΘΑΝΟΛΟΓΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ

περίοδο επανάληψης (ΠΕ) 475 έτη των Slejko et al., (2010) (Σχήμα 2.29) με τον αντίστοιχο της διπλωματικής εργασίας (Σχήμα 2.6).

Σύμφωνα με το υπόμνημα του Σχήματος 2.29, προκύπτει ότι η περιοχή χωρίζεται κυρίως σε τρία διαστήματα τιμών PGA. Το πρώτο και υψηλό διάστημα τιμών βρίσκεται δυτικά της Μεσσήνης και καλύπτει όλη την περιοχή μεταξύ Κυπαρισσίας, Φιλιατρών, Πύλου, Σχίζας και Κορώνη με τιμές [549, 628] cm/sec<sup>2</sup>. Το δεύτερο διάστημα εντοπίζεται στην υπόλοιπη περιοχή μελέτης δηλαδή τη Μεσσήνη και την Καλαμάτα μέχρι και τη χέρσο βόρεια του Λακωνικού κόλπου, με τιμές [471, 549] cm/sec<sup>2</sup> και το τρίτο εντοπίζεται ανατολικά της καλαμάτας με τιμές [392, 471] cm/sec<sup>2</sup>.

Η υψηλότερη τιμή στον χάρτη της παρούσας διπλωματικής εργασίας εντοπίζεται στον θαλάσσιο χώρο νότια της Πελοποννήσου και είναι 220 cm/sec<sup>2</sup>. Αυτό, αυτομάτως υποδηλώνει πως οι αποκλίσεις θα είναι μεγαλύτερες των 200 cm/sec<sup>2</sup> στη χέρσο, διότι η ελάχιστη τιμή στον Λακωνικό κόλπο είναι  $\approx$  400 cm/sec<sup>2</sup>. Τέτοιες αποκλίσεις στην πιο σημαντική εδαφικής παράμετρο δε γίνονται δεκτές και έτσι η σύγκριση δεν οδηγεί σε κανένα συμπέρασμα. Οι λόγοι για τις σημαντικές αυτές διαφοροποιήσεις εξηγήθηκαν στην αρχή.

## 2. ΠΙΘΑΝΟΛΟΓΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ



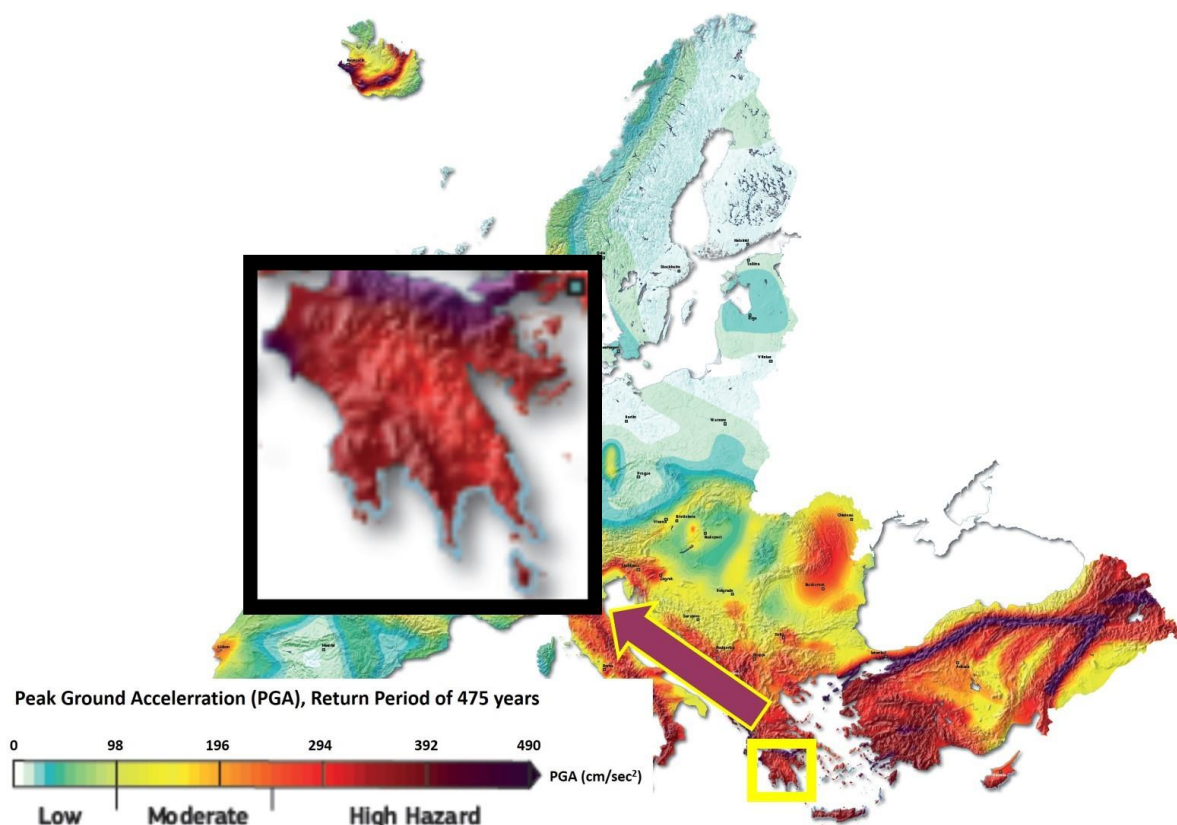
Σχήμα 2.29: Χάρτης μέγιστης αναμενόμενης εδαφικής επιτάχυνσης (PGA) για περίοδο επανάληψης (ΠΕ) 475 έτη. Το υπόμνημα έχει τροποποιηθεί έτσι ώστε να απεικονίζει τις τιμές και σε cm/sec<sup>2</sup> (Slejko et al., 2010, τροποποιημένο).

## 2. ΠΙΘΑΝΟΛΟΓΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ

### 2.4.6.9 Σύγκριση με την εργασία των Woessner et al., (2015)

Η εργασία των Woessner et al. (2015) με τίτλο «The 2013 European Seismic Hazard Model: key components and results» αποτελεί αποτέλεσμα του Έργου EU-FP7 με τίτλο «Seismic Hazard Harmonization in Europe» (SHARE, 2009–2013). Η οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων μέγιστης αναμενόμενης εδαφικής επιτάχυνσης (PGA) για διάφορες περιόδους επανάληψης (ΠΕ) για όλη την Ευρώπη (και την Τουρκία), είχε ως σκοπό τη δημιουργία ενός μοντέλου αναφοράς για πολλές εργασίες σεισμικής επικινδυνότητας, χωρίς να αντικαθιστά τους αντισεισμικούς κανονισμούς κάθε χώρας.

Προτού πραγματοποιηθεί σύγκριση των αποτελεσμάτων με τον χάρτη PGA για Π.Ε. 475 έτη της διπλωματικής, θα πρέπει να αναφερθούν οι σημαντικές διαφοροποιήσεις που έλαβαν χώρα στη διαδικασία εκτέλεσης της εργασίας των Woessner et al. (2015). Αρχικά η μελέτη έγινε με χρήση ημιστατιστικής μεθόδου. Ο κατάλογος που επιλέχθηκε είναι ο SHEEC—the «SHARE European Earthquake Catalogue» από τους Grünthal et al. (2013), με εξαίρεση τον Ελλαδικό χώρο για τον οποίο χρησιμοποιήθηκε ο κατάλογος των Makropoulos et al. (2012), ο οποίος χρησιμοποιήθηκε και στην παρούσα εργασία. Οι σεισμικές ζώνες εισήχθησαν από το μοντέλο ESHM13 AS των Giardini et al. (2014). Τέλος, οι σχέσεις απόσβεσης που επιλέχθηκαν ήταν αυτές των Zhao (2006), Cauzzi and Faccioli (2008), Chiou and Youngs (2008) και Akkar and Bommer (2010). Στον χάρτη που περιλαμβάνεται στην εργασία των Woessner et al. (2015) έγινε επεξεργασία, ώστε να είναι δυνατή η σύγκριση με το Σχήμα 2.6 (Σχήμα 2.30).



Σχήμα 2.30: Χάρτης μέγιστης αναμενόμενης εδαφικής επιτάχυνσης (PGA) για περίοδο επανάληψης (ΠΕ) 475 έτη. Η Πελοπόννησος έχει μεγεθυνθεί και το υπόμνημα έχει αλλάξει για να απεικονίζει τιμές σε cm/sec<sup>2</sup> και όχι σε μονάδες επιτάχυνσης βαρύτητας (g) (Woessner et al. 2015, τροποποιημένο).

## 2. ΠΙΘΑΝΟΛΟΓΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ

Η περιοχή μελέτης έχει τιμές που ανήκουν στο πεδίο «high hazard» του υπομνήματος. Οπότε το διάστημα τιμών που επικρατεί είναι [294, 392] cm/sec<sup>2</sup> με την τελευταία τιμή να έχει μεγαλύτερη χωρική κατανομή. Οι τιμές του χάρτη της διπλωματικής εργασίας (Σχήμα 2.6) είναι παντού μικρότερες από εκείνες του πεδίου «high hazard». Για την ακρίβεια οι τιμές εντάσσονται σε όλο το εύρος του πεδίου «moderate» διότι είναι πάντα χαμηλότερες της τιμής 196 cm/sec<sup>2</sup>, εκτός από τις περιοχές με τιμές PGA κοντά στα 200 cm/sec<sup>2</sup> δηλαδή βόρεια της Καλαμάτας και της Μεσσήνης.

Το συμπέρασμα που προκύπτει από όλες τις συγκρίσεις που έγιναν, είναι πως τα αποτελέσματα σεισμικής επικινδυνότητας που προκύπτουν με χρήση της μεθόδου ακραίων τιμών είναι γενικά μικρότερα από εκείνες που λήφθηκαν με άλλες μεθόδους. Ωστόσο, οι εργασίες που είχαν την ίδια διαδικασία εξαγωγής αποτελεσμάτων είχαν όμοια αποτελέσματα στις εδαφικές επιταχύνσεις και μικρές αποκλίσεις στις εδαφικές ταχύτητες και μετατοπίσεις. Οπότε, τα αποτελέσματα είναι αξιόπιστα και η εκτέλεση της διαδικασίας για την εξαγωγή τους ήταν σωστή.

### 2.5 Ημιστατιστική μέθοδος εκτίμησης σεισμικής επικινδυνότητας

#### 2.5.1 Το πρόγραμμα CRISIS

Η εκτίμηση σεισμικής επικινδυνότητας παρέχει θεμελιώδεις πληροφορίες για τη διαχείριση του σεισμικού κινδύνου για οποιαδήποτε περιοχή μελέτης. Στη σημερινή εποχή υπάρχουν διάφορα λογισμικά που εκτελούν πιθανολογικές μεθόδους εκτίμησης σεισμικής επικινδυνότητας, ένα από αυτά είναι και το CRISIS.

Η πρώτη έκδοση του λογισμικού αναπτύχθηκε το 1986 αποκλειστικά από τον καθηγητή Mario Ordaz, ο οποίος είναι και ο κύριος ερευνητής κάθε νέας έκδοσης του CRISIS σε γλώσσα προγραμματισμού FORTRAN (Ordaz, 1991). Το CRISIS99 ήταν η πρώτη έκδοση της γενιάς των Windows και μπορούσε να εκτελεστεί σε λειτουργικό σύστημα MS-DOS (περιβάλλον γραμμής εντολών που δημιουργήθηκε από τη Microsoft). Επίσης, ήταν και το πρώτο με Graphical User Interface (GUI), συνεπώς, επέτρεπε στον χρήστη να εισάγει δεδομένα και να βλέπει τα αποτελέσματα της ανάλυσης (Ordaz, 1999). Στον Πίνακα 2.11 αναγράφονται όλες οι αλλαγές στο λογισμικό από το 1998 έως και το 2015.

## 2. ΠΙΘΑΝΟΛΟΓΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ

ID to identify the version of CRISIS (Table 1)							
Features	98	99	03	07	08	12	15
GUI	-	x	x	x	x	x	x
<b>Seismic Sources Types</b>							
Area- Rectangular sources in a horizontal plane	x	x	x	x	x	x	x
Area-Polygons with any inclination	-	x	x	x	x	x	x
Fault Line	x	x	x	x	x	x	x
Fault 3D	-	x	x	x	x	x	x
Point	x	x	x	x	x	x	x
Allow to assign a depth distribution to each source	x	x	x	x	x	x	x
Allow to assign a style of faulting to each source	-	-	-	-	x	x	x
Rupture length & width modelling	-	-	x	x	x	x	x
<b>Magnitude Frequency distribution [MFD]</b>							
Gutenberg-Richter	x	x	x	x	x	x	x
Gaussian	-	-	-	-	x	x	x
Built-in	-	-	x	x	x	x	x
User Defined	x	x	x	x	x	x	x
Allow to assign different GMPEs per seismic source type	-	x	x	x	x	x	x
Truncation Max Ground Motion Value	-	x	x	x	x	x	x
Truncation No. of Sigma	-	x	x	x	x	x	x
Customizable units	x	x	x	x	x	x	x
<b>Logic Tree</b>							
Allow to define a logic tree	-	-	-	x	x	x	x

Πίνακας 2.11: Οι αλλαγές ανάμεσα σε κάθε αναβάθμιση του λογισμικού CRISIS. Το σύμβολο « - » σημαίνει πως το λογισμικό της αναφερόμενης χρονολογίας δεν έχει τη δυνατότητα που αναγράφεται στην κάθε γραμμή του Πίνακα 2.11 (Melendez et al., 2017).

Η πιθανολογική εκτίμηση της σεισμικής επικινδυνότητας στο CRISIS ακολουθεί την προσέγγιση του Cornell (1968), η οποία βελτιώθηκε από τον Esteva (1970) και προγραμματίστηκε από τον McGuire (1978). Εντάσσεται στην ημιστατιστική μέθοδο διότι επιτρέπει τη διαίρεση της περιοχής μελέτης σε σεισμικές ζώνες, σε κάθε μία από τις οποίες ορίζεται επιθυμητό σεισμικό μοντέλο από αυτά που διαθέτει το CRISIS. Στη συνέχεια, η πιθανολογική εκτίμηση της σεισμικής επικινδυνότητας πραγματοποιείται με στατιστική ανάλυση.

Τα σεισμικά μοντέλα είναι εκείνα που καλύπτουν την έλλειψη καταγραφών σεισμών σε μια σεισμική πηγή, εφαρμόζοντας στατιστικούς νόμους. Αν σε μια πηγή υπάρχουν λίγες καταγραφές σεισμών, οι παράμετροι  $a$  και  $b$  της σχέσης Gutenberg – Richter ή θα είναι αδύνατο να προσδιοριστούν ή θα εμπεριέχουν μεγάλα σφάλματα. Υπάρχουν τρία είδη μοντέλων που χρησιμοποιούνται στο CRISIS, τα δύο είναι μοντέλα κανονικής κατανομής (Poissonian models) σεισμικότητας και ονομάζονται Modified Gutenberg – Richter model και Characteristic earthquake model. Η διαφορά μεταξύ τους εντοπίζεται στον μαθηματικό τύπο υπολογισμού της πιθανότητας υπέρβασης της τιμής μιας παραμέτρου επικινδυνότητας. Το τρίτο είναι μοντέλο μη κανονικής κατανομής (non-Poissonian model) σεισμικότητας και οι πιθανότητες εκδήλωσης ενός καταστροφικού σεισμού εισάγονται από τον χρήστη.

## 2. ΠΙΘΑΝΟΛΟΓΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ

Στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο modified Gutenberg – Richter, καθώς αποτελεί την τροποποιημένη μορφή του μοντέλου Gutenberg – Richter για να εξυπηρετεί μελέτες σεισμικής επικινδυνότητας. Σύμφωνα με αυτό, η πιθανότητα υπέρβασης μιας παραμέτρου σεισμικής επικινδυνότητας ( $\alpha$ ) για τα επόμενα  $T$  έτη, θεωρώντας σεισμό μεγέθους  $M$  σε απόσταση  $R$ , υπολογίζεται από την παρακάτω εξίσωση:

$$Pe(\alpha, T|M, R) = 1 - e^{[-\Delta\lambda(M)T \times p_1(\alpha|M, R)]} \quad (40)$$

όπου  $\Delta\lambda(M)$ :

$$\Delta\lambda(M) = \lambda\left(\frac{M - \Delta M}{2}\right) - \lambda\left(\frac{M + \Delta M}{2}\right) \quad (41)$$

Το  $\lambda(M)$  είναι το ποσοστό υπέρβασης του μεγέθους  $M$  και υπολογίζεται με την παρακάτω σχέση:

$$\lambda(M) = \lambda_0 \frac{e^{(-\beta M)} - e^{(-\beta M_u)}}{e^{(-\beta M_0)} - e^{(-\beta M_u)}} \quad (42), \quad M_0 \leq M \leq M_u,$$

όπου  $\lambda_0$  είναι το ποσοστό υπέρβασης του μικρότερου παρατηρούμενου μεγέθους  $M_0$  για κάθε σεισμική ζώνη,  $b$  είναι η παράμετρος της σχέσης Gutenberg – Richter και  $M_u$  είναι το μέγιστο αναμενόμενο μέγεθος που υπολογίζεται με στατιστικές ή αιτιοκρατικές μεθόδους (στις τελευταίες συσχετίζεται το μέγεθος με παραμέτρους του ρήγματος, όπως το μήκος του). Η παράμετρος  $\beta$  ισούται με την παράμετρο  $b$  πολλαπλασιασμένη με το  $\ln(10)$  ( $\beta = b \cdot \ln(10)$ ), διότι έτσι κανονικοποιείται η κατανομή των διαφόρων τιμών  $b$ . Με αυτή τη διαδικασία γίνονται οι πράξεις στο CRISIS. Συνεπώς, ο χρήστης πρέπει να υπολογίσει και τη μεταβλητή  $\beta$ , αφού έχει υπολογίσει πρώτα την  $b$ .

Οι σεισμικές ζώνες περιγράφονται με συγκεκριμένα γεωμετρικά μοντέλα του CRISIS, όπως για παράδειγμα: α) επιφανειακές πηγές (area sources), όταν οι πηγές ψηφιοποιούνται σαν πολύγωνα, των οποίων οι συντεταγμένες των κορυφών δίνονται από τον χρήστη με φορά αντίστροφη της κίνησης των δεικτών του ρολογιού, β) γραμμικές πηγές (linear sources), όταν οι πηγές ψηφιοποιούνται με γραμμές (polylines) αποτελούμενες από σημεία συγκεκριμένων συντεταγμένων που ορίζονται από τον χρήστη, γ) σημειακές πηγές (point sources), όταν υπάρχει ένα σύνολο σημείων που το καθένα αποτελεί πιθανό υπόκεντρο σεισμού και δ) πηγές σε πλέγμα (gridded sources), όταν υπάρχουν σημειακές πηγές ευρισκόμενες σαν κόμβοι σε έναν κάρναβο παράλληλο με την επιφάνεια της Γης. Κάθε κόμβος θεωρείται πιθανό υπόκεντρο σεισμού. Το CRISIS επιτρέπει την εισαγωγή αυτών των μοντέλων ξεχωριστά σε μια μελέτη σεισμικής επικινδυνότητας.

Οι σχέσεις απόσβεσης που διαχειρίζεται η πιο πρόσφατη έκδοση του CRISIS (R-CRISIS V20) (Ordaz et al., 2021) είναι: α) υπάρχουσες σχέσεις απόσβεσης (built in GMPEs), οι οποίες παρουσιάζονται με μορφή λίστας και ο χρήστης μπορεί να επιλέξει κατευθείαν από αυτές (Πίνακας 2.12) και β) σχέσεις απόσβεσης σε μορφή πίνακα (GMPE tables). Αυτή η επιλογή επιτρέπει στον χρήστη να εισάγει οποιαδήποτε σχέση απόσβεσης επιθυμεί, αρκεί να έχει ετοιμάσει ένα αρχείο (.atn) συγκεκριμένης μορφής, όπου αναγράφονται τα αποτελέσματα της σχέσης απόσβεσης για μια πληθώρα μεγεθών που είναι οι γραμμές πίνακα για κάθε απόσταση (ανάλογα τη σχέση απόσβεσης) που είναι οι στήλες αντίστοιχα και γ) γενικευμένες σχέσεις απόσβεσης (generalized GMPEs), οι οποίες δεν αποτελούν συνάρτηση της παραμέτρου επικινδυνότητας με το μέγεθος του σεισμού και το είδος της απόστασης (και όποια άλλη μεταβλητή υπάρχει), αλλά ο χρήστης εισάγει αρχεία (footprints) όπου γίνεται ανάλυση της γεωγραφικής κατανομής της παραμέτρου σεισμικής επικινδυνότητας (χρήσιμο για περιοχές με ελάχιστο αριθμό δεδομένων). Τέλος, το R-CRISIS V20 μπορεί να φτιάξει υβριδικές

## 2. ΠΙΘΑΝΟΛΟΓΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ

σχέσεις απόσβεσης (hybrid GMPEs), οι οποίες αποτελούν συνδυασμό των προηγούμενων κατηγοριών σχέσεων απόσβεσης με συντελεστές βαρύτητας που καθορίζει ο χρήστης.

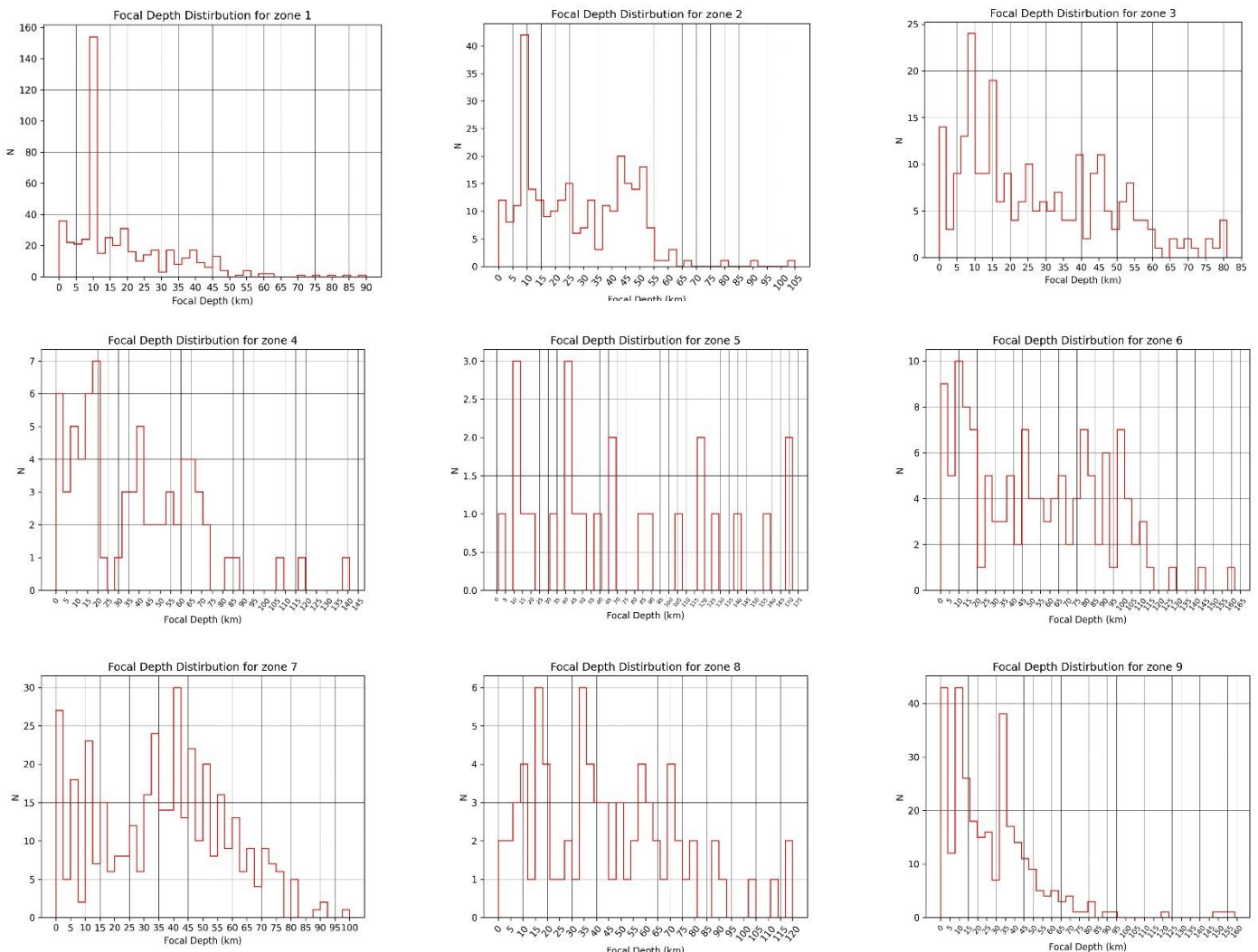
Reference	Magnitude range	Distance range	Spectral period range
Abrahamson and Silva (1997)	4.0-7.5	0.1-200 km	0.01-5.00 s
Abrahamson et al. (2014) NGA-West2	3.0-8.5	0-300 km	0.0-10.0 s
Abrahamson et al. (2016) BCHydro	5.0-8.4	1-300 km	0.0-3.0 s
Akkar and Bommer (2007)	5.0-7.6	1-100 km	0.0-4.0 s
Akkar and Bommer (2010)	5.0-7.6	1-100 km	0.0-3.0 s
Akkar et al. (2014)	4.0-8.0	0-200 km	0.005-4.0 s
Arroyo et al. (2010)	5.0-8.5	16-400 km	0.001-5.0 s
Atkinson and Boore (2003)	5.0-8.5	1-300 km	0.0-3.0 s
Atkinson and Boore (2006)	3.5-8.0	1-1000 km	0.01-5.0 s
Atkinson (2008)	4.3-7.6	10-1000 km	0.0-5.0 s
Bindi et al. (2011)	4.0-6.9	0.1-200 km	0.0-4.0 s
Bindi et al. (2017)	3.0-8.0	0.1-300 km	0.0-4.0 s
Boore and Atkinson (2008) NGA	5.0-8.0	1-200 km	0.0-10.0 s
Boore et al. (2014) NGA-West2	3.0-8.5	0-400 km	0.01-10.0 s
Campbell (2003)	5.0-8.2	1-1000 km	0.01 - 4.0 s
Campbell and Bozorgnia (2003)	5.0-7.5	1-60 km	0.03-4.0 s
Campbell and Bozorgnia (2008) NGA	4.0-8.5	0-200 km	0.0-10.0 s
Campbell and Bozorgnia (2014) NGA-West2	3.0-8.5	0-300 km	0.0-10.0 s
Cauzzi and Faccioli (2008)	5.0-7.2	6-150 km	0.01-20.0 s
Cauzzi et al. (2015)	4.5-8.0	0-150 km	0.0-10.0 s
Chávez (2006)	4.0-8.5	10-500 km	0.0-5.0 s
Chiou and Youngs (2008) NGA	4.0-8.5	0-200 km	0.0-10.0 s
Chiou and Youngs (2014) NGA-West2	3.5-8.0	0-300 km	0.0-10.0 s
Climent et al. (1994)	4.0-8.0	1-500 km	0.0-5.0 s
Contreras and Boroschek (2012)	5.0-9.0	20-600 km	0.0-2.0 s
Darzi et al. (2019)	4.5-7.4	0-200 km	0.01-10.0 s
Derras et al. (2014)	4.0-7.0	5-200 km	0.0-4.0 s
Derras et al. (2016)	3.5-7.3	3-300 km	0.0-4.0 s
Faccioli et al. (2010)	5.0-7.2	6-150 km	0-20 s
García et al. (2005)	5.0-8.0	0.1-400 km	0.0-5.0 s
Gómez (2017)	3.8-7.1	0.11-634 km	PGA
Idriss (2008)	5.0-8.5	0-200 km	0.01-10.0 s
Idriss (2014) NGA-West2	5.0-8.0	0-150 km	0.01-10.0 s
Jaimes et al. (2006)	5.0-8.4	150-500 km	0.01-6.0 s
Jaimes et al. (2015)	5.2-7.5	103-464 km	0.0-5.0 s
Kanno et al. (2006)	5.5-8.0	1-400 km	0.0-5.0 s
Lanzano et al. (2019)	4.0-8.0	0-200 km	0.04-10.0 s
Lin and Lee (2008)	4.0-8.0	20-250 km	0.0-5.0 s
McVerry et al. (2006)	5.25-8.0	0-400 km	0.0-3.0 s
Montalva et al. (2017)	5.0-9.0	0-300 km	0.01-10.0 s
Pankow and Pechmann (2004)	5.0-7.7	0-100 km	0.01-2.0 s
Pasolini et al. (2008)	4.0-7.0	0-140 km	PGA
Pezeshk and Zandieh (2011)	5.0-8.0	0.1-1000 km	0.0-10.0 s
Pezeshk et al. (2018)	4.0-8.0	0.1-1000 km	0.0-10.0 s
Reyes (1998)	5.0-8.6	150-450 km	0.0-6.0 s
Sabetta and Pugliese (1996)	4.6-6.8	1-100 km	0.1-4.0 s
Sadigh et al. (1997)	4.0-8.0	0.01-200 km	0.0-4.0 s
Sharma et al. (2009)	5.0-7.0	0-100 km	0.0-2.5 s
Spudich et al. (1999) SEA99	5.0-7.5	0.01-100 km	0.0-2.0 s
Tavakoli and Pezeshk (2005)	5.0-8.2	0-1000 km	0.0-4.0 s
Toro et al. (1997)	5.0-8.0	1-500 km	0.0-2.0 s
Yenier and Atkinson (2015)	3.0-8.0	0-600 km	0.0 - 10.0 s
Youngs et al. (1997)	5.0-8.5	10-500 km	0.0-3.0 s
Zhao et al. (2006)	5.0-9.0	0.4-300 km	0.0-5.0 s

Πίνακας 2.12: Κατάλογος με τις υπάρχουσες σχέσεις απόσβεσης του R-CRISIS V20 (Ordaz and Gálvez , 2020).

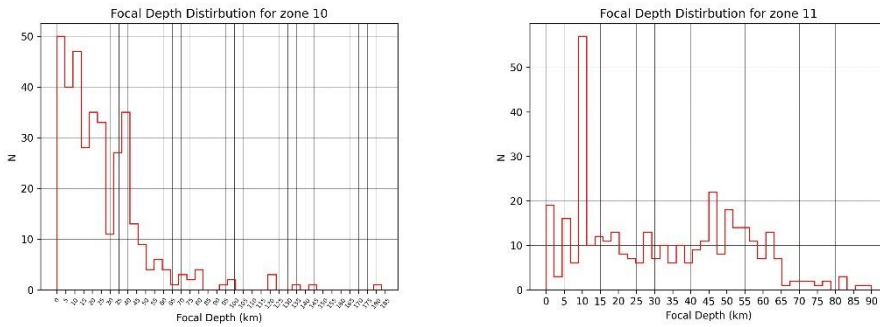


2.5.2 Έναρξη υπολογιστικής διαδικασίας

Το R-CRISIS για να υπολογίσει τις τιμές των παραμέτρων σεισμικής επικινδυνότητας πρέπει να διαβάσει κάποια δεδομένα που καταχωρεί ο χρήστης. Τα δεδομένα αυτά κατατάσσονται σε τρεις κατηγορίες: α) δεδομένα γεωμετρίας (geometry data), β) δεδομένα σεισμικότητας (seismicity data) και γ) δεδομένα απόσβεσης (attenuation data). Στα δεδομένα γεωμετρίας, ο χρήστης πρέπει να εισάγει το σεισμοτεκτονικό μοντέλο. Ανάλογα με το είδος του μοντέλου, αλλάζουν και οι παράμετροι που πρέπει να οριστούν σε επόμενο βήμα. Για το σεισμοτεκτονικό μοντέλο των επιφανειακών πηγών, ο χρήστης πρέπει κυρίως να ορίσει το βάθος της κάθε ζώνης. Αυτό προκύπτει από απλό αριθμητικό μέσο όρο των βαθών όλων των σεισμών μέσα στη ζώνη ή από ιστογράμματα για μεγαλύτερη ακρίβεια. Στην παρούσα διπλωματική εργασία, εισήχθησαν οι επιφανειακές σεισμικές πηγές (area sources) που έχει δημοσιεύσει ο φορέας του SHARE για όλη την Ευρώπη (Giardini et al., 2014). Εκμεταλλευόμενοι τις δυνατότητες του λογισμικού χαρτογράφησης arcmap, έγινε περικοπή των σεισμικών πηγών που ήταν μακριά από την περιοχή μελέτης (>100 km). Οι ζώνες που χρησιμοποιήθηκαν και το βάθος που επελέγη βάσει των ιστογραμμάτων κατανομής (Σχήμα 2.31) απεικονίζονται στον Πίνακα 2.13.



## 2. ΠΙΘΑΝΟΛΟΓΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ



Σχήμα 2.31: Τα ιστογράμματα εστιακών βαθών των ζωνών 1-11. Η αρίθμηση έχει ως εξής: 1) GRAS371, 2) GRAS372, 3) GRAS375, 4) GRAS376, 5) GRAS379, 6) GRAS381, 7) GRAS400, 8) GRAS402, 9) GRAS421, 10) GRAS976 και 11) GRAS975.

ID	Code	Depth (km)
1	GRAS371	20
2	GRAS372	25
3	GRAS375	15
4	GRAS376	20
5	GRAS379	15
6	GRAS381	20
7	GRAS400	17.5
8	GRAS402	20
9	GRAS421	15
10	GRAS976	15
11	GRAS975	12.5

Πίνακας 2.13: Σύνοψη αποτελεσμάτων βάθους για κάθε ζώνη.

Στα δεδομένα σεισμικότητας, πρέπει αρχικά να επιλεγθεί ένας κατάλογος σεισμών, ο οποίος όμως δεν ορίζεται άμεσα στο λογισμικό. Επιλέχθηκε ο κατάλογος σεισμών των Makropoulos et al. (2012) για να διατηρηθεί ομοιογένεια με την καθαρά στατιστική μέθοδο και λαμβάνοντας υπόψη ότι είναι ο πιο πρόσφατος δημοσιευμένος κατάλογος σεισμών του Ελλαδικού χώρου σε διεθνές περιοδικό. Για να δοθεί ο κατάλογος σεισμών στο R-CRISIS, πρέπει ο χρήστης να εισάγει κάποιες παραμέτρους που αλλάζουν ανάλογα με το σεισμικό μοντέλο που έχει επιλεγθεί. Έτσι, εφόσον έχει επιλεγθεί το μοντέλο modified Gutenberg-Richter, πρέπει να εισαχθούν οι τιμές των εξής παραμέτρων για κάθε ζώνη: α) παράμετρος  $b$  της Gutenberg-Richter όπως και η τιμή  $\beta$ , β) ελάχιστο μέγεθος ( $M_0$ ) που θεωρείται το μέγεθος πληρότητας ( $M_c$ ), γ) ο ρυθμός υπέρβασης του ελαχίστου μεγέθους ετησίως [ $\lambda(M_0)$ ] και δ) το μέγιστο αναμενόμενο μέγεθος ( $M_w$ ).

Η παράμετρος  $b$  της Gutenberg-Richter υπολογίστηκε για κάθε ζώνη ξεχωριστά, εφαρμόζοντας την εξίσωση μέγιστης πιθανοφάνειας που προτάθηκε από τον Aki (1965). Ο λόγος επιλογής αυτής της μεθόδου υπολογισμού του  $b$  είναι επειδή δεν θα ληφθούν υπόψη σεισμοί με μεγάλο μέγεθος που έγιναν λίγες φορές (διότι η λύση της εξίσωσης δίνεται από τον estimator, δηλαδή την τιμή  $b$  που η πιθανότητα εμφάνισης της είναι μέγιστη). Η εξίσωση είναι η εξής (43):

$$b = \frac{\log_{10} e}{M - (M_c - \frac{\Delta m}{2})} \quad (43)$$

όπου  $M$  είναι η μέση τιμή των μεγεθών  $M \geq M_c$  και  $\Delta m$  είναι το σφάλμα του εκάστοτε μεγέθους (συνήθως ίσο με 0.1). Γίνεται αντιληπτό πως η παράμετρος  $b$  εξαρτάται από το μέγεθος πληρότητας

## 2. ΠΙΘΑΝΟΛΟΓΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ

( $M_c$ ). Άρα, πρέπει να είναι σωστός ο υπολογισμός του μεγέθους πληρότητας έτσι ώστε να μην είναι λάθος και η τελική τιμή της παραμέτρου  $b$  και ακολούθως της  $\beta$ . Υπάρχουν πολλοί μέθοδοι για να υπολογισθεί το μέγεθος πληρότητας. Οι ευρέως χρησιμοποιούμενες είναι: α) η μέθοδος maximum curvature (MAXC) που προτάθηκε από τους Wiemer and Wyss (2000), β) η μέθοδος goodness-of-fit (GFT) που προτάθηκε από τους Wiemer and Wyss (2000) και γ) η μέθοδος entire magnitude range (EMR) που προτάθηκε από τους Woessner and Wiemer (2005). Χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος MAXC διότι έχει αποδειχθεί σταθερή και δεν επηρεάζεται από το πλήθος των σεισμών σε μια ζώνη όσο οι υπόλοιπες μέθοδοι (Wiemer and Wyss, 1997; Zhou et al., 2018; Lamessa et al., 2019). Οι παράμετροι  $b$  και  $M_c$  υπολογίστηκαν από το λογισμικό στατιστικής επεξεργασίας σεισμικών δεδομένων ZMAP (Wiemer, 2001). Ο ρυθμός υπέρβασης του ελαχίστου μεγέθους ετησίως,  $\lambda(M_c)$  υπολογίστηκε με απλή μέθοδο των τριών σε υπολογιστικό φύλλο excel. Το μέγιστο αναμενόμενο μέγεθος υπολογίζεται από στατιστικές ή αιτιοκρατικές μεθόδους. Θεωρείται δεδομένο πως θα είναι πάντα μεγαλύτερο του μεγαλύτερου σε μέγεθος σεισμού που έχει συμβεί σε κάθε ζώνη. Για αυτή τη σεισμική παράμετρο, λήφθηκε υπόψη ο πίνακας δεδομένων που παρέχει ο φορέας SHARE (Giardini et al., 2014) διότι είναι οι τιμές είναι μεγαλύτερες από το μέγιστο παρατηρηθέν μέγεθος σεισμού σε κάθε ζώνη. Επίσης, σύμφωνα με την εργασία των Slejko et al. (2010), δεν υπάρχει ρήγμα που να προκαλέσει σεισμό μεγαλύτερο από  $M=7.5$ . Οι τιμές των σεισμικών παραμέτρων συνοψίζονται στον Πίνακα 2.14.

ID	Code	b	$\beta$	$M_c$	$\lambda(M_c)$	$M_u$	$M_{\max(\text{obs})}$
1	GRAS371	0.9	2.07	4.1	4.62	7.5	7.0
2	GRAS372	0.88	2.03	4.2	1.96	7.1	6.6
3	GRAS375	0.85	1.96	4.2	1.86	7.5	6.3
4	GRAS376	1.09	2.51	4.4	0.46	7.5	5.7
5	GRAS379	0.93	2.14	4.6	0.13	7.5	6.0
6	GRAS381	0.77	1.77	4.3	0.95	7.5	6.8
7	GRAS400	1.12	2.58	4.3	2.75	7.1	6.3
8	GRAS402	0.78	1.80	4.4	0.51	7.5	6.5
9	GRAS421	1.00	2.30	4.1	2.74	7.5	6.4
10	GRAS976	0.9.0	2.07	4.1	3.28	7.5	6.4
11	GRAS975	1.04	2.39	4.4	2.12	7.5	6.6

**Πίνακας 2.14:** Οι σεισμικοί παράμετροι για κάθε ζώνη. Η στήλη  $M_{\max(\text{obs})}$  είναι η μέγιστη παρατηρηθείσα τιμή μεγέθους σεισμού σε κάθε ζώνη.

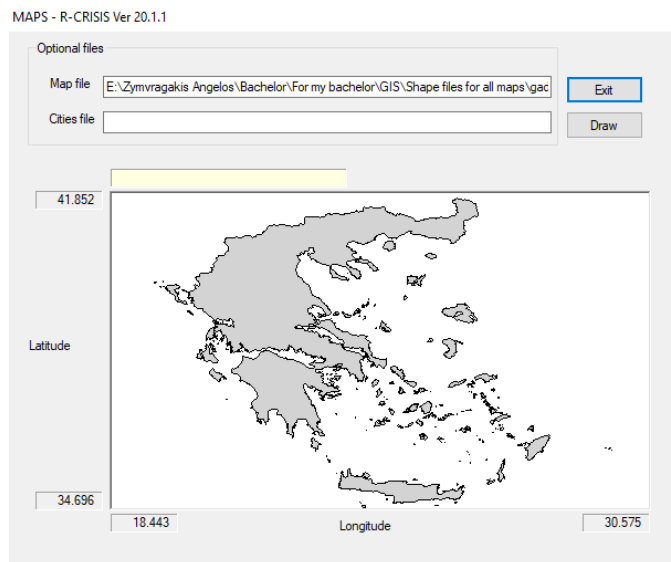
Για τα δεδομένα απόσβεσης θα χρησιμοποιηθούν οι σχέσεις απόσβεσης που αναφέρθηκαν σε προηγούμενο Κεφάλαιο. Ωστόσο, το λογισμικό R-CRISIS δίνει την δυνατότητα να κατασκευαστούν υβριδικές σχέσεις απόσβεσης με βάρη που ορίζει ο χρήστης. Στην παρούσα διπλωματική εργασία, δημιουργήθηκαν υβριδικές σχέσεις για κάθε σχέση απόσβεσης, στις οποίες λήφθηκαν υπόψη τα ποσοστά συμμετοχής των διαφόρων μηχανισμών γένεσης σε κάθε ζώνη. Για παράδειγμα, μια ζώνη μπορεί να έχει 40% ανάστροφους μηχανισμούς γένεσης, 30% κανονικούς και 30% οριζόντιας ολίσθησης. Η υβριδική σχέση απόσβεσης θα φτιαχτεί με συντελεστή 0.4 για τους ανάστροφους μηχανισμούς γένεσης και 0.6 συνολικά για τους άλλους δύο τύπους μηχανισμών γένεσης. Οι σχέσεις απόσβεσης που επιλέχθηκαν ωστόσο, αναθέτουν τον ίδιο συντελεστή για τους ανάστροφους και τους οριζόντιας ολίσθησης μηχανισμούς γένεσης, με αποτέλεσμα να εξεταστεί το ποσοστό των κανονικών και των μη κανονικών τύπων μηχανισμών γένεσης. Σημειώνεται πως πρώτα θα υπολογιστούν οι τιμές PGA, PGV και PGD για τις σχέσεις απόσβεσης που χρησιμοποιήθηκαν στην καθαρά στατιστική μέθοδο για σύγκριση και μετά θα υπολογιστούν τα PGA, PGV και PGD με τις σχέσεις απόσβεσης που αναφέρθηκαν. Όλα τα δεδομένα για την έναρξη της υπολογιστικής διαδικασίας συγκεντρώνονται στον Πίνακα 2.15.

## 2. ΠΙΘΑΝΟΛΟΓΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ

ID	Code	% Not N	% N	$M_{\max(\text{obs})}$	$M_u$	Depth (km)	b	$\beta$	$M_c$	$\lambda(M_c)$
1	GRAS371	85	15	7	7.5	20	0.9	2.07	4.1	4.62
2	GRAS372	90	10	6.6	7.1	25	0.88	2.03	4.2	1.96
3	GRAS375	40	60	6.3	7.5	15	0.85	1.96	4.2	1.86
4	GRAS376	85	15	5.7	7.5	20	1.09	2.51	4.4	0.46
5	GRAS379	20	80	6	7.5	15	0.93	2.14	4.6	0.13
6	GRAS381	50	50	6.8	7.5	20	0.77	1.77	4.3	0.95
7	GRAS400	85	15	6.3	7.1	17.5	1.12	2.58	4.3	2.75
8	GRAS402	85	15	6.5	7.5	20	0.78	1.8	4.4	0.51
9	GRAS421	80	20	6.4	7.5	15	1	2.3	4.1	2.74
10	GRAS976	50	50	6.4	7.5	15	0.9	2.07	4.1	3.28
11	GRAS975	85	15	6.6	7.5	12.5	1.04	2.39	4.4	2.12

**Πίνακας 2.15:** Σύνοψη όλων των δεδομένων για την έναρξη της υπολογιστικής διαδικασίας. Η στήλη % Not N αντιπροσωπεύει το ποσοστό των ανάστροφων και των οριζόντιας ολίσθησης μηχανισμών γένεσης σε κάθε ζώνη. Η στήλη % N αντιπροσωπεύει το ποσοστό των κανονικών μηχανισμών γένεσης σε κάθε ζώνη. Αυτή η πληροφορία θα χρειαστεί για τον καθορισμό των βαρών σε κάθε υβριδική σχέση απόσβεσης.

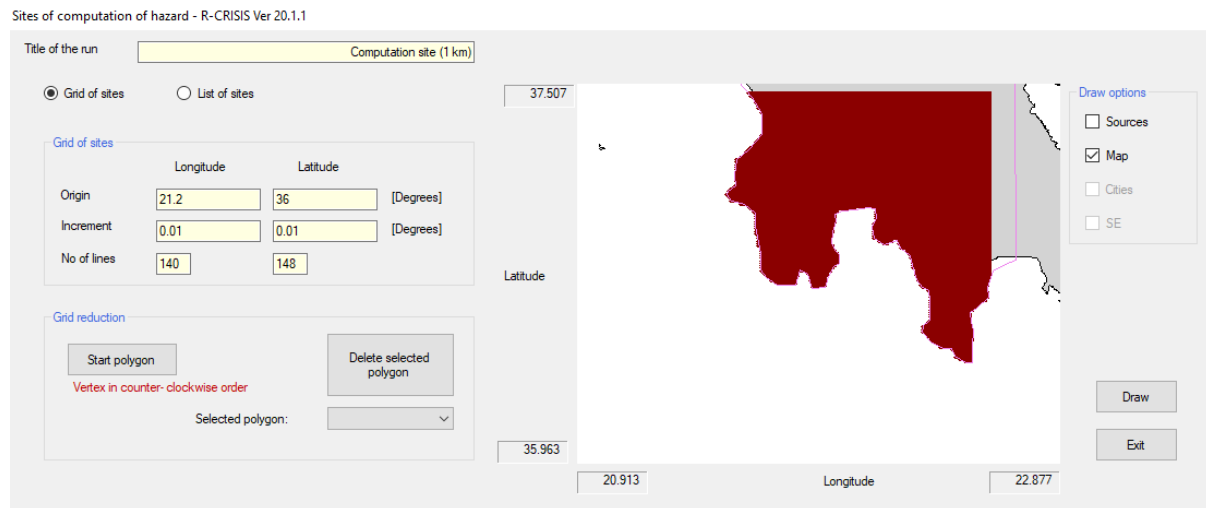
Σε αυτή την Παράγραφο θα αναλυθούν πλήρως τα βήματα που ακολουθήθηκαν για τη δημιουργία χαρτών σεισμικής επικινδυνότητας, συνοδευμένα με φωτογραφικό υλικό από το μενού κάθε επιλογής του R-CRISIS V20. Στο Σχήμα 2.32 (map data) εισάχθηκε η ακτογραμμή της Ελλάδος χωρίς αρχείο με τις πόλεις.



**Σχήμα 2.32:** Το πεδίο map data του R-CRISIS V20.

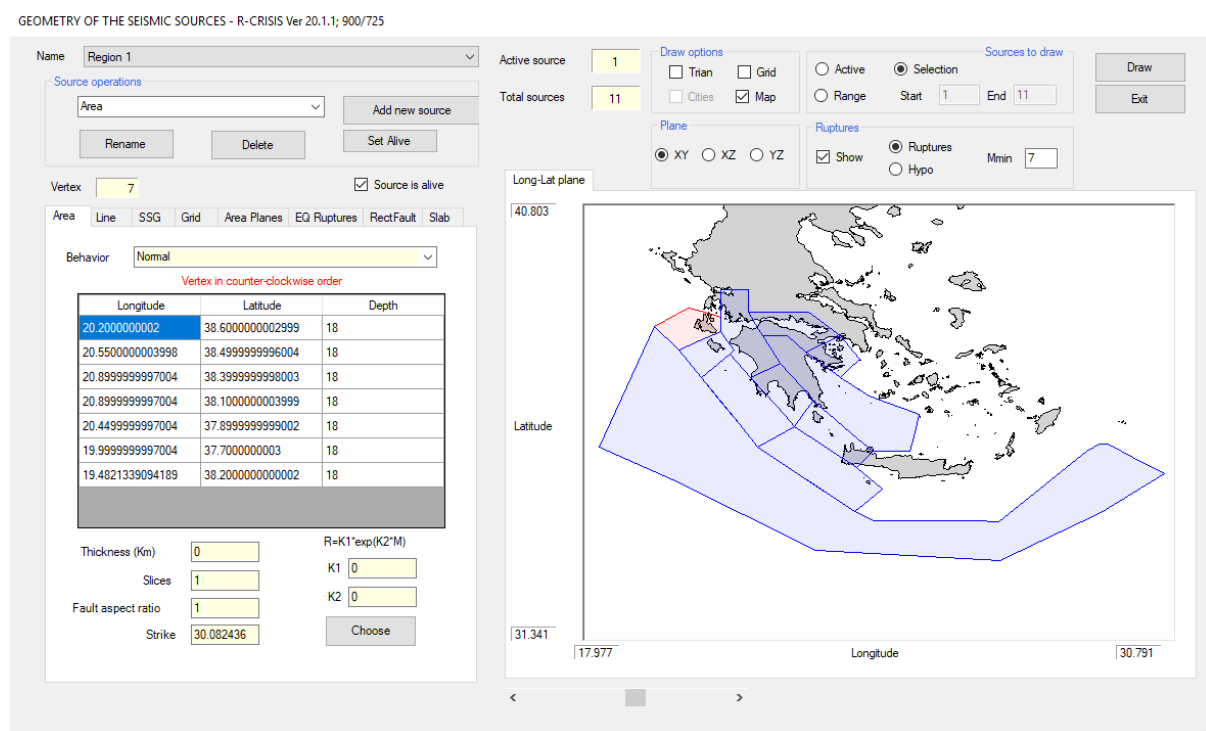
Σε επόμενο βήμα ορίστηκε το πλέγμα στο οποίο θα γίνουν οι υπολογισμοί προκειμένου να εξαχθούν οι τιμές των παραμέτρων σεισμικής επικινδυνότητας. Για να είναι δυνατή η σύγκριση των αποτελεσμάτων με τη μέθοδο ακραίων τιμών, ορίστηκε η ίδια περιοχή μελέτης, δηλαδή Γ.Π: 36.00°B – 37.50°B, Γ.Μ: 21.20°A – 22.60°A με βήμα 1 km. Για τη μείωση του υπολογιστικού χρόνου, το πλέγμα κόπηκε (Σχήμα 2.33).

## 2. ΠΙΘΑΝΟΛΟΓΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ



Σχήμα 2.33: Το πλέγμα που σχεδιάστηκε για να καλύψει την περιοχή μελέτης. Σημασία έχει η πυκνότητα των σημείων καθώς υπάρχουν 140 σημεία στο γεωγραφικό μήκος και 148 στο γεωγραφικό πλάτος (πριν κοπεί το πλέγμα με ελεύθερη σχεδίαση).

Στη συνέχεια, στον χάρτη του Σχήματος 2.34 φαίνονται οι 11 σεισμικές πηγές που λήφθηκαν υπόψη για να εξαχθούν τα αποτελέσματα των σεισμικών παραμέτρων στην παρούσα διπλωματική εργασία.



Σχήμα 2.34: Το πεδίο όπου ο χρήστης ορίζει τις σεισμικές πηγές στο λογισμικό R-CRISIS V20. Δεξιά απεικονίζονται όλες οι σεισμικές πηγές για την περιοχή μελέτης (το κόκκινο χρώμα στην πηγή της Κεφαλλονιάς δηλώνει πως είναι επιλεγμένη από τον χρήστη για τροποποίηση).

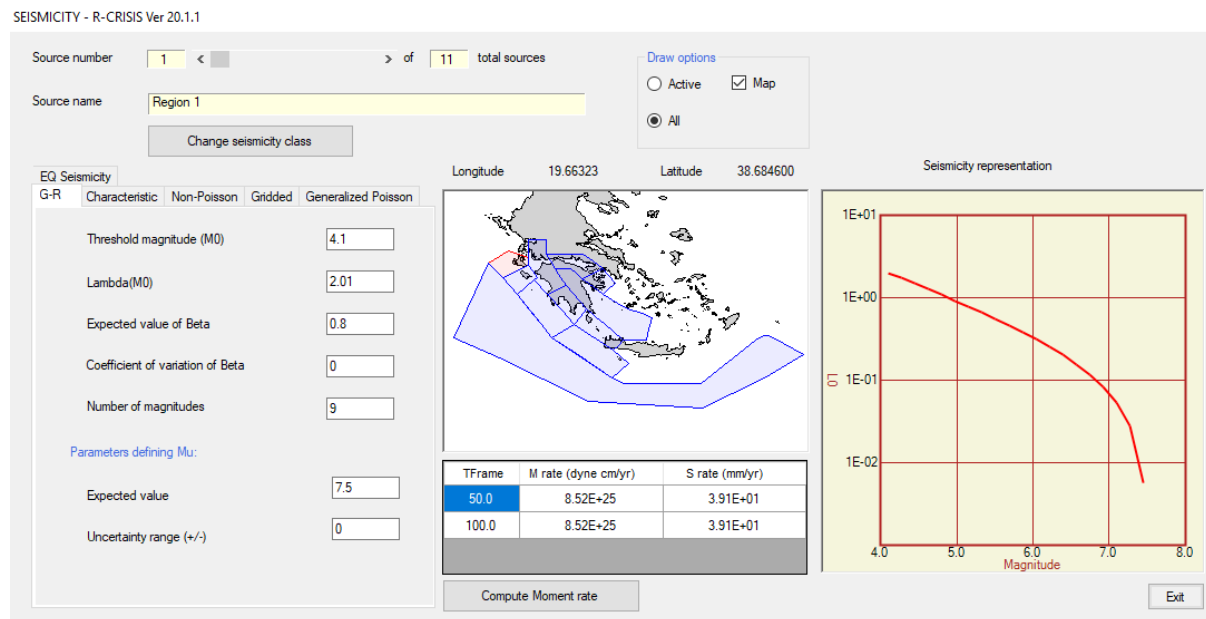
Τα πεδία K1, K2 του Σχήματος 2.34 έχουν τιμή μηδέν διότι η απόσταση που θα χρησιμοποιηθεί είναι η επικεντρική ( $R_{EPI}$ ) οπότε, σύμφωνα με τους Ordaz and Gálvez (2020), δεν χρειάζεται να έχουν τιμή. Αυτό συμβαίνει διότι τα πεδία K1, K2 είναι σταθερές που συνδέουν το μέγεθος του σεισμού με

## 2. ΠΙΘΑΝΟΛΟΓΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ

την επιφάνεια του επιπέδου διάρρηξης, του οποίου οι διαστάσεις ενδιαφέρουν μόνο όταν χρησιμοποιείται η απόσταση Joyne and Boore ( $R_{JB}$ ) ή η απόσταση από το επίπεδο διάρρηξης ( $R_{RUP}$ ).

Οι σεισμικές ζώνες του SHARE (Giardini et al., 2014) δεν έχουν όγκο, οπότε το πεδίο thickness λαμβάνει την τιμή 0. Ο λόγος διαστάσεων (μήκος και πλάτος) των ρηγμάτων εντός της κάθε ζώνης θεωρήθηκε ίσος με 1 (fault aspect ratio = 1). Το μέσο αζιμούθιο των ρηγμάτων για κάθε ζώνη δίνεται από τους Giardini et al. (2014) σαν τέσσερις τιμές με συντελεστές βαρύτητας.

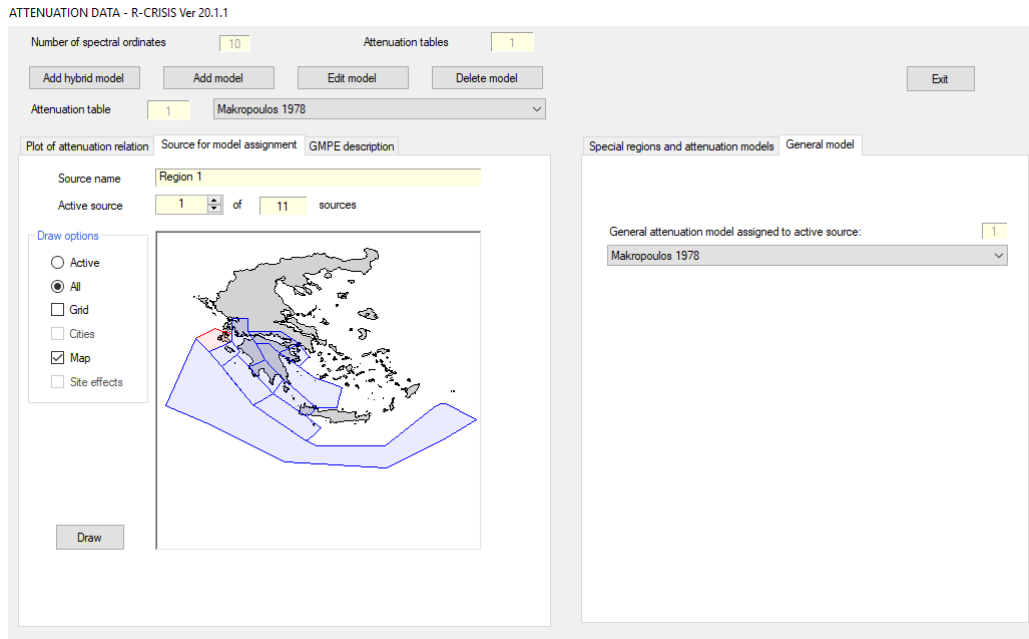
Στο επόμενο πεδίο του R-CRISIS V20, ο χρήστης εισάγει τις σεισμικές παραμέτρους που χαρακτηρίζουν την κάθε σεισμική ζώνη (Σχήμα 2.35).



**Σχήμα 2.35:** Το μενού seismicity data του R-CRISIS V20. Στο κέντρο απεικονίζεται ο χάρτης της χώρας μαζί με τις 11 σεισμικές ζώνες του SHARE, ενώ με κόκκινο χρώμα απεικονίζεται η ζώνη της Κεφαλλονιάς διότι έχει επιλεγεί από τον χρήστη. Στο αριστερό πλαίσιο εισάγονται οι τιμές για τα πεδία που αναφέρονται στο κείμενο και δεξιά απεικονίζεται το διάγραμμα μεγέθους συναρτήσεως του ρυθμού υπέρβασής του ετησίως. Αφού οριστούν τα πεδία, το λογισμικό υπολογίζει τη μέση σεισμική ροπή και τη μέση ολίσθηση των ρηγμάτων εντός της ζώνης για χρόνους που ορίζει ο χρήστης σε επόμενο στάδιο (τιμές άνω της επιλογής compute moment rate).

Το προτελευταίο στάδιο είναι να οριστούν σχέσεις απόσβεσης για κάθε σεισμική ζώνη (Σχήμα 2.36). Όπως αναφέρθηκε στην αρχή της Παραγράφου 2.5, ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να εισάγει στο λογισμικό οποιαδήποτε σχέση απόσβεσης επιθυμεί, δημιουργώντας ένα αρχείο με κατάληξη ATN (από τον αγγλικό όρο attenuation). Για να είναι δόκιμη η σύγκριση με τη μέθοδο ακραίων τιμών, δημιουργήθηκε αρχείο ATN για τη σχέση απόσβεσης του Makropoulos (1978) (για εδαφική επιτάχυνση) και των Orphal and Lahoud (1974) (για εδαφική ταχύτητα και μετατόπιση). Τέλος, σημειώνεται πως δεν διαφοροποιήθηκε σε αυτό το στάδιο η σχέση απόσβεσης μεταξύ των σεισμικών ζωνών.

## 2. ΠΙΘΑΝΟΛΟΓΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ



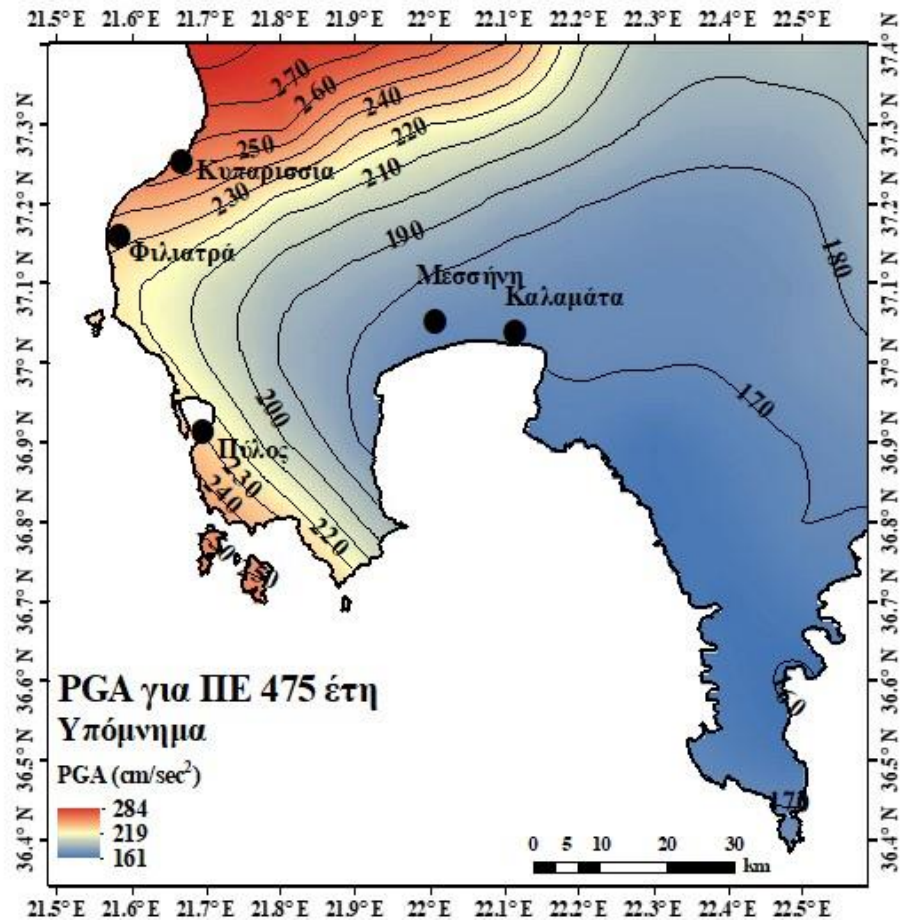
Σχήμα 2.36: Το πεδίο στο οποίο ορίζει ο χρήστης τη σχέση απόσβεσης για κάθε σεισμική ζώνη. Στο αριστερό πλαίσιο απεικονίζονται οι 11 σεισμικές ζώνες με το κόκκινο χρώμα να το έχει η ζώνη της Κεφαλονιάς επειδή είναι επιλεγμένη.

### 2.5.3 Παρουσίαση αποτελεσμάτων R-CRISIS

#### 2.5.3.1 Μέγιστη αναμενόμενη εδαφική επιτάχυνση (PGA)

Δημιουργήθηκαν δύο χάρτες μέγιστης αναμενόμενης εδαφικής επιτάχυνσης (PGA) για περίοδο επανάληψης 475 και 950 έτη (Σχήματα 2.37, 2.38 αντίστοιχα). Η σχέση απόσβεσης που χρησιμοποιήθηκε είναι του Makropoulos (1978) και εφαρμόστηκε σε κάθε μία από τις 11 σεισμικές ζώνες του SHARE.

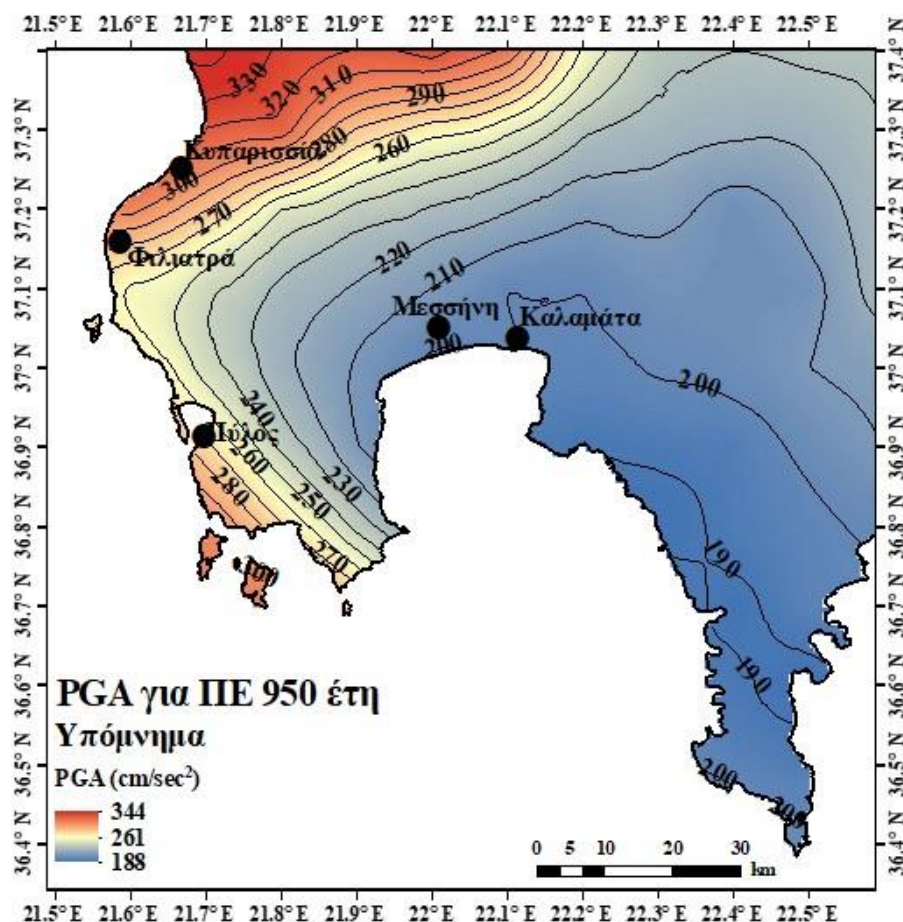
## 2. ΠΙΘΑΝΟΛΟΓΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ



Σχήμα 2.37: Χάρτης μέγιστης αναμενόμενης εδαφικής επιτάχυνσης (PGA) με 90% πιθανότητα μη υπέρβασης στα επόμενα 50 χρόνια (περίοδο επανάληψης Π.Ε. = 475 έτη) με αποτελέσματα που λήφθηκαν από τη μέθοδο modified Gutenberg – Richter στο λογισμικό R-CRISIS V20 με χρήση της σχέσης απόσβεσης του Makropoulos (1978).

Οι μεγαλύτερες τιμές εδαφικής επιτάχυνσης ( $284 \text{ cm/sec}^2$ ) εντοπίζονται ΒΒΑ της Κυπαρισσίας. Υπάρχει μια στενή ζώνη με τιμές στο διάστημα  $[210, 220] \text{ cm/sec}^2$  ανάμεσα στα Φίλιατρα και την Πύλο. Η υπόλοιπη περιοχή μελέτης μέχρι τη Μεσσήνη και την Καλαμάτα έχει τιμές στο διάστημα  $[180, 210] \text{ cm/sec}^2$ , ενώ αυτές οι δύο έχουν τιμές στο εύρος  $(170, 180] \text{ cm/sec}^2$ . Οι χαμηλότερες τιμές απαντώνται στο ΝΑ άκρο της περιοχής μελέτης, στον Λακωνικό Κόλπο με τιμές  $\approx 160 \text{ cm/sec}^2$ . Γενικά, η χωρική κατανομή της εδαφικής επιτάχυνσης συνάδει με την ενεργό τεκτονική της περιοχής και τους σημαντικούς σεισμούς που έχουν γίνει κατά το χρονικό διάστημα 1900 – 2020 (βλ. Παράγραφο 2.4.5.1 και 2.4.5.2).





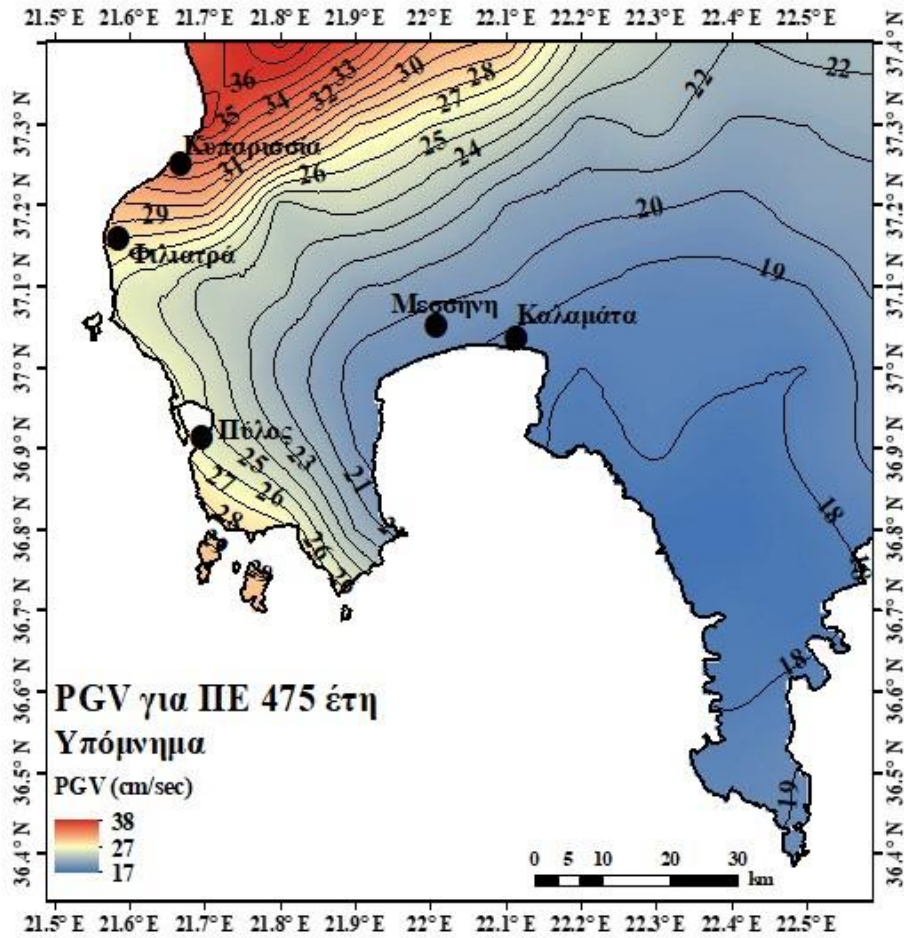
Σχήμα 2.38: Χάρτης μέγιστης αναμενόμενης εδαφικής επιτάχυνσης (PGA) με 90% πιθανότητα μη υπέρβασης στα επόμενα 100 χρόνια (περίοδο επανάλιψης Π.Ε. = 950 έτη) με αποτελέσματα που λήφθηκαν από τη μέθοδο modified Gutenberg – Richter στο λογισμικό R-CRISIS V20 με χρήση της σχέσης απόσβεσης του Makropoulos (1978).

Όπως ήταν αναμενόμενο, οι τιμές της εδαφικής επιτάχυνσης αυξήθηκαν για όλη την περιοχή μελέτης. Η ελάχιστη τιμή εντοπίζεται στην ίδια περιοχή όπως και στο Σχήμα 2.37 και είναι ίση με 188 cm/sec<sup>2</sup>. Παρατηρώντας το υπόμνημα του Σχήματος 2.37, η ελάχιστη τιμή είναι 161 cm/sec<sup>2</sup>, που σημαίνει ότι δεν υπάρχει μεγάλη απόκλιση με αυτή του Σχήματος 2.38. Οι σημαντικές διαφοροποιήσεις εντοπίζονται στην περιοχή των υψηλών τιμών, ΒΒΑ της Κυπαρισσίας, καθώς φθάνουν και τα 344 cm/sec<sup>2</sup>, ενώ για την ίδια περιοχή η τιμή για Π.Ε. = 475 έτη είναι 284 cm/sec<sup>2</sup> (Σχήμα 2.37). Μάλιστα, αυτή η τιμή βρίσκεται περίπου στο ενδιάμεσο πεδίο των τιμών του Σχήματος 2.38. Άρα, συγκρίνοντας τα αποτελέσματα των Σχημάτων 2.37 και 2.38, γίνεται κατανοητό πως για ένα συγκεκριμένο πεδίο τιμών υπάρχει επικάλυψη των δύο χαρτών. Εφόσον, η χωρική κατανομή των αποτελεσμάτων είναι ίδια με αυτή του Σχήματος 2.37, τότε οι παράγοντες επηρεασμού αυτών είναι ίδιοι (σεισμοτεκτονική).

### 2.5.3.2 Μέγιστη αναμενόμενη εδαφική ταχύτητα (PGV)

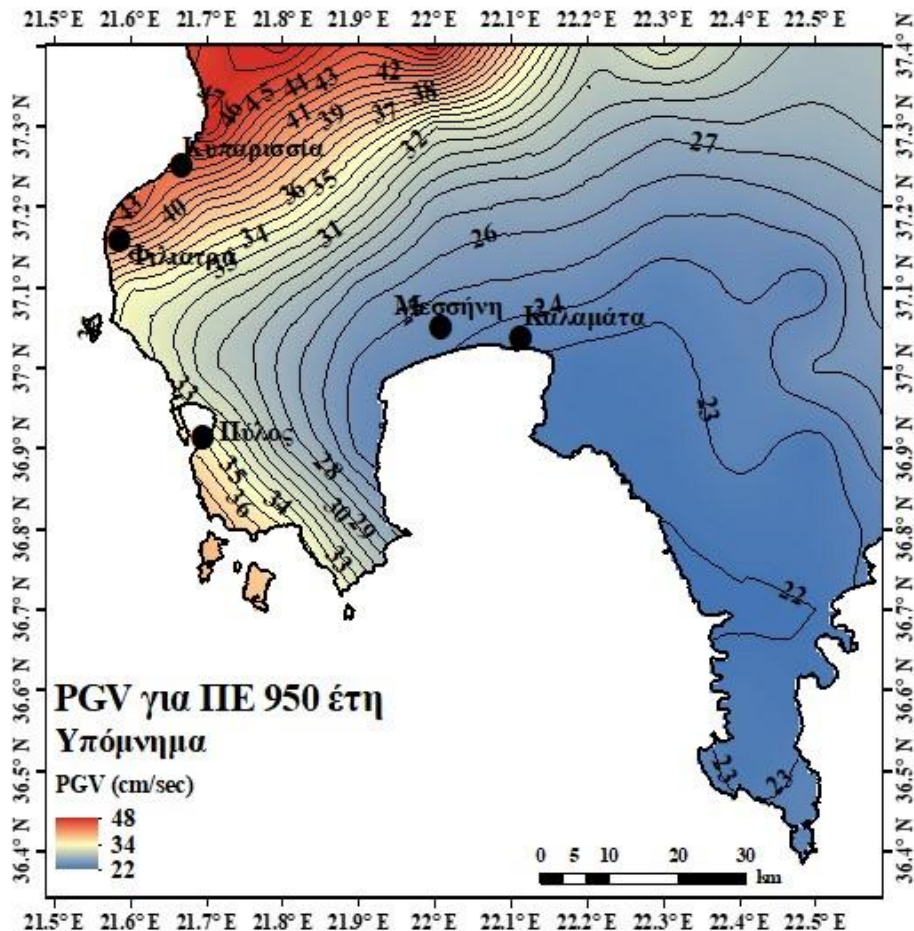
Δημιουργήθηκαν δύο χάρτες μέγιστης αναμενόμενης εδαφικής ταχύτητας (PGV) για περιόδους επανάλιψης 475 και 950 έτη (Σχήματα 2.39, 2.40 αντίστοιχα). Η σχέση απόσβεσης που χρησιμοποιήθηκε είναι των Orphal and Lahoud (1974) και εφαρμόστηκε σε κάθε μια από τις 11 σεισμικές ζώνες των Giardini et al. (2014). Πρέπει να σημειωθεί πως η σχέση απόσβεσης δεν δημιουργήθηκε από ελληνικά δεδομένα, οπότε αναμένεται σφάλμα όταν εφαρμόζεται σε σεισμικές ζώνες του ελλαδικού χώρου. Η εφαρμογή της εξυπηρετεί στη δόκιμη σύγκριση με τα αποτελέσματα της μεθόδου ακραίων τιμών.

## 2. ΠΙΘΑΝΟΛΟΓΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ



Σχήμα 2.39: Χάρτης μέγιστης αναμενόμενης εδαφικής ταχύτητας (PGV) με 90% πιθανότητα μη υπέρβασης στα επόμενα 50 χρόνια (περίοδο επανάληψης Π.Ε. = 475 έτη) με αποτελέσματα που λήφθηκαν από τη μέθοδο modified Gutenberg – Richter στο λογισμικό R-CRISIS V20.

Η χωρική κατανομή των τιμών είναι ίδια των Σχημάτων 2.37 και 2.38, οι υψηλότερες τιμές,  $\approx 38$  cm/sec εντοπίζονται ΒΒΑ των Κυπαρισσιών. Οι περιοχές που εντοπίζονται στη δυτική ακτογραμμή έχουν τιμές [29, 35] cm/sec, ενώ η περιοχή γύρω από τη Μεσσήνη και την Καλαμάτα, καθώς και η χέρσος άνω του Λακωνικού κόλπου, ανήκει στο διάστημα [17, 20] cm/sec. Η χωρική κατανομή του χαμηλότερου διαστήματος τιμών ταυτίζεται με τα δύο προηγούμενα Σχήματα.



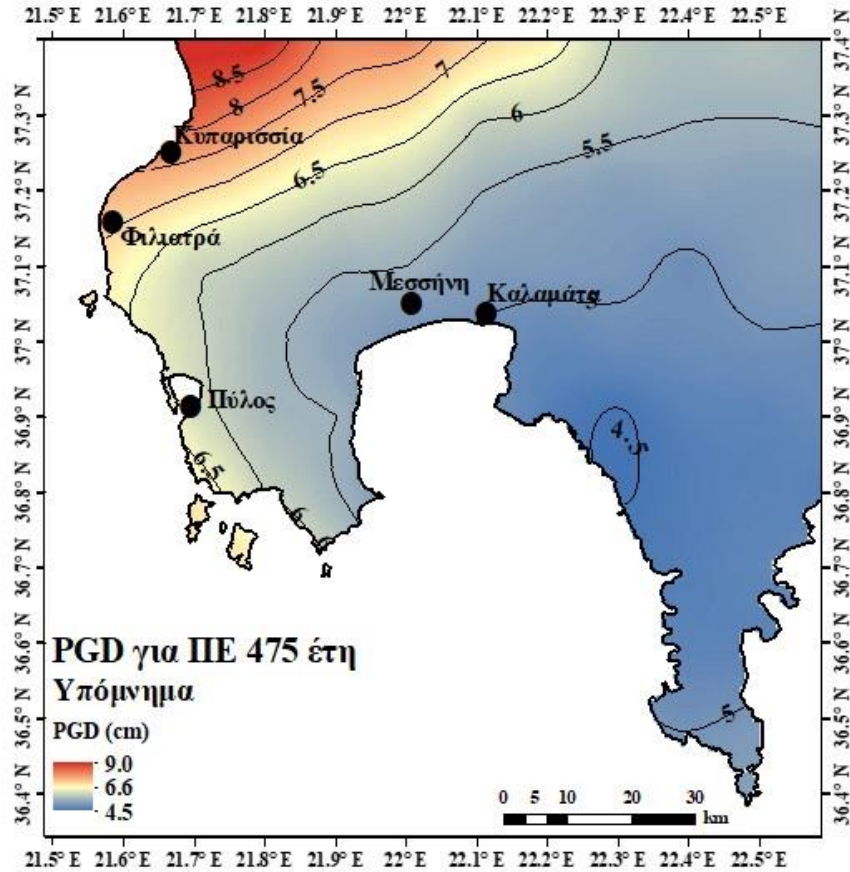
Σχήμα 2.40: Χάρτης μέγιστης αναμενόμενης εδαφικής ταχύτητας (PGV) με 90% πιθανότητα μη υπέρβασης στα επόμενα 100 χρόνια (περίοδο επανάλυσης Π.Ε. = 950 έτη) με αποτελέσματα που λήφθηκαν από τη μέθοδο modified Gutenberg – Richter στο λογισμικό R-CRISIS V20.

Παρατηρείται η ίδια αύξηση τιμών με τους χάρτες εδαφικής επιτάχυνσης, καθώς η υψηλότερη τιμή του Σχήματος 2.39 εντοπίζεται περίπου στο μεσαίο διάστημα τιμών, ενώ η χαμηλότερη τιμή του Σχήματος 2.40 είναι αυξημένη κατά περίπου 5 cm/sec. Αυτό ήταν αναμενόμενο διότι η υπολογιστική διαδικασία που ακολουθήθηκε ήταν η ίδια με τους χάρτες εδαφικής επιτάχυνσης. Οπότε το υψηλότερο διάστημα τιμών εντοπίζεται ΒΑ της Κυπαρισσίας με τιμές στο διάστημα [41, 48] cm/sec, στη συνέχεια, το διάστημα [36, 48] cm/sec στη δυτική ακτογραμμή (Φιλιατρά, Πύλος), το διάστημα [23, 25] cm/sec στις Μεσσήνη, Καλαμάτα, και τέλος το μικρότερο διάστημα στην χέρσο του Λακωνικού κόλπου με τιμές [22, 23] cm/sec.

### 2.5.3.3 Μέγιστη αναμενόμενη εδαφική μετατόπιση (PGD)

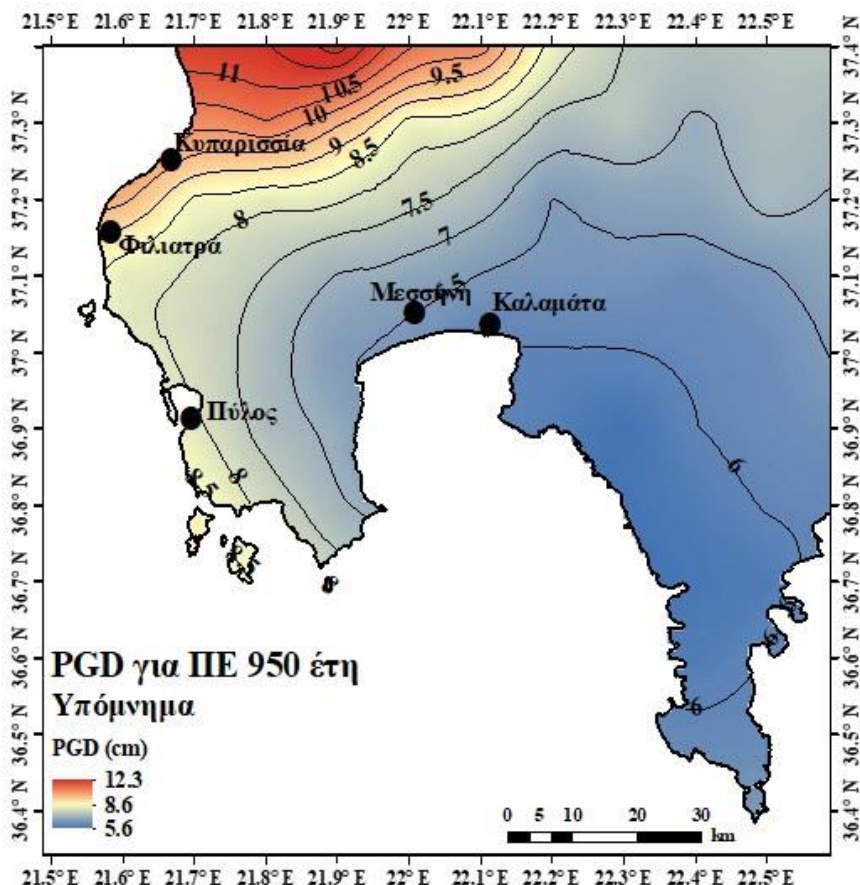
Δημιουργήθηκαν δύο χάρτες μέγιστης αναμενόμενης εδαφικής μετατόπισης (PGD) για περιόδους επανάλυσης 475 και 950 ετών (Σχήματα 2.41, 2.42 αντίστοιχα). Η σχέση απόσβεσης που χρησιμοποιήθηκε είναι των Orphal and Lahoud (1974) και εφαρμόστηκε σε κάθε μία από τις 11 σεισμικές ζώνες του SHARE. Τα παρακάτω αποτελέσματα συνοδεύονται από υψηλά σφάλματα, διότι από τη φύση της αυτή η σεισμική παράμετρος εμφανίζει σφάλματα και στη συγκεκριμένη περίπτωση υπολογίστηκε με την αναφερόμενη σχέση απόσβεσης που δεν εξυπηρετεί ελληνικά δεδομένα.

## 2. ΠΙΘΑΝΟΛΟΓΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ



Σχήμα 2.41: Χάρτης μέγιστης αναμενόμενης εδαφικής μετατόπισης (PGD) με 90% πιθανότητα μη υπέρβασης στα επόμενα 50 χρόνια (περίοδο επανάληψης Π.Ε. = 475 έτη) με αποτελέσματα που λήφθηκαν από την ημιστατιστική μέθοδο στο λογισμικό R-CRISIS V20.

Η χωρική κατανομή είναι παρόμοια με όλα τα υπόλοιπα Σχήματα. Οι Κυπαρισσία, Φιλιατρά, Πύλος και Σχίζα εντοπίζονται στο διάστημα [6.5, 8.0) cm ενώ οι Μεσσήνη, Καλαμάτα και η χέρσος του Λακωνικού κόλπου εδράζονται σε περιοχή τιμών [4.5, 5.5) cm. Υπενθυμίζεται πως η σχέση απόσβεσης δεν έχει δημιουργηθεί από Ελληνικά δεδομένα με αποτέλεσμα την μεγάλη πιθανότητα απεικόνιση εσφαλμένων τιμών.



Σχήμα 2.42: Χάρτης μέγιστης αναμενόμενης εδαφικής μετατόπισης (PGD) με 90% πιθανότητα μη υπέρβασης στα επόμενα 100 χρόνια (περίοδο επανάλιψης Π.Ε. = 950 έτη) με αποτελέσματα που λήφθηκαν από από την ημιστατιστική μέθοδο στο λογισμικό R-CRISIS V20.

Όλες οι υπολογισμένες τιμές για περίοδο επανάλιψης 950 έτη είναι μεγαλύτερες από αυτές για 475 έτη. Η χωρική κατανομή είναι σχεδόν ίδια σε όλη την περιοχή μελέτης με αυτή του Σχήματος 2.41. Γενικά οι υπολογισμοί στην εδαφική ταχύτητα και μετατόπιση φαίνεται να είναι λογικοί, ωστόσο, πρέπει να ληφθεί υπόψιν πως χρησιμοποιήθηκε σχέση απόσβεσης που δεν λαμβάνει υπόψη τις γεωλογικές συνθήκες, ούτε τους μηχανισμούς γένεσης. Το ίδιο συμβαίνει και με την εδαφική επιτάχυνση, αλλά η σχέση του Makropoulos (1978) δημιουργήθηκε με σκοπό την εύρεση PGA στον ελλαδικό χώρο, ενώ η σχέση των Orphal and Lahoud (1974) δημιουργήθηκε βάσει Αμερικανικών δεδομένων. Αυτές οι παρατηρήσεις θα φανούν χρήσιμες σε περίπτωση σημαντικών αποκλίσεων τιμών με άλλες εργασίες. Όμως, υπάρχει πιθανότητα να μην υπάρχουν μεγάλες αποκλίσεις με αποτέλεσμα να ενδείκνυται η χρήση των αναφερόμενων σχέσεων απόσβεσης.

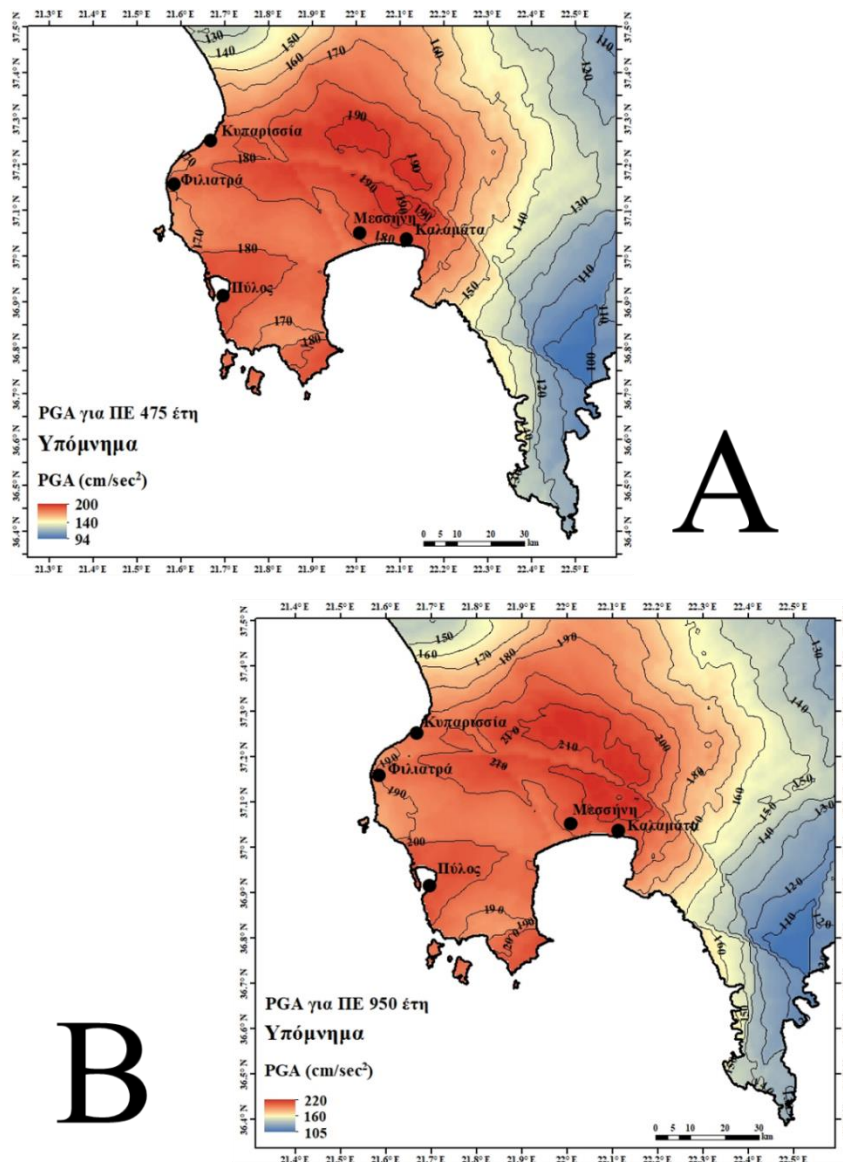
#### 2.5.4 Σύγκριση αποτελεσμάτων R-CRISIS με HAZAN

Σε αυτή την παράγραφο θα πραγματοποιηθεί σύγκριση μεταξύ των χαρτών της μεθόδου ακραίων τιμών του λογισμικού HAZAN με τη μέθοδο modified Gutenberg – Richter του λογισμικού R-CRISIS

## 2. ΠΙΘΑΝΟΛΟΓΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ

V20. Οι ομοιότητες μεταξύ των δύο είναι οι σχέσεις απόσβεσης και οι διαστάσεις του πλέγματος υπολογισμού που χρησιμοποιήθηκε. Η βασική διαφορά είναι το σεισμοτεκτονικό μοντέλο στην περίπτωση του R-CRISIS είναι επιφανειακές ζώνες σεισμικότητας, ενώ στο HAZAN δεν υπάρχει κάποιο μοντέλο, καθώς εντάσσεται στην καθαρά στατιστική μέθοδο. Στο Σχήμα 2.43 απεικονίζονται οι δύο χάρτες μέγιστης αναμενόμενης εδαφικής επιτάχυνσης (ΠΕ=475, 950 έτη) της μεθόδου ακραίων τιμών (HAZAN).

### 2.5.4.1 Μέγιστη αναμενόμενη εδαφική επιτάχυνση (PGA)



Σχήμα 2.43: Χάρτες μέγιστης αναμενόμενης εδαφικής επιτάχυνσης (PGA) με: (A) πιθανότητα μη υπέρβασης 90% για τα επόμενα 50 χρόνια (περίοδος επανάλιψης = 475 έτη) και (B) πιθανότητα μη υπέρβασης 90% για τα επόμενα 100 χρόνια (περίοδος επανάλιψης = 950 έτη). Οι τιμές υπολογίστηκαν με τη μέθοδο ακραίων τιμών στο λογισμικό HAZAN.

Οι μεγαλύτερες τιμές στη χέρσο του Σχήματος 2.43A βρίσκονται βόρεια της Καλαμάτας και της Μεσσήνης με τιμές  $\approx 190$  cm/sec<sup>2</sup>. Υπενθυμίζεται πως η τιμή των 220 cm/sec<sup>2</sup> εντοπιζόταν στον θαλάσσιο χώρο. Η χαμηλότερη τιμή (94 cm/sec<sup>2</sup>) εμφανίζεται στη χέρσο βόρεια του Λακωνικού κόλπου και η περιοχή νότια της Τρίπολης (στο ΒΑ άκρο του χάρτη) έχει μέγιστη αναμενόμενη εδαφική

## 2. ΠΙΘΑΝΟΛΟΓΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ

επιτάχυνση  $110 \text{ cm/sec}^2$ . Οι Κυπαρισσία και Φυλακιά έχουν τιμές στο διάστημα  $(170, 180) \text{ cm/sec}^2$ , ενώ η Πύλος έχει τιμή  $[180, 190) \text{ cm/sec}^2$ .

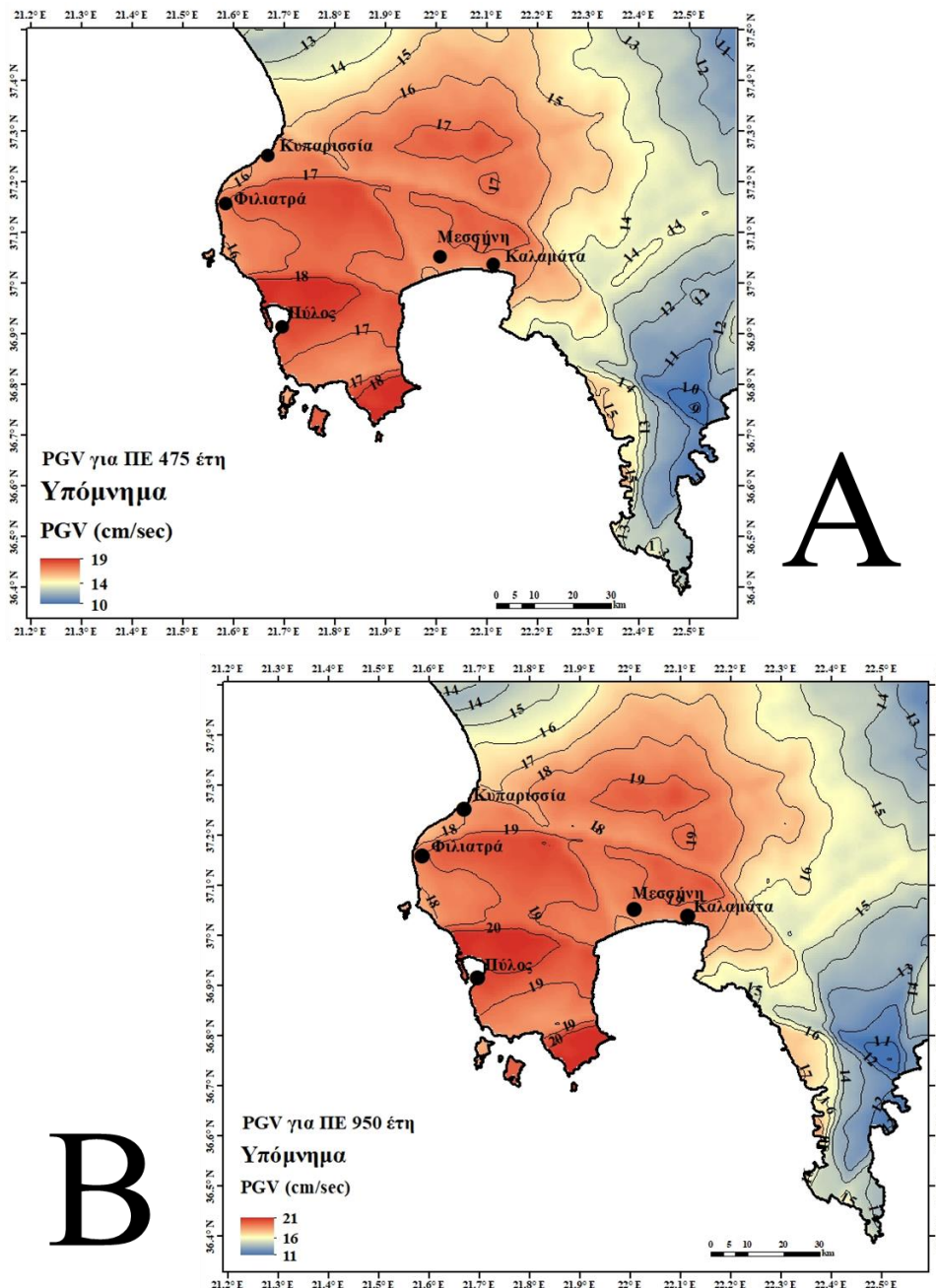
Η μικρότερη τιμή των αποτελεσμάτων του modified Gutenberg – Richter model είναι ίση με  $161 \text{ cm/sec}^2$ , δηλαδή εντάσσεται στις ενδιάμεσες τιμές του αντίστοιχου χάρτη της μεθόδου ακραίων τιμών για περίοδο επανάληψης 475 έτη. Το λογισμικό HAZAN υποεκτίμησε ως ένα βαθμό τις τιμές και αυτό επιβεβαιώνεται και από τις εργασίες που συγκρίθηκαν οι χάρτες. Η μεγαλύτερη απόκλιση παρατηρείται στην περιοχή υψηλών και χαμηλών τιμών καθώς και στις δύο αυτές περιοχές, η διαφορά μεταξύ των δύο μεθόδων αγγίζει τα  $80 \text{ cm/sec}^2$  περίπου. Η χωρική κατανομή αλλάζει, γεγονός που οφείλεται στην καθαρά στατιστική επεξεργασία του καταλόγου Makropoulos et al. (2012).

Οι αποκλίσεις είναι πιο σημαντικές εάν διπλασιαστεί η περίοδος επανάληψης ( $ΠΕ = 950$  έτη). Η μεγαλύτερη τιμή του Σχήματος 2.43B εντοπίζεται βόρεια της Καλαμάτας και της Μεσσήνης και είναι ίση με περίπου  $220 \text{ cm/sec}^2$ . Πρέπει να σημειωθεί πως αυτή η τιμή είναι λίγο υψηλότερη από την χαμηλότερη τιμή του αντίστοιχου χάρτη της ημιστατιστικής μεθόδου. Οι αποκλίσεις φθάνουν τα  $150 \text{ cm/sec}^2$  περίπου BBA της Κυπαρισσίας.

Γενικά, η χωρική κατανομή έχει αλλάξει, καθώς οι υψηλότερες τιμές στο μοντέλο modified Gutenberg – Richter βρίσκονται ΒΑ της Κυπαρισσίας και στη δυτική ακτογραμμή της Πελοποννήσου, ενώ στη μέθοδο ακραίων τιμών εντοπιζόταν βόρεια της Καλαμάτας και της Μεσσήνης. Αίτιο αυτού είναι το σεισμοτεκτονικό μοντέλο, διότι δείχνει την επιρροή της δυτικής ακτογραμμής της Πελοποννήσου σε σημαντικές σεισμικές ζώνες, όπως αυτή της Κεφαλονιάς, με κύριο χαρακτηριστικό της το ρήγμα οριζόντιας ολίσθησης της Κεφαλονιάς. Αναμένονται παρόμοιες παρατηρήσεις και στη σύγκριση με το Σχήμα 2.44.

## 2. ΠΙΘΑΝΟΛΟΓΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ

### 2.5.4.2 Μέγιστη αναμενόμενη εδαφική ταχύτητα (PGV)



Σχήμα 2.44: Χάρτης μέγιστης αναμενόμενης εδαφικής ταχύτητας (PGV): (A) με πιθανότητα μη υπέρβασης 90% για τα επόμενα 50 χρόνια (περίοδος επανάλιψης = 475 έτη) και (B) πιθανότητα μη υπέρβασης 90% για τα επόμενα 100 χρόνια (περίοδος επανάλιψης = 950 έτη). Οι τιμές υπολογίστηκαν με τη μέθοδο ακραίων τιμών στο λογισμικό HAZAN.

Ακολουθώντας το ίδιο μοτίβο με το Σχήμα 2.43A, οι μεγαλύτερες τιμές του Σχήματος 2.44A απαντώνται βόρεια της Μεσσήνης και της Καλαμάτας και είναι μεγαλύτερες από 19 cm/sec<sup>2</sup>. Η υψηλότερη τιμή (21 cm/sec) εντοπίζεται στον θαλάσσιο χώρο, όπως και στους αντίστοιχους χάρτες εδαφικής επιτάχυνσης. Η μικρότερη βρίσκεται στη χέρσο βόρεια του Λακωνικού κόλπου (11 cm/sec). Στον αντίστοιχο χάρτη της ημιστατιστικής μεθόδου (Σχήμα 2.39) η υψηλότερη τιμή είναι 38 cm/sec (BA Κυπαρισσίας), μια απόκλιση μεγαλύτερη από 20 cm/sec ενώ υπάρχει η ίδια σχέση απόσβεσης. Άρα, η διαφοροποίηση οφείλεται στο σεισμοτεκτονικό μοντέλο που εισάχθηκε στο λογισμικό R-

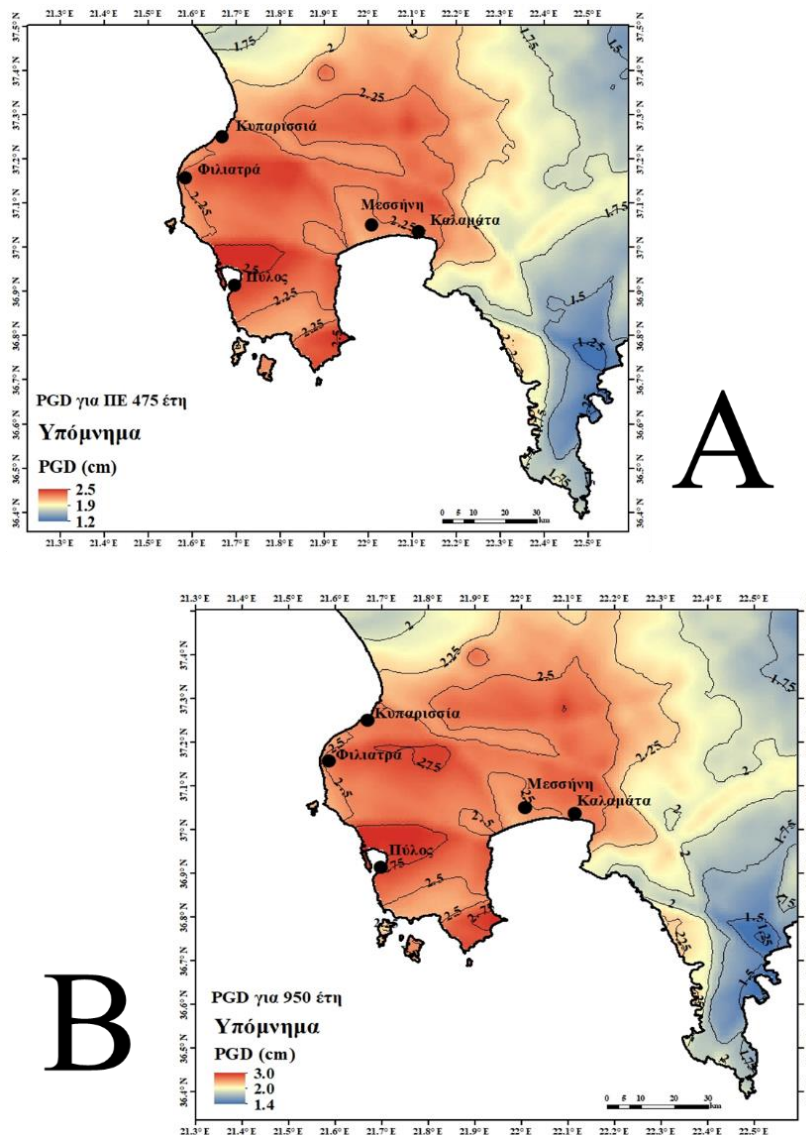


## 2. ΠΙΘΑΝΟΛΟΓΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ

CRISIS. Τέλος, υπενθυμίζεται πως επικρατεί σφάλμα στις σεισμικές παραμέτρους PGV και PGD (κατά αύξουσα σειρά), οπότε ως έναν βαθμό ήταν αναμενόμενη η μεγάλη αυτή απόκλιση.

Στο Σχήμα 2.44B οι τιμές αυξήθηκαν ελαχίστως σε σχέση με το Σχήμα 2.44A και η κατανομή είναι ακριβώς ίδια. Αυτή η μικρή αύξηση συμβαίνει και στον χάρτη της ημιστατιστικής μεθόδου (Σχήμα 2.40), αλλά η απόκλιση μεγαλώνει στα 34 cm/sec BA της Κυπαρισσίας όπου εντοπίζονται οι υψηλότερες τιμές του Σχήματος 2.40. Όπως αναφέρθηκε και στη σύγκριση με την εδαφική επιτάχυνση, η χωρική κατανομή αλλάζει και εδώ για τα ίδια αίτια. Δεδομένου ότι το σφάλμα αυξάνεται στην εδαφική μετατόπιση, αναμένεται σημαντικότερη απόκλιση στη σύγκριση μεταξύ Σχημάτων 2.41, 2.42 με 2.45A,B.

### 2.5.4.3 Μέγιστη αναμενόμενη εδαφική μετατόπιση (PGD)



Σχήμα 2.45: Χάρτες μέγιστης αναμενόμενης εδαφικής μετατόπισης (PGD): (A) με πιθανότητα μη υπέρβασης 90% για τα επόμενα 50 χρόνια (περίοδος επανάλιψης = 475 έτη) και (B) πιθανότητα μη υπέρβασης 90% για τα επόμενα 100 χρόνια (περίοδος επανάλιψης = 950 έτη). Οι τιμές υπολογίστηκαν με τη μέθοδο ακραίων τιμών στο λογισμικό HAZAN.

Το μοτίβο της χωρικής κατανομής επαναλαμβάνεται. Οι τιμές δεν έχουν μεγάλες τιμές και για αυτό η ισοδιάσταση των ισοκαμπυλών εδαφικής μετατόπισης έχει οριστεί 0.25 cm. Στο Σχήμα 2.45A οι

υψηλότερες τιμές βρίσκονται στην Πύλο (2.5 cm) και οι χαμηλότερες στη χέρσο βόρεια του Λακωνικού κόλπου (1.2 cm). Η Μεσσήνη και η Καλαμάτα έχουν εδαφική μετατόπιση της τάξης των 2.25 cm. Οι τιμές αυξάνονται ελαχίστως για περίοδο επανάληψης 950 έτη (Σχήμα 2.45B) και η χωρική κατανομή παραμένει ίδια. Οι αποκλίσεις είναι αρκετά σημαντικές συγκρίνοντας το Σχήμα 2.45A με το Σχήμα 2.41 και το Σχήμα 2.45B με το Σχήμα 2.42, διότι για περίοδο επανάληψης 475 έτη φθάνουν περίπου τα 9.0 cm ΒΑ Κυπαρισσίας, ενώ για περίοδο επανάληψης 950 έτη φθάνουν περίπου τα 13 cm στην ίδια περιοχή. Επίσης, αλλάζει η χωρική κατανομή για τους ίδιους λόγους που άλλαξε στους χάρτες PGA και PGV.

Γενικά τα αποτελέσματα είχαν αποκλίσεις μεταξύ τους και αυτό οφείλεται στο σεισμοτεκτονικό μοντέλο και την επίδραση που έχουν οι 11 σεισμικές ζώνες (κυρίως οι βορειοδυτικές) στην περιοχή μελέτης. Στην παράγραφο 2.4.6, το αποτέλεσμα των συγκρίσεων των χαρτών της μεθόδου ακραίων τιμών με διάφορες εργασίες της βιβλιογραφίας, έδειξε πως οι χάρτες είναι υποεκτιμημένοι, διότι σε κάθε σύγκριση σχεδόν οι τιμές ήταν μικρότερες από αυτές της βιβλιογραφίας. Αυτό το πρόβλημα εξαλείφθηκε με τη χρήση της ημιστατιστικής μεθόδου, όμως οι σχέσεις απόσβεσης των Makropoulos (1978) και Orphal and Lahoud (1974) δεν λαμβάνουν υπόψη τον μηχανισμό γένεσης και τις εδαφικές συνθήκες. Επιπλέον, η σχέση απόσβεσης των Orphal and Lahoud (1974) έχει δημιουργηθεί από δεδομένα της Καλιφόρνιας και όχι της Ελλάδας και δεν πρόκειται να επιλεγεί για τα τελικά αποτελέσματα. Συνοψίζοντας, πρέπει να ξαναγίνουν χάρτες με πιο σύγχρονες σχέσεις απόσβεσης για να υπολογιστούν όσο το δυνατόν γίνεται με μεγαλύτερη αξιοπιστία οι παράμετροι σεισμικής επικινδυνότητας.

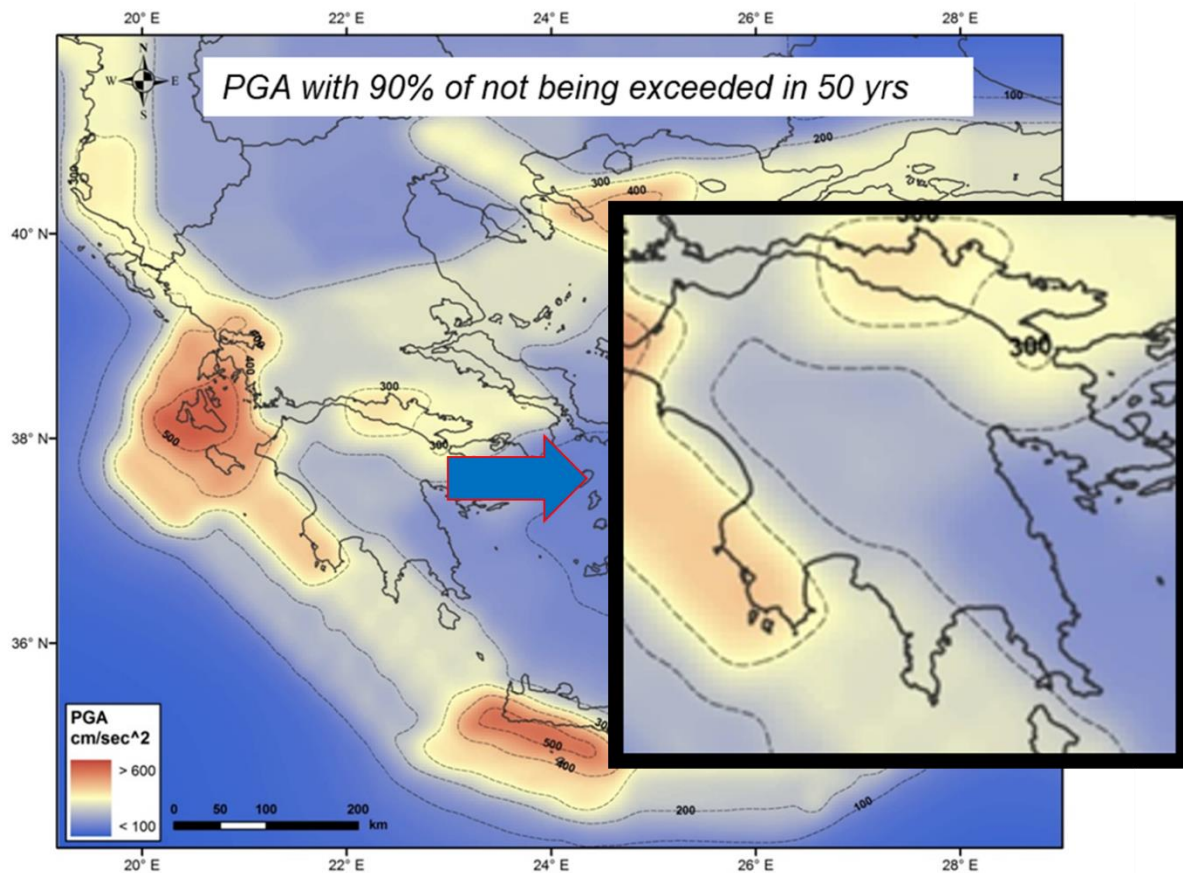
### 2.5.5 Σύγκριση αποτελεσμάτων R-CRISIS με την εργασία των Makropoulos et al. (2013)

Οι Makropoulos et al. (2013) δημοσίευσαν στο Συνέδριο της Ευρωπαϊκής Ένωσης Γεωεπιστημών (European Geosciences Union) και αποτελέσματα της ημιστατιστικής μεθόδου χρησιμοποιώντας το λογισμικό CRISIS2007 (Ordaz et al., 2007). Η ομοιότητα με τους χάρτες ημιστατιστικής μεθόδου εκτίμησης σεισμικής επικινδυνότητας της διπλωματικής εργασίας είναι το σεισμοτεκτονικό μοντέλο, καθώς οι Makropoulos et al. (2013) χρησιμοποίησαν τις σεισμικές ζώνες που έχει ορίσει ο φορέας του SHARE (2013). Ωστόσο, υπάρχουν σημαντικές διαφορές στην υπολογιστική διαδικασία. Οι Makropoulos et al. (2013) επέλεξαν ως βάθος των σεισμικών ζωνών τα 10 km ενώ στην πτυχιακή εργασία επιλέχθηκε το βάθος με την μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης σεισμών από τα ιστογράμματα. Επίσης, το ελάχιστο μέγεθος ( $M_0$ ) είχε τιμή 5.0 στην εργασία των Makropoulos et al. (2013), ενώ στη διπλωματική εργασία είχε διαφορετική για κάθε ζώνη. Αυτή η διαφορά οφείλεται στο πλήθος των σεισμικών ζωνών που είχε το σεισμοτεκτονικό μοντέλο. Η διπλωματική εργασία λόγω κλίμακας είχε μόνο 11 ζώνες. Τέλος, η σημαντικότερη διαφορά βρίσκεται στις σχέσεις απόσβεσης, διότι οι Makropoulos et al. (2013) επέλεξαν εκείνες των Skarlatoudis et al. (2003) και Danciu and Tselentis (2007) για PGA και PGV. Υπάρχει επιπλέον μια ομοιότητα στη σχέση απόσβεσης για PGD διότι οι Makropoulos et al. (2013) επέλεξαν τη σχέση Orphal and Lahoud (1974).

Γίνεται εύκολα αντιληπτό πως για να υπολογιστεί η σεισμική επικινδυνότητα όλης της χώρας με χρήση ημιστατιστικής μεθόδου, θα πρέπει να αλλάξουν σημαντικά οι παράμετροι ανάλυσης στο CRISIS. Οι Makropoulos et al. (2013) έχουν διαφοροποιήσεις με την πτυχιακή εργασία στη μέθοδο τριγωνισμού των σεισμικών ζωνών και στην απόσταση εκτός αυτών που θα γίνει η επιλογή δεδομένων. Έχοντας τα παραπάνω υπόψη, ακολουθεί σύγκριση των χαρτών PGA των Makropoulos et al. (2013) (Σχήματα 2.46 και 2.47) με τους αντίστοιχους της διπλωματικής εργασίας (Σχήματα 2.37 και 2.38) και έπειτα θα ακολουθήσουν και οι χάρτες των επόμενων δύο παραμέτρων επικινδυνότητας.

## 2. ΠΙΘΑΝΟΛΟΓΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ

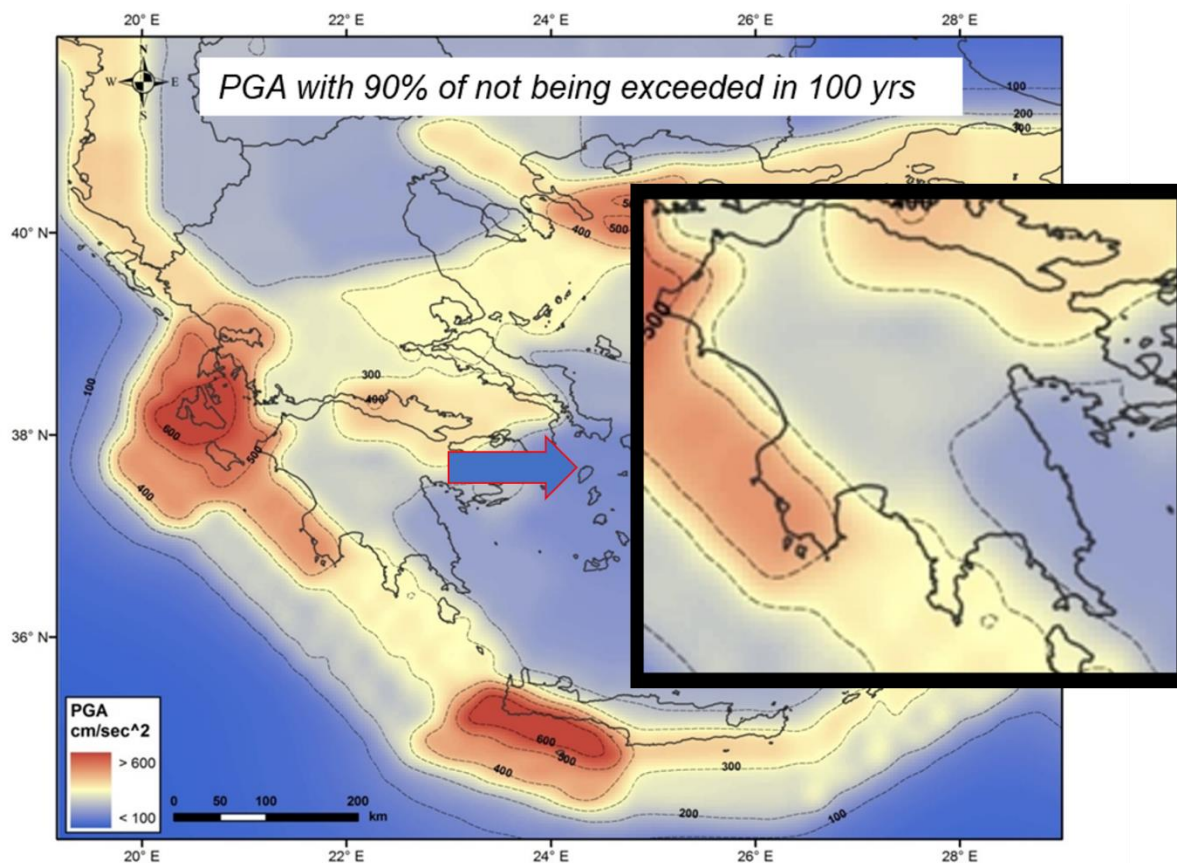
### 2.5.5.1 Μέγιστη αναμενόμενη εδαφική επιτάχυνση (PGA)



Σχήμα 2.46: Χάρτης μέγιστης αναμενόμενης εδαφικής επιτάχυνσης (PGA) για περίοδο επανάληψης (Π.Ε.) 475 έτη με χρήση ημιστατιστικής μεθόδου. Δεξιά είναι υπό μεγέθυνση η Πελοπόννησος (τροποποιημένο από Makropoulos et al., 2013).

Η ισοδιάσταση των ισοκαμπυλών του Σχήματος 2.46 είναι  $100 \text{ cm/sec}^2$ . Οι υψηλότερες τιμές απαντώνται στο ΝΔ άκρο της Πελοποννήσου (στις περιοχές Πύλο, Σχίζα και Κορώνη) και ανήκουν στο διάστημα  $[300, 400) \text{ cm/sec}^2$ . Η υπόλοιπη περιοχή μελέτης έχει τιμές στο διάστημα  $[200, 300) \text{ cm/sec}^2$ . Οι χαμηλότερες τιμές (δηλαδή η περιοχή που είναι εγγύτερα στην καμπύλη των  $200 \text{ cm/sec}^2$ ) απαντώνται νότια της Τρίπολης, στο ΒΑ άκρο της περιοχής μελέτης. Στον αντίστοιχο χάρτη της διπλωματικής εργασίας (Σχήμα 2.37) παρατηρείται διαφορετική χωρική κατανομή των υπολογιζόμενων εδαφικών επιταχύνσεων. Συγκεκριμένα οι υψηλότερες τιμές βρίσκονται ΒΒΑ της Κυπαρισσίας με τιμές στο διάστημα  $[260, 284] \text{ cm/sec}^2$ , ενώ στην ίδια θέση το Σχήμα 2.46 παρουσιάζονται τιμές στο διάστημα  $[200, 300) \text{ cm/sec}^2$ . Οι αποκλίσεις δεν είναι τόσο σημαντικές δεδομένου της διαφορετικής σχέσης απόσβεσης μεταξύ των δύο εργασιών. Τέλος, ταυτίζεται η περιοχή των χαμηλότερων τιμών στους δύο χάρτες. Τα αποτελέσματα θεωρούνται αξιόπιστα.

## 2. ΠΙΘΑΝΟΛΟΓΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ



Σχήμα 2.47: Χάρτης μέγιστης αναμενόμενης εδαφικής επιτάχυνσης (PGA) για περίοδο επανάληψης (Π.Ε.) 950 έτη με χρήση ημιστατιστικής μεθόδου. Δεξιά είναι υπό μεγέθυνση η Πελοπόννησος (τροποποιημένο από Makropoulos et al., 2013).

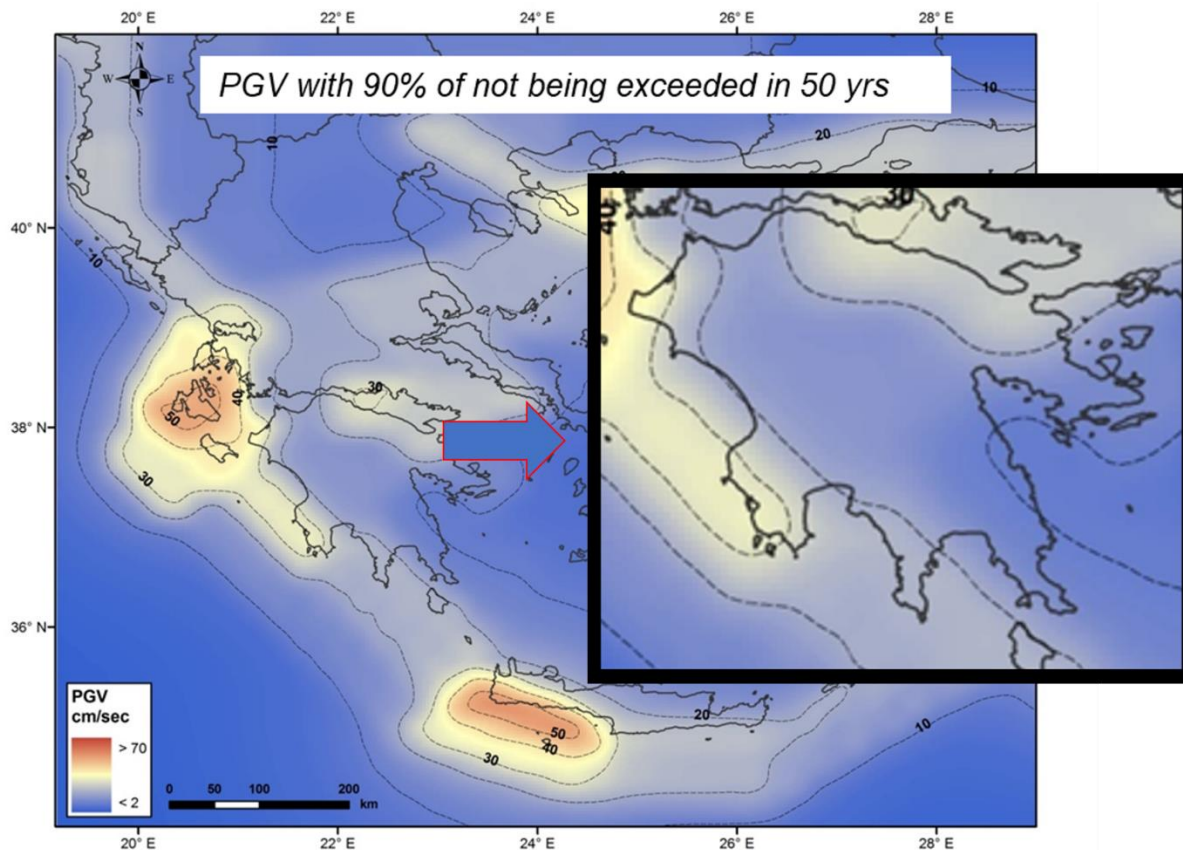
Η περιοχή μελέτης έχει περισσότερα διαστήματα τιμών στο Σχήμα 2.47. Το μεγαλύτερο βρίσκεται πάλι στη χέρσο μεταξύ Φιλιατρών, Πύλου, Σχίζας και Κορώνης και έχει τιμές στο πεδίο  $[400, 500)$   $\text{cm/sec}^2$ . Το επόμενο διάστημα τιμών εντοπίζεται σε μια στενή ζώνη που καλύπτει την Κυπαρισσία, τον Μεσσηνιακό κόλπο και τη χέρσο του Λακωνικού κόλπου και λαμβάνει τιμές στο  $[300, 400)$   $\text{cm/sec}^2$ . Η υπόλοιπη περιοχή μελέτης εντάσσεται στο χαμηλότερο διάστημα τιμών που είναι  $[200, 300)$   $\text{cm/sec}^2$ . Η διαφορά της μέγιστης τιμής ανάμεσα στα Σχήματα 2.46 και 2.47 είναι περίπου  $100 \text{ cm/sec}^2$ .

Συγκρίνοντας το Σχήμα 2.47 με τα αποτελέσματα της ημιστατιστικής μεθόδου της πτυχιακής εργασίας για περίοδο επανάληψης 950 έτη (Σχήμα 2.38), παρατηρείται μια σημαντική απόκλιση στις περιοχές Φιλιατρά, Πύλο, Σχίζα και Κορώνη, διότι οι τιμές εδαφικής επιτάχυνσης είναι περίπου  $270 \text{ cm/sec}^2$ . Η υψηλότερη τιμή ( $400 \text{ cm/sec}^2$ ) του Σχήματος 2.47 είναι περίπου  $60 \text{ cm/sec}^2$  υψηλότερη από αυτή του 2.38, αλλά η χωρική κατανομή διαφέρει, δηλαδή δεν εντοπίζεται στις περιοχές που αναφέρθηκαν στην αρχή της Παραγράφου, αλλά ΒΒΑ της Κυπαρισσίας. Η απόκλιση στις χαμηλότερες τιμές φθάνει περίπου τα  $10 \text{ cm/sec}^2$ .

Το αποτέλεσμα των συγκρίσεων που ακολουθήθηκαν στη μέγιστη αναμενόμενη εδαφική επιτάχυνση μεταξύ των δύο εργασιών, έδειξε πως είναι αξιόπιστα όσον αφορά τη διπλωματική εργασία. Οι αποκλίσεις ήταν σημαντικές αλλά υπήρχαν σημαντικές διαφοροποιήσεις μεταξύ των εργασιών. Όπως είχε αναφερθεί και στην καθαρά στατιστική μέθοδο, οι Makropoulos et al. (2013) μελέτησαν τη σεισμική επικινδυνότητα σε όλη τη χώρα, οπότε υπάρχει μεγάλη ισοδιάσταση ισοκαμπυλών, που σημαίνει πως η λεπτομέρεια στην περιοχή μελέτης είναι μικρή.

## 2. ΠΙΘΑΝΟΛΟΓΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ

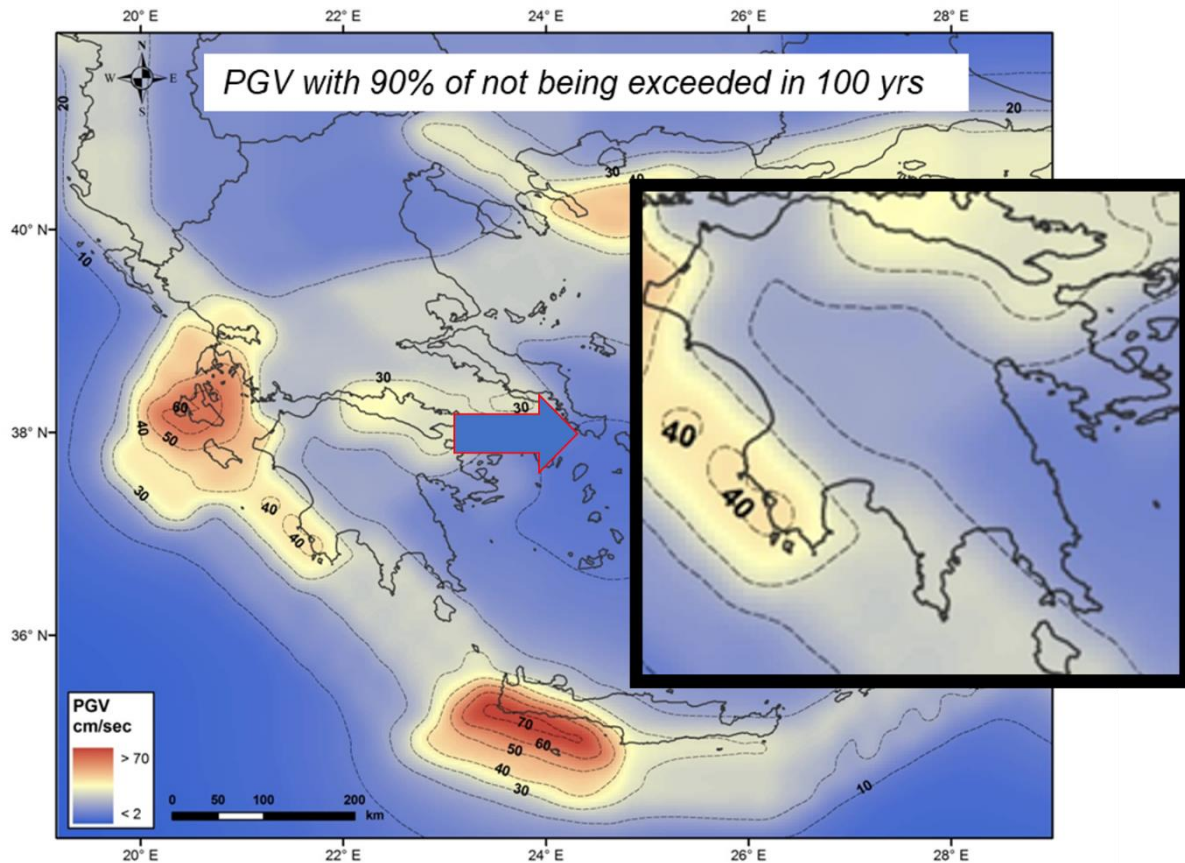
### 2.5.5.2 Μέγιστη αναμενόμενη εδαφική ταχύτητα (PGV)



Σχήμα 2.48: Χάρτης μέγιστης αναμενόμενης εδαφικής ταχύτητας (PGV) για περίοδο επανάλιψης (Π.Ε.) 475 έτη με χρήση ημιστατιστικής μεθόδου. Δεξιά είναι υπό μεγέθυνση η Πελοπόννησος (τροποποιημένο από Makropoulos et al., 2013).

Όσον αφορά στους χάρτες μέγιστης αναμενόμενης εδαφικής ταχύτητας (Σχήματα 2.48, 2.49), η ισοκαμπύλη των 30 cm/sec εντοπίζεται πλησίον της περιοχής Πύλου και Σχίζας, ενώ αυτό δεν συμβαίνει στο Κορώνη διότι οι τιμές εδαφικής ταχύτητας εντάσσονται στο διάστημα [20, 30) cm/sec, όπως άλλωστε συμβαίνει και στην υπόλοιπη περιοχή μελέτης. Η σύγκριση δε θα είναι ακριβής λόγω έλλειψης πληροφορίας αλλά ήταν αναμενόμενο λόγω μεγάλης ισοδιάστασης που χρησιμοποιούν οι Makropoulos et al. (2013). Στον αντίστοιχο χάρτη της διπλωματικής εργασίας (Σχήμα 2.39) παρατηρείται ταύτιση τιμών, καθώς η υψηλότερη τιμή (38 cm/sec) ταυτίζεται με αυτή των Makropoulos et al. (2013). Επίσης, και η χαμηλότερη τιμή του Σχήματος 2.39 ταυτίζεται με την χαμηλότερη του Σχήματος 2.48.

## 2. ΠΙΘΑΝΟΛΟΓΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ

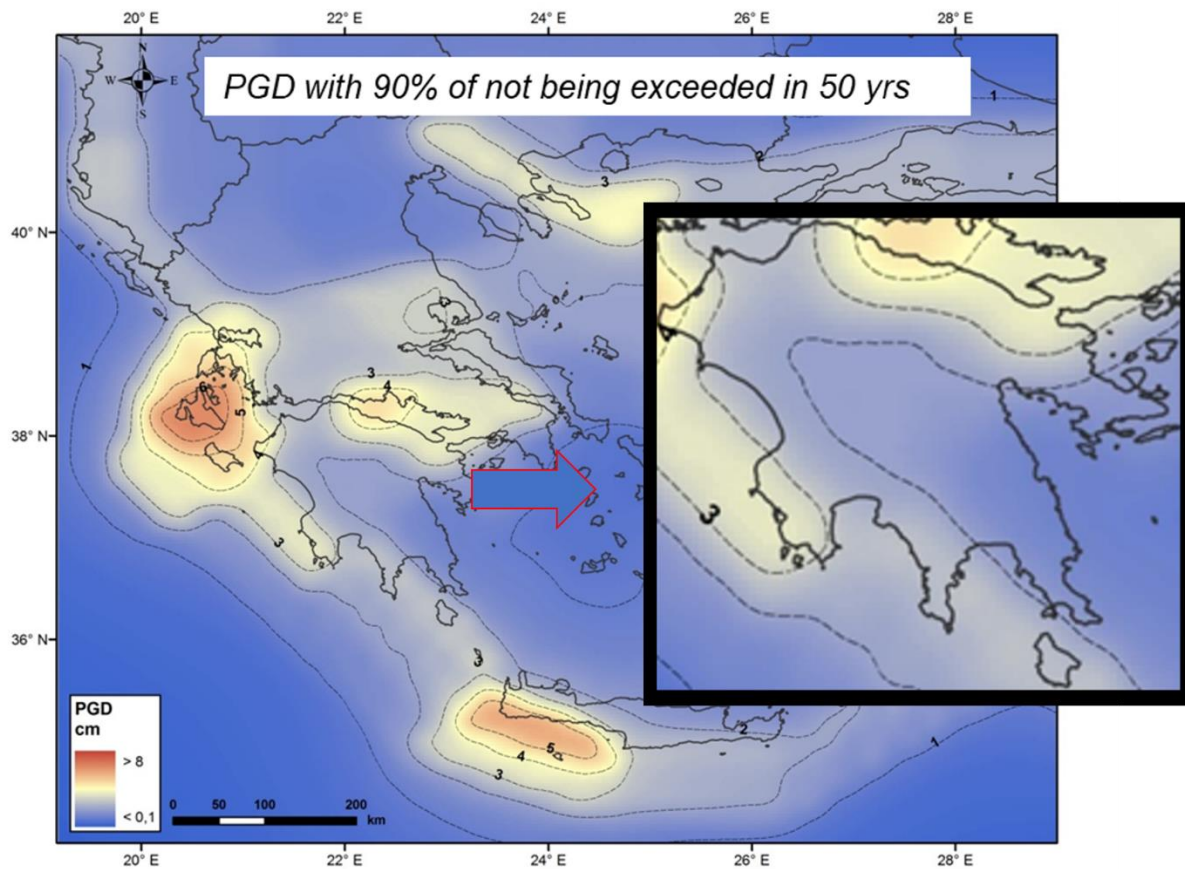


Σχήμα 2.49: Χάρτης μέγιστης αναμενόμενης εδαφικής ταχύτητας (PGV) για περίοδο επανάληψης (Π.Ε.) 950 έτη με χρήση ημιστατιστικής μεθόδου. Δεξιά είναι υπό μεγέθυνση η Πελοπόννησος (τροποποιημένο από Makropoulos et al., 2013).

Τα αποτελέσματα για περίοδο επανάληψης 950 έτη του Σχήματος 2.49 είναι συγκρίσιμα με τα αποτελέσματα του Σχήματος 2.40. Η απόκλιση είναι σχεδόν μηδαμινή. Άλλο ένα κοινό μεταξύ των χαρτών είναι η χωρική κατανομή των υψηλών τιμών που στο Σχήμα 2.49 προσεγγίζει τη δυτική ακτογραμμή, όπως γίνεται και στον αντίστοιχο χάρτη της πτυχιακής εργασίας.

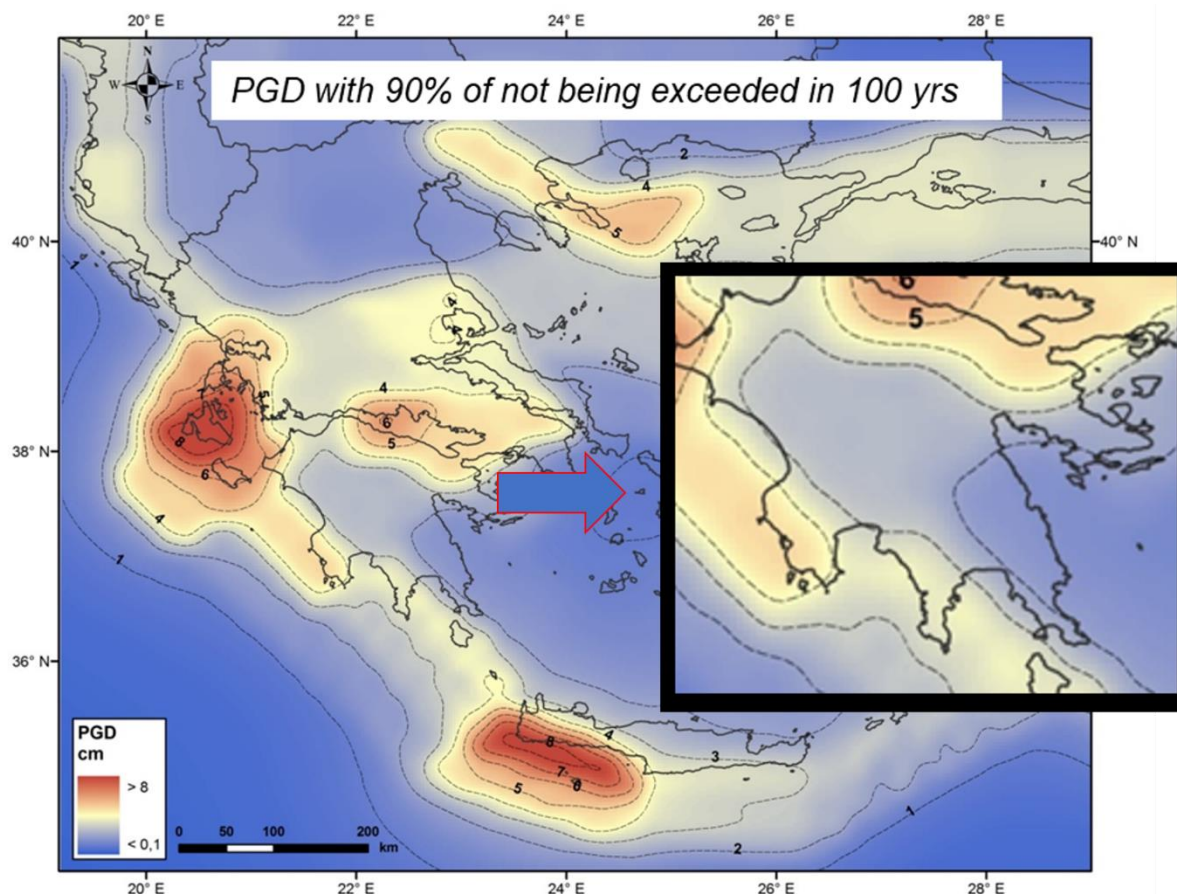
Τα αποτελέσματα της εδαφικής ταχύτητας ταυτίζονται. Επίσης, αναμένεται ταύτιση τιμών και στους χάρτες εδαφικής μετατόπισης (Σχήματα 2.50, 2.51), διότι και οι δύο εργασίες χρησιμοποιείται η ίδια σχέση απόσβεσης (Orphal and Lahoud, 1974).

2.5.5.3 Μέγιστη αναμενόμενη εδαφική μετατόπιση (PGD)



Σχήμα 2.50: Χάρτης μέγιστης αναμενόμενης εδαφικής μετατόπισης (PGD) για περίοδο επανάληψης (Π.Ε.) 475 έτη με χρήση ημιστατιστικής μεθόδου. Δεξιά είναι υπό μεγέθυνση η Πελοπόννησος (τροποποιημένο από Makroulos et al., 2013).

Οι αποκλίσεις είναι σημαντικές διότι η υψηλότερη τιμή του Σχήματος 2.50 για την περιοχή μελέτης είναι της τάξης των 3 cm, ενώ στον αντίστοιχο χάρτη της διπλωματικής εργασίας η χαμηλότερη τιμή είναι 4.5 cm και η υψηλότερη είναι 9.0 cm. Αυτές οι διαφοροποιήσεις, εφόσον η σχέση απόσβεσης είναι ίδια, οφείλονται στην υπολογιστική διαδικασία που ακολουθήθηκε από τις δύο εργασίες, διότι η ανάλυση μέσω τριγωνισμού ορίζεται από τον χρήστη. Από τη στιγμή που οι Makroulos et al. (2013) έχουν μελετήσει τη σεισμική επικινδυνότητα για όλη τη χώρα, οι τιμές που όρισαν για την ανάλυση μέσω τριγωνισμού διαφέρουν πολύ από αυτές της διπλωματικής εργασίας. Ωστόσο, επιβεβαιώνεται πως η εδαφική μετατόπιση έχει τα μεγαλύτερα σφάλματα από τις υπόλοιπες δύο παραμέτρους, διότι η σύγκριση μεταξύ χαρτών PGA και PGV αποδείχθηκε δόκιμη και τα αποτελέσματα αξιόπιστα, παρόλο που δεν ακολουθήθηκε η ίδια υπολογιστική διαδικασία.



Σχήμα 2.51: Χάρτης μέγιστης αναμενόμενης εδαφικής μετατόπισης (PGD) για περίοδο επανάλυσης (Π.Ε.) 950 έτη με χρήση ημιστατιστικής μεθόδου. Δεξιά είναι υπό μεγέθυνση η Πελοπόννησος (τροποποιημένο από Makropoulos et al., 2013).

Οι τιμές μεταξύ των Σχημάτων 2.51 και 2.50 αυξήθηκαν κατά 1 cm, ενώ αυτό δεν συμβαίνει ανάμεσα στους χάρτες της διπλωματικής εργασίας (Σχήματα 2.41 και 2.42). Άρα οι αποκλίσεις αυξάνονται για περίοδο επανάλυσης 950 έτη και οι αιτίες είναι οι ίδιες με αυτές που αναλύθηκαν για το Σχήμα 2.50. Το μόνο κοινό που έχουν οι χάρτες μέγιστης αναμενόμενης εδαφικής μετατόπισης είναι η χωρική κατανομή των υψηλών και των ελαχίστων τιμών. Η υπολογιστική διαδικασία που ακολουθήθηκε στη διπλωματική εργασία (βλ. Σχήμα 2.36) αποδείχθηκε σωστή έπειτα από τη σύγκριση των αποτελεσμάτων της μέγιστης αναμενόμενης εδαφικής επιτάχυνσης και ταχύτητας. Σε κάθε περίπτωση η χωρική κατανομή είχε το ίδιο μοτίβο και στις δύο εργασίες.

### 2.5.6 Δημιουργία χαρτών με πιο σύγχρονες σχέσεις απόσβεσης

Τα αποτελέσματα της καθαρά στατιστικής και ημιστατιστικής μεθόδου εκτίμησης σεισμικής επικινδυνότητας υπολογίστηκαν χρησιμοποιώντας τις σχέσεις απόσβεσης του Makropoulos (1978) και των Orphal and Lahoud (1974). Αυτές, δεδομένου της χρονολογίας που προτάθηκαν, δεν συνυπολογίζουν τον μηχανισμό γένεσης και τον τύπο του εδάφους, με αποτέλεσμα να υπάρχει έλλειψη ακρίβειας στα αποτελέσματα. Για την αντιμετώπιση του προβλήματος αυτού και εκμεταλλευόμενοι τις δυνατότητες του λογισμικού R-CRISIS V20 δημιουργήθηκαν αρχεία atn με τις σχέσεις απόσβεσης του Πίνακα 2.13. Αυτές επιλέχθηκαν με κριτήριο κυρίως το είδος της απόστασης, καθώς υπήρχαν και πιο σύγχρονες σχέσεις απόσβεσης για τον Ελληνικό χώρο (Boore et al., 2020) αλλά το είδος της απόστασης δεν ήταν συμβατό με το υπάρχον σεισμοτεκτονικό μοντέλο που έχει οριστεί. Επίσης, υπενθυμίζεται πως για την επίτευξη μεγαλύτερης ακρίβειας αποτελεσμάτων, δημιουργήθηκε υβριδική σχέση



## 2. ΠΙΘΑΝΟΛΟΓΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ

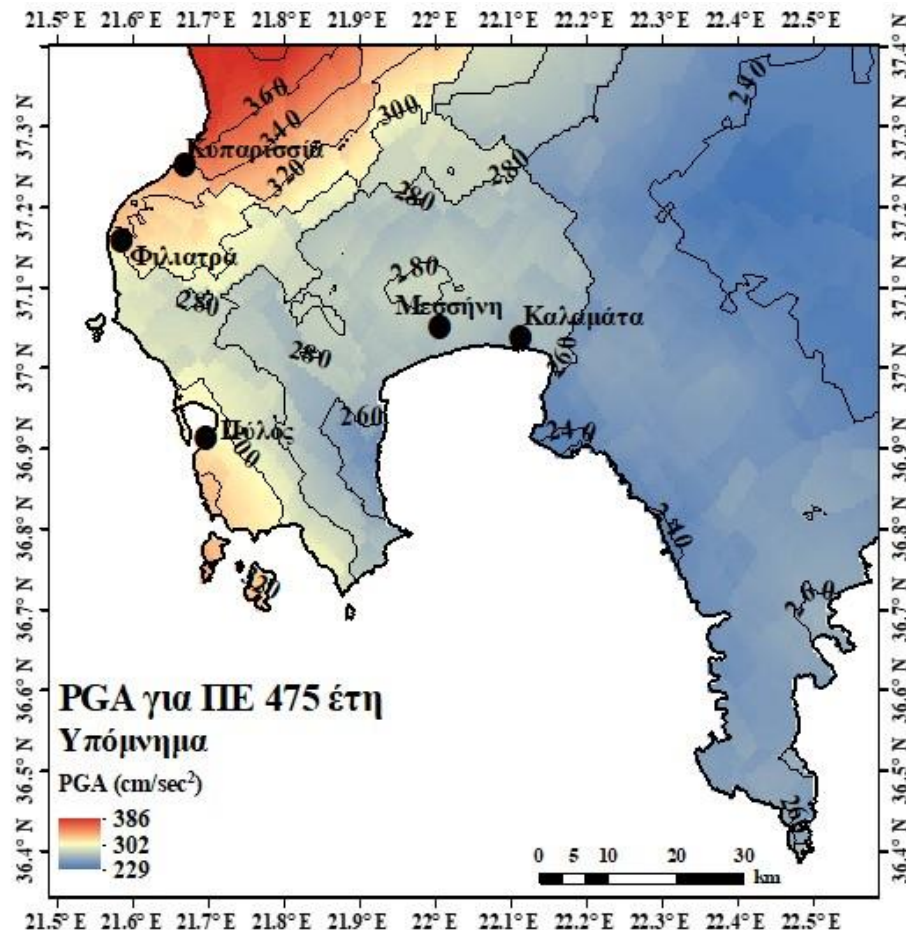
απόσβεσης για κάθε σχέση απόσβεσης ξεχωριστά. Η υβριδική σχέση απόσβεσης λαμβάνει υπόψη το ποσοστό συμμετοχής των μηχανισμών γένεσης σε μια σεισμική ζώνη (βλ. αντίστοιχη Παράγραφο).

Υβριδική σχέση απόσβεσης	PGA	PGV	PGD
Margaris et al. (2002)	✓	✓	✓
Skarlatoudis et al. (2003, 2007)	✓	✓	✓
Danciu and Tselentis (2007)	✓	✓	✓
Sakkas (2016)	✓	✗	✗
Chousianitis et al. (2018)	✓	✓	✗

Πίνακας 2.16: Οι σχέσεις απόσβεσης που χρησιμοποιήθηκαν για τη δημιουργία χαρτών με την ημιστατιστική μέθοδο. Ορισμένες σχέσεις δεν υπολογίζουν κάποια παράμετρο σεισμικής επικινδυνότητας, για αυτό αναγράφονται και τα αντίστοιχα σύμβολα. Υπενθυμίζεται πως οι Skarlatoudis et al. (2007) διόρθωσαν την σχέση PGV, για PGA και PGD θα χρησιμοποιηθούν οι σχέσεις από την αρχική δημοσίευσή τους το 2003.

### 2.5.6.1 Margaris et al. (2002)

#### 2.5.6.1.1 Μέγιστη αναμενόμενη εδαφική επιτάχυνση (PGA)

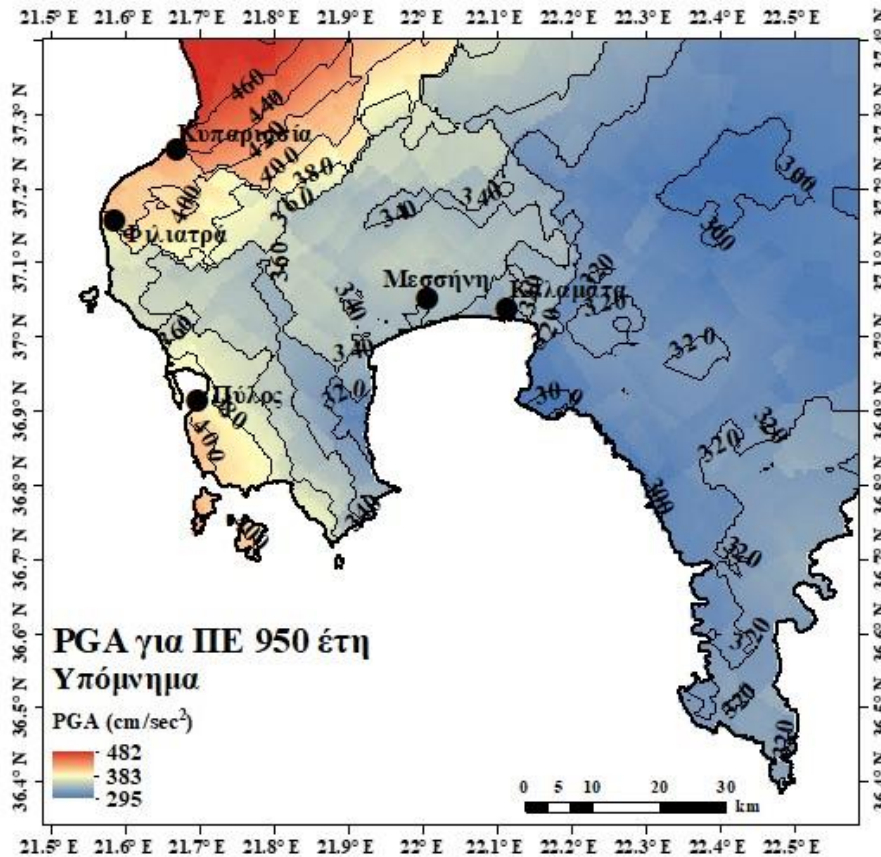


Σχήμα 2.52: Χάρτης μέγιστης αναμενόμενης εδαφικής επιτάχυνσης (PGA) για περίοδο επανάλιψης (Π.Ε.) 475 έτη με χρήση ημιστατιστικής μεθόδου. Σχέση απόσβεσης: Margaris et al. (2002) (υβριδική).

Η χωρική τιμή των μέγιστων αναμενόμενων εδαφικών επιταχύνσεων είναι παρόμοια με εκείνη που προκύπτει από τους προηγούμενους χάρτες. Οι τιμές BBA της Κυπαρισσίας φθάνουν τα  $386 \text{ cm/sec}^2$  στο Σχήμα 2.52. Η στενή ζώνη ανάμεσα στα Φιλιατρά και την Πύλο έχει τιμές που ανήκουν στο διάστημα  $[280, 300) \text{ cm/sec}^2$ . Για την περιοχή γύρω από τη Μεσσήνη και την Καλαμάτα

## 2. ΠΙΘΑΝΟΛΟΓΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ

υπολογίστηκαν τιμές εδαφικής επιτάχυνσης στο διάστημα  $[260, 280]$   $\text{cm}/\text{sec}^2$ . Οι χαμηλότερες τιμές του διαστήματος  $[229, 260]$   $\text{cm}/\text{sec}^2$  εντοπίζονται στον Λακωνικό κόλπο. Γενικά, η χωρική κατανομή δεν θα αλλάξει ανάμεσα στις σχέσεις απόσβεσης λόγω του ίδιου σεισμοτεκτονικού μοντέλου, η μόνη διαφοροποίηση θα είναι στις τιμές της παραμέτρου σεισμικής επικινδυνότητας που μελετάται.



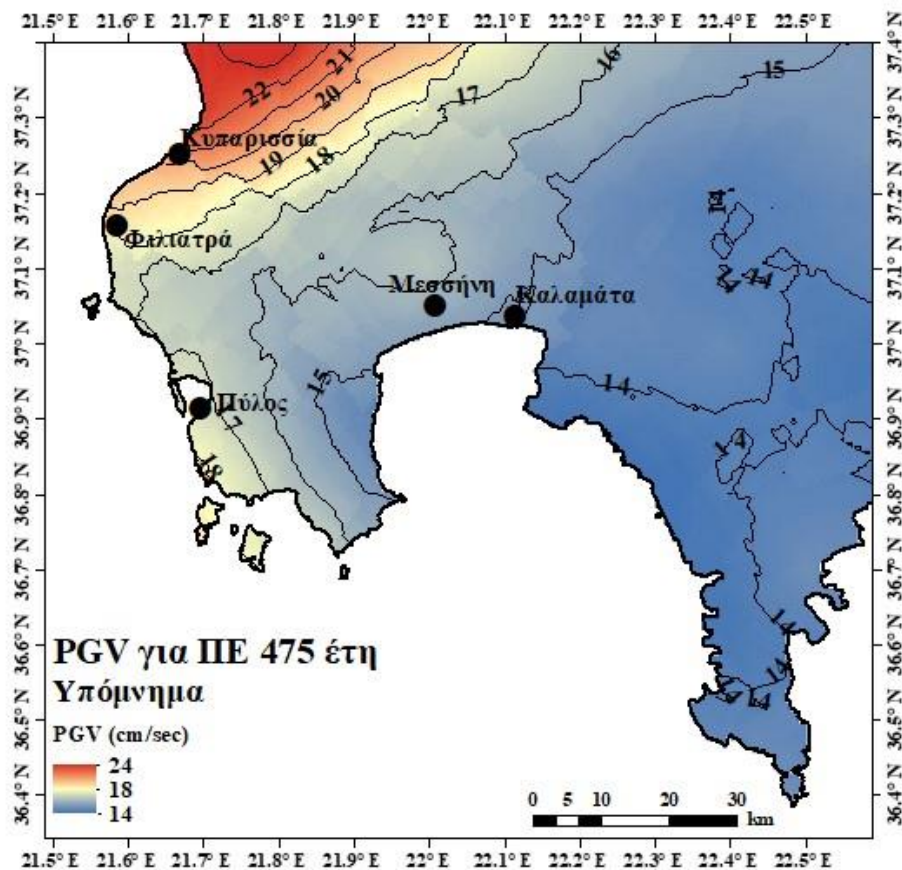
Σχήμα 2.53: Χάρτης μέγιστης αναμενόμενης εδαφικής επιτάχυνσης (PGA) για περίοδο επανάληψης (Π.Ε.) 950 έτη με χρήση ημιστατιστικής μεθόδου. Σχέση απόσβεσης: Margaris et al. (2002) (υβριδική).

Η χαμηλότερη τιμή που υπολογίστηκε με την ημιστατιστική μέθοδο στο Σχήμα 2.53 εντοπίζονται στον Λακωνικό κόλπο και είναι ίση με  $295 \text{ cm}/\text{sec}^2$ , μεγαλύτερη από την ελάχιστη τιμή του Σχήματος 2.52. Η υψηλότερη εδαφική επιτάχυνση υπολογίστηκε BBA της Κυπαρισσίας με τιμή ίση με  $482 \text{ cm}/\text{sec}^2$ . Γίνεται πάλι αντιληπτό πως η χωρική κατανομή PGA είναι η ίδια και ότι οι υψηλότερες τιμές εμφανίζονται κυρίως στη δυτική ακτογραμμή της νοτιοδυτικής Πελοποννήσου.

Τα αποτελέσματα των μέγιστων αναμενόμενων τιμών εδαφικής επιτάχυνσης για την περιοχή μελέτης χρησιμοποιώντας τη σχέση απόσβεσης των Margaris et al. (2002) κρίνονται αξιόπιστα έπειτα από συγκρίσεις με τις εργασίες των Banitsiotou et al. (2004), Tselentis and Danciu (2010), Slejko et al. (2010) και Woessner et al. (2015).

## 2. ΠΙΘΑΝΟΛΟΓΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ

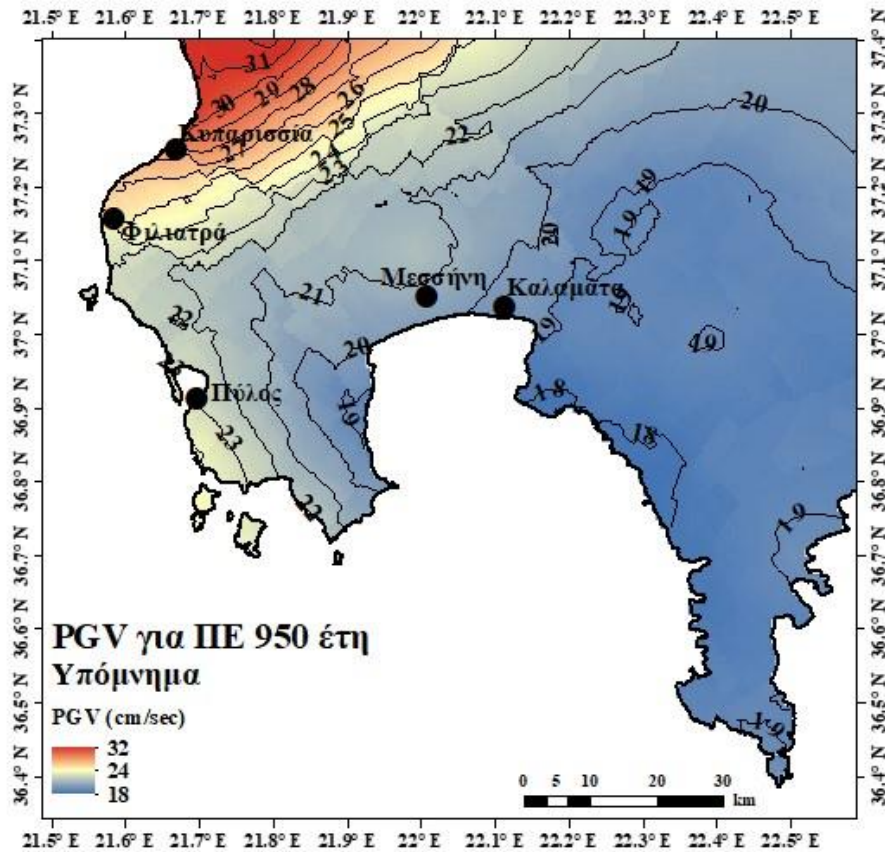
### 2.5.6.1.2 Μέγιστη αναμενόμενη εδαφική ταχύτητα (PGV)



Σχήμα 2.54: Χάρτης μέγιστης αναμενόμενης εδαφικής ταχύτητας (PGV) για περίοδο επανάληψης (Π.Ε.) 475 έτη με χρήση ημιστατιστικής μεθόδου. Σχέση απόσβεσης: Margaris et al. (2002) (υβριδική).

Οι υψηλότερες τιμές που υπολογίστηκαν στο Σχήμα 2.54 φθάνουν τα 24 cm/sec και εντοπίζονται ΒΒΑ της Κυπαρισσίας. Ακολουθώντας το ΝΔ τμήμα της δυτικής ακτογραμμής οι τιμές μειώνονται μέχρι τα 15 cm/sec και φθάνουν σε ένα τοπικό μέγιστο των 18 cm/sec στα Φιλιατρά και την Πύλο. Η Μεσσήνη και η Καλαμάτα παρουσιάζουν μικρότερες τιμές (15 – 16 cm/sec), ενώ η ελάχιστη τιμή (14 cm/sec) υπολογίστηκε στον Λακωνικό κόλπο.

## 2. ΠΙΘΑΝΟΛΟΓΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ

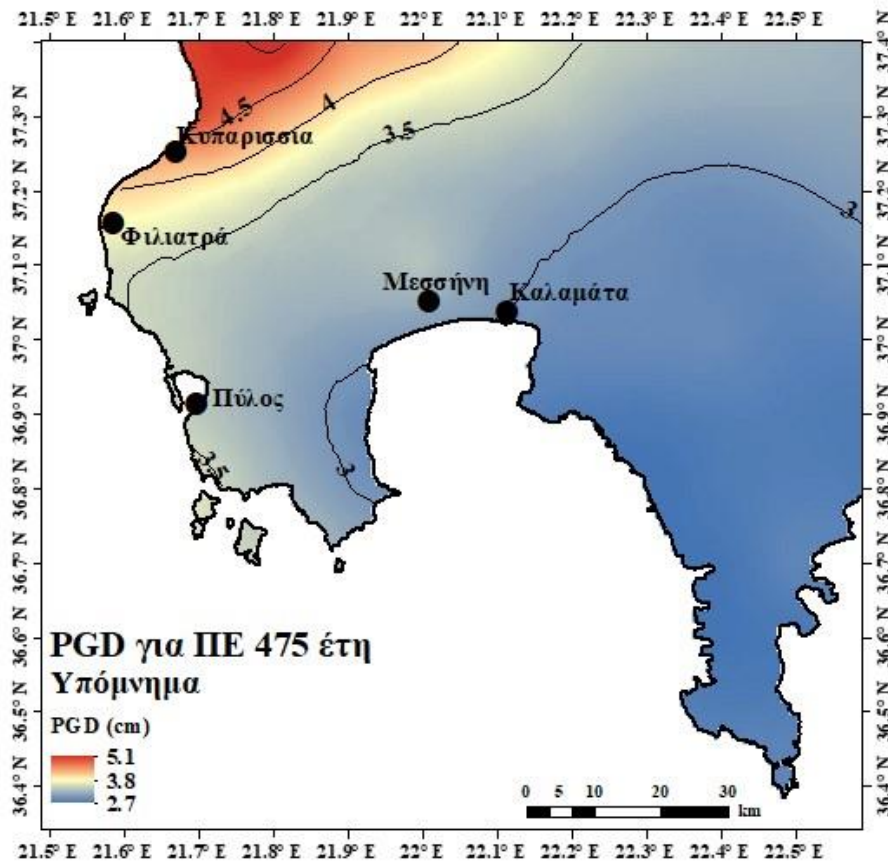


Σχήμα 2.55: Χάρτης μέγιστης αναμενόμενης εδαφικής ταχύτητας (PGV) για περίοδο επανάλυσης (Π.Ε.) 950 έτη με χρήση ημιστατιστικής μεθόδου. Σχέση απόσβεσης: Margaris et al. (2002) (υβριδική).

Στην περιοχή που υπολογίστηκαν οι υψηλότερες τιμές (BBA Κυπαρισσίας) υπάρχει μεγαλύτερη λεπτομέρεια διότι η ισοδιάσταση του Σχήματος 2.55 παρέμεινε ίση με αυτή του Σχήματος 2.54 (1 cm/sec). Αυτές είναι ίσες με 32 cm/sec, άρα παρατηρείται μια αύξηση ανάμεσα στους δύο χάρτες. Οι αυξήσεις των τιμών στην υπόλοιπη περιοχή του Σχήματος 2.55 φθάνουν στα 5 cm/sec  $\pm$  1-2 cm/sec. Τα αποτελέσματα της μέγιστης αναμενόμενης εδαφικής ταχύτητας χρησιμοποιώντας τη σχέση απόσβεσης των Margaris et al. (2002) κρίνονται αξιόπιστα έπειτα από σύγκριση με τις εργασίες των Banitsiotou et al. (2004) και Tselentis and Danciu (2010).

## 2. ΠΙΘΑΝΟΛΟΓΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ

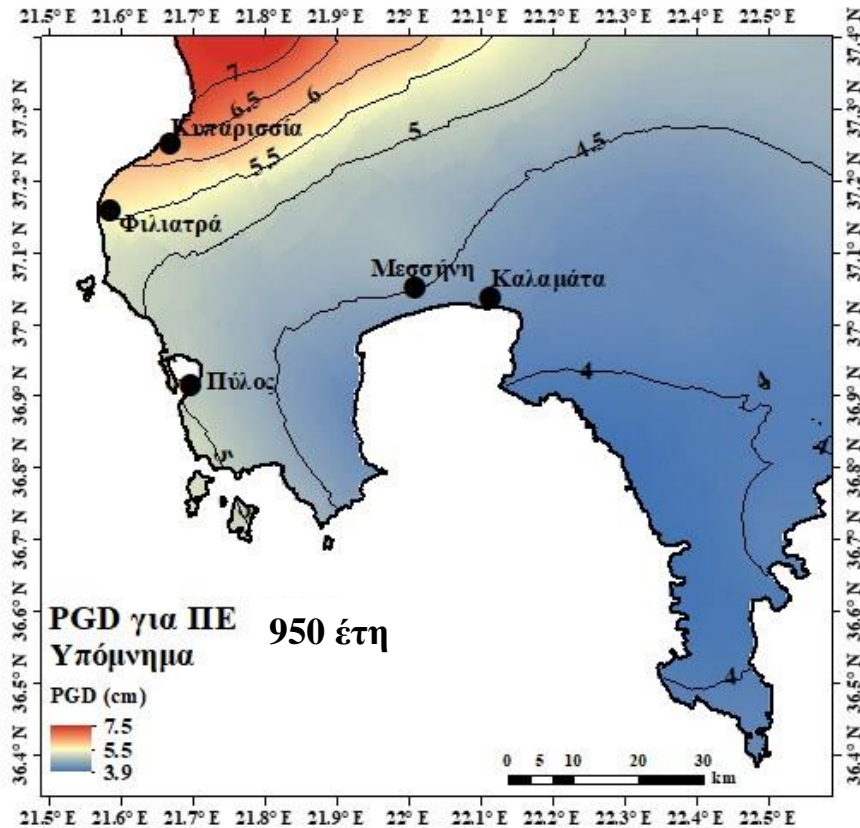
### 2.5.6.1.3 Μέγιστη αναμενόμενη εδαφική μετατόπιση (PGD)



Σχήμα 2.56: Χάρτης μέγιστης αναμενόμενης εδαφικής μετατόπισης (PGD) για περίοδο επανάληψης (Π.Ε.) 475 έτη με χρήση ημιστατιστικής μεθόδου. Σχέση απόσβεσης: Margaritis et al. (2002) (υβριδική).

Από την χωρική κατανομή προκύπτει πως οι υψηλότερες τιμές εντοπίζονται πάλι ΒΒΑ της Κυπαρισσίας με τιμές περίπου 5.1 cm. Η ζώνη τιμών της Μεσσήνης και της Καλαμάτας εντοπίζεται σε όλη τη χέρσο της περιοχής μελέτης βόρεια του Μεσσηνιακού κόλπου, αλλά και στο ΝΑ άκρο. Οι τιμές αυτής εντάσσονται στο διάστημα [2.7, 3.5) cm. Η Πύλος και τα Φιλιατρά έχουν τιμές λίγο κατώτερες και ανώτερες του 4.5 cm, αντίστοιχα.

## 2. ΠΙΘΑΝΟΛΟΓΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ



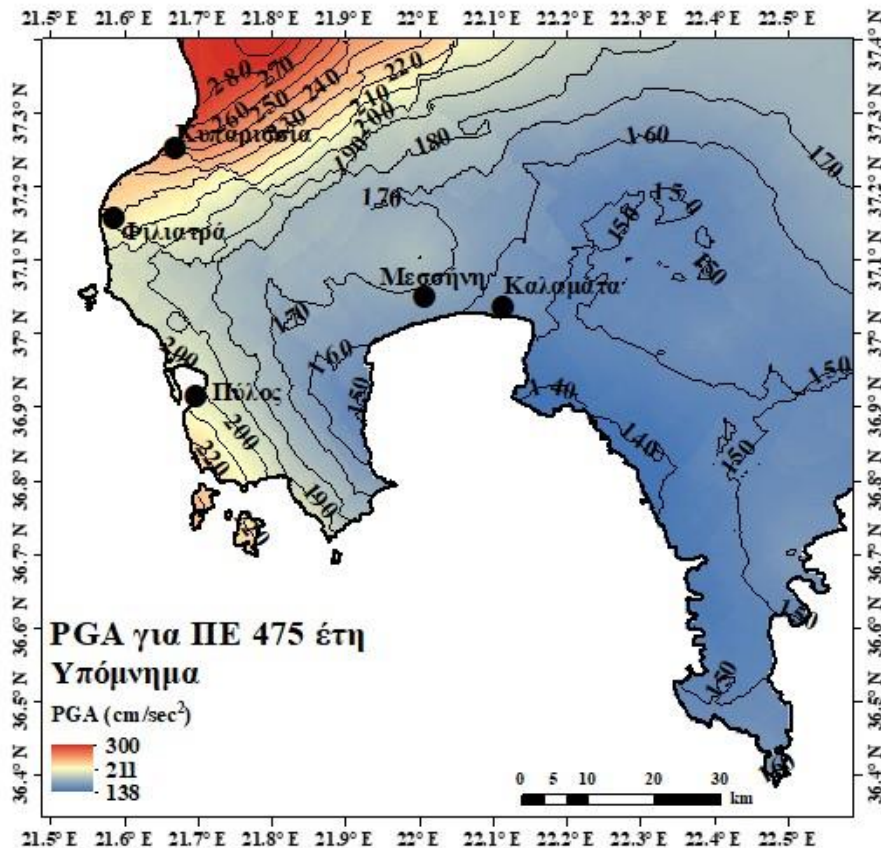
Σχήμα 2.57: Χάρτης μέγιστης αναμενόμενης εδαφικής μετατόπισης (PGD) για περίοδο επανάληψης (Π.Ε.) 950 έτη με χρήση ημιστατιστικής μεθόδου. Σχέση απόσβεσης: Margaritis et al. (2002) (υβριδική).

Οι ζώνες του Σχήματος 2.57 είναι παρόμοιες με αυτές του Σχήματος 2.56, δηλαδή οι υψηλότερες τιμές υπολογίστηκαν στη δυτική ακτογραμμή στις περιοχές Κυπαρισσία, Φιλιατρά και Πύλο και ανήκουν στο διάστημα [5.0, 7.5] cm. Η Μεσσήνη και η Καλαμάτα έχουν τιμές στο [4.0, 5.0] cm, ενώ οι χαμηλότερες τιμές (3.9 cm) εντοπίζονται στο ΝΑ άκρο της περιοχής μελέτης. Ένα σημαντικό μειονέκτημα στην αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της εδαφικής μετατόπισης είναι η έλλειψη βιβλιογραφίας, διότι μόνο οι Makropoulos et al. (2013) και Kouskouna and Kaviris (2014) έχουν υπολογίσει τη συγκεκριμένη παράμετρο σεισμικής επικινδυνότητας. Με βάση αυτές τις εργασίες, τα αποτελέσματα των Σχημάτων 2.56, 2.57 είναι αξιόπιστα.

## 2. ΠΙΘΑΝΟΛΟΓΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ

### 2.5.6.2 Skarlatoudis et al. (2003, 2007)

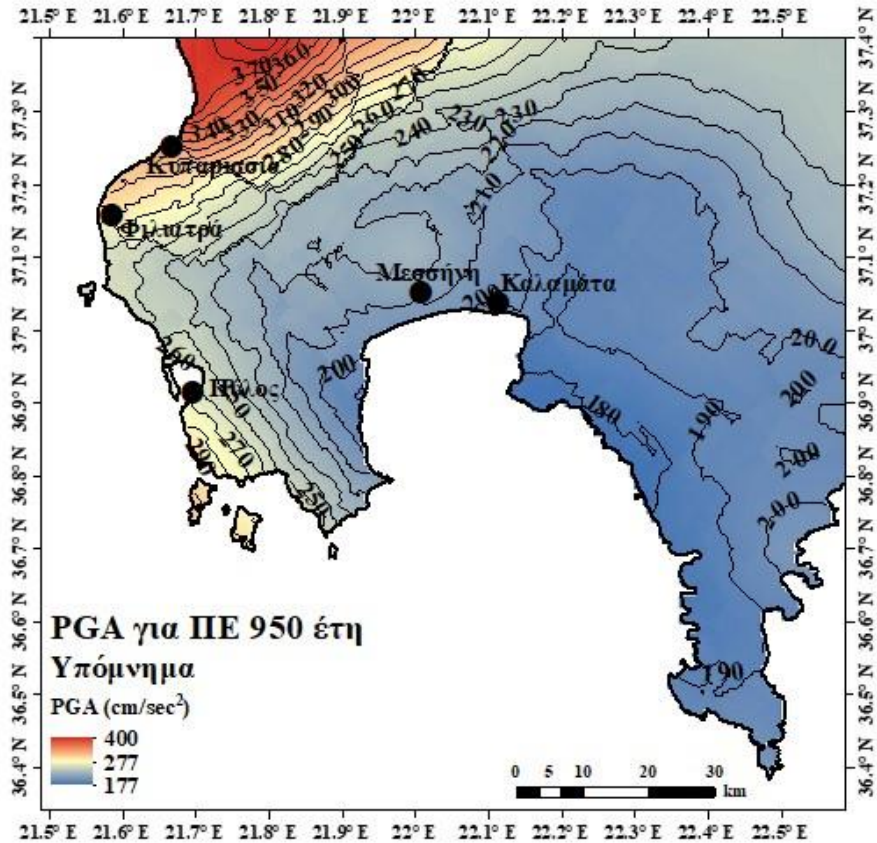
#### 2.5.6.2.1 Μέγιστη αναμενόμενη εδαφική επιτάχυνση (PGA)



Σχήμα 2.58: Χάρτης μέγιστης αναμενόμενης εδαφικής επιτάχυνσης (PGA) για περίοδο επανάληψης (Π.Ε.) 475 έτη με χρήση ημιστατιστικής μεθόδου. Σχέση απόσβεσης: Skarlatoudis et al. (2003) (υβριδική)

Η χωρική κατανομή των υπολογιζόμενων τιμών των σχέσεων απόσβεσης Margaritis et al. (2002) και Skarlatoudis et al. (2003) είναι παρόμοια, διότι η δεύτερη σχέση αποτελεί εξέλιξη της πρώτης. Αυτό αποδεικνύεται από το γεγονός πως οι Skarlatoudis et al. (2003) λαμβάνουν υπόψη και τον μηχανισμό γένεσης κάθε σεισμικής πηγής, σε αντίθεση με τους Margaritis et al. (2002). Οι τιμές του Σχήματος 2.58 BBA της Κυπαρισσίας είναι ελαφρά μειωμένες συγκριτικά με αυτές του Σχήματος 2.52, συγκεκριμένα η υψηλότερη τιμή είναι αυξημένη κατά 80 περίπου  $\text{cm/sec}^2$  που δεν θεωρείται τόσο σημαντική. Επίσης και οι υπόλοιπες τιμές φαίνονται να είναι μειωμένες συγκρινόμενες με εκείνες που προκύπτουν από τη σχέση απόσβεσης του Margaritis et al. (2002), αλλά και πάλι δεν παρατηρούνται σημαντικές αποκλίσεις.

## 2. ΠΙΘΑΝΟΛΟΓΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ



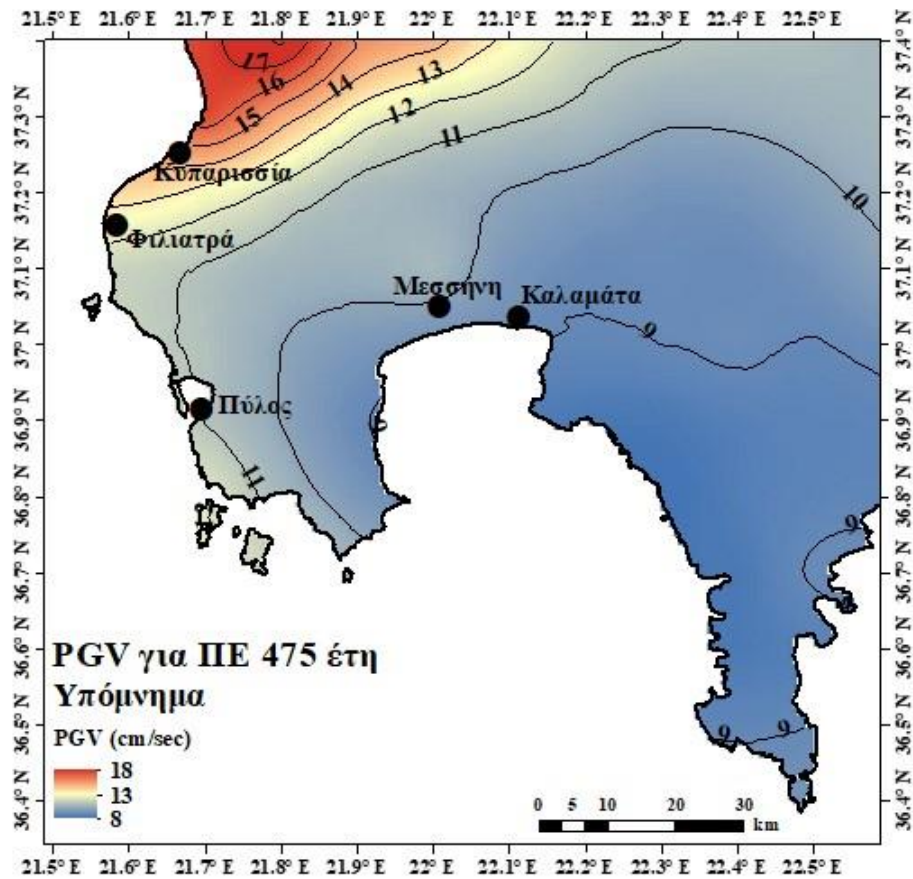
Σχήμα 2.59: Χάρτης μέγιστης αναμενόμενης εδαφικής επιτάχυνσης (PGA) για περίοδο επανάληψης (Π.Ε.) 950 έτη με χρήση ημιστατιστικής μεθόδου. Σχέση απόσβεσης: Skarlatoudis et al. (2003) (υβριδική).

Η υψηλότερη τιμή αυξήθηκε κατά  $100 \text{ cm/sec}^2$ . Η χωρική κατανομή παρέμεινε ίδια. Γενικά οι τιμές είναι αυξημένες σε σχέση με το Σχήμα 2.58. Επίσης, οι τιμές είναι μειωμένες συγκρινόμενες με τον αντίστοιχο χάρτη της σχέσης απόσβεσης Margaritis et al. (2002). Τα αποτελέσματα του υπολογισμού της μέγιστης αναμενόμενης εδαφικής επιτάχυνσης με χρήση της σχέσης απόσβεσης Skarlatoudis et al. (2003) κρίνονται αξιόπιστα έπειτα από συγκρίσεις με τις εργασίες των Banitsiotou et al. (2004) και Slejko et al. (2010).



## 2. ΠΙΘΑΝΟΛΟΓΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ

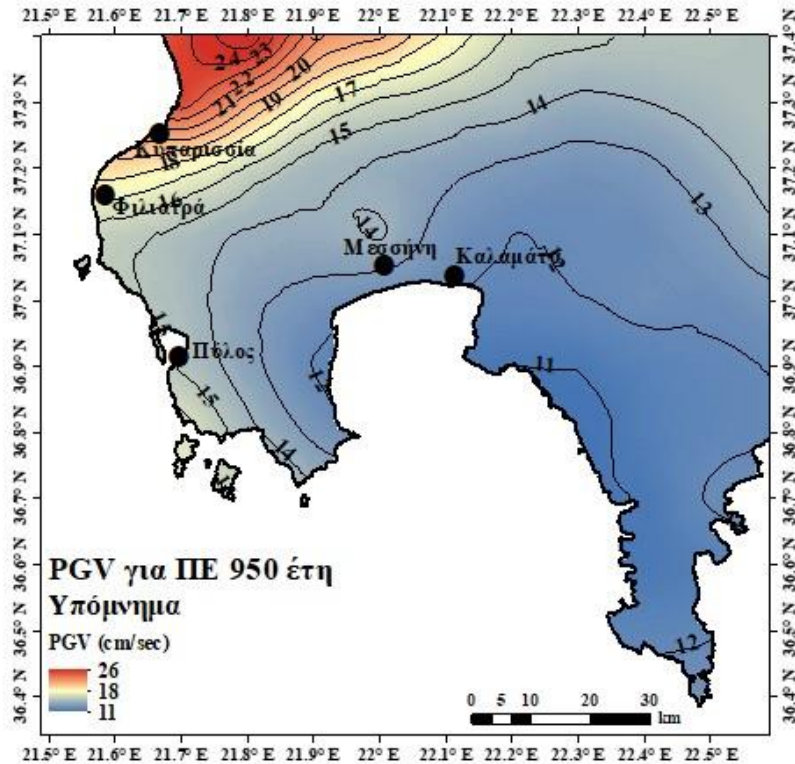
### 2.5.6.2.2 Μέγιστη αναμενόμενη εδαφική ταχύτητα (PGV)



Σχήμα 2.60: Χάρτης μέγιστης αναμενόμενης εδαφικής ταχύτητας (PGV) για περίοδο επανάληψης (Π.Ε.) 475 έτη με χρήση ημιστατιστικής μεθόδου. Σχέση απόσβεσης: Skarlatoudis et al. (2007) (υβριδική).

Όσον αφορά τη χωρική κατανομή PGV, εμφανίζονται πάλι τρεις ζώνες. Οι υπολογιζόμενες τιμές του Σχήματος 2.60 είναι αρκετά μικρότερες συγκριτικά με το Σχήμα 2.54 (σχέση απόσβεσης Margaritis et al., 2002). Η υψηλότερη τιμή φθάνει τα 18 cm/sec (BBA Κυπαρισσίας) και, κατά αντιστοιχία, στον Λακωνικό κόλπο εντοπίζεται η χαμηλότερη υπολογιζόμενη τιμή εδαφικής ταχύτητας (8 cm/sec).

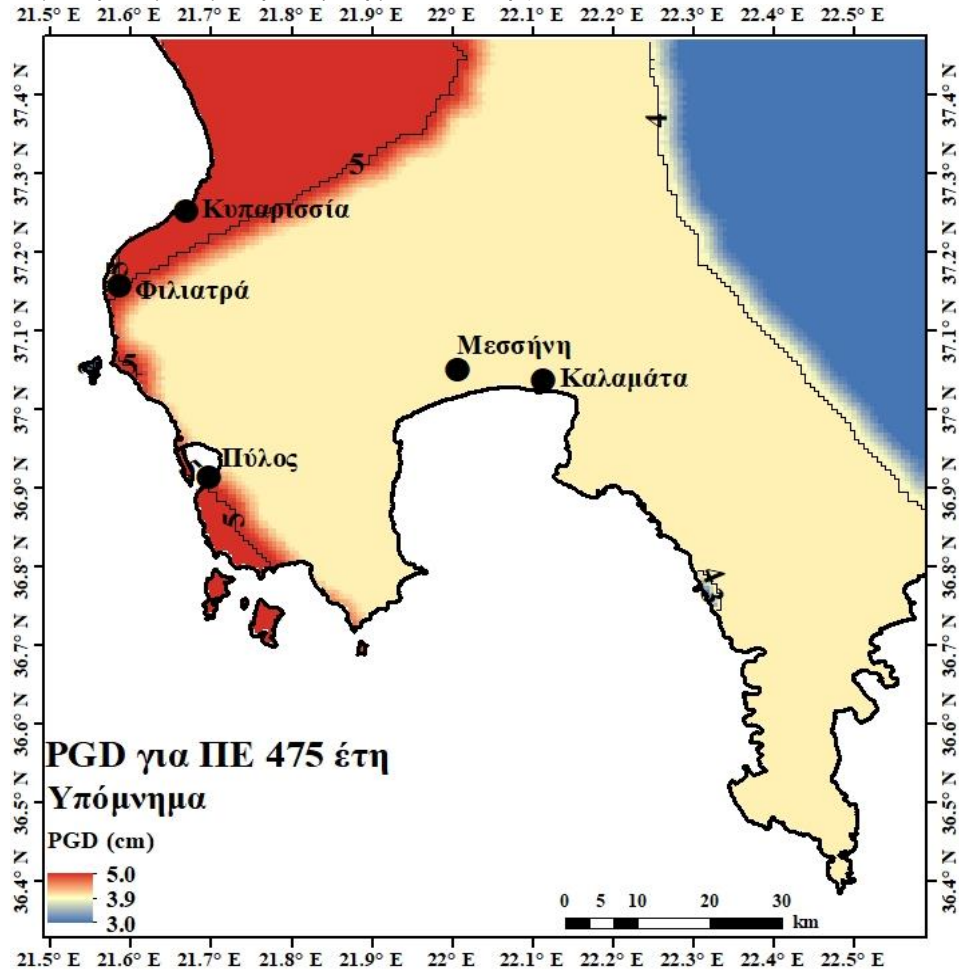
## 2. ΠΙΘΑΝΟΛΟΓΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ



Σχήμα 2.61: Χάρτης μέγιστης αναμενόμενης εδαφικής ταχύτητας (PGV) για περίοδο επανάλυψης (Π.Ε.) 950 έτη με χρήση ημιστατιστικής μεθόδου. Σχέση απόσβεσης: Skarlatoudis et al. (2007) (υβριδική).

Οι αυξήσεις των τιμών του Σχήματος 2.61 σε σχέση με αυτές του Σχήματος 2.60 ανήκουν στο διάστημα [2, 5] cm/sec, συνεπώς, δεν αλλάζει σημαντικά η γενική εικόνα μεταξύ των δύο περιόδων επανάλυψης για την εδαφική ταχύτητα με τη χρήση απόσβεσης των Skarlatoudis et al. (2003). Η μικρή αυτή αύξηση συναντήθηκε και στη σχέση απόσβεσης των Margaritis et al. (2002), όμως το Σχήμα 2.55 έχει σαφώς μεγαλύτερες τιμές από αυτές του Σχήματος 2.60. Τα αποτελέσματα, αν και ελαφρώς υποεκτιμημένα, συγκρίνονται άμεσα με τις εργασίες των Banitsiotou et al. (2004) και Kouskouna and Kaviris (2014).

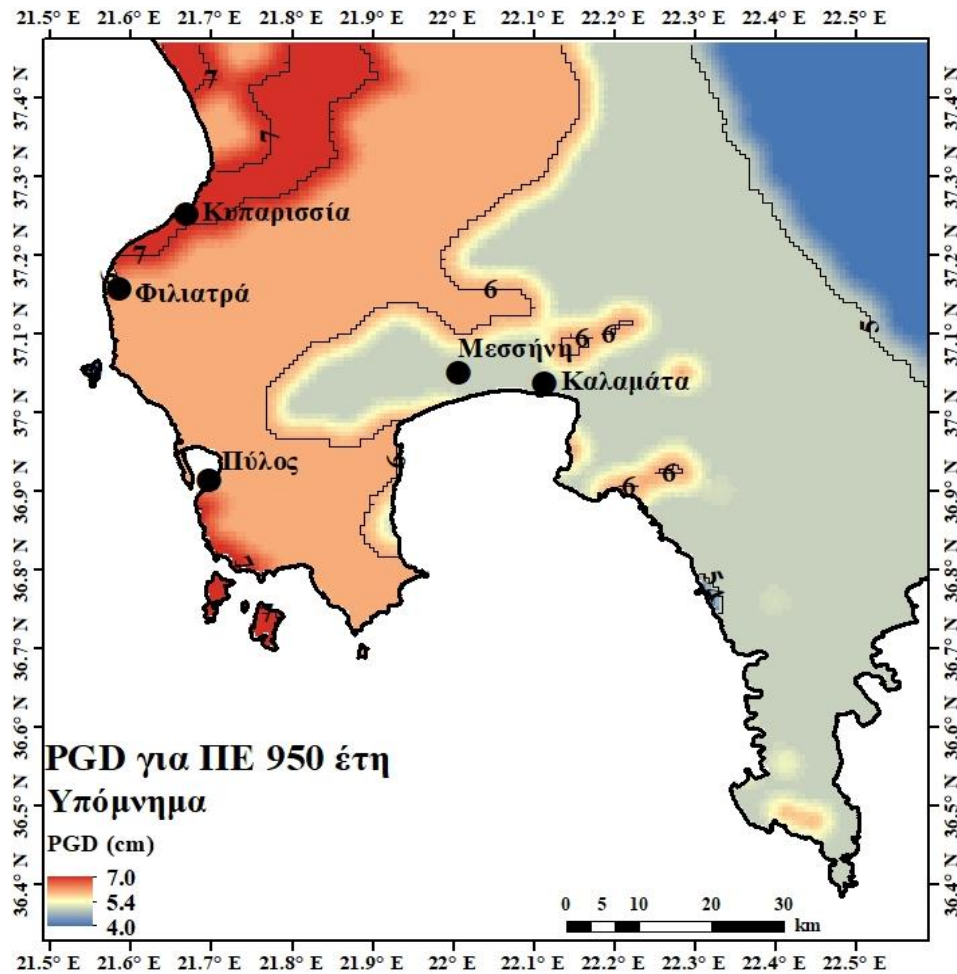
2.5.6.2.3 Μέγιστη αναμενόμενη εδαφική μετατόπιση (PGD)



Σχήμα 2.62: Χάρτης μέγιστης αναμενόμενης εδαφικής μετατόπισης (PGD) για περίοδο επανάληψης (Π.Ε.) 475 έτη με χρήση ημιστατιστικής μεθόδου. Σχέση απόσβεσης: Skarlatoudis et al. (2003) (υβριδικό).

Οι υπολογισμένες τιμές της εδαφικής μετατόπισης που απεικονίζονται στο Σχήμα 2.62 κατατάσσονται σε 3 καλά οριοθετημένες ζώνες. Η πρώτη με τις υψηλότερες τιμές ( $\geq 5.0$  cm) εντοπίζεται στη δυτική ακτογραμμή της περιοχής μελέτης (Κυπαρισσία, Φιλιατρά και Πύλο). Η δεύτερη και πιο ευρεία κατανεμημένη έχει τιμές εδαφικής μετατόπισης στο διάστημα [4.0, 5.0) cm και εμπεριέχει όλη τη χέρσο περί του Μεσσηνιακού (εκτός της δυτικής ακτογραμμής) και του Λακωνικού κόλπου (εκτός από αυτή νότια της Τρίπολης), όπου υπολογίστηκαν οι χαμηλότερες τιμές (3.0 cm).

## 2. ΠΙΘΑΝΟΛΟΓΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ



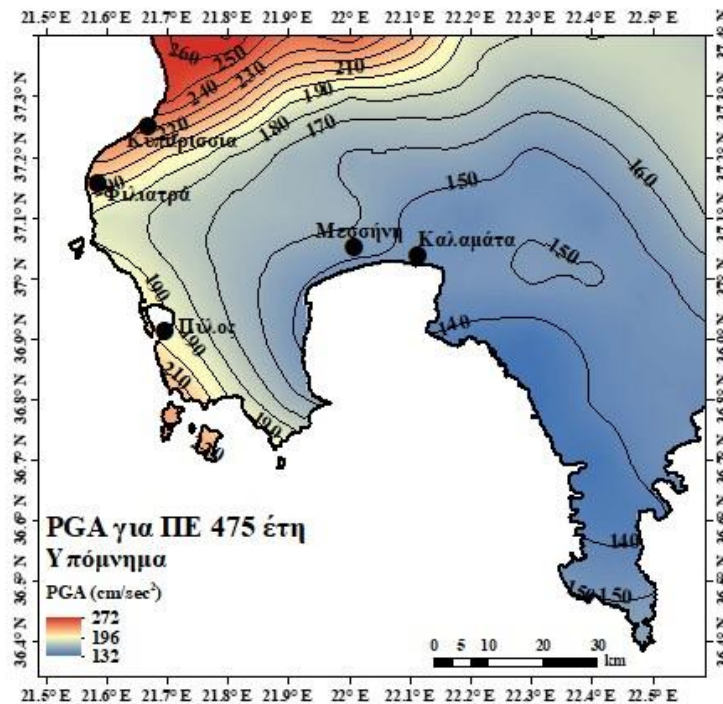
Σχήμα 2.63: Χάρτης μέγιστης αναμενόμενης εδαφικής μετατόπισης (PGD) για περίοδο επανάληψης (Π.Ε.) 950 έτη με χρήση ημιστατιστικής μεθόδου. Σχέση απόσβεσης: Skarlatoudis et al. (2003) (υβριδικό)..

Οι διαφορές όσον αφορά τις υπολογιζόμενες τιμές μεταξύ των Σχημάτων 2.63 και 2.62 δεν είναι σημαντικές. Ωστόσο, η χωρική κατανομή είναι διαφορετική από αυτή για περίοδο επανάληψης 475 ετών. Οι ζώνες αυξάνονται σε τέσσερις, με την προσθήκη εκείνης BBA της Κυπαρισσίας και Ν της Πύλου, όπου υπολογίστηκαν οι υψηλότερες τιμές (7.0 cm). Οι υπόλοιπες τρεις ζώνες ακολουθούν την ίδια κατανομή όπως στο Σχήμα 2.62 με τη διαφορά ότι υπάρχουν ορισμένες αλληλοεπικαλύψεις, κυρίως βόρεια της Μεσσήνης και της Καλαμάτας. Τα αποτελέσματα κρίνονται ελαφρώς υπερεκτιμημένα έπειτα από σύγκριση με τις εργασίες των Makropoulos et al. (2013) και Kouskouna and Kaviris (2014).

## 2. ΠΙΘΑΝΟΛΟΓΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ

### 2.5.6.3 Danciu and Tselentis (2007)

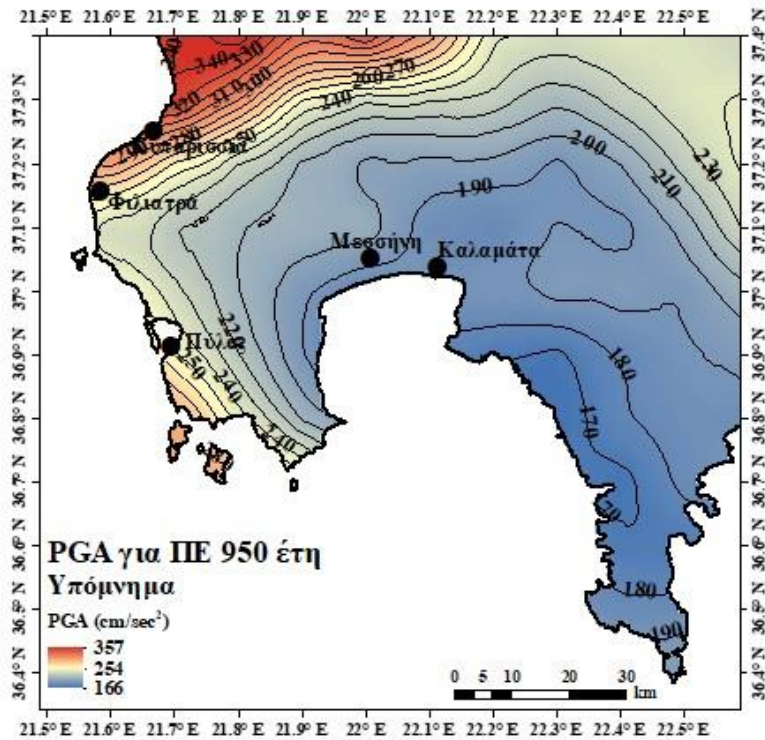
#### 2.5.6.3.1 Μέγιστη αναμενόμενη εδαφική επιτάχυνση (PGA)



Σχήμα 2.64: Χάρτης μέγιστης αναμενόμενης εδαφικής επιτάχυνσης (PGA) για περίοδο επανάλιψης (Π.Ε.) 475 έτη με χρήση ημιστατιστικής μεθόδου. Σχέση απόσβεσης: Danciu and Tselentis (2007) (υβριδική).

Τα αποτελέσματα των εδαφικών επιταχύνσεων του Σχήματος 2.64 ακολουθούν μια ομαλή μείωση τιμών από τις υψηλότερες που εντοπίζονται δυτικά ( $272 \text{ cm/sec}^2$ ) προς τις χαμηλότερες στα ανατολικά ( $132 \text{ cm/sec}^2$ ). Χαρακτηριστική είναι η σιγμοειδής μορφής των υψηλών τιμών στο δυτικό τμήμα της περιοχής μελέτης, ενώ αντίθετα στην υπόλοιπη χέρσο υπάρχει μια ομαλότερη κατανομή των ενδιάμεσων και χαμηλότερων εδαφικών επιταχύνσεων. Η σιγμοειδής κατανομή οφείλεται στα όρια των λεκανών μεταξύ της Άνω και Κάτω Μεσσηνίας. Παράλληλα, τα αίτια αποδίδονται και στις σεισμικές πηγές της Κεφαλληνίας και της Ζακύνθου που επηρεάζουν λόγω μικρότερης απόστασης την περιοχή.

## 2. ΠΙΘΑΝΟΛΟΓΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ

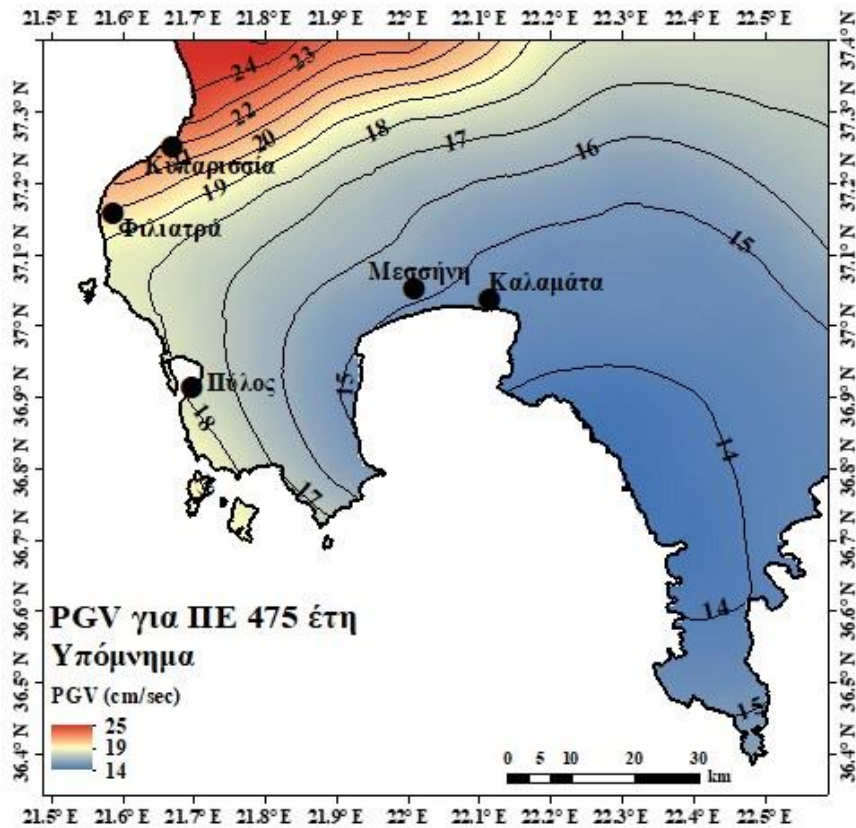


Σχήμα 2.65: Χάρτης μέγιστης αναμενόμενης εδαφικής επιτάχυνσης (PGA) για περίοδο επανάλιψης (Π.Ε.) 950 έτη με χρήση ημιστατιστικής μεθόδου. Σχέση απόσβεσης: Danciu and Tselentis (2007) (υβριδική).

Στο Σχήμα 2.65 παρατηρείται η ίδια χωρική κατανομή με αυτή του Σχήματος 2.64, αλλά με αυξημένες τιμές εδαφικής επιτάχυνσης περίπου κατά 30-40 cm/sec<sup>2</sup>. Πλέον γίνεται κατανοητό πως η περιοχή υψηλής σεισμικής επικινδυνότητας εντοπίζεται κυρίως στη χέρσο γύρω από τις Πύλο, Φιλιατρά και Κυπαρισσία με την τελευταία να έχει πάντα τις μεγαλύτερες υπολογιζόμενες εδαφικές παραμέτρους. Τα αποτελέσματα κρίνονται αξιόπιστα έπειτα από σύγκριση με εκείνα από τις εργασίες των Banitsiotou et al. (2004), Tselentis and Danciu (2010), Slejko et al. (2010) και Woessner et al. (2015).

## 2. ΠΙΘΑΝΟΛΟΓΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ

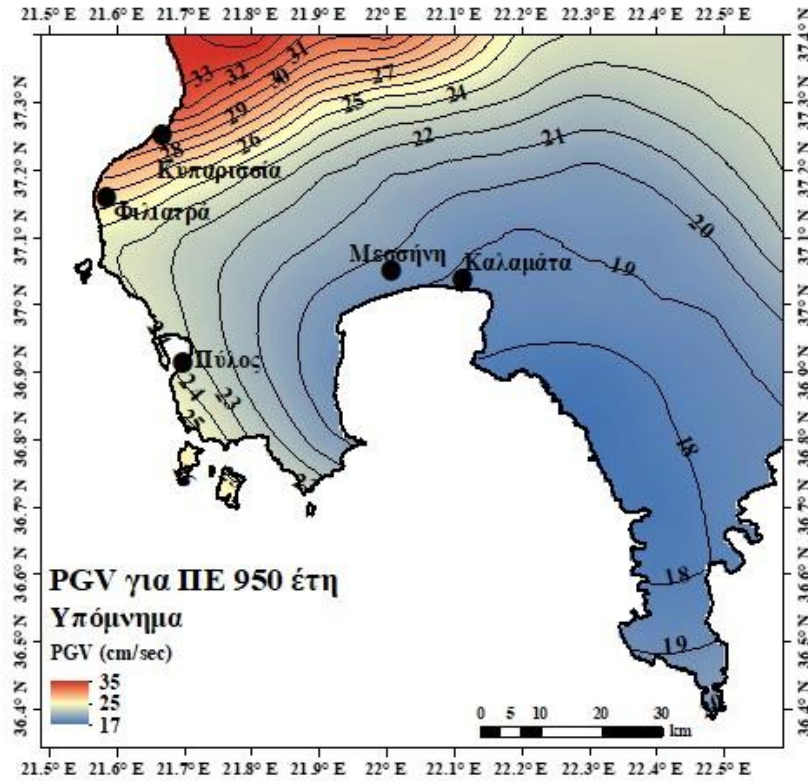
### 2.5.6.3.2 Μέγιστη αναμενόμενη εδαφική ταχύτητα (PGV)



Σχήμα 2.66: Χάρτης μέγιστης αναμενόμενης εδαφικής ταχύτητας (PGV) για περίοδο επανάλυσης (Π.Ε.) 475 έτη με χρήση ημιστατιστικής μεθόδου. Σχέση απόσβεσης: Danciu and Tselentis (2007) (υβριδική).

Η μορφή του Σχήματος 2.66 είναι παρόμοια με αυτή των εδαφικών επιταχύνσεων προηγούμενων σχέσεων απόσβεσης, άρα πάλι παρατηρείται η χαρακτηριστική σιγμοειδής μορφή των υψηλότερων τιμών PGV. Αυτές ανήκουν στο διάστημα [20, 25] cm/sec. Η Μεσσήνη και η Καλαμάτα έχουν διαφορά περίπου 1 cm/sec, καθώς στην πρώτη έχει υπολογιστεί εδαφική ταχύτητα 15.5 cm/sec ενώ στη δεύτερη 14.6 cm/sec. Οι τιμές εδαφικών ταχυτήτων του Σχήματος 2.66 είναι παρόμοιες με αυτές που υπολογίστηκαν με τη σχέση απόσβεσης των Margaris et al. (2002) (Σχήμα 2.54).

## 2. ΠΙΘΑΝΟΛΟΓΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ



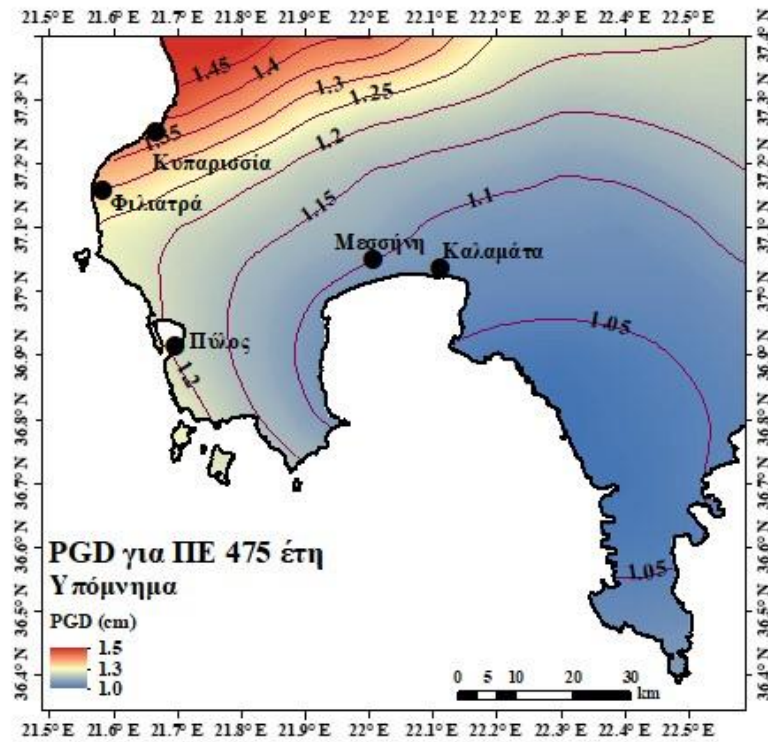
Σχήμα 2.67: Χάρτης μέγιστης αναμενόμενης εδαφικής ταχύτητας (PGV) για περίοδο επανάληψης (Π.Ε.) 950 έτη με χρήση ημιστατιστικής μεθόδου. Σχέση απόσβεσης: Danciu and Tselentis (2007) (υβριδική).

Συγκρίνοντας τα Σχήματα 2.66 και 2.67 γίνεται αντιληπτό πως η χωρική κατανομή των υψηλών τιμών δεν περιορίζεται μόνο στο ΒΔ τμήμα της περιοχής μελέτης. Οι τιμές αυξήθηκαν αρκετά καθώς η Μεσσήνη και η Καλαμάτα έχουν εδαφικές ταχύτητες που θα κατατάσσονταν στις υψηλές ζώνες στο Σχήμα 2.66. Η αύξηση μειώνεται στις περιοχές χαμηλών τιμών (+2 cm/sec). Τα αποτελέσματα των εδαφικών ταχυτήτων, αν και ελαφρά αυξημένα, συγκρίνονται με αυτά των Banitsiotou et al. (2004) και Danciu and Tselentis (2007).



## 2. ΠΙΘΑΝΟΛΟΓΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ

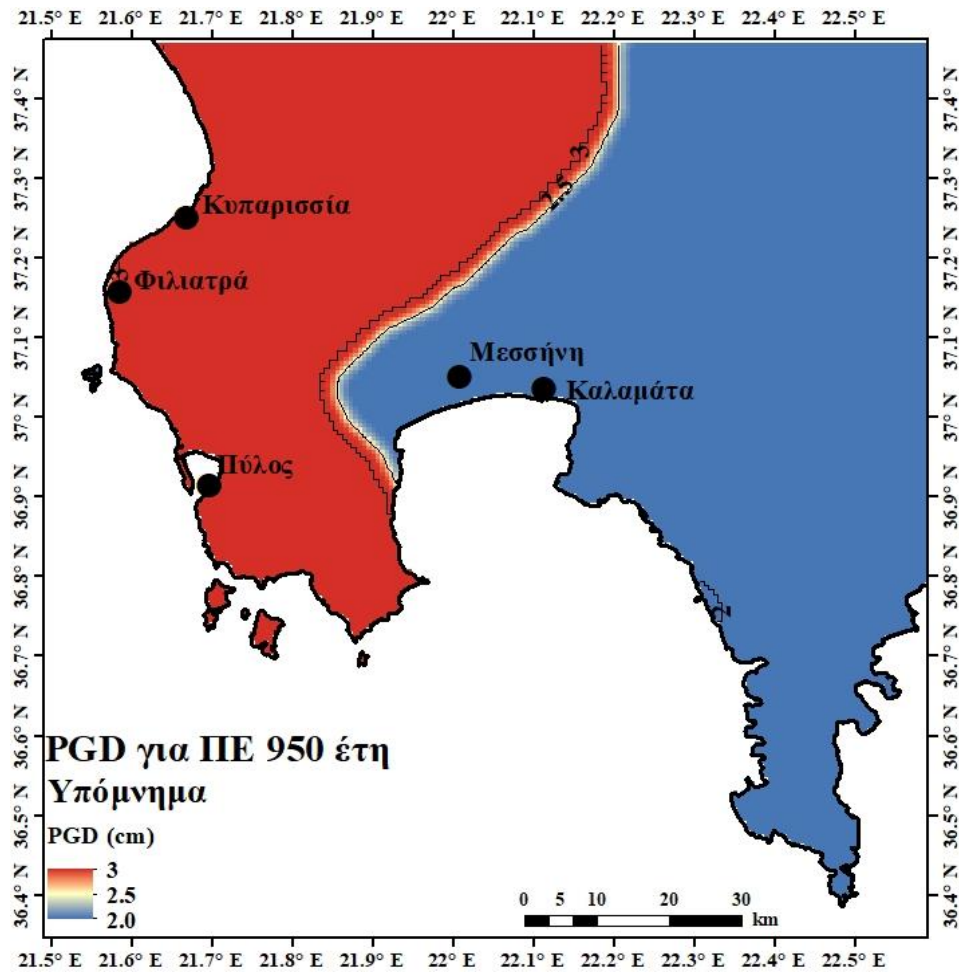
### 2.5.6.3.3 Μέγιστη αναμενόμενη εδαφική μετατόπιση (PGD)



Σχήμα 2.68: Χάρτης μέγιστης αναμενόμενης εδαφικής μετατόπισης (PGD) για περίοδο επανάληψης (Π.Ε.) 475 έτη με χρήση ημιστατιστικής μεθόδου. Σχέση απόσβεσης: Danciu and Tselentis (2007) (υβριδική).

Η χωρική κατανομή είναι ίδια με όλες τις υπόλοιπες σχέσεις απόσβεσης. Οι μεγαλύτερες τιμές εντοπίζονται ΒΔ του χάρτη όπου περιλαμβάνεται η Κυπαρισσία με τιμές κοντά στο 1.5 cm. Οι διακυμάνσεις των τιμών δεν είναι σημαντικές διότι η χαμηλότερη τιμή είναι μόλις 0.5 cm μικρότερη της υψηλότερης τιμής PGD.

## 2. ΠΙΘΑΝΟΛΟΓΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ



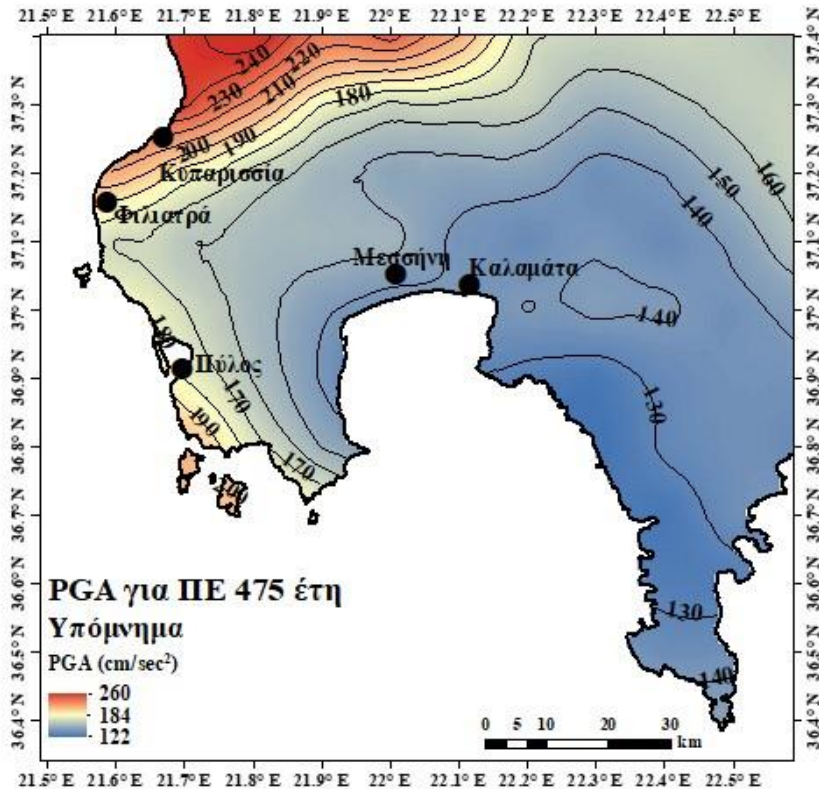
Σχήμα 2.69: Χάρτης μέγιστης αναμενόμενης εδαφικής μετατόπισης (PGD) για περίοδο επανάληψης (Π.Ε.) 950 έτη με χρήση ημιστατιστικής μεθόδου. Σχέση απόσβεσης: Danciu and Tselentis (2007) (υβριδική).

Οι τιμές δεν αυξάνονται όπως θα ήταν αναμενόμενο αλλά μόνο η χωρική κατανομή αλλάζει, καθώς οι μεγαλύτερες τιμές του Σχήματος 2.69 εξαπλώνονται αρκετά προς τα ανατολικά. Αυτό γίνεται κατανοητό και από τις τιμές των πόλεων, διότι πλέον εντάχθηκαν στις μεγαλύτερες τιμές οι Πύλος και Φιλιατρά. Τα αποτελέσματα κρίνονται αξιόπιστα έπειτα από σύγκριση με τις εργασίες των Makropoulos et al. (2013) και Kouskouna and Kaviris (2014).

## 2. ΠΙΘΑΝΟΛΟΓΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ

### 2.5.6.4 Sakkas (2016)

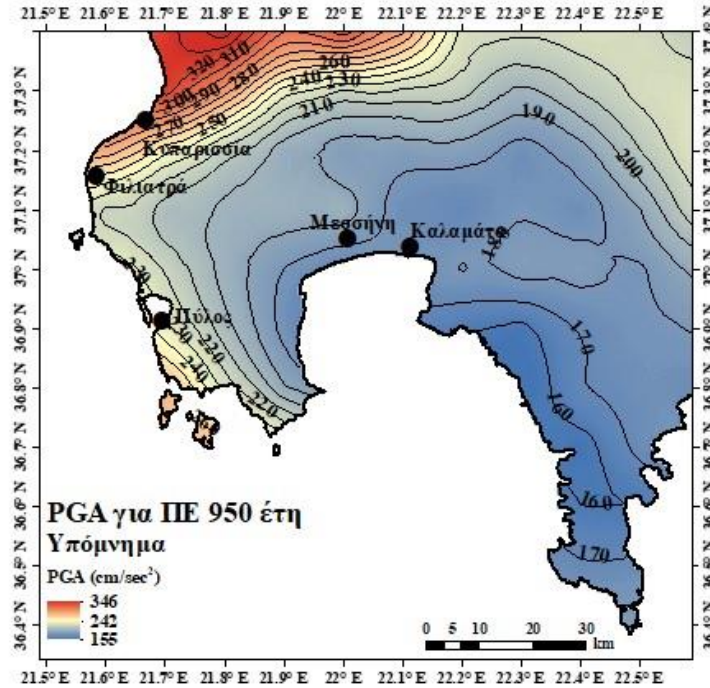
#### 2.5.6.4.1 Μέγιστη αναμενόμενη εδαφική επιτάχυνση (PGA)



Σχήμα 2.70: Χάρτης μέγιστης αναμενόμενης εδαφικής επιτάχυνσης (PGA) για περίοδο επανάληψης (Π.Ε.) 475 έτη με χρήση ημιστατιστικής μεθόδου. Σχέση απόσβεσης: Sakkas (2016).

Οι υπολογιζόμενες τιμές αλλά και η χωρική κατανομή του Σχήματος 2.70 είναι αρκετά όμοιες με τον αντίστοιχο χάρτη με τη σχέση απόσβεσης των Danciu and Tselentis (2007). Χαρακτηριστική είναι πάλι η σιγμοειδής μορφή και το πώς κυμαίνονται οι τιμές από Δυτικά προς τα Ανατολικά. Οι ισοκαμπύλες πυκνώνουν στις υψηλότερες τιμές και αραιώνουν στις χαμηλότερες. Αυτό συμβαίνει λόγω έλλειψης σημαντικής τεκτονικής δράσης στη χέρσο βόρεια του Λακωνικού κόλπου και νότια της Τρίπολης.

## 2. ΠΙΘΑΝΟΛΟΓΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ



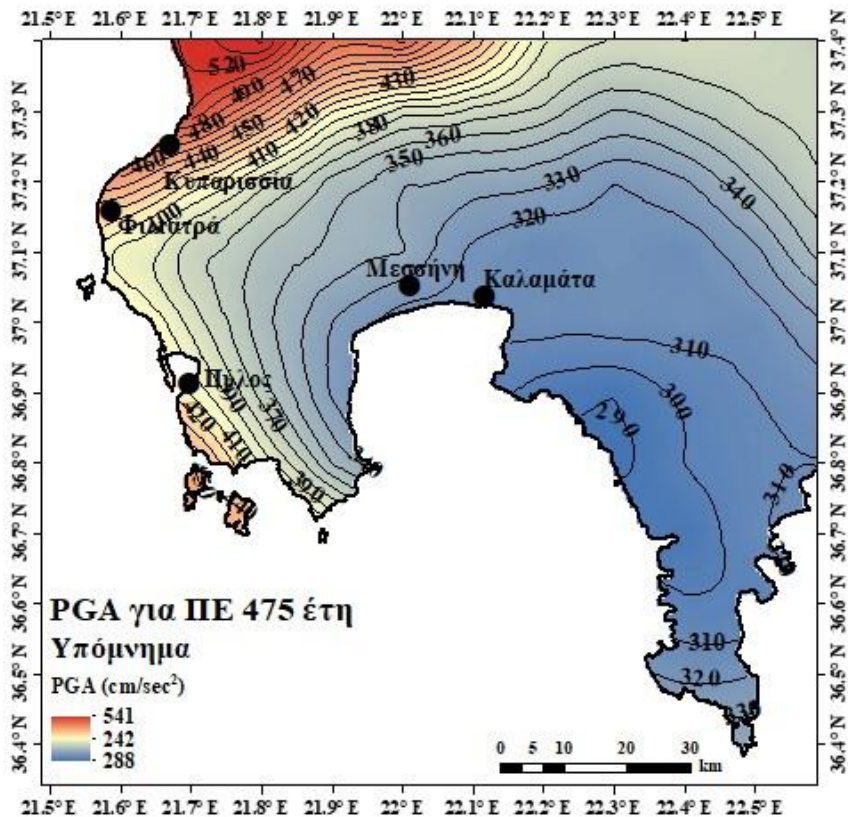
Σχήμα 2.71: Χάρτης μέγιστης αναμενόμενης εδαφικής επιτάχυνσης (PGA) για περίοδο επανάληψης (Π.Ε.) 950 έτη με χρήση ημιστατιστικής μεθόδου. Σχέση απόσβεσης: Sakkas (2016) (υβριδική).

Όπως και στη σχέση Danciu and Tselentis (2007), έτσι και στο Σχήμα 2.71 οι υψηλότερες τιμές μεταπίπτουν και ανατολικότερα, κάνοντας τη σιγμοειδή μορφή τους πιο έντονη. Οι ισοκαμπύλες εδαφικής επιτάχυνσης πάλι πυκνώνουν δυτικά και αραιώνουν ανατολικά. Οι αυξήσεις των υπολογιζόμενων τιμών δεν είναι αρκετά σημαντικές. Τα αποτελέσματα κρίνονται αξιόπιστα έπειτα από σύγκριση με εκείνα των Banitsiotou et al. (2004), Tselentis and Danciu (2010), Slejko et al. (2010) και Woessner et al. (2015).

## 2. ΠΙΘΑΝΟΛΟΓΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ

### 2.5.6.5 Chousianitis et al. (2018)

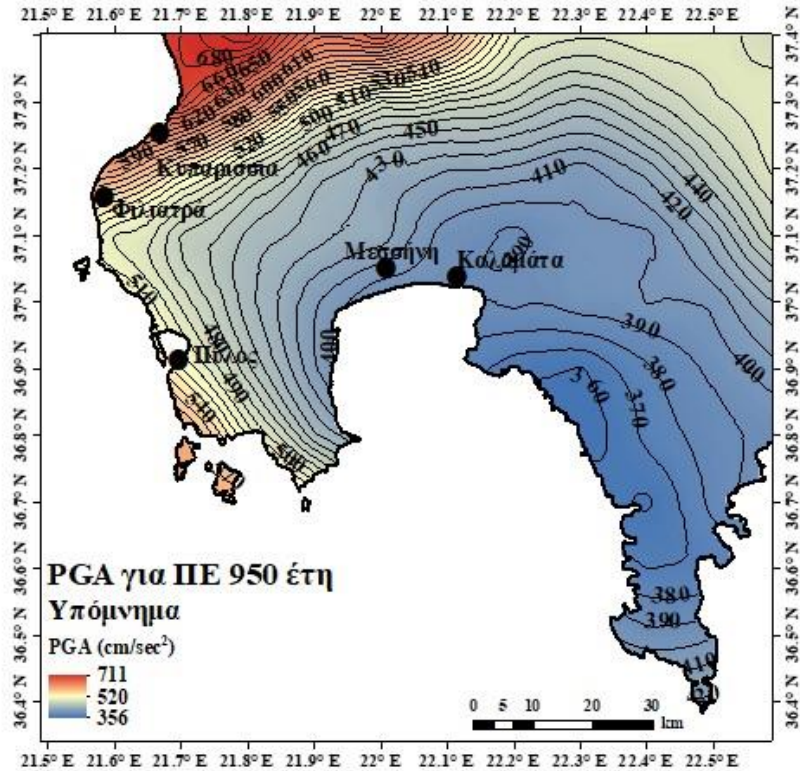
#### 2.5.6.5.1 Μέγιστη αναμενόμενη εδαφική επιτάχυνση (PGA)



Σχήμα 2.72: Χάρτης μέγιστης αναμενόμενης εδαφικής επιτάχυνσης (PGA) για περίοδο επανάληψης (Π.Ε.) 475 έτη με χρήση ημιστατιστικής μεθόδου. Σχέση απόσβεσης: Chousianitis et al. (2018) (υβριδική).

Ενώ η χωρική κατανομή είναι ίδια με τις δύο προηγούμενες σχέσεις απόσβεσης (Danciu and Tselenitis, 2007; Sakkas, 2016), οι υπολογιζόμενες τιμές του Σχήματος 2.72 είναι μεγαλύτερες. Αυτό μπορεί να οφείλεται στην βελτίωση του δικτύου των επιταχυνσιογράφων με την πάροδο του χρόνου. Η ΒΔ περιοχή μελέτης (BBA Κυπαρισσίας) έχει εδαφικές επιταχύνσεις για περίοδο επανάληψης 475 έτη να είναι περίπου 550 cm/sec<sup>2</sup>. Η χαμηλότερη τιμή (288 cm/sec<sup>2</sup>) συνήθως απαντάται στις υψηλότερες τιμές των άλλων σχέσεων απόσβεσης.

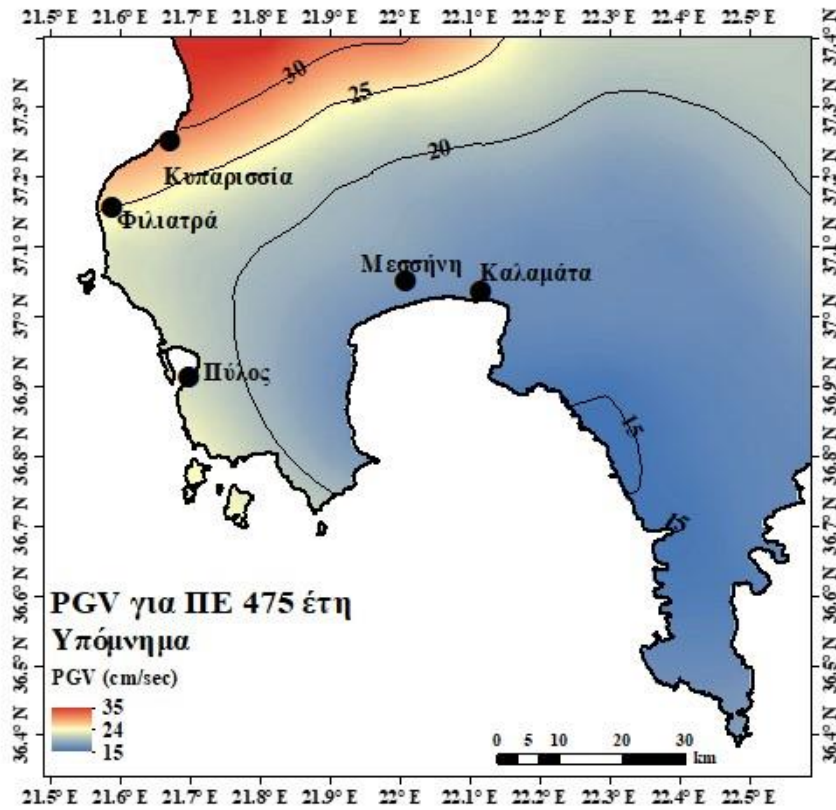
## 2. ΠΙΘΑΝΟΛΟΓΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ



Σχήμα 2.73: Χάρτης μέγιστης αναμενόμενης εδαφικής επιτάχυνσης (PGA) για περίοδο επανάληψης (Π.Ε.) 950 έτη με χρήση ημιστατιστικής μεθόδου. Σχέση απόσβεσης: Chousianitis et al. (2018) (υβριδική).

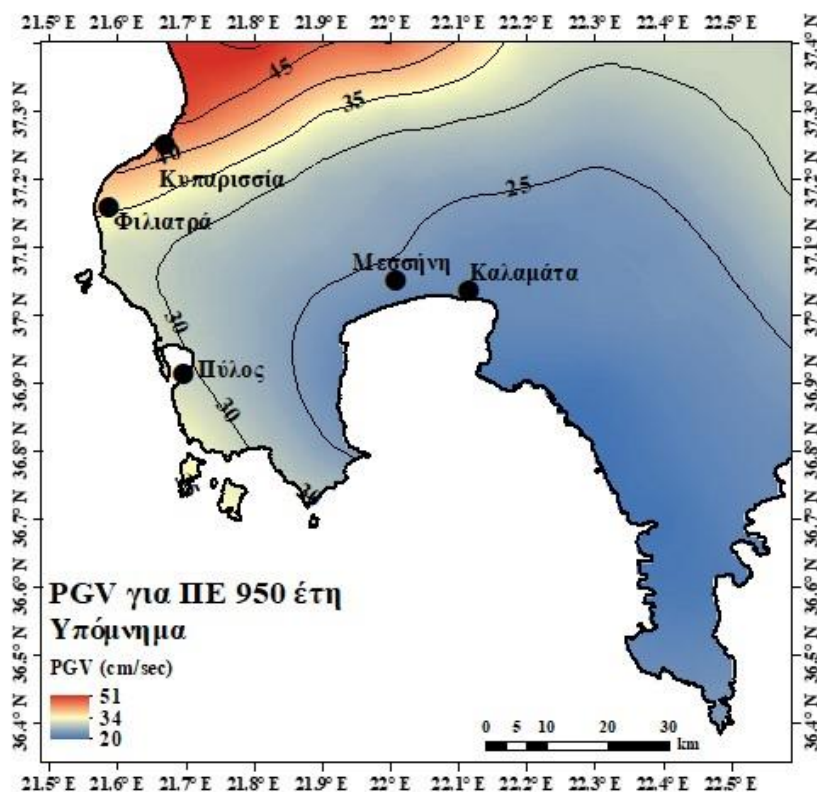
Η χωρική κατανομή των τιμών του Σχήματος 2.73 δεν διαφέρει από αυτή του Σχήματος 2.72, εκτός από την αύξηση της κλίσης των ισοκαμπυλών στο δυτικό τμήμα της περιοχής μελέτης. Οι τιμές αυξήθηκαν ραγδαία περίπου  $200 \text{ cm/sec}^2$  στις υψηλότερες τιμές. Αναμένονται τα ίδια συμπεράσματα και για την εδαφική ταχύτητα.

## 2. ΠΙΘΑΝΟΛΟΓΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ



Σχήμα 2.74: Χάρτης μέγιστης αναμενόμενης εδαφικής ταχύτητας (PGV) για περίοδο επανάληψης (Π.Ε.) 475 έτη με χρήση ημιστατιστικής μεθόδου. Σχέση απόσβεσης: Chousianitis et al. (2018) (υβριδική).

Οι υπολογιζόμενες τιμές του Σχήματος 2.74 δεν αποτελούν εξαίρεση στις παρατηρήσεις των προηγούμενων διότι η υψηλότερη τιμή BBA Κυπαρισσίας είναι ίση με 35 cm/sec που σημαίνει ότι είναι αρκετά μεγαλύτερη αλλά όχι απαραίτητα υπερεκτιμημένη.



Σχήμα 2.75: Χάρτης μέγιστης αναμενόμενης εδαφικής ταχύτητας (PGV) για περίοδο επανάλιψης (Π.Ε.) 950 έτη με χρήση ημιστατιστικής μεθόδου. Σχέση απόσβεσης: Chousianitis et al. (2018) (υβριδική).

Η μεγαλύτερη τιμή που υπολογίστηκε στο Σχήμα 2.75 είναι ίση με 51 cm/sec που σημαίνει πως τα αποτελέσματα είναι μεγαλύτερα. Αρκετές εργασίες έχουν υπολογίσει τέτοιες τιμές για την ευρύτερη περιοχή της Μεσσηνίας οπότε θα ληφθεί υπόψη για τα τελικά αποτελέσματα και η σχέση απόσβεσης των Chousianitis et al. (2018).

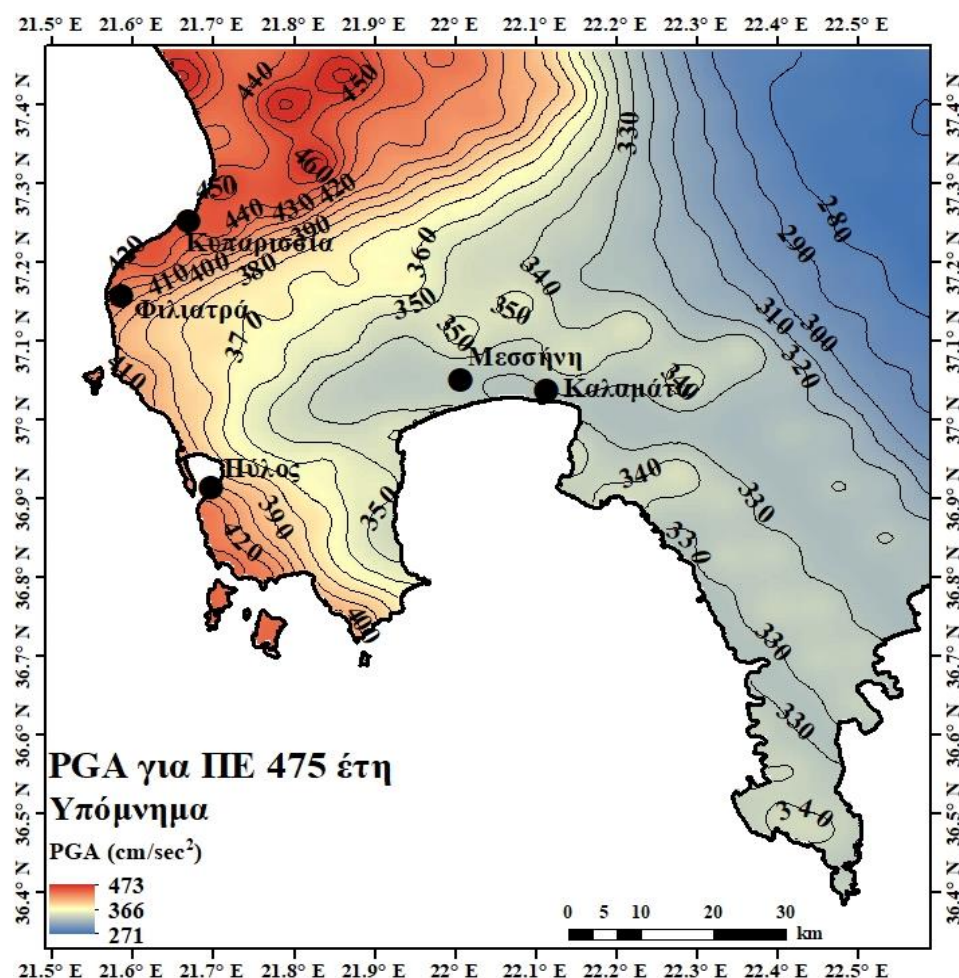
### 2.5.7 ΤΕΛΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ: Το λογικό δέντρο

Έχοντας παρουσιάσει και αξιολογήσει αρκετά αποτελέσματα πιθανολογικής εκτίμησης σεισμικής επικινδυνότητας με χρήση καθαρής στατιστικής και ημιστατιστικής μεθόδου, πρέπει να επιλεγθούν τα τελικά αποτελέσματα και να γίνει νέα σύγκριση με την υπάρχουσα βιβλιογραφία. Η προηγούμενη Παράγραφος ήταν καθοριστική στην απόρριψη και διατήρηση των σχέσεων απόσβεσης. Ωστόσο, καμία σχέση απόσβεσης δεν απορρίφθηκε.

Η σημασία της κατάληξης σε ένα τελικό συμπέρασμα και της παρουσίασης τελικών χαρτών μέγιστης αναμενόμενης εδαφικής επιτάχυνσης, ταχύτητας και μετατόπισης, είναι ύψιστη για να επιτευχθεί το επόμενο βήμα. Αυτό είναι ο υπολογισμός φασμάτων απόκρισης για κάθε μία από τις αναφερόμενες πόλεις (Καλαμάτα, Μεσσηνία, Πύλος, Φιλιατρά και Κυπαρισσία) για περίοδο επανάλιψης 475 και 950 έτη. Δημιουργήθηκε λοιπόν τελική σχέση απόσβεσης που συμπεριλαμβάνει όλες τις υβριδικές σχέσεις απόσβεσης που αναλύθηκαν προηγουμένως με ίσους συντελεστές βαρύτητας. Αυτή η διαδικασία ονομάζεται ως λογικό δέντρο (logic-tree) είναι ένας πολύ διαδεδομένος τρόπος υπολογισμού σε θέματα σεισμικής επικινδυνότητας και έχει ως στόχο την απομείωση των επιστημονικών σφαλμάτων. Υπολογίστηκαν όλες οι εδαφικές παράμετροι και θα παρουσιαστούν με μορφή χαρτών παρακάτω (Σχήματα 2.76 – 2.81).



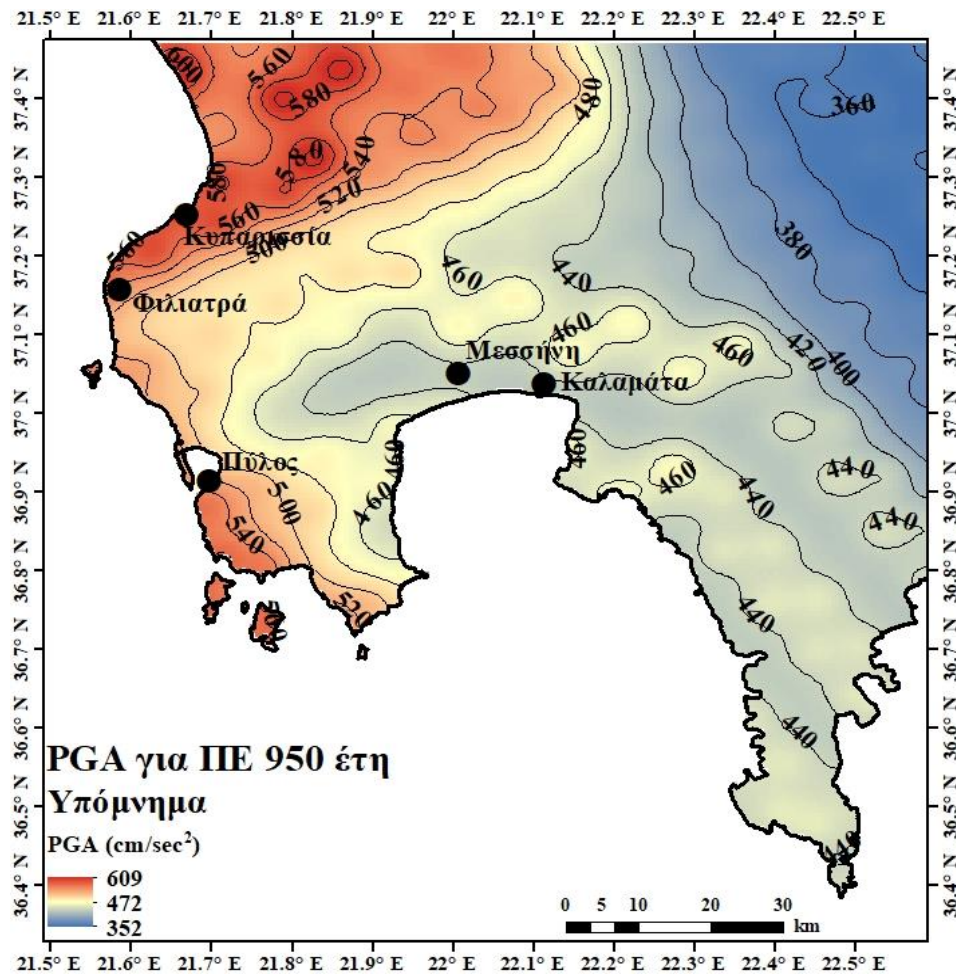
## 2.5.7.1 Μέγιστη αναμενόμενη εδαφική επιτάχυνση (PGA)



Σχήμα 2.76: Χάρτης μέγιστης αναμενόμενης εδαφικής επιτάχυνσης (PGA) για περίοδο επανάληψης (Π.Ε.) 475 έτη με χρήση ημιστατιστικής μεθόδου.

Τα αποτελέσματα των μέγιστων αναμενόμενων εδαφικών επιταχύνσεων (PGA) για περίοδο επανάληψης 475 έτη του Σχήματος 2.76 ακολουθούν μια χωρική κατανομή που είναι συνδυασμός της σιγμοειδούς μορφής των Danciu and Tselentis (2007) και Sakkas (2016) και της πολύπλοκης κατανομής στις περιοχές της Μεσσήνης και της Καλαμάτας και ΝΑ των Margaritis et al. (2002) και Skarlatoudis et al. (2003). Το τελευταίο επιβεβαιώνεται και από τα τοπικά μέγιστα BBA της Κυπαρισσίας με τιμές εδαφικής επιτάχυνσης 473 cm/sec<sup>2</sup>. Η Κυπαρισσία, τα Φιλιατρά και η Πύλος έχουν τιμές που ανήκουν στο διάστημα [410, 440] cm/sec<sup>2</sup> και η Μεσσήνη με την Καλαμάτα έχουν τιμές που εντάσσονται στο διάστημα [330, 340] cm/sec<sup>2</sup>. Οι χαμηλότερες τιμές εντοπίζονται νότια της Τρίπολης (271 cm/sec<sup>2</sup>), άρα τα αποτελέσματα συμβαδίζουν και με τη σεισμοτεκτονική της περιοχής μελέτης. Συγκεκριμένα, είναι γνωστό πως το δυτικό τμήμα της περιοχής μελέτης έχει πιο ενεργό τεκτονική (τεκτονικό κέρασ Ταυγέτου, λεκάνη Άνω και Κάτω Μεσσηνίας, τεκτονικό βύθισμα Καλαμάτας κτλ). Επίσης η χωρική κατανομή των τιμών δεν γίνεται να αλλάξει χρησιμοποιώντας διαφορετική σχέση απόσβεσης διότι δεν διαφοροποιείται ο κατάλογος σεισμικότητας που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα πτυχιακή εργασία.

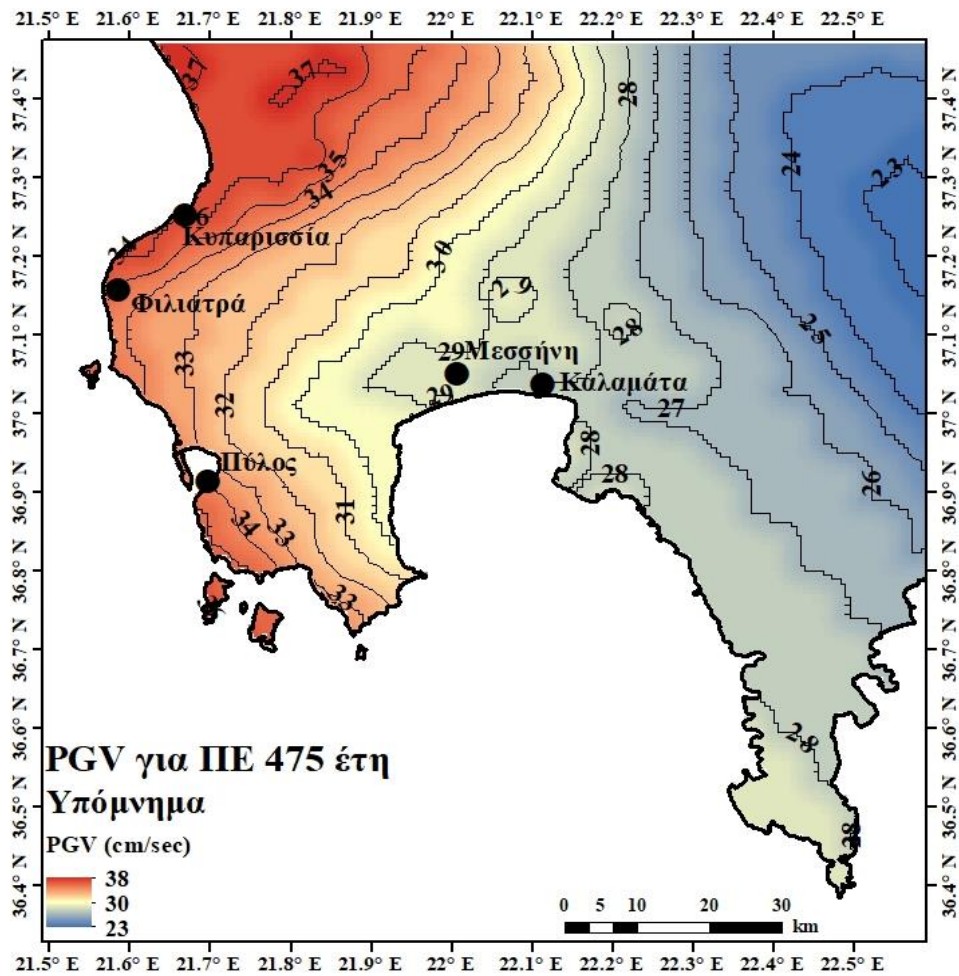
## 2. ΠΙΘΑΝΟΛΟΓΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ



Σχήμα 2.77: Χάρτης μέγιστης αναμενόμενης εδαφικής επιτάχυνσης (PGA) για περίοδο επανάληψης (Π.Ε.) 950 έτη με χρήση ημιστατιστικής μεθόδου.

Η χωρική κατανομή των υπολογιζόμενων τιμών του Σχήματος 2.77 είναι αρκετά παρόμοια με αυτή του Σχήματος 2.76. Οι τιμές έχουν αυξηθεί περίπου κατά 100 cm/sec<sup>2</sup> BBA της Κυπαρισσίας, όπου είναι ίσες με 609 cm/sec<sup>2</sup>. Η Κυπαρισσία, τα Φιλιατρά και η Πύλος έχουν τιμές που ανήκουν στο διάστημα [540, 560) cm/sec<sup>2</sup> και η Μεσσήνη με την Καλαμάτα έχουν τιμές που εντάσσονται στο διάστημα [420, 440) cm/sec<sup>2</sup>. Η χαμηλότερη εδαφική επιτάχυνση υπολογίστηκε στο ΒΑ τμήμα της περιοχής μελέτης και είναι ίση με 352 cm/sec<sup>2</sup>.

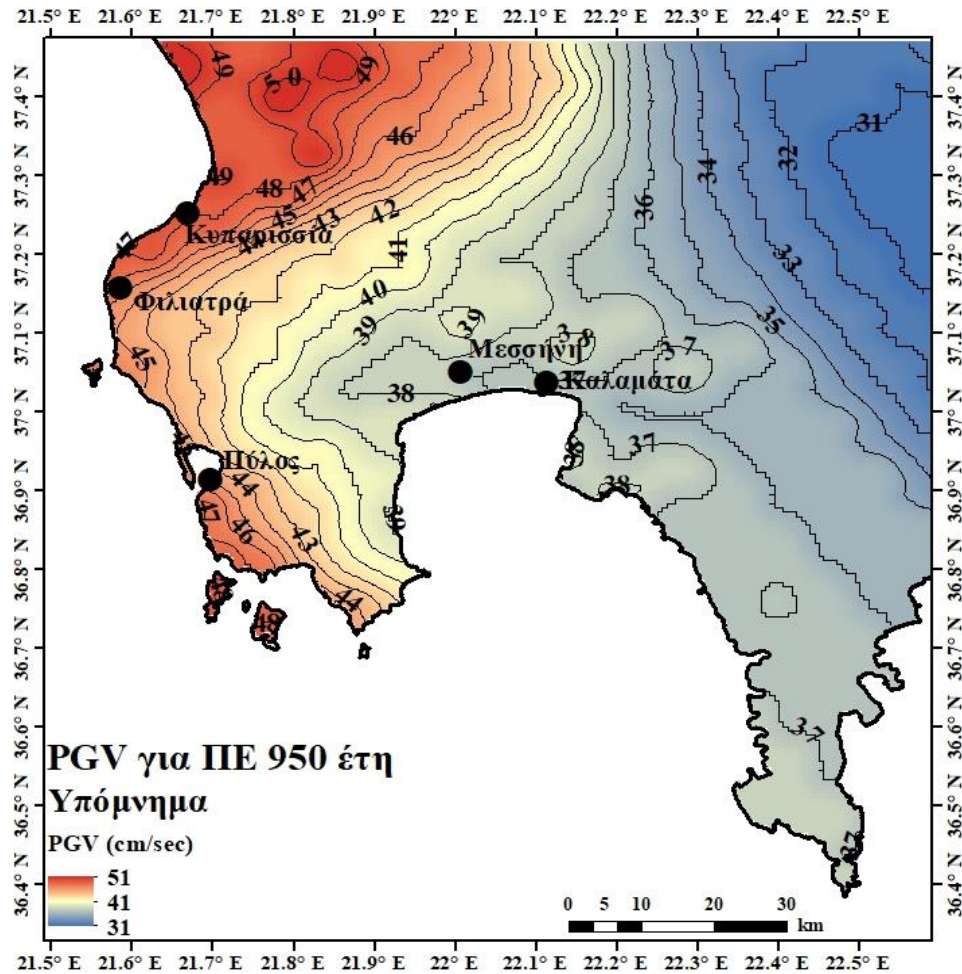
2.5.7.2 Μέγιστη αναμενόμενη εδαφική ταχύτητα (PGV)



Σχήμα 2.78: Χάρτης μέγιστης αναμενόμενης εδαφικής ταχύτητας (PGV) για περίοδο επανάληψης (Π.Ε.) 475 έτη με χρήση ημιστατιστικής μεθόδου.

Οι υψηλότερες υπολογιζόμενες τιμές εντοπίζονται ΒΒΑ της Κυπαρισσίας με εδαφικές ταχύτητες ίσες με 38 cm/sec (Σχήμα 2.78). Η Κυπαρισσία, τα Φιλιατρά και η Πύλος έχουν τιμές που ανήκουν στο διάστημα [34, 36] cm/sec, ενώ η Μεσσήνη με την Κάλαμάτα έχουν τιμές που εντάσσονται στο διάστημα [28, 29] cm/sec. Η χαμηλότερη εδαφική ταχύτητα υπολογίστηκε στο ΒΑ τμήμα της περιοχής μελέτης και είναι ίση με 23 cm/sec.

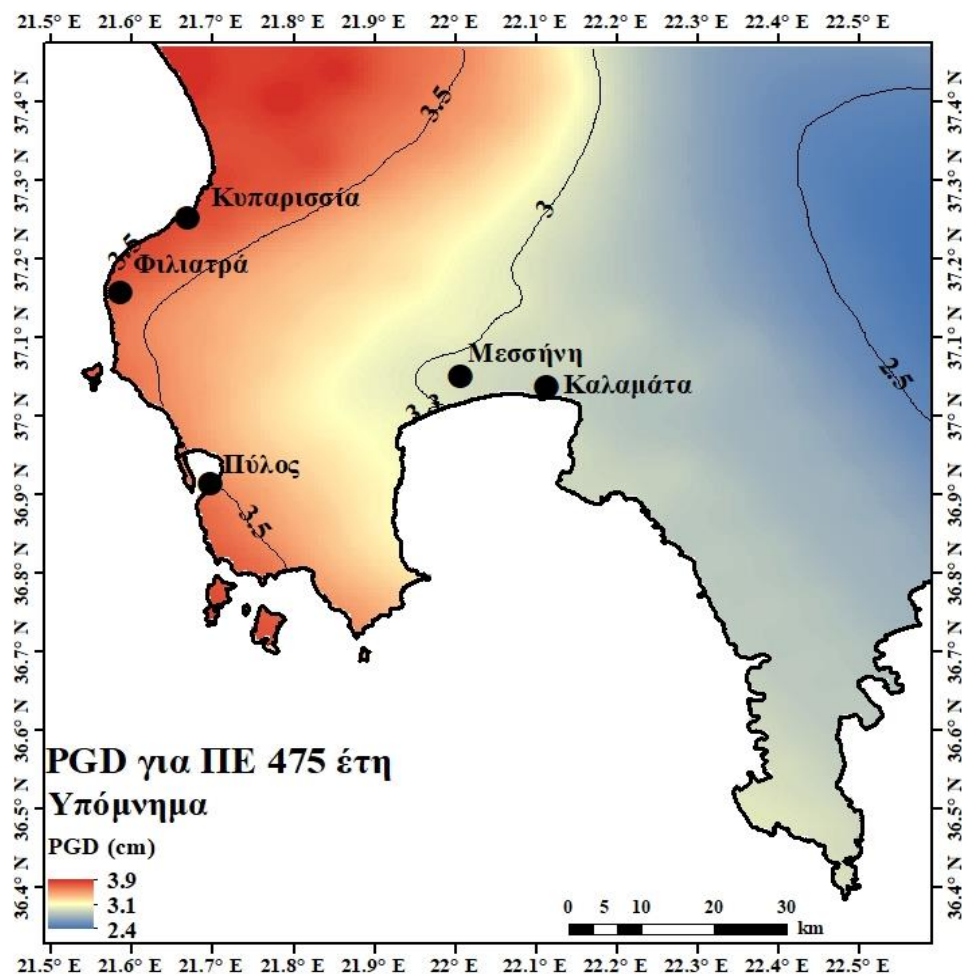
## 2. ΠΙΘΑΝΟΛΟΓΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ



Σχήμα 2.79: Χάρτης μέγιστης αναμενόμενης εδαφικής ταχύτητας (PGV) για περίοδο επανάληψης (Π.Ε.) 950 έτη με χρήση ημιστατιστικής μεθόδου.

Σχετικά με τη χωρική κατανομή των υπολογιζόμενων τιμών, οι ισοκαμπύλες του Σχήματος 2.79 έχουν μεγαλύτερη πυκνότητα από αυτές του Σχήματος 2.78 σε όλη την περιοχή μελέτης. Οι τιμές δεν αυξήθηκαν ραγδαία, καθώς η μεγαλύτερη αύξηση εντοπίζεται στην περιοχή των υψηλών τιμών BBA της Κυπαρισσίας και είναι περίπου +20 cm/sec. Συνεπώς, οι υπόλοιπες αυξήσεις θα είναι μικρότερες αυτής της τιμής.

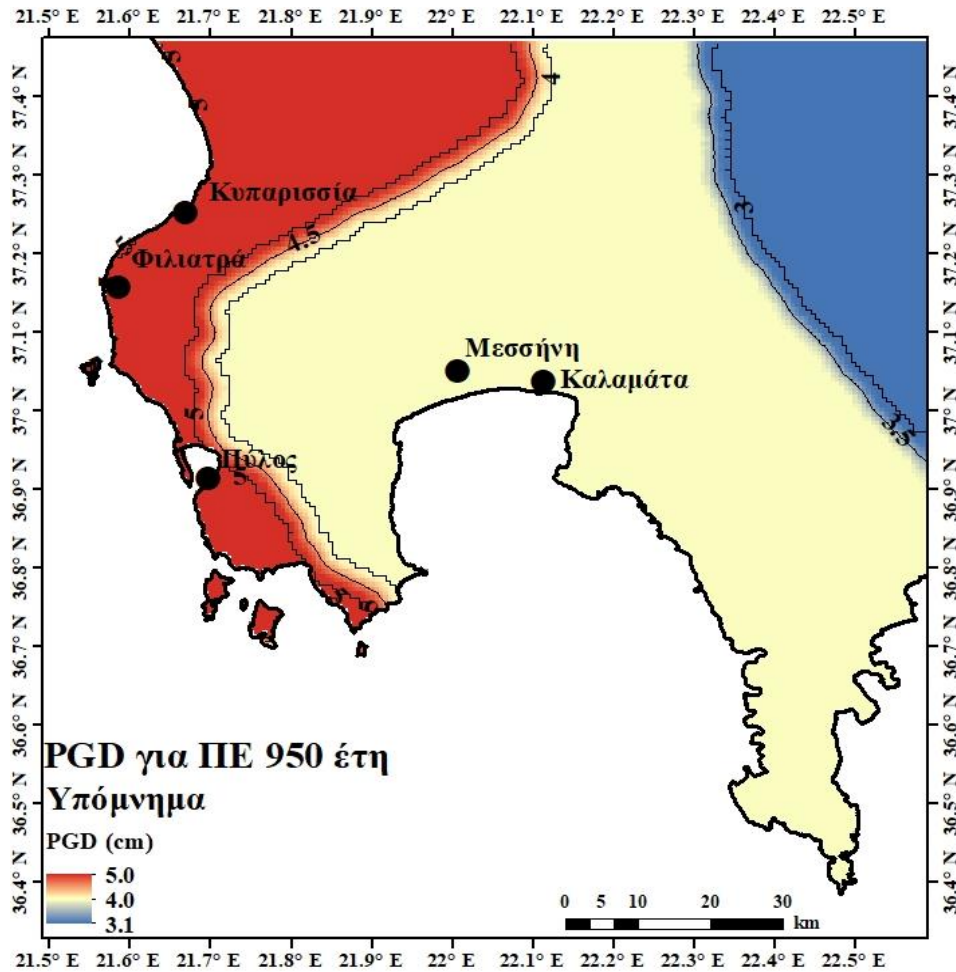
2.5.7.3 Μέγιστη αναμενόμενη εδαφική μετατόπιση (PGD)



Σχήμα 2.80: Χάρτης μέγιστης αναμενόμενης εδαφικής μετατόπισης (PGD) για περίοδο επανάληψης (Π.Ε.) 475 έτη με χρήση ημιστατιστικής μεθόδου.

Όπως φαίνεται και από τις ισοκαμπύλες η χωρική κατανομή των υπολογιζόμενων εδαφικών μετατοπίσεων του Σχήματος 2.80 είναι αρκετά απλοϊκή διότι χωρίζεται σε δύο κύριες ζώνες. Η πρώτη είναι αυτή με τις υψηλότερες τιμές και καταλαμβάνει τη δυτική πλευρά του χάρτη (Κυπαρισσία, Φιλιατρά και Πύλο) με τιμές στο διάστημα [3.5, 3.9] cm. Ακολουθεί η ζώνη μικρότερων τιμών εδαφικής μετατόπισης που εντοπίζεται στην υπόλοιπη περιοχή μελέτης με τιμές στο διάστημα [2.4, 3] cm. Η κατανομή αυτή συμφωνεί με τα προηγούμενα Σχήματα.

## 2. ΠΙΘΑΝΟΛΟΓΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ



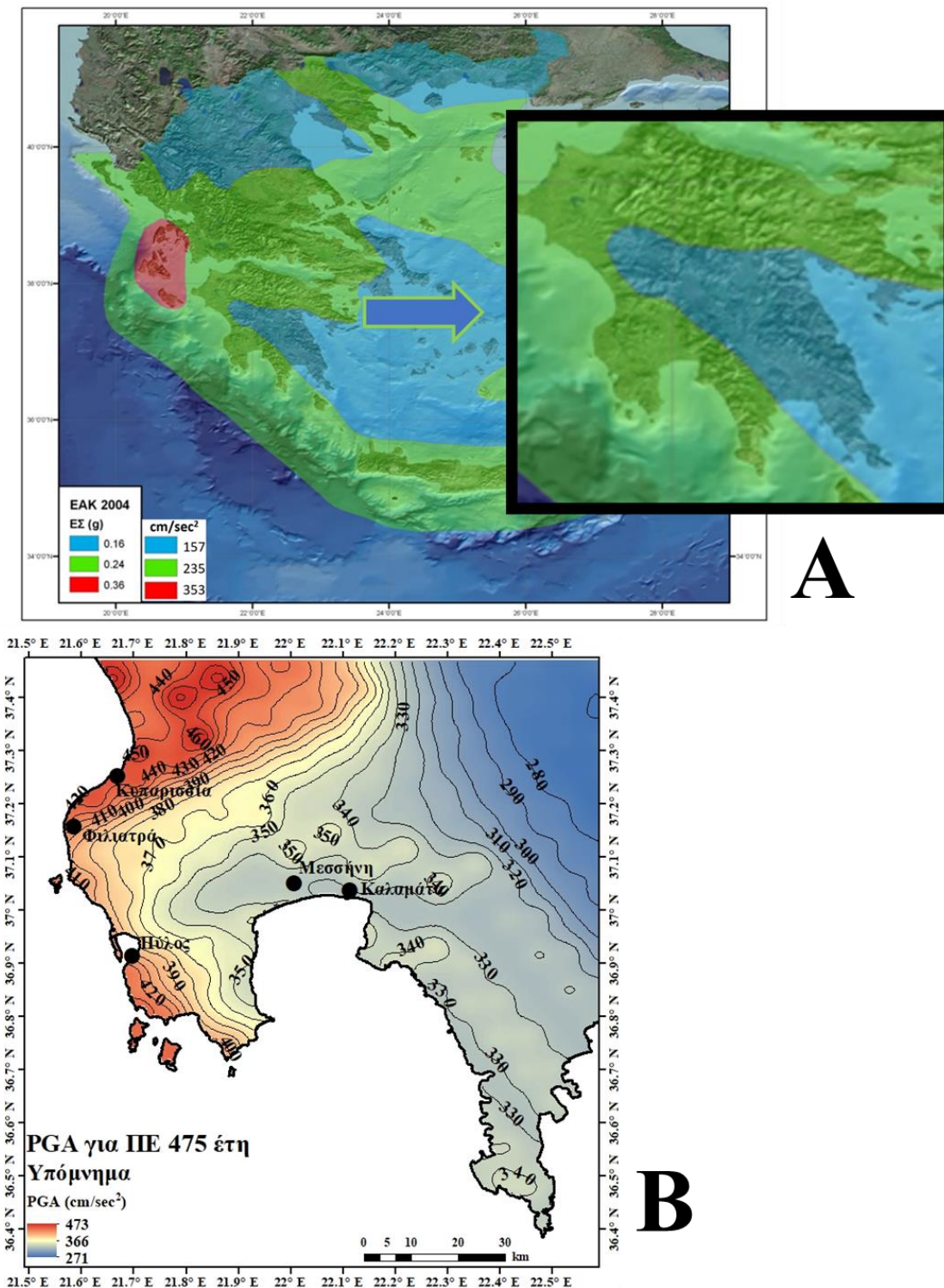
Σχήμα 2.81: Χάρτης μέγιστης αναμενόμενης εδαφικής μετατόπισης (PGD) για περίοδο επανάληψης (Π.Ε.) 950 έτη με χρήση ημιστατιστικής μεθόδου.

Οι ζώνες αυξήθηκαν σε τρεις, καθώς οι ενδιάμεσες τιμές καταλαμβάνουν το μεγαλύτερο τμήμα του Σχήματος 2.81 με τιμές εδαφικής μετατόπισης στο διάστημα [3.5, 4.0] cm. Εκατέρωθεν της εμφανίζεται η ζώνη υψηλών και χαμηλών τιμών, με την πρώτη να έχει τιμές στο [4.5, 5.0] cm και η δεύτερη στο (3.5, 3.1] cm.

## 2. ΠΙΘΑΝΟΛΟΓΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ

### 2.5.8 Σύγκριση αποτελεσμάτων υβριδικής σχέσης απόσβεσης με τη βιβλιογραφία

#### 2.5.8.1 Σύγκριση με τον Ελληνικό Αντισεισμικό Κανονισμό

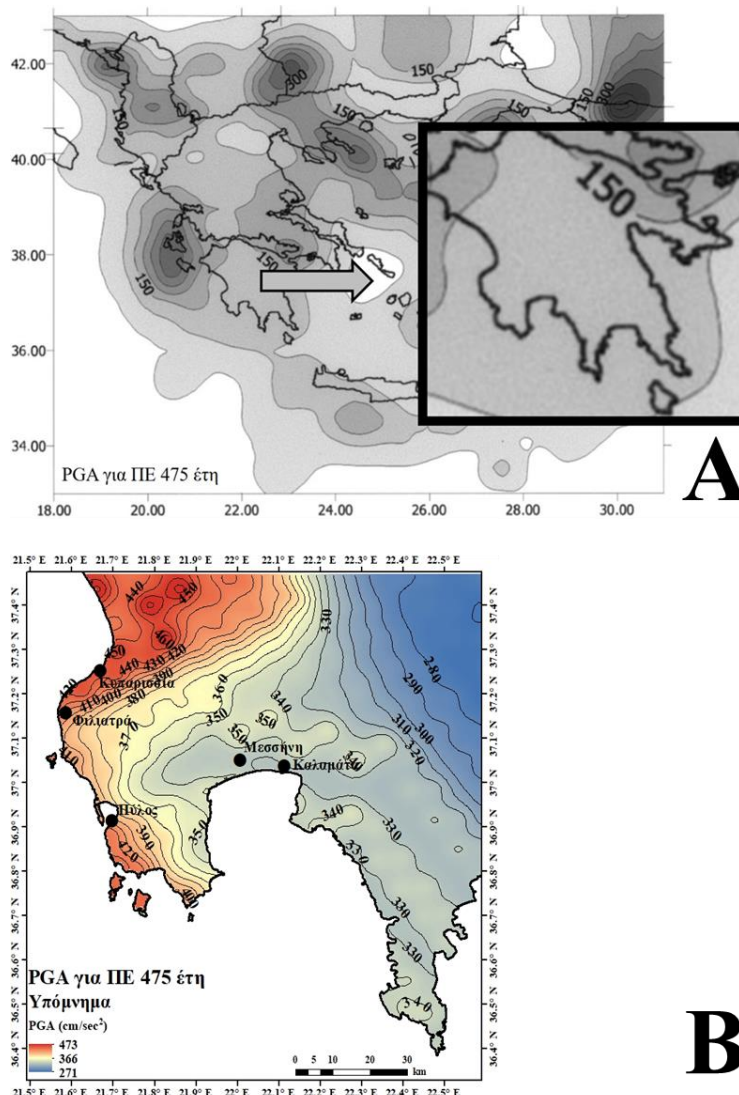


Σχήμα 2.82: Α: χάρτης Εθνικού Αντισεισμικού Κανονισμού (τροποποιημένο, Φ.Ε.Κ., 2003). Β: χάρτης μέγιστης αναμενόμενης εδαφικής επιτάχυνσης (PGA) για περίοδο επανάληψης (Π.Ε.) 475 έτη χρησιμοποιώντας την τελική σχέση απόσβεσης.

## 2. ΠΙΘΑΝΟΛΟΓΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ

Ο χάρτης του Εθνικού Αντισεισμικού Κανονισμού (Σχήμα 2.82 Α), απεικονίζει τιμές μέγιστης αναμενόμενης εδαφικής επιτάχυνσης για περίοδο επανάληψης 475 έτη ίσες με  $235 \text{ cm/sec}^2$ . Αντιστοίχως, τα τελικά αποτελέσματα της διπλωματικής εργασίας (Σχήμα 2.82 Β) δείχνουν υψηλότερες τιμές, καθώς ΒΒΑ της Κυπαρισσίας υπολογίστηκαν τιμές ίσες με  $473 \text{ cm/sec}^2$ . Ακόμα και οι χαμηλότερες τιμές νότια της Τρίπολης έχουν υψηλότερη εδαφική επιτάχυνση από αυτές του Ε.Α.Κ. Αυτή η αύξηση τιμών δεν πρέπει να φέρνει αμφιβολία στα αποτελέσματα λόγω ισοδιάστασης και επιλογής σεισμοτεκτονικού μοντέλου από το SHARE. Η έλλειψη ακρίβειας του Εθνικού Αντισεισμικού Κανονισμού φαίνεται και από τη χωρική κατανομή των εδαφικών επιταχύνσεων του Σχήματος 2.82 Α, όπου όλη η περιοχή μελέτης εντάσσεται σε μία ζώνη. Ωστόσο, ο στόχος του Ε.Α.Κ. δεν ήταν να δίνει λεπτομερή αποτελέσματα για όλες τις περιοχές ανεξαρτήτου κλίμακας.

### 2.5.8.2 Σύγκριση με την εργασία των Burton et al. (2003)



Σχήμα 2.83: Α: χάρτης από την εργασία των Burton et al. (2003) (τροποποιημένο). Β: χάρτης μέγιστης αναμενόμενης εδαφικής επιτάχυνσης (PGA) για περίοδο επανάληψης (Π.Ε.) 475 έτη χρησιμοποιώντας την τελική σχέση απόσβεσης.

Υπενθυμίζεται πως αναμένονται αποκλίσεις διότι οι Burton et al. (2003) στην εργασία τους χρησιμοποίησαν άλλον κατάλογο ενόργανης σεισμικότητας, συγκεκριμένα τον κατάλογο των Burton

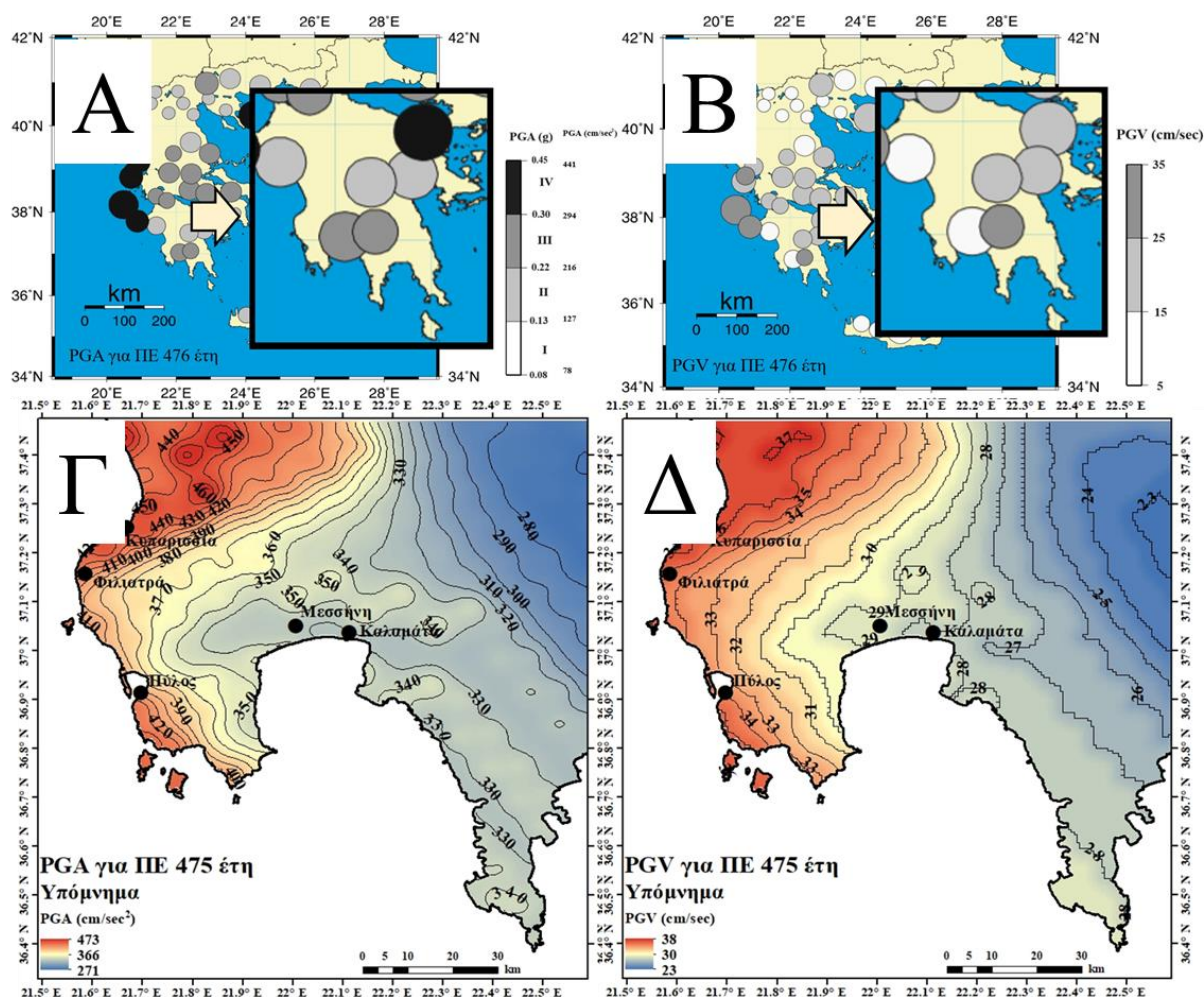


## 2. ΠΙΘΑΝΟΛΟΓΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ

et al. (2002), που περιλαμβάνει δεδομένα για τη χρονική περίοδο 1900 – 1999 και επιφανειακού μεγέθους  $M_s \geq 5.5$ . Διαφορά επίσης υπάρχει και στη σχέση απόσβεσης καθώς οι Burton et al. (2003) επέλεξαν εκείνη του Makropoulos (1978), αλλά και στην υπολογιστική διαδικασία διότι χρησιμοποίησαν τη μέθοδο ακραίων τιμών και το λογισμικό HAZAN.

Οπότε είναι λογικό τα αποτελέσματα του Σχήματος 2.83 Α να είναι αρκετά μικρότερα από αυτά του Σχήματος 2.83 Β λόγω μη χρήσης σεισμοτεκτονικού μοντέλου. Συγκεκριμένα, σε όλη την περιοχή μελέτης οι Burton et al. (2002) έχουν υπολογίσει τιμές εδαφικών επιταχύνσεων ίσες με  $100 \text{ cm/sec}^2$ , ενώ η χαμηλότερη τιμή του Σχήματος 2.83 Β είναι ίση με  $271 \text{ cm/sec}^2$ , οπότε η μικρότερη απόκλιση είναι  $171 \text{ cm/sec}^2$ . Η σύγκριση συνεπώς δεν μπορεί να είναι δόκιμη λόγω των διαφορών που αναφέρθηκαν παραπάνω.

### 2.5.8.3 Σύγκριση με την εργασία των Banitsiotou et al. (2004)



Σχήμα 2.84: Α: χάρτης PGA για Π.Ε 476 έτη από την εργασία των Banitsiotou et al. (2004). Β: χάρτης PGV για Π.Ε 476 έτη από την εργασία των Banitsiotou et al. (2004). Γ: χάρτης PGA για Π.Ε 475 έτη της διπλωματικής εργασίας με χρήση υβριδικής σχέσης απόσβεσης και Δ: χάρτης PGV για Π.Ε 475 έτη της διπλωματικής εργασίας με χρήση της τελικής σχέσης απόσβεσης.

Δεν υπάρχει καμία ομοιότητα στη διαδικασία εξαγωγής των δεδομένων, διότι οι Banitsiotou et al. (2004), χρησιμοποίησαν άλλη προσέγγιση, συγκεκριμένα αυτή που προτάθηκε από τους Kijko and Graham (1998). Αυτή η προσέγγιση επιτρέπει την είσοδο ιστορικών καταλόγων σεισμικότητας σε συνδυασμό με ενόργανους, άρα αναμένονται σφάλματα λόγω έλλειψης οργάνων, άρα και ακρίβειας

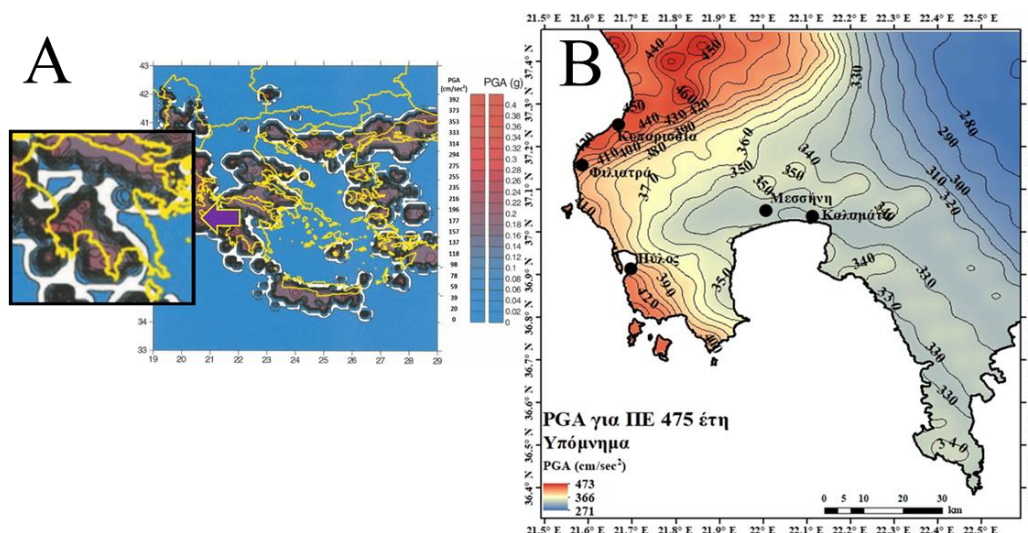
## 2. ΠΙΘΑΝΟΛΟΓΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ

προσδιορισμού επικέντρου και μεγέθους, κατά την ιστορική περίοδο. Οπότε οι Banitsiotou et al. (2004) χρησιμοποίησαν έναν κατάλογο ιστορικής και ενόργανης σεισμικότητας, αυτόν που προτάθηκε από τους Papazachos et al. (2000) για τη χρονική περίοδο 550 π.Χ. – 1999 μ.Χ. Τέλος, οι σχέσεις απόσβεσης που επιλέχθηκαν για την εδαφική επιτάχυνση και την ταχύτητα είναι αυτές των Margaritis et al. (2001). Εν κατακλείδι, αναμένονται μεγάλες αποκλίσεις διότι η προσέγγιση, ο κατάλογος και η σχέση απόσβεσης είναι διαφορετικά από αυτά που επιλέχθηκαν στην παρούσα πτυχιακή εργασία. Η πληροφορία που αντλείται από τους χάρτες των Banitsiotou et al. (2004) είναι σημειακή (Καλαμάτα και Σπάρτη), με αποτέλεσμα η σύγκριση να γίνει σε αυτές τις δύο πόλεις μόνο.

Το αποτέλεσμα της σύγκρισης μεταξύ των Σχημάτων 2.84 Α και Γ ήταν αρκετά ικανοποιητικό καθώς με αυτές τις διαφορές που αναφέρθηκαν στην υπολογιστική διαδικασία οι αποκλίσεις δεν είναι σημαντικές. Συγκεκριμένα τόσο στην Καλαμάτα όσο και στη Σπάρτη οι εδαφικές επιταχύνσεις ανήκουν στο διάστημα  $[216, 294]$   $\text{cm}/\text{sec}^2$ . Οι αποκλίσεις με τα αποτελέσματα της διπλωματικής εργασίας αν θεωρηθεί η μέγιστη τιμή στο παραπάνω διάστημα είναι  $\approx 30 \text{ cm}/\text{sec}^2$ .

Όσον αφορά τη σύγκριση μεταξύ των Σχημάτων 2.84 Β και Δ, οι αποκλίσεις αυξάνονται στην Καλαμάτα, καθώς οι τιμές εδαφικών ταχυτήτων είναι μικρότερες από τη Σπάρτη στην εργασία των Banitsiotou et al. (2004), ενώ οι υπολογιζόμενες τιμές της πτυχιακής εργασίας πλησιάζουν αρκετά αυτές της Σπάρτης. Τα αποτελέσματα της πτυχιακής εργασίας για την πόλη της Σπάρτης εντάσσονται στο διάστημα τιμών της ίδιας πόλης της εργασίας Banitsiotou et al. (2004), συγκεκριμένα, στο  $[25, 35]$   $\text{cm}/\text{sec}$  και τα αποτελέσματα της διπλωματικής εργασίας είναι περίπου  $28 \text{ cm}/\text{sec}$ . Στην παρούσα πτυχιακή εργασία οι τιμές δεν διαφέρουν πολύ μεταξύ Καλαμάτας και Σπάρτης, σε αντίθεση με την εργασία των Banitsiotou et al. (2004), με αποτέλεσμα η απόκλιση μεταξύ των δύο εργασιών να είναι αρκετά σημαντική (περίπου  $15 \text{ cm}/\text{sec}$ ), θεωρώντας την υψηλότερη τιμή του διαστήματος του Σχήματος 2.84 Δ).

### 2.5.8.4 Σύγκριση με την εργασία των Tsarpanos et al. (2004)



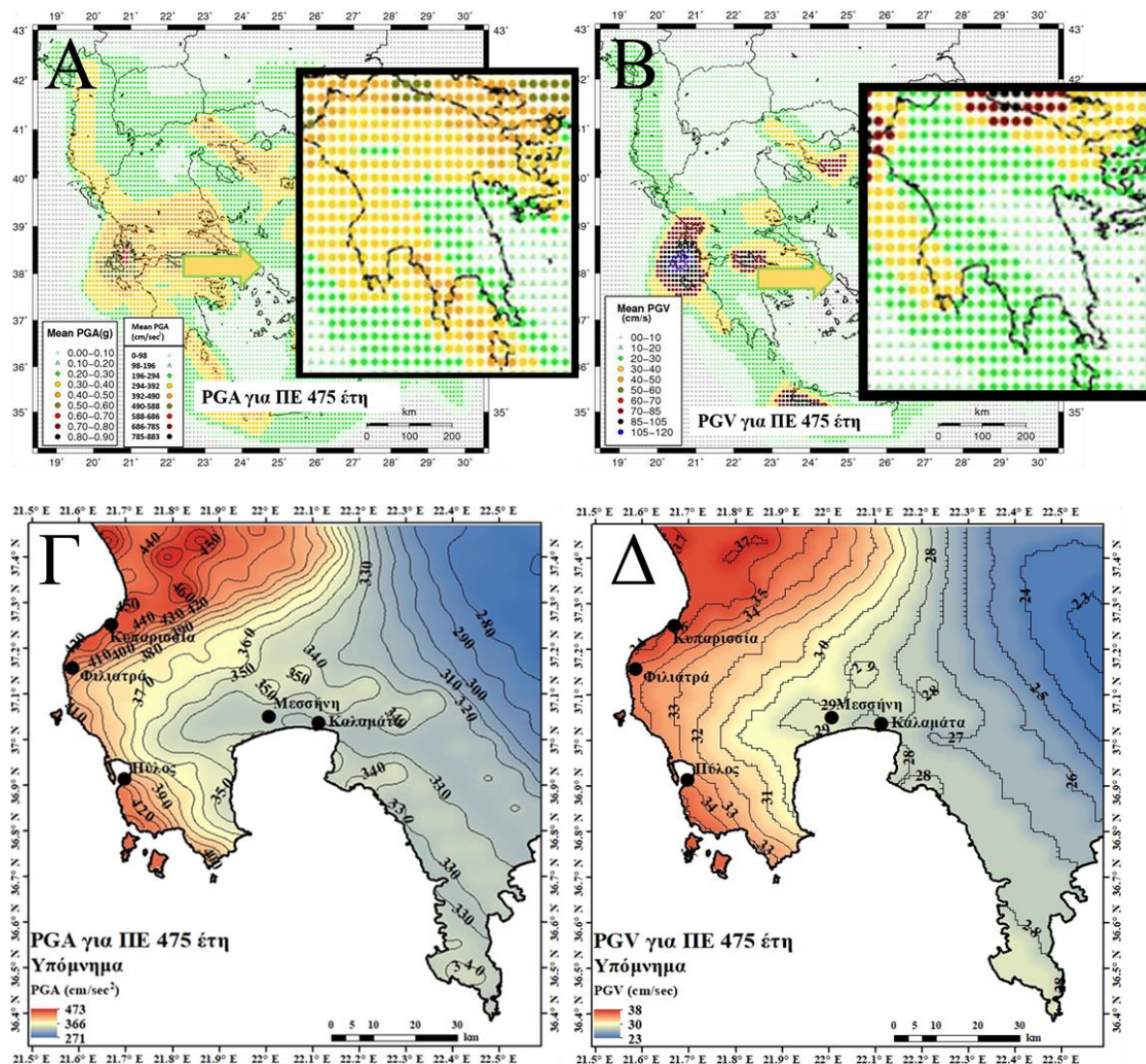
Σχήμα 2.85: Α: χάρτης PGA για Π.Ε 475 έτη από την εργασία των Tsarpanos et al. (2004). Β: χάρτης PGA για Π.Ε 475 έτη της διπλωματικής εργασίας με χρήση της τελικής σχέσης απόσβεσης.

Η εργασία των Tsarpanos et al. (2004) έχει και αυτή διαφορές στη διαδικασία εξαγωγής των αποτελεσμάτων με αυτή της διπλωματικής εργασίας. Αρχικά χρησιμοποιήθηκε η προσέγγιση των Kijko and Graham (1998), έπειτα η σχέση απόσβεσης των Margaritis et al. (2001) και τέλος ο κατάλογος ιστορικής και ενόργανης σεισμικότητας των Papazachos et al. (2000). Το συμπέρασμα που προκύπτει

## 2. ΠΙΘΑΝΟΛΟΓΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ

από τη σύγκριση μεταξύ των Σχημάτων 2.85 Α, Β είναι πως η χωρική κατανομή των υπολογιζόμενων εδαφικών επιταχύνσεων είναι παρόμοια. Ωστόσο, οι υψηλότερες τιμές που έχουν υπολογίσει οι Tsapanos et al. (2004) αντιστοιχούν στο ενδιάμεσο διάστημα τιμών του χάρτη της διπλωματικής εργασίας. Άρα, ενώ η σύγκριση είναι δόκιμη για σχεδόν όλη την περιοχή μελέτης, οι αποκλίσεις αυξάνονται στο δυτικό και βορειοδυτικό τμήμα αυτής, μέχρι να φτάσουν τα  $100 \text{ cm/sec}^2$  BBA Κυπαρισσίας.

### 2.5.8.5 Σύγκριση με την εργασία των Tselentis and Danciu (2010)



Σχήμα 2.86: Α: χάρτης PGA για Π.Ε 475 έτη από την εργασία των Tselentis and Danciu (2010). Β: χάρτης PGV για Π.Ε 475 έτη από την εργασία των Tselentis and Danciu (2010). Γ: χάρτης PGA για Π.Ε 475 έτη της διπλωματικής εργασίας με χρήση υβριδικής σχέσης απόσβεσης και Δ: χάρτης PGV για Π.Ε 475 έτη της διπλωματικής εργασίας με χρήση της τελικής σχέσης απόσβεσης.

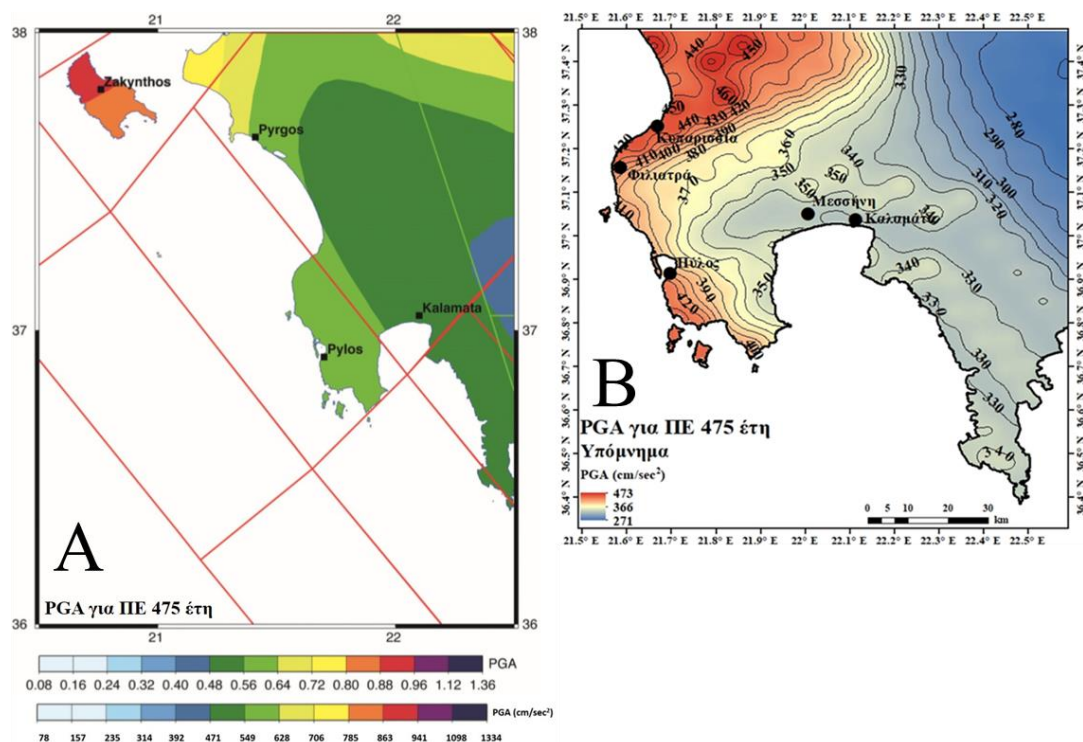
Τα αποτελέσματα της εργασίας των Tselentis and Danciu (2010) είχαν αρκετές διαφορές με εκείνα που λήφθηκαν στην παρούσα διπλωματική εργασία με χρήση της καθαράς στατιστικής μεθόδου. Πλέον, αναμένεται μείωση της απόκλισης, αλλά οι διαφορές στην υπολογιστική διαδικασία δεν εξαλείφθηκαν. Οι Tselentis and Danciu (2010) εισήγαγαν σεισμικές ζώνες από τους Παραιοαννου and Παραζαχος (2000), επέλεξαν τον κατάλογο ιστορικής και ενόργανης σεισμικότητας των Παραζαχος et al. (2000) και Burton et al. (2004) και η σχέση απόσβεσης είναι αυτή των Danciu and Tselentis (2007).

## 2. ΠΙΘΑΝΟΛΟΓΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ

Συγκρίνοντας τα Σχήματα 2.86 Α, Γ γίνεται κατανοητό πως οι περισσότερες τιμές ανήκουν στο διάστημα που έχουν υπολογίσει οι Tselentis and Danciu (2010), όμως στην εργασία τους οι υψηλότερες τιμές εντοπίζονται ΝΑ της Καλαμάτας, ενώ στην πτυχιακή εργασία είναι ΒΒΑ Κυπαρισσίας. Αυτή η διαφοροποίηση οφείλεται στον διαφορετικό κατάλογο σεισμικότητας που έχει χρησιμοποιηθεί. Παρόλα αυτά οι τιμές μεταξύ των δύο χαρτών είναι αρκετά συγκρίσιμες.

Η χωρική κατανομή των υψηλών εδαφικών ταχυτήτων της εργασίας των Tselentis and Danciu (2010) (Σχήμα 2.86 Β) είναι παρόμοια με αυτή της πτυχιακής εργασίας (Σχήμα 2.86 Δ), ωστόσο έχουν υπολογιστεί χαμηλές τιμές ΒΒΑ της Κυπαρισσίας, δηλαδή οι υψηλές τιμές σταματούν στα Φιλιατρά. Αυτό δεν συμβαίνει στην πτυχιακή εργασία, καθώς οι υψηλές εδαφικές ταχύτητες εντοπίζονται ΒΒΑ της Κυπαρισσίας και είναι ίσες με  $\approx 35\text{-}37\text{ cm/sec}$ , ενώ οι Tselentis and Danciu (2010) έχουν υπολογίσει  $20\text{-}30\text{ cm/sec}$ . Πέρα αυτού, οι τιμές μεταξύ των δύο εργασιών στην υπόλοιπη περιοχή μελέτης είναι αρκετά παρόμοιες.

### 2.5.8.6 Σύγκριση με την εργασία των Slejko et al. (2010)



Σχήμα 2.87: Α: χάρτης PGA για Π.Ε 475 έτη από την εργασία των Slejko et al. (2010). Β: χάρτης PGA για Π.Ε 475 έτη της διπλωματικής εργασίας με χρήση της τελικής σχέσης απόσβεσης.

Η εργασία των Slejko et al. (2010) εστιάζει περισσότερο στην περιοχή μελέτης συγκριτικά με τις υπόλοιπες εργασίες (με εξαίρεση αυτή των Kouskouna and Kaviris, 2014). Η διαδικασία εξαγωγής των αποτελεσμάτων δεν είχε καμιά ομοιότητα με αυτή της πτυχιακής εργασίας στην αρχική σύγκριση με τα αποτελέσματα των ακραίων τιμών. Αυτό είχε γίνει διότι οι Slejko et al. (2010) εκτίμησαν τη σεισμική επικινδυνότητα στη ΝΔ Πελοπόννησο χρησιμοποιώντας ημιστατιστικές μεθόδους, άρα δεν εφαρμόστηκε το λογισμικό HAZAN, αλλά το CRISIS. Η σχέση απόσβεσης που είχαν επιλέξει οι αναφερόμενοι επιστήμονες ήταν αυτή των Theodulidis and Parazachos (1992), αποτιμώντας τη γεωλογία της περιοχής σαν βράχο, όπως και στην παρούσα εργασία. Είχαν εισαγάγει σεισμικές ζώνες που έχουν προταθεί από τους Parazachos and Parazachou (1997). Ο κατάλογος σεισμών δεν ήταν ένας, αλλά συνδυασμός τριών: α) ο κατάλογος ιστορικής σεισμικότητας των Parazachos and Parazachou

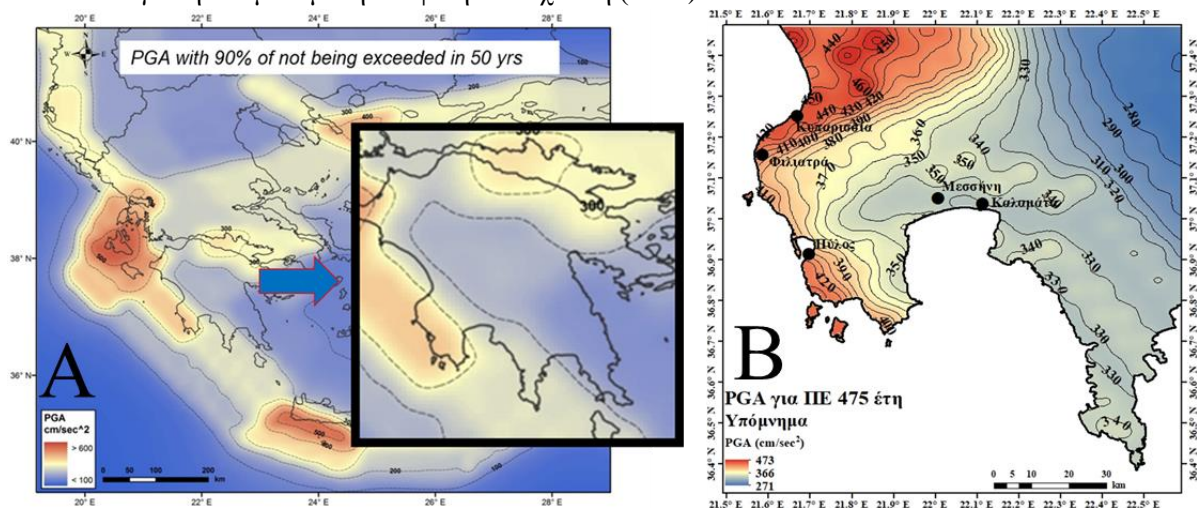
## 2. ΠΙΘΑΝΟΛΟΓΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ

(1997) που καλύπτει τη χρονική περίοδο 550 π.Χ. – 1963 μ.Χ., β) ο κατάλογος ενόργανης σεισμικότητας του Γεωδυναμικού Ινστιτούτου του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών, που καλύπτει τη χρονική περίοδο 1964 – 2006 και γ) τα σύγχρονα για την εποχή δεδομένα του Γεωδυναμικού Ινστιτούτου του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών (καταγραφές σεισμών από το 2007 έως τον Απρίλιο του 2008). Πλέον, αναμένονται λιγότερες αποκλίσεις με τις νέες συγκρίσεις με τα αποτελέσματα της υβριδικής σχέσης απόσβεσης.

Ένα γενικό συμπέρασμα που προκύπτει από τη σύγκριση μεταξύ των Σχημάτων 2.87 Α, Β είναι πως τα αποτελέσματα μέγιστων αναμενόμενων εδαφικών επιταχύνσεων της εργασίας των Slejko et al. (2010) είναι υπερεκτιμημένα. Η χωρική κατανομή των υψηλών τιμών ωστόσο είναι ίδια μεταξύ των Σχημάτων 2.87 Α και Β διότι όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, δεν διαφοροποιείται ο κατάλογος ενόργανης σεισμικότητας, άρα τα δεδομένα για τη στατιστική επεξεργασία ήταν ίδια σε κάθε σχέση απόσβεσης. Οι τιμές είναι συγκρίσιμες κοντά στην Κυπαρισσία αλλά γενικά στην υπόλοιπη περιοχή μελέτης είναι υπερεκτιμημένες.

### 2.5.8.7 Σύγκριση με τη δημοσίευση των Makropoulos et al. (2013)

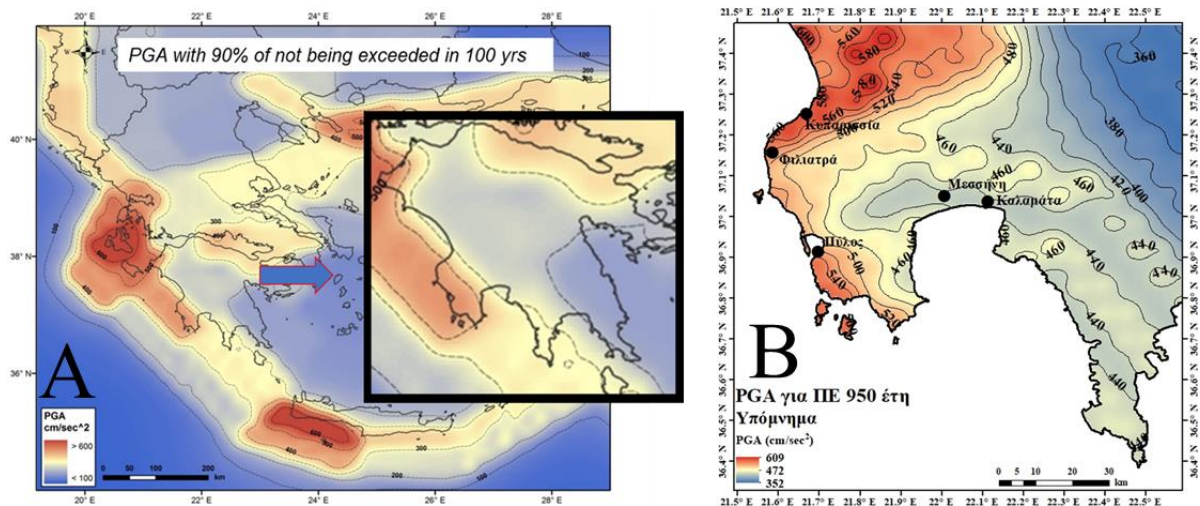
#### 2.5.8.7.1 Μέγιστη αναμενόμενη εδαφική επιτάχυνση (PGA)



Σχήμα 2.88: Α: χάρτης PGA για Π.Ε 475 έτη από τη δημοσίευση των Makropoulos et al. (2013). Β: χάρτης PGA για Π.Ε 475 έτη της διπλωματικής εργασίας με χρήση της τελικής σχέσης απόσβεσης.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του Σχήματος 2.88 Α, οι Makropoulos et al. (2013) έχουν υπολογίσει εδαφικές επιταχύνσεις για όλη την περιοχή μελέτης, εκτός της δυτικής ακτογραμμής, στο διάστημα  $[300, 400] \text{ cm/sec}^2$ . Επίσης στην περιοχή υψηλών τιμών έχουν υπολογιστεί επιταχύνσεις στο διάστημα  $[400, 500] \text{ cm/sec}^2$ . Τα αποτελέσματα της διπλωματικής εργασίας (Σχήμα 2.88 Β) συμβαδίζουν σε όλη την περιοχή μελέτης με αυτά του Σχήματος 2.88 Α εκτός από το τμήμα ΒΒΑ της Κυπαρισσίας, όπου κυριαρχούν οι υψηλότερες τιμές εδαφικών επιταχύνσεων ( $473 \text{ cm/sec}^2$ ). Με την ίδια λογική τα αποτελέσματα της πτυχιακής εργασίας νότια της Τρίπολης είναι χαμηλότερα του Σχήματος 2.88 Α ( $271 < 300 \text{ cm/sec}^2$ ).

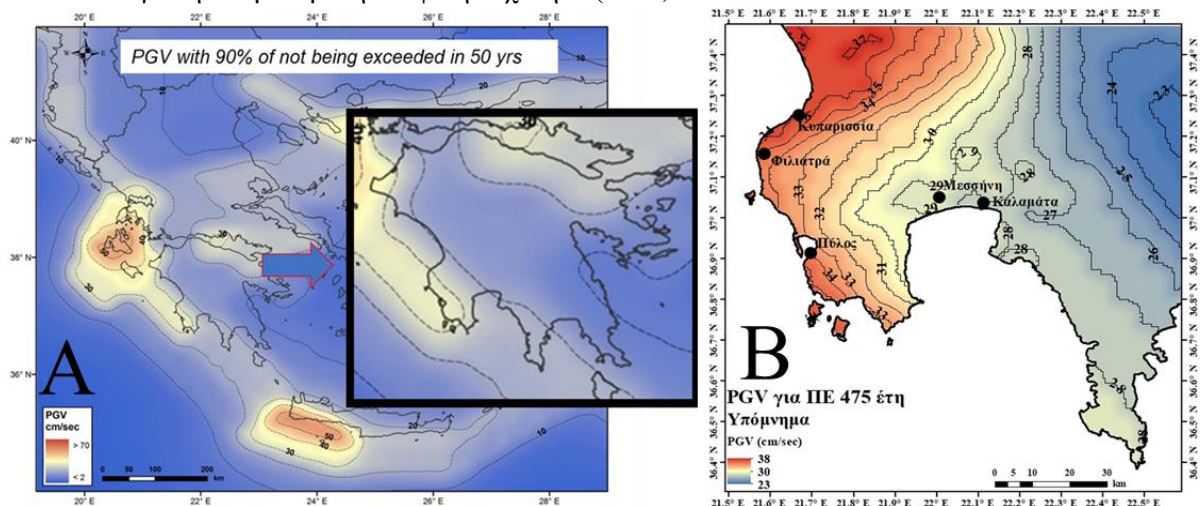
## 2. ΠΙΘΑΝΟΛΟΓΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ



Σχήμα 2.89: Α: χάρτης PGA για Π.Ε 950 έτη από τη δημοσίευση των Makrooulos et al. (2013). Β: χάρτης PGA για Π.Ε 950 έτη της διπλωματικής εργασίας με χρήση της τελικής σχέσης απόσβεσης.

Οι Makrooulos et al. (2013) έχουν υπολογίσει τιμές εδαφικών επιταχύνσεων στις Κυπαρισσία, Φιλιατρά και Πύλο για περίοδο επανάληψης 950 έτη (Σχήμα 2.89 Α) που ανήκουν στο διάστημα  $[400, 500]$   $\text{cm/sec}^2$ . Παράλληλα, στο Σχήμα 2.89 Β έχουν υπολογιστεί τιμές στο διάστημα  $[500, 600]$   $\text{cm/sec}^2$  για τις ίδιες πόλεις. Η διαφορά δηλαδή φθάνει τα  $100 \text{ cm/sec}^2$ , όπως ακριβώς γίνονται και στους χάρτες εδαφικών επιταχύνσεων για περίοδο επανάληψης 475 έτη. Μεταβαίνοντας προς τα ΒΑ, δηλαδή στο τμήμα της περιοχής μελέτης, όπου έχουν υπολογιστεί οι χαμηλότερες εδαφικές επιταχύνσεις, η διαφορά αυτή μειώνεται στα  $\approx 50 \text{ cm/sec}^2$ .

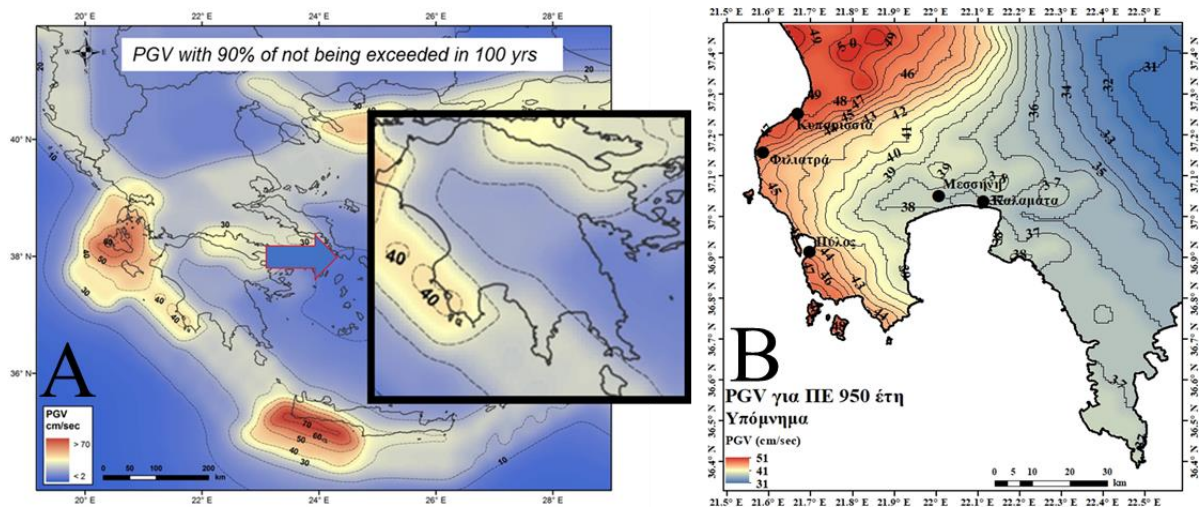
### 2.5.8.7.2 Μέγιστη αναμενόμενη εδαφική ταχύτητα (PGV)



Σχήμα 2.90: Α: χάρτης PGV για Π.Ε 475 έτη από τη δημοσίευση των Makrooulos et al. (2013). Β: χάρτης PGV για Π.Ε 475 έτη της διπλωματικής εργασίας με χρήση της τελικής σχέσης απόσβεσης.

Στις εικονιζόμενες πόλεις του Σχήματος 2.90 Β οι Makrooulos et al. (2013) υπολόγισαν εδαφικές ταχύτητες στο διάστημα  $[30, 40]$   $\text{cm/sec}$  (Σχήμα 2.90 Α). Ωστόσο, ΒΒΑ της Κυπαρισσίας αυτές μειώνονται και εντάσσονται πλέον στο διάστημα  $[20, 30]$   $\text{cm/sec}$ . Αυτή η μείωση δεν υπάρχει στις υπολογιζόμενες τιμές της πυχιακής εργασίας, καθώς αυτές παραμένουν εντός του διαστήματος  $[30, 40]$   $\text{cm/sec}$ . Η Μεσσήνη και η Καλαμάτα οριακά ανήκουν εκτός της ισοκαμπύλης των  $20 \text{ cm/sec}$  που σημαίνει πως οι τιμές PGV είναι μικρότερες από  $20 \text{ cm/sec}$  στην εργασία των Makrooulos et al. (2013), αυξάνοντας την απόκλιση με τον αντίστοιχο χάρτη της διπλωματικής εργασίας.

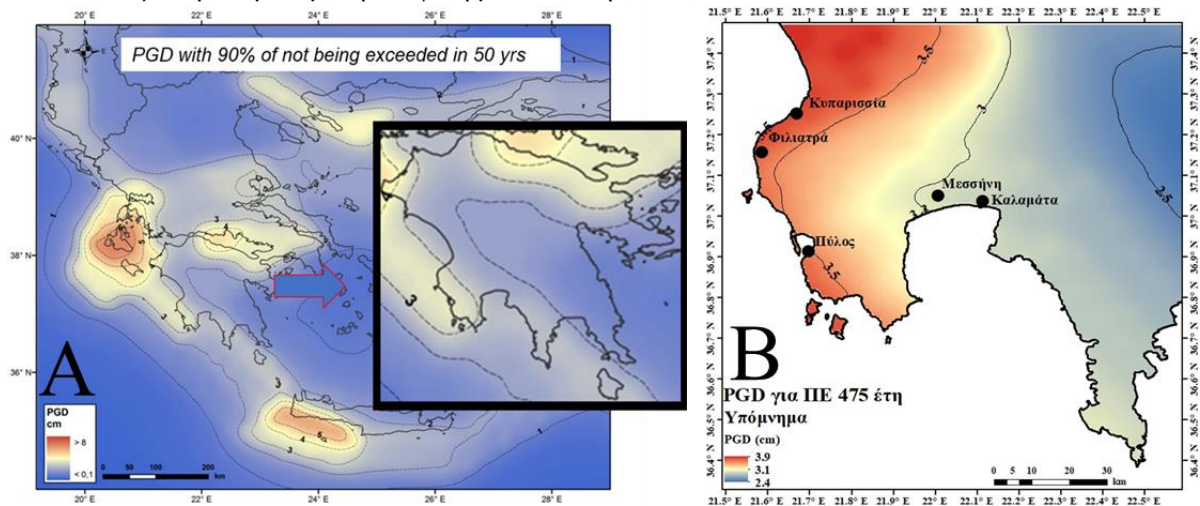
## 2. ΠΙΘΑΝΟΛΟΓΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ



Σχήμα 2.91: A: χάρτης PGV για Π.Ε 950 έτη από τη δημοσίευση των Makropoulos et al. (2013). B: χάρτης PGV για Π.Ε 950 έτη της διπλωματικής εργασίας με χρήση της τελικής σχέσης απόσβεσης.

Για την περίοδο επανάληψης 950 ετών, σύμφωνα με τους Makropoulos et al. (2013) (Σχήμα 2.91 A), εμφανίζεται ένα τοπικό μέγιστο γύρω από την Πύλο με τιμές στο διάστημα [40, 50] cm/sec (αύξηση 10 cm/sec). Αντιστοίχως, στο Σχήμα 2.91 B υπολογίστηκαν τιμές που ανήκουν στο ίδιο διάστημα με τις τιμές των Makropoulos et al. (2013). Ωστόσο, αυξάνονται μέχρι να γίνουν ίσες με 51 cm/sec στο τμήμα της περιοχής μελέτης BBA της Κυπαρισσίας. Άξιο αναφοράς είναι πως η ελάχιστη τιμή του Σχήματος 2.91 B είναι μεγαλύτερη από αυτή της εργασίας των Makropoulos et al. (2013) με αποτέλεσμα να μην εμφανίζεται η ισοκαμπύλη των 20 cm/sec.

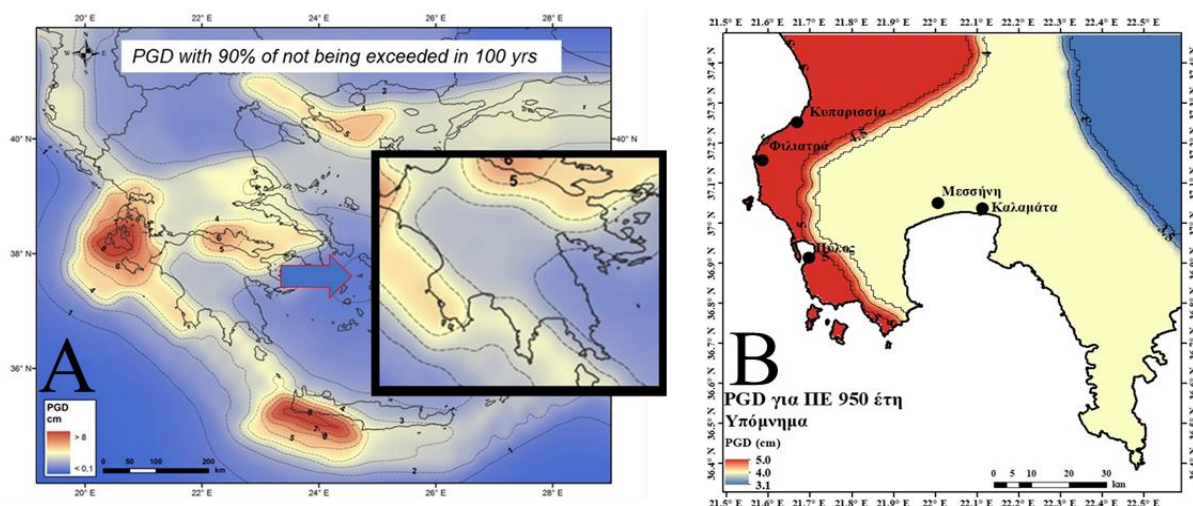
### 2.5.8.7.3 Μέγιστη αναμενόμενη εδαφική μετατόπιση (PGD)



Σχήμα 2.92: A: χάρτης PGD για Π.Ε 475 έτη από τη δημοσίευση των Makropoulos et al. (2013). B: χάρτης PGD για Π.Ε 475 έτη της διπλωματικής εργασίας με χρήση της τελικής σχέσης απόσβεσης.

Οι υψηλότερες τιμές των μέγιστων αναμενόμενων εδαφικών μετατοπίσεων του Σχήματος 2.92 A εντοπίζονται στην Πύλο και τα Φιλιατρά και ανήκουν στο διάστημα [3, 4] cm. Στην υπόλοιπη περιοχή μελέτης οι Makropoulos et al. (2013) έχουν υπολογίσει εδαφικές μετατοπίσεις που εντάσσονται στο διάστημα [2, 3] cm. Τα αποτελέσματα αυτά ταυτίζονται στο μεγαλύτερο μέρος της περιοχής μελέτης με αυτά του Σχήματος 2.92 B. Η μόνη διαφορά βρίσκεται στο τμήμα υψηλών μετατοπίσεων που εντοπίζεται BBA της Κυπαρισσίας με τιμές 3.9 cm.

## 2. ΠΙΘΑΝΟΛΟΓΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ



Σχήμα 2.93: Α: χάρτης PGD για Π.Ε 950 έτη από τη δημοσίευση των Makropoulos et al. (2013). Β: χάρτης PGD για Π.Ε 950 έτη της διπλωματικής εργασίας με χρήση της τελικής σχέσης απόσβεσης.

Οι υψηλότερες τιμές των μέγιστων αναμενόμενων εδαφικών μετατοπίσεων του Σχήματος 2.93 Α εντοπίζονται στην Πύλο και τα Φιλιατρά και ανήκουν στο διάστημα [4, 5] cm. Στην υπόλοιπη περιοχή μελέτης οι Makropoulos et al. (2013) έχουν υπολογίσει εδαφικές μετατοπίσεις που εντάσσονται στο διάστημα [3, 4] cm. Τα αποτελέσματα αυτά ταυτίζονται στο μεγαλύτερο μέρος της περιοχής μελέτης με αυτά του Σχήματος 2.93 Β. Η μόνη διαφορά βρίσκεται στο τμήμα υψηλών μετατοπίσεων που εντοπίζεται ΒΒΑ της Κυπαρισσίας με τιμές 5.0 cm.

### 2.5.9 Φάσματα ομοιόμορφης επικινδυνότητας (Uniform Hazard Spectrum – UHS)

Φάσμα ομοιόμορφης επικινδυνότητας (Uniform Hazard Spectrum – UHS) είναι η κατανομή της φασματικής επιτάχυνσης συναρτήσει της περιόδου για μια συγκεκριμένη θέση μελέτης. Η φασματική επιτάχυνση υπολογίζεται μέσω σχέσεων απόσβεσης για ένα συγκεκριμένο διάστημα περιόδων (spectral ordinates). Η πιθανότητα υπέρβασης της φασματικής επιτάχυνσης είναι ομοιόμορφη για κάθε περίοδο. Επομένως, όλα τα ordinates θα έχουν ίση πιθανότητα υπέρβασης και για αυτό το φάσμα αυτό χαρακτηρίζεται ως ομοιόμορφης επικινδυνότητας (Zhang et al., 2018). Σημειώνεται ότι υπάρχει σημαντική πιθανότητα τα αποτελέσματα να είναι υπερεκτιμημένα συγκρινόμενα με τα φάσματα σχεδιασμού του Εθνικού Αντισεισμικού Κανονισμού (Ε.Α.Κ) και του Ευρωκώδικα 8 (B.S.I., 1996).

Μία μελέτη εκτίμησης σεισμικής επικινδυνότητας θεωρείται ολοκληρωμένη και χωρίς τη δημιουργία φασμάτων UHS (Baker, 2015). Ωστόσο, είναι χρήσιμα στην ερμηνεία αποτελεσμάτων όταν πρέπει να ληφθεί υπόψη η απόκριση του εδάφους από όλους τους πιθανούς σεισμούς που μπορεί να γίνουν στη σεισμική ζώνη. Βέβαια, ταυτόχρονα αυτό δρα και ως σημαντικό μειονέκτημα, διότι οι φασματικές τιμές θα είναι πολύ μεγαλύτερες, αναλόγως βέβαια με την περίοδο επανάληψης που ορίζει ο χρήστης. Παρόλα αυτά, υπάρχει τρόπος αποφυγής της υπερεκτίμησης της φασματικής επιτάχυνσης, όταν αντί για UHS δημιουργούνται φάσματα απόκρισης για μία περίοδο (spectral ordinates) τη φορά. Δεν είναι τυχαίο που στη βιβλιογραφία δίνεται έμφαση στα αποτελέσματα των φασματικών επιταχύνσεων για περιόδους  $T = 0.1, 0.2, 1$  και  $2$  sec, διότι σε αυτό το διάστημα τιμών εντοπίζονται οι ιδιοπερίοδοι των κτηρίων μέσου ύψους (συνήθεις κατοικίες). Αυτά τα φάσματα ονομάζονται μέσα φάσματα, επειδή όμως στην ελληνική βιβλιογραφία αναφέρονται με πολλούς όρους, θα γίνει χρήση του Αγγλικού όρου Conditional Mean Spectrum (CMS). Για την κατασκευή των UHS και CMS χρησιμοποιούνται τα ίδια βήματα με αυτά που αναλύθηκαν στην Παράγραφο 2.5.1, με την εξαίρεση



## 2. ΠΙΘΑΝΟΛΟΓΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ

ότι επαναλαμβάνονται πολλές φορές με διαφορετικές σταθερές στις σχέσεις απόσβεσης ανάλογα με την περίοδο (Nezamabadi et al., 2004).

Το R-CRISIS V20 παρέχει τη δυνατότητα στον χρήστη να κατασκευάσει διαγράμματα CMS για οποιαδήποτε περίοδο επιθυμεί και να εξαγάγει τα αποτελέσματα σε ASCII αρχείο. Ωστόσο, δίνεται και η δυνατότητα να εξαχθούν και οι υπολογιζόμενες τιμές για όλο το εύρος περιόδων που ορίζει ο χρήστης (Σχήμα 2.94), ώστε να κατασκευαστεί το διάγραμμα UHS. Η μόνη σχέση απόσβεσης, μεταξύ αυτών που έχουν επιλεγεί για την πιθανολογική εκτίμηση σεισμικής επικινδυνότητας, που υπολογίζει τη φασματική επιτάχυνση είναι αυτή των Danciu and Tselentis (2007). Στον Πίνακα 2.17 γίνεται αναφορά στο πώς αλλάζουν οι σταθερές της σχέσης απόσβεσης για τις οκτώ πρώτες περιόδους που προτείνουν οι Danciu and Tselentis (2007). Στην παρούσα εργασία κατασκευάστηκαν για Π.Ε. 475 και 950 ετών τα UHS για τις εξής πόλεις: Κυπαρισσία, Φιλιατρά, Πύλο, Μεσσήνη και Καλαμάτα. Τέλος, για τον έλεγχο της αξιοπιστίας των αποτελεσμάτων θα γίνει σύγκριση των UHS κάθε πόλης με τα ελαστικά φάσματα σχεδιασμού του Ευρωκώδικα 8, του SHARE και του Ε.Α.Κ για περίοδο επανάληψης 475 έτη σε ένα διάγραμμα.

Σχήμα 2.94: Το αναδύόμενο παράθυρο στο οποίο ο χρήστης ορίζει τον αριθμό των περιόδων (οριζόντιος άξονας των φασμάτων) και την τιμή της κάθε περιόδου ξεχωριστά.

$Sa(T)$	$a$	$b$	$c$	$H$	$e$	$f$	$\tau$	$\sigma$	$\varepsilon_{total}$
<b>0.10</b>	1.544	0.41	-1.364	11.708	0.039	0.112	0.139	0.264	0.299
<b>0.15</b>	1.810	0.429	-1.492	15.721	0.008	0.113	0.107	0.285	0.304
<b>0.20</b>	1.339	0.477	-1.368	14.302	0.024	0.103	0.103	0.287	0.304
<b>0.25</b>	1.126	0.537	-1.443	16.446	0.020	0.109	0.104	0.304	0.321
<b>0.30</b>	0.688	0.582	-1.374	15.117	0.034	0.121	0.107	0.323	0.341
<b>0.35</b>	0.311	0.623	-1.31	14.474	0.037	0.121	0.124	0.323	0.346
<b>0.40</b>	-0.109	0.669	-1.247	12.733	0.033	0.136	0.151	0.322	0.355
<b>0.45</b>	-0.361	0.702	-1.227	11.834	0.019	0.132	0.154	0.322	0.357

Πίνακας 2.17: Απόσπασμα του Πίνακα που παρέχουν οι Danciu and Tselentis (2007) με τον οποίο γίνεται κατανοητή η αλλαγή των σταθερών της σχέσης απόσβεσης. Πηγή: (Danciu and Tselentis, 2007).

## 2. ΠΙΘΑΝΟΛΟΓΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ

### 2.5.9.1 Αποτελέσματα UHS και σύγκριση με Ε.Α.Κ, SHARE και Eurocode 8

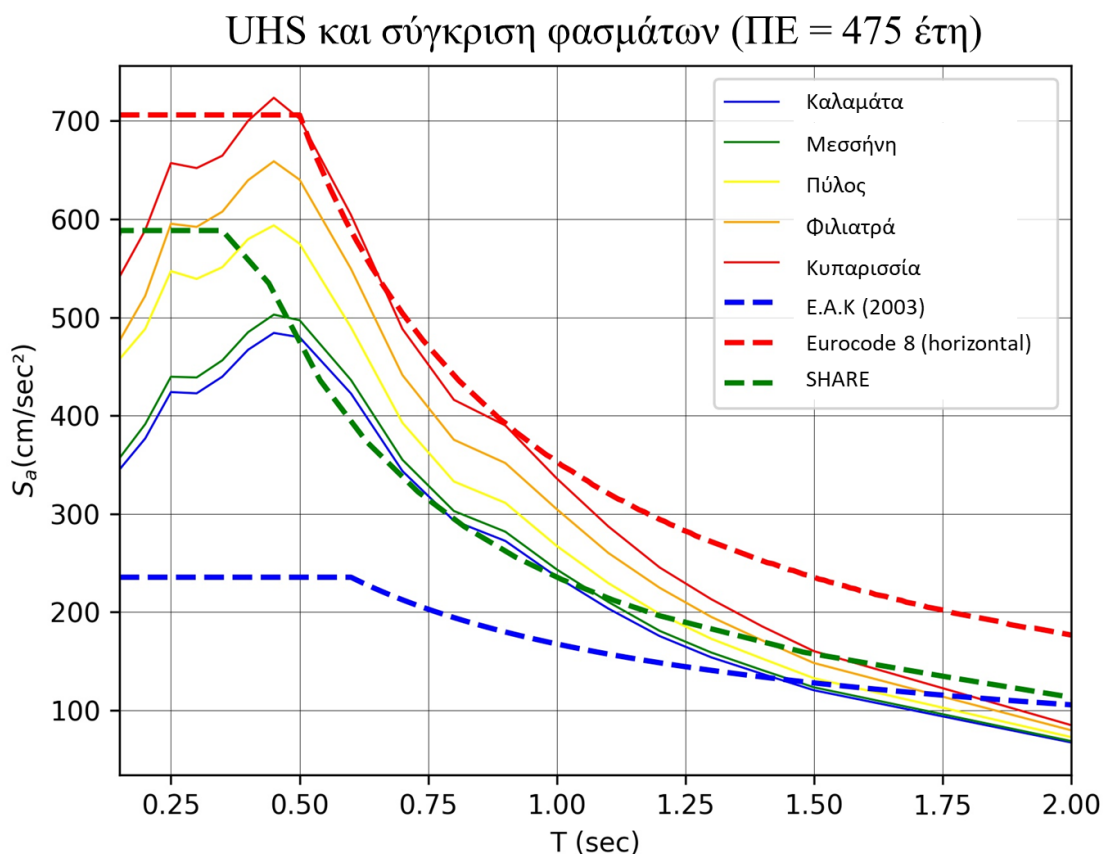
Για να είναι ευανάγνωστα τα αποτελέσματα και για την ευκολία διεξαγωγής συμπερασμάτων, προβλήθηκαν όλα τα φάσματα σε ένα διάγραμμα (Σχήμα 2.95). Το αποτέλεσμα ήταν αναμενόμενο και από τη χωρική κατανομή των εδαφικών παραμέτρων που απεικονίζονται στους χάρτες της προηγούμενης Παραγράφου. Όπως και οι τιμές των παραμέτρων σεισμικής επικινδυνότητας αυξάνονταν από ανατολικά προς τα δυτικά, έτσι και τώρα οι φασματικές επιταχύνσεις αυξάνονται μεταβαίνοντας από την Καλαμάτα προς την Κυπαρισσία μέσω των υπολοίπων πόλεων.

Στο Σχήμα 2.95 πραγματοποιείται σύγκριση των υπολογισθέντων φασμάτων ομοιόμορφης επικινδυνότητας κάθε πόλης του Νομού Μεσσηνίας με τα φάσματα σχεδιασμού του Eurocode 8, του SHARE και του Ε.Α.Κ. για περίοδο επανάληψης 475 έτη. Δεν πραγματοποιήθηκε σύγκριση για Π.Ε 950 έτη διότι στον Eurocode 8, το SHARE και τον Ε.Α.Κ δεν έχει οριστεί μοντέλο επικινδυνότητας για Π.Ε 950 έτη και έτσι η σύγκριση δεν θα ήταν δόκιμη.

Όσον αφορά το φάσμα σχεδιασμού του Eurocode 8, επιλέχθηκε η οριζόντια συνιστώσα και όχι η κατακόρυφη. Γενικά, δεν χρησιμοποιείται ευρέως η κατακόρυφη συνιστώσα στη βιβλιογραφία και αυτό επειδή εξυπηρετεί πολύ συγκεκριμένους σκοπούς, όπως τον σχεδιασμό κτηρίων με υποστυλώσεις που συγκρατούνται μόνο από τη μια μεριά τους, με αποτέλεσμα η κατακόρυφη συνιστώσα να έχει τον κυρίαρχο ρόλο στη σχεδίαση του. Μάλιστα, πολλές φορές δεν υπολογίζεται καν σαν ξεχωριστό φάσμα, διότι πολλαπλασιάζεται το φάσμα σχεδιασμού της οριζόντιας συνιστώσας με έναν παράγοντα μείωσης (συνήθως το 1/3) (<https://www.rcsolver.com/en/eurocode-8-design-spectrum>). Για το φάσμα σχεδιασμού του Ε.Α.Κ. χρησιμοποιήθηκε ένα αρχείο excel που ανάλογα τις παραμέτρους που ορίζει ο χρήστης σχεδιάζει το φάσμα σχεδιασμού (<https://www.michanikos.gr>). Οι παράμετροι που ορίστηκαν για τα φάσματα σχεδιασμού και από τους τρεις φορείς συγκεντρώνονται στον Πίνακα 2.18.

<b>Ζώνη Σεισμικής Επικινδυνότητας</b>	<b>II</b>
<b>Συντελεστής α</b>	<b>0.24</b>
<b>Επιτάχυνση της βαρύτητας g</b>	<b>9.80665</b>
<b>Μέγιστη Σεισμ. Επιτάχυνση A = α x g</b>	<b>2.3536</b>
<b>Σπουδαιότητα κτιρίου</b>	<b>Σ2</b>
<b>Συντελεστής σπουδαιότητας κτιρίου γ<sub>1</sub></b>	<b>1.00</b>
<b>Δομικό σύστημα</b>	<b>1.α. Ο/Σ, Πλαίσια ή μικτά συστήματα</b>
<b>Συντελεστής συμπεριφοράς q</b>	<b>3.50</b>
<b>Τύπος κατασκευής</b>	<b>2.2 Σκυρόδεμα (οπλισμένο)</b>
<b>Ποσοστό απόσβεσης ζ%</b>	<b>5%</b>
<b>Διορθωτικός συντελ. Για ποσ. Απόσβεσης ζ≠5%</b>	<b>1.0000</b>
<b>Κατηγορία εδάφους</b>	<b>B</b>
<b>Συντελεστής επιρροής της θεμελίωσης θ</b>	<b>1.00</b>
<b>Χαρακτηριστικές περιόδους</b>	
<b>T<sub>1</sub></b>	<b>0.15</b>
<b>T<sub>2</sub></b>	<b>0.60</b>

Πίνακας 2.15: Οι παράμετροι με τις οποίες δημιουργήθηκαν τα φάσματα σχεδιασμού.



**Σχήμα 2.95: Φάσματα ομοιόμορφης επικινδυνότητας (UHS) για τις πέντε πόλεις του νομού Μεσσηνίας και η σύγκρισή τους με τα φάσματα σχεδιασμού του E.A.K, του Ευρωκώδικα και του SHARE.**

Γίνεται αμέσως αντιληπτή η μεγάλη διαφορά μεταξύ των φασμάτων UHS και του φάσματος σχεδιασμού του E.A.K (2003). Αυτό ήταν αναμενόμενο διότι η μέγιστη τιμή του φάσματος του E.A.K. ισούται με την τιμή της ζώνης όπου ανήκει η περιοχή μελέτης (Ζώνη II), δηλαδή με  $240 \text{ cm/sec}^2$ . Το φάσμα σχεδιασμού του Eurocode 8 πλησιάζει τις τιμές του φάσματος της Κυπαρισσίας. Είναι το μοναδικό φάσμα που στις μεγάλες περιόδους δεν έχει χαμηλότερες τιμές από τα UHS. Διαφοροποιήσεις υπάρχουν και με το SHARE, όπως ήταν αναμενόμενο καθώς οι σχέσεις απόσβεσης διαφέρουν. Όλα τα φάσματα καταλήγουν σε τιμές  $[100, 200] \text{ cm/sec}^2$  στις μικρές συχνότητες, οπότε επιβεβαιώνεται πως οι αποκλίσεις εντοπίζονται στις μεγάλες συχνότητες.

### 3. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας πραγματοποιήθηκε εκτίμηση της σεισμικής επικινδυνότητας στην ευρύτερη περιοχή του νομού Μεσσηνίας (ΝΔ Πελοπόννησος) με χρήση καθαρά στατιστικής μεθόδου χρησιμοποιώντας το λογισμικό HAZAN και με ημιστατιστική μέθοδο με το λογισμικό R-CRISIS V20. Εκμεταλλευόμενοι τις δυνατότητες του δεύτερου λογισμικού δημιουργήθηκαν χάρτες σεισμικής επικινδυνότητας (PGA, PGV, PGD για Π.Ε 475, 950 έτη) χρησιμοποιώντας τις σχέσεις απόσβεσης των Makropoulos (1978), Margaris et al. (2002), Skarlatoudis et al. (2003), Danciu and Tselentis (2007), Sakkas (2016) και Chousianitis et al. (2018) ξεχωριστά. Τα τελικά αποτελέσματα πάρθηκαν από μια σχέση απόσβεσης με ίσα βάρη που περιείχε όλες τις σχέσεις απόσβεσης αφού είχαν μετατραπεί σε υβριδικές πρώτα. Παράλληλα, υπολογίστηκαν τα φάσματα ομοιόμορφης επικινδυνότητας (UHS) για τις πέντε μεγαλύτερες πόλεις του νομού Μεσσηνίας (Καλαμάτα, Μεσσήνη, Πύλο, Φιλιατρά, Κυπαρισσία) χρησιμοποιώντας τη σχέση απόσβεσης των Danciu and Tselentis (2007) και συγκρίθηκαν με τα φάσματα σχεδιασμού του Ε.Α.Κ., του SHARE και του Eurocode 8.

Η διπλωματική εργασία παρέχει αποτελέσματα για τη σεισμική επικινδυνότητα της ΝΔ Πελοποννήσου χρησιμοποιώντας μια σχέση απόσβεσης από λογικό δέντρο με σύγχρονες σχέσεις απόσβεσης για τον Ελληνικό χώρο. Με αυτή τη μέθοδο μειώνονται αρκετά τα σφάλματα υπολογισμού. Ουσιαστικά, οι υβριδικές σχέσεις απόσβεσης είναι ένα λογικό δέντρο, το κάθε κλαδί του οποίου είναι μια σχέση απόσβεσης με τον δικό της συντελεστή βαρύτητας. Όμως, με το λογικό δέντρο, συνδυάστηκαν όλες οι υβριδικές σχέσεις απόσβεσης για την διεξαγωγή ενός αποτελέσματος. Επίσης, θέτει τον προβληματισμό σχετικά με τις υπολογιζόμενες τιμές PGA, PGV και PGD άλλων εργασιών, διότι η σύγκριση των αποτελεσμάτων θέτει συχνά το ερώτημα υπερεκτίμησης ή πιθανής ανάγκης επικαιροποίησης των αποτελεσμάτων. Επιπροσθέτως, παρέχονται τα φάσματα ομοιόμορφης επικινδυνότητας για Π.Ε. 475 και 950 έτη για κάθε μια από τις πέντε πόλεις για μια γρήγορη επισκόπηση των φασμάτων σχεδιασμού τους. Τα φάσματα αποδείχθηκαν αξιόπιστα όταν έγινε σύγκριση με τα φάσματα απόκρισης του Ε.Α.Κ., Eurocode 8 και του SHARE. Τελευταίο και λιγότερο σημαντικό, η εργασία προσφέρει έναν γρήγορο οδηγό για τη χρήση του R-CRISIS V20. Επιπλέον, παρέχεται ο κώδικας στην ελεύθερη γλώσσα προγραμματισμού python, ο οποίος διαβάζει το αρχείο που περιέχει τα σφάλματα για κάθε παράμετρο των ασύμπτωτων του Gumbel στο λογισμικό HAZAN και τα εξάγει κατευθείαν σε ένα αρχείο κειμένου που ανοίγει με excel.

Επόμενα βήματα για τη συνέχιση της εργασίας μπορούν να είναι τα εξής:

1. Κάνοντας από-άθροιση (disaggregation) των αποτελεσμάτων σεισμικής επικινδυνότητας που προέκυψαν με χρήση της υβριδικής σχέσης απόσβεσης, ώστε να αναδειχθεί το ζεύγος  $M, R$  που συμβάλλει περισσότερο στα αποτελέσματα της επικινδυνότητας.
2. Με τις πληροφορίες του προηγούμενου βήματος μπορούν να εφαρμοστούν αιτιοκρατικά σενάρια με αυτό το ζεύγος  $M, R$  για την παραγωγή συνθετικών κυματομορφών για πιο αξιόπιστα αποτελέσματα φασμάτων απόκρισης της κάθε πόλης ξεχωριστά. Επίσης, με τη μέθοδο ακραίων τιμών γίνεται εφικτός ο υπολογισμός του μέγιστου αναμενόμενου μεγέθους σε μια κυκλική περιοχή 50 km περίπου με κέντρο την κάθε πόλη. Επομένως, δίνεται η δυνατότητα προσθήκης ακαριαίου αιτιοκρατικού σεναρίου για παραγωγή φασμάτων απόκρισης.
3. Ορισμός νέων σεισμικών πηγών που θα χρησιμοποιηθούν για επικαιροποιημένη εκτίμηση σεισμικής επικινδυνότητας με χρήση ημιστατιστικής μεθόδου. Με αυτόν τον τρόπο θα

ληφθούν υπόψη σημαντικές διαφοροποιήσεις μεταξύ των ζωνών σε μικρή κλίμακα, κάτι που δεν είναι εφικτό να γίνει όταν επιλέγονται ζώνες που έχουν γίνει για όλη την Ευρώπη.

4. Χρήση καμπυλών τρωτότητας, ώστε σε συνδυασμό με τα αποτελέσματα σεισμικής επικινδυνότητας (seismic hazard) να εκτιμηθεί ο σεισμικός κίνδυνος (seismic risk) για την περιοχή μελέτης.

**ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ****Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία**

Agalos, A., Papadimitriou, P., Voulgaris, N., Makropoulos, K., 2007. Source Parameters Estimation from Broadband Regional Seismograms for Earthquakes in the Aegean Region and the Gorda Plate. *Bulletin of the Geological Society of Greece 2007 Proceedings of the 11th International Congress*, Athens, 1032–1044.

Aguilar Meléndez, A., Ordaz, M., De la Puente, J., González Rocha, S., Rodríguez Lozoya, H., Córdova Ceballos, A., García Elías, A., Calderón Ramón, C., Escalante Martínez, J., Laguna Camacho, J., Campos Rios, A., 2017. Development and Validation of Software CRISIS to Perform Probabilistic Seismic Hazard Assessment with Emphasis on the Recent CRISIS2015. *CyS* 21. <https://doi.org/10.13053/cys-21-1-2578>.

Aki, K., 1965. Maximum likelihood estimate of  $b$  in the formula  $\log N = a - bM$  and its confidence limits. *Bull. Earthq. Res. Inst.*, 43, 237–239.

Akkar, S., Bommer, J., 2010. Empirical equations for the prediction of PGA, PGV, and spectral accelerations in Europe, the Mediterranean Region, and the Middle East. *Seismol Res Lett* 81, 195–206. doi:10.1785/gssrl.81.2.195.

Ambraseys, N., 1990. Uniform magnitude re-evaluation of European earthquakes associated with strong-motion records. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*. 19(1), 1-20.

Ambraseys, N., 2009. Earthquakes in the Mediterranean and Middle East. In *Earthquakes in the Mediterranean and Middle East: A Multidisciplinary Study of Seismicity up to 1900* (pp. I-II). Cambridge: Cambridge University Press.

Ambraseys, N., Finkel, C., 1999. Unpublished Ottoman archival information on the seismicity of the Balkans during the period 1500-1800. In: *Natural disasters in the Ottoman Empire*, Institute for Mediterranean studies, Halcyon Days in Crete III, A Symposium held in Rethymnon, 10-12 January 1997, 89-107.

Anderson, H., Jackson, J., 1987. Active tectonics of the Adriatic Region, *Geophys. J. Int.*, 91(3), 937–983.

Aubouin, J., Bonneau, M., Davidson, J., Leboulenger, P., Matesco, S., Zambetakis, A., 1976. Esquisse structurale de l'arc égéen externe: des Dinarides au Taurides. *Bull. Soc. Géol. Fr.*, 18 (7), 327-336.

Baker, J., 2015. Introduction to Probabilistic Seismic Hazard Analysis. White Paper Version 2.1, 77.

Banitsiotou I., Tsapanos T., Margaris V., Hatzidimitriou P., 2004. Estimation of the seismic hazard parameters for various sites in Greece using a probabilistic approach, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 4, 399–405.

Barbiani, D., Barbiani, B., 1863. Tremblements de terre dans l'île de Zante. *Mémoires de l'Académie de Dijon, Sci.*, 11, 1-112.

Benetatos, C., Kiratzi, A., Papazachos, C., Karakaisis, G., 2004. Focal mechanisms of shallow and intermediate depth earthquakes along the Hellenic Arc. *J. Geodyn.*, 37(2), 253–296.

Bevington, D., 1969. Data reduction and error analysis for the physical sciences: McGraw Hill, New York, 336.

Boore, D., Stewart, J., Skarlatoudis, A., Seyhan, E., Margaris, B., Theodoulidis, N., Scordilis, E., Kalogeras, I., Klimis, N., Melis, N., 2021. A Ground-Motion Prediction Model for Shallow Crustal Earthquakes in Greece. *Bulletin of the Seismological Society of America* 111, 857–874. <https://doi.org/10.1785/0120200270>.

British Standards Institution (B.S.I.), 1996. Eurocode 8: Design provisions for earthquake resistance of structures. London: British Standards Institution.

Burton, P., 1979, Seismic risk in southern Europe through to India examined using Gumbel's third distribution of extreme values: *Geophys. Jour. Roy. Astr. Soc.*, 59, 2, 249-280.

Burton, P., Xu, Y., Qin, C., Tselentis, G., Sokos, E., 2002. Catalogue of seismicity in Greece and the adjacent areas for the twentieth century; *Tectonophysics*.

Burton, P., Xu, Y., Qin, C., Tselentis, G., Sokos, E., 2004. A catalogue of Seismicity in Greece and the adjacent areas for the twentieth century, *Tectonophysics*, 390, 117–127.

Burton, P., Xu, Y., Tselentis, G., Sokos, E., Aspinall, W., 2003. Strong ground acceleration seismic hazard in Greece and neighboring regions. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* 23, 159–181. [https://doi.org/10.1016/S0267-7261\(02\)00155-0](https://doi.org/10.1016/S0267-7261(02)00155-0).

Caputo, R., Chatzipetros, A., Pavlides, S., Sboras, S., 2013. The Greek Database of Seismogenic Sources (GreDaSS): state-of-the-art for northern Greece. *Ann. Geophys.*, 55(5), doi:10.4401/ag-5168.

Cauzzi, C., Faccioli, E., 2008. Broadband (0.05 to 20 s) prediction of displacement response spectra based on worldwide digital records. *J Seismol* 12, 453–475. doi:10.1007/s10950-008-9098-y.

Chiou, B., Youngs, R., 2008. An NGA model for the average horizontal component of peak ground motion and response spectra. *Earthq Spectra* 24, 173–215. doi:10.1193/1.2894832.

Chouliaras, G., Drakatos, G., Pavlou, K., Makropoulos, K., 2013. Stress distribution and seismicity patterns of the 2011 seismic swarm in the Messinia basin, (South-Western Peloponnesus), Greece. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 13, 45-51.

Chousianitis, K., Del Gaudio, V., Pierri, P., Tselentis, G., 2018. Regional ground-motion prediction equations for amplitude-, frequency response-, and duration-based parameters for Greece. *Earthquake Engng Struct Dyn* 47, 2252–2274. <https://doi.org/10.1002/eqe.3067>.

Cornell, C., 1968. Engineering seismic risk analysis, *Bull. Seismo. Soc. Am.* 58, 1583–1606.

Danciu L., Tselentis G., 2007. Engineering Ground-Motion Parameters Attenuation Relationships for Greece. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 97b, 162-183.

Danciu, L., 2006. Development of a system to assess the earthquake damage potential for buildings: Intensimeter. PhD thesis, Laboratory of Seismology, Department of Geology, University of Patras, Greece, 2006.

Engdahl, E., van der Hilst, R., Buland, R., 1998. Global teleseismic earthquake relocation with improved travel times and procedures for depth determination. *Bull. seism. Soc. Am.*, 88, 722–743.

England, P., Howell, A., Jackson, J., Synolakis, C., 2015. Palæotsunamis and tsunami hazards in the Eastern Mediterranean. *Phil. Trans. R. Soc. A*, 373(2053), 20140374, doi:10.1098/rsta.2014.0374.

Esteve, L., 1970. Regionalización sísmica de México para fines de ingeniería. Instituto de Ingeniería. Universidad Nacional Autónoma de México.

Fountoulis, I., 2004. The neotectonic macrostructures and the geological basement, the main factors controlling the spatial distribution of the damage and geodynamic phenomena resulting from the Kalamata (13 September 1986) and Athens (7 September 1999) earthquakes. WIT Press: In *Earthquake Geodynamics: Seismic Case Studies*. Edited by: E. L. Lekkas, Series: *Advances in Earthquake Engineering*, 12, 45-63.

Fountoulis, I., Mavroulis, S., 2013. Application of the Environmental Seismic Intensity scale (ESI 2007) and the European Macroseismic Scale (EMS-98) to the Kalamata (SW Peloponnese, Greece) earthquake ( $M_s=6.2$ , September 13, 1986) and correlation with neotectonic structures and active faults. *Annals of Geophysics*, 56, S0675.

Ganas, A., Lekkas E., Kolligri M., Moshou A., Makropoulos K., 2012. The 2011 Oichalia (SW Peloponnese, Greece) seismic swarm: Geological and seismological evidence for E-W extension 11 and reactivation of the NNW-SSE striking Siamo Fault. *Bulletin of the Geological Society of Greece*, 46, 81-94.

Georgiades, S., 1904. About earthquakes and antiseismic constructions. Publ. S.Kousoulinou, Athens, 306.

Giardini, D., Woessner J., Danciu L., 2014. Seismic Hazard Harmonization in Europe (SHARE). Online Data Resource, <http://portal.share-eu.org:8080/jetspeed/portal/>, doi: 10.12686/SED-00000001-SHARE.

Grünthal, G., Wahlström, R., Stromeyer, D., 2013. The SHARE European Earthquake Catalogue (SHEEC) for the time period 1900-2006 and its comparison to EMEC. *Journal of Seismology*, 17, 4, 1339-1344. doi: 10.1007/s10950-013-9379-y.

Guidoboni, E., Comastri, A., Traina, G., 1994. Catalogue of ancient earthquakes in the Mediterranean area up to the 10th century. *SGA Storia Geofisica Ambiente*, Bologna, 504.

Gumbel, E.J., 1958. *Statistics of Extremes*. Columbia University Press, New York, USA.

Gutenberg, B., Richter, C., 1944. Frequency of earthquakes in California: *Bull. Seism. SOc. America*, v. 34, p. 185-188.

Hatzfeld, D., 1994. On the shape of the subducting slab beneath the Peloponnese, Greece. *Geophys. Res. Lett.*, 21(3), 173–176.

Hatzfeld, D., Pedotti, G., Hatzidimitriou, P., Panagiotopoulos, D., Scordilis, M., Drakopoulos, I., Makropoulos, K., Delibasis, N., Latousakis, I., Baskoutas, J., Frogneux, M., 1989. The Hellenic subduction beneath the Peloponnesus: first results of a microearthquake study. *Earth and Planetary Science Letters*. 93, 2, 283-291, [https://doi.org/10.1016/0012-821X\(89\)90076-9](https://doi.org/10.1016/0012-821X(89)90076-9).

Howell, A., Jackson, J., England, P., Higham, T., Synolakis, C., 2015. Late Holocene uplift of Rhodes, Greece: evidence for a large tsunamigenic earthquake and the implications for the tectonics of the eastern Hellenic Trench System. *Geophys. J. Int.*, 203(1), 459–474.



Howell, A., Palamartchouk, K., Papanikolaou, X., Paradissis, D., Raptakis, C., Copley, A., England, P., Jackson, J., 2017. The 2008 Methoni earthquake sequence: the relationship between the earthquake cycle on the subduction interface and coastal uplift in SW Greece. *Geophysical Journal International* Geophys. J. Int. 208, 1592–1610 doi: 10.1093/gji/ggw462.

International Seismological Centre, 2016. On-line Bulletin. International Seismological Centre, Thatcham, United Kingdom, <http://www.isc.ac.uk>.

Jackson, J., 1994. Active tectonics of the Aegean region. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 22: 239-271.

Jacobshagen V., Richter D., Makris J., 1978. Alpidic development of the Peloponnesus. In Closs, H., Roeder, D. and Schmidt, H., eds., *Alps, Appennines, Hellenides*: Stuttgart, E. Schweizerbartsche Verlagsbuchhandlung, 415-423.

Kahle, H., Muller, M., Geiger, A., Danuser, G., Mueller, S., Veis, G., Billiris, H., Paradissis, D., 1995. The strain field in northwestern Greece and the Ionian islands: results inferres from GPS measurements. *Tectonophysics*, 249, 41-52.

Kijko, A., Graham, G., 1998. Parametric-Historic Procedure for Probabilistic Seismic Hazard Analysis, Part I: Estimation of Maximum Regional Magnitude  $m_{max}$ , *Pure and Appl. Geophys.*, 152, 413–442, 1998.

Kiratzi, A., 2003. Focal mechanisms of shallow earthquakes in the Aegean Sea and the surrounding lands determined by waveform modelling: a new database. *J. Geodyn.*, 36(1–2), 251–274.

Kontogianni, V.A., Tsoulos, N., Stiros, S., 2002. Coastal uplift, earthquakes and active faulting of Rhodes Island (Aegean Arc): modeling based on geodetic inversion. *Mar. Geol.*, 186(3–4), 299–317.

Kouskouna, V., Kaviris, G., 2014. Seismic hazard study in Messinia (Sw Peloponnese). Second European Conference on Earthquake Engineering and Seismology, Istanbul.

Labros, S., 1881. The earthquakes in Athens before 1821. *Estia*, 280.

Lamessa, G., Mammo, T., K.Raghuvanshi, T., 2019. Homogenized earthquake catalog and b-value mapping for Ethiopia and its adjoining regions. *Geoenvironmental Disasters* 6, 16. <https://doi.org/10.1186/s40677-019-0131-y>

Ladas, I., Mariolakos, I., Fountoulis, I., 2004. The neotectonic deformation of Pylia (SW Peloponnese, Greece). In: *Proceedings of the 10th Congress of the Geological Society of Greece*, Thessaloniki. *Bulletin of the Geological Society of Greece*, 36 (4), 1652-1661.

Le Pichon, X., Angelier, J., 1981. The Aegean Sea. *Philos. Trans. R. Soc. London, Ser. A*, 300, 357-372.

Levenberg K., 1944. A method for the solution of certain nonlinear problems in least squares: *Quart. Appl. Math.*, 2, 164-168.

Lyon-Caen, H., Armijo, R., Drakopoulos, J., Baskoutas, J., Delibasis, N., Gaulon, R., Kouskouna, V., Latoussakis, J., Makropoulos, K., Papadimitriou, P., Papanastassiou, D., Pedotti, G., 1988. The 1986 Kalamata (south Peloponnesus) earthquake: detailed study of a normal fault, evidences for east-west extension in the Hellenic arc. *Journal of Geophysical Research*, 93, 14967-15000.

- Makropoulos, K., 1978. The statistics of large earthquake magnitude and an evaluation of Greek seismicity. PhD thesis, University of Edinburgh, UK.
- Makropoulos, K., Burton, P., 1981. A catalogue of Seismicity in Greece and the Adjacent Areas, *Geophys. J. R. Astr. Soc.*, 65, 741–762.
- Makropoulos, K., Burton, P., 1986. Hazan: a FORTRAN program to evaluate seismic-hazard parameters using Gumbel's theory of extreme value statistics. *Computers & Geosciences* 12, 29–46. [https://doi.org/10.1016/0098-3004\(86\)90017-8](https://doi.org/10.1016/0098-3004(86)90017-8).
- Makropoulos, K., Chousianitis, K., Kaviris, G., Kassaras, I., 2013. Seismic hazard assessment in Greece: Revisited. *Geophysical Research Abstracts*, 15, EGU2013-10033-1.
- Makropoulos, K., Drakopoulos, J., Latoussakis, J., 1989. A revised and extended earthquake catalogue in Greece since 1900, *Geophys. J. Int.*, 98, 391–394.
- Makropoulos, K., Kaviris, G., Kouskouna, V., 2012. An updated and extended earthquake catalogue for Greece and adjacent areas since 1900. *Natural hazards and earth system sciences*. 12. 1425-1430. 10.5194/nhess-12-1425-2012.
- Mallet, R., 1854. Catalogue of recorded earthquakes from 1606 BC to AD 1850. Report of the Twenty Third Meeting of the British Association for the Advancement of Science. 22, 1-176.
- Margaris, B., Papazachos, C., Papaioannou, C., Theodulidis, N., Kalogeras, I., Skarlatoudis, A., 2002. Ground motion attenuation relations for shallow earthquakes in Greece. In *Proceedings of the XXVIII General Assembly of the European Seismological Commission (ESC)*.
- Mariolakos, I., Fountoulis, I., 1998. Is it safe to build on fault surfaces in a seismically active area? The case of Eleohori village (SW Peloponnesos, Greece). In: *Proceedings of the 8th IAEG Congress (Vancouver, Canada, September 21-26, 1998)*, 665-670.
- Mariolakos, I., Fountoulis, I., 2004. The current geodynamic regime in the Hellenic area. In: Mariolakos I., Zagorchev I., Fountoulis I. et al. (eds), *Neotectonic Transect Moesia Apulia: Field trip guide book – B26, 32nd Int. Geol. Congr., Precongr. Field trip, Florence, Italy, B26: 12-16, B26 Greek Route – Appendix: 25*.
- Mariolakos, I., Fountoulis, I., Logos, E., Lozios, S., 1989. Surface faulting caused by the Kalamata (Greece) earthquakes (13/9/86). *Tectonophysics*, 163, 197-203.
- Mariolakos, I., Fountoulis, I., Markopoulou-Diakantoni, A., Mirkou, R., 1994. Some remarks on the kinematic evolution of Messinia province (SW Peloponnesus, Greece) during the Pleistocene based on neotectonic, stratigraphic and paleoecological observations. *Munstersche Forschungen zur Geologie und Palaontologie* 76, 371–380.
- Mariolakos, I., Papanikolaou, D., 1981. The neogene basins of the Aegean Arc from the paleogeographic and the geodynamic point of view. In: *Proceedings of the international symposium Hellenic Arc and Trench (HEAT)*, 1, 383-399.
- Mariolakos, I., Papanikolaou, D., Lagios, E., 1985. A Neotectonic model of Peloponnesus based on Morphotectonics, Repeated Gravity measurements and seismicity. *Geologisches Jahrbuch*, B50, 3-17, Hannover.

- Marquardt, D., 1963. An algorithm for least-squares estimation of nonlinear parameters: *Jour. Soc. Indust. App. Maths.*, t1, 431-441.
- McGuire, R., 1976. FORTRAN computer program for seismic risk analysis: U.S. Geological Survey Open-File Report 76-67, 90.
- Melis, N., Konstantinou, K., 2006. Near real-time seismic monitoring in the Greek region: An example of the October 17, 2005 East Aegean Sea earthquake sequence. *Seism. Res. Lett.*, 77, 364–370.
- Moshou, A., Papadimitriou, P., Makropoulos, K., 2010. Moment tensor determination using a new waveform inversion technique. *Bull. Geol. Soc. Greece, Proc. of the 12th International Congress, Patras, May 2010, XLIII, 4, 2104–2113.*
- NEHRP, 1994. Recommended Provisions for Seismic Regulations for New Buildings, FEMA 222A/223A, May, 1, (Provisions) and 2 (Commentary).
- Nezamabadi, M., Vayeghan, F., Hosseini, M., 2004. Seismic Hazard Analysis and Developing the Uniform Hazard Spectra for Vulnerability Analysis of an Existing Building. 13th World Conference on Earthquake Engineering, Canada, 2378.
- Nocquet, J., 2012. Present-day kinematics of the Mediterranean: a comprehensive overview of GPS results. *Tectonophysics*, 579, 220–242.
- Ordaz, M., 1991. CRISIS. Brief description of program CRISIS, Internal report. Institute of Solid Earth Physics. University of Bergen, Norway, 16.
- Ordaz, M., 1999. User's manual for program CRISIS1999. Technical report. Universidad Nacional Autónoma de México. Mexico City, Mexico.
- Ordaz, M., Salgado-Gálvez M., 2020. R-CRISIS v20 Validation and Verification Document. ERN Technical Report. Mexico City, Mexico.
- Ordaz, M., Salgado-Gálvez, M., Giraldo, S., 2021. R-CRISIS: 35 years of continuous developments and improvements for probabilistic seismic hazard analysis. *Bull Earthquake Eng* 19, 2797–2816, <https://doi.org/10.1007/s10518-021-01098-w>.
- Orphal, D., Lahoud, J., 1974. Prediction of peak ground motion from earthquakes. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 64(5):1563-1574.
- Papadopoulos, G., Daskalaki, E., Fokaefs, A., Novikova, T., 2014. Tsunamigenic potential of local and distant tsunami sources threatening SW Peloponnese. *Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicata*, 55 (2), 469-484.
- Papaoiannou, C., Papazachos, C., 2000. Time-Independent and Time-Depended Seismic Hazard in Greece Based on Seismogenic Sources, *B. Seismol. Soc. Am.*, 90, 22–33.
- Papanastassiou, D., 1999. Seismic hazard assessment in the area of Mystras-Sparta, south Peloponnesus, Greece, based on local seismotectonic, seismic, geologic information and on different models of rupture propagation. *Natural Hazards*, 18, 237-251.

- Papanastassiou, D., Gaki-Papanastassiou, K., Maroukian, H., 2005. Recognition of past earthquakes along the Sparta fault (Peloponnesus, southern Greece) during the Holocene, by combining results of different dating techniques. *Journal of Geodynamics*, 40, 189-199.
- Papanikolaou, D., Fountoulis, I., Metaxas, C., 2007. Active faults, deformation rates and Quaternary paleogeography at Kyparissiakos Gulf (SW Greece) deduced from onshore and offshore data. *Quaternary International*, 171-172, 14-30.
- Papanikolaou, D., Lykousis, V., Chronis, G., Pavlakis, P., 1988. A comparative study of neotectonic basins across the Hellenic arc: the Messiniakos, Argolikos, Saronikos and Southern Evoikos Gulfs. *Basin Research*, 1, 167-176.
- Papazachos, B., Papazachou, C., 1997. *The Earthquakes of Greece*. Ziti Publications, Thessaloniki, 304.
- Papazachos, C., Comninakis, E., Karakaisis, G., Karakostas, B., Papaioannou, C., Papazachos, C., Scordilis, E., 2000. A catalogue of earthquakes in Greece and surrounding area for the period 550BC–1999, Publ. Geoph. Lab. Univ. of Thessaloniki.
- Pirazzoli, P., Thommeret, J., Thommeret, Y., Laborel, J., Montaggioni, L., 1982. Crustal block movements from Holocene shorelines: Crete and Antikythira (Greece). *Tectonophysics*, 86(1–3), 27–43.
- Reilinger, R., McClusky, S., Vernant, P., Lawrence, S., Ergintav, S., Cakmak, R., Ozener, H., Kadirov, F., Guliyev, I., Stepanyan, R., Nadariya, M., Hahubia, G., Mahmoud, S., Sakr, K., A., Paradissis, D., Al-Aydrus, A., Prilepin, M., Guseva, T., Karam, G., 2006. GPS Constraints on Continental Deformation in the Africa-Arabia-Eurasia Continental Collision Zone and Implications for the Dynamics of Plate Interactions. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*. 111. B05411. 10.1029/2005JB004051.
- Sakkas, G., 2016. Calculation and analysis of the seismic motion rotational components in Greece. Ph.D. Thesis, National and Kapodistrian University of Athens, Athens, 278.
- Schmidt, J., 1867. Study about the Kefalonia earthquake of 23 January 1867. *Ethniko Typogr.*, Athens, 30.
- Schmidt, J., 1867. Treatise on the 26(14) December 1861 earthquake of Aeghio. National Printing House, Athens, 51.
- Scordilis, E., 2006. Empirical global relations converting  $M_s$  and  $m_b$  to moment magnitude, *J. Seismol.*, 10, 225–236.
- Segou, M., Voulgaris, N., 2013. The use of stochastic optimization in ground motion prediction. *Earthquake Spectra*, 29(1), 283-308. doi: 10.1193/1.4000098.
- Shaw, B., England, P., Floyd, M., Gorman, G., Higham, T., Jackson, J., Nocquet, J., Pain, C., Piggott, M., 2008. Eastern Mediterranean tectonics and tsunami hazard inferred from the AD 365 earthquake. *Nature Geoscience*. 1. 268-276. 10.1038/ngeo151.
- Shaw, B., Jackson, J., 2010. Earthquake mechanisms and active tectonics of the Hellenic subduction zone, *Geophys. J. Int.*, 181, 966–984.
- Shaw, B., Jackson, J., 2010. Earthquake mechanisms and active tectonics of the Hellenic subduction zone. *Geophys. J. Int.*, 181, 966–984.

- Skarlatoudis, A., Papazachos, C., Margaritis, B., Theodulidis, N., Papaioannou, C., Kalogeras, I., Scordilis, E., Karakostas, V., 2003. Empirical peak ground-motion predictive relations for shallow earthquake in Greece. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 93(6), 2591-2603.
- Skarlatoudis, A.A., Papazachos, C.B., Margaritis, B.N., Theodulidis, N., Papaioannou, Ch., Kalogeras, I., Scordilis, E.M., Karakostas, V., 2007. Erratum to Empirical Peak Ground-Motion Predictive Relations for Shallow Earthquakes in Greece. *Bulletin of the Seismological Society of America* 97, 2219–2221. <https://doi.org/10.1785/0120070176>
- Skourtsos, E., Fountoulis, I., 2010. Basin sedimentation, normal faulting and late-stage exhumation in external hellenides, Peloponnesus, Greece. In: book of abstracts *Tectonic Crossroads: Evolving Orogens of Eurasia-Africa-Arabia*, Paper No. 33-1.
- Slejko, D., Santulin, M., Garcia, J., Papoulia, J., Daskalaki, E., Fasulaka, C., Fokaefs, A., Ilinski, D., Mascle, J., Makris, J., Nicolich, R., Papadopoulos, G., Tsambas, A., Wardell, N., 2010. Preliminary seismic hazard assessments for the area of Pylos and surrounding region (SW Peloponnese). *Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicata*, 51, 2-3, 163-186.
- Stepp, J., 1971. An investigation of earthquake risk in the Puget Sound area by use of the type I distribution of largest extremes. PhD thesis, Pennsylvania State University, 131.
- Stucchi, M., Rovida, A., Gómez, A., Alexandre, P., Camelbeeck, T., Demircioglu, M., Gasperini, P., Kouskouna, V., Musson, R., Radulian, M., Sesetyan, K., Vilanova, S., Baumont, D., Bungum, H., Fäh, D., Lenhardt, W., Makropoulos, K., Martinez, J., Scotti, O., Giardini, D., 2012. The SHARE European Earthquake Catalogue (SHEEC) 1000–1899. *Journal of Seismology*. 17. 10.1007/s10950-012-9335-2.
- Theodulidis, N., 1998. Peak ground acceleration attenuation of small earthquakes: Analysis of Euroseistest (Greece) data. In *Proceedings of the Second International Symposium on The Effects of Surface Geology on Seismic Motion: Recent Progress and New Horizon on ESG Study*, pages 1171-1176.
- Theodulidis, N., Lekidis, V., Margaritis, B., Papazachos, C., Papaioannou, C., Dimitriu, P., 1998. Seismic hazard assessment and design spectra for the Kozani-Grevena region (Greece) after the earthquake of May 13, 1995. *Journal of Geodynamics*, 26(2-4), 375-391.
- Theodulidis, N., Papazachos, B., 1994. Dependence of strong ground motion on magnitude-distance, site geology and macroseismic intensity for shallow earthquakes in Greece: I, peak horizontal acceleration, velocity and displacement. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 11, 387-402.
- Theodulidis, N., Papazachos, C., 1992. Dependence of strong ground motion on magnitude-distance, site geology and macroseismic intensity for shallow earthquakes in Greece: I, peak horizontal acceleration, velocity and displacement. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 11, 387-402.
- Tsapanos, T., Mäntyniemi, P., Kijko, A., 2004. A probabilistic seismic hazard assessment for Greece and the surrounding region including site-specific considerations 15.
- Tselentis, G., Danciu, L., 2010. Probabilistic seismic hazard assessment in Greece – Part 1: Engineering ground motion parameters. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 10, 25–39. <https://doi.org/10.5194/nhess-10-25-2010>.

Tselentis, G., Drakopoulos, J., Makropoulos, K., 1988. Site effects on seismograms of local earthquakes in the Kalamata region, Southern Greece. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 78 (4), 1597-1602.

Wiemer, S., and M. Wyss. 1997. Mapping the frequency-magnitude distribution in asperities: An improved technique to calculate recurrence times? *Journal of Geophysical Research* 102 (3): 15115. <https://doi.org/10.1029/97JB00726>.

Wiemer, S., and Wyss, M. 2000. Minimum magnitude of completeness in earthquake catalogs: examples from Alaska, the Western United States, and Japan. *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 90(4), 859–869. <https://doi.org/10.1785/0119990114>

Wiemer, S. (2001). A software package to analyze seismicity: ZMAP. *Seismol. Res. Lett.*, 72(3), 373–382. <https://doi.org/10.1785/gssrl.72.3.373>

Woessner, J., and Wiemer, S. 2005. Assessing the quality of earthquake catalogues: estimating the magnitude of completeness and its uncertainty. *Bull. Seismol. Soc. Am*, 95(2), 684–698. <https://doi.org/10.1785/0120040007>

Woessner, J., Laurentiu, D., Giardini, D., H. Crowley, F. Cotton, G. Grünthal, G. Valensise, R. Arvidsson, R. Basili, M. Demircioglu, S. Hiemer, C. Meletti, R. Musson, A. Rovida, K. Sesetyan, M. Stucchi, The SHARE Consortium (Anastasiadis, A., Akkar, S., Engin Bal, I., Barba, S., Bard, P., Beauval, C., Bolliger, M., Bosse, C., Bonjour, C., Bungum, H., Carafa, M., Cameelbeeck, T., Carvalho, A., Campos-Costa, A., Coelho, E., Colombi, M., D’Amico, V., Devoti, R., Drouet, S., Douglas, J., Edwards, B., Erdik, M., Fah, D., Fonseca, J., Fotopoulou, S., Glavatovic, B., Gomez Capera, A., Hauser, J., Husson, F., Kastelic, V., Kastli, P., Karatzetou, A., Kaviris, G., Keller, N., Kierulf, H., Kouskouna, V., Krishnamurty, R., Lang, D., Lemoine, A., Lindholm, C., Makropoulos, K., Manakou, M., Marmureanu, G., Martinelli, F., Garcia Mayordomo, J., Mihaljevic, J., Monelli, Garcia-Moreno, D., Nemser, E., Pagani, M., Pinho, R., Pisani, A., Pitalakis, D., Pitalakis, K., Poggi, V., Radulian, M., Riga, E., Sandikkaya, M., Segou, M., Siebert, R., Silva, V., Stromeyer, D., Sousa, L., Sørensen, M., Tellez-Arenas, A., Vanneste, K., Wahlstrom, R., Weatherill, G., Vigano, D., Vilanova, S., Yenier, E., Zulfikar, C.), 2015. The 2013 European Seismic Hazard Model: key components and results. *Bull Earthquake Eng.* 13, 3553–3596. <https://doi.org/10.1007/s10518-015-9795-1>.

Zhang, X., Yan, W., He, H., Sun, Y., Chen, S., 2018. Generation of Uniform Hazard Spectrum Based on the Stochastic Method of Simulating Ground Motion and Its Use in Nuclear Power Plants. *Advances in Civil Engineering* 2018, 1–12. <https://doi.org/10.1155/2018/6037863>.

Zhao J., 2006. Attenuation relations of strong ground motion in Japan using site classification based on predominant period. *Bull Seismol Soc Am* 96, 898–913. doi:10.1785/0120050122.

Zhou, Y., Zhou, S., Zhuang, J., 2018. A test on methods for MC estimation based on earthquake catalog 14.

## Ελληνική Βιβλιογραφία

Βούλγαρης, Ν., 2006. Σημειώσεις Τεχνικής Σεισμολογίας - Μικροζωνικής. Αθήνα, 2006.

Γάκη-Παπαναστασίου, Κ., Παπαναστασίου, Δ., Μαρουκιάν, Χ., 1995. Γεωμορφολογικές και σεισμοτεκτονικές παρατηρήσεις στην ευρύτερη περιοχή της Σπάρτης. Πρακτικά 4ου Πανελληνίου Γεωγραφικού Συνεδρίου της Ελληνικής Γεωγραφικής Εταιρείας, Αθήνα, 12-14, Γεωμορφολογία, Κλιματολογία, Μαθηματική Γεωγραφία, Γενική Γεωγραφία, 104-120.

Γαλανόπουλος, Α., 1947. Η σεισμικότητα της Μεσσηνίας από την αρχαιότητα έως σήμερα. Annales Géologiques Des Pays Helléniques, 1, 1, 38-59.

Γκανάς, Α., Λέκκας, Ε., Χουλιάρης, Γ., Αγάλος, Α., Μόσχου, Α., Κανάβου, Β., Αργυράκη, Π., 2011. Σεισμοί Οιχαλίας (Ανω Μεσσηνία) Ιούνιος – Οκτώβριος 2011, Σμηνοσειρά Οιχαλίας: χαρακτηριστικά – παράμετροι & μακροσεισμικό πεδίο. Έκθεση, Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών, Γεωδυναμικό Ινστιτούτο Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών.

ΕΛΣΤΑΤ, 2011. Γενικές απογραφές Κτηρίων και Πληθυσμού - Κατοικιών 2011. Ελληνική Στατιστική Αρχή.

Καβύρης, Γ., 2003. Μελέτη Ιδιοτήτων Σεισμικών Πηγών Ανατολικού Κορινθιακού Κόλπου. Διδακτορική Διατριβή. Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Σ.Θ.Ε., Τμήμα Γεωλογίας, Τομέας Γεωφυσικής – Γεωθερμίας, Αθήνα.

Καρανίκας, Α., 2003. Ανθρωπογεωγραφική ανάλυση του διευρυμένου δήμου Καλαμάτας. Πτυχιακή εργασία. ΤΕΙ Καλαμάτας, Σχολή: Σ.Δ.Ο, Τμήμα: Δ.Μ.Τ.Α.

Λαδάς, Ι., Τρίκολλας, Κ., Μαριολάκος, Η., Αραπογιάννη, Ξ., Σαμπαζιώτης, Ε., 2014. Γεωλογικές - Νεοτεκτονικές συνθήκες και καταστροφικά φαινόμενα στον αρχαιολογικό χώρο της Αρχαίας Θουρίας (ΝΔ Πελοπόννησος). 10ο Διεθνές Συνέδριο της Ελληνικής Γεωγραφικής Εταιρείας.

Μαριολάκος, Η., Παπανικολάου, Δ., 1987. Είδος παραμόρφωσης και σχέση παραμόρφωσης – σεισμικότητας στο Ελληνικό τόξο. Δελτίο Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας, 19, 59-76.

Μαυρούλης Σ., 2020. Περιβαλλοντικές επιπτώσεις και εκτίμηση περιβαλλοντικών εντάσεων ιστορικών και πρόσφατων σεισμών στη Δυτική Ελλάδα (Δυτική Πελοπόννησος και κεντρικά Ιόνια νησιά) και συσχετίσή τους με ενεργό τεκτονισμό και σεισμολογικές παραμέτρους. Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Σ.Θ.Ε., Τμήμα Γεωλογίας, Τομέας Γεωφυσικής – Γεωθερμίας, Αθήνα.

Μαυρούλης, Σ., 2009. Εκτίμηση Ενεργότητας Ρηγμάτων στη ΒΔ Πελοπόννησο – Ο σεισμός της Ανδραβίδας (08/06/2008). Μεταπτυχιακή Διατριβή Ειδίκευσης, ΠΜΣ «Πρόληψη και Διαχείριση Φυσικών Καταστροφών», Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος Εθνικού και Καποδιστριακού Περιβάλλοντος Πανεπιστημίου Αθηνών σε σύμπραξη με το Τμήμα Γεωπληροφορικής και Τοπογραφίας Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Σερρών, 622.

Ο.Α.Σ.Π., 2000. ΕΑΚ 2000, Εθνικός Αντισεισμικός Κανονισμός 2000. Επιμέλεια έκδοσης ΣΠΜΕ, Αθήνα.

Παπαζάχος, Β., Παπαζάχου, Κ., 2003. Οι Σεισμοί της Ελλάδας. Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη, 286.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Παπανικολάου, Δ., Χρόνης, Γ., Παυλάκης, Π. , Λυκούσης, Β., Ρουσσάκης, Γ., Συσκάκης 1988. Υποθαλάσσιος Νεοτεκτονικός Χάρτης του Άνω Μεσσηνιακού Κόλπου. Εφαρμοσμένο Ερευνητικό Πρόγραμμα, Οργανισμός Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας, Εθνικό Κέντρο Θαλασσίων Ερευνών, Τομέας Δυναμικής Τεκτονικής Εφαρμοσμένης Γεωλογίας, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, 31.

Παπανικολάου, Ι., 2015. Γεωλογία της Ελλάδας με ένθετο γεωτεκτονικό χάρτη Ελλάδας και Μεσογείου. Εκδόσεις Πατάκης, Αθήνα, 448.

Φ.Ε.Κ., 2003. Τροποποίηση διατάξεων του Ελληνικού Αντισεισμικού Κανονισμού - Ε.Α.Κ. 2000 λόγω αναθεώρησης του χάρτη σεισμικής επικινδυνότητας (Φ.Ε.Κ Β' 1154/12-8-2003, Απόφαση Αριθ. Δ17Α/115/9/ΦΝ275).

Φουντούλης, Ι., 1994. Νεοτεκτονική εξέλιξη Κεντροδυτικής Πελοποννήσου. ΓΑΙΑ, 7, 386.