



## **ΚΩΔΙΚΟΣ ΠΡΑΞΗΣ: 5002697**

### ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΕΙΣΜΙΚΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΕΛΛΗΝΙΚΟΥ ΧΩΡΟΥ

#### HELPOS\_CATALOGUE

Ενότητα Εργασίας	2 – Υπηρεσίες Δικτύωσης
Δράση	2.4 Σεισμική Επικινδυνότητα και Σεισμικός Κίνδυνος στην Ελλάδα
Συντονιστής Δράσης	ΙΤΣΑΚ/ΟΑΣΠ
Κωδικός Παραδοτέου	2.4.1

Αριθμός Έκδοσης	Τελικό	Ημερομηνία	30.09.2021
Μήνας Έναρξης	M1		
Τύπος	Τεχνική έκθεση και κατάλογος		
Διαθεσιμότητα	Υπό Εκπόνηση		
Σχετικά Ορόσημα	-		
Συντονιστής Φορέων Σύνταξης	ΑΥΤΗ-DG Κυρατζή Αναστασία		
Φορείς Σύνταξης	ΑΥΤΗ-DG (ΑΠΘ)		
Συντονιστής Ομάδας Σύνταξης	Καθ. Εμμανουήλ Σκορδύλης		
Ομάδα Σύνταξης	(ΑΑ54) Καθ. Εμμανουήλ Σκορδύλης   (ΑΑ59) καθ. Γεώργιος Καρακαϊσής   MSc Ανέστης Τσαμπάς Ι		
Επιστημονικοί συνεργάτες	Βαβλός Ν.,		

Προέλευση Σημαίας Λογοτύπου: <http://dryicons.com/icon/greece-1050>



**ΕΠΑνΕΚ 2014-2020**  
**ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ**  
**ΑΝΤΑΓΩΝΙΣΤΙΚΟΤΗΤΑ**  
**ΕΠΙΧΕΙΡΗΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ**  
**ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑ**





## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>ΛΕΞΕΙΣ - ΚΛΕΙΔΙΑ</b> .....	2
<b>ΠΡΟΟΙΜΙΟ</b> .....	3
<b>ABSTRACT</b> .....	4
1. ΓΕΝΙΚΑ.....	5
2. ΔΕΔΟΜΕΝΑ.....	6
3. ΟΜΟΓΕΝΟΠΟΙΗΣΗ ΜΕΓΕΘΩΝ.....	8
4. ΕΛΕΓΧΟΣ ΠΛΗΡΟΤΗΤΑΣ.....	10
5. ΧΩΡΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΩΝ ΣΕΙΣΜΩΝ.....	47
6. ΣΥΝΟΨΙΣΗ.....	51
7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	53

## ΛΕΞΕΙΣ - ΚΛΕΙΔΙΑ

Κατάλογος σεισμών	Ομογενοποίηση μεγεθών	Επιφανειακή σεισμικότητα
Ενδιαμέσου βάθους σεισμικότητα	Πληρότητα καταλόγου σεισμών	Αιγαίο
Ελληνικό Τόξο	....	....
....	....	....
....	....	....





## ΠΡΟΟΙΜΙΟ

Στο παρόν Παραδοτέο, που αποτελεί **Τελική Έκθεση** πεπραγμένων σχετικά με την εκπόνηση καταλόγου σεισμικότητας του Ελληνικού χώρου, παρουσιάζονται τα βασικά χαρακτηριστικά ενός ομογενούς και πλήρους καταλόγου σεισμών (επιφανειακών και ενδιάμεσου βάθους) που αφορά την ευρύτερη περιοχή του Αιγαίου (33-43°B, 18-30°A) και καλύπτει το χρονικό διάστημα 550πΧ-2018. Ο κατάλογος σεισμών, που εκπονήθηκε και καταρτίστηκε στο πλαίσιο του ερευνητικού έργου HELPOS, χαρακτηρίζεται από την ομογένειά του, σε ότι αφορά την κλίμακα μεγέθους.

Η κλίμακα μεγέθους που υιοθετήθηκε, είναι η κλίμακα μεγέθους σεισμικής ροπής. Ακολούθησε συλλογή και μετατροπή μεγεθών διαφόρων κλιμάκων που διατίθενται από διεθνή και εθνικά σεισμολογικά κέντρα σε ισοδύναμο μέγεθος σεισμικής ροπής. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιήθηκε με τη χρήση κατάλληλων, ήδη δημοσιευμένων, αξιόπιστων σχέσεων μετατροπής διαφόρων τύπων μεγεθών σεισμών (διαφορετικών για επιφανειακούς σεισμούς και για σεισμούς ενδιάμεσου βάθους), σε ισοδύναμο μέγεθος σεισμικής ροπής.

Η τελική τιμή που αφορά το εστιακό βάθος του κάθε επιφανειακού σεισμού προέρχεται από την πηγή της οποίας η λύση υιοθετήθηκε. Για τους σεισμούς ενδιάμεσου βάθους του καταλόγου η τελική τιμή εστιακού βάθους προέκυψε μετά από συνεκτίμηση των τιμών των εστιακών βαθών του συγκεκριμένου σεισμού που προέρχονται από διαθέσιμες αξιόπιστες πηγές.

Εφαρμόστηκαν σχέσεις μετατροπής μεγεθών σε ισοδύναμο μεγέθη σεισμικής ροπής, ιδιαίτερες για επιφανειακούς και για σεισμούς ενδιάμεσου βάθους ( $h \geq 60\text{km}$ ), με αποτέλεσμα τη διαμόρφωση του τελικού προϊόντος, ενός ομογενούς (ως προς τα μεγέθη) καταλόγου σεισμών της ευρύτερης περιοχής του Αιγαίου.

Τέλος πραγματοποιήθηκε ποσοτική ανάλυση των παραμέτρων που χαρακτηρίζουν ποιοτικά και ποσοτικά τον κατάλογο ενώ γίνεται αναφορά στη σημασία και τη χρησιμότητά του για μελλοντικές μελέτες σεισμικότητας και σεισμικής επικινδυνότητας που αφορούν την ευρύτερη περιοχή του Αιγαίου.





## ABSTRACT

In the present deliverable, which is the **Final Report** on the compilation of a reliable earthquake catalog for the broader Aegean area (33-43°N, 18-30°E) during the period 550BC-2018, we are presenting the basic features of a homogeneous and complete, in respect to magnitude, catalog of shallow and intermediate depth earthquakes of the broader Aegean area. This catalog has been elaborated and developed in the context of the HELPOS research project.

The adopted magnitude scale is the moment magnitude ( $M_w$ ). The magnitudes, published by international seismological organizations and reported (expressed) in different magnitude scales, have been collected and converted to equivalent moment magnitudes by applying appropriate, robust, already published conversion relations (different for shallow and intermediate-depth earthquakes).

The final value of the focal depth of each shallow earthquake comes from the source from which the solution was adopted. For the intermediate-depth earthquakes of the catalog, the final focal depth value was obtained after taking into account the values of the focal depths of the specific earthquake coming from available reliable sources.

Conversion relations of other magnitude scales to equivalent moment magnitudes were applied, different for shallow ( $h < 60\text{km}$ ) and intermediate depth ( $h \geq 60\text{km}$ ) earthquakes, resulting in the formation of the final product, a homogeneous (in terms of magnitudes) earthquake catalog for the broader Aegean region.

Finally, a quantitative analysis was performed of the parameters that characterize the catalog qualitatively and quantitatively, while reference is made to its usefulness for future seismicity and seismic hazard studies concerning the wider Aegean region.



## 1. ΓΕΝΙΚΑ

Η Ελλάδα είναι η χώρα με την μεγαλύτερη σεισμικότητα στην ευρύτερη περιοχή της Μεσογείου. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το Αιγαίο και οι γύρω περιοχές παρουσιάζουν την εντονότερη παραμόρφωση κατά μήκος όλης της ζώνης σύγκρουσης Μεσογείου-Ευρασίας, με το 60% περίπου της σεισμικότητας της Ευρώπης να εκδηλώνεται στον χώρο αυτό με τη γένεση σεισμών με μεγέθη μέχρι  $M=8.3$ . Αυτή η έντονη παραμόρφωση οφείλεται σε δύο βασικά γεωδυναμικά αίτια: (α) την προς τα βόρεια κίνηση του ανατολικού τμήματος της Μεσογειακής ωκεάνιας λιθόσφαιρας (το εμπρόσθιο τμήμα της Αφρικανικής λιθοσφαιρικής πλάκας) η οποία, συγκρουόμενη με την Ευρασία καταδύεται κάτω από την λιθόσφαιρα του Αιγαίου κατά μήκος του Ελληνικού Τόξου (Parazachos and Comninakis 1970, LePichon and Angelier 1979), (β) την προς τα δυτικά κίνηση της πλάκας της Ανατολίας κατά μήκος του ρήγματος της Βόρειας Ανατολίας και της επέκτασής του στο βόρειο Αιγαίο (McKenzie 1970, 1972) και (γ) την προς τα ΒΑ κίνηση (αριστερόστροφη περιστροφή) της Απουλίας (Αδριατικής) πλάκας (ΒΔ Ιόνιο) (π.χ. McKenzie, 1972).



Σχ. 1. Κινήσεις λιθοσφαιρικών πλακών που καθορίζουν την ενεργό τεκτονική στο Αιγαίο και τις γύρω περιοχές (Parazachos et al. 1998).



Για τη μελέτη της σεισμικότητας αλλά και της σεισμοτεκτονικής αυτής της τόσο ενδιαφέρουσας γεωτεκτονικά περιοχής του πλανήτη, απαραίτητη είναι η ύπαρξη ενός αξιόπιστου, καλά μελετημένου, καταλόγου σεισμών. Οι σύγχρονοι κατάλογοι σεισμών, που διαθέτουν συγκεκριμένα ποιοτικά χαρακτηριστικά, αποτελούν βασικά εργαλεία σεισμολογικών μελετών. Απαραίτητη προϋπόθεση αποτελεί οι κατάλογοι αυτοί είναι να ομογενείς και πλήρεις ως προς την χρησιμοποιούμενη κλίμακα μεγέθους και να περιέχουν ακριβείς, κατά το δυνατόν, τιμές εστιακών παραμέτρων. Μέσω της αξιοποίησης των πληροφοριών που αφορούν τα μεγέθη και προέρχονται από διαφορετικές πηγές (π.χ. διεθνή και εθνικά περιφερειακά κέντρα, δημοσιευμένους και ιστορικούς καταλόγους, κτλ.) και με τη χρήση υπαρχόντων (ή την καθιέρωση νέων) κατάλληλων σχέσεων μεταξύ κλιμάκων μεγεθών, μπορεί να επιτευχθεί η υιοθέτηση μιας τελικής αντιπροσωπευτικής τιμής μεγέθους για κάθε σεισμό, εκφρασμένης σε μια αξιόπιστη, διεθνώς αποδεκτή, κλίμακα.

Η πληρότητα του καταλόγου αφορά τη συμμετοχή όλων των σεισμών, με μέγεθος ίσο μεγαλύτερο από μία ελάχιστη τιμή, που εκδηλώθηκαν σε μια περιοχή και σε συγκεκριμένο χρονικό διάστημα.

Η ακρίβεια, τέλος, των δεδομένων του καταλόγου αναφέρεται στα σφάλματα υπολογισμού των εστιακών παραμέτρων (χρόνος γένεσης, επίκεντρο, εστία, μέγεθος). Είναι προφανές ότι τα σφάλματα αυτά είναι τόσο μεγαλύτερα όσο περισσότερο πίσω στο χρόνο εκδηλώθηκαν οι σεισμοί και όσο μικρότερο ήταν το μέγεθός τους.

## 2. ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Κατάλογοι σεισμών που περιλαμβάνουν ημερομηνίες, συντεταγμένες των epicέντρων, εστιακά βάρη και μεγέθη σεισμών που έγιναν στο Αιγαίο και τις γύρω περιοχές έχουν δημοσιευθεί μετά το 1950 (Galanopoulos 1953a, 1953b, 1960, 1961, 1963, Karnik 1969, 1971, 1996, Parazachos and Comninakis 1972, 1982, Comninakis and Parazachos 1978, 1986, Makropoulos 1978, Makropoulos et al. 1989, 2012, Παπαζάχος και Παπαζάχου 1989, 2003, Parazachos et al. 2000) και έχουν χρησιμοποιηθεί για την ποιοτική και ποσοτική μελέτη της σεισμικότητας της περιοχής. Στους καταλόγους αυτούς, η ακρίβεια των εστιακών παραμέτρων των σεισμών εξαρτάται κυρίως από τα τεχνικά χαρακτηριστικά των οργάνων καταγραφής τους (σεισμόμετρα, επιταχυνσιόμετρα) καθώς επίσης και από τα μοντέλα ταχυτήτων διάδοσης των





σεισμικών κυμάτων που χρησιμοποιήθηκαν για να προσομοιώσουν τη δομή του φλοιού της περιοχής και του πάνω μανδύα.

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για τη σύνταξη του καταλόγου σεισμών που παρουσιάζεται εδώ, προέρχονται από τα δελτία και τις βάσεις δεδομένων των ακόλουθων διεθνών και εθνικών σεισμολογικών κέντρων:

- 1) International Seismological Center (ISC, 2019) :  
<http://www.isc.ac.uk/iscbulletin/search/bulletin/>
- 2) National Earthquake Information Center of USGS (NEIC, 2019) – σχετικά δεδομένα δίνονται πλέον από το ANSS (Advanced National Seismic System):  
<http://www.ncedc.org/anss/catalog-search.html>,-
- 3) National Centers for Environmental Information (πρώην National Geophysical Data Center, NGDC), member of the National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA):  
<https://www.ngdc.noaa.gov/nndc/struts/form?t=101650&s=1&d=1>),
- 4) Γεωδυναμικό Ινστιτούτο του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών (NOA, 2019):  
<http://www.gein.noa.gr/en/seismicity/earthquake-catalogs>),
- 5) Εργαστήριο Γεωφυσικής του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης (GI AUTH, 2019):  
[http://geophysics.geo.auth.gr/the\\_seisnet/WEBSITE\\_2005/station\\_index\\_en.html](http://geophysics.geo.auth.gr/the_seisnet/WEBSITE_2005/station_index_en.html)).

Επιπρόσθετα, χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα και από δημοσιευμένους καταλόγους (Parazachos and Comninakis 1982, Comninakis and Parazachos 1986, Pacheco and Sykes 1992, Engdahl and Villaseñor 2002, Παπαζάχος και Παπαζάχου 1989, 2003, Parazachos et al. 2000). Τα μεγέθη των σεισμών στις πηγές που αναφέρθηκαν δίνονται σε διάφορες κλίμακες μεγέθους ( $M_s$ ,  $m_b$ ,  $M_D$ ,  $M_L$ ,  $M_w$  κλπ).

Πληροφορίες για το μέγεθος ροπής,  $M_w$ , των σεισμών του καταλόγου έχουν ληφθεί από τη βάση δεδομένων Global Centroid Moment Tensor (GCMT, 2019), καθώς επίσης και από τα δελτία του USGS/NEIC/ANSS (2019) και τους καταλόγους σεισμών των Pacheco and Sykes (1992), Engdahl and Villaseñor (2002), Παπαζάχος και Παπαζάχου (2003).

Είναι γνωστό ότι ένα πρόβλημα κατά τον υπολογισμό των εστιακών παραμέτρων ενός σεισμού είναι ο ακριβής, κατά το δυνατόν, προσδιορισμός του εστιακού του βάθους. Το πρόβλημα είναι ακόμη δυσκολότερο στις περιπτώσεις σεισμών ενδιαμέσου (και μεγάλου) βάθους. Στον κατάλογο που συντέθηκε, ιδιαίτερο βάρος δόθηκε στην





ακρίβεια της παραμέτρου του εστιακού βάθους των σεισμών ενδιαμέσου βάθους, με αξιοποίηση πληροφοριών που προέρχονται από περισσότερες της μιας πηγές, όταν και όπου αυτό ήταν εφικτό. Έτσι, έχουμε τιμές εστιακών βαθών που προέρχονται από τις τελικές λύσεις που δημοσιεύονται στα δελτία των πηγών που προαναφέρθηκαν αλλά και ακριβέστερες τιμές που προέρχονται από μελέτη των pP φάσεων (πηγή τα δελτία του ISC), καθώς και επαναπροσδιορισμένα βάθη τόσο από τον κατάλογο των Engdahl et al., (1998) (EHB), όσο και από τις PDE (Preliminary Determination Epicenters) λύσεις του USGS-NEIC (σήμερα οι αντίστοιχες λύσεις παρέχονται από το Advanced National Seismic System, ANSS).

Θα πρέπει να επισημανθεί ότι κατά το στάδιο προετοιμασίας των αρχικών καταλόγων με χρήση δεδομένων από τις πηγές που αναφέρθηκαν προηγούμενα, το ISC είχε ολοκληρώσει τον έλεγχο και δημοσίευση επεξεργασμένων πληροφοριών σεισμών που είχαν εκδηλωθεί μέχρι το τέλος Νοεμβρίου του 2016. Επομένως, για το διάστημα από Δεκέμβριο του 2016 μέχρι το τέλος του 2018 οι πληροφορίες του καταλόγου προέρχονται κατά κύριο λόγο από σεισμολογικούς φορείς της περιοχής καθώς και από προκαταρκτικούς καταλόγους (PDE) του USGS/NEIC/ANSS.

### 3. ΟΜΟΓΕΝΟΠΟΙΗΣΗ ΜΕΓΕΘΩΝ

Με στόχο την εξασφάλιση της ομοιογένειας του καταλόγου ως προς τα μεγέθη των σεισμών, θα πρέπει αυτά να εκφραστούν σε μία ενιαία κλίμακα και ως τέτοια επιλέχθηκε η κλίμακα μεγέθους ροπής,  $M_w$  (Kanamori 1977, Hanks and Kanamori 1979). Η κλίμακα μεγέθους ροπής είναι ευρέως αποδεκτή ως η πλέον αξιόπιστη για το λόγο ότι περιγράφει καλύτερα την "ισχύ" του σεισμού καθώς σχετίζεται άμεσα με την επιφάνεια του ρήγματος και τη μετάθεση στην εστία του σεισμού. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η κλίμακα μεγέθους ροπής να μην παρουσιάζει το φαινόμενο του κορεσμού που εμφανίζεται στις άλλες κλίμακες μεγέθους και, επειδή είναι ευθέως ανάλογη του λογαρίθμου της σεισμικής ροπής, παρέχει μία αξιόπιστη εικόνα της "ισχύος" του σεισμού. Για να είναι εφικτή η ομοιογένεια του καταλόγου ως προς τα μεγέθη των σεισμών, απαιτείται η χρήση αξιόπιστων σχέσεων μέσω των οποίων μεγέθη εκφρασμένα σε άλλες κλίμακες θα μπορούν να μετατραπούν σε ισοδύναμα μεγέθη σεισμικής ροπής (π.χ. Heaton et al. 1986, Johnston 1996, Shedlock 1999, Parazachos et al. 2002, Scordilis 2006, Tsampas et al. 2013, 2016).

Σύμφωνα με τα παραπάνω, χρησιμοποιήθηκαν κατάλληλες σχέσεις μετατροπής (οι οποίες διαμορφώθηκαν με τη χρήση μεγάλου αριθμού δεδομένων σεισμών από όλο



Ευρωπαϊκή Ένωση  
Ευρωπαϊκό Ταμείο  
Περιφερειακής Ανάπτυξης







τον κόσμο, π.χ. Parazachos et al. 1997, Scordilis 2005, 2006, Tsampas et al. 2013, 2016), ώστε όλα τα άλλα μεγέθη (εκτός των αυθεντικών μεγεθών σεισμικής ροπής) να μετατραπούν σε ισοδύναμα μεγέθη ροπής,  $M(=M_w)$ . Έτσι, το μέγεθος που τελικά υιοθετήθηκε για κάθε σεισμό είναι είτε το αυθεντικό μέγεθος σεισμικής ροπής (όταν ήταν διαθέσιμο, δημοσιευμένο σε κάποιον κατάλογο, π.χ. Racheo and Sykes 1992, GCMT, USGS), είτε το ισοδύναμο μέγεθος σεισμικής ροπής που προέκυψε ως ο μέσος όρος των ισοδύναμων μεγεθών σεισμικής ροπής που προήλθαν από μετατροπή άλλων κλιμάκων μεγεθών, χρησιμοποιώντας ως βαρύτητα στον υπολογισμό αυτόν το αντίστροφο της τυπικής απόκλισης της αντίστοιχης σχέσης μετατροπής.

Ενδεικτικά, ακολουθούν σχέσεις μετατροπής μεγεθών σε ισοδύναμα μεγέθη σεισμικής ροπής που χρησιμοποιήθηκαν περισσότερο κατά τη διαδικασία ομογενοποίησης των μεγεθών του καταλόγου:

$$M_w = 0.85m_b + 1.03, \quad \sigma = 0.29, \quad 3.5 \leq m_b \leq 6.2 \quad (1)$$

$$M_w = 0.67M_s + 2.07, \quad \sigma = 0.17, \quad 3.0 \leq M_s \leq 6.1 \quad (2)$$

$$M_w = 0.99M_s + 0.08, \quad \sigma = 0.20, \quad 6.2 \leq M_s \leq 8.2 \quad (3)$$

$$M_{w(m_bIN)}^* = 0.165m_bIN^2 - 0.372m_bIN + 2.816, \quad \sigma = 0.214, \quad 3.6 \leq m_bIN \leq 6.3 \quad (4)$$

$$M_{w(M_sIN)}^* = 0.790M_sIN + 1.551, \quad \sigma = 0.199, \quad 3.1 \leq M_sIN \leq 7.9 \quad (5)$$

(1), (2), (3) Scordilis (2006) για επιφανειακούς σεισμούς

(4), (5) Tsampas et al. (2016) για σεισμούς ενδιάμεσου βάθους

( $m_bIN$  και  $M_sIN$  αντιστοιχούν σε μεγέθη  $m_b$  και  $M_s$ , αντίστοιχα, από ISC και/ή USGS/NEIC).

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι για τη σύνθεση του καταλόγου χρησιμοποιήθηκαν και εγγραφές σεισμών (κυρίως πρόσφατων) από τα δελτία NOA & GL-AUTH. Στα δελτία αυτά τα καταχωρημένα μεγέθη (ιδιαίτερα τα πλέον πρόσφατα) αναφέρονται στην κλίμακα τοπικού μεγέθους,  $M_L$ , και προέκυψαν από συνθετικά σειсмоγράμματα  $W_A$  (SWA). Τα μεγέθη αυτά, θεωρητικά, είναι ισοδύναμα με τα μεγέθη σεισμικής ροπής (π.χ. Hanks and Boore, 1984; Heaton et al., 1986, Uhrhammer et al., 1996, Parazachos et al., 2002, μεταξύ πολλών άλλων) και για το λόγο αυτό έχουν υιοθετηθεί και καταχωρηθεί ως έχουν, με στόχο τον περαιτέρω εμπλουτισμό του καταλόγου.

Με τον τρόπο αυτό ολοκληρώθηκε η διαμόρφωση του τελικού καταλόγου ο οποίος περιλαμβάνει 172.391 σεισμούς (169.107 με  $h < 60$ km, και 3.284 με  $h \geq 60$ km) που εκδηλώθηκαν εντός του γεωγραφικού πλαισίου  $33-43^\circ B$ ,  $18-30^\circ A$  κατά το χρονικό διάστημα 550πΧ-2018 με εστιακά βάθη (υιοθετημένα) μέχρι  $\sim 200$  km και μεγέθη (αυθεντικά ή ισοδύναμα μεγέθη σεισμικής ροπής) 2.1-8.3.





Στο σημείο αυτό θα πρέπει να τονισθεί ότι το Διεθνές Σεισμολογικό Κέντρο (ISC), που αποτέλεσε τη βασική πηγή πληροφοριών στην παρούσα εργασία, περιέχει συστηματικά επανεκτιμημένες εστιακές παραμέτρους (και μεγέθη) σεισμών που εκδηλώθηκαν **μετά από το 1963**. Έτσι, οι πληροφορίες για τις εστιακές παραμέτρους (συμπεριλαμβανομένων των μεγεθών) σεισμών ενδιαμέσου βάθους που εκδηλώθηκαν πριν το 1964 δεν ήταν επαρκείς ώστε να γίνει χωριστή επεξεργασία των μεγεθών αυτής της κατηγορίας σεισμών και αυτής της περιόδου. Επιπρόσθετα, οι πληροφορίες για τα μεγέθη σεισμών ενδιαμέσου βάθους της περιόδου αυτής ήταν περιορισμένες, στερώντας τη δυνατότητα διαμόρφωσης αξιόπιστων σχέσεων μεταξύ άλλων κλιμάκων μεγεθών και του μεγέθους σεισμικής ροπής. Για το λόγο αυτό τα τελικά μεγέθη (ισοδύναμα μεγέθους σεισμικής ροπής) των σεισμών ενδιαμέσου βάθους που εκδηλώθηκαν πριν το 1964 θα πρέπει να θεωρούνται ενδεικτικά αφού προέκυψαν υιοθετώντας τις τιμές από τις πηγές τους, ή χρησιμοποιώντας σχέσεις μετατροπής που προέκυψαν από επιφανειακούς σεισμούς, χωρίς να έχουν υποστεί κάποια περαιτέρω επεξεργασία.

#### 4. ΕΛΕΓΧΟΣ ΠΛΗΡΟΤΗΤΑΣ

Με τον όρο "πληρότητα" εννοούμε το ελάχιστο μέγεθος κάτω από το οποίο είναι αμφίβολη η συμμετοχή όλων των σεισμών στον υπό μελέτη κατάλογο. Η πληρότητα του καταλόγου μεταβάλλεται με το χρόνο αλλά και στο χώρο. Αυτό οφείλεται κυρίως στη γεωγραφική κάλυψη των σεισμολογικών δικτύων και την ευαισθησία ανίχνευσης των οργάνων αλλά και στην ποσοτική και ποιοτική αναβάθμισή τους με την πάροδο του χρόνου.

Συνεπώς, ένας κατάλογος σεισμών μπορεί να χρησιμοποιηθεί για αξιόπιστες μελέτες σεισμικότητας και σεισμικής επικινδυνότητας μόνον όταν έχει ελεγχθεί για την πληρότητα των μεγεθών των σεισμών του αλλά και για τις μεταβολές της τόσο στο χώρο όσο και στο χρόνο. Πρέπει, δηλαδή, να ορισθούν χρονικά διαστήματα για τα οποία ο κατάλογος περιλαμβάνει όλους τους σεισμούς με μέγεθος μεγαλύτερο ορισμένης τιμής καθώς επίσης και οι περιοχές που αυτό συμβαίνει.

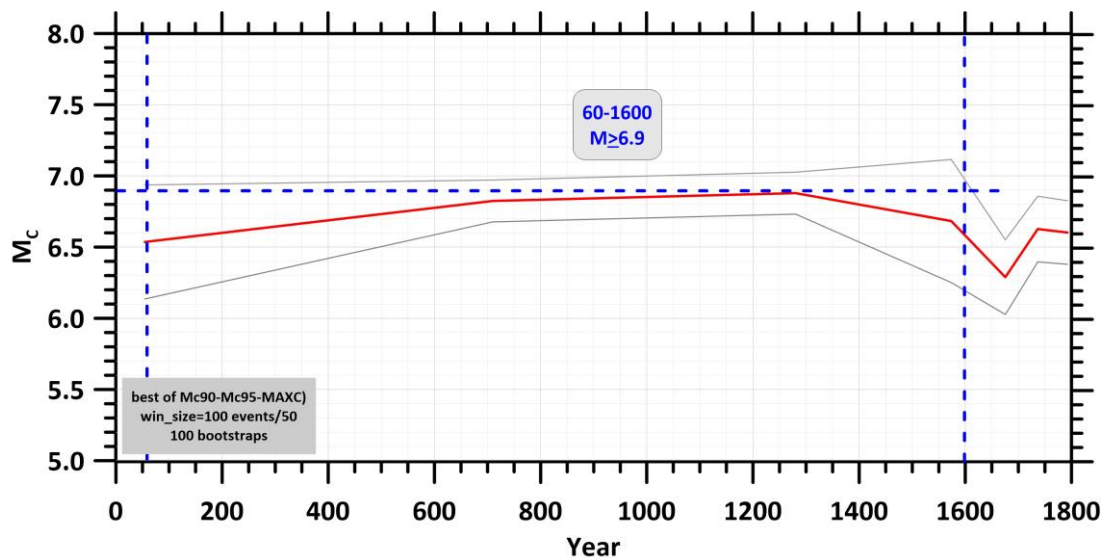
Πραγματοποιήθηκαν τρεις διαφορετικοί έλεγχοι, ένας για το σύνολο των σεισμών του καταλόγου, ένας μόνο για τους επιφανειακούς σεισμούς ( $h < 60\text{km}$ ) και ένας αποκλειστικά για τους σεισμούς ενδιαμέσου βάθους (ενδεικτικά  $h \geq 60\text{km}$ ).



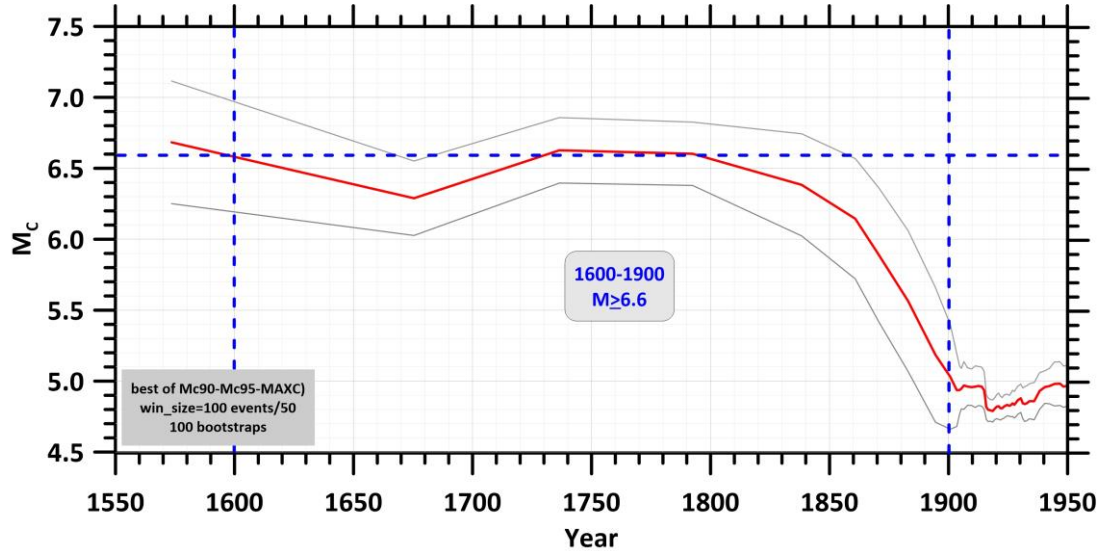
## 4.1 ΣΥΝΟΛΙΚΟΣ ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ

### 4.1.1 Χρονική Μεταβολή Μεγέθους Πληρότητας

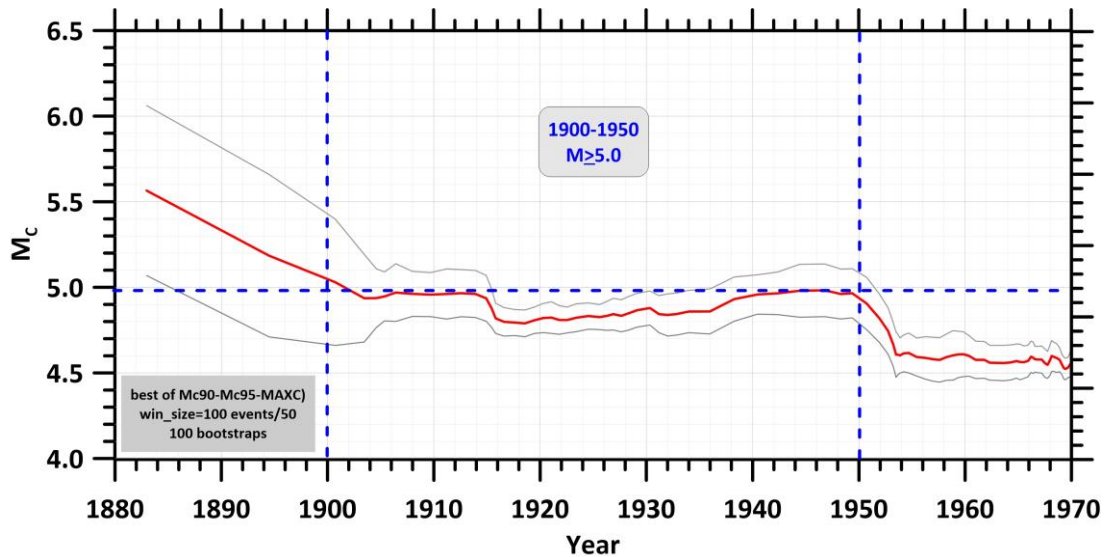
Αρχικά, έγινε έλεγχος της διακύμανσης της πληρότητας του καταλόγου με το χρόνο με εφαρμογή σχετικής μεθόδου επαναδειγματοληψίας (bootstrapping), χρησιμοποιώντας 100 συνθετικά δείγματα των 100 σεισμών που προέκυψαν από τον τελικό κατάλογο. Εφαρμόστηκαν τρεις μέθοδοι: (α) η μέθοδος μέγιστης καμπυλότητας (maximum curvature, MAXC), (β) η μέθοδος goodness of fit (GoF) με διάστημα εμπιστοσύνης 90% και (γ) η μέθοδος goodness of fit (GoF) με διάστημα εμπιστοσύνης 95% με τη χρήση του λογισμικού Zmap (Wiemer, 2001). Τα αποτελέσματα της εφαρμογής αυτής περιγράφονται από τη μεταβολή του υπολογιζόμενου μεγέθους πληρότητας  $M_c$  με τον χρόνο (κόκκινη γραμμή, σχήματα 2, 3, 4, 5, 6, 7 και 8). Σημειώνεται ότι **δεν ήταν δυνατός ο έλεγχος πληρότητας για το χρονικό διάστημα πριν από το έτος 60 λόγω ανεπαρκούς αριθμού σεισμών που δεν επέτρεπε την εξαγωγή ασφαλών ή έστω ενδεικτικών συμπερασμάτων. Ακόμα και η εικόνα που δίνει το σχήμα 2 για το διάστημα 60-1900 ( $M_c=6.9$ ) είναι καθαρά ενδεικτική.**



**Σχ. 2.** Μεταβολή του μεγέθους πληρότητας ( $M_c$ ) με το χρόνο (κόκκινη καμπύλη), όπως εκτιμήθηκε για τον ομογενή κατάλογο που εκπονήθηκε στο πλαίσιο της παρούσας μελέτης για τη χρονική περίοδο 60-1600. Οι γκριζες γραμμές αντιπροσωπεύουν την απόκλιση  $\pm dM_c$  του  $M_c$  με το χρόνο όπως αυτό εκτιμήθηκε από την εφαρμογή μεθοδολογίας επαναδειγματοληψίας (bootstrapping,  $N_b = 100$ ) για διάστημα εμπιστοσύνης 90-95% (ZMAP, Wiemer, 2001). Ο υπολογισμός πραγματοποιήθηκε με παράθυρο δείγματος 100, αλληλοεπικάλυψη 50 και ελάχιστο αριθμό 80 γεγονότων.

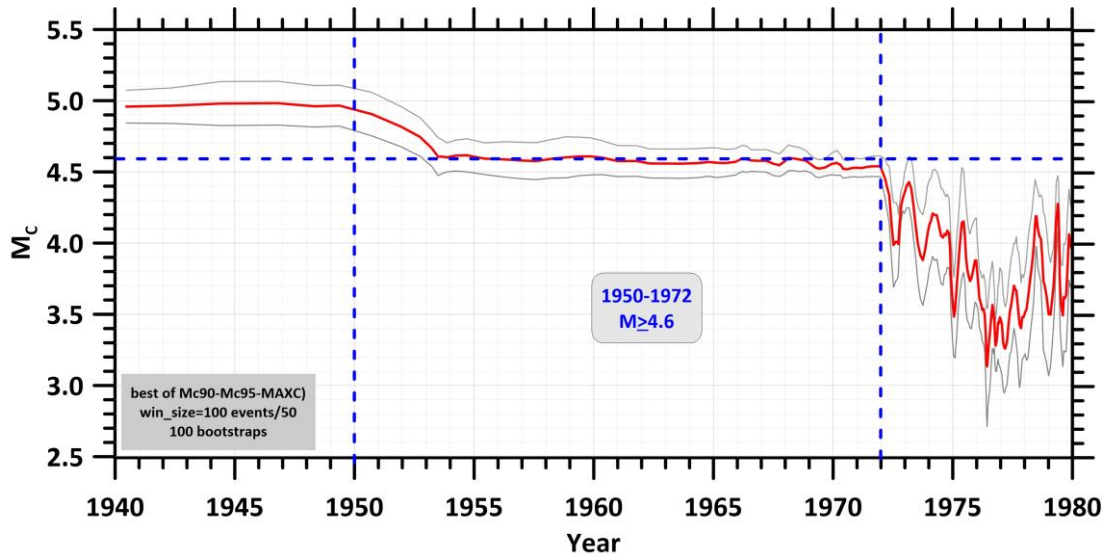


**Σχ. 3.** Μεταβολή του μεγέθους πληρότητας ( $M_c$ ) με το χρόνο (κόκκινη καμπύλη), όπως εκτιμήθηκε για τον ομογενή κατάλογο που εκπονήθηκε στο πλαίσιο της παρούσας μελέτης για τη χρονική περίοδο 1600-1900. Η μεθοδολογία και οι συμβολισμοί είναι αντίστοιχοι του σχήματος 2.

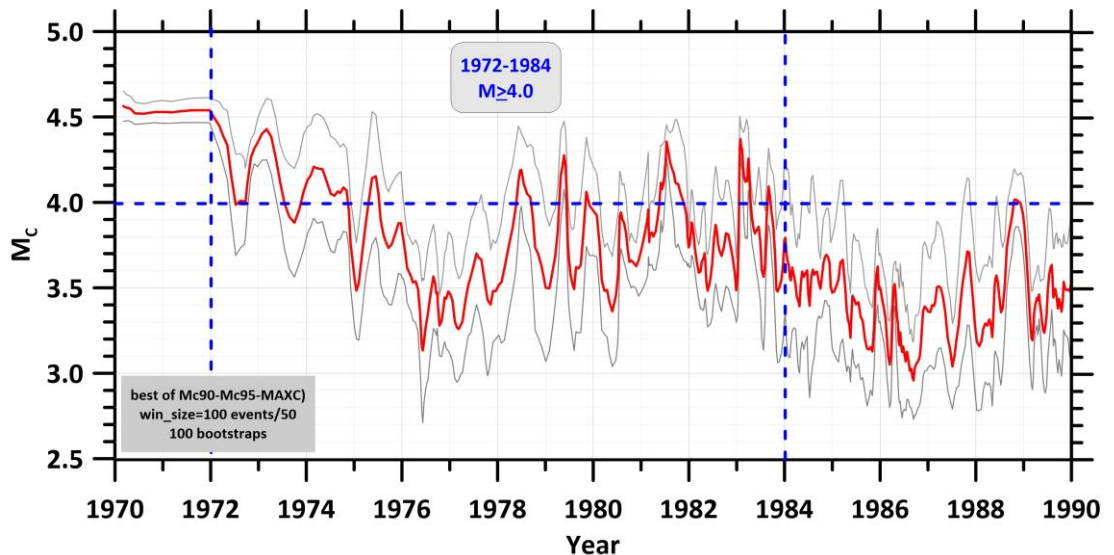


**Σχ. 4.** Μεταβολή του μεγέθους πληρότητας ( $M_c$ ) με το χρόνο (κόκκινη καμπύλη), όπως εκτιμήθηκε για τον ομογενή κατάλογο που εκπονήθηκε στο πλαίσιο της παρούσας

μελέτης για τη χρονική περίοδο 1900-1950. Η μεθοδολογία και οι συμβολισμοί είναι αντίστοιχοι του σχήματος 2.

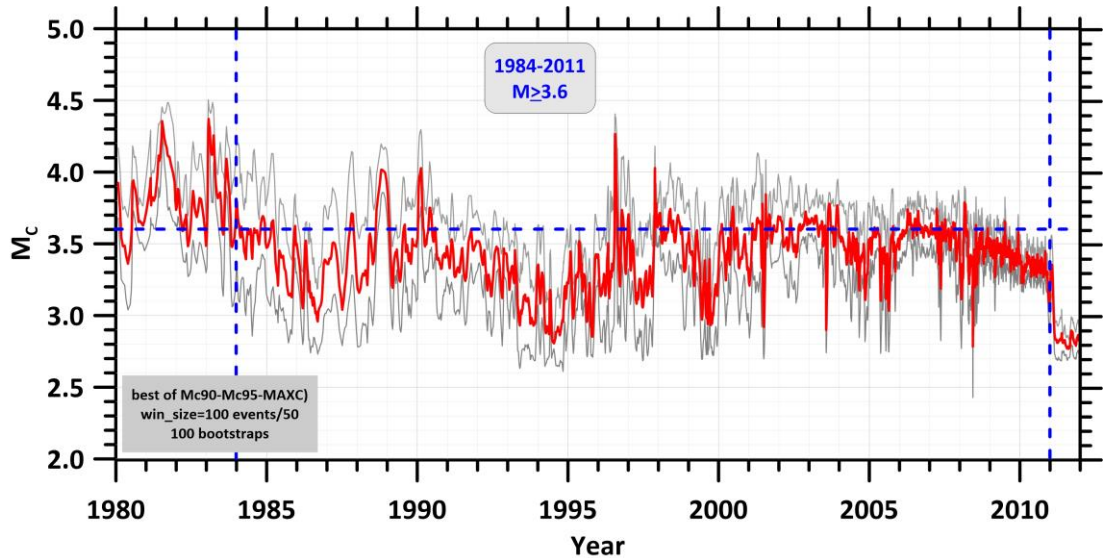


Σχ. 5. Μεταβολή του μεγέθους πληρότητας ( $M_c$ ) με το χρόνο (κόκκινη καμπύλη), όπως εκτιμήθηκε για τον ομογενή κατάλογο που εκπονήθηκε στο πλαίσιο της παρούσας μελέτης για τη χρονική περίοδο 1950-1972. Η μεθοδολογία και οι συμβολισμοί είναι αντίστοιχοι του σχήματος 2.

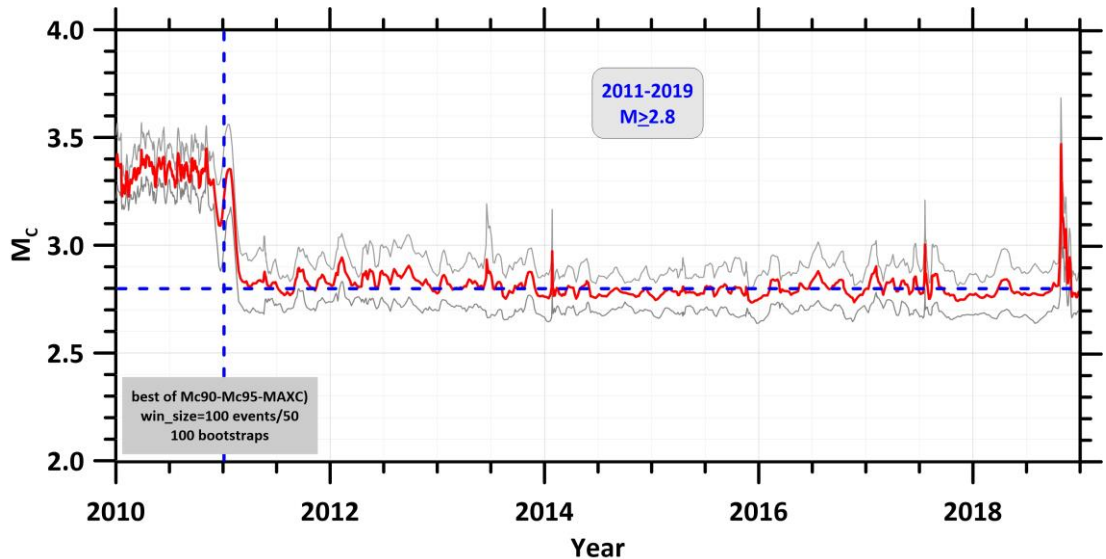


Σχ. 6. Μεταβολή του μεγέθους πληρότητας ( $M_c$ ) με το χρόνο (κόκκινη καμπύλη), όπως εκτιμήθηκε για τον ομογενή κατάλογο που εκπονήθηκε στο πλαίσιο της παρούσας

μελέτης για τη χρονική περίοδο 1972-1984. Η μεθοδολογία και οι συμβολισμοί είναι αντίστοιχοι του σχήματος 2.



**Σχ. 7.** Μεταβολή του μεγέθους πληρότητας ( $M_c$ ) με το χρόνο (κόκκινη καμπύλη), όπως εκτιμήθηκε για τον ομογενή κατάλογο που εκπονήθηκε στο πλαίσιο της παρούσας μελέτης για τη χρονική περίοδο 1984-2011. Η μεθοδολογία και οι συμβολισμοί είναι αντίστοιχοι του σχήματος 2.



**Σχ. 8.** Μεταβολή του μεγέθους πληρότητας ( $M_c$ ) με το χρόνο (κόκκινη καμπύλη), όπως εκτιμήθηκε για τον ομογενή κατάλογο που εκπονήθηκε στο πλαίσιο της παρούσας



μελέτης για τη χρονική περίοδο 2012-2019. Η μεθοδολογία και οι συμβολισμοί είναι αντίστοιχοι του σχήματος 2.

Από αυτές τις γραφικές παραστάσεις προκύπτει ότι ο υπό εξέταση κατάλογος παρουσιάζει διακύμανση της τιμής μεγέθους πληρότητας για έξι συνολικά χρονικά διαστήματα που παρουσιάζονται συνοπτικά στον πίνακα 1.

**Πίνακας 1.** Ενδεικτικές περίοδοι και αντίστοιχες τιμές των μεγεθών πληρότητας του καταλόγου, όπως προέκυψαν από την εφαρμογή του Zmap για τη μελέτη της μεταβολής του  $M_c$  με το χρόνο.

PERIOD	$M_c$
60-2019	6.9
1600-2019	6.6
1900-2019	5.0
1950-2019	4.6
1972-2019	4.0
1984-2019	3.6
2011-2019	2.8

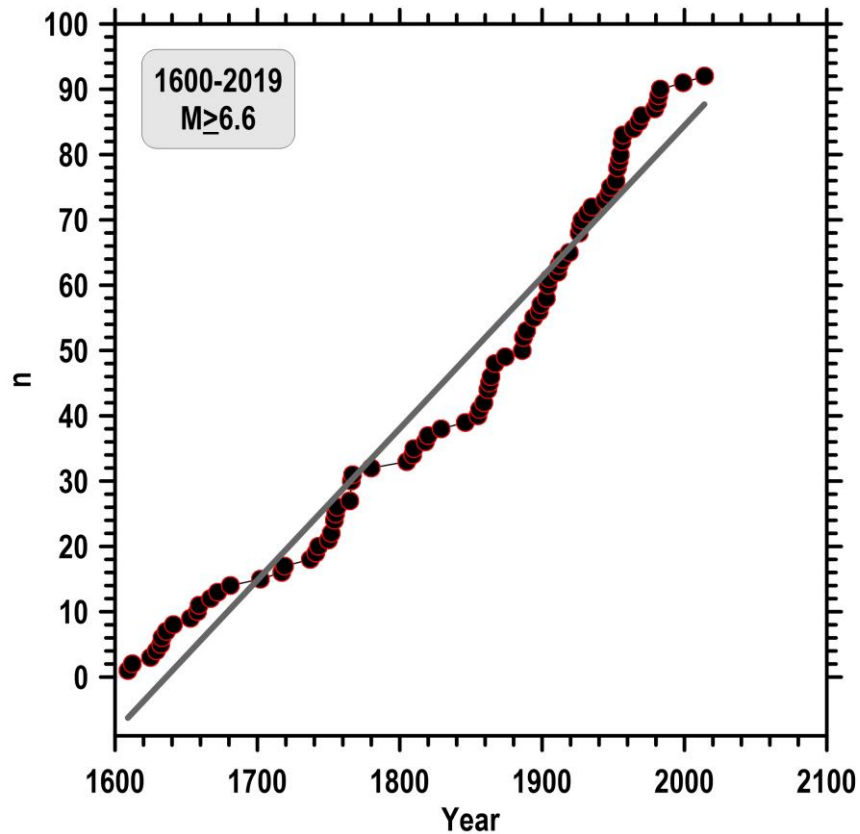
Παρατηρούμε συστηματική πτώση της τιμής του  $M_c$  με το χρόνο, ιδιαίτερα μετά το 2010. Αυτή η βελτίωση οφείλεται στον εκσυγχρονισμό και πύκνωση των σεισμολογικών δικτύων στην Ελλάδα κατά τα τελευταία έτη αλλά και στην ενοποίηση των κυριότερων σεισμολογικών δικτύων της χώρας μέσω της δημιουργίας του Ενιαίου Εθνικού Δικτύου Σειсмоγράφων που ξεκίνησε το 2006.

Για την επαλήθευση των διαστημάτων πληρότητας του καταλόγου εφαρμόστηκαν και άλλες μεθοδολογίες. Μία μέθοδος που χρησιμοποιείται συχνά για το σκοπό αυτό, είναι η απεικόνιση της εξάρτησης από το χρόνο, του αθροιστικού αριθμού των σεισμών, με μεγέθη ίσα ή μεγαλύτερα ορισμένης τιμής που θεωρητικά αντιστοιχεί στην τιμή του μεγέθους πληρότητας για αυτό το χρονικό διάστημα. Η χρονική στιγμή που αντιστοιχεί στην έναρξη της μεγαλύτερης κλίσης της κατανομής μιας συγκεκριμένης τιμής μεγέθους δείχνει το χρόνο έναρξης του διαστήματος πληρότητας της συγκεκριμένης τιμής μεγέθους (σχήματα 9, 10, 11 και 12). Τα διαγράμματα αυτά προέκυψαν μετά από επανειλημμένες εφαρμογές των ρυθμών σεισμικότητας για διάφορα χρονικά διαστήματα που καλύπτουν το σύνολο της χρονικής περιόδου του καταλόγου και για τιμές μεγεθών μεταξύ 2.2 και 7.0. Η διαδικασία αυτή επαλήθευσε την



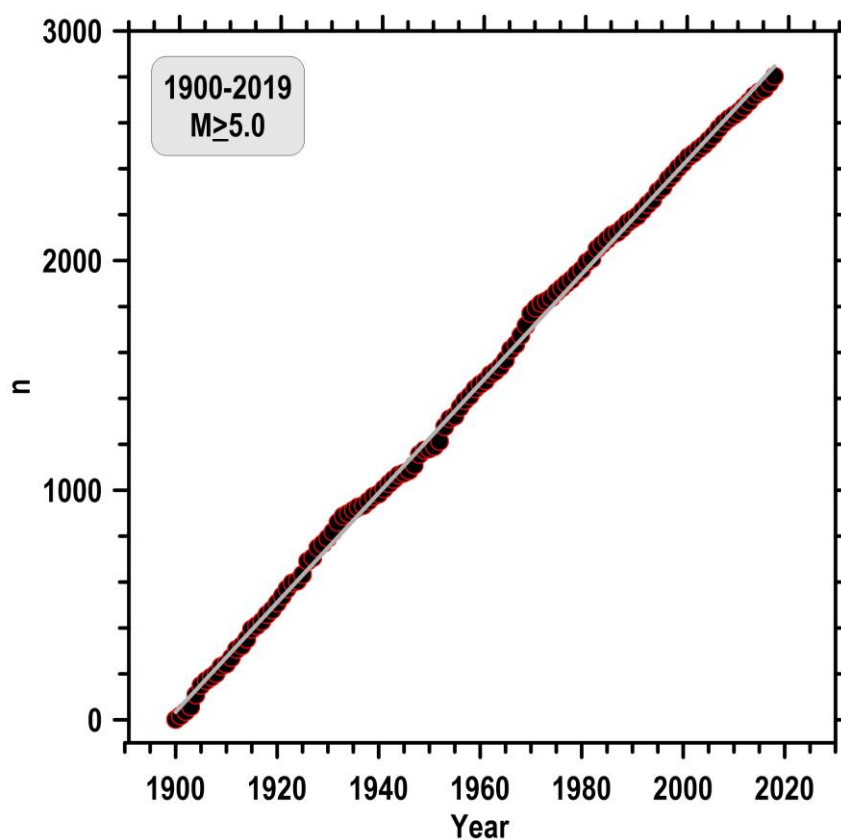


επιλογή των διαστημάτων και αντίστοιχων μεγεθών πληρότητας που προέκυψαν αρχικά από τα σχήματα 3, 4, 5 και 6.

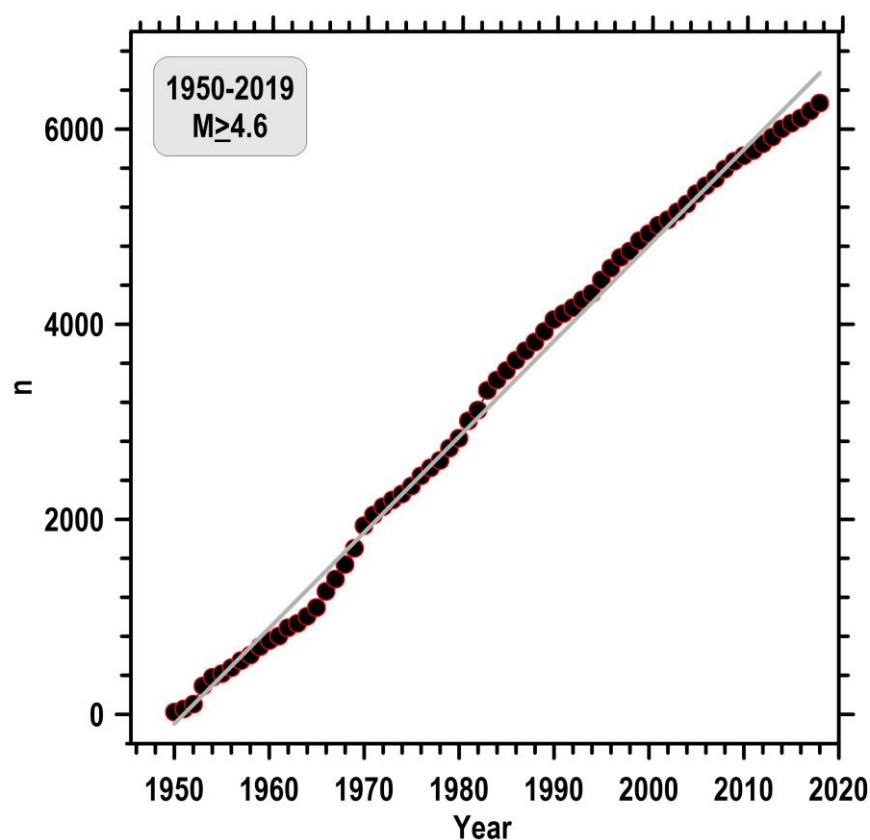


**Σχ. 9.** Χρονική μεταβολή του αθροιστικού αριθμού των σεισμών του καταλόγου με  $M \geq 6.6$  κατά το διάστημα 1600-2019. Η γκριζα γραμμή υλοποιεί τη γραμμική σχέση που προσαρμόζεται στα δεδομένα.

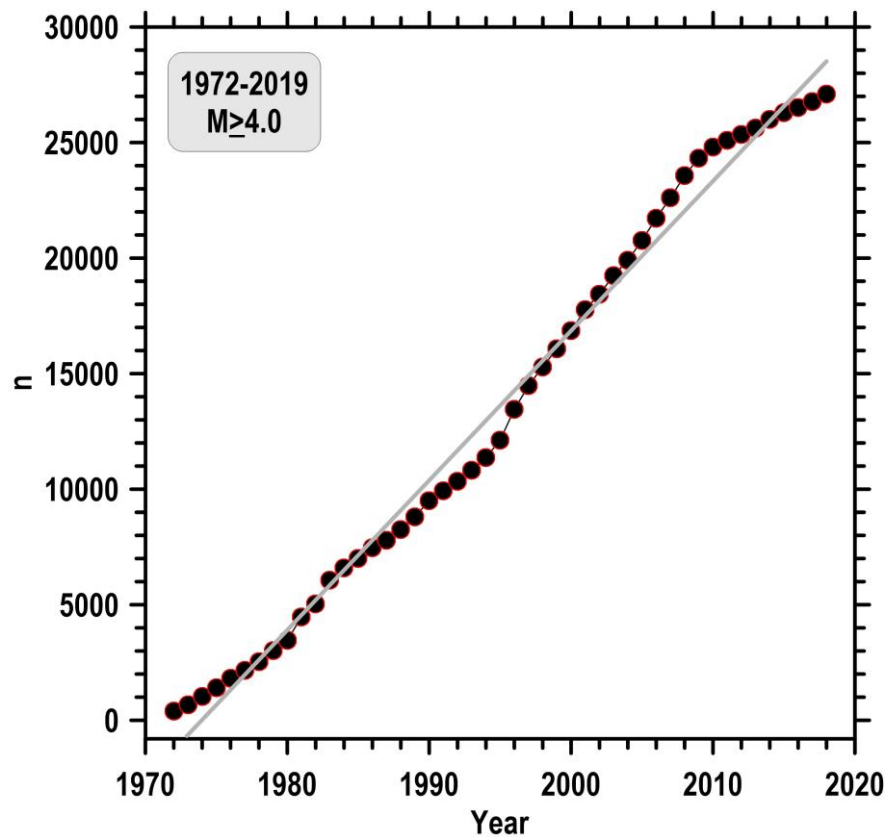




**Σχ. 10.** Χρονική μεταβολή του αθροιστικού αριθμού των σεισμών του καταλόγου με  $M \geq 5.0$  κατά το διάστημα 1900-2019. Η γκριζα γραμμή υλοποιεί τη γραμμική σχέση που προσαρμόζεται στα δεδομένα.

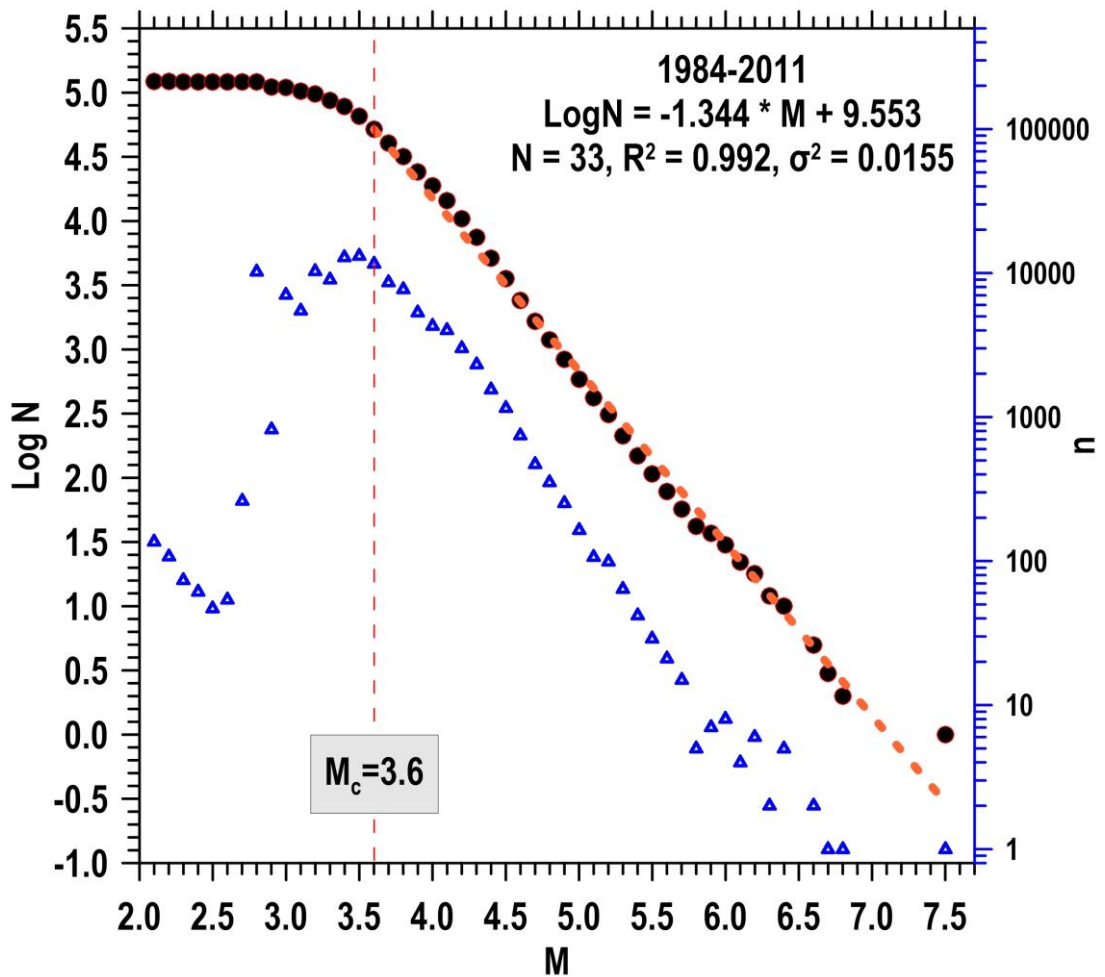


Σχ. 11. Χρονική μεταβολή του αθροιστικού αριθμού των σεισμών του καταλόγου με  $M \geq 4.6$  κατά το διάστημα 1950-2019. Η γκριζα γραμμή υλοποιεί τη γραμμική σχέση που προσαρμόζεται στα δεδομένα.

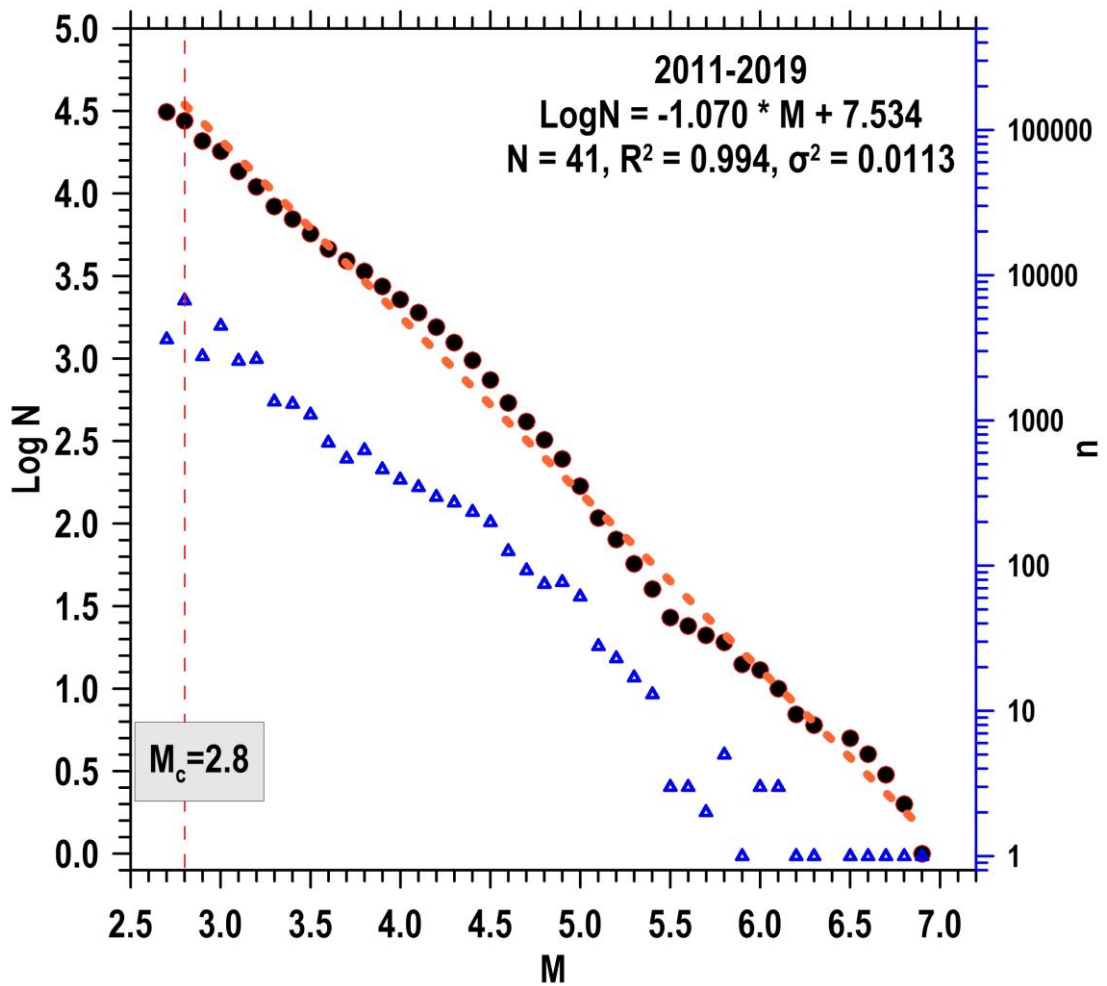


**Σχ. 12.** Χρονική μεταβολή του αθροιστικού αριθμού των σεισμών του καταλόγου με  $M \geq 4.0$  κατά το διάστημα 1972-2019. Η γκριζα γραμμή υλοποιεί τη γραμμική σχέση που προσαρμόζεται στα δεδομένα.

Για τα δύο τελευταία υπό εξέταση χρονικά διαστήματα (1984-2019 και 2011-2019) που ανέδειξε ο αρχικός έλεγχος, για τα οποία υπήρχε ικανός αριθμός δεδομένων, έγιναν διαγράμματα απλής και συσσωρευτικής συχνότητας σε συνάρτηση με το μέγεθος (σχήματα 13 και 14). Από το σχήμα 13 επαληθεύεται η επιλογή του  $M_c=3.6$  ως μεγέθους πληρότητας για το διάστημα 1984-2019, ενώ το αντίστοιχο μέγεθος πληρότητας για το διάστημα 2011-2019 επιβεβαιώνεται ότι είναι το  $M_c=2.8$  (σχήμα 14).



**Σχ. 13.** Ημιλογαριθμική κατανομή του απλού (γαλάζια τρίγωνα) και του συσσωρευτικού (μαύροι κύκλοι) πλήθους σεισμών σε συνάρτηση με το μέγεθος για το χρονικό διάστημα 1984-2011. Η γραμμική προσαρμογή στο συσσωρευτικό πλήθος σημειώνεται με την πορτοκαλί διακεκομμένη ευθεία γραμμή η οποία εκφράζεται από τη σχέση που παρουσιάζεται μέσα στο σχήμα.



**Σχ. 14.** Ημιλογαριθμική κατανομή του απλού (γαλάζια τρίγωνα) και του συσσωρευτικού (μαύροι κύκλοι) πλήθους σεισμών σε συνάρτηση με το μέγεθος για το χρονικό διάστημα 2011-2019. Η γραμμική προσαρμογή στο συσσωρευτικό πλήθος σημειώνεται με την πορτοκαλί διακεκομμένη ευθεία γραμμή η οποία εκφράζεται από τη σχέση που παρουσιάζεται μέσα στο σχήμα.

Συμπερασματικά, η κατανομή του μεγέθους πληρότητας του καταλόγου με το χρόνο δίνεται στον πίνακα 2.



**Πίνακας 2.** Τελικές περίοδοι και αντίστοιχες τιμές των μεγεθών πληρότητας του καταλόγου, όπως προέκυψαν από τη συνδυαστική εφαρμογή των τριών μεθοδολογιών που αναφέρονται στο κείμενο.

	PERIOD	$M_c$
1	60-2019	6.9
2	1600-2019	6.7
3	1900-2019	5.0
4	1950-2019	4.6
5	1972-2019	4.0
6	1984-2019	3.6
7	2011-2019	2.8

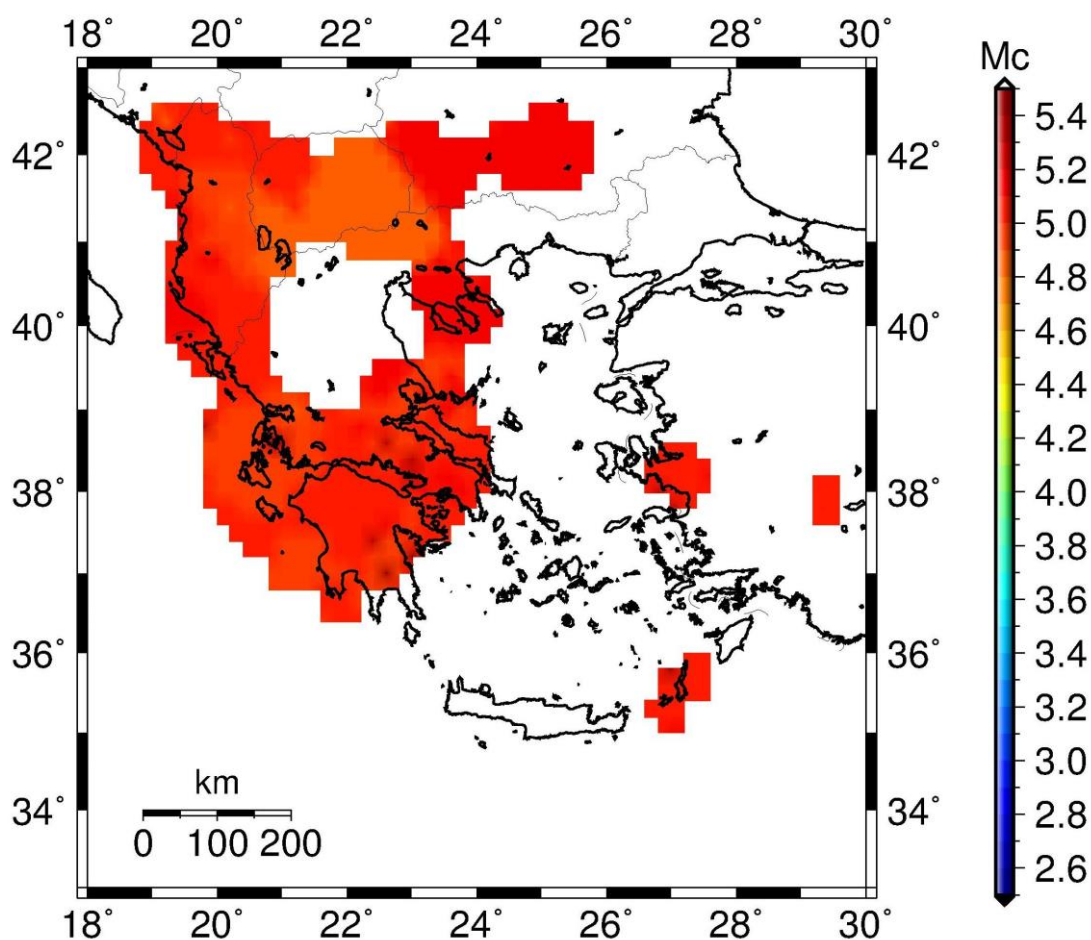
#### 4.1.2 Χωρική Μεταβολή Μεγέθους Πληρότητας

Η σεισμικότητα, όμως, εκτός από χρονική παρουσιάζει και χωρική διακύμανση. Επιπρόσθετα, η χωρικά μεταβαλλόμενη πυκνότητα των σεισμολογικών σταθμών προκαλεί αντίστοιχες χωρικές μεταβολές της ανιχνευτικής ικανότητας των δικτύων, γεγονός που επηρεάζει την τιμή του ελάχιστου μεγέθους πληρότητας. Είναι, συνεπώς, ενδιαφέρον να ελεγχθεί ο τρόπος της γεωγραφικής κατανομής του ελάχιστου μεγέθους πληρότητας,  $M_c$ , στη διάρκεια των χρονικών διαστημάτων μετά το 1900.

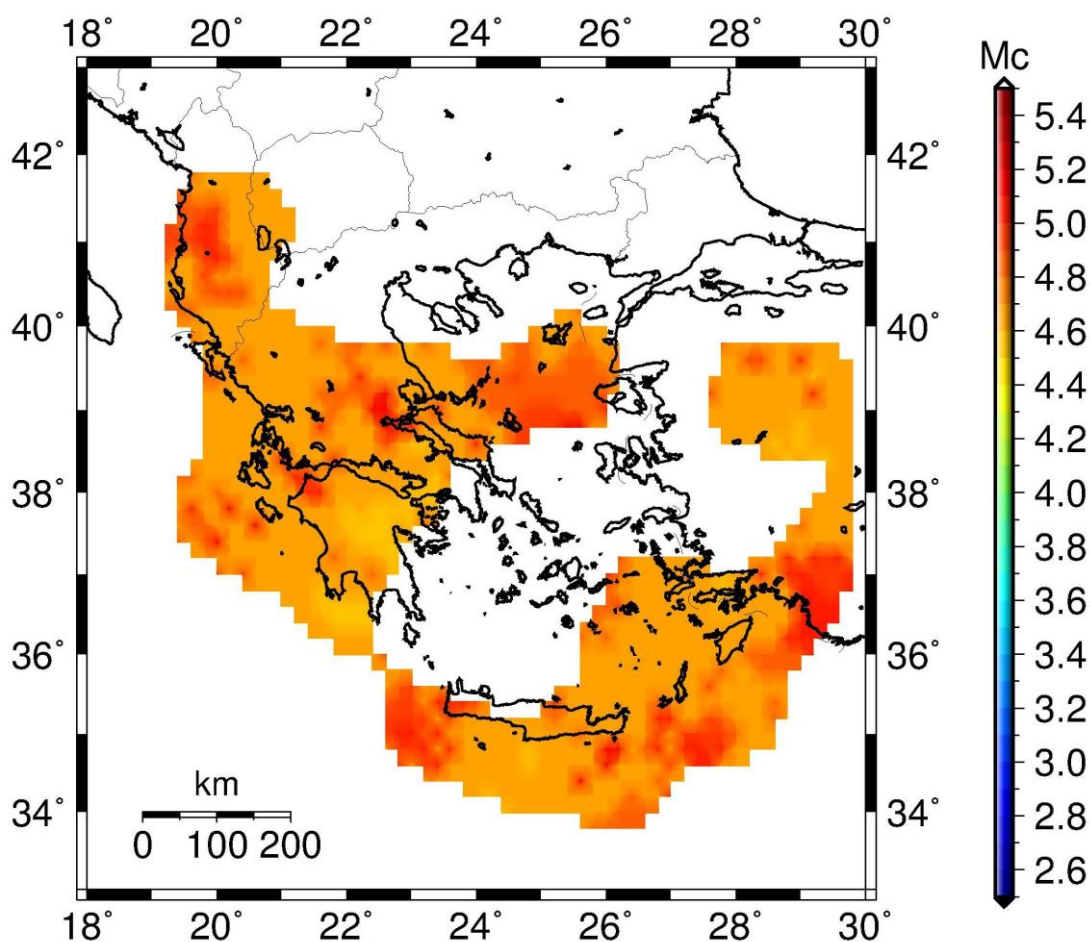
Στους χάρτες των σχημάτων (15), (16), (17), (18) και (19) φαίνεται η γεωγραφική κατανομή του ελάχιστου μεγέθους πληρότητας,  $M_c$ , των σεισμών του καταλόγου στη διάρκεια των χρονικών διαστημάτων 1900-1950, 1950-1972, 1972-1984, 1984-2012 και 2012-2019, όπως αυτή προέκυψε από τη χρήση του συνολικού καταλόγου.

Η κατανομή προέκυψε με τη χρήση κυκλικών περιοχών ακτίνας 80km με κέντρα στους κόμβους ενός πλέγματος σημείων διαστάσεων  $0.2^\circ \times 0.2^\circ$ . Και εδώ εφαρμόστηκαν τρεις μέθοδοι: (α) η μέθοδος μέγιστης καμπυλότητας (maximum curvature, MAXC), (β) η μέθοδος goodness of fit (GoF) με διάστημα εμπιστοσύνης 90% και (γ) η μέθοδος goodness of fit (GoF) με διάστημα εμπιστοσύνης 95% με τη χρήση του λογισμικού Zmap (Wiemer, 2001). Δεν συμπεριλήφθηκε χάρτης για το διάστημα πριν το 1900 λόγω μη επαρκών δεδομένων για την κατασκευή του.



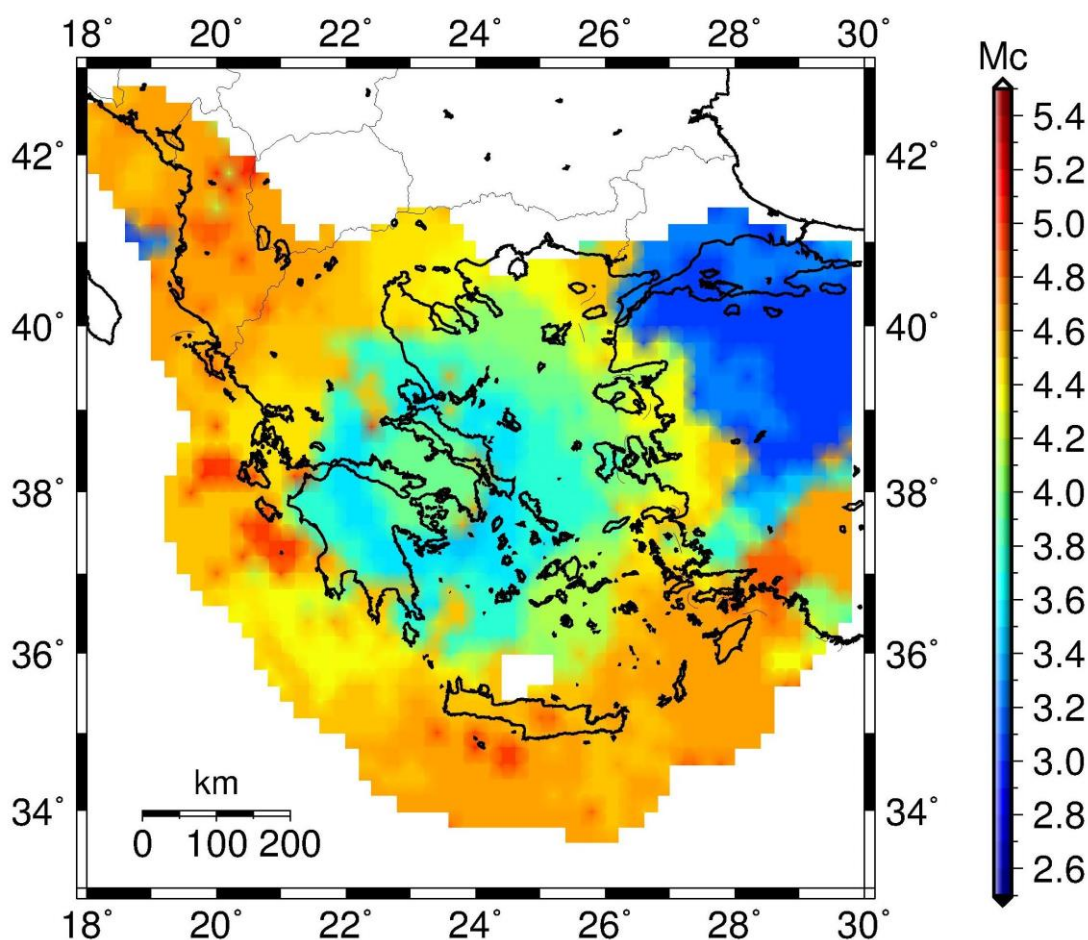


Σχ. 15. Γεωγραφική κατανομή του μεγέθους πληρότητας,  $M_c$ , κατά το χρονικό διάστημα 1900-1950



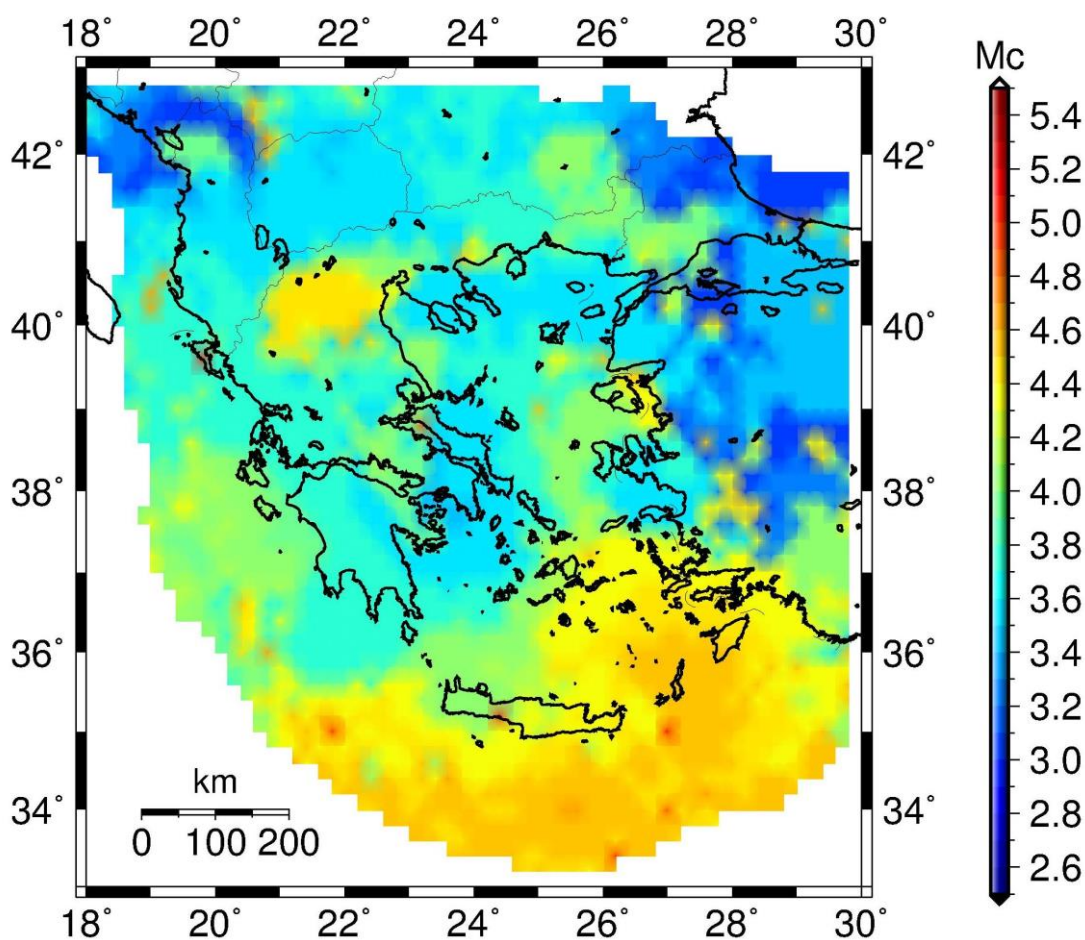
Σχ. 16. Γεωγραφική κατανομή του μεγέθους πληρότητας,  $M_c$ , κατά το χρονικό διάστημα 1950-1972.



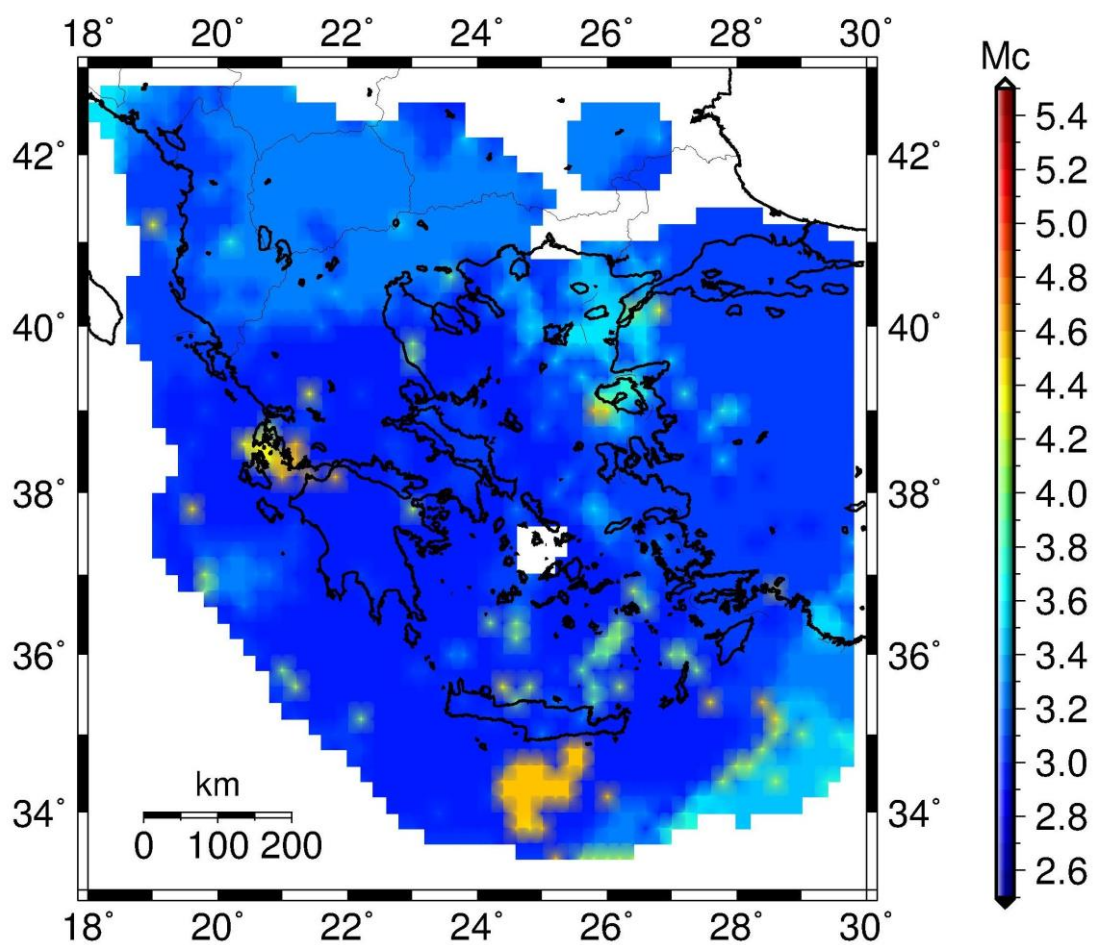


Σχ. 17. Γεωγραφική κατανομή του μεγέθους πληρότητας,  $M_c$ , κατά το χρονικό διάστημα 1972-1984.





Σχ. 18. Γεωγραφική κατανομή του μεγέθους πληρότητας,  $M_c$ , κατά το χρονικό διάστημα 1984-2012.



**Σχήμα 19.** Γεωγραφική κατανομή του μεγέθους πληρότητας,  $M_c$ , κατά το χρονικό διάστημα 2012-2019.



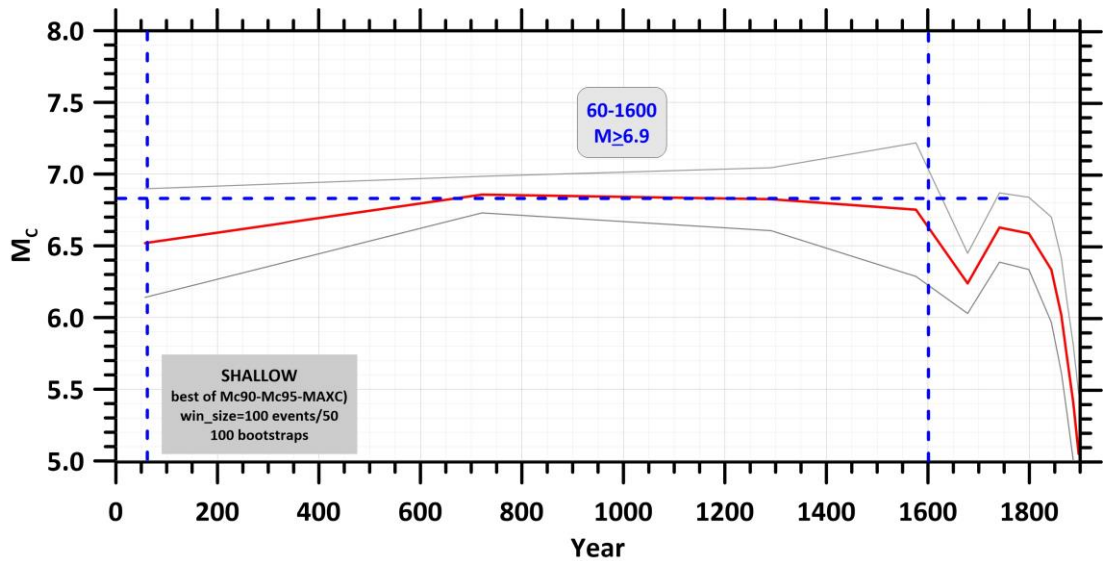
## 4.2 ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΟΙ ( $h < 60\text{km}$ ) ΣΕΙΣΜΟΙ

### 4.2.1 Χρονική Μεταβολή Μεγέθους Πληρότητας

Ακολουθήθηκε η ίδια διαδικασία που περιεγράφηκε προηγουμένως για το σύνολο του καταλόγου αλλά τώρα με τη χρήση μόνο των σεισμών με εστιακά βάθη μικρότερα των 60km (169.107 σεισμοί). Ο έλεγχος της διακύμανσης της πληρότητας του καταλόγου με το χρόνο πραγματοποιήθηκε και πάλι με εφαρμογή της μεθόδου επαναδειγματοληψίας (bootstrapping), χρησιμοποιώντας 100 συνθετικά δείγματα των 100 σεισμών που προέκυψαν από τον τελικό κατάλογο.

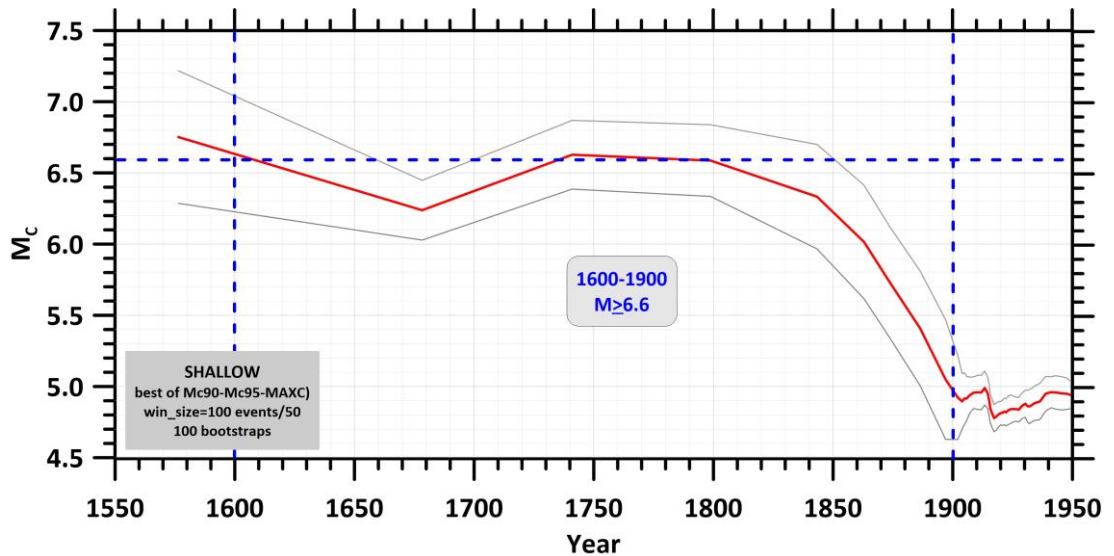
Εφαρμόστηκαν οι ίδιες με πριν τρεις μέθοδοι: (α) η μέθοδος μέγιστης καμπυλότητας (maximum curvature, MAXC), (β) η μέθοδος goodness of fit (GoF) με διάστημα εμπιστοσύνης 90% και (γ) η μέθοδος goodness of fit (GoF) με διάστημα εμπιστοσύνης 95% με τη χρήση του λογισμικού Zmap (Wiemer, 2001). Το αποτέλεσμα της εφαρμογής αυτής περιγράφεται από τη μεταβολή του υπολογιζόμενου μεγέθους πληρότητας  $M_c$  με τον χρόνο (κόκκινη γραμμή, σχήματα 20, 21, 22, 23, 24, 25 και 26). Όπως ήταν αναμενόμενο, **δεν ήταν δυνατός ο έλεγχος πληρότητας** για το χρονικό διάστημα **πριν από το έτος 60** λόγω ανεπαρκούς αριθμού σεισμών που δεν επέτρεπε την εξαγωγή ασφαλών ή έστω ενδεικτικών συμπερασμάτων. Ακόμα και η εικόνα που δίνει το σχήμα 20 για το διάστημα **60-1900 ( $M_c=6.9$ ) πρέπει να θεωρηθεί ως καθαρά ενδεικτική.**



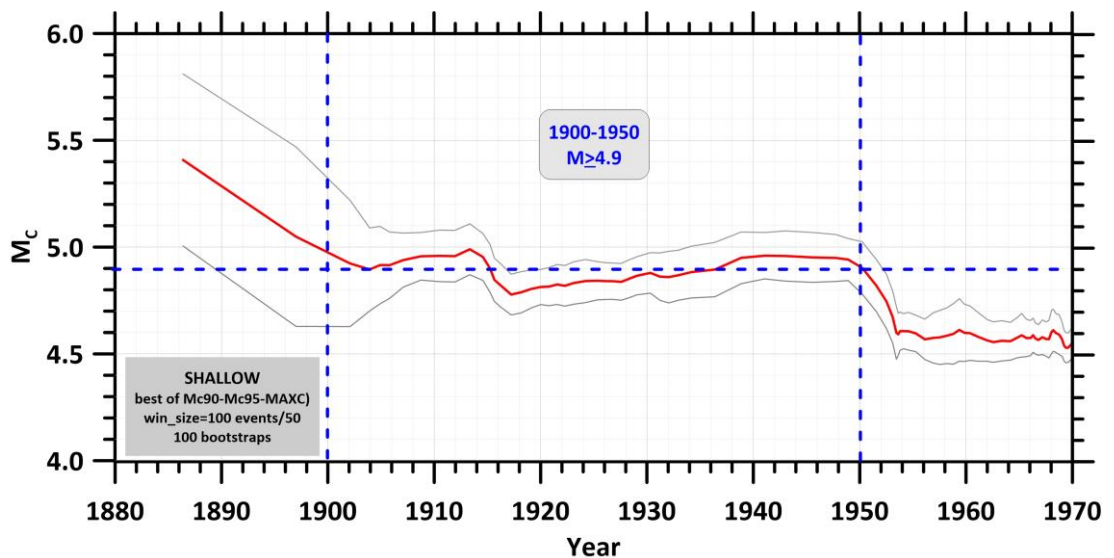


**Σχ. 20.** Μεταβολή του μεγέθους πληρότητας ( $M_c$ ) με το χρόνο (κόκκινη καμπύλη), όπως εκτιμήθηκε για τον Ελληνικό χώρο και τις γύρω περιοχές για τους επιφανειακούς ( $h < 60\text{km}$ ) σεισμούς του καταλόγου (που εκπονήθηκε στο πλαίσιο της παρούσας μελέτης) για τη χρονική περίοδο 60-1600. Οι γκριζες γραμμές αντιπροσωπεύουν την απόκλιση  $\pm dM_c$  του  $M_c$  με το χρόνο όπως αυτό εκτιμήθηκε από την εφαρμογή μεθοδολογίας επαναδειγματοληψίας (bootstrapping,  $N_b=100$ ) για διάστημα εμπιστοσύνης 90-95% (ZMAP, Wiemer, 2001). Ο υπολογισμός πραγματοποιήθηκε με παράθυρο δείγματος 100, αλληλοεπικάλυψη 50 και ελάχιστο αριθμό 80 γεγονότων.

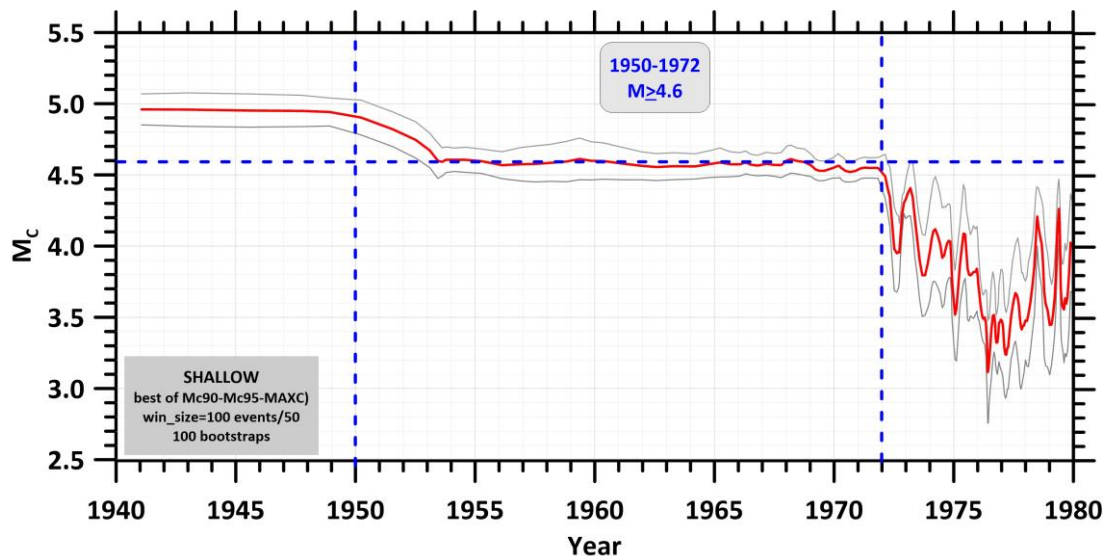




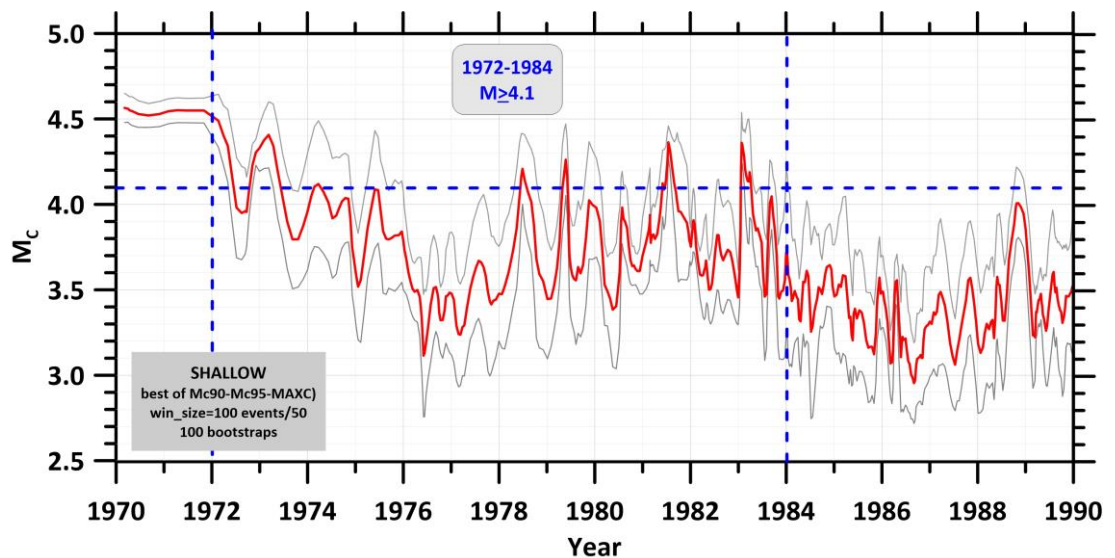
**Σχ. 21.** Μεταβολή του μεγέθους πληρότητας ( $M_c$ ) με το χρόνο (κόκκινη καμπύλη), όπως εκτιμήθηκε για τους επιφανειακούς ( $h < 60\text{km}$ ) σεισμούς του καταλόγου που εκπονήθηκε στο πλαίσιο της παρούσας μελέτης και για τη χρονική περίοδο 1600-1900. Η μεθοδολογία και οι συμβολισμοί είναι αντίστοιχοι του σχ. 20.



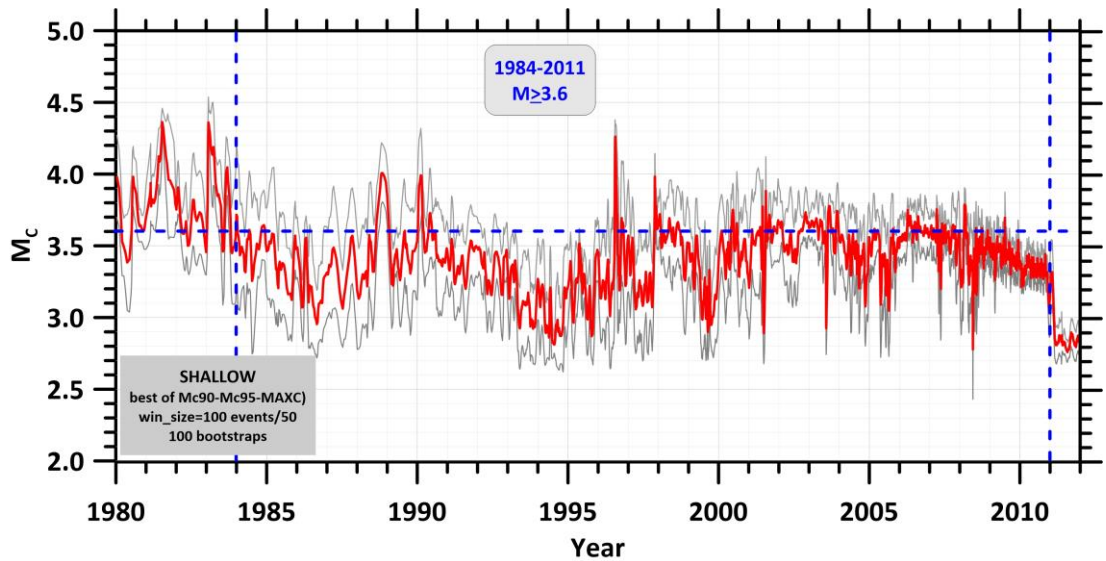
**Σχ. 22.** Μεταβολή του μεγέθους πληρότητας ( $M_c$ ) με το χρόνο (κόκκινη καμπύλη), όπως εκτιμήθηκε για τους επιφανειακούς ( $h < 60\text{km}$ ) σεισμούς του καταλόγου που εκπονήθηκε στο πλαίσιο της παρούσας μελέτης και για τη χρονική περίοδο 1900-1950. Η μεθοδολογία και οι συμβολισμοί είναι αντίστοιχοι του σχ. 20.



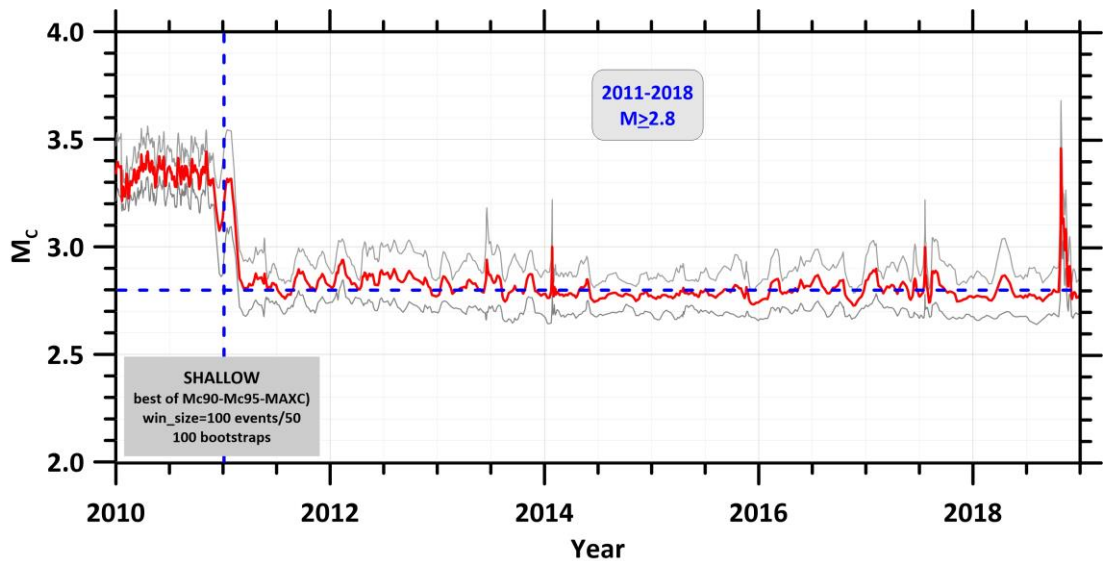
**Σχ. 23.** Μεταβολή του μεγέθους πληρότητας ( $M_c$ ) με το χρόνο (κόκκινη καμπύλη), όπως εκτιμήθηκε για τους επιφανειακούς ( $h < 60\text{km}$ ) σεισμούς του καταλόγου που εκπονήθηκε στο πλαίσιο της παρούσας μελέτης και για τη χρονική περίοδο 1950-1972. Η μεθοδολογία και οι συμβολισμοί είναι αντίστοιχοι του σχ. 20.



**Σχ. 24.** Μεταβολή του μεγέθους πληρότητας ( $M_c$ ) με το χρόνο (κόκκινη καμπύλη), όπως εκτιμήθηκε για τους επιφανειακούς ( $h < 60\text{km}$ ) σεισμούς του καταλόγου που εκπονήθηκε στο πλαίσιο της παρούσας μελέτης και για τη χρονική περίοδο 1972-1984. Η μεθοδολογία και οι συμβολισμοί είναι αντίστοιχοι του σχ. 20.



**Σχ. 25.** Μεταβολή του μεγέθους πληρότητας ( $M_c$ ) με το χρόνο (κόκκινη καμπύλη), όπως εκτιμήθηκε για τους επιφανειακούς ( $h < 60\text{km}$ ) σεισμούς του καταλόγου που εκπονήθηκε στο πλαίσιο της παρούσας μελέτης και για τη χρονική περίοδο 1984-2011. Η μεθοδολογία και οι συμβολισμοί είναι αντίστοιχοι του σχ. 20.



**Σχ. 26.** Μεταβολή του μεγέθους πληρότητας ( $M_c$ ) με το χρόνο (κόκκινη καμπύλη), όπως εκτιμήθηκε για τους επιφανειακούς ( $h < 60\text{km}$ ) σεισμούς του καταλόγου που εκπονήθηκε στο πλαίσιο της παρούσας μελέτης και για τη χρονική περίοδο 2011-2018. Η μεθοδολογία και οι συμβολισμοί είναι αντίστοιχοι του σχ. 20.





Από την προηγηθείσα ανάλυση προκύπτουν μικρές διαφορές σε ό,τι αφορά τη διακύμανση του μεγέθους πληρότητας των επιφανειακών σεισμών του χώρου μελέτης με το χρόνο, σε σχέση με την ανάλυση που αφορούσε το σύνολο του καταλόγου. Αυτό ήταν αναμενόμενο, δεδομένου ότι η σεισμότητα της περιοχής κυριαρχείται από επιφανειακούς σεισμούς. Η χρονική κατανομή του μεγέθους πληρότητας των επιφανειακών ( $h < 60\text{km}$ ) σεισμών του καταλόγου με το χρόνο δίνεται από τον πίνακα 3.

**Πίνακας 3.** Τελικές περιόδους και αντίστοιχες τιμές των μεγεθών πληρότητας του καταλόγου, όπως προέκυψαν από τη συνδυαστική εφαρμογή των τριών μεθοδολογιών που αναφέρονται στο κείμενο.

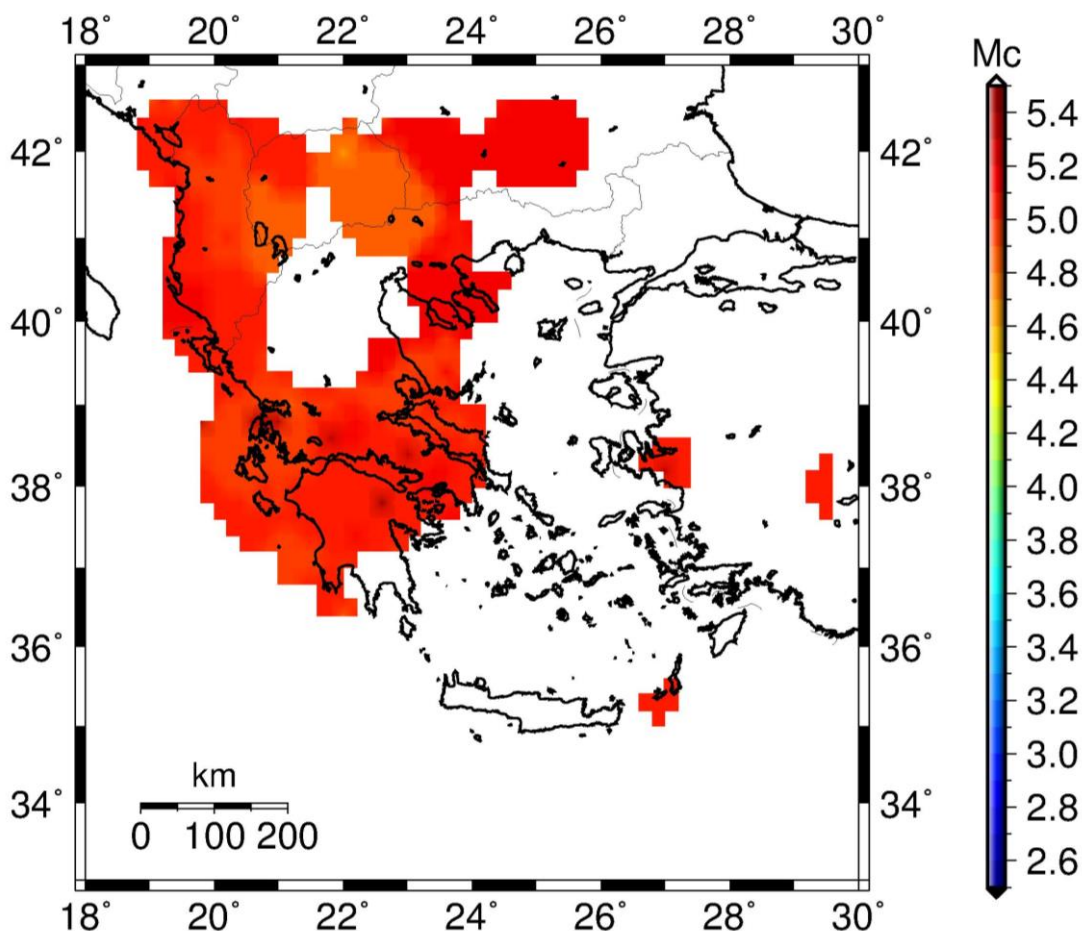
	PERIOD	$M_c$
1	60-2019	6.9
2	1600-2019	6.6
3	1900-2019	4.9
4	1950-2019	4.6
5	1972-2019	4.1
6	1984-2019	3.6
7	2011-2019	2.8

#### 4.2.2 Χωρική Μεταβολή Μεγέθους Πληρότητας

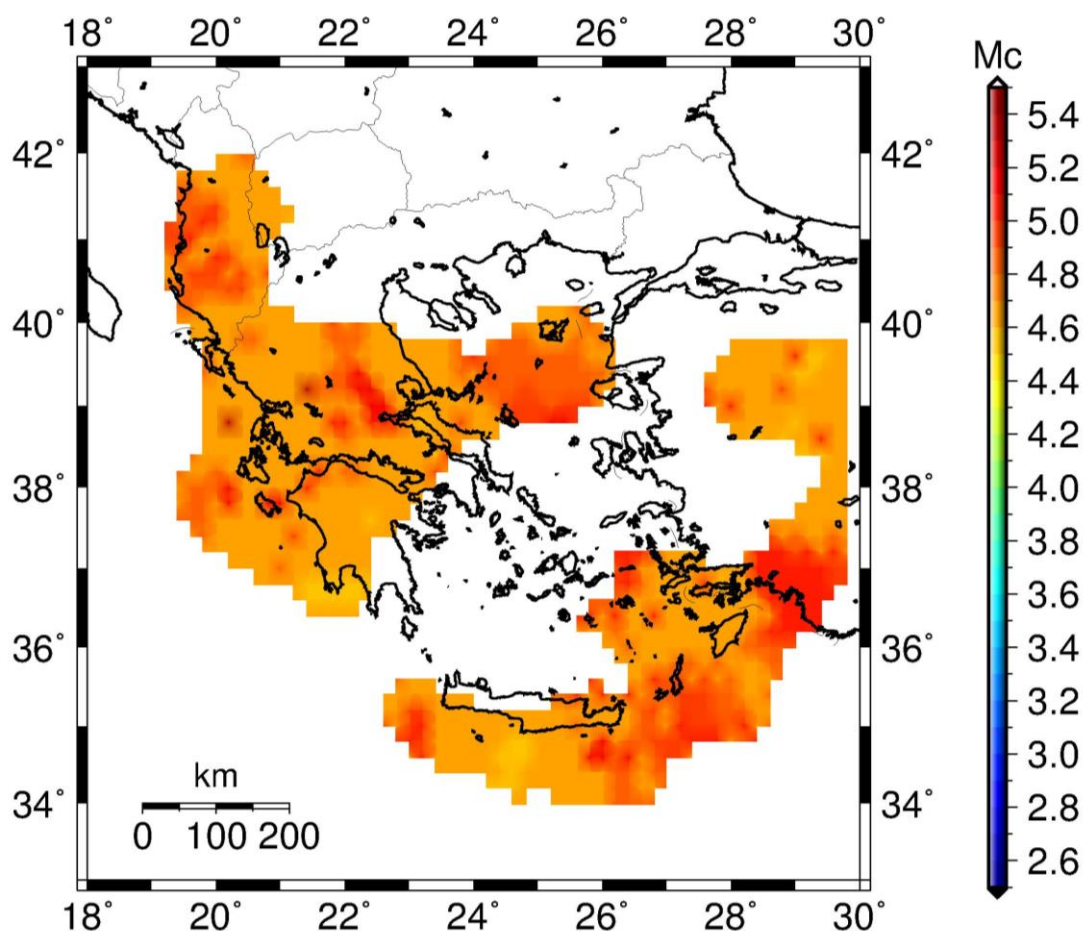
Για τους λόγους που αναφέρθηκαν στο κεφάλαιο 4.1.2, παρατηρείται για κάθε περίοδο του πίνακα 3 διακύμανση της τιμής του μεγέθους πληρότητας των επιφανειακών σεισμών και στο χώρο. Χάρτες που παρουσιάζουν την χωρική κατανομή του μεγέθους πληρότητας των επιφανειακών σεισμών του καταλόγου που αφορούν το Αιγαίο και τις γύρω περιοχές, κατά τα χρονικά διαστήματα 1900-1950, 1950-1972, 1972-1984, 1984-2011 και 2011-2019 (διαστήματα πληροτήτων του πίνακα 3), δίνονται στα σχήματα 27, 28, 29, 30 και 31.

Και εδώ χρησιμοποιήθηκαν κυκλικές περιοχές ακτίνας 80km με κέντρα στους κόμβους ενός πλέγματος σημείων διαστάσεων  $0.2^\circ \times 0.2^\circ$  ενώ εφαρμόστηκαν οι μέθοδοι MAXC, GoF 90% και GoF 95% μέσω του λογισμικού Zmap (Wiemer, 2001). Δεν συμπεριλήφθηκε χάρτης για το διάστημα πριν το 1900 λόγω μη επαρκών δεδομένων για την κατασκευή του.

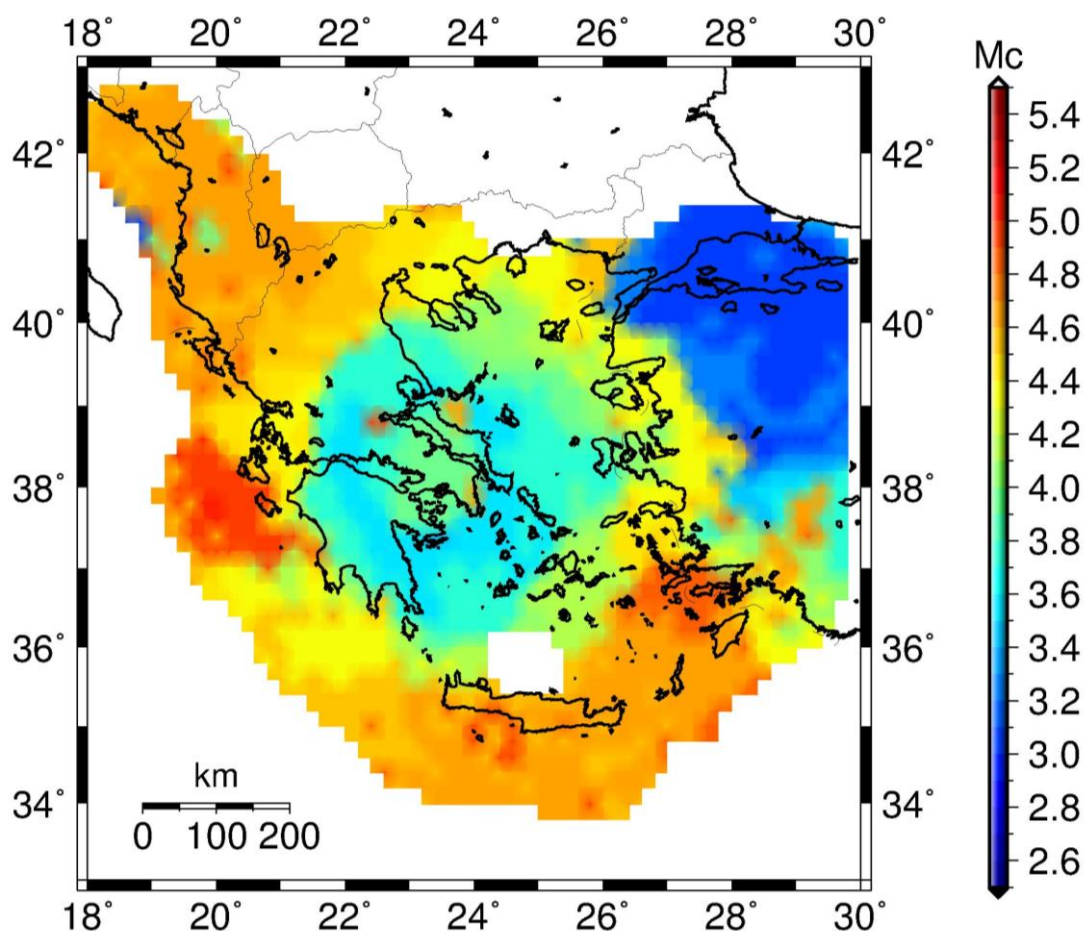




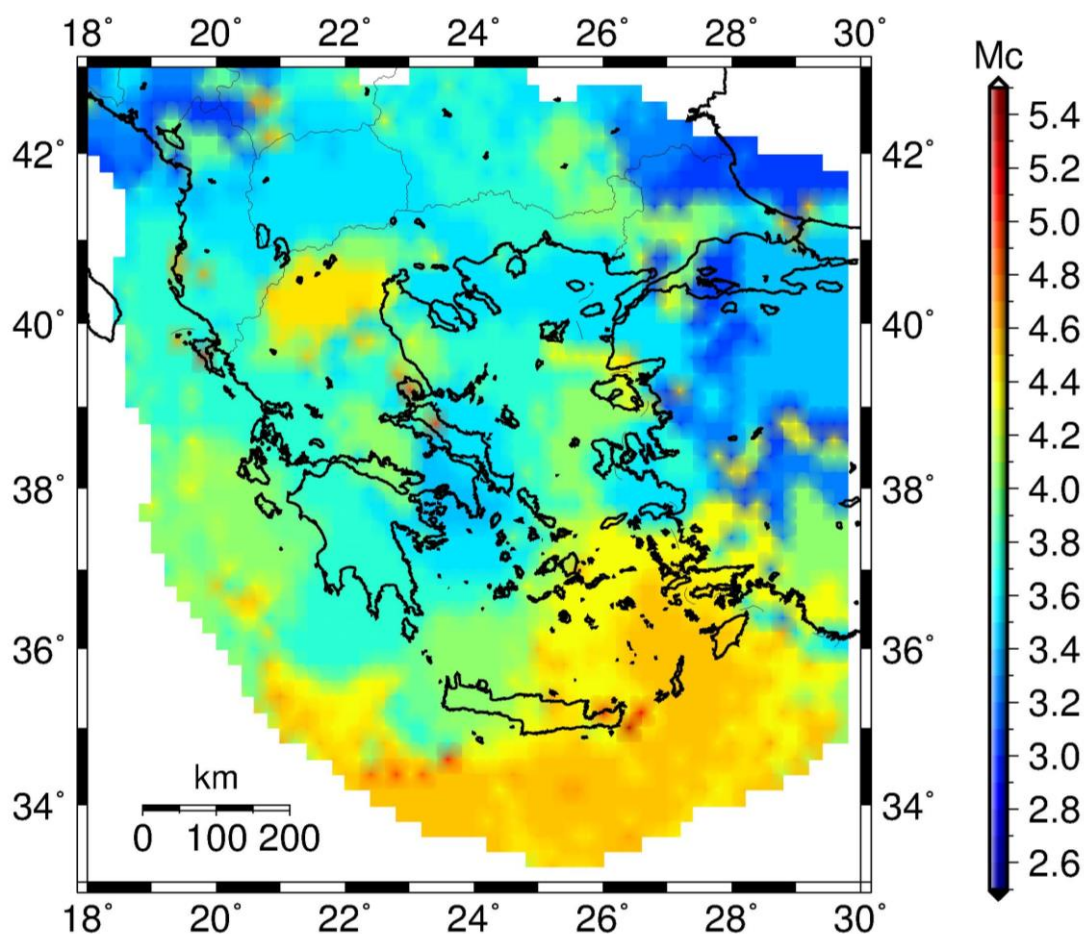
**Σχήμα 27.** Γεωγραφική κατανομή του μεγέθους πληρότητας,  $M_c$ , κατά το χρονικό διάστημα 1900-1950.



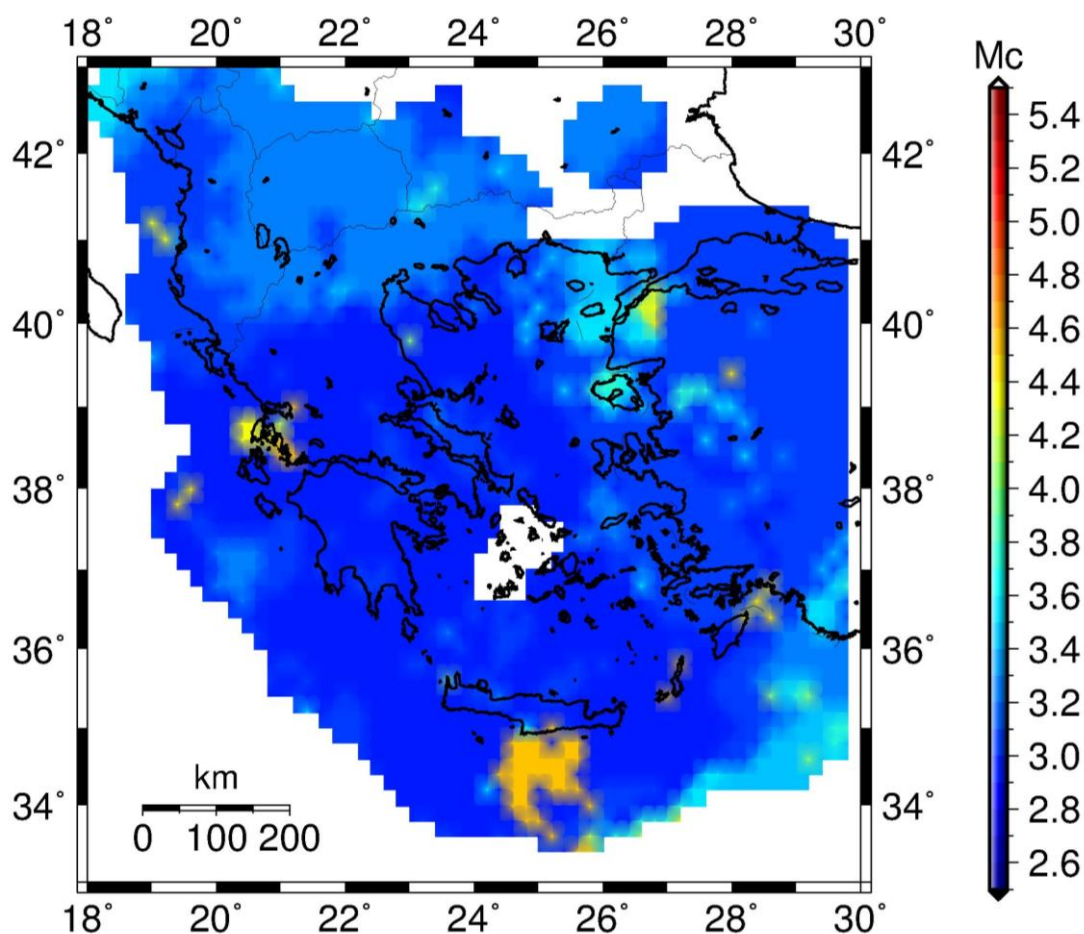
**Σχήμα 28.** Γεωγραφική κατανομή του μεγέθους πληρότητας,  $M_c$ , κατά το χρονικό διάστημα 1950-1972.



**Σχήμα 29.** Γεωγραφική κατανομή του μεγέθους πληρότητας,  $M_c$ , κατά το χρονικό διάστημα 1972-1984.



**Σχήμα 30.** Γεωγραφική κατανομή του μεγέθους πληρότητας,  $M_c$ , κατά το χρονικό διάστημα 1984-2011.



**Σχήμα 31.** Γεωγραφική κατανομή του μεγέθους πληρότητας,  $M_c$ , κατά το χρονικό διάστημα 2011-2018.



## 4.3 ΣΕΙΣΜΟΙ ΕΝΔΙΑΜΕΣΟΥ ΒΑΘΟΥΣ ( $h \geq 60\text{km}$ )

### 4.3.1 Χρονική Μεταβολή Μεγέθους Πληρότητας

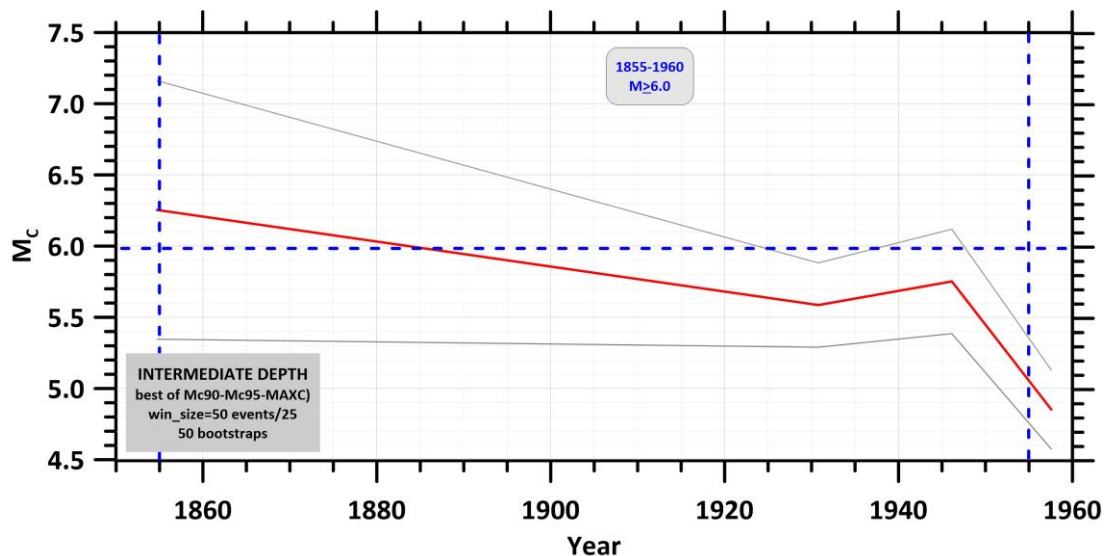
Ακολουθήθηκε η ίδια διαδικασία που εφαρμόστηκε για το σύνολο του καταλόγου αλλά τώρα με τη χρήση μόνο των σεισμών ενδιάμεσου βάθους (εστιακά βάρη  $h \geq 60\text{km}$ , 3.284 σεισμοί). Ένα σημαντικό μειονέκτημα στον ποιοτικό και ποσοτικό έλεγχο του (υπο-)καταλόγου αυτού είναι ο περιορισμένος (σε σύγκριση με τους επιφανειακούς σεισμούς) αριθμός σεισμών.

Για τον έλεγχο της χρονικής διακύμανσης της πληρότητας εφαρμόστηκε η ίδια μεθοδολογία που περιγράφηκε στο κεφάλαιο 4.1.1. Συγκεκριμένα, ο έλεγχος πραγματοποιήθηκε και πάλι με εφαρμογή της μεθόδου επαναδειγματοληψίας (bootstrapping), χρησιμοποιώντας, όμως λόγω μικρού αριθμού δεδομένων, 50 συνθετικά δείγματα των 50 σεισμών (με επικάλυψη 25 σεισμών) που προέκυψαν από τον τελικό κατάλογο. Εφαρμόστηκαν οι ίδιες με πριν τρεις μέθοδοι: (α) η μέθοδος μέγιστης καμπυλότητας (maximum curvature, MAXC), (β) η μέθοδος goodness of fit (GoF) με διάστημα εμπιστοσύνης 90% και (γ) η μέθοδος goodness of fit (GoF) με διάστημα εμπιστοσύνης 95% με τη χρήση του λογισμικού Zmap (Wiemer, 2001).

Το αποτέλεσμα της εφαρμογής αυτής περιγράφεται από τη μεταβολή του υπολογιζόμενου μεγέθους πληρότητας  $M_c$  με τον χρόνο (κόκκινη γραμμή, σχήματα 32, 33, 34, 35 και 36). Όπως αναμενόταν, **δεν ήταν δυνατός ο έλεγχος πληρότητας** για το χρονικό διάστημα **πριν από το έτος 1855** λόγω ανεπαρκούς αριθμού σεισμών που δεν επιτρέπει την εξαγωγή ούτε καν ενδεικτικών συμπερασμάτων. Για τον ίδιο λόγο, η εκτίμηση των περιόδων και αντίστοιχων μεγεθών πληρότητας ακόμη για τα πιο πρόσφατα χρονικά διαστήματα δεν θα πρέπει να θεωρείται ασφαλής.

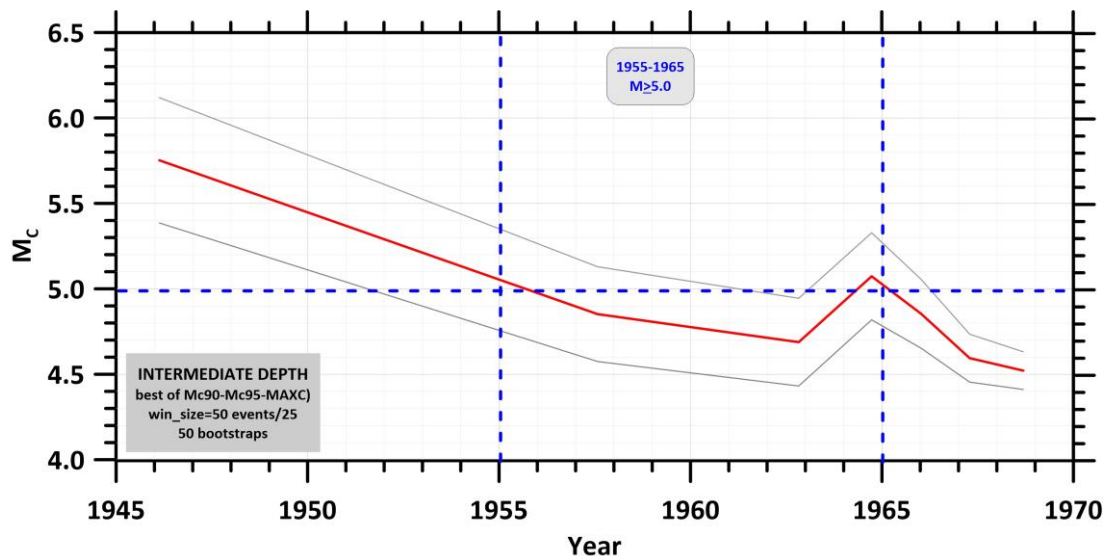
Έτσι, τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την παραπάνω διαδικασία, παρουσιάζονται στα σχήματα 32-36 και συνοψίζονται στον πίνακα 4, **θα πρέπει να θεωρούνται ως καθαρά ενδεικτικά**.



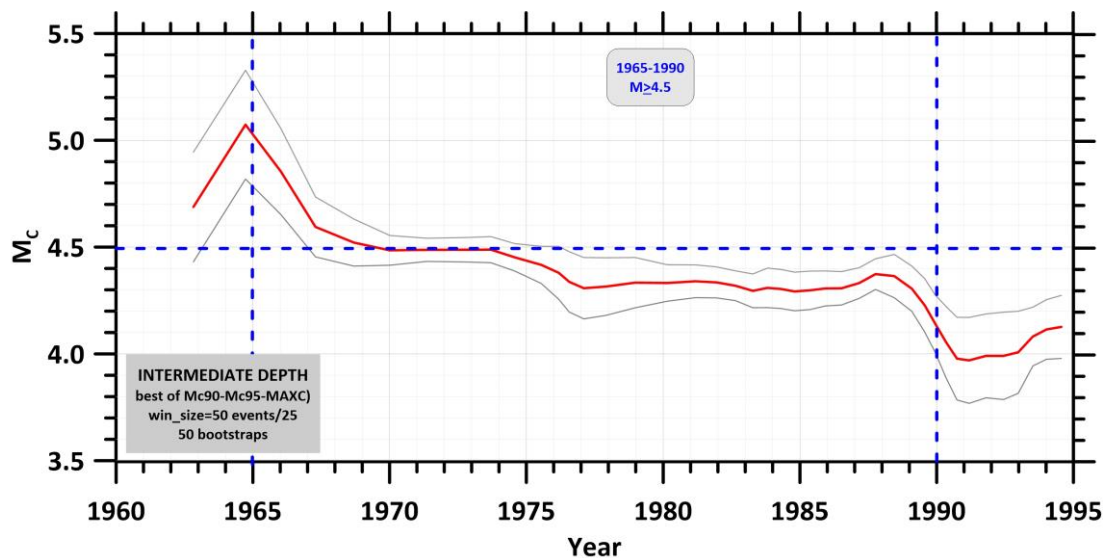


**Σχ. 32.** Μεταβολή του μεγέθους πληρότητας ( $M_c$ ) με το χρόνο (κόκκινη καμπύλη), όπως εκτιμήθηκε για τον Ελληνικό χώρο και τις γύρω περιοχές για τους σεισμούς ενδιάμεσου βάθους ( $h \geq 60\text{km}$ ) του καταλόγου (που εκπονήθηκε στο πλαίσιο της παρούσας μελέτης) για τη χρονική περίοδο 1850-1955. Οι γκριζες γραμμές αντιπροσωπεύουν την απόκλιση  $\pm dM_c$  του  $M_c$  με το χρόνο όπως αυτό εκτιμήθηκε από την εφαρμογή μεθοδολογίας επαναδειγματοληψίας (bootstrapping,  $N_b=50$ ) για διάστημα εμπιστοσύνης 90-95% (ZMAP, Wiemer, 2001). Ο υπολογισμός πραγματοποιήθηκε με παράθυρο δείγματος 50, αλληλοεπικάλυψη 25 και ελάχιστο αριθμό 30 γεγονότων.

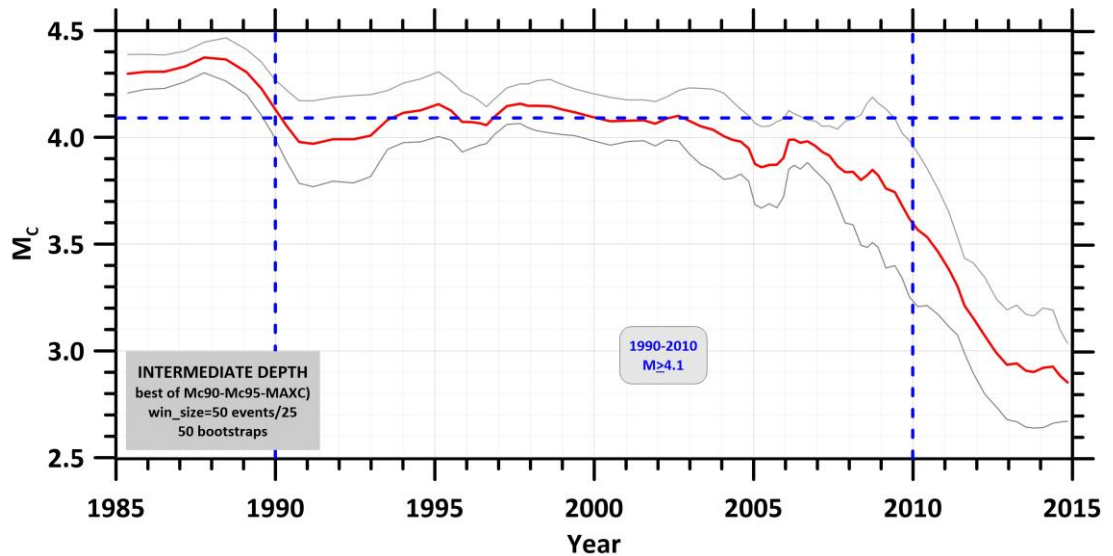




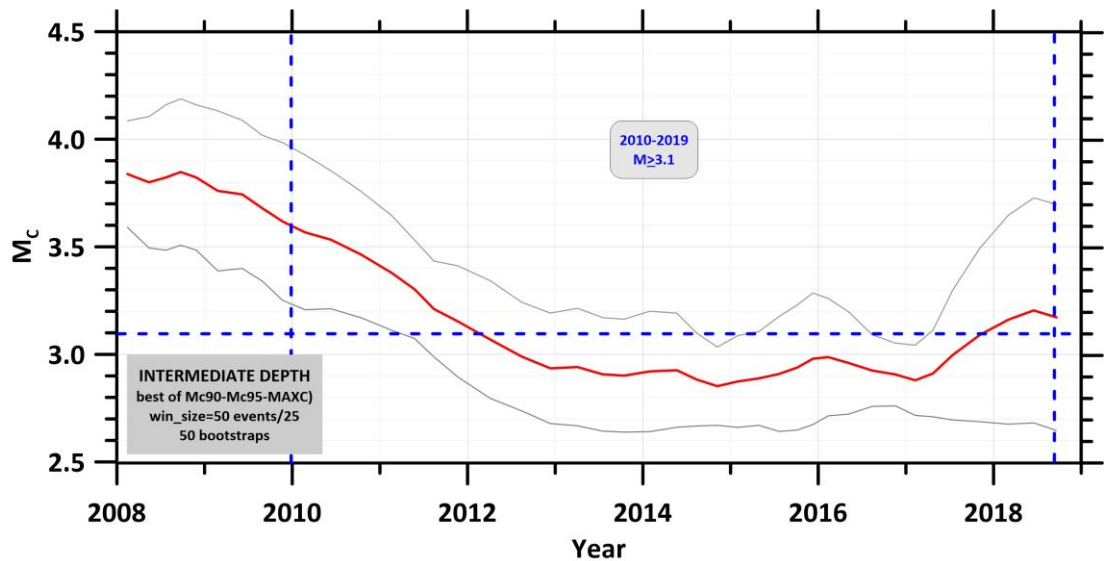
**Σχ. 33.** Μεταβολή του μεγέθους πληρότητας ( $M_c$ ) με το χρόνο (κόκκινη καμπύλη), όπως εκτιμήθηκε για τους σεισμούς ενδιάμεσου βάθους ( $h \geq 60\text{km}$ ) του καταλόγου που εκπονήθηκε στο πλαίσιο της παρούσας μελέτης και για τη χρονική περίοδο 1955-1965. Η μεθοδολογία και οι συμβολισμοί είναι αντίστοιχοι του σχ. 20



**Σχ. 34.** Μεταβολή του μεγέθους πληρότητας ( $M_c$ ) με το χρόνο (κόκκινη καμπύλη), όπως εκτιμήθηκε για τους σεισμούς ενδιάμεσου βάθους ( $h \geq 60\text{km}$ ) του καταλόγου που εκπονήθηκε στο πλαίσιο της παρούσας μελέτης και για τη χρονική περίοδο 1965-1990. Η μεθοδολογία και οι συμβολισμοί είναι αντίστοιχοι του σχ. 20



**Σχ. 35.** Μεταβολή του μεγέθους πληρότητας ( $M_c$ ) με το χρόνο (κόκκινη καμπύλη), όπως εκτιμήθηκε για τους σεισμούς ενδιάμεσου βάθους ( $h \geq 60\text{km}$ ) του καταλόγου που εκπονήθηκε στο πλαίσιο της παρούσας μελέτης και για τη χρονική περίοδο 1990-2010. Η μεθοδολογία και οι συμβολισμοί είναι αντίστοιχοι του σχ. 20



**Σχ. 36.** Μεταβολή του μεγέθους πληρότητας ( $M_c$ ) με το χρόνο (κόκκινη καμπύλη), όπως εκτιμήθηκε για τους σεισμούς ενδιάμεσου βάθους ( $h \geq 60\text{km}$ ) του καταλόγου που εκπονήθηκε στο πλαίσιο της παρούσας μελέτης και για τη χρονική περίοδο 2010-2019. Η μεθοδολογία και οι συμβολισμοί είναι αντίστοιχοι του σχ. 20



**Πίνακας 4.** Τελικές περιόδοι και αντίστοιχες τιμές των μεγεθών πληρότητας των σεισμών ενδιαμέσου βάθους ( $h \geq 60\text{km}$ ) του καταλόγου, όπως προέκυψαν από τη συνδυαστική εφαρμογή των τριών μεθοδολογιών που αναφέρονται στο κείμενο.

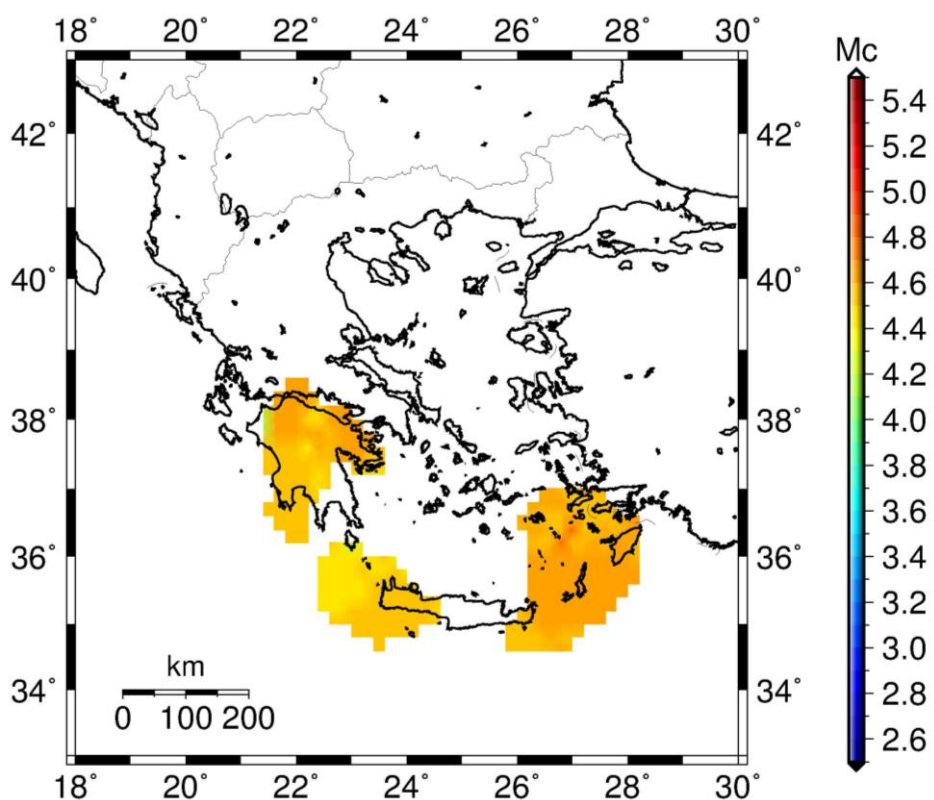
	PERIOD	$M_c$
1	1855-2019	6.0
2	1955-2019	5.0
3	1965-2019	4.5
4	1990-2019	4.1
5	2010-2019	3.1

#### 4.3.2 Χωρική Μεταβολή Μεγέθους Πληρότητας

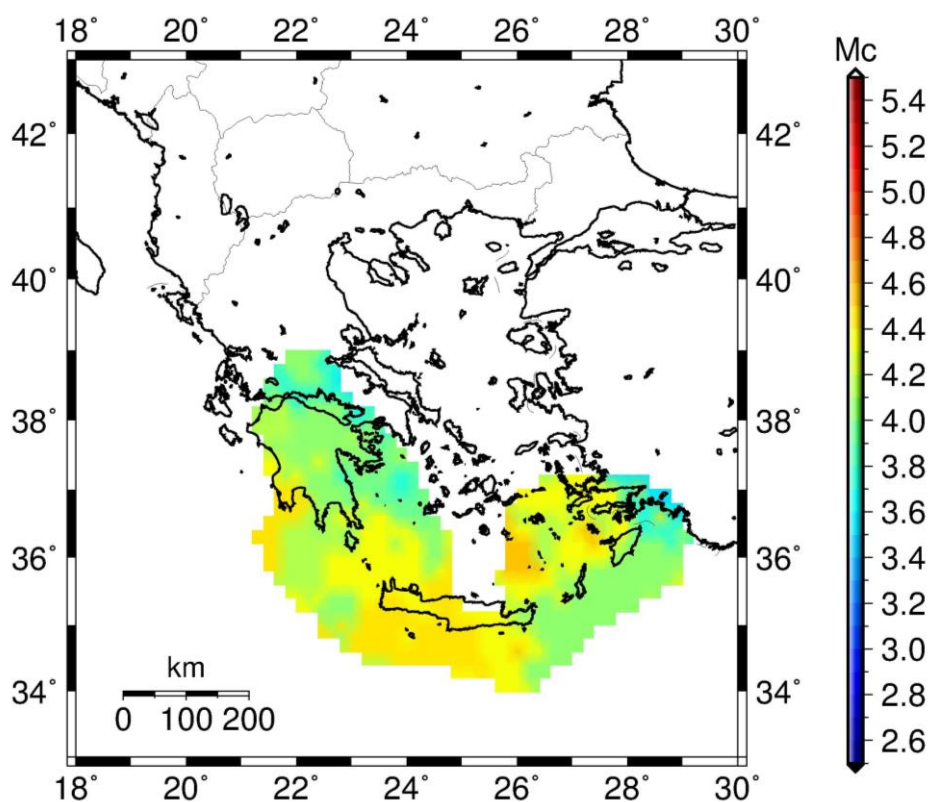
Για τους λόγους που αναφέρθηκαν στο κεφάλαιο 4.1.2, παρατηρείται για κάθε περίοδο του πίνακα 4 διακύμανση της τιμής του μεγέθους πληρότητας των σεισμών ενδιαμέσου βάθους και στο χώρο. Χάρτες που παρουσιάζουν την χωρική κατανομή του μεγέθους πληρότητας των σεισμών αυτών του καταλόγου και αφορούν το Αιγαίο και τις γύρω περιοχές, κατά τα χρονικά διαστήματα 1965-1990, 1990-2010 και 2010-2019 (διαστήματα πληροτήτων του πίνακα 4), δίνονται στα σχήματα 37, 38 και 39.

Και εδώ χρησιμοποιήθηκαν κυκλικές περιοχές ακτίνας 80km πάνω στους κόμβους ενός πλέγματος σημείων διαστάσεων  $0.2^\circ \times 0.2^\circ$  ενώ εφαρμόστηκαν οι μέθοδοι MAXC), GoF 90% και GoF 95% μέσω του λογισμικού Zmap (Wiemer, 2001). Δεν συμπεριλήφθηκε χάρτης για το διάστημα πριν το 1965 λόγω μη επαρκών δεδομένων για την κατασκευή του.

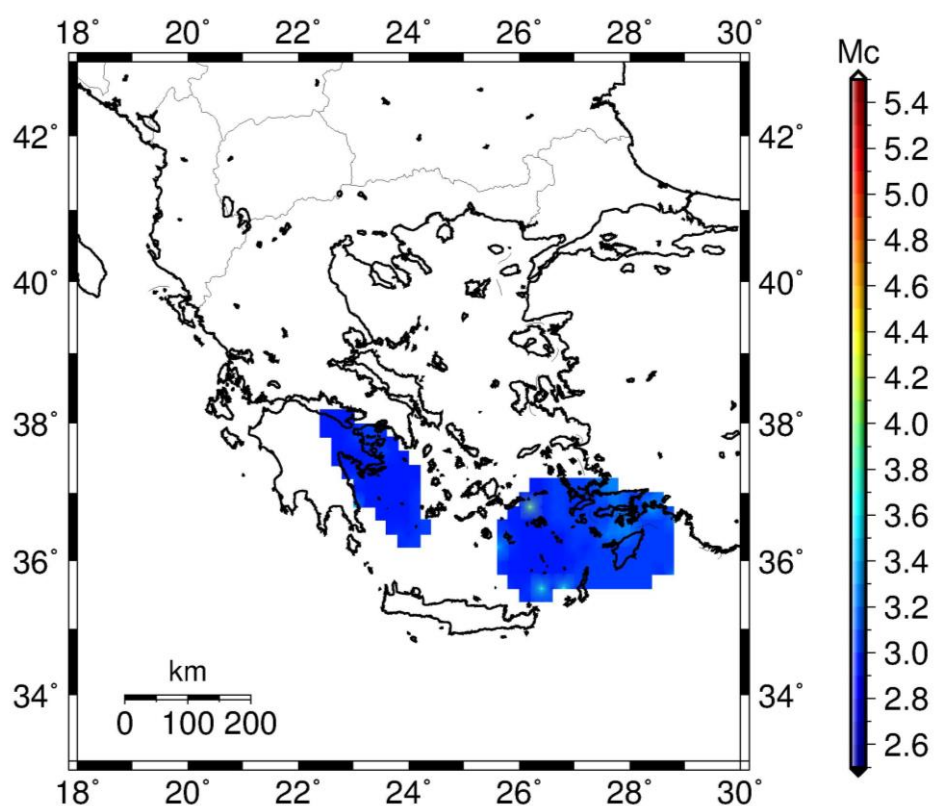




Σχ. 37. Γεωγραφική κατανομή του μεγέθους πληρότητας,  $M_c$ , σεισμών ενδιάμεσου βάθους ( $h \geq 60\text{km}$ ) κατά το χρονικό διάστημα 1965-1990.



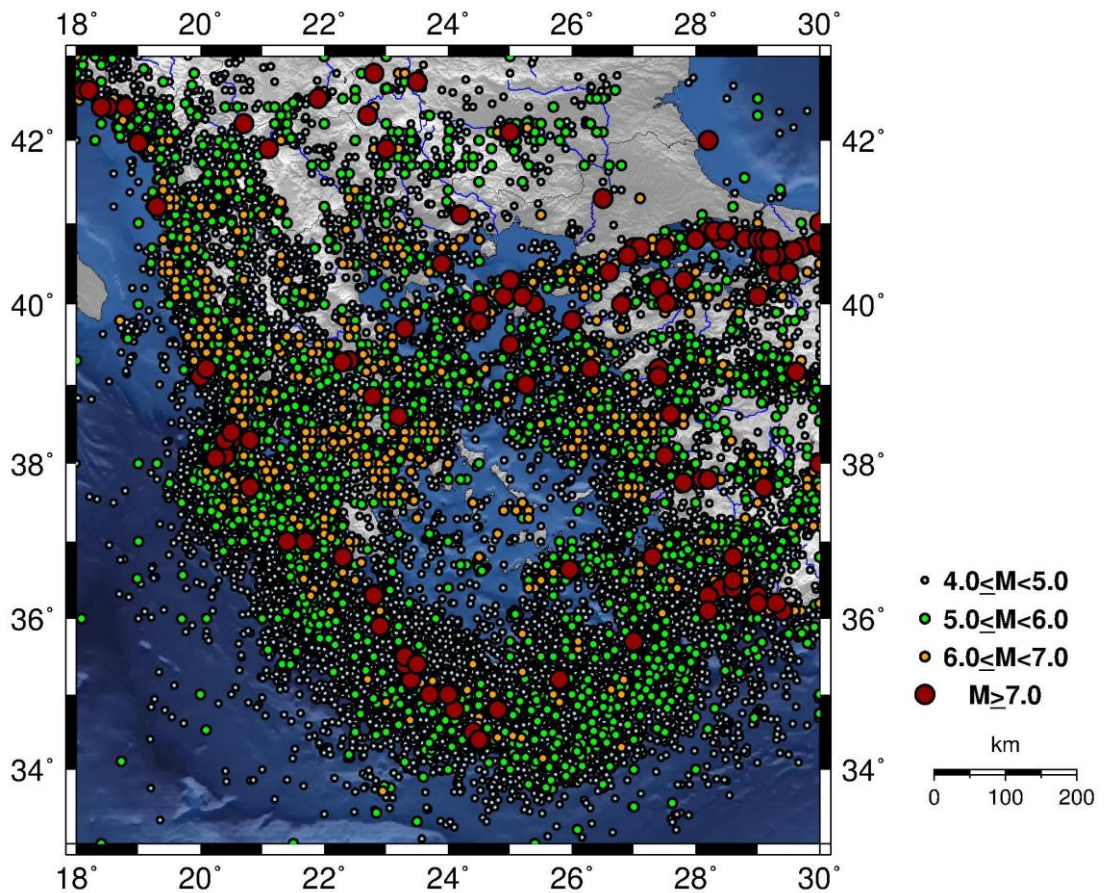
Σχ. 38. Γεωγραφική κατανομή του μεγέθους πληρότητας,  $M_c$ , σεισμών ενδιάμεσου βάθους ( $h \geq 60$  km) κατά το χρονικό διάστημα 1990-2010.



Σχ. 37. Γεωγραφική κατανομή του μεγέθους πληρότητας,  $M_c$ , σεισμών ενδιάμεσου βάθους ( $h \geq 60 \text{ km}$ ) κατά το χρονικό διάστημα 2010-2019.

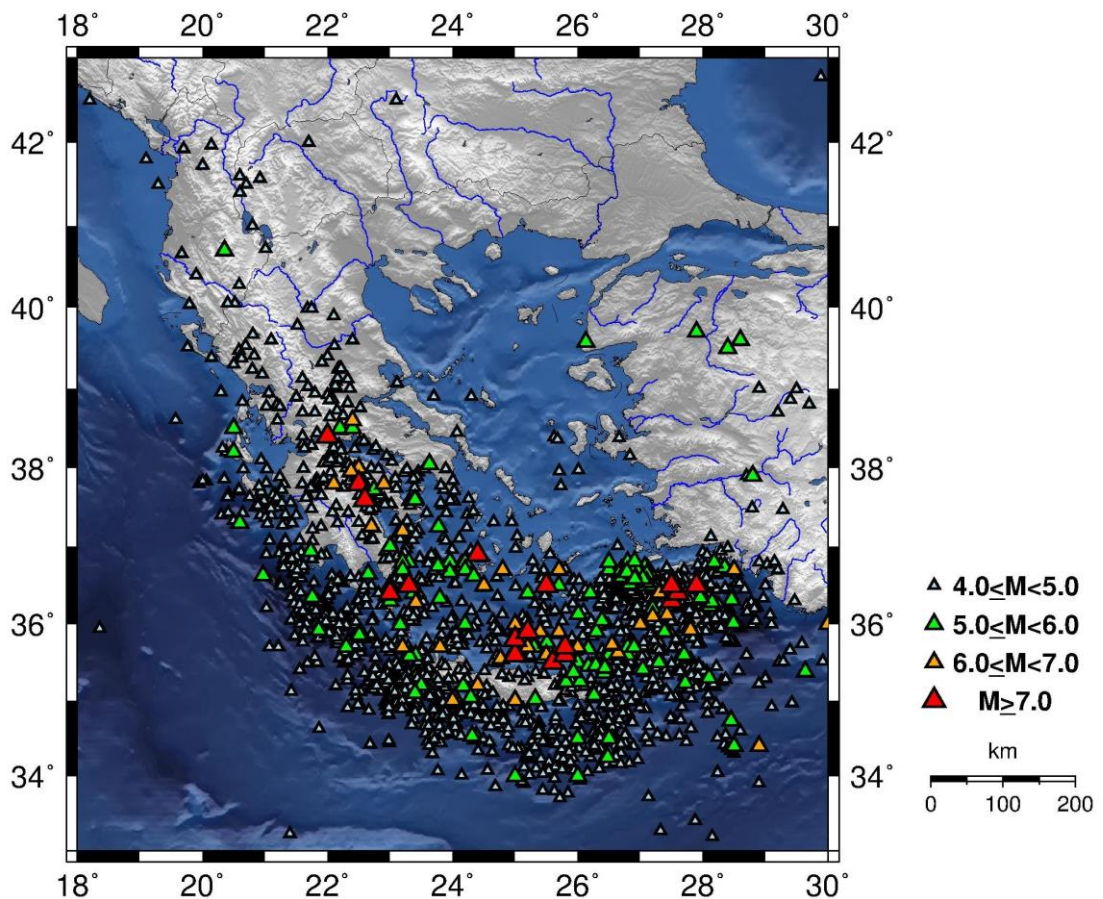
## 5. ΧΩΡΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΩΝ ΣΕΙΣΜΩΝ

Η γεωγραφική κατανομή των epicέντρων των επιφανειακών ( $h < 60\text{km}$ ) σεισμών του καταλόγου απεικονίζεται στο χάρτη του Σχήματος 38. Στο χάρτη περιλαμβάνονται τα epicέντρα όλων των επιφανειακών σεισμών του καταλόγου με  $M \geq 4.0$ , χωρίς να λαμβάνεται υπ' όψη η πληρότητα. Έντονη δραστηριότητα (τόσο σε πλήθος σεισμών όσο και στα μεγέθη τους) παρατηρείται κατά μήκος του Ελληνικού τόξου και κατά μήκος της δυτικής απόληξης της ρηξιγενούς ζώνης της βόρειας Ανατολίας.



**Σχ. 38.** Γεωγραφική κατανομή των epicέντρων όλων των επιφανειακών σεισμών του καταλόγου με  $M \geq 4.0$  που εκδηλώθηκαν κατά το διάστημα 550πΧ-2018 (σημειώνεται ότι δεν έχουν ληφθεί υπ' όψη οι συνθήκες πληρότητας).

Αντίστοιχος χάρτης με την χωρική κατανομή των επικέντρων των σεισμών ενδιάμεσου βάθους ( $h \geq 60 \text{ km}$ ) του καταλόγου δίνεται στο σχήμα 39. Οι εστίες των σεισμών αυτών βρίσκονται πάνω στη ζώνη Wadati-Benioff (π.χ. Parazachos & Nolef, 1997), ενώ τα επίκεντρό τους κατανέμονται γεωγραφικά κατά μήκος μίας ζώνης παράλληλης με το Ελληνικό Τόξο, όπως αυτό έχει οριστεί σε διάφορες μελέτες που αφορούν τα γεωτεκτονικά του χαρακτηριστικά (LePichon and Angelier 1979, McKenzie 1970, 1972), όπως και από την κατανομή της επιφανειακής ( $h < 60 \text{ km}$ ) σεισμικότητας σε αυτό (Parazachos and Comninakis 1970).

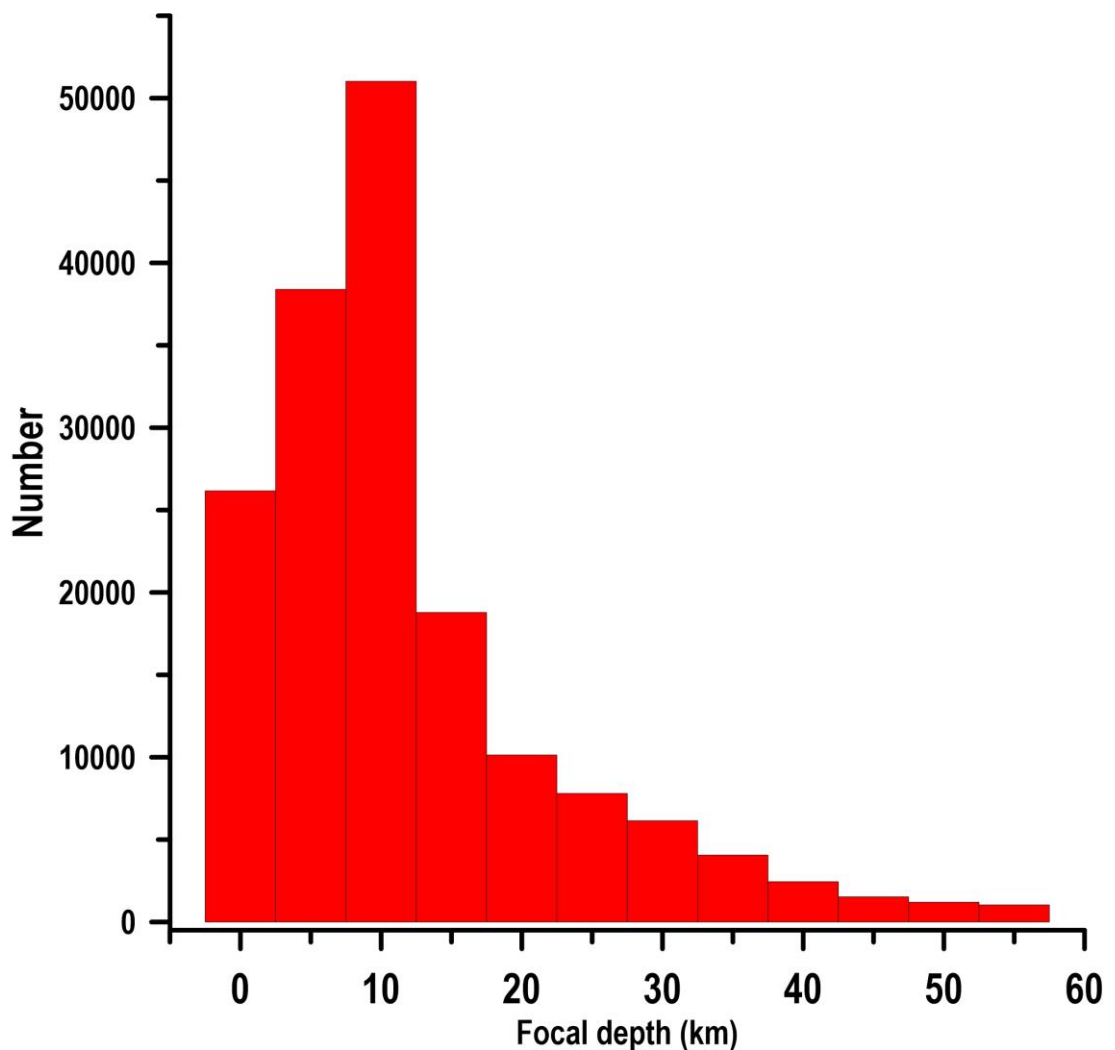


**Σχ. 39.** Γεωγραφική κατανομή των επικέντρων όλων των σεισμών ενδιάμεσου βάθους ( $h \geq 60 \text{ km}$ ) του καταλόγου με  $M \geq 4.0$  που εκδηλώθηκαν κατά το διάστημα 550πΧ-2018 (σημειώνεται ότι δεν έχουν ληφθεί υπ' όψη οι συνθήκες πληρότητας).



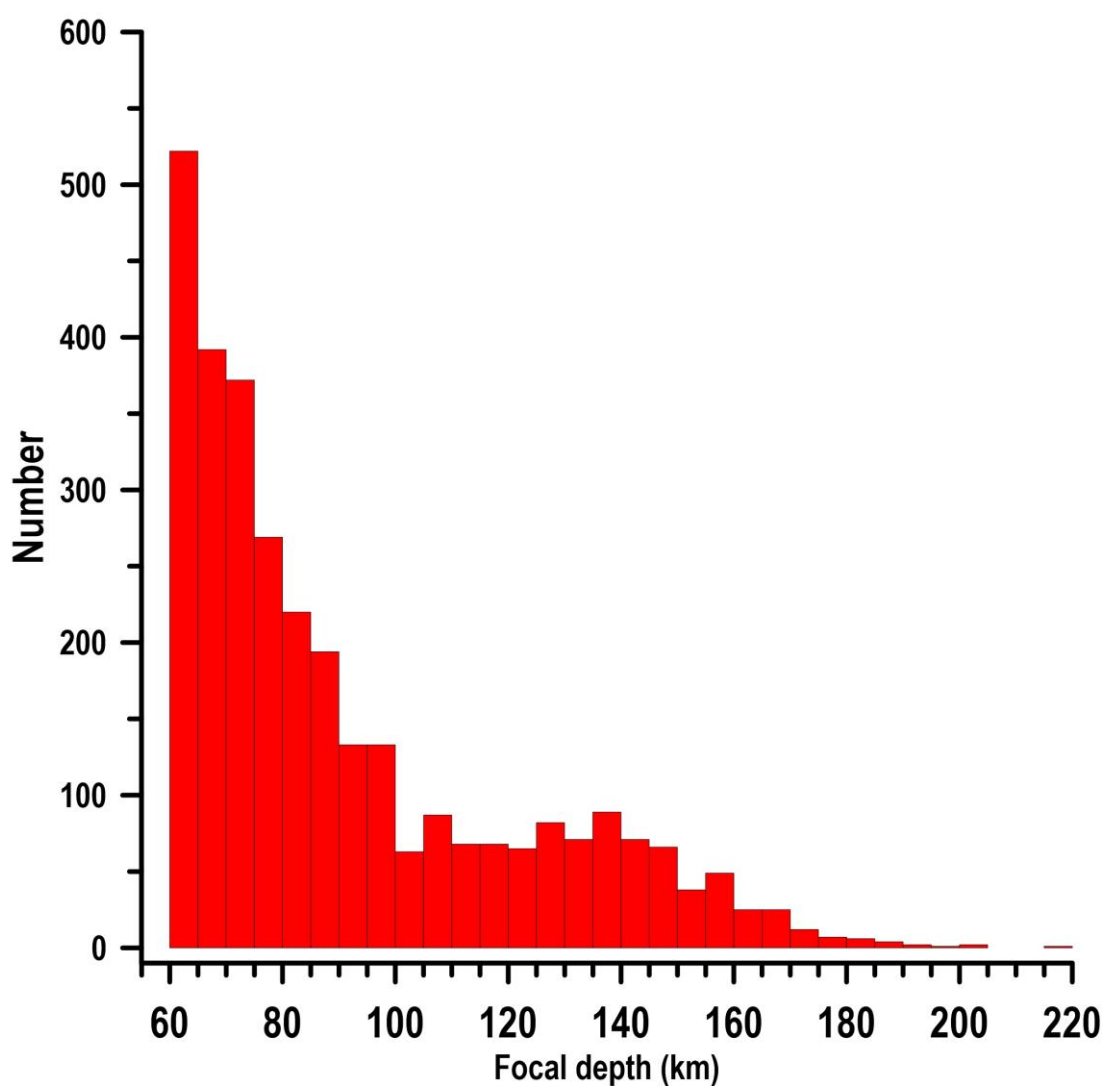


Στα σχήματα 40 και 41 παρουσιάζονται τα ιστογράμματα των τιμών των εστιακών βαθών των επιφανειακών και των σεισμών ενδιάμεσου βάθους του καταλόγου, αντίστοιχα. Παρατηρούμε ότι η πλειονότητα των επιφανειακών σεισμών εκδηλώνεται μέσα στα πρώτα 15km του φλοιού. Οι σεισμοί ενδιάμεσου βάθους εκδηλώνονται κατά κανόνα σε εστιακά βάθη 60-100km ενώ μια δευτερεύουσα συγκέντρωση παρατηρείται σε βάθη 125-150km.



Σχ. 40. Ιστογράμμο κατανομής των τιμών των εστιακών βαθών του συνόλου των επιφανειακών ( $h < 60\text{km}$ ) σεισμών του καταλόγου.





Σχ. 41. Ιστόγραμμα κατανομής των τιμών των εστιακών βαθών του συνόλου των σεισμών ενδιάμεσου βάθους ( $h \geq 60$  km) του καταλόγου.



## 6. ΣΥΝΟΨΙΣΗ

Το παρόν Παραδοτέο - Έκθεση του υπό εκπόνηση ερευνητικού έργου, αφορά αποκλειστικά την κατάρτιση καταλόγου σεισμών που εκδηλώθηκαν κατά το χρονικό διάστημα 550πΧ-2018 στην Ελλάδα και τις γύρω περιοχές (33°-43°B, 18°-30°A). Ο κατάλογος αυτός στηρίζεται σε δεδομένα και ήδη δημοσιευμένους καταλόγους που περιέχονται σε επιστημονικές εργασίες ή σε δελτία διεθνών και εθνικών σεισμολογικών κέντρων (ISC, NGDC, USGS, GCMT, NOA, AUTH, Parazachos and Comninakis 1982, Comninakis and Parazachos 1986, Pacheco and Sykes 1992, Παπαζάχος και Παπαζάχου 1989, 2003, Parazachos et al. 2000, Engdahl and Villaseñor 2002). Επιχειρείται ποιοτικός και ποσοτικός έλεγχος του καταλόγου με εξέταση του μεγέθους πληρότητας και της κατανομής του τόσο χρονικά όσο και χωρικά.

Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό του καταλόγου είναι η ομογένειά του όσο αφορά τη κλίμακα στην οποία είναι εκφρασμένα τα μεγέθη των σεισμών-μελών του. Ως κλίμακα αναφοράς υιοθετήθηκε η κλίμακα μεγέθους σεισμικής ροπής. Σε όσους σεισμούς υπήρχαν διαθέσιμα μεγέθη σεισμικής ροπής, αυτά υιοθετήθηκαν χωρίς κάποια περαιτέρω επεξεργασία. Σε διαφορετική περίπτωση χρησιμοποιήθηκαν ήδη δημοσιευμένες αξιόπιστες σχέσεις για την μετατροπή μεγεθών εκφρασμένων σε άλλες κλίμακες, σε ισοδύναμα μεγέθη σεισμικής ροπής.

Στο πλαίσιο του ποιοτικού και ποσοτικού ελέγχου του καταλόγου, έγινε ενδελεχής έλεγχος της πληρότητας των μεγεθών των σεισμών του, καθώς και της διακύμανσής της τόσο στο χρονικά όσο και χωρικά. Ο έλεγχος πραγματοποιήθηκε για τρία διαφορετικά set σεισμών: (α) για το σύνολο των σεισμών του καταλόγου, (β) για τους επιφανειακούς σεισμούς ( $h < 60\text{km}$ ) και (γ) για τους σεισμούς ενδιάμεσου βάθους ( $h \geq 60\text{km}$ ). Καθορίστηκαν επτά (7) περίοδοι πληρότητας το σύνολο των σεισμών του καταλόγου, ανεξαρτήτως εστιακού βάθους (πίνακας 2) και για το συνολικό διάστημα 60-2018. Πριν από το έτος 60 δεν υπήρχε δυνατότητα αξιόπιστου ελέγχου της πληρότητας λόγω έλλειψης επαρκούς αριθμού παρατηρήσεων (σεισμών). Τα παραπάνω αποτελέσματα επαληθεύθηκαν και με τους ρυθμούς σεισμικότητας για διάφορες τάξεις μεγεθών. Οι ίδιες περίοδοι καθορίστηκαν και για τους επιφανειακούς σεισμούς του καταλόγου (πίνακας 3). Όσο αφορά τους σεισμούς ενδιάμεσου βάθους του καταλόγου, το χρονικό διάστημα για το οποίο κατέστη δυνατός ο έλεγχος της πληρότητας των δεδομένων ήταν η περίοδος 1855-2018. Μέσα σ' αυτό το διάστημα καθορίστηκαν πέντε (5) περίοδοι πληρότητας (πίνακας 4).

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι εξαιτίας των περιορισμών που επιβάλλονται από τα όρια των σχέσεων μετατροπής μεγεθών κατά τον υπολογισμό του ομογενούς,





ισοδύναμου μεγέθους σεισμικής ροπής των σεισμών του καταλόγου, συμβαίνει να απουσιάζουν από αυτόν αρκετοί σεισμοί (επιφανειακοί και ενδιάμεσου βάθους) με χαμηλά μεγέθη, παρά το γεγονός ότι έχουν υπολογισμένες λύσεις στα δελτία των διεθνών σεισμολογικών κέντρων. Έτσι, ο τελικός κατάλογος περιλαμβάνει τις εστιακές παραμέτρους συνολικά 172.391 σεισμών που έγιναν μέσα στο προαναφερθέν χρονικό διάστημα (550πΧ-2018) στην περιοχή μελέτης (33°-43°B, 18°-30°A). Εξ αυτών, οι 169.107 είναι επιφανειακοί ( $h < 60\text{km}$ ) και οι υπόλοιποι 3.284 ενδιάμεσου βάθους ( $h \geq 60\text{km}$ ). Τα μεγέθη των επιφανειακών σεισμών του καταλόγου κυμαίνονται από 2.1 μέχρι 8.3 ενώ των σεισμών ενδιάμεσου βάθους από 2.1 μέχρι 7.7.

Τέλος, παρουσιάζονται χάρτες με τη γεωγραφική κατανομή των επικέντρων τόσο των επιφανειακών όσο και των σεισμών ενδιάμεσου βάθους του καταλόγου καθώς και τα αντίστοιχα ιστογράμματα συχνότητων των εστιακών βαθών των παραπάνω δύο κατηγοριών σεισμών (επιφανειακών και ενδιάμεσου βάθους).

Συνοψίζοντας, στο πλαίσιο του παρόντος ερευνητικού έργου και του συγκεκριμένου πακέτου εργασίας, παράχθηκε ένα ομογενές και αξιόπιστο σύνολο δεδομένων, το οποίο μπορεί να αποτελέσει χρήσιμο εργαλείο σε μελλοντικές εφαρμογές, όπως μελέτες σεισμικότητας, σεισμικής επικινδυνότητας κλπ. που αφορούν την ευρύτερη περιοχή του Αιγαίου.





## 7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Comninakis, P.E. and Papazachos, B.C. (1978). A catalogue of earthquakes in the Mediterranean and the surrounding area for the period 1901-1975. *Publ. Geophys. Lab. Univ. Thessaloniki*, **5**, 1-96.
- Comninakis, P.E. and Papazachos, B.C. (1986). A catalogue of earthquakes in Greece and surrounding area for the period 1901-1985. *Publ. Geophys. Lab. Univ. Thessaloniki*, **1**, 1-167.
- Engdahl, E. R., R. Van der Hilst, and R. Buland (1998). Global teleseismic earthquake relocation with improved travel times and procedures for depth determination, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, **88**, 722-743.
- Engdahl, E. and Villaseñor, A. (2002). Global seismicity: 1900-1999. *Int. Handbook of Earthquake and Engineering Seismology*, **81a**, 665-690.
- Galanopoulos, A.G. (1953a). Katalog der Erdbeben in Griechenland fur die Zeit von 1879 bis 1892. *Ann. Geol. Pays Hellen.*, **5**, 144-229.
- Galanopoulos, A.G. (1953b). On the intermediate earthquakes in Greece. *Bull. Seism. Soc. Am.*, **43**, 159-178.
- Galanopoulos, A.G. (1960). A catalogue of shocks with  $I_0 \geq VI$  or  $M \geq 5$  for the years 1801-1958. Athens, 1-119.
- Galanopoulos, A.G. (1961). A catalogue of shocks with  $I_0 \geq VI$  for the years prior to 1800. Athens, 1-19.
- Galanopoulos, G.A., (1963). On mapping of Seismic Activity in Greece. *Annali di Geofisica*, **XVI/1**.
- GCMT (Global Centroid Moment Tensor Catalogue Search). (2019). <http://www.globalcmt.org/CMTsearch.html>
- Hanks, T.C. and Kanamori, H. (1979). A moment magnitude scale. *J. Geophys. Res.*, **84**, 2348-2350.
- Hanks, T.C. and Boore, D.M. (1984). Moment-magnitude relations in theory and practice. *J. Geophys. Res.*, **89**, 6229-6235.
- Heaton, T., Tajima, F. and Mori, A. (1986). Estimating ground motions using recorded accelerograms, *Surv. Geophys.* **8**, 25-83.
- ISC (International Seismological Centre) (2019). On-line Bulletin, Internat. Seis. Cent., Thatcham, United Kingdom, <http://www.isc.ac.uk/iscbulletin/search/bulletin/>.
- Johnston, A.C. (1996). Seismic moment assessment of earthquakes in stable continental regions - I. Instrumental seismicity. *Geophys. J. Int.*, **124**, 381-414.
- Kanamori, H. (1977). The energy release in great earthquakes. *J. Geophys. Res.*, **82**, 2981-2987.
- Karnik, V. (1996). Seismicity of Europe and the Mediterranean. In: *Klima, K., eds., Academy of Sciences of the Czech Republic, Geophysical Institute*, 28pp plus earthquake catalog.
- LePichon, X. and Angelier, J. (1979). The Hellenic arc and trench system: a key to the neotectonic evolution of the eastern Mediterranean area. *Tectonophysics*, **60**, 1-42.





- Makropoulos, K.C. (1978). The statistics of large earthquake magnitude and an evaluation of Greek seismicity. *Ph.D. thesis, Univ. of Edinburgh*, pp. 193.
- Makropoulos, K.C., Drakopoulos, J.K. and Latoussakis, J.B. (1989). A revised earthquake catalogue for Greece since 1900. *Geophys. J. Int.*, **98**, 391-394.
- Makropoulos, K., Kaviris, G. and Kouskouna, V. (2012). An updated and extended earthquake catalogue for Greece and adjacent areas since 1900, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, **12**, 1425–1430.
- McKenzie, D.P. (1970). The plate tectonics of the Mediterranean region. *Nature*, **226**, 239-243.
- McKenzie, D.P. (1972). Active tectonics of the Mediterranean region. *J. R. astr. Soc.*, **30**, 109-185.
- NEIC (National Earthquake Information Center) (2019). Earthquake Hazards Program, URL: <http://neic.usgs.gov/neis/epic/index.html>
- Pacheco, J. and Sykes, L.R. (1992). Seismic moment catalog of large shallow earthquakes, 1900 to 1989. *Bull. Seism. Soc. Am.*, **82**, 1306-1349.
- Papazachos, B.C. and Comninakis, P.E. (1970). Geophysical features of the Greek Island Arc and Eastern Mediterranean Ridge. *Com. Ren. des Seances de la Conference Reunie a Madrid, 1969*, **16**, 74-75.
- Papazachos, B.C. and Comninakis, P.E. (1982). A catalogue of earthquakes in Greece and the surrounding area for the period 1901-1980. *Publ. Geophys. Lab. Univ. Thessaloniki*, **5**, 1-146.
- Παπαζάχος Β.Κ. και Παπαζάχου Κ. (1989). Οι Σεισμοί της Ελλάδας. Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη, σελ. 356.
- Papazachos, B.C., Kiratzi, A.A. and Karakostas, B.G. (1997). Toward a homogeneous moment-magnitude determination for earthquakes in Greece and surrounding area, *Bull. Seism. Soc. Am.* **87**, 474–483.
- Papazachos, B.C., Papadimitriou, E.E., Kiratzi, A.A., Papazachos, C.B. and Louvari, E.K. (1998). Fault plane solutions in the Aegean sea and the surrounding area and their tectonic implication. *Boll. Geof. Teorica Applicata*, **39**, 199-218.
- Papazachos, B.C., Comninakis, P.E., Karakaisis, G.F., Karacostas, B.G., Papaioannou, Ch.A., Papazachos, C.B. and Scordilis, E.M. (2000). A catalogue of earthquakes in Greece and surrounding area for the period 550BC-1999. *Publ. Geophys. Lab. Univ. Thessaloniki*, **1**, 338 pp. (also . In: Lee WHK, Kanamori H, Jennings PC, Kisslinger C (eds) International Handbook of Earthquake and Engineering Seismology IASPEI, Part B, CD #3, Academic Press, 2003).
- Papazachos, B.C., Karakostas, V.G., Kiratzi, A.A., Margaris, B.N., Papazachos, C.B. and Scordilis, E.M. (2002). Uncertainties in the estimation of earthquake magnitudes in Greece. *J. Seismol.*, **6**, 557–570.
- Παπαζάχος Β.Κ. και Παπαζάχου Κ. (2003). Οι Σεισμοί της Ελλάδας, Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη, σελ. 317.
- Papazachos, C.B. and Nolet, G. (1997). P and S deep velocity structure of the Hellenic area obtained by robust nonlinear inversion of travel times, *J. Geophys. Res.*, **102**, 8349-8367.





- Scordilis, E.M. (2005). Globally valid relations converting  $M_s$ ,  $m_b$  and  $M_{JMA}$  to  $M_w$ . *NATO Advanced Research Workshop on Earthquake Monitoring and Seismic Hazard Mitigation in Balkan Countries, 11-17 September 2005, the Rila Mountains-Resort Village Borovetz, Bulgaria*, Abstracts book, 158-161
- Scordilis, E.M. (2006). Empirical global relations converting  $M_s$  and  $m_b$  to moment magnitude. *J. Seismol.*, **10(2)**, 225-236.
- Shedlock, K.M. (1999). Seismic hazard map of North and Central America and the Caribbean. *Ann. Geofis.*, **42**, 977-997.
- Tsampas, A.D., Scordilis, E.M., Papazachos, C.B. and Karakaisis, G.F. (2013). Globally Valid Relations Converting Magnitudes of Intermediate and Deep-Focus Earthquakes to  $M_w$ , *Bull. Geol. Soc. Greece*, **47**, 1316-1325.
- Tsampas, A.D., Scordilis, E.M., Papazachos, C.B. and Karakaisis, G.F. (2016). Global Magnitude Scaling Relations for Intermediate-Depth & Deep-Focus Earthquakes, *Bull. Seism. Soc. Am.*, **106**, 2, 418-434.
- Wiemer, S. (2001). A software package to analyze seismicity: ZMAP. *Seism Res Let* **72**, 374-383.
- Uhrhammer, R.A., Loper, S.J. and Romanowicz, B. (1996). Determination of local magnitude using BDSN broadband records. *Bull. Seism. Soc. Am.*, **86**, 1314-1330.
- Utsu, T., (2002). Relationships between magnitude scales. In: *Int. Handbook of Earthquake and Engineering Seismology*, **81a**, 733-746.





## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Παραδοτέο της συγκεκριμένης δράσης αποτελεί ο ομογενής κατάλογος όλων των γνωστών σεισμών που εκδηλώθηκαν στην ευρύτερη περιοχή του Αιγαίου (33°-43°B, 18°-30°A) κατά το χρονικό διάστημα 550πΧ-2018 και προέκυψε από συνδυασμό δεδομένων εστιακών παραμέτρων που διατίθενται από εθνικά και διεθνή σεισμολογικά κέντρα (συνολικά 172.391 σεισμοί).

Στις δύο πρώτες στήλες αναφέρεται το έτος και ο χρόνος γένεσης των σεισμών (μήνας, ημέρα, ώρα, λεπτά, δευτερόλεπτα). Στις δύο επόμενες στήλες δίνονται οι γεωγραφικές συντεταγμένες του επικέντρου (Lat, βόρειο γεωγραφικό πλάτος, Lon, ανατολικό γεωγραφικό μήκος). Ακολουθούν, στην 5<sup>η</sup> και 6<sup>η</sup> στήλη, το εστιακό βάθος (Dep, σε km) και το μέγεθος του σεισμού (**M**, αυθεντικό μέγεθος σεισμικής ροπής είτε ισοδύναμο προς αυτό). Στην 7<sup>η</sup> στήλη (exr) σημειώνεται η ένδειξη “exr” στις περιπτώσεις που το συγκεκριμένο γεγονός (σεισμός) πιθανολογείται (η θεωρείται) αποτέλεσμα τεχνητής έκρηξης (π.χ. μεταλλευτική δραστηριότητα).

