

# ***Σεισμική επικινδυνότητα του Ελληνικού χώρου: Προβλήματα και προκλήσεις για την αναθεώρηση των σεισμικών δράσεων του ΕΑΚ***

***Παπαζάχος Κ.<sup>1</sup>, Μάργαρης Β.<sup>2</sup>,  
Παπαϊωάννου Χ.<sup>2</sup>, Κερκένου Α.<sup>1</sup>***

***<sup>1</sup> Εργ. Γεωφυσικής ΑΠΘ, <sup>2</sup> ΙΤΣΑΚ-ΟΑΣΠ  
Email: [κραραza@geo.auth.gr](mailto:κραραza@geo.auth.gr)***



# Σεισμικές κινήσεις στον ΕΑΚ: Μία ιστορική αναδρομή



Βασιλικό Διάταγμα 19/26.2.1959, ΦΕΚ 36<sup>Α</sup>  
Χαρακτηρισμού Σεισμικότητας Οικισμών της Ελλάδας

ΠΙΝΑΚΣ ΣΕΙΣΜΙΚΟΥ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΟΥ Ε			
Επιλογή της έντασης σεισμικού κέντρου = Τεταμένη κατάσταση			
Επιλογή της έντασης σεισμικού κέντρου = Τεταμένη κατάσταση			
Επιλογή	Υπερήχητος μετακίνηση = κίνηση	Υπερήχητος μετακίνηση με σεισμικό κέντρο 1/2 - 1/3 μίλι	Σεισμικό κέντρο Υπερήχητος μετακίνηση
I		$E \leq 0,01$	$E < 0,01$
II		$E = 0,04$	$E \leq 0,01$
III		$E = 0,08$	$E = 0,04$
IV		$E = 0,12$	$E = 0,08$
V		$E = 0,16$	$E = 0,12$

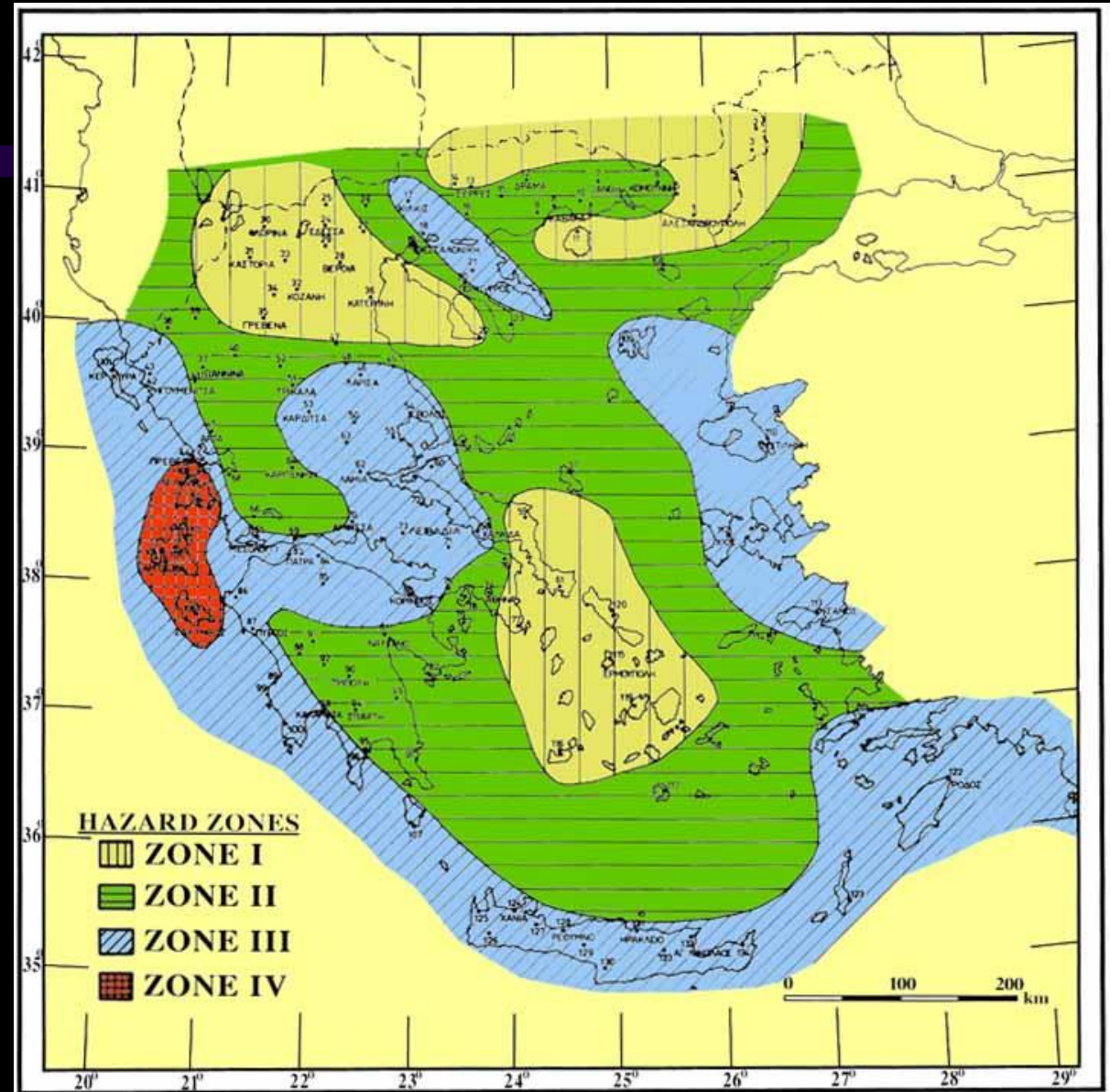
# Σεισμικές κινήσεις στον ΕΑΚ: Μία ιστορική αναδρομή

## Σεισμοί

- 1978 (Θεσσαλονίκη)
- 1980 (Μαγνησία)
- 1981 (Αλκυονίδες)

## Ζώνες

- 0.12g (I)
- 0.16g (II)
- 0.24g (III)
- 0.36g (IV)

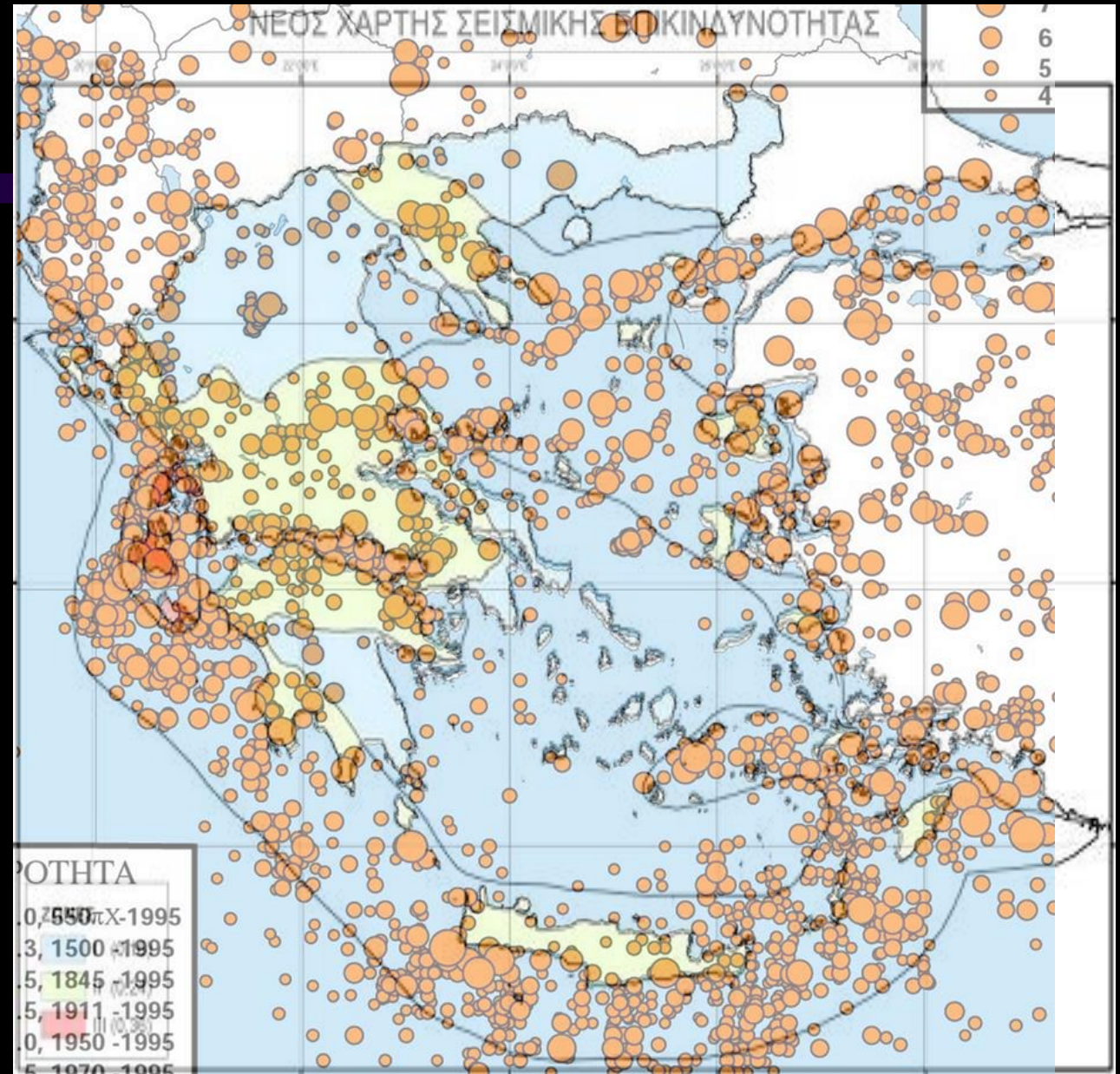


# Σεισμικές κινήσεις στον ΕΑΚ

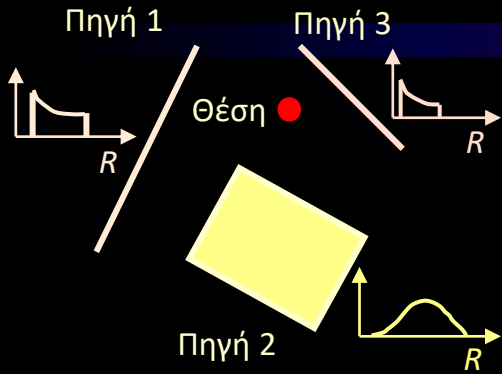
## ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΠΡΟΓΝΩΣΗ

Ζώνες

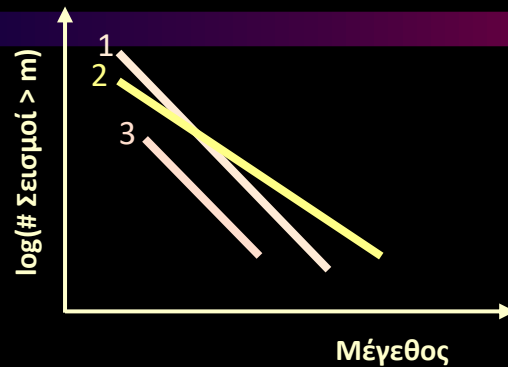
- 0.16g (I)
- 0.24g (II)
- 0.36g (III)



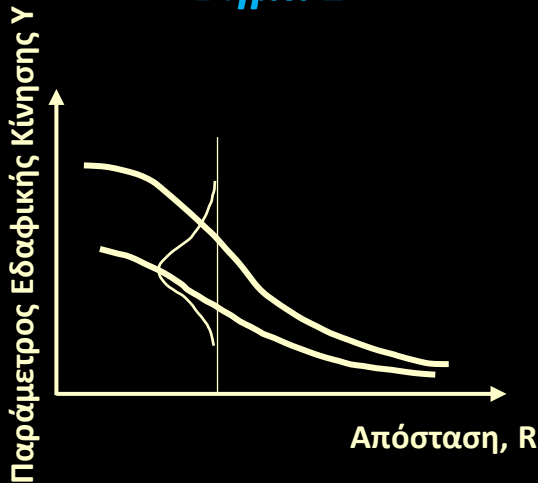
# Σεισμική Επικινδυνότητα



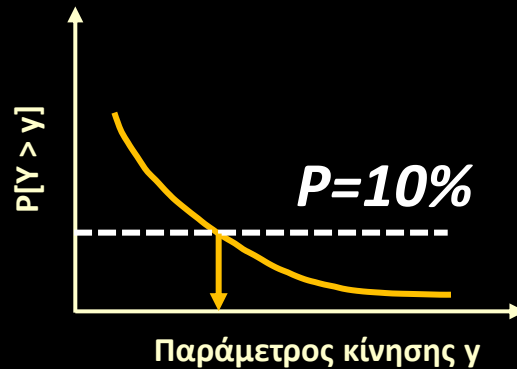
**Βήμα 1**



**Βήμα 2**



**Βήμα 3**



**Βήμα 4**

Καμπύλη Σεισμικής  
Επικινδυνότητας

$$P(Y > y, t) = 1 - e^{-t/T(Y>y)}$$

**P:** Πιθανότητα η παράμετρος  $Y$  να ξεπεράσει ένα επίπεδο ( $y$ ) σε μία περίοδο  $t$

$$P=10\% \text{ \& } t=50yr$$

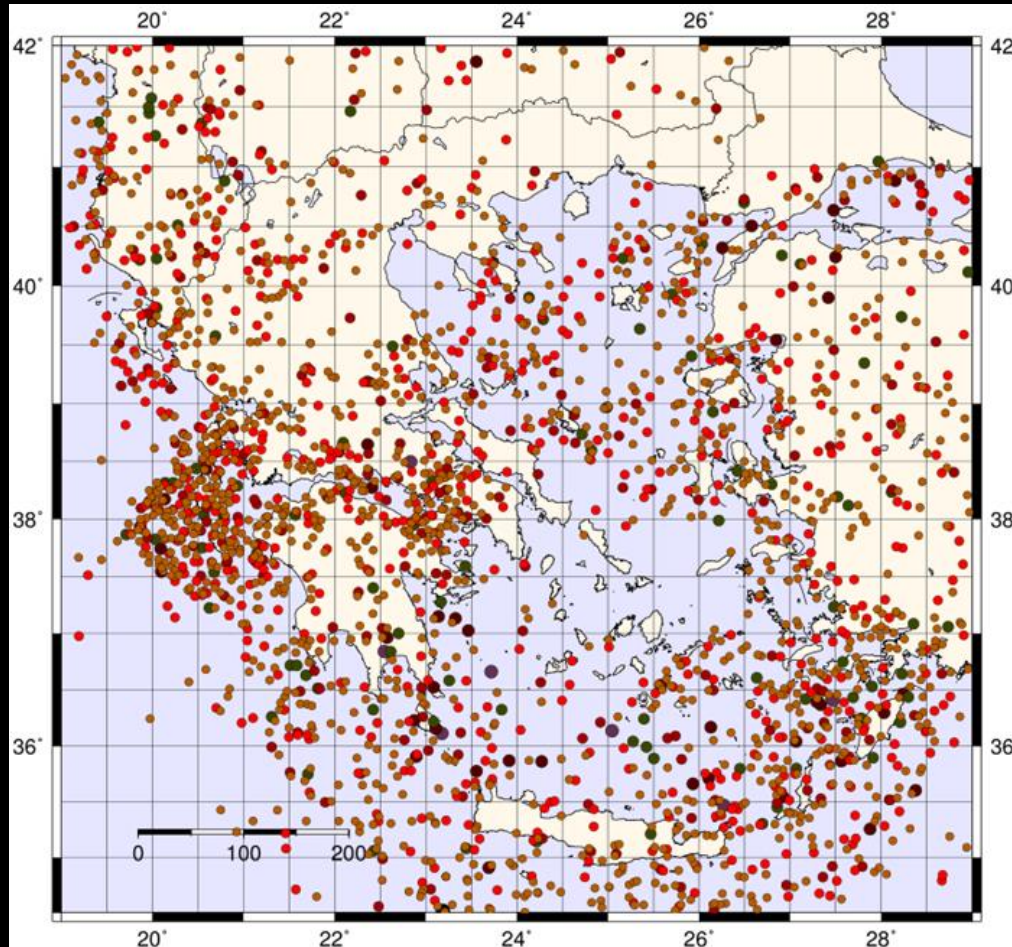
$$P = 1 - e^{-50/T} = 10\%$$

$$T = 476 yr$$

# Σεισμικές κινήσεις στον ΕΑΚ

Πως να αντιληφθούμε την Σεισμική Επικινδυνότητα

- Εναλλακτικά εργαλεία



*Τυχαίοι  
Κατάλογοι*



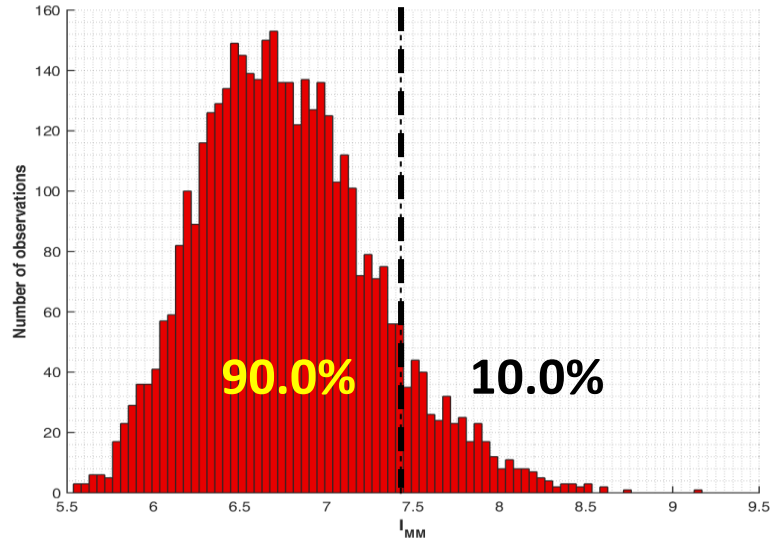








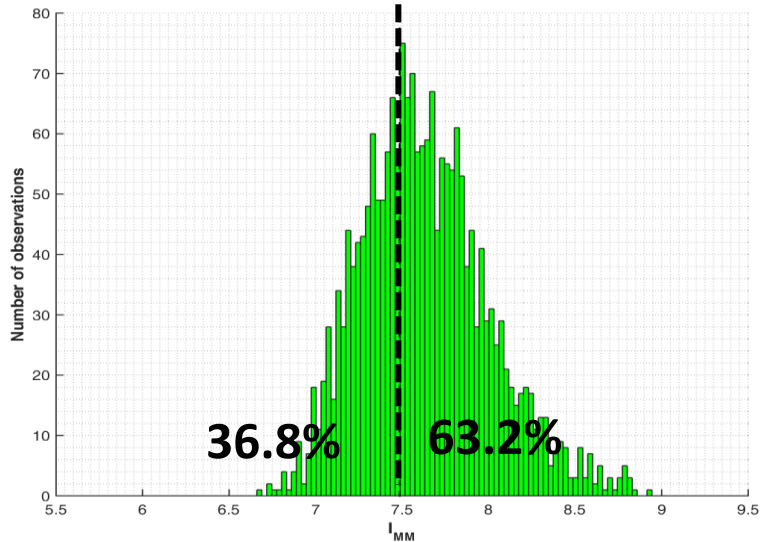
# Συνθετικό Κατάλογοι



t=50 years

$$T = 476 \text{ yr}, t = 50 \text{ yr}$$

$$P = 1 - e^{-50/476} \approx 10\%$$



t=476 years

$$T = 476 \text{ yr}, t = 476 \text{ yr}$$

$$P = 1 - e^{-476/476} \approx 63.2\%$$

# Σεισμικές κινήσεις στον ΕΑΚ: Γιατί να αλλάξουν?

- Ιδιαίτερα σημαντικές εξελίξεις στην επιστημονική γνώση αλλά και τη μεθοδολογική προσέγγιση υπολογισμού της Probabilistic Seismic Hazard Assessment (PSHA).
- Σημαντική νέα γνώση και νέα δεδομένα που αφορούν τον Ελληνικό χώρο

# Σεισμικές κινήσεις στον ΕΑΚ: Γιατί να αλλάξουν?

Σύγχρονες εξελίξεις στον υπολογισμό της PSHA

- 1) Καλύτερη κατανόηση της επίδρασης της αβεβαιότητας σε όλα τα στάδια της PSHA

Επιστημική αβεβαιότητα (Epistemic uncertainty):

- Ατέλειες επιστημονικών μοντέλων λόγω **ελλιπών δεδομένων** και περιορισμένης γνώσης/αντίληψης της φυσικής πραγματικότητας
- Η **έρευνα** που γίνεται και η **νέα γνώση** που παράγεται, αλλά και τα **νέα δεδομένα** μπορούν να μειώσουν την επιστημική αβεβαιότητα

# Σεισμικές κινήσεις στον ΕΑΚ: Γιατί να αλλάξουν?

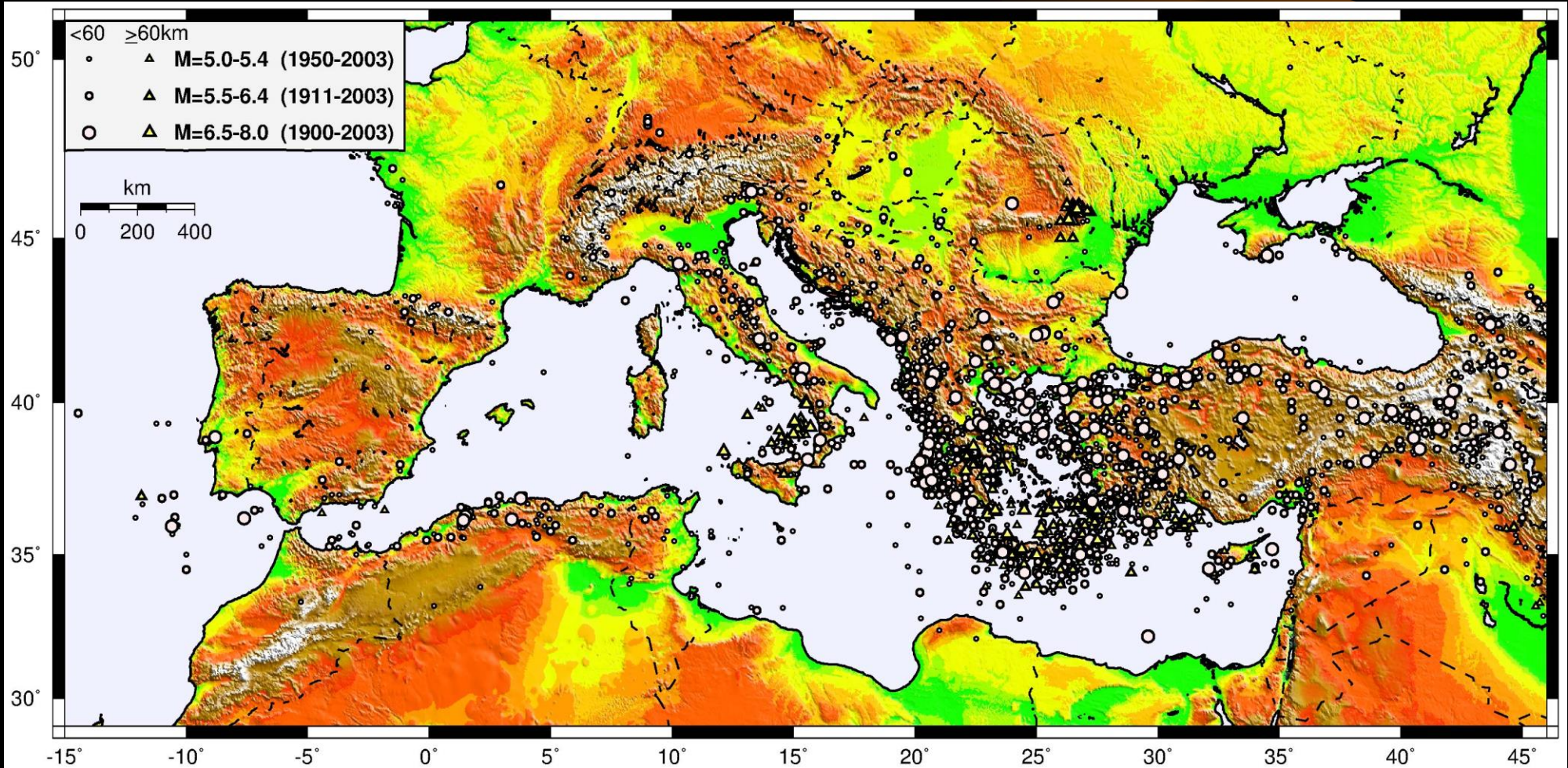
Σύγχρονες εξελίξεις στον υπολογισμό της PSHA



## Κυβευτική ή στοχαστική αβεβαιότητα (Aleatory uncertainty):

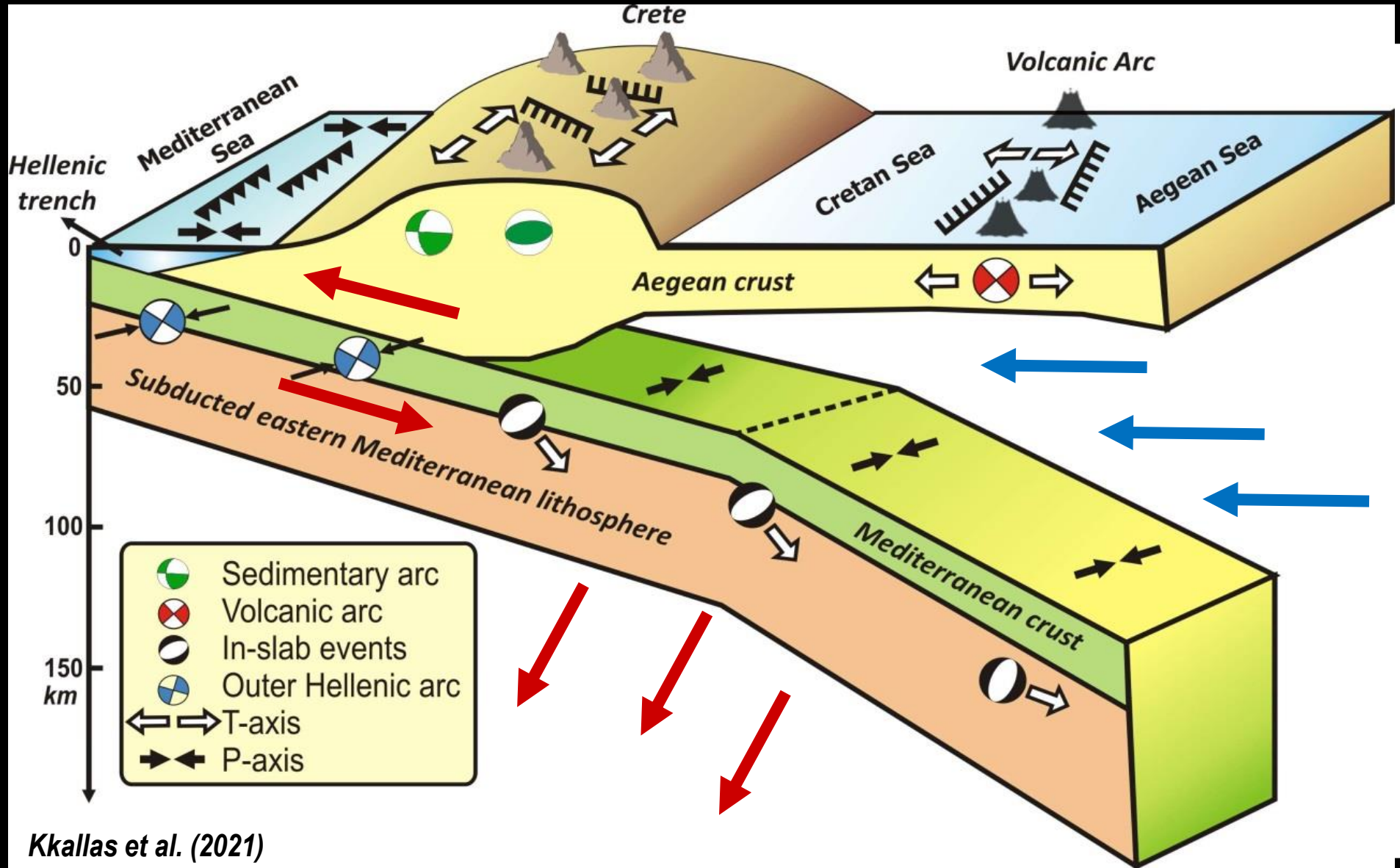
- Φυσικές διαδικασίες που δεν μπορούν να προσδιοριστούν με λεπτομέρεια, δηλαδή που δεν μπορούν να ποσοτικοποιηθούν πριν συμβεί ένας σεισμός
- Ακόμη και να εξαλειφόταν τελείως η επιστημική αβεβαιότητα, η στοχαστική αβεβαιότητα θα εξακολουθούσε να υπάρχει, και φυσικά θα επηρέαζε τα αποτελέσματα.

# Σεισμικότητα Ελληνικού χώρου



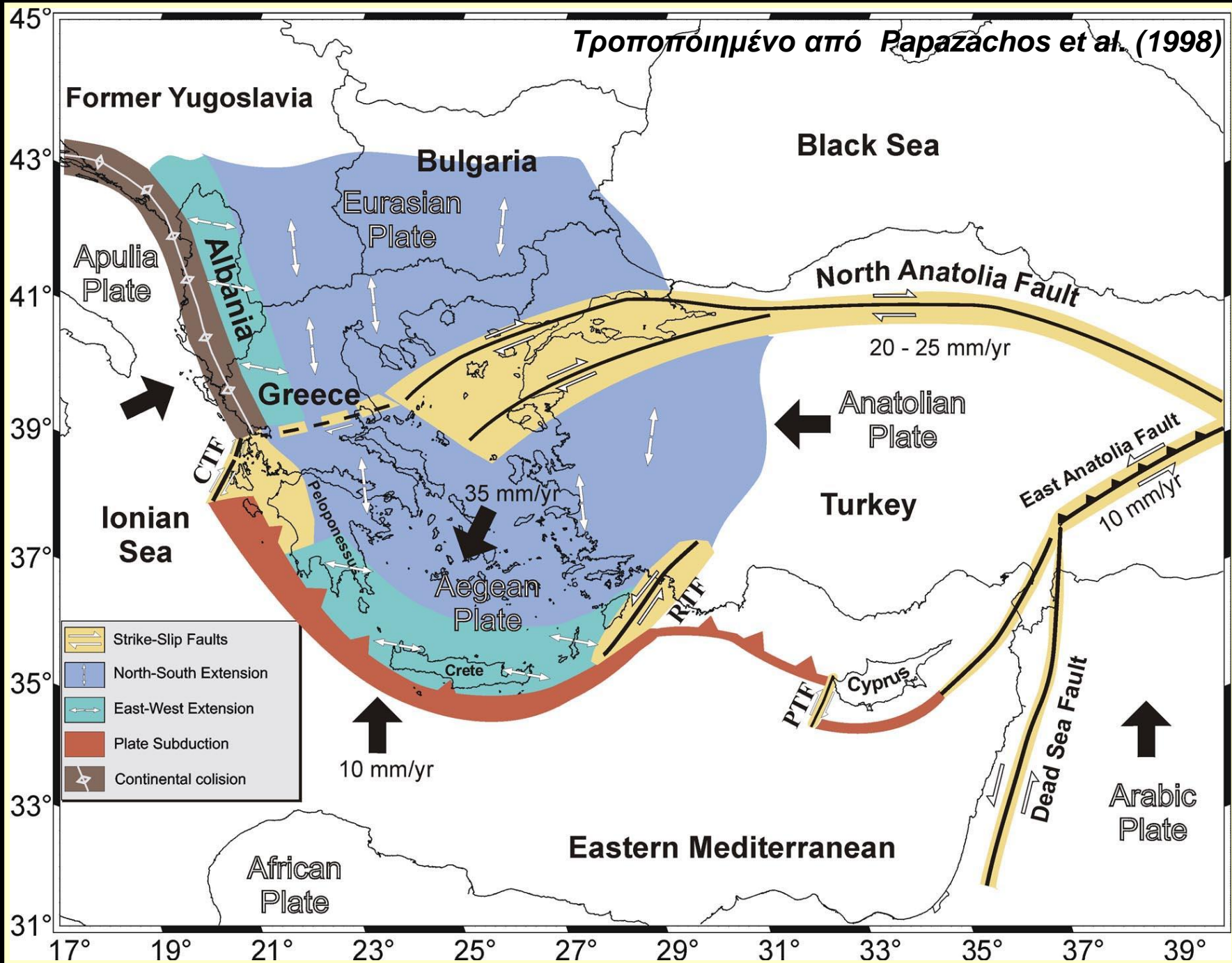
*Papazachos et al. (2006)*

# Σεισμικότητα Ελληνικού χώρου

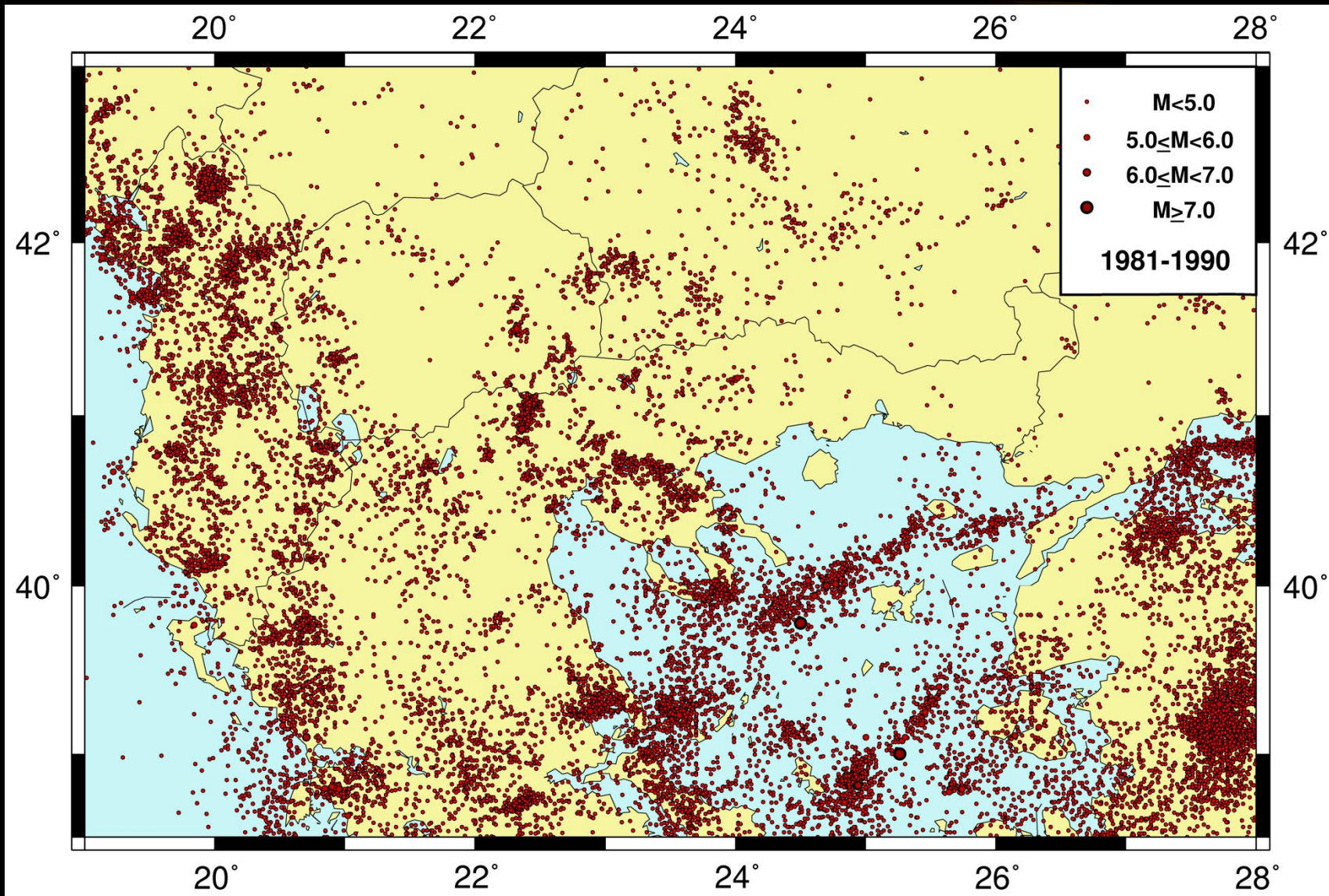




Τροποποιημένο από Παπαζάχος et al. (1998)



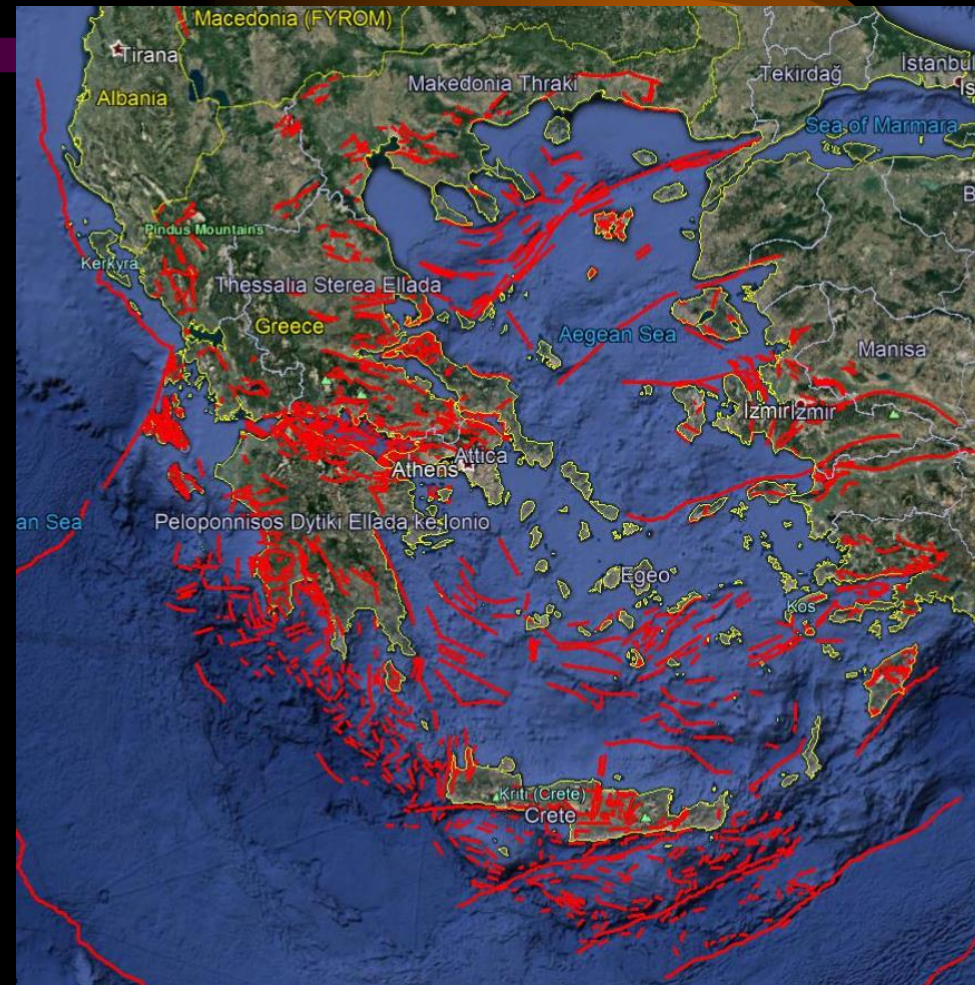
# Χωρική κατανομή σεισμικότητας: Μία δύσκολη υπόθεση...



# Σεισμοί και ρήγματα



Caputo et al. (2012) [practically adopted by ESHM20]

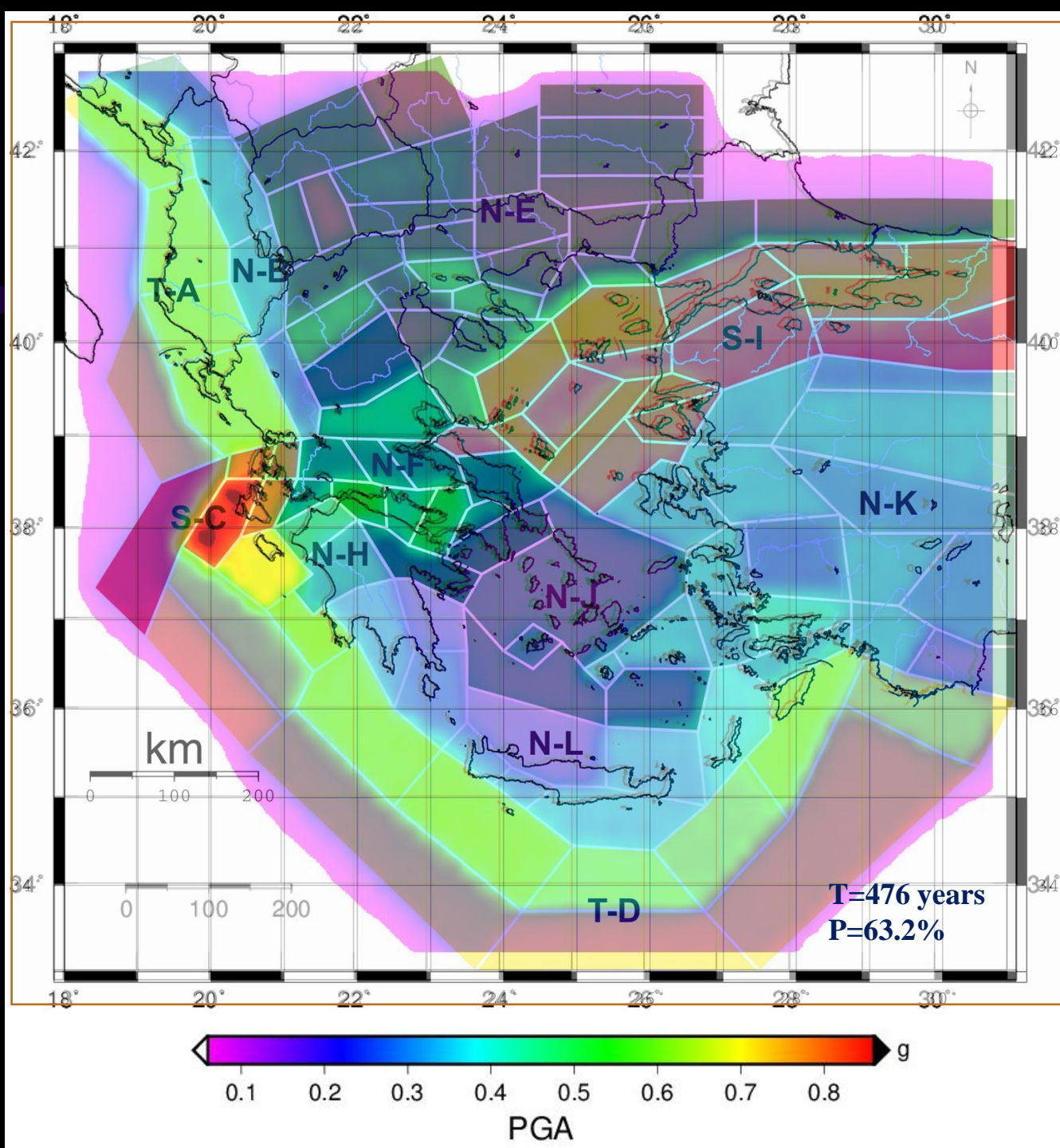


Ganas et al. (2013)

Kerkenou (2019)

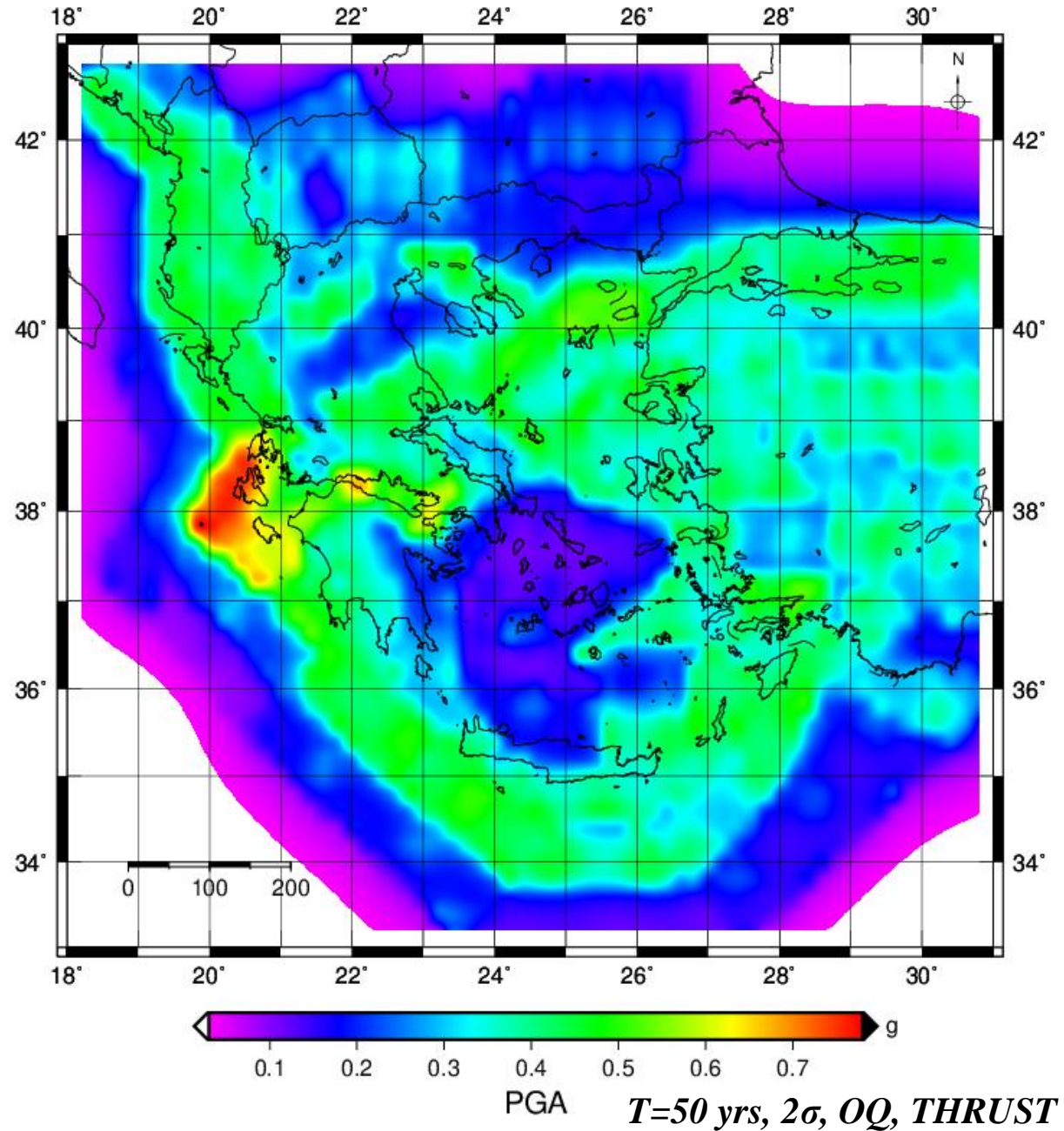
Διαχείριση  
επιστημικής  
αβεβαιότητας:  
Σεισμικές ζώνες

Vamvakaris et al. (2016)



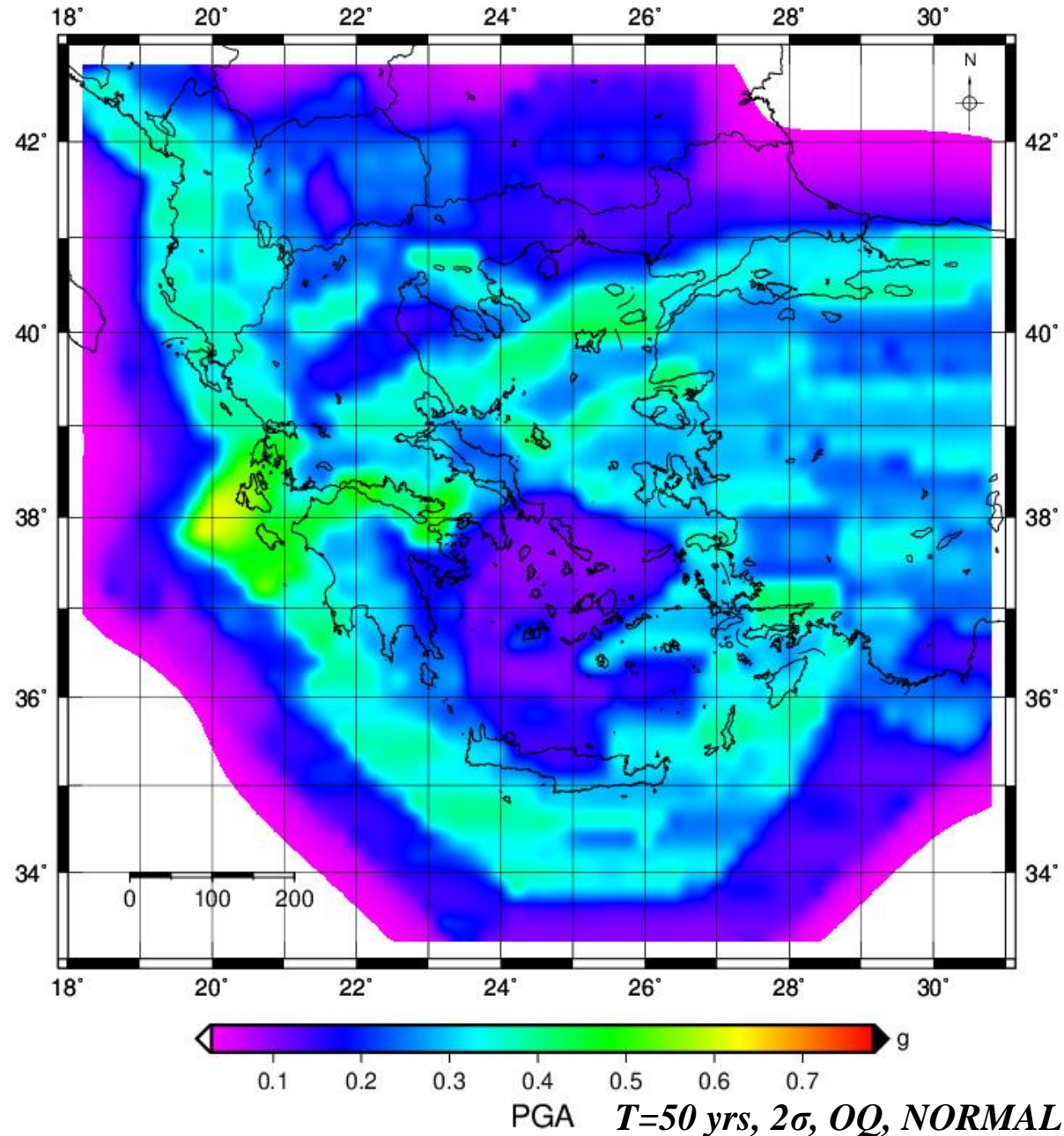
# Σεισμικές κινήσεις στον ΕΑΚ

Σεισμικές ζώνες  
& τεκτονική



# Σεισμικές κινήσεις στον ΕΑΚ

Σεισμικές ζώνες  
& τεκτονική



# Σεισμικές κινήσεις στον ΕΑΚ

Παράδειγμα επιστημικής & στοχαστικής  
αβεβαιότητας:

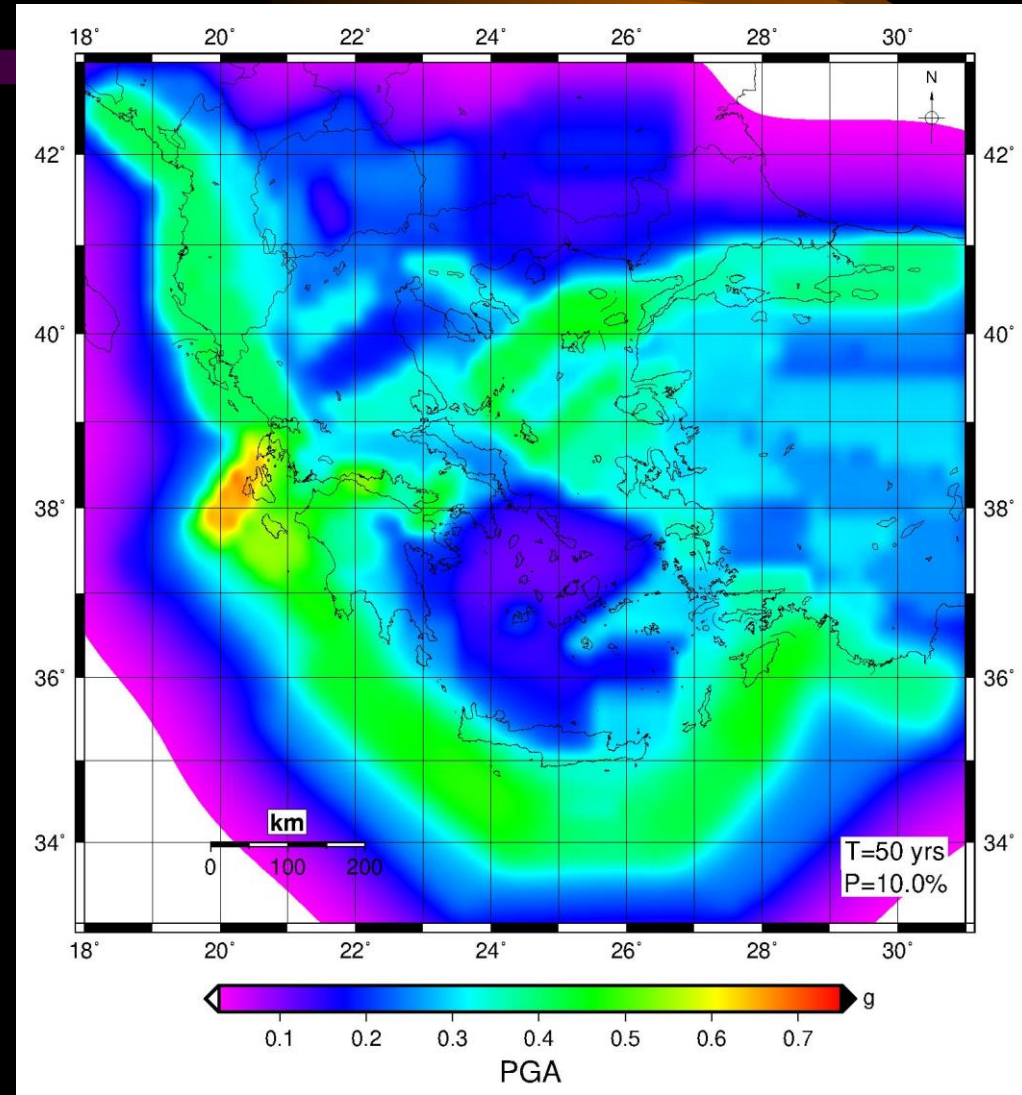
Σχέσεις απόσβεσης

*Chiou & Youngs (2014)*

*Campbell & Bozorgnia (2014)*

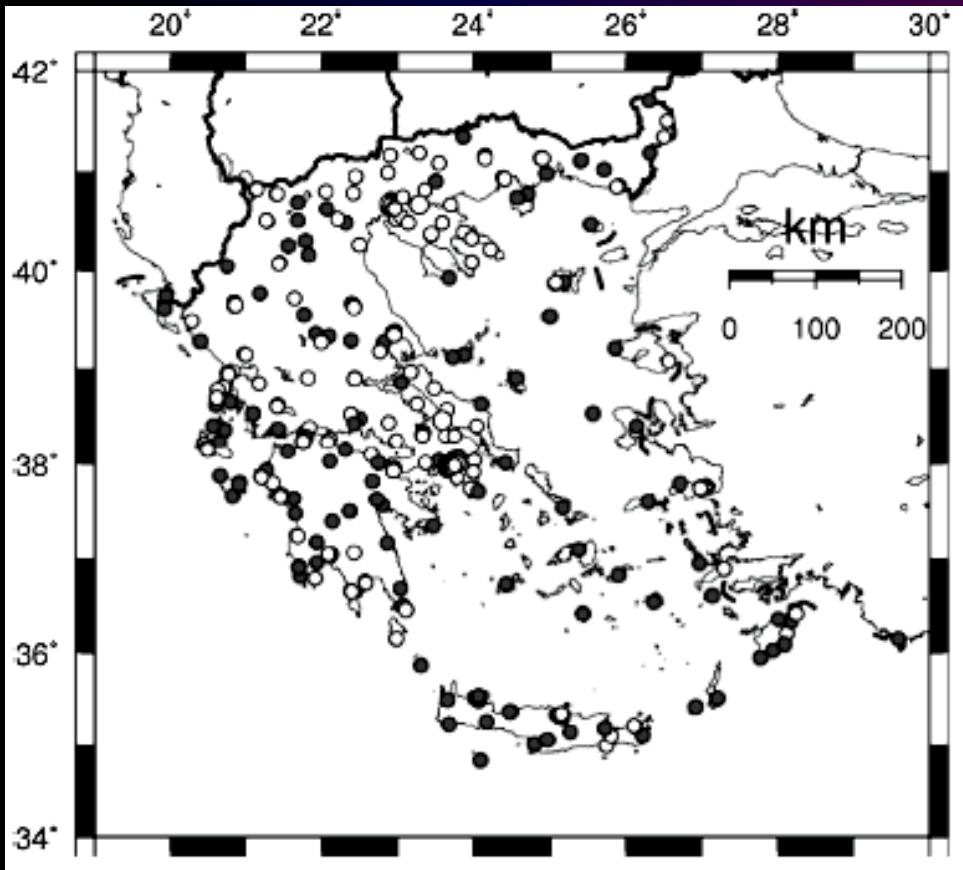
*Boore et al. (2014)*

*Abrahamson et al. (2014)*

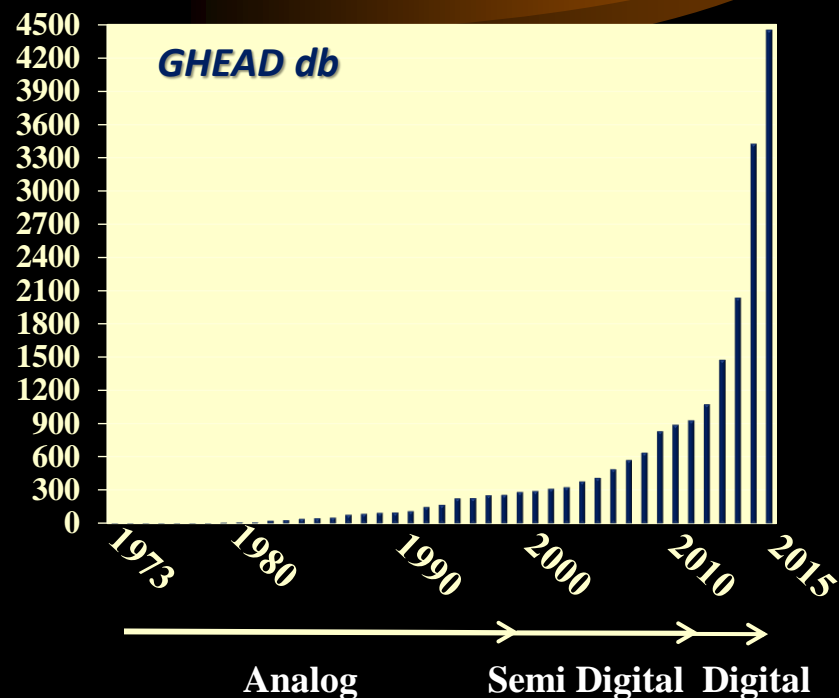


# Σεισμικές κινήσεις στον ΕΑΚ

Νέα δεδομένα για τον Ελληνικό χώρο



Δίκτυο ΙΤΣΑΚ - ΓΕΙΝ



Theodulidis et al. (2004)



# Σεισμικές κινήσεις στον ΕΑΚ

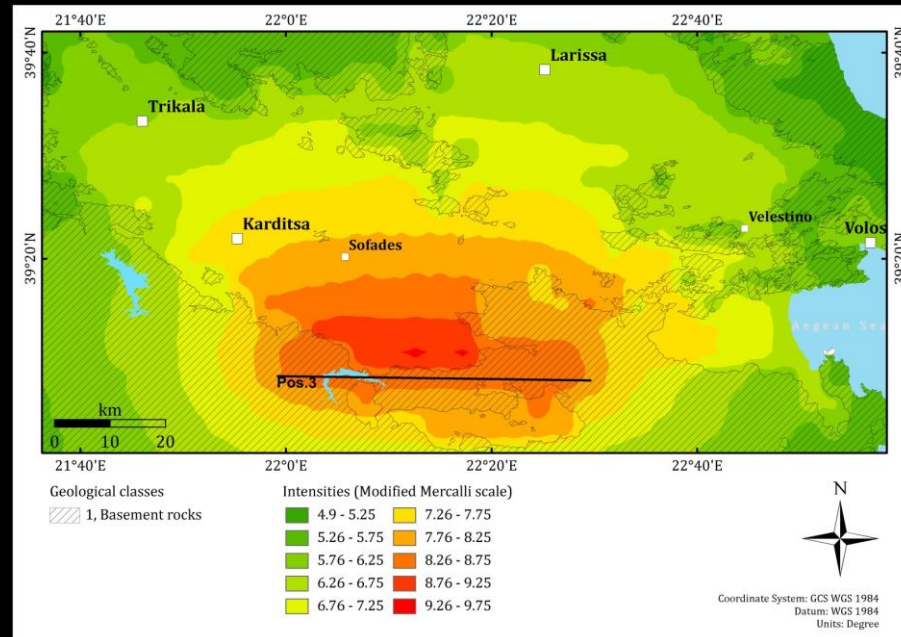
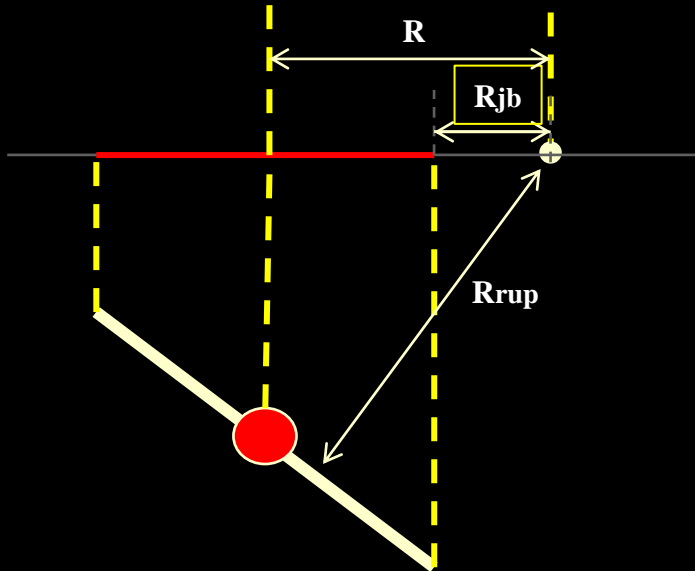
Νέα γνώση για τον Ελληνικό χώρο

$$\log Y = c_0 + c_1 M + c_2 \log(R + c_4) + c_3 F + c_5 S + \varepsilon \sigma_{\log Y}$$

Skarlatoudis et al. (2003)  
Chousianitis et al. (2018)

$$\ln Y = F_E(\mathbf{M}, mech) + F_{P,B}(R_{JB}, \mathbf{M}) + F_{S,B}(V_{S30}, R_{JB}, \mathbf{M}) + \varepsilon_n \sigma(\mathbf{M}, R_{JB}, V_{S30})$$

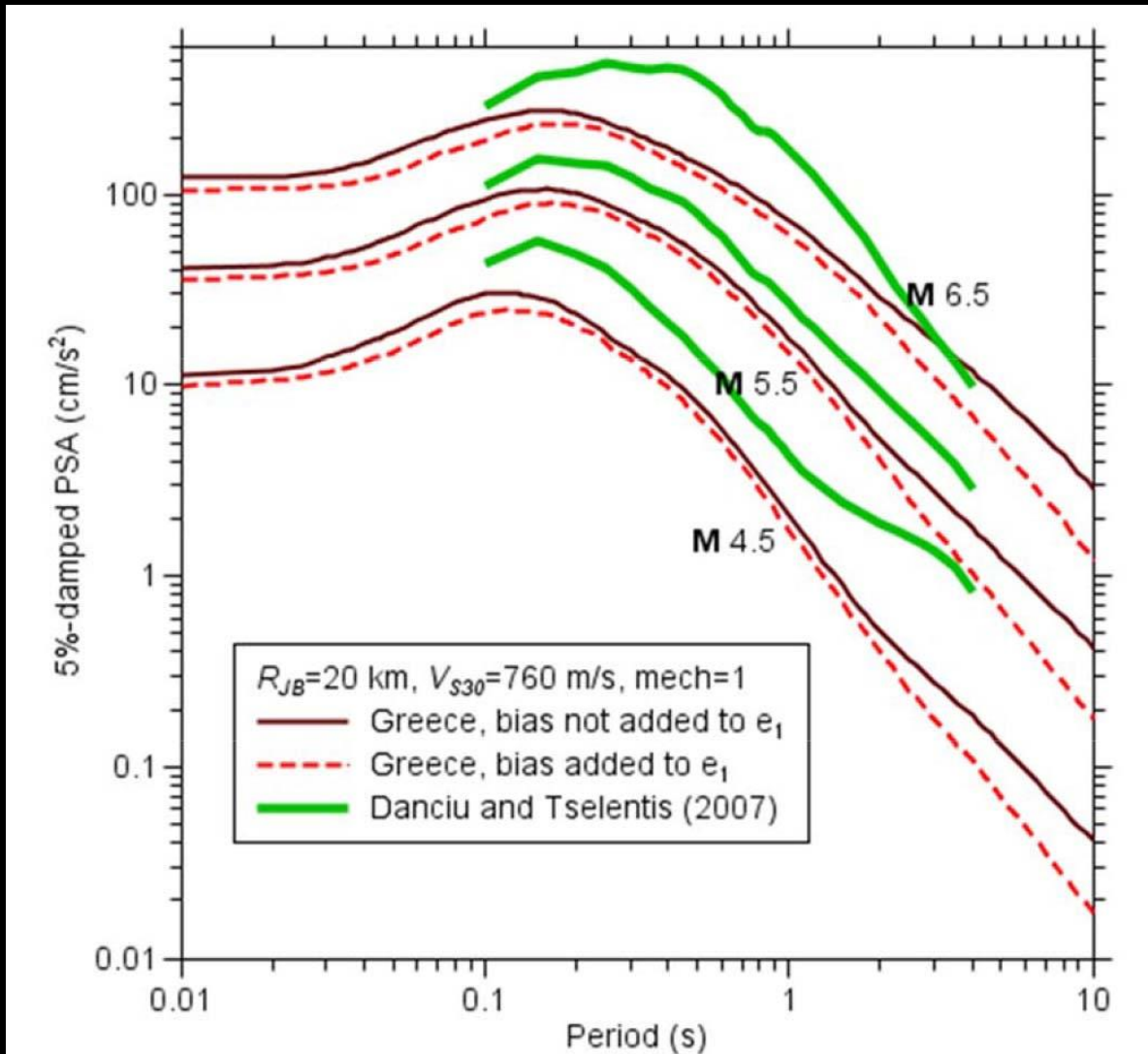
Boore et al. (2021)



Papazachos  
et al. (2016)

# Σεισμικές κινήσεις στον ΕΑΚ

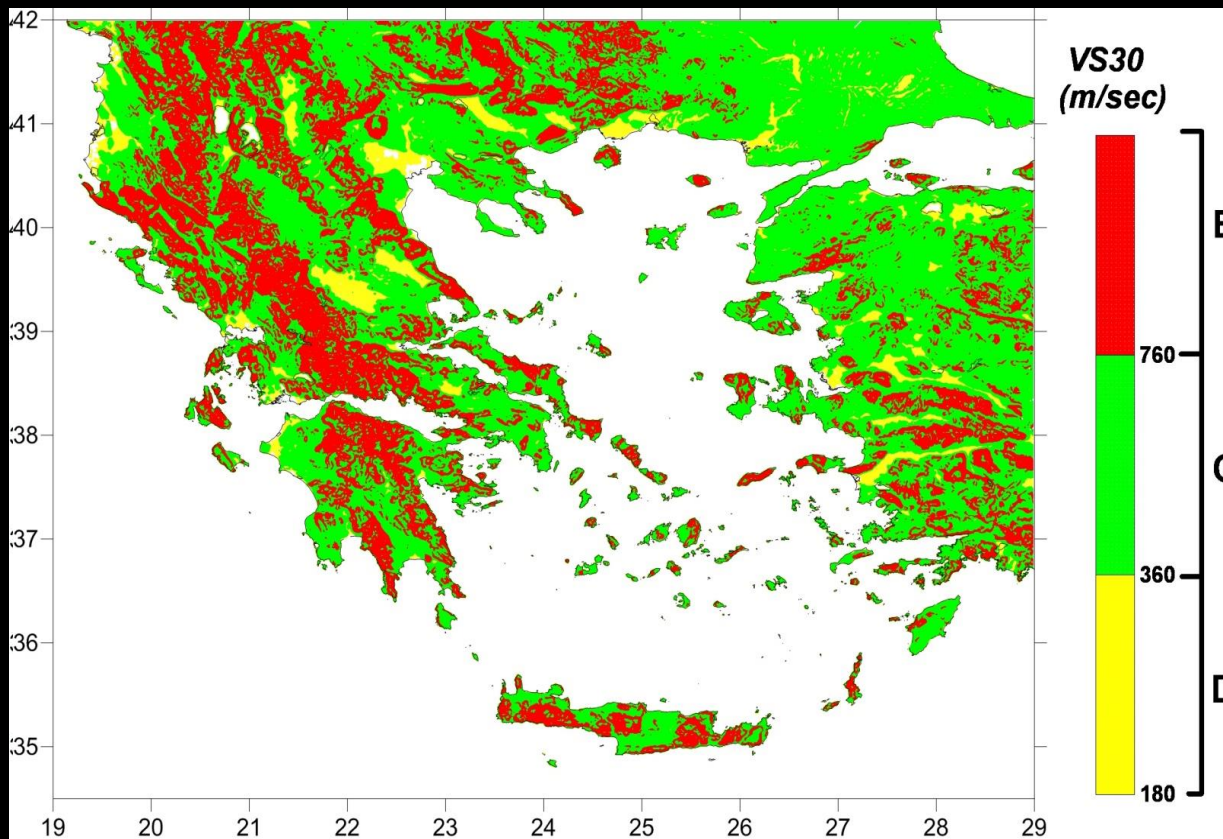
Νέα γνώση για τον Ελληνικό χώρο



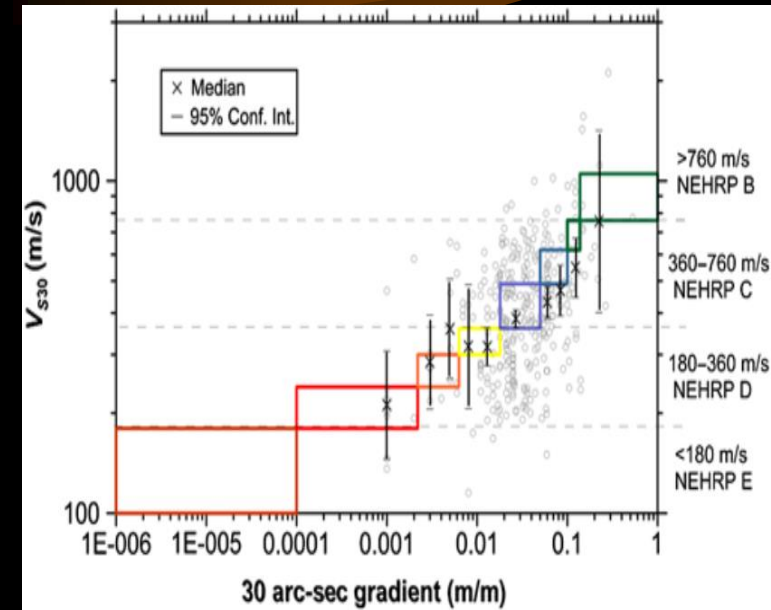
Boore et al. (2021)

# Σεισμικές κινήσεις στον ΕΑΚ: Γιατί να αλλάξουν?

Σημαντική νέα γνώση και νέα δεδομένα που αφορούν τον Ελληνικό χώρο



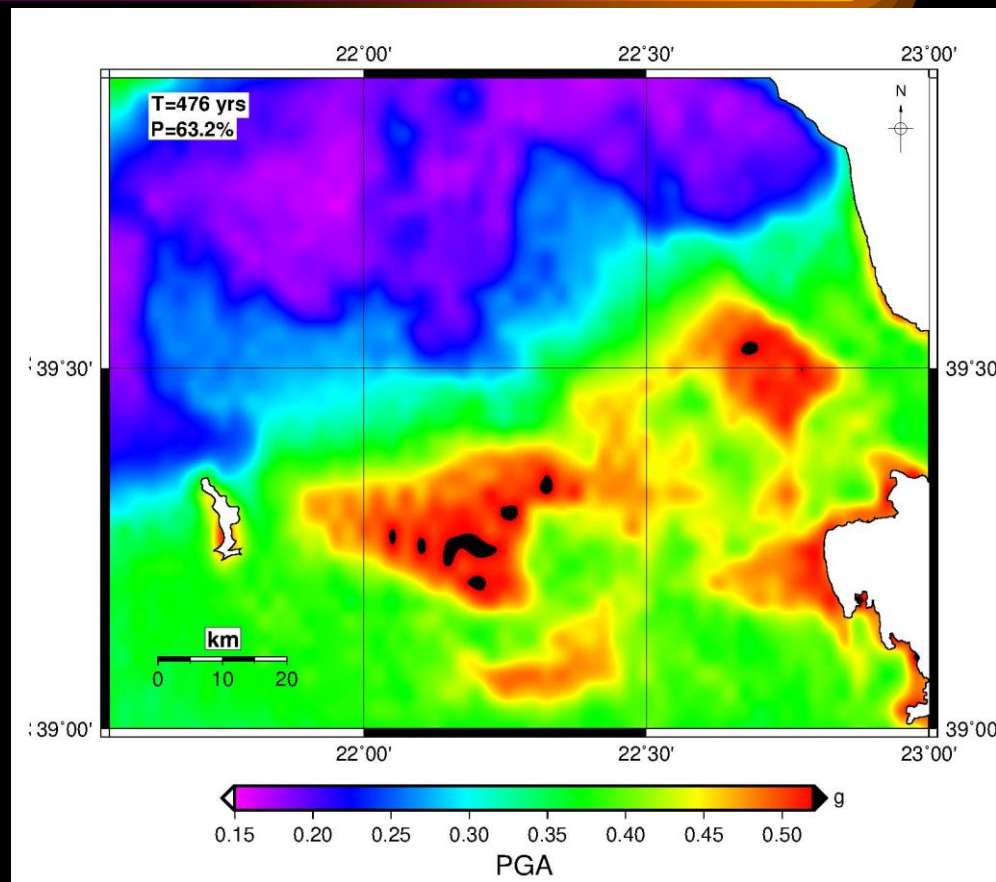
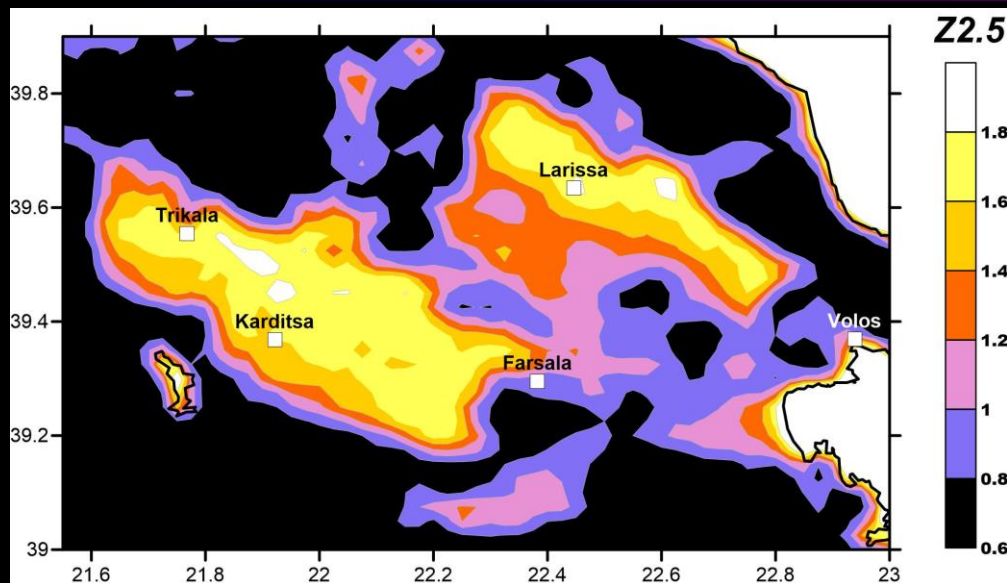
Wald and Allen (2007)



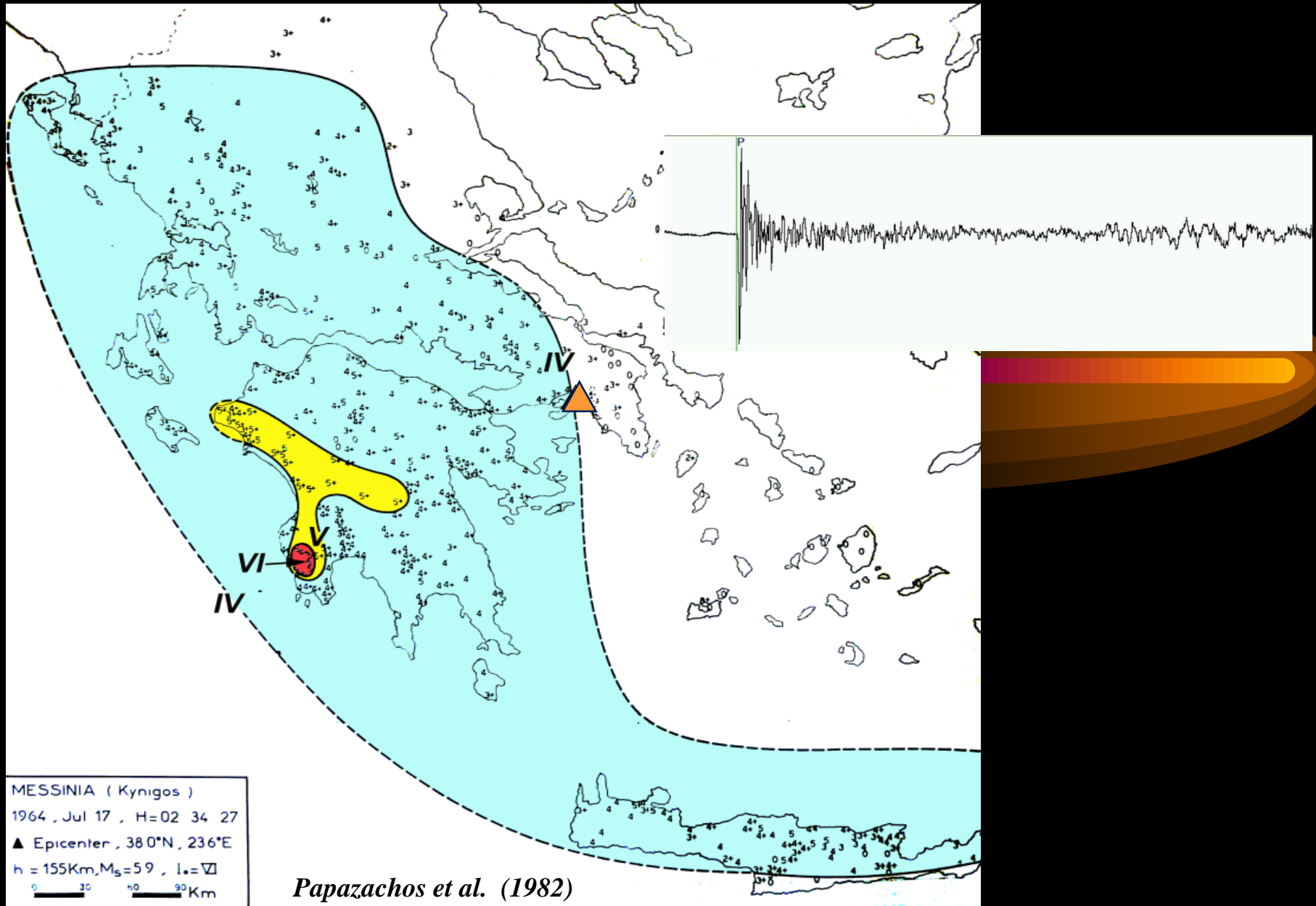
Stewart et al. (2014)

# Σεισμικές κινήσεις στον ΕΑΚ: Γιατί να αλλάξουν?

Σημαντική νέα γνώση και νέα δεδομένα που αφορούν τον Ελληνικό χώρο

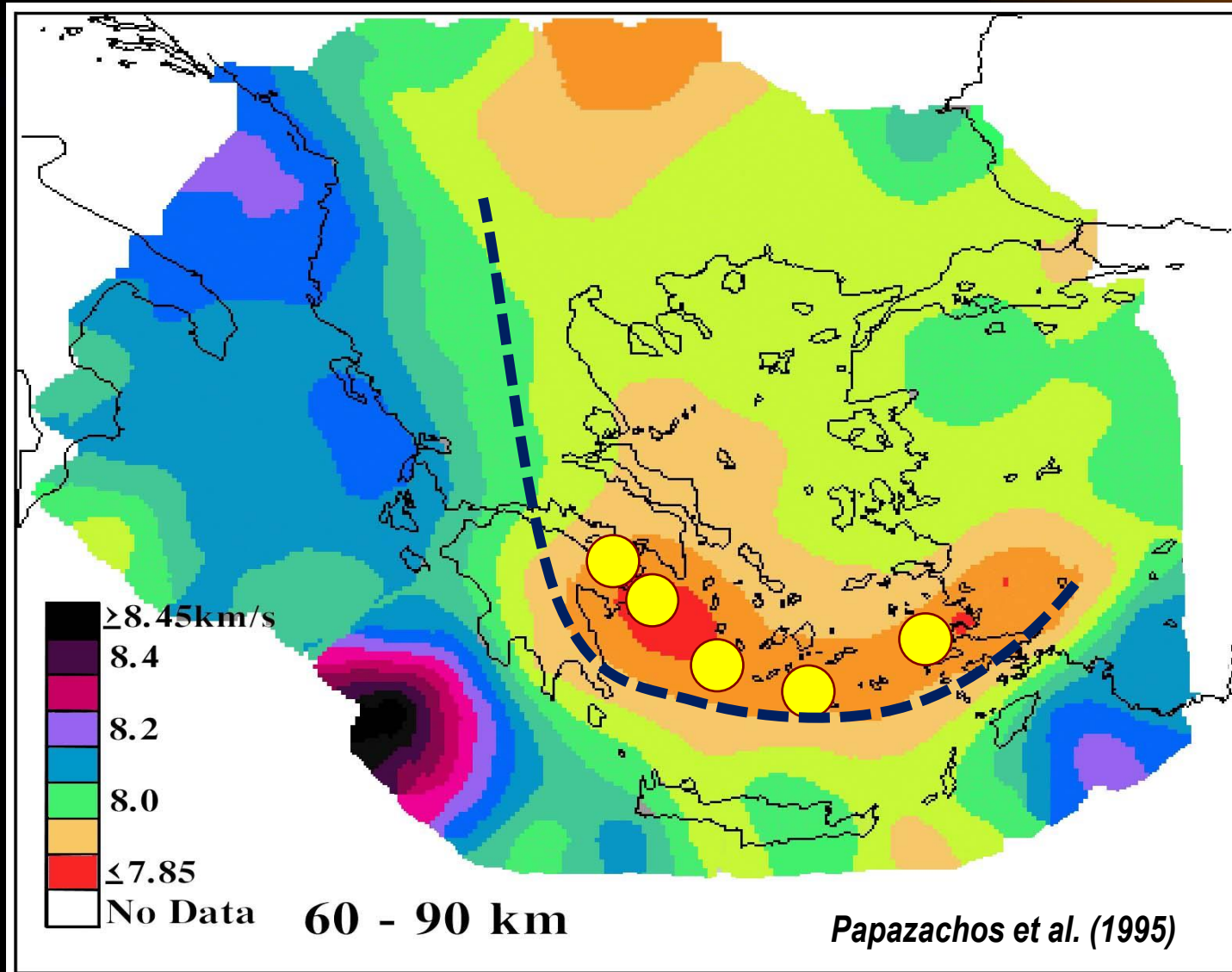


# Athens 1964 event ( $M \sim 6.8$ )



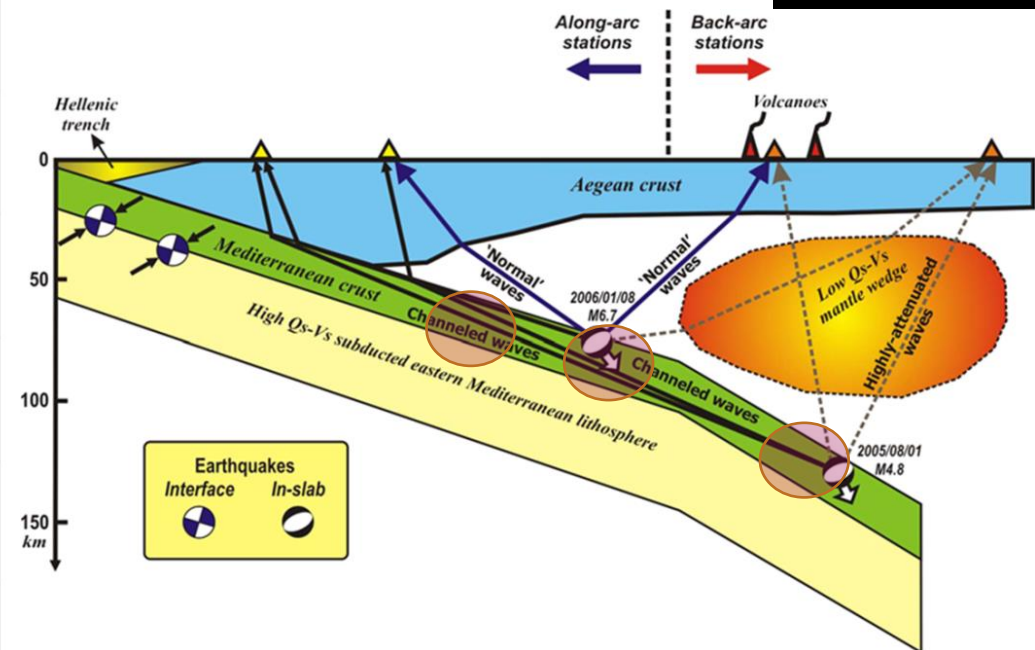
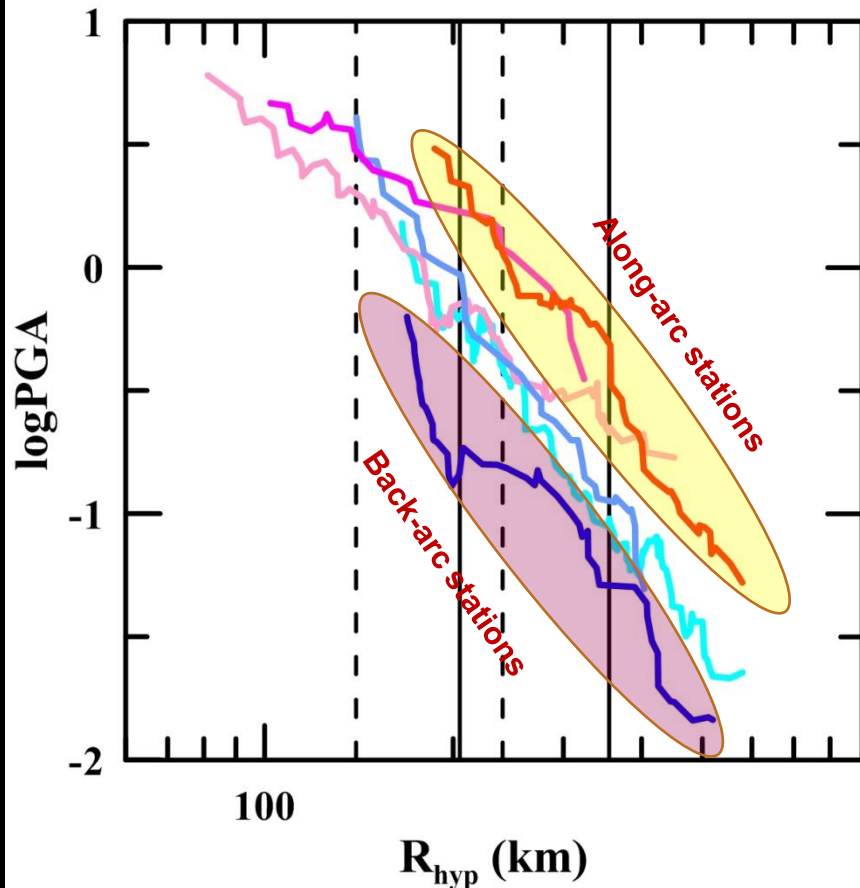
# Σεισμικές κινήσεις στον ΕΑΚ: Γιατί να αλλάξουν?

## Σεισμική τομογραφία



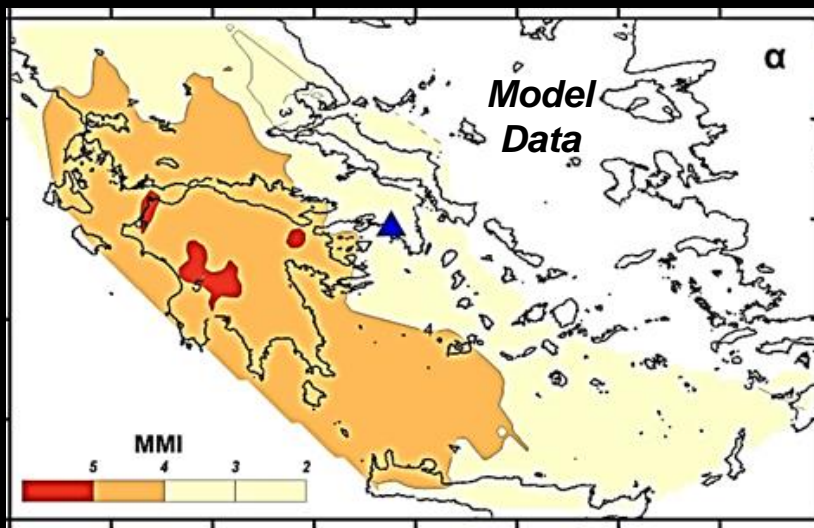
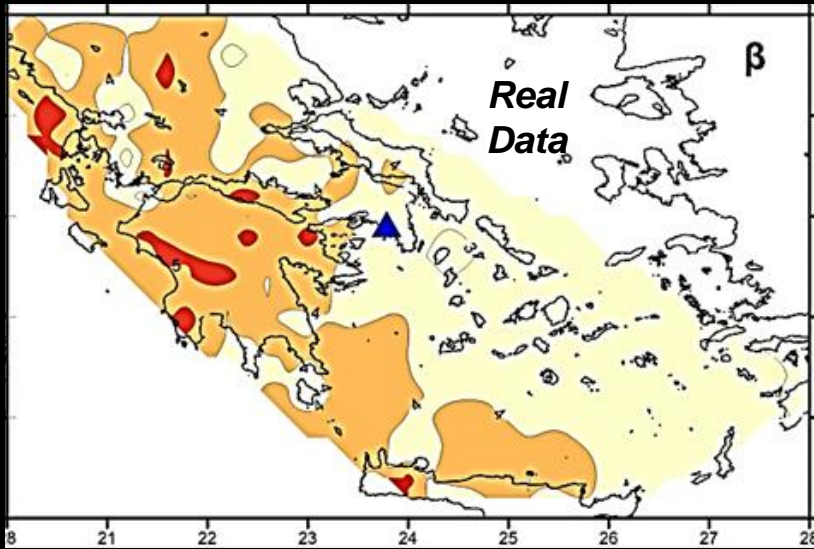
# Σεισμικές κινήσεις στον ΕΑΚ: Γιατί να αλλάξουν?

Σημαντική νέα γνώση και νέα δεδομένα που αφορούν τον Ελληνικό χώρο



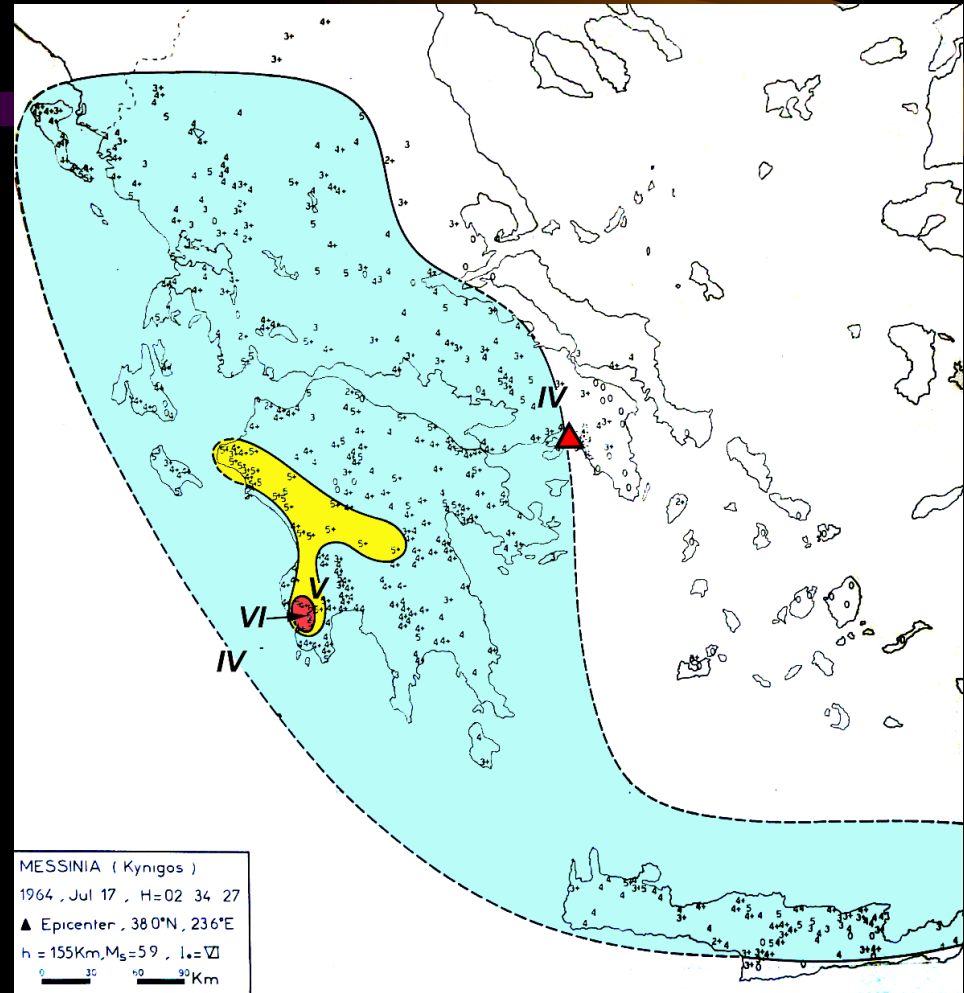
Skarlatoudis et al. (2013)

# Σεισμικές κινήσεις στον ΕΑΚ: Γιατί να αλλάξουν?



Kkallas et al. (2018)

Mw: 6.8

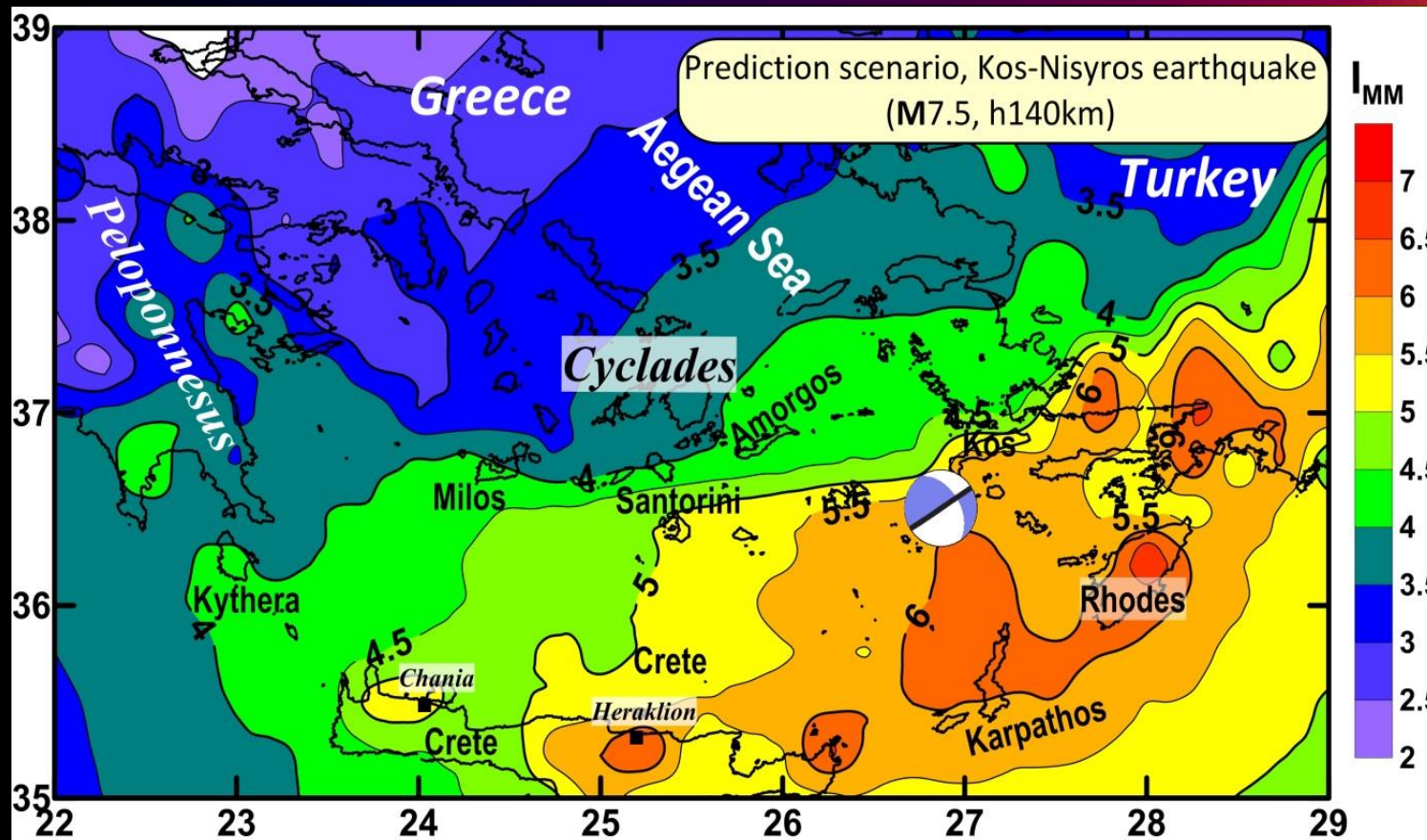


Papazachos et al. (1982)



# Σεισμικές κινήσεις στον ΕΑΚ: Γιατί να αλλάξουν?

Σημαντική νέα γνώση και νέα δεδομένα που αφορούν τον Ελληνικό χώρο

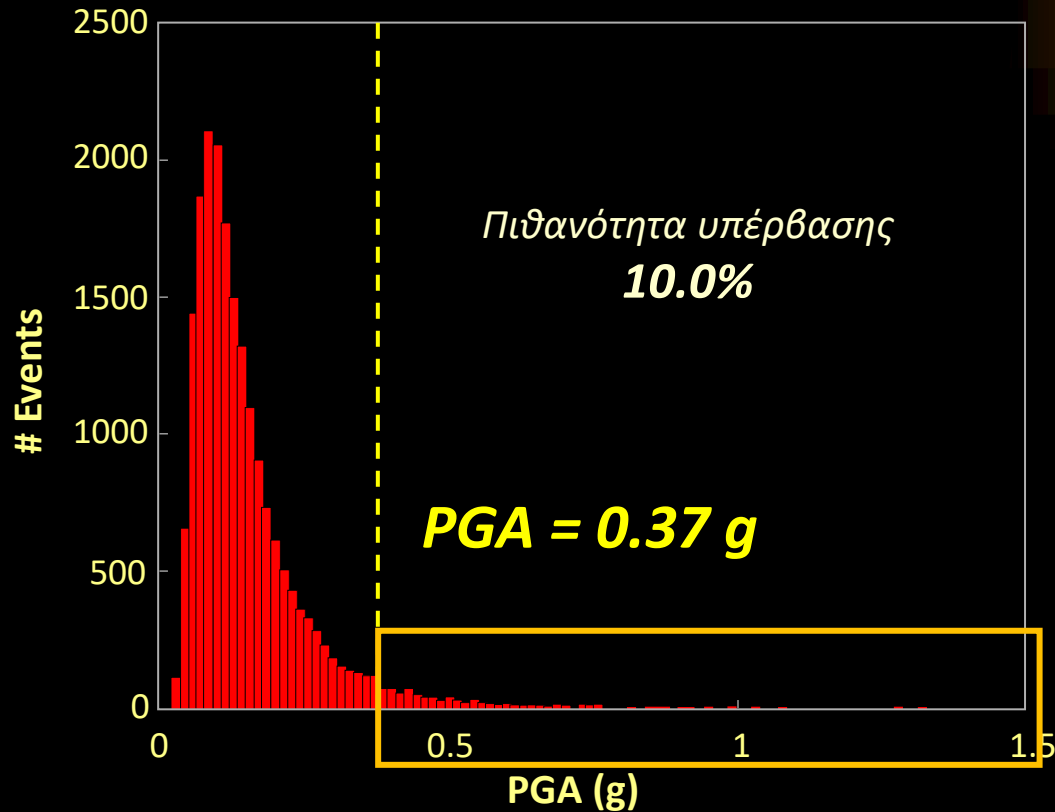


Σενάριο ισχυρού σεισμού βάθους στην Κω-Νίσυρο

***Τι μας λένε (και τί δε μας λένε) τα σεισμολογικά και γεωφυσικά δεδομένα για τη Σεισμική επικινδυνότητα του Ελληνικού χώρου, και ποια η σημασία τους για την αναθεώρηση των Σεισμικών Δράσεων του ΕΑΚ***

- Τί μας λέει η **αποάθροιση** της Σεισμικής Επικινδυνότητας για τους παράγοντες αυτούς ... με έμφαση στα μοντέλα σεισμικότητας

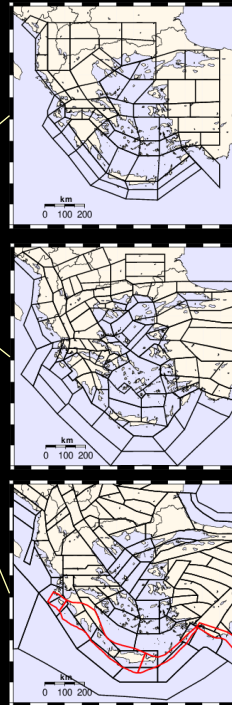
# Συνθετικοί Κατάλογοι & Αποάθροιση Σεισμικής Επικινδυνότητας



Ποια τα χαρακτηριστικά αυτών των σεισμών;

# Συνθετικοί Κατάλογοι & Αποάθροιση Σεισμικής Επικινδυνότητας

Λογικό Δέντρο Πηγών



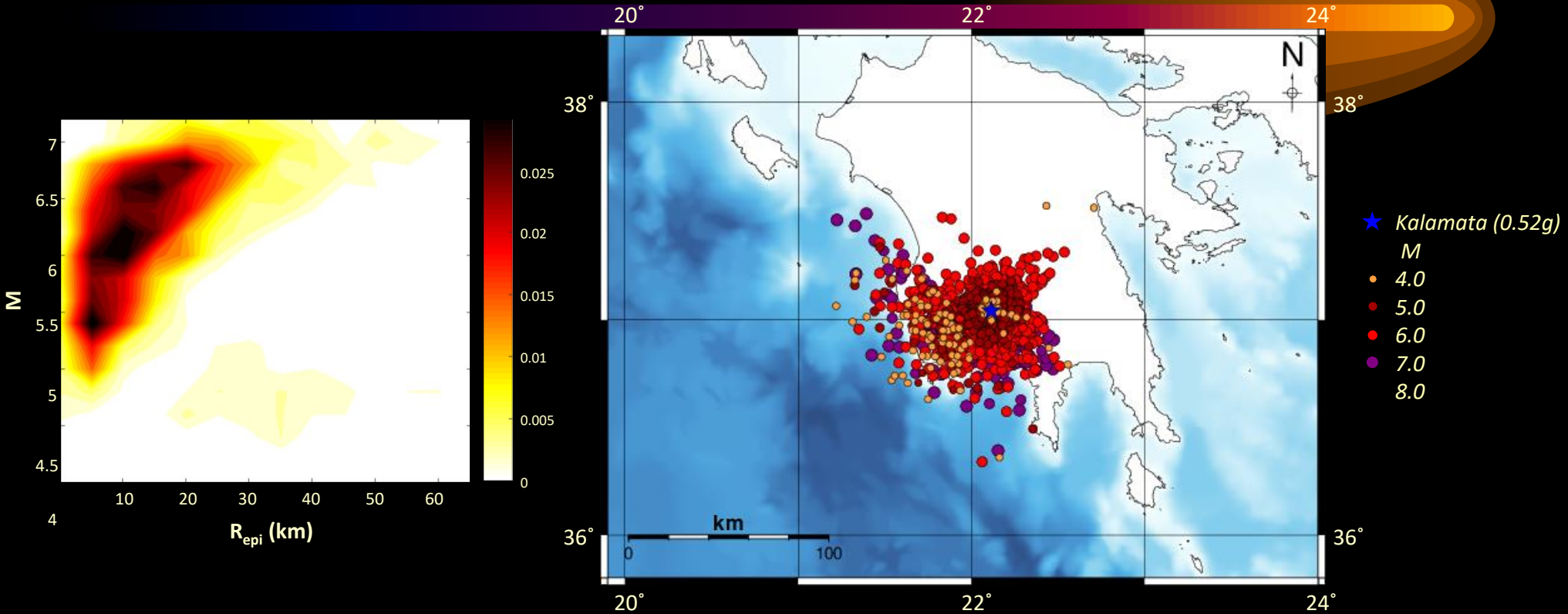
Papaiοannou and Papazachos (2000)

Vamvakaris et al. (2016)

ESHM(2013) - Woessner et al. (2015)

# Αποάθροιση Σεισμικής Επικινδυνότητας

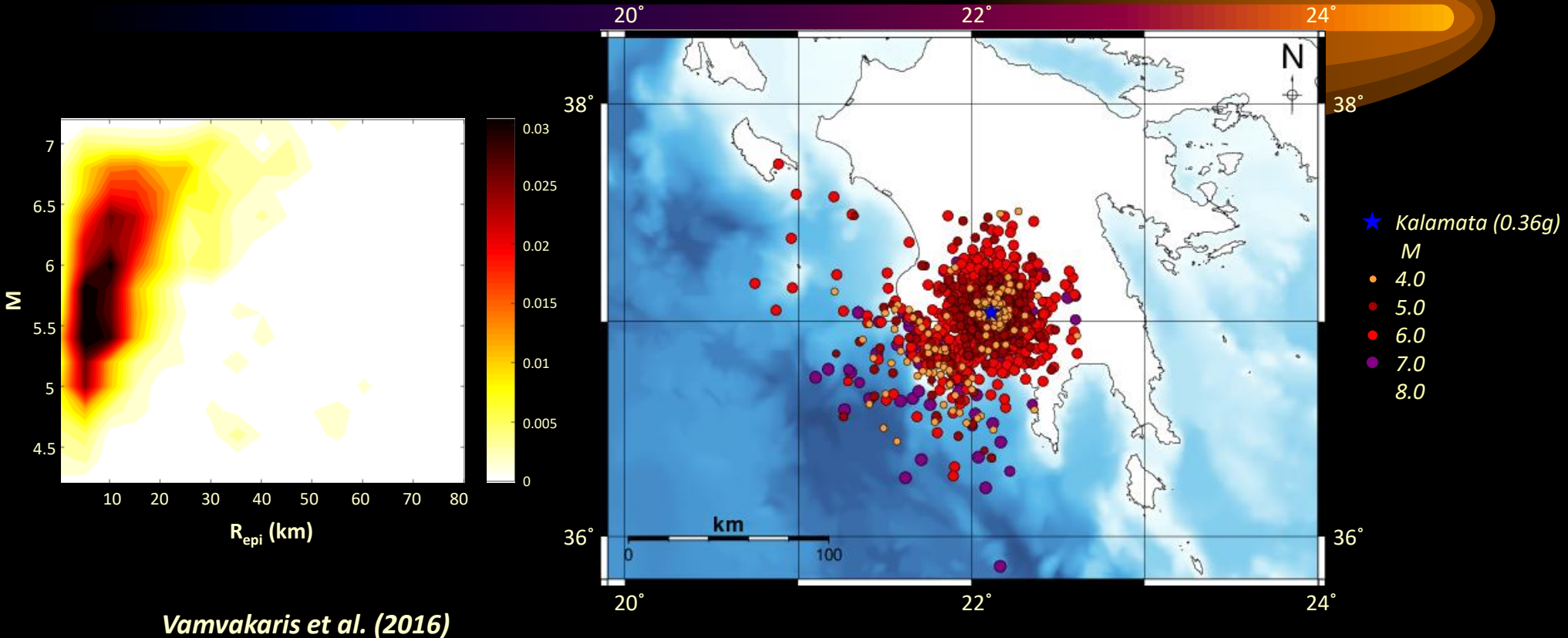
## Μοντέλα σεισμικών πηγών



*Ραφαϊοαννου and Ραπαζαχος (2000)*

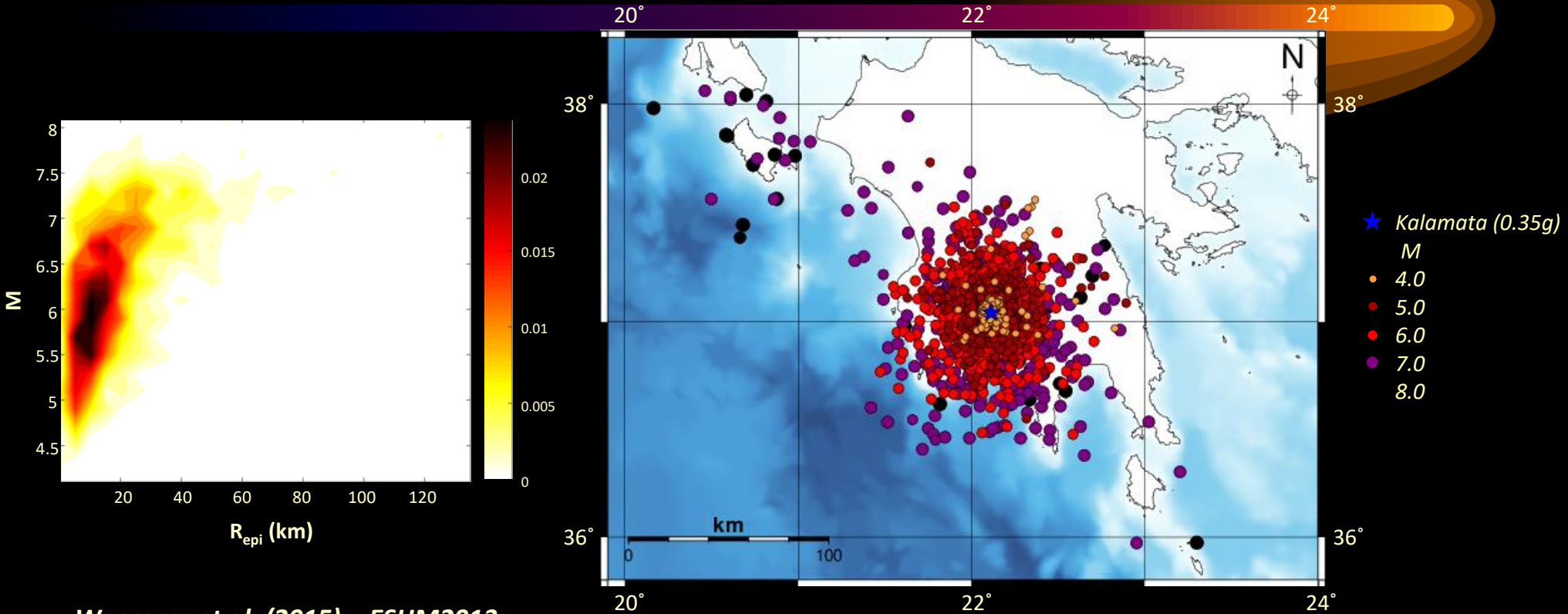
# Αποάθροιση Σεισμικής Επικινδυνότητας

## Μοντέλα σεισμικών πηγών



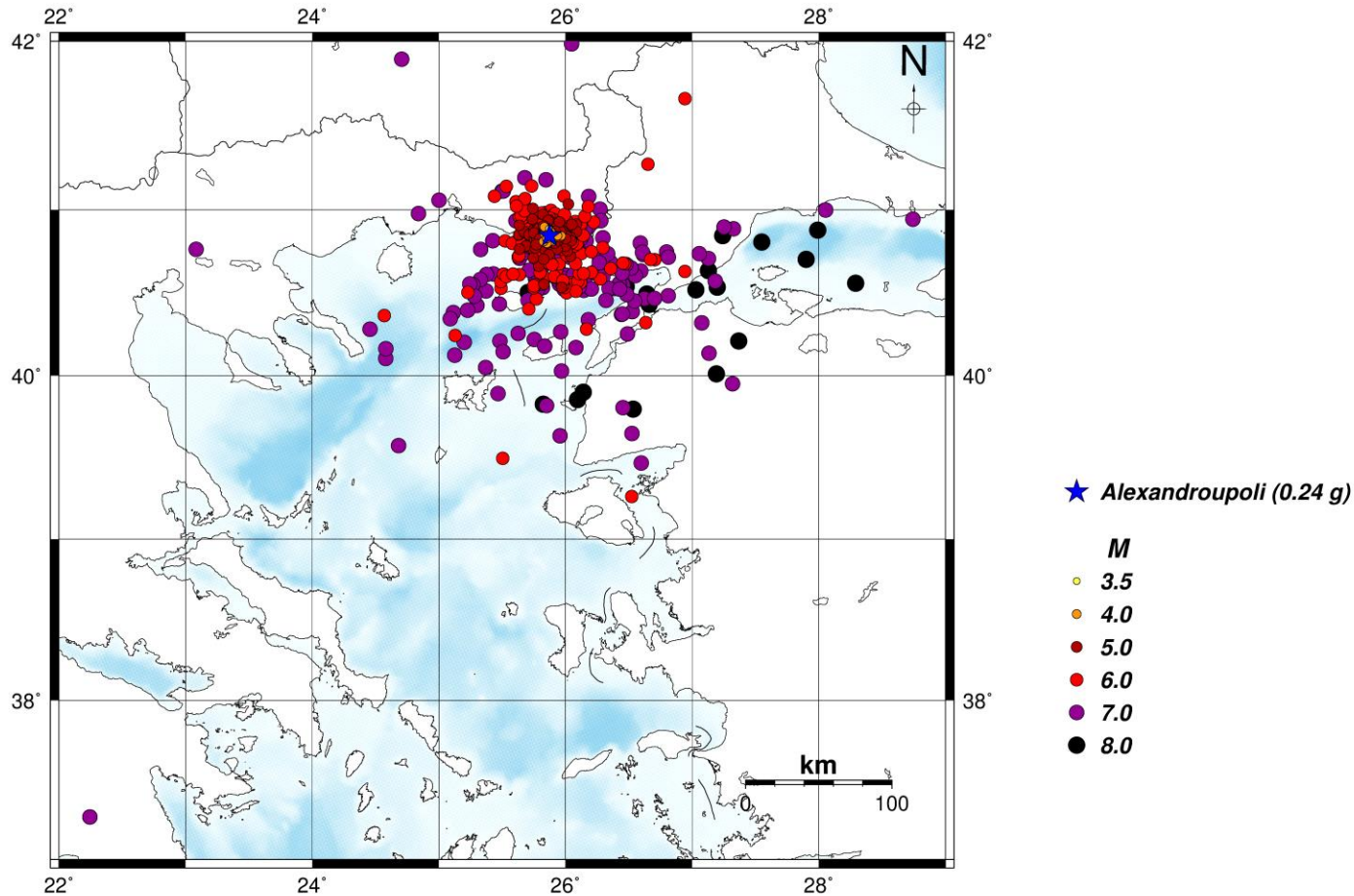
# Αποάθροιση Σεισμικής Επικινδυνότητας

## Μοντέλα σεισμικών πηγών



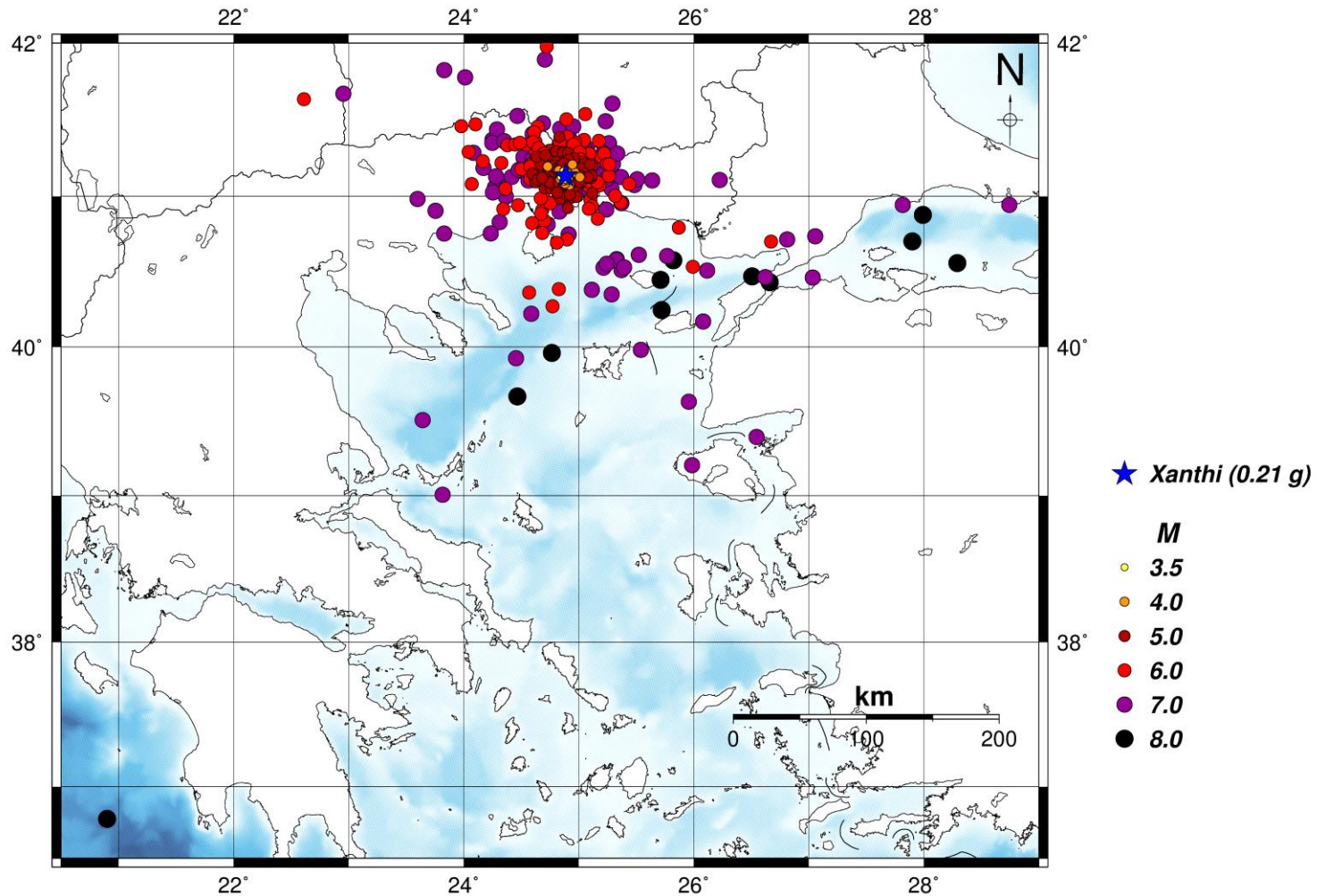
Woessner et al. (2015) – ESHM2013

# Αποάθροιση Σεισμικής Επικινδυνότητας

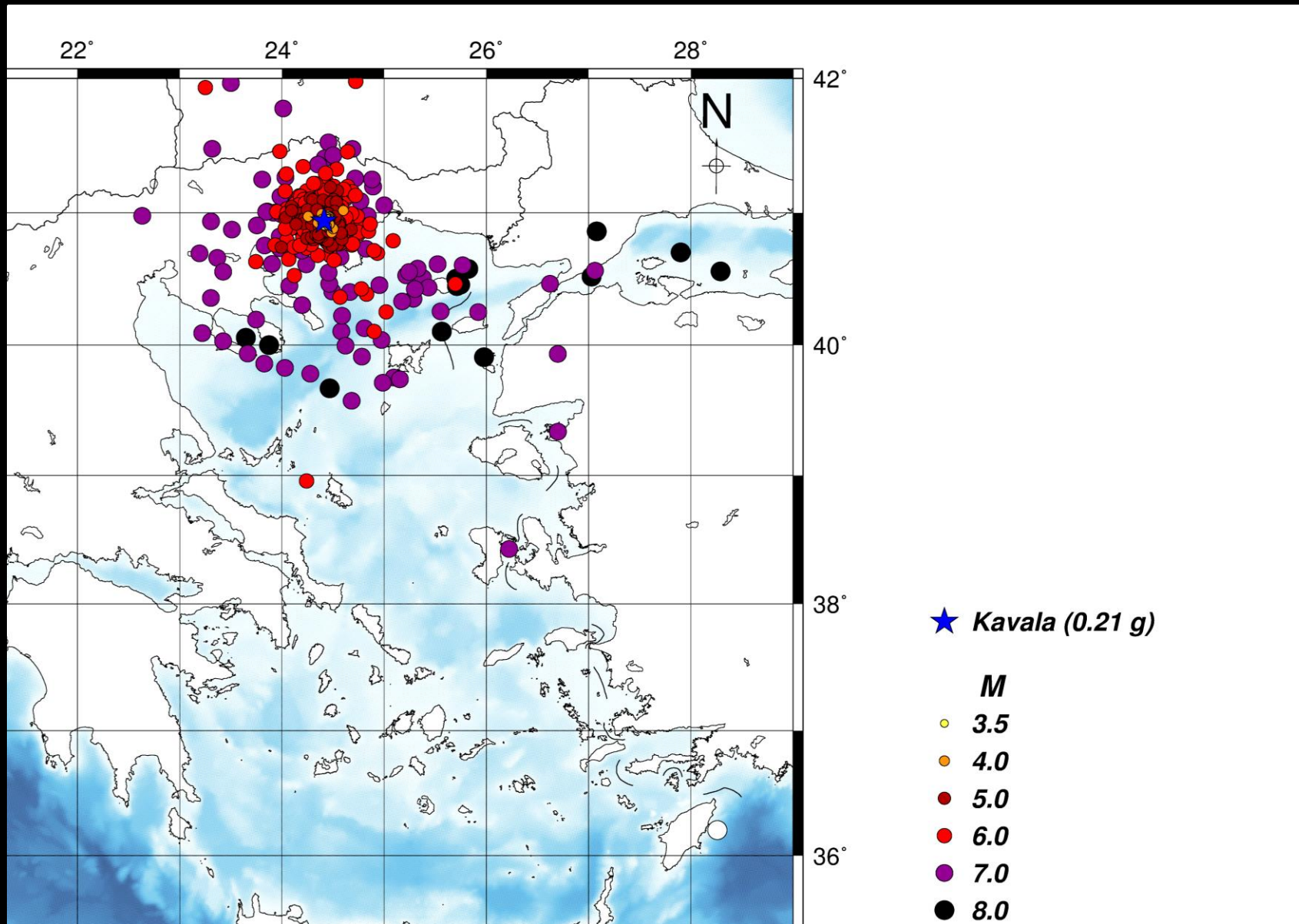




# Αποάθροιση Σεισμικής Επικινδυνότητας



# Αποάθροιση Σεισμικής Επικινδυνότητας



# Σεισμικές κινήσεις στον ΕΑΚ: Γιατί να αλλάξουν?

- Σημαντικές επιστημονικές εξελίξεις στη Πιθανολογική Εκτίμηση της Επικινδυνότητας, αλλά και σημαντική νέα γνώση και δεδομένα
- Σημαντικά κενά στη γεωμετρία και κινηματική των ενεργών ρηγμάτων, αλλά βελτιωμένη ενσωμάτωση της ενεργού τεκτονικής στα μοντέλα σεισμικότητας
- Υπερδεκαπλάσια δεδομένα ισχυρής σεισμικής κίνησης (σε σχέση με πριν το 2000) → Νέες σχέσεις απόσβεσης-πρόγνωσης ισχυρής σεισμικής κίνησης (GMPE) για τους επιφανειακούς σεισμούς, αλλά και τους σεισμούς βάθους
- Οι νέες GMPE ενσωματώνουν ικανοποιητικά τόσο την επίδραση της σεισμικής πηγής (κατευθυντικότητα, θέση σε σχέση με το ρήγμα, κλπ.), όσο και (σε μικρότερο βαθμό) την επίδραση των εδαφικών συνθηκών (μη γραμμικότητα, βαθιές λεκάνες, κλπ.)



Google Earth

Data SIO, NOAA, U.S. Navy, NGA, GEBCO  
Image Landsat / Copernicus

## **Σεισμικές κινήσεις στον ΕΑΚ: Γιατί να αλλάξουν?**

Δεν είναι δυνατό, σε μία εποχή που υπάρχει «κοσμογονία» στην εφαρμοσμένη και τεχνική σεισμολογία, η Ελλάδα να μην έχει καν ξεκινήσει προσπάθεια να επικαιροποιήσει τις σεισμικές κινήσεις του ΕΑΚ εδώ και 20 έτη, και να βασίζεται σε «προϊόντα» που δεν αντιστοιχούν στην τρέχουσα (υφιστάμενη) γνώση και τεχνογνωσία.

**ΕΥΧΑΡΙΣΤΩ ΠΟΛΥ**