

ΕΘΝΙΚΟ ΑΣΤΕΡΟΣΚΟΠΕΙΟ ΑΘΗΝΩΝ



ΓΕΩΔΥΝΑΜΙΚΟ ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ

ΟΙ ΣΕΙΣΜΟΙ ΤΟΥ ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΥ-ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΥ ΤΟΥ 2014 ΣΤΗΝ ΚΕΦΑΛΟΝΙΑ: ΜΙΑ ΠΡΩΤΗ ΕΚΘΕΣΗ

**Γ.Α. Παπαδόπουλος, Μ. Σαχπάζη, Β. Καραστάθης, Α. Γκανάς, Γ. Μιναδάκης, Ι.
Μπασκούτας, Α. Μόσχου, Α. Μουζακιώτης, Κ. Ορφανογιαννάκη, Ε. Δασκαλάκη, Σ.
Λιακόπουλος, Α. Παπαγεωργίου, Ι. Τριανταφύλλου**

Αθήνα, 26 Φεβρουαρίου του 2014

ΟΙ ΣΕΙΣΜΟΙ ΤΟΥ ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΥ-ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΥ ΤΟΥ 2014 ΣΤΗΝ

ΚΕΦΑΛΟΝΙΑ: ΜΙΑ ΠΡΩΤΗ ΕΚΘΕΣΗ

1. Εισαγωγή

Στην Έκθεση αυτή συνοψίζονται ορισμένες πρώτες παρατηρήσεις και προκαταρκτικά αποτελέσματα που προκύπτουν από μερικές από τις πολλές επιστημονικές δραστηριότητες που αναπτύχθηκαν στο Γεωδυναμικό Ινστιτούτο (ΓΙ) του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών (ΕΑΑ) μετά τους ισχυρούς σεισμούς της 26.1.2014 και 3.2.2014 στην Κεφαλονιά. Η Έκθεση αποτελεί προκαταρκτικό κείμενο και για την προετοιμασία της συνεργάστηκαν αρκετοί ερευνητές και άλλα μέλη του επιστημονικού προσωπικού του ΓΙ/ΕΑΑ. Η Έκθεση αποτελεί αναθεωρημένη έκδοση εκείνης που αναρτήθηκε στις 22.2.2014.

Ευχαριστίες οφείλονται στον Γενικό Γραμματέα Έρευνας και Τεχνολογίας Δρα Χ. Βασιλάκο και στον Πρόεδρο του ΔΣ του ΕΑΑ Καθ. Κ. Τσίγκανο για την αμέριστη συμπαράστασή τους στη διάρκεια της κρίσιμης περιόδου των σεισμών. Ιδιαίτερη μνεία πρέπει να γίνει στο επιστημονικό προσωπικό του ΓΙ/ΕΑΑ το οποίο εργάζεται με αφοσίωση σε 24ωρη βάση για την ανάλυση των σεισμών όλης της χώρας και το οποίο ανταποκρίθηκε πλήρως στις ανάγκες της κρίσιμης περιόδου των σεισμών της Κεφαλονιάς παράγοντας πολύτιμα πρωτογενή επιστημονικά δεδομένα. Ευχαριστίες οφείλονται και στους συναδέλφους Καθ. Ι. Κουκουβέλα και Δρα Δ. Σπανό (Τμήμα Γεωλογίας, Παν/μιο Πατρών) για τη στενή συνεργασία στη διάρκεια των παρατηρήσεων υπαίθρου.

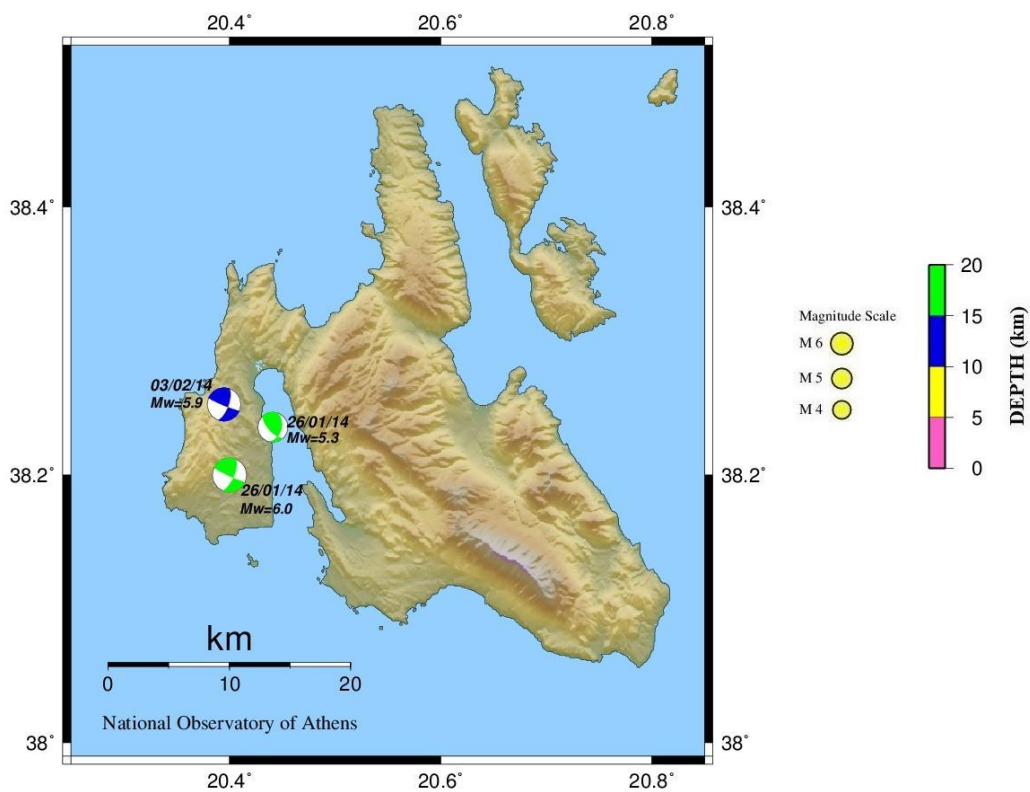
2. Σεισμικότητα και Σεισμοτεκτονική

Η περιοχή της Κεφαλονιάς χαρακτηρίζεται από εξαιρετικά υψηλή σεισμικότητα, όπως δείχνει το παρελθόν, π.χ. η σεισμική δράση του Αυγούστου του 1953 με σεισμούς μεγεθών 6,5, 6,8 και 7,2 ισοπέδωσε την Κεφαλονιά, τη Ζάκυνθο και την Ιθάκη και προκάλεσε περίπου 480 ανθρώπινα θύματα. Η γεωδυναμική και σεισμοτεκτονική της περιοχής είναι ιδιαίτερα περίπλοκη (π.χ. Louvari and Kiratzi, 1999; Sachpazi et al., 2000).

Στις 26.1.2014 και 3.2.2014 δύο ισχυροί σεισμοί μεγέθους $M_L5,8/M_w6,0$ και $M_L5,7/M_w5,9$ διέρρηξαν το δυτικό τμήμα της Κεφαλονιάς, ενώ το βράδυ της 26^{ης} Ιανουαρίου έγινε σεισμός μεγέθους $M_L5,1/M_w5,3$ (Εικ. 1). Με τη χρήση

καταγραφών από σειсмоγραφικούς σταθμούς ευρέως φάσματος και 3 συνιστωσών, με ευρεία αζιμουθιακή κάλυψη και επικεντρικές αποστάσεις μικρότερες των 3°, παράχθηκαν μηχανισμοί γένεσης σεισμών της συγκεκριμένης ακολουθίας. Για την αντιστροφή του τανυστή σεισμικής ροπής χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό που ανέπτυξαν οι (Randall et al., 1994) που υπολογίζει συνθετικά σειсмоγραφήματα που συγκρίνονται απ' ευθείας με τα παρατηρηθέντα σειсмоγραφήματα για δεδομένο μοντέλο ταχυτήτων.

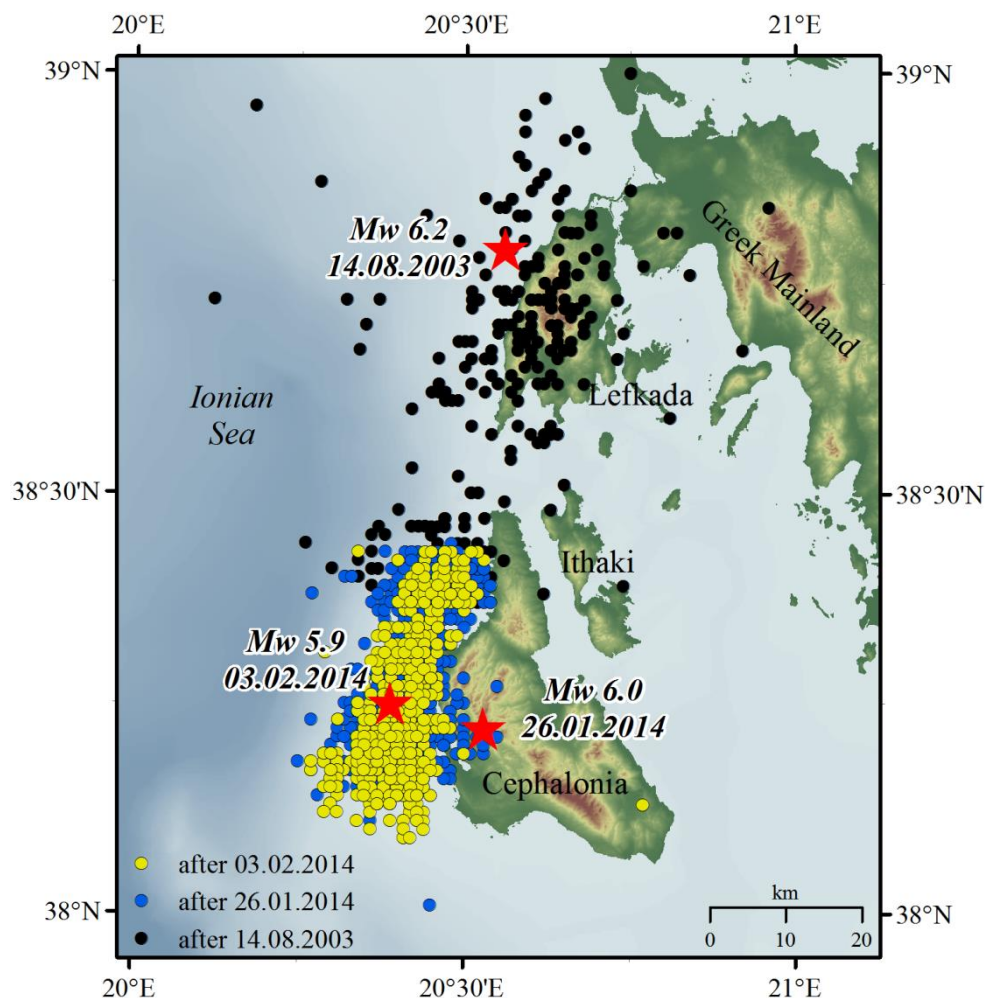
Οι μηχανισμοί γένεσης των τριών ισχυρότερων σεισμών απεικονίζονται στην Εικόνα 1. Οι επιλύσεις αυτές είναι συμβατές με τις περισσότερες επιλύσεις που έχουν αναρτηθεί από ελληνικά και διεθνή σειсмоγραφικά κέντρα.



Εικόνα 1. Οι τρεις μεγαλύτεροι σεισμοί και οι μηχανισμοί γένεσής τους. Ο πρώτος σεισμός απεικονίζεται σε επαναπροσδιορισμένο (relocated) επίκεντρο (για το relocation βλ. περισσότερα σε επόμενη παράγραφο).

Από τη γένεση του πρώτου σεισμού μέχρι και τη συγγραφή της παρούσας έκθεσης (19.2.2014) έγιναν χιλιάδες μικρότερων σεισμών που πιστεύεται ότι πιθανότατα είναι μετασεισμοί. Η προβολή των επικέντρων της σεισμικής ακολουθίας φαίνεται στην Εικόνα 2 μαζί με την προβολή των επικέντρων της σεισμικής ακολουθίας του ισχυρού σεισμού (M_w6,2) που διέρρηξε το δυτικό τμήμα της Λευκάδας στις

14.8.2003. Είναι προφανές ότι η σεισμική ακολουθία της Κεφαλονιάς του 2014 εξελίσσεται σε ένα σεισμογόνο χώρο με γενική διεύθυνση από ΒΒΑ προς ΝΝΔ και ο οποίος αποτελεί την προς τα ΝΝΔ συνέχεια του σεισμογόνου χώρου της Λευκάδας του 2003. Επιπλέον, τόσο ο σεισμός της Λευκάδας (14.8.2003) όσο και οι δύο ισχυρότεροι σεισμοί της Κεφαλονιάς (26.1.2014 και 3.2.2014) έχουν παρόμοιους μηχανισμούς γένεσης που υποδεικνύουν δεξιόστροφη διάρρηξη με διεύθυνση ΒΒΑ-ΝΝΔ και κλίση προς ΝΑ.

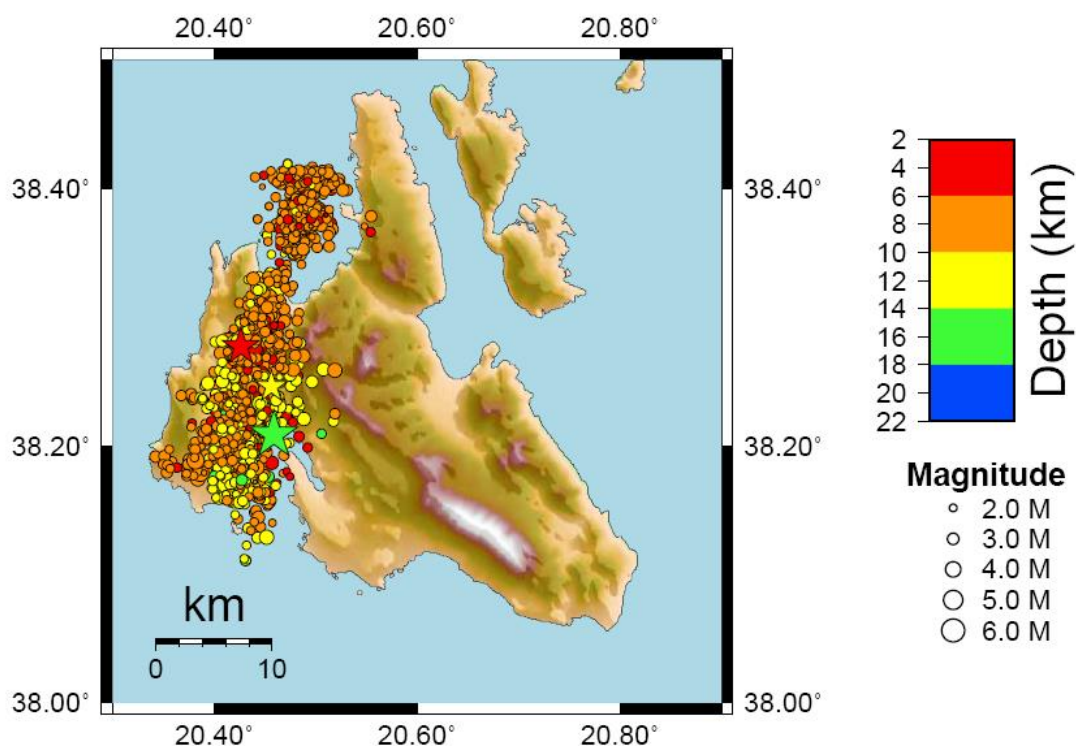


Εικόνα 2. Οι σεισμικές ακολουθίες του 2003 στη Λευκάδα (μπλέ κύκλοι) και της Κεφαλονιάς (πράσινοι κύκλοι μετά το σεισμό της 26.1.2014 και κίτρινοι κύκλοι μετά το σεισμό της 3.2.2014). Τα επίκεντρα είναι τα προκαταρκτικά που έχουν αναρτηθεί στη ιστοσελίδα του ΓΙ/ΕΕΕ (<http://www.gein.noa.gr/el/seismikotita/prosfatoi-seismoi>), δηλ. δεν είναι επαναπροσδιορισμένα.

Η χωρική διασύνδεση των ακολουθιών του 2003 και 2014 και η ομοιότητα των μηχανισμών γένεσης οδηγούν στο συμπέρασμα ότι από το θαλάσσιο χώρο της δυτικής Λευκάδας μέχρι τη δυτική Κεφαλονιά η ενεργός τεκτονική κυριαρχείται από δεξιόστροφη οριζόντια ολίσθηση μήκους περίπου 80 km.

3. Επαναπροσδιορισμός των Σεισμικών Εστιών (Relocation)

Στον προσδιορισμό των προκαταρκτικών επικεντρικών συντεταγμένων και των εστιακών βαθών των σεισμών υπεισέρχονται σφάλματα που σε ορισμένες περιπτώσεις είναι σημαντικά. Για τον καλύτερο προσδιορισμό των εστιών των σεισμών της ακολουθίας της Κεφαλονιάς εφαρμόστηκε μεθοδολογία επαναπροσδιορισμού (relocation), υπό την εποπτεία του Δρος Β. Καραστάθη, λαμβάνοντας υπόψη τη δομή της περιοχής και κατάλληλο μοντέλο ταχύτητας σεισμικών κυμάτων. Το αποτέλεσμα των πρώτων δοκιμών επαναπροσδιορισμού των εστιών των σεισμών απεικονίζεται στην Εικόνα 3. Είναι φανερή η βελτίωση της γεωγραφικής διανομής των επικέντρων σε σχέση με αυτή που φαίνεται στην Εικ. 2.



Εικόνα 3. Επαναπροσδιορισμός των εστιών της σεισμικής ακολουθίας της Κεφαλονιάς. Τα αστέρια με πράσινο, κίτρινο και κόκκινο χρώμα απεικονίζουν τα επίκεντρα των τριών πιο ισχυρών σεισμών που έγιναν στις 26.1.2014 (Mw6,0), 26.1.2014 (Mw5,3) και 3.2.2014 (Mw5,9), αντίστοιχα.

4. Μακροσεισμικό Πεδίο

Μετά τον πρώτο και μετά το δεύτερο σεισμό πραγματοποιήθηκαν υπαίθριες παρατηρήσεις στο μακροσεισμικό πεδίο της δυτικής Κεφαλονιάς. Παρατηρήθηκαν (α) βαριές βλάβες σε τεχνικές κατασκευές (Εικ. 4, 5) και υποδομές (Εικ. 6-9) και εικόνα καταστροφής σε κεντρικά σημεία του Ληξουρίου (Εικ. 10), (β) άλλες επιπτώσεις στο ανθρωπογενές περιβάλλον (π.χ. ανατροπές επιτύμβιων στηλών και άλλων αντικειμένων), και (γ) εδαφικές αστοχίες που περιλαμβάνουν κατολισθήσεις, καταπτώσεις ογκολίθων, ρευστοποιήσεις εδαφών και διαρρήξεις σε οδοστρώματα (Εικ. 11-16).



Εικόνα 4. Διώροφη οικοδομή στον Αγ. Δημήτριο βορείως του Ληξουρίου μετά τον πρώτο ισχυρό σεισμό της 26.1.2014.



Εικόνα 5. Η δώροφη οικοδομή της Εικ. 4 μετά τον δεύτερο ισχυρό σεισμό της 3.2.2014.



Εικόνα 6. Θραύση της προβλήτας στο νότιο τμήμα του λιμανιού στο Ληξούρι μετά τον πρώτο ισχυρό σεισμό.



Εικόνα 7. Καθίζηση της προβλήτας στα αριστερά της Εικ. 6 στο νότιο τμήμα του λιμανιού στο Ληξούρι μετά τον πρώτο ισχυρό σεισμό.



Εικόνα 8. Η θραύση της προβλήτας στο νότιο τμήμα του λιμανιού στο Ληξούρι (Εικ. 5), όπως διευρύνθηκε μετά τον δεύτερο ισχυρό σεισμό.



Εικόνα 9. Η καθίζηση της προβλήτας στο νότιο τμήμα του λιμανιού στο Ληξούρι (Εικ. 7), όπως διευρύνθηκε μετά τον δεύτερο ισχυρό σεισμό.



Εικόνα 10. Κεντρικός πεζόδρομος του Ληξουρίου μετά τον δεύτερο ισχυρό σεισμό.



Εικόνα 11. Εκτεταμένη κατολίσθηση στο απότομο πρανές που υψώνεται πάνω από την παραλία του Μύρτου.



Εικόνα 12. Κατολίσθηση και καταπτώσεις βράχων που προκλήθηκαν από τον πρώτο ισχυρό σεισμό στη θέση Χάρακας.



Εικόνα 13. Κατολίσθηση κοντά στο χωριό Σολάροι που προκλήθηκε από τον πρώτο σεισμό και εν συνεχεία διευρύνθηκε αφ' ενός λόγω των βροχοπτώσεων και αφ' ετέρου λόγω του δεύτερου σεισμού.



Εικόνα 14. Θραύση οδοστρώματος εξαιτίας του πρώτου σεισμού.



Εικόνα 15. Κατολίσθηση στο κατάντη πρανές οδοστρώματος που διερρήχθη εξαιτίας του πρώτου σεισμού (Εικ. 14).



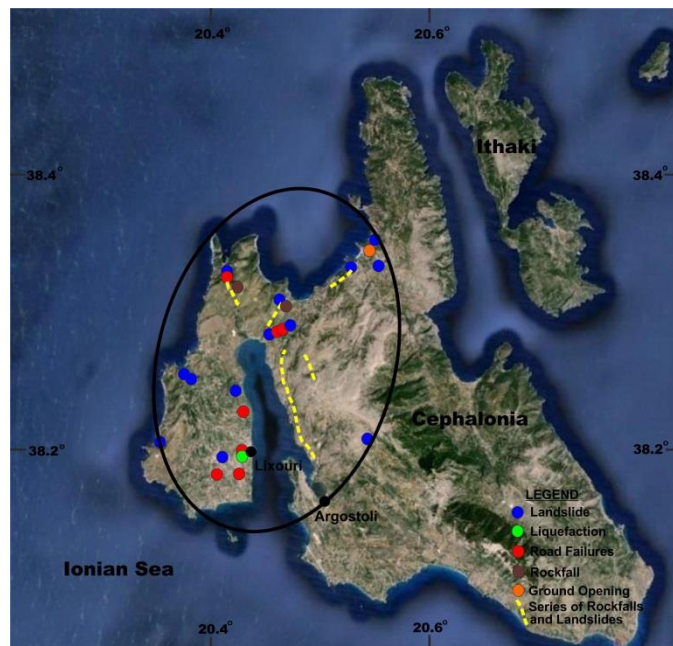
Εικόνα 16. Επιφανειακή εκδήλωση ρευστοποίησης τεχνητής επιχωμάτωσης κατά μήκος θραύσης στην προβλήτα του λιμανιού του Ληξουρίου εξαιτίας του δεύτερου σεισμού.

Από τις παρατηρήσεις πεδίου έγινε δυνατή η βαθμονόμηση στη 12-βάθμια κλίμακα EMS της μακροσεισμικής έντασης που προκλήθηκε από τον πρώτο και από το δεύτερο σεισμό σε διάφορα σημεία της δυτικής Κεφαλονιάς. Στην Εικόνα 17 απεικονίζονται μερικές εντάσεις από τον πρώτο σεισμό. Επίσης χαρτογραφήθηκε το

πεδίο των εδαφικών αστοχιών, τόσο μετά τον πρώτο όσο και μετά τον δεύτερο σεισμό. Στην Εικόνα 18 απεικονίζονται οι εδαφικές αστοχίες που προκάλεσε ο πρώτος σεισμός.



Εικόνα 17. Γεωγραφική διανομή σε χάρτη Google Earth μακροσεισμικών εντάσεων που βαθμονομήσαμε μετά το σεισμό της 26.1.2014.

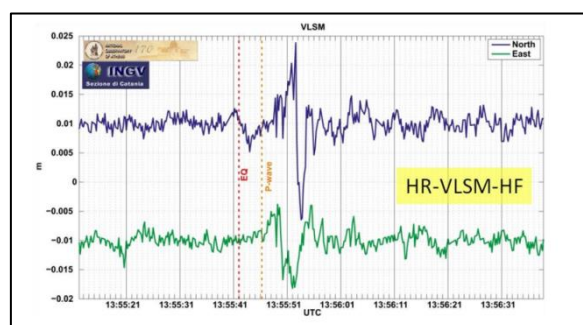


Εικόνα 18. Γεωγραφική διανομή σε χάρτη Google Earth των εδαφικών αστοχιών που παρατηρήσαμε μετά το σεισμό της 26.1.2014.

5. Καταγραφές Δικτύου GPS

Στην Κεφαλονιά λειτουργούν δύο μόνιμοι σταθμοί αναφοράς του GNSS δικτύου NOANET, του Γεωδυναμικού Ινστιτούτου (Ganas et al., 2011, www.gein.noa.gr/gps.html). Πρόκειται για τους σταθμούς VLSM (Βαλσαμάτα) και ΚΙΡΟ (Ι.Μ Κηπουραίων), τοποθετημένους σε χαμηλά κτήρια με έδραση σε υπόβαθρο (ασβεστόλιθοι ζώνης Παξών) και με συνεχή καταγραφή παρατηρήσεων GPS στο 1-s. Ο σταθμός στα Βαλσαμάτα (συστεγάζεται με τον σειсмоγράφο VLS) ιδρύθηκε το 2006 και αποτελείται από διπλόσυχο δέκτη LEICA GRX1200 και κεραία AX1202. Ο σταθμός στα Κηπούρια ιδρύθηκε το 2010 και αποτελείται από διπλόσυχο δέκτη LEICA GMX902GG και κεραία AX1203+GNSS. Οι δύο σεισμοί του 2014 καταγράφηκαν μόνον από τον σταθμό στα Βαλσαμάτα. Ο σταθμός ΚΙΡΟ είχε υποστεί βλάβη και στις 2 σειριακές θύρες επικοινωνίας, λόγω υπέρτασης από τους συνεχείς κεραυνούς που πλήττουν αυτήν την περιοχή κάθε χειμώνα. Άρχισε να καταγράφει ξανά στις 5 Φεβρουαρίου 2014 και αναμένεται να δώσει πολύτιμα δεδομένα για την μετασεισμική παραμόρφωση.

Κατά τον πρώτο σεισμό (26 Ιανουαρίου 2014, 13:55 UTC) ο σταθμός VLSM μετακινήθηκε λίγα εκατοστά μόνιμα προς ΝΔ σε πλήρη αντιστοίχιση με την κινηματική της διάρρηξης (δεξιόστροφο ρήγμα οριζόντιας ολίσθησης με παράταξη ΒΒΑ-ΝΝΔ). Η ανάλυση των δεδομένων 5 Hz (Εικόνα 19) έδειξε μία δυναμική μετατόπιση της τάξης των 2,2 εκατοστών (στις οριζόντιες συνιστώσες) που προκλήθηκε από την άφιξη του εγκαρσίου κύματος. Η σύγκριση των κυματομορφών 1-s από τον σταθμό των Βαλσαμάτων έδειξε ότι ο σεισμός της 3^{ης} Φεβρουαρίου 2014 (03:08 UTC) είχε μεγαλύτερα πλάτη. Αυτό οφείλεται στην διαφορετική απόσταση από τα επίκεντρα των σεισμών σε συνδυασμό με τα διαφορετικά βάθη, έτσι ώστε να δημιουργούνται διαφορές στην γεωμετρική διάδοση των εγκαρσίων κυμάτων .



Εικόνα 19. Επεξεργασμένη κυματομορφή 5 Hz του σταθμού VLSM με φιλτραρισμένες τις υψηλές συχνότητες και χρήση rapid orbits από IGS. Με διακεκομμένες γραμμές δείχνονται οι χρόνοι γένεσης του σεισμού της 26/1/2014 και της άφιξης του P-κύματος (από Ganas et al., under preparation).

6. Αξιολόγηση της Εξελισσόμενης Σεισμικής Δράσης

Η αξιολόγηση μιάς εξελισσόμενης σεισμικής δράσης έχει κρίσιμη σημασία από την άποψη της πολιτικής προστασίας. Πράγματι, όλοι θέλουν να γνωρίζουν αν πρόκειται για τακτική σεισμική δράση (background seismicity) ή σμηνοσειρά (swarm), για προσεισμούς (foreshocks), για κύριο σεισμό (mainshock) ή για μετασεισμούς (aftershocks). Η διάκριση δεν είναι εύκολη σε πραγματικό χρόνο.

Στα πλαίσια του ερευνητικού προγράμματος SAFER (EU-FP6) αναπτύχθηκε μεθοδολογία και λογισμικό (FORMA, Foreshocks-Mainshock-Aftershock) για τη διάκριση της φύσης μιάς εξελισσόμενης σεισμικής δράσης σε πραγματικό χρόνο, αρκεί να υπάρχει συνεχής ανανέωση του καταλόγου σεισμών. Οι δυνατότητες του FORMA έχουν φανεί τόσο στην a posteriori εξέταση σεισμικών ακολουθιών, όπως του 2009 της L' Aquila στην Ιταλία (Paradopoulos et al., 2010), του Tohoku (Ιαπωνία, 2011) και της Ν. Καλιφόρνιας (1981-2010) όσο και στην σε πραγματικό χρόνο εξέταση σεισμικών ακολουθιών του Ελλαδικού χώρου (π.χ. Οιχαλία, 2011) και της Ιταλίας (π.χ. Basilicata, 2012) με εσωτερική ηλεκτρονική επικοινωνία.

Η μέθοδος FORMA βασίζεται στην παρακολούθηση της ταυτόχρονης μεταβολής του ρυθμού σεισμικότητας, r , και της παραμέτρου b της σχέσης μεγέθους-συχνότητας και στον έλεγχο της στατιστικής σημαντικότητας των μεταβολών τους με τα z-test και Utsu-test, αντιστοίχως.

Η διαδικασία εφαρμόστηκε με περιοδικό επαναπροσδιορισμό των παραμέτρων r και b αμέσως μετά τον πρώτο ισχυρό σεισμό με βάση τον κατάλογο σεισμών που παράγεται από την καθημερινή ανάλυση σεισμών στο ΓΙ (<http://www.gein.noa.gr/el/seismikotita/prosfatoi-seismoi>). Λόγω του πολύ μεγάλου αριθμού των καταγραφόμενων σεισμών δεν κατέστη δυνατός ο υπολογισμός πολλών σεισμών με μέγεθος μικρότερου του 3 κατά τις πρώτες μέρες μετά τον πρώτο ισχυρό σεισμό και μετά τον δεύτερο σεισμό, όπως φαίνεται στο διάγραμμα χρόνου/σεισμικότητας στο τμήμα «5. c-d/2.50» των παρακάτω γραφημάτων.

Συνεπώς, το αποτέλεσμα της ανάλυσης με τον αλγόριθμο FORMA έπασχε εξαιτίας της μειωμένης πληρότητας (μέγεθος πληρότητας, M_c) του καταλόγου σεισμών. Για το λόγο αυτό, η εφαρμογή του FORMA αποφασίστηκε να γίνει με κατάλογο που διαμορφώσαμε από τις προκαταρκτικές επιλύσεις σεισμών που παράγει το αυτόματο σύστημα του ΓΙ γιατί στη συγκεκριμένη περίπτωση παρείχε καλύτερη πληρότητα στον κατάλογο (<http://bbnet.gein.noa.gr/HL/seismicity/catalogues/automatic-alerts>).

Υπολογίστηκαν οι τιμές των παραμέτρων της τακτικής σεισμικότητας b και r για το χρονικό διάστημα 1.1.2011-26.1.2014 που το θεωρήσαμε ως επαρκές για την τακτική σεισμικότητα της περιοχής. Οι τιμές αυτές χρησιμοποιήθηκαν ως τιμές αναφοράς για τη σύγκρισή τους με τις αντίστοιχες τιμές που βρέθηκαν για τις ακολουθίες των ισχυρών σεισμών της 26.1.2014 και 3.2.2014. Επίσης, αυτές οι δύο ακολουθίες συγκρίνονται και μεταξύ τους. Για τον προσδιορισμό της παραμέτρου b επελέγη η μέθοδος της μέγιστης πιθανοφάνειας (maximum likelihood). Ακολουθεί σύνοψη βασικών αποτελεσμάτων που ελήφθησαν μέχρι την 25-Φεβ.-2014 16:28:11.

Η δραστική αύξηση του r μετά τη γένεση του ισχυρού σεισμού της 26.1.2014 είναι απολύτως αναμενόμενη αλλά δεν παρέχει ενδείξεις για το αν η ακολουθία μετά το σεισμό αυτό ήταν προσεισμική ή μετασεισμική. Σε περίπτωση μετασεισμικής ακολουθίας θα αναμενόταν αύξηση της b και όχι πτώση (0.72) όπως φαίνεται στη σειρά 1 του Πίνακα. Αυτή η πτώση δείχνει ότι το σειсмоγόνο σύστημα μετά τον πρώτο σεισμό προετοιμάζε και άλλο ισχυρό σεισμό. Αυτό το αποτέλεσμα γινόταν φανερό από τις πρώτες μέρες και για το λόγο αυτό όλες οι δηλώσεις των ερευνητών του ΓΙ ήταν ιδιαίτερα επιφυλακτικές για αρκετές μέρες και δεν απέκλειαν τη γένεση και άλλου ισχυρού σεισμού ισοδύναμου του πρώτου.

Παρατηρούμε ότι η τιμή της b παραμένει χαμηλή (0.79-0.82) και μετά τον δεύτερο σεισμό και αυτό αιτιολογεί τις δηλώσεις των ερευνητών του ΓΙ ότι η δυνατότητα γένεσης και άλλου ισχυρού σεισμού που θα προσεγγίζει ή και θα υπερβαίνει το 5 δεν έχει εκλείψει.

Σε όλες τις αναλύσεις οι πολύ μικρές τιμές του test p-Utsu και οι πολύ μεγάλες τιμές του z-test μαρτυρούν ότι οι μεταβολές των παραμέτρων b και r είναι στατιστικά εξαιρετικά σημαντικές.

Παρατίθεται για σύγκριση το αποτέλεσμα προηγούμενης ανάλυσης.

ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΕΦΑΛΟΝΙΑΣ ΑΠΟ ΤΟ ΑΥΤΟΜΑΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ακτίνα 30 km

Ημερομηνίες σεισμών από το αυτόματο:

1^ο) 26-Jan-2014 13:55:43 **20.4674 38.2300** 5.90 10.00

2^ο) 03-Feb-2014 03:08:46 **20.3919 38.2628** 5.90 5.00

Ακολουθεί ανάλυση μέχρι → 25-Feb-2014 16:28:11

- a) 1.1.2011 – 26.1.2014 (ΠΡΙΝ ΤΟΝ 1^ο). $M_c=2.20$, $b= 0.99 \pm 0.11$ (revised catalogue)
- b) 1.1.2011 – 26.1.2014 (ΠΡΙΝ ΤΟΝ 1^ο). $M_c=2.80$, $b= 1.18 \pm 0.25$ (revised catalogue)
- c) 26.1.2014 – 3.2.2014 (ΜΕΤΑ ΤΟΝ 1^ο, ΠΡΙΝ ΤΟΝ 2^ο). $M_c = 2.80$, $b= 0.72 \pm 0.10$
- d) 03.2.2014 – 25-Feb-2014 16:28:11 (ΜΕΤΑ ΤΟΝ 2^ο). $M_c = 2.50$, $b= 0.82 \pm 0.09$
- e) 26.1.2014 – 25-Feb-2014 16:28:11 (ΜΕΤΑ ΤΟΝ 1^ο, ΜΕΣΑ ΚΑΙ Ο 2^ο). $M_c=2.80$, $b= 0.79 \pm 0.08$

ΣΗΜΕΡΙΝΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕΧΡΙ → 25-Feb-2014 16:28:11

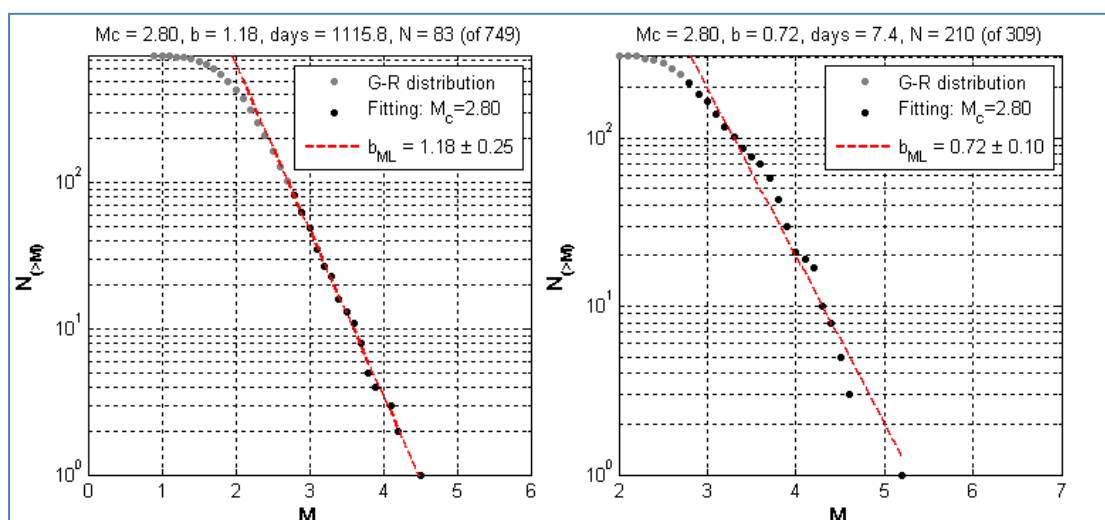
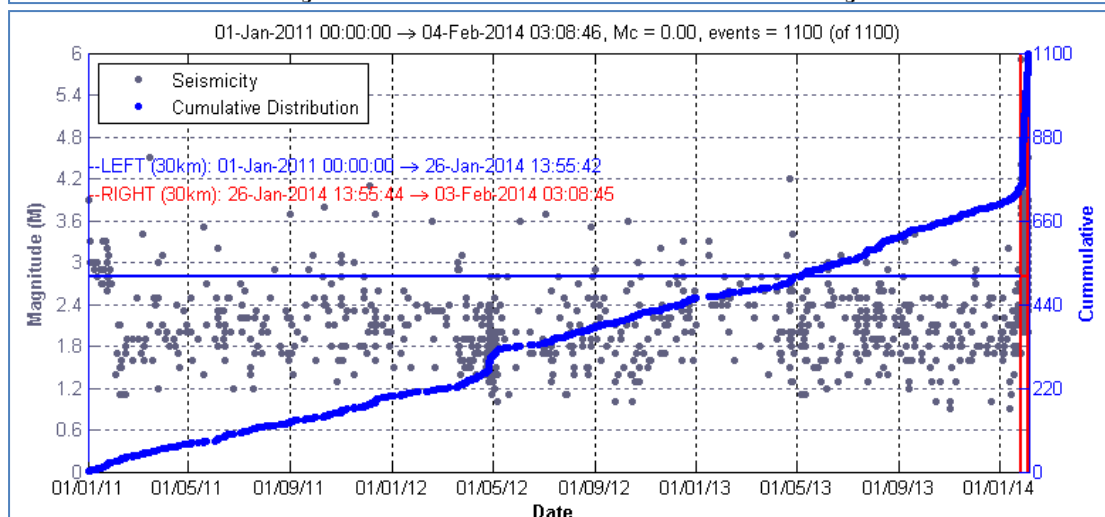
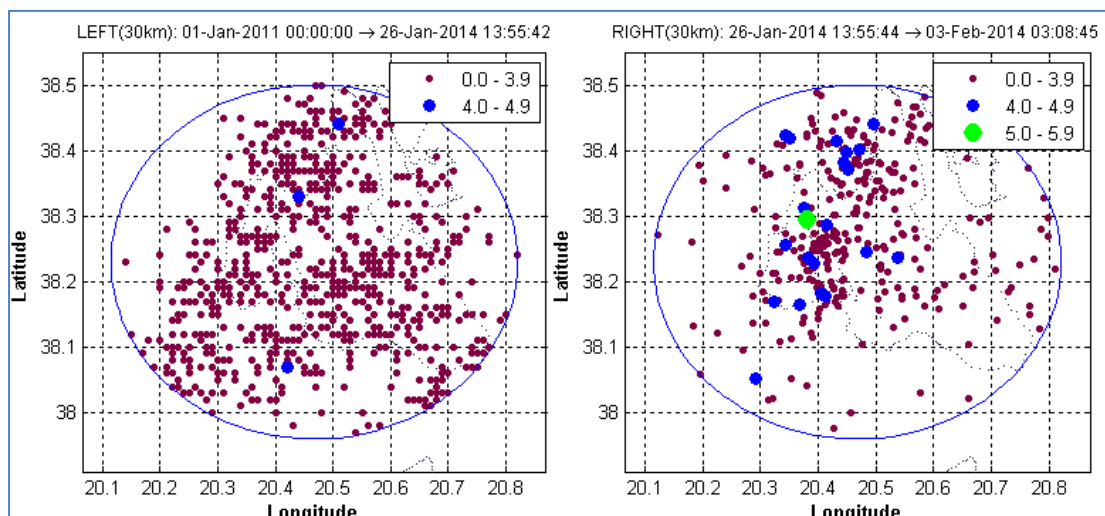
A/A	Regions	b1	b2	r1	r2	p-utsu	z-test
1	b-c/2.80	1.18	0.72	0.07	28.26	0.0005794391	99.90
2	b-d/2.50	1.08	0.82	0.15	13.33	0.0075656423	99.90
3	b-e/2.80	1.18	0.79	0.07	14.38	0.0027224051	99.90
4	c-d/2.50	0.60	0.82	37.41	13.33	0.0003732077	99.90

ΠΡΟΗΓΟΥΜΕΝΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕΧΡΙ → 19-Feb-2014 05:59:32

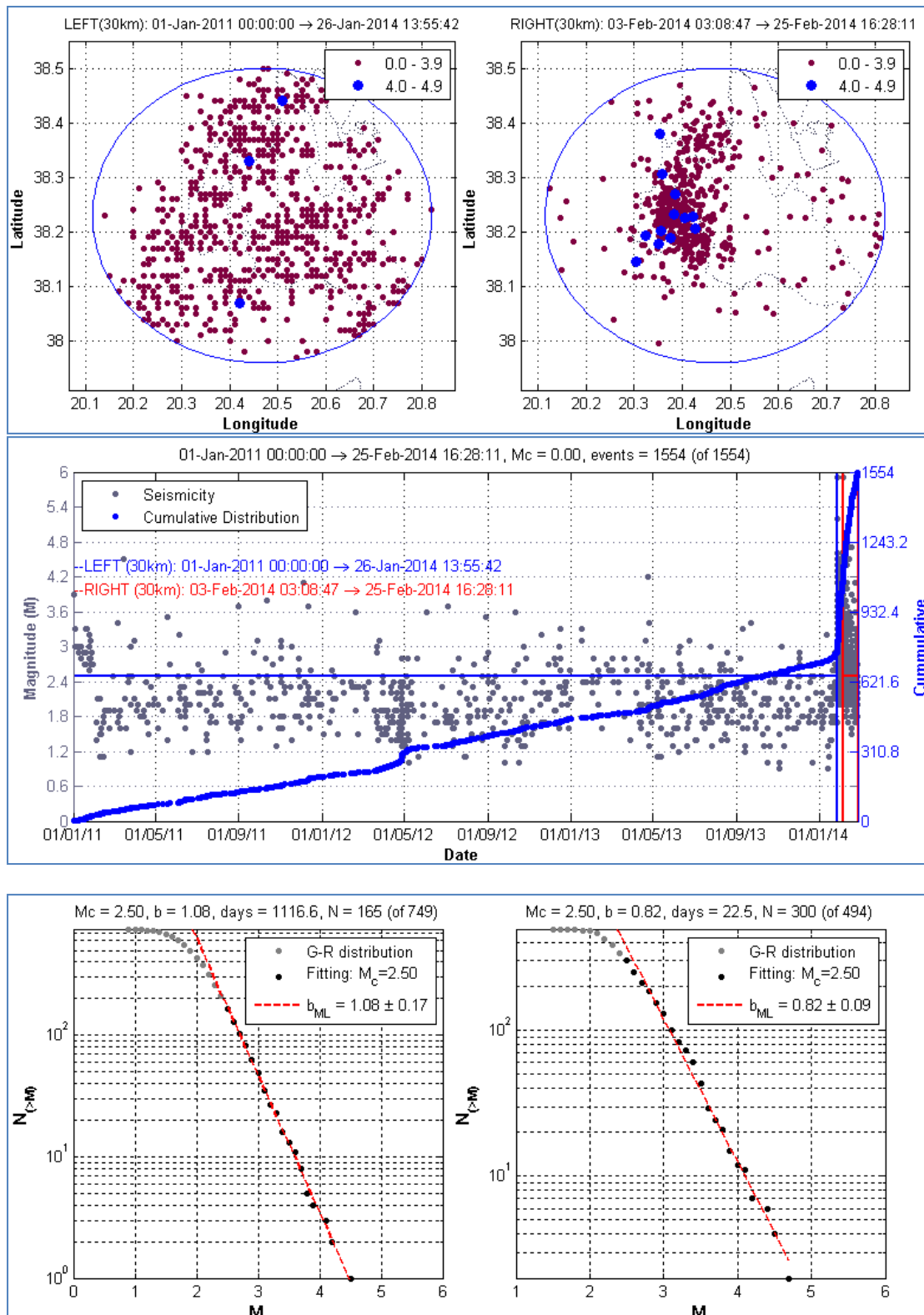
A/A	Regions	b1	b2	r1	r2	p-utsu	z-test
1	b-c/2.80	1.18	0.72	0.07	28.26	0.0005794391	99.90
2	b-d/2.50	1.08	0.80	0.15	16.53	0.0033309369	99.90
3	b-e/2.80	1.18	0.79	0.07	17.92	0.0023648075	99.90
4	c-d/2.50	0.60	0.80	37.41	16.53	0.0022910735	99.90

ΑΚΟΛΟΥΘΟΥΝ ΤΑ ΓΡΑΦΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

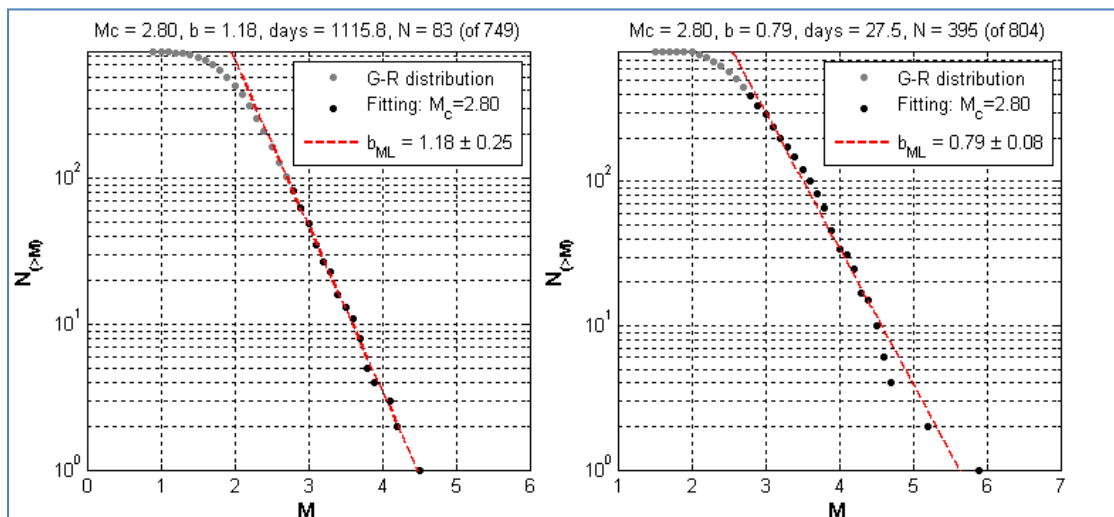
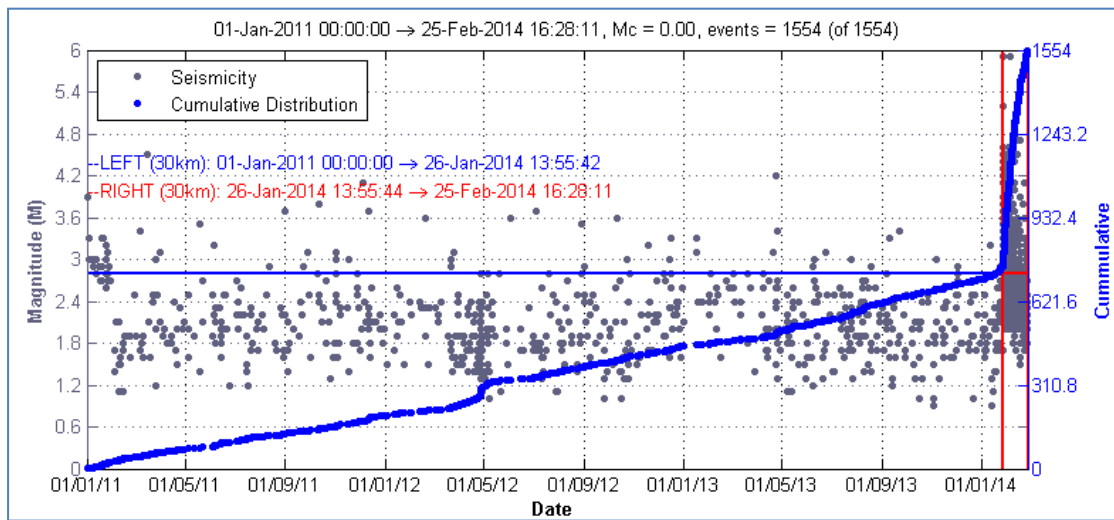
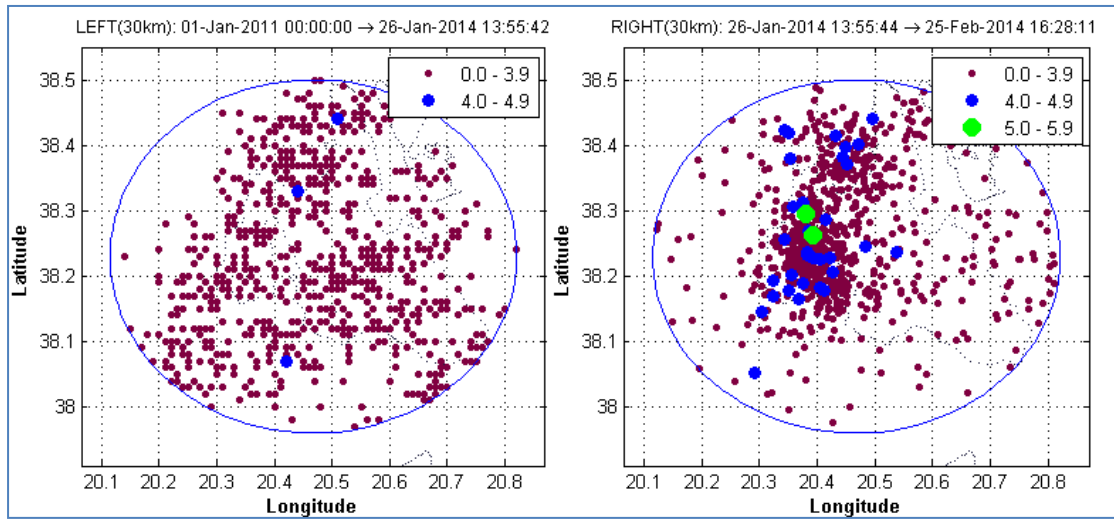
1. b-c/2.80



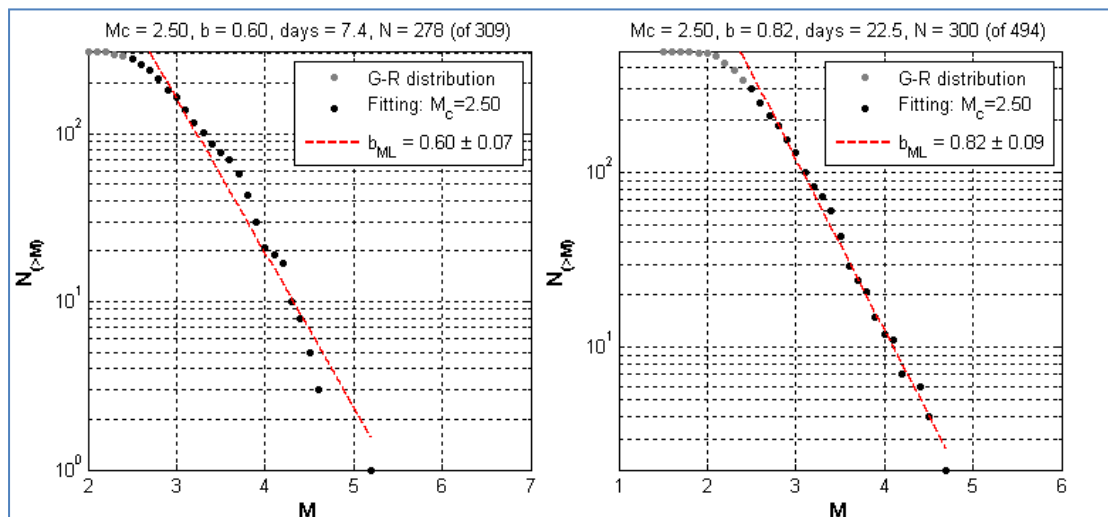
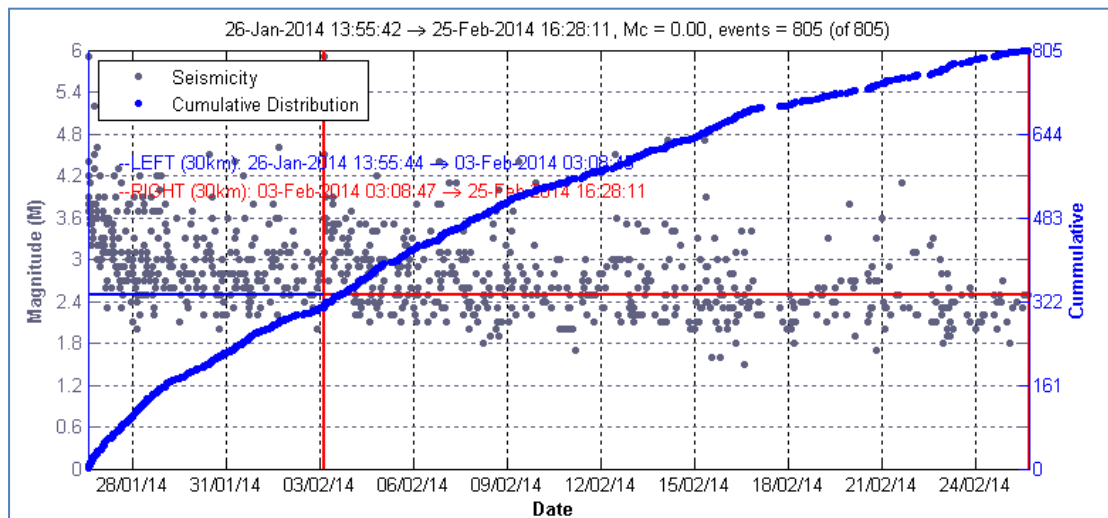
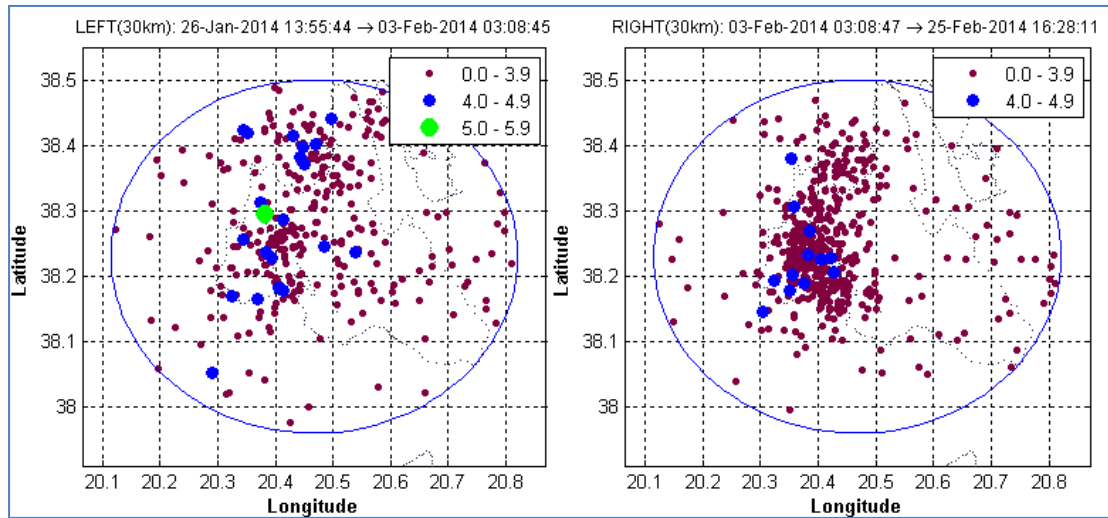
2. b-d/2.50



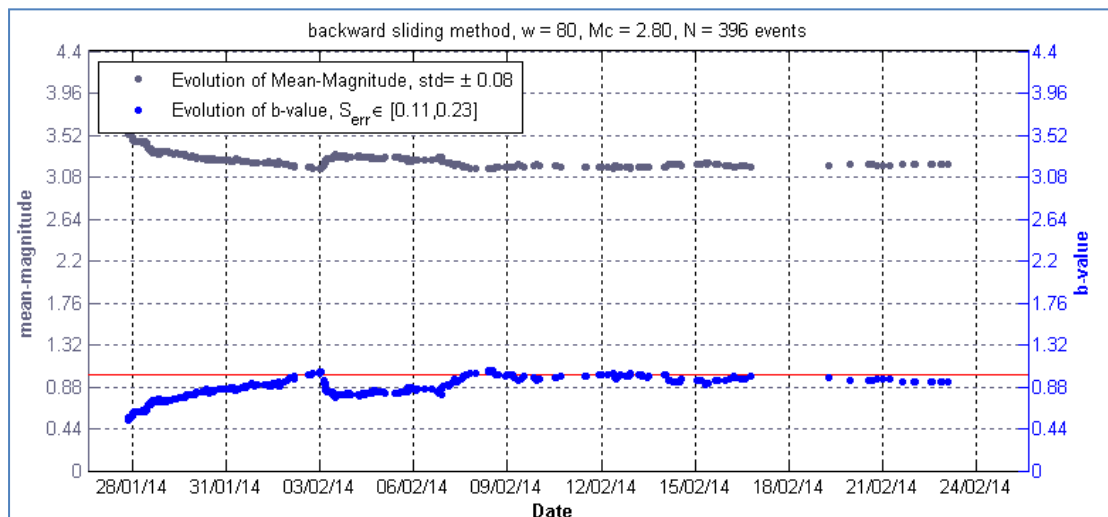
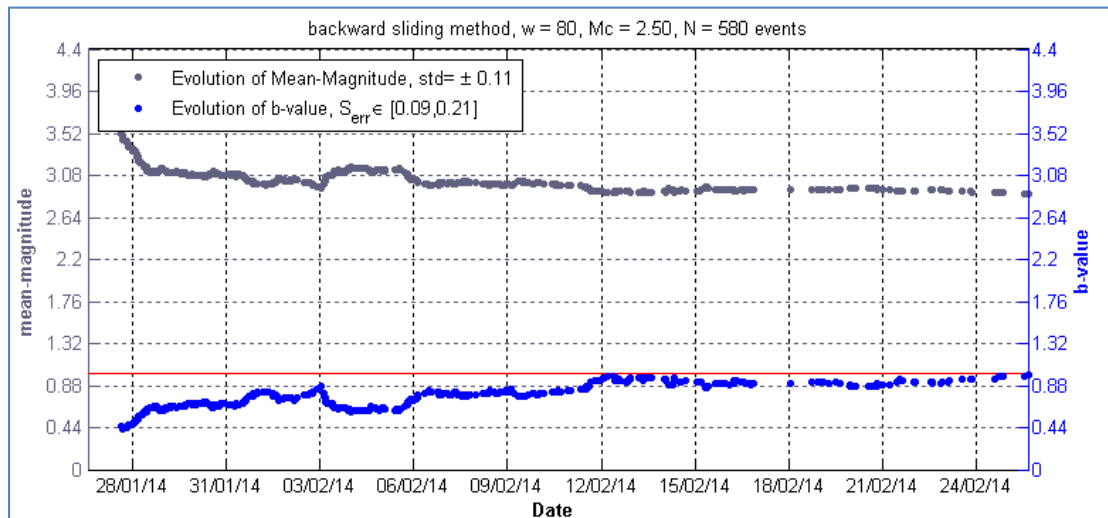
3. b - $e/2.80$



4. $c-d/2.50$



ΑΚΟΛΟΥΘΟΥΝ ΓΡΑΦΗΜΑΤΑ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΤΗΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΥ b ΚΑΙ ΤΟΥ ΜΕΣΟΥ ΜΕΓΕΘΟΥΣ ΓΙΑ ΠΛΗΡΟΤΗΤΑ 2.5 ΚΑΙ 2.8 ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΑ

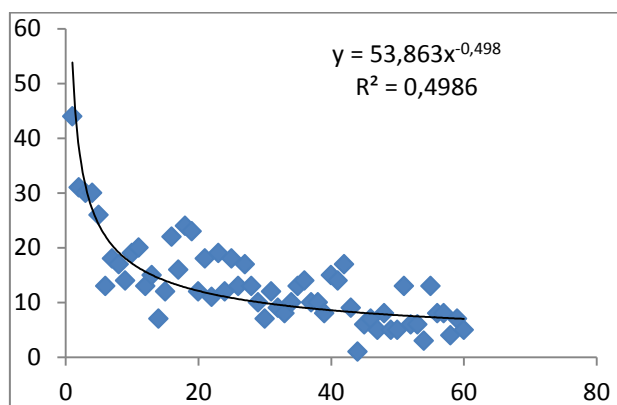


Εικόνα 20. Γραφήματα μεταβολών της σεισμικότητας για την αξιολόγηση της εξελισσόμενης ακολουθίας στην Κεφαλονιά από τις 26.1.2014 μέχρι τις 25.2.2014.

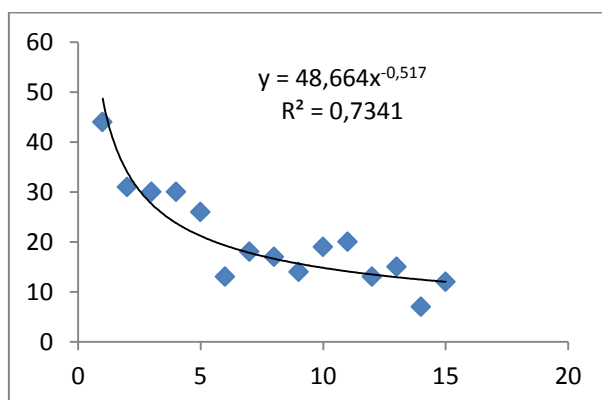
7. Χρονική μεταβολή της ακολουθίας

Η χρονική μεταβολή τυπικών μετασεισμικών ακολουθιών περιγράφεται από το γνωστό νόμο του Omori όπου το πλήθος των μετασεισμών μειώνεται με το χρόνο με νόμο δύναμης (power-law). Ο εκθέτης του νόμου του Omori, h , θεωρητικά είναι ίσος με 1 αλλά, όπως και η τιμή της παραμέτρου b , κυμαίνεται σε τιμές μεγαλύτερες ή μικρότερες του 1 λόγω πολλών παραγόντων (σεισμοτεκτονική της περιοχής, αργή ή γρήγορη εξέλιξη της μετασεισμικής ακολουθίας κλπ.). Για παράδειγμα, στην ακολουθία της Σάμου του 2005 ήταν $h = 1,56$ (Paradopoulos et al., 2006) και στην ακολουθία της Λευκάδας του 2003 ήταν $h = 1,24$ (Paradopoulos et al., 2003).

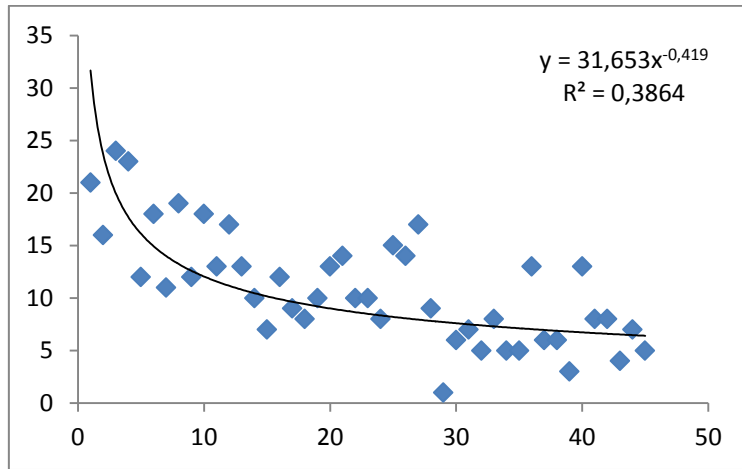
Στις επόμενες Εικόνες (21-23) φαίνονται τα τρία διαγράμματα Omori όπου το πλήθος των μετασεισμών έχει μετρηθεί ανά 12ωρο. Τα αποτελέσματα είναι σχεδόν ίδια αν η μέτρηση γίνει ανά 24ωρο. Όλα δείχνουν μικρές τιμές της παραμέτρου h , κυμαινόμενης μεταξύ 0.419 και 0.517, γεγονός που υποδηλώνει αργή εξέλιξη της μετασεισμικής ακολουθίας τόσο μετά τον πρώτο και μετά τον δεύτερο ισχυρό σεισμό όσο και στο σύνολο της ακολουθίας.



Εικόνα 21. Καμπύλη Omori για όλη τη μετασεισμική ακολουθία.



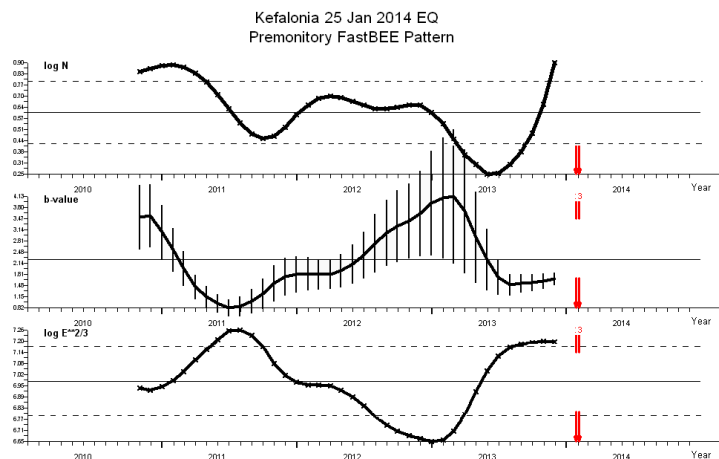
Εικόνα 22. Καμπύλη Omori για τη μετασεισμική ακολουθία μετά τον πρώτο και πριν τον δεύτερο ισχυρό σεισμό.



Εικόνα 23. Καμπύλη Omori για τη μετασεισμική ακολουθία μετά τον δεύτερο ισχυρό σεισμό.

8. Μακροχρόνια μεταβολή της σεισμικότητας

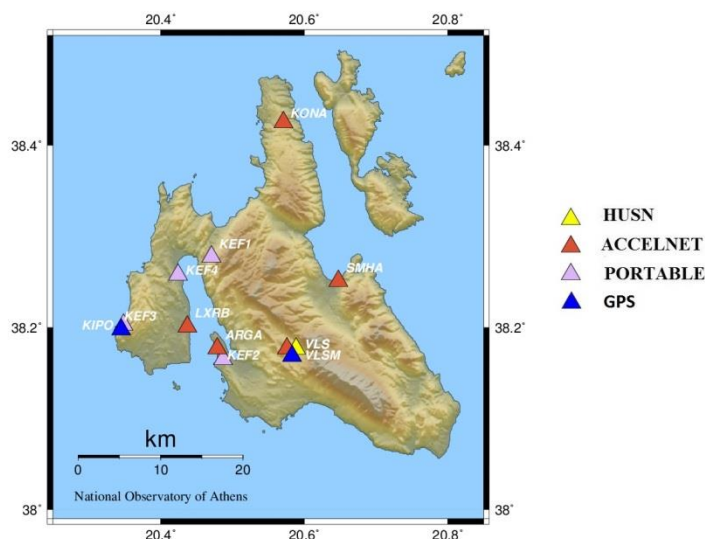
Από τη χρονική μεταβολή ορισμένων στατιστικών παραμέτρων (πλήθος σεισμών N , παράμετρος b της σχέσης μεγέθους-συχνότητας, σεισμική ενέργεια E), προκύπτει ότι της σεισμικής δράσης της Κεφαλονιάς προηγήθηκαν μεταβολές που ίσως έχουν αξία μακροχρόνιου πρόδρομου φαινομένου (π.χ. Porandopoulos and Baskoutas, 2011) (Εικ. 24).



Εικόνα 24. Μακροχρόνια μεταβολή της σεισμικότητας στην περιοχή της Κεφαλονιάς.

9. Ενόργανα Δίκτυα

Μετά την έναρξη της σεισμικής δράσης τα ενόργανα δίκτυα παρακολούθησης του ΓΙ/ΕΑΑ στην Κεφαλονιά πυκνώθηκαν και σήμερα περιλαμβάνουν τους μετρητικούς σταθμούς που φαίνονται στην Εικόνα 24.



Εικόνα 22. HUSN=Σταθμός Εθνικού Σεισμογραφικού Δικτύου, ACCELNET= Σταθμοί Δικτύου Επιταχυνσιογράφων, PORTABLE=φορητοί σεισμογράφοι, GPS=σταθμοί GPS.

Αναφορές

Ganas, Cannavo, Chousianitis, Gonzales and Drakatos, *manuscript in preparation*).

Louvari, E., Kiratzi, A.A. and Papazachos, B.C., 1999. The CTF and its extension to western Lefkada Island. *Tectonophysics*, 308, 223-236.

Papadopoulos, G.A., et al., 2003. The Lefkada, Ionian Sea (Greece), Shock (Mw 6.2) of 14 August 2003: Evidence for the Characteristic Earthquake from Seismicity and Ground Failures. *Earth Planets Space*, 55, 713–718.

Papadopoulos, G.A., et al., 2006. The East Aegean Sea strong earthquake sequence of October–November 2005: lessons learned for earthquake prediction from foreshocks. *Natural Hazards & Earth System Science*, 6, 895–901.

Papadopoulos, G.A., M. Charalampakis, A. Fokaefs & G. Minadakis, 2010. Strong foreshock signal preceding the L'Aquila (Italy) earthquake (Mw 6.3) of 6 April 2009. *Natural Hazards & Earth System Science*, 10, 19–24.

Popandopoulos G. and I. Baskoutas (2011). Regularities in the Time Variations of Seismic Parameters and Their Implications for prediction of Strong Earthquakes in Greece. *Izvestiya Physics of the Solid Earth*, 2011, Vol. 47, No. 11, pp. 974–994. (doi: 10.1134/S1069351311100090).

Randal, G.E. et al. (1994). Efficient calculation of complete differential seismograms for laterally homogeneous earth models, *Geophysical Journal International* 118, 245 – 254.

Sachpazi, M. et al., 2000. Western Hellenic subduction and Cephalonia Transform: local earthquakes and plate transport and strain. *Tectonophysics*, 319, 301-319.