

ΣΕΙΣΜΟΣ ΚΡΗΤΗΣ (M=6.0, 27/09/2021)

Στις **06:17 UTC** (09:17 ώρα Ελλάδας) της **27/09/2021** εκδηλώθηκε ισχυρή σεισμική δόνηση μεγέθους **M_w=6.0** στο νησί της Κρήτης, περίπου 25km NNA της πόλης του Ηρακλείου, κοντά στο Αρκαλοχώρι. Τη δόνηση ακολούθησε μετασεισμική δραστηριότητα που καταγράφηκε από το Ενιαίο Εθνικό Δίκτυο Σεισμογράφων.

Τα δεδομένα των **9 ημερών** μετά την εκδήλωση του κύριου σεισμού, προέκυψαν τόσο από τις αυτόματες λύσεις όσο και από τις αναλύσεις του προσωπικού δύο φορέων του Ενιαίου Εθνικού Δικτύου Σεισμογράφων:

- 1) του Σεισμολογικού σταθμού του Τομέα Γεωφυσικής του Α.Π.Θ. <http://geophysics.geo.auth.gr/ss/CATALOGS/preliminary/prelcatDB.txt> και
- 2) του Γεωδυναμικού Ινστιτούτου του Εθνικού Αστεροσκοπείου της Αθήνας (<http://bbnet.gein.noa.gr/HL/database>)

Τα δεδομένα αυτά ενοποιήθηκαν ώστε να προκύψει ένας ενιαίος κατάλογος σεισμών μελών της σεισμικής διέγερσης. Ακολούθησε επεξεργασία τους με σκοπό την εκτίμηση της εξέλιξης της σεισμικής διέγερσης, με τη βοήθεια κατάλληλου λογισμικού (Τέζα, 2011, Σκορδύλης και συνεργάτες, 2020).

Συγκεκριμένα μελετήθηκαν:

- 1) Η **κατά μέγεθος κατανομή** των σεισμών-μελών της ακολουθίας που αναδεικνύει το μέγεθος πληρότητας και τις τιμές των παραμέτρων **a** και **b** της σχέσης G-R (σχήμα 1)
- 2) Η **χωρική κατανομή** των επικέντρων της ακολουθίας που οριοθετεί το σεισμογόνο χώρο της ακολουθίας (σχήμα 2)
- 3) Η μεταβολή του **μέσου μεγέθους** των σεισμών-μελών, προϋούσης της ακολουθίας (σχήμα 3)
- 4) Η **διαμήκης τομή** του σεισμογόνου χώρου της ακολουθίας που δίνει με καλή προσέγγιση το **μήκος του σεισμογόνου ρήγματος** (σχήμα 4)
- 5) Η **εγκάρσια τομή** του εστιακού χώρου που αναδεικνύει τη **διεύθυνση και τη γωνία κλίσης** του σεισμογόνου ρήγματος (σχήμα 4)
- 6) Η **χρονική κατανομή** των σεισμών-μελών που δείχνει την **ομαλή (ή μη) εξέλιξη** της ακολουθίας, όπως αυτή προκύπτει από το ρυθμό εκδήλωσης των σεισμών που την απαρτίζουν (σχήμα 5)
- 7) Η **χωρο-χρονική κατανομή** των επικέντρων των σεισμών-μελών της ακολουθίας που, σε συνδυασμό με τη χωρική κατανομή (χάρτης σεισμικότητας), οδηγεί στην εξαγωγή

χρήσιμων συμπερασμάτων αναφορικά με τον **τρόπο διάδοσης της διάρρηξης** στο σεισμογόνο ρήγμα (σχήμα 6).

Από τα έως τώρα δεδομένα προκύπτει σαφώς ότι **το σεισμογόνο ρήγμα έχει διεύθυνση BA-ND**. Αυτό βρίσκεται σε **συμφωνία με διαθέσιμους μηχανισμούς γένεσης** του σεισμού που δημοσιεύονται από διάφορα σεισμολογικά κέντρα (GCMT, USGS, NOA, INGV, KOERI, GFZ κ.ά.):

<https://www.emsc-csem.org/Earthquake/tensors.php>

Οι μηχανισμοί γένεσης των κέντρων αυτών είναι παρεμφερείς μεταξύ τους δείχνοντας **κανονική διάρρηξη** κλίσης με επίπεδο ρήγματος BA-ND διεύθυνσης, κλίσης $\sim 46^\circ$ και γωνίας ολίσθησης -84° (σύμφωνα με GCMT: STRIKE=213, DIP=46, SLIP= -96).

Το μήκος του σεισμογόνου χώρου όπως αυτό προκύπτει από τη χωρική κατανομή των επικέντρων (σχήμα 2), από τη χωρο-χρονική τους κατανομή (σχήμα 6) αλλά και από τη διαμήκη τομή (σχήμα 4) του σεισμογόνου χώρου της ακολουθίας (όπως αυτός διαμορφώνεται μέχρι τώρα), φαίνεται να είναι της τάξης των **$\sim 16\text{km}$** . Ένα ρήγμα αυτής της διάστασης θα δικαιολογούσε, σε περίπτωση διάρρηξης σε ολόκληρο το μήκος του, τη γένεση ενός σεισμού μεγέθους ~ 6.0 (Parazachos et al., 2004) μέγεθος που αντιστοιχεί σε αυτό του μεγαλύτερου σεισμού της ακολουθίας, ως τώρα.

Δεδομένου ότι τα εστιακά βάρη των σεισμών της ακολουθίας δεν είναι ιδιαίτερα ακριβή, δεν είναι εφικτό να εξαχθούν ασφαλή συμπεράσματα από την εγκάρσια τομή του εστιακού χώρου, σχετικά με την διεύθυνση και γωνία κλίσης του σεισμικού ρήγματος. Παρ' όλα αυτά, η εγκάρσια τομή του σεισμογόνου χώρου (σχήμα 4) δείχνει **κλίση προς τα ΒΔ**.

Η κατά μέγεθος κατανομή των σεισμών της ακολουθίας (σχήμα 1) δείχνει τιμή της παραμέτρου **$b=0.97$** ενώ η πληρότητα ορίζεται για σεισμούς με $M \geq 2.6$ και προέκυψε από τα δεδομένα των πρώτων 6 ωρών της διέγερσης. Αυτό έγινε για την ασφαλέστερη εκτίμησή της, δεδομένου ότι κατά τις πρώτες ώρες αρκετοί μικροί σεισμοί της ακολουθίας δεν είναι δυνατόν να διακριθούν και αναλυθούν αφού οι καταγραφές τους «εμπλέκονται» μέσα στις κυματομορφές ισχυρότερων σεισμών των οποίων η συχνότητα είναι αυξημένη.

Η χρονική κατανομή των σεισμών της ακολουθίας (σχήμα 5) δείχνει **σταθερή τάση απομείωσης** του ρυθμού εκδήλωσής τους, γεγονός που υποστηρίζεται και από τη **χωρο-χρονική κατανομή** τους (σχήμα 6), ενώ **δεν παρατηρείται συστηματική υπέρβαση** του άνω διαστήματος εμπιστοσύνης, γεγονός που συνηγορεί στον χαρακτηρισμό της εξέλιξης της διέγερσης ως ομαλής.

Ανάλογη εκτίμηση προκύπτει και από τη μεταβολή με το χρόνο του **μέσου μεγέθους** των σεισμών (σχήμα 3), το οποίο φαίνεται να διατηρείται **σταθερό με τιμή $M=3.1$** .

Το επίκεντρο του δεύτερου ισχυρότερου (μέχρι στιγμής) σεισμού της διέγερσης που εκδηλώθηκε στις 28 Σεπτεμβρίου (07:48 ώρα Ελλάδας, M=5.3) εντοπίζεται εντός του σεισμογόνου χώρου του κύριου σεισμού της διέγερσης (σχήμα 2). Τόσο το επίκεντρο όσο και ο μηχανισμός γένεσης του σεισμού αυτού, ο οποίος είναι σχεδόν ταυτόσημος με αυτόν του κύριου σεισμού, συνηγορούν υπέρ της άποψης ότι πρόκειται για ισχυρό μεν, μετασεισμό δε του κύριου σεισμού. Σε ό,τι αφορά το μέγεθός του, η διαφορά των 0.7 μονάδων από το μέγεθος του κύριου σεισμού, αν και μικρή δεν αποκλείει τον χαρακτηρισμό του ως μετασεισμού.

Συμπερασματικά, από τα παραπάνω στοιχεία προκύπτει **σαφής εικόνα ομαλά εξελισσόμενης μετασεισμικής ακολουθίας**. Το συμπέρασμα αυτό τεκμαίρεται τόσο από τις διαστάσεις του σεισμογόνου χώρου (όπως αυτός διαμορφώνεται μέχρι τώρα) όσο και από την εικόνα της χρονικής, της χωρο-χρονικής και της κατά μέγεθος κατανομής των σεισμών της υπό εξέταση διέγερσης.

Δεδομένου ότι ο ρυθμός εκδήλωσης μετασεισμών μειώνεται σταθερά (όπως σαφώς προκύπτει από τη χρονική κατανομή των σεισμών της ακολουθίας) και η εικόνα ομαλά εξελισσόμενης ακολουθίας δείχνει να παγιώνεται, η καθημερινή ενημέρωση καθίσταται μη αναγκαία. Νέα ανάρτηση θα υπάρξει σε περίπτωση ανατροπής αυτής της εικόνας.

Οι χάρτες και τα γραφήματα έγιναν με τη χρήση του ελεύθερου λογισμικού GMT (*Wessel and Smith, 1995*).

Μ. Σκορδύλης
Π. Τριανταφυλλίδης

Βιβλιογραφία

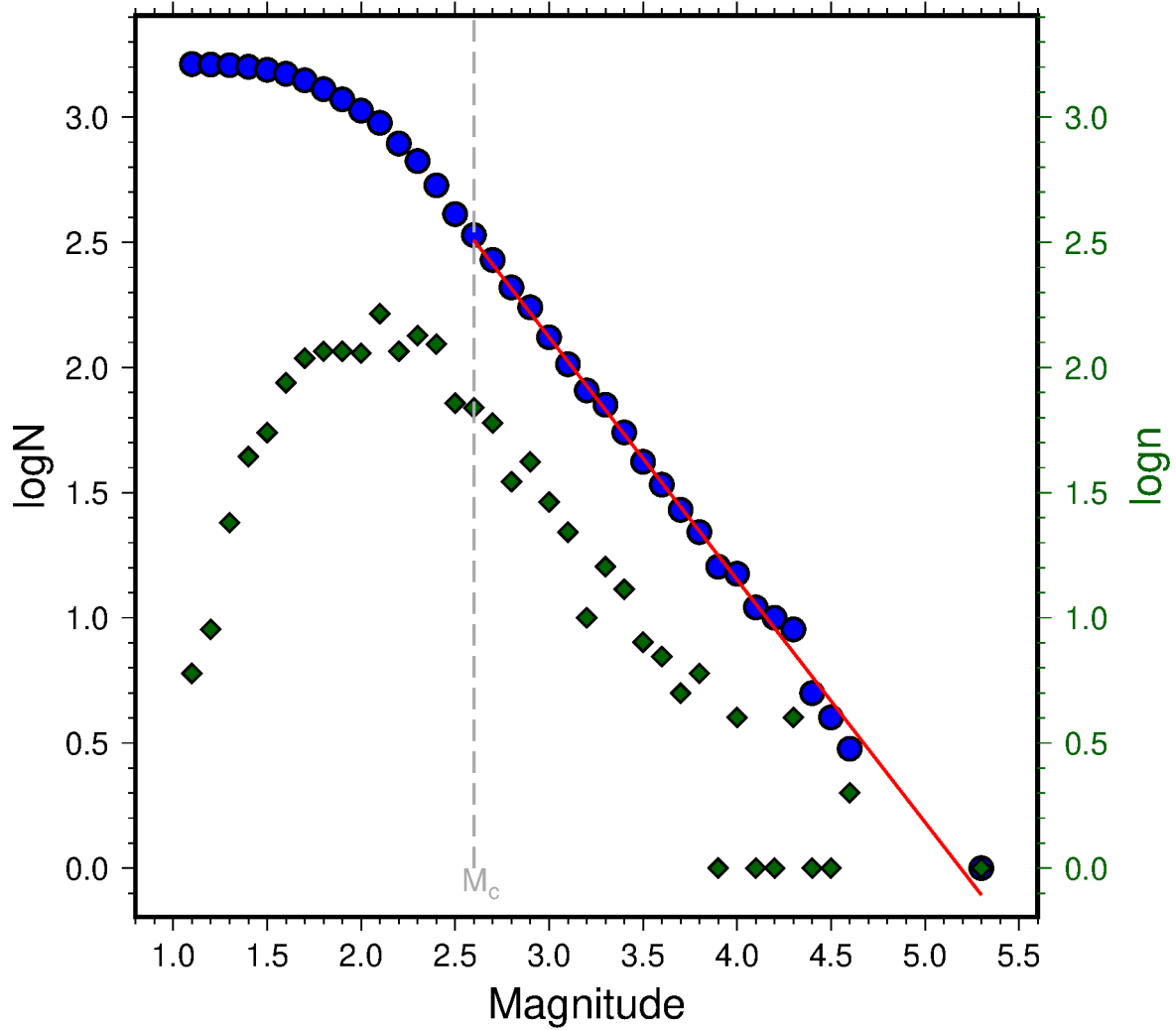
Papazachos, B.C., Scordilis, E.M., Panagiotopoulos, D.G., Papazachos, C.B. and G.F. Karakaisis. Global relations between seismic fault parameters and moment magnitude of earthquakes, *“Bulletin of the Geological Society of Greece”*, XXXVI, 3, 1482-1489, 2004.

Σκορδύλης, Ε.Μ., Π. Τριανταφυλλίδης και Ε. Τέζα. “Λογισμικό για αυτοματοποιημένη παρακολούθηση σε σχεδόν πραγματικό χρόνο (NRT) εξέλιξης σεισμικών διεγέρσεων και εξαγωγή συμπερασμάτων για πιθανή εξέλιξή τους”. *Τελική έκθεση στο πλαίσιο συμμετοχής του ΑΠΘ στην υποδομή Hellenic Observing System (HELPOS) της Πράξης «ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΤΩΝ ΥΠΟΔΟΜΩΝ ΕΡΕΥΝΑΣ ΚΑΙ ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑΣ»*, 68 σελ., 2020.

Τέζα, Ε., Αυτοματοποιημένη διαδικασία παρακολούθησης και εκτίμησης της εξέλιξης σεισμικών εξάρσεων, *“Διατριβή Ειδίκευσης”*, Α.Π.Θ., σελ. 190, 2011.

Wessel, P. and Smith, W., New version of the Generic Mapping Tools, *“EOS”*, 76-329, 1995.

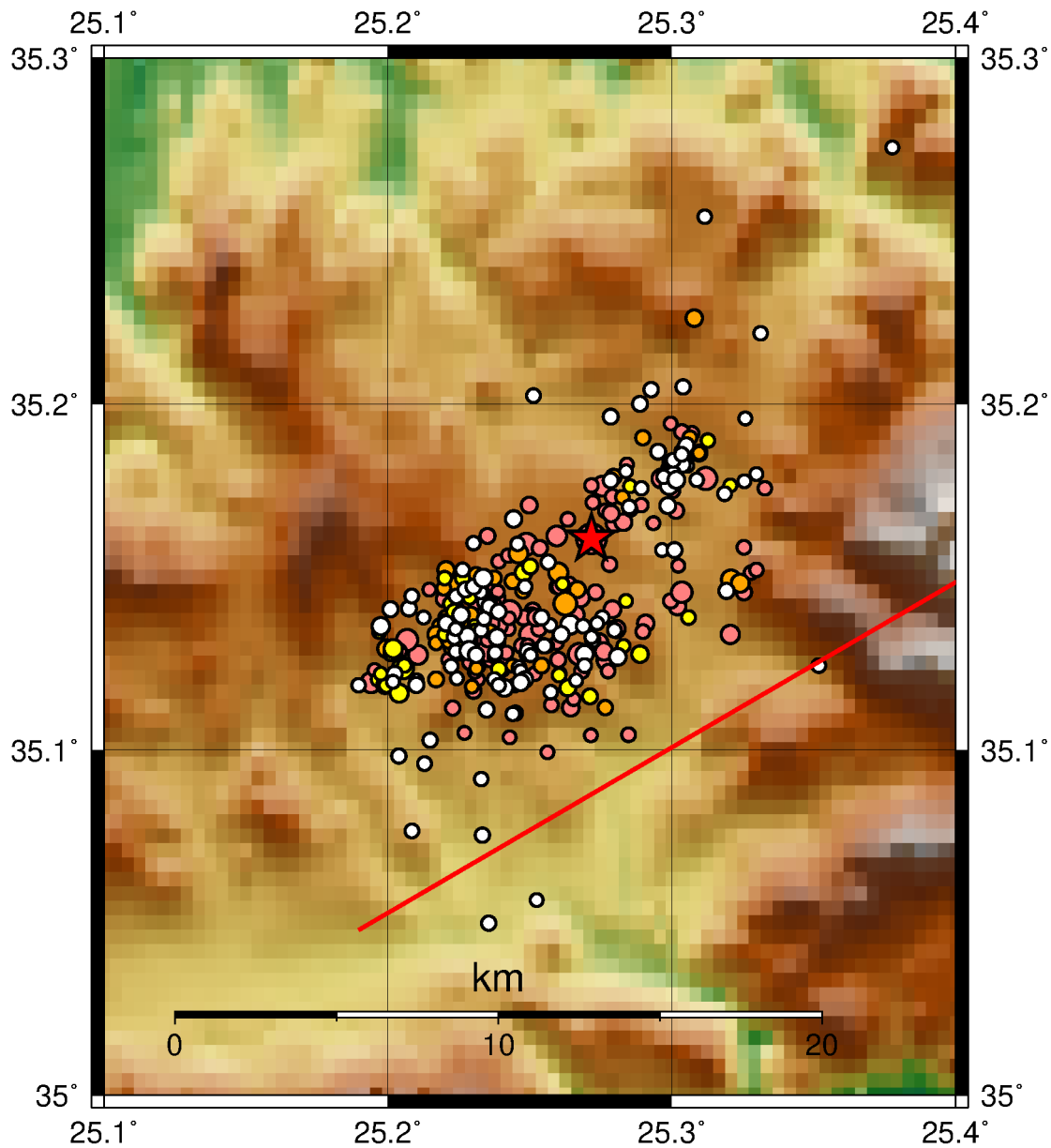
Gutenberg–Richter Distribution



$\log N = 5.03 - 0.97 * M$				
$M_c = 2.6$	$\alpha = 5.03$	$b = 0.97$	$R^2 = 0.995$	$\sigma = 0.046$

Σχήμα 1. Κατά μέγεθος κατανομή των σεισμών της σεισμικής διέγερσης

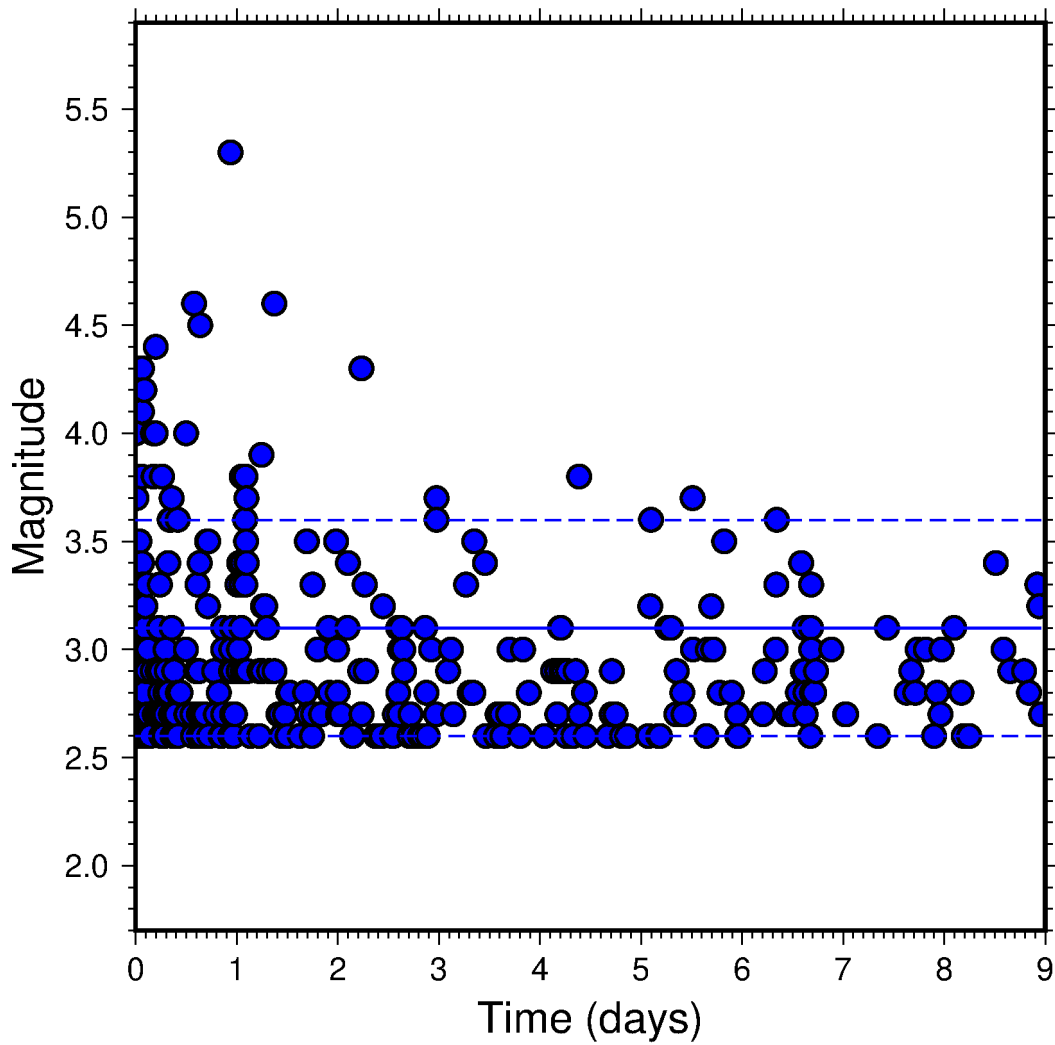
Seismicity Map



★ Main shock, Date: 27/09/2021, Time: 06:17:21 (UTC), Mw=6.0			
Latitude	Longitude	Depth	Azimuth
35.161° N	25.272° E	9 km	59.6°
■ first 24 hrs	■ 24–48 hrs	■ 48–72 hrs	□ after 72 hrs
○ M<3.5	○ 3.5≤M<4.5	○ 4.5≤M<5.5	○ M≥5.5

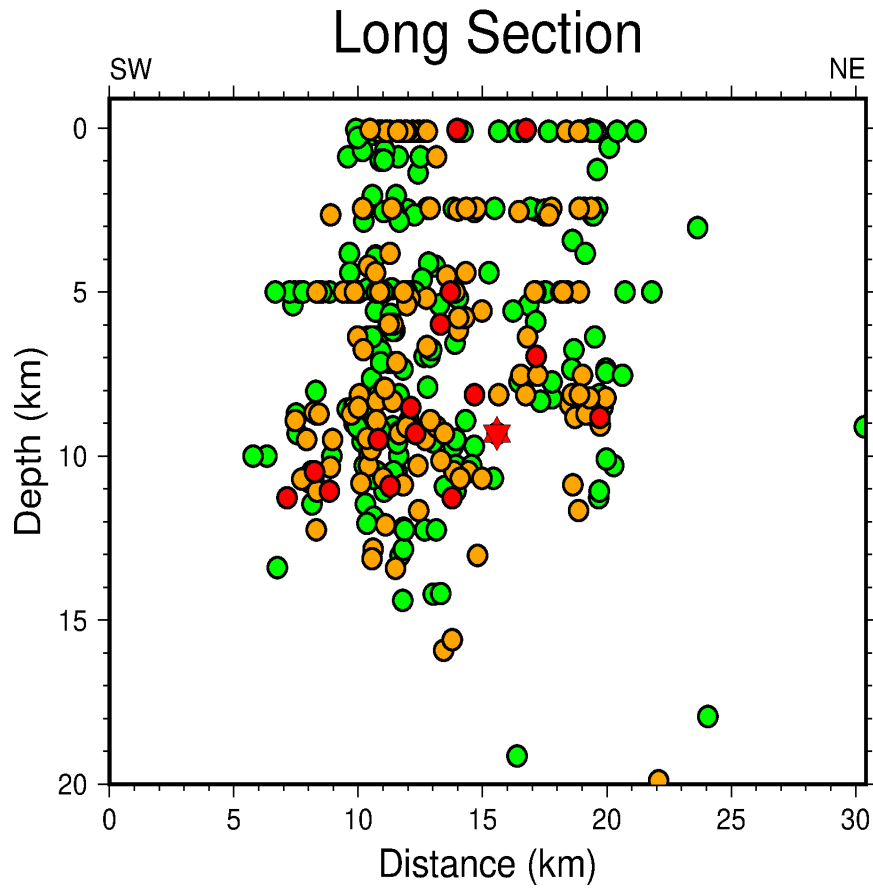
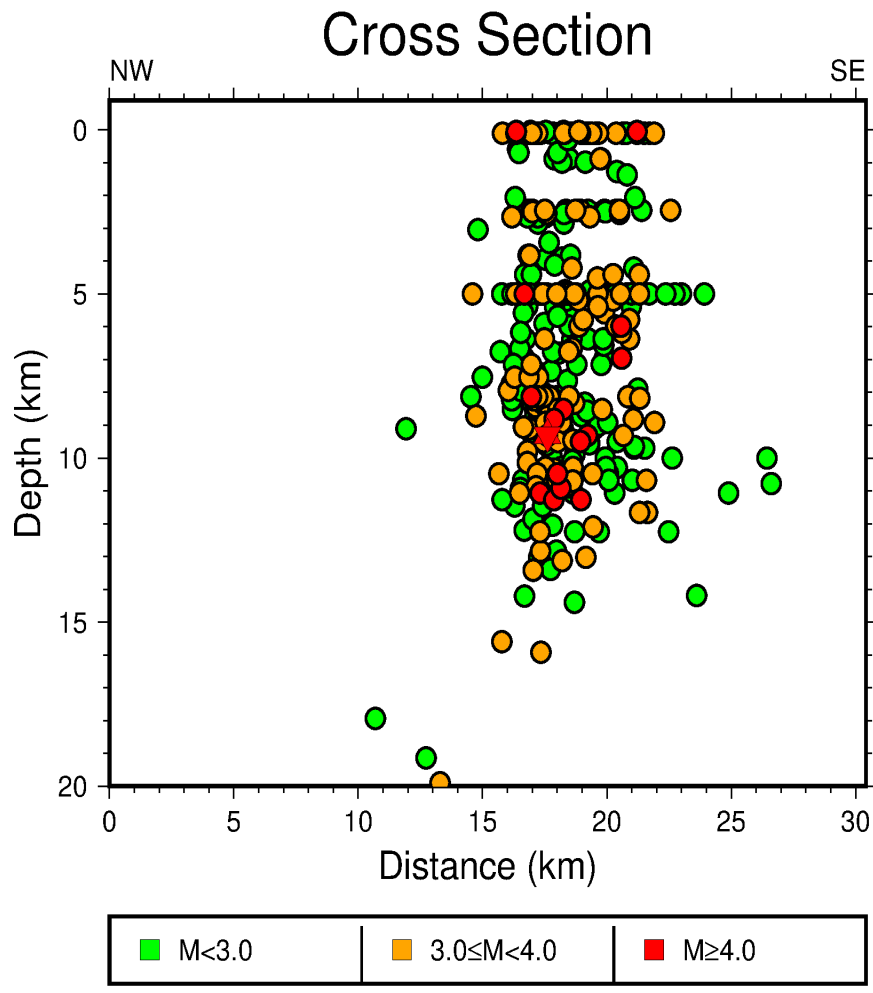
Σχήμα 2. Χωρική κατανομή των επικέντρων των σεισμών της σεισμικής διέγερσης

Mean Magnitude Distribution



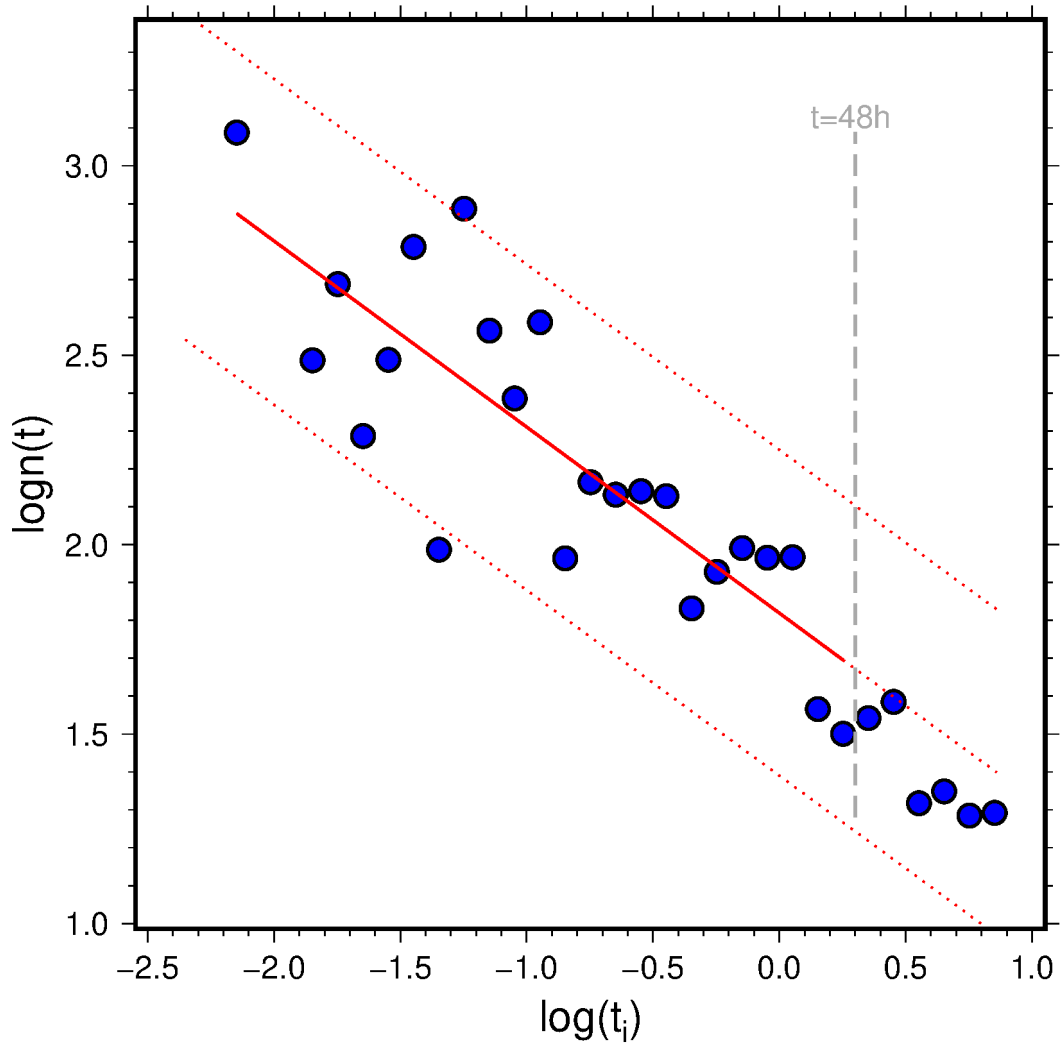
Time period: 216h | Mean Magnitude = 3.1 | SD = 0.499

Σχήμα 3. Χρονική κατανομή των μεγεθών των σεισμών της σεισμικής διέγερσης (μέσο μέγεθος)



Σχήμα 4. Εγκάρσια (επάνω) και διαμήκης (κάτω) τομή του σεισμογόνου χώρου της διέγερσης

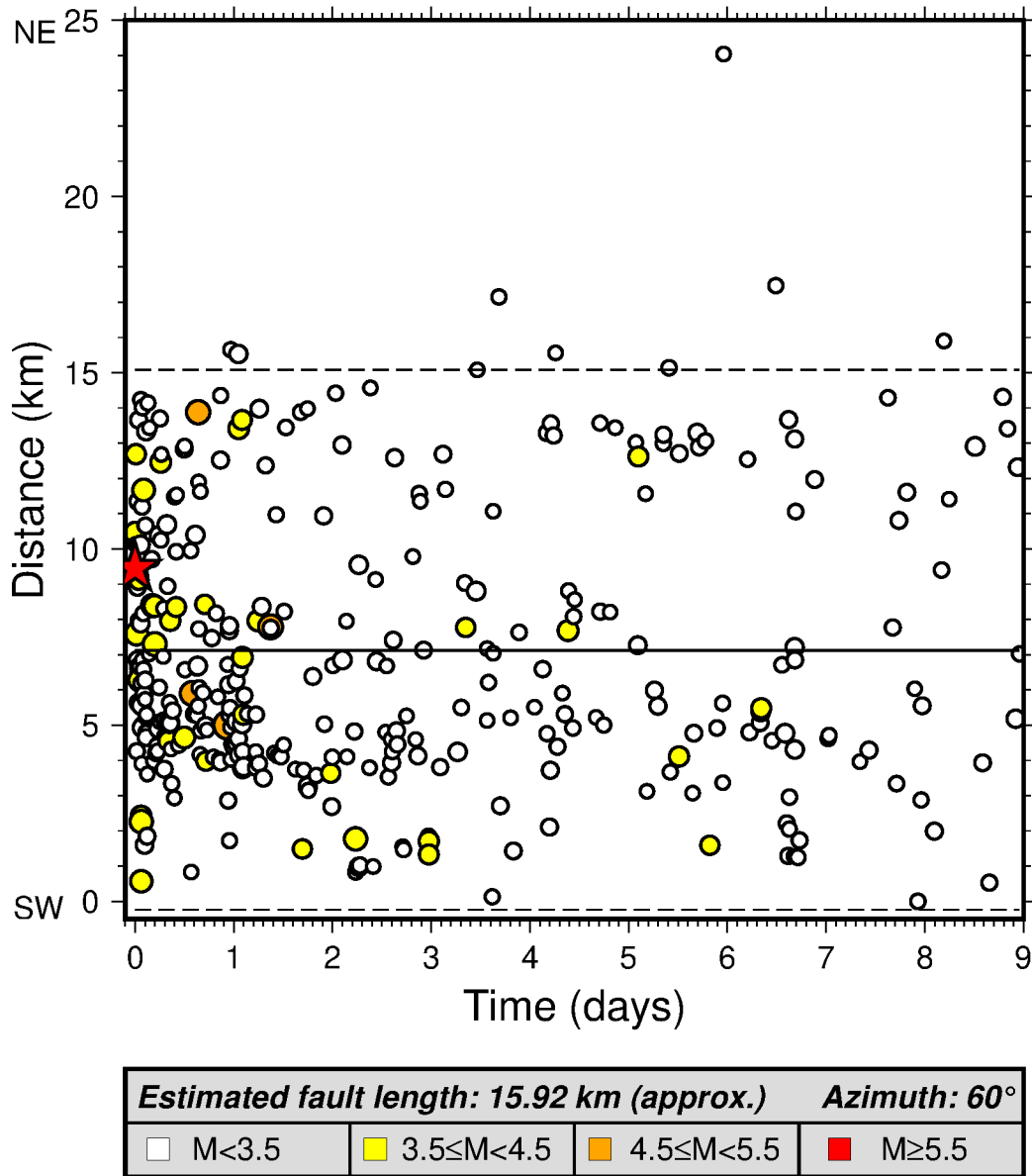
Time Distribution



$\log n(t) = 1.82 - 0.49 \cdot \log(t_i)$				
first 216h	$\alpha = 1.82$	$p = 0.49$	$R^2 = 0.698$	$SD = 0.430$

Σχήμα 5. Χρονική κατανομή των σεισμών της σεισμικής διέγερσης

Space–Time Distribution



Σχήμα 6. Χωρο-χρονική κατανομή των σεισμών της σεισμικής διέγερσης. Οι διακεκομμένες γραμμές οριοθετούν διάστημα εμπιστοσύνης 95% ($\pm 2SD$).