

ΣΕΙΣΜΟΣ Δ. ΤΟΥ ΤΥΡΝΑΒΟΥ (M=6.3, 3/3/2021)

Στις **10:16 UTC** (12:16 ώρα Ελλάδας) της **3/3/2021** εκδηλώθηκε ισχυρή σεισμική δόνηση μεγέθους **M=6.3** στην περιοχή ~8km Δ. του Τυρνάβου. Τη δόνηση ακολούθησε μετασεισμική δραστηριότητα που καταγράφηκε από το Ενιαίο Εθνικό Δίκτυο Σεισμογράφων.

Τα δεδομένα των πρώτων **εννέα 24ώρων** μετά την εκδήλωση του κύριου σεισμού, προέκυψαν τόσο από τις αυτόματες λύσεις όσο και από τις αναλύσεις 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 συγκεντρώθηκαν 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 **χωρική κατανομή** των επικέντρων της ακολουθίας που οριοθετεί το σεισμογόνο χώρο της ακολουθίας,
- 2) 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,
- 3) Η μεταβολή του **μέσου μεγέθους** των σεισμών-μελών, προϊούσης της ακολουθίας,
- 4) Η **διαμήκης τομή** του σεισμογόνου χώρου της ακολουθίας που δίνει με καλή προσέγγιση το **μήκος του σεισμογόνου ρήγματος**,
- 5) Η **εγκάρσια τομή** του εστιακού χώρου που αναδεικνύει τη **διεύθυνση και τη γωνία κλίσης** του σεισμογόνου ρήγματος,
- 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,
- 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.

Τα δεδομένα του τελευταίου 24ώρου, παρά την εκδήλωση νέου ισχυρού μετασεισμού M5.2, απλά επιβεβαίωσαν την ως τώρα εκτίμηση της πορείας της υπό μελέτη διέγερσης. Συγκεκριμένα:

Από τα έως τώρα δεδομένα προκύπτει ένδειξη ότι το σεισμογόνο ρήγμα έχει διεύθυνση 305° ΒΔ-ΝΑ Αυτό βρίσκεται σε **συμφωνία με διαθέσιμους μηχανισμούς γένεσης** του σεισμού που δημοσιεύονται από διάφορα σεισμολογικά κέντρα (GCMT, USGS, NOA, AUTH, INGV, KOERI, GFZ, ERD 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 διεύθυνσης 324° με κλίση 48° και γωνία ολίσθησης -72° (σύμφωνα με GCMT).

Το μήκος του σεισμογόνου χώρου που προκύπτει από το χάρτη επικέντρων αλλά και από τη διαμήκη τομή του σεισμογόνου χώρου της ακολουθίας (όπως αυτός διαμορφώνεται μέχρι τώρα), φαίνεται να έχει μεγαλώσει και είναι της τάξης των **25km**. Ενα ρήγμα αυτής της διάστασης θα δικαιολογούσε, σε περίπτωση διάρρηξης σε ολόκληρο το μήκος του, τη γένεση ενός σεισμού μεγέθους ~6.3, μέγεθος που αντιστοιχεί σε αυτό του μεγαλύτερου σεισμού της ακολουθίας, ως τώρα.

Η παρατηρούμενη αύξηση της διάστασης του σεισμογόνου χώρου της ακολουθίας, σε σχέση με τις εκτιμήσεις των πρώτων ημερών (π.χ. του πρώτου 48ώρου), είναι και φυσιολογική και αναμενόμενη, δεδομένου ότι με την πάροδο του χρόνου μικρά παρακλάδια του σεισμικού ρήγματος ή και μικρά γειτονικά ρήγματα ενεργοποιούνται εκδηλώνοντας μικρούς σεισμούς, «διαστέλλοντας» έτσι το χώρο που καλύπτουν τα επίκεντρα των σεισμών της διέγερσης.

Η κατά μέγεθος κατανομή των σεισμών της ακολουθίας δείχνει τιμή της παραμέτρου $b=0.83$ ενώ η πληρότητα ορίζεται για σεισμούς με $M \geq 2.8$ 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 δείχνει σταθερή τάση απομείωσης του ρυθμού τους, 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, το οποίο φαίνεται να διατηρείται σταθερό με τιμή $M=3.3$.

Δεδομένου ότι τα εστιακά βάθη των σεισμών της ακολουθίας δεν είναι ιδιαίτερα ακριβή, δεν είναι δυνατόν να εξαχθούν αξιόπιστα συμπεράσματα από την εγκάρσια τομή του εστιακού χώρου, σχετικά με την διεύθυνση και γωνία κλίσης του σεισμικού ρήγματος.

Το επίκεντρο του δεύτερου ισχυρότερου σεισμού της διέγερσης που εκδηλώθηκε στις 4 Μαρτίου (20:38 ώρα Ελλάδας, $M=5.9$) εντοπίζεται κοντά στο ΒΔ όριο του σειсмоγόνου χώρου του κύριου σεισμού της διέγερσης. 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 0.4 μονάδων από το μέγεθος του κύριου σεισμού, αν και μικρή δεν αποκλείει τον χαρακτηρισμό του ως μετασεισμού. Ο δεύτερος ισχυρός σεισμός μεγέθους 5.1 που εκδηλώθηκε την ίδια μέρα (4/3) στις 21:23 (ώρα Ελλάδας) εντοπίζεται λίγο δυτικότερα από το ΒΔ άκρο του σειсмоγόνου χώρου, γεγονός που δεν αποκλείει την πιθανότητα να οφείλεται σε διαφορετικό ρήγμα της ίδιας περιοχής. Η χωρο-χρονική κατανομή δίνει χρήσιμες πληροφορίες για την κατανομή πάνω στο σεισμικό ρήγμα των σεισμών που εκδηλώθηκαν αμέσως μετά τους δύο ισχυρότερους σεισμούς της διέγερσης. Ετσι, αμέσως μετά τον κύριο σεισμό της 3/3 ($M=6.3$) παρατηρήθηκε δραστηριότητα πάνω στο σεισμικό ρήγμα σε μήκος $\sim 20\text{km}$ (αριστερό μαύρο πλαίσιο). Μετά τον σεισμό της 4/3 ($M=5.9$) παρατηρήθηκε συγκέντρωση της σεισμικής δραστηριότητας (μετασεισμικής του $M5.9$) προς τα ΒΔ του αρχικού σεισμικού ρήγματος, επεκτείνοντάς το κατά $\sim 6\text{km}$ (μαύρο πλαίσιο δεξιά). Τα μήκη των χώρων αυτών είναι σε καλή συμφωνία με τα εκτιμημένα μεγέθη των αντίστοιχων ισχυρών σεισμών ($\sim 23\text{km}$ για τον $M6.3$ και $\sim 13\text{km}$ για τον $M5.9$). Επίσης κοντά στο ΒΔ άκρο εκδηλώθηκε και ο σημερινός (12/3) μετασεισμός $M5.2$.

Παρά την εκδήλωση νέου ισχυρού μετασεισμού, η σεισμική δραστηριότητα εξακολουθεί, σε γενικές γραμμές, να βαίνει μειούμενη σε ρυθμό εκδήλωσης μετασεισμών, όπως προκύπτει τόσο από την χρονική όσο και από τη χωρο-χρονική κατανομή των σεισμών της ακολουθίας.

Νέα ανάρτηση θα υπάρξει σε περίπτωση ανατροπής αυτής της εικόνας ομαλά εξελισσόμενης ακολουθίας.

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

Μ. Σκορδύλης
Π. Τριανταφυλλίδης
Ε. Τέζα

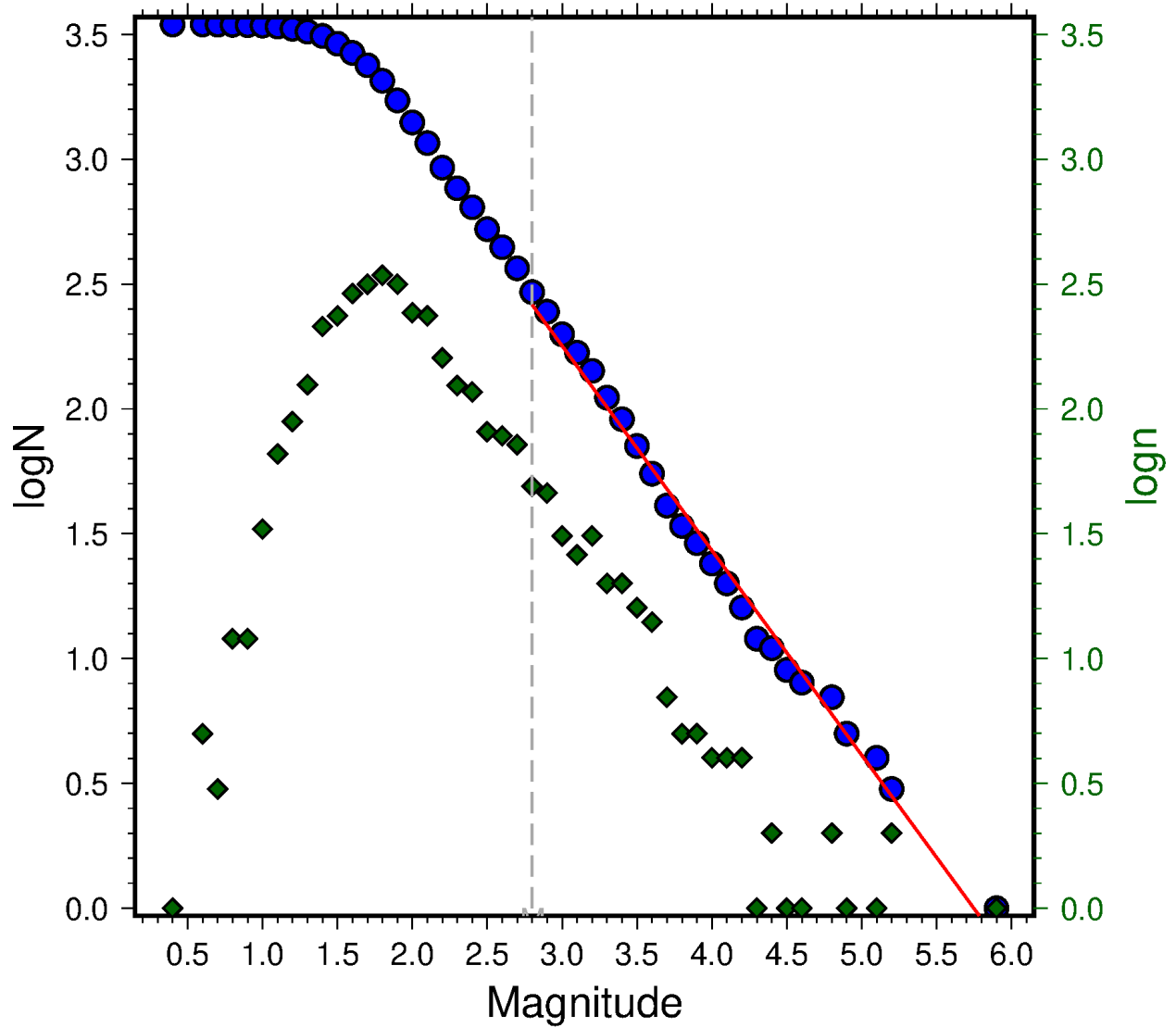
Βιβλιογραφία

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.

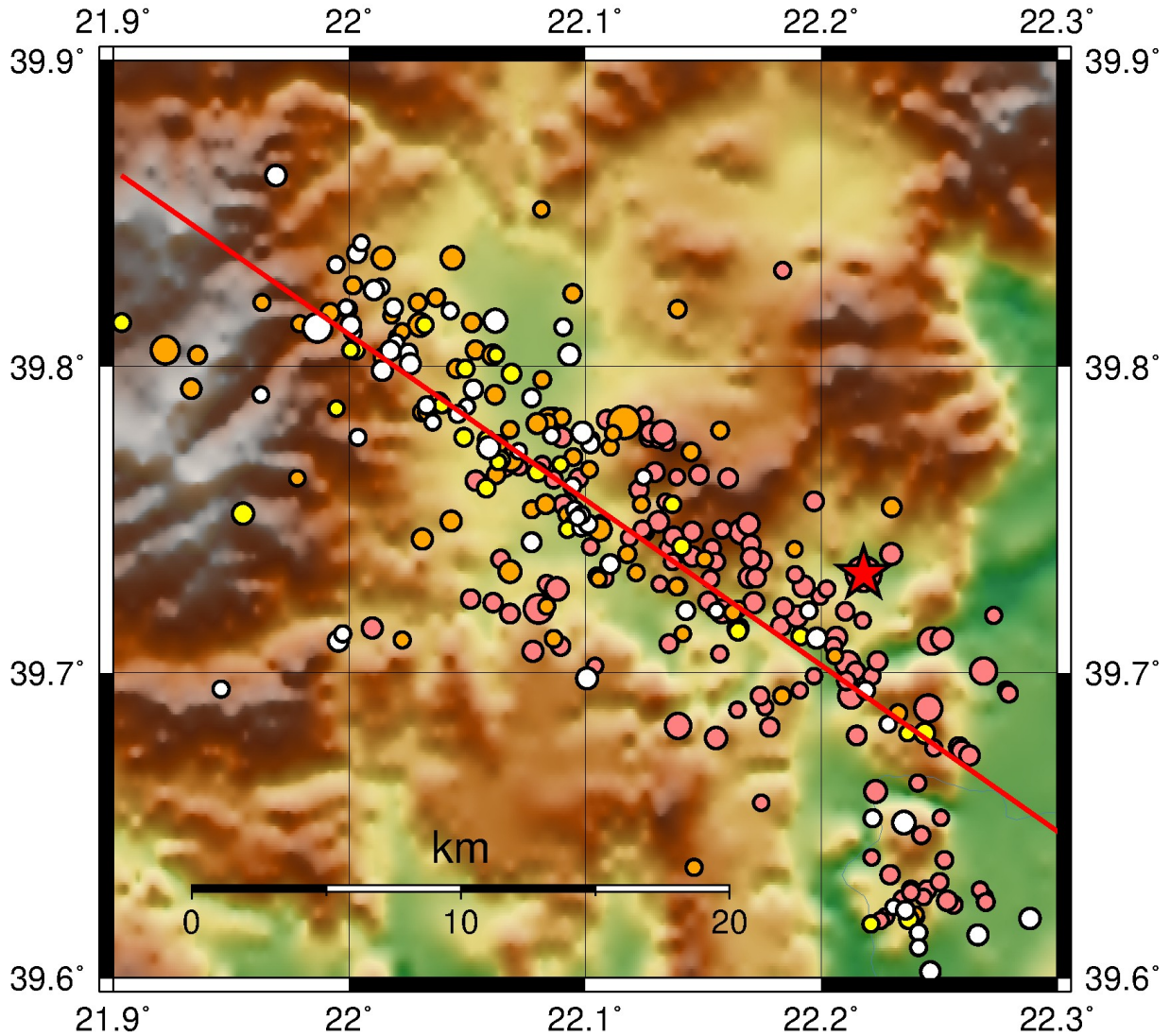
Wessel, P. and Smith, W., “New version of the Generic Mapping Tools”, *EOS*, 76-329, 1995.

Gutenberg–Richter Distribution



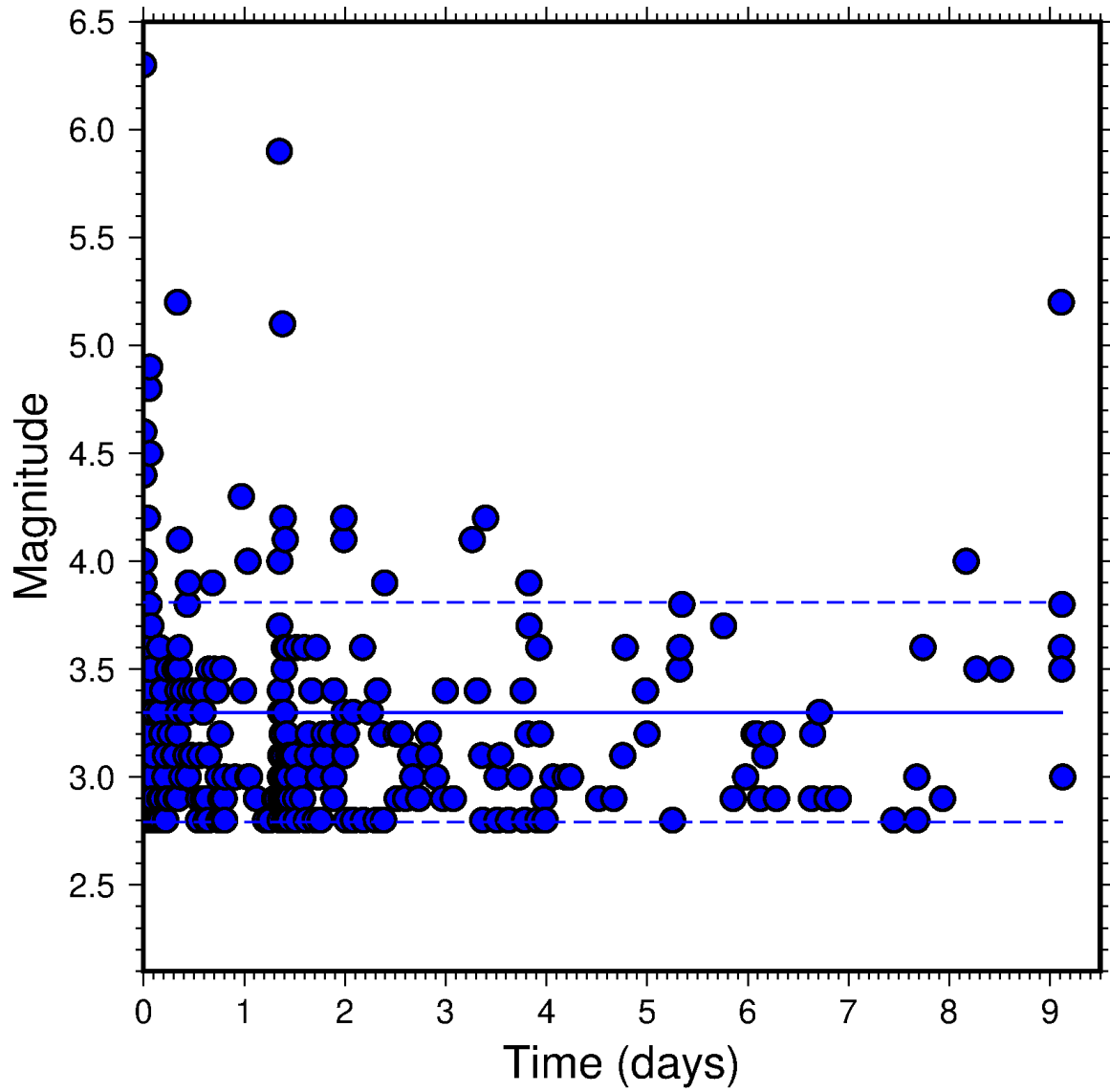
$\log N = 4.71 - 0.82 * M$				
$M_c = 2.8$	$\alpha = 4.71$	$b = 0.82$	$R^2 = 0.992$	$\sigma = 0.061$

Seismicity Map



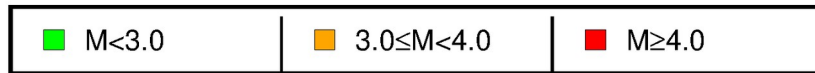
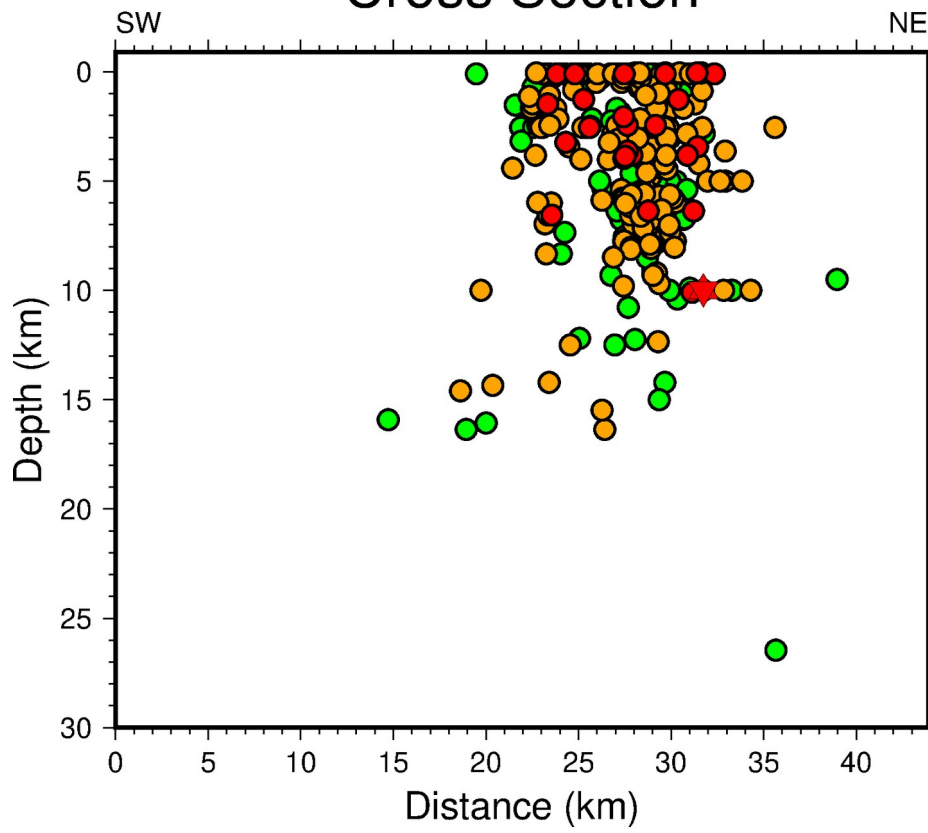
★ Main shock, Date: 03/03/2021, Time: 10:16:08 (UTC), Mw=6.3			
Latitude	Longitude	Depth	Azimuth
39.732° N	22.218° E	10 km	125.0°
■ first 24 hrs	■ 24–48 hrs	■ 48–72 hrs	□ after 72 hrs
○ M<3.5	○ 3.5≤M<4.5	○ 4.5≤M<5.5	○ M≥5.5

Mean Magnitude Distribution

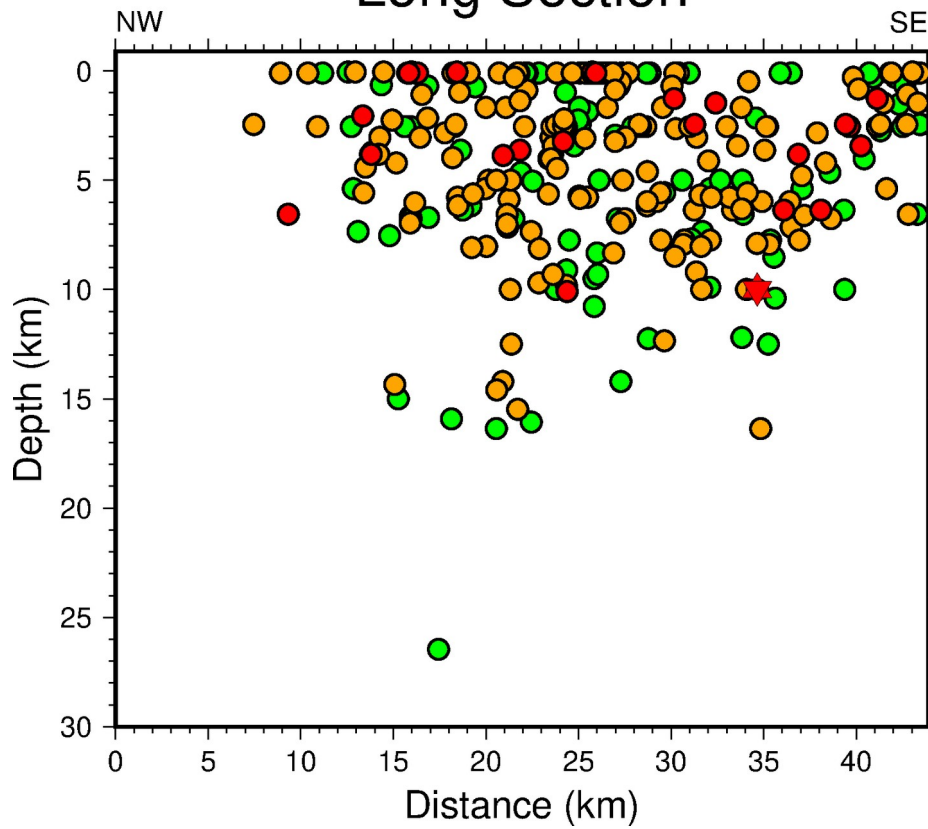


Time period: 228h | Mean Magnitude = 3.3 | SD = 0.510

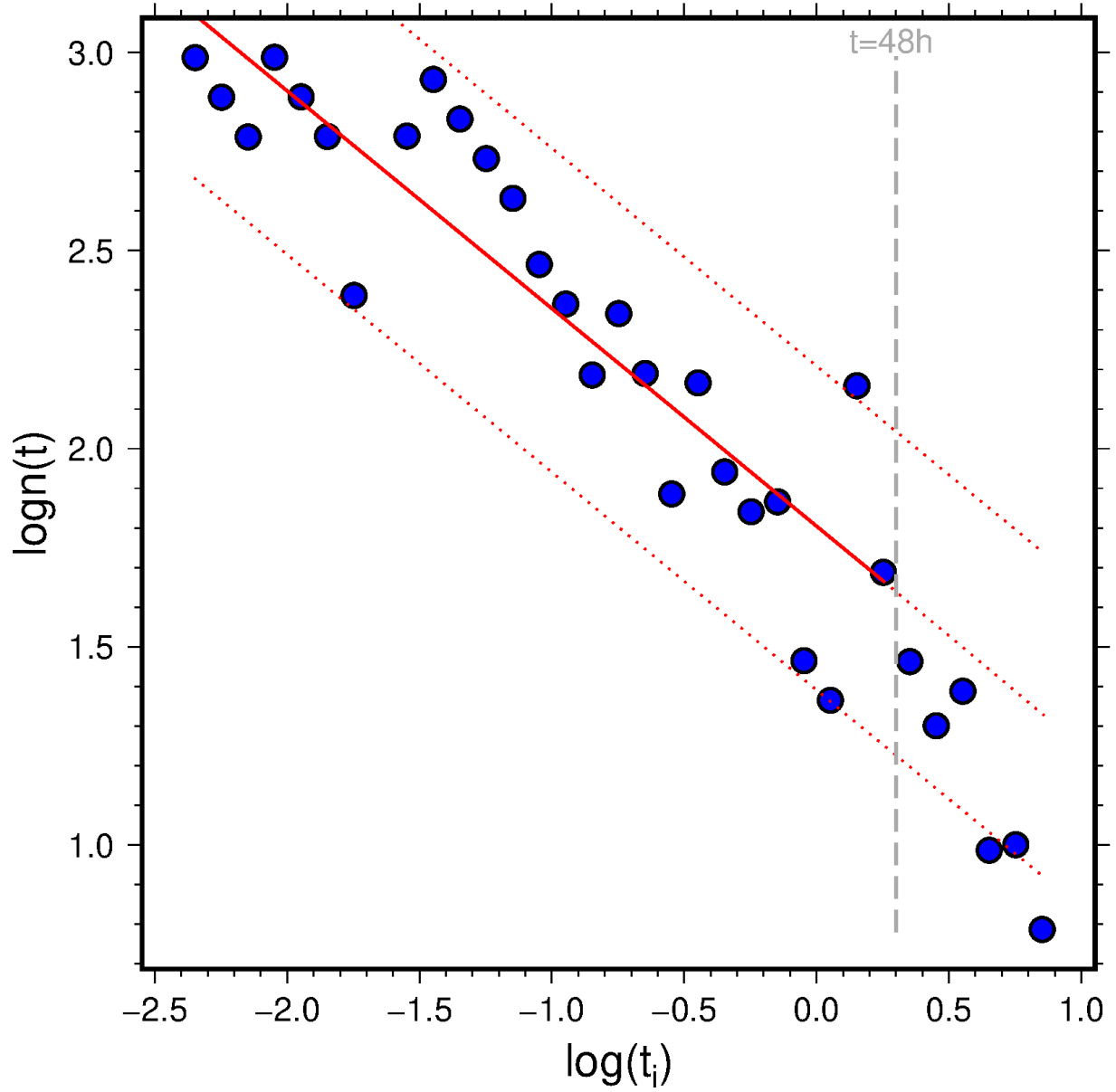
Cross Section



Long Section

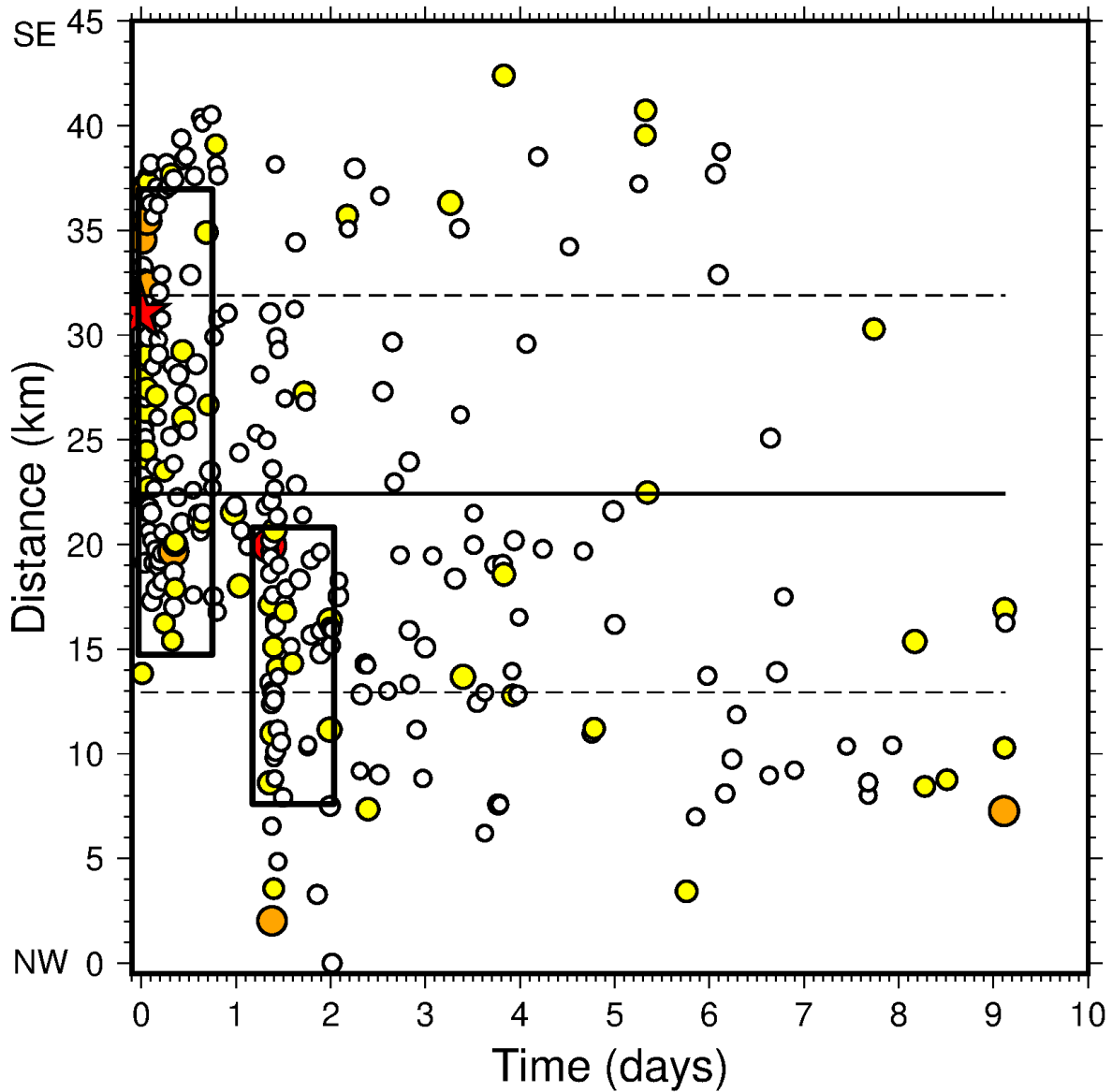


Time Distribution



$\log n(t) = 1.80 - 0.55 * \log(t_i)$				
first 228h	$\alpha = 1.80$	$p = 0.55$	$R^2 = 0.810$	SD = 0.409

Space-Time Distribution



Estimated fault length: 18.96 km (approx.) **Azimuth: 125°**

□ M < 3.5	■ 3.5 ≤ M < 4.5	■ 4.5 ≤ M < 5.5	■ M ≥ 5.5
-----------	-----------------	-----------------	-----------