

Δελτίο τύπου από το Εργαστήριο Σεισμολογίας του ΕΚΠΑ (7 Φεβρουαρίου 2025)

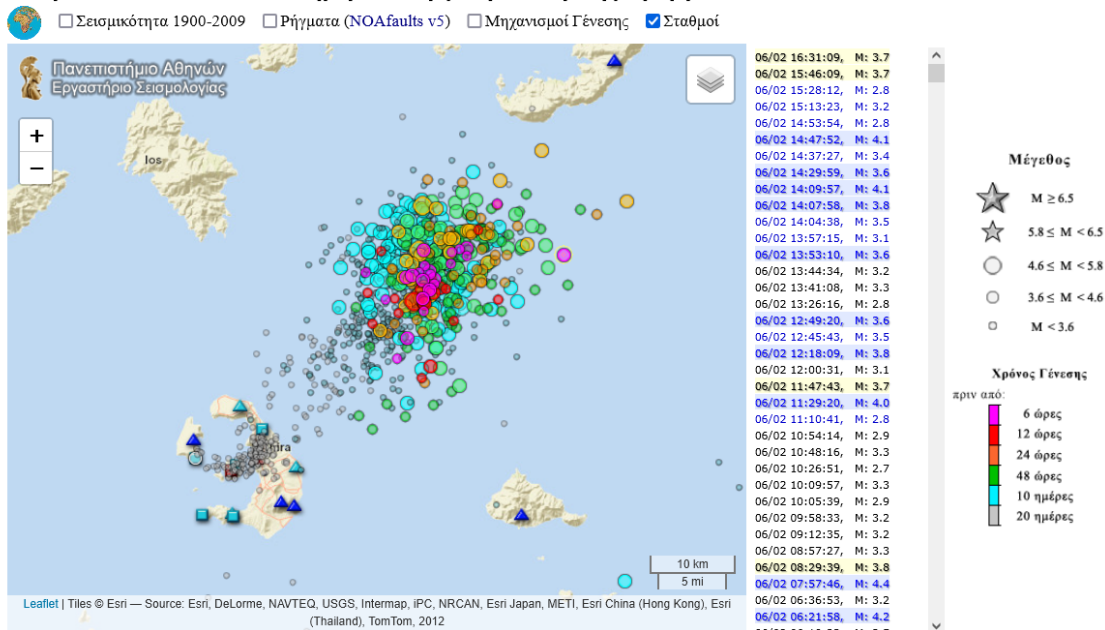
Το Εργαστήριο Σεισμολογίας (ΕΣ) του ΕΚΠΑ ιδρύθηκε το 1929 για την εκπαίδευση των φοιτητών, αλλά και για να συνεισφέρει στην ενόργανη παρακολούθηση και έρευνα της σεισμικότητας του Ελληνικού Χώρου. Το ΕΣ του ΕΚΠΑ έχει εγκαταστήσει δεκάδες σεισμολογικούς σταθμούς, κυρίως στην Κεντρική Ελλάδα, αλλά και στην Κεφαλονιά, τη Σέριφο και τη Σαντορίνη, από τους οποίους λαμβάνονται δεδομένα ψηφιακών καταγραφών σε πραγματικό χρόνο. Στο ΕΣ γίνεται καθημερινά αυτόματη αλλά και χειρακτική (manual) ανάλυση της σεισμικότητας σε όλο τον Ελλαδικό χώρο, με έμφαση σε σεισμικές ακολουθίες όπως αυτή που λαμβάνει χώρα τώρα στη Σαντορίνη. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης της σεισμικότητας είναι διαθέσιμα σε πραγματικό χρόνο στην ιστοσελίδα του ΕΣ του ΕΚΠΑ: <http://dggs1.geol.uoa.gr/>

Το ΕΣ πειραματίζεται με καινοτόμες μεθόδους τεχνητής νοημοσύνης και μηχανικής μάθησης (Machine-Learning, ML) για την αυτόματη ανάλυση του μεγάλου όγκου των διαθέσιμων σεισμολογικών δεδομένων από το Ενιαίο Εθνικό Δίκτυο Σεισμογράφων (ΕΕΔΣ). Οι μέθοδοι αυτές έχουν τη δυνατότητα να εντοπίσουν δεκαπλάσιο πλήθος σεισμικών γεγονότων από εκείνα που εντοπίζονται με συμβατικές μεθόδους, ενώ συγχρόνως δίνουν ιδιαίτερα αξιόπιστα αποτελέσματα. Για την ανάδειξη και τον προσδιορισμό των ρηξιγενών δομών που ενεργοποιήθηκαν σε βάθος κατά τη διάρκεια μιας σεισμικής ακολουθίας, αλλά και για τη βέλτιστη κατανόηση της χωροχρονικής της εξέλιξης, το εξειδικευμένο προσωπικό του ΕΣ του ΕΚΠΑ συνδυάζει τις παραπάνω μεθόδους με τεχνικές περιορισμού των σχετικών χωρικών αβεβαιοτήτων των υποκέντρων και προσδιορισμού του μηχανισμού γένεσης των σημαντικότερων σεισμών.

Το Εργαστήριο Σεισμολογίας του Τμήματος Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος του ΕΚΠΑ παρακολουθεί σε πραγματικό χρόνο την εξέλιξη της σεισμικής δραστηριότητας στο ηφαιστειακό σύμπλεγμα της Σαντορίνης, καθώς και στη ζώνη Σαντορίνης – Αμοργού, πλησίον της νησίδας Ανύδρου. Για την παρακολούθηση της σεισμικότητας σε πραγματικό χρόνο στην περιοχή αυτή, έχει διαμορφωθεί ειδική σελίδα στον ιστότοπο του Τομέα Γεωφυσικής-Γεωθερμίας του ΕΚΠΑ, με διαδραστικό χάρτη (Σχήμα 1) ο οποίος συνδυάζει επίκεντρα των πρόσφατων σεισμών, σεισμολογικούς σταθμούς και ενεργά ρήγματα στην περιοχή μελέτης:

http://www.geophysics.geol.uoa.gr/stations/gmaps3/santorini_amorgos_zone.php

Σεισμοί των τελευταίων 159 ημερών στη ζώνη Σαντορίνης-Αμοργού



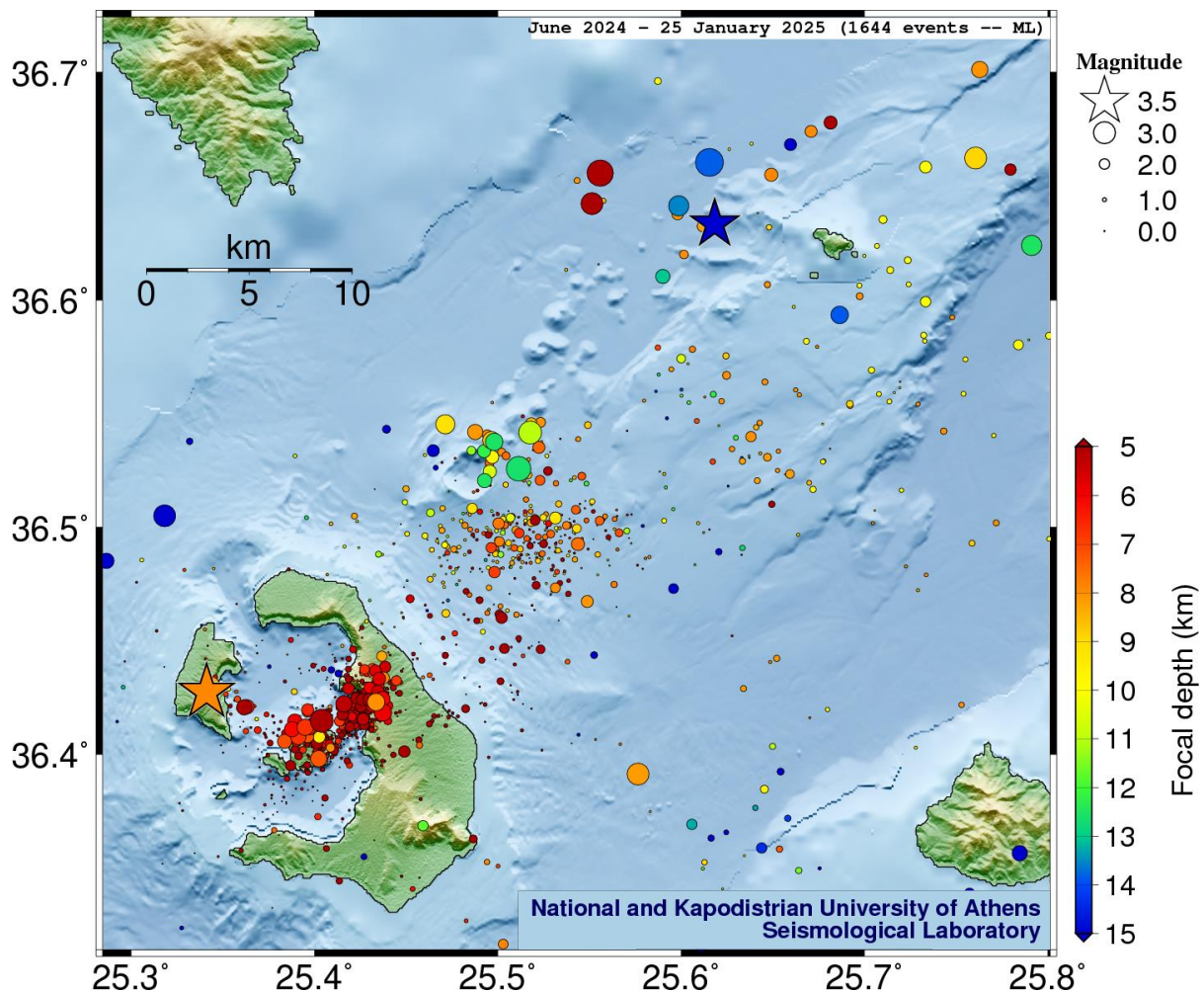
Κλικ στις κεφαλίδες για ταξινόμηση

| A/A | Τύπος Λύσης | Χρόνος Γένεσης (GMT) | Επίκεντρο | Γεωγρ.Πλάτος (°B) | Γεωγρ.Μήκος (°A) | Βάθος (χμ) | Μέγ. | Μηχ.Γέν. |
|-----|-------------|----------------------|----------------------|-------------------|------------------|------------|------|----------|
| 1 | A | 06/02/2025 16:31:09 | 42.4 χμ ΒΑ της Θήρας | 36.6287 | 25.8278 | 2.0 | 3.7 | - |
| 2 | A | 06/02/2025 15:46:09 | 22.0 χμ ΒΑ της Θήρας | 36.5421 | 25.6239 | 10.0 | 3.7 | - |
| 3 | M | 06/02/2025 15:28:12 | 31.5 χμ ΒΑ της Θήρας | 36.6195 | 25.6800 | 8.0 | 2.8 | - |

Σχήμα 1. Απόσπασμα από τον διαδραστικό χάρτη κατανομής σεισμών στη ζώνη Σαντορίνης-Αμοργού, οι οποίοι προέκυψαν από την καθημερινή ανάλυση της σεισμικότητας από το ΕΣ-ΕΚΠΑ. (http://www.geophysics.geol.uoa.gr/stations/gmaps3/santorini_amorgos_zone.php)

Τον Ιούνιο του 2024 άρχισε να εμφανίζεται μικροσεισμική δραστηριότητα εντός της Καλδέρας της Σαντορίνης, με μικρές συστάδες σεισμών να εντοπίζονται κατά τον Ιούλιο και τον Αύγουστο, ενώ η σεισμικότητα εντάθηκε από τα μέσα Σεπτεμβρίου. Πρόκειται για την πρώτη φορά μετά την περίοδο 2011-2012 που εμφανίζεται σημαντική μικροσεισμική δραστηριότητα εντός της Καλδέρας. Κατά την εξέλιξη της εν λόγω ακολουθίας, το Εργαστήριο Σεισμολογίας του ΕΚΠΑ εγκατέστησε μόνιμους σεισμολογικούς σταθμούς στη Σαντορίνη από το 2011. Σε αντίθεση με την Καλδέρα, η περιοχή του υποθαλάσσιου ηφαιστείου Κολούμπο, ~8 km ΒΑ της Σαντορίνης, εμφανίζεται διαχρονικά περισσότερο δραστήρια σεισμικά.

Κατά τη σεισμική ακολουθία του 2024, τα μικροσεισμικά επίκεντρα στη Σαντορίνη εντοπίστηκαν κυρίως στη Νέα Καμένη και την ευρύτερη περιοχή Ημεροβιγλίου - Φηρών, κατά μήκος της «γραμμής Καμένης» με διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ. Συγχρόνως, εμφανίστηκε μικροσεισμική δραστηριότητα στην περιοχή ανατολικά του Κολούμπο, η οποία είχε ενεργοποιηθεί και κατά την περίοδο 2011-2012. Συνολικά, από τον Ιούνιο του 2024 έως και τις 25 Ιανουαρίου 2025 εντοπίστηκαν με τη χρήση τεχνητής νοημοσύνης πάνω από 1,600 σεισμοί στην περιοχή Σαντορίνης-Κολούμπο (Σχήμα 2), με μεγαλύτερο εκείνον που εκδηλώθηκε στις 25 Ιανουαρίου, 08:57:25 ώρα Ελλάδος, με επίκεντρο στις ΝΑ ακτές της Θηρασιάς, με μέγεθος 3.8.

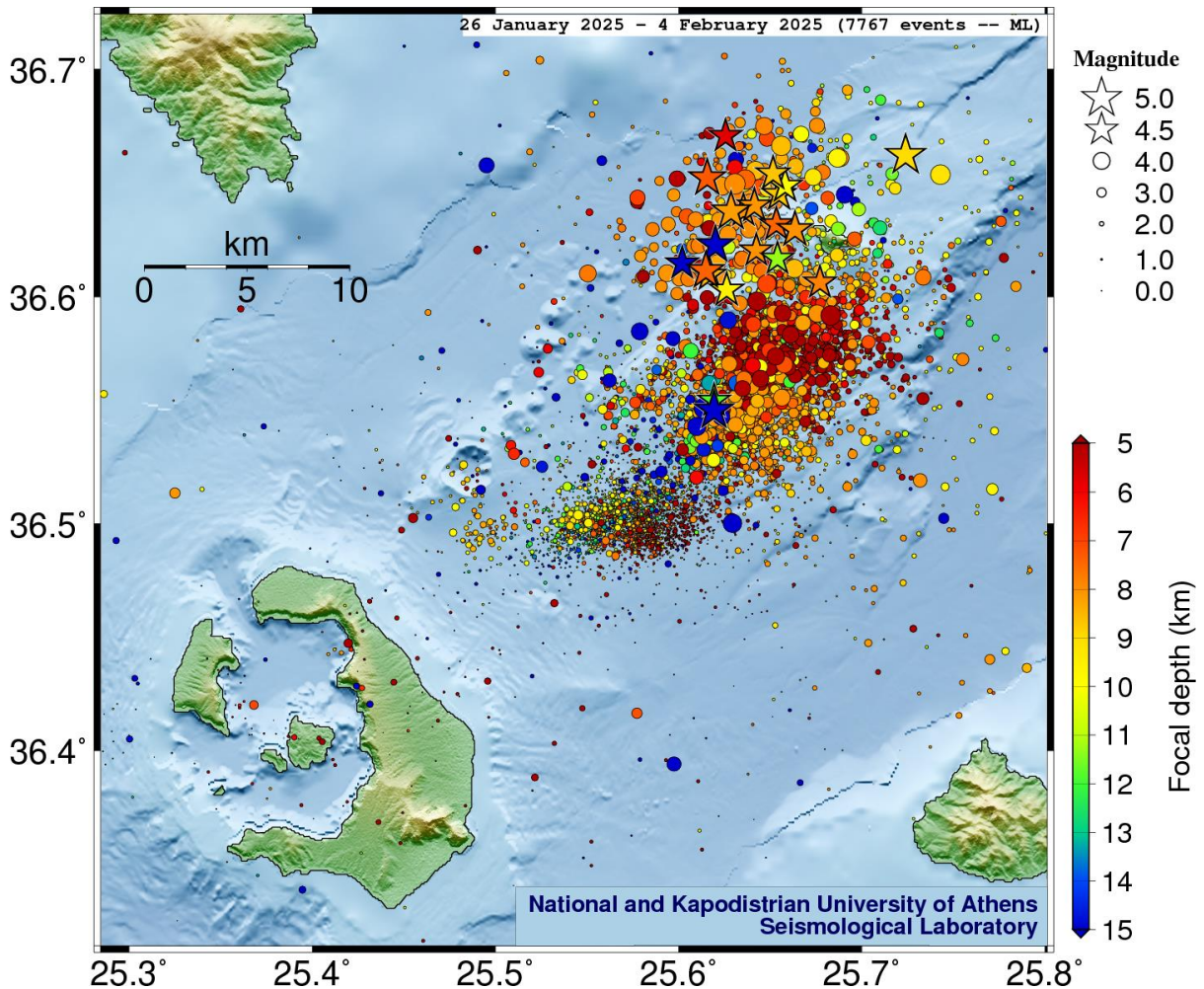


Σχήμα 2. Χάρτης κατανομής σεισμών στην περιοχή των Κυκλάδων (Σαντορίνη – Αμοργός - Ιος) οι οποίοι εντοπίστηκαν με τη χρήση τεχνητής νοημοσύνης κατά την περίοδο Ιούνιος 2024 - 25 Ιανουαρίου 2025. Η ακτίνα των κύκλων είναι ανάλογη του μεγέθους του σεισμού (υπόμνημα επάνω-δεξιά), ενώ τα επίκεντρα σεισμών μεγέθους $M \geq 3.5$ σημειώνονται με αστέρι. Ο χρωματισμός ανταποκρίνεται στο εστιακό βάθος, σύμφωνα με τη χρωματική κλίμακα (δεξιά).

Στις 26 Ιανουαρίου εμφανίστηκε νέα ομάδα σεισμών ανατολικά του ηφαιστείου Κολούμπο, με έντονη έξαρση την επόμενη ημέρα. Έως τις 29 Ιανουαρίου εντοπίστηκαν στην περιοχή αυτή πάνω από 1,300 σεισμοί με τη χρήση τεχνητής νοημοσύνης, επιλέγοντας με αυστηρά κριτήρια για τη διασφάλιση της ποιότητας των αποτελεσμάτων. Από τις 26 έως το πέρας της 31^{ης} Ιανουαρίου είχαν εντοπιστεί πάνω από 2,500 σεισμοί, ενώ από την 1^η Φεβρουαρίου, κατά την οποία ανιχνεύθηκαν πάνω από 800 σεισμοί, ξεκίνησε μια ασυνήθιστα υψηλή παραγωγικότητα σεισμών με μεγέθη μεγαλύτερα του 4.0.

Η σεισμικότητα σταδιακά εξαπλώθηκε προς τα βορειοανατολικά, στην περιοχή γύρω από τη νησίδα Άνυδρο. Κατά την περίοδο από 2 Φεβρουαρίου έως και τις πρώτες ώρες της 5^{ης} Φεβρουαρίου 2025, η σεισμικότητα στη ζώνη Σαντορίνης - Αμοργού εντάθηκε ακόμη περισσότερο. Η ανάλυση σεισμολογικών δεδομένων με χρήση τεχνητής νοημοσύνης έως και την 3^η Φεβρουαρίου απέδωσε ένα πλήθος άνω των 1,300 σεισμών την 2^η Φεβρουαρίου και άνω των 1,400 σεισμών την 3^η Φεβρουαρίου.

Ο αριθμός σεισμών με μέγεθος $M \geq 2.5$ αυξάνεται σταδιακά ανά ημέρα, με πλήθος 0, 1, 2, 6, 9, 25, 45, 340, και 474 σεισμούς από τις 26 Ιανουαρίου μέχρι και τις 3 Φεβρουαρίου. Στις 2 Φεβρουαρίου εκδηλώθηκαν 5 σεισμοί με μέγεθος $M \geq 4.5$, στις 3 Φεβρουαρίου 7 σεισμοί και στις 4 Φεβρουαρίου 9 σεισμοί. Το μέγεθος του μεγαλύτερου σεισμού ήταν 4.6 στις 2 Φεβρουαρίου, ενώ στις 3 και 4 Φεβρουαρίου εκδηλώθηκαν τρεις σεισμοί με μεγέθη 4.9-5.0 και άλλοι τέσσερις με μέγεθος 4.8.

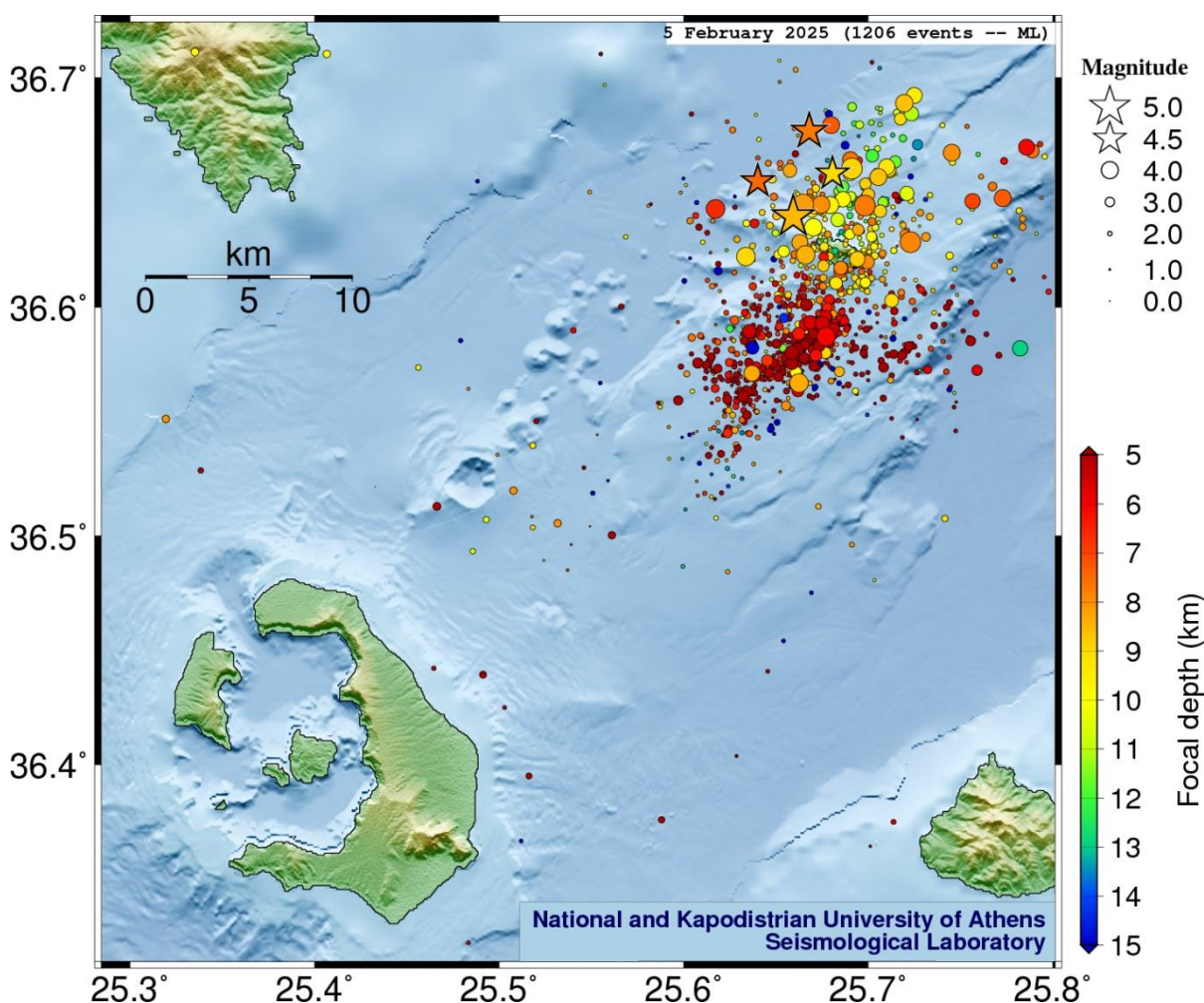


Σχήμα 3. Χάρτης κατανομής σεισμών στην περιοχή των Κυκλάδων (Σαντορίνη – Αμοργός - Ίος) οι οποίοι εντοπίστηκαν με τη χρήση τεχνητής νοημοσύνης κατά την περίοδο 26 Ιανουαρίου - 4 Φεβρουαρίου 2025. Η ακτίνα των κύκλων είναι ανάλογη του μεγέθους του σεισμού (υπόμνημα επάνω-δεξιά), ενώ τα επίκεντρα σεισμών μεγέθους $M \geq 4.5$ σημειώνονται με αστέρι. Ο χρωματισμός ανταποκρίνεται στο εστιακό βάθος, σύμφωνα με τη χρωματική κλίμακα (δεξιά).

Στις 4 Φεβρουαρίου καταγράφηκαν πάνω από 1,300 σεισμοί με $M \geq 1.0$ (συγκριτικά λιγότεροι απ' ότι στις 3 Φεβρουαρίου που καταγράφηκαν ~1,450 σεισμοί με $M \geq 1.0$). Το μέγιστο μέγεθος έφτασε το 4.9-5.0, ενώ εκδηλώθηκαν 21 σεισμοί με μεγέθη $M \geq 4.0$ και 9 σεισμοί με $M \geq 4.5$. Η κατανομή των σεισμικών επίκεντρων στις 4 Φεβρουαρίου ήταν παρόμοια με εκείνη της 3^{ης} Φεβρουαρίου, με τους περισσότερους σεισμούς να εντοπίζονται πλησίον της Ανύδρου. Η εικόνα έγινε ευκρινέστερη προς το τέλος της ημέρας, όταν τα επίκεντρα ευθυγραμμίστηκαν σε διεύθυνση ΝΔ-ΒΑ στα νοτιοδυτικά της Ανύδρου. Μέρος της δραστηριότητας διαχέεται βόρεια της Ανύδρου με περισσότερο διάσπαρτα επίκεντρα. Από τις 26 Ιανουαρίου μέχρι και τις 4 Φεβρουαρίου, ο αριθμός σεισμών που

ανιχνεύθηκαν ξεπέρασε τους 7,700 (Σχήμα 3), εκ των οποίων πάνω από 6,100 είχαν μέγεθος $M \geq 1.0$ και πάνω από 1,200 είχαν μέγεθος $M \geq 2.5$.

Η κατανομή των σεισμικών επικέντρων στις 2 Φεβρουαρίου ξεκίνησε συγκεντρωμένη περίπου στο μέσο της απόστασης Ανύδρου-Σαντορίνης, και στη συνέχεια μετανάστευσε στα ΒΑ προς την Ανύδρου. Στις 3 Φεβρουαρίου, η σεισμικότητα παρέμεινε συσσωρευμένη κυρίως στα νοτιοδυτικά της Ανύδρου, ενώ μικρές συστάδες σεισμών εκδηλώθηκαν και σε περιοχές δυτικά και βόρεια της Ανύδρου, σε αποστάσεις γενικά μικρότερες των 10 km από αυτήν. Κατά την περίοδο 1 Φεβρουαρίου - 4 Φεβρουαρίου, το άκρο της σεισμικά ενεργοποιημένης ζώνης φαίνεται να μετανάστευσε προς τα βορειοανατολικά με ταχύτητα $\sim 4-5$ χλμ/ημέρα (km/day) σε κατεύθυνση $\sim 40^\circ$ Α. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της μεθόδου μηχανικής μάθησης φαίνεται κατά τη διάρκεια εξάρσεων, η μετανάστευση να γίνεται με ακόμη μεγαλύτερη ταχύτητα κατά περιοχές, καλύπτοντας μικρότερες αποστάσεις.



Σχήμα 4. Χάρτης κατανομής σεισμών στην περιοχή των Κυκλάδων (Σαντορίνη – Αμοργός - Ίος) οι οποίοι εντοπίστηκαν με μεθόδους τεχνητής νοημοσύνης στις 5 Φεβρουαρίου 2025. Τα σύμβολα είναι όπως και στο Σχήμα 3.

Στις 5 Φεβρουαρίου η σεισμικότητα συνέχισε να μεταναστεύει προς τα βορειοανατολικά με περίπου τον ίδιο ρυθμό όπως και τις αμέσως προηγούμενες ημέρες. Οι μεγαλύτεροι σεισμοί ($M \geq 4.0$) εντοπίζονται βόρεια της Ανύδρου, σε επικεντρικές αποστάσεις έως ~ 6 km. Στις 5

Φεβρουαρίου καταγράφηκαν πάνω από 1,200 σεισμοί με μέθοδο τεχνητής νοημοσύνης (Σχήμα 4), εκ των οποίων 741 με $M \geq 1.0$, ενώ 19 σεισμοί είχαν μέγεθος $M \geq 4.0$, 4 σεισμοί είχαν μέγεθος $M \geq 4.5$ και ο μεγαλύτερος σεισμός είχε μέγεθος $M=5.1$.

Πίνακας ημερήσιας κατανομής σεισμών στην περιοχή των Κυκλάδων (Σαντορίνη-Αμοργός-Ιος). Παρουσιάζονται τα συνολικά πλήθη σεισμών (ημερήσια και αθροιστικά), τα πλήθη σεισμών για μεγέθη (M) μεγαλύτερα ή ίσα των 4.0 και 4.5 (αντίστοιχα) και το ημερήσιο μέγιστο μέγεθος σεισμού που καταγράφηκε.

| Ημερομηνία | Ημερήσιο πλήθος σεισμών | Αθροιστικό πλήθος σεισμών | Σεισμοί με $M \geq 4.0$ | Σεισμοί με $M \geq 4.5$ | Ημερήσιο Μέγιστο Μέγεθος |
|------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|
| 26/01/2025 | 26 | 26 | 0 | 0 | 1.3 |
| 27/01/2025 | 208 | 234 | 0 | 0 | 2.4 |
| 28/01/2025 | 554 | 788 | 0 | 0 | 2.8 |
| 29/01/2025 | 621 | 1,409 | 0 | 0 | 2.7 |
| 30/01/2025 | 615 | 2,024 | 0 | 0 | 2.9 |
| 31/01/2025 | 710 | 2,734 | 0 | 0 | 3.3 |
| 01/02/2025 | 809 | 3,543 | 2 | 0 | 4.3 |
| 02/02/2025 | 1,392 | 4,935 | 13 | 5 | 4.6 |
| 03/02/2025 | 1,476 | 6,411 | 20 | 7 | 5.0 |
| 04/02/2025 | 1,356 | 7,767 | 21 | 9 | 5.0 |
| 05/02/2025 | 1,206 | 8,973 | 19 | 4 | 5.1 |
| 06/02/2025 | | | 18 | 5 | 4.7 |

Σύμφωνα με τα στοιχεία καθημερινής ανάλυσης σεισμικών δεδομένων του Εργαστηρίου Σεισμολογίας του ΕΚΠΑ, κατά την 6^η Φεβρουαρίου έχουν καταγραφεί πάνω από 110 σεισμοί, εκ των οποίων 18 με μεγέθη $M \geq 4.0$ και 5 με $M \geq 4.5$, ενώ ο μεγαλύτερος σεισμός είχε μέγεθος 4.7, με τους περισσότερους σεισμούς να σημειώνονται νοτιοδυτικά της Ανύδρου, και ελάχιστους βορειοανατολικά. Τα στοιχεία των τελευταίων ημερών δείχνουν ότι, αν και συνεχίζει να εμφανίζεται μεγάλο πλήθος σεισμών με $M \geq 4.0$, ο ρυθμός σεισμικότητας παρουσιάζει μια σχετική μείωση, ως προς τους σεισμούς που εντοπίζονται τόσο με συμβατικές μεθόδους όσο και με μεθόδους τεχνητής νοημοσύνης.

Η έως τώρα σεισμική δραστηριότητα στη ζώνη Σαντορίνης - Αμοργού πιθανώς φέρει τα χαρακτηριστικά ενός σεισμικού σμήνους, καθώς δεν διακρίνεται κάποιος σεισμός με μέγεθος σαφώς μεγαλύτερο από όλους τους υπόλοιπους, ο οποίος θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως κύριος σεισμός. Επιπλέον, ο ρυθμός σεισμικότητας έως και τις 4 Φεβρουαρίου ήταν αυξανόμενος, ενώ οι μετασεισμικές ακολουθίες χαρακτηρίζονται από φθίνουσα χρονική κατανομή σεισμών, με το μέγεθος του μεγαλύτερου μετασεισμού συνήθως να είναι μικρότερο από ~ 0.5 συγκριτικά με τον κύριο σεισμό.

Αν και πιθανώς να πρόκειται για σμήνος που εμπεριέχει σεισμούς μεγάλων μεγεθών, συγκριτικά με άλλα πρόσφατα σεισμικά σμήνη στον Ελλαδικό χώρο, ένα ενδεχόμενο είναι να συνεχιστεί η δράση του με σταδιακά μικρότερα μεγέθη και μικρότερο πλήθος σεισμών, αλλά να διαρκέσει πολλούς μήνες, όπως στην περίπτωση του σεισμικού σμήνους της Θήβας. Η φαινομενική κορύφωση της δραστηριότητας στις 3 Φεβρουαρίου και η σταδιακή της μείωση έως τις 6 Φεβρουαρίου,

συντείνουν προς αυτή την κατεύθυνση. Ωστόσο, ένα δεύτερο ενδεχόμενο, το οποίο δεν μπορεί να αποκλειστεί, είναι το σμήνος αυτό να διεγείρει τη διάρρηξη ενός σημαντικού τμήματος μεγάλου ενεργού ρήγματος της περιοχής, δίνοντας έτσι έναν κύριο σεισμό, και στη συνέχεια η δραστηριότητα να πάρει τη μορφή μιας τυπικής μετασεισμικής ακολουθίας. Σε μια τέτοια περίπτωση, το σεισμικό σμήνος που έχει προηγηθεί του κύριου σεισμού θα χαρακτηριστεί (εκ των υστέρων) ως προσεισμική ακολουθία.

Αν και η παρατηρούμενη σεισμική έξαρση λαμβάνει χώρα εντός του ενεργού ηφαιστειακού τόξου του Νοτίου Αιγαίου, δεν σχετίζεται άμεσα με κάποιο γνωστό ηφαιστειακό κέντρο, αλλά φαίνεται να έχει ενεργοποιήσει ένα σύστημα κανονικών ρηγμάτων, διεύθυνσης ΝΔ-ΒΑ στη θαλάσσια λεκάνη της Ανύδρου. Τα σεισμικά σμήνη, και ιδιαίτερα αυτά που βρίσκονται μέσα ή κοντά σε ηφαιστειακά περιβάλλοντα, συχνά διεγείρονται από διείδυση ρευστών στον ρηξιγενή ιστό, τα οποία διευκολύνουν τις διαρρήξεις, σε συνδυασμό με τη μεταφορά τάσης που προκαλείται από τους ίδιους τους τεκτονικούς σεισμούς.

Οι δυνατότητες ανιχνευσιμότητας μικροσεισμών αναμένεται να βελτιωθούν, και οι αβεβαιότητες εντοπισμού των υποκέντρων να μειωθούν τις προσεχείς ημέρες, καθώς όλοι οι φορείς του Ενιαίου Εθνικού Δικτύου Σεισμογράφων εργάζονται για την πύκνωση του δικτύου τοπικών σταθμών. Σημειώνεται ότι στο πλαίσιο της εντατικής παρακολούθησης της τρέχουσας σεισμικής δραστηριότητας στη περιοχή Σαντορίνης-Αμοργού, μέλη του Εργαστηρίου Σεισμολογίας καθώς και του Εργαστηρίου Γεωφυσικής του Τομέα Γεωφυσικής και Γεωθερμίας, καθώς και της Διεπιστημονικής Επιτροπής Διαχείρισης Κινδύνων και Κρίσεων του ΕΚΠΑ, πρόκειται να μεταβούν στην Ίο και τη Σαντορίνη για εγκατάσταση και συντήρηση σεισμογράφων καθώς και για μετρήσεις εδαφικής παραμόρφωσης.