

ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

**ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΓΕΩΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΠΡΟΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ**

**ΣΕΙΣΜΟΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΑΚΟΛΟΥΘΙΑΣ ΣΤΗ ΒΟΡΕΙΑ
ΘΕΣΣΑΛΙΑ, ΑΠΡΙΛΙΟΣ 2021**

ΕΜΜΑΝΟΥΕΛΑ Α. ΚΩΝΣΤΑΝΤΑΚΟΠΟΥΛΟΥ

A.M.: 1114201500052

Επιβλέποντες:

Ιωάννης Κασσάρας, Αναπλ. Καθηγητής

**ΑΘΗΝΑ,
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2022**

Ευχαριστίες

Στο σημείο αυτό, θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου σε όλους όσοι συνέβαλαν και με βοήθησαν στην εκπόνηση της παρούσας εργασίας.

Αρχικά, εκφράζω τις ευχαριστίες μου προς τον επιβλέποντα και πανεπιστημιακό μου καθηγητή κ. Ιωάννη Κασσάρα για την υποστήριξη που μου προσέφερε από την αρχή της προσπάθειας αυτής, καθώς και για την παραχώρηση των αναγκαίων επιστημονικών δεδομένων. Ταυτόχρονα, εκφράζω την ευγνωμοσύνη μου για τις γνώσεις που μου μετέδωσε καθ' όλη τη διάρκεια των πανεπιστημιακών μου σπουδών, όντας ένας από τους καθηγητές που με ενέπνευσε να παρακολουθώ ανελλιπώς τα μαθήματά του και γενικότερα τα μαθήματα της κατεύθυνσης της σεισμολογίας.

Στη συνέχεια, θα ήθελα να ευχαριστήσω βαθύτατα τον διευθυντή ερευνών του Γεωδυναμικού Ινστιτούτου του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών, κ. Αθανάσιο Γκανά, ο οποίος σε μια πολύ δύσκολη περίοδο μου πρότεινε τη συγκεκριμένη θεματολογία και με εμπιστεύτηκε να φέρω εις πέρας την πτυχιακή μου εργασία. Τον ευχαριστώ ακόμα για όλο το χρόνο που επένδυσε κατά τη διάρκεια συνεργασίας μας, ξεκινώντας από την πρακτική μου άσκηση, προσφέροντάς μου τα εφόδια και τη στήριξη, όχι μόνο για την ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας, αλλά και για μια ουσιαστική και σε βάθος ενασχόληση με το αντικείμενο της γεωλογίας. Θα ήταν αδύνατο να μην ειπωθεί ότι ο κ. Γκανάς αποτέλεσε και αποτελεί έμπνευση για τα πρώτα, αλλά και τα μελλοντικά επιστημονικά μου βήματα.

Ευχαριστώ ακόμα τα άτομα με τα οποία συνεργάστηκα όλα αυτά τα χρόνια στο πλαίσιο της πρακτικής μου άσκησης στο Γεωδυναμικό Ινστιτούτο του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών, τα οποία απλόχερα μου προσέφεραν τη στήριξή τους και μοιράστηκαν μαζί μου επιστημονικές γνώσεις, χωρίς τις οποίες δε θα βρισκόμουν εδώ σήμερα. Ιδιαίτερως, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον υποψήφιο Δρ. Σεισμολογίας κ. Βασίλη Καπετανίδη, ο οποίος με βοήθησε στην επεξεργασία των δεδομένων, συμβάλλοντας καίρια στην ολοκλήρωσή της διπλωματικής εργασίας.

Στα πλαίσια αυτής της μελέτης, δεν θα μπορούσα να παραλείψω τις ευχαριστίες μου στο Ελληνικό Εθνικό Σεισμολογικό Δίκτυο (ΕΕΔΣ) για την παροχή δεδομένων μέσω EIDA-node (<https://eida.gein.noa.gr/>), αλλά και τα Πανεπιστήμια Πατρών (Εργαστήριο Σεισμολογίας) και Θεσσαλονίκης (Τομέας Γεωφυσικής), για την παροχή δεδομένων των τοπικών σεισμολογικών δικτύων, τα οποία εγκατέστησαν στη διεγερμένη περιοχή, χωρίς την ύπαρξη των οποίων δεν θα ήταν εφικτή η αναλυτική και έγκυρη αποτύπωση της σεισμικής ακολουθίας του Μαρτίου-Απριλίου 2021 στην περιοχή της Θεσσαλίας, η οποία μελετάται στην παρούσα εργασία. Ακόμα, η εκπόνηση της μελέτης θα ήταν αδύνατη χωρίς τη συμβολή των λογισμικών ArcMap 10.3.1 και Seigram2K5.3.4, με τα οποία επεξεργάστηκα και διαχειρίστηκα τα δεδομένα.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους ανθρώπους του οικογενειακού και φιλικού μου περιβάλλοντος, ο καθένας από τους οποίους από τη δική του θέση και με τις δικές του δυνατότητες, με στήριξαν όλα αυτά τα χρόνια των σπουδών μου, πρακτικά και ηθικά, ωθώντας με να συνεχίσω ακόμα και στις δύσκολες ώρες με την αμέριστη εμπιστοσύνη που έδειξαν στο πρόσωπο μου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα μελέτη υπολογίστηκαν οι παράμετροι 44 μηχανισμών γένεσης που αφορούν σεισμικά γεγονότα με μέγεθος $M \geq 2.5$, της μετασεισμικής ακολουθίας που εξελίχθηκε τον Απρίλιο του 2021 στην περιοχή της Β. Θεσσαλίας, με τη χρήση γεωλογικών και σεισμολογικών δεδομένων. Η ιδιαίτερη γεωτεκτονική θέση της Θεσσαλίας στην περιοχή του οπισθοτόξου, αλλά και ταυτόχρονα στις απολήξεις του δεξιόστροφου ρήγματος της Β. Ανατολίας, αντικατοπτρίζεται στην αξιοσημείωτη ανά τους χρόνους σεισμικότητα και τα χαρακτηριστικά αυτού του νεοτεκτονικού καθεστώτος. Με τη χρήση δεδομένων που προέρχονται από διάφορες πηγές, έγινε μια προσπάθεια κατανόησης και αποτύπωσης των χαρακτηριστικών της μετασεισμικής ακολουθίας, που ως στόχο έχει την εκπόνηση της παρούσας σεισμοτεκτονικής μελέτης. Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν προέρχονται πιο συγκεκριμένα από: α) Το Ενοποιημένο Ελληνικό Σεισμολογικό Δίκτυο, β) Τα τοπικά δίκτυα που εγκαταστάθηκαν στις 5/3/2021, καθώς επίσης και στις 14/3/2021, και γ) στοιχεία της βιβλιογραφίας. Με τη χρήση του λογισμικού ArcMap 10.3.1 αποτυπώθηκαν οι έως τώρα γνωστές πληροφορίες για τη σεισμικότητα και την τεκτονική της περιοχής, ενώ ταυτόχρονα με τη βοήθεια του λογισμικού SeisGram2K εξήχθησαν οι στερεογραφικές προβολές των μηχανισμών γένεσης και κατ' επέκταση οι προσδιορίστηκαν τα τεκτονικά χαρακτηριστικά των επίπεδων των ρηγμάτων. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν έρχονται να επαληθεύσουν το κύριο τεκτονικό καθεστώς που επικρατεί στην περιοχή, με την κυριαρχία κανονικών και πλαγιοκανονικών ρηγμάτων, αλλά και τις μεταβολές στο τοπικό πεδίο τάσεων, το οποίο διαχρονικά μεταβάλλει τον προσανατολισμό του από ΒΔ-ΝΑ σε Β-Ν.

ABSTRACT

In the present study, the parameters of 44 focal mechanisms related to seismic events with a magnitude of $M \geq 2.5$ were calculated, of the post-seismic sequence that developed in April 2021 in the region of North Thessaly, using geological and new seismological data. The special geotectonic position of Thessaly in the area of back-arc and at the same time at the end sectors of the dextral strike-slip North Anatolian fault system (NAF), is reflected in the remarkable seismicity and the characteristics of this neotectonic regime. Using data from various sources, an attempt was made to understand and capture the characteristics of the seismic sequence, which the following seismotectonic study aims to present. The data used come more specifically from: a) The Unified Greek Seismological Network, b) The local networks that were installed on 5/3/2021, as well as on 14/3/2021, and c) data from the literature. Using the ArcMap 10.3.1 software the hitherto known information about the seismicity and tectonics of the area were captured, while at the same time with the contribution of the SeisGram2K software the stereographic projections of the focal mechanisms were extracted and consequently the tectonic characteristics of the fault planes were determined. The results come to verify the main tectonic regime that prevails in the area, with the dominance of normal and lateral faults, but also the changes in the local stress field, which changes its orientation from NW-SE to N-S over time.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ	<u>6</u>
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	<u>8</u>
1. ΤΟ ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΤΟΞΟ ΚΑΙ Η ΘΕΣΗ ΤΗΣ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ	<u>9</u>
2. Η ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ	<u>15</u>
3. ΤΟ ΝΕΟΤΕΚΤΟΝΙΚΟ ΚΑΘΕΣΤΩΣ ΤΗΣ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ	<u>24</u>
3.1. Τα στάδια της νεοτεκτονικής εξέλιξης	<u>24</u>
3.2. Οι ρηξιγενείς ζώνες της Θεσσαλίας	<u>25</u>
3.2.1. Τα ρήγματα	<u>25</u>
4. Η ΣΕΙΣΜΙΚΟΤΗΤΑ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ	<u>31</u>
4.1. Ιστορική Σεισμικότητα	<u>32</u>
4.2. Ενόργανη Σεισμικότητα	<u>35</u>
4.3. Η σεισμική ακολουθία του Μαρτίου 2021	<u>42</u>
5. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΠΡΩΤΟΓΕΝΩΝ ΣΕΙΣΜΟΛΟΓΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	<u>45</u>
6. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΛΥΣΕΙΣ ΜΗΧΑΝΙΣΜΩΝ ΓΕΝΕΣΗΣ	<u>51</u>
7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	<u>63</u>
8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	<u>66</u>
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α: ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΜΗΧΑΝΙΣΜΩΝ ΓΕΝΕΣΗΣ	<u>72</u>
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β: ΣΤΕΡΕΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΠΡΟΒΟΛΕΣ ΜΗΧΑΝΙΣΜΩΝ ΓΕΝΕΣΗΣ ΚΑΙ ΚΥΜΑΤΟΜΟΡΦΕΣ	<u>74</u>

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1	Τομή διεύθυνσης B-N κατά μήκος της περιοχής του Αιγαίου, με τα κυριότερα χαρακτηριστικά του ελληνικού τόξου. (Πηγή: Jolivet and Brun, 2010)	<u>10</u>
Σχήμα 2	Τεκτονικός-Βαθυμετρικός χάρτης της Ανατολικής Μεσογείου (Πηγή: Taymaz et al., 2007)	<u>12</u>
Σχήμα 3	Γεωλογικός χάρτης της Θεσσαλίας, Κλίμακα 1:500.000 (Πηγή: ΙΓΜΕ). Στο χάρτη σημειώνεται η περιοχή μελέτης	<u>17</u>
Σχήμα 4	Γεωλογικός Χάρτης (φύλλο ΕΛΑΣΣΩΝ), κλίμακα: 1:50.000	<u>19</u>
Σχήμα 5	Γεωλογικός Χάρτης ΙΓΜΕ (φύλλο ΦΑΡΚΑΔΩΝ), κλίμακα: 1:50.000	<u>20</u>
Σχήμα 6	Ψηφιοποίηση γεωλογικών σχηματισμών σε περιβάλλον ArcMap 10.3.1 και συμπλήρωση γεωλογικών σχηματισμών στο Attribute Table	<u>21</u>
Σχήμα 7	Ψηφιοποίηση ρηγμάτων και υδρογραφικού δικτύου σε περιβάλλον ArcMap 10.3.1	<u>22</u>
Σχήμα 8	Ψηφιοποιημένος χάρτης ΙΓΜΕ με ενοποίηση των δύο φύλλων ΕΛΑΣΣΩΝ-ΦΑΡΚΑΔΩΝ. Οι σχηματισμοί που εμφανίζονται αντιστοιχούν ως εξής: (Sb : Πετρώματα υποβάθρου, Ng : Νεογενείς σχηματισμοί, Pt : Πλειστοκαινικές αποθέσεις, Up.Pt-Hl : Άνω Πλειστόκαινο-Ολόκαινο, Hl : Ολοκαινικές Αποθέσεις). Ο χάρτης κατασκευάστηκε στο πλαίσιο αυτής της μελέτης	<u>23</u>
Σχήμα 9	Χάρτης αναγλύφου με τα κύρια ενεργά ρήγματα στην περιοχή της Θεσσαλίας. Ο χάρτης κατασκευάστηκε σε περιβάλλον ArcMap 10.3.1 και η απεικόνιση των ρηγμάτων αντιστοιχεί σε αυτή από τη βάση δεδομένων ενεργών ρηγμάτων NOAFaults v3.0.1 (Ganas, 2021)	<u>30</u>
Σχήμα 10	Χάρτης επικέντρων ιστορικής σεισμικότητας (Γαλάζιο χρώμα : $5.0 \leq M < 6.0$, Κίτρινο χρώμα : $6.0 \leq M < 7.0$, Μοβ χρώμα : $M \geq 7.0$) στην περιοχή της Θεσσαλίας για το διάστημα από 510 π.Χ. έως 1892 μ.Χ.	<u>35</u>
Σχήμα 11	Χάρτης σεισμικότητας στην περιοχή της Θεσσαλίας για την περίοδο 1901-2/3/2021	<u>40</u>
Σχήμα 12	Ιστόγραμμα συχνότητων για τα μεγέθη των σεισμών την περίοδο 1901-2/3/2021 ..	<u>41</u>
Σχήμα 13	Ιστόγραμμα συχνότητων για τα βάθη των σεισμών την περίοδο 1901-2/3/2021	<u>41</u>

Σχήμα 14	Χάρτης μετασεισμικής ακολουθίας του σεισμού με μέγεθος $M=6.0$ ($M_w=6.3$) στις 3/3/2021 για το χρονικό διάστημα 3/3-3/4/2021. Τα κόκκινα αστέρια αντιστοιχούν στα επίκεντρα του κύριου σεισμού και των δύο ισχυρών μετασεισμών με μέγεθος $M=5.9$ και $M=5.2$. Το ένθετο κάτω αριστερά απεικονίζει τον χάρτη κατανομής των βαθών της ακολουθίας	<u>44</u>
Σχήμα 15	Χάρτης με την κατανομή των σταθμών (Πράσινο χρώμα : Τομέας Γεωφυσικής, του Αριστοτέλειου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, Κίτρινο Χρώμα : Εργαστήριο Σεισμολογίας, του Πανεπιστημίου Πατρών, Γαλάζιο χρώμα : Γεωδυναμικό Ινστιτούτο, του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών, Μοβ χρώμα : δίκτυο επιταχυνσιογράφων). Με κόκκινο αστέρι παρουσιάζεται το επίκεντρο του σεισμού στις 03/03/2021	<u>47</u>
Σχήμα 16	Παράδειγμα περιεχομένων err. Αρχείου	<u>49</u>
Σχήμα 17	Απεικόνιση σειсмоγράμματος (σταθμός KZN-Κοζάνη) στο πρόγραμμα Seisgram2K, πριν (πάνω) και μετά (κάτω) την εφαρμογή του φίλτρου Butterworth	<u>50</u>
Σχήμα 18	Στερεογραφική προβολή του μηχανισμού γένεσης 2021-04-02 00:37:25, με τύπο διάρρηξης οριζόντιας ολίσθησης, δεξιόστροφο. Στο σχήμα παρατηρούνται οι καταγραφές των σταθμών PENT, TRKA, NESN, οι οποίες εμπίπτουν στην περίπτωση I των καταγραφών, καθώς επίσης και οι καταγραφές σταθμών όπως οι THL, TR2A και NEO που εμπίπτουν στην περίπτωση II.	<u>55</u>
Σχήμα 19	Στερεογραφική προβολή του μηχανισμού γένεσης 2021-04-09 04:47:57, με τύπο διάρρηξης πλαγιοκανονικό οριζόντιας ολίσθησης, αριστερόστροφο. Στο σχήμα παρατηρούνται οι καταγραφές των σταθμών KZN και NEO, οι οποίες εμπίπτουν στην περίπτωση III των καταγραφών.	<u>56</u>
Σχήμα 20	Στερεογραφική προβολή του μηχανισμού γένεσης 2021-04-13 12:05:26, με τύπο διάρρηξης πλαγιοκανονικό οριζόντιας ολίσθησης, δεξιόστροφο. Στο σχήμα παρατηρούνται οι καταγραφές των σταθμών TYR4 και KANL, οι οποίες εμπίπτουν στην περίπτωση II.	<u>57</u>
Σχήμα 21	Στερεογραφική προβολή του μηχανισμού γένεσης 2021-04-14 17:00:05, με τύπο διάρρηξης πλαγιοκανονικό οριζόντιας ολίσθησης, δεξιόστροφο. Στο σχήμα παρατηρούνται οι καταγραφές των σταθμών TYR4 και TYR5, οι οποίες εμπίπτουν στην περίπτωση II και η καταγραφή του σταθμού TRKA, ο οποίος εμπίπτει στην περίπτωση I.	<u>58</u>
Σχήμα 22	Στερεογραφική προβολή του μηχανισμού γένεσης 2021-04-22 11:57:54, με τύπο διάρρηξης κανονικό. Στο σχήμα παρατηρούνται οι καταγραφές των σταθμών SOFA και GINA, οι οποίες εμπίπτουν στην περίπτωση I και η καταγραφή του σταθμού KZN, ο οποίος εμπίπτει στην περίπτωση III.	<u>59</u>

Σχήμα 23	Σtereογραφική προβολή του μηχανισμού γένεσης 2021-04-24 05:10:18, με τύπο διάρρηξης ανάστροφο. Στο σχήμα παρατηρούνται οι καταγραφές των σταθμών LIT και THL, οι οποίες εμπίπτουν στην περίπτωση II, καθώς επίσης και του σταθμού TYR1, η οποία εμπίπτει στην περίπτωση III.	<u>61</u>
Σχήμα 24	Σtereογραφική προβολή του μηχανισμού γένεσης 2021-04-26 15:58:57, με τύπο διάρρηξης ανάστροφο. Στο σχήμα παρατηρούνται οι καταγραφές των σταθμών NESN και GINA, οι οποίες εμπίπτουν στην περίπτωση I και πιθανώς II, αντίστοιχα.	<u>62</u>
Σχήμα 25	Χάρτης με τις προβολές των μηχανισμών γένεσης της μετασεισμικής ακολουθίας του Απριλίου 2021 στη Β. Θεσσαλία, οι οποίοι εξήχθησαν στα πλαίσια της παρούσας μελέτης	<u>65</u>

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1	Μετατροπή συντεταγμένων από Μοίρες-Λεπτά-Δευτερόλεπτα (DMS) σε Δεκαδικές Μοίρες (DD)	<u>19</u>
Πίνακας 2	Τα στοιχεία των κύριων ρηγμάτων της βόρειας ζώνης διάρρηξης	<u>26</u>
Πίνακας 3	Τα στοιχεία των κύριων ρηγμάτων της νότιας ζώνης διάρρηξης	<u>27</u>
Πίνακας 4	Κατάλογος ιστορικών σεισμών για την περιοχή της Θεσσαλίας. Οι γεωγραφικές συντεταγμένες δίνονται στις στήλες Χ,Υ (γεωγραφικό μήκος, γεωγραφικό πλάτος) και όπου Μ το μέγεθος του σεισμού	<u>34</u>
Πίνακας 5	Κατάλογος σεισμών με τα μεγαλύτερα μεγέθη ανά έτος για τη χρονική περίοδο	<u>38</u>
Πίνακας 6	Κατάλογος με τα στοιχεία (metadata) των σταθμών. Οι σταθμοί που σημειώνονται με αστερίσκο ανήκουν στο φορητό δίκτυο σειсмоγράφων που εγκαταστάθηκε στην ευρύτερη περιοχή του Δαμασίου	<u>46</u>
Πίνακας 7	Περιγραφή παραμέτρων err. Αρχείου	<u>49</u>
Πίνακας 8	Χαρακτηρισμός του τύπου διάρρηξης με βάση την τιμή της γωνίας ολίσθησης	<u>52</u>
Πίνακας 9	Χαρακτηριστικά παραδείγματα μηχανισμών γένεσης με αξιόπιστα αποτελέσματα	<u>54</u>

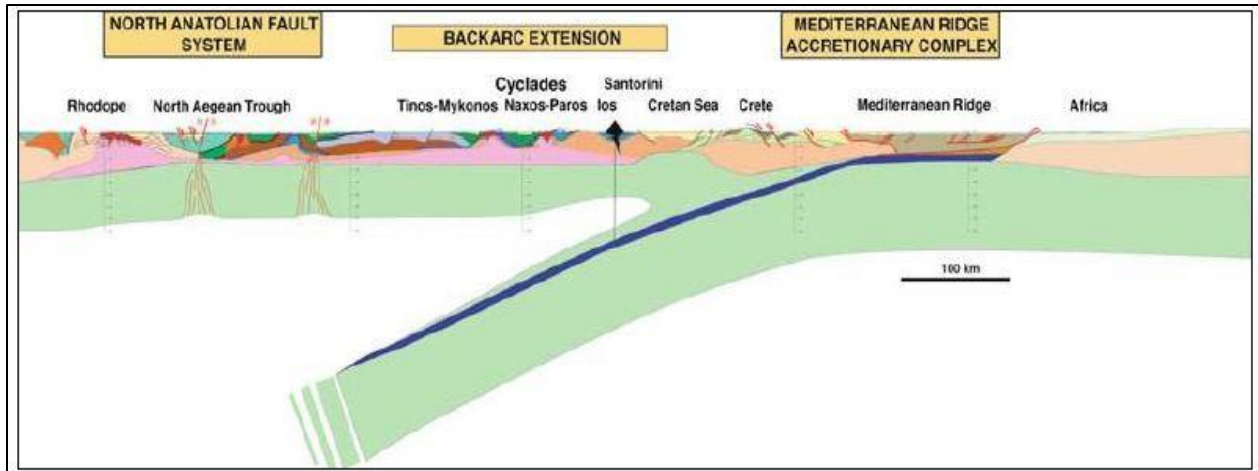
1. ΤΟ ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΤΟΞΟ ΚΑΙ Η ΘΕΣΗ ΤΗΣ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

Η υψηλή σεισμική επικινδυνότητα της Ελλάδας, είναι άμεσο αποτέλεσμα της κομβικής θέσης που καταλαμβάνει αυτή στο χώρο σύγκλισης των λιθοσφαιρικών πλακών της Ευρασίας και της Αφρικής. Στα πλαίσια του ορογενετικού κύκλου, η ωκεάνιου χαρακτήρα λιθοσφαιρική πλάκα της Αφρικής καταδύεται λόγω μεγαλύτερης πυκνότητας, κάτω από το νότιο περιθώριο της Ευρασιατικής. Το τρέχον γεωδυναμικό καθεστώς στο Αιγαίο εξελίσσεται από το Άνω Μειόκαινο, ενώ η υποβύθιση έχει ολοκληρωθεί σχεδόν σε όλο τμήμα του Ελληνικού Τόξου, εκτός από το τμήμα της Ιόνιας λεκάνης και της λεκάνης του Λεβαντίνου.

Η γεωμετρία του ελληνικού τόξου παρουσιάζει αμφιθεατρικό σχήμα (Ganas and Parsons, 2009) με κύριο χαρακτηριστικό της τη ζώνη υποβύθισης. Το μήκος του αγγίζει τα 1200 χιλιόμετρα και εκτείνεται από το νησί της Ζακύνθου (37.5°N, 20.0°E) έως το νησί της Ρόδου (36.0°N, 29.0°E), με διεύθυνση ΒΒΔ-ΝΝΑ στα νησιά του Ιονίου και την ηπειρωτική Ελλάδα, Α-Δ από τα Κύθηρα και κατά μήκος της Κρήτης, ενώ καταλήγει νοτιοδυτικά των Δωδεκανήσων με διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ.

Συνολικά, η γεωμετρία του περιλαμβάνει (**Σχήμα 1**):

- Την ελληνική τάφρο, με μέγιστος βάθος περίπου 5 χιλιόμετρα.
- Το νησιωτικό τόξο, το οποίο περιλαμβάνει την Πελοπόννησο, την Κρήτη και τα Δωδεκάνησα.
- Το οπισθοτόξο, το οποίο χαρακτηρίζεται από εφελκυσμό διεύθυνσης Β-Ν.
- Το ενεργό ηφαιστειακό τόξο, με μήκος 450 χιλιόμετρα, το οποίο ξεκινά από το Σουσάκι και περιλαμβάνει τη χερσόνησο των Μεθάνων, τη νήσο Μήλο, τη Σαντορίνη και καταλήγει στη Νίσυρο.



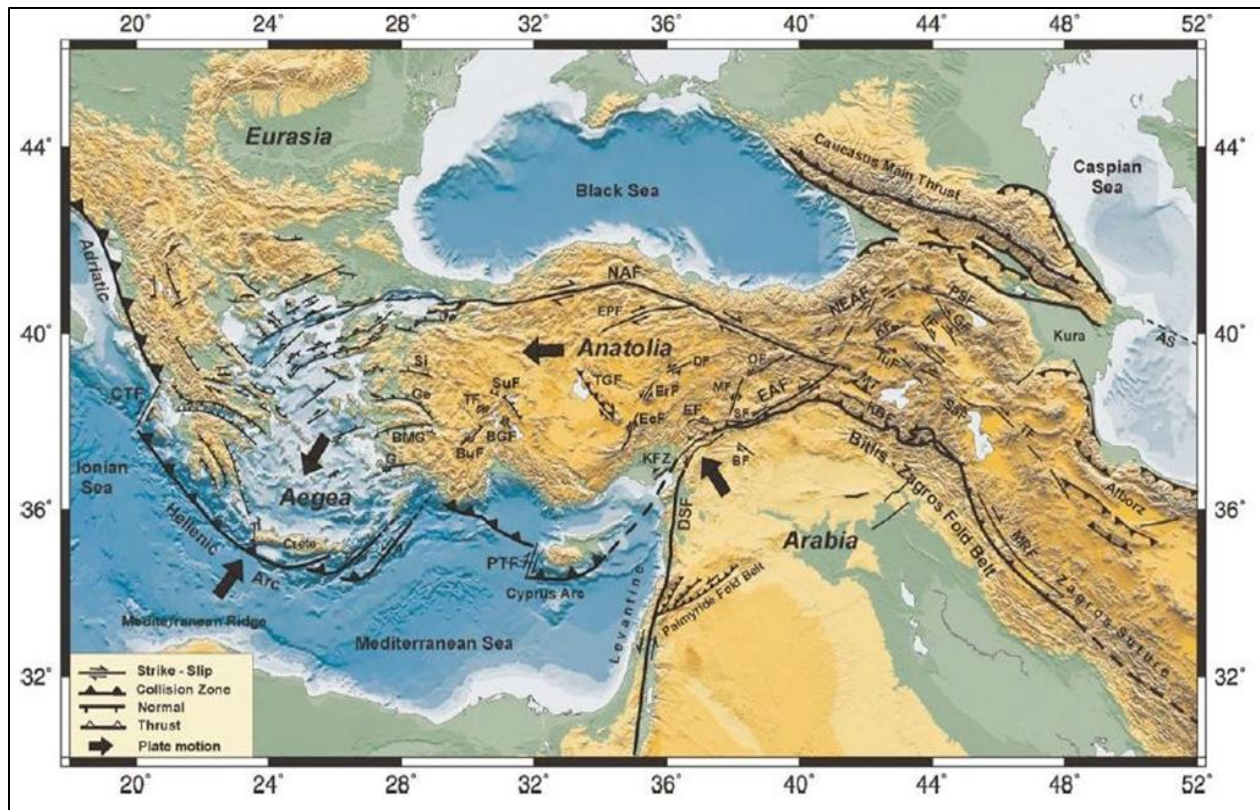
Σχήμα 1: Τομή διεύθυνσης Β-Ν κατά μήκος της περιοχής του Αιγαίου, με τα κυριότερα χαρακτηριστικά του ελληνικού τόξου. (Πηγή: Jolivet and Brun, 2010).

Για την περαιτέρω κατανόηση όμως της ενεργού τεκτονικής στο Αιγαίο, συμβάλλουν και οι σχετικές κινήσεις διαφόρων άλλων μικροπλακών. Η ύπαρξη της μικροπλάκας του Αιγαίου επηρεάζει άμεσα το γεωδυναμικό καθεστώς της περιοχής αφού κατά την κίνησή της με νοτιοδυτική διεύθυνση, εφιππεύει τη Αφρικανική με ταχύτητα περίπου 3.5 cm/yr, η οποία με τη σειρά της κινείται προς Βορρά με ταχύτητα 1 cm/yr. Στην παραπάνω διαδικασία, οφείλεται και η ύπαρξη του ηφαιστειακού τόξου, τα ρήγματα ανάστροφου χαρακτήρα κατά μήκος της υποβύθισης και οι επιφανειακοί σεισμοί μεγάλου μεγέθους (Παπαζάχος, 2002).

Η συνολική ταχύτητα σύγκρουσης κατά μήκος του ελληνικού τόξου είναι μεγάλη (~4.5 cm/yr), ενώ το νότιο τμήμα της μικροπλάκας κινείται με μεγαλύτερη ταχύτητα σε σχέση με το βόρειο. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα, τη διαφορική κίνηση στο εσωτερικό της ίδιας της μικροπλάκας του Αιγαίου και τη δημιουργία κανονικών ρηγμάτων με διεύθυνση Α-Δ, τα οποία μπορούν να δημιουργήσουν σεισμούς με μέγεθος μέχρι και M=7.5 (ρίχτερ) (Παπαζάχος, 2002). Φαίνεται ότι οι τιμές των ταχυτήτων αυξάνονται από Βορρά προς Νότο και κατ' αυτό τον τρόπο παρατηρείται επέκταση της λιθόσφαιρας του Αιγαίου κατά την ίδια διεύθυνση. Η γρήγορη αυτή νοτιοδυτική κίνηση του Αιγαίου αποδίδεται στην οπισθοκύλιση (rollback) της καταδυόμενης λιθοσφαιρικής πλάκας προς τα εναπομένοντα τμήματα του ωκεάνιου φλοιού

κάτω από το νότιο μέρος του Ιονίου πελάγους- Ανατολικής Μεσογείου (LePichon and Angelier, 1979; Denwey, 1988).

Με τη χρήση σεισμικών καταγραφών μακράς περιόδου, τις λύσεις των μηχανισμών γένεσης αυτών και την κατανομή των επικέντρων των σεισμών, ο McKenzie (1970,1972, 1978) διαπίστωσε πως η ενεργός τεκτονική στην περιοχή του Αιγαίου καθορίζεται επίσης από τις μικροπλάκες της Απούλιας και της Ανατολίας. Πιο συγκεκριμένα, η αριστερόστροφη περιστροφή της λιθοσφαιρικής πλάκας της Ανατολίας γίνεται με ταχύτητα 2.5 cm/yr και επηρεάζει κυρίως την τεκτονική στην περιοχή της λεκάνης του Βορείου Αιγαίου. Ταυτόχρονα στις ακτές τις Αλβανίας και της βορειοδυτικής Ελλάδας, η αριστερόστροφη κίνηση της μικροπλάκας της Απούλιας ασκεί συμπιεστικές δυνάμεις (**Σχήμα 2**). Αποτέλεσμα των σχετικών αυτών κινήσεων μεταξύ των λιθοσφαιρικών πλακών, είναι και η δημιουργία και το μέγιστο του δεξιόστροφου ρήγματος μετασχηματισμού της Κεφαλονιάς (CTF - Cephalonia Transform Fault) και του αριστερόστροφου ρήγματος μετασχηματισμού ανατολικά της Ρόδου (Παπαζάχος, 2002).



Σχήμα 2: Τεκτονικός-Βαθυμετρικός χάρτης της Ανατολικής Μεσογείου (Πηγή: Taymaz et al., 2007).

Σύμφωνα με νεοτεκτονικές μελέτες, την μικροπλάκα του Αιγαίου κατακερματίζουν ρήγματα Μεσοζωικής και Καινοζωικής ηλικίας, τα οποία όμως επανενεργοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια του Πλειοκαίνου και του Πλειστοκαίνου. Σύμφωνα με τη χωρική κατανομή αλλά και το μηχανισμό της δημιουργίας τους, τα ρήγματα που εδρεύουν στον ελλαδικό χώρο μπορούν να ταξινομηθούν στις παρακάτω κατηγορίες (Παπαζάχος, 2002):

- Ανάστροφα ρήγματα που οφείλονται στο συμπιεστικό καθεστώς μεταξύ της Ευρασιατικής και της Απούλιας μικροπλάκας και εντοπίζονται στη Δυτική Αλβανία-Βορειοδυτική Ελλάδα (Valkaniotis et al., 2020)
- Ανάστροφα ρήγματα κατά μήκος της ελληνικής τάφρου, λόγω σύγκλισης της Αφρικανικής και της Ευρασιατικής πλάκας (Parazachos and Delibasis, 1969; McKenzie,

1970; Ganas et al. 2020 και κατά κύριο λόγο στην επώθηση της μικροπλάκας του Αιγαίου πάνω στην Αφρικανική πλάκα (Parazachos, 1999).

- Κανονικά ρήγματα διεύθυνσης βορρά - νότου κατά μήκος της κορυφογραμμής των Αλβανίδων και της Πίνδου και του ιζηματογενούς τμήματος του Ελληνικού Τόξου, σαν αποτέλεσμα της ορογενετικής διαδικασίας που λαμβάνει χώρα σήμερα σε αυτές τις περιοχές.
- Κανονικά ρήγματα παράταξης Α-Δ που οφείλονται στον εφελκυσμό της μικροπλάκας του Αιγαίου λόγω της ταχύτερης προς το νότο κίνησης του μπροστινού (νότιου) τμήματος αυτής της μικροπλάκας σε σχέση με το πίσω μέρος της. Τα ρήγματα αυτά βρίσκονται στην βόρεια Ελλάδα, την κεντρική Ελλάδα (π.χ. Ganas et al., 1998) κατά μήκος του Ηφαιστειακού Τόξου και στη Μικρά Ασία.
- Δεξιόστροφα ρήγματα στην περιοχή της Κεφαλονιάς και της Λευκάδας που οφείλονται κατά κύριο λόγο στην προς τα νοτιοδυτικά γρήγορη κίνηση του Αιγαίου και δευτερευόντως στην αριστερόστροφη περιστροφή της Απουλίας πλάκας (π.χ. Scordilis et al., 1985; Parazachos et al., 1994; Ganas et al., 2016).
- Δεξιόστροφα ρήγματα και μικρότερου μεγέθους κανονικά ρήγματα, τα οποία καταλαμβάνουν το χώρο της τάφρου του Βορείου Αιγαίου και της θάλασσας του Μαρμαρά, σαν αποτέλεσμα της προς τα δυτικά κίνησης της μικροπλάκας της Ανατολίας.

Με τη χρήση μετρήσεων GPS, οι Lepichon et al. (1995) προσδιόρισαν τη δεξιόστροφη περιστροφή της Κεντρικής Ελλάδας και με βάση αυτό προτάθηκε ένα μοντέλο για την παραμόρφωση στο Αιγαίο κατά το οποίο, η σχετική κίνηση της Κεντρικής Ελλάδας έχει σαν αποτέλεσμα τον εφελκυσμό με διεύθυνση Α-Δ του Κορινθιακού Κόλπου, αλλά και την επέκταση στο βορειότερο όριο αυτού του μπλοκ, μέχρι δηλαδή τις ακτές της Μαγνησίας. Ταυτόχρονα, έχει αναγνωριστεί μια ζώνη στο Βόρειο Αιγαίο, η οποία βρίσκεται υπό τον έλεγχο οριζοντιολισθιτικών ρηγμάτων και μαζί με την περιοχή της Κεντρικής Ελλάδας, αποτελούν τις περιοχές στις οποίες λαμβάνει χώρα το σύγχρονο εφελκυστικό καθεστώς. Θα πρέπει να

σημειωθεί ότι και οι δύο αυτές περιοχές τοποθετούνται στις απολήξεις των βόρειων και νότιων κλάδων του ρήγματος της Ανατολίας, αντίστοιχα.

Ο εφελκυσμός στην κεντρική Ελλάδα έχει ξεκινήσει από το Μειόκαινο (Ori, 1989; Doutsos and Poulimenos, 1992; Leeder and Jackson, 1993; Papanikolaou and Royden, 2007), ενώ το καθεστώς διάνοιξης αποτυπώνεται σε τρεις θαλάσσιες λεκάνες. Μαζί με αυτές τις λεκάνες του Κορινθιακού, του Παγασητικού και της Εύβοιας, προστίθενται και άλλες νεότερες χερσαίες όπως του Σπερχειού, του Ασωπού και της Νότιας Θεσσαλίας (Chousianitis et al., 2013)

Η ενεργός τεκτονική στο βόρειο και κεντρικό τμήμα του Αιγαίου δεν σχετίζεται άμεσα με την υποβύθιση της Αφρικανικής πλάκας κατά μήκος του ελληνικού τόξου και κατ'επέκταση η παραμόρφωση στην περιοχή της Θεσσαλίας από το Άνω Πλειστόκαινο έως το Ολόκαινο περιορίζεται σε διεργασίες στο εσωτερικό της πλάκας. Η τοποθέτηση της περιοχής στο άκρο του ρήγματος της Ανατολίας, θα μπορούσε να είναι ένας παράγοντας που επηρεάζει τις έως τώρα διεργασίες. Όμως, μια τέτοια υπόθεση δεν μπορεί να επαληθευτεί καθώς καμία τεκτονική δομή που να συνδέεται με οριζοντιολισθητικό χαρακτήρα δεν είναι παρούσα. Ταυτόχρονα, στην περιοχή των Σποράδων, επικρατεί καθαρή έκταση με διεύθυνση Β-Ν, πράγμα το οποίο σημαίνει πως η συνιστώσα οριζόντιας ολίσθησης εξαφανίζεται πριν από αυτό το σημείο (Caruto and Pavlides, 1993).

Φαίνεται λοιπόν, πως ο παράγοντας που επηρεάζει τις τεκτονικές διεργασίες στη Θεσσαλία και προκαλεί τον εφελκυσμό διεύθυνσης Β-Ν σχετίζεται άμεσα με το χώρο στον οποίο τοποθετείται η περιοχή, δηλαδή στο χώρο του οπισθοτόξου και στο γεγονός ότι η υποβύθιση εξαπλώνεται περί τα 600-800 χιλιόμετρα κάτω από τη μικροπλάκα του Αιγαίου, πράγμα το οποίο μπορεί να εξηγήσει το συγκεκριμένο καθεστώς ακόμα και αν αυτό λαμβάνει χώρα μακριά από την ελληνική τάφρο (Caruto and Pavlides, 1993).

2. Η ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Η περιοχή της Θεσσαλίας βρίσκεται στην κεντρική Ελλάδα και αποτελεί το δυτικότερο τμήμα των εσωτερικών Ελληνίδων. Οριοθετείται στα δυτικά από την οροσειρά της Πίνδου και ανατολικά από το βουνό της Όσσας. Ταυτόχρονα, στο βόρειο τμήμα η περιοχή οριοθετείται από τις οροσειρές των Αντιχασίων και του Κάτω Όλυμπου, ενώ στα νότια από το όρος Όθρυς.

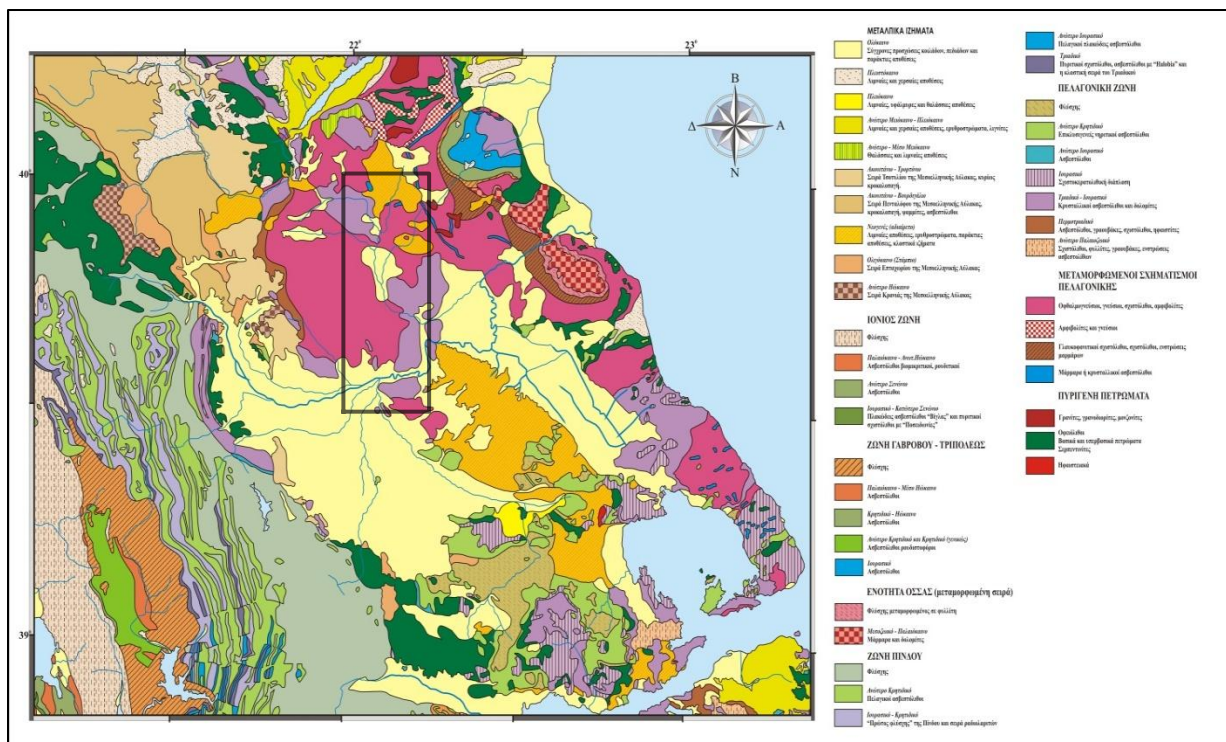
Το υψόμετρο αυτών των οροσειρών ξεπερνά κατά τόπους τα 2.000 μέτρα, ενώ χαμηλότερα όρη περικλείουν τη θεσσαλική πεδιάδα, με υψόμετρο το οποίο κυμαίνεται από 45 έως 200 μέτρα. Στο εσωτερικό αυτής, τα όρη του Ζάρκου και Τιτάνου χωρίζουν την περιοχή σε δύο υπο-λεκάνες, αυτές τις Δυτικής Θεσσαλίας (Τρίκαλα, Καρδίτσα) και της Ανατολικής Θεσσαλίας (Πεδιάδα της Λάρισας).

Συνολικά, η γεωλογία της περιοχής της Θεσσαλίας (μαζί με τους ορεινούς όγκους που την περιβάλλουν) συντίθεται από ένα μεγάλο εύρος σχηματισμών της προ-αλπικής, της αλπικής και της μετα-αλπικής περιόδου, στους οποίους έχουν καταγραφεί οι διάφορες τεκτονικές φάσεις που την έχουν επηρεάσει (**Σχήμα 3**). Από τα Δυτικά προς τα Ανατολικά αποτελείται από της εξής γεωλογικές ενότητες (Ραρανικόλαου, 2015):

- *Ενότητα Πίνδου*: περιλαμβάνει πελαγικούς ασβεστολίθους, κερατολίθους, «1^ο φλύσχη» Πίνδου, μεταβατικά προς το φλύσχη στρώματα, Φλύσχη ηλικίας Μέσου Ηωκαίνου.
- *Ενότητα Δυτικής Θεσσαλίας*: περιλαμβάνει πελαγικούς κλαστικούς λατυποπαγείς ασβεστολίθους με λατύπες οφιολίθων και κερατολίθων, ερυθρούς πηλίτες και φλύσχη ηλικίας Ηωκαίνου.
- *Ενότητα Μαλιακής*: πρόκειται για σύνολο υποενοτήτων με διαφορές στη λιθοστρωματογραφία, που μεταξύ τους διαχωρίζονται με εφιππεύσεις. Οι τοπικού χαρακτήρα ενότητες Χατάλα και Πυργάκι παρουσιάζουν νηριτικά στοιχεία ή

μεταβατικές φάσεις, ενώ οι ενότητες Λογγιτίου και Φούρκα αποτελούνται κυρίως από πυριτιολίθους και ηφαιστειακά πετρώματα (βασάλτες MORB).

- *Ενότητα Φλάμπουρου (Υπόβαθρο Πελαγονικής):* λιθολογικά, αποτελείται σχεδόν εξολοκλήρου από πετρώματα υψηλού βαθμού μεταμόρφωσης, όπως γρανίτες, γνεύσιοι, σχιστόλιθοι και αμφιβολίτες.
- *Ενότητα Υποπελαγονικής:* περιλαμβάνει μια τυπική νηριτική, αμεταμόρφωτη ακολουθία, ενώ στη βάση της μπορεί να περιλαμβάνει ηφαιστειο-ιζηματογενείς σχηματισμούς. Ο τεκτονισμός της ενότητας γίνεται στο Κάτω Κρητιδικό.
- *Ενότητα Πελαγονικής:* είναι μια τυπική νηριτική, μεταμορφωμένη ενότητα με φυλλίτες, κρυσταλλικούς ασβεστόλιθους και μάρμαρα.
- *Ενότητα Ολύμπου:* χαμηλού βαθμού μεταμορφωμένη ενότητα και τυπικά νηριτική, που εμφανίζεται ως αυτόχθονη στο τεκτονικό παράθυρο του Ολύμπου. Ο φλύσχος της ενότητας είναι ηλικίας Ολιγοκαίνου.
- *Ενότητα Βορείων Κυκλάδων (Κυανοσχιστολίθων):* περιλαμβάνει πελαγικά μάρμαρα και σχιστολίθους με γλαυκοφανή, μετατόφους και μεταλάβες. Η ενότητα έχει υποστεί τρεις διαφορετικές μεταμορφικές φάσεις από το μέσο Ηώκαινο μέχρι το Μειόκαινο.



Σχήμα 3: Γεωλογικός χάρτης της Θεσσαλίας, Κλίμακα 1:500.000 (Πηγή: ΙΓΜΕ). Στο χάρτη σημειώνεται η περιοχή μελέτης.

Πιο συγκεκριμένα, στην περιοχή μελέτης συναντώνται οι προ-αλπικοί και αλπικοί σχηματισμοί της ενότητας της Πελαγονικής. Πιο αναλυτικά περιλαμβάνει:

- Το προλιθανθακοφόρο υπόβαθρο της Πελαγονικής, το οποίο αποτελείται κυρίως από γνεύσιους.
- Νέο-παλαιοζωικούς- Κάτω Μεσο-Τριαδικούς σχηματισμούς, όπως σχιστόλιθους, γνεύσιους, γνευσιοσχιστόλιθους και μάρμαρα.
- Μέσο-Τριαδικούς- Ιουρασικούς σχηματισμούς μαρμάρων της Πελαγονικής.
- Την αυτόχθονη σειρά, η οποία περιλαμβάνει μάρμαρα και υπόκειται των Νέο-παλαιοζωικών σχηματισμών.

- Γρανιτικές διεισδύσεις εντός των σχηματισμών της Πελαγονικής και εμφανίσεις οφιολίθων στην επώθηση μεταξύ της αυτόχθονης σειράς και της ενότητας της Πελαγονικής.

Όσον αφορά τις μεταλλικές εμφανίσεις, αυτές καταλαμβάνουν μεγάλο τμήμα της γεωλογίας της περιοχής και είναι αποτέλεσμα της καταλυτικής δράσης του ποταμού Πηνειού αλλά και τον παραποτάμων του. Αποτελούνται από τους εξής σχηματισμούς από τον παλαιότερο προς το νεότερο:

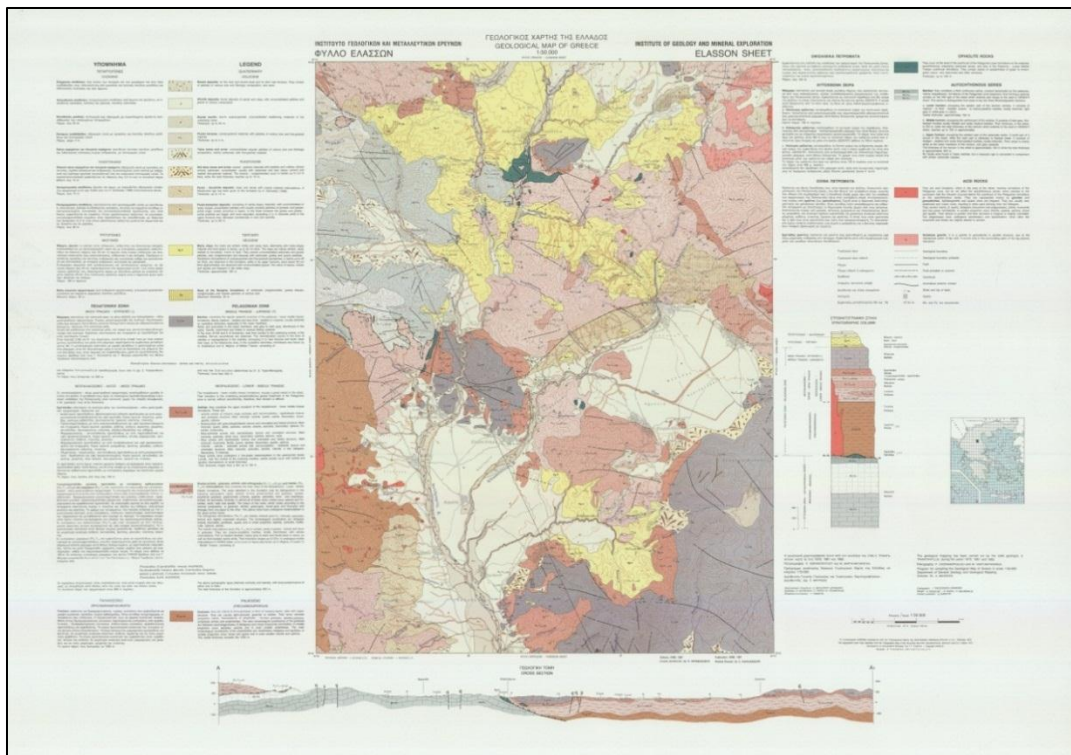
- Νεογενείς σχηματισμοί: με μάργες, αργίλους και ανθρακικά κροκαλοπαγή
- Αποθέσεις του Πλειστοκαίνου: περιλαμβάνουν κώνους κορημάτων, ποταμοχερσαίες και ποταμολιμναίες αποθέσεις.
- Αποθέσεις του Ολοκαίνου: σύγχρονες αποθέσεις ποταμών με κροκάλες, λατύπες και άμμους, αλλουβιακές αποθέσεις, ποτάμιες αναβαθμίδες και κώνοι κορημάτων.

Για την κατασκευή του γεωλογικού χάρτη της περιοχής μελέτης, ψηφιοποιήθηκαν και ενοποιήθηκαν τα φύλλα ΕΛΛΑΣΩΝ και ΦΑΡΚΑΔΩΝ του ΙΓΜΕ, με κλίμακα 1:50000 (**Σχήμα 4** και **Σχήμα 5**). Η ψηφιοποίηση έγινε σε περιβάλλον ArcMap 10.3.1, με την διαδικασία που θα περιγραφεί παρακάτω.

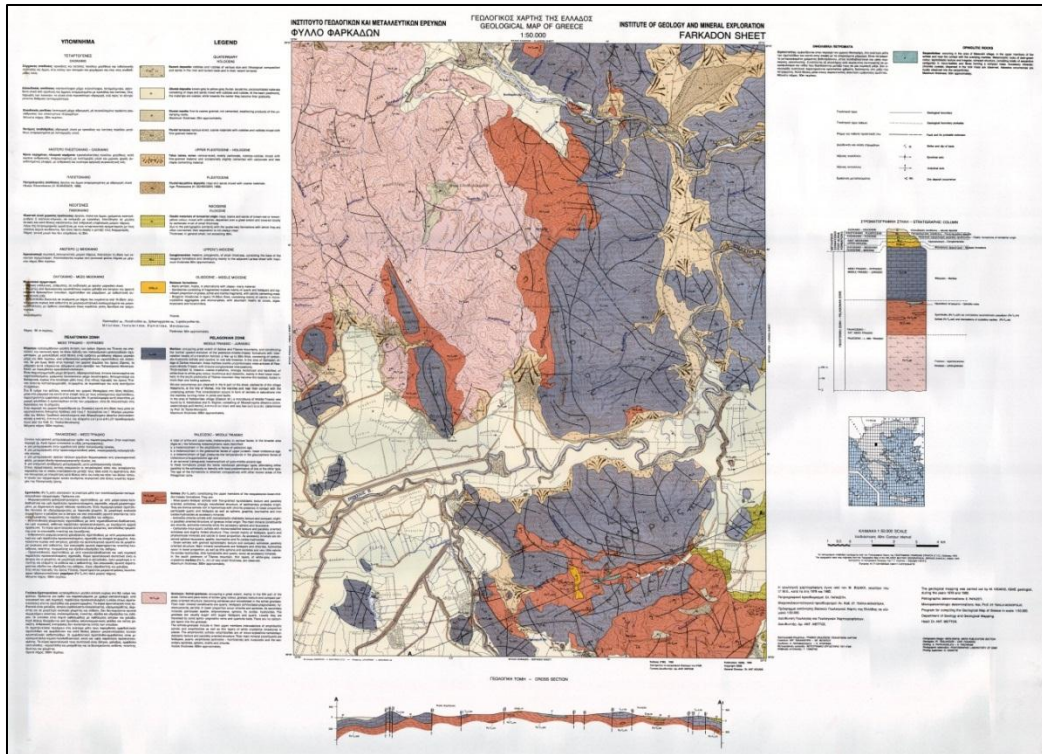
Αρχικά, κάθε γεωλογικός χάρτης εισήχθηκε ξεχωριστά στο ArcMap 10.3.1, μέσω της επιλογής “Add Data”. Στη συνέχεια, για τη γεωαναφορά του χάρτη χρησιμοποιήθηκαν οι αναγραφόμενες σε αυτόν συντεταγμένες (στις τέσσερις γωνίες). Από τη εργαλείο “Georeferencing”, επιλέχθηκε η επιλογή “Add Control Points” > “Input X and Y”. Επειδή οι συντεταγμένες του προς γεωαναφορά χάρτη βρίσκονται σε μοίρες-λεπτά-δευτερόλεπτα και στη διαδικασία παραγωγής του νέου γεωλογικού χάρτη η γεωαναφορά γίνεται στο σύστημα WGS’84, ακολούθησαν οι εξής μετατροπές, όπως παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα (**Πίνακας 1**).

Πίνακας 1. Μετατροπή συντεταγμένων από Μοίρες-Λεπτά-Δευτερόλεπτα (DMS) σε Δεκαδικές Μοίρες (DD)

Longitude (DMS)	Longitude (DD)	Latitude (DMS)	Latitude (DD)
22°00'	22.00	39°00'	39.00
22°15'	22.25	39°30'	39.50
		39°45'	39.75
		40°00'	40.00



Σχήμα 4: Γεωλογικός Χάρτης (φύλλο ΕΛΑΣΣΩΝ), κλίμακα: 1:50.000.



Σχήμα 5: Γεωλογικός Χάρτης ΙΓΜΕ (φύλλο ΦΑΡΚΑΔΩΝ), κλίμακα: 1:50.000.

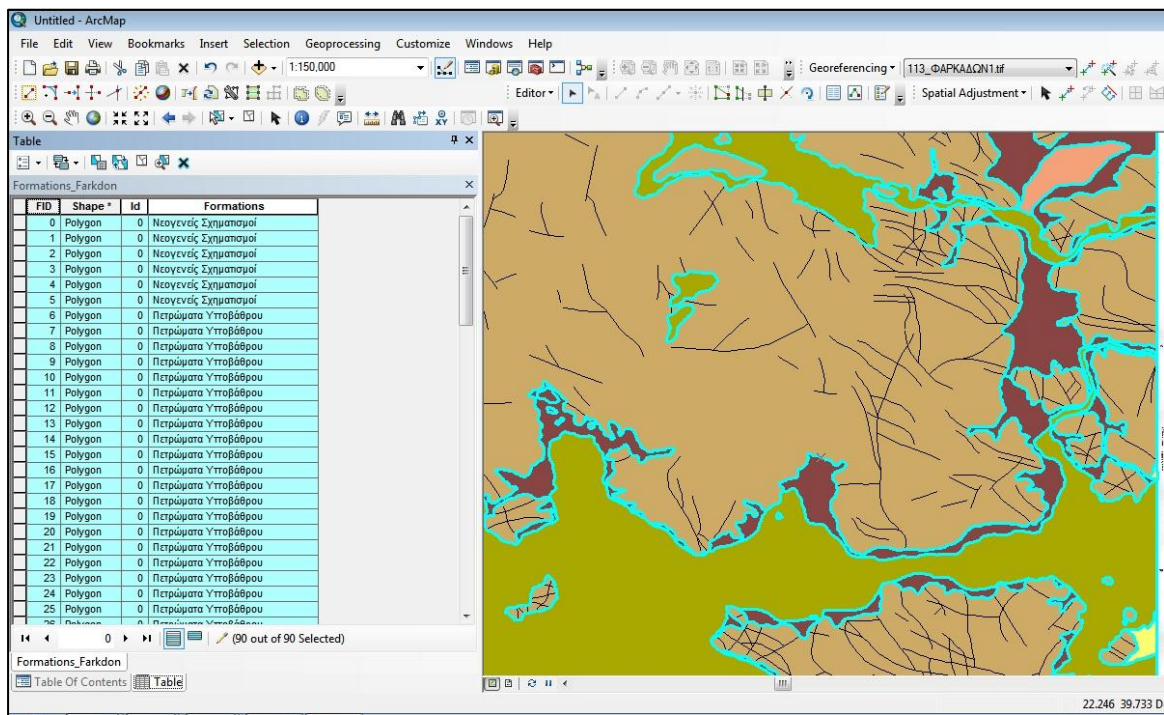
Με την ολοκλήρωση της εισαγωγής των συντεταγμένων, από το εργαλείο “Georeferencing”, επιλέχθηκε το “Rectify” (με χρήση πολυωνυμικού μετασχηματισμού) και δημιουργήθηκε ένα .tiff αρχείο για κάθε ένα γεωαναφερμένο χάρτη. Πάνω σε αυτούς πραγματοποιήθηκαν οι ψηφιοποιήσεις των γεωλογικών σχηματισμών και άλλων στοιχείων.

Κάθε χάρτης κατασκευάστηκε με τρία διαφορετικά shapefiles, τα οποία περιλαμβάνουν τους γεωλογικούς σχηματισμούς, τα ρήγματα και το υδρογραφικό δίκτυο. Σε κάθε περίπτωση, για τους γεωλογικούς σχηματισμούς επιλέχθηκε να γίνει ομαδοποίηση αυτών με βάση την ηλικία, όπως φαίνεται παρακάτω:

- Ολοκαινικές Αποθέσεις: Περιλαμβάνουν σύγχρονες αποθέσεις, αλλουβιακές αποθέσεις, ελουβιακό μανδύα, ποτάμιες αναβαθμίδες, κώνους κορημάτων και πλευρικά κορήματα.

- Πλειστοκαινικές Αποθέσεις: Περιλαμβάνουν παλαιούς κώνους κορημάτων και πλευρικά κορήματα, ποταμολιμναίες και ποταμοχερσαίες αποθέσεις.
- Νεογενείς Σχηματισμοί: Περιλαμβάνουν μάργες, αργίλους και τη βάση των νεογενών σχηματισμών (ανθρακικά κροκαλοπαγή, γνευσιακά κροκαλολατυποπαγή και κομμάτια μαρμάρου).
- Πετρώματα Υποβάθρου: Περιλαμβάνουν μάρμαρα ηλικίας Μέσο Τριαδικό-Ιουρασικό, σχιστόλιθους και γνεύσιους ηλικίας Νεοπαλαιοζωικού-Κατ.-Μέσου Τριαδικού, γνεύσιους του Προλιθανθρακοφόρου, οφιολιθικά πετρώματα, μάρμαρα της αυτόχθονης σειράς και γρανιτικές διεισδύσεις.

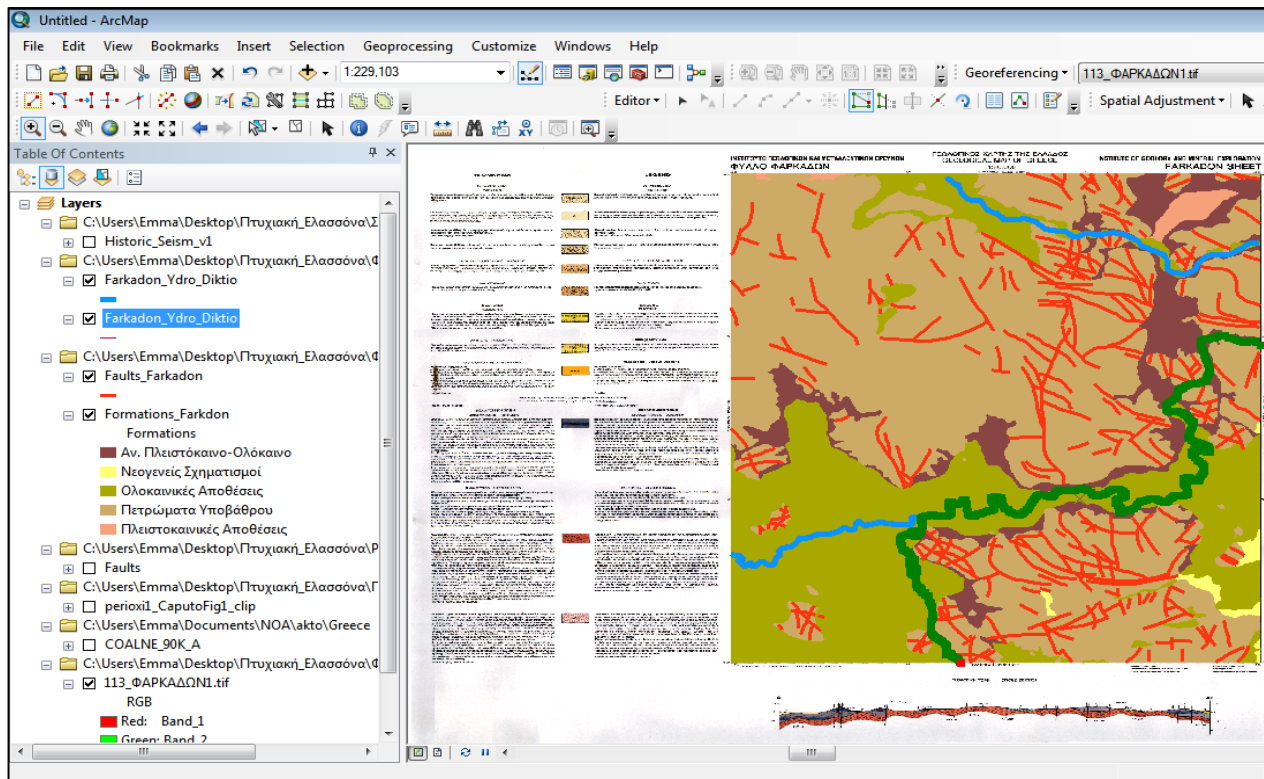
Από το “Add Data”, εισήχθησαν τα .tiff αρχεία των χαρτών στο ArcMap 10.3.1. Έπειτα, μέσω της επιλογής Catalog, δημιουργήθηκε ένα νέο shapefile (polygon) και από την εργαλειοθήκη του Editor, επιλέχθηκε το “Start Editing”. Μέσω του “Create Features” > “Construction Tool”> “Polygon” ή “Auto Complete Polygon”, ψηφιοποιήθηκαν οι γεωλογικοί σχηματισμοί. Για κάθε σχηματισμό που ψηφιοποιήθηκε, στο Attribute Table συμπληρώθηκε και η γεωλογία αυτού.



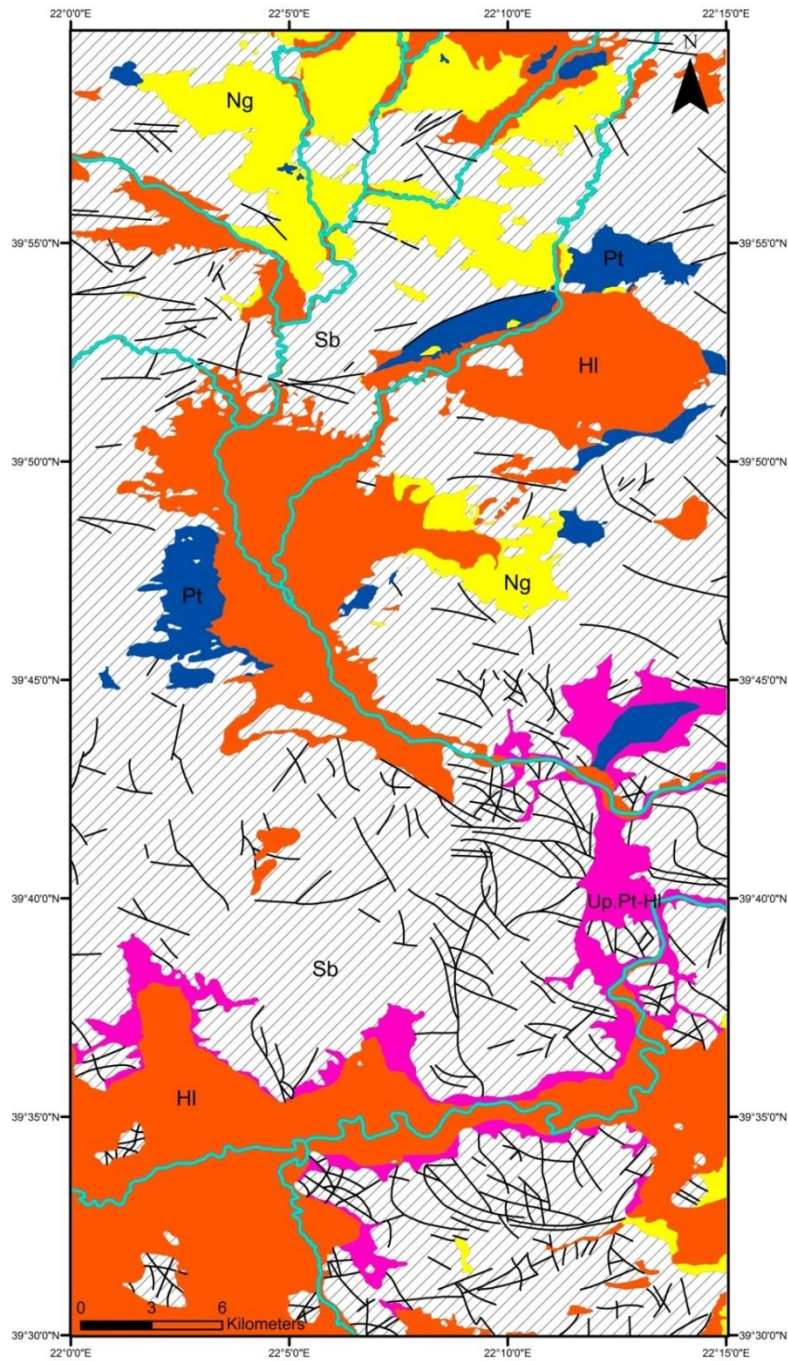
Σχήμα 6: Ψηφιοποίηση γεωλογικών σχηματισμών σε περιβάλλον ArcMap 10.3.1 και συμπλήρωση γεωλογικών σχηματισμών στο Attribute Table.

Κατά τον ίδιο τρόπο που περιγράφηκε και πριν, μέσω του Catalog και την εντολής “Create Features” > “Construction Tools” > “Line”, δημιουργήθηκαν τα ρήγματα και το υδρογραφικό δίκτυο. Η ψηφιοποίηση των ρηγμάτων και των υδρογραφικών δικτύων πραγματοποιήθηκε με βάση τις απεικονίσεις αυτών στους χάρτες του ΙΓΜΕ. Για το υδρογραφικό δίκτυο επιλέχθηκαν μόνο οι κύριοι κλάδοι (Σχήμα 7). Για κάθε ένα από τους χάρτες στο τέλος της κατασκευής των shapefiles, επιλέχθηκε από τις επιλογές του Editor, “Save Edits”.

Τέλος, με σκοπό τη δημιουργία ενός ενιαίου χάρτη από τα δύο φύλλα του ΙΓΜΕ, προστέθηκαν στο ArcMap 10.3.1 όλα τα προϊόντα της παραπάνω διαδικασίας. Καθώς και τα δύο μέρη αποτελούνται από τους ίδιους γεωλογικούς σχηματισμούς και το καθένα αποτελεί συνέχεια του άλλου, χρησιμοποιήθηκε η εντολή “Merge” του Editor για να ενποιηθούν τα πολύγωνα των χαρτών, καθώς επίσης και η εντολή “Edit Vertices” για την προέκταση των γραμμικών στοιχείων. Το αποτέλεσμα παρουσιάζεται στο γεωλογικό χάρτη του σχήματος 8.



Σχήμα 7: Ψηφιοποίηση ρηγμάτων και υδρογραφικού δικτύου σε περιβάλλον ArcMap 10.3.1.



Σχήμα 8: Ψηφιοποιημένος χάρτης ΙΓΜΕ με ενοποίηση των δύο φύλλων ΕΛΑΣΣΩΝ-ΦΑΡΚΑΔΩΝ. Οι σχηματισμοί που εμφανίζονται αντιστοιχούν ως εξής: (**Sb**: Πετρώματα υποβάθρου, **Ng**: Νεογενείς σχηματισμοί, **Pt**: Πλειστοκαινικές αποθέσεις, **Up.Pt-Hi**: Άνω Πλειστόκαινο-Ολόκαινο, **Hi**: Ολοκαινικές Αποθέσεις). Ο χάρτης κατασκευάστηκε στο πλαίσιο αυτής της μελέτης.

3. ΤΟ ΝΕΟΤΕΚΤΟΝΙΚΟ ΚΑΘΕΣΤΩΣ ΤΗΣ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

3.1. Τα στάδια της νεοτεκτονικής εξέλιξης

Στην προσπάθεια να κατανοήσουμε το σύνολο των διεργασιών που έλαβαν χώρα και καθόρισαν τη σημερινή εικόνα της περιοχής τόσο στο κομμάτι της τεκτονικής αλλά και της μορφολογίας που αυτή παρουσιάζει, η τεκτονική εξέλιξη μπορεί να χωριστεί σε τρία διαφορετικά στάδια κατά τη διάρκεια του Καινοζωικού αιώνα, στα πλαίσια του ορογενετικού κύκλου.

Στην πρώτη φάση, ανήκουν δομές με διεύθυνση συμπίεσης Α-Δ, οι οποίες επηρεάζουν τα πετρώματα του υποβάθρου, μέχρι και εμφανίσεις ηλικίας Μειοκαίνου-Ολιγοκαίνου. Κατά την ίδια περίοδο διακρίνονται επίσης, διάφορες στρωματογραφικές ασυμφωνίες, οι οποίες υποδεικνύουν πως σε αυτό το διάστημα η περιοχή επηρεάστηκε από τεκτονικά γεγονότα διαφορετικής κλίμακας. Είναι γνωστό, ότι κατά το Ολιγόκαινο-Μειόκαινο ελάμβανε χώρα ο τεκτονισμός των εξωτερικών Ελληνίδων και πιο συγκεκριμένα η σύγκρουση μεταξύ της Απούλιας και της Ευρασιατικής πλάκας, πράγμα στο οποίο φαίνεται να οφείλεται το συμπιεστικό καθεστώς στη Θεσσαλία (Caruto and Pavlides, 1993; Caruto et al., 1994).

Η ορογενετική κατάρρευση που ακολούθησε αυτό το συμπιεστικό καθεστώς, ήταν αποτέλεσμα της εξομάλυνσης των τάσεων μετά το πέρας της δράσης των δυνάμεων της ορογένεσης. Ο εφελκυσμός διεύθυνσης ΒΑ-ΝΔ, δημιούργησε δομές πάνω στις ήδη υπάρχουσες της προηγούμενης φάσης, επηρεάζοντας όχι μόνο τα πετρώματα του υποβάθρου αλλά και πλειοκαινικές αποθέσεις. Χαρακτηριστικά, η φάση αυτή δημιούργησε ένα δίκτυο ρηγμάτων που οδήγησαν στη διαμόρφωση ενός πλήθους τεκτονικών κεράτων και βυθισμάτων (Caruto and Pavlides, 1993; Caruto et al., 1994).

Η φάση όμως που προδίδει την ενεργό τεκτονική της περιοχής, είναι αυτή που περιλαμβάνει τα ρήγματα με διεύθυνση Α-Δ. Ο εφελκυσμός διεύθυνσης Β-Ν συμπίπτει με το συνολικό καθεστώς στην περιοχή του Αιγαίου και όπως φαίνεται έχει επηρεάσει Νεογενείς και

Τεταρτογενείς αποθέσεις. Ταυτόχρονα, είναι υπεύθυνη και για τη δημιουργία νέων λεκανών, όπως αυτή του Τυρνάβου. Αυτά τα σύγχρονα ρήγματα σε συνδυασμό με τις δομές της προηγούμενης φάσης οδηγούν στη σημερινή πολύπλοκη μορφολογία της Θεσσαλίας (Caruto and Pavlides, 1993; Caruto et al., 1994).

3.2. Οι ρηξιγενείς ζώνες της Θεσσαλίας

3.2.1. Τα ρήγματα

Σύμφωνα με στοιχεία που προέρχονται από διάφορες μορφοτεκτονικές, σεισμοτεκτονικές και νεοτεκτονικές μελέτες, η περιοχή επηρεάστηκε άμεσα από Τεταρτογενή ρήγματα τα οποία έδρασαν κατά την τελευταία φάση, σε συνδυασμό με την εκ νέου ενεργοποίηση παλαιότερων ρηγμάτων.

Με βάση τις κύριες τεκτονικές δομές, τα ρήγματα στην περιοχή της Θεσσαλίας μπορούν να ομαδοποιηθούν σε δύο διαφορετικές ρηξιγενείς ζώνες, με διαφορετικά χαρακτηριστικά όσον αφορά την τεκτονική και σεισμική δραστηριότητα (Caruto, 1995; Lekkas et al., 2021). Η σύγχρονη ενεργός τεκτονική αποτυπώνεται σε διάφορα ευρήματα, όπως η παρουσία κανονικών ρηγμάτων, τα οποία διαπερνούν Πλειστοκαινικές αποθέσεις, εδαφικών διαρρήξεων που σχετίζονται με τη δράση ρηγμάτων, και μορφολογικών χαρακτηριστικών.

Πιο αναλυτικά, τα ρήγματα της βόρειας ζώνης οριοθετούν τη λεκάνη του Τυρνάβου και έχουν διαμορφώσει τη μορφολογία της περιοχής. Το σύστημα ρηγμάτων της Ροδιάς, στο βόρειο περιθώριο της λεκάνης, παρουσιάζει μια σειρά από χαρακτηριστικά τα οποία είναι ενδεικτικά της πρόσφατης τεκτονικής δραστηριότητας του συγκεκριμένου ρήγματος. Η μορφολογία και τα στοιχεία των πρηνών για παράδειγμα παρουσιάζουν πλήρη ομοιομορφία καθ'όλο το μήκος του ρήγματος, ενώ ταυτόχρονα επηρεάζουν σχηματισμούς ηλικίας έως και το Ολόκαινο (Caruto, 1995; Caruto and Helly, 2005). Στο ανατολικό τμήμα της λεκάνης εμφανίζονται τα ρήγματα Γυρτώνη, Δήμητρα, Ασμάκι και Καστρί. Στο ρήγμα Γυρτώνης έχει δημιουργηθεί ένα πρηνές ύψους 5-8 μέτρα, το οποίο φέρνει στην επιφάνεια σχηματισμούς

ηλικίας Αν. Πλειστοκαίνου, σε επαφή με σύγχρονους αλλουβιακούς σχηματισμούς (Caruto, 1995; Caruto et al., 2003). Ο Caruto (1995) ομαδοποιεί τα ρήγματα Δήμητρα, Ασμάκι και Καστρί υπό την ονομασία σύστημα ρηγμάτων Χασάμπαλης. Τα συγκεκριμένα ρήγματα εμφανίζονται σε σχηματισμούς ηλικίας Αν. Πλειστοκαίνου-Ολόκαινου, ενώ ταυτόχρονα έχουν επιδράσει σημαντικά στη διαμόρφωση του υδρογραφικού δικτύου. Άλλες ενδείξεις της πρόσφατης δραστηριότητας του συστήματος αυτού αποτελούν ένα πλήθος εδαφικών διαρρήξεων, παράλληλων στα ρήγματα Καστρί και Ασμάκι. Στο δυτικό τμήμα της λεκάνης εντοπίζεται το ρήγμα του Τυρνάβου. Η παρουσία τεκτονικών πρηνών τόσο στα πετρώματα του υποβάθρου όσο και στις σύγχρονες αποθέσεις αντανακλούν την πρόσφατη δραστηριότητα του συγκεκριμένου ρήγματος, το οποίο διαπερνά ανθρακικούς σχηματισμούς και Ολοκαινικές αποθέσεις (Caruto, 1993; Caruto, 1995). Παρά το γεγονός ότι τα παραπάνω ρήγματα παρουσιάζουν στοιχεία πρόσφατης τεκτονικής δραστηριότητας, τα περισσότερα από αυτά δεν σχετίζονται άμεσα με κάποιο πρόσφατο σεισμικό γεγονός. Τμήματα του συστήματος ρηγμάτων Χασάμπαλης, Ροδιάς και Τυρνάβου μπορούν να συνδέονται με καταγραφές ιστορικών σεισμών, όπως θα αναφερθεί αναλυτικότερα στο κεφάλαιο της σεισμικότητας (Caruto et al., 2004). Εξαιρεση αποτελεί το ρήγμα Ομολίου, το δυτικό τμήμα του οποίου συνδέεται με το σεισμό με μέγεθος $M=5.5$ που έλαβε χώρα στις 9 Ιουνίου 2003, με επίκεντρο $39.952^{\circ}N, 22.322^{\circ}E$ (Pavlides et al., 2004).

Στους **πίνακες 2** και **3** παρατίθενται τα στοιχεία των κύριων ρηγμάτων στην περιοχή μελέτης. Τα στοιχεία έχουν παρθεί από τη βάση δεδομένων ενεργών ρηγμάτων NOAFaults v3.0.1 (Ganas, 2021)

Πίνακας 2. Τα στοιχεία των κύριων ρηγμάτων της βόρειας ζώνης διάρρηξης

	Fault_Name	Fault_Code	Kinematics	Length (km)	Dip_Dir	Strike	Dip_Angle	Rake	Seism_Event	Max_Mag
1.	Elassona	GR086	Normal	11.7	SE	64	60	-90	Unknown	-
2.	Rodia	GR0863	Normal	11.3	SW	113	60	-90	Unknown	-
3.	Rodia East	GR0868	Normal	2.3	SW	107	60	-90	Unknown	-
4.	Rodia North 1	GR0867	Normal	2.9	S	91	60	-90	Unknown	-

5.	Rodia North 2	GR0866	Normal	3.1	S	88	60	-90	Unknown	-
6.	Rodia North 3	GR0865	Normal	3.9	SE	68	60	-90	Unknown	-
7.	Argiropoulio	GR0864	Normal	4.1	SW	132	60	-90	Unknown	-
8.	Gyrtoni	GR1201	Normal	8.9	SSW	107	60	-90	Unknown	-
9.	Omolion 1	GR0885	Normal	25.3	NE	289	60	-90	Unknown	-
10.	Omolion 2	GR0886	Normal	6.7	NE	304	60	-90	Unknown	-
11.	Gonnoi	GR0862	Normal	5.2	NNE	279	60	-90	Unknown	-
12.	Tyrnavos	GR0869	Normal	10.9	NE	295	60	-90	Unknown	-
13.	Larissa	GR1202	Normal	11.3	NE	292	60	-90	Unknown	-
14.	Unnamed	GR0875	Normal	14.1	NE	289	60	-90	Unknown	-
15.	Eleftherio	GR1205	Normal	5.8	SSW	104	60	-90	Unknown	-
16.	Asmaki	GR1203	Normal	5.9	NNE	277	60	-90	Unknown	-
17.	Platikampos	GR1204	Normal	7.6	NNE	274	60	-90	Unknown	-
18.	Kastri	GR0887	Normal	8.5	N	275	60	-90	Unknown	-

Πίνακας 3. Τα στοιχεία των κύριων ρηγμάτων της νότιας ζώνης διάρρηξης

	Fault_Name	Fault_Code	Kinematics	Length (km)	Dip_Dir	Strike	Dip_Angle	Rake	Seism_Event	Max_Mag
1.	Thessaliotida	GR0879	Normal	15.9	NE	301	60	-90	Unknown	-
2.	Unnamed	GR0883	Normal	3.6	NE	294	60	-90	Unknown	-
3.	Ekkara	GR0880	Normal	14.9	NE	310	60	-90	30/04/1954	7.0
4.	Domokos	GR0884	Normal	10.4	NE	289	60	-90	Unknown	-
5.	Velesioties	GR0881	Normal	8.5	N	280	60	-90	Unknown	-
6.	Unnamed	GR0882	Normal	7.8	N	278	60	-90	Unknown	-
7.	Nea Agchialos	GR0559	Normal	40.5	S	78	60	-90	09/07/1980	6.5
8.	Rigeo	GR0860	Normal	20.9	S	99	60	-90	08/03/1957	6.8

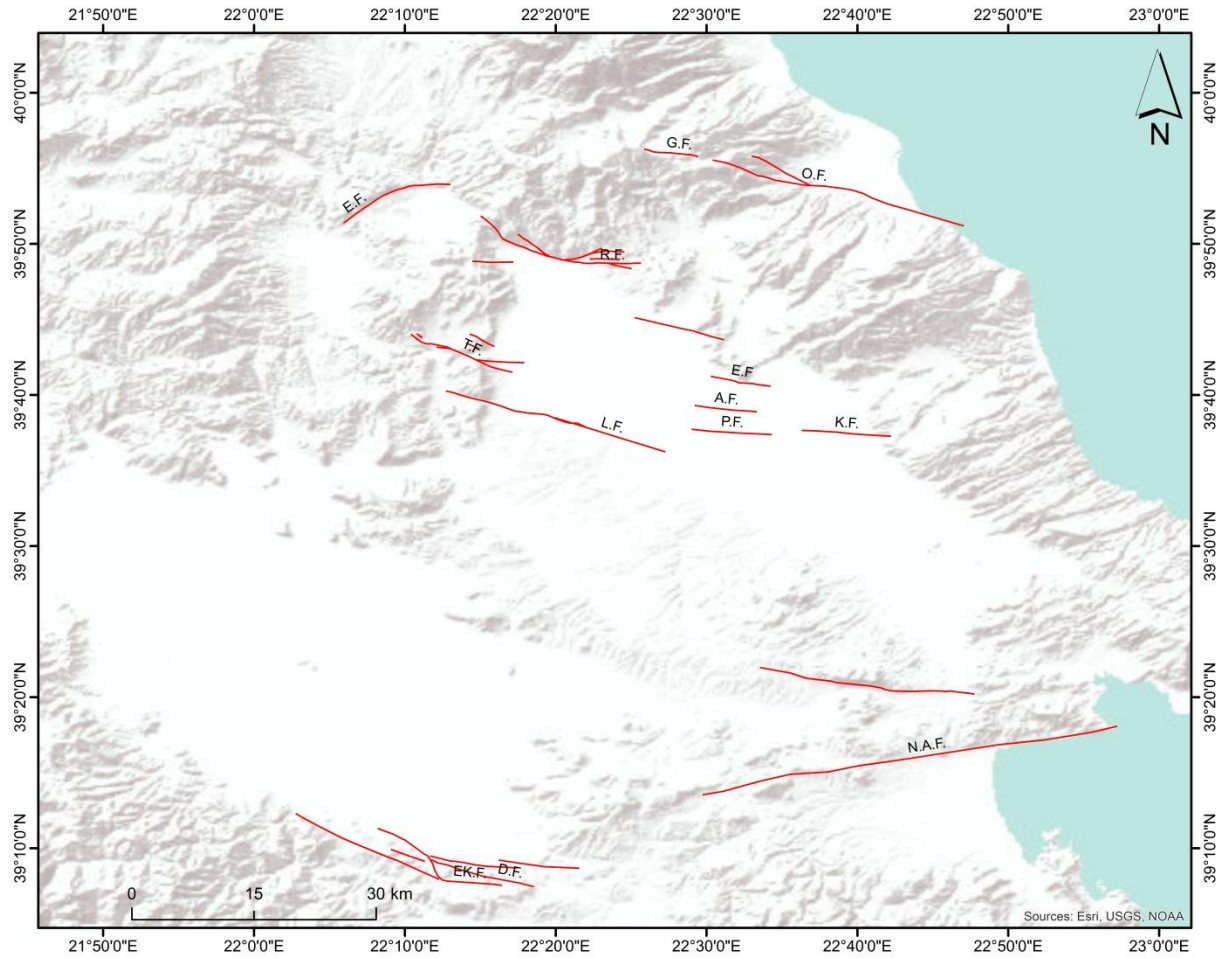
Αντίθετα με όσα αναφέρθηκαν παραπάνω, τα ρήγματα που ανήκουν στη νότια ζώνη διάρρηξης συνδέονται με κάποια από τα πιο ισχυρά σεισμικά γεγονότα στη Θεσσαλία, ενώ ταυτόχρονα παρουσιάζουν ενδείξεις πρόσφατης τεκτονικής δραστηριότητας. Το ρήγμα της Νέας Αγχιάλου οριοθετεί στο βορρά τη λεκάνη του Αλμυρού και επηρεάζει αποθέσεις ηλικίας Πλειστοκαίνου, οι οποίες βρίσκονται στο hangingwall του ρήγματος (Caruto, 1996). Αποτελεί ακόμη ένα παράδειγμα της επίδρασης του εκτατικού πεδίου διεύθυνσης Β-Ν, αφού το ίδιο το ρήγμα έχει διεύθυνση Α-Δ και η επιφανειακή του έκφραση είναι σχεδόν ίση με 50 χιλιόμετρα (Caruto, 1995). Η πρόσφατη επίδραση της τεκτονικής αντικατοπτρίζεται σε μια πληθώρα μικρότερων ρηγμάτων, διαρρήξεων, τεκτονικών πρηνών παράλληλων στη διεύθυνση του ρήγματος αλλά και στην παρουσία ενός τεκτονικά ελεγχόμενου υδρογραφικού δικτύου (Caruto, 1996). Το ρήγμα της Νέας Αγχιάλου, όπως θα αναφερθεί και στο κεφάλαιο της σεισμικότητας, σχετίζεται άμεσα με τη σεισμική ακολουθία που έλαβε χώρα το 1980 στην περιοχή της Μαγνησίας (Parazachos et al., 1983). Στην ίδια κατηγορία με διεύθυνση Α-Δ ανήκει και το ρήγμα του Ρηγίου, το οποίο επηρεάζει αποθέσεις ηλικίας Αν. Πλειστοκαίνου και αποτελεί ένα από τα όρια της λεκάνης των Βασιλικών. Η διάρρηξη αυτή, επεκτείνεται για περισσότερο από 20 χιλιόμετρα, με χαρακτηριστικό της ενεργού τεκτονικής ένα μορφολογικό πρηνές έως και αρκετές εκατοντάδες μέτρα σε ύψος (Caruto, 1995).

Τέλος, το σύστημα ρηγμάτων του Δομοκού, σε συνδυασμό με τη ζώνη διάρρηξης της Εκκάρας παρουσιάζουν πλούσια τεκτονικά στοιχεία, τα οποία δίνουν πληροφορίες τόσο για την εξέλιξη, όσο και για τη σεισμικότητα της περιοχής (Caruto, 1995). Πρόκειται για ένα σύστημα ρηγμάτων, το οποίο συμφωνεί πλήρως με το πρόσφατο γεωτεκτονικό καθεστώς που κυριαρχεί στην περιοχή, αφού χαρακτηρίζεται από κανονικά ρήγματα. Πιο συγκεκριμένα, το ρήγμα της Εκκάρας έχει διεύθυνση ΒΒΔ-ΝΝΑ έως ΒΔ-ΝΑ, με διάφορες μελέτες όμως να υποδεικνύουν πως το ρήγμα εκτός από το κανονικό χαρακτήρα του, παρουσιάζει και μια σημαντική αριστερόστροφη συνιστώσα οριζόντιας ολίσθησης όσον αφορά τη μετατόπιση του (Palynos et al., 2010)

Τα ρήγματα της ζώνης αυτής, λειτουργούν σαν όριο στο τμήμα της δυτικής Θεσσαλίας, με τη δράση τους να διαμορφώνει τη λεκάνη της Καρδίτσας. Αποτελούνται επί το πλείστον,

από ένα σύνολο μικρότερων διαρρήξεων και ρηγμάτων, τα οποία εκφράζονται επιφανειακά και δημιουργούν συστήματα πολυπλοκότερης μορφής. Η ζώνη διάρρηξης της Εκκάρας είναι η μεγαλύτερη σε μήκος διάρρηξη από αυτές που ανήκουν στο σύστημα ρηγμάτων του Δομοκού και με τη σειρά της επηρεάζει Ολοκαινικές αποθέσεις αλλουβίων, ενώ φέρνει στην επιφάνεια τα πετρώματα του υποβάθρου. Διάφοροι κινηματικοί δείκτες που εμφανίζονται και έχουν μελετηθεί, υποδεικνύουν πως οι εδαφικές διαρρήξεις έχουν τεκτονική προέλευση (Palynos et al., 2010). Όπως θα αναφερθεί και παρακάτω, ο σεισμός που έλαβε χώρα στη ζώνη διάρρηξης του Δομοκού το 1954, σήμανε την αρχή για μια σειρά σεισμών που επηρέασαν μετέπειτα την περιοχή.

Λαμβάνοντας υπόψη την κατανομή σε δύο διαφορετικές ρηξιγενείς ζώνες, στο **Σχήμα 9** παρουσιάζονται τα κύρια ρήγματα που λειτούργησαν κατά το Πλειόκαινο-Άνω Πλειστόκαινο αλλά και κατά το Πλειστόκαινο-Ολόκαινο, διαμορφώνοντας τις λεκάνες της Λάρισας και του Τυρνάβου. Είναι εμφανές πως στον χάρτη αποτυπώνονται δύο διαφορετικές γενεές ρηγμάτων, η πλειοψηφία των οποίων ανήκει είτε στην κατηγορία με διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ, είτε στην κατηγορία με διεύθυνση Α-Δ.



Σχήμα 9: Χάρτης αναγλύφου με τα κύρια ενεργά ρηγμάτα στην περιοχή της Θεσσαλίας. Ο χάρτης κατασκευάστηκε σε περιβάλλον ArcMap 10.3.1 και η απεικόνιση των ρηγμάτων αντιστοιχεί σε αυτή από τη βάση δεδομένων ενεργών ρηγμάτων NOAFaults v3.0.1 (Ganas, 2021).

4. Η ΣΕΙΣΜΙΚΟΤΗΤΑ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

Η περιοχή της Θεσσαλίας συνδέεται με σεισμική δραστηριότητα, η οποία χαρακτηρίζεται από σεισμούς μεσαίου έως μεγάλου μεγέθους (Caruto et al., 2006; Caruto, 2005; Valianatos et al., 2021). Το γεγονός ότι αποτελεί μια από τις πιο πυκνοκατοικημένες περιοχές στην Ελλάδα, καθιστά επιτακτική τη γνώση γύρω από το βαθμό σεισμικής επικινδυνότητας. Στην ιδιαίτερη γεωτεκτονική της θέση στο οπισθοτόξο, οφείλονται μια σειρά σεισμών που έχουν καταγραφεί κατά την ιστορική αλλά και ενόργανη περίοδο, όπως θα αναλυθεί παρακάτω. Με βάση τα αποτελέσματα διαφόρων ερευνών και παρά το γεγονός ότι η κατανομή των ρηγμάτων στις δύο ρηξιγενείς ζώνες φαίνεται να είναι ομοιόμορφη και τα στοιχεία που σχετίζονται με την ενεργό τεκτονική της περιοχής να μη διαφέρουν για τα δύο αυτά τμήματα, η σεισμικότητα της περιοχής υποδεικνύει πως το βόρειο τμήμα θα μπορούσε να αποτελεί μια περιοχή σεισμικού κενού (Caruto, 1995).

Η υπόθεση αυτή ενισχύεται από το γεγονός ότι η πλειοψηφία των σεισμικών επικέντρων κατά τον τελευταίο αιώνα είναι συγκεντρωμένη στο νότιο τμήμα της Θεσσαλίας, με $M \geq 6$ (Caruto, 1995). Εξάιρεση αποτελεί ο σεισμός της Λάρισας το 1941. Το σεισμικό δυναμικό στο τμήμα αυτό μπορεί να δώσει σεισμούς με μέγεθος έως 7 ρίχτερ, σε αντίθεση με το βόρειο τμήμα που φτάνει μέχρι τα 6.5 (Lekkas et al., 2021). Στους καταλόγους της ιστορικής σεισμικότητας παρουσιάζεται ένα μεγάλο κενό, το οποίο δεν επιτρέπει την εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων. Για το λόγο αυτό, διεξήχθησαν διάφορες μελέτες που συνέβαλαν στον καθορισμό του σεισμικού δυναμικού της περιοχής (Caruto, 1995; Caruto and Helly, 2005; Caruto et al., 2006). Τα δεδομένα δείχνουν ότι εκτός από την επανενεργοποίηση των ρηγμάτων της νότιας ζώνης διάρρηξης, με βάση τις παραμέτρους των ρηγμάτων, η περιοδικότητα των σεισμικών γεγονότων αγγίζει τα μερικά εκατοντάδες χρόνια (Caruto, 2005; Caruto et al., 2006). Όσον αφορά τα ρήγματα που οριοθετούν τη λεκάνη του Τυρνάβου, δεν φαίνεται να σχετίζονται με κάποιο χρονολογημένο γεγονός. Τα αποτελέσματα όμως των παλαιοσεισμολογικών τομών στο ρήγμα του Τυρνάβου, σε συνδυασμό με αρχαιολογικά δεδομένα, κατέληξαν στο γεγονός πως κατά το Αν. Πλειστόκαινο-Ολόκαινο έλαβαν χώρα μια

σειρά σεισμικών γεγονότων ικανών να προκαλέσουν αλλαγές στη μορφολογία (Caruto et al., 2006). Αντίστοιχα αποτελέσματα προκύπτουν και για το ρήγμα της Ροδιάς, καθιστώντας συνολικά αυτή την περιοχή, ως μια περιοχή υψηλής σεισμικής επικινδυνότητας. Πιο συγκεκριμένα, η σεισμική δραστηριότητα που προκύπτει από τις παλαιοσεισμολογικές τομές, δίνει μέγεθος περίπου $M=6.4$, με βάση τον εμπειρικό νόμο που συσχετίζει τη μετρούμενη κάθετη μετατόπιση (throw) με το μέγεθος. Ταυτόχρονα, εντοπίστηκε μια επιφανειακή διάρρηξη, η οποία σχετίζεται άμεσα με τη δραστηριότητα του ρήγματος αυτού κατά το Ολόκαινο (Caruto and Helly, 2005).

Το πιο πρόσφατο γεγονός σημειώθηκε στις 3 Μαρτίου 2021, όπου ισχυρή σεισμική δόνηση με μέγεθος $M_w=6.3$ έπληξε την περιοχή Τυρνάβου-Ελασσόνας. Το επίκεντρο με συντεταγμένες 39.7591 Β, 22.2102 Α προσδιορίστηκε μεταξύ των χωριών Ζάρκο και Δαμάσι. Τον κύριο σεισμό ακολούθησε έντονη μετασεισμική ακολουθία, με δύο ακόμα ισχυρά συμβάντα μεγέθους $M_w=6.0$ και $M_w=5.6$ να λαμβάνουν χώρα στις 4 και 12 Μαρτίου 2021, αντίστοιχα (Ganas et al., 2021; Valianatos et al., 2021; Kassaras et al., 2022).

4.1. Ιστορική Σεισμικότητα

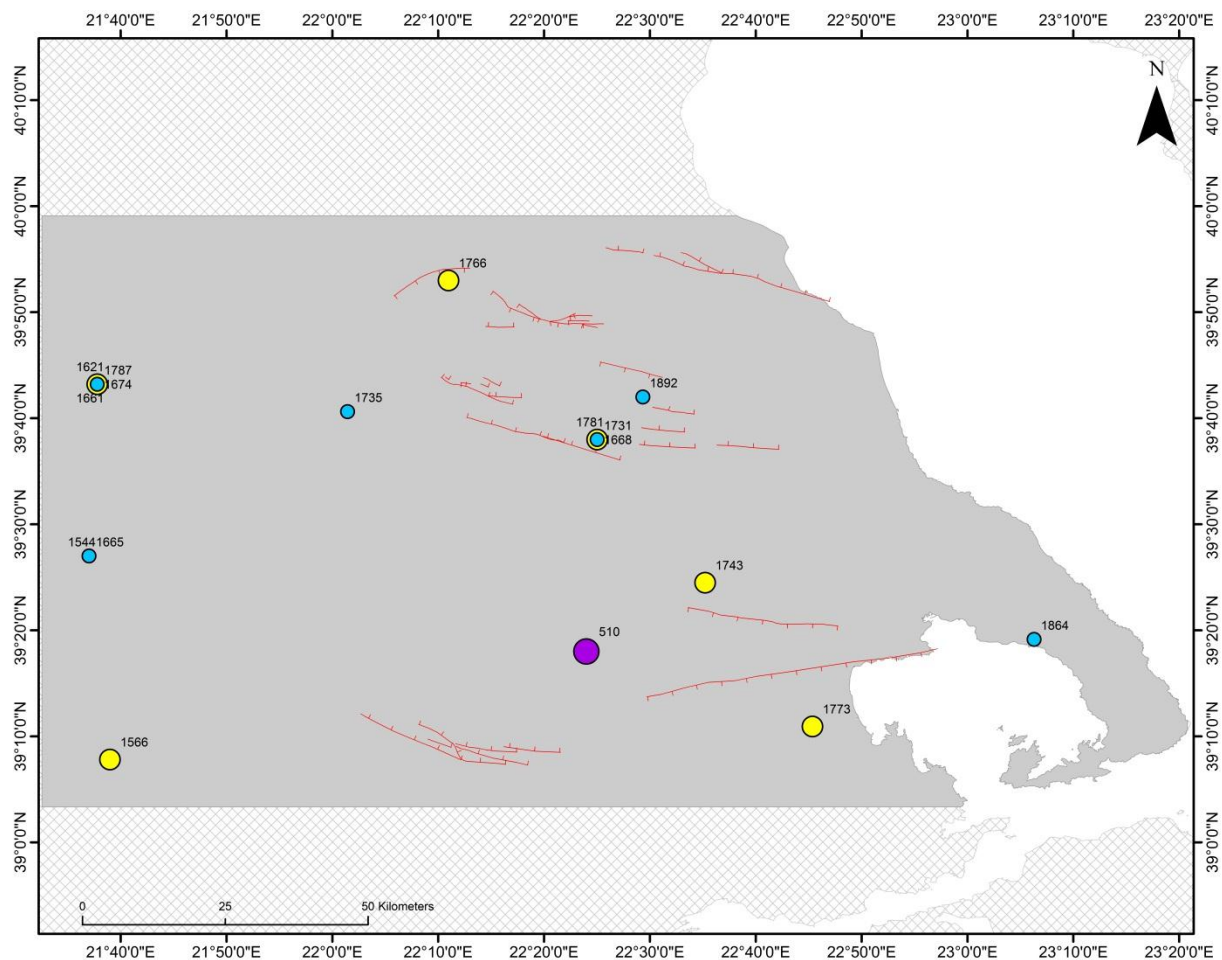
Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, σχετικά με την ιστορική σεισμικότητα της περιοχής, λίγα δεδομένα είναι γνωστά. Σύμφωνα με Παραϊοαννου (1984) ο παλαιότερος σεισμός που έχει καταγραφεί ιστορικά έγινε την περίοδο του 510 π.Χ. Από τότε παρατηρούνται διάφορα κενά στις χρονολογίες, με πιο χαρακτηριστικό το γεγονός ότι μεταξύ του 19^{ου} αιώνα μέχρι και τα μέσα του 20^{ου}, κανένας σεισμός δεν έχει καταγραφεί στην περιοχή της Θεσσαλίας (Kouskouna, 2001; Caruto et al., 2006). Ο καθορισμός των σεισμικών επικέντρων, λόγω έλλειψης μακροσεισμικών δεδομένων έχει σταθεί αρκετά δύσκολος με αποτέλεσμα να αμφισβητείται ο συσχετισμός σεισμών με τα συγκεκριμένα ρήγματα της περιοχής. Τέτοια παραδείγματα είναι ο σεισμός του 1731 με μέγεθος $M=6.0$ (Parazachos and Parazachou, 1989) και οι σεισμοί του 1766 και 1781, εκ των οποίων ένας από τους δύο μπορεί να σχετίζεται με το ρήγμα της Ροδιάς (Caruto, 1995; Caruto and Helly, 2005). Οι Caruto et al. (2006)

παραθέτουν συνολικά 14 σεισμικά γεγονότα που προέρχονται από τον κατάλογο ιστορικής σεισμικότητας από Parazachos and Parazachou (1997), καθώς και ένας πρόσθετος σεισμός του 1698 από Ambraseys and Finkel (1992). Ακόμα ένας καταστροφικός σεισμός σημειώθηκε στις 21/10/1864 με μέγεθος 5.9. Περισσότερα στοιχεία για το σεισμικό αυτό γεγονός παρουσιάζονται από τον Σπυρόπουλος (1997), ο οποίος παραθέτει πως το συγκεκριμένο σεισμικό γεγονός ήταν επακόλουθο της έντονης σεισμικής δραστηριότητας που καταγράφηκε τον Αύγουστο του ίδιου έτους στην περιοχή του Β. Πηλίου. Το επίκεντρο εκτιμάται πως βρέθηκε κοντά στη Συκή, ενώ η ένταση αντιστοιχούσε στο VII της κλίμακας Mercalli, πράγμα που αιτιολογεί την αισθητότητα του σεισμού στο Βόλο, τη Β. Εύβοια, αλλά και μακρύτερα. Η Kouskouna (2001) βασίστηκε στην ανάλυση ιστορικών δεδομένων και κατέληξε στον προσδιορισμό τόσο του μεγέθους, του μακροσεισμικού αλλά και του μικροσεισμικού επικέντρου του σεισμού της 9^{ης} Ιανουαρίου του 1892 στη Λάρισα.

Στον παρακάτω πίνακα (**Πίνακας 4**) παρατίθενται 17 μεγάλοι ιστορικοί σεισμοί στην περιοχή της Θεσσαλίας, οι οποίοι πάρθηκαν από Seismotectonic Atlas of Greece v1.0 (Kassaras et al., 2020) και Caruto et al. (2006). Τα επίκεντρα που προβάλλονται στο **σχήμα 10** αντιστοιχούν σε M_w από τον κατάλογο του Seismotectonic Atlas of Greece, εκτός από τους σεισμούς των ετών 510 π.Χ., 1544, 1621, 1661 και 1668 για τους οποίους αναγράφεται το μακροσεισμικό μέγεθος από Caruto et al. (2006). Για την οριοθέτηση της περιοχής ενδιαφέροντος, ψηφιοποιήθηκε ο χάρτης που παρουσιάζεται στη μελέτη του Caruto (1995). Τα ρήγματα που απεικονίζονται περιλαμβάνονται στη βάση ενεργών ρηγμάτων NOAFaults, v.3.0.1. Ο χάρτης κατασκευάστηκε σε περιβάλλον ArcMap 10.3.1.

Πίνακας 4. Κατάλογος ιστορικών σεισμών για την περιοχή της Θεσσαλίας. Οι γεωγραφικές συντεταγμένες δίνονται στις στήλες Χ,Υ (γεωγραφικό μήκος, γεωγραφικό πλάτος) και όπου Μ το μέγεθος του σεισμού.

A/A	Date (dd/mo/yr)	X	Y	M	Region Affected
1	510 π.Χ.	22.4	39.3	7.0	Pharsala
2	24/04/1544	21.617	39.45	-	Pyli
3	11/07/1566	21.65	39.13	6.1	Agrafa
4	06/03/1621	21.63	39.72	6.0	Meteora
5	30/03/1661	21.63	39.72	6.2	Meteora
6	30/10/1665	21.617	39.45	5.6	Pyli
7	--/08/1668	22.417	39.633	6.0	Larissa
8	25/01/1674	21.63	39.72	5.6	Meteora
9	--/--/1731	22.417	39.633	5.9	Larissa
10	01/09/1735	22.024	39.677	5.8	Meteora
11	12/02/1743	22.587	39.408	6.2	Almyros
12	09/11/1766	22.183	39.883	6.2	Elassona
13	15/03/1773	22.756	39.182	6.1	Almyros
14	08/09/1781	22.417	39.633	6.2	Larissa
15	19/06/1787	21.63	39.72	5.9	Pyli
16	21/10/1864	23.105	39.319	5.9	Syke
17	09/01/1892	22.489	39.7	5.8	Larissa



Σχήμα 10: Χάρτης επικέντρων ιστορικής σεισμικότητας (Γαλάζιο χρώμα: $5.0 \leq M < 6.0$, Κίτρινο χρώμα: $6.0 \leq M < 7.0$, Μοβ χρώμα: $M \geq 7.0$) στην περιοχή της Θεσσαλίας για το διάστημα από 510 π.Χ. έως 1892 μ.Χ..

4.2. Ενόργανη Σεισμικότητα

Τα δεδομένα για την ενόργανη σεισμικότητα διαχωρίστηκαν και επεξεργάστηκαν σε τρία διαφορετικά datasets, ανάλογα με την πηγή των δεδομένων και τη χρονολογία. Με βάση το κατάλογο σεισμών από Makropoulos et al., (2012) για τα έτη 1901-2007 στην περιοχή καταγράφονται 128 σεισμοί, ενώ για τη χρονική περίοδο 2008-2020 με δεδομένα που προέρχονται από Seismotectonic Atlas of Greece v1.0 (Kassaras et al., 2020), καταγράφονται 263 σεισμοί. Τέλος, από τις 28/3/2020 έως τις 02/03/2021 τα δεδομένα από το Εργαστήριο Σεισμολογίας του ΕΚΠΑ

(http://www.geophysics.geol.uoa.gr/stations/gmapv3_db/index.php?lang=en) περιλαμβάνουν 212 σεισμούς. Η ακολουθία που εξελίχθηκε από τις 3 Μαρτίου και μετά θα αναλυθεί παρακάτω.

Τα datasets τα οποία χρησιμοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας των δεδομένων που περιέχονται στους σεισμικούς καταλόγους, περιείχαν τα κάτωθι πεδία τις παρουσιάζονται:

FID: Αντιστοιχεί στον αύξοντα αριθμό για κάθε σεισμικό γεγονός.

D: Αντιστοιχεί στην ημέρα που έλαβε χώρα ο σεισμός.

M: Αντιστοιχεί στον μήνα που έλαβε χώρα ο σεισμός.

Y: Αντιστοιχεί στη χρονιά που έλαβε χώρα ο σεισμός.

LAT: Αντιστοιχεί τις συντεταγμένες του γεωγραφικού πλάτους του επικέντρου του σεισμού.

LONG: Αντιστοιχεί τις συντεταγμένες του γεωγραφικού μήκους του επικέντρου του σεισμού.

Magnitude: Το μέγεθος του σεισμού.

Depth: Το βάθος της σεισμικής εστίας.

Source: Σε αυτό το πεδίο αναγράφεται η πηγή των δεδομένων.

Ο κατάλογος σεισμών περιλαμβάνει τις ισχυρούς σεισμούς τις Θεσσαλίας, οι οποίοι σημειώνονται παρακάτω:

- Ο σεισμός τις Λάρισας: 1/3/1941
- Ο σεισμός των Σοφάδων τις 30/4/1954
- Ο σεισμός του Βελεστίνου: 8/3/1957
- Ο σεισμός του Βόλου : 9/7/1980
- Ο σεισμός του Αλμυρού: 30/4/1985

Ο σεισμός των Σοφάδων στις 30/4/1954 ήταν καθοριστικής σημασίας για τη μετέπειτα σεισμικότητα τις περιοχής. Το σεισμικό αυτό γεγονός σχετίζεται με το σύστημα ρηγμάτων του Δομοκού και πιο συγκεκριμένα με το ρήγμα τις Εκκάρας (Papastamatiou and Mouyaris, 1986). Σχετικά με το μέγεθος του σεισμού, σύμφωνα με τους Papazachos et al. (1983) αυτό ήταν ίσο με 7.0, ενώ σύμφωνα με τους Ambraseys and Jackson (1990) ήταν ίσο με 6.7. Αποτέλεσμα του συγκεκριμένου σεισμού ήταν η επανενεργοποίηση διαφόρων μικρότερων εδαφικών διαρρήξεων στην ευρύτερη περιοχή. Με βάση παλαιοσεισμολογικές μελέτες που έλαβαν χώρα σε διάφορα τμήματα τις συγκεκριμένης ζώνης, επαληθεύεται όχι μόνο ο παραπάνω ισχυρισμός, αλλά καθώς φαίνεται τα τελευταία 20.000 χρόνια επικρατούν επαναλαμβανόμενες διαρρήξεις, εκ των οποίων δύο μπορεί να έχουν δώσει σεισμούς αντίστοιχους κατά τις ιστορικούς χρόνους με το σεισμό του 1954 (Palyvos et al., 2010). Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να σημειωθεί πως αυτό το γεγονός ήταν η έναρξη για μια προς τα ανατολικά μετανάστευση των σεισμικών επικέντρων, η οποία εκδηλώθηκε τρία χρόνια αργότερα με το σεισμό του Βελεστίνου, στις 8/3/1957 (Papazachos et al., 1983; Paradimitriou, E. E. and Karakostas, V. G., 2003; Palyvos et al., 2010). Λόγω έλλειψης μηχανισμών γένεσης αλλά και τεκτονικών στοιχείων που θα μπορούσαν να συμβάλλουν στον προσδιορισμό του σεισμογόνου χώρου, χρησιμοποιήθηκαν μακροσεισμικά δεδομένα, τα οποία υποδεικνύουν το ρήγμα του Ρηγίου ως την πιο πιθανή πηγή (Caruto, 1995). Στο σεισμό του Βελεστίνου, καταγράφηκαν δύο ξεχωριστά σεισμικά γεγονότα με μικρή χρονική διαφορά μεταξύ τους, τα μεγέθη των οποίων είναι 6.5 και 6.6 κατά Ambraseys και Jackson (1990) ή 6.5 και 6.8 κατά Papazachos et al. (1983)

Στις 9/7/1980, λαμβάνει χώρα ο σεισμός του Βόλου με μέγεθος 6.5, ο οποίος συνδέεται με το ρήγμα της Νέας Αγκιάλου (Papazachos et al., 1983; Caruto, 1995). Στη σεισμική ακολουθία περιλαμβάνονται ισχυροί προσεισμοί και μετασεισμοί με μέγεθος 5.6 και 6.0, αντίστοιχα. Οι λύσεις των μηχανισμών γένεσης δίνουν πληροφορίες σύμφωνες με το καθεστώς που κυριαρχεί σε ολόκληρο το Αιγαίο, δηλαδή τον εφελκυσμό διεύθυνσης Β-Ν. Ακόμα, οι Papazachos et al. (1983) διαπίστωσαν ένα κοινό μοτίβο σε μια σειρά σεισμικών ακολουθιών που ξεκίνησαν από το 1971 στην περιοχή τις Θεσσαλονίκης και επεκτάθηκαν έως την περιοχή των Αλκυονίδων το 1981. Η προς τα ανατολικά μετανάστευση λοιπόν που

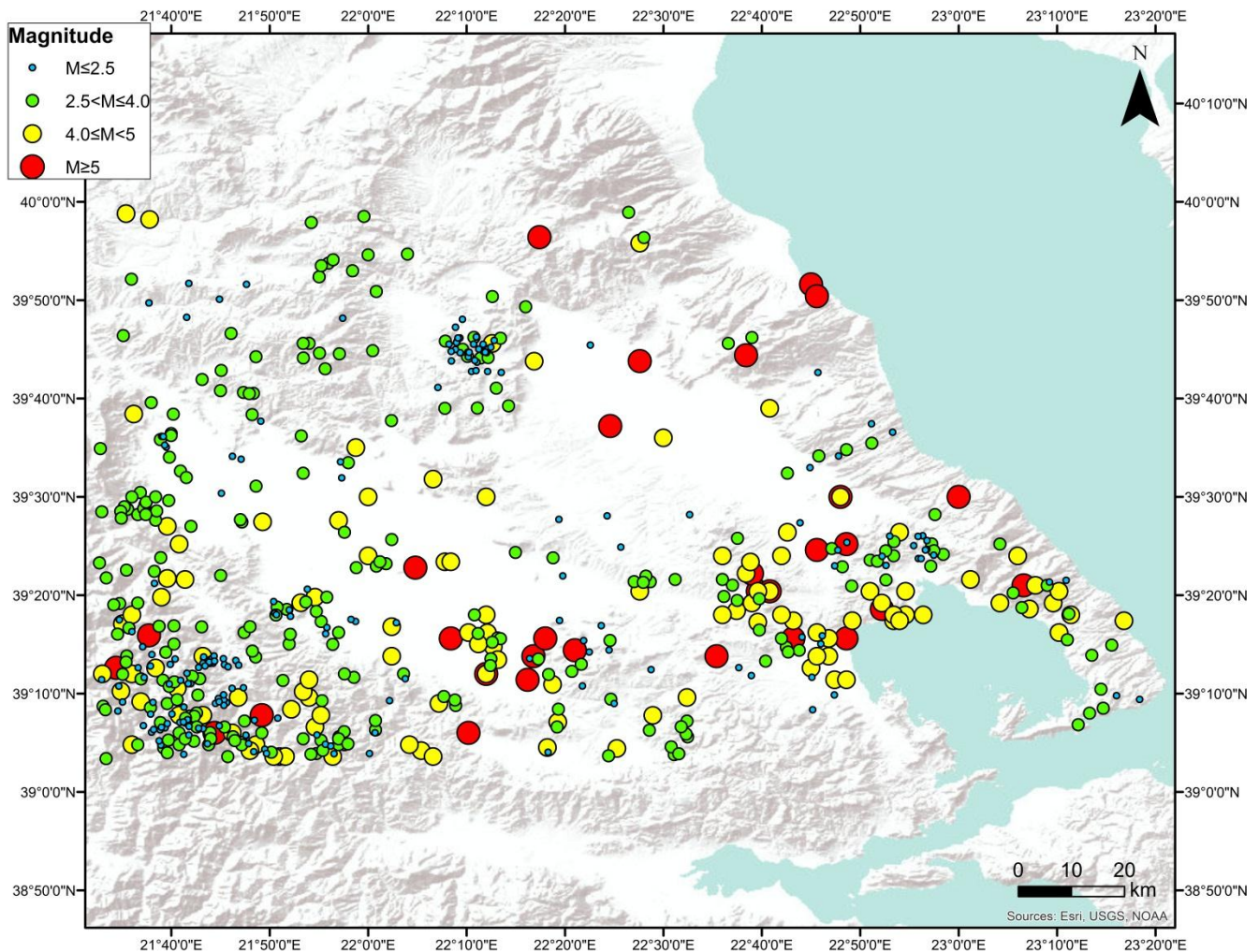
αναφέρθηκε παραπάνω φαίνεται να συνεχίστηκε στο διάστημα αυτό, με χαρακτηριστικό πως και τα τρία αυτά σεισμικά συμβάντα προκλήθηκαν από ρήγματα διεύθυνσης Α-Δ και σχετίζονται άμεσα με μορφολογίες τις οποίες κυριαρχούν τεκτονικά βυθίσματα. Ταυτόχρονα, τα δεδομένα από το σεισμό του Αλμυρού τις 30/4/1985, συμφωνούν με αυτά του 1981 και επομένως το ρήγμα της Νέας Αγχιάλου αποτέλεσε πιθανά το σειсмоγόνο χώρο αυτού του γεγονότος.

Στο **σχήμα 11** παρουσιάζεται το σύνολο των 603 σεισμών κατά την περίοδο τις ενόργανης σεισμικότητας, καθώς επίσης στον **πίνακα 5** φαίνονται τα στοιχεία των σεισμών με το μεγαλύτερο μέγεθος ανά χρονιά (συμπεριλαμβανομένων και των μεγάλων σεισμών που αναφέρθηκαν παραπάνω).

Πίνακας 5. Κατάλογος σεισμών με τα μεγαλύτερα μεγέθη ανά έτος για τη χρονική περίοδο 1901-2/3/2021

FID	Y	M	D	LAT	LONG	Magnitude	Depth	Source
212	1909	6	15	39.2	22.2	5.5	14	Makropoulos et al., 2012
213	1911	10	22	39.5	23	5.5	15	Makropoulos et al., 2012
214	1930	2	23	39.86	22.75	5.9	70	Makropoulos et al., 2012
215	1932	8	15	39.1	22.17	5.6	51	Makropoulos et al., 2012
216	1941	3	1	39.73	22.46	6.1	25	Makropoulos et al., 2012
221	1954	4	30	39.23	22.28	6.5	16	Makropoulos et al., 2012
232	1955	1	3	39.19	22.27	5.5	41	Makropoulos et al., 2012
238	1956	11	2	39.35	23.11	5.2	5	Makropoulos et al., 2012
240	1957	3	8	39.34	22.66	6.6	30	Makropoulos et al., 2012
259	1961	1	28	39.4	22	4.9	33	Makropoulos et al., 2012
261	1964	9	21	39.65	22.68	4.4	33	Makropoulos et al., 2012
263	1965	9	11	39.07	22.09	4.4	42	Makropoulos et al., 2012
265	1966	2	5	39.1	21.74	6	16	Makropoulos et al., 2012
270	1968	3	7	39.2	21.6	4.4	59	Makropoulos et al., 2012
274	1969	5	16	39.13	21.82	5.1	39	Makropoulos et al., 2012
277	1970	8	18	39.16	21.78	4.5	38	Makropoulos et al., 2012
282	1971	6	20	39.06	21.85	4.4	35	Makropoulos et al., 2012

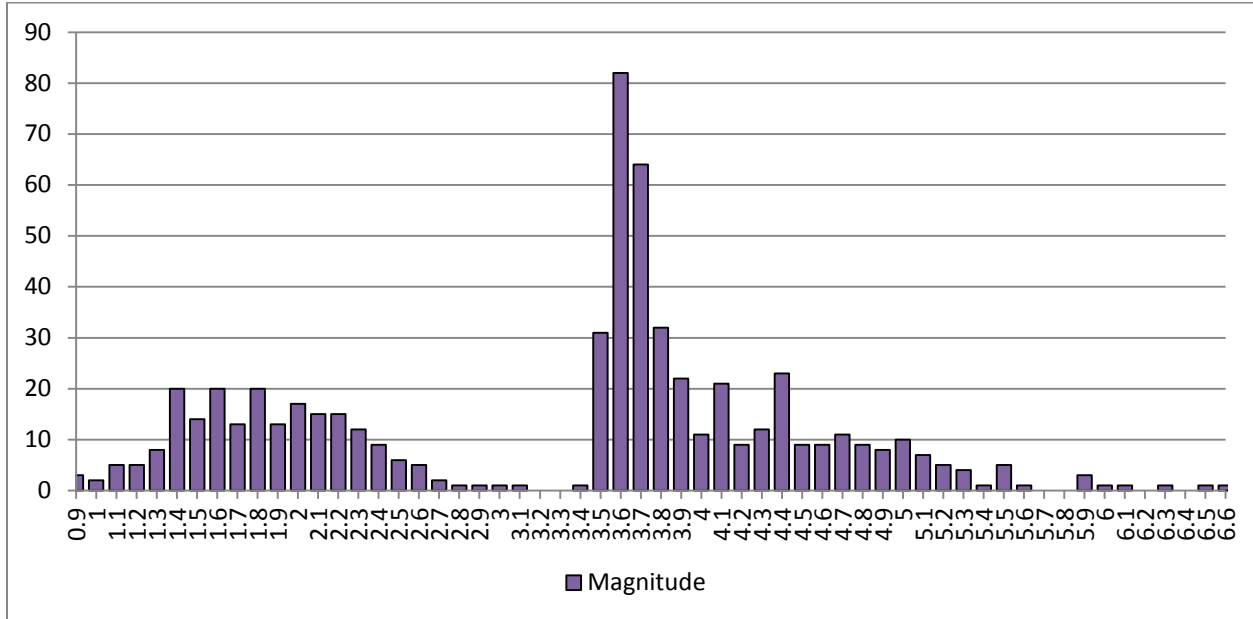
FID	Y	M	D	LAT	LONG	Magnitude	Depth	Source
285	1972	11	20	39.42	21.68	4.9	26	Makropoulos et al., 2012
286	1976	2	22	39.38	22.08	5.1	19	Makropoulos et al., 2012
292	1977	10	12	39.33	21.65	4.1	45	Makropoulos et al., 2012
293	1978	1	31	39.34	22.91	4.5	39	Makropoulos et al., 2012
295	1979	3	1	39.29	23.28	4.2	1	Makropoulos et al., 2012
301	1980	7	9	39.23	22.59	5.9	31	Makropoulos et al., 2012
317	1981	5	6	39.26	22.78	4.9	32	Makropoulos et al., 2012
320	1982	5	6	39.23	22.04	4.4	10	Makropoulos et al., 2012
321	1982	8	8	39.32	22.87	4.4	38	Makropoulos et al., 2012
325	1983	6	11	39.2848	21.584	4.7	12	Makropoulos et al., 2012
328	1984	12	15	39.84	22.76	5.1	8	Makropoulos et al., 2012
329	1985	4	30	39.26	22.81	5.5	97	Makropoulos et al., 2012
330	1986	2	22	39.06	22.11	4.4	11	Makropoulos et al., 2012
331	1987	11	30	39.29	22.82	4.5	45	Makropoulos et al., 2012
332	1989	11	6	39.2	21.55	4.4	1	Makropoulos et al., 2012
333	1990	3	13	39.93	22.46	4.1	1	Makropoulos et al., 2012
334	1995	5	24	39.97	21.63	4.4	9	Makropoulos et al., 2012
337	2001	5	19	39.16	22.54	4.4	14	Makropoulos et al., 2012
338	2003	6	9	39.94	22.29	5.1	20	Makropoulos et al., 2012
339	2004	12	11	39.21	21.64	4.4	12	Makropoulos et al., 2012
345	2008	3	20	39.0632	22.5183	8.7	4	Seismotectonic Atlas of Greece v1.0
373	2008	9	27	39.5073	21.6143	19.4	4	Seismotectonic Atlas of Greece v1.0
427	2009	10	26	39.2507	22.1868	4.3	93.7	Seismotectonic Atlas of Greece v1.0
442	2010	1	14	39.246	22.212	4.4	92.5	Seismotectonic Atlas of Greece v1.0
515	2011	10	4	39.153	21.615	4.7	9.4	Seismotectonic Atlas of Greece v1.0
526	2012	10	9	39.4202	22.9545	4	11.7	Seismotectonic Atlas of Greece v1.0
532	2013	11	19	39.5835	21.9793	4.2	17.6	Seismotectonic Atlas of Greece v1.0
545	2014	12	19	39.307	22.624	4.7	15	Seismotectonic Atlas of Greece v1.0
548	2015	5	1	39.7298	22.2811	4.1	10	Seismotectonic Atlas of Greece v1.0
566	2016	12	27	39.1705	21.5814	5	10.4	Seismotectonic Atlas of Greece v1.0
574	2017	9	11	39.2104	21.5733	5.3	10	Seismotectonic Atlas of Greece v1.0
583	2018	8	31	39.2652	21.629	5.5	5	Seismotectonic Atlas of Greece v1.0
599	2019	11	29	39.0752	22.3036	4.5	64	Seismotectonic Atlas of Greece v1.0
748	2020	11	13	39.1787	21.6632	3.7	8	Εργαστήριο Σεισμολογίας (ΕΚΠΑ)
785	2021	1	10	39.1175	21.6482	3.7	A	Εργαστήριο Σεισμολογίας (ΕΚΠΑ)



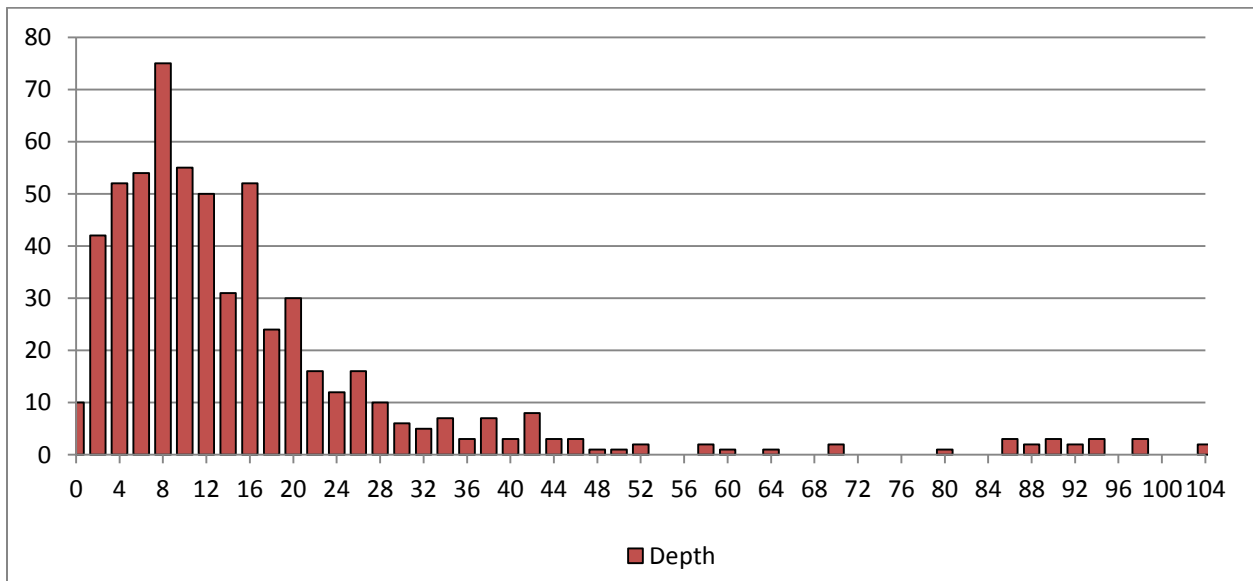
Σχήμα 11: Χάρτης σεισμικότητας στην περιοχή της Θεσσαλίας για την περίοδο 1901-2/3/2021.

Ταυτόχρονα, για την καλύτερη επεξεργασία και ανάλυση των δεδομένων δημιουργήθηκαν με τη χρήση του excel ιστογράμματα, με σκοπό την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με τα χαρακτηριστικά που παρουσιάζει η σεισμικότητα ως προς το μέγεθος αλλά και το βάθος, στην περιοχή για την περίοδο 1901-2/3/2021. Όπως φαίνεται στα **σχήματα 12** και **13**, η πλειοψηφία των σεισμών συγκεντρώνεται σε μικρά και μεσαία μεγέθη και πιο συγκεκριμένα για αυτό το χρονικό διάστημα καταγράφονται 82 σεισμοί με μέγεθος 3.6. Για την ίδια περίοδο μόλις 5 σεισμοί με μέγεθος $M > 6.0$ καταγράφονται στην περιοχή. Όσον αφορά

τα βάθη των σεισμικών επικέντρων, αυτά είναι επί το πλείστον επιφανειακά με τη μεγαλύτερη συγκέντρωση να παρατηρείται σε βάθος 8 χιλιομέτρων, ενώ οι σεισμοί βάθους παρουσιάζουν σποραδική εμφάνιση.



Σχήμα 12: Ιστόγραμμα συχνοτήτων για τα μεγέθη των σεισμών την περίοδο 1901-2/3/2021.



Σχήμα 13: Ιστόγραμμα συχνοτήτων για τα βάθη των σεισμών την περίοδο 1901-2/3/2021.

4.3. Η σεισμική ακολουθία του Μαρτίου 2021

Σύμφωνα με το Γεωδυναμικό Ινστιτούτο του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών το επίκεντρο του σεισμού τις 3^{ης} Μαρτίου 2021 είχε συντεταγμένες 39.7591 Β, 22.2102 Α, ενώ το εστιακό βάθος υπολογίστηκε στα 8.5 km. Τις επόμενες μέρες ακολούθησε μια έντονη μετασεισμική ακολουθία στην οποία εκτός των άλλων καταγράφηκαν δύο ισχυροί μετασεισμοί όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως. Τα επίκεντρα αυτών είχαν συντεταγμένες 39.78 Β, 22.12 Α και 39.84 Β, 22.01 Α.

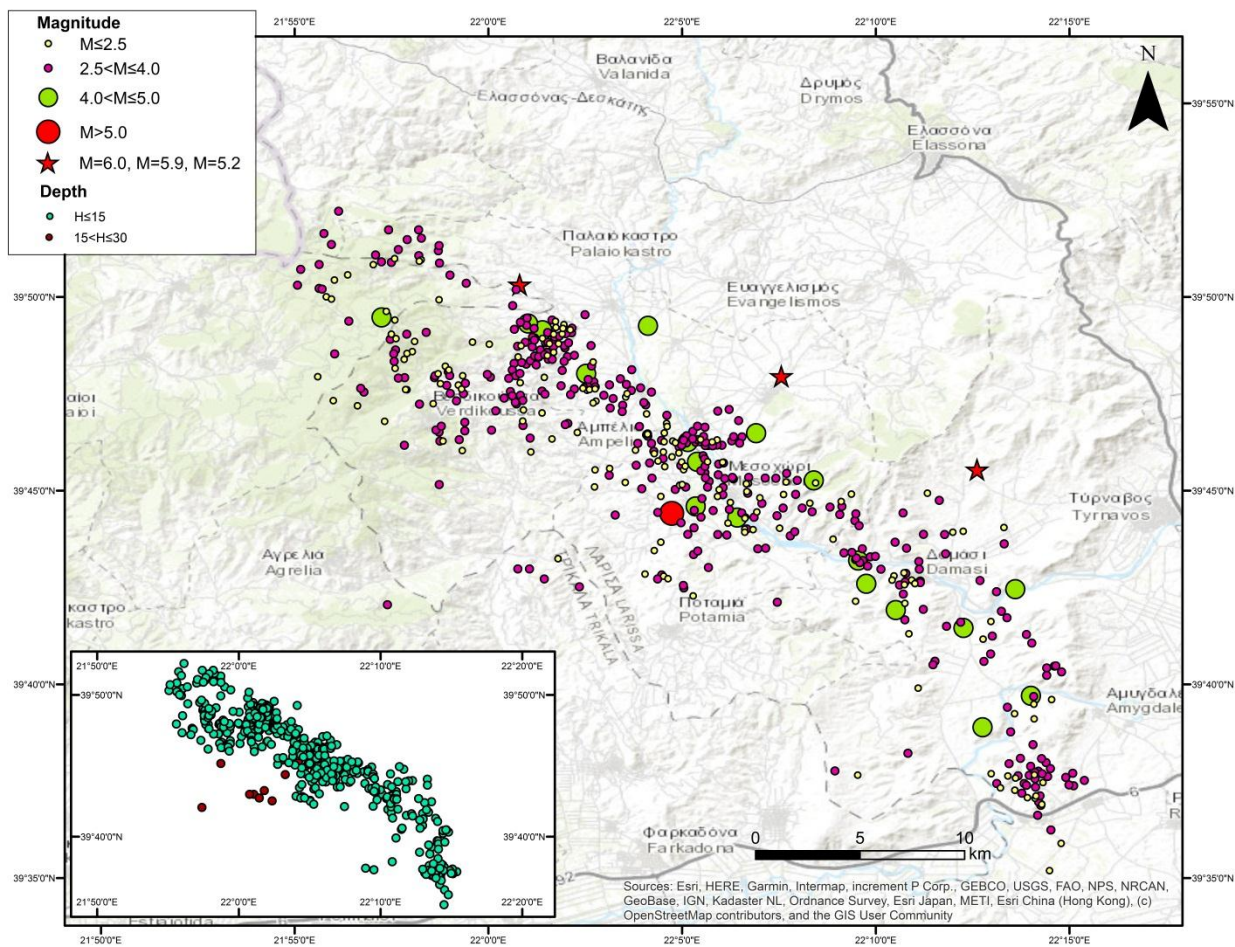
Στον σεισμό της 3^{ης} Μαρτίου 2021 δεν υπήρξε καμία επιφανειακή έκφραση του σεισμογόνου ρήγματος, πράγμα που οδηγεί στο γεγονός ότι επρόκειτο για ένα άγνωστο έως τότε, αχαρτογράφητο ρήγμα ή αλλιώς «τυφλό» (Ganas et al., 2021). Αντιθέτως, πολλά ήταν τα δευτερογενή φαινόμενα που έπληξαν την περιοχή, με τα κυριότερα να αφορούν σε φαινόμενα ρευστοποίησης και εδαφικές διαρρήξεις τις κοιλάδες του Πηνειού και του Τιταρήσιου ποταμού (Ganas et al., 2021; Galanakis et al., 2021, Parathanasiou et al., 2022).

Χρησιμοποιώντας μια σειρά από μεθόδους που περιλαμβάνουν γεωλογικά και σεισμολογικά δεδομένα, καθώς και δορυφορικά δεδομένα InSAR και GNSS, προσδιορίστηκαν το επίπεδο και τα στοιχεία του ρήγματος. Συγκεκριμένα, από τα στοιχεία για την παραμόρφωση της περιοχής, φαίνεται πως τα τρία αυτά σεισμικά γεγονότα προήλθαν από την ενεργοποίηση τριών διαφορετικών ρηγμάτων (Ganas et al., 2021; Kassaras et al., 2022) με τα πρώτα δύο να συνδέονται με ρήγματα διεύθυνσης ΒΔ-ΝΑ και βύθισης προς ΒΑ. Η κλίση προσδιορίστηκε στις 38°. Ο τρίτος σεισμός προήλθε από ένα ρήγμα με βύθιση προς νότο όπως προκύπτει από ανάλυση εικόνων SAR (Ganas et al. 2021), αλλά από σεισμολογικά δεδομένα (επαναπροσδιορισμός υποκέντρων) αυτό δεν είναι σαφές (Kassaras et al., 2022), καθώς ίσως να έχει ενεργοποιηθεί ρήγμα που κλίνει προς βορρά. Όλα τα παραπάνω ευρήματα βρίσκονται σε συμφωνία με τα αποτελέσματα των σεισμολογικών δεδομένων και των μηχανισμών γένεσης. Εν τέλει, και με βάση την παρακολούθηση και της μετασεισμικής ακολουθίας, η κατανομή των επικέντρων και συνολικά η σεισμικότητα ακολουθεί μια προς τα δυτικά μετανάστευση, υποδεικνύοντας πως το γεωτεκτονικό καθεστώς της περιοχής είναι ενεργό και

παρά το γεγονός ότι η σεισμική ακολουθία δεν προήλθε από κάποιο γνωστό ρήγμα, δεν μπορεί να παραβλεφθεί η πιθανότητα επανενεργοποίησης ήδη γνωστών στην περιοχή δομών (Koukouvelas et al., 2021, Kassaras et al., 2022).

Μελετώντας τον χώρο από τις 3 Μαρτίου έως τις 3 Απριλίου 2021, οι Karakostas et al. (2021) επαλήθευσαν την παραπάνω διατύπωση, ομαδοποιώντας τα σεισμικά συμβάντα και θεωρώντας μοτίβο της μετασεισμικής ακολουθίας μέσα από ένα σύνολο 1476 μετασεισμών που έλαβαν πως δεν σχετίζονται όλα άμεσα με τον κύριο σεισμό τις 3^{ης} Μαρτίου. Πιο συγκεκριμένα, σε μια ακολουθία διάρκειας 12 ημερών φαίνεται πως η ύπαρξη σεισμών με $M_w \geq 5.0$ έξω από την κύρια ζώνη διάρρηξης υποδεικνύει όχι μόνο την ύπαρξη δευτερευόντων δομών αλλά και τη δυνατότητα αυτοί οι σεισμοί να δημιουργούν τις δικές τους μετασεισμικές ακολουθίες. Χαρακτηριστικό παράδειγμα, αποτελεί ο σεισμός μεγέθους $M_w=5.5$ στις 12 Μαρτίου, ο οποίος πυροδότησε μια σειρά μετασεισμών με $M \sim 3.0$, επεκτεινόμενη ΒΔ. Οι Kassaras et al. (2022) βρήκαν πως αυτός ο σεισμός προκάλεσε δύο cluster μετασεισμών σε βάθη 6-12 χιλιόμετρα. Το ένα cluster τοποθετείται νότια του επικέντρου του σεισμού με μέγεθος $M=5.6$, σε βάθη κυρίως μεταξύ 7-9 χιλιομέτρων, ενώ το δεύτερο cluster βρίσκεται ΒΔ του επικέντρου, κοντά στα όρια των νομών Λαρίσης και Τρικάλων. Οι Kassaras et al. (2022, σχήμα 7) υπολόγισαν σύνθετους μηχανισμούς γένεσης για τα δύο αυτά cluster, με κινηματική κανονικών ρηγμάτων με ελάχιστη οριζόντια συνιστώσα.

Για την ίδια χρονική περίοδο, με δεδομένα που πάρθηκαν από τους καταλόγους σεισμικότητας από Kassaras et al. (2022) κατασκευάστηκε ο παρακάτω χάρτης της μετασεισμικής ακολουθίας (**Σχήμα 14**). Το dataset περιλαμβάνει 516 σεισμικά γεγονότα με μεγέθη από 0.6 έως 5.2. Στην εικόνα απεικονίζονται τα επίκεντρα των δύο μεγάλων μετασεισμών, καθώς και το επίκεντρο το κύριου σεισμού. Ταυτόχρονα, η εικόνα περιλαμβάνει έναν μικρότερο χάρτη στον οποίο απεικονίζονται τα επίκεντρα του σεισμού με βάση το εστιακό βάθος αυτών. Με βάση αυτά που σημειώθηκαν στην προηγούμενη ενότητα και παρατηρώντας το χάρτη του σχήματος 14, φαίνεται πως το μοτίβο της μετασεισμικής ακολουθίας τόσο ως προς τα μεγέθη αλλά όσο και ως προς τα βάθη, δεν αποκλίνει ιδιαίτερα από τα χαρακτηριστικά που παρουσιάζει η σεισμικότητα συνολικά για την περιοχή.



Σχήμα 14: Χάρτης μετασεισμικής ακολουθίας του σεισμού με μέγεθος $M=6.0$ ($M_w=6.3$) στις 3/3/2021 για το χρονικό διάστημα 3/3-3/4/2021. Τα κόκκινα αστέρια αντιστοιχούν στα επίκεντρα του κύριου σεισμού και των δύο ισχυρών μετασεισμών με μέγεθος $M=5.9$ και $M=5.2$. Το ένθετο κάτω αριστερά απεικονίζει τον χάρτη κατανομής των βαθών της ακολουθίας.

5. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΠΡΩΤΟΓΕΝΩΝ ΣΕΙΣΜΟΛΟΓΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

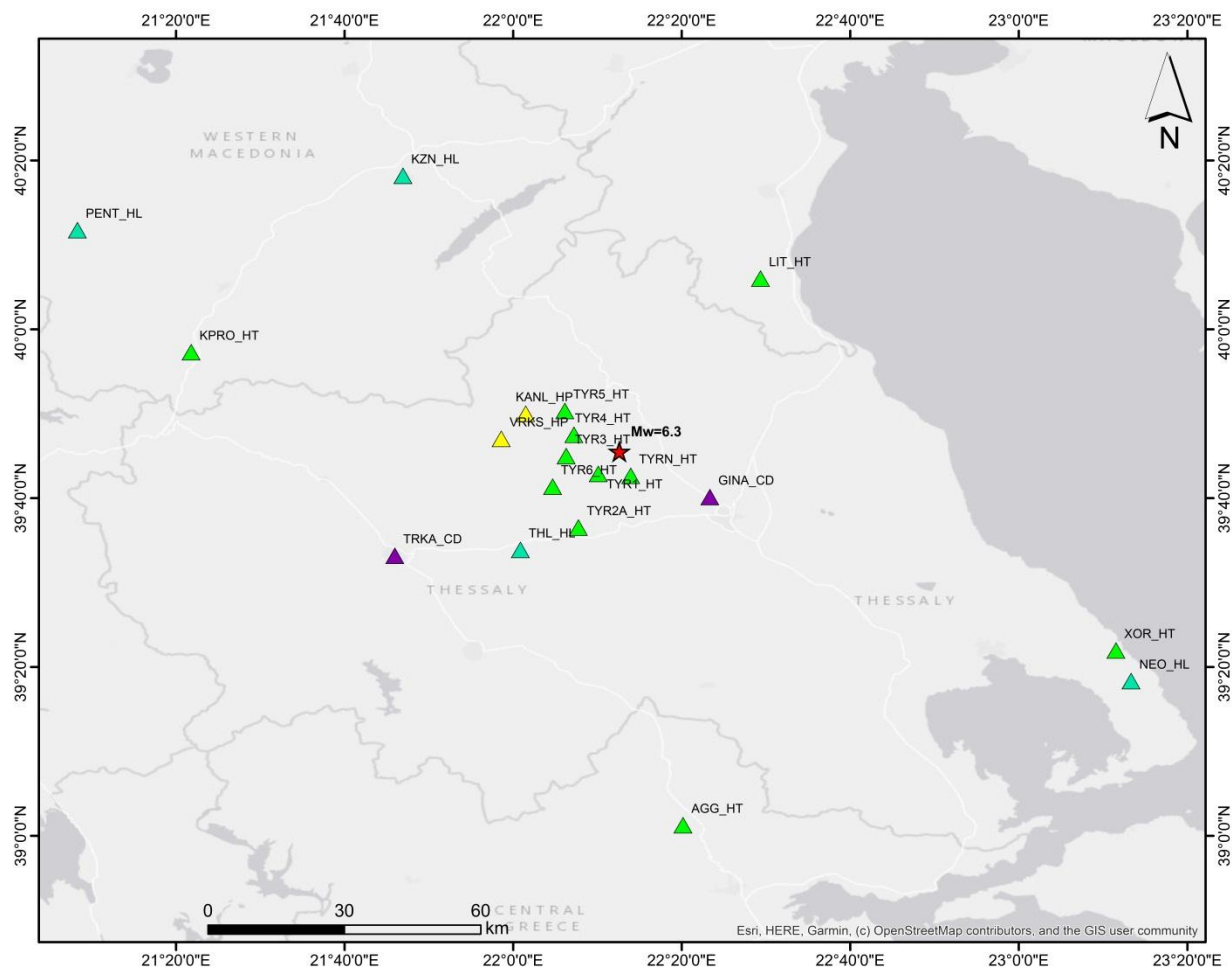
Για τη μελέτη της μετασεισμικής ακολουθίας του σεισμού, με μέγεθος $M_w=6.3$ που έλαβε χώρα στην περιοχή του Δαμασίου-Τυρνάβου στις 03/03/2021, στο διάστημα μεταξύ 02/04/2021 έως 30/04/2021 χρησιμοποιήθηκαν οι καταγραφές του Ενοποιημένου Ελληνικού Σεισμολογικού Δικτύου (Ε.Ε.Σ.Δ.). Πιο συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκαν καταγραφές από 19 σεισμολογικούς σταθμούς, 9 εκ των οποίων ανήκουν στο φορητό δίκτυο σειсмоγράφων και εγκαταστάθηκαν στις 05/03 και στις 14/03 στα πλαίσια περεταίρω έρευνας της ακολουθίας. Αυτοί είναι οι σταθμοί με όνομα TYR1-6 από το Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης και οι σταθμοί KANL (Καλύβια Αναλήψεως) και VRKS (Βερδικούσα) του Πανεπιστημίου Πατρών.

Στον παρακάτω πίνακα (**Πίνακας 6**) παρουσιάζονται τα στοιχεία των σεισμολογικών σταθμών, ενώ θα πρέπει να σημειωθεί πως οι σταθμοί με τα ονόματα TRKA (Τρίκαλα), GINA (Γιάννουλη) και SOFA (Σοφάδες) είναι επιταχυνσιογράφοι. Τα διακριτικά HL, HT και HP ανταποκρίνονται στο σεισμολογικό δίκτυο που ανήκει κάθε σταθμός (**Σχήμα 15**), δηλαδή:

- HL: Γεωδυναμικό Ινστιτούτο, του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών.
- HT: Τομέας Γεωφυσικής, του Αριστοτέλειου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης.
- HP: Εργαστήριο Σεισμολογίας, του Πανεπιστημίου Πατρών

Πίνακας 6. Κατάλογος με τα στοιχεία (metadata) των σταθμών. Οι σταθμοί που σημειώνονται με αστερίσκο ανήκουν στο φορητό δίκτυο σειсмоγράφων που εγκαταστάθηκε στην ευρύτερη περιοχή του Δαμασίου.

No.	Station Code	Latitude	Longitude	Elevation	Site Name	Seismometer
1	KZN_HL	40.30331	21.78209	791	Kozani	STS-2
2	NEO_HL	39.30567	23.22189	510	Neochori Volos	KS2000M
3	PENT_HL	40.19585	21.13831	1092	Pentalofos Kozanis	CMG40T/30
4	THL_HL	39.56468	22.0144	86	Klokotos Thessalia	STS-2
5	AGG_HT	39.0211	22.336	622	Agios Georgios	CMG-3ESP/100
6	KPRO_HT	39.955	21.3632	837	Kipourio	CMG-3ESP/100
7	LIT_HT	40.1003	22.4893	568	Litochorio	CMG-3ESP/100
8	XOR_HT	39.366	23.192	500	Xorichti	CMG-3ESP/100
9	KANL_HP	39.8334	22.0247	260	Kalivia Analipseos	T20185 GeoTINY
10	VRKS_HP	39.78398	21.97651	910	Verdikousa	16838 Trillium Compact
11	TYR1_HT*	39.71472	22.16839	-	Damasouli – Tyrnavos	-
12	TYR2A_HT*	39.608718	22.129072	-	Zarko new site	-
13	TYR3_HT*	39.749989	22.104938	-	Mesochori	-
14	TYR4_HT*	39.791898	22.12024	-	Domeniko	-
15	TYR5_HT*	39.839055	22.102286	-	Evagelismos	-
16	TYR6_HT*	39.689451	22.07808	-	Megalo Eleftherochori	-
17	TYRN_HT*	39.711	22.2325	151	Tyrnavos	TRILLIUM 120P
18	GINA_CD	39.6689	22.3892	74	Yannouli Larissa	CMG-5TD
19	TRKA_CD	39.5532	21.7661	118	Trikala	CMG-5TD
20	SOFA_CD	39.3377	22.0969	110	Sofades	CMG-5TD



Σχήμα 15: Χάρτης με την κατανομή των σταθμών (**Πράσινο χρώμα:** Τομέας Γεωφυσικής, του Αριστοτέλειου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, **Κίτρινο Χρώμα:** Εργαστήριο Σεισμολογίας, του Πανεπιστημίου Πατρών, **Γαλάζιο χρώμα:** Γεωδυναμικό Ινστιτούτο, του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών, **Μοβ χρώμα:** δίκτυο επιταχυνσιογράφων). Με κόκκινο αστέρι παρουσιάζεται το επίκεντρο του σεισμού στις 03/03/2021.

Στη διαδικασία που θα περιγραφεί παρακάτω, υπολογίστηκαν οι παράμετροι 44 μηχανισμών γένεσης που αφορούν σεισμικά γεγονότα με μέγεθος $M \geq 2.5$. Η επεξεργασία έγινε στο λογισμικό Seisgram2K (Lomax, 2014), με τη μέθοδο της πρώτης απόκλισης των επιμήκων (P)-κυμάτων στον κατακόρυφο άξονα του σεισμομέτρου. Για κάθε κυματομορφή, έγινε χειρωνακτική επιλογή της πρώτης απόκλισης στον άξονα Z, σημειώνοντας ταυτόχρονα το είδος της απόκλισης. Πιο συγκεκριμένα, σε ένα .err αρχείο (**Σχήμα 16**), το οποίο αντιστοιχεί σε κάθε σεισμικό γεγονός και περιλαμβάνει στοιχεία για κάθε σταθμό, στη στήλη με την

ονομασία PRMK σημειώθηκε για τις πρώτες αποκλίσεις με φορά προς τα πάνω το γράμμα C (compression), ενώ για αυτές με φορά προς τα κάτω το γράμμα D (Dilatation). Όπου η καταγραφή της πρώτης απόκλισης δεν ήταν καθαρή σημειώθηκε (+) ή (-), αντίστοιχα. Σε κάποιες περιπτώσεις χρειάστηκε η εφαρμογή φίλτρου μέσω του προγράμματος Seisgram2K, για την απομάκρυνση του θορύβου. Από το μενού χρησιμοποιήθηκε η επιλογή Filter>Butterworth και στη συνέχεια οριοθετήθηκε το φάσμα συχνοτήτων από 1 Hz-10 Hz (**Σχήμα 17**). Το φίλτρο Butterworth, πρόκειται για ένα ζωνοπερατό φίλτρο, δηλαδή επιτρέπει τη διέλευση μόνο των καθορισμένων συχνοτήτων και αποκόπτει τις υπόλοιπες. Κάποιες φορές ακόμα και μετά την εφαρμογή φίλτρου, το σήμα συνέχισε να μην είναι επεξεργάσιμο. Οι περιπτώσεις αυτές αφορούσαν κυρίως τις καταγραφές των επιταχυνσιογράφων και για το λόγο αυτό, επιλέχθηκε η αφαίρεση των συγκεκριμένων σταθμών. Αυτές οι καταγραφές είναι οι εξής: 21-04-13 12:05:26: TRKA, 21-04-16 07:51:28: NEO, SOFA, 21-04-17 01:51:21: TRKA, 21-04-17 10:12:43: TRKA, 21-04-17 11:46:40: GINA, TRKA, 21-04-18 06:03:08: GINA, 21-04-18 07:39:03: SOFA, 21-04-18 11:15:26: SOFA, 21-04-18 15:39:45:SOFA, 21-04-30 08:26:23: GINA, SOFA, TRKA, 21-04-22 11:59:55: PENT, 21-04-26 15:58:57:NEO, SOFA, TRKA, XOR, 21-04-26 23:51:11: GINA, XOR, 21-04-27 02:59:45: GINA, XOR, 21-04-27 07:32:20: NEO, SOFA, TRKA, 21-04-23 10:36:44: SOFA.

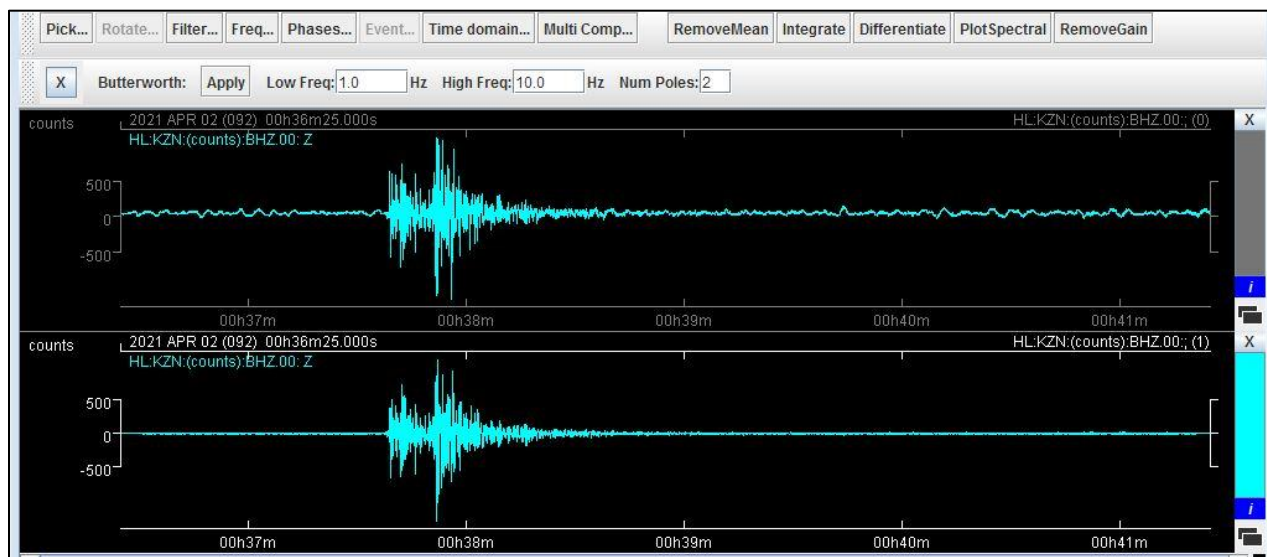
1	2021	4	5	13	40	33.480	39.7823	21.9875	7.29	2.7	0.09						
2	STN	DIST	AZM	AIN	PRMK	HRMN	P-SEC	TPOBS	TPCAL	P-RES	P-WT	SRMK	S-SEC	TSOBS	S-RES	S-WT	DUR
3	VRKS	0.96	282	172	PD0	1340	34.870	1.390	1.350	0.04	1.89	S 2	35.720	2.240	-0.17	0.9	41.0
4	KANL	6.51	29	133	PC4	1340	35.270	1.790	1.790	0.00	0.00	S 4	36.670	3.190	0.00	0.0	0.0
5	TYR3	10.68	110	114	PC0	1340	35.840	2.360	2.290	0.07	1.89	S 2	37.640	4.160	0.09	0.9	41.0
6	TYR4	11.42	85	112	PC0	1340	35.890	2.410	2.420	-0.01	1.89	S 2	37.800	4.320	0.02	0.9	41.0
7	TYR5	11.68	57	110	PC0	1340	35.930	2.450	2.480	-0.03	1.89	S 2	37.900	4.420	0.02	0.9	41.0
8	TYR6	12.90	143	107	PC0	1340	36.230	2.750	2.630	0.12	1.89	S 2	38.130	4.650	-0.02	0.9	41.0
9	TYR1	17.22	116	95	PC0	1340	36.780	3.300	3.320	-0.02	1.89	S 2	39.170	5.690	-0.19	0.9	40.0
10	TYR2	22.45	148	92	P.4	1340	37.650	4.170	4.170	-0.00	0.00	S 4	40.860	7.380	0.00	0.0	0.0
11	TYRN	22.44	111	92	PC0	1340	37.580	4.100	4.170	-0.07	1.89	S 2	40.980	7.500	0.12	0.9	40.0
12	TR2A	22.78	148	92	PC0	1340	37.800	4.320	4.230	0.09	1.89	S 2	40.850	7.370	-0.11	0.9	40.0
13	THL	24.26	175	92	PC0	1340	37.930	4.450	4.480	-0.03	1.89	S 2	41.210	7.730	-0.19	0.9	40.0
14	TRKA	31.74	217	91	P-4	1340	39.230	5.750	5.750	-0.00	0.00	S 4	43.640	10.160	0.00	0.0	0.0
15	GINA	36.67	110	91	P-0	1340	40.090	6.610	6.500	0.11	1.79	S 2	44.720	11.240	-0.24	0.8	40.0
16	NESN	47.74	97	90	P 0	1340	42.620	9.140	8.330	0.81	0.00	S 2	47.620	14.140	-0.56	0.0	40.0
17	SOFA	50.24	169	90	P+4	1340	42.230	8.750	8.750	-0.00	0.00	S 4	48.920	15.440	0.00	0.0	0.0
18	LIT	55.56	50	90	P+0	1340	42.750	9.270	9.640	-0.37	0.51	S 2	49.940	16.460	-0.54	0.0	39.0
19	KPRO	56.75	290	90	PC0	1340	43.420	9.940	9.900	0.04	1.25	S 2	50.770	17.290	-0.17	0.6	39.0
20	KZN	60.45	343	90	PD4	1340	43.990	10.510	10.510	-0.00	0.00	S 4	52.020	18.540	0.00	0.0	0.0
21	TETR	78.19	232	90	P 0	1340	46.650	13.170	13.370	-0.20	0.53	S 2	57.220	23.740	0.17	0.2	38.0
22	PRMD	81.44	250	90	P 0	1340	47.870	14.390	13.920	0.47	0.00	S 2	58.080	24.600	0.06	0.2	38.0
23	PENT	85.84	303	90	P-0	1340	48.490	15.010	14.680	0.33	0.21	S 2	59.410	25.930	0.06	0.1	37.0
24	AGG	89.66	160	90	PC0	1340	49.320	15.840	15.190	0.65	0.00	S 2	60.340	26.860	0.09	0.1	37.0
25	EVR	97.32	189	90	P 0	1340	50.390	16.910	16.470	0.44	0.00	S 4	62.510	29.030	0.00	0.0	37.0
26	NEST	106.48	312	90	P 0	1340	52.000	18.520	18.060	0.46	0.00	S 4	65.300	31.820	-0.00	0.0	36.0
27	XOR	113.34	114	90	PD4	1340	52.550	19.070	19.070	0.00	0.00	S 4	67.080	33.600	-0.00	0.0	0.0
28	NEO	118.56	116	90	P+4	1340	53.400	19.920	19.920	-0.00	0.00	S 4	68.580	35.100	0.00	0.0	0.0
29	ANX	132.12	183	90	P 0	1340	56.220	22.740	22.140	0.60	0.00	S 4	72.480	39.000	-0.00	0.0	36.0
30	err(x y z)	0.30			0.27	0.62	125	33	21	12	C	1					
31																	

Σχήμα 16: Παράδειγμα περιεχομένων err. Αρχείου.

Πίνακας 7: Περιγραφή παραμέτρων err. Αρχείου

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΑΡΧΕΙΟΥ ERR	
STN	Κωδικός Σταθμού
DIST	Επικεντρική Απόσταση σε km
AZM	Αζιμούθιο
AIN	Γωνία Ανάδυσης
PRMK	Χαρακτηριστικό φάσης P, στη στήλη "M" μπαίνει ο χαρακτηρισμός του Polarity (C ή +: συμπίεση, D ή -: αραιώση), στη στήλη "K" μπαίνει το βάρος της άφιξης (0 για ισχυρή άφιξη, από 1 έως 3 για σταδιακά μεγαλύτερη αβεβαιότητα, 4 για απόρριψη φάσης από τον υπολογισμό της λύσης του υποκέντρου).
HRMN	Ώρα (2 πρώτες στήλες) και λεπτό (3η και 4η στήλη) άφιξης των P. Η ημερομηνία αντιστοιχεί στην πρώτη γραμμή του χρόνου γένεσης.
P-SEC	Δευτερόλεπτα του χρόνου αύξησης των P (συνδυάζονται με το HRMN για ώρα και λεπτά).
TPOBS	Παρατηρούμενος χρόνος διαδρομής των P (σε sec), ο οποίος προκύπτει από τη διαφορά του παρατηρούμενου χρόνου άφιξης (P-SEC) από τον χρόνο γένεσης
TPCAL	Θεωρητικός χρόνος διαδρομής των P (σε sec), προκύπτει από το υπόκεντρο, τη θέση του σταθμού και forward model βάσει του μοντέλου ταχυτήτων που έχει χρησιμοποιηθεί.
P-RES	Χρονικό υπόλοιπο (residual) του χρόνου διαδρομής των P. Ισούται με τη διαφορά TPOBS - TPCAL
P-WT	Πραγματικό βάρος φάσης των P στον υπολογισμό υποκέντρου (όσο μεγαλύτερη τιμή τόσο

	ισχυρότερο βάρος, εξαρτάται από το βάρος της φάσης στο PRMK, την απόσταση και το residual)
SRMK	Χαρακτηρισμός φάσης S (όπως το PRMK για τα P). Παίζει ρόλο η τιμή της 4ης στήλης (K) για το βάρος από 0 έως 3 (ισχυρή άφιξη προς ασθενέστερη) και για 4 απόρριψη φάσης.
S-SEC	Παρατηρούμενος χρόνος άφιξης των S (σε sec, συνδυάζεται με τη στήλη HRMN)
TSOBS	Παρατηρούμενος χρόνος διαδρομής των S (σε sec)
S-RES	Χρονικό υπόλοιπο (residual) του χρόνου διαδρομής των S. Ισούται με τη διαφορά TSOBS μείον τον θεωρητικό χρόνο διαδρομής των S (δεν υπάρχει σε στήλη).
S-WR	Πραγματικό βάρος των S για τον υπολογισμό του υποκέντρου.
DUR	(Ισοδύναμη) διάρκεια σήματος. Χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του μεγέθους.



Σχήμα 17: Απεικόνιση σειсмоγράμματος (σταθμός KZN-Κοζάνη) στο πρόγραμμα Seisgram2K, πριν (πάνω) και μετά (κάτω) την εφαρμογή του φίλτρου Butterworth.

6. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΛΥΣΕΙΣ ΜΗΧΑΝΙΣΜΩΝ ΓΕΝΕΣΗΣ

Παρακάτω, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μηχανισμών γένεσης, καθώς και επιλεγμένες καταγραφές που χρησιμοποιήθηκαν για κάθε σταθμό. Στον **πίνακα 8** βρίσκονται συγκεντρωμένα όλα τα στοιχεία που αφορούν τους 44 μηχανισμούς γένεσης. Η ανάλυση των σεισμολογικών δεδομένων έγινε με βάση τη μέθοδο της πρώτης απόκλισης των καταγραφών των επιμηκών κυμάτων στους σταθμούς. Οι πρώτες αποκλίσεις αναπαριστώνται με σημεία στο στερεογραφικό διάγραμμα και αντιστοιχούν στις σεισμικές ακτίνες (γραμμές) που φτάνουν στον σταθμό καταγραφής από την σεισμική εστία.

Στις παρακάτω στερεογραφικές προβολές, στους σταθμούς που εμφανίζονται με χρώμα μπλε, οι πρώτες αποκλίσεις αφορούν κίνηση προς τα επάνω (C-compression), ενώ με κόκκινο αφορούν κίνηση προς τα κάτω (D-dilatation). Κατά αυτό τον τρόπο και με τη χρήση δύο κάθετων επιπέδων, οι μετρήσεις χωρίζονται σε τομείς συμπίεσης και εφελκυσμού. Ταυτόχρονα, δόθηκε σημασία στην εγκυρότητα αναγραφής των κυματομορφών και σε περιπτώσεις όπου η πρώτη απόκλιση δεν ήταν δυνατό να καθοριστεί με σιγουριά, στις προβολές των σταθμών προστέθηκε διαφορετική βαρύτητα και αυτοί παρουσιάζονται με το σύμβολο των ανοιχτών κύκλων.

Η επιλογή των παρακάτω καταγραφών βασίστηκε στο γεγονός πως αρκετοί σταθμοί παρουσιάζουν διαφορά στην πολικότητα σε σχέση με το τεταρτημόριο στο οποίο προβάλλονται. Έτσι, κατά σειρά επιλέχθηκαν αρχικά να παρουσιαστούν οι σταθμοί που εμφανίζουν διαφορετική πολικότητα, στη συνέχεια σταθμοί με μικρότερη βαρύτητα στις καταγραφές τους και έπειτα γειτονικοί στις προηγούμενες δύο περιπτώσεις σταθμοί, με σκοπό τη σύγκριση και την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων.

Ο χαρακτηρισμός των μηχανισμών γένεσης έγινε με βάση τις δύο παρακάτω αρχές:

- A. Η διάρρηξη είναι κανονική εάν στο τμήμα του τεταρτημορίου που βρίσκεται η εστία (O) υπάρχουν αραιώσεις (dilatations). Όταν υπάρχουν συμπίεσεις η διάρρηξη είναι ανάστροφη.

B. Με βάση την τιμή τις γωνίας ολίσθησης λ_0 (Πίνακας 7).

Πίνακας 8. Χαρακτηρισμός του τύπου διάρρηξης με βάση την τιμή της γωνίας ολίσθησης.

λ_0	Τύπος διάρρηξης
0° ή 180°	Οριζόντιας ολίσθησης
$+90^\circ$	Ανάστροφο κλίσης
-90°	Κανονικό κλίσης
-20° έως $+20^\circ$	Οριζόντιας ολίσθησης, Αριστερόστροφο
$+20^\circ$ έως $+70^\circ$	Πλαγιοανάστροφο οριζόντιας ολίσθησης, Αριστερόστροφο
$+70^\circ$ έως $+110^\circ$	Ανάστροφο
$+110^\circ$ έως $+160^\circ$	Πλαγιοανάστροφο οριζόντιας ολίσθησης, Δεξιόστροφο
$>-180^\circ$ έως -160° $+160^\circ$ έως $<+180^\circ$	Οριζόντιας ολίσθησης, Δεξιόστροφο
-110° έως -160°	Πλαγιοκανονικό οριζόντιας ολίσθησης, Δεξιόστροφο
-70° έως -110°	Κανονικό
-20° έως -70°	Πλαγιοκανονικό οριζόντιας ολίσθησης, Αριστερόστροφο

Η μέθοδος των πρώτων αποκλίσεων των επιμηκών κυμάτων προσφέρει μια σειρά δυνατοτήτων στην ανάλυση, όπως ο καθορισμός των διευθύνσεων και των κλίσεων των δύο οριζώντων επιπέδων, των καθορισμό των διευθύνσεων των αξόνων τάσεων P και T, καθώς επίσης και πληροφορίες σχετικά με το είδος της διάρρηξης. Παρ' όλα αυτά, παρουσιάζει έναν σημαντικό περιορισμό ως προς τη διάκριση του επιπέδου του ρήγματος. Ο μηχανισμός γένεσης δεν μπορεί να δώσει μια μονοσήμαντη λύση όσον αφορά το χαρακτηρισμό του κύριου και του βοηθητικού επιπέδου και επομένως για να γίνει αυτό χρειάζονται περαιτέρω πληροφορίες, όπως η διάταξη (χωρική κατανομή), η εμφάνιση της ακολουθίας στην τρίτη

διάσταση (βάθος) της μετασεισμικής ακολουθίας, όπου με τομές κάθετα προς την παράταξη των δύο επιπέδων φαίνεται η φορά κλίσης των υποκέντρων. Επίσης, το σεισμοτεκτονικό καθεστώς της περιοχής μελέτης ή οποιαδήποτε άλλη πληροφορία όπως η επιφανειακή εμφάνιση του ρήγματος, αν η διάρρηξη έφτασε στην επιφάνεια. Για το λόγο αυτό και λαμβάνοντας υπόψη τα σχετικά δεδομένα που προκύπτουν παραπάνω, για τον χαρακτηρισμό του τύπου διάρρηξης έχουν χρησιμοποιηθεί τα στοιχεία του επιπέδου 1 για κάθε μηχανισμό γένεσης.

Επιπλέον, σχετικά με τους σταθμούς που παρουσιάζουν λάθος πολικότητα αυτό μπορεί να οφείλεται στους παρακάτω λόγους:

1. Λάθος μετρήσεις, ιδιαίτερα σε σταθμούς που βρίσκονται αζιμουθιακά κοντά στη διεύθυνση του ρήγματος.
2. Η παρουσία σεισμικών γεγονότων σε αρκετά ρηχό βάθος μπορεί να επηρεάσει την καταγραφή.
3. Παρουσία λάθους στο μοντέλο ταχυτήτων (σφάλμα στη γωνία ανάδυσης).
4. Το σεισμόμετρο να έχει λάθος πολικότητα.
5. Η παρουσία έντονου θορύβου στην καταγραφή να οδηγήσει σε λάθος εκτίμηση της πρώτης απόκλισης κατά τη χειρωνακτική λύση.

Σε περίπτωση όπου κάποιο από τα παραπάνω προβλήματα είναι παρόντα και ανάλογα με το διαθέσιμο αριθμό σταθμών, είναι δυνατόν περισσότεροι από ένας μηχανισμοί γένεσης να συμβάλλουν στην ανάλυση των δεδομένων. Επιπλέον στοιχεία όπως το πλάτος των P κυμάτων ή ο λόγος των πλατών SV/P και SH/P, δύναται να χρησιμοποιηθούν.

Συνολικά και με βάση τις λύσεις των μηχανισμών γένεσης, τα αποτελέσματα της εργασίας συνοψίζονται ως εξής:

1. Η πλειοψηφία των λύσεων των μηχανισμών γένεσης αντιστοιχεί σε μηχανισμούς πλαγιοκανονικούς οριζόντιας ολίσθησης, ενώ ακολουθούν οι μηχανισμοί γένεσης με κανονικό τύπο διάρρηξης.
2. Από τους **44** μηχανισμούς γένεσης, **19** αντιστοιχούν σε πλαγιοκανονικούς οριζόντιας ολίσθησης τύπους διάρρηξης (εκ των οποίων 10 αριστερόστροφοι και 9 δεξιόστροφοι), **1** σε πλαγιοανάστροφη (δεξιόστροφη) διάρρηξη, **12** σε κανονικούς τύπους διάρρηξης, **2** σε ανάστροφους και τέλος **10** σε διαρρήξεις οριζόντιας ολίσθησης (εκ των οποίων οι 7 δεξιόστροφες).
3. Ως χαρακτηριστικά παραδείγματα μηχανισμών γένεσης με αξιόπιστα αποτελέσματα μπορούν να θεωρηθούν τα παρακάτω γεγονότα (**Πίνακας 9**) λόγω μικρών σφαλμάτων στις προβολές και τις πολικότητες των σταθμών:

Πίνακας 9: Χαρακτηριστικά παραδείγματα μηχανισμών γένεσης με αξιόπιστα αποτελέσματα

2021-04-02 03:17:50	2021-04-18 15:39:45
2021-04-03 20:05:56	2021-04-22 16:41:53
2021-04-03 23:52:26	2021-04-25 15:34:11
2021-04-15 22:11:01	2021-04-26 23:51:11
2021-04-16 07:51:28	2021-04-26 23:51:11
2021-04-17 01:51:21	2021-04-27 02:59:45
2021-04-17 11:46:40	
2021-04-17 18:07:02	

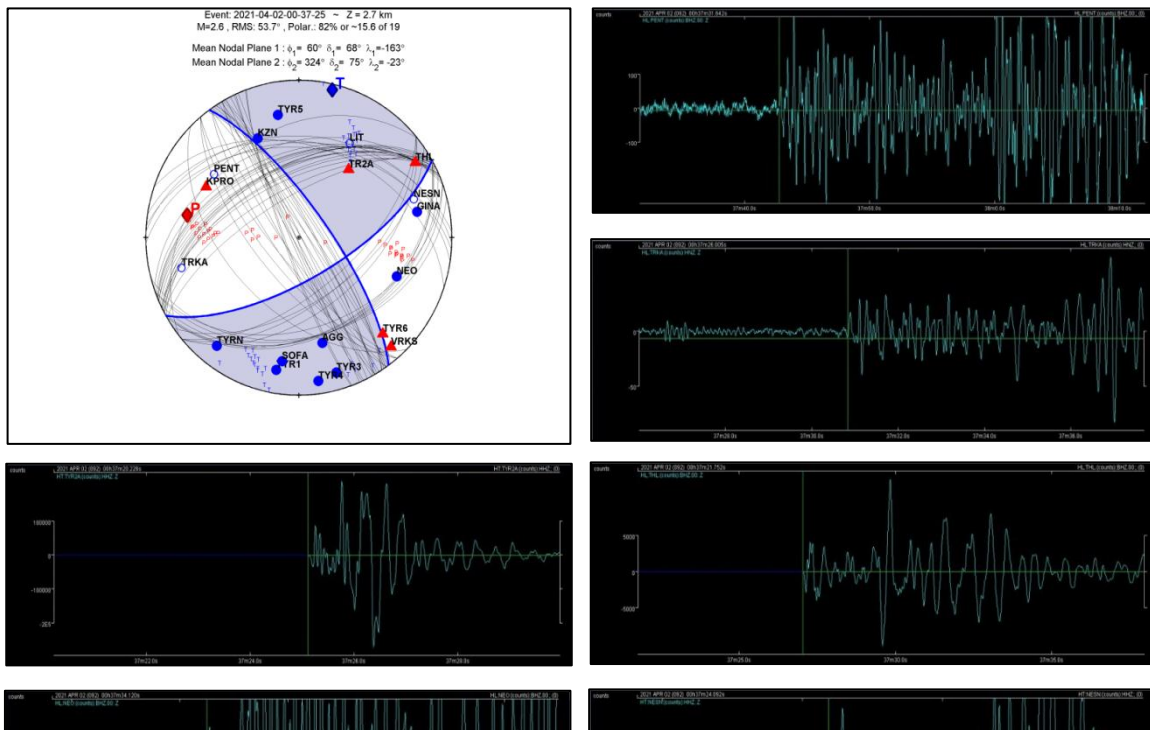
4. Σε πολλές περιπτώσεις, στους μηχανισμούς γένεσης που ακολουθούν, πολλές καταγραφές χαρακτηρίζονται από σφάλματα, τα οποία εμπίπτουν σε κάποιον από τους λόγους που αναφέρθηκαν σχετικά με τη λάθος πολικότητα (θόρυβος, ρηχά βάθη, λάθος στην παρατήρηση κατά το picking). Περιπτωσιολογικά, θα εξεταστούν μερικοί μηχανισμοί γένεσης, οι οποίοι περιέχουν:
 - I. Καταγραφές με πρώτες αποκλίσεις χαμηλής βαρύτητας.

II. Καταγραφές με σωστό χαρακτηρισμό πρώτης απόκλισης, οι οποίες όμως προβάλλονται σε λάθος τεταρτημόριο.

III. Καταγραφές των οποίων οι πρώτες αποκλίσεις είναι εξαρχής λάθος (σφάλμα κατά την παρατήρηση).

- Η περίπτωση του μηχανισμού γένεσης 2021-04-02 00:37:25, $M=2.6$:

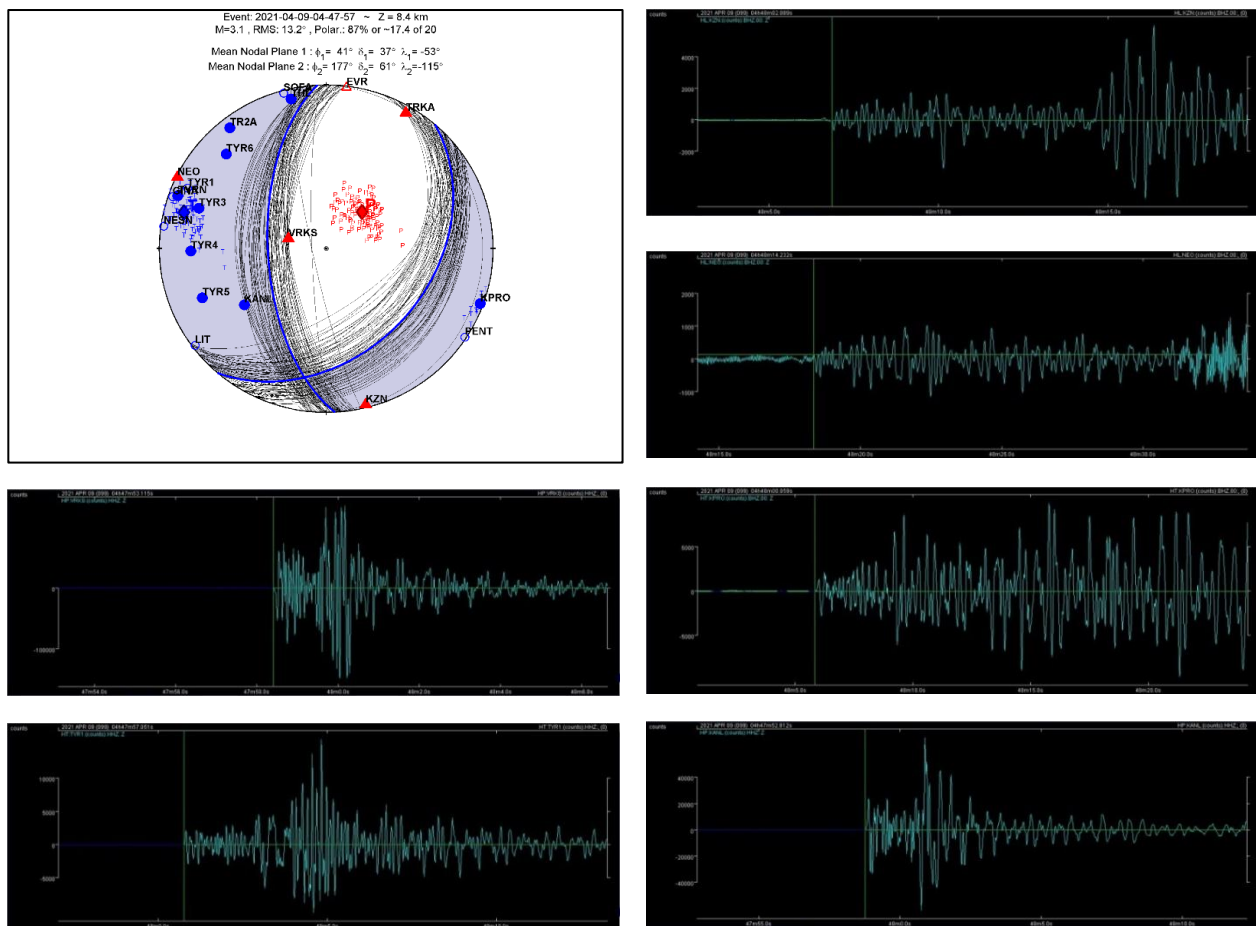
Το συγκεκριμένο σεισμικό γεγονός έλαβε χώρα σε αρκετά επιφανειακό βάθος, μόλις 2.7 χιλιόμετρα και επομένως αυτός είναι ένας λόγος να παρουσιάζει αρκετά σφάλματα. Πιο συγκεκριμένα, όσον αφορά τους σταθμούς των οποίων οι προβολές παρουσιάζονται με χαμηλή βαρύτητα (PENT, TRKA, NESN), εμπειρίχαν υψηλό θόρυβο στα σειсмоγραφήματα τους καθιστώντας δύσκολο τον προσδιορισμό της πρώτης απόκλισης, ενώ η εφαρμογή φίλτρου Butterworth θα μπορούσε επίσης να έχει επηρεάσει τη μορφή της καταγραφής οδηγώντας σε μια λάθος παρατήρηση. Ταυτόχρονα, οι σταθμοί THL, TR2A και NEO προβάλλονται σε διαφορετικά τεταρτημόρια από αυτά που υποδεικνύουν οι πρώτες αποκλίσεις τους αλλά παρ' όλα αυτά πρόκειται για καταγραφές με καθαρές πρώτες αποκλίσεις και επομένως το ενδεχόμενο σφάλματος κατά το picking είναι μικρό.



Σχήμα 18: Στερεογραφική προβολή του μηχανισμού γένεσης 2021-04-02 00:37:25, με τύπο διάρρηξης οριζόντιας ολίσθησης, δεξιόστροφο. Στο σχήμα παρατηρούνται οι καταγραφές των σταθμών PENT, TRKA, NESN, οι οποίες εμπίπτουν στην περίπτωση I- των καταγραφών, καθώς επίσης και οι καταγραφές σταθμών όπως οι THL, TR2A και NEO που εμπίπτουν στην περίπτωση II.

- Η περίπτωση του μηχανισμού γένεσης 2021-04-09 04:47:57, $M=2.6$:

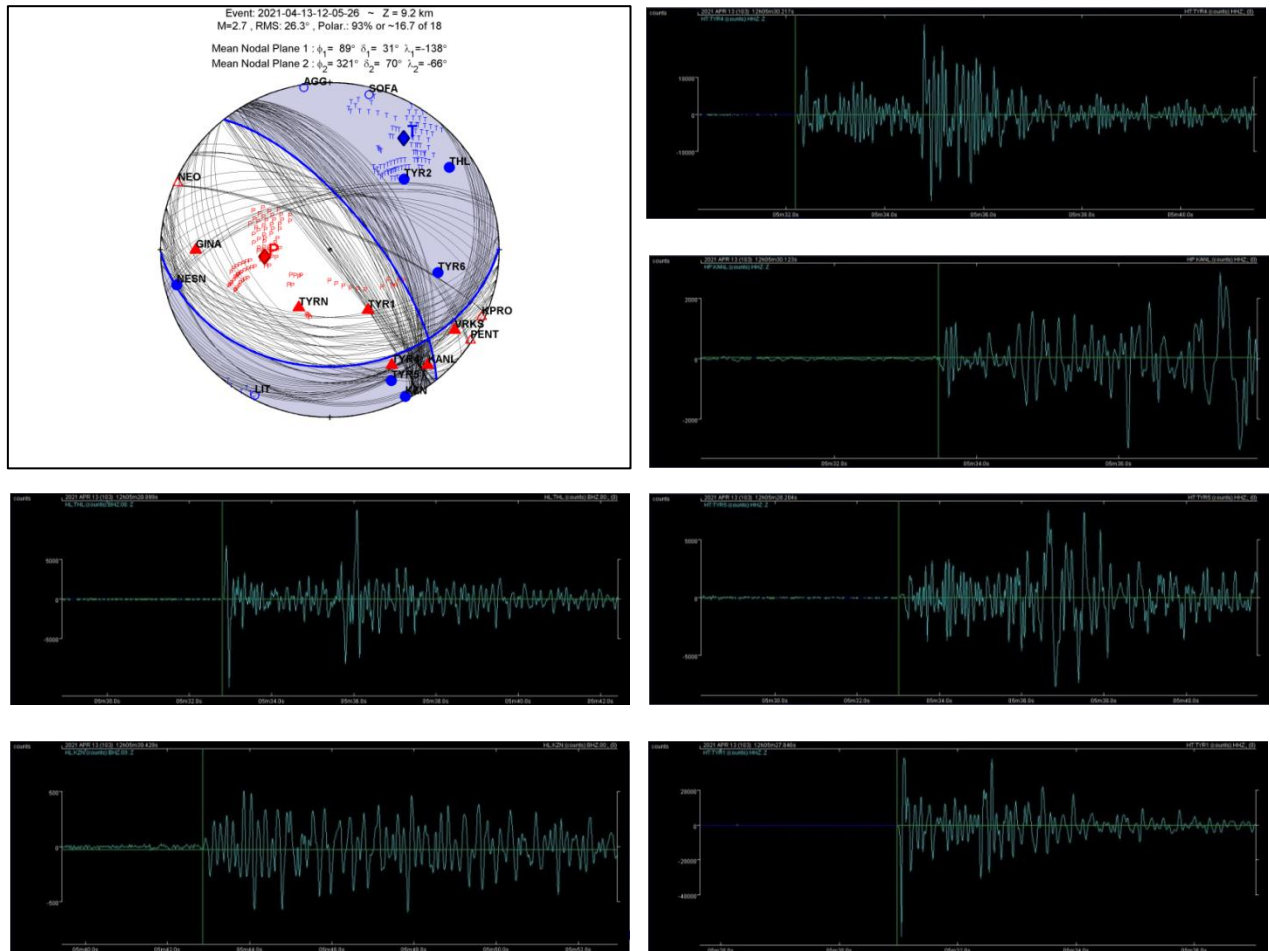
Σε αυτόν το μηχανισμό γένεσης, οι σταθμοί SOFA, LIT, NESN και PENT παρουσιάζονται ως σταθμοί με χαμηλή βαρύτητα. Καθώς όμως προβάλλονται σε τεταρτημόρια που συμφωνούν με τις πρώτες αποκλίσεις τους και με τους γειτονικούς σε αυτούς σταθμούς, δεν ακολουθήθηκε περαιτέρω διερεύνηση. Αντίθετα, για τους σταθμούς KZN και NEO προκύπτει πως για τον πρώτο όπως φαίνεται από την καταγραφή θα μπορούσε να υπάρχει σφάλμα στο picking της πρώτης απόκλισης, ενώ για τον δεύτερο και έπειτα από την εφαρμογή φίλτρου η πρώτη απόκλιση φαίνεται να είναι σωστή.



Σχήμα 19: Στερεογραφική προβολή του μηχανισμού γένεσης 2021-04-09 04:47:57, με τύπο διάρρηξης πλαγιοκανονικό οριζόντιας ολισθήσεως, αριστερόστροφο. Στο σχήμα παρατηρούνται οι καταγραφές των σταθμών KZN και NEO, οι οποίες εμπίπτουν στην περίπτωση III των καταγραφών.

- Η περίπτωση του μηχανισμού γένεσης 2021-04-13 12:05:26, $M=2.7$:

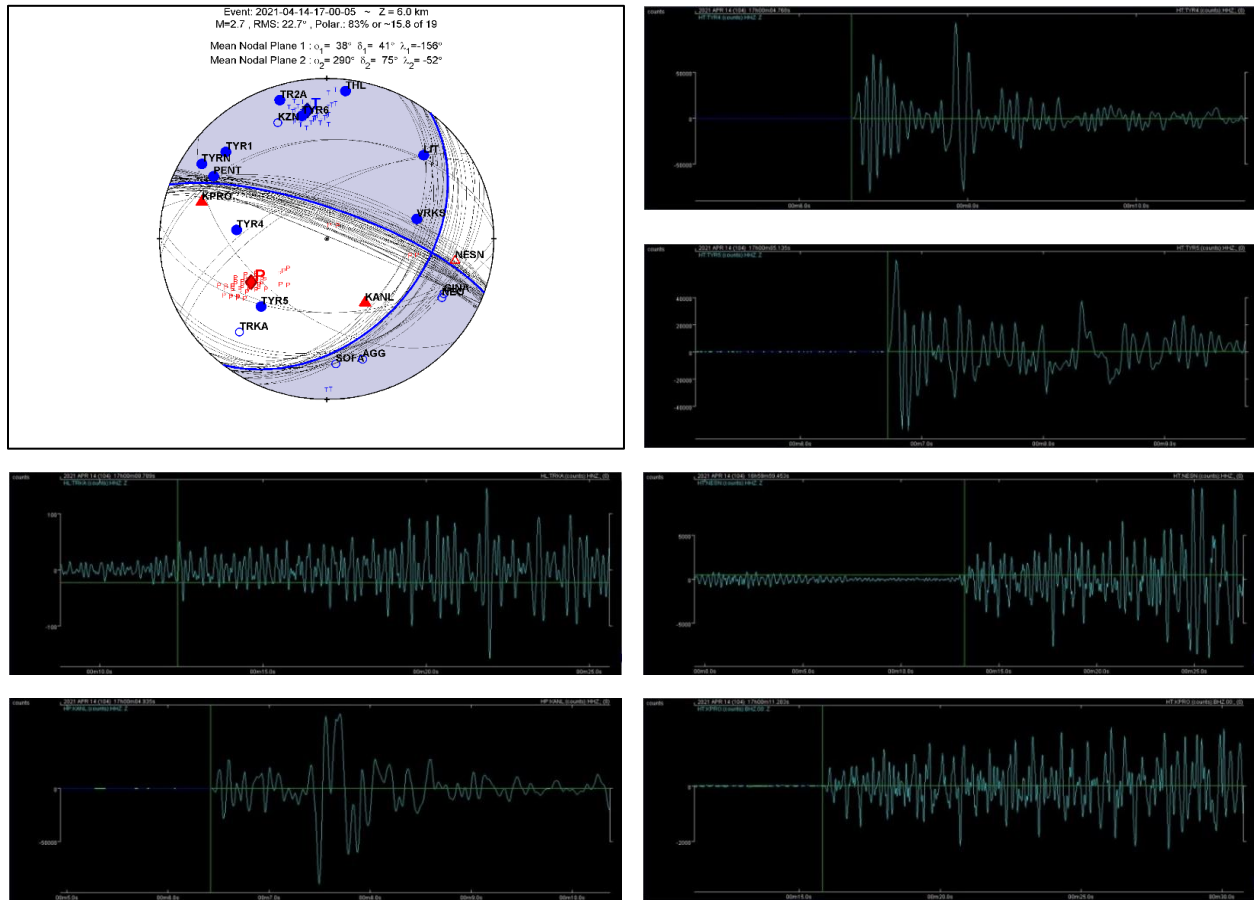
Όπως και στην παραπάνω περίπτωση δεν γίνεται διερεύνηση των σταθμών με χαμηλές βαρύτητες, από τη στιγμή που αυτοί προβάλλονται στα σωστά τεταρτημόρια. Σε αυτόν τον μηχανισμό παρουσιάζονται οι σταθμοί TYR4 και KANL στο τεταρτημόριο των συμπιέσεων, ενώ οι πρώτες τους αποκλίσεις είναι υποδεικνύουν αραιώση, χωρίς ιδιαίτερο θόρυβο στις καταγραφές που να μπορεί να επηρεάσει το picking.



Σχήμα 20: Στερεογραφική προβολή του μηχανισμού γένεσης 2021-04-13 12:05:26, με τύπο διάρρηξης πλαγιοκανονικό οριζόντιας ολίσθησης, δεξιόστροφο. Στο σχήμα παρατηρούνται οι καταγραφές των σταθμών TYR4 και KANL, οι οποίες εμπίπτουν στην περίπτωση II.

- Η περίπτωση του μηχανισμού γένεσης 2021-04-14 17:00:05, $M=2.7$:

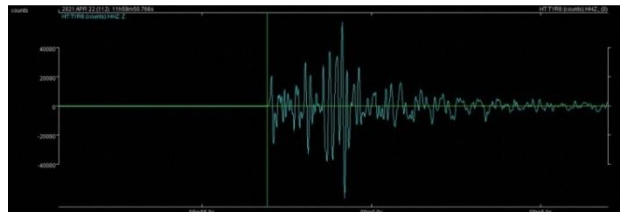
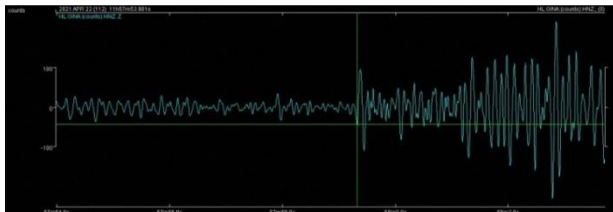
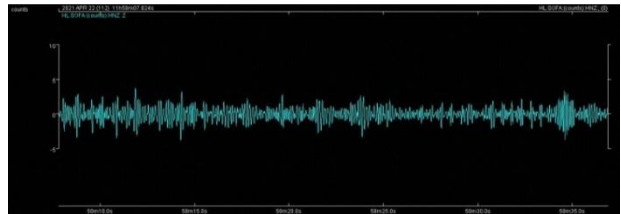
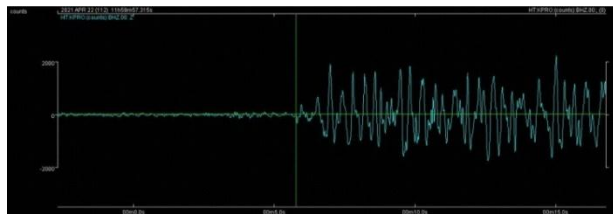
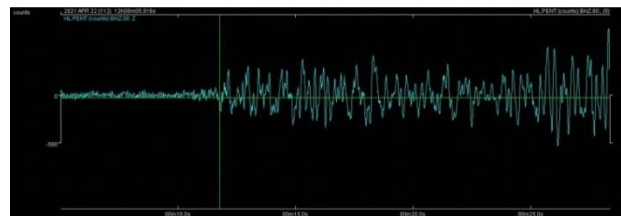
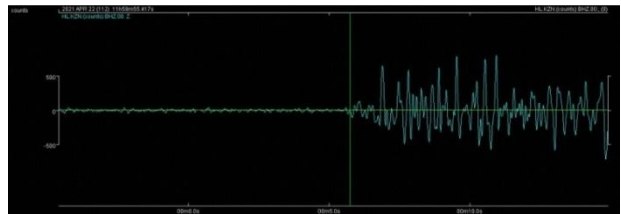
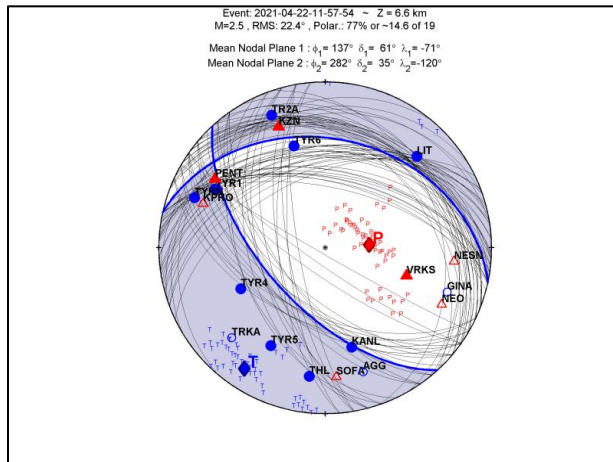
Σε αυτή την περίπτωση τρεις σταθμοί με πρώτες αποκλίσεις που αντιστοιχούν σε συμπίεση εμφανίζονται στο τεταρτημόριο των αραιώσεων. Για τους σταθμούς TYR5 και TYR4, με βάση τα σειсмоγραφήματα, φαίνεται πως οι αποκλίσεις δεν εμπεριέχουν κανένα σφάλμα κατά το picking και επομένως η λάθος προβολή να οφείλεται αλλού. Αντίθετα, όσον αφορά το σταθμό TRKA, τόσο πριν όσο και μετά την εφαρμογή του φίλτρου Butterworth, ο προσδιορισμός της πρώτης απόκλισης είναι αδύνατος και για το λόγο αυτό παρουσιάζεται και με μικρή βαρύτητα.



Σχήμα 21: Στερεογραφική προβολή του μηχανισμού γένεσης 2021-04-14 17:00:05, με τύπο διάρρηξης πλαγιοκανονικό οριζόντιας ολίσθησης, δεξιόστροφο. Στο σχήμα παρατηρούνται οι καταγραφές των σταθμών TYR4 και TYR5, οι οποίες εμπίπτουν στην περίπτωση II και η καταγραφή του σταθμού TRKA, ο οποίος εμπίπτει στην περίπτωση I.

- Η περίπτωση του μηχανισμού γένεσης 2021-04-22 11:57:54, $M=2.5$:

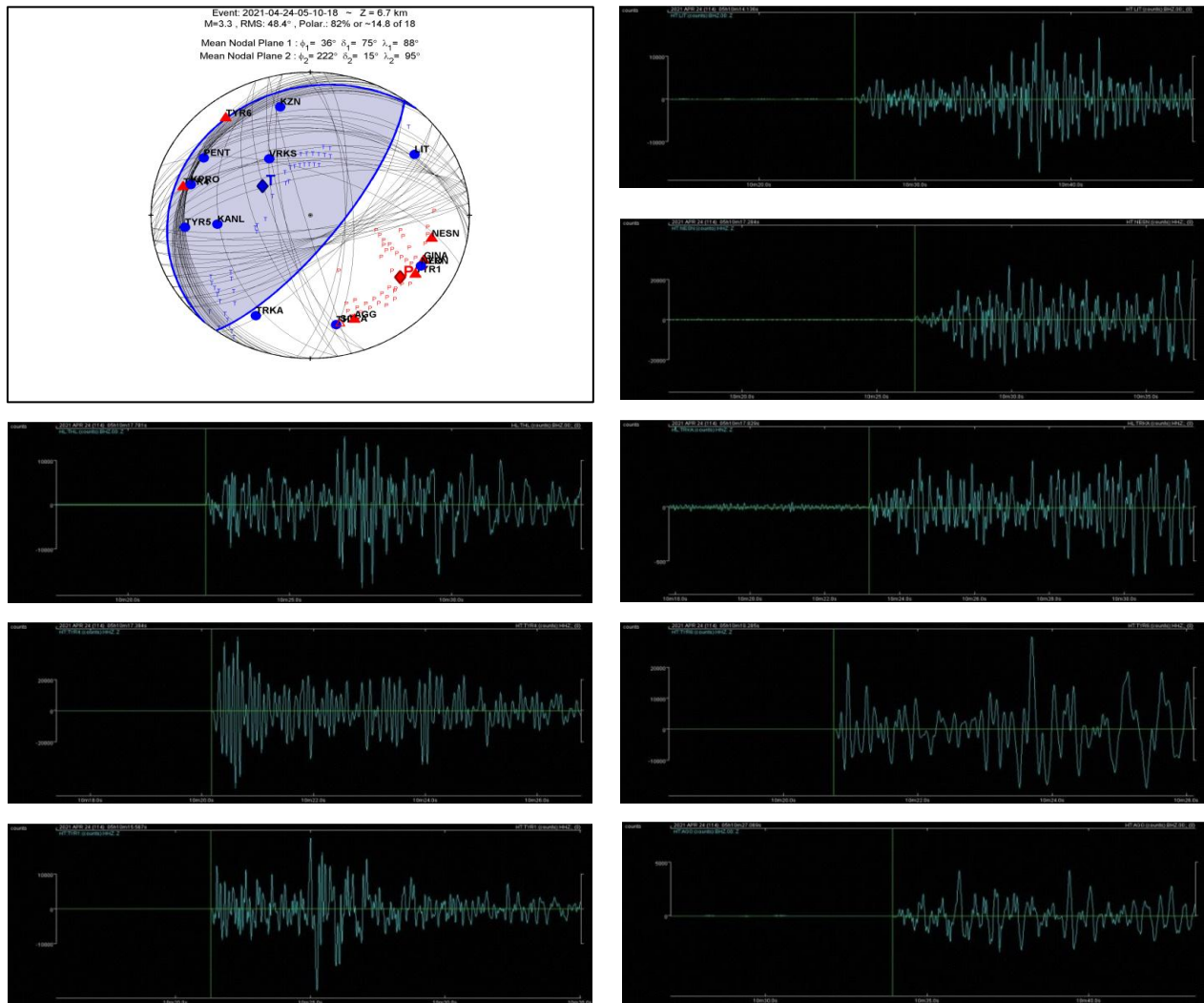
Στο μηχανισμό γένεσης 2021-04-22 11:57:54 υπάρχουν 5 σταθμοί με σφάλματα στις πολικότητες. Στα τεταρτημόρια των συμπίεσεων εμφανίζονται οι σταθμοί KZN, PENT, KRPO και SOFA, οι οποίοι έχουν καταγραφεί ως σταθμοί με αραιώσεις στις πρώτες αποκλίσεις. Για όλους αυτούς, εκτός του KZN, ισχύει πως περιέχουν θόρυβο, ο οποίος δεν απομακρύνθηκε με την εφαρμογή του φίλτρου και συγκεκριμένα για το σταθμό SOFA το picking έγινε σε ένα τυχαίο σημείο του σήματος. Επομένως, οι σταθμοί KPRO και SOFA χαρακτηρίζονται από μικρή βαρύτητα. Στην περίπτωση του KZN, όπως φαίνεται από την καταγραφή πρόκειται για λάθος picking της πρώτης απόκλισης. Τέλος, ο σταθμός GINA εμφανίζεται επίσης με χαμηλή βαρύτητα στο τεταρτημόριο των αραιώσεων, καθώς πρόκειται για επιταχυνσιογράφο, με το αρχικό σήμα να είναι μη επεξεργασίμο.



Σχήμα 22: Στερεογραφική προβολή του μηχανισμού γένεσης 2021-04-22 11:57:54, με τύπο διάρρηξης κανονικό. Στο σχήμα παρατηρούνται οι καταγραφές των σταθμών SOFA και GINA, οι οποίες εμπίπτουν στην περίπτωση I και η καταγραφή του σταθμού KZN, ο οποίος εμπίπτει στην περίπτωση III.

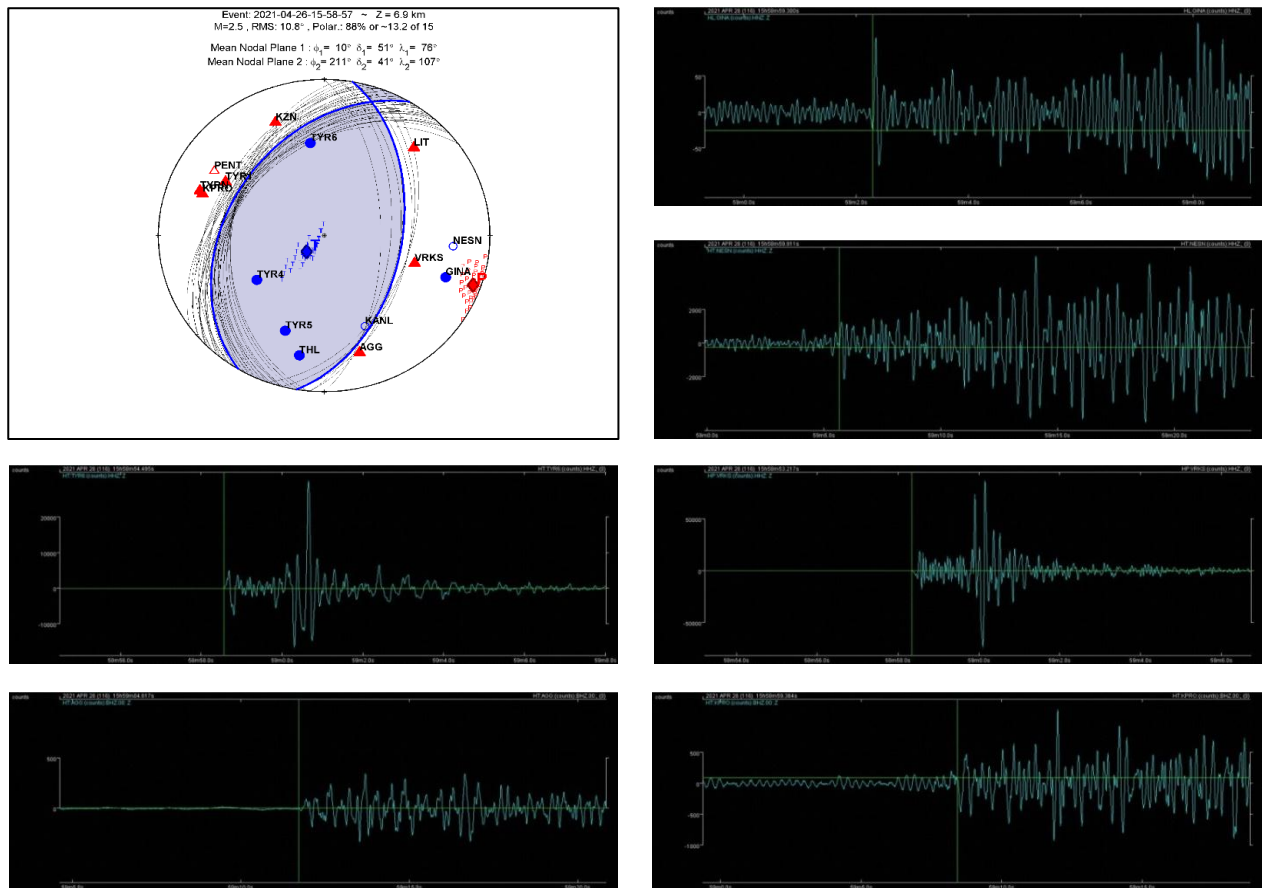
5. Σχετικά με τους ανάστροφους τύπους διάρρηξης, η αξιοπιστία τους βρίσκεται υπό αμφισβήτηση, καθώς στους αντίστοιχους μηχανισμούς γένεσης (2021-04-24 05:10:18, 2021-04-26 15:58:57) αρκετοί σταθμοί προβάλλονται σε τεταρτημόρια διαφορετικής πολικότητας.

- Στην περίπτωση του μηχανισμού 2021-04-24 05:10:18 οι σταθμοί LIT, TRKA, THL και NESN προβάλλονται στο τεταρτημόριο των αραιώσεων ενώ οι πρώτες αποκλίσεις τους έχουν σημειωθεί ως συμπιέσεις. Τα σειсмоγραφήματα των σταθμών LIT και THL δίνουν καθαρές πρώτες αποκλίσεις, οι οποίες χαρακτηρίζονται ως συμπίεση. Στην περίπτωση του σταθμού TRKA, ως επιταχυνσιογράφος παρουσιάζει έντονο θόρυβο ακόμα και μετά την εφαρμογή του φίλτρου. Η πρώτη απόκλιση φαίνεται να αντιστοιχεί σε συμπίεση, παρ' όλα αυτά η συγκεκριμένη περίπτωση ενέχει μεγάλο περιθώριο σφάλματος. Στο σειсмоγράφημα του σταθμού NESN, σε αντίθεση με την πολικότητα που παρουσιάζει στη στερεογραφική προβολή, η πρώτη απόκλιση φαίνεται να είναι αραιώση. Η σύγκριση με την καταγραφή του γειτονικού του σταθμού TYR1 (επίσης πρόκειται για αραιώση), ενισχύει το γεγονός πως η πολικότητα του σταθμού είναι διαφορετική και οφείλεται σε λανθασμένο picking. Τέλος, ο σταθμός TYR4 προβάλλεται στο τεταρτημόριο των συμπιέσεων, ενώ η καταγραφή της πρώτης απόκλισης είναι ξεκάθαρα αραιώση.



Σχήμα 23: Στερεογραφική προβολή του μηχανισμού γένεσης 2021-04-24 05:10:18, με τύπο διάρρηξης ανάστροφο. Στο σχήμα παρατηρούνται οι καταγραφές των σταθμών LIT και THL, οι οποίες εμπίπτουν στην περίπτωση II, καθώς επίσης και του σταθμού TYR1, η οποία εμπίπτει στην περίπτωση III.

- Στην περίπτωση του μηχανισμού 2021-04-26 15:58:57 οι σταθμοί NESN και GINA προβάλλονται στο τεταρτημόριο των αραιώσεων, ενώ οι καταγραφές των πρώτων αποκλίσεων είναι συμπίεσεις. Και για τους δύο σταθμούς ισχύει πως το σήμα τους εμπεριέχει αρκετό θόρυβο με αποτέλεσμα, ειδικά στην περίπτωση του NESN, η πρώτη απόκλιση να μην είναι ιδιαίτερα εμφανής. Ταυτόχρονα, παρουσιάζονται και τα σειсмоγραφήματα των γειτονικών τους σταθμών VRKS και AGG για σύγκριση και επαλήθευση, αλλά και οι καταγραφές των υπόλοιπων σταθμών όπως των TYR6 και KPRO, που συμφωνούν με τις προβαλλόμενες πολικότητες.

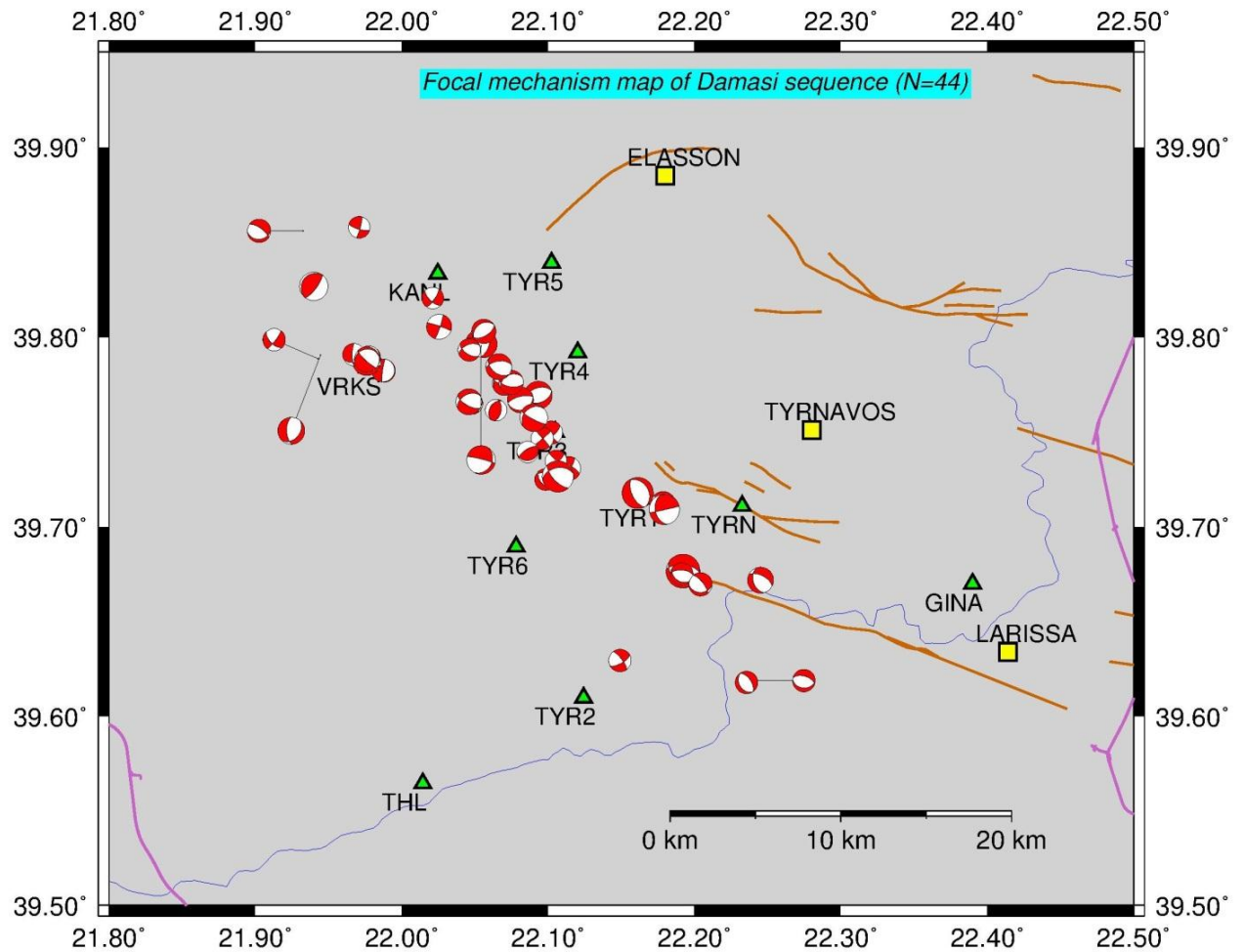


Σχήμα 24: Στερεογραφική προβολή του μηχανισμού γένεσης 2021-04-26 15:58:57, με τύπο διάρρηξης ανάστροφο. Στο σχήμα παρατηρούνται οι καταγραφές των σταθμών NESN και GINA, οι οποίες εμπίπτουν στην περίπτωση I και πιθανώς II, αντίστοιχα.

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- Μέσω της ψηφιοποίησης των γεωλογικών χαρτών του ΙΓΜΕ, αλλά και της δημιουργίας νέων χαρτών που περιλαμβάνουν τα κύρια ενεργά ρήγματα στην περιοχή της Θεσσαλίας και τη μετασεισμική ακολουθία του Μαρτίου-Απριλίου, συμπεριλήφθηκαν κάποιες ιδιαιτέρως σημαντικές πληροφορίες για το καθεστώς στην περιοχή. Η αποτύπωση της μετασεισμικής ακολουθίας στους χάρτες των **σχημάτων 14** και **25**, υποδεικνύει πως η διάταξη της μετασεισμικής ακολουθίας έχει διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ, πράγμα το οποίο φαίνεται να συμφωνεί με τη διάταξη της ακολουθίας από Kassaras et al., 2022.
- Όσον αφορά τα βάρη της σεισμικής ακολουθίας του Απριλίου κυμαίνονται από 2.7 έως 12.4 χιλιόμετρα, καθιστώντας την ως μια επιφανειακή σεισμική δράση, ενώ το μέγιστο μέγεθος παρατήρησης ισούται με $M=3.9$.
- Παρά το γεγονός ότι στους μηχανισμούς γένεσης που επεξεργάστηκαν υπεισέρχονται σφάλματα που οφείλονται σε διάφορους παράγοντες και διάφορες λύσεις εμπίπτουν στις περιπτώσεις που προαναφέρθηκαν, αρκετά από τα αποτελέσματα μπορούν να θεωρηθούν αξιόπιστα. Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα των μηχανισμών γένεσης για τη σεισμική ακολουθία του Μαρτίου με τα αποτελέσματα της συγκεκριμένης εργασίας, αλλά και τα αποτελέσματα της εργασίας Kassaras et al. (2022), φαίνεται πως υπάρχει συμφωνία ως προς τον προσδιορισμό των τάσεων και της κινηματικής που επηρεάζει την περιοχή. Χαρακτηριστικά, οι μηχανισμοί γένεσης για την ακολουθία του Μαρτίου, όπως προκύπτουν από προηγούμενες έρευνες, έδειξαν πως οι πλειοψηφία αυτών αφορά κανονικά ρήγματα αλλά και ρήγματα πλαγιοκανονικά και οριζόντιας ολίσθησης. Αντίστοιχα αποτελέσματα παρουσιάζονται και στη συγκεκριμένη εργασία της σεισμικής ακολουθίας του Απριλίου και της εργασίας Kassaras et al. (2022).

- Η πλειοψηφία των λύσεων των μηχανισμών γένεσης αντιστοιχεί σε μηχανισμούς πλαγιοκανονικούς οριζόντιας ολίσθησης, ενώ ακολουθούν οι μηχανισμοί γένεσης με κανονικό τύπο διάρρηξης.
- Από τους **44** μηχανισμούς γένεσης, **19** αντιστοιχούν σε πλαγιοκανονικούς οριζόντιας ολίσθησης τύπους διάρρηξης (εκ των οποίων 10 αριστερόστροφοι και 9 δεξιόστροφοι), **1** σε πλαγιοανάστροφη (δεξιόστροφη) διάρρηξη, **12** σε κανονικούς τύπους διάρρηξης, **2** σε ανάστροφους και τέλος **10** σε διαρρήξεις οριζόντιας ολίσθησης (εκ των οποίων οι 7 δεξιόστροφες).
- Η εμφάνιση συνιστώσας οριζόντιας ολίσθησης στους μηχανισμούς γένεσης συμφωνεί με το τεκτονικό καθεστώς της περιοχής μελέτης, καθώς φαίνεται πως η τεκτονική φάση με διεύθυνση εφελκυσμού B-N επανενεργοποίησε τα κανονικά ρήγματα ηλικίας Πλειοκαίνου-Πλειστοκαίνου, αυτή τη φορά με την ύπαρξη συνιστώσας οριζόντιας ολίσθησης, η οποία επαληθεύεται από Kassaras et al. (2022), αλλά ταυτόχρονα δημιούργησε και νέα ρήγματα διεύθυνσης A-Δ κανονικού και πλαγιοκανονικού χαρακτήρα.
- Όπως προκύπτει από τα παρακάτω σεισμολογικά δεδομένα, η ερμηνεία των μηχανισμών γένεσης (και σε συνδυασμό με άλλα δεδομένα) επαληθεύει τις μεταβολές στο τοπικό πεδίο τάσεων, το οποίο φαίνεται διαχρονικά να μεταβάλλει τον προσανατολισμό του από ΒΔ-ΝΑ σε Β-Ν. Το αποτέλεσμα αυτό βρίσκεται σε συμφωνία με τα αποτελέσματα που αφορούν το πεδίο τάσεων από Kassaras et al. (2022), το οποίο παρουσιάζει ίδια διεύθυνση και στις δύο μελέτες.
- Μερικά παραδείγματα μηχανισμών γένεσης, τα οποία θα μπορούσαν να επαληθεύσουν τις παραπάνω διαπιστώσεις είναι: 2021-04-03 20:05:56, 2021-04-09 05:21:06, 2021-04-15 22:11:01, 2021-04-17 10:12:43, 2021-04-17 11:46:40, 2021-04-17 11:56:20, 2021-04-17 18:07:02, 2021-04-18 15:39:45, 2021-04-21 02:53:18, 2021-04-22 16:41:53, 202-04-25 15:34:11, 2021-04-26 23:51:11, 2021-04-27 02:59:45, 2021-04-30 08:26:23.



GMD 2022 Feb 07 21:13:21 thesis_map

Σχήμα 25: Χάρτης με τις προβολές των μηχανισμών γένεσης της μετασεισμικής ακολουθίας του Απριλίου 2021 στη Β. Θεσσαλία, οι οποίοι εξήχθησαν στα πλαίσια της παρούσας μελέτης.

8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Ambraseys, N.N and Jackson, J.A. (1990). Seismicity and associated strain of central Greece between 1890 and 1988. *Geophysical Journal International* 101, 663-708.
- Ambraseys, N. N. and Finkel, C. (1992). The seismicity of the Eastern Mediterranean region during the turn of the eighteenth century. *Istanbuler Mitteilungen* 42, 323-43.
- Caputo, R. (1993). Morphotectonics and kinematics of the Tyrnavos Fault, northern Larissa Plain, Greece. *Z. Geomorph. N.F.*, 167-185.
- Caputo, R. and Pavlides, S. . (1993). Late Cainozoic geodynamic evolution of Thessaly and surroundings (central-northern Greece). *Tectonophysics*, 223, 339-362.
- Caputo, R., Bravard, J. P. and Helly, B. (1994). The Pliocene-quaternary tecto-sedimentary evolution of the Larissa plain (eastern Thessaly, Greece). . *Geodinamica Acta*,, 7(4), 219-231.
- Caputo, R. (1995). Inference of a seismic gap from geological data: Thessaly (Central Greece) as a case study . *Ann.Geofysica*, 38, 1-19.
- Caputo, R. (1996). The active Nea Anchialos Fault System (Central Greece). Comparison of geological, morphotectonic, archaeological and seismological data . *Ann. Geofisica* 39, 557–574.
- Caputo, R., Piscitelli, S., Olivetoc, A., Rizzo, E. and Lapenna, V. (2003). The use of electrical resistivity tomographies in active tectonics: examples from the Tyrnavos Basin, Greece. *Journal of Geodynamics* 36, 19-35.
- Caputo, R., Helly, B., Pavlides, S., & Papadopoulos, G. (2004). Palaeoseismological investigation of the Tyrnavos fault (Thessaly, central Greece). *Tectonophysics*,, 394(1-2), 1-20.
- Caputo, R. (2005). ARCHAEOLOGICAL EVIDENCES OF PAST EARTHQUAKES: A CONTRIBUTION TO THE SHA OF THESSALY, CENTRAL GREECE. *Journal of Earthquake Engineering* 9, 199-222.
- Caputo, R., Helly, B. (2005). The Holocene activity of the Rodia Fault, Central Greece. *Journal of Geodynamics* 40, 153–169.
- Caputo, R., Bruno, H. and Pavlides, S. (2006). Archaeo- and palaeoseismological investigations in Northern Thessaly (Greece): Insights for the seismic potential of the region. *Nat. Hazards* 39, 195-212.
- Chousianitis, K., Ganas, A. and Gianniou, M. (2013). Kinematic interpretation of present-day crustal deformation in central Greece from continuous GPS measurements. *Journal of Geodynamics*, 1-13.

- Denwey, J. (1988). Extensional collapse of Orogens. *Tectonics*, 7, 1123 - 1139.
- Doutsos, T., Poulimenos, G. (1992). Geometry and kinematics of active faults and their seismotectonic significance in the western Corinth-Patras rift (Greece). *Journal of Structural Geology*, 14 (6), 689–699, [http://dx.doi.org/10.1016/0191-8141\(92\)90126-h](http://dx.doi.org/10.1016/0191-8141(92)90126-h).
- Galanakis, D., Sboras, S., Konstantopoulou, G., & Xenakis, M. (2021). Neogene-Quaternary tectonic regime and macroseismic observations in the Tyrnavos-Elassona broader epicentral area of the March 2021, intense earthquake sequence. *Bulletin of the Geological Society of Greece*, 58, 200-221.
- Ganas, A., Roberts, G. P., & Memou, T. (1998). Segment boundaries, the 1894 ruptures and strain patterns along the Atalanti Fault, central Greece. *Journal of Geodynamics*, 26(2-4), 461-486.
- Ganas, A. & Parsons, T. (2009). Three-dimensional model of Hellenic Arc deformation and origin of the Cretan uplift. *J. geophys. Res.*, 114, doi:10.1029/2008JB005599.
- Ganas, A., Elias, P., Bozionelos, G., Papathanassiou, G., Avallone, A., Papastergios, A., Valkaniotis, S., Parcharidis, I. & Briole, P. (2016). Coseismic deformation, field observations and seismic fault of the 17 November 2015 M= 6.5, Lefkada Island, Greece earthquake. *Tectonophysics*, 687, 210-222.
- Ganas, A., Briole, P., Bozionelos, G., Barberopoulou, A., Elias, P., Tsironi, V., Valkaniotis, S., Moshou, A. & Mintourakis, I. (2020). The 25 October 2018 Mw= 6.7 Zakynthos earthquake (Ionian Sea, Greece): A low-angle fault model based on GNSS data, relocated seismicity, small tsunami and implications for the seismic hazard in the west Hellenic Arc. *Journal of Geodynamics*, 137, 101731.
- Ganas, A. (2021). NOAFAULTS KMZ layer Version 3.0.1 (2021 update) (V3.0.1) [Data set]. *Zenodo*, <https://doi.org/10.5281/zenodo.4897894>.
- Ganas, A., Valkaniotis, S., Briole, P., Serpetsidaki, A., Kapetanidis, V., Karasante, I., Kassaras, I., Papathanassiou, G., Karamitros, I., Tsironi, V., Elias, P., Sarhosis, V., Karakonstantis, A., Konstantakopoulou, E., Papadimitriou, P., & Sokos, E. (2021). Domino-style earthquakes along blind normal faults in Northern Thessaly (Greece): kinematic evidence from field observations, seismology, SAR interferometry and GNSS. *Bulletin of the Geological Society of Greece*, 58, 37-86.
- Ganas, A., Valkaniotis, S., Briole, P., Serpetsidaki, A., Taymaz, T., Kapetanidis, V., Tsironi, V., Papathanassiou, G., Karasante, I., Elias, P., Kassaras, I., Yosal- Çevikbilen, S., Eken, T., Karakonstantis, A., Karamitros, I., Konstantakopoulou, . (19-24 September 2021). The March 2021 seismic sequence in Northern Thessaly (central Greece), its seismotectonic characteristics and geodynamic effects. . *Proc. of the 37th General Assembly of the European Seismological Commission* (σ. 331). Greece: ESC2021-S29-148.

- Jolivet, L. and Brun, J.P. (2010). Cenozoic geodynamic evolution of the Aegean region. *Int. J. Earth Science*, 99: 109–138, DOI: 10.1007/s00531-008-0366-4.
- Karakostas, V., Papazachos, C., Papadimitriou, E., Fouvelis, M., Kiratzi, A., Pikridas, C., ... & Galanis, O. (2021). The March 2021 Tyrnavos, central Greece, doublet (Mw6. 3 and Mw6. 0): Aftershock relocation, faulting details, coseismic slip and deformation. *Bulletin of the Geological Society of Greece*, 58, 131-178.
- Kassaras, I., Kapetanidis, V., Ganas, A., Tzanis, A., Kosma, C., Karakonstantis, A., Valkaniotis, S., Chailas, S., Kouskouna, V., Papadimitriou, P. 2020. The New Seismotectonic Atlas of Greece (v1.0) and Its Implementation. *Geosciences*, 10, 447.
- Kassaras, I., Kapetanidis, V., Ganas, A., Karakonstantis, A., Papadimitriou, P., Kaviris, G., Kouskouna, V. & Voulgaris, N. (2022). Seismotectonic analysis of the 2021 Damasi-Tyrnavos (Thessaly, Central Greece) earthquake sequence and implications on the stress field rotations. *Journal of Geodynamics*, 101898.
- Koukouvelas, I.K., Nikolakopoulos, K.G., Kyriou, A., Caputo, R.; Belesis, A., Zygouri, V., Verroios, S., Apostolopoulos, D., Tsentzos, I. (2021). The March 2021 Damasi Earthquake Sequence, Central Greece: Reactivation Evidence across the Westward Propagating Tyrnavos Graben. *Geosciences*, 11, 328.
- Kouskouna, V. (2001). The (December 28th, 1891) January 9th, 1892 Larisa (central Greece) earthquake. *In Proceedings of the 9th International Congress of the Geological Society of Greece*, (σσ. pp. 1425-1432).
- Leeder, M.R., Jackson, J.A., (1993). The interaction between normal faulting and drainage in active extensional basins, with examples from the western United States and central Greece. *Basin Research*, 5, 79–102.
- Lekkas, E., Agorastos, K., Mavroulis, S., Kranis, Ch., Skourtsos, Emm., Carydis, P., Gogou, M., Katsetsiadou, K.-N., Papadopoulos, G., Triantafyllou, I., Agalos, A., Moraitis, S., Stamati, E., Psarris, D., Kaviris, G., Kapetanidis, V., Papadimitriou, P., Karakonstantis, A. (2021). The early March 2021 Thessaly earthquake sequence. *Newsletter of Environmental, Disaster and Crises Management Strategies*, 22, ISSN 2653-9454.
- LePichon, X. and Angelier, J. (1979). The Hellenic arc and trench system: a key to the neotectonic evolution. *Tectonophysics*, 60, 1 - 42.
- Lepichon, X., Chamot - Rooke, N., Lalemant, S., Noomen, R. and Veis, G. (1995). Geodetic determination of the kinematics of central Greece with respect to Europe: Implications for eastern Mediterranean tectonics. *J. Geophys. Res.*, 100, 1267.5 - 12690.

- Makropoulos, K., Kaviris, G., & Kouskouna, V. . (2012). An updated and extended earthquake catalogue for Greece and adjacent areas since 1900. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 12(5), 1425-1430.
- McKenzie, D. (1970). The plate tectonics of the Mediterranean region. *Nature*, 226, 239 - 243.
- McKenzie, D. (1972). Active tectonics of the Mediterranean region. *Geophys. J. R. astr. Soc*, 30, 109 - 185.
- McKenzie, D. (1978). Active tectonics of the Alpine - Himalayan belt: the Aegean Sea and surrounding regions. *Geophys. J. R. astr. Soc*, 55, 217 - 254.
- Ori, G. (1989). Geologic history of the extensional basin of the Gulf of Corinth(?Miocene–Pleistocene), Greece. *Geology*, 17 (10), 918–921.
- Palyvos, N., Pavlopoulos, K., Froussou, E., Kranis, H., Pustovoytov, K., Forman, S.L., and Minos-Minopoulos, D. (2010). Paleoseismological investigation of the oblique-normal Ekkara ground rupture zone accompanying the M 6.7–7.0 earthquake on 30 April 1954 in Thessaly, Greece: Archaeological and geochronological constraints on ground rupture recurrence. *Journal of Geophysical Research* 115, doi:10.1029/2009JB006374.
- Papadimitriou, E. E. and Karakostas, V. G. (2003). Episodic occurrence of strong ($M_w \geq 6.2$) earthquakes in Thessalia area (central Greece). *Earth and Planetary Science Letters*, 215(3-4), 395-409.
- Papaioannou, I. (February 12, 1984). O protos istorika martyroumenos seismos tis Thessalias [The first historically documented earthquake of Thessaly]. *Eleftheria Newspaper*, [in Greek].
- Papanikolaou, D., Royden, L. (2007). Disruption of the Hellenic arc: lateMiocene extensional detachment faults and steep Pliocene-Quaternary normal faults—or what happened at Corinth? *Tectonics*, 26 (5), <http://dx.doi.org/10.1029/2006TC002007>.
- Papanikolaou, D. (2015). *Geotectonic Map of Greece*.
- Papastamatiou, D., & Mouyaris, N. (1986). The earthquake of April 30, 1954, in Sophades (central Greece). . *Geophysical Journal International*, 87(3), 885-895.
- Papathanassiou, G., Valkaniotis, S., Ganas, A., Stampolidis, A., Rapti, D., Caputo, R., 2022. Floodplain evolution and its influence on liquefaction clustering: The case study of March 2021 Thessaly, Greece, seismic sequence. *Engineering Geology*, 298, 106542.
- Papazachos, B. C. and Delibasis, N.D. (1969). Tectonic stress field and seismic faulting in the area of Greece. *Tectonophysics*, 7, 231 - 255.
- Papazachos, B.C., Panagiotopoulos, D.G., Tsapanos, T.M., Mountrakis, D.M. and Dimopoulos, D.Ch. (1983). A study of the 1980 summer seismic sequence in the Magnesia region of Central Greece. *Geophys. J. R. astr. Soc.* 75, 155-168

- Papazachos, V. & Papazachou, K. (1989). *Earthquakes of Greece*. Thessaloniki (in Greek).
- Papazachos, B. C, Karakaisis, G. F. and Hatzidimitriou, P.M. (1994). Further information on the transform fault of the Ionian sea. *Proc. XXIV Gen. As. Europ. Seism.Com.*, (pp. 19 - 24 Sept., 1994). Athens.
- Papazachos, B.C. and Papazachou, C.B. (1997). *The Earthquakes of*. Thessaloniki: Ziti Publications.
- Papazachos, C. (1999). Seismological and GPS evidence for the Aegean - Anatolia interaction. *Geophys.Res. Letters*, 26, 26453 - 2656.
- Pavlidis, S., Kouskouna, V., Ganas, A., Caputo, R., Karastathis, V., & Sokos, E. (2004). The Gonnoi (NE Thessaly-Greece) earthquake (June 2003, Ms= 5.5) and the neotectonic regime of Lower Olympus. *Int. Symp. Eastern Mediterranean Geology*, (pp. 14-20).
- Scordilis, E.M., Karakaisis, G.F., Karakostas, B.G., Panagiotopoulos, D.G., Comninakis, P.E. and Papazachos, B.C. (1985). Evidence for transform faulting in the Ionian Sea. The Cephalonia island earthquake sequence of 1983. *Pure and Appl. Geophys.*, 123, 388 - 397.
- Taymaz, T., Yilmaz, Y. and Dilek, Y. (2007). The geodynamics of the Aegean and Anatolia: introduction. *Geological Society, London, Special Publications*, v.291, p1-16. doi: 10.1144/SP291.1.
- Vallianatos, F., Michas, G., & Hloupis, G. (2021). Seismicity patterns prior to the Thessaly (Mw6. 3) strong earthquake on 3 March 2021 in terms of multiresolution wavelets and natural time analysis. *Geosciences*, 11(9), 379.
- Valkaniotis, S., Briole, P., Ganas, A., Elias, P., Kapetanidis, V., Tsironi, V., Fokaefs, A., Partheniou, H. & Paschos, P. (2020). The Mw= 5.6 Kanallaki earthquake of 21 March 2020 in west Epirus, Greece: Reverse fault model from InSAR data and seismotectonic implications for Apulia-Eurasia collision. *Geosciences*, 10(11), 454.
- ΙΓΜΕ. (n.d.). *Γεωλογικός Χάρτης (Φύλλο ΕΛΑΣΣΩΝ)*, κλίμακα 1:50000. ΙΓΜΕ.
- ΙΓΜΕ. (n.d.). *Γεωλογικός Χάρτης (φύλλο ΦΑΡΚΑΔΩΝ)*, κλίμακα 1:50000. ΙΓΜΕ.
- ΙΓΜΕ. (n.d.). *Γεωλογικός Χάρτης της Θεσσαλίας*, κλίμακα 1:50000. ΙΓΜΕ.
- Σπυρόπουλος, Π. (1997). *Χρονικό των σεισμών της Ελλάδος, από την αρχαιότητα μέχρι σήμερα*. Εκδόσεις ΔΩΔΩΝΗ.
- Παπαζάχος, Β. (2002). Active Tectonics in the Aegean and surrounding area. *Bulletin of the Geological Society of*, 34(6), 2237-2253. doi:<https://doi.org/10.12681/bgsg.16865>.
- Τριανταφύλλης, Ε. (1998). Βασικός Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδας σε κλίμακα 1: 50.000, φύλλο ΕΛΑΣΣΩΝ. Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών, Αθήνα.

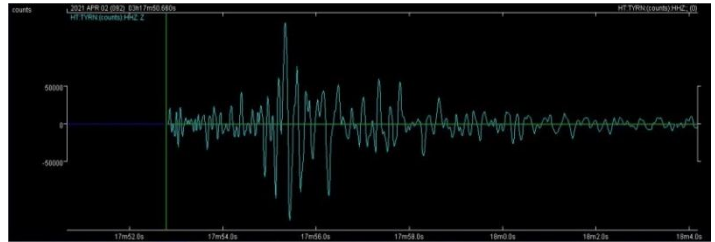
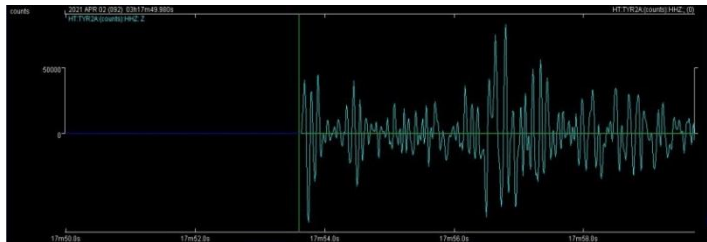
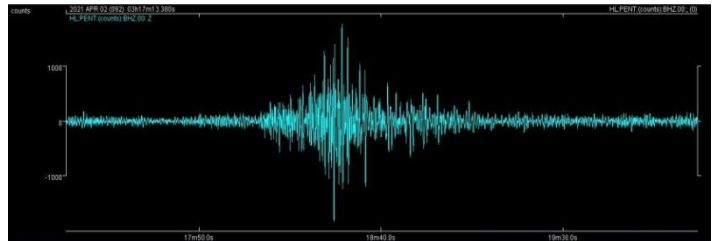
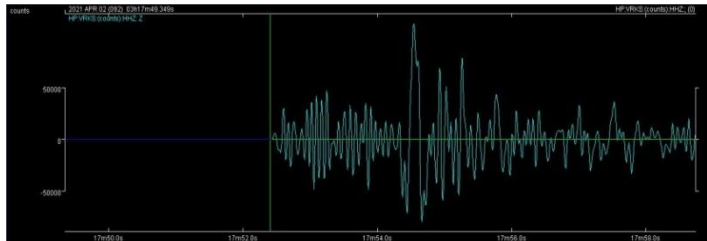
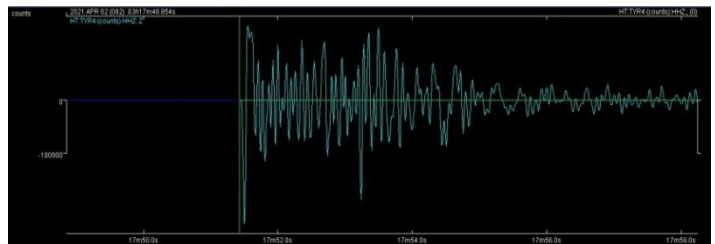
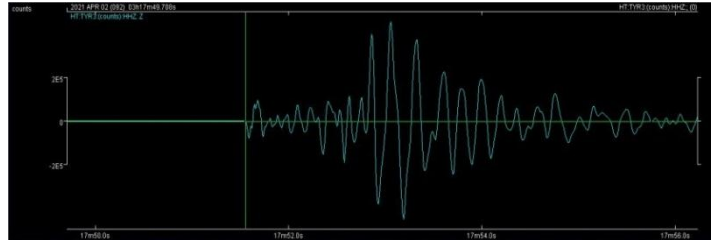
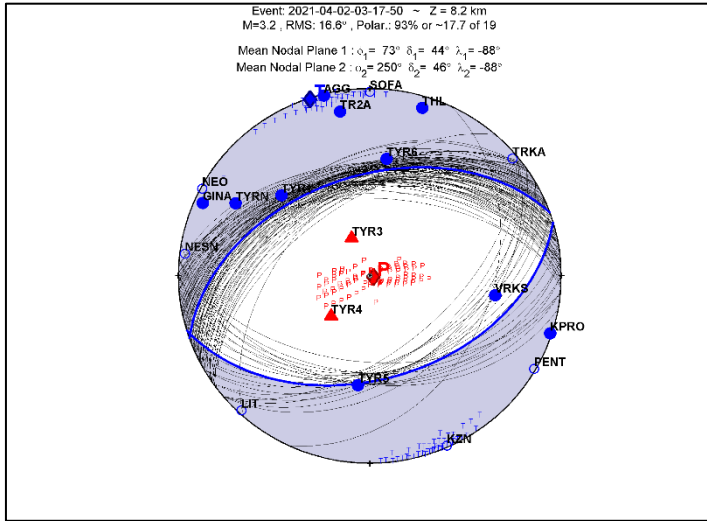
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α: ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΜΗΧΑΝΙΣΜΩΝ ΓΕΝΕΣΗΣ

Event_code	Y	M	D	H	Min	Sec	Latitude	Longitude	Depth (km)	ML	Strike1	Dip1	Rake1	Strike2	Dip2	Rake2	P.Tr	P.PI	B.Tr	B.PI	T.tr	T.PI	Pperc	RMS	FT	Pol	wgPol
2021-04-02-00-37-25	2021	4	2	0	37	24.43	39.6294	22.1491	2.7	2.6	60.4	68.3	-163.4	324.1	74.6	-22.5	281.1	26.7	111.4	62.9	13.2	4.2	0.82	53.7	SS	19	17
2021-04-02-03-17-50	2021	4	2	3	17	49.96	39.7694	22.0933	8.2	3.2	73.2	44.1	-88	250.4	45.9	-91.9	104	88.4	251.7	1.4	341.8	0.9	0.93	16.6	NF	19	15.5
2021-04-02-23-13-05	2021	4	2	23	13	5.76	39.8559	21.9325	6.5	2.7	84.3	27.8	-127.3	305	68.2	-72.3	242.9	62.6	118.2	16.4	21.6	21.3	0.78	42.7	NF	19	16.5
2021-04-03-20-05-56	2021	4	3	20	5	56.92	39.6766	22.1921	9.7	3.9	124.7	34.6	-64.6	274.8	59.1	-106.5	147	70.9	283.4	14.1	16.6	12.7	0.97	15.1	NF	20	17
2021-04-03-23-52-26	2021	4	3	23	52	26.72	39.6751	22.1913	9.7	2.6	122.2	32.2	-66.2	274.6	60.8	-104.3	152.9	70.6	281.7	12.4	15	14.6	0.93	15.2	NF	20	15
2021-04-05-13-40-34	2021	4	5	13	40	33.48	39.7823	21.9875	7.3	2.7	29.6	7.1	-68.1	187.5	83.4	-92.7	94.5	51.5	187.8	2.6	279.9	38.4	0.82	22.3	U	20	17
2021-04-07-13-43-52	2021	4	7	13	43	51.96	39.7669	22.0811	3.6	3	72.9	21.7	-93.1	256.2	68.3	-88.8	168.4	66.7	75.8	1.2	345.3	23.3	0.87	17.9	NF	20	15.5
2021-04-09-04-47-57	2021	4	9	4	47	56.55	39.7906	21.9445	8.4	3.1	40.6	37	-52.7	177	61.4	-114.6	43.7	64.6	189.4	21.4	284.6	13	0.87	13.2	NF	20	16.5
2021-04-09-05-21-06	2021	4	9	5	21	5.33	39.7886	21.9428	7.9	2.6	133.6	59	-168.4	37.6	80.1	-31.6	351.2	29.1	201.9	57.1	89.2	14	0.86	18.1	SS	20	15
2021-04-13-12-05-26	2021	4	13	12	5	29.04	39.6696	22.2041	9.2	2.7	89	30.8	-137.7	321.1	69.8	-66.2	264	58.3	132.4	22.3	33.2	21.3	0.93	26.3	NS	18	15
2021-04-14-17-00-05	2021	4	14	17	0	5.24	39.7972	22.0518	6	2.7	38.3	40.9	-155.9	289.7	74.5	-51.7	239.1	46.3	97.7	36.7	351.8	20.2	0.83	22.7	NS	19	15.5
2021-04-15-21-15-14	2021	4	15	21	15	15.72	39.7496	22.1019	8.3	3	51.2	65.9	168.6	146	79.6	24.6	276.6	9.3	167.6	63.5	10.9	24.6	0.83	37	SS	19	15
2021-04-15-22-11-01	2021	4	15	22	11	1.48	39.7873	21.9761	7.5	3.3	258.2	32.2	-114.2	106.2	60.9	-75.5	48.1	70.4	279	12.6	185.7	14.7	0.96	19	NF	19	16.5
2021-04-16-07-51-28	2021	4	16	7	51	27.66	39.7307	22.1139	7.8	2.8	295.6	69.3	-13.3	30.4	77.6	-158.8	254.4	23.7	59.3	65.5	161.9	5.7	0.92	15.1	SS	17	13
2021-04-16-11-09-08	2021	4	16	11	9	9.45	39.7892	21.9775	8.1	2.7	44.5	15.9	-53.3	186.7	77.3	-99.6	84.3	56.6	188.8	9.4	284.7	31.7	0.9	32.9	U	19	16.5
2021-04-16-16-49-58	2021	4	16	16	50	47.68	39.7122	22.1786	9.1	2.8	57.9	31.7	-157.3	308.4	78.3	-60.3	250	48.1	121.8	29	15.2	27.3	0.87	18.7	NS	19	15.5
2021-04-17-01-51-21	2021	4	17	1	51	20.06	39.6188	22.2347	4.8	2.6	93.9	33.5	-99.9	285.7	57	-83.5	216.5	77	102.2	5.5	11.1	11.8	1	5.7	NF	18	15
2021-04-17-10-12-43	2021	4	17	10	12	42.79	39.6178	22.2355	3.9	2.6	147.6	33.7	-88	325.2	56.3	-91.3	230.4	78.6	326	1.1	56.2	11.3	0.87	16.3	NF	18	15.5
2021-04-17-11-46-40	2021	4	17	11	46	39.27	39.7756	22.0702	7.7	2.8	244.4	19	-132	108	76	-77	35	57.1	284.8	12.6	187.4	29.8	0.89	14.9	NS	17	14
2021-04-17-11-56-20	2021	4	17	11	56	19.85	39.7761	22.0748	7.8	2.8	242.6	35.5	-118.7	96.5	59.4	-71.1	47.1	69.4	266.6	16.2	172.9	12.4	0.83	14.5	NF	19	18
2021-04-17-18-07-02	2021	4	17	18	7	2.64	39.6718	22.2451	7.6	3	164.3	41.9	-51.4	297.3	58.5	-119.3	156.4	63.6	313.6	24.6	47.8	9	1	11.7	NF	19	17
2021-04-17-23-04-24	2021	4	17	23	4	23.6	39.7963	22.056	5.8	3.1	237.4	40.9	-55.7	15.4	57.3	-116	234.4	66.5	30.2	21.6	123.7	8.8	0.81	25.9	NF	18	16.5
2021-04-18-06-03-08	2021	4	18	6	3	7.68	39.7907	21.9673	8.5	2.6	70.2	33.5	-24.3	180.8	76.9	-121.1	57.3	48.6	188.6	30.2	294.7	25.4	0.86	27.7	NS	17	15
2021-04-18-06-05-09	2021	4	18	6	5	11.53	39.7886	21.9767	7.2	2.5	33.5	29.9	-44.5	163.9	69.5	-112.3	42.1	59.3	172.1	20.8	270.7	21.4	0.83	42.5	NS	18	15
2021-04-18-07-39-03	2021	4	18	7	39	3.66	39.803	22.056	6.3	2.8	235	32.7	-94	59.8	57.4	-87.4	338.2	77.5	238.4	2.2	147.9	12.4	0.81	32.6	NF	17	13.5
2021-04-18-11-15-26	2021	4	18	11	15	25.72	39.7466	22.096	7.6	2.6	48.6	86.7	-177.1	318.4	87.1	-3.3	273.5	4.4	97.2	85.6	3.5	0.3	0.89	24.6	SS	17	14
2021-04-18-15-39-45	2021	4	18	15	41	23.95	39.7249	22.0982	12.4	2.5	293.8	43.2	-109.3	139.4	49.8	-72.8	113.1	76.5	308.1	13.1	217.3	3.4	1	5.1	NF	18	16
2021-04-19-14-21-16	2021	4	19	14	21	16.76	39.8054	22.0255	5.5	2.9	19.4	84.4	5.1	288.9	84.9	174.4	334.2	0.3	66.7	82.4	244.1	7.6	0.77	35.2	SS	18	13.5
2021-04-21-02-53-18	2021	4	21	2	53	17.22	39.8578	21.9709	6.8	2.5	106.9	74.8	9	14.5	81.4	164.6	61.4	4.6	165.9	72.4	330	17	0.88	33.5	SS	19	17
2021-04-22-11-57-54	2021	4	22	11	57	53.56	39.765	22.0479	6.6	2.5	282.2	34.6	-120.1	137.4	60.6	-70.9	86.3	68.3	307.8	16.6	213.6	13.5	0.77	22.4	NF	19	15.5
2021-04-22-11-59-55	2021	4	22	11	59	54.85	39.7659	22.0458	6.3	3	241.3	41.8	-140.9	120.1	65.1	-55.3	75.5	55.5	283.8	31.1	185.6	13.3	0.9	27.8	NS	18	15.5
2021-04-22-16-40-24	2021	4	22	16	40	23.1	39.7882	21.9761	7.4	2.9	254.1	17.8	-146.5	131.8	80.3	-75	59.3	52.4	309.2	14.8	209.1	33.6	0.9	20	U	19	16.5
2021-04-22-16-41-53	2021	4	22	16	41	51.71	39.7575	22.0902	7.5	3.2	229.7	26.5	-156.1	118.1	79.6	-65.5	55	49.5	293.4	24.1	188.2	30.3	0.9	20.9	U	19	16.5
2021-04-23-10-36-44	2021	4	23	10	36	43.38	39.7347	22.1054	6.9	2.5	47.6	75.3	-178	317.1	88.1	-14.7	271.4	11.7	129.8	75.2	3.3	9	0.84	24.8	SS	18	16
2021-04-24-05-10-18	2021	4	24	5	10	17.03	39.8267	21.9399	6.7	3.3	221.6	15.5	95.1	36.3	74.6	88.6	127.5	29.6	36.7	1.3	304.3	60.4	0.82	48.4	TF	18	17.5
2021-04-25-15-34-11	2021	4	25	15	34	10.37	39.7844	22.0662	8.5	3	127.9	46.2	-54.3	261.8	54.2	-121.3	112.7	64.7	281.4	24.9	13.4	4.3	0.93	22.4	NF	18	16

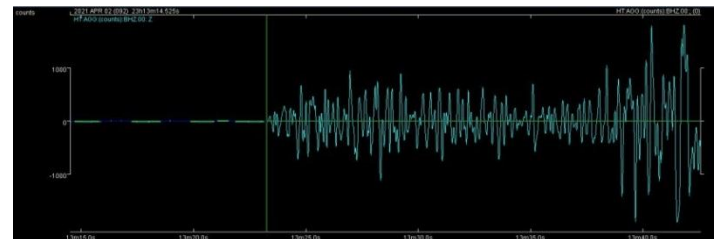
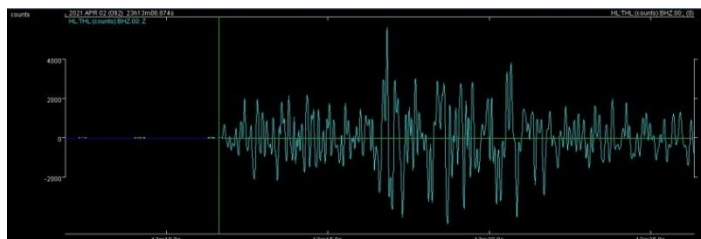
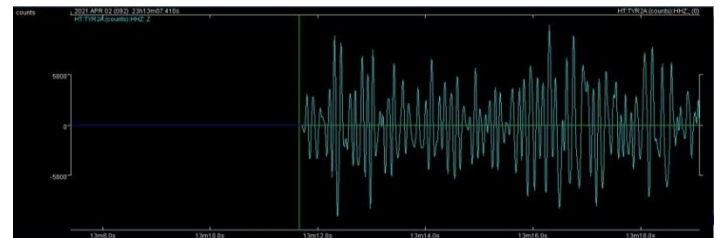
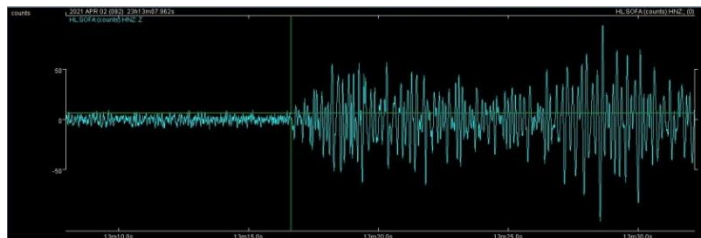
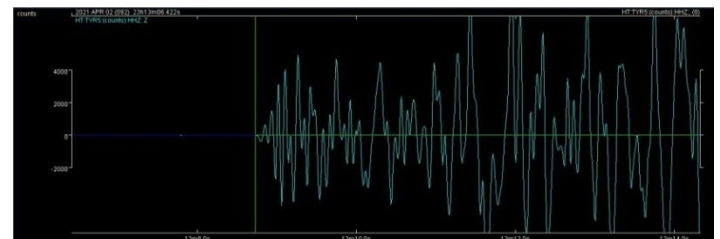
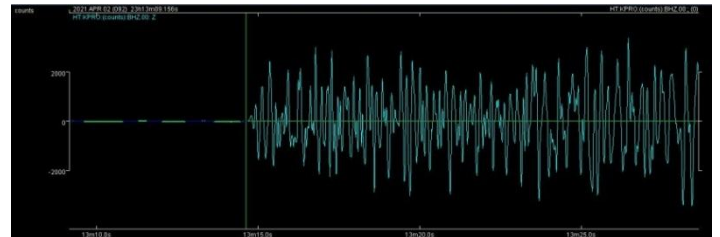
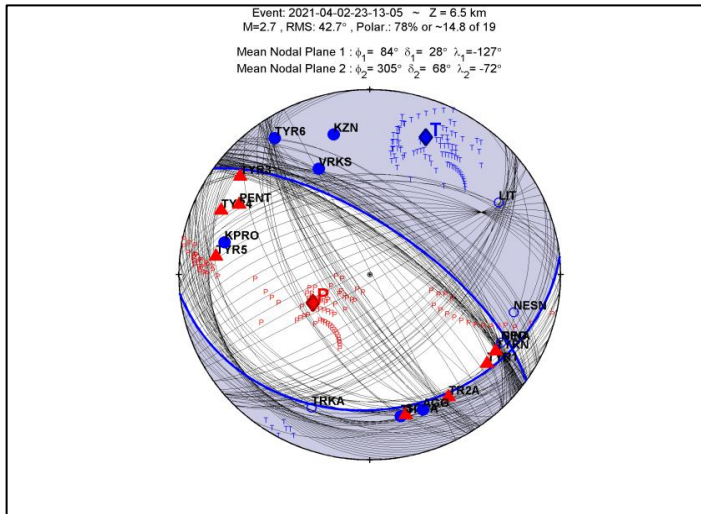
2021-04-25-17-05-12	2021	4	25	17	5	13.62	39.7952	22.0542	9	3.3	28	24	-165.3	284.5	84.1	-66.7	218.3	45.9	102	23.2	354.6	35	0.86	20.8	U	18	14.5
2021-04-26-15-58-57	2021	4	26	15	58	56.42	39.7615	22.0644	6.9	2.5	211.1	40.8	106.5	9.7	51.2	76.2	109.5	5.3	18.5	10.7	225.4	78	0.88	10.8	TF	15	13.5
2021-04-26-23-51-11	2021	4	26	23	51	12.48	39.7265	22.1066	6.6	3.6	258.3	43.1	-140.9	137.6	64.4	-54	94.4	55.2	300.2	32	202.4	12.2	0.93	25.3	NS	17	15.5
2021-04-27-02-59-45	2021	4	27	2	59	44.63	39.7932	22.0461	9.3	2.6	246	49.5	-135.9	123.8	58.1	-50	89.2	56.5	279.8	33.1	186.6	4.9	0.96	12.5	NS	15	13
2021-04-27-07-32-20	2021	4	27	7	32	19.62	39.7394	22.086	6.8	2.5	81.5	21.9	113.4	236.6	70	81	333.6	24.5	239.7	8.5	131.9	63.9	0.89	38.3	TF	16	14
2021-04-27-13-38-18	2021	4	27	13	39	20.29	39.7091	22.1794	8.5	3.5	169.1	38.5	2	77.6	88.8	128.5	136.1	32.6	256.6	38.5	19.9	34.7	1	15.2	U	19	17
2021-04-29-10-20-19	2021	4	29	10	20	18.93	39.7178	22.1612	7.8	3.6	327.2	30.6	-97.2	155.6	59.7	-85.8	77.2	74.9	333.5	3.7	242.5	14.6	0.96	12.4	NF	14	13
2021-04-30-08-26-23	2021	4	30	8	26	22.58	39.8205	22.0212	6.9	2.5	131.9	64.5	-163.6	34.7	75.2	-26.5	351.1	29	187.5	59.9	85	7.1	0.85	53.7	SS	12	10

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β: ΣΤΕΡΕΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΠΡΟΒΟΛΕΣ ΜΗΧΑΝΙΣΜΩΝ ΓΕΝΕΣΗΣ ΚΑΙ ΚΥΜΑΤΟΜΟΡΦΕΣ

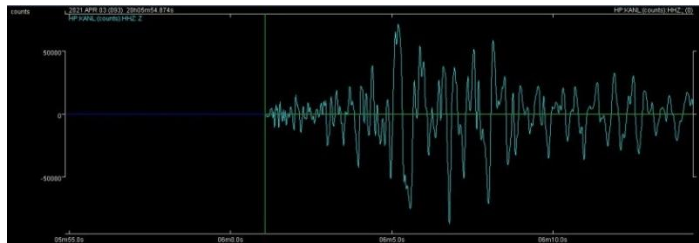
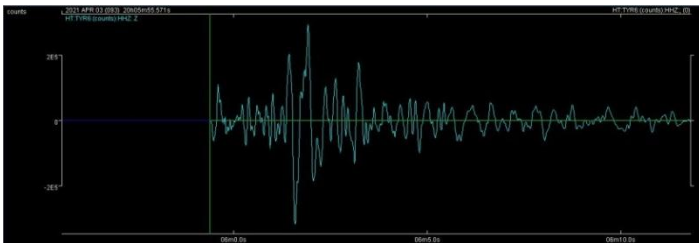
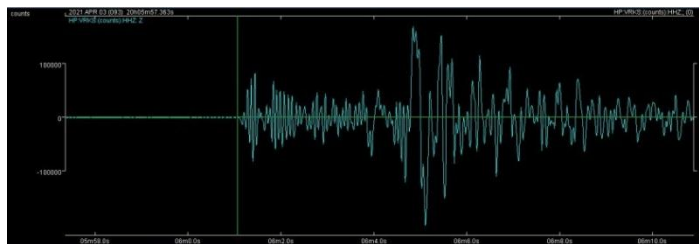
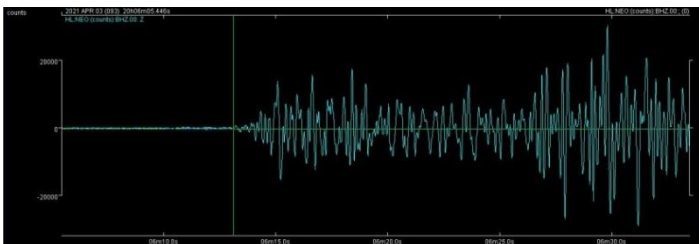
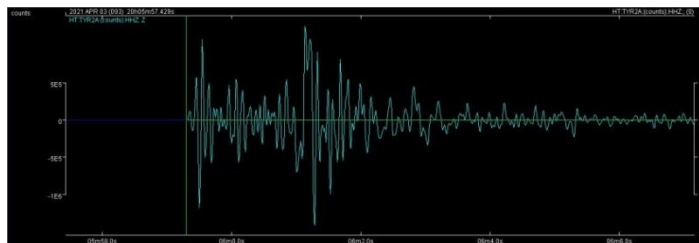
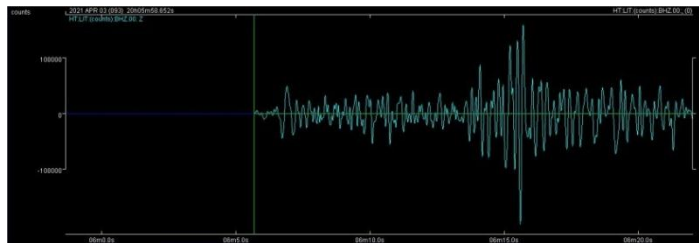
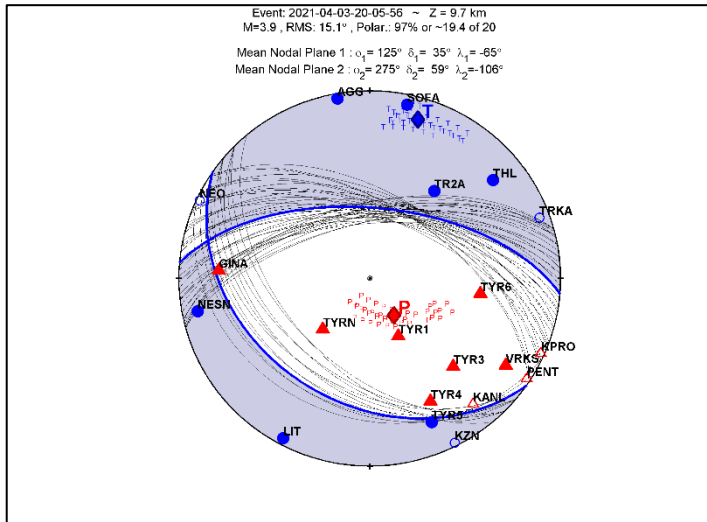
- Event: 2021-04-02 03:17:50, Τύπος διάρρηξης: Κανονικό



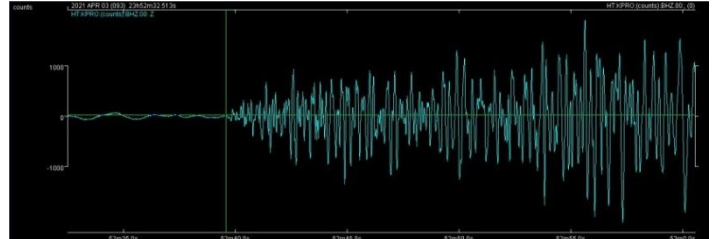
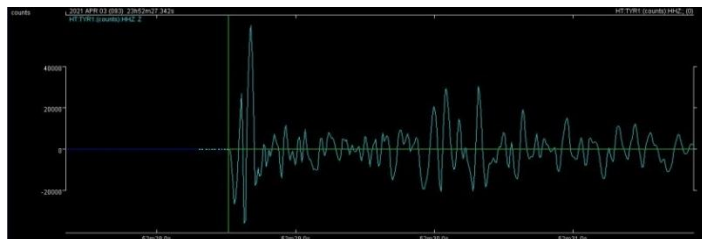
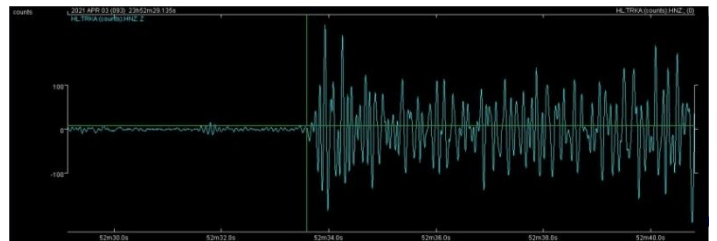
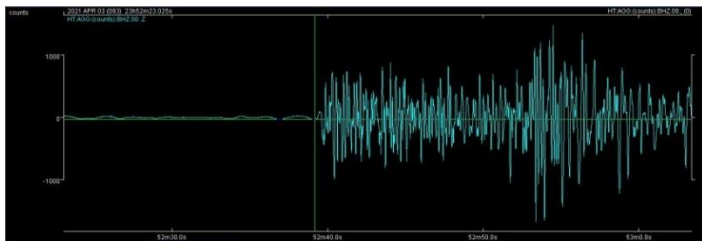
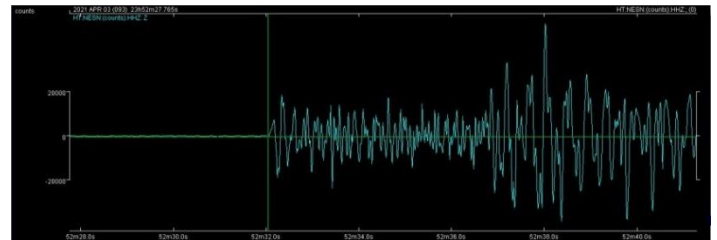
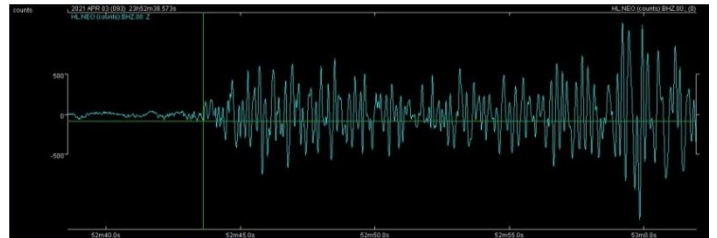
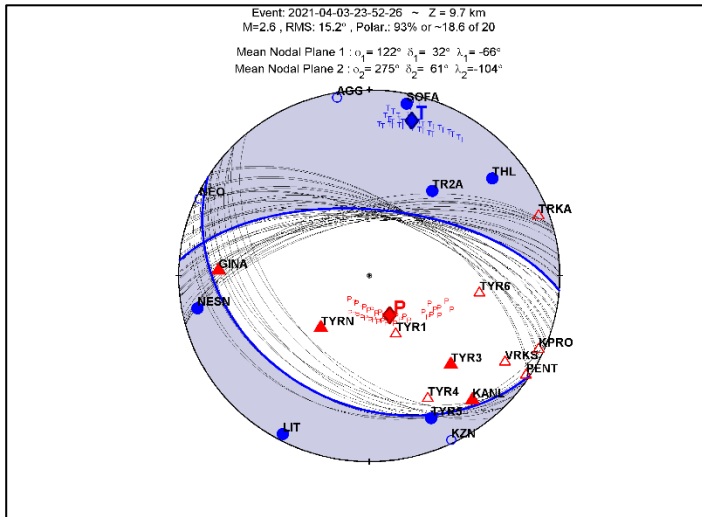
- Event: 2021-04-02 23:13:05, Τύπος διάρρηξης: Πλαγκιοκανονικό οριζόντιας ολίσθησης, δεξιόστροφο



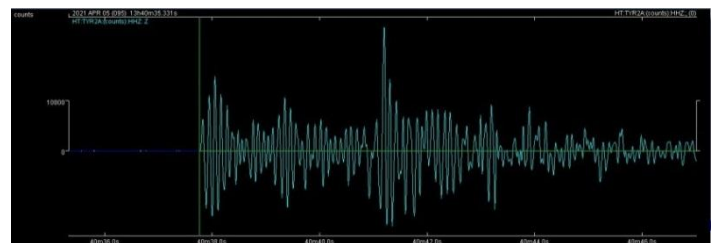
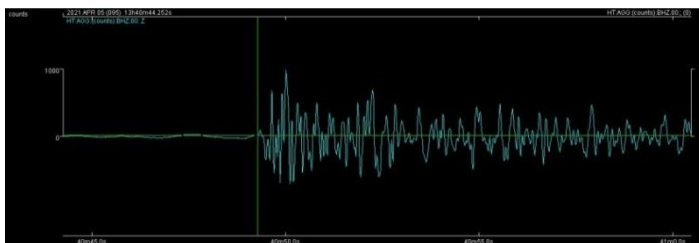
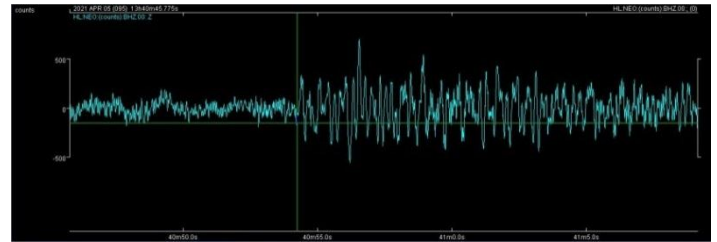
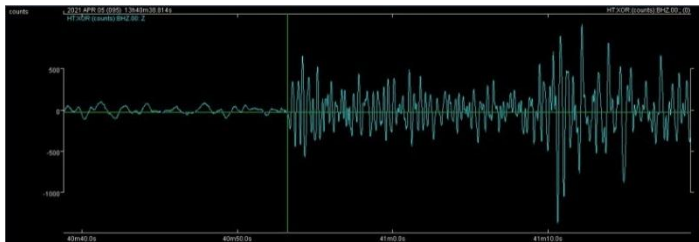
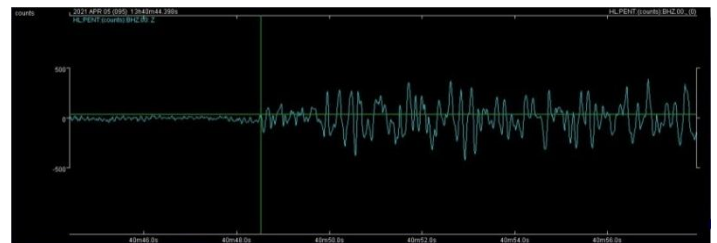
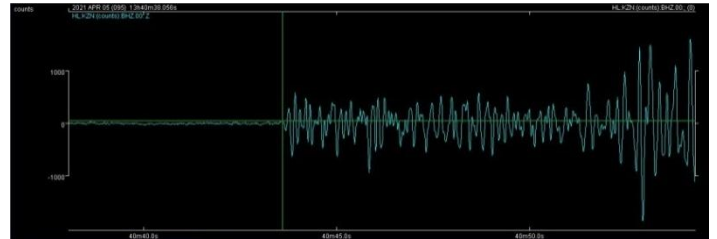
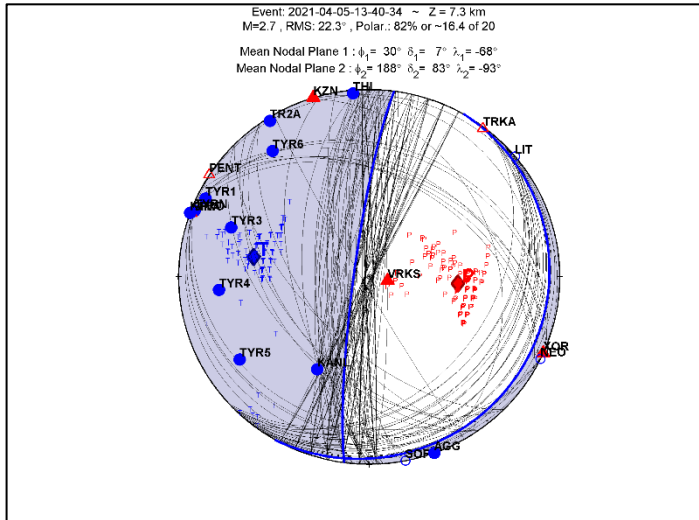
- Event: 2021-04-03 20:05:56, Τύπος διάρρηξης: Πλαγιοκανονικό οριζόντιας ολίσθησης, αριστερόστροφο



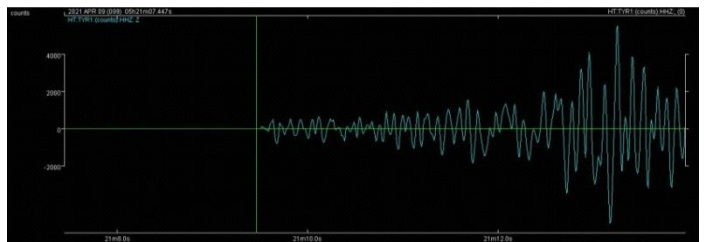
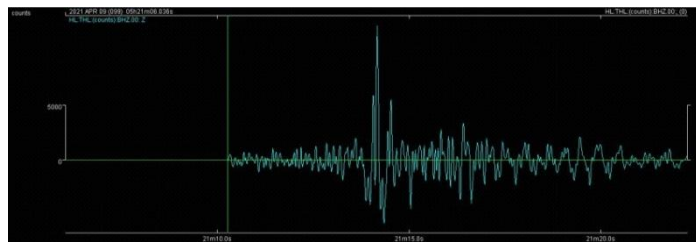
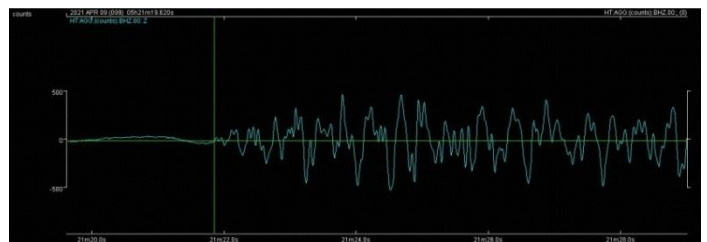
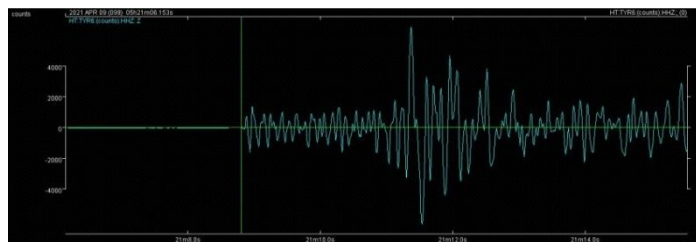
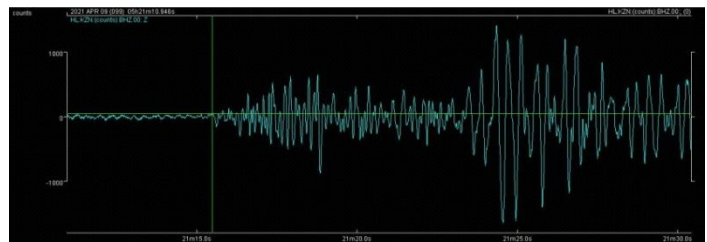
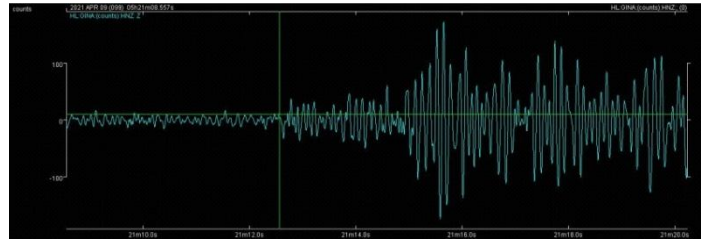
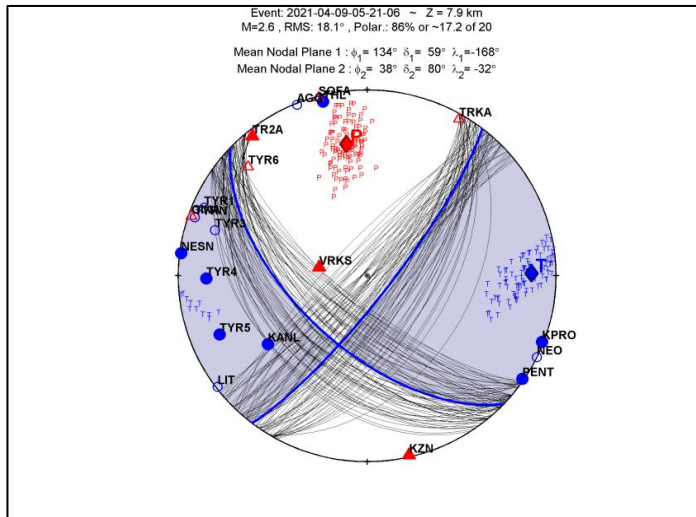
- Event: 2021-04-03 23:52:26, Τύπος διάρρηξης: Πλαγιοκανονικό οριζόντιας ολίσθησης, αριστερόστροφο



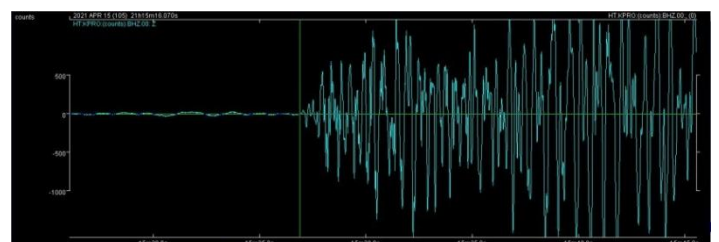
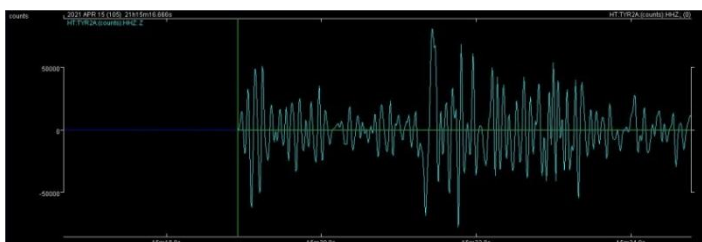
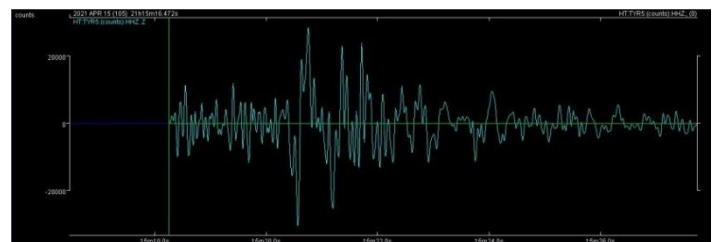
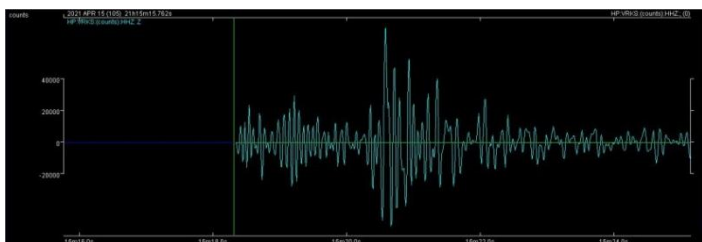
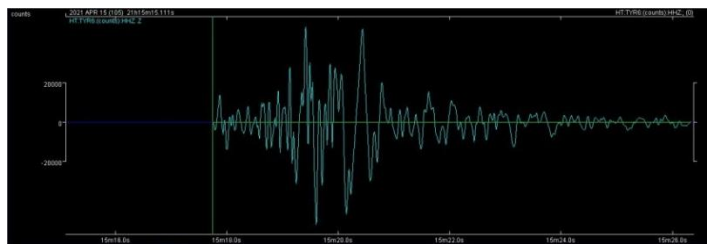
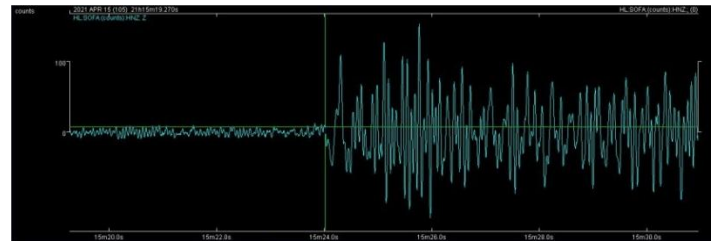
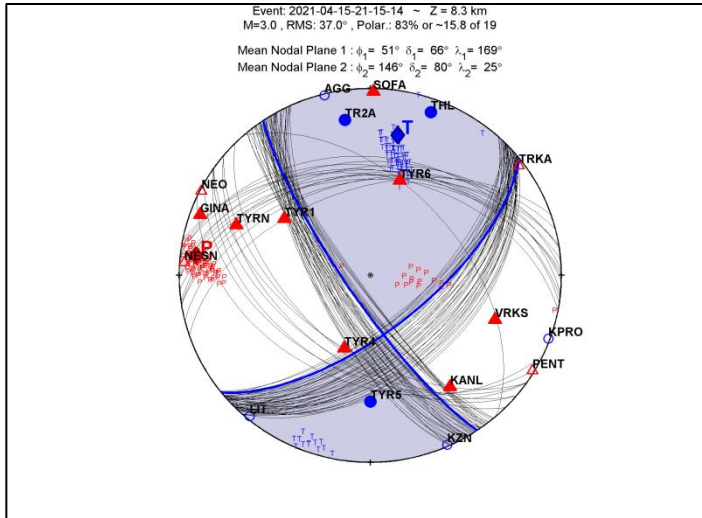
- Event: 2021-04-05 13:40:34, Τύπος διάρρηξης: Πλαγιοκανονικό οριζόντιας ολίσθησης, αριστερόστροφο



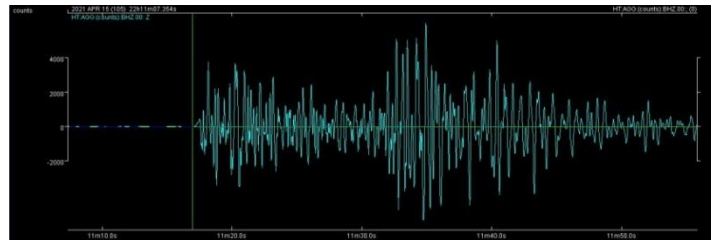
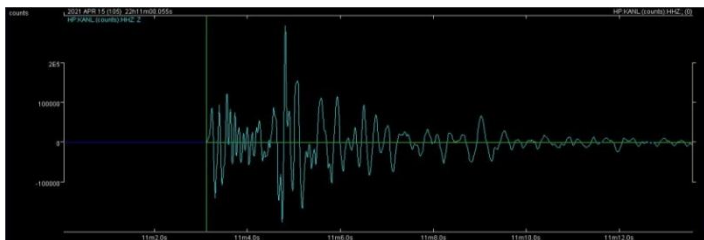
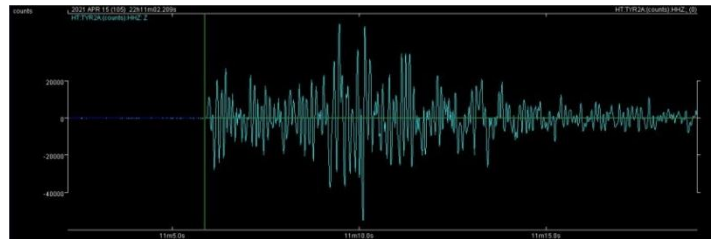
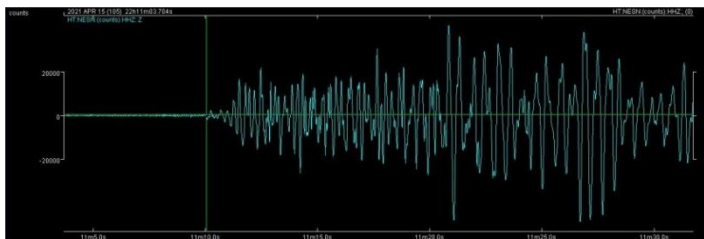
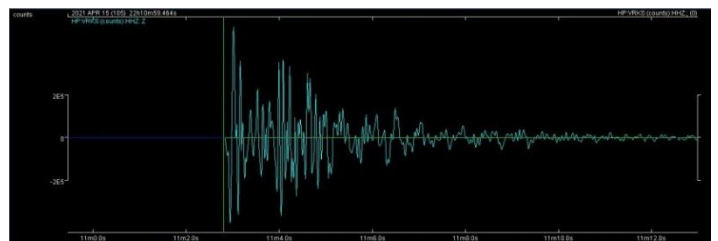
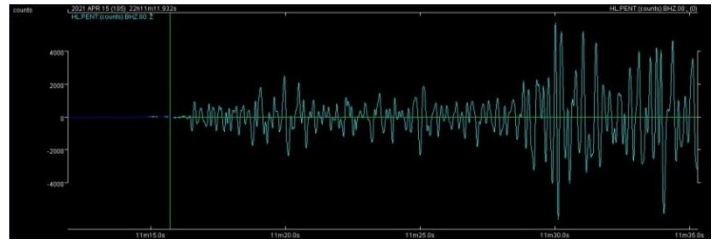
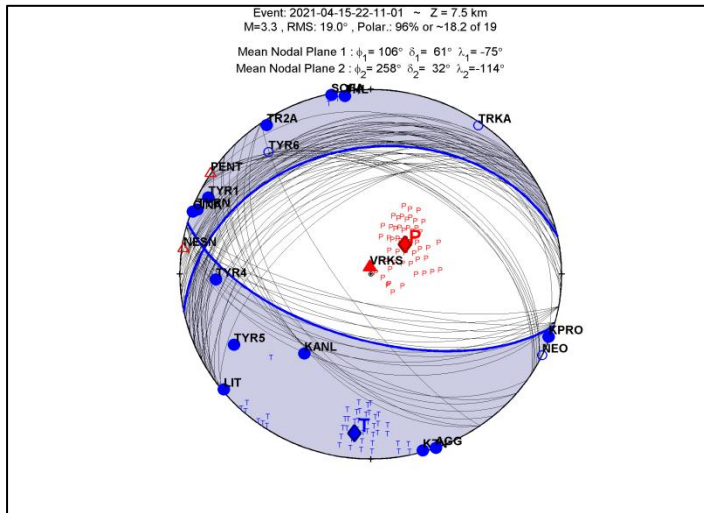
- Event: 2021-04-09 05:21:06, Τύπος διάρρηξης: Οριζόντιας ολίσθησης, δεξιόστροφο



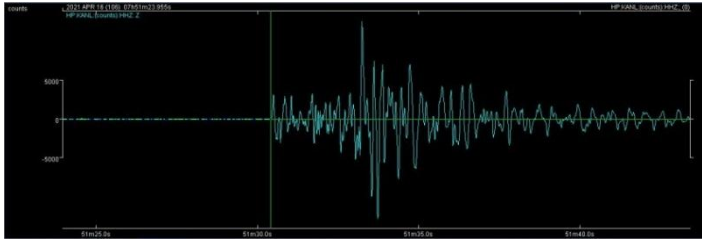
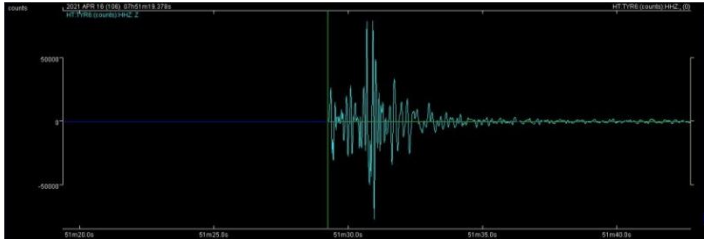
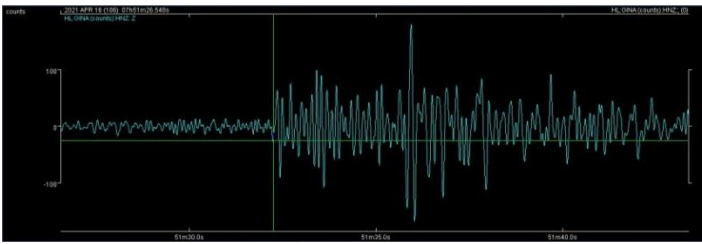
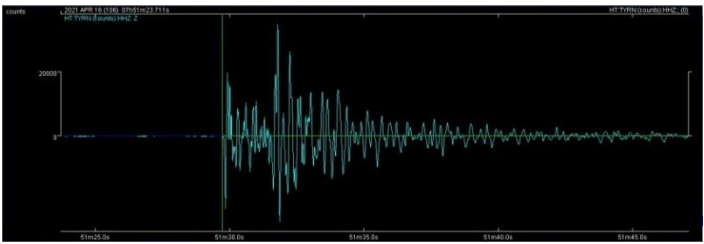
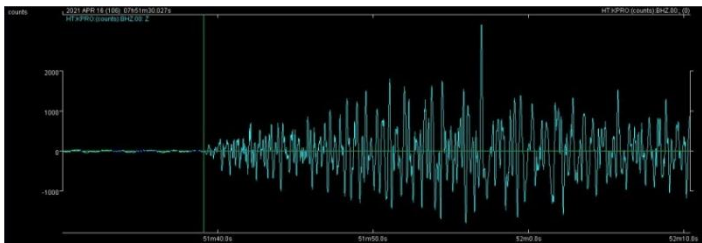
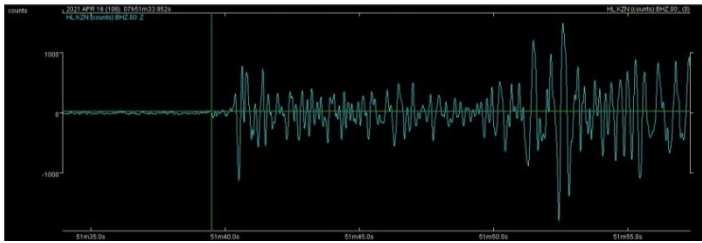
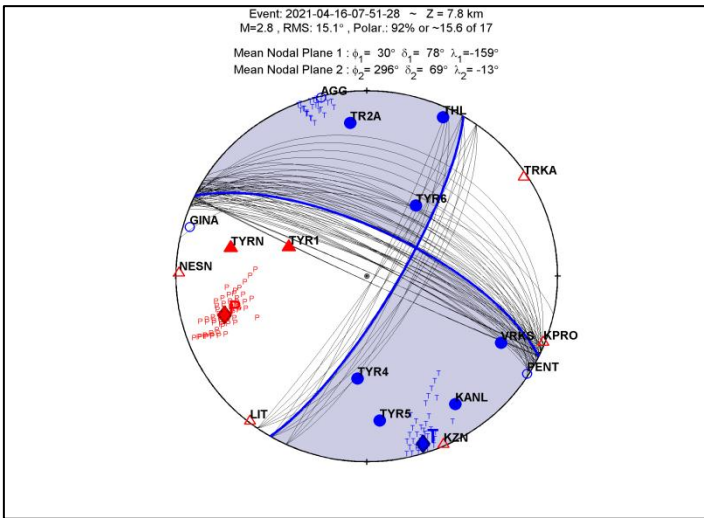
▪ **Event: 2021-04-15 21:15:14, Τύπος διάρρηξης: Οριζόντιας ολίσθησης. δεξιόστροφο**



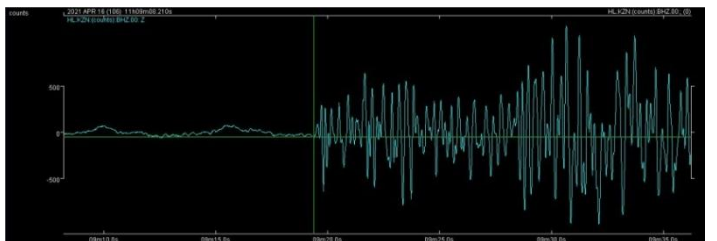
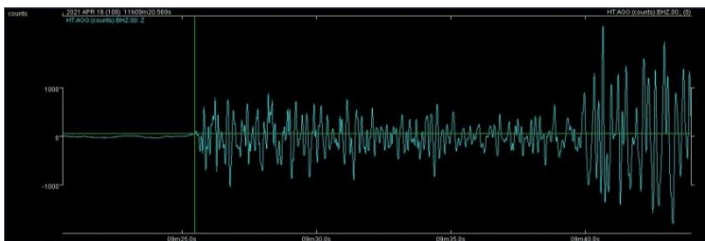
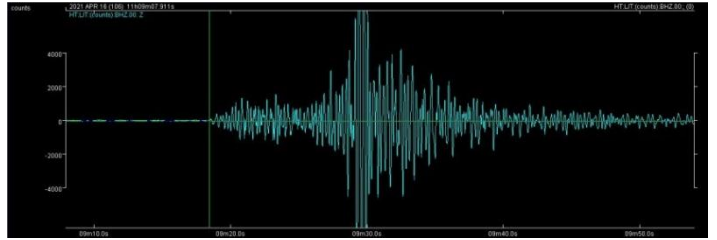
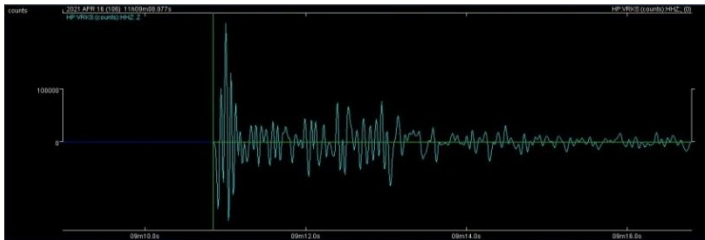
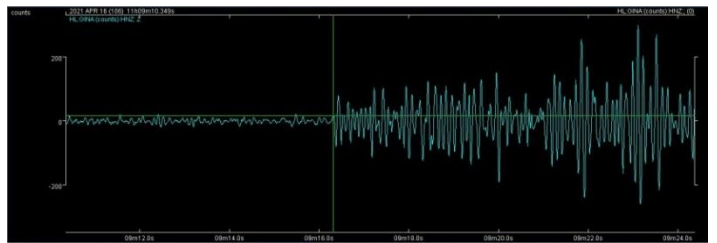
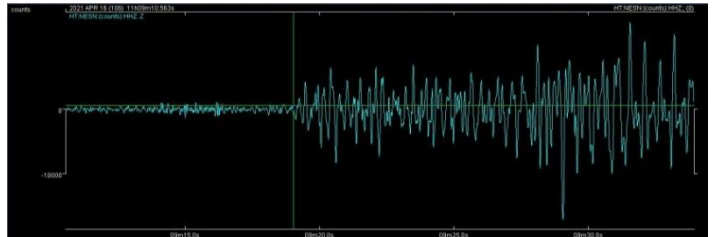
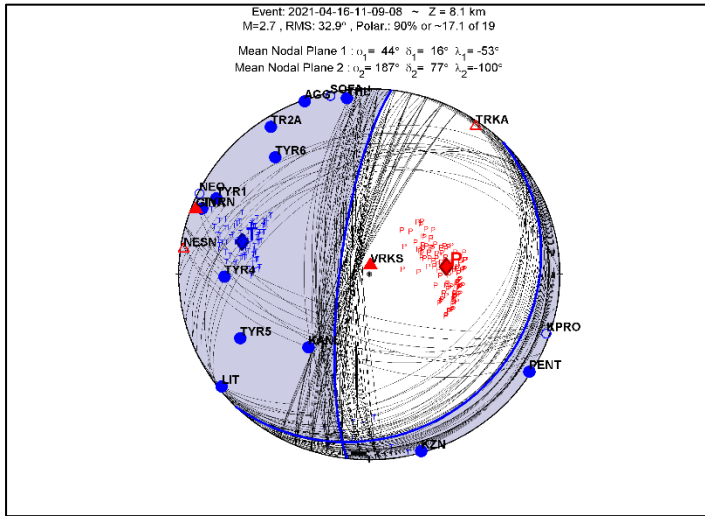
▪ **Event: 2021-04-15 22:11:01, Τύπος διάρρηξης: Κανονικό**



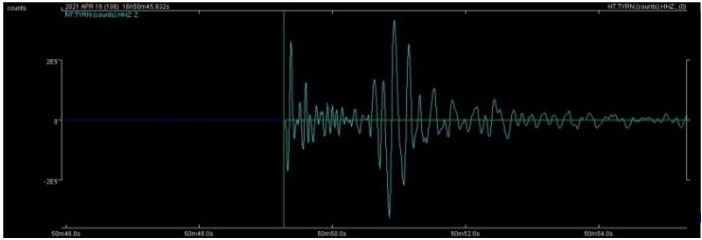
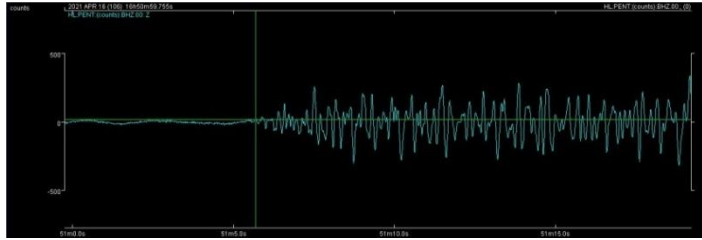
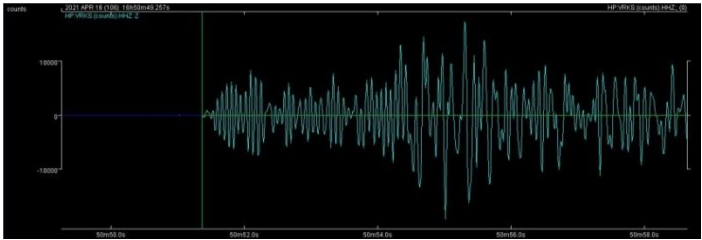
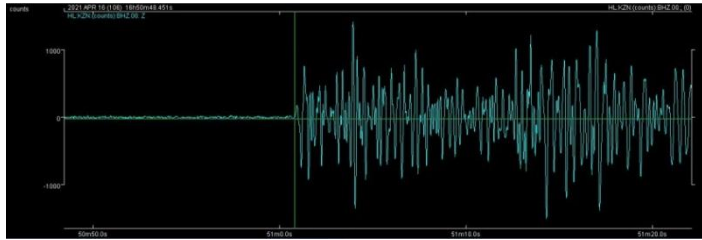
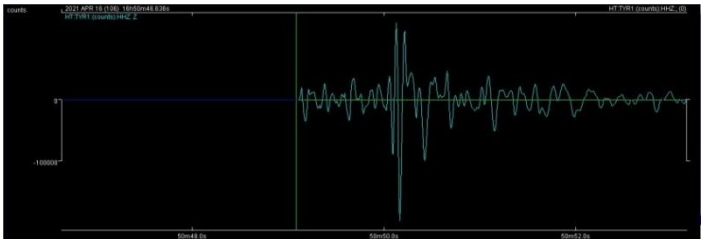
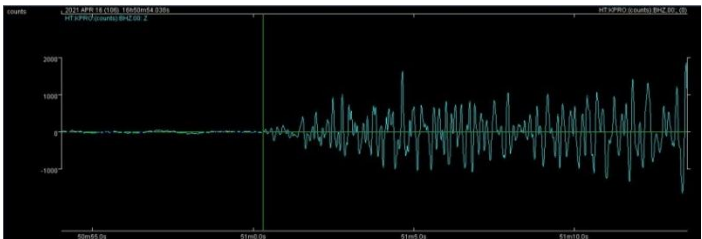
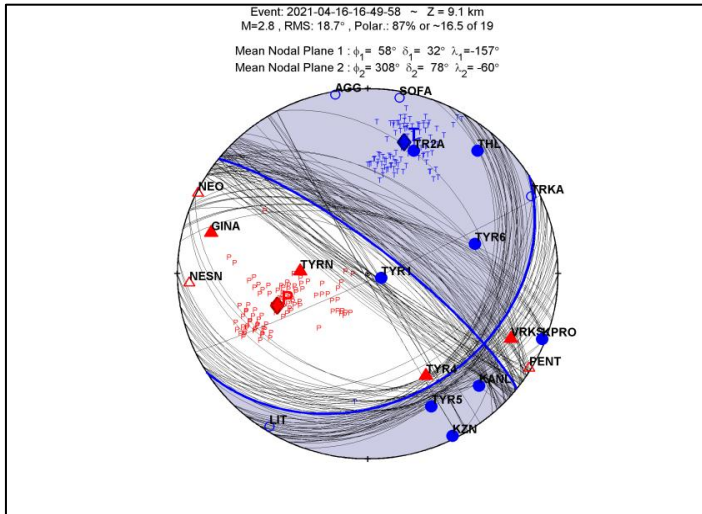
- Event: 2021-04-16 07:51:28, Τύπος διάρρηξης: Πλαγιοκανονικό οριζόντιας ολίσθησης, δεξιόστροφο



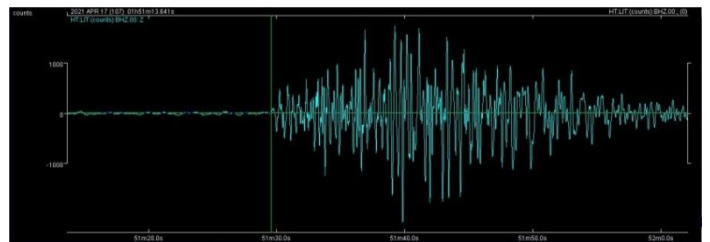
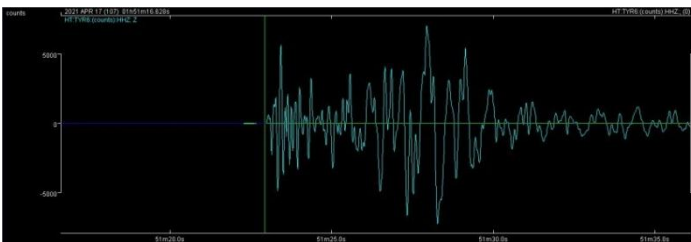
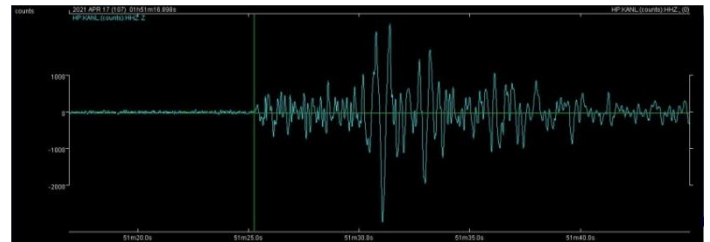
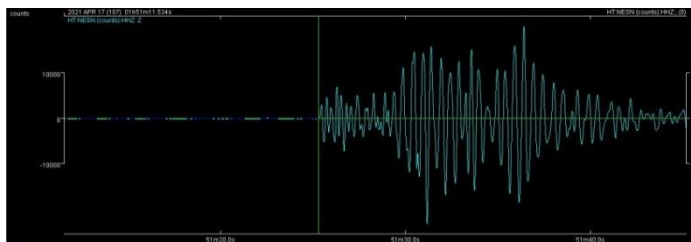
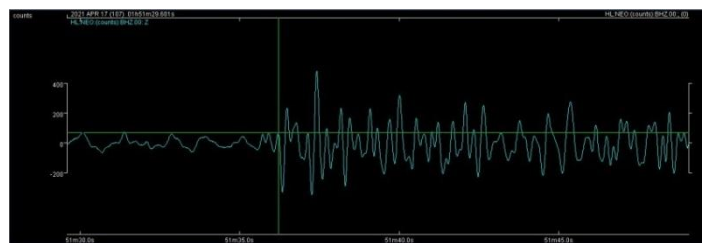
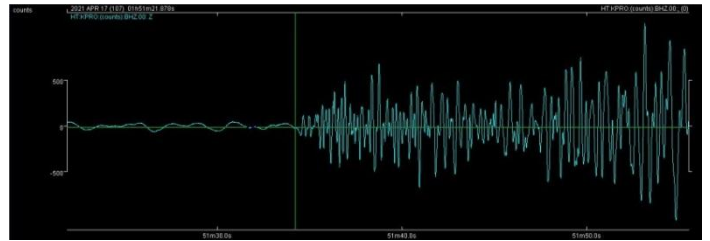
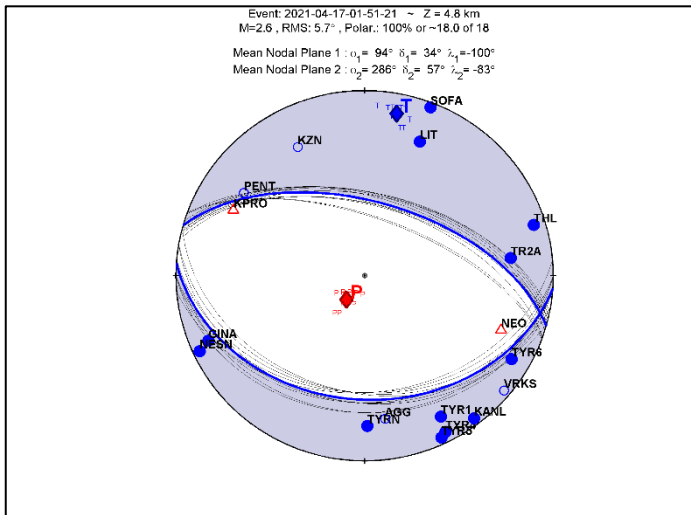
- **Event: 2021-04-16 11:09:08, Τύπος διάρρηξης: Πλαγιοκανονικό οριζόντιας ολίσθησης,, αριστερόστροφο**



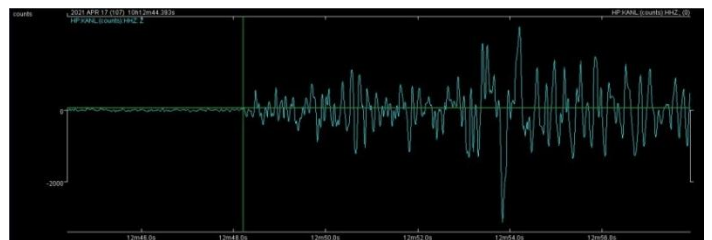
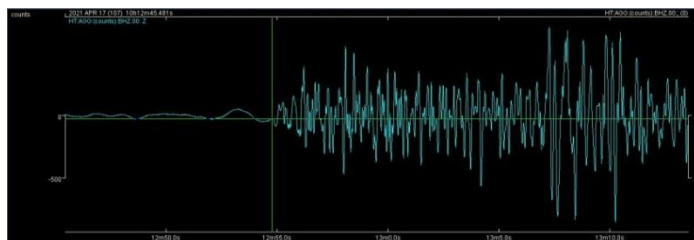
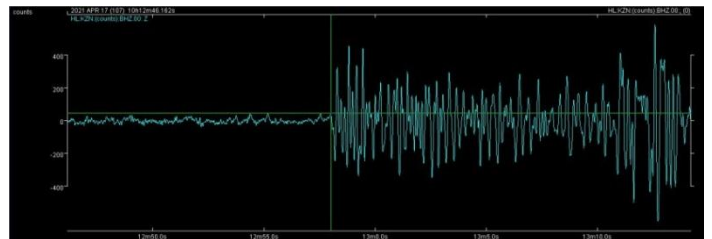
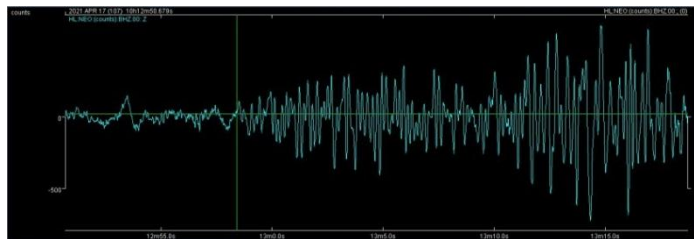
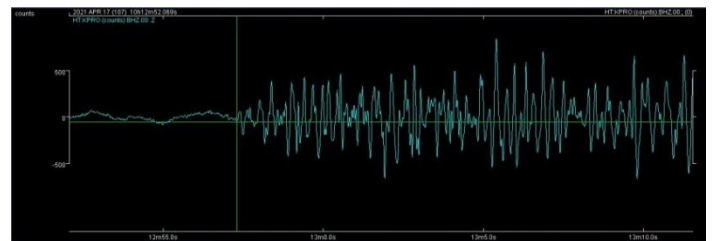
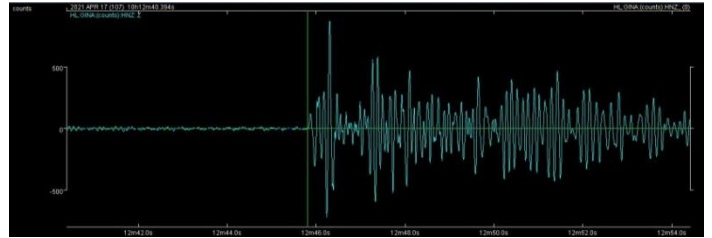
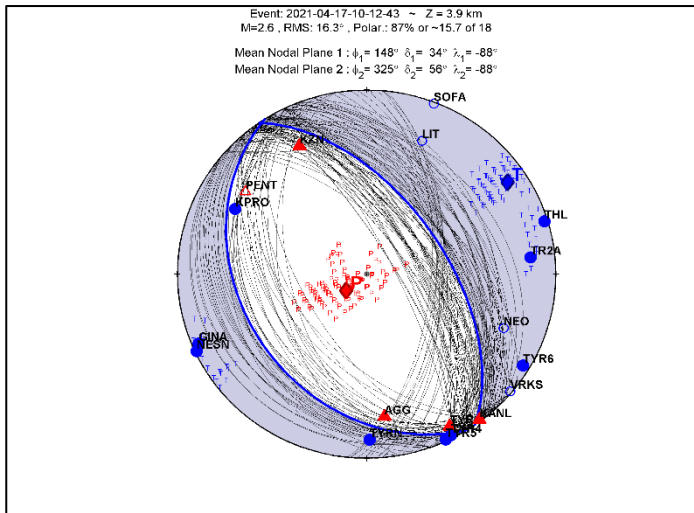
- Event: 2021-04-16 16:49:58, Τύπος διάρρηξης: Πλαγιοκανονικό οριζόντιας ολίσθησης, δεξιόστροφο



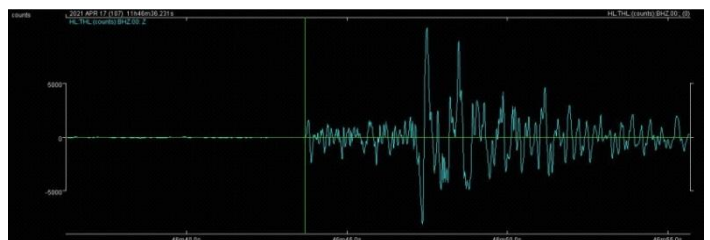
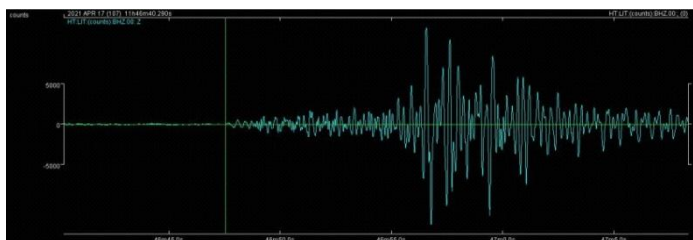
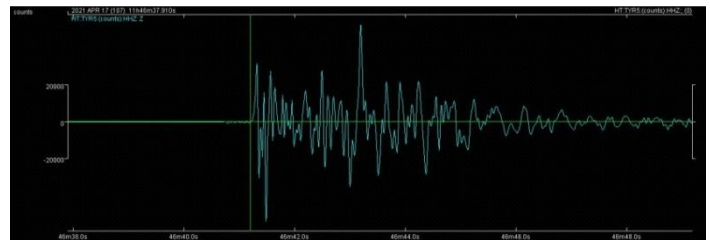
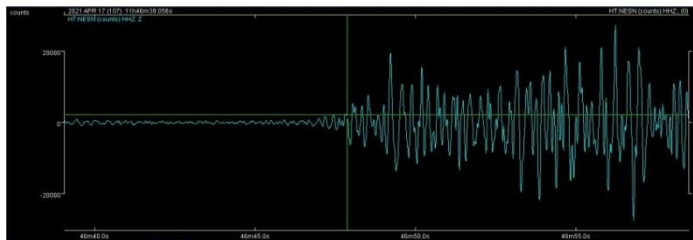
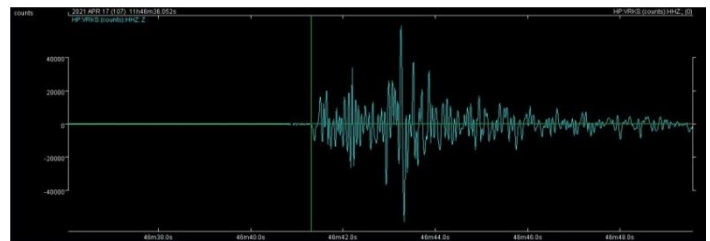
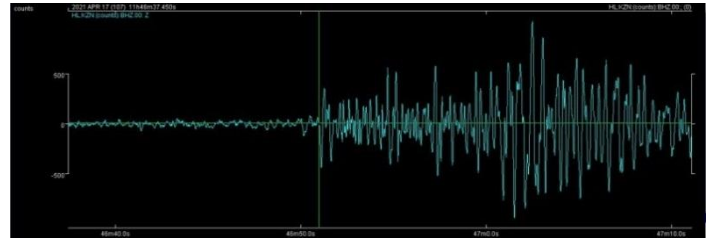
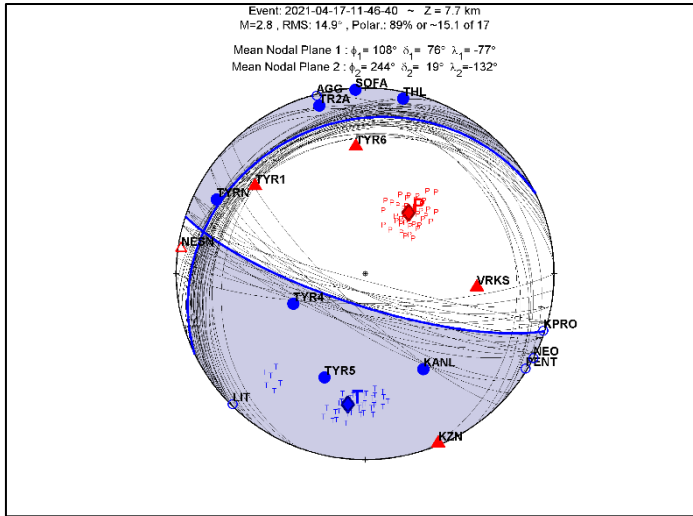
▪ **Event: 2021-04-17 01:51:21, Τύπος διάρρηξης: Κανονικό**



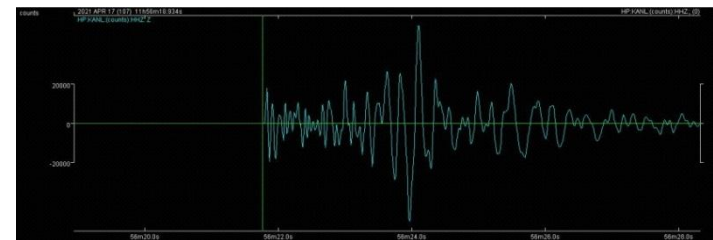
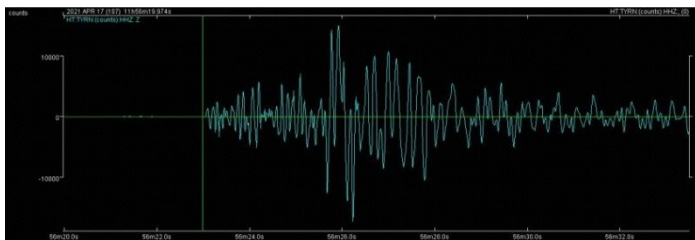
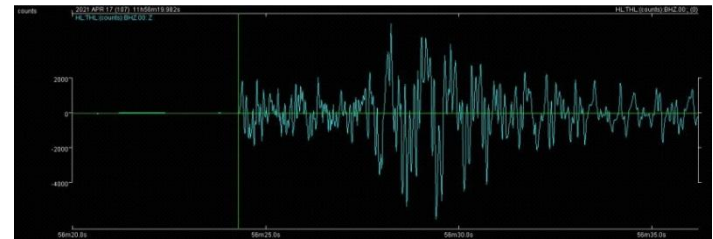
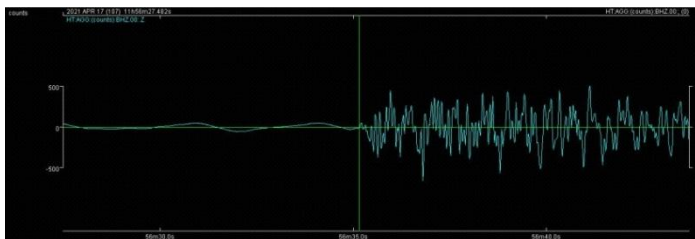
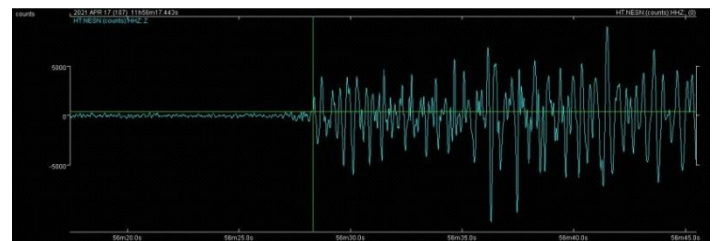
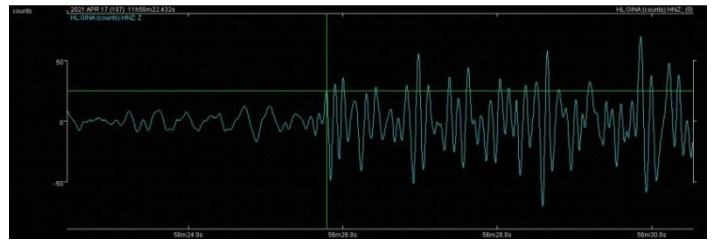
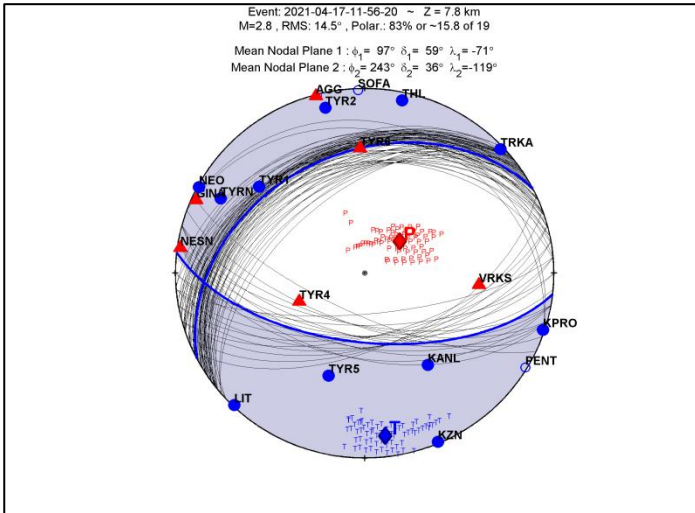
▪ **Event: 2021-04-17 10:12:43, Τύπος διάρρηξης: Κανονικό**



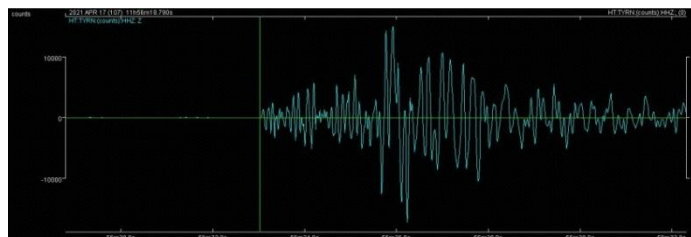
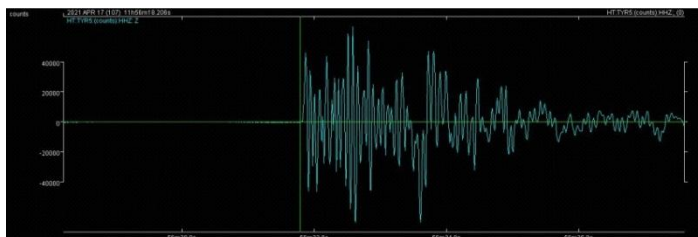
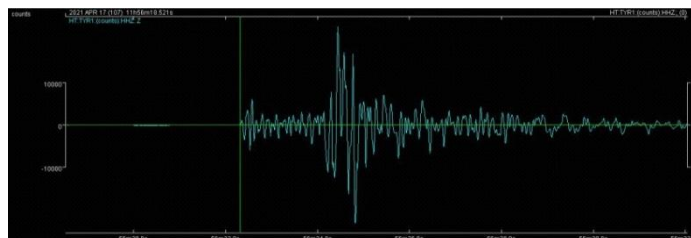
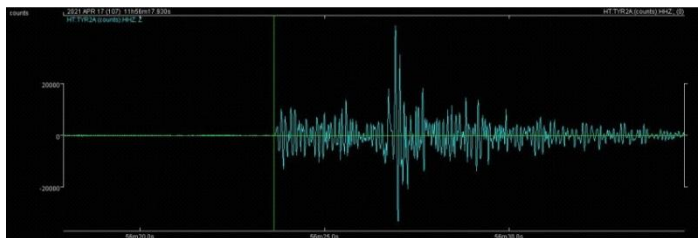
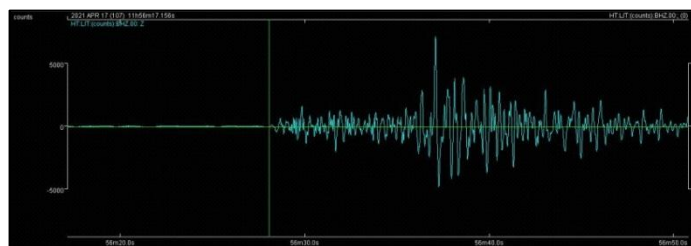
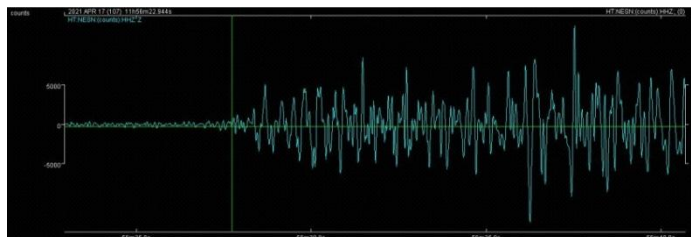
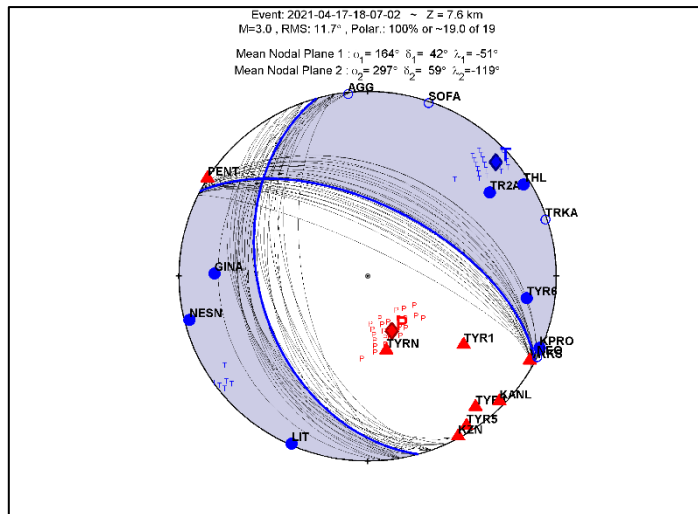
▪ **Event: 2021-04-17 11:46:40, Τύπος διάρρηξης: Κανονικό**



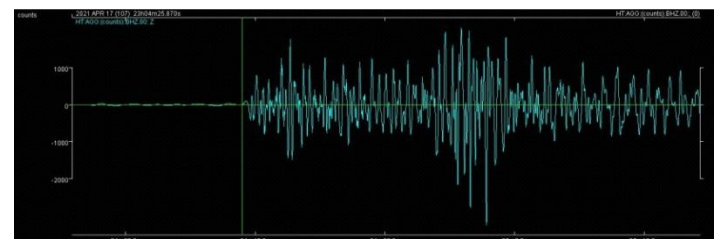
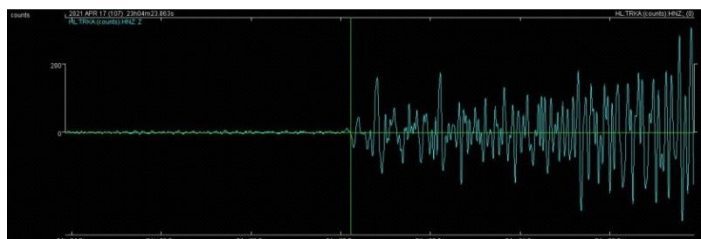
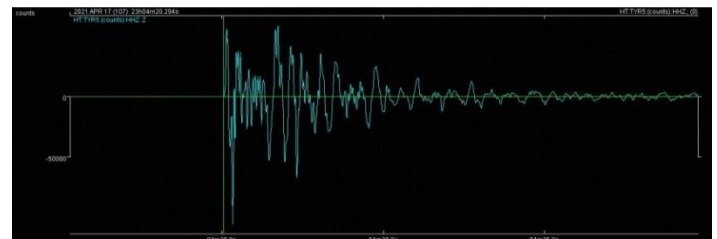
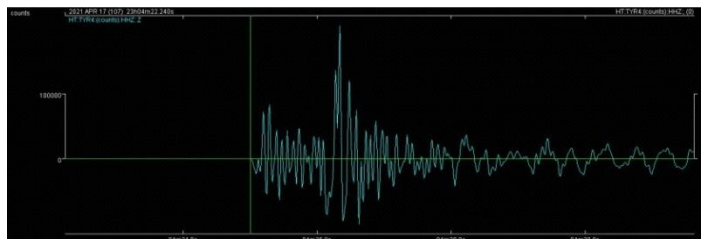
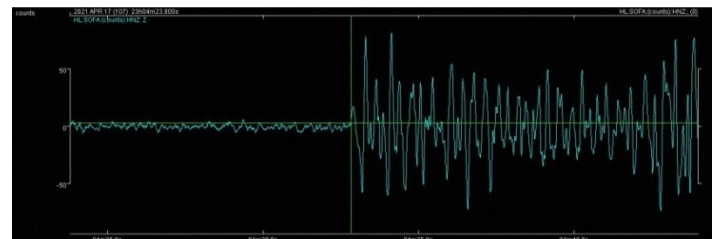
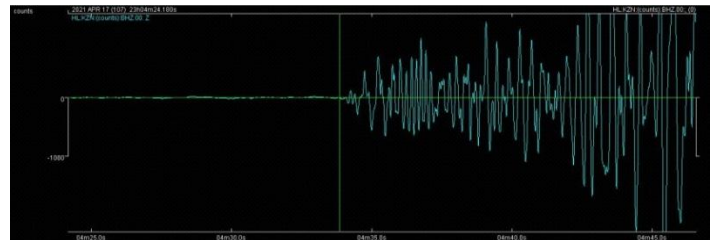
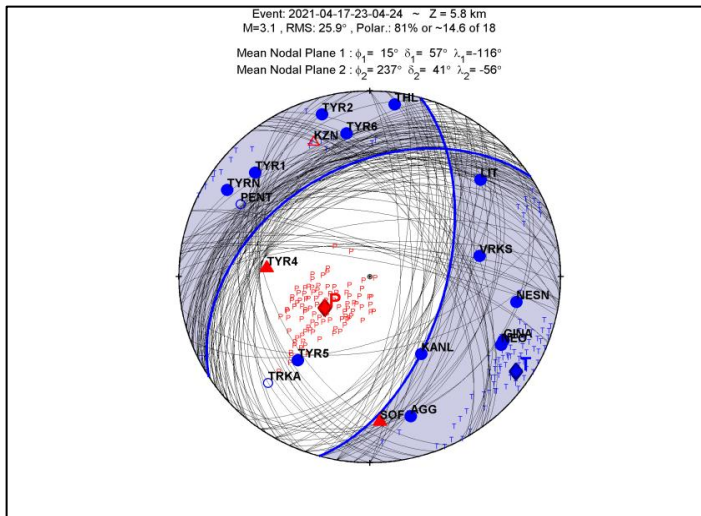
▪ **Event: 2021-04-17 11:56:20, Τύπος διάρρηξης: Κανονικό**



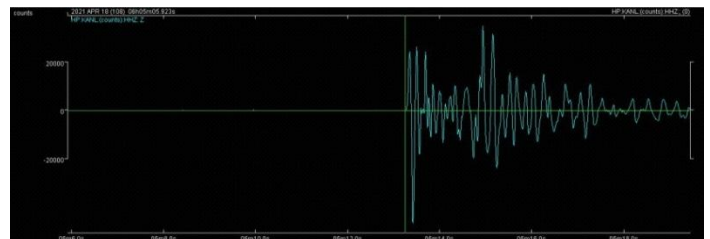
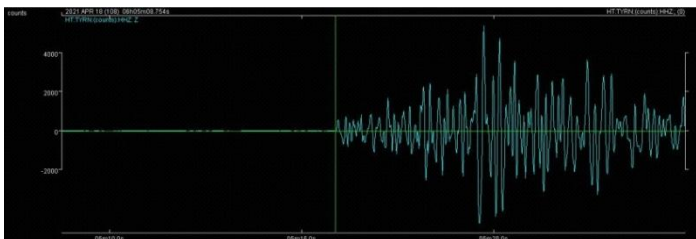
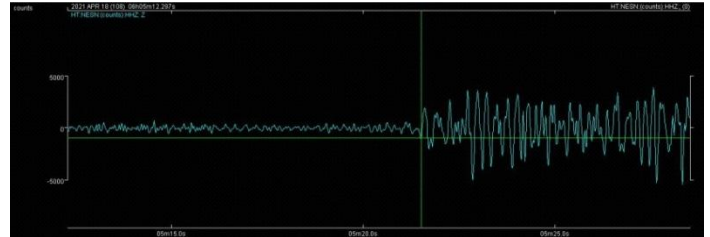
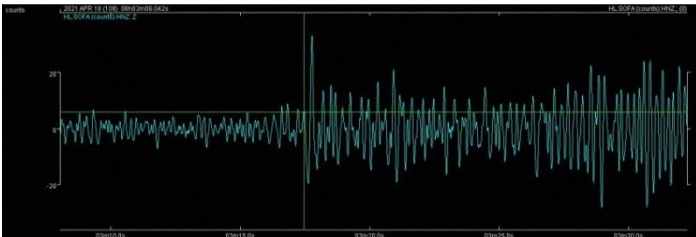
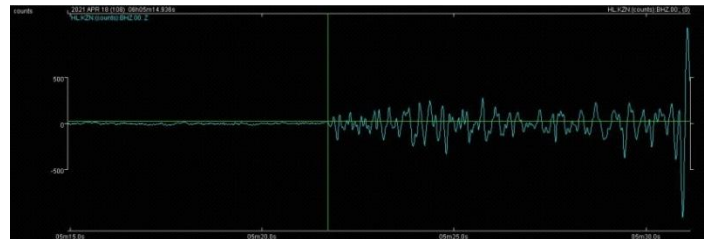
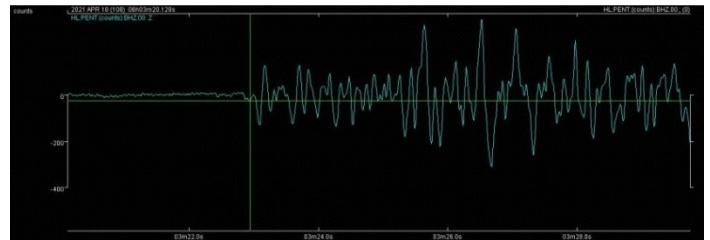
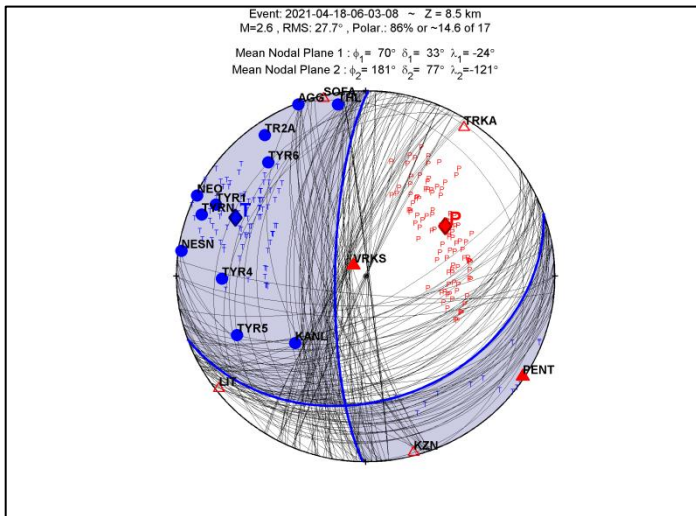
- Event: 2021-04-17 18:07:02, Τύπος διάρρηξης: Πλαγιοκανονικό οριζόντιας ολίσθησης, αριστερόστροφο



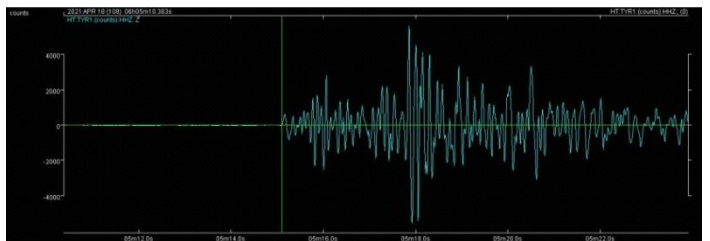
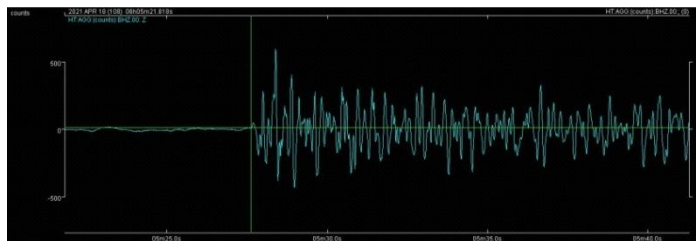
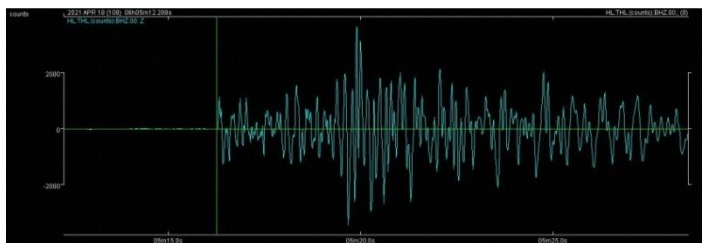
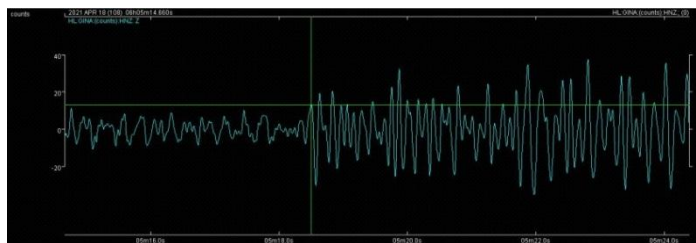
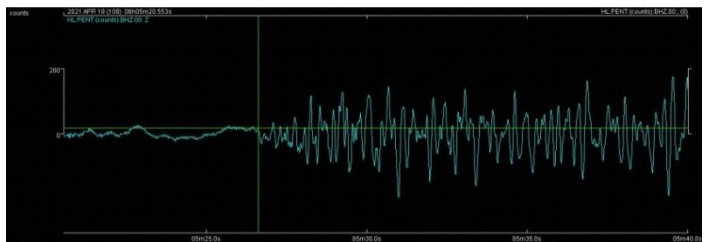
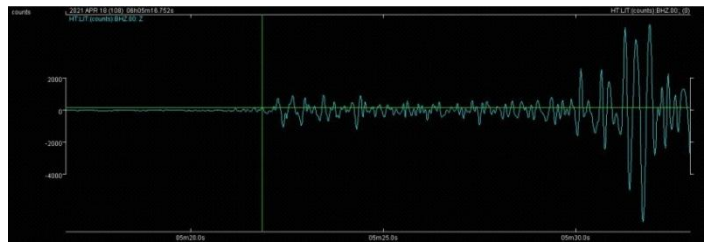
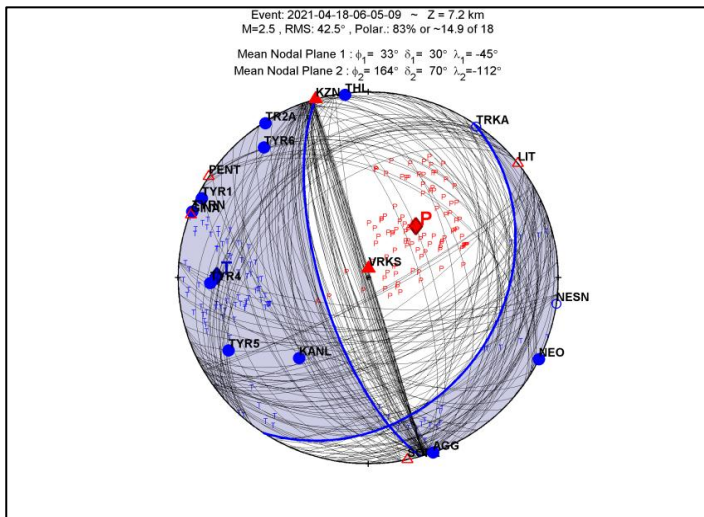
- Event: 2021-04-17 23:04:24, Τύπος διάρρηξης: Πλαγιοκανονικό οριζόντιας ολίσθησης, δεξιόστροφο



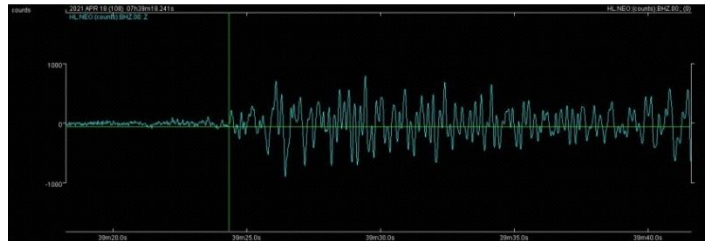
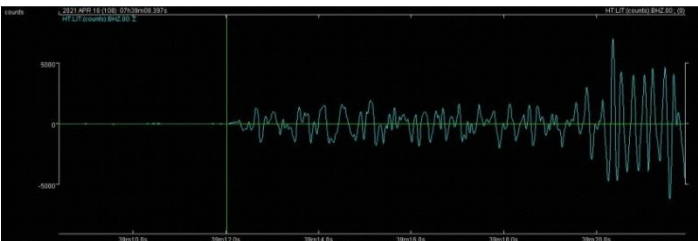
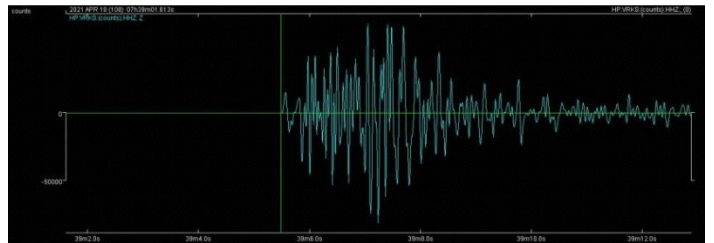
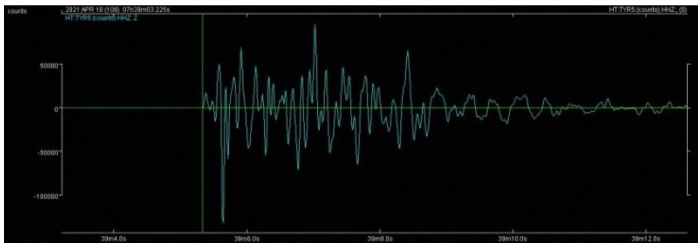
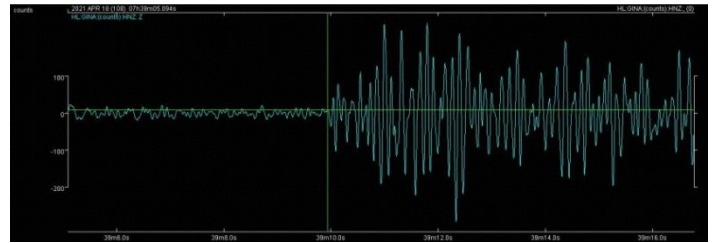
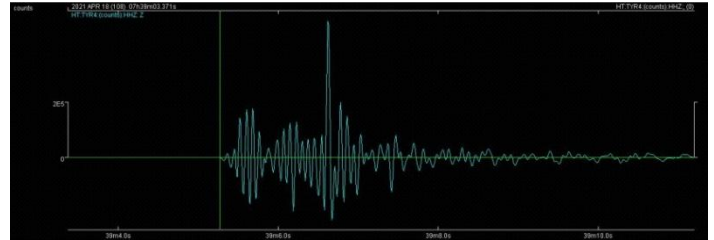
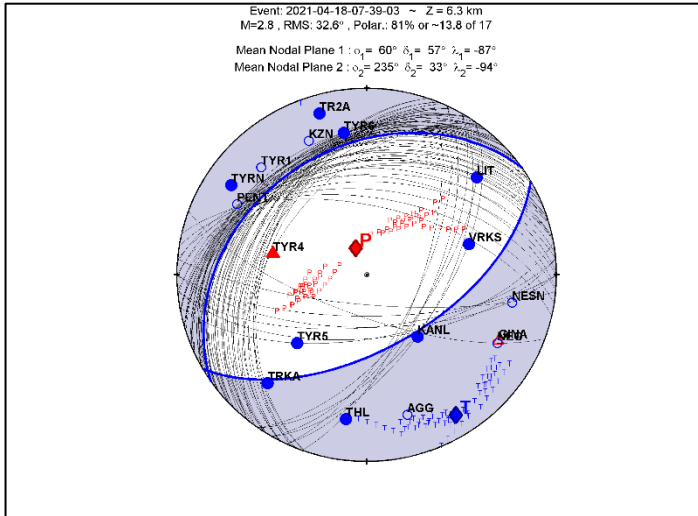
- Event: 2021-04-18 06:03:08, Τύπος διάρρηξης: Πλαγιοκανονικό οριζόντιας ολίσθησης, αριστερόστροφο



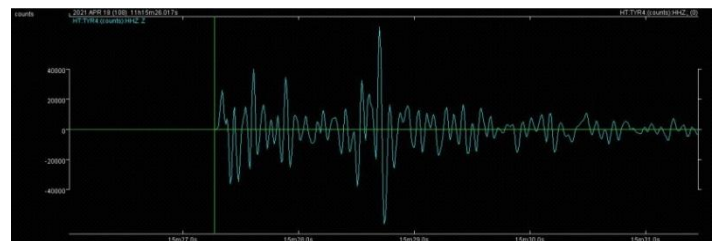
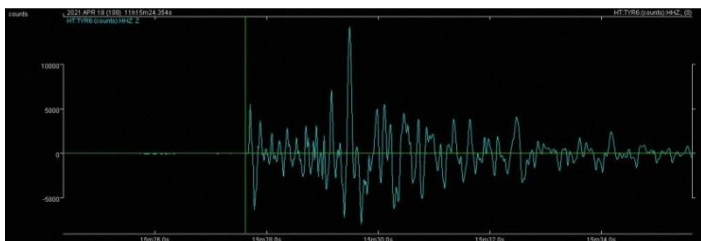
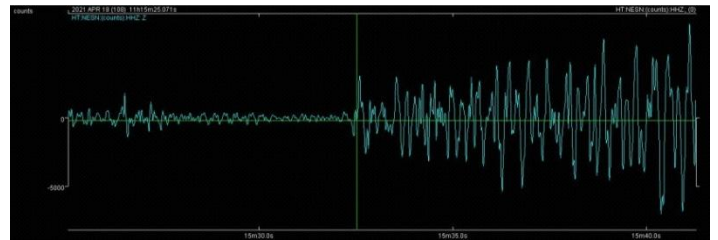
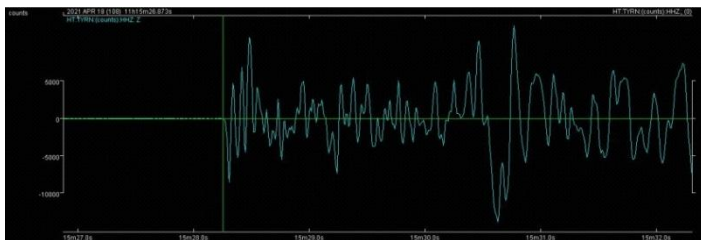
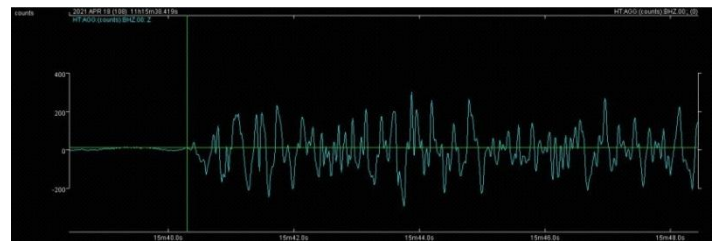
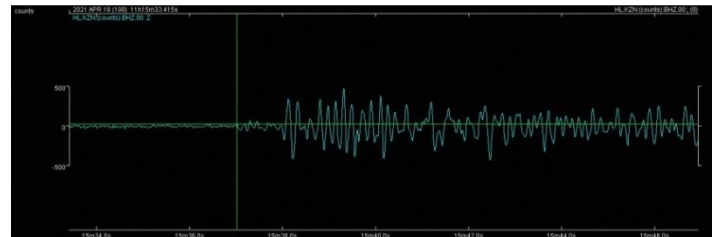
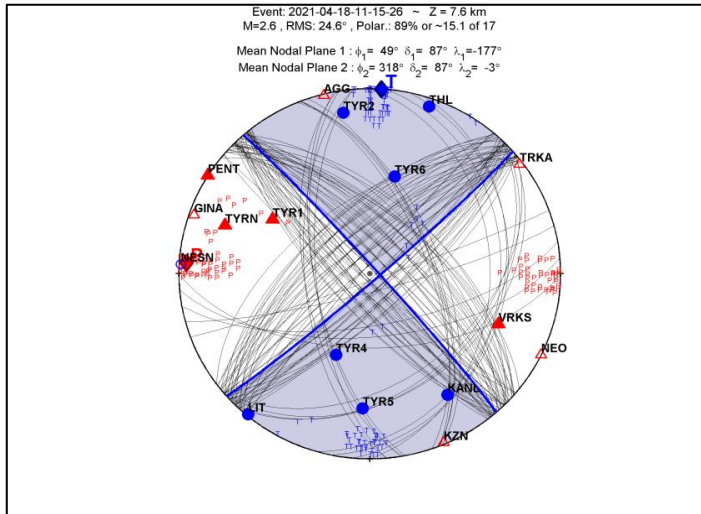
- Event: 2021-04-18 06:05:09, Τύπος διάρρηξης: Πλαγιοκανονικό οριζόντιας ολίσθησης, αριστερόστροφο



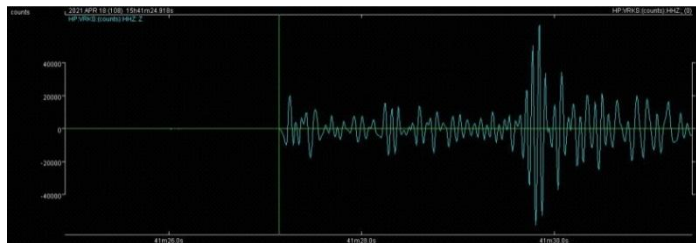
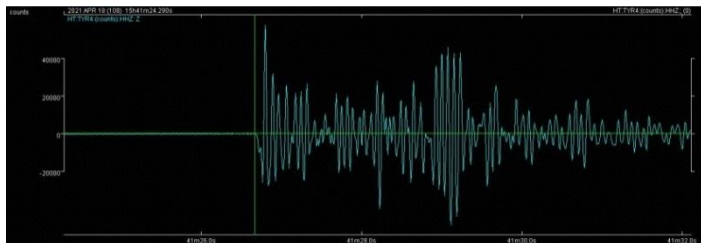
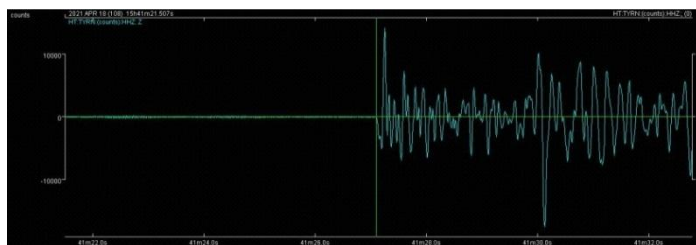
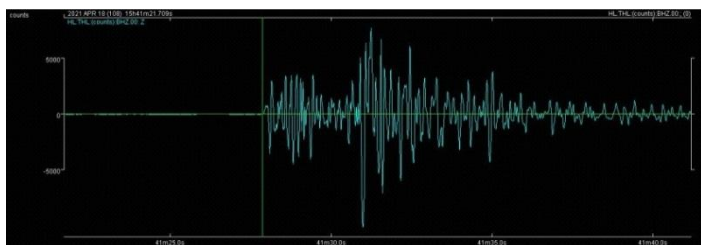
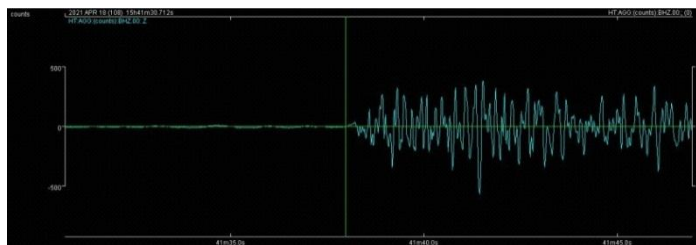
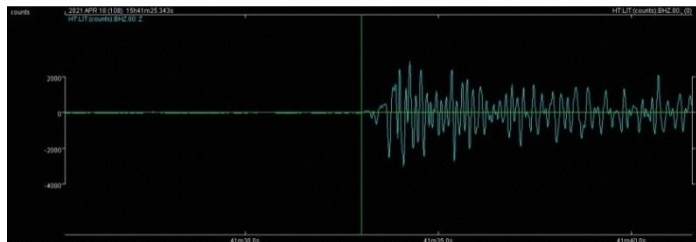
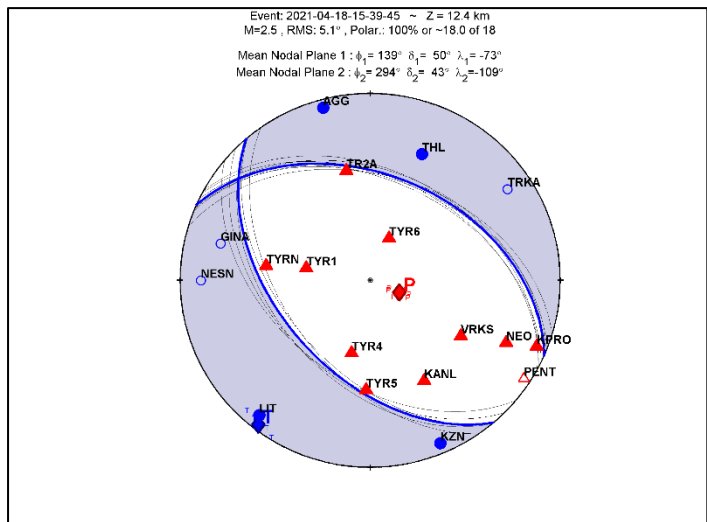
▪ **Event: 2021-04-18 07:39:03, Τύπος διάρρηξης: Κανονικό**



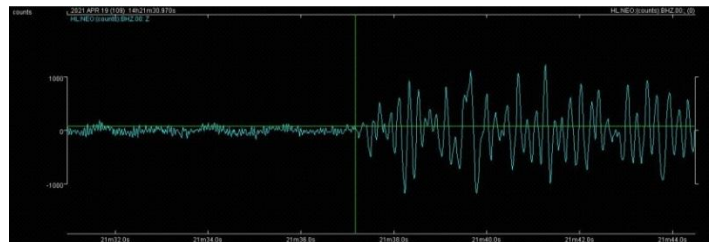
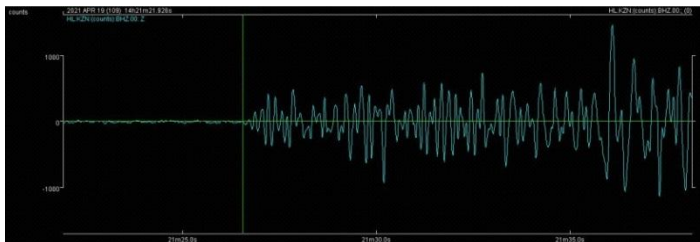
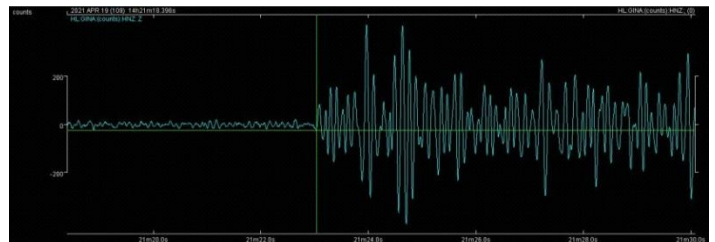
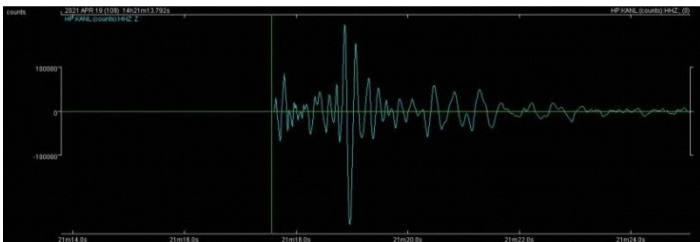
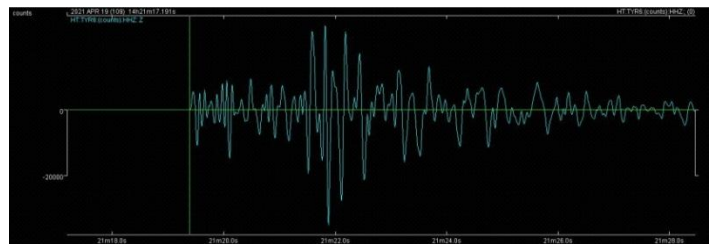
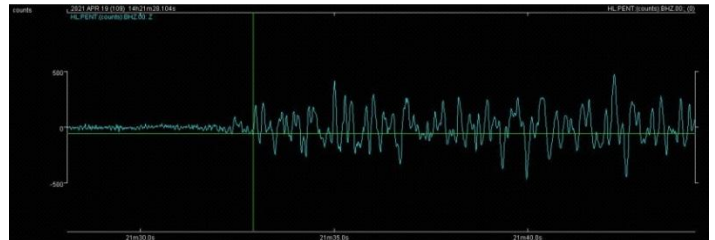
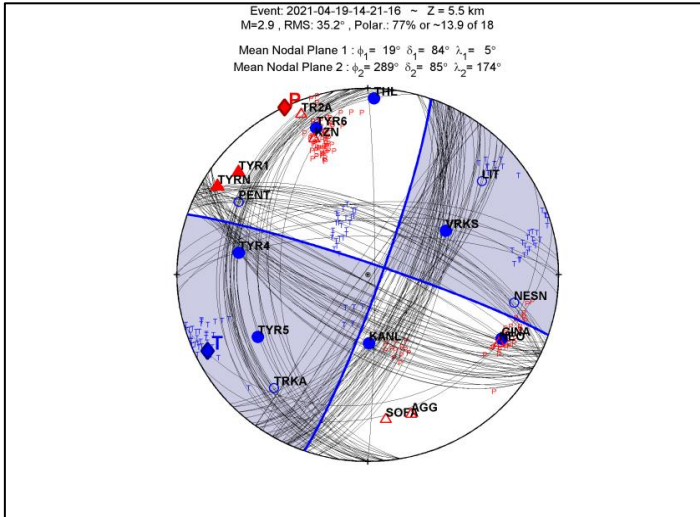
▪ **Event: 2021-04-18 11:15:26, Τύπος διάρρηξης: Οριζόντιας ολίσθησης, δεξιόστροφο**



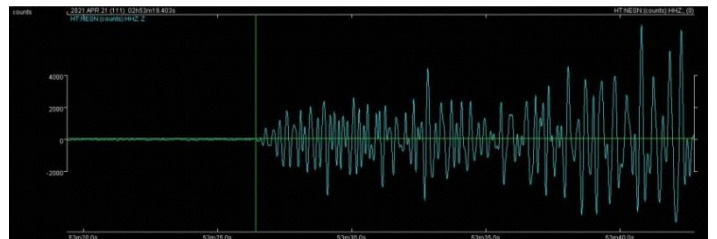
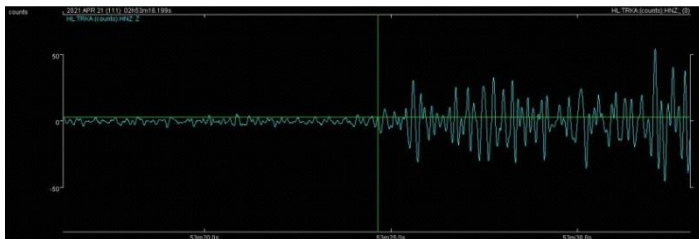
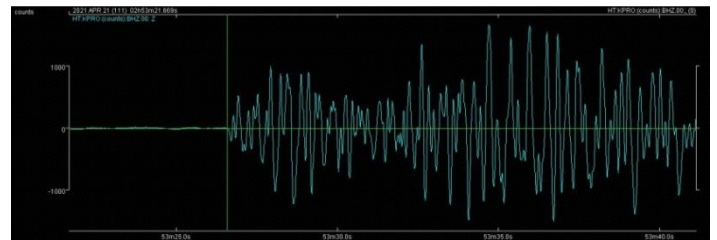
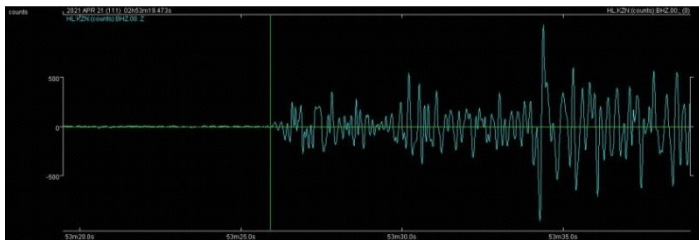
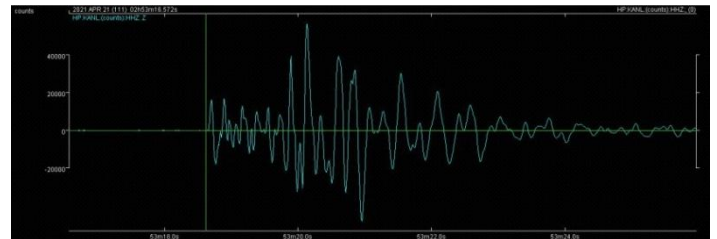
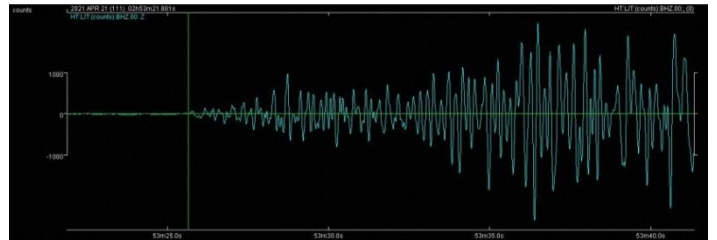
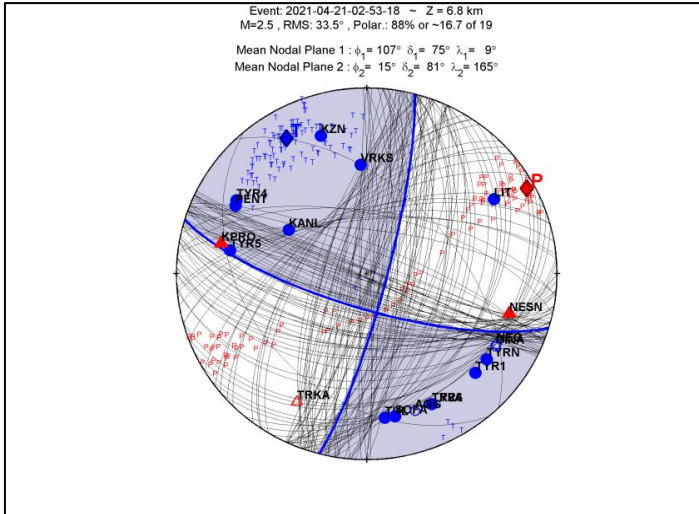
▪ **Event: 2021-04-18 15:39:45, Τύπος διάρρηξης: Κανονικό**



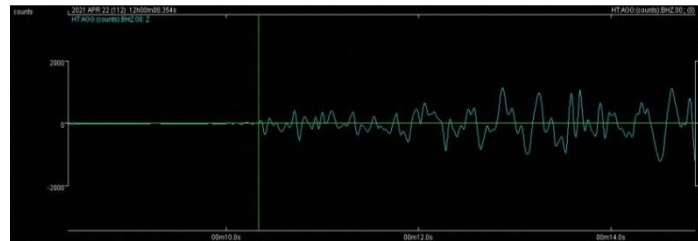
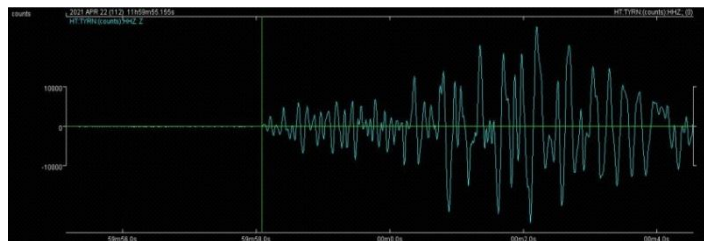
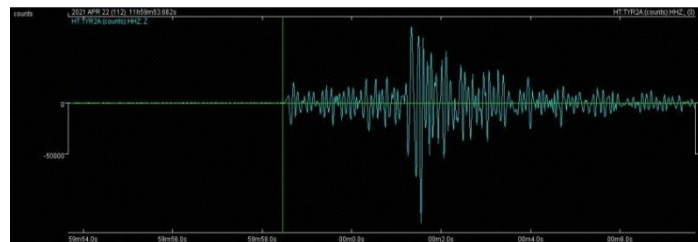
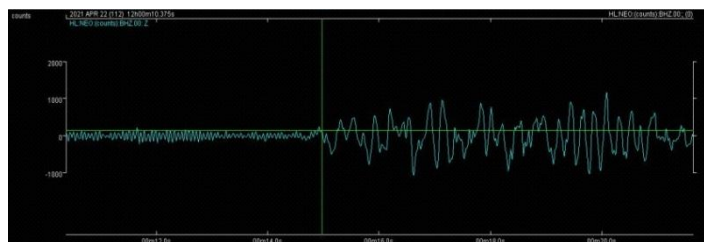
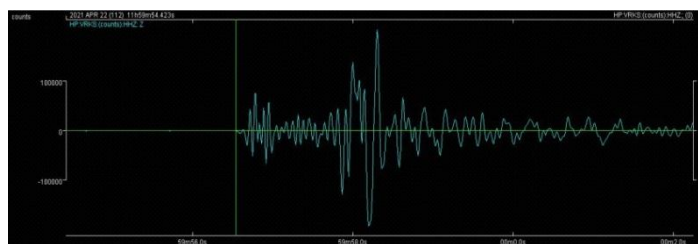
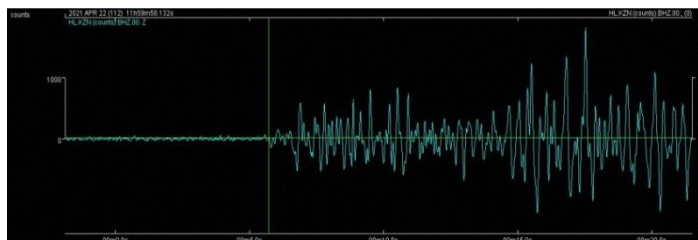
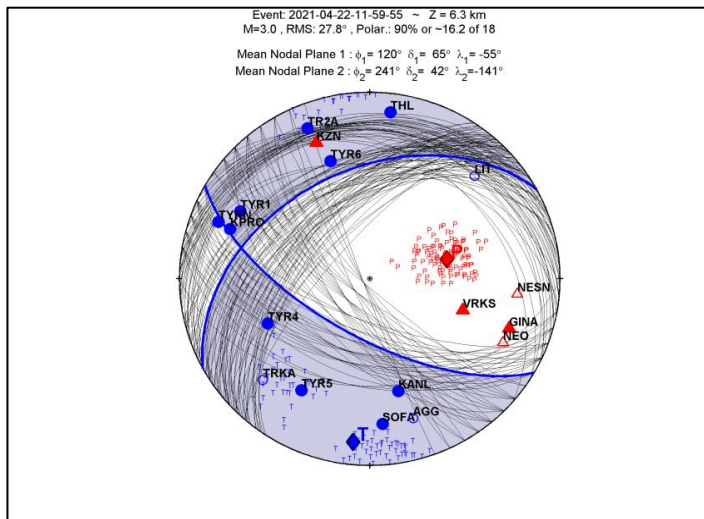
■ **Event: 2021-04-19 14:21:16, Τύπος διάρρηξης: Οριζόντιας ολίσθησης**



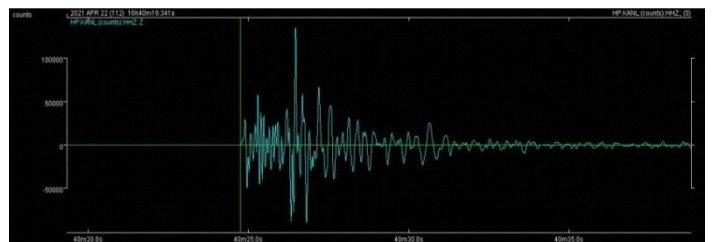
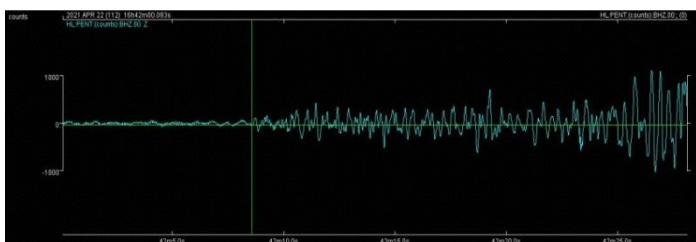
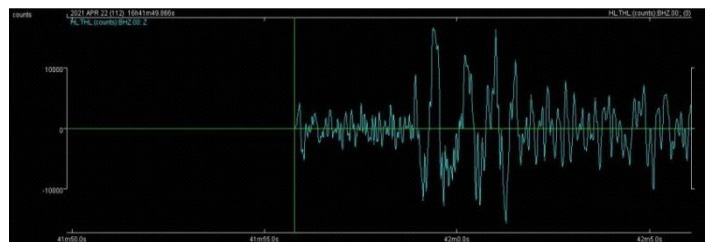
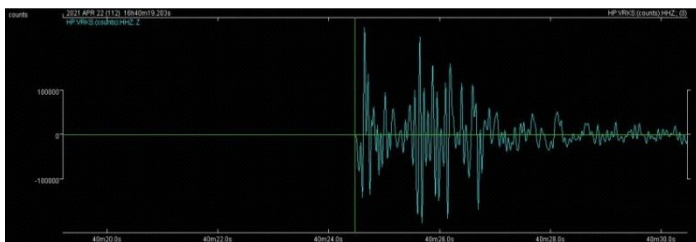
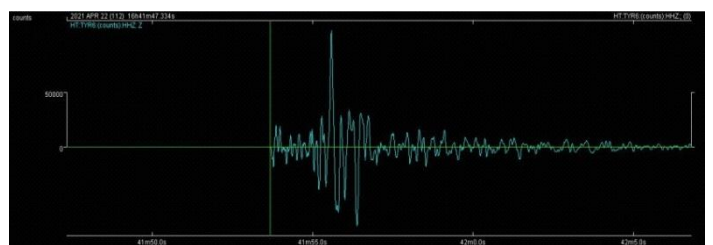
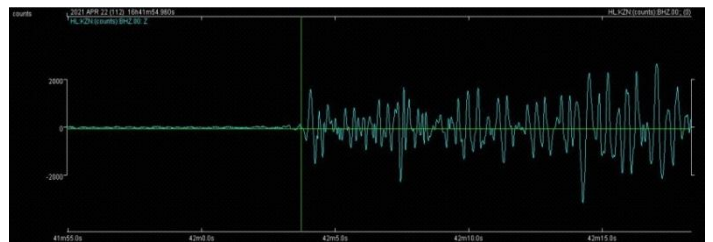
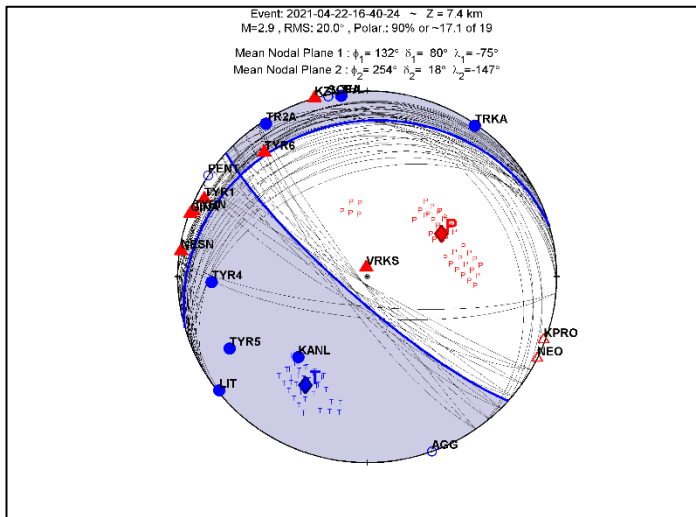
▪ **Event: 2021-04-21 02:53:18, Τύπος διάρρηξης: Οριζόντιας ολίσθησης**



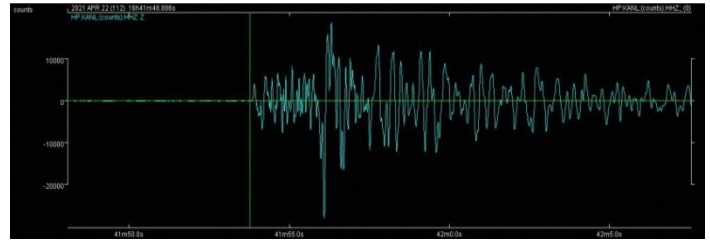
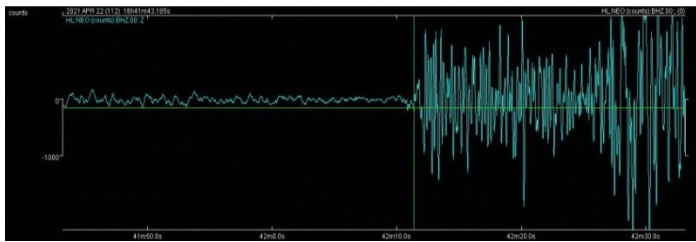
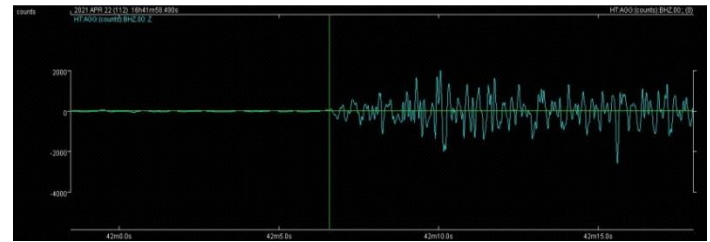
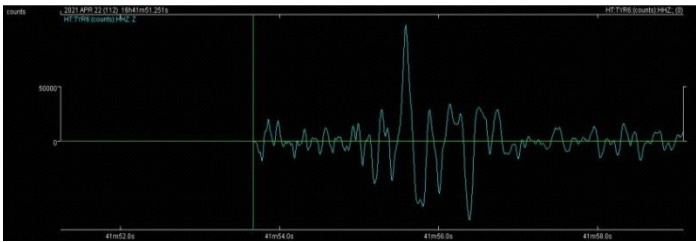
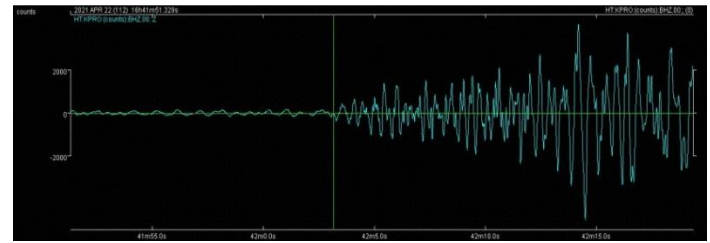
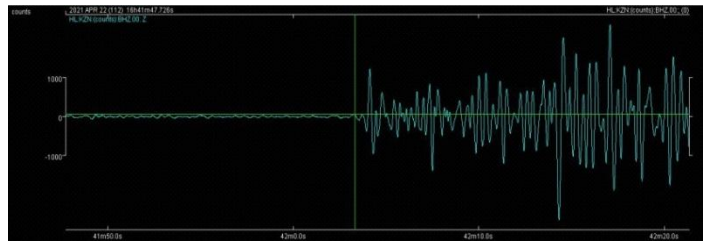
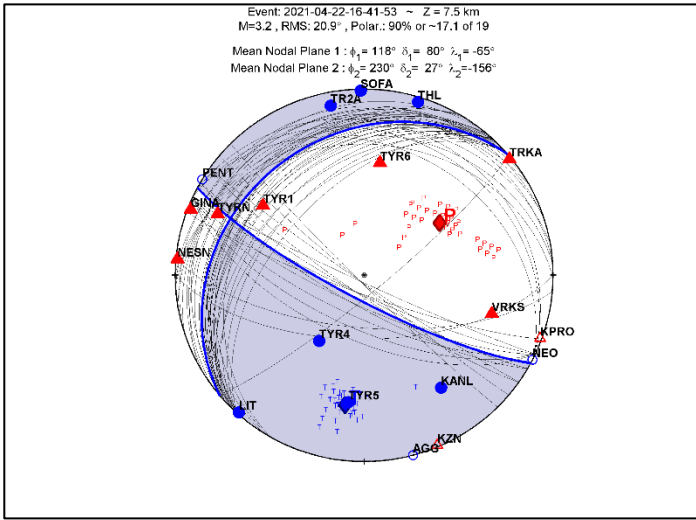
- Event: 2021-04-22 11:59:55, Τύπος διάρρηξης: Πλαγιοκανονικό οριζόντιας ολίσθησης, αριστερόστροφο



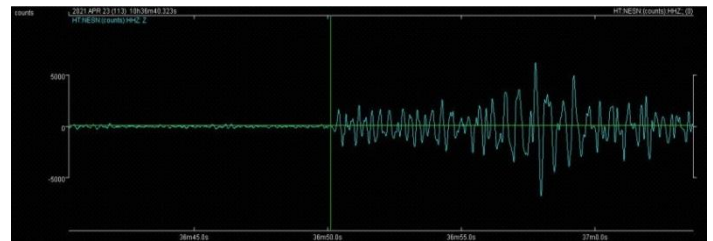
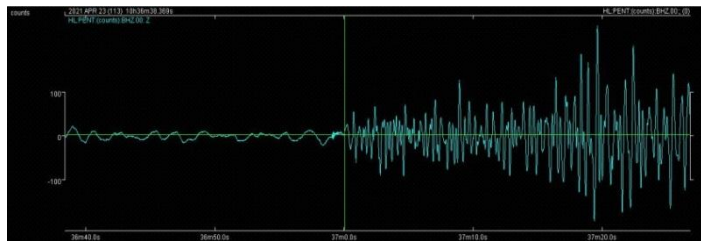
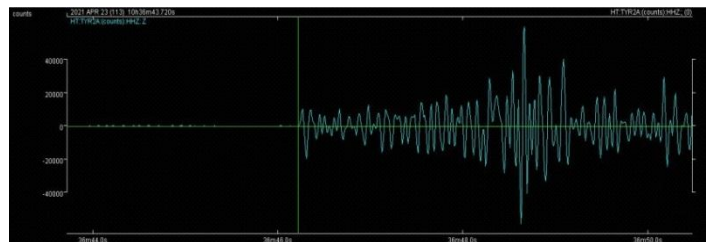
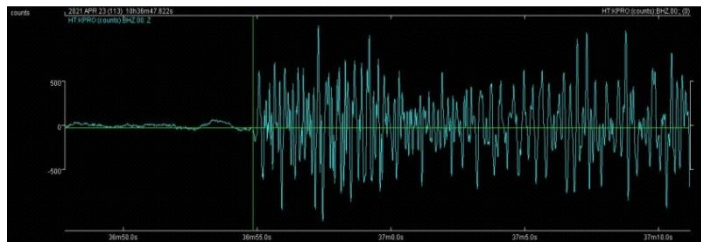
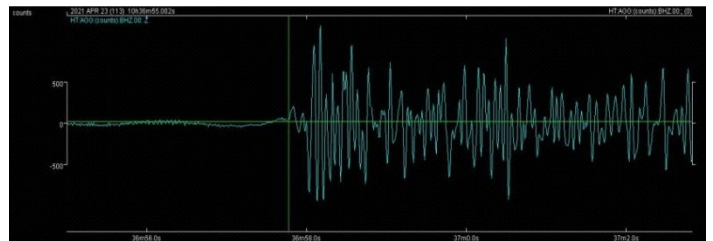
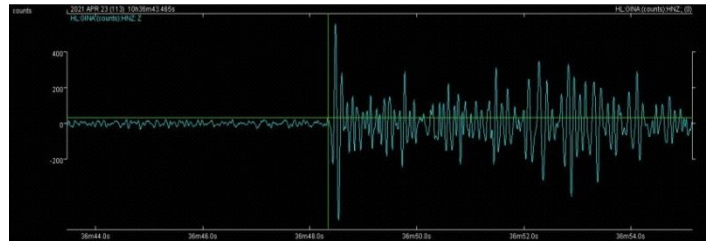
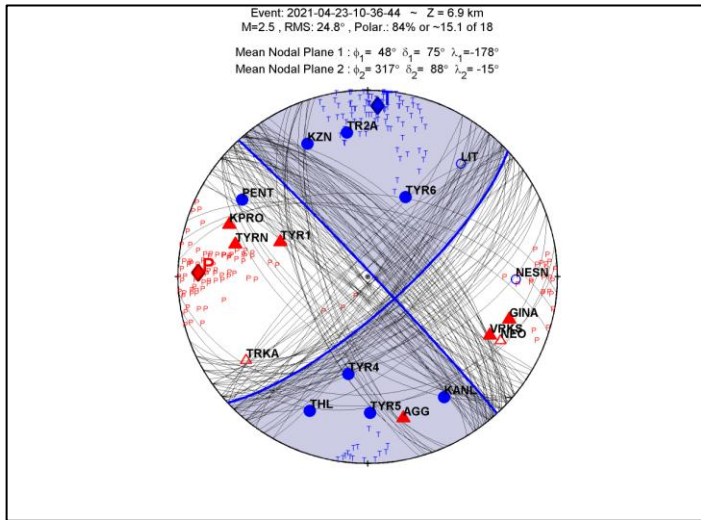
▪ **Event: 2021-04-22 16:40:24, Τύπος διάρρηξης: Κανονικό**



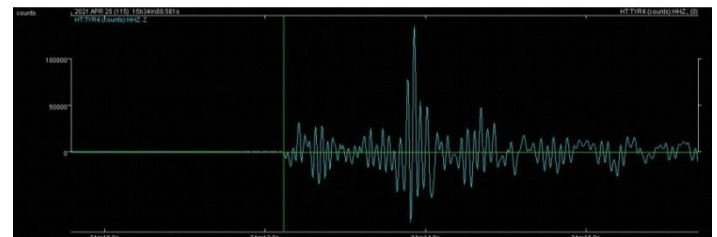
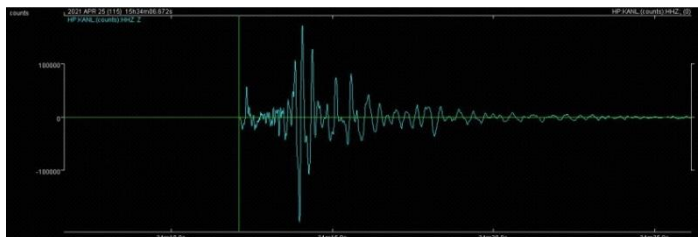
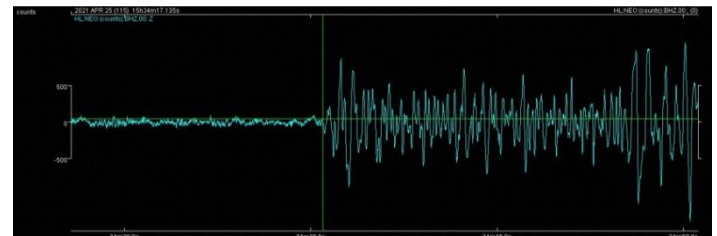
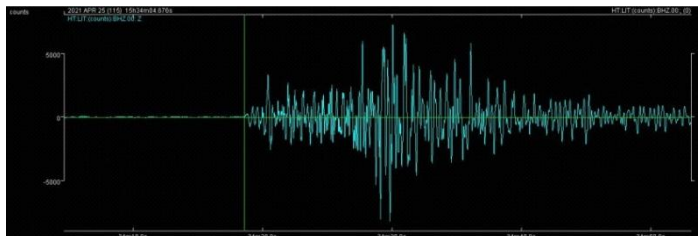
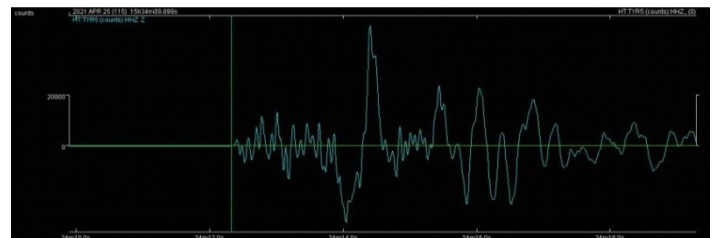
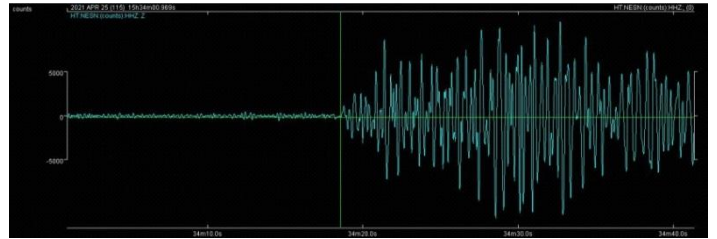
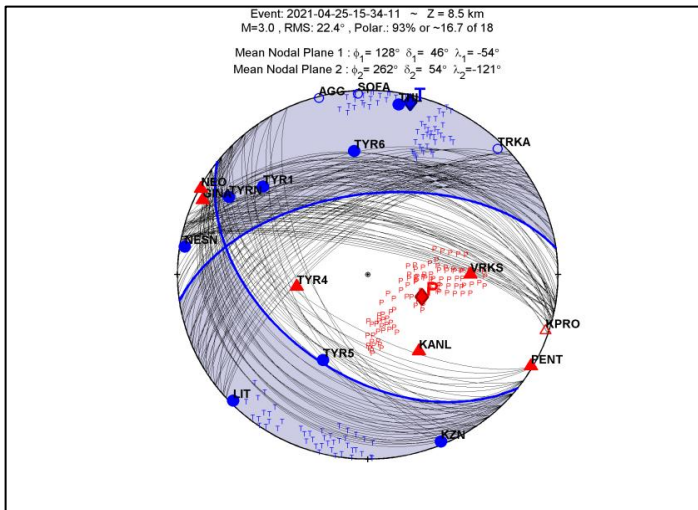
- Event: 2021-04-22 16:41:53, Τύπος διάρρηξης: Πλαγιοκανονικό οριζόντιας ολίσθησης, δεξιόστροφο



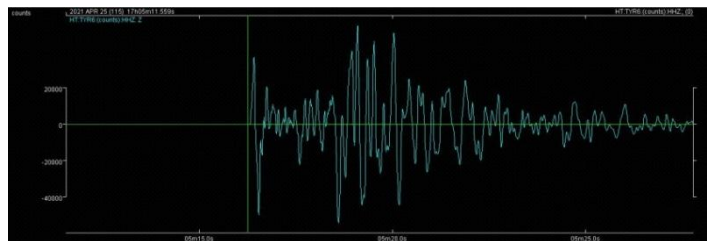
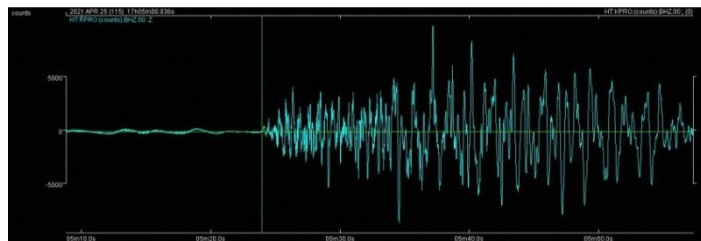
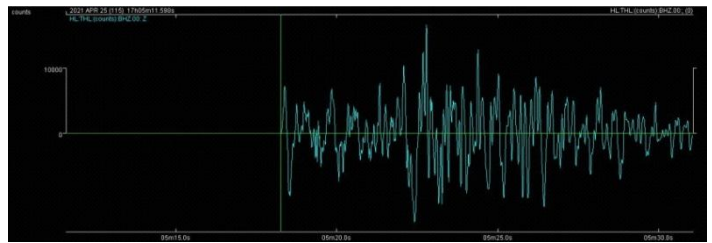
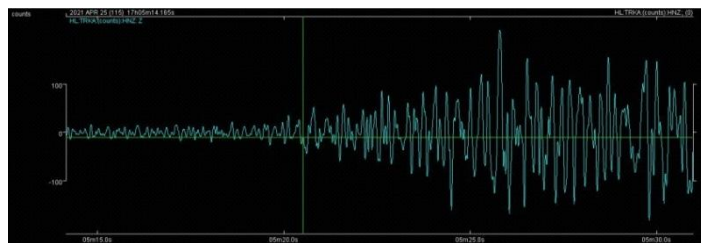
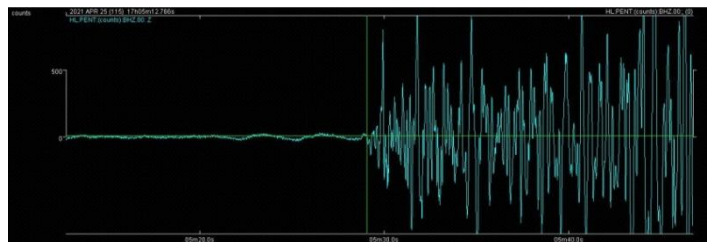
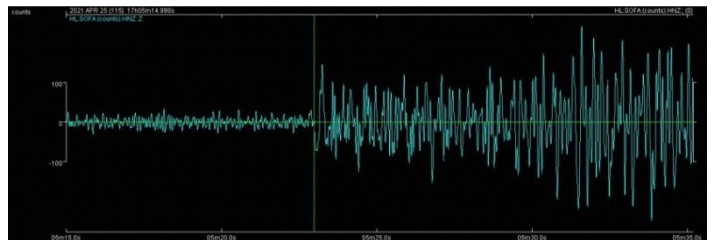
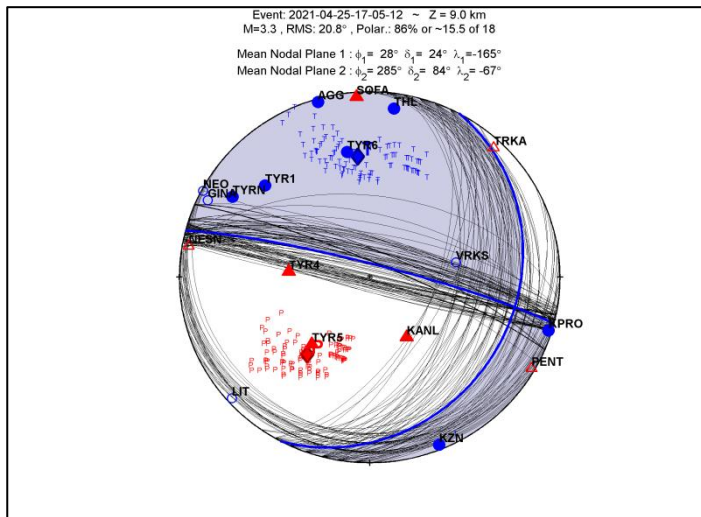
- **Event: 2021-04-23 10:36:44, Τύπος διάρρηξης: Οριζόντιας ολίσθησης, δεξιόστροφο**



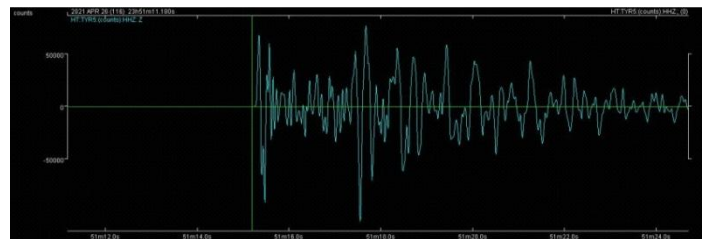
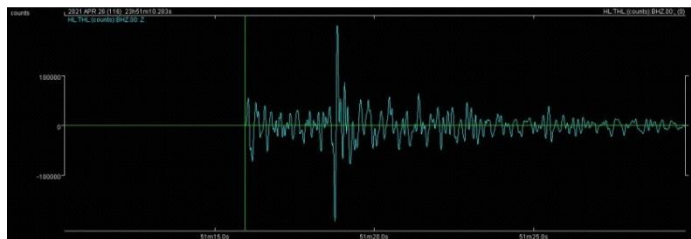
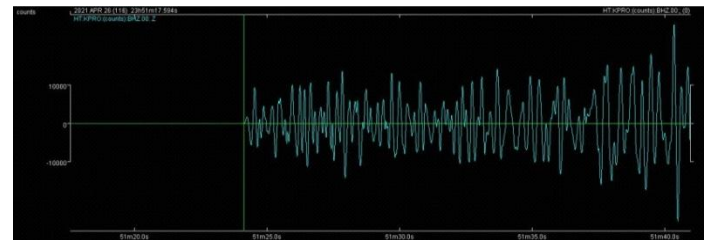
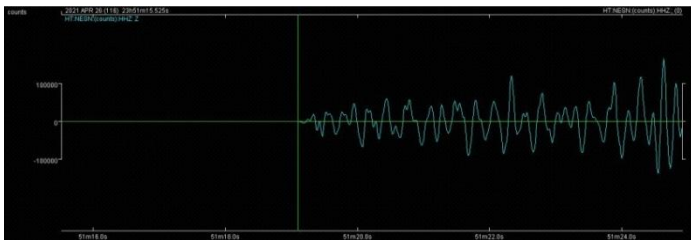
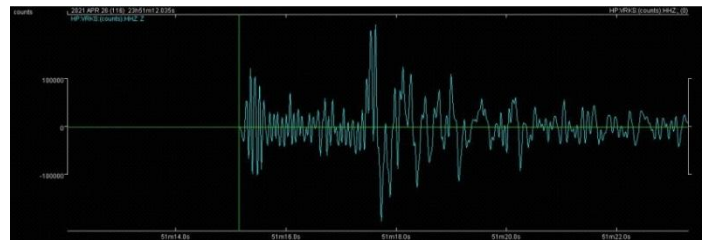
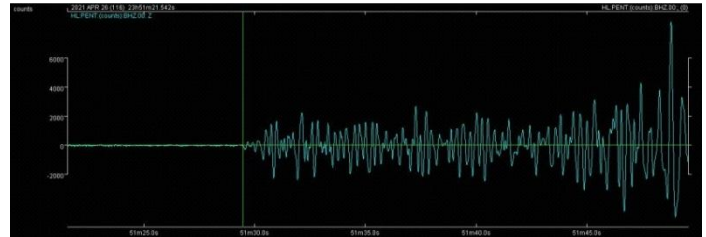
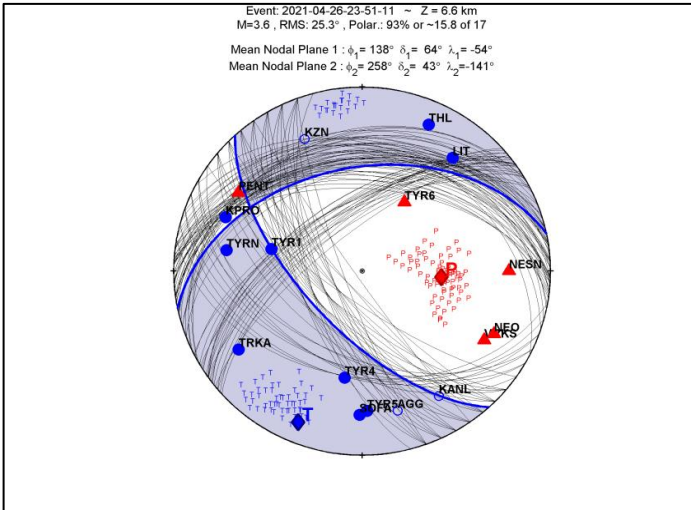
- Event: 202-04-25 15:34:11, Τύπος διάρρηξης: Πλαγιοκανονικό οριζόντιας ολίσθησης, δεξιόστροφο



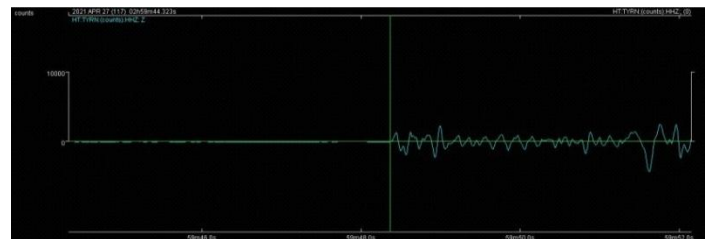
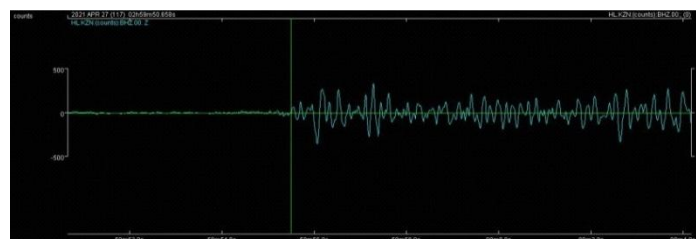
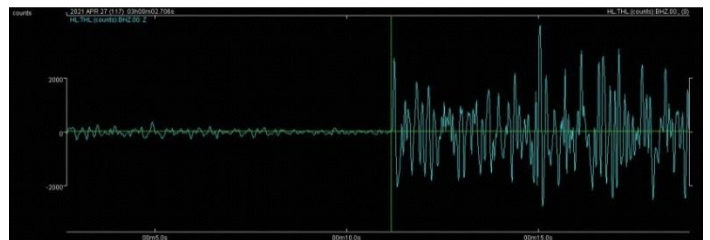
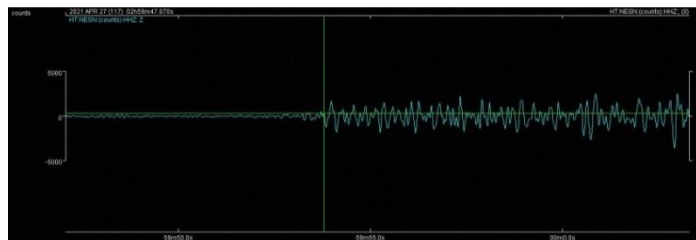
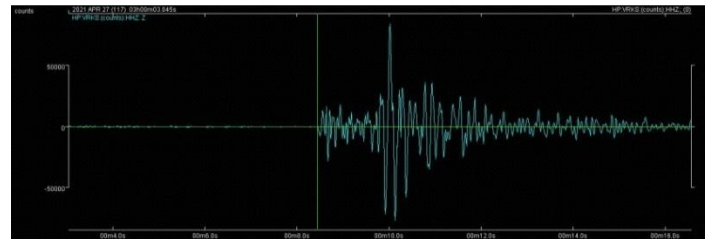
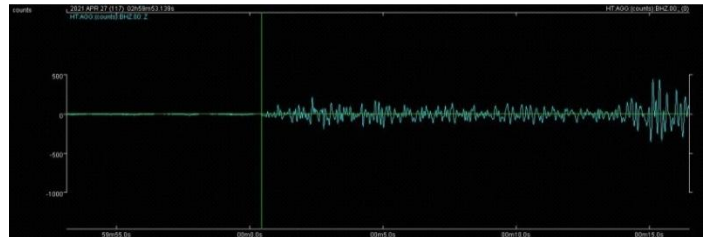
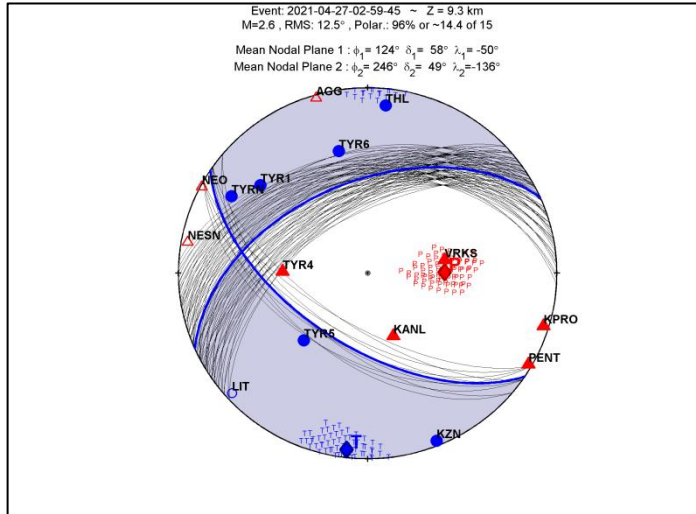
▪ **Event: 2021-04-25 17:05:12, Τύπος διάρρηξης: Οριζόντιας ολίσθησης, δεξιόστροφο**



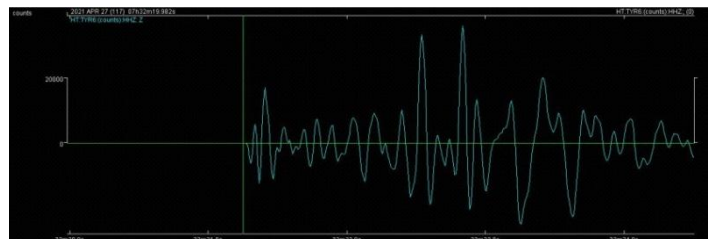
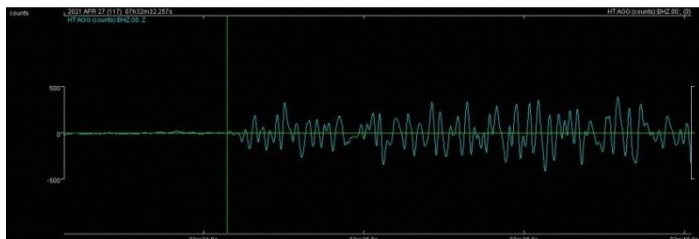
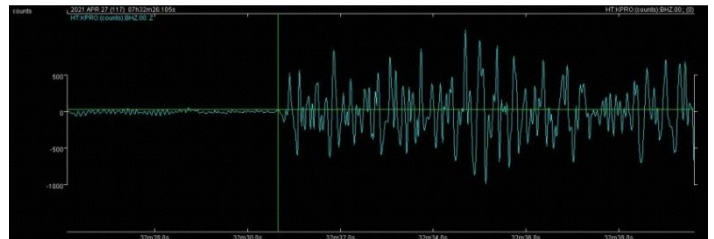
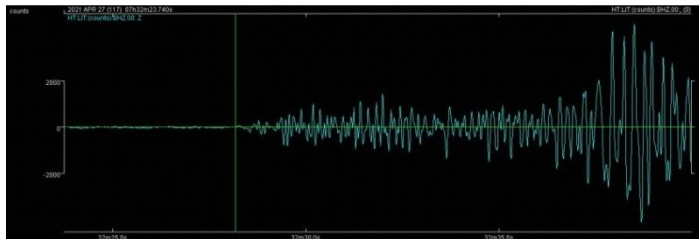
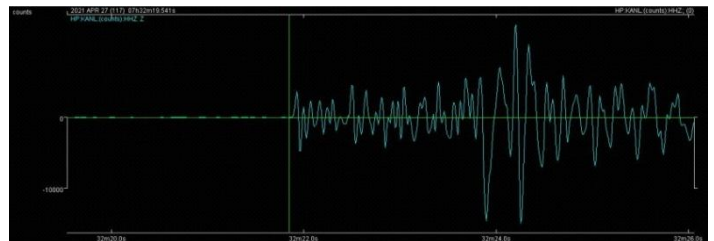
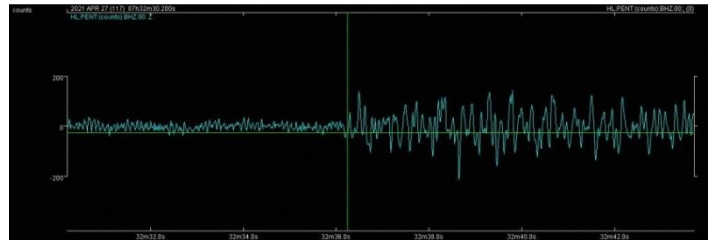
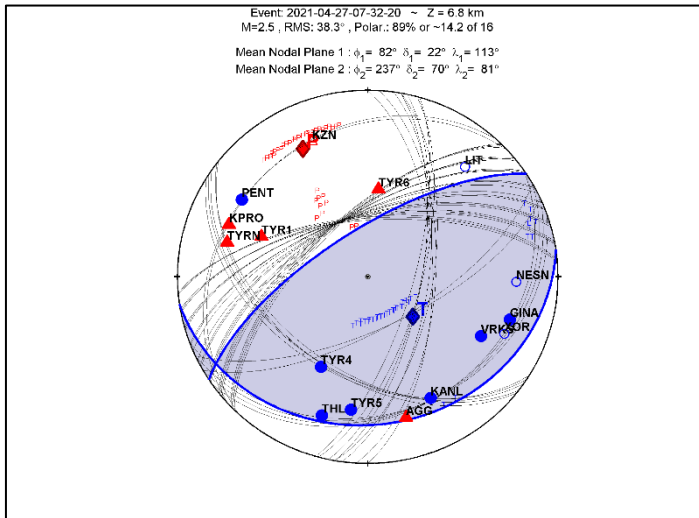
- Event: 2021-04-26 23:51:11, Τύπος διάρρηξης: Πλαγιοκανονικό οριζόντιας ολίσθησης, αριστερόστροφο



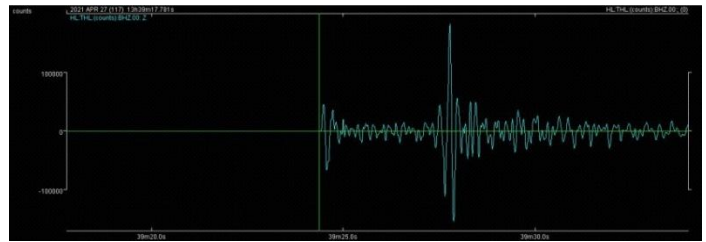
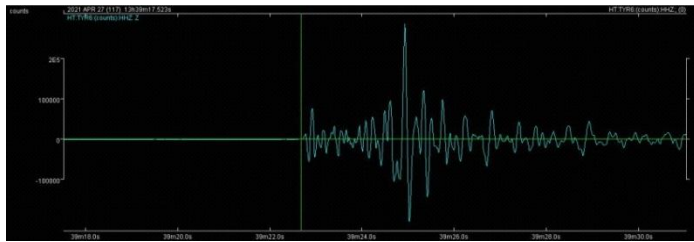
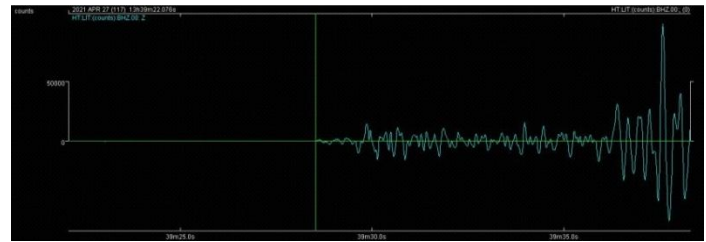
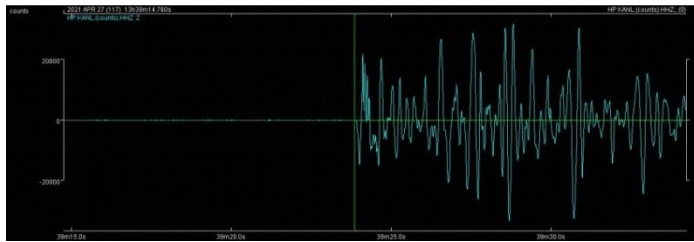
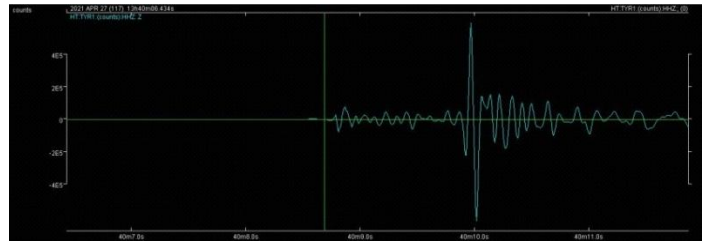
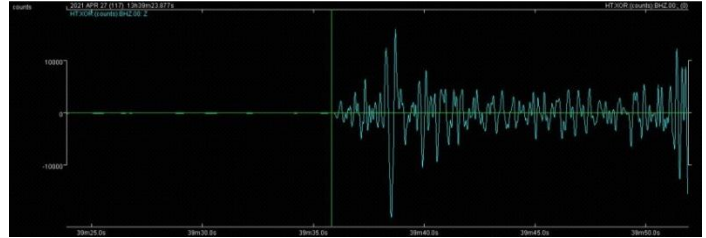
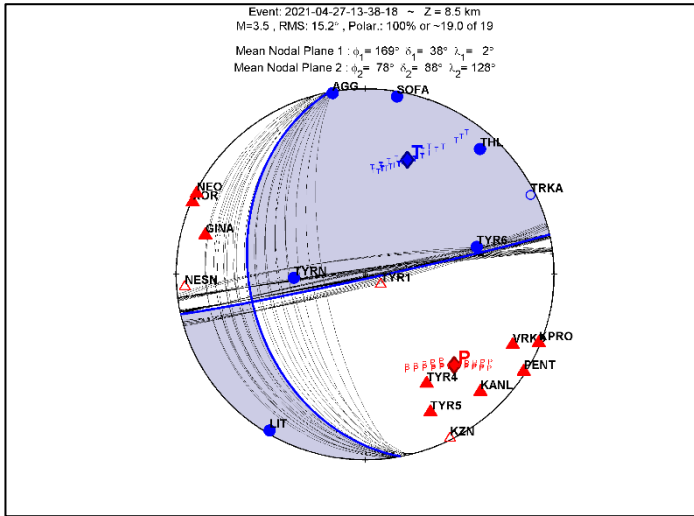
- Event: 2021-04-27 02:59:45, Τύπος διάρρηξης: Πλαγιοκανονικό οριζόντιας ολίσθησης, αριστερόστροφο



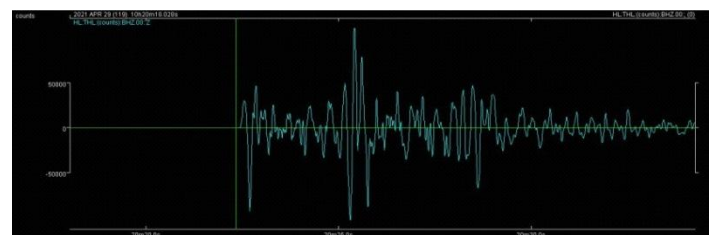
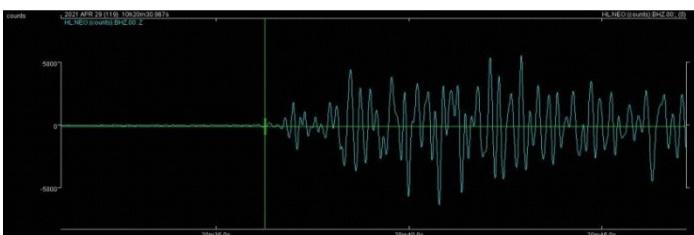
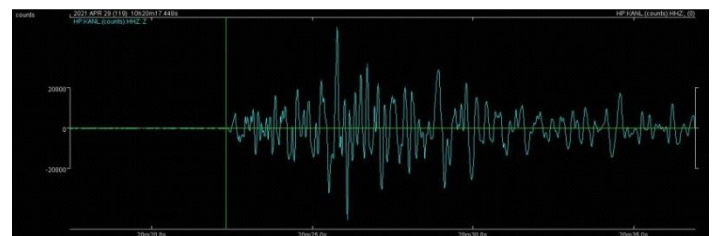
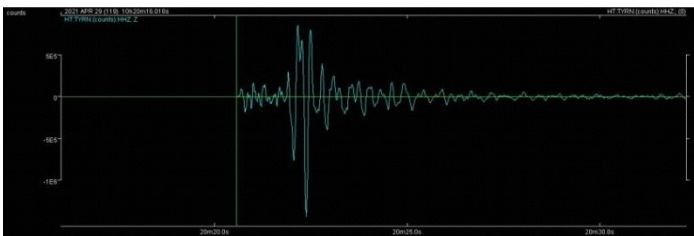
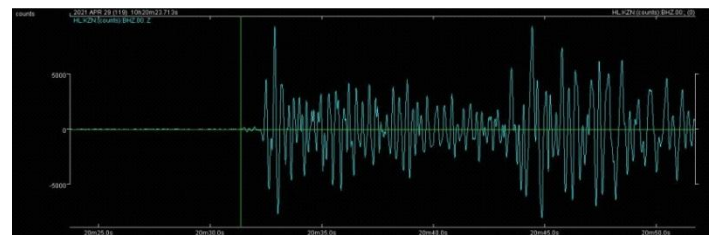
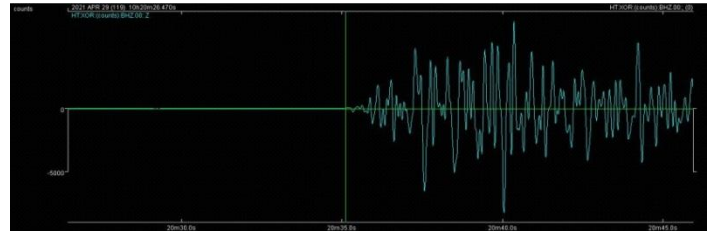
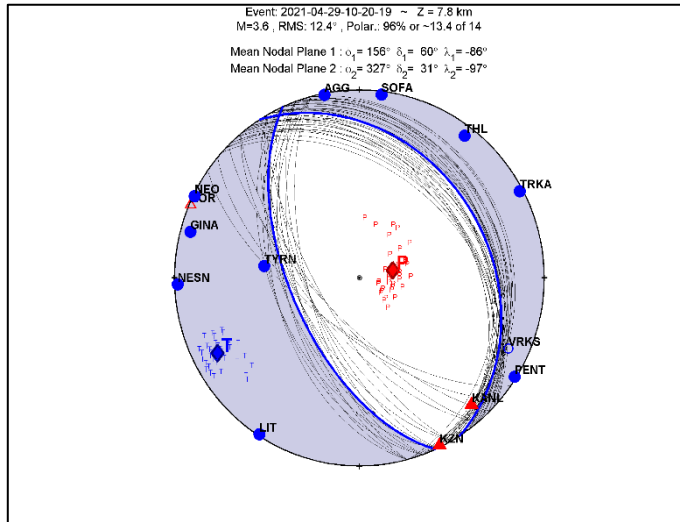
- Event: 2021-04-27 07:32:20, Τύπος διάρρηξης: Πλαγιοανάστροφο οριζόντιας ολίσθησης, δεξιόστροφο



▪ **Event: 2021-04-27 13:38:18, Τύπος διάρρηξης: Οριζόντιας ολίσθησης**



▪ **Event: 2021-04-29 10:20:19, Τύπος διάρρηξης: Κανονικό**



▪ **Event: 2021-04-30 08:26:23, Τύπος διάρρηξης: Οριζόντιας ολίσθησης, δεξιόστροφο**

