ΚΕΝΤΡΟ ΔΟΡΥΦΟΡΩΝ ΔΙΟΝΥΣΟΥ
ΕΜΠ - ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

DIONYSOS SATELLITE OBSERVATORY
NTUA - SCHOOL OF SURVEYING ENGINEERING

ΜΕΛΕΤΗ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΕΩΝ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ, ΑΤΤΙΚΗΣ ΚΑΙ ΕΥΒΟΙΑΣ ΑΠΟ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ GPS

ΕΛΕΝΗ ΚΟΤΡΩΤΣΗ

ΑΘΗΝΑ, ΜΑΡΤΙΟΣ 2015

Ευχαριστίες

Με την εργασία αυτή, ολοκληρώνεται η φοίτησή μου στο τμήμα Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών του ΕΜΠ και από πλευράς μου θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στους ανθρώπους που συνέβαλαν σε αυτό.

Καταρχάς, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή της σχολής, κύριο Παραδείση, για την ανάθεση και επίβλεψη της διπλωματικής και την ευκαιρία που μου έδωσε να ενασχοληθώ και να εμπλουτίσω τις γνώσεις μου στον τομέα της δορυφορικής γεωδαισίας.

Θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές ευχαριστίες μου στην κυρία Αγγελική Μαρίνου, μέλος Ε.ΔΙ.Π της σχολής, για την επίβλεψη της παρούσας διπλωματικής, τις διορθώσεις, τη συνεχή στήριξη, το ενδιαφέρον και την προθυμία της για βοήθεια από την αρχή έως το τέλος. Η βοήθειά της ήταν καθοριστική για εμένα, καθώς οι γνώσεις και οι συμβουλές που μου προσέφερε, δεν περιορίστηκαν στα όρια της διπλωματικής. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον συνεργάτη του εργαστηρίου, Ιορδάνη Γαλάνη, για την προθυμία του για βοήθεια.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ στους υποψήφιους διδάκτορες, Δημήτρη Αναστασίου και Ξάνθο Παπανικολάου, για την πολύτιμη βοήθεια που μου προσέφεραν στα πλαίσια της διπλωματικής. Ειδικότερα, τον Ξ. Παπανικολάου, για τη βοήθεια στα πλαίσια του μαθήματος – θέματος, 9^{ου} εξαμήνου που αποτέλεσε και το έναυσμα για την παρούσα διπλωματική. Οι γνώσεις που μου μετέφερε, υπήρξαν σημαντικές για την παρούσα εργασία. Επιπλέον, τον Δ. Αναστασίου, για την συμβολή του στην δημιουργία των χαρτών. Γενικότερα και οι δύο, παρά τις αυξημένες υποχρεώσεις τους, ήταν πάντα πρόθυμοι να μου λύσουν οποιοδήποτε πρόβλημα παρουσιαζόταν και να μου εμπλουτίσουν τις γνώσεις. Η συμβολή τους ήταν καθοριστική για την περάτωση της παρούσας εργασίας. Τους ευχαριστώ και τους εύχομαι κάθε επιτυχία!

Θα ήθελα να ευχαριστήσω την παρέα μου που υπήρξαν και συμφοιτητές μου, για όλες τις δύσκολες αλλά και ευχάριστες στιγμές που μοιραστήκαμε όλα αυτά τα χρόνια. Ειδικότερα, τις φίλες μου Βάσια, Δέσποινα, Μαρία και Άλκηστη. Τέλος, το μεγαλύτερο ευχαριστώ το οφείλω στην οικογένειά μου, που υπήρξαν οι σημαντικότεροι αρωγοί καθ' όλη τη διάρκεια σπουδών μου, και κυρίως για την ηθική τους υποστήριξη. Δε θα μπορούσα παρά να τους αφιερώσω την παρούσα εργασία.

Περίληψη

Η σύγχρονη τεχνολογία των παγκόσμιων δορυφορικών συστημάτων πλοήγησης και προσδιορισμού θέσης, έχει αναπτυχθεί ραγδαία και έχει σχεδόν αντικαταστήσει τις επίγειες γεωδαιτικές μεθόδους. Ένα από τα παγκόσμια δορυφορικά συστήματα πλοήγησης είναι το σύστημα GPS (Global Positioning System), το οποίο εφαρμόζεται σε τοπογραφικές και γεωδαιτικές εφαρμογές υψηλής ακρίβειας.

Ακόμα μια εφαρμογή των δορυφορικών συστημάτων πλοήγησης εντοπίζεται σε ένα θέμα με ιδιαίτερο ενδιαφέρον, που είναι η μελέτη συμπεριφοράς των τεκτονικών πλακών και η παρακολούθηση μικρομετακινήσεων του στερεού φλοιού της γης. Διάφοροι φορείς και πανεπιστήμια παγκοσμίως, μελετούν τις τεκτονικές μετατοπίσεις, εντοπίζουν τα ενεργά ρήγματα και τις περιοχές έντονης σεισμικής δραστηριότητας. Κάτι τέτοιο, επιτυγχάνεται μέσω της συλλογής δεδομένων μετρήσεων από σταθμούς GPS και της μελέτης του τεκτονικού υποβάθρου (σε παγκόσμια και τοπική κλίμακα).

Αξιοσημείωτη είναι η μελέτη του τεκτονικού υποβάθρου του Ελλαδικού χώρου. Η Ελλάδα, ανήκει στη ζώνη Άλπεων – Ιμαλαΐων, βρίσκεται στο όριο σύγκλισης της Αφρικανικής με την Ευρασιατική ζώνη και σε συνδυασμό με τη δυτική μετακίνηση την Ανατολίας πλάκας, την καθιστούν μια περιοχή με έντονο σεισμογενή χαρακτήρα.

Στα πλαίσια αυτής της μελέτης, δημιουργήθηκε η καμπάνια SING (Seismic Hazard in Greece) από 8 πανεπιστήμια και ερευνητικά κέντρα της Ευρώπης, ανάμεσά τους και το Εργαστήριο Ανώτερης Γεωδαισίας του Ε.Μ.Π., με μετρήσεις τριετίας. Η συγκεκριμένη διπλωματική στηρίζεται σε ένα μέρος μετρήσεων από την εν λόγω καμπάνια, για τον Αργολικό, τον Σαρωνικό, τον Κορινθιακό και τον Ν. Ευβοϊκό κόλπο. Σκοπός της διπλωματικής είναι η μελέτη των τεκτονικών μετατοπίσεων στην περιοχή της Ανατολικής Πελοποννήσου, της Αττικής και της Εύβοιας, όπου και τοποθετήθηκαν 49 σταθμοί μετρήσεων GPS. Τα δεδομένα αφορούν μετρήσεις για τα έτη 1998 (6 – 15 Ιουλίου), 1999 (7 – 11 Ιουνίου & 5 – 8 Οκτωβρίου) και 2000 (7 – 9 & 11 – 14 Ιουλίου). Οι εποχές αναφοράς των μετρήσεων είναι οι 1998.52, 1999.44, 1999.77 και 2000.53.

Η περιοχή ενδιαφέροντος παρουσιάζει έντονη σεισμική δραστηριότητα, εξαιτίας των ενεργών ρηγμάτων που δρουν σε αυτήν. Το ρήγμα βόρεια του Θριάσιου πεδίου ήταν η αιτία για τον ισχυρό σεισμό που έλαβε χώρα στην Αττική στις 7 Σεπτεμβρίου 1999, με μέγεθος 5.9 της κλίμακας ρίχτερ και επίκεντρο την Πάρνηθα.

Η υλοποίηση του συστήματος αναφοράς είναι απαραίτητη σε κάθε γεωδαιτική εφαρμογή, αφού μόνο τότε έχουν νόημα τα αποτελέσματα της επίλυσης. Η επεξεργασία των δορυφορικών παρατηρήσεων πραγματοποιήθηκε με το επιστημονικό πακέτο Bernese GPS Software v.5. Η επίλυση πραγματοποιήθηκε για κάθε μία από τις τέσσερις εποχές αναφοράς και τα αποτελέσματα είναι εκφρασμένα στο Διεθνές Επίγειο Πλαίσιο Αναφοράς, το ITRF2008.

Τέλος, ύστερα από την ανάλυση των χρονοσειρών προέκυψαν οι ταχύτητες των σταθμών στο ITRF2008 και ως προς σταθερή Ευρώπη. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η γενική διεύθυνση μετακίνησης των σταθμών ως προς σταθερή Ευρώπη είναι βορειοανατολική – νοτιοδυτική (ΒΑ – ΝΔ).

Abstract

Contemporary technology of global satellite navigation and potioning systems, has rapidly developed and has almost replaced ground geodetic methods. One of the global satellite navigation system is GPS (Global Positioning System), which is applied to surveying and high – precision geodetic applications.

Another application of particular interest is the study of tectonic plates behavior and the deformation monitoring of the earth's crust. Institutions and universities worldwide, studying the tectonic motion, identify active faults and areas of intense seismic activity. This is achieved through the collection of measurement data of GPS stations and the study of tectonic background (on a global and local scale).

The study of tectonic background of Greece, is remarkable. Hellenic region, located in the intense fracture zone of Alpine – Himalayan and the collision zone between the African and Eurasian plates. Due to the motion of three major plates (African, Eurasian and west motion of Anatolian), the region characterized of extreme seismic hazard.

Within this study, 8 universities and institutes of Europe, among them the Laboratory of Higher Geodesy of NTUA, established the three year GPS Seismic Hazard in Greece (SING) project. This thesis is based on some measurements of this project and specifically of the Argolic, the Saronic, the Corinth and the South Evian Gulf. The objective of this thesis, is the study of tectonic shifts, through the velocities fields in region of Eastern Peloponnese, Attica and Evoia. The measurements include data of 49 GPS stations installed in the study area, for the years 1998 (period 6 – 15 July), 1999 (period 7 – 11 June & period 5 – 8 October) and 2000 (periods 7 – 9 & 11 – 14 July). The measurements epochs are 1998.52, 1999.44, 1999.77 και 2000.53.

The highly seismic activity of the study area, is the result of active faults acting on it. The fault north of Thriassion was the cause of the large earthquake of magnitude Mw=5.9 that occurred on 7 September 1999, close to the city of Athens (the accurate location is Parnitha).

In any geodetic application, the implementation of the reference frace is mandatory. This allows the stations of local GPS network to be linked to the International Terrestrial Reference Frame (ITRF). Thus, the results of the solution are meaningful and comparable. GPS data processing has been carried out with the Bernese GPS scientific Software v.5 package. The solution was concerned each of the 4 epochs and the final coordinates referred to the ITRF2008.

Finally, after the analyzing of the time series (based on final coordinates of settlement), a velocity field produced. This velocity field shows actual annual station velocities in ITRF2008 and relative to fixed Europe (or fixed European reference frame). The results showed that the general direction of stations relative to fixed Europe is northeast – southwest (NE – SW).

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Ευχαριστίες ..... *i*

Περίληψη ..... *iii*

Abstract ..... *v*

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ..... *vii*

Ευρετήριο Εικόνων ..... *ix*

Ευρετήριο Χαρτών ..... *xi*

Ευρετήριο Πινάκων ..... *xiii*

Ευρετήριο Διαγραμμάτων ..... *xiii*

1 Εισαγωγή *1*

2 Τεκτονικό Υπόβαθρο της Περιοχής Μελέτης *3*

2.1 Τεκτονικό Υπόβαθρο του Ελλαδικού Χώρου **3**

2.2 Τεκτονικά Στοιχεία για την Περιοχή Μελέτης **6**

2.2.1 Σαρωνικός Κόλπος 6

2.2.2 Αργολικός Κόλπος 8

2.2.3 Νότιος Ευβοϊκός Κόλπος 9

2.2.4 Αττική 9

2.2.5 Κορινθιακός Κόλπος 10

2.3 Οι Κυριότεροι Σεισμοί στην Περιοχή Μελέτης **10**

3 Παγκόσμια Γεωδαιτικά Συστήματα και Πλαίσια Αναφοράς *15*

3.1 Διεθνές Ουράνιο ή Αδρανειακό Σύστημα Αναφοράς – ICRS (International Celestrial Reference System) **15**

3.2 Διεθνές Επίγειο Σύστημα Αναφοράς – ITRS (International Terrestrial Reference System) **15**

3.3 Μετασχηματισμός από το πλαίσιο αναφοράς ITRF2008 στο ITRF 1992 ..... **16**

4 Περιγραφή του λογισμικού επεξεργασίας δορυφορικών δεδομένων, «Bernese GPS Software Version 5.0» *19*

4.1 Δημιουργία «Καμπάνιας» και ορισμός «Εποχής Αναφοράς» **20**

4.2 Μετατροπή αρχικών αρχείων σε μια συμβατή μορφή με το πρόγραμμα **20**

4.3 Δημιουργία αρχείου πόλου **21**

4.4 Δημιουργία τροχιών **21**

4.5 Επεξεργασία αρχείων παρατηρήσεων **22**

4.5.1 Προετοιμασία για τις διορθώσεις των ρολογιών των δεκτών 22
4.5.2 Δημιουργία βάσεων 22
4.5.3 Εντοπισμός και διόρθωση απωλειών κύκλων 23

4.6 Κύριο υπολογιστικό πρόγραμμα 24
4.6.1 Διόρθωση παρατηρήσεων από την Τροπόσφαιρα 24
4.6.2 Διόρθωση παρατηρήσεων από την Ιονόσφαιρα 25
4.6.3 Επίλυση Ασαφειών Φάσης 25

4.7 Δημιουργία Κανονικών Εξισώσεων 26

4.8 Συνόρθωση Δικτύου 26

5 Περιγραφή Δικτύου 27

5.1 Περιγραφή δικτύου – Εποχή 1998.52 29

5.2 Περιγραφή δικτύου – Εποχή 1999.44 32

5.3 Περιγραφή δικτύου – Εποχή 1999.77 34

5.4 Περιγραφή δικτύου – Εποχή 2000.53 36

6 Επεξεργασία Μετρήσεων 39

6.1 Υλοποίηση Γεωδαιτικού Συστήματος Αναφοράς 39

6.2 Επίλυση Τοπικού Δικτύου 43
6.2.1 Παρατηρήσεις κατά τη διάρκεια επίλυσης τοπικού δικτύου 45

7 Αποτελέσματα 49

7.1 Καρτεσιανές Συντεταγμένες X, Y, Z 49

7.2 Γεωδαιτικές (Γεωγραφικές) Συντεταγμένες φ, λ, h 54

7.3 Τεκτονικό Πεδίο Μετακινήσεων (στο ITRF2008) 60

7.4 Τεκτονικό Πεδίο Μετακινήσεων (ως προς την Ευρώπη) 66

8 Συμπεράσματα 71

8.1 Επίλυση τοπικού δικτύου 71

8.2 Σεισμός Αττικής 1999 72

8.3 Τεκτονικό πεδίο ταχυτήτων 73

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 75

Βιβλιογραφία 109

Ευρετήριο Εικόνων

Εικόνα 2.1: Τα ενεργά ρήγματα της Ελλάδας. 3

Εικόνα 2.2: Διεύθυνση μετακίνησης της Ανατολικής Μεσογείου, ως αποτέλεσμα κίνησης των πλακών της Αραβικής και της Ανατολίας (με σταθερή την πλάκα της Ευρασίας). 5

Εικόνα 2.3: Η Ελληνική τάφρος, το νησιωτικό τόξο, η οπισθοτάφρος και το ηφαιστειακό τόξο, τα οποία συνθέτουν το Ελληνικό τόξο. 5

Εικόνα 2.5: Ηφαιστειακό τόξο Σαρωνικού – Ηφαιστειακό τόξο Ν. Αιγαίου 8

Εικόνα 2.6: Εικόνα της Πάρνηθας, όπου φαίνεται το ρήγμα του 1999 (παραλληλόγραμμο διεύθυνσης ΒΔ – ΝΑ). Με χρώμα φαίνονται τα κομμάτια που έσπασαν και το μέγεθος της ολίσθησης την 7-9-1999 (κίτρινο 10-30 cm, πράσινο 30-60 cm, γαλάζιο 60-90 cm). 12

Εικόνα 6.1:Η θέση των 10 σταθμών της Ευρώπης, βάσει των οποίων υλοποιήθηκε το σύστημα αναφοράς, φαίνονται με κόκκινο περίγραμμα. Ο σταθμός του Διονύσου, δηλώνεται με ένα τριγωνικό σχήμα. 41

Εικόνα 6.2: Τρόπος επίλυσης τοπικού δικτύου την ημέρα 190 για την εποχή 1998.52 44

Εικόνα 7.1: Η διεύθυνση μετακίνησης της πλάκας της Ευρασίας καθώς και των υπολοίπων πλακών της Γης. Πηγή: geocaching.com 66

Ευρετήριο Χαρτών

Χάρτης 5.1: Η θέση των 49 σταθμών GPS. 28
Χάρτης 5.2 : Η θέση των σταθμών GPS την εποχή 1998.52. 29
Χάρτης 5.3: Η θέση των σταθμών GPS την εποχή 1999.44. 32
Χάρτης 5.4: Η θέση των σταθμών GPS την εποχή 1999.77. 34
Χάρτης 5.5: Η θέση των σταθμών GPS την εποχή 2000.53. 36
Χάρτης 7.1: Τεκτονικές ταχύτητες της περιοχής μελέτης, στο ITRF2008. 65
Χάρτης 7.2: Τεκτονικές ταχύτητες της περιοχής μελέτης, ως προς σταθερή Ευρώπη. 69
Χάρτης Ι-1: Η θέση των σταθμών GPS από την καμπάνια «Central Greece», για τις εποχές 1989.44, 1991.78 και 1993.39. Πρόκειται για τα σημεία που ταυτίζονται με τα σημεία της καμπάνιας SING. 75

Ευρετήριο Πινάκων

Πίνακας 1.1: Οι κυριότεροι σεισμοί στην περιοχή μελέτης. Οι σεισμοί με βυσσινί χρώμα έχουν περιγραφεί στο κυρίως κείμενο. 13

Πίνακας 3.1: Οι τιμές και οι ταχύτητες των παραμέτρων, για μετασχηματισμό από το σύστημα αναφοράς ITRF2008 στο ITRF1992. Οι παράμετροι αναφέρονται στην εποχή 2000.0. 17

Πίνακας 5.1: Κατηγοριοποίηση των σταθμών GPS ανά περιοχή. 27

Πίνακας 5.2: Ημέρες μέτρησης, πληροφορίες των σταθμών και η διάρκεια των μετρήσεων, την εποχή 1998.52. 30

Πίνακας 5.3: Ημέρες μέτρησης, πληροφορίες των σταθμών και η διάρκεια των μετρήσεων, την εποχή 1998.52. 31

Πίνακας 5.4: Ημέρες μέτρησης, πληροφορίες των σταθμών και η διάρκεια των μετρήσεων, την εποχή 1999.44. 33

Πίνακας 5.5: Ημέρες μέτρησης, πληροφορίες των σταθμών και η διάρκεια των μετρήσεων, την εποχή 1999.77. 35

Πίνακας 5.6: Ημέρες μέτρησης, πληροφορίες των σταθμών και η διάρκεια των μετρήσεων, την εποχή 2000.53. 37

Πίνακας 5.7: Ημέρες μέτρησης, πληροφορίες των σταθμών και η διάρκεια των μετρήσεων, την εποχή 2000.53. 38

Πίνακας 6.1: Η τοποθεσία των σταθερών σταθμών της Ευρώπης. 41

Πίνακας 6.2: Συντεταγμένες και ταχύτητες των σταθμών της Ευρώπης στην εποχή 2005.0. 42

Πίνακας 6.3: Συντεταγμένες Διονύσου στις 4 εποχές αναφοράς, ύστερα από συνόρθωση με τους σταθμούς της Ευρώπης. 42

Πίνακας 6.4: Οι διαφορές στις συντεταγμένες μεταξύ των εποχών, κατά North (dN), East (dE) και Up (dU). Με βυσσινί παριστάνονται οι έντονες διαφορές. 43

Πίνακας 6.5: Πληροφορίες σχετικά με το χρονικό διάστημα παρατηρήσεων των σημείων του τοπικού δικτύου για την ημέρα 190, την εποχή 1998.52. 44

Πίνακας 7.1: Καρτεσιανές συντεταγμένες και τα σφάλματα αυτών, για κάθε σημείο την εποχή αναφοράς 1998.52. 49

Πίνακας 7.2: Καρτεσιανές συντεταγμένες και τα σφάλματα αυτών, για κάθε σημείο την εποχή αναφοράς 1998.52. 50

Πίνακας 7.3: Καρτεσιανές συντεταγμένες και τα σφάλματα αυτών, για κάθε σημείο την εποχή αναφοράς 1994.44 51

Πίνακας 7.4: Καρτεσιανές συντεταγμένες και τα σφάλματα αυτών, για κάθε σημείο την εποχή αναφοράς 1994.77. 52

Πίνακας 7.5: Καρτεσιανές συντεταγμένες και τα σφάλματα αυτών, για κάθε σημείο την εποχή αναφοράς 2000.53. 52

Πίνακας 7.6: Καρτεσιανές συντεταγμένες και τα σφάλματα αυτών, για κάθε σημείο την εποχή αναφοράς 2000.53. 53

Πίνακας 7.7: Τιμές παραμέτρων για το ελλειψοειδές GRS80. 54

Πίνακας 7.8: Οι γεωγραφικές συντεταγμένες των σημείων για την εποχή αναφοράς 1998.52. 55

Πίνακας 7.9: Οι γεωγραφικές συντεταγμένες των σημείων για την εποχή 1998.52. 56

Πίνακας 7.10: Οι γεωγραφικές συντεταγμένες των σημείων για την εποχή 1999.44 57

Πίνακας 7.11: Οι γεωγραφικές συντεταγμένες των σημείων για την εποχή 1999.77. 58

Πίνακας 7.12: Οι γεωγραφικές συντεταγμένες των σημείων για την εποχή 2000.53. 58

Πίνακας 7.13: Οι γεωγραφικές συντεταγμένες των σημείων για την εποχή 2000.53. 59

Πίνακας 7.14: Οι τιμές των παραμέτρων μετασχηματισμού, στις εποχές 1989.44, 1991.78 και 1993.39. 61

Πίνακας 7.15: Οι εποχές αναφοράς μετρήσεων, οι ταχύτητες κατά North, East, Up (στο ITRF2008), τα σφάλματα αυτών, καθώς και οι συντελεστές R^2 για κάθε σημείο της καμπάνιας. 62

Πίνακας 7.16: Οι εποχές αναφοράς μετρήσεων, οι ταχύτητες κατά North, East, Up (στο ITRF2008), τα σφάλματα αυτών, καθώς και οι συντελεστές R^2 για κάθε σημείο της καμπάνιας. 63

Πίνακας 7.17: Οι ταχύτητες των σημείων κατά North και East, στο ITRF2008 και ως προς σταθερή Ευρώπη. 67

Πίνακας 7.18: Οι ταχύτητες των σημείων κατά North και East, στο ITRF2008 και ως προς σταθερή Ευρώπη. 68

Πίνακας VI-1: Σχηματιζόμενες βάσεις, στρατηγική επίλυσης και το ποσοστό επίλυσης ασαφειών, ανά ημέρα για την εποχή 1998.52. 102

Πίνακας VI-2: Σχηματιζόμενες βάσεις, στρατηγική επίλυσης και το ποσοστό επίλυσης ασαφειών, ανά ημέρα για την εποχή 1998.52. 103

Πίνακας VI-3: Σχηματιζόμενες βάσεις, στρατηγική επίλυσης και το ποσοστό επίλυσης ασαφειών, ανά ημέρα για την εποχή 1999.44. 104

Πίνακας VI-4: Σχηματιζόμενες βάσεις, στρατηγική επίλυσης και το ποσοστό επίλυσης ασαφειών, ανά ημέρα για την εποχή 1999.77. 105

Πίνακας VI-5: Σχηματιζόμενες βάσεις, στρατηγική επίλυσης και το ποσοστό επίλυσης ασαφειών, ανά ημέρα για την εποχή 2000.53. 106

Πίνακας VI-6: Σχηματιζόμενες βάσεις, στρατηγική επίλυσης και το ποσοστό επίλυσης ασαφειών, ανά ημέρα για την εποχή 2000.53. 107

Ευρετήριο Διαγραμμάτων

Διάγραμμα Α-1: Οι μετακίνησεις κατά πλάτος (αριστερά), κατά μήκος (κέντρο) και οι υψομετρικές μετακινήσεις (δεξιά), για το σημείο AIOL. 76

Διάγραμμα Α-2: Οι μετακίνησεις κατά πλάτος (αριστερά), κατά μήκος (κέντρο) και οι υψομετρικές μετακινήσεις (δεξιά), για το σημείο AFIA. 76

Διάγραμμα Α-3: Οι μετακίνησεις κατά πλάτος (αριστερά), κατά μήκος (κέντρο) και οι υψομετρικές μετακινήσεις (δεξιά), για το σημείο AGMA. 77

Διάγραμμα Α-4: Οι μετακίνησεις κατά πλάτος (αριστερά), κατά μήκος (κέντρο) και οι υψομετρικές μετακινήσεις (δεξιά), για το σημείο AGNI. 77

Διάγραμμα Α-5: Οι μετακίνησεις κατά πλάτος (αριστερά), κατά μήκος (κέντρο) και οι υψομετρικές μετακινήσεις (δεξιά), για το σημείο AGFA. 78

Διάγραμμα Α-6: Οι μετακίνησεις κατά πλάτος (αριστερά), κατά μήκος (κέντρο) και οι υψομετρικές μετακινήσεις (δεξιά), για το σημείο CK00. 78

Διάγραμμα Α-7: Οι μετακίνησεις κατά πλάτος (αριστερά), κατά μήκος (κέντρο) και οι υψομετρικές μετακινήσεις (δεξιά), για το σημείο CJ00. 79

Διάγραμμα Α-8: Οι μετακίνησεις κατά πλάτος (αριστερά), κατά μήκος (κέντρο) και οι υψομετρικές μετακινήσεις (δεξιά), για το σημείο DDYM. 79

Διάγραμμα Α-9: Οι μετακίνησεις κατά πλάτος (αριστερά), κατά μήκος (κέντρο) και οι υψομετρικές μετακινήσεις (δεξιά), για το σημείο DMNA. 80

Διάγραμμα Α-10: Οι μετακίνησεις κατά πλάτος (αριστερά), κατά μήκος (κέντρο) και οι υψομετρικές μετακινήσεις (δεξιά), για το σημείο GILS. 80

Διάγραμμα Α-11: Οι μετακίνησεις κατά πλάτος (αριστερά), κατά μήκος (κέντρο) και οι υψομετρικές μετακινήσεις (δεξιά), για το σημείο ILOK. 81

Διάγραμμα Α-12: Οι μετακίνησεις κατά πλάτος (αριστερά), κατά μήκος (κέντρο) και οι υψομετρικές μετακινήσεις (δεξιά), για το σημείο KIVE. 81

Διάγραμμα Α-13: Οι μετακίνησεις κατά πλάτος (αριστερά), κατά μήκος (κέντρο) και οι υψομετρικές μετακινήσεις (δεξιά), για το σημείο KOIL. 82

Διάγραμμα Α-14: Οι μετακίνησεις κατά πλάτος (αριστερά), κατά μήκος (κέντρο) και οι υψομετρικές μετακινήσεις (δεξιά), για το σημείο KOSM. 82

Διάγραμμα Α-15: Οι μετακίνησεις κατά πλάτος (αριστερά), κατά μήκος (κέντρο) και οι υψομετρικές μετακινήσεις (δεξιά), για το σημείο KRKR. 83

Διάγραμμα Α-16: Οι μετακίνησεις κατά πλάτος (αριστερά), κατά μήκος (κέντρο) και οι υψομετρικές μετακινήσεις (δεξιά), για το σημείο KRPI. 83

Διάγραμμα Α-17: Οι μετακίνησεις κατά πλάτος (αριστερά), κατά μήκος (κέντρο) και οι υψομετρικές μετακινήσεις (δεξιά), για το σημείο LTSA. 84

Διάγραμμα Α-18: Οι μετακίνησεις κατά πλάτος (αριστερά), κατά μήκος (κέντρο) και οι υψομετρικές μετακινήσεις (δεξιά), για το σημείο LGRN. 84

Διάγραμμα Α-19: Οι μετακίνησεις κατά πλάτος (αριστερά), κατά μήκος (κέντρο) και οι υψομετρικές μετακινήσεις (δεξιά), για το σημείο MLDR. 85

Διάγραμμα Α-20: Οι μετακίνησεις κατά πλάτος (αριστερά), κατά μήκος (κέντρο) και οι υψομετρικές μετακινήσεις (δεξιά), για το σημείο OBSR. 85

Διάγραμμα Α-21: Οι μετακίνησεις κατά πλάτος (αριστερά), κατά μήκος (κέντρο) και οι υψομετρικές μετακινήσεις (δεξιά), για το σημείο OREI. 86

Διάγραμμα Α-22: Οι μετακίνησεις κατά πλάτος (αριστερά), κατά μήκος (κέντρο) και οι υψομετρικές μετακινήσεις (δεξιά), για το σημείο PIGA. 86

Διάγραμμα Α-23: Οι μετακίνησεις κατά πλάτος (αριστερά), κατά μήκος (κέντρο) και οι υψομετρικές μετακινήσεις (δεξιά), για το σημείο PHEL. 87

Διάγραμμα Α-24: Οι μετακίνησεις κατά πλάτος (αριστερά), κατά μήκος (κέντρο) και οι υψομετρικές μετακινήσεις (δεξιά), για το σημείο PLPT. 87

Διάγραμμα Α-25: Οι μετακίνησεις κατά πλάτος (αριστερά), κατά μήκος (κέντρο) και οι υψομετρικές μετακινήσεις (δεξιά), για το σημείο RASK. 88

Διάγραμμα Α-26: Οι μετακίνησεις κατά πλάτος (αριστερά), κατά μήκος (κέντρο) και οι υψομετρικές μετακινήσεις (δεξιά), για το σημείο TZIA. 88

Διάγραμμα Α-27: Οι μετακίνησεις κατά πλάτος (αριστερά), κατά μήκος (κέντρο) και οι υψομετρικές μετακινήσεις (δεξιά), για το σημείο TR00. 89

Διάγραμμα Α-28: Οι μετακίνησεις κατά πλάτος (αριστερά), κατά μήκος (κέντρο) και οι υψομετρικές μετακινήσεις (δεξιά), για το σημείο VRMS. 89

Διάγραμμα Β-1: Οι μετακίνησεις κατά πλάτος (αριστερά), κατά μήκος (κέντρο) και οι υψομετρικές μετακινήσεις (δεξιά), για το σημείο CG44. 90

Διάγραμμα Β-2: Οι μετακίνησεις κατά πλάτος (αριστερά), κατά μήκος (κέντρο) και οι υψομετρικές μετακινήσεις (δεξιά), για το σημείο CG47. 90

Διάγραμμα Β-3: Οι μετακίνησεις κατά πλάτος (αριστερά), κατά μήκος (κέντρο) και οι υψομετρικές μετακινήσεις (δεξιά), για το σημείο CG48. 91

Διάγραμμα Β-4: Οι μετακίνησεις κατά πλάτος (αριστερά), κατά μήκος (κέντρο) και οι υψομετρικές μετακινήσεις (δεξιά), για το σημείο CG49. 91

Διάγραμμα Β-5: Οι μετακίνησεις κατά πλάτος (αριστερά), κατά μήκος (κέντρο) και οι υψομετρικές μετακινήσεις (δεξιά), για το σημείο CG50. 92

Διάγραμμα Β-6: Οι μετακίνησεις κατά πλάτος (αριστερά), κατά μήκος (κέντρο) και οι υψομετρικές μετακινήσεις (δεξιά), για το σημείο CG52. 92

Διάγραμμα Β-7: Οι μετακίνησεις κατά πλάτος (αριστερά), κατά μήκος (κέντρο) και οι υψομετρικές μετακινήσεις (δεξιά), για το σημείο CG53. 93

Διάγραμμα Β-8: Οι μετακίνησεις κατά πλάτος (αριστερά), κατά μήκος (κέντρο) και οι υψομετρικές μετακινήσεις (δεξιά), για το σημείο CG54. 93

Διάγραμμα Β-9: Οι μετακίνησεις κατά πλάτος (αριστερά), κατά μήκος (κέντρο) και οι υψομετρικές μετακινήσεις (δεξιά), για το σημείο CG55. 94

Διάγραμμα Β-10: Οι μετακίνησεις κατά πλάτος (αριστερά), κατά μήκος (κέντρο) και οι υψομετρικές μετακινήσεις (δεξιά), για το σημείο CG56. 94

Διάγραμμα Β-11: Οι μετακίνησεις κατά πλάτος (αριστερά), κατά μήκος (κέντρο) και οι υψομετρικές μετακινήσεις (δεξιά), για το σημείο CG57. 95
Διάγραμμα Β-12: Οι μετακίνησεις κατά πλάτος (αριστερά), κατά μήκος (κέντρο) και οι υψομετρικές μετακινήσεις (δεξιά), για το σημείο CG58. 95
Διάγραμμα Β-13: Οι μετακίνησεις κατά πλάτος (αριστερά), κατά μήκος (κέντρο) και οι υψομετρικές μετακινήσεις (δεξιά), για το σημείο CG62. 96
Διάγραμμα Β-14: Οι μετακίνησεις κατά πλάτος (αριστερά), κατά μήκος (κέντρο) και οι υψομετρικές μετακινήσεις (δεξιά), για το σημείο CG63. 96
Διάγραμμα Β-15: Οι μετακίνησεις κατά πλάτος (αριστερά), κατά μήκος (κέντρο) και οι υψομετρικές μετακινήσεις (δεξιά), για το σημείο CG64. 97
Διάγραμμα Β-16: Οι μετακίνησεις κατά πλάτος (αριστερά), κατά μήκος (κέντρο) και οι υψομετρικές μετακινήσεις (δεξιά), για το σημείο CG65. 97
Διάγραμμα Β-17: Οι μετακίνησεις κατά πλάτος (αριστερά), κατά μήκος (κέντρο) και οι υψομετρικές μετακινήσεις (δεξιά), για το σημείο CG66. 98

1 Εισαγωγή

Η ραγδαία ανάπτυξη και αξιοποίηση της σύγχρονης τεχνολογίας των παγκόσμιων δορυφορικών συστημάτων πλοήγησης και προσδιορισμού θέσης, έρχεται να αντικαταστήσει τις επίγειες γεωδαιτικές μεθόδους, που σε ορισμένες περιπτώσεις είναι δύσκολη έως αδύνατη η εφαρμογή τους (π.χ. πολύ απομακρυσμένα σημεία). Ένα από τα παγκόσμια δορυφορικά συστήματα πλοήγησης είναι το σύστημα **GNSS** (**G**lobal **N**avigation **S**atellite **S**ystem), στο οποίο εντάσσεται και το σύστημα GPS. Το **NAVSTAR GPS** (**NAV**igation **S**atellite **T**iming **A**nd **R**anging, **G**lobal **P**ositioning **S**ystem), είναι το δορυφορικό σύστημα προσδιορισμού θέσης, χρόνου και ταχύτητας, που εφαρμόζεται κυρίως σε τοπογραφικές και γεωδαιτικές εφαρμογές υψηλής ακρίβειας.

Κάποιες από τις εφαρμογές του δορυφορικού συστήματος συναντώνται στις συνδέσεις διαφορετικών συστημάτων αναφοράς, στην υλοποίηση συστήματος αναφοράς, στην ανίχνευση μικρομετακινήσεων τεχνικών έργων και σε πολλές άλλες εφαρμογές. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η παρακολούθηση μικρομετακινήσεων και η μελέτη συμπεριφοράς τεκτονικών πλακών του στερεού φλοιού της γης (τόσο σε παγκόσμιο όσο και σε τοπικό επίπεδο).

Παράλληλα, έχουν αναπτυχθεί πακέτα επεξεργασίας δορυφορικών παρατηρήσεων, που επεξεργάζονται τις μετρήσεις, εντοπίζουν και απαλείφουν τυχόν απώλειες κύκλων, παρέχοντας μεγάλη ακρίβεια στην επεξεργασία και παραγωγή αποτελεσμάτων. Προκειμένου να επιτευχθεί αυτό, είναι απαραίτητες κάποιες πληροφορίες, όπως είναι οι δορυφορικές εφημερίδες, οι παράμετροι περιστροφής της γης και οι συντεταγμένες μόνιμων σταθμών (για υλοποίηση συστήματος αναφοράς). Σε αυτό συμβάλλουν διεθνείς υπηρεσίες, όπως είναι η **I.G.S.** (**I**nternational **G**NSS **S**ervice), που παρέχουν ελεύθερα και διαδικτυακά τα ημερήσια δεδομένα τροχιών και εβδομαδιαία δεδομένα για τον πόλο.

Φορείς και πανεπιστήμια παγκοσμίως, συνεργάζονται με σκοπό την μελέτη των τεκτονικών μετατοπίσεων, παραμορφώσεων, τη συμπεριφορά και εντοπισμό των ενεργών ρηγμάτων. Για το σκοπό αυτό, ιδρύονται μόνιμα και μη μόνιμα δίκτυα GPS στις πιο σεισμογενείς περιοχές, για την παρακολούθηση και ανίχνευση της σεισμογενής δραστηριότητας. Σημαντική είναι και η μελέτη του τεκτονικού υποβάθρου της περιοχής όπως, επίσης, και των σεισμών που έχουν λάβει χώρα στην περιοχή ενδιαφέροντος.

Έντονο ενδιαφέρον παρουσιάζει και η μελέτη του τεκτονικού υποβάθρου του Ελλαδικού χώρου. Η Ελλάδα ανήκει σε μια ζώνη έντονης διάρρηξης, με αποτέλεσμα να παρατηρείται έντονη σεισμικότητα. Συγκεκριμένα, η δυτική μετακίνηση της Ανατολίας πλάκας και η βύθιση της Αφρικανικής πλάκας κάτω από την Ευρασιατική, διαμορφώνουν τα ενεργά όρια που χαρακτηρίζονται από έντονη σεισμική δραστηριότητα.

Στα πλαίσια αυτής της μελέτης, δημιουργήθηκε η καμπάνια SING και ιδρύθηκαν δίκτυα με μόνιμους σταθμούς GPS, τριετίας, ώστε να μελετηθεί το τεκτονικό υπόβαθρο της Ελλάδας. Η συγκεκριμένη διπλωματική στηρίζεται σε ένα μέρος μετρήσεων από την εν λόγω καμπάνια για την ανατολική Πελοπόννησο, την Αττική και την Εύβοια. Οι εποχές αναφοράς των μετρήσεων είναι οι 1998.52, 1999.44, 1999.77 και 2000.53. Να σημειωθεί πως ισχυρός σεισμός μεγέθους 5.9 της κλίμακας ρίχτερ, έλαβε χώρα στις 7 Σεπτεμβρίου 1999, στην Αττική με επίκεντρο την Πάρνηθα.

Έτσι, στο Κεφάλαιο 2, έγινε μια λεπτομερής ανάλυση του τεκτονικού υποβάθρου της περιοχής μελέτης, αφού πρώτα περιγράφηκαν τα τεκτονικά στοιχεία για τον Ελλαδικό χώρο. Συγκεκριμένα, αναφέρθηκαν οι κινήσεις των πλακών που δρουν στην Ελλάδα. Έπειτα, η ανάλυση εστιάζεται στην περιοχή μελέτης καθώς, επίσης, και στους κυριότερους σεισμούς (βάσει μεγέθους) που σημειώθηκαν σε αυτή.

Η υλοποίηση του συστήματος αναφοράς είναι απαραίτητη σε κάθε γεωδαιτική εφαρμογή. Στο Κεφάλαιο 3, αναλύονται τα συστήματα αναφοράς που χρησιμοποιήθηκαν στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής. Συγκεκριμένα, η ανάλυση εστιάζει στο Διεθνές Ουράνιο ή Αδρανειακό Σύστημα Αναφοράς – ICRS, καθώς και στα Διεθνή Επίγεια Πλαίσια Αναφοράς – ITRF1992, ITF2008. Επιπλέον, περιγράφεται η διαδικασία μετασχηματισμού από ένα σύστημα αναφοράς σε ένα άλλο.

Η επεξεργασία των δορυφορικών παρατηρήσεων πραγματοποιήθηκε με το επιστημονικό πακέτο Bernese GPS Software v.5. Στο Κεφάλαιο 4, περιγράφεται η σειρά εργασιών που ακολουθήθηκε και αναλύεται το θεωρητικό υπόβαθρο του κάθε βήματος, μέχρι την τελική παραγωγή των συντεταγμένων των σταθμών.

Στο Κεφάλαιο 5, γίνεται μια λεπτομερής περιγραφή του γεωδαιτικού δικτύου GPS στην περιοχή μελέτης. Συγκεκριμένα, περιγράφεται το δίκτυο για κάθε εποχή επίλυσης και παρουσιάζονται τα σταθερά σημεία / σταθμοί GPS, καθώς και πληροφορίες των μετρήσεων.

Στη συνέχεια της διπλωματικής, περιγράφεται ο τρόπος επίλυσης του δικτύου (Κεφάλαιο 6). Περιγράφεται η υλοποίηση του συστήματος αναφοράς, η κύρια στρατηγική επίλυσης του δικτύου, τα προβλήματα που παρουσιάστηκαν καθώς και η εναλλακτική στρατηγική που εφαρμόστηκε προς αντιμετώπισής τους.

Σειρά έχει η παρουσίαση των αποτελεσμάτων της επίλυσης του τοπικού δικτύου, για κάθε εποχή παρατήρησης (Κεφάλαιο 7). Παρουσιάζονται οι καρτεσιανές (τρισδιάστατες) συντεταγμένες και τα σφάλματά τους. Επιπλέον, μετατρέπονται σε γεωδαιτικές (γεωγραφικές) συντεταγμένες. Τέλος, σχεδιάστηκε το τεκτονικό πεδίο μετακινήσεων, ως προς τον κόσμο (ITRF2008) και ως προς σταθερή Ευρώπη, βάσει ανάλυσης χρονοσειρών.

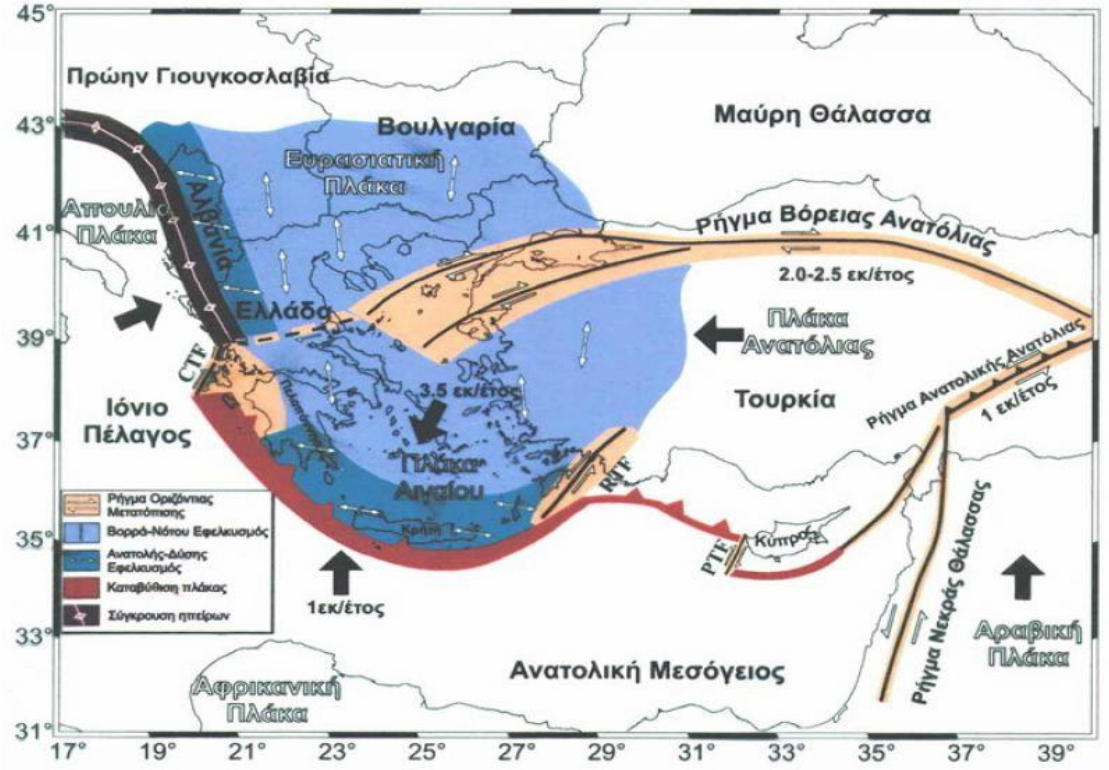
Στο τελευταίο κεφάλαιο (Κεφάλαιο 8), περιγράφονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν μετά από ανάλυση των μετρήσεων.

2 Τεκτονικό Υπόβαθρο της Περιοχής Μελέτης

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο, γίνεται μια λεπτομερής ανάλυση του τεκτονικού υποβάθρου της περιοχής μελέτης. Αρχικά, γίνεται μια αναφορά στα ενεργά ρήγματα που δρουν στον Ελλαδικό χώρο. Έπειτα, η ανάλυση εστιάζεται στην περιοχή μελέτης καθώς, επίσης, και στους κυριότερους σεισμούς (βάσει μεγέθους) που έλαβαν χώρα σε αυτή.

2.1 Τεκτονικό Υπόβαθρο του Ελλαδικού Χώρου

Ο Ελληνικός χώρος, ανήκει στη Ζώνη Άλπεων – Ιμαλαΐων που αποτελεί ηπειρωτικό σύστημα διάρρηξης, με αποτέλεσμα να παρατηρείται υψηλή σεισμικότητα. Πιο αναλυτικά, η σύγκλιση των μικρών τεκτονικών πλακών της Ανατολίας, του Αιγαίου και της Απουλίας (Αδριατικής), σε συνδυασμό με τις κινήσεις των κύριων λιθοσφαιρικών πλακών της Αραβικής, της Ευρασιατικής και της Αφρικανικής πλάκας, διαμορφώνουν ενεργά όρια που χαρακτηρίζονται από έντονη σεισμική δραστηριότητα (Παραδεισοπούλου, 2009).



Εικόνα 2.1: Τα ενεργά ρήγματα της Ελλάδας.
Πηγή: Άρθρο 10/02/14 της ”PressTime on line”.

Παρατηρώντας την παραπάνω εικόνα (Εικόνα 2.1), φαίνονται τα ενεργά ρήγματα που δρουν στην Ελλάδα και συνδέονται άμεσα με την έντονη σεισμική δραστηριότητά της. Πιο αναλυτικά, αυτά είναι:

- Η βόρεια κίνηση της *Αραβικής λιθοσφαιρικής πλάκας*, ωθεί την *πλάκα της Ανατολίας* (*ή Τουρκικής πλάκας*) σε κίνηση προς τα δυτικά, κατά μήκος του *ρήγματος της Βόρειας Ανατολίας (νότια της Κασπίας μέχρι και το Αιγαίο – μήκος 1500 km)*. Η κίνηση αυτή, συνεχίζεται κατά μήκος της *τάφρου του Βορείου Αιγαίου* με βάθος 1500 m περίπου. Η τάφρος αποτελεί το όριο Ευρασιατικής πλάκας και μικροπλάκας του Αιγαίου. Η *μικροπλάκα του Αιγαίου*, κινείται προς την Ελληνική Τάφρο με μια νοτιοδυτική διεύθυνση (Εικόνα 2.2).
- Η *Απουλία (Αδριατική) μικροπλάκα* (προέκταση της Αφρικανικής πλάκας) περιστρέφεται αριστερόστροφα, με αποτέλεσμα να συγκλίνει με την πλάκα της Ευρασίας κατά μήκος του βορείου Ιονίου πελάγους και των δυτικών ακτών της κεντρικής Ελλάδας.
- Τα όρια επαφής και σύγκλισης της *Ευρασιατικής με την Αφρικανική πλάκα*, είναι η κύρια αιτία για τον σεισμογενή χαρακτήρα του Ελλαδικού χώρου. Τμήμα της Ευρασιατικής πλάκας είναι το Αιγαίο, ενώ η λιθόσφαιρα της Ανατολικής Μεσογείου αποτελεί τμήμα της Αφρικανικής πλάκας.

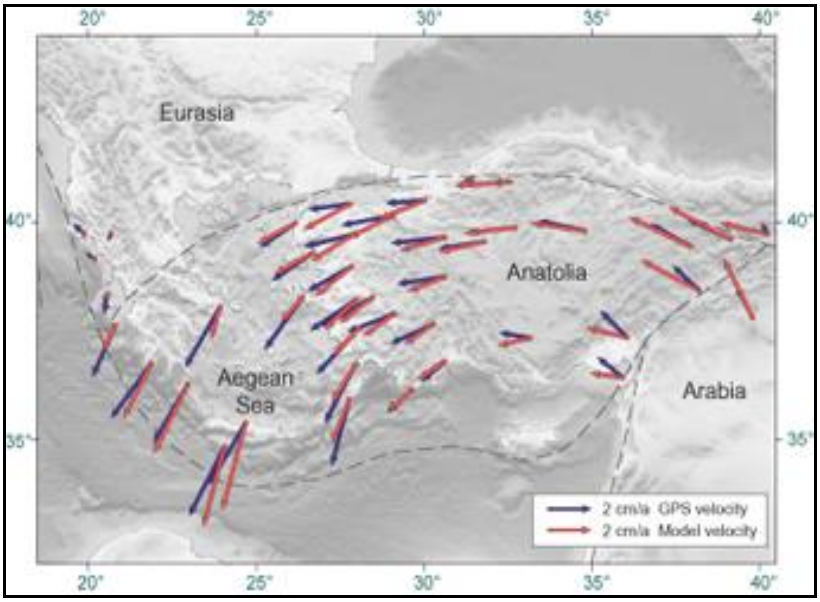
Η ωκεάνια πλάκα της Ανατολικής Μεσογείου (μέρος της Αφρικανικής πλάκας), βυθίζεται κάτω από την ηπειρωτική πλάκα του Αιγαίου (μέρος της Ευρασιατικής πλάκας) με ρυθμό μετακίνησης 1 cm/y. Το όριο επαφής της Αφρικανικής με την Ευρασιατική πλάκα, συνθέτουν το **Ελληνικό Τόξο**, που αποτελεί το βασικό τεκτονικό γνώρισμα του Ελληνικού χώρου (Ο.Α.Σ.Π. – Σεισμοί και Ελλαδικός Χώρος). Το Ελληνικό τόξο αποτελείται από την Ελληνική τάφρο, το νησιωτικό τόξο, την οπισθοτάφρο και το ηφαιστειακό τόξο (Εικόνα 2.3). Η κίνηση της πλάκας του Αιγαίου προς την Ελληνική τάφρο, περιγράφεται με ρυθμό μετακίνησης 4.5 εκατοστά το χρόνο (2.5 cm/y λόγω δυτικής κίνησης της Ανατολίας πλάκας, 1 cm/y λόγω εσωτερικής παραμόρφωσης Αιγαίου– κίνηση προς τα νότια και 1 cm/y λόγω βόρειας κίνησης Αφρικανικής πλάκας).

Η **Ελληνική τάφρος,** αποτελείται από ένα σύστημα τάφρων και δημιουργείται κατά μήκος της επαφής των δύο πλακών. Αποτελείται από βαθιές θαλάσσιες λεκάνες από τη Ρόδο μέχρι και την Κεφαλονιά. Το μέγιστο βάθος της λεκάνης καθώς και της Μεσογείου, ανέρχεται στα 4500 m περίπου και εντοπίζεται στο Ιόνιο Πέλαγος, νοτιοδυτικά της Πελοποννήσου.

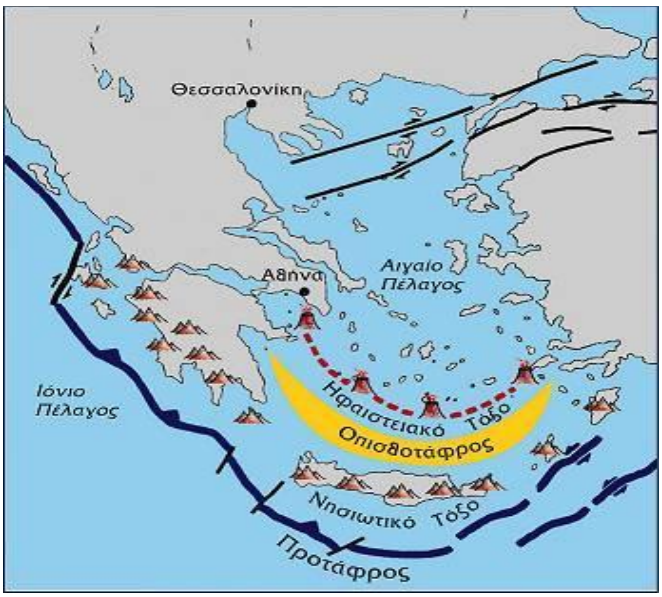
Το **νησιωτικό τόξο**, τοποθετείται παράλληλα με την τάφρο και αποτελείται από μια σειρά διαδοχικών νησιών, όπως η Ρόδος, η Κρήτη, τα Κύθηρα καθώς και από την Πελοπόννησο. Αιτία δημιουργίας του τόξου, ήταν η παραμόρφωση και ανύψωση πετρωμάτων της Ευρασιατικής πλάκας.

Μπροστά από το νησιωτικό τόξο, βρίσκεται μια θαλάσσια λεκάνη (το Κρητικό πέλαγος) που αποτελεί την **οπισθοτάφρο** του Ελληνικού τόξου. Το μέγιστο βάθος της ανέρχεται στα 2000 m περίπου. Είναι τοποθετημένη πάνω στην Ευρασιατική πλάκα.

Τέλος, μια σειρά από ενεργά και μη ενεργά ηφαίστεια συνθέτουν το **ηφαιστειακό τόξο**. Τα κυριότερα από τα ηφαίστεια είναι το Σουσάκι, Μέθανα, Μήλος, Σαντορίνη και Νίσυρος (Ο.Α.Σ.Π. – Σεισμοί και Ελλαδικός Χώρος). Περισσότερες πληροφορίες για το ηφαιστειακό τόξο γίνεται παρακάτω (βλ. Κεφάλαιο 2.2.1).



Εικόνα 2.2: Διεύθυνση μετακίνησης της Ανατολικής Μεσογείου, ως αποτέλεσμα κίνησης των πλακών της Αραβικής και της Ανατολίας (με σταθερή την πλάκα της Ευρασίας).
Πηγή: http://www.topo-europe.eu/



Εικόνα 2.3: Η Ελληνική τάφρος, το νησιωτικό τόξο, η οπισθοτάφρος και το ηφαιστειακό τόξο, τα οποία συνθέτουν το Ελληνικό τόξο.
Πηγή: Ο.Α.Σ.Π. – Σεισμοί και Ελλαδικός Χώρος

2.2 Τεκτονικά Στοιχεία για την Περιοχή Μελέτης

Η περιοχή μελέτης απαρτίζεται από τον Σαρωνικό, τον Αργολικό, τον Ν. Ευβοϊκό και τον Κορινθιακό κόλπο (το ανατολικό τμήμα), καθώς και την περιοχή της Αττικής. Στο κεφάλαιο αυτό, γίνεται μια πλήρης ανάλυση του τεκτονικού υποβάθρου των παραπάνω περιοχών, ώστε να δοθεί μια ολοκληρωμένη εικόνα των ενεργών ρηγμάτων που δρουν στην περιοχή όπου είναι τοποθετημένο το δίκτυο με τους σταθμούς GPS. Πιο μεγάλη βάση δόθηκε στον Σαρωνικό κόλπο, στις ακτές του οποίου βρίσκεται το μεγαλύτερο μέρος του δικτύου.

2.2.1 Σαρωνικός Κόλπος

Το μεγάλο ενδιαφέρον που παρουσιάζει ο Σαρωνικός Κόλπος, εστιάζει στην πολύπλοκη μορφολογία που σχετίζεται άμεσα με τη νεοτεκτονική εξέλιξη του βυθού και τις τεταρτογενείς ηφαιστειακές διεισδύσεις. Η επέκταση των ενεργών ρηξιγενών ζωνών του Κορινθιακού Κόλπου προς τα ανατολικά και ειδικότερα προς της περιοχή του Σαρωνικού, καθιστά αναγκαία την μελέτη της τεκτονικής δομής της περιοχής (Δρακάτος, 2002).

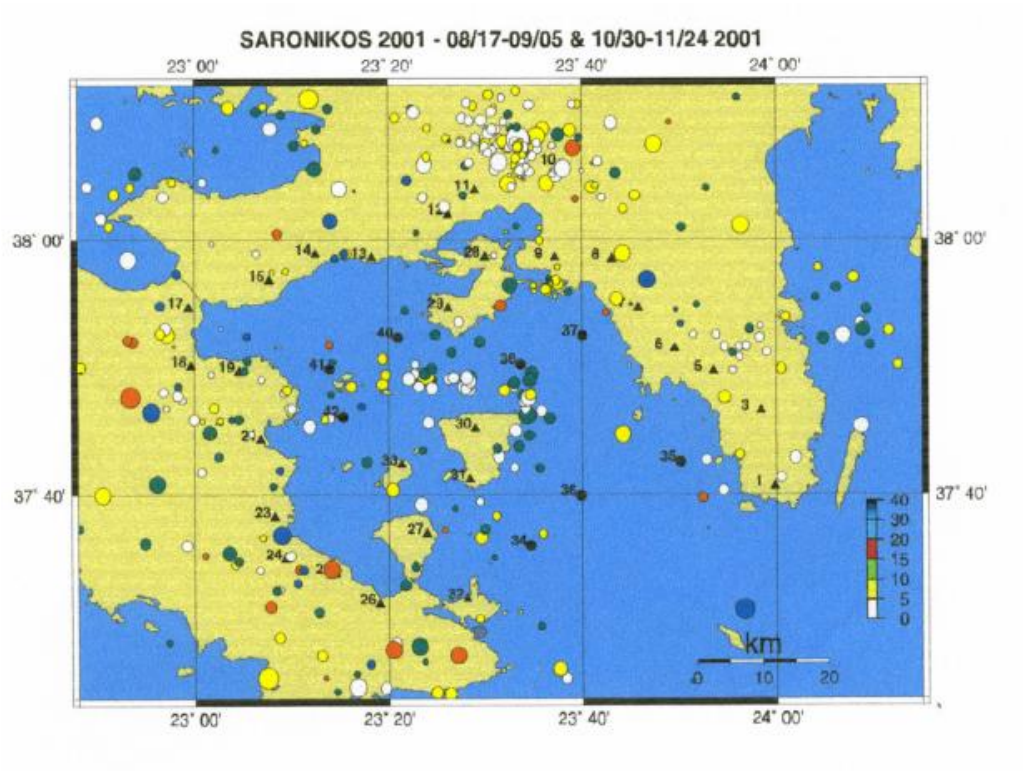
Το μεγαλύτερο μέρος του Σαρωνικού Κόλπου είναι ένα τεκτονικό βύθισμα, που είναι ενεργό και δημιουργήθηκε την ίδια εποχή με τον Κορινθιακό Κόλπο (Μέσο - Άνω Μειόκαινο). Ο Σαρωνικός Κόλπος βρίσκεται πάνω στο μεγάλο ρήγμα των ηπειρωτικών πλακών που ξεκινάει από την Αδριατική και περνώντας δια μέσω του Κορινθιακού και νησιών όπως Αίγινα, Πόρος, Ύδρα, φτάνει στην Ερυθρά θάλασσα. Τα βαθιά ρήγματα του τεκτονικού βυθίσματος είναι υπαίτια της ηφαιστειότητας που παρουσιάζει η περιοχή.

Ο κόλπος βάσει της μορφολογίας, της τεκτονικής εξέλιξής του και της σεισμικότητας, μπορεί να χωριστεί σε δύο τμήματα: το Δυτικό και το Ανατολικό. Ο Ανατολικός Σαρωνικός, ελέγχεται από πέντε μεγάλα ρήγματα ενώ ο Δυτικός από δώδεκα μεγάλα ενεργά ρήγματα. Το Ανατολικό τμήμα χαρακτηρίζεται από ήπια μορφολογία. Ο Δυτικός Σαρωνικός περιλαμβάνει δύο μεγάλες υπολεκάνες, της Επιδαύρου και των Μεγάρων. Αιτία δημιουργίας των λεκανών είναι μια περιορισμένη ζώνη σεισμικότητας με διεύθυνση Α – Δ, μεταξύ των περιοχών Σοφικού, Αιγίνης. Η λεκάνη των Μεγάρων με διεύθυνση Α – Δ, είναι τεκτονική τάφρος που δημιουργήθηκε από περιθωριακά ρήγματα. Εκτείνεται από τον Ισθμό της Κορίνθου μέχρι νότια της Σαλαμίνας. Η λεκάνη της Επιδαύρου έχει διεύθυνση ΒΔ – ΝΑ και εκτείνεται από την Παλαιά Επίδαυρο μέχρι τον Πόρο. Τα ρήγματα του κόλπου της Επιδαύρου δημιουργούν μια ρηξιγενή ζώνη κατά μήκος των ακτών της Πελοποννήσου.

Η σεισμικότητα, έχει μια κατεύθυνση από δυτικά προς ανατολικά και περιορίζεται κατά μήκος ζώνης με διεύθυνση ΒΒΑ – ΝΝΔ (Πόρος – Αίγινα – Σαλαμίνα), η οποία διαιρεί τον κόλπο σε δυτικό και ανατολικό. Αναδυόμενα τμήματα μιας αβαθούς (max 70 m) πλατφόρμας, σχηματίζουν τη χερσόνησο των Μεθάνων και τα νησιά Πόρο, Αίγινα, Αγκίστρι και Σαλαμίνα. Έως και το βάθος των 12 km, η δομή αυτή συνεχίζεται, υποδηλώνοντας την ύπαρξη ρηξιγενούς ζώνης στην περιοχή (Δρακάτος, 2002).

Σε ενδιάμεσα εστιακά βάθη, η σεισμική δράση στο Σαρωνικό Κόλπο δεν είναι αμελητέα. Η μικροσεισμική δραστηριότητα της περιοχής παρατηρείται από σεισμολογικούς σταθμούς ξηράς καθώς και από το σεισμολογικό δίκτυο με υποθαλάσσιους σεισμογράφους που

ιδρύθηκε στα πλαίσια ερευνητικού προγράμματος από τον Οργανισμό Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας (Δρακάτος, 2002). Τα αποτελέσματα της μελέτης έδειξαν πως στην περιοχή (37.4 Β – 38.2 Β, 22.8 Α – 24.2 Α) προσδιόρισθηκαν 445 σεισμοί με μέγεθος 0.3 < ML <3.8, για το διάστημα 17/8 έως 5/9 και 30/10 έως 24/11 του έτους 2001 (Εικόνα 2.4).



Εικόνα 2.4: Κατανομή επικέντρων στην περιοχή μελέτης
Πηγή: **(Δρακάτος, 2002)**

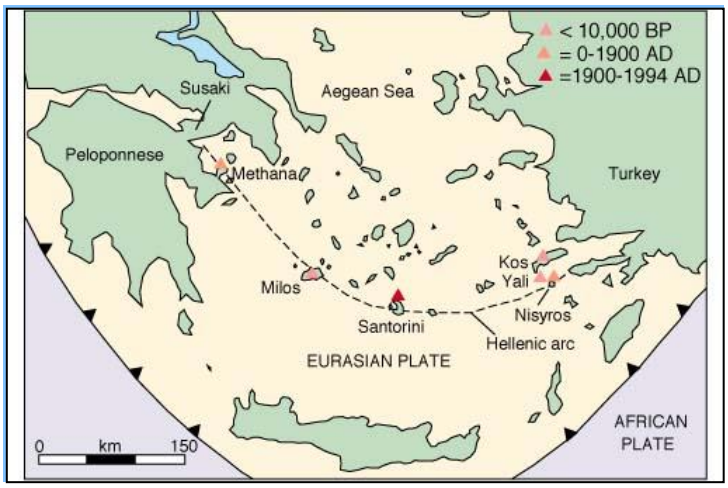
Επίσης, τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η σεισμικότητα του κεντρικού τμήματος είναι πιο μεγάλη σε σχέση με την αντίστοιχη στο ανατολικό και δυτικό τμήμα του. Αξιοσημείωτη είναι η ευθυγράμμιση των επικέντρων ανατολικά της Αίγινας, με διεύθυνση ΒΒΑ – ΝΝΔ, η οποία ταυτίζεται με το ρήγμα της περιοχής που είναι ενεργό. Συγκέντρωση επικέντρων παρατηρείται και από την περιοχή Σοφικού Κορινθίας με διεύθυνση Δ – Α και φτάνει μέχρι τα βόρεια της Αίγινας, σχηματίζοντας ενεργό ρήγμα που όμως, δεν έχει προκαλέσει ισχυρό σεισμό. Στο ανατολικό τμήμα της βορειοανατολικής Πελοποννήσου, παρατηρείται χαμηλή δραστηριότητα μικρών ρηγμάτων της περιοχής.

Ηφαιστειακό Τόξο Σαρωνικού Κόλπου

Τα ηφαίστεια του Σαρωνικού, σχηματίζουν το βόρειο τμήμα του ηφαιστειακού τόξου του Νοτίου Αιγαίου και περιλαμβάνει το ηφαίστειο της Κρομμυωνίας, της Αίγινας, των Μεθάνων και του Πόρου. Το ηφαιστειακό τόξο του Νοτίου Αιγαίου ανήκει στην Ευρασιατική πλάκα και βρίσκεται στα όρια της λιθοσφαιρικής πλάκας της Αφρικής, η οποία βυθίζεται κάτω από την Ευρασιατική. Η ανάτηξη υλικού της υποβυθιζόμενης Αφρικανικής πλάκας και συγκεκριμένα η διέλευση του υλικού από την Ευρασιατική πλάκα, είναι η αιτία δημιουργίας των ηφαιστείων του τόξου.

Το ηφαιστειακό τόξο του Νοτίου Αιγαίου συνδέει το ηφαιστειακό κέντρο των Μεθάνων με τα ηφαίστεια Σουσάκι Αγίων Θεοδώρων ή Κρομμυωνία, Αίγινα, Μέθανα, Πόρος, Μήλος, Αντίπαρος, Σαντορίνη, Χριστιανά, Νίσυρος, Γυαλί, Κως και φτάνει μέχρι την Μικρά Ασία (Εικόνα 2.5).

Υποθαλάσσια έρευνα έχει φανερώσει την ύπαρξη 30 ηφαιστειακών σχηματισμών στον πυθμένα του κόλπου βορειοδυτικά της Χερσονήσου των Μεθάνων. Το υποθαλάσσιο ηφαίστειο έκτασης 12 τετρ. χλμ. περίπου, υψώνεται 170 μέτρα περίπου από τον πυθμένα της Λεκάνης της Επιδαύρου (Χρόνης Δ., Παπανικολάου Γ., 1989). Η ακριβής χρονολογία της έκρηξης ανήκει στους ιστορικούς χρόνους και πιθανολογείται πως βρίσκεται μεταξύ των ετών 270 με 240 π.Χ. Έκτοτε, τα ηφαιστειακά κέντρα στα Μέθανα παραμένουν ανενεργά. Ο κύριος κρατήρας του ηφαιστείου βρίσκεται στην κορυφή κώνου 412 μέτρων και συνορεύει με το χωριό Καμένη Χώρα (Β - Δ).



Εικόνα 2.5: Ηφαιστειακό τόξο Σαρωνικού – Ηφαιστειακό τόξο Ν. Αιγαίου
Πηγή: Άρθρο 26/09/2013 (http://www.porosnews.gr)

2.2.2 Αργολικός Κόλπος

Η μελέτη της νεοτεκτονικής δομής του Αργολικού Κόλπου, προκύπτει από τη μελέτη του σεισμικού και βυθομετρικού προφίλ της περιοχής. Η νεοτεκτονική δομή του κόλπου, ερμηνεύεται από τη δράση των ακόλουθων ομαδοποιημένων ρηγμάτων που δρουν στην περιοχή.

Η πρώτη ομάδα αποτελείται από δύο ζώνες κανονικών ρηγμάτων[1] με διεύθυνση ΒΔ – ΝΑ, η δεύτερη από ρήγματα "transcurrent[2]" με διεύθυνση Α – Δ, που η κίνησή τους προκαλεί οριζόντια διαφυγή στις νεοτεκτονικές πλάκες. Τέλος, εντοπίζεται και μια τρίτη ομάδα κανονικών ρηγμάτων, μερικά από τα οποία ολισθαίνουν πλαγίως. Από μελέτη των γεωμορφολογικών και τεκτονικών δομών και από παρατηρήσεις καθιζήσεων, υποδηλώνεται μια ασυμμετρία με πιο έντονα φαινόμενα κατά μήκος της δυτικής πλευράς του κόλπου (Papanikolaou D., Chronis G., Metaxas C., 1994).

[1] Ρήγματα απομάκρυνσης ή κανονικά ρήγματα ή ρήγματα εκτάσεως. Προκαλούν μεταπτώσεις.
[2] Transcurrent fault: Ρήγμα οριζόντιας ολίσθησης που χαρακτηρίζεται από μια κεκλιμένη απότομη επιφάνεια.

2.2.3 Νότιος Ευβοϊκός Κόλπος

Ο νότιος Ευβοϊκός κόλπος, βάσει των μορφοτεκτονικών χαρακτηριστικών του μπορεί να διακριθεί σε δύο τμήματα, το Βόρειο και το Νότιο, με διαφορετική νεοτεκτονική εξέλιξη. Τα δύο τμήματα διαχωρίζονται από μια αβαθής περιοχή που εκτείνεται από τον Μαραθώνα μέχρι την Εύβοια, δια μέσου του νησιού Στύρα (Χρόνης Δ., Παπανικολάου Γ., 1989).

Εξετάζοντας τα ρήγματα που κυριαρχούν στην περιοχή του κόλπου, το *Βόρειο τμήμα του Ν. Ευβοϊκού κόλπου*, διακρίνεται σε δύο υπολεκάνες ιζηματογένεσης, του Αλιβερίου και του Ωρωπού – Ερέτριας. Η υπολεκάνη Αλιβερίου, οριοθετείται από δύο μεγάλα παράλληλα ρήγματα με άλμα μεγαλύτερο των 200 m, με διεύθυνση ΒΔ – ΝΑ. Στο εσωτερικό της υπολεκάνης έχει ανιχνευτεί η δράση τριών ακόμα ενεργών ρηγμάτων με άλμα της τάξης των 100 – 200 m. Η εξέλιξη της υπολεκάνης Ωρωπού – Ερέτριας, ελέγχεται από τη μεγάλη παράκτια ρηξιγενή ζώνη του Ωρωπού. Στο εσωτερικό της υπολεκάνης παρατηρούνται πολλά μικρότερα ρήγματα με διεύθυνση ΑΝΑ – ΔΒΔ και άλμα μικρότερο των 100 m, η δράση των οποίων δημιούργησε δύο τεκτονικές τάφρους και ένα κέρας στην περιοχή.

Στο *Νότιο τμήμα του Ν. Ευβοϊκού κόλπου*, τα άλματα των ρηγμάτων είναι πολύ μικρότερα από τα ρήγματα του Βόρειου τμήματος και οι κύριες διευθύνσεις των ρηγμάτων είναι ΒΒΔ – ΝΝΑ έως ΒΔ – ΝΑ.

Τα σημαντικότερα ρήγματα του Ν. Ευβοϊκού και συγκεκριμένα του νοτιοανατολικού άκρου του κόλπου, εντοπίζονται στο στενό του Καφηρέα. Πιο συγκεκριμένα, πρόκειται για 2 - 4 μεγάλα ρήγματα διευθύνσεως ΒΑ – ΝΔ με άλμα μεγαλύτερο των 300 m. Αποτέλεσμα δράσης των ρηγμάτων είναι η δημιούργια μιας τεκτονικής τάφρου, που χωρίζει την Εύβοια από το νησί της Άνδρου και τις υπόλοιπες Κυκλάδες.

2.2.4 Αττική

Στην περιοχή της Αττικής εντοπίζονται περισσότερα από 10 ενεργά ρήγματα, μερικά από τα οποία βρίσκονται στην περιοχή του Σαρωνικού, την Κακιά Σκάλα, τους Άγιους Αποστόλους, τον Αυλώνα, τον Ωρωπό. Όμως, τρία είναι τα μεγαλύτερα ρήγματα που προσδίδουν στην Αττική, έντονο σεισμογενή χαρακτήρα (http://press-time.gr/).

Το πρώτο ρήγμα βρίσκεται βόρεια του Θριάσιου Πεδίου και καλύπτει τη νοτιοδυτική Πάρνηθα, εκεί δηλαδή όπου ήταν το επίκεντρο του σεισμού του ’99 (βλ. Κεφάλαιο 2.3). Το δεύτερο ρήγμα διαπερνά την περιοχή από τη Δροσιά μέχρι τη Ραφήνα, έχει μήκος 12 χιλιομέτρων και είναι γνωστό ως ρήγμα του Διονύσου. Τέλος, βόρεια της Πάρνηθας βρίσκεται το τρίτο ενεργό ρήγμα, το ρήγμα του Αυλώνα και έχει μήκος που ξεπερνά τα 18 χιλιόμετρα.

Τέλος, ένα ακόμα ενεργό ρήγμα της Αττικής έχει διεύθυνση Α - Δ, με τη μεγαλύτερη ισχύ του να εκδηλώνεται στην περιοχή του ανατολικού Κορινθιακού και δυτικού Σαρωνικού. Το ρήγμα της ΒΑ Αττικής προς τον Ευβοϊκό κόλπο έχει μικρότερη ισχύ (διεύθυνση ΒΔ – ΝΑ) (http://www.seismoi.gr/).

2.2.5 Κορινθιακός Κόλπος

Ο Κορινθιακός κόλπος είναι μία από τις πιο ενεργές νεοτεκτονικά και σεισμικά, περιοχές της Μεσογείου. Αποτελεί μια ασύμμετρη νεοτεκτονική τάφρο με άξονα διεύθυνσης ΔΒΔ – ΑΝΑ (Παπανικολάου Δ., Χρόνης Γ., Λυκούσης Β., Σακελλαρίου Δ., Παπούλια Ι., 1997). Είναι μια ενεργή λεκάνη, που χαρακτηρίζεται από έντονη σεισμικότητα, εξαιτίας διακριτών υποθαλάσσιων ρηγμάτων, τα οποία διατάσσονται κλιμακωτά κατά μήκος αυτού και είναι περίπου παράλληλα προς τις ακτές του. Πρόκειται για ένα σύστημα κλιμακωτών κανονικών ρηγμάτων με διεύθυνση Α – Δ. Επιπλέον, στην περιοχή σχηματίζονται μεγάλα τεκτονικά βυθίσματα, εξαιτίας των μεγάλων ρηξιγενών ζωνών.

Η τεκτονική των συνολικά 19 διακριτών υποθαλάσσιων ρηγμάτων, επιδρά τόσο στην παράκτια όσο και στην υποθαλάσσια γεωμορφολογία. Το κύριο ρήγμα που επιδρά, τοποθετείται ανοικτά των ακτών της Β. Πελοποννήσου. Επιπλέον, οι εφελκυστικές τάσεις (διεύθυνσης Β – Δ) που επικρατούν κατά μήκος του κόλπου, είναι η αιτία απομάκρυνσης μεταξύ του βόρειου και του νότιου τμήματος του κόλπου με ένα ρυθμός μετακίνησης της τάξης του 1 cm/y. Πιο συγκεκριμένα, έχει παρατηρηθεί η βύθιση της βόρειας ακτής ως προς τη νότια με ρυθμό μετακίνησης της τάξης του 1 mm/y (Παπανικολάου Δ., Χρόνης Γ., Λυκούσης Β., Σακελλαρίου Δ., Παπούλια Ι., 1997).

Στο βόρειο τμήμα του κόλπου, έχουν βρεθεί και χαρτογραφηθεί δέκα ρήγματα που καθορίζουν τη μορφολογία, ενώ στο νότιο τμήμα κυριαρχούν πέντε διακριτά και διακοπτόμενα ρήγματα κατά μήκος των ακτών της Πελοποννήσου. Η διεύθυνσή τους κυμαίνεται από ΑΒΑ – ΔΝΔ έως ΔΒΔ – ΑΝΑ και έχουν μήκος από 3 έως 25 km. Στο κεντρικό τμήμα αναπτύσσεται ένα ρήγμα μήκους περίπου 25 km, ενώ στο ανατολικό τμήμα παρατηρούνται 3 ρήγματα κατά μήκος της ακτογραμμής.

2.3 Οι Κυριότεροι Σεισμοί στην Περιοχή Μελέτης

Στο κεφάλαιο αυτό, περιγράφονται κάποιοι από τους σεισμούς που σημειώθηκαν στην περιοχή μελέτης, ανάμεσά τους και ο σεισμός της Αττικής του 1999 και παρουσιάζονται κάποιοι από τους κυριότερους (βάσει μεγέθους) σεισμούς στον πίνακα που ακολουθεί (Πίνακας 1.1) .

- **Σεισμός στον Αργοσαρωνικό Κόλπο**

Σύμφωνα με το Γεωδυναμικό Ινστιτούτο Αθηνών, στις 4 Απριλίου του 2014, ισχυρός σεισμός σημειώθηκε νοτιοανατολικά του νησιού Ύδρας (28 χλμ περίπου Ν - Α της Ύδρας), που βρίσκεται μεταξύ του Σαρωνικού και Αργολικού Κόλπου. Ο σεισμός ήταν μεγέθους 5.5 βαθμών της κλίμακας Ρίχτερ (M_L) και έλαβε χώρα στις 20:08 ώρα GMT διεθνής ώρα (Greenwich Mean Time) ή 23:08 τοπική ώρα.

- **Σεισμοί στον Σαρωνικό**

Σύμφωνα με το Γεωδυναμικό Ινστιτούτο Αθηνών, στις 29 Ιανουαρίου 2008 και ώρα 15:16 (GMT) ή 17:16 (τοπική ώρα), σημειώθηκε σεισμική δόνηση μεγέθους 4.6 βαθμών της κλίμακας Ρίχτερ (M_L). Το επίκεντρο του σεισμού ήταν ο Σαρωνικός, 50.5 χιλιόμετρα Ν - ΝΔ της Αθήνας, στο θαλάσσιο χώρο μεταξύ Αίγινας και Μεθάνων. Πρόκειται για επιφανειακό σεισμό, βάθους 20 χιλιομέτρων.

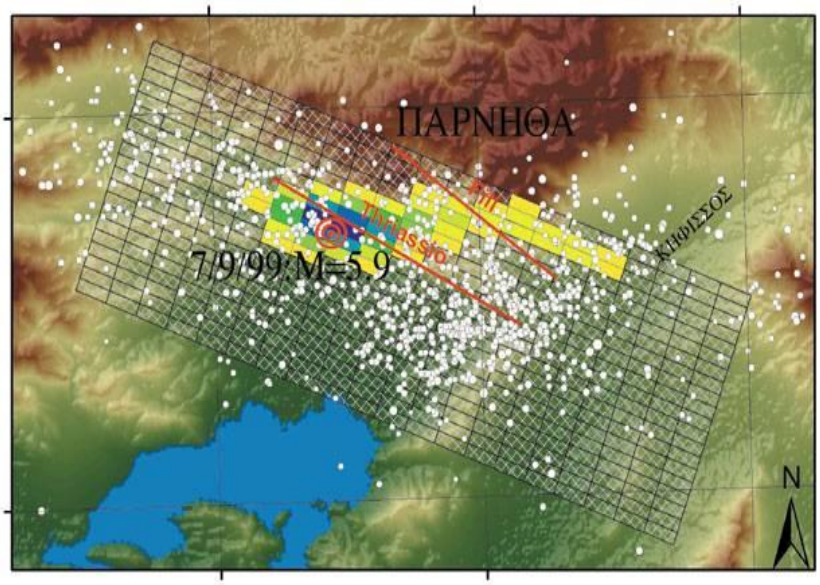
Ακόμα μια ισχυρή σεισμική δόνηση με επίκεντρο τη θαλάσσια περιοχή μεταξύ Μεθάνων – Αγκιστριού του Σαρωνικού κόλπου, έλαβε χώρα στις 3 Ιανουαρίου 2005 και ώρα 21:44 (GMT) ή 23:44 (τοπική ώρα). Το μέγεθος του σεισμού ήταν 4.5 βαθμών της κλίμακας Ρίχτερ (M_L) και είχε μεγάλο εστιακό βάθος 123 χιλιομέτρων.

- **Σεισμός στην Αττική 1999**

Στις 7 Σεπτεμβρίου 1999 και ώρα 11:57 GMT ή 14:57 τοπική ώρα, σημειώθηκε ισχυρός σεισμός στην Αττική με επίκεντρο νοτιοδυτικά της Πάρνηθας, μεγέθους 5.9 κλίμακας Ρίχτερ (M_W), σύμφωνα με Γεωδυναμικό Ινστιτούτο Αθηνών. Η ακριβής θέση του επικέντρου ήταν 21 χλμ Β - ΒΔ της Αθήνας. Ο σεισμός ήταν ιδιαίτερα αισθητός, εξαιτίας του μικρού βάθους του (10 χλμ) και παρουσιάστηκαν μεγάλες καταστροφές κυρίως στη Δυτική Αττική.

Αιτία δημιουργίας του σεισμού, ήταν η ολίσθηση της μια πλευράς του ρήγματος πάνω στην άλλη. Το ρήγμα βρισκόταν βόρεια του Θριάσιου Πεδίου, είχε μήκος 15 χλμ και διεύθυνση ΒΔ – ΝΑ, ενώ κάλυπτε όλη την περιοχή μεταξύ Πεντέλης και Πάρνηθας (Εικόνα 2.6). Επίσης, το ρήγμα δεν ήταν κατακόρυφο, αλλά η μία πλευρά του ήταν πιο ψηλά από την άλλη.

Πριν τον μεγάλο σεισμό, λίγες ώρες πριν, σημειώθηκαν μια σειρά από μικροί προσεισμοί (3.7 Ρίχτερ ή μικρότερου μεγέθους) καθώς και αρκετοί μετασεισμοί με μέγιστο μέγεθος 4.9 κλίμακας Ρίχτερ, εννέα ώρες μετά τον κύριο σεισμό. Ύστερα από έρευνα του Γεωδυναμικού Ινστιτούτου του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών (ΓΕΙΝ), έγιναν περίπου τέσσερις χιλιάδες μετασεισμοί. Πάνω από 50% της σεισμικότητας της περιοχής, εντάσσεται στη μετασεισμική ακολουθία του σεισμού του 1999 (Γκανάς Θ. – ΓΕΙΝ). Όσον αφορά την παραμόρφωση της επιφάνειας, πάρθηκαν και αναλύθηκαν μετρήσεις από δορυφορικό ραντάρ για το διάστημα Σεπτέμβριος 1999 με Σεπτέμβριος 2002. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το ρήγμα της Πάρνηθας συνέχισε να ολισθαίνει για δυόμιση περίπου χρόνια μετά το σεισμό. Στο Θριάσιο πεδίο, η μετασεισμική ολίσθηση δεν ξεπερνά τα 3 εκατοστά.



Εικόνα 2.6: Εικόνα της Πάρνηθας, όπου φαίνεται το ρήγμα του 1999 (παραλληλόγραμμο διεύθυνσης ΒΔ – ΝΑ). Με χρώμα φαίνονται τα κομμάτια που έσπασαν και το μέγεθος της ολίσθησης την 7-9-1999 (κίτρινο 10-30 cm, πράσινο 30-60 cm, γαλάζιο 60-90 cm).
Πηγή: Α.Γκανάς, Γεωδυναμικό Ινστιτούτο ΕΑΑ

ΚΥΡΙΟΤΕΡΟΙ ΣΕΙΣΜΟΙ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ						
Περιοχή	**Ακριβής Θέση**			**Ημερομηνία**	**Ώρα(GMT)**	**Μέγεθος (ML)**
	Επίκεντρο	**Γεωγρ. Πλάτος**	**Γεωγρ. Μήκος**			
Σαρωνικός Κόλπος	46.8 χλμ Α του Ναυπλίου	37.64°Β	23.33°Α	3/1/2005	21:44:28	4.5
	50.5 χλμ ΝΝΔ της Αθήνας	37.58°Β	23.47°Α	29/1/2008	15:16:50	4.6
	45.8 χλμ Α του Ναυπλίου	37.63°Β	23.32°Α	21/8/2011	6:14:18	4.3
	16.1 χλμ ΑΝΑ της Κορίνθου	37.88°Β	23.10°Α	6/9/2011	4:14:13	4.1
	10.8 χλμ ΝΑ της Κορίνθου	37.87°Β	23.02°Α	17/2/2012	8:05:04	4.2
Αργοσαρωνικός Κόλπος	66.2 χλμ Δ της Σερίφου / 28 χλμ ΝΑ της Ύδρας	37.20°Β	23.73°Α	4/4/2014	20:08:07	5.5
Κορινθιακός Κόλπος	23.5 χλμ ΒΒΔ της Κορίνθου	38.13°Β	22.82°Α	7/4/2000	19:09:26	4.2
	27.2 χλμ ΒΔ της Κορίνθου	38.10°Β	22.70°Α	10/9/2006	4:40:50	4.0
	27.8 χλμ ΒΔ της Κορίνθου	38.13°Β	22.73°Α	25/5/2008	15:11:36	4.1
	40.2 χλμ ΒΔ της Κορίνθου	38.15°Β	22.56°Α	23/10/2008	2:17:07	4.5
	23.9 χλμ ΒΔ της Κορίνθου	38.09°Β	22.74°Α	22/9/2012	3:52:24	4.9
	32.0 χλμ ΝΝΕ της Κορίνθου	38.18°Β	23.13°Α	20/9/2013	2:05:18	4.4
Ν. Αττικής	21.0 χλμ ΒΒΔ της Αθήνας	38.15°Β	23.62°Α	7/9/1999	11:56:50	5.4
Ν. Κορινθίας	33.1 χλμ Δ της Κορίνθου	37.99°Β	22.56°Α	23/11/2002	1:14:30	4.0
	29.9 χλμ ΔΝΔ της Κορίνθου	37.83°Β	22.62°Α	14/7/2011	8:41:55	4.0
	30.0 χλμ Δ της Κορίνθου	37.93°Β	22.59°Α	9/12/2012	1:23:05	4.1
Ν. Αργολίδας	17.7 χλμ ΒΒΔ του Ναυπλίου	37.71°Β	22.73°Α	6/4/2001	1:27:21	4.2
Ν. Αργολίδας	12.1 χλμ ΒΒΔ του Ναυπλίου	37.67°Β	22.78°Α	18/6/2008	1:58:42	5.1
Ν. Αρκαδίας	9.3 χλμ ΝΔ του Λεωνιδίου	37.11°Β	22.78°Α	6/1/2008	5:14:19	6.1

Πίνακας 1.1: Οι κυριότεροι σεισμοί στην περιοχή μελέτης. Οι σεισμοί με βυσσινί χρώμα έχουν περιγραφεί στο κυρίως κείμενο.
Πηγή: Γεωδυναμικό Ινστιτούτο Αθηνών (http://www.gein.noa.gr)

3 Παγκόσμια Γεωδαιτικά Συστήματα και Πλαίσια Αναφοράς

Ως *Σύστημα Αναφοράς (Reference System), ορίζεται ένα σύνολο συνταγών, συμβάσεων και μοντέλων ώστε να μπορούν να προσδιοριστούν η αρχή και ο προσανατολισμός των αξόνων ενός τριέδρου. Η υλοποίησή του εκφράζεται από τις συντεταγμένες ενός συνόλου θεμελιωδών σημείων, οι οποίες προσδιορίζονται και ορίζουν το Πλαίσιο Αναφοράς (Reference Frame)* (Φωτίου Α., Πικριδάς Χ., 2006).

Σε κάθε γεωδαιτική εφαρμογή, τα αποτελέσματα των μετρήσεων θα πρέπει να είναι εκφρασμένα σε ένα συγκεκριμένο σύστημα αναφοράς, γιατί μόνο τότε τα αποτελέσματα θα είναι αξιοποιήσιμα και θα είναι δυνατή η σύγκρισή τους τόσο μεταξύ τους όσο και με αποτελέσματα που έχουν προκύψει από τελείως διαφορετικές γεωδαιτικές εφαρμογές. Όπως είναι φυσικό, η ίδια ανάγκη υπάρχει και στις μετρήσεις GPS. Είναι γνωστό ότι, οι δορυφορικές μετρήσεις συνδέουν τους δορυφόρους με σημεία της γήινης επιφάνειας. Οι δορυφορικές θέσεις (συντεταγμένες) εκφράζονται στο λεγόμενο «*Ουράνιο ή Αδρανειακό Σύστημα Αναφοράς*». Έτσι, κρίνεται αναγκαία η μετατροπή τους στο *Επίγειο Σύστημα Αναφοράς,* που χρησιμοποιείται για τα σημεία της φυσικής γήινης επιφάνειας. Στο κεφάλαιο αυτό, περιγράφονται τα παραπάνω συστημάτα αναφοράς και γίνεται μια ανάλυση του τρόπου μετασχηματισμού από το ένα σύστημα στο άλλο.

3.1 Διεθνές Ουράνιο ή Αδρανειακό Σύστημα Αναφοράς – ICRS (International Celestrial Reference System)

Η αρχή του βρίσκεται στο βαρύκεντρο του ηλιακού συστήματος και οι άξονές του είναι προσανατολισμένοι ως προς ένα σύνολο εξωγαλαξιακών ραδιοπηγών (quasars). Ο προσανατολισμός των αξόνων επιτυγχάνεται με μετρήσεις VLBI (Very Long Baseline Interferometry). Οι μέσες ισημερινές συντεταγμένες ενός συνόλου εξωγαλαξιακών ραδιοπηγών, συντελούν το Διεθνές Ουράνιο ή Αδρανειακό Πλαίσιο Αναφοράς, ICRF, μέσω του οποίου υλοποιείται το σύστημα αναφοράς. Ως εποχή αναφοράς του έχει ορισθεί η Ιουλιανή εποχή για το έτος 2000 (J2000).

3.2 Διεθνές Επίγειο Σύστημα Αναφοράς – ITRS (International Terrestrial Reference System)

Για την υλοποίησή του Διεθνούς Επίγειου Συστήματος Αναφοράς, έχει ιδρυθεί ένα παγκόσμιο δίκτυο με πάνω από 500 σταθμούς σε όλη τη γη, οι οποίοι συνθέτουν το Διεθνές Επίγειο Πλαίσιο Αναφοράς (ITRF). Εξαιτίας των τεκτονικών μετακινήσεων, η θέση των σημείων δεν παραμένει σταθερή, αλλά παρατηρείται μια σχετική μετακίνηση. Έτσι, καθίσταται επιτακτική η ανάγκη ορισμού νέων πλαισίων αναφοράς, περίπου κάθε χρόνο. Στο διαδίκτυο και συγκεκριμένα στην σελίδα της ITRF, παρέχονται οι συντεταγμένες και οι ταχύτητες μετακίνησης των σταθερών σταθμών για όλα τα πλαίσια αναφοράς, σε μια συγκεκριμένη

εποχή. Οι ταχύτητες δίνονται ανά έτος, μιας και οι μεταβολές του ITRF μπορούν να περιγραφούν ικανοποιητικά για αυτό το χρονικό διάστημα. Τα διαθέσιμα πλαίσια αναφοράς είναι τα ITRF1992, ITRF1993, ITRF1994, ITRF1996, ITRF1997, ITRF2000, ITRF2005, ITRF2008. Πιο κάτω, περιγράφονται τα ITRF1992 και ITRF2008.

- **Διεθνές Επίγειο Πλαίσιο Αναφοράς – ITRF1992:** Πρόκειται για το πλαίσιο αναφοράς που προσδιορίστηκε το 1992 με διεθνή χρήση και αντικαθιστά το ITRF1991. Ορίζεται από συλλογή πληροφοριών από τη διεθνή υπηρεσία IERS (International Earth Rotation Service) και από την υπηρεσία IGN (Institut Géographique National) του Παρισιού. Οι καρτεσιανές συντεταγμένες που το ορίζουν αναφέρονται στην εποχή 1992.0. Αναφέρεται στο ελλειψοειδές GRS80 με βασικό μεσημβρινό του Greenwich. Η αρχή του είναι το γεώκεντρο και είναι προσανατολισμένο προς το BIH Επίγειο Σύστημα την εποχή 1984.0.

- **Διεθνές Επίγειο Πλαίσιο Αναφοράς – ITRF2008:** Πρόκειται για μια νέα βελτιωμένη έκδοση του ITRF2005 που στηρίζεται στην επεξεργασία των ίδιων τεσσάρων δορυφορικών τεχνικών που χρησιμοποιήθηκαν και για την προηγούμενη έκδοση. Συγκεκριμένα, ως δεδομένα εισαγωγής χρησιμοποιεί χρονοσειρές από τις θέσεις των σταθμών και τις παραμέτρους περιστροφής της γης (EOP's). Οι χρονοσειρές παρέχονται σε εβδομαδιαία βάση από τις διεθνείς υπηρεσίες IAG (International Association of Geodesy) και καθημερινά από τη διεθνή υπηρεσία IVS (International VLBI Service). Τα εβδομαδιαία δεδομένα στηρίζονται στις δορυφορικές τεχνικές *GPS*, από την υπηρεσία IGS (International GNSS Service), την τεχνική *SLR*, από τη διεθνή υπηρεσία ILRS (International Laser Ranging Service) και την τεχνική *DORIS*, από τη διεθνή υπηρεσία IDS (International Doris Service). Τα ημερήσια δεδομένα στηρίζονται στη δορυφορική τεχνική *VLBI* και παρέχονται από την υπηρεσία IVS. Τα δεδομένα των σταθμών (θέση και ταχύτητα) που συνθέτουν το ITRF 2008, αναφέρονται στην εποχή 2005.0.

3.3 Μετασχηματισμός από το πλαίσιο αναφοράς ITRF2008 στο ITRF 1992

Όπως έχει προαναφερθεί, το σύστημα αναφοράς είναι απαραίτητο για κάθε γεωδαιτική εφαρμογή, αφού μόνο τότε τα αποτελέσματα θα είναι αξιοποιήσιμα και θα είναι δυνατή η σύγκρισή τους τόσο μεταξύ τους, όσο και με αποτελέσματα προηγούμενων γεωδαιτικών εφαρμογών. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί στη χρήση ενός συστήματος αναφοράς σε κάθε γεωδαιτική εργασία. Πολλές φορές, όμως, απαιτείται η χρήση και άλλων δεδομένων που είναι εκφρασμένα σε ένα άλλο σύστημα αναφοράς, από αυτό που χρησιμοποιείται. Έτσι, λοιπόν, απαιτείται ο μετασχηματισμός από το ένα σύστημα αναφοράς στο άλλο.

Αυτό, θα πραγματοποιηθεί με τη βοήθεια των παραμέτρων μετασχηματισμού (ή αλλιώς παράμετροι Helmert), που παρέχονται στην ιστοσελίδα της ITRF. Στον πίνακα που ακολουθεί, παρουσιάζονται οι τιμές και ο ρυθμός μετακίνησης (ανά έτος) των παραμέτρων μετασχηματισμού από το σύστημα αναφοράς ITRF2008 στο ITRF1992 (Πίνακας 3.1). Για την ορθή χρήση τους, η εποχή αναφοράς των παραμέτρων πρέπει να είναι ίδια με την αντίστοιχη εποχή αναφοράς των συντεταγμένων που πρόκειται να μετασχηματιστούν. Για να επιτευχθεί αυτό, εφαρμόστηκε ο μαθηματικός τύπος (3.1).

$$P(t) = P(EPOCH) + \dot{P} \times (t - EPOCH) \tag{3.1}$$

Όπου,

P : η παράμετρος μετασχηματισμού
$\dot{P}$: ρυθμός μετακίνησης (ταχύτητα) των παραμέτρων
t : εποχή αναφοράς των συντεταγμένων
$EPOCH$: εποχή αναφοράς των τιμών των παραμέτρων (από ITRF)

Οι παράμετροι μετασχηματισμού είναι οι Tx, Ty, Tz, που είναι οι μεταθέσεις κατά τους άξονες X, Y, Z, αντίστοιχα, η κλίμακα D και οι Rx, Ry, Rz που δηλώνουν τις στροφές κατά τους άξονες X, Y, Z, αντίστοιχα. Έπειτα από την εύρεση των τιμών των παραμέτρων στη σωστή εποχή αναφοράς, σειρά έχει ο μετασχηματισμός των συντεταμένων από το ένα σύστημα αναφοράς στο άλλο, το ζητούμενο, με εφαρμογή της ακόλουθης σχέσης (3.2). Σε αυτήν, οι XS, YS, ZS, είναι οι τελικές συντεταγμένες (στο ITRF1992), ενώ οι X, Y, Z, οι αρχικές συντεταγμένες (στο ITRF2008). Τα υπόλοιπα στοιχεία είναι οι παράμετροι μετασχηματισμού, όπως έχουν αναλυθεί παραπάνω.

$$\begin{bmatrix} XS \\ YS \\ ZS \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Tx \\ Ty \\ Tz \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} D & -Rz & Ry \\ Rz & D & -Rx \\ -Ry & Rx & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} \tag{3.2}$$

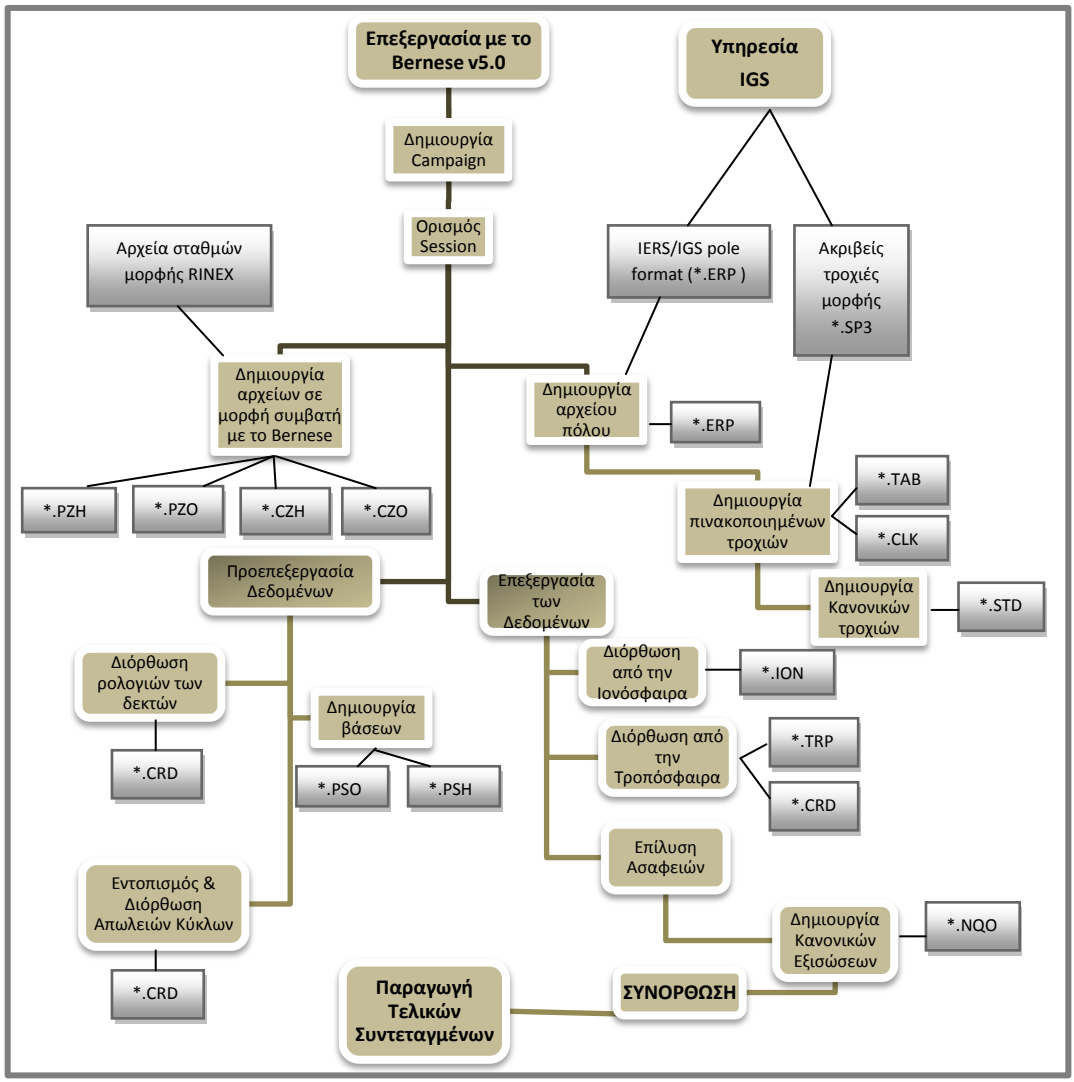
		ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥ						
EPOCH 2000.0	Solution	**Tx (mm)**	**Ty (mm)**	**Tz (mm)**	**D (ppb)**	**Rx (0.001'')**	**Ry (0.001'')**	**Rz (0.001'')**
		12.8	4.6	-41.2	2.21	0	0	0.06
	Rates	**Tx (mm/y)**	**Ty (mm/y)**	**Tz (mm/y)**	**D (ppb/y)**	**Rx (0.001''/y)**	**Ry (0.001''/y)**	**Rz (0.001''/y)**
		0.1	-0.5	-3.2	0.09	0	0	0.02

Πίνακας 3.1: Οι τιμές και οι ταχύτητες των παραμέτρων, για μετασχηματισμό από το σύστημα αναφοράς ITRF2008 στο ITRF1992. Οι παράμετροι αναφέρονται στην εποχή 2000.0.

4 Περιγραφή του λογισμικού επεξεργασίας δορυφορικών δεδομένων, «Bernese GPS Software Version 5.0»

Το επιστημονικό πακέτο Bernese v.5, έχει δημιουργηθεί από το Αστρονομικό Ινστιτούτο του Πανεπιστημίου της Βέρνης (Astronomical Institute, University of Bern) και επεξεργάζεται δορυφορικές παρατηρήσεις. Πρόκειται για ένα λογισμικό που πληρεί τα υψηλότερα πρότυπα ποιότητας, ώστε να χρησιμοποιείται σε κάθε είδους γεωδαιτικές εφαρμογές. Επεξεργάζεται δεδομένα GLONASS (Global Navigation Satellite System) καθώς και GPS (Global Positioning System).

Στη συνέχεια, παρουσιάζεται σχηματικά (Σχήμα 4.1) και γίνεται μια λεπτομερής ανάλυση των εργασιών που πραγματοποιήθηκαν με το εν λόγω λογισμικό.



Σχήμα 4.1: Διάγραμμα ροής με τη σειρά εργασιών που ακολουθείται από το λογισμικό. Σε κάθε στάδιο φαίνεται και η μορφή του παραγόμενου αρχείου.

Τόσο οι μετρήσεις φάσης όσο και οι ψευδο-αποστάσεις κώδικα είναι επηρεασμένες από συστηματικά και τυχαία σφάλματα. Οι δορυφορικές τροχιές, τα ρολόγια των δορυφόρων και των δεκτών, το μέσο διάδοσης (τροπόσφαιρα, ιονόσφαιρα), σχετικιστικά φαινόμενα [3] καθώς και το κέντρο φάσης των κεραιών αποτελούν κάποια παραδείγματα συστηματικών σφαλμάτων που επιδρούν στις μετρήσεις GPS. Με το λογισμικό Bernese, όλα τα (σχετικά) συστηματικά σφάλματα μοντελοποιούνται.

4.1 Δημιουργία «Καμπάνιας» και ορισμός «Εποχής Αναφοράς»

Στο πρόγραμμα με τον όρο «*καμπάνια*», καλείται μια σειρά δεδομένων, που η επεξεργασία τους θα πραγματοποιηθεί μαζικά. Με τον όρο «*session*», καλείται το χρονικό διάστημα που καλύπτει όλες τις παρατηρήσεις που η επεξεργασία τους θα γίνει μαζικά. Μια καμπάνια, αποτελείται από μία ή και περισσότερες «sessions» που όλες μαζί συνθέτουν το χρονικό διάστημα των παρατηρήσεων της συγκεκριμένης καμπάνιας.

4.2 Μετατροπή αρχικών αρχείων σε μια συμβατή μορφή με το πρόγραμμα

Τα δεδομένα που θα εισαχθούν στο λογισμικό πρέπει να είναι υπό μορφή αρχείων RINEX (Receiver INdependent EXchange Format). Στα δεδομένα GPS, η συγκεκριμένη μορφή αρχείων έχει γίνει διεθνώς αποδεκτή, μιας και επιτρέπει την επεξεργασία των παρατηρήσεων, από δέκτες διαφορετικών εταιρειών, με οποιοδήποτε λογισμικό GPS.

Με χρήση του προγράμματος **RXOBV3** δημιουργούνται αρχεία συμβατά με το πρόγραμμα. Επίσης, σε αυτό το στάδιο πραγματοποιούνται και πολυάριθμοι έλεγχοι στις πληροφορίες των αρχείων Rinex (RINEX header information) καθιστώντας εμφανή διάφορα προβλήματα που πιθανώς υπάρχουν. Πρόκειται για την παραγωγή αρχείων με δυαδική μορφή (Bernese binary format). Δημιουργούνται 4 αρχεία, μηδενικών διαφορών (zero difference observation files). Επιπλέον, παράγεται και ένα αρχείο με τις συντεταγμένες των σημείων (οι παραγόμενες συντεταγμένες είναι οι αναγραφόμενες στα αρχεία εισαγωγής RINEX). Το διάστημα δειγματοληψίας παρατηρήσεων είναι συνήθως 30 δευτερόλεπτα. Τα παραγόμενα αρχεία είναι:

- *.PZH: αρχείο πληροφοριών της φάσης για κάθε σημείο, στις συχνότητες L1, L2.
- *.PZO: αρχείο παρατηρήσεων της φάσης για κάθε σημείο, στις συχνότητες L1, L2.
- *.CZH: αρχείο πληροφοριών του κώδικα για κάθε σημείο, στους κώδικες P1, P2.
- *.CZO: αρχείο παρατηρήσεων του κώδικα για κάθε σημείο, στους κώδικες P1, P2.

Από τα παραγόμενα αρχεία πληροφοριών (*.PZH & *.CZH), το πρόγραμμα λαμβάνει τις πληροφορίες σχετικά με την εποχή αναφοράς (session) των δεδομένων.

[3] Ο χρόνος στα ρολόγια των κινούμενων δορυφόρων «κυλάει» πιο αργά σε σχέση με τα ρολόγια των σταθερών δεκτών - «Θεωρία Σχετικής Ειδικότητας», Αϊνστάιν.

4.3 Δημιουργία αρχείου πόλου

Σε αυτό το στάδιο, γίνεται χρήση του προγράμματος **POLUPD**. Πρόκειται για μετατροπή του αρχείου πόλου από μορφή IGS/IERS σε μορφή συμβατή με το λογισμικό. Το αρχικό αρχείο πόλου παρέχεται διαδικτυακά από την υπηρεσία IGS, και ανανεώνεται κάθε εβδομάδα. Τόσο το αρχικό αρχείο όσο και το παραγόμενο έχουν κατάληξη .*ERP. Για τη λειτουργία του προγράμματος, εισάγονται δύο μοντέλα. Ως «μοντέλο κλόνισης» (Nutation Model) εισάγεται το IAU2000 εγκεκριμένο από τη Διεθνή Αστρονομική Μονάδα (International Astronomical Union – IAU) και ως μοντέλο περιγραφής των καθημερινών παλιρροϊκών μεταβολών του πόλου και περιστροφής της Γης (Subdaily pole Model), το IERS2000 (IERS: Internation Earth Rotation and Reference Systems Service).

4.4 Δημιουργία τροχιών

Το μέρος στο λογισμικό που αφορά τις τροχιές περιλαμβάνει προγράμματα (PRETAB, ORBGEN) που ελέγχουν και μετατρέπουν τις εφημερίδες αναμετάδοσης (broadcast ephemerides), παράγουν αρχείο των δορυφορικών ρολογιών και μετατρέπουν την πληροφορία των ακριβών τροχιών, σε αρχείο κανονικών τροχιών.

Οι *ακριβείς δορυφορικές τροχιές* παρέχονται από την υπηρεσία IGS (*.SP3c αρχεία), υπό μορφή πινακοποιημένων γεωκεντρικών θέσεων στο Επίγειο Σύστημα Αναφοράς (EARTH - FIXED) κάθε 15 λεπτά. Τα αρχεία μορφής *.SP3, είναι μια διεθνής μορφή με πληροφορίες ακριβών τροχιών, σχετικά με τη θέση του δορυφόρου καθώς και πληροφορίες για τα ρολόγια τους. Υποστηρίζουν πληροφορίες που προέρχονται από GPS, GLONASS και LEO δορυφόρους.

Με χρήση του προγράμματος **PRETAB**, παράγονται *πινακοποιημένα αρχεία τροχιών*. Πρόκειται για ένα ενδιάμεσο στάδιο πριν τη δημιουργία των κανονικών τροχιών. Σε αυτό το στάδιο παράγεται και ένα αρχείο ρολογιών του δορυφόρου σε μορφή του λογισμικού (χρήση στο πρόγραμμα CODSPP). Τόσο οι τροχιές που παράγονται σε αυτό το στάδιο, όσο και το αρχείο με τα δορυφορικά ρολόγια, δημιουργούνται από πληροφορίες των αρχείων των ακριβών τροχιών που έχουν εισαχθεί στο πρόγραμμα.

Επιπλέον, μετατρέπονται οι θέσεις των δορυφόρων από το Επίγειο στο Αδρανειακό – Ουράνιο Σύστημα Αναφοράς, με εποχή αναφοράς J2000.0. Η μετατροπή είναι απαραίτητη, μιας και οι εξισώσεις κίνησης αναφέρονται στο Αδρανειακό – Ουράνιο Σύστημα Αναφοράς. Για το μετασχηματισμό, οι παράμετροι προσανατολισμού της Γης (Earth orientation parameters – EOPs) ή οι παράμετροι περιστροφής της Γης (Earth rotation parameters – ERPs), εκφράζονται μέσω του αρχείου πόλου όπως έχει δημιουργηθεί σε προηγούμενο στάδιο και μαζί με το αρχείο των ακριβών τροχιών παρέχουν τη δημιουργία τροχιών υψηλής ποιότητας.

Για τη δημιουργία των *κανονικών τροχιών* (*.STD), γίνεται χρήση του προγράμματος **ORBGEN,** βάζοντας ως αρχείο εισαγωγής τις πινακοποιημένες τροχιές που παρήχθησαν στο προηγούμενο στάδιο. Πιο συγκεκριμένα, από τις τροχιές αυτές, το πρόγραμμα χρησιμοποιεί τις θέσεις κάθε δορυφόρου, ως ψευδο - παρατηρήσεις για το προσδιορισμό της τροχιάς[4] κάθε

[4] Η τροχιά αναφέρεται πάντα ως προς το κέντρο μάζας του δορυφόρου.

δορυφόρου. Τα αρχεία των κανονικών τροχιών έχουν δυαδική μορφή και αναπαριστούν τις θέσεις των δορυφόρων με τη μορφή ενός πολυωνύμου που είναι αποτέλεσμα μιας αριθμητικής ολοκλήρωσης των εξισώσεων της κίνησης.

Στο στάδιο αυτό, είναι πολύ σημαντικό να γίνει χρήση του ίδιου αρχείου πόλου και ίδιων πληροφοριών για την κίνηση και την περιστροφή της Γης, που χρησιμοποιήθηκαν και στο στάδιο δημιουργίας των πινακοποιημένων τροχιών. Μόνο τότε θα εξασφαλιστεί ότι ο μετασχηματισμός από το Επίγειο στο Αδρανειακό (στο πρόγραμμα PRETAB) και από το Αδρανειακό στο Επίγειο Σύστημα Αναφοράς είναι ίδιος (στο πρόγραμμα GPSEST).

4.5 Επεξεργασία αρχείων παρατηρήσεων

Σε αυτό το στάδιο δεν παράγονται τελικά αποτελέσματα, αλλά στην ουσία πρόκειται για έναν έλεγχο και προετοιμασία των δεδομένων, πριν το κύριο υπολογιστικό πρόγραμμα (GPSEST).

4.5.1 Προετοιμασία για τις διορθώσεις των ρολογιών των δεκτών

Οι διορθώσεις των ρολογιών των δορυφόρων είναι απαραίτητες προκειμένου να συγχρονιστούν με τα ρολόγια των δεκτών. Ο συγχρονισμός πραγματοποιείται με το πρόγραμμα **CODSPP**. Όπως έχει προαναφερθεί, με το πρόγραμμα PRETAB, παράγεται ένα αρχείο δορυφορικών ρολογιών, το οποίο είναι απαραίτητο για τον υπολογισμό των διορθώσεων των ρολογιών για κάθε εποχή παρατήρησης στη συχνότητα L3. Εδώ, γίνεται χρήση των αρχείων κώδικα (*.CZH).

Με το πρόγραμμα υπολογίζεται το a-priori σφάλμα των ρολογιών των δεκτών, δκ, με επαρκή ακρίβεια (<1 μs). Έτσι, έχοντας υπολογίσει το σφάλμα, οι διορθώσεις που προκύπτουν εισάγονται στα αρχεία παρατηρήσεων του λογισμικού (φάσης και κώδικα). Ένα ακόμα σημαντικό παράγωγο του προγράμματος είναι οι συντεταγμένες των σταθμών. Με την ολοκλήρωση του προγράμματος πρέπει να ελέγχεται στο output αρχείο η ένδειξη «CLOCK OFFSETS STORED IN CODE+PHASE OBSERNATION FILES», για κάθε σταθμό.

4.5.2 Δημιουργία βάσεων

Επόμενο βήμα είναι η δημιουργία βάσεων από δύο αρχεία παρατηρήσεων μηδενικών διαφορών (*.PZH). Το πρόγραμμα που χρησιμοποιείται είναι το **SNGDIF** και τα παραγόμενα αρχεία είναι απλών διαφορών (*.PSH & *.PSO). Απαραίτητη προϋπόθεση τα αρχικά αρχεία που θα δημιουργήσουν τη βάση, να περιλαμβάνουν δεδομένα που αναφέρονται σε κοινό χρονικό διάστημα (κοινές χρονικές παρατηρήσεις). Συνήθως οι σχηματιζόμενες βάσεις δημιουργούνται από τη σύνδεση ενός σταθμού αναφοράς με όλους τους υπόλοιπους (STAR Strategy). Ο σταθμός αναφοράς πρέπει πάντα να περιλαμβάνει δεδομένα κοινής χρονικής διάρκειας με τους υπόλοιπους σταθμούς, γιατί διαφορετικά θα είναι αδύνατη η δημιουργία βάσεων. Έτσι, προκειμένου να εξασφαλιστεί αυτό, ως σταθμός αναφοράς, επιλέγεται ο

σταθμός που οι παρατηρήσεις του αναφέρονται σε μετρήσεις αρκετών ωρών (συνήθως ημερήσιες).

4.5.3 Εντοπισμός και διόρθωση απωλειών κύκλων

Ως απώλεια κύκλων στις μετρήσεις φάσης, ονομάζεται η απώλεια ενός αγνώστου ακεραίου αριθμού κύκλων της φέρουσας συχνότητας, όταν διακοπεί η συνεχής παρακολούθηση ενός ή περισσοτέρων δορυφόρων από τον δέκτη (Παραδείσης Δ., 2000).

Οι απώλειες κύκλων, μπορεί να οφείλονται σε παρεμπόδιση του σήματος από δέντρα, κτίρια κ.λπ. Μπορεί να οφείλεται σε σφάλμα στο λογισμικό των δεκτών ή και σε δυσλειτουργία στον ταλαντωτή του δορυφόρου. Επιπλέον, οι ταχέως μεταβαλλόμενες συνθήκες της ιονόσφαιρας, η υψηλή δυναμική του δέκτη ή το χαμηλό υψόμετρο των δορυφόρων μπορεί να προκαλέσει αδυναμία ή αλλιώς «θόρυβο» του σήματος.

Σε αυτό το στάδιο, με το πρόγραμμα **MAUPRP** εντοπίζονται και διορθώνονται οι απώλειες κύκλων, σημειώνονται και απομακρύνονται οι μη κατάλληλες παρατηρήσεις[5]. Γίνεται χρήση αρχείων απλών διαφορών (όπως έχουν προκύψει στο στάδιο δημιουργίας βάσεων) καθώς και η χρήση δορυφορικών τροχιών ακριβείας και οι συντεταγμένες των σταθμών (όπως έχουν προκύψει από το πρόγραμμα CODSPP). Το πρόγραμμα διορθώνει τα μεγάλες «ασυνέχειες» (jumps) στο επίπεδο των απλών διαφορών και κατά συνέπεια, διορθώνει τα αρχεία των βάσεων. Πρέπει να σημειωθεί πως κάποιες από τις «ασυνέχειες» προέρχονται από τα ρολόγια των δορυφόρων (μη συγχρονισμός με ώρα GPS) και είναι κοινά σε όλους τους δορυφόρους. Για αυτό το λόγο έχει προηγηθεί ο συγχρονισμός των ρολογιών των δορυφόρων με το πρόγραμμα CODSPP, ώστε να εξασφαλιστεί ότι οι «ασυνέχειες» που θα εντοπιστούν και θα διορθωθούν είναι όντως απώλειες κύκλων στο μεταδιδόμενο σήμα.

Το στάδιο αυτό, πραγματοποιείται σε δύο βήματα. Στο αρχικό, παράγεται ένα αρχείο με βελτιωμένες (από τυχόν απώλειες κύκλων) συντεταγμένες των σταθμών, όμως οι αλλαγές που προκύπτουν από την εφαρμογή του προγράμματος δεν αποθηκεύονται στα αρχικά αρχεία παρατηρήσεων. Στο δεύτερο στάδιο, ως αρχείο συντεταγμένων εισάγεται αυτό που παράχθηκε στο πρώτο στάδιο και επιπλέον τροποποιούνται τα αρχεία απλών διαφορών, σημειώνοντας για κάθε βάση ποια παρατήρηση θα παραμείνει και ποια θα απορριφθεί.

[5] Όπως παρατηρήσεις που έχουν προκύψει από τροχιές δορυφόρων με χαμηλή γωνία ανύψωσης, εποχές που οι παρατηρήσεις αναφέρονται στη συχνότητα L1 χωρίς την L2 ή αντίστροφα (unpaired observations) και ο μη ικανοποιητικός αριθμός παρατηρήσεων. Μόλις εντοπιστεί κάτι από τα παραπάνω, οι παρατηρήσεις σημειώνονται και εξαιρούνται από το στάδιο της προετοιμασίας και ανάλυσης των δεδομένων.

4.6 Κύριο υπολογιστικό πρόγραμμα

Η εκτίμηση των παραμέτρων στο Bernese GPS Software, βασίζεται στη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων. Σε αυτό το στάδιο, γίνεται χρήση δύο προγραμμάτων, του GPSEST και του ADDNEQ2. Με το πρώτο γίνεται η επεξεργασία των παρατηρήσεων. Πιο αναλυτικά, οι παρατηρήσεις διορθώνονται από την τροπόσφαιρα, την ιονόσφαιρα, επιλύονται οι ασάφειες φάσης και δημιουργούνται οι κανονικές εξισώσεις. Σειρά έχει η συνόρθωση των παρατηρήσεων, που επιτυγχάνεται με το πρόγραμμα ADDNEQ2.

4.6.1 Διόρθωση παρατηρήσεων από την Τροπόσφαιρα

Η Τροπόσφαιρα και η Ιονόσφαιρα, είναι τα δύο βασικά στρώματα της Γης, όπου επηρεάζουν τη διάδοση του δορυφορικού σήματος με διαφορετικό τρόπο. Η Τροπόσφαιρα είναι το χαμηλότερο τμήμα της ατμόσφαιρας και εκτείνεται σε μια έκταση των 20 km από την επιφάνεια της Γης. Με τον όρο τροποσφαιρική διάθλαση, καλείται η καθυστέρηση στη διάδοση των σημάτων εξαιτίας της διέλευσής τους από το ουδέτερο μέρος της ατμόσφαιρας ή αλλιώς της τροπόσφαιρας. Δύο από τα πιο δημοφιλή μοντέλα που χρησιμοποιούνται για να υπολογίσουν την τροποσφαιρική διάθλαση είναι το μοντέλο «Saastamoinen[6]» και το μοντέλο «Niell[7] ».

Κατά την εκτέλεση του προγράμματος **GPSEST**, για διόρθωση από την τροποσφαιρική διάθλαση, έγινε χρήση του μοντέλου Niell (Wet and Dry Niell Model για το υγρό και ξηρό μέρος της ατμόσφαιρας, αντίστοιχα). Ορίζοντας ένα τέτοιο μοντέλο, στην ουσία εισάγονται στο πρόγραμμα και οι παράμετροι της πίεσης, της θερμοκρασίας και της υγρασίας, που είναι απαραίτητοι για τη διόρθωση της διάθλασης της τροπόσφαιρας. Με το πρόγραμμα GPSEST, εκτιμώνται οι τροποσφαιρικές παράμετροι (site-specific troposphere parameters), που είναι διορθώσεις για κάθε σταθμό ανά ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα (συνήθως κάθε 2 ώρες) και μια σειρά διορθώσεων στο αρχικό μοντέλο. Μια από τις υπολογισμένες διορθώσεις, είναι η διόρθωση της τροπόσφαιρας στο ζενίθ. Εξαιτίας της διάθλασης, η θέση στο ζενίθ δεν είναι η σωστή, αλλά υπάρχει μια απόκλιση περίπου 2.5 m.

Έγινε χρήση αρχείων φάσης απλών διαφορών, δηλαδή αρχεία των βάσεων. Αρχικά, πραγματοποιείται η διόρθωση των παρατηρήσεων από την τροπόσφαιρα, στην συχνότητα L3 που αντιστοιχεί στο γραμμικό συνδυασμό «Ionosphere-free linear combination of dual-band measurements». Με τον συγκεκριμένο γραμμικό συνδυασμό, σχεδόν απαλείφονται οι επιδράσεις της ιονόσφαιρας και χρησιμοποιείται στα περισσότερα δίκτυα.

Το μέγεθος του τροποσφαιρικού σφάλματος έχει άμεση σχέση με τη γωνία ανύψωσης των δορυφόρων και μεγαλώνει όσο μικραίνει η γωνία. Έτσι, προκειμένου να εκτιμηθούν οι παράμετροι της τροπόσφαιρας που αφορούν την κλίση (troposphere gradients), επιλέχθηκαν τα δεδομένα που προέρχονται από γωνία ανύψωσης με κατώτερη τιμή, τις 10 μοίρες.

---

[6] Χρησιμοποιείται για το υδροστατικό (ή ξηρό) συστατικό της ατμοσφαιρικής διάθλασης. Το μοντέλο του Saastamoinen θεωρεί ότι το ξηρό μέρος της ατμόσφαιρας βρίσκεται σε υδροστατική ισορροπία.
Το μοντέλο χρησιμοποιήθηκε στο πρόγραμμα CODSPP.

[7] Το μοντέλο «Niell» προέκυψε ως σύνθεση των προϊόντος της ζενίθιας καθυστέρησης του Saastamoinen (Saastamoinen zenith delay) και των συναρτήσεων του Niell (Niell Mapping Functions).
Το μοντέλο χρησιμοποιήθηκε στο πρόγραμμα MAUPRP και GPSEST.

4.6.2 Διόρθωση παρατηρήσεων από την Ιονόσφαιρα

Η Ιονόσφαιρα είναι το ανώτερο τμήμα της ατμόσφαιρας και βρίσκεται μεταξύ των 70 και 1000 km από την επιφάνεια της Γης. Πρόκειται για το μέρος της ατμόσφαιρας, όπου παρατηρείται ένας επαρκής αριθμός από ηλεκτρόνια και ιόντα που επηρεάζουν τη διάδοση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων. Η ιονόσφαιρα αποτελεί ένα μέσο διασποράς στη ζώνη ραδιοσυχνοτήτων, με αποτέλεσμα η ιονοσφαιρική διάθλαση να εξαρτάται από τη συχνότητα του παρατηρούμενου σήματος.

Γίνεται χρήση της συχνότητας L4 που αντιστοιχεί στο γραμμικό συνδυασμό «Geometry-free LC of dual-band measurements» και είναι η διαφορά των συχνοτήτων L1, L2 (σε μέτρα) (L4=L1-L2). Ο γραμμικός συνδυασμός, είναι ανεξάρτητος από τα ρολόγια των δεκτών, των δορυφόρων αλλά και από τη γεωμετρία (τροχιές, συντεταγμένες σταθμών). Χρησιμοποιείται κατά την παραγωγή ιονοσφαιρικών μοντέλων, μιας και περιέχει μόνο την ιονοσφαιρική καθυστέρηση και τις αρχικές ασάφειες φάσης.

4.6.3 Επίλυση Ασαφειών Φάσης

Οι δέκτες, μετρούν τη διαφορά μεταξύ της φάσης του σήματος που μεταδίδει ο δορυφόρος και της φάσης του σήματος (ενός αντίγραφου του σήματος) που αναπαράγει ο δέκτης. Αυτή η μέτρηση, μεταφράζεται σε μια τιμή μεταξύ 0 και 1 κύκλος (0 και 2π rad αντίστοιχα). Από τη στιγμή ανάγνωσης σήματος μέχρι τη στιγμή της πρώτης μέτρησης, ο αρχικός ακέραιος αριθμός κύκλων ανάμεσα στον δορυφόρο και τον δέκτη είναι άγνωστος και πρέπει να εκτιμηθεί.

Η αβεβαιότητα της αρχικής μέτρησης (άγνωστος ακέραιος αριθμός κύκλων), αποτελεί την ασάφεια φάσης στην συχνότητα συμβολής και εισάγεται σαν συστηματικό σφάλμα σε όλες τις συνεχείς μετρήσεις και μέχρι κάποια διακοπή (Παραδείσης Δ., 2000). Η ασάφεια φάσης αποτελείται από τρεις παράγοντες: $\alpha_i + b^j + N_i^j$,όπου α_i, b^j είναι η αρχική δεκαδική φάση στον δέκτη και στον δορυφόρο, αντίστοιχα. Ο άγνωστος ακέραιος αριθμός κύκλων στην αρχική μέτρηση, είναι ο N_i^j .

Στο στάδιο επίλυσης ασαφειών φάσης, εφαρμόζεται η συχνότητα L1&L2, δηλαδή η ταυτόχρονη επεξεργασία των συχνοτήτων L1, L2. Δέκτες μιας συχνότητας (L1) έχουν να αντιμετωπίσουν το σφάλμα της ιονοσφαιρικής διάθλασης. Για την εκτέλεση του προγράμματος, εισήχθησαν αρχεία φάσης απλών διαφορών, οι συντεταγμένες των σταθμών, αρχείο με τροχιές (*.STD), οι παράμετροι περιστροφής της Γης (*.ERP) και τα αρχεία διόρθωσης από την τροποσφαιρική / ιονοσφαιρική διάθλαση ((*.TRP) &(*.ION)), όπως έχουν προκύψει από προηγούμενα στάδια.

Οι ασάφειες φάσης, επιλύονται για κάθε βάση ξεχωριστά. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται σε δύο μέρη. Στο πρώτο, οι ασάφειες υπολογίζονται ως πραγματικές τιμές ενώ στο δεύτερο μέρος παρουσιάζονται τα αποτελέσματα, αφού έχουν επιλυθεί οι ασάφειες φάσης σε ακέραιες τιμές. Μετά το τέλος αυτού του σταδίου, οι επιλυμένες ασάφειες γράφονται στα αρχεία των πληροφοριών της κάθε βάσης (header files).

Προκειμένου να επιλυθούν οι ασάφειες, εφαρμόστηκε η στρατηγική QIF (Quasi Ionosphere – Free) σε όλες τις βάσεις. Στις πολύ μεγάλες βάσεις (άνω των 10 km), η επίδραση της ιονοσφαιρικής διάθλασης είναι πολύ έντονη. Επιλέγοντας τη συγκεκριμένη στρατηγική, διορθώνεται η επίδραση της ιονόσφαιρας, με αποτέλεσμα να την καθιστά την πλέον κατάλληλη στρατηγική για βάσεις μεγάλου μήκους.

Σε περίπτωση που το ποσοστό επίλυσης ασαφειών φάσης είναι κάτω από το όριο (ορίζεται από τον χρήστη, ανάλογα με την εργασία και το μήκος των βάσεων[8]), επιλέγεται η στρατηγική SIGMA. Με τη στρατηγική αυτή, για να επιλυθεί μια ασάφεια (που είναι πραγματικός αριθμός), αρκεί να στρογγυλοποιηθεί στον πλησιέστερο ακέραιο. Επιπλέον, εφαρμόζεται για βάσεις μέχρι 20 km.

4.7 Δημιουργία Κανονικών Εξισώσεων

Προκειμένου να παραχθούν οι τελικές συνορθωμένες συντεταγμένες των σταθμών του δικτύου, είναι αναγκαία η δημιουργία των κανονικών εξισώσεων (Normal Equations), ώστε να ελαχιστοποιηθεί το άθροισμα των τετραγωνικών διαφορών μεταξύ των δύο μελών της εξίσωσης. Το πρόγραμμα που χρησιμοποιείται είναι το **GPSEST**. Ως αρχεία εισαγωγής, επιλέγονται τα αρχεία φάσεων απλών διαφορών (*.PSH), δηλαδή τα αρχεία των βάσεων με την προϋπόθεση να έχουν επιλυθεί οι ασάφειες σε ποσοστό μεγαλύτερο ή ίσο του ορίου (όπως έχει οριστεί στο αντίστοιχο στάδιο). Επιπλέον, εισάγεται και αρχείο με συντεταγμένες των σταθμών και σε αυτό το σημείο πρέπει να τονιστεί πως οι συντεταγμένες του σταθμού αναφοράς πρέπει να είναι αυτές που έχουν βρεθεί κατά την υλοποίηση του συστήματος αναφοράς (βλ. Κεφάλαιο 6.1). Η συχνότητα που χρησιμοποιήθηκε είναι η L3 και τα παραγόμενα αρχεία έχουν την κατάληξη *.NQO.

4.8 Συνόρθωση Δικτύου

Η συνόρθωση αποτελεί το τελικό στάδιο για την παραγωγή τελικών συντεταγμένων. Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε είναι η Μέθοδος Ελαχίστων Τετραγώνων (Μ.Ε.Τ.) και συγκεκριμένα η «συνόρθωση με ελάχιστες εσωτερικές δεσμεύσεις». Πραγματοποιήθηκε με χρήση του προγράμματος **ADDNEQ2**. Με τη μέθοδο αυτή, δημιουργείται βαρύκεντρο από τα σημεία του δικτύου που επιλέγονται και διατηρείται σταθερό κατά τη συνόρθωση. Η μέθοδος πλεονεκτεί έναντι άλλων, διότι στην συνόρθωση με τις ελάχιστες δεσμεύσεις, δε διατηρείται κάποιος σταθμός σταθερός και έτσι, δεν υπάρχει κίνδυνος να επηρεαστεί το αποτέλεσμα εξαιτίας κάποιου σταθμού με λαθεμένες συντεταγμένες.

[8]Συνήθως, το ποσοστό πρέπει να είναι μεγαλύτερο από 75% για βάσεις με μήκος μεγαλύτερο των 100 χλμ και μεγαλύτερο από 85%, για βάσεις με μήκος μικρότερο των 100 χλμ.

5 Περιγραφή Δικτύου

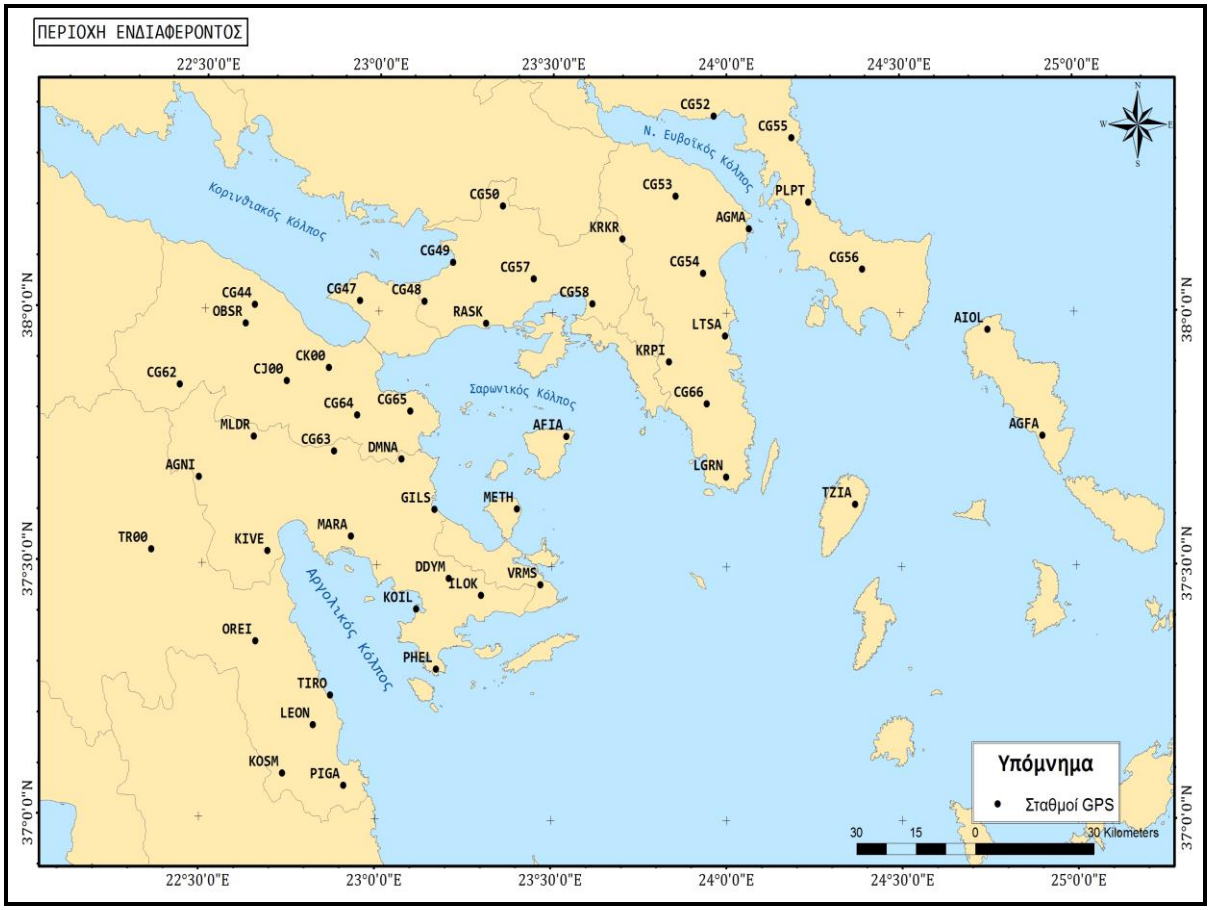
Στο κεφάλαιο αυτό, γίνεται μια λεπτομερής περιγραφή του γεωδαιτικού δικτύου GPS στην περιοχή μελέτης. Συγκεκριμένα, περιγράφεται το δίκτυο για κάθε εποχή επίλυσης και παρουσιάζονται τα σταθερά σημεία / σταθμοί GPS που το απαρτίζουν, οι μέρες μέτρησης, η κεραία και ο δέκτης που χρησιμοποιήθηκε για κάθε ένα από τα σταθερά σημεία, η διάρκεια μετρήσεων καθώς και η απεικόνισή τους σε χάρτες. Όλα τα δεδομένα, αποτελούν κομμάτι της καμπάνιας *SING (Seismic Hazard in Greece)*, *για τα έτη 1998, 1999 και 2000*. Πιο αναλυτικά, πρόκειται για ένα δίκτυο με μόνιμους και μη μόνιμους σταθμούς GPS, τοποθετημένους σε περιοχές έντονης σεισμικότητας, προκειμένου να κατανοηθεί ο μηχανισμός της σεισμικής επικινδυνότητας στην Ελλάδα. Η υλοποίηση του δικτύου, οι μετρήσεις και η επεξεργασία επιτεύχθηκε από 8 πανεπιστήμια και ερευνητικά κέντρα της Ευρώπης[9], ανάμεσά τους και το Εργαστήριο Ανώτερης Γεωδαισίας του ΕΜΠ. Στην επεξεργασία, συμπεριλμβάνονταν και μετρήσεις πιο παλιών εργασιών και οι παρατηρήσεις αφορούσαν 300 σταθμούς ετησίως.

Στα πλαίσια της εργασίας, δεν επιλύθηκαν όλα τα σημεία της καμπάνιας, αλλά οι μετρήσεις που χρησιμοποιήθηκαν ήταν κυρίως από την περιοχή της Αργολίδας, της Αττικής και της Κορίνθου. Οι μετρήσεις περιλαμβάνουν και σημεία στην Αρκαδία, Εύβοια καθώς και στα νησιά Κέα και Άνδρο. Οι εποχές επίλυσης είναι 4 και οι μετρήσεις που χρησιμοποιήθηκαν προς επεξεργασία προέρχονται από 49 σταθμούς στο σύνολο. Στον ακόλουθο πίνακα (Πίνακας 5.1), φαίνεται η τοποθεσία του κάθε σταθμού ενώ στον χάρτη (Χάρτης 5.1) η θέση των σταθμών. Όσον αφορά τον σταθμό του Διονύσου, αποτελείται από δύο σημεία τα CG54 (ή DION C) και DION G, με τύπους δεκτών ASHTECH Z-XII3 και TRIMBLE 4000SSI, αντίστοιχα. Το CG54 χρησιμοποείται στην επίλυση όλων των εποχών του τοπικού δικτύου, με εξαίρεση την εποχή 1999.77 που χρησιμοποιείται ο DION G. Το διάνυσμα εκκεντρότητας από τον σταθμό DION G σε CG54, είναι: dx = 1.899 m, dy = -15.379 m, dz = -0.687 m.

Περιοχή	Όνομα Σταθμού
Ν. Αττικής	DION C, DION G, CG48, CG49, CG50, CG53, CG57, CG58, CG66, AGMA, KRKR, KRPI, LGRN, LTSA, RASK, AFIA (Δήμος Αίγινας), METH, VRMS
Ν. Αργολίδας	ILOK, PHEL, KOIL, DDYM, GILS, KIVE, MARA, DMNA, CG63, AGNI, MLDR
Ν. Κορινθίας	CG47, OBSR, CG44, CJ00, CK00, CG64, CG65, CG62
Ν. Αρκαδίας	TR00, LEON, TIRO, PIGA, KOSM, OREI
Ν. Εύβοιας	CG52, CG55, PLPT, CG56
Κυκλάδες - Νήσος Κέα	TZIA
Κυκλάδες - Νήσος Άνδρος	AIOL, AGFA

Πίνακας 5.1: Κατηγοριοποίηση των σταθμών GPS ανά περιοχή.

[9] Department of Geomatic Engineering, University College London, U.K
Εργαστηρίου Ανώτερης Γεωδαισίας, Κέντρο Δορυφόρων Διονύσου, ΕΜΠ
Institut de Physique du Globe de Paris, France
Delft Institute for Earth-Oriented Space Research, Delft University of Technology, Netherlands
Department of Earth Sciences, University of Oxford, U.K.
Institut fur Geodasie und Photogrammetrie, ETH Honggerberg, Zurich, Switzerland
National Observatory of Athens, Greece
Department of Geomatics, University of Newcastle upon Tyne, U.K

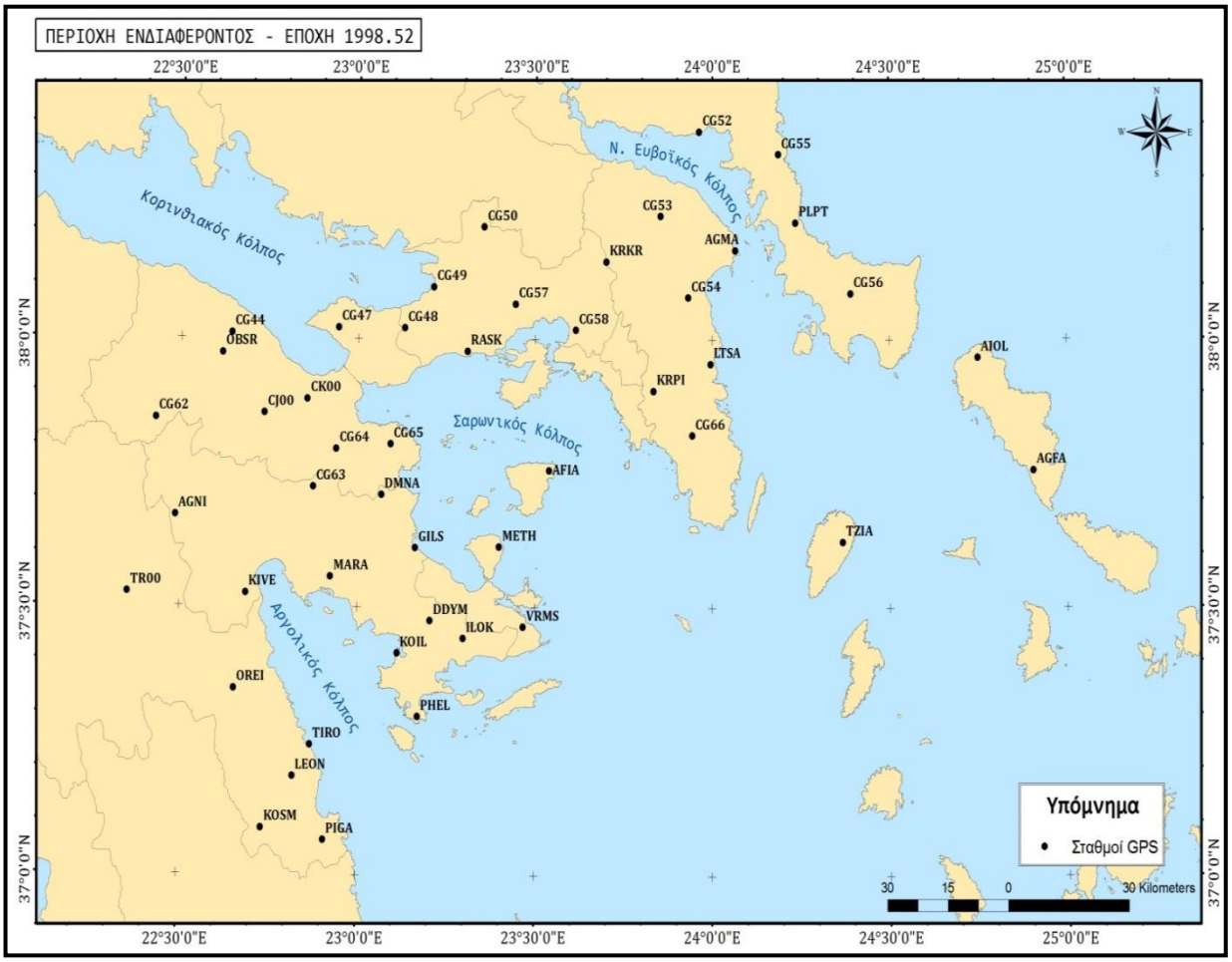


Χάρτης 5.1: Η θέση των 49 σταθμών GPS.

5.1 Περιγραφή δικτύου – Εποχή 1998.52

Το έτος 1998, ιδρύθηκε το δίκτυο με μόνιμους σταθμούς GPS στα πλαίσια της καμπάνιας SING. Πρόκειται για καθημερινές μετρήσεις από τις 6 Ιουλίου έως και τις 15 του μηνός ή από την 187η έως και την 196η ημέρα του έτους. Οι μετρήσεις λαμβάνουν χώρα την 965η και μέρος από την 966η εβδομάδα GPS. Για κάθε μέρα παρέχονται μετρήσεις από τουλάχιστον 3 σταθμούς GPS. Στο σύνολό τους οι σταθμοί ανέρχονται στους 48 (47 σταθμούς από της καμπάνια και 1 σταθμός του Διονύσου).

Ο τύπος κεραίας που χρησιμοποιήθηκε ήταν η *ASH700718A NONE,* ενώ ο κυρίως δέκτης ο *ASHTECH Z-XII3.* Το ύψος κεραίας, οι συνθήκες των μετρήσεων (π.χ. πρωινές ώρες, απογευματινές ώρες, καλοκαιρινούς μήνες κλπ) καθώς και η διάρκεια μετρήσεων για κάθε σταθμό ποικίλει (το ίδιο ισχύει και για τις υπόλοιπες εποχές). Οι πληροφορίες αυτές, όπως και οι προσωρινές συντεταγμένες των σταθμών, παρέχονται από τα αρχεία RINEX που δόθηκαν ως δεδομένα. Οι μετρήσεις των περισσότερων σημείων έχουν διάρκεια περίπου 2μιση ωρών. Επιπλέον, για κάθε ημέρα, υπάρχει τουλάχιστον ένα σημείο με μεγαλύτερη διάρκεια μετρήσεων (6-12 ώρες). Στους πίνακες (Πίνακας 5.2 & Πίνακας 5.3) παρουσιάζονται οι πληροφορίες αναλυτικά. Στον παρακάτω χάρτη (Χάρτης 5.2), φαίνεται η μορφή του δικτύου.



Χάρτης 5.2 : Η θέση των σταθμών GPS την εποχή 1998.52.

1998.52								
ΗΜΕΡΑ	ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΣΗΜΕΙΩΝ					ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ (hour min sec)		
	ΟΝΟΜΑ	ΔΕΚΤΗΣ	ΚΕΡΑΙΑ		ΥΨΟΣ ΚΕΡΑΙΑΣ	ΕΝΑΡΞΗ	ΛΗΞΗ	ΔΙΑΡΚΕΙΑ
187 (6/7)	CG44	ASHTECH Z-XII3	ASH700718A	NONE	0.202	12 20 30	14 59 30	02 39 00
	CG62	ASHTECH Z-XII3	ASH700718A	NONE	1.09	11 01 45	13 32 45	02 31 00
	CJ00	ASHTECH Z-XII3	ASH700718A	NONE	1.168	16 56 30	19 23 45	02 27 15
	MLDR	ASHTECH Z-XII3	ASH700718A	NONE	0.113	15 21 30	17 51 00	02 29 30
	OBSR	**ASHTECH Z-XII3**	**ASH700718A**	**NONE**	**1.106**	**11 08 30**	**23 59 45**	**12 51 15**
	CG54	**ASHTECH Z-XII3**	**ASH700718A**	**NONE**	**1.481**	**06 54 30**	**23 59 30**	**17 05 00**
188 (7/7)	KOSM	ASHTECH Z-XII3	ASH700718A	NONE	0.118	13 07 45	15 35 00	02 27 15
	LEON	ASHTECH Z-XII3	ASH700718A	NONE	1.184	09 02 00	11 31 15	02 29 15
	OREI	ASHTECH Z-XII3	ASH700718A	NONE	0.114	13 38 00	16 03 00	02 35 00
	PIGA	ASHTECH Z-XII3	ASH700718A	NONE	0.114	08 27 30	11 07 00	02 39 30
	TIRO	**ASHTECH Z-XII3**	**ASH700718A**	**NONE**	**0.103**	**07 21 00**	**16 18 15**	**08 57 15**
	CG54	**ASHTECH Z-XII3**	**ASH700718A**	**NONE**	**1.481**	**00 00 00**	**23 59 30**	**23 59 30**
	OBSR	**ASHTECH Z-XII3**	**ASH700718A**	**NONE**	**1.106**	**00 00 00**	**23 59 45**	**23 59 45**
189 (8/7)	AGNI	ASHTECH Z-XII3	ASH700718A	NONE	1.044	14 23 00	16 53 15	02 30 15
	CG63	ASHTECH Z-XII3	ASH700718A	NONE	1.258	07 11 45	09 42 30	02 30 45
	KIVE	ASHTECH Z-XII3	ASH700718A	NONE	0.185	07 27 30	16 49 15	09 21 45
	MARA	ASHTECH Z-XII3	ASH700718A	NONE	0.12	11 38 30	14 03 00	02 24 30
	OBSR	**ASHTECH Z-XII3**	**ASH700718A**	**NONE**	**1.106**	**00 00 00**	**23 59 30**	**23 59 30**
	TR00	ASHTECH Z-XII3	ASH700718A	NONE	1.057	08 55 15	13 33 30	04 38 15
	CG54	**ASHTECH Z-XII3**	**ASH700718A**	**NONE**	**1.481**	**00 00 00**	**23 59 30**	**23 59 30**
190 (9/7)	DDYM	ASHTECH Z-XII3	ASH700718A	NONE	0.199	07 43 45	10 16 00	02 32 15
	GILS	ASHTECH Z-XII3	ASH700718A	NONE	0.116	15 43 15	18 11 00	02 27 45
	ILOK	**ASHTECH Z-XII3**	**ASH700718A**	**NONE**	**0.116**	**06 18 45**	**18 46 45**	**12 28 00**
	KOIL	ASHTECH Z-XII3	ASH700718A	NONE	0.116	15 18 00	17 47 30	02 29 30
	METH	ASHTECH Z-XII3	ASH700718A	NONE	0.115	11 58 45	14 00 15	02 01 30
	OBSR	**ASHTECH Z-XII3**	**ASH700718A**	**NONE**	**1.106**	**00 00 00**	**06 04 30**	**06 04 30**
	PHEL	ASHTECH Z-XII3	ASH700718A	NONE	0.109	11 53 00	14 21 45	02 28 45
	VRMS	ASHTECH Z-XII3	ASH700718A	NONE	0.115	07 30 15	09 59 30	02 29 15
	CG54	**ASHTECH Z-XII3**	**ASH700718A**	**NONE**	**1.481**	**00 00 00**	**23 59 30**	**23 59 30**

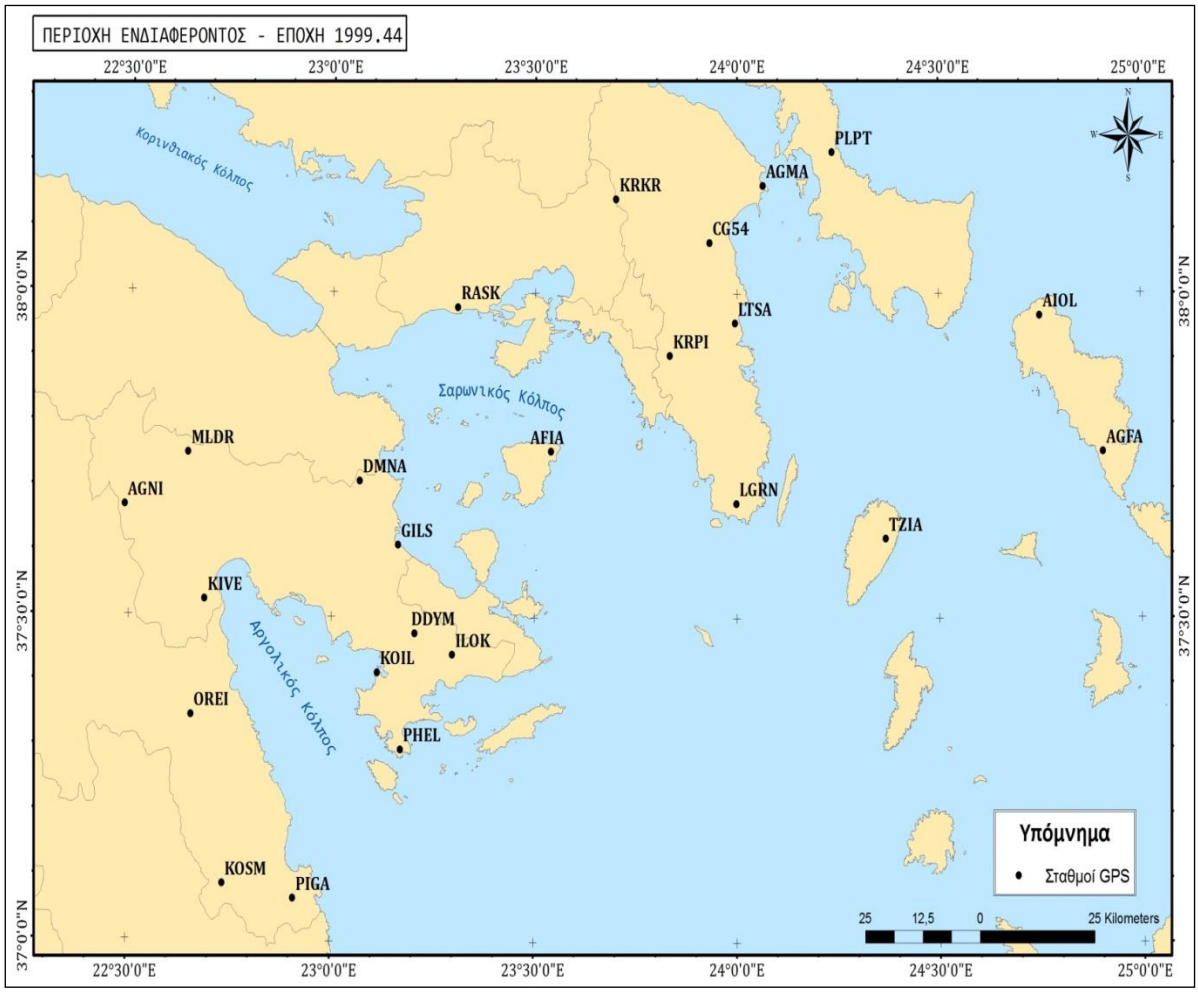
Πίνακας 5.2: Ημέρες μέτρησης, πληροφορίες των σταθμών και η διάρκεια των μετρήσεων, την εποχή 1998.52.

1998.52								
ΗΜΕΡΑ	ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΣΗΜΕΙΩΝ					ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ (hour min sec)		
	ΟΝΟΜΑ	ΔΕΚΤΗΣ	ΚΕΡΑΙΑ		ΥΨΟΣ ΚΕΡΑΙΑΣ	ΕΝΑΡΞΗ	ΛΗΞΗ	ΔΙΑΡΚΕΙΑ
191 (10/7)	CG48	ASHTECH Z-XII3	ASH700718A	NONE	0.207	10 33 45	13 02 45	02 29 00
	CG64	ASHTECH Z-XII3	ASH700718A	NONE	0.813	07 40 15	10 11 45	02 31 30
	CG65	ASHTECH Z-XII3	ASH700718A	NONE	0.929	11 55 00	14 32 15	02 37 15
	CK00	ASHTECH Z-XII3	ASH700718A	NONE	1.186	05 51 15	08 31 00	02 39 45
	DMNA	**ASHTECH Z-XII3**	**ASH700718A**	**NONE**	**0.12**	**05 50 30**	**17 34 00**	**11 43 30**
	CG54	**ASHTECH Z-XII3**	**ASH700718A**	**NONE**	**1.481**	**00 00 00**	**23 59 30**	**23 59 30**
	CG48	ASHTECH Z-XII3	ASH700718A	NONE	0.207	10 33 45	13 02 45	02 29 00
	CK00	ASHTECH Z-XII3	ASH700718A	NONE	1.186	05 51 15	08 31 00	02 39 45
192 (11/7)	AFIA	ASHTECH Z-XII3	ASH700718A	NONE	0.12	07 36 15	10 10 00	02 33 45
	CG49	ASHTECH Z-XII3	ASH700718A	NONE	0.193	06 41 45	09 11 15	02 29 30
	CG50	ASHTECH Z-XII3	ASH700718A	NONE	0.945	10 35 45	13 10 30	02 34 45
	CG57	ASHTECH Z-XII3	ASH700718A	NONE	1.118	14 05 30	16 35 15	02 29 45
	RASK	**ASHTECH Z-XII3**	**ASH700718A**	**NONE**	**0.114**	**05 32 30**	**16 30 45**	**10 58 15**
	CG54	**ASHTECH Z-XII3**	**ASH700718A**	**NONE**	**1.481**	**00 00 00**	**23 59 30**	**23 59 30**
193 (12/7)	AGMA	ASHTECH Z-XII3	ASH700718A	NONE	0.117	06 07 30	08 40 30	02 33 00
	CG53	ASHTECH Z-XII3	ASH700718A	NONE	1.244	10 13 15	12 44 00	02 30 45
	CG58	ASHTECH Z-XII3	ASH700718A	NONE	1.13	09 25 30	11 57 15	02 31 45
	KRKR	ASHTECH Z-XII3	ASH700718A	NONE	0.197	05 46 00	08 15 30	02 29 30
	CG54	**ASHTECH Z-XII3**	**ASH700718A**	**NONE**	**1.481**	**00 00 00**	**23 59 30**	**23 59 30**
194 (13/7)	CG66	ASHTECH Z-XII3	ASH700718A	NONE	1.124	13 36 15	16 08 30	02 32 15
	KRPI	ASHTECH Z-XII3	ASH700718A	NONE	0.119	09 15 45	11 54 30	02 39 45
	LTSA	ASHTECH Z-XII3	ASH700718A	NONE	0.183	05 31 15	08 01 15	02 30 00
	TZIA	ASHTECH Z-XII3	ASH700718A	NONE	0.205	08 09 15	12 10 45	04 01 30
	CG54	**ASHTECH Z-XII3**	**ASH700718A**	**NONE**	**1.481**	**00 00 00**	**23 59 30**	**23 59 30**
195 (14/7)	AGFA	ASHTECH Z-XII3	ASH700718A	NONE	0.208	07 39 15	13 20 15	05 41 00
	CG55	ASHTECH Z-XII3	ASH700718A	NONE	1.172	14 18 00	16 52 00	02 34 00
	PLPT	ASHTECH Z-XII3	ASH700718A	NONE	0.115	08 00 45	10 33 45	02 33 00
	CG54	**ASHTECH Z-XII3**	**ASH700718A**	**NONE**	**1.481**	**00 00 00**	**23 59 30**	**23 59 30**
	AGFA	ASHTECH Z-XII3	ASH700718A	NONE	0.208	07 39 15	13 20 15	05 41 00
	PLPT	ASHTECH Z-XII3	ASH700718A	NONE	0.115	08 00 45	10 33 45	02 33 00
196 (15/7)	AIOL	ASHTECH Z-XII3	ASH700718A	NONE	0.204	07 29 15	11 03 45	03 34 30
	CG52	ASHTECH Z-XII3	ASH700718A	NONE	1.149	05 54 15	09 29 15	03 35 00
	CG56	ASHTECH Z-XII3	ASH700718A	NONE	0.207	05 43 30	14 07 30	08 24 00
	CG54	**ASHTECH Z-XII3**	**ASH700718A**	**NONE**	**1.481**	**00 00 00**	**23 59 30**	**23 59 30**

Πίνακας 5.3: Ημέρες μέτρησης, πληροφορίες των σταθμών και η διάρκεια των μετρήσεων, την εποχή 1998.52.

5.2 Περιγραφή δικτύου – Εποχή 1999.44

Οι μετρήσεις της καμπάνιας SING, συνεχίστηκαν και το έτος 1999. Οι μετρήσεις είναι καθημερινές από τις 7 Ιουνίου έως και τις 11 του μηνός ή από την 158^{η} έως και την 162^{η} ημέρα του έτους ή την 1013^{η} εβδομάδα GPS. Πρόκειται συνολικά για 26 σταθμούς (25 σταθμούς από της καμπάνια και 1 σταθμός του Διονύσου). Οι τύποι κεραιών που χρησιμοποιήθηκαν ήταν η ASH700718A NONE και η ASH700228A NONE. Ο κυρίως δέκτης ήταν ο ASHTECH Z-XII3. Οι μετρήσεις των περισσότερων σημείων έχουν διάρκεια περίπου 3μιση ωρών. Επιπλέον, για κάθε ημέρα, υπάρχει τουλάχιστον ένα σημείο με μεγαλύτερη διάρκεια μετρήσεων (περίπου 5-8 ώρες). Στον πίνακα που ακολουθεί (Πίνακας 5.4) παρουσιάζονται οι πληροφορίες αναλυτικά. Στον χάρτη (Χάρτης 5.3), φαίνεται η μορφή του δικτύου.



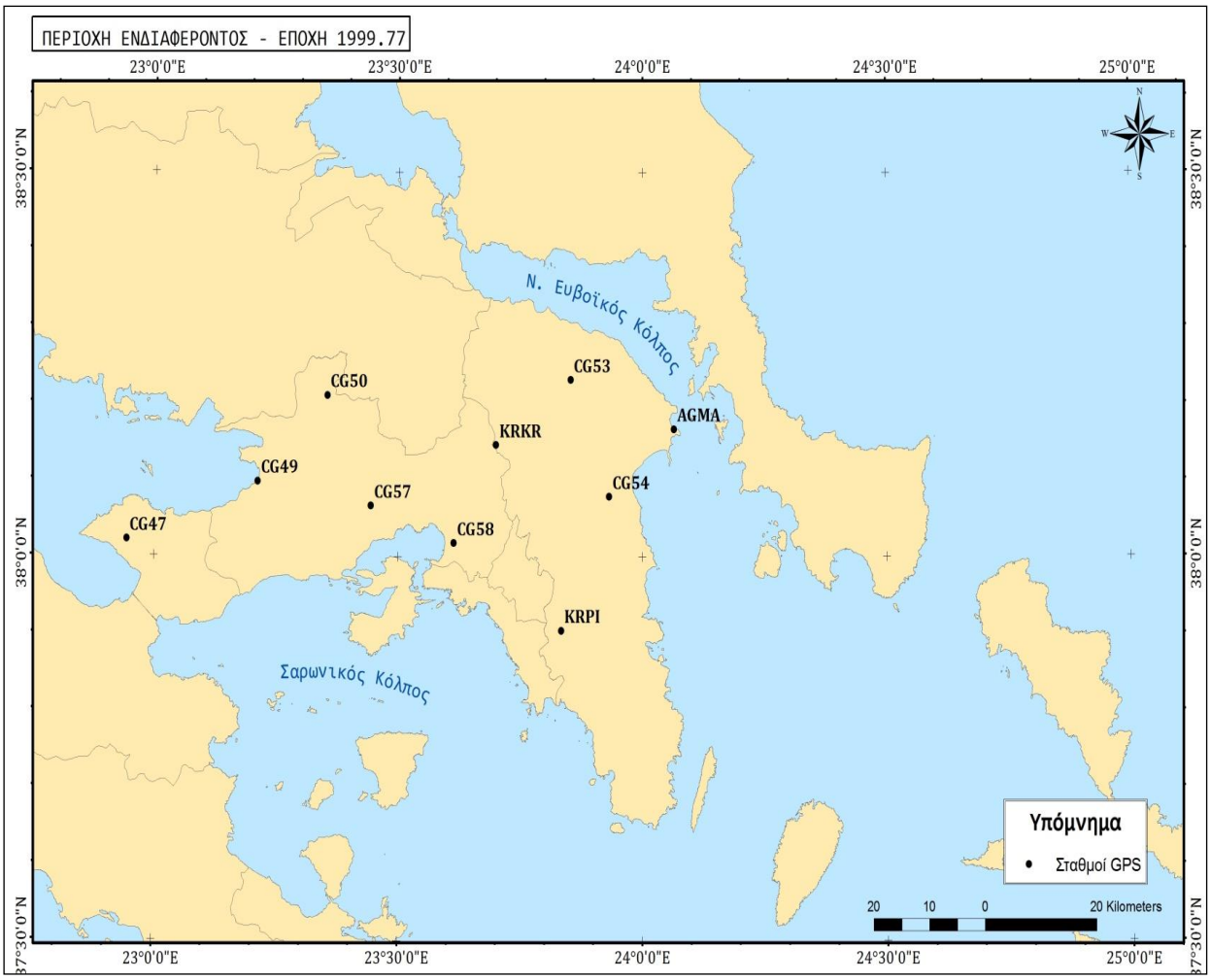
Χάρτης 5.3: Η θέση των σταθμών GPS την εποχή 1999.44.

1999.44								
ΗΜΕΡΑ	ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΣΗΜΕΙΩΝ					ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ (h m s)		
	ΟΝΟΜΑ	ΔΕΚΤΗΣ	ΚΕΡΑΙΑ		ΥΨΟΣ ΚΕΡΑΙΑΣ	ΕΝΑΡΞΗ	ΛΗΞΗ	ΔΙΑΡΚΕΙΑ
158 (7/6)	**KOSM**	**ASHTECH Z-XII3**	**ASH700718A**	**NONE**	**0.121**	**05 45 30**	**14 00 30**	**08 15 00**
	OREI	ASHTECH Z-XII3	ASH700718A	NONE	0.142	08 24 00	14 15 30	03 51 30
	PIGA	ASHTECH Z-XII3	ASH700718A	NONE	0.118	06 52 30	13 31 30	06 39 00
	CG54	**ASHTECH Z-XII3**	**ASH700228A**	**NONE**	**1.326**	**00 00 00**	**23 59 30**	**23 59 30**
159 (8/6)	AGNI	ASHTECH Z-XII3	ASH700718A	NONE	1.369	11 09 30	15 01 30	03 52 00
	DDYM	ASHTECH Z-XII3	ASH700718A	NONE	0.128	06 46 30	09 46 30	03 00 00
	DMNA	ASHTECH Z-XII3	ASH700718A	NONE	0.136	11 29 30	15 01 00	03 31 30
	GILS	**ASHTECH Z-XII3**	**ASH700718A**	**NONE**	**0.116**	**06 13 30**	**15 00 30**	**08 47 00**
	KIVE	ASHTECH Z-XII3	ASH700718A	NONE	0.191	09 37 00	14 11 00	04 34 00
	KOIL	ASHTECH Z-XII3	ASH700718A	NONE	0.127	06 33 00	10 02 30	03 29 30
	MLDR	ASHTECH Z-XII3	ASH700718A	NONE	0.102	06 25 00	09 55 30	03 30 30
	PHEL	ASHTECH Z-XII3	ASH700718A	NONE	0.117	11 24 00	14 55 00	03 31 00
	CG54	**ASHTECH Z-XII3**	**ASH700228A**	**NONE**	**1.326**	**00 00 00**	**23 59 30**	**23 59 30**
160 (9/6)	AFIA	ASHTECH Z-XII3	ASH700718A	NONE	0.118	06 18 00	14 16 30	07 58 30
	ILOK	ASHTECH Z-XII3	ASH700718A	NONE	0.118	06 14 00	10 13 30	03 59 30
	KRKR	**ASHTECH Z-XII3**	**ASH700718A**	**NONE**	**0.125**	**07 01 30**	**14 03 00**	**07 01 30**
	LGRN	ASHTECH Z-XII3	ASH700718A	NONE	0.119	07 37 00	13 45 00	06 08 00
	LTSA	ASHTECH Z-XII3	ASH700718A	NONE	0.121	08 02 30	12 01 30	03 59 00
	VRMS	ASHTECH Z-XII3	ASH700718A	NONE	0.12	07 09 00	11 10 30	04 01 30
	CG54	**ASHTECH Z-XII3**	**ASH700228A**	**NONE**	**1.326**	**00 00 00**	**23 59 30**	**23 59 30**
161 (10/6)	AFIA	ASHTECH Z-XII3	ASH700718A	NONE	0.119	05 12 00	09 14 00	04 02 00
	AGFA	ASHTECH Z-XII3	ASH700718A	NONE	0.124	10 14 00	15 13 30	04 59 30
	AGMA	ASHTECH Z-XII3	ASH700718A	NONE	0.118	15 15 30	18 09 00	02 53 30
	AIOL	ASHTECH Z-XII3	ASH700718A	NONE	0.125	04 07 30	08 36 30	04 29 00
	PLPT	ASHTECH Z-XII3	ASH700718A	NONE	0.123	06 19 30	10 23 00	04 03 30
	RASK	ASHTECH Z-XII3	ASH700718A	NONE	0.117	07 23 30	11 17 30	03 54 00
	TZIA	ASHTECH Z-XII3	ASH700718A	NONE	0.119	07 35 00	13 30 30	05 55 30
	CG54	**ASHTECH Z-XII3**	**ASH700228A**	**NONE**	**1.326**	**00 00 00**	**23 59 30**	**23 59 30**
162 (11/6)	KRPI	ASHTECH Z-XII3	ASH700718A	NONE	0.12	04 57 00	08 27 00	03 30 00
	CG54	**ASHTECH Z-XII3**	**ASH700228A**	**NONE**	**1.326**	**00 00 00**	**10 25 00**	**10 25 00**

Πίνακας 5.4: Ημέρες μέτρησης, πληροφορίες των σταθμών και η διάρκεια των μετρήσεων, την εποχή 1999.44.

5.3 Περιγραφή δικτύου – Εποχή 1999.77

Οι σταθμοί της εποχής 1999.77, είναι τοποθετημένοι στην Αττική και πρόκειται συνολικά για 10 σταθμούς (9 σταθμούς από της καμπάνια και 1 σταθμός του Διονύσου). Οι μετρήσεις είναι καθημερινές από τις 5 Οκτωβρίου έως και τις 8 του μηνός ή από την 278^{η} έως και την 281^{η} ημέρα του έτους ή την 1030^{η} εβδομάδα GPS. Οι τύποι κεραιών που χρησιμοποιήθηκαν ήταν η ASH700718A NONE, η *ASH700936C_M NONE* καθώς και η *TRM29659.00 NONE*. Οι κυρίως δέκτες οι *ASHTECH Z-XII3, ASHTECH UZ-XII3* και *TRIMBLE 4000SSI,* των κεραιών αντίστοιχα. Οι μετρήσεις των περισσότερων σημείων έχουν διάρκεια περίπου 5μιση ωρών. Ακολουθεί ο Πίνακας 5.5, που παρουσιάζονται οι πληροφορίες αναλυτικά και ο Χάρτης 5.4 που φαίνεται η μορφή του δικτύου. Να σημειωθεί πως στον χάρτη, απεικονίζεται το σημείο CG54 και όχι το DION G, που είναι το σημείο για το οποίο παρέχονται μετρήσεις για αυτή την εποχή. Βέβαια, τα δυο σημεία βρίσκονται πολύ κοντά, πράγμα που δε φέρει καμία αλλαγή στην απεικόνιση τους.



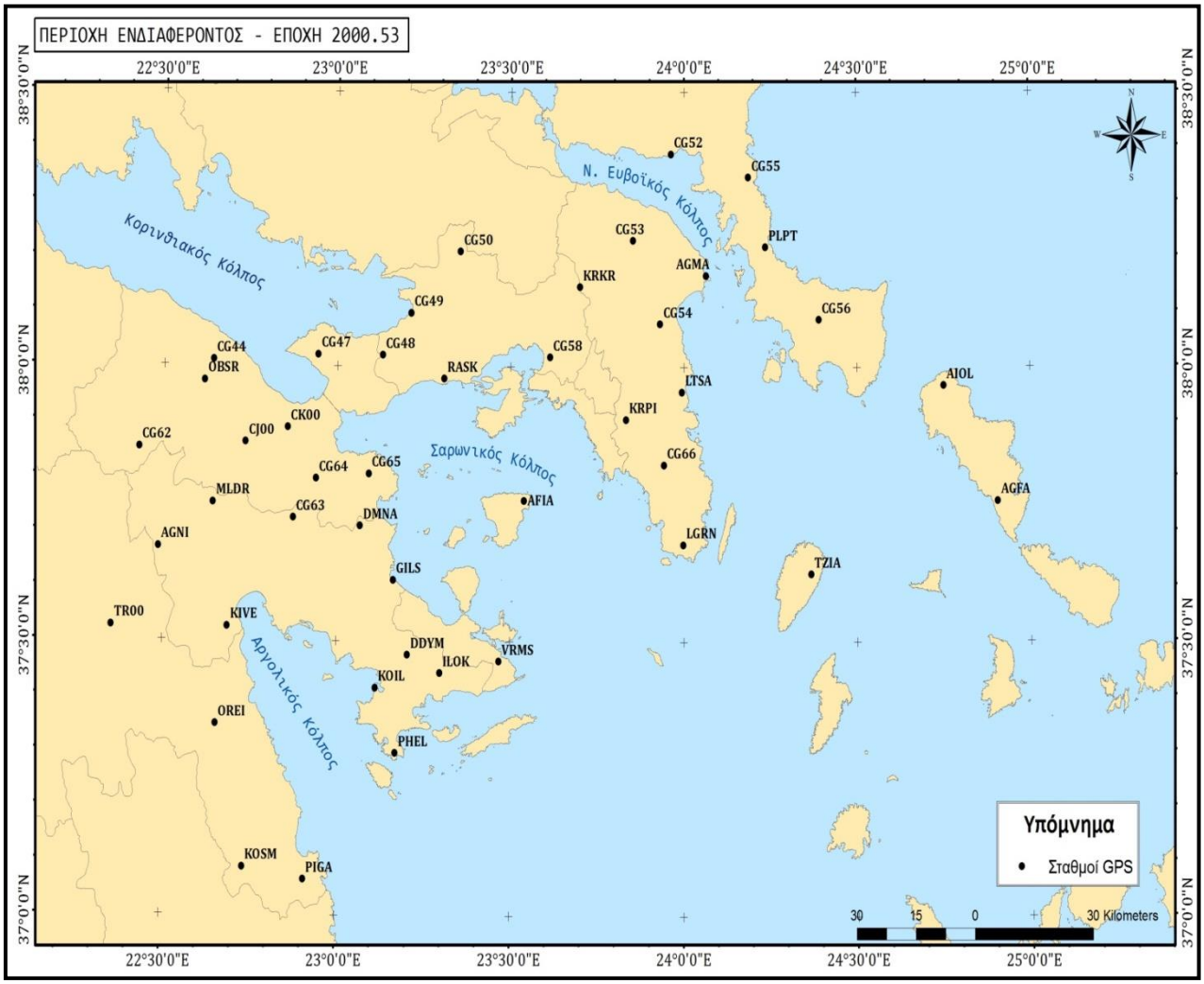
Χάρτης 5.4: Η θέση των σταθμών GPS την εποχή 1999.77.

1999.77							
ΗΜΕΡΑ	**ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΣΗΜΕΙΩΝ**				**ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ (h m s)**		
	ΟΝΟΜΑ	**ΔΕΚΤΗΣ**	**ΚΕΡΑΙΑ**	**ΥΨΟΣ ΚΕΡΑΙΑΣ**	**ΕΝΑΡΞΗ**	**ΛΗΞΗ**	**ΔΙΑΡΚΕΙΑ**
278 (5/10)	CG49	ASHTECH UZ-XII3	ASH700936C_M NONE	0.122	10 26 45	16 01 30	05 34 45
	CG53	ASHTECH UZ-XII3	ASH700936C_M NONE	1.099	09 57 45	16 00 15	06 02 30
	CG57	ASHTECH Z-XII3	ASH700718A NONE	1.319	10 09 30	16 05 45	05 56 15
	CG58	ASHTECH UZ-XII3	ASH700936C_M NONE	1.179	10 09 45	16 02 15	05 52 30
	KRKR	ASHTECH Z-XII3	ASH700718A NONE	0.125	10 16 30	16 01 00	05 44 30
	DION	**TRIMBLE 4000SSI**	**TRM29659.00 NONE**	**0**	**00 02 30**	**23 59 30**	**23 57 00**
279 (6/10)	CG49	ASHTECH UZ-XII3	ASH700936C_M NONE	0.122	08 11 45	14 03 45	05 52 00
	CG50	ASHTECH UZ-XII3	ASH700936C_M NONE	0.969	07 59 45	14 00 30	06 00 45
	KRKR	ASHTECH Z-XII3	ASH700718A NONE	0.125	06 54 15	14 01 00	07 06 45
	DION	**TRIMBLE 4000SSI**	**TRM29659.00 NONE**	**0**	**00 02 30**	**23 59 30**	**23 57 00**
280 (7/10)	AGMA	ASHTECH UZ-XII3	ASH700936C_M NONE	0.117	07 58 15	14 00 30	07 02 15
	CG47	ASHTECH Z-XII3	ASH700718A NONE	0.914	08 17 45	14 00 30	05 42 45
	CG57	ASHTECH Z-XII3	ASH700718A NONE	1.326	07 46 00	14 00 45	06 14 45
	CG58	ASHTECH UZ-XII3	ASH700936C_M NONE	1.14	10 24 45	14 02 00	03 37 15
	KRPI	ASHTECH UZ-XII3	ASH700936C_M NONE	0.119	07 58 30	14 00 30	06 02 00
	DION	**TRIMBLE 4000SSI**	**TRM29659.00 NONE**	**0**	**00 02 30**	**23 59 30**	**23 57 00**
281 (8/10)	CG47	ASHTECH Z-XII3	ASH700718A NONE	0.914	07 26 30	14 01 45	06 35 15
	CG50	ASHTECH UZ-XII3	ASH700936C_M NONE	0.969	07 59 15	14 00 30	06 01 15
	KRPI	ASHTECH UZ-XII3	ASH700936C_M NONE	0.119	07 19 45	12 55 30	05 35 45
	DION	**TRIMBLE 4000SSI**	**TRM29659.00 NONE**	**0**	**00 02 30**	**23 59 30**	**23 57 00**

Πίνακας 5.5: Ημέρες μέτρησης, πληροφορίες των σταθμών και η διάρκεια των μετρήσεων, την εποχή 1999.77.

5.4 Περιγραφή δικτύου – Εποχή 2000.53

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, οι σταθμοί του δικτύου της καμπάνιας SING, παρείχαν μετρήσεις και το έτος 2000. Συγκεκριμένα, τον μήνα Ιούλιο από τις 7 έως και τις 14 του μηνός ή από την 189^{η} έως και την 196^{η} ημέρα του έτους. Στην επίλυση δε χρησιμοποιήθηκαν μετρήσεις από την 192^{η} ημέρα του έτους ή τις 10 Ιουλίου. Στο σύνολό τους οι σταθμοί ήταν 44 και οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν την 1069^{η} και 1070^{η} εβδομάδα GPS. Οι τύποι κεραιών που χρησιμοποιήθηκαν ήταν η ASH700718A NONE, η ASH700228A NONE και η *ASH700936C_M NONE.* Οι κυρίως δέκτες είναι ο *ASHTECH Z-XII3* και ο *ASHTECH UZ-XII3*. Οι μετρήσεις των περισσότερων σημείων έχουν διάρκεια περίπου 3 ωρών. Επιπλέον, για κάθε ημέρα, υπάρχει τουλάχιστον ένα σημείο με μεγαλύτερη διάρκεια μετρήσεων (6-14 ώρες). Στα ακόλουθα, παρουσιάζονται οι πληροφορίες αναλυτικά καθώς και η μορφή του δικτύου (Πίνακας 5.6, Πίνακας 5.7 & Χάρτης 5.5, αντίστοιχα).



Χάρτης 5.5: Η θέση των σταθμών GPS την εποχή 2000.53.

2000.53								
ΗΜΕΡΑ	ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΣΗΜΕΙΩΝ					ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ (h m s)		
	ΟΝΟΜΑ	ΔΕΚΤΗΣ	ΚΕΡΑΙΑ		ΥΨΟΣ ΚΕΡΑΙΩΝ	ΕΝΑΡΞΗ	ΛΗΞΗ	ΔΙΑΡΚΕΙΑ
189 (7/7)	CG44	ASHTECH UZ-XII3	ASH700936C_M	NONE	0.116	06 23 00	09 20 00	02 57 00
	CG62	ASHTECH Z-XII3	ASH700718A	NONE	0.837	08 28 30	12 31 00	04 02 30
	CK00	ASHTECH UZ-XII3	ASH700936C_M	NONE	0.67	11 32 00	14 40 00	03 08 00
	CJ00	ASHTECH Z-XII3	ASH700718A	NONE	0.772	07 24 00	10 13 00	02 49 00
	MLDR	ASHTECH Z-XII3	ASH700718A	NONE	0.109	12 16 30	15 03 30	02 47 00
	OBSR	**ASHTECH Z-XII3**	**ASH700718A**	**NONE**	**1.128**	**06 03 30**	**15 02 30**	**08 59 00**
	CG54	**ASHTECH Z-XII3**	**ASH700228A**	**NONE**	**1.419**	**00 00 00**	**23 59 30**	**23 59 30**
190 (8/7)	AGNI	ASHTECH Z-XII3	ASH700718A	NONE	1.256	06 14 00	11 13 30	04 59 30
	CG63	ASHTECH UZ-XII3	ASH700936C_M	NONE	1.284	06 41 30	09 27 00	02 45 30
	CG64	ASHTECH UZ-XII3	ASH700936C_M	NONE	0.934	11 03 00	13 59 00	02 56 00
	CG65	ASHTECH Z-XII3	ASH700718A	NONE	0.994	10 54 00	14 03 30	03 09 30
	DDYM	ASHTECH Z-XII3	ASH700718A	NONE	0.202	11 34 00	14 36 00	03 02 00
	DMNA	ASHTECH Z-XII3	ASH700718A	NONE	0.121	05 55 00	09 10 30	03 15 30
	GILS	**ASHTECH UZ-XII3**	**ASH700936C_M**	**NONE**	**0.116**	**07 04 30**	**14 53 00**	**07 49 30**
	ILOK	**ASHTECH Z-XII3**	**ASH700718A**	**NONE**	**0.114**	**06 19 30**	**14 02 30**	**07 43 00**
	KOIL	ASHTECH Z-XII3	ASH700718A	NONE	0.115	06 25 00	14 35 30	08 10 30
	PHEL	ASHTECH Z-XII3	ASH700718A	NONE	0.117	06 37 30	09 40 30	03 03 00
	VRMS	ASHTECH Z-XII3	ASH700718A	NONE	0.114	08 05 00	12 50 30	04 45 30
	CG54	**ASHTECH Z-XII3**	**ASH700228A**	**NONE**	**1.419**	**00 00 00**	**23 59 30**	**23 59 30**
191 (9/7)	KIVE	ASHTECH Z-XII3	ASH700718A	NONE	0.113	06 26 00	09 10 30	02 44 30
	KOSM	ASHTECH UZ-XII3	ASH700936C_M	NONE	0.112	06 38 30	14 04 00	07 25 30
	OREI	ASHTECH Z-XII3	ASH700718A	NONE	0.112	11 11 30	14 01 30	02 50 00
	PIGA	ASHTECH Z-XII3	ASH700718A	NONE	0.118	07 08 00	13 09 00	06 01 00
	TR00	ASHTECH Z-XII3	ASH700718A	NONE	1.037	06 08 30	11 06 00	04 57 30
	CG54	**ASHTECH Z-XII3**	**ASH700228A**	**NONE**	**1.419**	**00 00 00**	**23 59 30**	**23 59 30**
	METH	ASHTECH Z-XII3	ASH700718A	NONE	0.121	14 38 30	23 59 30	09 21 00
193 (11/7)	METH	ASHTECH Z-XII3	ASH700718A	NONE	0.121	00 00 00	14 01 00	14 01 00
	CG54	**ASHTECH Z-XII3**	**ASH700228A**	**NONE**	**1.419**	**00 00 00**	**23 59 30**	**23 59 30**

Πίνακας 5.6: Ημέρες μέτρησης, πληροφορίες των σταθμών και η διάρκεια των μετρήσεων, την εποχή 2000.53.

2000.53							
ΗΜΕΡΑ	ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΣΗΜΕΙΩΝ				ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ (h m s)		
	ΟΝΟΜΑ	ΔΕΚΤΗΣ	ΚΕΡΑΙΑ	ΥΨΟΣ ΚΕΡΑΙΩΝ	ΕΝΑΡΞΗ	ΛΗΞΗ	ΔΙΑΡΚΕΙΑ
194 (12/7)	CG47	ASHTECH UZ-XII3	ASH700936C_M NONE	1.107	07 12 30	14 38 30	07 26 00
	CG48	ASHTECH Z-XII3	ASH700718A NONE	0.207	07 06 00	12 30 30	05 24 30
	CG49	ASHTECH Z-XII3	ASH700718A NONE	0.115	06 00 30	09 33 00	03 32 30
	CG50	ASHTECH Z-XII3	ASH700718A NONE	1.005	11 03 00	15 02 00	03 59 00
	CG54	**ASHTECH Z-XII3**	**ASH700228A NONE**	**1.419**	**00 00 00**	**23 59 30**	**23 59 30**
195 (13/7)	AFIA	ASHTECH UZ-XII3	ASH700936C_M NONE	0.118	07 10 00	13 35 00	06 25 00
	AGMA	ASHTECH Z-XII3	ASH700718A NONE	0.118	09 49 00	15 09 30	05 20 30
	CG53	ASHTECH Z-XII3	ASH700718A NONE	0.829	07 01 30	12 00 30	04 59 00
	LGRN	ASHTECH Z-XII3	ASH700718A NONE	0.118	06 14 00	11 00 30	04 46 30
	LTSA	ASHTECH Z-XII3	ASH700718A NONE	0.12	08 53 00	13 00 30	04 07 30
	RASK	ASHTECH UZ-XII3	ASH700936C_M NONE	0.113	07 20 00	10 24 00	03 04 00
	CG54	**ASHTECH Z-XII3**	**ASH700228A NONE**	**1.419**	**00 00 00**	**23 59 30**	**23 59 30**
196 (14/7)	AGFA	ASHTECH Z-XII3	ASH700718A NONE	0.214	05 33 30	10 00 30	04 27 00
	AIOL	ASHTECH Z-XII3	ASH700718A NONE	0.209	11 24 00	15 33 30	04 09 30
	CG52	ASHTECH Z-XII3	ASH700718A NONE	0.956	10 56 00	14 00 30	03 04 30
	CG55	ASHTECH Z-XII3	ASH700718A NONE	1.039	06 13 00	09 00 30	02 47 30
	CG56	ASHTECH Z-XII3	ASH700718A NONE	1.064	10 53 00	15 00 00	04 07 00
	CG58	ASHTECH UZ-XII3	ASH700936C_M NONE	1.047	07 16 30	13 23 30	06 07 00
	CG66	ASHTECH Z-XII3	ASH700718A NONE	0.921	08 20 30	12 28 30	04 08 00
	KRKR	ASHTECH UZ-XII3	ASH700936C_M NONE	0.117	06 37 00	13 00 00	06 23 00
	KRPI	ASHTECH Z-XII3	ASH700718A NONE	0.113	06 02 00	11 35 00	05 33 00
	PLPT	ASHTECH Z-XII3	ASH700718A NONE	0.116	05 53 30	09 00 00	03 06 30
	TZIA	ASHTECH Z-XII3	ASH700718A NONE	0.205	05 27 30	11 30 30	06 03 00
	CG54	**ASHTECH Z-XII3**	**ASH700228A NONE**	**1.419**	**00 00 00**	**16 48 00**	**16 48 00**

Πίνακας 5.7: Ημέρες μέτρησης, πληροφορίες των σταθμών και η διάρκεια των μετρήσεων, την εποχή 2000.53.

6 Επεξεργασία Μετρήσεων

Η επεξεργασία των δεδομένων του τοπικού δικτύου πραγματοποιήθηκε με χρήση του λογισμικού Bernese v.5, μια σύντομη περιγραφή του οποίου έγινε ήδη (βλ. Κεφάλαιο 4). Πριν την επίλυση του τοπικού δικτύου, είναι απαραίτητη η υλοποίηση του συστήματος αναφοράς. Έτσι, έχοντας εξασφαλίσει ότι τα αποτελέσματα της επίλυσης θα αναφέρονται στο ίδιο σύστημα, σειρά έχει η επεξεργασία των μετρήσεων. Στο κεφάλαιο αυτό, περιγράφεται ο τρόπος υλοποίησης του συστήματος αναφοράς και στη συνέχεια, η επίλυση του τοπικού δικτύου. Στην περιγραφή της επίλυσης, γίνεται λεπτομερής ανάλυση της στρατηγικής που εφαρμόστηκε καθώς και των προβλημάτων που προέκυψαν κατά τη διάρκεια αυτής, για κάθε εποχή.

6.1 Υλοποίηση Γεωδαιτικού Συστήματος Αναφοράς

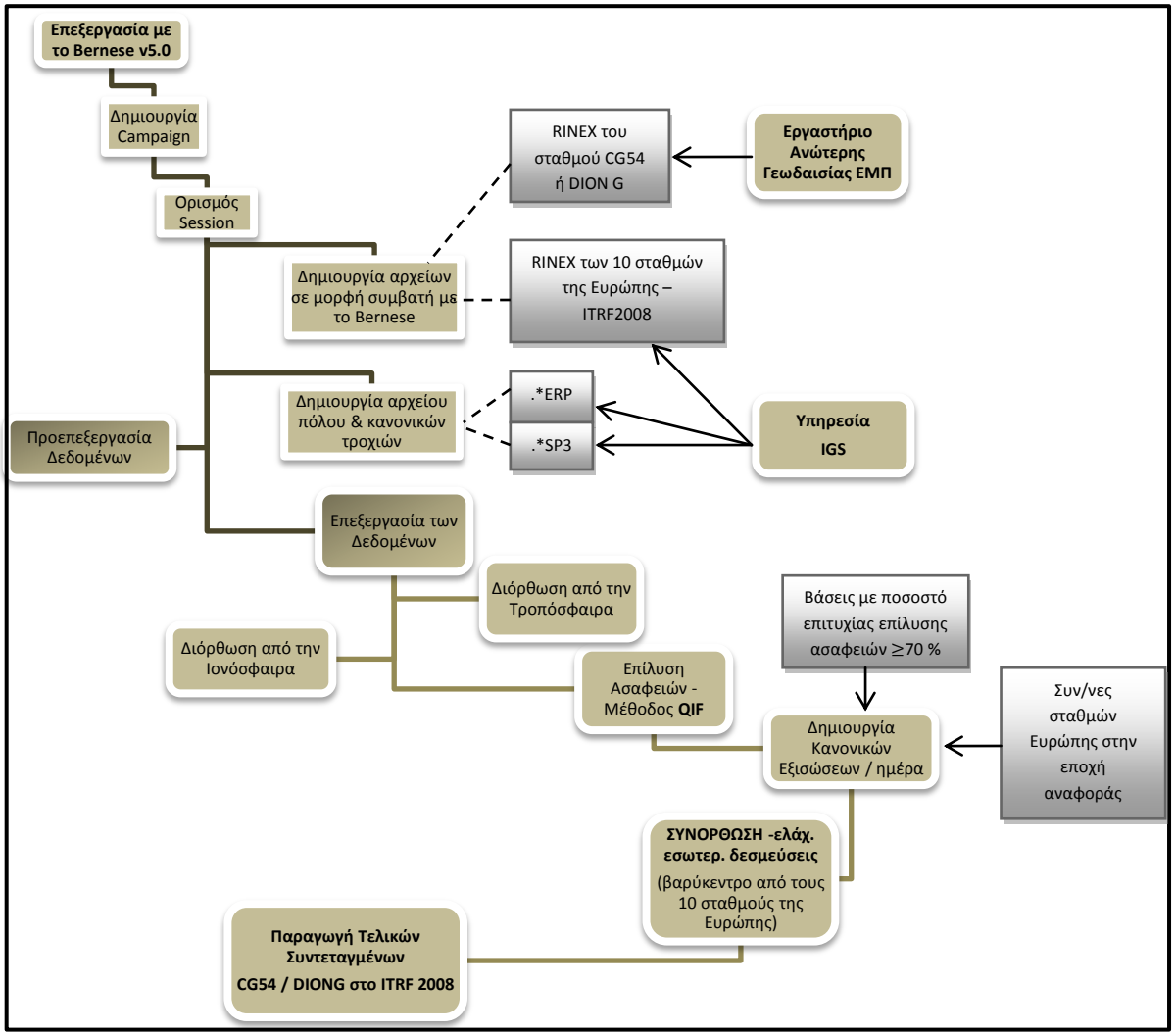
Πριν από την επίλυση του τοπικού δικτύου, απαραίτητη ήταν η υλοποίηση ενός συστήματος αναφοράς, ώστε τα αποτελέσματα να μπορεί να είναι συγκρίσιμα και αξιοποιήσιμα. Η υλοποίηση επιτεύχθηκε, με την εξάρτηση ενός σημείου του τοπικού δικτύου από ένα σύνολο θεμελιωδών σημείων της Ευρώπης με συνεχείς μετρήσεις, που οι συντεταγμένες τους αναφέρονται σε ένα συγκεκριμένο σύστημα αναφοράς. Ο σταθμός του τοπικού δικτύου, ο οποίος εξαρτήθηκε από τους σταθμούς της Ευρώπης είναι ο σταθμός του Διονύσου (CG54 ή DION G). Τα θεμελιώδη σημεία που επιλέχθηκαν είναι μέρος από το δίκτυο της υπηρεσίας IGS με μόνιμους σταθμούς GPS στην Ευρώπη.

Οι σταθμοί της Ευρώπης που επιλέχθηκαν, ώστε να υλοποιηθεί το σύστημα αναφοράς είναι 10 (Πίνακας 6.1 & Εικόνα 6.1) και η επιλογή έγινε με κριτήριο την επίτευξη μιας όσο το δυνατόν καλής γεωμετρίας και φυσικά, από την εποχή αναφοράς των δεδομένων τους. Πιο αναλυτικά, οι σταθμοί της Ευρώπης πρέπει να είναι ομοιόμορφα κατανεμημένοι γύρω από το σταθμό του Διονύσου, ενώ αποφεύγονται όσοι απέχουν πολύ από αυτόν, προς αποφυγή βάσεων μεγάλου μήκους. Το πιο σημαντικό, όμως, κριτήριο επιλογής των σταθμών είναι η ύπαρξη κοινής εποχής παρατηρήσεων μεταξύ των σταθμών της Ευρώπης και του Διονύσου.

Οι συντεταγμένες και οι ταχύτητες των σταθμών της Ευρώπης είναι υπολογισμένες στο ITRF2008 και αναφέρονται στην εποχή 2005.0 (Πίνακας 6.2). Συνεπώς, πρέπει να γίνει μια μετατροπή στην εποχή αναφοράς των δεδομένων του τοπικού δικτύου, με εφαρμογή των παρακάτω σχέσεων (6.1). Τα απαραίτητα στοιχεία για τη μετατροπή (συντεταγμένες και ταχύτητες σταθμών), παρέχονται από την υπηρεσία ITRF.

Έπειτα από επεξεργασία των δεδομένων με χρήση του λογισμικού και συνόρθωση του δικτύου διατηρώντας σταθερούς τους σταθμούς της Ευρώπης (Σχήμα 6.1), ο σταθμός του Διονύσου έχει επιλυθεί και οι συντεταγμένες του αναφέρονται στο σύστημα αναφοράς που θα επιλυθεί και το τοπικό (Πίνακας 6.3). Στο στάδιο επίλυσης ασαφειών, η στρατηγική που επιλέχθηκε ήταν η Q.I.F. Ως κατώτερο όριο επιτυχίας επίλυσης με αυτή την μέθοδο, ορίστηκε το 70%. Η ίδια στρατηγική και όριο επιτυχίας, εφαρμόζεται και κατά την επίλυση του τοπικού δικτύου. Αξίζει να σημειωθεί πως για την εποχή 1999.77, μετά τη συνόρθωση με τους

σταθμούς της Ευρώπης, προέκυψαν συντεταγμένες του σταθμού DION G. Από το διάνυσμα εκκεντρότητας των δύο σταθμών (βλ. Κεφάλαιο 5), βρέθηκαν οι συντεταγμένες του σταθμού CG54 για την εποχή 1999.77.



Σχήμα 6.1: Διάγραμμα ροής με τη σειρά εργασιών προς υλοποίηση συστήματος αναφοράς[10].

$$X(t) = X(EPOCH) + Vx \times (t - EPOCH)$$

$$Y(t) = Y(EPOCH) + Vy \times (t - EPOCH) \qquad (6.1)$$

$$Z(t) = Z(EPOCH) + Vz \times (t - EPOCH)$$

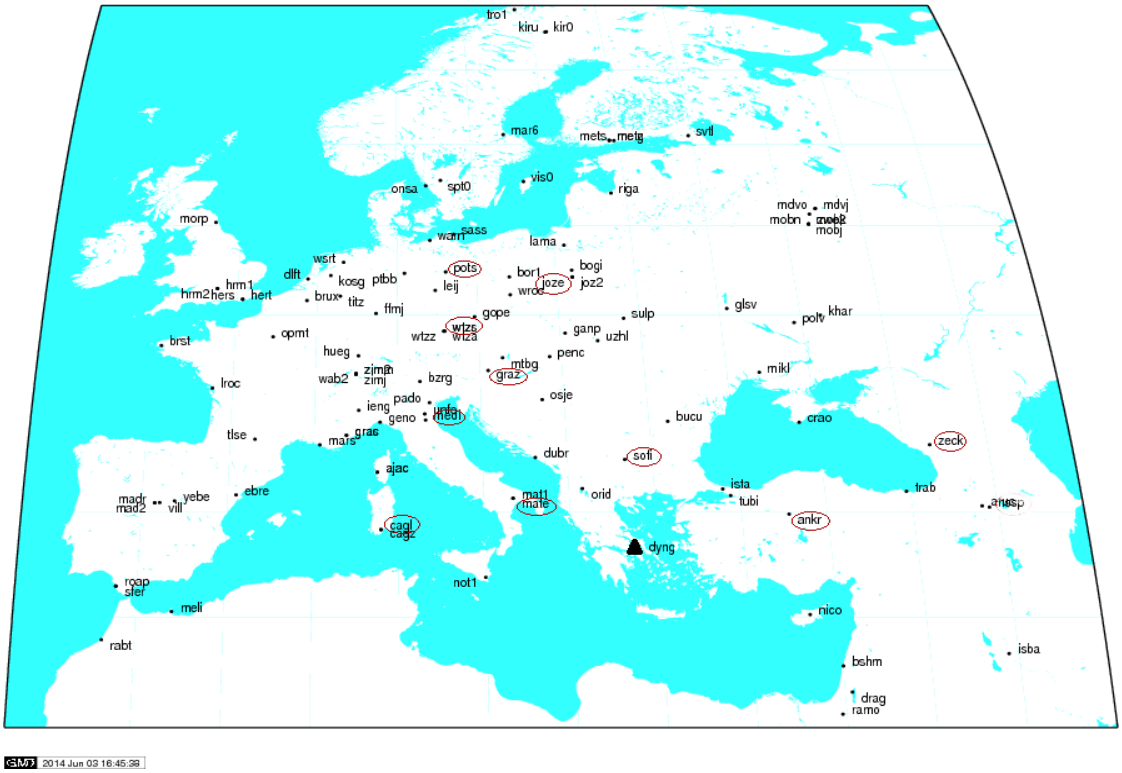
[10] Να σημειωθεί πως το συγκεκριμένο διάγραμμα ροής βασίζεται στο γενικό διάγραμμα περιγραφής των σταδίων του λογισμικού (Σχήμα 4.1). Πρόκειται για μια συνοπτική εκδοχή, με έμφαση στις αλλαγές που γίνονται κατά την υλοποίηση συστήματος αναφοράς. Σε κάποια σημεία (π.χ. «Προεπεξεργασία Δεδομένων» δεν παρουσιάζονται όλα τα επιμέρους στάδια (π.χ. «δημιουργία βάσεων»), τα οποία, φυσικά, και εννοούνται.

Όπου:

X, Y, Z : οι συντεταγμένες του σταθμού Ευρώπης
Vx, Vy, Vz : ο ρυθμός μετακίνησης (ταχύτητα) του σταθμού κατά X,Y,Z
t : εποχή αναφοράς του σταθμού του Διονύσου
$EPOCH$: εποχή αναφοράς των σταθμών Ευρώπης (2005.0)

Σταθμός	Τοποθεσία
ANKR	Ankara, Turkey
CAGL	Cagliari, Italy
SOFI	Sofia, Bulgaria
MATE	Matera, Italy
ZECK	Zelenchukskaya, Russia
WTZR	Wettzell, Germany
MEDI	Medicina, Italy
GRAZ	Graz-Lustbuehel, Austria
JOZE	Jozefoslaw, Poland
POTS	Postdam, Germany

Πίνακας 6.1: Η τοποθεσία των σταθερών σταθμών της Ευρώπης.



Εικόνα 6.1:Η θέση των 10 σταθμών της Ευρώπης, βάσει των οποίων υλοποιήθηκε το σύστημα αναφοράς, φαίνονται με κόκκινο περίγραμμα. Ο σταθμός του Διονύσου, δηλώνεται με ένα τριγωνικό σχήμα.
Πηγή: Υπηρεσία IGS.

EPOCH 2005	ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ			ΤΑΧΥΤΗΤΕΣ		
ΣΤΑΘΜΟΣ	X_{t1}	Y_{t1}	Z_{t1}	V_{xt1}	V_{yt1}	V_{zt1}
ANKR	4121948.5245	2652187.9019	4069023.7558	-0.0078	-0.0036	0.0085
CAGL	4893378.8188	772649.7894	4004182.1640	-0.0133	0.0197	0.0125
SOFI	4319372.0885	1868687.7819	4292063.9377	-0.0170	0.0188	0.0089
MATE	4641949.5528	1393045.4235	4133287.4648	-0.0181	0.0189	0.0149
ZECK	3451174.7057	3060335.4329	4391955.6486	-0.0222	0.0144	0.0092
WTZR	4075580.5530	931853.7972	4801568.1360	-0.016	0.0171	0.0101
MEDI	4461400.7396	919593.5812	4449504.7679	-0.0176	0.0192	0.0117
GRAZ	4194423.8174	1162702.6951	4647245.4141	-0.0166	0.018	0.011
NSSP	3478646.6228	3418805.8351	4097987.2371	-0.0278	0.0132	0.0137
JOZE	3664940.1647	1409153.8635	5009571.3905	-0.0177	0.0158	0.0096
POTS	3800689.6341	882077.3857	5028791.3179	-0.0162	0.0159	0.0091

Πίνακας 6.2: Συντεταγμένες και ταχύτητες των σταθμών της Ευρώπης στην εποχή 2005.0.

		ΚΑΡΤΕΣΙΑΝΕΣ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΕΣ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ			ΣΦΑΛΜΑΤΑ (mm)		
Epoch	Σταθμός Διον.	X (m)	Y (m)	Z (m)	σX (±)	σY (±)	σZ (±)
1998.52	CG54	4595218.2870	2039437.5569	3912626.0934	0.5	0.2	0.4
1999.44	CG54	4595218.3469	2039437.6066	3912626.1197	1.3	0.6	1.2
1999.77	DION G	4595216.4522	2039452.9786	3912626.8156	0.7	0.3	0.6
	CG54	*4595218.3512*	*2039437.5996*	*3912626.1286*	-	-	-
2000.53	CG54	4595218.3576	2039437.6085	3912626.1323	0.5	0.2	0.4

Πίνακας 6.3: Συντεταγμένες Διονύσου στις 4 εποχές αναφοράς, ύστερα από συνόρθωση με τους σταθμούς της Ευρώπης.

Από τα αποτελέσματα του παραπάνω πίνακα, οι διαφορές των συντεταγμένες μεταξύ των 1999.44, 1999.77 και 2000.53 εποχών είναι πολύ μικρές της τάξης των μερικών χιλιοστών με τη μέγιστη διαφορά να εντοπίζεται στις εποχές 1999.44 και 2000.53, με τιμή 1 cm κατά X και Z. Παρατηρείται, όμως, μια σημαντική διαφορά στις συντεταγμένες τους Διονύσου την εποχή 1998.52, σε σχέση με τις αντίστοιχες συντεταγμένες των υπολοίπων εποχών. Η μεγαλύτερη διαφορά εντοπίζεται σε σύγκριση με τα αποτελέσματα της εποχής 2000.53, όπου ανέρχεται σε 7 cm κατά X, 5 cm κατά Y και 4 cm κατά Z. Προς καλύτερη ερμηνεία τους, μετατράπηκαν σε dN, dE, dU (Πίνακας 6.4).

Από τον πίνακα, γίνεται εμφανής η έντονη υψομετρική διαφορά μεταξύ των αποτελεσμάτων της εποχής 1998.52 με τις υπόλοιπες. Έτσι, η διαφορά στις συντεταγμένες του σταθμού CG54 μεταξύ των εποχών, θα μπορούσε να αποδοθεί σε λαθεμένη τιμή του ύψους της κεραίας του δέκτη, στα αρχεία εισαγωγής (RINEX) για την εποχή 1998.52.

ΕΠΟΧΕΣ		ΔΙΑΦΟΡΕΣ (mm)		
1^H	2^H	dN	dE	dU
1999.44	1998.52	25.4985	-21.1280	-75.1879
1999.77	1998.52	19.1653	-12.9855	-81.5355
2000.53	1998.52	22.0873	-18.5241	-91.2641
1999.44	1999.77	6.3331	-8.1425	6.3475
1999.44	2000.53	3.4112	-2.6039	16.0762
1999.77	2000.53	-2.9219	5.5386	9.7286

Πίνακας 6.4: Οι διαφορές στις συντεταγμένες μεταξύ των εποχών, κατά North (dN), East (dE) και Up (dU). Με βυσσινί παριστάνονται οι έντονες διαφορές.

6.2 Επίλυση Τοπικού Δικτύου

Έπειτα από την υλοποίηση του συστήματος αναφοράς, σειρά έχει η επίλυση του τοπικού δικτύου για κάθε εποχή, η οποία επιτεύχθηκε βάσει της ακόλουθης στρατηγικής:

Η επίλυση γίνεται ανά ημέρα με χρήση του λογισμικού Bernese v.5. Το σημαντικότερο σημείο της όλης διαδικασίας είναι ο τρόπος με τον οποίο θα επιλυθεί το δίκτυο, δηλαδή, η επιλογή του βασικού σταθμού βάσει του οποίου θα σχηματιστούν οι βάσεις με τα υπόλοιπα σημεία του δικτύου. Η εν λόγω επιλογή έγινε με κριτήριο τη χρονική διάρκεια των παρατηρήσεων, μιας και όπως έχει προαναφερθεί, για να σχηματιστεί μια βάση τα σημεία που την απαρτίζουν πρέπει να έχουν κοινές χρονικές παρατηρήσεις.

Για το σημείο του Διονύσου, παρέχονται δεδομένα για κάθε ημέρα ανά εποχή και επιπλέον, είναι ένας σταθμός με συνεχείς (24 – ωρες) μετρήσεις, γεγονός που τον καθιστά βασικό σταθμό της επίλυσης. Άλλωστε, πρόκειται για τον σταθμό που θα εξασφαλίσει την υλοποίηση του συστήματος αναφοράς.

Όμως, δεν ήταν δυνατή η σύνδεση του Διονύσου με όλα τα υπόλοιπα σημεία του δικτύου, γιατί κάποια από αυτά ήταν σε σχετικά μεγάλη απόσταση από τον σταθμό. Γενικά, πρέπει να αποφεύγεται η δημιουργία μεγάλων βάσεων, ώστε να ελαχιστοποιείται η επίδραση της τροποσφαιρικής και ιονοσφαιρικής διάθλασης. Έτσι, έγινε η σύνδεση του σταθμού του Διονύσου με ένα άλλο σημείο και έπειτα αυτό, συνδέθηκε με όλα τα υπόλοιπα. Η σύνδεση αφορά το σχηματισμό βάσεων. Όπως είναι φυσικό, το σημείο από το οποίο θα σχηματιστούν οι υπόλοιπες βάσεις, πρέπει να περιέχει κοινό διάστημα παρατηρήσεων με όλα τα υπόλοιπα. Τα σημεία αυτά, φαίνονται με έντονη γραφή στους αντίστοιχους πίνακες (βλ. Κεφάλαιο 5).

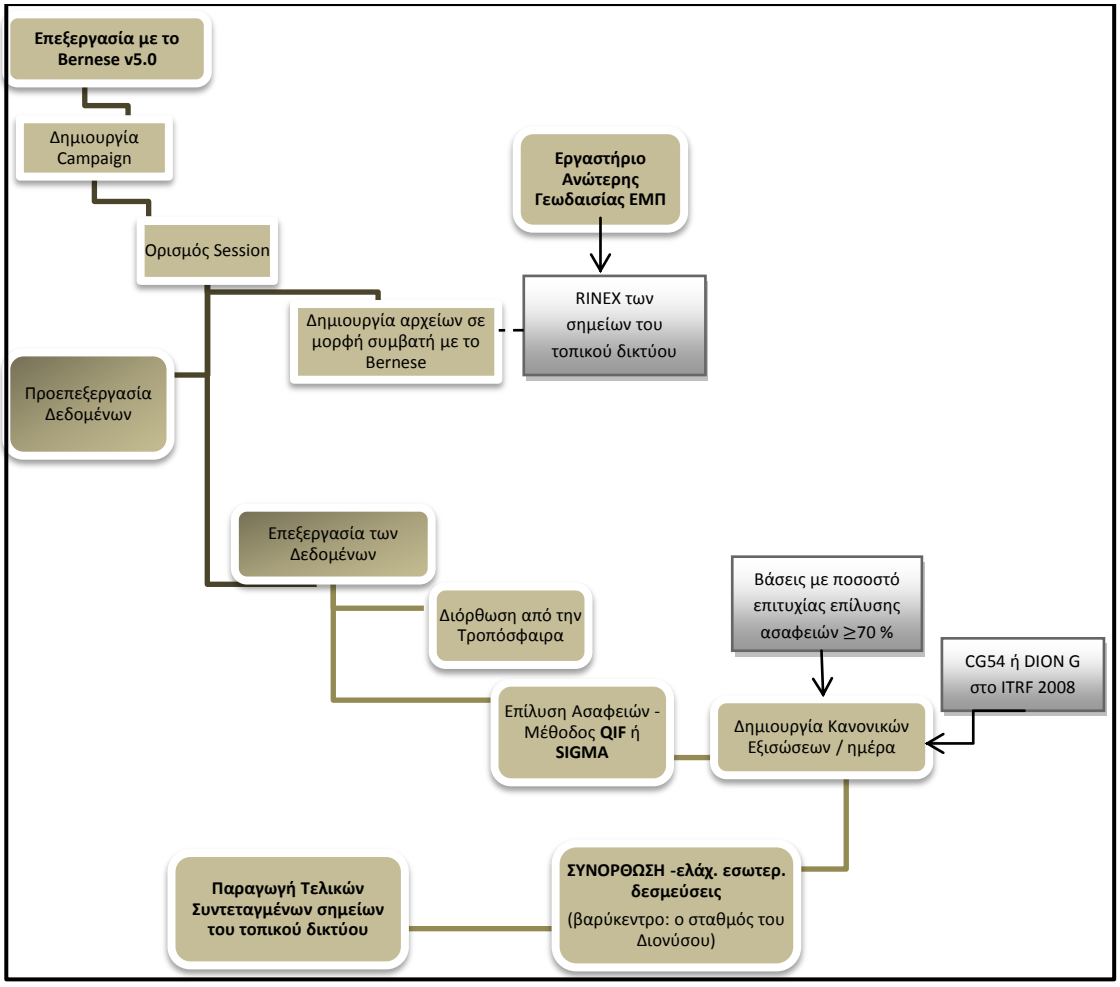
Στην Εικόνα 6.2, δείχνει ενδεικτικά τον τρόπο επίλυσης για την ημέρα 190, της εποχής αναφοράς 1998.52. Με αρχή το σημείο CG54, δημιουργήθηκαν βάσεις με τα σημεία OBSR και ILOK. Παρατηρείται ότι τα υπόλοιπα σημεία βρίσκονται κοντά με το σημείο ILOK, και περιλαμβάνει κοινές χρονικές παρατηρήσεις με τα υπόλοιπα σημεία (Πίνακας 6.5). Έτσι, τα υπόλοιπα σημεία θα επιλυθούν από το σημείο ILOK.

Εικόνα 6.2: Τρόπος επίλυσης τοπικού δικτύου την ημέρα 190 για την εποχή 1998.52 .

ΣΗΜΕΙΟ	ΕΝΑΡΞΗ	ΛΗΞΗ	ΔΙΑΡΚΕΙΑ
DDYM	07 43 45	10 16 00	02 32 15
GILS	15 43 15	18 11 00	02 27 45
ILOK	**06 18 45**	**18 46 45**	**12 28 00**
KOIL	15 18 00	17 47 30	02 29 30
METH	11 58 45	14 00 15	02 01 30
OBSR	**00 00 00**	**06 04 30**	**06 04 30**
PHEL	11 53 00	14 21 45	02 28 45
VRMS	07 30 15	09 59 30	02 29 15
CG54	**00 00 00**	**23 59 30**	**23 59 30**

Πίνακας 6.5: Πληροφορίες σχετικά με το χρονικό διάστημα παρατηρήσεων των σημείων του τοπικού δικτύου για την ημέρα 190, την εποχή 1998.52.

Η διαδικασία επίλυσης του τοπικού δικτύου, για κάθε εποχή, είναι ίδια και με τη σειρά που έχει περιγραφεί κατά την ανάλυση του λογισμικού επεξεργασίας. Στο σημείο αυτό, να σημειωθεί πως παραλείφθηκε το στάδιο διόρθωσης των παρατηρήσεων από την ιονόσφαιρα, αφού κάτι τέτοιο απαιτείται για βάσεις μεγαλύτερες των 600 χλμ. Στο διάγραμμα ροής που ακολουθεί, δείχνει συνοπτικά τα βήματα που ακολουθήθηκαν μέχρι την παραγωγή των τελικών συνορθωμένων συντεταγμένων.



Σχήμα 6.2: Διάγραμμα ροής με τη σειρά εργασιών κατά την επίλυση του τοπικού δικτύου.

6.2.1 Παρατηρήσεις κατά τη διάρκεια επίλυσης τοπικού δικτύου

Πολλές φορές, η στρατηγική επίλυσης του τοπικού δικτύου που περιγράφηκε παραπάνω, δεν επιφέρει το επιθυμητό ποσοστό επίλυσης των ασαφειών φάσης, με την εφαρμογή της στρατηγικής Q.I.F. Η λύση στο πρόβλημα, μπορεί να δοθεί με δύο τρόπους:

- Αλλαγή σχεδιασμού επίλυσης βάσει γεωμετρίας των σημείων και φυσικά, των κοινών παρατηρήσεων τους. Πιο αναλυτικά, ξεκινώντας από τη γεωμετρία των σταθμών, τα σημεία που θα επιλεγούν προς νέα επίλυση, πρέπει να επιλέγονται με τέτοιο τρόπο, ώστε να ελαχιστοποιείται το μήκος των σχηματιζόμενων βάσεων. Επιπλέον, η επιλογή πρέπει να βασίζεται στις κοινές παρατηρήσεις, οι οποίες πρέπει να μεγιστοποιούνται.
- Σε περίπτωση που δεν επιτευχθεί από κάποιες βάσεις το επιθυμητό ποσοστό επίλυσης, και με την προϋπόθεση ότι έχουν δοκιμαστεί όλοι οι πιθανοί συνδυασμοί (σύμφωνα με το προηγούμενο τρόπο), εφαρμόζεται η στρατηγική SIGMA, στο στάδιο επίλυσης ασαφειών φάσης. Προκειμένου να εφαρμοστεί η SIGMA, πρέπει να δοθεί προσοχή στο μήκος των βάσεων, το οποίο δεν πρέπει να ξεπερνά τα 20 χλμ.

Στο παράρτημα, παρουσιάζονται τα ποσοστά επίλυσης ασαφειών φάσης των επιλυμένων βάσεων του τοπικού δικτύου (βλ. Παράρτημα, IV). Στους πίνακες, φαίνεται η επιλογή των σημείων, οι σχηματιζόμενες βάσεις αυτών και τα ποσοστά επίλυσης ασαφειών της συγκεκριμένης στρατηγικής. Με κόκκινη γραφή, φαίνονται οι βάσεις που το ποσοστό επίλυσης ασαφειών είναι κάτω από το όριο. Έπειτα, παρουσιάζεται με γκρι γραφή, η τελική βάση (με το σημείο που δε λύθηκε κατά την πρώτη επίλυση και το νέο ποσοστό επιτυχίας επίλυσης ασαφειών).

Στη συνέχεια, παρουσιάζονται τα προβλήματα που προέκυψαν και τυχόν παρατηρήσεις κατά την επίλυση του τοπικού δικτύου.

- **Εποχή 1998.52:**

  Ύστερα από αποτυχία επίλυσης των ασαφειών φάσης με τη στρατηγική Q.I.F., εφαρμόστηκε η στρατηγική SIGMA στις παρακάτω βάσεις. Κάποιες από αυτές, είναι κοντά στα 20 km που είναι το επιθυμητό όριο για εφαρμογή της στρατηγικής. Συγκεκριμένα, η στρατηγική εφαρμόστηκε την ημέρα 189, στη βάση KIVE-MARA με μήκος 21 km. Την ημέρα 190 στις βάσεις ILOK - PHEL μήκους 20 km, ILOK - GILS μήκους 22 km και ILOK - METH μήκους 21 km. Τέλος, την ημέρα 193 στην βάση KRKR - CG54 με μήκος 22 km. Εξαίρεση αποτελεί, η βάση CG66 - CG54 μήκους 28 km της ημέρας 194. Να σημειωθεί, πως με την εφαρμογή της SIGMA στις συγκεκριμένες βάσεις, οι ασάφειες φάσης επιλύθηκαν.
  Επιπλέον, το σημείο METH της ημέρας 190 και το σημείο METH των ημερών 191 και 193 της εποχής 2000.53, δεν αποτελούν ίδια σημεία. Ύστερα από την επίλυση τους, οι τελικές συντεταγμένες έδειξαν ότι το σημείο της εν λόγω εποχής είναι τοποθετημένο κοντά στα Μέθανα, ενώ της εποχής 2000.53, βρίσκεται στην νοτιοδυτική Πελοπόννησο. Προφανώς, έγινε κάποιο λάθος κατά την ονομασία των σημείων στο ύπαιθρο.

- **Εποχή 1999.77**

  Το σημείο KRKR δεν επιλύθηκε, για την ημέρα 278 και η βάση που το περιελάμβανε δεν συμμετείχε στη δημιουργία των κανονικών εξισώσεων. Η αποτυχία της επίλυσης, βασίζεται στην αδυναμία επίλυσης ασαφειών φάσης με τη μέθοδο Q.I.F., στο επιθυμητό ποσοστό, της βάσης που αποτελείται από το σημείο KRKR με κάθε πιθανό σημείο.
  Δεν εφαρμόστηκε η στρατηγική SIGMA, διότι μετρήσεις για το σημείο υπήρχαν και στην επόμενη ημέρα. Έτσι, οι τελικές συντεταγμένες του σημείου, προέκυψαν από την επίλυση του την ημέρα 279.

- **Εποχή 2000.53**

  Κατά την επίλυση της ημέρας 189, υπήρξε πρόβλημα με το σημείο CG44. Συγκεκριμένα, στο στάδιο διόρθωσης των ρολογιών των δεκτών (πρόγραμμα CODSPP του λογισμικού), δεν ήταν εφικτή η χρήση της συχνότητας L3, η οποία χρησιμοποιείται σε αυτό το στάδιο. Η συχνότητα άλλαξε σε L1[11], αφού στο αρχείο εισαγωγής (αρχείο κώδικα) δεν περιλαμβάνονταν αρκετές παρατηρήσεις στη συχνότητα L2[12]. Όπως έχει αναφερθεί, δέκτες μιας συχνότητας (L1) έχουν να αντιμετωπίσουν το σφάλμα της ιονοσφαιρικής διάθλασης.

[11] Αυτόματα από το πρόγραμμα.
[12] Σύμφωνα με μήνυμα του λογισμικού.

7 Αποτελέσματα

Ύστερα από τη δημιουργία των κανονικών εξισώσεων, τα αποτελέσματα από τη συνόρθωση των παρατηρήσεων είναι οι καρτεσιανές συντεταγμένες X, Y, Z των σταθμών του δικτύου, για κάθε μια εποχή αναφοράς. Όπως έχει προαναφερθεί, η συνόρθωση πραγματοποιήθηκε βάσει του σταθμού του Διονύσου. Οι συντεταγμένες καθώς και τα σφάλματά τους (όπως προέκυψαν από το λογισμικό), παρουσιάζονται στους πίνακες που ακολουθούν. Στη συνέχεια, έγινε η μετατροπή τους σε γεωγραφικές συντεταγμένες φ, λ, h.

7.1 Καρτεσιανές Συντεταγμένες X, Y, Z

	ΕΠΟΧΗ 1998.52					
	ΚΑΡΤΕΣΙΑΝΕΣ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΕΣ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ			ΣΦΑΛΜΑΤΑ (mm)		
ΣΗΜΕΙΑ	**X (m)**	**Y (m)**	**Z (m)**	**±σX**	**±σY**	**±σZ**
AFIA	4629035.6106	2016662.9648	3884218.6135	10.5	4.7	9.2
AGFA	4579825.6959	2126483.7209	3884328.0546	7.5	4.5	6.8
AGMA	4584808.7589	2047551.5327	3920148.9222	10.3	5	9
AGNI	4671126.6063	1933713.3777	3876918.2152	11.3	4.5	8.7
AIOL	4572499.4714	2108048.8865	3902700.1313	8.1	4.5	7.2
CJ00	4650774.4958	1948963.4129	3893765.2782	8.9	3.6	6.7
CK00	4644625.1729	1957928.4938	3895847.2763	9.1	4.3	7.7
DDYM	4658862.4738	1997396.6463	3860016.4760	11.3	5.1	9.8
DMNA	4648427.2504	1979666.3805	3880122.4683	5.1	2.3	4.2
GILS	4651157.8424	1990045.2538	3871386.8949	11.9	4.7	8.8
ILOK	4657077.2738	2005586.2523	3856661.5597	4.9	2.2	3.9
KIVE	4672995.8047	1953546.9369	3863887.9999	6.4	2.8	5.4
KOIL	4665081.3071	1991187.6970	3854070.0134	19.5	7.5	12.1
KOSM	4699223.7125	1969247.0880	3825861.7468	8.5	3.8	7.2
KRKR	4599733.5654	2019201.4611	3918894.6611	17.1	8.9	16.2
KRPI	4609438.2766	2036327.7105	3897238.6984	9.3	4.8	8.5
LEON	4690058.6984	1973729.4691	3834235.7154	8.1	3.8	7.1
LTSA	4600520.8769	2047886.3193	3901620.5974	11.4	5.9	9.5
MARA	4662957.0340	1972155.4059	3866672.0095	12.3	5	10
METH	4642935.1502	2009201.5505	3871693.9264	15.6	9.1	10.5
MLDR	4660570.0603	1944210.9263	3883894.2914	11.3	4.4	8.1
OBSR	4647811.6682	1936368.7131	3903597.7405	2	1	1.7

Πίνακας 7.1: Καρτεσιανές συντεταγμένες και τα σφάλματα αυτών, για κάθε σημείο την εποχή αναφοράς 1998.52.

	ΕΠΟΧΗ 1998.52					
	ΚΑΡΤΕΣΙΑΝΕΣ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΕΣ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ			ΣΦΑΛΜΑΤΑ (mm)		
ΣΗΜΕΙΑ	**X (m)**	**Y (m)**	**Z (m)**	**±σX**	**±σY**	**±σZ**
OREI	4685610.1458	1955811.3163	3848599.7908	8.6	3.9	7.2
PHEL	4670396.9653	1999061.2906	3843623.5107	30.2	16.7	14.5
PIGA	4694212.0777	1983949.7714	3823619.3335	8.8	3.8	7.8
PLPT	4575499.5140	2059808.0692	3924733.2416	9.4	4.5	9.1
RASK	4623289.6132	1991958.2648	3903661.8794	5.2	2.5	4.4
TIRO	4684208.9097	1975902.5808	3838954.0524	4.8	2.2	4
TR00	4684774.9143	1926595.3345	3864292.8672	8	3.4	6.9
TZIA	4607893.2155	2087155.1745	3872708.0955	9.8	5.1	8.9
VRMS	4649971.8014	2018826.7459	3858719.4120	11.1	4.9	9.3
CG44	4644472.9759	1937384.9205	3906731.1749	9.3	4	8.1
CG47	4633203.2127	1961421.9465	3907452.6259	13.2	5.5	10.3
CG48	4627578.6307	1976842.6390	3908073.3113	10	5.4	8.7
CG49	4619102.0310	1980972.5451	3914066.1482	10.4	6.4	9
CG50	4607401.2360	1989498.7849	3924138.9208	9.9	4.9	8.7
CG52	4574393.8459	2033129.1071	3939302.4094	8.6	4.1	7.5
CG53	4588486.6970	2028895.8554	3925877.6492	10.8	5.3	9.3
CG55	4569149.8630	2052266.6364	3935686.8433	17.5	6.1	11.5
CG56	4578278.0321	2075992.3219	3913287.1657	5.6	2.9	5
CG57	4613032.1622	2000515.0776	3911361.9740	11.1	4.7	8.9
CG58	4610054.6024	2015493.6417	3907135.6403	9.9	5.9	9.3
CG62	4661660.8085	1924282.3995	3892694.0505	9.8	4.6	8.5
CG63	4654493.0875	1963758.4972	3881625.0232	9.8	4.3	8.2
CG64	4647892.6843	1967179.5785	3887940.7589	11.1	5.1	9.6
CG65	4641801.3564	1979193.2463	3888527.4881	9.1	4.2	8
CG66	4610660.8021	2047374.9863	3889970.5886	16.4	7	12.4

Πίνακας 7.2: Καρτεσιανές συντεταγμένες και τα σφάλματα αυτών, για κάθε σημείο την εποχή αναφοράς 1998.52.

	ΕΠΟΧΗ 1999.44					
	ΚΑΡΤΕΣΙΑΝΕΣ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΕΣ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ			ΣΦΑΛΜΑΤΑ (mm)		
ΣΗΜΕΙΑ	**X (m)**	**Y (m)**	**Z (m)**	**±σX**	**±σY**	**±σZ**
AFIA	4629035.6001	2016662.9773	3884218.5810	4.1	2.1	3.7
AGFA	4579825.7743	2126483.6455	3884328.1146	4.6	2.4	4
AGMA	4584808.6310	2047551.4732	3920149.0090	10	3.9	7.1
AGNI	4671126.7332	1933713.4170	3876918.234	5.6	2.7	5
AIOL	4572499.4771	2108048.8860	3902700.1009	4.6	2.3	3.8
DDYM	4658862.4967	1997396.6551	3860016.4731	6.3	2.9	5.2
DMNA	4648427.2036	1979666.3711	3880122.4036	5.9	2.8	5.1
GILS	4651157.7961	1990045.2424	3871386.8243	3.9	1.8	3.3
ILOK	4657077.2428	2005586.2507	3856661.5057	6.6	3.1	5.8
KIVE	4672995.8422	1953546.9532	3863888.0130	6.2	3.1	5.6
KOIL	4665081.3672	1991187.7189	3854070.0200	5.7	2.6	4.7
KOSM	4699223.7103	1969247.1006	3825861.7130	3.8	1.8	3.2
KRKR	4599733.5293	2019201.4567	3918894.6198	5.3	2.5	4.9
KRPI	4609438.2257	2036327.6787	3897238.7643	5.9	2.6	4.5
LGRN	4617574.6869	2055828.5945	3877175.3800	5.1	2.5	4.7
LTSA	4600520.9101	2047886.3538	3901620.6096	4.6	2.3	4.1
MLDR	4660570.0988	1944210.9331	3883894.3017	5.9	2.8	4.9
OREI	4685610.1590	1955811.3317	3848599.7788	4.4	2.1	3.8
PHEL	4670396.8742	1999061.3688	3843623.472	5.9	2.8	5.1
PIGA	4694212.0852	1983949.7859	3823619.3155	4.2	2	3.6
PLPT	4575499.5461	2059808.1400	3924733.1920	5.9	3.7	5.3
RASK	4623289.5961	1991958.2931	3903661.8611	4.9	2.8	4.5
TZIA	4607893.2093	2087155.2173	3872708.1057	4	2.2	3.6
VRMS	4649971.8033	2018826.7546	3858719.3850	6	2.9	5.3

Πίνακας 7.3: Καρτεσιανές συντεταγμένες και τα σφάλματα αυτών, για κάθε σημείο την εποχή αναφοράς 1994.44

	ΕΠΟΧΗ 1999.77					
	ΚΑΡΤΕΣΙΑΝΕΣ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΕΣ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ			ΣΦΑΛΜΑΤΑ (mm)		
ΣΗΜΕΙΑ	**X (m)**	**Y (m)**	**Z (m)**	**±σX**	**±σY**	**±σZ**
AGMA	4584808.7255	2047551.5197	3920148.8957	2.8	1.3	2.2
KRKR	4599733.4810	2019201.4424	3918894.5696	5.8	2.7	4.7
KRPI	4609438.2841	2036327.7241	3897238.6422	2.1	1	1.7
CG47	4633203.1694	1961421.9373	3907452.5868	2.2	1	1.8
CG49	4619101.9717	1980972.5525	3914066.1103	2.7	1.3	2.2
CG50	4607401.2215	1989498.7939	3924138.8968	2.5	1.2	2
CG53	4588486.6802	2028895.8495	3925877.6447	2.9	1.3	2.4
CG57	4613032.0931	2000515.0682	3911361.9222	2.3	1	1.9
CG58	4610054.5621	2015493.6180	3907135.5936	2.4	1.1	1.9

Πίνακας 7.4: Καρτεσιανές συντεταγμένες και τα σφάλματα αυτών, για κάθε σημείο την εποχή αναφοράς 1994.77.

	ΕΠΟΧΗ 2000.53					
	ΚΑΡΤΕΣΙΑΝΕΣ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΕΣ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ			ΣΦΑΛΜΑΤΑ (mm)		
ΣΗΜΕΙΑ	X (m)	Y (m)	Z (m)	±σX	±σY	±σZ
AFIA	4629035.5303	2016662.9416	3884218.4961	18	8	16
AGFA	4579825.6968	2126483.7170	3884328.0282	3.4	1.7	3.1
AGMA	4584808.6276	2047551.4983	3920148.8119	7.4	3.7	6.4
AGNI	4671126.7560	1933713.4312	3876918.2432	5.2	2.6	4.5
AIOL	4572499.4498	2108048.8862	3902700.0927	5.5	2.5	4.4
CJ00	4650774.4857	1948963.4237	3893765.2515	5.1	2.4	4.6
CK00	4644625.1415	1957928.4850	3895847.2480	4.1	1.9	3.1
DDYM	4658862.4840	1997396.6517	3860016.4566	4.7	2.2	3.8
DMNA	4648427.2277	1979666.3780	3880122.4213	5.7	2.4	5
GILS	4651157.8198	1990045.2527	3871386.8461	3.1	1.5	2.6
ILOK	4657077.2498	2005586.2461	3856661.5127	3.2	1.5	2.7
KIVE	4672995.9220	1953546.9878	3863888.0762	5.6	2.4	4.9
KOIL	4665081.3713	1991187.7280	3854070.0267	3.2	1.5	2.7
KOSM	4699223.7329	1969247.0994	3825861.7362	2.8	1.3	2.3
KRKR	4599733.5398	2019201.4510	3918894.6058	5.8	2.7	5.3
KRPI	4609438.2914	2036327.7231	3897238.6228	3.5	1.7	3.1
LGRN	4617574.6563	2055828.5803	3877175.3451	4.2	2	3.7
LTSA	4600520.9064	2047886.3697	3901620.5995	4.1	2.4	3.4
METH	4749323.3456	1890410.4189	3801907.5999	2.1	0.9	1.6
MLDR	4660570.0511	1944210.9274	3883894.2732	6.5	2.9	5.1
OBSR	4647810.9561	1936368.4255	3903597.1338	2.7	1.5	2.3

Πίνακας 7.5: Καρτεσιανές συντεταγμένες και τα σφάλματα αυτών, για κάθε σημείο την εποχή αναφοράς 2000.53.

	ΕΠΟΧΗ 2000.53					
	ΚΑΡΤΕΣΙΑΝΕΣ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΕΣ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ			ΣΦΑΛΜΑΤΑ (mm)		
ΣΗΜΕΙΑ	X (m)	Y (m)	Z (m)	±σX	±σY	±σZ
OREI	4685610.1306	1955811.3191	3848599.7669	5.3	2.2	4
PHEL	4670396.8977	1999061.3824	3843623.4887	4.6	2.1	4
PIGA	4694212.1045	1983949.7860	3823619.3246	2.9	1.4	2.5
PLPT	4575499.5393	2059808.0950	3924733.1587	3.7	1.7	3.4
RASK	4623289.5958	1991958.2771	3903661.8478	5.5	2.8	5
TR00	4684774.9503	1926595.3545	3864292.8762	4.1	1.9	3.5
TZIA	4607893.1876	2087155.1659	3872708.0445	3.5	1.7	3
VRMS	4649971.8202	2018826.7530	3858719.3981	3.8	1.8	3.3
CG44	4644472.7489	1937384.8288	3906730.9726	161.3	66.9	137.7
CG47	4633203.1767	1961421.9458	3907452.5656	2.8	1.5	2.3
CG48	4627578.6370	1976842.6723	3908073.2926	3.6	1.7	3.1
CG49	4619102.0440	1980972.5945	3914066.1466	3.8	1.8	3.3
CG50	4607401.2166	1989498.8035	3924138.8971	3.5	1.7	2.8
CG52	4574393.8163	2033129.1134	3939302.3749	4.8	2.2	4
CG53	4588486.7076	2028895.8807	3925877.6454	3.7	1.8	3.3
CG55	4569149.8108	2052266.6271	3935686.7914	4.7	2.1	4.3
CG56	4578278.0394	2075992.3250	3913287.1501	4.9	2.3	4.1
CG58	4610054.5837	2015493.6303	3907135.5943	3.3	1.6	2.9
CG62	4661660.8143	1924282.4127	3892694.0429	9.3	4.3	8
CG63	4654493.0826	1963758.4950	3881624.9902	5.5	2.4	4.8
CG64	4647892.6388	1967179.5685	3887940.7040	4.3	2	3.3
CG65	4641801.3173	1979193.2388	3888527.4256	4.1	1.9	3.2
CG66	4610660.7931	2047374.9816	3889970.5337	4	2	3.5

Πίνακας 7.6: Καρτεσιανές συντεταγμένες και τα σφάλματα αυτών, για κάθε σημείο την εποχή αναφοράς 2000.53.

7.2 Γεωδαιτικές (Γεωγραφικές) Συντεταγμένες φ, λ, h

Προκειμένου να δημιουργηθούν τα διαγράμματα τεκτονικών μετακινήσεων, οι τρισδιάστατες καρτεσιανές συντεταγμένες των σημείων του δικτύου, μετατρέπονται σε ελλειψοειδείς γεωδαιτικές συντεταγμένες στο ίδιο σύστημα αναφοράς. Το ελλειψοειδές που χρησιμοποιείται στο συγκεκριμένο σύστημα αναφοράς είναι το GRS80, οπότε η τιμή του μεγάλου και μικρού ημιάξονα (a & b αντίστοιχα), η επιπλάτυνση (f) καθώς και η πρώτη εκκεντρότητα του ελλειψοειδούς (e^2) που χρησιμοποιήθηκαν, αφορούν το συγκεκριμένο ελλειψοειδές (Πίνακας 7.7).

ITRF2008	
GRS80	
a (m)	6378137.0
b (m)	6356752.314
f^{-1}	298.2572221
e^2	0.00669438

Πίνακας 7.7: Τιμές παραμέτρων για το ελλειψοειδές GRS80.

Οι γεωδαιτικές συντεταγμένες αποτελούνται από το γεωγραφικό μήκος (λ), το γεωγραφικό πλάτος (φ) και το υψόμετρο (h) και βρέθηκαν σύμφωνα με τις ακόλουθους σχέσεις (Βέης Γ., Μπιλλήρης Χ., Παπαζήση Κ., 2009):

$$\lambda = \arctan\left(\frac{Y}{X}\right) \tag{7.1}$$

$$\varphi = \arctan\left(\frac{Z + e^2 N \sin\varphi}{\sqrt{X^2 + Y^2}}\right) \tag{7.2}$$

$$h = \frac{\sqrt{X^2 + Y^2}}{\cos\varphi} - N \tag{7.3}$$

όπου,

$$N = \frac{\alpha}{\left(1 - e^2 \sin^2\varphi\right)^{1/2}} \tag{7.4}$$

Για την εύρεση του γεωγραφικού πλάτους (φ), χρειάζεται να γίνουν διάφορες προσεγγίσεις μέχρι την εύρεση της τελικής τιμής. Ως αρχική τιμή φ στη σχέση

(7.4) εισάγεται η τιμή φ_0 που βρέθηκε από τη σχέση (7.5). Έτσι, βρέθηκε η τιμή φ_1. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται βάσει της σχέσης (7.6) μέχρις ότου να υπάρχει σύγκλιση της τάξης των 0”.00001.

$$\varphi_0 = \arctan\left(\frac{Z}{\left(1-e^2\right)\sqrt{X^2+Y^2}}\right) \tag{7.5}$$

$$\varphi_{i+1} = \arctan\left(\frac{Z+e^2 N_{\varphi_i}\sin\varphi_i}{\sqrt{\mathrm{X}^2+\mathrm{Y}^2}}\right) \tag{7.6}$$

Οι γεωγραφικές συντεταγμένες των σημείων για κάθε εποχή αναφοράς, παρουσιάζονται στους ακόλουθους πίνακες:

	ΕΠΟΧΗ 1998.52						
	ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΕΣ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ						
	Γεωγρ. Πλάτος (φ)			Γεωγρ. Μήκος (λ)			h
ΣΗΜΕΙΑ	degrees	sec	min	degrees	sec	min	meters
AFIA	37	45	21.711077	23	32	26.140950	242.9170
AGFA	37	45	20.906540	24	54	22.209412	453.6857
AGMA	38	9	59.049691	24	3	55.037373	269.6563
AGNI	37	40	9.202032	22	29	17.382716	769.7809
AIOL	37	57	57.762297	24	45	3.636859	368.5935
CJ00	37	51	37.803729	22	44	12.161565	870.4517
CK00	37	53	14.810054	22	51	27.780798	415.8011
DDYM	37	28	29.271794	23	12	22.651550	1104.2779
DMNA	37	42	33.656848	23	4	5.247201	245.7731
GILS	37	36	38.842761	23	9	50.953874	122.4063
ILOK	37	26	31.477893	23	17	57.456159	328.3585
KIVE	37	31	29.465561	22	41	14.557422	223.3342
KOIL	37	24	51.554947	23	6	50.941395	89.5414
KOSM	37	5	13.718937	22	44	11.431398	1242.5820
KRKR	38	8	43.615219	23	42	2.240538	1200.1595
KRPI	37	54	15.076239	23	50	4.457576	293.7741
LEON	37	11	1.703079	22	49	22.596900	944.9996
LTSA	37	57	16.273187	23	59	45.124350	253.3030
MARA	37	33	21.400687	22	55	31.769250	301.3769

Πίνακας 7.8: Οι γεωγραφικές συντεταγμένες των σημείων για την εποχή αναφοράς 1998.52.

	ΕΠΟΧΗ 1998.52						
	ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΕΣ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ						
	Γεωγρ. Πλάτος (φ)			Γεωγρ. Μήκος (λ)			h
ΣΗΜΕΙΑ	degrees	sec	min	degrees	sec	min	meters
METH	37	36	46.363069	23	24	0.901690	324.5322
MLDR	37	45	1.657378	22	38	38.486553	511.6752
OBSR	37	58	20.600622	22	37	3.214188	925.1872
OREI	37	20	49.049479	22	39	21.776393	865.3209
PHEL	37	17	45.105160	23	10	20.233415	96.2663
PIGA	37	3	54.499784	22	54	38.661817	755.4330
PLPT	38	13	5.674377	24	14	11.119978	369.2595
RASK	37	58	40.022031	23	18	32.182167	262.2295
TIRO	37	14	32.777840	22	52	15.922031	177.3032
TR00	37	31	28.861383	22	21	17.003904	912.2823
TZIA	37	37	21.890002	24	22	5.706885	564.5671
VRMS	37	27	49.450281	23	28	6.619438	574.0600
CG44	38	0	34.392842	22	38	34.290648	733.4347
CG47	38	1	14.343094	22	56	41.646611	329.0096
CG48	38	1	13.045324	23	7	53.602419	1387.8932
CG49	38	5	49.366796	23	12	46.128656	225.9904
CG50	38	12	34.047649	23	21	17.737858	647.1984
CG52	38	23	15.722863	23	57	47.414380	58.6489
CG53	38	13	49.580503	23	51	13.051976	499.8672
CG55	38	20	43.014314	24	11	15.275003	181.6712
CG56	38	5	9.546058	24	23	29.856135	529.7176
CG57	38	3	57.020311	23	26	41.051860	262.5187
CG58	38	1	4.120023	23	36	52.980921	217.5396
CG62	37	50	58.964055	22	25	49.071732	665.7512
CG63	37	43	24.579948	22	52	30.620361	671.6258
CG64	37	47	40.808330	22	56	24.296388	785.1207
CG65	37	48	13.915136	23	5	33.575261	426.3536
CG66	37	49	17.666588	23	56	37.423749	247.2598

Πίνακας 7.9: Οι γεωγραφικές συντεταγμένες των σημείων για την εποχή 1998.52.

	ΕΠΟΧΗ 1999.44						
	ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΕΣ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ						
	Γεωγρ. Πλάτος (φ)			Γεωγρ. Μήκος (λ)			h
ΣΗΜΕΙΑ	degrees	sec	min	degrees	sec	min	meters
AFIA	37	45	21.710336	23	32	26.141594	242.8935
AGFA	37	45	20.907298	24	54	22.205267	453.7536
AGMA	38	9	59.054732	24	3	55.037286	269.599
AGNI	37	40	9.199882	22	29	17.382216	769.8968
AIOL	37	57	57.761421	24	45	3.636742	368.5787
DDYM	37	28	29.271237	23	12	22.651512	1104.296
DMNA	37	42	33.656116	23	4	5.247594	245.6966
GILS	37	36	38.841880	23	9	50.954188	122.326
ILOK	37	26	31.477075	23	17	57.456598	328.3025
KIVE	37	31	29.465090	22	41	14.557442	223.3745
KOIL	37	24	51.553858	23	6	50.941254	89.5961
KOSM	37	5	13.718009	22	44	11.431903	1242.564
KRKR	38	8	43.614864	23	42	2.240968	1200.107
KRPI	37	54	15.079108	23	50	4.457228	293.7677
LGRN	37	40	35.887774	23	59	58.206371	124.9529
LTSA	37	57	16.272614	23	59	45.125090	253.3455
MLDR	37	45	1.656885	22	38	38.486205	511.7117
OREI	37	20	49.048813	22	39	21.776762	865.328
PHEL	37	17	45.105204	23	10	20.237790	96.2007
PIGA	37	3	54.499075	22	54	38.662239	755.4322
PLPT	38	13	5.671943	24	14	11.122091	369.2747
RASK	37	58	40.021654	23	18	32.183511	262.2147
TZIA	37	37	21.890027	24	22	5.708580	564.5829
VRMS	37	27	49.449483	23	28	6.619733	574.0477

Πίνακας 7.10: Οι γεωγραφικές συντεταγμένες των σημείων για την εποχή 1999.44

	ΕΠΟΧΗ 1999.77						
	ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΕΣ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ						
	φ			λ			h
ΣΗΜΕΙΑ	degrees	sec	min	degrees	sec	min	meters
AGMA	38	9	59.049734	24	3	55.037448	269.6118
KRKR	38	8	43.614584	23	42	2.241226	1200.036
KRPI	37	54	15.074556	23	50	4.457959	293.7493
CG47	38	1	14.342963	22	56	41.646958	328.9513
CG49	38	5	49.366861	23	12	46.129894	225.9266
CG50	38	12	34.047230	23	21	17.738433	647.1759
CG53	38	13	49.580745	23	51	13.052034	499.8505
CG57	38	3	57.020333	23	26	41.052636	262.4339
CG58	38	1	4.119757	23	36	52.980691	217.4743

Πίνακας 7.11: Οι γεωγραφικές συντεταγμένες των σημείων για την εποχή 1999.77.

	ΕΠΟΧΗ 2000.53						
	ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΕΣ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ						
	Γεωγρ. Πλάτος (φ)			Γεωγρ. Μήκος (λ)			h
ΣΗΜΕΙΑ	degrees	sec	min	degrees	sec	min	meters
AFIA	37	45	21.7097	23	32	26.1414	242.78
AGFA	37	45	20.9059	24	54	22.2093	453.669
AGMA	38	9	59.0496	24	3	55.0383	269.483
AGNI	37	40	9.1996	22	29	17.3824	769.924
AIOL	37	57	57.7617	24	45	3.63722	368.554
CJ00	37	51	37.8031	22	44	12.1621	870.431
CK00	37	53	14.8100	22	51	27.781	415.758
DDYM	37	28	29.2711	23	12	22.6516	1104.28
DMNA	37	42	33.6561	23	4	5.24747	245.727
GILS	37	36	38.8419	23	9	50.9542	122.36
ILOK	37	26	31.4772	23	17	57.4563	328.31
KIVE	37	31	29.4650	22	41	14.5575	223.482
KOIL	37	24	51.5539	23	6	50.9415	89.606
KOSM	37	5	13.7182	22	44	11.4315	1242.59
KRKR	38	8	43.6144	23	42	2.24058	1200.1
KRPI	37	54	15.0739	23	50	4.4578	293.742
LGRN	37	40	35.8875	23	59	58.2064	124.905
LTSA	37	57	16.2723	23	59	45.1257	253.342
METH	36	49	29.7983	21	42	15.9383	79.0548

Πίνακας 7.12: Οι γεωγραφικές συντεταγμένες των σημείων για την εποχή 2000.53.

	ΕΠΟΧΗ 2000.53						
	ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΕΣ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ						
	Γεωγρ. Πλάτος (φ)			Γεωγρ. Μήκος (λ)			h
ΣΗΜΕΙΑ	degrees	sec	min	degrees	sec	min	meters
MLDR	37	45	1.6571	22	38	38.4867	511.658
OBSR	37	58	20.6004	22	37	3.21453	924.209
OREI	37	20	49.0491	22	39	21.7767	865.296
PHEL	37	17	45.1051	23	10	20.2379	96.2323
PIGA	37	3	54.4990	22	54	38.6619	755.452
PLPT	38	13	5.6716	24	14	11.1205	369.235
RASK	37	58	40.0214	23	18	32.1829	262.201
TR00	37	31	28.8608	22	21	17.0041	912.32
TZIA	37	37	21.8893	24	22	5.70703	564.513
VRMS	37	27	49.4495	23	28	6.6194	574.068
CG44	38	0	34.3926	22	38	34.2908	733.117
CG47	38	1	14.3422	22	56	41.6472	328.946
CG48	38	1	13.0445	23	7	53.6036	1387.9
CG49	38	5	49.3661	23	12	46.1303	226.014
CG50	38	12	34.0473	23	21	17.7389	647.176
CG52	38	23	15.7225	23	57	47.4151	58.6083
CG53	38	13	49.5800	23	51	13.0528	499.881
CG55	38	20	43.0140	24	11	15.2755	181.599
CG56	38	5	9.5455	24	23	29.8561	529.714
CG58	38	1	4.1193	23	36	52.9808	217.494
CG62	37	50	58.9637	22	25	49.0721	665.755
CG63	37	43	24.5792	22	52	30.6204	671.601
CG64	37	47	40.8078	22	56	24.2967	785.051
CG65	37	48	13.9143	23	5	33.5756	426.285
CG66	37	49	17.6654	23	56	37.4237	247.218

Πίνακας 7.13: Οι γεωγραφικές συντεταγμένες των σημείων για την εποχή 2000.53.

7.3 Τεκτονικό Πεδίο Μετακινήσεων (στο ITRF2008)

Προκειμένου να βρεθούν οι τεκτονικές ταχύτητες της περιοχής μελέτης, πρέπει να βρεθεί η ταχύτητα του κάθε σημείου κατά North, East και Up. Για το σκοπό αυτό, δημιουργήθηκαν διαγράμματα των Δφ ή dM, Δλ και Δh συναρτήσει του χρόνου, βάσει των παρακάτω:

- Οι υπολογισμοί έγιναν στο ελλειψοειδές GRS80, οπότε η τιμή του μεγάλου και μικρού ημιάξονα (a & b αντίστοιχα), η επιπλάτυνση (f) καθώς και η πρώτη εκκεντρότητα του ελλειψοειδούς (e^2) που χρησιμοποιήθηκαν, αφορούν το συγκεκριμένο ελλειψοειδές (Πίνακας 7.7).
- Για τους υπολογισμούς κάθε σημείου βρέθηκε ένα μέσο φ0 και λ0. Η ακτίνα της μεσημβρινής τομής, γεωδαιτικού πλάτους φ0, είναι:

$$\rho = \frac{\alpha\left(1-e^2\right)}{\left(1-e^2\sin^2\varphi 0\right)^{3/2}} \tag{7.7}$$

- Η ακτίνα της κύριας πρώτης κάθετης τομής (N), πλάτους φ0 υπολογίζεται από τη σχέση (7.4).
- Η ακτίνα του παράλληλου κύκλου (r): $r = N\cos\varphi 0$ (7.8)
- Το μήκος τόξου μεσημβρινού ως:

$$\mathbf{dM} = \boldsymbol{\rho}\ \left(\boldsymbol{\varphi}_{\boldsymbol{\sigma\eta\mu\varepsilon\acute{\iota}o\upsilon}} - \boldsymbol{\varphi}_{\mathbf{0}}\right) \tag{7.9}$$

- Το μήκος τόξου παραλλήλου ως:

$$\boldsymbol{\Delta\lambda} = \mathbf{r}\left(\boldsymbol{\lambda}_{\boldsymbol{\sigma\eta\mu\varepsilon\acute{\iota}o\upsilon}} - \boldsymbol{\lambda}_{\mathbf{0}}\right) \tag{7.10}$$

Έπειτα, εφαρμόστηκε γραμμμική παλινδρόμηση στα σημεία κάθε διαγράμματος και προέκυψε ο τύπος της συνάρτησης, που περιέχει και την τιμή των ταχυτήτων. Η γραμμική παλινδρόμηση είναι η βέλτιστη γραμμή που προσαρμόζεται καλύτερα στα σημεία που παρουσιάζονται σε κάθε διάγραμμα διασποράς. Για κάθε διάγραμμα, προκύπτει και η εξίσωση που περιγράφει τη γραμμική παλινδρόμηση. Είναι μορφής **y=ax+b**, όπου **a** αποτελεί την τιμή της ταχύτητας του σημείου.

Επιπλέον, με κάθε συνάρτηση δίνεται και ο βαθμός συσχέτισης για κάθε διάγραμμα. Ο συντελεστής γραμμικής συσχέτισης ($\boldsymbol{R^2}$), είναι η τιμή που δηλώνει το βαθμό συγκέντρωσης των σημείων γύρω από την ευθεία παλινδρόμησης. Οι τιμές του είναι από 0 – 1. Όσο ο συντελεστής είναι κοντά στην μονάδα, τόσο τα σημεία των διαγραμμάτων προσεγγίζουν με επιτυχία την ευθεία της γραμμικής παλινδρόμησης. Τα σφάλματα για κάθε ταχύτητα, προκύπτουν με εφαρμογή της συνάρτησης «LINEST», η οποία υπολογίζει τα στατιστικά μεγέθη της γραμμικής παλινδρόμησης, βάσει των ελαχίστων τετραγώνων.

Στον πίνακα που ακολουθεί (Πίνακας 7.15), φαίνονται οι ταχύτητες κατά North, East, Up καθώς και τα σφάλματά τους σε mm/year, για κάθε σημείο. Ο χάρτης που ακολουθεί, δείχνει τις τεκτονικές ταχύτητες για κάθε σημείο (Χάρτης 7.1). Στο Παράρτημα, παρουσιάζονται όλα τα διαγράμματα με τον τύπο και τον συντελεστή γραμμικής παλινδρόμησης για όλα τα σημεία. Οι ταχύτητες είναι στο ITRF2008. Επιπλέον, φαίνονται και οι εποχές αναφοράς του κάθε σημείου.

Στο σημείο αυτό, πρέπει να επισημανθεί πως στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής, δόθηκαν από το Εργαστήριο Ανώτερης Γεωδαισίας ΕΜΠ, οι συντεταγμένες σημείων από δίκτυο της Κεντρικής Ελλάδας (Central Greece), σε 3 εποχές. Συγκεκριμένα, πρόκειται για επιλύσεις της συγκεκριμένης καμπάνιας στο πλαίσιο της διδακτορικής διατριβής της κας Αγγελικής Μαρίνου. Τα δεδομένα περιλαμβάνουν συντεταγμένες σημείων τις χρονιές 1989, 1991 και 1993 (βλ. Παράρτημα, Χάρτης Ι-1). Κάποια από τα σημεία αυτά, ταυτίζονται με σημεία του δικτύου της καμπάνιας SING.

Οι συντεταγμένες των σημείων αυτών, εισήχθησαν στα διαγράμματα ταχυτήτων, παρέχοντας μια πιο ολοκληρωμένη εικόνα για τη σχετική μετακίνηση των σημείων ενδιαφέροντος. Οι συντεταγμένες των σημείων του δικτύου της Κεντρικής Ελλάδας, αναφέρονται στο σύστημα αναφοράς ITRF1992. Όπως έχει αναφερθεί, το σύστημα αναφοράς που έχει χρησιμοποιηθεί στα πλαίσια της διπλωματικής είναι το ITRF2008. Συνεπώς, έγινε ένας μετασχηματισμός από το σύστημα αναφοράς των δοσμένων σημείων, στο ITRF2008. Ο μετασχηματισμός επιτεύχθηκε όπως έχει περιγραφεί αναλυτικά σε αντίστοιχο κεφάλαιο (βλ. Κεφάλαιο 3.3). Βέβαια, πρόκειται για την αντίστροφη διαδικασία, δηλαδή τον μετασχηματισμό από το ITRF1992 στο ITRF2008. Με εφαρμογή του τύπου (3.1), βρέθηκαν οι τιμές των παραμέτρων μετασχηματισμού, στις εποχές αναφοράς των δεδομένων (Πίνακας 7.14). Ο μετασχηματισμός στις 3 εποχές πραγματοποιήθηκε σε περιβάλλον Matlab. Παρακάτω φαίνεται αναλυτικά ο κώδικας (βλ. Παράρτημα, **III).**

	ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥ						
EPOCH	**Tx (mm)**	**Ty (mm)**	**Tz (mm)**	**D (ppb)**	**Rx (0.001'')**	**Ry (0.001'')**	**Rz (0.001'')**
1989.44	11.744	9.88	-7.408	1.2596	0	0	-0.1512
1991.78	11.978	8.71	-14.896	1.4702	0	0	-0.1044
1993.39	12.139	7.905	-20.048	1.6151	0	0	-0.0722

Πίνακας 7.14: Οι τιμές των παραμέτρων μετασχηματισμού, στις εποχές 1989.44, 1991.78 και 1993.39.

Πρέπει να σημειωθεί ότι, τα σημεία LEON, MARA και TIRO μετρήθηκαν μόνο την εποχή 1998.52 και έτσι ήταν αδύνατη η παραγωγή ταχυτήτων. Το ίδιο ισχύει και για το σημείο METH, αφού πρόκειται για δύο διαφορετικά σημεία με το ίδιο όνομα.

ΣΗΜΕΙΑ	ΕΠΟΧΗ ΑΝΑΦΟΡΑΣ							ΤΑΧΥΤΗΤΕΣ (ΣΤΟ ITRF2008) - mm/y								
								NORTH			EAST			UP		
	1989.44	1991.78	1993.39	1998.52	1999.44	1999.77	2000.53	Vn	σVn	R^2	Ve	σVe	R^2	Vu	σVu	R^2
AFIA				X	X		X	-20.9	2.1	0.9900	5.1	6.2	0.4053	-69.7	22.5	0.9055
AGFA				X	X		X	-11.1	18.8	0.2589	0.9	57.3	0.0003	-10.6	43.5	0.0560
AGMA				X	X	X	X	-11.2	66.2	0.0141	10.6	5.9	0.6169	-81.8	25.1	0.8418
AGNI				X	X		X	-36.4	18.5	0.7946	-3.6	5.0	0.3460	69.8	29.2	0.8513
AIOL				X	X		X	-8.6	10.7	0.3901	4.6	3.9	0.5734	-19.7	1.8	0.9917
CJ00				X			X	-8.9	0.0	1	6.9	0.0	1	-10.2	0.0	1
CK00				X			X	-1.2	0.0	1	2.0	0.0	1	-21.4	0.0	1
DDYM				X			X	-11.2	0.0	1	1.7	0.0	1	-1.3	0.0	1
DMNA				X	X		X	-11.6	6.7	0.7471	3.1	3.8	0.3928	-21.4	31.9	0.3091
GILS				X	X		X	-12.4	8.9	0.6600	3.8	2.4	0.7199	-21.5	34.0	0.2859
ILOK				X	X		X	-10.8	8.6	0.6099	1.6	5.2	0.0902	-23.0	19.6	0.5803
KIVE				X	X		X	-8.5	3.8	0.8328	0.9	0.2	0.9636	74.6	15.6	0.9581
KOIL				X	X		X	-15.8	10.7	0.6858	1.8	2.9	0.2855	31.5	14.5	0.8252
KOSM				X	X		X	-10.7	10.6	0.5040	1.0	6.5	0.0223	6.7	13.6	0.1940
KRKR				X	X	X	X	-13.6	1.6	0.9743	1.5	6.7	0.0227	-34.8	35.3	0.3280
KRPI				X	X	X	X	-43.7	52.4	0.2575	4.0	6.0	0.1841	-16.9	4.6	0.8705
LTSA				X	X		X	-13.6	2.9	0.9555	16.9	1.4	0.9928	18.6	14.3	0.6289
LGRN					X		X	-6.4	0.0	1	-0.5	0.0	1	-44.1	0.0	1
MLDR					X		X	-8.6	0.0	1	4.2	0.0	1	-16.1	0.0	1
OBSR				X			X	-2.9	0.0	1	4.2	0.0	1	-488.6	0.0	1
OREI				X	X		X	-5.1	8.9	0.2468	4.0	3.0	0.6363	-12.9	10.6	0.5981
PHEL				X	X		X	-0.9	1.2	0.3549	53.8	32.8	0.7286	-15.5	28.8	0.2250

Πίνακας 7.15: Οι εποχές αναφοράς μετρήσεων, οι ταχύτητες κατά North, East, Up (στο ITRF2008), τα σφάλματα αυτών, καθώς και οι συντελεστές R^2 για κάθε σημείο της καμπάνιας.

ΣΗΜΕΙΑ	ΕΠΟΧΗ ΑΝΑΦΟΡΑΣ							**ΤΑΧΥΤΗΤΕΣ (ΣΤΟ ITRF2008) - mm/y**								
	1989.44	1991.78	1993.39	1998.52	1999.44	1999.77	2000.53	NORTH			EAST			UP		
								Vn	σVn	R^2	Ve	σVe	R^2	Vu	σVu	R^2
PIGA				X	X		X	-12.4	5.9	0.8148	1.3	5.2	0.0574	9.7	5.4	0.7626
PLPT				X	X		X	-41.9	20.6	0.8049	5.3	26.1	0.0389	-13.2	15.3	0.4277
RASK				X	X		X	-8.9	1.9	0.9547	8.4	14.1	0.2613	-14.1	1.1	0.9941
TR00				X			X	-8.9	0.0	1	2.4	0.0	1	19.0	0.0	1
TZIA				X	X		X	-11.7	6.4	0.7685	0.7	22.9	0.0008	-28.1	23.3	0.5942
VRMS				X	X		X	-11.2	8.1	0.6583	-0.7	4.4	0.0238	4.2	9.0	0.1776
CG44	X	X	X	X			X	-10.9	1.0	0.9764	8.5	1.7	0.8912	-14.2	13.1	0.2800
CG47		X	X	X		X	X	-9.9	1.1	0.9654	11.4	1.6	0.9429	6.2	4.4	0.3919
CG48	X	X	X	X			X	-7.4	1.3	0.9112	14.6	1.6	0.9643	8.8	1.3	0.9384
CG49		X	X	X		X	X	-9.9	1.1	0.9666	8.9	1.8	0.8926	7.9	4.7	0.4805
CG50		X	X	X	X		X	-9.3	0.8	0.9806	11.4	1.2	0.9670	9.6	3.6	0.7031
CG52	X	X	X	X			X	-16.7	4.5	0.8176	4.7	5.1	0.2183	14.9	4.4	0.7929
CG53		X	X	X		X	X	-9.7	1.2	0.9588	11.3	1.1	0.9720	7.4	1.6	0.8800
CG54	X	X	X	X	X	X	X	-10.9	0.5	0.9886	10.1	0.8	0.9722	3.2	2.8	0.2027
CG55		X	X	X			X	-10.9	0.9	0.9857	10.4	1.2	0.9739	12.1	7.3	0.5820
CG56	X	X	X	X			X	-11.7	0.9	0.9817	8.3	1.9	0.8669	2.5	4.6	0.0929
CG57	X	X	X	X		X		-9.5	0.8	0.9795	11.3	1.3	0.9635	7.2	7.9	0.2178
CG58	X	X	X	X		X	X	-10.4	1.0	0.9617	8.3	1.2	0.9275	6.8	3.6	0.4748
CG62	X	X	X	X			X	-11.0	1.4	0.9514	8.0	2.0	0.8444	10.3	2.4	0.8565
CG63		X	X	X			X	-11.4	0.7	0.9918	13.5	3.0	0.9092	1.9	5.0	0.0654
CG64		X	X	X			X	-11.1	0.8	0.9899	9.9	2.0	0.9268	14.3	7.0	0.6747
CG65	X	X	X	X			X	-10.9	1.5	0.9470	8.6	1.1	0.9559	10.0	5.0	0.5745
CG66	X	X	X	X			X	-9.7	0.9	0.9741	8.6	1.7	0.8988	12.4	3.0	0.8509

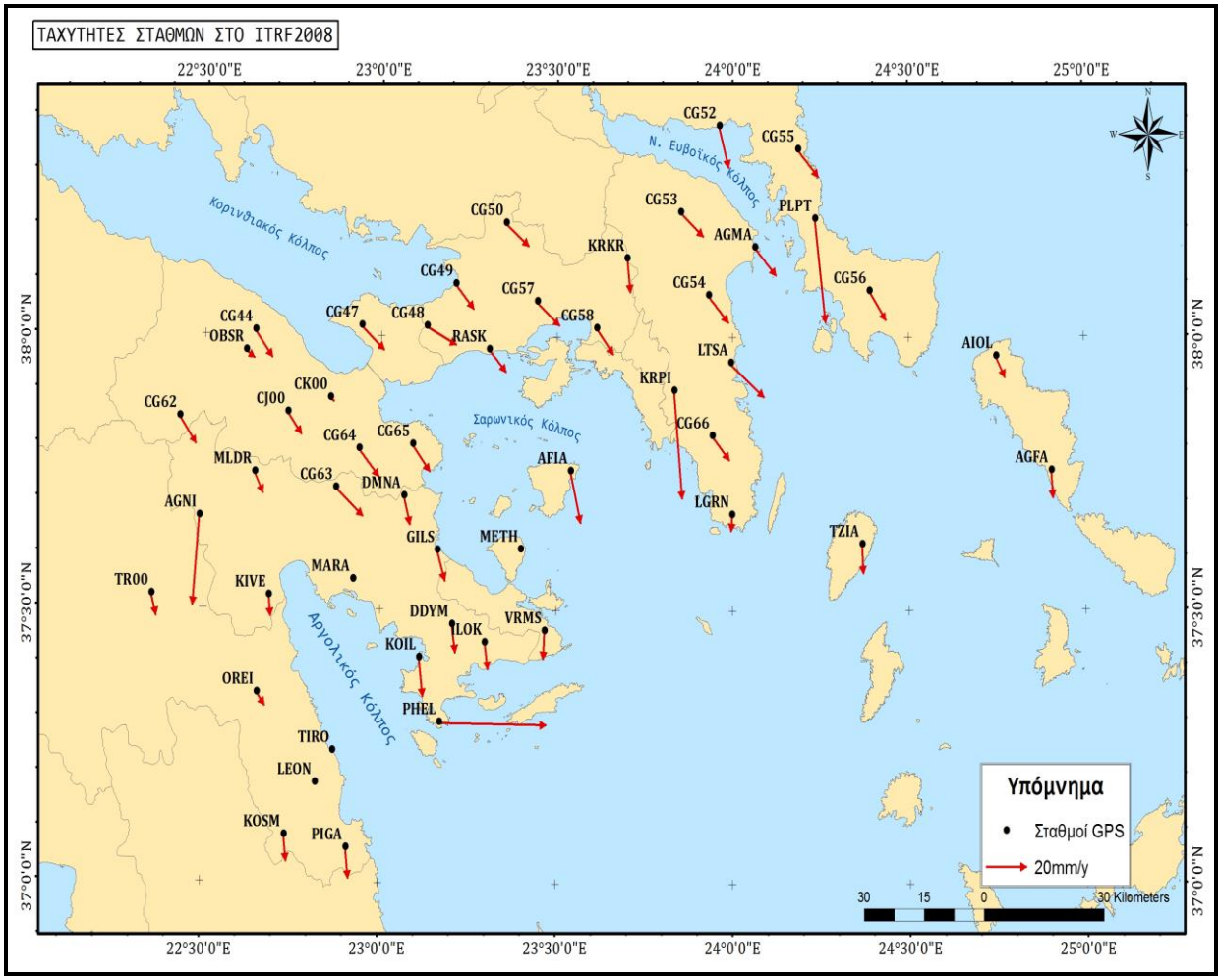
Πίνακας 7.16: Οι εποχές αναφοράς μετρήσεων, οι ταχύτητες κατά North, East, Up (στο ITRF2008), τα σφάλματα αυτών, καθώς και οι συντελεστές R^2 για κάθε σημείο της καμπάνιας.

Με βάση τα αποτελέσματα του πίνακα, γίνεται φανερό ότι η υψομετρική μετακίνηση έχει πιο μεγάλο μέγεθος σε σχέση με την κατά μήκος και πλάτος μετακίνηση. Κάτι τέτοιο είναι λογικό και αναμενόμενο κατά τον υπολογισμό υψομέτρων με το σύστημα GPS. Επιπλέον, μια ακόμα εξήγηση, είναι το πιθανό πρόβλημα στο υψόμετρο της κεραίας του σημείου CG54 την χρονιά 1998, βάσει του οποίου έγινε η συνόρθωση.

Η γενική διεύθυνση των σημείων είναι ***βορειοδυτική – νοτιοανατολική (ΒΔ – ΝΑ)***, αφού η κατά πλάτος μετακίνηση έχει αρνητικό πρόσημο και είναι πιο μεγάλη σε σχέση με την κατά μήκος που στα περισσότερα σημεία έχει θετικό πρόσημο. Κάτι τέτοιο δε συμβαίνει με τα σημεία CK00, LTSA, OBSR, CG47, CG48, CG50, CG57 και CG63, όπου η κατά μήκος μετακίνηση είναι λίγο πιο μεγάλη από την αντίστοιχη κατά πλάτος. Βέβαια η διεύθυνση παραμένει ίδια με πριν. Εξαίρεση αποτελεί το σημείο PHEL, όπου η ταχύτητα κατά Ανατολή είναι κατά πολύ μεγαλύτερο σε σχέση με την αντίστοιχη κατά Βορρά (50 – πλάσιο). Η διεύθυνση του είναι ***δυτική – νοτιοανατολική (Δ – ΝΑ)***.

Επιπλέον, παρατηρείται ότι η κατά πλάτος μετακίνηση έχει αρνητικό πρόσημο και είναι πολύ πιο μεγάλη σε σχέση με την αντίστοιχη κατά μήκος (θετικό πρόσημο), στα σημεία KRKR, KRPI και PLPT, όπου η διεύθυνση είναι **βόρειο - νοτιοανατολική *(Β – ΝΑ).*** Τέλος, από τη γενική διεύθυνση των σημείων αποκλίνουν τα σημεία AGNI, LGRN και VRMS, όπου η κατά μήκος και πλάτος μετακίνηση έχουν αρνητικό πρόσημο. Για το AGNI, το διάνυσμα Vn είναι πολύ μεγαλύτερο σε σχέση με το Ve και η διεύθυνσή του είναι ***βορειοανατολική – νοτιοδυτική (ΒΑ – ΝΔ).*** Την ίδια διεύθυνση έχουν και τα σημεία LGRN, VRMS, όμως επειδή η κατά μήκος μετακίνηση είναι σχεδόν μηδενική, η διεύθυνση είναι σχεδόν κατακόρυφη.

Η πιο μεγάλη τιμή παρατηρείται στο σημείο OBSR, όπου η υψομετρική μετακίνηση είναι 489 mm/y. Το πρόβλημα στο υψόμετρο για το σημείο OBSR, έγινε φανερό και κατά τον σχεδιασμό του διαγράμματος dh συναρτήσει του χρόνου, όπου για τις ανάγκες τις σχεδίασης η κλίμακα διαφέρει από τα υπόλοιπα σημεία. Κάτι αντίστοιχο, συμβαίνει και στο σημείο CG44, όπου η σχετική διαφορά στα αποτελέσματα των υψομέτρων για τις 5 εποχές παρατήρησης (max $dh=h_{1993.39} - h_{2000.52}$=27 cm), οδήγησε σε αλλαγή της κλίμακας κατά τον σχεδιασμό της μετακίνησης κατά dU (βλ. Παράρτημα, Διάγραμμα Α-20 & Διάγραμμα Β-1).

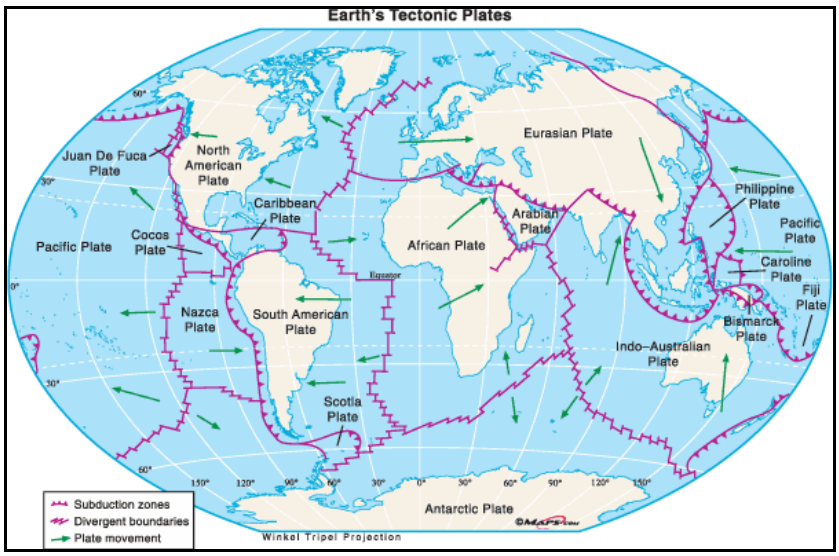


Χάρτης 7.1: Τεκτονικές ταχύτητες της περιοχής μελέτης, στο ITRF2008.

7.4 Τεκτονικό Πεδίο Μετακινήσεων (ως προς την Ευρώπη)

Η λιθόσφαιρα της Γης δεν είναι ενιαία, αλλά απαρτίζεται από τις λεγόμενες λιθοσφαιρικές (ή τεκτονικές) πλάκες, που κινούνται προς διαφορετικές κατευθύνσεις. Η κίνηση της λιθόσφαιρας, περιγράφεται από τις επιμέρους κινήσεις των τεκτονικών πλακών. Η Ελλάδα αποτελεί μέρος της Ευρασιατικής πλάκας, που όπως φαίνεται και στην Εικόνα 7.1, η διεύθυνση μετακίνησης της είναι Δ – Α (στο δυτικό και κεντρικό τμήμα αυτής) και ΒΔ – ΝΑ (στο βόρειο έως και το νοτιο - ανατολικό τμήμα). Η περιγραφή της ταχύτητας της πλάκας εκφράζεται ως προς έναν άξονα, ο οποίος διέρχεται από το κέντρο της Γης και το σημείο τομής του με την επιφάνεια της Γης, καλείται πόλος στροφής Euler. Η μετακίνηση της πλάκας, ορίζεται από τη γεωγραφική θέση λ_e, ϕ_e (θέση πόλου Euler) και από μια γωνιακή ταχύτητα Ω, εκφρασμένη σε $^{\circ}My^{-1}$.

Στο προηγούμενο κεφάλαιο, βρέθηκαν οι ταχύτητες των σημείων στο διεθνές πλαίσιο ITRF2008. Τα παραγόμενα διανύσματα ταχυτήτων, κατά Βορρά και Ανατολή, περιέχουν και την ταχύτητα της πλάκας. Έτσι, προκειμένου να βρεθούν οι ταχύτητες της περιοχής μελέτης, ως προς σταθερή Ευρώπη (fixed Europe), χρειάζεται να γίνει αφαίρεση της ταχύτητας της Ελλάδας από τις προηγούμενες ταχυτήτες. Η ταχύτητα της Ευρώπης προκύπτει από το μοντέλο των Argus and Heflin, 1998, με πόλο περιστροφής ϕ_e =59.0^o N, λ_e =97.1^o E και γωνιακή ταχύτητα Ω=0.262 ^{o}/Ma (Αναστασίου Δ., 2009). Η γραμμική ταχύτητα της πλάκας για την περιοχή της Ελλάδας, ισούται με **Vn= +11.4 mm/y** και **Ve=+23.6 mm/y**. Τα αποτελέσματα φαίνονται στους πίνακες που ακολουθούν (Πίνακας 7.17 & Πίνακας 7.18). Ο Χάρτης 7.2, δείχνει τη διεύθυνση κίνησης της περιοχής μελέτης, ως προς σταθερή Ευρώπη.



Εικόνα 7.1: Η διεύθυνση μετακίνησης της πλάκας της Ευρασίας καθώς και των υπολοίπων πλακών της Γης. Πηγή: geocaching.com

ΣΗΜΕΙΑ	ΤΑΧΥΤΗΤΕΣ σε mm/y					
	στο ITRF2008				ως προς την Ευρώπη	
	Vn	±σVn	Ve	±σVe	**Vn**	**Ve**
AFIA	-20.9	2.1	5.1	6.2	-32.3	-18.5
AGFA	-11.1	18.8	0.9	57.3	-22.5	-22.7
AGMA	-11.2	66.2	10.6	5.9	-22.6	-13.0
AGNI	-36.4	18.5	-3.6	5.0	-47.8	-27.2
AIOL	-8.6	10.7	4.6	3.9	-20.0	-19.0
CJ00	-8.9	0.0	6.9	0.0	-20.3	-16.7
CK00	-1.2	0.0	2.0	0.0	-12.6	-21.6
DDYM	-11.2	0.0	1.7	0.0	-22.6	-21.9
DMNA	-11.6	6.7	3.1	3.8	-23.0	-20.5
GILS	-12.4	8.9	3.8	2.4	-23.8	-19.8
ILOK	-10.8	8.6	1.6	5.2	-22.2	-22.0
KIVE	-8.5	3.8	0.9	0.2	-19.9	-22.7
KOIL	-15.8	10.7	1.8	2.9	-27.2	-21.8
KOSM	-10.7	10.6	1.0	6.5	-22.1	-22.6
KRKR	-13.6	1.6	1.5	6.7	-25.0	-22.1
KRPI	-43.7	52.4	4.0	6.0	-55.1	-19.6
LTSA	-13.6	2.9	16.9	1.4	-25.0	-6.7
LGRN	-6.4	0.0	-0.5	0.0	-17.8	-24.1
MLDR	-8.6	0.0	4.2	0.0	-20.0	-19.4
OBSR	-2.9	0.0	4.2	0.0	-14.3	-19.4
OREI	-5.1	8.9	4.0	3.0	-16.5	-19.6
PHEL	-0.9	1.2	53.8	32.8	-12.3	30.2
PIGA	-12.4	5.9	1.3	5.2	-23.8	-22.3
PLPT	-41.9	20.6	5.3	26.1	-53.3	-18.3
RASK	-8.9	1.9	8.4	14.1	-20.3	-15.2
TR00	-8.9	0.0	2.4	0.0	-20.3	-21.2
TZIA	-11.7	6.4	0.7	22.9	-23.1	-22.9
VRMS	-11.2	8.1	-0.7	4.4	-22.6	-24.3
CG44	-10.9	1.0	8.5	1.7	-22.3	-15.1
CG47	-9.9	1.1	11.4	1.6	-21.3	-12.2
CG48	-7.4	1.3	14.6	1.6	-18.8	-9.0
CG49	-9.9	1.1	8.9	1.8	-21.3	-14.7
CG50	-9.3	0.8	11.4	1.2	-20.7	-12.2
CG52	-16.7	4.5	4.7	5.1	-28.1	-18.9
CG53	-9.7	1.2	11.3	1.1	-21.1	-12.3
CG54	-10.9	0.5	10.1	0.8	-22.3	-13.5
CG55	-10.9	0.9	10.4	1.2	-22.3	-13.2

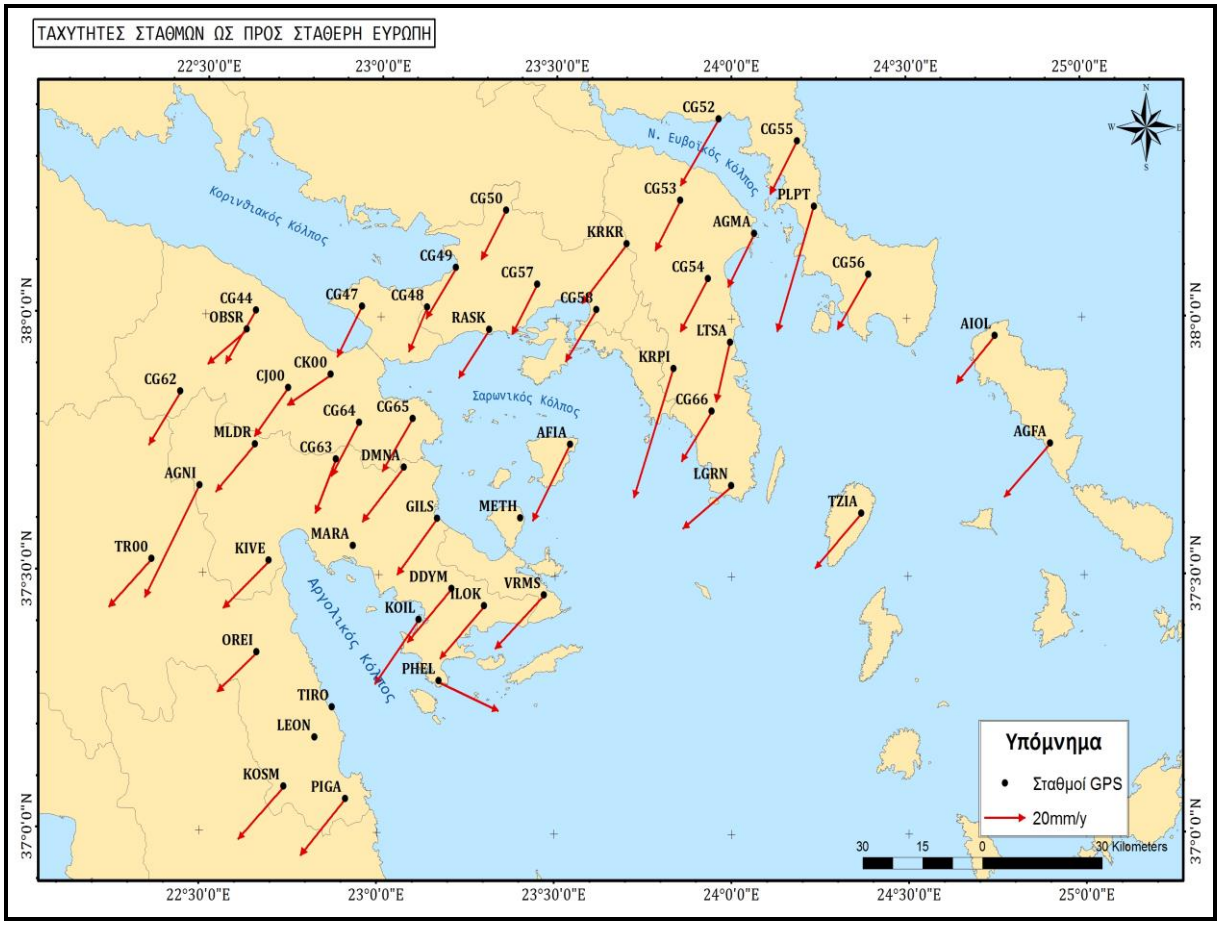
Πίνακας 7.17: Οι ταχύτητες των σημείων κατά North και East, στο ITRF2008 και ως προς σταθερή Ευρώπη.

ΣΗΜΕΙΑ	ΤΑΧΥΤΗΤΕΣ σε mm/y					
	στο ITRF2008				ως προς την Ευρώπη	
	Vn	±σVn	Ve	±σVe	**Vn**	**Ve**
CG56	-11.7	0.9	8.3	1.9	-23.1	-15.3
CG57	-9.5	0.8	11.3	1.3	-20.9	-12.3
CG58	-10.4	1.0	8.3	1.2	-21.8	-15.3
CG62	-11.0	1.4	8.0	2.0	-22.4	-15.6
CG63	-11.4	0.7	13.5	3.0	-22.8	-10.1
CG64	-11.1	0.8	9.9	2.0	-22.5	-13.7
CG65	-10.9	1.5	8.6	1.1	-22.3	-15.0
CG66	-9.7	0.9	8.6	1.7	-21.1	-15.0

Πίνακας 7.18: Οι ταχύτητες των σημείων κατά North και East, στο ITRF2008 και ως προς σταθερή Ευρώπη.

Από τον πίνακα γίνεται φανερό ότι, στα περισσότερα σημεία, η κατά πλάτος μετακίνηση είναι της τάξης των 2 με 2.2 cm σε σχέση με την αντίστοιχη κατά μήκος που είναι της τάξης των 1 – 1.5 cm. Έτσι, η γενική διεύθυνση μετακίνησης των σημείων ως προς σταθερή Ευρώπη είναι ***βορειοανατολική – νοτιοδυτική (ΒΑ – ΝΔ)***. Αξιοπρόσεκτη είναι η διαφορά στην κατά πλάτος μετακίνηση για τους σταθμούς AFIA, AGNI, CG63, KRPI και PLPT, όπου το διάνυσμα Vn είναι σχεδόν 2πλάσιο από το Ve στους τρεις πρώτους σταθμούς και σχεδόν 3πλάσιο για τους άλλους δύο. Στον σταθμό LTSA, το διάνυσμα Vn είναι σχεδόν 4πλάσιο από το Ve.

Επίσης, υπάρχουν σημεία που η κατά μήκος και πλάτος μετακίνηση είναι περίπου ίδια, όπως συμβαίνει με τα σημεία AGFA, AIOL, DDYM, DMNA, ILOK, KIVE, KOSM, KRKR, MLDR, PIGA, TR00, TZIA. Τέλος, σε κάποια σημεία η κατά μήκος μετακίνηση είναι πιο μεγάλη από την αντίστοιχη κατά πλάτος. Κάτι τέτοιο παρατηρείται στα σημεία LGRN, OBSR, OREI, VRMS, που όμως επειδή η διαφορά ανάμεσα στις Vn και Ve είναι μικρή, η ταχύτητα παραμένει νοτιοδυτική. Το ίδιο συμβαίνει και με το σημείο CK00 που αν και η κατά μήκος μετακίνηση είναι σχεδόν 2πλάσια σε σχέση με το Vn, η ταχύτητα είναι βορειοανατολική – νοτιοδυτική (ΒΑ – ΝΔ). Εξαίρεση αποτελεί το σημείο PHEL, όπου η κατά μήκος μετακίνηση είναι σχεδόν 3 – πλάσια σε σχέση με το Vn με αποτέλεσμα να παρουσιάζει μια ***βορειοδυτική – νοτιοανατολική (ΒΔ – ΝΑ)*** μετακίνηση ως προς σταθερή την Ευρώπη.



Χάρτης 7.2: Τεκτονικές ταχύτητες της περιοχής μελέτης, ως προς σταθερή Ευρώπη.

8 Συμπεράσματα

Η δορυφορική γεωδαισία έχει αναπτυχθεί ραγδαία και έχει σχεδόν αντικαταστήσει τις επίγειες γεωδαιτικές εργασίες με μεγάλη ακρίβεια. Σε αυτό συνέβαλε και η εξέλιξη διαφόρων επιστημονικών πακέτων επεξεργασίας δορυφορικών δεδομένων. Παράλληλα, διεθνείς υπηρεσίες, προσφέρουν όλα τα απαραίτητα στοιχεία για την επίτευξη επιλύσεων των δορυφορικών δεδομένων με μεγάλη ακρίβεια (δορυφορικές εφημερίδες, οι παράμετροι περιστροφής της γης, αρχείο πόλου).

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η παρακολούθηση και εκτίμηση της τεκτονικής δραστηριότητας στην Ελλάδα, μέσω της ίδρυσης μόνιμων και μη μόνιμων δικτύων με σταθμούς GPS στις πιο σεισμογενείς περιοχές της χώρας. Αυτό που επιδιώκεται, είναι η συντήρηση και η επέκταση των δικτύων, καθώς και η συνεχής επεξεργασία των διαθέσιμων δεδομένων με τα πιο σύγχρονα πακέτα επεξεργασίας, ώστε να μελετηθεί το τεκτονικό υπόβαθρο και να εκτιμηθεί η σεισμική επικινδυνότητα. Στα πλαίσια αυτής της μελέτης, δημιουργήθηκε η καμπάνια SING, από την οποία προέρχονται τα δεδομένα της παρούσας διπλωματικής. Συγκεκριμένα, τα δεδομένα αφορούν μετρήσεις από 49 σταθμούς GPS, στο σύνολό τους.

Σκοπός της διπλωματικής, είναι η επεξεργασία των δεδομένων και η δημιουργία πεδίων ταχυτήτων, που σε σύγκριση με τα αποτελέσματα από άλλα επιστημονικά πεδία, καθιστούν δυνατή την εκτίμηση του κινδύνου μεγάλων σεισμών στην περιοχή μελέτης. Στο συγεκριμένο κεφάλαιο, παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από τη διπλωματική, συμπεριλαμβανομένων και κάποιων προβλημάτων κατά την επίλυση.

8.1 Επίλυση τοπικού δικτύου

Το τοπικό δίκτυο επιλύθηκε ως προς τον σταθμό του Διονύσου, όπου κατά στο στάδιο της συνόρθωσης παρέμεινε σταθερός. Όπως είναι λογικό, τα αποτελέσματα της συνόρθωσης εξαρτώνται πλήρως από τις συντεταγμένες του σταθερού σταθμού και τυχόν σφάλμα θα μεταφερθεί στα αποτελέσματα.

Στο στάδιο υλοποίησης του τοπικού δικτύου (εύρεση συντεταγμένων του σταθμού Διονύσου στο ITRF2008), υπήρξε πρόβλημα με τις συντεταγμένες της εποχής 1998.52. Συγκεκριμένα, παρατηρήθηκε μια σημαντική διαφορά στις συντεταγμένες του Διονύσου της χρονιάς 1998 σε σύγκριση με των υπολοίπων χρονιών (Πίνακας 6.3). Η μεγαλύτερη διαφορά εντοπίζεται σε σύγκριση με τα αποτελέσματα της εποχής 2000.53, όπου ανέρχεται σε 7 cm κατά X, 5 cm κατά Y και 4 cm κατά Z. Ύστερα από την μετατροπή αυτών σε dN, dE, dU, και όπως φαίνεται και στο Κεφάλαιο 6.1 (Πίνακας 6.4), η διαφορά εντοπίζεται κυρίως στο υψόμετρο. Συνεπώς, μια εξήγηση για τη διαφορά στις συντεταγμένες του σταθμού CG54 μεταξύ των εποχών, θα μπορούσε να αποδοθεί σε λαθεμένη τιμή του ύψους της κεραίας του δέκτη, στα αρχεία εισαγωγής (RINEX) για την εποχή 1998.52.

Οι διαφορές των συντεταγμένες μεταξύ των 1999.44, 1999.77 και 2000.53 εποχών είναι πολύ μικρές της τάξης των μερικών χιλιοστών με τη μέγιστη διαφορά να εντοπίζεται στις εποχές 1999.44 και 2000.53, με τιμή 1 cm κατά X και Z.

Κατά την επίλυση του τοπικού δικτύου και συγκεκριμένα στο στάδιο επίλυσης ασαφειών φάσης, εφαρμόστηκε η στρατηγική SIGMA στις βάσεις που δεν επιλύονταν με την στρατηγική Q.I.F. Πρόβλημα παρατηρήθηκε στο σημείο *CG44* της χρονιάς 2000, που η έλλειψη παρατηρήσεων στην συχνότητα L2, οδήγησε σε λάθος στην επίλυση. Η διαφορά μεταξύ των συντεταγμένων του σημείου για τις χρονιές 1998 και 2000, είναι 0.227 m κατά X, 0.0917 m κατά Y και 0.2023 m κατά Z (βλ. Κεφάλαιο 6.2.1).

Κατά τη παραγωγή των τελικών συνορθωμένων συντεταγμένων των σημείων του δικτύου (Πίνακας 7.1, Πίνακας 7.2, Πίνακας 7.3, Πίνακας 7.4, Πίνακας 7.5 & Πίνακας 7.6), οι διαφορές στις συντεταγμένες μεταξύ των εποχών αναφοράς είναι μέσα σε επιτρεπτά όρια, της τάξης των μερικών εκατοστών.

Παρ'όλα αυτά, γίνεται φανερή η διαφορά των συντεταγμένων κάποιων σημείων σε σχέση με τις αντίστοιχες συντεταγμένες της χρονιάς 1998. Συγκεκριμένα, για το σημείο *PHEL* η διαφορά στις συντεταγμένες του για τις εποχές 1998.52 και 1999.44 είναι 9 cm κατά X, 8 cm κατά Y και 4 cm κατά Z, ενώ για τις εποχές 1998.52 και 2000.53 η διαφορά ανέρχεται στα 7 cm κατά X και 9 cm κατά Y. Όσον αφορά το σημείο *AGNI,* παρατηρείται μια έντονη διαφορά στις συντεταγμένες για τις εποχές 1998.52 και 2000.53 (15 cm κατά X και 6 cm κατά Y), ενώ για το ίδιο σημείο, οι διαφορές για τις εποχές 1999.44 και 2000.53, είναι πολύ μικρές (2 cm κατά X, 1 cm κατά Y και 9 mm κατά Z).

Επιπλέον, σημεία του τοπικού δικτύου όπου παρουσίασαν σημαντικές διαφορές στις συντεταγμένες τους είναι τα σημεία *KRPI, AGMA , AFIA, AGFA* και *OBSR*. Συγκεκριμένα, έντονη διαφορά παρατηρήθηκε μεταξύ των εποχών 1999.44 και 1999.77 για το σημείο *KRPI,* όπου η διαφορά κατά Z είναι 12 cm και κατά X είναι 7 cm. Η διαφορά μεταξύ των συντεταγμένων του σημείου *AGFA*, είναι της τάξης των 7 cm κατά X, Y, Z (εποχές 1998.52 – 1999.44 & 1999.44 – 2000.53). Για το σημείο *AGMA,* η διαφορά ανέρχεται στα 11 cm κατά Z και 13 cm κατά X. Για το σημείο *KRPI,* μεγάλη διαφορά εντοπίζεται και μεταξύ των εποχών 1999.44 και 2000.53 (14 cm κατά Z). Η διαφορά κατά Z εντοπίζεται και στα σημεία *AFIA, AGMA,* που ανέρχεται στα 11 cm (εποχές 1998.52 – 2000.53). Τέλος, την πιο μεγάλη διαφορά παρουσίασε το σημείο *OBSR* κατά τη σύγκριση των συντεταγμένων της εποχής 1998.52 και 2000.53 (70 cm κατά X, 29 cm κατά Y και 61 cm κατά Z).

8.2 Σεισμός Αττικής 1999

Αιτία του σεισμού του 1999 στην Αττική ήταν το ρήγμα που βρισκόταν βόρεια του Θριάσιου Πεδίου, είχε μήκος 15 χλμ και διεύθυνση ΒΔ – ΝΑ (Εικόνα 2.6), ενώ κάλυπτε όλη την περιοχή μεταξύ Πεντέλης και Πάρνηθας (βλ. Κεφάλαιο 2.3). Στην παρούσα διπλωματική, χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα μετρήσεων για τη χρονιά 1999, που αναφέρονταν σε δύο εποχές, την εποχή 1999.44 (πριν το σεισμό) και 1999.77 (μετά τον σεισμό) (βλ. Κεφάλαιο 5).

Τα σημεία του δικτύου, που βρίσκονται στην Αττική και κοντά στο ρήγμα είναι τα *KRKR, CG57 & CG58*. Από τις χρονοσειρές που έχουν προκύψει για τα σημεία αυτά, γίνεται φανερό αν ο σεισμός έχει επηρεάσει τις μετρήσεις ή όχι. Για το σημείο *KRKR*, έχει προκύψει πως ο ετήσιος ρυθμός μετακίνησης είναι 13 mm κατά πλάτος, 1.5 mm κατά μήκος και 35 mm κατά ύψος (Διάγραμμα Α-15). Για το σημείο *CG57*, τα διαγράμματα έδειξαν ότι η ετήσια ταχύτητά του είναι 9.5 mm κατά Δφ, 11 mm κατά Δλ και 7 mm κατά dh (Διάγραμμα Β-11). Τέλος, για το σημείο *CG58*, ο ετήσιος ρυθμός μετακίνησης είναι 10 mm κατά Δφ, 8 mm κατά Δλ και 7 mm κατά dh (Διάγραμμα Β-12). Από τις χρονοσειρές, φαίνεται ότι η ταχύτητα των σημείων είναι εντός λογικών ορίων, και ο σεισμός δεν επηρέασε τον τρόπο μετακίνησης των σημείων.

Παρατηρώντας και το τεκτονικό πεδίο ταχυτήτων (Χάρτης 7.1), οι ταχύτητες για τα πλησιέστερα σημεία του ρήγματος, παρουσιάζουν ομοιομορφία και παρόμοιο μέγεθος. Εξαίρεση αποτελεί, το σημείο *KRKR* που επειδή η κατά πλάτος μετακίνηση είναι σχεδόν 9 – πλάσια από την αντίστοιχη κατά μήκος, παρουσιάζει μια βόρειο – νοτιοανατολική μετακίνηση. Πάντως, η γενική διεύθυνση μετακίνησης των σημείων παραμένει σταθερή (νοτιοανατολική) και έτσι, εκτιμάται ότι ο σεισμός δεν έχει επηρεάσει τις μετρήσεις.

8.3 Τεκτονικό πεδίο ταχυτήτων

Με βάση τις χρονοσειρές των σημείων για κάθε εποχή αναφοράς, παράχθηκε το τεκτονικό πεδίο για την περιοχή μελέτης στο ITRF2008 και ως προς σταθερή Ευρώπη. Μια γενική παρατήρηση στα αποτελέσματα, εντοπίζεται στις υψομετρικές μετακινήσεις που είναι έχουν πιο μεγάλο μέγεθος, σε σχέση με την κατά μήκος και πλάτος μετακίνηση. Κάτι τέτοιο είναι λογικό και αναμενόμενο κατά τον υπολογισμό υψομέτρων με το σύστημα GPS. Μια επιπλέον εξήγηση για αυτό, είναι το πιθανό πρόβλημα στο υψόμετρο της κεραίας του σημείου CG54 την χρονιά 1998, βάσει του οποίου έγινε η συνόρθωση.

Στον χάρτη όπου απεικονίζεται το τεκτονικό πεδίο στο διεθνές σύστημα αναφοράς (Χάρτης 7.1), γίνεται φανερό ότι η γενική διεύθυνση των σημείων είναι βορειοδυτική – νοτιοανατολική (ΒΔ – ΝΑ). Το αποτέλεσμα είναι λογικό, αφού από τη μελέτη του τεκτονικού υποβάθρου (βλ. Κεφάλαιο 1), γίνεται φανερή η ΒΔ – ΝΑ δράση των ρηγμάτων της περιοχής μελέτης. Όσον αφορά, την περιοχή γύρω από τον Σαρωνικό κόλπο, γίνεται εμφανές ότι οι ταχύτητες είναι αυξημένες σε σχέση με τις ταχύτητες γύρω από τον Αργολικό κόλπο. Αυτό εξηγείται, από το ότι ο Ανατολικός Σαρωνικός ελέγχεται από πέντε μεγάλα ρήγματα ενώ ο Δυτικός από δώδεκα μεγάλα ενεργά ρήγματα, ενώ η λεκάνη της Επιδαύρου που ανήκει στον Δυτικό Σαρωνικό, έχει διεύθυνση ΒΔ – ΝΑ. Επιπλέον, ο Σαρωνικός κόλπος αποτελεί την επέκταση των ενεργών ρηξιγενών ζωνών του Κορινθιακού Κόλπου προς τα ανατολικά, και βρίσκεται πάνω στο μεγάλο ρήγμα των ηπειρωτικών πλακών που ξεκινάει από την Αδριατική και περνώντας δια μέσω του Κορινθιακού και νησιών όπως Αίγινα, Πόρος, Ύδρα, φτάνει στην Ερυθρά θάλασσα. Τέλος, ένα μέρος του ηφαιστειακού τόξου του Νοτίου Αιγαίου εντάσσεται στον Σαρωνικό Κόλπο.

Επίσης, η σεισμικότητα στον Σαρωνικό, έχει μια κατεύθυνση από δυτικά προς ανατολικά και περιορίζεται κατά μήκος της ζώνης Πόρος – Αίγινα – Σαλαμίνα. Η ζώνη, αυτή,

που χωρίζει τον Σαρωνικό σε Δυτικό και Ανατολικό, αποτελεί ένα ενεργό ρήγμα. Το σημείο *AFIA*, είναι τοποθετημένο στην Αίγινα και σύμφωνα με τα παραπάνω, εξηγείται η κατά πλάτος μετακίνησή του που ανέρχεται στα 20 mm/y (μεγαλύτερη από τα υπόλοιπα γύρω στον Σαρωνικό).

Ο Αργολικός Κόλπος, από την άλλη, δεν χαρακτηρίζεται από σημαντικά ρήγματα και το τεκτονικό υπόβαθρο της περιοχής δεν είναι τόσο σημαντικό όσο του Κορινθιακού και του Σαρωνικού Κόλπου. Στην περιοχή γύρω από τον Αργολικό, παρατηρείται μια σχεδόν κατακόρυφη διεύθυνση των ταχυτήτων (βόρειο – νοτιοανατολική) και μικρότερης τιμής.

Εξαίρεση αποτελεί το σημείο *PHEL*, που η διεύθυνσή του είναι ***δυτική–νοτιοανατολική (Δ – ΝΑ)*** και επιπλέον, στα σημεία *KRKR*, *KRPI* και *PLPT*, η διεύθυνση είναι **βόρειο – νοτιοανατολική *(Β – ΝΑ).*** Η διεύθυνση του *AGNI* είναι ***βορειοανατολική – νοτιοδυτική (ΒΑ – ΝΔ).*** Την ίδια διεύθυνση έχουν και τα σημεία *LGRN*, *VRMS*, όμως επειδή η κατά μήκος μετακίνηση είναι σχεδόν μηδενική, η διεύθυνση είναι σχεδόν κατακόρυφη.

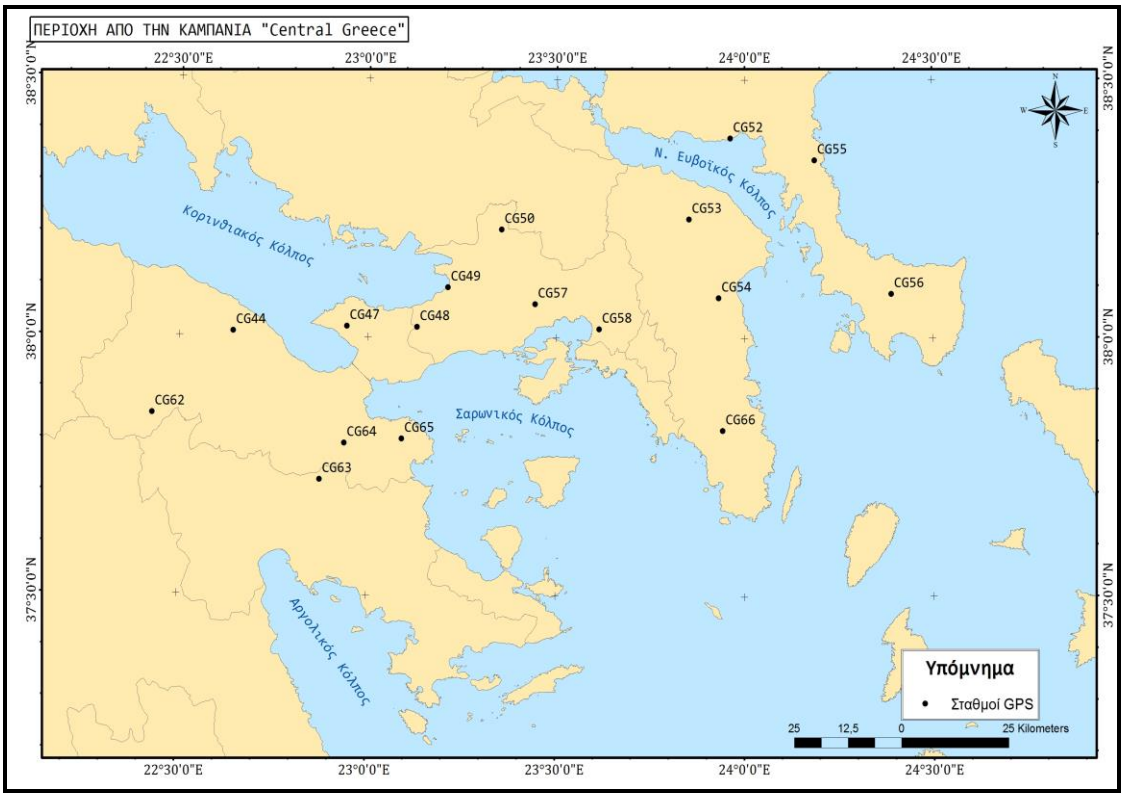
Να σημειωθεί πως το πρόβλημα που εντοπίστηκε με το σημείο *CG44* (βλ. Κεφάλαιο 8.1) δε φάνηκε κατά την παραγωγή πεδίου ταχυτήτων εξαιτίας των επιπλέον συντεταγμένων που δόθηκαν από την καμπάνια Central Greece. Έτσι, η τεκτονική ταχύτητα προέκυψε από μετρήσεις 5 εποχών και το πρόβλημα δεν επηρέασε το αποτέλεσμα. Όσο πιο πολλά είναι τα δεδομένα, τόσο πιο ισχυρό είναι το αποτέλεσμα. Όσον αφορά το σημείο *OBSR*, η έντονη διαφορά κατά X, Y, Z που παρατηρήθηκε, δεν επηρέασε την παραγόμενη ταχύτητα, αφού όπως φαίνεται και από το Διάγραμμα Α-20, η διαφορά μεταφράστηκε σε υψομετρική διαφορά.

Η γενική διεύθυνση του τεκτονικού πεδίου ταχυτήτων ως προς σταθερή Ευρώπη, είναι ***βορειοανατολική – νοτιοδυτική (ΒΑ – ΝΔ).*** Κάτι τέτοιο είναι λογικό και ερμηνεύεται από τη δυτική κίνηση της Ανατολίας πλάκας και κατά συνέπεια την ώθηση της πλάκας του Αιγαίου σε μια νοτιοδυτική κίνηση, προς την Ελληνική τάφρο με ρυθμό μετακίνησης 4.5 cm/y.

Εξαίρεση αποτελεί το σημείο PHEL, που παρουσιάζει μια ***βορειοδυτική – νοτιοανατολική (ΒΔ – ΝΑ)*** μετακίνηση ως προς σταθερή την Ευρώπη. Τέλος, πρέπει να σημειωθεί ότι για τα σημεία LEON, MARA, METH και TIRO ήταν αδύνατη η παραγωγή ταχυτήτων.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

I. Καμπάνια «Central Greece»

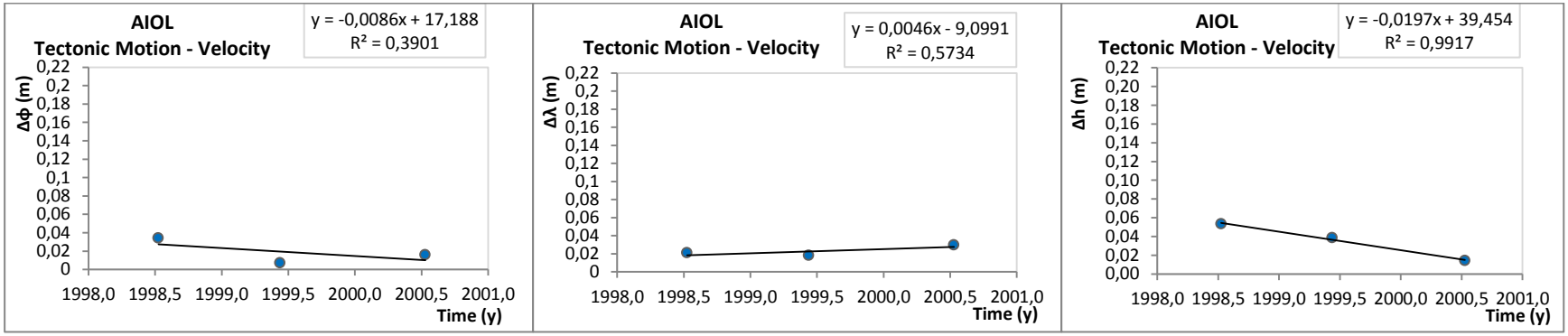


Χάρτης Ι-1: Η θέση των σταθμών GPS από την καμπάνια «Central Greece», για τις εποχές 1989.44, 1991.78 και 1993.39. Πρόκειται για τα σημεία που ταυτίζονται με τα σημεία της καμπάνιας SING.

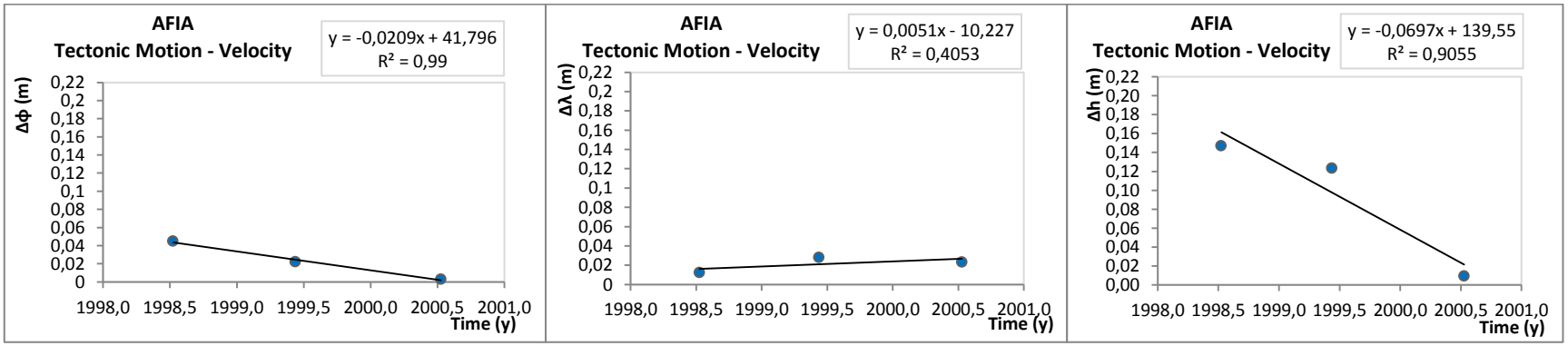
Σημείωση: τα σημεία που φαίνονται στο χάρτη, είναι αυτά που ταυτίζονται με τα σημεία της καμπάνιας SING και χρησιμοποιήθηκαν για την εμπλούτυνση των χρονοσειρών. Η απεικόνιση αφορά τα σημεία που χρησιμοποιήθηκαν από την καμπάνια στο σύνολό τους. Κάποια σημεία μετρήθηκαν και τις 3 εποχές, ενώ για κάποια άλλα δεν υπήρχε μέτρηση σε κάποια /ες από αυτές.

II. Ταχύτητες σημείων

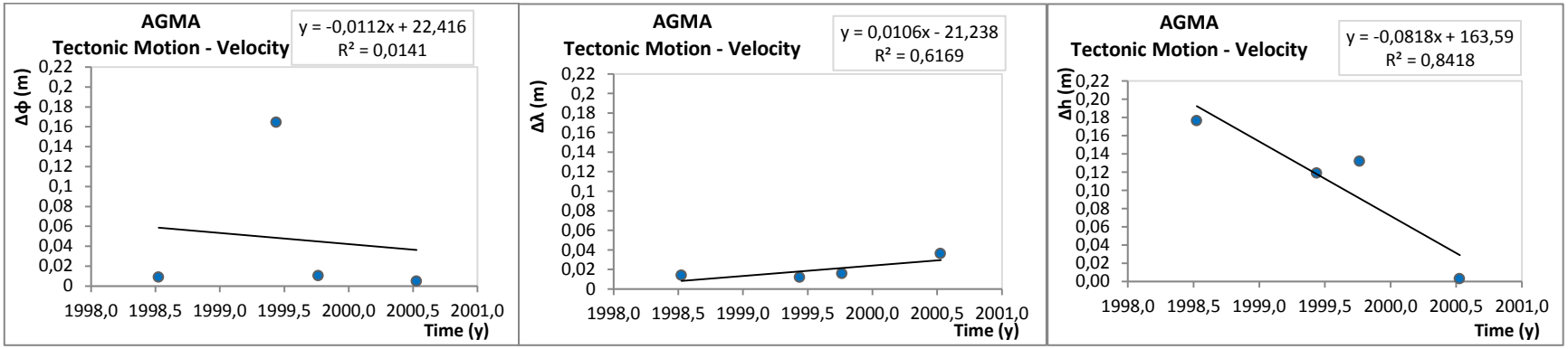
Α. Ταχύτητες σημείων από την καμπάνια "SING"



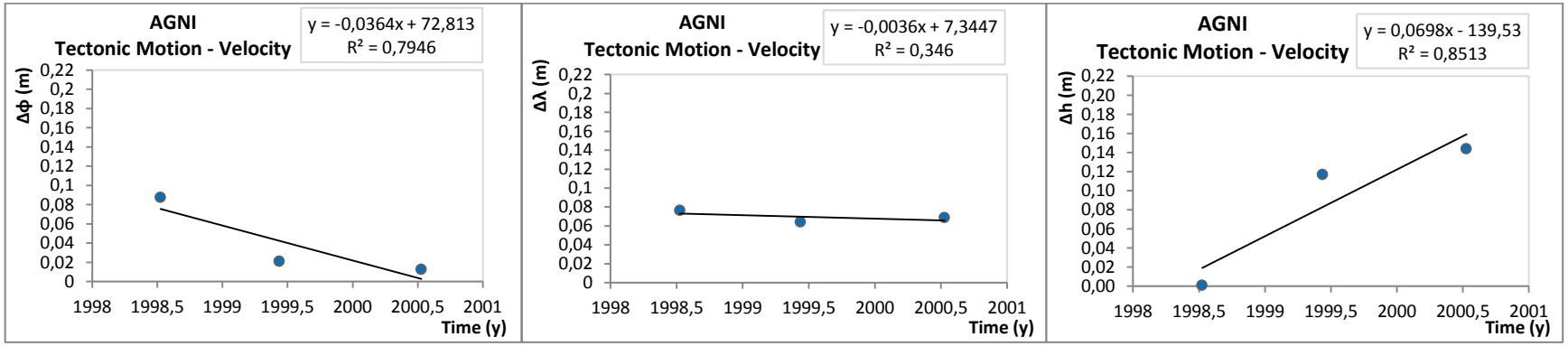
Διάγραμμα Α-1: Οι μετακίνησεις κατά πλάτος (αριστερά), κατά μήκος (κέντρο) και οι υψομετρικές μετακινήσεις (δεξιά), για το σημείο AIOL.



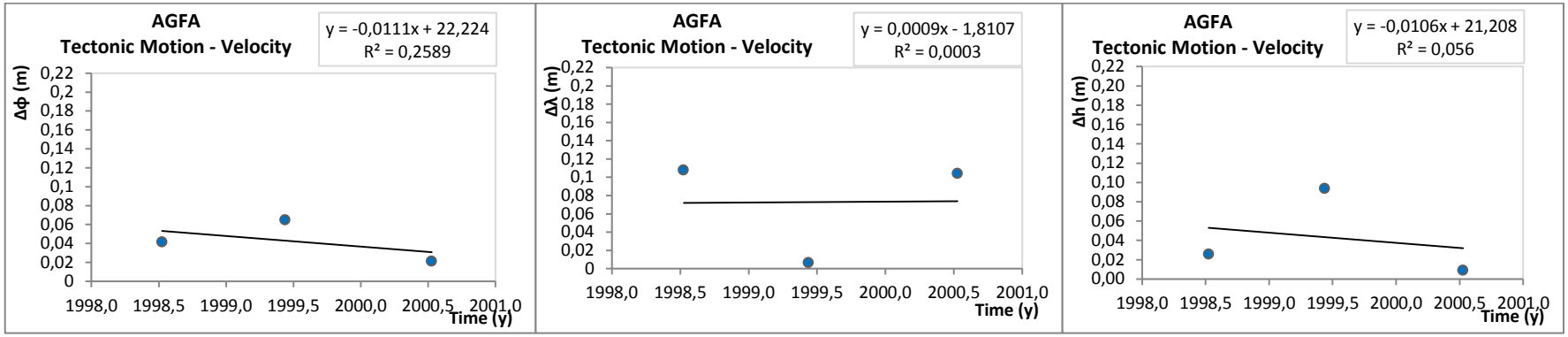
Διάγραμμα Α-2: Οι μετακίνησεις κατά πλάτος (αριστερά), κατά μήκος (κέντρο) και οι υψομετρικές μετακινήσεις (δεξιά), για το σημείο AFIA.



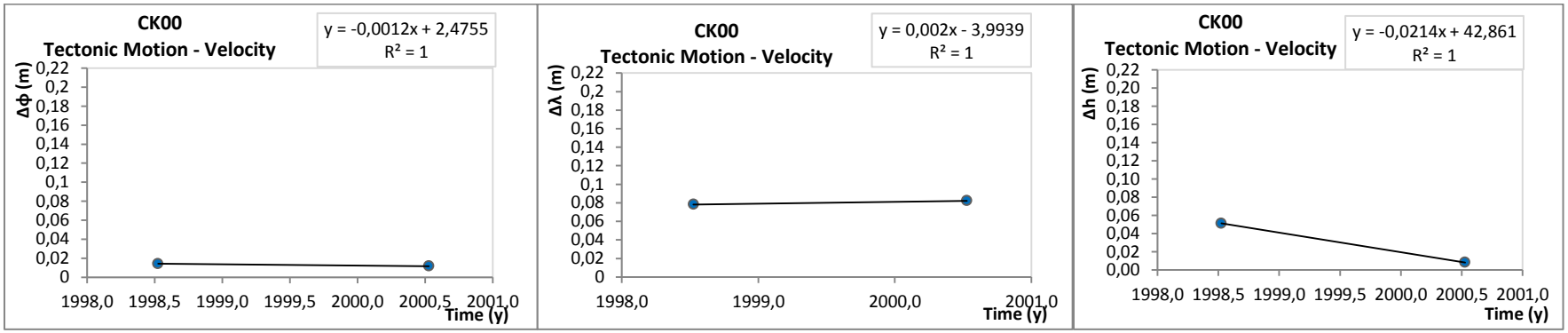
Διάγραμμα Α-3: Οι μετακίνησεις κατά πλάτος (αριστερά), κατά μήκος (κέντρο) και οι υψομετρικές μετακινήσεις (δεξιά), για το σημείο AGMA.



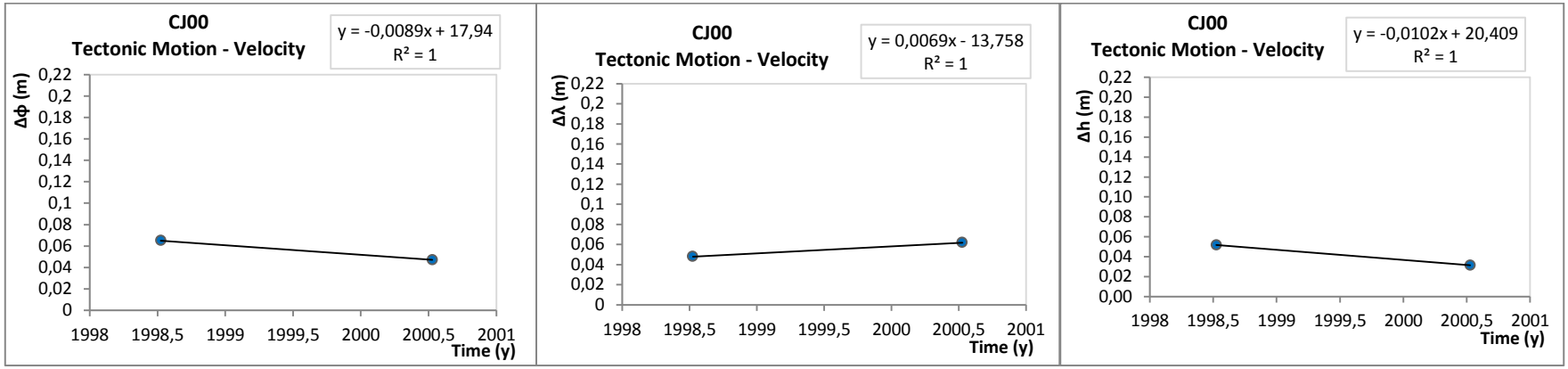
Διάγραμμα Α-4: Οι μετακίνησεις κατά πλάτος (αριστερά), κατά μήκος (κέντρο) και οι υψομετρικές μετακινήσεις (δεξιά), για το σημείο AGNI.



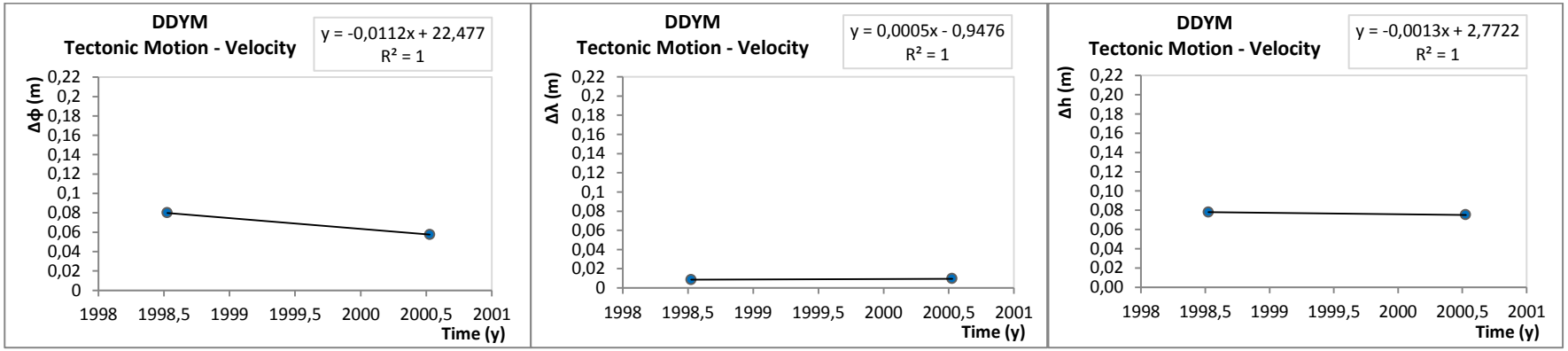
Διάγραμμα Α-5: Οι μετακίνησεις κατά πλάτος (αριστερά), κατά μήκος (κέντρο) και οι υψομετρικές μετακινήσεις (δεξιά), για το σημείο AGFA.



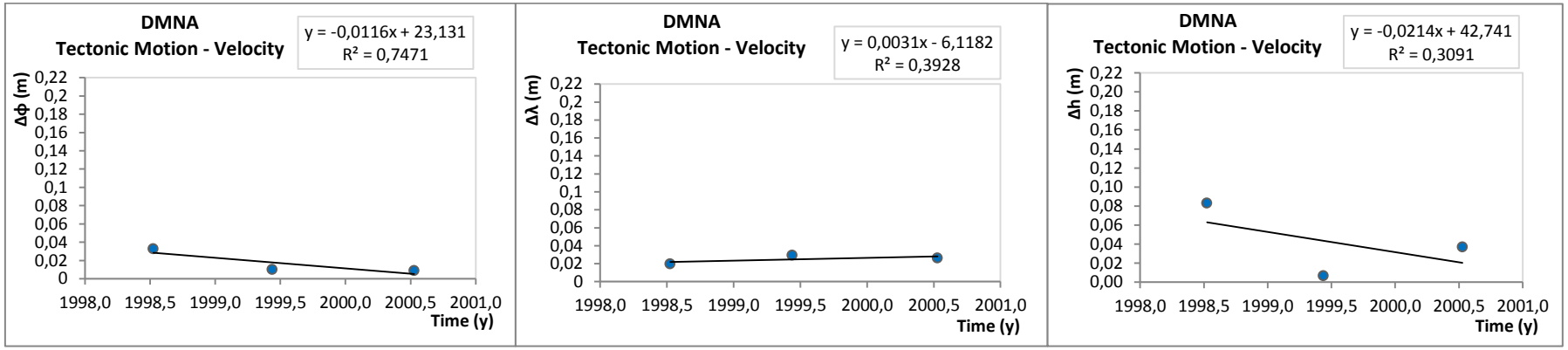
Διάγραμμα Α-6: Οι μετακίνησεις κατά πλάτος (αριστερά), κατά μήκος (κέντρο) και οι υψομετρικές μετακινήσεις (δεξιά), για το σημείο CK00.



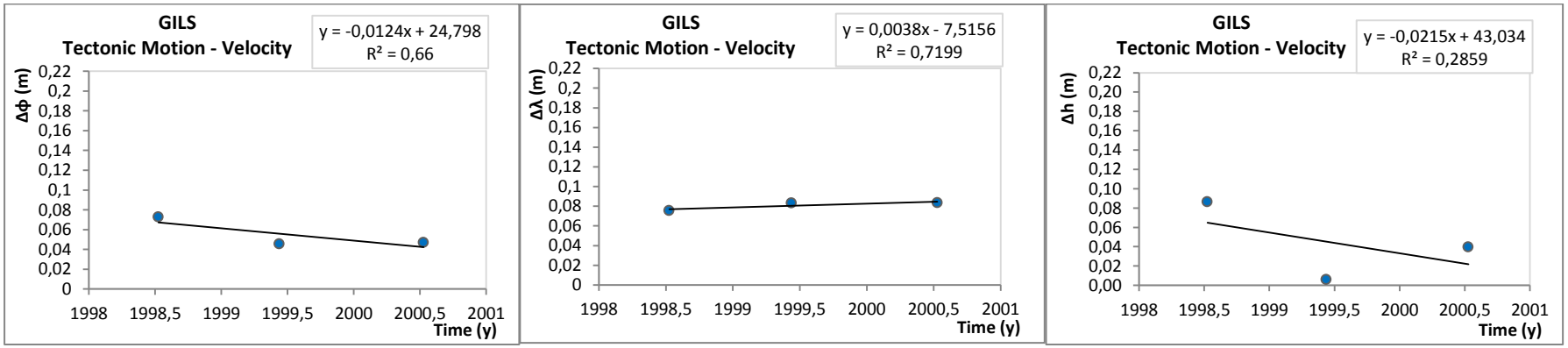
Διάγραμμα Α-7: Οι μετακίνησεις κατά πλάτος (αριστερά), κατά μήκος (κέντρο) και οι υψομετρικές μετακινήσεις (δεξιά), για το σημείο CJ00.



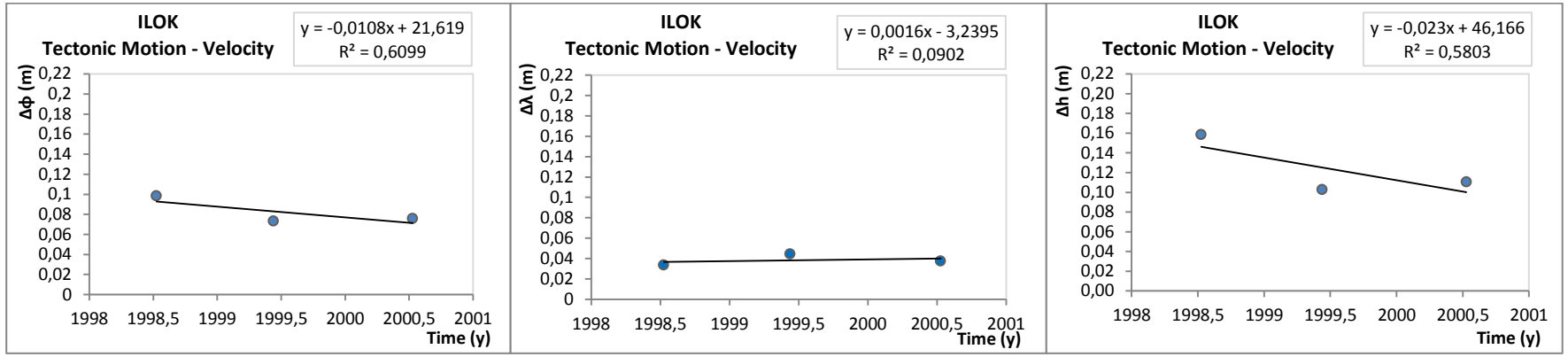
Διάγραμμα Α-8: Οι μετακίνησεις κατά πλάτος (αριστερά), κατά μήκος (κέντρο) και οι υψομετρικές μετακινήσεις (δεξιά), για το σημείο DDYM.



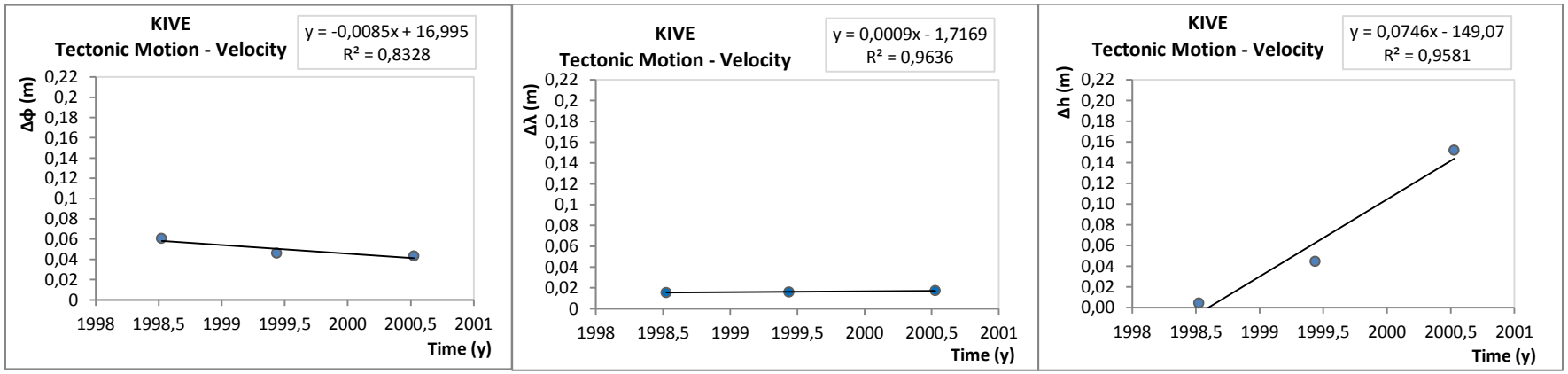
Διάγραμμα Α-9: Οι μετακίνησεις κατά πλάτος (αριστερά), κατά μήκος (κέντρο) και οι υψομετρικές μετακινήσεις (δεξιά), για το σημείο DMNA.



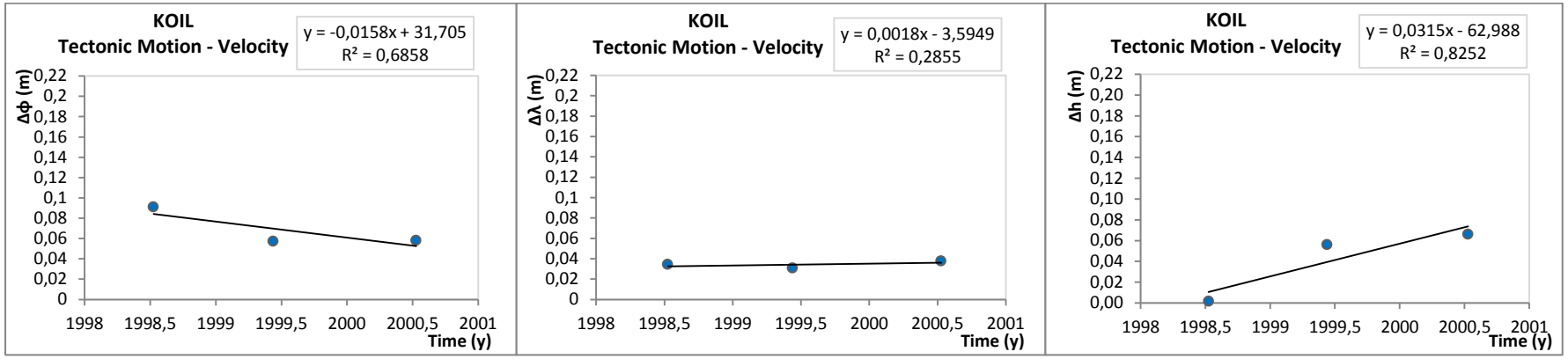
Διάγραμμα Α-10: Οι μετακίνησεις κατά πλάτος (αριστερά), κατά μήκος (κέντρο) και οι υψομετρικές μετακινήσεις (δεξιά), για το σημείο GILS.



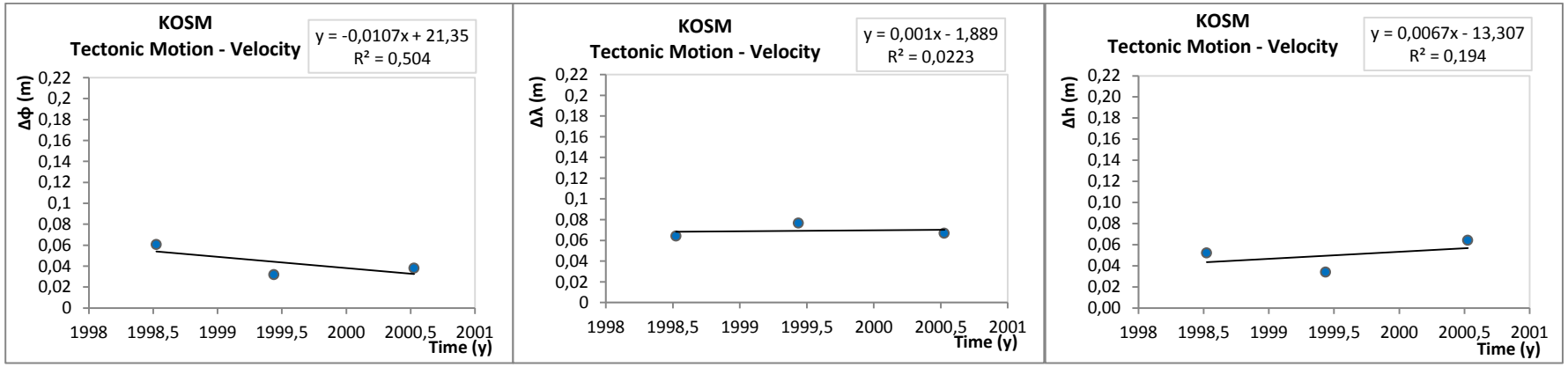
Διάγραμμα Α-11: Οι μετακίνησεις κατά πλάτος (αριστερά), κατά μήκος (κέντρο) και οι υψομετρικές μετακινήσεις (δεξιά), για το σημείο ILOK.



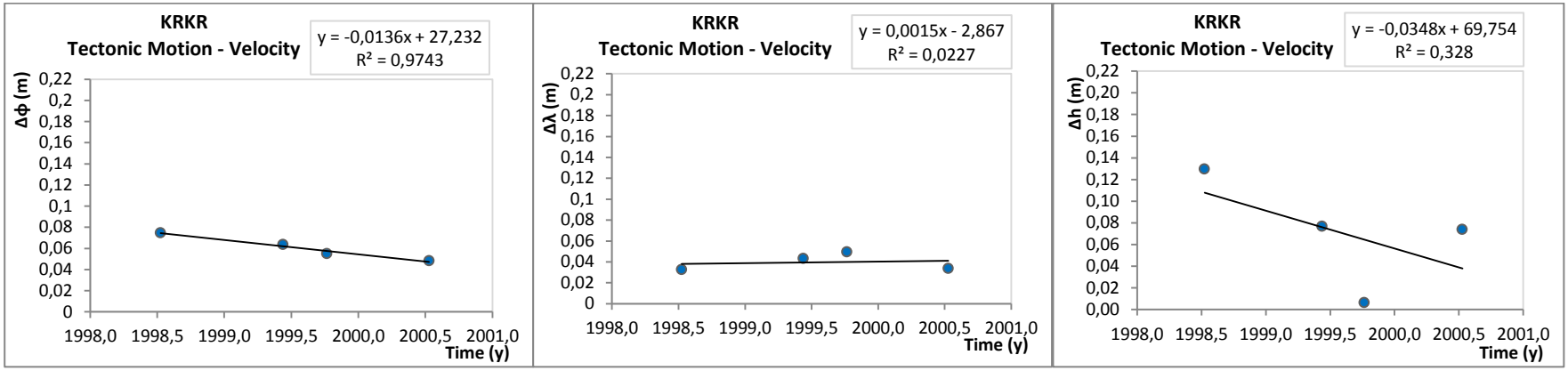
Διάγραμμα Α-12: Οι μετακίνησεις κατά πλάτος (αριστερά), κατά μήκος (κέντρο) και οι υψομετρικές μετακινήσεις (δεξιά), για το σημείο KIVE.



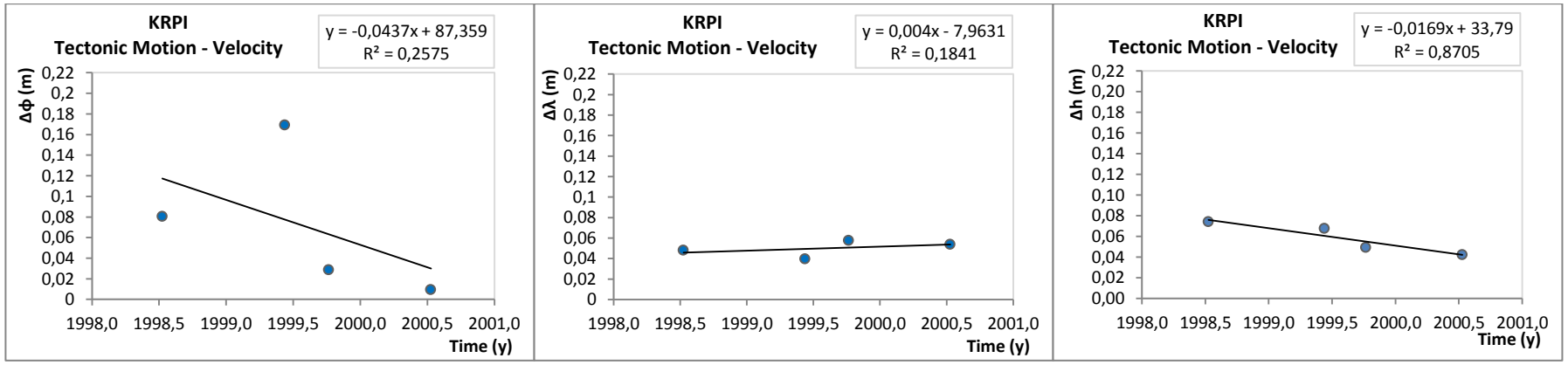
Διάγραμμα Α-13: Οι μετακίνησεις κατά πλάτος (αριστερά), κατά μήκος (κέντρο) και οι υψομετρικές μετακινήσεις (δεξιά), για το σημείο KOIL.



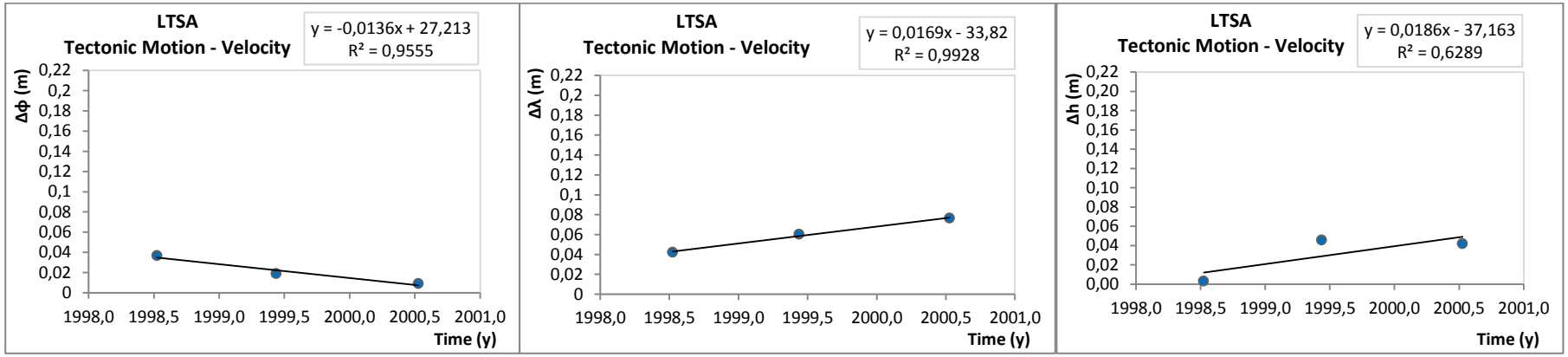
Διάγραμμα Α-14: Οι μετακίνησεις κατά πλάτος (αριστερά), κατά μήκος (κέντρο) και οι υψομετρικές μετακινήσεις (δεξιά), για το σημείο KOSM.



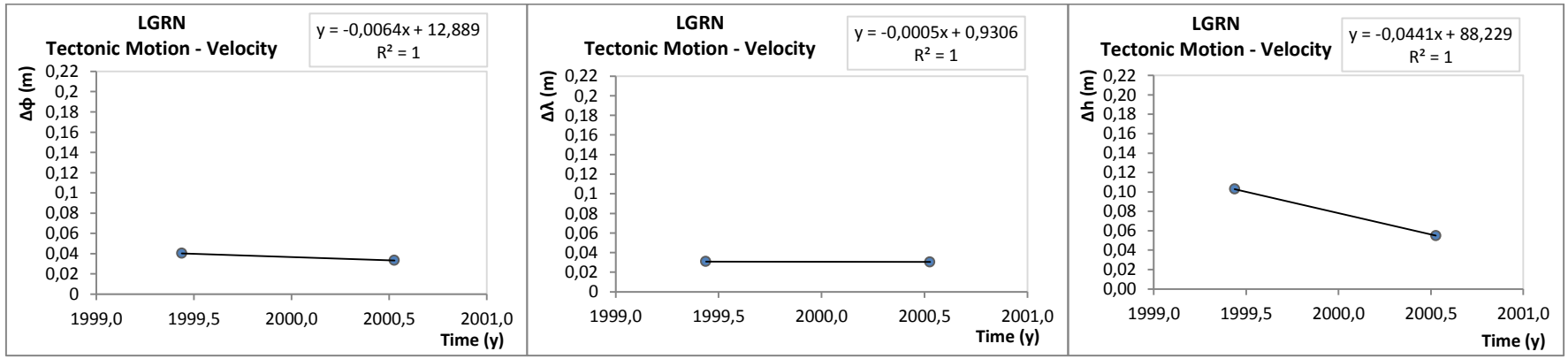
Διάγραμμα Α-15: Οι μετακίνησεις κατά πλάτος (αριστερά), κατά μήκος (κέντρο) και οι υψομετρικές μετακινήσεις (δεξιά), για το σημείο KRKR.



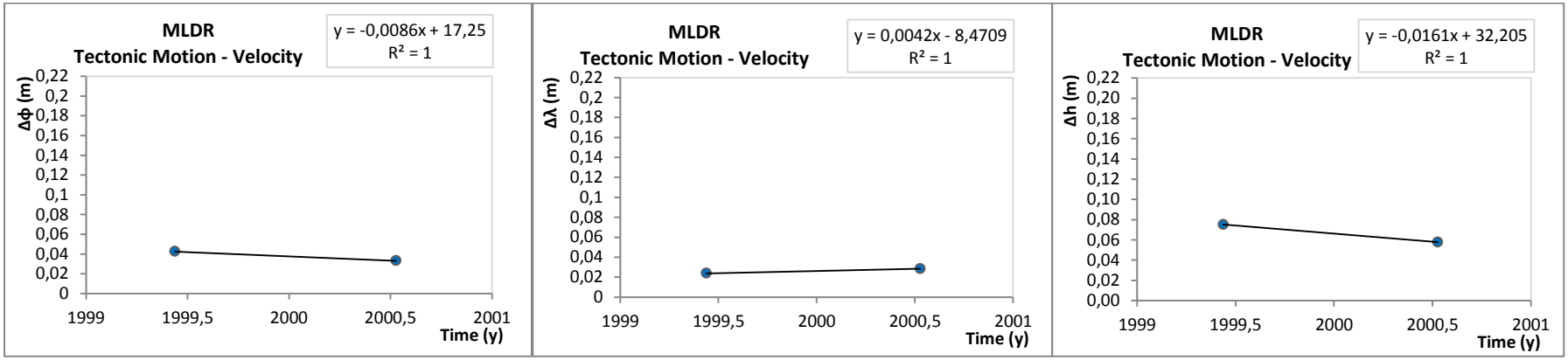
Διάγραμμα Α-16: Οι μετακίνησεις κατά πλάτος (αριστερά), κατά μήκος (κέντρο) και οι υψομετρικές μετακινήσεις (δεξιά), για το σημείο KRPI.



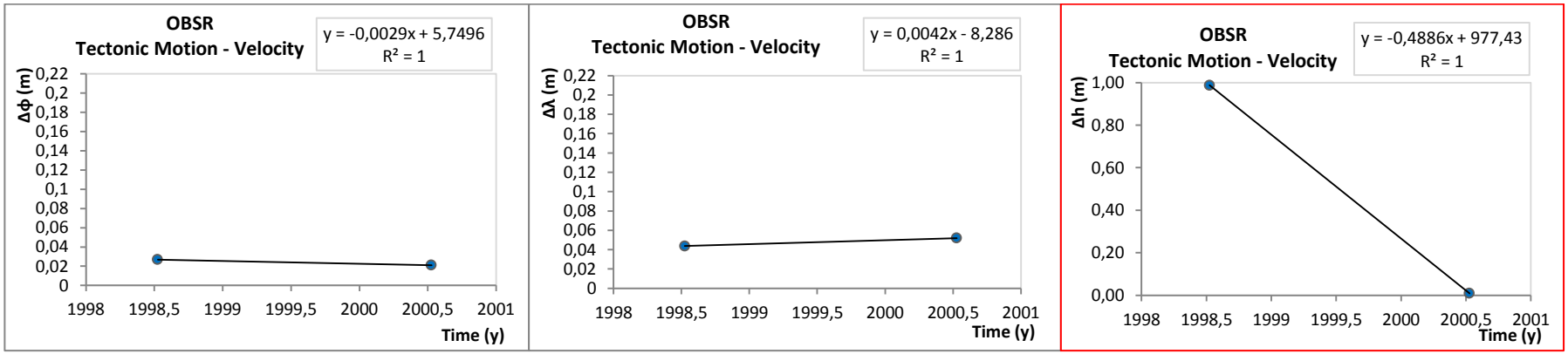
Διάγραμμα Α-17: Οι μετακίνησεις κατά πλάτος (αριστερά), κατά μήκος (κέντρο) και οι υψομετρικές μετακινήσεις (δεξιά), για το σημείο LTSA.



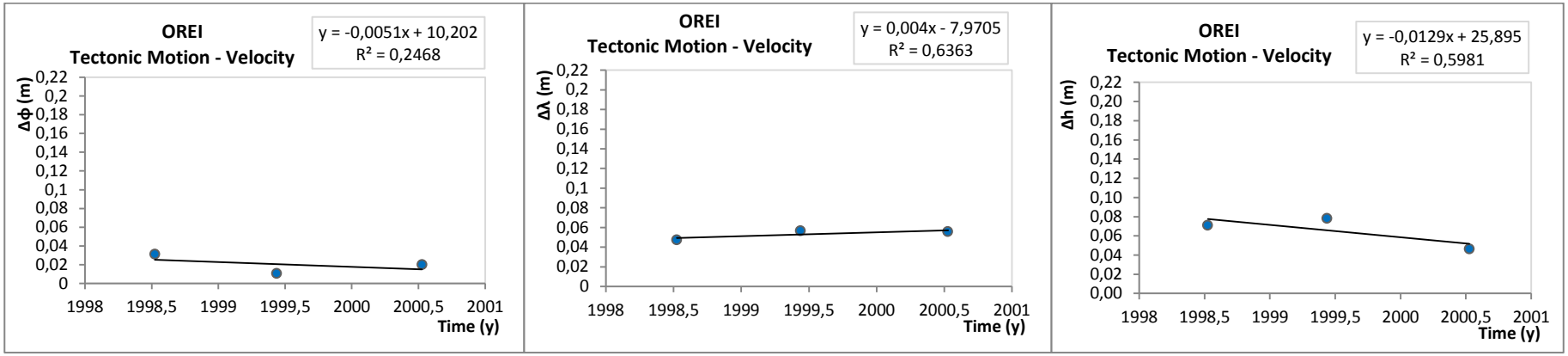
Διάγραμμα Α-18: Οι μετακίνησεις κατά πλάτος (αριστερά), κατά μήκος (κέντρο) και οι υψομετρικές μετακινήσεις (δεξιά), για το σημείο LGRN.



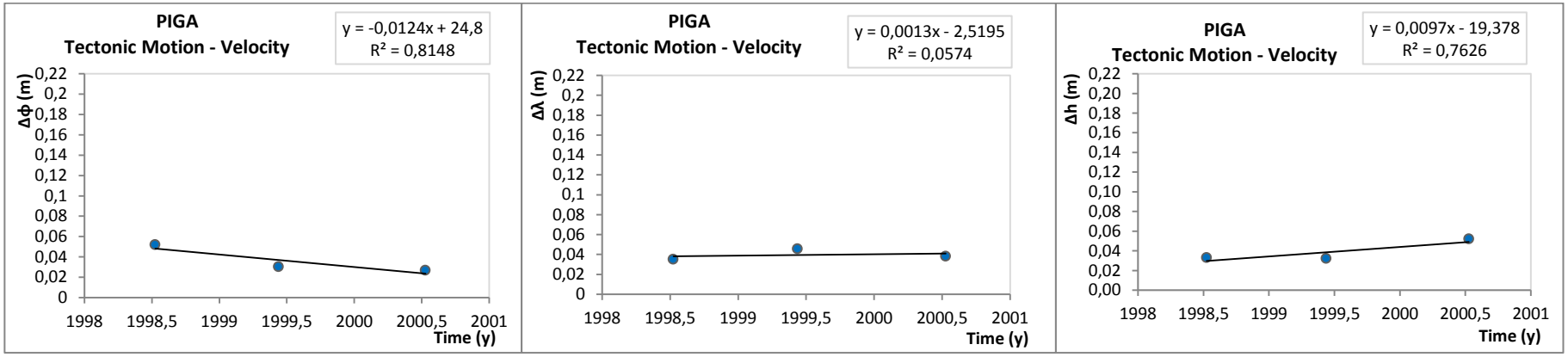
Διάγραμμα Α-19: Οι μετακίνησεις κατά πλάτος (αριστερά), κατά μήκος (κέντρο) και οι υψομετρικές μετακινήσεις (δεξιά), για το σημείο MLDR.



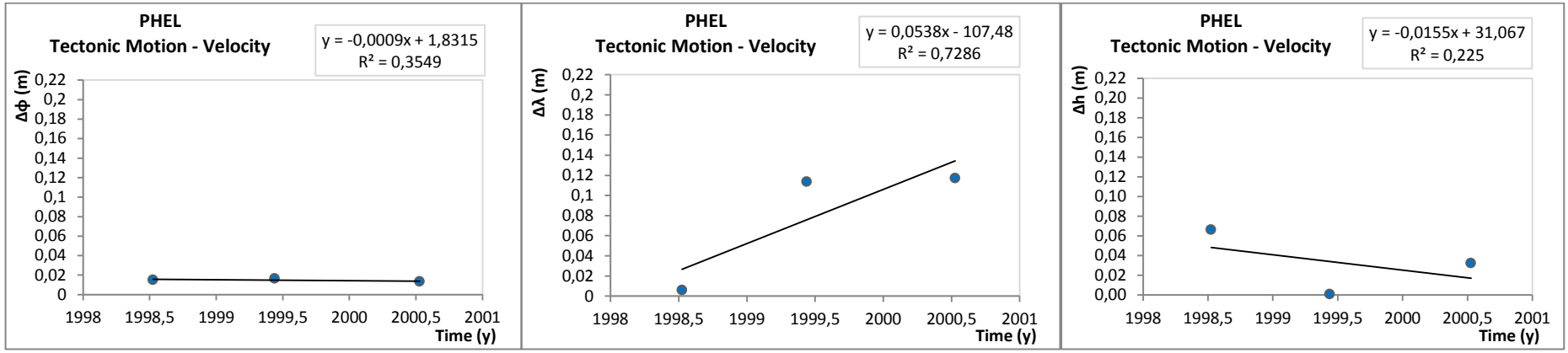
Διάγραμμα Α-20: Οι μετακίνησεις κατά πλάτος (αριστερά), κατά μήκος (κέντρο) και οι υψομετρικές μετακινήσεις (δεξιά), για το σημείο OBSR.



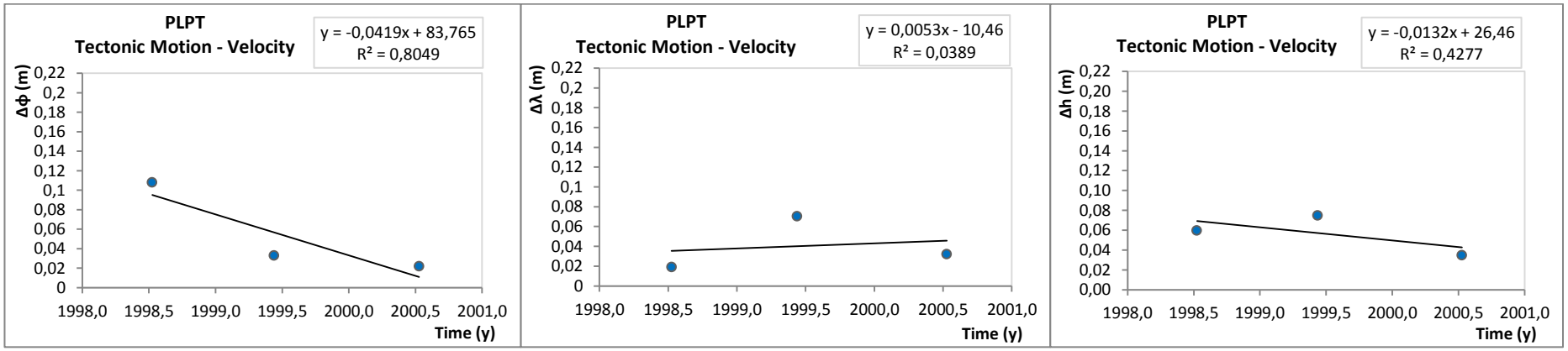
Διάγραμμα Α-21: Οι μετακίνησεις κατά πλάτος (αριστερά), κατά μήκος (κέντρο) και οι υψομετρικές μετακινήσεις (δεξιά), για το σημείο OREI.



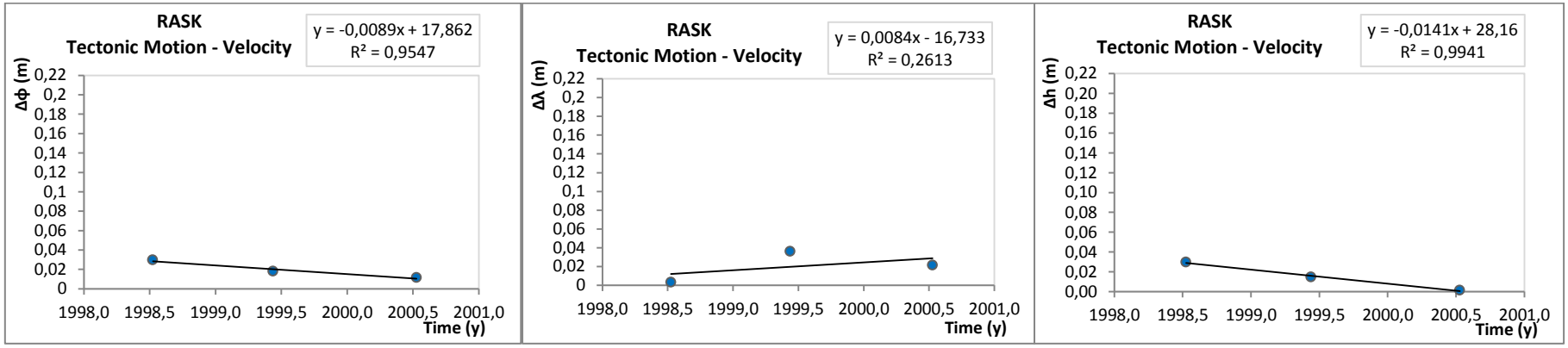
Διάγραμμα Α-22: Οι μετακίνησεις κατά πλάτος (αριστερά), κατά μήκος (κέντρο) και οι υψομετρικές μετακινήσεις (δεξιά), για το σημείο PIGA.



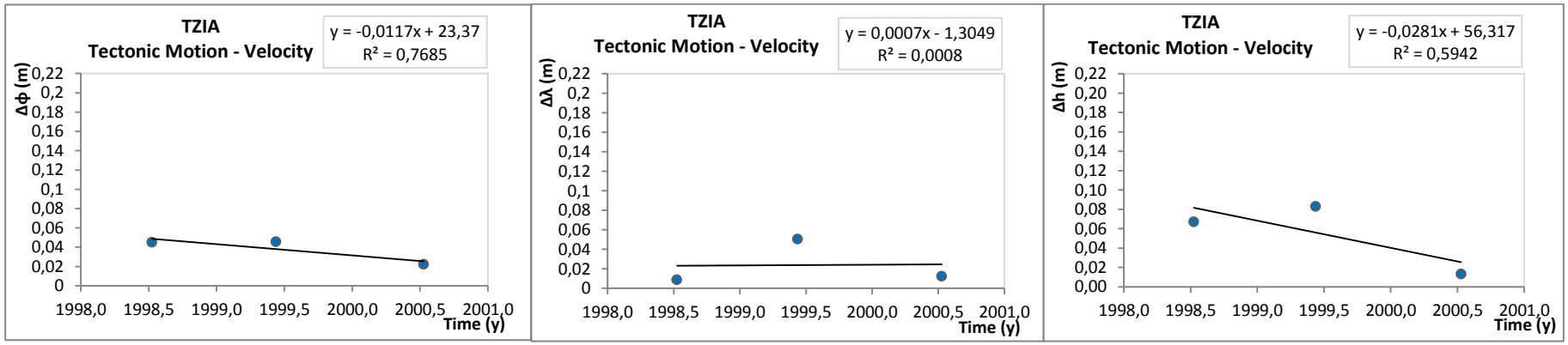
Διάγραμμα Α-23: Οι μετακίνησεις κατά πλάτος (αριστερά), κατά μήκος (κέντρο) και οι υψομετρικές μετακινήσεις (δεξιά), για το σημείο PHEL.



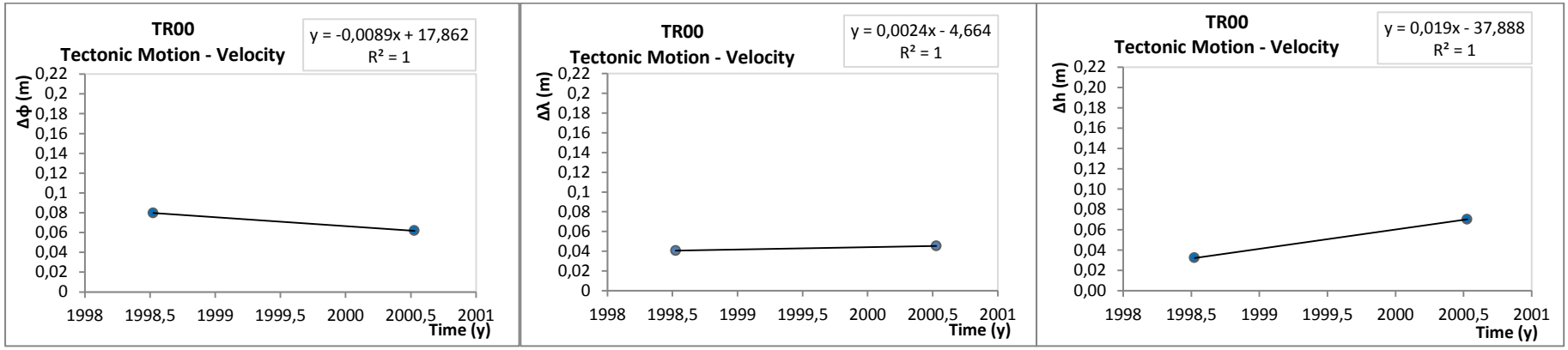
Διάγραμμα Α-24: Οι μετακίνησεις κατά πλάτος (αριστερά), κατά μήκος (κέντρο) και οι υψομετρικές μετακινήσεις (δεξιά), για το σημείο PLPT.



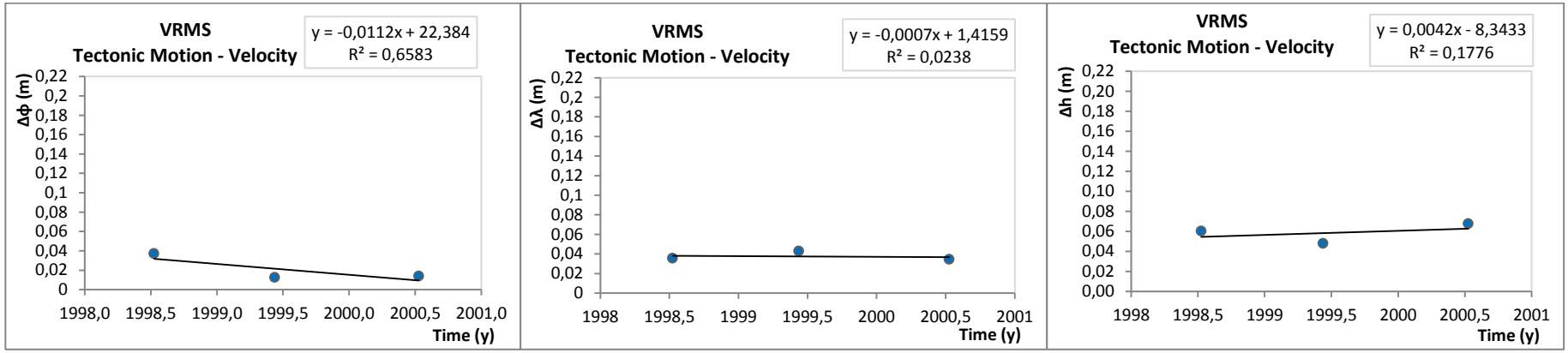
Διάγραμμα Α-25: Οι μετακίνησεις κατά πλάτος (αριστερά), κατά μήκος (κέντρο) και οι υψομετρικές μετακινήσεις (δεξιά), για το σημείο RASK.



Διάγραμμα Α-26: Οι μετακίνησεις κατά πλάτος (αριστερά), κατά μήκος (κέντρο) και οι υψομετρικές μετακινήσεις (δεξιά), για το σημείο TZIA.

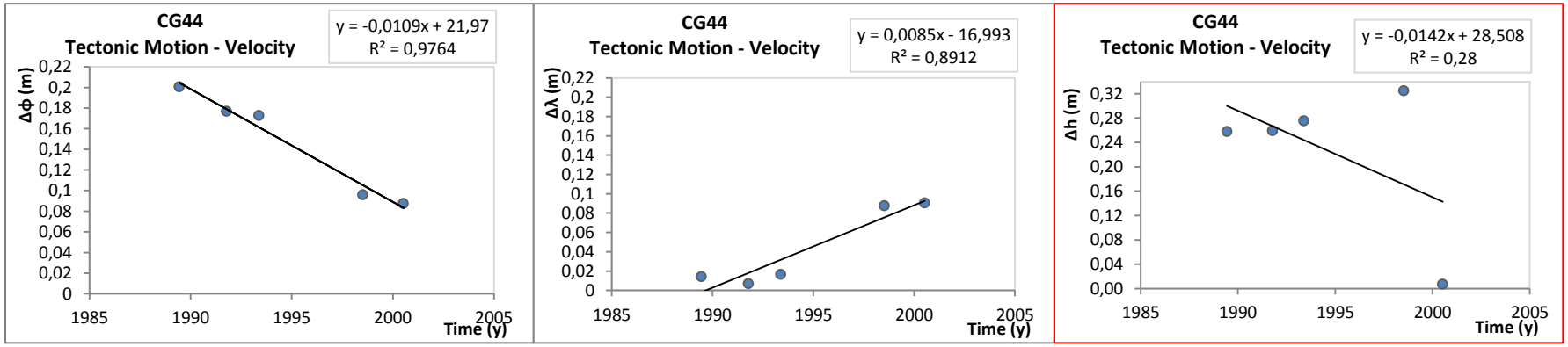


Διάγραμμα Α-27: Οι μετακίνησεις κατά πλάτος (αριστερά), κατά μήκος (κέντρο) και οι υψομετρικές μετακινήσεις (δεξιά), για το σημείο TR00.

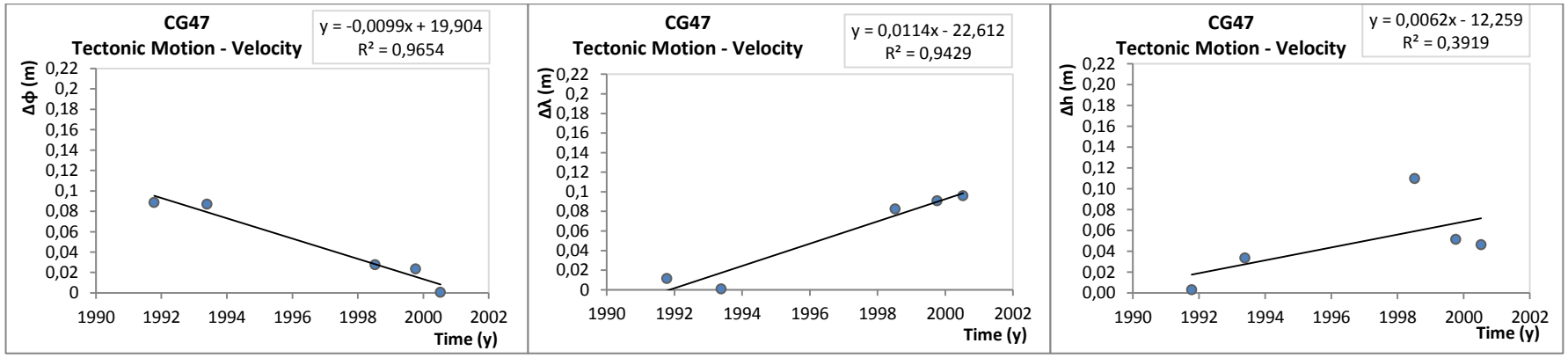


Διάγραμμα Α-28: Οι μετακίνησεις κατά πλάτος (αριστερά), κατά μήκος (κέντρο) και οι υψομετρικές μετακινήσεις (δεξιά), για το σημείο VRMS.

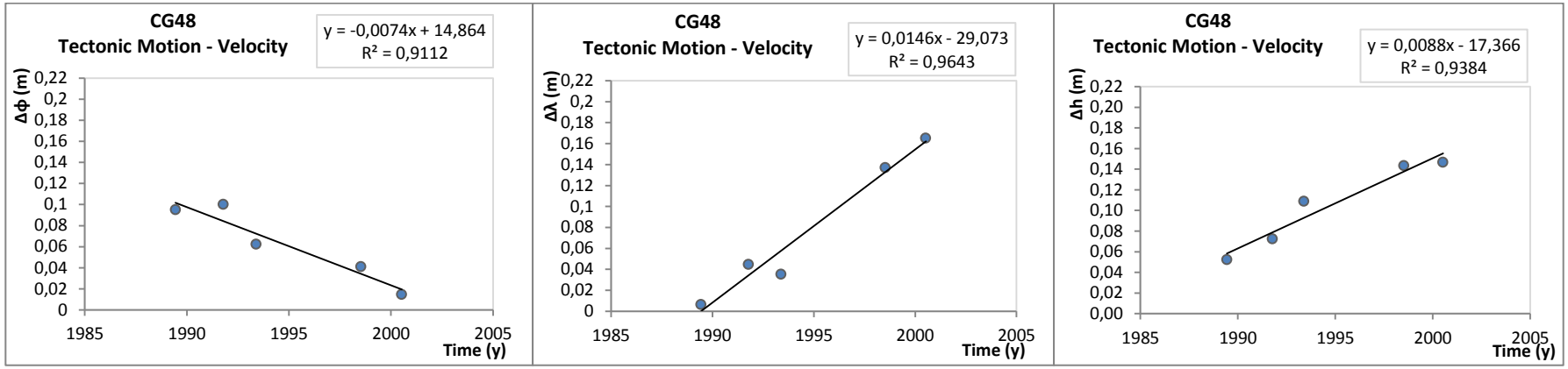
B. Ταχύτητες σημείων από τις καμπάνιες “SING” και “Central Greece”



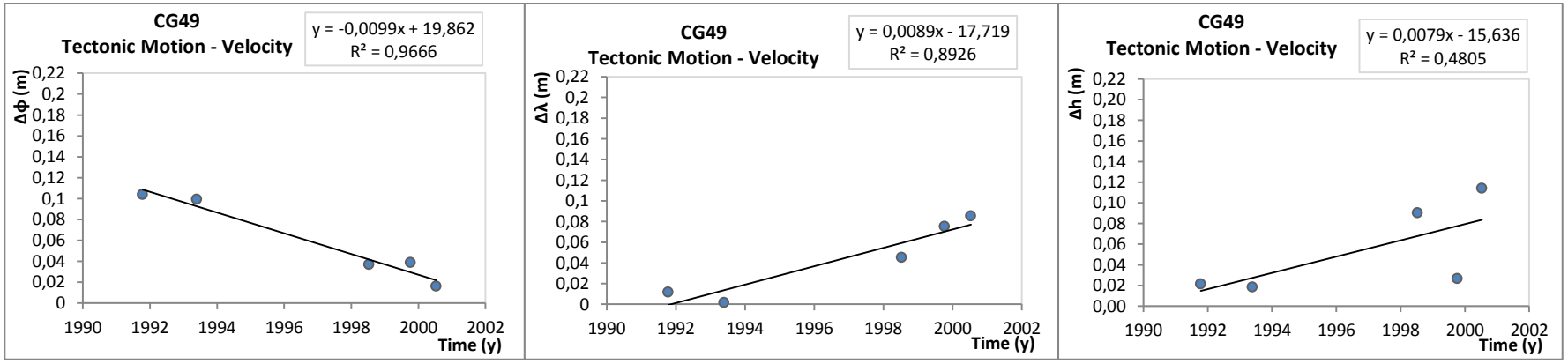
Διάγραμμα Β-1: Οι μετακίνησεις κατά πλάτος (αριστερά), κατά μήκος (κέντρο) και οι υψομετρικές μετακινήσεις (δεξιά), για το σημείο CG44.



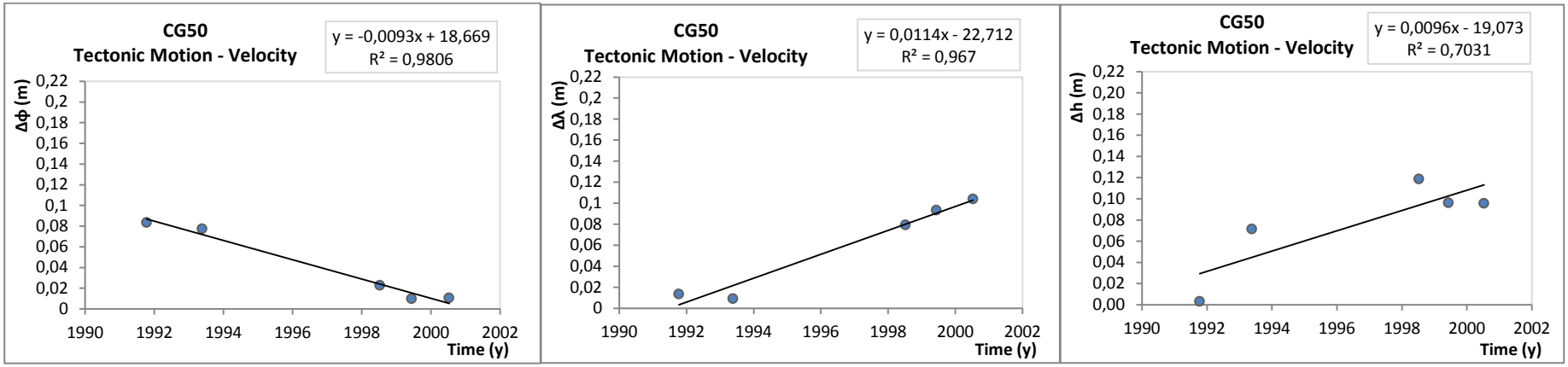
Διάγραμμα Β-2: Οι μετακίνησεις κατά πλάτος (αριστερά), κατά μήκος (κέντρο) και οι υψομετρικές μετακινήσεις (δεξιά), για το σημείο CG47.



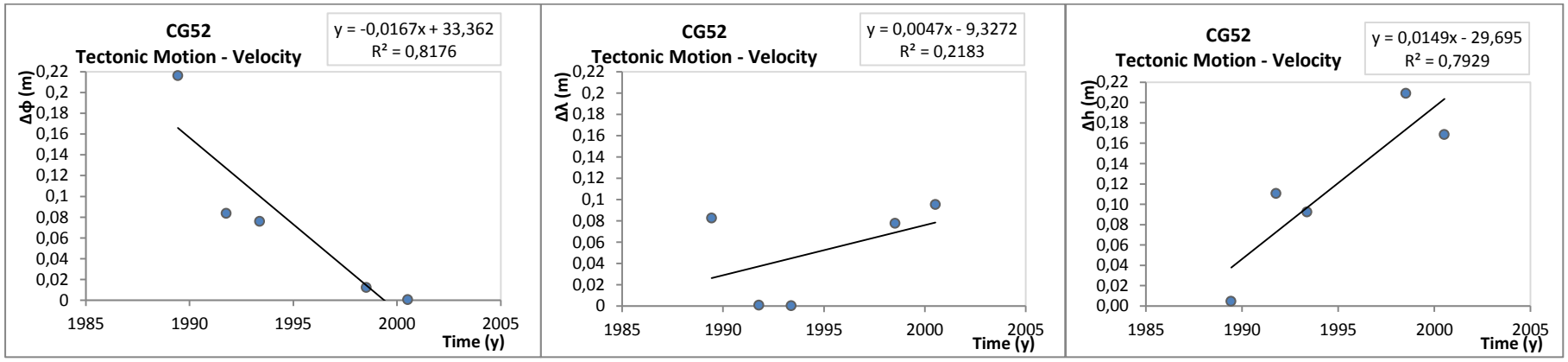
Διάγραμμα Β-3: Οι μετακίνησεις κατά πλάτος (αριστερά), κατά μήκος (κέντρο) και οι υψομετρικές μετακινήσεις (δεξιά), για το σημείο CG48.



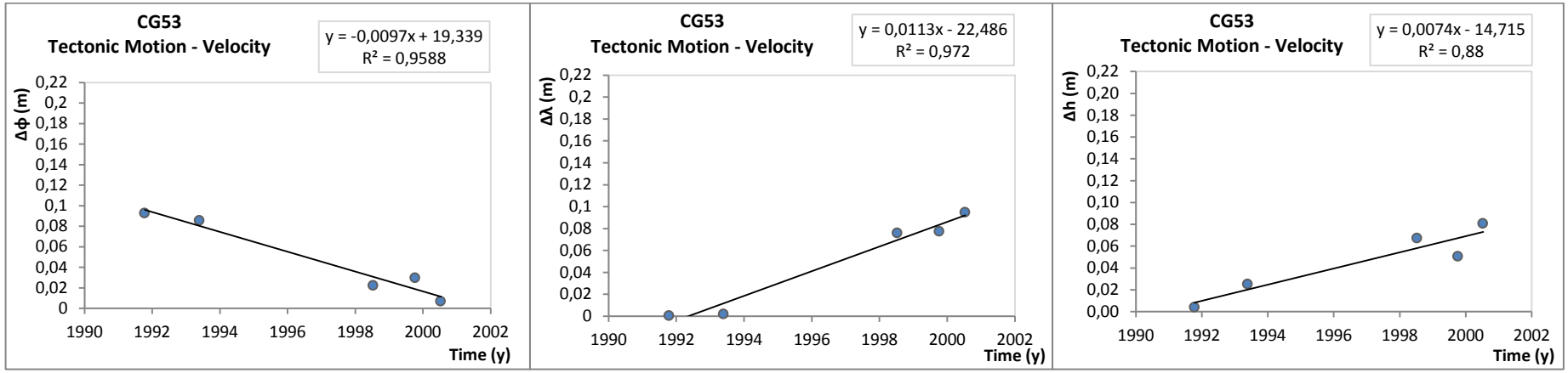
Διάγραμμα Β-4: Οι μετακίνησεις κατά πλάτος (αριστερά), κατά μήκος (κέντρο) και οι υψομετρικές μετακινήσεις (δεξιά), για το σημείο CG49.



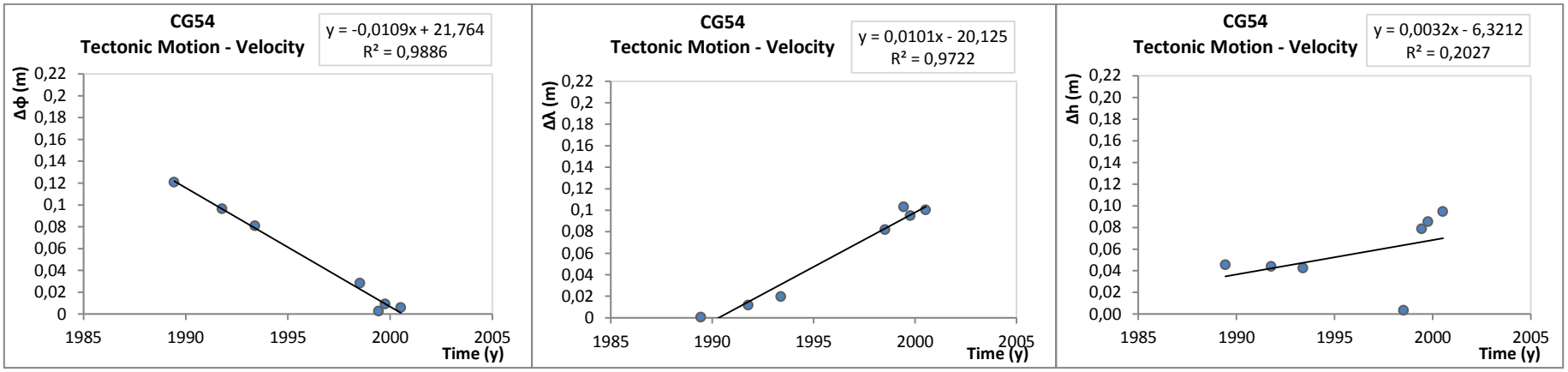
Διάγραμμα Β-5: Οι μετακίνησεις κατά πλάτος (αριστερά), κατά μήκος (κέντρο) και οι υψομετρικές μετακινήσεις (δεξιά), για το σημείο CG50.



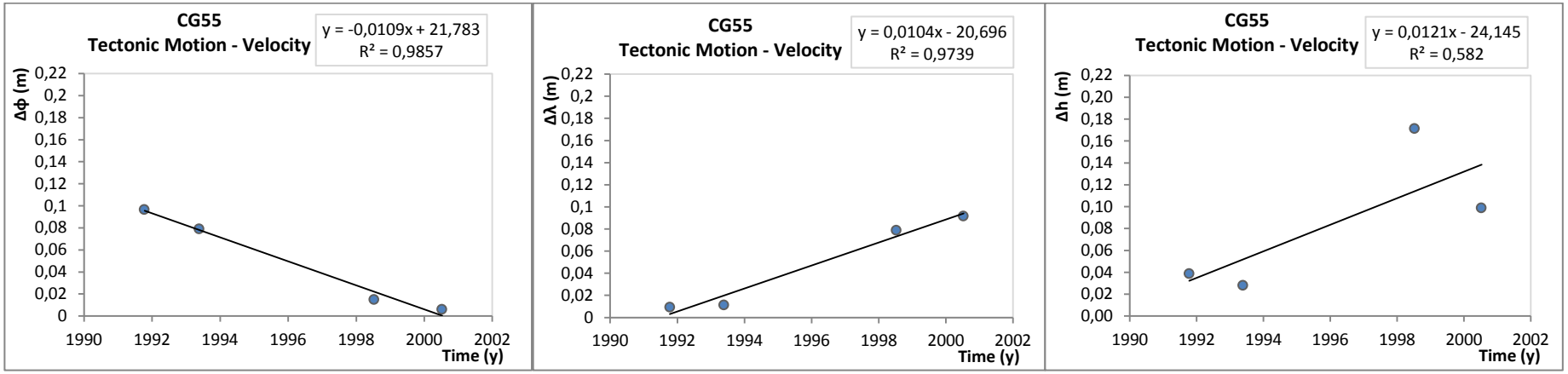
Διάγραμμα Β-6: Οι μετακίνησεις κατά πλάτος (αριστερά), κατά μήκος (κέντρο) και οι υψομετρικές μετακινήσεις (δεξιά), για το σημείο CG52.



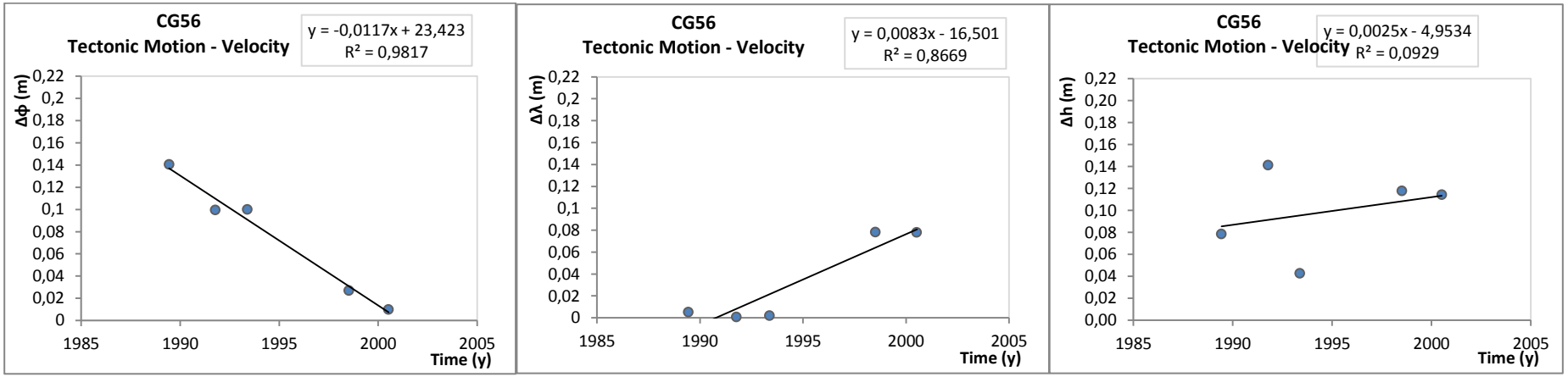
Διάγραμμα Β-7: Οι μετακίνησεις κατά πλάτος (αριστερά), κατά μήκος (κέντρο) και οι υψομετρικές μετακινήσεις (δεξιά), για το σημείο CG53.



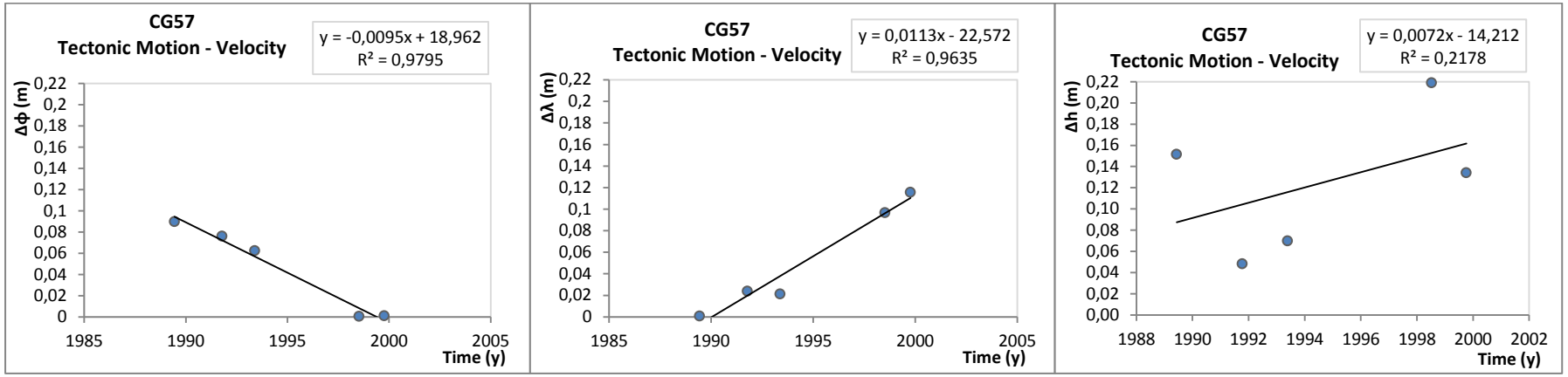
Διάγραμμα Β-8: Οι μετακίνησεις κατά πλάτος (αριστερά), κατά μήκος (κέντρο) και οι υψομετρικές μετακινήσεις (δεξιά), για το σημείο CG54.



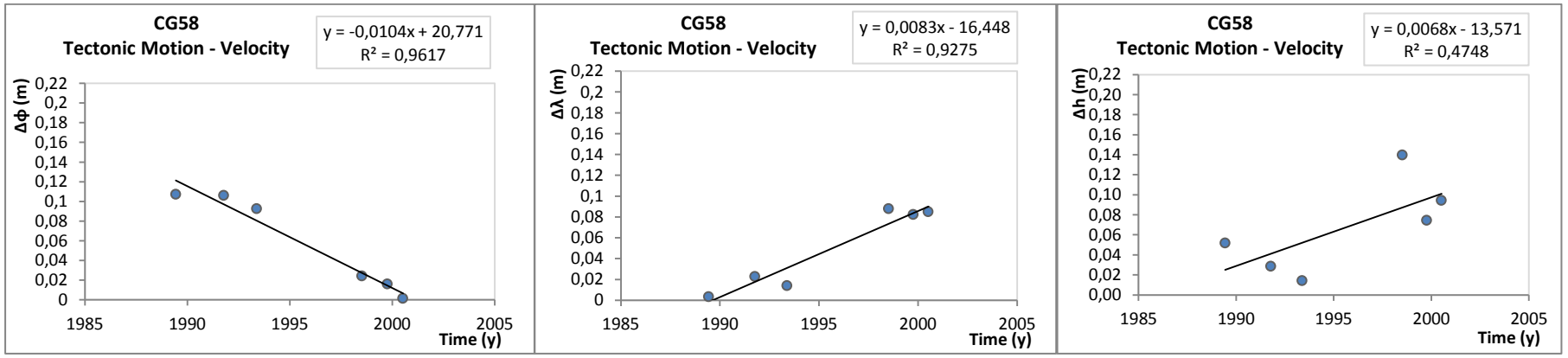
Διάγραμμα Β-9: Οι μετακίνησεις κατά πλάτος (αριστερά), κατά μήκος (κέντρο) και οι υψομετρικές μετακινήσεις (δεξιά), για το σημείο CG55.



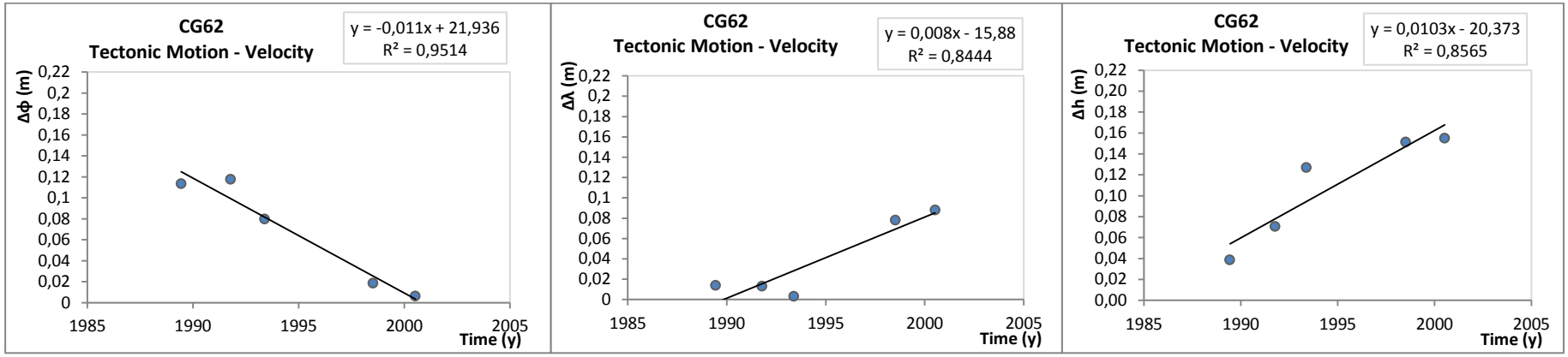
Διάγραμμα Β-10: Οι μετακίνησεις κατά πλάτος (αριστερά), κατά μήκος (κέντρο) και οι υψομετρικές μετακινήσεις (δεξιά), για το σημείο CG56.



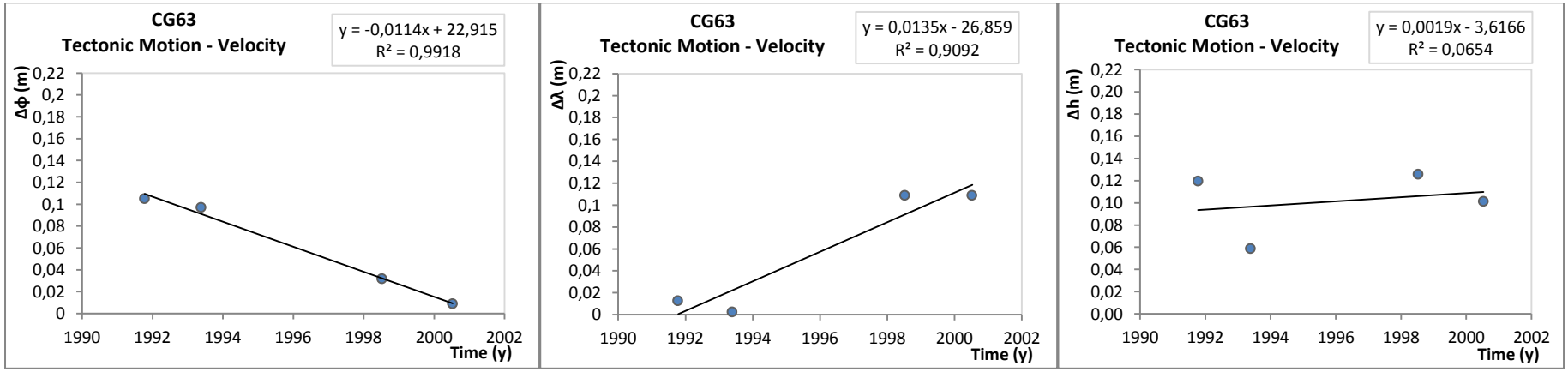
Διάγραμμα Β-11: Οι μετακίνησεις κατά πλάτος (αριστερά), κατά μήκος (κέντρο) και οι υψομετρικές μετακινήσεις (δεξιά), για το σημείο CG57.



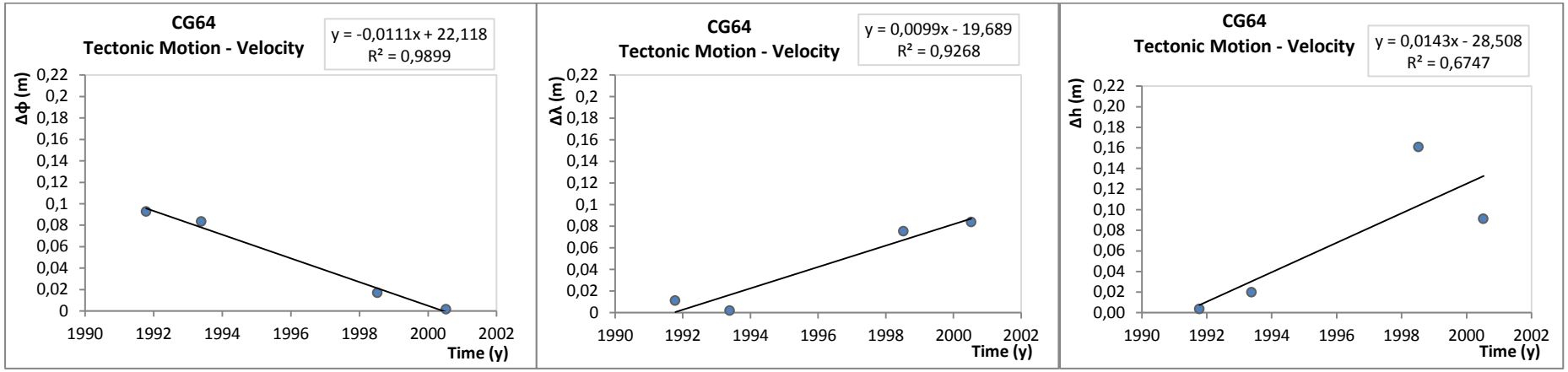
Διάγραμμα Β-12: Οι μετακίνησεις κατά πλάτος (αριστερά), κατά μήκος (κέντρο) και οι υψομετρικές μετακινήσεις (δεξιά), για το σημείο CG58.



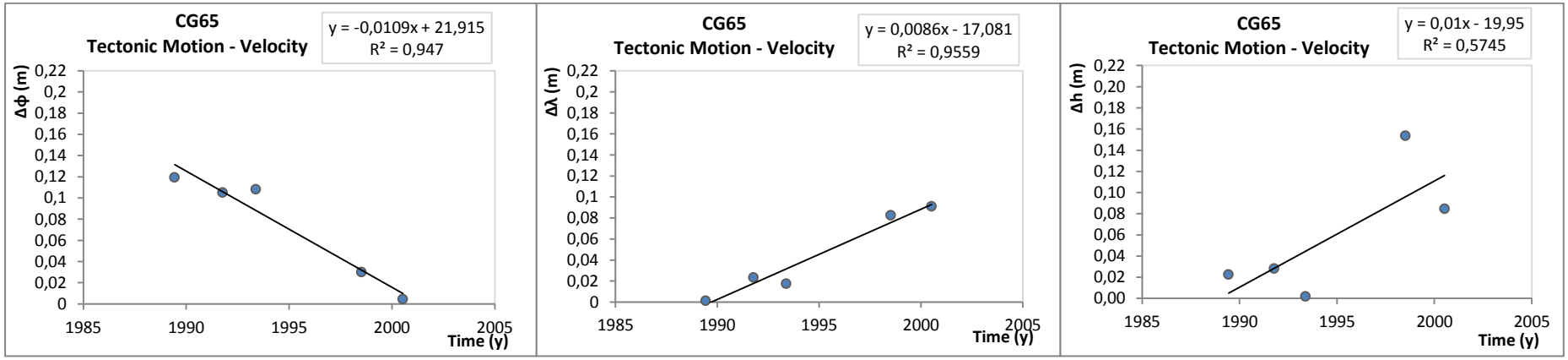
Διάγραμμα Β-13: Οι μετακίνησεις κατά πλάτος (αριστερά), κατά μήκος (κέντρο) και οι υψομετρικές μετακινήσεις (δεξιά), για το σημείο CG62.



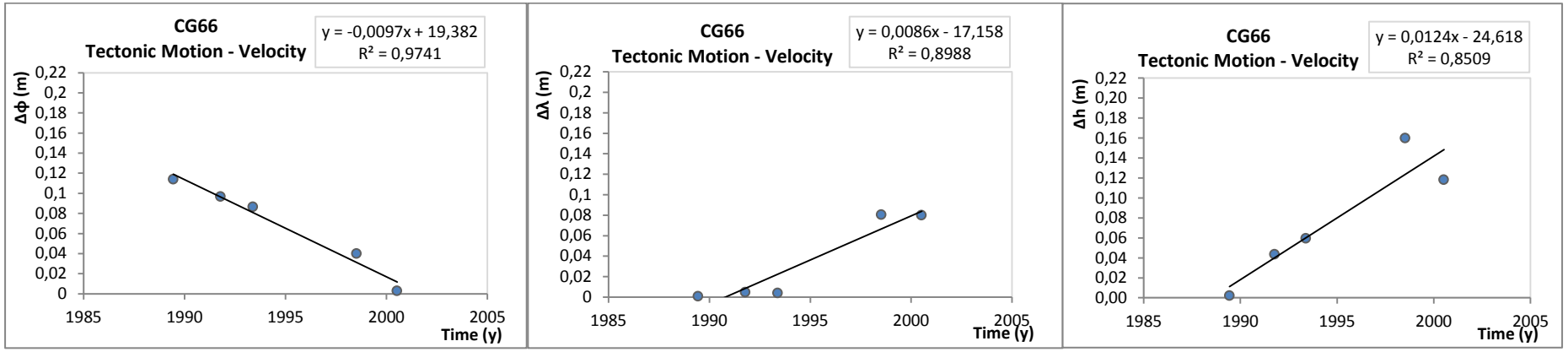
Διάγραμμα Β-14: Οι μετακίνησεις κατά πλάτος (αριστερά), κατά μήκος (κέντρο) και οι υψομετρικές μετακινήσεις (δεξιά), για το σημείο CG63.



Διάγραμμα Β-15: Οι μετακίνησεις κατά πλάτος (αριστερά), κατά μήκος (κέντρο) και οι υψομετρικές μετακινήσεις (δεξιά), για το σημείο CG64.



Διάγραμμα Β-16: Οι μετακίνησεις κατά πλάτος (αριστερά), κατά μήκος (κέντρο) και οι υψομετρικές μετακινήσεις (δεξιά), για το σημείο CG65.



Διάγραμμα Β-17: Οι μετακίνησεις κατά πλάτος (αριστερά), κατά μήκος (κέντρο) και οι υψομετρικές μετακινήσεις (δεξιά), για το σημείο CG66.

III. *Μετασχηματισμός ανάμεσα στα συστήματα αναφοράς ITRF 1992 & ITRF 1998 - Κώδικας Matlab*

A. Κώδικας μετασχηματισμού για την εποχή 1989.44

```
%Year 1989, EPOCH 1989.44
%Metasxhmatismos apo ITRF 1992 ----> ITRF 2008
format long g
format compact

Data=load('1989.txt');

[Rows,Cols]=size(Data);

X=Data(:,1);
Y=Data(:,2);
Z=Data(:,3);

%Parameters of Transformation (ITRF2008 ---> ITRF 1992)
TX=11.744;
TY=9.88;
TZ=-7.408;
D=1.2596/10^9;
RX=0;
RY=0;
RZ=(-0.1512*0.001/3600)*pi/180;

%Xrhsimoi Pinakes
T=[TX;TY;TZ];
A=[D+1,-RZ,RY;RZ,D+1,-RX;-RY,RX,D+1]

%Epanalhptikh Diadikasia
for i=1:Rows
 i
 M=[Data(i,1)*10^3;Data(i,2)*10^3;Data(i,3)*10^3];
 L=M-T;
 N=(inv(A)*L)*10^(-3)

end
```

B. Κώδικας μετασχηματισμού για την εποχή 1991.78

```
%Year 1991, EPOCH 1991.78
%Metasxhmatismos apo ITRF 1992 ----> ITRF 2008
format long g
format compact

Data=load('1991.txt');

[Rows,Cols]=size(Data);
```

```
X=Data(:,1);
Y=Data(:,2);
Z=Data(:,3);

%Parameters of Transformation (from ITRF2008 ---> ITRF 1992)
TX=11.978;
TY=8.71;
TZ=-14.896;
D=1.4702/10^9;
RX=0;
RY=0;
RZ=(-5.06145E-10*0.001/3600)*pi/180;

%Xrhsimoi Pinakes
T=[TX;TY;TZ];
A=[D+1,-RZ,RY;RZ,D+1,-RX;-RY,RX,D+1]

%Epanalhptikh Diadikasia
for i=1:Rows
 i
 M=[Data(i,1)*10^3;Data(i,2)*10^3;Data(i,3)*10^3];
 L=M-T;
 N=(inv(A)*L)*10^(-3)

end
```

C. Κώδικας μετασχηματισμού για την εποχή 1993.39

```
%Year 1993, EPOCH 1993.39
%Metasxhmatismos apo ITRF 1992 ----> ITRF 2008
format long g
format compact

Data=load('1993.txt');

[Rows,Cols]=size(Data);

X=Data(:,1);
Y=Data(:,2);
Z=Data(:,3);

%Parameters of Transformation (from ITRF2008 ---> ITRF 1992)
TX=12.139;
TY=7.905;
TZ=-20.048;
D=1.6151/10^9;
RX=0;
RY=0;
RZ=(-3.50035E-10*0.001/3600)*pi/180;

%Xrhsimoi Pinakes
T=[TX;TY;TZ];
A=[D+1,-RZ,RY;RZ,D+1,-RX;-RY,RX,D+1]

%Epanalhptikh Diadikasia
for i=1:Rows
```

```
 i
 M=[Data(i,1)*10^3;Data(i,2)*10^3;Data(i,3)*10^3];
 L=M-T;
 N=(inv(A)*L)*10^(-3)

end
```

IV. Πίνακες με τα ποσοστά επίλυσης ασαφειών

Σημείωση: στους πίνακες, ως σταθμός, θεωρείται το σημείο αρχής για τη δημιουργία των βάσεων. Όπως έχει προαναφερθεί, με κόκκινο παριστάνονται οι μη επιλυμένες βάσεις, ενώ με γκρι ο συνδυασμός που επέφερε ποσοστό ≥70% στην επίλυση ασαφειών φάσης.

ΠΟΣΟΣΤΑ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΑΣΑΦΕΙΩΝ, **ΕΠΟΧΗ 1998.52**					
Ημέρα Μετρήσεων	Σταθμός	Σημεία	Βάσεις	Μέθοδος Επίλυσης	Ποσοστό Επιτυχίας Επίλυσης (%)
187	CG54	OBSR	C5OB	QIF	83.33
	OBSR	CG44	OBCG	QIF	75
		CG62	OBC6	QIF	87.5
		CJ00	OBCJ	QIF	100
		MLDR	OBML	QIF	91.67
188	CG54	OBSR	C5OB	QIF	88.89
	OBSR	TIRO	OBTI	QIF	84.21
	TIRO	KOSM	TIKO	QIF	100
		LEON	TILE	QIF	83.33
		OREI	TIOR	QIF	90.91
		PIGA	TIPI	QIF	66.67
	PIGA	TIRO	PITI	QIF	75
189	CG54	OBSR	C5OB	QIF	85.37
	OBSR	KIVE	OBKI	QIF	75
		CG63	OBC3	QIF	62.5
		AGNI	OBAG	QIF	62.5
		TR00	OBTR	QIF	85.71
		MARA	OBMA	QIF	35.71
	CG63	OBSR	C3OB	QIF	75
	OBSR	AGNI	OBAG	QIF	75
	KIVE	MARA	KIMA	SIGMA	90.91
190	CG54	OBSR	C5OB	QIF	78.57
		ILOK	C5IL	QIF	84.62
	ILOK	DDYM	ILDD	QIF	90
		VRMS	ILVR	QIF	58.33
		KOIL	ILKL	QIF	76.92
		PHEL	ILPH	QIF	0
		METH	ILME	QIF	10
		GILS	ILGI	QIF	58.33
	ILOK	VRMS	ILVR	QIF	75
	ILOK	PHEL	ILPH	SIGMA	88.89
	ILOK	GILS	ILGI	SIGMA	83.33
	ILOK	METH	ILME	SIGMA	70

Πίνακας VI-1: Σχηματιζόμενες βάσεις, στρατηγική επίλυσης και το ποσοστό επίλυσης ασαφειών, ανά ημέρα για την εποχή 1998.52.

ΠΟΣΟΣΤΑ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΑΣΑΦΕΙΩΝ, **ΕΠΟΧΗ 1998.52**					
Ημέρα Μετρήσεων	Σταθμός	Σημεία	Βάσεις	Μέθοδος Επίλυσης	Ποσοστό Επιτυχίας Επίλυσης (%)
191	CG54	DMNA	C5DM	QIF	76.67
	DMNA	CG64	DMG6	QIF	75
		CG65	DMG5	QIF	90
		CK00	DMCK	QIF	88.89
		CG47	DMC4	QIF	66.67
		CG48	DMC8	QIF	77.78
	CG47	DMNA	DMC4	QIF	75
192	CG54	RASK	C5RA	QIF	76.92
	RASK	CG49	RAC9	QIF	72.73
		CG57	RAC7	QIF	77.78
		CG50	RAC0	QIF	90
		AFIA	RAAF	QIF	87.5
193	CG54	AGMA	C5AM	QIF	87.5
		CG53	C5G3	QIF	70
		KRKR	C5KR	QIF	69.23
		CG58	C5G8	QIF	90
	KRKR	CG54	KRC5	SIGMA	80.77
194	CG54	LTSA	C5LT	QIF	69.23
		KRPI	C5KP	QIF	80
		CG66	C566	QIF	28.57
		TZIA	C5TZ	QIF	72.73
	CG66	CG54	C566	SIGMA	92.86
	LTSA	CG54	LTC5	QIF	92.31
195	CG54	CG55	C555	QIF	77.78
		PLPT	C5PL	QIF	77.78
		AGFA	C5AA	QIF	72.73
196	CG54	CG56	C556	QIF	76.19
		CG52	C5C2	QIF	73.33
		AIOL	C5AI	QIF	100

Πίνακας VI-2: Σχηματιζόμενες βάσεις, στρατηγική επίλυσης και το ποσοστό επίλυσης ασαφειών, ανά ημέρα για την εποχή 1998.52.

ΠΟΣΟΣΤΑ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΑΣΑΦΕΙΩΝ, **ΕΠΟΧΗ 1999.44**					
Ημέρα Μετρήσεων	Σταθμός	Σημεία	Βάσεις	Μέθοδος Επίλυσης	Ποσοστό Επιτυχίας Επίλυσης (%)
158	CG54	KOSM	CGKO	QIF	82.35
	KOSM	OREI	KOOR	QIF	92.31
		PIGA	KOPI	QIF	86.67
159	CG54	GILS	CGGI	QIF	80
	GILS	DMNA	GIDM	QIF	66.67
		DDYM	GIDD	QIF	90
		KOIL	GIKL	QIF	100
		PHEL	GIPH	QIF	75
		KIVE	GIKI	QIF	100
		AGNI	GIAG	QIF	91.67
		MLDR	GIML	QIF	100
	DMNA	PHEL	DMPH	QIF	90
160	CG54	KRKR	CGKR	QIF	75
		AFIA	CGAF	QIF	80.56
		LTSA	CGLT	QIF	83.33
	AFIA	LGRN	AFLG	QIF	84
		VRMS	AFVR	QIF	72.22
		ILOK	ILAF	QIF	60
	ILOK	VRMS	ILVR	QIF	88.89
161	CG54	AGMA	CGAM	QIF	81.82
		TZIA	CGTZ	QIF	75
		AFIA	CGAF	QIF	36.84
		RASK	CGRA	QIF	66.67
		PLPT	CGPL	QIF	61.54
		AIOL	CGAI	QIF	89.47
		AGFA	CGAA	QIF	77.78
	RASK	TZIA	RATZ	QIF	77.78
	PLPT	TZIA	PLTZ	QIF	75
	AFIA	AIOL	AFAI	QIF	75
162	CG54	KRPI	CGKP	QIF	83.33

Πίνακας VI-3: Σχηματιζόμενες βάσεις, στρατηγική επίλυσης και το ποσοστό επίλυσης ασαφειών, ανά ημέρα για την εποχή 1999.44.

ΤΕΛΙΚΑ ΠΟΣΟΣΤΑ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΑΣΑΦΕΙΩΝ, **ΕΠΟΧΗ 1999.77**					
Ημέρα Μετρήσεων	Σταθμός	Σημεία	Βάσεις	Μέθοδος Επίλυσης	Ποσοστό Επιτυχίας Επίλυσης (%)
278	DION G	CG53	DIC5	QIF	45
		KRKR	DIKR	QIF	27.27
		CG58	DIC8	QIF	78.57
		CG57	DIC7	QIF	56.25
		CG49	DIC4	QIF	73.33
	CG58	CG53	C5C8	QIF	85.71
	CG49	CG57	C7C4	QIF	78.57
279	DION G	KRKR	DIKR	QIF	62.5
	KRKR	CG50	KRC0	QIF	67.74
		CG49	KRC4	QIF	77.42
	CG50	KRKR	C0KR	QIF	70.97
	CG49	CG50	C0C4	QIF	81.48
280	DION G	AGMA	DIAM	QIF	77.78
		KRPI	DIKP	QIF	82.35
		CG58	DIC8	QIF	76.92
		CG57	DIC7	QIF	76.47
		CG47	DIG4	QIF	88.24
281	DION G	CG50	DIC0	QIF	87.5
		KRPI	DIKP	QIF	100
		CG47	DIG4	QIF	87.5

Πίνακας VI-4: Σχηματιζόμενες βάσεις, στρατηγική επίλυσης και το ποσοστό επίλυσης ασαφειών, ανά ημέρα για την εποχή 1999.77.

ΕΠΙΛΥΣΗ ΑΣΑΦΕΙΩΝ ΦΑΣΗΣ, **ΕΠΟΧΗ 2000.53**					
Ημέρα Μετρήσεων	Σταθμός	Σημεία	Βάσεις	Μέθοδος Επίλυσης	Ποσοστό Επιτυχίας Επίλυσης (%)
189	CG54	OBSR	C5OB	QIF	72.97
	OBSR	CG44	OBCG	QIF	20
		CG62	OBC6	QIF	68.18
		CJ00	OBCJ	QIF	85.71
		CK00	OBCK	QIF	68.42
		MLDR	OBML	QIF	71.43
	CG44	OBSR	CGOB	QIF	100
	CG62	CJ00	CJC6	QIF	75
	CK00	CG54	CKC5	QIF	75
190	CG54	ILOK	C5IL	QIF	87.5
		GILS	C5GI	QIF	90.91
	ILOK	DDYM	ILDD	QIF	90
		KOIL	ILKL	QIF	87.5
		PHEL	ILPH	QIF	88.89
		VRMS	ILVR	QIF	91.67
	GILS	DMNA	GIDM	QIF	100
		CG65	GI65	QIF	91.67
		CG64	GIG4	QIF	90.91
		CG63	GIG3	QIF	84.62
		AGNI	GIAN	QIF	87.5
191	CG54	METH	C5ME	QIF	76.19
		KIVE	C5KI	QIF	90
		TR00	C5TR	QIF	72.73
		OREI	C5OR	QIF	50
		KOSM	C5KO	QIF	81.25
		PIGA	C5PI	QIF	78.57
	OREI	CG54	C5OR	QIF	70
193	CG54	METH	C5ME	QIF	80.77

Πίνακας VI-5: Σχηματιζόμενες βάσεις, στρατηγική επίλυσης και το ποσοστό επίλυσης ασαφειών, ανά ημέρα για την εποχή 2000.53.

ΕΠΙΛΥΣΗ ΑΣΑΦΕΙΩΝ ΦΑΣΗΣ, **ΕΠΟΧΗ 2000.53**					
Ημέρα Μετρήσεων	Σταθμός	Σημεία	Βάσεις	Μέθοδος Επίλυσης	Ποσοστό Επιτυχίας Επίλυσης (%)
194	CG54	CG47	C5C4	QIF	76.47
		CG48	C5C8	QIF	92.31
		CG49	C5C9	QIF	88.89
		CG50	C5C0	QIF	73.33
195	CG54	AFIA	C5AF	QIF	35.48
		AGMA	C5AG	QIF	68.75
		CG53	C5C3	QIF	61.54
		LGRN	C5LG	QIF	81.82
		LTSA	C5LT	QIF	72.73
		RASK	C5RA	QIF	87.5
	CG53	CG54	C3C5	QIF	84.62
	AFIA	RASK	RAAF	QIF	76.92
	AGMA	LGRN	AGLG	QIF	100
196	CG54	AGFA	C5AA	QIF	90
		AIOL	C5AI	QIF	66.67
		CG52	C5C2	QIF	70
		CG55	C5G5	QIF	80
		CG56	C5G6	QIF	66.67
		CG58	C5G8	QIF	77.78
		CG66	C566	QIF	81.82
		KRKR	C5KR	QIF	66.67
		KRPI	C5KP	QIF	84.62
		PLPT	C5PL	QIF	88.89
		TZIA	C5TZ	QIF	84.62
	AIOL	CG52	AIC2	QIF	88.89
	CG56	CG52	C2G6	QIF	80
	KRKR	AGFA	AAKR	QIF	80

Πίνακας VI-6: Σχηματιζόμενες βάσεις, στρατηγική επίλυσης και το ποσοστό επίλυσης ασαφειών, ανά ημέρα για την εποχή 2000.53.

Βιβλιογραφία

Διαδικτυακά Άρθρα

D. Delikaraoglou, H. Billiris, D. Paradissis, P.C. England, B. Parsons, P.J. Clarke. (n.d.). Geodetic Measurementsin the Aegean Sea Region for the detection of Crustal Deformation.

Papanikolaou D., Chronis G., Metaxas C. (1994). *Neotectonic structure of the Argolic Gulf.* Athens: National and Kapodistrian University .

Δρακάτος, Γ. (2002). *Μικροσεισμική Μελέτη και Μελέτη του Σαρωνικού Κόλπου.* Αθήνα: Οργανισμός Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας.

Λυμπέρης Ε., Φερεντίνος Γ., Παπαθεοδώρου Γ., Χασιώτης Θ. (1998). *Υποθαλάσσια ρήγματα στην ενεργή τεκτονική τάφρο του Κορινθιακού κόλπου. Τέσσερα τυπικά παραδείγματα σύγχρονου τεκτονικού ελέγχου της μορφολογίας και των διεργασιών ιζηματογένεσης κάτω από τη στάθμη τη θάλασσας.* Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης: Ελληνική Γεωλογική Εταιρία.

Παπανικολάου Δ., Χρόνης Γ., Λυκούσης Β., Σακελλαρίου Δ., Παπούλια Ι. (1997). *Νεοτεκτονική Δομή του Δ. Κορινθιακό Κόλπο και Γεωδυναμικά Φαινόμενα του Σεισμού του Αίγιου.* Αθήνα: Εθνικό Κέντρο Θαλάσσιων Ερευνών (ΕΚΘΕ), σελ. 415 - 418.

Παραδεισοπούλου, Π. (2009). *Συμβολή στη μελέτη της σεισμικότητας του Ελληνικού χώρου σε σύνδεση με τις μεταβολές του πεδίου των τάσεων.* Θεσσαλονίκη: Διδακτορική διατριβή στο τμήμα Γεωλογίας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.

Χρόνης Δ., Παπανικολάου Γ. (1989). *Διερεύνηση των Ενεργών Ρηγμάτων στους Υποθαλάσσιους Χώρους των Κόλπων Σαρωνικού, Ν. Ευβοϊκού, Μεσσηνιακού.* Αθήνα: Οργανισμός Αντισεισμικού Εξοπλισμού και Προστασίας.

Ελληνική Βιβλιογραφία

Α.Μ. Αγατζά - Μπαλοδήμου. (2009). *Θεωρία Σφαλμάτων και Συνορθώσεις ΙΙ .* Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

Αλατζά Σταυρούλα. (2013). *Γεωδαιτικός Προσδιορισμός Τεκτονικών Μετατοπίσεων στην Χαλκιδική.* Αθήνα: Διπλωματική Εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

Αναστασίου Δ. (2009). *Μελέτη Τεκτονικών Μετατοπίσεων στο Ιόνιο με ανάλυση χρονοσειρών GPS.* Αθήνα: Διπλωματική Εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

Βέης Γ., Μπιλλήρης Χ., Παπαζήση Κ. (2009). *Κεφάλαια Ανώτερης Γεωδαισίας.* Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

Μαρίνου Α. (2014). *Μελέτη Παραμορφώσεων σε περιοχή της Κεντρικής Ελλάδας από μετρήσεις GPS εικοσαετίας.* Αθήνα: Διδακτορική διατριβή, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

Παπανικολάου Δ., Χρόνης Γ., Λυκούσης Β., Σακελλαρίου Δ., Παπούλια Ι. (1997). *Νεοτεκτονική Δομή του Δ. Κορινθιακό Κόλπο και Γεωδυναμικά Φαινόμενα του Σεισμού του Αίγιου.* Αθήνα: Εθνικό Κέντρο Θαλάσσιων Ερευνών (ΕΚΘΕ), σελ. 415 - 418.

Παραδείσης Δ. (2000). *Σημειώσεις Δορυφορικής Γεωδαισίας.* Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

Φωτίου Α., Πικριδάς Χ. (2006). *GPS και Γεωδαιτικές Εφαρμογές.* Θεσσαλονίκη: Ζήτη.

Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία

Rolf Dach, Urs Hugentobler, Peter Walser. (2009). *Bernese GPS Software Version 5.0, Tutorial Processing Example Introductory Course Terminal Session.* Astronomical Institute, University of Bern.

Rolf Dach, Urs Hugentobler, Pierre Fridez, Michael Meindl. (2007). *Bernese GPS Software Version 5.0.* Astronomical Institute, University of Bern.

Ιστότοποι

- University of Athens, Faculty of Geology, Department of Geophysics & Geothermics: Slip Model of 7 September 1999, Athens earthquake - http://www.geophysics.geol.uoa.gr/
- Οργανισμός Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας - Υπουργείο Υποδομών, Μεταφορών & Δικτύων: Σεισμοί και Ελλαδικός Χώρος - http://www.oasp.gr/
- Tropospheric Delay and GNSS Signals -Royal Observatory of Belgium, GNSS Research Group - http://www.gnss.be/
- EUREF Permanent Network - http://www.epncb.oma.be/
- Υπηρεσία IGS - http://igs.org/
- International Terrestrial Reference Frame (ITRF) - http://itrf.ensg.ign.fr/
- National Geodetic Survey, National Oceanic and Atmospheric Administration, Antenna Calibrations - http://www.ngs.noaa.gov/
- Λογισμικό "teqc", http://www.unavco.org/
- Scripps Orbit and Permanent Array Center (SOPAC) - http://sopac.ucsd.edu/
- Αρχεία πόλου και τροχιών - http://igscb.jpl.nasa.gov/igscb/gps/
- Γεωδυναμικό Ινστιτούτο, Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών - http://www.gein.noa.gr/
- BEYOND project, The 1999 Athens Earthquake - http://ocean.space.noa.gr/BEYONDsite/
- Τα ρήγματα της Αθήνας - http://www.seismoi.gr/
- Σαρωνικός Κόλπος - http://el.wikipedia.org/wiki/
- Ηφαίστειο Μεθάνων - http://www.methana.com/2849.html?&L=6
- Τα Μέθανα κι οι «χρυσοί» κρατήρες του υποθαλάσσιου ηφαιστειακού τόξου, 26/09/2013 - http://www.porosnews.gr/
- Άρθρο σε διαδικτυακή εφημερίδα: Ο «χάρτης» των 16 ενεργών ρηγμάτων που απειλούν όλη την Ελλάδα, 10/02/2014 - http://press-time.gr/
- Άρθρο σε διαδικτυακή εφημερίδα: τα Ρίχτερ που μας άλλαξαν, Κιούση Γ., Νοδάρου Μ., 05/09/2009 - http://www.enet.gr/