

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ - ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

NATIONAL AND TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS

School of Rural, Surveying and Geoinformatics Engineering



Διπλωματική Εργασία

ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ GNSS ΣΤΗ ΝΗΣΟ ΣΑΜΟ

ΜΕ ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ GAMIT/GLOBK

ΚΑΙ ΜΕ ΤΕΧΝΙΚΕΣ PPP

ΘΕΟΧΑΡΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ

Επιβλέπουσα

Καθηγήτρια Τσακίρη Μαρία

ΑΘΗΝΑ, ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2022

Ευχαριστίες

Η προσπάθεια εκπόνησης της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας ξεκίνησε το Φεβρουάριο του 2021, με σκοπό την ανίχνευση ύπαρξης ή μη οριζόντιων και κατακόρυφων μετακινήσεων στη νήσο Σάμο με αφορμή το μεγάλο σεισμό που συνέβη στις 30 Οκτωβρίου του 2020.

Στο σημείο αυτό, θα ήθελα να ευχαριστήσω τη Καθηγήτρια κ. Μαρία Τσακίρη για την ανάθεση και επίβλεψη της εργασίας, τη συμβολή και την υποστήριξη που παρείχε σε όποιο πρόβλημα προέκυψε μέχρι την ολοκλήρωση της. Θερμές ευχαριστίες θα ήθελα να δώσω στο κ. Παρασκευά Μελισσηνό Αξιωματικό της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού για τις συμβουλές που μου έδωσε και την υποστήριξη σε όποια απορία είχα. Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω το κ. Ευάγγελο Ζαχαρή για το χρόνο που διέθεσε για να με βοηθήσει να εξοικειωθώ με τα λογισμικά επεξεργασίας.

Περίληψη

Η Ελλάδα θεωρείται ως μια από τις πιο σεισμογενείς χώρες του πλανήτη και η πιο σεισμογενής στην Ευρώπη. Μεγάλο ενδιαφέρον αποτελεί η περιοχή του Βορειοανατολικού Αιγαίου στην οποία αν και δε προκαλούνται συχνά σεισμικά φαινόμενα, όταν όμως αυτά συμβούν είναι μεγάλης έντασης. Τέτοιας μορφής ήταν ο σεισμός που συνέβη στις 30 Οκτωβρίου του 2020 έντασης 6.7 βαθμών της κλίμακας ρίχτερ πολύ κοντά σε θαλάσσιο ρήγμα βόρεια της Σάμου προκαλώντας ανθρώπινες απώλειες και ζημιές τόσο στο νησί της Σάμου αλλά και στη πόλη της Σμύρνης. Ο προηγούμενος σεισμός μεγάλης έντασης 6.9 ρίχτερ συνέβη το 1955 στην ίδια περιοχή.

Η παρούσα διπλωματική εργασία αναφέρεται στη χρήση μετρήσεων GNSS για την εκτίμηση οριζόντιων και κατακόρυφων μετακινήσεων στη περιοχή της Νήσου Σάμου. Για το σκοπό αυτό μετρήθηκε ένα τοπικό δίκτυο σταθμών στην Σάμο (Ιούνιος 2021) και οι συντεταγμένες των σταθμών του συγκρίθηκαν με τις αντίστοιχες τιμές μετρήσεων της ΓΥΣ (Αύγουστος 2020). Για την επίλυση του μετρημένου δικτύου χρησιμοποιήθηκε το επιστημονικό λογισμικό GAMIT/GLOBK. Κατά τη διαδικασία της επίλυσης χρησιμοποιήθηκε δίκτυο που αποτελείται από συνολικά 25 σταθμούς GNSS. Συγκεκριμένα, αφορά μόνιμους σταθμούς δικτύου παρακολούθησης μετακινήσεων συνεχούς καταγραφής δεδομένων ανά την Ευρώπη και τον Ελλαδικό χώρο μαζί με αυτούς στους οποίους πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις στη Νήσο Σάμο όπου οι τελευταίοι απαρτίζουν το τοπικό δίκτυο (μετρήσεις του 2021).

Με τη χρήση του GAMIT/GLOBK αρχικά έγινε επεξεργασία των βάσεων, αξιολόγηση της ποιότητας των λύσεων που προκύπτουν και κατόπιν αυτού εφαρμογή του φίλτρου Kalman σε αυτό για την επιβολή του πλαισίου αναφοράς του δικτύου με εκτίμηση των συντεταγμένων των σταθμών και των σφαλμάτων τους σε Παγκόσμιο Σύστημα Αναφοράς (ITRF14). Η επίλυση έγινε με ακρίβεια 9 mm κατά X, 6 mm κατά Y και 8 mm κατά Z.

Επιπλέον πραγματοποιήθηκε επίλυση με χρήση τεχνικών Ακριβή Απόλυτου Εντοπισμού Θέσης (PPP) των δεδομένων των σταθμών του τοπικού δικτύου, με σκοπό τον προσδιορισμό των συντεταγμένων τους σε Παγκόσμιο Σύστημα Αναφοράς (ITRF) καθώς και των σφαλμάτων τους. Η επίλυση έγινε με ακρίβεια 2 cm κατά X, 1 cm κατά Y και 1.5 cm κατά Z.

Τέλος, με κάθε ένα από τους παραπάνω τρόπους επίλυσης προσδιορίστηκε το διάνυσμα μετατόπισης μεταξύ των ετών 2020 (προ σεισμού) και 2021 (μετά σεισμού) σε τοπικό σύστημα αναφοράς για δύο από τα συνολικά τέσσερα σημεία που μετρήθηκαν το οποίο έχει μέτρο 0.09 m και διεύθυνση νοτιο-ανατολική όσον αφορά το σημείο της ανατολικής Σάμου και 0.395 m και διεύθυνση νοτιοδυτική για το σημείο της Δυτικής Σάμου.

Abstract

Greece is considered one of the most seismic countries in the world and the most seismic in Europe. Of great interest is the area of the Northeast Aegean in which, although seismic phenomena do not occur often, when these happen are of great intensity. Such was the earthquake of October 30th, 2020 with a magnitude of 6.7 on the Richter scale very close to a sea fault north of Samos causing human losses and damage both on the island of Samos and in the city of Smyrna. The previous great magnitude earthquake of 6.9 on the Richter scale occurred in 1955 in the same area.

This diploma thesis aims to use GNSS measurements for the estimation of horizontal and vertical movements in Samos due to tectonic movements. For this purpose, a local network of stations was measured (June 2021) and the coordinates were compared with the corresponding values of previous measurements conducted by GYS (August 2020). The scientific software network GAMIT / GLOBK was used for the processing of all data. A network consisting of a total of 25 GNSS stations was used which comprised data from permanent stations throughout Europe and Greece, together with those locally measured in Samos at 2021.

The processing with GAMIT / GLOBK involves initially baseline processing, then evaluation of the quality of the resulting solutions, and finally use of a Kalman filter to enforce the network reference framework by estimating the coordinates of the stations and their errors in ITRF. The coordinates estimation provided results with an accuracy for X axis by 9 mm, for Y by 6 mm and Z by 8 mm.

In addition, the data from the local network stations were processed using PPP techniques, in order to determine their coordinates in a Global Reference System (ITRF) as well as their errors. The coordinates estimation provided results with an accuracy for X by 2 cm, for Y by 1 cm and Z by 1.5 cm.

Finally, with each of the above solutions, the displacement vector between the years 2020 (before the earthquake) and 2021 (after the earthquake) was determined, for two out of four stations that measurements were conducted, 9 cm vector magnitude and a south-east direction for the station placed in the eastern part of Samos and 39.5 cm vector magnitude and a south-west direction for the station placed in the west part of Samos.

Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1 Εισαγωγή.....	15
1.1 Γενικά.....	15
1.2 Σκοπός και στόχοι διπλωματικής εργασίας.....	15
1.3 Δομή Διπλωματικής Εργασίας.....	16
Κεφάλαιο 2 Γεωμορφολογία Περιοχής Μελέτης.....	17
2.1 Εισαγωγή.....	17
2.2 Γεωλογία της Ελλάδας.....	17
2.2.1 Σεισμικότητα του Αιγαίου.....	18
2.2.2 Σεισμικότητα της νήσου Σάμου.....	20
Κεφάλαιο 3 Χρήση GNSS στη παρακολούθηση της Τεκτονικότητας.....	24
3.1 Εισαγωγή.....	24
3.2 Γενικά.....	24
3.3 Περιγραφή GNSS.....	24
3.4 Μέθοδοι Παρατήρησης για τεκτονικές εφαρμογές.....	25
3.5 Δίκτυα Μόνιμων Σταθμών GPS Παρακολούθησης Μικρομετακινήσεων.....	27
3.5.1 Γενικά.....	27
3.5.2 Δίκτυο IGB14(IGS).....	27
3.5.3 Δίκτυο EUREF.....	28
3.5.4 Δίκτυο NOANET.....	30
3.5.5 Το Διεθνές Γήινο Πλαίσιο Αναφοράς ITRF 14.....	32
3.6 Παρακολούθηση μετακινήσεων με GNSS.....	33
3.6.1 Παραδείγματα Χρήσης GNSS.....	34
Κεφάλαιο 4 Υλοποίηση Μετρήσεων Πεδίου.....	37
4.1 Εισαγωγή.....	37
4.2 Περιοχή μελέτης.....	37
4.2.1 Αναγνώριση Περιοχής.....	39
4.2.2 Απαιτούμενος Εξοπλισμός.....	40
4.2.3 Τεχνικά Χαρακτηριστικά Δεκτών περιόδου Αυγούστου 2020.....	40
4.2.4 Τεχνικά Χαρακτηριστικά Δεκτών περιόδου Ιουνίου 2021.....	41
4.3 Καταγραφή Δεδομένων.....	45
Κεφάλαιο 5 Επίλυση με Χρήση PPP.....	48
5.1 Εισαγωγή.....	48
5.2 Γενικά.....	48
5.3 Υπηρεσία CSRS-PPP Canadian Spatial Reference System.....	49
5.3.1 Εισαγωγή.....	49

5.3.2 Πρόσβαση στην υπηρεσία CSRS-PPP	50
5.3.2.1 Διαδικασία υποβολής δεδομένων από χρήστη	50
5.3.2.2 Αποδεκτοί Τύποι Δεδομένων & Συμπίεσης Αρχείων	51
5.3.2.3 Αποστολή Αποτελεσμάτων	52
5.4 Υπηρεσία AUSPOS.....	53
5.4.1 Εισαγωγή.....	53
5.4.2 Χαρακτηριστικά και Λειτουργίες της AUSPOS	53
5.4.3 Διαδικασία Υποβολής Δεδομένων από το Χρήστη.....	54
5.4.4 Αποδεκτοί Τύποι Δεδομένων και Συμπίεσης Αρχείων	55
5.4.5 Παρουσίαση Αποτελεσμάτων	56
5.5 Αποτελέσματα PPP	57
5.5.1 Επίλυση και Παρουσίαση Δεδομένων με τη χρήση της υπηρεσίας CSRS-PPP	58
5.5.2 Επίλυση και Παρουσίαση Δεδομένων με τη χρήση της υπηρεσίας AUSPOS.....	62
5.6 Συγκρίσεις Αποτελεσμάτων	64
Κεφάλαιο 6 Λογισμικά που χρησιμοποιήθηκαν για την επεξεργασία των δεδομένων GNSS	66
6.1 Εισαγωγή.....	66
6.2 Χρήση Λογισμικού TEQC	66
6.2.1 Δημιουργία αρχείων RINEX.....	66
6.2.2 Ποιοτικός Έλεγχος αρχείων	68
6.2.3 Έλεγχος Rinex Format	71
6.3 Δημιουργία αρχείων τροχιάς (Navigation Files).....	72
6.4 Επιστημονικό Λογισμικό GAMIT/GLOBK.....	73
6.4.1 Γενικά.....	73
6.4.2 Σύστημα Αναφοράς Αποτελεσμάτων.....	75
6.4.3 Δημιουργία Περιβάλλοντος Επεξεργασίας στο GAMIT.....	77
6.4.3.1 Τροποποίηση αρχείων	78
6.4.3.2 Επίλυση	83
6.4.3.3 Αξιολόγηση της Ποιότητας Επίλυσης sh_gamit	84
6.4.4 Δημιουργία Περιβάλλοντος Επεξεργασίας στο GLOBK.....	89
6.4.4.1 Τροποποίηση αρχείων εισόδου & εντολών.....	89
6.4.4.2 Εφαρμογή φίλτρου Kalman.....	93
6.4.4.3 Παρουσίαση αποτελεσμάτων εφαρμογής φίλτρου Kalman	94
6.4.5 Συγκρίσεις αποτελεσμάτων	98
Κεφάλαιο 7 Συμπεράσματα - Προτάσεις	101
7.1 Συλλογή των δεδομένων	101

7.2 Επεξεργασία με το λογισμικό GAMIT/GLOBK.....	101
7.3 Επεξεργασία με τεχνικές PPP.....	102
7.4 Προτάσεις.....	102
Βιβλιογραφία.....	103

Ευρετήριο Εικόνων

Εικόνα 2.1 Γεωλογική Κατανομή Ελλάδας (Πηγή:Αναστασίου,2009).....	17
Εικόνα 2.2 Τύποι ρηγμάτων(Πηγή:Καλδερών,2015).....	19
Εικόνα 2.3 Χάρτης της Ανατολικής Μεσογείου που δείχνει την ενεργό γεωδυναμική κατάσταση, τις κινήσεις των μικροπλακών στην περιοχή και την διαμόρφωση του Ελληνικού-Αιγαίου Τόξου (Πηγή:Παπαζάχος,2001).....	19
Εικόνα 2.4 Πλάκα Αιγαίου (Πηγή:Wikipedia).....	20
Εικόνα 2.5 Σεισμικές δονήσεις στην ευρύτερη περιοχή(Πηγή:Μακρόπουλος,2012).....	21
Εικόνα 2.6 Χαρτογράφηση θαλάσσιας περιοχής Βόρεια της Σάμου (Πηγή: samosvoice.gr,Φεβρουάριος 2021).....	22
Εικόνα 2.7 Ρήγματα στη Νήσο Σάμο(Πηγή:ethnos.gr, Νοέμβριος 2020).....	23
Εικόνα 3.1 Στάδια επεξεργασίας InSAR (Πηγή: Matthew Garthwaite,2015).....	26
Εικόνα 3.2 IGS14 Network (Διακρίνονται και σταθμοί της IGS08 που τέθηκαν εκτός λειτουργίας),Πηγή: Paul Rebischung & Ralf Schmid, 2017).....	28
Εικόνα 3.3 Δίκτυο σταθμών EUREF (Πηγή: link.springer.com,2019).....	29
Εικόνα 3.4 Κατανομή σταθμών δικτύου NOANET(Πηγή:geodesy.gein.noa.gr).....	31
Εικόνα 3.5 Κατανομή σταθμών που βασίζονται στο ITRF14(Πηγή:Wikipedia).....	33
Εικόνα 3.6 Χάρτης απεικόνισης μετατοπίσεων λόγω σεισμού (Πηγή: Chousianitis & Konca,2021).....	36
Εικόνα 4.1 Χάρτης Μετρηθέντων Τριγωνομετρικών Σημείων Γ.Υ.Σ.....	37
Εικόνα 4.2 Τριγωνομετρικά σημεία στη Δυτική Σάμο.....	38
Εικόνα 4.3 Τριγωνομετρικά σημεία στη Ανατολική Σάμο.....	39
Εικόνα 4.4 Φωτεινές ενδείξεις JAVADTRIUMPH-1 σε κατάσταση πλήρους λειτουργίας του.....	42
Εικόνα 4.5 Διάταξη κεραίας για κάθε έτος.....	43
Εικόνα 4.6 Διάταξη κεραίας για κάθε έτος.....	44
Εικόνα 4.7 Διάταξη κεραίας για κάθε έτος.....	44
Εικόνα 4.8 Διάταξη κεραίας για κάθε έτος.....	45
Εικόνα 5.1 PPP Μέθοδος (Πηγή: www.everythingrf.com).....	49

Εικόνα 5.2	Πλατφόρμα Καναδικής Υπηρεσίας CSRS-PPP(Πηγή:www.nrcan.gc.ca).....	51
Εικόνα 5.3	Περιβάλλον Υπηρεσίας AUSPOS (1) (Πηγή: www.ga.gov.au).....	55
Εικόνα 5.4	Περιβάλλον Υπηρεσίας AUSPOS (2) (Πηγή: www.ga.gov.au).....	55
Εικόνα 5.5	Υπόλοιπα ψευδοαποστάσεων & φέρουσας φάσης για κάθε δορυφόρο στο σημείο «ΜΑΝΔΡΙΑ».....	59
Εικόνα 5.6	Υπόλοιπα ψευδοαποστάσεων & φέρουσας φάσης για κάθε δορυφόρο στο σημείο «ΠΡΟΦΗΤΗΣ ΗΛΙΑΣ».....	60
Εικόνα 5.7	Διάγραμμα αριθμού δορυφόρων και επανέναρξης επίλυσης ασαφειών φάσης για σημείο «ΜΑΝΔΡΙΑ».....	61
Εικόνα 5.8	Διάγραμμα αριθμού δορυφόρων και επανέναρξης επίλυσης ασαφειών φάσης για σημείο «ΠΡΟΦΗΤΗΣ ΗΛΙΑΣ».....	61
Σχέση 5.1	Τύπος μετατροπής από Γεωκεντρικό σε Τοποκεντρικό Σύστημα.....	62
Εικόνα 5.9	Σταθμοί της IGS(κόκκινο χρώμα),Σταθμοί ενδιαφέροντος (κίτρινο χρώμα).	62
Εικόνα 6.1	Απόσπασμα Αποτελέσματος Ποιοτικού Ελέγχου για το σημείο ARMK(Αρμακιάς)	69
Εικόνα 6.2	Απόσπασμα Αποτελέσματος Ποιοτικού Ελέγχου για το σημείο ARMK(Αρμακιάς).....	69
Εικόνα 6.3	Απόσπασμα Αποτελέσματος Ποιοτικού Ελέγχου για το σημείο ARMK (Αρμακιάς).....	70
Εικόνα 6.4	Απόσπασμα αρχείου.....	71
Εικόνα 6.5	Πίνακας εκδόσεων RINEX(Πηγή:Διπλωματική Ψύχας Δημήτριος,2015).....	71
Εικόνα 6.6	Πληκτρολόγηση λέξης cmd.....	72
Εικόνα 6.7	Αρχικό μενού IGS.....	73
Εικόνα 6.8	Διάγραμμα Δικτύου μελέτης.....	76
Εικόνα 6.9	Απόσπασμα αρχείου station.info.....	79
Εικόνα 6.10	Μετακινήσεις Τριγωνομετρικών Σημείων Νήσου Σάμου.....	100

Ευρετήριο Πινάκων

Πίνακας 4.1	Συντεταγμένες	τριγωνομετρικών	σημείων	Δυτικής Σάμου.....	38
Πίνακας 4.2	Συντεταγμένες	τριγωνομετρικών	σημείων	Ανατολικής Σάμου.....	39
Πίνακας 4.3	Αποστάσεις	για	τη	Δυτική Σάμο.....	40
Πίνακας 4.4	Αποστάσεις	για	τη	Ανατολική Σάμο.....	40
Πίνακας 4.5	Χρόνοι	καταγραφής	μετρήσεων	έτους 2020.....	46
Πίνακας 4.6	Ημερομηνίες	&	Χρόνοι	Μετρήσεων.....	46
Πίνακας 5.1	Γεωδαιτικές	Συντεταγμένες	σημείων	στο ITRF14.....	58
Πίνακας 5.2	Γεωκεντρικές	Συντεταγμένες	σημείων	ITRF14.....	58
Πίνακας 5.3	Τοποκεντρικές	Συντεταγμένες	σημείων	UTM(35) & Τυπικά Σφάλματα τους.....	58
Πίνακας 5.4	Πίνακας επιλύσεων	για «ARMK» και «SEVA»	μέσω CSRS-PPP.....		61
Πίνακας 5.5	Πίνακας	φ,λ	κάθε σημείου.....		62
Πίνακας 5.6	Γεωδαιτικές	Συντεταγμένες	σημείων	στο ITRF14.....	63
Πίνακας 5.7	Γεωκεντρικές	Συντεταγμένες	σημείων	ITRF14.....	63
Πίνακας 5.8	Τοποκεντρικές	Συντεταγμένες	σημείων	UTM(35) & Τυπικά Σφάλματα τους.....	63
Πίνακας 5.9	Αποτελέσματα	επιλύσεων	ARMK και SEVA	για κάθε έτος.....	64
Πίνακας 5.10	Γεωδαιτικές	Συντ/μένες		ITRF14.....	64

Πίνακας	5.11	Συγκεντρωτικά	αποτελέσματα	των	δύο		
υπηρεσιών.....							65
Πίνακας	5.12	Διαφορές	αποτελεσμάτων	των	δύο		
υπηρεσιών.....							65
Πίνακας	6.1	Επιλύσεις	sh_gamit	ημέρας	219,		
2020.....							85
Πίνακας	6.2	Επιλύσεις	sh_gamit	ημέρας	220	&	221,
2020.....							86
Πίνακας	6.3	Επιλύσεις	sh_gamit	ημέρας	172	&	173,
2021.....							88
Πίνακας	6.4 Αποτελέσματα αρχείου .org.....						95
Πίνακας	6.5		Αποτελέσματα				αρχείου
glorg.....							96
Πίνακας	6.6		Αποτελέσματα				αρχείου
.org.....							96
Πίνακας	6.7		Αποτελέσματα				αρχείου
.org.....							96
Πίνακας	6.8		Αποτελέσματα				αρχείου
glorg.....							97
Πίνακας	6.9		Αποτελέσματα				αρχείου
.org.....							97
Πίνακας	6.10		Αποτελέσματα				αρχείου
glorg.....							97
Πίνακας	6.11		Αποτελέσματα				αρχείου
.org.....							97
Πίνακας	6.12		Αποτελέσματα				αρχείου
.org.....							98
Πίνακας	6.13		Αποτελέσματα				αρχείου
.org.....							98
Πίνακας	6.14		Διαφορές				πρώτης
περίπτωσης.....							99
Πίνακας	6.15		Διαφορές				δεύτερης
περίπτωσης.....							99

Πίνακας	6.16	Πίνακας	Γεωδαιτικών	Συντ/μένων
ITRF14.....				99

Κεφάλαιο 1 Εισαγωγή

1.1 Γενικά

Οι μελέτες των μετακινήσεων τμημάτων του εδάφους δίνουν τη δυνατότητα παρακολούθησης της κινηματικής συμπεριφοράς περιοχών με στόχο την πρόληψη δυσμενών καταστάσεων. Αίτια τέτοιων μετακινήσεων αποτελούν φυσικές διεργασίες με συχνότερες τη σεισμική δραστηριότητα. Υπάρχουν πολλές διεθνείς προσπάθειες με σκοπό την συνεχή παρακολούθηση της εξέλιξης της δυναμικής και κινηματικής συμπεριφοράς της γης με το χρόνο, με σκοπό τη πρόβλεψη του φαινομένου. Η γεωδαισία με τον κλάδο της τεκτονικής γεωδαισίας ασχολείται με τις μετρήσεις και τη μεθοδολογία ώστε να εντοπίσει και προσδιορίσει το μέγεθος των μετακινήσεων εδάφους. Χρονικά, τέτοιες μεθοδολογίες στηρίζονται σε ανάλυση χρονοσειρών συνεχών παρατηρήσεων ή σε φάσεις περιοδικών μετρήσεων σε συγκεκριμένα σημεία ενδιαφέροντος, ώστε μέσα από τη σύγκριση να γίνει εκτίμηση και αξιολόγηση αποτελεσμάτων. Από τα βασικότερα πλέον συστήματα μέτρησης, τα Παγκόσμια Συστήματα Εντοπισμού Θέσης (GNSS) προσδιορίζουν τη θέση των σημείων με πολύ μεγάλη ακρίβεια και η δημιουργία χρονοσειρών θέσης μπορεί να δώσει σημαντική πληροφορία για την κινηματική συμπεριφορά των σημείων αυτών.

Ο Ελλαδικός χώρος διαχρονικά θεωρείται ιδιαίτερα σεισμογενής και συγκεκριμένα ένας από τους μεγαλύτερους σε ένταση σεισμός που προκλήθηκε σε αυτόν, τα τελευταία χρόνια ήταν στις 30 Οκτωβρίου του 2020 βόρεια της νήσου Σάμου, έντασης 6.7 βαθμών της κλίμακας Ρίχτερ σύμφωνα με το Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών. Ως αποτέλεσμα, προκλήθηκαν πέρα από τσουνάμι και μεγάλες μετακινήσεις εδάφους, κάτι το οποίο αποτελεί αντικείμενο μελέτης για τη παρούσα διπλωματική εργασία.

1.2 Σκοπός και στόχοι διπλωματικής εργασίας

Ο σκοπός της παρούσας εργασίας αποτελεί η πιθανή εκτίμηση μετακινήσεων εδάφους στη νήσο Σάμο μέσω μετρήσεων GNSS που πραγματοποιήθηκαν τον Ιούνιο του 2021 σε συγκεκριμένα σημεία στο δυτικό και ανατολικό τμήμα της και σύγκρισή τους με αντίστοιχες μετρήσεις οι οποίες είχαν πραγματοποιηθεί τον Αύγουστο του 2020 από τη Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού.

Οι επιμέρους στόχοι της εργασίας είναι

- Συλλογή δεδομένων GNSS σε 4 τριγωνομετρικά σημεία στη νήσο Σάμο
- Εκμάθηση του επιστημονικού λογισμικού GAMIT/GLOBK
- Επίλυση με το επιστημονικό πακέτο GAMIT/GLOBK
- Επίλυση με διαδικτυακές υπηρεσίες τεχνικών PPP, CSRS και AUSPOS
- Σύγκριση των συντεταγμένων των σταθμών με τις αντίστοιχες τιμές από μετρήσεις του 2020.

1.3 Δομή Διπλωματικής Εργασίας

Η εργασία αποτελείται συνολικά από 7 κεφάλαια.

Στο δεύτερο κεφάλαιο, γίνεται περιγραφή των χαρακτηριστικών και της γενικής δομής της γεωμορφολογίας του Ελλαδικού χώρου. Στη συνέχεια γίνεται αναφορά στο πόσο σεισμογενές είναι το Αιγαίο πέλαγος και σε ποια «κομμάτια» του, ενώ στο τέλος γίνεται ιστορική αναδρομή της σεισμικότητας που κατέχει η περιοχή της Σάμου λόγω μεγάλης έντασης σεισμών που έχουν προκληθεί εκεί, με αφορμή το πρόσφατο σεισμό.

Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στο βαθμό σημαντικότητας που κατέχουν οι μέθοδοι χρήσης GNSS για τη παρακολούθηση της τεκτονικότητας μέσω χαρακτηριστικών παραδειγμάτων ανά την ελληνική επικράτεια και τον κόσμο στηριζόμενες σε παγκόσμια δίκτυα μόνιμων σταθμών GNSS παρακολούθησης μικρομετακινήσεων.

Στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται περιγραφή της περιοχής ενδιαφέροντος, των σημείων που πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις και τα δύο έτη, στη συνέχεια γίνεται περιγραφή του εξοπλισμού που χρησιμοποιήθηκε τη κάθε μια χρονική περίοδο, των τεχνικών χαρακτηριστικών τους, όπως επίσης και το πότε πραγματοποιήθηκε η κάθε μια καμπάνια μετρήσεων και πόσο διήρκησε.

Στο πέμπτο κεφάλαιο γίνεται παρουσίαση της επεξεργασίας και ανάλυσης των μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν για κάθε χρονική περίοδο μέσω τεχνικών Ακριβή Απόλυτου Προσδιορισμού Θέσης (PPP) και συγκεκριμένα με τη χρήση δυο ιστοσελίδων PPP, της Καναδικής (CSRS-PPP) και της Αυστραλιανής (AUSPOS).

Στο έκτο κεφάλαιο γίνεται αναλυτική παρουσίαση της επεξεργασίας και ανάλυσης των μετρήσεων για κάθε χρονική περίοδο με την χρήση του λογισμικού GAMIT/GLOBK. Συγκεκριμένα περιγράφεται η διαδικασία που πρέπει να ακολουθήσει ένας χρήστης για την επεξεργασία παρατηρήσεων με το λογισμικό και γίνεται ανάλυση της ποιότητας των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από αυτό.

Στο έβδομο κεφάλαιο, παρουσιάζονται τα σχετικά συμπεράσματα από τις διαδικασίες επεξεργασίας των δεδομένων και αξιολόγησής τους, όπως επίσης και μια λίστα από προτάσεις δράσεων για τη παρακολούθηση του φαινομένου στη περιοχή.

Κεφάλαιο 2 Γεωμορφολογία Περιοχής Μελέτης

2.1 Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο αρχικά γίνεται περιγραφή της γεωμορφολογίας του Ελλαδικού χώρου. Στη συνέχεια γίνεται περιγραφή της σεισμικότητας του αιγαίου πελάγους και ειδικότερα για τη περιοχή της νήσου Σάμου, με αφορμή το πρόσφατο σεισμό στα τέλη του Οκτώβρη του 2020.

2.2 Γεωλογία της Ελλάδας

Η περιοχή της Ελλάδας βρίσκεται στα όρια σύγκλισης της Ευρασιατικής και της Αφρικανικής Πλάκας και αποτελεί τη πιο δραστήρια σεισμικά περιοχή της Ευρώπης.

Το γεωλογικό πλαίσιο της Ελλάδας χαρακτηρίζεται από τη πίεση των Ελληνίδων στη σταθερή ζώνη της Απουλίας, κάθετα στη διεύθυνση βορειοδυτικά-νοτιοανατολικά (Van Hisbergen et al., 2005).

Η σεισμικότητα της Ελλάδας χωρίζεται σε δύο ζώνες οι οποίες συναντιούνται στα Ιόνια νησιά. Η πρώτη ζώνη ακολουθεί τη δυτική και νότια παράκτια περιοχή (Αλβανία – δυτική Ελλάδα – Ιόνια νησιά – νότια της Πελοποννήσου – Κρήτη – Ρόδος) και η δεύτερη έχει βορειοανατολική και νοτιοδυτική διεύθυνση (βόρεια Ανατολία – βόρειο Αιγαίο – κεντρική Ελλάδα – Ιόνια νησιά).

Τα όρια της Ελληνικής πλάκας βρίσκονται στη ζώνη σύγκρουσης μεταξύ της Αφρικανικής/Αραβικής και της Ευρασιατικής λιθοσφαιρικής πλάκας, που χαρακτηρίζεται από ένα σύνθετο σύστημα κίνησης του φλοιού, παραμόρφωσης και υψηλής σεισμικής δραστηριότητας. Τα κύρια χαρακτηριστικά τεκτονικής προέλευσης στη περιοχή είναι η Ελληνική τάφρος, το Ηφαιστειακό Τόξο η λεκάνη του βορείου Αιγαίου, η λεκάνη του Νότιου Αιγαίου όπως φαίνεται και στην Εικόνα 2.1.



Εικόνα 2.1 Γεωλογική Κατανομή Ελλάδας (Πηγή:Αναστασίου,2009)

Η Ελληνική Τάφρος εκτείνεται από τη βόρεια Κεφαλονιά μέχρι τη νότια Ρόδο και είναι η περιοχή όπου η ευρασιατική συναντά την αφρικανική τεκτονική πλάκα. Σε αποστάσεις 3-10 km από την ακτή, το βάθος φτάνει ήδη τα 1.000 m, ενώ εκεί βρίσκεται και το βαθύτερο σημείο της Μεσογείου, το γνωστό Φρέαρ Οινουσσών στα ανοιχτά της Πύλου, όπου το βάθος ξεπερνά τα 5 km (Εφημερίδα Καθημερινή, Μάιος 2009).

Στον Ελλαδικό χώρο υπήρχε κατά το γεωλογικό παρελθόν ηφαιστειακή δράση μόνο κατά μήκος του Ελληνικού ηφαιστειακού τόξου. Δημιουργήθηκε εξαιτίας της σύγκλισης των δύο λιθοσφαιρικών πλακών στη περιοχή του Αιγαίου και αφορά κυρίως τα ηφαίστεια στο Σουσάκι, Μέθανα, Σαντορίνη, Μήλο, Νίσυρο.

Η λεκάνη Νοτίου Αιγαίου είναι μια θαλάσσια λεκάνη πάνω στην Ευρασιατική πλάκα και βόρεια της Κρήτης. Το μέγιστο βάθος που υπάρχει εκεί είναι στα 2000 m.

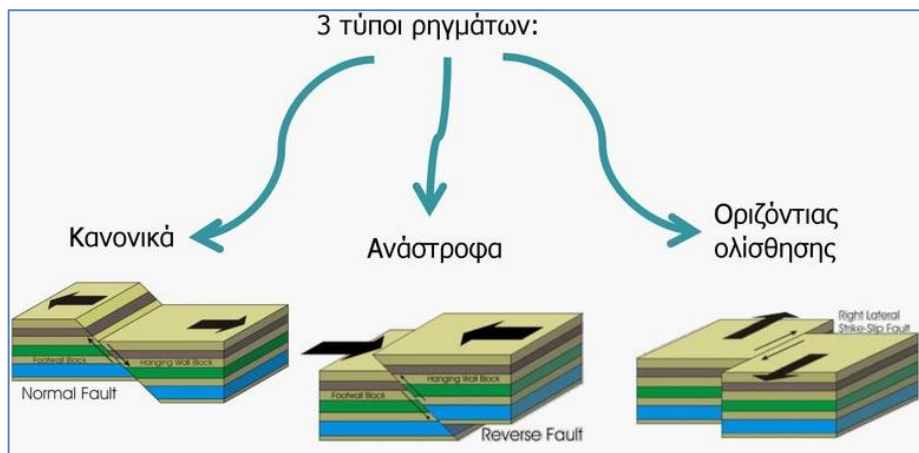
Η λεκάνη του βορείου Αιγαίου αποτελεί το πιο ενδιαφέρον τοπογραφικό χαρακτηριστικό τεκτονικής προέλευσης με μέγιστο βάθος θαλασσιού πυθμένα περίπου 1500 m και η τάφρος του φτάνει μέχρι τη θάλασσα του Μαρμαρά (Παπαζάχος και Παπαζάχου, 2003).

2.2.1 Σεισμικότητα του Αιγαίου

Οι περισσότεροι σεισμοί οφείλονται στις κινήσεις των λιθοσφαιρικών πλακών και κατά συνέπεια οι ζώνες έντονης σεισμικής δράσης ουσιαστικά ταυτίζονται με τις παρυφές των πλακών.

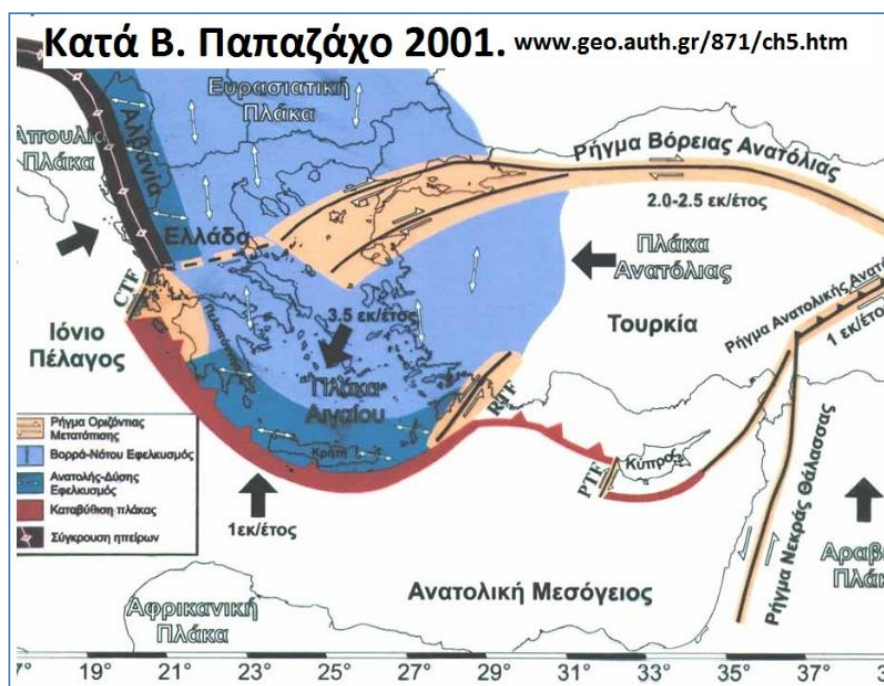
Ο ελληνικός χώρος κατατάσσεται **πρώτος στην Ευρώπη και έβδομος στον κόσμο σε σεισμικότητα** ο οποίος ποικίλει σε ρήγματα τόσο στον ηπειρωτικό όσο και στο θαλάσσιο χώρο του (Εφημερίδα Έθνος, 2 Οκτωβρίου 2021). Τα υποθαλάσσια ρήγματα δίνουν σχετικά μεγαλύτερους σε κλίμακα σεισμούς από αυτά του ηπειρωτικού χώρου ωστόσο συνήθως δεν προκαλούν μεγάλες καταστροφές εξαιτίας του μεγάλου εστιακού βάθους τους και της μεγάλης απόστασης τους από κατοικημένες περιοχές.

Το ρήγμα γενικότερα αποτελεί ένα «σπάσιμο» στο φλοιό της Γης κατά μήκος της οποίας μπορεί να αναγνωρισθεί κίνηση των εκατέρωθεν τεμαχίων. Υπάρχουν τρία είδη ρηγμάτων τα κανονικά(1), τα ανάστροφα(2) και (3) τα ρήγματα οριζόντιας μετατόπισης όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.2. Στα (1) και (2) το πέτρωμα μετακινείται προς τα πάνω ή προς τα κάτω κατά μήκος της διάρρηξης. Στο (3) τα τεμάχια των πετρωμάτων κατά μήκος του ρήγματος ολισθαίνουν το ένα προς το άλλο οριζόντια.



Εικόνα 2.2 Τύποι ρηγμάτων(Πηγή:Καλδερών,2015)

Κάποια από τα σημαντικότερα ρήγματα του ελλαδικού χώρου βρίσκονται στο **Βόρειο Αιγαίο**. Πρόκειται για τη **Τάφρο του Βορείου Αιγαίου**, η οποία αποτελεί και συνέχεια του ιδιαίτερα σεισμογενούς ρηγματος της **Βόρειας Ανατολίας**. Η Τάφρος του Βορείου Αιγαίου είναι υποθαλάσσια και εκτείνεται νότια της **Χαλκιδικής**, βόρεια των **Βορείων Σποράδων**, νότια της **Σαμοθράκης** και βόρεια της **Ύμβρου** και της **Λήμνου** όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.3.

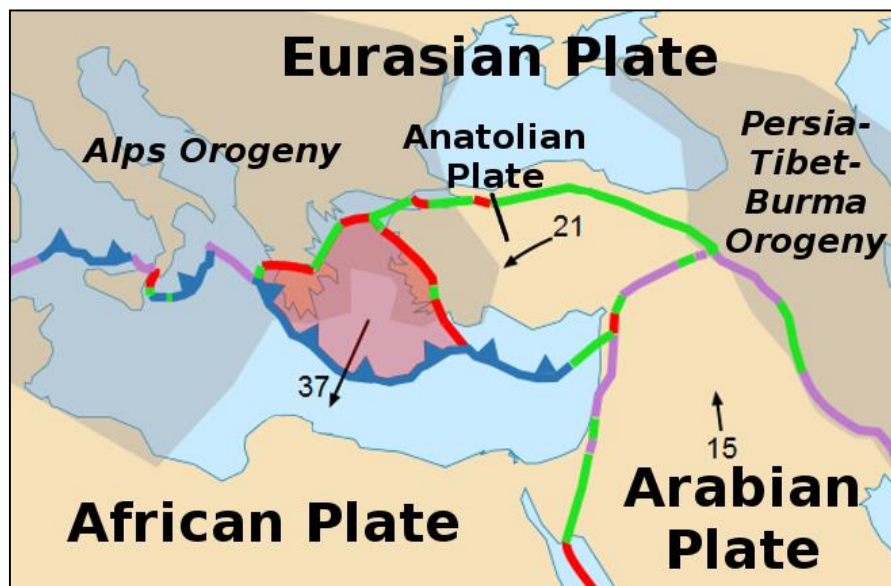


Εικόνα 2.3 Χάρτης της Ανατολικής Μεσογείου που δείχνει την ενεργό γεωδυναμική κατάσταση, τις κινήσεις των μικροπλακών στην περιοχή και την διαμόρφωση του Ελληνικού-Αιγαίου Τόξου (Πηγή:Παπαζάχος,2001)

Η πλάκα του Αιγαίου είναι μια μικρή τεκτονική πλάκα που βρίσκεται στην ανατολική Μεσόγειο Θάλασσα κάτω από τη νότια Ελλάδα και τη δυτική Τουρκία. Οριοθετείται στο βορρά από το αποκλίνων περιθώριο της Ευρασιατικής πλάκας (όπου σχηματίζεται ο Κορινθιακός κόλπος) και νότια της Κρήτης από τη

ζώνη υποβύθισης της Αφρικανικής πλάκας (η οποία βυθίζεται κάτω από την Αιγαιακή).

Τα νότια όρια της πλάκας του Αιγαίου αποτελούν και όρια επαφής και σύγκλισης της αφρικανικής με την ευρασιατική λιθосφαιρική πλάκα πάνω στα οποία βρίσκεται το λεγόμενο Ελληνικό τόξο, μια ιδιαίτερα σεισμογενής περιοχή στην οποία μπορεί να προκληθούν σεισμοί με μεγέθη τουλάχιστον 7.5 ρίχτερ (Εικόνα 2.4).



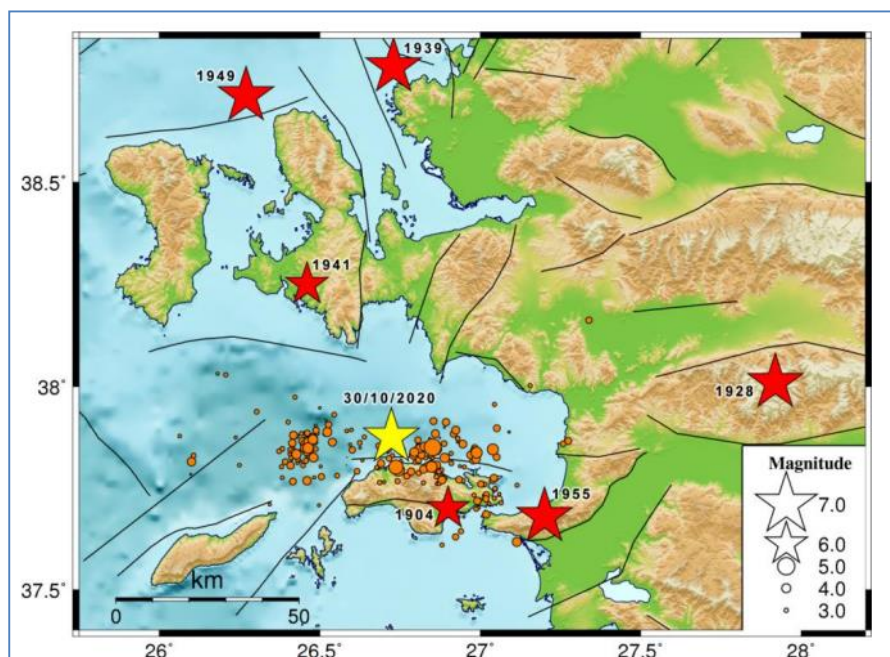
Εικόνα 2.4 Πλάκα Αιγαίου (Πηγή:Wikipedia)

2.2.2 Σεισμικότητα της νήσου Σάμου

Η Σάμος είναι ένα νησί του Βορειοανατολικού Αιγαίου το οποίο χαρακτηρίζεται από έντονη σεισμικότητα.

Κατά τη πάροδο του 19^{ου} αιώνα οι καταγεγραμμένες σεισμικές δονήσεις στην ευρύτερη περιοχή της Σάμου ήταν πολλαπλές και προξένησαν ανθρώπινες απώλειες και μεγάλες ζημιές, ενδεικτικά σημειώθηκαν στις ακόλουθες χρονολογίες οι σεισμοί 1831(6R),1868(6R),1873(6.6R),1874(6.3R) και άλλες δυο σεισμικές δονήσεις το 1846 και το 1877 έντασης που δε κατέστη δυνατή η καταγραφή τους ενώ, κατά τον 20^ο αιώνα είναι καταγεγραμμένοι δυο μεγάλοι σεισμοί κοντά στο νησί της Σάμου, κατά το έτος 1904 (6.8 R) και κατά το 1955 (6.9 R) (Εφημερίδα Πρώτο Θέμα, 1 Νοεμβρίου 2020).

Ο τελευταίος μεγάλος σεισμός που και προξένησε το ενδιαφέρον για τη διπλωματική εργασία είναι αυτός της 30 Οκτωβρίου 2020. Πρόκειται για σεισμό στα ανοιχτά του νησιού, μεταξύ Σμύρνης και Σάμου όπως φαίνεται και στην Εικόνα 2.5 (συντεταγμένες επικέντρου σύμφωνα με το Εργαστήριο Γεωφυσικής του ΑΠΘ, 37.914N, 26.804E, βάθος h=13km (<http://geophysics.geo.auth.gr/ss/>).



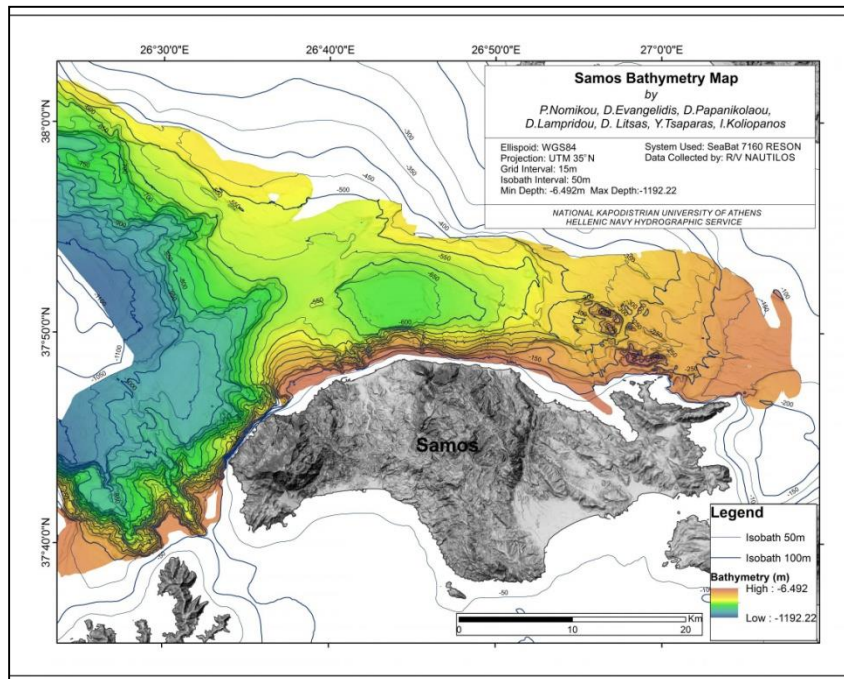
Εικόνα 2.5 Σεισμικές δονήσεις στην ευρύτερη περιοχή(Πηγή:Μακρόπουλος, 2012)

Ο σεισμός είχε ως αποτέλεσμα εκατόν δεκατέσσερις (114) άνθρωποι να χάσουν τη ζωή τους στα τουρκικά παράλια και άλλοι δύο στην Σάμο καθώς και μεγάλο αριθμό ζημιών σε κτήρια, υποδομές όπως δρόμοι και λιμάνια τόσο στη Σάμο όσο και στα τουρκικά παράλια.

Το επίκεντρο του ήταν 19 km βορείως του νησιού, στον κόλπο της Εφέσου, ενώ το μέγεθός του ήταν 6.7 βαθμών της κλίμακας Ρίχτερ σύμφωνα με το Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών (το USGS αναφέρει ότι το μέγεθος του σεισμού ήταν 7.0 και έγινε αισθητός σε πολλά μέρη της Ελλάδας και της δυτικής Τουρκίας)(Πηγή:Wikipedia).

Ο σεισμός έλαβε χώρα σε χαρτογραφημένο κανονικό ρήγμα με διεύθυνση ανατολή-δύση και κλίση περίπου 50 μοιρών, βόρεια της Σάμου, παρατηρήσεις πεδίου έδειξαν ανύψωση του νησιού της Σάμου κατά 20 cm(Lekkas et al.2020).Παρατηρήθηκε τσουνάμι το ύψος του οποίου ενδεχομένως να ξεπέρασε το 1.5 m, το οποίο εισχώρησε τουλάχιστον 50-100 m στην ξηρά, σε διάφορες θέσεις.

Ο θαλάσσιος χώρος βόρεια της Ικαρίας και Σάμου αποτελούσε μια αχαρτογράφητη περιοχή και αυτό προξένησε το ενδιαφέρον για χαρτογράφηση και σύνταξη βυθομετρικής μελέτης. Αυτή πραγματοποιήθηκε από το τμήμα Γεωλογίας ΕΚΠΑ και την Υδρογραφική Υπηρεσία Π.Ν, μετά το σεισμό της 30^{ης} Οκτωβρίου που προκλήθηκε από την ενεργοποίηση ενός υποθαλάσσιου ρήγματος βόρεια της Σάμου και το οποίο προκάλεσε τσουνάμι που έπληξε τις βόρειες ακτές του νησιού. Στην Εικόνα 2.6 απεικονίζεται σε χάρτη η χαρτογράφηση της θαλάσσιας περιοχής ενδιαφέροντος.



Εικόνα 2.6 Χαρτογράφηση θαλάσσιας περιοχής Βόρεια της Σάμου (Πηγή: samosvoice.gr ,Φεβρουάριος 2021)

Μακροπρόθεσμη πρόγνωση του Pavlidis et al(2020) για τη γεωλογία της Ανατολικής Μεσογείου έδινε πιθανότητα άνω του 80% για σεισμό μεγαλύτερο των 6.5 βαθμών της κλίμακας richter μέχρι το 2023.

Έχει γίνει καταγραφή των εξής ρηγμάτων (Εικόνα 2.7) με συγκεκριμένη δυναμικότητα του καθενός τα οποία και είναι. (Πηγή: ethnos.gr, Νοέμβριος 2020).

- Το ρήγμα του Πυθαγορείου το οποίο είναι το σημαντικότερο ρήγμα του νησιού με σεισμικό δυναμικό της τάξης του 6.6. Καθώς το Πυθαγόρειο είναι οικοδομημένο στο κάτω τέμαχος του ρήγματος και μέρος του επάνω στο ίχνος του, καθιστά το ρήγμα αυτό μία από τις σημαντικότερες σεισμικές πηγές για το νησί.
- Τα ρήγματα του Βαθέος και του Καρλοβασίου (σεισμικό δυναμικό 6.3 και 6.5 αντίστοιχα) διαμορφώνουν τις συγκεκριμένες ακτογραμμές του νησιού. Ωστόσο, η διεύθυνση κλίσης τους (προς τα ΒΑ και ΒΔ αντίστοιχα) μειώνουν σχετικά την επικινδυνότητά τους για το δομημένο περιβάλλον.
- Ένα σημαντικό υποθαλάσσιο ρήγμα στο χώρο βόρεια της Σάμου έχει σεισμικό δυναμικό της τάξης των 6.8 της κλίμακας ρίχτερ και αποτελεί μία πιθανή σεισμική πηγή που μπορεί να επηρεάσει την ευρύτερη περιοχή.



Εικόνα 2.7 Ρήγματα στη Νήσο Σάμο(Πηγή: ethnos.gr, Νοέμβριος 2020)

Αναφορικά με το πρόσφατο σεισμό έχουν δημοσιευτεί διάφορες επιστημονικές εργασίες, ενδεικτικά αυτές αναφέρονται παρακάτω:

- «The Samos Island (Aegean Sea) M 7.0 earthquake: analysis and engineering implications of strong motion data», επιστημονικών ομάδων από Ελλάδα και Τουρκία. (Πηγή: link.springer.com, Νοέμβριος 2021)
- «Seismological and Engineering Effects of the M 7.0 Samos Island (Aegean Sea) Earthquake», των Hellenic Association of Earthquake Engineering, Earthquake Engineering Association of Turkey, Earthquake Foundation of Turkey, Earthquake Engineering Research Institute (USA) (Πηγή: learningfromearthquakes.org, Δεκέμβριος 2020)
- «Preliminary report on the M w =6.9 Samos earthquake of 30 October 2020», από μέλη του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών (Πηγή: researchgate.net, Νοέμβριος 2020)

Κεφάλαιο 3 Χρήση GNSS στη παρακολούθηση της Τεκτονικότητας

3.1 Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο γίνεται μια συνοπτική περιγραφή του συστήματος GPS και αναφέρεται η συμβολή του σε εργασίες με αντικείμενο τη μελέτη και παρακολούθηση τεκτονικών φαινομένων στην Ελλάδα και στο εξωτερικό μέσω των δορυφορικών μετρήσεων που πραγματοποιούνται στηριζόμενες σε δίκτυα μόνιμων σταθμών GNSS παρακολούθησης μικρομετακινήσεων.

3.2 Γενικά

Οι επιφανειακές μετακινήσεις που εκδηλώνονται σε τμήματα του εδάφους και κατασκευές μπορούν να ανιχνευθούν, να προσδιοριστεί το μέγεθός τους και να παρακολουθηθεί η εξέλιξή τους, εφαρμόζοντας γεωδαιτικές μεθόδους. Για το σκοπό αυτό, στην ευρύτερη περιοχή μπορεί να ιδρυθεί ένα γεωδαιτικό δίκτυο ελέγχου και να πραγματοποιηθούν μετρήσεις, είτε με επίγειες είτε με δορυφορικές μεθόδους, ώστε να προσδιοριστούν οι διαφορές στις συντεταγμένες των κορυφών του σε διαδοχικές χρονικές στιγμές (φάσεις).

Στην ενότητα αυτή θα δοθεί συνοπτικά η βασική αρχή των συστημάτων GNSS και η χρήση τους σε εφαρμογές παρακολούθησης τεκτονικών μετακινήσεων.

3.3 Περιγραφή GNSS

Πρόκειται για δορυφορικά συστήματα τα οποία εξασφαλίζουν συνεχή, παγκόσμια και ανεξάρτητη από καιρικές συνθήκες πλοήγηση σε απεριόριστο αριθμό χρηστών.

Το NAVSTAR GPS(<http://www.gps.gov>) ή απλά GPS είναι ένα παγκόσμιο δορυφορικό σύστημα προσδιορισμού θέσης (δηλ. συντεταγμένες), χρόνου και ταχύτητας οπουδήποτε στην επιφάνεια της γης και στο κοντινό διάστημα σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή και ανεξάρτητα από καιρικές συνθήκες. Σχεδιάστηκε κατά τη δεκαετία του 1970, αναπτύχθηκε κατά το 1980 και έγινε πλήρως υπηρεσιακό από τα μέσα της δεκαετίας του 1990 ενώ βρίσκεται υπό τον έλεγχο του Υπουργείου Άμυνας των ΗΠΑ. Πρόκειται για ένα στρατιωτικό και ταυτόχρονα πολιτικό σύστημα με πρώτο στόχο τη κάλυψη των στρατιωτικών και πολιτικών αναγκών πλοήγησης. Η πολιτική χρήση του αφορά εφαρμογές όπως τοπογραφικές και γεωδαιτικές εφαρμογές υψηλής ακρίβειας, εφαρμογές GIS.

Ανήκει στη κατηγορία συστημάτων GNSS, των παγκόσμιων δορυφορικών συστημάτων πλοήγησης όπως είναι και το παρόμοιο Ρωσικό σύστημα GLONASS(<http://www.glonass-iac.ru>), καθώς και το καθαρά πολιτικό Ευρωπαϊκό Σύστημα GALILEO (<http://www.galileoignss.eu>).

Επιπλέον προβλέπεται και υλοποιείται τελευταία η συνεργασία μεταξύ των συστημάτων GNSS όχι μόνο των τριών προαναφερθέντων αλλά και άλλων όπως το Κινέζικο COMPASS(<http://www.en.beidou.gov.cn>), Ινδικό IRNSS(<http://www.isro.gov.in>) και συμπληρωματικά όπως το SBAS(http://www.gssc.esa.int/navipedia/index.php/SBAS_Fundamentals), το Ευρωπαϊκό EGNOS(<https://www.euspa.europa.eu/european-space/egnos/what-egnos>).

3.4 Μέθοδοι Παρατήρησης για τεκτονικές εφαρμογές

Τα τελευταία χρόνια δύο είναι οι επικρατούσες μέθοδοι παρατήρησης για τεκτονικές εφαρμογές, α) μέσω των Παγκόσμιων Δορυφορικών Συστημάτων Εντοπισμού Θέσης (GNSS), β) μέσω της μεθόδου InSAR με χρήση εργαλείων τηλεπισκόπησης σε δορυφορικές εικόνες.

Τα Παγκόσμια Δορυφορικά Συστήματα Εντοπισμού Θέσης (GNSS) χρησιμοποιούνται πλέον ευρέως για την ανίχνευση παραμορφώσεων.

Τα τελευταία χρόνια η ανάπτυξη της διαστημικής τεχνολογίας και των τεχνικών επεξεργασίας των μετρήσεων GPS έχει αυξήσει την ακρίβεια προσδιορισμού των συντεταγμένων ενός σημείου. Επίσης η ανάπτυξη δικτύων μόνιμων σταθμών GPS που καταγράφουν μετρήσεις σε εικοσιτετράωρη βάση έχει δώσει ώθηση στην ανάπτυξη της μελέτης των μακροχρόνιων τεκτονικών μετακινήσεων καθώς και στη προσπάθεια μελέτης των μικρομετακινήσεων λόγω σεισμών.

Συγκεντρωτικά, η παρακολούθηση των επιφανειακών παραμορφώσεων με χρήση των GNSS μπορεί να επιτευχθεί με δύο τρόπους.

Ο πρώτος και συνηθέστερος - μιας και το κόστος είναι σημαντικά μικρότερο - είναι η ίδρυση ενός δικτύου το οποίο θα μετράται περιοδικά με χρήση γεωδαιτικών δεκτών. Μέσα από τον περιοδικό προσδιορισμό των θέσεων των διαφόρων σημείων του εδάφους με ακρίβεια μερικών χιλιοστών και με σύγκριση με τα αποτελέσματα προηγούμενων μετρήσεων προκύπτει η μετακίνηση του κάθε σημείου που αξιολογείται ως προς τη σημαντικότητά της για επιλεγμένο επίπεδο εμπιστοσύνης.

Ο δεύτερος τρόπος αφορά την συνεχή παρακολούθηση των παραμορφώσεων μιας μεγάλης περιοχής μέσω της εγκατάστασης δικτύου μόνιμων σταθμών, δηλαδή δεκτών που τοποθετούνται σε συγκεκριμένα σημεία για μεγάλη χρονική περίοδο. Η τεχνική αυτή άρχισε να αναπτύσσεται τη δεκαετία του 1990 και σήμερα είναι ευρέως διαδεδομένη σε πολλές χώρες αν και ιδιαίτερα δαπανηρή αλλά πολύ μεγάλης ακρίβειας, σε κάθε περίπτωση επιδιώκεται η ακρίβεια μερικών χιλιοστών.

Επίσης η παρακολούθηση επιφανειακών παραμορφώσεων μπορεί να μελετηθεί μέσω της μεθόδου InSAR. Πρόκειται για μια τεχνική χαρτογράφησης παραμορφώσεων εδάφους μέσω της χρήσης δορυφορικών εικόνων. Η μελέτη των εικόνων δεν επηρεάζεται από κακές καιρικές συνθήκες που μπορεί να επικρατούν στη περιοχή

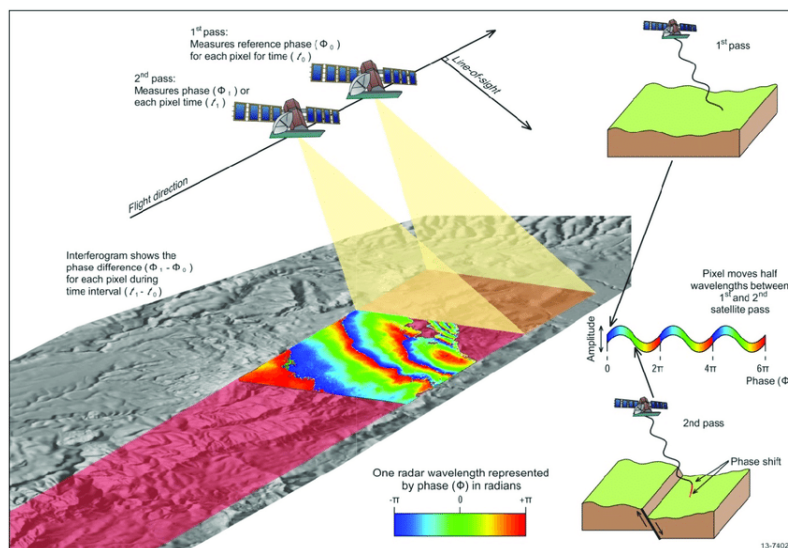
ενδιαφέροντος λόγω του ότι τα κύματα ραντάρ που αφορούν τη συγκεκριμένη μέθοδο διαπερνούν τα περισσότερα σύννεφα και είναι εξίσου αποτελεσματικά και στο σκοτάδι.

Η λήψη και σύγκριση δυο εικόνων για την ίδια περιοχή με αυτή τη μέθοδο, διαφορετικής χρονολογίας μπορεί να αποκαλύψει παραμορφώσεις της επιφάνειας του εδάφους μέσω του γεγονότος ότι οποιαδήποτε κίνηση της επιφάνειας του εδάφους μπορεί να μετρηθεί και να απεικονιστεί ως «εικόνα».

Για τη δημιουργία της «εικόνας» εκπέμπεται ένας παλμός ενέργειας ραντάρ από δορυφόρο διασκορπισμένος στην επιφάνεια της Γης και καταγράφεται πίσω μέσω δυο τύπων πληροφοριών, του πλάτους και της φάσης, όπου το πρώτο αφορά την ισχύ του σήματος επιστροφής επηρεασμένο από τις φυσικές ιδιότητες της επιφάνειας.

Η απόσταση μετάβασης επιστροφής από τον δορυφόρο στο έδαφος μετριέται σε μονάδες κύματος radar και αλλαγές σε αυτή την απόσταση μεταξύ του χρόνου συλλογής των δυο εικόνων ενδιαφέροντος θα χαρακτηρίζονται ως διαφορά φάσης. Ο συνδυασμός των δυο εικόνων ονομάζεται παρεμβολή λόγω του ότι ο συνδυασμός των δυο κυμάτων προκαλεί την ενίσχυση τους ή την ακύρωση του ενός ή του άλλου, όπως φαίνεται σχηματικά και στην Εικόνα 3.1.

Το InSAR μπορεί να χρησιμοποιηθεί στη παρακολούθηση μετακίνησης εδάφους λόγω ηφαιστειακών εκρήξεων επειδή σε αντίθεση με άλλες τεχνικές που βασίζονται σε μετρήσεις σε συγκεκριμένα σημεία, μπορεί μέσω της μεθόδου να παραχθεί χάρτης παραμόρφωσης εδάφους που να καλύπτει μια πολύ μεγάλη χωρική επιφάνεια με ακρίβεια κλίμακας εκατοστών. Τέτοια τεχνική είναι απολύτως χρήσιμη σε απομακρυσμένες ή δυσπρόσιτες περιοχές που έχει προκληθεί ηφαιστειακή έκρηξη όπου οι επικίνδυνες συνθήκες εκεί θα εμποδίζουν ή περιορίζουν την επίγεια παρακολούθηση τους.



Εικόνα 3.1 Στάδια επεξεργασίας InSAR (Πηγή: Matthew Garthwaite,2015)

3.5 Δίκτυα Μόνιμων Σταθμών GPS Παρακολούθησης Μικρομετακινήσεων

Στο υποκεφάλαιο αυτό γίνεται περιγραφή των δικτύων μόνιμων σταθμών GPS παρακολούθησης μικρομετακινήσεων, των οποίων τα δεδομένα αντλήθηκαν για την υλοποίηση των ζητούμενων της διπλωματικής εργασίας όπως επίσης και του πλαισίου αναφοράς στο οποίο αυτά αναφέρονται.

3.5.1 Γενικά

Τα δίκτυα μόνιμων σταθμών GPS, αφορούν δέκτες GPS οι οποίοι είναι τοποθετημένοι σε συγκεκριμένα σημεία για μεγάλη χρονική περίοδο όπως είναι το δίκτυο της CIGNET, της IGS. Έχουν αποδείξει τη χρησιμότητά τους στη κοινότητα της γεωδαισίας σε θέματα όπως η μελέτη κίνησης των τεκτονικών πλακών εκτός πολλών άλλων μελετών για τη δυναμική της γης.

Μόνιμα δίκτυα όπως το δίκτυο της IGS έχουν αποδείξει τη χρησιμότητά τους στη κοινότητα της γεωδαισίας, στο προσδιορισμό των τροχιών των δορυφόρων καθώς επίσης και στη μελέτη των τεκτονικών πλακών (Larson & Freymueller 1995). Καθώς η ακρίβεια των δεκτών βελτιωνόταν, οι ερευνητές στράφηκαν στη χρήση των μόνιμων δικτύων για τη μελέτη φαινομένων γεωφυσικής φύσεως.

Στη παρούσα διπλωματική εργασία χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα μόνιμων σταθμών από τρία δίκτυα τα οποία και είναι:

- IGS (Παγκόσμιο)
- EUREF (Ευρωπαϊκό)
- NOANET (Εθνικό)

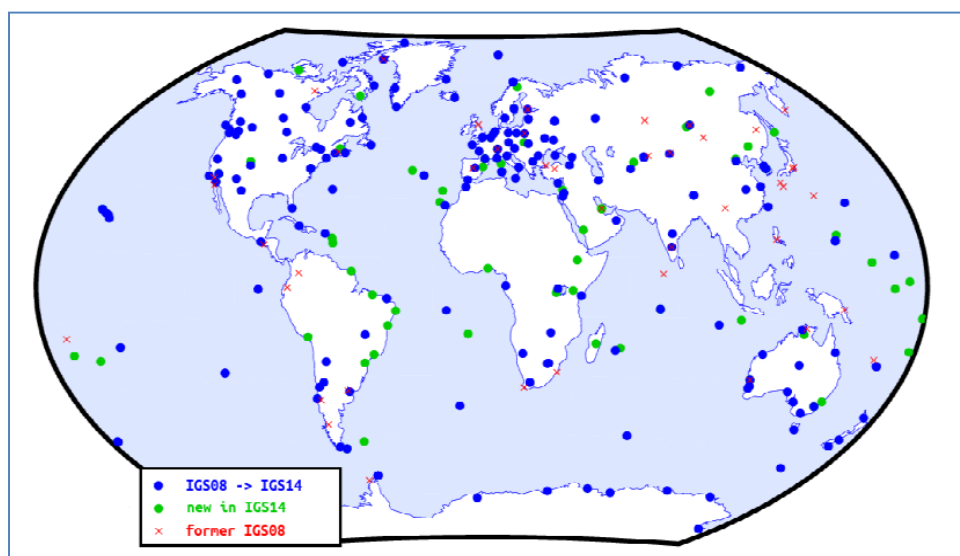
Τα δίκτυα μόνιμων σταθμών GPS της IGS, είναι δέκτες GPS που είναι τοποθετημένοι σε συγκεκριμένα σημεία για μεγάλη χρονική περίοδο. Το δίκτυο της IGS (δηλ. International GPS Service, <http://igsceb.jpl.nasa.gov>) περιλαμβάνει πάνω από 500 παγκόσμια καταναμημένους μόνιμους σταθμούς GPS.

3.5.2 Δίκτυο IGB14(IGS)

Συγκεκριμένα το IGB14, στο οποίο βασίστηκαν οι μετρήσεις που περιγράφονται στη διπλωματική εργασία, είναι ένα παγκόσμιο γεωκεντρικό σύστημα αναφοράς το οποίο υλοποιείται από ένα σύνολο μόνιμων σταθμών GPS καταναμημένων σε όλη την Γη, με τον προσδιορισμό των συντεταγμένων των σταθμών και των γραμμικών ταχυτήτων τους σε κάθε συνιστώσα. Ως πλαίσιο αναφοράς υιοθετείται από την IGS για να χρησιμοποιείται ως βάση των προϊόντων της από τα τέλη Ιανουαρίου 2017 και αντικατέστησε το IGS14 στις 17 Μαΐου 2020, είναι στενά συνδεδεμένο με το ITRF14.

Ορίζεται από ένα σύνολο 252 επιλεγμένων μόνιμων σταθμών του ITRF2014(συνολικά η IGS διαθέτει 506 σταθμούς), παγκόσμια κατανομημένους και σταθερούς στην απόδοσή τους. Ένας σταθμός έχει σταθερή απόδοση όταν η πραγματική του θέση με την πάροδο του χρόνου είναι όσο πιο κοντά γίνεται στην θέση που προσδιορίζεται από το γραμμικό μοντέλο του συστήματος αναφοράς (συντεταγμένες και ταχύτητες). Για την επιλογή των σταθμών χρησιμοποιούνται και άλλα κριτήρια (Rebischung et al., 2011,2014).

Από αυτούς τους 252 σταθμούς, λόγω της ετερογενούς πυκνότητας σταθμών ανά περιοχή, επιλέγεται ένα υποσύνολο 51 από αυτούς με ομοιογενή κατανομή πάνω στην Γη, το οποίο αποτελεί την βέλτιστη υλοποίηση του συστήματος αναφοράς και ονομάζεται IGS14 Core Network (“δίκτυο πυρήνας”) που προορίζεται για χρήση σε εφαρμογές παγκόσμιας κλίμακας καθώς και σαν αναφορά για τα προϊόντα της IGS (πχ δορυφορικές τροχιές ακριβείας). Στην περιοχή της Ευρώπης υπάρχει πυκνό δίκτυο σταθμών που συμμετέχει στην υλοποίηση του IGS14, όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.2.



Εικόνα 3.2 IGS14 Network (Διακρίνονται και σταθμοί της IGS08 που τέθηκαν εκτός λειτουργίας), Πηγή: Paul Rebischung & Ralf Schmid, 2017)

3.5.3 Δίκτυο EUREF

Το δίκτυο μόνιμων σταθμών GPS παρακολούθησης μετακινήσεων της Ευρώπης (EUREF) Regional Reference Frame Sub-Commission for Europe αποτελείται από:

- Ένα δίκτυο συνεχούς λειτουργίας σταθμών αναφοράς GNSS (GPS, GLONASS, GALILEO, BEIDOU, κ.α.)
- Κέντρο δεδομένων που παρέχει πρόσβαση στα δεδομένα σταθμών
- Κέντρο ανάλυσης που αναλύονται δεδομένα GNSS
- Κέντρο παραγωγής προϊόντων EUREF

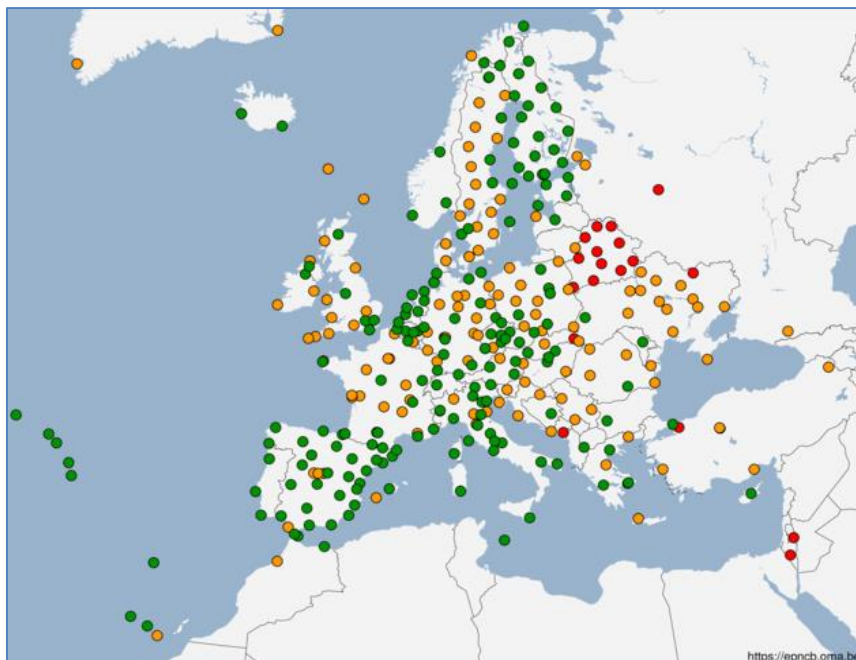
- Κεντρική υπηρεσία που είναι υπεύθυνη για τη καθημερινή παρακολούθηση και διοίκηση του παραπάνω κέντρου (EUREF)

Το δίκτυο λειτουργεί υπό την αιγίδα της IAG (International Association of Geodesy). Όλες οι συνεισφορές στο δίκτυο της EUREF γίνονται σε εθελοντική βάση με παραπάνω από 100 Πανεπιστήμια ή/και υπηρεσίες αναμειγμένες. Το δίκτυο λειτουργεί υπό συγκεκριμένες κατευθύνσεις που περιγράφονται από τους συνεργάτες του. Αυτές οι κατευθύνσεις εγγυώνται τη μακροπρόθεσμη ποιότητα των προϊόντων της.

Βασικός σκοπός του δικτύου είναι να παρέχει πρόσβαση στο Ευρωπαϊκό γεωκεντρικό σύστημα αναφοράς ETRS89 «European Terrestrial Reference System 1989» το οποίο είναι το βασικό ακριβές GNSS σύστημα συντεταγμένων για όλη την Ευρώπη.

Το δίκτυο της EUREF παρέχει πρόσβαση στο ETRS89 με το να δημοσιοποιεί τα στοιχεία των δορυφόρων όπως είναι οι ακριβείς θέσεις τους, οι ταχύτητες και τροποσφαιρικά χαρακτηριστικά τους. Βασισμένο σε αυτά, το δίκτυο αυτό συνεισφέρει στη παρακολούθηση των τεκτονικών μετατοπίσεων στην Ευρώπη και υποστηρίζει τη μακροπρόθεσμη παρακολούθηση του κλίματος, των επιπέδων στάθμης θάλασσας.

Στη παρακάτω Εικόνα 3.3 απεικονίζεται το πλήθος των σταθμών του δικτύου της EUREF όπου με πράσινο είναι οι σταθμοί που παρέχουν δεδομένα σε πραγματικό χρόνο, με πορτοκαλί αυτοί που παρέχουν δεδομένα ανά μια ώρα και με κόκκινο αυτοί που παρέχουν δεδομένα ανά 24 ώρες.



Εικόνα 3.3 Δίκτυο σταθμών EUREF (Πηγή: link.springer.com, 2019)

3.5.4 Δίκτυο NOANET

Το δίκτυο μόνιμων σταθμών παρακολούθησης στην Ελλάδα από το οποίο αντλήθηκαν δεδομένα είναι το NOANET (Δίκτυο Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών).

Το Ινστιτούτο Γεωδυναμικής (GEIN) του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών (NOA) υποστηρίζει το NOANET, το οποίο είναι ένα δίκτυο GNSS που λειτουργεί συνεχώς στην Ελλάδα, για περιφερειακές μελέτες σεισμολογίας και γεωδυναμικής. Ο πρωταρχικός επιστημονικός του ρόλος είναι να υποστηρίζει γεωδαιτικές μετρήσεις υψηλής ακρίβειας σε πραγματικό χρόνο χρησιμοποιώντας παρατηρήσεις του Παγκόσμιου Δορυφορικού Συστήματος Πλοήγησης (GNSS), προκειμένου να μετρήσει και να ποσοτικοποιήσει τις παραμορφώσεις που οφείλονται σε σεισμούς σε μεγάλες ζώνες ρηγμάτων, τις ενεργές παραμορφώσεις φλοιού και τις παραμορφώσεις στα όρια των τεκτονικών πλακών της ανατολικής Μεσογείου, όπως και την υποστήριξη της επιστήμης της σεισμολογίας και άλλων εφαρμογών επιστήμης της γης. Το δίκτυο NOANET λειτουργεί από το 2006, ακολουθώντας τα πρότυπα EUREF Permanent GNSS Network (EPN).

Το δίκτυο, από τον Οκτώβριο του 2018, αποτελείται από 24 σταθμούς, οι οποίοι τηλεμετρούνται σε πραγματικό χρόνο στον κεντρικό διακομιστή GNSS του Ινστιτούτου Γεωδυναμικής στην Αθήνα.

Όλοι οι σταθμοί συλλέγουν δεδομένα κάθε 1 δευτερόλεπτο και τα μεταδίδουν στην Αθήνα με τη συμπλήρωση 60 λεπτών (ωριαία αρχεία).

Η αρχειοθέτηση δεδομένων πραγματοποιείται με δύο τρόπους:

- Τα δεδομένα που λαμβάνονται ανά 1 δευτερόλεπτο κάθε σταθμού αρχειοθετούνται σε διαστήματα 1 ώρας.
- Τα ημερήσια δεδομένα για κάθε σταθμό αρχειοθετούνται σε διαστήματα δειγματοληψίας 30 δευτερολέπτων.

Ο server του δικτύου της Αθήνας συλλέγει δεδομένα σε αυτόματη λειτουργία και ένα ημερήσιο αρχείο δημιουργείται τα μεσάνυχτα με υποδειγματοληψία των παρατηρήσεων μιας ώρας ανά διαστήματα 30 δευτερολέπτων. Αυτό το αρχείο μετατρέπεται σε μορφή RINEX και παραδίδεται στο site του Αστεροσκοπείου Αθηνών όπου είναι διαθέσιμο για λήψη. Επιπλέον, οι κόμβοι NOANET GSAC και GLASS διαδίδουν, σε καθημερινή βάση, πάνω από 60 σταθμούς GNSS που λειτουργούν συνεχώς σε όλη την περιοχή των Βαλκανίων. Το NOANET υποστηρίζει μια πολιτική δωρεάν και ανοιχτών δεδομένων.

Όσον αφορά τους σταθμούς GNSS του δικτύου της NOANET, η πρώτη εγκατάσταση ολοκληρώθηκε τον Φεβρουάριο του 2006 στο νησί της Κεφαλονιάς, στο Ιόνιο Πέλαγος και ονομάστηκε VLSM. Η τοποθεσία αυτή στεγάζεται μαζί με τον σεισμολογικό σταθμό NOA. Ο δεύτερος σταθμός που λειτούργησε ήταν ο RLSO που

εγκαταστάθηκε στην περιοχή που έγινε ο σεισμός της Αχαΐας της 8ης Ιουνίου 2008 (Mw 6,4) στη ΒΔ Πελοπόννησο.

Εν συνεχεία, ο σταθμός NOA1 εγκαταστάθηκε τον Μάρτιο του 2006 και από τον Απρίλιο του 2006 αποτελεί μέρος του Μόνιμου Δικτύου GNSS EUREF (EPN). Ακολούθησε η εγκατάσταση σταθμών στη δυτική Ελλάδα, όπου οι σταθμοί PONT και SPAN εγκαταστάθηκαν στο νησί της Λευκάδας, περίπου 7 χιλιόμετρα ανατολικά του ρήγματος Μετασχηματισμού της Κεφαλονιάς και ο σταθμός KASI στη βόρεια Κέρκυρα. Μετά, εγκαταστάθηκαν νέοι σταθμοί GNSS σε όλη την κεντρική και νότια Ελλάδα, καθώς και στα νησιά του βορείου Αιγαίου.

Κατά την περίοδο 2016-2018 στο πλαίσιο διμερούς συνεργασίας στο πλαίσιο Μνημονίου Συνεργασίας με το Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV), εγκαταστάθηκαν οι σταθμοί STRF, KTHA, ANKY, PTKG και ZNTE σε ορισμένες από τις τοποθεσίες ενδιαφέροντος της νοτιοδυτικής Ελλάδας με σκοπό την αποτύπωση της ενεργούς παραμόρφωσης του δυτικού ελληνικού τόξου (Πηγή: <http://geodesy.gein.noa.gr>).



Εικόνα 3.4 Κατανομή σταθμών δικτύου NOANET (Πηγή: geodesy.gein.noa.gr)

Το συμβατικό γήινο σύστημα αναφοράς που ιδρύθηκε και παρακολουθείται από την IERS είναι το Διεθνές Γήινο Σύστημα Αναφοράς (International Terrestrial Reference System, ITRS) και η υλοποίησή του είναι το Διεθνές Γήινο Πλαίσιο Αναφοράς (International Terrestrial Reference Frame, ITRF).

3.5.5 Το Διεθνές Γήινο Πλαίσιο Αναφοράς ITRF14

Οι θέσεις των μόνιμων σταθμών των τριών δικτύων παρακολούθησης όπου βασίστηκε η διπλωματική εργασία βασίζονται στο διεθνές Γήινο Πλαίσιο Αναφοράς ITRF14.

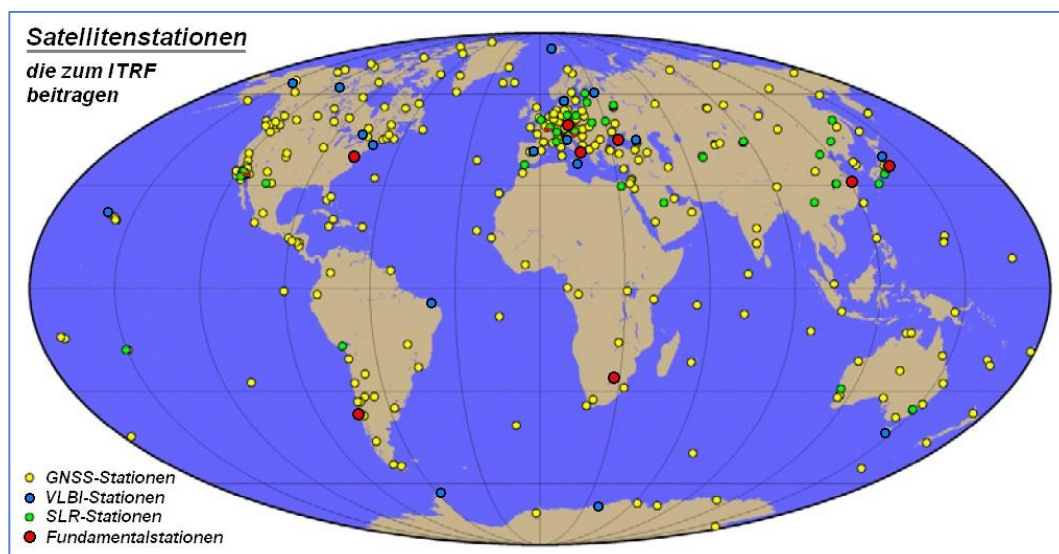
Το Διεθνές Γήινο Πλαίσιο Αναφοράς (ITRF) αποτελεί την υλοποίηση του Διεθνούς Γήινου Συστήματος Αναφοράς (ITRS), που διατηρείται από τη Διεθνή Υπηρεσία Συστημάτων Περιστροφής και Αναφοράς Γης (IERS). Η υλοποίηση του ITRF βασίζεται στο συνδυασμό των συντεταγμένων και των ταχυτήτων των σταθμών που υπολογίζονται με τη χρήση διαστημικών – γεωδαιτικών τεχνικών. (Πηγή: <https://itrf.ensg.ign.fr/>)

Ένα Επίγειο Σύστημα Αναφοράς (TRS) είναι ένα χωρικό σύστημα αναφοράς που συν-περιστρέφεται με τη Γη στην ημερήσια κίνησή της στο διάστημα. Σε ένα τέτοιο σύστημα, οι θέσεις των σημείων που είναι αγκυρωμένες στη στερεά επιφάνεια της Γης έχουν συντεταγμένες που υφίστανται μικρές μόνο διακυμάνσεις με το χρόνο, λόγω γεωφυσικών επιδράσεων (τεκτονικές ή παλιρροϊκές παραμορφώσεις). Ένα Επίγειο Πλαίσιο Αναφοράς (TRF) είναι ένα σύνολο φυσικών σημείων με επακριβώς καθορισμένες συντεταγμένες σε ένα συγκεκριμένο σύστημα συντεταγμένων (καρτεσιανό, γεωγραφικό,) που είναι προσαρτημένο σε ένα Επίγειο Σύστημα Αναφοράς. Ένα τέτοιο TRF λέγεται ότι αποτελεί υλοποίηση του TRS.

Τα ITRF πλαίσια καθορίζονται από καρτεσιανές συντεταγμένες ECEF (Earth-centred, Earth-Fixed) X, Y και Z. Εάν χρειάζεται, μπορούν να μετατραπούν αυτές σε γεωγραφικές συντεταγμένες (Μήκος, Γεωγραφικό πλάτος και Ύψος) που αναφέρονται σε ένα ελλειψοειδές. Σε αυτή την περίπτωση προτείνεται το ελλειψοειδές GRS80 (με στοιχεία ημι-κύριου άξονα $a=6378137,0$ m, $f=1/298,257222101$). Το σύστημα αναφοράς GRS80 χρησιμοποιήθηκε αρχικά από το Παγκόσμιο Γεωδαιτικό Σύστημα 1984 (WGS84). Το ελλειψοειδές αναφοράς του WGS84 διαφέρει τώρα ελαφρώς λόγω των μεταγενέστερων βελτιώσεων (Πηγή: www.confluence.gps.nl)

Η τρέχουσα υλοποίηση του ITRS είναι η λύση **ITRF2014**, που δημοσιεύτηκε από το IERS στις 22 Ιανουαρίου 2016. Η λύση ITRF2014 αντικαθιστά τη λύση ITRF2008 που δημοσιεύτηκε από το IERS στις 31 Μαΐου 2010. Το ITRF2014 αποτελείται από σύνολα θέσεων και ταχυτήτων σταθμών με τις διακυμάνσεις τους και έχει υπολογιστεί χρησιμοποιώντας λύσεις από τέσσερις γεωδαιτικές τεχνικές: VLBI (Very Long Baseline Interferometry), SLR (Satellite Laser Ranging), DORIS (Doppler Orbitography and Radiopositioning Integrated by Satellite) και GPS (Global

Positioning System), στην Εικόνα 3.5. απεικονίζεται το δίκτυο των κατανεμημένων σταθμών που βασίζονται στο ITRF σε όλο τον κόσμο.



Εικόνα 3.5 Κατανομή σταθμών που βασίζονται στο ITRF14(Πηγή:Wikipedia)

3.6 Παρακολούθηση μετακινήσεων με GNSS

Τα συστήματα GNSS χρησιμοποιούνται ευρέως στα επιστημονικά πεδία της Σεισμολογίας και της Τεκτονικής. Πολλά γεωδαιτικά δίκτυα ιδρύθηκαν γι' αυτό τον σκοπό σε όλη την Ελληνική επικράτεια. Αρκετά από τα σημεία των δικτύων αυτών είναι βάθρα που ανήκουν στο Ελληνικό Τριγωνομετρικό Δίκτυο, ενώ άλλα υλοποιήθηκαν σε γεωλογικά σταθερό υπόβαθρο με μεταλλικές σημάνσεις στο έδαφος για να εξυπηρετήσουν τις ειδικές ανάγκες του κάθε δικτύου. Σχεδιάστηκαν έτσι, ώστε να αξιοποιήσουν τις δυνατότητες που δίνει η Δορυφορική Γεωδαισία και συγκεκριμένα το Παγκόσμιο Σύστημα Εντοπισμού (GPS) σε έναν κλάδο της επιστήμης που λέγεται Τεκτονική Γεωδαισία. Τα αποτελέσματα που αφορούν τη μελέτη της κινηματικής μιας περιοχής, καθώς και της επιφανειακής της παραμόρφωσης συνδυασμένα με γεωλογικά και σεισμολογικά δεδομένα, βοηθούν στην κατανόηση των τεκτονικών ιδιομορφιών που λαμβάνουν χώρα στην υπό μελέτη περιοχή.

Τα Συστήματα GNSS μπορούν για παράδειγμα να εκτιμήσουν το μέγεθος ενός μεγάλου σεισμού μέσω υπολογισμού των μετακινήσεων εδάφους λόγω σεισμού από εγκατεστημένους σταθμούς κοντά στο ρήγμα. Τα συστήματα GNSS, μπορούν να χρησιμοποιηθούν εάν ένας σεισμός είναι πολύ μεγάλου μεγέθους λόγω του γεγονότος ότι είναι ικανοί να προκαλέσουν ένα τσουνάμι, οπότε μια έγκαιρη και ακριβής εκτίμηση του μεγέθους του σεισμού είναι ζωτικής σημασίας.

Επίσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη μέτρηση αργών παραμορφώσεων του εδάφους που προκαλούνται κατά το χρονικό διάστημα μεταξύ σεισμικών γεγονότων.

Στα όρια λιθοσφαιρικών πλακών όπου προκαλούνται οι περισσότεροι σεισμοί, τα δίκτυα GNSS μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εκτίμηση του μεγέθους τάσεως και παραμόρφωσης στα κοντινά ρήγματα με σκοπό την ενημέρωση για τυχόν σεισμικούς κινδύνους.

Σχετικά με την ηφαιστειακή δραστηριότητα, οι επιφανειακές παραμορφώσεις ενός ηφαιστείου μετρημένες με δορυφορικές μεθόδους, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εκτίμηση της κίνησης του μάγματος υπόγεια. Τέτοια πληροφορία μπορεί να βοηθήσει για τον υπολογισμό πιθανότητας μιας ηφαιστειακής έκρηξης.

3.6.1 Παραδείγματα Χρήσης GNSS

Ένα από τα πιο δημοφιλή δίκτυα GNSS συνεχούς λειτουργίας είναι αυτό της Τοπογραφικής Υπηρεσίας της Ιαπωνίας, το οποίο χρησιμοποιεί ένα πανεθνικό δίκτυο 1.000 αισθητήρων, που λέγεται Geonet, για την εκτίμηση μετατοπίσεων του εδάφους μέσω συλλογής δεδομένων από το 1994. Λαμβάνει σήματα ανά 30 δευτερόλεπτα και υπολογίζει μετατοπίσεις μικρότερες και από 3 mm του μέτρου. Το Geonet έδωσε τη δυνατότητα συνεχούς παρακολούθησης της παραμόρφωσης του εδάφους σε πολλές περιοχές και τα δεδομένα του χρησιμοποιήθηκαν κατά κόρον στην προσπάθεια πρόβλεψης των συχνών σεισμών που πλήττουν την Ιαπωνία.

Μάλιστα, το Geonet απέδειξε από την αρχή τη χρησιμότητά του: ενώ η φυσιολογική μετατόπιση του υπεδάφους της πόλης Ναγκόγια είναι 3 cm ανά έτος προς τη Δύση, το 2001 άρχισε να κινείται με τον ίδιο ρυθμό προς την Ανατολή, την αντίθετη δηλαδή κατεύθυνση. Το φαινόμενο αυτό φαίνεται να ήταν πρόδρομος των σεισμών που εκδηλώθηκαν το 2004.

Ένα άλλο γνωστό δίκτυο συνεχούς λειτουργίας είναι το Southern California Integrated GPS Network (SCIGN), το οποίο ιδρύθηκε στην Καλιφόρνια το 1990 με σκοπό τη συνεχή παρακολούθηση της παραμόρφωσης του φλοιού της περιοχής. Το συγκεκριμένο δίκτυο 2000 αποτελούταν από 170 μόνιμους σταθμούς, ενώ επρόκειτο να επεκταθεί περαιτέρω. Στόχος αποτελεί η παρακολούθηση της παραθαλάσσιας περιοχής της Βόρειας Καλιφόρνιας, η οποία παρουσιάζει σημαντικές οριζόντιες μετακινήσεις (Hudnut et al 2002).

Από τη δεκαετία του 1990 στην Ελλάδα έχουν εγκατασταθεί διάφοροι σταθμοί συνεχούς λειτουργίας με σκοπό τη μελέτη των μετακινήσεων στη κάθε περιοχή μελέτης. Επίκεντρο αποτελεί η περιοχή του Νοτίου Αιγαίου, τα νησιά του Ιονίου κατά μήκος του Δυτικού Ελληνικού τόξου και η περιοχή του Κορινθιακού Κόλπου. Βασικός σταθμός και από τους πρώτους που εγκαταστάθηκαν είναι ο σταθμός του Διονύσου στο Διόνυσο Πεντέλης από το Κέντρο Δορυφόρων Διονύσου.

Ένα από τα δίκτυα μόνιμων σταθμών GNSS στην Ελλάδα είναι το HELLAS continuous network. Το δίκτυο είναι συνέχεια του προγενέστερου δικτύου στο Ιόνιο το οποίο κάλυπτε την περιοχή του ρήγματος της Κεφαλονιάς και το βορειοδυτικό

τμήμα του Δυτικού Ελληνικού Τόξου. Η εγκατάσταση των σταθμών GNSS έγινε στα βορειότερα νησιά του Ιονίου και στον κόλπο της Άρτας (Αμβρακικός κόλπος) το 1995.

Το δίκτυο του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών καλύπτει κύρια την περιοχή των νησιών του Ιονίου αλλά και του βορείου Αιγαίου. Το Γεωδυναμικό Ινστιτούτο εγκατέστησε στην Ελλάδα σύστημα συνεχούς μέτρησης της παραμόρφωσης του στερεού φλοιού σε πραγματικό χρόνο το 2005, γνωστό και ως Continuous GPS.

Σχετικά με την ανίχνευση τεκτονικών μετακινήσεων στον Ελλαδικό χώρο, υπάρχουν χαρακτηριστικές εργασίες που αφορούν το συγκεκριμένο αντικείμενο, όπως οι εργασίες των Billiris et al. (1991) και Clarke (1996) που αφορούν στη μέτρηση και ερμηνεία μετακινήσεων εδάφους λόγω μετακίνησης τεκτονικών πλακών στη Κεντρική Ελλάδα. Έγινε εφαρμογή δυο αλλά συσχετισμένων μεταξύ τους, γεωδαιτικών μεθόδων. Η πρώτη αφορά τη συσσώρευση της σεισμικής έντασης μέσω μετρήσεων GPS για μια περίοδο μέχρι 7 ετών που σχετίζεται με μετατοπίσεις εδάφους και πιθανότητες προκλήσεως σεισμικών φαινομένων. Η δεύτερη, αφορά την μελέτη της απελευθέρωσης σεισμικής έντασης στη βορειοδυτική Ελλάδα μέσω συνδυασμού μετρήσεων GPS και επίγειων. Η εργασία αφορά ως περιοχές ενδιαφέροντος την ευρύτερη περιοχή της Κεντρικής Ελλάδας, το Κορινθιακό Κόλπο και τα Γρεβενά (λόγω του σεισμού του 1995).

Επίσης η πλειονότητα των δικτύων GNSS είναι δίκτυα μη συνεχούς λειτουργίας. Για παράδειγμα ένα τέτοιο δίκτυο έχει δημιουργηθεί και στο βουνό Αίτνα με σκοπό την παρακολούθηση του ηφαιστείου όπου πραγματοποιούνται επαναληπτικές μετρήσεις ανά τακτά χρονικά διαστήματα με σκοπό την ανίχνευση τυχόν μετακινήσεων (Okazaki et al 2002).

Το 1997 ιδρύθηκε δίκτυο GNSS για τη παρακολούθηση μετακινήσεων στη Τζακάρτα τη πρωτεύουσα της Ινδονησίας Δύο χρόνια αργότερα επαναληπτικές μετρήσεις στο δίκτυο «αποκάλυψαν» καθιζήσεις έως 20cm. Τελικά αφότου πραγματοποιήθηκε σύγκριση των αποτελεσμάτων των δορυφορικών μετρήσεων με τα υδρολογικά δεδομένα φαίνεται να υποδηλώνει ότι η καθίζηση οφείλεται στην υπέρμετρη άντληση υπόγειων υδάτων (Abidin et al 2001).

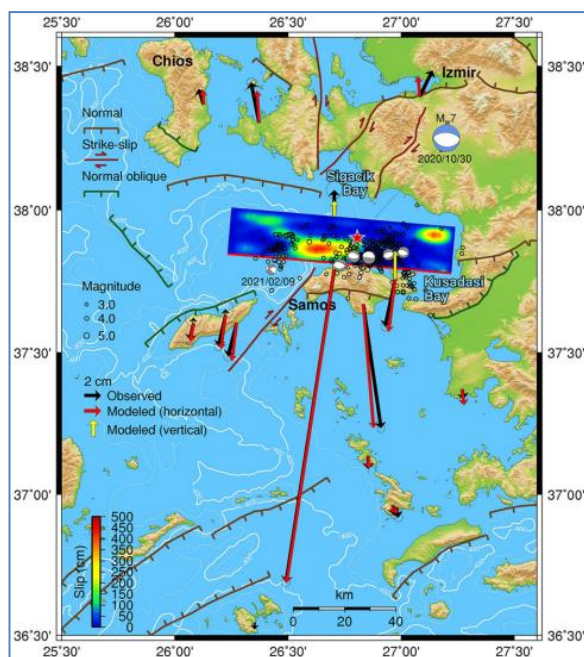
Στην πόλη του Μεξικού, όπου τα προβλήματα κατακόρυφων μετακινήσεων λόγω υπεράντλησης υδάτων είναι ιδιαίτερα έντονα και έχουν ήδη οδηγήσει πολλές κατασκευές σε αστοχία, οι μετακινήσεις του εδάφους παρακολουθούνται από ένα δίκτυο GNSS και από δορυφορικές εικόνες (SAR). Αξίζει να σημειωθεί ότι οι δύο τεχνικές δεν παρουσίασαν σημαντικές διαφοροποιήσεις στα αποτελέσματα, ούτε οριζοντιογραφικά ούτε υψομετρικά (Osmanoğlu et al 2011).

Σήμερα με τη παροχή δεδομένων από μόνιμους σταθμούς αναφοράς υπάρχει σχετική βιβλιογραφία όπως για παράδειγμα οι παρακάτω:

Η εργασία των Chousianitis et al. (2015) που αφορά την εκτίμηση μετατοπίσεων στη κεντρική και δυτική Ελλάδα μέσω επεξεργασίας δεδομένων από 100 μόνιμους σταθμούς συνεχής παρακολούθησης, επίσης μέσω εκτίμησης ταχυτήτων, αξιολογήθηκε δισδιάστατα η ένταση και το μέγεθος περιστροφής των τανυστών καθώς έγινε και χαρτογράφηση της διαστολής και των μέγιστων ρυθμών διατμητικής παραμόρφωσης.

Η εργασία των Lazos et al. (2020) αφορά τη περιοχή του Κορινθιακού Κόλπου και σε αυτή γίνεται παρακολούθηση της από 14 μόνιμους σταθμούς παρακολούθησης συλλέγοντας δεδομένα με καταγραφή μέτρησης στα 30 δευτερόλεπτα για μια 7ετή περίοδο (2008-2014).Γίνεται υπολογισμός των ταχυτήτων, της έντασης, της διατμητικής τάσης για τη περιοχή.

Τέλος, υπάρχει πρόσφατη δημοσιευμένη μελέτη των Chousianitis & Konca (2021) αναφορικά με το σεισμό της Σάμου του Οκτωβρίου του 2020, που αφορά την ένταση (stress) και το βάθος της σεισμικής αυτής δραστηριότητας. Η συγκεκριμένη μελέτη βασίστηκε σε χρήση μεθόδων GNSS βασιζόμενα στα ελληνικά δίκτυα μόνιμων σταθμών GNSS της HEPOS και της METRICA, όπως επίσης και του Εθνικού Δικτύου Μόνιμων Σταθμών RTK της Τουρκίας. Αναφέρεται πως έγινε χρήση δεδομένων από 14 μόνιμους τοπικούς σταθμούς σε απόσταση μικρότερη των 155 km από το σημείο του σεισμού, τα οποία επεξεργάστηκαν με το λογισμικό GAMIT/GLOBK και συμπεραίνεται κατόπιν επεξεργασίας πως το νησί μετατοπίστηκε νοτιοδυτικά. Στη παρούσα διπλωματική εργασία, θα εξεταστεί βάσει των δεδομένων των μετρήσεων που έχουν συλλεχθεί (βλ. Κεφάλαιο 4), η διεύθυνση και το μέγεθος της μετατόπισης λόγω σεισμού λαμβάνοντας υπόψη την Εικόνα 3.6.



Εικόνα 3.6 Χάρτης απεικόνισης μετατοπίσεων λόγω σεισμού (Πηγή: Chousianitis & Konca,2021)

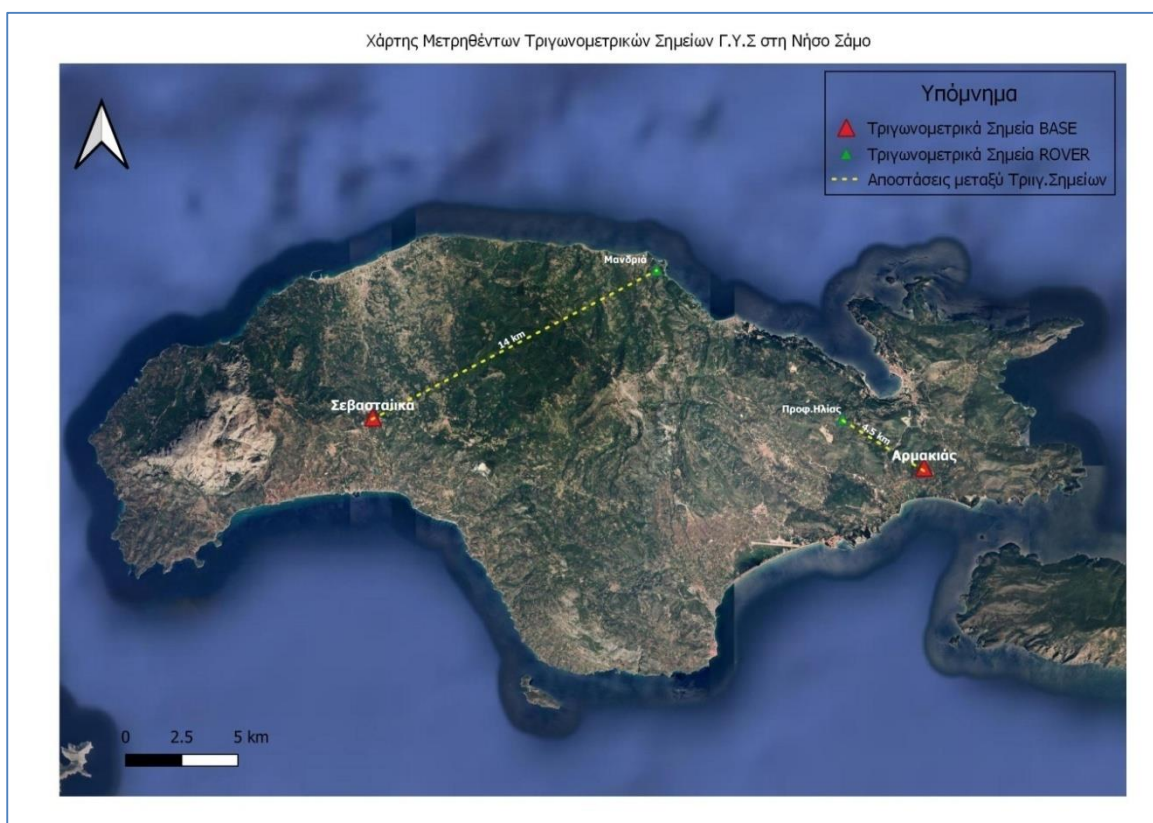
Κεφάλαιο 4 Υλοποίηση Μετρήσεων Πεδίου

4.1 Εισαγωγή

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο θα γίνει περιγραφή της περιοχής μελέτης, των σημείων που πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις και στις δυο εποχές μετρήσεων, έπειτα γίνεται αναφορά στο είδος του εξοπλισμού που χρησιμοποιήθηκε στη κάθε μια, τα τεχνικά χαρακτηριστικά του, η ημερομηνία και το χρονικό διάστημα των μετρήσεων αυτών.

4.2 Περιοχή μελέτης

Η περιοχή ενδιαφέροντος είναι η ευρύτερη περιοχή της νήσου Σάμου, ενώ τα σημεία ενδιαφέροντος είναι συνολικά τέσσερα τριγωνομετρικά σημεία της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού όπως φαίνεται στην Εικόνα 4.1, τα οποία κατασκευαστικά είναι τσιμεντένια βάθρα, δύο στην Δυτική Σάμο και δύο στην Ανατολική Σάμο.



Εικόνα 4.1 Χάρτης Μετρηθέντων Τριγωνομετρικών Σημείων Γ.Υ.Σ

Η Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού είχε πραγματοποιήσει μετρήσεις συνολικά σε έξι τριγωνομετρικά σημεία της Σάμου τον Αύγουστο του 2020 εκ των οποίων τα τέσσερα είναι αυτά στα οποία πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις και τον Ιούνιο του 2021 για τις ανάγκες της διπλωματικής εργασίας.

Αντικείμενο μελέτης αποτελεί και η σύγκριση των νεότερων μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν με αυτές που πραγματοποιήθηκαν από τη ΓΥΣ.

Τα σημεία στη Δυτική Σάμο (απεικονίζονται στην Εικόνα 4.2) ονομάζονται κατά σειρά

- ΣΕΒΑΣΤΑΠΚΑ
- ΜΑΝΔΡΙΑ



Στο παρακάτω πίνακα απεικονίζονται συγκεντρωτικά οι συντεταγμένες των τριγωνομετρικών σημείων τόσο σε $X_{ΕΓΣΑ}$, $Y_{ΕΓΣΑ}$ καθώς και σε φ , λ σε δεκαδική μορφή της μοίρας.

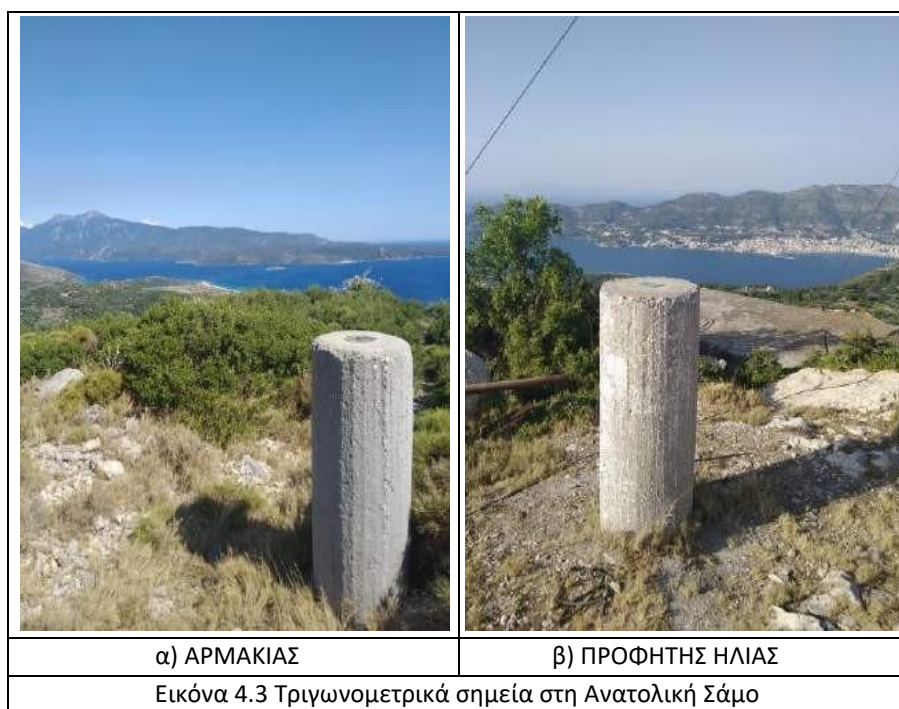
Τριγωνομετρικό Σημείο	$X(ΕΓΣΑ\ 87)$	$Y(ΕΓΣΑ\ 87)$	φ°	λ°
ΣΕΒΑΣΤΑΠΚΑ (239024)	738642.64 m	4180121.71 m	37°.7398	26°.7099
ΜΑΝΔΡΙΑ (330051)	751026.72 m	4187214.75 m	37°.8004	26°.8528

Πίνακας 4.1 Συντεταγμένες τριγωνομετρικών σημείων Δυτικής Σάμου

ενώ στην Ανατολική Σάμο

- ΑΡΜΑΚΙΑΣ
- ΠΡΟΦΗΤΗΣ ΗΛΙΑΣ

και απεικονίζονται στις παρακάτω Εικόνες 4.3.



Στο παρακάτω πίνακα απεικονίζονται συγκεντρωτικά οι συντεταγμένες των τριγωνομετρικών σημείων τόσο σε Χ_{ΕΓΣΑ}, Υ_{ΕΓΣΑ}, καθώς και σε φ, λ σε δεκαδική μορφή.

Τριγωνομετρικό Σημείο	Χ(ΕΓΣΑ 87)	Υ(ΕΓΣΑ 87)	φ°	λ°
ΑΡΜΑΚΙΑΣ (330018)	763187.23 m	4178660.85 m	37°.7198	26°.9878
ΠΡΟΦ. ΗΛΙΑΣ (330028)	759492.05 m	4180693.76 m	37°.7392	26°.9466

Πίνακας 4.2 Συντεταγμένες τριγωνομετρικών σημείων Ανατολικής Σάμου

4.2.1 Αναγνώριση Περιοχής

Η αναγνώριση της κάθε περιοχής μελέτης που βρίσκεται το κάθε τριγωνομετρικό σημείο πραγματοποιήθηκε με επιτόπιους ελέγχους. Η απόσταση μεταξύ των τριγωνομετρικών σημείων, κυμαίνεται από 4.5 km έως και 14 km.

Αποφασίστηκε να γίνει τουλάχιστον εξάωρη καταγραφή παρατηρήσεων για τους σταθμούς «ΑΡΜΑΚΙΑΣ» και «ΣΕΒΑΣΤΑΠΚΑ» ώστε να μπορέσουν να επιλυθούν με το επιστημονικό λογισμικό GAMIT/GLOBK και με τεχνικές PPP. Σύμφωνα με συνήθη πρακτική, κατά ελάχιστον προστίθεται επιπλέον μισάωρη παρατήρηση για τα επόμενα τρία χιλιόμετρα απόστασης ή μονώρη παρατήρηση για τα επόμενα 10 km.

Πλέον των 10 km, μπορούν να προστεθούν ανά km από 5min (αν δεν υπάρχουν εμπόδια) έως 10min (αν υπάρχουν εμπόδια).

Στους πίνακες 4.3 και 4.4 παρουσιάζονται οι αποστάσεις από τα τριγωνομετρικά σημεία «ΑΡΜΑΚΙΑΣ» και «ΣΕΒΑΣΤΑΪΚΑ» αντίστοιχα.

Δυτική Σάμος		
Από	Προς	Αποστάσεις(km)
Σεβασταΐκα	Μανδριά	14

Πίνακας 4.3 Αποστάσεις για τη Δυτική Σάμο

Ανατολική Σάμος		
Από	Προς	Αποστάσεις(km)
Αρμακιάς	Προφήτης Ηλίας	4.5

Πίνακας 4.4 Αποστάσεις για τη Ανατολική Σάμο

4.2.2 Απαιτούμενος Εξοπλισμός

Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν με γεωδαιτικούς δέκτες GNSS JAVAD TRIUMPH-1 του Εργαστηρίου Γεωδαισίας της ΣΑΤΜ-ΜΓ. Συγκεντρωτικά κάθε δέκτης πλαισιώθηκε με τον απαιτούμενο παρελκόμενο εξοπλισμό που είναι κατά σειρά στυλεός, τρικόχλιο, πλάκα κεντρώσεως, μετροταινία.

4.2.3 Τεχνικά Χαρακτηριστικά Δεκτών περιόδου Αυγούστου 2020

Στις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν τη περίοδο του Αυγούστου του 2020 από τη Γ.Υ.Σ χρησιμοποιήθηκαν δέκτης και κεραία της εταιρείας Trimble. Η γεωδαιτική κεραία έχει ονομασία TRM33429.00+GP και ο δέκτης TRIMBLE 4700. Μπορούν και πραγματοποιούν μετρήσεις για τουλάχιστον 9 ώρες υποστηριζόμενοι από μια πλακέτα 9 καναλιών και παρέχουν εμβέλεια το πολύ μέχρι 10 km.

Όσον αφορά τα τεχνικά χαρακτηριστικά των δεκτών σύμφωνα με το κατασκευαστή η εσωτερική ακρίβεια του δέκτη στη μέθοδο του στατικού σχετικού εντοπισμού είναι $\pm 1\text{cm} + 2\text{ppm}$ για βάση μικρότερη ή ίση των 10 km και $\pm 2\text{cm} + 1\text{ppm}$ για βάση μεγαλύτερη των 10 km οριζοντιογραφικά. Υψομετρικά η αντίστοιχη ακρίβεια είναι $\pm 2\text{cm} + 1\text{ppm}$.

4.2.4 Τεχνικά Χαρακτηριστικά Δεκτών περιόδου Ιουνίου 2021

Στις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν τη περίοδο του Ιουνίου του 2021, η κεραία που χρησιμοποιήθηκε έχει κωδική ονομασία JAV_TRIUMPH-1.

Οι συγκεκριμένοι δέκτες της JAVAD (JAVAD TRIUMPH1) μπορούν και πραγματοποιούν μετρήσεις για τουλάχιστον 18 ώρες, υποστηριζόμενοι με πλακέτα 216 καναλιών(των δορυφορικών συστημάτων εντοπισμού GPS L1/L2/L5/L2C, GLONASS L1/L2, GALILEO E1/E5A, SBAS). Παρέχουν βελτιωμένο αλγόριθμο RTK για εμβέλεια έως και 50 km, εύκολη επίλυση των ασαφειών φάσης και εξάλειψη του ιονοσφαιρικού σφάλματος μέσω της νέας συχνότητας L2C.

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά των δεκτών όπως είναι η οριζοντιογραφική και υψομετρική ακρίβεια σύμφωνα με το κατασκευαστή επεξηγούνται ως εξής:

- Η εσωτερική ακρίβεια του δέκτη στη μέθοδο του στατικού σχετικού εντοπισμού είναι $\pm 0.3\text{cm} + 0.1\text{ppm}$ οριζοντιογραφικά και $\pm 0.35\text{cm} + 0.4\text{ppm}$ υψομετρικά. Σε απόλυτο στατικό εντοπισμό η εσωτερική του ακρίβεια είναι $< 2\text{m}$.
- Υπάρχουν ενσωματωμένες κεραίες μέσα στο δέκτη (GNSS, Wifi, UHF, GSM, Bluetooth) που είναι ενσωματωμένες μέσα σε έναν στυλεό ο οποίος συνδέεται με τον κυρίως δέκτη κατά την διενέργεια των μετρήσεων. Επιπλέον υπάρχει και η δυνατότητα σύνδεσης εξωτερικής κεραίας.
- Ο δέκτης έχει ενσωματωμένες δύο μπαταρίες λιθίου που παρέχουν αυτονομία έως και 15 ώρες.
- Παρέχεται συμβατότητα σε δίκτυα FKP, MAC, VRS όπως είναι το ελληνικό δίκτυο HEPOS.
- Υπάρχει εσωτερική μνήμη καταγραφής έως και 2 GB.
- Διαθέτονται δυο σειριακές θύρες για επικοινωνία με εξωτερική συσκευή, θύρα Ethernet για σύνδεση στο διαδίκτυο και θύρα USB που εξασφαλίζεται έτσι η επικοινωνία δέκτη με υπολογιστή.
- Υπάρχει δυνατότητα επικοινωνίας μεταξύ των δεκτών ή με εσωτερικό μόντεμ (UHF) ή εξωτερικό.

Σε μια κατάσταση πλήρους λειτουργίας, ο δέκτης απεικονίζεται, όπως στην Εικόνα 4.4 όπου παράλληλα επεξηγούνται οι φωτεινές ενδείξεις του(από αριστερά προς δεξιά).



Εικόνα 4.4 Φωτεινές ενδείξεις JAVADTRIUMPH-1 σε κατάσταση πλήρους λειτουργίας του

- Η πρώτη (από αριστερά) δείχνει την κατάσταση της μπαταρίας του δέκτη.
- Η δεύτερη ένδειξη αφορά την σύνδεση Bluetooth, όπου όταν ο δέκτης προσπαθεί να ανιχνεύσει διαθέσιμη συσκευή η ένδειξη είναι κίτρινη, ενώ όταν ο δέκτης συνδεθεί με τη συσκευή η ένδειξη γίνεται πράσινη.
- Η τρίτη ένδειξη αφορά την σύνδεση σε κάποιο MODEM όπως και στο Bluetooth η κίτρινη ένδειξη αφορά μια σύνδεση όταν είναι οριακή και πράσινη όταν η σύνδεση είναι αξιόπιστη.
- Η τέταρτη ένδειξη αφορά τον αριθμό των δορυφόρων που «βλέπει» ο δέκτης, εάν εντοπίζει 5-7 η ένδειξη είναι κίτρινη ενώ παραπάνω από 8 αλλάζει σε πράσινο χρώμα.
- Η πέμπτη ένδειξη αφορά την θέση του δέκτη. Κάθε φορά που αυτός ενεργοποιείται επιλύεται ένας απόλυτος εντοπισμός για την εύρεση της θέσης του. Το χρονικό διάστημα που ο δέκτης προσπαθεί να καθορίσει την θέση του (float) η ένδειξη είναι κίτρινη. Εάν η επίλυση είναι επιτυχής και η θέση του καθοριστεί (fixed) τότε η ένδειξη είναι πράσινη.
- Τέλος, η τελευταία ένδειξη δείχνει ότι ο δέκτης καταγράφει καθώς και τη κατάσταση της μνήμης του. Σε περίπτωση που η ένδειξη είναι κίτρινη τότε ο χρήστης προειδοποιείται για απουσία αποθηκευτικού χώρου.

Στα δύο τριγωνομετρικά σημεία «ΑΡΜΑΚΙΑΣ» και «ΣΕΒΑΣΤΑΙΙΚΑ» δύναται η δυνατότητα να μη χρησιμοποιηθεί τρικόγλιο και πλάκα κεντρώσεως για οριζοντίωση και κέντρωση της κεραίας λόγω μηχανισμού που διαθέτουν εσωτερικά τα συγκεκριμένα βάρη παρά μόνο ένας μεταλλικός στυλός που βιδώνεται στο κέντρο

του βάθρου. Στα υπόλοιπα σημεία η οριζοντίωση και κέντρωση της κεραίας γίνεται με πλάκα κεντρώσεως, τρικόγλιο, στυλεό.

Στις επόμενες Εικόνες 4.5,4.6,4.7,4.8 παρουσιάζεται η τελική διάταξη της κεραίας στο ίδιο τριγωνομετρικό βάθρο για κάθε έτος.

- Τριγωνομετρικό Σημείο «ΑΡΜΑΚΙΑΣ»



- Τριγωνομετρικό Σημείο «ΠΡΟΦΗΤΗΣ ΗΛΙΑΣ»



- Τριγωνομετρικό Σημείο «ΣΕΒΑΣΤΑΠΙΚΑ»



- Τριγωνομετρικό Σημείο «ΜΑΝΔΡΙΑ»



4.3 Καταγραφή Δεδομένων

Η διαδικασία συλλογής των δεδομένων (που και για τα δύο έτη η ίδια διαδικασία ακολουθείται) έγινε με τη σειρά που παρουσιάζεται παρακάτω.

- Τοποθέτηση και ρύθμιση της πλάκας κεντρώσεως πάνω στο τριγωνομετρικό βάθρο.
- Τοποθέτηση του τριχογλίου πάνω στη πλάκα κεντρώσεως, και οριζοντίωση του.
- Τοποθέτηση του στυλεού πάνω στο τρικόγλιο και ακολούθως τη κεραία πάνω στο στυλεό.
- Μέτρηση του (κατακόρυφου) ύψους κεραίας από την ειδική σήμανση που είναι σημειωμένη στο εξωτερικό περίβλημα της κεραίας για να σημειωθεί μετέπειτα στο αρχείο καταγραφής.
- Ενεργοποίηση του δέκτη
 - i) Δημιουργία αρχείου καταγραφής μετρήσεων
 - ii) Καταγραφή μετρήσεων

Όσον αφορά την έναρξη καταγραφής μετρήσεων για το έτος 2020 αυτή έγινε με ταυτόχρονη σύνδεση κεραίας και δέκτη και εν τέλει αποθήκευση του αρχείου στο δέκτη. Στο πίνακα 4.5. απεικονίζεται ο χρόνος καταγραφής μετρήσεων σε κάθε τριγωνομετρικό σημείο για το συγκεκριμένο έτος.

Ημερομηνία	Χρόνος καταγραφής	Τριγωνομετρικό Σημείο
06-08-20	7 hr 53 min	ΑΡΜΑΚΙΑΣ (330018)
07-08-20	6 hr 24 min	ΣΕΒΑΣΤΑΠΚΑ (239024)

Πίνακας 4.5 Χρόνοι καταγραφής μετρήσεων έτους 2020

Επιπλέον οι παρατηρήσεις αυτές και για τις δύο ημέρες μετρήσεων έγιναν με ρυθμό καταγραφής 15 δευτερολέπτων, συνολικά ο αριθμός ορατών δορυφόρων ήταν 19 στο σημείο «ΑΡΜΑΚΙΑΣ» και 16 στο σημείο «ΣΕΒΑΣΤΑΠΚΑ» και μόνο κατηγορίας GPS.

Για το έτος 2021, οι καταγραφές πραγματοποιήθηκαν με τη βοήθεια της εφαρμογής NetBrowser που βρίσκεται ελεύθερη στο Play Store για Android κινητά.

Η έναρξη καταγραφής μετρήσεων, ονομασία των σχετικών αρχείων πραγματοποιείται μέσω της εφαρμογής με απαραίτητη προϋπόθεση να έχει γίνει σύνδεση δέκτη-κινητού μέσω Bluetooth.

Επιπλέον, πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις σε δύο τριγωνομετρικά σημεία και συγκεκριμένα στα «Προφήτης Ηλίας» και «Μανδριά» με σκοπό την επεξεργασία των μετρήσεων με χρήση τεχνικών **PPP** (Precise Point Positioning).

Επίσης με τη συγκεκριμένη μέθοδο επιλύθηκαν και τα αρχεία μετρήσεων των τριγωνομετρικών σημείων «ΑΡΜΑΚΙΑΣ» και «ΣΕΒΑΣΤΑΠΚΑ» με σκοπό την εκτίμηση των συντεταγμένων και σφαλμάτων τους για κάθε έτος.

Στο πίνακα 4.6 φαίνονται συγκεντρωτικά οι ημερομηνίες και χρόνοι καταγραφής σε κάθε τριγωνομετρικό σημείο για το έτος 2021.

Ημερομηνία	Χρόνος καταγραφής	Τριγωνομετρικό Σημείο
21-06-21	7 hr	ΑΡΜΑΚΙΑΣ (330018)
22-06-21	7 hr 06 min	ΣΕΒΑΣΤΑΠΚΑ (239024)
23-06-21	6 hr 1 min	ΜΑΝΔΡΙΑ (330051)
	7 hr 23 min	ΠΡΟΦ. ΗΛΙΑΣ (330028)

Πίνακας 4.6 Ημερομηνίες & Χρόνοι Μετρήσεων

Επιπλέον οι παρατηρήσεις αυτές και για τις δύο ημέρες μετρήσεων έγιναν με ρυθμό καταγραφής 10 δευτερολέπτων, συνολικά ο αριθμός ορατών δορυφόρων ήταν 47 στο

«ΑΡΜΑΚΙΑΣ» και 44 στο «ΣΕΒΑΣΤΑΙΙΚΑ» και τύπου GPS, GLONASS, SBAS και GALILEO.

Σε όλο το διάστημα των μετρήσεων οι καιρικές συνθήκες ήταν καλές και υπήρχε μεγάλο πλήθος δορυφόρων όπου πραγματοποιήθηκαν παρατηρήσεις.

Κεφάλαιο 5 Επίλυση με Χρήση PPP

5.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται η εφαρμογή της τεχνικής του Ακριβούς Απόλυτου Εντοπισμού Θέσης PPP (Precise Point Positioning) στα δεδομένα της εργασίας. Γίνεται σύντομη περιγραφή της μεθόδου και παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από δύο διαδικτυακές υπηρεσίες και συγκεκριμένα την υπηρεσία CSRS-PPP και την υπηρεσία AUSPOS.

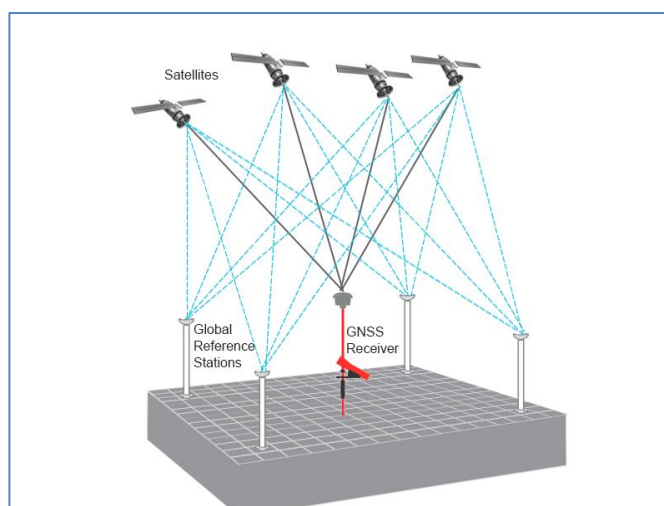
5.2 Γενικά

Η τεχνική του Ακριβούς Απόλυτου Εντοπισμού Θέσης PPP (Precise Point Positioning) είναι μια μέθοδος δορυφορικού εντοπισμού που έχει στόχο την απόδοση λύσεων με πολύ υψηλή ακρίβεια και εκ των υστέρων αλλά και σε σχεδόν πραγματικό χρόνο. Θεωρείται μια βελτιωμένη τεχνική απόλυτου προσδιορισμού για μετρήσεις ψευδοαποστάσεων φάσης και κώδικα, μέσω αξιοποίησης διορθώσεων των χρονομέτρων των δορυφόρων που παρατηρούνται και αξιοποίησης εφημερίδων ακριβείας αντί χρήσης εκπεμπόμενων δεδομένων. Η διαφορά της με τον σημειακό απόλυτο εντοπισμό θέσης έγκειται στο γεγονός ότι η πρώτη, εκτός από τις μετρήσεις του κώδικα των δορυφορικών σημάτων, χρησιμοποιεί και τις μετρήσεις φάσης του φέροντος κύματος (carrier phase observables) στις δύο συχνότητες L1 και L2, οι οποίες προσδίδουν μεγαλύτερη ακρίβεια στον εντοπισμό θέσης.

Επιπλέον μετά το στάδιο της μετεπεξεργασίας και συνόρθωσης όλων των μετρήσεων προσδιορίζονται εκτός από τις καρτεσιανές συντεταγμένες του δέκτη, η επίδραση της τροπόσφαιρας, το σφάλμα χρονομέτρου του δέκτη και οι πραγματικές ασάφειες φάσης. Υπάρχει η δυνατότητα να παρέχει ακρίβεια προσδιορισμού θέσης μερικών εκατοστών και σε επίπεδο δεκατόμετρου σε στατικό και κινηματικό τύπο εντοπισμού αντίστοιχα (Zumberge et al. 1997, Bisnath & Gao 2009, Seepersad 2012). Η ακρίβεια και η ποιότητα των PPP λύσεων εξαρτάται σε σημαντικό βαθμό από την ακρίβεια των προϊόντων των δορυφορικών τροχιών και χρονομέτρων που παρέχει η Διεθνής Υπηρεσία GNSS, IGS (International GNSS Service).

Για την εκτίμηση των συντεταγμένων των σημείων, γίνεται αναφορά στη τρέχουσα εποχή της εφημερίδας ακρίβειας που χρησιμοποιείται που είναι το ITRF (International Terrestrial Reference Frame). Γενικώς απαιτείται ελάχιστη χρονική διάρκεια (30 λεπτά) ως προς τη καταγραφή δεδομένων και σίγουρα η ποιότητα λύσης εξαρτάται από το ρυθμό καταγραφής, τη γεωμετρία και τον αριθμό των δορυφόρων που παρατηρούνται καθώς και τη ποιότητα και χρονική διάρκεια μετρήσεων. Επίσης, λόγω του γεγονότος ότι δεν έχουν αντιμετωπισθεί προς το παρόν όλες οι αδυναμίες της τεχνικής PPP, όπως η αδυναμία επίλυσης των αέριων ασαφειών φάσης, αυτή απαιτεί ένα χρονικό διάστημα αρχικοποίησης ώστε να επιτευχθεί η μέγιστη απόδοση της λύσης, στην Εικόνα 5.1. παρουσιάζεται το πώς πραγματοποιείται η μέθοδος PPP.

Υπάρχουν αρκετοί πάροχοι υπηρεσιών PPP, οι οποίοι λειτουργούν ένα δίκτυο επίγειων σταθμών αναφοράς για τη συλλογή δεδομένων διόρθωσης για τα διαφορετικά σήματα που εκπέμπονται από κάθε δορυφόρο. Οι διορθώσεις που υπολογίζονται από αυτά τα δεδομένα μεταδίδονται από δορυφόρους στους δέκτες των εγγεγραμμένων χρηστών, στη παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκαν επιλύσεις των σχετικών αρχείων μέσω των παρόχων υπηρεσιών CSRS-PPP και AUSPOS των οποίων η επεξήγηση ακολουθεί παρακάτω.



Εικόνα 5.1 PPP Μέθοδος (Πηγή: www.everythingrf.com)

5.3 Υπηρεσία CSRS-PPP Canadian Spatial Reference System

5.3.1 Εισαγωγή

Η υπηρεσία CSRS – PPP είναι η διαδικτυακή υπηρεσία επίλυσης δορυφορικών δεδομένων που παρέχεται από το Υπουργείο της Καναδικής Κυβέρνησης NRCan (Natural Resources Canada). Παρέχονται μέσω αυτής στους χρήστες εκτιμήσεις απόλυτου προσδιορισμού θέσης με επεξεργασία εκ των υστέρων των υποβληθέντων δεδομένων GNSS.

Η διαδικασία της επεξεργασίας των δεδομένων εκ των υστέρων μπορεί να υλοποιηθεί τόσο στην στατική (σταθερός δέκτης) όσο και στην κινηματική μέθοδο (κινούμενος δέκτης).

Το σημαντικό πλεονέκτημα που παρέχει η συγκεκριμένη υπηρεσία, είναι ότι έχει τη δυνατότητα επεξεργασίας δεδομένων GPS και GLONASS. Επιπλέον, ενώ η υπηρεσία CSRS-PPP δε θέτει ελάχιστη διάρκεια παρατηρήσεων, σημειώνει ωστόσο ότι το ασυμπιεστο RINEX αρχείο που θα υποβληθεί δεν πρέπει να ξεπερνά τα 100MB σε μέγεθος, που μπορεί να συνεπάγεται μέχρι και έξι ημέρες συνεχών παρατηρήσεων.

5.3.2 Πρόσβαση στην υπηρεσία CSRS-PPP

Στη Εικόνα 5.2 απεικονίζεται η πλατφόρμα της Καναδικής Υπηρεσίας (CSRS-PPP) και οι επιλογές που έχει ο χρήστης για την επεξεργασία των δεδομένων.

5.3.2.1 Διαδικασία υποβολής δεδομένων από χρήστη

Για τη χρήση της online υπηρεσίας πρέπει να γίνουν τα εξής βήματα κατά σειρά

1. Πρόσβαση σε έναν browser(π.χ. Mozilla, Chrome) διαδικτύου και έναν λογαριασμό ηλεκτρονικού ταχυδρομείου
2. Εγγραφή στην υπηρεσία από τον χρήστη
3. Επιλογή του εργαλείου CSRS-PPP όπου ο χρήστης :
 - a) δηλώνει την διεύθυνση ηλεκτρονικού ταχυδρομείου που επιθυμεί να αποσταλούν τα αποτελέσματα.
 - b) Επιλέγει μεταξύ της στατικής και κινηματικής μεθόδου επεξεργασίας, καθώς και το σύστημα αναφοράς στο οποίο θέλει να προσδιορισθούν οι τελικές του συντεταγμένες. στην περίπτωση που επιλεγθεί το ITRF ως σύστημα αναφοράς, η εποχή θα είναι ίδια με τα δεδομένα GNSS. Στην περίπτωση που επιλεγθεί το σύστημα NAD83, ο χρήστης καλείται να επιλέξει την εποχή στην οποία θα προκύψουν οι συντεταγμένες.
 - c) Εν συνεχεία, ο χρήστης μπορεί να επιλέξει και να υποβάλει το αρχείο του σε μορφή RINEX σε συμπιεσμένη μορφή μονής(L1) ή διπλής συχνότητας(L1 &L2) που έχουν συλλεχθεί με την τεχνική του στατικού ή κινηματικού εντοπισμού, τα αποτελέσματα του οποίου θα αποσταλούν στη διεύθυνση ηλεκτρονικού ταχυδρομείου που έχει δηλώσει. Η υποβολή των αρχείων γίνεται μέσω upload με χρήση του browser, όπου ο χρήστης καλείται να επιλέξει τη διαδρομή αποθήκευσης του αρχείου για επεξεργασία. Η υπηρεσία επιτρέπει την υποβολή ενός αρχείου κάθε φορά, ενώ δεν τίθεται μέγιστο όριο όσον αφορά τον συνολικό αριθμό υποβληθέντων αρχείων από κάθε χρήστη.
 - d) Τα αποτελέσματα της επεξεργασίας αποστέλλονται στον λογαριασμό ηλεκτρονικού ταχυδρομείου του χρήστη που δηλώθηκε (**βήμα a)**)

The screenshot shows the CSRS-PPP web interface with the following elements:

- Navigation tabs: Last 1h, 1h Avg, Last 24h, 24h Avg.
- Header: Help for CSRS PPP (Updated 2021-12-21), Profile, Sign out.
- Email for results (required): (labeled a)
- Processing mode:
 - Static (selected) / Kinematic
 - NAD83 / ITRF (labeled b)
 - Notes:
 - The epoch will be the same as the GPS data.
 - A UTM zone will be calculated from the longitude.
- Vertical datum: CGVD2013
- Contribute to passive control maintenance? (What is this?)
 - Authorize the Canadian Geodetic Survey to archive and publish CSRS-PPP submission and solution
 - Official Canadian federal or provincial geodetic marker number:
- More options:
- RINEX observation file(s), 300 MB max (.zip, .gz, .Z, .tar, .???)
 - Note: You may submit multiple RINEX files in a single .zip or .tar archive (labeled c)
 - Choose File: No file chosen
 - Remove plots from CSRS-PPP solution PDF report (Why?)
- Submit to PPP (labeled d)

Εικόνα 5.2 Πλατφόρμα Καναδικής Υπηρεσίας CSRS-PPP (Πηγή : www.nrcan.gc.ca)

5.3.2.2 Αποδεκτοί Τύποι Δεδομένων & Συμπίεσης Αρχείων

Όπως προαναφέρθηκε ο χρήστης θα πρέπει να υποβάλλει τα δεδομένα στην ιστοσελίδα σε μορφή RINEX. Τα αρχεία των μετρήσεων που υποβάλλονται στην εν λόγω υπηρεσία πρέπει να είναι συγκεκριμένα είτε σε συμπίεσμένη είτε σε μη συμπίεσμένη μορφή. Οι τύποι συμπίεσης που υποστηρίζει η υπηρεσία είναι οι εξής.

- UNIX -> .Z
- Hatanaka -> .YYd
- ZIP -> .zip
- gzip -> .gz

Η εν λόγω υπηρεσία δίνει τη δυνατότητα υπολογισμού σε καρτεσιανές και γεωδαιτικές συντεταγμένες των επιθυμητών σημείων σε δύο (2) συστήματα αναφοράς, το ITRF2008 και το NAD83. Ο χρήστης επιλέγει ανάμεσα στα δύο παραπάνω συστήματα στην φόρμα υποβολής των αρχείων, με μόνο κριτήριο την καταλληλότητα τους για τον σκοπό της εργασίας του.

5.3.2.3 Αποστολή Αποτελεσμάτων

Μετά το τέλος της επεξεργασίας των αρχείων, αποστέλλεται στην διεύθυνση ηλεκτρονικού ταχυδρομείου που δήλωσε κατά την υποβολή ο χρήστης, mail το οποίο περιλαμβάνει τα παρακάτω στοιχεία:

Τρεις συνδέσμους(links) από τους οποίους ο χρήστης μπορεί να λάβει, εντός 24 ωρών, τα τελικά αρχεία που προέκυψαν από τη διαδικασία υπολογισμού των συντεταγμένων των επιθυμητών σημείων, τα οποία περιλαμβάνουν το σύνολο των αποτελεσμάτων και ονομάζονται κατά σειρά **summary,graphics,residuals**.

Το **Summary** συγκεκριμένα περιλαμβάνει:

- Γεωδαιτικές συντεταγμένες(φ,λ,h) του κάθε σημείου μαζί με τα τυπικά σφάλματα τους σε επίπεδο εμπιστοσύνης 95%.
- Τοποκεντρικές Συντεταγμένες στη ζώνη UTM 35 E,N (Εγκάρσια Μερκατορική Προβολή)
- Γεωκεντρικές Συντεταγμένες X,Y,Z μαζί με τα τυπικά σφάλματα τους σε επίπεδο εμπιστοσύνης 95%
- Το ελλειψοειδές που χρησιμοποιήθηκε για τη μετατροπή από γεωκεντρικές σε γεωδαιτικές συντεταγμένες το οποίο είναι το GRS80.
- Τους δορυφόρους που χρησιμοποιήθηκαν GPS & GLONASS
- Είδος τροχιών και χρονομέτρων που χρησιμοποιήθηκαν (IGSFinal)

Το **graphics** πρόκειται για ένα pdf αρχείο το οποίο περιλαμβάνει:

Στη πρώτη σελίδα που απεικονίζεται η έκδοση του λογισμικού υπάρχουν επίσης,

- Ώρα έναρξης & παύσης μετρήσεων καθώς και διάστημα παρατηρήσεων
- Ώρα επεξεργασίας από το λογισμικό
- Συχνότητα (Μονή ή Διπλή), Μέθοδος Εντοπισμού (Στατικό ή Κινηματικό) και είδος παρατηρήσεων (Κώδικα & Φάσης)
- Γωνία αποκοπής δορυφόρων, τύπος και ύψος κεραίας
- Εκτίμηση γεωδαιτικών συντεταγμένων στο ITRF14 φ,λ,h, τα τυπικά σφάλματα τους, a priori συντεταγμένες και τα σφάλματα a priori.
- Έλλειψη σφάλματος με 95% επίπεδο εμπιστοσύνης
- Τοποκεντρικές συντεταγμένες E,N στο UTM 35.

Στις επόμενες σελίδες του αρχείου απεικονίζονται κατά σειρά τα εξής διαγράμματα

- Ορατότητας δορυφόρων
- Συγκλίσεις διορθώσεων αρχικής θέσης
- Απεικόνιση εκτίμησης τροποσφαιρικού σφάλματος στις παρατηρήσεις (4^η σελίδα)
- Σφάλματος ρολογιού του δέκτη

- Υπόλοιπα μετρήσεων ψευδοαπόστασης
- Ασαφειών & υπόλοιπα μετρήσεων Φάσης

Και τη δήλωση πως η Natural Resources Canada δεν αναλαμβάνει καμία ευθύνη που θα μπορούσε άμεσα ή έμμεσα να προκύψει από οποιοδήποτε περιεχόμενο της υπηρεσίας PPP.

Το αρχείο **residuals** αφορά τα σφάλματα των επιλύσεων για κάθε εποχή μέτρησης και σήματος.

Αν δε καταστεί δυνατή η επεξεργασία των αρχείων, επισυνάπτονται ηλεκτρονικά μηνύματα αναφοράς σφάλματος, που μπορεί να βοηθήσουν στην αντιμετώπιση τους.

5.4 Υπηρεσία AUSPOS

5.4.1 Εισαγωγή

Η Υπηρεσία AUSPOS είναι μια online υπηρεσία επεξεργασίας παρατηρήσεων GPS, που λειτουργεί επίσημα από τις 11 Νοεμβρίου 2000. Αναπτύχθηκε και λειτουργεί από τον εθνικό οργανισμό χαρτογράφησης της Αυστραλίας(AUSLIG).

Η AUSPOS παρέχει θεμελιώδεις γεωγραφικές πληροφορίες για την υποστήριξη της μεταλλουργίας, της γεωργίας, των μεταφορών του τουρισμού και της βιομηχανίας επικοινωνιών, αλλά και δραστηριότητες άμυνας, εκπαίδευσης και υπηρεσιών έκτακτης ανάγκης.

Η AUSPOS παρέχει στους χρήστες την δυνατότητα να υποβάλουν μέσω Internet Rinex αρχεία δεδομένων γεωδαιτικών παρατηρήσεων στατικού εντοπισμού θέσης δύο συχνοτήτων και να λάβουν σε σύντομο χρονικό διάστημα ακριβείς συντεταγμένες και λειτουργεί 24 ώρες το 24ωρο. Η υπηρεσία αυτή παρέχεται δωρεάν σε όλους τους χρήστες, επωφελείται τόσο από τα προϊόντα όσο και από το δίκτυο της IGS και λειτουργεί με δεδομένα GPS που μπορεί να έχουν συλλεχθεί από όλο τον κόσμο.(Dimoroulou, 2008)

5.4.2 Χαρακτηριστικά και Λειτουργίες της AUSPOS

Στην ενότητα αυτή θα περιγραφούν συνοπτικά, κύρια χαρακτηριστικά και λειτουργίες που αφορούν την υπηρεσία AUSPOS.

Η υπηρεσία μπορεί να επεξεργαστεί αρχεία μετρήσεων στο σύστημα GPS, τα οποία περιέχουν παρατηρήσεις φέρουσας φάσης και κώδικα, και στις δύο συχνότητες L1 και L2. Τα αρχεία πρέπει να είναι σε RINEX μορφή και να προέρχονται από μετρήσεις με τη μέθοδο του στατικού εντοπισμού. Τα δεδομένα πλοήγησης και εφημερίδων (nav. file) δεν πρέπει να υποβληθούν στην υπηρεσία καθώς δεν συμμετέχουν στην διαδικασία επεξεργασίας των δεδομένων, προτείνεται η ελάχιστη

διάρκεια παρατηρήσεων να είναι οι 2 ώρες. Παρ' όλα αυτά η AUSPOS προτείνει, για την επίτευξη καλύτερης ακρίβειας στα αποτελέσματα, τα αρχεία να περιέχουν παρατηρήσεις τουλάχιστον 6ωρης διάρκειας.

Μπορούν να αποσταλούν τα δεδομένα προς επεξεργασία και μέσω ενός browser αλλά και μέσω ftp. Ο αριθμός των αρχείων που μπορούν να μεταφορτωθούν είναι μέχρι και 7 αρχεία σε κάθε υποβολή δεδομένων. Γενικώς, δεν υπάρχει περιορισμός στο συνολικό αριθμό υποβολών δεδομένων κάθε χρήστη, σημειώνεται πως υπάρχει δυνατότητα για κάθε αρχείο που υποβάλλεται από το χρήστη να μπορεί ο ίδιος να δηλώσει ξεχωριστά το ύψος και τον τύπο της κεραίας που χρησιμοποιήθηκε.

Για τα δεδομένα της τροχιάς και του προσανατολισμού της γης, η AUSPOS χρησιμοποιεί τα προϊόντα που παρέχονται από την IGS. Ανάλογα με την ημερομηνία συλλογής των δεδομένων και την ημερομηνία υποβολής τους προς επεξεργασία, η υπηρεσία χρησιμοποιεί τα ακριβέστερα δυνατά προϊόντα.

Όσον αφορά τα πλαίσια αναφοράς των αποτελεσμάτων αυτά είναι δύο ή το παγκόσμιο ITRF ή το τοπικό, για την Αυστραλία, GDA94. Για τον υπολογισμό των συντεταγμένων που θα βασίζονται στο GDA94 αυτός γίνεται μόνο μέσω σταθμών που βρίσκονται στην επικράτεια της Αυστραλίας. Τα υψόμετρα των σημείων προκύπτουν βάσει του γεωειδούς που βασίζεται η υπηρεσία, το AUSGeoid98.

Αναφορικά με τη ποιότητα των αποτελεσμάτων αυτή εξαρτάται από τη ποσότητα και ποιότητα των δεδομένων που έχουν υποβληθεί καθώς και τη ποιότητα των IGS τροχιακών δεδομένων. Γενικά, επιλύσεις παρατηρήσεων που έχουν διαρκέσει 2 ώρες (ελάχιστη αποδεκτή διάρκεια) οδηγούν σε ακρίβεια συντεταγμένων 20 mm οριζοντιογραφικά και 50 mm υψομετρικά ενώ αντιθέτως 24 ωρών <10 mm οριζοντιογραφικά και 20 mm υψομετρικά.

Παράγοντες χαμηλής ακρίβειας στα αποτελέσματα μπορεί να είναι, ο λάθος ορισμός ύψους και τύπου κεραίας, οι μικρές διάρκειας παρατηρήσεις, τα λανθασμένα δεδομένα ψευδοαποστάσεων, το μεγάλο πλήθος ολισθήσεως κύκλων.

Σημειώνεται πως σφάλματα όπως το τροποσφαιρικό, ιονοσφαιρικό, απόκλιση χρονομέτρου δέκτη που οφείλονται στις παρατηρήσεις λαμβάνονται υπόψη μέσω μοντέλων ή εκτίμηση των σχετικών παραμέτρων.

5.4.3 Διαδικασία Υποβολής Δεδομένων από το Χρήστη

Στις Εικόνες 5.3 και 5.4 απεικονίζεται η πλατφόρμα της Αυστραλιανής Υπηρεσίας (AUSPOS) και οι επιλογές που έχει ο χρήστης για την επεξεργασία των δεδομένων που θα κάνει upload, οι οποίες επεξηγούνται παρακάτω.

1. Ο χρήστης θα επιλέξει μέσω του Choose File(s) τα αρχεία RINEX προς επεξεργασία από τον υπολογιστή του.

2. Πληκτρολόγηση email από τον χρήστη που θα σταλούν τα δεδομένα από την υπηρεσία αφότου γίνει επεξεργασία τους από την υπηρεσία.
3. Ο χρήστης εδώ πληκτρολογεί στο διατιθέμενο χώρο κατά σειρά το ύψος κεραίας (Height(m)) και το τύπο κεραίας(Antenna Type).
4. Τέλος γίνεται υποβολή (Submit) και ακολουθεί η επεξεργασία από την υπηρεσία. Η αποστολή των αρχείων γίνεται συνήθως εντός 15 λεπτών στο email που επέλεξε σε μορφή pdf.

Εικόνα 5.3 Περιβάλλον Υπηρεσίας AUSPOS (1) (Πηγή: www.ga.gov.au)

Εικόνα 5.4 Περιβάλλον Υπηρεσίας AUSPOS (2) (Πηγή: www.ga.gov.au)

5.4.4 Αποδεκτοί Τύποι Δεδομένων και Συμπίεσης Αρχείων

Τα αρχεία που υποβάλλονται μπορούν να είναι ασυμπίεστα ή να έχουν συμπιεστεί. Οι υποστηριζόμενοι τύποι συμπιεσμένων αρχείων είναι .Z για UNIX συμπίεση, .Yzd για Hatanaka συμπίεση, .zip για ZIP συμπίεση, .gz για gzip συμπίεση. Θα πρέπει να σημειωθεί πως τα ZIP συμπιεσμένα αρχεία θα πρέπει να περιέχουν ένα μόνο αρχείο παρατηρήσεων, ενώ σε κάθε υποβολή μπορούν να συμπεριληφθούν μέχρι και 7 τέτοια αρχεία.

5.4.5 Παρουσίαση Αποτελεσμάτων

Το αρχείο που αποστέλλεται, αποτελείται από μια εισαγωγική σελίδα με τα αποτελέσματα να είναι ταξινομημένα σε 4 ή 5 ενότητες ανάλογα σε ποιο πλαίσιο αναφοράς εκφράζονται οι συντεταγμένες καθώς και μια σελίδα στο τέλος που αναφέρονται οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν στους υπολογισμούς.

Στη πρώτη σελίδα εμφανίζονται :

- Το λογότυπο της Geoscience Australia
- Ο τίτλος αναφοράς AUSPOS Online Processing Report
- Ημερομηνία
- Κείμενο που αφορά τη λειτουργία της υπηρεσίας
- Στοιχεία επικοινωνίας με το τμήμα της υπηρεσίας
- Αριθμός υποβολής δεδομένων, email χρήστη & αριθμός έκδοσης του λογισμικού

Πρώτη Ενότητα

Ύπαρξη πίνακα όπου μέσα σε αυτόν για κάθε αρχείο που έχει επεξεργαστεί υπάρχουν το όνομα, το ύψος και τύπος κεραίας και οι χρόνοι έναρξης και παύσης των μετρήσεων. Επίσης απεικονίζονται σε εικόνα ο σταθμός του χρήστη και οι σταθμοί της IGS που χρησιμοποιήθηκαν στην επεξεργασία.

Δεύτερη Ενότητα

Ύπαρξη πίνακα που εμφανίζονται η ημερομηνία μετρήσεων, τα ονόματα των IGS σταθμών και του ζητούμενου σταθμού που χρησιμοποιήθηκαν στην επεξεργασία, καθώς και το τύπο των δεδομένων τροχιάς

Τρίτη Ενότητα

Λίστα με υπολογισμένες συντεταγμένες των ζητούμενων σημείων στο Αυστραλιανό Πλαίσιο Αναφοράς GDA94 οι οποίες υπολογίζονται μέσω μετατροπής από το πλαίσιο ITRF μέσω χρήσεως παραμέτρων μετασχηματισμού. Ακολουθεί πίνακας όπου απεικονίζονται οι καρτεσιανές συντεταγμένες των ζητούμενων σημείων που αφορούν την επεξεργασία και οι γεωδαιτικές συντεταγμένες τους στο ελλειψοειδές GRS80. Υπενθυμίζεται πως τα υψόμετρα που υπολογίζονται προκύπτουν με τη βοήθεια του γεωειδούς AUSGeoid98.

Τέταρτη Ενότητα

Αφορά λίστα με τις υπολογισμένες συντεταγμένες (γεωδαιτικές και γεωκεντρικές) στο πλαίσιο αναφοράς ITRF2000. Όλες οι συντεταγμένες βασίζονται στην IGS υλοποίηση του πλαισίου αναφοράς ITRF2000. Όσον αφορά τον υπολογισμό των

γεωδαιτικών συντεταγμένων και συγκεκριμένα το γεωμετρικό υψόμετρο, υπολογίζεται με τη βοήθεια του γεωειδούς EGM96.

Πέμπτη Ενότητα

Αφορά τη ποιότητα των αποτελεσμάτων της επεξεργασίας.

Το λογισμικό προτρέπει τον χρήστη να ελέγξει τα εξής:

- την ακρίβεια των συντεταγμένων (σ_X , σ_Y , σ_Z), με αποδεκτές τιμές μεταξύ των 0.001 και 0.025 m
- το RMS, που θα πρέπει να είναι εντός του εύρους 0.000-0.0250 m
- την εγγραφή του ύψους της κεραίας
- την a-priori ανανέωση των συντεταγμένων (dX , dY , dZ), η οποία θα πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ 0.000 και 15.000 μέτρων
- το ποσοστό των παρατηρήσεων που διαγράφηκαν, που μπορεί να ξεκινάει από 0 και δεν θα πρέπει να ξεπερνά το 25%.

Στην τελευταία σελίδα της αναφοράς περιγράφεται μια συνοπτική προσέγγιση της στρατηγικής που ακολουθήθηκε για την επεξεργασία των αποτελεσμάτων. Αποτελείται από τις παρακάτω υποενότητες :

Η μια υποενότητα δίνει πληροφορίες που αφορούν τις τιμές διόρθωσης που αφορούν το κέντρο βάρους των δορυφόρων, τις τιμές για τη διόρθωση του κέντρου φάσης της κεραίας, τις παρατηρήσεις, όπως το είδος των παρατηρήσεων, τη γωνία αποκοπής δορυφόρων, το ρυθμό καταγραφής των δεδομένων και τα βάρη που δίνονται για τη συνόρθωση. Επίσης περιέχει πληροφορίες για την τροπόσφαιρα, όπου αναφέρονται το μοντέλο και οι συναρτήσεις για τις διορθώσεις, την προ-επεξεργασία των παρατηρήσεων, που αφορά την διόρθωση χρονομέτρου του χρήστη, χρησιμοποιώντας πληροφορίες ψευδοαποστάσεων, τον τρόπο διόρθωσης της απόκλισης του κέντρου φάσης των επίγειων σταθμών IGS και το μοντέλο διόρθωσης του παράγοντα Atmospheric Drag, και του παράγοντα Center of Mass Correction / Attitude.

Η άλλη υποενότητα περιλαμβάνει την μοντελοποίηση των τροχιακών στοιχείων και δίνει στοιχεία για τα μοντέλα της βαρύτητας της γης, των παλιρροιών, της επίδρασης εξωτερικών σωμάτων, όπως ο Ήλιος, η Σελήνη και οι άλλοι πλανήτες, και, τέλος, της πίεσης της Άμεσης Ηλιακής Ακτινοβολία.

5.5 Αποτελέσματα PPP

Στη συγκεκριμένη ενότητα απεικονίζονται όλοι οι υπολογισμοί που πραγματοποιήθηκαν από τις υπηρεσίες CSRS και AUSPOS και η συγκριτική αξιολόγηση τους. Οι υπολογισμοί βασίζονται στα δεδομένα που συλλέχθηκαν στο πεδίο από τις παρατηρήσεις GNSS που πραγματοποιήθηκαν στα 4 σημεία ενδιαφέροντος, τα τριγωνομετρικά σημεία «ΑΡΜΑΚΙΑΣ», «ΣΕΒΑΣΤΑΠΙΚΑ»,

«ΜΑΝΔΡΙΑ» και «ΠΡΟΦΗΤΗΣ ΗΛΙΑΣ» με συμβολισμούς «ΑΡΜΚ», «ΣΕΒΑ», «ΜΡΡΡ», «ΖΡΡΡ» αντίστοιχα. Θα εξαχθούν συμπεράσματα τα οποία θα χρησιμοποιηθούν στο κεφάλαιο 7.

Για τα τριγωνομετρικά ΖΡΡΡ και ΜΡΡΡ θα παρουσιαστούν στις επόμενες ενότητες, τα αποτελέσματα από την επεξεργασία με χρήση των δύο υπηρεσιών επίλυσης ΡΡΡ και ανάλυση των παρατηρήσεων GNSS. Επιπλέον, τα τριγωνομετρικά σημεία «ΑΡΜΑΚΙΑΣ» και «ΣΕΒΑΣΤΑΙΚΑ» στα οποία έγιναν εξάωρες παρατηρήσεις κατά τα δύο έτη (2020 και 2021), έγινε επίλυση των δεδομένων τόσο με τις δύο υπηρεσίες ΡΡΡ όσο και με το επιστημονικό λογισμικό GAMIT/GLOBK όπως περιγράφεται στο Κεφάλαιο 6.

5.5.1 Επίλυση και Παρουσίαση Δεδομένων με τη χρήση της υπηρεσίας CSRS-PPP

Τα αποτελέσματα των συντεταγμένων για τα δύο σημεία όπως εκτιμήθηκαν από την υπηρεσία CSRS-PPP δίνονται στους πίνακες 5.1 έως και 5.3.

Γεωδαιτικές Συντεταγμένες ITRF14			
Σημείο	φ(°)	λ(°)	h(m)
MPPP	37.8003957	26.8528242	152.48
ZPPP	37.7393338	26.9465284	418.32

Πίνακας 5.1 Γεωδαιτικές Συντεταγμένες σημείων στο ITRF14

ΓΕΩΚΕΝΤΡΙΚΕΣ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ ITRF14				Τυπικά Σφάλματα Συντ/μένων		
Σημείο	X (m)	Y (m)	Z (m)	σx (m)	σy (m)	σz (m)
MPPP	4502030.72	2279351.56	3888055.32	0.017	0.01	0.015
ZPPP	4502184.84	2288687.75	3882860.53	0.011	0.006	0.01

Πίνακας 5.2 Γεωκεντρικές Συντεταγμένες σημείων ITRF14

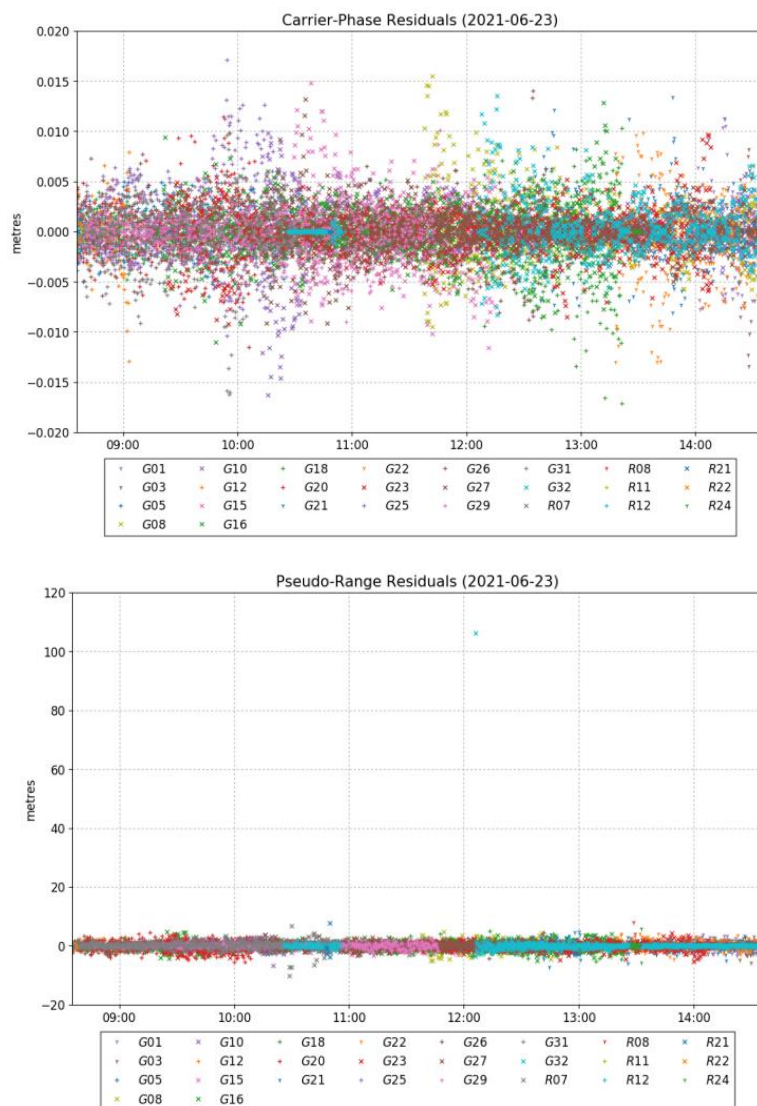
Τοποκεντρικές Συντεταγμένες & Τυπικά Σφάλματα							
Σημείο	East (m)	North (m)	h(m)	Ζώνη UTM(°)	σx (m) (95%)	σy (m) (95%)	σz (m) (95%)
MPPP	487043.41	4183679.08	152.48	35	0.005	0.006	0.024
ZPPP	495288.76	4176895.55	418.32	35	0.004	0.004	0.015

Πίνακας 5.3 Τοποκεντρικές Συντεταγμένες σημείων UTM(35) & Τυπικά Σφάλματα τους

Όπως φαίνεται στο πίνακα 5.3, οι αβεβαιότητες των τοποκεντρικών συντεταγμένων εκφράζονται για επίπεδο εμπιστοσύνης 95% και τη μεγαλύτερη αβεβαιότητα θέσης από τα 2 σημεία, τη παρουσιάζει το σημείο «ΜΑΝΔΡΙΑ», το οποίο ίσως οφείλεται στο ελαφρώς λιγότερο διάστημα παρατηρήσεων που πραγματοποιήθηκε εκεί.

Για την αξιολόγηση της αξιοπιστίας των αποτελεσμάτων θα ληφθούν υπόψη και τα διαγράμματα που αποστέλλονται στο αρχείο των λύσεων πέρα από τις συντεταγμένες και τις αβεβαιότητές τους, τα οποία είναι των υπολοίπων των ψευδοαποστάσεων και

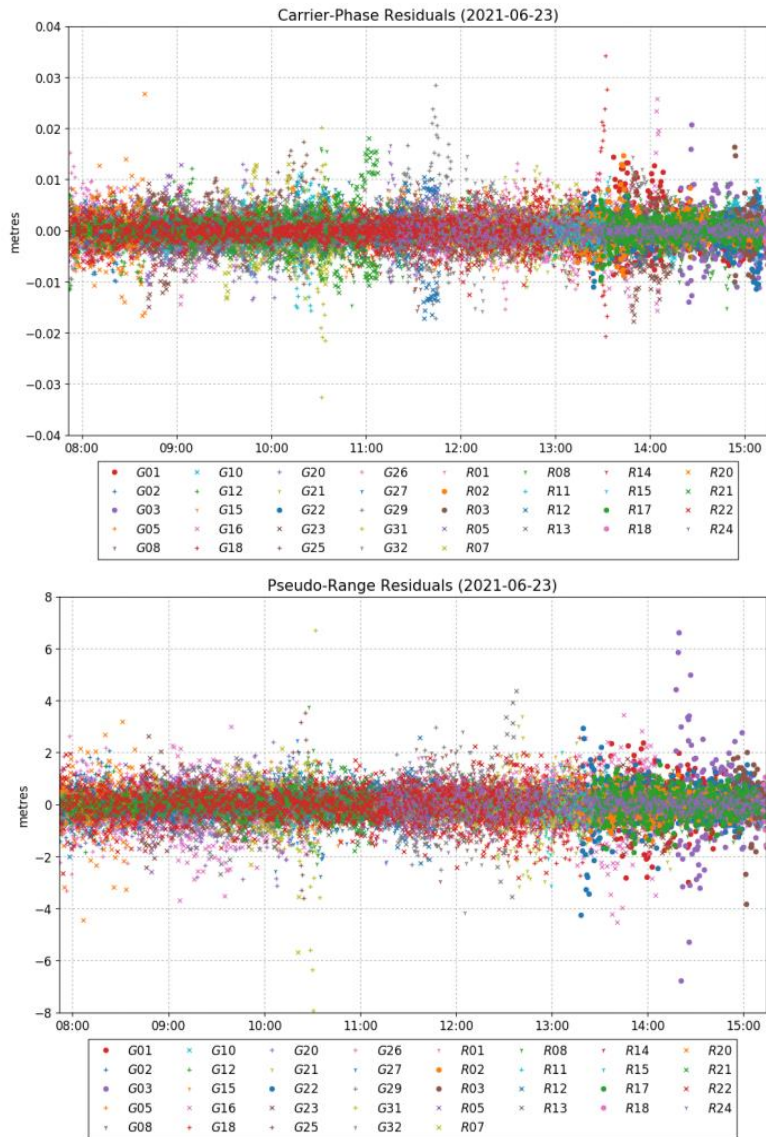
της φέρουσας φάσης, για κάθε ένα σημείο παρουσιάζονται παρακάτω (Εικόνες 5.5 και 5.6).



Εικόνα 5.5 Υπόλοιπα ψευδοαποστάσεων & φέρουσας φάσης για κάθε δορυφόρο στο σημείο «ΜΑΝΔΡΙΑ»

Όπως φαίνεται στα σχετικά διαγράμματα για το σημείο «ΜΑΝΔΡΙΑ» δε παρουσιάζονται μεγάλα υπόλοιπα ούτε στις ψευδοαποστάσεις αλλά ούτε και στη φέρουσα φάση, όπου στις πρώτες φθάνουν τα 5-6 m ενώ στη φέρουσα φάση δε ξεπερνάνε τα 2 cm.

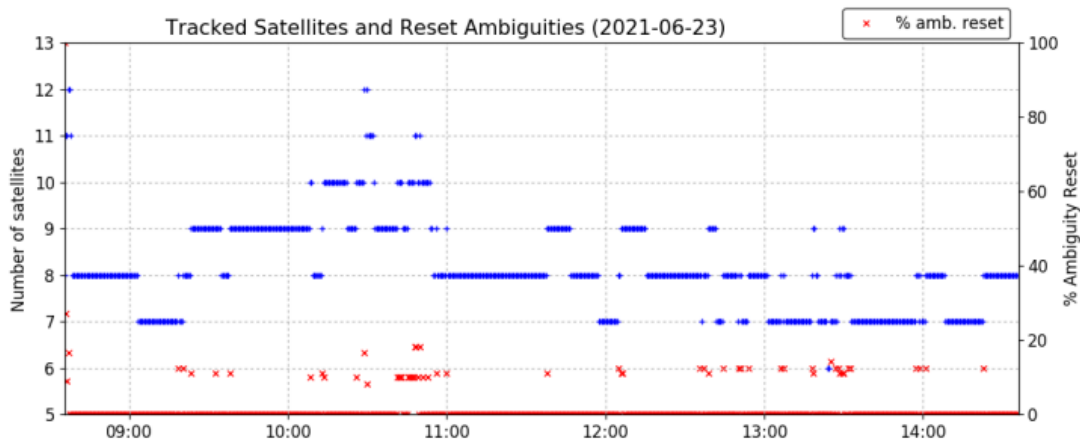
Όσον αφορά το σημείο «ΠΡΟΦΗΤΗΣ ΗΛΙΑΣ» όπως φαίνεται παρακάτω τα υπόλοιπα φάσης ξεπερνάνε τα 3 cm ενώ τα υπόλοιπα ψευδοαποστάσεων ξεπερνάνε τα 6 m. Αυτό ίσως οφείλεται στο γεγονός πως πολύ κοντά στο τριγωνομετρικό σημείο βρίσκεται κεραία της ΕΡΤ και ως αποτέλεσμα να υπάρχουν παρεμβολές στο σήμα εκπομπής κεραίας GPS-δορυφόρων.



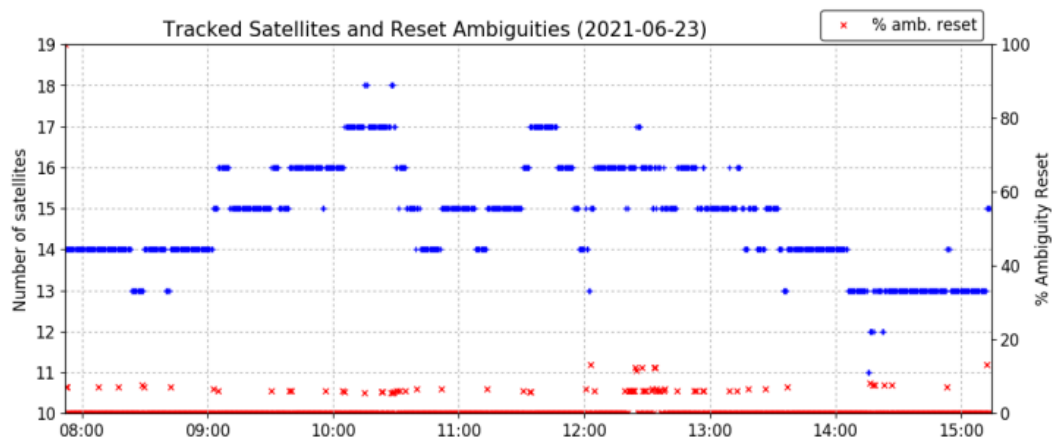
Εικόνα 5.6 Υπόλοιπα ψευδοαποστάσεων & φέρουσας φάσης για κάθε δορυφόρο στο σημείο «ΠΡΟΦΗΤΗΣ ΗΛΙΑΣ»

Επίσης ένδειξη της ποιότητας των δεδομένων που είχαν οι δέκτες και στα δύο σημεία ενδιαφέροντος αποτελούν τα διαγράμματα που απεικονίζουν τον αριθμό των δορυφόρων και ποσοστού επανέναρξης επίλυσης των ασαφειών φάσης.

Συγκεκριμένα και στα δύο σημεία, μπορεί η τάξη του αριθμού των δορυφόρων από τους οποίους λαμβάνονται παρατηρήσεις να διαφέρει αλλά το ποσοστό επανέναρξης επίλυσης των ασαφειών φάσης παραμένει γενικώς κάτω από το 10% κάτι το οποίο είναι θετικό, όπως φαίνεται και στις παρακάτω Εικόνες 5.7 και 5.8.



Εικόνα 5.7 Διάγραμμα αριθμού δορυφόρων και επανέναρξης επίλυσης ασαφειών φάσης για σημείο «ΜΑΝΔΡΙΑ»



Εικόνα 5.8 Διάγραμμα αριθμού δορυφόρων και επανέναρξης επίλυσης ασαφειών φάσης για σημείο «ΠΡΟΦΗΤΗΣ ΗΛΙΑΣ»

Για τα τριγωνομετρικά σημεία «ΑΡΜΑΚΙΑΣ» και «ΣΕΒΑΣΤΑΪΚΑ» δίνονται για κάθε έτος οι συντεταγμένες τους μαζί με τα τυπικά σφάλματά τους καθώς και οι μεταξύ τους διαφορές από τις επιλύσεις μέσω της υπηρεσίας CSRS-PPP (Πίνακες 5.4 και 5.5).

ΕΤΟΣ	ΓΕΩΚΕΝΤΡΙΚΕΣ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ ITRF14				Τυπικά Σφάλματα Συντ/μένων		
	ΣΗΜΕΙΟ	X(m)	Y(m)	Z(m)	σ _χ (m)	σ _γ (m)	σ _ζ (m)
2020	ARMK	4501603.67	2292462.13	3881068.30	0.018	0.01	0.016
	SEVA	4511577.01	2270072.12	3882918.08	0.02	0.011	0.017
2021	ARMK	4501603.71	2292462.16	3881068.22	0.014	0.008	0.012
	SEVA	4511577.25	2270072.21	3882917.78	0.014	0.008	0.011
Διαφορές 2021-2020	ARMK	0.035	0.033	-0.078			
	SEVA	0.24	0.099	-0.295			

Πίνακας 5.4 Πίνακας επιλύσεων για «ARMK» και «SEVA» μέσω CSRS-PPP

Παρατηρείται πως για το έτος 2021 τα τυπικά σφάλματα των συντεταγμένων και των δύο σταθμών είναι μικρότερα από τα αντίστοιχα για το έτος 2020.

Για να είναι ερμηνεύσιμα τα αποτελέσματα, μετατράπηκαν οι διαφορές $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$ σε τοποκεντρικό σύστημα και τα αποτελέσματα τους φαίνονται παρακάτω.

Για τις ανάγκες της μετατροπής χρησιμοποιήθηκαν οι εκτιμήσεις των φ, λ κάθε σημείου όπως δίνονται στον πίνακα 5.5.

Γεωδαιτικές Συντεταγμένες ITRF14		
Σημείο	$\varphi(^{\circ})$	$\lambda(^{\circ})$
ARMK	37.71998	26.98768
SEVA	37.73985	26.70999

Πίνακας 5.5 Πίνακας φ, λ κάθε σημείου

Η μετατροπή έγινε με την σχέση 5.1.

$$\begin{bmatrix} N \\ E \\ U \end{bmatrix} = R \begin{bmatrix} X - X_0 \\ Y - Y_0 \\ Z - Z_0 \end{bmatrix} \quad \text{και} \quad R = \begin{bmatrix} -\sin \varphi_0 \cos \lambda_0 & -\sin \varphi_0 \sin \lambda_0 & \cos \varphi_0 \\ -\sin \lambda_0 & \cos \lambda_0 & 0 \\ \cos \varphi_0 \cos \lambda_0 & \cos \varphi_0 \sin \lambda_0 & \sin \varphi_0 \end{bmatrix},$$

Σχέση 5.1 Τύπος μετατροπής από Γεωκεντρικό σε Τοποκεντρικό Σύστημα

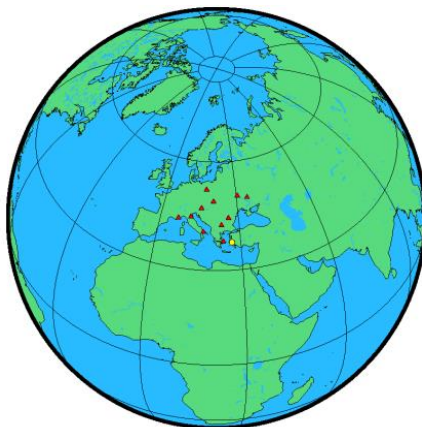
Τα αποτελέσματα των διαφορών σε τοποκεντρικό σύστημα είναι τα παρακάτω.

- Διάνυσμα $\Delta N, \Delta E, \Delta U$ (**ARMK**) = (-0.089942, 0.013523, -0.011204)m
- Διάνυσμα $\Delta N, \Delta E, \Delta U$ (**SEVA**) = (-0.39175, -0.019438, 0.024166) m

5.5.2 Επίλυση και Παρουσίαση Δεδομένων με τη χρήση της υπηρεσίας AUSPOS

Σε αντίθεση με την υπηρεσία CSRS η υπηρεσία AUSPOS παρέχει μόνο υπολογιστική πληροφορία και όχι ποιοτικά διαγράμματα.

Στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας τα δεδομένα για τα δύο σημεία ενδιαφέροντος (τριγωνομετρικά σημεία Γ.Υ.Σ) της Βορειοανατολικής Σάμου μεταφορτώθηκαν για επεξεργασία και στην υπηρεσία AUSPOS, παρακάτω απεικονίζονται σε χάρτη (Εικόνα 5.9) οι σταθμοί αναφοράς της IGS που χρησιμοποιήθηκαν από την υπηρεσία.



Εικόνα 5.9 Σταθμοί της IGS (κόκκινο χρώμα), Σταθμοί ενδιαφέροντος (κίτρινο χρώμα)

Όπως έχει προαναφερθεί, η υπηρεσία AUSPOS είναι μια διαδικτυακή υπηρεσία στην οποία υλοποιείται η μέθοδος του σχετικού εντοπισμού διότι γίνεται επίλυση των βάσεων που σχηματίζονται ανάμεσα στους μόνιμους σταθμούς αναφοράς και το δέκτη. Ενδιαφέρον παρουσιάζει η σύγκριση της ποιότητας των λύσεων με τις αντίστοιχες της υπηρεσίας CSRS.

Παρακάτω για το σημείο MPPP(αντιστοιχεί στην ονομασία «ΜΑΝΔΡΙΑ») και το σημείο ZPPP(αντιστοιχεί στην ονομασία «ΠΡΟΦΗΤΗ ΗΛΙΑ») δίνονται στους πίνακες 5.6 έως και 5.8 οι συντεταγμένες των δύο σημείων ενδιαφέροντος στο σύστημα ITRF14 σε γεωδαιτικές συντεταγμένες φ,λ,h και γεωκεντρικές X,Y,Z όπως επίσης και στο προβολικό σύστημα UTM 35 μοιρών αντίστοιχα μαζί με τα τυπικά σφάλματά τους.

Γεωδαιτικές Συντεταγμένες ITRF14			
Σημείο	φ(°)	λ(°)	h(m)
MPPP	37.8003956	26.8528242	152.471
ZPPP	37.7393337	26.9465283	418.308

Πίνακας 5.6 Γεωδαιτικές Συντεταγμένες σημείων στο ITRF14

ΓΕΩΚΕΝΤΡΙΚΕΣ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ ITRF2014			
Σημείο	X (m)	Y (m)	Z (m)
MPPP	4502030.72	2279351.56	3888055.31
ZPPP	4502184.84	2288687.75	3882860.52

Πίνακας 5.7 Γεωκεντρικές Συντεταγμένες σημείων ITRF14

Τοποκεντρικές Συντεταγμένες & Τυπικά Σφάλματα							
Σημείο	East (m)	North (m)	h(m)	Ζώνη UTM(°)	σx (m) (95%)	σy (m) (95%)	σz (m) (95%)
MPPP	487043.41	4183679.08	152.47	35	0.009	0.008	0.025
ZPPP	495288.76	4176895.54	418.31	35	0.008	0.006	0.021

Πίνακας 5.8 Τοποκεντρικές Συντεταγμένες σημείων UTM(35) & Τυπικά Σφάλματα τους

Όπως φαίνεται στον πίνακα 5.8. οι αβεβαιότητες των τοποκεντρικών συντεταγμένων εκφράζονται για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%, ενώ δίνεται η δυνατότητα στο χρήστη να γνωρίζει τις αβεβαιότητες που φέρουν οι μόνιμοι σταθμοί αναφοράς της IGS. Επίσης τα σφάλματα είναι εντός των ορίων (0.001 έως 0.025).

Συγκριτικά με τις επιλύσεις της υπηρεσίας CSRS, οι αβεβαιότητες των επιλύσεων κυμαίνονται σε αντίστοιχα επίπεδα (διαφορές ± 4 mm). Υπενθυμίζεται πως στις επιλύσεις η υπηρεσία AUSPOS λαμβάνει υπόψη μόνο παρατηρήσεις δορυφόρων GPS και αυτές πραγματοποιούνται με τη μέθοδο σχετικού εντοπισμού.

Όσον αφορά τριγωνομετρικά σημεία «ΑΡΜΑΚΙΑΣ» και «ΣΕΒΑΣΤΑΪΚΑ» παρακάτω δίνονται για κάθε έτος, οι συντεταγμένες του κάθε σημείου μαζί με τα τυπικά σφάλματά τους (Πίνακες 5.9 και 5.10) καθώς και οι μεταξύ τους διαφορές από τις επιλύσεις μέσω της υπηρεσίας AUSPOS.

ΓΕΩΚΕΝΤΡΙΚΕΣ ΣΥΝΤ/ΜΕΝΕΣ ITRF14				
Έτος	Σημείο	X (m)	Y (m)	Z (m)
2020	ARMK	4501603.67	2292462.13	3881068.30
	SEVA	4511577.00	2270072.11	3882918.07
2021	ARMK	4501603.70	2292462.17	3881068.22
	SEVA	4511577.25	2270072.21	3882917.77
Διαφορές 2021-2020	ARMK	0.03	0.04	-0.08
	SEVA	0.24	0.10	-0.30

Πίνακας 5.9 Αποτελέσματα επιλύσεων ARMK και SEVA για κάθε έτος

Για να είναι ερμηνεύσιμα τα αποτελέσματα των διαφορών 2021-2020, αυτά μετατράπηκαν σε τοποκεντρικό σύστημα μέσω του τύπου της Εικόνας 5.9.

Για τις ανάγκες της μετατροπής χρησιμοποιήθηκαν οι εκτιμήσεις των φ,λ κάθε σημείου όπως απεικονίζονται παρακάτω.

Γεωδαιτικές Συντεταγμένες ITRF14		
Σημείο	φ(°)	λ(°)
ARMK	37.71998	26.98768
SEVA	37.73985	26.70999

Πίνακας 5.10 Γεωδαιτικές Συντ/μένες ITRF14

Τα αποτελέσματα των διαφορών σε τοποκεντρικό σύστημα είναι τα παρακάτω.

- Διάνυσμα ΔΝ,ΔΕ,ΔΥ (**ARMK**) = (-0.090742, 0.02203, -0.01344) m
- Διάνυσμα ΔΝ,ΔΕ,ΔΥ (**SEVA**) = (-0.39597, -0.018545, 0.021461) m

5.6 Συγκρίσεις Αποτελεσμάτων

Όσον αφορά τις επιλύσεις των δύο σημείων «ΜΑΝΔΡΙΑ» και «ΠΙΡΟΦΗΤΗΣ ΗΛΙΑΣ» μέσω των δυο υπηρεσιών, παρατηρείται πως οι συντεταγμένες είναι ίδιες (πίνακες 5.1 έως και 5.7), δίνονται τα ίδια αποτελέσματα σε συντεταγμένες και πιο ασφαλή συμπεράσματα μπορούν να εξαχθούν για τη ποιότητα των λύσεων μέσω της απεικόνισης των σχετικών διαγραμμάτων. Ο σχολιασμός τους έχει γίνει στα αντίστοιχα υποκεφάλαια, συγκεντρωτικά πρόκειται για ικανοποιητικές λύσεις από πλευράς αξιοπιστίας.

Η ίδια διαδικασία πραγματοποιήθηκε και για τα άλλα δυο σημεία ενδιαφέροντος «ARMK» και «SEVA», όπου τελικώς αυτό που έχει σημασία να σχολιαστεί εδώ είναι ο υπολογισμός και σύγκριση των διανυσμάτων μετάθεσης σε τοποκεντρικό σύστημα αναφοράς για κάθε μια υπηρεσία μεταξύ των ετών 2020 και 2021.

Συγκεντρωτικά όπως είχε γραφτεί και πιο πάνω, σύμφωνα με τις επιλύσεις της υπηρεσίας **CSRS-PPP** και **AUSPOS**, κατόπιν μετατροπής των αποτελεσμάτων που παρέχουν, από γεωκεντρικό σύστημα ITRF14 σε τοποκεντρικό, τα διάνυσματα ΔΝ,ΔΕ,ΔΥ απεικονίζονται στο πίνακα 5.11.

ΣΗΜΕΙΑ	CSRS-PPP			ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΚΑΙ ΜΕΤΡΟ ΔΙΑΝΥΣΜΑΤΟΣ		AUSPOS			ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΚΑΙ ΜΕΤΡΟ ΔΙΑΝΥΣΜΑΤΟΣ	
	ΔN(m)	ΔE(m)	ΔU(m)	Διεύθυνση (g)	Μέτρο (m)	ΔN(m)	ΔE(m)	ΔU(m)	Διεύθυνση (g)	Μέτρο (m)
ΑΡΜΑΚΙΑΣ	-0.089942	0.013523	-0.011204	190.4994	0.091	-0.090742	0.02203	-0.01344	184.8377	0.093378
ΣΕΒΑΣΤΑΠΚΑ	-0.39175	-0.01944	0.024166	203.1562	0.392	-0.39597	-0.01855	0.021461	202.9794	0.3964

Πίνακας 5.11 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα των δυο υπηρεσιών.

ΔΙΑΦΟΡΕΣ CSRS-AUSPOS					
ΣΗΜΕΙΟ	Δ (ΔN)	Δ (ΔE)	Δ (ΔU)	Δ (Διεύθυνση)	Δ (Μέτρο)
ΑΡΜΑΚΙΑΣ	0.0008	-0.008507	0.002236	5.6617	-0.002
ΣΕΒΑΣΤΑΠΚΑ	0.00422	-0.000893	0.002705	0.1768	-0.0044

Πίνακας 5.12 Διαφορές αποτελεσμάτων των δυο υπηρεσιών

Συμπεραίνεται πως το σημείο «**ARMK**» παρουσίασε μετά το σεισμό σύμφωνα με το πίνακα 5.11, βάσει των επιλύσεων και των 2 υπηρεσιών, μετατόπιση με διεύθυνση νοτιοανατολική, με μέτρο που κυμαίνεται στα 9 με 9.5 cm. Μεταξύ των επιλύσεων των δύο υπηρεσιών η διαφορά στη διεύθυνση είναι 6 grad, και στο μέτρο 2 mm σύμφωνα με το πίνακα 5.12.

Για το σημείο «**SEVA**», παρουσίασε μετά το σεισμό σύμφωνα με το πίνακα 5.11, βάσει των επιλύσεων και των δυο υπηρεσιών, μετατόπιση με διεύθυνση νότια προς νοτιοδυτική, με μέτρο που κυμαίνεται στα 39 με 39.5 cm. Μεταξύ των επιλύσεων των δύο υπηρεσιών, παρατηρείται πως η διαφορά στη διεύθυνση είναι στα 0.5 grad περίπου, και στο μέτρο στα 4 mm σύμφωνα με το πίνακα 5.12.

Κεφάλαιο 6 Λογισμικά που χρησιμοποιήθηκαν για την επεξεργασία των δεδομένων GNSS

6.1 Εισαγωγή

Για την επεξεργασία των παρατηρήσεων, χρησιμοποιήθηκε το επιστημονικό λογισμικό επεξεργασίας GAMIT/GLOBK. Για να μπορέσει ο χρήστης να επεξεργαστεί τα δεδομένα με κάποιο επιστημονικό λογισμικό, θα πρέπει να μετατραπούν σε μορφή RINEX. Το λογισμικό που θα πραγματοποιήσει αυτή τη μετατροπή λέγεται TEQC. Στο κεφάλαιο αυτό θα γίνει περιγραφή τόσο της μετατροπής των αρχείων και ελέγχου τους από το TEQC όσο και η αναλυτική περιγραφή όλων των βημάτων που ακολουθήθηκαν για την επεξεργασία των δεδομένων με το GAMIT/GLOBK για τον προσδιορισμό τελικών συντεταγμένων.

6.2 Χρήση Λογισμικού TEQC

Το TEQC είναι ένα ελεύθερο λογισμικό αρχικής επεξεργασίας δορυφορικών δεδομένων GNSS το οποίο παρέχεται δωρεάν από την εταιρεία UNAVCO η οποία είναι μια μη κερδοσκοπική εταιρεία δημιουργημένη από πρωτοβουλία Πανεπιστημιακών Ιδρυμάτων στόχος της οποίας είναι η ανάπτυξη τεχνικών μεγάλης ακρίβειας για τη μελέτη παραμορφώσεων.

Η εκτέλεση του συγκεκριμένου λογισμικού γίνεται μέσω της γραμμής εντολών (Command Line) των Windows αυξάνοντας έτσι τη ταχύτητα επεξεργασίας των αρχείων.

Επιγραμματικά μερικές βασικές λειτουργίες του TEQC είναι οι εξής.

- Μετατροπή πρωτογενών αρχείων σε μορφή αναγνώσιμη από λογισμικά & προγράμματα, RINEX
- Αφαίρεση χρονικού διαστήματος παρατηρήσεων στο αρχείο, άρα δημιουργία νέου με την επιθυμητή διάρκεια
- Τροποποίηση (διόρθωση ή συμπλήρωση) του επάνω μέρους του αρχείου (κεφαλίδα) RINEX
- Ποιοτικός έλεγχος του προκύπτοντος αρχείου RINEX

6.2.1 Δημιουργία αρχείων RINEX

Στη παρούσα διπλωματική εργασία για τη μετατροπή των πρωτογενών αρχείων σε μορφή RINEX χρησιμοποιήθηκαν εντολές οι οποίες επεξηγούνται παρακάτω μαζί με τη λειτουργία τους.

Στο επίπεδο του φακέλου εργασίας στο οποίο πρέπει να βρίσκεται το αρχείο εκτέλεσης του λογισμικού TEQC, **teqc.exe** πρέπει επίσης να βρίσκεται και το πρωτογενές αρχείο δεδομένων προς επεξεργασία.

- Είσοδος σε περιβάλλον γραμμής εντολών, cmd στον φάκελο εργασίας.
- > “**Fakelos_ergasias\teqc.exe**”

Εάν στη παραπάνω εντολή προστεθεί και το +help εκτός των “ “ τότε απεικονίζεται η λίστα που εμφανίζει όλες τις διαθέσιμες εντολές του λογισμικού μαζί με την επεξήγηση τους δίπλα προς βοήθεια του χρήστη, μερικές από αυτές που εμφανίζονται παρακάτω χρησιμοποιήθηκαν για τη δημιουργία των RINEX αρχείων.

Οι μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν για το έτος 2021 έγιναν, όπως έχει προαναφερθεί στο κεφάλαιο 4, με εξοπλισμό της JAVAD, ενώ οι μετρήσεις που πραγματοποίησε η Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού έγιναν με εξοπλισμό της Trimble.

Για τη δημιουργία των αντίστοιχων RINEX αρχείων χρησιμοποιήθηκαν οι παρακάτω εντολές.

- **+obs MarkerNameDay0.YY0**

Όπου

- ➔ «MarkerName» θα είναι 4 χαρακτήρες που θα χαρακτηρίζουν κάθε σημείο π.χ. για το τριγωνομετρικό σημείο Αρμακιάς, το MarkerName που ορίστηκε λέγεται ARMK.
- ➔ Day είναι η ημέρα του έτους στο ημερολόγιο GPS, π.χ. 172
- ➔ Year είναι το έτος που πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις
- ➔ “0” είναι ο χαρακτηρισμός του αρχείου, δηλαδή observationfile(αρχείο παρατηρήσεων), εάν ήταν αρχείο εφημερίδων(τροχιάς) θα είχε χαρακτηρισμό **n**.

- **-O.at**

Με τη συγκεκριμένη εντολή ορίζεται από δίπλα ο τύπος της κεραίας με την οποία έγιναν οι μετρήσεις, όπου at είναι AntennaType.

- **-O.mo**

Με τη συγκεκριμένη εντολή ορίζεται από δίπλα το MarkerName του αρχείου.

- **-O.rt**

Με τη χρήση της συγκεκριμένης εντολής ορίζεται από δίπλα ο τύπος του δέκτη με τον οποίο έγιναν οι μετρήσεις, όπου rt είναι ReceiverType.

- **-O.pe**

Η χρήση της συγκεκριμένης εντολής έγινε για τον ορισμό των εκκεντροτήτων, δηλαδή ορισμός του ύψους της κεραίας.

- **-jav jps FileName.jps**

Η συγκεκριμένη εντολή αφορά το από ποια εταιρεία έχει εξαχθεί το πρωτογενές αρχείο, π.χ. εάν οι παρατηρήσεις πραγματοποιήθηκαν με την εταιρεία JAVAD χρησιμοποιείται αυτή η εντολή, ενώ με την εταιρεία της Trimble, - tr d. Ο όρος FileName αφορά στο όνομα του πρωτογενούς αρχείου, όπως καταγράφηκε στο δέκτη.

Κατόπιν μέσω της εντολής - dir μπορεί ο χρήστης να διαπιστώσει στο συγκεκριμένο path που εκτέλεσε την εντολή δημιουργίας του αρχείου RINEX εάν όντως αυτό δημιουργήθηκε.

6.2.2 Ποιοτικός Έλεγχος αρχείων

Προτιμάται πριν από την μετέπειτα επεξεργασία του προκύπτοντος αρχείου RINEX από άλλα επιστημονικά λογισμικά να πραγματοποιείται ποιοτικός έλεγχος μέσω του λογισμικού TEQC.

Στόχος του ποιοτικού ελέγχου είναι η αξιολόγηση της ποιότητας των μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν παράλληλα με τον εντοπισμό σφαλμάτων που μπορεί να επηρεάζουν τα αποτελέσματά τους.

Σε περίπτωση που η συμπεριφορά ενός δέκτη επηρεάζει τις μετρήσεις, τότε ο χρήστης καλείται να αποφασίσει για το αν θα λάβει υπόψη αυτές τις επιδράσεις μέσω του ποιοτικού ελέγχου.

Για να είναι επιτυχής ο ποιοτικός έλεγχος, πρέπει να ληφθούν υπόψη τα αρχεία δεδομένων τροχιάς (navigation files, υποκεφάλαιο 6.3) όσο και τα αρχεία παρατηρήσεων (observation files) καθώς χωρίς την ύπαρξη και των δυο δεν μπορεί αυτός να υλοποιηθεί. Η σειρά εντολών που πληκτρολογήθηκε, στη προκειμένη περίπτωση αναφέρεται παρακάτω.

```
- +qcq -nav brdc1720.21n armk1720.21o
```

Όπου

- ➔ brdc1720.21n αρχείο δεδομένων τροχιάς
- ➔ armk1720.21o αρχείο παρατηρήσεων

Για να γίνει κατανοητός ο ποιοτικός έλεγχος, ακολουθεί μια σειρά από Εικόνες (6.1 έως και 6.3), των οποίων η σημασία επεξηγείται.

Στην Εικόνα 6.2 κυκλωμένες με κόκκινο χρώμα είναι κάποιες γενικές πληροφορίες που αφορούν το αρχείο. Ξεκινώντας κατά σειρά από πάνω προς τα κάτω αναφέρονται διάφορα χαρακτηριστικά όπως ο τύπος του δέκτη, ο τύπος κεραίας, η αρχή και το πέρας των μετρήσεων σε ώρα UTC, από κάτω το συνολικό χρονικό διάστημα των παρατηρήσεων σε ώρες (7.01), ο αριθμός των μετρήσεων θέσης (77), η μέση τιμή των συντεταγμένων θέσης στο παγκόσμιο σύστημα αναφοράς WGS84 σε μορφή καρτεσιανών συντεταγμένων, γεωδαιτικών (δεκαδική & συμμιγής μορφή), το ελλειψοειδές υψόμετρο, το χρονικό διάστημα της κάθε μέτρησης (ανά 10 sec), ο αριθμός των δορυφόρων με τους οποίους έχουν πραγματοποιηθεί παρατηρήσεις. (47)

```

Rx tracking capability : unknown
Poss. # of obs epochs : 2523
Epochs w/ observations : 2523
Epochs repeated : 0 (0.00%)
Possible obs > 0.0 deg: 25875
Possible obs > 10.0 deg: 21406
Complete obs > 10.0 deg: 21393
Deleted obs > 10.0 deg: 13
Masked obs < 10.0 deg: 16886
Obs w/ SV duplication : 0 (within non-repeated epochs)
Moving average MP12 : 0.421133 m
Moving average MP21 : 0.500408 m
Points in MP moving avg : 50
Mean S1 : 44.09 (sd=4.54 n=59413)
Mean S2 : 36.31 (sd=7.85 n=32469)
No. of Rx clock offsets : 0
Total Rx clock drift : 0.000000 ms
Rate of Rx clock drift : 0.000 ms/hr
Avg time between resets : Inf minute(s)
Freq no. and timecode : 2 15142 003fc0
Report gap > than : 10.00 minute(s)
epochs w/ msec clk slip : 0
other msec mp events : 0 (: 0) {expect ~= 1:50}
IOD signifying a slip : >400.0 cm/minute
IOD slips < 10.0 deg* : 0
IOD slips > 10.0 deg : 0
IOD or MP slips < 10.0* : 0
IOD or MP slips > 10.0 : 0
* or unknown elevation
first epoch last epoch sn1 sn2
SSN 21 6 21 06:06 21 6 21 13:06 44.09 36.31
first epoch last epoch hrs dt #expt #have % mp1 mp2 o/slips
SUM 21 6 21 06:06 21 6 21 13:06 7.008 10 21406 21393 100 0.42 0.50 21393

```

Εικόνα 6.3 Απόσπασμα Αποτελέσματος Ποιοτικού Ελέγχου για το σημείο ARMK (Αρμακιάς)

Στην Εικόνα 6.3 κυκλωμένος με μπλε χρώμα είναι καταγεγραμμένος ο αριθμός των εποχών ενώ με κίτρινο χρώμα πληροφορίες για τις παρατηρήσεις, (πόσες παρατηρήσεις πραγματοποιήθηκαν υπό συγκεκριμένες γωνίες αποκοπής δορυφόρων), με πράσινο χρώμα μέσες τιμές Signal Noise.

Ένας γρήγορος έλεγχος της αξιοπιστίας των παρατηρήσεων αποτελεί η τελευταία γραμμή με πορτοκαλί χρώμα όπου αναγράφεται κατά σειρά από αριστερά προς τα δεξιά πως από τη ώρα έναρξης των μετρήσεων (first) μέχρι τη λήξη (last), το διάστημα των παρατηρήσεων (hrs) με συγκεκριμένο χρόνο καταγραφής μέτρησης (dt) θα έπρεπε να έχουν πραγματοποιηθεί συγκεκριμένος αριθμός μετρήσεων (#expt) ενώ έχουν πραγματοποιηθεί διαφορετικός αριθμός (#have), σε γενικές γραμμές πολύ καλό ποσοστό (%), με τιμές multipath χαμηλές.

Η ίδια διαδικασία ποιοτικού ελέγχου πραγματοποιήθηκε για όλα τα αρχεία παρατηρήσεων που σχετίζονται με τη διπλωματική εργασία.

6.2.3 Έλεγχος Rinex Format

Σημαντικό είναι ο χρήστης μετά τη μετατροπή του κάθε πρωτογενούς αρχείου σε μορφή RINEX να ελέγχει ότι έχει εισάγει σωστά μέσω των εντολών του TEQC τα όσα βασικά στοιχεία θα το απαρτίζουν. Παρακάτω απεικονίζεται σε μορφή εικόνας το απόσπασμα του αρχείου RINEX του τριγωνομετρικού σημείου «ΑΡΜΑΚΙΑΣ» και επεξηγούνται τα σημεία που πρέπει να ελεγχθούν.

Σημειώνεται πως ο έλεγχος αυτός είναι απαραίτητος για όλα τα αρχεία RINEX, τα οποία θα εισαχθούν αργότερα στη πλατφόρμα του επιστημονικού λογισμικού GAMIT/GLOBK καθώς η πιθανότητα ύπαρξης ενός τέτοιου λάθους οδηγεί σε αδυναμία επεξεργασίας από το συγκεκριμένο λογισμικό τις περισσότερες φορές.

```

2.11 OBSERVATION DATA M (MIXED) RINEX VERSION / TYPE
teqc 2019Feb25 20210727 22:35:51UTC PGM / RUN BY / DATE
Linux2.6.32-573.12.1.el6.x86_64|x86_64|gcc|Win64-MinGW64|+=+ COMMENT
BIT 2 OF LLI FLAGS DATA COLLECTED UNDER A/S CONDITION COMMENT
ARMK MARKER NAME
ARMAKIAS MARKER NUMBER
-Unknown- -Unknown- OBSERVER / AGENCY
01NW8LNR2HZJ11XTDRPF JAVAD TRIUMPH1 3.5.12 Nov,12,2015 REC # / TYPE / VERS
-Unknown- JAV TRIUMPH-1 NONE ANT # / TYPE
4501604.8614 2292463.1854 3881069.0772 APPROX POSITION XYZ
1.4600 0.0000 0.0000 ANTENNA: DELTA H/E/N
1 1 WAVELENGTH FACT L1/2
7 L1 L2 C1 P1 P2 S1 S2 # / TYPES OF OBSERV
18 LEAP SECONDS
SNR is mapped to RINEX snr flag value [0-9] COMMENT
L1 & L2: min(max(int(snr_dBHz/6), 0), 9) COMMENT
pseudorange smoothing corrections not applied COMMENT
rx serial #: 05149 COMMENT
2021 6 21 6 6 30.00000000 GPS TIME OF FIRST OBS
  
```

Εικόνα 6.4 Απόσπασμα αρχείου

Κατά σειρά, από πάνω προς τα κάτω τα στοιχεία που θα πρέπει να ελέγξει ένας χρήστης σε ένα Rinex αρχείο είναι τα εξής.

1. Η έκδοση Rinex βάσει της οποίας έχει προκύψει το αρχείο.
Κάθε νέα έκδοση RINEX συνοδεύεται από πιο προηγμένες λειτουργίες επεξεργασίας δεδομένων. Η διαχρονική εξέλιξη του συγκεκριμένου τεχνικού όρου επεξηγείται στην Εικόνα 6.5.

Μορφή αρχείων	Έκδοση	Περιγραφή
RINEX	v.2.10	Παρατηρήσεις GPS και GLONASS, δεδομένα πλοήγησης, μετεωρολογικά δεδομένα.
	v.2.11	Παρατηρήσεις GPS, GLONASS, GALILEO, δεδομένα πλοήγησης, μετεωρολογικά δεδομένα.
	v.3.01	Παρατηρήσεις GPS, GLONASS, GALILEO, BeiDou, QZSS, SBAS.
	v.3.02	Βελτιωμένη μορφή της έκδοσης v.3.01.
	v.3.03	Βελτιωμένη μορφή της έκδοσης v.3.02.

Εικόνα 6.5 Πίνακας εκδόσεων RINEX(Πηγή: Διπλωματική Ψύχας Δημήτριος, 2015)

2. Ο 4 χαρακτήρων ορισμός του σταθμού «MARKERNAME»
Είναι σημαντικό οι 4 πρώτοι χαρακτήρες της ονομασίας του αρχείου RINEX να είναι ίδιοι με το Marker Name προς αποφυγή καθυστέρησης αναγνώρισης αργότερα από το χρήστη ή και ακόμα πιθανότητας δημιουργίας τεχνικού προβλήματος σε άλλα λογισμικά.
3. Ο όρος «MARKER NUMBER» να αντιστοιχεί στη πλήρη ονομασία του σταθμού.
4. Ο σωστός ορισμός του τύπου του δέκτη (REC # / Type)
5. Ο σωστός ορισμός του τύπου της κεραίας.(ANT # / Type)
6. Οι προσεγγιστικές συντεταγμένες του σημείου (APPROX POSITION XYZ)
7. Ο σωστός ορισμός των εκκεντροτήτων.
Εδώ πρέπει να δοθεί προσοχή στο να είναι σωστά ορισμένο το ύψος της κεραίας.
8. Έλεγχος για την ώρα εκκίνησης καταγραφής των παρατηρήσεων (TIME OF FIRST OBS).

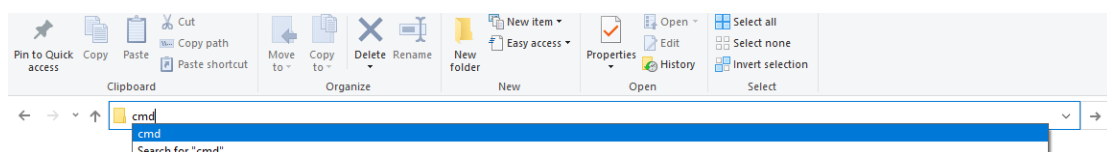
6.3 Δημιουργία αρχείων τροχιάς (Navigation Files)

Εκτός από τα αρχεία παρατηρήσεων σε μορφή RINEX, είναι απαραίτητα τα δεδομένα τροχιάς (navigation files) τα οποία αποκτήθηκαν μέσω πρόσβασης στον ftp server της IGS.

Ο τρόπος απόκτησης τους εξηγείται παρακάτω. Είναι σημαντικό να αναφερθεί πως τα ονόματα των αρχείων, directories δε πρέπει να έχουν ελληνικούς χαρακτήρες παρά μόνο λατινικούς για την αποφυγή τεχνικών δυσκολιών.

Η σειρά εντολών που ακολουθήθηκαν για την απόκτηση των Navigation Files είναι η ακόλουθη

- Στο φάκελο που θέλουμε πληκτρολογούμε την λέξη **cmd** ώστε να ανοίξει η γραμμή εντολών στο συγκεκριμένο φάκελο(directory)



Εικόνα 6.6 Πληκτρολόγηση λέξης cmd

- Η απόκτηση των Navigation Files (δεδομένα τροχιάς IGS) γίνεται μέσω πρόσβασης στον ftp server της IGS.

Η εντολή που θα πρέπει να γραφτεί αρχικά είναι **ftpigs.ign.fr** και μετά Enter, ώστε να γίνει είσοδος στον server. Ζητούνται στοιχεία Username & Password τα οποία πληκτρολογούνται κατάλληλα. Στην Εικόνα 6.7 εμφανίζονται τα αρχικά μηνύματα με το που πληκτρολογηθούν τα παραπάνω.

```

Connected to dell1109s006.ign.fr.
220-*****
220-
220-   Bienvenue sur igs.ign.fr, un serveur FTP du
220-   Service de Geodesie et Nivellement (SGN) de
220-   l'Institut Geographique National (IGN) a Saint-Mande.
220-
220-   Welcome on igs.ign.fr, a ftp server of
220-   the Service of Geodesy and Levelling (SGN) of
220-   the French National Geographic Institute (IGN) at Saint-Mande
220-
220-*****
220-
220- Vous etes sur le serveur virtuel du centre de donnees IGS.
220-   You are on the IGS Data Center virtual FTP server.
220-
220-*****
220
200 Always in UTF8 mode.

```

Εικόνα 6.7 Αρχικό μενού IGS

- Εν συνεχεία για την απόκτηση των δεδομένων τροχιάς θα πρέπει να είναι γνωστές οι ημέρες που πραγματοποιήθηκαν οι παρατηρήσεις GNSS βάσει του ημερολογίου GPS, που ο αριθμός τους εντοπίστηκε από την ιστοσελίδα <https://geodesy.noaa.gov/CORS/Gpscal.shtml>
Υπενθυμίζεται πως οι ημέρες ενδιαφέροντος στο συγκεκριμένο πείραμα είναι για το έτος 2020 οι 219,220,221 ενώ για το έτος 2021 οι 172,173,174.
- Κατά σειρά ένα παράδειγμα σειράς εντολών που πρέπει να γραφτούν για την απόκτηση δεδομένων τροχιάς είναι: (παράδειγμα για ημέρα 172 του 2021)

ftp>ls κατηγοριοποίηση-τακτοποίηση αρχείων στο directory

ftp>cd pub/igs/data/2021/172/ -> Πρόσβαση στον επιθυμητό φάκελο της υπηρεσίας

ftp>bin

ftp>get brdc1720.21n.gz

όπου,

get: εντολή απόκτησης στο directory του υπολογιστήπου βρίσκεται ο χρήστης

brdc: broadcast

172: ημέρα 172 του έτους

21n: δεδομένα τροχιάς για έτος 2021

gz: μορφή συμπιεσμένου αρχείου

6.4 Επιστημονικό Λογισμικό GAMIT/GLOBK

6.4.1 Γενικά

Στη παρούσα εργασία το λογισμικό επεξεργασίας που χρησιμοποιήθηκε είναι το GAMIT/GLOBK. Αναπτύχθηκε αρχικά από το MIT, το Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics (CfA) και το Scripps Institution of Oceanography (SIO), με σκοπό να προσδιορίζει συντεταγμένες και ταχύτητες σταθμών GPS, στοχαστικές ή αναλυτικές αναπαραστάσεις μετά-σεισμικών παραμορφώσεων, δορυφορικές τροχιές και παραμέτρους της γήινης περιστροφής καθώς και παραμέτρους ατμοσφαιρικής διάθλασης και χρησιμοποιείται κυρίως για τη μελέτη των παραμορφώσεων στο φλοιό της Γης.

Δημιουργήθηκε, αναπτύχθηκε και συντηρείται από το MIT (Massachusetts Institute of Technology), το SIO (Scripps Institution of Oceanography) και το Harvard

Smithsonian Centre for Astrophysics (CfA). Η αρχική χρηματοδότηση για το λογισμικό GAMIT έγινε από το Εργαστήριο Γεωφυσικής της Πολεμικής Αεροπορίας (Air Force Geophysics Laboratory) ενώ για το GLOBK από τη NASA. Σήμερα το Εθνικό Ίδρυμα Επιστημών (National Science Foundation) των Η.Π.Α έχει αναλάβει την ανάπτυξη και υποστήριξη όλου του πακέτου.

Στο GAMIT γίνεται χρήση δεδομένων ψευδοαποστάσεων και φάσης από τους σταθμούς GPS με σκοπό το προσδιορισμό παραμέτρων θέσης των σταθμών (δηλ. συντεταγμένες), δορυφορικών τροχιών, περιστροφής της Γης και ατμοσφαιρικής διάθλασης.

Όσον αφορά το GLOBK, πρόκειται για ένα φίλτρο Kalman που σκοπός του είναι ο συνδυασμός γεωδαιτικών δεδομένων από διάφορες μεθόδους μετρήσεων όπως π.χ. GPS. Ως δεδομένα εισόδου δέχεται εκτιμήσεις παραμέτρων ή και πλήρεις πίνακες μεταβλητότητας-συμμεταβλητότητας από άλλα πακέτα επεξεργασίας όπως Gamit και Bernese. Αποτελεί χρήσιμο εργαλείο για την επιβολή δεσμεύσεων για την υλοποίηση πλαισίων αναφοράς, τον υπολογισμό ταχυτήτων των σταθμών GPS, χρονοσειρών.

Το συγκεκριμένο επιστημονικό λογισμικό λειτουργεί σε UNIX/LINUX περιβάλλον και βασίζεται σε ένα πλήθος από προγράμματα τα οποία έχουν συνταχθεί στις γλώσσες προγραμματισμού C&Fortran και καλούνται από ένα πλήθος scripts. Λειτουργεί ενσωματώνοντας αλγορίθμους για να εκτιμήσει σχετικές θέσεις μεταξύ τροχιακών παραμέτρων, σταθμών και ασαφειών φάσεων προσαρμόζοντας τις παρατηρήσεις διπλών διαφορών φάσεων.

Εάν οι σχέσεις που συνδέουν τις παραμέτρους με τις παρατηρήσεις που πραγματοποιούνται δεν είναι γραμμικές τότε το GAMIT δημιουργεί δύο επιλύσεις οι οποίες και είναι:

1. Υπολογίζονται συντεταγμένες κάποιων δεκάδων εκατοστών
2. Παράγονται οι τελικές εκτιμήσεις.

Το λογισμικό δεν υπολογίζει κατευθείαν τις τελικές συντεταγμένες θέσης σταθμών, αλλά δημιουργεί πίνακα μεταβλητοτήτων – συμμεταβλητοτήτων μεταξύ θέσης σταθμών, τροχιακών παραμέτρων. Κατόπιν τα στοιχεία αυτά εισάγονται στο περιβάλλον του GLOBK όπου γίνεται χρήση του φίλτρου Kalman το οποίο λειτουργεί ως μετασχηματιστής στους πίνακες. Τέλος γίνεται καθορισμός πλαισίου αναφοράς με παράλληλη εισαγωγή δεσμεύσεων στην επίλυση με τους εξής τρόπους.

- Λαμβάνοντας υπόψη όσο το δυνατόν περισσότερους σταθμούς με καλής ακρίβειας εκτίμησης θέσεών τους με ταυτόχρονη εφαρμογή μετασχηματισμού στροφής θέσης και κλίμακας για όλο το ζητούμενο δίκτυο.
- Θέτοντας αβεβαιότητες στις συντεταγμένες σταθμών.

Ο πρώτος τρόπος έχει το πλεονέκτημα εντοπισμού χονδροειδών σφαλμάτων, ώστε αυτά να αφαιρεθούν από τη τελική λύση, βελτιστοποιώντας έτσι τη εφαρμογή του μετασχηματισμού.

Για τη μέγιστη απόδοση του γίνεται επεξεργασία δεδομένων δύο συχνοτήτων μέσω της χρήσης των διπλών διαφορών στη φάση του φέροντος κύματος προσδιορίζοντας έτσι:

- Τροχιακά στοιχεία δορυφόρων
- Στοιχεία Προσανατολισμού Γης
- Παραμέτρους Ατμοσφαιρικής Διάθλασης
- Ασάφειες Φάσεων
- Σχετικές θέσεις (δηλ. συντεταγμένες) σταθμών GPS

Ως δεδομένα στο λογισμικό εισάγονται RINEX αρχεία παρατηρήσεων (observation files) των σταθμών GPS που αφορά το δίκτυο που μελετάται. Τα scripts τα οποία καλούν τα πρόγραμμα στα οποία βασίζεται το λογισμικό ανακτούν μέσω της αναφοράς που κάνει ο χρήστης, τα RINEX αρχεία των σταθμών της IGS που έχει αυτός επιλέξει, δε χρειάζεται δηλαδή να εισάγει ο ίδιος τα αρχεία αυτά, όπως και τα αρχεία εφημερίδων. (navigation files)

6.4.2 Σύστημα Αναφοράς Αποτελεσμάτων

Για τη κατανόηση και αξιολόγηση των αποτελεσμάτων(συντεταγμένες) που προκύπτουν από την επεξεργασία με το λογισμικό, πρέπει να υπάρχει ορισμένο το σύστημα αναφοράς στο οποίο αυτές θα αναφέρονται/βασίζονται. Το σύστημα αναφοράς πρέπει να υλοποιείται από τους παγκόσμιους σταθμούς της IGS και να καθίσταται εύκολη η μετατροπή του σε τοπικό, το οποίο και είναι το WGS84 οπότε μπορεί εύκολα να μετατραπεί στο τοπικό ΕΓΣΑ 87.

Αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας αποτέλεσε η μελέτη των μετατοπίσεων που υπήρξαν σε δύο τριγωνομετρικά σημεία της Γ.Υ.Σ στη νήσο Σάμο λόγω του σεισμού που προκλήθηκε στις 30/10/2020, συγκρίνοντας τα με τα δεδομένα περιόδου Αυγούστου 2020.

Το βασικό ζητούμενο είναι ο υπολογισμός των συντεταγμένων αυτών των σημείων, τα οποία αποτελούν το τοπικό δίκτυο. Για να γίνει αυτό, θα πρέπει να δημιουργηθεί ένα δίκτυο βάσεων προς επίλυση, μέχρις ότου τα εξωτερικά σημεία του ολοκληρωμένου δικτύου να είναι σταθμοί της IGS και του δικτύου πυρήνα(IGS14 Core) αλλά και άλλους(IGS), με λίγα λόγια να πρόκειται για δίκτυο «ιστός αράχνης». Όπως έχει επισημανθεί και στα προηγούμενα κεφάλαια, έχουν ληφθεί υπόψη ημερήσια δεδομένα από τρία δίκτυα μόνιμων σταθμών παρακολούθησης, οπότε συγκεντρωτικά το ολοκληρωμένο δίκτυο προς επίλυση απαρτίζεται από τα εξής:



Εικόνα 6.8 Διάγραμμα Δικτύου μελέτης

Το δίκτυο σταθμών της IGS αποτελείται από 14 σταθμούς του δικτύου της :

- Κιτάμπ, Ουζμπεκιστάν (KIT3)
- Σικελίας, Ιταλία (NOT1)
- Ματέρας, Ιταλία (MATE)
- Σαν Φερνάντο, Ισπανία (SFER)
- Άρτι, Ρωσία (ARTU)
- Μόσχας, Ρωσία (MDVJ)
- Γκράζ, Αυστρία (GRAZ)
- Βουκουρεστίου (BUCU)
- Ντραγκότ, Ισραήλ (DRAG)
- Μικολάιβ, Ουκρανία (MIKL)
- Caussois, Γαλλία (GRAS)
- Τορίνου, Ιταλία (IENG)
- Κιέβου, Ουκρανία (GLSV)
- Νοτιοδυτικής Ρωσίας(ZECK)

Οι σταθμοί που επιλέχθηκαν για το περιφερειακό δίκτυο ανήκουν στο δίκτυο της EUREF & NOANET, είναι 9 στον αριθμό (Ελλάδας και εξωτερικού):

- Διονύσου (DYNG)
- Γκέμπζε, Τουρκία (TUBI)
- Σόφιας (SOFI)
- Σμύρνης (IZMI)
- Ερντεμλί, Τουρκία (MERS)
- Άγκυρας (ANKR)
- Πεντέλης (NOA1)
- Μυτιλήνης (PRKV)

- Σκύρου (SKYR)

Συγκεντρωτικά οι σταθμοί προς υπολογισμό του τοπικού δικτύου (2) είναι:

- Αρμακιάς (ARMK)
- Σεβασταίκα (SEVA)

6.4.3 Δημιουργία Περιβάλλοντος Επεξεργασίας στο GAMIT

Το GAMIT επεξεργάζεται από τα αρχεία παρατηρήσεων μόνο αυτές που έχουν προέλθει από δορυφόρους του συστήματος GPS. Τα δεδομένα που εισάγονται από το χρήστη είναι τα αρχεία παρατηρήσεων σε μορφή RINEX (του τοπικού δικτύου και σταθμών που δεν υπάρχουν στη λίστα σταθμών του GAMIT, θα αναλυθεί παρακάτω).

Επιπρόσθετα θα χρειαστεί να εισαχθούν από τον χρήστη δεδομένα διορθώσεων που οφείλονται σε ανακατανομές μαζών της ατμόσφαιρας και των ωκεανών μέσω του παρακάτω ftpserver, (<ftp://everest.mit.edu/pub/GRIDS/>) για κάθε έτος τα οποία είναι

- **otl_FES2004.grid**: Αρχείο σε μορφή κανάβου (grid) που περιέχει στοιχεία για την επιβολή διορθώσεων οφειλόμενα σε παλιρροιακές ανακατανομές μαζών των ωκεανών.
- **atmdisp_CM.[year]**: Αρχείο σε μορφή κανάβου (grid), που περιέχει στοιχεία για την επιβολή διορθώσεων οφειλόμενα σε μη παλιρροιακές ανακατανομές μαζών της ατμόσφαιρας.
- **vmf1grd.[year]**: Αρχείο σε μορφή κανάβου (grid), που περιέχει στοιχεία για την επιβολή διορθώσεων που οφείλονται στην ατμοσφαιρική διάθλαση, μέσω χρήσης υδροστατικών συναρτήσεων VMF1 (Vienna Mapping Functions 1).

Συγκεντρωτικά, σε πρώτο βήμα δημιουργείται ο φάκελος του πειράματος με τίτλο το όνομα του πειράματος, 4 χαρακτήρων π.χ. για το πείραμα που αφορά τη διπλωματική εργασία, δόθηκε ο τίτλος *samo*. Το directory του φακέλου αυτού είναι *theocharis/samo* και δε θα γίνεται παρακάτω αναφορά σε αυτό.

Σε επόμενο βήμα, δημιουργείται εντός του φακέλου του πειράματος, φάκελος με ονομασία *rinex* όπου αποθηκεύονται τα αρχεία των μετρήσεων, τοπικού & περιφερειακού δικτύου.

Για καλύτερη ταξινόμηση των εισαχθέντων δεδομένων δημιουργήθηκαν μέσα στο φάκελο *samo*, δύο αρχικοί, ένας για κάθε έτος (2020 και 2021) όπου στο καθένα δημιουργήθηκαν οι υποφάκελοι **rinex** και **grids** όπου εισήχθησαν τα αντίστοιχα δεδομένα για κάθε έτος. (π.χ. *samo/2020/rinex*, *samo/2020/grids*)

Όσον αφορά το σκέλος της επεξεργασίας και ανάλυσης για το gamit αυτά γίνονται αυτόματα μέσω του script *sh_gamit*. Αυτό, εκτελεί αυτόματα όλα τα στάδια επεξεργασίας και το μόνο που πρέπει να γίνει για την επιτυχή εκτέλεσή του είναι να

τροποποιηθούν τα 7 βασικά αρχεία που εισάγονται μαζί με άλλα μέσω της εντολής *sh_setup*, η οποία έχει την εξής δομή εκτέλεσης.

sh_setup -yr <year> -apr file.apr

όπου

year: η χρονιά πραγματοποίησης των μετρήσεων

file.apr : ο αρχιολογικός πίνακας συντεταγμένων

Στο πείραμα της διπλωματικής εργασίας, ως πίνακας αρχιολογικών συντεταγμένων ορίστηκε το αρχείο **igb14.apr**, που περιέχει συντεταγμένες, ταχύτητες και σφάλματα των σταθμών αναφοράς της IGS στο πλαίσιο ITRF14.

Η συγκεκριμένη εντολή δημιουργεί τον φάκελο *tables* στην οποία πέρα από άλλα αρχεία (εφημερίδες ήλιου και σελήνης με τις τροχιές, πληροφορίες για δορυφόρους ..κλπ) δημιουργούνται 7 αρχεία τα οποία πρέπει να επεξεργαστούν από το χρήστη για να είναι δυνατή η εκτέλεση της εντολής *sh_gamit*.

Επίσης εντός του φακέλου *tables* πρέπει ο χρήστης να εισάγει τους συνδέσμους (*links*) των δεδομένων διορθώσεων που επεξηγήθηκαν στη προηγούμενη σελίδα. Η διαδικασία εισαγωγής γίνεται με τις εξής εντολές.

ln -sf <path>/otl_FES2004.grid otl.grid

ln -sf <path>/atmdisp_CM.[year] atml.grid

ln -sf <path>/vmf1grd.[year] map.grid

όπου *path* είναι η διαδρομή που είναι αποθηκευμένα τα παραπάνω αρχεία.

Τα 7 αρχεία που πρέπει να γίνει επεξεργασία τους είναι τα *station.info*, *process.defaults*, *sites.defaults*, *sittbl.*, *sestbl.*, *autcln.cmd*, *lfile* και οι παράμετροι που πρέπει να αλλάξουν σε καθένα από αυτά επεξηγούνται παρακάτω.

6.4.3.1 Τροποποίηση αρχείων

station.info

Το συγκεκριμένο αρχείο περιέχει πληροφορίες σχετικά με τις κεραίες και δέκτες των σταθμών της IGS. Πρέπει ο χρήστης να εισάγει τα στοιχεία όλων των σταθμών των οποίων τα δεδομένα RINEX θα εισάγει, παρακάτω στην Εικόνα 6.9. φαίνεται απόσπασμα εισαγωγής τέτοιων ιδιοτήτων.

SITE	Station Name	Session Start	Session Stop	Ant Ht	HtCod	Ant N	Ant E	Receiver Type	Vers	SwVer	Receiver SN
0001	GEONET0001	2011 60 0 0 0	9999 999 0 0 0	0.0000	DHARP	0.0000	0.0000	TRIMBLE NETR9	Nav 4.17 Sig 0.00	4.17	----->
ARMK	ARMAKIAS	2021 172 0 0 0	9999 999 0 0 0	1.4600	DHARP	0.0000	0.0000	JAVAD TRIUMPH1	3.5.12	0.00	----->
	Antenna Type	Dome	Antenna SN								
-	TRM29659.00	GSI	-----								
-	JAV_TRIUMPH-1	NONE	-----								

Εικόνα 6.9 Απόσπασμα αρχείου station.info

Κατά σειρά ο χρήστης θα πρέπει να ορίσει ορθά τις σωστές ονομασίες και τη σωστή στοίχιση τα παρακάτω:

1. SITE: 4ψήφιος κωδικός του σταθμού GPS (όπως αναγράφεται στο RINEX αρχείο).
2. Station Name: Όνομα του σταθμού (όπως αναγράφεται στο Rinex αρχείο)
3. Session Start: Η ώρα έναρξης των παρατηρήσεων, δεν υπάρχει πρόβλημα εάν ο χρόνος έναρξης υπερκαλύπτει το πραγματικό χρόνο καταγραφής παρατηρήσεων.
4. Session Stop: Η ώρα λήξης των παρατηρήσεων στο συγκεκριμένο σταθμό GPS παρόλα αυτά εάν οριστούν οι αριθμοί 9999, 999 δεν είναι λάθος.
5. AntHt : Το ύψος της κεραίας (όπως αναγράφεται στο Rinex αρχείο)
6. DHARP: Σημείο μέτρησης ύψους κεραίας (υπάρχει ένδειξη στη κεραία)
7. Receiver Type: Ο τύπος του δέκτη (όπως αναγράφεται στο Rinex αρχείο)
8. Antenna Type & Dome: Ο τύπος της κεραίας και ο τύπος του θόλου που έχει.(πάλι όπως αναγράφονται στο Rinex αρχείο, στη σωστή στοίχιση)

Process.defaults

Οι εντολές που τροποποιήθηκαν στο συγκεκριμένο αρχείο είναι

Set rnxwnd

ορισμός του path που το λογισμικό θα «ψάξει» για τα rinex αρχεία που έχει εισάγει ο χρήστης.

Sites.defaults

Στο αρχείο αυτό «δηλώνεται» το πώς θα εισαχθούν στοιχεία (δηλ. αρχεία RINEX) σταθμών GPS, όπου αυτό γίνεται μέσω 2 εντολών οι οποίες είναι:

- Localrx

Στη περίπτωση αυτή, εισάγονται δεδομένα rinex σταθμών που έχουν αποθηκευθεί στο σύστημα από το χρήστη.

Σημειώνεται πως η συγκεκριμένη εντολή λειτουργεί σε συνδυασμό με την εντολή rnxwnd του αρχείου process.defaults.

- *ftprnx*

Στη περίπτωση αυτή, εάν ο σταθμός ανήκει στο δίκτυο της IGS μπορούν να ληφθούν τα δεδομένα rinex του μέσω της εντολής *ftprnx* χωρίς να χρειάζεται να τα εισάγει σε κάποιο φάκελο ο χρήστης. Η σύνταξη και επεξήγηση της εντολής είναι παρακάτω:

station_gps expt typeofrnx xstinfo

1. *station*: τοποθετείται ο 4 χαρακτήρων κωδικός στο όνομα rinex αρχείου.(π.χ. armk_gps)
2. *expt*: τοποθετείται το όνομα του πειράματος όπως είναι αναγραφόμενο στο directory (π.χ. samo)
3. *typeofrnx*:τοποθετείται ο τρόπος άντλησης των δεδομένων rinex των σταθμών.(π.χ. *ftprnx* ή *localrx*)
4. *xstinfo* : εφόσον το αρχείο *station.info* έχει κατασκευαστεί από το χρήστη τοποθετείται και αυτός ο όρος.

Συνολικά «δηλώθηκε» ο τρόπος άντλησης δεδομένων των παρακάτω σταθμών.

***kit3_gps samo ftprnx xstinfo
not1_gps samo ftprnx xstinfo
mate_gps samo ftprnx xstinfo
sfer_gps samo ftprnx xstinfo
artu_gps samo ftprnx xstinfo
mdvj_gps samo ftprnx xstinfo
graz_gps samo ftprnx xstinfo
bucu_gps samo ftprnx xstinfo
drag_gps samo ftprnx xstinfo
ankr_gps samo ftprnx xstinfo
mikl_gps samo ftprnx xstinfo
gras_gps samo ftprnx xstinfo
ieng_gps samo ftprnx xstinfo
glsv_gps samo ftprnx xstinfo
zeck_gps samo ftprnx xstinfo
dyng_gps samo ftprnx xstinfo
tubi_gps samo ftprnx xstinfo
sofi_gps samo ftprnx xstinfo
mers_gps samo ftprnx xstinfo
izmi_gps samo ftprnx xstinfo
noa1_gps samo localrx xstinfo
prkv_gps samo localrx xstinfo***

skyr_gps samo localrx xstinfo
armk_gps samo localrx xstinfo
seva_gps samo localrx xstinfo

sittbl.

Στο αρχείο αυτό περιέχονται οι αρχικές αβεβαιότητες των συντεταγμένων των σταθμών του δικτύου (κατά X,Y,Z αντίστοιχα). Χρησιμοποιούν στην επίλυση των ασαφειών φάσης. Η ενδεδειγμένη μεθοδολογία που συνήθως ακολουθείται είναι να μην δεσμεύονται οι συντεταγμένες των σταθμών στις αρχικές τους τιμές, αλλά να τίθενται a priori αβεβαιότητες σε αυτές. Συνεπώς, στους τοπικούς σταθμούς τίθενται πολύ χαλαρές αβεβαιότητες, της τάξης των 100 ή 200 m, διότι συνήθως δεν είναι καλές οι a priori τιμές συντεταγμένων.

Στο πείραμα της διπλωματικής έχουν ορισθεί μεγάλες τιμές αβεβαιότητας για όλους τους σταθμούς (200 m) και εν συνεχεία για σταθμούς της IGS, σε αυτούς που ανήκουν στο δίκτυο πυρήνα της, αυστηρές δεσμεύσεις (0.050 m), ενώ σε αυτούς που δεν ανήκουν στο δίκτυο πυρήνα της (0.080m). Στους σταθμούς του περιφερειακού δικτύου ορίστηκαν δεσμεύσεις 0.100 m. Η επιλογή NNN σημαίνει πως μπορούν να μεταβληθούν οι συντεταγμένες των σταθμών. Οι αβεβαιότητες αναφέρονται αντίστοιχα σε γεωκεντρικό πλάτος, μήκος και υψόμετρο.

```
SITE      FIX  --COORD.CONSTR.--  
          << default for regional sites >>  
ALL       NNN  200. 200. 200.  
          <<REFERENCE STATIONS >>  
AREQ      NNN  0.050 0.050 0.050  
ARTU      NNN  0.050 0.050 0.050  
IZMI      NNN  0.080 0.080 0.080  
.....
```

Sestbl.

Στο συγκεκριμένο αρχείο έγινε επεξεργασία κάποιων παραμέτρων χρήσιμες για την επεξεργασία, οι πιο σημαντικές από αυτές επεξηγούνται παρακάτω.

Satellite Constraint = Y

Choice of Experiment = BASELINE

Με την επιλογή αυτή το λογισμικό θα δημιουργήσει και θα λύσει βάσεις.

Decimation Factor = 4

Πρόκειται για τον πολλαπλασιαστή του ρυθμού δειγματοληψίας δεδομένων, οι σταθμοί της IGS λαμβάνουν δεδομένα ανά 30 δευτερόλεπτα οπότε η δειγματοληψία ορίζεται εδώ στα 120 δευτερόλεπτα.

Zenith Delay Estimation = Y

Θέτοντας αυτή την επιλογή με Y(Yes) θα γίνει υπολογισμός των παραμέτρων διόρθωσης της τροποσφαιρικής διάθλασης λόγω της ζενίθιας γωνίας που σχηματίζεται με τη κεραία του δορυφόρου.

Interval Zen =2

Τοποθετώντας τη τιμή 2 σε αυτή την επιλογή, υπολογίζονται κάθε 12 ώρες οι παράμετροι της ατμοσφαιρικής διάθλασης. Ο λόγος είναι διότι, βάσει αυτής της τιμής δε θα αυξηθούν κατά πολύ οι άγνωστοι κατά τη συνόρθωση του δικτύου.

Atmospheric Gradients= Y

Βάσει αυτής της επιλογής θα γίνει υπολογισμός των παραμέτρων τροποσφαιρικής διάθλασης.

Number gradients = 2

Γίνεται καθορισμός των παραμέτρων ατμοσφαιρικής διάθλασης για κάθε σταθμό GPS ανά 24 ώρες.

DMap = VMF1

WMap = VMF1

Για την επιβολή διορθώσεων που οφείλονται στην ατμοσφαιρική διάθλαση ορίζεται η συγκεκριμένη επιλογή, έτσι θα ληφθεί στην επεξεργασία υπόψη το αρχείο **vmf1grd.[year]**

usemap.grid=Y

Βάσει και της προηγούμενης επιλογής παραμέτρου, τίθεται η συγκεκριμένη ως YES ώστε να ληφθεί υπόψη ο κánaβος του παραπάνω αρχείου.

Tides applied = 31

Βάσει της τιμής 31, γίνεται σαφές ότι θα ληφθούν υπόψη για τη κίνηση του πόλου και παλίρροιων από περιοδικές ανακατανομές μαζών των ωκεανών, παλίρροιες που σχετίζονται με το στερεό φλοιό της γης.

Use otl.grid=Y

Θέτοντας την επιλογή με YES, θα ληφθεί υπόψη το αρχείο **otl_FES2004.grid**, που υπενθυμίζεται πως πρόκειται για αρχείο σε μορφή κánaβου (grid) και

περιέχει στοιχεία για την επιβολή διορθώσεων οφειλόμενα σε παλιρροιακές ανακατανομές μαζών των ωκεανών.

Apply atm loading = Y

Βάσει της επιλογής «Y», θα ληφθεί υπόψη το αρχείο **atmdisp_CM.[year]** που υπενθυμίζεται πως πρόκειται για αρχείο σε μορφή κανάβου (grid) και περιέχει στοιχεία για την επιβολή διορθώσεων οφειλόμενα σε μη παλιρροιακές ανακατανομές μαζών της ατμόσφαιρας

Use atml.grid = Y

Θέτοντας την επιλογή με «Y» καθίσταται σαφές πως θα ληφθεί υπόψη το παραπάνω αρχείο διορθώσεων.

autcln.cmd

Στο συγκεκριμένο αρχείο δεν έγιναν τροποποιήσεις, καθώς οι εντολές και παράμετροι που υπάρχουν σε αυτό δεν επηρεάζονται από τα δεδομένα των παρατηρήσεων.

lfile.

Το αρχείο αυτό περιέχει τις συντεταγμένες, ταχύτητες και εποχή σταθμών που χρησιμοποιήθηκαν στην επεξεργασία. Οι συντεταγμένες ανακτώνται αυτόματα από το αρχείο `rinex` κάθε σταθμού GPS κατά την επεξεργασία, σε περίπτωση που κάτι τέτοιο δε καταστεί δυνατό, τότε δημιουργείται σφάλμα και διακόπτεται η επεξεργασία, οπότε θα πρέπει ο χρήστης να τις εισάγει ο ίδιος.

6.4.3.2 Επίλυση

Μόλις ολοκληρωθεί η επεξεργασία των αρχείων που αναλύθηκαν προηγουμένως, τότε ακολουθεί η εκτέλεση `sh_gamit` όπου θα γίνει επίλυση των βάσεων χωρίς να γίνεται υλοποίηση του πλαισίου αναφοράς.

Οι βάσεις αποτελούνται από τα δεδομένα που είτε έχουν εισαχθεί από το χρήστη, είτε καλούνται από το διαδίκτυο μέσω των εντολών που επεξηγήθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο, όπως επίσης γίνεται και ανάκτηση δεδομένων εφημερίδας από το διαδίκτυο. Όλα τα παραπάνω γίνονται αυτόματα μέσω της εντολής `sh_gamit` η σύνταξη της οποίας φαίνεται παρακάτω.

```
sh_gamit -expt [name] -orbit [orbit] -d [yr] [days] -aprfile [file.apr]
```

όπου

-expt [name]: τοποθετείται το 4 χαρακτήρων όνομα του πειράματος, όπως αυτό έχει ορισθεί στο αρχείο `sites.defaults`

-orbit [orbit]: τοποθετείται το όνομα της τροχιάς δορυφόρων. (π.χ.igsf)

-d [yr] [days]: Κατά σειρά εδώ τοποθετείται το έτος που έγιναν οι παρατηρήσεις και οι ημέρες βάσει ημερολογίου GPS για το συγκεκριμένο έτος.

-aprfile [file.apr]: Εδώ τοποθετείται το όνομα του apriori πίνακα συντεταγμένων. (π.χ. igb14.apr)

Μόλις εκτελεσθεί η παραπάνω εντολή, ξεκινάει η επίλυση των βάσεων. Με τη λήξη της επεξεργασίας των δεδομένων, δημιουργούνται αντίστοιχα φάκελοι με τίτλο τη κάθε ημέρα που πραγματοποιήθηκε επεξεργασία.

Σε περίπτωση που κάτι δεν έχει οριστεί σωστά στα αρχεία που έγινε επεξεργασία τότε η επίλυση θα σταματήσει και θα εμφανιστεί αρχείο με τίτλο FATAL, σε τέτοια περίπτωση θα πρέπει ο χρήστης να ελέγξει το αντίστοιχο μήνυμα και να διορθώσει το σφάλμα, προσοχή θα πρέπει να δώσει και στο αρχείο με τίτλο WARNING που βέβαια δε διακόπτει τη λύση και να προβεί εάν χρειάζεται σε τροποποίηση.

6.4.3.3 Αξιολόγηση της Ποιότητας Επίλυσης sh_gamit

Όπως προαναφέρθηκε, με τη λήξη της επίλυσης δημιουργούνται αντίστοιχοι φάκελοι επίλυσης με τίτλο τη κάθε ημέρα που πραγματοποιήθηκε επεξεργασία. Μέσα σε αυτούς, υπάρχουν διάφορα αρχεία και αποτελέσματα, αυτό του οποίου τα στοιχεία έχει ιδιαίτερη σημασία να παρουσιαστούν έχει τίτλο **sh_gamit_day.summary**.

Για το έτος 2020

sh_gamit_219.summary		
Χρησιμοποιήθηκαν 19 σταθμοί με 21 xfiles		
Μέσο RMS (mm)	8.3	
Καλύτεροι Σταθμοί		
ARMK (4.5mm) IENG(5.6mm)		
Χειρότεροι Σταθμοί		
IZMI(9.7mm) SOFI(11.4mm)		
Επιλύσεις	NRMS a priori	NRMS a posteriori
Constrained bias-fixed	0.87425	0.18227
Constrained bias-free	0.87185	0.18873
loose bias-	0.87425	0.18186

fixed		
loose bias-free	0.87185	0.18823
Αριθμός Διπλών Διαφορών		
79313		
WL Fixed (ασάφειες φάσης)		94.20%
NL Fixed (ασάφειες φάσης)		86.30%

Πίνακας 6.1 Επιλύσεις sh_gamit ημέρας 219, 2020

sh_gamit_220.summary		
Χρησιμοποιήθηκαν 20 σταθμοί με 21 xfiles		
Μέσο RMS (mm)		9.6
Καλύτεροι Σταθμοί		
SEVA(6.3mm) ANKR(7.0mm)		
Χειρότεροι Σταθμοί		
ARTU(13.3mm) SOFI(13.8mm)		
Επιλύσεις	NRMS a priori	NRMS a posteriori
Constrained bias-fixed	0.85316	0.18373
Constrained bias-free	0.85069	0.18964
loose bias-fixed	0.85316	0.18342
loose bias-free	0.85069	0.18929
Αριθμός Διπλών Διαφορών		
83116		
WL Fixed (ασάφειες φάσης)		97.50%
NL Fixed (ασάφειες φάσης)		91.20%
sh_gamit_221.summary		

Χρησιμοποιήθηκαν 19 σταθμοί με 20 xfiles		
Μέσο RMS (mm)		9.1
Καλύτεροι Σταθμοί		
SEVA(4.2mm) ANKR(6.6mm)		
Χειρότεροι Σταθμοί		
IZMI(10.6mm) SOFI(15.0mm)		
Επιλύσεις	NRMS a priori	NRMS a posteriori
Constrained bias-free	0.84839	0.18180
Constrained bias-fixed	0.84595	0.18849
loose bias-fixed	0.84839	0.18150
loose bias-free	0.84595	0.18819
Αριθμός Διπλών Διαφορών		
82031		
WL Fixed (ασάφειες φάσης)		98.40%
NL Fixed (ασάφειες φάσης)		92.30%

Πίνακας 6.2 Επιλύσεις sh_gamit ημέρας 220 & 221, 2020

Για το έτος 2021

sh_gamit_172.summary		
Χρησιμοποιήθηκαν 16 σταθμοί με 19 xfiles		
Μέσο RMS (mm)		9.5
Καλύτεροι Σταθμοί		
TUBI(7.2mm) ARTU(7.8mm)		
Χειρότεροι Σταθμοί		
IENG(10.8mm) PRKV(11.3mm)		
Επιλύσεις	NRMS a priori	NRMS a posteriori

Constrained bias-fixed	0.85293	0.18052
Constrained bias-free	0.85067	0.18823
loose bias-fixed	0.85293	0.18017
loose bias-free	0.85067	0.18790
Αριθμός Διπλών Διαφορών		
67101		
WL Fixed (ασάφειες φάσης)		92.40%
NL Fixed (ασάφειες φάσης)		83.60%
sh_gamit_173.summary		
Χρησιμοποιήθηκαν 17 σταθμοί με 19 xfiles		
Μέσο RMS (mm)		10.1
Καλύτεροι Σταθμοί		
ANKR(0.0mm) NOA1(7.0mm)		
Χειρότεροι Σταθμοί		
ZECK(12.4mm) GRAS(12.5mm)		
Επιλύσεις	NRMS a priori	NRMS a posteriori
Constrained bias-fixed	0.89499	0.18335
Constrained bias-free	0.89265	0.18973
loose bias-fixed	0.89499	0.18292
loose bias-free	0.89265	0.18936
Αριθμός Διπλών Διαφορών		

70592	
WL Fixed (ασάφειες φάσης)	93.70%
NL Fixed (ασάφειες φάσης)	85.80%

Πίνακας 6.3 Επιλύσεις sh_gamit ημέρας 172 & 173, 2021

Από τα αποτελέσματα που απεικονίζονται μπορούν να εξαχθούν κάποια συμπεράσματα σχετικά με τη ποιότητα των επιλύσεων.

Σύμφωνα με το εγχειρίδιο του προγράμματος (*Intro_GG_10.7.pdf*) αυτό που ελέγχεται αρχικά είναι το μέσο τετραγωνικό σφάλμα RMS. Σε ένα τυπικό πείραμα, «καλής» ακρίβειας, σταθμοί GPS θεωρούνται αυτοί των οποίων το τετραγωνικό σφάλμα του καθενός κυμαίνεται σε τιμές από 3 έως 5 mm ενώ πιο χαμηλής ακρίβειας από 7 έως 9 mm. Τιμές σφάλματος RMS από 10 έως 15 mm αναδεικνύει υψηλές μεν αλλά αποδεκτές δε, τιμές θορύβου.

Εν συνεχεία ελέγχονται οι τιμές Postfit NRMS, που θα πρέπει να κυμαίνονται λίγο κάτω από το 0.2, όπως επίσης λόγω της χρήσης του LC_AUTCLN τα ποσοστά επίλυσης των ακέραιων ασαφειών φάσης Wide Lane θα πρέπει να είναι άνω του 90% , ενώ τα ποσοστά Narrow Lane άνω του 80%. Σε αντίθετη περίπτωση υπάρχει θέμα ανεπάρκειας επιτυχούς επίλυσης.

Όσον αφορά στα αποτελέσματα του πειράματος της διπλωματικής εργασίας, σε γενικές γραμμές το υψηλότερο RMS για το έτος 2020 το έχει ο σταθμός SOFI, ενώ το μικρότερο ο σταθμός ARMK παρά το γεγονός πως οι υπόλοιποι σταθμοί του δικτύου (όχι τοπικοί) έχουν παρατηρήσεις 24 ωρών. Τέλος το μέσο RMS για όλες τις ημέρες κυμαίνεται από 8.3 έως 9.6 mm, δηλαδή οριακά ικανοποιητικό.

Το κανονικοποιημένο μέσο τετραγωνικό σφάλμα (NRMS) για κάθε ημέρα επίλυσης του έτους 2020 κυμαίνεται κάτω αλλά κοντά στο 0.2 κάτι το οποίο είναι εντός αποδεκτών ορίων και αποδεκτό επίσης τα ποσοστά ακέραιων ασαφειών φάσης Wide Lane & Narrow Lane είναι πάνω από 90% και 80% αντίστοιχα, επομένως η ποιότητα λύσεων για το έτος είναι ικανοποιητική.

Όσον αφορά στα αποτελέσματα για το έτος 2021, το υψηλότερο RMS το έχει ο σταθμός GRAS της Γαλλίας με σφάλμα 12.5 mm και ο σταθμός PRKV με 11.3 mm σε κάθε ημέρα, ενώ το χαμηλότερο σφάλμα RMS ο σταθμός NOA1 με τιμή 7.0 mm. Επίσης το μέσο σφάλμα RMS και τις 2 ημέρες είναι μεταξύ 9-10 mm, σε οριακά αλλά ικανοποιητικά επίπεδα.

Το κανονικοποιημένο μέσο τετραγωνικό σφάλμα (NRMS) για κάθε ημέρα επίλυσης του έτους 2021 κυμαίνεται κοντά στο 0.2 αλλά κάτω από αυτή τη τιμή, σε αποδεκτά όρια δηλαδή. Τέλος τα ποσοστά ακέραιων ασαφειών φάσης Wide Lane & Narrow Lane είναι πάνω από 90% και 80% αντίστοιχα, οπότε οι επιλύσεις για το έτος 2021 είναι ικανοποιητικές.

6.4.4 Δημιουργία Περιβάλλοντος Επεξεργασίας στο GLOBK

Μέσα στους φακέλους των ημερήσιων επίλυσεων που δημιουργήθηκαν με την εκτέλεση του `sh_gamit`, βρίσκονται αρχεία τα οποία είναι απαραίτητα για τη προετοιμασία του περιβάλλοντος εκτέλεσης του GLOBK και λέγονται h-files. Ο τύπος του κάθε αρχείου είναι *hexpta.yrday*, όπου *expt* το όνομα του πειράματος, *yr* το έτος και *day* η ημέρα επίλυσης. Άρα τα αρχεία που χρειάζονται για το έτος 2020 είναι τα *hsamoa.20219*, *hsamoa.20220*, *hsamoa.20221* και για το έτος 2021 *hsamoa.21172*, *hsamoa.21173*. Τα αρχεία αυτά πρέπει να αντιγραφούν και να τοποθετηθούν στο φάκελο *glbf* που δημιουργείται με την εκτέλεση του `sh_gamit` και στη συνέχεια να δημιουργηθούν τα αντίστοιχα binary h-files μέσω της εντολής *htoglb*. Η συγκεκριμένη εντολή εκτελείται εντός του φακέλου *glbf* και η διατύπωση της είναι η ακόλουθη:

*htoglb . eph **

όπου

τελεία (.) αφορά το path του φακέλου εξαγωγής των αρχείων που θα προκύψουν από την εντολή `htoglb`(εντός φακέλου `glbf`)

`eph`, το όνομα του εξαγόμενου αρχείου εφημερίδων των δορυφόρων, το οποίο περιέχει τα τροχιακά στοιχεία αυτών, τοποθετείται εδώ το τυχαίο όνομα `eph`.

`*` , αφορά τη λίστα αρχείων h-files που ενδιαφέρουν. Σε περίπτωση που εκτελείται η εντολή εντός φακέλου `glbf` και είναι επιθυμία να χρησιμοποιηθούν όλα τα αρχεία μέσα σε αυτόν, τοποθετείται το σύμβολο `“*”`.

Με την εκτέλεση της εντολής δημιουργούνται για κάθε h-file δύο binary h-files, ένα περιέχει την loose bias-fixed επίλυση (`glx`) και ένα την loose bias-free (`glr`).

6.4.4.1 Τροποποίηση αρχείων εισόδου & εντολών

Ακολουθεί η τροποποίηση ή/και εισαγωγή των αρχείων για την εκτέλεση του `globk`. Τα συγκεκριμένα αρχεία ή υπάρχουν ήδη στο φάκελο `tables` του πειράματος ή πρέπει ο χρήστης να τα εισάγει από το κεντρικό φάκελο (`.../gg/tables`)

pmu.usno

Το συγκεκριμένο αρχείο περιέχει παραμέτρους προσανατολισμού της γης (Earth Orientation Parameters – EOP)

igbl4.apr

Το συγκεκριμένο αρχείο περιέχει τις συντεταγμένες σταθμών που θα υλοποιήσουν το πλαίσιο αναφοράς του πειράματος.

expt.stablist

Στο αρχείο αυτό περιέχονται οι σταθμοί που θα υλοποιήσουν το πλαίσιο αναφοράς του πειράματος. Δομείται μέσω της εντολής *stab_site* που τοποθετείται για κάθε σταθμό, στην αρχή τοποθετείται η εντολή *clear*. Αν και δεν είναι απαραίτητο, τοποθετείται το σύμβολο *@* σε περίπτωση που γίνεται χρήση σταθμών με όνομα αποτελούμενο με παραπάνω από 4 χαρακτήρες. Παράδειγμα δομής τέτοιου αρχείου φαίνεται παρακάτω :

```
stab_site clear  
stab_site kit3_gps  
stab_site not1_gps  
stab_site mate_gps  
stab_site sfer_gps  
stab_site artu_gps  
stab_site mdvj_gps  
stab_site graz_gps  
stab_site bucu_gps  
stab_site drag_gps  
stab_site mikl_gps  
stab_site gras_gps  
stab_site ieng_gps  
stab_site glsv_gps  
stab_site zeck_gps
```

expt.gdl

Εντός του συγκεκριμένου αρχείου τοποθετούνται τα *paths* των εξαγόντων αρχείων *g1x* που προέκυψαν από την εκτέλεση της εντολής *htoglb* εντός του φακέλου **glbf**.

eq_rename

Το συγκεκριμένο αρχείο αφορά απότομες μεταβολές στους σταθμούς κατά τη περίοδο των μετρήσεων (π.χ. λόγω σεισμών), συνήθως δε τροποποιείται, όπως και δε τροποποιήθηκε στο πείραμα μελέτης. Μεταβολές που έχουν συντελεστεί στους σταθμούς της IGS περιέχονται ήδη σε αυτό.

globk_vel.cmd

Βάσει αυτού του αρχείου και των εντολών που περιέχει, εφαρμόζεται ουσιαστικά το φίλτρο Kalman στις επιλύσεις του *sh_gamit* και τοποθετήθηκε εντός του φακέλου *tables*. Χρησιμοποιήθηκε στο πείραμα αυτή η εντολή και όχι η *glred* διότι βάσει του *globk* υπολογίζονται πέρα από ταχύτητες σταθμών (mm/yr) και οι συντεταγμένες τους από όλες τις ημέρες μετρήσεων μαζί.

Κατά σειρά οι εντολές που χρειάζονται να χρησιμοποιηθούν επεξηγούνται παρακάτω.

make_svs comb.svs

Δημιουργία αρχείου βάσει των a priori τροχιακών στοιχείων προερχόμενα από τα binary h-files

com_file globk_vel.com

srt_file globk_vel.com

Ενδιάμεσα αρχεία εξόδου ενδιάμεσων αποτελεσμάτων

sol_file globk_vel.sol

Αρχείο εξόδου που περιέχεται ο πίνακας μεταβλητοτήτων-συμμεταβλητοτήτων των συννορθωμένων επιλύσεων

apr_file /home/theocharis/samo/year/tables/igb14.apr

Αρχείο συντεταγμένων & ταχυτήτων σταθμών αναφοράς

in_pmu /home/theocharis/samo/year/tables/pmu.usno

Εδώ ορίζεται το αρχείο με τις a priori τιμές παραμέτρων eop

max_chi 20.0 10000.0 10000.0

Το εγχειρίδιο προτείνει τις συγκεκριμένες τιμές για την πλήρη αξιοποίηση των δεδομένων. Τοποθέτηση της τιμής 20 ως μέγιστη επιτρεπτή τιμή της δοκιμής χ^2 , με σκοπό την εισαγωγή του κάθε h-file στο Kalman φίλτρο, 10000 η μέγιστη αποδεκτή διαφορά για τις συντεταγμένες των σταθμών σε m, για τα στοιχεία τροχιάς.

apr_neu all 20 20 20 1 1 1

Τοποθέτηση της τιμής των 20m που αφορά τις a priori αβεβαιότητες των συντεταγμένων των σταθμών σε τοποκεντρικό σύστημα αναφοράς (κατά τους άξονες N, E, U) και 1 (m/yr) που αφορά τις a priori αβεβαιότητες των ταχυτήτων των σταθμών.

apr_svs all 0.1 0.1 0.1 0.01 0.01 0.01

Τοποθετούνται εδώ αρκετά δεσμευτικές τιμές, που προτείνονται από το ίδιο εγχειρίδιο χρήσης του gamit/globk και αφορούν τις a priori αβεβαιότητες θέσης και ταχύτητας των τροχιακών στοιχείων.

apr_rad all F F F F F F F F

Προτείνεται για τοπικά δίκτυα από το εγχειρίδιο η τιμή F που σημαίνει FIXED και αφορά τη χρήση a priori αβεβαιοτήτων των παραμέτρων

τροχιακών στοιχείων που δεν οφείλονται σε βαρυτικές αλληλεπιδράσεις εξαγόμενες από το sh_gamit.

mar_svs all 3.65 3.65 3.65 0.0365 0.0365 0.0365

Αφορά τις τιμές στοχαστικού θορύβου με τιμή 3.65 m²/yr για τις συντεταγμένες δορυφόρων και 0.0365 (m/s)²/yr για τις ταχύτητες.

apr_wob 0.25 0.25 0 0

Τοποθετείται η τιμή **0.25** για τις apriori αβεβαιότητες των συντεταγμένων του πόλου (x_p,y_p) και **0** για τους αντίστοιχους ρυθμούς μεταβολής αυτού. Βέβαια για μικρό χρονικό διάστημα σαν του πειράματος της διπλωματικής δεν έχει τόσο νόημα.

apr_ut1 0.25 0

Τοποθετείται η τιμή 0.25 για την apriori αβεβαιότητα της διαφοράς του ατομικού από το παγκόσμιο χρόνο και 0 ως ο ρυθμός μεταβολής αυτού, όπως ορίζονται αυστηρά βάσει του εγχειριδίου.

mar_wob 22.8 22.8 3.65 3.65

mar_ut1 22.8 3.65

Αφορά τις τιμές στοχαστικού θορύβου

prt_opt CMDS GDLF

Με αυτή την εντολή εκτυπώνονται στο αρχείο εξόδου του globk ο πίνακας των binary h-files που εισήχθησαν κατά την επίλυση (GDLF) και των εντολών του προγράμματος (CMDS)

org_cmd /home/theocharis/samo/tables/glogrg_vel.cmd

Γίνεται ορισμός του path του αρχείου εντολών του glogrg το οποίο θα εκτελεστεί μαζί με το globk.

org_opt CMDS PSUM GDLF VSUM

Με την εντολή αυτή γίνεται εκτύπωση στο αρχείο εξόδου του glogrg των εντολών των διορθώσεων στις apriori συντεταγμένες (PSUM), του προγράμματος glogrg (CMDS), του πίνακα των binary h-files που χρησιμοποιήθηκαν στην επίλυση (GDLF), του πεδίου των ταχυτήτων του δικτύου (VSUM).

org_out samo_vel.org

Εδώ ορίζεται το όνομα του αρχείου εξόδου μέσω της εκτέλεσης του προγράμματος glogrg.

glorg_vel.cmd

Η εκτέλεση του συγκεκριμένου αρχείου αφορά την επιβολή του πλαισίου αναφοράς που επιλέγεται, οι εντολές που ορίζονται σε αυτό επεξηγούνται παρακάτω.

apr_file /home/theocharis/samo/tables/igb14.apr

Ορισμός του πλαισίου αναφοράς μέσω του αρχείου συντεταγμένων .apr

source /home/theocharis/samo/year/tables/samo.stablist

Εδώ ορίζεται το path του αρχείου που περιέχει τα ονόματα των σταθμών που θα υλοποιήσουν το πλαίσιο αναφοράς.

***pos_org xtran ytran ztran xrot yrot zrot
rate_org xtran ytran ztran xrot yrot zrot***

Κατά σειρά ορίζεται ο υπολογισμός της μετάθεσης και στροφής και στους τρεις άξονες δίχως κλίμακα και για τις ταχύτητες και για τις θέσεις.

cmd_hgtv 10 10 3 3

Αφορά το αν θα ληφθούν υπόψη σταθμοί στην υλοποίηση του πλαισίου αναφοράς ανάλογα τις αβεβαιότητες των υψομέτρων τους. Η τιμή 10 αφορά τους συντελεστές των μεταβλητοτήτων των υψομέτρων και ταχυτήτων σε σχέση με τα των οριζοντίων συντεταγμένων και η τιμή 3 αποτελεί το όριο για επιλογή ή μη ενός σταθμού στην υλοποίηση του πλαισίου αναφοράς.

stab_ite 4 0.6 3

Κατά σειρά η τιμή 4 είναι ο max αριθμός επαναλήψεων για την τελική εφαρμογή του πλαισίου αναφοράς, 0.6 το βάρος που θα λάβουν αφορούν τους σταθμούς από τα αποτελέσματα των μεταβλητοτήτων κατά τη προηγούμενη επανάληψη, 3 η αποδεκτή τιμή του λόγου της τετραγωνικής ρίζας του αθροίσματος των τετραγώνων των υπολοίπων προς το σχετικό βάρος του σταθμού, επί το συνολικό rms του σχηματισμού.

6.4.4.2 Εφαρμογή φίλτρου Kalman

Με το πέρας της προετοιμασίας των παραπάνω αρχείων, των εντολών και παραμέτρων που το απαρτίζουν, ακολούθησε η εκτέλεση των globk,glorg που έγιναν ταυτόχρονα(βάσει των 3 τελευταίων εντολών στο globk_vel.cmd, ως η ενδεδειγμένη μεθοδολογία. Λόγω του μικρού χρονικού διαστήματος των παρατηρήσεων στο πείραμα της διπλωματικής εργασίας δε γίνεται παρουσίαση αποτελεσμάτων για τις ταχύτητες και τα σφάλματα τους που έχει ο κάθε σταθμός καθώς δεν έχει πρακτικό ενδιαφέρον παρά το ότι το λογισμικό έκανε τους υπολογισμούς τους, αντιθέτως

γίνεται παρουσίαση αποτελεσμάτων των συντεταγμένων, των σφαλμάτων τους και συγκριτική αξιολόγηση για τα 2 έτη.

Εξετάστηκαν για κάθε έτος οι εξής περιπτώσεις στις οποίες εφαρμόστηκε το φίλτρο Kalman.

1^η Περίπτωση: Εφαρμογή φίλτρου Kalman για όλους τους σταθμούς του τοπικού και περιφερειακού δικτύου με σταθμούς αναφοράς τους υπόλοιπους της IGS.

2^η Περίπτωση: Εφαρμογή φίλτρου Kalman για τους σταθμούς του περιφερειακού δικτύου με σταθμούς αναφοράς τους υπόλοιπους της IGS.

→ Εφαρμογή φίλτρου Kalman για τους σταθμούς του τοπικού δικτύου με σταθμούς αναφοράς, τους σταθμούς του περιφερειακού δικτύου, ορίζοντας νέο .apr αρχείο συντεταγμένων το οποίο έχει τις νέες συντεταγμένες των περιφερειακών σταθμών από την εκτέλεση του προηγούμενου βήματος.

```
globk 6 samo_vel.prt samo_vel.log /home/theocharis/samo/tables/samo.gdl  
/home/theocharis/samo/tables/globk_vel.cmd
```

όπου :

- Με το 6 γίνεται ορισμός της γραμμής εντολών με πληροφορίες εξόδου
- Το .prt αρχείο είναι το αρχείο εξόδου του globk
- Το .log αρχείο περιέχει πληροφορίες που αφορούν τη χρήση των binary h-files στη συνόρθωση.
- Ορίζεται η διαδρομή του .gdl αρχείου
- Ορίζεται η διαδρομή του αρχείου εντολών του globk

Στη συνέχεια με το που εκτελεστεί η παραπάνω εντολή εντός φακέλου που δημιουργείται για την εκτέλεση του globk δημιουργούνται αρχεία βάσει των οποίων γίνεται αξιολόγηση της επίλυσης.

6.4.4.3 Παρουσίαση αποτελεσμάτων εφαρμογής φίλτρου Kalman

Πρώτο αρχείο που εξετάζεται είναι το samo_vel.log το οποίο περιέχει στοιχεία που αφορούν τη χρήση των binary h-files στην επίλυση. Εντός του αρχείου δίνεται ιδιαίτερη βάση στη τιμή x^2 που χαρακτηρίζει την αξιοπιστία της λύσης και η οποία δε πρέπει να έχει μεγάλες τιμές τη παρούσα διπλωματική εργασία οι τιμές της κυμαίνονται για όλες τις επιλύσεις από 0.25 έως 0.44 οι οποίες είναι ικανοποιητικές.

Δεύτερο αρχείο που ελέγχεται είναι το samo_vel.prt και περιέχει συντεταγμένες και ταχύτητες των σταθμών αναφοράς και είναι το εξαγόμενο αρχείο από την εκτέλεση του globk.

Τρίτο αρχείο και ιδιαίτερα σημαντικό, που ελέγχεται είναι το samo_vel.org το οποίο είναι το εξαγόμενο αρχείο από την εκτέλεση του glog και περιέχει ότι και το .prt

μαζί με τις εκτιμώμενες παραμέτρους του μετασχηματισμού υλοποίησης του πλαισίου αναφοράς.

Στο συγκεκριμένο αρχείο, αυτό που ελέγχεται είναι ο αριθμός των εναπομεινάντων σταθμών να μην είναι πολύ μικρότερος από όταν ξεκίνησε η εκτέλεση του globk, με το πέρας της επαναληπτικής διαδικασίας,. Αντιθέτως σε περίπτωση που συμβεί κάτι τέτοιο, θα πρέπει να γίνει καλύτερη επιλογή των σταθμών αναφοράς. Στη συνέχεια, αυτό που ελέγχεται, είναι το τυπικό σφάλμα του μετασχηματισμού (Post RMS) στη τελευταία επανάληψη και τα τυπικά σφάλματα των εκτιμώμενων αυτού παραμέτρων.

Ελέγχεται για ένα μετασχηματισμό θέσης ή συντεταγμένων (Position Stabilization) η τυπική τιμή του Post RMS να κυμαίνεται στη τάξη των μερικών χιλιοστών (3-4 mm) ενώ σε περίπτωση που εξετάζεται ο μετασχηματισμός ταχυτήτων να μη ξεπερνάει τη τάξη των 1-2 mm/yr (Τζαβάρας, 2010).

Παρακάτω ακολουθεί η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων, στο πίνακα 6.4. της πρώτης που έγινε αναφορά νωρίτερα, όπως επίσης και η παρουσίαση των διαφορών μεταξύ των συντεταγμένων για τους δυο σταθμούς του τοπικού δικτύου (ARMK & SEVA) σε IGB14. Ο πίνακας 6.5. περιλαμβάνει τις προκύπτοντες συντεταγμένες για κάθε σημείο μαζί με τα τυπικά σφάλματα τους στο ITRF14.

- Έτος 2020

Αποτελέσματα 1ης Περίπτωσης			
Αρχή Επαναληπτικής Διαδικασίας			
Πλήθος Σταθμών Υλοποίησης Πλαισίου Αναφοράς	10	Σφάλμα Post RMS	0.00234 m
Τέλος Επαναληπτικής Διαδικασίας			
Πλήθος Σταθμών Αναφοράς IGS	10	Σφάλμα Post RMS	0.00227 m

Πίνακας 6.4 Αποτελέσματα αρχείου .org

Όπως προαναφέρθηκε, χρησιμοποιήθηκαν στη προκειμένη περίπτωση ως σταθμοί αναφοράς, αυτοί της IGS εκτός περιφερειακών και τοπικών. Παρατηρείται πως όσοι σταθμοί ξεκίνησαν για την υλοποίηση του πλαισίου αναφοράς τόσοι παρέμειναν. Το σφάλμα μετασχηματισμού θέσης είναι περίπου στα 2.3 mm, άρα εντός ορίων, συνεπώς η επιλογή των σταθμών οδήγησε σε ορθά αποτελέσματα.

SITE	X(m)	Y(m)	Z(m)	σχ(m)	συ(m)	σz(m)	epoch
ARMK_GPS	4501603.66	2292462.12	3881068.29	0.0076	0.0043	0.0066	2020.597
SEVA_GPS	4511577.00	2270072.11	3882918.07	0.008	0.0046	0.007	2020.601

Πίνακας 6.5 Αποτελέσματα αρχείου glorg

Αποτελέσματα 2ης Περίπτωσης			
Αρχή Επαναληπτικής Διαδικασίας			
Πλήθος Σταθμών Υλοποίησης Πλαισίου Αναφοράς	10	Σφάλμα Post RMS	0.00231 m
Τέλος Επαναληπτικής Διαδικασίας			
Πλήθος Σταθμών Υλοποίησης Πλαισίου Αναφοράς	10	Σφάλμα Post RMS	0.00224 m

Πίνακας 6.6 Αποτελέσματα αρχείου .org

Εδώ χρησιμοποιήθηκαν ως σταθμοί αναφοράς, αυτοί της IGS με ζητούμενους υπολογισμού αυτούς του περιφερειακού δικτύου. Τα αποτελέσματα είναι εξίσου ικανοποιητικά με, εντός ορίων, σφάλματα μετασχηματισμού θέσης και μη εξαίρεση σταθμών αναφοράς από την επαναληπτική διαδικασία.

Αποτελέσματα 2ης Περίπτωσης (Περιφερειακό Δίκτυο)			
Αρχή Επαναληπτικής Διαδικασίας			
Πλήθος Σταθμών Υλοποίησης Πλαισίου Αναφοράς	9	Σφάλμα Post RMS	0.00029 m
Τέλος Επαναληπτικής Διαδικασίας			
Πλήθος Σταθμών Υλοποίησης Πλαισίου Αναφοράς	8	Σφάλμα Post RMS	0.00019 m

Πίνακας 6.7 Αποτελέσματα αρχείου .org

Ως σταθμοί αναφοράς χρησιμοποιούνται οι επιλυμένοι περιφερειακοί σταθμοί από το προηγούμενο βήμα και ζητούμενοι υπολογισμού είναι οι δυο τοπικοί σταθμοί. Στο τέλος της επαναληπτικής διαδικασίας εξαιρέθηκε ένας μόνο σταθμός με τελικό σφάλμα μετασχηματισμού θέσης στα 0.19 mm. Ο πίνακας 6.8. περιλαμβάνει τις προκύπτοντες συντεταγμένες για κάθε σημείο μαζί με τα τυπικά σφάλματα τους στο ITRF14.

SITE	X(m)	Y(m)	Z(m)	Σχ(m)	Σy(m)	Σz(m)	epoch
ARMK_GPS	4501603.66	2292462.12	3881068.30	0.0078	0.0045	0.0069	2020.597
SEVA_GPS	4511577.00	2270072.11	3882918.07	0.008	0.0046	0.0071	2020.601

Πίνακας 6.8 Αποτελέσματα αρχείου glorg

- Έτος 2021

Αποτελέσματα 1ης Περίπτωσης			
Αρχή Επαναληπτικής Διαδικασίας			
Πλήθος Σταθμών Υλοποίησης Πλαισίου Αναφοράς	8	Σφάλμα Post RMS	0.00168 m
Τέλος Επαναληπτικής Διαδικασίας			
Πλήθος Σταθμών Υλοποίησης Πλαισίου Αναφοράς	8	Σφάλμα Post RMS	0.00167 m

Πίνακας 6.9 Αποτελέσματα αρχείου .org

Ως σταθμοί αναφοράς χρησιμοποιούνται, αυτοί της IGS και επιλύονται και του τοπικού και του περιφερειακού δικτύου σταθμοί. Δεν εξαιρέθηκε κανένας και το σφάλμα μετασχηματισμού θέσης παρέμεινε στα ίδια αποδεκτά επίπεδα, κοντά στα 2 mm. Ο πίνακας 6.10. περιλαμβάνει τις προκύπτοντες συντεταγμένες για κάθε σημείο μαζί με τα τυπικά σφάλματα τους στο ITRF14.

SITE	X(m)	Y(m)	Z(m)	Σχ(m)	Σy(m)	Σz(m)	epoch
ARMK_GPS	4501603.7	2292462.16	3881068.22	0.0095	0.006	0.0077	2021.47
SEVA_GPS	4511577.25	2270072.21	3882917.78	0.0102	0.0061	0.0082	2021.473

Πίνακας 6.10 Αποτελέσματα αρχείου glorg

Αποτελέσματα 2ης Περίπτωσης			
Αρχή Επαναληπτικής Διαδικασίας			
Πλήθος Σταθμών Υλοποίησης Πλαισίου Αναφοράς	8	Σφάλμα Post RMS	0.00168 m
Τέλος Επαναληπτικής Διαδικασίας			
Πλήθος Σταθμών Υλοποίησης Πλαισίου Αναφοράς	8	Σφάλμα Post RMS	0.00167 m

Πίνακας 6.11 Αποτελέσματα αρχείου .org

Εδώ χρησιμοποιήθηκαν ως σταθμοί αναφοράς αυτοί της IGS με ζητούμενους υπολογισμούς αυτούς του περιφερειακού δικτύου. Τα αποτελέσματα είναι εξίσου ικανοποιητικά με εντός ορίων σφάλματα μετασχηματισμού θέσης και μη εξαίρεση σταθμών αναφοράς από την επαναληπτική διαδικασία.

Αποτελέσματα 2ης Περίπτωσης (Περιφερειακό Δίκτυο)			
Αρχή Επαναληπτικής Διαδικασίας			
Πλήθος Σταθμών Υλοποίησης Πλαισίου Αναφοράς	7	Σφάλμα Post RMS	0.00012 m
Τέλος Επαναληπτικής Διαδικασίας			
Πλήθος Σταθμών Υλοποίησης Πλαισίου Αναφοράς	7	Σφάλμα Post RMS	0.00012 m

Πίνακας 6.12 Αποτελέσματα αρχείου .org

Ως σταθμοί αναφοράς χρησιμοποιούνται οι επιλυμένοι περιφερειακοί σταθμοί από το προηγούμενο βήμα και ζητούμενοι υπολογισμούς είναι οι δυο τοπικοί σταθμοί. Στο τέλος της επαναληπτικής διαδικασίας δεν εξαιρέθηκε κανένας σταθμός ενώ το τελικό σφάλμα μετασχηματισμού θέσης ήταν 0.12 mm. Ο πίνακας 6.13. περιλαμβάνει τις προκύπτοντες συντεταγμένες για κάθε σημείο μαζί με τα τυπικά σφάλματα τους στο ITRF14.

SITE	X(m)	Y(m)	Z(m)	σ_x (m)	σ_y (m)	σ_z (m)	epoch
ARMK_GPS	4501603.70	2292462.16	3881068.22	0.0091	0.006	0.0078	2021.47
SEVA_GPS	4511577.25	2270072.21	3882917.78	0.0096	0.0059	0.0082	2021.473

Πίνακας 6.13 Αποτελέσματα αρχείου .org

6.4.5 Συγκρίσεις αποτελεσμάτων

Βλέποντας τους προκύπτοντες πίνακες 6.8. και 6.13. με τις γεωκεντρικές συντεταγμένες για κάθε ένα από τα δύο σημεία του τοπικού δικτύου, παρατηρείται πως σε γενικές γραμμές τα τυπικά σφάλματα των συντεταγμένων για κάθε έτος της δεύτερης περίπτωσης έχουν ελαφρώς πιο χαμηλές τιμές, συγκριτικά με τη πρώτη. Οι διαφορές των συντεταγμένων για κάθε έτος, για κάθε μια περίπτωση παρουσιάζονται παρακάτω σε μορφή πινάκων.

- Πρώτη Περίπτωση

Διαφορές Ετών 2021-2020	ARMK_GPS	ΔX(m)	ΔY(m)	ΔZ(m)
		0.04234	0.03607	-0.0738
	SEVA_GPS	ΔX(m)	ΔY(m)	ΔZ(m)
		0.24575	0.09874	-0.29224

Πίνακας 6.14 Διαφορές πρώτης περίπτωσης

- Δεύτερη Περίπτωση

Διαφορές Ετών 2021-2020	ARMK_GPS	ΔX(m)	ΔY(m)	ΔZ(m)
		0.04108	0.03567	-0.07462
	SEVA_GPS	ΔX(m)	ΔY(m)	ΔZ(m)
		0.24629	0.09909	-0.29127

Πίνακας 6.15 Διαφορές δεύτερης περίπτωσης

Οι διαφορές μεταξύ των συντεταγμένων για κάθε συνιστώσα κυμαίνονται και στις δύο περιπτώσεις στα ίδια επίπεδα αλλά λόγω της βελτιωμένης ακρίβειας στη δεύτερη κρίθηκε να κρατηθούν ως τελικές συντεταγμένες, αυτές που υπολογίστηκαν βάσει αυτής. Παρατηρείται επίσης ότι μεταξύ των τριών συνιστωσών στο σταθμό ARMK οι μετατοπίσεις κατά X,Y,Z είναι γύρω στα 4, 3.5 και 7.5 cm αντίστοιχα, ενώ για το σταθμό SEVA οι μετατοπίσεις κατά X,Y,Z είναι περίπου στα 24.5, 10 και 29 cm αντίστοιχα και κατά απόλυτες τιμές.

Για τη μετατροπή σε τοποκεντρικό σύστημα χρησιμοποιήθηκαν τα φ,λ για κάθε σημείο όπως παρέχονται οι εκτιμήσεις τους από την επίλυση του globk.

Γεωδαιτικές Συντεταγμένες ITRF14		
Σημείο	φ(°)	λ(°)
ARMK	37.71998	26.98768
SEVA	37.73985	26.70999

Πίνακας 6.16 Πίνακας Γεωδαιτικών Συντ/μένων ITRF14

Τα αποτελέσματα αυτά για να είναι ερμηνεύσιμα μετατράπηκαν σε τοποκεντρικό σύστημα μέσω του τύπου της Εικόνας 5.9 και τα οποία είναι:

- Διάνυσμα ΔN,ΔE,ΔU (**ARMK**) = (-0.091324,0.013144, -0.0038925) m
- Διάνυσμα ΔN,ΔE,ΔU (**SEVA**) = (-0.39226, -0.022185, 0.030924) m

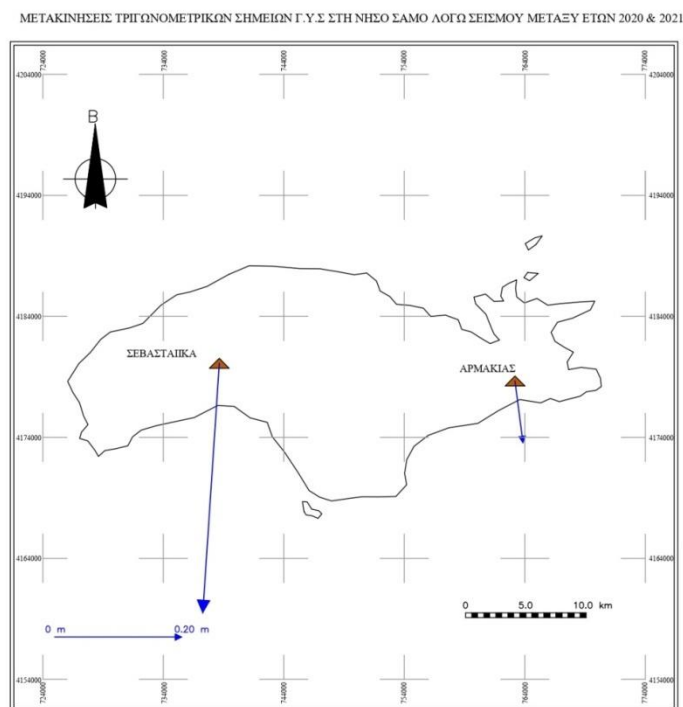
υπολογίστηκε το διάνυσμα ΔN,ΔE,ΔU για το σημείο «**ARMK**» το οποίο έχει διεύθυνση 190.8998g, άρα νότια-νοτιοανατολική και μέτρο 0.09227 m.

Παρομοίως, για το σημείο «**SEVA**» το διάνυσμα μετατόπισης έχει διεύθυνση 203.5967g άρα νότια - νοτιοδυτική και μέτρο 0.39289 m. Τα διανύσματα μετατόπισης και η διεύθυνσή τους απεικονίζονται στην Εικόνα 6.10.

Επίσης λήφθηκε υπόψη και η δήλωση του Δρ Αθανάσιου Γκανά στην εφημερίδα «Πρώτο Θέμα» (2021), διευθυντή ερευνών του Γεωδυναμικού Ινστιτούτου, γεωλόγο και σεισμολόγο ο οποίος είχε αναφέρει πως η διαφορά θέσης σε μόνιμο σταθμό στη περιοχή Καρλόβασι της Σάμου ιδιωτικού δικτύου GPS «φανέρωσε» μετακίνηση κατά 37 cm, κάτι το οποίο εναρμονίζεται με τη μετατόπιση που παρουσιάζει το σημείο «SEVA» (39.5 cm) το οποίο βρίσκεται στο Δυτικό κομμάτι της Σάμου.

Παρομοίως ανέφερε όσον αφορά το ανατολικό κομμάτι της πως η πόλη της Σάμου, το Βαθύ, μετατοπίστηκε νότια κατά 6.5 cm οριζοντιογραφικά και ανυψώθηκε κατά 2.5 cm το οποίο εναρμονίζεται με τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την επεξεργασία με το λογισμικό GAMIT/GLOBK όπου η μετατόπιση στο σημείο «ΑΡΜΑΚΙΑΣ» που ανήκει στο ανατολικό κομμάτι της Σάμου ήταν της τάξεως των 9 cm και όχι μεγαλύτερη και με διεύθυνση νοτιοανατολική. Τα παραπάνω αποτελέσματα εναρμονίζονται και με τις εκτιμήσεις της εργασίας των Chousianitis & Konca στην Εικόνα 3.6.

Στην Εικόνα 6.10. απεικονίζονται τα διανύσματα μετατόπισης σε κάθε σημείο που έγινε επεξεργασία με το λογισμικό GAMIT/GLOBK, σε κατάλληλη κλίμακα και στο τοπικό σύστημα αναφοράς.



Εικόνα 6.10 Μετακινήσεις Τριγωνομετρικών Σημείων Νήσου Σάμου

Κεφάλαιο 7 Συμπεράσματα - Προτάσεις

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο δίνονται τα συμπεράσματα της εργασίας καθώς και προτάσεις για περαιτέρω έρευνα. Θα επισημανθούν συμπεράσματα που αφορούν τις τρεις παρακάτω ενότητες.

- Συλλογή δεδομένων
- Επεξεργασία με το λογισμικό GAMIT/GLOBK
- Επεξεργασία με τεχνικές PPP

Από την εργασία διαπιστώθηκε ότι επιτεύχθηκε ο βασικός σκοπός της ο οποίος ήταν η εκτίμηση πιθανών μετακινήσεων εδάφους σε συγκεκριμένα σημεία της νήσου Σάμου μέσω μετρήσεων GNSS που πραγματοποιήθηκαν αυτές όπως επίσης και οι στόχοι που ήταν η επίτευξη συλλογής δεδομένων GNSS σε αυτά τα σημεία και η επεξεργασία τους μέσω εκμάθησης και ακολούθως επίλυσης τους με το λογισμικό GAMIT/GLOBK καθώς και με διαδικτυακές υπηρεσίες τεχνικών PPP τα οποία και υλοποιήθηκαν.

7.1 Συλλογή των δεδομένων

- Σχετικά με τις μετρήσεις πεδίου, δεν υπήρχαν προβλήματα κατά τη συλλογή των δεδομένων.
- Η χρονική διάρκεια των παρατηρήσεων σε κάθε τριγωνομετρικό σημείο ήταν επαρκής, η ποιότητα των δεδομένων ήταν καλή όπως φάνηκε από τον έλεγχο που πραγματοποιήθηκε στα αρχεία μέσω του λογισμικού TEQC.
- Παρόλο που συλλέχθηκαν δεδομένα από GPS και GLONASS, χρησιμοποιήθηκαν μόνο δεδομένα GPS διότι το επιστημονικό λογισμικό GAMIT/GLOBK μπορεί να επεξεργαστεί δεδομένα μόνο από αυτού του τύπου συστήματος GNSS.
- Στην επίλυση με μεθόδους PPP, χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα και από δορυφόρους GPS και από GLONASS.

7.2 Επεξεργασία με το λογισμικό GAMIT/GLOBK

- Όσον αφορά την επεξεργασία με το λογισμικό GAMIT/GLOBK, με στόχο την επίτευξη των καλύτερων δυνατών λύσεων για τα σημεία του τοπικού δικτύου, αντλήθηκαν δεδομένα από όσον το δυνατόν περισσότερους σταθμούς του δικτύου της IGS, EUREF ανά την Ευρώπη και την Ελληνική Επικράτεια(25). Αρχικά είχαν πραγματοποιηθεί διάφορα πειράματα με λιγότερους σταθμούς τα οποία οδηγούσαν σε επιλύσεις με χαμηλότερη ακρίβεια.
- Οι ημερήσιες λύσεις και για τα δύο έτη ήταν ικανοποιητικές δεδομένου ότι ικανοποιούν τα κριτήρια του κανονικοποιημένου μέσου τετραγωνικού σφάλματος (NRMS) το οποίο κυμαίνεται κοντά στο 0.2, όπως επίσης και οι επιλύσεις των ακέραιων ασαφειών φάσης Wide Lane και Narrow Lane κυμαίνονται άνω του 90% και 80% αντίστοιχα.

- Έγινε εφαρμογή του φίλτρου Kalman για την εκτίμηση των συντεταγμένων των ζητούμενων σημείων του τοπικού δικτύου και των σφαλμάτων τους.
- Τα αποτελέσματα των συντεταγμένων μετατράπηκαν από γεωκεντρική μορφή σε τοποκεντρική και ως αποτέλεσμα «φάνηκε» πως τα σημεία «ARMK» και «SEVA» μετατοπίστηκαν οριζοντιογραφικά κατά νοτιοανατολική διεύθυνση και νοτιοδυτική με μέτρα τα 9.3 cm και 39.3 cm αντίστοιχα ενώ υψομετρικά κατά 0.3 cm βύθιση και 3 cm ανύψωση αντίστοιχα.

7.3 Επεξεργασία με τεχνικές PPP

- Η ποιότητα των λύσεων για τα σημεία «ΜΑΝΔΡΙΑ» και «ΠΡΟΦΗΤΗΣ ΗΛΙΑΣ» είναι ικανοποιητική, με σφάλμα της τάξεως του ενός με ενάμισι cm ανά συνιστώσα συντεταγμένων καθώς και με αρκετές ώρες παρατηρήσεων στο καθένα (τουλάχιστον 6).
- Η επίλυση με τις δύο υπηρεσίες, δεν παρουσίασε διαφορές στο σημείο «ΜΑΝΔΡΙΑ» και στο σημείο «ΠΡΟΦΗΤΗΣ ΗΛΙΑΣ». Αντιθέτως, όσον αφορά τα σημεία «ARMK» και «SEVA», οι διαφορές που παρουσιάζουν οι προκύπτοντες συντεταγμένες σε τοποκεντρικό σύστημα αναφοράς συγκριτικά με τις προκύπτοντες από την επεξεργασία με το GAMIT/GLOBK διαφέρουν κατά 1 mm για το πρώτο σημείο οριζοντιογραφικά, 9-10 mm υψομετρικά και για το δεύτερο 4 mm οριζοντιογραφικά και 3 mm υψομετρικά.
- Κατά την επίλυση με τεχνικές PPP χρησιμοποιώντας τις δυο υπηρεσίες, ο χρήστης δε μπορεί να επιλέξει τους σταθμούς αναφοράς που θέλει να χρησιμοποιηθούν στην επίλυση, κάτι το οποίο μπορεί να γίνει στο λογισμικό GAMIT/GLOBK. ακολουθείται διαφορετική μέθοδος επίλυσης μεταξύ τεχνικών PPP και GAMIT/GLOBK καθώς στις μεν πρώτες δε δίνεται η δυνατότητα στο χρήστη να επιλέξει τους σταθμούς αναφοράς ενώ κατά τη χρήση του λογισμικού επιτρέπεται.
- Τέλος, η τεχνική PPP μπορεί να χρησιμοποιηθεί για σχετικά γρήγορη εκτίμηση συντεταγμένων θέσης σε συμβάντα σεισμικών φαινομένων.

7.4. Προτάσεις

Καταρχάς, προτείνεται να γίνουν επαναληπτικές μετρήσεις στα αρχικά σημεία που μέτρησε η Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού τον Αύγουστο του 2020 ώστε να «παρακολουθούνται» οι μετακινήσεις εδάφους ανά τακτά χρονικά διαστήματα.

Για την καλύτερη εκτίμηση της κινηματικής συμπεριφοράς στη νήσο Σάμο, προτείνεται να εγκατασταθεί ένας δεύτερος μόνιμος σταθμός και ειδικότερα στο ανατολικό ή νοτιοανατολικό τμήμα της του οποίου τα δεδομένα να είναι ελεύθερα προς χρήση. Η εγκατάσταση ενός τέτοιου σταθμού θα μπορέσει να οδηγήσει κατόπιν επεξεργασίας δεδομένων που θα αντληθούν σε ασφαλή συμπεράσματα ως προς την εκτίμηση της ταχύτητας που «κινείται» το νησί.

Βιβλιογραφία

Ξένη Βιβλιογραφία

Askan, A., Gülerce, Z., Roumelioti, Z. *et al.* (2021) **The Samos Island (Aegean Sea) M7.0 earthquake: analysis and engineering implications of strong motion data.** *Bull Earthquake Eng.*

Chousianitis K., Konca O., (2021) **Rupture Process of the 2020 M_w 7.0 Samos Earthquake and its Effect on Surrounding Active Faults**, Institute of Geodynamics, National Observatory of Athens, Athens, Greece, Department of Geophysics, Bogazici University, Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute, Istanbul, Turkey, 2021.

Clarke P., (1996) **Tectonic Motions and Earthquake Deformation in Greece from GPS Measurements**, PhD Thesis Faculty of Physical Sciences, University of Oxford, 1996.

Chousianitis K., Ganas A., Evangelidis P. (2015) **Strain and rotation rate patterns of mainland Greece from continuous GPS data and comparison between seismic and geodetic moment release.**

Cetin K., Mylonakis G., Sextos A., Stewart J., (2020) **Seismological and Engineering Effects of the M 7.0 Samos Island (Aegean Sea) Earthquake**, Hellenic Association of Earthquake Engineering: Report 2020/02 Earthquake Engineering Association of Turkey Earthquake Foundation of Turkey Earthquake Engineering Research Institute (USA) December 31, 2020.

Herring T.A., King R.W., McClusky, (2018) **GAMIT Reference Manual**, Release 10.7, Department of Earth, Atmospheric and Planetary Sciences Massachusetts Institute of Technology

Herring T.A., King R.W., McClusky, (2018) **Introduction to GAMIT/GLOBK**, Release 10.7 Department of Earth, Atmospheric and Planetary Sciences Massachusetts Institute of Technology

Herring T.A., King R.W., McClusky, (2015) **GLOBK Reference Manual, Global Kalman filter VLBI and GPS analysis program**, Release 10.6, Department of Earth, Atmospheric and Planetary Sciences Massachusetts Institute of Technology

Lazos I., Chatzipetros A., Pavlides S., Pikridas C., Bitharis S. (2020) **Tectonic Crustal Deformation of Corinth Gulf, Greece, Based On Primary Geodetic Data.** *Acta Geodynamica et Geomaterialia*, 17(4)

Papadimitriou, P., Kapetanidis V., Karakonstantis A., Spingos I., Kassaras I., Sakkas V., Kouskouna V., Karatzetzou A., Pavlou K., Kaviris G., Voulgaris N. (2020). **First**

Results on the Mw=6.9 Samos Earthquake of 30 October 2020. *Bulletin of the Geological Society of Greece*, 56(1), 251–279.

Ελληνική Βιβλιογραφία

Αναστασίου Δ., (2009) **Μελέτη των τεκτονικών μετατοπίσεων στο Ιόνιο με ανάλυση χρονοσειρών GPS**, Διπλωματική Εργασία ΕΜΠ/ΣΑΤΜ/ Τομέας Τοπογραφίας/Κέντρο Δορυφόρων Διονύσου.

Δημοπούλου Μ., (2008) **Συγκριτική Μελέτη Online Υπηρεσιών Μετεπεξεργασίας Δεδομένων GPS**, Διπλωματική Εργασία ΕΜΠ/ΣΑΤΜ/Τομέας Τοπογραφίας/Κέντρο Δορυφόρων Διονύσου.

Παπαδόπουλος Ν., (2015) **Επεξεργασία Δορυφορικών Παρατηρήσεων στη Νήσο Μείστη με το λογισμικό GAMIT/GLOBK**, Μεταπτυχιακή Εργασία ΕΜΠ/ΣΑΤΜ/Τομέας Τοπογραφίας/Κέντρο Δορυφόρων Διονύσου.

Παπαμικίδη Σ., (2013) **Ανίχνευση Μετακινήσεων με μετρήσεις GNSS στις περιοχές Νέο Φάληρο–Μοσχάτο–Καλλιθέα**, Διπλωματική Εργασία ΕΜΠ/ΣΑΤΜ/Τομέας Τοπογραφίας/Εργαστήριο Γενικής Γεωδαισίας.

Τζαβάρας Π., (2010) **Επεξεργασία Παρατηρήσεων GPS και σύγκριση αποτελεσμάτων από δυο διαφορετικά πακέτα προγραμμάτων υψηλής ακρίβειας**, Διπλωματική Εργασία ΕΜΠ/ΣΑΤΜ/Τομέας Τοπογραφίας/Κέντρο Δορυφόρων Διονύσου

Ιστότοποι

IGS Homepage – <http://www.igs.org> (Τελευταία Επίσκεψη 12/2021)

EUREF Homepage – <http://www.epncb.oma.be> (Τελευταία Επίσκεψη 12/2021)

MIT ftp server – <ftp://everest.mit.edu/pub/GRIDS> (Τελευταία Επίσκεψη 12/2021)

NOANET Homepage <http://geodesy.gein.noa.gr:8000/nginfo/> (Τελευταία Επίσκεψη 12/2021)

CSRS-PPP Homepage <https://www.nrcan.gc.ca/maps-tools-and-publications/geodetic-reference-systems/data/10923#ppp> (Τελευταία Επίσκεψη 12/2021)

AUSPOS Homepage <https://www.ga.gov.au/scientific-topics/positioning-navigation/geodesy/auspos> (Τελευταία Επίσκεψη 12/2021)

Σεισμικότητα Ελληνικού Χώρου <http://geophysics.geo.auth.gr/ss/> (Τελευταία Επίσκεψη 12/2021)

<https://www.ethnos.gr/greece/article/176276/seismosaytaeinaitashmantikoterarhgmatasthnellada>

<https://www.protothema.gr/stories/article/1060862/oi-seismoi-tis-samou-kai-tis-smurnis-apo-to-105-mh-os-to-1955/>

<https://www.protothema.gr/greece/article/1061829/seismos-sti-samo-i-megaluterimetatopisi-edafous-pou-ehei-katagrafei-mehri-simera/>

<https://samosvoice.gr/2021/02/23/meleti-chartes-afto-einai-to-yposallass/>

<https://www.tanea.gr/2020/11/03/greece/megalo-seismo-sti-samo-edeixne-prognosi-apo-to-2004/>

<https://www.ethnos.gr/greece/article/130997/seismospoykrybontaitarhgmata toyai gaioyposarixtemporoynnadosoyn>

https://www.researchgate.net/figure/Cartoon-depiction-of-the-InSAR-methodology-Two-SAR-images-of-the-same-area-are_fig1_274569001

<https://mediatum.ub.tum.de/doc/1341338/file.pdf>

https://en.wikipedia.org/wiki/International_Terrestrial_Reference_System_and_Frame#/media/File:ITRF-Fundamental-u.Satellitenstationen,46_po.jpg

https://www.irsm.cas.cz/materialy/acta_content/2020_doi/Lazos_AGG_2020_0030.pdf

<https://www.everythingrf.com/community/what-is-ppp-or-precise-point-positioning>