



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΚΑΙ ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Αξιολόγηση του Συστήματος Galileo για Μετρήσεις υπό την Επίδραση
Ηλεκτρομαγνητικών Παρεμβολών

Φοιτητής: Παππάς Φίλιππος Ελευθέριος

ΑΜ: 15045

Επιβλέπων καθηγητής:
Γιαννίου Μιχαήλ,
Καθηγητής Π.Α.Δ.Α.

Αιγάλεω, Οκτώβριος 2024



UNIVERSITY OF WEST ATTICA
FACULTY OF ENGINEERING
DEPARTMENT OF SURVEYING AND GEOINFORMATICS ENGINEERING

DIPLOMA THESIS

Assessment of Galileo Performance in the Presence of Electromagnetic Interferences

Student: Pappas Filippos Eleftherios
Registration Number: 15045

Supervisor: Gianniou Michail
Professor of UNI.W.A.

Athens-Egaleo, October 2024

Η Διπλωματική Εργασία έγινε αποδεκτή και βαθμολογήθηκε από την εξής τριμελή επιτροπή:

(Όνοματεπώνυμο), (βαθμίδα)	(Όνοματεπώνυμο), (βαθμίδα)	(Όνοματεπώνυμο), (βαθμίδα)
Γιαννίου Μιχαήλ Καθηγητής	Παγούνης Βασίλειος Καθηγητής	Ανδριτσάνος Βασίλειος Καθηγητής
(Υπογραφή)	(Υπογραφή)	(Υπογραφή)

Copyright © Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ και Παππάς Φίλιππος Ελευθέριος, Οκτώβριος, 2024

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τους συγγραφείς.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα του και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις θέσεις του επιβλέποντος, της επιτροπής εξέτασης ή τις επίσημες θέσεις του Τμήματος και του Ιδρύματος.

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Παππάς Φίλιππος Ελευθέριος του Γεωργίου, με αριθμό μητρώου 15045, φοιτητής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Μηχανικών του Τμήματος Μηχανικών Τοπογραφίας και Γεωπληροφορικής, **δηλώνω υπεύθυνα ότι:**

«Είμαι συγγραφέας αυτής της διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του διπλώματός μου».

Ο Δηλών

Παππάς Φίλιππος Ελευθέριος



Ευχαριστίες

Με την παρούσα διπλωματική εργασία ολοκληρώνεται ο κύκλος των προπτυχιακών μου σπουδών στο Τμήμα Μηχανικών Τοπογραφίας και Γεωπληροφορικής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Γιαννίου Μιχαήλ για την εμπιστοσύνη, την υποστήριξη και την καθοδήγησή του καθόλη τη διάρκεια εκπόνησης αυτής της εργασίας. Επίσης, η συμβολή του στην αξιοποίηση στοιχείων παρελθόντων ετών ήταν καθοριστική.

Τέλος ευχαριστίες οφείλονται στα δίκτυα της EPN-EUREF και IGS από τα οποία λάβαμε ελεύθερα τα δεδομένα των σταθμών σε Λάρισα, Πορτογαλία και Αμερική.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα εργασία έχει ως αντικείμενο το ευρωπαϊκό δορυφορικό σύστημα Galileo και ειδικότερα την απόδοσή του σε περιβάλλοντα ηλεκτρομαγνητικών παρεμβολών. Αρχικά γίνεται μια αναλυτική παρουσίαση των χαρακτηριστικών του συστήματος Galileo καθώς και των χρήσεων του στην τοπογραφία. Παράλληλα, γίνεται αναφορά και στα υπόλοιπα δορυφορικά συστήματα με έμφαση στο GPS καθώς στο πλαίσιο της εργασίας γίνεται συγκριτική αξιολόγηση του GPS και του Galileo.

Το κύριο μέρος της εργασίας περιλαμβάνει ανάλυση παρατηρήσεων Galileo και GPS από μετρήσεις που έγιναν στο πλαίσιο της εργασίας κάτω από γραμμές υπερυψηλής τάσης της ΔΕΗ στην περιοχή της Αττικής. Για τη διασταύρωση των αποτελεσμάτων γίνεται και ανάλυση σταθμών σε άλλες περιοχές της Ελλάδας (Ελευσίνα, Λάρισα) και του κόσμου (Πορτογαλία, Οκλαχόμα). Η ανάλυση έδειξε ότι η επίδραση των ηλεκτρομαγνητικών παρεμβολών εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του κάθε σήματος π.χ. L2 / L2C / L5 για την περίπτωση του GPS και E1, E5, E5a+b του Galileo.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: GNSS, Galileo, Ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές

ABSTRACT

The subject of this Diploma Thesis is the European satellite system Galileo and in particular its performance under electromagnetic interferences. First, the characteristics of the Galileo as well as its uses in topography are presented in detail. In addition, reference is also made to the other satellite systems with an emphasis on GPS as in the framework of this work a comparative evaluation of GPS and Galileo is made.

The main part of the work includes analysis of Galileo and GPS observations from measurements made as part of this thesis under ultra-high power lines in the area of Attica. In order to cross-check the results, an analysis of stations in other regions of Greece (Elefsina, Larissa) and in the world (Portugal, Oklahoma) is also carried out. The analysis showed that the effect of electromagnetic interference depends on the characteristics of each signal, e.g. L2 / L2C / L5 for the case of GPS and E1, E5, E5a+b for Galileo, while Galileo exhibits a superior performance.

KEYWORDS: GNSS, Galileo, Electromagnetic interferences

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<u>ΕΙΣΑΓΩΓΗ</u>	σελ. 10
<u>1. ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΛΟΗΓΗΣΗΣ</u>	σελ. 11
1.1 Παγκόσμια δορυφορικά συστήματα πλοήγησης.....	σελ. 11
1.2 Σημερινά συστήματα GNSS.....	σελ. 12
1.2.1 GPS.....	σελ. 12
1.2.2 GLONASS.....	σελ. 14
1.2.3 BeiDou.....	σελ. 16
1.2.4 Galileo.....	σελ. 17
1.3 Περιφερειακά δορυφορικά συστήματα πλοήγησης.....	σελ. 18
1.3.1 NAVIC.....	σελ. 18
1.3.2 QZSS.....	σελ. 19
1. <u>ΣΥΣΤΗΜΑ GALILEO</u>	σελ. 20
2.1 Το δορυφορικό τμήμα.....	σελ. 20
2.1.1 Ανατομία δορυφόρου.....	σελ. 20
2.1.2 Τροχιακά επίπεδα Galileo.....	σελ. 23
2.1.3 Το δορυφορικό σήμα.....	σελ. 23
2.2 Το τμήμα ελέγχου.....	σελ. 24
2.3 Χρήσεις του Galileo.....	σελ. 26
2.3.1 Γενικές χρήσεις του Galileo.....	σελ. 26
2.3.2 Χρήσεις του Galileo στην τοπογραφία.....	σελ. 28
3. <u>ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗΝ ΠΡΑΞΗ</u>	σελ. 29
3.1 Μετρήσεις στο KYT Παλλήνης.....	σελ. 29
3.2 Ανάλυση δεδομένων KYT Παλλήνης.....	σελ. 32
3.2.1 Σύγκριση σημάτων GPS-Galileo.....	σελ. 32
3.2.1.1 Σημείο 1.....	σελ. 34
3.2.1.2 Σημείο 2.....	σελ. 36
3.2.1.3 Σημεία 1 και 2.....	σελ. 38
3.2.2 Σύγκριση σημάτων GPS.....	σελ. 40
3.2.2.1 Σημείο 1.....	σελ. 40
3.2.2.2 Σημείο 2.....	σελ. 43
3.3 Ανάλυση δεδομένων σταθμού στην Ελευσίνα.....	σελ. 47
3.3.1 Σύγκριση σημάτων GPS.....	σελ. 49
3.3.2 Σύγκριση σημάτων GPS-Galileo.....	σελ. 60
3.4 Ανάλυση δεδομένων σταθμού στη Λάρισα.....	σελ. 63
3.4.1 Σύγκριση σημάτων GPS.....	σελ. 65

3.5	Ανάλυση δεδομένων σταθμού στην Πορτογαλία (Λισαβόνα)	σελ. 76
3.5.1	Σύγκριση σημάτων GPS-Galileo.....	σελ. 77
3.5.2	Σύγκριση σημάτων GPS.....	σελ. 80
3.6	Ανάλυση δεδομένων σταθμού στην Β. Αμερική (Οκλαχόμα)	σελ. 91
3.6.1	Σύγκριση σημάτων GPS-Galileo.....	σελ. 93
3.6.2	Σύγκριση σημάτων GPS.....	σελ. 97
	Παρατήρηση.....	σελ. 107
4.	<u>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ</u>	σελ. 110
5.	<u>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ – ΔΙΑΔΙΚΤΥΑΚΕΣ ΠΗΓΕΣ</u>	σελ. 111

Εισαγωγή

Από τους αρχαίους πολιτισμούς οι άνθρωποι είχαν ανάγκη να γνωρίζουν την θέση τους προκειμένου να προσανατολιστούν. Για τον λόγο αυτό χρησιμοποιούσαν τους πλανήτες και τους αστερισμούς. Ως εξέλιξη αυτού του συστήματος και σαν αιτιατό της ραγδαίας τεχνολογικής εξέλιξης σήμερα υπάρχουν τα δορυφορικά συστήματα. Οι δορυφόροι έχουν την ικανότητα να βρίσκονται μακριά από την γη και να λαμβάνουν πληροφορίες για μεγάλες εκτάσεις και συνεπώς ο άνθρωπος μπορεί πλέον να παρακολουθεί μεγάλη κάλυψη γης.

Το πρώτο σύστημα δορυφορικού εντοπισμού, GPS, δημιουργήθηκε από το στρατό της Β. Αμερικής και για πρωταρχικούς λόγους τους στρατηγικούς. Στη συνέχεια ανακαλύψανε τα μεγάλα πλεονεκτήματα που μπορεί να επιφέρει ένα δορυφορικό σύστημα εντοπισμού σε μεγάλο εύρος τομέων, συμπεριλαμβανομένου της τοπογραφίας.

Στα πλαίσια της ανάπτυξης αυτού του συστήματος, δημιουργήθηκε το ρωσικό σύστημα GLONASS ενώ ακολούθησε το κινέζικο σύστημα BeiDou. Όλα αυτά τα συστήματα δημιουργήθηκαν από τον στρατό του κάθε έθνους και για στρατιωτικούς κυρίως λόγους.

Τα τελευταία χρόνια σε ανάπτυξη βρίσκεται ένα νέο σύστημα που προέρχεται από την Ευρώπη με ονομασία Galileo. Πρόκειται για ένα πολιτικό σύστημα που όταν ολοκληρωθεί πλήρως θα προσφέρει μεγάλα πλεονεκτήματα στους πολίτες.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1. ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΛΟΗΓΗΣΗΣ

1.1 Παγκόσμια δορυφορικά συστήματα πλοήγησης

Τα Παγκόσμια Δορυφορικά Συστήματα Πλοήγησης (GNSS: GLOBAL NAVIGATION SATELITE SYSTEMS) αποτελούν συστήματα δορυφορικού εντοπισμού και πλοήγησης και οδήγησαν στην ανάγκη για διαλειτουργικότητα. Αποτελούνται δηλαδή από δέκτες που δέχονται σήμα από περισσότερα από ένα δορυφορικά συστήματα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα ένα σύνολο από πλεονεκτήματα όπως:

- Ακρίβεια: Η διαφορά μεταξύ της μετρούμενης και της πραγματικής θέσης ενός δέκτη μετρούνται με μικρή απόκλιση από την πραγματικότητα.
- Αξιοπιστία: Η ικανότητα του συστήματος να παρέχει ένα όριο εμπιστοσύνης.
- Συνέχεια: Η ικανότητα του συστήματος να λειτουργεί χωρίς διακοπή.
- Διαθεσιμότητα



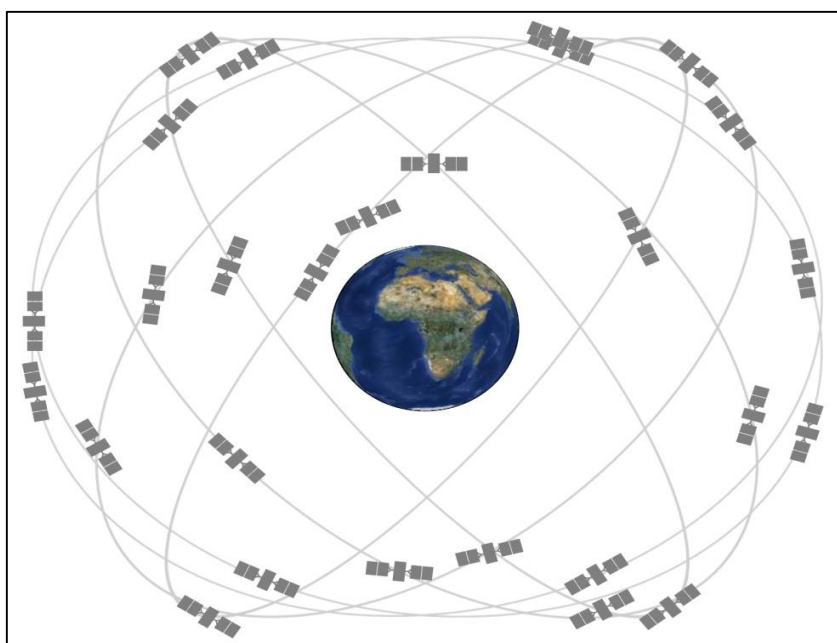
Εικόνα 1.1: Συστήματα GNSS

Πηγή: (<https://unoosa.org/oosa/en/ourwork/psa/gnss/gnss.html>)

1.2 Σημερινά συστήματα GNSS

1.2.1 GPS

Το GPS, αποτελεί το πρώτο δορυφορικό σύστημα και προέρχεται από τις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής. Έχει παγκόσμια κάλυψη και είναι σε λειτουργία με 31 δορυφόρους. Το σύστημα GPS είναι ένας συνδυασμός παλιών και νέων δορυφόρων. Αποτελείται από έξι τροχιακά επίπεδα όπου το μέσο ύψος των δορυφόρων βρίσκεται περίπου στα 20.200 χιλιόμετρα από την Γη ενώ η περίοδος τους είναι περίπου 12 ώρες αστρικού χρόνου ή 11:58 ηλιακού χρόνου. Αναλυτικότερα το GPS άρχισε να υλοποιείται σταδιακά την δεκαετία του 1970. Αποτελείται από τρία βασικά τμήματα, το δορυφορικό τμήμα, το τμήμα ελέγχου και το τμήμα χρηστών.

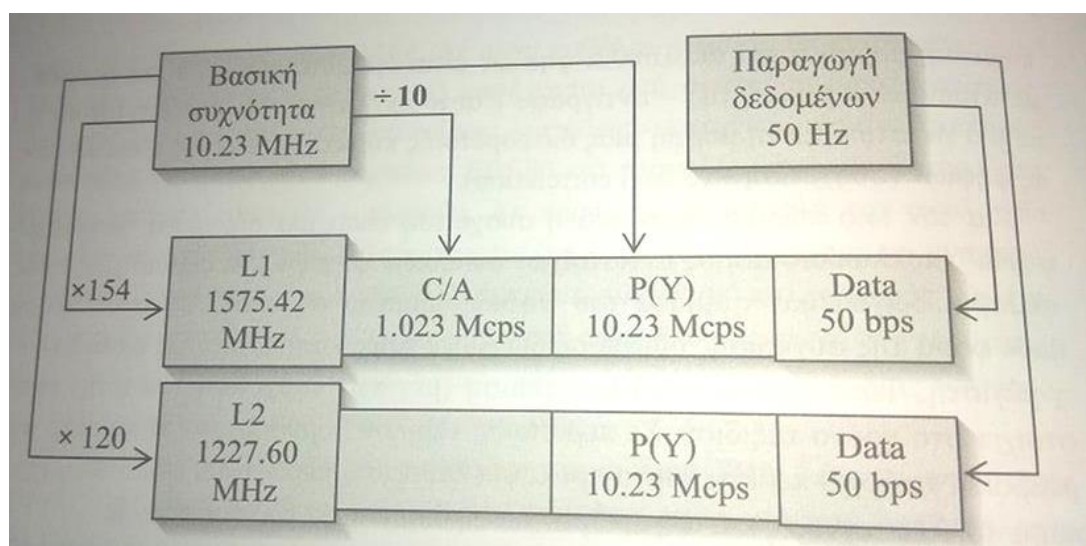


Εικόνα 1.2: Σύστημα GPS

Πηγή:(<https://www.gps.gov/systems/gps/space/>)

Το δορυφορικό τμήμα αποτελείται από 31 δορυφόρους των σειρών BLOCK IIR, BLOCK IIR-M, BLOCK IIF και BLOCK III και σύντομα θα αποτελείται κι από το BLOCK IIIF. Οι σειρές BLOCK I, BLOCK II και BLOCK IIA έχουν καταργηθεί. Το τμήμα ελέγχου αποτελείται από ένα παγκόσμιο δίκτυο επίγειων σταθμών που αδιάκοπα παρατηρούν τους δορυφόρους, επεξεργάζονται τα δεδομένα, προετοιμάζουν τα μηνύματα ναυσιπλοΐας και ελέγχουν τις τροχιές και τον σχηματισμό των δορυφόρων μέσω εντολών. Τέλος το τμήμα χρηστών ασχολείται με τους δέκτες και τους χρήστες που τους χρησιμοποιούν. Τα σήματα τα οποία στέλνονται ανήκουν σε έναν μετρητικό κώδικα το οποίο αναλύεται και δίδεται στους χρήστες. Το κοινό με όλους τους δορυφόρους GPS είναι ότι εκπέμπουν σε συχνότητες L1 και L2, όμως έπειτα από τον εκμοντερνισμό υπάρχουν δορυφόροι που εκπέμπουν και σε άλλες συχνότητες που θα αναφερθούν παρακάτω.

Το ατομικό ρολόι κάθε δορυφόρου παράγει μια θεμελιώδη συχνότητα $f_0=10.23$ MHz από την οποία προκύπτουν οι δυο βασικές συχνότητες ή κύματα φορείς. Στην παραπάνω εικόνα φαίνονται οι δυο βασικές συχνότητες L1 και L2 καθώς και οι μετρητικοί κώδικες ψευδοτυχαίου θορύβου C/A, ο οποίος είναι σε ελεύθερη χρήση, και ο κώδικας P που μεταδίδεται κρυπτογραφημένος ως P(Y) μόνο σε εξουσιοδοτημένους χρήστες. Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται οι συχνότητες του GPS



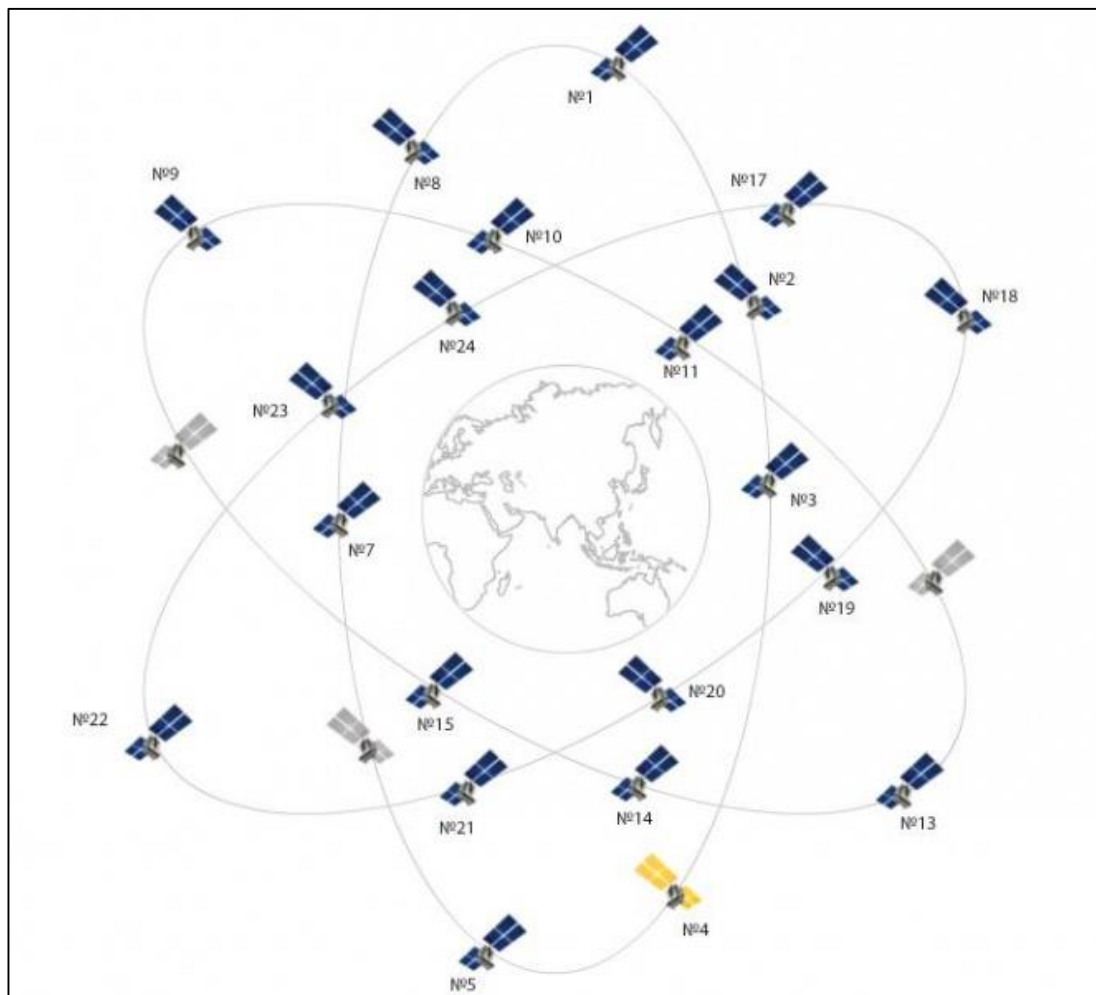
Εικόνα 1.3: Οι βασικές συνιστώσες του δορυφορικού σήματος κατά τον αρχικό σχεδιασμό του.: (Πηγή: Φωτίου & Πικριδάς, 2012)

Πίνακας 1.1: Σήματα GPS: (Πηγή: RINEX version 3.05)

GNSS System	Freq. Band /Frequency	Channel or Code	Observation Codes			
			Pseudo Range	Carrier Phase	Doppler	Signal Strength
GPS	L1/1575.42	C/A	C1C	L1C	D1C	S1C
		L1C (D)	C1S	L1S	D1S	S1S
		L1C (P)	C1L	L1L	D1L	S1L
		L1C (D+P)	C1X	L1X	D1X	S1X
		P (AS off)	C1P	L1P	D1P	S1P
		Z-tracking and similar (AS on)	C1W	L1W	D1W	S1W
		Y	C1Y	L1Y	D1Y	S1Y
		M	C1M	L1M	D1M	S1M
		codeless		L1N	D1N	S1N
	L2/1227.60	C/A	C2C	L2C	D2C	S2C
		L1(C/A)+(P2-P1) (semi-codeless)	C2D	L2D	D2D	S2D
		L2C (M)	C2S	L2S	D2S	S2S
		L2C (L)	C2L	L2L	D2L	S2L
		L2C (M+L)	C2X	L2X	D2X	S2X
		P (AS off)	C2P	L2P	D2P	S2P
		Z-tracking and similar (AS on)	C2W	L2W	D2W	S2W
		Y	C2Y	L2Y	D2Y	S2Y
		M	C2M	L2M	D2M	S2M
		codeless		L2N	D2N	S2N
	L5/1176.45	I	C5I	L5I	D5I	S5I
		Q	C5Q	L5Q	D5Q	S5Q
		I+Q	C5X	L5X	D5X	S5X

1.2.2 GLONASS

Το GLONASS, αποτελεί το δορυφορικό σύστημα που προέρχεται από τη Ρωσία. Έχει παγκόσμια κάλυψη και είναι σε λειτουργία με 24 δορυφόρους ενώ υπάρχουν και δυο δορυφόροι που είναι σε δοκιμαστικό στάδιο. Το τροχιακό επίπεδο των δορυφόρων βρίσκεται περίπου στα 19.000 χιλιόμετρα από την Γη ενώ η περίοδος τους είναι περίπου 11 ώρες και 16 λεπτά.



Εικόνα 1.4: Σύστημα GLONASS

(Πηγή: <https://gssc.esa.int/navipedia/index.php?title=File:GlonassConstellation.JPG>)

Σήμερα, μετά την εκτόξευση των δορυφόρων GLONASS νέας γενιάς, τα σήματα που χρησιμοποιεί το σύστημα GLONASS ανήκουν σε 2 κατηγορίες: FDMA και CDMA. Συνοπτικά οι γενιές δορυφόρων GLONASS έχουν ως εξής:

- Οι δορυφόροι GLONASS εκτοξεύτηκαν από το 1982-2005, οι οποίοι είναι πλέον εκτός λειτουργίας.
- Οι δορυφόροι GLONASS-M εκτοξεύονται από το 2003 και είναι ακόμα στην υπηρεσία.
- Οι δορυφόροι GLONASS-K1 εκτοξεύονται από το 2011 και είναι ακόμα στην υπηρεσία.
- Οι δορυφόροι GLONASS-K2 που ξεκίνησαν να εκτοξεύονται από το 2023 και μετά.
- Οι δορυφόροι GLONASS-V που βρίσκονται σε φάση σχεδιασμού και αναμένεται να εκτοξευθούν το 2026.
- Οι δορυφόροι GLONASS-KM όπου βρίσκονται σε φάση έρευνας και αναμένεται να εκτοξευθούν το 2030.

Τα σήματα που εκπέμπουν οι δορυφόροι GLONASS συνοψίζονται στην Εικόνα 1.5.

	L1	L2	L3	L1, L2	Future	Status
"Glonass"	L1OF, L1SF	L2OF, L2SF	-	-		Done
"Glonass-M"	L1OF, L1SF	L2OF, L2SF	-	-		Done
"Glonass-K1"	L1OF, L1SF	L2OF, L2SF	L3OC test	-		Done
"Glonass-K2"	L1OF, L1SF	L2OF, L2SF	L3OC	L1OC, L1SC, L2SC		From №3 sat "Glonass-K"
"Glonass-KM"	L1OF, L1SF	L2OF, L2SF	L3OC	L1OC, L1SC, L2SC	L3SC, L1OCM, L2OC, L5OC	Under development after 2015

Legend: ■ FDMA signals, ■ CDMA signals

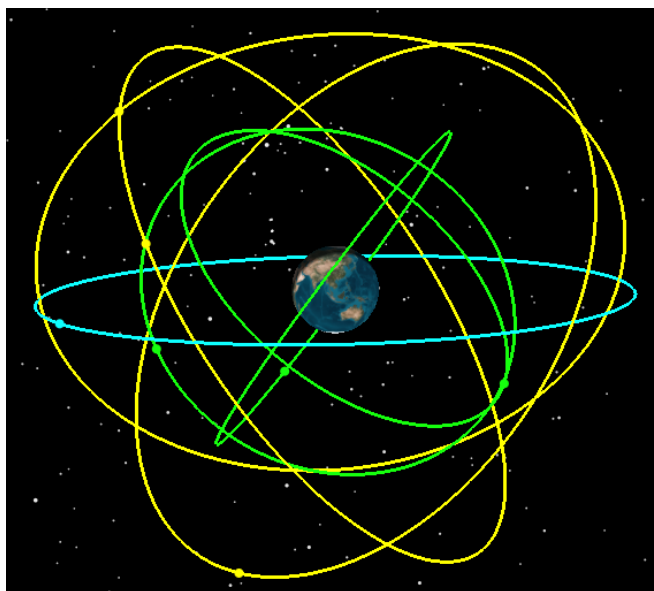
Εικόνα 1.5: Σήματα συστήματος GLONASS

(Πηγή: <https://www.unoosa.org/documents/pdf/psa/activities/2011/un-gnss/02.pdf>)

1.2.3 BeiDou

Το BeiDou αποτελεί το σύστημα εντοπισμού θέσης της Κίνας. Σήμερα, το σύστημα BeiDou αποτελείται από συνολικά 44 δορυφόρους. Αυτοί οι δορυφόροι αναπτύσσονται σε διαφορετικές τροχιές για να παρέχουν παγκόσμια κάλυψη και να διασφαλίζουν ακριβείς υπηρεσίες εντοπισμού θέσης, πλοήγησης και χρονισμού. Το σύστημα BeiDou επεκτείνεται και εξελίσσεται συνεχώς για να βελτιώσει τις δυνατότητές του και να βελτιώσει την εμπειρία του χρήστη. Στα τέλη του 2000, κατασκευάστηκε το σύστημα BDS-1 για την παροχή υπηρεσιών στην Κίνα. Το 2012 κατασκευάστηκε για να παρέχει υπηρεσίες στην περιοχή Ασίας-Ειρηνικού κι ύστερα πραγματοποιήθηκε σύστημα για παγκόσμια κάλυψη. Τώρα έχει δύο συστήματα, το BeiDou-2 που αποτελεί περιφερειακό σύστημα και το BeiDou-3 που παρέχει παγκόσμια κάλυψη.

Το BDS-3 αποτελείται από τον αστερισμό 3 GEO, 3 IGSO και 24 MEO δορυφόρων, ο οποίος έχει δυνατότητα επικοινωνίας μεταξύ δορυφόρων και μπορεί να λειτουργεί ανεξάρτητα χωρίς υποστήριξη επίγειου σταθμού. Σήμερα έχει σε λειτουργία 44 δορυφόρους.. Το σύστημα BeiDou χρησιμοποιεί 3 συχνότητες όπως φαίνεται στην Εικόνα 1.7.



Εικόνα 1.6: Σύστημα BeiDou

(Πηγή: <https://www.csno-tarc.cn/en/system/introduction/>)

Orbit Type	MEO			GEO/IGSO		
	B1	B2	B3	B1	B2	B3
Signal Type						
Carrier Frequency (GHz)	1.575	1.192	1.269	1.575	1.192	1.269
Output of Power Amplifier (dBW)	16.50	15.20	13.96	18.04	16.49	15.13

Εικόνα 1.7: Σήματα BeiDou

(Πηγή: <https://www.unoosa.org/pdf/icg/2013/icg-8/wgB/B2.pdf>)

1.2.4 Galileo

Το Galileo είναι ένα δορυφορικό σύστημα πλοήγησης από την Ευρωπαϊκή ένωση. Το όνομα του το πήρε από τον Ιταλό μαθηματικό, φυσικό και αστρονόμο, με όνομα Galileo Galilei. Όπως αναφέρεται στην επίσημη ιστοσελίδα του συστήματος Galileo, έχει ως στόχο να παρέχει υψηλή ακρίβεια στον εντοπισμό θέσης ώστε τα ευρωπαϊκά κράτη να μη βασίζονται στα υπόλοιπα συστήματα. Το σύστημα Galileo είναι μοναδικό, καθώς βρίσκεται κάτω από πολιτικό έλεγχο, ενώ όλα τα υπόλοιπα συστήματα είναι υπό στρατιωτικό έλεγχο. Πρόκειται να παρέχει στην Ευρώπη ανεξαρτησία και κυριαρχία. Παρέχει μια σειρά από νέες υπηρεσίες συμπεριλαμβανομένου εκείνη της αναζήτησης και διάσωσης (SAR). Το δορυφορικό σύστημα Galileo θα προσφέρει μια ασφαλή υπηρεσία για τις κυβερνητικές εφαρμογές καθώς παράλληλα και ακριβή τοποθεσία για εμπορικές εφαρμογές προσφέροντας διπλές συχνότητες ως πρότυπο.

Το δορυφορικό τμήμα του Galileo αποτελείται από 30 δορυφόρους. Η απόσταση των δορυφόρων είναι 23000 χιλιόμετρα από την Γη. Ταυτόχρονα θα υποστηρίζεται από μια σειρά επίγειων αισθητήρων και από κέντρα ελέγχου σε όλο τον κόσμο. Το Galileo είναι αυτόνομο αλλά και διαλειτουργικό με την υπάρχουσα δορυφορική πλοήγηση. Παρέχει στην Ευρώπη νέα επίπεδα από μετρήσεις πραγματικού χρόνου καθώς προσφέρει ακρίβεια εντοπισμού θέσης. Επιπροσθέτως με την ανάπτυξη του Galileo, ελαχιστοποιείται το ρίσκο από τα άλλα συστήματα πλοήγησης που υπάρχει περίπτωση να απενεργοποιηθούν ή να υποβαθμιστούν. Όπως αναφέρουν οι δημιουργοί του θα χρησιμοποιείται για την γεωργία, την επιστήμη, στα κινητά τηλέφωνα, στα αυτοκίνητα στα αεροπλάνα αλλά και στα πλοία. Στον Πίνακα 1.2 φαίνονται οι συχνότητες και οι κώδικες του συστήματος Galileo.

Πίνακας 1.2: Σήματα Galileo (Πηγή: RINEX version 3.05)

GNSS System	Freq. Band /Frequency	Channel or Code	Observation Codes			
			Pseudo Range	Carrier Phase	Doppler	Signal Strength
Galileo	E1 / 1575.42	A PRS	C1A	L1A	D1A	S1A
		B I/NAV OS/CS/SoL	C1B	L1B	D1B	S1B
		C no data	C1C	L1C	D1C	S1C
		B+C	C1X	L1X	D1X	S1X
		A+B+C	C1Z	L1Z	D1Z	S1Z
	E5a / 1176.45	I F/NAV OS	C5I	L5I	D5I	S5I
		Q no data	C5Q	L5Q	D5Q	S5Q
		I+Q	C5X	L5X	D5X	S5X
	E5b / 1207.140	I I/NAV OS/CS/SoL	C7I	L7I	D7I	S7I
		Q no data	C7Q	L7Q	D7Q	S7Q
		I+Q	C7X	L7X	D7X	S7X
	E5(E5a+E5b) / 1191.795	I	C8I	L8I	D8I	S8I
		Q	C8Q	L8Q	D8Q	S8Q
		I+Q	C8X	L8X	D8X	S8X
	E6 / 1278.75	A PRS	C6A	L6A	D6A	S6A
		B C/NAV CS	C6B	L6B	D6B	S6B
		C no data	C6C	L6C	D6C	S6C
		B+C	C6X	L6X	D6X	S6X
		A+B+C	C6Z	L6Z	D6Z	S6Z

1.3 Περιφερειακά δορυφορικά συστήματα πλοήγησης

Εκτός από τα GNSS που είναι παγκόσμιας κάλυψης υπάρχουν και δορυφορικά συστήματα που έχουν περιορισμένη κάλυψη σε περιφερειακό επίπεδο (regional systems), όπως το NAVIC και το QZSS που περιγράφονται σύντομα παρακάτω.

1.3.1 NAVIC

Το σύστημα NAVIC (Navigation with Indian Constellation), προέρχεται από την Ινδία. Αναφέρεται επίσης και ως IRNSS (Indian Regional Navigation Satellite System). Το NAVIC αποτελεί περιφερειακό σύστημα ενώ έχει σε λειτουργία 7 δορυφόρους, εκ των οποίων οι 3 είναι γεωστατικοί. Οι δορυφόροι NAVIC μεταδίδουν σήματα στη ζώνη L5 (1176,45 MHz) καθώς και στη ζώνη S (2492,028 MHz). Το ιστορικό εκτόξευσης των δορυφόρων NAVIC έχει ως εξής:

- Ο IRNSS-1A εκτοξεύτηκε το 2013 αλλά με αποτυχία στην τροχιά καθώς τα ατομικά ρολόγια απέτυχαν.
- Ο IRNSS-1B εκτοξεύτηκε το 2014 και έχει γεωσύγχρονη και κεκλιμένη τροχιά.
- Ο IRNSS-1C εκτοξεύτηκε το 2014 είναι γεωστατικός και έχει κεκλιμένη τροχιά.
- Ο IRNSS-1D εκτοξεύτηκε το 2015 είναι γεωσύγχρονος με κεκλιμένη τροχιά.
- Ο IRNSS-1E εκτοξεύτηκε το 2016 είναι γεωσύγχρονος με κεκλιμένη τροχιά.
- Ο IRNSS-1F εκτοξεύτηκε το 2016 είναι γεωστατικός με κεκλιμένη τροχιά.
- Ο IRNSS-1G εκτοξεύτηκε το 2016 είναι γεωστατική με κεκλιμένη τροχιά.
- Ο IRNSS-1H εκτοξεύτηκε το 2017 όμως η εκκίνηση απέτυχε και ο δορυφόρος δεν μπόρεσε να φτάσει στην επιθυμητή τροχιά.
- Ο IRNSS-1I εκτοξεύτηκε το 2018 είναι γεωσύγχρονος με κεκλιμένη τροχιά.

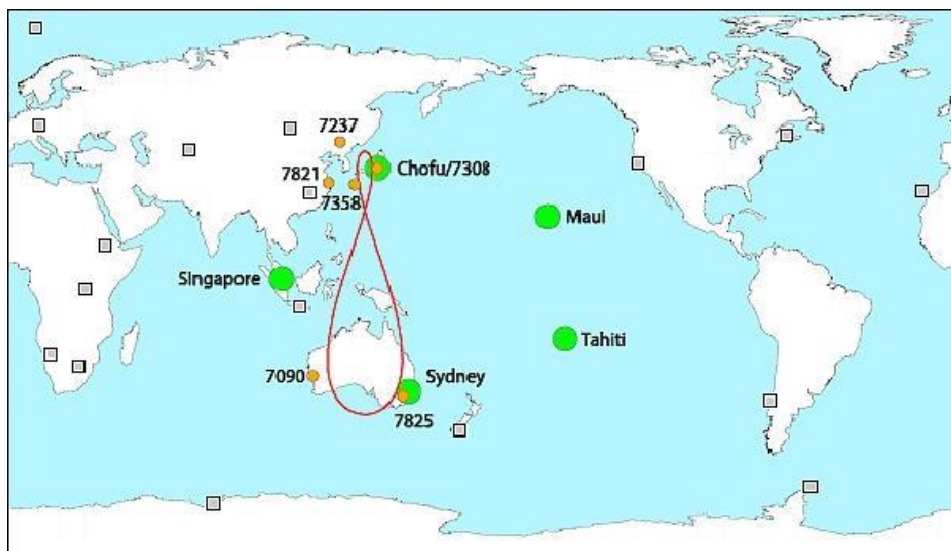


Εικόνα 1.8: Σύστημα NAVIC

(Πηγή: https://en.wikipedia.org/wiki/Indian_Regional_Navigation_Satellite_System)

1.3.2 QZSS

Το QZSS, προέρχεται από την Ιαπωνία. Το σύστημα της, αποτελεί περιφερειακό σύστημα ενώ έχει σε λειτουργία 5 δορυφόρους (Εικόνα 1.9) και προβλέπεται ως τελικός στόχος 7 δορυφόροι. Το σύστημα QZSS όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα έχει 4 συχνότητες. Όπως στον Πίνακα 1.3 φαίνεται υπάρχει συμβατότητα και διαλειτουργικότητα με τα υπάρχοντα και σύγχρονα σήματα GPS.



Εικόνα 1.9: Σύστημα QZSS

Πηγή: (<https://www.eoportal.org/satellite-missions/qzss#mission-status>)

Πίνακας 1.3: Σήματα QZSS

Πηγή: (https://www.unoosa.org/documents/pdf/icg/2023/ICG-17/icg17_wgs_04_02.pdf)

Signal	Frequency MHz	Service	Compatibility
L1C/A	1575.42	Positioning	Complement GPS
L1C		Positioning	Complement GPS
L1C/B		Positioning	Complement GPS
L1S		Augmentation(SLAS)	DGPS (Code Phase Positioning)
		Messaging	Short Messaging
L1Sb		Augmentation(SBAS)	SBAS (L1) Service
L2C	1227.60	Positioning	Complement GPS
L5 I/Q	1176.45	Positioning	Complement GPS
L5S		Experimental(L5 SBAS)	L5 SBAS (DFMC)
L6D	1278.75	Augmentation(CLAS)	PPP-RTK (Carrier Phase Positioning)
L6E		Augmentation(MADOCA)	PPP, PPP-AR (Carrier Phase Positioning)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

2. ΣΥΣΤΗΜΑ GALILEO

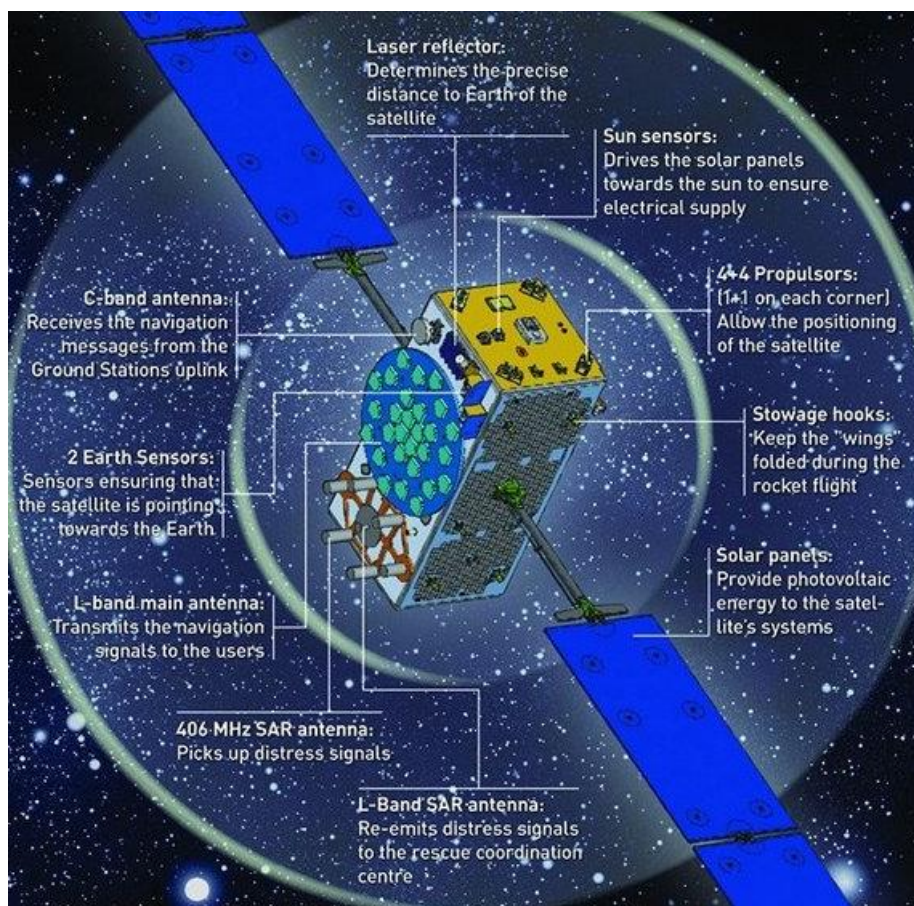
2.1 Το δορυφορικό τμήμα

Το δορυφορικό τμήμα Galileo, όταν αναπτυχθεί πλήρως, θα περιλαμβάνει έναν σχηματισμό από συνολικά 30 δορυφόρους μέσης γήινης τροχιάς (MEO). Αποτελείται από 3 τροχιακά επίπεδα με 10 δορυφόρους τοποθετημένους στο κάθε επίπεδο. Κάθε δορυφόρος εκπέμπει σήματα πλοήγησης μαζί με δεδομένα πλοήγησης παρέχοντας στοιχεία τροχιάς και δεδομένα διόρθωσης ρολογιού που είναι απαραίτητα για την πλοήγηση.

2.1.1 Ανατομία δορυφόρου

Τυπικά, ένας δορυφόρος Galileo έχει μάζα περίπου 700 κιλών φέροντας τον απαραίτητο εξοπλισμό για την πραγματοποίηση σωστής πλοήγησης για τουλάχιστον 12 χρόνια. Αναλυτικά κάθε δορυφόρος Galileo φέρει τα εξής χαρακτηριστικά όπως φαίνεται και στην Εικόνα 2.1 (https://www.esa.int/Applications/Satellite_navigation/Galileo/Satellite_anatomy):

1. Κεραία ζώνης L
2. Κεραία αναζήτησης και διάσωσης (SAR)
3. Κεραία ζώνης C
4. Δύο κεραίες ζώνης S
5. Υπέρυθροι αισθητήρες Γης και αισθητήρες ορατού φωτός ηλίου
6. Ανακλαστήρας laser
7. Θερμοπομπός (Space radiator)
8. 2 παθητικά χρονόμετρα υδρογόνου
9. 2 χρονόμετρα ρουβιδίου
10. Μονάδα παρακολούθησης και ελέγχου χρονομέτρου
11. Μονάδα γεννήτριας σήματος πλοήγησης
12. Γυροσκόπια
13. Τροχοί αντίδρασης (Reaction wheels)
14. Μαγνητικές διατάξεις (Magnetotorquers)
15. Μονάδα ρύθμισης και διανομής ενέργειας
16. Ηλεκτρονικός υπολογιστής



Εικόνα 2.1: Ανατομία δορυφόρου Galileo

(Πηγή: https://www.esa.int/Applications/Satellite_navigation/Galileo/Satellite_anatomy)

Κεραία ζώνης L: Μεταδίδει τα σήματα πλοήγησης στη ζώνη L.

Κεραία αναζήτησης και διάσωσης (SAR): Λαμβάνει σήματα κινδύνου από τους ραδιοφάρους της Γης και τα μεταδίδει σε έναν επίγειο σταθμό για να προωθήσει τις τοπικές υπηρεσίες διάσωσης.

Κεραία ζώνης C: Λαμβάνει σήματα από τους σταθμούς ελέγχου. Αυτά τα σήματα περιλαμβάνουν δεδομένα για συγχρονισμό των δορυφορικών χρονομέτρων με ένα χρονόμετρο αναφοράς εδάφους. Επίσης περιλαμβάνουν δεδομένα με πληροφορίες για το πόσο καλά λειτουργεί κάθε δορυφόρος. Αυτές οι πληροφορίες ακεραιότητας ενσωματώνονται στο σήμα πλοήγησης για μετάδοση στους χρήστες.

Δύο κεραίες ζώνης S: Λαμβάνουν εντολές για τον έλεγχο του δορυφόρου και τη λειτουργία φορτίου του. Επίσης επεξεργάζονται και μεταδίδουν σήματα που μετράνε το ύψος του δορυφόρου με ακρίβεια μερικών μέτρων. Μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για την αποστολή δεδομένων για το σήμα πλοήγησης αν η κεραία ζώνης C είναι εκτός λειτουργίας.

Υπέρυθροι αισθητήρες Γης και αισθητήρες ορατού φωτός ηλίου: Αυτοί οι αισθητήρες κρατούν τον δορυφόρο στραμμένο στη Γη. Οι υπέρυθροι αισθητήρες Γης ανιχνεύουν την αντίθεση ανάμεσα στο κρύο του διαστήματος και τη θερμότητα της γήινης ατμόσφαιρας. Οι αισθητήρες του ηλίου είναι ανιχνευτές ορατού φωτός που μετρούν τη γωνία τους ως προς τον Ήλιο.

Ανακλαστήρας laser: Επιτρέπει τη μέτρηση του υψομέτρου του δορυφόρου με ακρίβεια λίγων εκατοστών αντανακλώντας μια ακτίνα λέιζερ που εκπέμπεται από έναν επίγειο σταθμό. Ο ανακλαστήρας θα χρησιμοποιείται μόνο μία φορά το χρόνο, επειδή οι μετρήσεις υψομέτρου μέσω κεραίας ζώνης S είναι αρκετά ακριβείς.

Θερμοπομπός (Space radiator): Διατηρεί τα ηλεκτρονικά συστήματα στο εύρος θερμοκρασιών λειτουργίας.

2 Παθητικά χρονόμετρα υδρογόνου: Το κύριο χρονόμετρο στον δορυφόρο. Αυτό το ατομικό χρονόμετρο χρησιμοποιεί τις εξαιρετικά σταθερές ταλαντώσεις ατόμου υδρογόνου για να μετρήσει χρόνο με ακρίβεια 0,45 νανοδευτερόλεπτα σε διάστημα 12 ωρών.

2 Χρονόμετρα ρουβιδίου: Ένα μικρότερο ατομικό χρονόμετρο που βασίζεται σε διαφορετική τεχνολογία, εξασφαλίζοντας εφεδρεία. Έχει ακρίβεια 1,8 νανοδευτερόλεπτα σε διάστημα 12 ωρών.

Μονάδα παρακολούθησης και ελέγχου χρονομέτρου: Παρέχει τη διεπαφή μεταξύ των τεσσάρων χρονομετρών και της μονάδας γεννήτριας σημάτων πλοήγησης. Εξασφαλίζει ότι οι συχνότητες που παράγονται από το κύριο χρονόμετρο και το ενεργό εναλλακτικό είναι σε φάση, έτσι ώστε το εφεδρικό να μπορεί να αναλάβει αμέσως αν το κύριο χρονόμετρο αποτύχει.

Μονάδα γεννήτριας σήματος πλοήγησης: Δημιουργεί τα σήματα πλοήγησης χρησιμοποιώντας την είσοδο από τη μονάδα παρακολούθησης και ελέγχου χρονομέτρου και τα δεδομένα πλοήγησης και ακεραιότητας από την κεραία ζώνης C. Τα σήματα πλοήγησης μετατρέπονται σε ζώνης L για μετάδοση σε χρήστες.

Γυροσκόπια: Μετρούν την περιστροφή του δορυφόρου.

Τροχοί αντίδρασης (Reaction wheels): Ελέγχουν την περιστροφή του δορυφόρου. Ο δορυφόρος περιστρέφεται δύο φορές ανά τροχιά για να επιτρέψει στις ηλιακές συστοιχίες να κοιτούν τις ακτίνες του Ήλιου.

Μαγνητικές διατάξεις (Magnetotorquers): Τροποποιεί την ταχύτητα περιστροφής των τροχών αντίδρασης εισάγοντας μια ροπή βασισμένη στο μαγνητισμό (δύναμη περιστροφής) προς την αντίθετη κατεύθυνση.

Μονάδα ρύθμισης και διανομής ενέργειας: Ρυθμίζει και ελέγχει την ενέργεια της ηλιακής συστοιχίας και των μπαταριών για διανομή σε όλα τα υποσυστήματα του δορυφόρου και το ωφέλιμο φορτίο.

Ηλεκτρονικός υπολογιστής: Ελέγχει τη δορυφορική πλατφόρμα και το ωφέλιμο φορτίο.

2.1.2 Τροχιακά επίπεδα Galileo

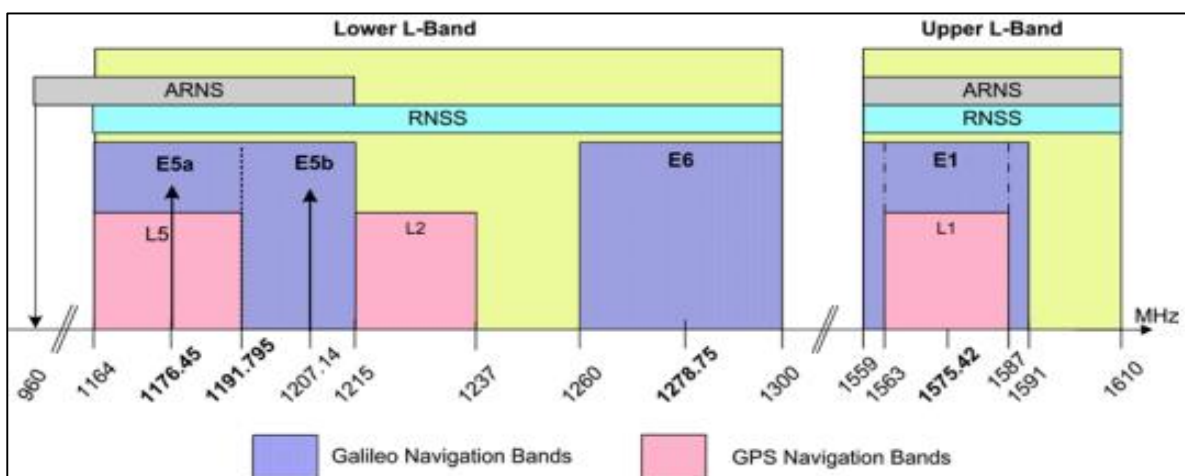
Το δορυφορικό τμήμα Galileo θα περιλαμβάνει έναν σχηματισμό από συνολικά 30 δορυφόρους μέσης γήινης τροχιάς (MEO), εκ των οποίων οι 6 είναι εφεδρικοί. οι οποίοι μπορούν να μετακινηθούν για να αντικαταστήσουν οποιονδήποτε δορυφόρο έχει αστοχήσει στο ίδιο επίπεδο, μειώνοντας έτσι τον αντίκτυπο των αστοχιών στην ποιότητα της υπηρεσίας. Κάθε δορυφόρος θα μεταδίδει ακριβή σήματα, εφημερίδα και άλλα δεδομένα. Ο σχηματισμός του δορυφόρου Galileo έχει βελτιστοποιηθεί στις ακόλουθες προδιαγραφές:

- σχεδόν κυκλικές τροχιές (δορυφορικό υψόμετρο 23 222 km)
- κλίση τροχιάς 56°
- τρία, σε ίσες αποστάσεις, τροχιακά επίπεδα
- 8 επιχειρησιακοί δορυφόροι σε κάθε επίπεδο
- 2 εφεδρικοί δορυφόροι (επίσης μεταδίδοντας) σε κάθε επίπεδο

Ο δορυφόρος Galileo είναι δορυφόρος κατηγορίας 700 kg / 1600 W. Περιστρέφεται γύρω από τον γεωμετρικό του άξονα, έτσι ώστε η επίπεδη επιφάνεια των ηλιακών συστοιχιών να βλέπει πάντα τον Ήλιο και να συλλέγει τη μέγιστη ηλιακή ενέργεια. Οι κεραίες που εμφανίζονται στην κάτω πλευρά του σώματος της εικόνας, δείχνουν πάντοτε προς τη Γη. Το σώμα του έχει διαστάσεις 2,7 m x 1,1 m x 1,2 m και οι ανεπτυγμένες ηλιακές συστοιχίες έχουν μήκος 13 m (βλέπε Εικόνα 2.1).

2.1.3 Το δορυφορικό σήμα

Τα σήματα πλοήγησης Galileo μεταδίδονται στις τέσσερις συχνότητες που αναφέρονται στο παρακάτω σχήμα (Εικόνα 2.2). Αυτές οι τέσσερις συχνότητες είναι οι E5a, E5b, E6 και E1. Οι συχνότητες Galileo έχουν επιλεγεί στο φάσμα για τις υπηρεσίες δορυφορικής ραδιοπλοήγησης (RNSS) και επιπλέον οι συχνότητες E5a, E5b και E1 περιλαμβάνονται στο φάσμα που χορηγείται για υπηρεσίες αεροναυτιλιακής ραδιοπλοήγησης (ARNS). Οι φέρουσες συχνότητες του Galileo παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.1.



Εικόνα 2.2: Οι συχνότητες των συστημάτων Galileo και GPS

(Πηγή: https://Galileognss.eu/wp-content/uploads/2021/01/Galileo_OS_SIS_ICD_v2.0.pdf)

Πίνακας 2.1: Φέρουσες συχνότητες Galileo

(Πηγή: https://Galileognss.eu/wp-content/uploads/2021/01/Galileo_OS_SIS_ICD_v2.0.pdf)

Signal	Carrier Frequency (MHz)
E1	1575.420
E6	1278.750
E5	1191.795
E5a	1176.450
E5b	1207.140

2.2 Το Τμήμα ελέγχου

Σημαντικό κομμάτι του Galileo αποτελεί και το τμήμα ελέγχου το οποίο είναι απαραίτητο για να εξασφαλιστεί η συνεχής αξιοπιστία των πληροφοριών χρόνου και θέσης που παρέχουν οι δορυφόροι. Η δορυφορική πλοήγηση βασίζεται στα σήματα και τις πληροφορίες που μεταδίδουν οι δορυφόροι. Αυτές οι πληροφορίες είναι ενσωματωμένες στο ίδιο το δορυφορικό σήμα. Τα μετρητικά σήματα παράγονται με βάση τα ατομικά χρονόμετρα των δορυφόρων. Όμως τα χρονόμετρα ενός δορυφόρου δεν είναι απαλλαγμένα σφαλμάτων. Μόνο ένα σφάλμα ενός δισεκατομμυριοστού του δευτερολέπτου αντιστοιχεί σε αύξηση 30 cm στο σφάλμα μέτρησης απόστασης. Για αυτόν τον λόγο ένα δίκτυο επίγειων σταθμών ελέγχει συνεχώς το χρονόμετρο κάθε δορυφόρου έναντι του χρόνου συστήματος του Galileo. Με ακρίβεια 28 δισεκατομμυριοστών του δευτερολέπτου, το GST δημιουργείται από τις εγκαταστάσεις στα κέντρα ελέγχου του Galileo στο Fucino της Ιταλίας και στο Oberpfaffenhofen της Γερμανίας, τα οποία με τη σειρά τους ελέγχονται για την ευθυγράμμιση με τον διεθνή συντονισμένο παγκόσμιο χρόνο από μια ομάδα ευρωπαϊκών εργαστηρίων.

Οι τροχιές των δορυφόρων μετατοπίζονται επίσης από τη βαρυτική έλξη του Ισημερινού εξογκώματος, της Σελήνης και του Ήλιου. Ακόμη και η ελαφρά αλλά συνεχής ώθηση του ηλιακού φωτός μπορεί να επηρεάσει τους δορυφόρους στις τροχιές τους. Έτσι, οι σταθμοί εδάφους που είναι τοποθετημένοι σε όλο τον κόσμο παίρνουν σήματα Galileo εντοπίζουν την τρέχουσα θέση τους και βρίσκουν τυχόν τροχιακή μετατόπιση.

Οι πληροφορίες σχετικά με τις επιδόσεις των χρονομέτρων των δορυφόρων και τις θέσεις τους συγκεντρώνονται έτσι ώστε ένα διορθωτικό μήνυμα να μπορεί να μεταδοθεί προς τους δορυφόρους για αναμετάδοση προς τους χρήστες ενσωματωμένο στα ίδια τα δορυφορικά σήματα. Επίσης ελέγχεται η ποιότητα και η αξιοπιστία κάθε επιμέρους σήματος Galileo.

Το τμήμα ελέγχου του Galileo είναι μια από τις πιο περίπλοκες διαδικασίες που έχει αναλάβει η Ευρώπη και πρέπει να εξασφαλίζει αυστηρά επίπεδα απόδοσης, ασφάλειας και αξιοπιστίας. Κατά κύριο λόγο περιλαμβάνει τα εξής επιμέρους τμήματα:

- Τμήμα αποστολής εδάφους (GMS) που πρέπει να παρέχει κορυφαία απόδοση πλοήγησης όλο το εικοσιτετράωρο και επεξεργασία δεδομένων από παγκόσμιο δίκτυο σταθμών.
- Τμήμα ελέγχου εδάφους (GCS), παρακολουθεί και ελέγχει τους δορυφόρους με υψηλό βαθμό αυτοματισμού. (Προς το παρόν, το GMS βρίσκεται στο Κέντρο Ελέγχου Fucino της Ιταλίας και το GCS στο Κέντρο Ελέγχου Oberpfaffenhofen της Γερμανίας. Στο μέλλον, τα δύο κέντρα θα φιλοξενήσουν ισοδύναμες εγκαταστάσεις, δουλεύοντας μαζί ως αντίγραφα ασφαλείας με συγχρονισμό δεδομένων σε πραγματικό χρόνο. Η απώλεια ενός κέντρου σημαίνει ότι το άλλο θα είναι σε θέση να συνεχίσει τις δραστηριότητές του.)
- Δυο σταθμούς εντοπισμού, χειρισμού και τηλεμετρίας, στη Kiruna της Σουηδίας και στο Kourou στη Γαλλική Γουιάνα.



Εικόνα 2.3: Κεραία Galileo στη Kiruna της Σουηδίας

(Πηγή: https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Images/2010/12/Galileo_antenna_at_Kiruna)

2.3 Χρήσεις του Galileo

2.3.1 Γενικές χρήσεις του Galileo

Το εύρος των προβλεπόμενων εφαρμογών του Galileo είναι τεράστιο, καλύπτοντας τόσο τον δημόσιο όσο και τον ιδιωτικό τομέα σε πολλά τμήματα της αγοράς. Όταν θα είναι πλήρως λειτουργικό, το Galileo θα διαδραματίσει σημαντικό ρόλο σε πολλές εφαρμογές όπως:

Καλύτερο εντοπισμό και πλοήγηση: Με τους δορυφόρους Galileo που είναι δυσλειτουργικοί με το GPS, υπάρχουν περισσότεροι δορυφόροι διαθέσιμοι, που σημαίνει ακριβέστερο και πιο αξιόπιστο εντοπισμό για τους τελικούς χρήστες. Συγκεκριμένα, η πλοήγηση στις πόλεις, όπου τα δορυφορικά σήματα μπορούν συχνά να μπλοκαριστούν από ψηλά κτίρια, επωφελείται από την αυξημένη ακρίβεια εντοπισμού που παρέχει ο μεγάλος αριθμός δορυφόρων.

Μοναδική ακρίβεια προσδιορισμού χρόνου: Η εξαιρετική ακρίβεια συγχρονισμού των 30 νανοδευτερόλεπτα του Galileo επιτρέπει τον πιο καλό συγχρονισμό των τραπεζικών και χρηματοπιστωτικών συναλλαγών και των τηλεπικοινωνιακών και ενεργειακών δικτύων διανομής, βοηθώντας τους να λειτουργούν πιο αποτελεσματικά.

Ταχύτερη απόκριση σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης: Η υπηρεσία αναζήτησης και διάσωσης του Galileo μειώνει τον χρόνο που απαιτείται για την ανίχνευση σημάτων κινδύνου έκτακτης ανάγκης σε μόλις δέκα λεπτά. Οι συσκευές που υποστηρίζονται από το Galileo παρέχουν νέες εφαρμογές που σχετίζονται με την ασφάλεια, βοηθώντας τον εντοπισμό κλεμμένης ιδιοκτησίας, αγνοούμενα άτομα και χαμένα κατοικίδια ζώα. Τα σήματα Galileo θα διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο στις πολιτικές δραστηριότητες προστασίας και ανθρωπιστικής βοήθειας. Το Galileo θα αποτελέσει ανεκτίμητο πλεονέκτημα για τις ακτοφυλακές και τις αρχές ελέγχου των συνόρων, εξασφαλίζοντας ταχύτερες επιχειρήσεις αναζήτησης και διάσωσης περισσότερων ζωών.

Οικονομική ανάπτυξη: Η χρήση δορυφορικής πλοήγησης συνέβαλε στην προώθηση της παγκόσμιας οικονομικής ανάπτυξης, ιδίως στις βιομηχανίες υψηλής τεχνολογίας. Η παγκόσμια αγορά επόμενου σταδίου του GNSS, η οποία περιλαμβάνει τόσο συσκευές όσο και υπηρεσίες επέκτασης, προβλέπεται να αυξηθεί κατά 6,4% ετησίως μεταξύ 2015 και 2020. Η πρόσθετη ανθεκτικότητα που παρέχεται από το Galileo αναμένεται να επιτρέψει μια σειρά νέων εφαρμογών και υπηρεσιών που θα επωφεληθούν από την αύξηση της θέσης αξιοπιστίας, γεγονός που θα τονώσει περαιτέρω την οικονομική ανάπτυξη στην Ευρώπη και πέρα από αυτήν.

Το Διαδίκτυο των πραγμάτων: Το Διαδίκτυο των πραγμάτων (IoT) είναι παντού. Συνδέει το κινητό τηλέφωνο, τον υπολογιστή και κάνει πιο έξυπνους δρόμους, σημάσεις και συσκευές. Σε όλους τους τομείς της οικονομίας, το IoT επιτρέπει στα αντικείμενα να ανταλλάσσουν δεδομένα με κατασκευαστές. Στο πλαίσιο αυτό το Galileo θα διαδραματίσει βασικό ρόλο στο διαδίκτυο, παρέχοντας πληροφορίες σχετικά με τη θέση, την ταχύτητα και το χρονοδιάγραμμα που απαιτούνται από έναν αυξανόμενο αριθμό εφαρμογών που έχουν επίγνωση του περιβάλλοντος.

Περιβάλλον: Το Galileo θα υποστηρίξει την επιστημονική έρευνα σε τομείς όπως η μετεωρολογία. Το Galileo βελτιώνει τις μετρήσεις της ατμόσφαιρας, συμπεριλαμβανομένης της στάθμης των υδρατμών στον αέρα - κρίσιμες πληροφορίες για ακριβέστερη πρόγνωση καιρού και καλύτερη κατανόηση της αλλαγής του κλίματος. να κατανοήσουμε καλύτερα την κίνηση των ζωικών πληθυσμών.

Μεταφορές: Η δορυφορική πλοήγηση βελτιώνει τον τρόπο με τον οποίο χρησιμοποιούμε τα οχήματα, δηλαδή την αυξημένη ασφάλεια και αποτελεσματικότητα της κυκλοφορίας (που με τη σειρά τους συμβάλλουν στη μείωση της ρύπανσης). Στις οδικές μεταφορές, τα υψηλής ακρίβειας και αξιόπιστα σήματα του Galileo διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στη διαχείριση και σε συνεργασία με το διαδίκτυο των πραγμάτων (IoT), παρέχεται η θέση του οχήματος σε χάρτη καθώς και τον αυτοματισμό. Τα μηνύματά του αποφέρουν παρόμοια οφέλη σε αεροπορικές, θαλάσσιες, σιδηροδρομικές και ακόμη και πεζοδρομιακές μεταφορές. Το GNSS διαδραματίζει βασικό ρόλο στην ασφάλεια των μεταφορών.

Γεωργία: Με την ενσωμάτωση των σημάτων του Galileo με άλλες τεχνολογίες, η γεωργική κοινότητα επωφελείται από τη βελτιωμένη παρακολούθηση της κατανομής και της αραίωσης χημικών ουσιών, τη βελτιωμένη απόδοση των αγροτεμαχίων χάρη στην εξατομικευμένη επεξεργασία και την αποτελεσματικότερη διαχείριση της περιουσίας.

Εφαρμογές προσδιορισμού χρόνου

Οι δορυφόροι Galileo είναι συγχρονισμένοι με ένα εξαιρετικό επίπεδο ακρίβειας με το ευρέως χρησιμοποιούμενο πρότυπο UTC (Universal Time Coordinated). Αυτό σημαίνει ότι το Galileo είναι σε θέση να παρέχει ένα σήμα χρονισμού που απαιτείται από τέτοιες εφαρμογές, όπως:

Τηλεπικοινωνίες: Τα δίκτυα ασύρματων τηλεπικοινωνιών και οι εταιρείες κινητής τηλεφωνίας χρησιμοποιούν αυτό το σήμα χρονισμού για τη διαχείριση δικτύου, την επισημάνση χρόνου και τη βαθμονόμηση των αναφορών συχνότητας.

Χρηματοοικονομικά και τραπεζικά συστήματα: Στη σημερινή κοινωνία της πληροφορίας, η ασφάλεια, η ακεραιότητα των δεδομένων, η αυθεντικότητα και η εμπιστευτικότητα έχουν αναδειχθεί ως σημαντικά ζητήματα στην ανταλλαγή ηλεκτρονικών εγγράφων και αρχείων. Ως αποτέλεσμα, τα πιστοποιημένα σήματα είναι απαραίτητα για εφαρμογές όπως η ηλεκτρονική τραπεζική, το ηλεκτρονικό εμπόριο, οι συναλλαγές μετοχών και τα συστήματα και υπηρεσίες διασφάλισης της ποιότητας. Η εξαιρετικά ακριβής αναφορά χρόνου του Galileo το καθιστά ένα τρομερό μέσο για τη χρονοσήμανση των οικονομικών συναλλαγών και, στο μέλλον, για την εξακρίβωση της γνησιότητας της χρονικής σφραγίδας.

Ενέργεια: Τα ακριβή συστήματα εντοπισμού και προσδιορισμού χρόνου είναι απαραίτητα για τον σχεδιασμό, την κατασκευή και τη λειτουργία σύγχρονων ενεργειακών δικτύων. Τα δίκτυα ηλεκτρικού ρεύματος πρέπει να παρακολουθούνται συνεχώς και όταν υπάρχει διακοπή γραμμής ρεύματος, είναι ζωτικής σημασίας τα όργανα παρακολούθησης να συγχρονίζονται με μέγιστη ακρίβεια. Η υψηλή ποιότητα συγχρονισμού που παρέχει το Galileo σημαίνει καλύτερες υπηρεσίες μεταφοράς και διανομής ενέργειας.

2.3.2 Χρήσεις του Galileo στην τοπογραφία

Το Galileo, το παγκόσμιο δορυφορικό σύστημα πλοήγησης (GNSS) που αναπτύχθηκε από την Ευρωπαϊκή Ένωση, έχει αρκετές εφαρμογές στον τομέα της τοπογραφίας. Παρέχει δεδομένα εντοπισμού θέσης υψηλής ακρίβειας, επιτρέποντας στους τοπογράφους να προσδιορίζουν ακριβείς συντεταγμένες για διάφορες τοπογραφικές εφαρμογές. Ενισχύει την ακρίβεια και την αξιοπιστία των γεωδαιτικών παρατηρήσεων, οι οποίες περιλαμβάνουν μέτρηση και χαρτογράφηση μεγάλων εκτάσεων Γης. Επίσης τα σήματα του Galileo μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε παρατηρήσεις RTK, οι οποίες απαιτούν εντοπισμό θέσης σε πραγματικό χρόνο με ακρίβεια σε επίπεδο εκατοστών και χρησιμοποιούνται συνήθως στην κατασκευή, την ανάπτυξη γης και τη γεωργία ακριβείας. Τα σήματα του Galileo συμβάλλουν στη βελτίωση της ακρίβειας και της αξιοπιστίας των μετρήσεων RTK. Οι δυνατότητες εντοπισμού θέσης του Galileo βοηθούν στη δημιουργία λεπτομερών τοπογραφικών χαρτών. Οι τοπογράφοι μπορούν να χρησιμοποιήσουν τα σήματα του Galileo για να προσδιορίσουν με ακρίβεια το υψόμετρο, τα περιγράμματα και τα χαρακτηριστικά της Γης, τα οποία είναι ζωτικής σημασίας για διάφορα έργα. Βοηθά στις εργασίες διάταξης κατασκευής παρέχοντας ακριβείς πληροφορίες θέσης. Οι τοπογράφοι μπορούν επίσης να χρησιμοποιήσουν τα σήματα του Galileo για να επισημάνουν με ακρίβεια τις θέσεις των κατασκευών, των δρόμων κι άλλων υπηρεσιών. Τα δεδομένα του Galileo μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε έρευνες παρακολούθησης και παραμόρφωσης, οι οποίες περιλαμβάνουν μέτρηση και ανάλυση αλλαγών σε δομές ή φυσικά χαρακτηριστικά με την πάροδο του χρόνου. Βοηθά στην αξιολόγηση της σταθερότητας, στην ανίχνευση κινήσεων και στη διασφάλιση της ασφάλειας της υποδομής.

Συνολικά, οι ακριβείς δυνατότητες εντοπισμού θέσης του Galileo συμβάλλουν στη βελτίωση της αποτελεσματικότητας, της ακρίβειας και της αξιοπιστίας των διαφόρων τοπογραφικών εφαρμογών, καθιστώντας το πολύτιμο εργαλείο για τους τοπογράφους.

Σήμερα οι σύγχρονοι γεωδαιτικοί δέκτες έχουν τη δυνατότητα λήψης και των δορυφόρων Galileo υποστηρίζοντας και τα τέσσερα διαθέσιμα GNSS. Επίσης τα δίκτυα σταθμών αναφοράς εκσυγχρονίζονται ώστε να υποστηρίζουν και αυτά το σύστημα Galileo και να παρέχουν στους τοπογράφους υπηρεσίες Multi-GNSS RTK, το οποίο είναι γνωστό για την αυξημένη απόδοσή του.

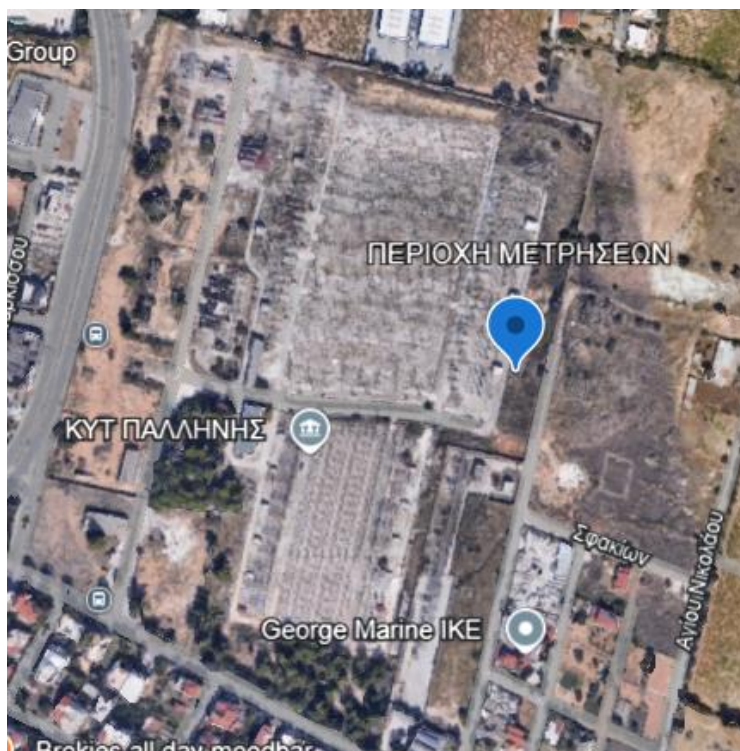
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

3. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗΝ ΠΡΑΞΗ

3.1 Μετρήσεις στο ΚΥΤ Παλλήνης

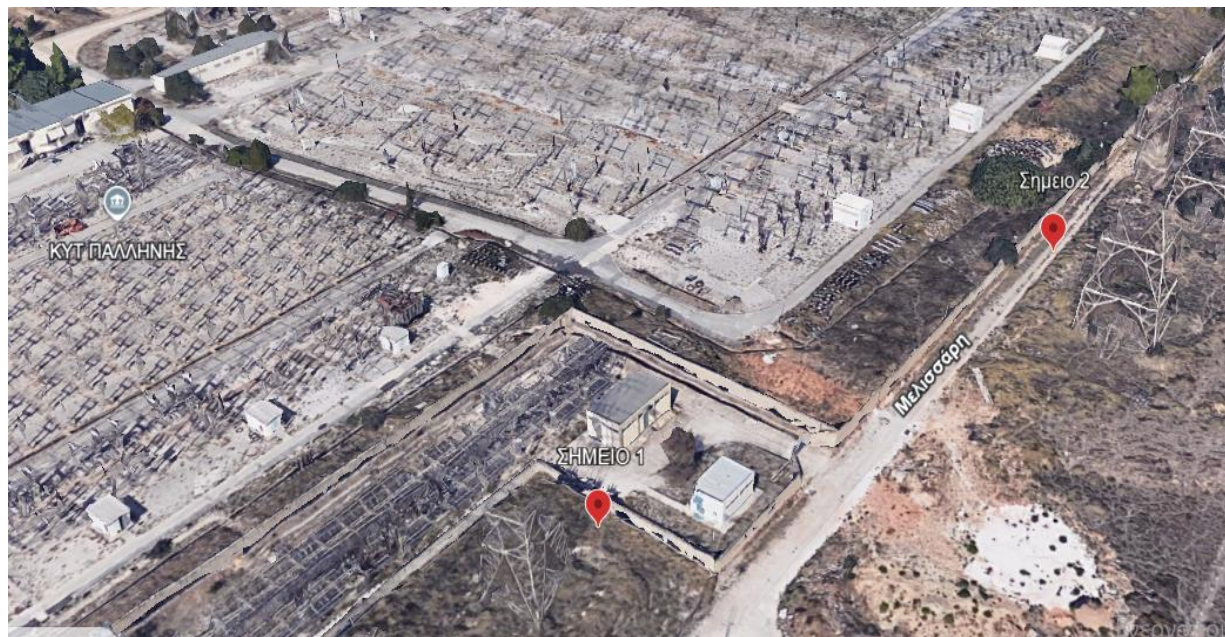
Για την διπλωματική εργασία εκτός από το θεωρητικό μέρος έπρεπε να πραγματοποιηθούν μετρήσεις πεδίου. Επειδή ουσιαστικά το θέμα της εργασίας ήταν σύγκριση Galileo-GPS υπό την επίδραση ηλεκτρομαγνητικών παρεμβολών πραγματοποιήθηκαν, με τη βοήθεια του επιβλέποντος καθηγητή στις 16 Ιουλίου του 2020, οι μετρήσεις στην περιοχή του Κέντρου Υπερυψηλής Τάσης (ΚΥΤ) Παλλήνης της ΔΕΗ. Η περιοχή αυτή επιλέχθηκε καθώς είναι γνωστό ότι η υπερυψηλή τάση (400 KVolt) δημιουργεί έντονο ηλεκτρομαγνητικό θόρυβο κοντά στις γραμμές μεταφοράς ρεύματος. Η περιοχή του ΚΥΤ Παλλήνης φαίνεται στην Εικόνα 3.1. Η Εικόνα 3.2 παρουσιάζει την περιοχή σε τρισδιάστατη απεικόνιση αναδεικνύοντας και τις δύο θέσεις όπου τοποθετήθηκαν οι δέκτες, κάτω από τους πυλώνες της υπερυψηλής τάσης.

Χρησιμοποιήθηκαν οι δέκτες R8S και R6 της Trimble οι οποίοι στήθηκαν δίπλα δίπλα και στο ίδιο ύψος, ώστε οι μετρήσεις να είναι άμεσα συγκρίσιμες. Ο δέκτης R6 αν και δεν έχει τη δυνατότητα να μετράει με Galileo, χρησιμοποιήθηκε για λόγους σύγκρισης των δεδομένων GPS του δέκτη R8S, ώστε να διερευνηθεί κατά πόσο βελτιώνονται οι δυνατότητες λήψης σημάτων καθώς εξελίσσονται οι τεχνολογίες των δεκτών. Στις Εικόνες 3.3 και 3.4 φαίνεται πως στήθηκαν οι δέκτες στο ίδιο ύψος σε μικρή απόσταση μεταξύ τους κάτω από τον πυλώνα της ΔΕΗ στην περιοχή του Σημείου 1 (βλ. Εικόνα 3.2).



Εικόνα 3.1: Η περιοχή μετρήσεων έξω από τον ηλεκτρικό υποσταθμό Παλλήνης

(Πηγή: <https://earth.google.com/>)

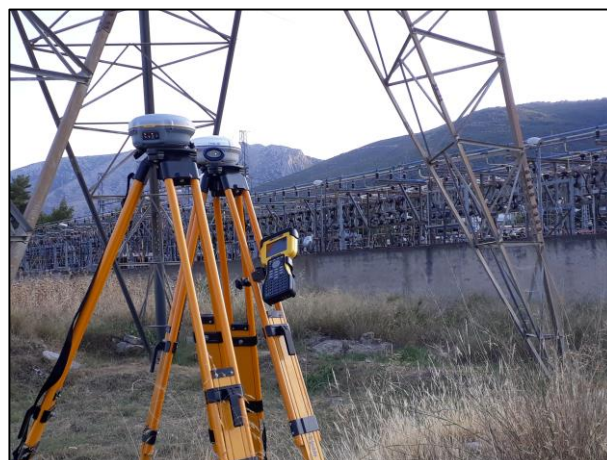


Εικόνα 3.2: Η περιοχή μετρήσεων έξω το ΚΥΤ Παλλήνης σε τρισδιάστατη απεικόνιση

(Πηγή: <https://earth.google.com/>)



Εικόνα 3.3: Το πρώτο σημείο μέτρησης έξω από το ΚΥΤ Παλλήνης



Εικόνα 3.4: Το πρώτο σημείο μέτρησης έξω από το ΚΥΤ Παλλήνης

Στις Εικόνες 3.5 και 3.6 φαίνεται πως στήθηκαν οι δέκτες στο ίδιο ύψος σε μικρή απόσταση μεταξύ τους κάτω από τον πυλώνα της ΔΕΗ στην περιοχή του Σημείου 2 (βλ. Εικόνα 3.2).

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω για τις μετρήσεις χρησιμοποιήθηκαν οι δέκτες R6 και R8s (βλέπε Εικόνες 3.7 και 3.8). Ο δέκτης R6 κατασκευάστηκε το 2006 και λαμβάνει μόνο σήματα GPS και GLONASS οπότε για αυτόν τον λόγο και δεν αξιοποιήθηκαν τα δεδομένα του συγκεκριμένου δέκτη. Αντιθέτως ο δέκτης R8s αποτελεί μια πιο σύγχρονη κατασκευή που υλοποιήθηκε το 2015.

Όντας πιο σύγχρονος δέκτης λαμβάνει σήματα GPS, GLONASS, BeiDou αλλά και Galileo. Αξίζει να σημειωθεί ότι εφόσον πραγματοποιήθηκαν μόνο στατικές μετρήσεις δεν τοποθετήθηκαν οι κεραίες στους δέκτες. Οι μετρήσεις που έγιναν για το πρώτο σημείο που στήθηκαν οι δέκτες ήταν για περίπου μισή ώρα ενώ στο δεύτερο σημείο ήταν για δεκαπέντε λεπτά.



Εικόνα 3.5: Το δεύτερο σημείο μέτρησης έξω από το ΚΥΤ Παλλήνης



Εικόνα 3.6: Το δεύτερο σημείο μέτρησης έξω από το ΚΥΤ Παλλήνης



Εικόνα 3.7: Ο δέκτης R6
(Πηγή: <https://geospatial.trimble.com/>)



Εικόνα 3.8: Ο δέκτης R8s
(Πηγή: <https://geospatial.trimble.com/>)

Στη συνέχεια αφού λήφθηκαν οι μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν υλοποιήθηκε μια διαδικασία προεπεξεργασίας δεδομένων των δορυφόρων έτσι ώστε να γίνει σύγκριση των σημάτων από δορυφόρους σε παρόμοιες θέσεις (αζιμούθιο και γωνία ύψους) για να αποτελέσουν όσο το δυνατόν πιο αντιπροσωπευτικά αποτελέσματα. Κατά την εξέταση των δεδομένων διαπιστώθηκε ότι ο δέκτης R6 δεν λάμβανε στη συχνότητα L2C οπότε χρησιμοποιήθηκαν μόνο τα δεδομένα του R8s για το σκοπό αυτό.

3.2 Ανάλυση δεδομένων KYT Παλλήνης

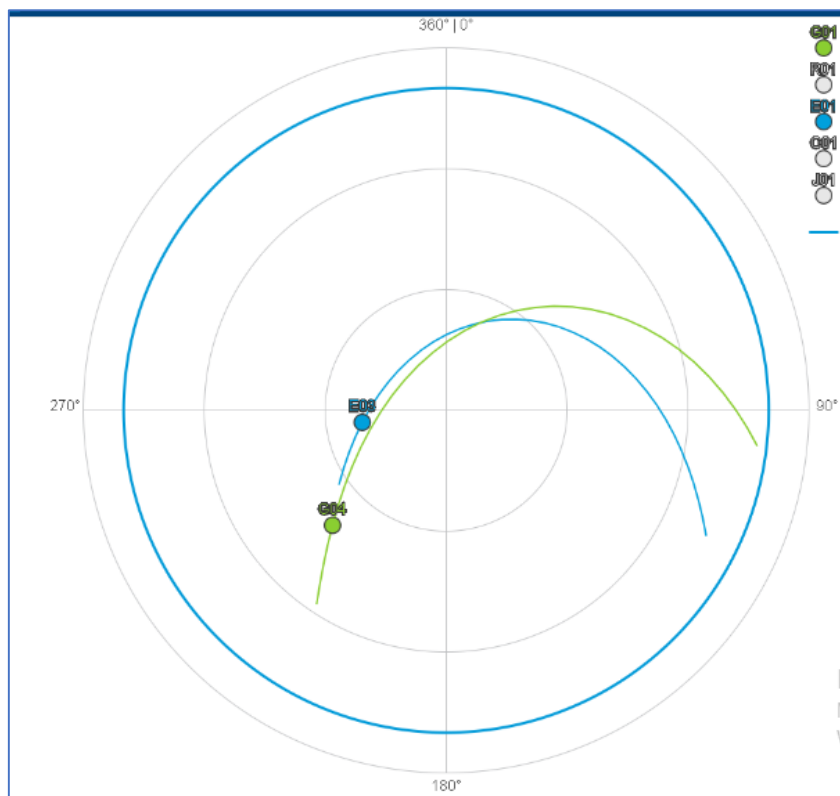
Η ανάλυση των δεδομένων στηρίχθηκε στην επίδραση των παρεμβολών στις τιμές του SNR (Signal to Noise Ratio), δηλαδή του λόγου της ισχύος του σήματος προς την ισχύ του θορύβου. Επειδή οι τιμές του SNR είναι σε άμεση συσχέτιση με τη γωνία ύψους του δορυφόρου, δημιουργήθηκαν διαγράμματα των τιμών του SNR στα οποία απεικονίζεται σε κάθε διάγραμμα και η γωνία ανύψωσης του δορυφόρου. Οι μονάδες είναι αντίστοιχα dBell και μοίρες, για τον SNR και τη γωνία ύψους αντίστοιχα.

3.2.1 Σύγκριση σημάτων GPS-Galileo

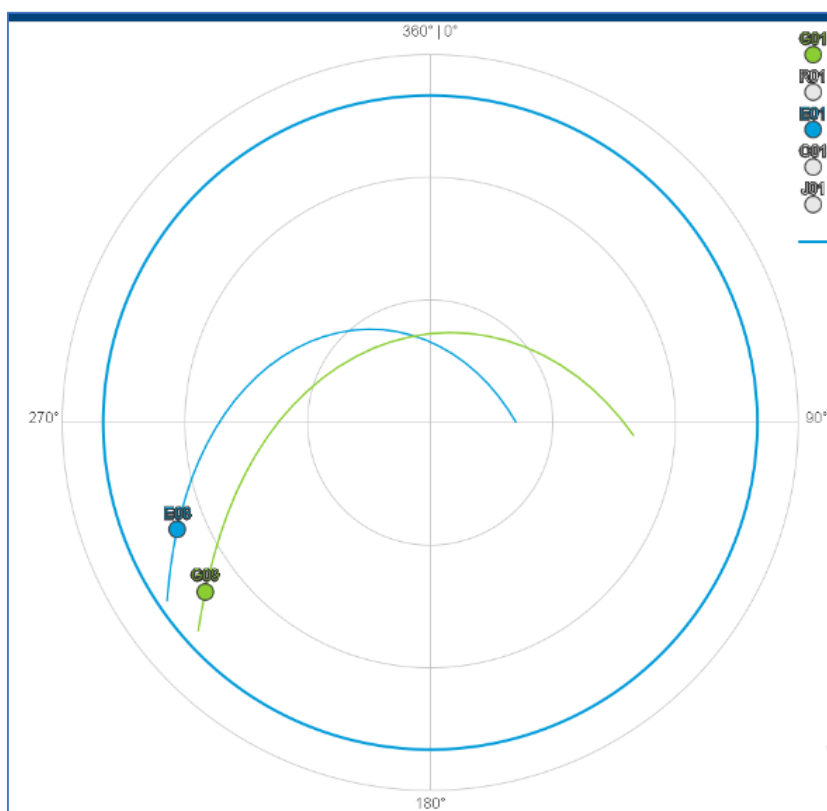
Για τη σύγκριση των δορυφόρων GPS και Galileo στο σημείο 1 και 2 μετά από εξέταση του sky plot, επιλέχθηκαν τα εξής ζευγάρια δορυφόρων:

- G04 – E03
- G09 – E08

Οι δορυφόροι κάθε ζεύγους βρίσκονται κατά το δυνατόν σε κοντινές θέσεις στον ουρανό (παρόμοιες γωνίες αζιμοθυθίου και γωνίας ύψους), όπως φαίνεται στις Εικόνες 3.9 και 3.10. Με τον αντίστοιχο τρόπο επιλέχθηκαν τα ζεύγη των δορυφόρων για κάθε επόμενη περίπτωση.



Εικόνα 3.9: Το ζεύγος δορυφόρων G04-E03 όπως φαίνονται στο SkyPlot
(Πηγή: <https://gnssplanning.com/#/skyplot>)

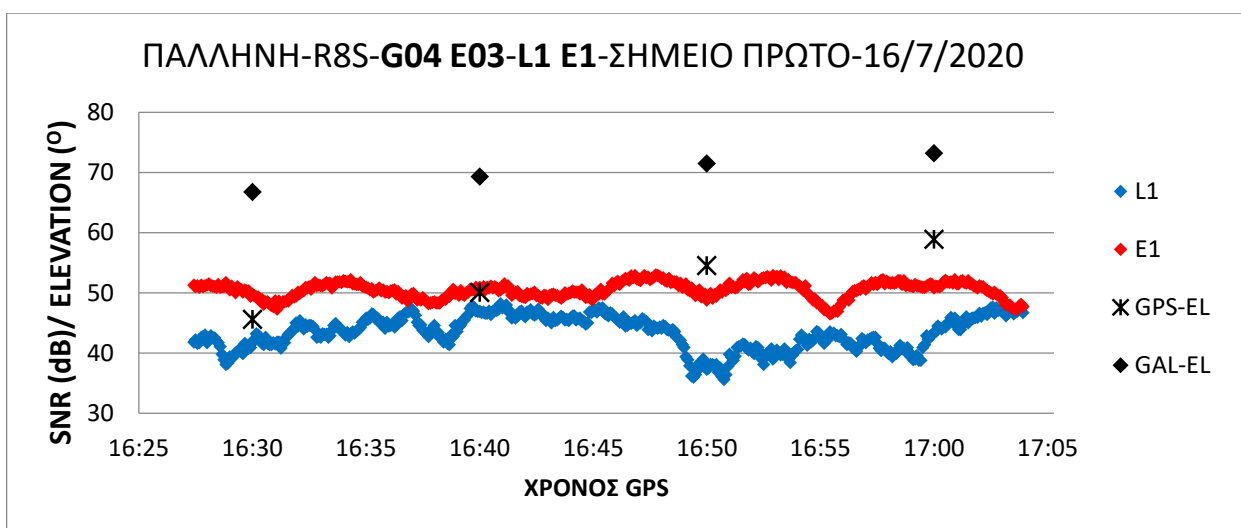


Εικόνα 3.10: Το ζεύγος δορυφόρων G09-E08 όπως φαίνονται στο SkyPlot
(Πηγή: <https://gnssplanning.com/#/skyplot>)

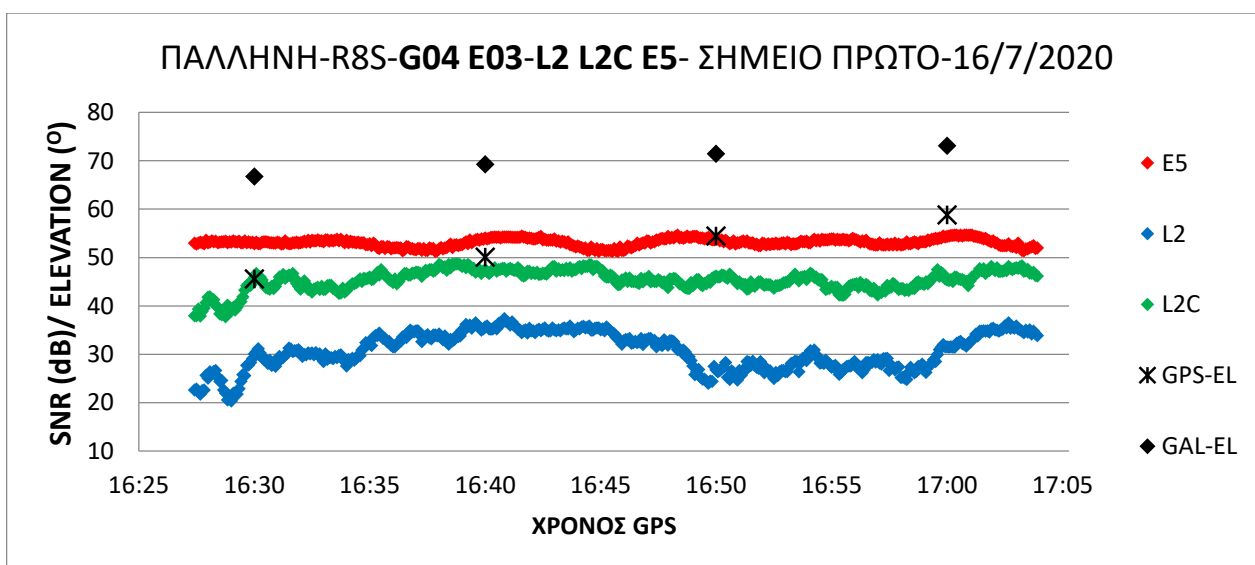
3.2.1.1 Σημείο 1

Παρακάτω φαίνονται τα διαγράμματα σύγκρισης Galileo-GPS για το πρώτο σημείο μέτρησης. Στο Διάγραμμα 3.1 συγκρίνεται το SNR των δορυφόρων G04 και E03 στις συχνότητες L1 και E1 αντίστοιχα. Παρατηρείται ότι το SNR του E03 είναι μεγαλύτερο από του G04 και επιπλέον παρουσιάζει και μικρότερες διακυμάνσεις γεγονός που υποδύλνει μικρότερη επίδραση από τις ηλεκτομαγνητικές παρεμβολές.

Στο Διάγραμμα 3.2 συγκρίνεται το SNR των δορυφόρων G04 και E03 των σημάτων L2, L2C και E5 αντίστοιχα. Παρατηρείται ότι το SNR του L2C είναι σημαντικά καλύτερο από το SNR του L2 και επιπλέον παρουσιάζει και μικρότερες διακυμάνσεις, γεγονός που υποδύλνει μικρότερη επίδραση από τις ηλεκτομαγνητικές παρεμβολές. Το SNR της E5 είναι όμως αισθητά καλύτερο και σταθερότερο σε σχέση τόσο με το L2 όσο και το L2C. Αυτό αποδεικνύει την καλύτερη συμπεριφορά του σήματος E5 του Galileo.



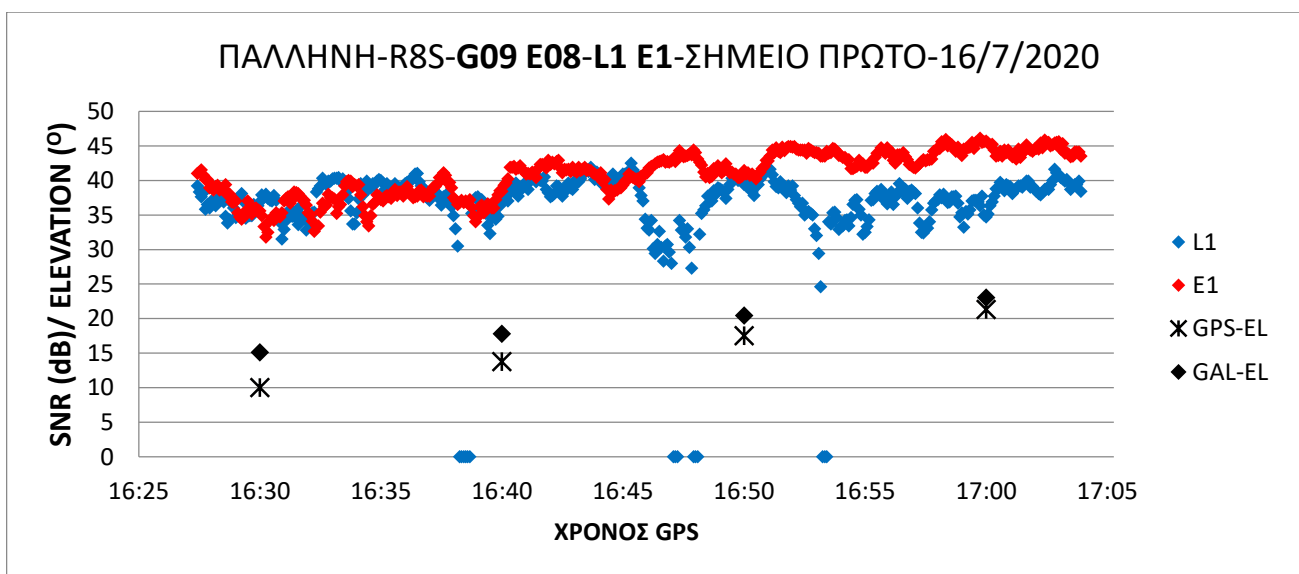
Διάγραμμα 3.1: Σημείο 1 - SNR δορυφόρων G04 και E03 στα σήματα L1 και E1



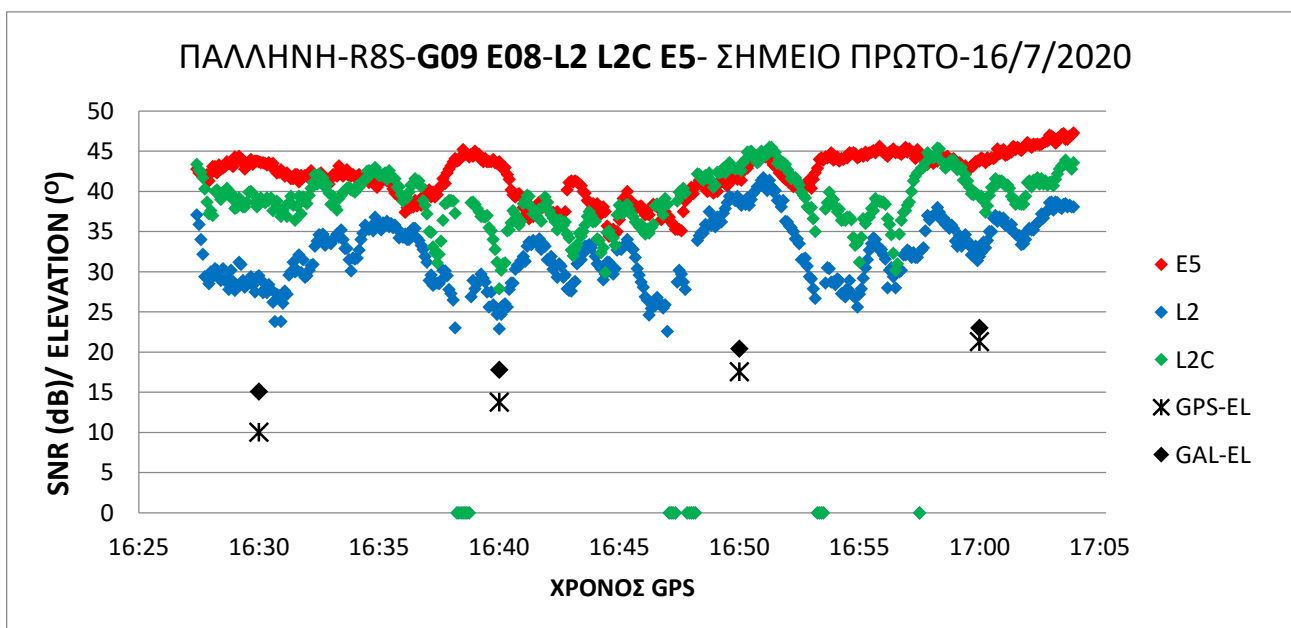
Διάγραμμα 3.2: Σημείο 1 - SNR δορυφόρων G04 και E03 στα σήματα L2, L2C και E5

Παρακάτω φαίνονται τα διαγράμματα σύγκρισης Galileo-GPS. Στο Διάγραμμα 3.3 συγκρίνεται το SNR των δορυφόρων G09 και E08 στις συχνότητες L1 και E1 αντίστοιχα. Παρατηρείται ότι το SNR του E08 είναι μεγαλύτερο από του G09 και επιπλέον παρουσιάζει και μικρότερες διακυμάνσεις γεγονός που υποδύλνει μικρότερη επίδραση από τις ηλεκτομαγνητικές παρεμβολές. Επίσης παρατηρείται πως ο δεκτης δεν λαμβάνει το σήμα του GPS σε ορισμένες στιγμές.

Στο Διάγραμμα 3.4 συγκρίνεται το SNR των δορυφόρων G09 και E08 των σημάτων L2, L2C και E5 αντίστοιχα. Παρατηρείται ότι το SNR του L2C είναι καλύτερο από το SNR του L2 και επιπλέον παρουσιάζει και μικρότερες διακυμάνσεις, γεγονός που υποδύλνει μικρότερη επίδραση από τις ηλεκτομαγνητικές παρεμβολές. Το SNR της E5 είναι όμως αισθητά καλύτερο και σταθερότερο σε σχέση τόσο με το L2 όσο και το L2C. Αυτό αποδεικνύει την καλύτερη συμπεριφορά του σήματος E5 του Galileo. Κι εδώ παρατηρείται πως ο δέκτης δεν λαμβάνει το σήμα του GPS σε ορισμένες στιγμές.



Διάγραμμα 3.3: Σημείο 1 - SNR δορυφόρων G09 και E08 στα σήματα L1 και E1

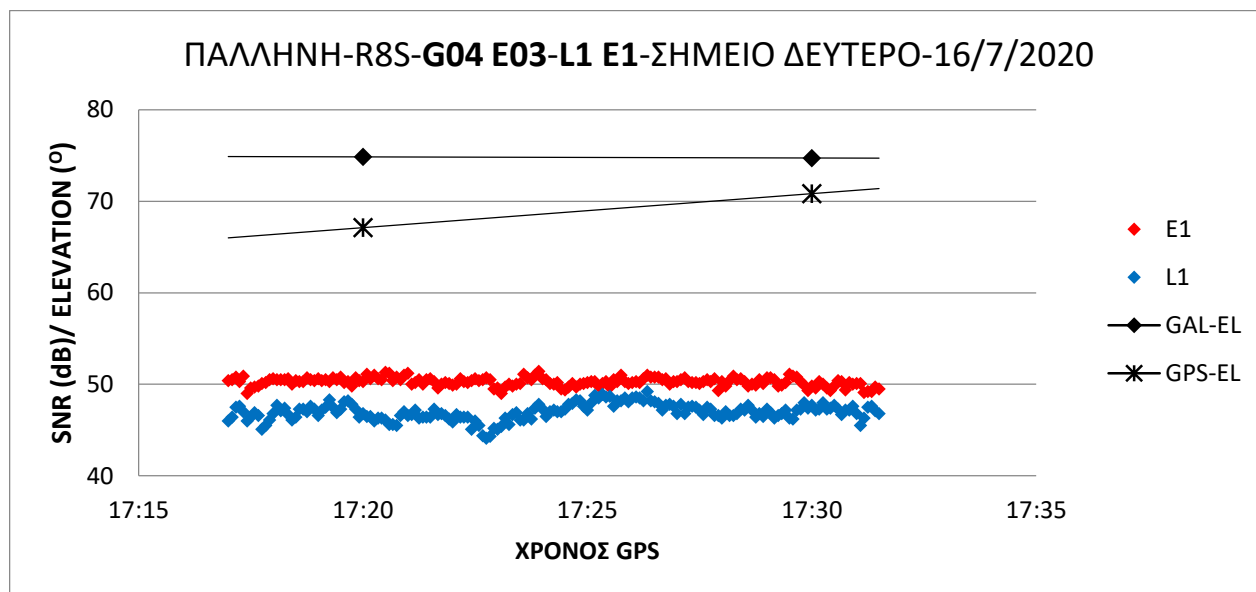


Διάγραμμα 3.4: Σημείο 1 - SNR δορυφόρων G09 και E08 στα σήματα L2, L2C και E5

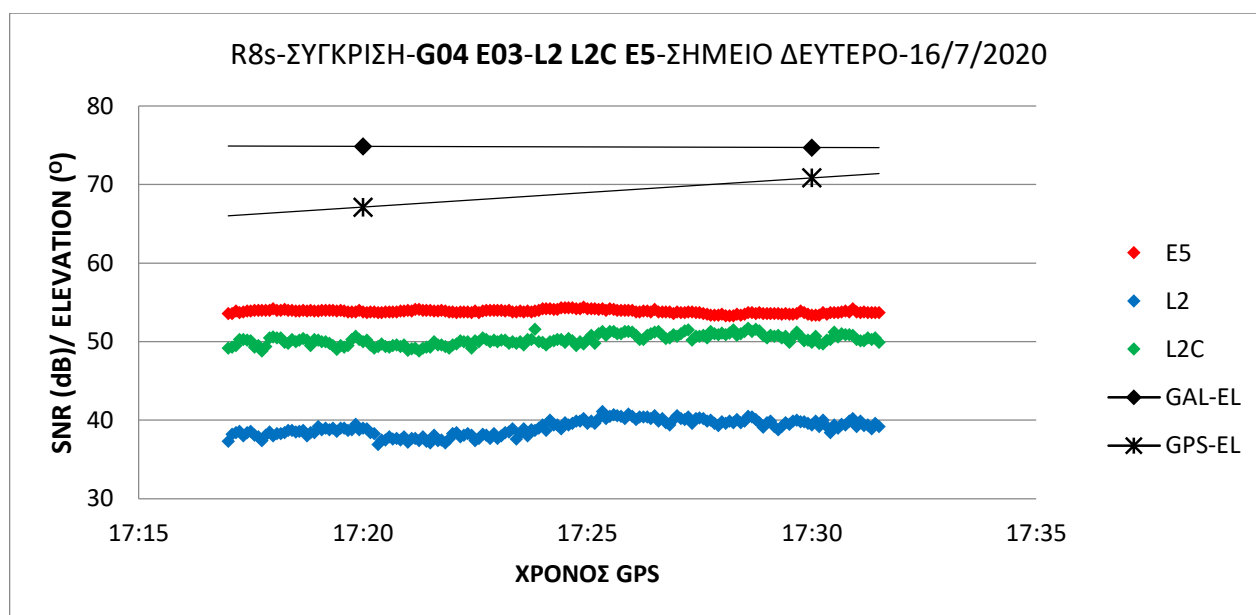
3.2.1.2 Σημείο 2

Παρακάτω φαίνονται τα διαγράμματα σύγκρισης Galileo-GPS για το δεύτερο σημείο μέτρησης. Στο Διάγραμμα 3.5 συγκρίνεται το SNR των δορυφόρων G04 και E03 στις συχνότητες L1 και E1 αντίστοιχα. Παρατηρείται ότι το SNR του E03 είναι μεγαλύτερο από του G04.

Στο Διάγραμμα 3.6 συγκρίνεται το SNR των δορυφόρων G04 και E03 των σημάτων L2, L2C και E5 αντίστοιχα. Παρατηρείται ότι το SNR του L2C είναι καλύτερο από το SNR του L2. Το SNR της E5 είναι αισθητά καλύτερο και σταθερότερο σε σχέση τόσο με το L2 όσο και το L2C. Αυτό αποδεικνύει την καλύτερη συμπεριφορά του σήματος E5 του Galileo.



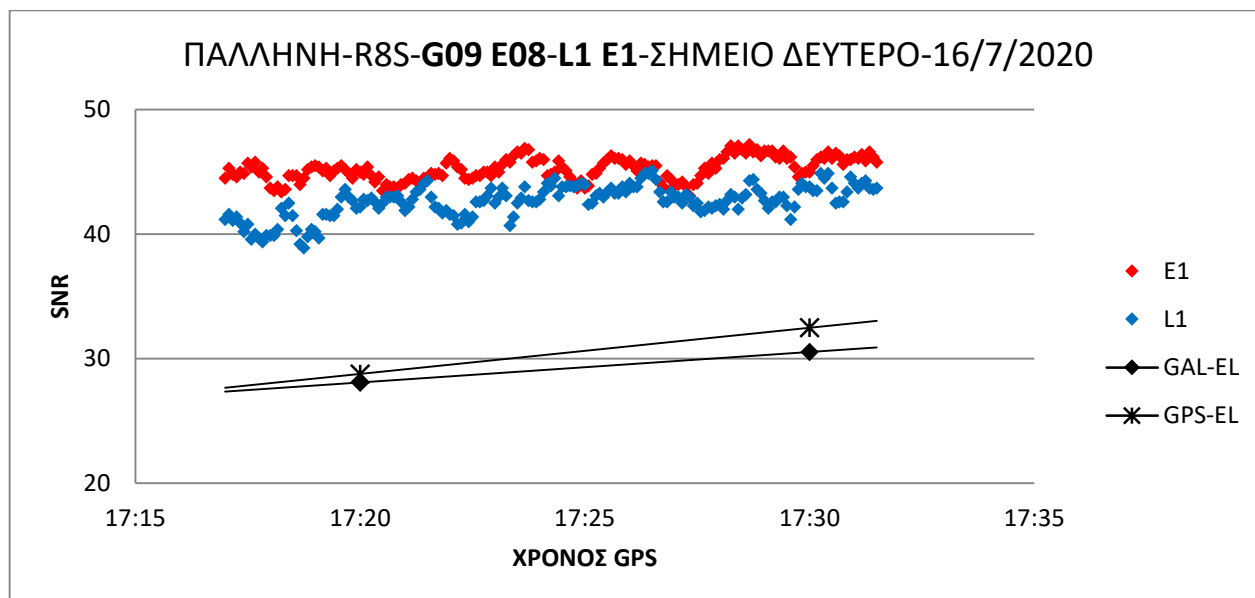
Διάγραμμα 3.5: Σημείο 2 - SNR δορυφόρων G04 και E03 στα σήματα L1 και E1



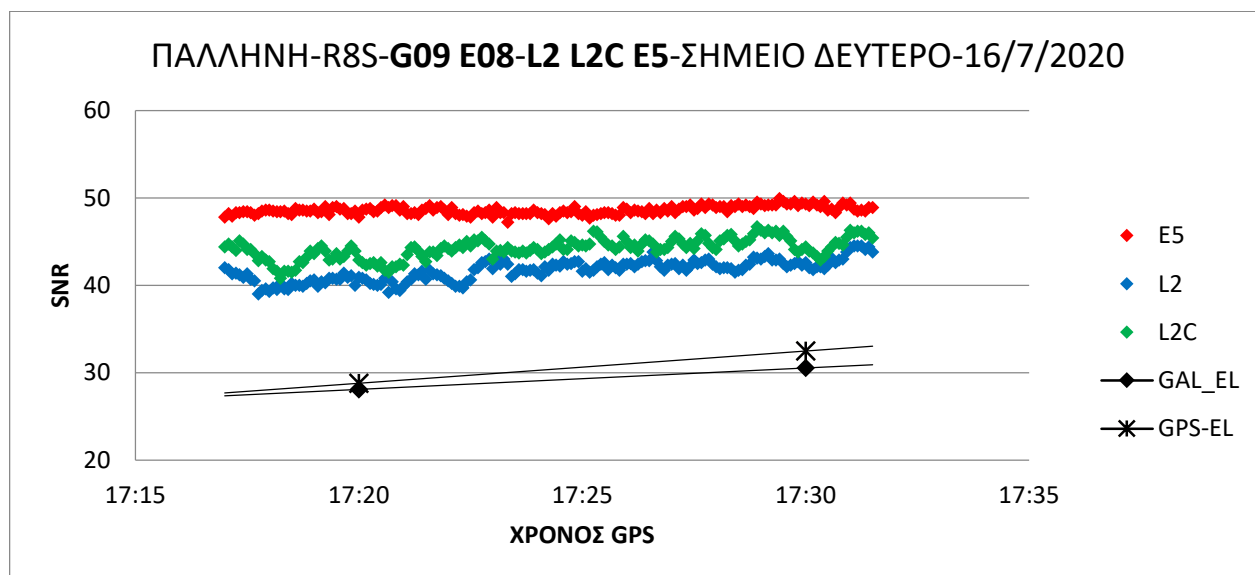
Διάγραμμα 3.6: Σημείο 2 - SNR δορυφόρων G04 και E03 στα σήματα L2, L2C και E5

Παρακάτω φαίνονται τα διαγράμματα σύγκρισης Galileo-GPS. Στο Διάγραμμα 3.7 συγκρίνεται το SNR των δορυφόρων G09 και E08 στις συχνότητες L1 και E1 αντίστοιχα. Παρατηρείται ότι το SNR του E08 είναι μεγαλύτερο από του G09.

Στο Διάγραμμα 3.8 συγκρίνεται το SNR των δορυφόρων G09 και E08 των σημάτων L2, L2C και E5 αντίστοιχα. Παρατηρείται ότι το SNR του L2C είναι καλύτερο από το SNR του L2. Το SNR της E5 είναι όμως αισθητά καλύτερο σε σχέση τόσο με το L2 όσο και το L2C. Αυτό αποδεικνύει την καλύτερη συμπεριφορά του σήματος E5 του Galileo.



Διάγραμμα 3.7: Σημείο 2 - SNR δορυφόρων G09 και E08 στα σήματα L1 και E1

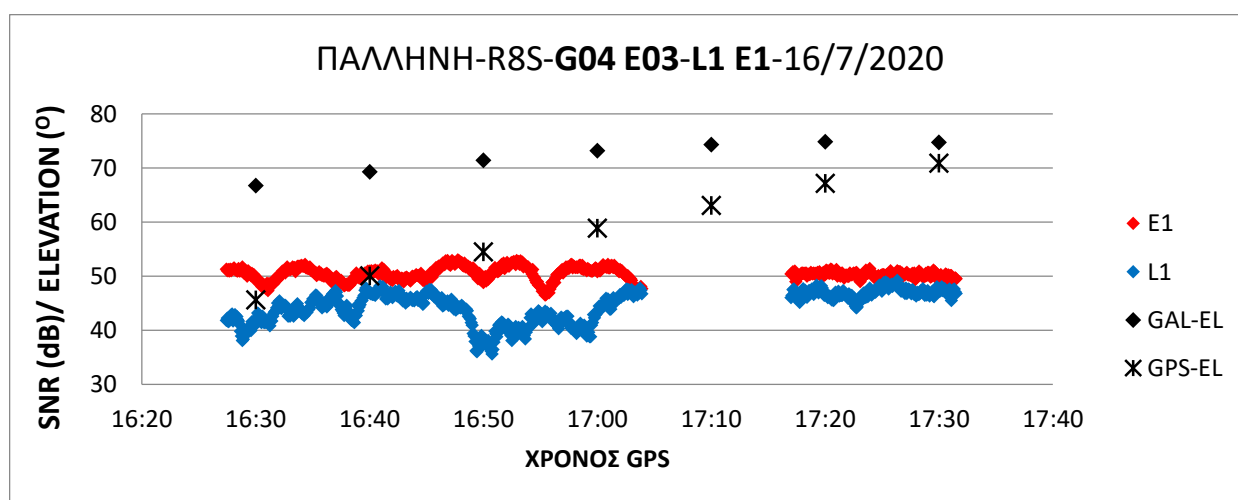


Διάγραμμα 3.8: Σημείο 2 - SNR δορυφόρων G09 και E08 στα σήματα L2, L2C και E5

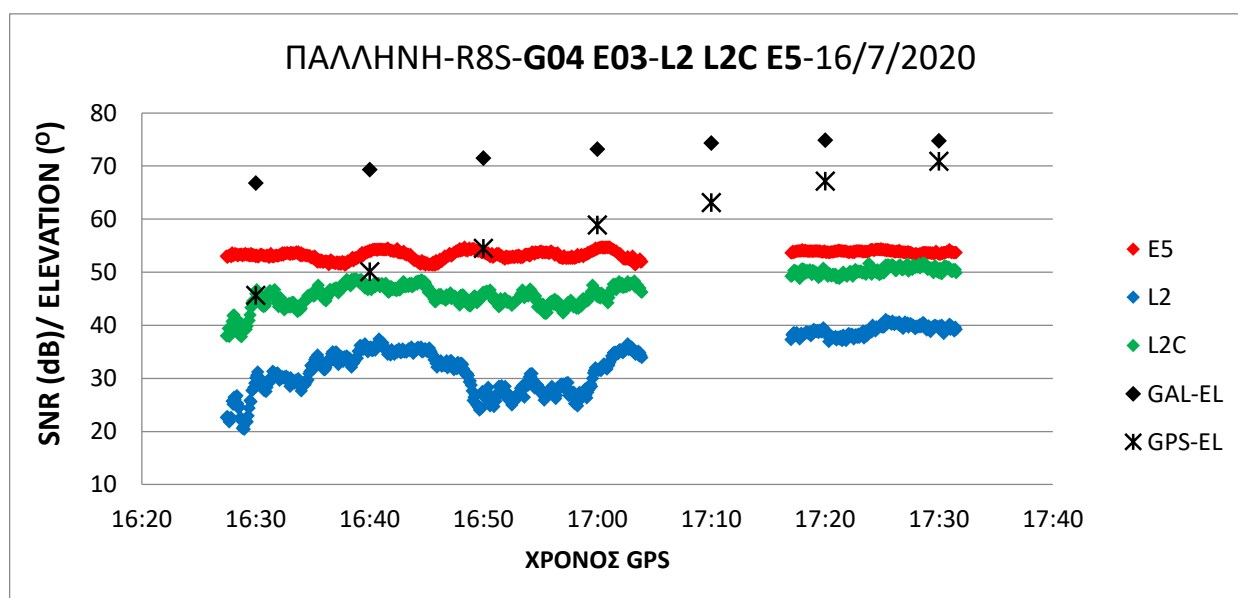
3.2.1.3 Σημεία 1 και 2

Παρακάτω φαίνονται τα διαγράμματα Galileo-GPS συγκριτικά για τα δύο σημεία μέτρησης. Το Σημείο 1 μετρήθηκε πρώτα και εμφανίζεται αριστερά στα διαγράμματα. Αντίστοιχα το Σημείο 2 εμφανίζεται δεξιά. Στο Διάγραμμα 3.9 συγκρίνεται το SNR των δορυφόρων G04 και E03 στις συχνότητες L1 και E1 αντίστοιχα. Παρατηρείται ότι το SNR του E03 είναι μεγαλύτερο από του G04 και επιπλέον παρουσιάζει και μικρότερες διακυμάνσεις γεγονός που υποδύλνει μικρότερη επίδραση από τις ηλεκτομαγνητικές παρεμβολές.

Στο Διάγραμμα 3.10 συγκρίνεται το SNR των δορυφόρων G04 και E03 των σημάτων L2, L2C και E5 αντίστοιχα. Παρατηρείται ότι το SNR του L2C είναι καλύτερο από το SNR του L2 και επιπλέον παρουσιάζει και μικρότερες διακυμάνσεις, γεγονός που υποδύλνει μικρότερη επίδραση από τις ηλεκτομαγνητικές παρεμβολές. Το SNR της E5 είναι όμως αισθητά καλύτερο και σταθερότερο σε σχέση τόσο με το L2 όσο και το L2C. Αυτό αποδεικνύει την καλύτερη συμπεριφορά του σήματος E5 του Galileo.



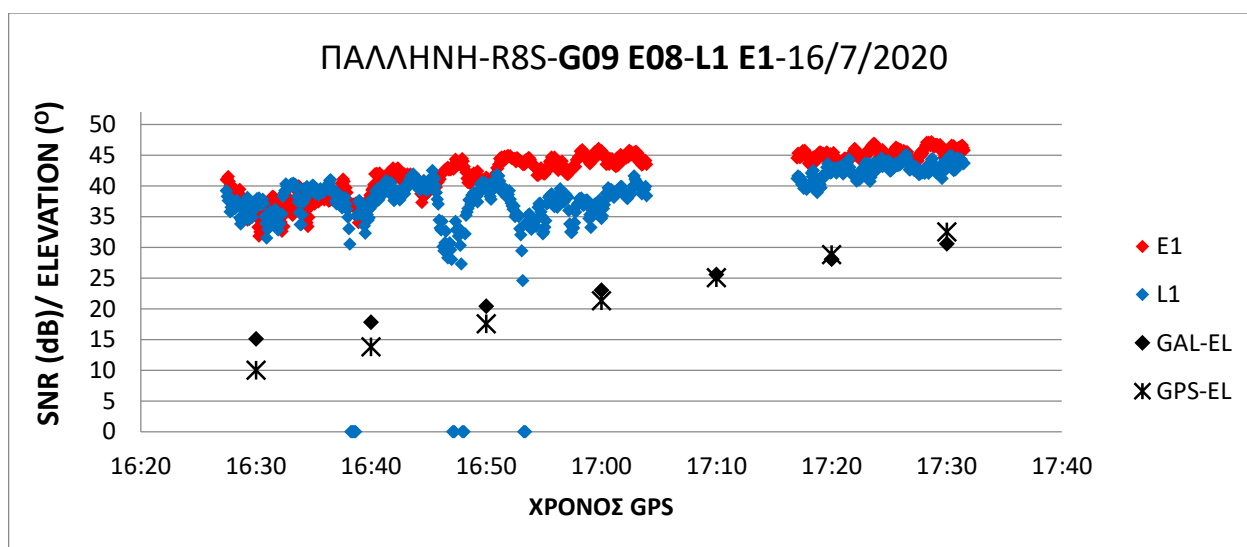
Διάγραμμα 3.9: Σημείο 1 (αριστ.) και 2 (δεξιά) - SNR δορυφ. G04 και E03 στα σήματα L1 και E1



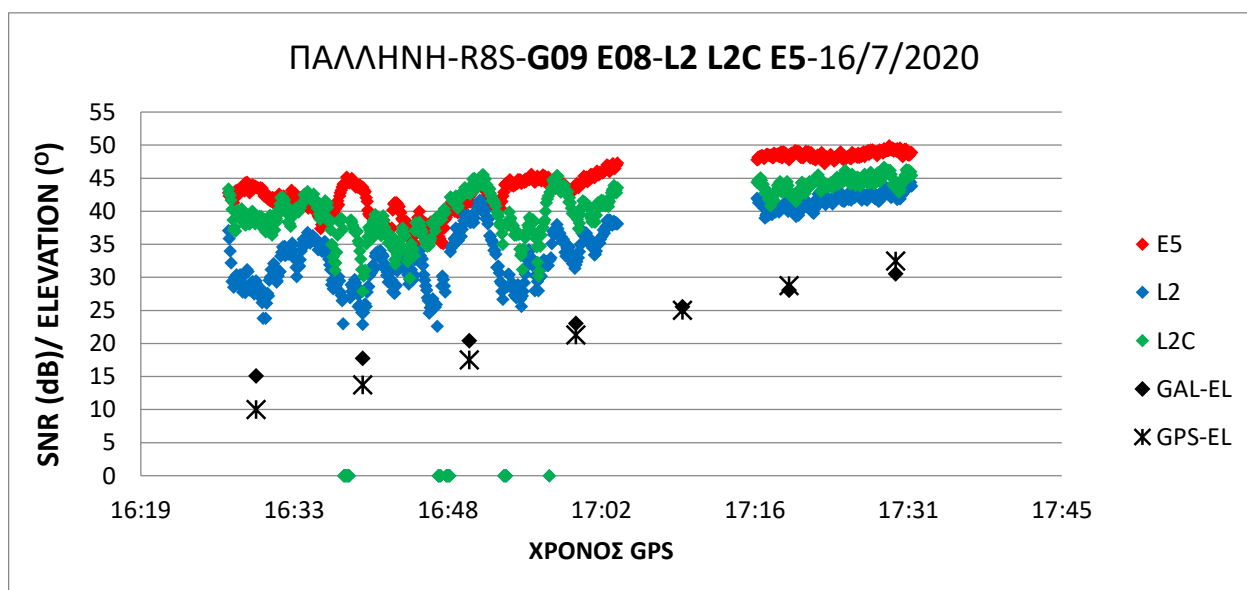
Διάγραμμα 3.10: Σημείο 1 (αριστ.) και 2 (δεξιά) - SNR δορυφ. G04 και E03 στα σήματα L2, L2C και E5

Παρακάτω φαίνονται τα διαγράμματα σύγκρισης Galileo-GPS και για τα δύο σημεία μέτρησης. Στο Διάγραμμα 3.11 συγκρίνεται το SNR των δορυφόρων G09 και E08 στις συχνότητες L1 και E1 αντίστοιχα. Παρατηρείται ότι το SNR του E08 είναι μεγαλύτερο από του G09 και επιπλέον παρουσιάζει και μικρότερες διακυμάνσεις γεγονός που υποδύλωνει μικρότερη επίδραση από τις ηλεκτομαγνητικές παρεμβολές.

Στο Διάγραμμα 3.12 συγκρίνεται το SNR των δορυφόρων G09 και E08 των σημάτων L2, L2C και E5 αντίστοιχα. Παρατηρείται ότι το SNR του L2C είναι καλύτερο από το SNR του L2 και επιπλέον παρουσιάζει και μικρότερες διακυμάνσεις, γεγονός που υποδύλωνει μικρότερη επίδραση από τις ηλεκτομαγνητικές παρεμβολές. Το SNR της E5 είναι όμως αισθητά καλύτερο και σταθερότερο σε σχέση τόσο με το L2 όσο και το L2C. Αυτό αποδεικνύει την καλύτερη συμπεριφορά του σήματος E5 του Galileo.



Διάγραμμα 3.11: Σημείο 1 (αριστ.) και 2 (δεξιά) - SNR δορυφ. G09 και E08 στα σήματα L1 και E1



Διάγραμμα 3.12: Σημείο 1 (αριστ.) και 2 (δεξιά) - SNR δορυφ. G09 και E08 στα σήματα L2, L2C και E5

3.2.2 Σύγκριση σημάτων GPS

Όταν πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις, ο κάθε δορυφόρος GPS (PRN) ανήκε σε κάποια συγκεκριμένη γενιά δορυφόρων, όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα.

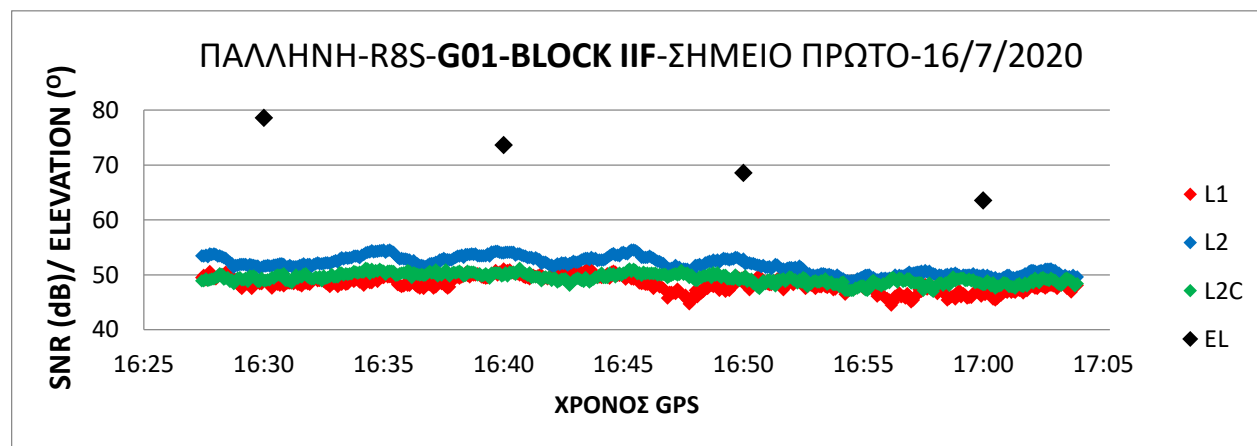
Πίνακας 3.1 Οι γενιές των δορυφόρων του συστήματος GPS

BLOCK IIR	BLOCK IIR-M	BLOCK IIF	BLOCK III
G02	G05	G01	G04
G11	G07	G03	G18
G13	G12	G06	
G16	G15	G08	
G19	G17	G09	
G20	G29	G10	
G21	G31	G24	
G22		G25	
G28		G26	
		G27	
		G30	
		G32	

3.2.2.1 Σημείο 1

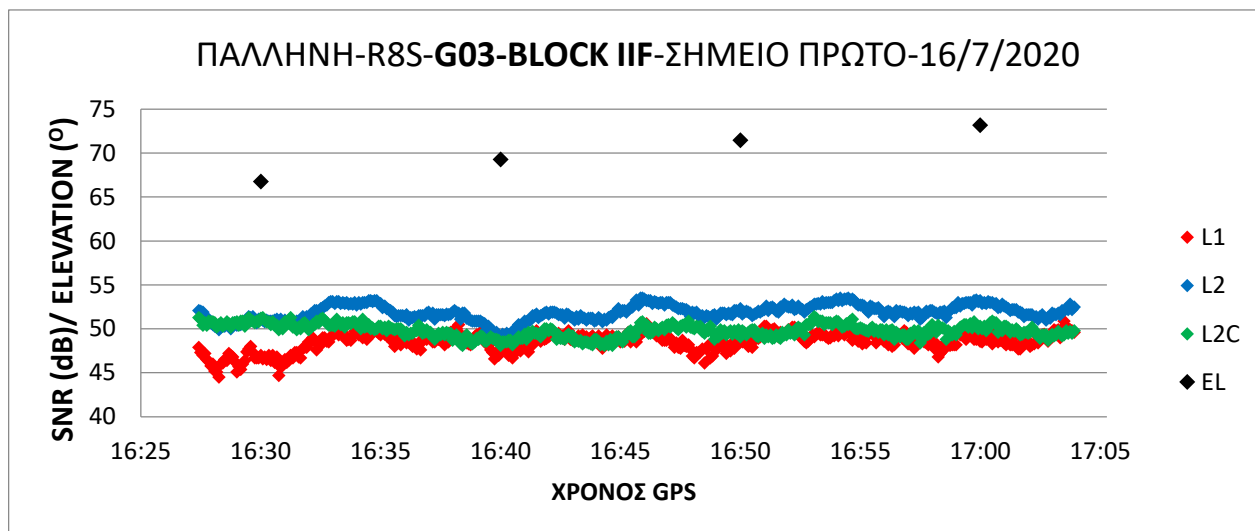
Παρακάτω φαίνονται τα διαγράμματα σύγκρισης μόνο για τα σήματα GPS. Στο Διάγραμμα 3.13 συγκρίνεται το SNR του δορυφόρου G01 για τα σήματα L1, L2 και L2C. Παρατηρείται ότι το SNR του σήματος L2 είναι μεγαλύτερο από το SNR του L2C κάτι που αποτελεί αξιοπερίεργο εφ' όσον το σήμα L2C είναι πιο νέο.

Στο Διάγραμμα 3.14 συγκρίνεται το SNR του δορυφόρου G01 για τα σήματα L1, L2 και L2C. Κι εδώ παρατηρείται ότι το SNR του σήματος L2 είναι μεγαλύτερο από το SNR του L2C.



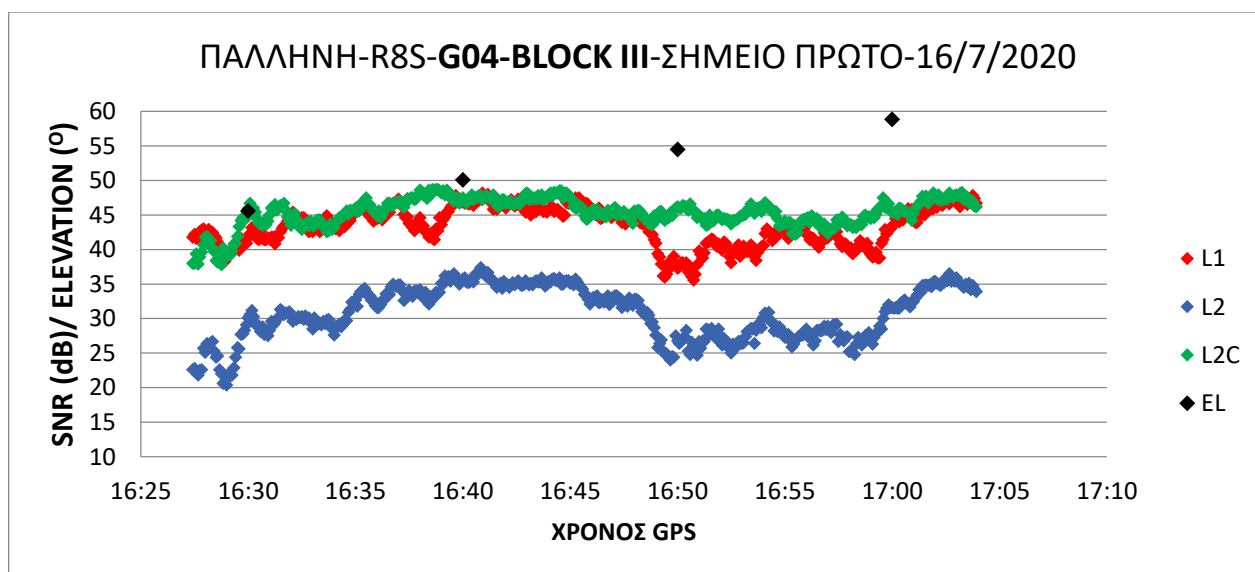
Διάγραμμα 3.13: Σημείο 1 - SNR δορυφόρου G01 στα σήματα L1, L2 και L2C

Στο Διάγραμμα 3.14 συγκρίνεται το SNR του δορυφόρου G03 για τα σήματα L1, L2 και L2C. Κι εδώ παρατηρείται ότι το SNR του σήματος L2 είναι μεγαλύτερο από το SNR του L2C.



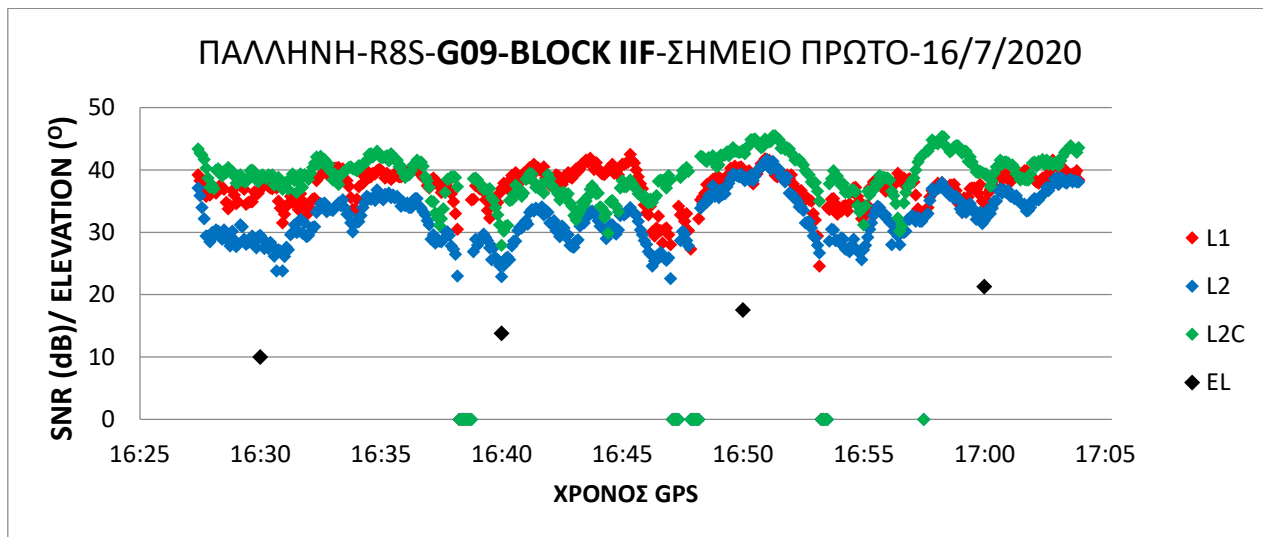
Διάγραμμα 3.14: Σημείο 1 - SNR δορυφόρου G03 στα σήματα L1, L2 και L2C

Στο Διάγραμμα 3.15 συγκρίνεται το SNR του δορυφόρου G04 για τα σήματα L1, L2 και L2C. Εδώ παρατηρείται ότι το SNR του σήματος L2 είναι αρκετά μικρότερο από το SNR του L2C.



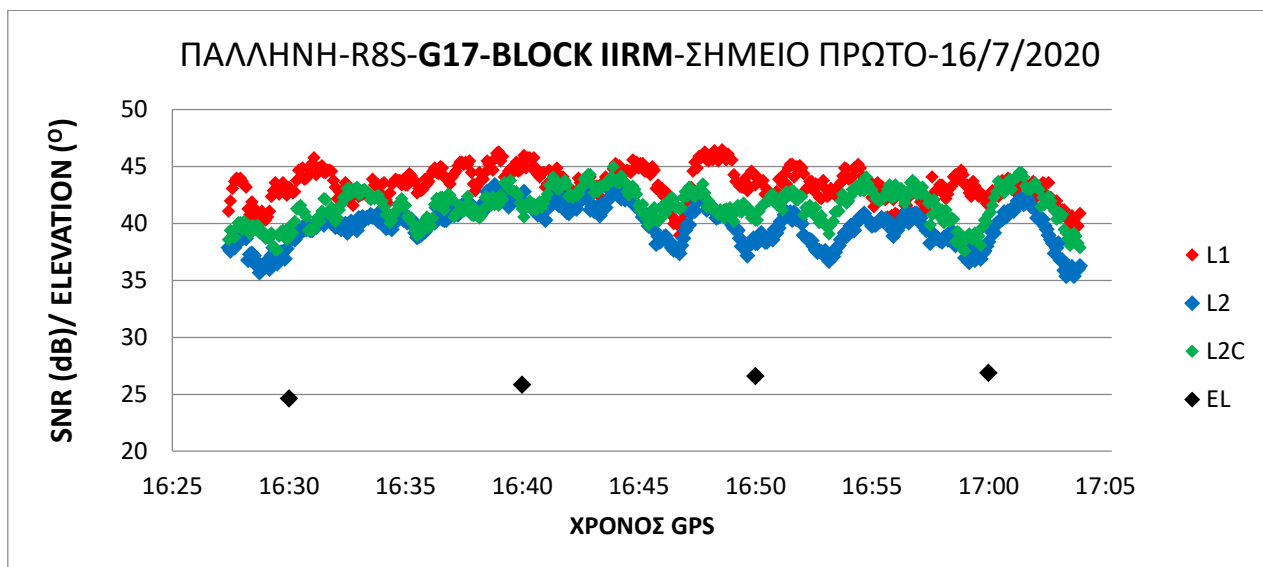
Διάγραμμα 3.15: Σημείο 1 - SNR δορυφόρου G04 στα σήματα L1, L2 και L2C

Στο Διάγραμμα 3.16 συγκρίνεται το SNR του δορυφόρου G09 για τα σήματα L1, L2 και L2C. Παρόλο που παρατηρείται ότι όλα τα σήματα έχουν διακυμανσεις το SNR του σήματος L2 είναι μικρότερο από το SNR του L2C.



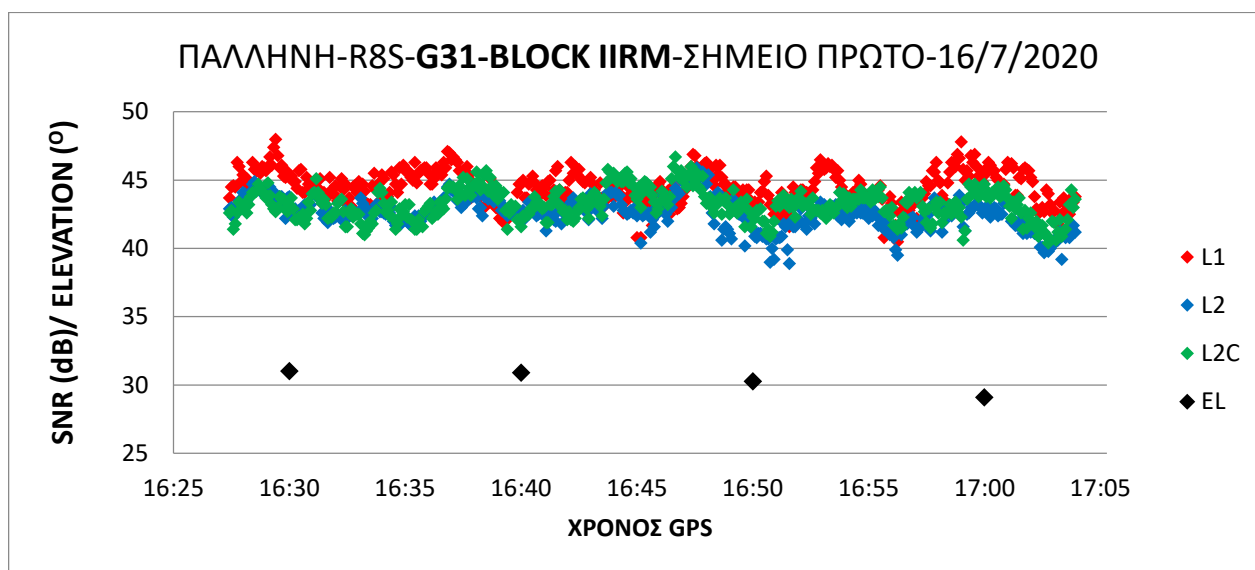
Διάγραμμα 3.16: Σημείο 1 - SNR δορυφόρου G09 στα σήματα L1, L2 και L2C

Στο Διάγραμμα 3.17 συγκρίνεται το SNR του δορυφόρου G17 για τα σήματα L1, L2 και L2C. Παρατηρείται ότι το SNR του σήματος L2 είναι μικρότερο από το SNR του L2C.



Διάγραμμα 3.17: Σημείο 1 - SNR δορυφόρου G17 στα σήματα L1, L2 και L2C

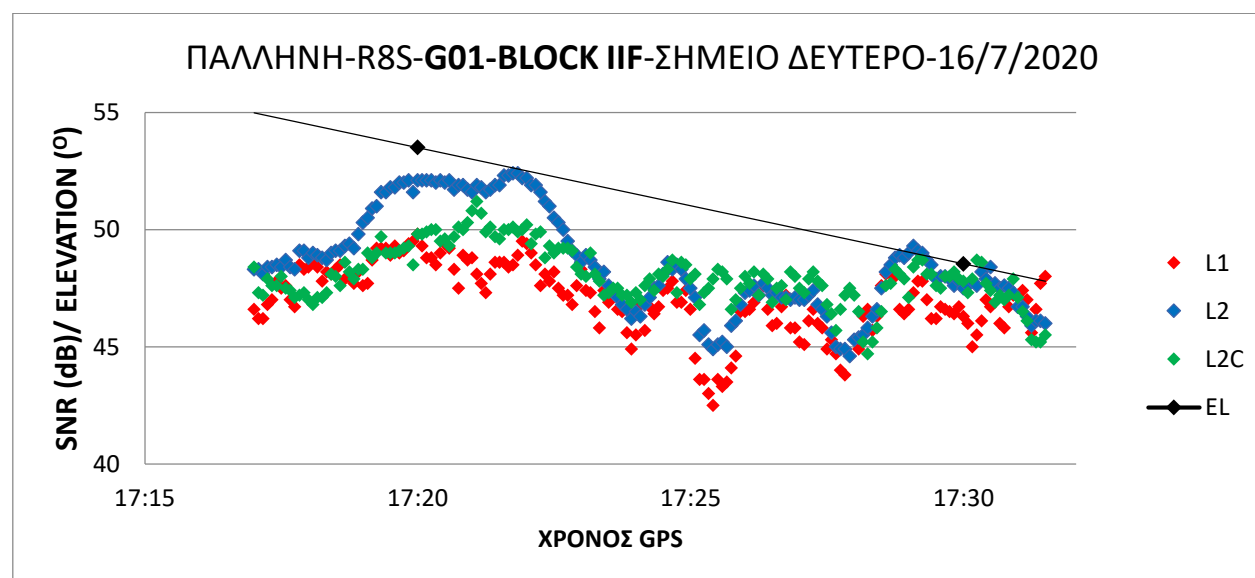
Στο Διάγραμμα 3.18 συγκρίνεται το SNR του δορυφόρου G31 για τα σήματα L1, L2 και L2C. Παρατηρείται ότι το SNR του σήματος L2 είναι ελάχιστα πιο μικρό από το SNR του L2C.



Διάγραμμα 3.18: Σημείο 1 - SNR δορυφόρου G31 στα σήματα L1, L2 και L2C

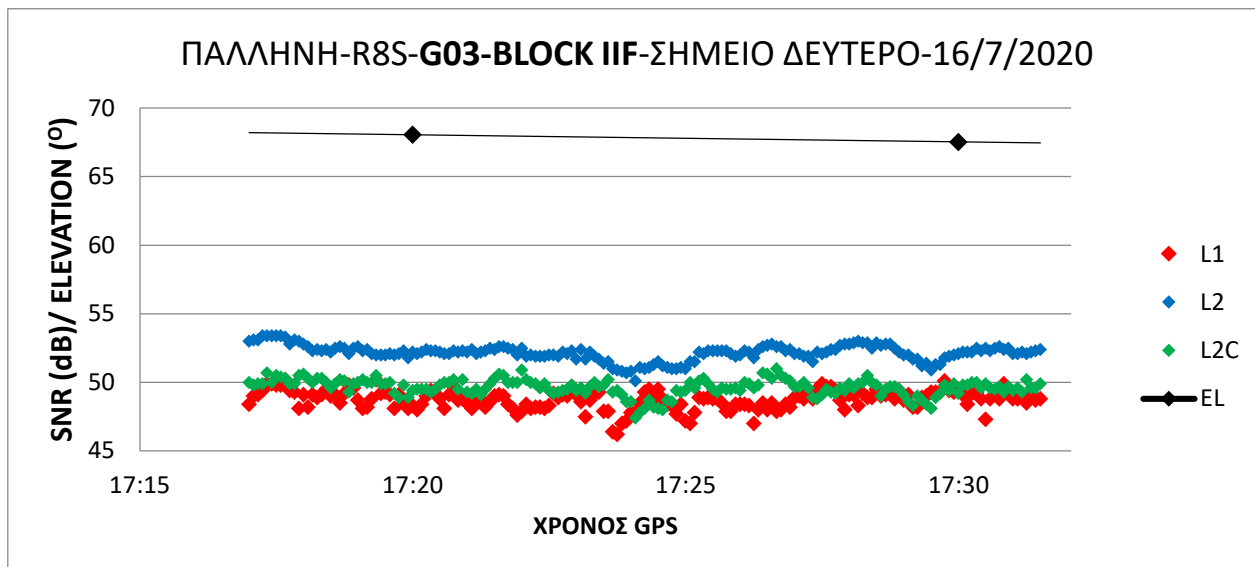
3.2.2.2 Σημείο 2

Στο Διάγραμμα 3.19 συγκρίνεται το SNR του δορυφόρου G01 για τα σήματα L1, L2 και L2C. Εδώ παρατηρείται ότι το SNR του σήματος L2 είναι μεγαλύτερο από το SNR του L2C όταν ο δορυφόρος βρίσκεται σε γωνία ύψους 53° αλλά αργότερα όταν βρίσκεται περίπου στις 48° το SNR του L2C είναι μεγαλύτερο.



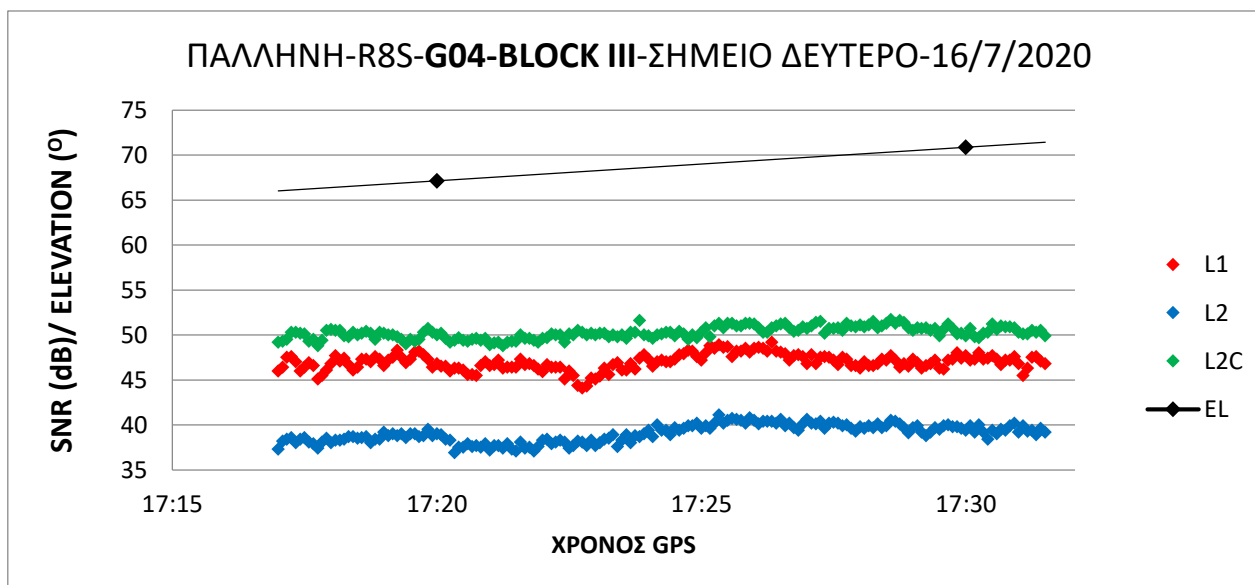
Διάγραμμα 3.19: Σημείο 2 - SNR δορυφόρου G01 στα σήματα L1, L2 και L2C

Στο Διάγραμμα 3.20 συγκρίνεται το SNR του δορυφόρου G03 για τα σήματα L1, L2 και L2C. Εδώ παρατηρείται ότι το SNR του σήματος L2 είναι αισθητά μεγαλύτερο από το SNR του L2C.



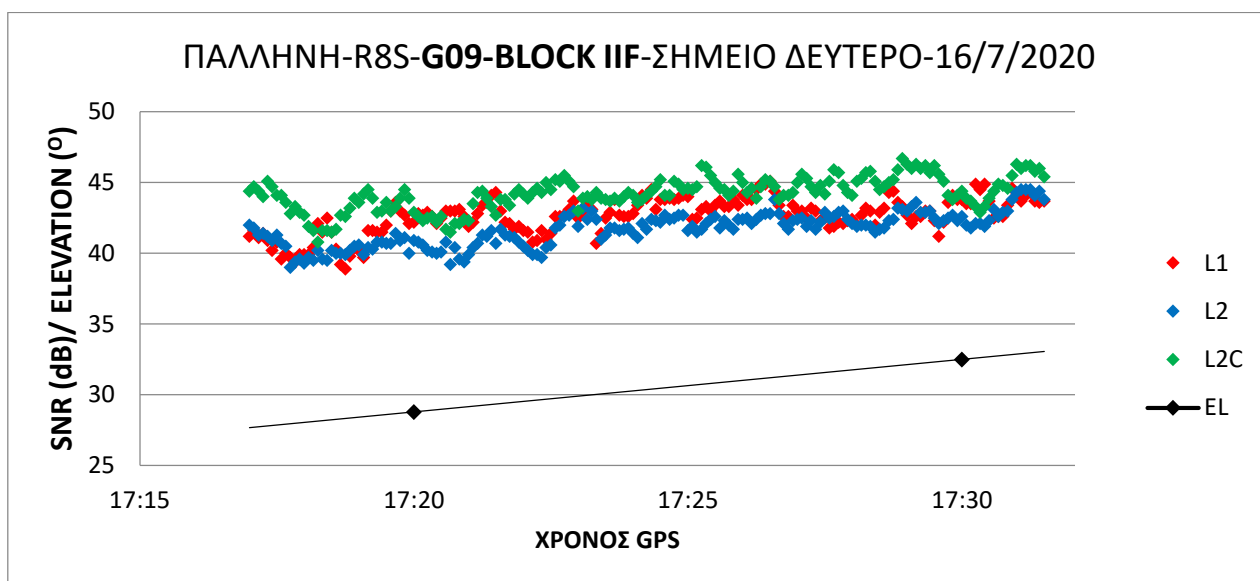
Διάγραμμα 3.20: Σημείο 2 - SNR δορυφόρου G03 στα σήματα L1, L2 και L2C

Στο Διάγραμμα 3.21 συγκρίνεται το SNR του δορυφόρου G04 για τα σήματα L1, L2 και L2C. Εδώ παρατηρείται ότι το SNR του σήματος L2 είναι αισθητά μικρότερο από το SNR του L2C.



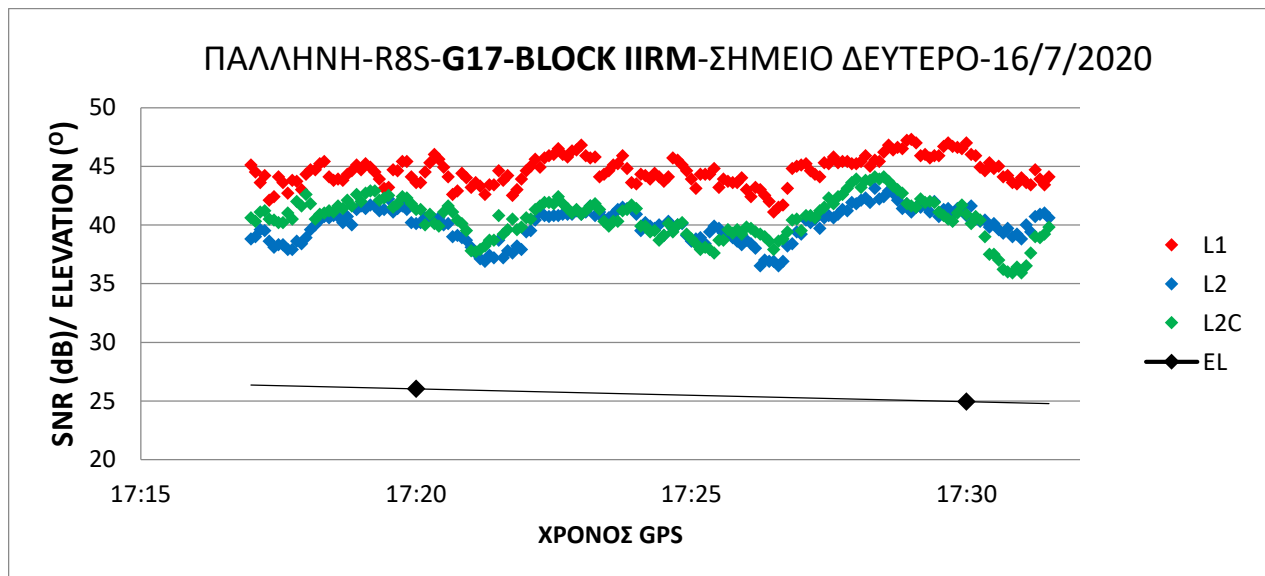
Διάγραμμα 3.21: Σημείο 2 - SNR δορυφόρου G04 στα σήματα L1, L2 και L2C

Στο Διάγραμμα 3.22 συγκρίνεται το SNR του δορυφόρου G09 για τα σήματα L1, L2 και L2C. Εδώ παρατηρείται ότι το SNR του σήματος L2C είναι οριακά μεγαλύτερο από το SNR του L2.



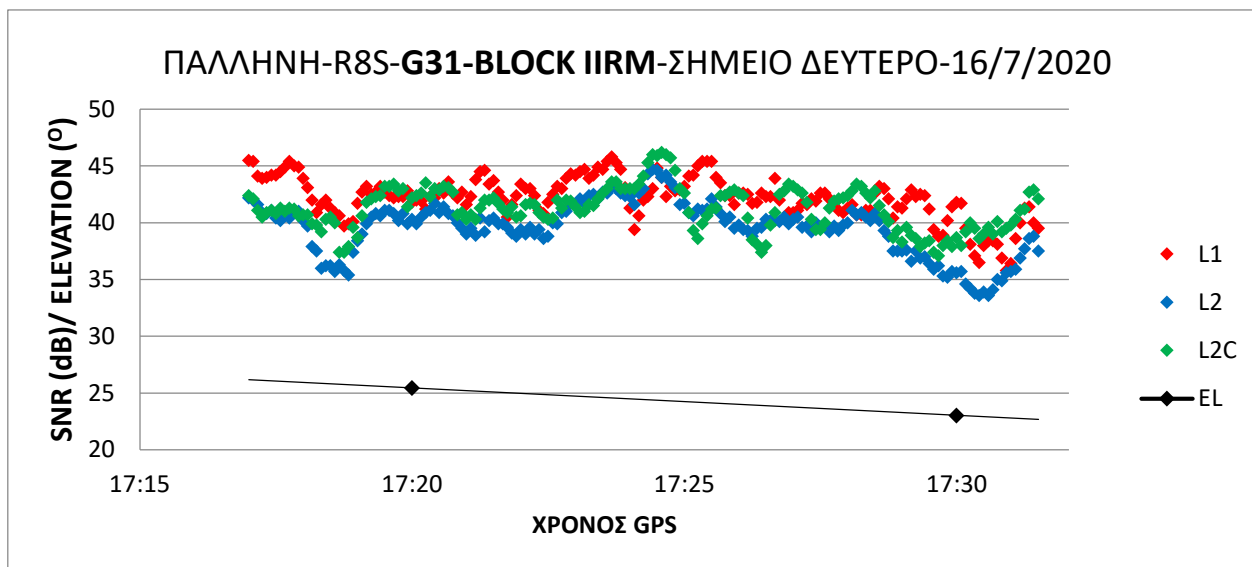
Διάγραμμα 3.22: Σημείο 2 - SNR δορυφόρου G09 στα σήματα L1, L2 και L2C

Στο Διάγραμμα 3.23 συγκρίνεται το SNR του δορυφόρου G17 για τα σήματα L1, L2 και L2C. Εδώ παρατηρείται ότι το SNR του σήματος L2C είναι περίπου το ίδιο με το SNR του L2.



Διάγραμμα 3.23: Σημείο 2 - SNR δορυφόρου G17 στα σήματα L1, L2 και L2C

Στο Διάγραμμα 3.24 συγκρίνεται το SNR του δορυφόρου G31 για τα σήματα L1, L2 και L2C. Εδώ παρατηρείται ότι το SNR του σήματος L2C είναι οριακά μεγαλύτερο από το SNR του L2.

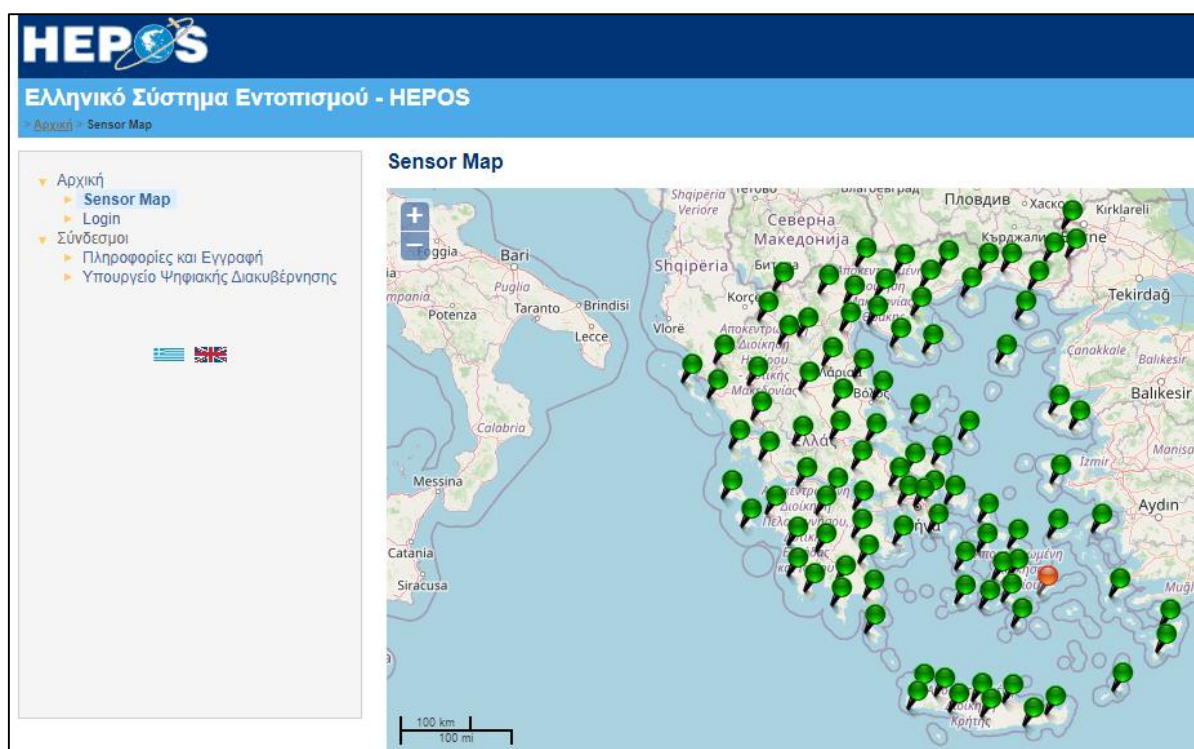


Διάγραμμα 3.24: Σημείο 2 - SNR δορυφόρου G31 στα σήματα L1, L2 και L2C

Με μια πρώτη ματιά στα διαγράμματα παρατηρείται πως το Galileo υπερέχει σε ισχύ έναντι του GPS. Και για τις δύο περιπτώσεις δηλαδή σύγκριση L1-E1 και L2-L2C-E5 τα σήματα του Galileo έχουν μεγαλύτερη ισχύ. Όπως φαίνεται και στα διαγράμματα τα σήματα του GPS εμφανίζουν μεγαλύτερες διακυμάνσεις κάτω από ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές. Επίσης παρατηρήθηκε κάτι που προκάλεσε μεγάλη εντύπωση. Αυτό ήταν πως σε κάποιες περιπτώσεις η συχνότητα L2 εμφάνιζε να έχει μεγαλύτερη ισχύ από την συχνότητα L2C κάτι το οποίο δεν ήταν αναμενόμενο. Για αυτό τον λόγο διερευνήθηκε περισσότερο με χρήση επιπρόσθετων δεδομένων που λήφθηκαν από δυο μόνιμους σταθμούς στην Ελλάδα (Ελευσίνα και Λάρισα), έναν στην Πορτογαλία (Λισαβόνα) κι έναν στην Βόρεια Αμερική (Οκλαχόμα) για την ίδια ημερομηνία που πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις στην περιοχή της Παλλήνης. Αξίζει να σημειωθεί πως επιλέχθηκαν δέκτες διαφορετικών κατασκευαστών για να αποκλειστεί το ενδεχόμενο πως τα αποτελέσματα προκαλούνται από συγκεκριμένες τεχνικές επεξεργασίας σήματος που χρησιμοποιεί ο κάθε κατασκευαστής. Στην περιοχή της Ελευσίνας χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα από το μόνιμο σταθμό 007A του δικτύου HEPOS ενώ στην Λάρισα χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα από το μόνιμο σταθμό LARM του δικτύου EUREF. Τα δεδομένα από την Πορτογαλία λήφθηκαν επίσης από το μόνιμο σταθμό CASC του δικτύου EUREF και τέλος τα δεδομένα από την Β. Αμερική λήφθηκαν από το μόνιμο σταθμό SGPO00USA του παγκοσμίου δικτύου IGS.

3.3 Ανάλυση δεδομένων σταθμού στην Ελευσίνα

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω για να προκύψουν περισσότερο αξιόπιστα συμπεράσματα λήφθηκαν δεδομένα και από άλλους μόνιμους σταθμούς των δικτύων HEPOS, EUREF και IGS. Το HEPOS (HEllenic POsitioning System) είναι το Ελληνικό Σύστημα Εντοπισμού το οποίο σχεδιάστηκε, υλοποιήθηκε και λειτουργείται από το Ελληνικό Κτηματολόγιο, για την παροχή υπηρεσιών προσδιορισμού θέσης, με υψηλή ακρίβεια, αξιοποιώντας τα δορυφορικά συστήματα εντοπισμού (GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou) (Gianniou, M., Mastoris, D., & Mitropoulou, E. (2022), National Report of Greece to EUREF 2022. In EUREF 2022 Symposium.). Το σύστημα αποτελείται από 98 μόνιμους σταθμούς αναφοράς, κατανεμημένους σε ολόκληρη τη χώρα για αυτό κι έχει πανελλαδική κάλυψη όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.11.



Εικόνα 3.11: Η ιστοσελίδα του HEPOS και το δίκτυο μόνιμων σταθμών σε όλη την Ελλάδα.
(Πηγή: <https://www.hepos.gr/Map/SensorMap.aspx>)

Στην περιοχή της Ελευσίνας τα δεδομένα λήφθηκαν από τον μόνιμο σταθμό αναφοράς με κωδικό όνομα 007A. Από το αρχείο RINEX εντοπίστηκαν τα στοιχεία που αφορούν τον δέκτη και την κεραία που χρησιμοποιούνται. Ο δέκτης είναι Trimble Alloy (βλέπε Εικόνα 3.12) και χρησιμοποιεί την κεραία Trimble Zephyr Geodetic 3 (βλέπε Εικόνα 3.13). Πρόκειται για έναν δέκτη που έχει δημιουργηθεί με τέτοιο τρόπο που τον καθιστά εύκολο στην διαμόρφωση, στην ανάπτυξη και να αντέχει στο χρόνο και σε οποιοδήποτε περιβάλλον. Παρέχει εύκολη πρόσβαση και μεταφορά δεδομένων εφόσον υποστηρίζει Ethernet και Wi-Fi. Οι πολλαπλές θύρες είναι εύκολα προσβάσιμες χωρίς την ανάγκη προσαρμογών που καθιστά εύκολη τη σύνδεση μιας ποικιλίας εξωτερικών αισθητήρων και κεραιών. Επίσης περιλαμβάνει λογισμικό εφ' όρου ζωής, ώστε να διατηρείται ο δέκτης ενημερωμένος με τις πιο πρόσφατες δυνατότητες, βελτιώσεις και ενημερώσεις ασφαλείας. Τέλος λαμβάνει GPS, GLONASS, BeiDou αλλά και Galileo. Η κεραία Trimble Zephyr Geodetic 3 υποστηρίζει GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou, QZSS και NavIC. Διαθέτει ισχυρή δορυφορική παρακολούθηση χαμηλού υψομέτρου με βελτιωμένη λήψη σήματος σε σκληρά περιβάλλοντα σήματος καθώς και ελαχιστοποιεί το φαινόμενο των σημάτων πολλαπλών διαδρομών (multipath).



Εικόνα 3.12: Ο δέκτης Trimble Alloy
(Πηγή: <https://geospatial.trimble.com/>)

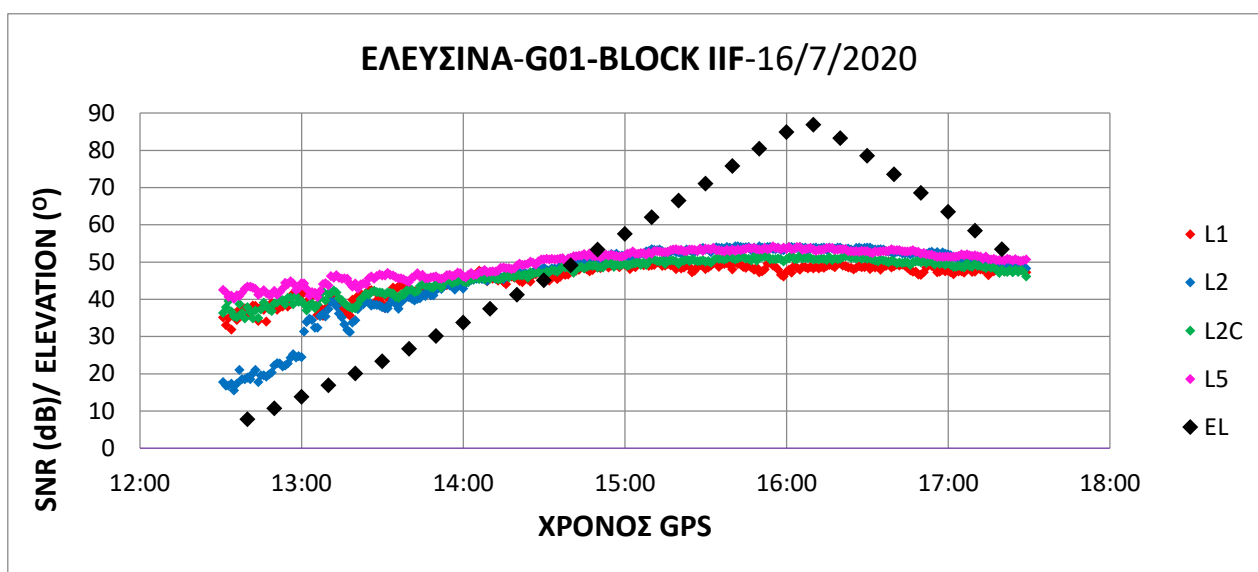


Εικόνα 3.13: Η κεραία Trimble Zephyr Geodetic 3
(Πηγή: <https://geospatial.trimble.com/>)

3.3.1 Σύγκριση σημάτων GPS

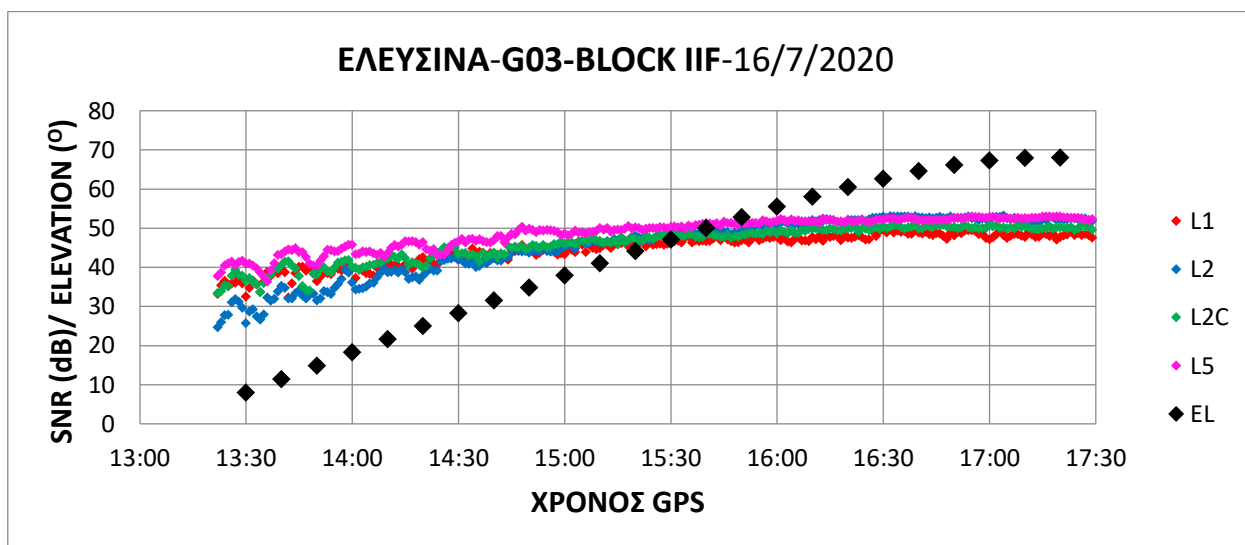
Παρακάτω φαίνονται τα διαγράμματα που δημιουργήθηκαν από τα δεδομένα του μόνιμου σταθμού Trimble Alloy στην Ελευσίνα ο οποίος λαμβάνει τα σήματα L1, L2, L2C, L5, E1 και E5.

Στο Διάγραμμα 3.25 συγκρίνεται το SNR του δορυφόρου G01 για τα σήματα L1, L2, L2C και L5. Παρατηρείται ότι το SNR του σήματος L5 είναι το μεγαλύτερο από όλα. Για το σήμα L2 ενώ στην αρχή που είναι σε χαμηλό ύψος ο δορυφόρος το SNR του είναι το χαμηλότερο, αργότερα όταν το ύψος του δορυφόρου ξεπεράσει περίπου τις 50° τότε έχει μεγαλύτερο SNR από του L2C και ανταγωνίζεται το SNR του L5.



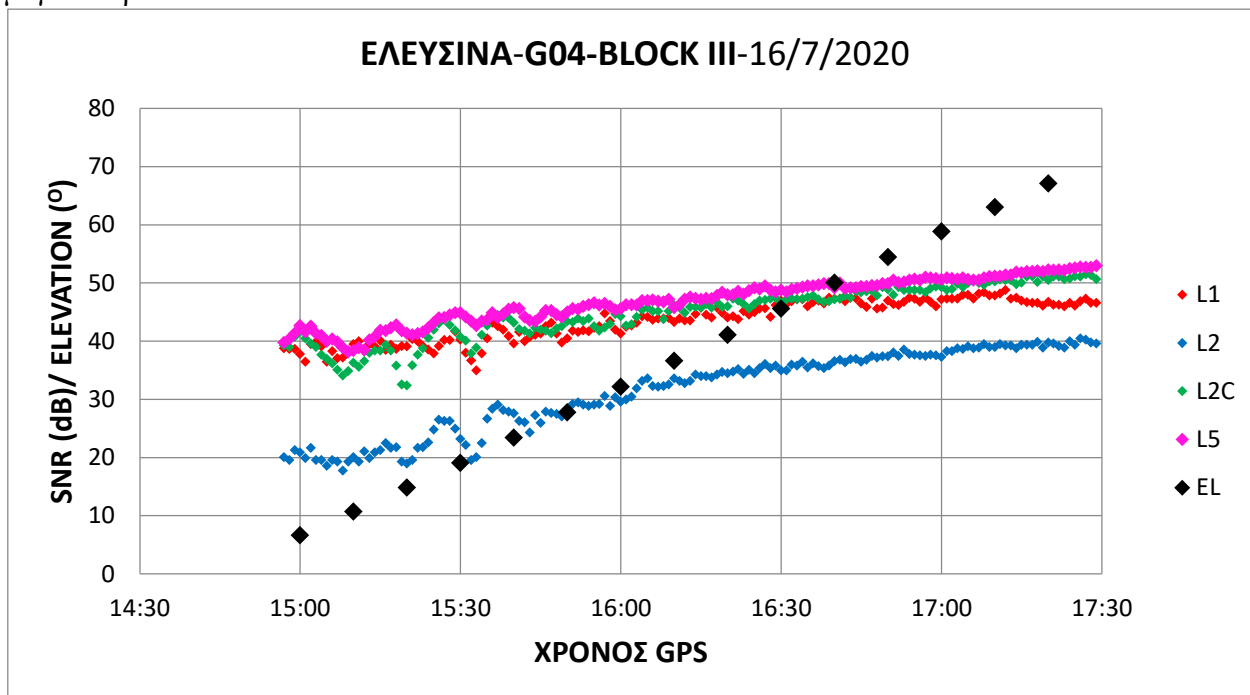
Διάγραμμα 3.25: Ελευσίνα - SNR δορυφόρου G01 στα σήματα L1, L2, L2C και L5

Στο Διάγραμμα 3.26 συγκρίνεται το SNR του δορυφόρου G03 για τα σήματα L1, L2, L2C και L5. Κι εδώ παρατηρείται ότι το SNR του σήματος L5 είναι το μεγαλύτερο από όλα καθώς και για το σήμα L2 ότι αφού το ύψος του δορυφόρου ξεπεράσει περίπου τις 50° τότε έχει μεγαλύτερο SNR από του L2C και ανταγωνίζεται το SNR του L5.



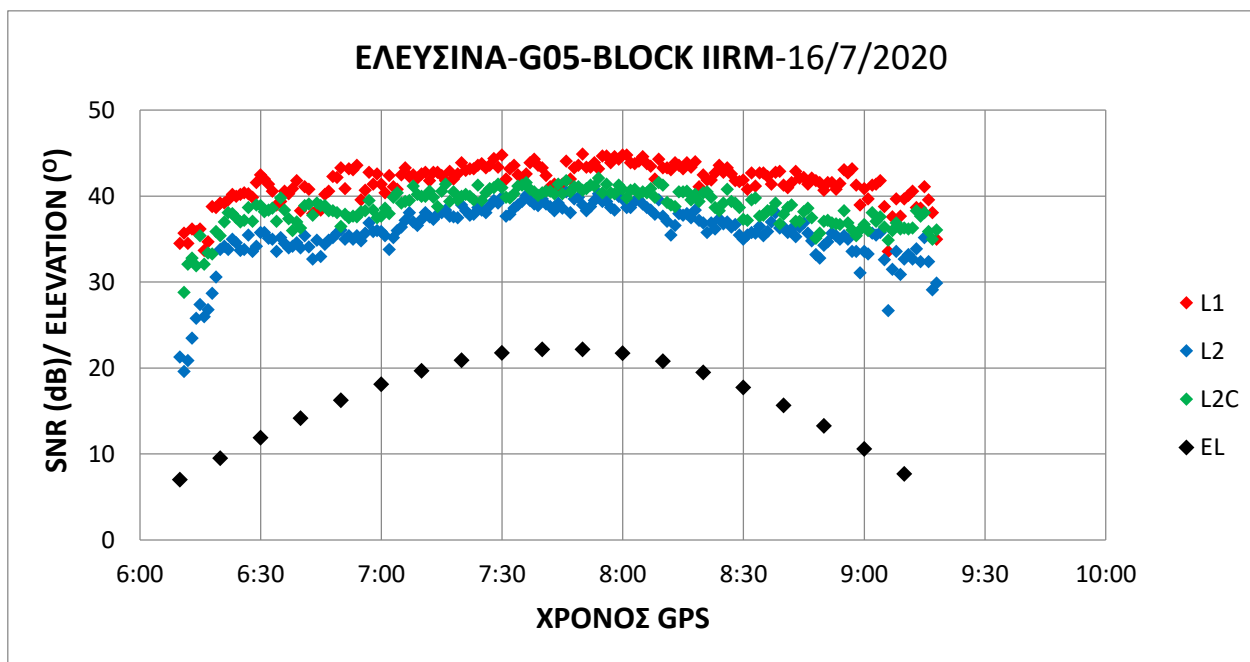
Διάγραμμα 3.26: Ελευσίνα - SNR δορυφόρου G03 στα σήματα L1, L2, L2C και L5

Στο Διάγραμμα 3.27 συγκρίνεται το SNR του δορυφόρου G04 για τα σήματα L1, L2, L2C και L5. Παρατηρείται ότι το SNR του σήματος L5 είναι το μεγαλύτερο από όλα. Το SNR του L2C είναι μεγαλύτερο κατά πολύ από αυτό του L2.



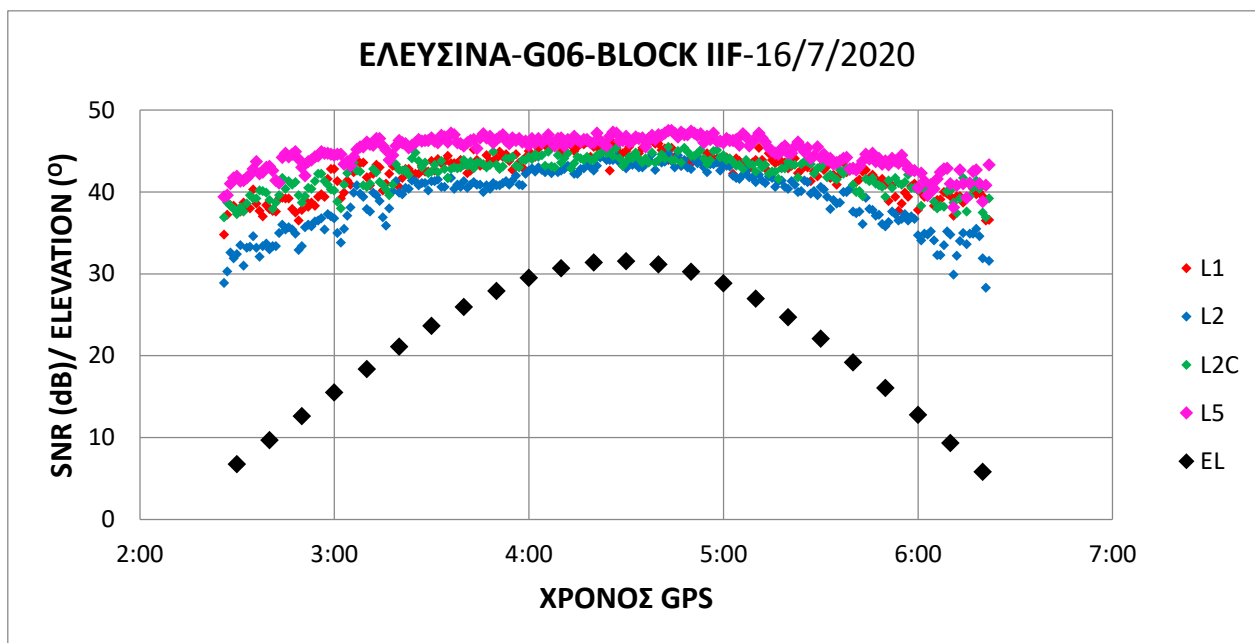
Διάγραμμα 3.27: Ελευσίνα - SNR δορυφόρου G04 στα σήματα L1, L2, L2C και L5

Στο Διάγραμμα 3.28 συγκρίνεται το SNR του δορυφόρου G05 για τα σήματα L1, L2 και L2C. Παρατηρείται ότι το SNR του L2C είναι μεγαλύτερο από αυτό του L2.



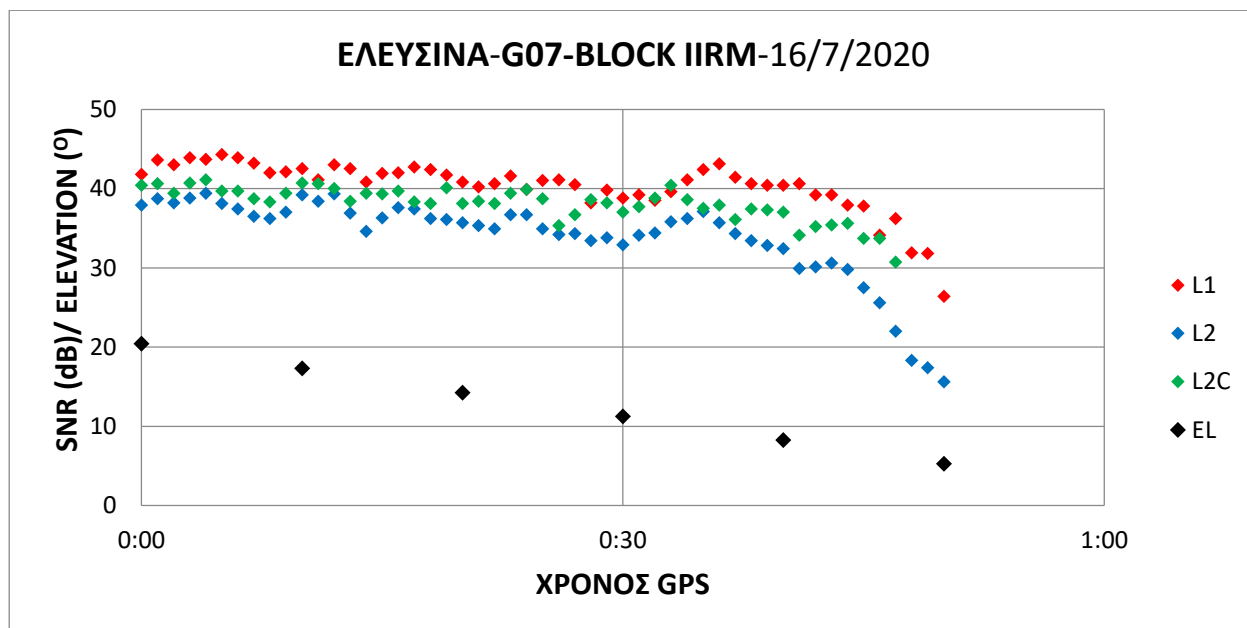
Διάγραμμα 3.28: Ελευσίνα - SNR δορυφόρου G05 στα σήματα L1, L2 και L2C

Στο Διάγραμμα 3.29 συγκρίνεται το SNR του δορυφόρου G06 για τα σήματα L1, L2, L2C και L5. Παρατηρείται ότι το SNR του L5 είναι μεγαλύτερο από όλα και το SNR του L2C είναι μεγαλύτερο από αυτό του L2.



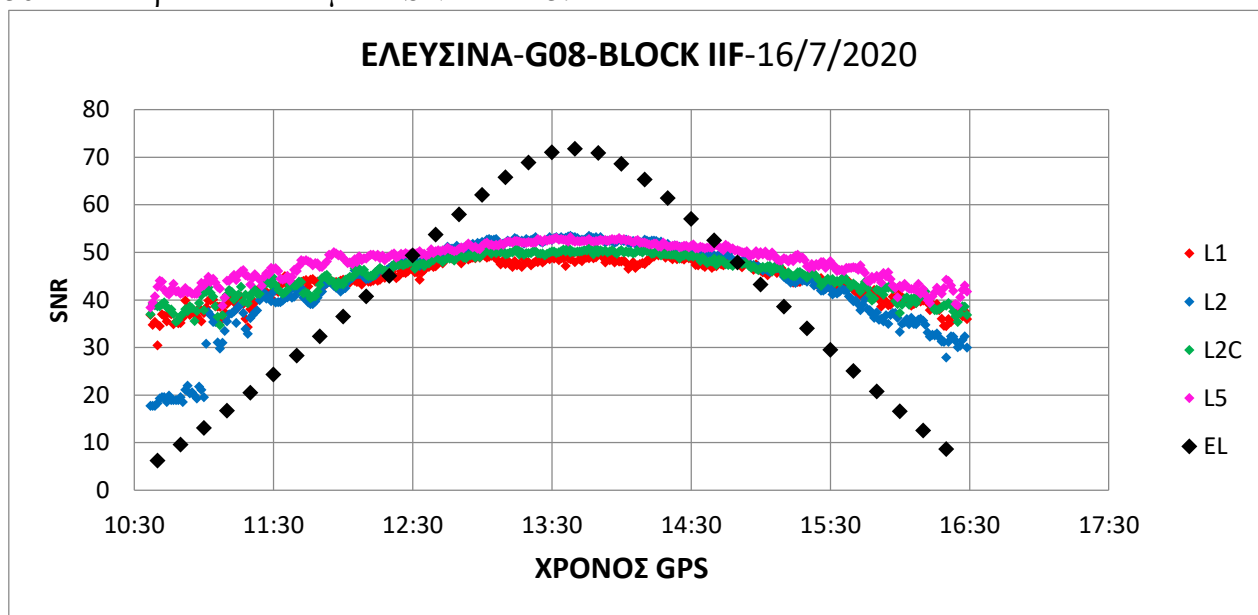
Διάγραμμα 3.29: Ελευσίνα - SNR δορυφόρου G06 στα σήματα L1, L2, L2C και L5

Στο Διάγραμμα 3.30 συγκρίνεται το SNR του δορυφόρου G07 για τα σήματα L1, L2 και L2C. Παρατηρείται ότι το SNR του L2 είναι χαμηλότερο από όλα.



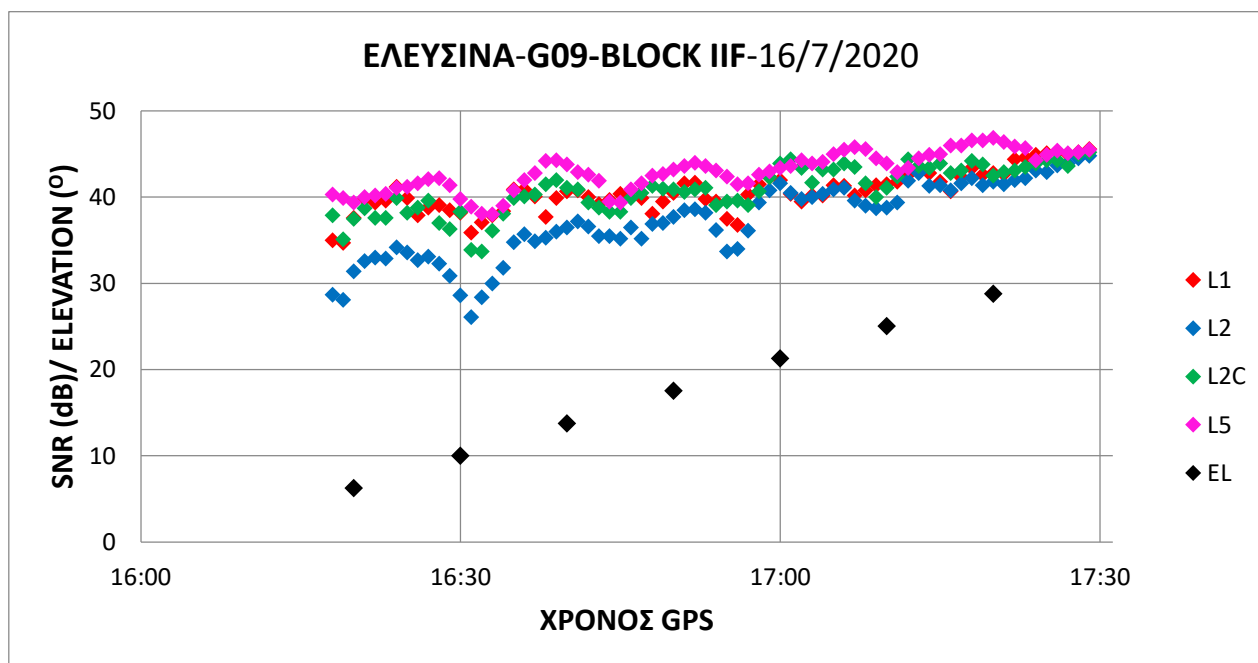
Διάγραμμα 3.30: Ελευσίνα - SNR δορυφόρου G07 στα σήματα L1, L2 και L2C

Στο Διάγραμμα 3.31 συγκρίνεται το SNR του δορυφόρου G08 για τα σήματα L1, L2, L2C και L5. Παρατηρείται ότι το SNR του L5 είναι μεγαλύτερο από όλα και το SNR του L2 για ύψος πάνω από 50° είναι περίπου το ίδιο με το SNR του L5.



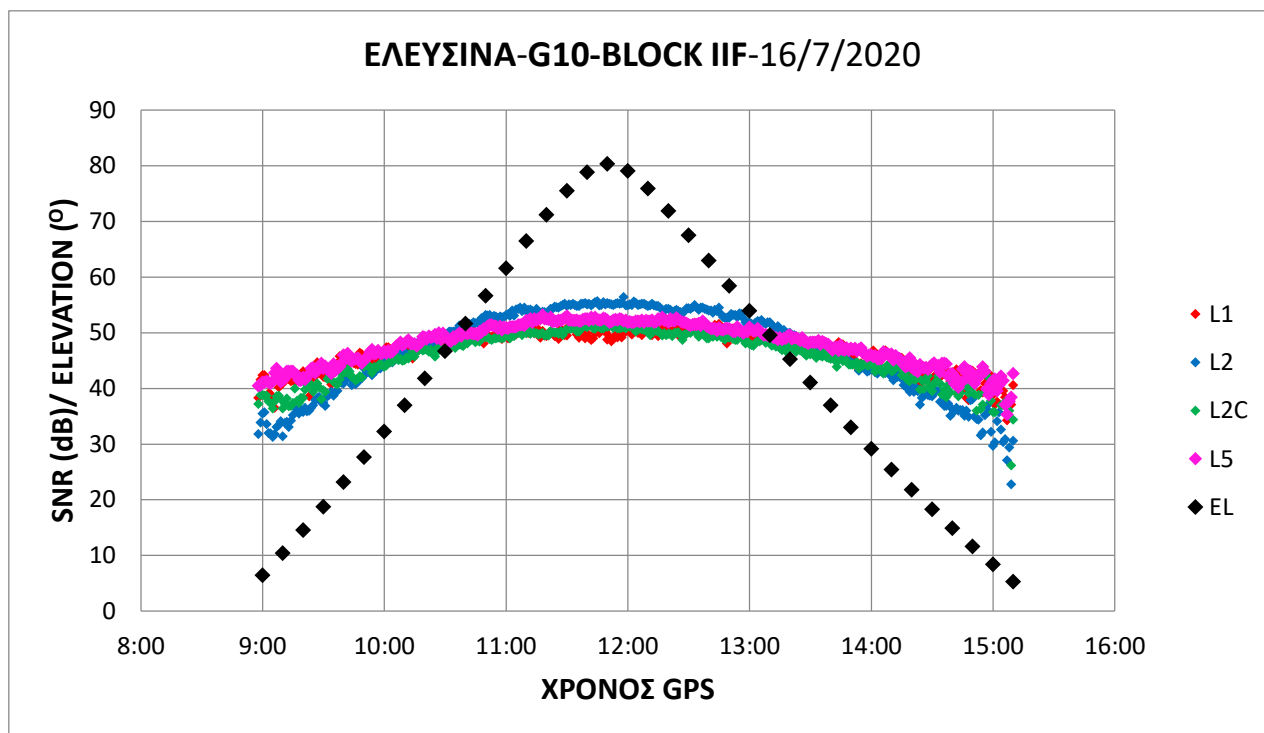
Διάγραμμα 3.31: Ελευσίνα - SNR δορυφόρου G08 στα σήματα L1, L2, L2C και L5

Στο Διάγραμμα 3.32 συγκρίνεται το SNR του δορυφόρου G09 για τα σήματα L1, L2, L2C και L5. Παρατηρείται ότι το SNR του L5 είναι μεγαλύτερο από όλα και το SNR του L2 είναι το μικρότερο.



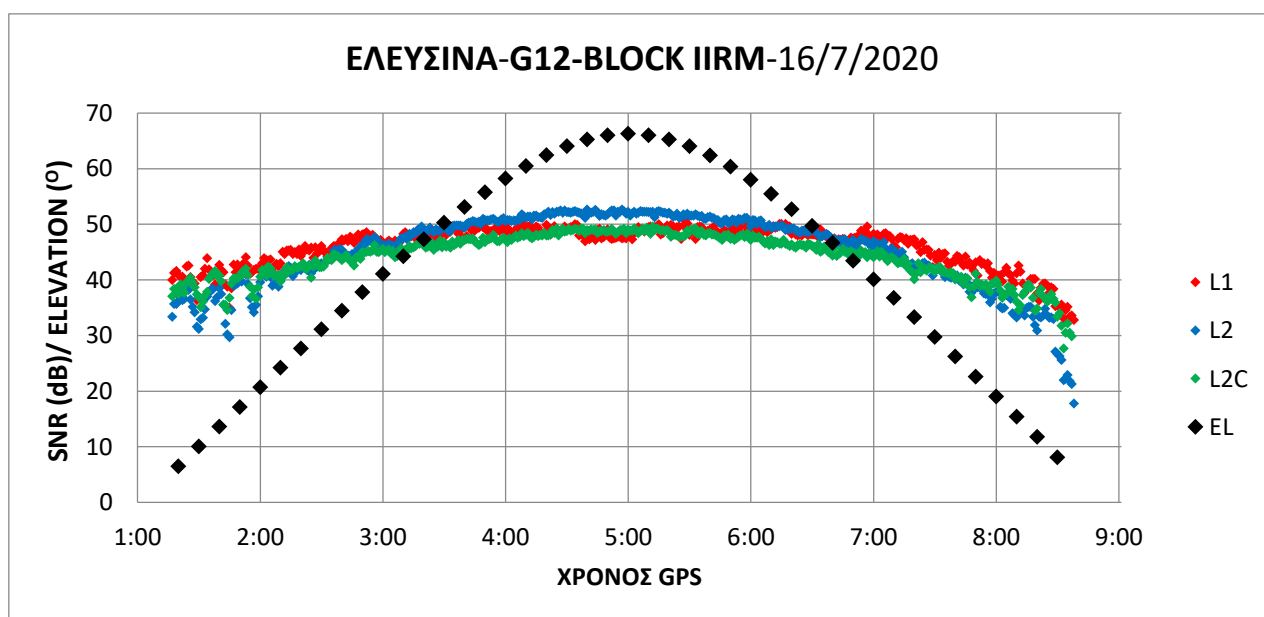
Διάγραμμα 3.32: Ελευσίνα - SNR δορυφόρου G09 στα σήματα L1, L2, L2C και L5

Στο Διάγραμμα 3.33 συγκρίνεται το SNR του δορυφόρου G10 για τα σήματα L1, L2, L2C και L5. Παρατηρείται ότι το SNR του L2 είναι μεγαλύτερο από όλα αλλά μόνο για το ύψος δορυφόρου που βρίσκεται πάνω από 50°.



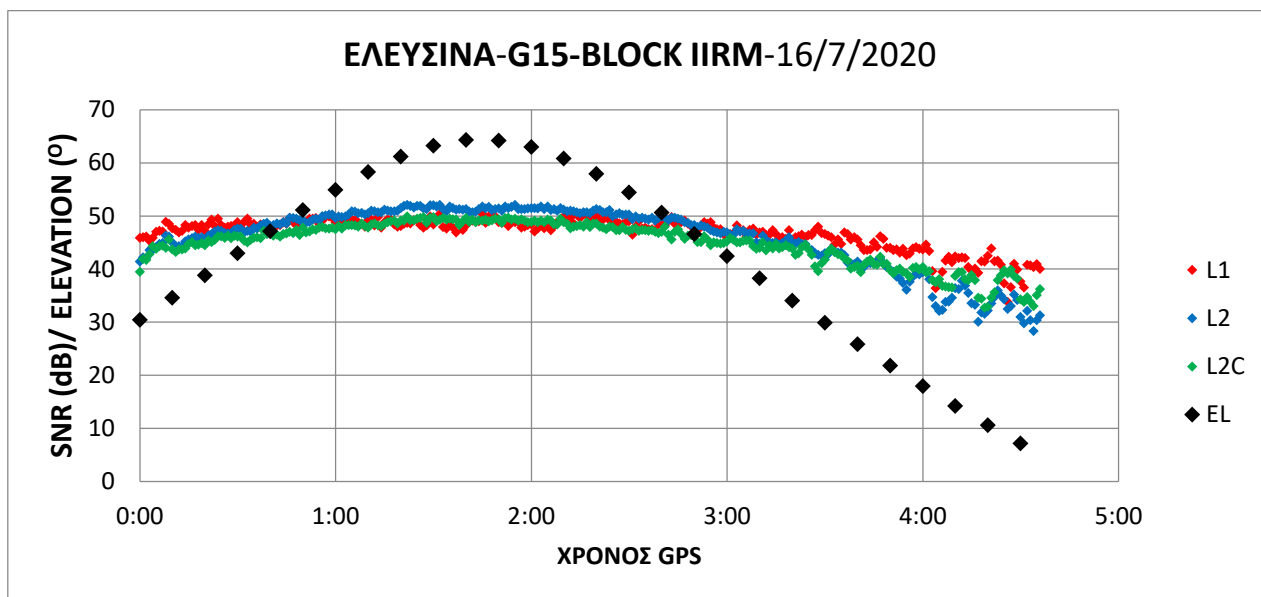
Διάγραμμα 3.33: Ελευσίνα - SNR δορυφόρου G10 στα σήματα L1, L2, L2C και L5

Στο Διάγραμμα 3.34 συγκρίνεται το SNR του δορυφόρου G12 για τα σήματα L1, L2 και L2C. Παρατηρείται ότι το SNR του L2 είναι μεγαλύτερο από όλα αλλά μόνο για το ύψος δορυφόρου που βρίσκεται πάνω από 50°.



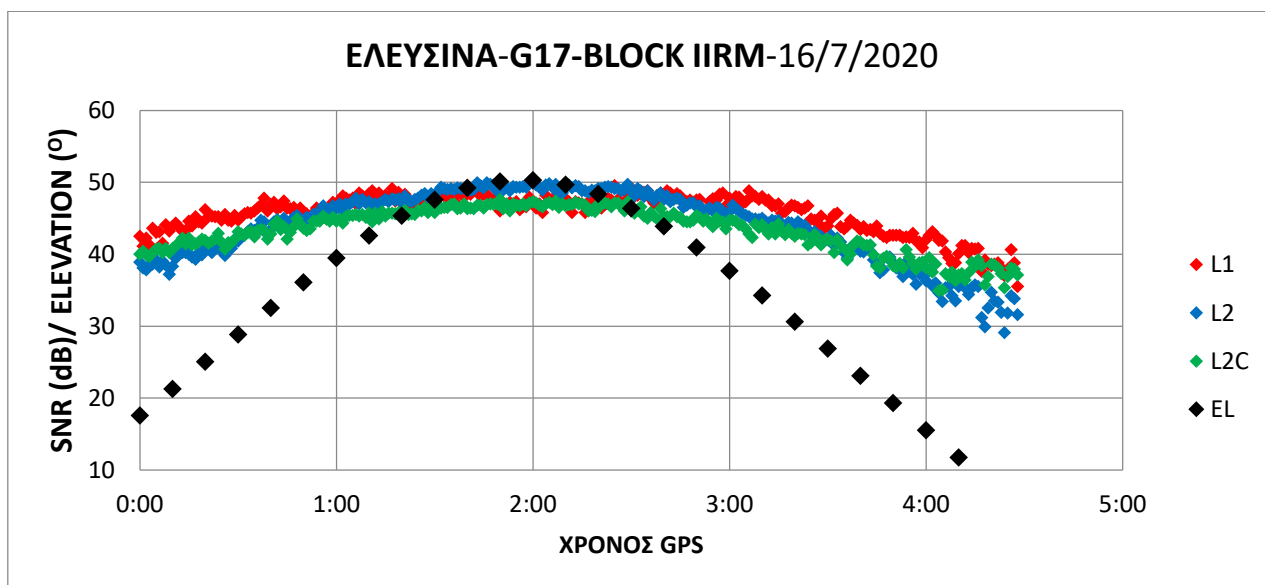
Διάγραμμα 3.34: Ελευσίνα - SNR δορυφόρου G12 στα σήματα L1, L2 και L2C

Στο Διάγραμμα 3.35 συγκρίνεται το SNR του δορυφόρου G15 για τα σήματα L1, L2 και L2C. Παρατηρείται ότι το SNR του L2 είναι μεγαλύτερο από όλα αλλά μόνο για το ύψος δορυφόρου που βρίσκεται πάνω από 50°.



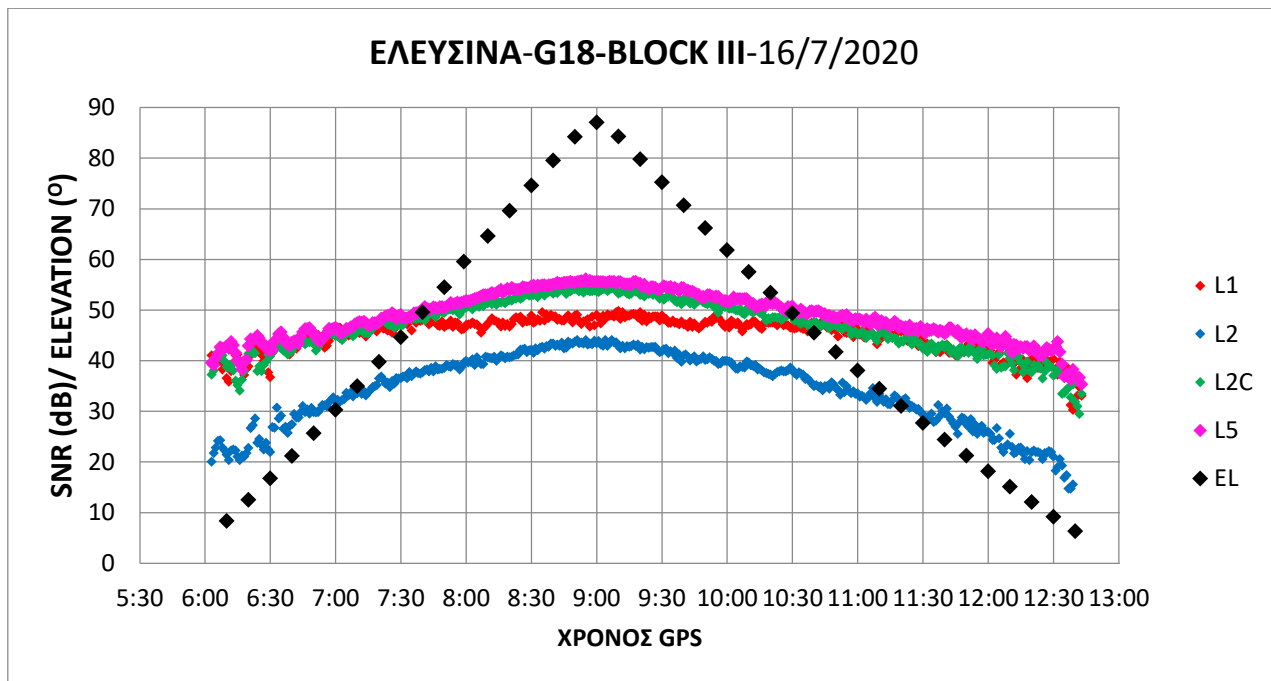
Διάγραμμα 3.35: Ελευσίνα - SNR δορυφόρου G15 στα σήματα L1, L2 και L2C

Στο Διάγραμμα 3.36 συγκρίνεται το SNR του δορυφόρου G17 για τα σήματα L1, L2 και L2C. Παρατηρείται ότι το SNR του L2 είναι μεγαλύτερο από το SNR του L2C αλλά μόνο για το ύψος δορυφόρου που βρίσκεται πάνω από 45°.



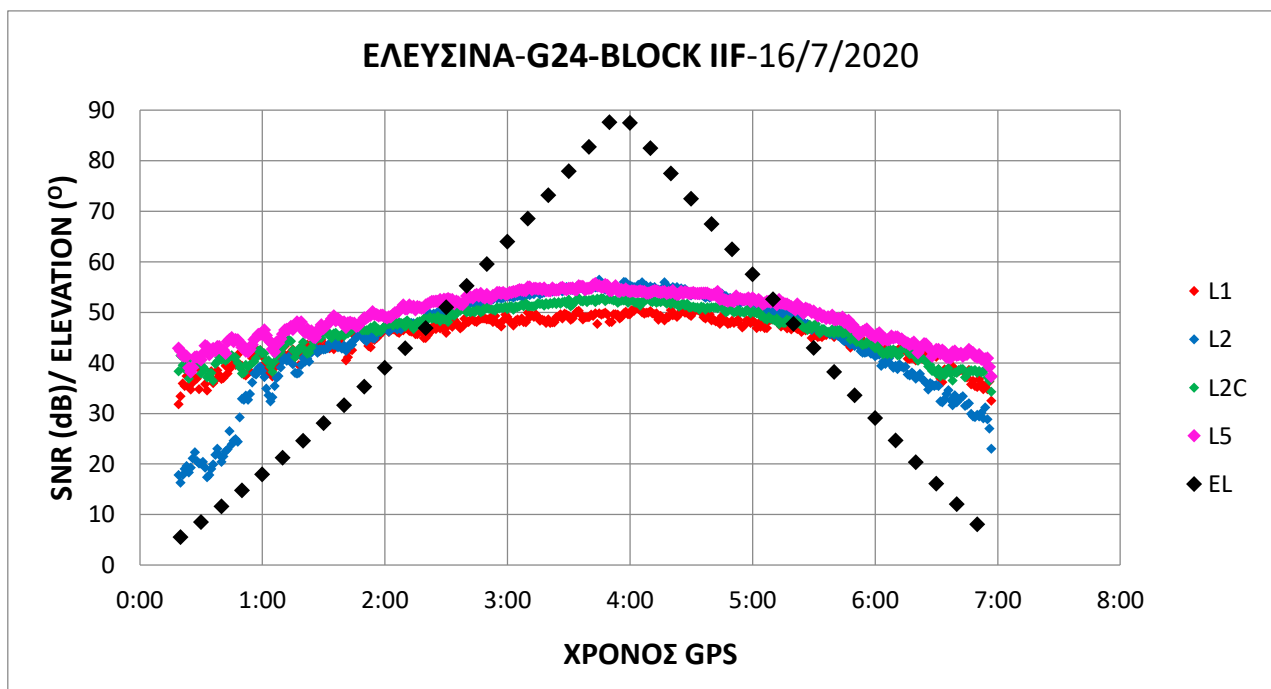
Διάγραμμα 3.36: Ελευσίνα - SNR δορυφόρου G17 στα σήματα L1, L2 και L2C

Στο Διάγραμμα 3.37 συγκρίνεται το SNR του δορυφόρου G18 για τα σήματα L1, L2, L2C και L5. Παρατηρείται ότι το SNR του L2 είναι το χαμηλότερο κατά πολύ ενώ το SNR του L5 είναι το μεγαλύτερο από όλα.



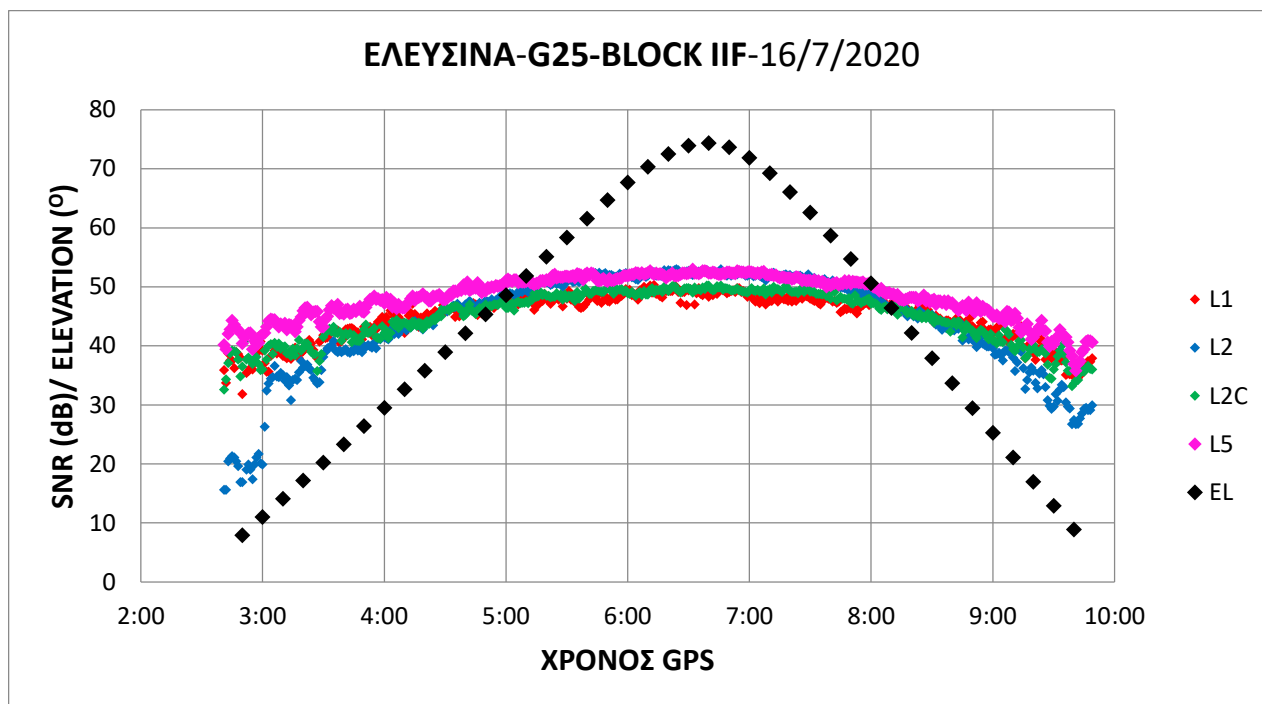
Διάγραμμα 3.37: Ελευσίνα - SNR δορυφόρου G18 στα σήματα L1, L2, L2C και L5

Στο Διάγραμμα 3.38 συγκρίνεται το SNR του δορυφόρου G24 για τα σήματα L1, L2, L2C και L5. Παρατηρείται ότι το SNR του L5 είναι μεγαλύτερο από όλα και το SNR του L2 για ύψος πάνω από 50° είναι περίπου το ίδιο με το SNR του L5.



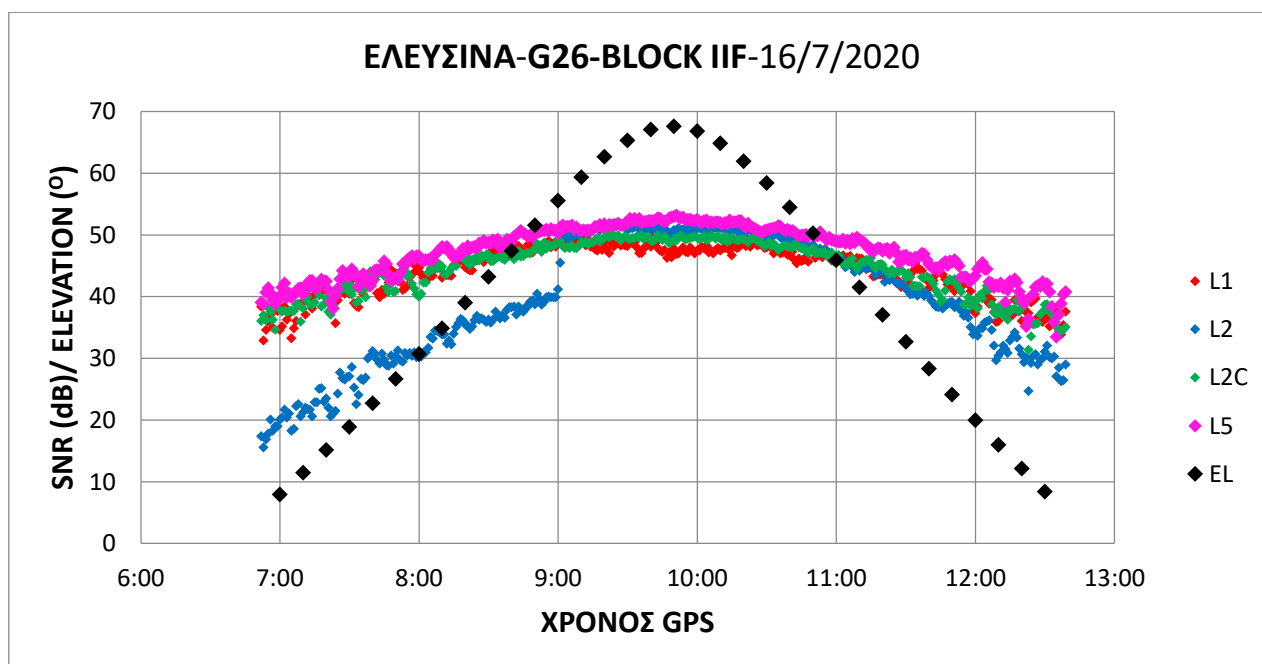
Διάγραμμα 3.38: Ελευσίνα - SNR δορυφόρου G24 στα σήματα L1, L2, L2C και L5

Στο Διάγραμμα 3.39 συγκρίνεται το SNR του δορυφόρου G25 για τα σήματα L1, L2, L2C και L5. Παρατηρείται ότι το SNR του L5 είναι μεγαλύτερο από όλα και το SNR του L2 για ύψος πάνω από 50° είναι περίπου το ίδιο με το SNR του L5.



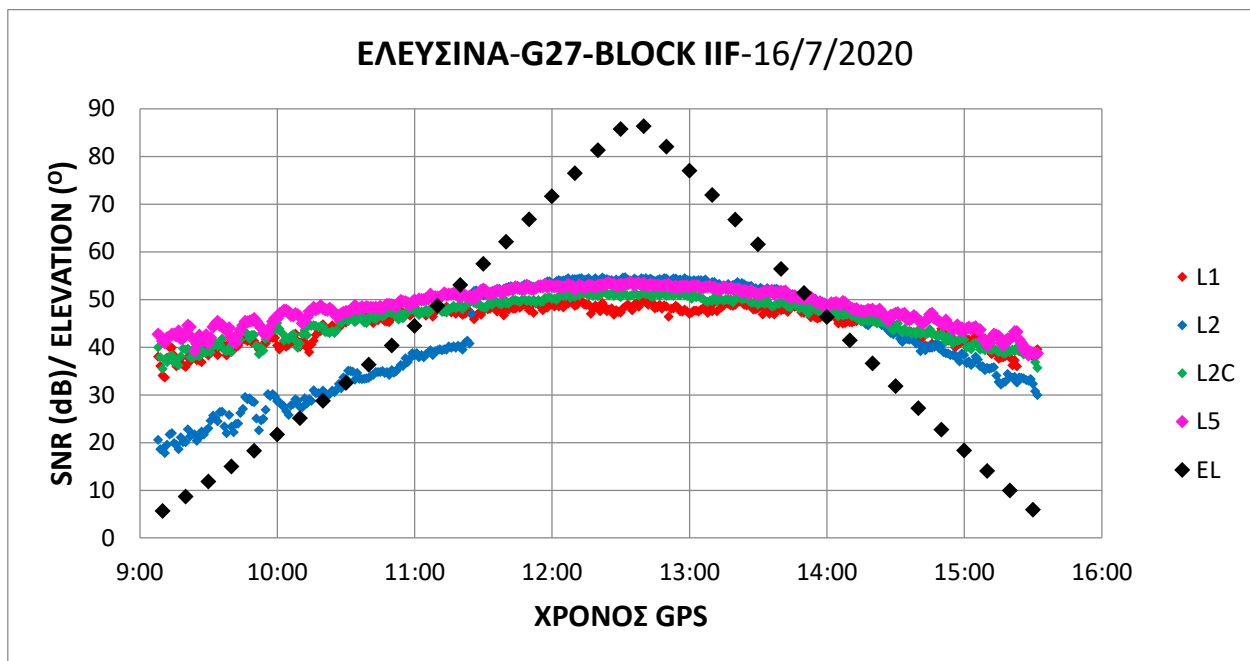
Διάγραμμα 3.39: Ελευσίνα - SNR δορυφόρου G25 στα σήματα L1, L2, L2C και L5

Στο Διάγραμμα 3.40 συγκρίνεται το SNR του δορυφόρου G26 για τα σήματα L1, L2, L2C και L5. Εδώ παρατηρείται κάτι αρκετά αξιοπερίεργο με το σήμα του L2. Ενώ έχει το μικρότερο SNR στην αρχή όταν ο δορυφόρος ξεπεράσει σε ύψος τις 40° το SNR του L2 εκτοξεύεται κατακόρυφα και ξεπερνά το SNR των υπόλοιπων σημάτων εκτός του L5.



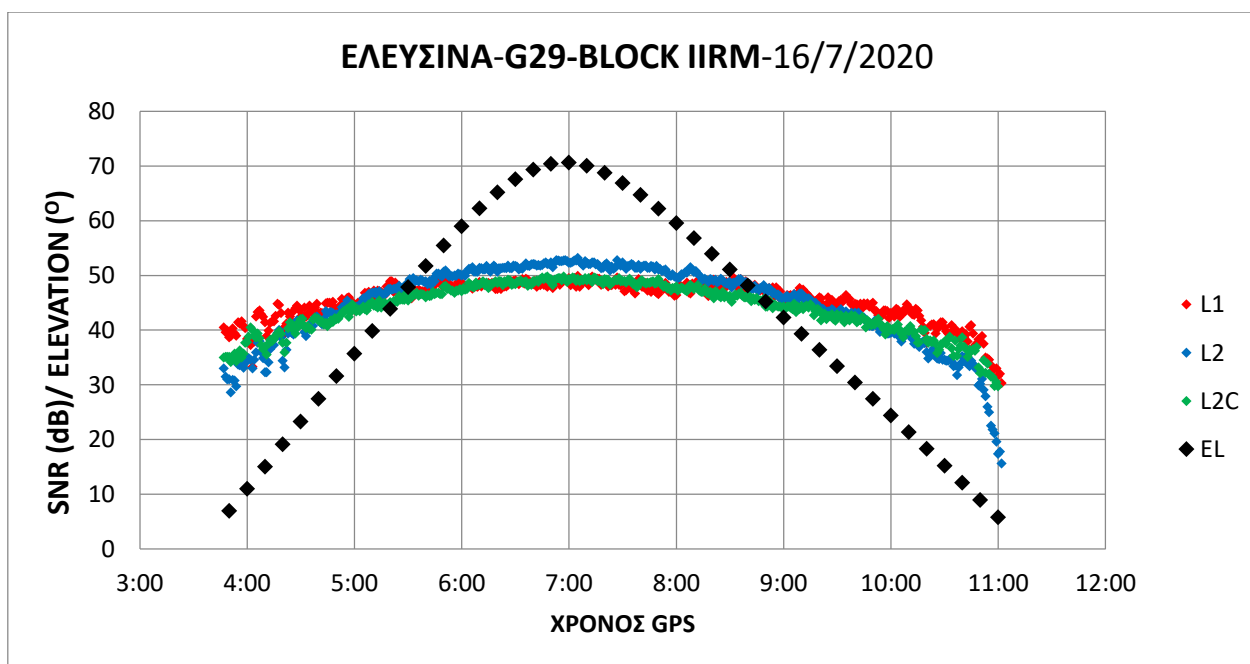
Διάγραμμα 3.40: Ελευσίνα - SNR δορυφόρου G26 στα σήματα L1, L2, L2C και L5

Στο Διάγραμμα 3.41 συγκρίνεται το SNR του δορυφόρου G27 για τα σήματα L1, L2, L2C και L5. Εδώ παρατηρείται το ίδιο με το προηγούμενο διάγραμμα. Ενώ έχει το μικρότερο SNR στην αρχή όταν ο δορυφόρος ξεπεράσει σε ύψος τις 40° το SNR του L2 εκτοξεύεται κατακόρυφα και ξεπερνά το SNR των υπόλοιπων σημάτων.



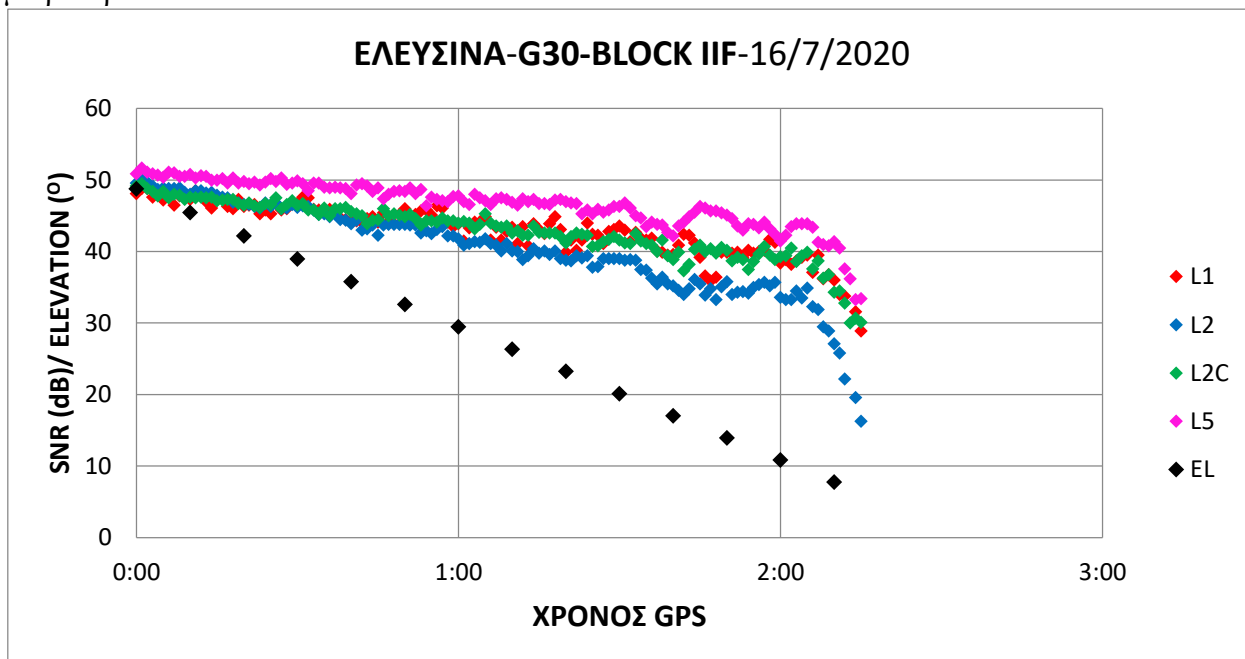
Διάγραμμα 3.41: Ελευσίνα - SNR δορυφόρου G27 στα σήματα L1, L2, L2C και L5

Στο Διάγραμμα 3.42 συγκρίνεται το SNR του δορυφόρου G29 για τα σήματα L1, L2 και L2C. Παρατηρείται ότι το SNR του L2 είναι μεγαλύτερο από όλα αλλά μόνο για το ύψος δορυφόρου που βρίσκεται πάνω από 45°.



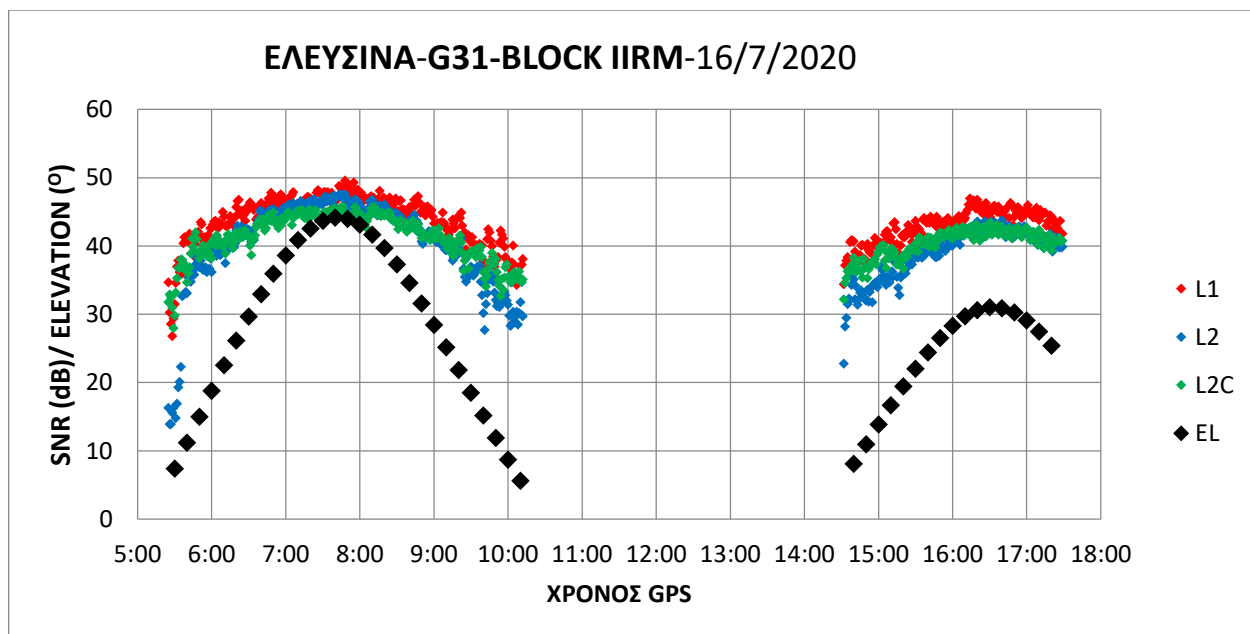
Διάγραμμα 3.42: Ελευσίνα - SNR δορυφόρου G29 στα σήματα L1, L2 και L2C

Στο Διάγραμμα 3.43 συγκρίνεται το SNR του δορυφόρου G30 για τα σήματα L1, L2, L2C και L5. Παρατηρείται ότι το SNR του L5 είναι μεγαλύτερο από όλα ενώ το SNR του L2 είναι το μικρότερο.



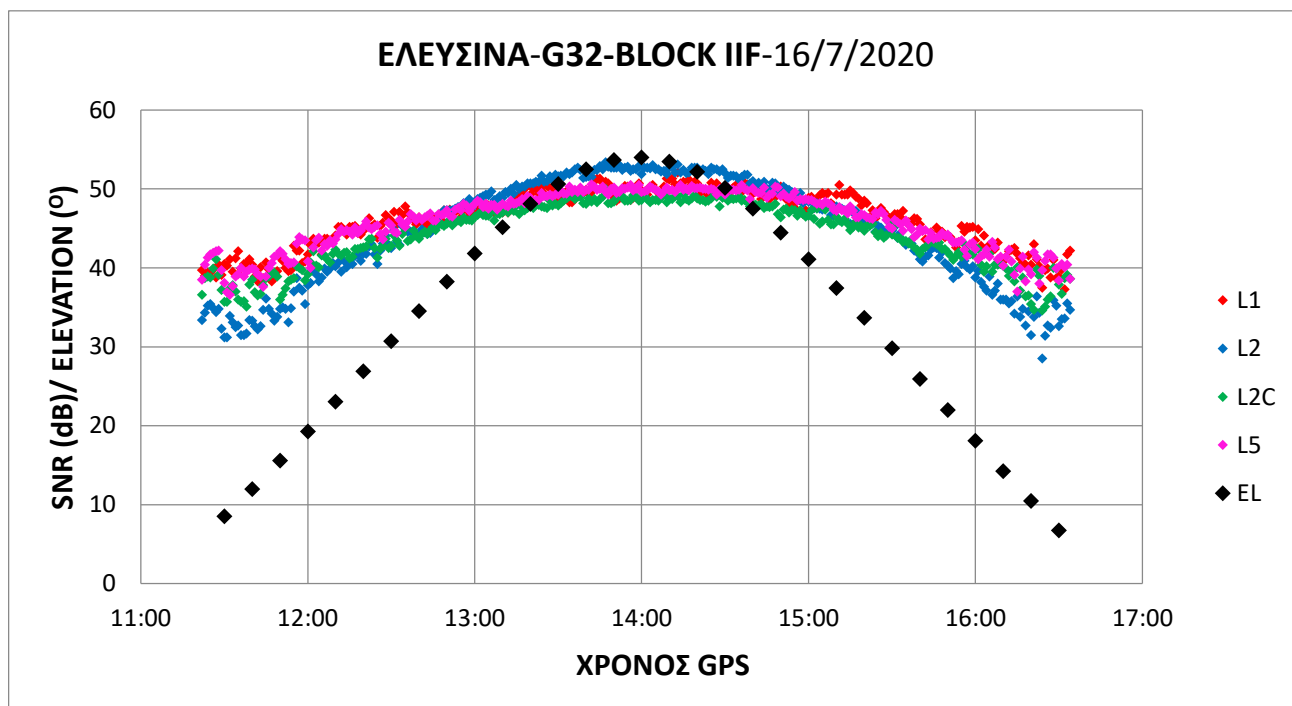
Διάγραμμα 3.43: Ελευσίνα - SNR δορυφόρου G30 στα σήματα L1, L2, L2C και L5

Στο Διάγραμμα 3.44 συγκρίνεται το SNR του δορυφόρου G31 για τα σήματα L1, L2 και L2C. Παρατηρείται ότι το SNR του L2 είναι μεγαλύτερο από το SNR του L2C μόνο για ύψος πάνω από 40°.



Διάγραμμα 3.44: Ελευσίνα - SNR δορυφόρου G31 στα σήματα L1, L2 και L2C

Στο Διάγραμμα 3.45 συγκρίνεται το SNR του δορυφόρου G32 για τα σήματα L1, L2, L2C και L5. Παρατηρείται ότι το SNR του L2 είναι μεγαλύτερο από όλα αλλά μόνο για το ύψος δορυφόρου που βρίσκεται πάνω από 50°



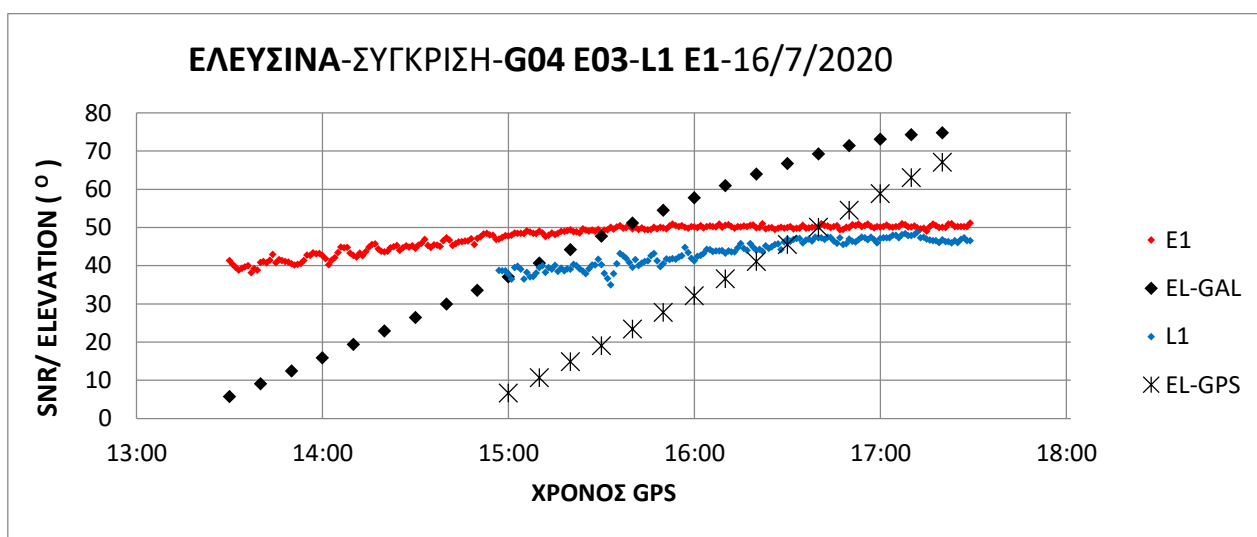
Διάγραμμα 3.45: Ελευσίνα - SNR δορυφόρου G32 στα σήματα L1, L2, L2C και L5

3.3.2 Σύγκριση σημάτων GPS-Galileo

Για τη σύγκριση των δορυφόρων GPS και Galileo στην Ελευσίνα μετά από εξέταση του sky plot, επιλέχθηκαν τα εξής ζευγάρια δορυφόρων:

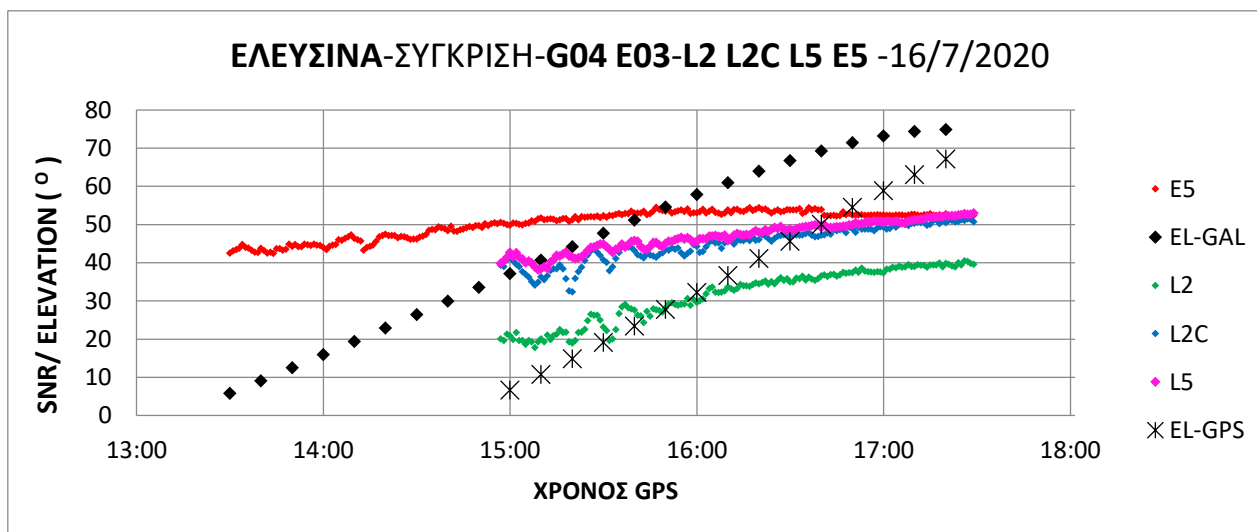
- G04 – E03
- G09 – E08
- G19 – E13

Στο Διάγραμμα 3.46 συγκρίνεται το SNR των δορυφόρων G04 και E03 για τα σήματα L1 και E1 αντίστοιχα. Παρατηρείται ότι το SNR του σήματος E1 είναι μεγαλύτερο αν και φαίνεται λογικό επειδή ο δορυφόρος E03 βρίσκεται αρκετά πιο ψηλά από τον G04.



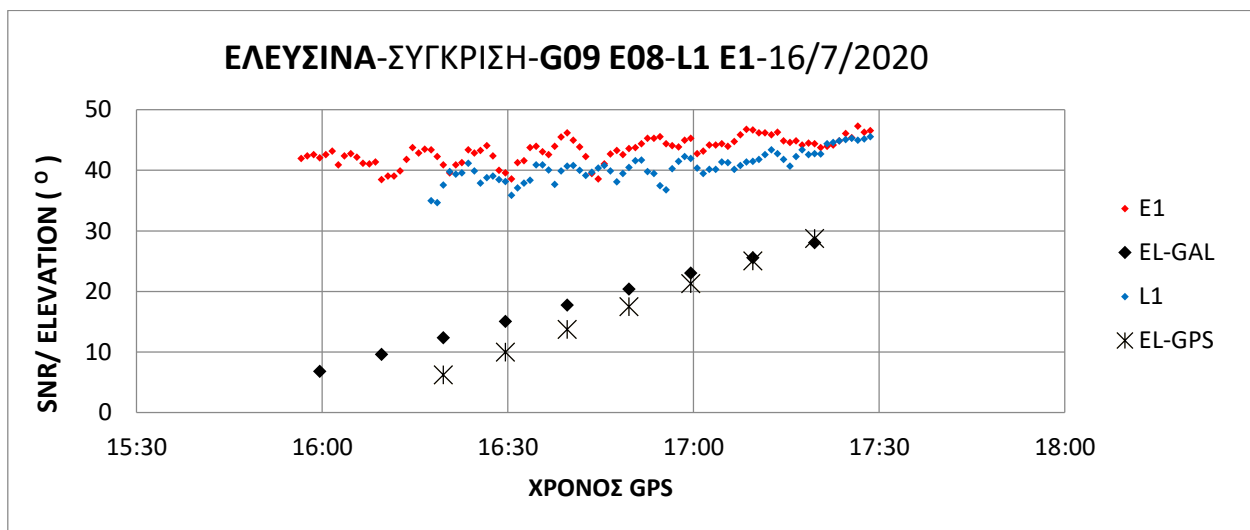
Διάγραμμα 3.45: Ελευσίνα - SNR δορυφόρων G04 και E03 στα σήματα L1 και E1

Στο Διάγραμμα 3.47 συγκρίνεται το SNR των δορυφόρων G04 και E03 για τα σήματα L2, L2C, L5 και E5. Παρατηρείται ότι το SNR του σήματος E5 είναι μεγαλύτερο από όλα αν και φαίνεται λογικό επειδή ο δορυφόρος E03 βρίσκεται αρκετά πιο ψηλά από τον G04.



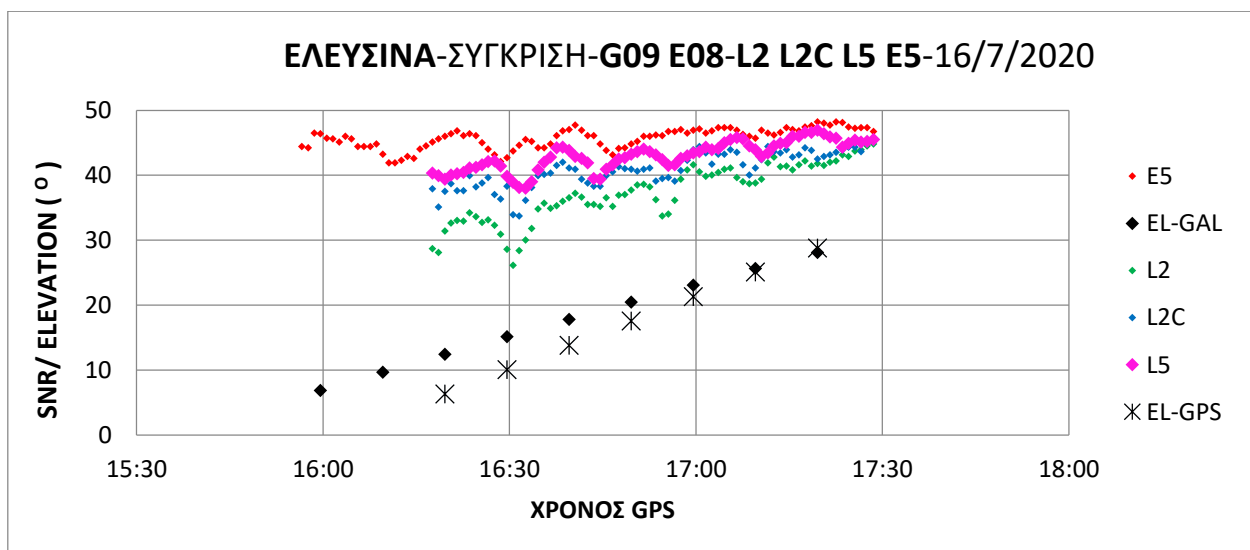
Διάγραμμα 3.47: Ελευσίνα - SNR δορυφόρων G04 και E03 στα σήματα L2, L2C, L5 και E5.

Στο Διάγραμμα 3.48 συγκρίνεται το SNR των δορυφόρων G09 και E08 για τα σήματα L1 και E1 αντίστοιχα. Παρατηρείται ότι το SNR του σήματος E1 είναι μεγαλύτερο από το SNR του L1.



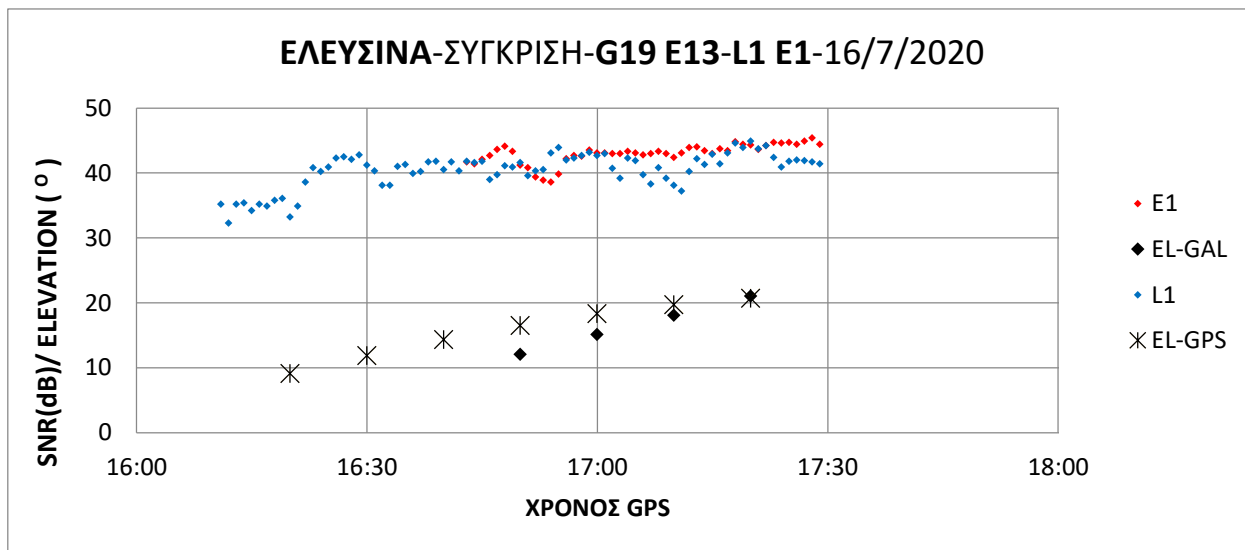
Διάγραμμα 3.48: Ελευσίνα - SNR δορυφόρων G09 και E08 στα σήματα L1 και E1

Στο Διάγραμμα 3.49 συγκρίνεται το SNR των δορυφόρων G09 και E08 για τα σήματα L2, L2C, L5 και E5. Παρατηρείται ότι το SNR του σήματος E5 είναι μεγαλύτερο από όλα.



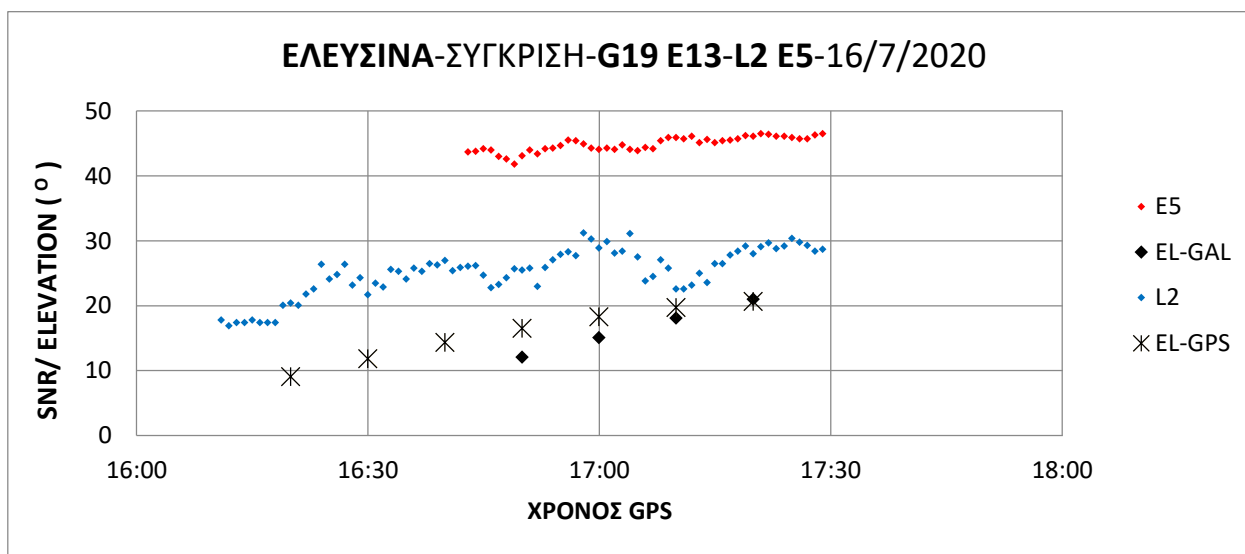
Διάγραμμα 3.49: Ελευσίνα - SNR δορυφόρων G09 και E08 στα σήματα L2, L2C, L5 και E5

Στο Διάγραμμα 3.50 συγκρίνεται το SNR των δορυφόρων G19 και E13 για τα σήματα L1 και E1 αντίστοιχα. Παρατηρείται ότι το SNR του σήματος E1 ενώ είναι περίπου το ίδιο με του L1 φαίνεται πιο σταθερό γιατί εμφανίζει μικρότερες διακυμάνσεις.



Διάγραμμα 3.50: Ελευσίνα - SNR δορυφόρων G19 και E13 στα σήματα L1 και E1

Στο Διάγραμμα 3.51 συγκρίνεται το SNR των δορυφόρων G19 και E13 για τα σήματα L2 και E5 αντίστοιχα. Παρατηρείται ότι το SNR του σήματος E5 είναι μεγαλύτερο του L2.



Διάγραμμα 3.51: Ελευσίνα - SNR δορυφόρων G19 και E13 στα σήματα L2 και E5

3.4 Ανάλυση δεδομένων σταθμού στην Λάρισα

Στην περιοχή της Λάρισας τα δεδομένα λήφθηκαν από το μόνιμο σταθμό αναφοράς με κωδικό όνομα LARM που ανήκει στο δίκτυο της EUREF (βλέπε Εικόνα 3.14). Το Μόνιμο Δίκτυο EPN-EUREF είναι μια εθελοντική ομοσπονδία περισσότερων από 100 αυτοχρηματοδοτούμενων φορέων, πανεπιστημίων και ερευνητικών ιδρυμάτων σε περισσότερες από 30 ευρωπαϊκές χώρες. Συνεργάζονται για τη διατήρηση του Ευρωπαϊκού Συστήματος Επίγειας Αναφοράς (ETRS89), το οποίο είναι το ενιαίο πανευρωπαϊκό πρότυπο σύστημα αναφοράς συντεταγμένων που εγκρίθηκε από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή. Σε όλη την ευρωπαϊκή ήπειρο λειτουργούν περισσότεροι από 200 μόνιμοι σταθμοί παρατήρησης GNSS. Εκτός από τον βασικό του ρόλο στη διαχείριση του ETRS89, τα δεδομένα χρησιμοποιούνται επίσης για ένα ευρύ φάσμα επιστημονικών εφαρμογών όπως η παρακολούθηση παραμορφώσεων του εδάφους, η στάθμη της θάλασσας, η πρόβλεψη καιρού και τη συνεχή ανάπτυξη νέων εφαρμογών και προϊόντων.



Εικόνα 3.14: Το δίκτυο μόνιμων σταθμών της EUREF
(Πηγή: https://www.epncb.oma.be/_networkdata/network_status/)

Από το αρχείο RINEX βρέθηκαν τα στοιχεία που αφορούν τον δέκτη και την κεραία που χρησιμοποιούνται. Ο δέκτης είναι LEICA GRX1200 (βλέπε Εικόνα 3.15) και χρησιμοποιεί την κεραία Dorne-Margolin με 3D choke ring (βλέπε Εικόνα 3.16). Πρόκειται για έναν δέκτη που έχει σχεδιαστεί ειδικά για χρήση σε σταθμούς αναφοράς συνεχούς λειτουργίας. Διαθέτει εξαιρετική ισχύ σήματος, αξιόπιστη παρακολούθηση για χαμηλές γωνίες ανύψωσης, χαμηλή κατανάλωση ρεύματος, αφαιρούμενη μνήμη και Ethernet. Δυστυχώς λαμβάνει μόνο GPS και GLONASS αλλά με το SmartTrack+ υποστηρίζει και σήματα Galileo. Η κεραία AR25 έχει σχεδιαστεί για όλα τα υπάρχοντα και προγραμματισμένα σήματα των συστημάτων GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou και QZSS. Επίσης διατηρεί ανώτερα επίπεδα απόρριψης και παρακολούθησης πολλαπλών διαδρομών που αναμένονται από μια κεραία δακτυλίου choke, ενώ θέτει νέα πρότυπα στην παρακολούθηση χαμηλών γωνιών ανύψωσης σε σύγκριση με τον παραδοσιακό σχεδιασμό δακτυλίου choke 2D. Πρόκειται για μια κεραία υψηλής απόδοσης που μπορούν να παρακολουθούν δορυφόρους μόλις είναι ορατοί, μέχρι τον ορίζοντα. Σχεδιασμένη για ποικίλες εφαρμογές, συμπεριλαμβανομένων σταθμών αναφοράς, παρακολούθησης, σεισμικών μελετών, επιστημονικών και ατμοσφαιρικών μελετών, η AR25 είναι μια στιβαρή κεραία υψηλής απόδοσης, κατασκευασμένη για να διαρκεί.



Εικόνα 3.15: Ο δέκτης GRX1200+GNSS
(Πηγή: <https://www.precision-geosystems.com/>)

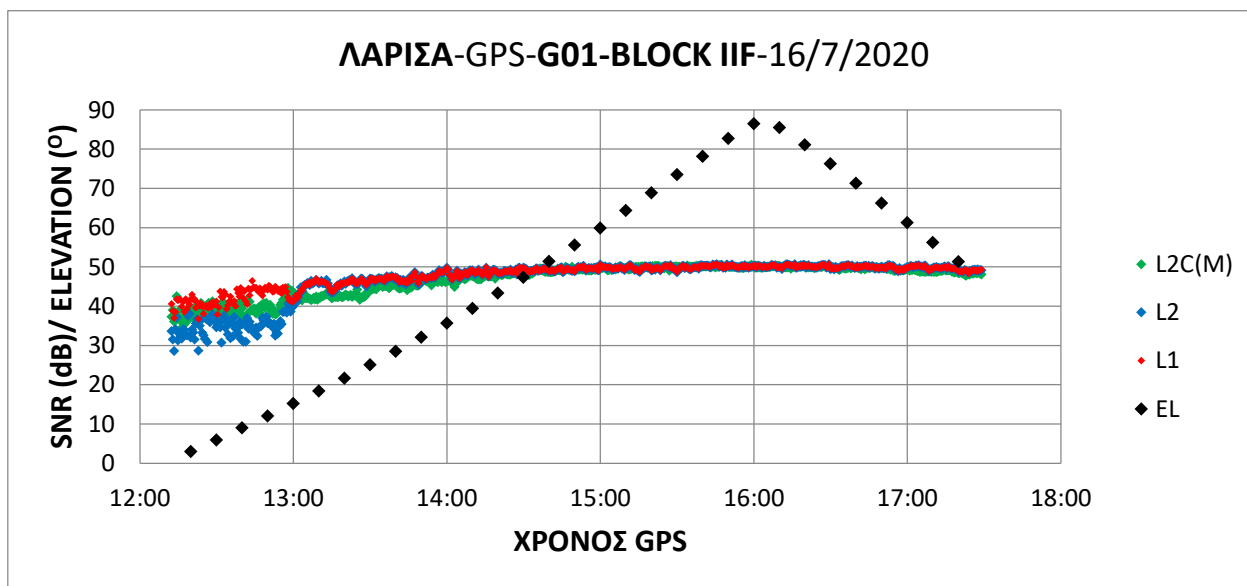


Εικόνα 3.16: Η κεραία Dorne-Margolin με τρισδιάστατο choke ring. (Πηγή: <https://leica-geosystems.com/products/gnss-reference-networks/antennas/leica-ar25>)

3.4.1 Σύγκριση σημάτων GPS

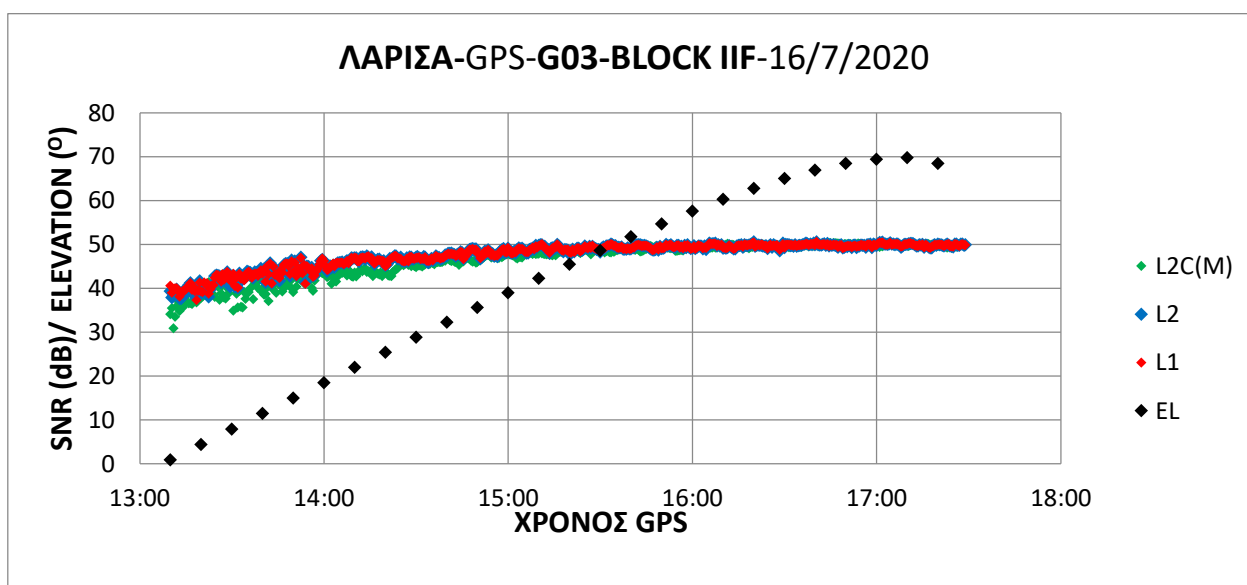
Παρακάτω φαίνονται τα διαγράμματα που δημιουργήθηκαν από τα δεδομένα του μόνιμου σταθμού Trimble Alloy στην Λάρισα ο οποίος λαμβάνει τα σήματα μόνο GPS και GLONASS. Αξίζει να αναφερθεί ότι τα σήματα του GPS που λαμβάνει είναι τα L1, L2 και L2C(M) (βλέπε Πίνακα 1.1).

Στο Διάγραμμα 3.52 συγκρίνεται το SNR του δορυφόρου G01 για τα σήματα L1, L2, L2C(M). Παρατηρείται ότι το SNR του σήματος L2 είναι χαμηλότερο μέχρι ο δορυφόρος να φτάσει σε ύψος 40° και μετά έχει περίπου το ίδιο SNR με το L2C(M).



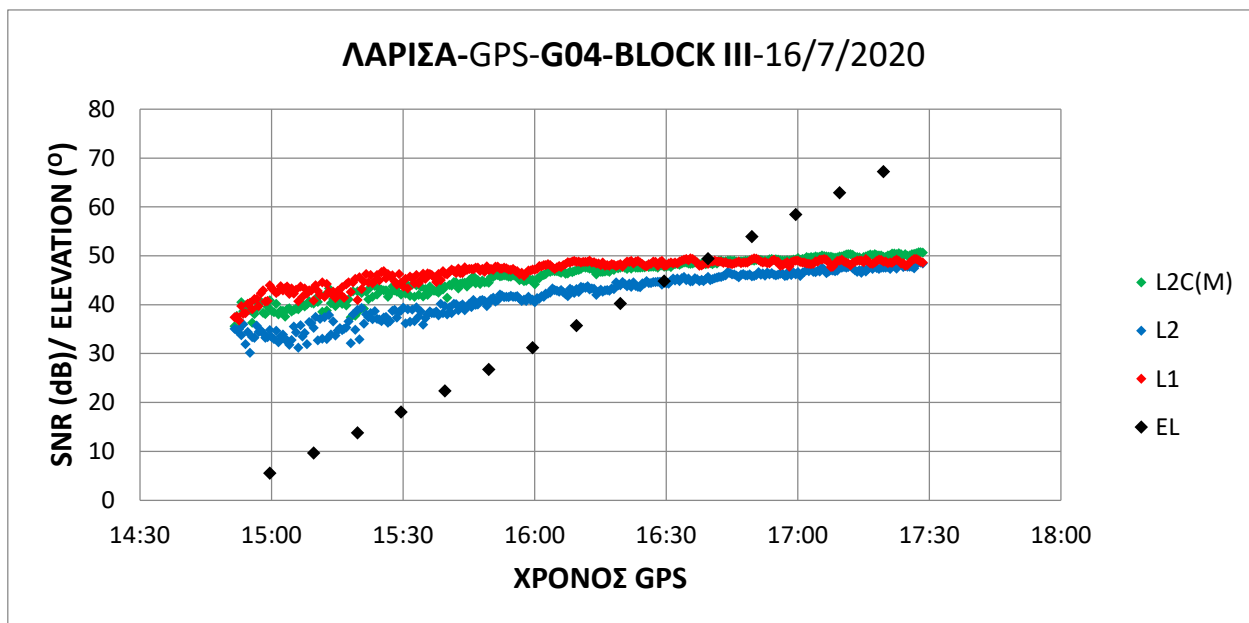
Διάγραμμα 3.52: Λάρισα - SNR δορυφόρου G01 στα σήματα L1, L2 και L2C(M)

Στο Διάγραμμα 3.53 συγκρίνεται το SNR του δορυφόρου G03 για τα σήματα L1, L2, L2C(M). Παρατηρείται ότι το SNR του σήματος L2 είναι οριακά μεγαλύτερο από το SNR το L2C(M).



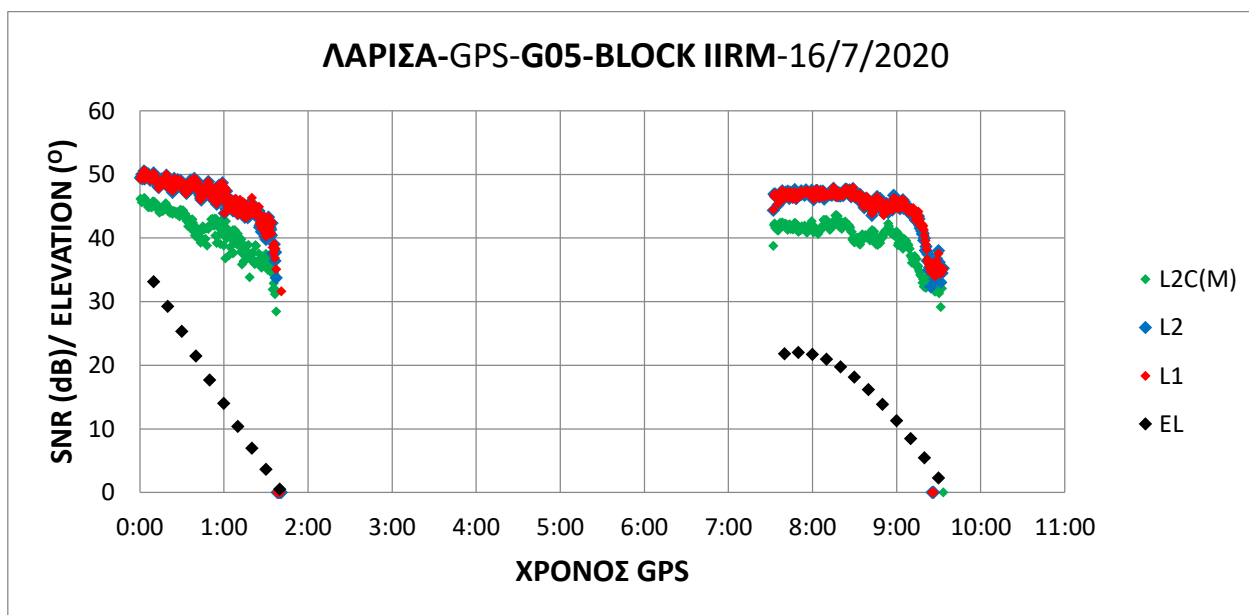
Διάγραμμα 3.53: Λάρισα - SNR δορυφόρου G03 στα σήματα L1, L2 και L2C(M)

Στο Διάγραμμα 3.54 συγκρίνεται το SNR του δορυφόρου G04 για τα σήματα L1, L2, L2C(M). Παρατηρείται ότι το SNR του σήματος L2 είναι αισθητά μικρότερο από όλα.



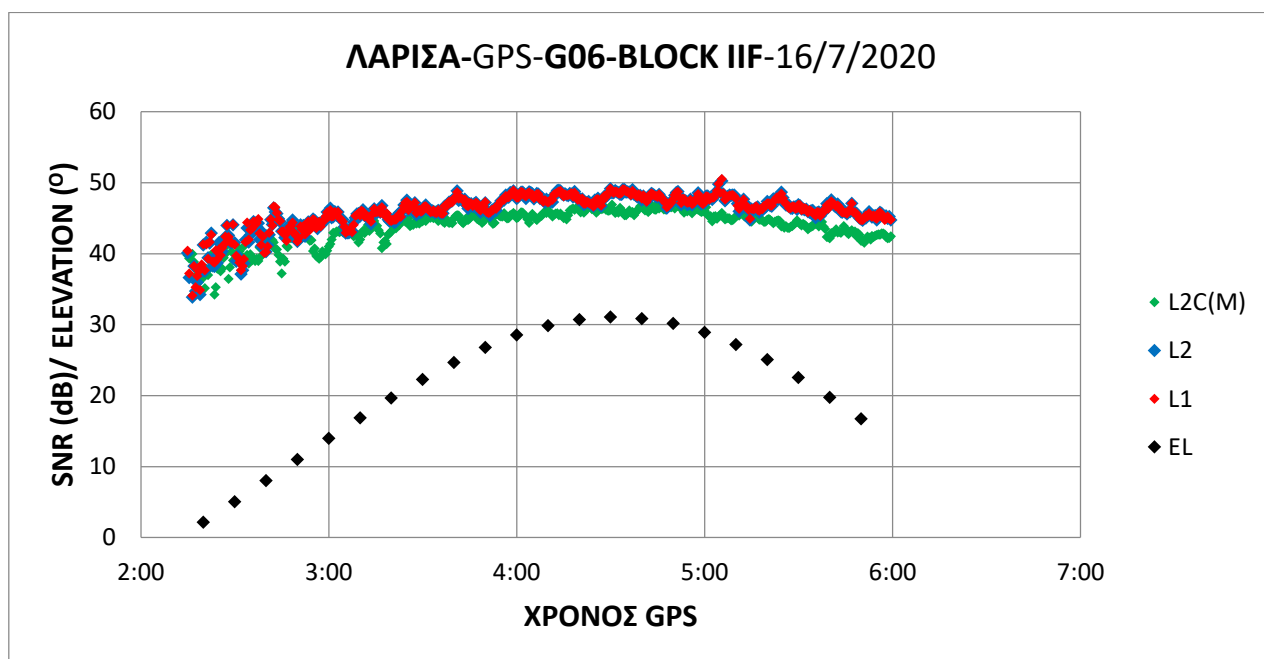
Διάγραμμα 3.54: Λάρισα - SNR δορυφόρου G04 στα σήματα L1, L2 και L2C(M)

Στο Διάγραμμα 3.55 συγκρίνεται το SNR του δορυφόρου G05 για τα σήματα L1, L2, L2C(M). Παρατηρείται ότι το SNR του σήματος L2 είναι μεγαλύτερο από το SNR το L2C(M) ακόμα και σε πιο χαμηλό ύψος από τις 40°.



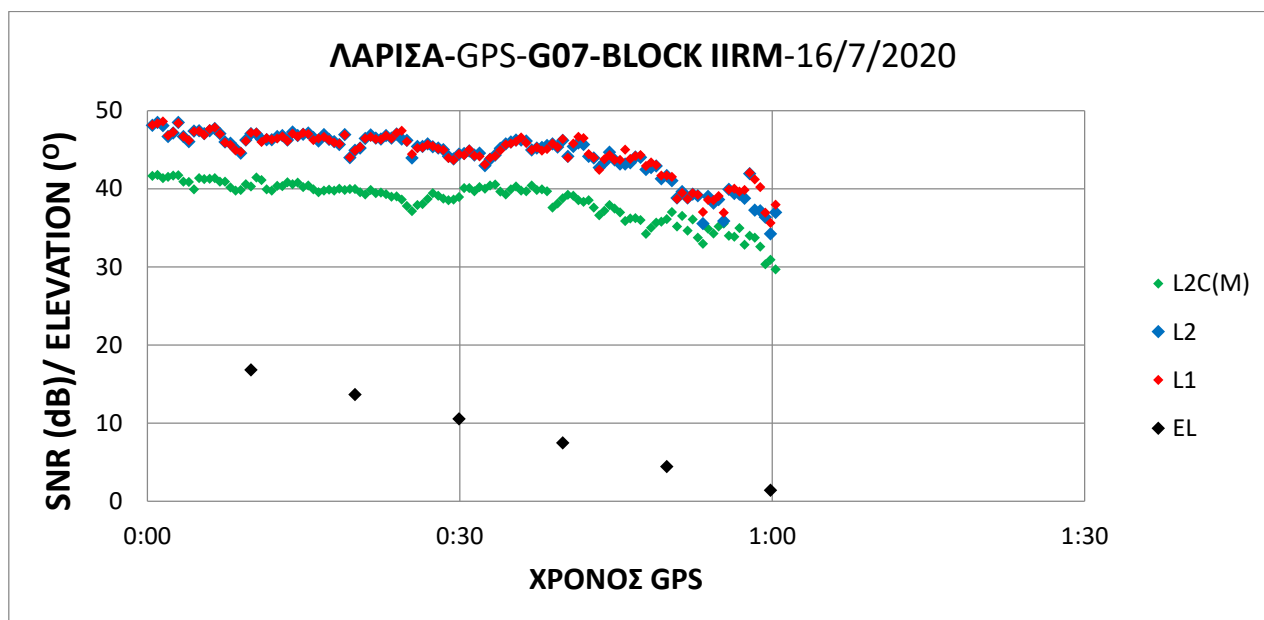
Διάγραμμα 3.55: Λάρισα - SNR δορυφόρου G05 στα σήματα L1, L2 και L2C(M)

Στο Διάγραμμα 3.56 συγκρίνεται το SNR του δορυφόρου G06 για τα σήματα L1, L2, L2C(M). Παρατηρείται ότι το SNR του σήματος L2 είναι μεγαλύτερο από το SNR το L2C(M).



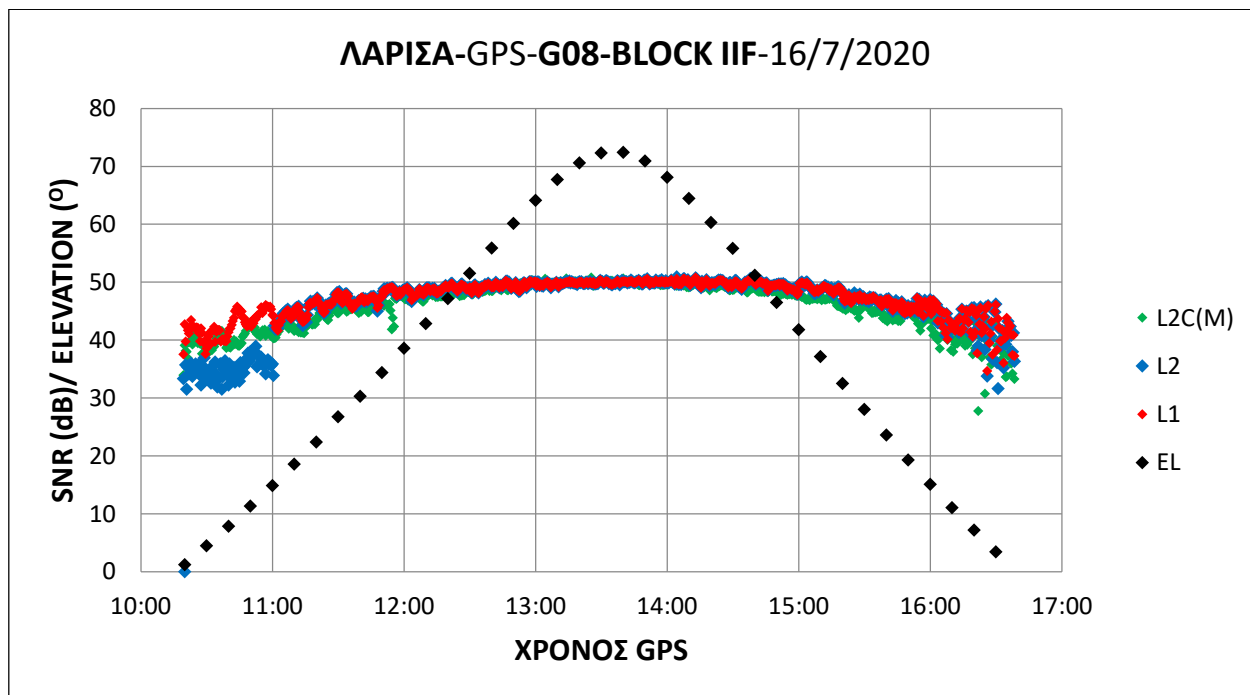
Διάγραμμα 3.56: Λάρισα - SNR δορυφόρου G06 στα σήματα L1, L2 και L2C(M)

Στο Διάγραμμα 3.57 συγκρίνεται το SNR του δορυφόρου G07 για τα σήματα L1, L2, L2C(M). Παρατηρείται ότι το SNR του σήματος L2 είναι μεγαλύτερο από το SNR το L2C(M).



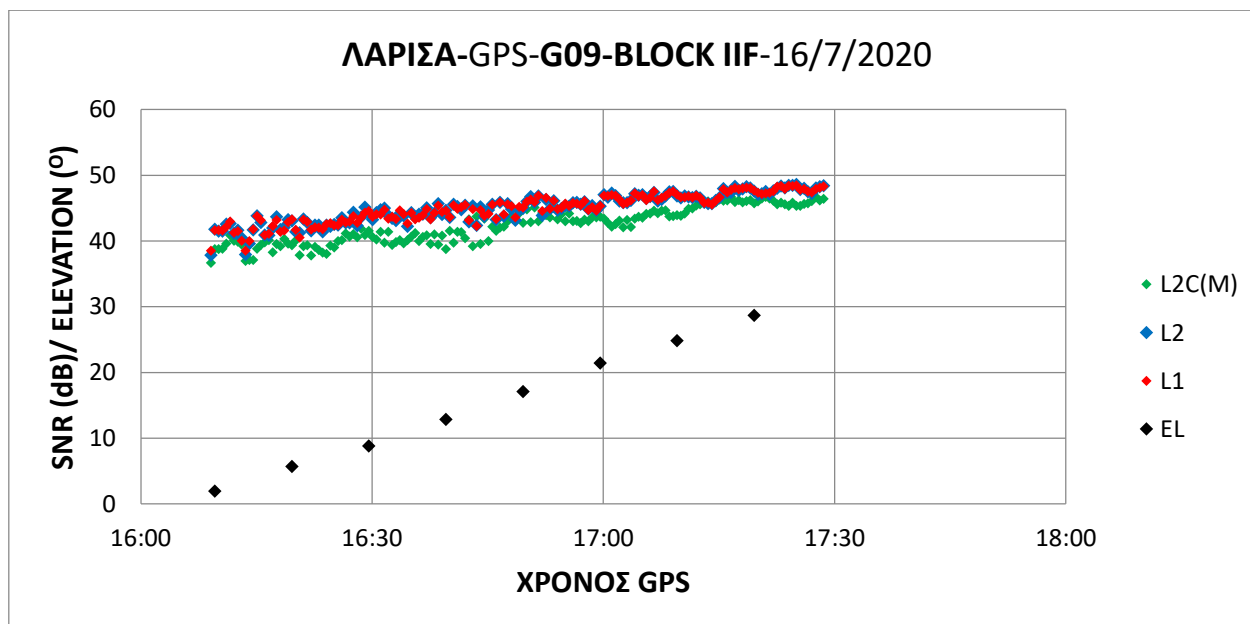
Διάγραμμα 3.57: Λάρισα - SNR δορυφόρου G07 στα σήματα L1, L2 και L2C(M)

Στο Διάγραμμα 3.58 συγκρίνεται το SNR του δορυφόρου G08 για τα σήματα L1, L2, L2C(M). Παρατηρείται ότι το SNR του σήματος L2 είναι στην αρχή εμφανέστερα χαμηλότερο αλλά αργότερα όταν ξεπερνά τις 40° ύψος είναι περίπου το ίδιο με το SNR του L2C(M).



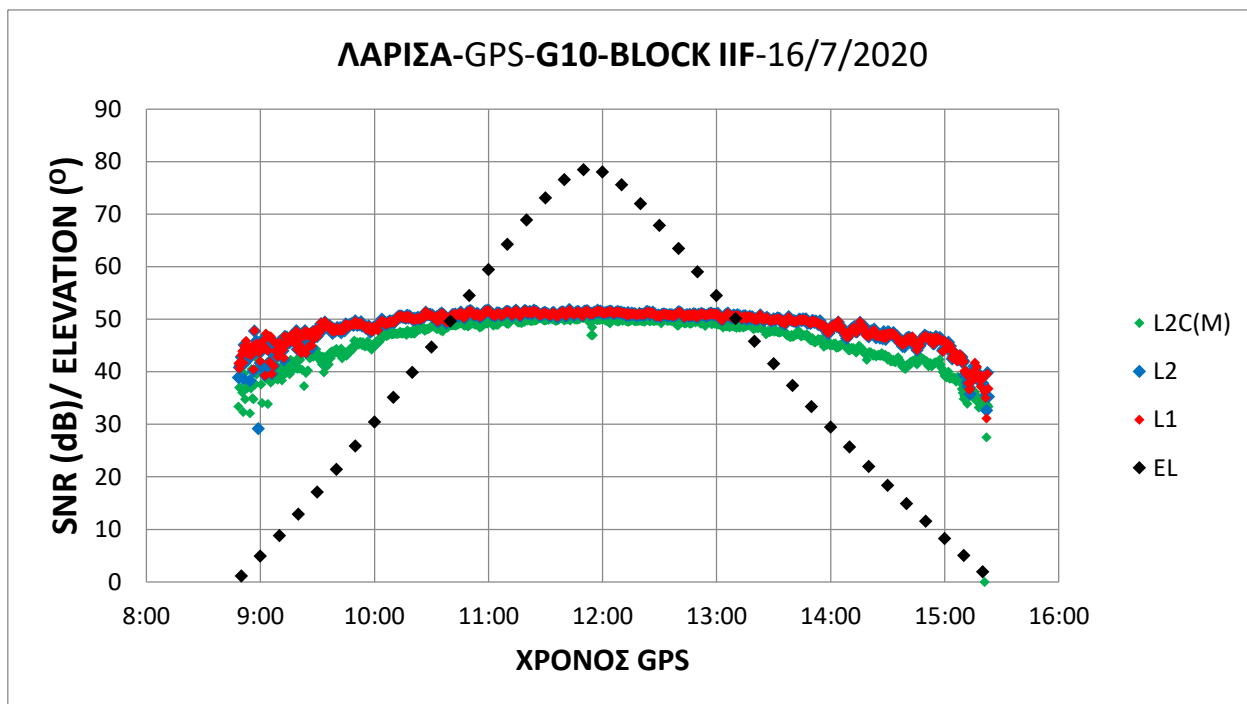
Διάγραμμα 3.58: Λάρισα - SNR δορυφόρου G08 στα σήματα L1, L2 και L2C(M)

Στο Διάγραμμα 3.59 συγκρίνεται το SNR του δορυφόρου G09 για τα σήματα L1, L2, L2C(M). Παρατηρείται ότι το SNR του σήματος L2 είναι μεγαλύτερο από το SNR το L2C(M).



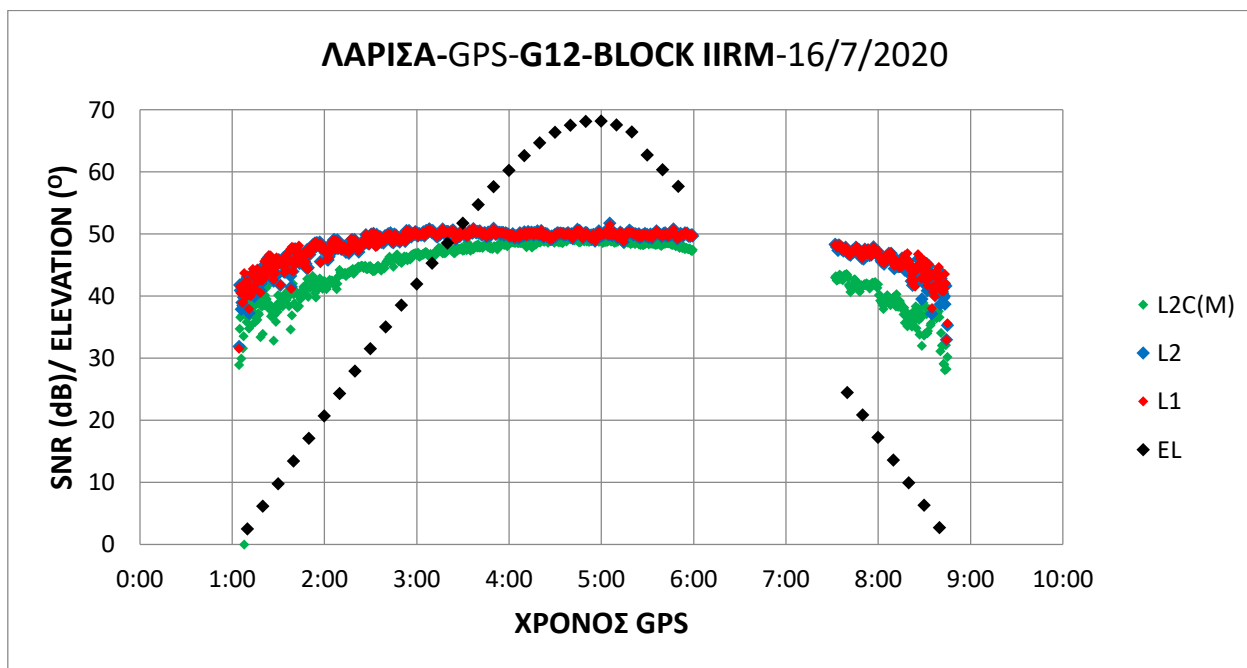
Διάγραμμα 3.59: Λάρισα - SNR δορυφόρου G09 στα σήματα L1, L2 και L2C(M)

Στο Διάγραμμα 3.60 συγκρίνεται το SNR του δορυφόρου G10 για τα σήματα L1, L2, L2C(M). Παρατηρείται ότι το SNR του σήματος L2 είναι οριακά μεγαλύτερο από το SNR το L2C(M).



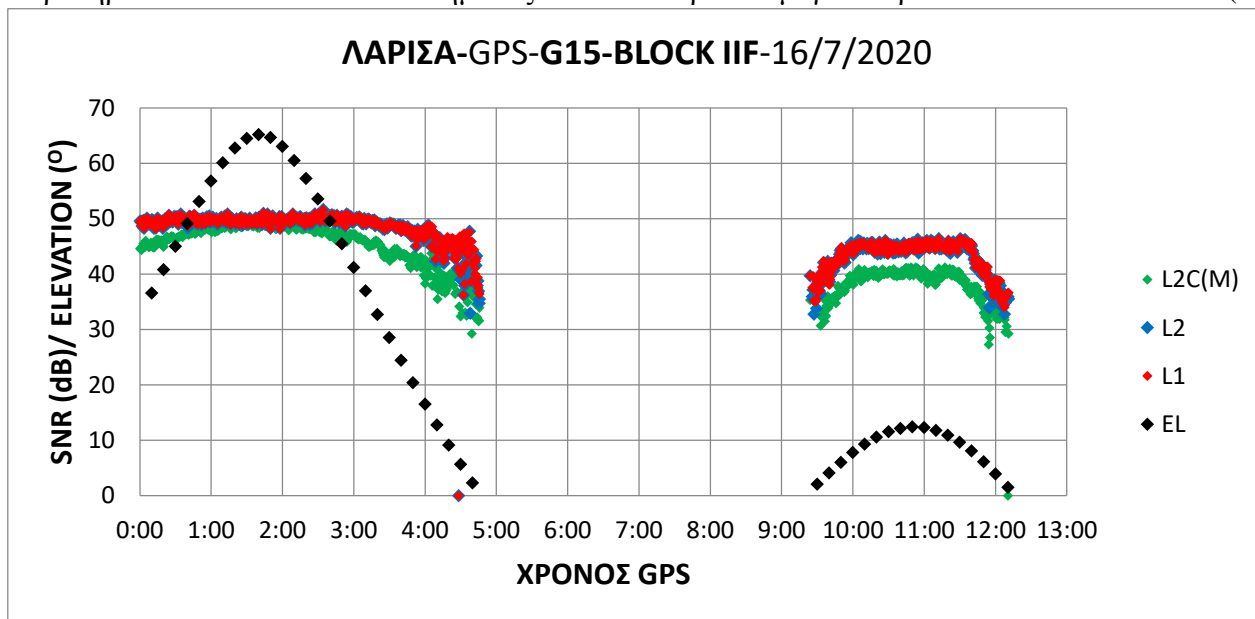
Διάγραμμα 3.60: Λάρισα - SNR δορυφόρου G10 στα σήματα L1, L2 και L2C(M)

Στο Διάγραμμα 3.61 συγκρίνεται το SNR του δορυφόρου G12 για τα σήματα L1, L2, L2C(M). Παρατηρείται ότι το SNR του σήματος L2 είναι μεγαλύτερο από το SNR το L2C(M). Επίσης παρατηρείται ότι για διάστημα μιάμισης ώρας δεν υπάρχουν δεδομένα.



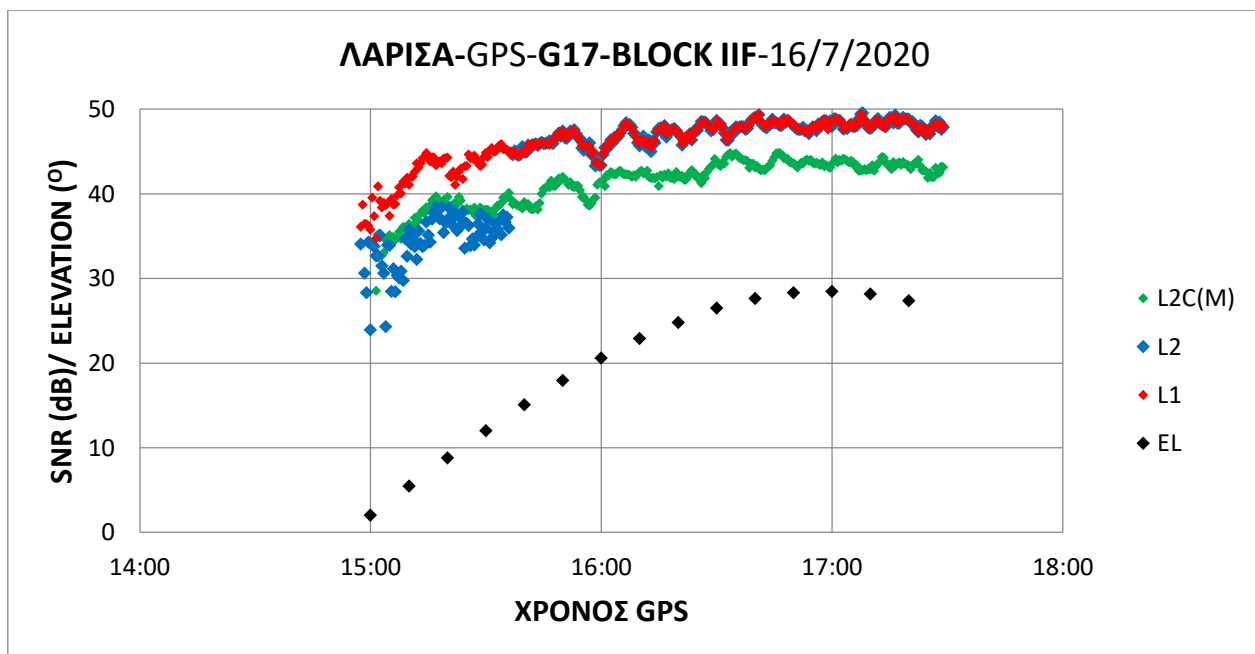
Διάγραμμα 3.61: Λάρισα - SNR δορυφόρου G12 στα σήματα L1, L2 και L2C(M)

Στο Διάγραμμα 3.62 συγκρίνεται το SNR του δορυφόρου G15 για τα σήματα L1, L2, L2C(M). Παρατηρείται ότι το SNR του σήματος L2 είναι αρκετά μεγαλύτερο από το SNR το L2C(M).



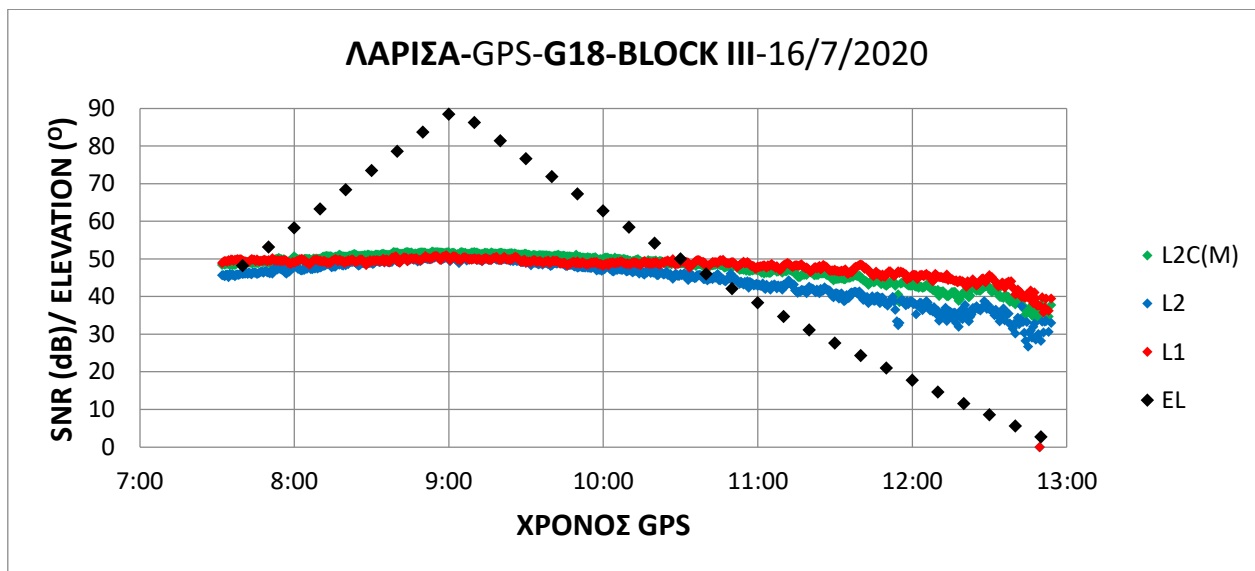
Διάγραμμα 3.62: Λάρισα - SNR δορυφόρου G15 στα σήματα L1, L2 και L2C(M)

Στο Διάγραμμα 3.63 συγκρίνεται το SNR του δορυφόρου G17 για τα σήματα L1, L2, L2C(M). Παρατηρείται ότι το SNR του σήματος L2 είναι μεγαλύτερο μόνο πάνω από γωνία ύψους των 40° από το SNR το L2C(M).



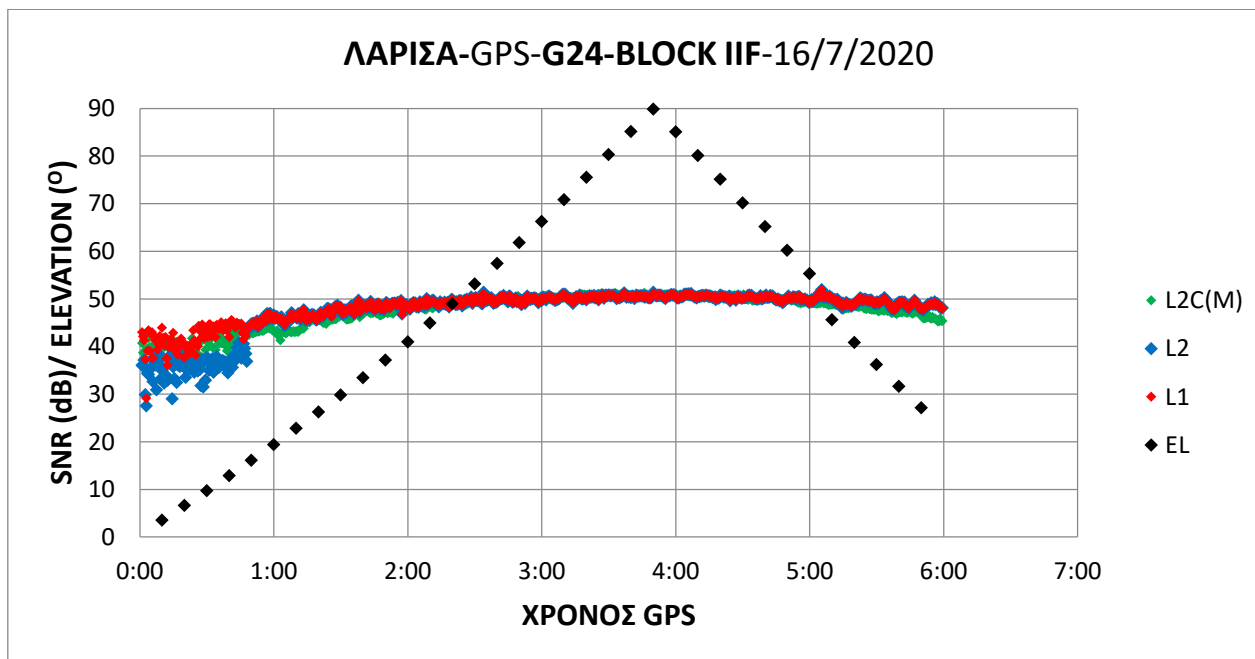
Διάγραμμα 3.63: Λάρισα - SNR δορυφόρου G17 στα σήματα L1, L2 και L2C(M)

Στο Διάγραμμα 3.64 συγκρίνεται το SNR του δορυφόρου G18 για τα σήματα L1, L2, L2C(M). Παρατηρείται ότι το SNR του σήματος L2 είναι οριακά χαμηλότερο από το SNR το L2C(M).



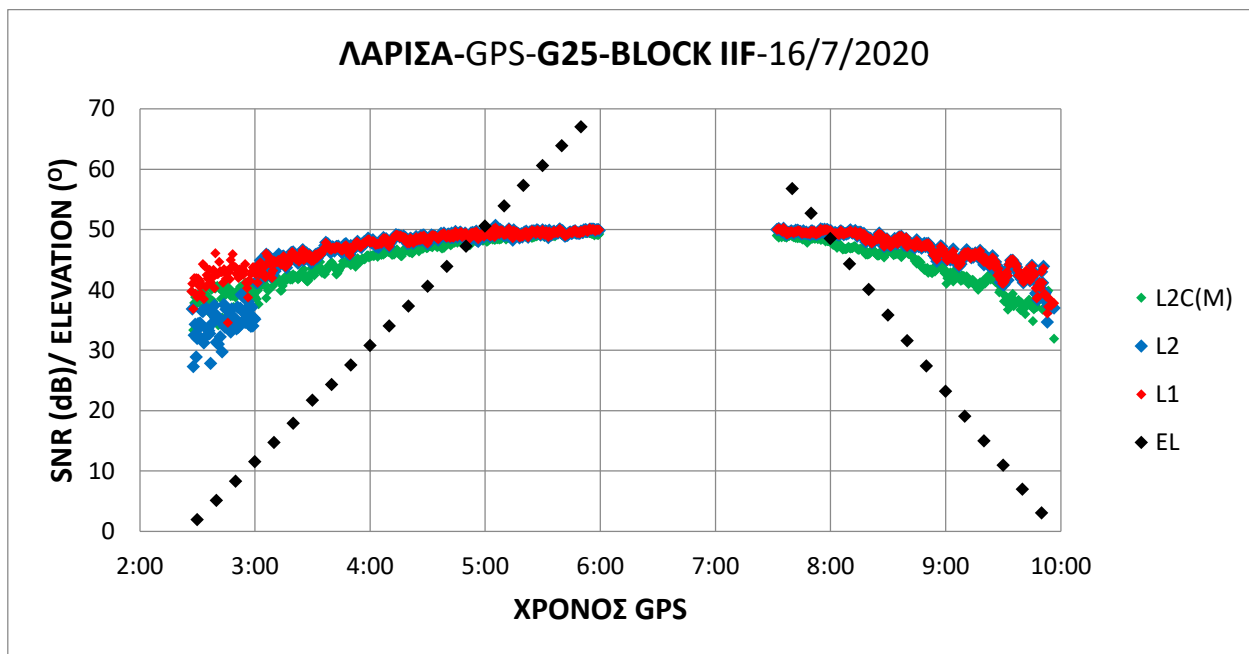
Διάγραμμα 3.64: Λάρισα - SNR δορυφόρου G18 στα σήματα L1, L2 και L2C(M)

Στο Διάγραμμα 3.65 συγκρίνεται το SNR του δορυφόρου G24 για τα σήματα L1, L2, L2C(M). Παρατηρείται ότι το SNR του σήματος L2 είναι μεγαλύτερο μόνο πάνω από γωνία ύψους των 40° από το SNR το L2C(M).



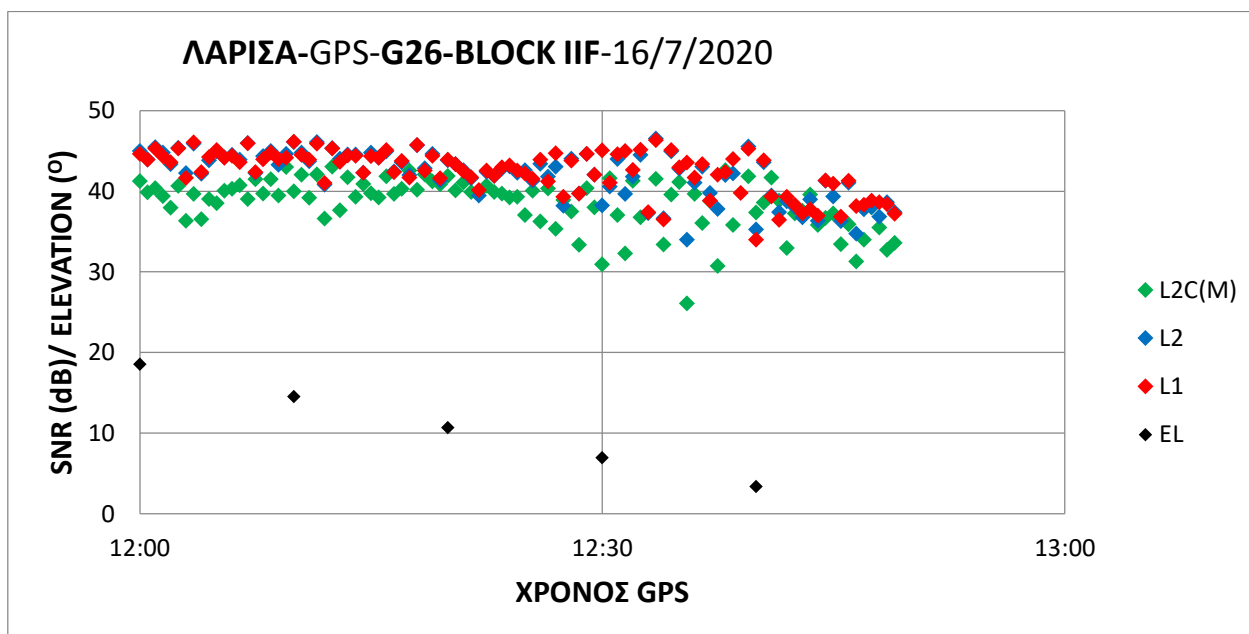
Διάγραμμα 3.65: Λάρισα - SNR δορυφόρου G24 στα σήματα L1, L2 και L2C(M)

Στο Διάγραμμα 3.66 συγκρίνεται το SNR του δορυφόρου G25 για τα σήματα L1, L2, L2C(M). Παρατηρείται ότι το SNR του σήματος L2 είναι οριακά μεγαλύτερο μόνο πάνω από γωνία ύψους των 40° από το SNR το L2C(M). Επίσης παρατηρείται ότι για το ίδιο χρονικό διάστημα, με πριν, μιάμισης ώρας δεν υπάρχουν δεδομένα.



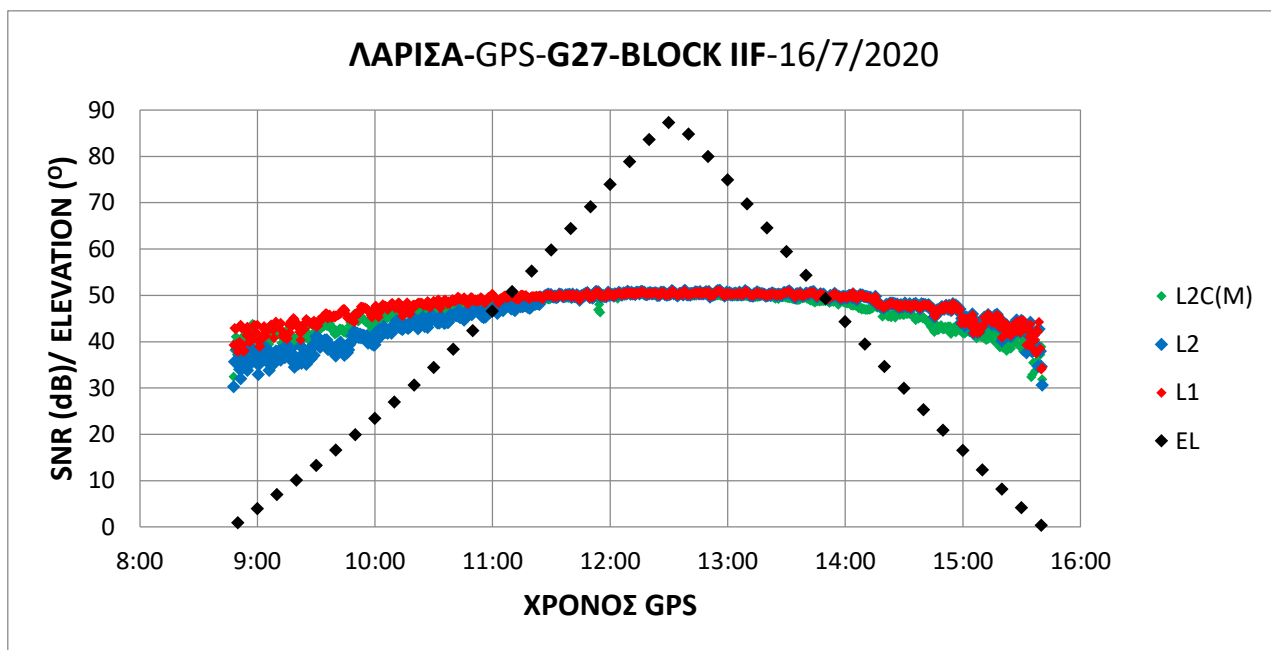
Διάγραμμα 3.66: Λάρισα - SNR δορυφόρου G25 στα σήματα L1, L2 και L2C(M)

Στο Διάγραμμα 3.67 συγκρίνεται το SNR του δορυφόρου G26 για τα σήματα L1, L2, L2C(M). Παρατηρείται ότι το SNR του σήματος L2 είναι οριακά μεγαλύτερο από το SNR το L2C(M).



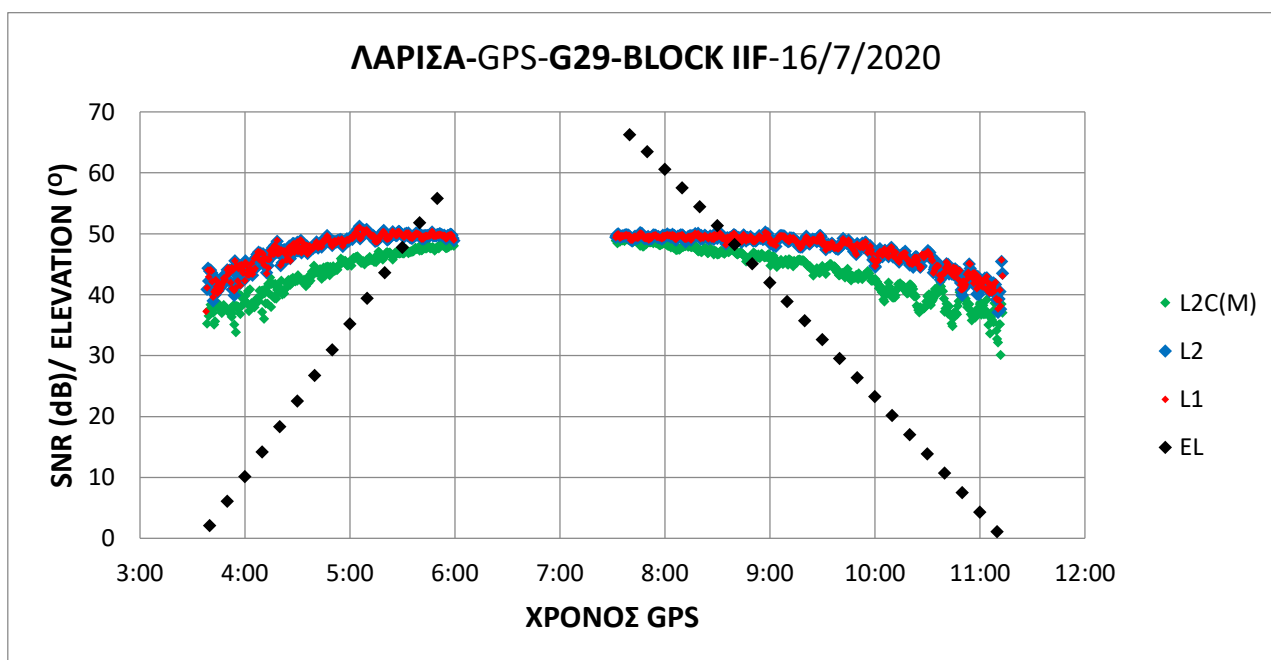
Διάγραμμα 3.67: Λάρισα - SNR δορυφόρου G26 στα σήματα L1, L2 και L2C(M)

Στο Διάγραμμα 3.68 συγκρίνεται το SNR του δορυφόρου G27 για τα σήματα L1, L2, L2C(M). Παρατηρείται ότι το SNR του σήματος L2 είναι χαμηλότερο αλλά αργότερα πάνω από το ύψος των 50° είναι ψηλότερο από το SNR το L2C(M).



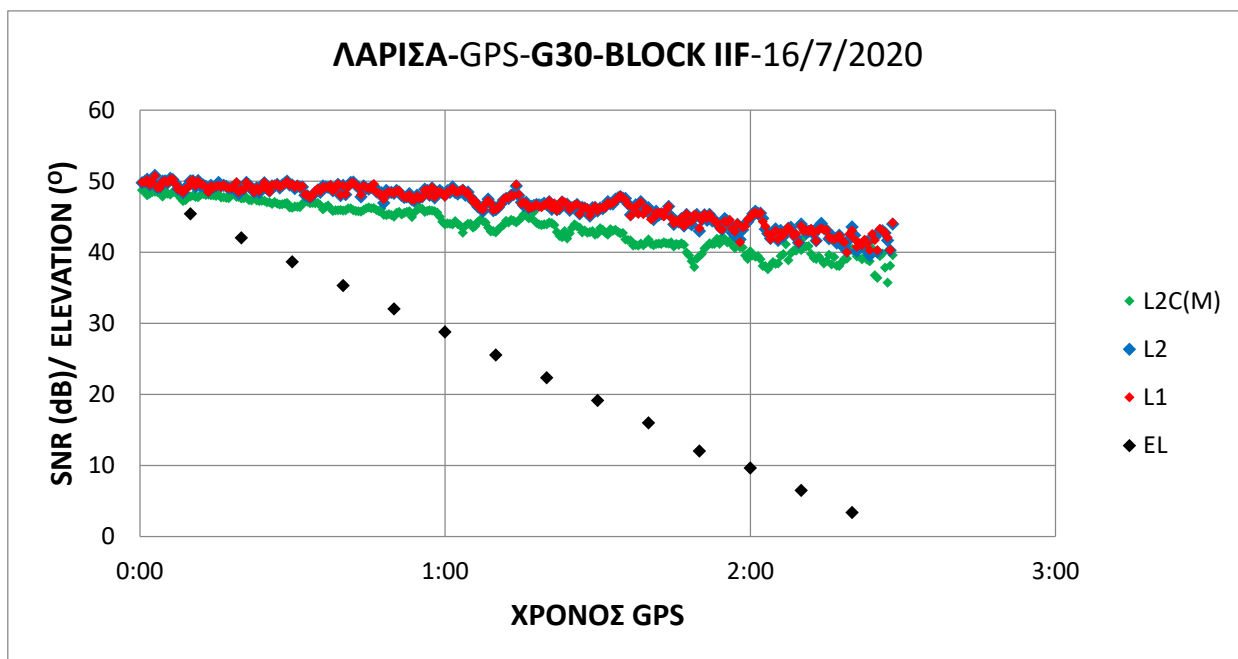
Διάγραμμα 3.68: Λάρισα - SNR δορυφόρου G27 στα σήματα L1, L2 και L2C(M)

Στο Διάγραμμα 3.69 συγκρίνεται το SNR του δορυφόρου G29 για τα σήματα L1, L2, L2C(M). Παρατηρείται ότι το SNR του σήματος L2 είναι μεγαλύτερο από το SNR το L2C(M). Επίσης παρατηρείται ότι για το ίδιο χρονικό διάστημα μιάμισης ώρας δεν υπάρχουν δεδομένα.



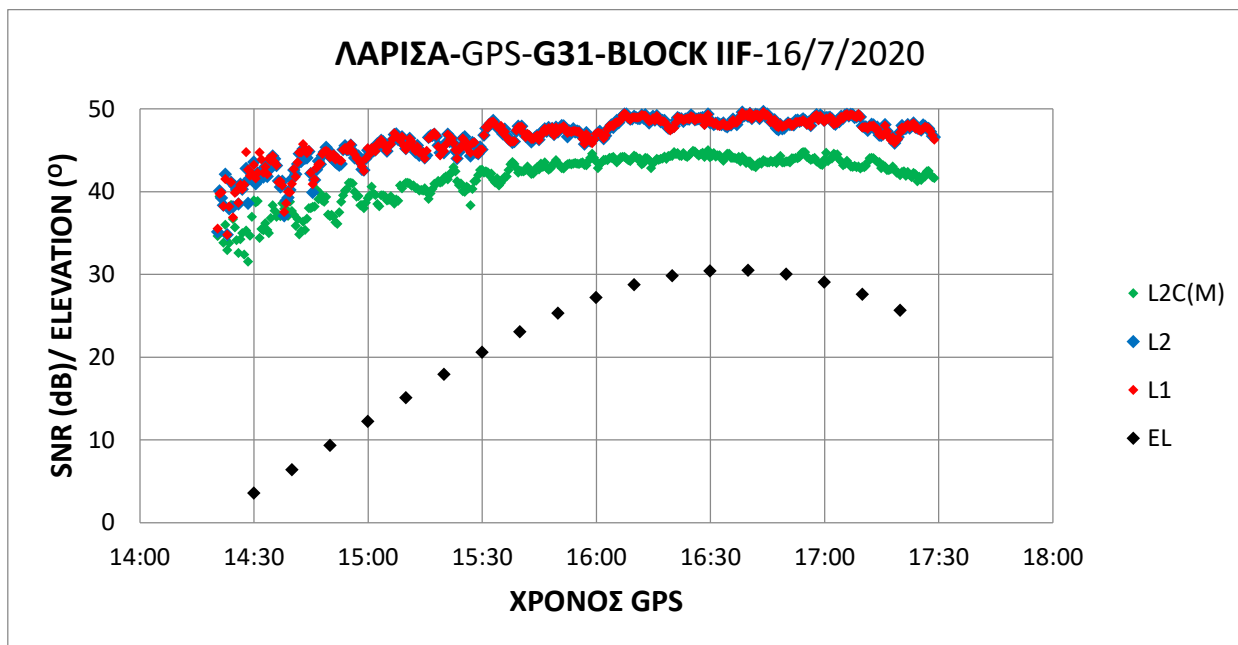
Διάγραμμα 3.69: Λάρισα - SNR δορυφόρου G29 στα σήματα L1, L2 και L2C(M)

Στο Διάγραμμα 3.70 συγκρίνεται το SNR του δορυφόρου G30 για τα σήματα L1, L2, L2C(M). Παρατηρείται ότι το SNR του σήματος L2 είναι υψηλότερο από το SNR το L2C(M).



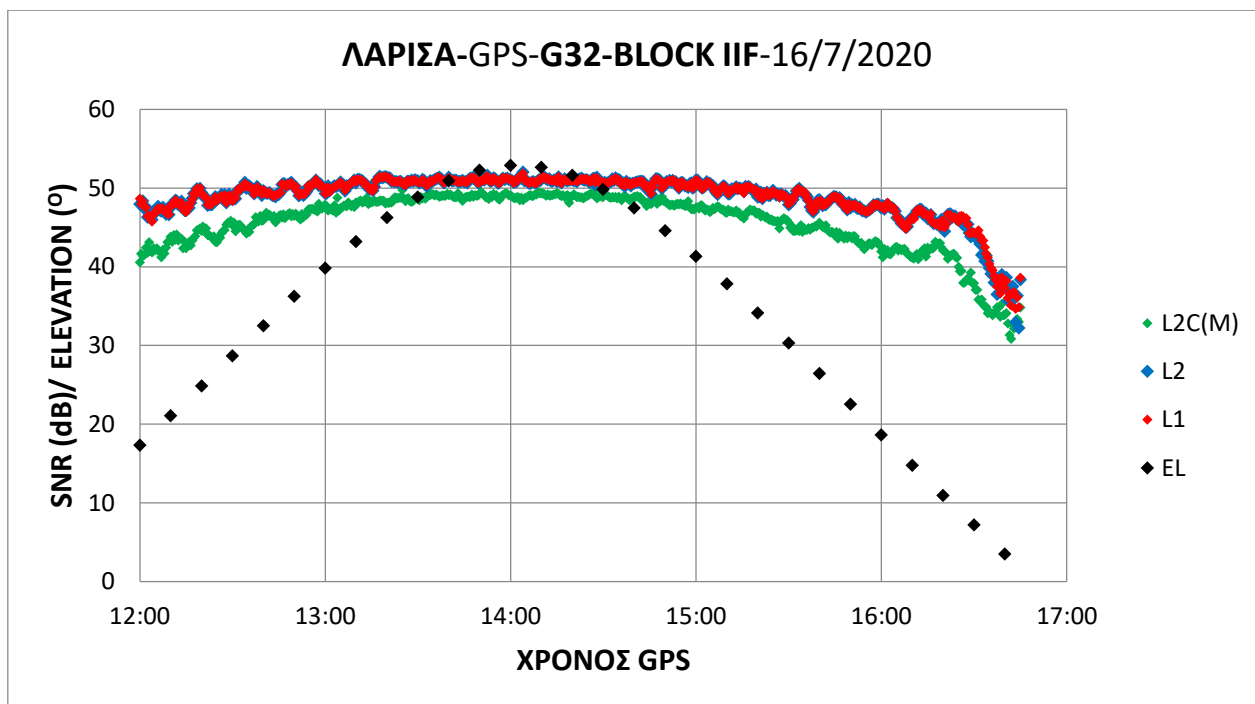
Διάγραμμα 3.70: Λάρισα - SNR δορυφόρου G30 στα σήματα L1, L2 και L2C(M)

Στο Διάγραμμα 3.71 συγκρίνεται το SNR του δορυφόρου G31 για τα σήματα L1, L2, L2C(M). Παρατηρείται ότι το SNR του σήματος L2 είναι υψηλότερο από το SNR το L2C(M).



Διάγραμμα 3.71: Λάρισα - SNR δορυφόρου G31 στα σήματα L1, L2 και L2C(M)

Στο Διάγραμμα 3.72 συγκρίνεται το SNR του δορυφόρου G32 για τα σήματα L1, L2, L2C(M). Παρατηρείται ότι το SNR του σήματος L2 είναι υψηλότερο από το SNR το L2C(M).



Διάγραμμα 3.72: Λάρισα - SNR δορυφόρου G32 στα σήματα L1, L2 και L2C(M)

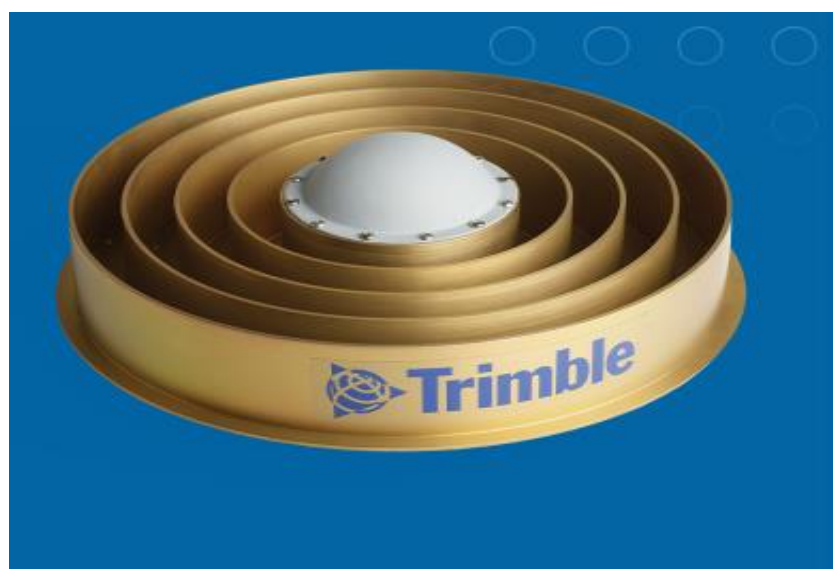
3.5 Ανάλυση δεδομένων σταθμού στην Πορτογαλία (Λισαβόνα)

Για να πραγματοποιήσουμε μια σωστή έρευνα δεν αρκούν δεδομένα από λίγες πηγές για αυτόν τον λόγο λήφθηκαν δεδομένα από τον μόνιμο σταθμό με κωδικό όνομα CASC στην Λισαβόνα στην Πορτογαλία ο οποίος ανήκει κι αυτός στο δίκτυο της EUREF (βλέπε Εικόνες 3.14 και 3.17). Όπως και στην περιοχή της Ελευσίνας έτσι και στην Λισαβόνα χρησιμοποιείται ο ίδιος δέκτης Trimble Alloy (βλέπε Εικόνα 3.12) αλλά με διαφορετική κεραία. Η κεραία είναι η Trimble GNSS-Ti με choke rings (βλέπε Εικόνα 3.18). Ο σχεδιασμός αυτής της κεραίας έχει αποδειχθεί ότι είναι αποτελεσματικός στη μείωση της ισχύος των περισσότερων σημάτων πολλαπλών διαδρομών.



Εικόνα 3.17: Ο μόνιμος σταθμός CASC στη Λισαβόνα, Πορτογαλία

(Πηγή: <https://earth.google.com/>)



Εικόνα 3.18: Η κεραία Trimble GNSS-Ti με choke rings

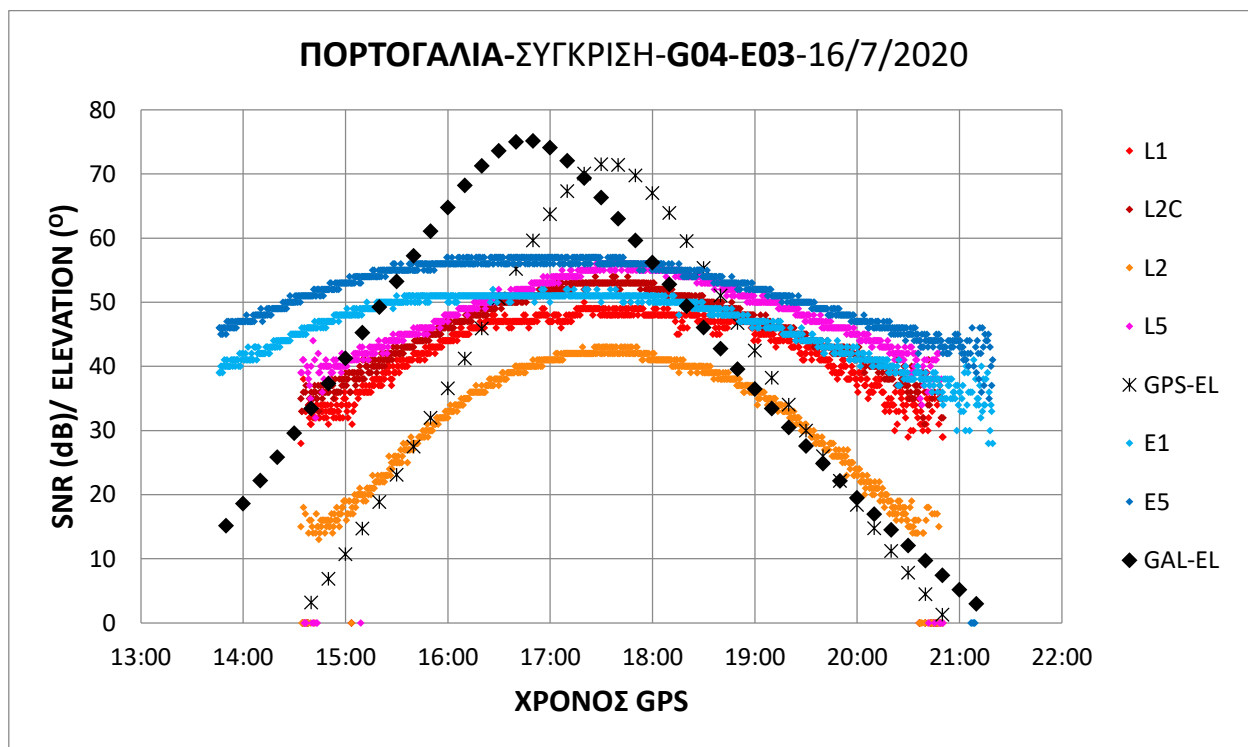
(Πηγή: <https://geospatial.trimble.com/>)

3.5.1 Σύγκριση σημάτων GPS-Galileo

Για τη σύγκριση των δορυφόρων GPS και Galileo στην Πορτογαλία μετά από εξέταση του sky plot, επιλέχθηκαν τα εξής ζευγάρια δορυφόρων:

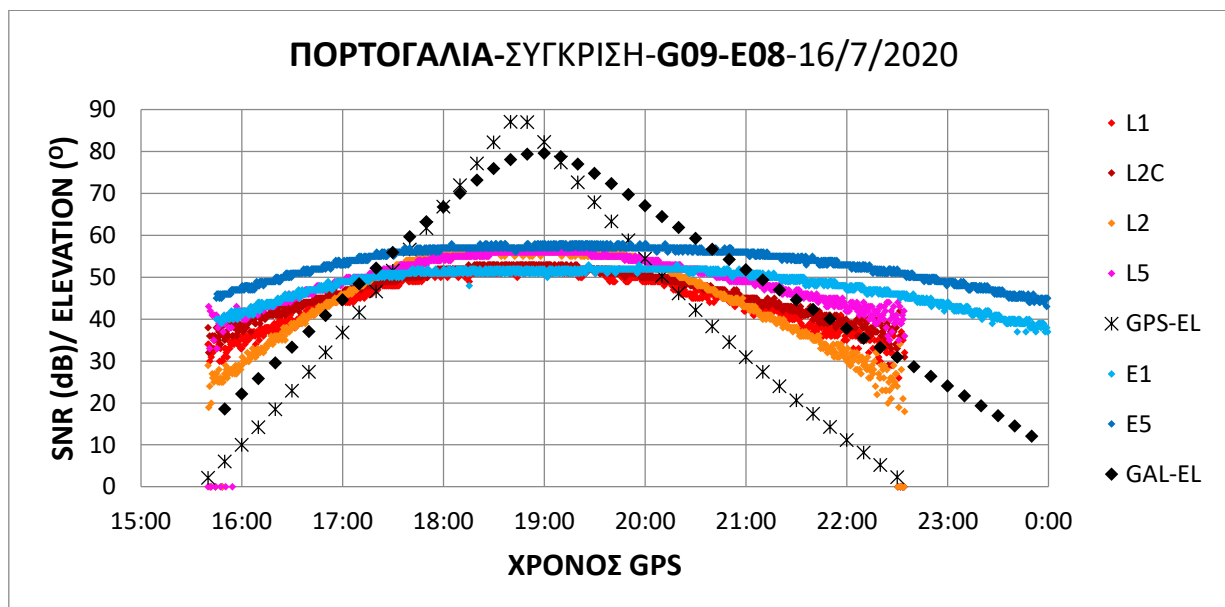
- G04 – E03
- G09 – E08
- G15 – E04
- G06 – E13
- G25 – E24

Στο Διάγραμμα 3.73 συγκρίνεται το SNR των δορυφόρων G04 και E03 για τα σήματα L1, L2, L2C, L5, E1 και E5. Παρατηρείται ότι το SNR του σήματος E5 είναι μεγαλύτερο από όλα τα υπόλοιπα σήματα. Το σήμα L5 είναι πιο ψηλά από τα σήματα GPS και το σήμα E1. Το σήμα L2 είναι κατά πολύ χαμηλότερο από όλα. Τέλος το SNR του E1 είναι μεγαλύτερο από αυτό του L1.



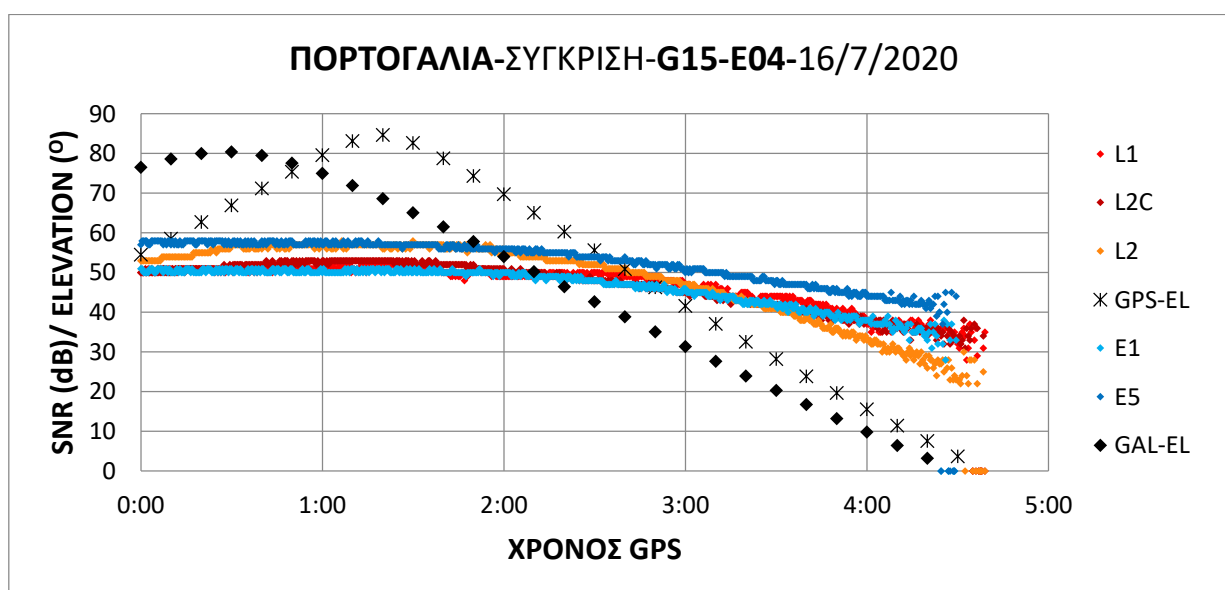
Διάγραμμα 3.73: Πορτογαλία - SNR δορυφόρων G04 και E03 στα σήματα L1, L2, L2C, L5, E1 και E5

Στο Διάγραμμα 3.74 συγκρίνεται το SNR των δορυφόρων G09 και E08 για τα σήματα L1, L2, L2C, L5, E1 και E5. Παρατηρείται ότι το SNR του σήματος E5 είναι μεγαλύτερο από όλα τα υπόλοιπα σήματα. Το σήμα L5 είναι πιο ψηλά από τα σήματα GPS και ξεπερνά το σήμα E1 για ύψος πάνω από 50°. Το σήμα L2 ενώ είναι το χαμηλότερο προκύπτει ότι για ύψος πάνω από 50° ξεπερνά τα σήματα L1, L2C και E1 και αγγίζει το SNR του L5. Τέλος το SNR του E1 είναι μεγαλύτερο από αυτό του L1.



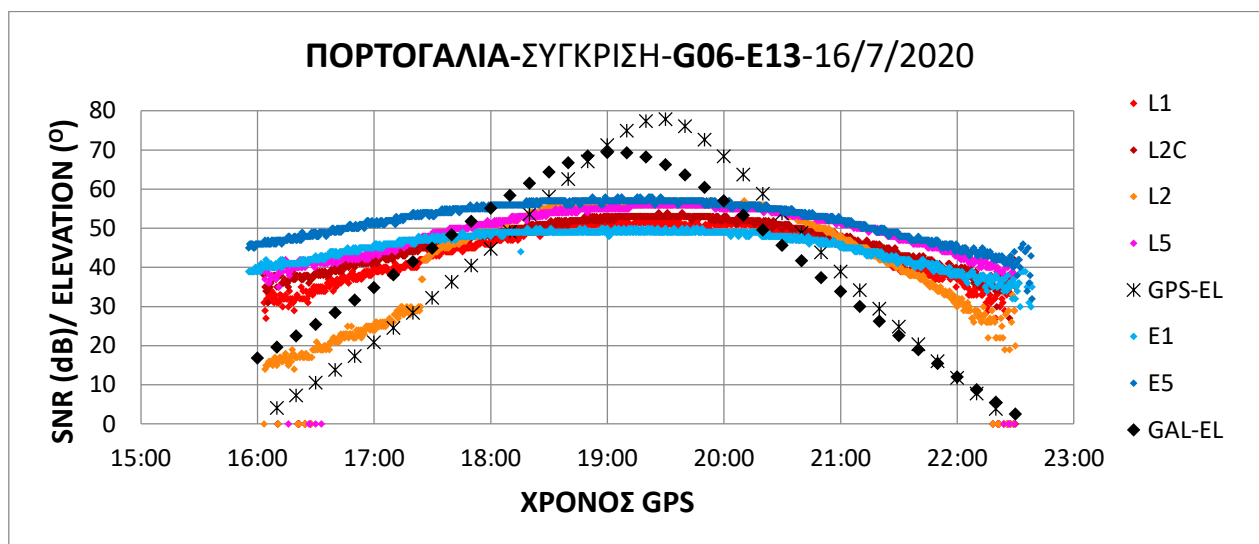
Διάγραμμα 3.74: Πορτογαλία - SNR δορυφόρων G09 και E08 στα σήματα L1, L2, L2C, L5, E1 και E5

Στο Διάγραμμα 3.75 συγκρίνεται το SNR των δορυφόρων G15 και E04 για τα σήματα L1, L2, L2C, E1 και E5. Παρατηρείται ότι το SNR του σήματος E5 είναι μεγαλύτερο από όλα τα υπόλοιπα σήματα. Το σήμα L2 φαίνεται να αγγίζει το SNR του E5 και ύστερα κάτω από τις 45° περίπου γίνεται το χαμηλότερο. Τέλος το SNR του E1 είναι οριακά μικρότερο από αυτό του L1.



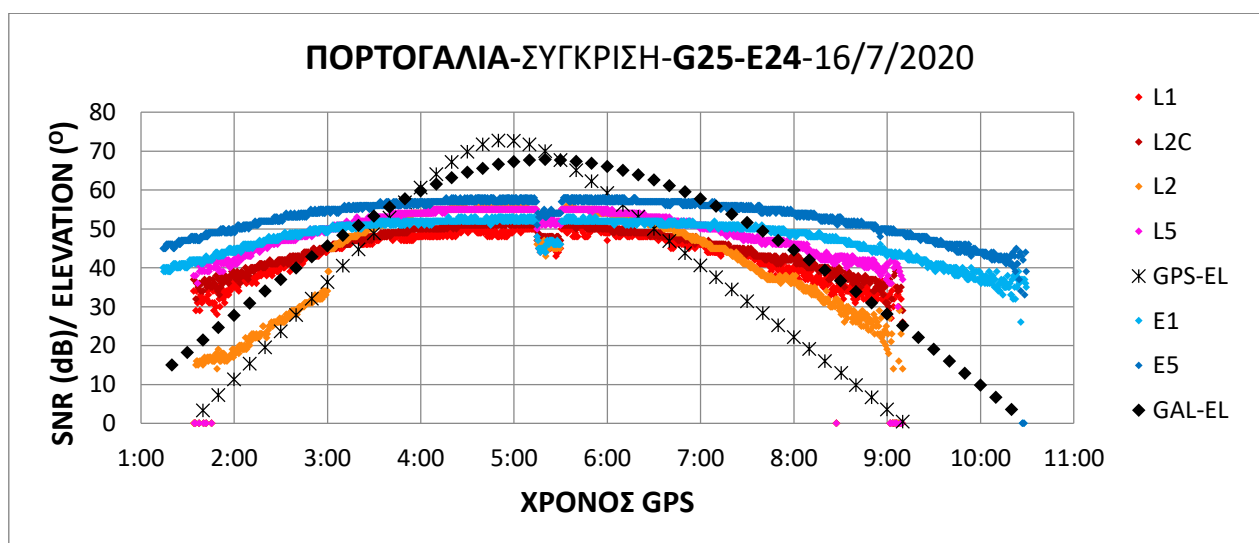
Διάγραμμα 3.75: Πορτογαλία - SNR δορυφόρων G15 και E04 στα σήματα L1, L2, L2C, E1 και E5

Στο Διάγραμμα 3.76 συγκρίνεται το SNR των δορυφόρων G06 και E13 για τα σήματα L1, L2, L2C, L5, E1 και E5. Παρατηρείται ότι το SNR του σήματος E5 είναι μεγαλύτερο από όλα τα υπόλοιπα σήματα. Το σήμα L5 αγγίζει το SNR του E5 αλλά παραμένει πιο χαμηλό. Το σήμα L2 ενώ είναι κατά πολύ χαμηλότερο από όλα ξαφνικά πάνω από τις 30° εκτοξεύεται και αγγίζει το SNR του L5. Τέλος το SNR του L1 είναι μεγαλύτερο από αυτό του E1 για ύψος πάνω από τις 50°.



Διάγραμμα 3.76: Πορτογαλία - SNR δορυφόρων G06 και E13 στα σήματα L1, L2, L2C, L5, E1 και E5

Στο Διάγραμμα 3.77 συγκρίνεται το SNR των δορυφόρων G25 και E24 για τα σήματα L1, L2, L2C, L5, E1 και E5. Αρχικά παρατηρείται ότι για όλα τα σήματα υπάρχει μια μικρή υποβάθμιση του SNR για διάρκεια 15 λεπτών. Παρατηρείται ότι το SNR του σήματος E5 είναι μεγαλύτερο από όλα τα υπόλοιπα σήματα. Το σήμα L5 είναι χαμηλότερο από το SNR του E5. Το σήμα L2 ενώ είναι κατά πολύ χαμηλότερο από όλα ξαφνικά πάνω από τις 30° εκτοξεύεται και αγγίζει το SNR του L5 ξεπερνώντας το SNR L. Τέλος το SNR του E1 είναι μεγαλύτερο από αυτό του L1.

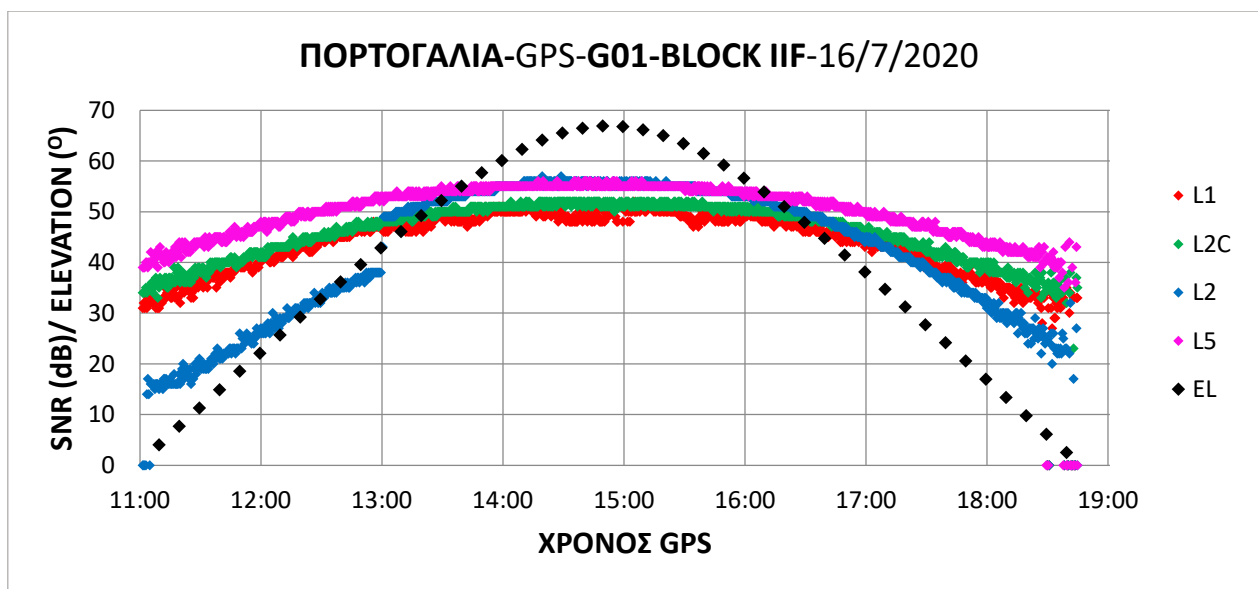


Διάγραμμα 3.77: Πορτογαλία - SNR δορυφόρων G25 και E24 στα σήματα L1, L2, L2C, L5, E1 και E5

3.5.2 Σύγκριση σημάτων GPS

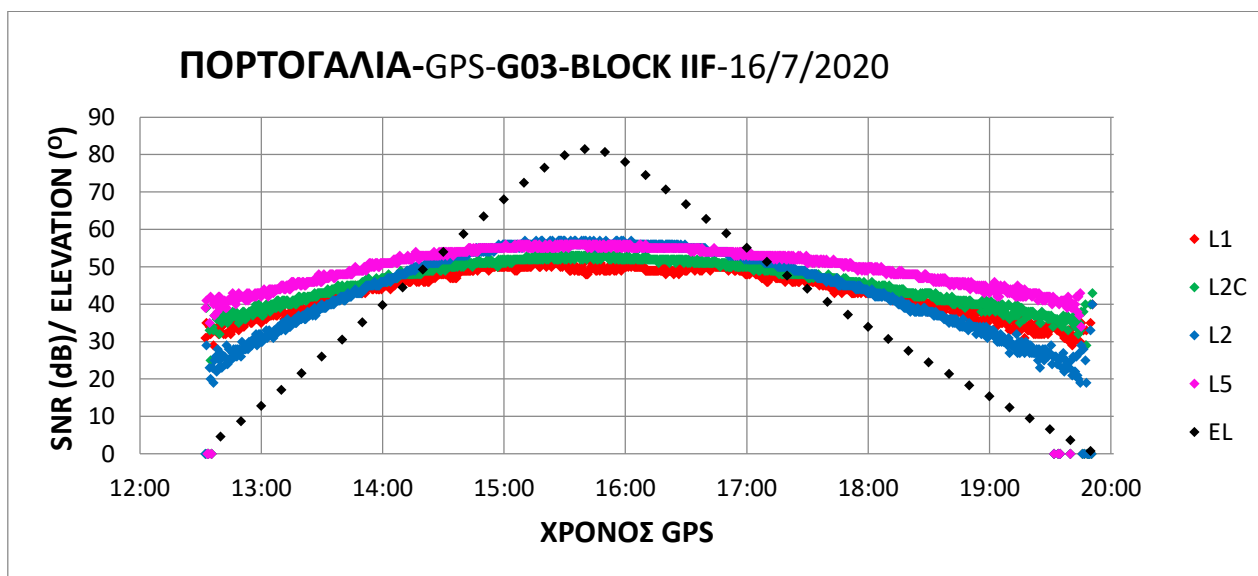
Παρακάτω φαίνονται τα διαγράμματα που δημιουργήθηκαν από τα δεδομένα του μόνιμου σταθμού Trimble Alloy στην Πορτογαλία ο οποίος λαμβάνει τα σήματα L1, L2, L2C, L5, E1 και E5.

Στο Διάγραμμα 3.78 συγκρίνεται το SNR του δορυφόρου G01 για τα σήματα L1, L2, L2C και L5. Παρατηρείται ότι το SNR του σήματος L5 είναι μεγαλύτερο από όλα τα υπόλοιπα. Το SNR του L2 ενώ είναι το χαμηλότερο μόλις ο δορυφόρος περάσει το ύψος 40° ξεπερνά τα SNR των L1 και L2C και αγγίζει το SNR του L5.



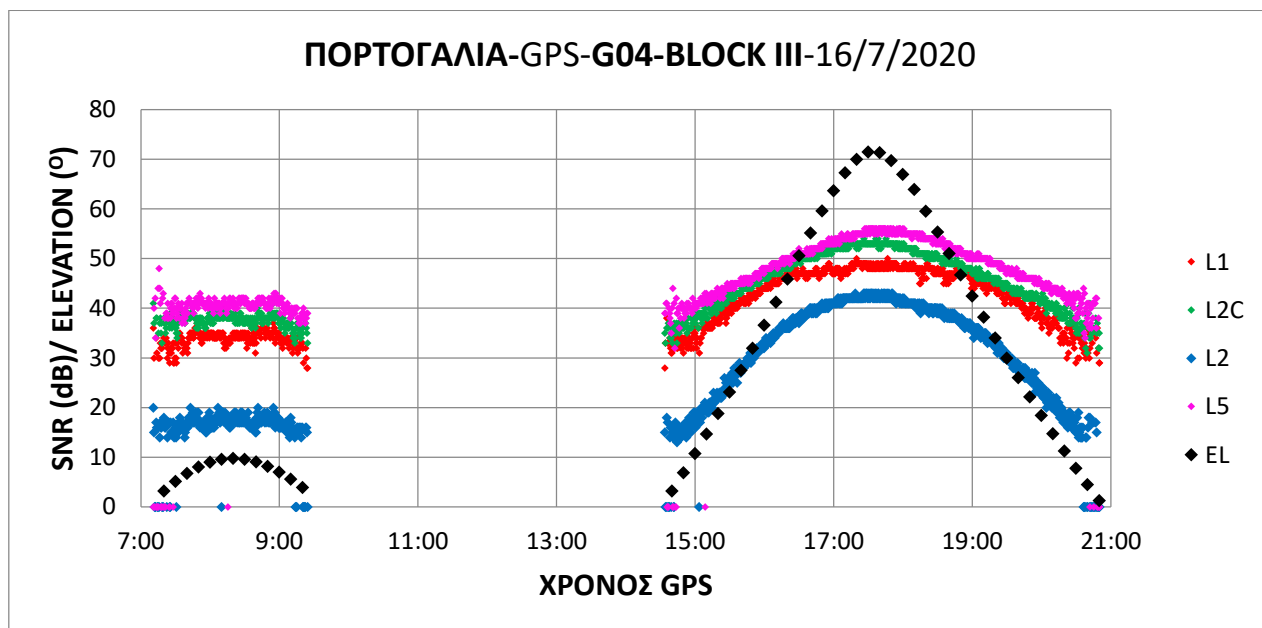
Διάγραμμα 3.78: Πορτογαλία - SNR δορυφόρου G01 στα σήματα L1, L2, L2C και L5

Στο Διάγραμμα 3.79 συγκρίνεται το SNR του δορυφόρου G03 για τα σήματα L1, L2, L2C και L5. Παρατηρείται ότι το SNR του σήματος L5 είναι μεγαλύτερο από όλα τα υπόλοιπα. Το SNR του L2 για ύψος πάνω από 40° ξεπερνά τα SNR των L1 και L2C και αγγίζει το SNR του L5.



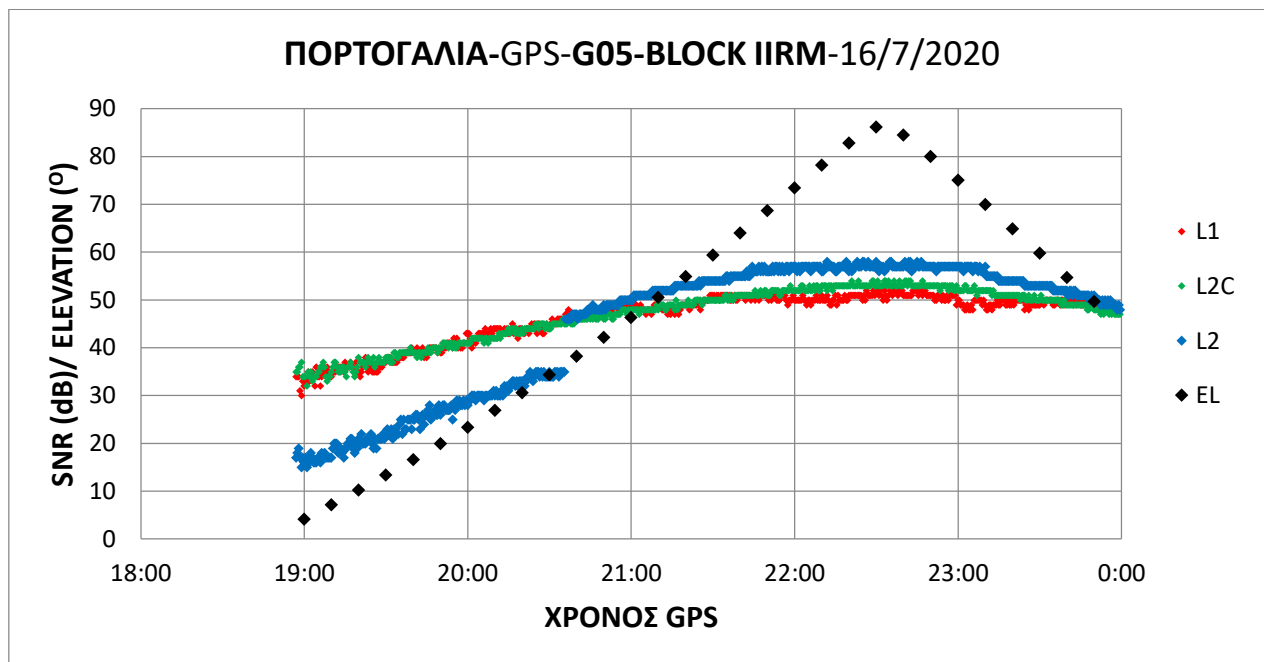
Διάγραμμα 3.79: Πορτογαλία - SNR δορυφόρου G03 στα σήματα L1, L2, L2C και L5

Στο Διάγραμμα 3.80 συγκρίνεται το SNR του δορυφόρου G04 για τα σήματα L1, L2, L2C και L5. Παρατηρείται ότι το SNR του σήματος L5 είναι μεγαλύτερο από όλα τα υπόλοιπα. Τα SNR των L1 και L2C είναι οριακά χαμηλότερα από το SNR του L5. Τέλος το SNR του L2 είναι κατά πολύ χαμηλότερο από όλα.



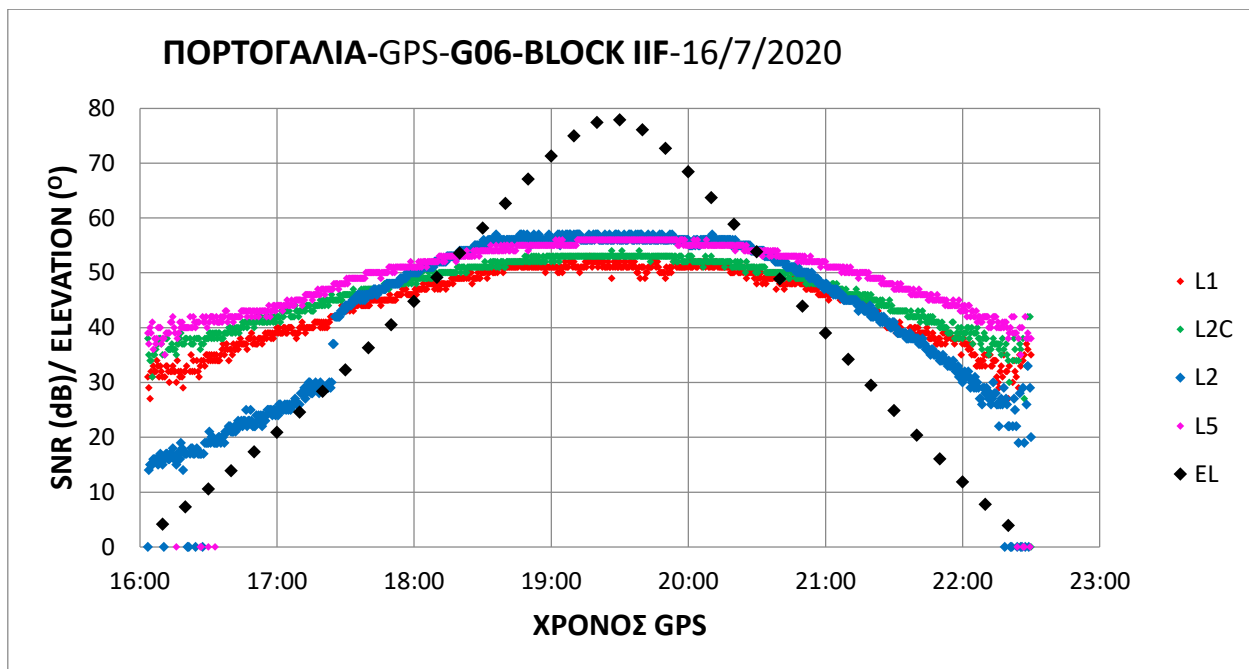
Διάγραμμα 3.80: Πορτογαλία - SNR δορυφόρου G04 στα σήματα L1, L2, L2C και L5

Στο Διάγραμμα 3.81 συγκρίνεται το SNR του δορυφόρου G05 για τα σήματα L1, L2 και L2C. Παρατηρείται ότι το SNR του L2 ενώ είναι το χαμηλότερο από όλα μόλις ο δορυφόρος περάσει το ύψος 35° ξαφνικά εκτοξεύεται και ξεπερνά τα SNR των L1 και L2C.



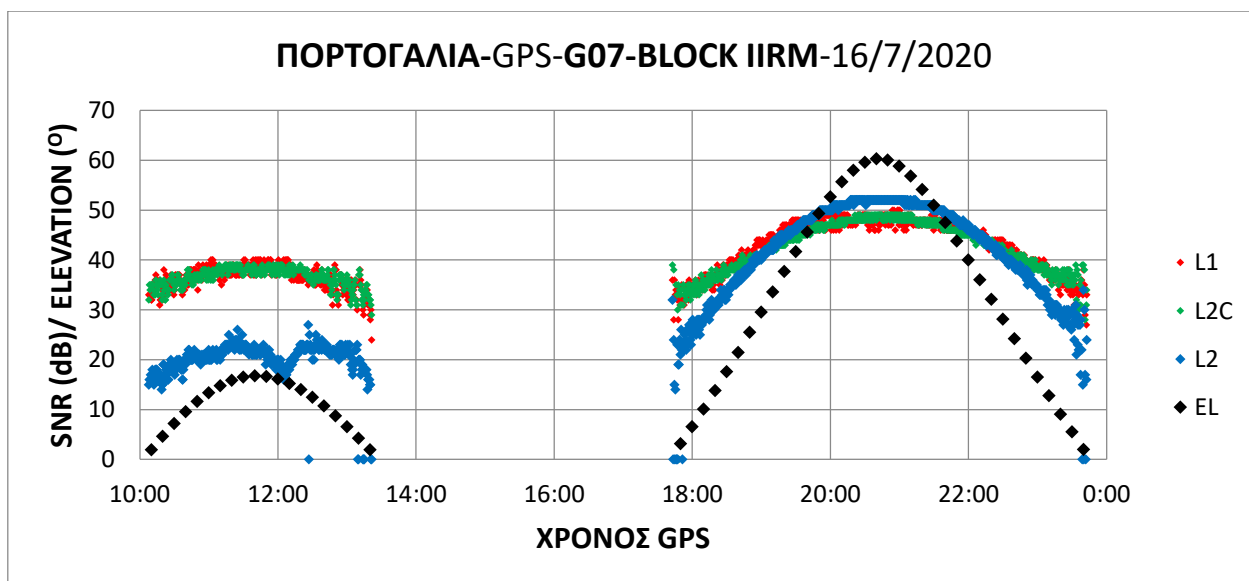
Διάγραμμα 3.81: Πορτογαλία - SNR δορυφόρου G05 στα σήματα L1, L2 και L2C

Στο Διάγραμμα 3.82 συγκρίνεται το SNR του δορυφόρου G06 για τα σήματα L1, L2, L2C και L5. Παρατηρείται ότι το SNR του σήματος L5 είναι μεγαλύτερο από όλα τα υπόλοιπα κατά μέσο όρο. Το SNR του L2 ενώ είναι το χαμηλότερο μόλις ο δορυφόρος περάσει το ύψος 30° ξαφνικά και ξεπερνά τα SNR των L1 και L2C και για ύψος πάνω από 55° ξεπερνά και το SNR του L5.



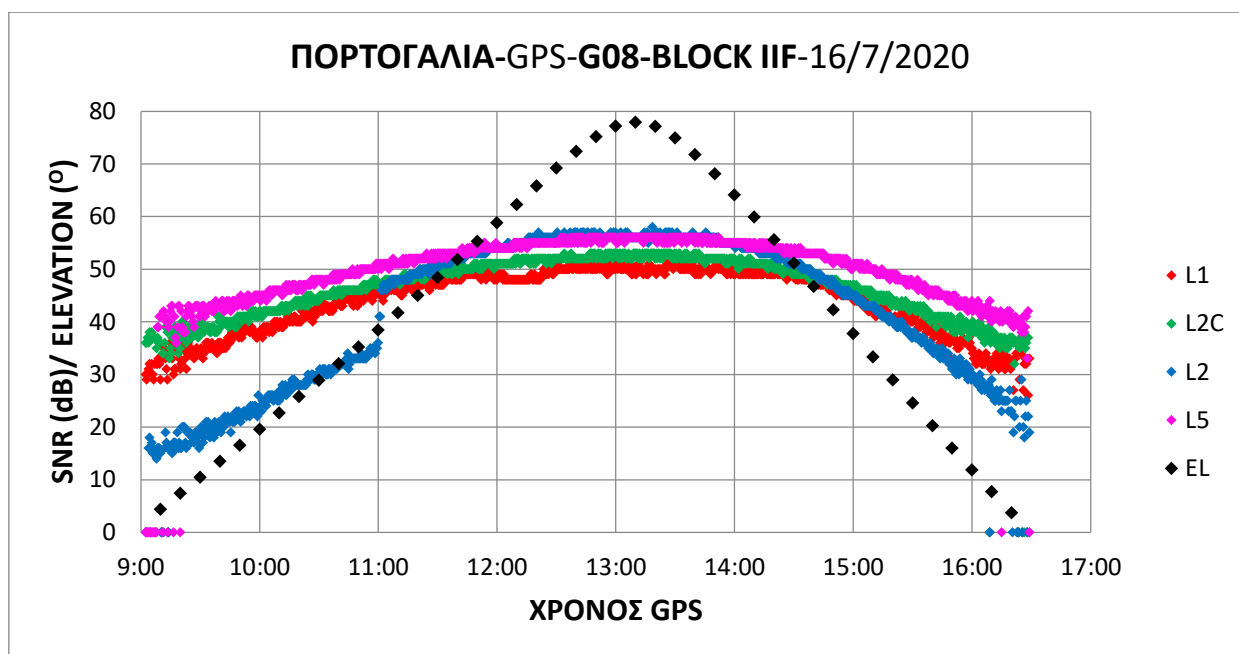
Διάγραμμα 3.82: Πορτογαλία - SNR δορυφόρου G06 στα σήματα L1, L2, L2C και L5

Στο Διάγραμμα 3.83 συγκρίνεται το SNR του δορυφόρου G07 για τα σήματα L1, L2 και L2C. Παρατηρείται ότι το SNR του L2 ενώ είναι το χαμηλότερο από όλα μόλις ο δορυφόρος περάσει το ύψος 45° ξεπερνά τα SNR των L1 και L2C.



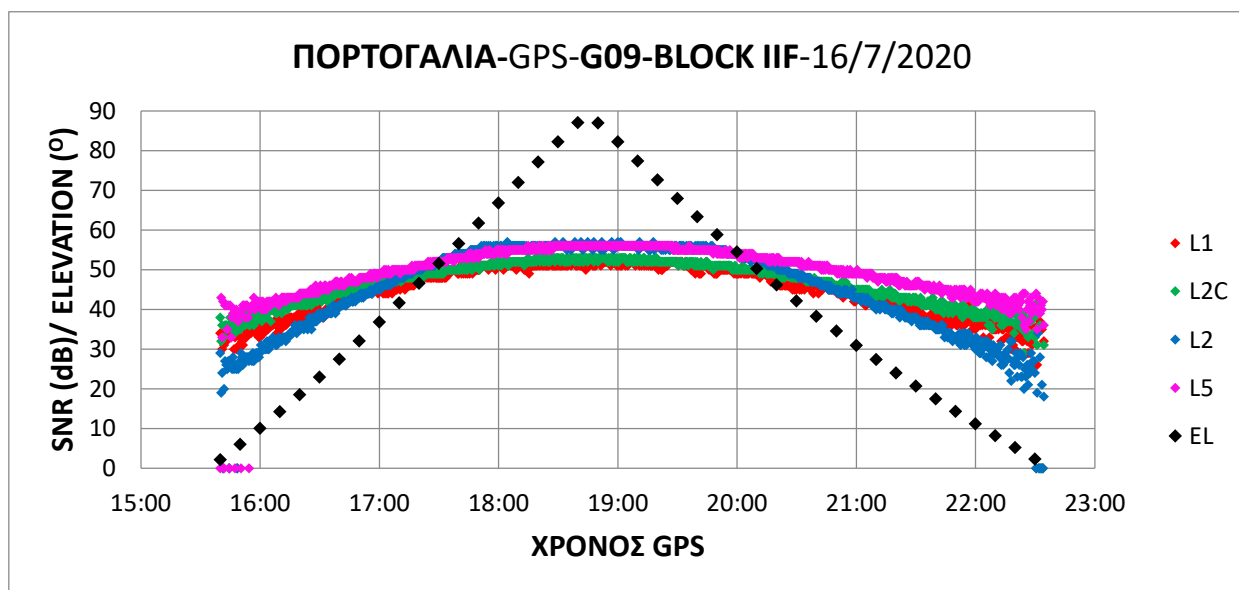
Διάγραμμα 3.83: Πορτογαλία - SNR δορυφόρου G07 στα σήματα L1, L2 και L2C

Στο Διάγραμμα 3.84 συγκρίνεται το SNR του δορυφόρου G08 για τα σήματα L1, L2, L2C και L5. Παρατηρείται ότι το SNR του σήματος L5 είναι μεγαλύτερο από όλα τα υπόλοιπα. Το SNR του L2 ενώ είναι το χαμηλότερο μόλις ο δορυφόρος περάσει το ύψος 35° ξαφνικά εκτοξεύεται και ξεπερνά τα SNR των L1 και L2C και για ύψος πάνω από 55° ξεπερνά και το SNR του L5.



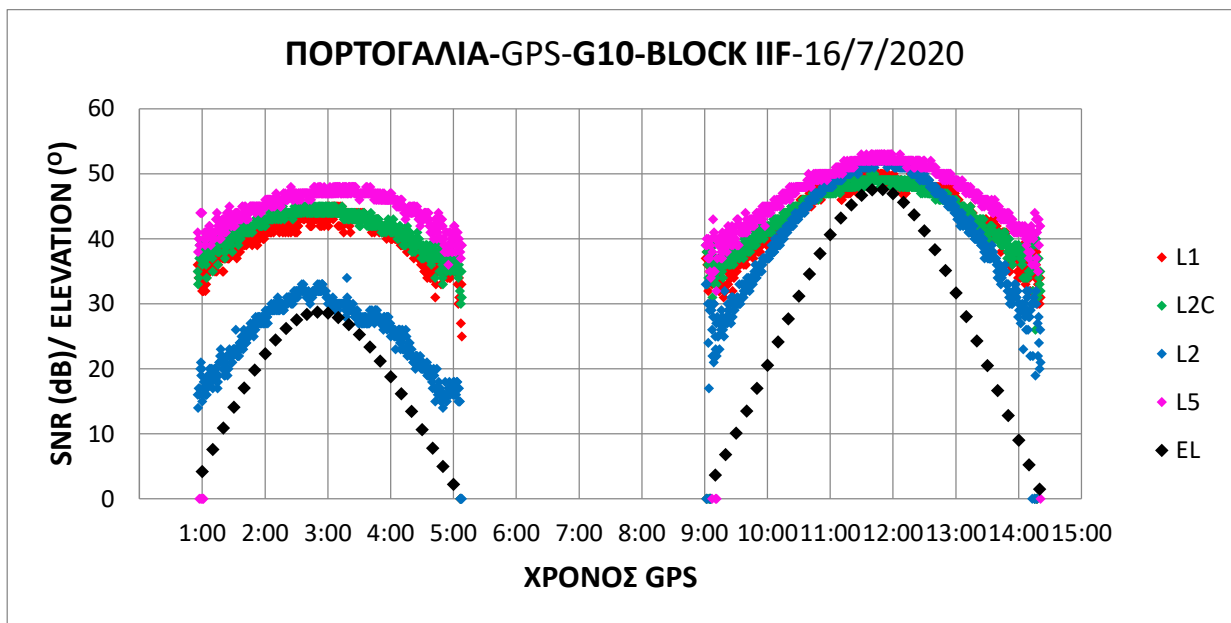
Διάγραμμα 3.84: Πορτογαλία - SNR δορυφόρου G08 στα σήματα L1, L2, L2C και L5

Στο Διάγραμμα 3.85 συγκρίνεται το SNR του δορυφόρου G01 για τα σήματα L1, L2, L2C και L5. Παρατηρείται ότι το SNR του σήματος L5 είναι μεγαλύτερο από όλα τα υπόλοιπα. Το SNR του L2 ενώ είναι το χαμηλότερο μόλις ο δορυφόρος περάσει το ύψος 40° ξεπερνά τα SNR των L1 και L2C και για ύψος πάνω από 55° ξεπερνά και το SNR του L5.



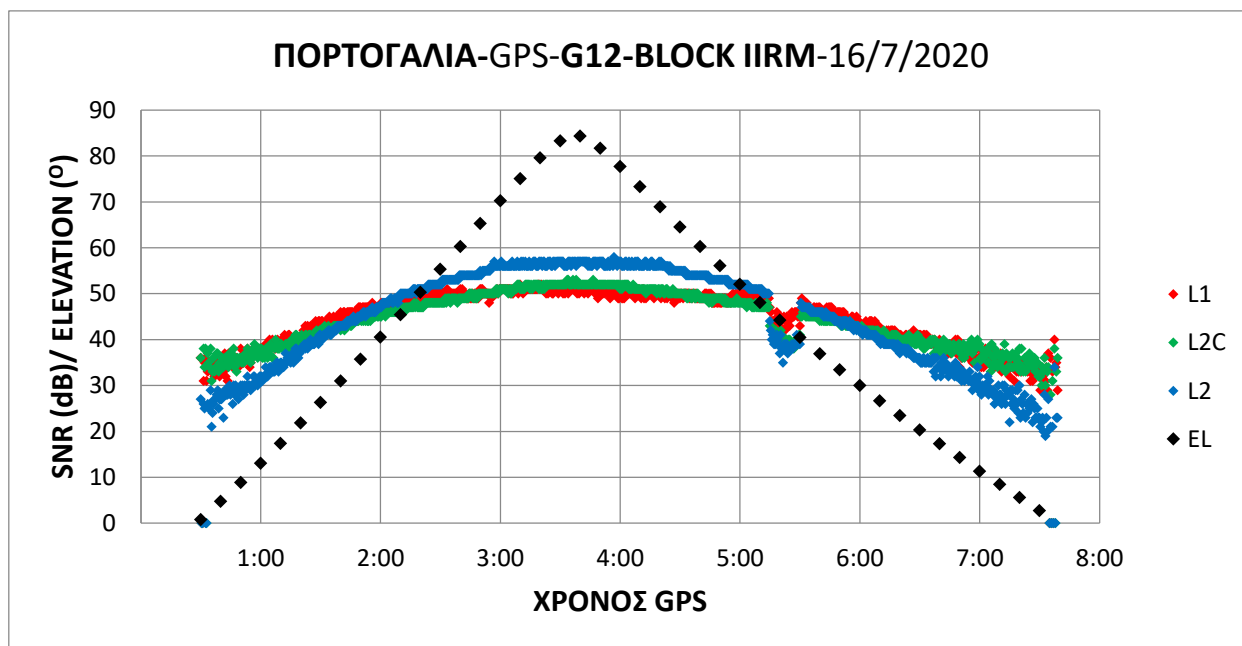
Διάγραμμα 3.85: Πορτογαλία - SNR δορυφόρου G09 στα σήματα L1, L2, L2C και L5

Στο Διάγραμμα 3.86 συγκρίνεται το SNR του δορυφόρου G10 για τα σήματα L1, L2, L2C και L5. Παρατηρείται ότι το SNR του σήματος L5 είναι μεγαλύτερο από όλα τα υπόλοιπα. Το SNR του L2 ενώ είναι το χαμηλότερο μόλις ο δορυφόρος περάσει το ύψος 40° ξεπερνά τα SNR των L1 και L2C και αγγίζει το SNR του L5.



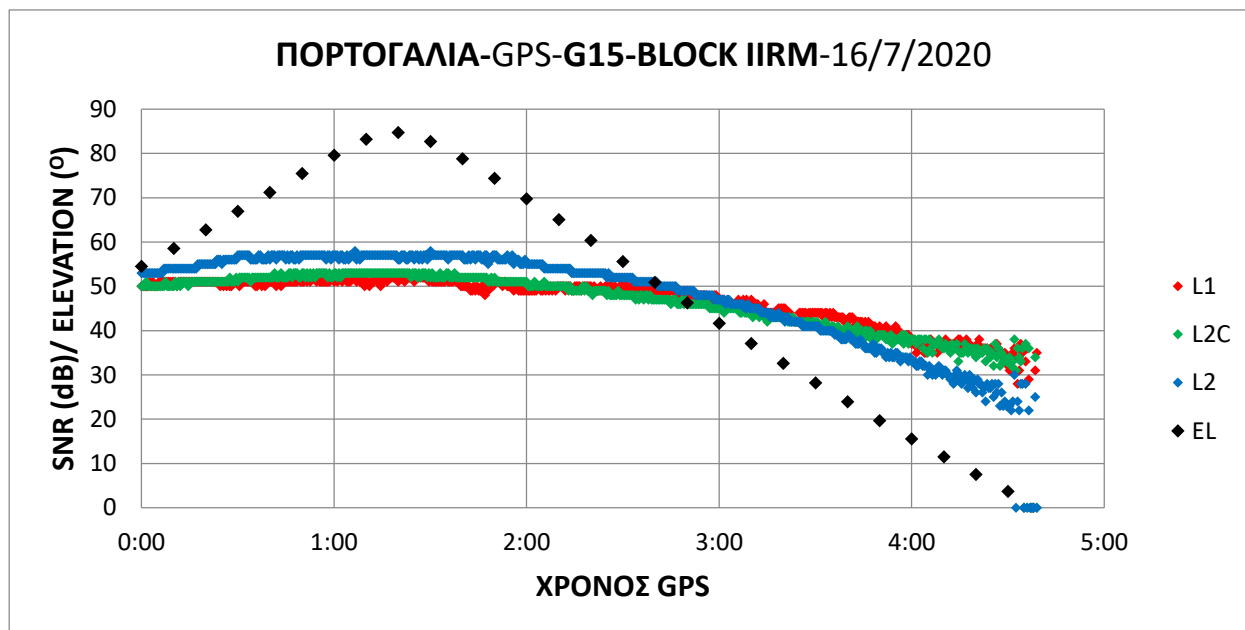
Διάγραμμα 3.86: Πορτογαλία - SNR δορυφόρου G10 στα σήματα L1, L2, L2C και L5

Στο Διάγραμμα 3.87 συγκρίνεται το SNR του δορυφόρου G12 για τα σήματα L1, L2 και L2C. Αρχικά παρατηρείται ότι για όλα τα σήματα υπάρχει μια μικρή υποβάθμιση του SNR για διαρκεια 15 λεπτών. Παρατηρείται ότι το SNR του L2 ενώ είναι το χαμηλότερο από όλα μόλις ο δορυφόρος περάσει το ύψος 40° ξεπερνά τα SNR των L1 και L2C.



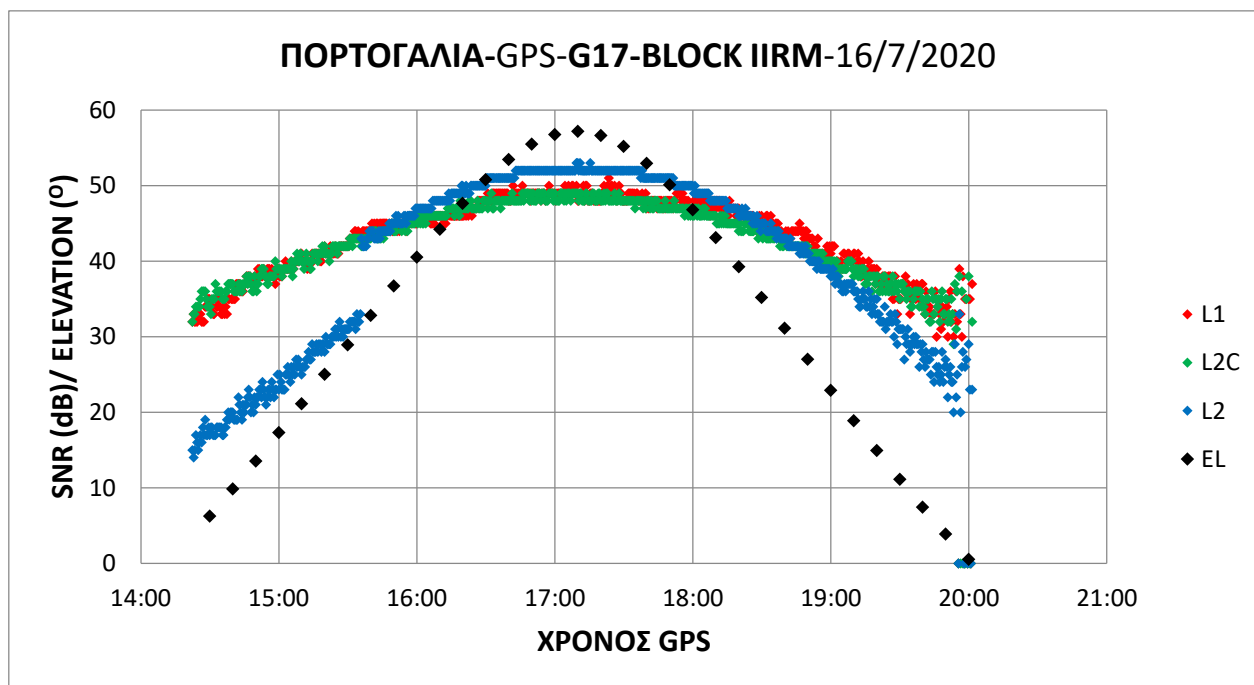
Διάγραμμα 3.87: Πορτογαλία - SNR δορυφόρου G12 στα σήματα L1, L2 και L2C

Στο Διάγραμμα 3.88 συγκρίνεται το SNR του δορυφόρου G15 για τα σήματα L1, L2 και L2C. Παρατηρείται ότι το SNR του L2 είναι υψηλότερο για ύψος πάνω από 45°.



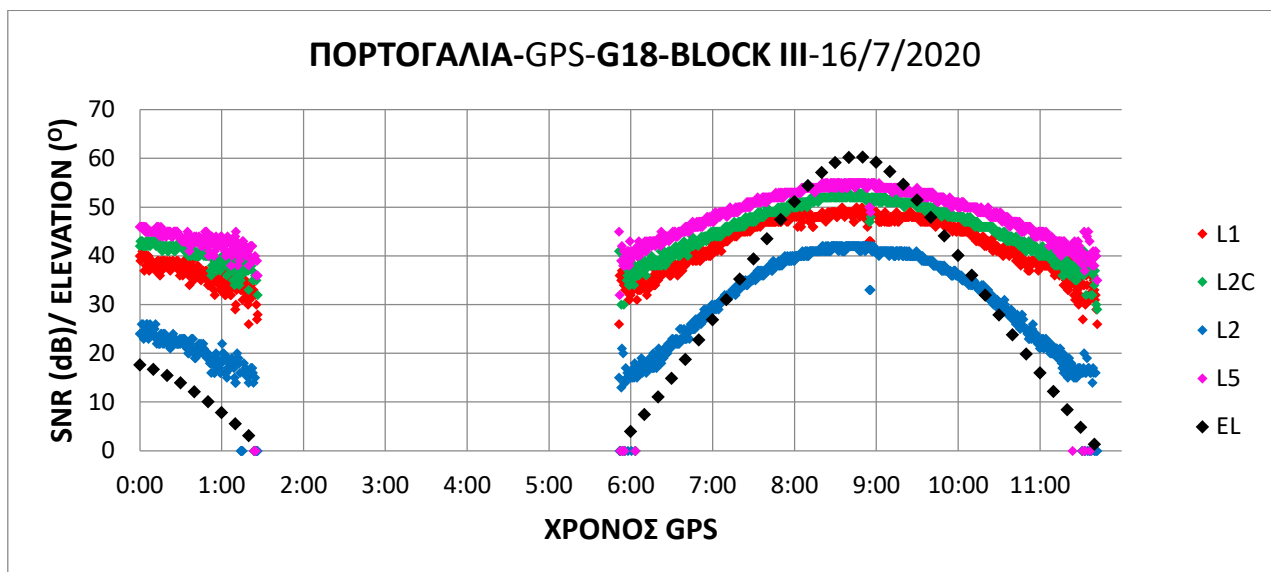
Διάγραμμα 3.88: Πορτογαλία - SNR δορυφόρου G15 στα σήματα L1, L2 και L2C

Στο Διάγραμμα 3.89 συγκρίνεται το SNR του δορυφόρου G17 για τα σήματα L1, L2 και L2C. Παρατηρείται ότι το SNR του L2 ενώ είναι το χαμηλότερο από όλα μόλις ο δορυφόρος περάσει το ύψος 35° ξαφνικά εκτοξεύεται και ξεπερνά τα SNR των L1 και L2C.



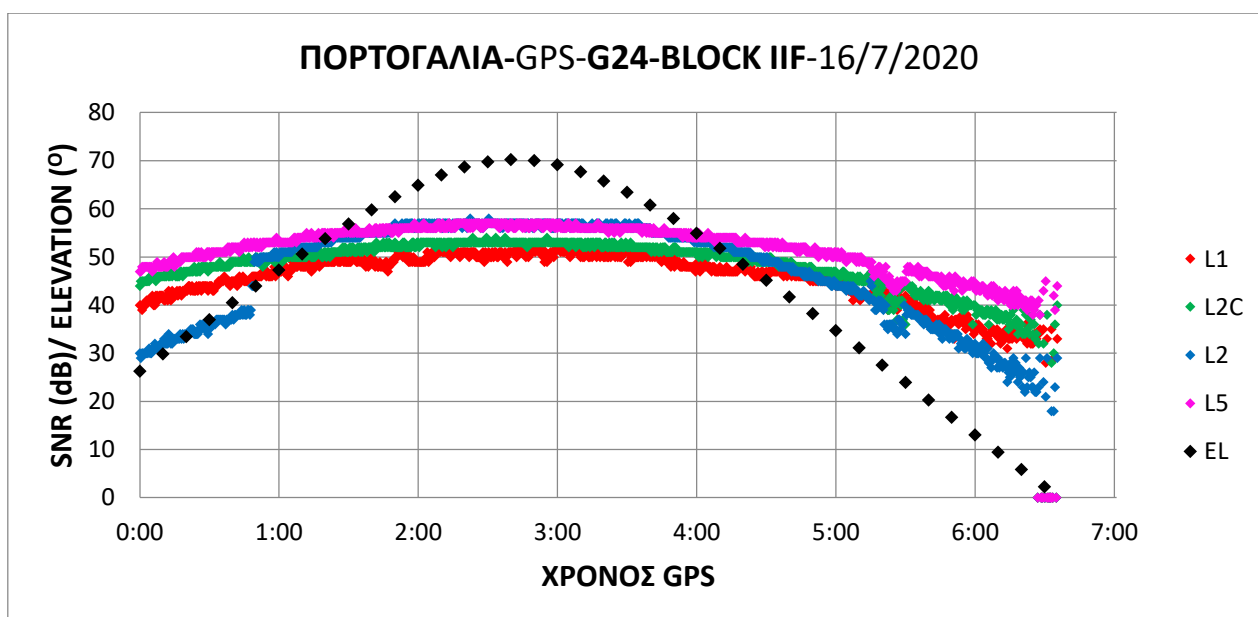
Διάγραμμα 3.89: Πορτογαλία - SNR δορυφόρου G17 στα σήματα L1, L2 και L2C

Στο Διάγραμμα 3.90 συγκρίνεται το SNR του δορυφόρου G18 για τα σήματα L1, L2, L2C και L5. Παρατηρείται ότι το SNR του σήματος L5 είναι μεγαλύτερο από όλα τα υπόλοιπα. Τα SNR των L1 και L2C είναι λίγο χαμηλότερα από το SNR του L5. Τέλος το SNR του L2 είναι κατά πολύ χαμηλότερο από όλα.



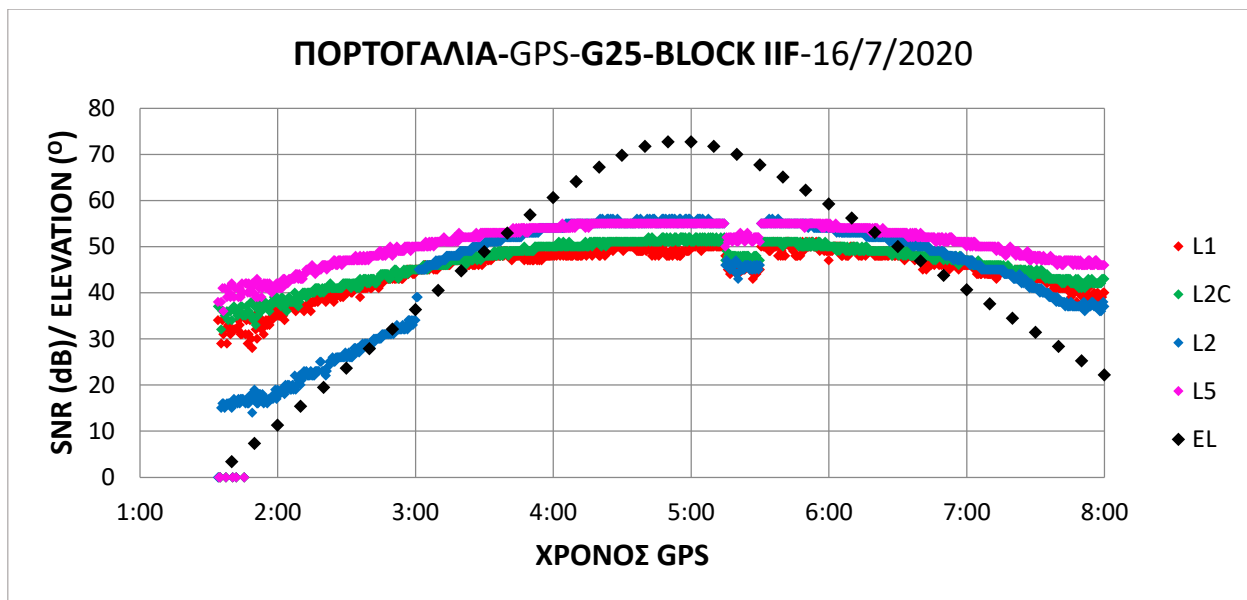
Διάγραμμα 3.90: Πορτογαλία - SNR δορυφόρου G18 στα σήματα L1, L2, L2C και L5

Στο Διάγραμμα 3.91 συγκρίνεται το SNR του δορυφόρου G24 για τα σήματα L1, L2, L2C και L5. Αρχικά παρατηρείται ότι για όλα τα σήματα υπάρχει μια μικρή υποβάθμιση του SNR για διάρκεια 15 λεπτών περίπου. Παρατηρείται ότι το SNR του σήματος L5 είναι μεγαλύτερο από όλα τα υπόλοιπα. Το SNR του L2 ενώ είναι το χαμηλότερο μόλις ο δορυφόρος περάσει το ύψος 40° ξαφνικά εκτοξεύεται και ξεπερνά τα SNR των L1 και L2C και για ύψος πάνω από 55° ξεπερνά και το SNR του L5.



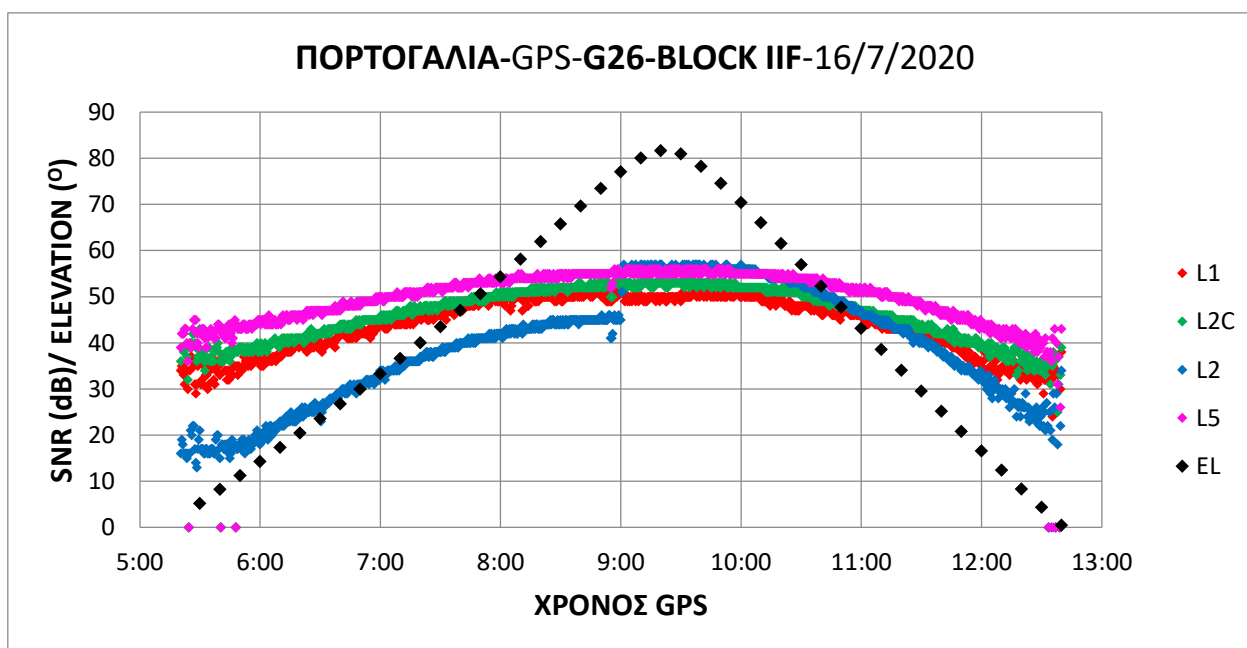
Διάγραμμα 3.91: Πορτογαλία - SNR δορυφόρου G24 στα σήματα L1, L2, L2C και L5

Στο Διάγραμμα 3.92 συγκρίνεται το SNR του δορυφόρου G25 για τα σήματα L1, L2, L2C και L5. Αρχικά παρατηρείται ότι για όλα τα σήματα υπάρχει μια μικρή υποβάθμιση του SNR για διάρκεια 15 λεπτών. Παρατηρείται ότι το SNR του σήματος L5 είναι μεγαλύτερο από όλα τα υπόλοιπα. Το SNR του L2 ενώ είναι το χαμηλότερο μόλις ο δορυφόρος περάσει το ύψος 35° ξαφνικά εκτοξεύεται και ξεπερνά τα SNR των L1 και L2C και για ύψος πάνω από 55° ξεπερνά και το SNR του L5.



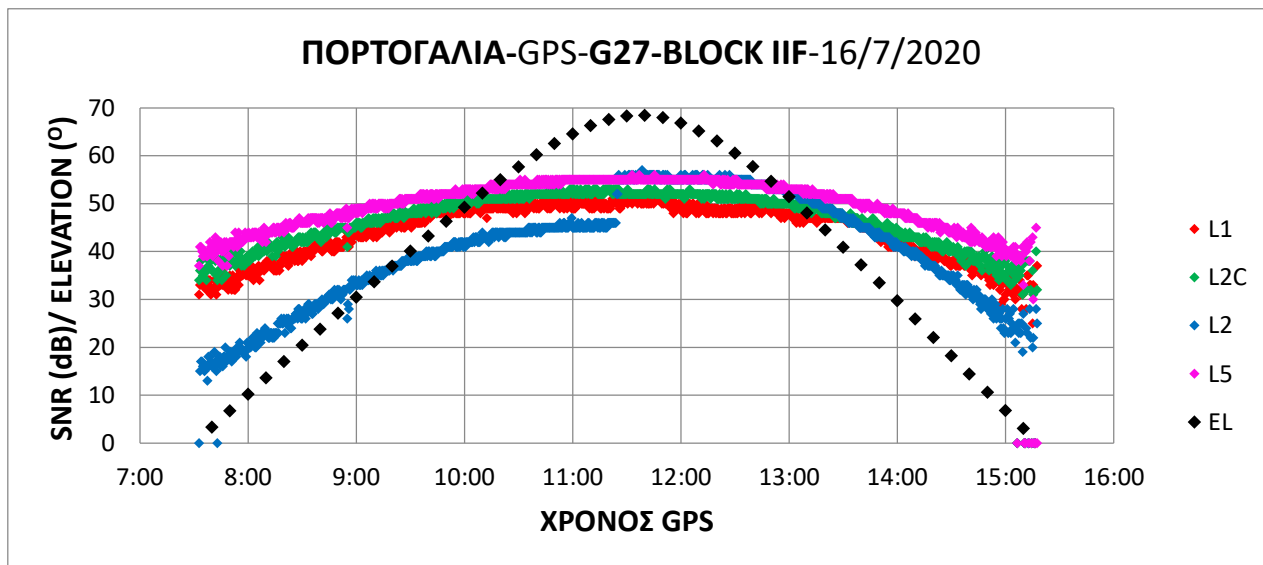
Διάγραμμα 3.92: Πορτογαλία - SNR δορυφόρου G25 στα σήματα L1, L2, L2C και L5

Στο Διάγραμμα 3.93 συγκρίνεται το SNR του δορυφόρου G26 για τα σήματα L1, L2, L2C και L5. Παρατηρείται ότι το SNR του σήματος L5 είναι μεγαλύτερο από όλα τα υπόλοιπα κατά μέσο όρο. Το SNR του L2 ενώ είναι το χαμηλότερο μόλις ο δορυφόρος περάσει το ύψος 75° ξαφνικά εκτοξεύεται και ξεπερνά τα SNR των L1, L2C και L5 και ύστερα κάτω από ύψος 60° φθίνει και γίνεται σταδιακά χαμηλότερο.



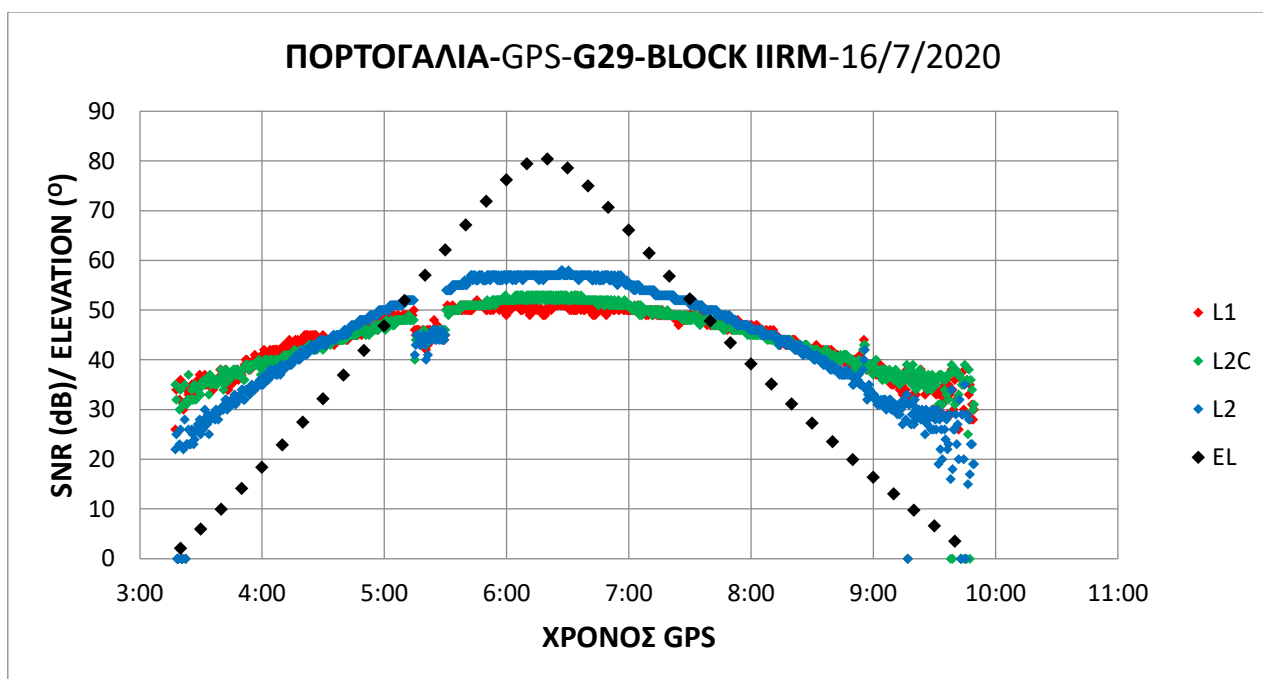
Διάγραμμα 3.93: Πορτογαλία - SNR δορυφόρου G26 στα σήματα L1, L2, L2C και L5

Στο Διάγραμμα 3.94 συγκρίνεται το SNR του δορυφόρου G27 για τα σήματα L1, L2, L2C και L5. Παρατηρείται ότι το SNR του σήματος L5 είναι μεγαλύτερο από όλα τα υπόλοιπα κατά μέσο όρο. Το SNR του L2 ενώ είναι το χαμηλότερο μόλις ο δορυφόρος περάσει το ύψος 65° ξαφνικά εκτοξεύεται και ξεπερνά τα SNR των L1, L2C και L5 και ύστερα κάτω από ύψος 55° φθίνει και γίνεται σταδιακά χαμηλότερο.



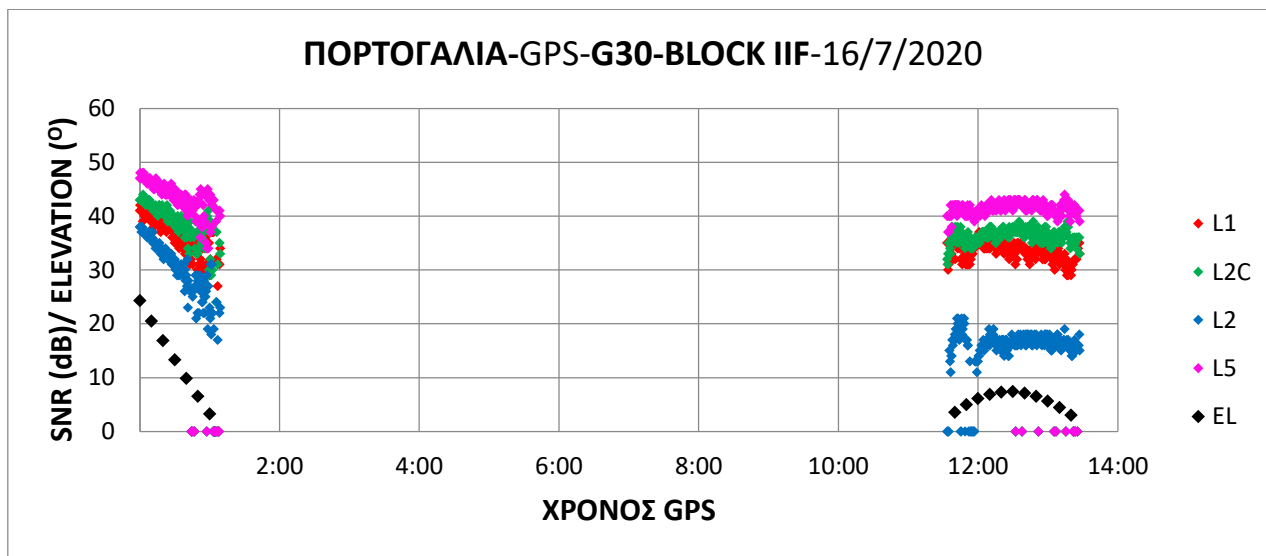
Διάγραμμα 3.94: Πορτογαλία - SNR δορυφόρου G27 στα σήματα L1, L2, L2C και L5

Στο Διάγραμμα 3.95 συγκρίνεται το SNR του δορυφόρου G29 για τα σήματα L1, L2 και L2C. Αρχικά παρατηρείται ότι για όλα τα σήματα υπάρχει μια μικρή υποβάθμιση του SNR για διαρκεια 15 λεπτών περίπου. Παρατηρείται ότι το SNR του L2 για ύψος πάνω από 35° ξεπερνά τα SNR των L1 και L2C.



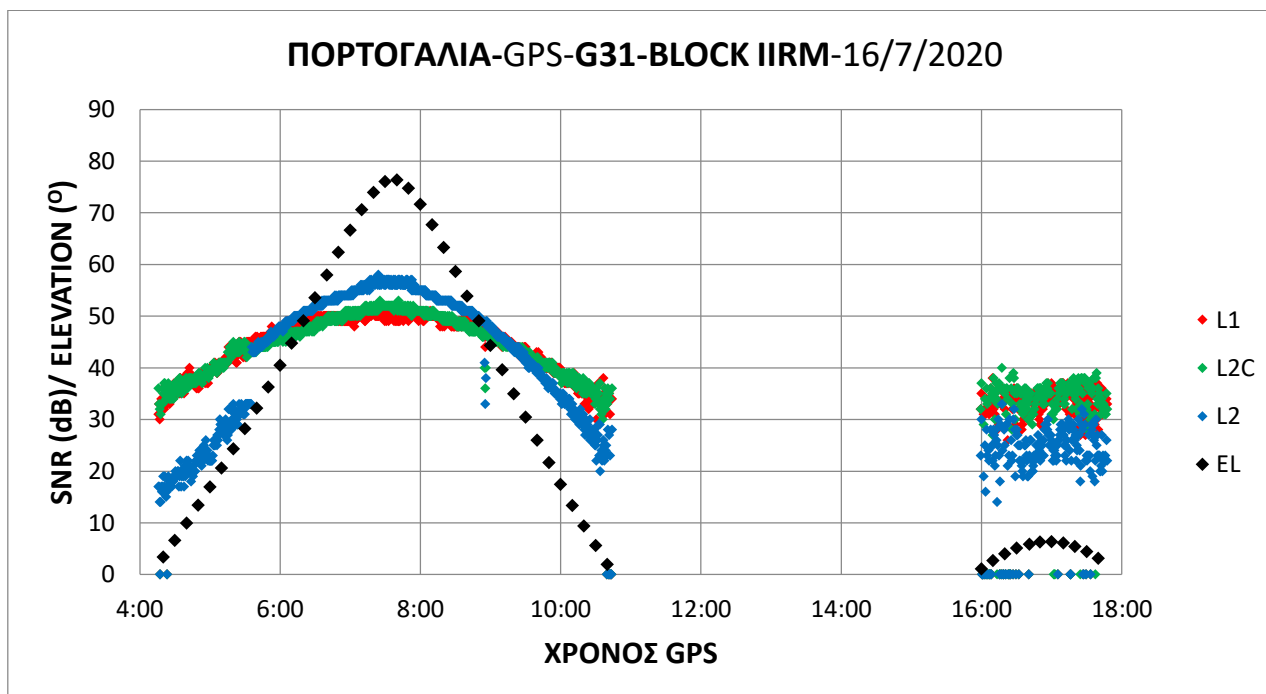
Διάγραμμα 3.95: Πορτογαλία - SNR δορυφόρου G29 στα σήματα L1, L2 και L2C

Στο Διάγραμμα 3.96 συγκρίνεται το SNR του δορυφόρου G30 για τα σήματα L1, L2, L2C και L5. Παρατηρείται ότι το SNR του σήματος L5 είναι μεγαλύτερο από όλα τα υπόλοιπα. Τα SNR των L1 και L2C είναι χαμηλότερα από το SNR του L5. Τέλος το SNR του L2 είναι χαμηλότερο από όλα.



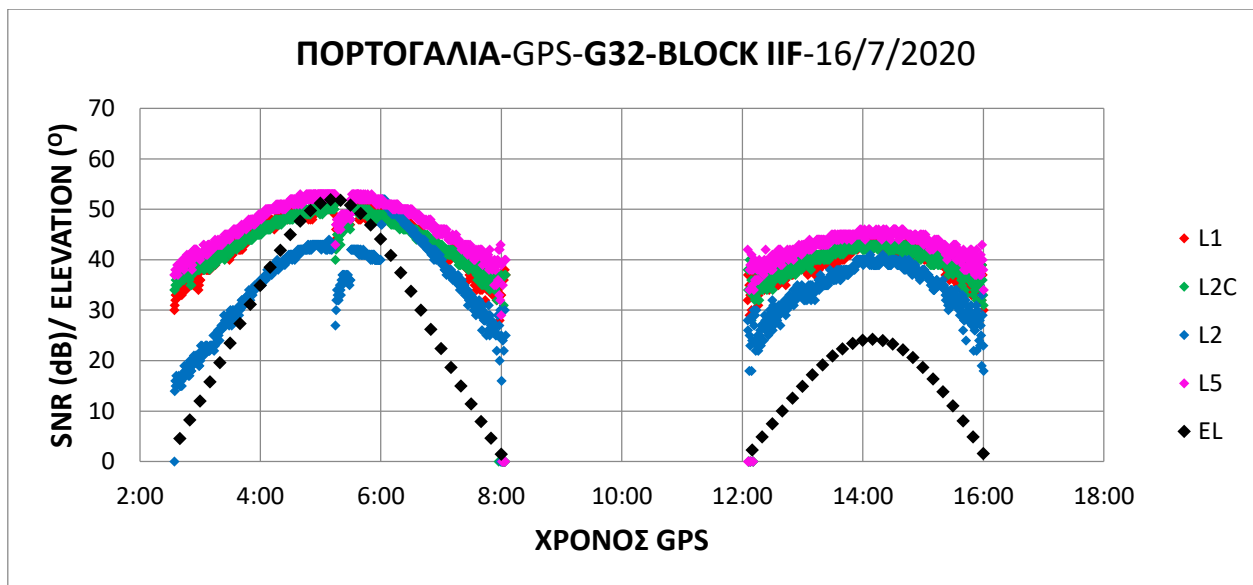
Διάγραμμα 3.96: Πορτογαλία - SNR δορυφόρου G30 στα σήματα L1, L2, L2C και L5

Στο Διάγραμμα 3.97 συγκρίνεται το SNR του δορυφόρου G31 για τα σήματα L1, L2 και L2C. Παρατηρείται ότι το SNR του L2 ενώ είναι το χαμηλότερο από όλα μόλις ο δορυφόρος περάσει το ύψος 35° ξαφνικά εκτοξεύεται και ξεπερνά τα SNR των L1 και L2C.



Διάγραμμα 3.97: Πορτογαλία - SNR δορυφόρου G31 στα σήματα L1, L2 και L2C

Στο Διάγραμμα 3.98 συγκρίνεται το SNR του δορυφόρου G32 για τα σήματα L1, L2, L2C και L5. Αρχικά παρατηρείται ότι για όλα τα σήματα υπάρχει μια μικρή υποβάθμιση του SNR για διάρκεια 15 λεπτών. Παρατηρείται ότι το SNR του σήματος L5 είναι μεγαλύτερο από όλα τα υπόλοιπα. Τα SNR των L1 και L2C είναι οριακά χαμηλότερα από το SNR του L5. Τέλος το SNR του L2 είναι κατά πολύ χαμηλότερο από όλα αλλά παρουσιάζει μια ξαφνική αύξηση της ισχύος του σήματος και μετά πάλι φθίνει.

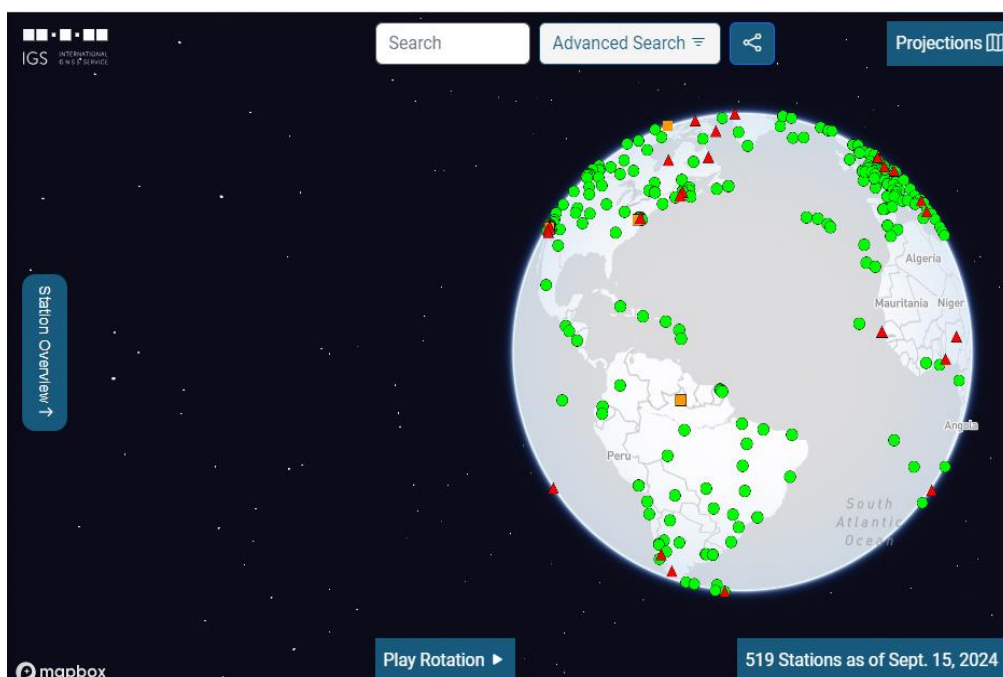


Διάγραμμα 3.98: Πορτογαλία - SNR δορυφόρου G32 στα σήματα L1, L2, L2C και L5

3.6 Ανάλυση δεδομένων σταθμού στην Βόρεια Αμερική (Οκλαχόμα)

Τα τελευταία δεδομένα που λήφθηκαν ήταν από τον μόνιμο σταθμό στην Οκλαχόμα στην Β. Αμερική με κωδικό όνομα SGPO00USA ο οποίος ανήκει στο παγκόσμιο δίκτυο IGS (International GNSS Service) (βλέπε Εικόνες 3.19 και 3.20).

Πρόκειται για τον μεγαλύτερο εθελοντικό οργανισμό GNSS στον κόσμο που αποτελείται από περισσότερους από 300 αυτοχρηματοδοτούμενους φορείς, πανεπιστήμια και ερευνητικά ιδρύματα σε πάνω από 100 χώρες-περιοχές. Έχει εξασφαλίσει ανοιχτή πρόσβαση σε προϊόντα δεδομένων GNSS υψηλής ποιότητας για επιστημονικές, εκπαιδευτικές και εμπορικές εφαρμογές από το 1994. Παρέχοντας πρόσβαση σε δεδομένα παρακολούθησης από περισσότερους από 500 σταθμούς αναφοράς παγκοσμίως καθώς και η παραγωγή προϊόντων που διαθέτει βοηθούν σημαντικά στην υλοποίηση του Διεθνούς Επίγειου Πλαισίου Αναφοράς (ITRF). Στην Εικόνα 3.13 φαίνεται το δίκτυο των σταθμών του IGS.



Εικόνα 3.19: Η ιστοσελίδα και το δίκτυο μόνιμων σταθμών του IGS
(Πηγή: <https://network.igs.org/>)

Πρόκειται για τον δέκτη JAVAD Delta-3 όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.21. Το όνομα που φαίνεται στο αρχείο RINEX είναι JAVAD Tre-3 και πρόκειται για μια καινοτόμο πλακέτα από την JAVAD GNSS η οποία έχει 864 κανάλια και παρακολουθεί όλα τα διαθέσιμα σήμερα δορυφορικά σήματα και συχνότητες GNSS παγκοσμίως (βλέπε Εικόνα 3.22). Διαθέτει μια από τις καλύτερες τεχνικές αντιμετώπισης του προβλήματος πολλαπλών διαδρομών. Επίσης είναι σημαντικοί ότι δεν απαιτείται εξωτερική βαθμονόμηση. Ο δέκτης είναι κατασκευασμένος για να αντέχει σε σκληρές περιβαλλοντικές συνθήκες, καθιστώντας τον κατάλληλο για χρήση σε εξωτερικούς χώρους. Στην Εικόνα 3.23 φαίνεται η κεραία που χρησιμοποιήθηκε.

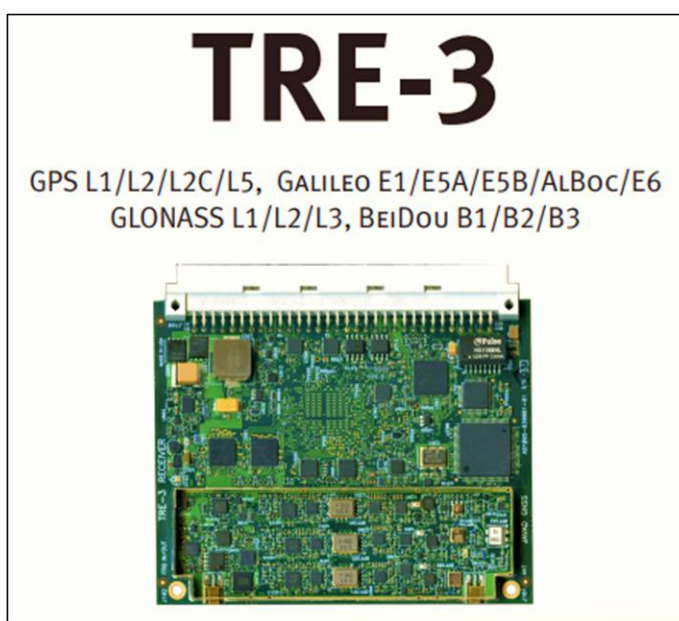


Εικόνα 3.20: Ο μόνιμος σταθμός JAVAD στην Οκλαχόμα, Β. Αμερική

(Πηγή: <https://earth.google.com/>)



Εικόνα 3.21: Ο δέκτης JAVAD Delta-3
(Πηγή: https://download.javad.com/sheets/Delta-3_Datasheet.pdf/)



Εικόνα 3.22: Η πλακέτα JAVAD Tre-3 που βρίσκεται στον δέκτη Delta-3
(Πηγή: https://download.javad.com/sheets/TRE-3_Datasheet.pdf/)



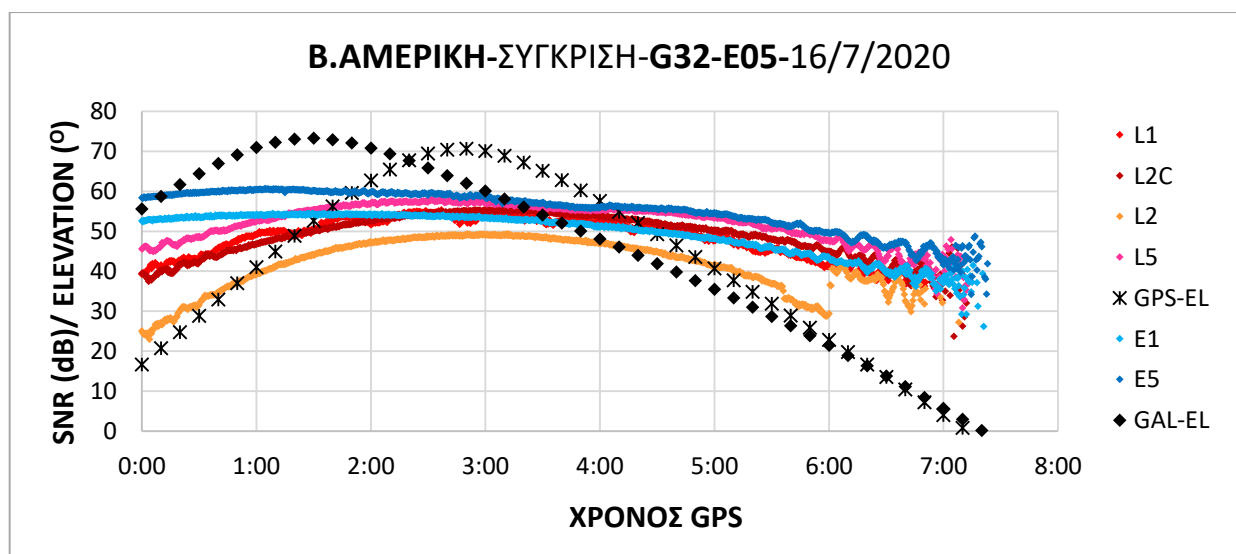
Εικόνα 3.23: Η εξωτερική κεραία με choke rings (Πηγή: <https://www.ngs.noaa.gov/ANTCAL/index.xhtml?manu=Javad%20GNSS%20Inc.>)

3.6.1 Σύγκριση σημάτων GPS-Galileo

Για τη σύγκριση των δορυφόρων GPS και Galileo στην Β. Αμερική μετά από εξέταση του sky plot, επιλέχθηκαν τα εξής ζευγάρια δορυφόρων:

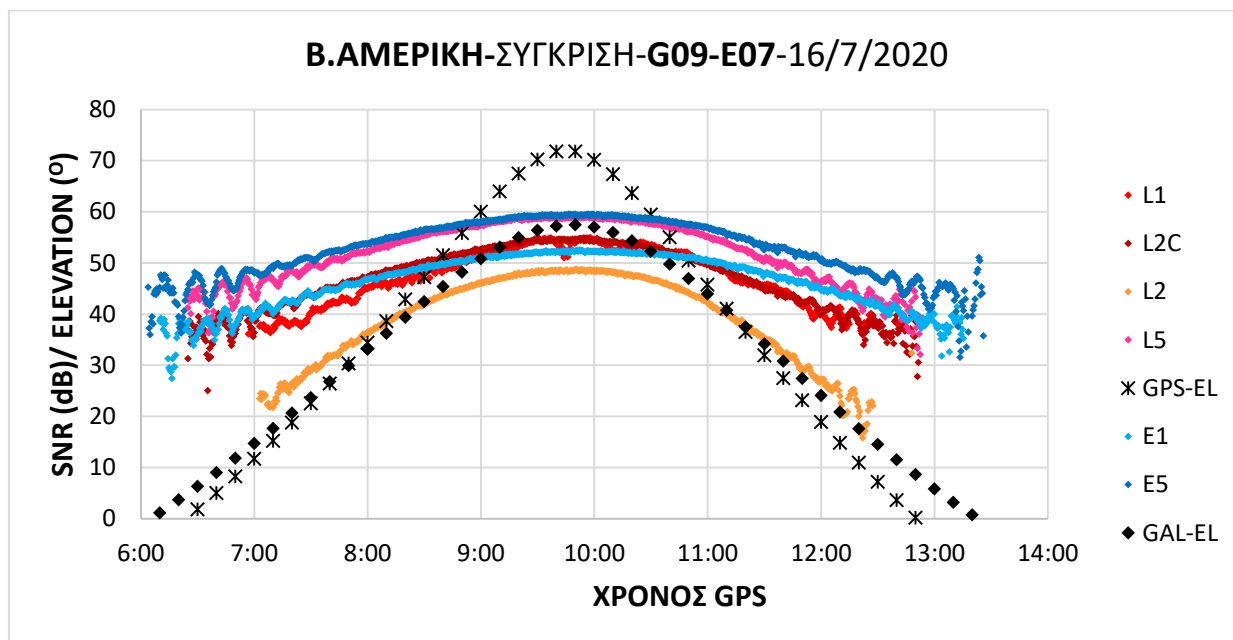
- G32 – E05
- G09 – E07
- G18 – E12
- G15 – E19
- G25 – E24
- G26 – E24

Στο Διάγραμμα 3.99 συγκρίνεται το SNR των δορυφόρων G32 και E05 για τα σήματα L1, L2, L2C, L5, E1 και E5. Παρατηρείται ότι το SNR του σήματος E5 είναι μεγαλύτερο από όλα τα υπόλοιπα σήματα. Το SNR του σήματος L5 είναι πιο ψηλά από τα σήματα GPS και το σήμα E1 και οριακά χαμηλότερο από το SNR του σήματος E5. Το σήμα L2 είναι κατά πολύ χαμηλότερο από όλα. Τέλος το SNR του E1 είναι περίπου ίδιο με αυτό του L1.



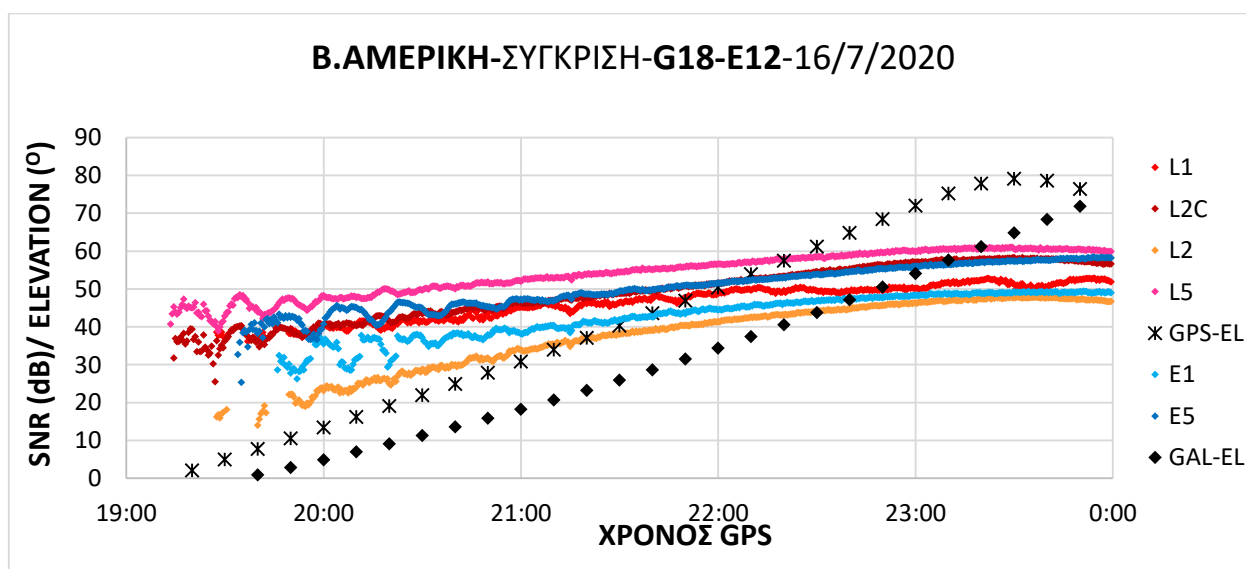
Διάγραμμα 3.99: Β. Αμερική - SNR δορυφόρων G32 και E05 στα σήματα L1, L2, L2C, L5, E1 και E5

Στο Διάγραμμα 3.100 συγκρίνεται το SNR των δορυφόρων G09 και E07 για τα σήματα L1, L2, L2C, L5, E1 και E5. Παρατηρείται ότι το SNR του σήματος E5 είναι μεγαλύτερο από όλα τα υπόλοιπα σήματα. Το SNR του σήματος L5 είναι πιο ψηλά από τα σήματα GPS και το σήμα E1 και οριακά χαμηλότερο από το SNR του σήματος E5. Το σήμα L2 είναι κατά πολύ χαμηλότερο από όλα. Τέλος το SNR του E1 είναι υψηλότερο όταν ο δορυφόρος έχει χαμηλή γωνία ανύψωσης και είναι χαμηλότερο όταν βρίσκεται πάνω από τις 50° ύψος από αυτό του L1.



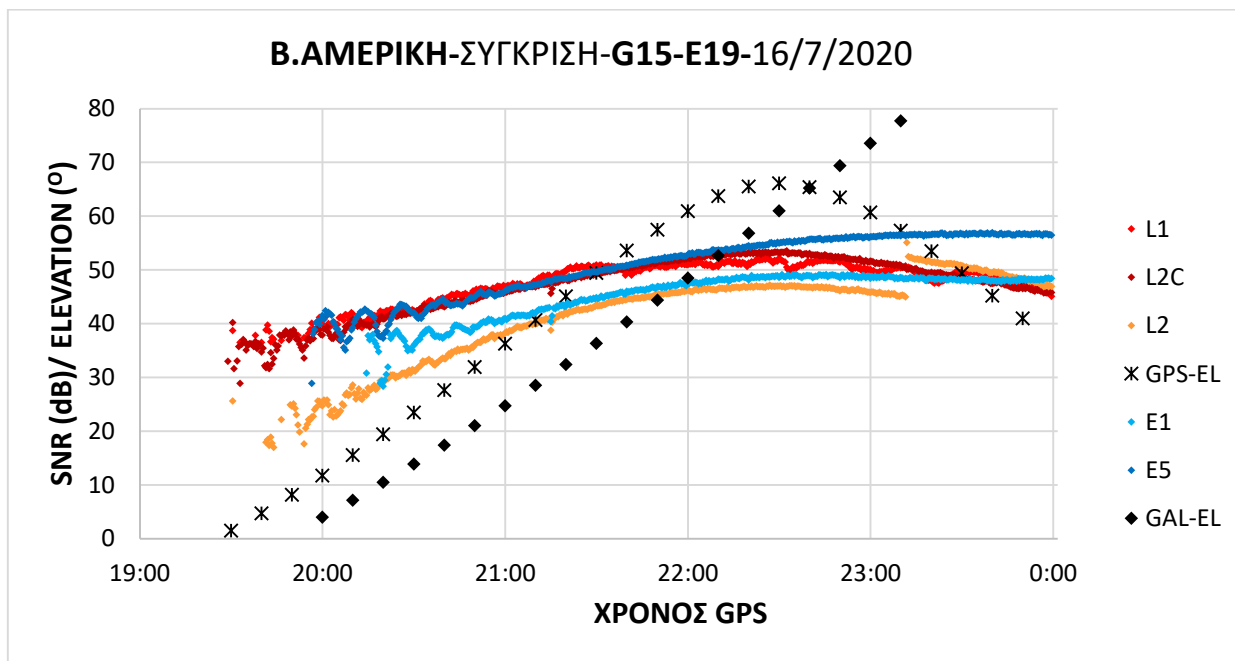
Διάγραμμα 3.100: Β. Αμερική - SNR δορυφόρων G09 και E07 στα σήματα L1, L2, L2C, L5, E1 και E5

Στο Διάγραμμα 3.101 συγκρίνεται το SNR των δορυφόρων G18 και E12 για τα σήματα L1, L2, L2C, L5, E1 και E5. Παρατηρείται ότι το SNR του σήματος L5 είναι μεγαλύτερο από όλα τα υπόλοιπα σήματα. Το SNR του σήματος E5 είναι οριακά χαμηλότερο από το SNR του σήματος L5 και περίπου το ίδιο με αυτό του L2C. Το σήμα L2 είναι χαμηλότερο από όλα. Τέλος το SNR του L1 είναι υψηλότερο από αυτό του E1.



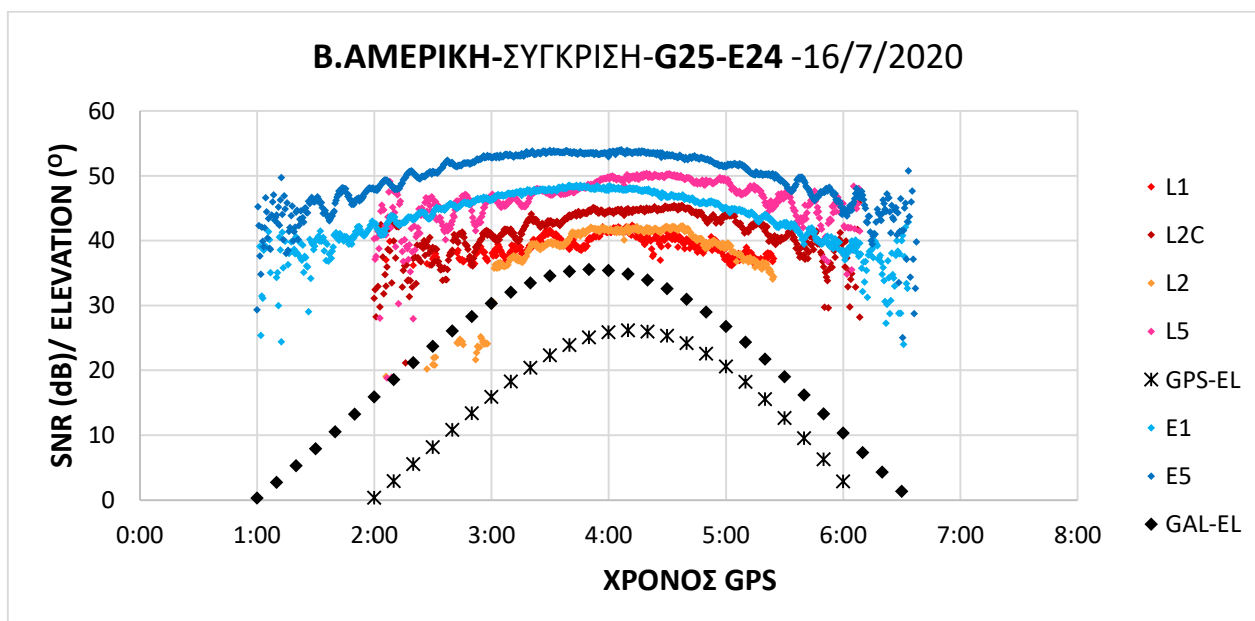
Διάγραμμα 3.101: Β. Αμερική - SNR δορυφόρων G18 και E12 στα σήματα L1, L2, L2C, L5, E1 και E5

Στο Διάγραμμα 3.102 συγκρίνεται το SNR των δορυφόρων G15 και E19 για τα σήματα L1, L2, L2C, E1 και E5. Παρατηρείται ότι το SNR του σήματος E5 είναι περίπου το ίδιο με τα SNR των L1 και L2C. Το SNR του σήματος L2 είναι χαμηλότερο από όλα αλλά καθώς φθίνει ο δορυφόρος ξαφνικά εκτοξεύεται και ξεπερνά τα SNR των σημάτων L1, L2C και E1. Τέλος το SNR του E1 είναι χαμηλότερο από αυτό του L1.



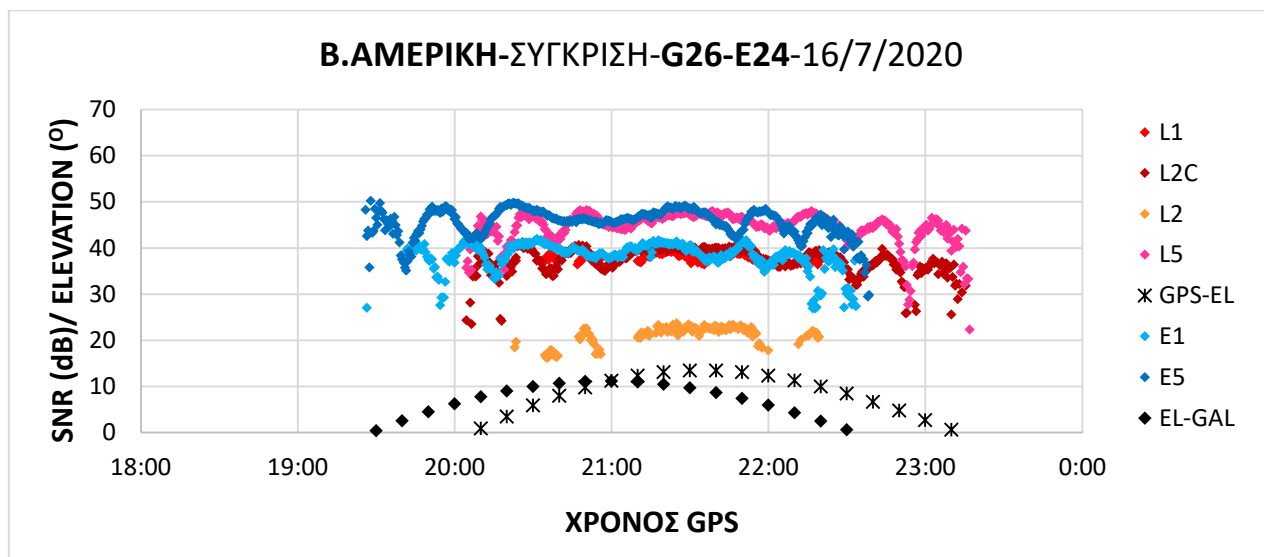
Διάγραμμα 3.102: Β. Αμερική - SNR δορυφόρων G15 και E19 στα σήματα L1, L2, L2C, E1 και E5

Στο Διάγραμμα 3.103 συγκρίνεται το SNR των δορυφόρων G25 και E24 για τα σήματα L1, L2, L2C, L5, E1 και E5. Παρατηρείται ότι το SNR του σήματος E5 είναι μεγαλύτερο από όλα τα υπόλοιπα σήματα. Το SNR του σήματος L5 είναι πιο ψηλά από τα σήματα GPS. Τα SNR L2 και L1 είναι τα χαμηλότερα από όλα. Τέλος το SNR του E1 είναι κατά πολύ μεγαλύτερο από αυτό του L1.



Διάγραμμα 3.103: Β. Αμερική - SNR δορυφόρων G25 και E24 στα σήματα L1, L2, L2C, L5, E1 και E5

Στο Διάγραμμα 3.104 συγκρίνεται το SNR των δορυφόρων G26 και E24 για τα σήματα L1, L2, L2C, L5, E1 και E5. Παρατηρείται ότι το SNR του σήματος E5 είναι περίπου το ίδιο με το SNR του σήματος L5. Τα SNR L2C και L1 είναι παρόμοια με το SNR του E1. Τέλος το SNR του L2 είναι κατά πολύ χαμηλότερο από όλα.

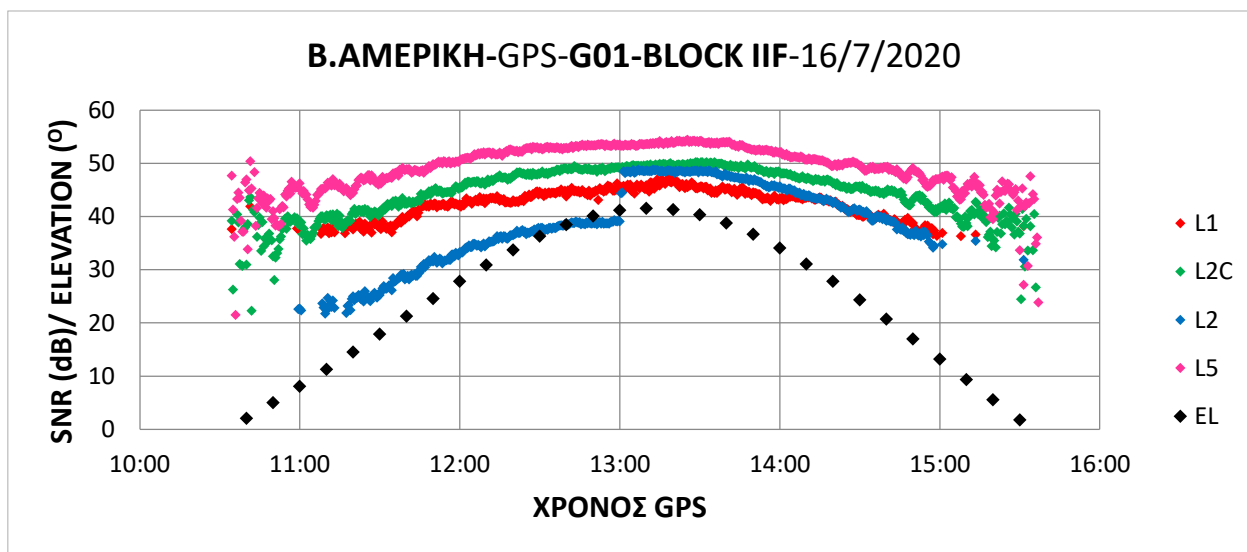


Διάγραμμα 3.104: Β. Αμερική - SNR δορυφόρων G26 και E24 στα σήματα L1, L2, L2C, L5, E1 και E5

3.6.2 Σύγκριση σημάτων GPS

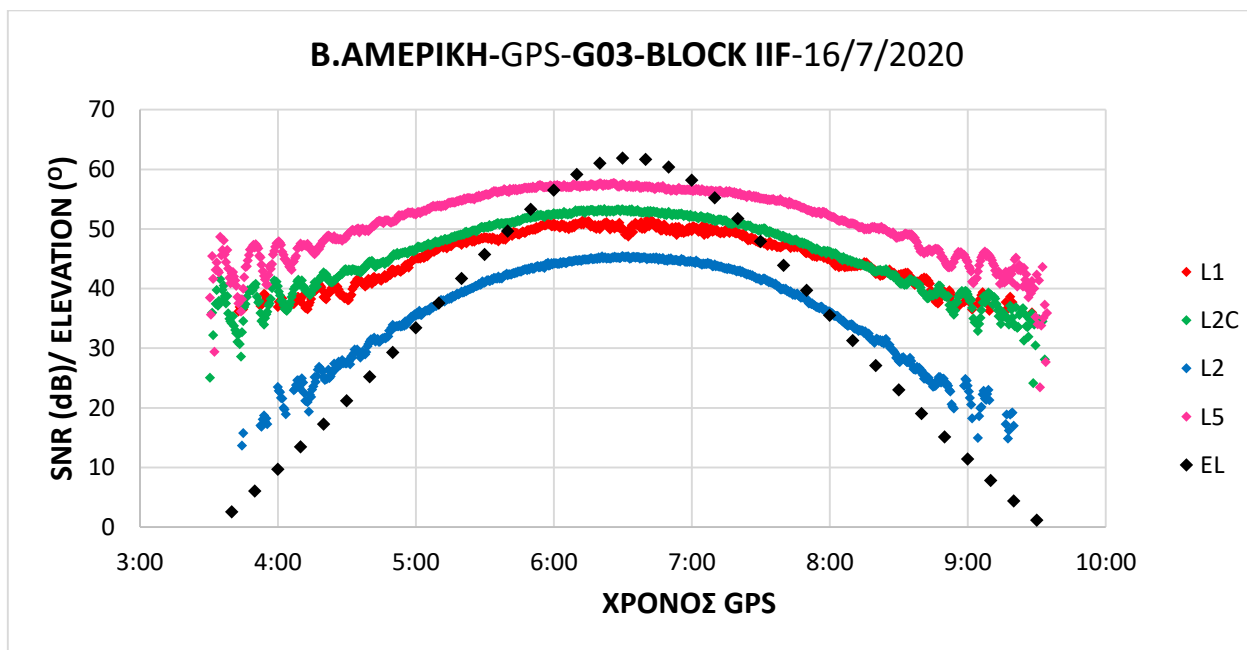
Παρακάτω φαίνονται τα διαγράμματα που δημιουργήθηκαν από τα δεδομένα του μόνιμου σταθμού JAVAD Delta-3 (JAVAD Tre-3) όπως φαίνεται στις Εικόνες 3.21 και 3.22.

Στο Διάγραμμα 3.105 συγκρίνεται το SNR του δορυφόρου G01 για τα σήματα L1, L2, L2C και L5. Παρατηρείται ότι το SNR του σήματος L5 είναι μεγαλύτερο από όλα τα υπόλοιπα. Το SNR του L2 ενώ είναι το χαμηλότερο μόλις ο δορυφόρος περάσει το ύψος 40ο ξαφνικά εκτοξεύεται και ανταγωνίζεται τα SNR των L1 και L2C.



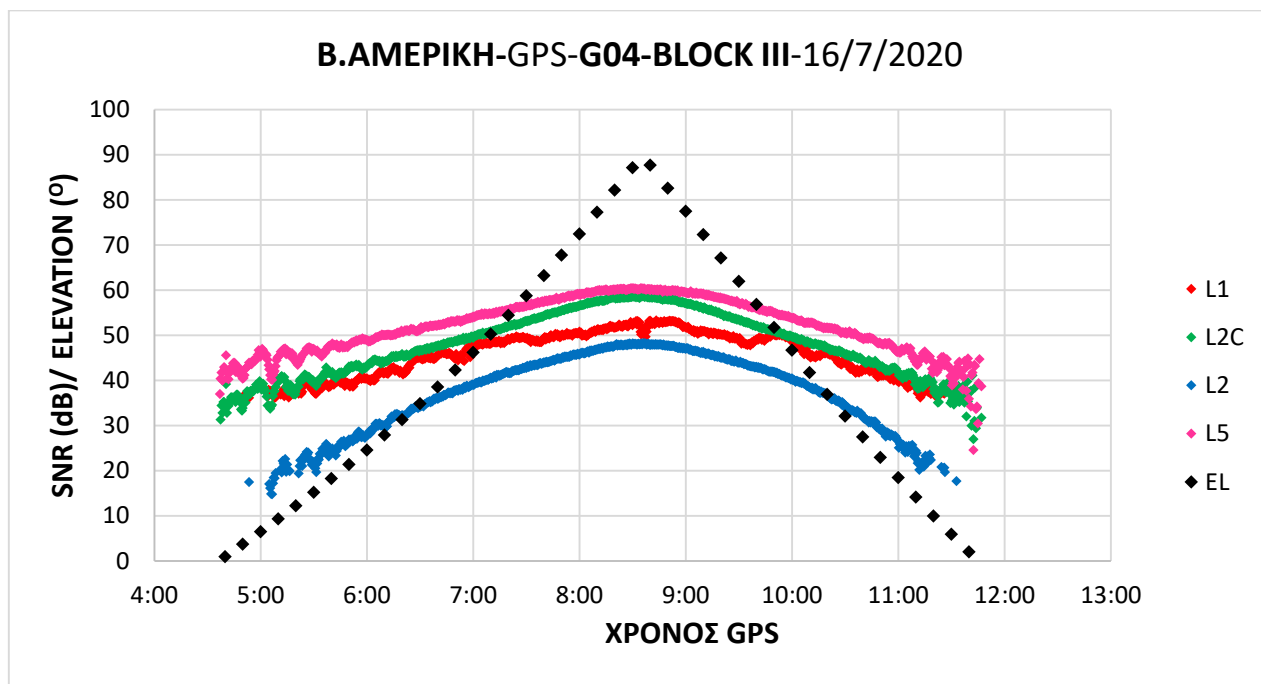
Διάγραμμα 3.105: Β. Αμερική - SNR δορυφόρου G01 στα σήματα L1, L2, L2C και L5

Στο Διάγραμμα 3.106 συγκρίνεται το SNR του δορυφόρου G03 για τα σήματα L1, L2, L2C και L5. Παρατηρείται ότι το SNR του σήματος L5 είναι μεγαλύτερο από όλα τα υπόλοιπα. Το SNR του L2 είναι το χαμηλότερο από όλα. Τέλος τα SNR των L1 και L2C είναι περίπου τα ίδια μεταξύ τους.



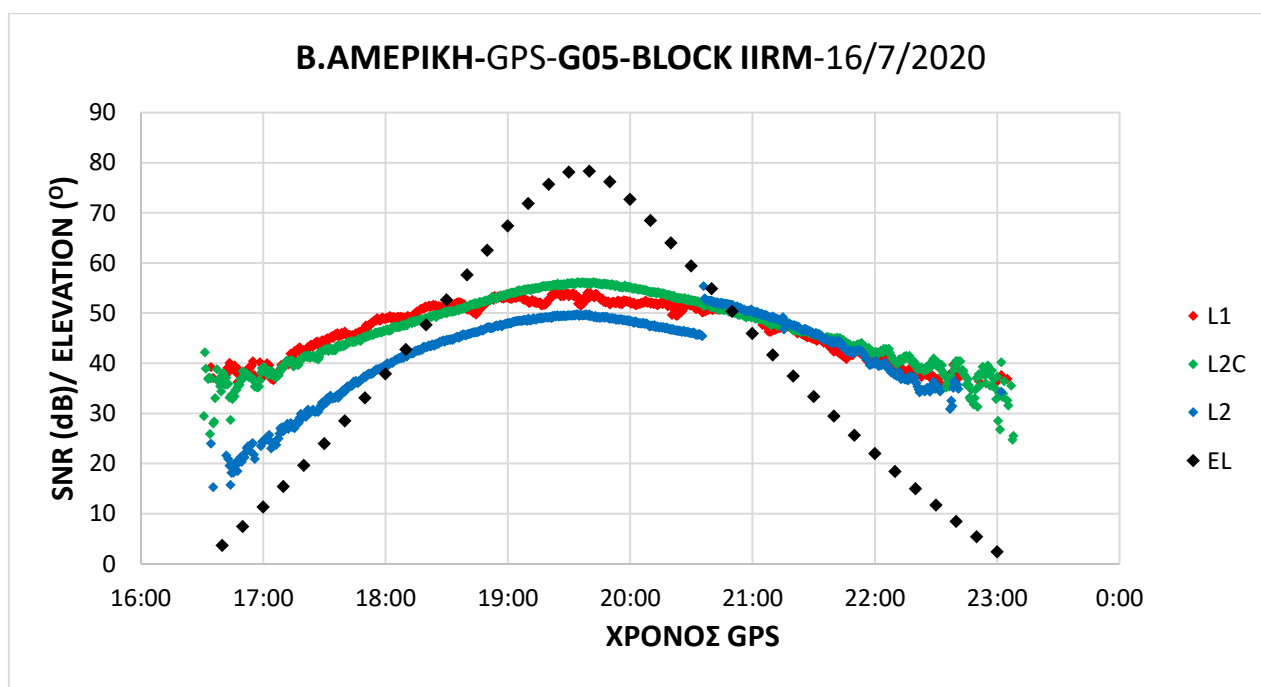
Διάγραμμα 3.106: Β. Αμερική - SNR δορυφόρου G03 στα σήματα L1, L2, L2C και L5

Στο Διάγραμμα 3.107 συγκρίνεται το SNR του δορυφόρου G04 για τα σήματα L1, L2, L2C και L5. Παρατηρείται ότι το SNR του σήματος L5 είναι μεγαλύτερο από όλα τα υπόλοιπα. Το SNR του L2C είναι λίγο χαμηλότερο από αυτό του L5. Τέλος τα SNR των L1 και L2 είναι χαμηλότερα με χαμηλότερο αυτό του L2.



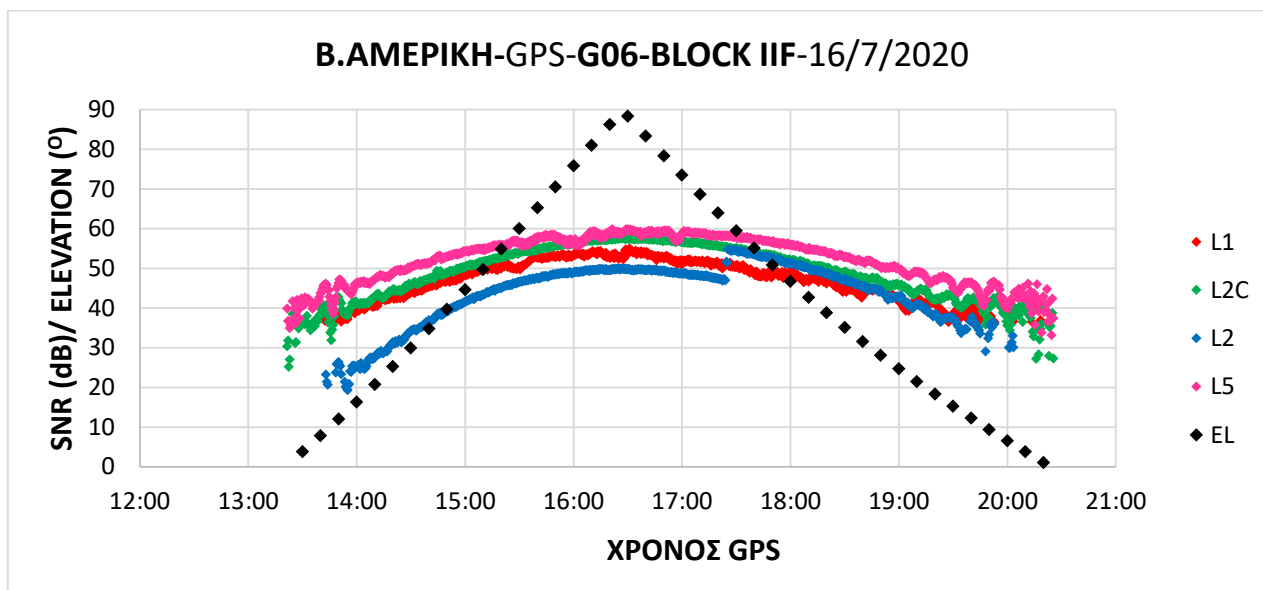
Διάγραμμα 3.107: Β. Αμερική - SNR δορυφόρου G04 στα σήματα L1, L2, L2C και L5

Στο Διάγραμμα 3.108 συγκρίνεται το SNR του δορυφόρου G05 για τα σήματα L1, L2 και L2C. Παρατηρείται ότι το SNR του σήματος L2C είναι καλύτερο και πιο σταθερό από τα SNR των σημάτων L1 και L2 εμφανίζοντας μικρότερες διακυμάνσεις. Το SNR του L2 ενώ είναι το χαμηλότερο από όλα ξαφνικά εκτοξεύεται και ανταγωνίζεται τα SNR των L1 και



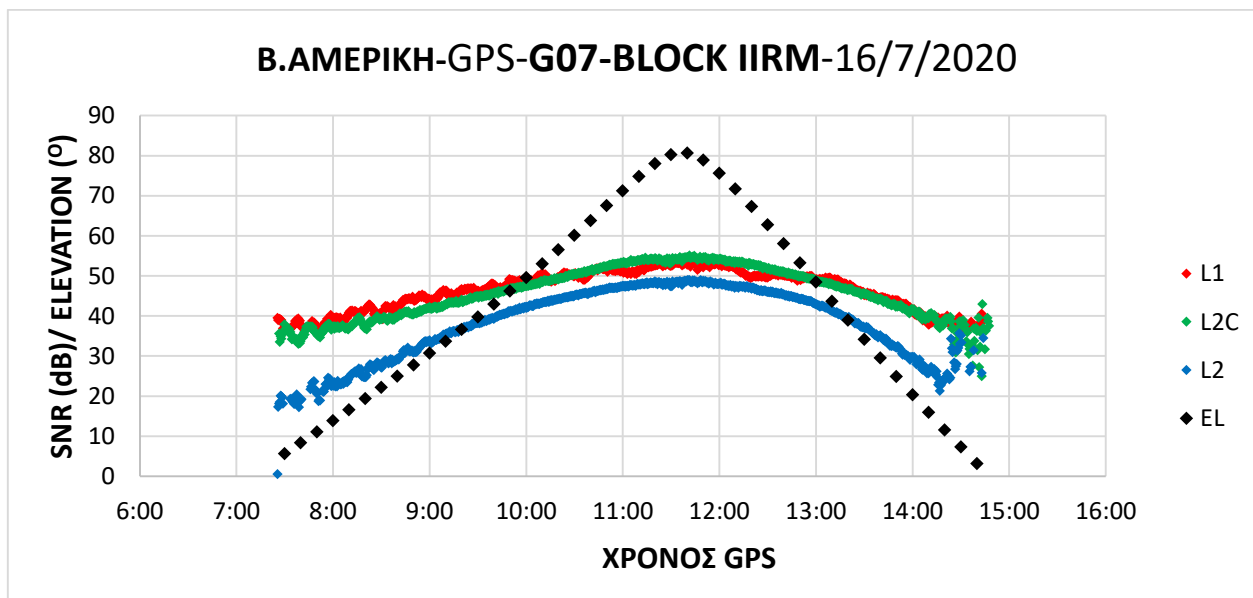
Διάγραμμα 3.108: Β. Αμερική - SNR δορυφόρου G05 στα σήματα L1, L2 και L2C

Στο Διάγραμμα 3.109 συγκρίνεται το SNR του δορυφόρου G06 για τα σήματα L1, L2, L2C και L5. Παρατηρείται ότι το SNR του σήματος L5 είναι μεγαλύτερο από όλα τα υπόλοιπα. Το SNR του σήματος L2C είναι λίγο χαμηλότερο από αυτό του L5. Το SNR του L2 ενώ είναι το χαμηλότερο από όλα ξαφνικά εκτοξεύεται και ανταγωνίζεται τα SNR των L1 και L2C.



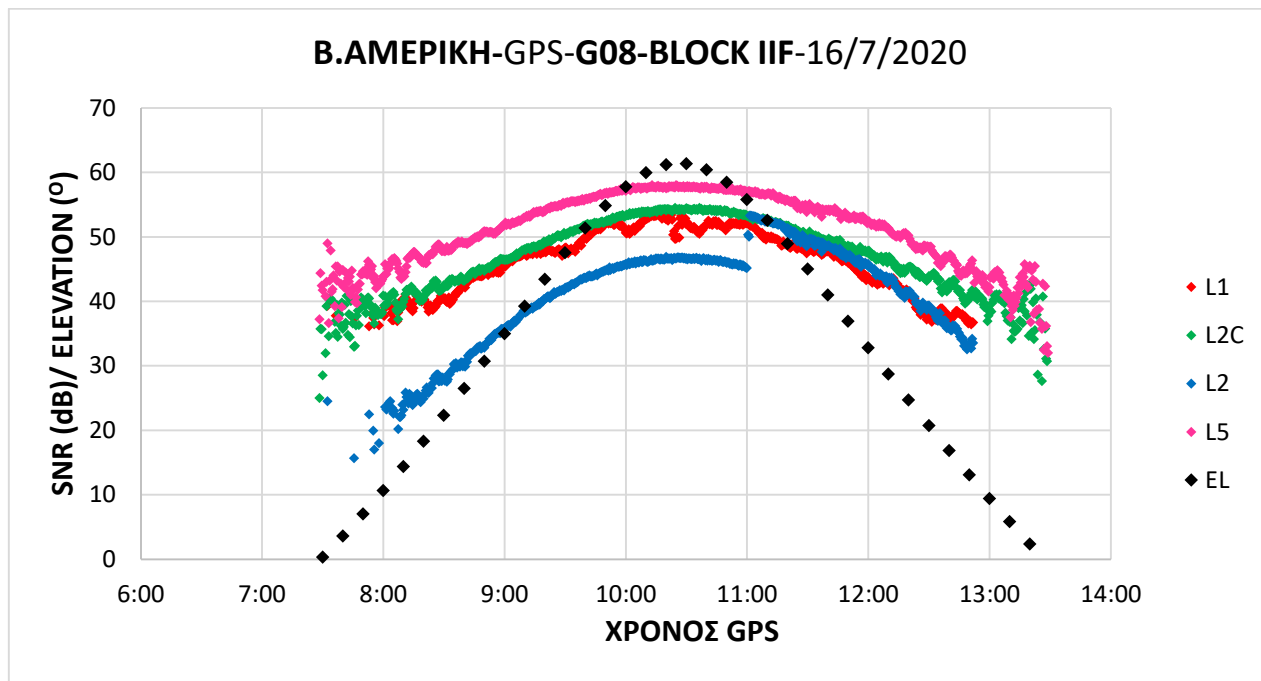
Διάγραμμα 3.109: Β. Αμερική - SNR δορυφόρου G06 στα σήματα L1, L2, L2C και L5

Στο Διάγραμμα 3.110 συγκρίνεται το SNR του δορυφόρου G07 για τα σήματα L1, L2 και L2C. Παρατηρείται ότι τα SNR των σημάτων L1 και L2C είναι περίπου τα ίδια ενώ το SNR του L2 είναι το χαμηλότερο.



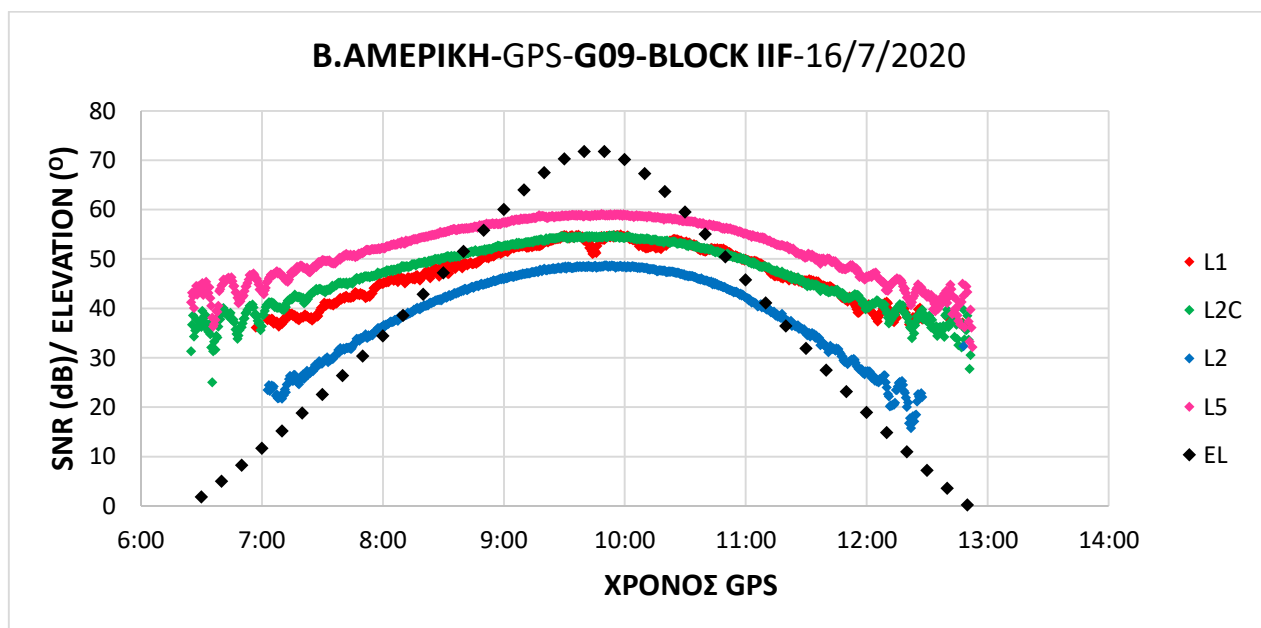
Διάγραμμα 3.110: Β. Αμερική - SNR δορυφόρου G07 στα σήματα L1, L2 και L2C

Στο Διάγραμμα 3.111 συγκρίνεται το SNR του δορυφόρου G08 για τα σήματα L1, L2, L2C και L5. Παρατηρείται ότι το SNR του σήματος L5 είναι μεγαλύτερο από όλα τα υπόλοιπα. Το SNR του σήματος L2C είναι λίγο χαμηλότερο από αυτό του L5. Το SNR του L2 ενώ είναι το χαμηλότερο από όλα και καθώς ο δορυφόρος φθίνει ξαφνικά στις 55° ύψος εκτοξεύεται το SNR του και ανταγωνίζεται τα SNR των L1 και L2C.



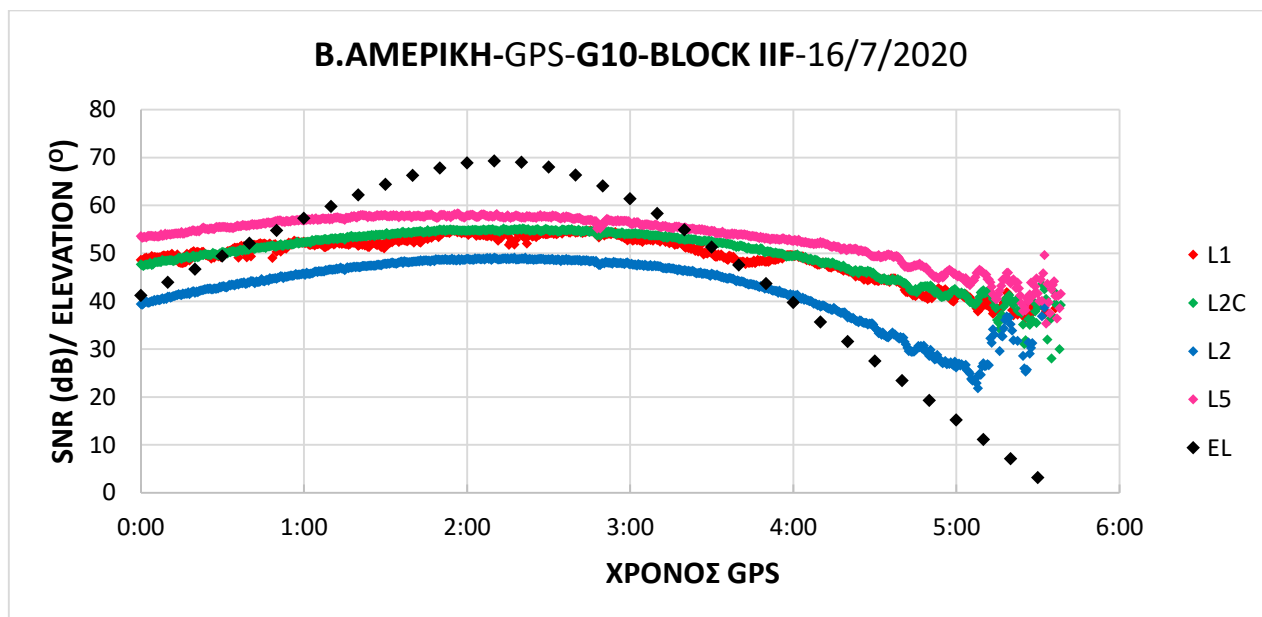
Διάγραμμα 3.111: Β. Αμερική - SNR δορυφόρου G08 στα σήματα L1, L2, L2C και L5

Στο Διάγραμμα 3.112 συγκρίνεται το SNR του δορυφόρου G09 για τα σήματα L1, L2, L2C και L5. Παρατηρείται ότι το SNR του σήματος L5 είναι μεγαλύτερο από όλα τα υπόλοιπα. Τα SNR των σημάτων L2C και L1 είναι λίγο χαμηλότερα από αυτό του L5. Το SNR του L2 είναι το χαμηλότερο από όλα.



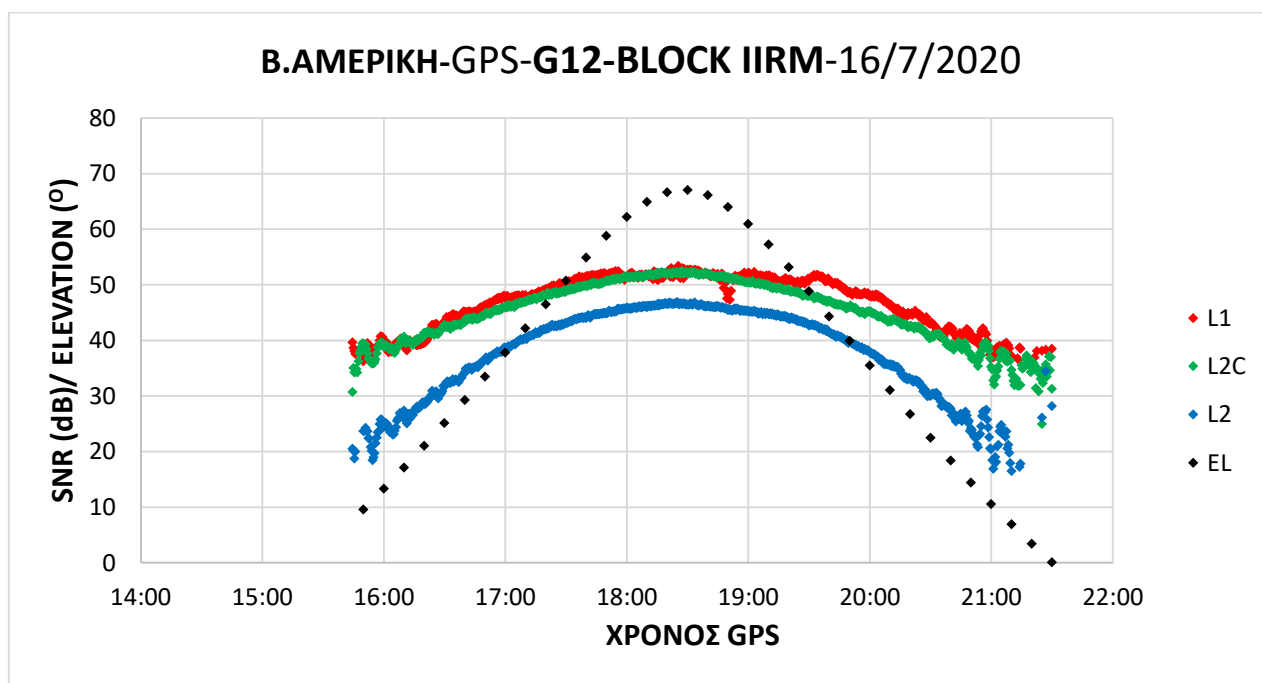
Διάγραμμα 3.112: Β. Αμερική - SNR δορυφόρου G09 στα σήματα L1, L2, L2C και L5

Στο Διάγραμμα 3.113 συγκρίνεται το SNR του δορυφόρου G10 για τα σήματα L1, L2, L2C και L5. Παρατηρείται ότι το SNR του σήματος L5 είναι μεγαλύτερο από όλα τα υπόλοιπα. Τα SNR των σημάτων L2C και L1 είναι λίγο χαμηλότερα από αυτό του L5. Το SNR του L2 είναι το χαμηλότερο από όλα.



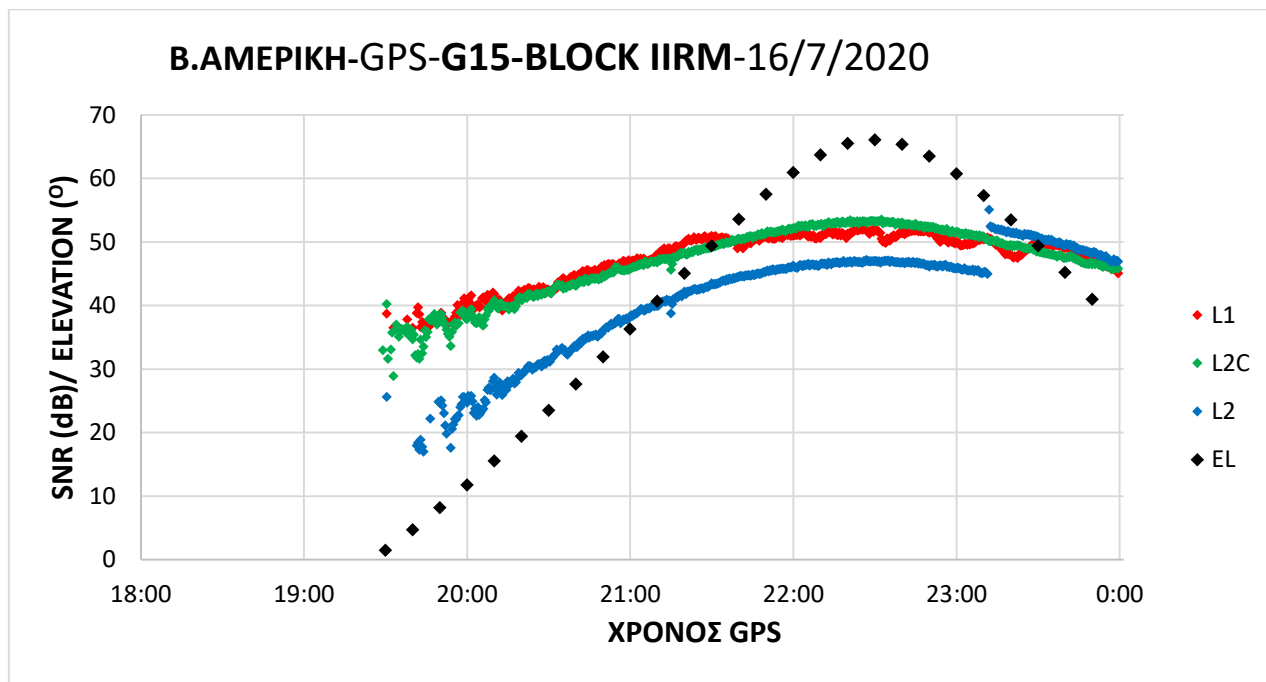
Διάγραμμα 3.113: Β. Αμερική - SNR δορυφόρου G10 στα σήματα L1, L2, L2C και L5

Στο Διάγραμμα 3.114 συγκρίνεται το SNR του δορυφόρου G12 για τα σήματα L1, L2 και L2C. Παρατηρείται ότι τα SNR των σημάτων L1 και L2C είναι περίπου τα ίδια ενώ το SNR του L2 είναι το χαμηλότερο.



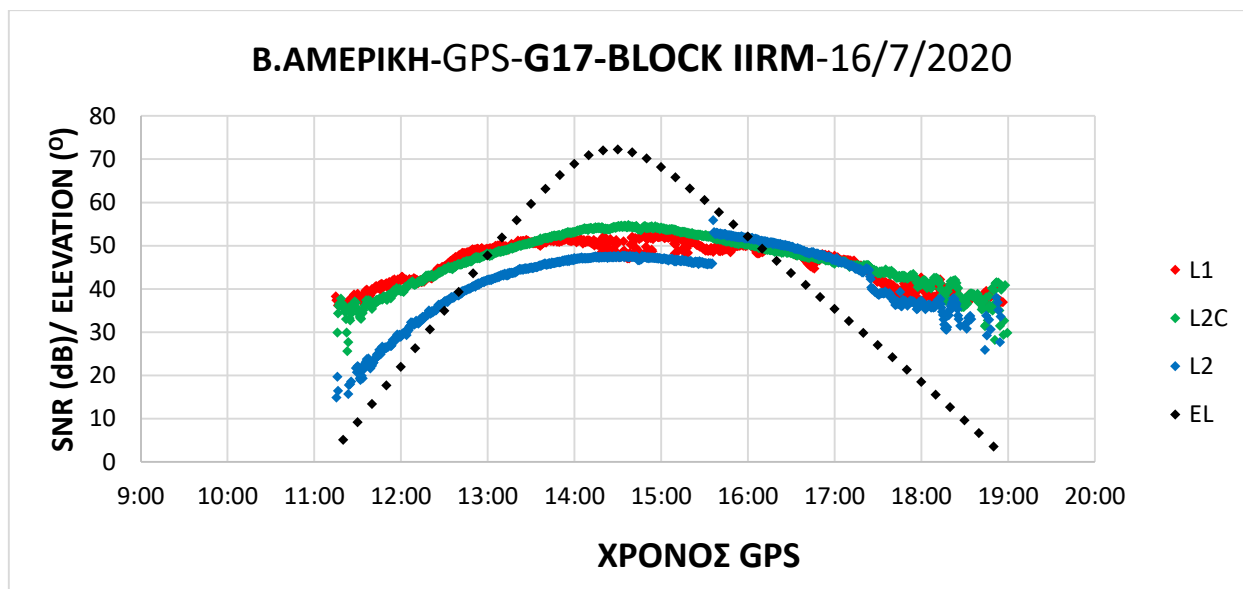
Διάγραμμα 3.114: Β. Αμερική - SNR δορυφόρου G12 στα σήματα L1, L2 και L2C

Στο Διάγραμμα 3.115 συγκρίνεται το SNR του δορυφόρου G15 για τα σήματα L1, L2 και L2C. Παρατηρείται ότι τα SNR των σημάτων L1 και L2C είναι περίπου τα ίδια και ενώ το SNR του L2 είναι το χαμηλότερο ξαφνικά εκτοξεύεται και ξεπερνά τα SNR των L1 και L2C.



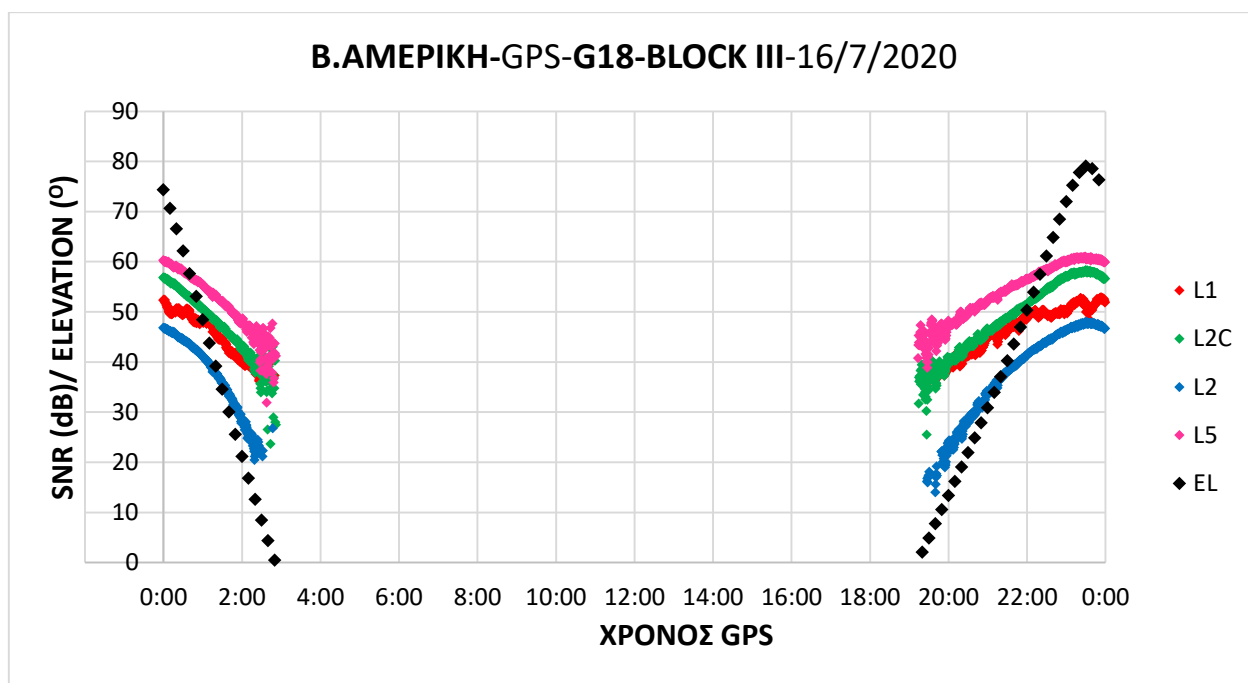
Διάγραμμα 3.115: Β. Αμερική - SNR δορυφόρου G15 στα σήματα L1, L2 και L2C

Στο Διάγραμμα 3.116 συγκρίνεται το SNR του δορυφόρου G17 για τα σήματα L1, L2 και L2C. Παρατηρείται ότι το SNR του σήματος L1 εμφανίζει διακυμάνσεις. Το SNR του L2 ενώ είναι το χαμηλότερο ξαφνικά εκτοξεύεται και ανταγωνίζεται το SNR του L2C.



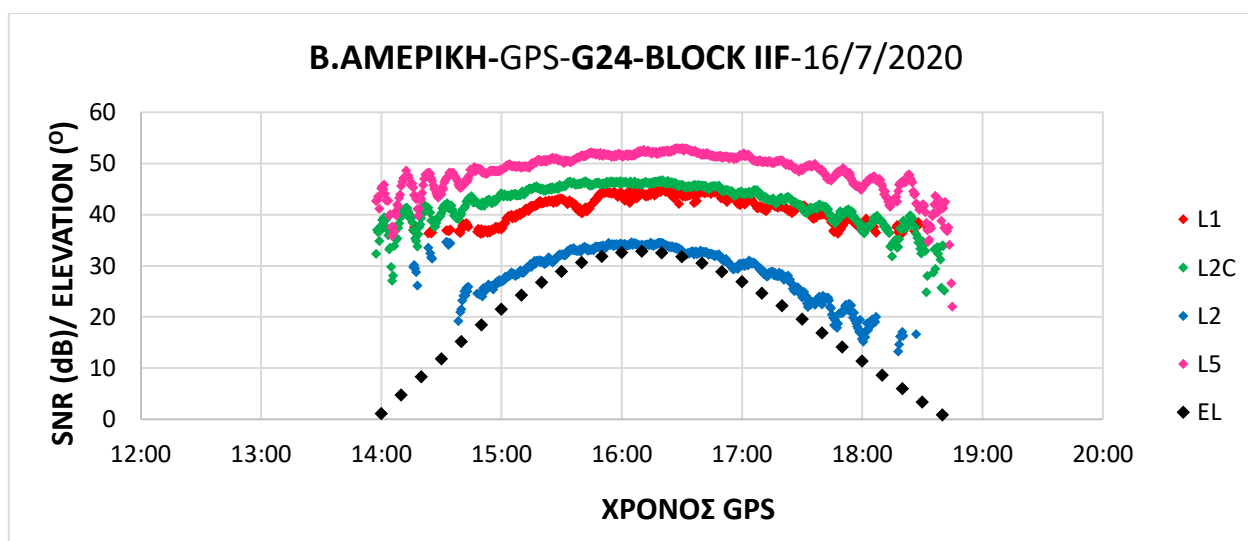
Διάγραμμα 3.116: Β. Αμερική - SNR δορυφόρου G17 στα σήματα L1, L2 και L2C

Στο Διάγραμμα 3.117 συγκρίνεται το SNR του δορυφόρου G18 για τα σήματα L1, L2, L2C και L5. Παρατηρείται ότι το SNR του σήματος L5 είναι μεγαλύτερο από όλα τα υπόλοιπα. Το SNR του σήματος L2C είναι λίγο χαμηλότερο από αυτό του L5 και το SNR του L2 είναι το χαμηλότερο από όλα.



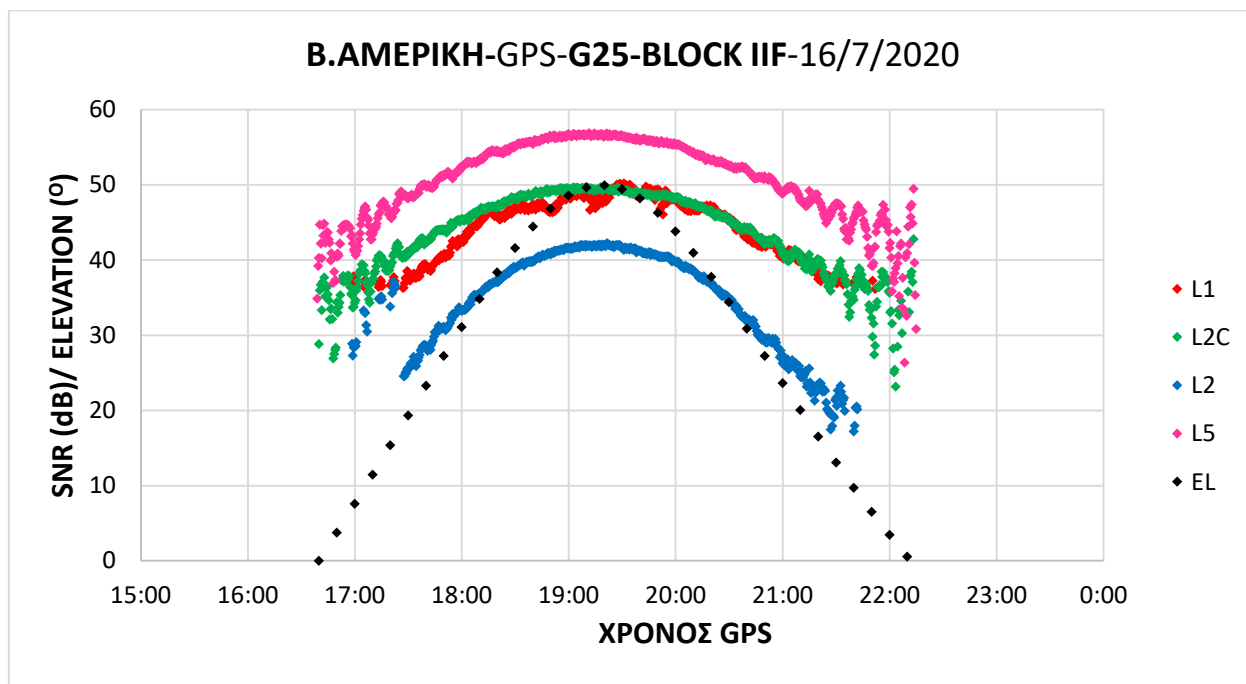
Διάγραμμα 3.117: Β. Αμερική - SNR δορυφόρου G18 στα σήματα L1, L2, L2C και L5

Στο Διάγραμμα 3.118 συγκρίνεται το SNR του δορυφόρου G24 για τα σήματα L1, L2, L2C και L5. Παρατηρείται ότι το SNR του σήματος L5 είναι μεγαλύτερο από όλα τα υπόλοιπα. Το SNR του σήματος L2C είναι λίγο χαμηλότερο από αυτό του L5. Το SNR του L2 είναι το χαμηλότερο από όλα.



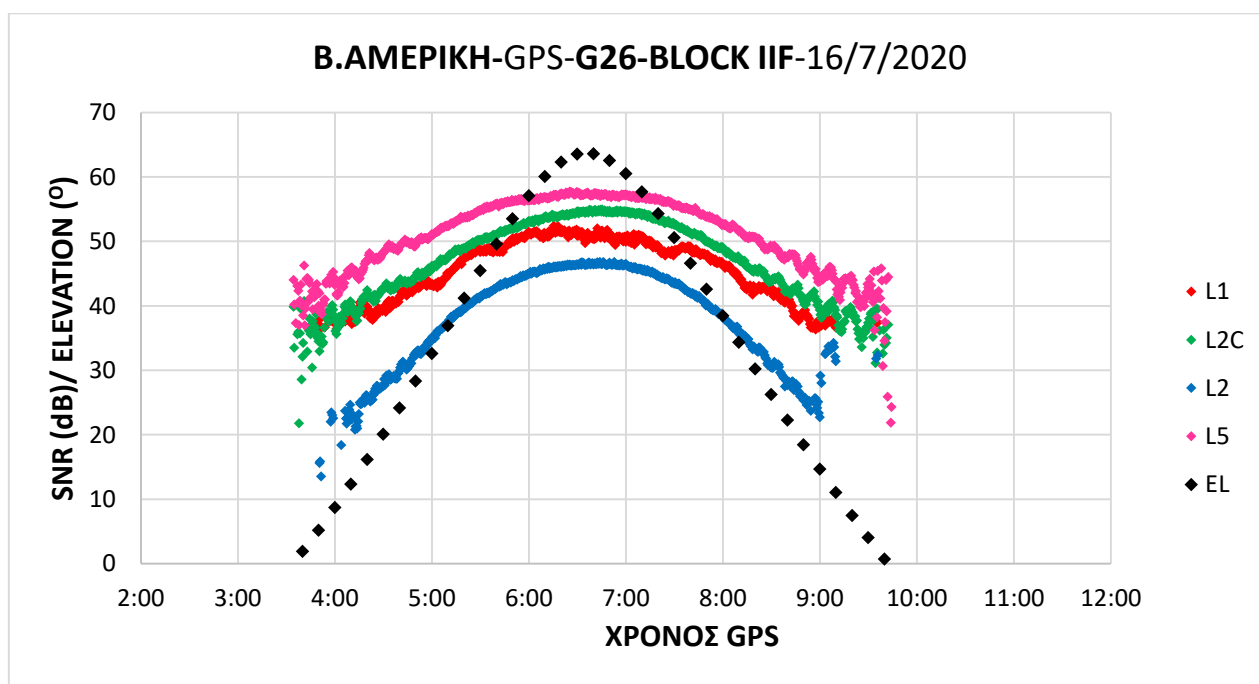
Διάγραμμα 3.118: Β. Αμερική - SNR δορυφόρου G24 στα σήματα L1, L2, L2C και L5

Στο Διάγραμμα 3.119 συγκρίνεται το SNR του δορυφόρου G25 για τα σήματα L1, L2, L2C και L5. Παρατηρείται ότι το SNR του σήματος L5 είναι μεγαλύτερο από όλα τα υπόλοιπα. Τα SNR των σημάτων L2C και L1 είναι χαμηλότερα από αυτό του L5. Το SNR του L2 είναι το χαμηλότερο από όλα.



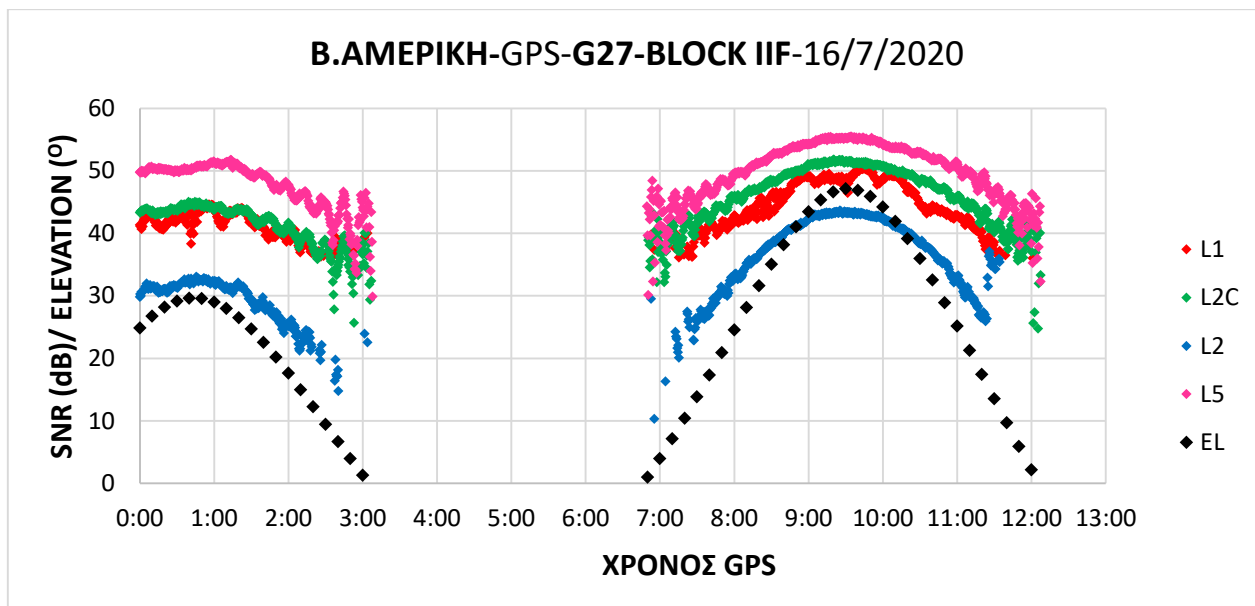
Διάγραμμα 3.119: Β. Αμερική - SNR δορυφόρου G25 στα σήματα L1, L2, L2C και L5

Στο Διάγραμμα 3.120 συγκρίνεται το SNR του δορυφόρου G26 για τα σήματα L1, L2, L2C και L5. Παρατηρείται ότι το SNR του σήματος L5 είναι μεγαλύτερο από όλα τα υπόλοιπα. Τα SNR των σημάτων L2C και L1 είναι χαμηλότερα από αυτό του L5. Το SNR του L2 είναι το χαμηλότερο από όλα.



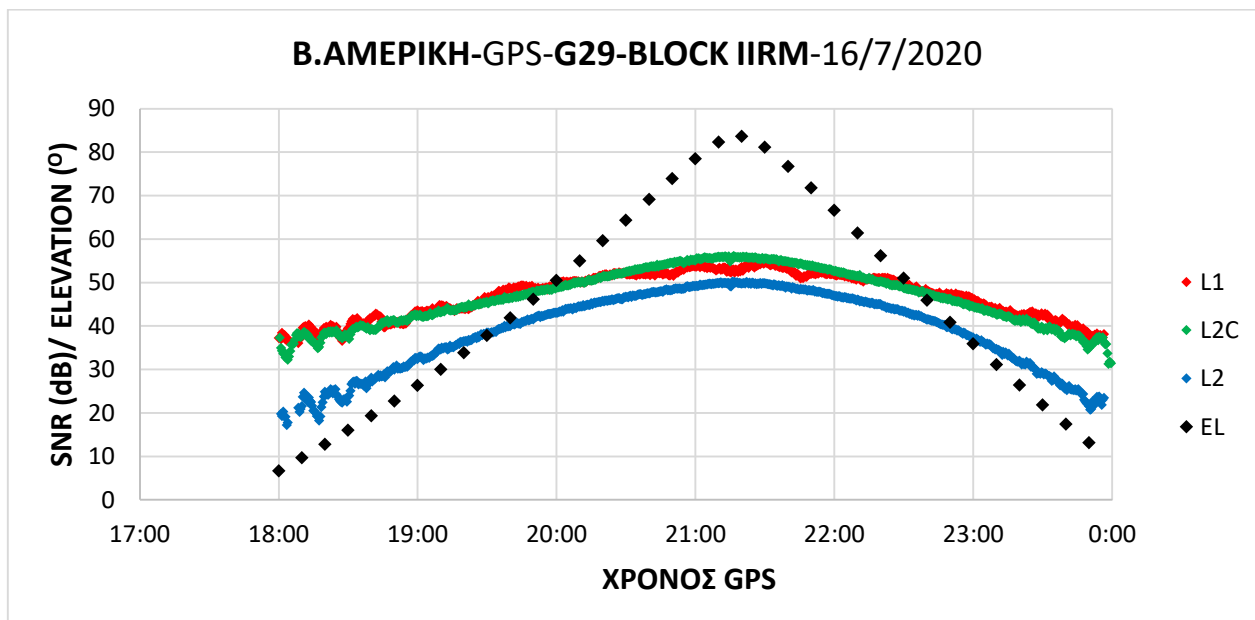
Διάγραμμα 3.120: Β. Αμερική - SNR δορυφόρου G26 στα σήματα L1, L2, L2C και L5

Στο Διάγραμμα 3.121 συγκρίνεται το SNR του δορυφόρου G27 για τα σήματα L1, L2, L2C και L5. Παρατηρείται ότι το SNR του σήματος L5 είναι μεγαλύτερο από όλα τα υπόλοιπα. Τα SNR των σημάτων L2C και L1 είναι χαμηλότερα από αυτό του L5. Το SNR του L2 είναι το χαμηλότερο από όλα.



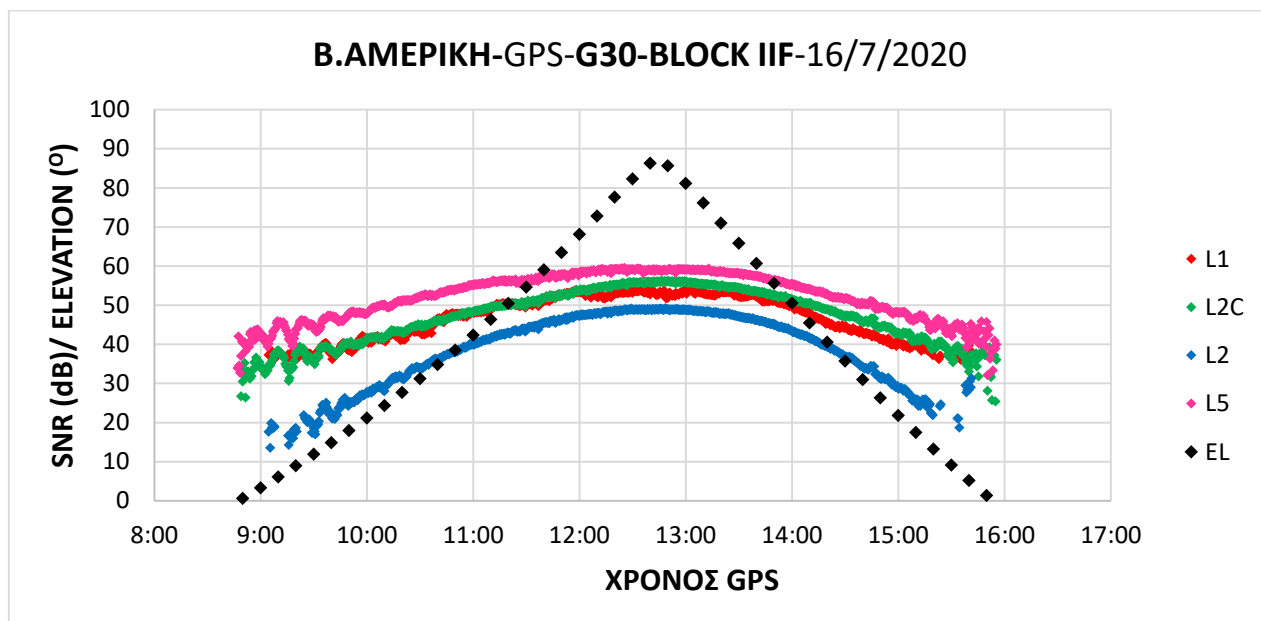
Διάγραμμα 3.121: Β. Αμερική - SNR δορυφόρου G27 στα σήματα L1, L2, L2C και L5

Στο Διάγραμμα 3.122 συγκρίνεται το SNR του δορυφόρου G29 για τα σήματα L1, L2 και L2C. Παρατηρείται ότι τα SNR των σημάτων L1 και L2C είναι περίπου τα ίδια ενώ το SNR του L2 είναι το χαμηλότερο.



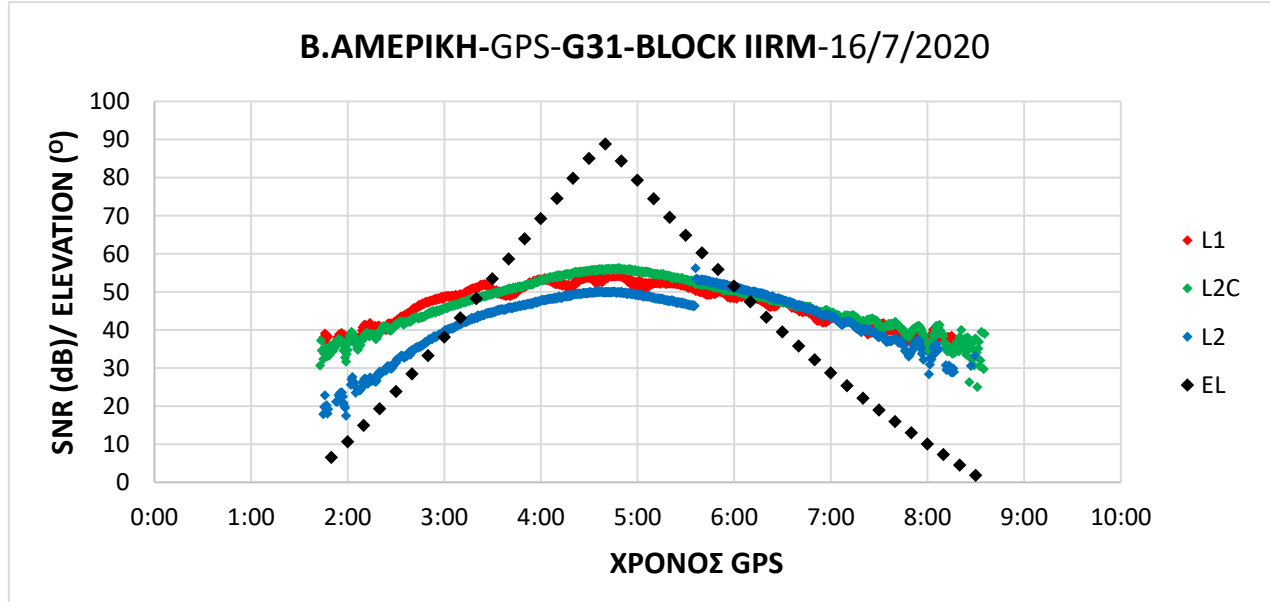
Διάγραμμα 3.122: Β. Αμερική - SNR δορυφόρου G29 στα σήματα L1, L2 και L2C

Στο Διάγραμμα 3.123 συγκρίνεται το SNR του δορυφόρου G30 για τα σήματα L1, L2, L2C και L5. Παρατηρείται ότι το SNR του σήματος L5 είναι μεγαλύτερο από όλα τα υπόλοιπα. Τα SNR των σημάτων L1 και L2C είναι χαμηλότερα από αυτό του L5. Το SNR του L2 είναι το χαμηλότερο από όλα.



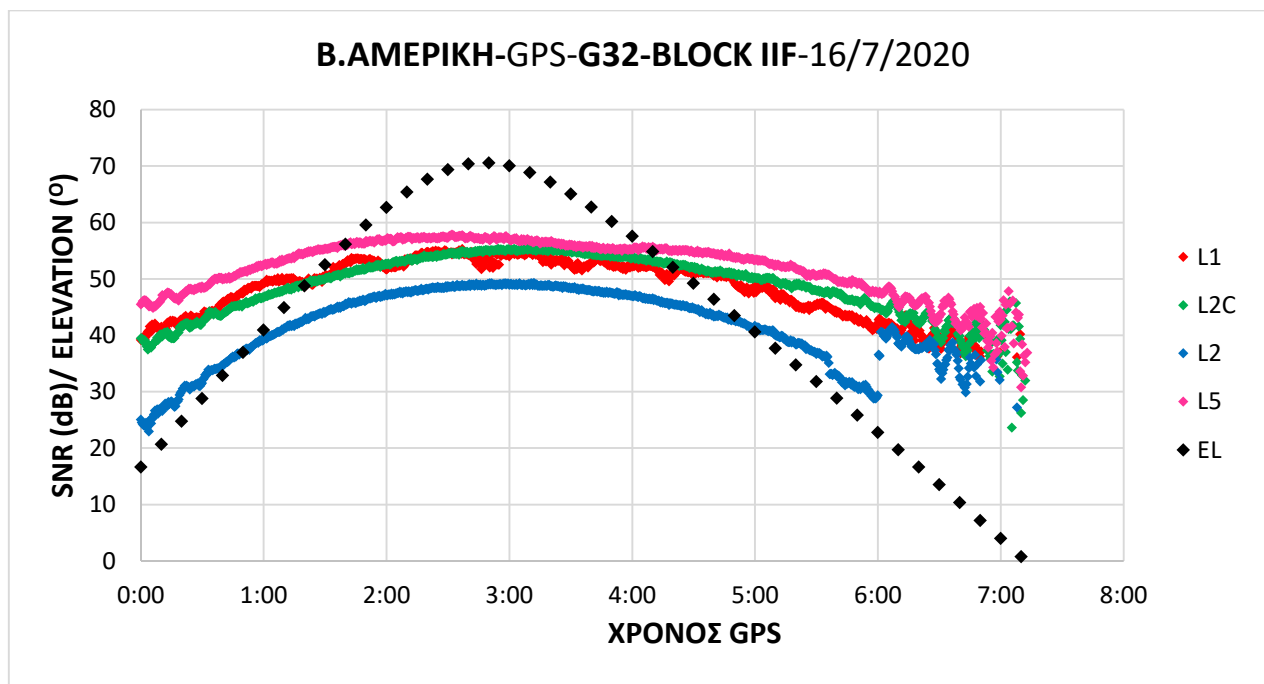
Διάγραμμα 3.123: Β. Αμερική - SNR δορυφόρου G30 στα σήματα L1, L2, L2C και L5

Στο Διάγραμμα 3.124 συγκρίνεται το SNR του δορυφόρου G31 για τα σήματα L1, L2 και L2C. Παρατηρείται ότι το SNR του σήματος L1 είναι κάπως πιο ασταθές. Το SNR του L2 ενώ είναι το χαμηλότερο ξαφνικά εκτοξεύεται και ανταγωνίζεται το SNR του L2C.



Διάγραμμα 3.124: Β. Αμερική - SNR δορυφόρου G31 στα σήματα L1, L2 και L2C

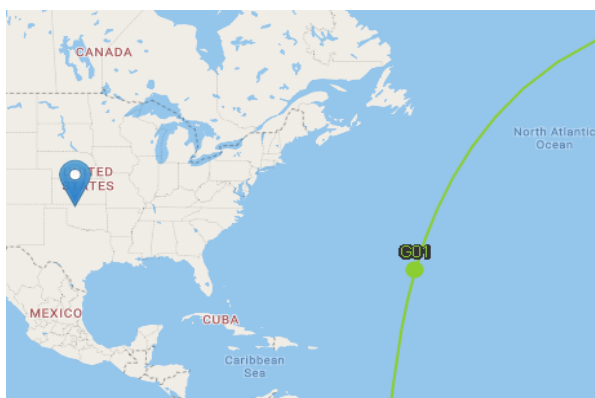
Στο Διάγραμμα 3.125 συγκρίνεται το SNR του δορυφόρου G32 για τα σήματα L1, L2, L2C και L5. Παρατηρείται ότι το SNR του σήματος L5 είναι μεγαλύτερο από όλα τα υπόλοιπα. Τα SNR των σημάτων των L1 και L2C είναι χαμηλότερα από αυτό του L5 με το SNR του L1 να εμφανίζει έντονες διακυμάνσεις. Το SNR του L2 είναι το χαμηλότερο από όλα.



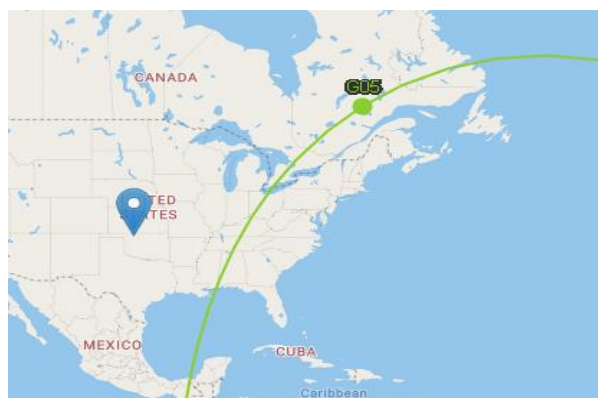
Διάγραμμα 3.125: Β. Αμερική - SNR δορυφόρου G32 στα σήματα L1, L2, L2C και L5

Παρατήρηση

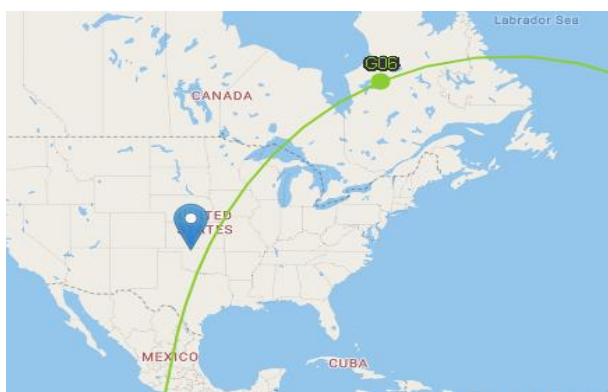
Υστερά από όλη αυτήν την ερευνά που πραγματοποιήθηκε με τα δεδομένα από Ελλάδα και Πορτογαλία παρατηρήθηκε ότι για τη συχνότητα L2 για τα Block IIRM και Block IIF του GPS ξαφνικά η τιμή του SNR αυξάνεται και ξεπερνά σε ισχύ την τιμή του SNR των L2C και L5 όταν οι δορυφόροι βρίσκονται σε γωνία ανύψωσης πάνω από 50°. Βέβαια αυτή η θεωρία καταρρίπτεται από τα δεδομένα του μονίμου σταθμού στην Β. Αμερική που έδειχναν ότι η συχνότητα L2 δεν ξεπερνά τις παραπάνω συχνότητες. Ωστόσο αυτό που εν τέλει παρατηρήθηκε ήταν πως οι δορυφόροι που εμφάνισαν αυτήν την απότομη αύξηση στην ένταση του σήματός τους, εκείνη την στιγμή της απότομης αύξησης της ισχύος, περνούσαν πάνω από την ευρύτερη περιοχή της βορειοανατολικής Β. Αμερικής όπως φαίνεται στις παρακάτω εικόνες για τους δορυφόρους G01, G05, G06, G08, G15, G17, G31 και G32 αντίστοιχα.



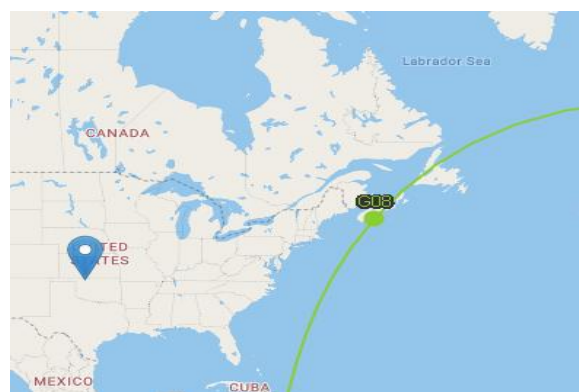
Εικόνα 3.25: Το σημείο της απότομης αύξησης ισχύος για τον δορυφόρο G01 (Πηγή: <https://www.gnssplanning.com/#/maps>)



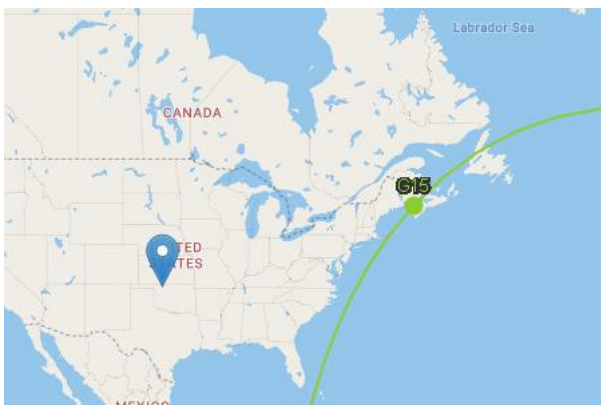
Εικόνα 3.26: Το σημείο της απότομης αύξησης ισχύος για τον δορυφόρο G05 (Πηγή: <https://www.gnssplanning.com/#/maps>)



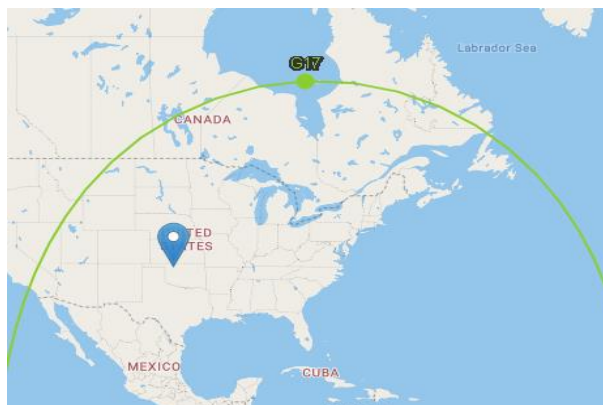
Εικόνα 3.27: Το σημείο της απότομης αύξησης ισχύος για τον δορυφόρο G06 (Πηγή: <https://www.gnssplanning.com/#/maps>)



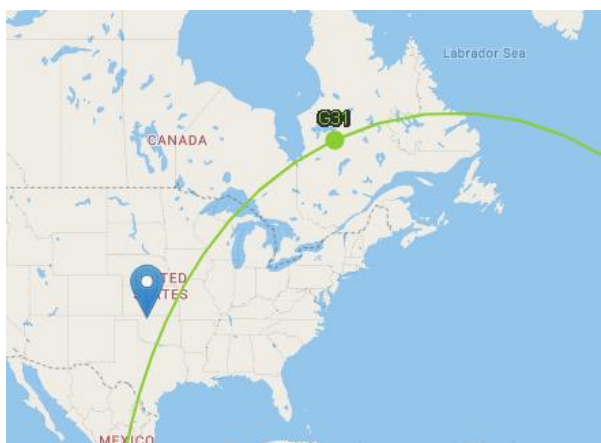
Εικόνα 3.28: Το σημείο της απότομης αύξησης ισχύος για τον δορυφόρο G08 (Πηγή: <https://www.gnssplanning.com/#/maps>)



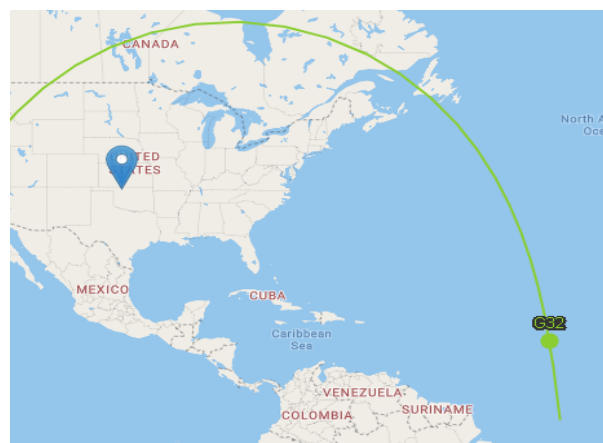
Εικόνα 3.29: Το σημείο της απότομης αύξησης ισχύος για τον δορυφόρο G15 (Πηγή: <https://www.gnssplanning.com/#/maps>)



Εικόνα 3.30: Το σημείο της απότομης αύξησης ισχύος για τον δορυφόρο G17 (Πηγή: <https://www.gnssplanning.com/#/maps>)



Εικόνα 3.31: Το σημείο της απότομης αύξησης ισχύος για τον δορυφόρο G31 (Πηγή: <https://www.gnssplanning.com/#/maps>)



Εικόνα 3.325: Το σημείο της απότομης αύξησης ισχύος για τον δορυφόρο G32 (Πηγή: <https://www.gnssplanning.com/#/maps>)

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Με το τέλος αυτής της έρευνας προέκυψαν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- Τα σήματα του συστήματος Galileo E1 και E5 λαμβάνονται με υψηλότερο SNR από τα σήματα L1, L2 και L2C του GPS τόσο σε συνθήκες απρόσκοπτης λήψης όσο και υπό την επίδραση ηλεκτρομαγνητικών παρεμβολών
- Υπό την επίδραση ηλεκτρομαγνητικών παρεμβολών τα σήματα του συστήματος Galileo E1 και E5 λαμβάνονται επίσης με πιο σταθερή στάθμη σήματος εμφανίζοντας μικρότερες διακυμάνσεις στο SNR, γεγονός που υποδηλώνει ότι επηρεάζονται λιγότερο από ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές σε σχέση με τα σήματα του GPS (κυρίως L1, L2 και κατά δεύτερο λόγο L2C).
- Η καλύτερη απόδοση των σημάτων E1 και E5 μπορεί να εξηγηθεί βάσει του πιο μοντέρνου σχεδιασμού των σημάτων του Galileo, σε σχέση με τα σήματα L1 και L2 του GPS.
- Σε πολλές περιπτώσεις, όπως αποδεικνύουν τα διαγράμματα, το σήμα L2 του GPS εμφανίζει μια απότομη αύξηση του σήματός του.
- Για τα δεδομένα από Ελλάδα (Παλλήνη, Ελευσίνα και Λάρισα) και Πορτογαλία (Λισαβόνα) προέκυψε το συμπέρασμα ότι για τους δορυφόρους του GPS που ανήκουν στα Block IIRM και Block IIF το σήμα L2 για γωνία ανύψωσης ανώτερη των 50° περίπου ξεπερνά σε ισχύ το σήμα L2C και σε κάποιες περιπτώσεις και το σήμα L5.
- Η παραπάνω συμπεριφορά δεν παρατηρήθηκε για κανέναν δορυφόρο GPS 3^{ης} γενιάς (GPS III).
- Για τα δεδομένα από Αμερική (Οκλαχόμα) προέκυψε πως το σήμα L2 για γωνίες ανύψωσης πάνω από 50° δεν ξεπερνά σε ισχύ τα σήματα L2C και L5 όπως φαίνεται στις περιπτώσεις της Ελλάδας και της Πορτογαλίας.
- Τέλος το συμπέρασμα που προκύπτει για τους δορυφόρους που εμφανίζουν αυτήν την ξαφνική αύξηση της ισχύος του σήματος τους είναι ότι τη συγκεκριμένη χρονική στιγμή της απότομης αύξησης οι δορυφόροι έχουν κίνηση από τη Β. Αμερική προς την δυτική Ευρώπη και βρίσκονται συνήθως στα ΒΑ της Β. Αμερικής. Η εξήγηση του φαινομένου αυτού χρήζει περαιτέρω διερεύνησης που θα είχε ενδιαφέρον να γίνει σε ερευνητικό επίπεδο.

5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ - ΔΙΑΔΙΚΤΥΑΚΕΣ ΠΗΓΕΣ

European Union (2023). Galileo Open Service, Signal In Space Interface Control Document (OS SIS ICD), Issue 2.1. https://www.gsc-europa.eu/sites/default/files/sites/all/files/Galileo_OS_SIS_ICD_v2.1.pdf (accessed on 1/10/2023)

EUSPA (2019). Report on Surveying User Needs and Requirements, Issue 3.0. https://www.gsc-europa.eu/sites/default/files/sites/all/files/Report_on_User_Needs_and_Requirements_Mapping_Surveying.pdf (accessed on 1/10/2023)

Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H., & Collins, J. (2012). *Global positioning system: theory and practice*. Springer Science & Business Media

Φωτίου, Α. & Πικριδάς, Χ. (2012). GPS και Γεωδαιτικές εφαρμογές. *Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη*.

Romero, I. (2020). The receiver independent exchange format version 3.05. *International GNSS Service Files*, <https://files.igs.org/pub/data/format/rinex305.pdf>.

Revnivykh, S. (2012, November). GLONASS status and modernization. *In Proceedings of ION GNSS (pp. 3931-3949)*. <https://www.unoosa.org/pdf/icg/2012/icg-7/3-1.pdf>

Zhan, X., Jing, S., & Wang, X. (2013). Beidou space service volume parameters and its performance. *In Proc. 8th meeting of the International Committee on GNSS*, <https://www.unoosa.org/pdf/icg/2013/icg-8/wgB/B2.pdf>

Motohisa Kishimoto (2023). QZSS Navigation Message Authentication Service Status, *QZSS Strategy Office National Space Policy Secretariat Cabinet Office, Government of Japan* https://www.unoosa.org/documents/pdf/icg/2023/ICG-17/icg17_wgs_04_02.pdf

Δεδομένα

Δεδομένα γωνιών ανύψωσης δορυφόρων: <https://gnssplanning.com/#/settings>

Δεδομένα μόνιμου σταθμού Ελευσίνας: <https://www.hepos.gr/Map/SensorMap.aspx>

Δεδομένα μόνιμων σταθμών Λάρισας και Πορτογαλίας: <https://www.epncb.oma.be/networkdata/stationmaps.php>

Δεδομένα μόνιμου σταθμού Β. Αμερικής: <https://network.igs.org/>

Πληροφορίες Συστήματος GPS

1. <https://www.navcen.uscg.gov/>

2. <https://www.gps.gov/systems/gps/space/>

3. <https://www.nasa.gov/directorates/somd/space-communications-navigation-program/gps/>

4. <https://novatel.com/an-introduction-to-gnss/gnss-constellations/gps>

5. <https://gssc.esa.int/navipedia/index.php?title=Category:GPS>

Πληροφορίες Συστήματος GLONASS

1. https://glonass-iac.ru/en/about_glonass/
2. <https://novatel.com/an-introduction-to-gnss/gnss-constellations/glonass>
3. <https://gssc.esa.int/navipedia/index.php?title=Category:GLONASS>

Πληροφορίες Συστήματος BeiDou

1. <https://novatel.com/an-introduction-to-gnss/gnss-constellations/beidou>
2. <https://www.csno-tarc.cn/en/system/constellation>
3. <https://gssc.esa.int/navipedia/index.php?title=Category:BEIDOU>

Πληροφορίες Συστήματος Galileo

1. https://www.esa.int/Applications/Satellite_navigation/Galileo/What_is_Galileo
2. https://gssc.esa.int/navipedia/index.php?title=Category:GNSS_Signals
3. https://defence-industry-space.ec.europa.eu/index_en
4. <https://galileognss.eu/>
5. <https://www.gsc-europa.eu/>
6. <https://gssc.esa.int/navipedia/index.php?title=Category:GALILEO>
7. https://galileognss.eu/wp-content/uploads/2021/01/Galileo_OS_SIS_ICD_v2.0.pdf

Ανατομία τυπικού δορυφόρου Galileo:

1. https://www.esa.int/Applications/Satellite_navigation/Galileo/Satellite_anatomy
2. https://www.esa.int/Applications/Satellite_navigation/Galileo/Galileo_satellites

Πληροφορίες Συστήματος QZSS

1. https://qzss.go.jp/en/overview/services/sv01_what.html
2. <https://gssc.esa.int/navipedia/index.php?title=Category:QZSS>

Πληροφορίες Συστήματος NavIC

1. <https://www.isro.gov.in/SatelliteNavigationServices.html>
2. <https://novatel.com/an-introduction-to-gnss/gnss-constellations/navic>
3. <https://gssc.esa.int/navipedia/index.php?title=NAVIC>

Δέκτες

Trimble Alloy

<https://geospatial.trimble.com/en/products/hardware/trimble-alloy>

https://receiverhelp.trimble.com/alloy-gnss/en-us/Alloy_Guides/Alloy_RevFJune23_QuickStartGde_1032569861_eng.pdf

Leica GRX 1200 Series

<https://leica-geosystems.com/products/gnss-systems/receivers>

JAVAD Delta-3

https://download.javad.com/sheets/Delta-3_Datasheet.pdf

JAVAD Tre-3

https://download.javad.com/sheets/TRE-3_Datasheet.pdf

Κεραίες

<https://trimblertx.com/SupportedDevices.aspx>

Trimble Zephyr Geodetic 3: <https://geospatial.trimble.com/en/products/hardware/trimble-zephyr-3-geodetic>

Leica AR25 GNSS: <https://leica-geosystems.com/products/gnss-reference-networks/antennas/leica-ar25>

Trimble GNSS-Ti with choke rings: <https://geospatial.trimble.com/en/products/hardware/trimble-choke-ring>