

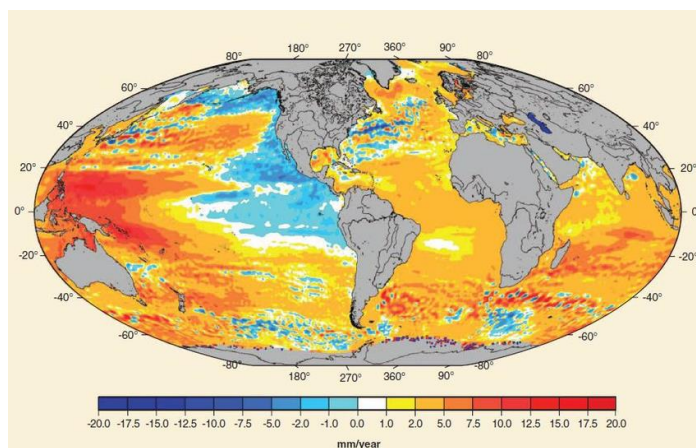


ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ, ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ ΚΑΙ
ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ

Μελέτη θαλασσίων φαινομένων Στη Μεσόγειο με τη νόηση της αλτιμετρίας

Πτυχιακή εργασία

Κονταράτος Χρήστος – Αντώνιος



Αθήνα, Ιούλιος 2018



ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ, ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ ΚΑΙ
ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή

Παρχαρίδης Ισάακ (Επιβλέπων καθηγητής)
Αναπληρωτής Καθηγητής, Γεωγραφίας, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο

Καρύμπαλης Ευθύμιος
Αναπληρωτής Καθηγητής, Γεωγραφίας, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο

Χαλκιάς Χρίστος
Καθηγητής, Γεωγραφίας, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο

Ο Χρήστος- Αντώνιος Κονταράτος,

δηλώνω υπεύθυνα ότι:

- 1)** Είμαι ο κάτοχος των πνευματικών δικαιωμάτων της πρωτότυπης αυτής εργασίας και από όσο γνωρίζω η εργασία μου δε συκοφαντεί πρόσωπα, ούτε προσβάλλει τα πνευματικά δικαιώματα τρίτων.
- 2)** Αποδέχομαι ότι η ΒΚΠ μπορεί, χωρίς να αλλάξει το περιεχόμενο της εργασίας μου, να τη διαθέσει σε ηλεκτρονική μορφή μέσα από τη ψηφιακή Βιβλιοθήκη της, να την αντιγράψει σε οποιοδήποτε μέσο ή/και σε οποιοδήποτε μορφότυπο καθώς και να κρατά περισσότερα από ένα αντίγραφα για λόγους συντήρησης και ασφάλειας.

Στον πατέρα μου, Μάριο

Πρόλογος

Η Δορυφορική Αλτιμετρία είναι μία δορυφορική τεχνική που αναπτύχθηκε τα 30 περίπου τελευταία χρόνια. Βασικός της στόχος είναι η χαρτογράφηση της υδρόσφαιρας και συγκεκριμένα η παρατήρηση και καταγραφή των παραμέτρων - ιδιοτήτων του θαλάσσιου περιβάλλοντος, καθώς και η μελέτη του πεδίου βαρύτητας. Με την κατάλληλη επεξεργασία των αλτιμετρικών δεδομένων παρατηρούνται οι μεταβολές της στάθμης της θάλασσας, οι κινήσεις των ρευμάτων, η ταχύτητα των ανέμων και το ύψος των κυμάτων, οι μετακινήσεις και το πάχος των πάγων, η εξέλιξη θαλάσσιων εποχικών φαινομένων όπως τα El Niño και La Niña, το εύρος των θαλάσσιων παλιρροιών κ.ά. Για το λόγο αυτό, η δορυφορική αλτιμετρία παρουσιάζει μεγάλο εύρος εφαρμογών στην ωκεανογραφία, τη γεωδαισία, τη γεωδυναμική, τη μετεωρολογία και τις επιστήμες περιβάλλοντος.

Η αποστολή αλτιμετρικών δορυφόρων στο διάστημα ξεκίνησε κατά τη δεκαετία του 70'. Με την τεχνολογική εξέλιξη, οι αλτιμετρικοί δορυφόροι που ακολούθησαν παρείχαν και συνεχίζουν να παρέχουν βελτιωμένες ακρίβειες, καθώς και τη δυνατότητα έρευνας σε νέα επιστημονικά πεδία. Από την έναρξη των αλτιμετρικών αποστολών μέχρι και σήμερα, υπάρχει μία συνεχής παροχή αλτιμετρικών δεδομένων, γεγονός που επιτρέπει στην επιστημονική κοινότητα να διερευνά τα ωκεάνια, και όχι μόνο, φαινόμενα σε βάθος χρόνου και να παράγει ακριβή μοντέλα που τα περιγράφουν.

Η επιλογή των αλτιμετρικών δεδομένων εξαρτάται από την εφαρμογή για την οποία πρόκειται να χρησιμοποιηθούν και παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στην παραγωγή του τελικού προϊόντος. Βασική, επίσης, παράμετρος είναι το λογισμικό επεξεργασίας τέτοιων δεδομένων. Το Basic Radar Altimetry Toolbox (BRAT) είναι ένα τέτοιο εκπαιδευτικό λογισμικό που δημιουργήθηκε υπό την εποπτεία της Ευρωπαϊκής Υπηρεσίας Διαστήματος (ESA) και του Εθνικού Κέντρου Διαστημικών Μελετών (CNES) και αποτελεί ένα σύνολο εργαλείων και εγχειριδίων για την διευκόλυνση επεξεργασίας των αλτιμετρικών δεδομένων. Μέρος της παρούσας διπλωματικής εργασίας έχει ως αντικείμενο την αξιοποίηση του συγκεκριμένου λογισμικού, τη διερεύνηση των εργαλείων και των δυνατοτήτων του, καθώς και τη σύνταξη ενός σύντομου τεχνικού εγχειριδίου χρήσης του. Στο υπόλοιπο μέρος της εργασίας, ακολουθούν κάποιες τυπικές εφαρμογές Δορυφορικής Αλτιμετρίας με σκοπό την παρουσίαση και την ανάδειξη του BRAT ως ένα εργαλείο επεξεργασίας αλτιμετρικών δεδομένων, καθώς και εξαγωγής και οπτικοποίησης των αντίστοιχων αποτελεσμάτων.

Οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στην κατάσταση των ωκεανών, καθώς και οι νέες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι πεδία που απασχολούν έντονα στην εποχή μας την επιστημονική κοινότητα και συνεπώς διενεργούνται εκτεταμένες έρευνες γύρω από αυτά. Στο δεύτερο μέρος της εργασίας, γίνεται μία προσπάθεια μελέτης κάποιων σχετικών φαινομένων με τη μέθοδο της Δορυφορικής Αλτιμετρίας.

Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας στο τμήμα γεωγραφίας του Χαροκοπείου πανεπιστημίου, θα ήθελα, αρχικά, να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου, κ. Ισάακ Παρχαρίδη, για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε, αναθέτοντάς μου τη συγκεκριμένη εργασία. Τον ευχαριστώ, επίσης, για την καθοδήγηση και τις παρατηρήσεις του καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησής της, καθώς και για το ενδιαφέρον του και τη συνέπειά του όλο αυτό το διάστημα.

Θα ήθελα, στη συνέχεια, να ευχαριστήσω την μητέρα μου, Gerjanne, για την πίστη της, την στήριξή της και φυσικά την κατανόησή της καθ' όλη τη διάρκεια των φοιτητικών μου χρόνων. Χωρίς τη δικιά της υποστήριξη δε θα μπορούσα να κάνω τα σχέδια μου πραγματικότητα.

Ευχαριστώ ακόμα τον αδερφό μου, Αλέξη, για την υπομονή που είχε κατά την διάρκεια της πτυχιακής μου εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά όλους τους φίλους και τις φίλες μου για την πολύτιμη ηθική τους υποστήριξη και κατανόηση όλο αυτό το διάστημα.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Περίληψη.....	9
1 Εισαγωγή	
1.1 Στόχοι της διπλωματικής εργασίας.....	11
1.2 Συνοπτική περιγραφή του περιεχομένου της διπλωματικής εργασίας.....	12
2.Βιβλιογραφική ανασκόπηση	
2.1 Ανασκόπηση.....	13
2.2 Υπηρεσίες δεδομένων.....	16
3.Θεωρητικές βάσεις	
3.1 Εισαγωγή.....	20
3.2 Επιφάνειες Αναφοράς.....	20
4.Δορυφορικά δεδομένα	
4.1 Ιστορική αναδρομή.....	26
4.2 Σημερινές αποστολές σε επιχειρησιακή λειτουργία.....	36
4.3 Παλμοί και κυματομορφές.....	43
4.4 Μέγεθος ίχνους στην επιφάνεια παρατήρησης (footprint)	46
4.5 Συχνότητες.....	48
4.6 Σφάλματα αλτιμετρικών δεδομένων.....	49
5. Brat	
5.1 Εισαγωγή.....	53
5.2 Λειτουργίες του BRAT.....	54
5.3 Ανάγνωση και Επεξεργασία Δεδομένων.....	57
5.4 Γραφικό Περιβάλλον Χρήστη (BratGui ή GUI)	57
5.5 Περιβάλλον Οπτικοποιήσεων (BratDisplay)	72

5.6 BratScheduler.....	73
6. Ανάδειξη του BRAT	
Περίπτωση 1: Μέση στάθμη θάλασσας.....	75
Περίπτωση 2: Απόλυτη δυναμική τοπογραφία.....	82
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	90
ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.....	90
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ.....	92

Περίληψη

Βασικό αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η μέθοδος της Δορυφορικής Αλτιμετρίας ως ένα μέσο μελέτης ωκεανογραφικών, γεωφυσικών, κλιματολογικών κ.ά. φαινομένων μέσω της αξιοποίησης των μακροχρόνιων σειρών δεδομένων και του λογισμικού BRAT. Μπορεί να διακριθεί σε δύο κύρια μέρη, το πρώτο εκ των οποίων αφορά την παρουσίαση και την εξοικείωση με το BRAT και το δεύτερο τη χρήση του για ορισμένες ωκεανογραφικές εφαρμογές.

Ειδικότερα, η εργασία απαρτίζεται από έξι επιμέρους κεφάλαια. Στο πρώτο κεφάλαιο τίθενται οι στόχοι της παρούσας διπλωματικής εργασίας και γίνεται η περιγραφή της δομής και του περιεχομένου της. Στο δεύτερο κεφάλαιο παρατίθεται η βιβλιογραφική ανασκόπηση ορισμένων εργασιών με βάση την αξιοποίηση αλτιμετρικών δεδομένων για μελέτη των θαλασσίων φαινομένων στην περιοχή της Μεσογείου. Ακολουθούν, στο τρίτο κεφάλαιο, η αρχή και τα λοιπά θεωρητικά στοιχεία που διέπουν τη μέθοδο της Δορυφορικής Αλτιμετρίας, καθώς και ο ρόλος της στις γεωεπιστήμες και παρουσιάζεται συνοπτικά το σύνολο των παρελθοντικών και των σύγχρονων αλτιμετρικών αποστολών. Στο τέταρτο κεφάλαιο, γίνεται εμβάθυνση στα αλτιμετρικά δεδομένα. Αναλύονται τα στάδια της προεπεξεργασίας τους από τους επίγειους σταθμούς, οι πηγές σφαλμάτων και οι τρόποι διόρθωσης των δεδομένων ως προς αυτές, καθώς και η κατηγοριοποίησή τους με βάση ορισμένα κριτήρια. Στη συνέχεια, το πέμπτο κεφάλαιο, αποτελεί ένα συνοπτικό εγχειρίδιο χρήσης του λογισμικού BRAT, περιγράφοντας τα δομικά του στοιχεία, τον τρόπο λειτουργίας του και τα εργαλεία του. Τέλος, στο έκτο κεφάλαιο, παρουσιάζονται οι εφαρμογές που πραγματοποιήθηκαν στο περιβάλλον του BRAT. Συγκεκριμένα, έγινε η εξαγωγή χαρτών των Ανωμαλιών του Επιπέδου της Θάλασσας και της Απόλυτης Δυναμικής Τοπογραφίας. Περιγράφεται η διαδικασία επεξεργασίας των δεδομένων και τα συμπεράσματα με βάση τα εξαγόμενα αποτελέσματα των παραπάνω χαρτών.

Λέξεις κλειδιά: αλτιμετρία, BRAT, δορυφόρος, δεδομένα

Abstract

The main objective of this Diploma thesis is the use of Satellite Altimetry methodology as a means of research of oceanographic, geophysical, climatological etc. phenomena through the utilization of long series of multi- or mono-satellite altimetric data and the usage of the Basic Radar Altimetry Toolbox (BRAT) software. The thesis can be separated in two major parts, the first of which is related to the presentation and familiarization with BRAT and the second to its usage for various oceanographic applications.

In particular, the thesis consists of six individual chapters. The first describes the scope and purposes of the Diploma thesis, as well as its structure and its content. The second chapter is review of some papers about altimetry data concerning the Mediterranean sea. What follows in the third chapter are the principle and the theoretical background governing the method of Satellite Altimetry, its role in geosciences and a brief presentation of all past and current altimetric missions, as well as the evolutions and perspectives for the near-future upcoming missions. Information about the combination of multiple altimetry missions are also provided as well as information about their combination with gravity field oriented missions and future improvements. The fourth chapter dwells on the processing of altimetric data. Specifically, it analyses the pre-processing stages in ground stations, the sources of errors and the ways to correct them so to arrive in the so-called Level-1, -2, -3 etc. data products which are eventually distributed to the users. In addition, the data is being categorized based on certain criteria. The following chapter, the fifth, constitutes a brief user manual for the BRAT software suite, describing its structure, operating mode and its tools. Finally, the sixth chapter includes the presentation of various applications that were carried out by using BRAT as the main processing platform. More accurately, it focuses on the creation of various types of maps typically required for many practical applications, including maps of Sea Level Anomalies (SLA) and Absolute Dynamic Topography (ADT). It is described how the data were edited, followed by the conclusions of the exported map results.

Keywords: altimetry, BRAT, satellite, data

1. Εισαγωγή

Η εξέλιξη της Δορυφορικής Αλτιμετρίας τα τελευταία χρόνια, μέσω του συνόλου των αλτιμετρικών αποστολών, την έχει καταστήσει ως ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο για τη μελέτη ποικίλων φαινομένων και, όπως μπορεί εύκολα να διαπιστώσει κανείς, οι μελλοντικές εξελίξεις της πρόκειται να αυξήσουν ακόμα περισσότερο τη χρηστικότητά της ως μιας από τις αποτελεσματικότερες μεθόδους μελέτης της δυναμικής κατάστασης των θαλασσών. Ο μεγάλος όγκος αλτιμετρικών δεδομένων, που έχει προκύψει από τη συνεχή παροχή δεδομένων για έναν ικανό αριθμό ετών, επιβάλλει την ανάγκη ύπαρξης κατάλληλων και εύχρηστων λογισμικών για την επεξεργασία τους. Ένα τέτοιο λογισμικό αποτελεί και το λογισμικό ανοικτού κώδικα Basic Radar Altimetry Toolbox (BRAT), το οποίο αποτέλεσε και το κύριο εργαλείο επεξεργασίας δεδομένων δορυφορικής αλτιμετρίας που βασίστηκε η παρούσα διπλωματική εργασία. Τα λογισμικά τέτοια τύπου παρέχουν τη δυνατότητα ανάγνωσης δεδομένων σε διαφορετικούς μορφότυπους από την πλειοψηφία των αλτιμετρικών αποστολών, επεξεργασίας και στατιστικής ανάλυσης, καθώς και οπτικοποίησης των αποτελεσμάτων τους. Αποτελούν, δηλαδή, ένα πλήρες πακέτο εφαρμογών για τη μελέτη σχετικών θαλάσσιων φαινομένων.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, διερευνάται σε βάθος το λογισμικό BRAT, οι δυνατότητες και τα εργαλεία που διαθέτει για την αξιοποίηση του όγκου και της πολυμορφίας των αλτιμετρικών δεδομένων, και παρουσιάζεται, στη συνέχεια, μέσω ορισμένων χαρακτηριστικών ωκεανογραφικών εφαρμογών. Οι εφαρμογές αυτές επιλέχθηκαν με βάση τον επίκαιρο χαρακτήρα τους, ενώ κατά την επεξεργασία των αντίστοιχων αλτιμετρικών δεδομένων και της απεικόνισης των αποτελεσμάτων έγινε η προσπάθεια να παρουσιασθούν όσο το δυνατόν περισσότερα διαφορετικά είδη δεδομένων και εφαρμογές του λογισμικού.

1.1 Στόχοι της διπλωματικής εργασίας

Βασικό αντικείμενο μελέτης της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι το λογισμικό επεξεργασίας αλτιμετρικών προϊόντων BRAT. Οι στόχοι που τέθηκαν διακρίνονται σε δύο κύριες θεματολογίες:

Πρώτον, η διερεύνηση και εξοικείωση με το συγκεκριμένο λογισμικό. Το BRAT αποτελείται από ένα σύνολο εφαρμογών που καθιστούν εφικτή την πραγματοποίηση μία πλήρους εργασίας στο περιβάλλον του. Αυτό σημαίνει ότι επιλέγοντας τα κατάλληλα για την εκάστοτε εφαρμογή αλτιμετρικά προϊόντα (δηλ. δεδομένα που έχουν υποβληθεί σε ένα ή περισσότερα επίπεδα αναγκαίων αναγωγών και διορθώσεων), εκτελείται μία σειρά διαδοχικών εργασιών, η οποία στις περισσότερες περιπτώσεις καταλήγει στην παραγωγή ενός χάρτη απεικόνισης του προς μελέτη φαινομένου. Συγκεκριμένα, αναλύονται όλα τα επιμέρους στάδια μέχρι την παραγωγή

του τελικού προϊόντος και παρουσιάζονται οι βασικές δυνατότητες που παρέχονται στο περιβάλλον του λογισμικού σε κάθε ένα από αυτά τα στάδια.

Δεύτερον, η ανάδειξη της ποικιλομορφίας των δυνατοτήτων του λογισμικού BRAT μέσω συγκεκριμένων ωκεανογραφικών εφαρμογών. Η επιλογή των εφαρμογών έγινε με βάση τον επίκαιρο χαρακτήρα τους, ενώ κατά την επεξεργασία των αντίστοιχων αλτιμετρικών δεδομένων και της απεικόνισης των αποτελεσμάτων έγινε η προσπάθεια να παρουσιασθούν όσο το δυνατόν περισσότερα διαφορετικά είδη δεδομένων και εφαρμογές του λογισμικού.

1.2 Συνοπτική περιγραφή του περιεχομένου της διπλωματικής εργασίας

Το περιεχόμενο της εργασίας διαρθρώνεται σε έξι επιμέρους κεφάλαια. Στο παρόν κεφάλαιο, παρατίθενται κάποια εισαγωγικά στοιχεία. Συγκεκριμένα, αναφέρονται οι βασικοί στόχοι που έχουν τεθεί για την παρούσα διπλωματική εργασία και περιγράφεται η δομή και των περιεχόμενων των κεφαλαίων που την απαρτίζουν.

Στο τρίτο κεφάλαιο, τίθεται το θεωρητικό υπόβαθρο της Δορυφορικής Αλτιμετρίας και παρέχονται πληροφορίες σχετικά με τις αλτιμετρικές αποστολές. Ειδικότερα, αρχικά περιγράφονται βασικές επιφάνειες αναφοράς που χρησιμοποιούνται στις εφαρμογές της Δορυφορικής Αλτιμετρίας.

Το τέταρτο κεφάλαιο αφορά ειδικά τα αλτιμετρικά δεδομένα. Συγκεκριμένα, αναλύονται επιμέρους θεωρητικές βάσεις που αφορούν τις ιδιότητες των παλμικών κυμάτων και των χρησιμοποιούμενων από τις αλτιμετρικές αποστολές συχνοτήτων. Ακολουθεί ο ρόλος της συγκεκριμένης μεθόδου σε ένα σύνολο άλλων επιστημών και αναφέρονται οι επιμέρους εφαρμογές της σε αυτές. Τέλος, δίνεται μία συνοπτική περιγραφή όλων των παρελθοντικών, αλλά και των σύγχρονων αλτιμετρικών αποστολών. Αναφέρονται, επίσης, τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα που προκύπτουν από το συνδυασμό πολλαπλών αλτιμετρικών αποστολών για την παραγωγή δεδομένων υψηλής ακρίβειας, καθώς και ο συνδυασμός αλτιμετρικών και βαρυτημετρικών δεδομένων για ειδικές, γεωδαιτικές κυρίως, εφαρμογές. Στη συνέχεια, αναφέρονται οι κύριες πηγές σφαλμάτων, τα οποία εισάγονται στα αλτιμετρικά δεδομένα κατά τη διαδικασία της παρατήρησης, και περιγράφονται οι διορθώσεις που πρέπει να επιβληθούν στα δεδομένα πριν την διάθεσή τους προς χρήση. Τα σφάλματα αυτά έχουν να κάνουν με την τροχιά του δορυφόρου, με τις γεωφυσικές ιδιότητες του πλανήτη, με την ατμόσφαιρα, με τις χρονικές μεταβολές της επιφάνειας της θάλασσας, καθώς και με το αλτίμετρο ραντάρ που πραγματοποιεί τις παρατηρήσεις.

Το πέμπτο κεφάλαιο αποτελεί ένα σύντομο εγχειρίδιο χρήσης του λογισμικού BRAT. Αρχικά, περιγράφεται η δομή του, οι βασικές λειτουργίες, τα δομικά του μέρη και οι εφαρμογές που διαθέτει. Στη συνέχεια, αναλύονται τα στάδια μίας τυπικής εργασίας στο Γραφικό Περιβάλλον Χρήστη του BRAT. Ειδικότερα, περιγράφονται οι λειτουργίες της κάθε καρτέλας χρήσης από τις οποίες απαρτίζεται και τα εργαλεία που διαθέτουν. Οι λειτουργίες των επιμέρους καρτελών

αφορούν την εισαγωγή και ανάγνωση των δεδομένων, την επεξεργασία τους με τη βοήθεια του συνόλου των εργαλείων που υπάρχουν, την εξαγωγή των αποτελεσμάτων και την οπτικοποίηση τους.

Τέλος, στο έκτο και τελευταίο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι εφαρμογές που επιλέχθηκε να εκτελεστούν στο BRAT. Οι εφαρμογές αυτές είναι η εξαγωγή χαρτών των Ανωμαλιών του Επιπέδου της Θάλασσας (SLA), της Απόλυτης και της Μέσης Δυναμικής Τοπογραφίας (ADT και MDT). Για κάθε μία από τις εφαρμογές, περιγράφεται η επεξεργασία των επιλεγμένων για κάθε περίπτωση δεδομένων και ακολουθούν τα αποτελέσματα που εξήχθησαν από το BRAT, συνοδευόμενα από την ερμηνεία τους και τα σχετικά συμπεράσματα.

Μετά το τέλος και το έκτου κεφαλαίου, παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από όλη την εκπόνηση της εργασίας και αφορούν τη χρηστικότητα του λογισμικού, τα προβλήματα που αντιμετωπίστηκαν κατά τη χρήση του, καθώς και κάποια συμπεράσματα που εξήχθησαν από τα αποτελέσματα των εφαρμογών.

Ακολουθούν ορισμένες προτάσεις για τη μελλοντική διερεύνηση ορισμένων εφαρμογών, οι οποίες δεν κατέστη δυνατό να μελετηθούν στα χρονικά πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας και αποτελούν εφαρμογές υψηλού ενδιαφέροντος.

Τέλος, παρατίθενται οι βιβλιογραφικές αναφορές που χρησιμοποιήθηκαν σε όλη την εργασία και το παράρτημα.

2.Βιβλιογραφική ανασκόπηση

Οι Iglesias, I., Lorenzo, M.N., Lázaro, C., Fernandes, M.J., Bastos, L. στο σύγγραμμα τους **Ανωμαλία σε επίπεδο θάλασσας στον Βόρειο Ατλαντικό και τις θάλασσες σε όλη την Ευρώπη: Μακροπρόθεσμη μεταβλητότητα και ανταπόκριση στα πρότυπα τηλεπικοινωνιών του Βορειοατλαντικού Ατλαντικού** αναφέρουν ότι η ανωμαλία της στάθμης της θάλασσας (SLA), η οποία παρέχεται παγκοσμίως μέσω δορυφορικής αλτιμετρίας, θεωρείται πολύτιμη εξάρτηση για τον εντοπισμό μακροπρόθεσμων αλλαγών του παγκόσμιου ωκεανού, καθώς και βραχυπρόθεσμων και ετήσιων διακυμάνσεων. Στο χειρόγραφο τους, αναφέρονται τα μηνιαία πλέγματα ανωμαλιών της στάθμης της θάλασσας για την περίοδο 1993-2013 για να χαρακτηρίσουν τη μεταβλητότητα του Βόρειου Ατλαντικού Ωκεανού σε ετήσια χρονοδιαγράμματα και την ανταπόκρισή του στα βασικά πρότυπα μεταβλητότητας της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας του Βορειο Ατλαντικού (Βόρειος Ατλαντικός, Ανατολική Ατλαντική / Δυτική Ρωσία, Σκανδιναβική και Πολωνική / Ευρασία) και τους κύριους κινητήριους παράγοντες, όπως η πίεση της στάθμης της θάλασσας, η θερμοκρασία της επιφάνειας της θάλασσας και τα αιολικά πεδία. Οι διακυμάνσεις του SLA και οι μακροπρόθεσμες τάσεις αναλύονται για τον Βόρειο Ατλαντικό Ωκεανό και διάφορες υποπεριοχές (Βόρεια, Βαλτική και Μεσόγειος και Μαύρη Θάλασσα, Βискаϊκός Κόλπος που επεκτείνεται στη δυτική ακτή της Ιβηρικής Χερσονήσου και στο Βόρειο Ατλαντικό Ωκεανό). που απεικονίζει τις διακυμάνσεις SLA σε κλίμακες λεκάνης απορροής και υπολεκάνης, με στόχο την απεικόνιση των περιοχών μέγιστης μεταβλητότητας της στάθμης της θάλασσας. Έχει εντοπιστεί μια σημαντική συσχέτιση μεταξύ του SLA και των διαφορετικών φάσεων των μοντέλων που οφείλονται στους παραγόμενους ανέμους, στην πίεση της στάθμης της θάλασσας και στις ανωμαλίες της θερμοκρασίας της θάλασσας, με έντονη μεταβλητότητα στις χρονικές και χωρικές κλίμακες. Επίσης, διαπιστώνεται μη ομοιόμορφη αύξηση της στάθμης της θάλασσας από το 1993 για όλες τις υποπεριοχές, με τιμές τάσης μεταξύ 2,05 mm / έτος για την περιοχή του Βискаϊκού Κόλπου και 3,98 mm / έτος για τη Βαλτική Θάλασσα). Τα αποτελέσματα που προέκυψαν έδειξαν μια ισχυρή σχέση μεταξύ των ατμοσφαιρικών προτύπων και του SLA, καθώς και τις έντονες διακυμάνσεις της μεταβλητής αυτής σε χρονικές και χωρικές κλίμακες.

Οι Landerer, F.W., Volkov, D.L. στο σύγγραμμα τους **Η ανατομία των πρόσφατων μεγάλων διακυμάνσεων της στάθμης της θάλασσας στη Μεσόγειο Θάλασσα** αναφέρουν ότι η αλλαγή της στάθμης της θάλασσας αποτελεί βασικό δείκτη του κλίματος. Η χωρική δειγματοληψία που προσφέρεται από τη δορυφορική αλτιμετρία και η συνέχεια της κατά τα τελευταία έτη είναι τα κύρια προτερήματα για την παροχή βελτιωμένης εικόνας των μεταβολών της στάθμης της Μεσογείου. Σε αυτή την εργασία, χρησιμοποιείται μια μέθοδος αυτόματης εξαγωγής σήματος, βασισμένη στην Ανάλυση Singular Spectrum (SSA), για ανάλυση και εποχική προσαρμογή των σειρών επιπέδων της Μεσογείου. Αυτή η αυτόματη προσέγγιση μας

επιτρέπει να ξεπεράσουμε τις δυσκολίες της οπτικής αναγνώρισης των συστατικών της τάσης που μερικές φορές αντιμετωπίζουμε όταν χρησιμοποιούμε τη συμβατική μέθοδο SSA. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η μεσογειακή μέση στάθμη της θάλασσας κυριαρχείται από πολλά αρμονικά συστατικά. Το ετήσιο σήμα είναι ιδιαίτερα ισχυρό και καλύπτει σχεδόν το 73,62% της αρχικής διακύμανσης της σειράς της στάθμης της θάλασσας, ενώ το εύρος του είναι περίπου 15 cm. Η εξαγόμενη τάση δείχνει επίσης ότι το κυριότερο επίπεδο της Μεσογείου έχει αυξηθεί σημαντικά κατά την περίοδο 1993-2012 κατά $2,44 \pm 0,4$ mm. Ως σημαντική συνέπεια, εάν συνεχιστεί αυτή η τάση, το επίπεδο της Μεσογείου θα αυξηθεί περίπου στα 22 εκατοστά μέχρι το τέλος αυτού του αιώνα, πράγμα που έχει δραματικές επιπτώσεις σε πολλά θέματα όπως η γη, η χλωρίδα, η πανίδα και οι άνθρωποι δραστηριότητες που αναπτύσσονται κατά μήκος των ακτών της Μεσογείου.

Οι **Calafat, F.M., Moreno, M.M.** στο σύγγραμμα τους **Σύγκριση των ανωμαλιών της στάθμης της θάλασσας μέσω δορυφόρου και των υδρογραφικών παρατηρήσεων στη Μεσόγειο Θάλασσα** αναφέρουν ότι το στερικό επίπεδο της θάλασσας (SSL) που υπολογίζεται από τις υδρογραφικές παρατηρήσεις στη Μεσόγειο Θάλασσα συγκρίνεται με αλλομετρικές ανωμαλίες της στάθμης της θάλασσας (SLA) σε εποχιακές και διεθνείς χρονικές κλίμακες για την περίοδο 1993-2008. Το SSL (που αναφέρεται σε 300 m) υπολογίζεται με τη χρήση δύο συνόλων δεδομένων: in situ προφίλ και προϊόντα με πλέγμα που λαμβάνονται από παρεμβολές παρατηρήσεων. Ο αντίκτυπος των μεροληπτών / μηχανικών βηματοθερμογράφων (XBT / MBT) που επηρεάζουν μερικά από τα in situ προφίλ διερευνάται συγκρίνοντας τόσο διορθωμένα όσο και μη διορθωμένα δεδομένα. Για την περίοδο 2003-2008 η συνιστώσα μάζας εκτιμάται από τις παρατηρήσεις GRACE και αφαιρείται από το SLA. Η ανάλυση της χωροχρονικής κατανομής των προφίλ δείχνει ότι ο αριθμός των προφίλ με δεδομένα κάτω των 300 μέτρων είναι ένα μικρό ποσοστό του συνόλου και ότι η χωρική τους κάλυψη της λεκάνης της Μεσογείου είναι πολύ περιορισμένη. Αυτό είναι ένα σημαντικό μειονέκτημα για τις περιοχές όπου η συμβολή των βαθιών στρωμάτων στο SSL είναι σημαντική. Συνολικά, τα SSL και SLA δείχνονται συνεπείς στη Μεσόγειο σε εποχικές κλίμακες, αν και το ετήσιο πλάτος του SSL από in situ προφίλ και παρεμβαλλόμενα δεδομένα είναι σημαντικά μικρότερο από αυτό του SLA. Η συμφωνία σε χρονικές κλίμακες είναι λιγότερο καλή. Σε ορισμένες συγκεκριμένες τοποθεσίες, τα SSL που υπολογίζονται από τα μεμονωμένα προφίλ σχετίζονται περισσότερο με το SLA από τα προϊόντα με πλέγματα. Σε κλίμακες λεκάνης απορροής και υπολεκάνης, ωστόσο, οι παρεμβολές και οι επιτόπιες παρατηρήσεις παρέχουν παρόμοια αποτελέσματα όσον αφορά τη συσχέτιση τους με το παρατηρούμενο SLA. Οι διορθώσεις μεροληψίας XBT / MBT έχουν μικρή επίδραση στην SSL στις χρονικές κλίμακες που εξετάζονται σε αυτή τη μελέτη.

2.1 Υπηρεσίες δεδομένων

Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφεται ο τρόπος πρόσβασης στα αλτιμετρικά δεδομένα μέσα από ιστότοπους με σκοπό την παροχή διάφορων υπηρεσιών.

Γαλλική υπηρεσία Aviso+

Η υπηρεσία Aviso+ (<http://www.aviso.altimetry.fr/en/data/data-access.html>) παρέχει αλτιμετρικά δεδομένα στους χρήστες και αναπτύχθηκε από το Γαλλικό Διαστημικό Οργανισμό CNES (Centre National d' Etudes Spatiales) και την υπηρεσία CTOH (Center for Topographic studies of the Ocean and Hydrosphere).

Ο χρήστης αποκτά ολοκληρωμένη πρόσβαση στα δεδομένα μετά από μια απλή εγγραφή. Τα δεδομένα που λαμβάνονται έχουν εφαρμογή σε θεματικές ενότητες όπως αυτές των ωκεανών, της υδρολογίας, των παράκτιων ζωνών, των πάγων, του κλίματος, της ατμόσφαιρας, της γεωδαισίας και της γεωφυσικής. Τα ποικίλα προϊόντα που παρέχονται αφορούν κυρίως μετρήσεις στιγμιαίας στάθμης της θάλασσας ή όποιας άλλης υδάτινης επιφάνειας, κυματικά και ανεμολογικά δεδομένα όπως το μέτρο της ταχύτητας του ανέμου και το σημαντικό ύψος κύματος. Επίσης παρέχονται βοηθητικά προϊόντα για την επεξεργασία των αλτιμετρικών δεδομένων όπως η μέση στάθμη της θάλασσας MSS (Mean Sea Surface) και η μέση δυναμική τοπογραφία MDT (Mean Dynamic Topography), καθώς και υψηλού επιπέδου προϊόντα που σχετίζονται με την υγεία των θαλασσών όπως το μέσο επίπεδο της θάλασσας MSL (Mean Sea Level) ενώ ο χρήστης έχει επιπλέον τη δυνατότητα πρόσβασης σε τοπικής κλίμακα δεδομένα-μετρήσεις από παλιρροιογράφους για τη σύγκριση με τα αλτιμετρικά δεδομένα. Η πρόσβαση στα δεδομένα πραγματοποιείται με διάφορους τρόπους όπως το ODES (ONLINE Data Extraction Service) το Opendap, το Extraction Tool, το Aviso FTP, ενώ στο LAS (Live Access Server) παρουσιάζονται τα δεδομένα οπτικά.

Ως προς τη μορφή τους, τα διαθέσιμα δεδομένα εξάγονται στο δυαδικό μορφότυπο NetCDF (Network Common Data Form), που αναφέρεται ουσιαστικά, σε ένα σύνολο πρότυπων κανόνων σύμπτυξης των δεδομένων τα οποία είναι δομημένα σε πίνακες. Περιλαμβάνει, επίσης, μία ανοικτή συλλογή βιβλιοθηκών για την πρόσβαση των δεδομένων μέσω εργαλείων για διάφορες γλώσσες προγραμματισμού, όπως τις C, Fortran, C++ και Java. Οι βιβλιοθήκες αυτές επιτρέπουν την υλοποίηση των διεπαφών ανεξάρτητα από το χρησιμοποιούμενο σύστημα για την αναπαράσταση επιστημονικών δεδομένων. Το σύνολο των διεπαφών, των βιβλιοθηκών και ο μορφότυπος NetCDF παρέχουν τη δυνατότητα δημιουργίας, πρόσβασης και ανταλλαγής επιστημονικών δεδομένων (Unidata). Η μετατροπή των αρχείων με κατάληξη .nc,

σε μορφή ASCII στην παρούσα πτυχιακή πραγματοποιήθηκε μέσω του ελεύθερου λογισμικού Basic Radar Altimetry Toolbox – BRAT (CLS,2016).

National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)

Η Εθνική Υπηρεσία για τους Ωκεανούς και την ατμόσφαιρα της Αμερικής έχει δημιουργήσει έναν ιστότοπο που δίνεται παρακάτω.

(<http://www.star.nesdis.noaa.gov/sod/lisa/NearRealTime/>)

Σε αυτόν οποίο παρέχονται αλτιμετρικά δεδομένα από διάφορους δορυφόρους. Επιλέγοντας την αλτιμετρική αποστολή, τη γεωγραφική περιοχή και τη χρονική περίοδο για την οποία επιθυμεί να λάβει δεδομένα ο χρήστης καθώς και τις διορθώσεις που θέλει να εφαρμόσει, τα δεδομένα αποστέλλονται μέσω ηλεκτρονικού ταχυδρομείου χωρίς μεγάλη καθυστέρηση. Ο χρόνος επεξεργασίας εξαρτάται από τη δραστηριότητα του διακομιστή και από το όγκο των δεδομένων που ζητούνται. Τα δεδομένα αποστέλλονται σε ASCII μορφή. Το όνομα των αρχείων προκύπτει από την ονομασία του αλτιμετρικού δορυφόρου σε συντομογραφία, τον αριθμό της τροχιάς του δορυφόρου (pass- half orbit) και τον αριθμό της ακριβώς επαναλαμβανόμενης τροχιάς- πλήρους κύκλος (repeat cycle). Για παράδειγμα, το αρχείο με όνομα j1p0240c002.asc, Είναι αρχείο μορφής ASCII, από τον δορυφόρο Jason-1, pass 240 και repeat cycle 2.

National Oceanographic Data Center-NODC

Το Εθνικό Ωκεανογραφικό Κέντρο Δεδομένων (National Oceanographic Data Center-NODC) είναι ένα από τα εθνικά κέντρα περιβαλλοντικών δεδομένων που λειτουργεί από την Εθνική Υπηρεσία Ωκεανών και Ατμόσφαιρας (National Oceanic and Atmospheric Administration-NOAA) του Υπουργείου Εμπορίου των ΗΠΑ. Στον ιστότοπο του (<http://www.nodc.noaa.gov/SatelliteData/>) παρέχονται ωκεάνια, ατμοσφαιρικά και γεωφυσικά δεδομένα. Η πρόσβαση στα δεδομένα παρέχεται με τους παρακάτω τρόπους :

α) μέσω της ιστοσελίδας <http://data.nodc.noaa.gov/>

β) μέσω του FTP που βρίσκεται στη διεύθυνση <ftp://ftp.nodc.noaa.gov/pub/data.nodc/>

γ) μέσω του εργαλείου Opendap

δ) μέσω του εργαλείου THREDS στη διεύθυνση

<http://data.nodc.noaa.gov/thredds/>

Τα δεδομένα που παρέχονται αφορούν μετρήσεις του αλτιμετρικού δορυφόρου Jason-2. Αναλόγως την επεξεργασία των δεδομένων, παρέχονται πρωτόλεια δεδομένα OGDR (Operational Geophysical Data Record), ενδιάμεσης επεξεργασίας δεδομένα IGDR (Interim Geophysical Data Record) και τελικής επεξεργασίας δεδομένα GDR (final Geophysical Data Record).

Physical Oceanography Distributed Active Archive Center (PO.DAAC)

Η υπηρεσία PO.DAAC (Physical Oceanography Distributed Active Archive Center) λειτουργεί ως πύλη παροχής δεδομένων της NASA που σχετίζονται με τους ωκεανούς και το κλίμα, με διεύθυνση (<http://podaac.jpl.nasa.gov/dataaccess>). Τα δεδομένα προέρχονται από τις αλτιμετρικές αποστολές TOPEX/Poseidon, Jason-1, Jason-2/OSTM, της NASA που είναι τοποθετημένοι στην ίδια τροχιά καθώς και από τους παλαιότερους GEOS-3 (1975-1978) και Seasat (1978). Η πρόσβαση στα δεδομένα πραγματοποιείται με πολλούς τρόπους. Συγκεκριμένα, τα σύνολα δεδομένα της PO.DAAC είναι προσβάσιμα μέσω ενός ανώνυμου εξυπηρετητή FTP (File Transfer Protocol), στη διεύθυνση <ftp://podaacftp.jpl.nasa.gov/>. Στο φάκελο Sea Surface Topography ή εναλλακτικά στο φάκελο All Data, παρέχονται τα δεδομένα ανά δορυφορική αποστολή.

Αλτιμετρικός δορυφόρος Jason-1

Τα δεδομένα του Jason-1 είναι ταξινομημένα ανά επαναλαμβανόμενη τροχιά (repeat cycle) σε φακέλους οι οποίοι περιέχουν γεωφυσικά δεδομένα κατά μήκος του επίγειου ίχνους (along track), ανά μονοπάτι (pass), δηλαδή σε κάθε φάκελο επαναλαμβανόμενης τροχιάς υπάρχουν 254 αρχεία σε δεδομένα του Jason-1, όσα και τα μονοπάτια ανά επαναλαμβανόμενο κύκλο. Η μορφή του αρχείου είναι JA1_GDR_PeP500_002_JMR.nc. Από την κατάληξη φανερώνεται ότι βρίσκεται σε μορφή NetCDF, το ακρωνύμιο JA1 δηλώνει το όνομα του αλτιμετρικού δορυφόρου, το πρόθεμα GDR το γεγονός ότι τα δεδομένα είναι γεωφυσικά και ο αριθμός 002 τον αριθμό 002 τον αριθμό του μονοπατιού.

Αλτιμετρικός δορυφόρος Jason-2/OSTM

Στους αντίστοιχους φακέλους παρέχονται δεδομένα OGDR, IGDR και GDR. Η μορφή του αρχείου που περιέχει τα δεδομένα GDR είναι JA2_GPN_2PnPccc_ppp_yyyyyymmdd_hhnnss_yyyyyymmdd_hhnnss.nc παραδείγματος χάριν : JA2_GPN_AMR_EXP_2PTR005_004_20080820_200250_20080820_205902.nc, στο οποίο υποδηλώνεται το όνομα του δορυφόρου (JA2), ο αριθμός της τροχιάς (004) και οι ημερομηνίες (yyyyymmdd_hhnnss) που δηλώνουν την πρώτη και τελευταία καταγραφή του προϊόντος. Τα δεδομένα IGDR περιέχουν τα πρόθεμα IPN αντί του GPN που υπήρχε για τα GDR δεδομένα

(JA2_IPN_AMR_EXP_2PcP045_001_20090921_081515_20090921_091128.nc). Τέλος, τα δεδομένα OGDR, δεν βρίσκονται σε μορφή NetCDF και το αρχείο έχει ονομασία JA2_OPR_2PvSccc_ppp_yyyyymmdd_hhnnss_yyyyymmdd_hhnnss, παραδείγματος χάριν : JA2_GPSOPR_2PcS037_001_20090704_011922_20090704_031520

Αλτιμετρικός δορυφόρος TOPEX/Poseidon

Τα αρχεία GDR-M, του αλτιμετρικού δορυφόρου TOPEX/Poseidon, περιέχουν γεωφυσικά δεδομένα (GDR) που έχουν παραχθεί χρησιμοποιώντας τροχιές ακριβείας και επικυρωμένους αλγορίθμους. Το όνομα του αρχείου έχει τη μορφή MGxccc.ppp, όπου το M δηλώνει το Merged, το G είναι για το GDR, το ccc ο αριθμός επαναλαμβανόμενης τροχιάς και το ppp για τον αριθμό του μονοπατιού. Το αρχείο αποτελείται από δυο μέρη. Το πρώτο μέρος έχει μορφή ascii, βρίσκεται στην αρχή και περιέχει γενικές πληροφορίες που σχετίζονται με τα δεδομένα και την επεξεργασία τους και πληροφορίες σχετικά με τα αποτελέσματα της βαθμονόμησης και της ακρίβειας προσδιορισμού της τροχιάς. Το κυρίως μέρος βρίσκεται σε binary μορφή και περιέχει πληροφορίες όπως την ώρα, το υψόμετρο, την απόσταση μεταξύ αλτιμέτρου και στιγμιαίας στάθμης της θάλασσας (altimeter range), διορθώσεις, σημαντικό ύψος κύματος, οπισθοσκέδαση (backscatter coefficient), θερμοκρασίες φωτεινότητας και σημαίες- δείκτες ποιότητας (flags).

3. Θεωρητικές βάσεις

3.1 Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο περιγράφεται το θεωρητικό υπόβαθρο της Δορυφορικής Αλτιμετρίας. Ειδικότερα, αναφέρονται οι χρησιμοποιούμενες στη μέθοδο της Δορυφορικής Αλτιμετρίας επιφάνειες αναφοράς, περιγράφεται η βασική αρχή της και τα θεωρητικά στοιχεία που αφορούν τα παλμικά κύματα και τις συχνότητες, που χρησιμοποιούνται από τις αλτιμετρικές αποστολές, καθώς και ο ρόλος της στις γεωεπιστήμες.

3.2 Επιφάνειες Αναφοράς

3.2.1 Ελλειψοειδές Αναφοράς

Το *Ελλειψοειδές Αναφοράς* (Reference Ellipsoid) είναι μία μαθηματικά προσδιορισμένη επιφάνεια που προσεγγίζει το Γεωειδές και είναι στην ουσία μία σφαίρα πεπλατυσμένη στους πόλους. Με μαθηματικούς όρους, το ελλειψοειδές αναφοράς υλοποιείται από ένα *Ελλειψοειδές εκ περιστροφής*, δηλαδή ένα διαξονικό ελλειψοειδές. Το τελευταίο μπορεί να δημιουργηθεί από την περιστροφή μίας έλλειψης γύρω από τον μικρό άξονά της και ορίζεται από το μεγάλο ημιάξονα, και είτε από την επιπλάτυνση, είτε από τον μικρό του ημιάξονα, είτε από την εκκεντρότητά του. Οι παράμετροι, συνεπώς, που ορίζουν ένα τέτοιο ελλειψοειδές είναι (Δεληκαράογλου 2011):

1. ο μεγάλος ημιάξονας a
2. ο μικρός ημιάξονας b
3. η επιπλάτυνση f
4. η εκκεντρότητα e
5. και η δεύτερη εκκεντρότητα e' ,

ενώ οι σχέσεις που συνδέουν τα μεγέθη αυτά είναι :

$$1/f = a/(a-b)$$

$$e^2 = 2f - f^2$$

$$e'^2 = e^2/(1-e^2)$$

Το μήκος του μεγάλου ημιάξονα a , δηλαδή του ημιάξονα που βρίσκεται πάνω στο επίπεδο του Ισημερινού, επιλέγεται έτσι ώστε το ελλειψοειδές αναφοράς να συμπίπτει σε αυτό το γεωγραφικό πλάτος με τη **Μέση Στάθμη Θάλασσας (ΜΣΘ)**.

Γήινο ή Γεωκεντρικό Ελλειψοειδές θεωρείται εκείνο του οποίου το κέντρο ταυτίζεται με το κέντρο μάζας της γης, ο άξονας συμμετρίας του ταυτίζεται με τον μέσο άξονα περιστροφής της, προσεγγίζει όσο το δυνατόν καλύτερα - σε διαστάσεις - το γεωειδές σε παγκόσμια κλίμακα και μπορεί να προσδιοριστεί από γεωδαιτικές μετρήσεις ή/και από καθαρά δυναμικά στοιχεία που προσδιορίζονται από παρατηρήσεις σε τεχνητούς δορυφόρους (Εισαγωγή στη Γεωδαισία 2007).

Ορισμένοι αλτιμετρικοί δορυφόροι δεν χρησιμοποιούν το ίδιο Ελλειψοειδές Αναφοράς. Συγκεκριμένα, οι ERS-1, ERS-2 και Envisat χρησιμοποιούν το Ελλειψοειδές Αναφοράς WGS84, του οποίου ο μεγάλος ημιάξονας a είναι ίσος με 6378137.0 m και η επιπλάτυνση f είναι ίση με $1 / 298.257223563$, ενώ οι Torrex/Poseidon, Jason-1, Jason-2 χρησιμοποιούν ένα άλλο ελλειψοειδές αναφοράς με μεγάλο ημιάξονα a ίσο με 6378136.3 m και επιπλάτυνση f ίση με $1 / 298.257$.

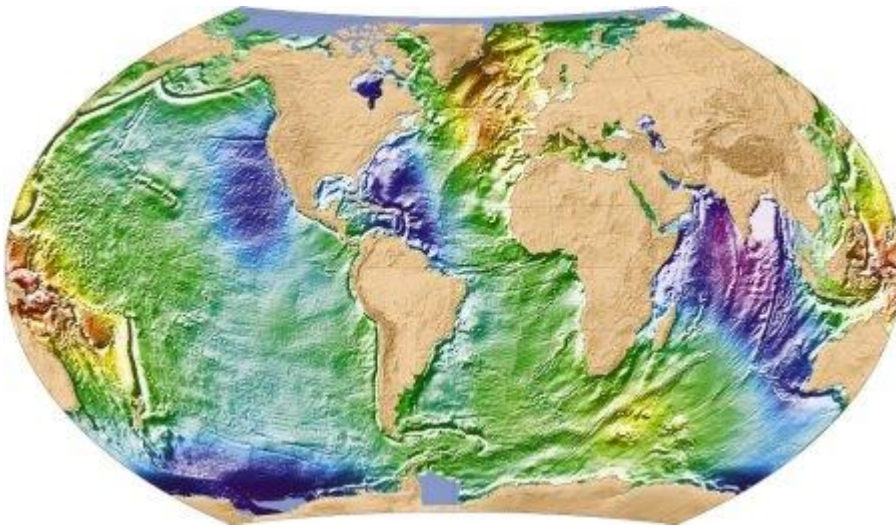
3.2.2 Γεωειδές

Ως *Γεωειδές* (Geoid) ορίζεται εκείνη η ισοδυναμική επιφάνεια του πραγματικού γήινου πεδίου βαρύτητας, που προσαρμόζεται όσο το δυνατόν καλύτερα στη Μέση Στάθμη της Θάλασσας (ΜΣΘ) στο σύνολο της Γης, αν αυτή διορθωθεί από την επίδραση των παλιρροιών, των ρευμάτων, της μεταβολής της πυκνότητας και του κυματισμού. Σύμφωνα με τον C.F. Gauss, ο οποίος το περιέγραψε πρώτος, το γεωειδές είναι η μαθηματική απεικόνιση της γης: μια ομαλή, αλλά ιδιαίτερα ακανόνιστη επιφάνεια που αντιστοιχεί όχι στην Φυσική Γήινη Επιφάνεια (ΦΓΕ), αλλά σε μια επιφάνεια που μπορεί μόνο να προσεγγιστεί μέσω εκτενών μετρήσεων βαρύτητας (στις ηπειρωτικές και ωκεάνιες περιοχές) επίγειες ή συλλεγμένες από πλοία, από αέρος ή από δορυφόρους, και μετά από γενικά πολύπλοκους υπολογισμούς. Περιγράφεται συχνά ως μαθηματικό μοντέλο της γης, σε αντίθεση με το ιδεατό γεωμετρικό μοντέλο (Ελλειψοειδές Αναφοράς) (Δεληκαράογλου 2011).

Όντας ισοδυναμική επιφάνεια, το γεωειδές είναι εξ ορισμού μια επιφάνεια στην οποία η δύναμη της βαρύτητας είναι παντού κάθετη στην επιφάνεια του. Αυτό σημαίνει ότι κατά μήκος μιας θαλάσσιας διαδρομής δεν παρατηρείται *απόκλιση της κατακορύφου* (η τοπική κατακόρυφος είναι πάντα κάθετη στο γεωειδές) και ο τοπικός ορίζοντας εφάπτεται σε αυτό.

Η απόκλιση του γεωειδούς από το ελλειψοειδές αναφοράς σε ολόκληρη την επιφάνεια της γης έχει μέση τιμή 30.6 m, με μέγιστες τιμές τα 83 m και τα -106 m. Οι διακυμάνσεις αυτές οφείλονται στην άνιση κατανομή της μάζας στο εσωτερικό του φλοιού, του μανδύα και του πυρήνα της γης, αλλά και στην υποθαλάσσια τοπογραφία (υποθαλάσσια όρη, τάφροι και υποθαλάσσιες ράχες) (National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)).

3.2.3 Μέση Στάθμη Θάλασσας (ΜΣΘ)



Εικόνα 3.1 ΜΣΘ με βάση 7 χρόνια από τον δορυφόρο *Torrex/Poseidon*, 5 από τον *ERS-1/2*, 2 χρόνια από τον *Geosat* και από γεωδαιτικά δεδομένα από τον *ERS-1* (Collecte Localisation Satellites)

Η Μέση Στάθμη της Θάλασσας (Mean Sea Surface, MSS) είναι μία ιδεατή επιφάνεια που εκφράζει το επίπεδο της θάλασσας υπό την επίδραση διαφόρων συνεχών φυσικών φαινομένων. Τα φαινόμενα αυτά προκαλούν μεταβολές είτε μεγάλης είτε μικρής χρονικής διάρκειας, μερικές εκ των οποίων έχουν σημαντικό μέγεθος. Χαρακτηριστικά φαινόμενα είναι οι παλίρροιες, οι τάσεις λόγω των ανέμων (wind stress), οι βαρομετρικές αλλαγές και η αύξηση

του όγκου του θαλασσινού νερού από το λιώσιμο των παγετώνων. Τελικά, η μέση στάθμη της Θάλασσας είναι το άθροισμα του Γεωειδούς και της Μέσης Δυναμικής Τοπογραφίας της Επιφάνειας της Θάλασσας, η οποία περιλαμβάνει την μόνιμη αμετάβλητη συνιστώσα της ωκεάνιας δυναμικής τοπογραφίας (Εισαγωγή στη Γεωδαισία 2007).

Η ΜΣΘ αναπαριστά το ανάγλυφο της επιφάνειας της θάλασσας για την χρονική περίοδο που καλύπτουν τα αλτιμετρικά δεδομένα. Το ανάγλυφο αυτό φανερώνει:

1. σε κλίμακα χιλιομέτρων, διακυμάνσεις εκατοντάδων μέτρων που οφείλονται στη μεταβολή πυκνότητας στις διάφορες περιοχές του μανδύα της Γης.
2. σε μεσαία κλίμακα, ρεύματα και μάζες νερού διαφορετικής πυκνότητας, τα οποία οδηγούν στη μεταβολή του επιπέδου της θάλασσας κατά μερικά μέτρα.
3. σε μεγάλη κλίμακα, την ανομοιογενή κατανομή της ύλης σε σχέση με το επιφανειακό στρώμα της Γης και την τοπογραφία του ωκεάνιου πυθμένα, η οποία συνεπάγεται διακυμάνσεις μερικών μέτρων στο γεωειδές.

Η Μέση Στάθμη Θάλασσας (ΜΣΘ) αντιπροσωπεύει τη θέση της επιφάνειας του ωκεανού κατά μέσο όρο για μια κατάλληλη χρονική περίοδο για την αφαίρεση των ετήσιων, εξαμηνιαίων, εποχιακών και ψευδών σημάτων μεταβολής ύψους της θάλασσας. Ένα ΜΣΘ δίνεται ως ένα πλέγμα με απόσταση που είναι σύμφωνη με τον υψομετρητή και άλλα δεδομένα που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή των τιμών του πλέγματος. Το πλέγμα ΜΣΘ μπορεί να είναι χρήσιμο για σκοπούς επεξεργασίας δεδομένων, για τον υπολογισμό των διαβαθμίσεων γεωγραφικής διαδρομής και διασταυρούμενων γεωτρήσεων, για τον υπολογισμό ανωμαλιών βαρύτητας, για γεωφυσικές μελέτες, για μια επιφάνεια αναφοράς στην οποία μπορούν τα δεδομένα από διαφορετικές αποστολές υψομέτρου να μην έχουν σωστά αποτελέσματα για το ύψος της θάλασσας κ.λπ.

Ο όγκος των δεδομένων σε μεγαλύτερη χρονική περίοδο που θα είναι διαθέσιμος στο μέλλον, καθώς και οι βελτιωμένες τεχνικές επεξεργασίας δεδομένων, θα μπορούσαν να βελτιώσουν τα τρέχοντα μοντέλα ΜΣΘ. Είναι σημαντικό να δίνεται προσοχή στη διατήρηση του σήματος υψηλής συχνότητας και στη μείωση του θορύβου αυτής. (*Centre National d'Etudes Spatiales (CNES), Aviso+*)

3.2.4 Μέση Δυναμική Τοπογραφία της Επιφάνειας της Θάλασσας

Η Μέση Δυναμική Τοπογραφία της Επιφάνειας της Θάλασσας (Mean Dynamic Topography, MDT) είναι η μόνιμη στατική συνιστώσα της ωκεάνιας δυναμικής τοπογραφίας και προκύπτει ως η διαφορά του γεωειδούς από τη Μέση Στάθμη της Θάλασσας. Σχετίζεται με δυναμικά ωκεάνια φαινόμενα, όπως είναι τα ωκεάνια ρεύματα, η θερμοκρασία, η αλατότητα κ.λπ.

Η Μέση Δυναμική Τοπογραφία εκφράζει την ισχύ των μακροχρόνιων ωκεάνιων ρευμάτων και προσδιορίζεται μέσω γεωδαιτικών δεδομένων, τα οποία αποτελούνται από αλτιμετρικά δεδομένα της ΜΣΘ και από ένα ακριβές μοντέλο γεωειδούς. Μπορεί, επίσης, να προσδιοριστεί συνδυάζοντας γεωδαιτικά δεδομένα με επί τόπου μετρήσεις διαφόρων φαινομένων, όπως η ταχύτητα των ρευμάτων, η θερμοκρασία και η αλατότητα ή και με βαρυμετρικά δεδομένα. Οι διακυμάνσεις στη Μέση Δυναμική Τοπογραφία μπορεί να είναι μέχρι και δύο μέτρα (Jet Propulsion Laboratory (NASA) 2012).

3.2.5 Βαθυμετρία

Με τον όρο *Βαθυμετρία* αναφέρεται κανείς στη μέτρηση των βαθών των ωκεανών – ή συνήθως του θαλάσσιου βυθού σε οποιοδήποτε σημείο, για τον καταρτισμό βυθομετρικών χαρτών - χρησιμοποιώντας ως επιφάνεια αναφοράς το επίπεδο της θάλασσας. Κατά συνέπεια, ο όρος έχει επικρατήσει να έχει την έννοια της υποθαλάσσιας τοπογραφίας.

Η βαθυμετρία δεν έχει άμεση εφαρμογή στη Δορυφορική Αλτιμετρία, αλλά μπορεί να είναι χρήσιμη σε περιπτώσεις ρηχών νερών κοντά στις ακτογραμμές, όπου η δορυφορική αλτιμετρία δεν είναι ακόμα πολύ αποτελεσματική. Αυτό οφείλεται κυρίως στο ότι οι αλτιμετρικές παρατηρήσεις κοντά σε ακτές συνήθως παρουσιάζουν υψηλό θόρυβο και η χρήση τους απαιτεί πιο πολύπλοκες διαδικασίες προ-επεξεργασίας, οι οποίες είναι γνωστές ως «διαδικασίες επαναπροσδιορισμού» του σχήματος του παλμού ραντάρ (altimeter pulse retracking) που επιστρέφει στο δορυφόρο μετά την ανάκλασή του στην επιφάνεια της θάλασσας. Κοντά ή στις παράκτιες ζώνες, η βαθυμετρία του πυθμένα συνηθέστερα υπολογίζεται με τη βοήθεια ηχοβολιστικών οργάνων (SONAR).

3.2.6 Άλλες χρήσιμες επιφάνειες αναφοράς

Εκτός από τις παραπάνω βασικές επιφάνειες αναφοράς, κρίνεται σκόπιμο να ορισθούν κάποιες επιπλέον, καθώς γίνεται συχνή αναφορά και χρήση αυτών στη Δορυφορική Αλτιμετρία. Θα αναφερθούν, επίσης, κάποιες σχέσεις που τις συνδέουν και πιθανώς να διευκολύνουν στην κατανόηση της φυσικής σημασίας της καθεμιάς.

Υψόμετρο επιφάνειας της Θάλασσας

Το *Υψόμετρο Επιφάνειας της Θάλασσας* (Sea Surface Height, SSH) είναι η απόσταση μεταξύ του ελλειψοειδούς αναφοράς και της στιγμιαίας επιφάνειας της θάλασσας.

Ανωμαλίες του Επιπέδου της Θάλασσας

Οι *Ανωμαλίες του Επιπέδου της Θάλασσας* (Sea Level Anomalies, SLA) – ή αλλιώς *Ανωμαλίες του Ύψους της Επιφάνειας της Θάλασσας* (Sea Surface Height Anomalies, SSHA) – είναι η απόσταση μεταξύ της επιφάνειας της θάλασσας και της ΜΣΘ.

Μέσο Επίπεδο της Θάλασσας

Το *Μέσο Επίπεδο της Θάλασσας* (Mean Sea Level, MSL) είναι ένα μέτρο για τις μεταβολές του επιπέδου της θάλασσας στο χρόνο και δεν θα πρέπει να συγχέεται με τη ΜΣΘ.

3.2.7 Σχέσεις μεταξύ των Επιφανειών Αναφοράς

Παρακάτω αναφέρονται οι βασικές σχέσεις μεταξύ των επιφανειών αναφοράς που ορίστηκαν σε αυτή την Ενότητα. Για λόγους εξοικείωσης χρησιμοποιούνται οι συντομογραφίες των επιφανειών:

$$\text{MSS} = \text{Geoid} + \text{MDT}$$

$$\text{MDT} = \text{MSS} - \text{Geoid}$$

$$\text{SSH} = \text{MSS} + \text{SLA/SSHA} = \text{Geoid} + \text{MDT} + \text{SLA/SSHA}$$

4. Αρχές δορυφορικής αλτιμετρίας

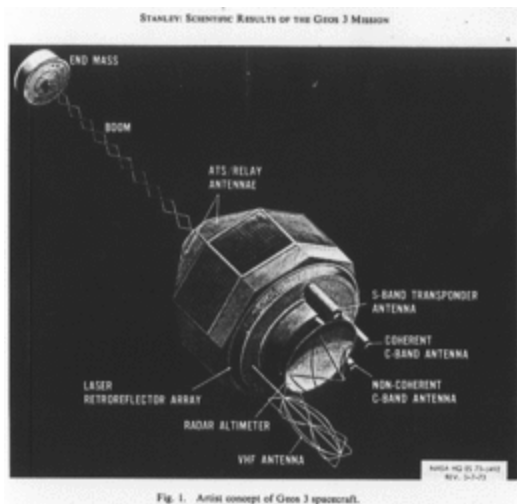
4.1 Ιστορική αναδρομή

Το 1973, από το διαστημικό εργαστήριο SKYLAB της NASA, το πρώτο δορυφορικό αλτίμετρο ραντάρ έκανε τις πρώτες πειραματικές μετρήσεις στην επιφάνεια θάλασσας από το διάστημα, πετώντας σε ένα χαμηλό ύψος περίπου 435 χιλιόμετρα. Με μια ακρίβεια του αλτίμετρου της τάξης ± 1 μέτρου και μια ακρίβεια της τάξης των δεκάδων μέτρων στον υπολογισμό της τροχιάς, οι αλτιμετρικές μετρήσεις του SKYLAB είχαν μικρή πρακτική χρησιμότητα. Ωστόσο, κατέδειξαν τις δυνατότητες της τεχνικής της δορυφορικής αλτιμετρίας για τη γεωδαισία και την ωκεανογραφία.



Εικόνα 4.1 Δορυφόρος SKYLAB

Η εκτόξευση τρία χρόνια αργότερα (1976) του δορυφόρου GEOS-3 (Geodynamics Experimental Satellite) οδήγησε στη χρήση ενός σημαντικά βελτιωμένου ως προς την ακρίβειά του αλτίμετρου, αλλά χωρίς αντίστοιχες σημαντικές βελτιώσεις στην ακρίβεια του υπολογισμού της τροχιάς του δορυφόρου, τα αλτιμετρικά δεδομένα του GEOS-3 παρείχαν δυνατότητες υπολογισμού των εκτεταμένων χαρακτηριστικών γνωρισμάτων της επιφάνειας των ωκεανών (long wavelength features) και όχι των μικρού μεγέθους δυναμικών διαταραχών των θαλασσών.



Εικόνα 4.2 Δορυφόρος GEOS-3

Τον Αύγουστο του 1978 ακολούθησε η εκτόξευση του SEASAT, του πρώτου ειδικά αφιερωμένου για ωκεανογραφικούς σκοπούς δορυφόρου, ο οποίος μετέφερε ένα αλτίμετρο ραντάρ (με ακρίβεια της τάξης των ± 10 εκατοστών) και ανακλαστήρες λέιζερ για τον προσδιορισμό της τροχιάς του με ακρίβεια της τάξης ± 50 εκατοστών. Δυστυχώς, μια καταστροφική βλάβη στο σύστημα ηλεκτρικής τροφοδότησης μετά από τρεις περίπου μήνες οδήγησε στο πρόωρο τέλος της αποστολής του δορυφόρου. Ωστόσο, ακόμα και στο μικρό διάστημα λειτουργίας του οι χιλιάδες των αλτιμετρικών μετρήσεων του SEASAT επέτρεψαν να ερευνηθούν για πρώτη φορά πολλά χαρακτηριστικά του θαλάσσιου γεωειδούς και της δυναμικής κατάστασης των ωκεανών.



Εικόνα 4.3 Δορυφόρος SEOSAT

Ο επόμενος αλτιμετρικός δορυφόρος GEOSAT (Geodetic Satellite), του αμερικανικού Ναυτικού, εκτοξεύθηκε το 1985 σε ένα ύψος 785 km και τροχιακή κλίση 108 μοίρες. Ο δορυφόρος ολοκλήρωσε δύο διαφορετικές αποστολές με την τοποθέτηση του σε δύο ελαφρά διαφορετικές τροχιές. Η πρώτη ήταν 18 μηνες διάρκειας, γνωστή ως γεωδαιτική αποστολή (Geodetic Mission), κατά την οποία ο δορυφόρος κινήθηκε σε μια τροχιά που δεν επανέλαβε ποτέ, αλλά προσέγγιζε “επαναληπτικές τροχιές” με περιόδους επανάληψης 3, 23 και 78 ημερών. Αυτή η τροχιά παρήγαγε ένα σύνολο αλτιμετρικών δεδομένων που παραμένει ακόμα και σήμερα απaráμιλλο, από την άποψη της χωρικής κάλυψης που παρείχαν, δεδομένου ότι η απόσταση στον ισημερινό μεταξύ των επίγειων ιχνών διαδοχικών τροχιών ήταν τυπικά λιγότερο από 5 χλμ., και περίπου 2-3 χλμ. στα γεωγραφικά πλάτη 60 μοιρών. Σαν αποτέλεσμα, τα δεδομένα που συλλέχθηκαν θεωρήθηκαν από την αμερικανική κυβέρνηση ως άκρως ευαίσθητα και απόρρητα και μόνο ένα υποσύνολο τους, για τις περιοχές νότια του γεωγραφικού πλάτους 30 μοιρών νότια, δόθηκαν για ελεύθερη επιστημονική χρήση. Το υπόλοιπο των δεδομένων αποχαρακτηρίστηκε στη συνέχεια και δόθηκε στην ευρεία δημοσιότητα μετά από πολλά χρόνια.



Εικόνα 4.4 Δορυφόρος GEOSAT

Η παρακολούθηση του δορυφόρου από 46 επίγειους σταθμούς της Γεωγραφικής Υπηρεσίας των Ενόπλων Δυνάμεων των ΗΠΑ , επέτρεπε μια ακρίβεια στις τροχιές του GEOSAT περίπου 60 εκ. , αλλά περιστασιακά η ακρίβεια αυτή υποβαθμιζόταν εξαιτίας ενός προβλήματος του παθητικού συστήματος κατακόρυφου προσανατολισμού του δορυφόρου που αποδόθηκε στην πίεση της ηλιακής ακτινοβολίας και σε μικρές συνεισφορές μαγνητικών, ατμοσφαιρικών και άλλων επιδράσεων του πεδίου βαρύτητας.

Στη δεύτερη φάση της αποστολής του, από τον Οκτώβριο 1986, ο GEOSAT τοποθετήθηκε σε μια αυστηρά επαναλαμβανόμενη τροχιά (Exact Repeat Orbit) όπου παρέμεινε μέχρι το τέλος της λειτουργίας του τον Ιανουάριο του 1990. Η εν λόγω επαναλαμβανόμενη τροχιά του GEOSAT έδωσε την ίδια σχεδόν επίγεια κάλυψη με την 17 ήμερη επαναλαμβανόμενη τροχιά της προγενέστερης αποστολής του SEASAT. Αυτό επέτρεψε την ευρεία χρήση των δεδομένων, παρά το γεγονός ότι οι αντίστοιχες ακρίβειες των διαθέσιμων τροχιακών εφημερίδων ήταν αρχικά στα επίπεδα των 3 μ. Η εν λόγω χαμηλή ακρίβεια των τροχιών συνδέθηκε στενά με τα επίπεδα ηλιακής δραστηριότητας που αυξήθηκε σταθερά σε όλη την διάρκεια της αποστολή του GEOSAT, αν και αργότερα η ακρίβεια της τροχιάς στην έναρξη της περιόδου της επαναλαμβανόμενης τροχιάς ήταν στα επίπεδα των 10-25 εκ. στην αρχή της εν λόγω περιόδου , ανερχόμενη στα 40- 60 εκ. προς το τέλος της λειτουργίας του δορυφόρου.

Μια δεύτερη αποστολή ενός παρόμοιου δορυφόρου GEOSAT, με την ονομασία "GEOSAT Follow On" ή GFO, ακολούθησε το 1998 και συνεχίζει να λειτουργεί μέχρι σήμερα, αν και αντιμετωπίζει σημαντικές δυσκολίες ορισμένων οργάνων του (π.χ. του συστήματος GPS).

Η εκτόξευση του πρώτου ευρωπαϊκού δορυφόρου τηλεπισκόπησης ERS-1 (Earth Resource Satellite) τον Ιούλιο του 1991, σε μια πολική ήλιο –σύγχρονη τροχιά, ύψους περίπου 780 χλμ. και τροχιακής κλίσης 98 μοιρών , σημαδεύει την πρώτη συνδυασμένη παρουσία στον ίδιο δορυφόρο ενεργών και παθητικών αισθητήρων τηλεπισκόπησης, όπως πέρα από το αλτίμετρο ραντάρ , το Ενεργό Όργανο Μικροκυμάτων (Active Microwave Instrument, AMI), που συνδυάζει τη λειτουργία ενός ραντάρ συνθετικού ανοίγματος (SAR) και ενός ραντάρ διασκορπισμού για τον υπολογισμό των ανέμων (Wind Scatterometer) και τον παθητικό ραδιομετρικό σαρωτή ATSR (Along Track Scanning Radiometer), που συνδυάζει ένα ραδιόμετρο υπέρυθρων ακτίνων με έναν ηχοβολητή μικροκυμάτων για τη μέτρηση της θερμοκρασίας στην επιφάνεια της θάλασσας. Για τον ακριβή υπολογισμό της τροχιάς του, ο δορυφόρος περιλάμβανε ανακλαστήρες λέιζερ για τη χρήση τους από επίγεια συστήματα τηλεμέτρων λέιζερ SLR και το πειραματικό σύστημα εντοπισμού PRARE (Precise Range And Range-rate Equipment), που ωστόσο απέτυχε να λειτουργήσει σχεδόν από την αρχή της αποστολής .Ως συνέπεια αυτής της αποτυχίας, οι τροχιές του ERS-1 δεν είχαν τις αναμενόμενες ακρίβειες , κυμαινόμενες τελικά στα επίπεδα 10-20 εκ., που ήταν ωστόσο αρκετά καλύτερες από εκείνες του GEOSAT.



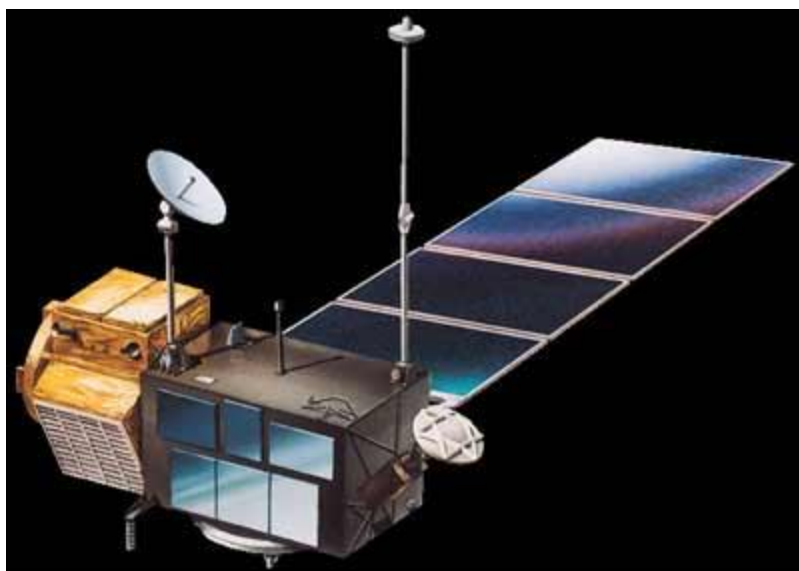
Εικόνα 4.5 Δορυφόρος ERS-1

Στην αρχική φάση της αποστολής του , ο ERS-1 τοποθετήθηκε σε 3 ήμερη επαναλαμβανόμενη τροχιά, που ακολουθήθηκε από μια επιπλέον περίοδο 3 ήμερης , αλλά ελαφρά μετατοπισμένης, επαναλαμβανόμενης τροχιάς, που αποσκοπούσε στο να βοηθήσει τη διεξαγωγή μετρήσεων για τη μελέτη των αρκτικών περιοχών. Κατά την επόμενη βασική, διεπιστημονική φάση λειτουργίας του, ο ERS-1 τοποθετήθηκε σε μια επαναλαμβανόμενη τροχιά με περίοδο επανάληψης 35 ημέρες, μειώνοντας κατά συνέπεια την απόσταση των επιγείων ιχνών στον ισημερινό σε 39 χλμ. Το σχεδιασμένο μέρος της αποστολής του ERS-1 ήταν η λεγόμενη γεωδαιτική φάση, που περιελάμβανε έναν μικρό αριθμό κύκλων επαναλαμβανόμενων τροχιών με περίοδο επανάληψης 168 ημερών και επίγεια κάλυψη λιγότερο από 17 km μεταξύ διαδοχικών επίγειων ιχνών στον ισημερινό και περίπου 8 χλμ. στις περιοχές σε γεωγραφικό πλάτος 60 μοιρών.



Εικόνα 4.6 Δορυφόρος ERS-2

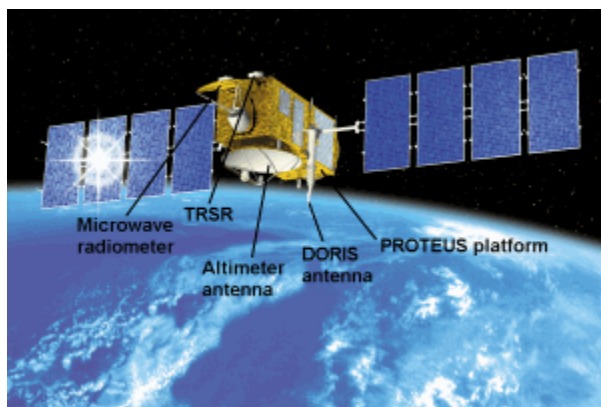
Το 1996, ο ERS-2, ένας πανομοιότυπος δορυφόρος με τον ERS-1, τοποθετήθηκε σε μια 35 ήμερη επαναλαμβανόμενη τροχιά, κινούμενος 20 λεπτά μπροστά από τον ERS-1, επιτρέποντας έτσι την αλληλο-υποστηριζόμενη χρήση των δύο δορυφόρων (Tandem Mission) για την εκτέλεση μιας σειράς διεργασιών βαθμονόμησης και επαλήθευσης των μετρήσεων του αλτίμετρου του ERS-2. Με το πέρας των εν λόγω διεργασιών, η λειτουργία του ERS-1 διακόπηκε (στην πραγματικότητα όλα τα όργανα του ERS-1 λειτουργούν ακόμα, αλλά τα στοιχεία τους δεν καταγράφονται πλέον και δεν διαβιβάζονται στους επίγειους σταθμούς). Πιθανά προς το τέλος της αποστολής του ERS-2, να επανεργοποιηθεί ο ERS-1 εφόσον αυτό κριθεί απαραίτητο.



Εικόνα 4.7 Δορυφόρος *TOPEX/POSEIDON*

Ο πρώτος στην επόμενη γενιά των αλτιμετρικών δορυφόρων, ο TOPEX/Poseidon, τοποθετήθηκε τον Αύγουστο του 1992, σε ύψος 1335 χλμ. και τροχιακή κλίση περίπου 66 μοιρών, σε 10 ήμερη επαναληπτική τροχιά. Ο δορυφόρος περιλαμβάνει ουσιαστικά δύο διαφορετικά αλτίμετρα ραντάρ. Το πρώτο, ένα αλτίμετρο κατασκευασμένο από τη NASA, είναι διπλής συχνότητας (Ku- και C-band) και επιτρέπει τον υπολογισμό ακριβέστερων διορθώσεων για τις επιδράσεις της ιονόσφαιρας στη μέτρηση του αλτίμετρου. Το δεύτερο αλτίμετρο, από τη γαλλική Υπηρεσία Διαστήματος CNES, απαιτεί λιγότερη ενέργεια για τη λειτουργία του και είναι αρκετά ελαφρύτερο και μικρότερο, και κατά συνέπεια χαμηλότερου κόστους. Η δορυφορική πλατφόρμα περιλαμβάνει τρία διαφορετικά συστήματα για την παρακολούθηση του δορυφόρου: ανακλαστήρες για δορυφορικά τηλέμετρα SLR, και τα συστήματα εντοπισμού DORIS και GPS. Η παρακολούθηση του δορυφόρου με συστήματα SLR γίνεται με τον ίδιο τρόπο όπως και για άλλους δορυφόρους, χρησιμοποιώντας το ίδιο παγκόσμιο δίκτυο των επίγειων σταθμών με δορυφορικά τηλέμετρα λέιζερ. Το σύστημα DORIS είναι παρόμοιο με το σύστημα PRARE που απέτυχε στον ERS-1 αλλά λειτουργεί επιτυχώς στον ERS-2. Και τα δύο βασίζονται στη μέτρηση της μετατόπισης Doppler ενός πανκατευθυντικού (omni directional) σήματος μικροκυμάτων, από έναν αναμεταδότη στο δορυφόρο (όπως στη περίπτωση του DORIS) ή από ένα δίκτυο αναμεταδοτών στο έδαφος (όπως στη περίπτωση του PRARE). Λόγω του ύψους του TOPEX/Poseidon, ο ακριβής προσδιορισμός της τροχιάς του είναι λιγότερο επηρεασμένος από τα ατμοσφαιρικά σφάλματα και τα σφάλματα των μοντέλων της έλξης του πεδίου βαρύτητας, σε σχέση με τους χαμηλότερους δορυφόρους όπως ο ERS-1, ERS-2 και GEOSAT. Σαν αποτέλεσμα, ο συνδυασμός των παραπάνω τριών βασικών συστημάτων οδηγούν σε ακρίβειες περίπου 3-4 εκ. στον υπολογισμό των τροχιών του TOPEX/Poseidon, σε σύγκριση με την ακρίβεια των 10-20 εκ. για τον ERS-1 που ήταν εφικτή από τη χρήση μόνο μετρήσεων SLR.

Ο TOPEX/Poseidon παρέχει μοναδικές δυνατότητες διαχρονικής παρατήρησης των μεταβολών μεσαίας κλίμακας (mesoscale variations) και της δυναμικής τοπογραφίας της επιφάνειας θάλασσας. Ωστόσο, η απόσταση μεταξύ των επίγειων ιχνών του δορυφόρου είναι αρκετά μεγαλύτερη σε σχέση με τους άλλους αλτιμετρικούς δορυφόρους μέχρι σήμερα. Αυτό οφείλεται στην περίοδο επανάληψης της τροχιάς των 9.97 ημερών, κατά τη διάρκεια των οποίων ο TOPEX/Poseidon ολοκληρώνει ακριβώς 127 τροχιές, που αντιστοιχεί σε μια απόσταση μεταξύ διαδοχικών επίγειων ιχνών του δορυφόρου στον ισημερινό πάνω από 300 χλμ. Η εν λόγω χωρική κάλυψη είναι, εντούτοις, επαρκής για τους στόχους της συγκεκριμένης αποστολής που δίνει στον TOPEX το όνομά της, δηλαδή το ωκεάνιο Topography Experiment.



Εικόνα 4.8 Δορυφόρος Jason-1

Ο JASON-1 (2001-) είναι ο πρώτος σε μια νέα σειρά δορυφόρων με αλτίμετρα ραντάρ, που αποσκοπούν να εξασφαλίσουν τη συνεχή παρατήρηση των ωκεανών για τις επόμενες δεκαετίες. Η αποστολή του αποτελεί συνέχιση εκείνης του TOPEX/Poseidon, του οποίου έχει κληρονομήσει και τα βασικά τεχνικά χαρακτηριστικά (π.χ., τροχιά, όργανα, ακρίβεια μέτρησης, κλπ.) και αναπτύσσεται επίσης από κοινού από τη CNES και την NASA. Τοποθετήθηκε το 2001 σε τροχιά ύψους 1300 χλμ., με ένα κύκλο επανάληψης 10 ημερών, και είναι εφοδιασμένος με πέντε βασικά όργανα: αλτίμετρο ραντάρ, ραδιόμετρο υδρατμών και τα συστήματα DORIS, GPS και SLR για την παρακολούθηση της τροχιάς του.



Εικόνα 4.9 Δορυφόρος ENVISAT

Ο ευρωπαϊκός δορυφόρος ENVISAT (Environmental Satellite) αποτελεί τη συνέχεια των δορυφόρων ERS-1 και -2 και έχει βασικό στόχο να συνεισφέρει στη μελέτη του γήινου περιβάλλοντος, και ειδικότερα τις αλλαγές του κλίματος σε παγκόσμιο επίπεδο. Εκτοξεύθηκε το Μάρτιο 2002 και φέρει δέκα όργανα, από τις αλληλοσυμπληρούμενες μετρήσεις των οποίων θα είναι δυνατόν να μελετηθούν από το θαλάσσιο γεωειδές μέχρι οι εκπομπές αερίων στην ατμόσφαιρα. Στα όργανα του περιλαμβάνονται ένα αλτίμετρο ραντάρ (με παρόμοια χαρακτηριστικά των αλτιμέτρων του ERS-1 και ERS-2 και προδιαγραφές για συνεχή λειτουργία για τουλάχιστον 15 χρόνια), και το σύστημα εντοπισμού DORIS. Η τροχιακή περιόδός του ENVISAT είναι 35 ημέρες, όπως του ERS-2 και μερικές από τις προηγούμενες φάσεις του ERS-1. Το Envisat θα ενσωματωθεί στα νέα διεθνή προγράμματα μελέτης των παγκόσμιων αλλαγών του κλίματος, όπως το GOOS (Global Ocean Observation System) και GODAE (Global Ocean Data Assimilation Experiment). Ειδικότερα, το αλτιμετρικό μέρος της αποστολής του ENVISAT αποτελεί την ευρωπαϊκή συμβολή στα διεθνή προγράμματα μελέτης της Γης ως ενιαίο σύστημα, όπως το διεθνές πρόγραμμα για τη μελέτη της γεώσφαιρας και της βιόσφαιρας (International Geosphere Biosphere Programme) και το ερευνητικό πρόγραμμα παγκόσμιου κλίματος (World Climate Research Programme). Επιπλέον στοχεύει στην προώθηση των εφαρμογών και την ευρύτερη εμπορική χρήση των αλτιμετρικών δεδομένων κυρίως για την πρόβλεψη της κατάστασης των ωκεανών. Ως εκ τούτου, ο ENVISAT αποτελεί μέρος της επερχόμενης νέας εποχής στην γεωδαισία των θαλασσών και την ωκεανογραφία, που αναμένεται να προσφέρει την σε σχεδόν πραγματικό χρόνο πρόσβαση στα δεδομένα και ποικίλα προϊόντα για τη μακροχρόνια συστηματική μελέτη του θαλάσσιου περιβάλλοντος, επιτρέποντας τη μέτρηση διαχρονικών αλλαγών στους ωκεανούς όπως :

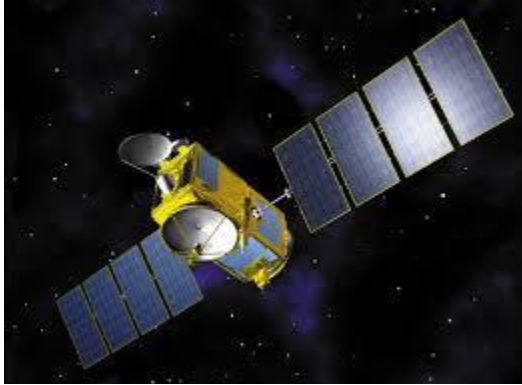
- στη στάθμη της θάλασσας σε παγκόσμιο και τοπικό επίπεδο,
- στη δυναμική κατάσταση της κυκλοφορίας των υδάτινων μαζών,
- στη κλιματολογία των ανέμων και των κυμάτων,
- στη διαμόρφωση θαλάσσιων πάγων, κ.ά.

4.2 Σημερινές αποστολές σε επιχειρησιακή λειτουργία

Οι σύγχρονες αλτιμετρικές αποστολές αποτελούν ουσιαστικά τη συνέχεια των παλαιότερων, καθώς έχουν κοινές τροχιές και κοινούς στόχους. Η κύρια διαφοροποίησή τους είναι τα σαφώς τεχνολογικά εξελιγμένα όργανα, τα οποία φέρουν, καθώς και οι νέες εφαρμογές, για τις οποίες παράγουν συνεχώς αλτιμετρικά δεδομένα. Ο *Jason-2*, συνέχεια του *Jason-1*, παρέχει δεδομένα, εκτός των άλλων, ειδικευμένα στις παράκτιες περιοχές, ο *Cryosat-2* σχεδιάστηκε με κύριο σκοπό την παρατήρηση των πόλων του πλανήτη, ενώ ο *HY-2* και ο *SARAL* συνεχίζουν την μακροχρόνια παροχή αλτιμετρικών δεδομένων.

JASON-2

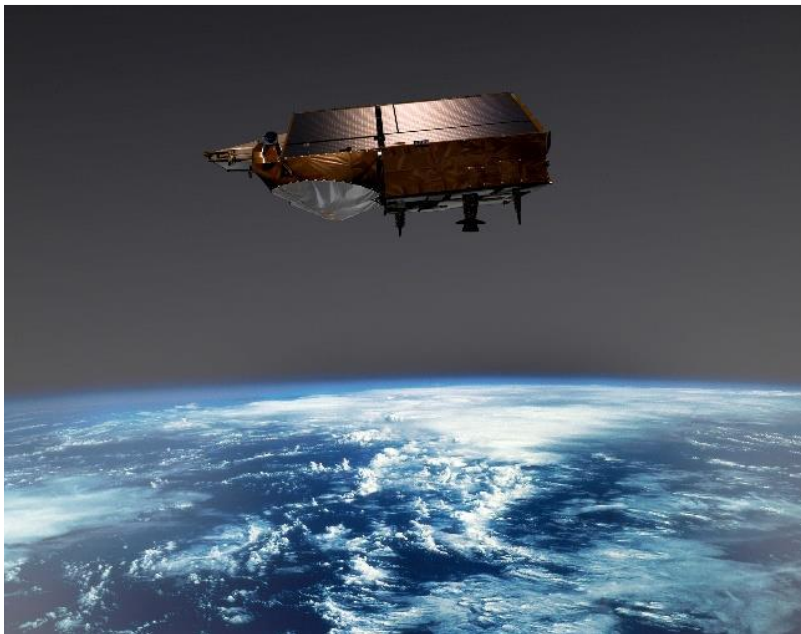
Ο αλτιμετρικός δορυφόρος Jason-2/OSTM εκτοξεύθηκε στις 20 Ιουνίου 2008 για να συνεχίσει τις αποστολές των δορυφόρων TOPEX/POSEIDON και Jason-1 ήταν προϊόν συνεργασίας των CNES, Eumetsat, NASA και NOAA. Τα χαρακτηριστικά της τροχιάς του είναι κοινά με τις δύο προαναφερθείσες αποστολές (μη ηλιοσύγχρονη τροχιά υψομέτρου 1336 km και κλίσης 66ο). Επίσης, τα όργανα που φέρει είναι ίδια με τη διαφορά ότι το αλτίμετρό του είναι επόμενης γενιάς σε σχέση με κείνο του Jason-1. Το αλτίμετρο Poseidon-3 διαθέτει χαμηλότερο θόρυβο οργάνου, έναν αλγόριθμο για την καλύτερη δειγματοληψία σε ηπειρωτικές περιοχές και σε πάγο, καθώς και σύστημα εντοπισμού DORIS. Η ακρίβεια που επιτυγχάνεται με το συγκεκριμένο αλτίμετρο είναι 2.5 cm. Ο Jason-2/OSTM έχει σαν αποστολή, εκτός των άλλων, να συνεχίσει τις μακροχρόνιες σειρές αλτιμετρικών δεδομένων του Jason-1 και του TOPEX/POSEIDON με σκοπό τη μελέτη των μακροχρόνιων ωκεάνιων μεταβολών. Αναμένεται, επίσης, να προσφέρει καλύτερη ακρίβεια αλτιμετρικών δεδομένων κοντά στις ακτές, σε λίμνες και ποτάμια και να παρέχει τη δυνατότητα λήψης αλτιμετρικών δεδομένων σε σχεδόν πραγματικό χρόνο για τη δημιουργία μοντέλων πρόβλεψης των ωκεάνιων φαινομένων.



Εικόνα 4.10 Δορυφόρος *JASON-2*

Cryosat-2

Ο δορυφόρος Cryosat-2, κατασκευασμένος από την ESA, εκτοξεύθηκε στις Απριλίου 2010 και αποτελεί την πρώτη αλτιμετρική αποστολή που έχει σαν κύριο αντικείμενο την παρατήρηση των πολικών περιοχών. Διαγράφει τροχιά σε υψόμετρο 717 χλμ. και κλίσης 92 μοιρών, ώστε να καλύπτει όλες τις αρκτικές περιοχές.



Εικόνα 4.11 Δορυφόρος *Cryosat*

Ο Cryosat-2 φέρει ένα αλτίμετρο ραντάρ/συμβολόμετρο τεχνολογίας Siral, το οποίο λειτουργεί την Ku-band (13.575 GHz). Επίσης, διαθέτει σύστημα εντοπισμού DORIS, αλλά δε διαθέτει ραδιόμετρο. Εδώ και τέσσερα χρόνια ο συγκεκριμένος δορυφόρος παρέχει πολύτιμα δεδομένα στην επιστημονική κοινότητα με σκοπό τον προσδιορισμό των διακυμάνσεων της πυκνότητας των πάγων στις ηπειρωτικές επιφάνειες και στους ωκεανούς, καθώς και την πρόβλεψη για το λιώσιμο των πάγων λόγω της υπερθέρμανσης του πλανήτη.

HY-2

Ο κινεζικός δορυφόρος τηλεπισκόπησης HY-2 (από τη λέξη HaiYang που σημαίνει «ωκεανός» στα κινεζικά) ανήκει σε μια σειρά προβλεπόμενων δορυφόρων (HY-2A έως HY-2D) που έχουν σαν αποστολή την παρατήρηση των ωκεανών. Εκτοξεύθηκε στις 15 Αυγούστου 2011 και για τα δύο πρώτα χρόνια είχε τροχιά μη ηλιοσύγχρονη υψόμετρου 971 km και κλίσης 99.3 μοιρών , ενώ η περίοδος περιστροφής του ήταν 14 ημέρες. Στη συνέχεια, όταν τέθηκε στην γεωδαιτική του φάση, η τροχιά του τέθηκε σε υψόμετρο 973 χλμ. και η περίοδος περιστροφής του έγινε 168 ημέρες. Το αντικείμενο του συγκεκριμένου δορυφόρου είναι η παρακολούθηση του δυναμικού ωκεάνιου περιβάλλοντος με τη χρήση μικροκυματικών αισθητήρων για τον προσδιορισμό των ανέμων στην επιφάνεια της θάλασσας, καθώς και του ύψους και της θερμοκρασίας αυτής. Φέρει ένα αλτίμετρο ραντάρ που λειτουργεί σε δύο συχνότητες, στην Ku- και στην C-band, σύστημα εντοπισμού DORIS, ένα σκεδασίμετρο, καθώς και άλλα όργανα τηλεπισκόπησης.



Εικόνα 4.12 Δορυφόρος HY-2

SARAL

Ο δορυφόρος SARAL (Satellite with ARGos and AltiKa) είναι ο πρώτος ινδικός αλτιμετρικός δορυφόρος, ο οποίος τέθηκε σε τροχιά στις 25 Φεβρουαρίου 2013 από την ινδική διαστημική υπηρεσία ISRO (Indian Space Research Organization). Η αποστολή αυτή αποτελεί μία σημαντική συνιστώσα του σχηματισμού των αλτιμετρικών δορυφόρων (constellation) από το 2013 και έπειτα. Ακολουθεί την τροχιά και την περίοδο των ERS και ENVISAT, σε υψόμετρο περίπου 800 km και κλίση 98.55 μοιρών.



Εικόνα 4.13 Δορυφόρος SARAL

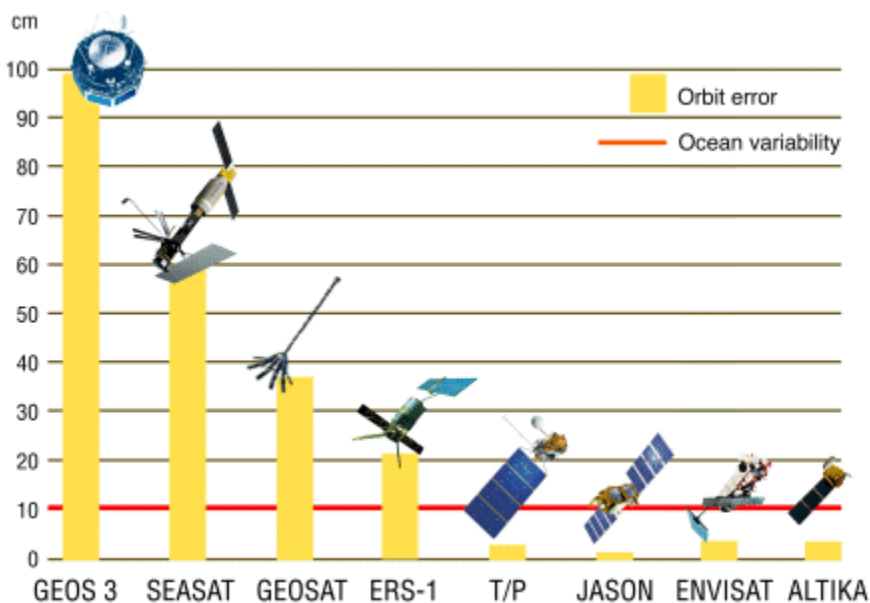
Ο δορυφόρος αυτός φέρει το πιο σύγχρονο αλτίμετρο ραντάρ, το AltiKa, το οποίο έχει κατασκευασθεί από τη CNES και εκπέμπει σε συχνότητα Ka-Band (35 GHz). Το αλτίμετρο αυτό κατασκευάστηκε ώστε να επιτευχθούν πιο ποιοτικές παρατηρήσεις σε περιοχές με πάγους, σε παράκτιες περιοχές, καθώς και σε ηπειρωτικές, όπως π.χ. σε δασικές εκτάσεις. Επιπλέον, παράγει ακριβέστερα δεδομένα, ακόμα και κάτω από συνθήκες βροχής (παράγοντας που επηρεάζει αρνητικά τα αποτελέσματα των αλτίμετρων) και παρέχει σημαντικές πληροφορίες για το Σημαντικό Ύψος Κύματος. Ο δορυφόρος φέρει, επίσης, σύστημα εντοπισμού DORIS. Τα κύρια αντικείμενά του είναι:

1. να παράγει ακριβείς, επαναληπτικές παγκόσμιες μετρήσεις του υψομέτρου της επιφάνειας της θάλασσας για:

- ο τη βελτίωση της επιχειρησιακής ωκεανογραφίας
- ο την καλύτερη κατανόηση του κλίματος του πλανήτη και την βελτίωση των δυνατοτήτων πρόβλεψης
- ο την επιχειρησιακή μετεωρολογία
- ο εφαρμογές παράκτιων, ηπειρωτικών και παγωμένων περιοχών.

2. να εξασφαλίσει, με τη συμβολή και του Jason-2, τη διαχρονική συνέχεια των αλτιμετρικών ωκεάνιων παρατηρήσεων

3. να συμβάλλει στη δημιουργία ενός παγκόσμιου συστήματος παρακολούθησης των ωκεανών.



Εικόνα 4.14 Εξέλιξη των αλτιμετρικών αποστολών με βελτίωση του σφάλματος προσδιορισμού της τροχιάς τους.

Jason-3



Εικόνα 4.15 Δορυφόρος JASON-3

Ο Jason-3 είναι το αποτέλεσμα μιας κοινής προσπάθειας από την CNEW, τη NASA, την Eumetsat και τη NOAA, επιδιώκοντας τη διατήρηση της κυριαρχίας που έχουν στην στενή παρακολούθηση των ωκεανών για περισσότερα από 20 χρόνια. Η εταιρική σχέση είναι όπως για τον Jason-2, αλλά οι επιχειρησιακές υπηρεσίες (NOAA και Eumetsat) αναλαμβάνουν το προβάδισμα. Η CNES λειτουργεί ως συντονιστής του συστήματος και όλοι οι εταίροι, συμπεριλαμβανομένων της NASA, υποστηρίζουν δραστηριότητες της επιστημονικής ομάδας. Ο δορυφόρος είναι χτισμένος γύρω από ένα λεωφορείο Proteus που φέρει μια τυπική σουίτα οργάνων που θα αποκτήσουν ακριβείς μετρήσεις του ύψους της επιφάνειας του ωκεανού για να επεκτείνουν το αρχείο δεδομένων που καταρτίζουν οι Topex / Poseidon, Jason-1 και Jason-2. Η τροχιά είναι η παραδοσιακή κλίση T-P-Jason, μηδέν-συγχρονισμένη, 1336 χλστ., 66 μοίρες σε πλατφόρμα Proteus.

Sentinel-3A



Εικόνα 4.16 Δορυφόρος Sentinel-3A

Στις 14 Απριλίου 2008, ο Ευρωπαϊκός Οργανισμός Διαστήματος και η Thales Alenia Space υπέγραψαν σύμβαση ύψους 305 εκατομμυρίων ευρώ για την κατασκευή του πρώτου GMES Sentinel-3. Ο κύριος στόχος του δορυφόρου Sentinel-3 είναι η μέτρηση της τοπογραφίας της θάλασσας, της θερμοκρασίας της επιφάνειας της θάλασσας, της επιφάνειας της γης και του χρώματος της επιφάνειας των ωκεανών και της γης με ακρίβεια, με σκοπό την πρόβλεψη των των ωκεανών και την παρακολούθηση του περιβάλλοντος και του κλίματος. Ο Sentinel-3 βασίζεται άμεσα στην κληρονομιά που πρωτοστάτησε από τους δορυφόρους ERS-2 και Envisat. Θα παρέχονται δεδομένα σε πραγματικό χρόνο για την πρόβλεψη των ωκεανών, τη χαρτογράφηση των θαλάσσιων πάγων και τις υπηρεσίες θαλάσσιας ασφάλειας σχετικά με την κατάσταση της επιφάνειας των ωκεανών, συμπεριλαμβανομένης της θερμοκρασίας της επιφάνειας, των θαλάσσιων οικοσυστημάτων, της ποιότητας των υδάτων και της παρακολούθησης της ρύπανσης.

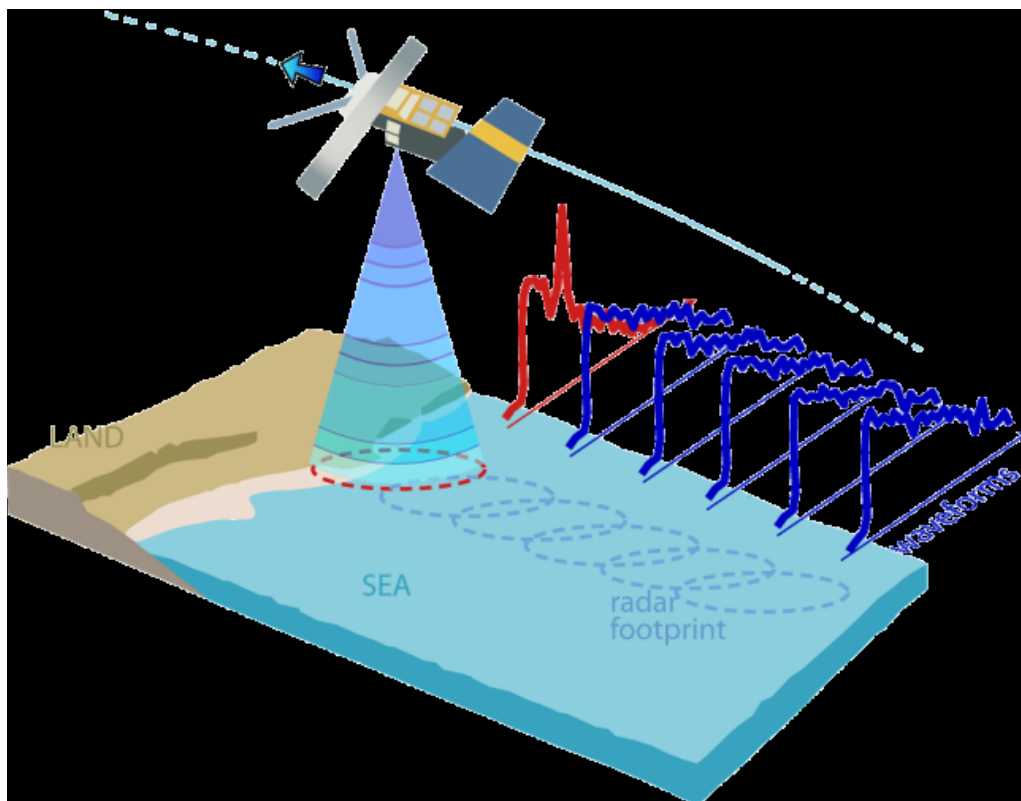
Χαρακτηριστικά του Sentinel-3A

- Ρόλος: Δορυφόρος γεωσκόπησης
- Μάζα εκκίνησης: περίπου 1,250 κιλά
- Υψόμετρο: 814 χλμ. (506 μίλια)
- Κλίση: 98,6 °
- Τοπική ώρα φθίνουσας κόμβου: 10:00 π.μ.
- Κύκλος τροχιάς: ~ 100 λεπτά

4.3 Παλμοί και Κυματομορφές

Σύμφωνα με την αρχή της Δορυφορικής Αλτιμετρίας το αλτίμετρο του δορυφόρου εκπέμπει παλμικά κύματα μικροκυματικής ακτινοβολίας με κατεύθυνση προς την επιφάνεια της Γης. Ο χρόνος που περνά από τη στιγμή που εκπέμπεται από το αλτίμετρο ένας παλμός μέχρι τη λήψη της ανάκλασής του στο αλτίμετρο είναι ανάλογος του υψομέτρου, στο οποίο βρίσκεται ο δορυφόρος. Το μέγεθος και η μορφή των ανακλάσεων αυτών, οι οποίες από εδώ και στη συνέχεια θα αποκαλούνται *κυματομορφές (waveforms)*, ποικίλλουν ανάλογα με τη φύση της ανακλαστικής επιφάνειας (νερό, πάγος, γη) και τη στιγμιαία κατάσταση της επιφάνειας αυτής (π.χ. επίπεδη (ήρεμη) θαλάσσια επιφάνεια, κυματώδης θαλάσσια επιφάνεια).

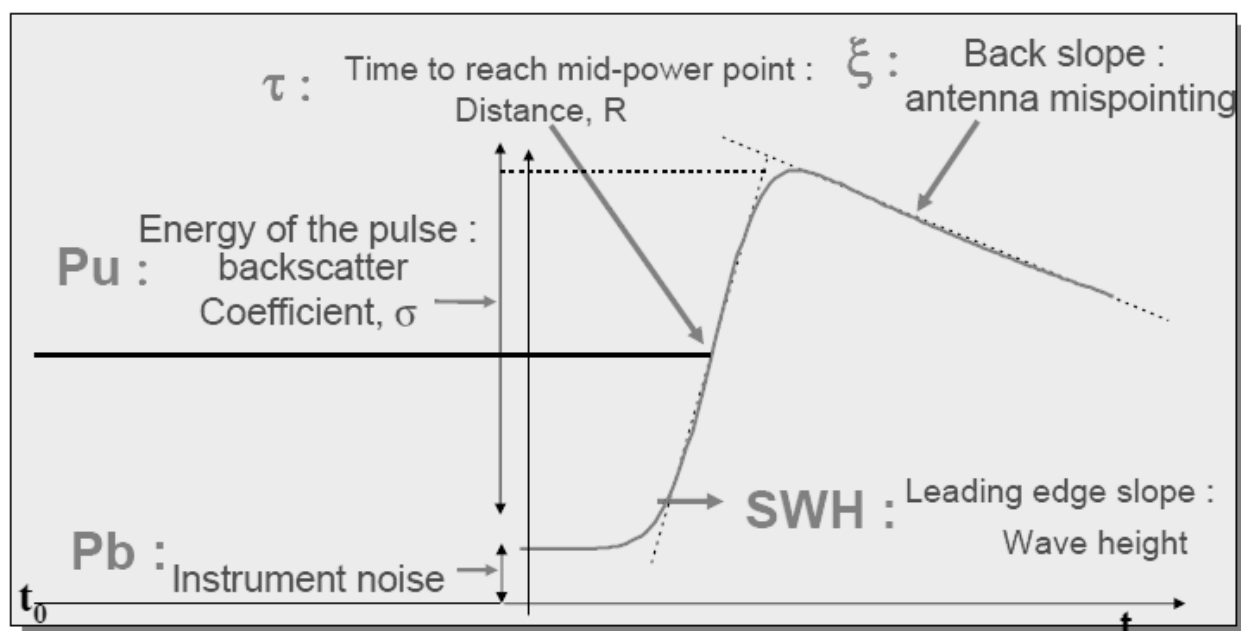
Αρχικά, ο παλμός που εκπέμπεται από την κεραία του αλτιμέτρου είναι γνωστής ισχύος και γνωστών συχνοτήτων - συνήθως χρησιμοποιούνται δύο συχνότητες π.χ. το αλτίμετρο του Envisat εκπέμπει στα 13.575 GHz (Ku-band) και στα 3.2 GHz (S-band). Η μορφή της δέσμης, όμως, δεν είναι στενή σαν αυτή ενός παλμού laser, αλλά διευρύνεται συναρτήσει της απόστασης. Τα παλμικά κύματα εκπέμπονται ανά τακτά χρονικά διαστήματα που ορίζονται από την Επαναληπτική Συχνότητα των Παλμών (Pulse Repetition Frequency – PRF).



Εικόνα 4.17 Η μορφή διάδοσης των παλμικών κυμάτων του αλτιμέτρου στην ατμόσφαιρα. Πηγή: (COASTALT)

Γενικά, όταν ο παλμός προσπίπτει σε θαλάσσια επιφάνεια και ειδικότερα ωκεάνια, η οποία από τη φύση της είναι αρκετά ομοιογενής, η κυματομορφή που επιστρέφει στο δορυφόρο είναι χαρακτηριστική και μπορεί εύκολα να περιγραφεί αναλυτικά. Σε τέτοιες επιφάνειες μπορούν να επιτευχθούν αποτελέσματα με την μεγαλύτερη δυνατή ακρίβεια. Αντιθέτως, όταν η επιφάνεια παρουσιάζει ασυνέχειες ή σημαντικές κλίσεις, όπως συμβαίνει στις παράκτιες περιοχές, η ερμηνεία των κυματομορφών γίνεται πιο δύσκολη και ανακριβής. Οι κυματομορφές περιέχουν σε όλες αυτές τις περιπτώσεις χρήσιμες πληροφορίες για τα χαρακτηριστικά των επιφανειών που προκάλεσαν την ανάκλασή τους.

Η βασική μορφή μιας κυματομορφής είναι η εξής :



(τ): η εποχή στη μέση του ύψους περιγράφει την χρονική καθυστέρηση της αναμενόμενης επιστροφής του παλμού, όπως αυτή έχει υπολογιστεί από τους σχετικούς αλγορίθμους του συστήματος. Η καθυστέρηση αυτή, ουσιαστικά, εκφράζει το χρόνο που χρειάστηκε ο παλμός για να διανύσει την απόσταση δορυφόρος – επιφάνεια ενδιαφέροντος – δορυφόρος ή απλούστερα την απόσταση R .

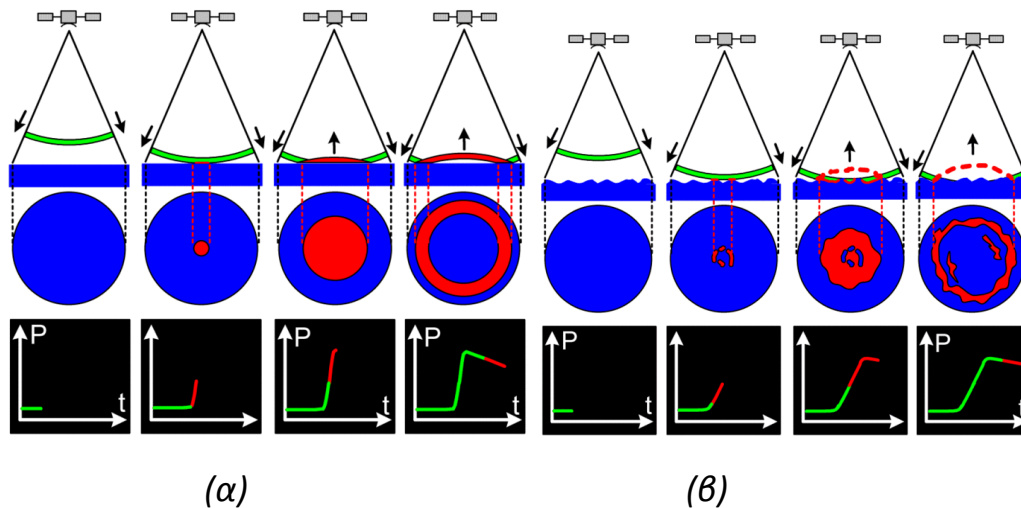
(P_b): θερμικός θόρυβος

(SWH): η κλίση της καμπύλης της κυματομορφής που αντιστοιχεί στο τμήμα του προπορευόμενου ανακλώμενου παλμού, η οποία σχετίζεται με το Σημαντικό Ύψος Κυμάτων (SWH).

(P_u): το πλάτος του αξιοποιήσιμου σήματος. Το μέγεθος αυτό δίνει τον συντελεστή οπισθοσκέδασης (*backscatter coefficient, σ_0*) σε σχέση με το πλάτος του παλμού εκπομπής.

Ακολούθως, αναφέρεται η ανάλυση των κυματομορφών με κριτήριο την ωκεάνια επιφάνεια.

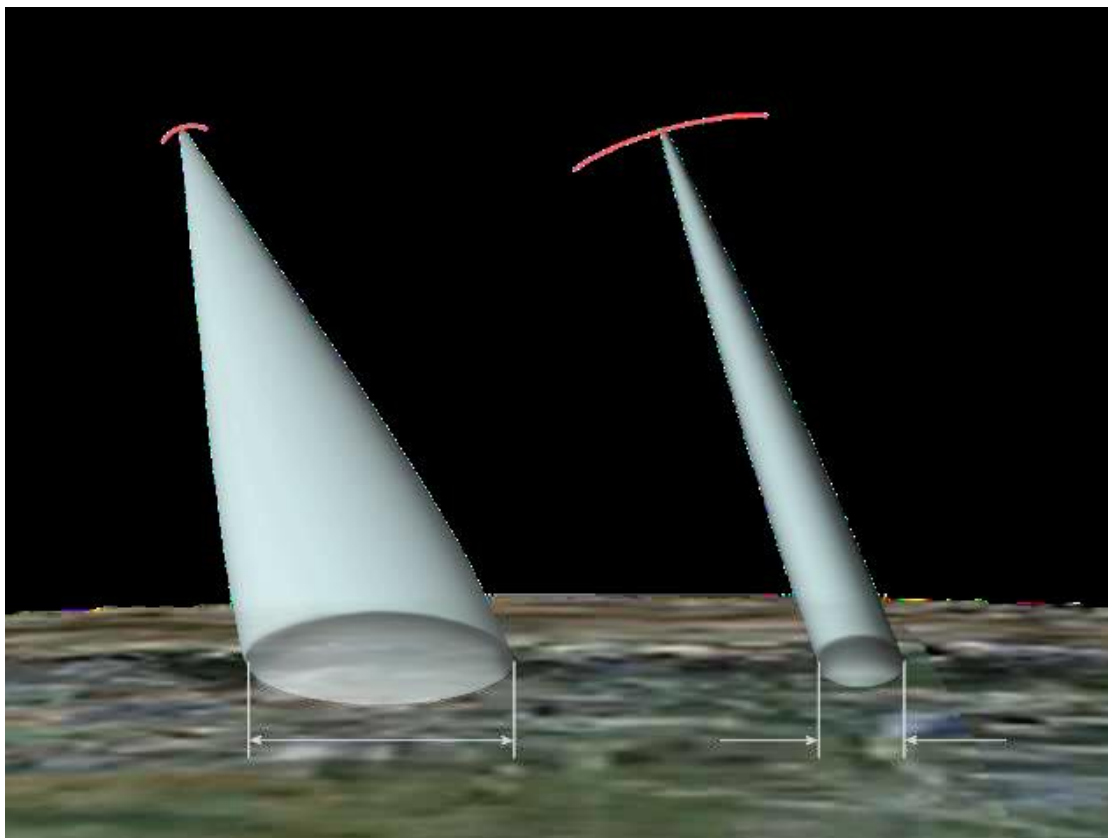
Το ανακλώμενο παλμικό κύμα που λαμβάνει το αλτίμετρο του δορυφόρου διαφέρει σε πυκνότητα συναρτήσεως του χρόνου. Σε περιοχές, όπου η επιφάνεια της θάλασσας είναι επίπεδη σε κατάσταση ηρεμίας, το πλάτος του αξιοποιήσιμου κύματος P αυξάνεται απότομα από τη στιγμή που το κατώτερο σημείο του κύματος προσπέσει στην επιφάνεια. Όμως, σε περιοχές, όπου η θαλάσσια επιφάνεια είναι τραχιά λόγω θαλασσοταραχής, ο παλμός προσπίπτει αρχικά στην κορυφή του υψηλότερου κύματος και στη συνέχεια στις κορυφές των υπόλοιπων κυμάτων. Το γεγονός αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να αυξάνεται το πλάτος P πιο σταδιακά. Εφόσον η κλίση της καμπύλης που αναπαριστά το πλάτος του αξιοποιήσιμου σήματος P είναι ανάλογη του ύψους κύματος, από το τελευταίο αυτό χαρακτηριστικό των παλμών προκύπτουν χρήσιμες πληροφορίες σχετικά με τα ύψη των κυμάτων στις ωκεάνιες περιοχές.



Εικόνα 4.18 Χαρακτηριστικές περιπτώσεις πρόσπτωσης του παλμικού κύματος (α) σε επίπεδη και (β) σε τραχιά θαλάσσια επιφάνεια και οι αντίστοιχες καμπύλες των κυματομορφών τους. Πηγή: (Centre National d'Etudes Spatiales (CNES), Aviso+)

4.4 Μέγεθος ίχνους στην επιφάνεια παρατήρησης (footprint)

Το μέγεθος του αποτυπώματος (footprint) του παλμικού κύματος πάνω στην επιφάνεια παρατήρησης είναι μία πολύ σημαντική παράμετρος της μεθόδου της Δορυφορικής Αλτιμετρίας. Ορίζεται ως η περιοχή της θαλάσσιας επιφάνειας που εμπερικλείεται στο εύρος της δέσμης του παλμού. Είναι ανάλογο του μήκους κύματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που χρησιμοποιείται από το αλτίμετρο και αντιστρόφως ανάλογο από το μέγεθος της κεραίας (Lee-Lueng and Cazanave 2001).



Εικόνα 4.19 Δορυφόρος Το αποτύπωμα μιας δέσμης μικροκυματικής ακτινοβολίας στην επιφάνεια της θάλασσας. Πηγή: (Radartutorial.eu)

Στην περίπτωση αλτιμέτρων παλμών ραντάρ, τυπικά η δέσμη αυτή αποτυπώνεται στην επιφάνεια της θάλασσας σε κύκλο διαμέτρου 3 – 5 km. Εξαρτάται δε από την στιγμιαία κατάσταση της θάλασσας, το ύψος των κυμάτων και τις γενικά τις κλίσεις της προσπίπτουσας επιφάνειας. Αυτό σημαίνει ότι όταν η επιφάνεια είναι σχετικά επίπεδη (π.χ. σε ήρεμη θάλασσα) το μέγεθος τους ίχνους είναι μικρότερο - συνήθως διαμέτρου 2 km, ενώ όταν η επιφάνεια είναι ανομοιογενής (π.χ. σε θαλασσοταραχή) το μέγεθος αυξάνεται σημαντικά –

συνήθως γίνεται διαμέτρου μέχρι και 10 km. Αντίθετα, στην περίπτωση αλτιμέτρων παλμών laser, όπως στους δορυφόρους IceSat (Ice Cloud and Land Elevation Satellite) και IceSat-2, το αποτύπωμα του παλμού είναι πολύ μικρότερο της τάξης των 70 m, γεγονός που επιτρέπει στα συγκεκριμένα αλτίμετρα να δίνουν εξ ίσου ακριβείς μετρήσεις πάνω από σχεδόν κάθε τύπου επιφάνειες.

4.5 Συχνότητες

Τα αλτίμετρο ραντάρ των δορυφόρων εκπέμπουν σε διάφορες συχνότητες. Η επιλογή της κατάλληλης συχνότητας εξαρτάται κάθε φορά από το αντικείμενο της αποστολής, τις προδιαγραφές λειτουργίας και τους περιορισμούς, καθώς και από τις γενικές τεχνικές δυνατότητες του δορυφόρου. Κάθε συχνότητα παρουσιάζει ανάλογα με το σκοπό για τον οποίο χρησιμοποιείται πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Στη συνέχεια παρουσιάζονται κάποιες λεπτομέρειες για τις πιο συχνά χρησιμοποιούμενες συχνότητες στα ραντάρ αλτίμετρα.

Ku band (13.6 GHz)

Η συχνότητα Ku band είναι εκείνη που χρησιμοποιείται πιο συχνά. Χαρακτηριστικά παραδείγματα είναι οι αλτιμετρικές αποστολές Torrex/Poseidon, Jason-1, Envisat, ERS. Αποτελεί τον καλύτερο συνδυασμό όσον αφορά στις τεχνολογικές δυνατότητες, το διαθέσιμο εύρος ζώνης (που καθορίζεται από διεθνείς κανονισμούς για ειδικές εφαρμογές), την ευαισθησία σε ατμοσφαιρικές διαταραχές και τα σφάλματα λόγω των ηλεκτρονίων που υπάρχουν στην ιονόσφαιρα.

C band (5.3 GHz)

Η συχνότητα C band είναι πιο ευαίσθητη από την Ku band στις διαταραχές λόγω ιονόσφαιρας και λιγότερο ευαίσθητη στις επιδράσεις από τους υδρατμούς της ατμόσφαιρας. Η κύρια λειτουργία της συνίσταται στη διόρθωση της ιονοσφαιρικής καθυστέρησης σε συνδυασμό με τις μετρήσεις σε Ku-band. Για να μπορούν να επιτευχθούν τα καλύτερα δυνατά αποτελέσματα, μία βοηθητική συχνότητα σαν την C band θα πρέπει να έχει όσο το δυνατόν μεγαλύτερη διαφορά από την κύρια συχνότητα.

S band (3.2 GHz)

Κατά τον ίδιο τρόπο, η S band χρησιμοποιείται σαν βοηθητική και σε συνδυασμό με την Ku band για τους ίδιους λόγους με την C band.

Ka band (35 GHz)

Οι συχνότητες στην Ka band επιτρέπουν καλύτερη παρακολούθηση του πάγου, της βροχής, των παράκτιων ζωνών, των ηπειρωτικών περιοχών (δάση κ.λπ.) και του ύψους κυμάτων. Λόγω των διεθνών κανονισμών που διέπουν τη χρήση του εύρους ζώνης των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων, οι μεγαλύτερες συχνότητες είναι πιο εύκολα διαθέσιμες, γεγονός που επιτρέπει την επίτευξη καλύτερης ακρίβειας, ειδικά κοντά στις ακτές και στον πάγο. Παρ' όλα αυτά, η εξασθένισή της που οφείλεται στο νερό και στους υδρατμούς της τροπόσφαιρας είναι υψηλή, πράγμα που σημαίνει ότι δεν είναι δυνατόν να πραγματοποιηθούν μετρήσεις όταν το ύψος βροχής είναι υψηλότερος από 1,5 mm / h.

Χρήση δύο συχνοτήτων

Η χρήση δύο συχνοτήτων αποτελεί έναν τρόπο εκτίμησης της περιεκτικότητας της ιονόσφαιρας σε ηλεκτρόνια, διορθώνοντας έτσι τις μετρήσεις της απόστασης R από την καθυστέρηση που αυτά προκαλούν. Επίσης, η ταυτόχρονη χρήση δύο συχνοτήτων μπορεί να χρησιμεύει και σε άλλες εφαρμογές, όπως για παράδειγμα στην εκτίμηση του ύψους βροχής (Collecte Localisation Satellites (CLS)).

4.6 Σφάλματα αλτιμετρικών δεδομένων

Για την αξιοποίηση των μετρήσεων ενός αλτίμετρου ραντάρ, είναι απαραίτητο να ληφθούν υπόψη διάφορες πηγές σφαλμάτων και να εφαρμοστούν οι σχετικές διορθώσεις τους με ακρίβεια που θα πρέπει να είναι συμβατή με την ακρίβεια μέτρησης του εκάστοτε αλτίμετρου.



Εικόνα 4.20 Σύνολο των διορθώσεων που πρέπει να επιβληθούν στις αλτιμετρικές μετρήσεις. Πηγή: Δεληκαράογλου, 2005

Σφάλματα και διορθώσεις του αλτίμετρου

Τα σφάλματα αυτά έχουν να κάνουν με τη λειτουργία του εκάστοτε αλτίμετρου και τις τυχόν ατέλειες ή περιορισμούς της τεχνολογίας που χρησιμοποιείται για την κατασκευή του. Οι κυριότερες αιτίες των σφαλμάτων είναι οι εξής :

- Συστηματικά σφάλματα του μηχανισμού ανίχνευσης του παλμού (Tracker Bias)
- Σφάλματα δειγματοληψίας του σχήματος του ανακλώμενου παλμού (Waveform Sampler Gain Calibration Bias)
- Σφάλματα κατεύθυνσης του ραντάρ (Pointing Errors)
- Θόρυβοι από την ανάκλαση της μορφής του παλμού και χρονικές αβεβαιότητες (Average Pulse Shape Uncertainty and Time Tas Bias)

Σφάλματα εξαιτίας της ατμόσφαιρας

Ο παλμός ενός αλτίμετρου ραντάρ που εκπέμπεται από ένα δορυφόρο πρέπει να ταξιδέψει μέσω της γήινης ατμόσφαιρας πριν ανακλαστεί στην επιφάνεια της θάλασσας για να επιστρέψει μέσω της ατμόσφαιρας στο δορυφόρο. Ωστόσο, καθώς τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα ταξιδεύουν μέσω της ατμόσφαιρας, επιβραδύνονται από τους υδρατμούς της τροπόσφαιρας ή από τα ιονισμένα μόρια της ιονόσφαιρας. Τα κυριότερα σφάλματα που συναντώνται στην κατηγορία αυτή είναι τα σφάλματα επιδράσεων της τροπόσφαιρας και της ιονόσφαιρας.

Σφάλματα του γεωειδούς

Ανάλογα την εφαρμογή, μπορεί να απαιτείται η γνώση της μορφής του γεωειδούς ώστε να αφαιρείται από τις παρατηρήσεις το υψόμετρο της επιφάνειας της θάλασσας προκειμένου να καθοριστεί η τοπογραφία της. Η παρατήρηση των αλλαγών στη τοπογραφία της επιφάνειας της θάλασσας με την ακρίβεια των αλτιμετρικών μετρήσεων, προϋποθέτει τη γνώση του γεωειδούς με ακρίβεια τουλάχιστον 10 εκατοστών.

Τα σημερινά παγκόσμια μοντέλα του γεωειδούς για παράδειγμα από σφαιρικές αρμονικές, όπως είναι το EGM2008 που έχουν προσδιοριστεί από το συνδυασμό βαρυμετρικών δεδομένων προερχόμενων από τις γεωδαιτικές αποστολές CHAMP, GRACE και GOCE, αλτιμετρικών, επίγειων και δεδομένων από θαλάσσιες παρατηρήσεις, ικανοποιούν αυτή την απαίτηση. Σε τοπική κλίμακα, όπου τα υψόμετρα του γεωειδούς είναι γνωστά με μικρότερη ακρίβεια ($\pm 50\text{cm}$) το πρόβλημα παρακάμπτεται, εν πολλοίς, τοποθετώντας τα αλτίμετρα ραντάρ σε επαναλαμβανόμενες τροχιές. Το γεγονός αυτό επιτρέπει παίρνοντας τη διαφορά των υψομέτρων της επιφάνειας της θάλασσας στα σημεία τομής μιας ανερχόμενης και μιας κατερχόμενης τροχιάς, να παρατηρούνται οι αλλαγές στην τοπογραφία της επιφάνειας της θάλασσας χωρίς να απαιτείται η γνώση του γεωειδούς.

Σφάλματα χρονικών μεταβολών της επιφάνειας των ωκεανών

Τα σφάλματα είναι τα εξής :

- Σφάλματα επίδρασης της ατμοσφαιρικής πίεσης
- Σφάλματα της επίδρασης των παλιρροιών
- Σφάλματα εξαιτίας της κατάστασης της θάλασσας

Οι αλλαγές στη ατμοσφαιρική πίεση και οι παλίρροιες έχουν ως αποτέλεσμα τη μεταβολή του υψομέτρου της επιφάνειας της θάλασσας και αφαιρούνται με τη βοήθεια μετεωρολογικών μοντέλων και μοντέλων παλίρροιας. Επιπλέον, ο παλμός που αντανακλάται από τις παρυφές και τις κορυφές των κυμάτων είναι διαφοροποιημένος εξαιτίας του γεγονότος ότι οι παρυφές των κυμάτων είναι γενικά επίπεδες και μικρότερης τραχύτητας σε σχέση με τις κορυφές. Η διόρθωση του σφάλματος αυτού βασίζεται σε εμπειρικές εκτιμήσεις.

Σφάλματα της τροχιάς των δορυφόρων

Ο ακριβής προσδιορισμός της τροχιάς του αλτιμετρικού δορυφόρου είναι απαραίτητος, προκειμένου να μπορεί να υπολογισθεί η θέση του στη δεδομένη στιγμή κάθε αλτιμετρικής μέτρησης και παράλληλα αποτελεί την κύρια απαίτηση για να επιτευχθεί η μέγιστη δυνατή ακρίβεια στα αλτιμετρικά δεδομένα. Ο προσδιορισμός της τροχιάς του δορυφόρου έχει βελτιωθεί σε μεγάλο βαθμό με τη βοήθεια των συστημάτων SLR, GPS, DORIS και PRARE, παρ' όλα αυτά υπάρχουν ακόμη μικρού μεγέθους σφάλματα που οφείλονται στην ατελή γνώση του πεδίου βαρύτητας της Γης, στα σφάλματα των συντεταγμένων των επίγειων σταθμών παρακολούθησης των δορυφόρων και στις παρέλξεις της Γης και τις δυνάμεις που ασκούνται στην επιφάνεια του δορυφόρου διαταράσσοντας την ιδανική ελλειπτική τροχιά. Τα τροχιακά αυτά σφάλματα προσδιορίζονται από τις διαθέσιμες μετρήσεις αλτιμετρίας.

5.Εισαγωγή στο Broadview Radar Altimetry Toolbox (BRAT)

5.1 Εισαγωγή

Η Broadview Radar Altimetry Toolbox (BRAT) και το ραντάρ Altimetry Tutorial (RAT) αρχικά παραγόταν το 2006-2011 από την ESA και CNES (το όνομα του λογισμικού τότε ήταν Basic Radar Altimetry Toolbox). Από τον Απρίλιο του 2015, με την πρόσθετη υποστήριξη από το CNES, η σημερινή κοινοπραξία αποτελείται από την DEIMOS Engenharia S.A., isardSAT UK, και TU Delft όπου συνεχίζει την ενημέρωση του περιεχομένου και τον επανασχεδιασμό και τη βελτίωση της εργαλειοθήκης του λογισμικού.

Η DEIMOS Engenharia S.A είναι η πορτογαλική θυγατρική της Elecnor DEIMOS, που βρίσκεται στη Λισαβόνα. Η εταιρεία αυτή προσφέρει προηγμένες σχεδιαστικές λύσεις και θεωρείται πρωτοπόρα στα διαστημικά συστήματα λογισμικού από το 2002. Η εταιρεία επικεντρώνεται στο χώρο των συστημάτων σχεδιασμού και λειτουργίας του λογισμικού καθώς και στην ανάπτυξη και επικύρωση των συστημάτων, στους τομείς της ανάλυσης, του προσανατολισμού, της πλοήγησης, του ελέγχου και στις τεχνολογίες και στα συστήματα των παγκόσμιων δορυφορικών συστημάτων πλοήγησης.

Η isardSAT ιδρύθηκε το 2006 στη Βαρκελώνη, με σκοπό να βελτιώσει τις γνώσεις του πλανήτη μας μέσω της τηλεπισκόπησης. Η isardSAT αναπτύσσει επιστημονικά προγράμματα, με στόχο να καταστεί η κορυφαία εταιρεία στον τομέα της τηλεπισκόπησης και η πρώτη επιλογή στον τομέα Earth Observation (Παρατήρηση της Γης). Η πολύχρονη εμπειρία της και με βάση τις πολλές επιστημονικές εφαρμογές που έχει πραγματοποιήσει την καθιστούν ως ηγετική επιχείρηση στον τομέα της επεξεργασίας των δεδομένων υψομετρίας από ευρωπαϊκούς δορυφόρους.

Η isardSAT UK άνοιξε τον Απρίλιο του 2013, στο Surrey Research Park, στο Guildford της Αγγλίας. Ως μέλος του Surrey Space Incubator, η εταιρεία έχει αυξηθεί ραγδαία και φιλοξενεί την ομάδα των ερευνητών που είναι υπεύθυνοι για την υλοποίηση των αλγορίθμων και των επεξεργασιών.

Το Delft University of Technology (Ολλανδικά: Technische Universiteit Delft (επίσης γνωστή ως TU Delft), είναι το μεγαλύτερο και αρχαιότερο ολλανδικό κοινό τεχνολογικό πανεπιστήμιο, που βρίσκεται στο Delft της Ολλανδίας. Με οκτώ σχολές και πολλά ερευνητικά ιδρύματα, φιλοξενεί πάνω από 19.000 φοιτητές (προπτυχιακούς και μεταπτυχιακούς), πάνω από 3.300 επιστήμονες, και πάνω από 2.200 άτομα του προσωπικού.

Το Broadview Radar Altimetry Toolbox (BRAT) είναι μια συλλογή από εργαλεία και ασκήσεις που έχουν σχεδιαστεί για την διευκόλυνση της επεξεργασίας των δεδομένων από αλτιμετρικά δεδομένα. Το BRAT είναι σε θέση να χειριστεί τις περισσότερες αλτιμετρικές μορφές δεδομένων, παρέχοντας υποστήριξη για αφομοίωση, επεξεργασία, δημιουργία στατιστικών στοιχείων και τέλος για την οπτικοποίηση και την εξαγωγή των αποτελεσμάτων.

Το BRAT αποτελείται από έναν αριθμό διαφορετικών λειτουργικών ενότητων (modules), οι οποίες λειτουργούν σε διαφορετικά επίπεδα άντλησης δεδομένων. Οι ενότητες αυτές είναι το Γραφικό Περιβάλλον Χρήστη ή Graphical User Interface (GUI), τα εργαλεία της γραμμής εντολών, περιβάλλοντα διεπαφής με άλλες υπάρχουσες εφαρμογές, π.χ. IDL και MATLAB, και Διεπαφές Προγραμματισμού Εφαρμογών (Application Programming Interface – API) σε γλώσσες προγραμματισμού, όπως είναι η C και FORTRAN και PYTHON.

5.2 Λειτουργίες του BRAT

Το BRAT διαθέτει ορισμένες βασικές λειτουργίες, οι οποίες ανάλογα με τη σκοπιμότητα της κάθε εργασίας στο λογισμικό, συνδυάζονται κατάλληλα. Εν συντομία οι λειτουργίες αυτές είναι οι εξής:

Εισαγωγή και προεπισκόπηση δεδομένων: περιλαμβάνει τα εργαλεία εκείνα για την εισαγωγή των δεδομένων στο λογισμικό, ανάλογα με τους μορφότυπους τους, και επιτρέπει τη σύντομη προεπισκόπηση του περιεχομένου τους.

Εξαγωγή δεδομένων: γίνεται η εξαγωγή των δεδομένων στο δυαδικό μορφότυπο NetCDF (network Common Data Form), σε αρχείο ASCII, Geo Tiff ή και σε αρχείο αναγνώσιμο από το πρόγραμμα Google Earth (kml). Ακόμα, είναι δυνατόν να αποθηκευτούν οι οπτικοποιήσεις των αποτελεσμάτων σε εικόνα μορφής PNG, JPEG, BMP, TIFF και PNM.

Στατιστική ανάλυση δεδομένων: πραγματοποιείται ο υπολογισμός στατιστικών δεικτών των δεδομένων.

Συνδυασμοί δεδομένων: περιλαμβάνει τη δημιουργία τύπων (formulas) συνδυάζοντας διαφορετικά πεδία από τα δεδομένα, καθώς και τον υπολογισμό και αποθήκευση των τύπων αυτών.

Αναδειγματοληψία δεδομένων: είναι δυνατή η υποδειγματοληψία των δεδομένων με βάση ορισμένα κριτήρια για την ελαχιστοποίηση των επιδράσεων των χονδροειδών σφαλμάτων στο σύνολο των δεδομένων.

Επεξεργασία δεδομένων: εμπεριέχει τα εργαλεία για την επιλογή συγκεκριμένων δεδομένων με βάση απλά κριτήρια ή συνδυασμό κριτηρίων που ορίζονται από το χρήστη, συμπεριλαμβανομένης και της δυνατότητας αποθήκευσής τους.

Ανταλλαγή δεδομένων: τα δεδομένα που έχουν διέλθει από κάποιο στάδιο επεξεργασίας ή ορισμένοι συνδυασμοί αυτών μπορούν να ανταλλάσσονται μεταξύ χρηστών.

Οπτικοποίηση δεδομένων: περιλαμβάνει τα εργαλεία εκείνα για την παρουσίαση των αποτελεσμάτων και επιτρέπει στο χρήστη να ορίσει συγκεκριμένες παραμέτρους ανάλογα με τις προτιμήσεις του.

Η Διεπαφή Προγραμματισμού Εφαρμογών είναι διαθέσιμη κατά την ανάγνωση των δεδομένων, την μετατροπή της ημερομηνίας, του αριθμού της τροχιάς (orbit cycle) ή τροχιακού τόξου (pass) του δορυφόρου στην οποία αυτά ανήκουν, καθώς και κατά την στατιστική τους ανάλυση, και για τις γλώσσες προγραμματισμού C, FORTRAN, IDL και MATLAB. Για τις πιο συνήθεις περιπτώσεις, είναι διαθέσιμη η γραμμή εντολών που μπορεί να παραμετροποιηθεί, δημιουργώντας τα αντίστοιχα αρχεία παραμέτρων (parameter files).

Επιπλέον το BRAT παρέχεται ως Λογισμικό Ανοικτού Κώδικα, που επιτρέπει στην κοινότητα των χρηστών να συμμετέχουν στην περαιτέρω ανάπτυξη και την βελτίωση της ποιότητας.

Βασικά δομικά μέρη του BRAT

Το BRAT αποτελείται από τρία βασικά δομικά μέρη, στα οποία συντελούνται όλες οι απαιτούμενες εργασίες στις περισσότερες περιπτώσεις. Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα μέρη αυτά.

Βιβλιοθήκη του BRAT

Η βιβλιοθήκη του λογισμικού αποτελεί και τον πυρήνα του. Με βάση αυτή διενεργείται η λειτουργία λήψης δεδομένων (data ingestion), με σκοπό την επεξεργασία τους για μελλοντική χρήση ή απλά την αποθήκευσή τους, και εκτελείται για κάθε ένα από τα διαφορετικά είδη υποστηριζόμενων μορφών δεδομένων. Η λειτουργία πρόσβασης δεδομένων (data access) παρέχεται μέσω δύο διαφορετικών επιπέδων (layers), τα οποία είναι το CODA (Common Data Access Framework) και το BRATHL.

CODA

Το CODA, γνωστό και ως BRATLL, επιτρέπει την άμεση πρόσβαση στα δεδομένα, ενώ υποστηρίζει ένα πολύ μεγάλο φάσμα μορφοτύπων δεδομένων. Παρέχει μια ενιαία συνεκτική ιεραρχική άποψη των δεδομένων, ανεξάρτητα από την υποκείμενη μορφή αποθήκευσης. Συγκεκριμένα, η έκδοση CODA που χρησιμοποιείται από το BRAT υποστηρίζει πάνω από 200 διαφορετικούς τύπους αλτιμετρικών προϊόντων και όλα τα δεδομένα είναι προσβάσιμα μέσω της βιβλιοθήκης CODA C.

BRATHL

Το BRATHL παρέχει τη δυνατότητα αφαίρεσης μέρους των δεδομένων, έτσι ώστε να μπορεί ο χρήστης να αξιοποιήσει τα πιο σημαντικά δεδομένα από ένα προϊόν. Μια ενιαία λειτουργία επιτρέπει στο χρήστη να λάβει μόνο τις επιλεγμένες τιμές δεδομένων (από ένα ή περισσότερα αρχεία) και να τις ταξινομήσει σε πίνακα. Είναι, επίσης, δυνατό να γίνει ο υπολογισμός των στατιστικών μεγεθών των δεδομένων που επιλέχθηκαν προηγουμένως, καθώς και πράξεις μεταξύ τους. Στην ίδια λειτουργία είναι διαθέσιμη και η μετατροπή ημερομηνιών και τροχιακών κύκλων των προϊόντων. Η βιβλιοθήκη BRATHL υλοποιείται στην γλώσσα προγραμματισμού C++ και έχει σχεδιαστεί με βάση το CODA.

Εφαρμογές Κονσόλας BRAT (Console Applications)

Το λογισμικό διαθέτει κάποιες εφαρμογές κονσόλας οι οποίες έχουν σχεδιαστεί έτσι ώστε να εκτελούνται μέσω της γραμμής εντολών. Αυτό διευκολύνει, διότι η πλειοψηφία των χρηστών του BRAT δεν είναι προγραμματιστές και συνεπώς χειρίζονται το λογισμικό μέσω των έτοιμων εφαρμογών του. Οι εφαρμογές αυτές είναι οι πιο συχνά χρησιμοποιούμενες, όπως οι υπολογισμοί, οι μετατροπές δεδομένων κ.λπ., και είναι παραμετροποιήσιμες από το χρήστη με δυνατότητα αποθήκευσης και ανταλλαγής τους. Οι εφαρμογές κονσόλας που συμπεριλαμβάνονται στο BRAT είναι οι: BratCreateYFX, BratCreateZFX, BratListFieldNames, BratShowInternalFile, BratStats, BratExportAscii, BratExportGeoTiff.

Εφαρμογές του Γραφικού Περιβάλλοντος Χρήστη (GUI Applications)

Επειδή, οι περισσότεροι χρήστες αναμένεται να χειρίζονται το BRAT κυρίως μέσω της γραμμής εντολών, πρέπει να υπάρχει ένα φιλικό και εύχρηστο περιβάλλον. Για το λόγο αυτό, έχει δημιουργηθεί το Γραφικό Περιβάλλον Χρήστη, το οποίο αποτελείται από τις τρεις εφαρμογές.

Αρχικά, το brat GUI, που θεωρείται και η κυριότερη εφαρμογή του λογισμικού, επιτρέπει στους χρήστες να δημιουργούν και να διαχειρίζονται Workspaces, Datasets, Operations και Views σε ένα βολικό γραφικό περιβάλλον. Είναι σχεδιασμένο με βάση τις Εφαρμογές

Κονσόλας, τις οποίες χρησιμοποιεί ουσιαστικά κατά τη λειτουργία του, χωρίς ο χρήστης να χρειάζεται να έρχεται σε επαφή με αυτές. Ωστόσο, πρέπει να αναφερθεί ότι το brat GUI δεν περιλαμβάνει όλες τις λειτουργίες των Εφαρμογών Κονσόλας, που σημαίνει ότι εάν οι χρήστες φτάσουν στα όρια των δυνατοτήτων του brat GUI, τότε θα πρέπει να εξοικειωθούν με το χειρισμό των Εφαρμογών Κονσόλας.

Η δεύτερη εφαρμογή είναι το Display, το οποίο αποτελεί τη συνιστώσα του brat GUI που αφορά την οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων, αλλά είναι διαθέσιμο σαν αυτόνομη βοηθητική εφαρμογή. Είναι εν μέρει εφαρμογή του Γραφικού Περιβάλλοντος Χρήστη, καθώς ο χειρισμός του γίνεται μέσω «παραθύρου» (window), και εν μέρει Εφαρμογή Κονσόλας, καθώς απαιτεί αρχείο παραμέτρων και η εκκίνησή του γίνεται μέσω της γραμμής εντολών.

Τέλος, στις Εφαρμογές του Γραφικού Περιβάλλοντος Χρήστη ανήκει και το Scheduler, το οποίο δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να καθυστερήσει την εκτέλεση ενός *operation*, για παράδειγμα να το προγραμματίσει ώστε να εκτελεστεί κατά τη διάρκεια της νύχτας. Είναι διαθέσιμο μέσω του Brat στην καρτέλα «Operations», αλλά ο χρήστης έχει πρόσβαση σε αυτό και από ξεχωριστό εικονίδιο.

5.3 Ανάγνωση και Επεξεργασία Δεδομένων

Το BRAT παρέχει τη δυνατότητα αξιοποίησης αλτιμετρικών δεδομένων από τις περισσότερες αλτιμετρικές αποστολές, και συγκεκριμένα από τους δορυφόρους ERS-1 & 2 (ESA), Topex/Poseidon (NASA/CNES), Geosat Follow-On (US Navy), Jason-1 (CNES/NASA), Envisat (ESA), Cryosat (ESA) and Jason-2 CNES/NASA/EUMETSAT/ NOAA).

Δεδομένα τα οποία είναι δομημένα σε πίνακες δεν είναι διαθέσιμα μεμονωμένα στο περιβάλλον του GUI, δηλαδή ο χρήστης δεν έχει πρόσβαση σε κάθε μία ξεχωριστή τιμή του πίνακα. Εξαίρεση σε αυτό αποτελούν τα υψηλής ακρίβειας GDR (Geophysical Data Record) δεδομένα σε ρυθμούς δειγματοληψίας 10, 18 and 20-Hz. Η πρόσβαση σε μεμονωμένα δεδομένα μέσα από πίνακες καθίσταται δυνατή μόνο μέσω ορισμένων API.

5.4 Γραφικό Περιβάλλον Χρήστη (BratGui ή GUI)

Το Γραφικό Περιβάλλον Χρήστη, το οποίο αναφέρεται ως GUI για λόγους συντομίας, είναι το περιβάλλον με το οποίο αλληλεπιδρά ο χρήστης κατά την εκτέλεση εργασιών στο BRAT στην πλειοψηφία των περιπτώσεων, καθώς οι εφαρμογές που διαθέτει καλύπτουν τις συνήθεις ανάγκες της πλειονότητας των χρηστών. Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στο

GUI για αυτό κρίνεται σκόπιμο να παρουσιαστούν οι δυνατότητες και τα εργαλεία του GUI αναλυτικά.

Το GUI αποτελείται από τέσσερις βασικές καρτέλες (tabs), οι οποίες είναι οι εξής:

1. Datasets
2. Operations
3. Views
4. Logs

και το μενού των εργασιών “Workspace menu”. Κάθε μία από τις καρτέλες αυτές αντιστοιχεί σε μια διαφορετική λειτουργία του λογισμικού και ταυτόχρονα σε ένα διαφορετικό στάδιο της συνολικής διαδικασίας. Οπότε, για την εκτέλεση μιας εργασίας στο GUI χρησιμοποιούνται όλες οι καρτέλες με διαδοχική σειρά. Κατά την επεξεργασία κάθε καρτέλας, ορίζονται από το χρήστη οι απαραίτητες παράμετροι. Το λογισμικό αποθηκεύει αυτόματα τις ρυθμίσεις αυτές σε αρχεία παραμέτρων (parameter files .par) στο φάκελο του λογισμικού στο δίσκο.

Στη συνέχεια, περιγράφεται η διαδικασία μιας τυπικής εργασίας στο GUI και δίνονται πληροφορίες σχετικά με τις δυνατότητες του λογισμικού.

5.4.1 Έναρξη νέας εργασίας

Κατά το άνοιγμα της εφαρμογής GUI, ζητείται από το χρήστη να ορίσει το όνομα και τη θέση αποθήκευσης της νέας εργασίας στο δίσκο. Ο ορισμός της νέας εργασίας εμπερικλείει την αποθήκευση όλων των ρυθμίσεων, των υπολογισμών και γενικότερα όλων των ενεργειών που πρόκειται να γίνουν στη συνέχεια σε όλες τις καρτέλες, στον αντίστοιχο φάκελο της εργασίας, ο οποίος δημιουργείται στο δίσκο μετά τον ορισμό της. Οι φάκελοι των εργασιών έχουν τη δυνατότητα να αντιγράφονται και να μετακινούνται. Εάν υπάρχουν ήδη αποθηκευμένες εργασίες, κατά το άνοιγμα της εφαρμογής ανακτάται η πιο πρόσφατη εργασία. Μέσω του **μενού Workspace** μπορεί ο χρήστης να επαναφέρει οποιαδήποτε άλλη αποθηκευμένη εργασία, να αποθηκεύσει, να μετονομάσει και να διαγράψει την παρούσα, καθώς και να εισάγει ξεχωριστά parameter files με ορισμένους περιορισμούς, οι οποίοι έγκεινται στο γεγονός ότι τα Operations εξαρτώνται από τα Datasets και τα Views από τα Operations. Εξαίρεση σε αυτό αποτελούν οι τύποι (formulas) που αναλύονται στην επόμενη ενότητα.

5.4.2 Επιλογή και εισαγωγή δεδομένων

Εφόσον έχει δημιουργηθεί μία νέα εργασία, η καρτέλα που εμφανίζεται πρώτη είναι η **Datasets**, μέσω της οποίας γίνεται η επιλογή, εισαγωγή και προεπισκόπηση των αλτιμετρικών δεδομένων που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν. Είναι σημαντικό να τονισθεί ότι πρέπει να ορισθεί τουλάχιστον ένα dataset, ώστε να μπορεί να συνεχιστεί η διαδικασία στις επόμενες καρτέλες. Για τη δημιουργία ενός dataset, ο χρήστης πρέπει να εισάγει τουλάχιστον ένα αρχείο. Στο περιβάλλον της εφαρμογής GUI δίνεται, επίσης, η δυνατότητα να προστεθεί απ' ευθείας ένας φάκελος δεδομένων, εάν ο αριθμός των αρχείων είναι μεγάλος. Στην περίπτωση αυτή πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στο να είναι όλα τα αρχεία αυτού του φακέλου ίδιου είδους και μορφότυπου, δηλαδή να είναι ομοιογενή. Αρχεία που έχουν εξαχθεί από το BRAT και έχουν το μορφότυπο netCDF μπορούν, επίσης, να εισαχθούν στο dataset ως δεδομένα προς επεξεργασία. Τέλος, εάν ο χρήστης πρόκειται να εισάγει αρχεία τα οποία ικανοποιούν ορισμένα κοινά κριτήρια (π.χ. συγκεκριμένη χρονική περίοδο, τροχιακό κύκλο, περιοχή μελέτης) μπορεί να ορίσει τα κριτήρια αυτά, έτσι ώστε το λογισμικό να επιλέξει και να εισάγει αυτόματα τα επιθυμητά αρχεία. Σε κάθε περίπτωση, για να ελεγχθεί η ορθότητα της επιλογής των δεδομένων ως προς την ομοιογένειά τους, μπορεί να χρησιμοποιηθεί η εντολή check files, με την οποία εντοπίζονται τυχόν ανομοιογένειες. Εάν υπάρχουν αποθηκευμένα dataset, τότε ο χρήστης μπορεί να επιλέξει ένα από τα υπάρχοντα.

5.4.3 Επεξεργασία δεδομένων και εξαγωγή αποτελεσμάτων

Εφόσον έχει ολοκληρωθεί η εισαγωγή των αρχείων και έχει πραγματοποιηθεί ο έλεγχός τους, με αποτέλεσμα τη δημιουργία ενός dataset, ακολουθεί η επεξεργασία της επόμενης καρτέλας, **Operations**, μέσω της οποίας πραγματοποιούνται η επεξεργασία των δεδομένων, η στατιστική τους ανάλυση και η εξαγωγή των επιθυμητών αποτελεσμάτων. Κατά τη δημιουργία ενός operation, ουσιαστικά δημιουργείται ένα parameter file στο φάκελο της αντίστοιχης εργασίας στο δίσκο, όπου αποθηκεύονται όλες οι ρυθμίσεις και οι υπολογισμοί που πραγματοποιούνται στην καρτέλα Operations. Αναφέρεται, επίσης, ότι κατά την εκτέλεση ενός operation, το λογισμικό χρησιμοποιεί τις εφαρμογές κονσόλας BRATCreateYFX και BRATCreateZFX (βλ. Ενότητα 4.2.2.2).

Για τη δημιουργία ενός νέου operation, ο χρήστης απλά εισάγει το όνομα αυτού, ενώ εάν υπάρχουν αποθηκευμένα operation επιλέγει από τη λίστα που εμφανίζεται. Δίνεται, επίσης, η δυνατότητα να δημιουργήσει αντίγραφο ενός operation, στην περίπτωση που το αρχείο-πηγής παραμένει το ίδιο και τα στοιχεία που πρόκειται να διαφοροποιηθούν είναι λίγα. Στη συνέχεια, επιλέγεται το dataset, από το οποίο θα αντληθούν τα δεδομένα προς επεξεργασία. Δυνατότητα επιλογής υπάρχει σε όλα τα αποθηκευμένα dataset της συγκεκριμένης εργασίας. Αφού επιλεγεί το κατάλληλο, παρουσιάζονται όλα τα πεδία που περιέχει.

Ακολουθεί ο ορισμός των *εκφράσεων*. Γενικά, εκφράσεις είναι οι σχέσεις που συνδέουν τα επιθυμητά κάθε φορά πεδία του αρχείου-πηγής, ανάλογα με την εργασία που επιθυμεί να εκτελέσει ο χρήστης. Μία έκφραση μπορεί να αποτελείται από ένα και μόνο πεδίο ή μπορεί να περιέχει μαθηματικές σχέσεις, συναρτήσεις (functions) κ.λπ. Στη καρτέλα Operations υπάρχουν τέσσερις εκφράσεις:

1. η έκφραση **X**, η οποία χρησιμοποιείται ως άξονας. Είναι δυνατόν να δημιουργηθεί μόνο μία τέτοια έκφραση σε κάθε operation, η οποία είναι και απαραίτητη, ώστε να μπορεί να εκτελεστεί στη συνέχεια.
2. η έκφραση **Y** (προαιρετική), η οποία χρησιμοποιείται ως δεύτερος άξονας (π.χ. X: γεωγραφικό μήκος και Y: γεωγραφικό πλάτος). Και εδώ είναι δυνατή η δημιουργία μίας και μόνο έκφρασης.
3. η έκφραση **Data**, η οποία είναι και εκείνη που καθορίζει το είδος των υπολογισμών. Μία τέτοια έκφραση είναι αναγκαία, ενώ μπορούν να δημιουργηθούν μέχρι και είκοσι.
4. τέλος, η έκφραση **Selection Criteria** (προαιρετική), η οποία φαίνεται ότι είναι ενεργή όταν αναγράφεται με έντονα γράμματα, επιτρέπει την επιβολή ορισμένων δεσμεύσεων στην επιλογή των δεδομένων από τα πεδία που έχουν ορισθεί στις τρεις προηγούμενες εκφράσεις. Οι δεσμεύσεις αυτές μπορεί να αφορούν χρονική περίοδο, γεωγραφικά όρια, τη χρήση ορισμένων δεικτών (βλ. Ενότητα 4.4.3.2) ή και κατωφλίων, διατυπώνονται με λογικές ή μαθηματικές σχέσεις και συνδέονται μεταξύ τους με τη χρήση των τελεστών && (και), || (ή) και ! (όχι) ανάλογα την περίπτωση. Σε αυτή την έκφραση μπορούν να χρησιμοποιηθούν όλα τα πεδία του αρχείου-πηγής ή συνδυασμός αυτών. Επίσης, εάν η έκφραση είναι πολύπλοκη, δίνεται η δυνατότητα χρήσης έτοιμου τύπου (formula) (βλ. Ενότητα 4.4.3.3).

Αναφέρεται ότι το λογισμικό αναγνωρίζει τους κεφαλαίους και τους μικρούς χαρακτήρες ως διαφορετικούς. Για το λόγο αυτό θα πρέπει να ορίζονται με προσοχή οι εκφράσεις.

Ο έλεγχος για την ορθότητα των εκφράσεων μπορεί να γίνει μέσω της εντολής Check Syntax. Ας σημειωθεί ότι η εντολή αυτή ελέγχει τις εκφράσεις ως προς τη σύνταξή τους και όχι τη λογική τους.

Ορίζοντας την έκφραση X και προαιρετικά την έκφραση Y σαν άξονες, το λογισμικό διαλέγει εκείνα τα στοιχεία από τα πεδία, που εμπλέκονται στην έκφραση Data, που αντιστοιχούν στις τιμές των X και Y με βάση τις δεσμεύσεις που έχουν εισαχθεί στην έκφραση Selection Criteria. Με τη λογική αυτή πραγματοποιούνται όλοι οι υπολογισμοί στο BRAT. Στις παραγράφους που ακολουθούν περιγράφονται τα βασικά εργαλεία που διαθέτει το GUI για τη σύνταξη των εκφράσεων, τη στατιστική ανάλυση και την εξαγωγή αποτελεσμάτων.

5.4.3.1 Μονάδες Μέτρησης Πεδίων (Units)

Το BRAT αναγνωρίζει όλες τις μονάδες μέτρησης του SI και τα παράγωγά τους (π.χ. metres – m, cm, mm). Η μονάδα μέτρησης των πεδίων χωρίς διαστάσεις περιγράφεται ως *count*. Ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να ορίσει τη μονάδα μέτρησης ή να τροποποιήσει την προεπιλεγμένη από το πρόγραμμα. Όμως, κατά την εκτέλεση του operation, οι μονάδες που χρησιμοποιούνται από τις αντίστοιχες εφαρμογές είναι αυτές του SI, ακόμα και αν έχει ορισθεί κάποιο παράγωγο τους από το χρήστη.

5.4.3.2 Συναρτήσεις (Functions)

Στην κατηγορία των συναρτήσεων εμπεριέχονται όλοι οι τελεστές (μαθηματικοί, λογικοί κ.λπ.), οι συναρτήσεις και οι σταθερές που χρησιμοποιούνται κατά τη σύνταξη των σχέσεων στις εκφράσεις. Συγκεκριμένα, ο χρήστης μπορεί να εισάγει συναρτήσεις μόνο στις εκφράσεις Data και Selection Criteria, διότι εκεί μόνο μπορούν να εισαχθούν πολύπλοκες σχέσεις. Στις εκφράσεις X και Y εισάγεται πάντα μόνο ένα πεδίο, καθώς έχει το ρόλο του άξονα.

Οι βασικότερες χρήσεις των συναρτήσεων είναι:

1. κατά τον υπολογισμό των γεωστροφικών ταχυτήτων, οι οποίες δίνονται από τον τύπο: ή σε μορφή έκφρασης στο BRAT: $\sqrt{\text{sqr}(U) + \text{sqr}(V)}$. Στο παράδειγμα αυτό είναι χαρακτηριστική η χρήση της συνάρτησης *sqr*, που δίνει την τετραγωνική ρίζα του υπόριζου, και της συνάρτησης *sqr*, που δίνει το μέγεθος εις το τετράγωνο.
2. κατά τη χρήση *δεικτών* (flags). Δείκτες είναι κάποια πεδία του αρχείου-πηγής, τα οποία εισάγονται στις εκφράσεις σαν κριτήρια επιλογής ορισμένων στοιχείων των χρησιμοποιούμενων πεδίων και μπορούν να πάρουν συγκεκριμένες τιμές. Για παράδειγμα, στα αλτιμετρικά προϊόντα Envisat GDR περιέχεται το πεδίο – δείκτης *altim_landocean_flag*, το οποίο παίρνει τις τιμές 0,1,2,3 ανάλογα με την επιφάνεια στην οποία έγιναν οι μετρήσεις. Δηλαδή παίρνει την τιμή 0 όταν η επιφάνεια είναι ωκεάνια ή ημίκλειστη θάλασσα, την τιμή 1 όταν πρόκειται για κλειστή θάλασσα ή λίμνη, την τιμή 2 για τους ηπειρωτικούς πάγους και τέλος την τιμή 3 όταν πρόκειται για ηπειρωτική επιφάνεια (στεριά). Με παρόμοιο τρόπο λειτουργούν όλοι οι δείκτες που υπάρχουν στα διάφορα αλτιμετρικά δεδομένα. Για τον ορισμό της επιθυμητής τιμής του δείκτη στο πεδίο των εκφράσεων χρησιμοποιείται ο τελεστής (*==*), ο οποίος αντιστοιχεί στο (*=*).

3. κατά τον ορισμό των ορίων ή των κατωφλίων που επιβάλλονται στα χρησιμοποιούμενα πεδία. Η πιο χαρακτηριστική περίπτωση είναι τα γεωγραφικά όρια, όπου ορίζονται οι ελάχιστες και οι μέγιστες τιμές στο γεωγραφικό πλάτος και μήκος της περιοχής ενδιαφέροντος. Αν για παράδειγμα ο χρήστης επιθυμεί να περιορίσει τους υπολογισμούς σε δεδομένα που προέρχονται από το γεωγραφικό μήκος 0ο – 30ο χρησιμοποιείται η έκφραση “is_bounded(0, lon, 30)”. Στην περίπτωση αυτή είναι χαρακτηριστική η χρήση της συνάρτησης *is_bounded*, μέσω της οποίας ορίζονται οι ελάχιστες και οι μέγιστες τιμές του επιλεγμένου πεδίου (εδώ *lon*).

1. Οι κατηγορίες των συναρτήσεων είναι:
2. Μαθηματικές και Τριγωνομετρικές
3. Στατιστικές
4. Λογικές
5. Σχεσιακές
6. Σταθερές
7. Τελεστές Bitwise
8. Ημερομηνία και Ώρα
9. Γεωγραφικές

5.4.3.3 Τύποι (Formulas)

Για τη διευκόλυνση των χρηστών όσον αφορά στην σύνταξη της έκφρασης Data, στην καρτέλα Operations υπάρχει ένας αριθμός έτοιμων τύπων. Οι τύποι αυτοί χρησιμοποιούνται σε τρεις βασικές περιπτώσεις:

1. κατά τον υπολογισμό του Ύψους της Επιφάνειας της Θάλασσας (SSH)
2. κατά τον υπολογισμό των Ανωμαλιών του Επιπέδου της Θάλασσας (SLA)
3. για τον διαχωρισμό και τη χρήση των στοιχείων εκείνων από τα χρησιμοποιούμενα πεδία που προέρχονται από μετρήσεις σε ωκεάνιες και μόνο επιφάνειες (Ocean Editing).

Παρατηρείται ότι, ενώ οι τύποι μπορούν να ομαδοποιηθούν στις τρεις παραπάνω κύριες κατηγορίες, στην πραγματικότητα διαφέρουν μεταξύ τους ανάλογα με την αλτιμετρική αποστολή για της οποίας τα δεδομένα έχουν δημιουργηθεί. Για παράδειγμα, ο τύπος για τον υπολογισμό του SSH για την σειρά αποστολών ERS είναι:

H_Sat - H_Alt - Dry_Cor - (H_Eot + H_Lt) - H_Set - SSB_Cor - Iono_Cor - Wet_Cor

ενώ για την αποστολή Jason-2 είναι:

alt - range_ku - model_dry_tropo_corr - (hf_fluctuations_corr + inv_bar_corr) - ocean_tide_sol1 - solid_earth_tide - pole_tide - sea_state_bias_ku - iono_corr_alt_ku - rad_wet_tropo_corr

Εύκολα μπορεί να αντιληφθεί κανείς ότι διαφέρουν σε μεγάλο βαθμό. Αυτό συμβαίνει διότι όλοι οι τύποι αποτελούνται από πεδία που περιέχονται στα αλτιμετρικά προϊόντα της κάθε αποστολής. Συνεπώς, εφόσον τα περιεχόμενα πεδία διαφέρουν από αποστολή σε αποστολή, είναι λογικό να διαφέρουν και οι αντίστοιχοι τύποι.

5.4.3.4 Αλγόριθμοι (Algorithms)

Ένα ακόμη εργαλείο του GUI αποτελούν οι έτοιμοι αλγόριθμοι που παρέχονται προς χρήση. Οι αλγόριθμοι αυτοί μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε περιπτώσεις πολύπλοκων εκφράσεων και δέχονται σαν στοιχεία εισόδου από το χρήστη τις τιμές των παραμέτρων με τις οποίες υλοποιούνται. Το BRAT διαθέτει έντεκα αλγορίθμους που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στις παρακάτω εφαρμογές:

1. στον προσδιορισμό της U (κατά μήκος των παραλλήλων) και της V (κατά μήκος των μεσημβρινών) συνιστώσας των γεωστροφικών ταχυτήτων, όταν τα δεδομένα από το αρχείο-πηγή είναι gridded.
2. στον προσδιορισμό των γεωστροφικών ταχυτήτων κατά μήκος του ίχνους της τροχιάς του δορυφόρου, όταν τα δεδομένα είναι along-track
3. για την εφαρμογή φίλτρων (Gaussian, Lanczos, Loess και Median) σε δεδομένα along-track
4. για την εφαρμογή των ίδιων φίλτρων σε δεδομένα gridded

Στη συνέχεια, θα αναφερθούν συνοπτικά οι διαθέσιμοι αλγόριθμοι με κριτήριο το είδος των δεδομένων στα οποία εφαρμόζονται (along-track data και gridded data).

5.4.3.4.1 Δεδομένα Along-track

Αλγόριθμος *BratAlgoGeosVelAtp*

Ο αλγόριθμος αυτός χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό των γεωστροφικών ταχυτήτων, δηλαδή των συνιστωσών της ταχύτητας των γεωστροφικών ρευμάτων που δημιουργούνται από τις οριζόντιες διαφορές πίεσης στη θαλάσσια επιφάνεια (π.χ. λόγω των ανέμων, της εξάτμισης κ.ά.) με ταυτόχρονη επίδραση της δύναμης Coriolis. Ως αποτέλεσμα δίνει την τιμή της συνιστώσας της γεωστροφικής ταχύτητας που είναι κάθετη στο ίχνος της τροχιάς του δορυφόρου. Σαν στοιχεία εισόδου, πρέπει ο χρήστης να εισάγει τα πεδία του γεωγραφικού πλάτους και του γεωγραφικού μήκους και ένα πεδίο από το αρχείο-πηγή που να περιέχει πληροφορίες σχετικά με το υψόμετρο. Συνήθως χρησιμοποιείται το υψόμετρο της επιφάνειας της θάλασσας σε σχέση με το γεωειδές (Absolute Dynamic Topography – ADT) ή σε σχέση με τη ΜΣΘ (Sea level Anomalies -SLA).

Αλγόριθμος *BratAlgoFilterGaussianAtp*

Ο αλγόριθμος *BratAlgoFilterGaussianAtp* είναι ένα γραμμικό μονοδιάστατο φίλτρο σταθμισμένου μέσου. Χρησιμοποιείται για λόγους εξομάλυνσης των δεδομένων και τα βάρη με βάση τα οποία υλοποιείται ο μετασχηματισμός υπολογίζονται από την γκαουσιανή κατανομή (κανονική κατανομή). Ο αλγόριθμος αυτός δέχεται σαν στοιχεία εισόδου:

1. το πεδίο στο οποίο επιθυμεί ο χρήστης να εφαρμόσει το φίλτρο ή κάποια έκφραση που είναι δυνατόν να περιέχει παραπάνω από ένα πεδίο
2. το μέγεθος του παραθύρου του φίλτρου (window size) με περιττό αριθμό.
3. την τυπική απόκλιση της κατανομής με προεπιλεγμένη την τιμή 1. Όταν η τιμή της τυπικής απόκλισης είναι μικρότερη της μονάδας έχει σαν αποτέλεσμα τη μείωση του θορύβου των μετρήσεων.
4. την τιμή του συντελεστή ο οποίος πολλαπλασιαζόμενος με την τιμή της τυπικής απόκλισης δίνει το διάστημα εμπιστοσύνης. Σαν προεπιλεγμένη τιμή από το πρόγραμμα εισάγεται η τιμή 3, δηλ. το διάστημα εμπιστοσύνης είναι $\pm 3\sigma$.
5. τον ελάχιστο αριθμό των έγκυρων σημείων, κάτω από τον οποίο δεν εφαρμόζεται το φίλτρο.
6. την τιμή της σημαίας για τον αν πρόκειται να εφαρμοστεί το φίλτρο ή όχι. Όταν η σημαία έχει την τιμή 0 το φίλτρο δεν εφαρμόζεται, ενώ όταν είναι 1 εφαρμόζεται.

Αλγόριθμος *BratAlgoFilterLanczosAtp*

Ο αλγόριθμος *BratAlgoFilterLanczosAtp* είναι, επίσης, ένα γραμμικό μονοδιάστατο σταθμισμένο φίλτρο χαμηλών συχνοτήτων (low-pass). Εδώ τα βάρη υπολογίζονται στο πεδίο συχνοτήτων χρησιμοποιώντας τον μετασχηματισμό Fourier. Δέχεται σαν στοιχεία εισόδου:

1. το πεδίο στο οποίο επιθυμεί ο χρήστης να εφαρμόσει το φίλτρο ή κάποια έκφραση που είναι δυνατόν να περιέχει παραπάνω από ένα πεδίο.
2. το μέγεθος του παραθύρου του φίλτρου με περιττό αριθμό.
3. τον αριθμό των σημείων που ορίζει το ρυθμό αφαίρεσης στοιχείων (cut-off period).
4. τον ελάχιστο αριθμό των έγκυρων σημείων, κάτω από τον οποίο δεν εφαρμόζεται το φίλτρο.
5. την τιμή της σημαίας για τον αν πρόκειται να εφαρμοστεί το φίλτρο ή όχι. Όταν η σημαία έχει την τιμή 0 το φίλτρο δεν εφαρμόζεται, ενώ όταν είναι 1 εφαρμόζεται.

Αλγόριθμος *BratAlgoFilterLoessAtp*

Ο αλγόριθμος *BratAlgoFilterLoessAtp* είναι ένα φίλτρο χαμηλών συχνοτήτων που χρησιμοποιείται κυρίως για εξομάλυνση. Λειτουργεί με βάση τη μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων για ανισοβαρείς παρατηρήσεις και γραμμικές εξισώσεις, καθώς και με ένα μοντέλο πολυωνύμων 2ου βαθμού. Δέχεται σαν στοιχεία εισόδου:

1. το πεδίο στο οποίο επιθυμεί ο χρήστης να εφαρμόσει το φίλτρο ή κάποια έκφραση που είναι δυνατόν να περιέχει παραπάνω από ένα πεδίο.
2. το πεδίο της έκφρασης X, σύμφωνα με τα στοιχεία του οποίου θα υπολογιστούν τα βάρη.
3. το μέγεθος του παραθύρου του φίλτρου με περιττό αριθμό.
4. τον ελάχιστο αριθμό των έγκυρων σημείων, κάτω από τον οποίο δεν εφαρμόζεται το φίλτρο.
5. την τιμή της σημαίας για τον αν πρόκειται να εφαρμοστεί το φίλτρο ή όχι. Όταν η σημαία έχει την τιμή 0 το φίλτρο δεν εφαρμόζεται, ενώ όταν είναι 1 εφαρμόζεται.

Αλγόριθμος *BratAlgoFilterMedianAtp*

Ο τελευταίος αλγόριθμος που διαθέτει το GUI για τα along-track data είναι ο *BratAlgoFilterMedianAtp*. Πρόκειται για ένα φίλτρο διαμέσου (median filter), το οποίο χρησιμοποιείται για τη μείωση του θορύβου (speckle noise) διατηρώντας, όμως, αναλλοίωτα τα ακραία στοιχεία. Είναι ένα μη γραμμικό φίλτρο σύμφωνα με το οποίο τα στοιχεία στοιχίζονται σε ένα παράθυρο ορισμένου από το χρήστη μεγέθους και επιλέγεται το μεσαίο. Δέχεται σαν στοιχεία εισόδου:

1. το πεδίο στο οποίο επιθυμεί ο χρήστης να εφαρμόσει το φίλτρο ή κάποια έκφραση που είναι δυνατόν να περιέχει παραπάνω από ένα πεδίο.
2. το μέγεθος του παραθύρου του φίλτρου.
3. τον ελάχιστο αριθμό των έγκυρων σημείων, κάτω από τον οποίο δεν εφαρμόζεται το φίλτρο.
4. την τιμή της σημαίας για τον αν πρόκειται να εφαρμοστεί το φίλτρο ή όχι. Όταν η σημαία έχει την τιμή 0 το φίλτρο δεν εφαρμόζεται, ενώ όταν είναι 1 εφαρμόζεται.

Δεδομένα *Gridded*

Αλγόριθμοι *BratAlgoGeosVelGridU* και *BratAlgoGeosVelGridV*

Οι αλγόριθμοι αυτοί χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό των γεωστροφικών ταχυτήτων. Ως αποτέλεσμα δίνουν τις τιμές των συνιστωσών της γεωστροφικής ταχύτητας U (κατά παράλληλο) και V (κατά μεσημβρινό) αντίστοιχα. Τα στοιχεία εισόδου είναι τα ίδια με εκείνα του αντίστοιχου αλγορίθμου για δεδομένα along-track (Αλγόριθμος *BratAlgoGeosVelAtp*), με μόνη εξαίρεση την εισαγωγή ενός ακόμα στοιχείου το οποίο εκφράζει την τιμή του γεωγραφικού πλάτους κάτω από την οποία δεν εφαρμόζεται ο αλγόριθμος. Το συγκεκριμένο στοιχείο εισόδου είναι απαραίτητο, διότι στο επίπεδο του Ισημερινού δεν ισχύει η δύναμη Coriolis, συνεπώς δεν έχει νόημα να υπολογιστούν γεωστροφικές ταχύτητες εκεί. Η προεπιλεγμένη τιμή είναι 5, δηλαδή ο αλγόριθμος δεν εφαρμόζεται για γεωγραφικά πλάτη μικρότερα των 5 μοιρών και ταυτόχρονα μεγαλύτερα των -5 μοιρών.

Αλγόριθμοι *BratAlgoFilterGaussianGrid* και *BratAlgoFilterLanczosGrid*

Οι αλγόριθμοι *BratAlgoFilterGaussianGrid* και *BratAlgoFilterLanczosGrid* έχουν ίδια λειτουργία και ίδια στοιχεία εισόδου με τους αντίστοιχους που χρησιμοποιούνται όταν τα δεδομένα είναι

along-track. Η μόνη διαφορά είναι ότι, επειδή πλέον τα φίλτρα είναι δισδιάστατα, η τιμή που εισάγει ο χρήστης σαν μέγεθος παραθύρου είναι $N \times N$, π.χ. 3×3 , 5×5 , 7×7 κ.λπ.

Αλγόριθμοι *BratAlgoFilterLoessGrid* και *BratAlgoFilterMedianGrid*

Το ίδιο ισχύει και για τους δύο αυτούς αλγορίθμους. Εδώ η διαφορά έγκειται στο γεγονός ότι σαν μέγεθος παραθύρου του φίλτρου εισάγονται δύο διαφορετικές τιμές, εκ των οποίων η πρώτη εκφράζει το πλάτος του παραθύρου και η δεύτερη το ύψους του. Αυτό σημαίνει ότι το παράθυρο σε αυτά τα φίλτρα δεν χρειάζεται να είναι τετραγωνικό.

Στατιστική ανάλυση

Το GUI δίνει τη δυνατότητα υπολογισμού ορισμένων στατιστικών δεικτών. Το εργαλείο αυτό είναι ιδιαίτερα χρήσιμο στην περίπτωση που στο dataset έχουν εισαχθεί δεδομένα από διαφορετικές ημερομηνίες. Τα στατιστικά μεγέθη που υπολογίζονται στο GUI είναι:

1. **MEAN:** υπολογίζει τη μέση τιμή όλων των στοιχείων ενός πεδίου για κάθε τιμή του X ή του (X,Y)
2. **COUNT:** επιστρέφει τον αριθμό των στοιχείων ενός πεδίου για κάθε τιμή του X ή του (X,Y)
3. **FIRST:** επιστρέφει το πρώτο στοιχείο ενός πεδίου με βάση την ταξινόμηση των αρχείων στην καρτέλα Datasets
4. **LAST:** επιστρέφει το τελευταίο στοιχείο ενός πεδίου με βάση την ταξινόμηση των αρχείων στην καρτέλα Datasets
5. **MAX:** δίνει τη μέγιστη τιμή ενός πεδίου
6. **MIN:** δίνει τη μέγιστη τιμή ενός πεδίου
7. **PRODUCT:** πολλαπλασιάζει το επιλεγμένο πεδίο για κάθε αρχείο μέσα στο dataset
8. **STDDEV:** υπολογίζει την τυπική απόκλιση όλων των στοιχείων ενός πεδίου για κάθε τιμή του X ή του (X,Y)
9. **SUBTRACTION:** αφαιρεί το επιλεγμένο πεδίο για κάθε αρχείο από το πρώτο στη λίστα του dataset
10. **SUM:** προσθέτει το επιλεγμένο πεδίο για κάθε αρχείο

Σημειώνεται ότι στα δεδομένα along-track, για ένα συγκεκριμένο ίχνος της τροχιάς ενός δορυφόρου, τα γεωγραφικά πλάτη και μήκη δεν είναι ακριβώς ίδια από τον ένα κύκλο στον άλλο. Συνεπώς, αν ο χρήστης επιθυμεί να υπολογίσει τη μέση τιμή ενός πεδίου από έναν αριθμό διαφορετικών κύκλων σε σχέση μόνο με το γεωγραφικό πλάτος και μήκος, θα πρέπει πρώτα να στρογγυλοποιήσει τις τιμές που περιέχονται στα αντίστοιχα πεδία (με τη συνάρτηση *round*). Οι υπολογισμοί των επιθυμητών στατιστικών μεγεθών αποθηκεύονται αυτόματα σε ένα αρχείο κειμένου (.txt) στο φάκελο της αντίστοιχης εργασίας στο δίσκο.

Ανάλυση και Φίλτρα

Όπως αναφέρθηκε νωρίτερα, οι εκφράσεις X και Y έχουν το ρόλο των αξόνων. Αυτό σημαίνει ότι όταν και οι δύο αυτές εκφράσεις περιέχουν πεδία, λειτουργούν σαν κάνναβος για τα δεδομένα. Ο χρήστης έχει τη δυνατότητα, λοιπόν, να ορίσει τις παραμέτρους του καννάβου, οι οποίες είναι η μέγιστη και ελάχιστη τιμή του κάθε άξονα, καθώς και το βήμα του. Με τον τρόπο αυτό ο χρήστης μπορεί να αξιοποιήσει ένα υποσύνολο των δεδομένων (αν ορίσει μεγαλύτερο βήμα) ανάλογα με την ακρίβεια που επιθυμεί ή και να εξάγει μικρότερη περιοχή (ορίζοντας κατάλληλα τη μέγιστη και ελάχιστη τιμή). Η ιδιότητα αυτή έχει μεγάλη χρησιμότητα, καθώς η πλειοψηφία των αλτιμετρικών προϊόντων αναφέρονται σε δεδομένα παγκόσμιας κάλυψης, ενώ πολλές εφαρμογές έχουν τοπικό χαρακτήρα.

Στο GUI, οι ελάχιστες και μέγιστες τιμές του γεωγραφικού μήκους μπορούν να πάρουν τιμές μέσα στο διάστημα [0,360], ενώ αυτές του γεωγραφικού πλάτους στο διάστημα [-90,90]. Αν οι εκφράσεις περιέχουν οποιαδήποτε άλλα πεδία, τότε οι ελάχιστες και μέγιστες τιμές ορίζονται από το χρήστη ανάλογα με το εύρος των τιμών που λαμβάνουν. Σε περίπτωση που δεν είναι γνωστές οι τιμές των πεδίων, το λογισμικό μπορεί να υπολογίσει και να αποδώσει αυτόματα την ελάχιστη και τη μέγιστη τιμή σε καθένα από αυτά.

Όσον αφορά το βήμα του καννάβου, η προεπιλεγμένη από το λογισμικό τιμή είναι 1/3ο όταν πρόκειται για το γεωγραφικό πλάτος και μήκος, ενώ είναι 1ο για οποιοδήποτε άλλο πεδίο. Ο χρήστης μπορεί να μεταβάλλει το βήμα σε μικρότερο (π.χ. 1/8ο) αν η εργασία απαιτεί μεγαλύτερη διακριτική ανάλυση, λαμβάνοντας, όμως, υπόψη ότι όσο μικρότερο είναι το βήμα, τόσο αυξάνονται οι υπολογισμοί για την εξαγωγή του αποτελέσματος και συνεπώς καθυστερεί η εκτέλεση του operation.

Εκτός από τα παραπάνω, μέσω της καρτέλας Operations μπορούν να εφαρμοστούν, άμεσα, κάποια φίλτρα στα δεδομένα με σκοπό την εξομάλυνσή τους, την αφαίρεση των χονδροειδών σφαλμάτων, καθώς και την εφαρμογή παρεμβολής σε αυτά. Συγκεκριμένα, τα φίλτρα αυτά είναι τα εξής:

1. Smooth: εξομαλύνει τις τιμές των δεδομένων όπου αυτά υπάρχουν (δεν πραγματοποιεί παρεμβολή)

2. Extrapolate: με την εφαρμογή παρεμβολής, συμπληρώνει τις τιμές των δεδομένων όπου αυτά δεν υπάρχουν

3. Loess: πραγματοποιεί τις δύο παραπάνω ενέργειες ταυτόχρονα

Η επιλογή του φίλτρου εξαρτάται από την εφαρμογή. Κάποιες γενικές παρατηρήσεις είναι ότι το φίλτρο Smooth διατηρεί διακριτά τα ίχνη της τροχιάς του δορυφόρου, το φίλτρο Extrapolate έχει την τάση να εξισορροπεί τα μέγιστα και τα ελάχιστα, καλύπτοντας τις περισσότερες φορές και ηπειρωτικές επιφάνειες, και τέλος το Loess έχει σαν αποτέλεσμα ένα συνδυασμό από τα δύο προηγούμενα. Ο χρήστης πρέπει, επίσης, να ορίσει την τιμή Loess cut-off. Όσο μεγαλύτερη τιμή λαμβάνει η τιμή αυτή, τόσο μεγαλώνει η ακτίνα επιρροής του φίλτρου και συνεπώς τόσο πιο πολύ διαφοροποιείται το αποτέλεσμα. Για δεδομένα along-track, η τιμή του Loess cut-off πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 30 για την εξαγωγή ορθών αποτελεσμάτων. Παραδείγματα χρήσης των παραπάνω φίλτρων υπάρχουν στο κεφάλαιο που ακολουθεί, κατά την παρουσίαση των αποτελεσμάτων των επιλεγμένων εφαρμογών.

Τέλος, σε αυτή την καρτέλα δίνεται η δυνατότητα εξαγωγής του αποτελέσματος από το εκτελεσμένο operation. Η αποθήκευσή του μπορεί να γίνει είτε σε μορφή netCDF, είτε σε αρχείο ASCII, Geo Tiff ή ακόμα και σε αρχείο αναγνώσιμο από το πρόγραμμα Google Earth (.kml). Είναι δυνατόν, επίσης, να αποθηκευτεί σε εικόνα μορφής .png, .jpeg, .bmp, .tiff και .pnm.

Οπτικοποίηση αποτελεσμάτων

Μετά την εκτέλεση του operation στην ομώνυμη καρτέλα, ακολουθεί η αναπαράσταση των αποτελεσμάτων γραφικά. Αυτό το στάδιο της διαδικασίας πραγματοποιείται εν μέρει στην τρίτη καρτέλα του GUI, **Views**, και εν μέρει στο περιβάλλον της εφαρμογής BratDisplay (βλ. Ενότητα 4.5). Η κύρια χρησιμότητα της καρτέλας Views είναι ότι οι ρυθμίσεις που γίνονται από το χρήστη για την οπτικοποίηση αποθηκεύονται σαν parameter file στο φάκελο της εργασίας στο δίσκο, γεγονός που καθιστά δυνατή την ανάκτησή του για οποιαδήποτε μελλοντική χρήση χωρίς να χρειάζεται να ορίζονται εκ νέου όλες οι παράμετροι. Σημειώνεται ότι οπτικοποίηση μπορεί να γίνει μόνο στα δεδομένα που έχουν επεξεργαστεί στις δύο προηγούμενες καρτέλες.

Στην καρτέλα Views εμφανίζονται σε τρεις κατηγορίες τα operation που έχουν εκτελεστεί στη συγκεκριμένη εργασία, και ειδικότερα όλες οι εκφράσεις καθενός operation, ανάλογα με τον τρόπο που ορίστηκαν. Οι κατηγορίες αυτές είναι οι:

1. **$Y=F(X)$** : όταν έχει συμπληρωθεί μόνο η έκφραση X. Ουσιαστικά πρόκειται για την αναπαράσταση καμπύλης.
2. **$Z=F(X,Y)$** : όταν έχουν ορισθεί και οι δύο εκφράσεις, X και Y. Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν οι οπτικοποιήσεις ενός πεδίου συναρτήσε δύο άλλων.

3. **$Z=F(\text{Lon},\text{Lat})$** : όταν έχουν ορισθεί και οι δύο εκφράσεις X και Y με τα πεδία «γεωγραφικό μήκος» και «γεωγραφικό πλάτος» αντίστοιχα.

Αναφέρεται γενικά ότι στην περίπτωση που $X \rightarrow$ γεωγραφικό μήκος και $Y \rightarrow$ γεωγραφικό πλάτος, το operation εμφανίζεται μόνο στην κατηγορία $Z=F(\text{Lon},\text{Lat})$, διαφορετικά εμφανίζεται στην $Y=F(X)$ και στην $Z=F(X,Y)$. Εξαίρεση αποτελούν οι περιπτώσεις των εκφράσεων που εμπεριέχουν πεδία αλτιμετρικών κυματομορφών. Εδώ, ορίζεται μόνο η έκφραση X , αλλά το αντίστοιχο εκτελεσμένο operation εμφανίζεται στην κατηγορία $Z=F(X,Y)$. Αυτό συμβαίνει διότι τα δεδομένα των κυματομορφών είναι δομημένα σε πίνακες μέσα στα πεδία και έτσι οι δείκτες των στοιχείων (index) του πίνακα λειτουργούν σαν συμπληρωματικό πεδίο. Ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να αναπαραστήσει πάνω από ένα operation ταυτόχρονα δεδομένου ότι πληρούνται κάποιες προϋποθέσεις :

1. Για την $Y=F(X)$: η έκφραση X πρέπει να είναι ορισμένη με το ίδιο πεδίο σε όλα τα operation και οι σχέσεις στην έκφραση Data Expression πρέπει να έχουν ίδιες μονάδες μέτρησης (π.χ. m, αλλά και cm, mm).
2. Για την $Z=F(X,Y)$: οι εκφράσεις X και Y πρέπει να είναι ορισμένες με τα ίδια πεδία, αλλά στην έκφραση Data Expression μπορεί να υπάρχει οτιδήποτε.

Σε αυτή την καρτέλα μπορούν, επίσης, να ορισθούν οι γενικές παράμετροι της οπτικοποίησης. Κάποιες από αυτές είναι διαθέσιμες και στο περιβάλλον του BratDisplay, αλλά, όπως αναφέρθηκε και νωρίτερα, είναι προτιμότερο να ορισθούν εδώ, ώστε να αποθηκευτούν και να μην χρειάζεται να ορίζονται κάθε φορά εκ νέου. Οι παράμετροι αυτές εν συντομία αφορούν:

- a. τον τίτλο της οπτικοποίησης
- b. την εστίαση κατά X και Y (αν υπάρχει άξονας Y). Η ιδιότητα αυτή είναι χρήσιμη, όταν υπάρχει η ανάγκη εστίασης σε μία συγκεκριμένη περιοχή.
- c. την χαρτογραφική προβολή που θα χρησιμοποιηθεί. Στο GUI υπάρχουν έντεκα διαφορετικές προβολές. Ο χρήστης επιλέγει κάποια από αυτές ανάλογα με την φύση και τον χαρακτήρα (παγκόσμιος, τοπικός κ.λπ.) της εφαρμογής. Για παράδειγμα, όπως διαπιστώθηκε κατά την εκπόνηση της εργασίας, αν η εφαρμογή αφορά την απεικόνιση του Μέσου Επιπέδου

της Θάλασσας παγκοσμίως, προτιμάται η προβολή Plate Carrée, η οποία προσφέρει εποπτική άποψη όλης της Γης. Ενώ αν η εφαρμογή είναι η απεικόνιση των ρευμάτων στον Ατλαντικό Ωκεανό, μπορεί να χρησιμοποιηθεί η 3D προβολή (3D projection), ώστε να είναι πιο παραστατική. Σημειώνεται ότι η προβολή Plate Carrée ανήκει στις λεγόμενες ισοορθογώνιες προβολές που είναι, επίσης, γνωστές στην ξενόγλωσση βιβλιογραφία και με τις ονομασίες *equirectangular projection* ή *equidistant cylindrical projection* ή *geographic projection* ή *la carte parallélogrammatique projection*. Ένα από τα κύρια χαρακτηριστικά της είναι ότι οι πολικές περιοχές εμφανίζονται λιγότερο παραμορφωμένες σε κλίμακα και εμβαδόν από ό,τι στην περίπτωση (κυλινδρική) γνωστή Μερκατορική προβολή (Snyder and Voxland 1989). Αντίστοιχα η 3D προβολή χρησιμοποιεί τις ίδιες αρχές της ορθογραφικής (*orthographic projection*) ή/και της προοπτικής προβολής (*perspective projection*) προκειμένου να δοθεί η τρισδιάστατη αίσθηση στην 2D απεικόνιση ενός φαινομένου.

Ακολουθεί ο ορισμός των παραμέτρων των εκφράσεων που εμπλέκονται στην οπτικοποίηση. Το περιεχόμενό τους εξαρτάται από την κατηγορία στην οποία ανήκει η κάθε οπτικοποίηση ($Y=F(X)$, $Z=F(X,Y)$, $Z=F(\text{Lon},\text{Lat})$). Για την $Y=F(X)$ μπορούν να ορισθούν τα ονόματα των αξόνων, δηλαδή των εκφράσεων. Για την $Z=F(X,Y)$, εκτός από τα ονόματα, μπορούν να ορισθούν η ελάχιστη και η μέγιστη τιμή για τη χρωματική διαβάθμιση, η εφαρμογή χρωματικής παλέτας ή/και ισοϋψών, η αντιστροφή των αξόνων, ενώ στην περίπτωση διανυσματικής απεικόνισης (π.χ. απεικόνιση των γεωστροφικών ταχυτήτων στις συνιστώσες τους U και V) ορίζεται η συνιστώσα $A-\Delta$ και η συνιστώσα $B-N$. Τέλος, για την $Z=F(X,Y)$, παρέχονται οι ίδιες δυνατότητες με την προηγούμενη, με τη διαφορά ότι εδώ οι άξονες δεν μπορούν να αντιστραφούν, καθώς πρόκειται για χάρτη.

Εξέλιξη εκτελέσεων

Η τέταρτη και τελευταία καρτέλα είναι η **Logs**, όπου παρουσιάζεται η εξέλιξη των εκτελέσεων που έχουν ορισθεί από το χρήστη. Σε αυτή την καρτέλα εμφανίζονται, επίσης, οι εφαρμογές του λογισμικού που χρησιμοποιούνται εκείνη τη στιγμή (εφαρμογές κονσόλας). Σημαντικό είναι το γεγονός ότι εδώ εμφανίζονται και οι περιγραφές των πιθανών σφαλμάτων. Έτσι, ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να δει το σφάλμα και να επιδιορθώσει τις εκφράσεις. Τέλος, από την καρτέλα Logs μπορεί να τερματιστεί ένα operation χωρίς να έχει ολοκληρωθεί.

5.5 Περιβάλλον Οπτικοποιήσεων (BratDisplay)

Το BRAT διαθέτει ένα ξεχωριστό περιβάλλον για το χειρισμό και την ανάδειξη των οπτικοποιήσεων, το οποίο ενεργοποιείται αυτόματα μετά την εκτέλεση ενός View από την ομώνυμη καρτέλα. Πρόκειται, στην ουσία για την εφαρμογή Γραφικού Περιβάλλοντος Χρήστη BratDisplay (βλ. Ενότητα 4.2.2.3), η οποία αποτελεί συνιστώσα του BratGui, αλλά λειτουργεί και σαν αυτόνομη εφαρμογή. Στο BratDisplay, μπορεί ο χρήστης να πραγματοποιήσει όλες τις απαραίτητες ρυθμίσεις για τη βελτίωση του τελικού αποτελέσματος. Οι ρυθμίσεις αυτές είναι διαφορετικές ανάλογα με την κατηγορία οπτικοποίησης. Στη συνέχεια, περιγράφονται οι βασικότερες από αυτές.

5.5.1 Κατηγορία Οπτικοποίησης $Y=F(X)$ (Καμπύλες)

Όταν ο τύπος της οπτικοποίησης είναι $Y=F(X)$, προβάλλεται η καμπύλη που αναπαριστά τις τιμές που προκύπτουν από την αντίστοιχη έκφραση Data Expression ή τις τιμές ενός πεδίου(στην περίπτωση που χρησιμοποιείται μόνο ένα πεδίο σαν έκφραση Data Expression) συναρτήσεως της έκφρασης X. Η τελευταία είναι στην ουσία ο οριζόντιος άξονας. Όπως αναφέρθηκε νωρίτερα, οι καμπύλες είναι δυνατόν να είναι παραπάνω από μία. Για παράδειγμα, αν θέλει κανείς να ελέγξει την εφαρμογή ενός φίλτρου, μπορεί να προβάλλει ταυτόχρονα την καμπύλη που προκύπτει από τα δεδομένα χωρίς τη χρήση του φίλτρου και αυτή που προκύπτει με τη χρήση του φίλτρου. Με τον τρόπο αυτό μπορούν εύκολα να ανιχνευθούν οι διαφορές και να κριθεί η αποτελεσματικότητά του.

Οι ρυθμίσεις που μπορούν να γίνουν σε αυτή την περίπτωση αφορούν την ονοματολογία τόσο ολόκληρης της οπτικοποίησης, όσο και των αξόνων, την εστίαση σε πιθανή περιοχή τιμών, καθώς και την απεικόνιση της καμπύλης. Ο χρήστης μπορεί να μεταβάλλει το χρώμα απόδοσης της κάθε καμπύλης, κάτι που είναι πολύ χρήσιμο στην περίπτωση πολλαπλών οπτικοποιήσεων, το πάχος της και την απόδοση των διαφορετικών σημείων, που αποτελούν τα μέγιστα και τα ελάχιστα αυτής.

5.5.2 Κατηγορία Οπτικοποίησης $Z=F(Lon,Lat)$ (Χάρτες)

Οι οπτικοποιήσεις της κατηγορίας $Z=F(Lon,Lat)$ είναι χάρτες που αναπαριστούν την έκφραση Data Expression συναρτήσεως του γεωγραφικού μήκους (οριζόντιος άξονας) και του γεωγραφικού πλάτους (κάθετος άξονας).

Εδώ, ο χρήστης μπορεί να μεταβάλλει το είδος της χαρτογραφικής προβολής (σε σχέση με αυτή που είχε επιλέξει από την καρτέλα Views), να ορίσει το κέντρο της απεικόνισης στις δισδιάστατες προβολές και να ορίσει τις απαραίτητες παραμέτρους σχετικά με την χρωματική κλίμακα και την εμφάνιση ισοϋψών. Αν πρόκειται για διανυσματική απεικόνιση, δίνεται η

δυνατότητα ρύθμισης των παραμέτρων των διανυσμάτων (βέλη). Και εδώ, μπορούν να μεταβληθούν τις μέγιστες και ελάχιστες τιμές (εύρος τιμών) της απεικόνισης μέσω της έκφρασης Data Expression και να γίνει εστίαση στην περιοχή ενδιαφέροντος.

5.5.3 Κατηγορία Οπτικοποίησης $Z=F(X,Y)$

Οι ρυθμίσεις αυτής της κατηγορίας είναι οι ίδιες με τη $Y=F(X)$ με μόνο διαφορά την ύπαρξη δύο αντί του ενός αξόνων και συνεπώς την παραμετροποίηση και των δύο αξόνων.

Όλα τα παραπάνω είδη οπτικοποιήσεων μπορεί να αποθηκευτούν μέσω του BratDisplay σε μορφή εικόνας (.bmp, .jpeg, .png, .pnm, .tiff).

5.6 BratScheduler

Το BratScheduler είναι η τρίτη εφαρμογή του Γραφικού Περιβάλλοντος Χρήστη, η οποία επιτρέπει την αναβολή και εκτέλεση αργότερα των operation. Είναι προσβάσιμο από την καρτέλα Operations, αλλά και από ξεχωριστό εικονίδιο. Για να εκτελεστούν τα προγραμματισμένα operation, πρέπει η εφαρμογή αυτή να είναι ενεργοποιημένη. Κατά την εκπόνηση της παρούσας εργασίας, το BratScheduler δεν χρησιμοποιήθηκε, καθώς δεν υπήρξε η ανάγκη για ετεροχρονισμένες εκτελέσεις. Για το λόγο αυτό, δεν αναφέρονται στο παρόν κεφάλαιο περαιτέρω λεπτομέρειες για τη χρήση του.

6. Ανάδειξη του BRAT

6.1 Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο, γίνεται η παρουσίαση συγκεκριμένων χαρακτηριστικών εφαρμογών της Δορυφορικής Αλτιμετρίας, οι οποίες εκπονήθηκαν στο περιβάλλον του λογισμικού BRAT, με περιοχή εστίασης της μελέτης την ευρύτερη περιοχή της Μεσογείου Θάλασσας. Ο κύριος σκοπός της πραγματοποίησης των εφαρμογών αυτών ήταν η ανάδειξη πρακτικών εφαρμογών του λογισμικού BRAT και η διερεύνηση των δυνατοτήτων και των εργαλείων του.

Τα πλούσια σε μορφή διαθέσιμα αλτιμετρικά δεδομένα από τους διάφορους φορείς παροχής τους, επιτρέπουν στους χρήστες να πραγματοποιήσουν έναν μεγάλο αριθμό διαφορετικών εφαρμογών στο BRAT, ωκεανογραφικού, κλιματολογικού, υδρολογικού, γεωδαιτικού χαρακτήρα κ.ά. Στην παρούσα διπλωματική εργασία, η επιλογή των εφαρμογών έγινε με βάση τον επίκαιρο χαρακτήρα τους, αλλά και τη σχετικότητά τους.

Συγκεκριμένα, οι Ανωμαλίες του Επιπέδου της Θάλασσας σχετίζονται με την άνοδο της στάθμης της. Το φαινόμενο αυτό, το οποίο αποδίδεται στην κλιματική αλλαγή, αποτελεί ένα πεδίο υψηλού ενδιαφέροντος και εκτεταμένης έρευνας τα τελευταία χρόνια κυρίως λόγω των διαφαινόμενων καταστροφικών κοινωνικών και οικονομικών επιπτώσεων, ιδιαίτερα στις παράκτιες περιοχές. Για το λόγο αυτό, κρίθηκε σκόπιμο να εξετασθεί και στο περιβάλλον του BRAT. Επιπλέον, η Απόλυτη Δυναμική Τοπογραφία είναι φαινόμενο αλληλένδετο με τις Ανωμαλίες του Επιπέδου της Θάλασσας. Έτσι, στην εργασία πραγματοποιήθηκε η μελέτη και αυτών των φαινομένων.

Σαν κύρια πηγή άντλησης των δεδομένων αυτών χρησιμοποιήθηκε η διαδικτυακή υπηρεσία παροχής αλτιμετρικών δεδομένων AVISO+ της CNES και συγκεκριμένα το εκάστοτε Πρωτόκολλο Μεταφοράς Αρχείων (File Transfer Protocol, FTP). Η επιλογή της συγκεκριμένης υπηρεσίας έγινε λόγω της πληθώρας σύγχρονων διαθέσιμων δεδομένων, κατάλληλα για την εκπόνηση της πλειοψηφίας των πιθανών εφαρμογών σε ένα λογισμικό σαν το BRAT. Η απόκτησή τους εξ ολοκλήρου μέσω του Διαδικτύου, καθώς επίσης, και η κατανόηση του περιεχομένου τους με τη βοήθεια του συνόλου των εγχειριδίων που παρέχονται από την υπηρεσία ήταν, σε σχέση με άλλες υπηρεσίες, ευκολότερη.

Αποτελέσματα των προαναφερθέντων εφαρμογών αποτελεί ένας αριθμός χαρτών, που προέκυψε από την επεξεργασία των εκάστοτε δεδομένων στο BRAT. Όλοι οι χάρτες είναι της μορφής $Z=F(\text{Lon}, \text{Lat})$, δηλαδή έχουν σαν άξονες X και Y (αντίστοιχα εκφράσεις X και Y στο περιβάλλον του BRAT) το γεωγραφικό μήκος και το γεωγραφικό πλάτος αντίστοιχα.

Περίπτωση 1: Μέση στάθμη της θάλασσας

Δεδομένα

Είδος δεδομένων: Gridded

Κατηγοριοποίηση με βάση το χρόνο διάθεσής τους: Delayed Time (DT)

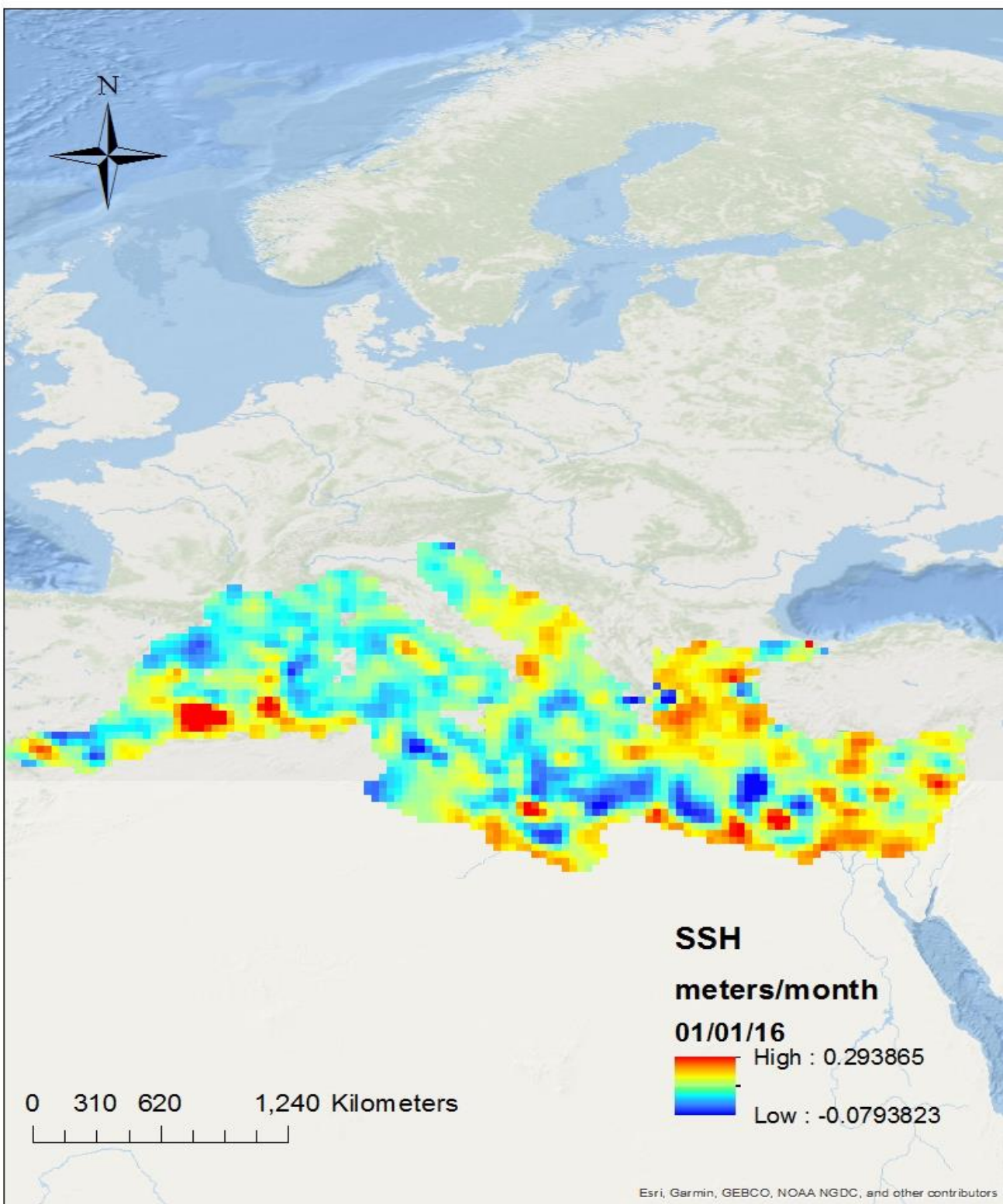
Κατηγοριοποίηση με βάση τις χρησιμοποιούμενες αποστολές: Multi-mission

Χωρική κάλυψη: Μεσόγειος Θάλασσα (30°B - 46°B, -6°A - 36°A)

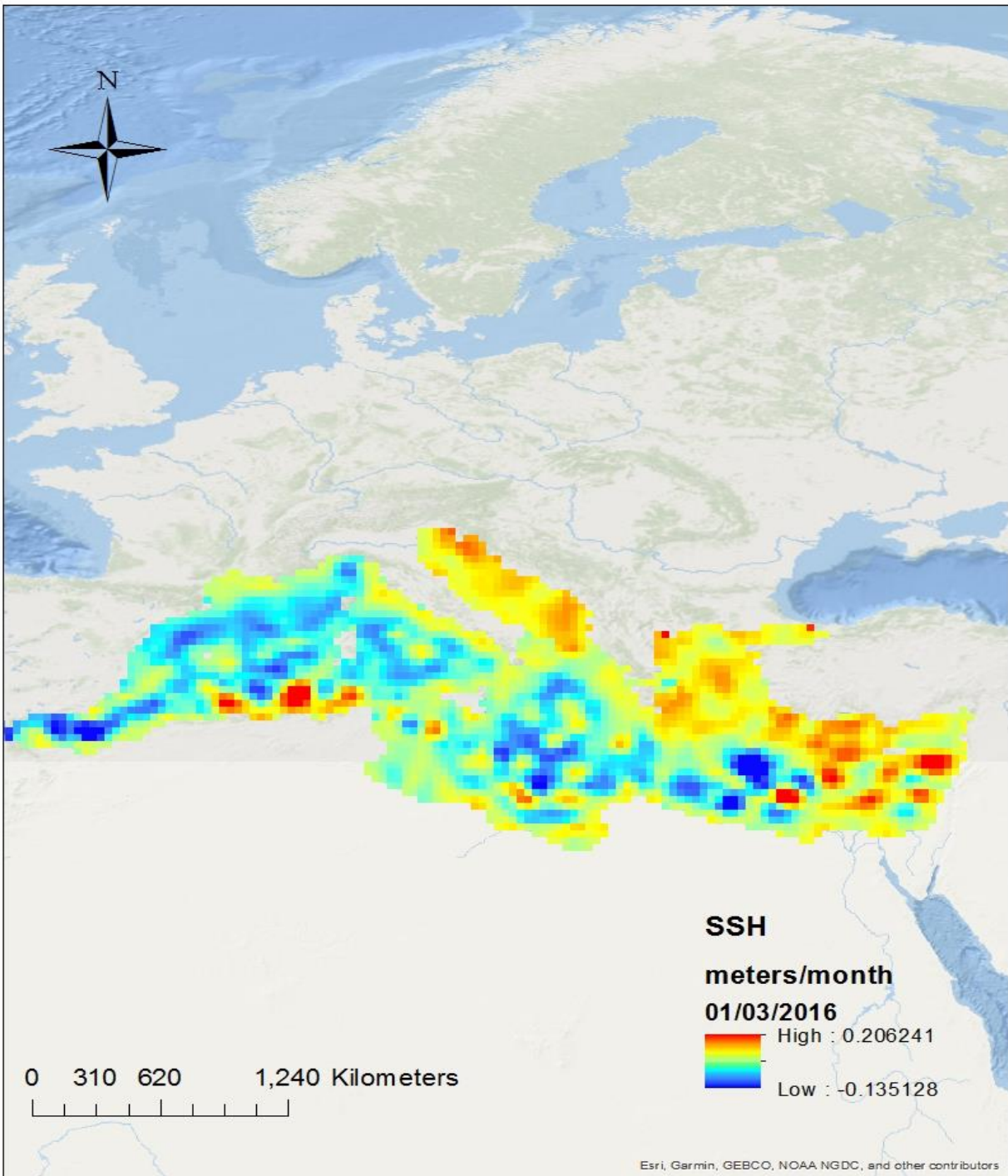
Χρονική κάλυψη: από τον Ιανουάριο του 1993 και έπειτα

Μορφότυπος: NetCDF

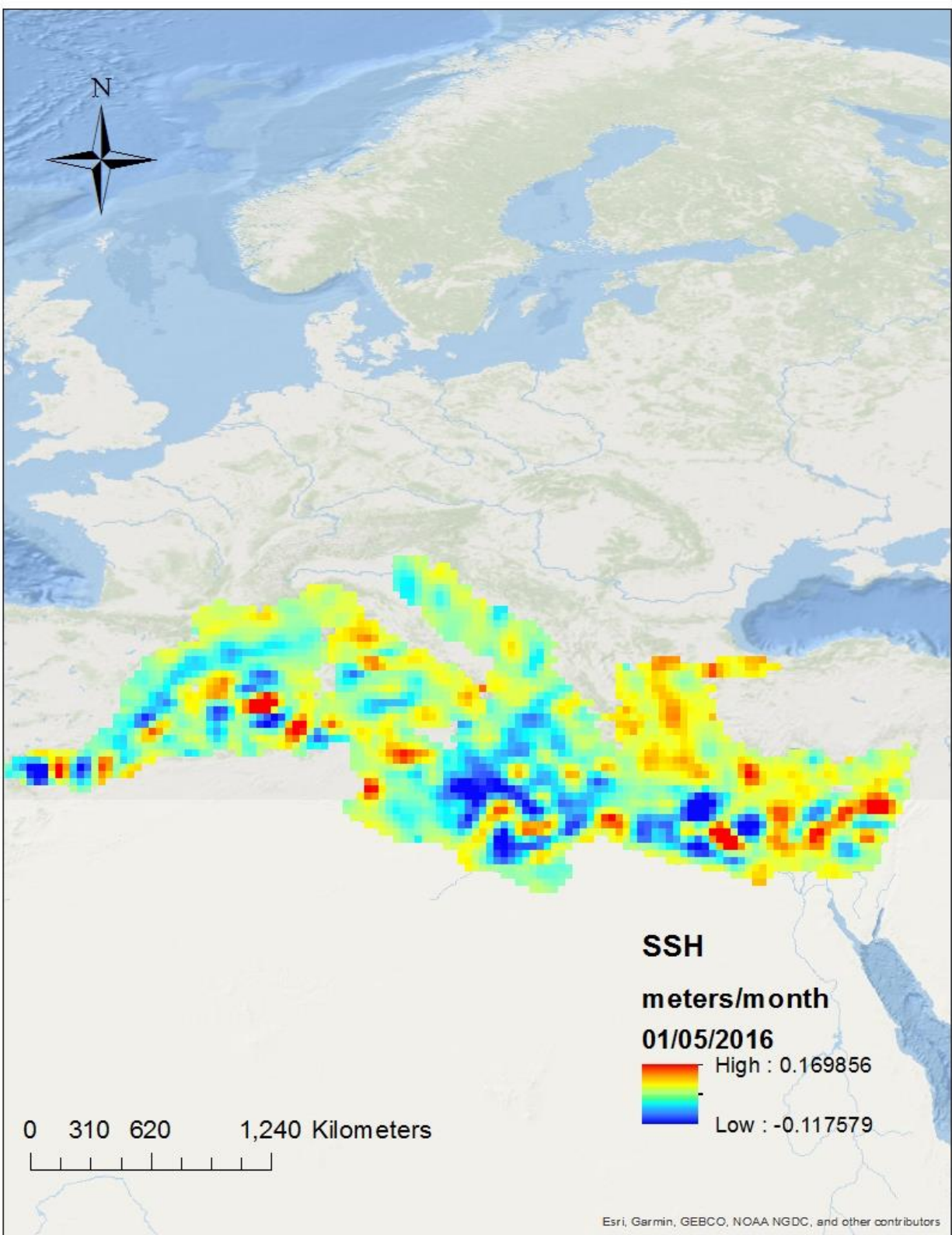
Copyright : 2010-ongoing Cnes-CLS και 2009-ongoing Cnes-CLS αντίστοιχα



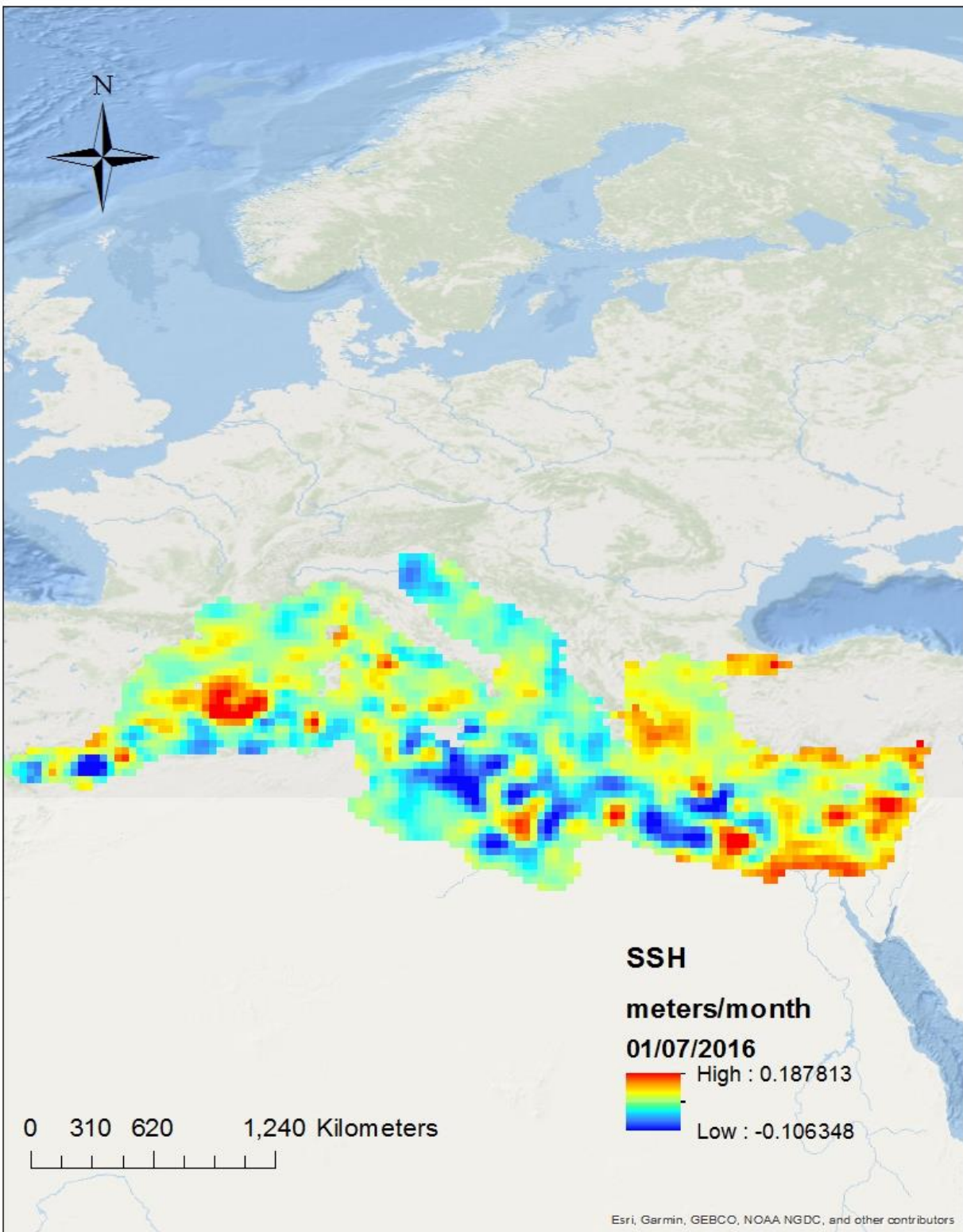
Εικόνα 6.1 Χάρτης Ανωμαλιών του Επιπέδου της Θάλασσας (MSLA) για τον μήνα Ιανουάριο του έτους 2016.



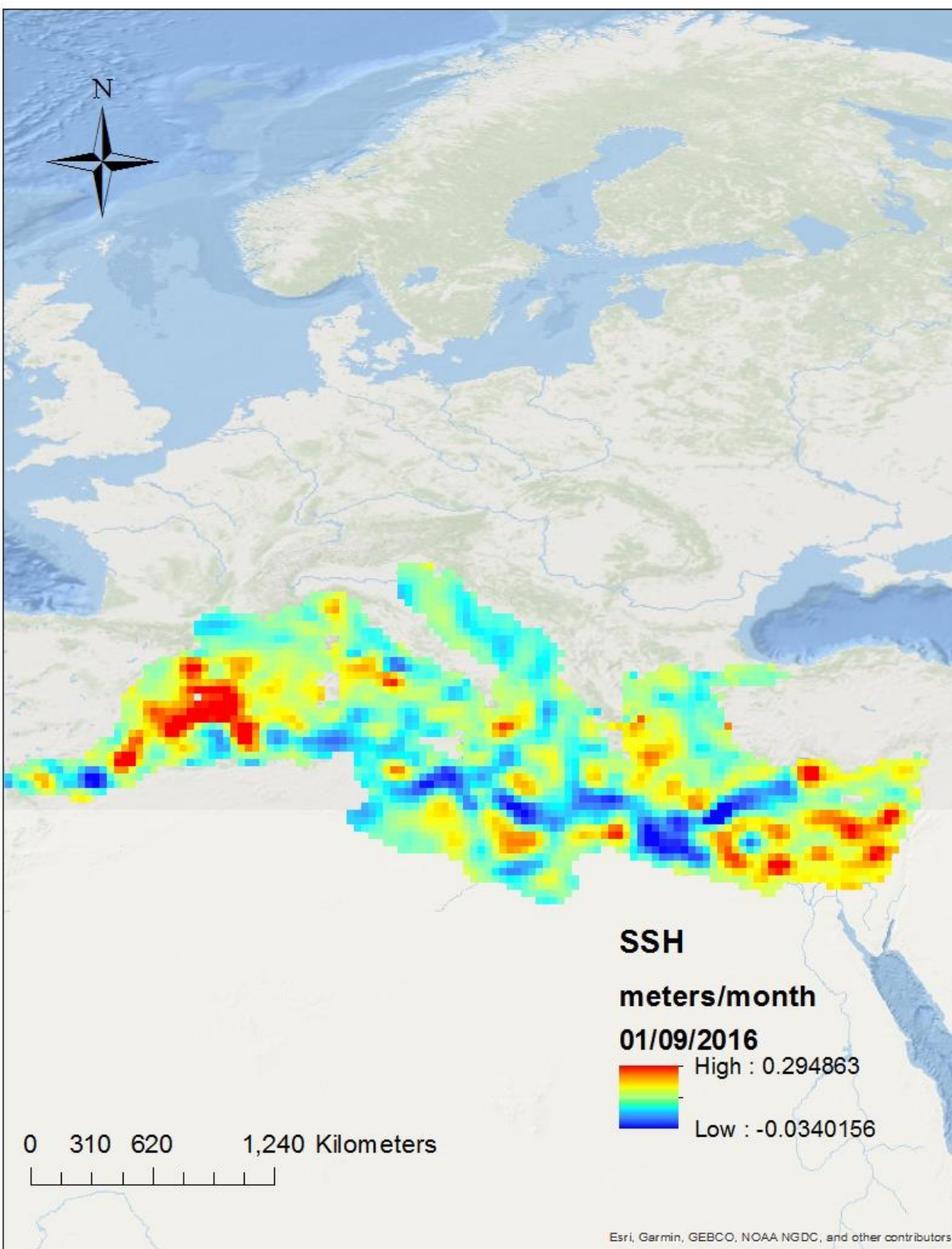
Εικόνα 6.2 Χάρτης Ανωμαλιών του Επιπέδου της Θάλασσας (MSLA) για τον μήνα Μάρτιο του έτους 2016.



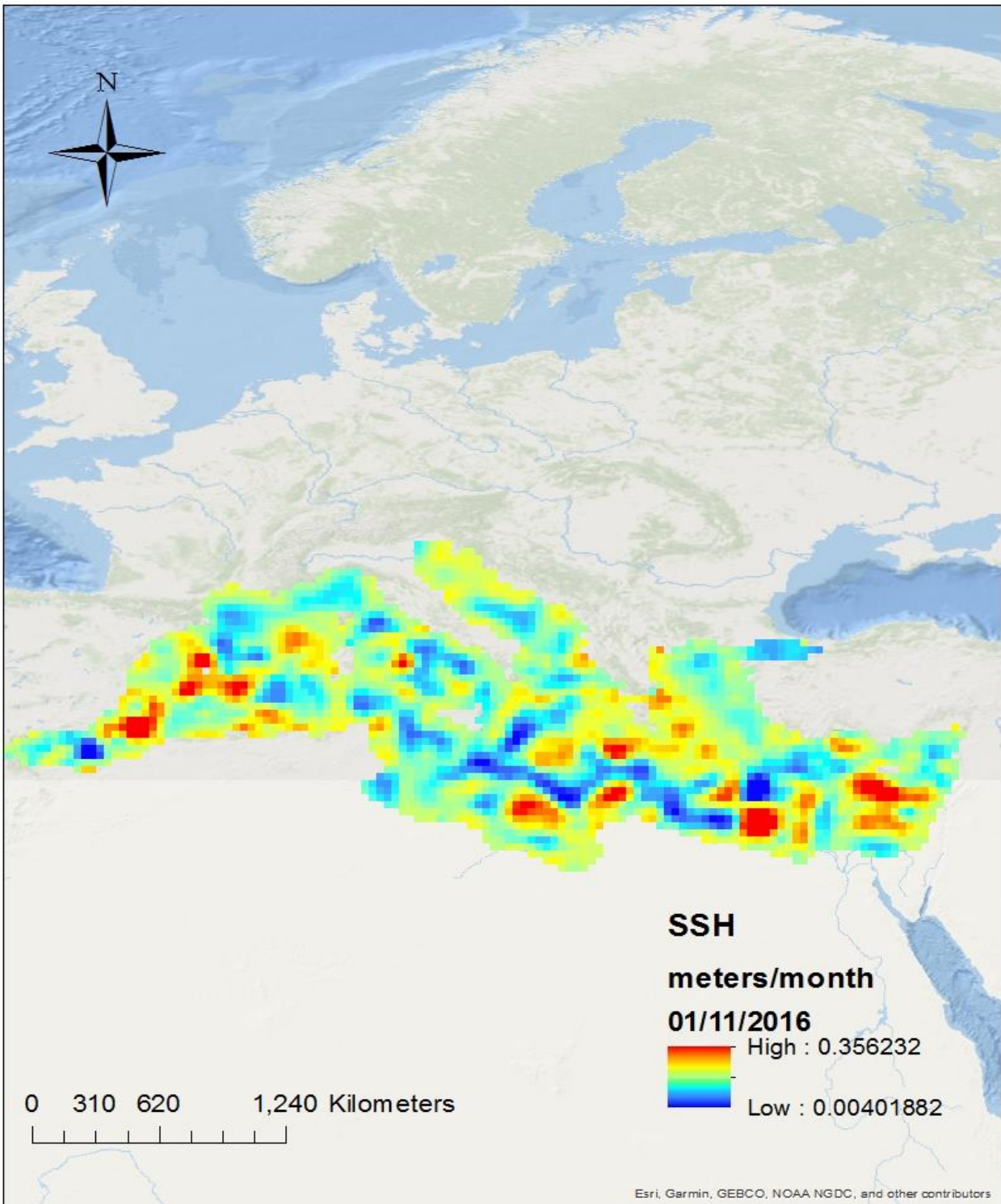
Εικόνα 6.3 Χάρτης Ανωμαλιών του Επιπέδου της Θάλασσας (MSLA) για τον μήνα Μάιο του έτους 2016.



Εικόνα 6.4 Χάρτης Ανωμαλιών του Επιπέδου της Θάλασσας (MSLA) για τον μήνα Ιούλιο του έτους 2016.



Εικόνα 6.5 Χάρτης Ανωμαλιών του Επιπέδου της Θάλασσας (MSLA) για τον μήνα Σεπτέμβριο του έτους 2016.



Εικόνα 6.6 Χάρτης Ανωμαλιών του Επιπέδου της Θάλασσας (MSLA) για τον μήνα Νοέμβριο του έτους 2016.

Συμπεράσματα

Παρατηρώντας, βλέπουμε ότι τους μήνες Ιανουάριο και Νοέμβριο έχουμε τις υψηλότερες τιμές στην μεταβολή της στάθμης της θάλασσας ενώ τον Μάρτιο τις μικρότερες. Γενικά, Οι αλλαγές του υψομέτρου της επιφάνειας της θάλασσας ποικίλλουν λόγω τριών βασικών διεργασιών που λαμβάνουν χώρα στις ωκεάνιες περιοχές, οι οποίες είναι:

1. Η αυξομείωση του όγκου των ωκεανών με μάζες νερού (eustatic effect) π.χ. προερχόμενες από τις αλλαγές κατά τη διάρκεια και μετά την εποχή των παγετώνων ή, εναλλακτικά, μια αλλαγή στο σχήμα της λεκάνης του ωκεανού (π.χ. λόγω τεκτονικών διεργασιών) και ως εκ τούτου, μια αλλαγή στην ποσότητα του νερού που η θάλασσα μπορεί να κρατήσει. Η ευστατική αλλαγή είναι πάντα ένα παγκόσμιο φαινόμενο.
2. Οι γεωλογικές διεργασίες που μεταβάλλουν τη γεωμορφολογία των ωκεάνιων πυθμένων (Niedzielski and Kosek 2009), με κυριότερη μορφή εκείνη της ισοστασίας (isostatic effect), η οποία είναι μια τοπική αλλαγή της στάθμης της θάλασσας.
3. Παλιρροιακά φαινόμενα

Επίσης παρατηρούμε ότι κυρίως στο Αιγαίο Πέλαγος και στις ακτές της Τουρκίας και Αιγύπτου υπάρχουν οι μεγαλύτερες τιμές ενώ στο κέντρο της Μεσογείου είναι οι μικρότερες.

Περίπτωση 2: Απόλυτη Δυναμική Τοπογραφία

Είδος δεδομένων: Gridded

Κατηγοριοποίηση με βάση το χρόνο διάθεσής τους: Delayed (DT)

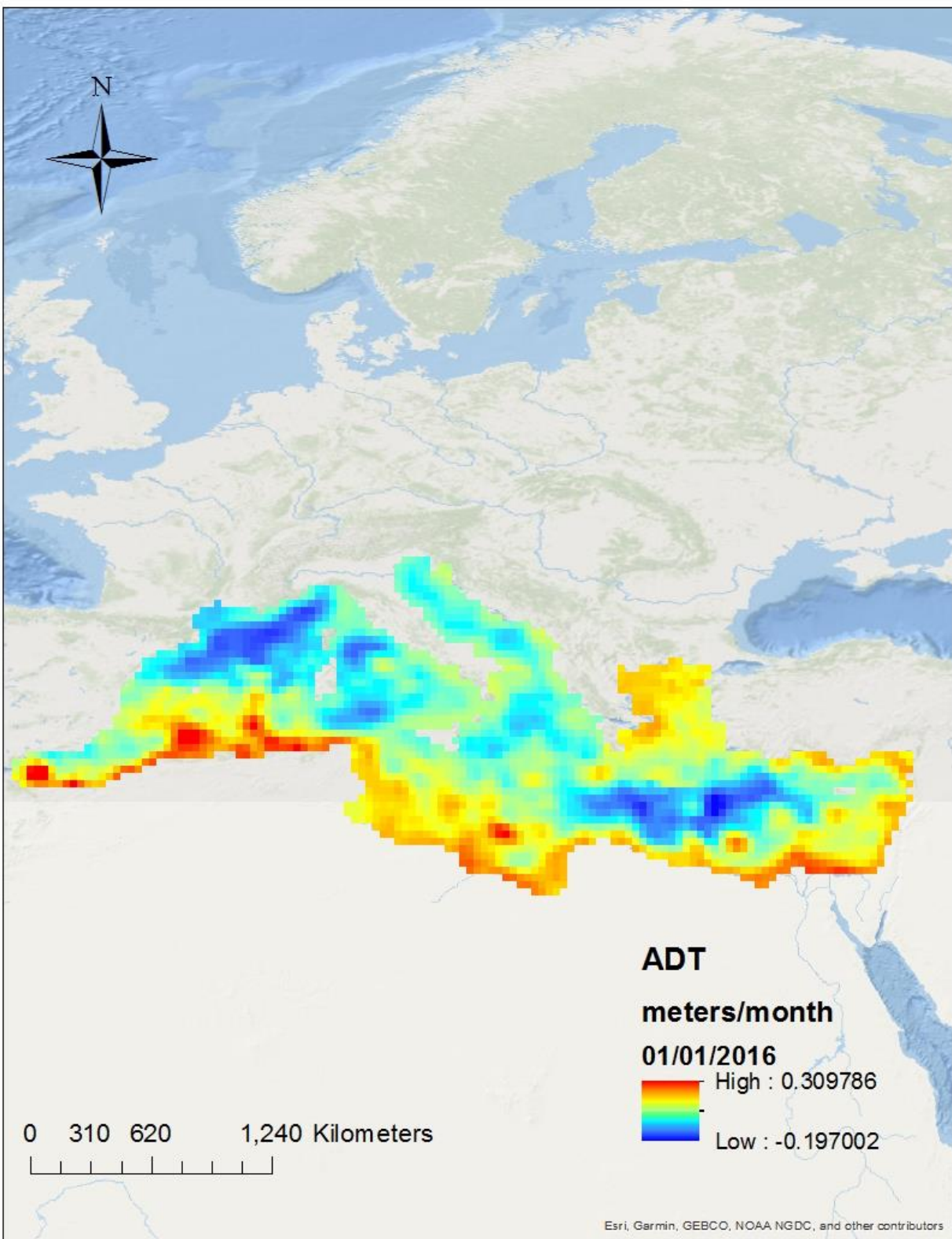
Κατηγοριοποίηση με βάση τις χρησιμοποιούμενες αποστολές: Multi-mission

Χρονική κάλυψη: από τον Ιανουάριο του 1993 μέχρι το Δεκέμβριο του 2012

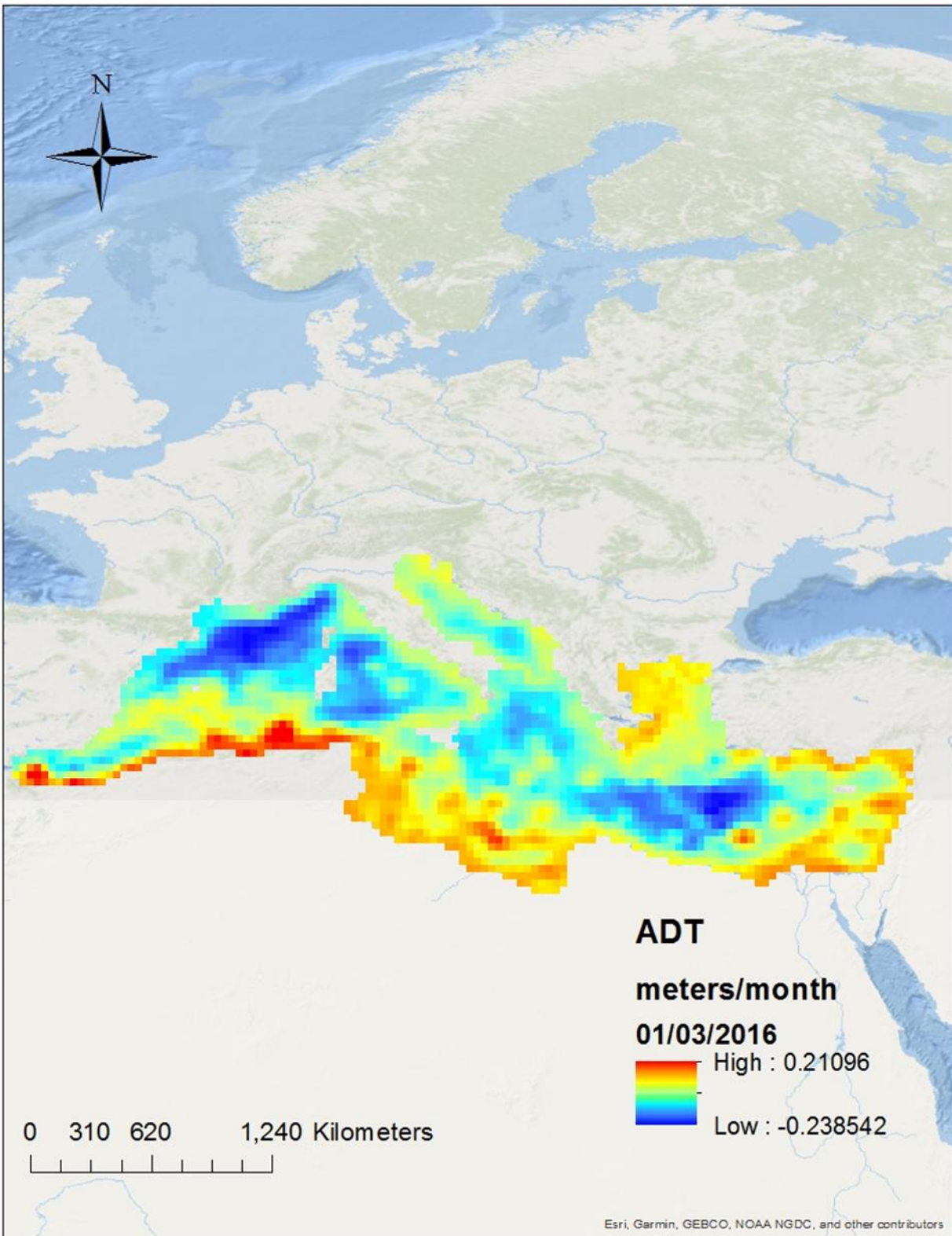
Μορφότυπος: NetCDF

Συχνότητα δεδομένων: Μηνιαία

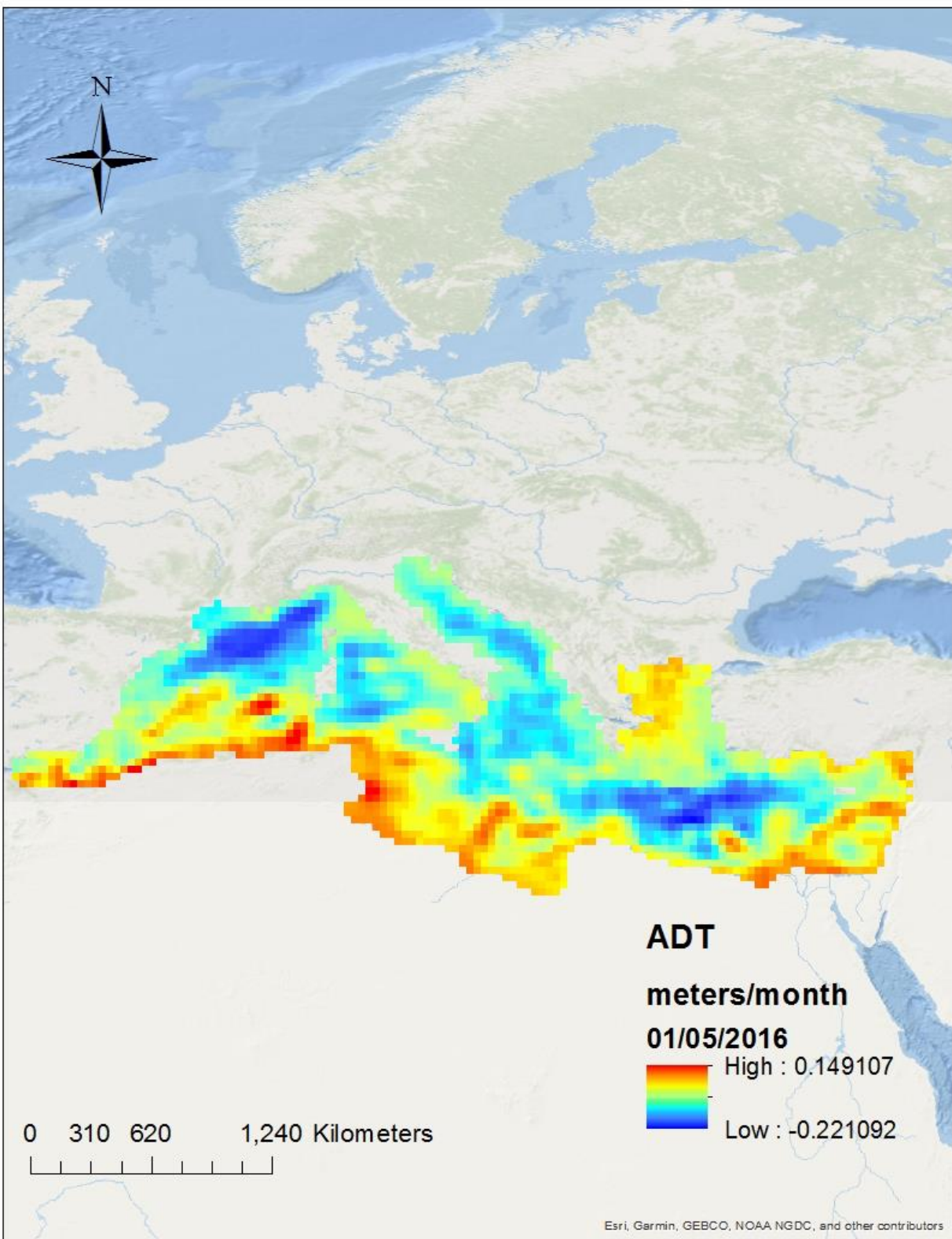
Copyright : 2005-ongoing Cnes-CLS



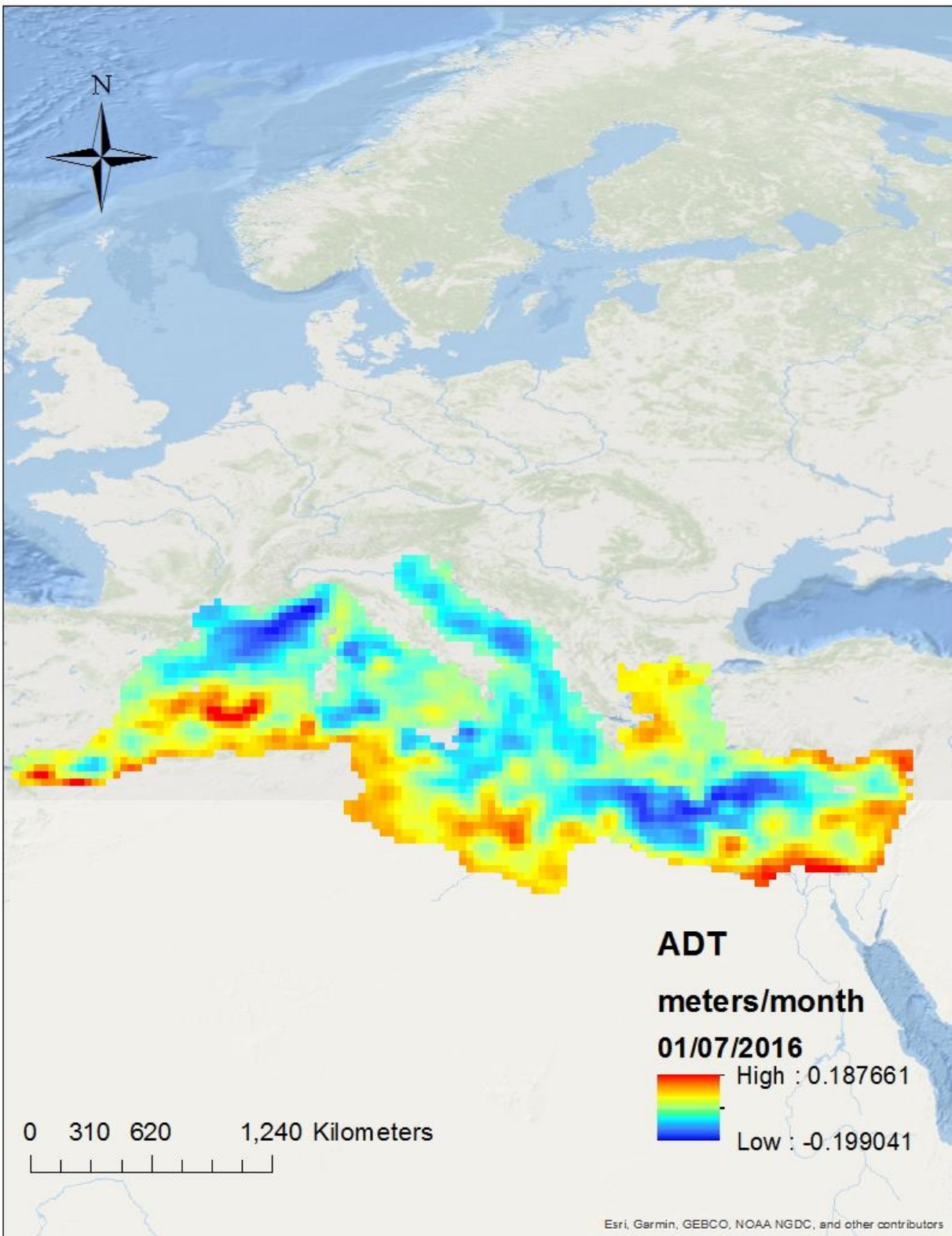
Εικόνα 6.7 Χάρτης Απόλυτης Δυναμικής Τοπογραφίας για τον μήνα Ιανουάριο του έτους 2016.



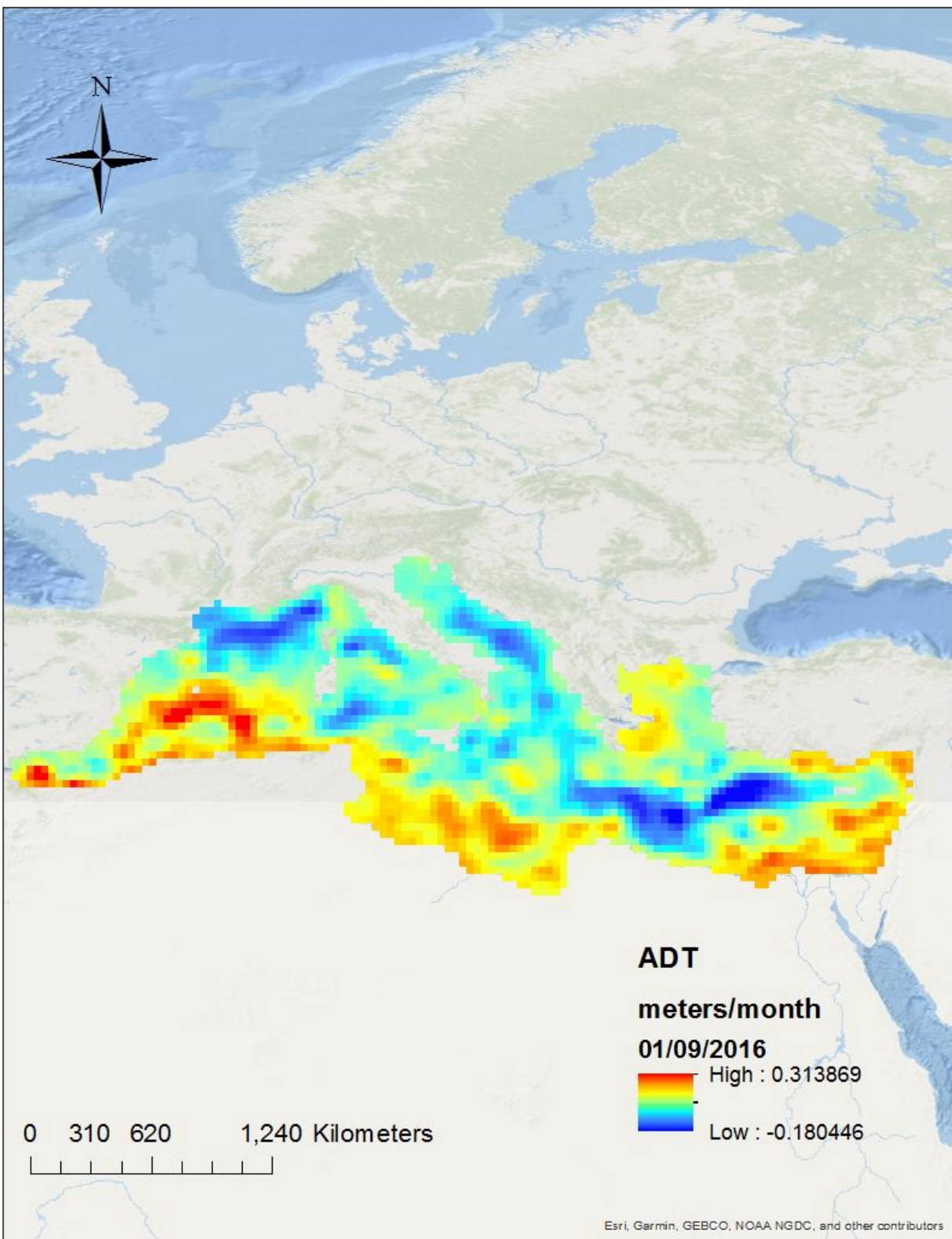
Εικόνα 6.8 Χάρτης Απόλυτης Δυναμικής Τοπογραφίας για τον μήνα Μάρτιο του έτους 2016.



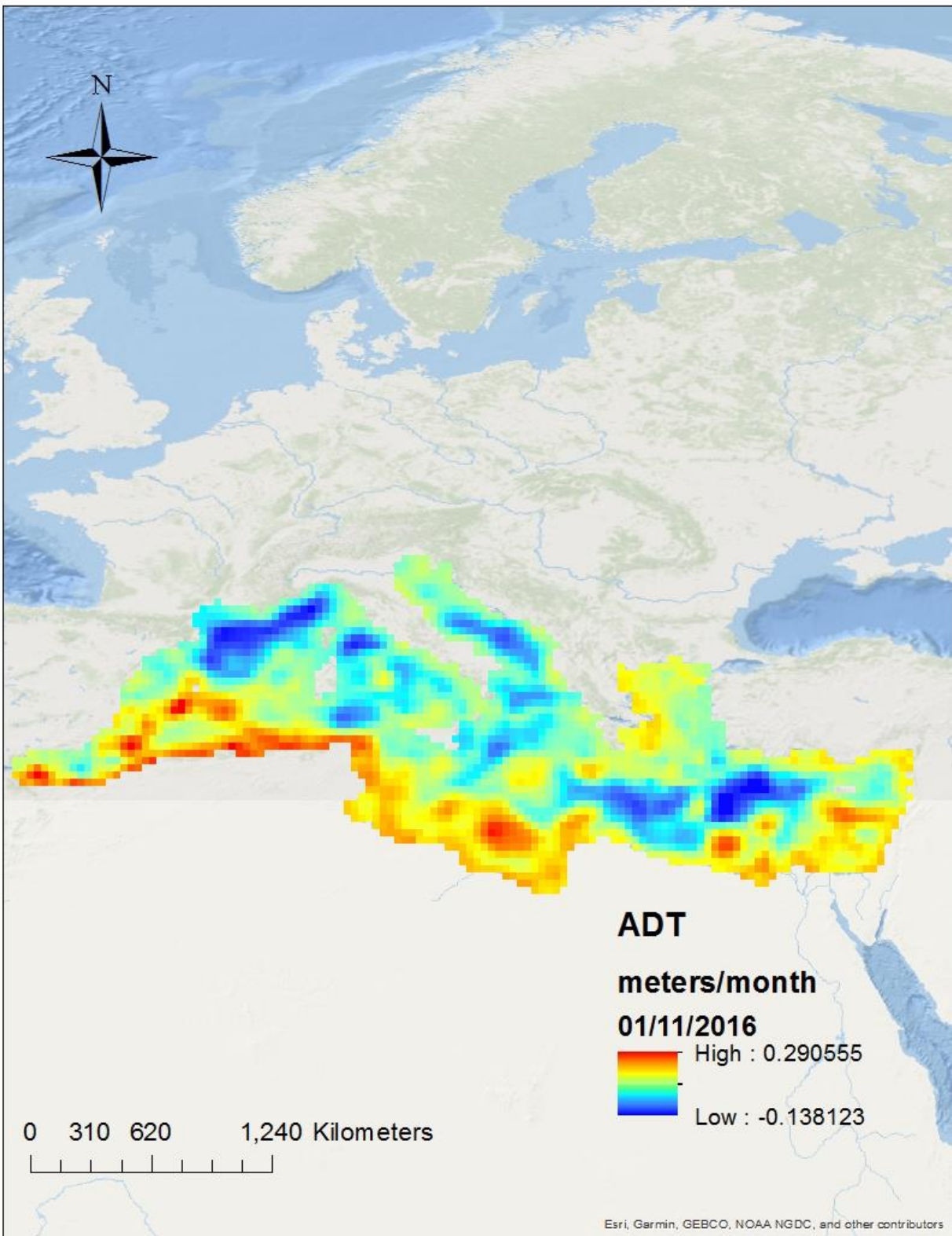
Εικόνα 6.9 Χάρτης Απόλυτης Δυναμικής Τοπογραφίας για τον μήνα Μάιο του έτους 2016.



Εικόνα 6.10 Χάρτης Απόλυτης Δυναμικής Τοπογραφίας για τον μήνα Ιούλιο του έτους 2016.



Εικόνα 6.11 Χάρτης Απόλυτης Δυναμικής Τοπογραφίας για τον μήνα Σεπτέμβριο του έτους 2016.



Εικόνα 6.12 Χάρτης Απόλυτης Δυναμικής Τοπογραφίας για τον μήνα Νοέμβριο του έτους 2016.

Συμπεράσματα

Συγκεκριμένα, λαμβάνοντας υπόψη ότι η Μέση Τοπογραφία της Θάλασσας ισοδυναμεί με τη διαφορά της ΜΣΘ από το γεωειδές, οι υψηλότερες τιμές της παρουσιάζονται κοντά στις νοτιοδυτικές ακτές της Μεσογείου, ενώ λιγότερο υψηλές τιμές εμφανίζονται, επίσης, κοντά στις ανατολικές ακτές και στο βόρειο Αιγαίο Πέλαγος. Αντίθετα, υψηλές αρνητικές τιμές ΜΣΘ εμφανίζονται στην ευρύτερη περιοχή του Λιβυκού Πελάγους και νότια των ακτών της Γαλλίας.

Παρατηρείται, επιπλέον, ότι με τη χρήση αυτών των αρχείων, οι τιμές της Μέσης Δυναμικής Τοπογραφίας έχουν κατανεμηθεί ακριβώς εντός των ορίων της Μεσογείου, χωρίς να υπάρχει κάλυψη των ηπειρωτικών περιοχών, ακόμη και κοντά στις ακτές. Αυτό το πλεονέκτημα των συγκεκριμένων βοηθητικών προϊόντων προκύπτει από την ειδική προεπεξεργασία τους, η οποία έγινε με βάση τα χαρακτηριστικά της Μεσογείου.

Συμπεράσματα

Το λογισμικό BRAT, μέσω της χρήσης του και της εξοικείωσης με αυτό κατά την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, κρίνεται ως ένα χρήσιμο εργαλείο για την επεξεργασία των αλτιμετρικών δεδομένων. Αρχικά, είναι βασικό το γεγονός ότι δέχεται και μπορεί να επεξεργαστεί δεδομένα από την πλειοψηφία των αλτιμετρικών αποστολών. Επιπλέον, το περιβάλλον διεπαφής με το χρήστη είναι αρκετά φιλικό και κατανοητό, ακόμα και για αρχάριους χρήστες.

Ειδικότερα, κατά την επεξεργασία των δεδομένων παρέχεται η δυνατότητα χρήσης ενός αριθμού εργαλείων (έτοιμοι τύποι, αλγόριθμοι, φίλτρα κ.ά.), τα οποία διευκολύνουν τη διαδικασία και συμβάλλουν στην βελτιστοποίηση του τελικού προϊόντος. Κατά την οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων, δίνεται, επίσης, η δυνατότητα μέσω της κατάλληλης παραμετροποίησης της απεικόνισης να βελτιωθεί αρκετά το αποτέλεσμα. Εκτός από τα παραπάνω, το BRAT διαθέτει και κάποια άλλα χρήσιμα εργαλεία, τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν και σε συνδυασμό με άλλα λογισμικά. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η δυνατότητα εξαγωγής του αποτελέσματος σε αρχείο μορφής ASCII. Ένα τέτοιο αρχείο, το οποίο θα περιέχει τις τιμές του εξεταζόμενου φαινομένου, μπορεί να εισαχθεί σε ειδικευμένα λογισμικά απεικόνισης χαρτών. Με τον τρόπο αυτό, ξεπερνιούνται οι τυχόν περιορισμοί στη λειτουργία απεικόνισης του BRAT.

Προτάσεις

Η μέθοδος της Δορυφορικής Αλτιμετρίας έχει εφαρμογή σε όλο και περισσότερα διαφορετικά πεδία με το πέρασμα του χρόνου και με την τεχνολογική εξέλιξη. Εκτός από τις ωκεανογραφικές και γεωδαιτικές εφαρμογές, που έχουν παρουσιαστεί ή απλά αναφερθεί νωρίτερα, η Δορυφορική Αλτιμετρία αποτελεί ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο πλέον για γεωφυσικές, υδρολογικές, κλιματολογικές, ατμοσφαιρικές κ.ά. εφαρμογές.

Πρόσφατα άρχισε να αναπτύσσεται σημαντικά η Δορυφορική Αλτιμετρία για τις παράκτιες περιοχές (Coastal Altimetry). Στη μέθοδος αυτή διακρίνονται ορισμένες διαφορές που αφορούν κυρίως τα χρησιμοποιούμενα δεδομένα. Κατά την πραγματοποίηση των μετρήσεων από τα αλτιμέτρα ραντάρ των δορυφόρων, όταν το παλμικό κύμα φτάσει κοντά σε ξηρά και σε απόσταση 10-50 km από την ακτή, εξαρτώμενο από το είδος του ραντάρ, εισέρχεται στις παρατηρήσεις σημαντικό ποσοστό θορύβου. Το γεγονός αυτό δυσχεραίνει τη μελέτη φαινομένων κοντά σε ακτές. Έτσι, με τη μέθοδο της Δορυφορικής Αλτιμετρίας, τα δεδομένα υποβάλλονται σε μια περαιτέρω ειδική επεξεργασία, η οποία ονομάζεται retracking, με σκοπό την απαλοιφή αυτού του θορύβου. Πλέον υπάρχουν συγκεκριμένα είδη δεδομένων κατάλληλα για τις εφαρμογές παράκτιων περιοχών, τα οποία είναι αναγνώσιμα από το λογισμικό BRAT. Εφόσον, λοιπόν, η Μεσόγειος Θάλασσα, ούσα και κλειστή θάλασσα, όπως και ο ελληνικός θαλάσσιος χώρος (π.χ. η θαλάσσια περιοχή του Αιγαίου Πελάγους), έχει μεγάλο ποσοστό

ακτών και νησιωτικών συμπλεγμάτων, θα είχε ιδιαίτερο ενδιαφέρον να διερευνηθούν τα κύρια φαινόμενά της με τη μέθοδο αυτή, καθώς δεν ήταν αντικείμενο της παρούσας εργασίας. Η ίδια μέθοδος είναι δυνατόν να εφαρμοστεί σε μελέτες υδρολογικού ενδιαφέροντος, όπως για παράδειγμα σε λίμνες ή ποτάμια, όπου οι υδάτινες επιφάνειες είναι σχετικά περιορισμένες.

Επιπλέον, ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει και ο συνδυασμός των αλτιμετρικών δεδομένων πολλαπλών αλτιμετρικών αποστολών με βαρυτημετρικά δεδομένα από τις σύγχρονες γεωδαιτικές αποστολές GRACE, GOCE και CHAMP. Μία χρήσιμη εφαρμογή θα ήταν ο ακριβής προσδιορισμός του θαλάσσιου γεωειδούς στον Ελλαδικό χώρο με τη χρήση αυτών των δεδομένων. Μέσω του ακριβούς μοντέλου γεωειδούς, θα είναι δυνατή και η διερεύνηση των σχετικών ωκεάνιων φαινομένων (Μέση Στάθμη της Θάλασσας, Ανωμαλίες της Επιφάνειας της Θάλασσας, Απόλυτη Δυναμική Τοπογραφία, κ.ά.) με σημαντικά βελτιωμένη ακρίβεια.

Βιβλιογραφικές αναφορές

Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία

Abshire, J.B., Sun, X., Riris, H., Sirota, J.M., McGarry, J.F., Palm, S., Yi, D. and Liiva, P. (2005). "Geoscience Laser Altimeter System (GLAS) on the ICESat Mission: On-Orbit Measurement Performance." *Geophys. Res. Lett.*

Ainsworth, Tom. (2006). "When Do Ocean Waves Become 'Significant' A Closer Look at Wave Forecasts." *Mariners Weather Log*, NOAA.

Benveniste, J., Vinca, R., Sander, N., and Nicolas Picot. (2008) "BASIC RADAR ALTIMETRY TOOLBOX."

Callahan, P. S. (1984). "Ionospheric Variations Affecting Altimeter Measurements: A Brief Synopsis.", *Marine Geodesy*, 8, 249-263.

Centre National d'Etudes Spatiales (CNES) (2014). "SSALTO/DUACS User Handbook: (M)SLA and (M)ADT Near-Real Time and Delayed Time Products."

Cheney, R. E., Douglas, B. C., Sandwell, D. T., Marsh, J. G., Martin, T. V. and McCarthy J. J. (1984). "Applications of Satellite Altimetry to Oceanography and Geophysics." *Marine Geophysical Researches*, 17-32.

Collecte Localisation Satellites (CLS) (2012). "Basic Radar Altimetry Toolbox v3.1, User Manual."

Collecte Localisation Satellites (CLS), Aviso (2012). "DT CorSSH and DT SLA Product Handbook." Delikaraoglou, D. (1980). "An Investigation on the Short Wavelength Orbit Improvement and Sea Surface Computations from Local Satellite Tracking and Satellite Altimetry." Department of Surveying Engineering, University of New Brunswick, Fredericton, N.B., published and as Tech. Report No. 74 (Sea Surface Computations from Local Satellite Tracking and Satellite Altimetry).

Deng, X., Griffin, D. A., Ridgway, K., Church, J. A., Featherstone, W. E., White, N. J. and Cahill, M. (2011). "Coastal Altimetry" *Satellite Altimetry for Geodetic, Oceanographic and Climate Studies in the Australian Region*, Vignudelli, S., Kostianoy, A. G., Cipollini, P., and Benveniste, J., 473-508.

Desportes, C., Obligis, E. and Eymard, L. (2007). "On the Wet Tropospheric Correction for Altimetry in Coastal Regions", *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 45, 2139-2149.

Dettmering, D., and Bosch, W. (2012). "Multi-Mission Crossover Analysis: Merging 20 years of Altimeter Data into One Consistent Long-term Data Record." *20 Years of Progress in Radar Altimetry Symposium, Abstract Book*, 64, Venice, Italy.

- Escudier, P. and Picot, N. (2013). "Environmental Effects on Spacecraft Positioning and Trajectories." Altimetric Ionospheric Correction Using DORIS Doppler Data, Escudier, P., Picot, N. and Zanife, O. Z., Centre National d'Etudes Spatiales, Toulouse, FRANCE, 61-71.
- Gleason, S., Hodgart, S., Sun, Y., Gommenginger, C., Mackin, S., Adjrak, M. and Unwin, M. (2005). "Detection and Processing of Bi-Statically Reflected GPS Signals From Low Earth Orbit for the Purpose of Ocean Remote Sensing", Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions, 43 (6), 1229 – 1241.
- Hwang, C., Hsu, H. Y., and Jang, R. J. (2002). "Global mean sea surface and marine gravity anomaly from multi-satellite altimetry: applications of deflection-geoid and inverse Vening Meinesz formulae." Journal of Geodesy, Springer, 76, 407-418.
- Imel, A. D. (1994). "Evaluation of the TOPEX/POSEIDON dual-frequency ionosphere correction" Journal Of Geophysical Research, 99 (C12), 24895-24906.
- McAdoo, D. (2006). "Marine Geoid, Gravity and Bathymetry: An increasingly clear view with satellite altimetry."
- Rio, M. H., Poulain, P. M., Pascual, A., Mauri, E., Larnicol, G. and Santoleri, R. (2007). "A Mean Dynamic Topography of the Mediterranean Sea computed from altimetric data, in-situ measurements and a general circulation model." Journal of Marine Systems, 65 (1-4), 484-508.
- Wunsch, C. and Stammer, D. (1998). "Satellite Altimetry, Marine Geoid and the Oceanic General Circulation." Annual Review of Earth and Planetary Sciences, 219-253.

Ελληνική βιβλιογραφία

- Αλμπανάκης, Κ. «Ωκεάνια Κυκλοφορία - Θαλάσσια Ρεύματα.» 2007.
- Αράμπελος, Δ. Ν. και Τζιαβός, Η. Ν. «Εισαγωγή στο πεδίο βαρύτητας της γης.» Ζήτη, Θεσσαλονίκη, 2007.
- Δεληκαράογλου, Δ. «Αξιοποίηση της κυματικής ενέργειας ως εναλλακτική ανανεώσιμη πηγή ενέργειας στις ελληνικές θάλασσες.» ΓΕΩΔΑΙΣΙΑΣ Δείγματα & Παραδείγματα, 2011.
- Δεληκαράογλου, Δ. «Δορυφορική Αλτιμετρία.» Ειδικά Θέματα Δορυφορικής Γεωδαισίας, Δεληκαράογλου Δ., 2005, 26-27. Δεληκαράογλου, Δ. «Φυσική Γεωδαισία - Θεωρητικές και Τεχνολογικές Βάσεις», Πανεπιστημιακές Σημειώσεις, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 2011.
- Παπαθεοδώρου, Γ. «Επιχειρησιακή Ωκεανογραφία (Στοιχεία για τη φυσική συμπεριφορά του θαλασσινού νερού στους ωκεανούς).» Πάτρα, 2011.