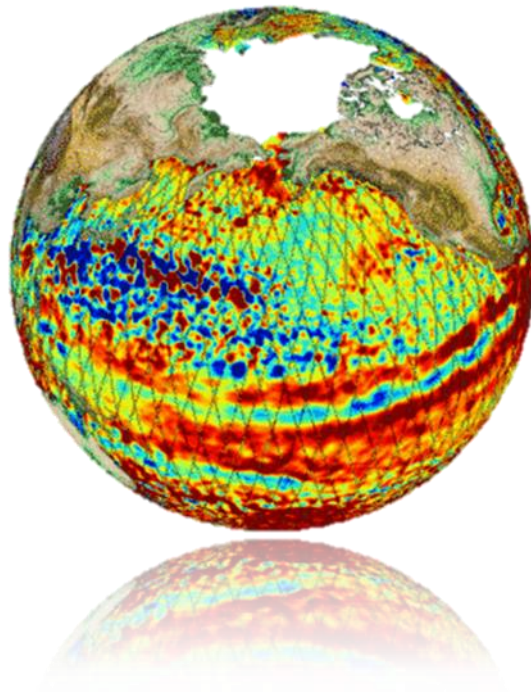




ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΑΝΩΤΕΡΗΣ ΚΑΙ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΗΣ ΓΕΩΔΑΙΣΙΑΣ

**Διερεύνηση μεθοδολογιών για την παραγωγή
προϊόντων προστιθέμενης αξίας από δεδομένα
Δορυφορικής Αλτιμετρίας**



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Χατζηκυριάκου Χάρις

Επιβλέπων Καθηγητής: **Δεληκαράογλου Δημήτριος**

Αναπληρωτής Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιούλιος 2014



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΑΝΩΤΕΡΗΣ ΚΑΙ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΗΣ ΓΕΩΔΑΙΣΙΑΣ

**Διερεύνηση μεθοδολογιών για την παραγωγή
προϊόντων προστιθέμενης αξίας από δεδομένα
Δορυφορικής Αλτιμετρίας**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Χατζηκυριάκου Χάρις

Παρουσιάστηκε δημόσια, εξετάστηκε και εγκρίθηκε
από την τριμελή επιτροπή στις 23 / 07 / 2014.

Τσούλος Λύσανδρος
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

**Δεληκαράογλου
Δημήτριος**
Αναπληρωτής Καθηγητής Ε.Μ.Π.
(Επιβλέπων)

Γκίκας Βασίλειος
Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Copyright © Χατζηκυριάκου Χάρις, 2014

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Στους γονείς μου, Αποστόλη και Παρασκευή

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

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 εποχιακών 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.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας στο Εργαστήριο Ανώτερης και Δορυφορικής Γεωδαισίας της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, θα ήθελα, αρχικά, να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου, κ. Δημήτρη Δεληκαράογλου, για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε, αναθέτοντάς μου τη συγκεκριμένη εργασία. Τον ευχαριστώ, επίσης, για την καθοδήγηση και τις στοχευμένες 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 θερμά του γονείς μου, Αποστόλη και Παρασκευή, για την πίστη τους, την στήριξή τους και φυσικά την κατανόησή τους καθ' όλη τη διάρκεια των φοιτητικών μου χρόνων. Επίσης, θα ήθελα να τους ευχαριστήσω ιδιαίτερα για την ενθάρρυνσή τους για όλα αυτά που πρόκειται να ακολουθήσουν. Χωρίς τη δική τους υποστήριξη δε θα μπορούσα να κάνω τα σχέδια μου πραγματικότητα.

Ευχαριστώ ακόμα τις αδερφές μου, Δέσποινα και Παναγιώτα, για την πολύτιμη βοήθειά τους, ειδικά κατά την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, καθώς και τον αδερφό μου, Φίλιππο, γιατί είναι αυτός που είναι.

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, ακόμη και από μακριά. Ειδικά ευχαριστώ τη φίλη μου, Σόνια, για την αστείρευτη υπομονή και στήριξή της.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

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 πέντε επιμέρους κεφάλαια. Στο πρώτο κεφάλαιο τίθενται οι στόχοι της παρούσας διπλωματικής εργασίας και γίνεται η περιγραφή της δομής και του περιεχομένου της. Ακολουθούν, στο δεύτερο 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. Παρέχονται, επίσης, πληροφορίες για τον συνδυασμό πολλαπλών αλτιμετρικών αποστολών, το συνδυασμό τους με βαρυτημετρικές αποστολές, καθώς και για τις μελλοντικές εξελίξεις. Στο τρίτο 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 αυτά, καθώς και η κατηγοριοποίησή τους με βάση ορισμένα κριτήρια. Στη συνέχεια, το τέταρτο κεφάλαιο, αποτελεί ένα συνοπτικό εγχειρίδιο χρήσης του λογισμικού BRAT, περιγράφοντας τα δομικά του στοιχεία, τον τρόπο λειτουργίας του και τα εργαλεία του. Τέλος, στο πέμπτο κεφάλαιο, παρουσιάζονται οι εφαρμογές που πραγματοποιήθηκαν στο περιβάλλον του BRAT. Συγκεκριμένα, έγινε η εξαγωγή χαρτών των Ανωμαλιών του Επιπέδου της Θάλασσας, της Απόλυτης και της Μέσης Δυναμικής Τοπογραφίας, των Ανωμαλιών των Γεωστροφικών Ταχυτήτων και των Μέσων Γεωστροφικών Ταχυτήτων, καθώς και του Σημαντικού Ύψους Κύματος. Περιγράφεται η διαδικασία επεξεργασίας των δεδομένων και τα συμπεράσματα με βάση τα εξαγόμενα αποτελέσματα των παραπάνω χαρτών.

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 five individual chapters. The first describes the scope and purposes of the Diploma thesis, as well as its structure and its content. What follows in the second 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 third 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 fourth, constitutes a brief user manual for the BRAT software suite, describing its structure, operating mode and its tools. Finally, the fifth 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), Absolute Dynamic Topography (ADT) and Mean Dynamic Topography (MDT), Geostrophic Velocity Anomalies and Mean Geostrophic Velocities, as well as maps of Significant Wave Height (SWH). It is described how the data were edited, followed by the conclusions of the exported map results.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	vi
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	vii
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	viii
ABSTRACT.....	ix
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ	x
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ	xvi
ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ	xxv
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
1.1 Στόχοι της διπλωματικής εργασίας.....	1
1.2 Συνοπτική περιγραφή του περιεχομένου της διπλωματικής εργασίας.....	2
2 ΘΕΩΡΗΤΙΚΕΣ ΒΑΣΕΙΣ	4
2.1 Εισαγωγή.....	4
2.2 Επιφάνειες Αναφοράς.....	4
2.2.1 Ελλειψοειδές Αναφοράς.....	4
2.2.2 Γεωειδές	5
2.2.3 Μέση Στάθμη Θάλασσας (ΜΣΘ)	7
2.2.4 Μέση Δυναμική Τοπογραφία της Επιφάνειας της Θάλασσας	8
2.2.5 Βαθυμετρία	9
2.2.6 Άλλες χρήσιμες επιφάνειες αναφοράς.....	11
2.2.7 Σχέσεις μεταξύ των Επιφανειών Αναφοράς	11
2.3 Η Αρχή της Δορυφορικής Αλτιμετρίας.....	11
2.4 Παλμοί και Κυματομορφές	14
2.4.1 Ωκεάνια επιφάνεια	17
2.4.2 Πάγος.....	18
2.4.3 Ηπειρωτική επιφάνεια (γη).....	18
2.5 Μέγεθος ίχνους στην επιφάνεια παρατήρησης.....	19
2.6 Συχνότητες.....	20
2.6.1 Ku band (13.6 GHz).....	21
2.6.2 C band (5.3 GHz).....	21
2.6.3 S band (3.2 GHz)	21

2.6.4	K _a band (35 GHz).....	21
2.6.5	Χρήση δύο συχνοτήτων	21
2.7	Ο Ρόλος της Δορυφορικής Αλτιμετρίας στις Γεωεπιστήμες	22
2.8	Αλτιμετρικές Αποστολές	23
2.8.1	Σημαντικές αποστολές στο παρελθόν	23
2.8.1.1	SKYLAB.....	24
2.8.1.2	GEOS-3	25
2.8.1.3	SEASAT	26
2.8.1.4	GEOSAT	26
2.8.1.5	ERS-1	27
2.8.1.6	TOPEX/POSEIDON	28
2.8.1.7	ERS-2	29
2.8.1.8	GFO.....	30
2.8.1.9	JASON-1.....	31
2.8.1.10	ENVISAT.....	32
2.8.2	Σημερινές αποστολές σε επιχειρησιακή λειτουργία	33
2.8.2.1	JASON-2.....	33
2.8.2.2	Cryosat-2	34
2.8.2.3	HY-2	34
2.8.2.4	SARAL	35
2.9	Συνδυασμός αλτιμετρικών δεδομένων από πολλαπλές αποστολές	36
2.10	Συνδυασμός αλτιμετρικών και βαρυτημετρικών δεδομένων	38
2.11	Διαφαινόμενες μελλοντικές τεχνολογικές εξελίξεις.....	39
3	ΑΛΤΙΜΕΤΡΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ.....	42
3.1	Επίγειοι Σταθμοί Αποστολών (Mission Ground Segments).....	42
3.2	Επεξεργασία Δεδομένων	43
3.2.1	Σφάλμα και ακριβής προσδιορισμός της τροχιάς του δορυφόρου	45
3.2.2	Γεωφυσικά σφάλματα και διορθώσεις.....	47
3.2.2.1	Γεωειδές.....	47
3.2.2.2	Ωκεάνιες παλίρροιες.....	48
3.2.2.3	Παλίρροια του στερεού φλοιού της Γης.....	49
3.2.2.4	Παλίρροια των πόλου	50
3.2.3	Σφάλματα και διορθώσεις λόγω της ατμόσφαιρας	50

3.2.3.1	Ιονόσφαιρα	50
3.2.3.2	Υγρό μέρος της τροπόσφαιρας.....	51
3.2.3.3	Ξηρό μέρος της τροπόσφαιρας	52
3.2.4	Σφάλματα και διορθώσεις των χρονικών μεταβολών της επιφάνειας της θάλασσας	53
3.2.4.1	Αντίστροφη επίδραση της ατμοσφαιρικής πίεσης (Inverse Barometer Effect) 53	
3.2.4.2	Ηλεκτρομαγνητικό συστηματικό σφάλμα λόγω της κατάστασης της θάλασσας (Electromagnetic Bias)	54
3.2.5	Σφάλματα και διορθώσεις του οργάνου	54
3.2.5.1	Συστηματικά σφάλματα του μηχανισμού ανίχνευσης του παλμού (Tracker Errors) 55	
3.2.5.2	Σφάλματα δειγματοληψίας του σχήματος του ανακλώμενου παλμού (Waveform Sampler Gain Calibration Bias)	55
3.2.5.3	Σφάλματα κατεύθυνσης του ραντάρ (Pointing Errors)	55
3.2.5.4	Θόρυβοι από την ανάλυση της μορφής του παλμού και χρονικές αβεβαιότητες (Average Pulse Shape Uncertainty and Time Tag Bias)	55
3.3	Διαδικασίες Βαθμονόμησης και Επικύρωσης των Δεδομένων.....	56
3.4	Είδη Αλτιμετρικών Δεδομένων	57
3.4.1	Κατηγοριοποίηση με βάση τον τύπο τους.....	57
3.4.2	Κατηγοριοποίηση με βάση το χρόνο διάθεσής τους.....	58
3.4.3	Κατηγοριοποίηση με βάση τον αριθμό των αποστολών.....	59
3.4.4	Κατηγοριοποίηση με βάση τη συχνότητα παραγωγής τους	59
3.4.5	Κατηγοριοποίηση με βάση τη χωρική τους κάλυψη	59
4	ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟ BASIC RADAR ALTIMETRY TOOLBOX (BRAT)	60
4.1	Εισαγωγή.....	60
4.2	Δομή του BRAT	61
4.2.1	Βασικές λειτουργίες του BRAT	61
4.2.2	Βασικά δομικά μέρη του BRAT	62
4.2.2.1	Βιβλιοθήκη του BRAT.....	62
4.2.2.2	Εφαρμογές Κονσόλας (Console Applications)	63
4.2.2.3	Εφαρμογές του Γραφικού Περιβάλλοντος Χρήστη (GUI Applications).....	63
4.3	Ανάγνωση και Επεξεργασία Δεδομένων	64
4.4	Γραφικό Περιβάλλον Χρήστη (BratGui ή GUI)	64

4.4.1	Έναρξη νέας εργασίας.....	65
4.4.2	Επιλογή και εισαγωγή δεδομένων	65
4.4.3	Επεξεργασία δεδομένων και εξαγωγή αποτελεσμάτων	67
4.4.3.1	Μονάδες Μέτρησης Πεδίων (Units).....	69
4.4.3.2	Συναρτήσεις (Functions).....	69
4.4.3.3	Τύποι (Formulas).....	71
4.4.3.4	Αλγόριθμοι (Algorithms).....	73
4.4.3.5	Στατιστική ανάλυση	80
4.4.3.6	Ανάλυση και Φίλτρα	81
4.4.4	Οπτικοποίηση αποτελεσμάτων	82
4.4.5	Εξέλιξη εκτελέσεων	84
4.5	Περιβάλλον Οπτικοποιήσεων (BratDisplay)	84
4.5.1	Κατηγορία Οπτικοποίησης $Y=F(X)$ (Καμπύλες)	84
4.5.2	Κατηγορία Οπτικοποίησης $Z=F(Lon,Lat)$ (Χάρτες)	85
4.5.3	Κατηγορία Οπτικοποίησης $Z=F(X,Y)$	85
4.6	BratScheduler.....	85
5	ΑΝΑΔΕΙΞΗ ΤΟΥ BRAT (ΩΣ ΕΡΓΑΛΕΙΟΥ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΑΛΤΙΜΕΤΡΙΚΩΝ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΠΡΟΣΤΙΘΕΜΕΝΗΣ ΑΞΙΑΣ)	87
5.1	Εισαγωγή.....	87
5.2	Εφαρμογή 1 ^η : Δημιουργία Χαρτών για τη μελέτη των Ανωμαλιών του Επιπέδου της Θάλασσας (MSLA)	89
5.2.1	Θεωρητικές Βάσεις	89
5.2.2	Περίπτωση 1 ^η	91
5.2.2.1	Δεδομένα	91
5.2.2.2	Επεξεργασία και Αποτελέσματα.....	92
5.2.2.3	Συμπεράσματα.....	105
5.2.3	Περίπτωση 2 ^η	105
5.2.3.1	Δεδομένα	105
5.2.3.2	Επεξεργασία και Αποτελέσματα.....	106
5.2.3.3	Συμπεράσματα.....	118
5.2.4	Περίπτωση 3 ^η	118
5.2.4.1	Δεδομένα	118
5.2.4.2	Επεξεργασία και Αποτελέσματα.....	119

5.2.4.3	Συμπεράσματα.....	124
5.3	Εφαρμογή 2 ^η : Δημιουργία Χαρτών για τη μελέτη της Απόλυτης Δυναμικής Τοπογραφίας (MADT).....	124
5.3.1	Θεωρητικές Βάσεις	125
5.3.2	Περίπτωση 1 ^η	126
5.3.2.1	Δεδομένα	126
5.3.2.2	Επεξεργασία και Αποτελέσματα.....	126
5.3.2.3	Συμπεράσματα.....	129
5.3.3	Περίπτωση 2 ^η	129
5.3.3.1	Δεδομένα	129
5.3.3.2	Επεξεργασία και Αποτελέσματα.....	130
5.3.3.3	Συμπεράσματα.....	134
5.4	Εφαρμογή 3 ^η : Δημιουργία Χαρτών για τη μελέτη των Γεωστροφικών Ρευμάτων (Geostrophic Currents)	134
5.4.1	Θεωρητικές Βάσεις	134
5.4.2	Περίπτωση 1 ^η	136
5.4.2.1	Δεδομένα	136
5.4.2.2	Επεξεργασία και Αποτελέσματα.....	137
5.4.2.3	Συμπεράσματα.....	147
5.4.3	Περίπτωση 2 ^η	147
5.4.3.1	Δεδομένα	147
5.4.3.2	Επεξεργασία και Αποτελέσματα.....	148
5.4.3.3	Συμπεράσματα.....	154
5.5	Εφαρμογή 4 ^η : Δημιουργία Χαρτών για τη μελέτη του Σημαντικού Ύψους Κύματος (MSWH).....	154
5.5.1	Θεωρητικές Βάσεις	155
5.5.2	Περίπτωση 1 ^η	158
5.5.2.1	Δεδομένα	158
5.5.2.2	Επεξεργασία και Αποτελέσματα.....	159
5.5.2.3	Συμπεράσματα.....	182
5.5.3	Περίπτωση 2 ^η	183
5.5.3.1	Δεδομένα	183
5.5.3.2	Επεξεργασία και Αποτελέσματα.....	184

5.5.3.3 Συμπεράσματα.....	187
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	188
ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ	190
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ.....	192
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	199

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 2-1: Απεικόνιση των υψομέτρων του γεωειδούς από αλτιμετρικά δεδομένα του δορυφόρου Envisat (Envisat GDR Altimetry Data) (α) σε 3D προβολή και (β) σε προβολή “Plate Carrée” (βλ. Ενότητα 4.4.4). Επεξεργασία δεδομένων στο λογισμικό Basic Radar Altimetry Toolbox. Πηγή: (Collecte Localisation Satellites (CLS))	6
Εικόνα 2-2: Η Μέση Δυναμική Τοπογραφία της Επιφάνειας της Θάλασσας για τη χρονική περίοδο 1992 – 2002 σε εκατοστά (cm) και με βήμα ισοΰψών καμπυλών 5 cm. Ο χάρτης έχει προκύψει από κοινού αλτιμετρικά δεδομένα, δεδομένα από παράκτιους drifters (περιφερόμενες σημαδούρες), καθώς και από ανεμολογικά δεδομένα του Αμερικανικού Εθνικού Κέντρου Περιβαλλοντικών Προβλέψεων (National Center for Environmental Prediction, NCEP) και δεδομένων από τη δορυφορική αποστολή βαρύτητας GRACE. Πηγή: (Asia-Pacific Data-Research Center 2011).....	8
Εικόνα 2-3: Βαθυμετρικός χάρτης της Μεσογείου Θάλασσας σε μέτρα (m), όπως προκύπτει από το μοντέλο NEMO-OPA (Nucleus for European Modelling of the Ocean - Ocean PArallelise). Ο χάρτης έχει χωρική ανάλυση $1/16^\circ \times 1/16^\circ$ και 71 άνισα τοποθετημένα κατακόρυφα επίπεδα. Πηγή: (Gruppo Nazionale di Oceanografia Operativa 2009)	9
Εικόνα 2-4: Παράδειγμα υποθαλάσσιου όρους και η επίδραση του στην μορφολογία της επιφάνειας της θάλασσας. Πηγή: (Daily Mail UK 2014).....	10
Εικόνα 2-5: Βαθυμετρικός χάρτης των Smith and Sandwell (1997) από αλτιμετρικά δεδομένα των δορυφόρων Geosat και ERS. Πηγή: (NOAA National Geophysical Data Center (NGDC)).....	10
Εικόνα 2-6: Η αρχή της Δορυφορικής Αλτιμετρίας σχηματικά. Ως “Range” συμβολίζεται η απόσταση R που έχει αναφερθεί παραπάνω. Πηγή: (National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) 2013)	12
Εικόνα 2-7: Η μορφή διάδοσης των παλμικών κυμάτων του αλτιμέτρου στην ατμόσφαιρα. Πηγή: (COASTALT)	15
Εικόνα 2-8: Σχηματική απεικόνιση των βασικών παραμέτρων μιας κυματομορφής με βάση το μοντέλο Brown. Πηγή: (Centre National d'Etudes Spatiales (CNES), Aviso+).....	16
Εικόνα 2-9: Χαρακτηριστικές περιπτώσεις πρόσπτωσης του παλμικού κύματος (α) σε επίπεδα και (β) σε τραχιά θαλάσσια επιφάνεια και οι αντίστοιχες καμπύλες των κυματομορφών τους. Πηγή: (Centre National d'Etudes Spatiales (CNES), Aviso+).....	18

Εικόνα 2-10: Πραγματικές κυματομορφές προερχόμενες από την έρημο Σαχάρα και από τη λεκάνη απορροής του Αμαζονίου. Πηγή: (Collecte Localisation Satellites (CLS))	19
Εικόνα 2-11: Το αποτύπωμα μιας δέσμης μικροκυματικής ακτινοβολίας στην επιφάνεια της θάλασσας. Πηγή: (Radartutorial.eu).....	20
Εικόνα 2-12: Ο πρώτος αμερικάνικος διαστημικός σταθμός Skylab. Πηγή: (Wikipedia 2014)	24
Εικόνα 2-13: Ο γεωδαιτικός δορυφόρος GEOS-3. Πηγή: (PO.DAAC, NASA Jet Propulsion Laboratory)	25
Εικόνα 2-14: Ο αλτιμετρικός δορυφόρος SEASAT. Πηγή: (NASA's Earth Observing System 2013).....	26
Εικόνα 2-15: Ο αλτιμετρικός δορυφόρος GEOSAT. Πηγή: (Centre National d'Etudes Spatiales (CNES), Aviso+)	27
Εικόνα 2-16: Ο δορυφόρος ERS-1. Πηγή: (Gunter's Space Page 2014).....	28
Εικόνα 2-17: Ο αλτιμετρικός δορυφόρος TOPEX/POSEIDON. Πηγή: (Red Orbit 2008)	29
Εικόνα 2-18: Ο δορυφόρος ERS-2. Πηγή: (German Aerospace Center (DLR))	30
Εικόνα 2-19: Ο διάδοχος αλτιμετρικός δορυφόρος του GEOSAT, GFO. Πηγή: (NOAA Satellite and Information Service 2014).....	31
Εικόνα 2-20: Η αλτιμετρική αποστολή JASON-1. Πηγή: (OSTM, Jet Propulsion Laboratory, NASA 2001).....	31
Εικόνα 2-21: Ο περιβαλλοντικός δορυφόρος ENVISAT. Πηγή: (European Space Agency)	32
Εικόνα 2-22: Ο αλτιμετρικός δορυφόρος Jason-2. Πηγή: (Centre National d'Etudes Spatiales (CNES) 2006).....	33
Εικόνα 2-23: Ο δορυφόρος Cryosat. Πηγή: (Earth Observation 2008)	34
Εικόνα 2-24: Ο τηλεπισκοπικός δορυφόρος HY-2. Πηγή: (Collecte Localisation Satellites (CLS)).....	35
Εικόνα 2-25: Ο δορυφόρος SARAL. Πηγή: (Centre National d'Etudes Spatiales (CNES) 2013).....	35
Εικόνα 2-26: Το ιστορικό των αλτιμετρικών αποστολών για τις δύο περασμένες δεκαετίες. Πηγή: (Bosch et al. 2014)	36
Εικόνα 2-27: Η άνοδος της στάθμης της θάλασσας από μετρήσεις του υψομέτρου της επιφάνειας της θάλασσας από τους δορυφόρους Topex/Poseidon και Jason-1. Πηγή: (Wikipedia 2014)	37

Εικόνα 2-28: Οι γεωδαιτικοί δορυφόροι (α) CHAMP, (β) GRACE και (γ) GOCE. Πηγή: (German Aerospace Center (DLR)), (Spaceflight Insider 2013), (National Geographic 2014)	39
Εικόνα 3-1: Ο επίγειος σταθμός της ESA στην πόλη Κιρούνα της Σουηδίας. Πηγή: (Wikimapia 2013).....	42
Εικόνα 3-2: Σχηματική απεικόνιση του συνόλου των διορθώσεων που πρέπει να επιβληθούν στις αλτιμετρικές μετρήσεις. Πηγή: (Lee-Lueng and Cazanave 2001)	45
Εικόνα 3-3: Το γεωειδές, όπως προκύπτει από το συνδυασμό δεδομένων των ειδικών βαρυτημετρικών γεωδαιτικών αποστολών CHAMP, GRACE και GOCE. Πηγή: (Helmholtz Centre Potsdam (GFZ) 2013)	48
Εικόνα 3-4: Η παλιρροιακή συνιστώσα M2. Το μέγεθος υποδεικνύεται με τη χρωματική διαβάθμιση και τις ισοπαλίρροιες γραμμές, οι οποίες διαφέρουν κατά μια ώρα, και τα καμπύλα τόξα γύρω από τα αμφιδρομικά σημεία υποδηλώνουν την κατεύθυνση των παλιρροιών. Πηγή: (NASA Goddard Space Flight Center 2006)	49
Εικόνα 3-5: Η πυκνότητα ηλεκτρονίων στην ιονόσφαιρα συναρτήσεως του υψομέτρου με βάση το μοντέλο BENT για γεωγραφικό πλάτος και μήκος (0,0) και τοπική ώρα 10.05 π.μ..	51
Εικόνα 3-6: Η διόρθωση λόγω των υδρατμών της ατμόσφαιρας, όπως υπολογίστηκε από το μοντέλο NCEP κατά τη διάρκεια της 300 ^{ης} περιστροφής (Cycle 300) του T/P. Πηγή: (Collecte Localisation Satellites (CLS)).....	52
Εικόνα 3-7: Η διόρθωση λόγω του ξηρού μέρους της τροπόσφαιρας, όπως υπολογίστηκε με τη βοήθεια του μοντέλου ατμοσφαιρικών πιέσεων ECMWF από γεωφυσικά δεδομένα GDR της 223 ^{ης} περιστροφής του Jason-1 στο Basic Radar Altimetry Toolbox. Πηγή: (Collecte Localisation Satellites (CLS)).....	53
Εικόνα 4-1: Το πεδίο προεπισκόπησης του αρχείου-πηγής στην καρτέλα Datasets για αρχείο τύπου Jason-2 GDR.	66
Εικόνα 4-2: Η δομή των τεσσάρων εκφράσεων στο περιβάλλον του BRAT.	68
Εικόνα 4-3: Καμπύλες τύπου $Y=F(X)$ που αναπαριστούν το Υψόμετρο της Επιφάνειας της Θάλασσας SSH (m) ως προς το γεωγραφικό πλάτος (μοίρες). Η κόκκινη καμπύλη προκύπτει από την επεξεργασία των δεδομένων χωρίς τη χρήση δείκτη (flag), ενώ η πράσινη καμπύλη προκύπτει με τη χρήση του δείκτη “altim_landocean_flag” με τιμή 0 (για ωκεάνιες περιοχές). Το αρχείο-πηγή είναι τύπου Envisat GDR.	70
Εικόνα 4-4: Καμπύλες τύπου $Y=F(X)$ που αναπαριστούν τις Ανωμαλίες του Επιπέδου της Θάλασσας SLA (m) ως προς το γεωγραφικό πλάτος (μοίρες). Η κόκκινη καμπύλη προκύπτει	

από την επεξεργασία των δεδομένων χωρίς τη χρήση κάποιου τύπου, ενώ η πράσινη καμπύλη προκύπτει με τη χρήση του έτοιμου τύπου “Ocean_Editing_Envisat_GdrA”. Το αρχείο-πηγή είναι τύπου Envisat GDR.....	72
Εικόνα 4-5: Παράδειγμα υπολογισμού των γεωστροφικών ταχυτήτων από αλτιμετρικά δεδομένα της Δυναμικής Τοπογραφίας στην περιοχή του ρεύματος του Κόλπου (Gulf Stream) με τη χρήση του λογισμικού BRAT. Πηγή: (Collecte Localisation Satellites (CLS))	74
Εικόνα 4-6: Γεωστροφικές ταχύτητες υπολογισμένες με αλτιμετρικές μεθόδους (α) για τον Σεπτέμβρη και (β) τον Δεκέμβρη του 1998. Στις δύο εικόνες απεικονίζεται το κέντρο ενός έντονου αντικυκλώνα νότια του νησιού Γκραν Κανάρια. Η μπλε γραμμή αντιστοιχεί στην πορεία ενός drifter (περιφερόμενη σημαδούρα) τρεις μέρες πριν και τρεις μέρες μετά την κατασκευή του χάρτη από τα αλτιμετρικά δεδομένα. Η πορεία της σημαδούρας ταιριάζει ξεκάθαρα με τις αλτιμετρικές παρατηρήσεις του αντικυκλώνα. Πηγή: (Centre National d'Etudes Spatiales (CNES), Aviso+).....	74
Εικόνα 4-7: Καμπύλες τύπου $Y=F(X)$ που απεικονίζουν τις Ανωμαλίες του Επιπέδου της Θάλασσας SLA (m) ως προς το γεωγραφικό πλάτος (μοίρες). Σε κάθε περίπτωση η κόκκινη καμπύλη προκύπτει από την επεξεργασία των δεδομένων χωρίς τη χρήση κάποιου αλγορίθμου, ενώ η πράσινη με τη χρήση αλγορίθμου. Συγκεκριμένα, στην (α) περίπτωση έγινε εφαρμογή του αλγορίθμου BratAlgoFilterGaussianAtp, στην (β) του αλγορίθμου BratAlgoFilterLanczosAtp, στην (γ) του αλγορίθμου BratAlgoFilterLoessAtp και στην (δ) του αλγορίθμου BratAlgoFilterMedianAtp.....	77
Εικόνα 5-1: Παγκόσμιος χάρτης Ανωμαλιών του Επιπέδου της Θάλασσας (σε cm) από δεδομένα της αλτιμετρικής αποστολής Jason-2. Πηγή: (Runoff Processes 2009).....	89
Εικόνα 5-2: Χάρτης κάλυψης του ευρύτερου Ελλαδικού χώρου, όπου απεικονίζονται τα επίγεια ίχνη ενός συνδυασμού τεσσάρων διαφορετικών αλτιμετρικών αποστολών για το διάστημα Οκτώβριος 2002 – Σεπτέμβριος 2005 για την παραγωγή “all-sat-merged” δεδομένων. Με κίτρινο χρώμα απεικονίζονται τα επίγεια ίχνη του αλτιμετρικού δορυφόρου Envisat, με κόκκινο του Jason-1, με μωβ του Topex/Poseidon και με πράσινο του GFO. Πηγή: (Google Earth)	92
Εικόνα 5-3: Χάρτης Ανωμαλιών του Επιπέδου της Θάλασσας (MSLA) για το έτος 2012 από δεδομένα “all-sat-merged”.....	94
Εικόνα 5-4: Χάρτης Ανωμαλιών του Επιπέδου της Θάλασσας (MSLA) για το έτος 2012 από δεδομένα “two-sat-merged”.....	95

Εικόνα 5-5: Χάρτης Ανωμαλιών του Επιπέδου της Θάλασσας (MSLA) από δεδομένα “all-sat-merged” για το έτος 2010.	96
Εικόνα 5-6: Χάρτης Ανωμαλιών του Επιπέδου της Θάλασσας (MSLA) από δεδομένα “all-sat-merged” για το έτος 2011.	97
Εικόνα 5-7: Χάρτης Ανωμαλιών του Επιπέδου της Θάλασσας (MSLA) από δεδομένα “all-sat-merged” για το έτος 2012.	98
Εικόνα 5-8: Χάρτης Ανωμαλιών του Επιπέδου της Θάλασσας (MSLA) από δεδομένα “all-sat-merged” για τους μήνες Ιανουάριο και Φεβρουάριο του έτους 2011.	99
Εικόνα 5-9: Χάρτης Ανωμαλιών του Επιπέδου της Θάλασσας (MSLA) από δεδομένα “all-sat-merged” για τους μήνες Μάρτιο και Απρίλιο του έτους 2011.....	100
Εικόνα 5-10: Χάρτης Ανωμαλιών του Επιπέδου της Θάλασσας (MSLA) από δεδομένα “all-sat-merged” για τους μήνες Μάιο και Ιούνιο του έτους 2011.....	101
Εικόνα 5-11: Χάρτης Ανωμαλιών του Επιπέδου της Θάλασσας (MSLA) από δεδομένα “all-sat-merged” για τους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο του έτους 2011.	102
Εικόνα 5-12: Χάρτης Ανωμαλιών του Επιπέδου της Θάλασσας (MSLA) από δεδομένα “all-sat-merged” για τους μήνες Σεπτέμβριο και Οκτώβριο του έτους 2011.....	103
Εικόνα 5-13: Χάρτης Ανωμαλιών του Επιπέδου της Θάλασσας (MSLA) από δεδομένα “all-sat-merged” για τους μήνες Νοέμβριο και Δεκέμβριο του έτους 2011.	104
Εικόνα 5-14: Χάρτης Ανωμαλιών του Επιπέδου της Θάλασσας (MSLA) από δεδομένα DT-SLA (filtered) του αλτιμετρικού δορυφόρου Envisat για τη χρονική περίοδο 01.2010 – 04.2012 χωρίς τη χρήση φίλτρου.....	108
Εικόνα 5-15: Χάρτης Ανωμαλιών του Επιπέδου της Θάλασσας (MSLA) από δεδομένα DT-SLA (filtered) του αλτιμετρικού δορυφόρου Envisat για τη χρονική περίοδο 01.2010 – 04.2012 με τη χρήση του φίλτρου Loess (Cut-Off:15).	109
Εικόνα 5-16: Χάρτης Ανωμαλιών του Επιπέδου της Θάλασσας (MSLA) από δεδομένα DT-SLA (filtered) του αλτιμετρικού δορυφόρου Envisat για τη χρονική περίοδο 01.2010 – 04.2012 και με τροποποιημένη περιοχή μελέτης, τον Ελλαδικό θαλάσσιο χώρο, χωρίς τη χρήση φίλτρου.	110
Εικόνα 5-17: Χάρτης Ανωμαλιών του Επιπέδου της Θάλασσας (MSLA) από δεδομένα DT-SLA (filtered) του αλτιμετρικού δορυφόρου Envisat για τη χρονική περίοδο 01.2010 – 04.2012 και με τροποποιημένη περιοχή μελέτης, τον Ελλαδικό θαλάσσιο χώρο, με τη χρήση του φίλτρου Loess (Cut-Off:15).	111

Εικόνα 5-18: Χάρτης Ανωμαλιών του Επιπέδου της Θάλασσας (MSLA) από δεδομένα DT-SLA (filtered) του αλτιμετρικού δορυφόρου Envisat για τους μήνες Ιανουάριο και Φεβρουάριο του έτους 2011.....	112
Εικόνα 5-19: Χάρτης Ανωμαλιών του Επιπέδου της Θάλασσας (MSLA) από δεδομένα DT-SLA (filtered) του αλτιμετρικού δορυφόρου Envisat για τους μήνες Μάρτιο και Απρίλιο του έτους 2011.....	113
Εικόνα 5-20: Χάρτης Ανωμαλιών του Επιπέδου της Θάλασσας (MSLA) από δεδομένα DT-SLA (filtered) του αλτιμετρικού δορυφόρου Envisat για τους μήνες Μάιο και Ιούνιο του έτους 2011.....	114
Εικόνα 5-21: Χάρτης Ανωμαλιών του Επιπέδου της Θάλασσας (MSLA) από δεδομένα DT-SLA (filtered) του αλτιμετρικού δορυφόρου Envisat για τους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο του έτους 2011.....	115
Εικόνα 5-22: Χάρτης Ανωμαλιών του Επιπέδου της Θάλασσας (MSLA) από δεδομένα DT-SLA (filtered) του αλτιμετρικού δορυφόρου Envisat για τους μήνες Σεπτέμβριο και Οκτώβριο του έτους 2011.....	116
Εικόνα 5-23: Χάρτης Ανωμαλιών του Επιπέδου της Θάλασσας (MSLA) από δεδομένα DT-SLA (filtered) του αλτιμετρικού δορυφόρου Envisat για τους μήνες Νοέμβριο και Δεκέμβριο του έτους 2011.....	117
Εικόνα 5-24: Χάρτης Ανωμαλιών του Επιπέδου της Θάλασσας (MSLA) από δεδομένα “Seasonal mean of SLA” για την χρονική περίοδο 1993-2012.	121
Εικόνα 5-25: Χάρτες Ανωμαλιών του Επιπέδου της Θάλασσας (MSLA) από δεδομένα “Monthly averaged SLA” για τους μήνες Φεβρουάριο και Μάρτιο για τη συνολική διάρκεια των ετών 1993-2012.....	122
Εικόνα 5-26: Χάρτες Ανωμαλιών του Επιπέδου της Θάλασσας (MSLA) από δεδομένα “Monthly averaged SLA” για τους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο για τη συνολική διάρκεια των ετών 1993-2012.....	123
Εικόνα 5-27: Παγκόσμιος χάρτης Απόλυτης Δυναμικής Τοπογραφίας (σε cm) από δεδομένα πολλών αλτιμετρικών αποστολών (multi-mission) για την ημέρα 29-5-2014. Πηγή: (Centre National d'Etudes Spatiales (CNES), Aviso+)	125
Εικόνα 5-28: Χάρτης Απόλυτης Δυναμικής Τοπογραφίας (MADT) από δεδομένα “all-sat merged” για την ημέρα 01-01-2012.	128

Εικόνα 5-29: Χάρτης Μέσης Δυναμικής Τοπογραφίας (MDT) από βοηθητικά αλτιμετρικά προϊόντα για τη χρονική περίοδο 1993-1999 (mdt_rio2007_mediterranean.nc).....	132
Εικόνα 5-30: Χάρτης Μέσης Δυναμικής Τοπογραφίας (MDT) από βοηθητικά αλτιμετρικά προϊόντα για τη χρονική περίοδο 1993-2012 (mean_dynamic_topography_SMDT-MED-2014.nc).....	133
Εικόνα 5-31: (α) Παγκόσμιο Σύστημα Ανέμων σε μία περιστρεφόμενη Γη χωρίς ανάγλυφο και (β) σχηματική αναπαράσταση των επιφανειακών ρευμάτων στον Ατλαντικό Ωκεανό. Πηγή: (Παπαθεοδώρου 2011)	135
Εικόνα 5-32: Η ωκεάνια κυκλοφορία μέσης κλίμακας στην ανατολική Μεσόγειο Θάλασσα. Πηγή: (Robinson et al. 2001).....	136
Εικόνα 5-33: Χάρτης Ανωμαλιών Γεωστροφικών Ταχυτήτων από δεδομένα “all-sat-merged” για το έτος 2010.	138
Εικόνα 5-34: Χάρτης Ανωμαλιών Γεωστροφικών Ταχυτήτων από δεδομένα “all-sat-merged” για το έτος 2011.	139
Εικόνα 5-35: Χάρτης Ανωμαλιών Γεωστροφικών Ταχυτήτων από δεδομένα “all-sat-merged” για το έτος 2012.	140
Εικόνα 5-36: Χάρτης Ανωμαλιών Γεωστροφικών Ταχυτήτων από δεδομένα “all-sat-merged” για τους μήνες Ιανουάριο και Φεβρουάριο του έτους 2011.	141
Εικόνα 5-37: Χάρτης Ανωμαλιών Γεωστροφικών Ταχυτήτων από δεδομένα “all-sat-merged” για τους μήνες Μάρτιο και Απρίλιο του έτους 2011.....	142
Εικόνα 5-38: Χάρτης Ανωμαλιών Γεωστροφικών Ταχυτήτων από δεδομένα “all-sat-merged” για τους μήνες Μάιο και Ιούνιο του έτους 2011.....	143
Εικόνα 5-39: Χάρτης Ανωμαλιών Γεωστροφικών Ταχυτήτων από δεδομένα “all-sat-merged” για τους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο του έτους 2011.	144
Εικόνα 5-40: Χάρτης Ανωμαλιών Γεωστροφικών Ταχυτήτων από δεδομένα “all-sat-merged” για τους μήνες Σεπτέμβριο και Οκτώβριο του έτους 2011.	145
Εικόνα 5-41: Χάρτης Ανωμαλιών Γεωστροφικών Ταχυτήτων από δεδομένα “all-sat-merged” για τους μήνες Νοέμβριο και Δεκέμβριο του έτους 2011.....	146
Εικόνα 5-42: Χάρτης Απόλυτων Γεωστροφικών Ταχυτήτων από βοηθητικά αλτιμετρικά προϊόντα (mdt_rio2007_mediterranean.nc) για τη χρονική περίοδο 1993-1999 χωρίς την παράλληλη απεικόνιση της Απόλυτης Δυναμικής Τοπογραφίας.	149

Εικόνα 5-43: Χάρτης Απόλυτων Γεωστροφικών Ταχυτήτων από βοηθητικά αλιμετρικά προϊόντα (mdt_rio2007_mediterranean.nc) για τη χρονική περίοδο 1993-1999 με την παράλληλη απεικόνιση της Απόλυτης Δυναμικής Τοπογραφίας.	150
Εικόνα 5-44: Χάρτης Απόλυτων Γεωστροφικών Ταχυτήτων από βοηθητικά αλιμετρικά προϊόντα (mdt_rio2007_mediterranean.nc) για τη χρονική περίοδο 1993-1999. Συνιστώσα κατά παράλληλο U.	151
Εικόνα 5-45: Χάρτης Απόλυτων Γεωστροφικών Ταχυτήτων από βοηθητικά αλιμετρικά προϊόντα (mdt_rio2007_mediterranean.nc) για τη χρονική περίοδο 1993-1999. Συνιστώσα κατά παράλληλο V.	152
Εικόνα 5-46: Χάρτης Κινητικής Ενέργειας Γεωστροφικών Ρευμάτων από βοηθητικά αλιμετρικά προϊόντα (mdt_rio2007_mediterranean.nc) για τη χρονική περίοδο 1993-1999.	153
Εικόνα 5-47: Γραφική απεικόνιση της απόστασης fetch. Πηγή: (Ainsworth 2006).....	155
Εικόνα 5-48: Τα χαρακτηριστικά στοιχεία για τη μέτρηση το μεγέθους ενός κύματος. Πηγή: (Ainsworth 2006).....	156
Εικόνα 5-49: Στατιστική κατανομή κύματος (Υψος κύματος (H) = f (Αριθμός κυμάτων (N))) Πηγή: (Wikipedia 2014).....	157
Εικόνα 5-50: Χάρτης Σημαντικού Ύψους Κύματος (MSWH) από gridded δεδομένα SWH για τη χρονική περίοδο 2010 – 2013 χωρίς τη χρήση φίλτρου.	161
Εικόνα 5-51: Χάρτης Σημαντικού Ύψους Κύματος (MSWH) από gridded δεδομένα SWH για τη χρονική περίοδο 2010 – 2013 με εφαρμογή του φίλτρου Loess Smooth (Cut-Off:31)....	162
Εικόνα 5-52: Χάρτης Σημαντικού Ύψους Κύματος (MSWH) από gridded δεδομένα SWH για το έτος 2010.	163
Εικόνα 5-53: Χάρτης Σημαντικού Ύψους Κύματος (MSWH) από gridded δεδομένα SWH για το έτος 2011.	164
Εικόνα 5-54: Χάρτης Σημαντικού Ύψους Κύματος (MSWH) από gridded δεδομένα SWH για το έτος 2012.	165
Εικόνα 5-55: Χάρτης Σημαντικού Ύψους Κύματος (MSWH) από gridded δεδομένα SWH για το έτος 2013.	166
Εικόνα 5-56: Χάρτης Σημαντικού Ύψους Κύματος (MSWH) από gridded δεδομένα SWH για τον Χειμώνα του έτους 2013.....	167

Εικόνα 5-57: Χάρτης Σημαντικού Ύψους Κύματος (MSWH) από gridded δεδομένα SWH για την Άνοιξη του έτους 2013.....	168
Εικόνα 5-58: Χάρτης Σημαντικού Ύψους Κύματος (MSWH) από gridded δεδομένα SWH για το Καλοκαίρι του έτους 2013.....	169
Εικόνα 5-59: Χάρτης Σημαντικού Ύψους Κύματος (MSWH) από gridded δεδομένα SWH για το Φθινόπωρο του έτους 2013.	170
Εικόνα 5-60: Χάρτης Σημαντικού Ύψους Κύματος (MSWH) από gridded δεδομένα SWH για την 1 ^η εβδομάδα του Ιανουαρίου του έτους 2013.....	171
Εικόνα 5-61: Χάρτης Σημαντικού Ύψους Κύματος (MSWH) από gridded δεδομένα SWH για την 2 ^η εβδομάδα του Ιανουαρίου του έτους 2013.....	172
Εικόνα 5-62: Χάρτης Σημαντικού Ύψους Κύματος (MSWH) από gridded δεδομένα SWH για την 3 ^η εβδομάδα του Ιανουαρίου του έτους 2013.....	173
Εικόνα 5-63: Χάρτης Σημαντικού Ύψους Κύματος (MSWH) από gridded δεδομένα SWH για την 4 ^η εβδομάδα του Ιανουαρίου του έτους 2013.....	174
Εικόνα 5-64: Χάρτης Σημαντικού Ύψους Κύματος (MSWH) από gridded δεδομένα SWH για την 1 ^η ημέρα του Ιανουαρίου του έτους 2013 (01-01-2013).....	175
Εικόνα 5-65: Χάρτης Σημαντικού Ύψους Κύματος (MSWH) από gridded δεδομένα SWH για την 2 ^η ημέρα του Ιανουαρίου του έτους 2013 (02-01-2013).....	176
Εικόνα 5-66: Χάρτης Σημαντικού Ύψους Κύματος (MSWH) από gridded δεδομένα SWH για την 3 ^η ημέρα του Ιανουαρίου του έτους 2013 (03-01-2013).....	177
Εικόνα 5-67: Χάρτης Σημαντικού Ύψους Κύματος (MSWH) από gridded δεδομένα SWH για την 4 ^η ημέρα του Ιανουαρίου του έτους 2013 (04-01-2013).....	178
Εικόνα 5-68: Παγκόσμιος χάρτης Σημαντικού Ύψους Κύματος (MSWH) από gridded δεδομένα SWH για τον Ιανουάριο του έτους 2013.....	179
Εικόνα 5-69: Χάρτης Σημαντικού Ύψους Κύματος (MSWH) από gridded δεδομένα SWH με περιοχή μελέτης τη Μεσόγειο Θάλασσα για τον Ιανουάριο του έτους 2013.	180
Εικόνα 5-70: Χάρτης Σημαντικού Ύψους Κύματος (MSWH) από gridded δεδομένα SWH με περιοχή μελέτης τον Ελλαδικό χώρο για τον Ιανουάριο του έτους 2013.....	181
Εικόνα 5-71: Χάρτης Σημαντικού Ύψους Κύματος από δεδομένα DT CorSSH για τη χρονική περίοδο Μάιος 2010 – Μάιος 2014 χωρίς τη χρήση φίλτρου.	185
Εικόνα 5-72: Χάρτης Σημαντικού Ύψους Κύματος από δεδομένα DT CorSSH για τη χρονική περίοδο Μάιος 2010 – Μάιος 2014 με την εφαρμογή του φίλτρου Loess (Cut-Off 31).	186

ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ

ΜΣΘ	Μέση Στάθμη της Θάλασσας
ΦΓΕ	Φυσική Γήινη Επιφάνεια
ADT	Absolute Dynamic Topography
API	Application Programming Interface
BRAT	Basic Radar Altimetry Toolbox
CHAMP	Challenging Minisatellite Payload
CNES	Centre National d'Etudes Spatiales
CODA	Common Data Access Framework
DORIS	Doppler Orbitography and Radiopositioning Integrated by Satellite
DT	Delayed Time
ESA	European Space Agency
FOS	Flight Operation Segment
GDR	Geophysical Data Records
GNSS	Global Navigation Satellite System
GOCE	Gravity Field and Steady-State Ocean
GPS	Global Positioning System
GRACE	Gravity Recovery and Climate Experiment
GUI	Graphical User Interface
IGDR	Interim Geophysical Data Records
MADT	Maps of Absolute Dynamic Topography
MDT	Mean Dynamic Topography
MSL	Mean Sea Level
MSLA	Maps of Sea Level Anomalies
MSS	Mean Sea Surface
MSWH	Maps of Significant Wave Height
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NCEP	National (USA) Center for Environmental Prediction
NRT	Near-Real Time
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
OGDR	Operational Geophysical Data Records

POD	Precise Orbit Determination
PODAAC	Physical Oceanography Distributed Active Archive Center
PDS	Payload Data Segment
PRF	Pulse Repetition Frequency
RT	Real Time
SAR	Synthetic Aperture Radar
SLA	Sea Level Anomalies
SLR	Satellite Laser Ranging
SSH	Sea Surface Height
SSHA	Sea Surface Height Anomalies
WITTEX	Water Inclination Topography and Technology Experiment
WSOA	Wide-Swath Ocean Altimeter

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

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 πέντε 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 *δεύτερο* 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. Στη συνέχεια, αναλύεται η αρχή της μεθόδου της Δορυφορικής Αλτιμετρίας, καθώς και 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.

Το *τρίτο* κεφάλαιο αφορά ειδικά τα αλτιμετρικά δεδομένα. Συγκεκριμένα, περιγράφονται, αρχικά, τα στάδια επεξεργασίας τους, από τη στιγμή λήψης τους από τους επίγειους σταθμούς μέχρι τη διάθεσή τους στους χρήστες από τις αντίστοιχες υπηρεσίες παροχής αλτιμετρικών δεδομένων. 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. Τέλος, γίνεται η κατηγοριοποίηση των διαθέσιμων δεδομένων με βάση κάποια κριτήρια, όπως είναι ο αριθμός των διαθέσιμων αλτιμετρικών αποστολών που

συμμετέχουν στη δημιουργία του εκάστοτε είδους δεδομένων, ο χρόνος που μεσολαβεί μέχρι τη διάθεσή τους στους χρήστες, το είδος προ-επεξεργασίας τους κ.ά.

Το τέταρτο 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 πέμπτο 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), των Ανωμαλιών των Γεωστροφικών Ταχυτήτων και των Απόλυτων Γεωστροφικών Ταχυτήτων, καθώς και του Σημαντικού Ύψους Κύματος (SWH). Για κάθε μία από τις εφαρμογές, αναφέρονται αρχικά κάποια θεωρητικά στοιχεία, στη συνέχεια 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. Επειδή, όπως αναφέρθηκε και νωρίτερα, στην εργασία έγινε η προσπάθεια χρήσης όσο το δυνατόν περισσότερων διαφορετικών αλτιμετρικών δεδομένων (π.χ. από πολλαπλούς ή επιλεγμένους δορυφόρους), η κάθε εφαρμογή διακρίνεται σε επιμέρους περιπτώσεις, οι οποίες έχουν να κάνουν με τα διαφορετικά είδη διαθέσιμων δεδομένων.

Μετά το τέλος και το πέμπτου 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 ΘΕΩΡΗΤΙΚΕΣ ΒΑΣΕΙΣ

2.1 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. Στο δεύτερο μέρος του κεφαλαίου, παρέχονται πληροφορίες σχετικά με τις παρελθοντικές και τις σύγχρονες αλτιμετρικές αποστολές, τον συνδυασμό τους για την παραγωγή αλτιμετρικών δεδομένων υψηλής ακρίβειας και τον συνδυασμό αλτιμετρικών και βαρυτημετρικών δεδομένων για ειδικές, γεωδαιτικές συνήθως, εφαρμογές. Τέλος, αναφέρονται οι μελλοντικές εξελίξεις στο πεδίο της Δορυφορικής Αλτιμετρίας.

2.2 Επιφάνειες Αναφοράς

2.2.1 Ελλειψοειδές Αναφοράς

Το *Ελλειψοειδές Αναφοράς* (Reference Ellipsoid) είναι μία μαθηματικά προσδιορισμένη επιφάνεια που προσεγγίζει το Γεωειδές (βλ. Ενότητα 2.2.2) και είναι, ουσιαστικά, 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 a , και είτε από την επιπλάτυνση f , είτε από τον μικρό του ημιάξονα b , είτε από την εκκεντρότητά του e . Οι παράμετροι, συνεπώς, που ορίζουν ένα τέτοιο ελλειψοειδές είναι (Δεληκαράογλου 2011):

- ο μεγάλος ημιάξονας a
- ο μικρός ημιάξονας b
- η επιπλάτυνση f
- η εκκεντρότητα e
- και η δεύτερη εκκεντρότητα e' ,

ενώ οι σχέσεις που συνδέουν τα μεγέθη αυτά είναι :

$$\boxed{1/f = a/(a-b)} \quad (2.1)$$

$$e^2 = 2f - f^2 \quad (2.2)$$

$$e'^2 = e^2 / (1 - e^2) \quad (2.3)$$

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).

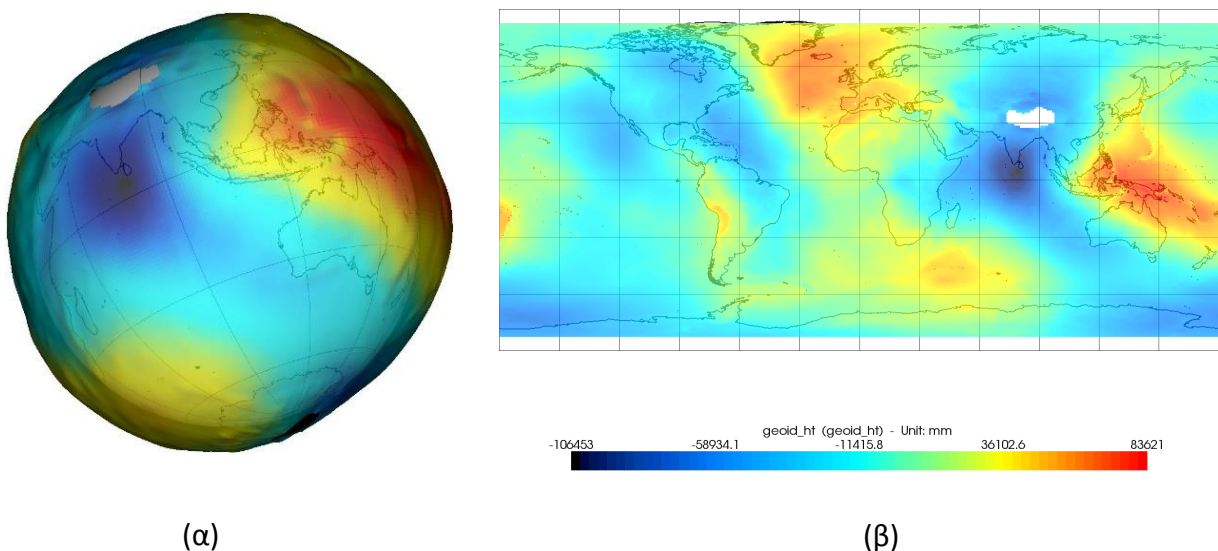
Το ελλειψοειδές αναφοράς χρησιμοποιείται ως η προτιμώμενη επιφάνεια για τους εκάστοτε υπολογισμούς, καθώς είναι μαθηματικά απλή, αλλά παράλληλα παρέχει και μεγάλη ακρίβεια σε σχέση με τις άλλες επιφάνειες αναφοράς (Γεωειδές και Σφαίρα). Οι μέγιστες αποχές του ελλειψοειδούς αναφοράς από το Γεωειδές είναι περίπου 100 m, με μέσο όρο ± 30 m, ενώ οι αντίστοιχες της Σφαίρας - σαν επιφάνεια αναφοράς - μπορεί να φτάσουν μέχρι 20 km. Επιπλέον, αν γίνουν μετρήσεις για το ύψος της επιφάνειας της θάλασσας με αφετηρία το κέντρο της Γης τότε είναι της τάξης των 6000 m. Αν, όμως, χρησιμοποιηθεί σαν αφετηρία το ελλειψοειδές αναφοράς τότε είναι της τάξης των 100 m. Για το λόγο αυτό, μπορούν να προστεθούν παραπάνω ψηφία στους υπολογισμούς και να επιτευχθεί μεγαλύτερη ακρίβεια. Αναφέρεται ότι η μέση ακρίβεια προσδιορισμού του υψομέτρου του δορυφόρου είναι ± 3 cm (Μανδηλαράς κ.ά.).

Πρέπει να σημειωθεί ότι όλοι οι αλτιμετρικοί δορυφόροι δεν χρησιμοποιούν το ίδιο Ελλειψοειδές Αναφοράς. Ενδεικτικά, οι ERS-1, ERS-2 και Envisat, όλοι δορυφόροι του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Διαστήματος (European Space Agency, ESA), χρησιμοποιούν το Ελλειψοειδές Αναφοράς WGS84, του οποίου ο μεγάλος ημιάξονας a - ή η ακτίνα - είναι ίσος με 6378137.0 m και η επιπλάτυση f είναι ίση με $1 / 298.257223563$, ενώ οι Topex/Poseidon, Jason-1, Jason-2, οι οποίοι είναι δορυφόροι αμερικανο-γαλλικής συνεργασίας, χρησιμοποιούν ένα άλλο ελλειψοειδές αναφοράς με μεγάλο ημιάξονα a ίσο με 6378136.3 m και επιπλάτυση f ίση με $1 / 298.257$.

2.2.2 Γεωειδές

Ως *Γεωειδές (Geoid)* (**Εικόνα 2-1 (α) και (β)**) 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. Ένας άλλος ορισμός του γεωειδούς είναι ως εκείνη η ισοδυναμική επιφάνεια που θα συνέπιπτε ακριβώς με τη μέση στάθμη της θάλασσας, εάν οι ωκεανοί επεκτεινόταν κάτω από τις ηπείρους. 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).



Εικόνα 2-1: Απεικόνιση των υψομέτρων του γεωειδούς από αλτιμετρικά δεδομένα του δορυφόρου Envisat (Envisat GDR Altimetry Data) (α) σε 3D προβολή και (β) σε προβολή “Plate Carrée” (βλ. Ενότητα 4.4.4). Επεξεργασία δεδομένων στο λογισμικό Basic Radar Altimetry Toolbox. Πηγή: (Collecte Localisation Satellites (CLS))

http://www.altimetry.info/html/alti/dataflow/processing/ref_surf/geoid_en.html

Όταν 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 κατακόρυφου* (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, όπως αναφέρθηκε και νωρίτερα, 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)).

Το γεωειδές σε ωκεάνιες περιοχές μπορεί να προσδιοριστεί, εκτός των άλλων, και με αλτιμετρικές μετρήσεις του στιγμιαίου ύψους της επιφάνειας της θάλασσας, αφού ληφθούν υπόψη ποικίλες επιδράσεις που σχετίζονται με την εκάστοτε δυναμική κατάσταση και την εποχικότητα των διακυμάνσεων της θαλάσσιας στάθμης.

2.2.3 Μέση Στάθμη Θάλασσας (ΜΣΘ)

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 (βλ. Ενότητα 2.2.4), η οποία περιλαμβάνει την μόνιμη αμετάβλητη συνιστώσα της ωκεάνιας δυναμικής τοπογραφίας (Εισαγωγή στη Γεωδαισία 2007).

Η Μέση Στάθμη της Θάλασσας μπορεί να προσδιοριστεί με τη μέθοδο της δορυφορικής αλτιμετρίας από έναν ή τον συνδυασμό περισσότερων αλτιμετρικών δορυφόρων που είναι εξοπλισμένοι με ειδικά όργανα ραντάρ, τα λεγόμενα *δορυφορικά αλτιμέτρα*, τα οποία παρέχουν δεδομένα από επαναλαμβανόμενες παρατηρήσεις κατά μήκος των επίγειων ιχνών της τροχιάς του εκάστοτε δορυφόρου (ground tracks) στην θαλάσσια επιφάνεια και επιτρέπουν τον υπολογισμό της μέσης στάθμης της θάλασσας ως τον μέσο όρο των εν λόγω μετρήσεων με την πάροδο του χρόνου. Σε κάθε σημείο της θαλάσσιας επιφάνειας το μέσο υψόμετρο που παρατηρείται συνίσταται στο ύψος του γεωειδούς (δηλαδή την απόσταση του σημείου από το ελλειψοειδές αναφοράς) συν τη μέση δυναμική τοπογραφία της επιφάνειας των ωκεανών, καθώς επίσης και της συνεχώς μεταβαλλόμενης δυναμικής τοπογραφίας που προκαλείται από τις παλίρροιες, τα κύματα, τις επιπτώσεις από τις εποχικές αλλαγές θερμοκρασίας κ.λπ. (Andersen and Knudsen 2004).

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

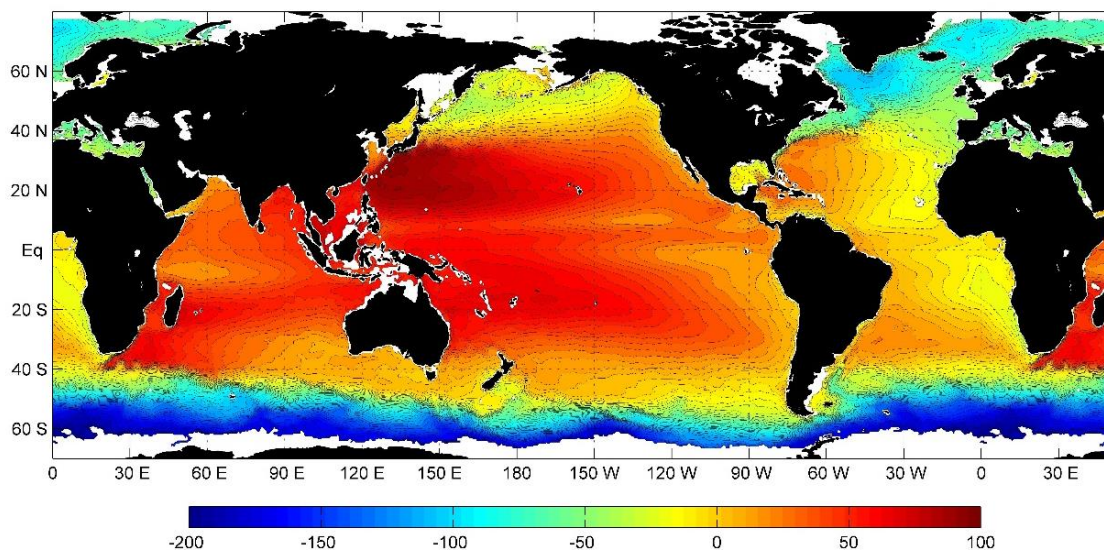
- σε κλίμακα χιλιομέτρων, διακυμάνσεις εκατοντάδων μέτρων που οφείλονται στη μεταβολή πυκνότητας στις διάφορες περιοχές του μανδύα της Γης.
- σε μεσαία κλίμακα, ρεύματα και μάζες νερού διαφορετικής πυκνότητας, τα οποία οδηγούν στη μεταβολή του επιπέδου της θάλασσας κατά μερικά μέτρα.
- σε μεγάλη κλίμακα, 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 (Centre National d'Etudes Spatiales (CNES), Aviso+)

2.2.4 Μέση Δυναμική Τοπογραφία της Επιφάνειας της Θάλασσας

Η Μέση Δυναμική Τοπογραφία της Επιφάνειας της Θάλασσας (Mean Dynamic Topography, MDT) (Εικόνα 2-2) 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. (Le Traon et al.).

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 βαρυτημετρικά δεδομένα. Οι διακυμάνσεις στη Μέση Δυναμική Τοπογραφία μπορεί να είναι μέχρι και δύο μέτρα (Jet Propulsion Laboratory (NASA) 2012).

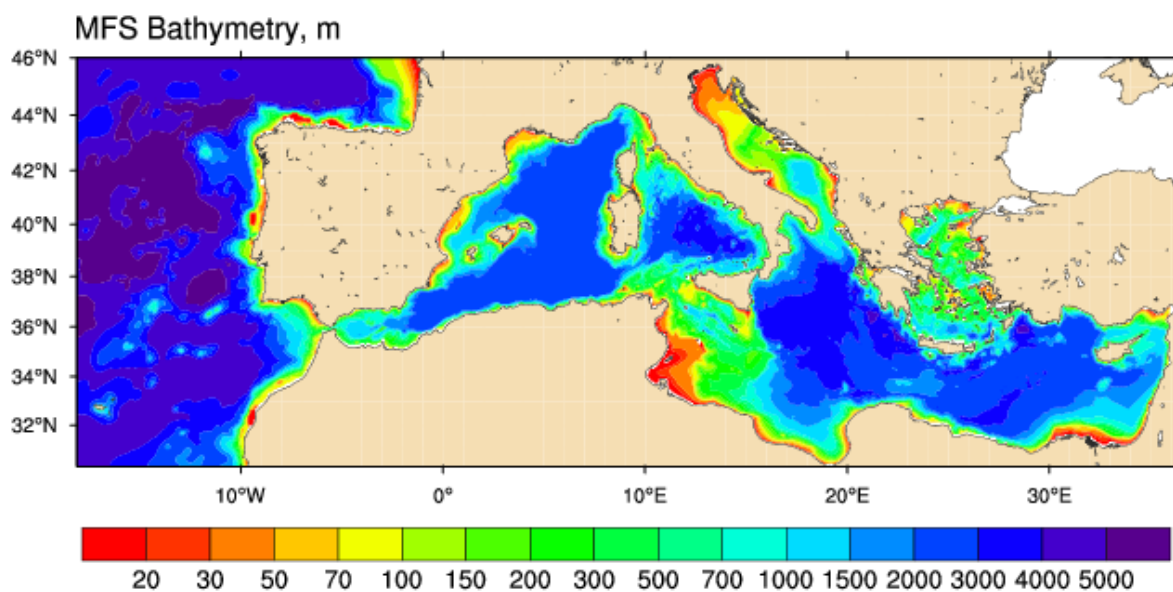


Εικόνα 2-2: Η Μέση Δυναμική Τοπογραφία της Επιφάνειας της Θάλασσας για τη χρονική περίοδο 1992 – 2002 σε εκατοστά (cm) και με βήμα ισοψιών καμπυλών 5 cm. Ο χάρτης έχει προκύψει από κοινού αλτιμετρικά δεδομένα, δεδομένα από παράκτιους drifters (περιφερόμενες σημαδούρες), καθώς και από ανεμολογικά δεδομένα του Αμερικανικού Εθνικού Κέντρου Περιβαλλοντικών Προβλέψεων (National Center for Environmental Prediction, NCEP) και δεδομένων από τη δορυφορική αποστολή βαρύτητας GRACE. Πηγή: (Asia-Pacific Data-Research Center 2011) <http://apdrc.soest.hawaii.edu/projects/DOT/>

2.2.5 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 (National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) 2014).

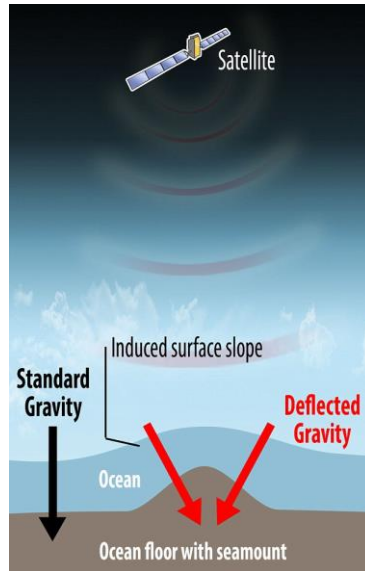
Οι βαθυμετρικοί χάρτες (**Εικόνα 2-3**) κατασκευάζονται με την ίδια λογική όπως και οι τοπογραφικοί χάρτες με τη διαφορά ότι οι πρώτοι απεικονίζουν το υποθαλάσσιο ανάγλυφο και τα σημεία ίδιου βάθους ενώνονται μεταξύ τους με ισοβαθείς καμπύλες.



Εικόνα 2-3: Βαθυμετρικός χάρτης της Μεσογείου Θάλασσας σε μέτρα (m), όπως προκύπτει από το μοντέλο NEMO-OPA (Nucleus for European Modelling of the Ocean - Ocean PARallelise). Ο χάρτης έχει χωρική ανάλυση $1/16^\circ \times 1/16^\circ$ και 71 άνισα τοποθετημένα κατακόρυφα επίπεδα. Πηγή: (Gruppo Nazionale di Oceanografia Operativa 2009) <http://qnoo.bo.ingv.it/mfs/myocean/description.html>

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 συνήθως υπολογίζεται με τη βοήθεια ηχοβολιστικών οργάνων (SONAR) (United States Geological

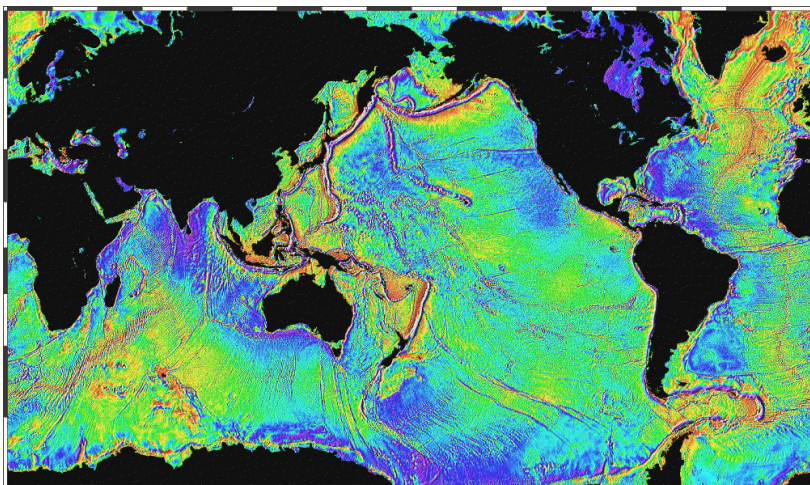
Survey 2013). Ωστόσο, στις ανοικτές θάλασσες, η βαθυμετρία του ωκεάνιου πυθμένα μπορεί να προσδιοριστεί από αλτιμετρικά δεδομένα ύψους επιφάνειας της θάλασσας, δεδομένου ότι η επιφάνεια του ωκεανού διογκώνεται προς τα έξω και προς τα μέσα με χαρακτηριστικές παραλλαγές που μιμούνται την τοπογραφία του πυθμένα (**Εικόνα 2-4**).



Εικόνα 2-4: Παράδειγμα υποθαλάσσιου όρους και η επίδραση του στην μορφολογία της επιφάνειας της θάλασσας. Πηγή: (Daily Mail UK 2014)

http://i.dailymail.co.uk/i/pix/2014/05/28/article-2641602-1E45F5B900000578-988_634x971.jpg

Ενδεικτικό παράδειγμα μιας τέτοιας εφαρμογής αποτελεί η πρωτοποριακή εργασία των Smith and Sandwell (1997) από την οποία προέκυψε ο πρώτος λεπτομερής τέτοιος χάρτης (**Εικόνα 2-5**).



Εικόνα 2-5: Βαθυμετρικός χάρτης των Smith and Sandwell (1997) από αλτιμετρικά δεδομένα των δορυφόρων Geosat και ERS. Πηγή: (NOAA National Geophysical Data Center (NGDC)) http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/image/global_grav_large.gif

2.2.6 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.

2.2.7 Σχέσεις μεταξύ των Επιφανειών Αναφοράς

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

$$\boxed{\text{MSS} = \text{Geoid} + \text{MDT}} \quad (2.4)$$

$$\boxed{\text{MDT} = \text{MSS} - \text{Geoid}} \quad (2.5)$$

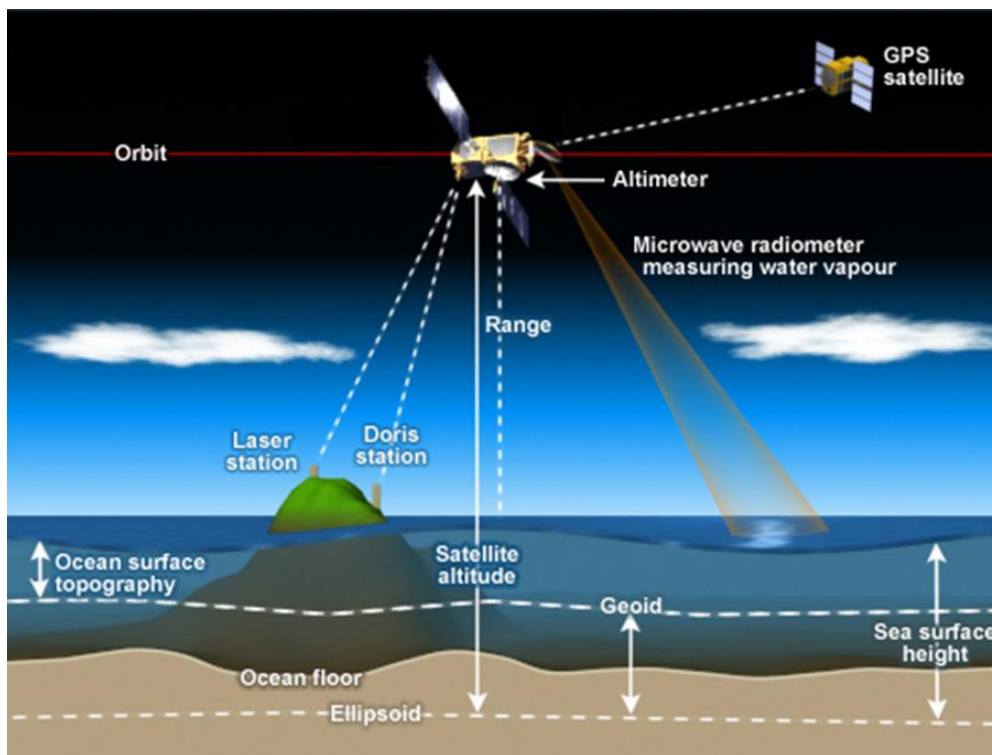
$$\boxed{\text{SSH} = \text{MSS} + \text{SLA/SSHA} = \text{Geoid} + \text{MDT} + \text{SLA/SSHA}} \quad (2.6)$$

2.3 Η Αρχή της Δορυφορικής Αλτιμετρίας

Η βασική αρχή της Δορυφορικής Αλτιμετρίας είναι φαινομενικά απλή. Ο κύριος στόχος της μεθόδου είναι να μετρηθεί η απόσταση R μεταξύ του δορυφόρου και της επιφάνειας της θάλασσας (**Εικόνα 2-6**). Με βάση την αρχή αυτή, το αλτίμετρο του δορυφόρου εκπέμπει ένα παλμικό κύμα μικροκυματικής ακτινοβολίας (ραντάρ), μεγάλης συχνότητας (πάνω από 1700

παλμούς ανά δευτερόλεπτο), με κατεύθυνση κατακόρυφα προς την επιφάνεια της θάλασσας. Ο παλμός αυτός αλληλεπιδρά με τη συνήθως ανώμαλη (εξ αιτίας των κυματισμών) επιφάνεια της θάλασσας και μέρος της προσπίπτουσας ακτινοβολίας ανακλάται κάθετα προς το αλτίμετρο του δορυφόρου, το οποίο τη λαμβάνει και καταγράφει με ακρίβεια το χρόνο λήψης του επιστρέφοντος παλμού. Το χρονόμετρο του δορυφόρου καταγράφει το χρόνο της διπλής διαδρομής του παλμικού κύματος και τον μετατρέπει σε απόσταση, η οποία, αν αγνοηθούν οι παράμετροι που την επηρεάζουν, ισούται με το μισό του γινομένου του χρόνου της διαδρομής με την ταχύτητα διάδοσης του ηλεκτρομαγνητικού κύματος, που είναι ίδια με την ταχύτητα του φωτός c , και περιγράφεται μαθηματικά από τη Σχέση 2.7 (Lee-Lueng and Cazanave 2001):

$$R = (c * t) / 2 \quad (2.7)$$



Εικόνα 2-6: Η αρχή της Δορυφορικής Αλτιμετρίας σχηματικά. Ως “Range” συμβολίζεται η απόσταση R που έχει αναφερθεί παραπάνω. Πηγή: (National Oceanic and Atmospheric Administration 2013) http://www.ppi.noaa.gov/bom_chapter3_satellite_management/

Αν ληφθούν, όμως, υπόψη οι διάφορες παράμετροι της ατμοσφαιρικής διάθλασης (π.χ. υδρατμοί, ιονισμός κ.λπ.) καθώς και οι αποκλίσεις μεταξύ της μέσης ηλεκτρομαγνητικής επιφάνειας σκέδασης και της μέσης στάθμης της θάλασσας στην διεπιφάνεια ατμόσφαιρας – θάλασσας, οι οποίες επιδρούν στη διάδοση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας του παλμού κατά μήκος της διαδρομής του, η απόσταση R υπολογίζεται μέσω της αφαίρεσης του αθροίσματος των διορθώσεων λόγω των παραπάνω παραμέτρων $\sum_j \Delta R_j, j = 1, 2, \dots$ από

την παρατηρούμενη τιμή R της Σχέσης 2.8, η οποία από εδώ και στο εξής θα συμβολίζεται ως \hat{R} , δηλαδή:

$$R = \hat{R} - \sum_j \Delta R_j \quad (2.8)$$

Όλες οι διορθώσεις ΔR_j στην μετρούμενη απόσταση \hat{R} είναι θετικές ποσότητες, οι οποίες θα οδηγούσαν σε υπερεκτίμηση της απόστασης R , εάν δεν λαμβάνονταν υπόψη στον προσδιορισμό της. Η τελική τιμή του R προκύπτει με αβεβαιότητα 2 cm (Lee-Lueng and Casanave 2001).

Στην πραγματικότητα, η διαδικασία μιας αλτιμετρικής παρατήρησης είναι αρκετά πιο σύνθετη, καθώς για να υπάρξει αβεβαιότητα λίγων εκατοστών, είναι απαραίτητη η εξαιρετικά ακριβής γνώση της τροχιακής θέσης του δορυφόρου τη χρονική στιγμή της μέτρησης. Ο δορυφόρος δεν είναι ένα σταθερό σύστημα, εφόσον η τροχιά του υπόκειται στη συνεχή επίδραση του γήινου πεδίου βαρύτητας. Η τροχιά δεν προσδιορίζεται μέσω των αλτιμετρικών παρατηρήσεων, αλλά με τη βοήθεια επίγειων συστημάτων παρακολούθησης δορυφόρων (DORIS, SLR) και ελέγχεται με τη βοήθεια του GPS, καθώς οι αλτιμετρικοί δορυφόροι είναι εφοδιασμένοι και με δέκτες GPS (Αράμπελος και Τζιαβός 2007).

Η εκτίμηση της απόστασης R από τη Σχέση 2.8 μεταβάλλεται κατά μήκος της τροχιάς του δορυφόρου από διακυμάνσεις που οφείλονται τόσο στην τοπογραφία της επιφάνειας της θάλασσας όσο και στο ύψος της τροχιάς του δορυφόρου σε σχέση με το κέντρο της γης. Για να είναι πιο εύκολα αξιοποιήσιμο σε ωκεανογραφικές εφαρμογές, η εκτίμηση της απόστασης πρέπει να αναφέρεται σε ένα σταθερό σύστημα συντεταγμένων. Αυτό επιτυγχάνεται με τον ακριβή τροχιακό προσδιορισμό του υψομέτρου H του δορυφόρου σε σχέση με ένα συγκεκριμένο ελλειψοειδές αναφοράς. Η απόσταση R , στη συνέχεια, μετατρέπεται στο υψόμετρο h , το οποίο είναι η απόσταση μεταξύ της επιφάνειας της θάλασσας και του ελλειψοειδούς αναφοράς περιγράφεται μαθηματικά από τη Σχέση 2.9 (Lee-Lueng and Casanave 2001):

$$h = H - R = H - \hat{R} + \sum_j \Delta R_j \quad (2.9)$$

Το υψόμετρο h είναι, όσον αφορά στις ωκεανογραφικές εφαρμογές, το λεγόμενο *Υψόμετρο Επιφάνειας της Θάλασσας* (Sea Surface Height, SSH), το οποίο χρησιμοποιείται σαν βασική μέτρηση της δυναμικής κατάσταση της θάλασσας σε πολλές περιπτώσεις. Για το λόγο αυτό, ο απώτερος σκοπός των αλτιμετρικών παρατηρήσεων θεωρείται ο προσδιορισμός, όχι της απόστασης \hat{R} , αλλά της υψομετρικής τιμής SSH μέσω της απόστασης \hat{R} . Η Σχέση 2.9, προσαρμοσμένη σε ωκεανογραφικές εφαρμογές μπορεί να γραφτεί για απλοποίηση ως:

$$SSH = H - R \quad (2.10)$$

όπου SSH: το Υψόμετρο της Επιφάνειας της Θάλασσας (Sea Surface Height)

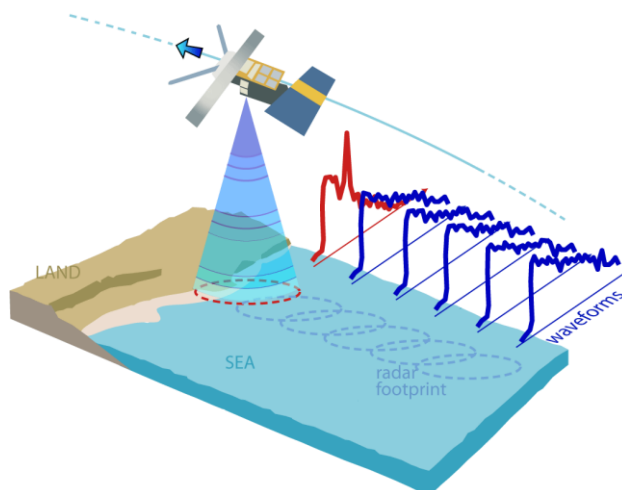
H: το Υψόμετρο του δορυφόρου σε σχέση με το ελλειψοειδές αναφοράς

R: η απόσταση του δορυφόρου από τη στιγμιαία επιφάνεια της θάλασσας, όπως προκύπτει από την αντίστοιχη μέτρηση διορθωμένη από όλες τις απαραίτητες επιρροές της ατμόσφαιρας και της επιφάνειας της θάλασσας.

2.4 Παλμοί και Κυματομορφές

Σύμφωνα με την αρχή της Δορυφορικής Αλτιμετρίας και όπως έχει αναφερθεί στην Ενότητα 2.3, 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) (Centre National d'Etudes Spatiales (CNES), Aviso+). Παρακάτω παρουσιάζονται κάποιες θεωρητικές λεπτομέρειες που αφορούν τη λειτουργία των ραντάρ, όπως αυτή εφαρμόζεται στην Αλτιμετρία, καθώς και κάποια χαρακτηριστικά μεγέθη και ιδιότητες των κυματομορφών, ώστε να καταστεί ευκολότερη η κατανόηση των διαφορετικών συμπεριφορών και χαρακτηριστικών των παλμών ανάλογα με την επιφάνεια στην οποία προσπίπτουν.

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 (**Εικόνα 2-7**). Τα παλμικά κύματα εκπέμπονται ανά τακτά χρονικά διαστήματα που ορίζονται από την Επαναληπτική Συχνότητα των Παλμών (Pulse Repetition Frequency – PRF). Σε κάθε περίπτωση προσπίπτουσας επιφάνειας, η διαδρομή του παλμού δεν πρέπει να διαρκέσει παραπάνω από 70 picoseconds, ώστε να μπορεί να επιτευχθεί ακρίβεια λίγων εκατοστών. Αυτό σημαίνει ότι η ισχύς της εκπομπής θα πρέπει να υπερβαίνει τα 200 kW και ότι το αλτίμετρο θα πρέπει να εκπέμπει παλμικά κύματα ανά λίγα nanoseconds. Η ακτινοβολία που ανακλάται από την επιφάνεια – στόχος καταγράφεται από το σύστημα του αλτιμέτρου και αν αναπαραστεί συναρτήσει του χρόνου, αυτό που προκύπτει είναι η κυματομορφή (Collecte Localisation Satellites (CLS)).

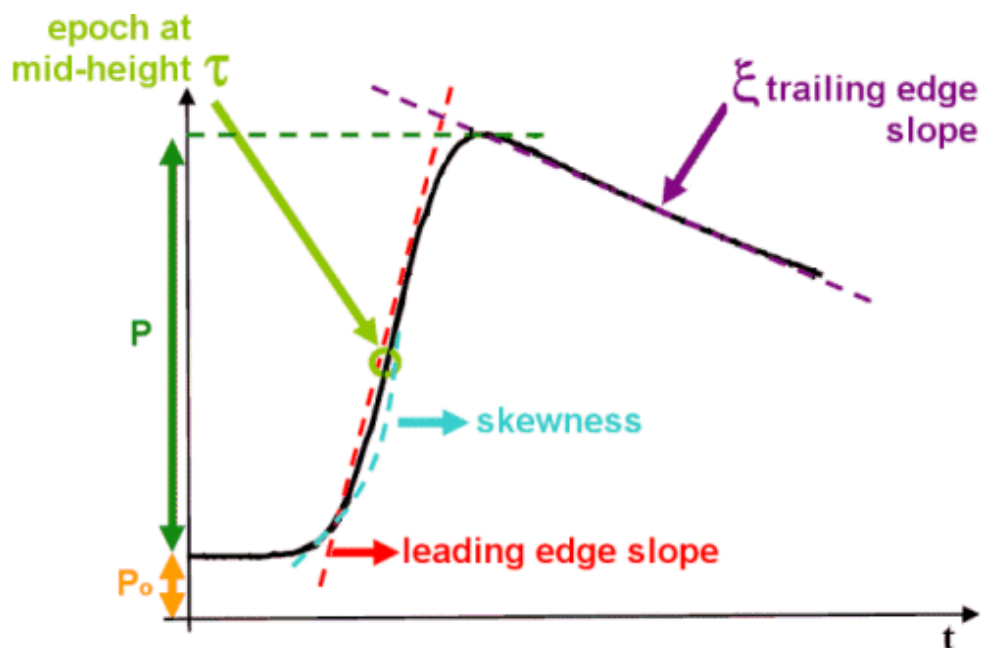


Εικόνα 2-7: Η μορφή διάδοσης των παλμικών κυμάτων του αλτιμέτρου στην ατμόσφαιρα.
Πηγή: (COASTALT) http://www.coastalt.eu/files/pics/COASTALT_webstory_fig1.gif

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 αναλυτικά¹. 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.

Αναλύοντας τη βασική μορφή μιας κυματομορφής, σε διάγραμμα χρόνου-ισχύος του επιστρέφοντος παλμού (**Εικόνα 2-8**), μπορούν να διακριθούν ορισμένες σημαντικές παράμετροι που συνοψίζονται παρακάτω και περιγράφονται πιο αναλυτικά στον ιστότοπο CLS [http://www.altimetry.info/html/alti/principle/waveform/welcome_en.html]:

¹ Η περιγραφή μιας κυματομορφής, η οποία προέρχεται από ωκεάνια επιφάνεια, γίνεται με το μοντέλο Brown (1977), το οποίο έχει προκύψει για την μοντελοποίηση της ηχούς παλμού ραντάρ που σχετίζεται με θαλάσσιες επιφάνειες. Ωστόσο, τονίζεται ότι αυτό το μοντέλο δεν είναι ικανοποιητικό για αλτιμετρικές κυματομορφές που επηρεάζονται από οπισθοσκέδαση του παλμού ραντάρ από μη ωκεάνιες επιφάνειες όπως είναι ο πάγος και το έδαφος στις παράκτιες περιοχές.



Εικόνα 2-8: Σχηματική απεικόνιση των βασικών παραμέτρων μιας κυματομορφής με βάση το μοντέλο Brown. Πηγή: (Centre National d'Etudes Spatiales (CNES), Aviso+) <http://www.aviso.altimetry.fr/en/techniques/altimetry/principle/pulses-and-waveforms.html>

- **epoch at mid-height (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:** το πλάτος του αξιοποιήσιμου σήματος. Το μέγεθος αυτό δίνει τον συντελεστή οπισθοσκέδασης (*backscatter coefficient, sigma0*) σε σχέση με το πλάτος του παλμού εκπομπής.
- **P_0 :** θερμικός θόρυβος
- **leading edge slope:** η κλίση της καμπύλης της κυματομορφής που αντιστοιχεί στο τμήμα του προπορευόμενου ανακλώμενου παλμού, η οποία σχετίζεται με το Σημαντικό Ύψος Κυμάτων (SWH)
- **skewness:** η καμπυλότητα της καμπύλης “leading edge slope”
- **trailing edge slope (ξ):** η κλίση της καμπύλης της κυματομορφής που αντιστοιχεί στο οπίσθιο τμήμα του ανακλώμενου παλμού, η οποία σχετίζεται με τις εσφαλμένες σκοπεύσεις της κεραίας του ραντάρ (π.χ. αποκλίσεις από το ναδίρ) (Centre National d'Etudes Spatiales (CNES), Aviso+).

Για να γίνει καλύτερα αντιληπτή η μορφή μιας κυματομορφής, παρουσιάζεται στη συνέχεια η αλληλουχία των ενεργειών κατά την ανάκλαση του κύματος από την προσπίπτουσα επιφάνεια.

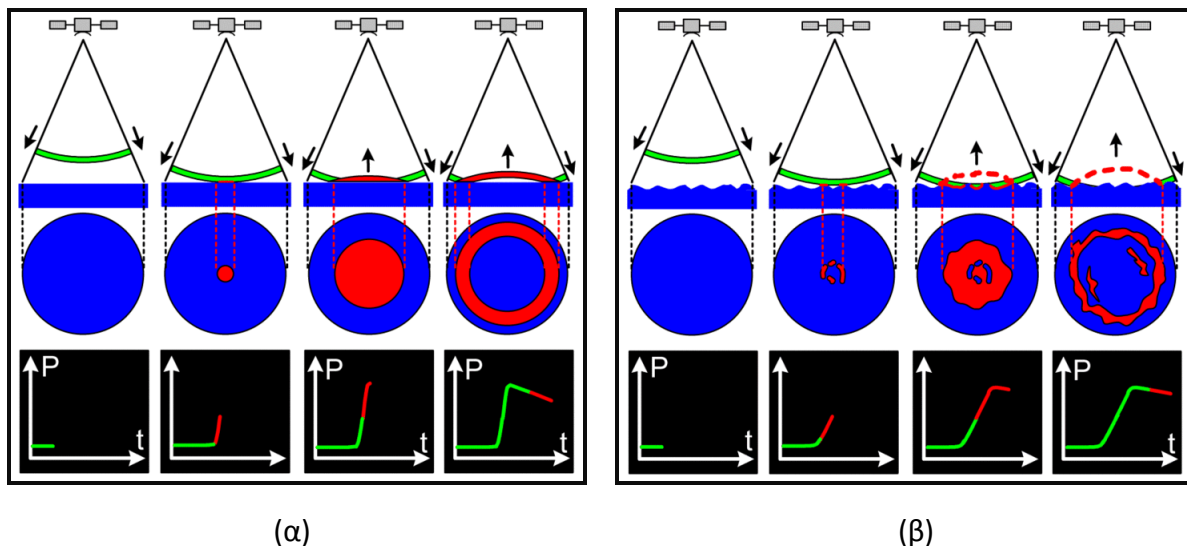
1. Αρχικά, όταν έχει ενεργοποιηθεί ο δέκτης του αλτιμέτρου, το πρώτο μέρος ακτινοβολίας που λαμβάνει είναι σήμα χαμηλής ισχύος (θόρυβος) προερχόμενο από πολυανακλάσεις λόγω της ιονόσφαιρας και της ατμόσφαιρας και το οποίο προστίθεται στο θόρυβο του οργάνου.
2. Στη συνέχεια, όταν το κατώτερο άκρο του κύματος (leading edge) προσπέσει στην επιφάνεια, το ανακλώμενο σήμα αυξάνεται με το αντίστοιχο ίχνος να παίρνει τη μορφή δίσκου διευρυνόμενο γραμμικά με το χρόνο. Στην περίπτωση που η επιφάνεια είναι επίπεδη, η αύξηση αυτή είναι γραμμική.
3. Τέλος, όταν προσπέσει και το ανώτερο σημείο του κύματος (rear edge) στη επιφάνεια, το ίχνος μετατρέπεται σε δακτύλιο με αυξανόμενη ακτίνα αλλά σταθερό εμβαδό. Τότε, το ανακλώμενο σήμα που λαμβάνει το αλτίμετρο μειώνεται λόγω της καθυστέρησης της κεραίας και των εσφαλμένων σκοπεύσεων της μέχρι το σημείο που πλέον θεωρείται θόρυβος και αποκλείεται από το δέκτη (Collecte Localisation Satellites (CLS)).

Σημειώνεται ότι αξιοποιήσιμο θεωρείται το σήμα που προέρχεται από ανάκλαση της ακτινοβολίας σε ακτίνα 18 Km από το ναδρικό σημείο.

Ακολούθως, απαιτείται να γίνει η ανάλυση των κυματομορφών με κριτήριο τη φύση της επιφάνεια – στόχου, δηλαδή α) ωκεάνια επιφάνεια, β) πάγος και γ) ηπειρωτική επιφάνεια (γη).

2.4.1 Ωκεάνια επιφάνεια

Το ανακλώμενο παλμικό κύμα που λαμβάνει το αλτίμετρο του δορυφόρου διαφέρει σε πυκνότητα συναρτήσει του χρόνου. Σε περιοχές, όπου η επιφάνεια της θάλασσας είναι επίπεδη (**Εικόνα 2-9 (α)**), 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 (**Εικόνα 2-9 (β)**), 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 2-9: 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+) <http://www.aviso.altimetry.fr/en/techniques/altimetry/principle/pulses-and-waveforms.html>

2.4.2 Πάγος

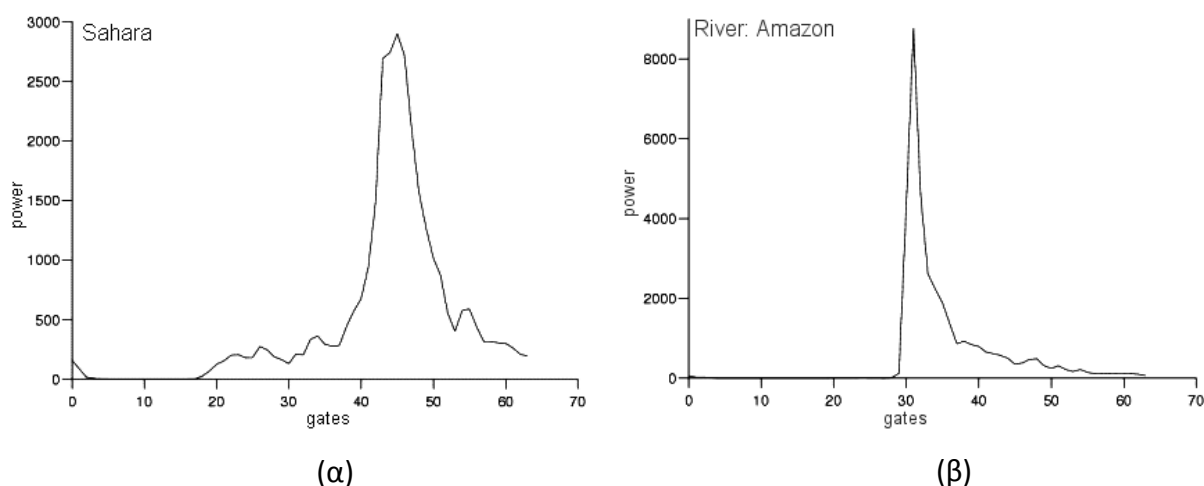
Όταν η επιφάνεια – στόχος είναι καλυμμένη από πάγο, χρησιμοποιούνται οι ίδιες παράμετροι με την πρώτη περίπτωση (βλ. Ενότητα 2.4.1) για την εξαγωγή συμπερασμάτων και την πραγματοποίηση μετρήσεων. Η διαφορά είναι ότι τα αλτιμετρικά δεδομένα που προέρχονται από παγωμένες επιφάνειες απαιτούν εκτεταμένη μετεπεξεργασία, ώστε να μπορούν να προκύψουν ακριβείς μετρήσεις. Η διαδικασία της μετεπεξεργασίας ονομάζεται *retracking* και απαιτείται, διότι η κυματομορφή που προέρχεται από το κατώτερο σημείο του παλμικού κύματος αποκλίνει από την πύλη του δέκτη του αλτιμέτρου προκαλώντας σημαντικά σφάλματα που εμφανίζονται ως υψηλό επίπεδο θορύβου (Collecte Localisation Satellites (CLS)).

2.4.3 Ηπειρωτική επιφάνεια (γη)

Οι ηπειρωτικές περιοχές αποτελούνται από μεγάλη ποικιλία διαφορετικών επιφανειών, γεγονός το οποίο φαίνεται στις αντίστοιχες κυματομορφές. Για το λόγο αυτό είναι δύσκολο να τις κατηγοριοποιήσει και να τις επεξεργαστεί κανείς, ιδιαίτερα αν αυτές προέρχονται από συνδυασμένες ανακλάσεις σε εδάφη, σε επιφάνειες λιμνών και ποταμών, σε δασικές εκτάσεις κλπ. Και σε αυτή την περίπτωση απαιτούνται επίσης πολύπλοκες διαδικασίες *retracking*, ώστε να καταστεί δυνατή η εξαγωγή αποτελεσμάτων. Οι παράμετροι της κυματομορφής που εξετάζονται είναι κοινές με τις δύο προηγούμενες περιπτώσεις.

Με βάση το πλάτος του αξιοποιήσιμου κύματος P μπορεί να προσδιοριστεί ο συντελεστής οπισθοσκέδασης σ_{θ} , ο οποίος είναι πολύ χρήσιμος για την αναγνώριση και τον χαρακτηρισμό της επιφάνειας. Συγκεκριμένα, σε επίπεδες ή υγρές περιοχές ο συντελεστής αυτός παίρνει υψηλές τιμές, ενώ σε περιοχές με έντονες κλίσεις παίρνει χαμηλές τιμές. Μπορεί, επίσης, να συσχετιστεί και με διαφορετικές χρονικές περιόδους παρατήρησης μιας επιφάνειας, όπως για παράδειγμα όταν 1) μια επιφάνεια είναι καλυμμένη από πάγο, στη συνέχεια 2) ο πάγος σπάει και διαχωρίζεται και τέλος 3) προσκολλάται στην ακτή (φαινόμενο *fast-ice*) (Collecte Localisation Satellites (CLS)).

Όσον αφορά στο πλάτος του μεγέθους leading edge, αυτό σχετίζεται με το βαθμό της διείδυσης του παλμού στην επιφάνεια – στόχο και της τραχύτητας αυτής. Παίρνει υψηλές τιμές σε περιοχές ερήμων (**Εικόνα 2-10 (α)**) λόγω της υψηλής διείδυσης του κύματος στις αμμώδεις εκτάσεις και των αμμόλοφων που δημιουργούνται από τους ισχυρούς ανέμους, και χαμηλές τιμές σε περιοχές πυκνής βλάστησης, όπως είναι τα τροπικά και τα αρκτικά δάση (boreal forests ή taiga), σε μεγάλες λεκάνες απορροής ποταμών ή πλημμυρισμένες περιοχές (**Εικόνα 2-10 (β)**), λόγω της χαμηλής διείδυσης.

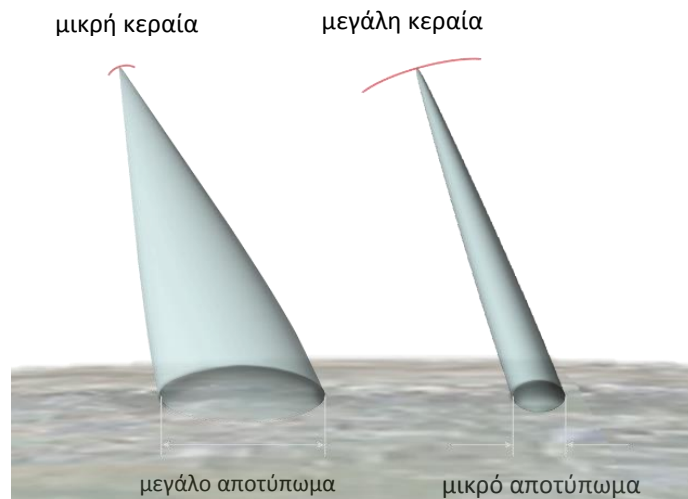


Εικόνα 2-10: Πραγματικές κυματομορφές προερχόμενες από την έρημο Σαχάρα και από τη λεκάνη απορροής του Αμαζονίου. Πηγή: (Collecte Localisation Satellites (CLS))

www.altimetry.info

2.5 Μέγεθος ίχνους στην επιφάνεια παρατήρησης

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 Casanave 2001) (**Εικόνα 2-11**).



Εικόνα 2-11: Το αποτύπωμα μιας δέσμης μικροκυματικής ακτινοβολίας στην επιφάνεια της θάλασσας. Πηγή: (Radartutorial.eu) <http://www.radartutorial.eu/20.airborne/ab50.en.html>

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.

2.6 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.

2.6.1 Ku band (13.6 GHz)

Η συχνότητα Ku band είναι εκείνη που χρησιμοποιείται πιο συχνά. Χαρακτηριστικά παραδείγματα είναι οι αλτιμετρικές αποστολές Topex/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.

2.6.2 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.

2.6.3 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.

2.6.4 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.

2.6.5 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)).

2.7 Ο Ρόλος της Δορυφορικής Αλτιμετρίας στις Γεωεπιστήμες

Η ανάπτυξη της Δορυφορικής Αλτιμετρίας λόγω της εξέλιξης της τεχνολογίας, και συνεπώς η αύξηση των δυνατοτήτων των αλτιμετρικών αποστολών, έχει σημαντικό αντίκτυπο σε ποικίλες επιστήμες, όπως είναι η Γεωδαισία, οι γεωφυσικές επιστήμες, η Φυσική Ωκεανογραφία, καθώς και η μελέτη της κλιματικής αλλαγής.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η Δορυφορική Αλτιμετρία καθιστά δυνατό τον υπολογισμό της Μέσης Στάθμης της Θάλασσας (ΜΣΘ) με μεγάλη ακρίβεια. Αν αφαιρεθούν από τη ΜΣΘ οι οποιεσδήποτε δυναμικού χαρακτήρα επιδράσεις π.χ. λόγω παλιρροιών, ανέμων, ρευμάτων κ.λπ., η παράγωγη επιφάνεια είναι το θαλάσσιο γεωειδές. Η συλλογή αλτιμετρικών δεδομένων από πολλές διαφορετικές αλτιμετρικές αποστολές και σε συνδυασμό με την υψηλή χωρική κάλυψη για μεγάλο χρονικό διάστημα έχει ως αποτέλεσμα μία μεγάλη πυκνότητα δεδομένων και τον προσδιορισμό των παραγόντων αυτών, με τελικό προϊόν τη χαρτογράφηση του θαλάσσιου γεωειδούς, ακόμα και σε θαλάσσιες περιοχές περιορισμένης προσβασιμότητας, όπως είναι οι θαλάσσιες περιοχές κοντά στην Ανταρκτική (Cheney et al. 1984).

Το γεωειδές ορίζεται, επίσης, και ως η ισοδυναμική επιφάνεια του πεδίου βαρύτητας της Γης. Αυτό σημαίνει ότι σε περιοχές όπου υπάρχει περίσσια μάζας π.χ. στα υποθαλάσσια όρη, δημιουργείται ένα «φούσκωμα» στην επιφάνεια του γεωειδούς, ενώ σε περιοχές όπου υπάρχει έλλειμμα μάζας, π.χ. στις ωκεάνιες τάφρους, δημιουργείται μία υποχώρηση του γεωειδούς. Αξιοποιώντας τα κατάλληλα αλτιμετρικά δεδομένα, οι διακυμάνσεις αυτές στους ωκεάνιους πυθμένες μπορούν να προσδιοριστούν με μεγάλη ακρίβεια. Έτσι, το θαλάσσιο γεωειδές μπορεί να χαρτογραφηθεί με μεγάλη λεπτομέρεια.

Επιπλέον, η Δορυφορική Αλτιμετρία δίνει τη δυνατότητα της ανίχνευσης των υποθαλάσσιων τεκτονικών σχηματισμών μέσω ειδικής επεξεργασίας των αλτιμετρικών δεδομένων. Οι προσανατολισμοί των υποθαλάσσιων ρηγμάτων αντικατοπτρίζουν τις κινήσεις των τεκτονικών πλακών που έλαβαν χώρα στο παρελθόν. Έτσι, η μελέτη τους συμβάλλει στην αναθεώρηση των σχετικών μοντέλων και τη δημιουργία νέων ακριβέστερων (McAdoo 2006).

Όσον αφορά στη Γεωδαισία, ο προσδιορισμός της Μέσης Στάθμης της Θάλασσας με επαρκή ακρίβεια συμβάλλει στον ορισμό των υψομετρικών συστημάτων, καθώς αποτελεί την αφετηρία τους. Με τη βοήθεια των χαρτών του γεωειδούς, επίσης, οι δύο συνιστώσες της *απόκλισης της κατακορύφου* μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον εντοπισμό θέσης και την αδρανειακή πλοήγηση (Wunsch and Stammer 1998).

Η εφαρμογή της Δορυφορικής Αλτιμετρίας στις κλιματικές μελέτες την καθιστά ένα από τα πιο σημαντικά εργαλεία για την παρακολούθηση των δυναμικών ωκεάνιων φαινομένων που εξαρτώνται από το κλίμα. Αποτελεί πηγή πολύτιμων δεδομένων για τη δημιουργία

μοντέλων που αφορούν τα κλιματικά φαινόμενα τα οποία εκφράζονται ως αλλαγές στην κατάσταση των ωκεανών (El Niño, τυφώνες, κ.λπ.). Ακόμη, σημαντικά δεδομένα έχουν αρχίσει να παρέχονται στην επιστημονική κοινότητα για τις διακυμάνσεις της ανόδου της στάθμης της θάλασσας (λόγω της κλιματικής αλλαγής) που οφείλονται στις κλιματικές μεταβολές (Deng et al. 2011).

Αξίζει να σημειωθεί ότι, το 2004, οι δορυφόροι *Topex/Poseidon*, *Jason-1*, *GFO* και *Envisat* επιβεβαίωσαν με τις μετρήσεις τους τις θαλάσσιες μεταβολές που προκλήθηκαν από τον ισχυρό σεισμό της Σουμάτρας (26 Δεκεμβρίου) και το μεγάλο τσουνάμι που ακολούθησε (Smith et al. 2005). Σήμερα, οι δυνατότητες αυτές δεν παρέχονται σε πραγματικό χρόνο, δεδομένου ότι προς το παρόν τα αλτιμετρικά δεδομένα διαχέονται προς τους χρήστες με αρκετές ώρες ή πολλές μέρες καθυστέρηση. Ωστόσο, στο άμεσο μέλλον οι αλτιμετρικοί δορυφόροι ενδέχεται να αναδειχθούν ως σημαντικά εργαλεία άμεσης ειδοποίησης τέτοιων καταστρεπτικών θαλάσσιων φαινομένων.

Τέλος, μέσω αλτιμετρικών δεδομένων μπορούν να εξαχθούν χρήσιμα συμπεράσματα για την δυναμική κατάσταση και την κυκλοφορία των ωκεανών. Ένα από τα σημαντικότερα στοιχεία, το οποίο συμβάλλει και καθοριστικά στη διαμόρφωση του κλίματος του πλανήτη, είναι τα γεωστροφικά ρεύματα. Τα επιφανειακά γεωστροφικά ρεύματα παρουσιάζονται σαν κλίσεις της επιφάνειας της θάλασσας σε σχέση με το γεωειδές. Καθώς είναι δύσκολο να διαχωριστεί αυτή η δυναμική συνιστώσα από το στατικό γεωειδές, με τη βοήθεια της Δορυφορικής Αλτιμετρίας μπορούν να εντοπισθούν οι μεταβολές του υψομέτρου της θάλασσας συναρτήσει του χρόνου, ακόμα και όταν πρόκειται για φαινόμενα μικρής κλίμακας, όπως είναι οι δύνες που προκαλούνται από τα κύρια παγκόσμια ρεύματα. Οι πιο έντονες διακυμάνσεις τέτοιου είδους είναι της κλίμακας των 100-300 km και αποδίδονται στην γενική ωκεάνια κυκλοφορία (Shum et al. 1995).

2.8 Αλτιμετρικές Αποστολές

Από το 1973 μέχρι και σήμερα, έχουν τεθεί σε λειτουργία πολυάριθμες αλτιμετρικές αποστολές και από διάφορες διαστημικές υπηρεσίες (NASA, ESA, CNES κ.ά.). Η εξέλιξη των αποστολών αυτών και η επέκταση των δυνατοτήτων τους και τους εύρους των εφαρμογών τους αντικατοπτρίζει την εξέλιξη της τεχνολογίας και τις εκάστοτε ανάγκες. Ακολουθεί η σύντομη περιγραφή των παρελθοντικών αλτιμετρικών αποστολών, καθώς και αυτών που βρίσκονται στις μέρες μας σε επιχειρησιακή λειτουργία.

2.8.1 Σημαντικές αποστολές στο παρελθόν

Οι πρώτες αλτιμετρικές δορυφορικές αποστολές πραγματοποιήθηκαν κατά τη δεκαετία του 70'. Οι αλτιμετρικοί δορυφόροι *Skylab*, *Geos-3* και *Seasat* ήταν εκείνοι που έθεσαν τα θεμέλια για τη νέα γενιά γεωδαιτικών δορυφόρων ειδικευμένων στην παρατήρηση των ωκεανών και οι πρώτοι τα δεδομένα των οποίων διατίθεντο ευρέως και ελεύθερα στις τότε

επιστημονικές κοινότητες όλου του κόσμου. Κατά τη δεκαετία του 80', τέθηκε σε λειτουργία ένας μόνο αλτιμετρικός δορυφόρος, ο *Geosat*, ενώ κατά τη δεκαετία του 90', με τους *Topex/Poseidon*, *ERS-1* και *ERS-2*, και *GFO* η μέθοδος της Δορυφορικής Αλτιμετρίας άρχισε να παρέχει πολύτιμες πληροφορίες στους επιστήμονες κυρίως λόγω της χωρικής κάλυψης και της μακροχρόνιας διάρκειας αυτών των αποστολών. Τέλος, στις αρχές του 21^{ου} αιώνα, έγινε η επανάσταση στην παρατήρηση των ωκεανών με τις αποστολές *Jason-1* και *Envisat*, οι οποίες συνέβαλαν καθοριστικά στη συγκέντρωση συνεχών μετρήσεων είκοσι ετών σχετικά με την επιφάνεια της θάλασσας. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται οι πρώτες αυτές αλτιμετρικές αποστολές αναλυτικότερα.

2.8.1.1 SKYLAB

Ο δορυφόρος Skylab (Εικόνα 2-12) ήταν ο πρώτος αμερικανικός πειραματικός διαστημικός σταθμός και εκτοξεύθηκε το Μάιο του 1973. Τον επισκέφθηκαν τρεις φορές πληρώματα, το 1973 και το 1974, και ήταν σε γήινη τροχιά μέχρι το 1979, διότι στη συνέχεια μπήκε στην ατμόσφαιρα και καταστράφηκε. Τα κύρια χαρακτηριστικά του είναι ότι διέγραφε τροχιά σε υψόμετρο 435 km και είχε κλίση 50°. Ο Skylab αρχικά προοριζόταν για την έρευνα βαρυτικών ανωμαλιών σε άλλα ηλιακά συστήματα. Η αποστολή, όμως, αυτή ακυρώθηκε λόγω έλλειψης πόρων και ενδιαφέροντος.



Εικόνα 2-12: Ο πρώτος αμερικάνικος διαστημικός σταθμός Skylab.

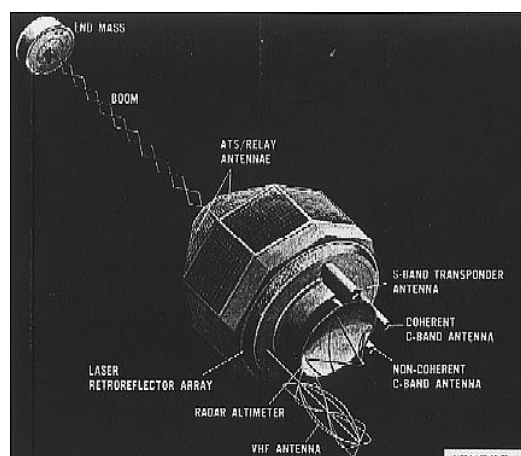
Πηγή: (Wikipedia 2014) <http://en.wikipedia.org/wiki/Skylab>

Περιελάμβανε ένα εργαστήριο για μελέτη των επιπτώσεων της μικροβαρύτητας και ένα ηλιακό παρατηρητήριο. Ο δορυφόρος, επίσης, έφερε ένα σύστημα μικροκυματικής ακτινοβολίας, το οποίο ήταν ταυτόχρονα ενεργητικό και παθητικό, το S193. Το σύστημα αυτό περιελάμβανε και το πρώτο αλτίμετρο σε δορυφορική τροχιά, το οποίο είχε ως σκοπό να επιβεβαιώσει την αρχή λειτουργίας της δορυφορικής αλτιμετρίας, παρέχοντας συγχρόνως πληροφορίες σχετικά με τις επιδράσεις της κατάστασης των ωκεανών στα παλμικά κύματα που αυτό εξέπεμπε. Με το πλάτος των παλμών να κυμαίνεται στα 0.1 microseconds, η ανάλυση που μπορούσε να επιτευχθεί ήταν 15 m. Η λειτουργία του αλτίμετρου ήταν περιορισμένη σε κάποια μόνο μέρη της τροχιάς του δορυφόρου, αλλά είχε τη δυνατότητα να προσφέρει πληροφορίες σχετικά με τα γενικά χαρακτηριστικά του

θαλάσσιου γεωειδούς, όπως για παράδειγμα τις κύριες ωκεάνιες τάφρους (Collecte Localisation Satellites (CLS)).

2.8.1.2 GEOS-3

Ο δορυφόρος GEOS-3 (Geodynamics and Earth Ocean Satellite) (**Εικόνα 2-13**) ήταν μέρος της σειράς γεωδαιτικών αποστολών της NASA. Εκτοξεύθηκε στις 9 Απριλίου του 1975 και συνέχισε τη λειτουργία του μέχρι τον Ιούλιο του 1979. Τα κύρια χαρακτηριστικά του είναι ότι διέγραφε τροχιά σε υψόμετρο 845 Km και είχε κλίση 115°. Ο δορυφόρος έφερε ένα ραντάρ αλτίμετρο για την χαρτογράφηση των ωκεανών, καθώς και κάποια άλλα χρήσιμα όργανα όπως σύστημα εντοπισμού Doppler. Το αλτίμετρό του διέθετε σημαντικές βελτιώσεις σε σχέση με αυτού του Skylab, αλλά ακόμα κι έτσι δεν επαρκούσε, ώστε να παρέχει όλες τις απαραίτητες πληροφορίες στους επιστήμονες (Collecte Localisation Satellites (CLS)). Η κύρια αποστολή του GEOS-3 ήταν να προσφέρει πληροφορίες σχετικά με το βαρυτικό πεδίο της Γης και συγκεκριμένα να εντοπίσει τις ανωμαλίες του και να αναδείξει τις διαφαινόμενες προοπτικές για τον προσδιορισμό της ωκεάνιας κυκλοφορίας μέσης κλίμακας. Πρακτικά, ένας σημαντικός περιορισμός στη χρήση των δεδομένων του GEOS-3 ήταν το χαμηλό επίπεδο ακρίβειας (> 10-20 m) στη γνώση της τροχιάς του δορυφόρου. Ωστόσο χρησιμοποιώντας αφενός μεν μετρήσεις Doppler από τοπικούς σταθμούς παρακολούθησης του δορυφόρου και ακολούθως εφαρμόζοντας μεθόδους βελτίωσης μικρών τροχιακών τόξων αναδείχθηκαν σημαντικές, για την εποχή, δυνατότητες προσδιορισμού του θαλάσσιου γεωειδούς σε περιφερειακή κλίμακα (π.χ. Delikaraoglu 1980), με ακρίβεια της τάξης του 1m. Τα αλτιμετρικά δεδομένα του GEOS-3, πολύ αργότερα, στις αρχές της δεκαετίας του 1990, συνεισέφεραν στη δημιουργία των βαρυτικών μοντέλων GEM-T3, JGM-1 και JGM-2. Δεδομένα SLR (Satellite Laser Ranging) από το συγκεκριμένο δορυφόρο χρησιμοποιήθηκαν, επίσης, για τη δημιουργία του μοντέλου EGM96 (PODAAC, JPL (NASA)).



Εικόνα 2-13: Ο γεωδαιτικός δορυφόρος GEOS-3. Πηγή: (PO.DAAC, NASA Jet Propulsion Laboratory) <http://podaac.jpl.nasa.gov/GEOS-3>

2.8.1.3 SEASAT

Στις 28 Ιουνίου 1978 εκτοξεύθηκε ο αλτιμετρικός δορυφόρος SEASAT (SEAfaring SATellite) (Εικόνα 2-14) από τη NASA, που είχε αποκλειστικό προορισμό την παρατήρηση των ωκεανών. Η λειτουργία του διακόπηκε άδοξα στις 10 Οκτωβρίου 1978 λόγω προβλημάτων στα ηλεκτρονικά του κυκλώματα (Collecte Localisation Satellites (CLS)).



Εικόνα 2-14: Ο αλτιμετρικός δορυφόρος SEASAT. Πηγή: (NASA's Earth Observing System 2013) <http://eospsq.gsfc.nasa.gov/missions/seasat-1>

Ο δορυφόρος διέθετε το πρώτο ραντάρ συνθετικού ανοίγματος (SAR), σκεδασίμετρο μικροκυμάτων, καθώς και ένα αλτίμετρο ραντάρ. Γενικά ο δορυφόρος, παρά τη μικρή διάρκεια επιχειρησιακής λειτουργίας του, παρείχε πληθώρα πληροφοριών που αφορούσαν διάφορα ωκεανογραφικά φαινόμενα, όπως την επιφανειακή θερμοκρασία των θαλασσών, τους ανέμους και το ύψος των κυμάτων, τους πάγους και την ωκεάνια τοπογραφία, και έδωσε τη δυνατότητα παρατήρησης της παγκόσμιας ωκεάνιας κυκλοφορίας. Με τροχιά σχεδόν κυκλική, κλίση σχεδόν πολική (108°) και μέσο ύψος περιστροφής 800 Km, οι 42 ώρες αξιοποιήσιμων δεδομένων του δορυφόρου σε πραγματικό χρόνο αποδείχθηκαν περισσότερο σημαντικές από τις αντίστοιχες πληροφορίες επίγειων παρατηρήσεων των προηγούμενων 100 ετών (European Space Agency (ESA)).

2.8.1.4 GEOSAT

Η αλτιμετρική αποστολή που ακολούθησε ήταν ο δορυφόρος GEOSAT (GEOdetic SATellite) (Εικόνα 2-15), από την ονομασία του οποίου φαίνεται και ο γεωδαιτικός του προσανατολισμός της αποστολής. Κατασκευάστηκε υπό την εποπτεία του ναυτικού των ΗΠΑ κυρίως για να εξυπηρετήσει ωκεανογραφικές ανάγκες. Με το αλτίμετρο του δορυφόρου αυτού κατέστη δυνατή η μέτρηση της κατακόρυφης απόστασης ανάμεσα στο δορυφόρο και τη στιγμιαία επιφάνεια της θάλασσας με ακρίβεια 5 cm για τον

προσδιορισμό του θαλάσσιου γεωειδούς, η ταχύτητα των ανέμων και το ύψος των κυμάτων.



Εικόνα 2-15: Ο αλτιμετρικός δορυφόρος GEOSAT. Πηγή: (Centre National d'Etudes Spatiales (CNES), Aviso+) <http://www.aviso.altimetry.fr/en/missions/past-missions/geosat.html>

Ο GEOSAT πραγματοποίησε δύο φάσεις μετρήσεων κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του. Η πρώτη φάση ήταν η αποκλειστικά γεωδαιτική αποστολή του δορυφόρου (Geodetic Mission - GM), διήρκησε από τις 30 Μαρτίου 1985 έως τις 30 Σεπτεμβρίου 1986 και ήταν προσανατολισμένη στον προσδιορισμό του θαλάσσιου γεωειδούς μέχρι το γεωγραφικό πλάτος των 72° . Το μέσο ύψος τροχιάς κατά τη φάση αυτή ήταν 800 km και η κλίση του περίπου 108° . Κατά τη διάρκεια της γεωδαιτικής φάσης του δορυφόρου η τροχιά του ήταν σχεδόν επαναληπτική με περίοδο 23 ημέρες και τα δορυφορικά ίχνη στην επιφάνεια της γης είχαν αποστάσεις 4 km. Αποτέλεσμα της γεωδαιτικής φάσης του GEOSAT ήταν ένα υψηλής διακριτικής ικανότητας πλέγμα δεδομένων, που αξιοποιήθηκε σε πολλές εφαρμογές από τη διεθνή γεωδαιτική κοινότητα. Το δεύτερο πρόγραμμα μετρήσεων του δορυφόρου ήταν η ακριβώς επαναλαμβανόμενη φάση (Exact Repeat Mission - ERM), κατά την οποία το επίγειο ίχνος της τροχιάς του επαναλαμβανόταν ακριβώς σχεδόν κάθε 17 μέρες. Η φάση αυτή μετρήσεων άρχισε αμέσως μετά τη γεωδαιτική, στις 8 Νοεμβρίου 1986 και αφού προηγήθηκε κατάλληλη αλλαγή στην τροχιά του δορυφόρου. Συγκεκριμένα, η τροχιά του κατά τη δεύτερη φάση ήταν παρόμοια με εκείνη του SEASAT. Κατά το τέλος του 1986, λόγω μηχανικών προβλημάτων του δορυφόρου, τα δεδομένα της δεύτερης φάσης είχαν μειωμένη ακρίβεια και τελικά στις 30 Δεκεμβρίου 1990 τερματίστηκε η αποστολή του GEOSAT συλλέγοντας, στα σχεδόν 5 χρόνια λειτουργίας του, περίπου 750 εκατομμύρια μετρήσεις της στάθμης της θάλασσας, του ύψους των κυμάτων και της ταχύτητα του ανέμου πάνω από τους ωκεανούς του κόσμου.

2.8.1.5 ERS-1

Ο πρώτος ευρωπαϊκός δορυφόρος, ο ERS-1 (European Remote Sensing Satellite 1) (**Εικόνα 2-16**), τέθηκε σε τροχιά στις 17 Ιουλίου 1991 από την Ευρωπαϊκή Υπηρεσία Διαστήματος (European Space Agency – ESA), απενεργοποιήθηκε τον Ιούνιο του 1996 και αποσύρθηκε

τον Μάρτιο του 2000. Βασικοί στόχοι του ERS-1 ήταν η παρακολούθηση και καταγραφή των μεταβολών της επιφάνειας των ωκεανών και της κίνησης των πάγων, η μέτρηση του ύψους των κυμάτων και της επιφανειακής θερμοκρασίας των θαλάσσιων μαζών, και τέλος η μέτρηση της ταχύτητας και της διεύθυνσης των ανέμων. Για το λόγο αυτό ο δορυφόρος έφερε ραντάρ συνθετικού ανοίγματος (SAR), αλτίμετρο ραντάρ και καθώς και άλλα όργανα. Είχε πολική ηλιοσύγχρονη τροχιά ύψους 785 km και κλίσης 98.5°. Η λειτουργία του διήρκησε μέχρι το 1996 και πραγματοποίησε 156 κύκλους και επτά φάσεις μετρήσεων.



Εικόνα 2-16: Ο δορυφόρος ERS-1. Πηγή: (Gunter's Space Page 2014)

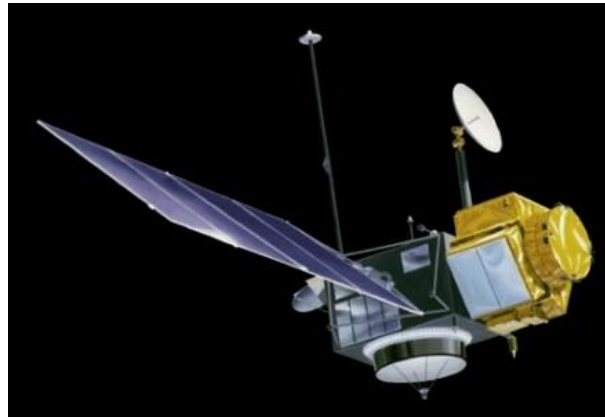
http://space.skyrocket.de/doc_sdat/ers-1.htm

Από αυτές η μία αφορούσε τον έλεγχο και τη βαθμονόμηση των οργάνων του δορυφόρου, οι δύο την καταγραφή της κίνησης των πάγων, δύο ακόμη τις ακριβώς επαναλαμβανόμενες μετρήσεις (ERM) και οι υπόλοιπες δύο αφορούσαν στο πρόγραμμα των γεωδαιτικών μετρήσεων (GM). Οι δύο γεωδαιτικές φάσεις των μετρήσεων παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον, καθώς οι αποστάσεις μεταξύ των τροχιακών ιχνών των δύο προγραμμάτων είναι περίπου 1.7 km, με αποτέλεσμα να είναι εφικτός ο προσδιορισμός ενός θαλάσσιου μοντέλου γεωειδούς υψηλής διακριτικής ικανότητας. Η δεύτερη φάση των επαναλαμβανόμενων μετρήσεων του ERS-1 πραγματοποιήθηκε ταυτόχρονα με την αντίστοιχη φάση του διαδόχου του δορυφόρου, ERS-2, ώστε να γίνει βαθμονόμηση των οργάνων και του δεύτερου δορυφόρου και να υπάρχει συμβατότητα των δεδομένων των δύο αποστολών που έχουν κοινό τροχιακό επίπεδο.

2.8.1.6 TOPEX/POSEIDON

Ο αλτιμετρικός δορυφόρος TOPEX/POSEIDON (TOPographic EXperiment/POSEIDON – T/P) (**Εικόνα 2-17**) ήταν το αποτέλεσμα της συνεργασίας της NASA με το Εθνικό Κέντρο Διαστημικών Μελετών της Γαλλίας (Centre National d'Etudes Spatiales – CNES) για την κατασκευή ενός δορυφόρου με μεγάλη διάρκεια ζωής και μεγάλη ακρίβεια στον προσδιορισμό της τροχιάς. Τέθηκε σε τροχιά στις 10 Αυγούστου 1992 και οφείλει το όνομά του στις αντίστοιχες ονομασίες των δύο αλτιμέτρων του (το TOPEX κατασκευάστηκε από τη

NASA και το POSEIDON από τη CNES). Η τροχιά του δορυφόρου σε ύψος 1336 km ήταν σχεδόν κυκλική, μη ηλιοσύγχρονη με κλίση 66°. Οι υψηλές ακρίβειες προσδιορισμού της τροχιάς ($\pm 1-3$ cm) οφείλονταν στους δέκτες δορυφορικών συστημάτων εντοπισμού θέσης (GPS, DORIS), με τους οποίους ήταν εφοδιασμένος ο T/P. Η περίοδος του δορυφόρου ήταν 112 λεπτά και η επανάληψη του τροχιακού του ίχνους είχε ακρίβεια 1 km. Στις 18 Ιανουαρίου 2006 τερμάτισε η λειτουργία του δορυφόρου, αφού διέγραψε 481 πλήρεις κύκλους και τροφοδότησε τη διεθνή επιστημονική κοινότητα με ένα τεράστιο όγκο δεδομένων, μεγαλύτερο από όλες τις προηγούμενες αποστολές.



Εικόνα 2-17: Ο αλτιμετρικός δορυφόρος TOPEX/POSEIDON. Πηγή: (Red Orbit 2008)

http://www.redorbit.com/news/space/1612770/satellites_used_to_measure_inland_floods/

Οι παρατηρήσεις αυτής της αποστολής συνέβαλαν στη μελέτη πολλών και διαφορετικών φαινομένων. Εκτός από τα υψηλής ακρίβειας υψόμετρα του γεωειδούς κατά μήκος των τροχιακών ιχνών και τη διαχρονική μελέτη των μεταβολών της επιφάνειας της θάλασσας που πρόσφερε ο T/P, συνέβαλε σημαντικά στη μελέτη της κίνησης θαλάσσιων ρευμάτων (π.χ. Ρεύμα του Κόλπου) και μετεωρολογικών φαινομένων (El Niño και La Niña) με σημαντικές επιδράσεις στις κλιματολογικές αλλαγές του πλανήτη.

2.8.1.7 ERS-2

Στις 21 Απριλίου 1995 έγινε η εκτόξευση του αλτιμετρικού δορυφόρου ERS-2 (**Εικόνα 2-18**), ο οποίος ήταν ο διάδοχος του ERS-1. Οι δύο δορυφόροι είχαν τοποθετηθεί σε συνδυασμό από τον Αύγουστο του 1995 μέχρι τον Ιούνιο του 1996 και σε τροχιά περιόδου 35 ημερών (με κοινό ύψος τροχιάς και κλίση), ενώ είχαν μία ημέρα διαφορά στην επισκεψιμότητα των ίδιων θαλάσσιων περιοχών.

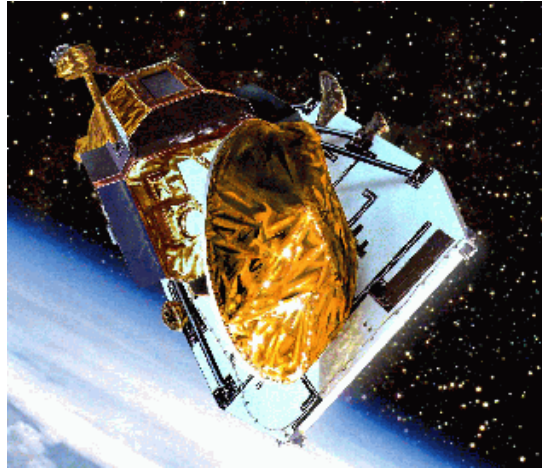


Εικόνα 2-18: Ο δορυφόρος ERS-2. Πηγή: (German Aerospace Center (DLR))
http://www.dlr.de/eoc/en/desktopdefault.aspx/tabid-5518/9212_read-31521/

Ο ERS-2 έφερε τα ίδια όργανα με τον ERS-1, με εξαίρεση την προσθήκη ενός φασματόμετρου, του GOME (Global Ozone Monitoring Experiment). Από τις 22 Ιουνίου 2003, όμως, και μετά υπέστη κάποιες σοβαρές βλάβες η μηχανή καταγραφής των αλτιμετρικών δεδομένων. Για το λόγο αυτό, τα δεδομένα ήταν διαθέσιμα μόνο όταν ο δορυφόρος ήταν εντός της ορατότητας των επίγειων σταθμών της ESA στην Ευρώπη, το Βόρειο Ατλαντικό ωκεανό, τον Αρκτικό και τη βορειοδυτική Αμερική. Τελικά, στις 6 Ιουλίου του 2011, ο ERS-2 αποσύρθηκε μεταβαίνοντας σε χαμηλότερη τροχιά.

2.8.1.8 GFO

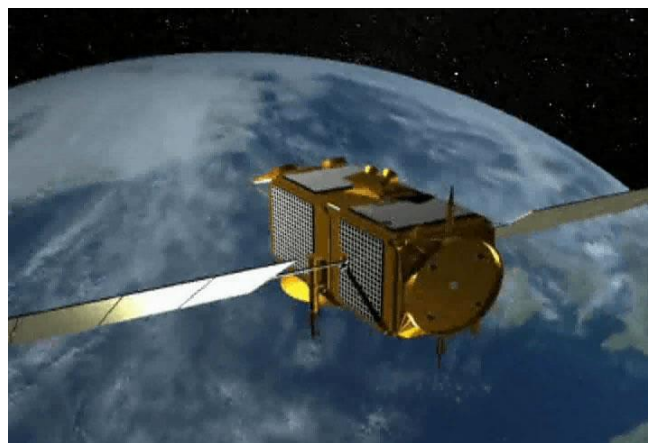
Η διαδοχική αλτιμετρική δορυφορική αποστολή του GEOSAT είναι ο δορυφόρος GFO (GEOSAT Follow-On) (**Εικόνα 2-19**), ο οποίος εκτοξεύθηκε στις 10 Φεβρουαρίου 1998 και αποσύρθηκε στις 26 Νοεμβρίου 2008. Είχε ακριβώς την ίδια τροχιά που είχε ο GEOSAT κατά την επαναλαμβανόμενη φάση του (ERM), η οποία είχε περίοδο σχεδόν 17 ημέρες. Τα βασικά όργανα που έφερε ήταν ραδιόμετρο, αλτίμετρο ραντάρ, δέκτες GPS και Doppler, καθώς και άλλα όργανα για τον ακριβή προσδιορισμό της τροχιάς του. Ωστόσο, ο δέκτης GPS δεν λειτούργησε ποτέ. Παρόλα αυτά η ακρίβεια στον προσδιορισμό της θέσης του δορυφόρου από μετρήσεις Doppler ήταν $\pm 5-8$ cm και η ακρίβεια των δεδομένων του ήταν $\pm 2-3$ cm.



Εικόνα 2-19: Ο διάδοχος αλτιμετρικός δορυφόρος του GEOSAT, GFO. Πηγή: (NOAA Satellite and Information Service 2014) <http://www.star.nesdis.noaa.gov/sod/lisa/GFO/>

2.8.1.9 JASON-1

Η δορυφορική αποστολή JASON-1 (**Εικόνα 2-20**), η οποία τέθηκε σε τροχιά στις 7 Δεκεμβρίου 2001, αποτελεί συνέχεια του δορυφόρου TOPEX/POSEIDON. Η αποστολή αυτή αποτελούσε τον προπομπό μιας σειράς νέων αλτιμετρικών δορυφόρων, που εκτιμήθηκε ότι προοδευτικά θα έχουν τη δυνατότητα αποστολής δεδομένων σε *πραγματικό χρόνο παρατήρησης*. Είναι προϊόν συνεργασίας των NASA, CNES και AVISO (Archiving, Validation and Interpretation of Satellite Orbit). Περιστρεφόταν σε ύψος 1336 km, είχε κλίση τροχιάς 66° και περίοδο 112 λεπτά (όπως και ο T/P). Το ίχνος της τροχιάς του επαναλαμβανόταν στο ημεμερινό με ακρίβεια περίπου 1 Km και είχε τη δυνατότητα παρακολούθησης και καταγραφής των διαχρονικών μεταβολών της ΜΣΘ.



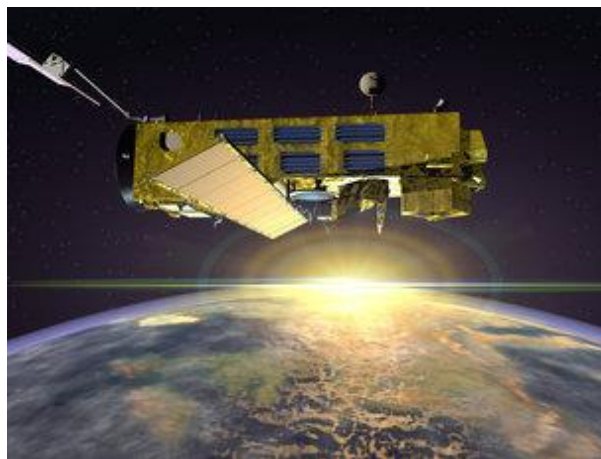
Εικόνα 2-20: Η αλτιμετρική αποστολή JASON-1. Πηγή: (OSTM, Jet Propulsion Laboratory, NASA 2001) <http://sealevel.jpl.nasa.gov/gallery/videos/?ImageID=129>

Ο JASON-1 τέθηκε στην ίδια τροχιά (tandem orbit) με αυτή του T/P και χρονικά προηγείτο κατά την επίσκεψή τους πάνω από την ίδια περιοχή, ενώ για ένα διάστημα περίπου 3 ετών

(2002-2005) και μέχρι που τερματίστηκε η αποστολή T/P, οι δύο δορυφόροι περιστρέφονταν σε κοινή αποστολή παρακολούθησης των θαλασσών, με το ίχνος του T/P να βρίσκεται ανάμεσα σε δύο γειτονικά ίχνη του JASON-1. Αποτέλεσμα ήταν να βελτιωθεί η διακριτική ικανότητα των αλτιμετρικών δορυφορικών παρατηρήσεων για την ακριβέστερη παρακολούθηση της ΜΣΘ. Η βασική αποστολή του JASON-1 ήταν να παρέχει πληροφορίες σχετικά με ωκεανογραφικά, κλιματολογικά και γεωφυσικά φαινόμενα, καθώς και να συμβάλει στη δημιουργία σχετικών προβλέψεων. Το αλτίμετρο που έφερε ήταν της γενιάς POSEIDON, αλλά σε εξελιγμένη μορφή, το POSEIDON-2. Επίσης, ήταν εξοπλισμένος με τρία διαφορετικά συστήματα εντοπισμού θέσης, τα DORIS, SLA και TRSR, ώστε να επιτυγχάνεται ο ακριβής προσδιορισμός της τροχιάς του. Ο δορυφόρος αποσύρθηκε τελικά την 1^η Ιουλίου 2013 μετά από 11.5 χρόνια συνεχούς λειτουργία λόγω απώλειας επικοινωνίας με τους επίγειους σταθμούς.

2.8.1.10 ENVISAT

Ο δορυφόρος ENVISAT (ENVIronmetal SATellite) (**Εικόνα 2-21**) εκτοξεύθηκε την 1^η Μαρτίου 2002 από την ESA, και όπως αναμενόταν, συνέχισε τις αλτιμετρικές παρατηρήσεις των δορυφορικών αποστολών ERS-1 και ERS-2 για 10 χρόνια, μέχρι που σταμάτησε η λειτουργία του τον Απρίλιο του 2012. Ακολουθούσε πολική, ηλιοσύγχρονη τροχιά σε ύψος 800 km με κλίση 98.55° και πραγματοποιούσε και αυτός ακριβώς επαναλαμβανόμενες μετρήσεις σύμφωνα με το πρόγραμμα ERM με περίοδο 35 ημερών.



Εικόνα 2-21: Ο περιβαλλοντικός δορυφόρος ENVISAT. Πηγή: (European Space Agency) [http://www.esa.int/Our_Activities/Observing_the_Earth/Envisat/Europe s Environment Sat
ellite](http://www.esa.int/Our_Activities/Observing_the_Earth/Envisat/Europe_s_Environment_Satellite)

Ο ENVISAT δεν ήταν μόνο αλτιμετρικός δορυφόρος, αλλά πραγματοποιούσε ταυτόχρονα και αρκετά άλλα είδη μετρήσεων που αποσκοπούσαν στη μελέτη της ατμόσφαιρας, των πάγων και των ηπειρωτικών εκτάσεων. Συγκεκριμένα, έφερε 10 συμπληρωματικά όργανα για την παρακολούθηση υψηλής ακρίβειας παραμέτρων που αφορούσαν από το θαλάσσιο γεωειδές μέχρι τις αέριες εκπομπές. Μεταξύ αυτών ήταν ένα αλτίμετρο ραντάρ τεχνολογίας

RA-2 και δύο συστήματα εντοπισμού θέσης, τα DORIS και LRR. Η ακρίβεια στον προσδιορισμό της θέσης της τροχιάς ήταν $\pm 1-2$ cm και η ακρίβεια των αλτιμετρικών παρατηρήσεων ήταν $\pm 1-3$ cm.

2.8.2 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.

2.8.2.1 JASON-2

Ο αλτιμετρικός δορυφόρος Jason-2/OSTM (**Εικόνα 2-22**) 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 66°). Επίσης, τα όργανα που φέρει είναι ίδια με τη διαφορά ότι το αλτίμετρό του είναι επόμενης γενιάς σε σχέση με κείνο του Jason-1.



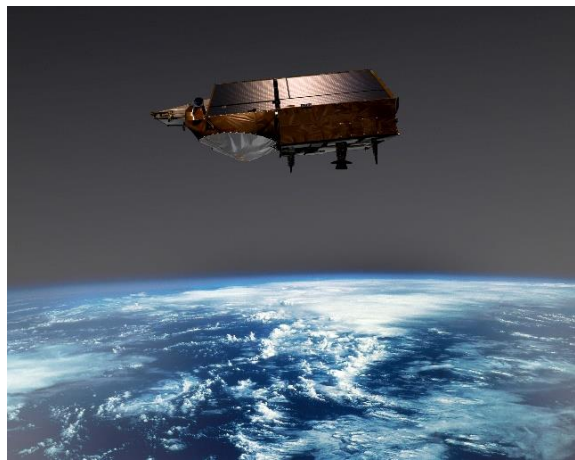
Εικόνα 2-22: Ο αλτιμετρικός δορυφόρος Jason-2. Πηγή: (Centre National d'Etudes Spatiales (CNES) 2006) <http://www.cnes.fr/web/CNES-en/5435-a-ground-station-for-jason-2.php>

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.

2.8.2.2 Cryosat-2

Ο δορυφόρος Cryosat-2 (**Εικόνα 2-23**), 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 km και κλίσης 92°, ώστε να καλύπτει όλες τις αρκτικές περιοχές.



Εικόνα 2-23: Ο δορυφόρος Cryosat. Πηγή: (Earth Observation 2008)
<http://blog.antarctica.ac.uk/eo/2008/12/17/cryosat-2-opportunity/>

Ο Cryosat-2 φέρει ένα αλτίμετρο ραντάρ/συμβολόμετρο τεχνολογίας Sival, το οποίο λειτουργεί την K_v-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.

2.8.2.3 HY-2

Ο κινεζικός δορυφόρος τηλεπισκόπησης HY-2 (από τη λέξη HaiYang που σημαίνει «ωκεανός» στα κινεζικά) (**Εικόνα 2-24**) 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 υψομέτρου 971 km και κλίσης 99.3°, ενώ η περίοδος περιστροφής του ήταν 14 ημέρες. Στη συνέχεια, όταν τέθηκε στην γεωδαιτική του φάση, η τροχιά του τέθηκε σε υψόμετρο 973

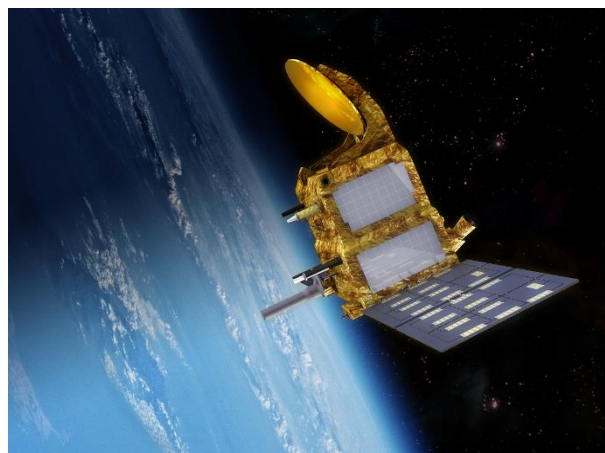
km και η περίοδος περιστροφής του έγινε 168 ημέρες. Το αντικείμενο του συγκεκριμένου δορυφόρου είναι η παρακολούθηση του δυναμικού ωκεάνιου περιβάλλοντος με τη χρήση μικροκυματικών αισθητήρων για τον προσδιορισμό των ανέμων στην επιφάνεια της θάλασσας, καθώς και του ύψους και της θερμοκρασίας αυτής. 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 2-24: Ο τηλεπισκοπικός δορυφόρος HY-2. Πηγή: (Collecte Localisation Satellites (CLS))
http://www.altimetry.info/html/missions/hy2_en.html

2.8.2.4 SARAL

Ο δορυφόρος SARAL (Satellite with ARGos and AltiKa) (**Εικόνα 2-25**) 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°.

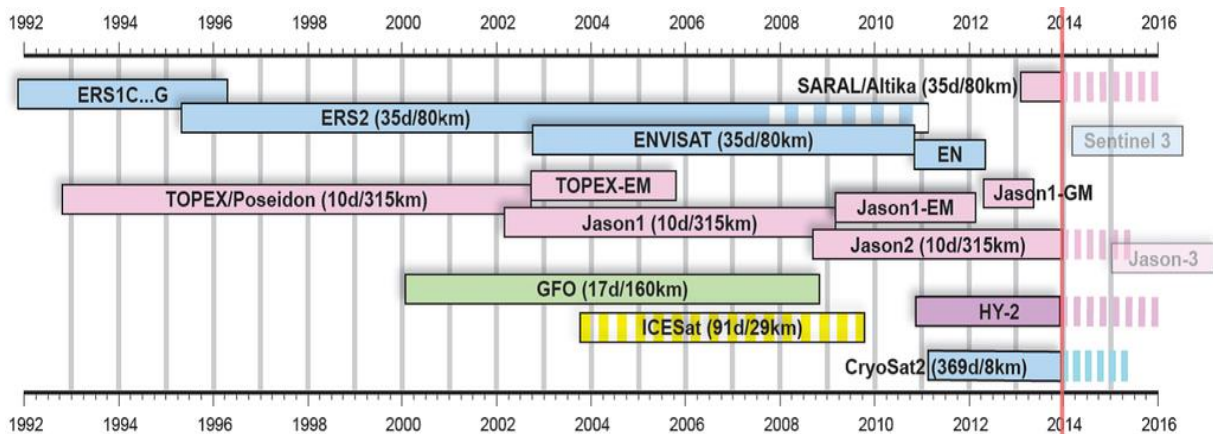


Εικόνα 2-25: Ο δορυφόρος SARAL. Πηγή: (Centre National d'Etudes Spatiales (CNES) 2013)
<http://smc.cnes.fr/SARAL/>

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 κατασκευάσθηκε 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:
 - τη βελτίωση της επιχειρησιακής ωκεανογραφίας
 - την καλύτερη κατανόηση του κλίματος του πλανήτη και την βελτίωση των δυνατοτήτων πρόβλεψης
 - την επιχειρησιακή μετεωρολογία
 - 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.

Στη συνέχεια, φαίνεται σχηματικά το ιστορικό των αλτιμετρικών αποστολών για τις δύο περασμένες δεκαετίες (Εικόνα 2-26).



Εικόνα 2-26: Το ιστορικό των αλτιμετρικών αποστολών για τις δύο περασμένες δεκαετίες.

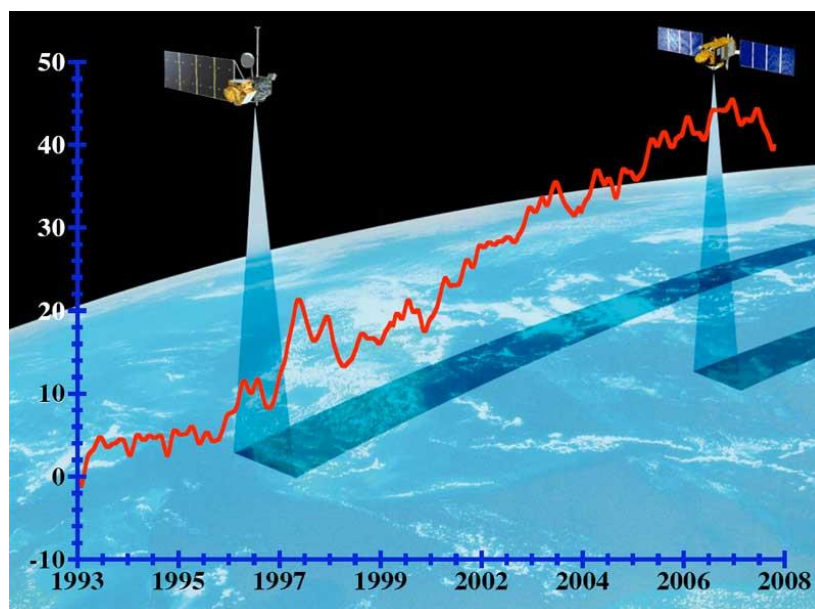
Πηγή: (Bosch et al. 2014)

2.9 Συνδυασμός αλτιμετρικών δεδομένων από πολλαπλές αποστολές

Οι αλτιμετρικές αποστολές των τελευταίων δύο δεκαετιών έχουν παράσχει και συνεχίζουν να παρέχουν συνεχή και ακριβή παρακολούθηση της επιφάνειας του ωκεανών. Από το 1992, δύο ή περισσότερες σύγχρονες αποστολές είναι συνεχώς διαθέσιμες ταυτόχρονα. Η

ύπαρξη συνεχών μακροχρόνιων δεδομένων είναι θεμελιώδους σημασίας. Ωστόσο, ο συνδυασμός αποστολών με διαφορετικές δυνατότητες δειγματοληψίας απαιτεί προσεκτική προεπεξεργασία και βαθμονόμηση όλων των αλτιμετρικών συστημάτων προκειμένου να διασφαλίζεται η συμβατότητα των παρατηρήσεων των διαφορετικών δορυφόρων. Διασταυρώνοντας τα δεδομένα πολλαπλών αποστολών σε παγκόσμια κλίμακα είναι δυνατόν να αντιστοιχηθούν οι μετρήσεις της κάθε αποστολής, καθώς και να συγχωνευτούν, σε μία συνεκτική μακροπρόθεσμη καταγραφή δεδομένων, ακόμη και αν ορισμένες από τις αποστολές δεν λειτουργούν επαναληπτικά στο ίδιο τμήμα της θαλάσσιας επιφάνειας (Dettmering and Bosch 2012).

Τα ζεύγη των αλτιμετρικών δορυφόρων TOPEX/POSEIDON – ERS και Jason – Envisat αποτελούν χαρακτηριστικά παραδείγματα για το πώς μπορούν οι αποστολές να λειτουργήσουν σε συνδυασμούς για την επίτευξη υψηλότερων ακριβειών. Οι TOPEX/POSEIDON και Jason-1 (**Εικόνα 2-27**) ακολουθούν μία επαναληπτική τροχιά με περίοδο δέκα ημέρες σχεδιασμένη για την παρακολούθηση των ωκεάνιων μεταβολών, συνεπώς περνούν από τα ίδια σημεία αρκετά συχνά. Τα ίχνη των διαδοχικών τροχιών τους, όμως, στη γήινη επιφάνεια απέχουν περίπου 315 km στο επίπεδο του Ισημερινού (μια απόσταση που είναι μεγαλύτερη από το μέσο εύρος μιας δύνης). Από την άλλη πλευρά, οι ERS-2 και Envisat περνούν από το ίδιο σημείο της γήινης επιφάνειας κάθε 35 ημέρες, αλλά η μέγιστη απόσταση μεταξύ των ιχνών των τροχιών τους στο επίπεδο του Ισημερινού είναι μόνο 80 km.



Εικόνα 2-27: Η άνοδος της στάθμης της θάλασσας από μετρήσεις του υψομέτρου της επιφάνειας της θάλασσας από τους δορυφόρους Topex/Poseidon και Jason-1. Πηγή: (Wikipedia 2014) <http://en.wikipedia.org/wiki/Altimeter>

Βέβαια, είναι δυνατοί κι άλλοι συνδυασμοί αλτιμετρικών δορυφόρων, με την προϋπόθεση να υπάρχουν τουλάχιστον δύο αλτιμετρικοί δορυφόροι που θα χαρτογραφούν τους

ωκεανούς και θα παρακολουθούν τις μεταβολές τους με ακρίβεια. Με τέσσερις δορυφόρους διαθέσιμους (Jason-1 + Jason-2 + Envisat + Cryosat-2 από το 2012) η ακρίβεια των μετρήσεων για το ύψος της επιφάνειας της θάλασσας ενισχύεται σημαντικά. Ειδικά για τη Μεσόγειο Θάλασσα, απαιτούνται τουλάχιστον τρεις δορυφόροι για να είναι δυνατή η παρατήρηση των δυνών και των φαινομένων μέσης κλίμακας (100 – 300 km) (Hwang et al. 2002). Όταν η επιφάνεια παρατήρησης είναι ηπειρωτική ή πάγος, το κύριο πλεονέκτημα των πολλαπλών αποστολών είναι η πυκνότερη κάλυψη. Σε ορισμένες περιοχές και με ορισμένους αλτιμετρικούς δορυφόρους (π.χ. Envisat και Cryosat για επιφάνειες πάγων), είναι δυνατοί κάποιοι τέτοιοι συνδυασμοί (Collecte Localisation Satellites (CLS))

2.10 Συνδυασμός αλτιμετρικών και βαρυτημετρικών δεδομένων

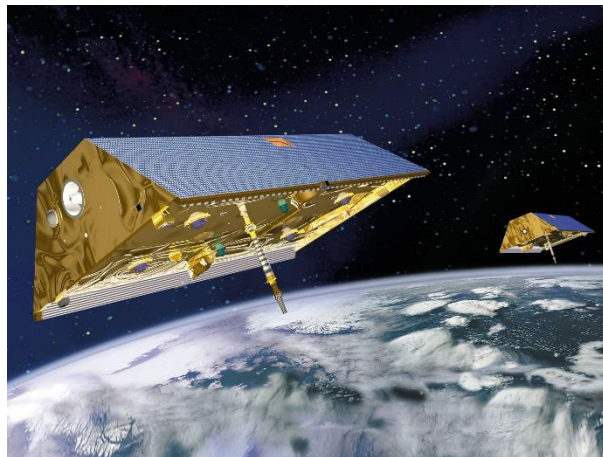
Ένα από τα βασικότερα προβλήματα στη μελέτη ωκεάνιων φαινομένων, όπως είναι η Απόλυτη Δυναμική Τοπογραφία, τα γεωστροφικά ρεύματα, οι Ανωμαλίες του Επιπέδου της Θάλασσας κ.λπ., είναι η αδυναμία ακριβούς προσδιορισμού του θαλάσσιου γεωειδούς. Με τις νέες ειδικές βαρυτημετρικές γεωδαιτικές αποστολές CHAMP (2000) (**Εικόνα 2-28 (α)**), GRACE (2004) (**Εικόνα 2-28 (β)**) και GOCE (2009) (**Εικόνα 2-28 (γ)**), οι οποίες είναι σχεδιασμένες αποκλειστικά για τη μελέτη του γήινου πεδίου βαρύτητας, έχουν γινεί σημαντικές πρόοδοι προς αυτή την κατεύθυνση (Rio et al. 2012). Η κύρια χρήση των δεδομένων από αυτές τις αποστολές είναι ο ακριβέστερος προσδιορισμός του γεωειδούς.

Μετά την έναρξη της λειτουργίας των πρώτων αλτιμετρικών αποστολών, έχει καταστεί διαθέσιμη μία πληθώρα δεδομένων για την κατάσταση της επιφάνειας της θάλασσας. Τα δεδομένα αυτά χρησιμοποιούνται, εκτός των άλλων, για την δημιουργία μοντέλων του γεωειδούς και της θαλάσσιας τοπογραφίας. Την ίδια στιγμή, τα δεδομένα από τις αποστολές, CHAMP και GRACE, παρέχουν τη δυνατότητα συνδυαστικών μελετών με αλτιμετρικές παρατηρήσεις. Οι συνδυασμοί αυτοί περιλαμβάνουν την ταυτόχρονη χρήση δεδομένων από τις αλτιμετρικές αποστολές GEOSAT, ERS1/2, Topex/Poseidon, JASON-1 και ENVISAT και των μοντέλων EGM (Earth Gravity Models), τα οποία προέρχονται από τις αποστολές CHAMP και GRACE, για τη μελέτη της Μέσης Στάθμης της Θάλασσας και του θαλάσσιου γεωειδούς στην περιοχή της Μεσογείου Θάλασσας (Vergos et al. 2007).

Εκτός από τον προσδιορισμό του γεωειδούς, ο συνδυασμός των βαρυτημετρικών δεδομένων με αλτιμετρικά συμβάλλουν στον υπολογισμό των ωκεάνιων παλιρροιών, καθώς και στον ακριβή προσδιορισμό της τροχιάς του δορυφόρου, αφού παρέχουν πληροφορίες σχετικά με την επίδραση της βαρύτητας σε αυτόν.



(α)



(β)



(γ)

Εικόνα 2-28: Οι γεωδαιτικοί δορυφόροι (α) CHAMP, (β) GRACE και (γ) GOCE. Πηγή: (German Aerospace Center (DLR)), (Spaceflight Insider 2013), (National Geographic 2014)
http://www.dlr.de/rb/en/desktopdefault.aspx/tabid-2814/4262_read-6313/,
<http://www.spaceflightinsider.com/space-flight-news/goce-mission-ends-in-a-fiery-blaze/>,
<http://newswatch.nationalgeographic.com/2014/02/04/epic-california-drought-and-groundwater-where-do-we-go-from-here/>

2.11 Διαφαινόμενες μελλοντικές τεχνολογικές εξελίξεις

Η Δορυφορική Αλτιμετρία έχει αποδειχθεί ως μία πολύτιμη πηγή δεδομένων για πολλές εφαρμογές γεωεπιστημονικού ενδιαφέροντος, αλλά και πρακτικών εφαρμογών. Λαμβάνοντας υπόψη τις παρούσες αλτιμετρικές αποστολές που βρίσκονται σε επιχειρησιακή λειτουργία, οι μελλοντικές αποστολές θα πρέπει να παρέχουν βελτιωμένη χωρική και χρονική κάλυψη, έτσι ώστε να μπορούν να μελετηθούν σε μεγαλύτερο βάθος οι παράκτιες ζώνες (Coastal Altimetry), οι μεταβολές μέσης κλίμακας, καθώς και μία πληθώρα άλλων εφαρμογών. Μεσοπρόθεσμα, υπάρχουν σχέδια για αλτιμετρικές αποστολές με τη δυνατότητα σάρωσης των ωκεάνιων επιφανειών για την απόκτηση δεδομένων σε κλίμακα μερικών δεκάδων χιλιομέτρων, σαρώνοντας τα ίδια σημεία ανά λίγες μέρες. Άλλα σχέδια αφορούν τη δημιουργία δορυφορικών σχηματισμών (constellations), ενώ υπάρχουν σκέψεις και για αλτιμετρικές αποστολές με τη δυνατότητα ανάκτησης των ανακλώμενων σημάτων, τα οποία εκπέμπονται πρωτογενώς από δορυφόρους του συστήματος GNSS (Global Navigation Satellite System).

Σε πολυάριθμες ωκεανογραφικές μελέτες, αποδείχθηκε ότι η ύπαρξη ενός και μόνο αλτιμέτρου είναι ανεπαρκής για την απόκτηση δεδομένων με τη χωρική και χρονική κάλυψη που απαιτεί η μελέτη των μεταβολών μέσης κλίμακας. Σε πολλά στάδια μεταξύ του 1992 και μέχρι σήμερα, έχουν υπάρξει από δύο μέχρι πέντε αλτιμέτρα σε ταυτόχρονη λειτουργία, αλλά η μόνη περίπτωση που οι τροχιές είχαν ρυθμιστεί σκοπίμως για την από κοινού χαρτογράφηση ήταν κατά τα τελευταία χρόνια λειτουργίας του TOPEX/POSEIDON, όταν τοποθετήθηκε σε διασταυρούμενη τροχιά με τον Jason-1. Πρόσφατα, αναπτύχθηκαν σενάρια για τριπλή αλτιμετρική αποστολή, την WITTEX (Water Inclination Topography and Technology Experiment). Πρόκειται, δηλαδή, για έναν δορυφορικό σχηματισμό αποτελούμενο από τρεις αλτιμετρικούς δορυφόρους μικρής κλίμακας (micro-satellite) και χαμηλού κόστους. Η χρήση τέτοιων δορυφόρων θα μπορούσε να μειώσει το κόστος κατασκευής και εκτόξευσης (μπορούν να εκτοξευθούν με τον ίδιο πύραυλο) και να παρέχει βελτιωμένη ανίχνευση των ακραίων φαινομένων σε πραγματικό χρόνο (Quartly and Chen 2006).

Όσον αφορά στις συχνότητες των αλτιμέτρων, η πλειοψηφία αυτών εκπέμπουν στο εύρος συχνοτήτων 13.5-14 GHz στην K_u -band (βλ. Ενότητα 2.6.1), γεγονός το οποίο θέτει συγκεκριμένες απαιτήσεις στο μέγεθος της κεραίας και της χρησιμοποιούμενης ισχύος, έτσι ώστε να μπορούν να πραγματοποιούνται χρήσιμες μετρήσεις από απόσταση μεγαλύτερη από 1000 km από την επιφάνεια της θάλασσας. Πρόσφατα αναπτύχθηκαν σχέδια για το αλτιμέτρο ραντάρ Altika, το οποίο πρόκειται να εκπέμπει στα 35.75 GHz (K_a -band) (βλ. Ενότητα 2.6.4) και να έχει πολύ μικρότερες απαιτήσεις στα όργανα και την ισχύ. Το μικρό μέγεθος των οργάνων αυτών συμβαδίζει με τα πλάνα για την κατασκευή αλτιμετρικών δορυφόρων μικρής κλίμακας (σε constellations) (Abshire et al. 2005). Επιπλέον, η χρήση συχνοτήτων στην K_a -band παρέχει κάποια σημαντικά πλεονεκτήματα, όπως είναι η χαμηλή ιονοσφαιρική εξασθένιση, η υψηλότερη επαναληψιμότητα εκπομπών, το μεγαλύτερο εύρος ζώνης, η ακριβέστερη περιγραφή της τραχύτητας της επιφάνειας της θάλασσας και η χαμηλότερη διεύθυνση του παλμού στον πάγο και το χιόνι.

Μία καινοτόμος λύση στο πρόβλημα της ανεπαρκούς χωρικής και χρονικής κάλυψης αποτελεί η δημιουργία αλτιμέτρου με δύο δέκτες, επιτρέποντας έτσι τη σάρωση σε λωρίδες μέσω συμβολομετρικών τεχνικών. Ένα τέτοιο αλτιμέτρο, το Wide-Swath Ocean Altimeter (WSOA), έχει προταθεί για την επόμενη αποστολή της σειράς Jason (Rodriguez and Pollard 2003).

Τέλος, για την επίτευξη της μέγιστης κάλυψης αλτιμετρικών δεδομένων υπάρχει ένα σενάριο σύμφωνα με το οποίο θα λαμβάνονται τα ανακλώμενα σήματα των δορυφόρων του συστήματος GPS και του μελλοντικού GALILEO από τους αλτιμετρικούς δορυφόρους. Η γενική ιδέα βασίζεται στην ανάπτυξη ενός δορυφόρου που θα βρίσκεται σε χαμηλή τροχιά (σε υψόμετρο 400-500 km από την επιφάνεια της Γης), ο οποίος θα ανακτά τα σήματα που εκπέμπονται από πολλαπλούς δορυφόρους και ανακλώνται από την επιφάνεια των ωκεανών. Από την ανάλυση αυτών των σημάτων θα μπορούσε να προσδιοριστεί το Ύψος

της Επιφάνειας της Θάλασσας. Σημειώνεται, βέβαια, ότι η ιδέα αυτή είναι ακόμα σε στάδιο διερευνήσεων (Gleason et al. 2005).

3 ΑΛΤΙΜΕΤΡΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Το βασικότερο στοιχείο στη μελέτη φαινομένων με τη βοήθεια της μεθόδου της Δορυφορικής Αλτιμετρίας αποτελούν τα ίδια τα αλτιμετρικά δεδομένα που πρόκειται να αξιοποιηθούν. Εξαρτώμενος από τη φύση, τον χαρακτήρα και τις απαιτήσεις της εκάστοτε εφαρμογής, ο μελετητής καλείται να επιλέξει κάθε φορά τα κατάλληλα προ-επεξεργασμένα δεδομένα, καθώς υπάρχουν αρκετά διαφορετικά είδη και επίπεδα αναγωγών και διορθώσεων στις οποίες υπόκεινται οι πρωτογενείς παρατηρήσεις. Στο κεφάλαιο αυτό, θα περιγραφεί η διαδικασία συλλογής των δεδομένων από τους αλτιμετρικούς δορυφόρους, τα είδη των αλτιμετρικών δεδομένων και τα στάδια επεξεργασίας τους, με σκοπό τη διόρθωσή τους από τα φαινόμενα που επιδρούν στο παλμικό κύμα κατά τη διαδρομή του από και προς το δορυφόρο.

3.1 Επίγειοι Σταθμοί Αποστολών (Mission Ground Segments)

Οι πρώτοι αποδέκτες των πρωτογενών αλτιμετρικών δεδομένων (raw data) είναι πάντα οι επίγειοι σταθμοί των αποστολών. Μέσω των σταθμών αυτών επιτυγχάνεται η επικοινωνία και η σύνδεση με τους αλτιμετρικούς δορυφόρους. Είναι υπεύθυνοι για τη διαχείριση και τον έλεγχο των αποστολών. Επιπλέον, λαμβάνουν και επεξεργάζονται τα δεδομένα, ώστε να τα μετατρέψουν από την αρχική τους μορφή σε αξιοποιήσιμα, και στη συνέχεια τα αρχειοθετούν και τα καθιστούν διαθέσιμα στους χρήστες μέσω κατάλληλων πηγών πρόσβασης σε αυτά (π.χ. διαδικτυακές υπηρεσίες). Η απόκτηση των δεδομένων της κάθε αποστολής γίνεται από τον αντίστοιχο φορέα που έχει την ευθύνη της λειτουργίας του δορυφόρου. Για παράδειγμα, η επικοινωνία και η λήψη δεδομένων από τον αλτιμετρικό δορυφόρο Cryosat γίνεται μέσω του σταθμού της ESA στην πόλη Κιρούνα της Σουηδίας (Εικόνα 3-1).



Εικόνα 3-1: Ο επίγειος σταθμός της ESA στην πόλη Κιρούνα της Σουηδίας. Πηγή: (Wikimapia 2013) <http://wikimapia.org/13087368/Kiruna-Satellite-Station-European-Space-Agency#/photo/3185866>

Υπάρχει ένας αριθμός μόνιμων εγκατεστημένων επίγειων σταθμών παγκοσμίως, π.χ. ο σταθμός Issus Aussaguel, Γαλλία υπό την χρήση της CNES, οι σταθμοί Poker Flats και Wallops, Η.Π.Α. υπό τη χρήση της NASA κ.λπ. (Collecte Localisation Satellites (CLS)).

Στους επίγειους σταθμούς μπορεί κανείς να ξεχωρίσει δύο κύρια μέρη. Το πρώτο αφορά τη διαχείριση και επικοινωνία με το δορυφόρο (Flight Operation Segment, FOS) και το δεύτερο αφορά τη λήψη και επεξεργασία των πρωτογενών δεδομένων (Payload Data Segment, PDS). Η επικοινωνία με το δορυφόρο πραγματοποιείται, όταν ο δορυφόρος είναι εντός της περιοχής επικοινωνιακής εμβέλειας με τον εκάστοτε σταθμό εδάφους, περίπου 10 φορές την ημέρα και διαρκεί για περίπου 10 λεπτά. Σε αυτό το διάστημα γίνεται και η απόκτηση των δεδομένων. Σε μερικές αποστολές (π.χ. με τον δορυφόρο Envisat), ο σύνδεσμος επικοινωνίας δορυφόρου-εδάφους γίνεται μέσω δορυφορικών συστημάτων αναμετάδοσης δεδομένων, όπως είναι το σύστημα ARTEMIS, επιτρέποντας έτσι την επικοινωνία ακόμη και όταν ο δορυφόρος είναι εκτός της εμβέλειας των σταθμών εδάφους. Αυτή η δυνατότητα είναι απαραίτητη στην περίπτωση χρήσης δορυφορικών αισθητήρων που συλλέγουν παρατηρήσεις με υψηλούς ρυθμούς καταγραφής και δεν είναι εφικτό αυτές να αποθηκεύονται στον δορυφόρο, ώστε να μεταδοθούν στους σταθμούς εδάφους όταν αυτός διέρχεται από την περιοχή τους.

3.2 Επεξεργασία Δεδομένων

Οι πρωτογενείς παρατηρήσεις που λαμβάνονται από δορυφορικά όργανα υπόκεινται σε διάφορες αναγωγές και διορθώνονται σε διάφορα επίπεδα επεξεργασίας πριν από τη διανομή τους στους χρήστες. Το αποτέλεσμα της εκάστοτε επεξεργασίας είναι ένα προϊόν συγκεκριμένου επιπέδου (Level Product).

Η διαδικασία επεξεργασίας των δεδομένων περιλαμβάνει τη μετατροπή τους από πρωτογενή δεδομένα σε χρησιμοποιήσιμα και διαχωρίζεται σε πέντε βήματα (Βήμα 0 – 4), ενώ μετά την διεκπεραίωση κάθε βήματος, τα δεδομένα αναβαθμίζονται (Επίπεδα 0-4) σε πιο εξειδικευμένα προϊόντα. Εν συντομία, τα βήματα αυτά περιλαμβάνουν:

Βήμα 0: Τα αλτιμετρικά δεδομένα λαμβάνονται από τους επίγειους σταθμούς αποστολών σε μορφή τηλεμετρικών δεδομένων (*Επίπεδο 0*) που είναι σε δυαδική κωδικοποιημένη μορφή.

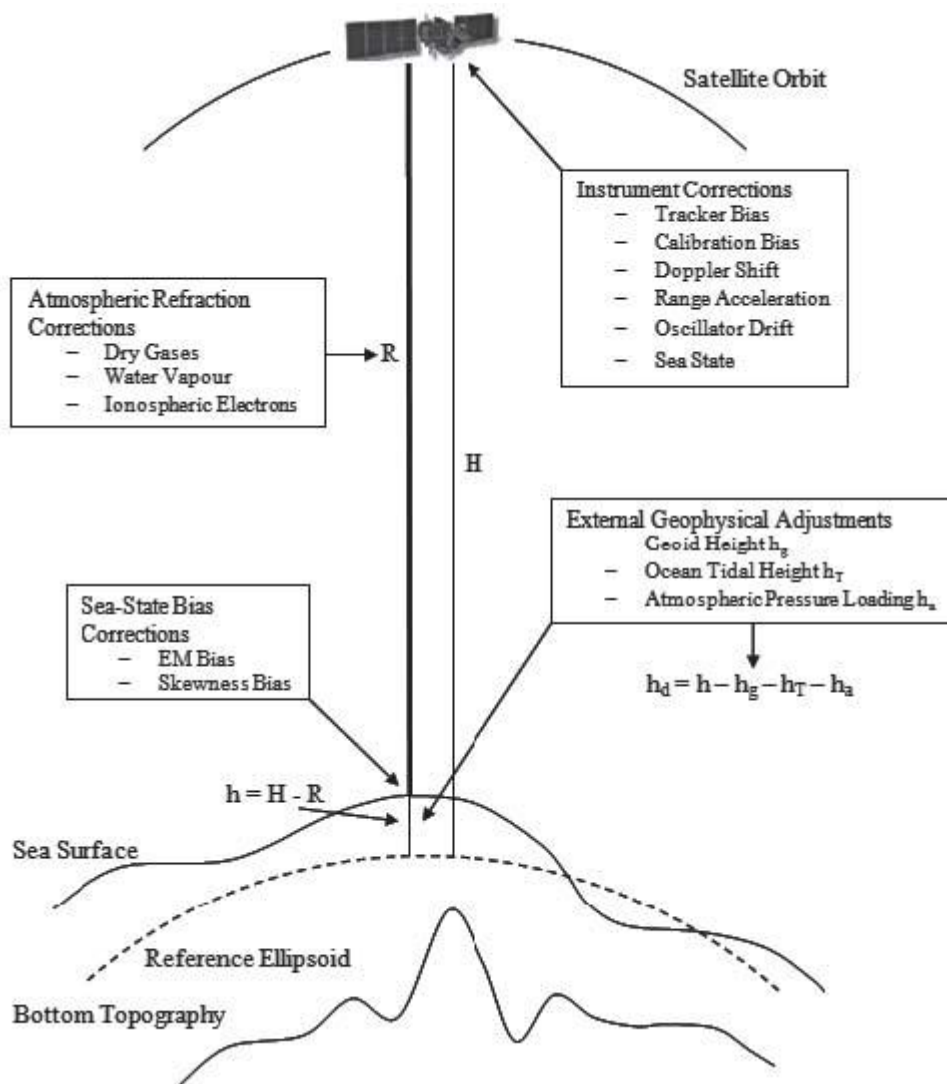
Βήμα 1: Πραγματοποιείται αρχικός ποιοτικός έλεγχος και τα ελεγμένα τηλεμετρικά δεδομένα προωθούνται στα κέντρα επεξεργασίας δεδομένων της εκάστοτε υπηρεσίας. Στη συνέχεια, τα δεδομένα χρονολογούνται, χωροθετούνται και εκφράζονται στις κατάλληλες μονάδες μέτρησης. Μετά από αυτή τη διαδικασία τα δεδομένα ανήκουν στο *Επίπεδο 1*.

Βήμα 2: Τα δεδομένα Επιπέδου 1 διορθώνονται ως προς τα σφάλματα του οργάνου, τα σφάλματα που προκύπτουν κατά τη διάδοση του σήματος στην ατμόσφαιρα και τις διαταραχές στις οποίες υπόκειται το σήμα κατά την ανάκλασή του από την προσπίπτουσα επιφάνεια. Ακολουθούν μια εκτεταμένη σειρά από γεωφυσικές διορθώσεις και ο ακριβής προσδιορισμός της τροχιάς του δορυφόρου (Precise Orbit Determination, POD), ώστε να επιτευχθεί η μέγιστη ακρίβεια. Αν τα δεδομένα διορθωθούν ως προς όλα τα παραπάνω σφάλματα, μετατρέπονται σε δεδομένα *Επιπέδου 2* που είναι συνήθως γνωστά και ως γεωφυσικά δεδομένα (geophysical data records, GDRs)

Βήμα 3: Τα γεωφυσικά δεδομένα Επιπέδου 2 επικυρώνονται ακολουθώντας αυστηρά προδιαγεγραμμένους κανόνες διασφάλισης της ποιότητάς τους. Η διαδικασία αυτή (data validation and qualification) απαρτίζεται από ακριβείς ελέγχους ποιότητας και παρακολούθηση του συστηματικού σφάλματος του οργάνου (instrument drift). Αυτό το βήμα αποτελεί αναπόσπαστο μέρος της επεξεργασίας των δεδομένων πριν αυτά διατεθούν στην επιστημονική κοινότητα προς χρήση. Μετά το πέρας αυτής της διαδικασίας, τα δεδομένα είναι πλέον επικυρωμένα δεδομένα κατά μήκος της τροχιάς (along-track data) (βλ. Ενότητα 3.4.1) *Επιπέδου 3*.

Βήμα 4: Στο τελευταίο στάδιο πραγματοποιούνται κάποιοι επιπλέον υπολογισμοί στα δεδομένα Επιπέδου 2 (Γεωφυσικά). Συγκεκριμένα, πραγματοποιείται διαδορυφορική βαθμονόμηση μεταξύ αποστολών, δηλαδή τα δεδομένα από διαφορετικούς δορυφόρους συνδυάζονται μετά από εκτενείς ελέγχους συμβατότητας. Τα δεδομένα μετατρέπονται σε gridded δεδομένα, δηλαδή προϊόντα που ανάγουν τις αλτιμετρικές πληροφορίες από τα επίγεια ίχνη των δορυφόρων από συνδυασμό αποστολών στα σημεία καννάβων (βλ. Ενότητα 3.4.1), και ανήκουν πλέον στο *Επίπεδο 4* (Collecte Localisation Satellites (CLS)).

Οι κυριότητες πηγές σφαλμάτων στις αλτιμετρικές μετρήσεις και οι τρόποι διόρθωσής τους, οι οποίοι χρησιμοποιούνται κατά την επεξεργασία των δεδομένων (Βήματα 0-4)(**Εικόνα 3-2**) είναι οι ακόλουθες:



Εικόνα 3-2: Σχηματική απεικόνιση του συνόλου των διορθώσεων που πρέπει να επιβληθούν στις αλτιμετρικές μετρήσεις. Πηγή: (Lee-Lueng and Cazanave 2001)

3.2.1 Σφάλμα και ακριβής προσδιορισμός της τροχιάς του δορυφόρου

Ο ακριβής προσδιορισμός της τροχιάς του δορυφόρου είναι η κύρια και απαραίτητη προϋπόθεση για να επιτευχθεί η μέγιστη δυνατή ακρίβεια από τα αλτιμετρικά δεδομένα. Ο προσδιορισμός της τροχιάς έχει βελτιωθεί σε μεγάλο βαθμό στις παρούσες αποστολές σε σχέση με τις παλαιότερες με τη βοήθεια των ανεπτυγμένων συστημάτων εντοπισμού και των ακριβέστερων τροχιακών μοντέλων.

Η βασική διαδικασία για τον προσδιορισμό του δορυφόρου ξεκινά από ένα αρχικό μοντέλο, το οποίο περιγράφει τη τροχιά του δορυφόρου για ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Η αρχική αυτή τροχιά δεν θα είναι απολύτως σωστή, καθώς θα εμπερικλείει σφάλματα που θα οφείλονται στην εκτίμηση του σημείου εκκίνησης υπολογισμού της τροχιάς (initial orbit state), σε ελλείψεις του μαθηματικού μοντέλου που θα περιγράφει τις δυνάμεις που

ασκούνται πάνω στο δορυφόρο, καθώς και στις παραμέτρους που χρησιμοποιούνται στο τροχιακό αυτό μοντέλο (Lee-Lueng and Cazanave 2001).

Ειδικότερα, τα σφάλματα της τροχιάς οφείλονται κυρίως στα σφάλματα των μοντέλων που χρησιμοποιούνται (π.χ. εξ αιτίας της ατελούς γνώσης του πεδίου βαρύτητας της Γης), καθώς και στα σφάλματα των συντεταγμένων των επίγειων σταθμών παρακολούθησης των δορυφόρων. Στην πραγματικότητα, εξ αιτίας των παρέλξεων της Γης (π.χ. παλίρροιες) και άλλων δυνάμεων που ασκούνται στην επιφάνεια του δορυφόρου (π.χ. τριβή), καθώς επίσης και της ανισότροπης φύσης του πεδίου της γήινης βαρύτητας, διαταράσσεται η ιδανική ελλειπτική δορυφορική τροχιά, που περιγράφεται με τα γνωστά Κεπλέρια στοιχεία, από την ονομαστική (πραγματική) τροχιά που ακολουθούν οι δορυφόροι (Δεληκαράογλου 2005).

Για να διορθωθεί το τροχιακό μοντέλο ως προς τις προαναφερθείσες παραμέτρους θα πρέπει να πραγματοποιηθούν ανεξάρτητες μετρήσεις για την κίνηση του δορυφόρου. Οι μετρήσεις αυτές πραγματοποιούνται με τα συστήματα εντοπισμού που φέρουν οι αλτιμετρικοί δορυφόροι. Υπάρχει ένας αριθμός διαφορετικών τέτοιων συστημάτων, το καθένα από τα οποία έχει διαφορετικά μετρητικά χαρακτηριστικά, χωρική και χρονική κάλυψη, καθώς και διαφορετική ακρίβεια. Τα βασικότερα και ταυτόχρονα πιο συνήθη είναι το Satellite Laser Ranging (SLR) System, το σύστημα DORIS και το GPS (**Πίνακας 3.1**).

Πίνακας 3.1: Τα διαθέσιμα συστήματα εντοπισμού και τα χαρακτηριστικά τους.

Technique	Measurement	Precision	Missions
SLR	Range	0.5-5 cm	All but Geosat
DORIS	Range rate	0.5 mm sec ⁻¹	T/P
PRARE	Range, range-rate	2.5 cm, 0.25 mm sec ⁻¹	ERS-2
GPS	Phase	0.2-05 cm	T/P
TRANET/OPNET	Range-rate	2-10 mm sec ⁻¹	Seasat, Geosat
TDRSS	Range-rate	0.3 mm sec ⁻¹	T/P
Altimeter	Height crossovers	5 cm	All

Πηγή: (Lee-Lueng and Cazanave 2001)

Συμπληρωματικά στα παραπάνω, απαιτείται ανάλογη ακριβής γνώση του γήινου πεδίου βαρύτητας που συμβάλλει στη βελτίωση του τροχιακού μοντέλου και συνεπώς στον προσδιορισμό της τροχιάς του δορυφόρου. Με τις γεωδαιτικές αποστολές CHAMP, GRACE και GOCE έχουν γίνει σημαντικά βήματα προς αυτή την κατεύθυνση.

Η ακρίβεια που χρειάζεται να επιτευχθεί εξαρτάται από το είδος των αλτιμετρικών δεδομένων. Τα δεδομένα που είναι διαθέσιμα μέσα σε διάστημα τριών ωρών βασίζονται σε μία πρόχειρη εκτίμηση της τροχιάς με τη βοήθεια του συστήματος εντοπισμού DORIS. Τα

δεδομένα που είναι διαθέσιμα μετά το πέρασμα 30 ημερών, σε αντίθεση, απαιτούν την όσο το δυνατόν πιο ακριβή εκτίμηση της τροχιάς και για το λόγο αυτό υπάρχει η ανάγκη για περισσότερα τροχιακά δεδομένα και περισσότερους υπολογισμούς. Αυτό συνήθως επιτυγχάνεται συνδυάζοντας όλα τα διαθέσιμα δεδομένα παρακολούθησης του εκάστοτε δορυφόρου από όλους τους επίγειους σταθμούς.

3.2.2 Γεωφυσικά σφάλματα και διορθώσεις

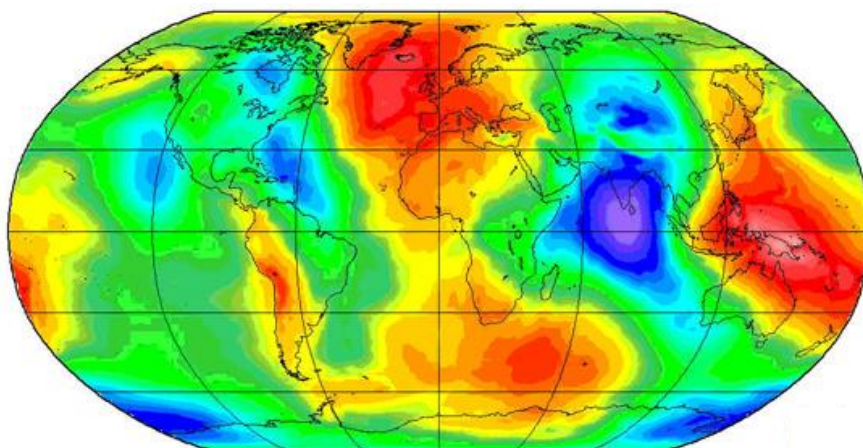
Μία από τις κυριότερες κατηγορίες διορθώσεων που απαιτείται να πραγματοποιηθούν στην επεξεργασία των αλτιμετρικών δεδομένων είναι αυτή των σφαλμάτων που έχουν γεωφυσικό χαρακτήρα. Το γεγονός αυτό οφείλεται στο συνήθως μεγάλο μέγεθος αυτών των σφαλμάτων και της σημαντικής επίδρασης που έχουν στην τελική ακρίβεια των δεδομένων. Οι πιο βασικές πηγές γεωφυσικών σφαλμάτων είναι οι διακυμάνσεις του γεωειδούς και τα διαφορετικά είδη παλιρροιών (ωκεάνια, στερεού φλοιού της Γης και πόλου).

3.2.2.1 Γεωειδές

Το γεωειδές είναι η βασικότερη από όλες τις γεωφυσικές διορθώσεις, εφόσον κυμαίνεται από -105 m (νότια της Ινδίας) έως +85 m (ανατολικά της Νέας Γουινέας) (**Εικόνα 3-3**). Οι χωρικές παραλλαγές του γεωειδούς οφείλονται στις χωρικές ανομοιογένειες της πυκνότητας του εσωτερικού και του φλοιού της Γης, καθώς και στις διαφορές στο βάθος των ωκεανών. Η μέση στάθμη της θάλασσας προσομοιάζει το γεωειδές με ακρίβεια λίγων μέτρων και συνεπώς οι δύο αυτές επιφάνειες φαίνονται πανομοιότυπες.

Ανάλογα την εφαρμογή, είτε το γεωειδές είτε η ΜΣΘ πρέπει να αφαιρείται από τις παρατηρήσεις του υψομέτρου της επιφάνειας της θάλασσας. Αν η εφαρμογή αφορά χρονικές μεταβολές της επιφάνειας της θάλασσας από τη ΜΣΘ, όπως για παράδειγμα μελέτη υψηλών κυμάτων (θύελλα), τότε θα πρέπει να αφαιρείται η ΜΣΘ. Ενώ αν πρόκειται για μελέτες της ωκεάνιας κυκλοφορίας μεγάλης κλίμακας, τότε θα πρέπει να αφαιρεθεί το γεωειδές. Και οι δύο αυτές επιφάνειες μπορούν να προσδιορισθούν με ακρίβεια 10-20 cm.

Το παγκόσμιο γεωειδές προσδιορίζεται κυρίως από ένα συνδυασμό δεδομένων, βαρυτημετρικά δεδομένα προερχόμενα από τις γεωδαιτικές αποστολές CHAMP, GRACE και GOCE αλτιμετρικά, επίγεια, θαλάσσιες παρατηρήσεις (μετρήσεις βαρύτητας από πλοία), καθώς και από μία πληθώρα άλλων ειδών δεδομένα. Η ακρίβεια του εκάστοτε μοντέλου του γήινου δυναμικού της βαρύτητας (Earth gravity Model, EGM) είναι, επίσης, θεμελιώδους σημασίας και για την ακρίβεια του προσδιορισμού της τροχιάς. Με την δημιουργία του μοντέλου EGM2008 (Pavlis et al. 2012), η αβεβαιότητα είναι περίπου 10 cm για τους ωκεανούς (Vignudelli et al. 2010).



Εικόνα 3-3: Το γεωειδές, όπως προκύπτει από το συνδυασμό δεδομένων των ειδικών βαρυτημετρικών γεωδαιτικών αποστολών CHAMP, GRACE και GOCE. Πηγή: (Helmholtz Centre Potsdam (GFZ) 2013) <http://www.gfz-potsdam.de/en/research/organizational-units/departments/department-1/earth-system-modelling/topics/density-structure-of-the-earth/integrative-gravity-and-isostatic-models/>

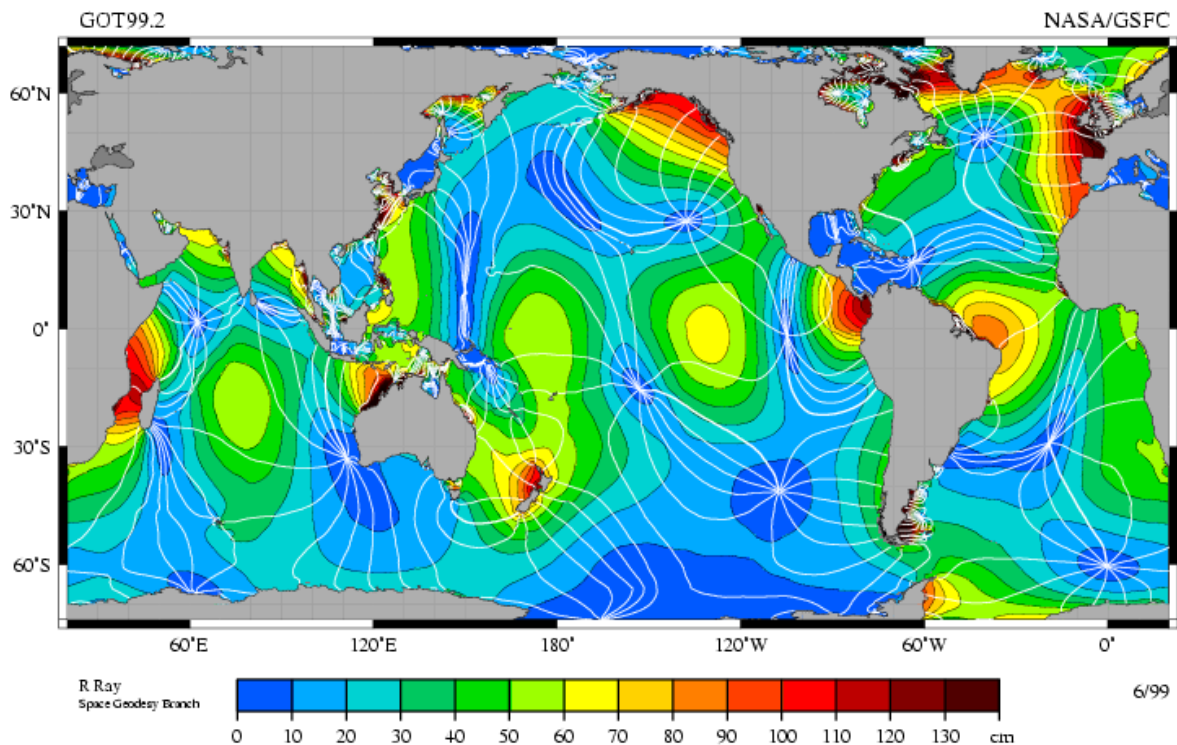
3.2.2.2 Ωκεάνιες παλίρροιες

Οι ωκεάνιες παλίρροιες αντιπροσωπεύουν το 80% της μεταβολής της επιφάνειας της θάλασσας τους ωκεανούς. Προκαλούνται από το συνδυασμό των ελκτικών δυνάμεων του Ηλίου και της Σελήνης και στο μεγαλύτερο μέρος των ωκεανών παρουσιάζουν ημερήσιες ή ημι-ημερήσιες περιόδους. Αυτό σημαίνει ότι οι περιόδοί τους είναι μικρότερες από αυτές της επαναληπτικής περιόδου των τροχιών των αλτιμετρικών δορυφόρων. Οι διορθώσεις λόγω των ωκεάνιων παλιρροιών είναι πολύ σημαντικές για τις ωκεανογραφικές εφαρμογές, καθώς εισάγουν σφάλματα στο χαμηλής συχνότητας μέρος του παλμικού κύματος.

Οι τυπικές αποκλίσεις των μεταβολών της επιφάνειας της θάλασσας που παρουσιάζονται λόγω των ωκεάνιων παλιρροιών στους ανοιχτούς ωκεανούς κυμαίνονται μεταξύ 10-60 cm, ενώ οι υψηλότερες τιμές σημειώνονται κοντά σε παράκτιες περιοχές (μπορεί να φτάσουν και τα 10 μέτρα σε κάποια λιμάνια) και σε κλειστές θάλασσες (**Εικόνα 3-4**). Οι μεταβολές αυτές είναι, συνεπώς, μεγαλύτερες σε μέγεθος από εκείνες της δυναμικής τοπογραφίας της επιφάνειας της θάλασσας, οι οποίες είναι 5-30 cm. Για το λόγο αυτό, οι ωκεάνιες παλίρροιες θεωρούνται θόρυβος για τις αλτιμετρικές παρατηρήσεις και πρέπει να αφαιρούνται με βάση ακριβή μοντέλα, ώστε να εκτιμηθεί με ακρίβεια η δυναμική τοπογραφία της επιφάνειας της θάλασσας.

Πριν την έναρξη της αποστολής του T/P, η γνώση των παλιρροιών σε παγκόσμιο επίπεδο βασιζόταν κυρίως σε υδροδυναμικά μοντέλα, των οποίων η ακρίβεια ήταν περιορισμένη. Το σφάλμα που προέκυπτε από αυτά τα μοντέλα ήταν περίπου 10 cm σε πολλές ωκεάνιες περιοχές. Στις μέρες μας, η ανάλυση των αλτιμετρικών δεδομένων δίνει τη δυνατότητα εκτίμησης του μεγέθους των ωκεάνιων παλιρροιών. Με βάση αυτή έχουν αναπτυχθεί

εξελιγμένα υδροδυναμικά και στατιστικά μοντέλα για τον προσδιορισμό των παλιρροιών παγκοσμίως με υψηλή χωρική ανάλυση. Ένα από τα σημαντικότερα επιτεύγματα των αλτιμετρικών αποστολών ήταν η εκτίμηση των ωκεάνιων παλιρροιών σε παγκόσμια κλίμακα με ακρίβεια 2-3 cm (Collecte Localisation Satellites (CLS)). Σε εφαρμογές που απαιτούνται ακόμα υψηλότερες ακρίβειες, π.χ. για τοπικής κλίμακας βαθμονομήσεις των αλτιμετρικών δεδομένων, υπολογισμούς του θαλάσσιου γεωειδούς σε παράκτιες ζώνες και μελέτες της ανόδου της θαλάσσιας στάθμης, για το σκοπό αυτό συνήθως χρησιμοποιούνται επιπρόσθετα και δεδομένα από παλιρροιογράφους.



Εικόνα 3-4: Η παλιρροιακή συνιστώσα M2. Το μέγεθος υποδεικνύεται με τη χρωματική διαβάθμιση και τις ισοπαλίρροιες γραμμές, οι οποίες διαφέρουν κατά μια ώρα, και τα καμπύλα τόξα γύρω από τα αμφιδρομικά σημεία υποδηλώνουν την κατεύθυνση των παλιρροιών. Πηγή: (NASA Goddard Space Flight Center 2006) <http://svs.gsfc.nasa.gov/stories/topex/tides.html>

3.2.2.3 Παλίρροια του στερεού φλοιού της Γης

Η παλίρροια του στερεού φλοιού της Γης (solid earth tide) αντικατοπτρίζει την επίδραση των βαρυτικών δυνάμεων που ασκούν ο Ήλιος και η Σελήνη σε αυτόν. Η παλιρροιακή ανύψωση είναι ανάλογη του δυναμικού της παλίρροιας. Η αναλογία αυτή προσδιορίζεται από τους αριθμούς Love², ενώ αυτή η μορφή παλίρροιας υπολογίζεται μέσω μοντέλων. Η

² Οι αριθμοί Love h, k, και l είναι αδιάστατες παράμετροι με τη βοήθεια των οποίων μετρείται η ανελαστικότητα ενός πλανητικού σώματος και η ευαισθησία του σχήματός του στις μεταβολές λόγω παλιρροιακών δυνάμεων.

τάξη μεγέθους της είναι ± 20 cm και η διόρθωσή της στις μέρες μας είναι πολύ ακριβής. Το σταθερό μέρος της παλίρροιας του στερεού φλοιού της Γης αποκλείεται από τη διόρθωση, καθώς η τελευταία έχει να κάνει μόνο με τις παροδικές μεταβολές του υψομέτρου (Vignudelli et al. 2010).

3.2.2.4 Παλίρροια των πόλου

Η μεταβολή του άξονα περιστροφής της Γης σε σχέση με το μέσο γεωγραφικό πόλο έχει περίοδο περίπου 428-435 ημέρες και μέγεθος μεταξύ 0.002" και 0.30". Αυτή η μεταβολή ονομάζεται *ταλάντωση Chandler* από τον Seth Carlo Chandler, ο οποίος επιβεβαίωσε την ύπαρξή της. Το φαινόμενο αυτό αποτελεί, ουσιαστικά, την παλίρροια του πόλου (pole tide) και εισάγει ένα σφάλμα στις αλτιμετρικές μετρήσεις. Αντίθετα με τις άλλες μορφές ηλιοσεληνιακών παλιρροιών, η συγκεκριμένη δεν εξαρτάται από τις ελκτικές δυνάμεις που ασκούν ο Ήλιος και η Σελήνη στη Γη και έχει το χαρακτηριστικό να μεταβάλλει το μηχανισμό της απρόβλεπτα. Η διόρθωση λόγω της παλίρροιας του πόλου μπορεί να προσδιοριστεί μέσω των κατάλληλων μοντέλων με υψηλή ακρίβεια (Vignudelli et al. 2010).

3.2.3 Σφάλματα και διορθώσεις λόγω της ατμόσφαιρας

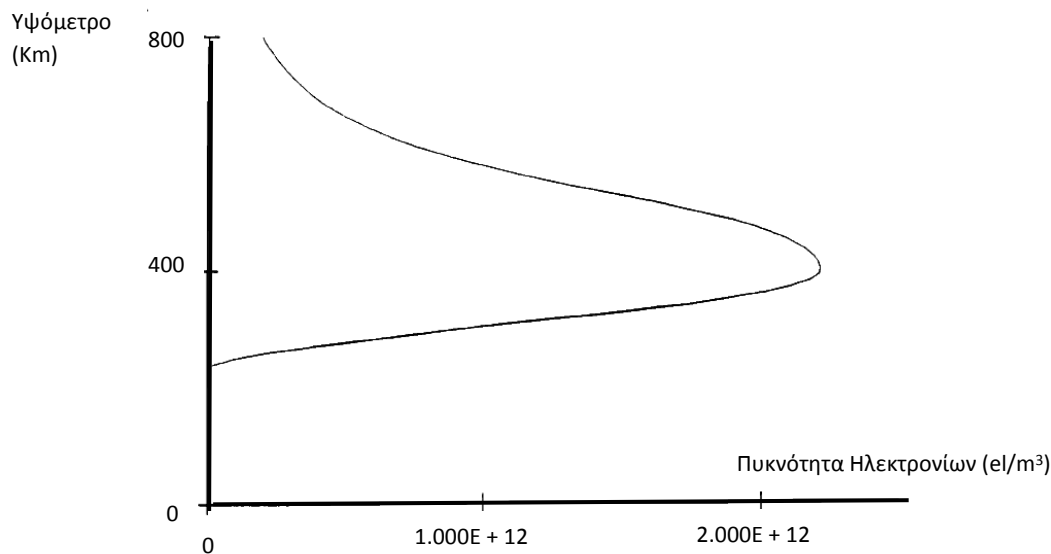
Η ατμόσφαιρα επιδρά στο παλμικό κύμα που εκπέμπει το αλτίμετρο ραντάρ του δορυφόρου, εισάγοντας έτσι μία σειρά σφαλμάτων. Συγκεκριμένα, τα σφάλματα αυτά διακρίνονται στο σφάλμα λόγω ιονόσφαιρας, λόγω του υγρού μέρους της τροπόσφαιρας και τέλος λόγω του ξηρού μέρους της τροπόσφαιρας. Με σκοπό τη βελτίωση της ακρίβειας, επιβάλλονται οι αντίστοιχες διορθώσεις στις αλτιμετρικές παρατηρήσεις. Στη συνέχεια, αναφέρονται οι παραπάνω πηγές σφαλμάτων και οι διορθώσεις τους.

3.2.3.1 Ιονόσφαιρα

Η παρουσία ελεύθερων ηλεκτρονίων στην ιονόσφαιρα προκαλεί διαταραχές στη διάδοση των μικροκυμάτων (**Εικόνα 3-5**). Η επίδραση αυτή στις αλτιμετρικές μετρήσεις είναι ανάλογη της περιεκτικότητας της ιονόσφαιρας σε ηλεκτρόνια και αντιστρόφως ανάλογη του τετραγώνου της συχνότητας της χρησιμοποιούμενης μικροκυματικής ακτινοβολίας (Callahan 1984). Για παράδειγμα, αν η χρησιμοποιούμενη συχνότητα είναι η K_u -band, το σφάλμα λόγω ιονόσφαιρας κυμαίνεται κοντά στα 20 cm. Αν θέλει κανείς να το συσχετίσει χωρικά, η ιονοσφαιρική διόρθωση σχετίζεται με το γεωμαγνητικό γεωγραφικό πλάτος και λαμβάνει μέγιστες τιμές στις τροπικές περιοχές. Ενώ αν θέλει κανείς να το συσχετίσει χρονικά, τότε η ιονοσφαιρική διόρθωση σχετίζεται με την ώρα της μέρας (λαμβάνει μέγιστες τιμές κοντά στις 2 μ.μ.), την εποχή και την ηλιακή ή γεωμαγνητική δραστηριότητα.

Ο υπολογισμός της διόρθωσης λόγω της επίδρασης της ιονόσφαιρας πραγματοποιείται μέσω μετρήσεων με τη χρήση δύο διαφορετικών συχνοτήτων (C -band και K_u -band για τον T/P και τον Jason-1, K_u -band και S -band για τον Envisat) ή μέσω μετρήσεων με το σύστημα

εντοπισμού DORIS, με την τελευταία να παρέχει μεγαλύτερη ακρίβεια (Imel 1994). Η διόρθωση αυτή κυμαίνεται στα 0-50 cm.



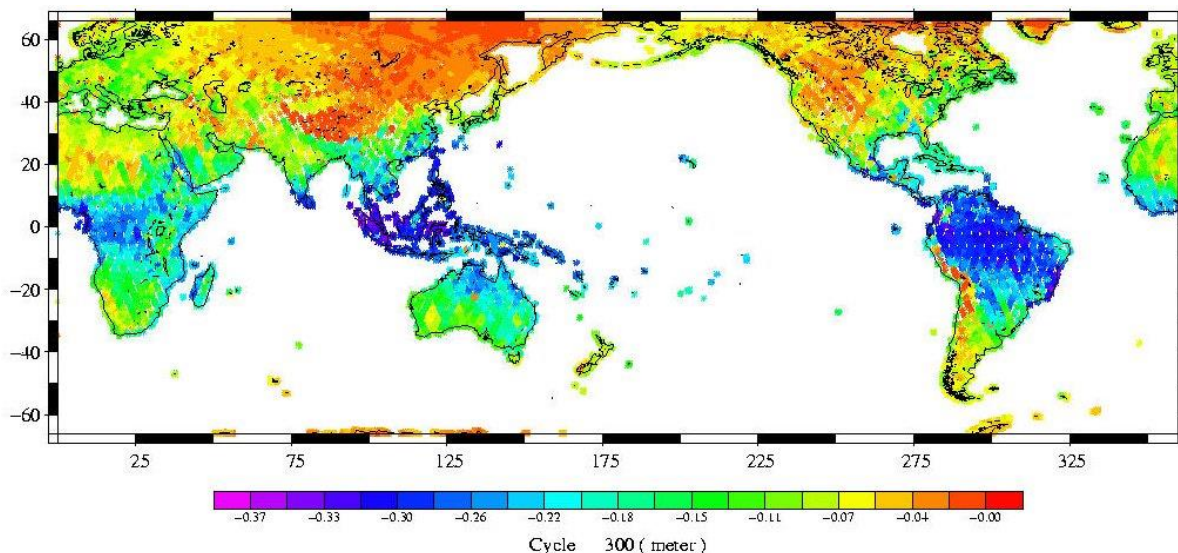
Εικόνα 3-5: Η πυκνότητα ηλεκτρονίων στην ιονόσφαιρα συναρτήσει του υψόμετρου με βάση το μοντέλο BENT για γεωγραφικό πλάτος και μήκος (0,0) και τοπική ώρα 10.05 π.μ.

Πηγή: (Escudier and Picot 2013)

3.2.3.2 Υγρό μέρος της τροπόσφαιρας

Η περιεκτικότητα της τροπόσφαιρας σε υδρατμούς (ατμοσφαιρική υγρασία) προκαλεί καθυστέρηση στην επιστροφή του σήματος. Ως εκ τούτου, δημιουργείται σφάλμα στις αλτιμετρικές μετρήσεις, το οποίο κυμαίνεται από 0 έως 50 cm ανάλογα με την περιεκτικότητα σε υδρατμούς κατά μήκος της διαδρομής του παλμικού κύματος (**Εικόνα 3-6**).

Εφόσον, δεν υπάρχουν επαρκώς ακριβή μετεωρολογικά μοντέλα, τα οποία να παρέχουν πληροφορίες σχετικά με το φαινόμενο αυτό, γίνεται χρήση ενός ειδικευμένου για το συγκεκριμένο σκοπό οργάνου, το μικροκυματικό ραδιόμετρο, το οποίο πραγματοποιεί μετρήσεις σε υψηλές συχνότητες (π.χ. 23.8 και 36.5 GHz για τους ERS-1, ERS-2 και ENVISAT). Οι διορθώσεις που παρέχονται από το όργανο αυτό σε ομοιογενείς επιφάνειες (ωκεανοί) είναι αρκετά ικανοποιητικές. Κάτι τέτοιο, όμως, δεν συμβαίνει και με τις ανομοιογενείς επιφάνειες (παράκτιες και ηπειρωτικές περιοχές). Συγκεκριμένα, η διόρθωση λόγω των υδρατμών της τροπόσφαιρας είναι αναξιόπιστη σε αποστάσεις μικρότερες των 50 km από την ακτή (Desportes et al. 2007). Λύση σε αυτό το πρόβλημα αποτελεί η ακριβής εκτίμηση του υψόμετρου της επιφάνειας ενδιαφέροντος.



Εικόνα 3-6: Η διόρθωση λόγω των υδρατμών της ατμόσφαιρας, όπως υπολογίστηκε από το μοντέλο NCEP κατά τη διάρκεια της 300^{ης} περιστροφής (Cycle 300) του T/P. Πηγή: (Collecte Localisation Satellites (CLS))

http://www.altimetry.info/tools/popup_image.php3?/images/alti/dataflow/processing/geo_phys_corr/WetTropoNcep_cycle300.jpg

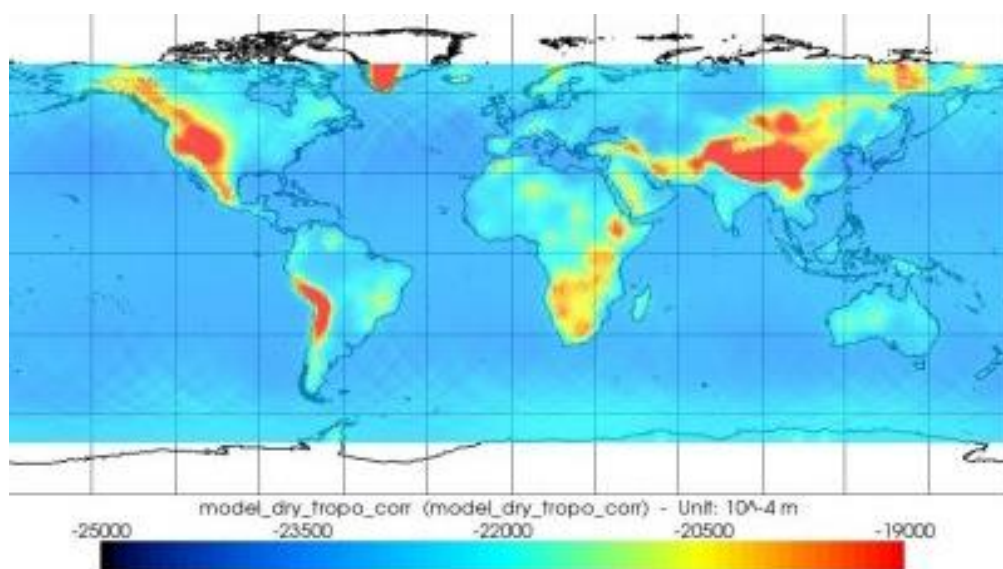
3.2.3.3 Ξηρό μέρος της τροπόσφαιρας

Η μάζα και η πυκνότητα του ξηρού αέρα της τροπόσφαιρας εισάγει ακόμη ένα σφάλμα στις παρατηρήσεις, το οποίο προκύπτει από την καθυστέρηση του σήματος κατά μήκος της διαδρομής του μέσα σε αυτή. Η τάξη μεγέθους του σφάλματος αυτού είναι μακράν η μεγαλύτερη από αυτές των υπόλοιπων σφαλμάτων (περίπου 2.3 m) (**Εικόνα 3-7**).

Η αντίστοιχη διόρθωση μπορεί να υπολογισθεί (σε cm) από τη σχέση του Saastamoinen, σύμφωνα με την οποία:

$$\Delta R_{dry} = -0.02277 P_0 * (1 + 0.0026 \cos^2\phi) \quad (3.1)$$

Όπου P_0 είναι η πίεση της επιφάνειας της θάλασσας σε Pascal και ϕ το γεωγραφικό πλάτος. Από τα παραπάνω, βγαίνει το συμπέρασμα ότι το σφάλμα λόγω του ξηρού μέρους της τροπόσφαιρας είναι ανάλογο της πίεσης της επιφάνειας της θάλασσας και του γεωγραφικού πλάτους ϕ . Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι σφάλμα της τάξης των 5 mbar στην πίεση της επιφάνειας της θάλασσας αντιστοιχεί σε σφάλμα περίπου 1 cm στην εκτίμηση της απόστασης R . Ο τρόπος εκτίμησης της πίεσης της επιφάνειας της θάλασσας γίνεται μέσω μετεωρολογικών μοντέλων, εφόσον δεν είναι ακόμη εφικτός ο προσδιορισμός της μέσω δορυφορικών τεχνικών (Collecte Localisation Satellites (CLS)).



Εικόνα 3-7: Η διόρθωση λόγω του ξηρού μέρους της τροπόσφαιρας, όπως υπολογίστηκε με τη βοήθεια του μοντέλου ατμοσφαιρικών πιέσεων ECMWF από γεωφυσικά δεδομένα GDR της 223^{ης} περιστροφής του Jason-1 στο Basic Radar Altimetry Toolbox. Πηγή: (Collecte Localisation Satellites (CLS))

http://www.altimetry.info/tools/popup_image.php3?/images/alti/dataflow/processing/geo_phys_corr/dry_corr_GDR_J1_cy223_l31.jpg

3.2.4 Σφάλματα και διορθώσεις των χρονικών μεταβολών της επιφάνειας της θάλασσας

Οι μεταβολές της επιφάνειας της θάλασσας συναρτήσει του χρόνου εισάγουν, επίσης, σφάλματα στις παρατηρήσεις, η διόρθωση των οποίων υπολογίζεται από μετεωρολογικά μοντέλα. Οι κυριότερες πηγές σφαλμάτων προερχόμενες από τις μεταβολές αυτές είναι η αντίστροφη επίδραση της ατμοσφαιρικής πίεσης (Inverse Barometer Effect) και το ηλεκτρομαγνητικό συστηματικό σφάλμα λόγω της κατάστασης της θάλασσας (Electromagnetic Bias).

3.2.4.1 Αντίστροφη επίδραση της ατμοσφαιρικής πίεσης (Inverse Barometer Effect)

Η βαρομετρική ατμοσφαιρική πίεση οφείλεται στη δύναμη που ασκούν τα παλλόμενα μόρια των αερίων της ατμόσφαιρας σε μια συγκεκριμένη επιφάνεια προς την επιφάνεια αυτή. Η αντίστροφη επίδραση της ατμοσφαιρικής πίεσης σχετίζεται με τη διόρθωση λόγω των μεταβολών του υψομέτρου της επιφάνειας της θάλασσας που προκαλείται από τις αλλαγές της ατμοσφαιρικής πίεσης. Μπορεί να φτάσει περίπου τα ± 15 cm και υπολογίζεται με τη βοήθεια μετεωρολογικών μοντέλων.

Οι εν λόγω μεταβολές της επιφάνειας της θάλασσας λόγω της ατμοσφαιρικής πίεσης έχουν σημαντική επίδραση στη μέτρηση του υψομέτρου της. Ο απλούστερος τρόπος διόρθωσης των παρατηρήσεων είναι η μέτρηση των μεταβολών αυτών στο μετρούμενο σημείο, ενώ

μπορεί να υπολογισθεί εύκολα μέσω της διόρθωσης του ξηρού μέρους της τροπόσφαιρας ΔR_{dry} , αν πρώτα έχει υπολογισθεί η πίεση της επιφάνειας της θάλασσας (Σχέση 3.2):

$$IB \text{ (mm)} = -9.948 * (\Delta R_{dry} \text{ (mbars)} - 1013.3) \quad (3.2)$$

Η μεταβολή της ατμοσφαιρικής πίεσης κατά 1 mbar αντιστοιχεί σε γραμμική μεταβολή του επιπέδου της θάλασσας κατά 1 cm (Wunsch and Stammer 1997).

3.2.4.2 Ηλεκτρομαγνητικό συστηματικό σφάλμα λόγω της κατάστασης της θάλασσας (Electromagnetic Bias)

Ένας αλτίμετρο ραντάρ μετρά τη απόσταση από το δορυφόρο στην επιφάνεια της θάλασσας. Η τιμή που υπολογίζεται είναι μια εκτίμηση της απόστασης της μέσης επιφάνειας ανάκλασης του παλμού, η οποία είναι γενικά διαφορετική από τη μέση επιφάνεια της θάλασσας. Οι παράγοντες που συμβάλουν σε αυτό το σφάλμα είναι δύο: ηλεκτρομαγνητικό συστηματικό σφάλμα και τα σφάλματα των διαφόρων μοντέλων που χρησιμοποιούνται για την επεξεργασία του σήματος ραντάρ στον δορυφόρο.

Το ηλεκτρομαγνητικό συστηματικό σφάλμα, συγκεκριμένα, συνδέεται με το λεγόμενο σημαντικό ύψος των κυμάτων (significant wave height, SWH) στην επιφάνεια θάλασσας. Η κυματική παράμετρος SWH, η οποία συνήθως συμβολίζεται ως $H_{1/3}$ ή H_s , εκφράζει τον μέσο όρο των υψών των μεγαλύτερων κυμάτων μέχρι το ένα τρίτο του πλήθους τους. Οι παρυφές των κυμάτων είναι γενικά επίπεδες σε σύγκριση με τις κορυφές των κυμάτων, γεγονός που προκαλεί ισχυρότερη αντανάκλαση του παλμού από τις παρυφές των κυμάτων παρά από τις κορυφές τους. Κατά την επεξεργασία του ανακλώμενου παλμού στον δορυφόρο, χρησιμοποιούνται πολύπλοκα μοντέλα που υποθέτουν μια κανονική στατιστική κατανομή των γωνιών πρόσπτωσης του παλμού, γεγονός που έχει ως συνέπεια την εισαγωγή ενός συστηματικού σφάλματος στις μετρήσεις με μέγεθος ανάλογο του σημαντικού ύψους των κυμάτων SWH. Η υπολογισμένη ταχύτητα των ανέμων επηρεάζεται, επίσης, από το εν λόγω σφάλμα εξ αιτίας των διαφορών στην τραχύτητα της θαλάσσιας επιφάνειας μεταξύ των παρυφών και των κορυφών των κυμάτων.

Οι αντίστοιχες αναγκαίες διορθώσεις βασισμένες σε θεωρητικές μελέτες μέχρι σήμερα δεν έχουν αποδειχθεί ακόμα τόσο αξιόπιστες όσο οι εμπειρικές εκτιμήσεις, με αποτέλεσμα οι διορθώσεις για το ηλεκτρομαγνητικό συστηματικό σφάλμα που εφαρμόζονται στη πράξη να είναι από εμπειρικά μοντέλα (Δεληκαράογλου 2005).

3.2.5 Σφάλματα και διορθώσεις του οργάνου

Για να επιτευχθεί η μέγιστη ακρίβεια στις αλτιμετρικές μετρήσεις, θα πρέπει να διορθωθούν και ως προς τα σφάλματα που εισάγονται από τη λειτουργία του οργάνου σε αυτές. Τα κυριότερα από αυτά περιγράφονται στη συνέχεια.

3.2.5.1 Συστηματικά σφάλματα του μηχανισμού ανίχνευσης του παλμού (Tracker Errors)

Αυτό το είδος των σφαλμάτων προκύπτουν από τον αλγόριθμο που χρησιμοποιείται στον δορυφόρο για την ανίχνευση του ανακλώμενου παλμού και έχει ως σκοπό να παρακολουθεί τις γραμμικές αλλαγές στο μετρούμενο ύψος του αλτίμετρου. Όταν, για παράδειγμα, το αλτίμετρο κάνει μετρήσεις πάνω από μια στενή ωκεάνια τάφρο, υπάρχει μια απότομη μεταβολή του καταγραφόμενου ύψους της θάλασσας που προκαλεί ένα αντίστοιχο σφάλμα ύψους που πρέπει να αντισταθμιστεί.

3.2.5.2 Σφάλματα δειγματοληψίας του σχήματος του ανακλώμενου παλμού (Waveform Sampler Gain Calibration Bias)

Αυτή η διόρθωση απαιτείται εξαιτίας του γεγονότος ότι το εύρος του λαμβανόμενου σήματος ποικίλλει ανάλογα με τη τραχύτητα της προσπίπτουσας επιφάνειας που ανακλά το παλμικό κύμα. Οποιοσδήποτε γρήγορες αλλαγές στη ένταση της ηχούς του ραντάρ παραπλανούν το ηλεκτρονικό κύκλωμα που παρακολουθεί τη θέση της αιχμής του επιστρέφοντος παλμού, προκαλώντας έτσι ένα σφάλμα που γενικά εξαρτάται από το σημαντικό ύψος των κυμάτων SWH στην θαλάσσια περιοχή που περιλαμβάνεται στο αποτύπωμα του παλμού.

3.2.5.3 Σφάλματα κατεύθυνσης του ραντάρ (Pointing Errors)

Τα σφάλματα αυτά εμφανίζονται, όταν το σημείο στη διεύθυνση του ναδύρ του δορυφόρου είναι κοντά στην άκρη της περιοχής που καλύπτεται από το αλτίμετρο ραντάρ. Η διαστρέβλωση της ηχούς του ραντάρ που προκύπτει παράγει ένα επιπλέον ανεπιθύμητο σφάλμα.

3.2.5.4 Θόρυβοι από την ανάλυση της μορφής του παλμού και χρονικές αβεβαιότητες (Average Pulse Shape Uncertainty and Time Tag Bias)

Το σφάλμα στον προσδιορισμό του σχήματος του ανακλώμενου παλμού προέρχεται από τη στατιστική αβεβαιότητα λόγω της τυχαίας μεταβλητότητας των παλμών που χρησιμοποιούνται για να υπολογισθεί η μέση ηχώ του ραντάρ. Τυπικά, κατά μέσο όρο χρησιμοποιούνται μερικές εκατοντάδες παλμοί, που συμβάλλουν με ανάλογο θόρυβο στη μέτρηση της μέσης ηχούς. Συναφές με αυτό το είδος σφαλμάτων είναι, επίσης, τα σφάλματα των χρονομέτρων που καταγράφουν τη χρονική στιγμή των μετρήσεων και μπορεί να προκαλέσουν ανάλογες επιδράσεις στη μέτρηση του ύψους του δορυφόρου από την επιφάνεια της θάλασσας. Τα σφάλματα αυτά συνήθως μπορούν να αντισταθμιστούν μερικώς με διαδικασίες εσωτερικής βαθμονόμησης του αλτίμετρου, οι οποίες αποσκοπούν στο να παρακολουθούν ανελλιπώς τη μακροπρόθεσμη λειτουργία των ηλεκτρονικών του αλτίμετρου (Δεληκαράογλου 2005).

3.3 Διαδικασίες Βαθμονόμησης και Επικύρωσης των Δεδομένων

Οι διαδικασίες της βαθμονόμησης και επικύρωσης (Calibration and Validation, CalVal) των δεδομένων είναι εκείνες οι διαδικασίες μέσω των οποίων εγγυάται η ποιότητα και ορθότητα των δεδομένων. Συμπεριλαμβάνουν μία σειρά ποιοτικών ελέγχων που έχουν ως σκοπό την εξασφάλιση συνεχούς παροχής δεδομένων (Collecte Localisation Satellites (CLS)).

Μέσω της διαδικασίας CalVal, βαθμονομούνται τα δορυφορικά όργανα και προσδιορίζονται όλες οι απαραίτητες παράμετροι, διορθώσεις κ.λπ. που πρόκειται να εφαρμοστούν στις μετρήσεις. Ειδικότερα, περιλαμβάνει τον έλεγχο και την βελτιστοποίηση των αλγορίθμων που χρησιμοποιούνται κατά την επεξεργασία των δεδομένων σε συνεργασία με το αντίστοιχο τμήμα. Από τη στιγμή που η αλτιμετρική αποστολή είναι σε εξέλιξη, οι λειτουργίες της διαδικασίας CalVal συνίστανται στον προσδιορισμό της ποιότητας των δεδομένων και τον έλεγχο του συστηματικού σφάλματος του οργάνου (instrument drift). Ο ποιοτικός έλεγχος επιτυγχάνεται μέσω στατιστικής ανάλυσης, επεξεργασίας των δεδομένων στα σημεία διασταυρώσεων (crossover points) και σύγκρισης ανάμεσα στα δεδομένα διαφορετικών τροχιακών περιστροφών του δορυφόρου. Πραγματοποιείται, επίσης, σύγκριση και με δεδομένα άλλων αλτιμετρικών αποστολών.

Η διαδικασία της *απόλυτης βαθμονόμησης* ή *σημειακής βαθμονόμησης* (absolute ή point calibration) έγκειται στη σύγκριση των δεδομένων που προκύπτουν από το αλτίμετρο ραντάρ του δορυφόρου με ανεξάρτητες μετρήσεις που προέρχονται από άλλες πηγές (π.χ. ειδικοί σημαντήρες, μετρητές παλίρροιας) για την ίδια παράμετρο (π.χ. εύρος, υψόμετρο της επιφάνειας της θάλασσας κ.ά.). Τέτοιες συγκρίσεις συνήθως γίνονται κατά την διάρκεια δορυφορικών διελεύσεων πάνω από ειδικούς μόνιμους σταθμούς. Αξίζει να αναφερθεί ότι ένας από τους σημαντικότερους τέτοιους μόνιμους σταθμούς είναι εγκατεστημένος στη νήσο Γαύδο (Mertikas et al. 2004), πάνω από την οποία συγκλίνουν ανά τακτά διαστήματα τα ίχνη της τροχιάς των παρακολουθούμενων δορυφόρων (π.χ. Jason-1, -2). Η εγκατάσταση της Γαύδου, μαζί με άλλους καθιερωμένους σταθμούς βαθμονόμησης, όπως στην Ibiza (Ισπανία) και Bass Strait (Αυστραλία) συνεπικουρούν τους κύριους σταθμούς απόλυτης βαθμονόμησης αλτιμετρικών δορυφόρων που είναι εγκατεστημένοι από τη CNES και τη NASA, αντίστοιχα στη νήσο Κορσική και σε μια πλατφόρμα άντλησης πετρελαίου στο Harvest, California (στον Κόλπο του Μεξικού). Τυπικά, η απόλυτη βαθμονόμηση παρέχει ένα σημείο αναφοράς για το σύνολο μακράς (τουλάχιστον δεκαετούς) διάρκειας χρονοσειρών αλτιμετρικών δεδομένων. Ανάλογες συγκρίσεις γίνονται χρησιμοποιώντας ένα δίκτυο παλιρροιογράφων κατανεμημένο σε ολόκληρη την υφήλιο. Αυτή η τεχνική βαθμονόμησης αναφέρεται ως *κατανεμημένη βαθμονόμηση* (distributed calibration) ή *σχετική βαθμονόμηση* (relative calibration). Για παράδειγμα, ένα τέτοιο εκτεταμένο δίκτυο 127 παλιρροιογράφων του Ηνωμένου Βασιλείου έχει χρησιμοποιηθεί για την απόλυτη βαθμονόμηση του αλτίμετρου του Jason-1.

Κάθε χρονοσειρά αλτιμετρικών μετρήσεων, που παράγεται από διαφορετικές αλτιμετρικές αποστολές, χρειάζεται να υποβληθεί σε *διαβαθμονόμηση* (inter-calibration), συγκεκριμένης ακρίβειας, με σκοπό την παραγωγή συνεχών δεδομένων πολλαπλών αποστολών (multi-mission dataset). Η διαβαθμονόμηση, ή διαφορετικά *cross-calibration*, αφορά τον προσδιορισμό των σχετικών σφαλμάτων μεταξύ των μετρήσεων διαφορετικών αλτιμέτρων.

Στην πράξη, κατά τη διαδικασία της *διαβαθμονόμησης*, συγκρίνονται δύο αλτιμετρικά συστήματα μέσω των παγκόσμιων γεωφυσικών τους αλτιμετρικών προϊόντων (GDR). Λόγω του τεράστιου όγκου επεξεργασμένων δεδομένων σε παγκόσμιο επίπεδο, η εν λόγω διαδορυφορική βαθμονόμηση είναι σημαντικά πιο ακριβής από την απόλυτη βαθμονόμηση σε τοπικό επίπεδο. Το κύριο πλεονέκτημα αυτής της τεχνικής είναι η εξασφάλιση της συνοχής σε δύο διαφορετικές μεν, αλλά στιγμιαία επικαλυπτόμενες δε, αποστολές (Bosch et al. 2014).

Οι διεργασίες της διαβαθμονόμησης διακρίνονται σε δύο βασικές κατηγορίες, την επικύρωση των προϊόντων και την επαλήθευση των αλγορίθμων. Ο βασικός σκοπός της επικύρωσης των προϊόντων είναι η έγκρισή τους, ώστε να μπορούν να διατεθούν στους χρήστες. Η επαλήθευση των αλγορίθμων επεξεργασίας των γεωφυσικών δεδομένων αποσκοπεί στην εκ των υστέρων επικύρωση των πραγματικών δεδομένων με σκοπό την αξιολόγηση της απόδοσης του αλγορίθμου, το συντονισμό των παραμέτρων επεξεργασίας και την εφαρμογή των σχετικών συντελεστών βαθμονόμησης (Bosch and Savcenko 2007).

3.4 Είδη Αλτιμετρικών Δεδομένων

Τα διαθέσιμα αλτιμετρικά δεδομένα μπορούν να κατηγοριοποιηθούν με βάση έναν αριθμό διαφορετικών κριτηρίων. Η επιλογή των κατάλληλων δεδομένων εξαρτάται κάθε φορά από τη φύση και το χαρακτήρα της εφαρμογής. Σε αρκετές περιπτώσεις, βέβαια, είναι δυνατή η χρήση πολλών διαφορετικών ειδών δεδομένων, αλλά σε αυτή την περίπτωση παίζει ρόλο η ακρίβεια που θέλει κανείς να πετύχει. Οι βασικότερες κατηγοριοποιήσεις αναφέρονται στη συνέχεια.

3.4.1 Κατηγοριοποίηση με βάση τον τύπο τους

Ο αρχικός, και ταυτόχρονα βασικότερος, διαχωρισμός των αλτιμετρικών δεδομένων γίνεται με βάση τον τύπο τους σε δεδομένα *along-track* (παρατηρήσεις κατά μήκος του επίγειου ίχνους) και δεδομένα *gridded* (ανηγμένες τιμές στα σημεία καννάβων).

Δεδομένα Along-Track

Along-track είναι τα αλτιμετρικά δεδομένα που περιέχουν τις καταγραφές, όπως εκείνες διαμορφώθηκαν κατά τη διάβαση ενός δορυφόρου πάνω από μία επιφάνεια *κατά μήκος της τροχιάς του* (του επίγειου ίχνους της τροχιάς του). Ανήκουν στο Επίπεδο 3, εφόσον είναι

σε χρονολογική σειρά και έχουν διορθωθεί από όλες τις πηγές σφαλμάτων (βλ. Ενότητα 3.2).

Δεδομένα Gridded

Gridded είναι τα αλτιμετρικά δεδομένα τα οποία είναι συσχετισμένα με το γεωγραφικό πλάτος και μήκος και έχουν κατανεμηθεί σε *κάνναβο* χρησιμοποιώντας ως οριζόντιο άξονα το γεωγραφικό μήκος και ως κατακόρυφο άξονα το γεωγραφικό πλάτος. Τα δεδομένα αυτά παρέχονται απ' ευθείας σε αυτή τη μορφή (Επίπεδο 4) (βλ. Ενότητα 3.2) ή μπορούν να παραχθούν από τον χρήστη μετά από κατάλληλη επεξεργασία σε κάποιο λογισμικό. Η χωρική τους ανάλυση εξαρτάται από το βήμα του καννάβου που ορίστηκε κατά τη διαδικασία μετατροπής τους, π.χ. $1^{\circ} \times 1^{\circ}$, $1/3^{\circ} \times 1/3^{\circ}$, $1/8^{\circ} \times 1/8^{\circ}$ κ.λπ.

3.4.2 Κατηγοριοποίηση με βάση το χρόνο διάθεσής τους

Ο χρόνος διάθεσης των αλτιμετρικών δεδομένων στους χρήστες διαφέρει και εξαρτάται από την τελική ακρίβεια του προϊόντος.

Real-Time ή RT

Τα RT δεδομένα είναι ένα σχετικά πρόσφατο είδος δεδομένων, το οποίο δημιουργήθηκε ειδικά για την αλτιμετρική αποστολή Jason-2. Αυτό το είδος αποτελεί το γρηγορότερο από την άποψη διαθεσιμότητας στους χρήστες, καθώς απαιτούνται μόνο τρεις με πέντε ώρες για την παραγωγή του. Επίσης, εδώ αξιοποιούνται το σύστημα εντοπισμού DORIS για τον ακριβέστερο προσδιορισμό της τροχιάς και τα αυτόματα συστήματα επεξεργασίας δεδομένων που διαθέτει ο δορυφόρος, με σκοπό την παραγωγή των επιχειρησιακών γεωφυσικών δεδομένων OGDR (Operational Geophysical Data Record) άμεσα.

Near-Real Time ή NRT

Τα NRT δεδομένα είναι εκείνα που είναι διαθέσιμα σε δύο με τρεις ημέρες μετά την αρχική καταγραφή τους. Κατά την επεξεργασία αυτών χρησιμοποιείται η προσωρινή εκτίμηση της τροχιάς του δορυφόρου. Επίσης, τα ενδιάμεσα γεωφυσικά δεδομένα IGDR (Interim Geophysical Data Records) συνίστανται από NR.

Delayed Time ή DT

Τα DT δεδομένα είναι εκείνα που είναι διαθέσιμα σε 30 ημέρες περίπου μετά την αρχική καταγραφή τους. Σε αυτό το είδος δεδομένων, χρησιμοποιείται η ακριβέστερη εκτίμηση της τροχιάς του δορυφόρου κατά την επεξεργασία τους και χρησιμοποιούνται για την παραγωγή των GDR (Geophysical Data Records). Τα τελευταία είναι τα γεωφυσικά δεδομένα με την υψηλότερη ακρίβεια.

3.4.3 Κατηγοριοποίηση με βάση τον αριθμό των αποστολών

Ο αριθμός των αποστολών που συμμετέχει για την παραγωγή των αλτιμετρικών προϊόντων καθορίζει κι αυτός το είδος τους σε:

- Αλτιμετρικά προϊόντα μίας και μόνο αποστολής (Mono-mission)
- Αλτιμετρικά προϊόντα δύο ή παραπάνω αποστολών (Multi-mission)

Ειδικότερα τα αλτιμετρικά δεδομένα Multi-mission διακρίνονται σε:

- “two-sat-merged”, όταν συμμετέχουν δύο μόνο αποστολές (πριν τον Απρίλιο 2014 ονομάζονταν “Ref”)
- “all-sat-merged”, όταν συμμετέχουν όλοι οι διαθέσιμοι δορυφόροι, οι οποίοι κυμαίνονται από δύο μέχρι τέσσερις (πριν τον Απρίλιο 2014 ονομάζονταν “Urd”).

Σημειώνεται ότι στην περίπτωση που είναι μόνο δύο αλτιμετρικές αποστολές διαθέσιμες, τα δύο τελευταία είδη δεδομένων, ουσιαστικά, ταυτίζονται.

3.4.4 Κατηγοριοποίηση με βάση τη συχνότητα παραγωγής τους

Ανάλογα με τη συχνότητα παραγωγής των αλτιμετρικών δεδομένων, μπορεί κανείς να διακρίνει τα εξής είδη:

- Ημερήσια (Daily)
- Εβδομαδιαία (Every Week)
- Μηνιαία (Monthly)
- Εποχιακά (Seasonal)
- Μέση τιμή ορισμένων ετών (Several Years Mean)

3.4.5 Κατηγοριοποίηση με βάση τη χωρική τους κάλυψη

Ανάλογα με την περιοχή για στην οποία αναφέρονται τα δεδομένα, μπορούν να κατηγοριοποιηθούν στα:

- Παγκόσμια (Global)
- Τοπικά ή περιφερειακά (Regional)

Τα δεδομένα Regional αναφέρονται σε συγκεκριμένες περιοχές του πλανήτη, οι οποίες συνήθως παρουσιάζουν κάποιο ιδιαίτερο ενδιαφέρον. Στις περιοχές αυτές ανήκει και η Μεσόγειος Θάλασσα.

4 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟ BASIC RADAR ALTIMETRY TOOLBOX (BRAT)

4.1 Εισαγωγή

Η μέθοδος της Δορυφορικής Αλτιμετρίας έχει φτάσει πλέον σε ένα σημείο, όπου έχει δημιουργηθεί η ανάγκη για μία προσέγγιση που θα έχει ως βάση της το συνδυασμό πολλαπλών αλτιμετρικών αποστολών, ώστε οι διαφορετικές εφαρμογές να επωφελούνται από τα ιδιαίτερα τεχνικά χαρακτηριστικά κάθε δορυφόρου και της καλύτερης χωροχρονικής κάλυψης που παρέχει ο συνδυασμός δεδομένων από πολλαπλούς δορυφόρους. Μια τέτοια ολοκληρωμένη προσέγγιση είναι ζωτικής σημασίας, όχι μόνο για την εκτίμηση της τρέχουσας κατάστασης των αλτιμετρικών δεδομένων, αλλά και για να καταστεί δυνατή η σύνδεση με τα δεδομένα των παρελθοντικών αποστολών (Benveniste et al. 2008).

Το ελεύθερο λογισμικό *Basic Radar Altimetry Toolbox (BRAT)* είναι μία συλλογή από εργαλεία και εγχειρίδια, σχεδιασμένα από την ESA και την CNES, με σκοπό να διευκολύνει τη χρήση των αλτιμετρικών δεδομένων τόσο από αρχάριους, όσο και έμπειρους χρήστες αυτών. Στο BRAT μπορεί κανείς να διαχειριστεί διάφορους μορφότυπους (formats) δεδομένων από την πλειοψηφία των αλτιμετρικών αποστολών, όπως είναι οι ERS-1 & 2, Topex/Poseidon, Geosat Follow-on, Jason-1, Envisat και η νέα σχετικά αλτιμετρική αποστολή Cryosat-2, και παρέχει τη δυνατότητα εισαγωγής, επεξεργασίας και στατιστικής ανάλυσης των δεδομένων, καθώς και εξαγωγής και οπτικοποίησης των αντίστοιχων αποτελεσμάτων.

Το BRAT αποτελείται από έναν αριθμό διαφορετικών λειτουργικών ενοτήτων (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 η FORTRAN.

Θεωρείται σκόπιμο να αναφερθεί, επίσης, ότι το BRAT είναι ένα λογισμικό ανοιχτού κώδικα, γεγονός που επιτρέπει την περαιτέρω εξέλιξη και βελτίωσή του από το σύνολο των χρηστών του.

Στο παρόν κεφάλαιο, παρουσιάζονται αναλυτικά ο τρόπος δόμησης του BRAT, καθώς και τα εργαλεία και οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται στο περιβάλλον του για την αξιοποίηση των διαθέσιμων αλτιμετρικών δεδομένων και την εξαγωγή των επιθυμητών αποτελεσμάτων με βάση το εγχειρίδιο χρήσης του λογισμικού (Basic Radar Altimetry Toolbox v3.1, User Manual

2012) και τη χρήση του λογισμικού κατά τη διάρκεια εκπόνησης της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

4.2 Δομή του BRAT

Στο μέρος αυτό του κεφαλαίου παρουσιάζονται συνοπτικά οι βασικές λειτουργίες του BRAT και τα δομικά του μέρη, όπου αυτές εκτελούνται.

4.2.1 Βασικές 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 μορφότυπούς 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.

Μιλώντας κανείς για το μορφότυπο NetCDF, αναφέρεται, ουσιαστικά, σε ένα σύνολο διεπαφών προσανατολισμένων στην πρόσβαση δεδομένων τα οποία είναι δομημένα σε πίνακες. Περιλαμβάνει, επίσης, μία ανοικτή συλλογή βιβλιοθηκών για την πρόσβαση δεδομένων για διάφορες γλώσσες προγραμματισμού, όπως τις C, Fortran, C++ και Java. Οι βιβλιοθήκες αυτές επιτρέπουν την υλοποίηση των διεπαφών ανεξάρτητα από το χρησιμοποιούμενο σύστημα (machine-independent) 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).

- **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).

4.2.2 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.

4.2.2.1 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**. Το πρώτο επίπεδο, 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.

Το δεύτερο επίπεδο, 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.

4.2.2.2 Εφαρμογές Κονσόλας (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

4.2.2.3 Εφαρμογές του Γραφικού Περιβάλλοντος Χρήστη (GUI Applications)

Επειδή, όπως αναφέρθηκε και νωρίτερα, οι περισσότεροι χρήστες αναμένεται να χειρίζονται το BRAT κυρίως μέσω της γραμμής εντολών, θεωρείται σκόπιμο να υπάρχει ένα φιλικό και εύχρηστο περιβάλλον με οποίο θα αλληλεπιδρούν. Για το λόγο αυτό, έχει δημιουργηθεί το Γραφικό Περιβάλλον Χρήστη, το οποίο αποτελείται από τις τρεις βασικές εφαρμογές που περιγράφονται στη συνέχεια.

Αρχικά, το **BratGui**, που θεωρείται και η κυριότερη εφαρμογή του λογισμικού, επιτρέπει στους χρήστες να δημιουργούν και να διαχειρίζονται *workspaces*, *datasets*, *operations* και *views* (οι έννοιες αυτές θα αναλυθούν λεπτομερέστερα στη συνέχεια) σε ένα βολικό γραφικό περιβάλλον (βλ. Ενότητα 4.4). 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 BratGui δεν περιλαμβάνει όλες τις λειτουργίες των Εφαρμογών Κονσόλας, πράγμα που σημαίνει ότι εάν οι χρήστες φτάσουν στα όρια των δυνατοτήτων του BratGui, τότε θα πρέπει να εξοικειωθούν με το χειρισμό των Εφαρμογών Κονσόλας.

Η δεύτερη εφαρμογή είναι το **BratDisplay**, το οποίο αποτελεί τη συνιστώσα του BratGui που αφορά την οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων, αλλά είναι διαθέσιμο και 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 **BratScheduler**, 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 BratGui στην καρτέλα «Operations», αλλά ο χρήστης έχει πρόσβαση σε αυτό και από ξεχωριστό εικονίδιο³.

4.3 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). Στο **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ** παρουσιάζονται όλα τα είδη αλτιμετρικών δεδομένων που είναι αναγνώσιμα από το BRAT, η αποστολή που έχει πραγματοποιήσει τις αντίστοιχες μετρήσεις, το επίγειο κέντρο συλλογής τους και προεπεξεργασίας τους, καθώς και οι μορφότυποί τους (**Πίνακας 1 και Πίνακας 2**).

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. Εξάιρεση 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.

4.4 Γραφικό Περιβάλλον Χρήστη (BratGui ή GUI)

Το Γραφικό Περιβάλλον Χρήστη, το οποίο από δω και στο εξής θα 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, καθώς δεν δημιουργήθηκε η ανάγκη προγραμματισμού για την επεξεργασία των αλτιμετρικών δεδομένων ή την εξαγωγή των επιθυμητών αποτελεσμάτων. Για τους λόγους αυτούς, κρίνεται σκόπιμο να παρουσιαστούν οι δυνατότητες και τα εργαλεία του GUI αναλυτικά.

³ Κατά την εγκατάσταση του λογισμικού δημιουργούνται δύο εικονίδια, εκ των οποίων το πρώτο παραπέμπει στο BratGui και το δεύτερο στο BratScheduler.

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

- Datasets
- Operations
- Views
- 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. Συνεπώς, 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.

4.4.1 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 (και συνεπώς και από τα Datasets). Συνεπώς, ο χρήστης δεν μπορεί να εισάγει π.χ. Views χωρίς τα αντίστοιχα Datasets και Operations. Εξαιρεση σε αυτό αποτελούν οι τύποι (formulas) (βλ. Ενότητα 4.4.3.3), οι οποίοι μπορούν να εισαχθούν ανεξάρτητα από τα υπόλοιπα.

4.4.2 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. Σημειώνεται 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.

Product : NETCDF_CF / JASON-2/GDR						
Full name	Record	Name	Unit	Format	Dim.	
alt_state_flag_ku_band_status	data	alt_state_flag_ku_band_status	count	signed 1 byte integer	Nb:1 - Dims:[time]=3207	
alt_state_flag_ku_band_status_flag_values	data	alt_state_flag_ku_band_status_flag_values		signed 1 byte integer		
alt_state_flag_oper	data	alt_state_flag_oper	count	signed 1 byte integer	Nb:1 - Dims:[time]=3207	
alt_state_flag_oper_flag_values	data	alt_state_flag_oper_flag_values		signed 1 byte integer		
alt_state_flag_tracking_mode_20hz	data	alt_state_flag_tracking_mode_20hz	count	signed 1 byte integer	Nb:2 - Dims:[time]=3207 [m...	
alt_state_flag_tracking_mode_20hz_flag_values	data	alt_state_flag_tracking_mode_20hz_flag_values		signed 1 byte integer		
atmos_corr_sig0_c	data	atmos_corr_sig0_c	dB	signed 2 byte integer	Nb:1 - Dims:[time]=3207	
atmos_corr_sig0_ku	data	atmos_corr_sig0_ku	dB	signed 2 byte integer	Nb:1 - Dims:[time]=3207	
bathymetry	data	bathymetry	m	signed 4 byte integer	Nb:1 - Dims:[time]=3207	
brat_index_data	data	brat_index_data	count	double precision floating ...	Nb:1 - Dims:[time]=3207	
brat_index_data_2	data	brat_index_data_2	count	double precision floating ...	Nb:2 - Dims:[time]=3207 [m...	
cycle_number	data	cycle_number		signed 4 byte integer		
ecmwf_meteo_map_avail	data	ecmwf_meteo_map_avail	count	signed 1 byte integer	Nb:1 - Dims:[time]=3207	
ecmwf_meteo_map_avail_flag_values	data	ecmwf_meteo_map_avail_flag_values		signed 1 byte integer		
ellipsoid_axis	data	ellipsoid_axis		double precision floating ...		
ellipsoid_flattening	data	ellipsoid_flattening		double precision floating ...		
equator_longitude	data	equator_longitude		double precision floating ...		
equator_time	data	equator_time	seconds since 1...	double precision floating ...		
first_meas_time	data	first_meas_time	seconds since 1...	double precision floating ...		
geoid	data	geoid	m	signed 4 byte integer	Nb:1 - Dims:[time]=3207	
hf_fluctuations_corr	data	hf_fluctuations_corr	m	signed 2 byte integer	Nb:1 - Dims:[time]=3207	
history	data	history	seconds since 1...	double precision floating ...		
ice_flag	data	ice_flag	count	signed 1 byte integer	Nb:1 - Dims:[time]=3207	
ice_flag_flag_values	data	ice_flag_flag_values		signed 1 byte integer		
ice_qual_flag_20hz_ku	data	ice_qual_flag_20hz_ku	count	signed 1 byte integer	Nb:2 - Dims:[time]=3207 [m...	
ice_qual_flag_20hz_ku_flag_values	data	ice_qual_flag_20hz_ku_flag_values		signed 1 byte integer		
ice_range_20hz_c	data	ice_range_20hz_c	m	signed 4 byte integer	Nb:2 - Dims:[time]=3207 [m...	
ice_range_20hz_ku	data	ice_range_20hz_ku	m	signed 4 byte integer	Nb:2 - Dims:[time]=3207 [m...	
ice_sig0_20hz_c	data	ice_sig0_20hz_c	dB	signed 2 byte integer	Nb:2 - Dims:[time]=3207 [m...	
ice_sig0_20hz_ku	data	ice_sig0_20hz_ku	dB	signed 2 byte integer	Nb:2 - Dims:[time]=3207 [m...	
interp_flag_mdt	data	interp_flag_mdt	count	signed 1 byte integer	Nb:1 - Dims:[time]=3207	
interp_flag_mdt_flag_values	data	interp_flag_mdt_flag_values		signed 1 byte integer		
interp_flag_mean_sea_surface	data	interp_flag_mean_sea_surface	count	signed 1 byte integer	Nb:1 - Dims:[time]=3207	
interp_flag_mean_sea_surface_flag_values	data	interp_flag_mean_sea_surface_flag_values		signed 1 byte integer		
interp_flag_meteo	data	interp_flag_meteo	count	signed 1 byte integer	Nb:1 - Dims:[time]=3207	
interp_flag_meteo_flag_values	data	interp_flag_meteo_flag_values		signed 1 byte integer		
interp_flag_ocean_tide_sol1	data	interp_flag_ocean_tide_sol1	count	signed 1 byte integer	Nb:1 - Dims:[time]=3207	
interp_flag_ocean_tide_sol1_flag_values	data	interp_flag_ocean_tide_sol1_flag_values		signed 1 byte integer		

Fields description

geoid:

geoid_height_above_reference_ellipsoid
 Computed from the geoid model with a correction to refer the value to the mean tide system i.e. includes the permanent tide (zero frequency). See Jason-2 User Handbook

Dimensions: time=3207

- _FillValue: 2147483647
 - coordinates: lon lat
 - institution: GSFC
 - scale_factor: 0.000100
 - source: EGM96
 - standard_name: geoid_height_above_reference_ellipsoid
 - units: m

Εικόνα 4-1: Το πεδίο προεπισκόπησης του αρχείου-πηγής στην καρτέλα Datasets για αρχείο τύπου Jason-2 GDR.

Αφού έχουν εισαχθεί τα επιθυμητά αρχεία, γίνεται η προεπισκόπησή τους(**Εικόνα 4-1**). Συγκεκριμένα, ο χρήστης επιλέγοντας ένα αρχείο έχει τη δυνατότητα να δει διάφορες πληροφορίες, καθώς και μία σύντομη περιγραφή για κάθε πεδίο του αρχείου αυτού. Οι πληροφορίες που εμφανίζονται είναι:

1. το πλήρες όνομα του πεδίου
2. η εγγραφή (σε κάποια αλτιμετρικά προϊόντα εμφανίζονται μόνο οι ενδείξεις “header” και “data”, ενώ σε άλλα υπάρχουν κι άλλες ενδείξεις)
3. το σύντομο όνομα
4. οι μονάδες
5. ο τύπος του πεδίου (ακέραιος, δεκαδικός κ.λπ.)
6. οι διαστάσεις του πεδίου, δηλαδή ο αριθμός των τιμών του πίνακα, εφόσον το πεδίο είναι διαμορφωμένο σε πίνακα.

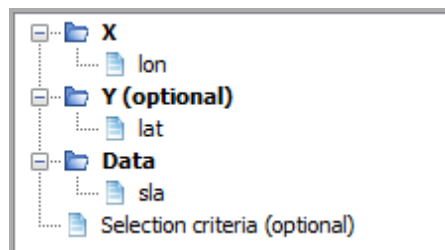
4.4.3 Επεξεργασία δεδομένων και εξαγωγή αποτελεσμάτων

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 (**Εικόνα 4-2**):

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).



Εικόνα 4-2: Η δομή των τεσσάρων εκφράσεων στο περιβάλλον του BRAT.

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.

4.4.3.1 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.

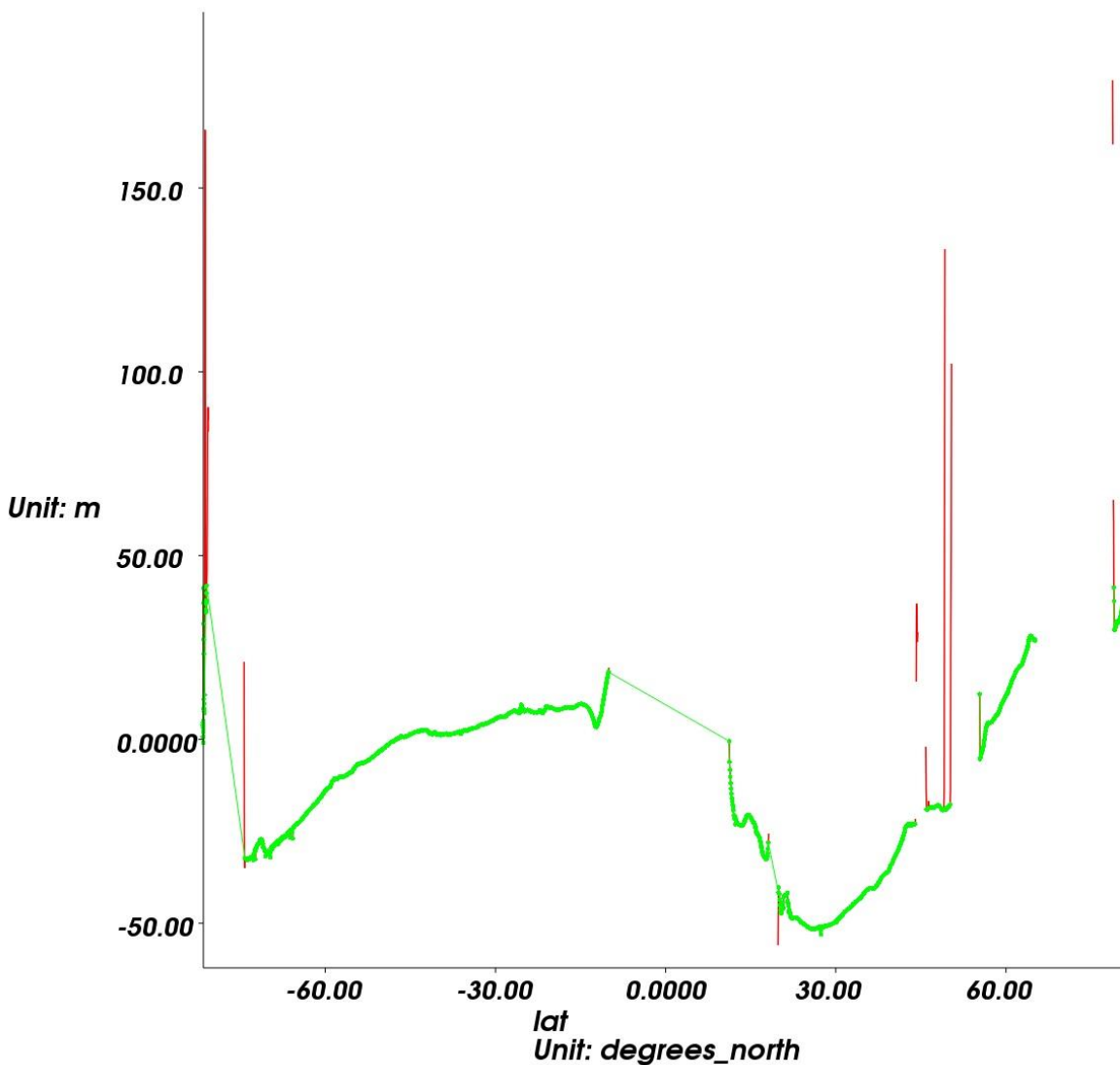
4.4.3.2 Συναρτήσεις (Functions)

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: $\sqrt{U^2 + V^2}$ ή σε μορφή έκφρασης στο BRAT: `sqrt (sqr(U) + sqr(V))`. Στο παράδειγμα αυτό είναι χαρακτηριστική η χρήση της συνάρτησης *sqrt*, 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) (Εικόνα 4-3). 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 $0^{\circ} - 30^{\circ}$ 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`).



Εικόνα 4-3: Καμπύλες τύπου $Y=F(X)$ που αναπαριστούν το Υψόμετρο της Επιφάνειας της Θάλασσας SSH (m) ως προς το γεωγραφικό πλάτος (μοίρες). Η κόκκινη καμπύλη προκύπτει από την επεξεργασία των δεδομένων χωρίς τη χρήση δείκτη (flag), ενώ η πράσινη καμπύλη προκύπτει με τη χρήση του δείκτη “`altim_landocean_flag`” με τιμή 0 (για ωκεάνιες περιοχές). Το αρχείο-πηγή είναι τύπου Envisat GDR.

Οι κατηγορίες των συναρτήσεων είναι:

- Μαθηματικές και Τριγωνομετρικές
- Στατιστικές
- Λογικές
- Σχεσιακές
- Σταθερές
- Τελεστές Bitwise
- Ημερομηνία και Ώρα
- Γεωγραφικές

Στο **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ**, παρατίθεται σχετικός πίνακας, ο οποίος περιέχει όλες τις παραπάνω κατηγορίες συναρτήσεων συνοδευόμενες από μία σύντομη περιγραφή της λειτουργίας τους και του τρόπου χρήσης τους μέσα στις εκφράσεις (**Πίνακας 3**). Για περαιτέρω πληροφορίες μπορεί κανείς να ανατρέξει στο εγχειρίδιο χρήσης του λογισμικού (Basic Radar Altimetry Toolbox v3.1, User Manual 2012).

4.4.3.3 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) (**Εικόνα 4-4**).

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:

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

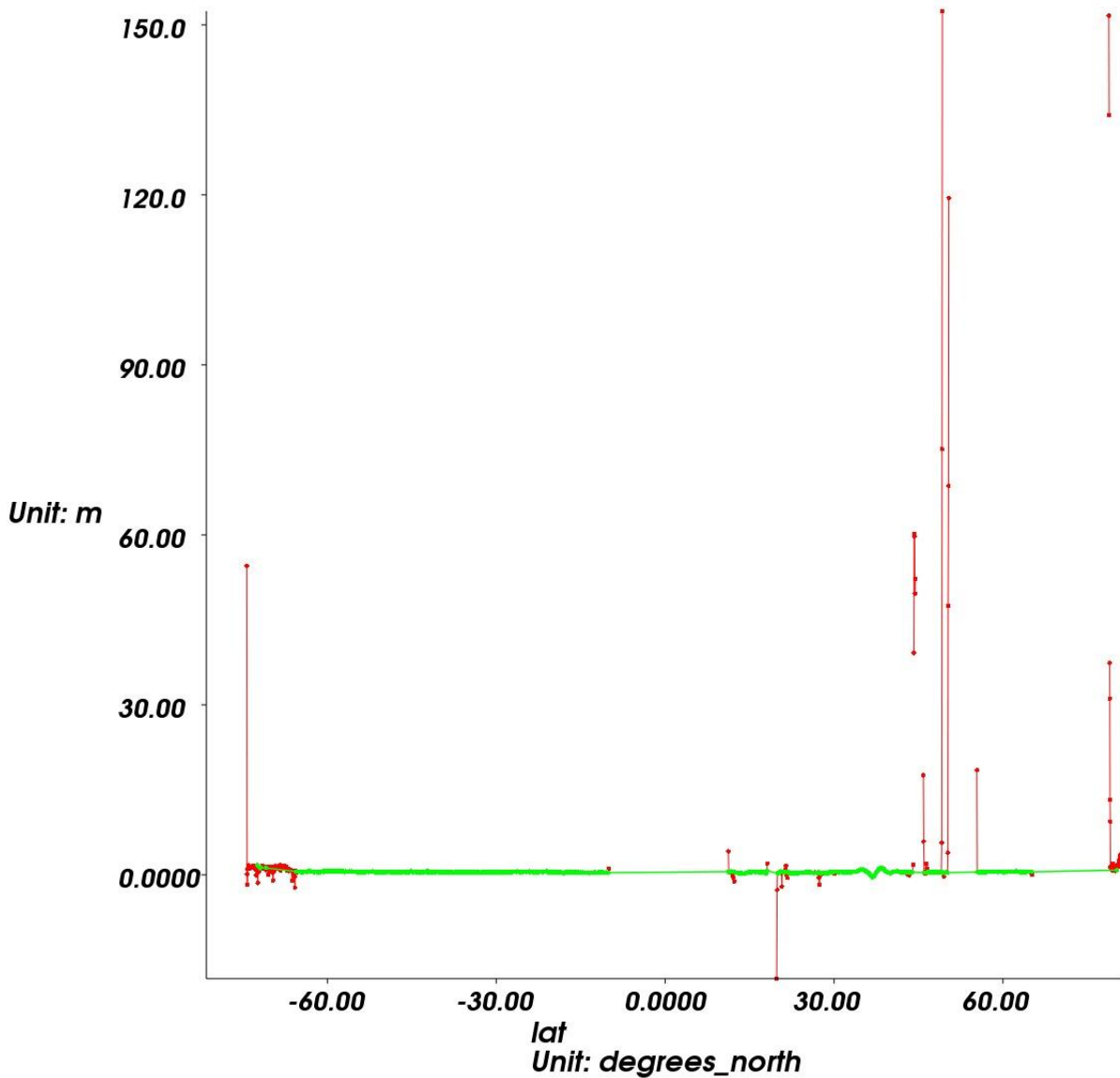
ενώ για την αποστολή Jason-2 είναι:

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

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.

Ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να κατασκευάσει και από μόνος του τέτοιους τύπους ανάλογα με τα κριτήρια που επιθυμεί να επιβάλλει, να τους αποθηκεύσει και να είναι σε θέση να τους χρησιμοποιεί σε οποιαδήποτε μελλοντική εργασία.



Εικόνα 4-4: Καμπύλες τύπου $Y=F(X)$ που αναπαριστούν τις Ανωμαλίες του Επιπέδου της Θάλασσας SLA (m) ως προς το γεωγραφικό πλάτος (μοίρες). Η κόκκινη καμπύλη προκύπτει από την επεξεργασία των δεδομένων χωρίς τη χρήση κάποιου τύπου, ενώ η πράσινη καμπύλη προκύπτει με τη χρήση του έτοιμου τύπου “Ocean_Editing_Envisat_GdrA”. Το αρχείο-πηγή είναι τύπου Envisat GDR.

4.4.3.4 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:

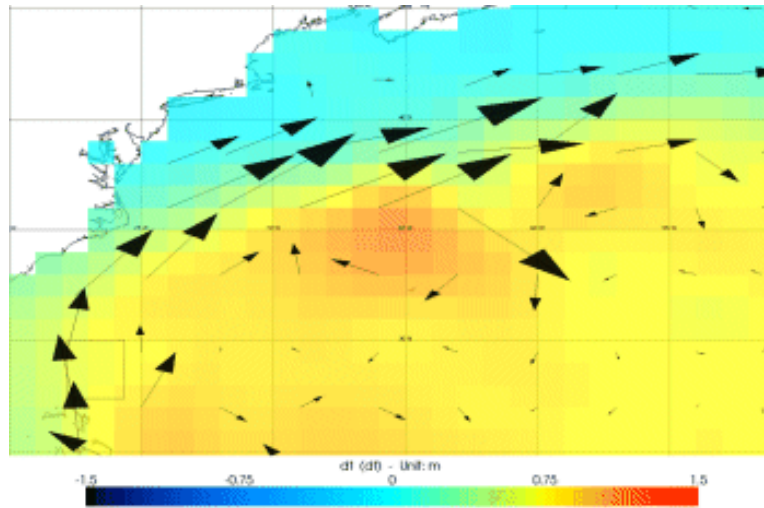
1. στον προσδιορισμό της U (κατά μήκος των παραλλήλων) και της V (κατά μήκος των μεσημβρινών) συνιστώσας των γεωστροφικών ταχυτήτων, όταν τα δεδομένα από το αρχείο-πηγή είναι gridded
2. στον προσδιορισμό των γεωστροφικών ταχυτήτων κατά μήκος του ίχνους της τροχιάς του δορυφόρου, όταν τα δεδομένα είναι 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).

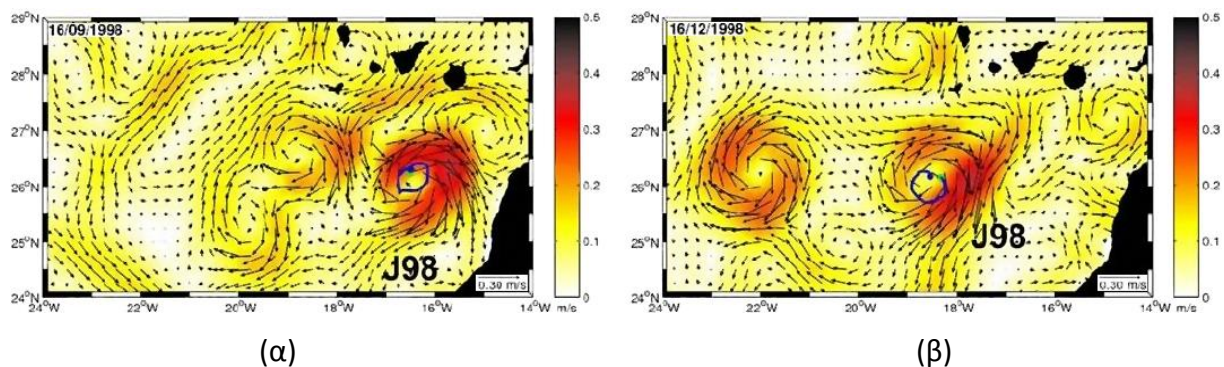
4.4.3.4.1 Δεδομένα Along-track

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).



Εικόνα 4-5: Παράδειγμα υπολογισμού των γεωστροφικών ταχυτήτων από αλιμετρικά δεδομένα της Δυναμικής Τοπογραφίας στην περιοχή του ρεύματος του Κόλπου (Gulf Stream) με τη χρήση του λογισμικού BRAT. Πηγή: (Collecte Localisation Satellites (CLS)) http://www.altimetry.info/images/use_cases/adt_uv_color_sm.gif

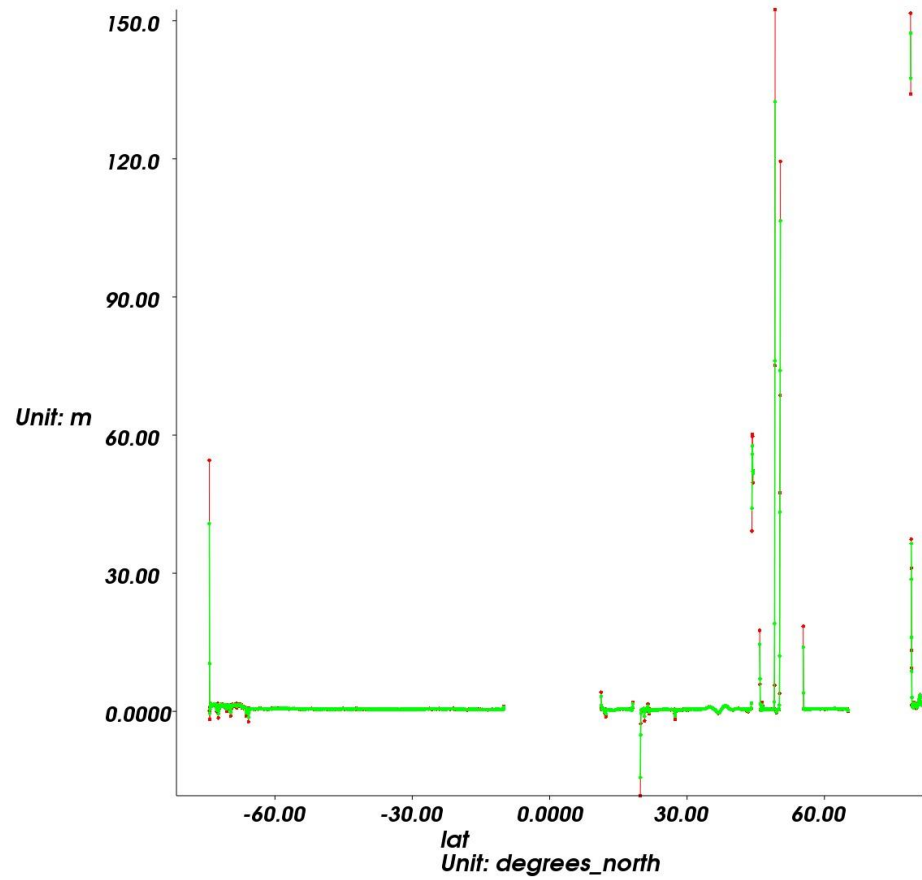


Εικόνα 4-6: Γεωστροφικές ταχύτητες υπολογισμένες με αλιμετρικές μεθόδους (α) για τον Σεπτέμβρη και (β) τον Δεκέμβρη του 1998. Στις δύο εικόνες απεικονίζεται το κέντρο ενός έντονου αντικυκλώνα νότια του νησιού Γκραν Κανάρια. Η μπλε γραμμή αντιστοιχεί στην πορεία ενός drifter (περιφερόμενη σημαδούρα) τρεις μέρες πριν και τρεις μέρες μετά την κατασκευή του χάρτη από τα αλιμετρικά δεδομένα. Η πορεία της σημαδούρας ταιριάζει ξεκάθαρα με τις αλιμετρικές παρατηρήσεις του αντικυκλώνα. Πηγή: (Centre National d'Etudes Spatiales (CNES), Aviso+)

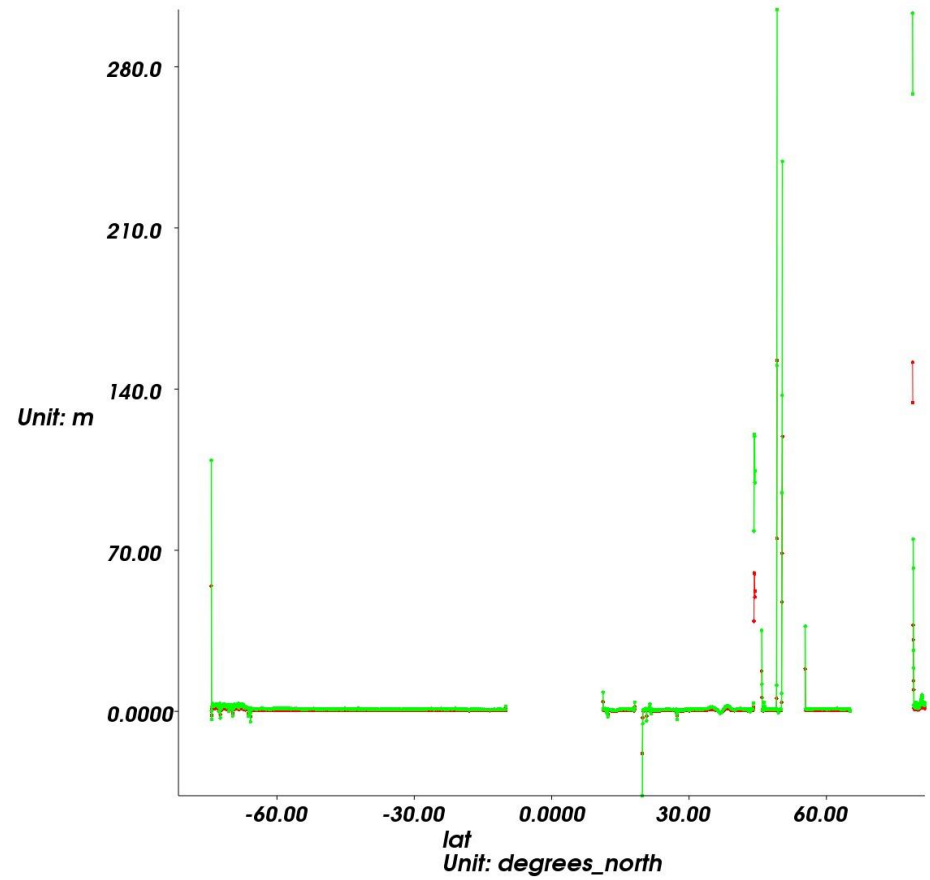
http://www.aviso.altimetry.fr/fileadmin/images/news/image_du_mois/2009/200906_1998eddy.jpg

Οι χάρτες γεωστροφικών ταχυτήτων αποτελούν ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο για τη μελέτη των δυναμικών φαινομένων των ωκεανών, όπως είναι η ωκεάνια κυκλοφορία μέσης κλίμακας (mesoscale circulation), οι εποχιακές μεταβολές, καθώς και μείζονα κλιματικά φαινομένων π.χ. El Niño. Μέσω τέτοιων χαρτών καθίσταται δυνατός ο προσδιορισμός της κατεύθυνσης και της ταχύτητας των γεωστροφικών ρευμάτων (Εικόνα 4-5) και η ανίχνευση

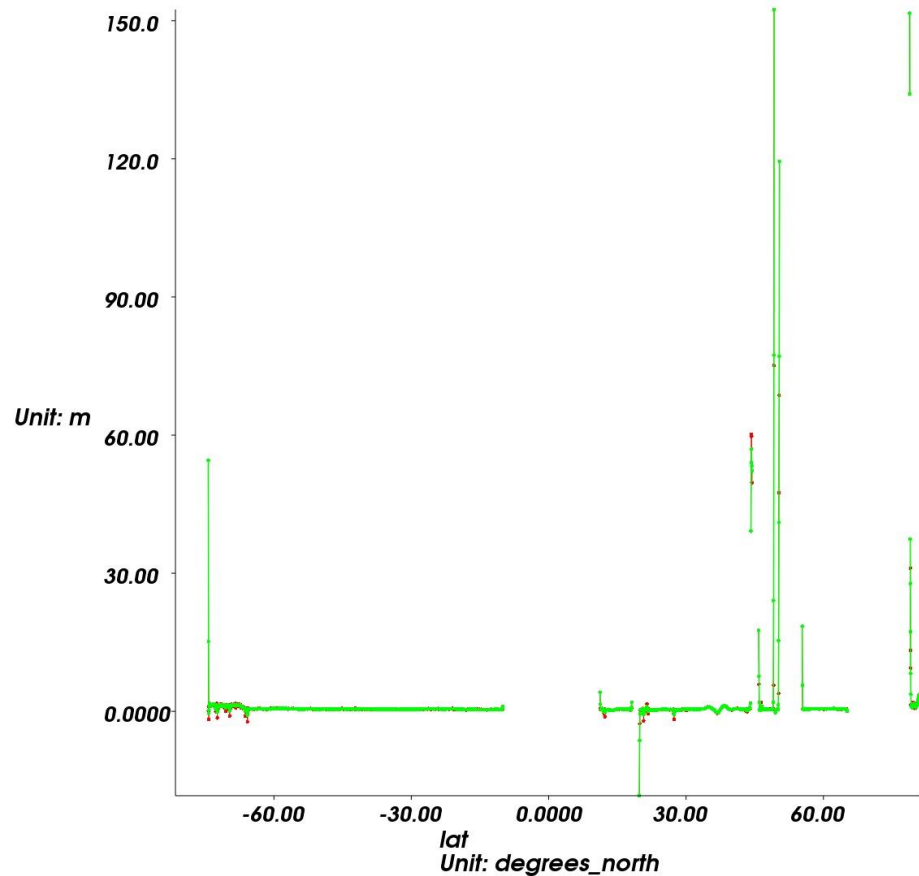
και παρακολούθηση όλων των υπο-φαινομένων που δημιουργούνται στην πορεία τους (στροβιλισμοί, μαίανδροι κ.ά.). Όπως φαίνεται και στην **Εικόνα 4-6**, οι χάρτες που προκύπτουν από αλτιμετρικά δεδομένα παρέχουν πληροφορίες, οι οποίες συμπίπτουν σε μεγάλο βαθμό με τις σχετικές επί τόπου ωκεανογραφικές μετρήσεις, γεγονός που αυξάνει τη χρηστικότητα και σημαντικότητά τους. Παρατηρώντας στη συγκεκριμένη εικόνα το σχηματιζόμενο κέντρο του στροβιλισμού νότια του νησιού Γκραν Κανάρια και την πορεία της σημαδούρας, αντιλαμβάνεται κανείς ότι οι χάρτες αυτοί μπορούν να παρέχουν αρκετά ακριβή συμπεράσματα για με τα δυναμικά φαινόμενα που σχετίζονται με τα γεωστροφικά ρεύματα. Επιπλέον, οι χάρτες γεωστροφικών ταχυτήτων χρησιμοποιούνται εκτεταμένα σε εργασίες επιχειρησιακής ωκεανογραφίας.



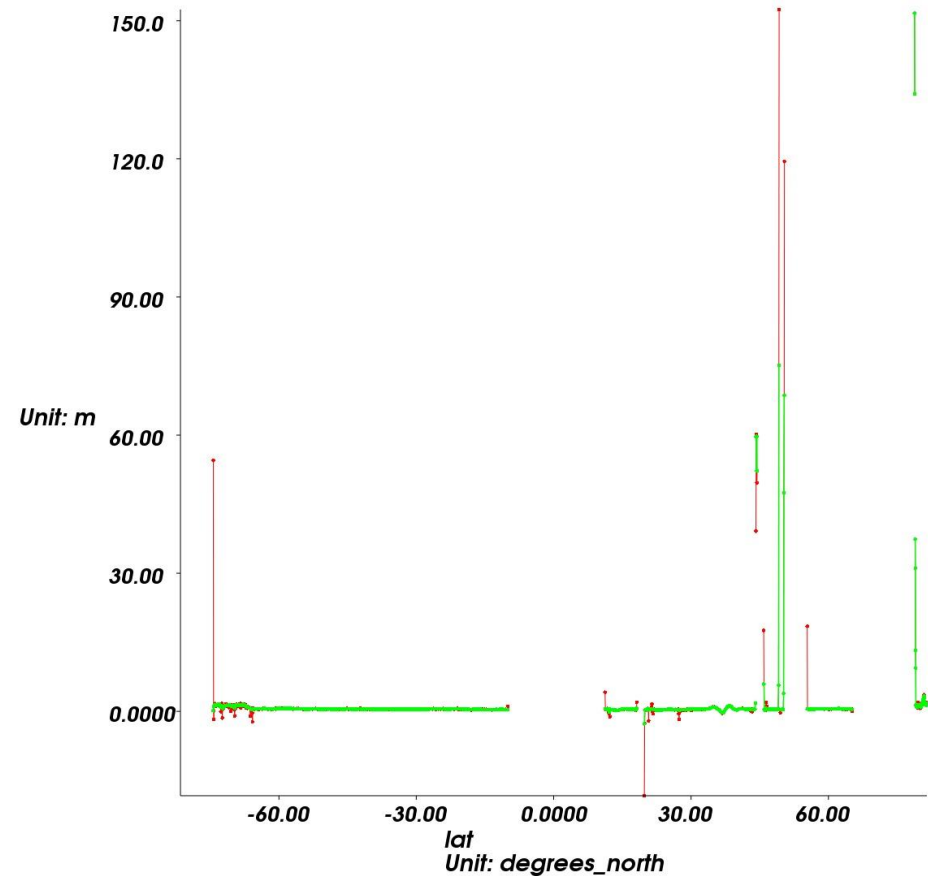
(α)



(β)



(γ)



(δ)

Εικόνα 4-7: Καμπύλες τύπου $Y=F(X)$ που απεικονίζουν τις Ανωμαλίες του Επιπέδου της Θάλασσας SLA (m) ως προς το γεωγραφικό πλάτος (μοίρες). Σε κάθε περίπτωση η κόκκινη καμπύλη προκύπτει από την επεξεργασία των δεδομένων χωρίς τη χρήση κάποιου αλγορίθμου, ενώ η πράσινη με τη χρήση αλγορίθμου. Συγκεκριμένα, στην (α) περίπτωση έγινε εφαρμογή του αλγορίθμου *BratAlgoFilterGaussianAtp*, στην (β) του αλγορίθμου *BratAlgoFilterLanczosAtp*, στην (γ) του αλγορίθμου *BratAlgoFilterLoessAtp* και στην (δ) του αλγορίθμου *BratAlgoFilterMedianAtp*.

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) (**Εικόνα 4-7 (α)**). Ο αλγόριθμος αυτός δέχεται σαν στοιχεία εισόδου:

- το πεδίο στο οποίο επιθυμεί ο χρήστης να εφαρμόσει το φίλτρο ή κάποια έκφραση που είναι δυνατόν να περιέχει παραπάνω από ένα πεδίο
- το μέγεθος του παραθύρου του φίλτρου (window size) με περιττό αριθμό.
- 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.
- την τιμή του συντελεστή ο οποίος πολλαπλασιάζεται 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 $\pm 3\sigma$.
- τον ελάχιστο αριθμό των έγκυρων σημείων, κάτω από τον οποίο δεν εφαρμόζεται το φίλτρο.
- 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 (**Εικόνα 4-7 (β)**). Δέχεται σαν στοιχεία εισόδου:

- το πεδίο στο οποίο επιθυμεί ο χρήστης να εφαρμόσει το φίλτρο ή κάποια έκφραση που είναι δυνατόν να περιέχει παραπάνω από ένα πεδίο.
- το μέγεθος του παραθύρου του φίλτρου με περιττό αριθμό.
- τον αριθμό των σημείων που ορίζει το ρυθμό αφαίρεσης στοιχείων (cut-off period).
- τον ελάχιστο αριθμό των έγκυρων σημείων, κάτω από τον οποίο δεν εφαρμόζεται το φίλτρο.
- 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 2^{ου} βαθμού (**Εικόνα 4-7 (γ)**). Δέχεται σαν στοιχεία εισόδου:

- το πεδίο στο οποίο επιθυμεί ο χρήστης να εφαρμόσει το φίλτρο ή κάποια έκφραση που είναι δυνατόν να περιέχει παραπάνω από ένα πεδίο.
- το πεδίο της έκφρασης X, σύμφωνα με τα στοιχεία του οποίου θα υπολογιστούν τα βάρη.
- το μέγεθος του παραθύρου του φίλτρου με περιττό αριθμό.
- τον ελάχιστο αριθμό των έγκυρων σημείων, κάτω από τον οποίο δεν εφαρμόζεται το φίλτρο.
- 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 (**Εικόνα 4-7 (δ)**). Δέχεται σαν στοιχεία εισόδου:

- το πεδίο στο οποίο επιθυμεί ο χρήστης να εφαρμόσει το φίλτρο ή κάποια έκφραση που είναι δυνατόν να περιέχει παραπάνω από ένα πεδίο.
- το μέγεθος του παραθύρου του φίλτρου.
- τον ελάχιστο αριθμό των έγκυρων σημείων, κάτω από τον οποίο δεν εφαρμόζεται το φίλτρο.
- 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.

4.4.3.4.2 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° και ταυτόχρονα μεγαλύτερα των - 5°.

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 διδιάστατα, η τιμή που εισάγει ο χρήστης σαν μέγεθος παραθύρου είναι NxN, π.χ. 3x3, 5x5, 7x7 κ.λπ.

Αλγόριθμοι *BratAlgoFilterLoessGrid* και *BratAlgoFilterMedianGrid*

Το ίδιο ισχύει και για τους δύο αυτούς αλγόριθμους. 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.

4.4.3.5 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:

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

4.4.3.6 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 κάρναβος 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 $1/3^\circ$ όταν πρόκειται για το γεωγραφικό πλάτος και μήκος, ενώ είναι 1° για οποιοδήποτε άλλο πεδίο. Ο χρήστης μπορεί να μεταβάλλει το βήμα σε μικρότερο (π.χ. $1/8^\circ$) 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.

4.4.4 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:

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

- 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).
- 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:

- τον τίτλο της οπτικοποίησης
- την εστίαση κατά X και Y (αν υπάρχει άξονας Y). Η ιδιότητα αυτή είναι χρήσιμη, όταν υπάρχει η ανάγκη εστίασης σε μία συγκεκριμένη περιοχή.
- 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

επίσης (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 (Wikipedia 2014).

Ακολουθεί ο ορισμός των παραμέτρων των εκφράσεων που εμπλέκονται στην οπτικοποίηση. Το περιεχόμενό τους εξαρτάται από την κατηγορία στην οποία ανήκει η κάθε οπτικοποίηση ($Y=F(X)$, $Z=F(X,Y)$, $Z=F(Lon,Lat)$). 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.

4.4.5 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.

4.5 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.

4.5.1 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) συναρτήσει 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.

4.5.2 Κατηγορία Οπτικοποίησης $Z=F(\text{Lon},\text{Lat})$ (Χάρτες)

Οι οπτικοποιήσεις της κατηγορίας $Z=F(\text{Lon},\text{Lat})$ είναι χάρτες που αναπαριστούν την έκφραση Data Expression συναρτήσει 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.

4.5.3 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).

4.6 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.

5 ΑΝΑΔΕΙΞΗ ΤΟΥ BRAT (ΩΣ ΕΡΓΑΛΕΙΟΥ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΑΛΤΙΜΕΤΡΙΚΩΝ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΠΡΟΣΤΙΘΕΜΕΝΗΣ ΑΞΙΑΣ)

5.1 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* (30° - 46°B, 6°Δ - 36°Α). Ο κύριος σκοπός της πραγματοποίησης των εφαρμογών αυτών ήταν η ανάδειξη πρακτικών εφαρμογών του λογισμικού BRAT, η διερεύνηση των δυνατοτήτων και των εργαλείων του, καθώς και η σύγκριση των αποτελεσμάτων για την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με τα εκάστοτε χρησιμοποιούμενα αλτιμετρικά δεδομένα.

Οι εφαρμογές, που επιλέχθηκε να πραγματοποιηθούν, είναι κυρίως ωκεανογραφικού χαρακτήρα και αφορούν κάποια από τα βασικότερα φαινόμενα των θαλασσών. Ειδικότερα, εξετάστηκαν:

1. **οι Ανωμαλίες του Επιπέδου της Θάλασσας (SLA)**
2. **η Απόλυτη Δυναμική Τοπογραφία της Θάλασσας (ADT)**
3. **τα Γεωστροφικά Ρεύματα (Ανωμαλίες Γεωστροφικών Ταχυτήτων και Απόλυτες Γεωστροφικές Ταχύτητες)**
4. **το Σημαντικό Ύψος Κύματος (SWH)**

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 και τα Γεωστροφικά Ρεύματα είναι φαινόμενα αλληλένδετα, και μεταξύ τους, αλλά και με τις Ανωμαλίες του Επιπέδου της Θάλασσας. Έτσι, στην εργασία πραγματοποιήθηκε η μελέτη και αυτών των φαινομένων. Τέλος, η εφαρμογή του Σημαντικού Ύψους Κύματος επιλέχθηκε λόγω του

πολυσυζητημένου θέματος των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και συγκεκριμένα της αξιοποίησης της κυματικής ενέργειας. Σκοπός της ήταν η διερεύνηση πιθανών τέτοιων πόρων στον Ελλαδικό χώρο, αλλά και γενικότερα στη Μεσόγειο Θάλασσα.

Στις ενότητες που ακολουθούν, έχει γίνει η προσπάθεια να διερευνηθούν όλες οι διαφορετικές παράμετροι που εμπλέκονται στις συναφείς με αυτά τα φαινόμενα αλτιμετρικές εφαρμογές. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκαν όσο το δυνατόν περισσότεροι διαφορετικοί τύποι αλτιμετρικών δεδομένων (δηλ. από πολλαπλούς δορυφόρους), με κύρια διαφοροποίηση και κριτήριο σύγκρισης το είδος της προεπεξεργασίας τους (along-track - gridded δεδομένα). Μία ακόμη πολύ σημαντική παράμετρος ήταν ο αριθμός των αλτιμετρικών αποστολών που συμμετείχαν στη δημιουργία των δεδομένων αυτών (Monomission – Multimission δεδομένα). Έχει γίνει σύγκριση μεταξύ προϊόντων που προέρχονται από έναν, δύο ή και μέχρι τέσσερις αλτιμετρικές αποστολές. Σημαντικό ρόλο, επιπλέον, παίζει η έκταση της περιοχής μελέτης (παγκόσμια - τοπική). Παρατίθενται παραδείγματα και από τις δύο περιπτώσεις. Τέλος, αναφέρεται ότι η επιλογή του χρονικού εύρους των δεδομένων έγινε με κριτήριο την εποχή παραγωγής τους. Αυτό σημαίνει ότι για κάθε εφαρμογή επιλέχθηκαν τα πιο πρόσφατα, γενικά, δεδομένα που ήταν διαθέσιμα, ώστε τα αποτελέσματα να αναφέρονται σε πρόσφατες χρονικές περιόδους. Επιπλέον, τα πιο σύγχρονα, γενικά, δεδομένα έχουν καλύτερη ποιότητα. Βέβαια, το γεγονός αυτό είχε σαν αποτέλεσμα των αποκλεισμό δεδομένων από κάποιους παρελθοντικούς σημαντικούς για την εποχή τους αλτιμετρικούς δορυφόρους (όπως των TOPEX/POSEIDON, ERS-1, ERS-2 κ.λπ.), αλλά δεδομένα των αποστολών αυτών συμπεριλαμβάνονται, ούτως ή άλλως, στα multi-mission αλτιμετρικά προϊόντα.

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. Τα πνευματικά δικαιώματα (Copyright) του κάθε είδους δεδομένων παρατίθενται στις σχετικές παραγράφους.

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. Η χαρτογραφική προβολή που χρησιμοποιήθηκε ήταν (στην πλειοψηφία των περιπτώσεων) η Plate Carrée, καθώς η περιοχή μελέτης είναι σχετικά περιορισμένη. Συνεπώς, αυτή η προβολή προσφέρει πιο εποπτική άποψη της κατανομής των τιμών ενός θαλάσσιου

φαινομένου. Σημειώνεται, ωστόσο, ότι δημιουργεί κάποιες παραμορφώσεις στο χάρτη, οι οποίες, όμως, για τις συγκεκριμένες εφαρμογές δεν δημιουργούν προβλήματα και μπορούν να αγνοηθούν.

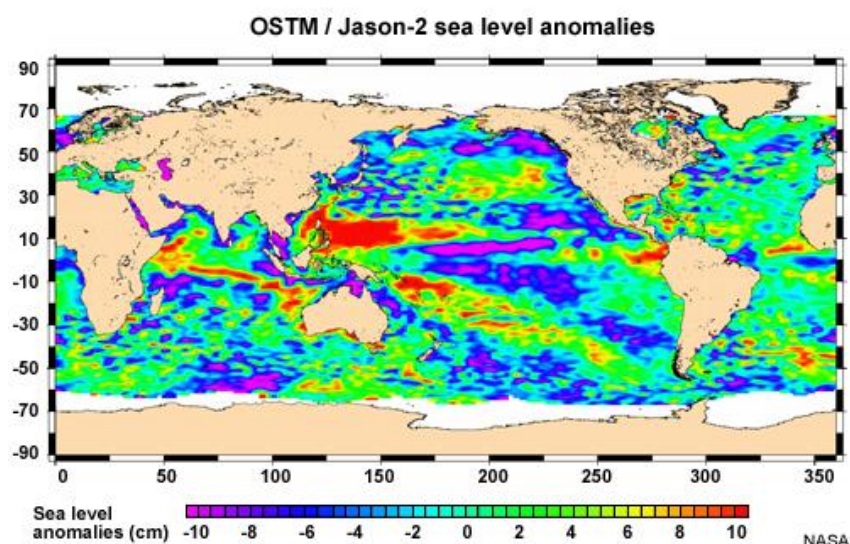
5.2 Εφαρμογή 1^η: Δημιουργία Χαρτών για τη μελέτη των Ανωμαλιών του Επιπέδου της Θάλασσας (MSLA)

Η πρώτη εφαρμογή αφορά τη μελέτη των Ανωμαλιών του Επιπέδου της Θάλασσας (SLA). Για το σκοπό αυτό, έγινε η δημιουργία χαρτών και η εξέτασή τους από τρία διαφορετικά είδη δεδομένων, τα οποία διέφεραν ως προς την προεπεξεργασία τους (gridded – along-track), τον αριθμό των διαθέσιμων δορυφόρων (“two-sat-merged” – “all-sat-merged”), τη χρονική περίοδο στην οποία αναφέρονται, καθώς και ως προς την περιοχή μελέτης. Ακολουθούν κάποια θεωρητικά στοιχεία του φαινομένου και η περιγραφή των τριών διαφορετικών περιπτώσεων εξέτασής του.

5.2.1 Θεωρητικές Βάσεις

Ανωμαλία του Επιπέδου της Θάλασσας (SLA)

Ως *Ανωμαλία του Επιπέδου της Θάλασσας* (Sea Level Anomaly, SLA) ή *διαφορετικά Ανωμαλία του Υψομέτρου της Επιφάνειας της Θάλασσας* (Sea Surface Height Anomaly, SSHA) ορίζεται η απόκλιση της στιγμιαίας επιφάνειας της θάλασσας από τη Μέση Στάθμη της Θάλασσας (ΜΣΘ) (Εικόνα 5-1).



Εικόνα 5-1: Παγκόσμιος χάρτης Ανωμαλιών του Επιπέδου της Θάλασσας (σε cm) από δεδομένα της αλτιμετρικής αποστολής Jason-2. Πηγή: (Runoff Processes 2009)

<http://stream2.cma.gov.cn/pub/comet/Climate/Jason2UsingSatelliteAltimetrytoMonitortheOcean/comet/EUMETSAT/jason/print.htm>

Οι αλλαγές του υψομέτρου της επιφάνειας της θάλασσας υποδηλώνουν τις περιοδικές διακυμάνσεις αυτού, οι οποίες μπορεί να διαρκούν από μερικές ημέρες μέχρι και ολόκληρες δεκαετίες. Οι μακροχρόνιες αλλαγές εκτιμάται πως είναι γραμμικές και μέσω αυτών μπορεί να περιγραφεί η άνοδος της στάθμης της θάλασσας (Global Sea Level Rise). Το επίπεδο της θάλασσας ποικίλλει 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. Η αύξηση της θερμοκρασίας του νερού των ωκεανών χωρίς την παράλληλη μεταβολή της μάζας του και η αύξηση της στάθμης λόγω αλλαγών της αλατότητας (halosteric rise).
3. 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.

Γενικά, το υψόμετρο της επιφάνειας της θάλασσας είναι υψηλότερο σε σχέση με το μέσο όρο στο Βόρειο Ημισφαίριο κατά τη διάρκεια του Ιουλίου και του Αυγούστου. Αυτό συμβαίνει, διότι το νερό θερμαίνεται κατά μεγαλύτερο ποσοστό από άμεση ηλιακή ακτινοβολία. Κατά τη διάρκεια του Φεβρουαρίου και του Μαρτίου, αντίθετα, το υψόμετρο της επιφάνειας της θάλασσας παίρνει χαμηλότερες τιμές από το μέσο υψόμετρο, καθώς η εισερχόμενη άμεση ηλιακή ακτινοβολία μειώνεται. Για την ερμηνεία των ανωμαλιών του υψομέτρου της επιφάνειας της θάλασσας, πρέπει κανείς να λάβει υπόψη ότι θετικές τιμές των ανωμαλιών υποδεικνύουν υψηλότερες θερμοκρασίες νερού και θερμοκλινές⁴ σε μεγαλύτερο βάθος, ενώ αρνητικές τιμές υποδεικνύουν χαμηλότερες θερμοκρασίες νερού και θερμοκλινές σε μικρότερο βάθος (European Space Agency).

Το φαινόμενο των διακυμάνσεων του επιπέδου της θάλασσας μπορεί να μελετηθεί με τη μέθοδο της Δορυφορικής Αλτιμετρίας, καθώς σχετικές μετρήσεις έχουν πραγματοποιηθεί και συνεχίζουν να πραγματοποιούνται από όλες τις αλτιμετρικές αποστολές (Open Altimeter Database). Η σημαντικότητα του έγκειται στο γεγονός ότι μέσω της μακροχρόνιας μελέτης του συγκεκριμένου φαινομένου μπορούν να εξαχθούν συμπεράσματα σχετικά με την κλιματική αλλαγή, όπως αυτή εκφράζεται στις ωκεάνιες περιοχές.

⁴ Θερμοκλινές είναι το λεπτό στρώμα νερού που χαρακτηρίζεται από σημαντική ελάττωση της θερμοκρασίας όσο αυξάνεται το βάθος και βρίσκεται μεταξύ του επιλιμνίου (επιφανειακό στρώμα νερού) και του υπολιμνίου (το κατώτερο στρώμα νερού).

5.2.2 Περίπτωση 1^η

5.2.2.1 Δεδομένα

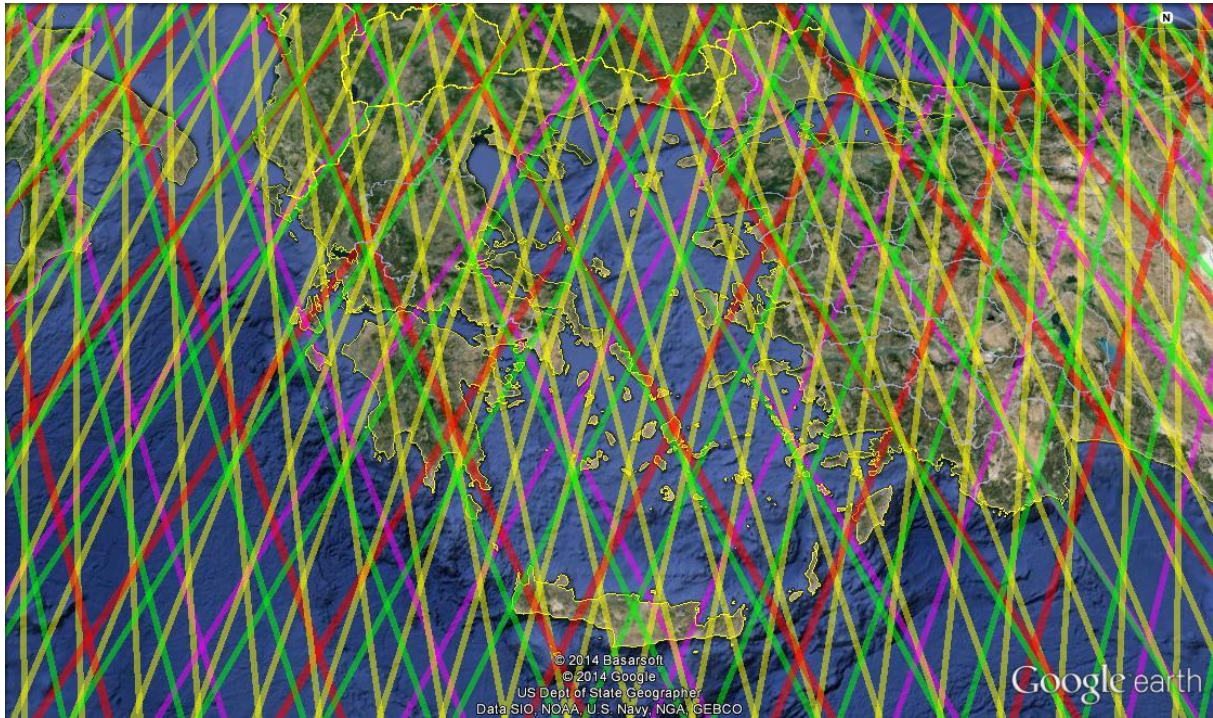
Στην πρώτη περίπτωση τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν δεδομένα Ανωμαλιών του Επιπέδου της Θάλασσας ανηγμένα στα σημεία καννάβου (Gridded Sea Level Anomalies Data) (Centre National d'Etudes Spatiales (CNES), Aviso+). Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα βασικά τους χαρακτηριστικά:

- Είδος δεδομένων: Gridded
- Χωρική Ανάλυση: 1/4° x 1/4°
- Κατηγοριοποίηση με βάση το χρόνο διάθεσής τους: Delayed (DT)
- Κατηγοριοποίηση με βάση τις χρησιμοποιούμενες αποστολές: Multi-mission
- Χωρική κάλυψη: Παγκόσμια
- Χρονική κάλυψη: από τον Ιανουάριο του 1993 μέχρι το Δεκέμβριο του 2012
- Μορφότυπος: NetCDF
- Συχνότητα δεδομένων: Εβδομαδιαία
- Πνευματικά Δικαιώματα : 2005-ongoing Cnes-CLS

Αυτός ο τύπος δεδομένων διατίθεται σε δύο είδη, τα οποία διαφοροποιούνται με βάση τον αριθμό των αλτιμετρικών αποστολών που συμμετέχουν στην δημιουργία τους. Συγκεκριμένα, όταν συμμετέχουν δύο μόνο δορυφόροι, τα δεδομένα είναι “two-sat merged” (πριν τον Απρίλιο 2014 ονομάζονταν “Ref”), ενώ όταν συμμετέχουν όλοι οι διαθέσιμοι δορυφόροι, τα δεδομένα είναι “all-sat merged” (πριν τον Απρίλιο 2014 ονομάζονταν “Urd”). Στην περίπτωση που υπάρχουν δύο μόνο δορυφόροι, τα δύο είδη δεδομένων έχουν το ίδιο ακριβώς περιεχόμενο.

Ειδικότερα, τα “two-sat merged” συντίθενται από δεδομένα των αλτιμετρικών αποστολών Jason-2/AltiKa ή Jason-2/Cryosat-2 ή Jason-2/Envisat ή Jason-1 / Envisat ή Topex/Poseidon/ERS. Τα “all-sat merged” συντίθενται, όπως αναφέρθηκε, από μέχρι τέσσερις στον αριθμό διαφορετικές αλτιμετρικές, ανάλογα με το ποιες είναι διαθέσιμες κάθε χρονική περίοδο. Σε αυτό το είδος δεδομένων, παρουσιάζεται βελτιωμένη δειγματοληψία και σφάλματα μεγάλου χαρακτηριστικού μήκους (Long Wavelength ή LW για συντομία). Έτσι, αποκτούν την καλύτερη δυνατή ποιότητα, αλλά δεν είναι πάντα ομοιογενή (Centre National d'Etudes Spatiales (CNES), Aviso+ 2014).

Για παράδειγμα, για το διάστημα Οκτώβριος 2002 – Σεπτέμβριος 2005 οι χρησιμοποιούμενες αποστολές για την παραγωγή “all-sat merged” δεδομένων ήταν οι Jason-1, Topex/Poseidon, Envisat και GFO. Όπως φαίνεται και στην **Εικόνα 5-2**, τα επίγεια ίχνη των τεσσάρων δορυφόρων παρουσιάζουν ανά περιοχές ανομοιογένειες.



Εικόνα 5-2: Χάρτης κάλυψης του ευρύτερου Ελλαδικού χώρου, όπου απεικονίζονται τα επίγεια ίχνη ενός συνδυασμού τεσσάρων διαφορετικών αλιμετρικών αποστολών για το διάστημα Οκτώβριος 2002 – Σεπτέμβριος 2005 για την παραγωγή “all-sat-merged” δεδομένων. Με **κίτρινο** χρώμα απεικονίζονται τα επίγεια ίχνη του αλιμετρικού δορυφόρου Envisat, με **κόκκινο** του Jason-1, με **μωβ** του Topex/Poseidon και με **πράσινο** του GFO. Πηγή: (Google Earth)

Εκτός των Ανωμαλιών του Επιπέδου της Θάλασσας, τα gridded δεδομένα SLA περιέχουν τις αντίστοιχες τις τιμές των ανωμαλιών των γεωστροφικών ταχυτήτων (κατά παράλληλο U και μεσημβρινό V), καθώς και το σφάλμα της κάθε παρατήρησης. Επιπλέον, αναφέρεται ότι διατίθενται και για συγκεκριμένες περιοχές μελέτης.

Για την παρούσα εφαρμογή, αντλήθηκαν gridded δεδομένα SLA για όλη τη διάρκεια των ετών 2010, 2011 και 2012.

5.2.2.2 Επεξεργασία και Αποτελέσματα

Στην παρούσα περίπτωση της εφαρμογής των Ανωμαλιών του Επιπέδου της Θάλασσας, δημιουργήθηκαν διαφορετικοί χάρτες MSLA (Maps of Sea Level Anomalies), με κριτήριο:

1. τον αριθμό των διαθέσιμων αλιμετρικών αποστολών
2. το έτος για την περίοδο 2010-2013
3. τους μήνες για το έτος 2011

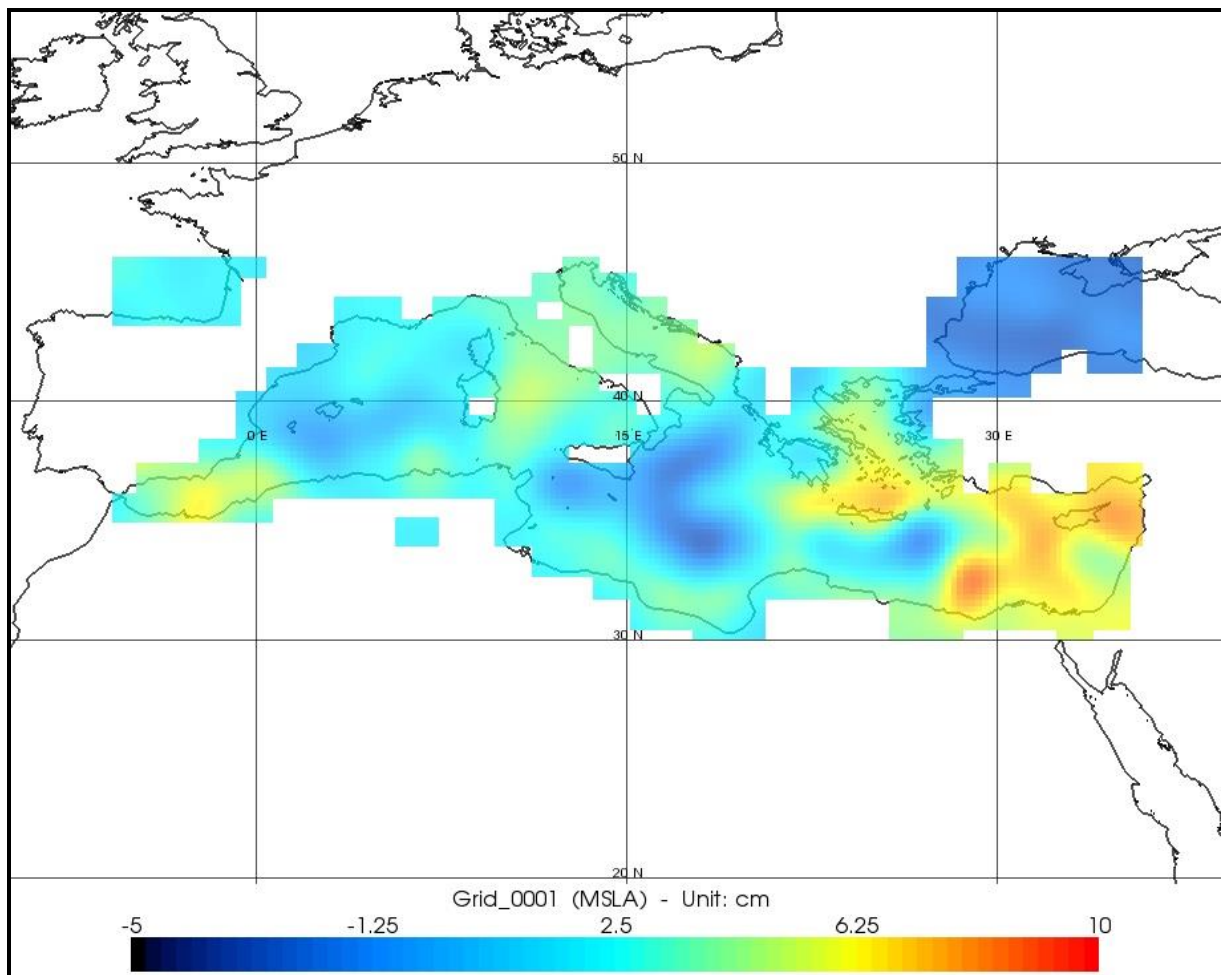
Σκοπός ήταν αρχικά η παρατήρηση των διαφορών στους χάρτες που προέρχονται από “all-sat merged” και “two-sat merged” gridded δεδομένα και στη συνέχεια η παρακολούθηση των μεταβολών του επιπέδου της θάλασσας ανά έτος και ανά μήνα.

Αρχικά, έγινε η επεξεργασία των δεδομένων για των παραγωγή των δύο χαρτών που διαφέρουν ως προς τον αριθμό των διαθέσιμων δορυφόρων. Και στους δύο χάρτες χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα για το έτος 2012, στον πρώτο (**Εικόνα 5-3**) “all-sat merged” και στον δεύτερο (**Εικόνα 5-4**) “two-sat merged”. Σαν άξονες Χ και Υ ορίστηκαν το γεωγραφικό μήκος και το γεωγραφικό πλάτος αντίστοιχα. Στην έκφραση Data Expression εισήχθη το πεδίο που περιείχε τις τιμές SLA. Σαν βήμα καννάβου ορίστηκε κατά τους δύο άξονες $1/4^\circ$, καθώς κατά την προεπεξεργασία του συγκεκριμένου τύπου δεδομένων η χωρική ανάλυση έχει ορισθεί ως $1/4^\circ \times 1/4^\circ$. Συνεπώς, δε θα υπήρχε νόημα να ορισθεί μικρότερο βήμα – ώστε να επιτευχθεί καλύτερη ανάλυση χάρτη – διότι δεν είναι διαθέσιμες οι αντίστοιχες τιμές SLA. Και στους δύο χάρτες, εφαρμόστηκε το φίλτρο Loess Smooth με τιμή Cut-off 15, ώστε να επιτευχθεί εξομάλυνση των τιμών και πιο ομοιογενές οπτικό αποτέλεσμα, και περιορίστηκαν τα δεδομένα στην περιοχή της Μεσογείου.

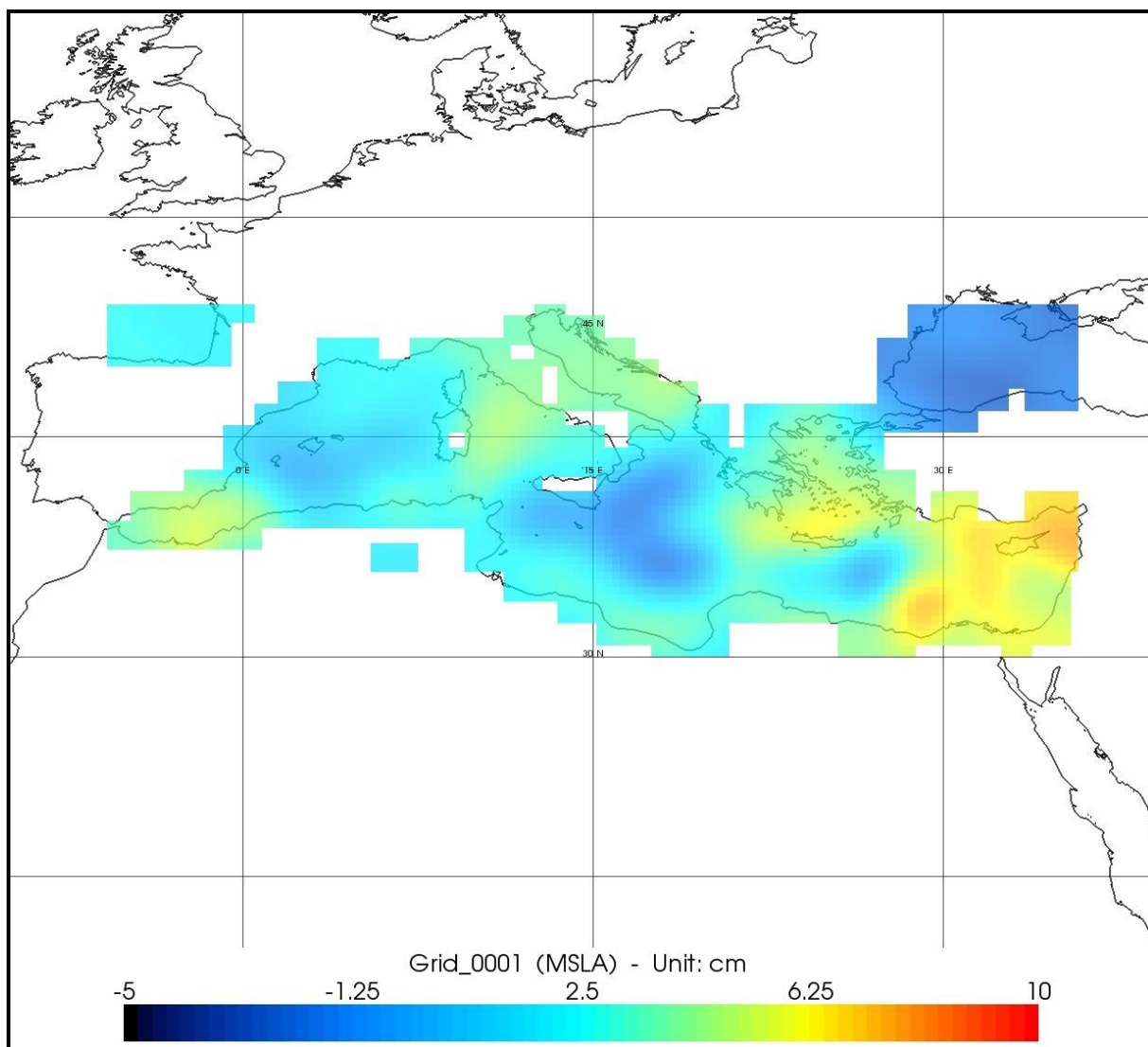
Για την απεικόνιση των χαρτών, επιλέχθηκε η προβολή Plate Carrée και έγινε εστίαση στην περιοχή της Μεσογείου. Σαν μονάδα μέτρησης, διατηρήθηκε η προεπιλεγμένη, τα εκατοστόμετρα (cm), καθώς οι ανωμαλίες του επιπέδου της θάλασσας έχουν μικρές τιμές. Το εύρος της χρωματικής κλίμακας τροποποιήθηκε σε -5 έως 15 cm. Σε αυτό το εύρος τιμών περιέχεται το μεγαλύτερο μέρος της πληροφορίας και ο συνδυασμός των αποχρώσεων που λαμβάνει ο χάρτης ανάλογα με τις τιμές αυτές είναι αρκετά αποτελεσματικός, ώστε να γίνεται εύκολα αντιληπτός.

Στη συνέχεια, ακολουθώντας τα βήματα επεξεργασίας, δημιουργήθηκαν χάρτες ανά έτος, για το 2010 (**Εικόνα 5-5**), για το 2011 (**Εικόνα 5-6**) και για το 2012 (**Εικόνα 5-7**), καθώς και ανά δύο μήνες για το έτος 2011 (Ιανουάριος-Φεβρουάριος (**Εικόνα 5-8**), Μάρτιος-Απρίλιος (**Εικόνα 5-9**), Μάιος-Ιούνιος (**Εικόνα 5-10**), Ιούλιος-Αύγουστος (**Εικόνα 5-11**), Σεπτέμβριος-Οκτώβριος (**Εικόνα 5-12**) και Νοέμβριος-Δεκέμβριος (**Εικόνα 5-13**). Εδώ χρησιμοποιήθηκαν “all-sat merged” δεδομένα, διότι αυτό το είδος έχει εξ ορισμού καλύτερη ποιότητα.

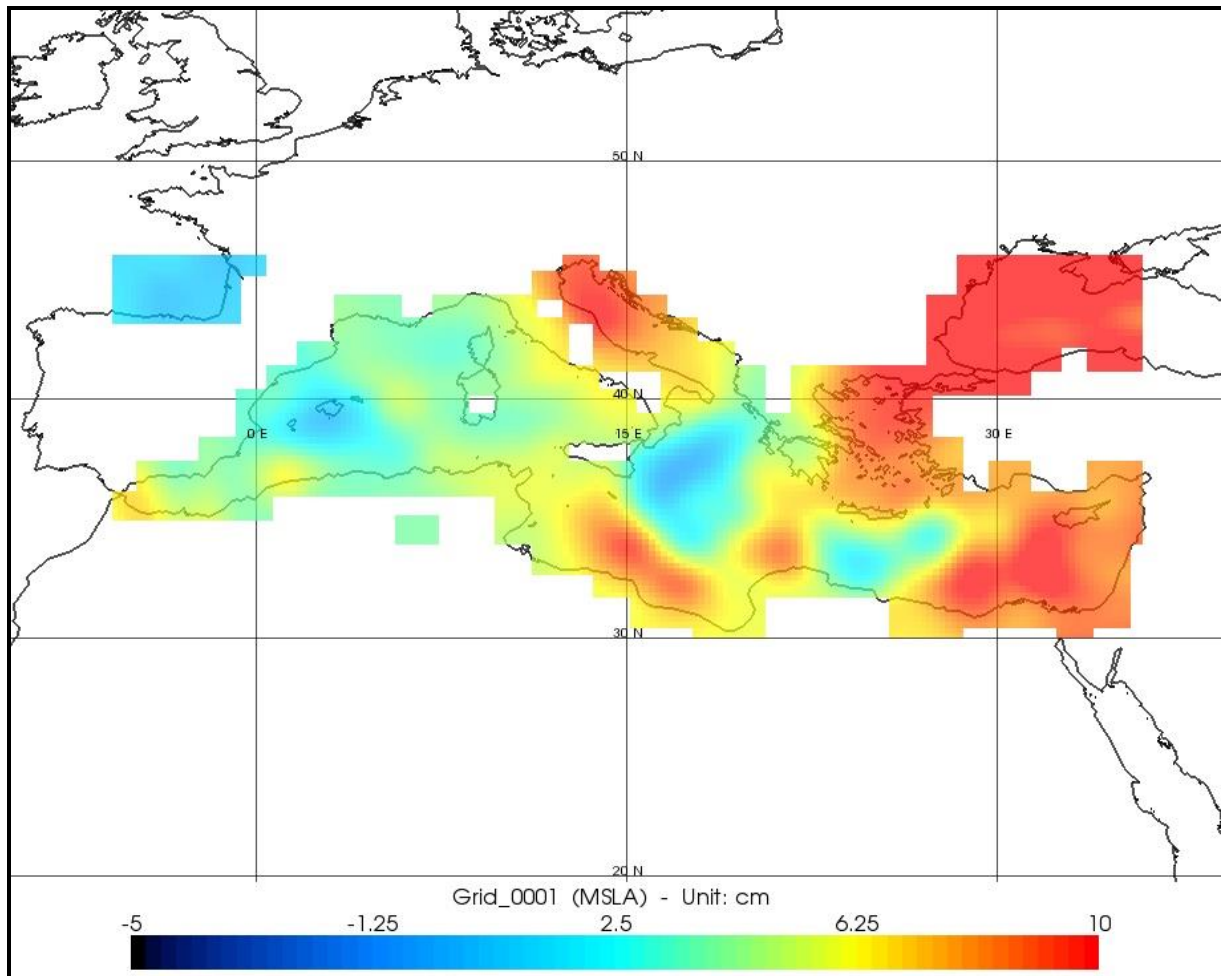
Στη συνέχεια, παρατίθενται οι παραπάνω χάρτες και γίνονται κάποιες διαπιστώσεις σχετικά με τα αποτελέσματα.



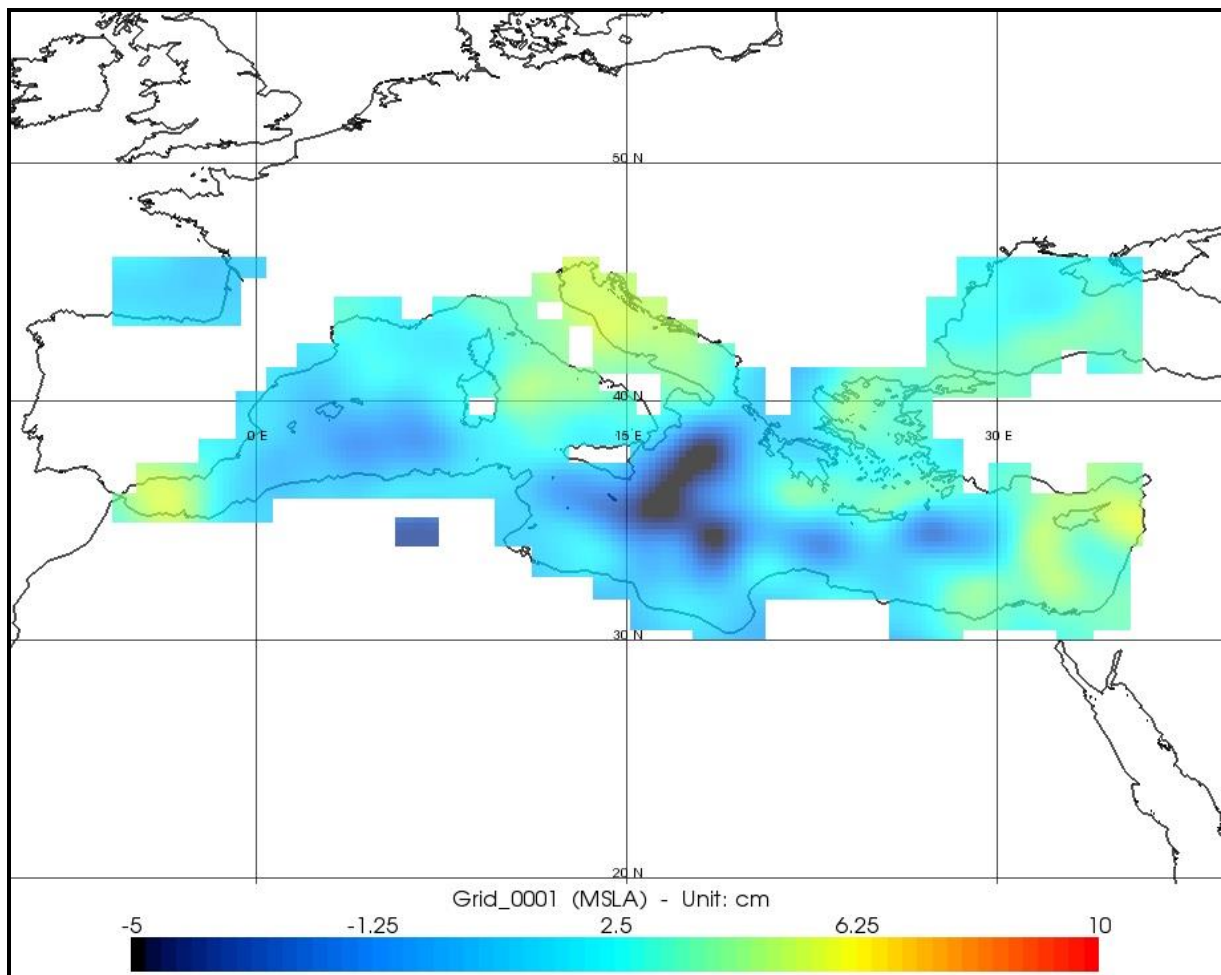
Εικόνα 5-3: Χάρτης Ανωμαλιών του Επιπέδου της Θάλασσας (MSLA) για το έτος 2012 από δεδομένα “all-sat-merged”.



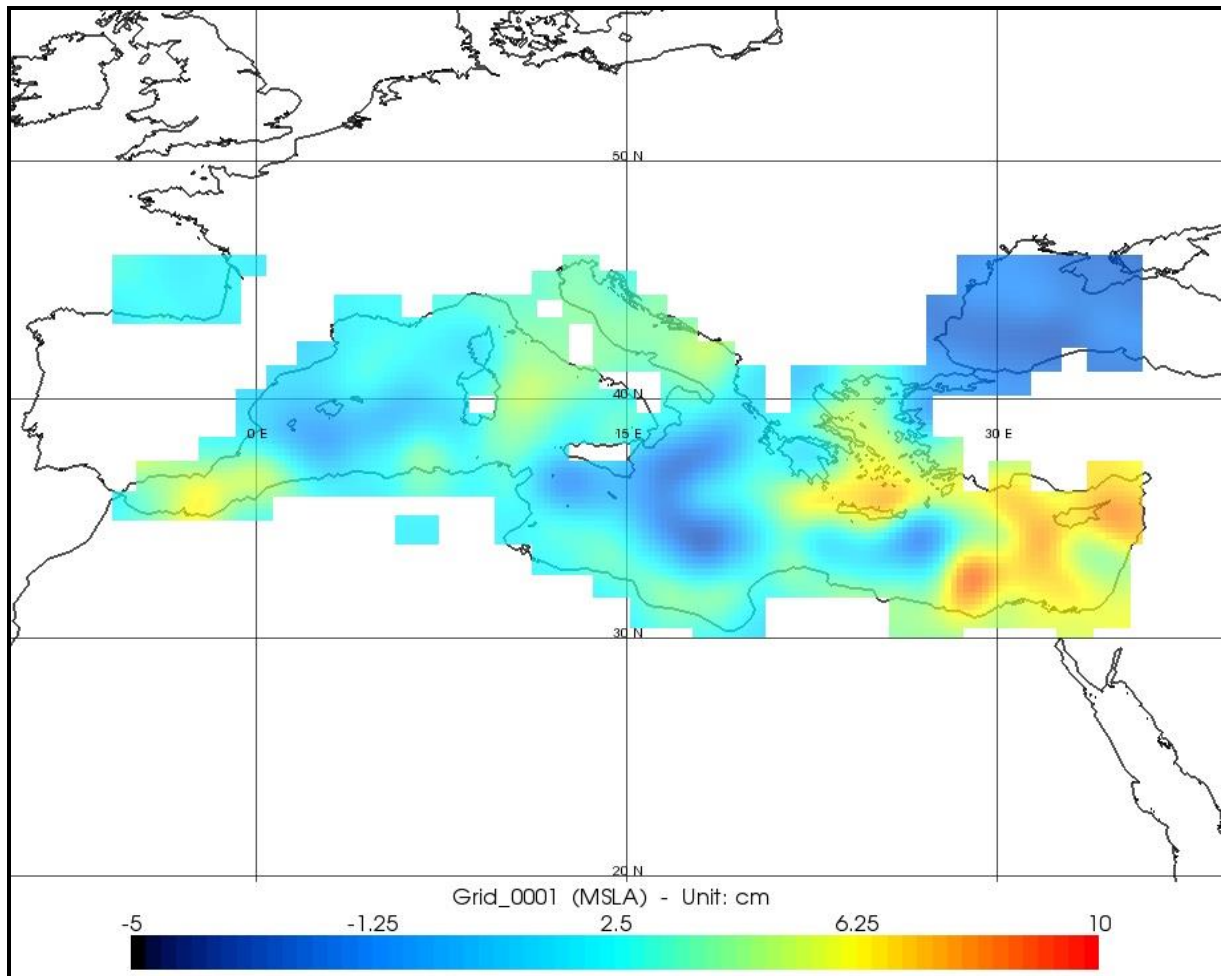
Εικόνα 5-4: Χάρτης Ανωμαλιών του Επιπέδου της Θάλασσας (MSLA) για το έτος 2012 από δεδομένα “two-sat-merged”.



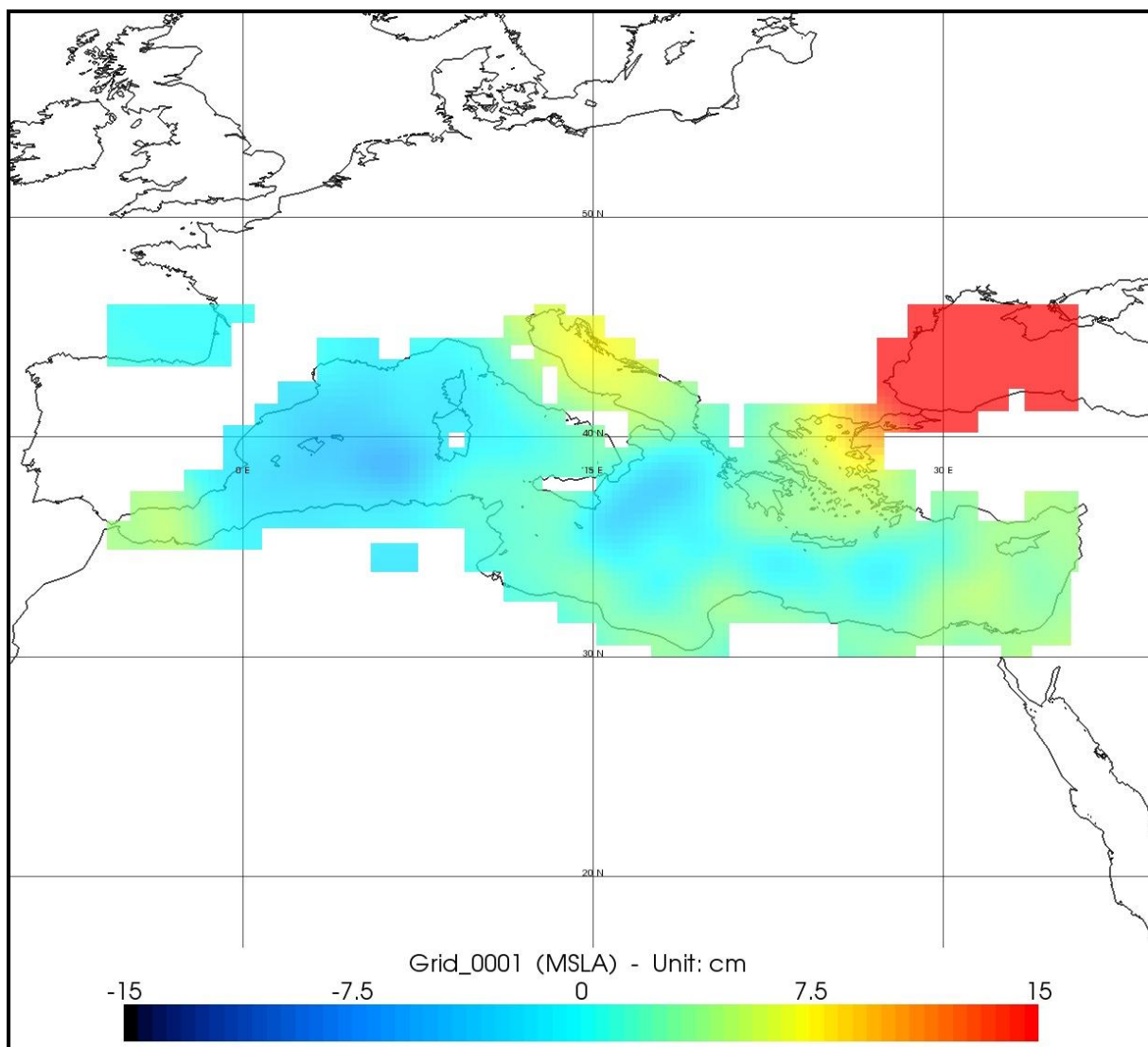
Εικόνα 5-5: Χάρτης Ανωμαλιών του Επιπέδου της Θάλασσας (MSLA) από δεδομένα “all-sat-merged” για το έτος 2010.



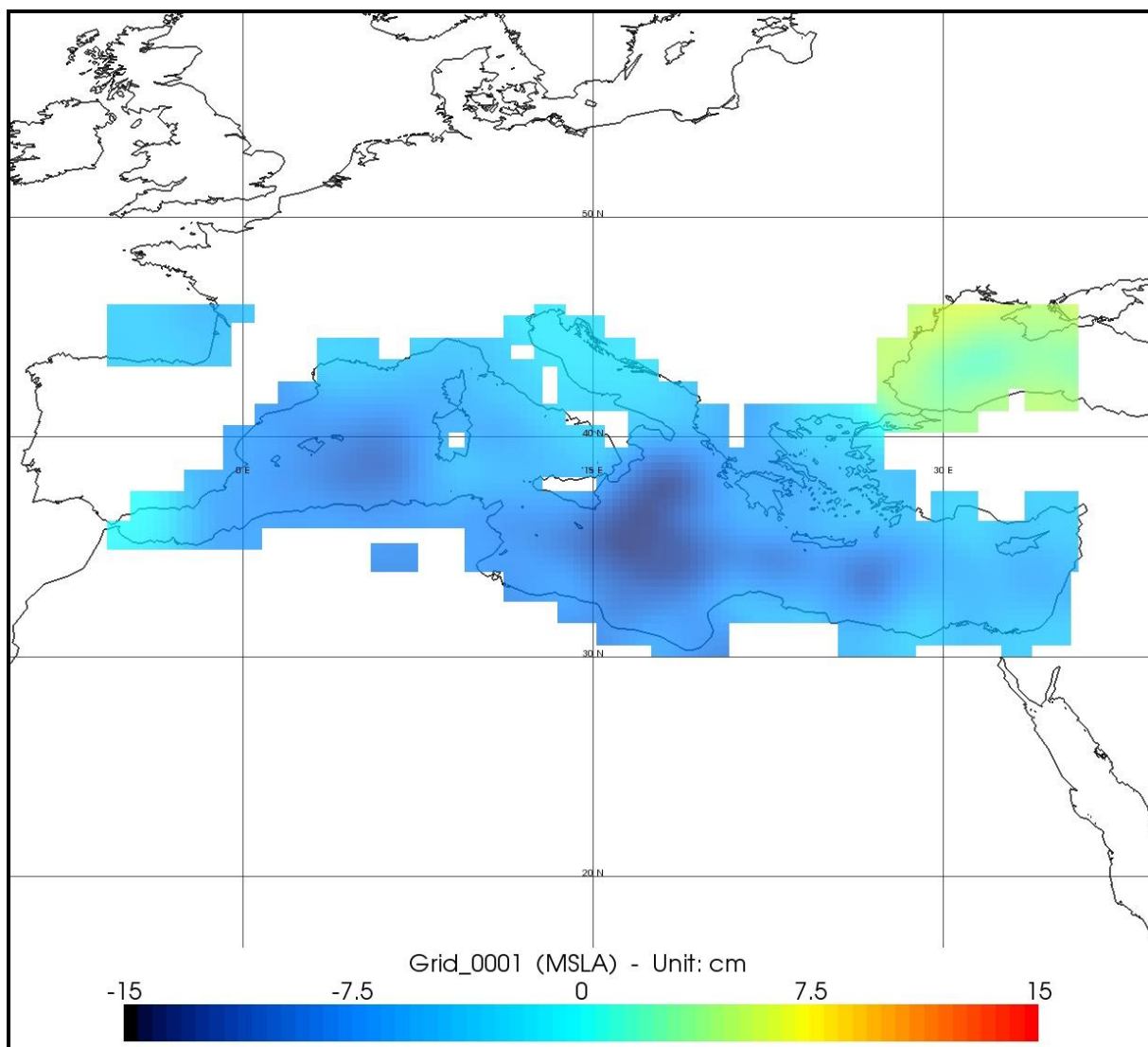
Εικόνα 5-6: Χάρτης Ανωμαλιών του Επιπέδου της Θάλασσας (MSLA) από δεδομένα “all-sat-merged” για το έτος 2011.



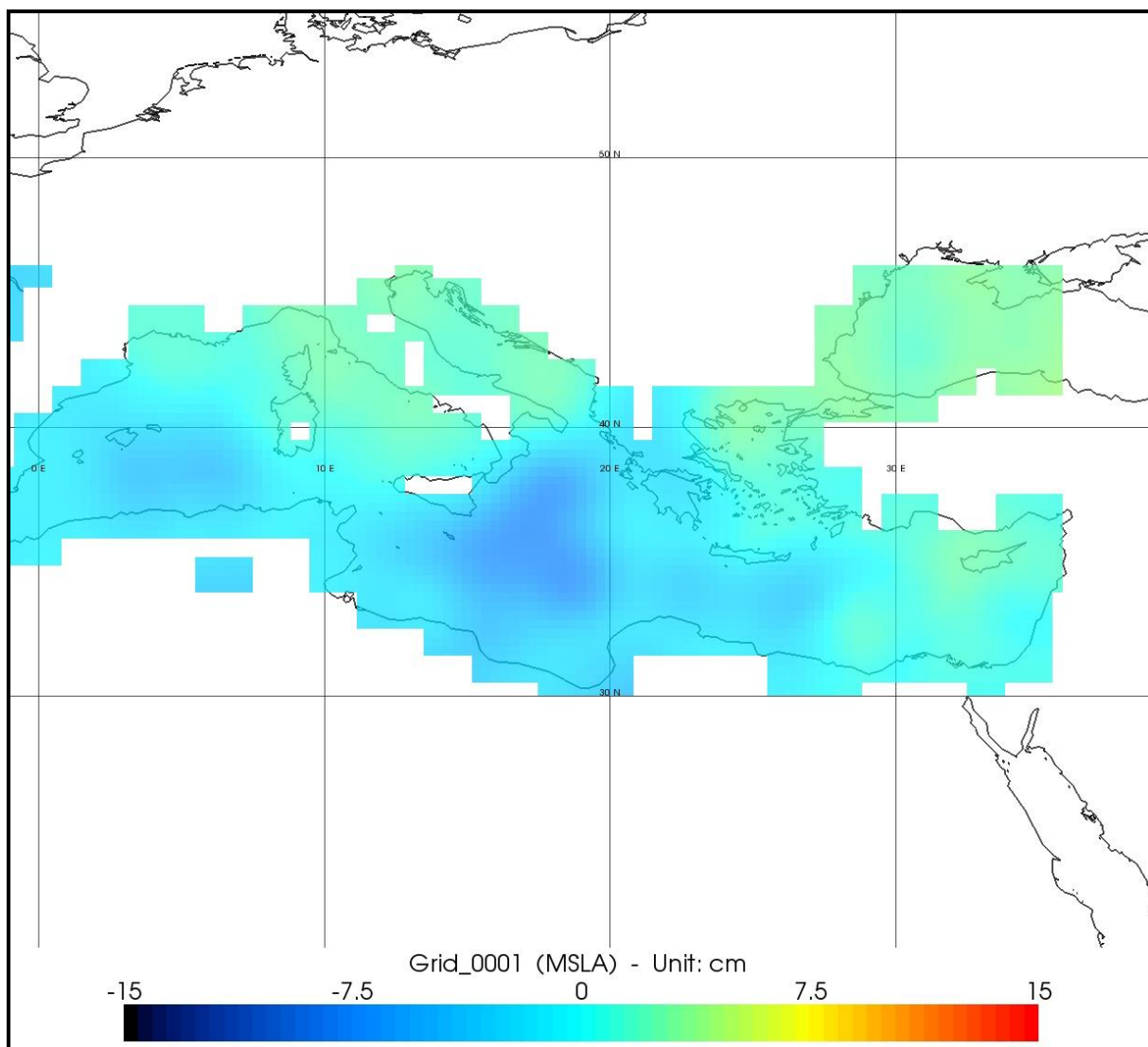
Εικόνα 5-7: Χάρτης Ανωμαλιών του Επιπέδου της Θάλασσας (MSLA) από δεδομένα “all-sat-merged” για το έτος 2012.



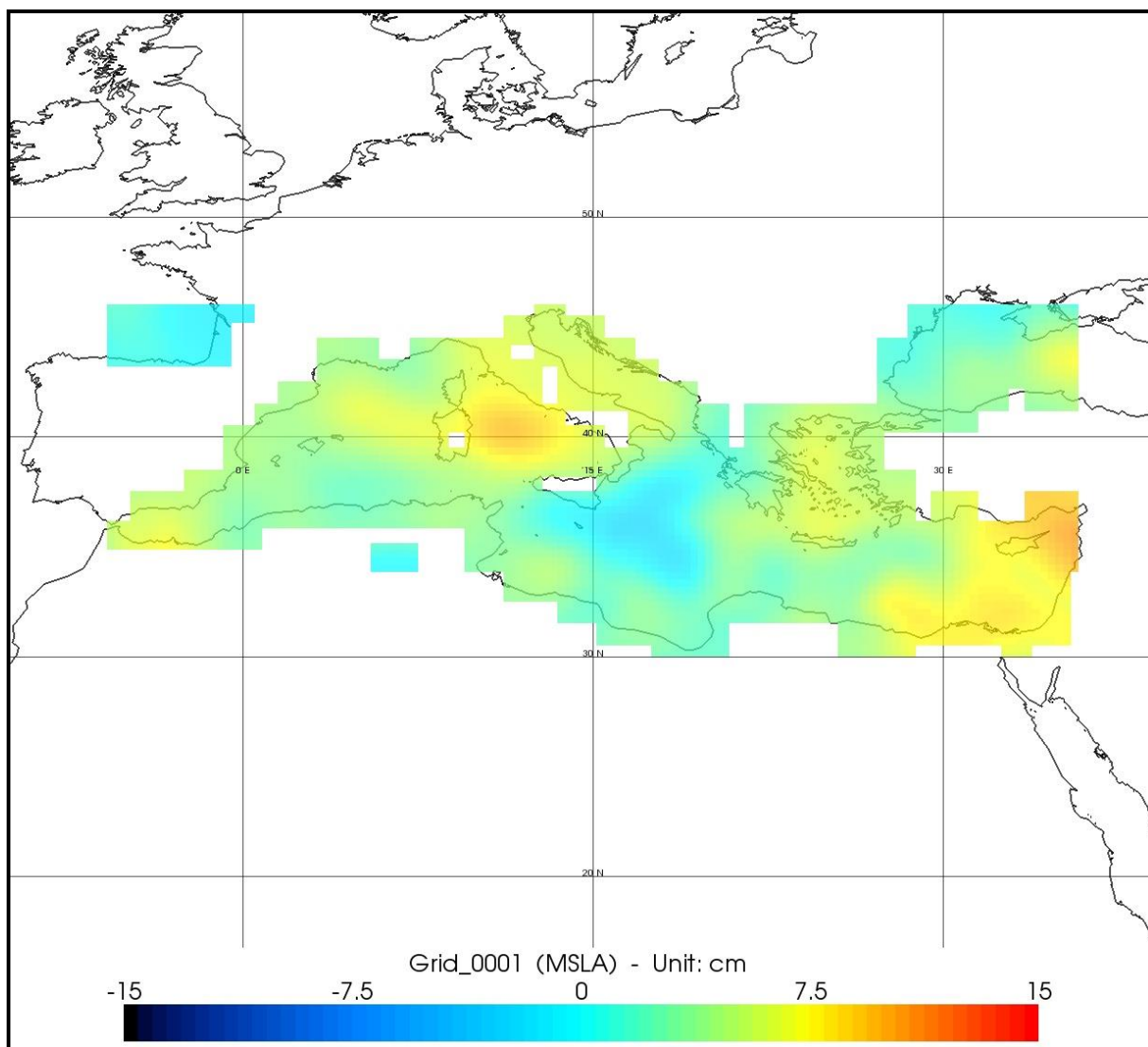
Εικόνα 5-8: Χάρτης Ανωμαλιών του Επιπέδου της Θάλασσας (MSLA) από δεδομένα “all-sat-merged” για τους μήνες Ιανουάριο και Φεβρουάριο του έτους 2011.



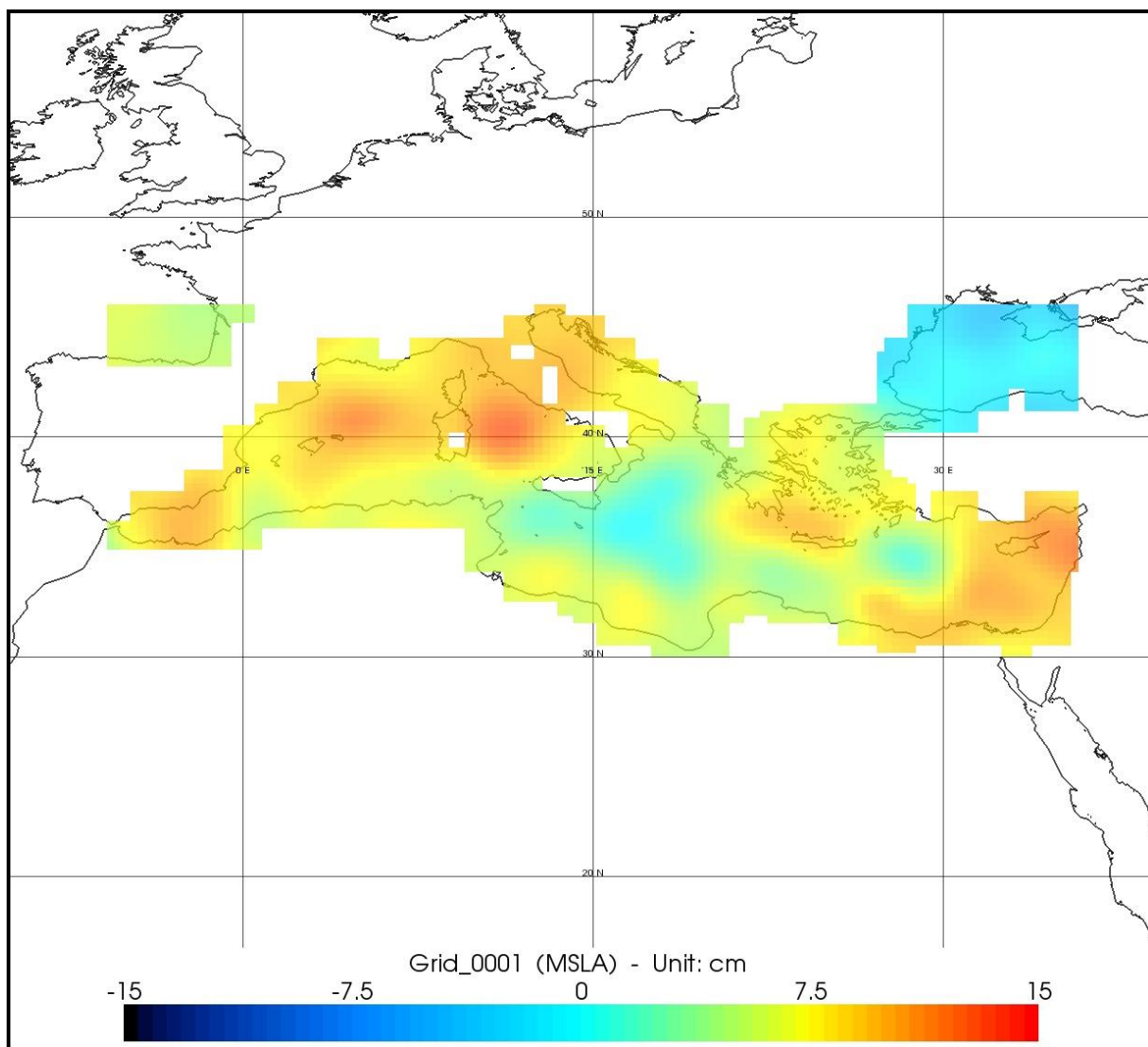
Εικόνα 5-9: Χάρτης Ανωμαλιών του Επιπέδου της Θάλασσας (MSLA) από δεδομένα “all-sat-merged” για τους μήνες Μάρτιο και Απρίλιο του έτους 2011.



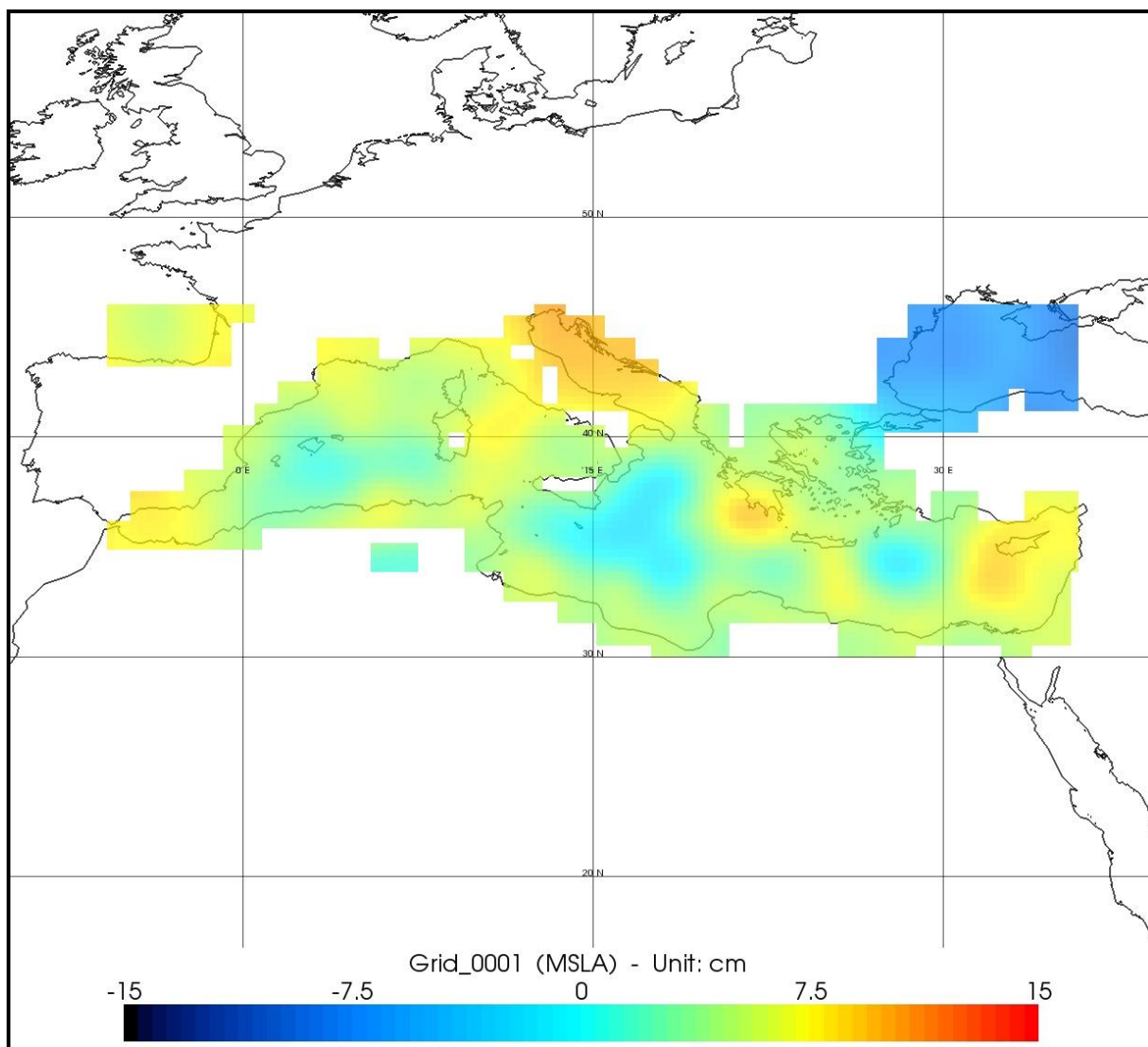
Εικόνα 5-10: Χάρτης Ανωμαλιών του Επιπέδου της Θάλασσας (MSLA) από δεδομένα “all-sat-merged” για τους μήνες Μάιο και Ιούνιο του έτους 2011.



Εικόνα 5-11: Χάρτης Ανωμαλιών του Επιπέδου της Θάλασσας (MSLA) από δεδομένα “all-sat-merged” για τους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο του έτους 2011.



Εικόνα 5-12: Χάρτης Ανωμαλιών του Επιπέδου της Θάλασσας (MSLA) από δεδομένα “all-sat-merged” για τους μήνες Σεπτέμβριο και Οκτώβριο του έτους 2011.



Εικόνα 5-13: Χάρτης Ανωμαλιών του Επιπέδου της Θάλασσας (MSLA) από δεδομένα “all-sat-merged” για τους μήνες Νοέμβριο και Δεκέμβριο του έτους 2011.

5.2.2.3 Συμπεράσματα

Παρατηρώντας, αρχικά, κανείς τους δύο χάρτες που δημιουργήθηκαν από δεδομένα “all-sat-merged” και “two-sat-merged” αντίστοιχα, διαπιστώνει ότι υπάρχουν ορισμένες διαφορές. Συγκεκριμένα, στο πρώτο είναι πιο οξυμένες οι τιμές. Αυτό σημαίνει ότι στην περίπτωση διάθεσης περισσότερων από δύο αλτιμετρικών αποστολών, διατηρείται μεγαλύτερο μέρος του σήματος και ειδικά αυτό που είναι σε χαμηλές συχνότητες. Αντίθετα, στην περίπτωση των δύο μόνο αλτιμετρικών αποστολών, το σήμα χαμηλής συχνότητας χάνεται πιο εύκολα και δεν υπάρχουν οι αντίστοιχες τιμές στα πεδία των δεδομένων. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την απεικόνιση περισσότερης λεπτομέρειας στους χάρτες της πρώτης κατηγορίας.

Στη συνέχεια, παρατηρώντας τους χάρτες ανά έτος, φαίνεται να υπάρχουν έντονες διακυμάνσεις των ανωμαλιών του επιπέδου της θάλασσας, ειδικά μεταξύ των ετών 2010 και 2011. Γενικά, παρουσιάζονται υψηλές θετικές τιμές ανωμαλιών στην ανατολική Μεσόγειο και υψηλές αρνητικές τιμές στην κεντρική Μεσόγειο κατά τη διάρκεια όλης της εξεταζόμενης περιόδου, οι οποίες αυξομειώνονται. Διακρίνεται, επίσης, μία περιοχή μόνιμων χαμηλών σχετικά ανωμαλιών νοτιοανατολικά της Κρήτης, ενώ το Αιγαίο Πέλαγος παρουσιάζει μέτριες τιμές σε όλα τα έτη, εκτός του έτους 2010, που είναι αρκετά υψηλές.

Τέλος, παρατηρώντας τους χάρτες ανά ζεύγος μηνών, διαπιστώνονται χαμηλές τιμές ανωμαλιών κατά τη διάρκεια των χειμερινών μηνών και υψηλές κατά τη διάρκεια των θερινών. Το γεγονός αυτό ήταν αναμενόμενο, διότι το χειμώνα το υψόμετρο της θάλασσας μειώνεται λόγω της μείωσης της θερμοκρασίας του, ενώ το καλοκαίρι συμβαίνει το αντίθετο φαινόμενο, καθώς η ηλιακή ακτινοβολία είναι εντονότερη. Τα γενικά χαρακτηριστικά των ανωμαλιών, όμως, που διαπιστώθηκαν παραπάνω, διακρίνονται και σε αυτή τη σειρά χαρτών και φαίνεται να ακολουθούν μία συνοχή στις αυξομειώσεις τους.

5.2.3 Περίπτωση 2^η

5.2.3.1 Δεδομένα

Στη δεύτερη περίπτωση χρησιμοποιήθηκαν along-track δεδομένα των Ανωμαλιών του Επιπέδου της Θάλασσας (SLA) της αλτιμετρικής αποστολής Envisat, τα οποία έχουν υποστεί ειδική επεξεργασία με βάση την περιοχή μελέτης (εδώ την Μεσόγειο Θάλασσα) (Centre National d'Etudes Spatiales (CNES), Aviso+). Τα βασικά τους χαρακτηριστικά είναι:

- Είδος δεδομένων: Along-track
- Κατηγοριοποίηση με βάση το χρόνο διάθεσής τους: Delayed Time (DT)
- Κατηγοριοποίηση με βάση τις χρησιμοποιούμενες αποστολές: Monomission
- Χωρική κάλυψη: Μεσόγειος Θάλασσα (30°B - 46°B, -6°A - 36°A)
- Χρονική κάλυψη: από τον Οκτώβριο του 2002 μέχρι τον Απρίλιο του 2012

- Μορφότυπος: NetCDF
- Συχνότητα δεδομένων: Καθημερινή
- Copyright : 1993-ongoing Cnes-CLS

Τα δεδομένα DT-SLA (filtered) προκύπτουν από την επεξεργασία των πρωτογενών along-track δεδομένων. Συγκεκριμένα, αρχικά επικυρώνονται και στη συνέχεια εφαρμόζεται σε αυτά το φίλτρο Lanczos. Με τη χρήση του φίλτρου αυτού αφαιρούνται ο εναπομένον θόρυβος και τα σήματα χαμηλών συχνοτήτων. Ακολουθεί υπο-δειγματοληψία ανάλογα με την περιοχή μελέτης και τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της και τέλος πραγματοποιείται σε αυτά εξομάλυνση λόγω του μεγάλου χαρακτηριστικού μήκους (Long Wavelength, LW) (Centre National d'Etudes Spatiales (CNES), Aviso+ 2014).

Για τη συγκεκριμένη εφαρμογή αντλήθηκαν δεδομένα DT-SLA (filtered) για όλη τη διάρκεια των ετών 2010 και 2011, καθώς και τους τέσσερις πρώτους μήνες του έτους 2012, που είναι διαθέσιμη.

5.2.3.2 Επεξεργασία και Αποτελέσματα

Κατά την δεύτερη περίπτωση, η χρήση along-track δεδομένων αποσκοπούσε κυρίως στην εξαγωγή χαρτών που αναφέρονται στις ίδιες χρονικές περιόδους με εκείνες των χαρτών που δημιουργήθηκαν στην προηγούμενη περίπτωση, ώστε να συγκριθεί η ποιότητα των δύο ειδών δεδομένων και να διακριθούν οι βασικές διαφορές τους. Για το λόγο αυτό, παράχθηκαν και εδώ ένας χάρτης για τη συνολική διάρκεια των διαθέσιμων δεδομένων (01.2010 – 04.2012), καθώς και επιμέρους χάρτες ανά δύο μήνες για το έτος 2011. Διερευνήθηκε, επίσης, η δυνατότητα αυτού του είδους των δεδομένων για χρήση σε αρκετά περιορισμένη περιοχή μελέτης, όπως είναι ο Ελλαδικός θαλάσσιος χώρος. Εμμέσως, παρακολουθούνται και σε αυτή την περίπτωση οι μεταβολές του επιπέδου της θάλασσας για τη διάρκεια ενός έτους (2011).

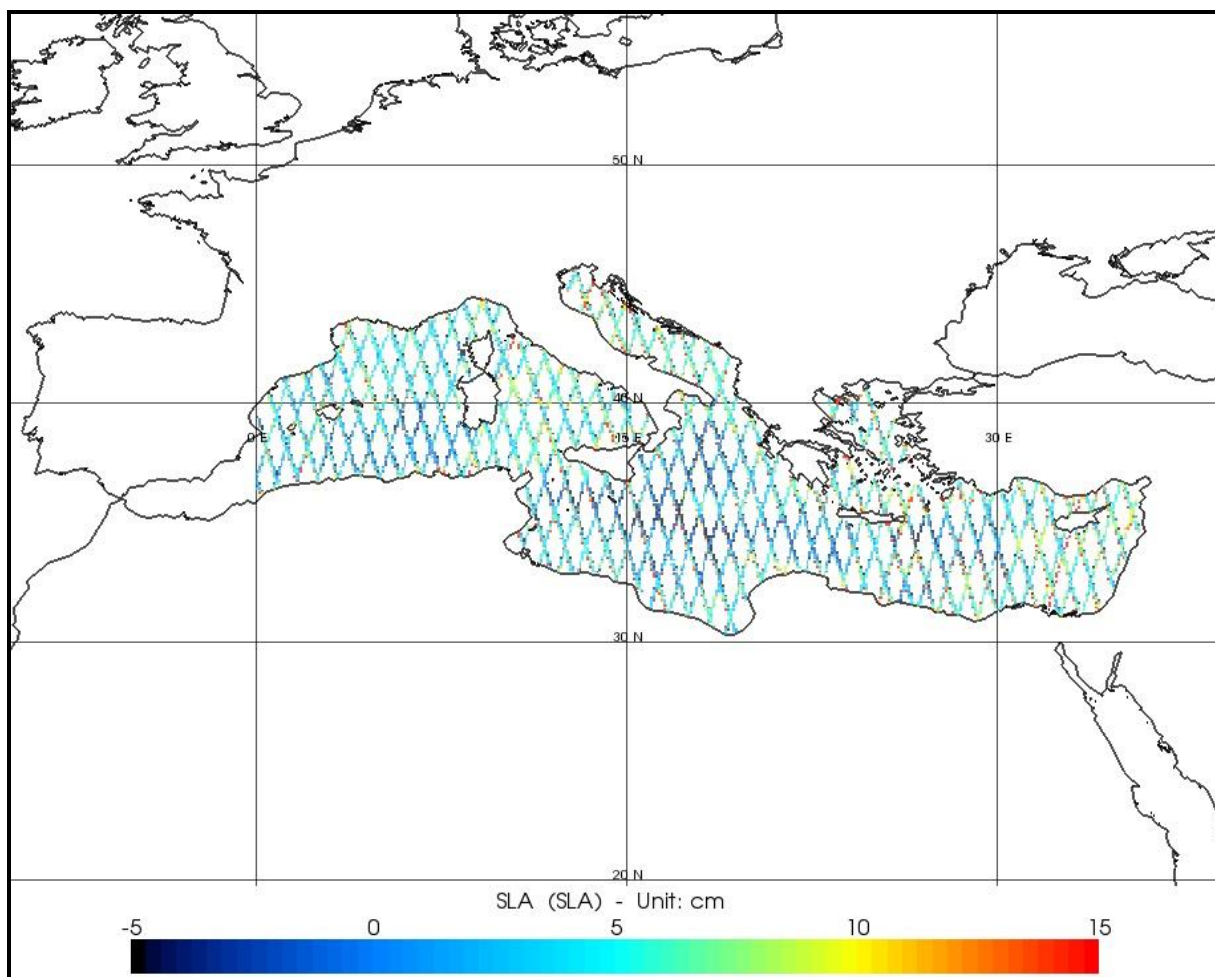
Αρχικά, έγινε επεξεργασία των δεδομένων για την παραγωγή των χαρτών της προαναφερόμενης συνολικής χρονικής διάρκειας. Σαν άξονες X και Y ορίστηκαν το γεωγραφικό μήκος και το γεωγραφικό πλάτος αντίστοιχα, ενώ στην έκφραση Data Expression εισήχθη το πεδίο που περιείχε τις τιμές των ανωμαλιών του επιπέδου της θάλασσας (sla). Σαν βήμα καννάβου ορίστηκε το μικρότερο δυνατό, ώστε να επιτευχθεί μεγάλη χωρική ανάλυση, το οποίο για το δορυφόρο Envisat είναι $1/8^\circ$. Στον πρώτο χάρτη (**Εικόνα 5-14**) δεν εφαρμόστηκε κάποιο φίλτρο, ώστε να διακρίνονται τα ίχνη της τροχιάς του στην επιφάνεια της θάλασσας, ενώ στον δεύτερο (**Εικόνα 5-15**) έγινε χρήση του φίλτρου Loess με τιμή Cut-Off 15. Μέσω του φίλτρου αυτού, έγινε η εξομάλυνση των τιμών SLA και καλύφθηκαν τα κενά που υπήρχαν λόγω έλλειψης δεδομένων μεταξύ των επίγειων ιχνών. Η τιμή Cut-Off ορίστηκε σχετικά χαμηλή για να μην αλλοιώσει ιδιαίτερα τις τιμές κατά μήκος των ιχνών, απλά να καλύψει τα κενά, ώστε να είναι ενιαίο το οπτικό αποτέλεσμα και συγκρίσιμο με τον αντίστοιχο χάρτη από gridded δεδομένα SLA.

Σημειώνεται, επίσης, ότι κατά την χρήση along-track δεδομένων είναι δυνατή η εφαρμογή έτοιμων τύπων – διορθώσεων. Τα DT-SLA (filtered), όμως, που χρησιμοποιήθηκαν εδώ είναι ήδη διορθωμένα (προϊόντα *Επιπέδου 3*), συνεπώς δε υπήρχε ανάγκη για περαιτέρω διορθώσεις.

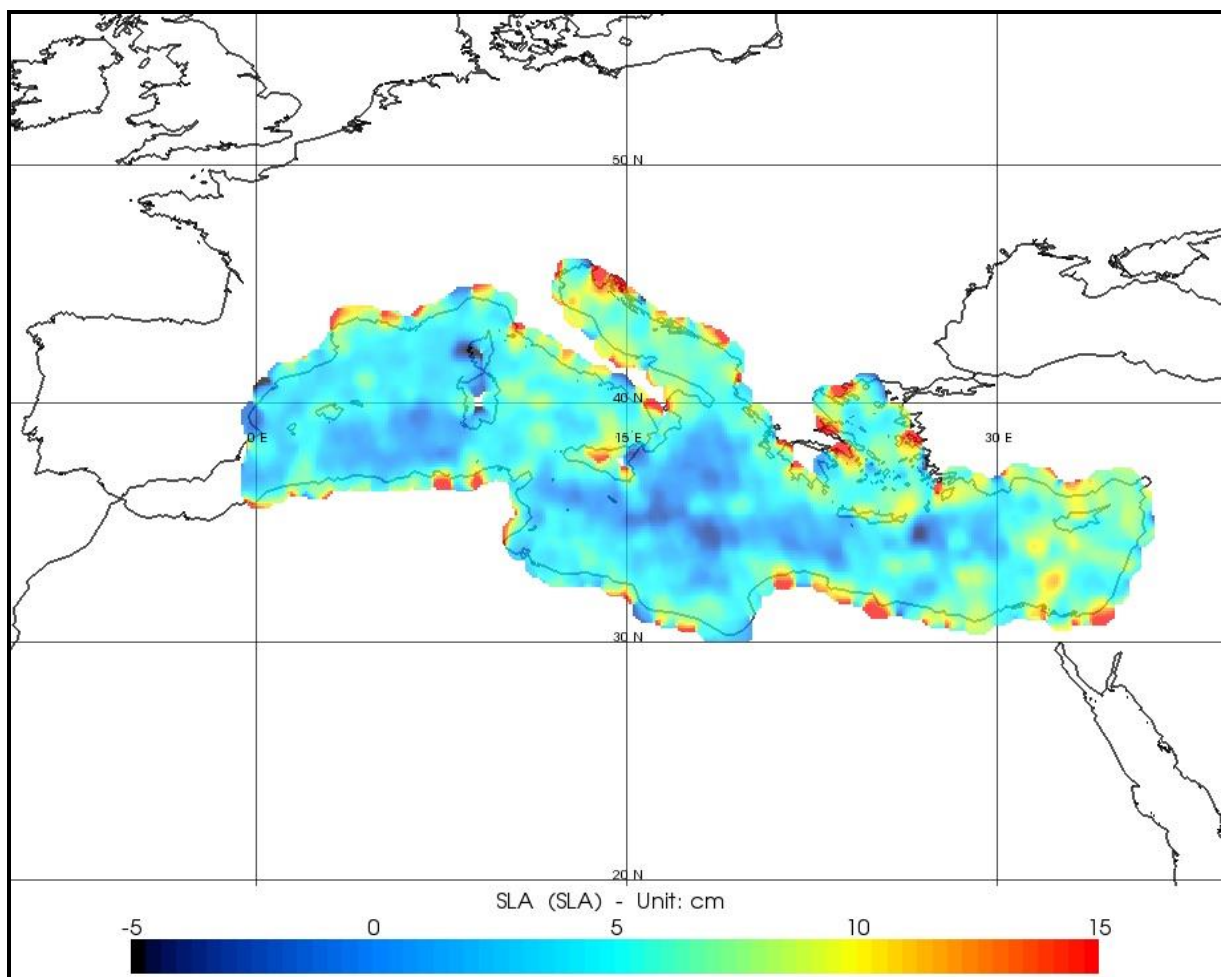
Κατά την οπτικοποίηση των χαρτών, ρυθμίστηκαν οι σχετικές παράμετροι κατά τον ίδιο τρόπο, όπως και προηγουμένως, ώστε να μπορούν να συγκριθούν οι αντίστοιχοι χάρτες.

Στη συνέχεια, τροποποιήθηκε η περιοχή μελέτης σε επίπεδο Ελλαδικού χώρου ($19^{\circ} - 30^{\circ}\text{A}$, $34^{\circ} - 41^{\circ}\text{B}$). Τα στάδια επεξεργασίας των δεδομένων παρέμειναν κοινά και παράχθηκαν δύο χάρτες, εκ των οποίων ο πρώτος (**Εικόνα 5-16**) προέρχεται από τα πρωτογενή δεδομένα, ενώ στον δεύτερο (**Εικόνα 5-17**) έχει εφαρμοστεί το φίλτρο που προαναφέρθηκε. Τέλος, δημιουργήθηκαν και μία σειρά χαρτών ανά δύο μήνες για το έτος 2011 με χρήση του φίλτρου (Ιανουάριος-Φεβρουάριος (**Εικόνα 5-18**), Μάρτιος-Απρίλιος (**Εικόνα 5-19**), Μάιος-Ιούνιος (**Εικόνα 5-20**), Ιούλιος-Αύγουστος (**Εικόνα 5-21**), Σεπτέμβριος-Οκτώβριος (**Εικόνα 5-22**) και Νοέμβριος-Δεκέμβριος (**Εικόνα 5-23**)).

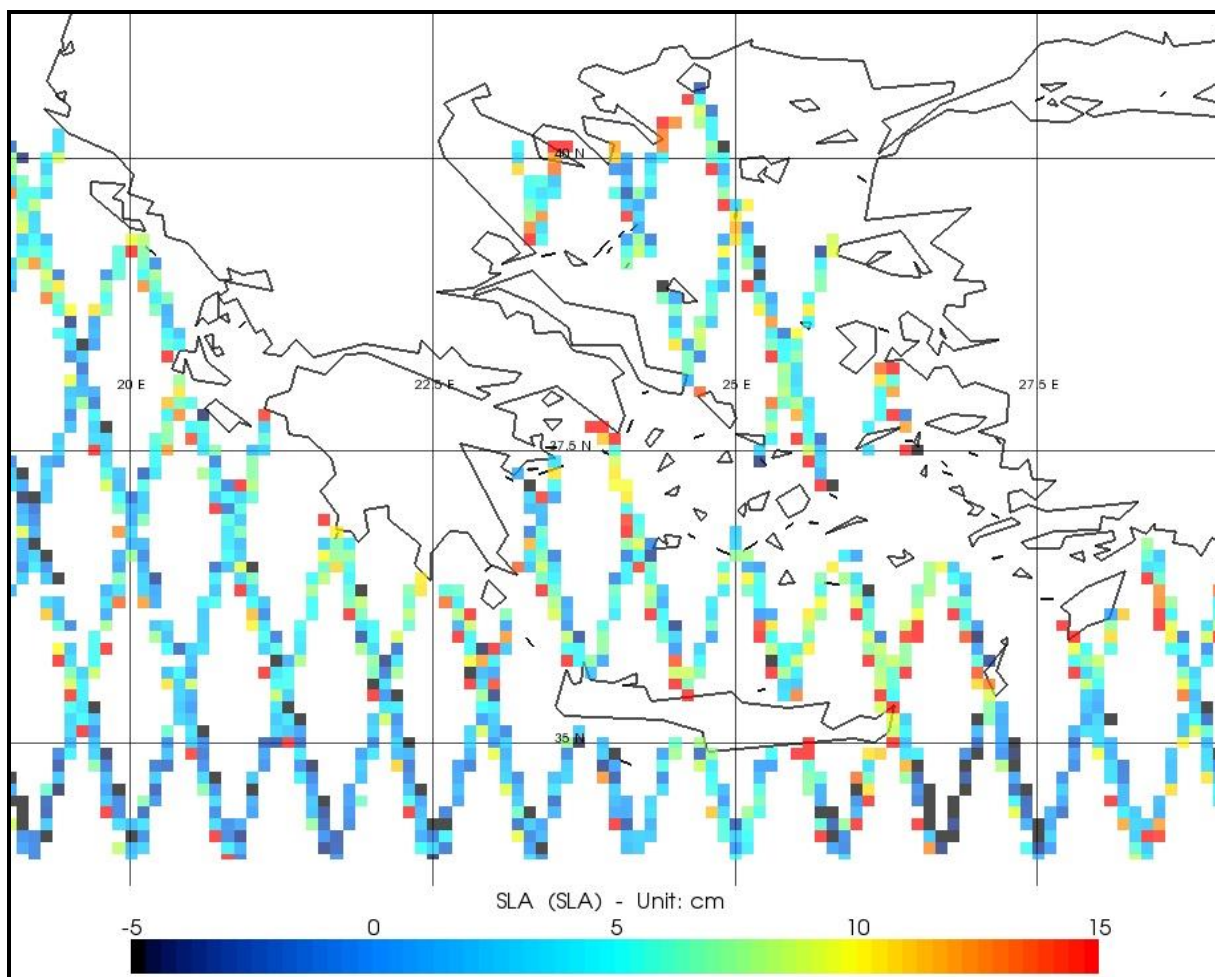
Ακολουθεί το σύνολο των χαρτών και η εξαγωγή των σχετικών συμπερασμάτων.



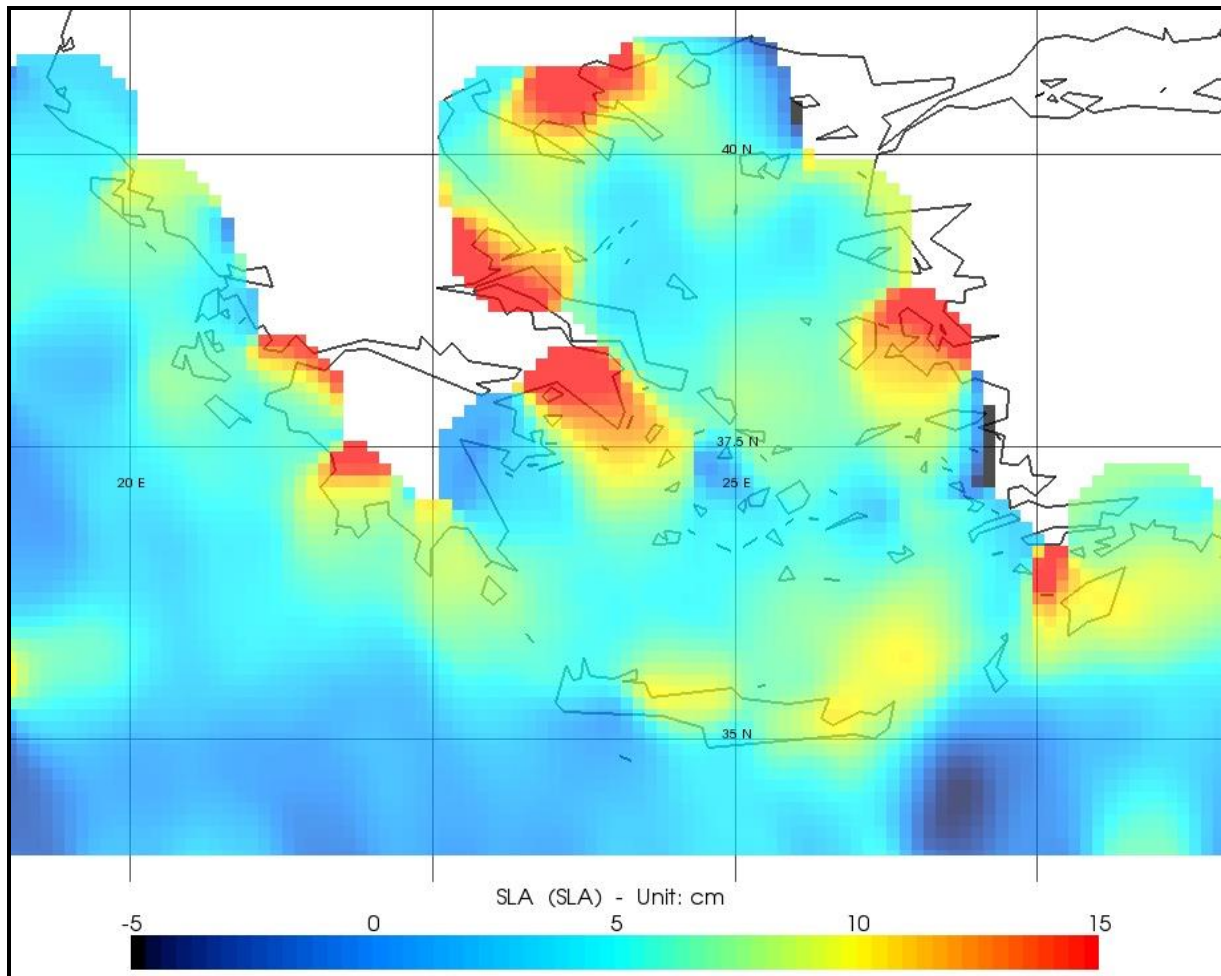
Εικόνα 5-14: Χάρτης Ανωμαλιών του Επιπέδου της Θάλασσας (MSLA) από δεδομένα DT-SLA (filtered) του αλτιμετρικού δορυφόρου Envisat για τη χρονική περίοδο 01.2010 – 04.2012 χωρίς τη χρήση φίλτρου.



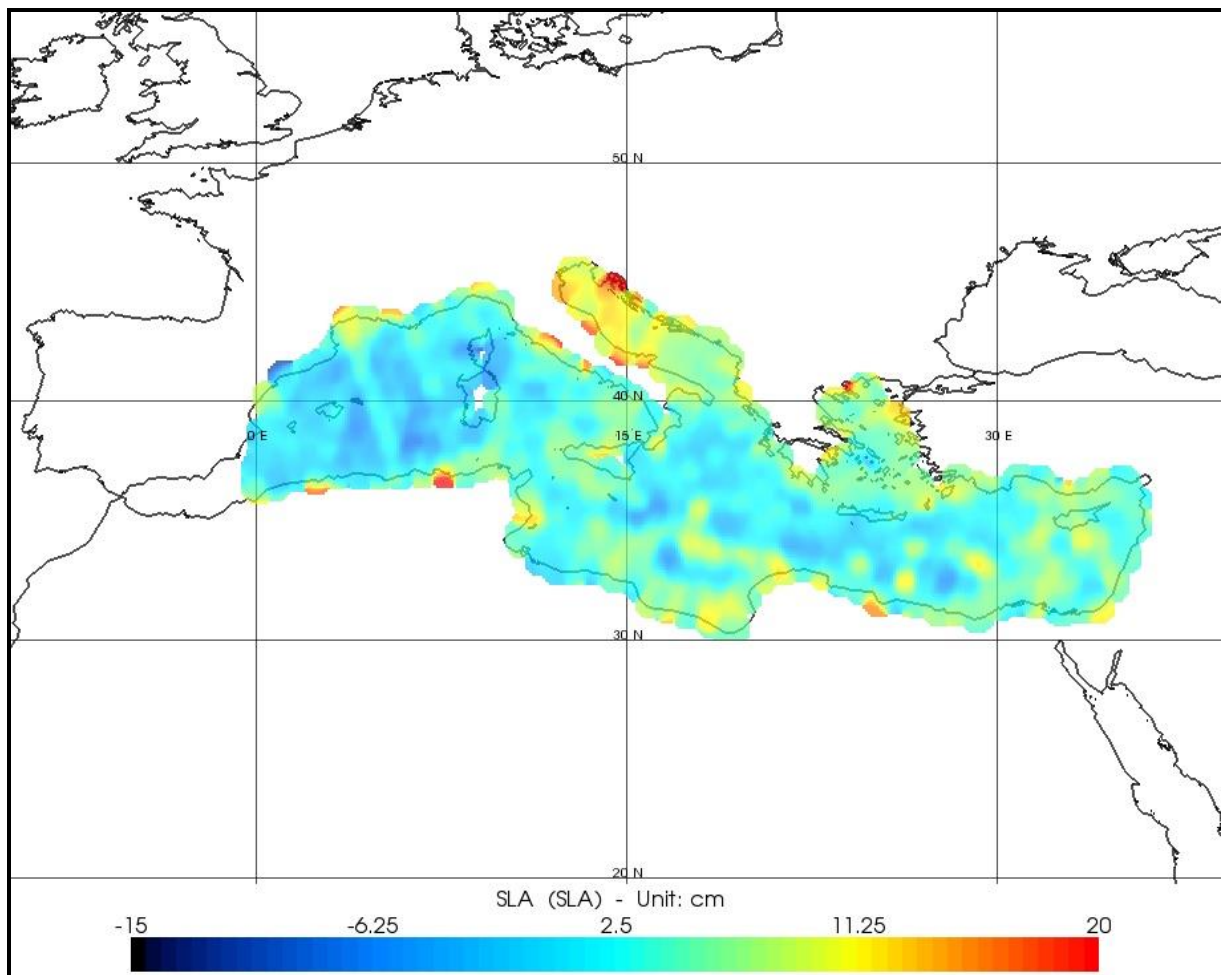
Εικόνα 5-15: Χάρτης Ανωμαλιών του Επιπέδου της Θάλασσας (MSLA) από δεδομένα DT-SLA (filtered) του αλτιμετρικού δορυφόρου Envisat για τη χρονική περίοδο 01.2010 – 04.2012 με τη χρήση του φίλτρου Loess (Cut-Off:15).



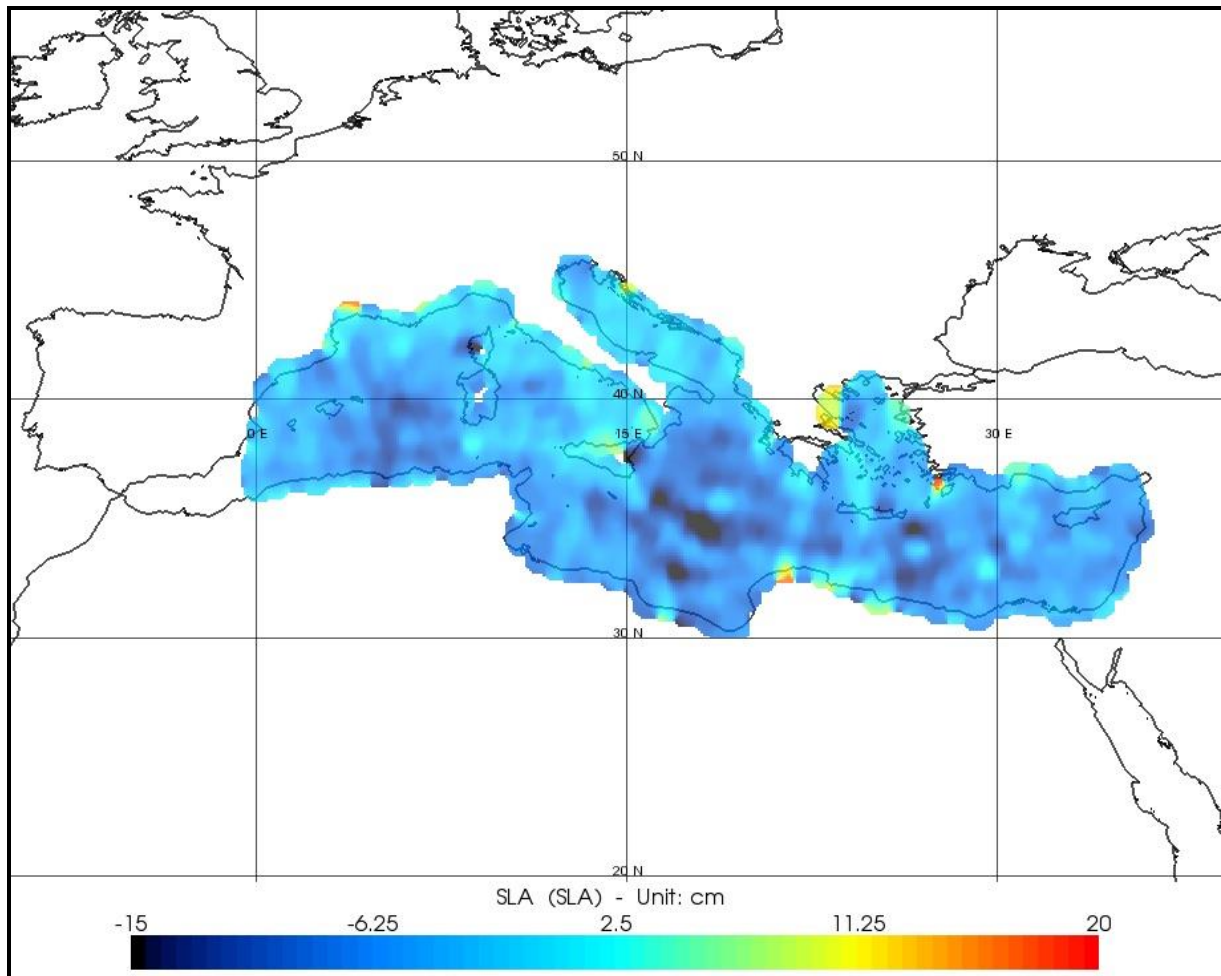
Εικόνα 5-16: Χάρτης Ανωμαλιών του Επιπέδου της Θάλασσας (MSLA) από δεδομένα DT-SLA (filtered) του αλτιμετρικού δορυφόρου Envisat για τη χρονική περίοδο 01.2010 – 04.2012 και με τροποποιημένη περιοχή μελέτης, τον Ελλαδικό θαλάσσιο χώρο, χωρίς τη χρήση φίλτρου.



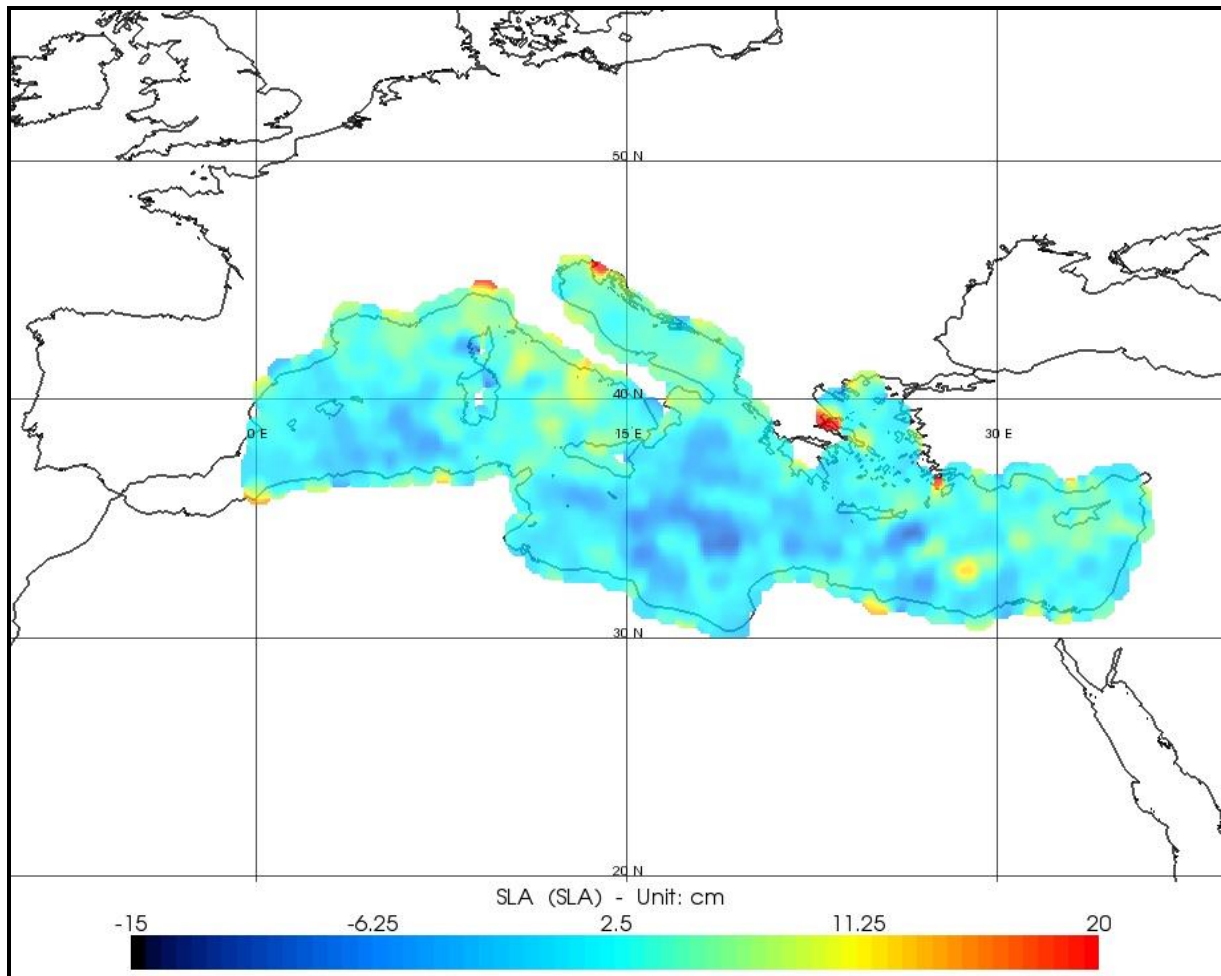
Εικόνα 5-17: Χάρτης Ανωμαλιών του Επιπέδου της Θάλασσας (MSLA) από δεδομένα DT-SLA (filtered) του αλτιμετρικού δορυφόρου Envisat για τη χρονική περίοδο 01.2010 – 04.2012 και με τροποποιημένη περιοχή μελέτης, τον Ελλαδικό θαλάσσιο χώρο, με τη χρήση του φίλτρου Loess (Cut-Off:15).



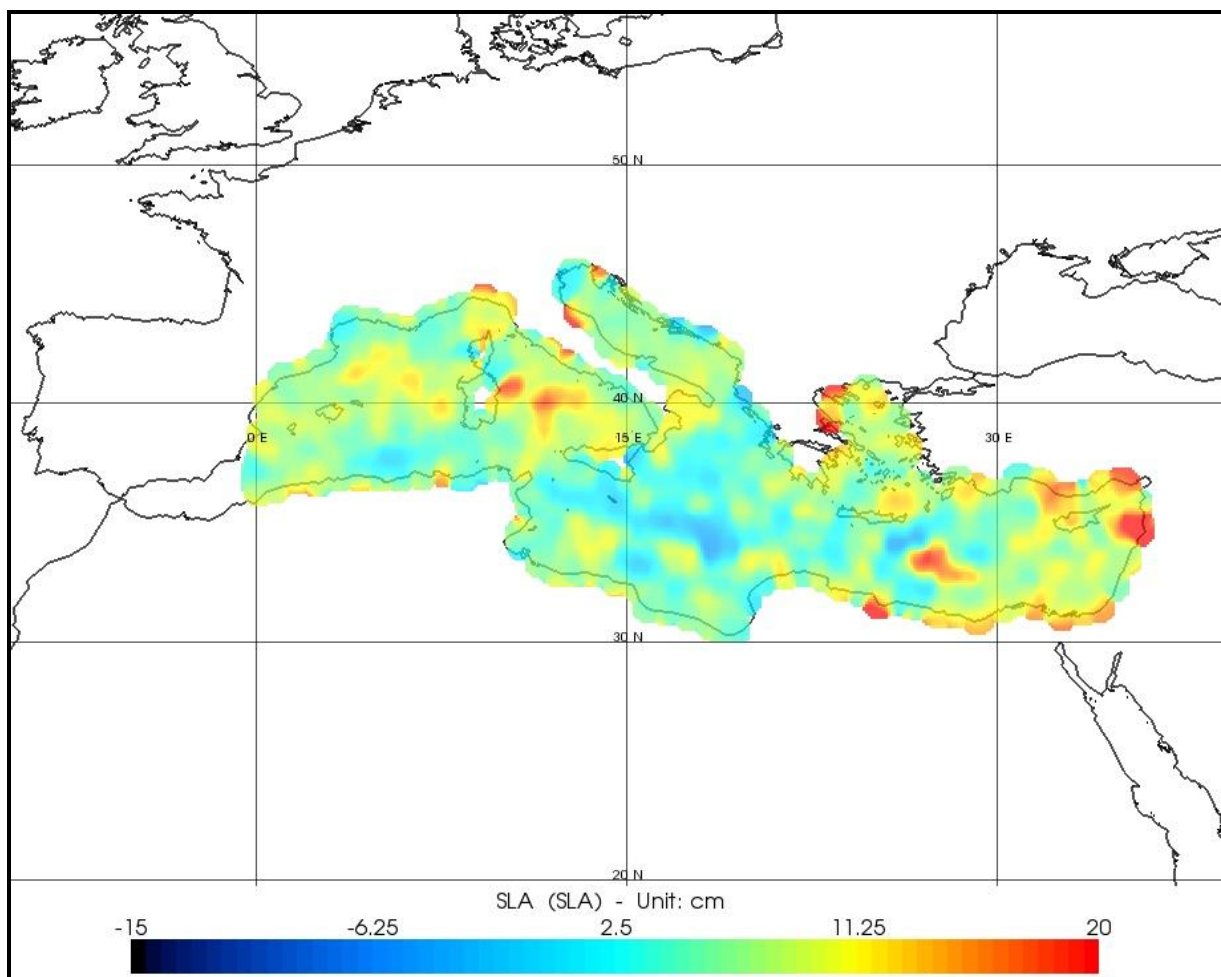
Εικόνα 5-18: Χάρτης Ανωμαλιών του Επιπέδου της Θάλασσας (MSLA) από δεδομένα DT-SLA (filtered) του αλτιμετρικού δορυφόρου Envisat για τους μήνες Ιανουάριο και Φεβρουάριο του έτους 2011.



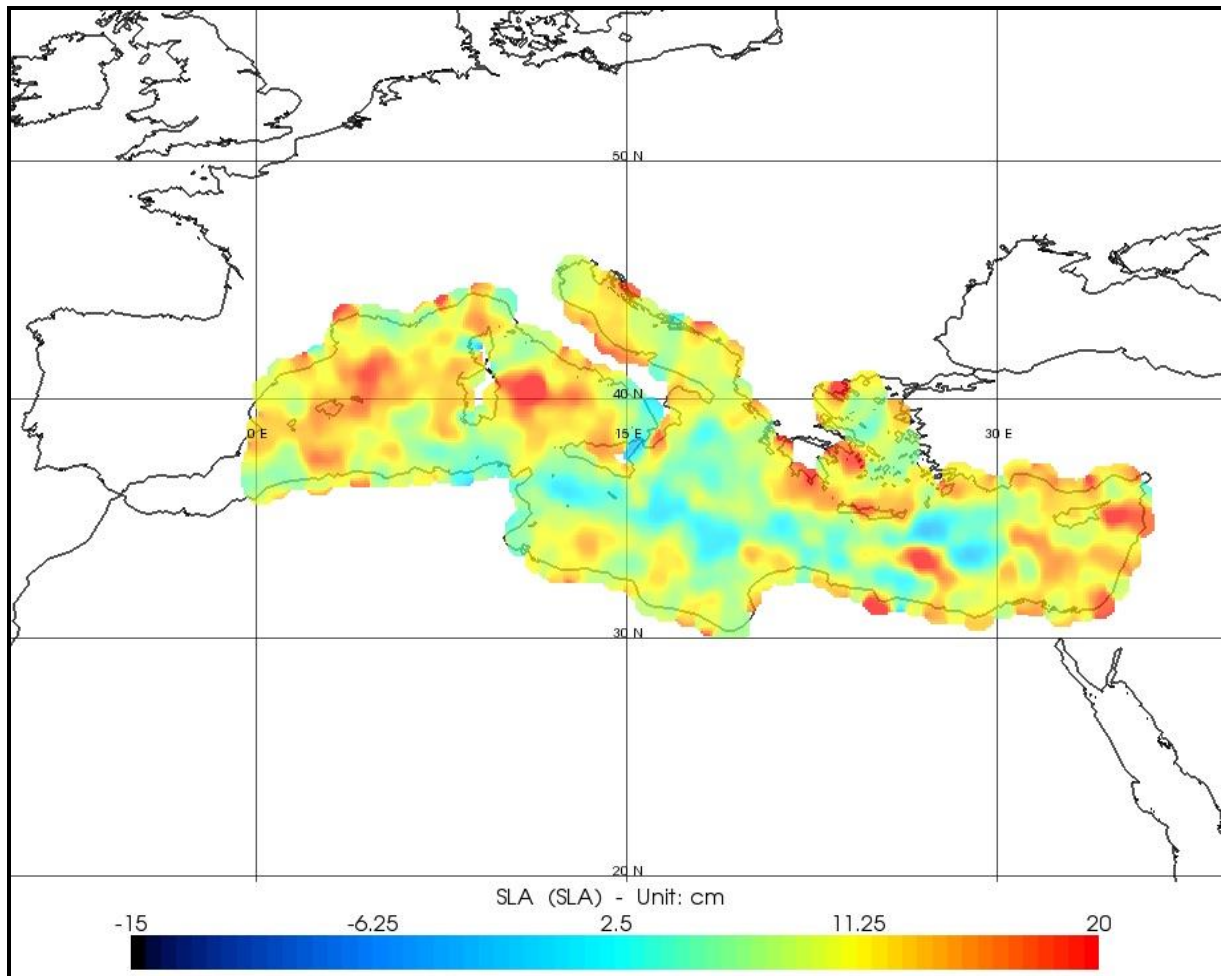
Εικόνα 5-19: Χάρτης Ανωμαλιών του Επιπέδου της Θάλασσας (MSLA) από δεδομένα DT-SLA (filtered) του αλτιμετρικού δορυφόρου Envisat για τους μήνες Μάρτιο και Απρίλιο του έτους 2011.



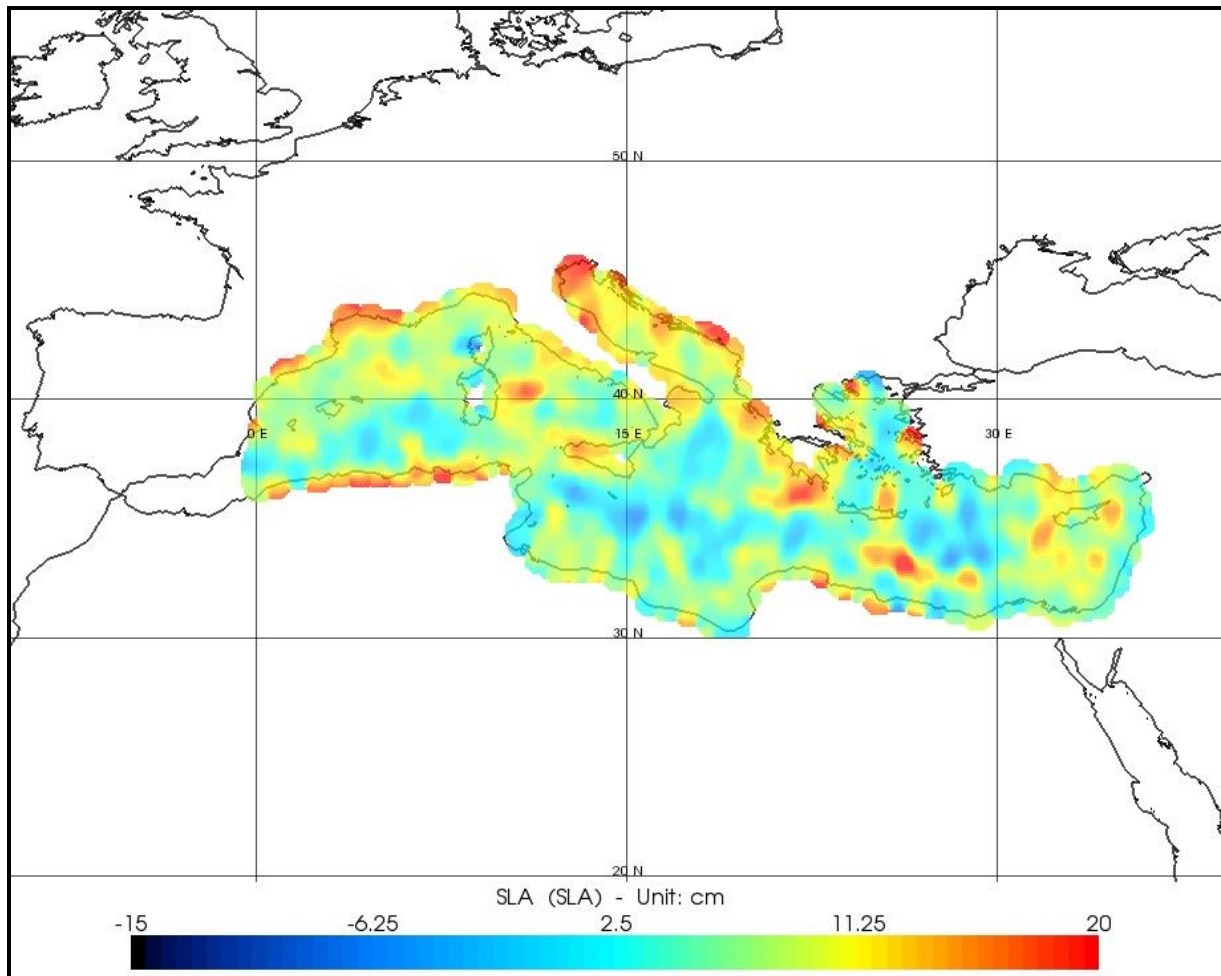
Εικόνα 5-20: Χάρτης Ανωμαλιών του Επιπέδου της Θάλασσας (MSLA) από δεδομένα DT-SLA (filtered) του αλτιμετρικού δορυφόρου Envisat για τους μήνες Μάιο και Ιούνιο του έτους 2011.



Εικόνα 5-21: Χάρτης Ανωμαλιών του Επιπέδου της Θάλασσας (MSLA) από δεδομένα DT-SLA (filtered) του αλτιμετρικού δορυφόρου Envisat για τους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο του έτους 2011.



Εικόνα 5-22: Χάρτης Ανωμαλιών του Επιπέδου της Θάλασσας (MSLA) από δεδομένα DT-SLA (filtered) του αλτιμετρικού δορυφόρου Envisat για τους μήνες Σεπτέμβριο και Οκτώβριο του έτους 2011.



Εικόνα 5-23: Χάρτης Ανωμαλιών του Επιπέδου της Θάλασσας (MSLA) από δεδομένα DT-SLA (filtered) του αλτιμετρικού δορυφόρου Envisat για τους μήνες Νοέμβριο και Δεκέμβριο του έτους 2011.

5.2.3.3 Συμπεράσματα

Συγκρίνοντας, αρχικά, τις βασικές διαφορές μεταξύ των χαρτών από δεδομένα gridded και along-track, συμπεραίνει εύκολα κανείς ότι οι δεύτεροι έχουν σαφώς μεγαλύτερη ακρίβεια, κάτι που ήταν και αναμενόμενο από την ονομαστική τους χωρική ανάλυση (gridded $1/4^\circ$, along-track $1/8^\circ$). Συγκεκριμένα, τα δεδομένα along-track φαίνεται να κατανέμονται καλύτερα στις θαλάσσιες περιοχές με βάση τις υπάρχουσες ακτογραμμές στους χάρτες, σε αντίθεση με τα gridded που λόγω της παρεμβολής των along track «φαίνονται» σαν να καλύπτουν σε πολλά σημεία και ηπειρωτικές περιοχές. Επιπλέον, στα along-track μπορεί να διακρίνει κανείς αρκετά μεγαλύτερη λεπτομέρεια όσον αφορά τις ανωμαλίες του επιπέδου της θάλασσας και να εξάγει συμπεράσματα σχετικά με αυτές σε μεγαλύτερη κλίμακα και με χαμηλότερη αβεβαιότητα. Αναφέρεται, επίσης, ότι η χρήση του φίλτρου στην περίπτωση των along-track δεδομένων κρίνεται αρκετά χρήσιμη, καθώς, αν αγνοηθούν τα σφάλματα κοντά στις ακτές, το οπτικό αποτέλεσμα είναι αρκετά ακριβές. Η τιμή Cut-Off που επιλέχθηκε, παρατηρείται ότι διατηρεί την αχνή εμφάνιση των ιχνών των τροχιών, αλλά αυτό δεν αποτελεί πρόβλημα στην παρούσα φάση.

Όσον αφορά τους χάρτες με περιοχή μελέτης τον μικρότερης έκτασης Ελλαδικό θαλάσσιο χώρο, διαπιστώνει κανείς ότι τα δεδομένα αυτά δεν είναι κατάλληλα για τόσο περιορισμένες περιοχές και κλειστές θάλασσες. Υπάρχει η ανάγκη για ακόμη μεγαλύτερη χωρική ανάλυση, ώστε να μπορούν να εξαχθούν σαφή συμπεράσματα σχετικά με το φαινόμενο που μελετάται. Παρ' όλα αυτά, με την κατάλληλη εφαρμογή φίλτρων, ίσως μπορεί κανείς να αποκτήσει μία γενική ιδέα. Σημειώνεται ότι οι έντονες κόκκινες περιοχές κοντά στις ακτές υποδηλώνουν θόρυβο στις μετρήσεις λόγω των γνωστών προβλημάτων του αλτίμετρου στις παράκτιες περιοχές.

Τέλος, παρατηρώντας τη σειρά χαρτών ανά ζεύγος μηνών, εξάγονται χρήσιμες πληροφορίες για την εξέλιξη του επιπέδου της θάλασσας μέσα σε διάρκεια ενός έτους. Είναι ξεκάθαρη και εδώ η διαφοροποίησή του μεταξύ χειμερινών και θερινών μηνών.

5.2.4 Περίπτωση 3^η

5.2.4.1 Δεδομένα

Στην τρίτη περίπτωση δημιουργίας χαρτών Ανωμαλιών του Επιπέδου της Θάλασσας (MSLA) χρησιμοποιήθηκαν εποχιακά (Seasonal mean of SLA) και μηνιαία (Monthly averaged SLA) προεπεξεργασμένα δεδομένα Ανωμαλιών του Επιπέδου της Θάλασσας ανηγμένα στα σημεία καννάβου (Gridded Sea Level Anomalies Data). Τα βασικά τους χαρακτηριστικά είναι:

- Είδος δεδομένων: Gridded
- Χωρική Ανάλυση: $1/4^\circ \times 1/4^\circ$

- 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

Ειδικότερα, τα εποχικά δεδομένα (Seasonal mean of SLA) προκύπτουν από τον στατιστικό μέσο όρο ημερήσιων προεπεξεργασμένων gridded δεδομένων SLA, διαθέσιμα από τον Ιανουάριο του έτους 1993 μέχρι πρόσφατα. Τα τελευταία είναι SLA δεδομένα, προερχόμενα από τον μέγιστο αριθμό των διαθέσιμων αλτιμετρικών αποστολών και είναι τύπου DT. Παρέχονται τέσσερα αρχεία συνολικά, τα οποία αναφέρονται αντίστοιχα στους μήνες α) Ιανουάριος-Φεβρουάριος-Μάρτιος, β) Απρίλιος-Μάιος-Ιούνιος, γ) Ιούλιος-Αύγουστος-Σεπτέμβριος και δ) Οκτώβριος-Νοέμβριος-Δεκέμβριος για τη χρονική περίοδο 1993-2012.

Τα μηνιαία δεδομένα (Monthly averaged SLA) προκύπτουν αντίστοιχα από τον στατιστικό μέσο όρο εβδομαδιαίων προεπεξεργασμένων gridded δεδομένων SLA, ίδιου είδους με αυτά που χρησιμοποιούνται για τα εποχιακά, διαθέσιμα από τον Ιανουάριο του έτους 1993 μέχρι πρόσφατα. Παρέχεται ένα τέτοιο αρχείο για κάθε μήνα, ξεκινώντας από τον Ιανουάριο του 1993 (Centre National d'Etudes Spatiales (CNES), Aviso+).

Και στις δύο περιπτώσεις, μαζί με τα αρχεία, παρέχεται και μία προεπισκόπηση των δεδομένων σε μορφή χάρτη (.png).

5.2.4.2 Επεξεργασία και Αποτελέσματα

Η τρίτη και τελευταία περίπτωση μελέτης των ανωμαλιών του επιπέδου της θάλασσας αποσκοπεί στη δημιουργία χαρτών υψηλής ακρίβειας μέσω των εποχιακών και μηνιαίων προεπεξεργασμένων gridded δεδομένων SLA, που αναφέρθηκαν νωρίτερα, για τη λεπτομερή παρατήρηση των χαρακτηριστικών του προς μελέτη φαινομένου. Η χρονική διάρκεια στην οποία αναφέρονται τα δεδομένα, βέβαια, είναι αρκετά μεγάλη (1993-2012), αλλά μπορούν να εξαχθούν χρήσιμες πληροφορίες για τις τάσεις του φαινομένου.

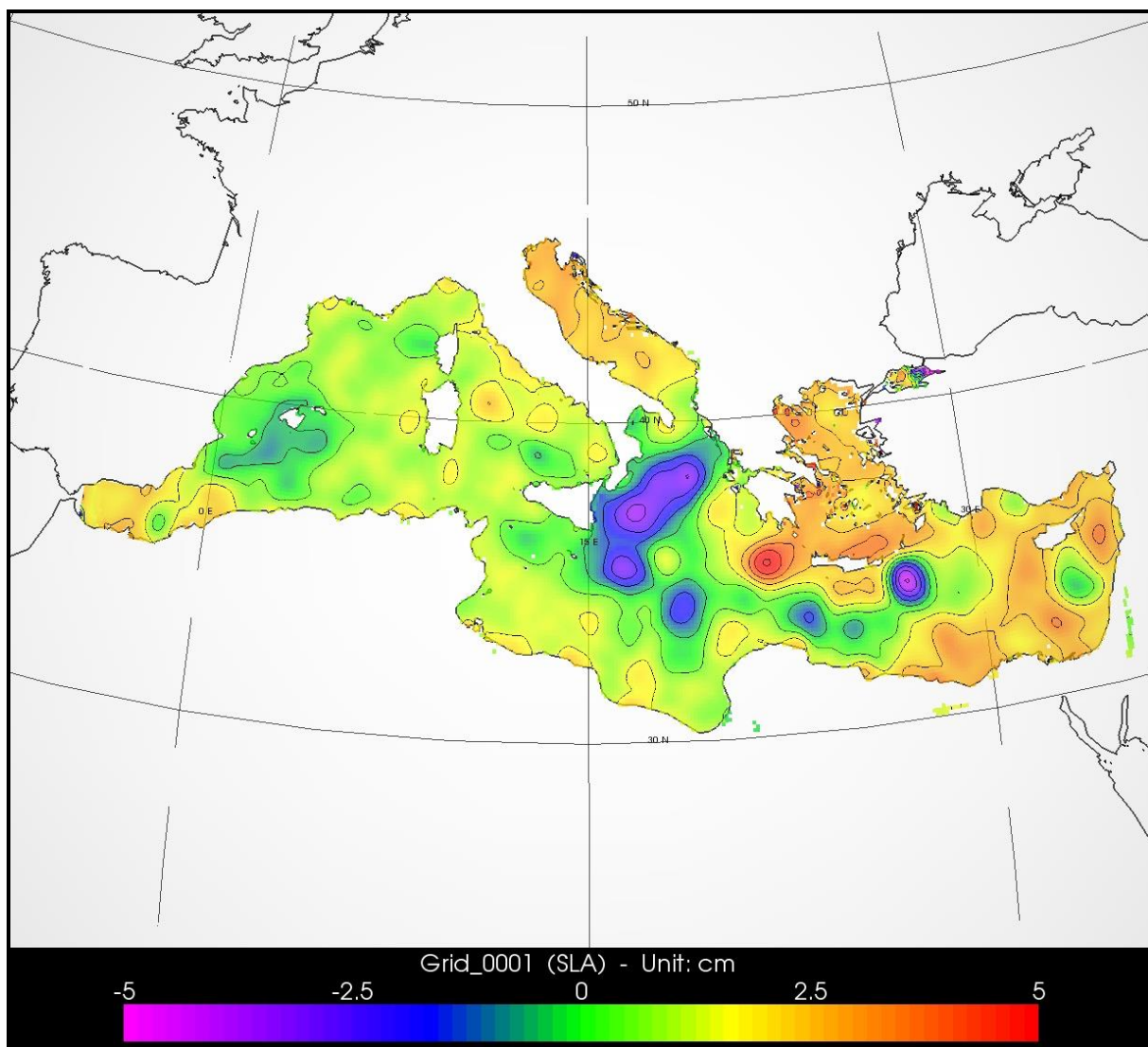
Έτσι, παράχθηκε, αρχικά, ένας χάρτης από το μέσο όρο των δεδομένων των τεσσάρων εποχών για όλη τη χρονική διάρκεια (**Εικόνα 5-24**). Σαν άξονες X και Y ορίστηκαν το γεωγραφικό μήκος και το γεωγραφικό πλάτος αντίστοιχα, ενώ στην έκφραση Data Expression εισήχθη το πεδίο που περιείχε τις τιμές των ανωμαλιών του επιπέδου της θάλασσας. Σαν βήμα καννάβου ορίστηκε και πάλι το μικρότερο δυνατό (1/4°). Καθώς τα δεδομένα αυτά αναφέρονται ήδη στην περιοχή της Μεσογείου, δεν χρειάστηκε να ορισθεί η περιοχή μελέτης.

Για την απεικόνιση των χαρτών, ρυθμίστηκε κατάλληλα η χρωματική κλίμακα και εισήχθησαν ισοϋψείς καμπύλες, ώστε να διακρίνονται οι περιοχές ίδιων τιμών ανωμαλιών.

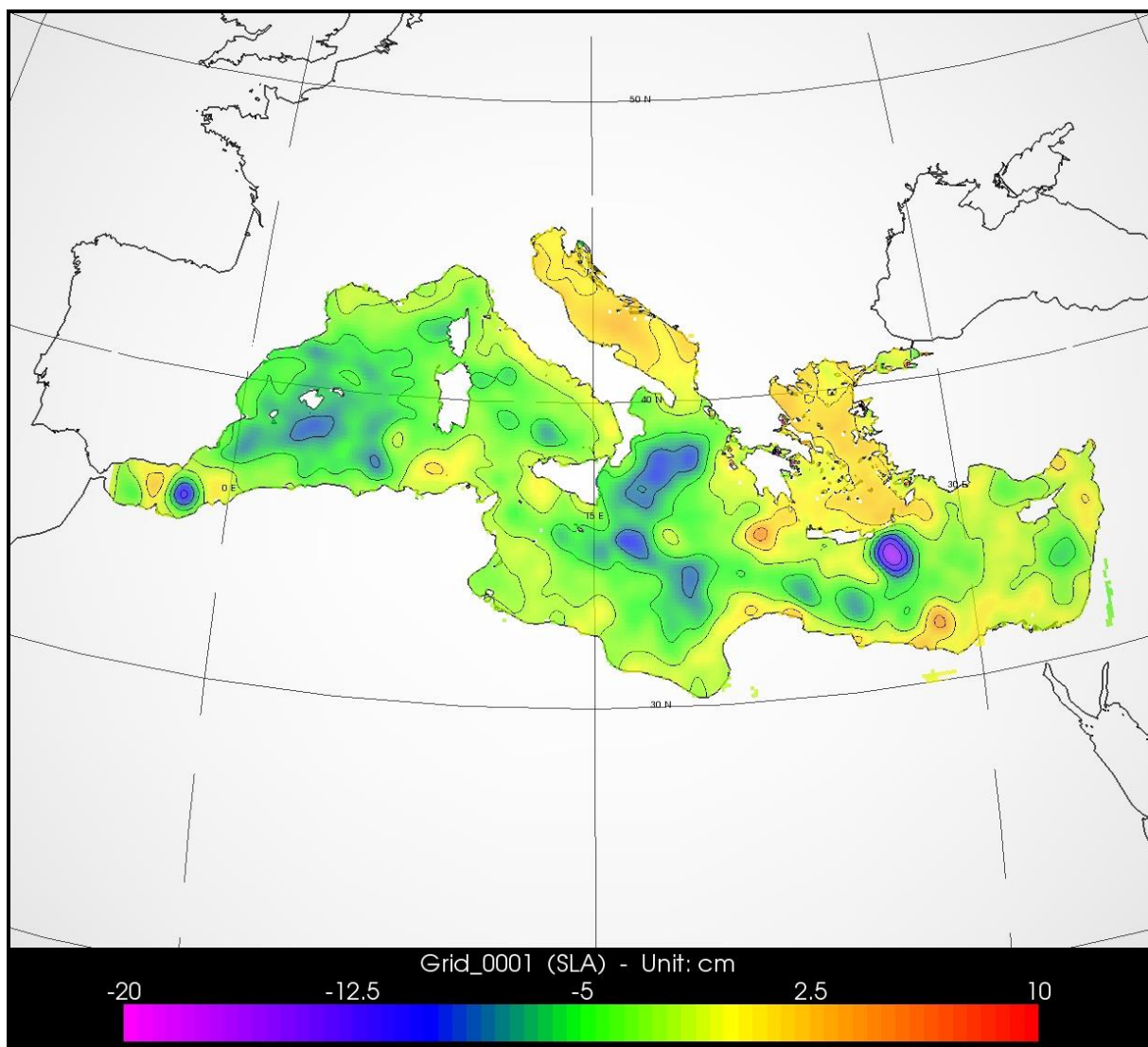
Επίσης, στην περίπτωση αυτή επιλέχθηκε η προβολή 3D, ώστε να παρουσιαστεί και αυτή. Αναφέρεται ότι η συγκεκριμένη προβολή απεικονίζει ολόκληρη τη σφαίρα σε τρεις διαστάσεις, αλλά για τις ανάγκες της συγκεκριμένης εφαρμογής, έχει γίνει εστίαση στην περιοχή της Μεσογείου.

Στη συνέχεια, δημιουργήθηκαν δύο χάρτες από τα μηνιαία δεδομένα των ετών 1993-2012 για τα συγκεκριμένα ζεύγη μηνών Φεβρουάριος-Μάρτιος (**Εικόνα 5-25**) και Ιούλιος-Αύγουστος (**Εικόνα 5-26**), κατά τη διάρκεια των οποίων παρουσιάζονται εξ ορισμού οι χαμηλότερες και υψηλότερες τιμές του επιπέδου της θάλασσας αντίστοιχα. Τα βήματα επεξεργασίας των δεδομένων παρέμειναν τα ίδια.

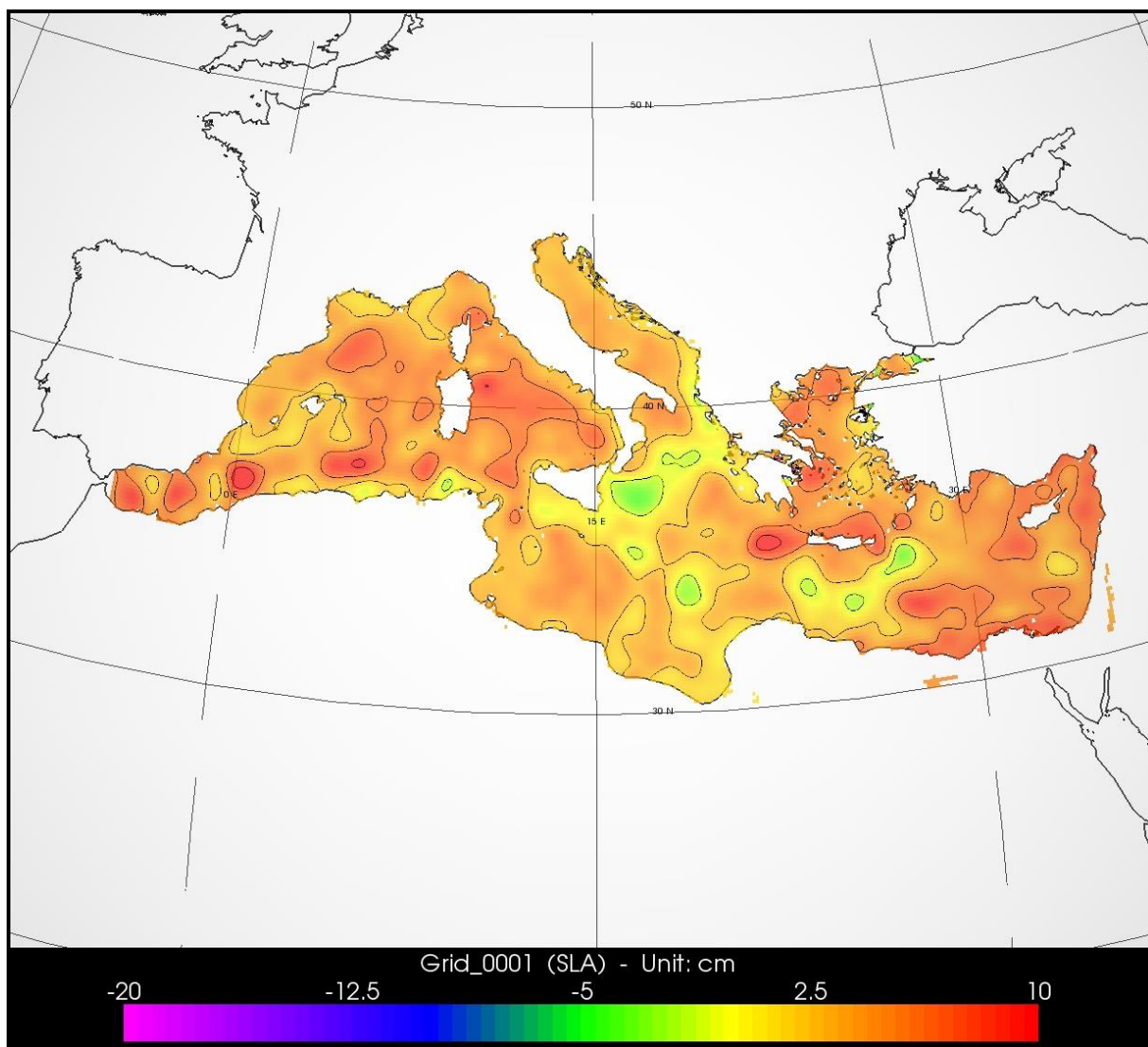
Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των χαρτών.



Εικόνα 5-24: Χάρτης Ανωμαλιών του Επιπέδου της Θάλασσας (MSLA) από δεδομένα “Seasonal mean of SLA” για την χρονική περίοδο 1993-2012.



Εικόνα 5-25: Χάρτες Ανωμαλιών του Επιπέδου της Θάλασσας (MSLA) από δεδομένα “Monthly averaged SLA” για τους μήνες Φεβρουάριο και Μάρτιο για τη συνολική διάρκεια των ετών 1993-2012.



Εικόνα 5-26: Χάρτες Ανωμαλιών του Επιπέδου της Θάλασσας (MSLA) από δεδομένα “Monthly averaged SLA” για τους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο για τη συνολική διάρκεια των ετών 1993-2012.

5.2.4.3 Συμπεράσματα

Παρατηρώντας την **Εικόνα 5-24**, δίνεται η δυνατότητα να εξαχθούν ακριβή συμπεράσματα για τις γενικές τάσεις των ανωμαλιών του επιπέδου της θάλασσας. Συγκεκριμένα, παρατηρεί κανείς περιοχές αρκετά υψηλών αρνητικών τιμών επιπέδου της θάλασσας νοτιοδυτικά της Κρήτης, λόγω της ύπαρξης του Αντικυκλώνα της Ιεράπετρας. Χαμηλά επίπεδα παρουσιάζονται, επίσης, στην ευρύτερη περιοχή του Ιονίου Πελάγους τα οποία εκτείνονται μέχρι τη Σικελία. Αντίθετα, διαπιστώνονται υψηλές τιμές νότια της Πελοποννήσου (και ταυτόχρονα δυτικά της Κρήτης), όπου εντοπίζεται ο κυκλώνας των Κυθήρων.

Η υψηλή ανάλυση αυτού του χάρτη προκύπτει από την ειδική επεξεργασία των δεδομένων για την περιοχή μελέτης, τον όγκο των δεδομένων, εφόσον πρόκειται για δεδομένα 10 ετών, καθώς και από τον αριθμό των αλτιμετρικών αποστολών που συμβάλλουν στην δημιουργία τους, που είναι ο μέγιστος δυνατός.

Όσον αφορά, τους μηνιαίους χάρτες, αποδεικνύεται σαφώς το γεγονός ότι το επίπεδο της θάλασσας είναι χαμηλότερο τους χειμερινούς μήνες και υψηλότερο τους θερινούς, παρουσιάζοντας έντονες διακυμάνσεις. Παρατηρούνται και εδώ οι γενικές τάσεις του φαινομένου που αναφέρθηκαν παραπάνω.

Συγκρίνοντας αυτούς τους χάρτες με εκείνους που παρήχθησαν στις δύο προηγούμενες περιπτώσεις, μπορεί να διαπιστώσει κανείς ότι οι πληροφορίες που παρέχονται μέσω gridded δεδομένων SLA και DT-SLA (filtered) αποτελούνται μία πιο χονδροειδή εκτίμηση των τιμών του επιπέδου της θάλασσας (περισσότερο από τα gridded δεδομένα SLA και λιγότερο από τα δεδομένα DT-SLA (filtered)). Τα γενικά χαρακτηριστικά, όμως, ταυτίζονται σε όλους τους χάρτες.

5.3 Εφαρμογή 2^η: Δημιουργία Χαρτών για τη μελέτη της Απόλυτης Δυναμικής Τοπογραφίας (MADT)

Αντικείμενο της δεύτερης εφαρμογής αποτελεί η μελέτη της Απόλυτης Δυναμικής Τοπογραφίας. Εδώ έγινε χρήση δύο διαφορετικών τύπων δεδομένων, εκ των οποίων τα πρώτα ήταν gridded δεδομένα Απόλυτης Δυναμικής Τοπογραφίας και τα δεύτερα ήταν κάποια βοηθητικά αλτιμετρικά δεδομένα, επίσης gridded, τα οποία, όμως, έχουν προκύψει μετά από ειδική επεξεργασία προσανατολισμένη στην περιοχή μελέτης, τη Μεσόγειο Θάλασσα. Στη συνέχεια, αναφέρονται κάποια θεωρητικά στοιχεία της Απόλυτης Δυναμικής Τοπογραφίας και ακολουθεί η επεξεργασία των δεδομένων και τα σχετικά αποτελέσματα.

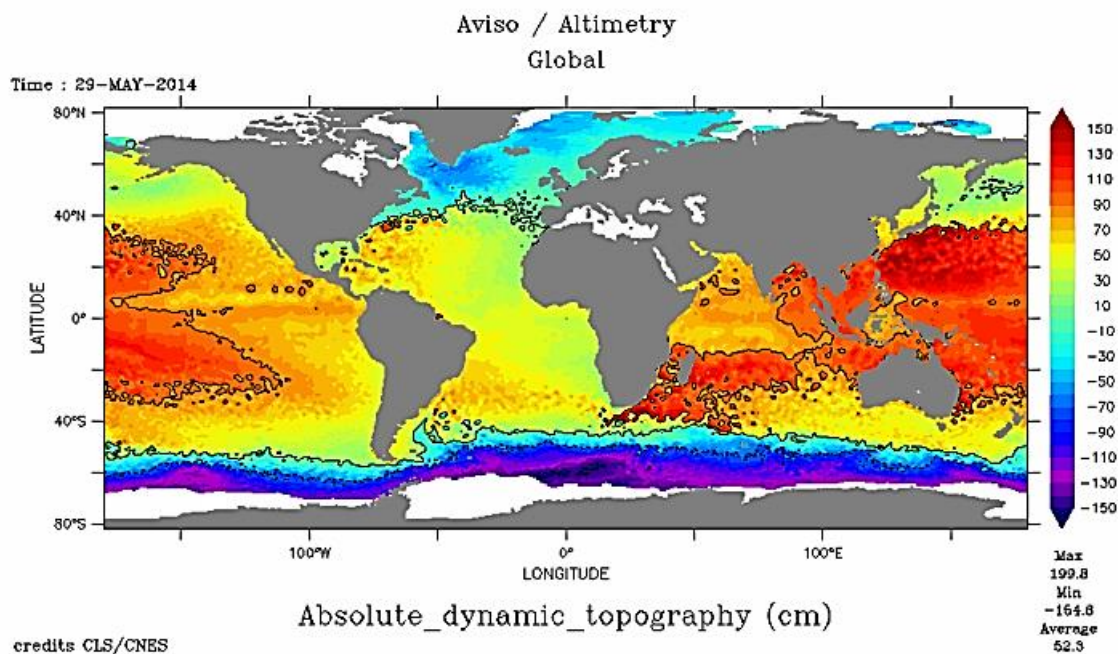
5.3.1 Θεωρητικές Βάσεις

Απόλυτη Δυναμική Τοπογραφία (ADT)

Ως Απόλυτη Δυναμική Τοπογραφία (Absolute Dynamic Topography – ADT) ορίζεται το υψόμετρο της επιφάνειας της θάλασσας έχοντας σαν επιφάνεια αναφοράς το γεωειδές. Διαφορετικά, θα μπορούσε να πει κανείς ότι είναι το άθροισμα της Μέσης Δυναμικής Τοπογραφίας (MDT) (βλ. Ενότητα 2.2.4) με τις Ανωμαλίες του Επιπέδου της Θάλασσας (SLA) (Εικόνα 5-27).

Τα γεωστροφικά ρεύματα, τα οποία μεταφέρουν θερμότητα και μάζες νερού σε όλη την έκταση της Γης και επί της ουσίας είναι αυτά που καθορίζουν το κλίμα της, μπορούν να μελετηθούν μέσω της ακριβούς γνώσης της Απόλυτης Δυναμικής Τοπογραφίας.

Η Απόλυτη Δυναμική Τοπογραφία μπορεί να προσδιοριστεί - με κάποιους περιορισμούς - με τη μέθοδο της Δορυφορικής Αλτιμετρίας. Οι περιορισμοί αυτοί έγκεινται στο γεγονός ότι απαιτείται η λεπτομερής γνώση της επιφάνειας του γεωειδούς, κάτι που μέχρι πρότινος δεν μπορούσε να επιτευχθεί με την απαιτούμενη ακρίβεια. Με τις σύγχρονες γεωδαιτικές αποστολές λεπτομερούς χαρτογράφησης του γήινου πεδίου βαρύτητας (π.χ. GOCE) έχουν γίνει σημαντικές βελτιώσεις προς αυτή την κατεύθυνση (Rio 2010).



Εικόνα 5-27: Παγκόσμιος χάρτης Απόλυτης Δυναμικής Τοπογραφίας (σε cm) από δεδομένα πολλών αλτιμετρικών αποστολών (multi-mission) για την ημέρα 29-5-2014. Πηγή: (Centre National d'Etudes Spatiales (CNES), Aviso+)

http://bulletin.aviso.oceanobs.com/images/duacs_global_nrt_madt_merged_h_latest_glo_madt_n0_t0.png

5.3.2 Περίπτωση 1^η

5.3.2.1 Δεδομένα

Στην πρώτη περίπτωση τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν δεδομένα Απόλυτης Δυναμικής Τοπογραφίας ανηγμένα στα σημεία καννάβου (Gridded Absolute Dynamic Topography Data) (Centre National d'Etudes Spatiales (CNES), Aviso+). Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα βασικά τους χαρακτηριστικά:

- Είδος δεδομένων: Gridded
- Χωρική Ανάλυση: 1/4° x 1/4°
- Κατηγοριοποίηση με βάση το χρόνο διάθεσής τους: Delayed (DT)
- Κατηγοριοποίηση με βάση τις χρησιμοποιούμενες αποστολές: Multi-mission
- Χωρική κάλυψη: Παγκόσμια
- Χρονική κάλυψη: από τον Ιανουάριο του 1993 μέχρι το Δεκέμβριο του 2012
- Μορφότυπος: NetCDF
- Συχνότητα δεδομένων: Εβδομαδιαία
- Copyright : 2005-ongoing Cnes-CLS

Και αυτός ο τύπος δεδομένων διατίθεται σε δύο είδη, διαφοροποιούμενα με βάση των αριθμό των αλτιμετρικών αποστολών που συμμετέχουν στην δημιουργία τους (“two-sat merged” για δύο διαθέσιμους δορυφόρους και “all-sat merged” για όλους τους διαθέσιμους δορυφόρους. Οι ιδιότητες των επιμέρους δεδομένων παραμένουν κοινές με την περίπτωση των SLA.

Εκτός της Απόλυτης Δυναμικής Τοπογραφίας, τα gridded δεδομένα ADT περιέχουν τις αντίστοιχες τις τιμές των απόλυτων γεωστροφικών ταχυτήτων (κατά παράλληλο U και μεσημβρινό V). Επιπλέον, αναφέρεται ότι διατίθενται και για συγκεκριμένες περιοχές μελέτης, όπως συμβαίνει και για τα SLA.

Για την παρούσα εφαρμογή, αντλήθηκαν gridded δεδομένα ADT για όλη τη διάρκεια των ετών 2010, 2011 και 2012.

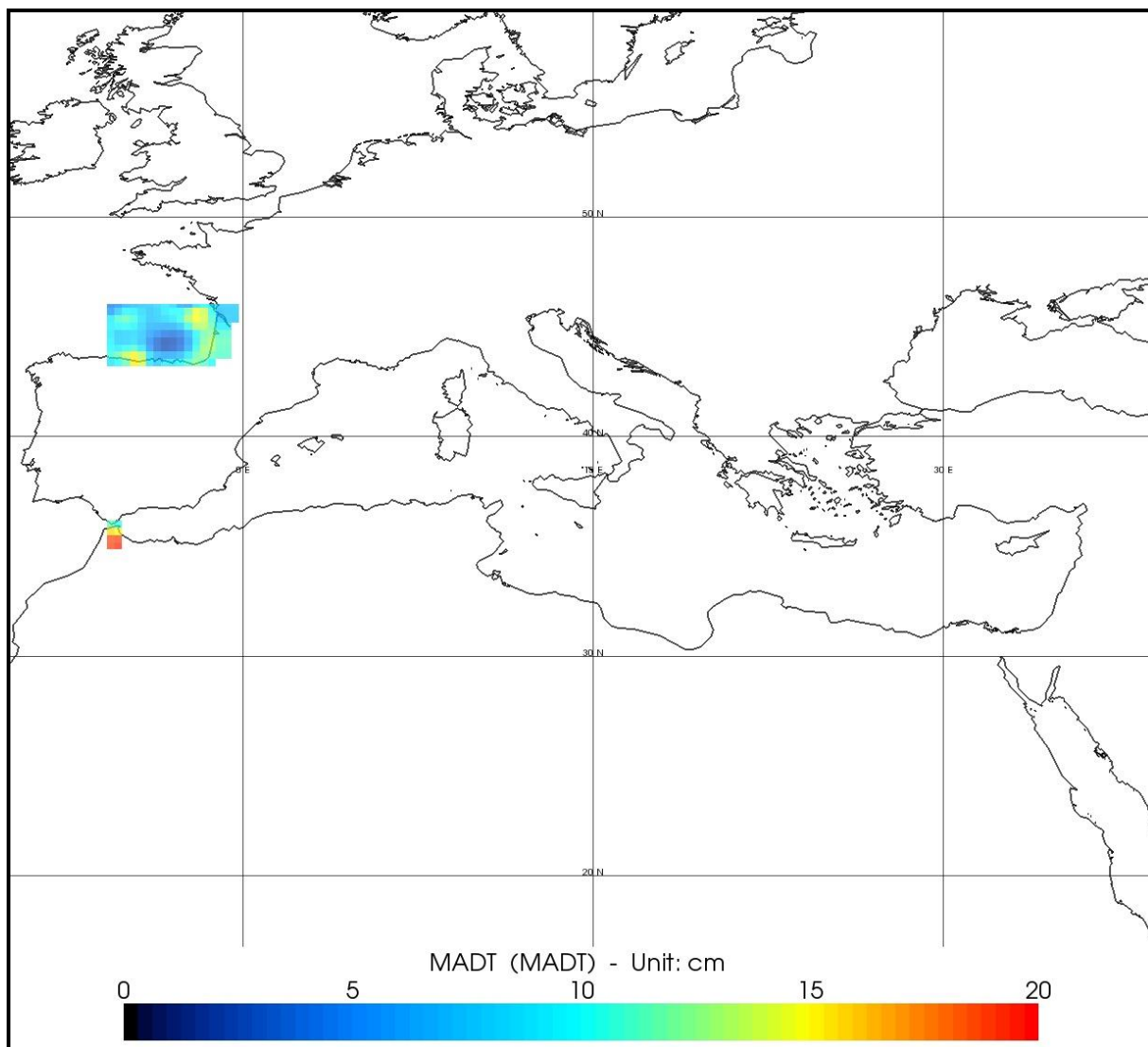
5.3.2.2 Επεξεργασία και Αποτελέσματα

Στην πρώτη περίπτωση της εφαρμογής της Απόλυτης Δυναμικής Τοπογραφίας, χρησιμοποιώντας τα gridded δεδομένα ADT “all-sat-merged”, παράχθηκε ένας χάρτης, καθώς όπως θα διαπιστωθεί και στη συνέχεια, τα δεδομένα αυτά δεν είναι κατάλληλα για την απεικόνιση του φαινομένου. Ο χάρτης αφορά την ημέρα 01-01-2012 (**Εικόνα 5-28**), διότι αποτελεί απλά ένα παράδειγμα της αδυναμίας των δεδομένων και του λογισμικού.

Κατά την επεξεργασία των δεδομένων στο BRAT, ορίσθηκαν σαν άξονες X και Y το γεωγραφικό μήκος και το γεωγραφικό πλάτος αντίστοιχα στην έκφραση Data Expression

εισήχθη το πεδίο που περιείχε τις τιμές ADT. Σαν βήμα καννάβου ορίσθηκε κατά τους δύο άξονες $1/4^\circ$, καθώς κατά την προεπεξεργασία του συγκεκριμένου τύπου δεδομένων η χωρική ανάλυση έχει ορισθεί ως $1/4^\circ \times 1/4^\circ$. Δεν πραγματοποιήθηκε εφαρμογή κάποιου φίλτρου, ώστε να απεικονιστούν τα πρωτογενή δεδομένα.

Ακολουθεί ο χάρτης αυτός και τα συμπεράσματα σχετικά με την αδυναμία απεικόνισης του προς μελέτη φαινομένου.



Εικόνα 5-28: Χάρτης Απόλυτης Δυναμικής Τοπογραφίας (MADT) από δεδομένα “all-sat merged” για την ημέρα 01-01-2012.

5.3.2.3 Συμπεράσματα

Από το αποτέλεσμα του χάρτη της Απόλυτης Δυναμικής Τοπογραφίας, διαπιστώνει κανείς ότι δεν έχουν αποδοθεί οι τιμές του φαινομένου που αντιστοιχούν στις περιοχές εντός της Μεσογείου Θάλασσας, αλλά μόνο σε μία περιορισμένη περιοχή του Ατλαντικού Ωκεανού. Η περιοχή αυτή εντάσσεται στην περιοχή μελέτης μέσω των ορίων – συντεταγμένων που έχουν χρησιμοποιηθεί για τον ορισμό της. Το γεγονός αυτό οφείλεται στην έλλειψη των αντίστοιχων δεδομένων από την υπηρεσία παροχής τους (Aviso) για μία κλειστή θάλασσα σαν τη Μεσόγειο. Θεωρώντας τη Μεσόγειο Θάλασσα ως κλειστή θάλασσα και τον Ατλαντικό ωκεανό ως ανοιχτό ωκεανό, η αδυναμία που παρουσιάζεται στο χάρτη, δηλαδή η απόδοση τιμών μόνο στο κομμάτι του Ατλαντικού, προσανατολίζεται προς αυτή την αιτία. Σημειώνεται, ότι κατά την χρήση των ίδιων δεδομένων για την απεικόνιση της Απόλυτης Δυναμικής Τοπογραφίας παγκοσμίως, στην περιοχή της Μεσογείου πάλι δεν αποδίδονται τιμές, καθώς και σε ορισμένες άλλες κλειστές θάλασσες.

Αναφέρεται, επίσης, ότι έγινε η προσπάθεια απόδοσης της Απόλυτης Δυναμικής Τοπογραφίας και με along-track δεδομένα, αλλά τα αποτελέσματα παρέμειναν τα ίδια. Δηλαδή υπήρχαν τιμές μόνο σε αυτή την περιορισμένη περιοχή του Ατλαντικού. Συνεπώς, βγαίνει το συμπέρασμα ότι γενικά η υπηρεσία Aviso δεν εντάσσει την περιοχή της Μεσογείου στα δεδομένα παγκοσμίου επιπέδου Απόλυτης Δυναμικής Τοπογραφίας.

5.3.3 Περίπτωση 2^η

5.3.3.1 Δεδομένα

Επειδή δεν ήταν δυνατή η δημιουργία χαρτών Απόλυτης Δυναμικής Τοπογραφίας με συνήθη Along-track ή Gridded δεδομένα για τους λόγους που αναφέρθηκαν νωρίτερα, επιλέχθηκε να παρουσιαστούν δύο χάρτες της Μέσης Δυναμικής Τοπογραφίας (Mean Dynamic Topography – MDT) με χρήση βοηθητικών προϊόντων (auxiliary products), τα οποία παρέχονται από την υπηρεσία αλτιμετρικών δεδομένων Aviso+ της CNES.

- Είδος δεδομένων: Gridded
- Χωρική Ανάλυση: 1/8° x 1/8°
- Κατηγοριοποίηση με βάση το χρόνο διάθεσής τους: Delayed Time (DT)
- Κατηγοριοποίηση με βάση τις χρησιμοποιούμενες αποστολές: Multi-mission
- Χωρική κάλυψη: Μεσόγειος Θάλασσα (30°-46°B, -6°-36°A)
- Χρονική κάλυψη: 1993-1999 και 1993-2012
- Μορφότυπος: NetCDF
- Copyright : 1992-ongoing Cnes-CLS

Συγκεκριμένα, αρχικά χρησιμοποιήθηκε το αρχείο *mdt_rio2007_mediterranean.nc*, το οποίο περιέχει τις τιμές της Μέσης Δυναμικής Τοπογραφίας, καθώς και τις τιμές των δύο

συνιστωσών - κατά παράλληλο (U) και μεσημβρινό (V) - των γεωστροφικών ταχυτήτων για τη χρονική περίοδο των επτά ετών 1993-1999 (Centre National d'Etudes Spatiales (CNES), Aviso+).

Για τη δημιουργία αυτού του προϊόντος, αναπτύχθηκε μία μέθοδος, σύμφωνα με την οποία συνδυάστηκαν ωκεανογραφικές παρατηρήσεις τόσο αλιμετρικές, όσο και επί τόπου (in-situ) θαλάσσιων μετρήσεων από πλοία, σημαντήρες κλπ. Χρησιμοποιήθηκε, επιπλέον, το μοντέλο της γενικής ωκεάνιας κυκλοφορίας (Ocean General Circulation Model - OGCM). Κατά την επεξεργασία των μετρήσεων, έγινε σε πρώτο στάδιο ένας πρόχειρος υπολογισμός της Μέσης Δυναμικής Τοπογραφίας για την περίοδο 1993-1999 μέσω του μοντέλου OGCM. Σε δεύτερο στάδιο, συνδυάστηκαν οι επί τόπου με τις αλιμετρικές μετρήσεις για τη βελτίωση της πρώτης εκτίμησης και διορθώθηκαν τα δεδομένα ως προς τις γεωφυσικές παραμέτρους που επιδρούν σε αυτά. Τέλος, τα δεδομένα τοποθετήθηκαν σε κάρναβο για τη δημιουργία του χάρτη (Rio et al. 2007).

Στη συνέχεια, χρησιμοποιήθηκε το αρχείο *mean_dynamic_topography_SMDT-MED-2014.nc*. Πρόκειται για ίδιου τύπου αρχείο, με διαφορά ότι σε αυτή την περίπτωση οι τιμές της Μέσης Δυναμικής Τοπογραφίας έχουν προκύψει από δεδομένα 20 ετών, 1993-2012. Η διαδικασία δημιουργίας του παραμένει η ίδια.

5.3.3.2 Επεξεργασία και Αποτελέσματα

Στη δεύτερη περίπτωση παράχθηκαν δύο χάρτες Μέσης Δυναμικής Τοπογραφίας με χρήση των παραπάνω βοηθητικών αλιμετρικών προϊόντων. Στόχος ήταν η απεικόνιση των κυρίων τάσεων του φαινομένου, καθώς τα δεδομένα αναφέρονται σε μεγάλες χρονικές περιόδους.

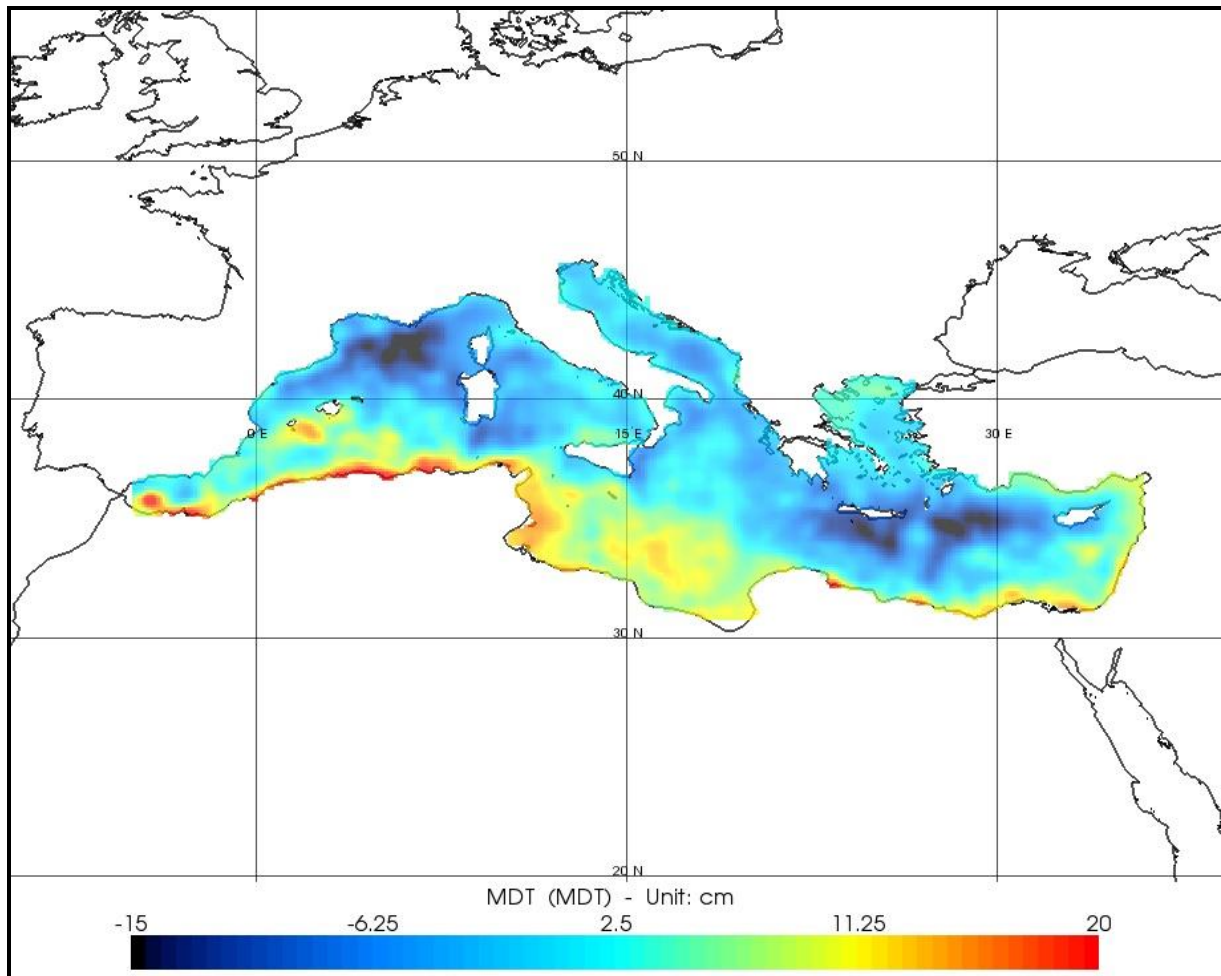
Για την παραγωγή του πρώτου χάρτη (**Εικόνα 5-29**), από το αρχείο *mdt_rio2007_mediterranean.nc*, το οποίο αναφέρεται στην χρονική περίοδο 1993-1999, ορίστηκαν σαν άξονες X και Y το γεωγραφικό μήκος και το γεωγραφικό πλάτος αντίστοιχα στην έκφραση Data Expression εισήχθη το πεδίο που περιείχε τις τιμές *mdt*. Σαν βήμα καννάβου ορίστηκε κατά τους δύο άξονες το ελάχιστο δυνατό, δηλαδή $1/8^\circ$, καθώς κατά την προεπεξεργασία του συγκεκριμένου τύπου δεδομένων η χωρική ανάλυση έχει ορισθεί ως $1/8^\circ \times 1/8^\circ$. Δεν πραγματοποιήθηκε εφαρμογή κάποιου φίλτρου, καθώς δεν υπήρχε η ανάγκη στη συγκεκριμένη περίπτωση. Ο πρωτογενής χάρτης είχε ένα πολύ ικανοποιητικό οπτικό αποτέλεσμα. Εφόσον τα δεδομένα αυτά αναφέρονται ήδη στην περιοχή της Μεσογείου, δεν χρειάστηκε να ορισθεί η περιοχή μελέτης.

Στη συνέχεια, δημιουργήθηκε ακόμη ένας χάρτης (**Εικόνα 5-30**) από το δεύτερο αρχείο, *mean_dynamic_topography_SMDT-MED-2014.nc*, ακολουθώντας τα ίδια βήματα επεξεργασίας.

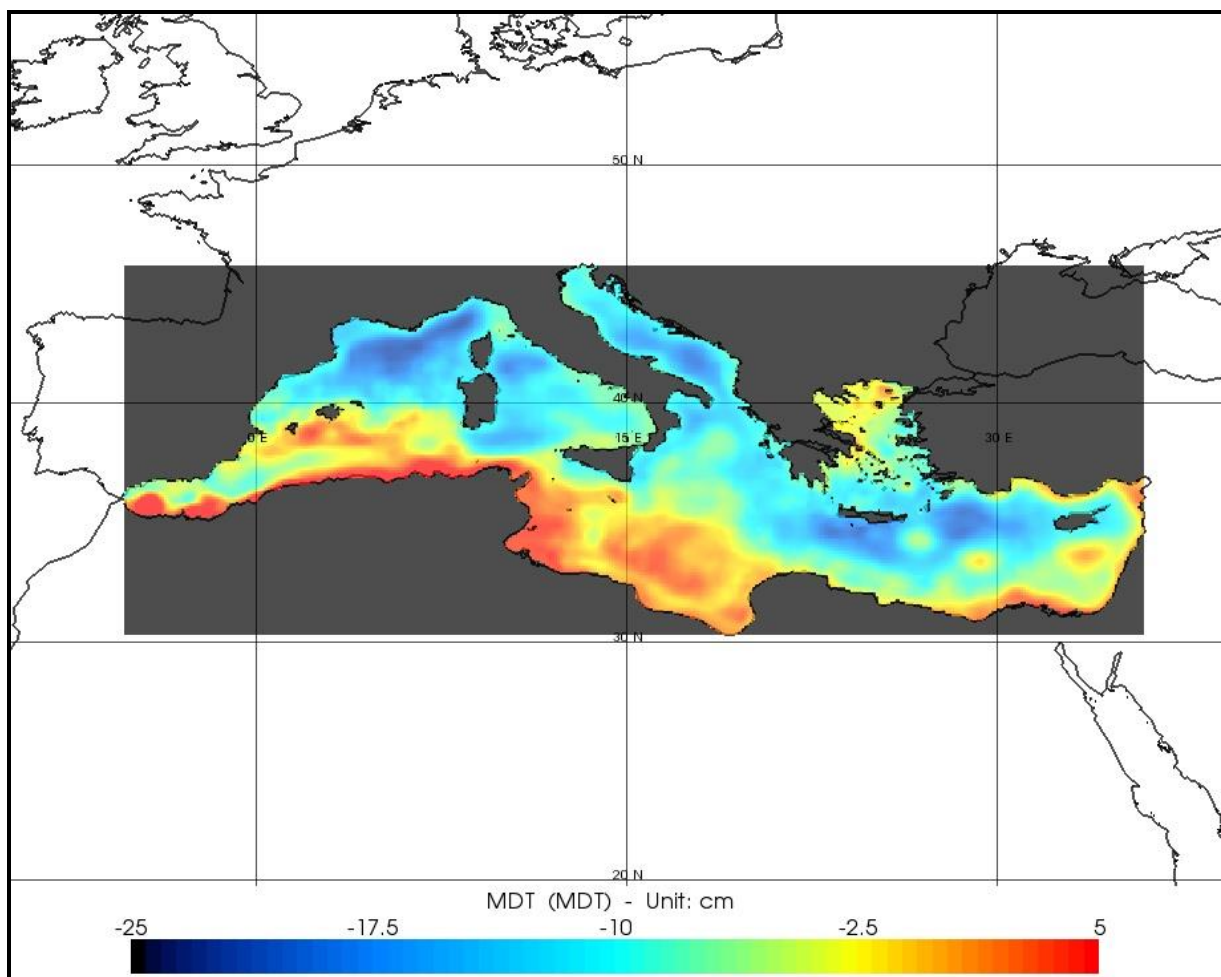
Για την απεικόνιση των χαρτών, επιλέχθηκε η προβολή Plate Carrée και ρυθμίστηκε κατάλληλα η χρωματική κλίμακα. Στην περίπτωση αυτού του ζεύγους χαρτών ορίστηκε

διαφορετική για τον καθένα, ώστε να επιτυγχάνεται το πιο αποτελεσματικό οπτικό αποτέλεσμα και να είναι πιο εύκολα αντιληπτές οι τιμές του χάρτη. Αναφέρεται ότι το σκούρο πλαίσιο στο δεύτερο χάρτη εισήχθη αυτόματα από την επεξεργασία του συγκεκριμένου αρχείου. Τέλος, έγινε εστίαση στην περιοχή της Μεσογείου.

Ακολουθεί η παρουσίαση των αποτελεσμάτων.



Εικόνα 5-29: Χάρτης Μέσης Δυναμικής Τοπογραφίας (MDT) από βοηθητικά αλιμετρικά προϊόντα για τη χρονική περίοδο 1993-1999 (*mdt_rio2007_mediterranean.nc*).



Εικόνα 5-30: Χάρτης Μέσης Δυναμικής Τοπογραφίας (MDT) από βοηθητικά αλτιμετρικά προϊόντα για τη χρονική περίοδο 1993-2012 (*mean_dynamic_topography_SMDT-MED-2014.nc*).

5.3.3.3 Συμπεράσματα

Από τους δύο παραπάνω χάρτες, δίνεται η δυνατότητα λεπτομερούς παρατήρησης της Μέσης Δυναμικής Τοπογραφίας στη Μεσόγειο Θάλασσα. Τα βασικά χαρακτηριστικά του φαινομένου απεικονίζονται κατά τον ίδιο τρόπο και στις δύο περιπτώσεις, καθώς ο δεύτερος χάρτης είναι απλά χρονική προέκταση του πρώτου (κατά 13 έτη).

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.

5.4 Εφαρμογή 3^η: Δημιουργία Χαρτών για τη μελέτη των Γεωστροφικών Ρευμάτων (Geostrophic Currents)

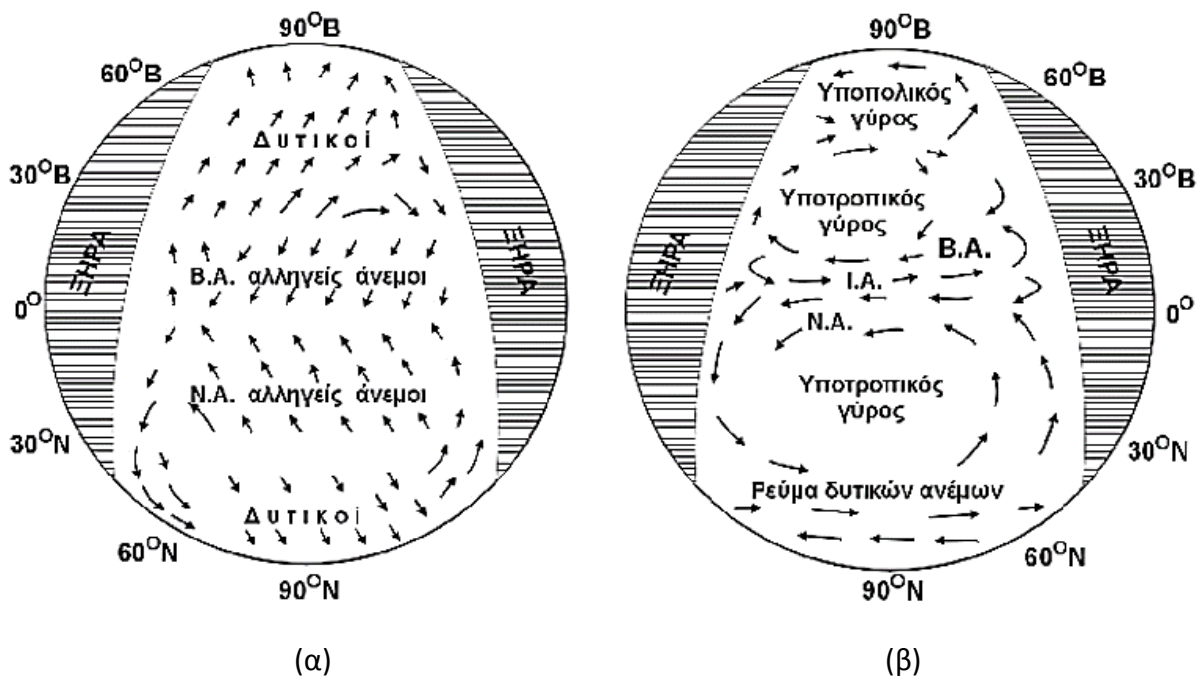
Μέσω της τρίτης εφαρμογής εξετάστηκαν τα χαρακτηριστικά των γεωστροφικών ρευμάτων. Συγκεκριμένα, στην πρώτη περίπτωση δημιουργήθηκαν ετήσιοι και μηνιαίοι χάρτες ανωμαλιών των γεωστροφικών ταχυτήτων από gridded δεδομένα SLA και στη δεύτερη περίπτωση, δημιουργήθηκαν χάρτες μέσω των γεωστροφικών ταχυτήτων, της κάθε συνιστώσας των ρευμάτων ξεχωριστά, καθώς και χάρτης της κινητικής ενέργειας των ρευμάτων, από βοηθητικά αλτιμετρικά προϊόντα. Στη συνέχεια, αναφέρονται κάποια θεωρητικά στοιχεία που αφορούν τα γεωστροφικά ρεύματα και ακολουθεί η επεξεργασία των δεδομένων και τα σχετικά αποτελέσματα.

5.4.1 Θεωρητικές Βάσεις

Το κύριο χαρακτηριστικό της παγκόσμιας ωκεάνιας κυκλοφορίας μεγάλης κλίμακας αποτελούν τα γεωστροφικά ρεύματα, τα οποία κινούνται στο επιφανειακό στρώμα των ωκεανών. Η κίνηση των γεωστροφικών ρευμάτων διαμορφώνεται κυρίως σε κυκλοτερή σχήματα ή αλλιώς γύρους (gyres) και είναι αποτέλεσμα του παγκόσμιου συστήματος κυκλοφορίας των ανέμων και της παρουσίας των ηπείρων και των ωκεανών στον πλανήτη (Παπαθεοδώρου 2011).

Η δημιουργία των γεωστροφικών ρευμάτων οφείλεται:

- στη διατημητική τάση που ασκεί ο άνεμος, ο οποίος πνέει πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας και έχει ως αποτέλεσμα να συμπαρασύρει τα επιφανειακά νερά προς την ίδια κατεύθυνση (**Εικόνα 5-31 (α)**). Η συσσώρευση των θαλασσίων μαζών σε μία περιοχή και η διαφοροποίηση της πυκνότητας οδηγούν σε μεταβολές πίεσης στο εσωτερικό, με αποτέλεσμα τη ροή μαζών νερού για την αποκατάσταση της ισορροπίας.
- στη δύναμη Coriolis, που επιδρά κάθετα στη διεύθυνση της κινούμενης μάζας και εξαρτάται από το γεωγραφικό πλάτος και την ταχύτητα του ρεύματος. Η πορεία των ρευμάτων εκτρέπεται προς τα δεξιά στο βόρειο ημισφαίριο και προς τα αριστερά στο νότιο. Ο Ισημερινός αποτελεί ένα όριο, στο οποίο μηδενίζεται η δύναμη Coriolis και όλο το σύστημα της ωκεάνιας κυκλοφορίας αναπτύσσεται σχεδόν συμμετρικά βόρεια και νότια αυτού του νοητού ορίου, παρά του ότι οι ωκεάνιες λεκάνες δεν παρουσιάζουν κανένα φυσικό όριο στην περιοχή αυτή (**Εικόνα 5-31 (β)**) (Αλμπανάκης 2007).



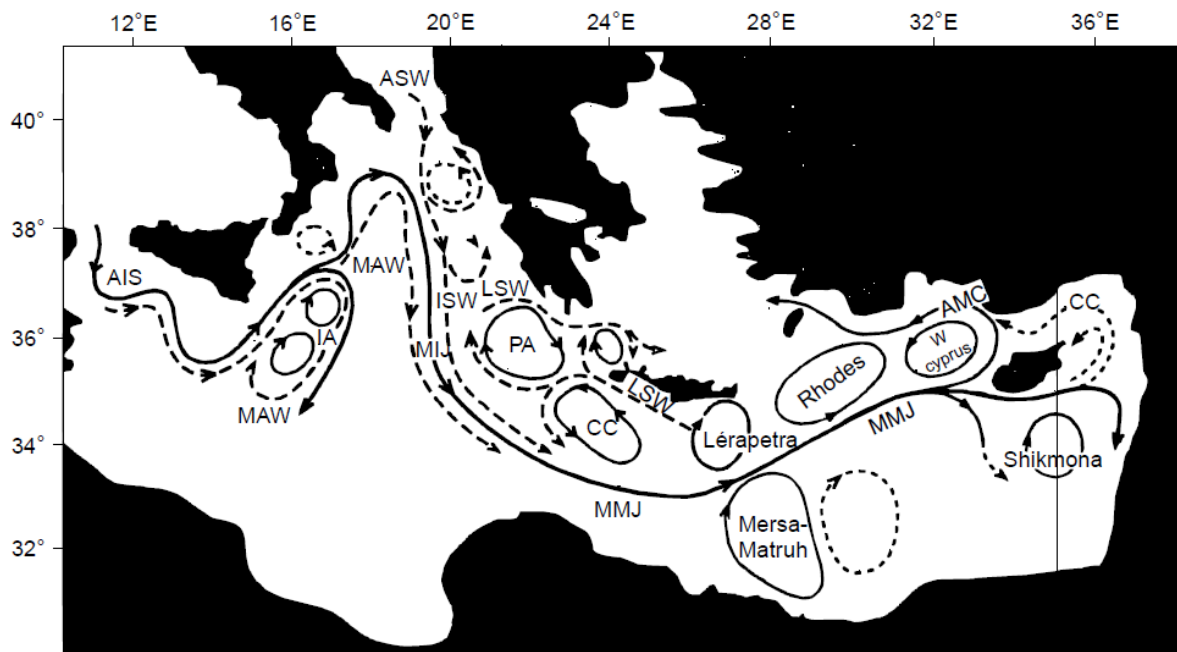
Εικόνα 5-31: (α) Παγκόσμιο Σύστημα Ανέμων σε μία περιστρεφόμενη Γη χωρίς ανάγλυφο και (β) σχηματική αναπαράσταση των επιφανειακών ρευμάτων στον Ατλαντικό Ωκεανό.

Πηγή: (Παπαθεοδώρου 2011)

Οι πρώτες αλτιμετρικές αποστολές (Seasat, Geosat, ERS-1, ERS-2) είχαν σχεδιαστεί έτσι ώστε να πραγματοποιούν παρατηρήσεις για τις μεταβολές των ρευμάτων σε εβδομαδιαία βάση. Αργότερα, ο T/P ήταν ο πρώτος αλτιμετρικός δορυφόρος που παρείχε πληροφορίες μεγάλης ακρίβειας σχετικά με την επιφανειακή ωκεάνια κυκλοφορία και ακολούθησε ο Jason-1. Πλέον, δίνεται η δυνατότητα μέτρησης της ωκεάνιας τοπογραφίας με ακρίβεια ± 5

ση και παρακολούθησης του μόνιμου συστήματος των επιφανειακών γεωστροφικών ρευμάτων, αλλά και τις μεταβολές τους σε όλες τις κλίμακες (Tchet 2006).

Η ανατολική Μεσόγειος, και συνεπώς η ευρύτερη περιοχή του Ελλαδικού χώρου, παρουσιάζει μεγάλο εύρος γεωστροφικής δραστηριότητας. Χαρακτηριστικά είναι τα φαινόμενα του Αντικυκλώνα του Πέλοπα και του Αντικυκλώνα της Ιεράπετρας. Στην **Εικόνα 5-32** παρουσιάζονται τα στοιχεία αυτά.



AIS = Ρεύμα Ατλαντικού Ιονίου
 MIJ = Μέσο-Ιόνιο Ρεύμα
 MAW = Τροποποιημένο Νερό Ατλαντικού
 ISW = Επιφανειακό Νερό Ιονίου
 IA = Αντικυκλώνες Ιονίου
 MMJ = Μέσο-Μεσογειακό Ρεύμα

ASW = Επιφανειακό Νερό Αδριατικής
 LSW = Μεσοανατολικό Επιφανειακό Νερό
 PA = Αντικυκλώνας του Πέλοπα
 CC = Κρητικός Κυκλώνας
 AMC = Μικρασιατικό Ρεύμα

Εικόνα 5-32: Η ωκεάνια κυκλοφορία μέσης κλίμακας στην ανατολική Μεσόγειο Θάλασσα.

Πηγή: (Robinson et al. 2001)

5.4.2 Περίπτωση 1^η

5.4.2.1 Δεδομένα

Στην πρώτη περίπτωση αυτής της εφαρμογής, έγινε χρήση δεδομένων Ανωμαλιών του Επιπέδου της Θάλασσας ανηγμένα στα σημεία καννάβου (Gridded Sea Level Anomalies Data), όπως και στην πρώτη περίπτωση δημιουργίας χαρτών MSLA (βλ. Ενότητα 5.2.2.1).

Τα δεδομένα παραμένουν κοινά με την προαναφερθείσα εφαρμογή, με τη διαφορά ότι εδώ χρησιμοποιούνται τα δεδομένα των ανωμαλιών των γεωστροφικών ταχυτήτων.

Σημειώνεται ότι χρησιμοποιώντας δεδομένα, οποιουδήποτε τύπου, που περιέχουν τις τιμές των Ανωμαλιών του Επιπέδου της Θάλασσας, ο παραγόμενος χάρτης απεικονίζει τις ανωμαλίες των γεωστροφικών ταχυτήτων. Αντίθετα, αν τα δεδομένα αφορούν την Απόλυτη Δυναμική Τοπογραφία, ο παραγόμενος χάρτης απεικονίζει τις απόλυτες γεωστροφικές ταχύτητες στην περιοχή μελέτης.

Λόγω της αδυναμίας χρήσης gridded δεδομένων ADT, όπως αναφέρεται στην Ενότητα 5.3.2.3, στην πρώτη περίπτωση των γεωστροφικών ρευμάτων θα δημιουργηθούν μόνο χάρτες των ανωμαλιών των γεωστροφικών ταχυτήτων.

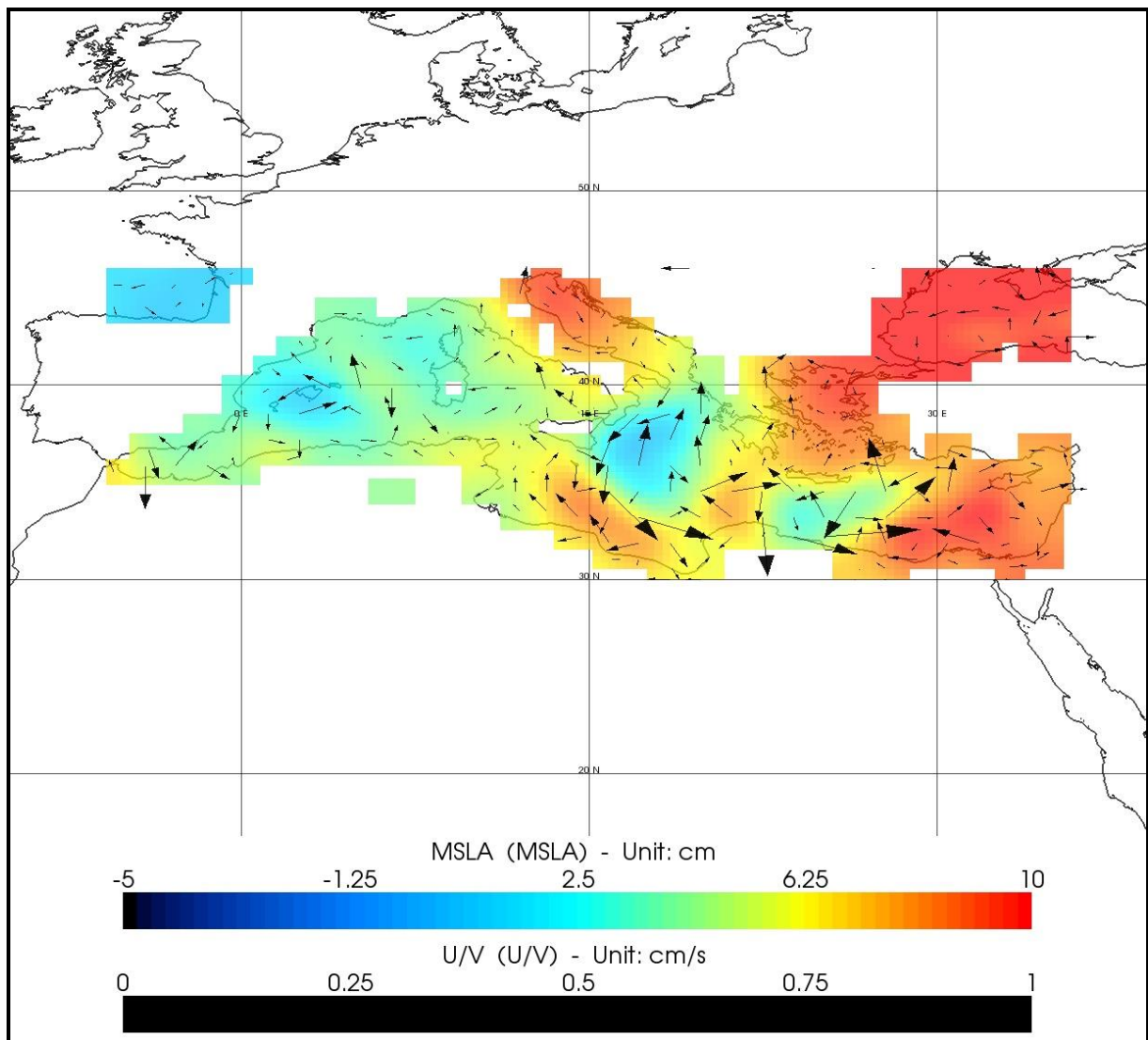
5.4.2.2 Επεξεργασία και Αποτελέσματα

Στην πρώτη περίπτωση της μελέτης των γεωστροφικών ρευμάτων δημιουργήθηκαν χάρτες Ανωμαλιών των Γεωστροφικών Ταχυτήτων από gridded δεδομένα SLA με σκοπό την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με τα χαρακτηριστικά των γεωστροφικών ρευμάτων στη Μεσόγειο θάλασσα, αλλά και την παρακολούθηση της εξέλιξης τους συναρτήσει του χρόνου. Για το λόγο αυτό, παράχθηκε μία σειρά χαρτών ανά έτος και μία σειρά χαρτών ανά ζεύγος μηνών για το έτος 2011.

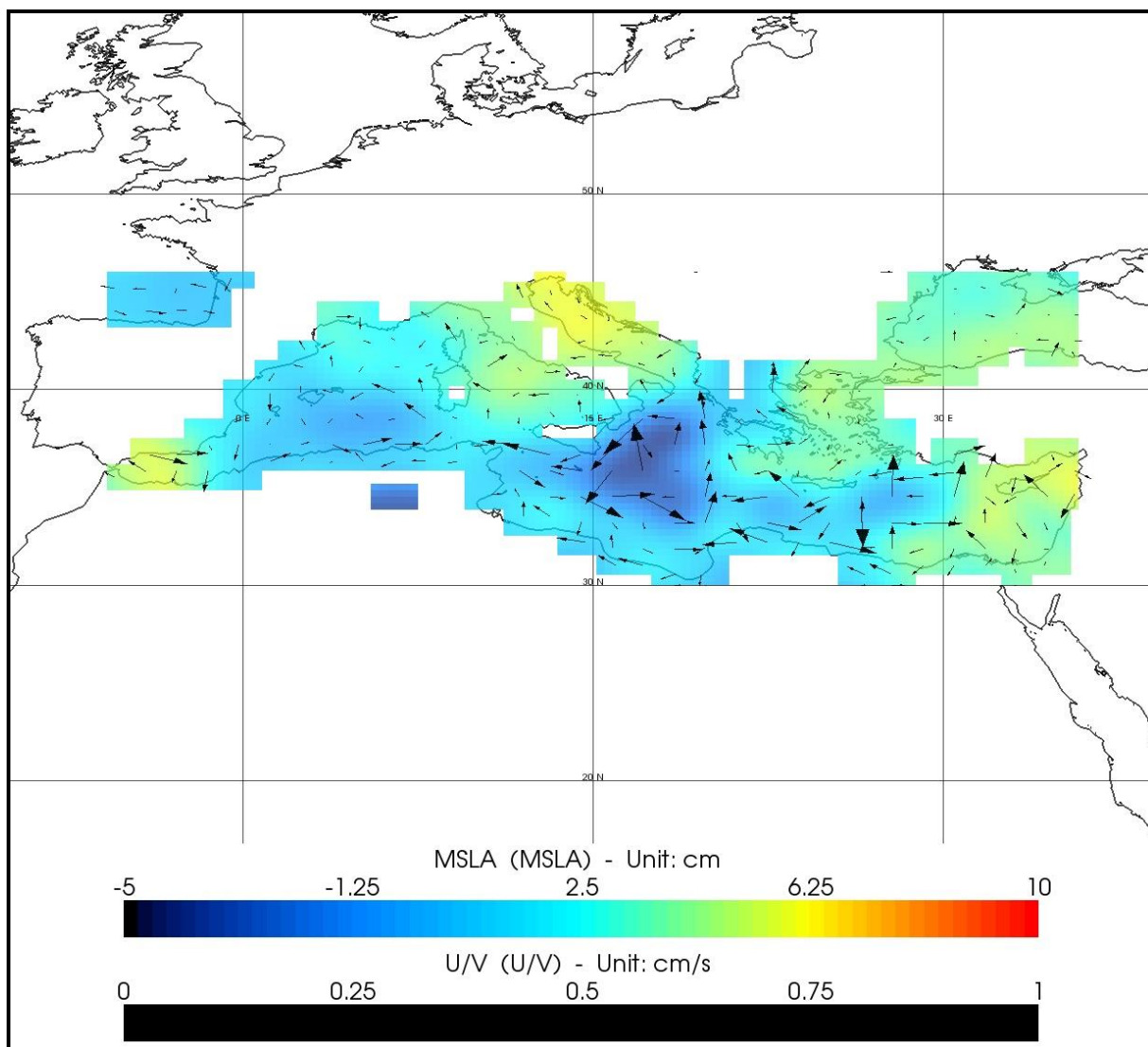
Κατά την επεξεργασία των δεδομένων για τη δημιουργία των χαρτών ανά έτος (για το 2010 **Εικόνα 5-33**, για το 2011 **Εικόνα 5-34** και για το 2012 **Εικόνα 5-35**), ορίσθηκαν σαν άξονες X και Y το γεωγραφικό μήκος και το γεωγραφικό πλάτος αντίστοιχα, ενώ στην έκφραση Data Expression εισήχθησαν τα πεδία που περιείχαν τις τιμές των ανωμαλιών των γεωστροφικών ταχυτήτων κατά παράλληλο (συνιστώσα U) και κατά μεσημβρινό (συνιστώσα V). Το βήμα του καννάβου ορίστηκε ίδιο με το αντίστοιχο των χαρτών MSLA, καθώς τα δεδομένα ήταν κοινά. Δεν έγινε εφαρμογή κάποιου φίλτρου και τα δεδομένα περιορίστηκαν στην περιοχή της Μεσογείου.

Για την απεικόνιση των χαρτών, αντιστοιχήθηκε το κάθε πεδίο με τις συνιστώσες (U → East Component και V → North Component) και έγινε η οπτικοποίηση τους σε προβολή Plate Carrée έχοντας σαν υπόβαθρο τον χάρτη MSLA της αντίστοιχης χρονικής περιόδου. Στη συνέχεια, έγινε εστίαση στην περιοχή της Μεσογείου και ρυθμίστηκε το μέγεθος των διανυσμάτων.

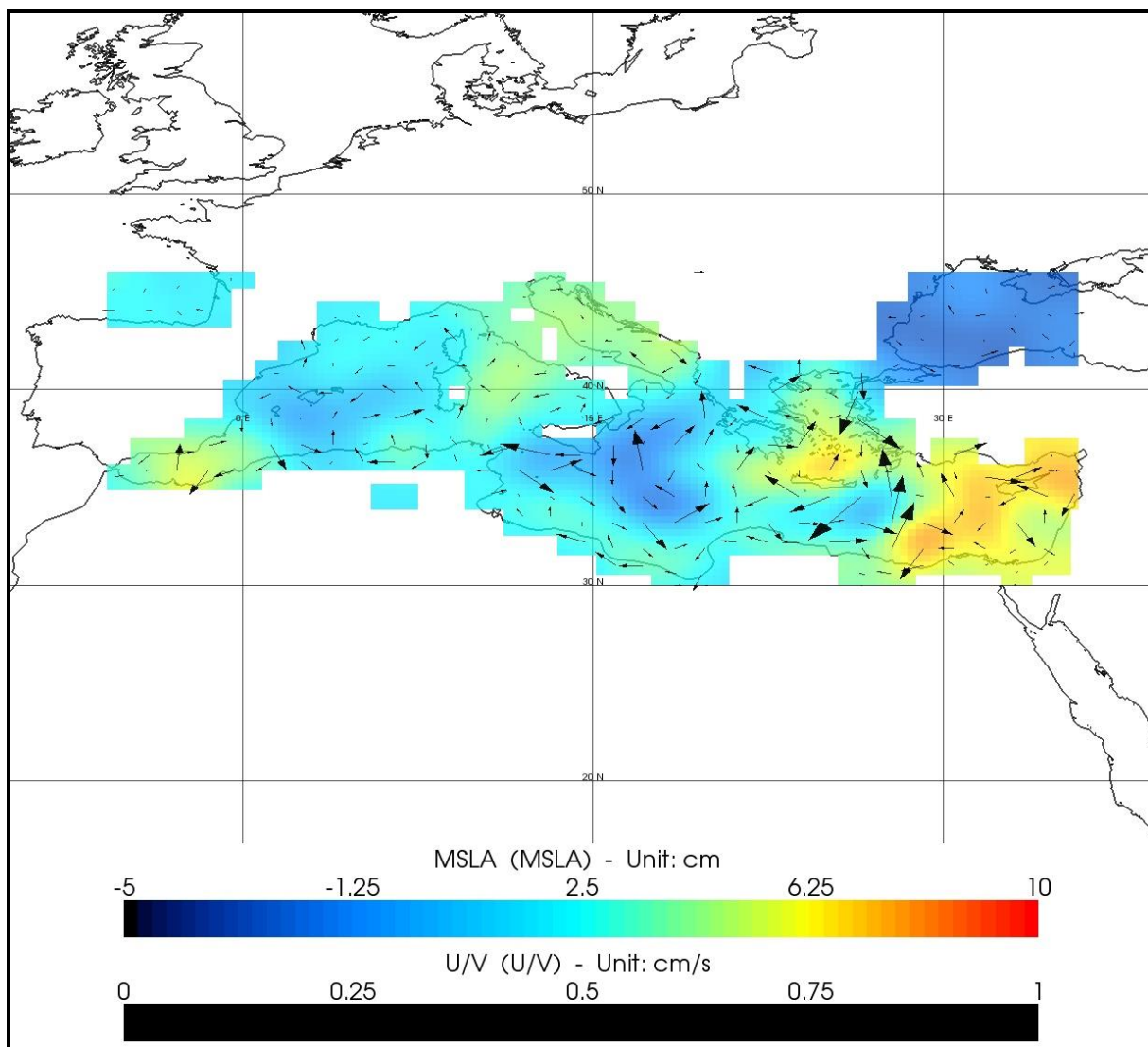
Ακολουθώντας τα ίδια βήματα επεξεργασίας, δημιουργήθηκαν χάρτες ανά ζεύγος μηνών για το έτος 2011 (Ιανουάριος-Φεβρουάριος (**Εικόνα 5-36**), Μάρτιος-Απρίλιος (**Εικόνα 5-37**), Μάιος-Ιούνιος (**Εικόνα 5-38**), Ιούλιος-Αύγουστος (**Εικόνα 5-39**), Σεπτέμβριος-Οκτώβριος (**Εικόνα 5-40**) και Νοέμβριος-Δεκέμβριος (**Εικόνα 5-41**). Στη συνέχεια, παρατίθενται οι παραπάνω χάρτες και γίνονται κάποιες διαπιστώσεις σχετικά με τα αποτελέσματα.



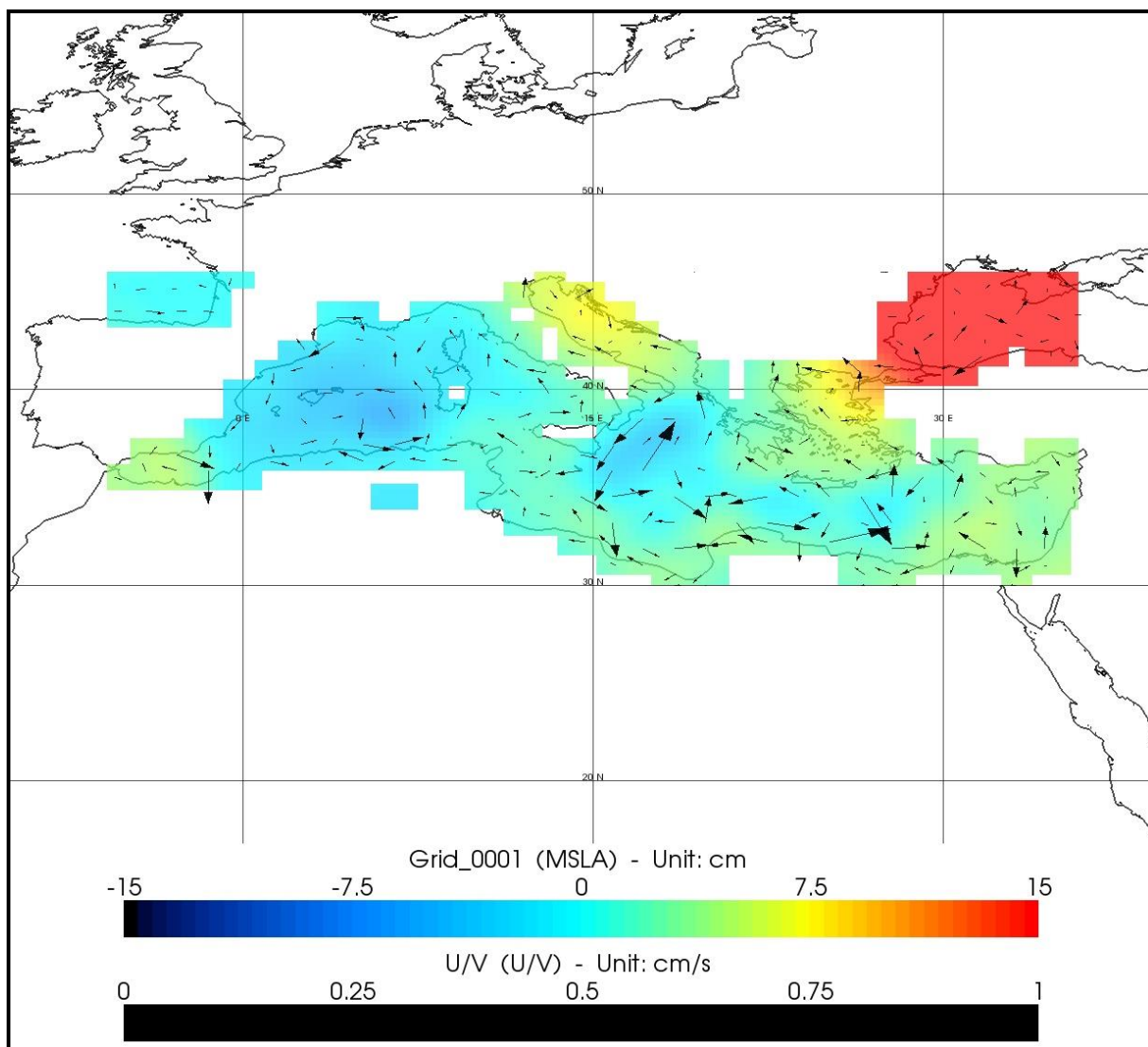
Εικόνα 5-33: Χάρτης Ανωμαλιών Γεωστροφικών Ταχυτήτων από δεδομένα “all-sat-merged” για το έτος 2010.



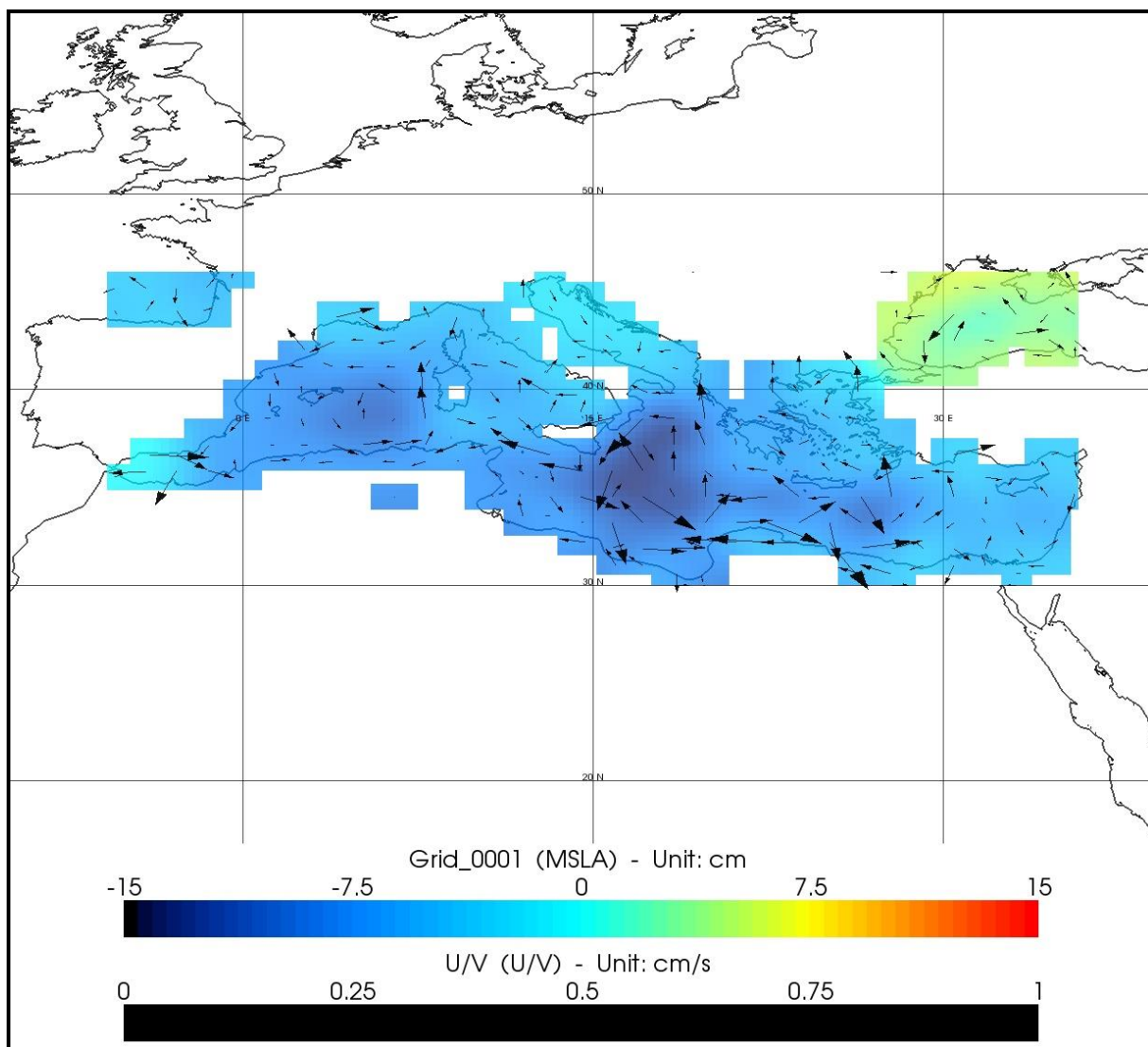
Εικόνα 5-34: Χάρτης Ανωμαλιών Γεωστροφικών Ταχυτήτων από δεδομένα “all-sat-merged” για το έτος 2011.



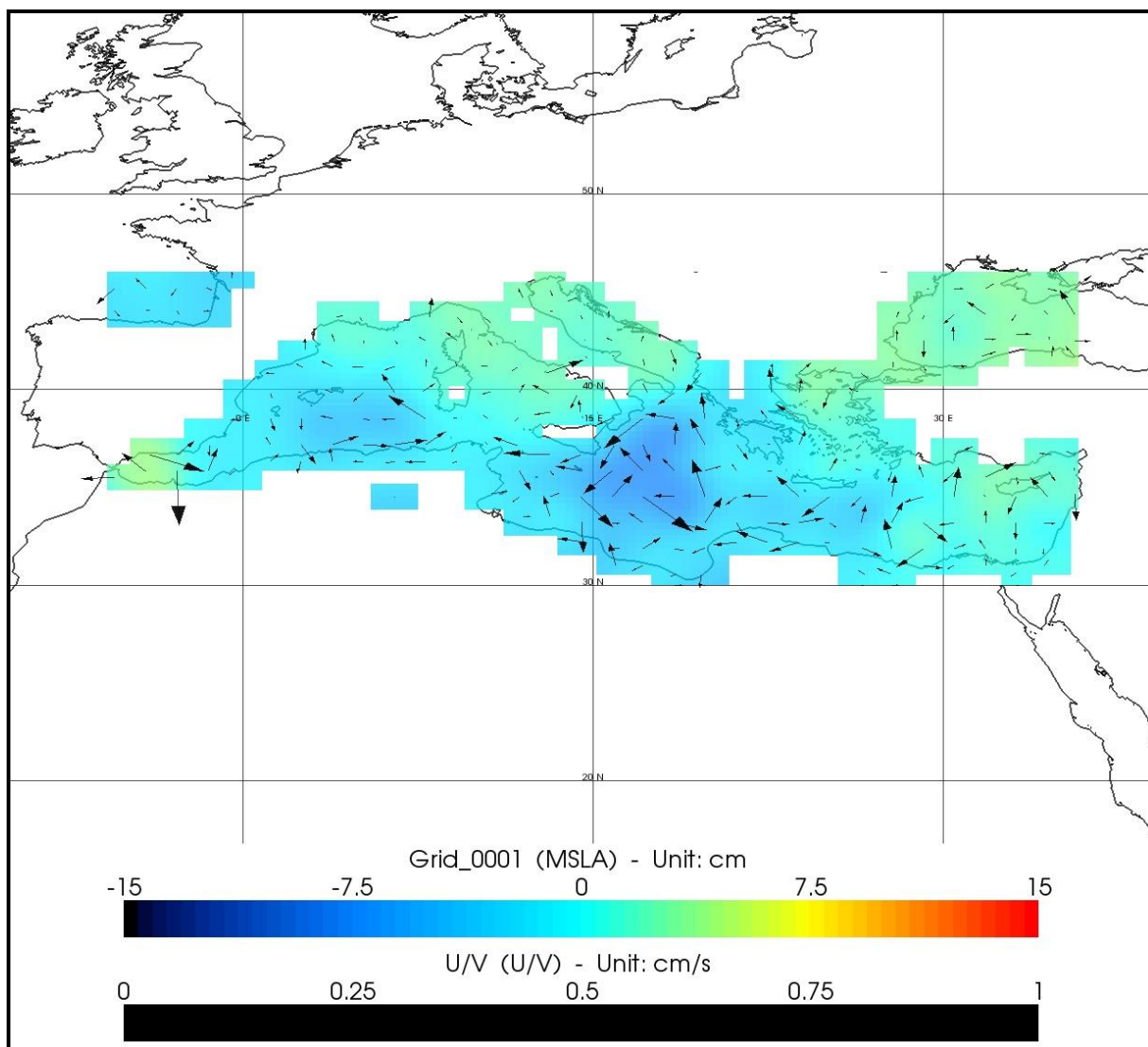
Εικόνα 5-35: Χάρτης Ανωμαλιών Γεωστροφικών Ταχυτήτων από δεδομένα “all-sat-merged” για το έτος 2012.



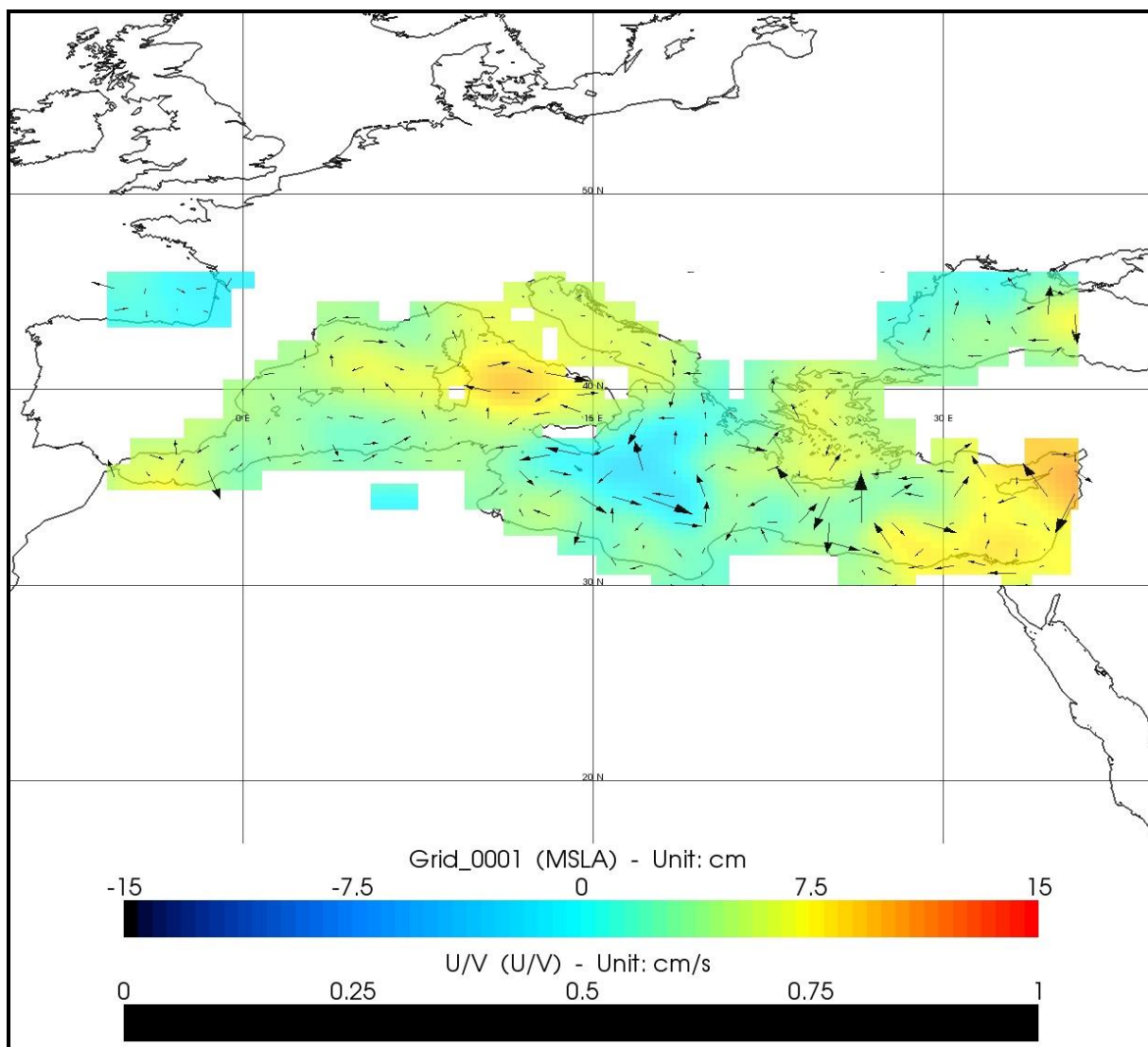
Εικόνα 5-36: Χάρτης Ανωμαλιών Γεωστροφικών Ταχυτήτων από δεδομένα “all-sat-merged” για τους μήνες Ιανουάριο και Φεβρουάριο του έτους 2011.



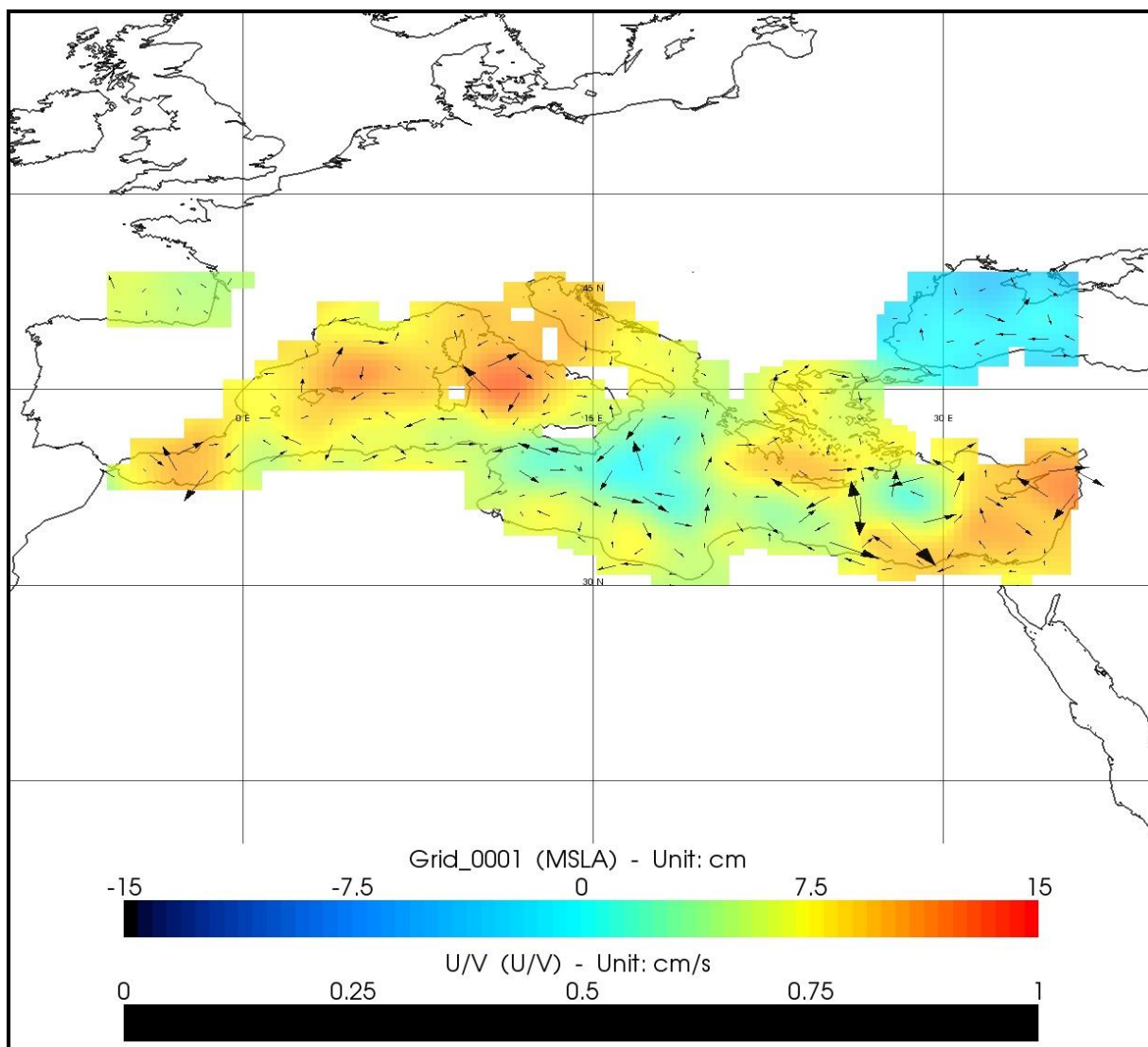
Εικόνα 5-37: Χάρτης Ανωμαλιών Γεωστροφικών Ταχυτήτων από δεδομένα “all-sat-merged” για τους μήνες Μάρτιο και Απρίλιο του έτους 2011.



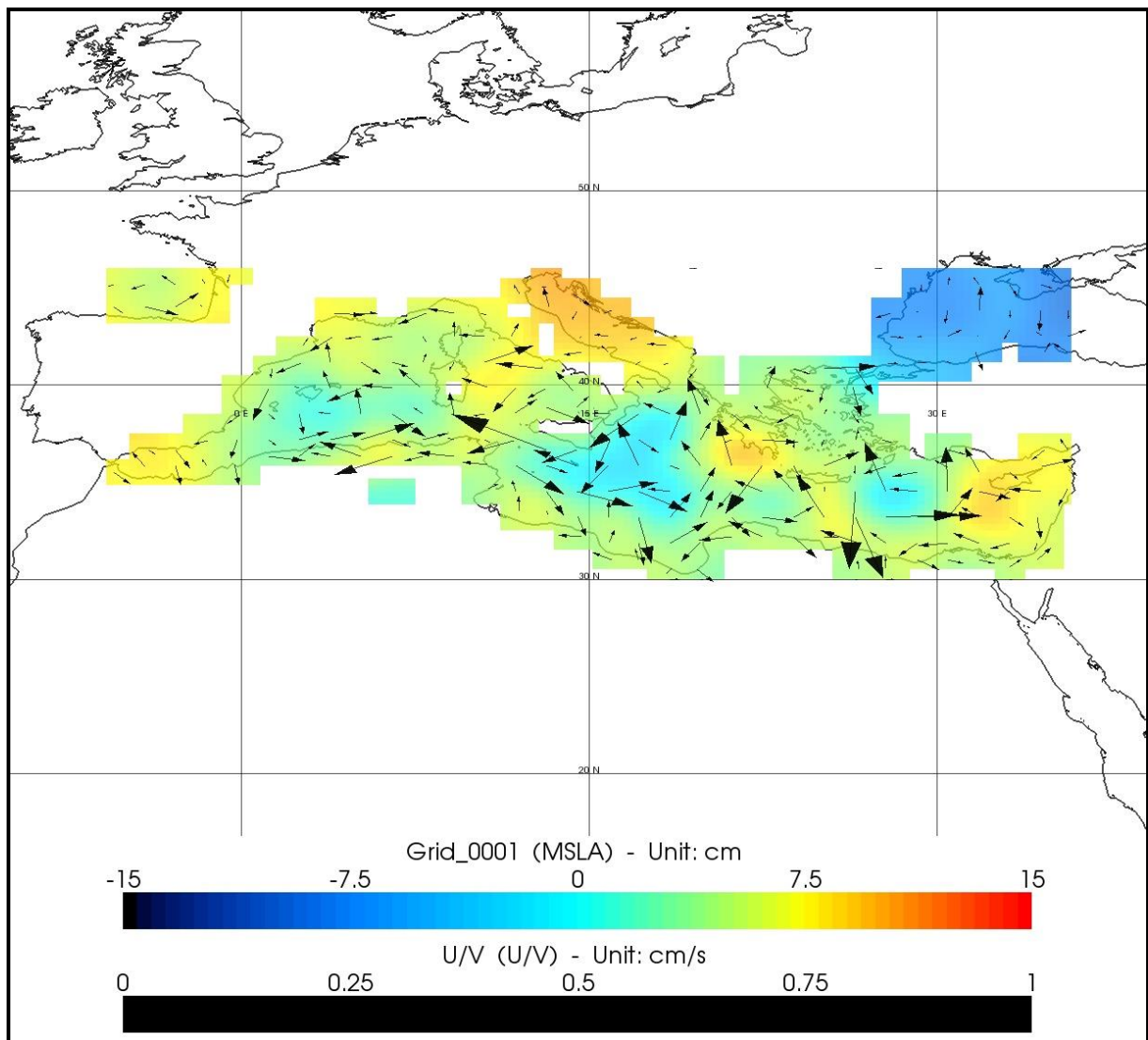
Εικόνα 5-38: Χάρτης Ανωμαλιών Γεωστροφικών Ταχυτήτων από δεδομένα “all-sat-merged” για τους μήνες Μάιο και Ιούνιο του έτους 2011.



Εικόνα 5-39: Χάρτης Ανωμαλιών Γεωστροφικών Ταχυτήτων από δεδομένα “all-sat-merged” για τους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο του έτους 2011.



Εικόνα 5-40: Χάρτης Ανωμαλιών Γεωστροφικών Ταχυτήτων από δεδομένα “all-sat-merged” για τους μήνες Σεπτέμβριο και Οκτώβριο του έτους 2011.



Εικόνα 5-41: Χάρτης Ανωμαλιών Γεωστροφικών Ταχυτήτων από δεδομένα “all-sat-merged” για τους μήνες Νοέμβριο και Δεκέμβριο του έτους 2011.

5.4.2.3 Συμπεράσματα

Παρατηρώντας τη σειρά χαρτών ανά έτος, η οποία έχει προκύψει από gridded δεδομένα SLA, μπορεί κανείς να εντοπίσει τις κύριες περιοχές, όπου υπάρχει μεγαλύτερη δραστηριότητα γεωστροφικών ρευμάτων. Είναι δυνατόν, επίσης, να βγουν συμπεράσματα για την έντασή τους και την κατεύθυνσή τους με βάση το σχετικό μέγεθος και την κατεύθυνση των αντίστοιχων διανυσμάτων. Καθώς οι χάρτες προκύπτουν από δεδομένα χωρικής ανάλυσης $1/4^\circ \times 1/4^\circ$, δεν απεικονίζεται μεγάλη λεπτομέρεια.

Οι κύριες τάσεις για τις ανωμαλίες των γεωστροφικών ταχυτήτων, παρατηρείται ότι είναι κοινές ανάμεσα στα τρία έτη. Συγκεκριμένα, παρουσιάζονται υψηλές ανωμαλίες στην ευρύτερη περιοχή του Ιονίου και του Λιβυκού Πελάγους. Η δομή των διανυσμάτων σχηματίζουν κυκλωτήρη σχήματα, γεγονός που παραπέμπει στην ύπαρξη gyre. Έντονη δραστηριότητα παρουσιάζεται, επίσης, στο στενό του Γιβραλτάρ, όπως ήταν αναμενόμενο λόγω της εισροής μεγάλων μαζών νερού από τον Ατλαντικό ωκεανό προς τη Μεσόγειο.

Παρατηρείται, επίσης, ότι ενώ τα δύο πρώτα έτη (2010 και 2011) εμφανίζονται μεγαλύτερες ανωμαλίες γεωστροφικών ταχυτήτων στο Ιόνιο Πέλαγος, στο χάρτη που αφορά το έτος 2012 εμφανίζεται ιδιαίτερη δραστηριότητα στο Λιβυκό Πέλαγος.

Όσον αφορά στη σειρά χαρτών ανά ζεύγος μηνών, είναι αντιληπτές οι διαφορές των γεωστροφικών ταχυτήτων μέσα στη διάρκεια ενός έτους και συγκεκριμένα παρουσιάζεται μεγαλύτερη δραστηριότητα κατά τους χειμερινούς κυρίως μήνες. Παρατηρώντας, όμως, τους χάρτες διαδοχικά, διαπιστώνει κανείς ότι υπάρχει συνοχή στις διακυμάνσεις των ανωμαλιών. Οι περιοχές με τις υψηλότερες ανωμαλίες, ανεξάρτητα του μήνα, παραμένουν κοινές με αυτές που αναφέρθηκαν νωρίτερα.

5.4.3 Περίπτωση 2^η

5.4.3.1 Δεδομένα

Κατά τη δεύτερη περίπτωση, χρησιμοποιήθηκε το αρχείο *mdt_rio2007_mediterranean.nc*, το οποίο, όπως αναφέρθηκε και στην Ενότητα 5.3.3.1, ανήκει στα βοηθητικά προϊόντα της υπηρεσίας Aviso+.

Το αρχείο αυτό περιέχει τις τιμές των μέσων γεωστροφικών ταχυτήτων κατά παράλληλο (Zonal – U) και μεσημβρινό (Meridian – V), με Χωρική Ανάλυση $1/8^\circ \times 1/8^\circ$, για τη χρονική περίοδο των επτά ετών 1993-1999.

5.4.3.2 Επεξεργασία και Αποτελέσματα

Στόχος της δεύτερης περίπτωσης μελέτης των γεωστροφικών ρευμάτων ήταν η δημιουργία χαρτών μέσω γεωστροφικών ταχυτήτων από το παραπάνω αρχείο για τη λεπτομερέστερη εξέταση του συνόλου των ρευμάτων στη Μεσόγειο γενικά, αλλά κάθε συνιστώσας ξεχωριστά. Παράχθηκε, επιπλέον, ένας χάρτης που απεικονίζει την κινητική ενέργεια των ρευμάτων. Το χρονικό εύρος ήταν τα έτη 1993-1999.

Για τη δημιουργία του χάρτη συνολικής διάρκειας, ορίσθηκαν σαν άξονες X και Y το γεωγραφικό μήκος και το γεωγραφικό πλάτος αντίστοιχα, ενώ στην έκφραση Data Expression εισήχθησαν τα πεδία που περιείχαν τις τιμές των ανωμαλιών των γεωστροφικών ταχυτήτων κατά παράλληλο (συνιστώσα U) και κατά μεσημβρινό (συνιστώσα V). Το βήμα του καννάβου ορίσθηκε ως το ελάχιστο, δηλαδή $1/8^\circ$ και η μονάδα μέτρησης παρέμεινε η προεπιλεγμένη (cm/s).

Η οπτικοποίηση του χάρτη αυτού έγινε σε προβολή Plate Carrée, αντιστοιχίζοντας το κάθε πεδίο με τις συνιστώσες (U → East Component και V → North Component). Στη συνέχεια, έγινε εστίαση στην περιοχή της Μεσογείου και ρυθμίστηκε το μέγεθος των διανυσμάτων. Σε πρώτο στάδιο απεικονίζονται μόνο τα διανύσματα των μέσων γεωστροφικών ταχυτήτων (**Εικόνα 5-42**), ενώ σε δεύτερο στάδιο χρησιμοποιείται σαν υπόβαθρο ο χάρτης της Μέσης Δυναμικής Τοπογραφίας (**Εικόνα 5-43**) για την καλύτερη αντίληψη του φαινομένου.

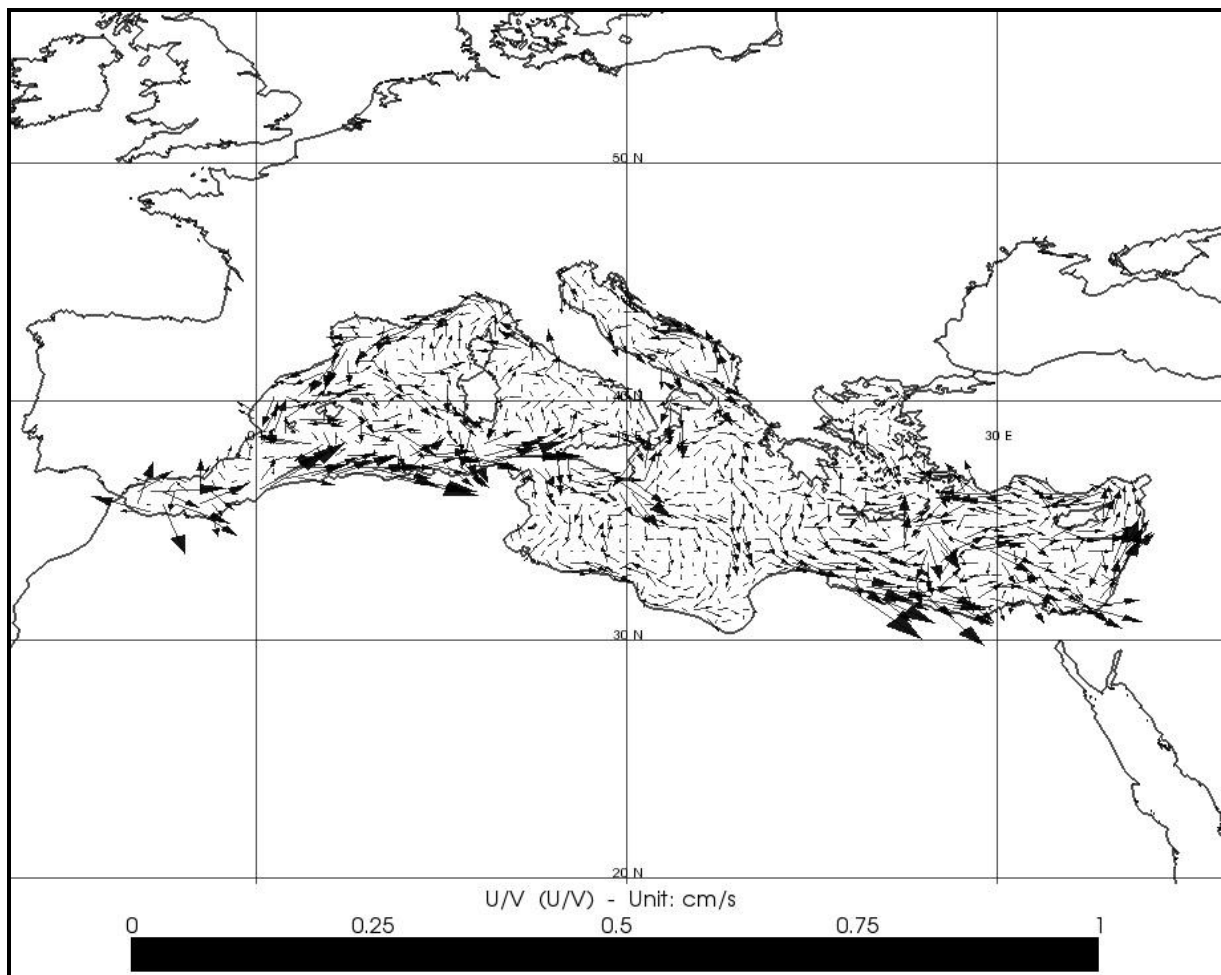
Ακολούθησε η δημιουργία των χαρτών της κάθε συνιστώσας ξεχωριστά (**Εικόνα 5-44 και Εικόνα 5-45**). Εδώ, με άξονες το γεωγραφικό μήκος και πλάτος για το X και Y αντίστοιχα, χρησιμοποιήθηκαν σαν εκφράσεις Data Expression οι αλγόριθμοι BratAlgoGeosVelGridU και BratAlgoGeosVelGridV για την επεξεργασία των πεδίων U και V αντίστοιχα. Το πεδίο που επιλέχθηκε για την άντληση δεδομένων σχετικά με το υψόμετρο της επιφάνειας της θάλασσας ήταν αυτό της Μέσης Δυναμικής Τοπογραφίας (mdt).

Τέλος, υπολογίστηκε η κινητική ενέργεια (Eddy Kinetic Energy – EKE) λόγω των γεωστροφικών ρευμάτων. Ο τύπος που την περιγράφει είναι:

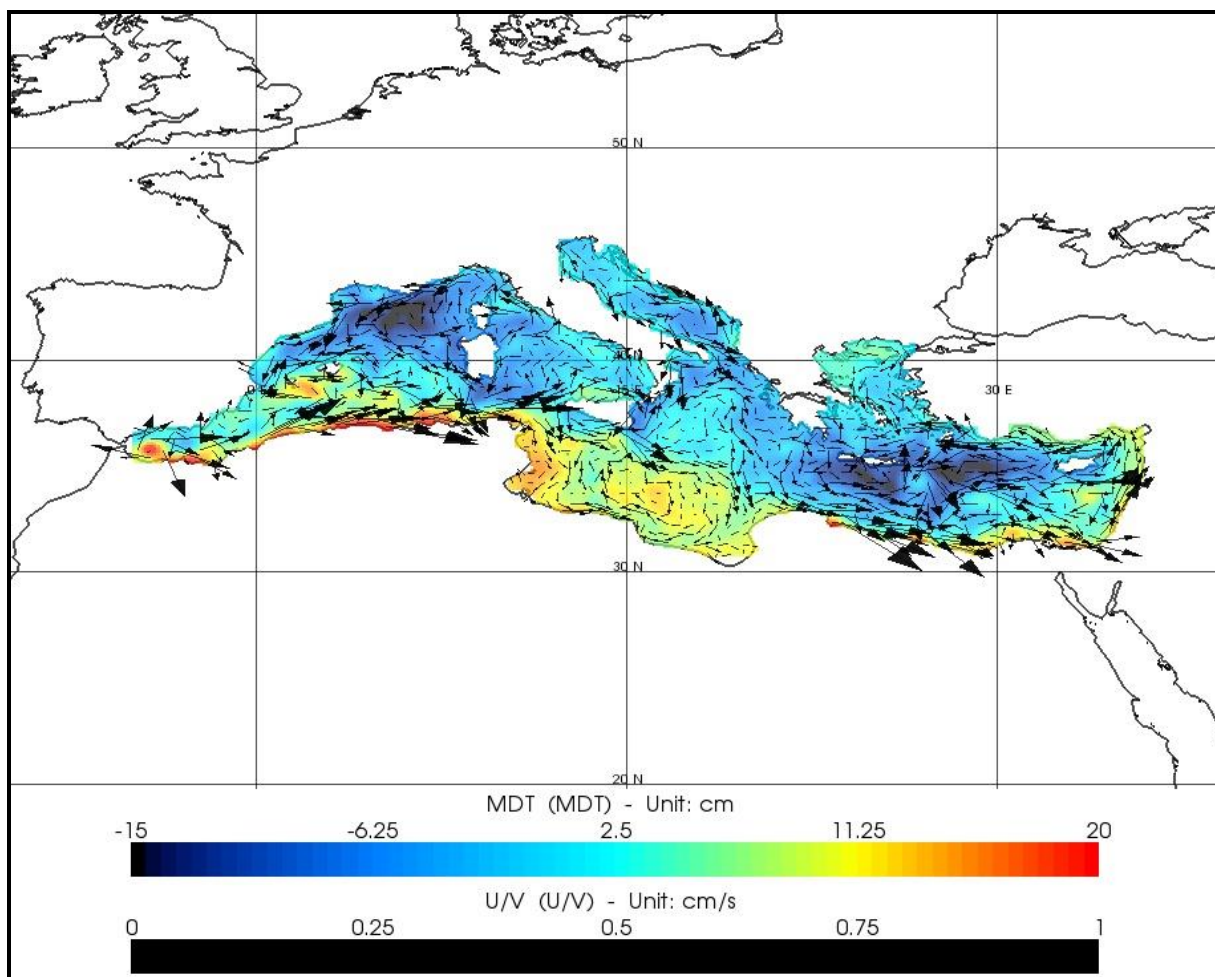
$$EKE = \frac{1}{2}(U^2 + V^2) \quad (5.1)$$

Τα βήματα επεξεργασίας για τη δημιουργία του χάρτη EKE δεν διαφέρουν από τα προηγούμενα. Για την απεικόνιση των τριών τελευταίων χαρτών, χρησιμοποιήθηκε και πάλι η προβολή Plate Carrée και προσαρμόστηκαν κατάλληλα οι χρωματικές κλίμακες. Σαν μονάδα μέτρησης για το χάρτη EKE χρησιμοποιήθηκε η παράγωγη από τη Σχέση 5.1, δηλαδή cm^2/s^2 .

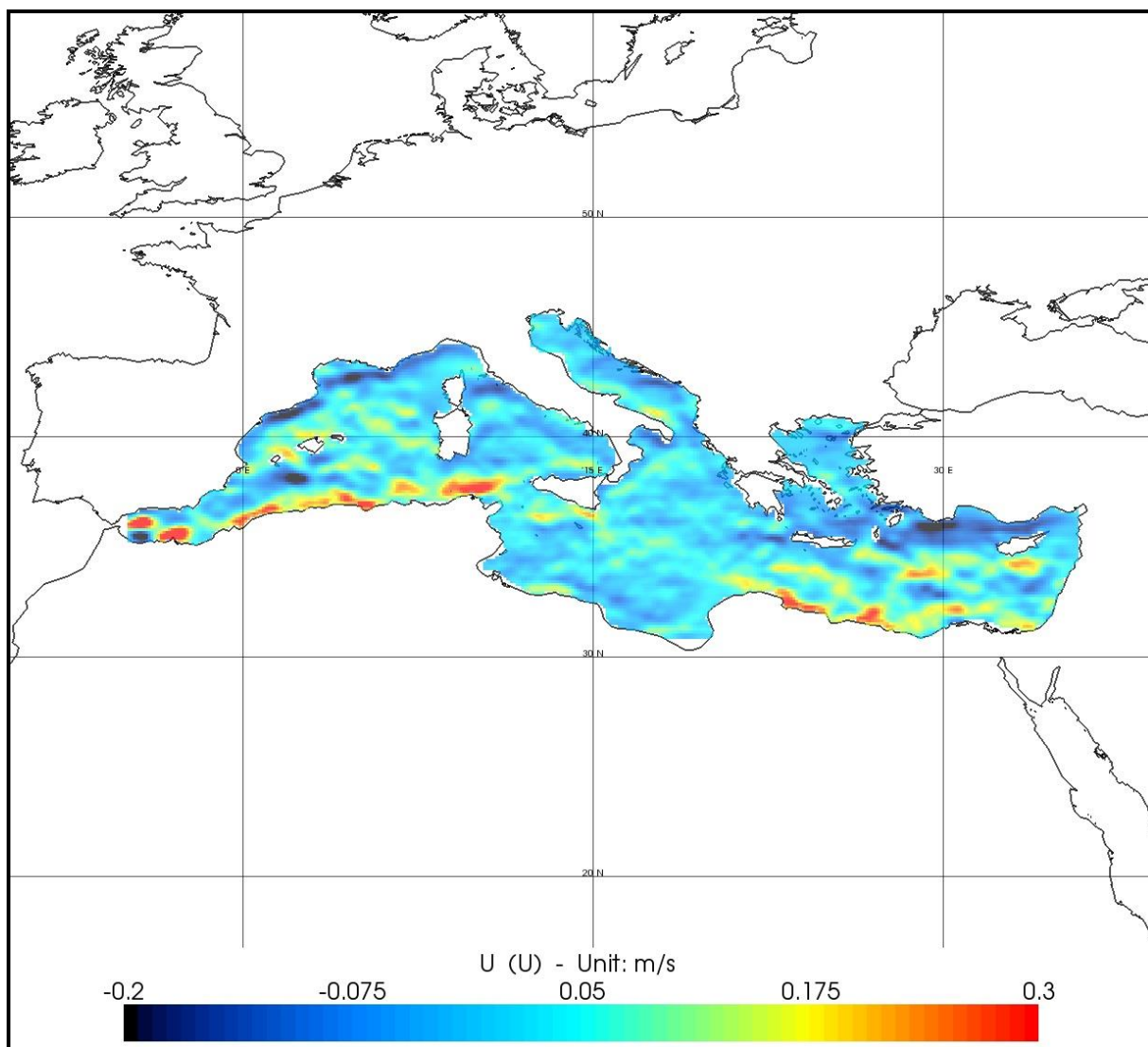
Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των χαρτών και τα σχετικά συμπεράσματα.



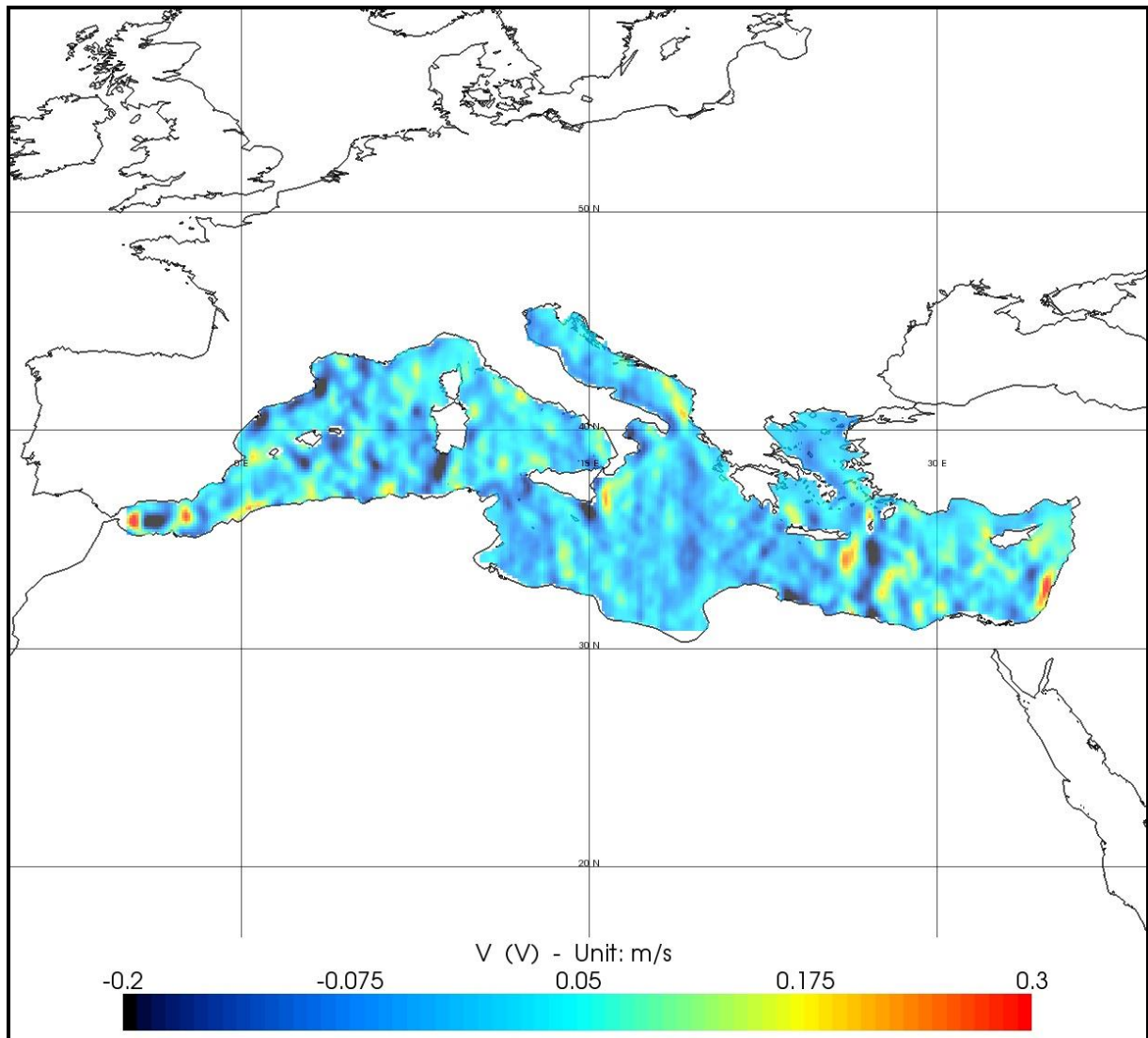
Εικόνα 5-42: Χάρτης Μέσων Γεωστροφικών Ταχυτήτων από βοηθητικά αλιμετρικά προϊόντα (*mdt_rio2007_mediterranean.nc*) για τη χρονική περίοδο 1993-1999 χωρίς την παράλληλη απεικόνιση της Απόλυτης Δυναμικής Τοπογραφίας.



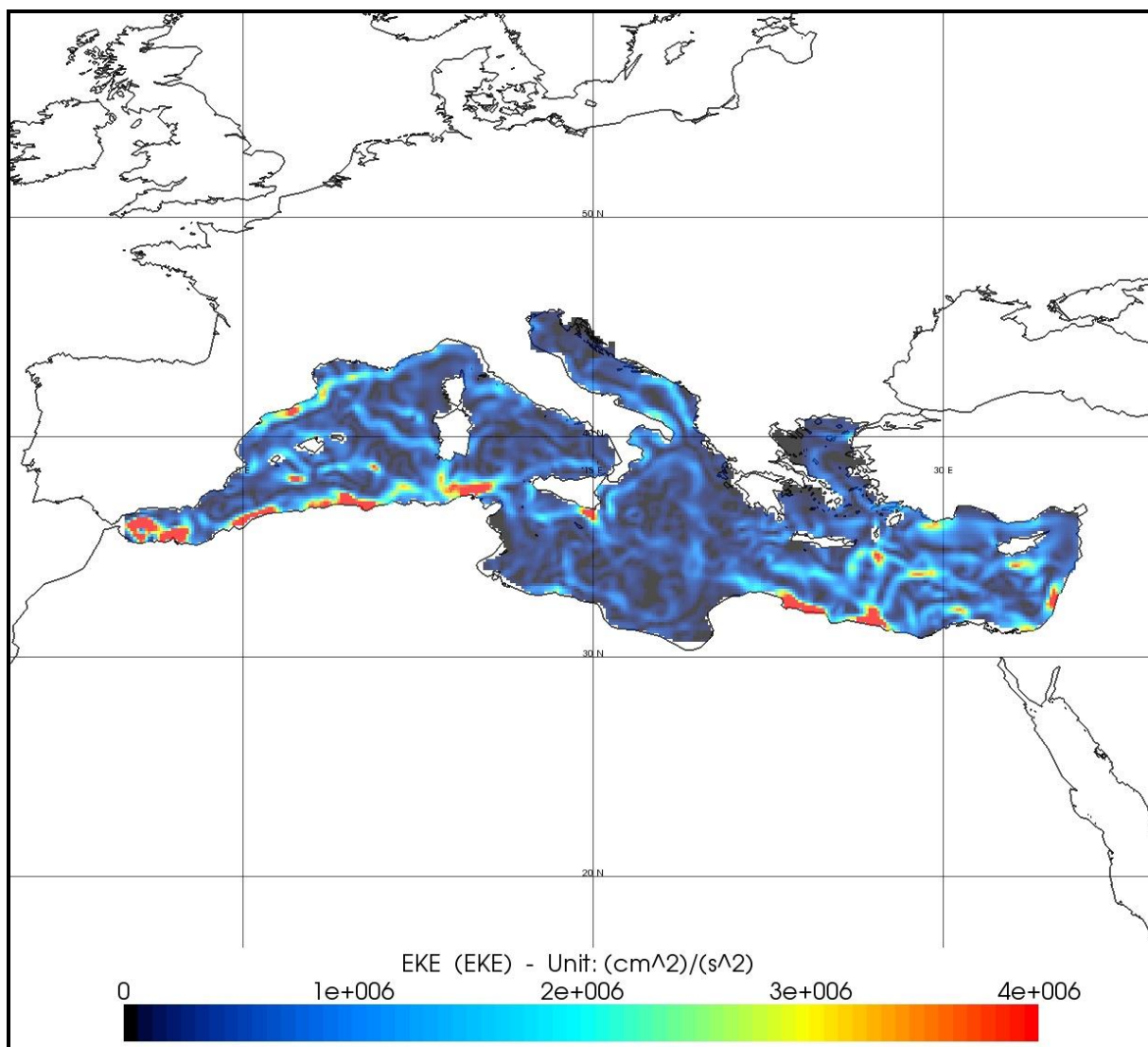
Εικόνα 5-43: Χάρτης Μέσων Γεωστροφικών Ταχυτήτων από βοηθητικά αλιμετρικά προϊόντα (*mdt_rio2007_mediterranean.nc*) για τη χρονική περίοδο 1993-1999 με την παράλληλη απεικόνιση της Απόλυτης Δυναμικής Τοπογραφίας.



Εικόνα 5-44: Χάρτης Μέσων Γεωστροφικών Ταχυτήτων από βοηθητικά αλιμετρικά προϊόντα (*mdt_rio2007_mediterranean.nc*) για τη χρονική περίοδο 1993-1999. Συνιστώσα κατά παράλληλο U.



Εικόνα 5-45: Χάρτης Μέσων Γεωστροφικών Ταχυτήτων από βοηθητικά αλιμετρικά προϊόντα (*mdt_rio2007_mediterranean.nc*) για τη χρονική περίοδο 1993-1999. Συνιστώσα κατά παράλληλο V.



Εικόνα 5-46: Χάρτης Κινητικής Ενέργειας Γεωστροφικών Ρευμάτων από βοηθητικά αλιμετρικά προϊόντα (*mdt_rio2007_mediterranean.nc*) για τη χρονική περίοδο 1993-1999.

5.4.3.3 Συμπεράσματα

Συγκρίνοντας, αρχικά, τους χάρτες που έχουν παραχθεί από gridded δεδομένα SLA με αυτούς που προέκυψαν από τα βοηθητικά προϊόντα, είναι προφανές ότι τα τελευταία αποδίδουν μεγαλύτερη λεπτομέρεια και πληροφορία για τις γεωστροφικές ταχύτητες. Το γεγονός αυτό ήταν αναμενόμενο λόγω της υψηλότερης χωρικής τους ανάλυσης, αλλά και λόγω του χρονικού εύρους και της ειδικής προεπεξεργασίας τους.

Οι περιοχές με τις μεγαλύτερες γεωστροφικές ταχύτητες παρουσιάζονται κοντά στις ακτές της Αλγερίας και της Λιβύης, καθώς και στο στενό του Γιβραλτάρ. Επιπλέον, μπορεί και σε αυτούς του χάρτες να διακριθεί ο αντικυκλώνας της Ιεράπετρας, νοτιοανατολικά της Κρήτης.

Ακολουθεί η εξαγωγή συμπερασμάτων για τους χάρτες που απεικονίζουν τις συνιστώσες των γεωστροφικών ταχυτήτων U και V ξεχωριστά. Παρατηρείται ότι η πρώτη συνιστώσα αποδίδεται καλύτερα από την δεύτερη. Συγκεκριμένα, στη V διακρίνονται σε μεγαλύτερο βαθμό τα ίχνη της τροχιάς του δορυφόρου και υπάρχει μεγαλύτερος θόρυβος. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι εφόσον η συνιστώσα U σχηματίζει μεγαλύτερη γωνία με την τροχιά του δορυφόρου (κάτι που εξαρτάται από την κλίση της τροχιάς του δορυφόρου) εμπεριέχει περισσότερη πληροφορία σε σχέση με τη συνιστώσα V . Κατά τα άλλα, οι περιοχές ισχυρότερης δραστηριότητας είναι και εδώ ίδιες με προηγουμένως, αφού προέρχονται από κοινά δεδομένα.

Τέλος, παρατηρώντας τον χάρτη της κινητικής ενέργειας, διακρίνονται οι δίοδοι των γεωστροφικών ρευμάτων. Αυτό βγαίνει σαν συμπέρασμα διακρίνοντας τις περιοχές με μεγαλύτερες τιμές ΕΚΕ. Οι κόκκινες περιοχές αντιπροσωπεύουν τις προαναφερθείσες περιοχές υψηλών γεωστροφικών ταχυτήτων.

5.5 Εφαρμογή 4^η: Δημιουργία Χαρτών για τη μελέτη του Σημαντικού Ύψους Κύματος (MSWH)

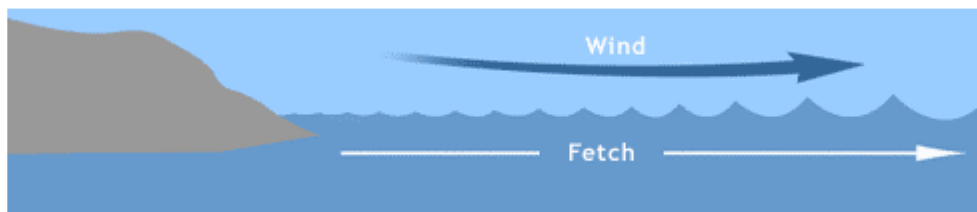
Στην τελευταία εφαρμογή γίνεται η μελέτη του Σημαντικού Ύψους Κύματος στην περιοχή της Μεσογείου. Για τον σκοπό αυτό, χρησιμοποιήθηκαν gridded και along-track δεδομένα, ώστε να διερευνηθεί η ποιότητα του καθενός, καθώς και να συγκριθούν τα βασικά τους χαρακτηριστικά. Επίσης, δημιουργήθηκαν χάρτες που αναφέρονται σε διαφορετικά χρονικά διαστήματα και χωρικά επίπεδα για να ελεγχθούν οι δυνατότητες των χρησιμοποιούμενων δεδομένων. Στη συνέχεια, αναφέρονται κάποια θεωρητικά στοιχεία των κυμάτων και παρουσιάζονται τα σχετικά αποτελέσματα.

5.5.1 Θεωρητικές Βάσεις

Ως κυματισμός ορίζεται κάθε περιοδική ή μη περιοδική διαταραχή της επιφάνειας της θάλασσας, η οποία, συνήθως, προκαλείται από την επίδραση των ανέμων. Το ύψος του κύματος εξαρτάται:

- από την ταχύτητα του ανέμου
- από την απόσταση στην οποία οι άνεμοι, που πνέουν, έχουν περίπου ίδια ταχύτητα και κατεύθυνση (fetch)(**Εικόνα 5-47**).
- τη διάρκεια κατά την οποία οι άνεμοι πνέουν συνεχώς κατά μήκος της απόστασης αυτής.

Οι υψηλές ταχύτητες ανέμων σε συνδυασμό με μεγάλη διάρκεια και μεγάλο fetch έχουν σαν αποτέλεσμα υψηλά κύματα. Τα κύματα, σε αντίθεση, που προκαλούνται από τοπικούς ανέμους (wind waves), είναι μικρά και έχουν την τάση να «σπάνε», όταν η ταχύτητα του ανέμου είναι περίπου 30 Km/h (ή 15 κόμβοι). Αυτό το είδος των κυμάτων είναι πιο σύνηθες σε λίμνες και κλειστές θάλασσες.



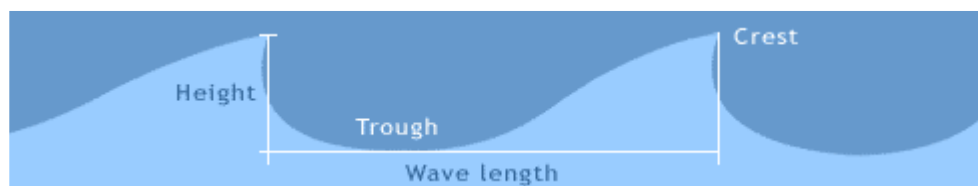
Εικόνα 5-47: Γραφική απεικόνιση της απόστασης fetch. Πηγή: (Ainsworth 2006)

<http://www.mxak.org/weather/pdfs/waves.pdf>

Στους ωκεανούς, το φαινόμενο των κυμάτων γίνεται πιο περίπλοκο. Τα κύματα δημιουργούνται αρχικά μεν από τοπικούς ανέμους, αλλά μετά τη δημιουργία τους συνεχίζουν να διαδίδονται σε απόσταση χιλιάδων μιλίων. Τα κύματα, τα οποία διαδίδονται σε αποστάσεις εκτός της περιοχής δημιουργίας τους και δεν μπορούν να θεωρηθούν πλέον αποτέλεσμα των τοπικών ανέμων, ονομάζονται *swell* (κοινώς *φουσκοθαλασσιά* ή *βουβό κύμα* ή *ρεσιτιά*). Αυτό το είδος των κυμάτων έχει μεγαλύτερο πλάτος και πιο μαλακές κορυφές. Τα κύματα *swell* διαδίδονται σε πολύ μεγάλες αποστάσεις, ενώνονται σε άλλα κύματα, που έχουν δημιουργηθεί από καιρικά φαινόμενα κατά τόπους, και έχουν διαφορετικές κατευθύνσεις, καταλήγοντας τελικά στις ακτές. Συμπερασματικά, η επιφάνεια των ωκεανών αποτελείται από χιλιάδες αλληλοεπιδρώντα κύματα, που προέρχονται από διαφορετικές περιοχές, διαδίδονται προς διαφορετικές κατευθύνσεις και με διαφορετικές ταχύτητες. Αυτό είναι το επονομαζόμενο «κυματικό φάσμα».

Μέγεθος Κύματος

Το μέγεθος του κύματος καθορίζεται από τρία στοιχεία: το ύψος, το μήκος και την περίοδο (ή τη συχνότητα) του κύματος (**Εικόνα 5-48**). Επίσης, ένα τέταρτο στοιχείο μπορεί να είναι και η κλίση του. Σαν ύψος κύματος ορίζεται η απόσταση από το κοίλο μέχρι την κορυφή του κύματος, ενώ σαν μήκος κύματος ορίζεται η απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών κορυφών ή δύο διαδοχικών κοίλων. Τέλος, περίοδος κύματος είναι το χρονικό διάστημα που χρειάζεται για να περάσουν από ένα συγκεκριμένο σημείο δύο διαδοχικές κορυφές ή δύο διαδοχικά κοίλα. Τα wind waves έχουν μικρότερα ύψη και μικρότερες περιόδους σε σχέση με τα κύματα swell.



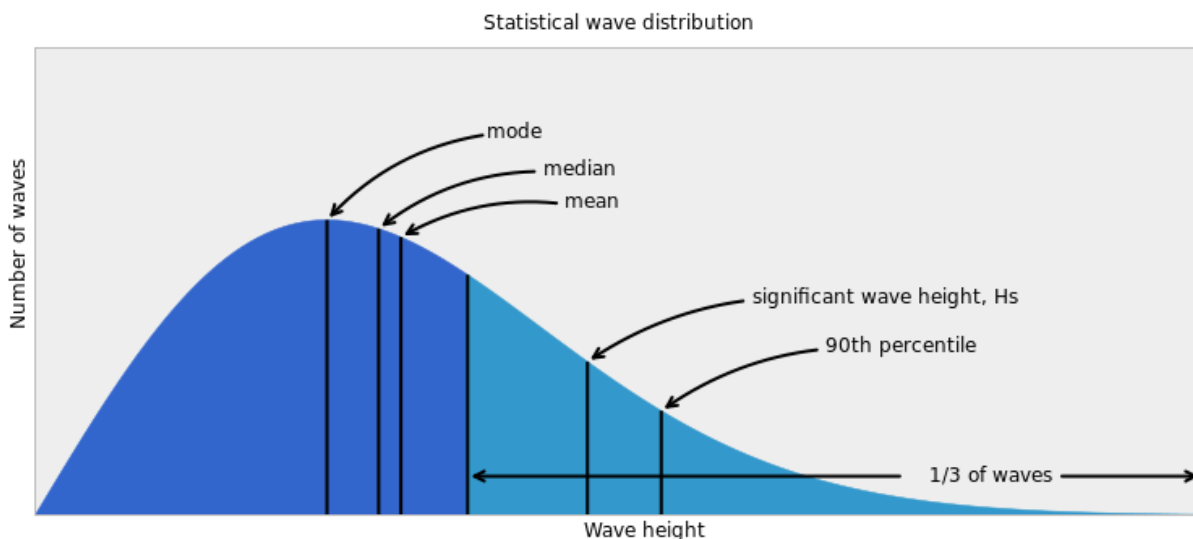
Εικόνα 5-48: Τα χαρακτηριστικά στοιχεία για τη μέτρηση το μεγέθους ενός κύματος.

Πηγή: (Ainsworth 2006) <http://www.mxak.org/weather/pdfs/waves.pdf>

Η κλίση κύματος προσδιορίζεται από το λόγο του ύψους κύματος προς το μήκος κύματος. Συμπεράσματα σχετικά με την κλίση αυτή μπορούν να εξαχθούν από μετρήσεις ειδικών σημαντήρων (buoy). Όταν το ύψος και η περίοδος των wind waves έχουν περίπου την ίδια τιμή, η κλίση του κύματος είναι μεγάλη, γεγονός που καθιστά πιο πιθανή την ανατροπή μικρότερων σκαφών. Καθώς τα κύματα απομακρύνονται από την περιοχή όπου δημιουργήθηκαν, το μήκος κύματος και η περίοδος αυξάνεται σταδιακά και όταν πλέον η περίοδός τους είναι μεγαλύτερη από 10-12 sec, θεωρούνται κύματα swell (Ainsworth 2006).

Σημαντικό Ύψος Κύματος (Significant Wave Height – SWH)

Το Σημαντικό Ύψος Κύματος εκφράζει τη μέση τιμή του ενός τρίτου των υψηλότερων παρατηρούμενων κυμάτων ($H_{1/3}$) σε ένα σημείο κατά τη διάρκεια μιας δειγματοληψίας. Επίσης, συμπίπτει με το ύψος κυμάτων που δίνει ένας έμπειρος ναυτικός μετά από οπτική παρατήρηση της θάλασσας. Αυτή η τιμή είναι και η τιμή που δίνεται στα αρχεία των αλτιμετρικών δεδομένων ενός δορυφόρου, η οποία υπολογίζεται από τη δειγματοληψία των κυμάτων μέσα στην περιοχή που "καλύπτεται" από τη δέσμη του παλμού ραντάρ που εκπέμπει ο δορυφόρος (Δεληκαράογλου Δ. και Δεληκαράογλου Σ. 2012).



Εικόνα 5-49: Στατιστική κατανομή κύματος (Ύψος κύματος (H) = f (Αριθμός κυμάτων (N)))

Πηγή: (Wikipedia 2014)

http://en.wikipedia.org/wiki/Significant_wave_height#mediaviewer/File:Wavestats.svg

Για να γίνει πιο εύκολα αντιληπτός ο ορισμός του $1/3$ των υψηλότερων κυμάτων $H_{1/3}$, μπορεί κανείς να μελετήσει την στατιστική κατανομή του κύματος (**Εικόνα 5-49**). Αν απεικονιστούν στην ίδια κατανομή τα ύψη όλων των κυμάτων που εμπεριέχονται στο κυματικό φάσμα συναρτήσει του συνολικού αριθμού τους, προκύπτει μία καμπύλη σε μορφή «καμπάνας». Από την καμπύλη, μπορεί να συμπεράνει κανείς ότι ο αριθμός των χαμηλότερων κυμάτων και ο αριθμός των πολύ υψηλών κυμάτων είναι σχετικά μικρός. Κυριαρχούν τα κύματα μετρίου ύψους (στην καμπύλη απεικονίζονται ως *mode*). Με γαλάζιο χρώμα φαίνεται στην καμπύλη το $1/3$ των υψηλότερων κυμάτων. Η μέση τιμή αυτών είναι το Σημαντικό Ύψος Κυμάτων (στην καμπύλη *significant wave height, Hs*). Φαίνεται, επίσης, η μέση τιμή του ύψους όλων των κυμάτων (*mean*) και το ύψος του $1/10$ των υψηλότερων κυμάτων (*90th percentile*) (Ainsworth 2006).

Με τη μέθοδο της Δορυφορικής Αλτιμετρίας είναι δυνατόν να αντληθούν πληροφορίες που αφορούν, εκτός των άλλων, και το σημαντικό ύψος των κυμάτων στην περιοχή των μετρήσεων. Αυτό συμβαίνει, γιατί η κυματομορφή του παλμού περιέχει πληροφορίες σχετικά με τα χαρακτηριστικά της επιφάνειας, η οποία προκάλεσε την ανάκλαση του παλμού που εκπέμπεται από το δορυφορικό αλτίμετρο. Η οπισθοσκέδαση (backscatter) του παλμού επηρεάζεται από την τραχύτητα της επιφάνειας της θάλασσας εξαιτίας των επιφανειακών κυματισμών, δεδομένου ότι το αλτίμετρο μετρά πρώτα την κυματική κορυφή και στη συνέχεια την κυματική κοιλάδα των κυμάτων.

Συγκεκριμένα, η κυματομορφή του εκάστοτε ανακλώμενου παλμού έχει ένα χαρακτηριστικό σχήμα που μπορεί να περιγραφεί αναλυτικά, ενώ η ένταση του παλμού ποικίλλει με την πάροδο του χρόνου επιστροφής του παλμού. Όπως φαίνεται στην (**Εικόνα 2-9**), όταν η επιφάνεια της θάλασσας είναι επίπεδη κατά τη διάρκεια περιόδων ηρεμίας (αριστερά), ο παλμός ανακλάται έντονα από τη στιγμή που η αιχμή του εκπεμπόμενου

παλμού ραντάρ χτυπά την επιφάνεια. Αντίθετα, όταν επικρατεί θαλασσοταραχή (δεξιά), ο παλμός ανακλάται αρχικά από την κορυφή του υψηλότερου κύματος που βρίσκεται απευθείας κάτω από το δορυφόρο και μετέπειτα από τη σειρά άλλων κυματοκορυφών διαδοχικών κυμάτων, με τρόπο ώστε το πλάτος του ανακλώμενου παλμού του ραντάρ αυξάνεται σταδιακά. Με τον τρόπο αυτό μπορεί να εκτιμηθεί το σημαντικό ύψος των κυμάτων από τη κλίση της καμπύλης που αντιπροσωπεύει το πλάτος του ανακλώμενου παλμού με την πάροδο του χρόνου κατά μήκος του ίχνους του ραντάρ στην επιφάνεια της θάλασσας.

5.5.2 Περίπτωση 1^η

5.5.2.1 Δεδομένα

Στην πρώτη περίπτωση τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν δεδομένα Σημαντικού Ύψους Κύματος ανηγμένα στα σημεία του καννάβου (Gridded Significant Wave Height Data) (Centre National d'Etudes Spatiales (CNES), Aviso+) Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα βασικά τους χαρακτηριστικά:

- Είδος δεδομένων: Gridded
- Χωρική Ανάλυση: 1° x 1°
- Κατηγοριοποίηση με βάση το χρόνο διάθεσής τους: Near-Real Time (NRT)
- Κατηγοριοποίηση με βάση τις χρησιμοποιούμενες αποστολές: Multi-mission
- Χωρική κάλυψη: Παγκόσμια
- Χρονική κάλυψη: από το Σεπτέμβριο του 2009 και έπειτα
- Μορφότυπος: NetCDF
- Συχνότητα δεδομένων: Καθημερινή
- Copyright : 2005-ongoing Cnes-CLS

Τα gridded δεδομένα SWH προκύπτουν από την επεξεργασία των διαθέσιμων δεδομένων IGDR (Interim Geophysical Data Records) των δύο τελευταίων ημερών της κάθε αποστολής που συμμετέχει στη δημιουργία των χαρτών αυτών. Η δημιουργία τους είναι εφικτή αν υπάρχουν δεδομένα από τουλάχιστον δύο δορυφόρους.

Κατά τη επεξεργασία τους, τα δεδομένα βαθμονομούνται έχοντας σαν αποστολή αναφοράς την αλτιμετρική αποστολή OSTM/Jason-2. Στη συνέχεια, εφαρμόζεται σε αυτά το φίλτρο Loess, ώστε να συμπληρωθούν τα κενά λόγω έλλειψης δεδομένων και να μειωθεί ο θόρυβος του σήματος. Η ποιότητα του χάρτη που προκύπτει εξαρτάται από τον αριθμό των διαθέσιμων αποστολών. Όσο περισσότερες αποστολές συμβάλλουν, τόσο ακριβέστερος είναι και ο παραγόμενος χάρτης (Centre National d'Etudes Spatiales (CNES), Aviso+).

Για τη συγκεκριμένη εφαρμογή αντλήθηκαν gridded δεδομένα SWH για όλη τη διάρκεια των ετών 2010, 2011, 2012 και 2013 (01/01/2010-31/12/2013).

5.5.2.2 Επεξεργασία και Αποτελέσματα

Στην εφαρμογή αυτή γίνεται η αναπαράσταση χαρτών Σημαντικού Ύψους με βασικό στόχο τη διερεύνηση της χρονικής και χωρικής χρήσης των χαρτών που προκύπτουν από gridded δεδομένα SWH. Εξετάζεται, δηλαδή, η ποιότητα και ακρίβεια των χαρτών για τη μελέτη του Σημαντικού Ύψους Κύματος σε διαφορετικά χρονικά διαστήματα και διαφορετικά χωρικά επίπεδα.

Αρχικά, παράχθηκε ένας χάρτης MSWH με χρήση των δεδομένων όλων των ετών (2010-2013), ώστε να δημιουργηθεί μία πρώτη εικόνα του Σημαντικού Ύψους Κύματος στη περιοχή της Μεσογείου (**Εικόνα 5-50**). Λόγω του μεγάλου όγκου δεδομένων, επιλέχθηκε να πραγματοποιηθεί, σε πρώτο στάδιο, εξαγωγή των επιλύσεων των τεσσάρων χρόνων (2010, 2011, 2012 και 2013) σε τέσσερα διαφορετικά αρχεία NetCDF. Με τον τρόπο αυτό, η εκτέλεση της εργασίας της συνολικής διάρκειας των ετών, σε δεύτερο στάδιο, ήταν σημαντικά λιγότερο χρονοβόρα στο περιβάλλον του BRAT.

Κατά την επεξεργασία των τεσσάρων αυτών αρχείων και για τη δημιουργία του χάρτη, χρησιμοποιήθηκε σαν έκφραση X (άξονας X) το πεδίο του γεωγραφικού μήκους και σαν έκφραση Y (άξονας Y) το πεδίο του γεωγραφικού πλάτους. Σαν Data Expression εισήχθη το πεδίο που περιέχει τις πληροφορίες σχετικά με το Σημαντικό Ύψος Κύματος (Grid_0001 – SWH). Το βήμα του καννάβου ορίσθηκε ως 1° και στους δύο άξονες, καθώς κατά την προεπεξεργασία του συγκεκριμένου τύπου δεδομένων η ανάλυση έχει ορισθεί ως 1°x1°.

Για την οπτικοποίηση του χάρτη, έγινε εστίαση στην περιοχή της Μεσογείου και εισήχθησαν ισοΰψείς καμπύλες, ώστε να διακρίνονται ευκολότερα οι περιοχές ίδιου κυματισμού. Η προβολή που χρησιμοποιήθηκε ήταν η Plate Carrée . Σαν μονάδα μέτρησης, διατηρήθηκε η προεπιλεγμένη, τα μέτρα, ενώ το εύρος της χρωματικής κλίμακας τροποποιήθηκε σε 0.7 m – 1.4 m. Σε αυτό το εύρος τιμών περιέχεται το μεγαλύτερο μέρος της πληροφορίας και ο συνδυασμός των αποχρώσεων που λαμβάνει ο χάρτης ανάλογα με τις τιμές αυτές είναι αρκετά αποτελεσματικός, ώστε να γίνεται εύκολα αντιληπτός.

Στη συνέχεια, δημιουργήθηκε χάρτης από τα ίδια δεδομένα και με την ίδια επεξεργασία με τη διαφορά ότι σε αυτόν εφαρμόστηκε το φίλτρο εξομάλυνσης (Loess Smooth) με τιμή εξομάλυνσης (Cut-Off) 31 κατά τους άξονες X και Y (**Εικόνα 5-51**). Σκοπός του τελευταίου χάρτη είναι η σύγκριση με τον πρωτογενή για την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με τη χρήση του συγκεκριμένου φίλτρου σε αυτό το είδος των δεδομένων.

Ακολούθησε η δημιουργία μιας σειράς χαρτών από δεδομένα διαφορετικών χρονικών διαστημάτων. Συγκεκριμένα, έγινε διάκριση σε έτη - τέσσερις χάρτες για τα έτη 2010, 2011, 2012 και 2013 αντίστοιχα (**Εικόνα 5-52**, **Εικόνα 5-53**, **Εικόνα 5-54** και **Εικόνα 5-55**), σε εποχές - τέσσερις χάρτες για τις τέσσερις εποχές του έτους 2013 (**Εικόνα 5-56**, **Εικόνα 5-57**, **Εικόνα 5-58** και **Εικόνα 5-59**), σε εβδομάδες - τέσσερις χάρτες για τις τέσσερις εβδομάδες

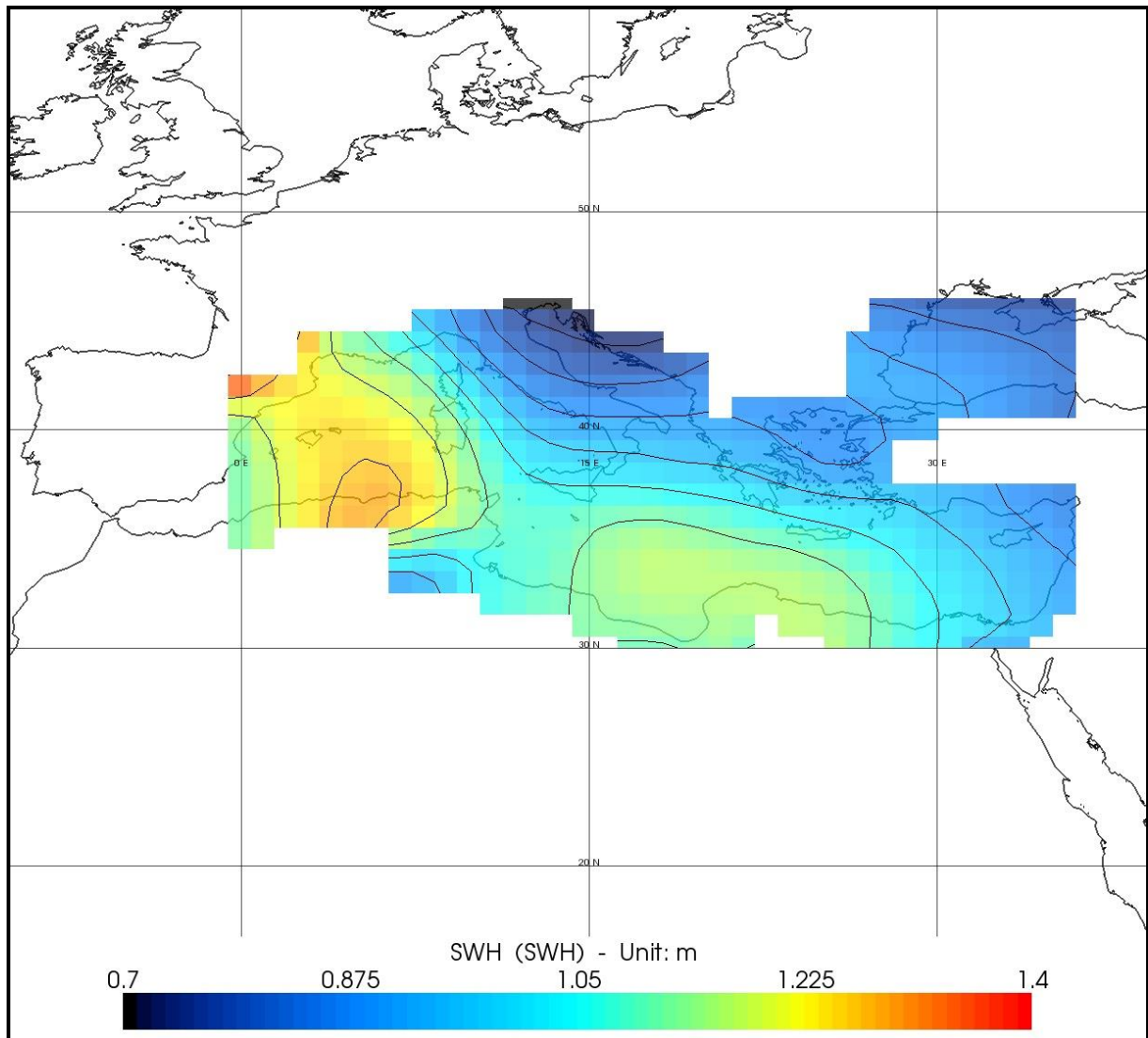
του Ιανουαρίου του 2013 (**Εικόνα 5-60**, **Εικόνα 5-61**, **Εικόνα 5-62** και **Εικόνα 5-63**) και τέλος σε ημέρες - τέσσερις χάρτες για τις τέσσερις πρώτες μέρες του Ιανουαρίου του 2013 (**Εικόνα 5-64**, **Εικόνα 5-65**, **Εικόνα 5-66** και **Εικόνα 5-67**). Όπως αναφέρθηκε και νωρίτερα, στόχος αυτών των χαρτών είναι η εξέταση των χαρτών όσον αφορά στην παράμετρο του χρόνου, π.χ. αν μπορεί κανείς να χρησιμοποιήσει gridded δεδομένα SWH για τη μελέτη του ημερήσιου Σημαντικού Ύψους Κύματος για την παραγωγή βραχυπρόθεσμων προβλέψεων.

Η επεξεργασία των δεδομένων για την εκτέλεση των αντίστοιχων εργασιών στο περιβάλλον του BRAT είναι κοινή με αυτή του πρώτου χάρτη, καθώς το είδος των δεδομένων παραμένει κοινό. Η χρωματική κλίμακα οριζόταν κοινή μεν σε κάθε σετ χαρτών, ίσως διαφορετική δε από κάποιο άλλο σετ. Ο λόγος αυτού είναι το γεγονός που αναφέρθηκε και νωρίτερα, δηλαδή η προσπάθεια να καταστεί ο χάρτης πιο εύκολα αντιληπτός. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται τα σετ χαρτών ομαδοποιημένα ανάλογα με τα χρονικά διαστήματα, στα οποία αναφέρονται.

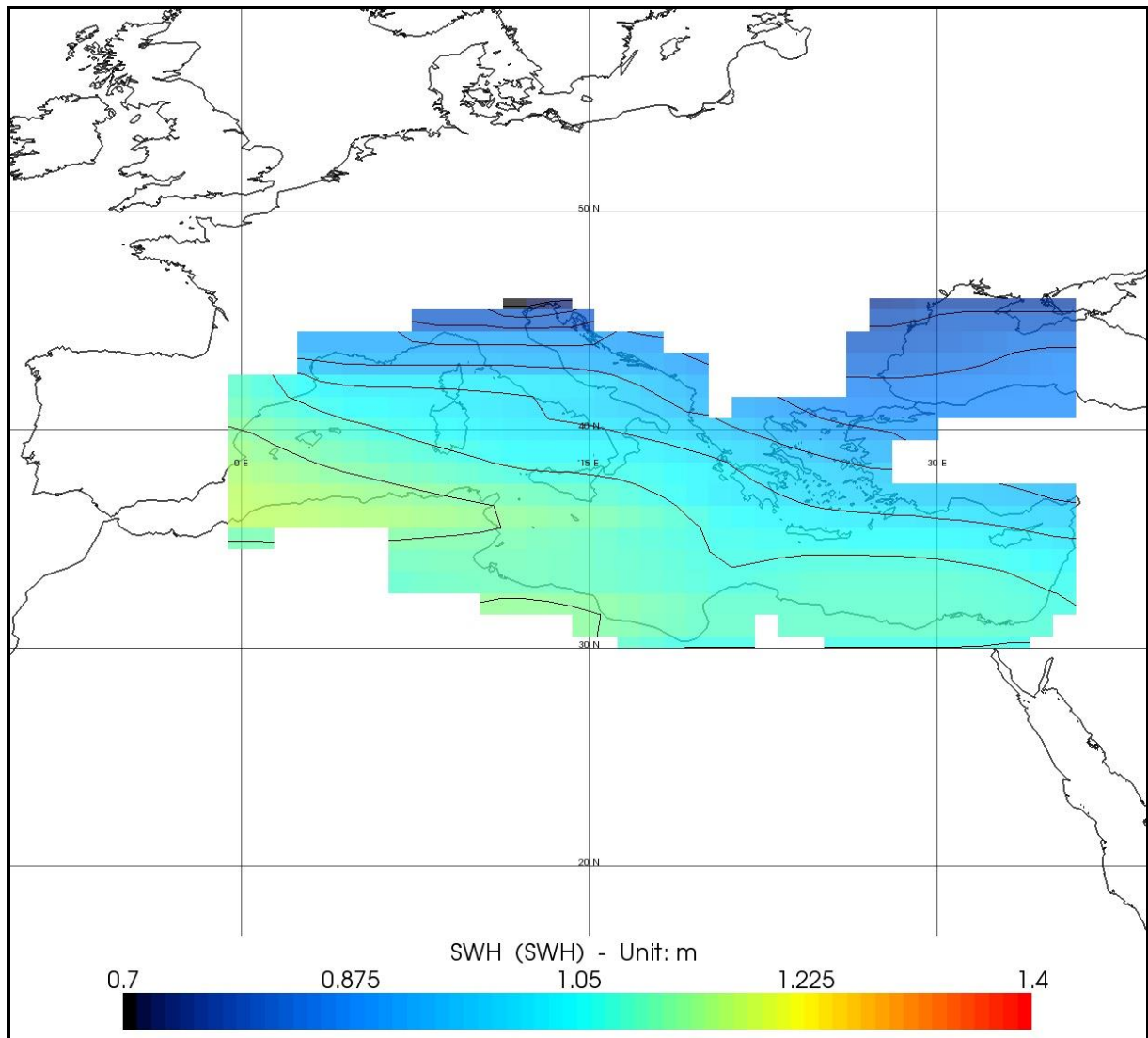
Τέλος, στην περίπτωση των προεπεξεργασμένων χαρτών Σημαντικού Ύψους Κύματος, δημιουργήθηκε μία σειρά τριών χαρτών με διαφορετικό χωρικό επίπεδο από δεδομένα του Ιανουαρίου του έτους 2013. Ο πρώτος εξ αυτών είναι παγκόσμιος (**Εικόνα 5-68**), ο δεύτερος έχει σαν περιοχή μελέτης τη Μεσόγειο Θάλασσα (**Εικόνα 5-69**) και ο τρίτος τον Ελλαδικό Χώρο (**Εικόνα 5-70**). Σκοπός αυτής της σειράς χαρτών ήταν η διερεύνηση της δυνατότητας των συγκεκριμένων δεδομένων (gridded SWH) να παράγουν χάρτες περιορισμένης περιοχής μελέτης, αλλά πιθανώς επαρκούς ποιότητας για τυπικές εφαρμογές.

Κατά την επεξεργασία αυτών των σετ δεδομένων, ακολουθήθηκαν τα ίδια βήματα με προηγουμένως. Στη συνέχεια, ακολουθούν οι χάρτες αυτοί ταξινομημένοι με βάση της περιοχή μελέτης (από την ευρύτερη προς την πιο περιορισμένη).

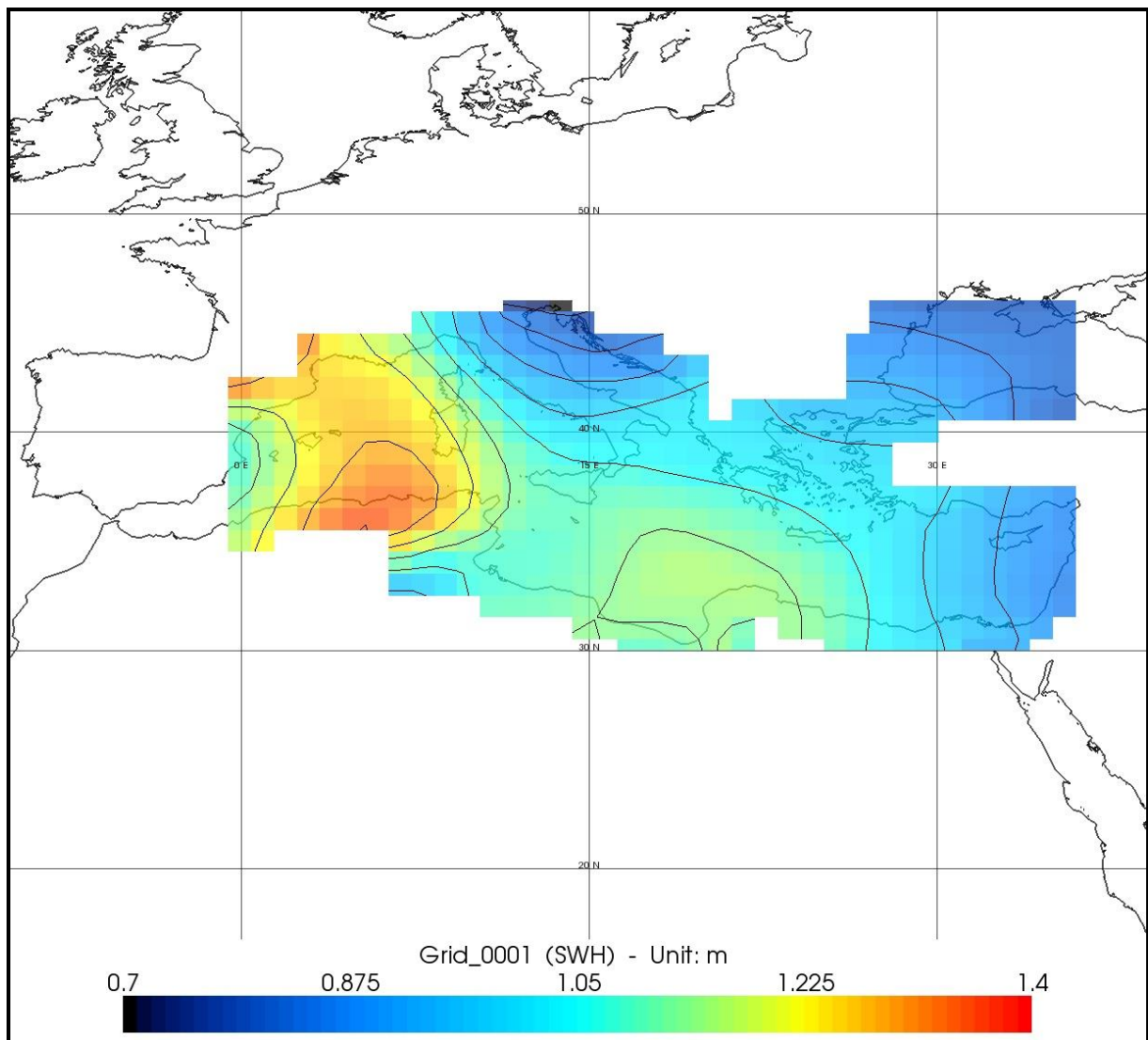
Από τα παραπάνω αποτελέσματα χαρτών μπορούν να γίνουν χρήσιμες διαπιστώσεις σχετικά με τα συγκεκριμένα αλτιμετρικά προϊόντα SWH. Στην Ενότητα που ακολουθεί αναφέρονται τα βασικά συμπεράσματα για τη χρηστικότητα αυτών των δεδομένων.



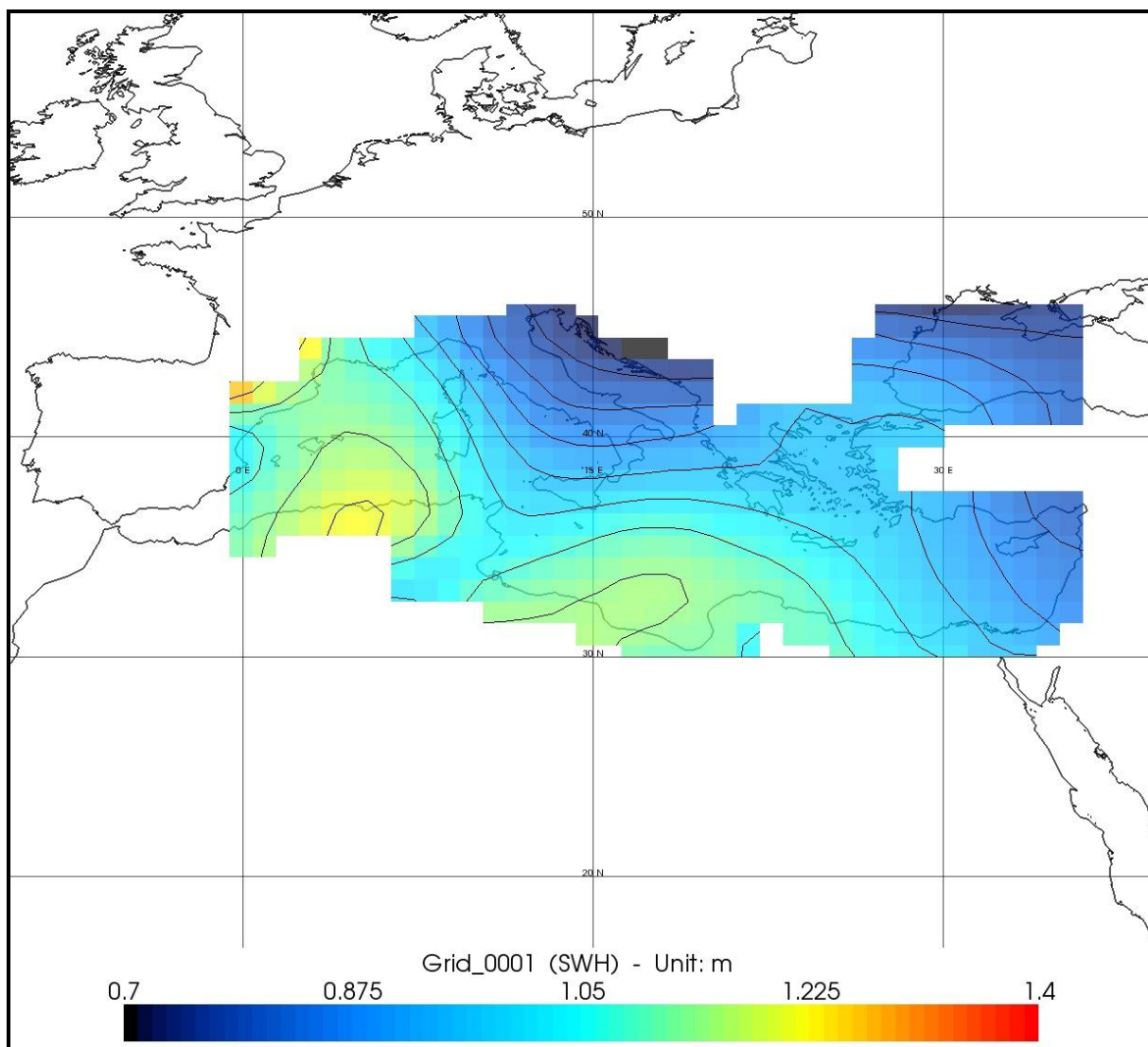
Εικόνα 5-50: Χάρτης Σημαντικού Ύψους Κύματος (MSWH) από gridded δεδομένα SWH για τη χρονική περίοδο 2010 – 2013 χωρίς τη χρήση φίλτρου.



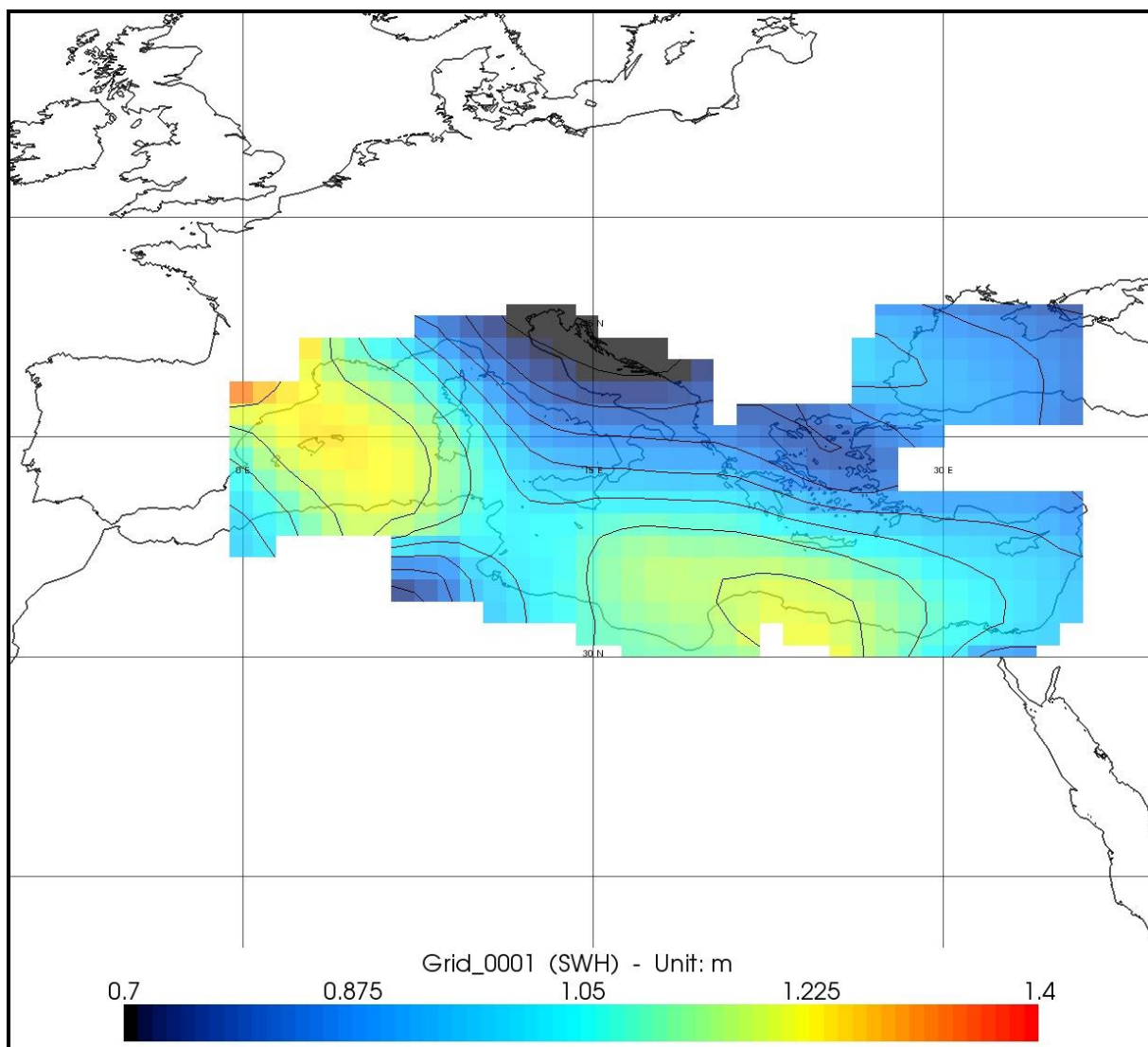
Εικόνα 5-51: Χάρτης Σημαντικού Ύψους Κύματος (MSWH) από gridded δεδομένα SWH για τη χρονική περίοδο 2010 – 2013 με εφαρμογή του φίλτρου Loess Smooth (Cut-Off:31).



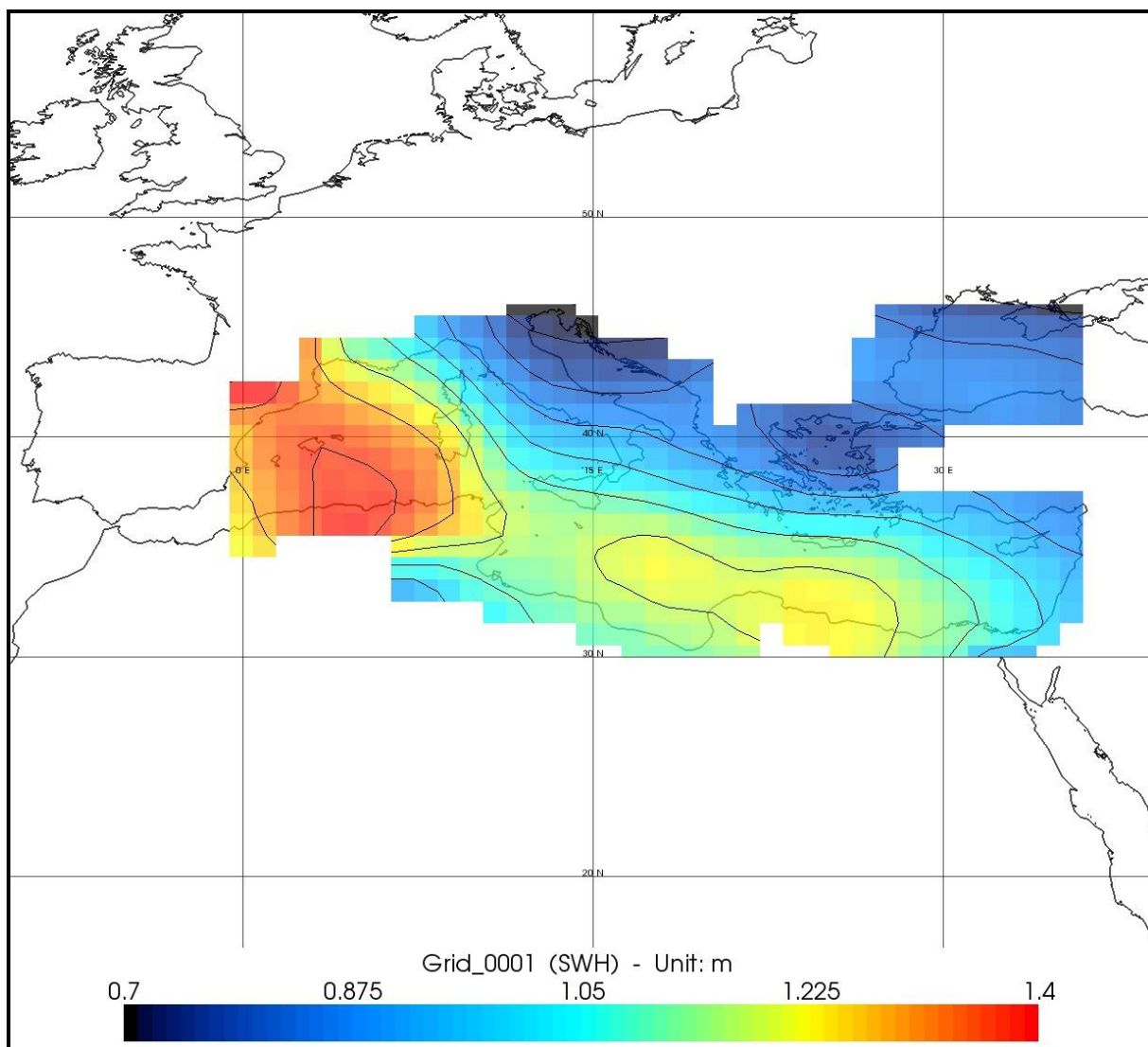
Εικόνα 5-52: Χάρτης Σημαντικού Ύψους Κύματος (MSWH) από gridded δεδομένα SWH για το έτος 2010.



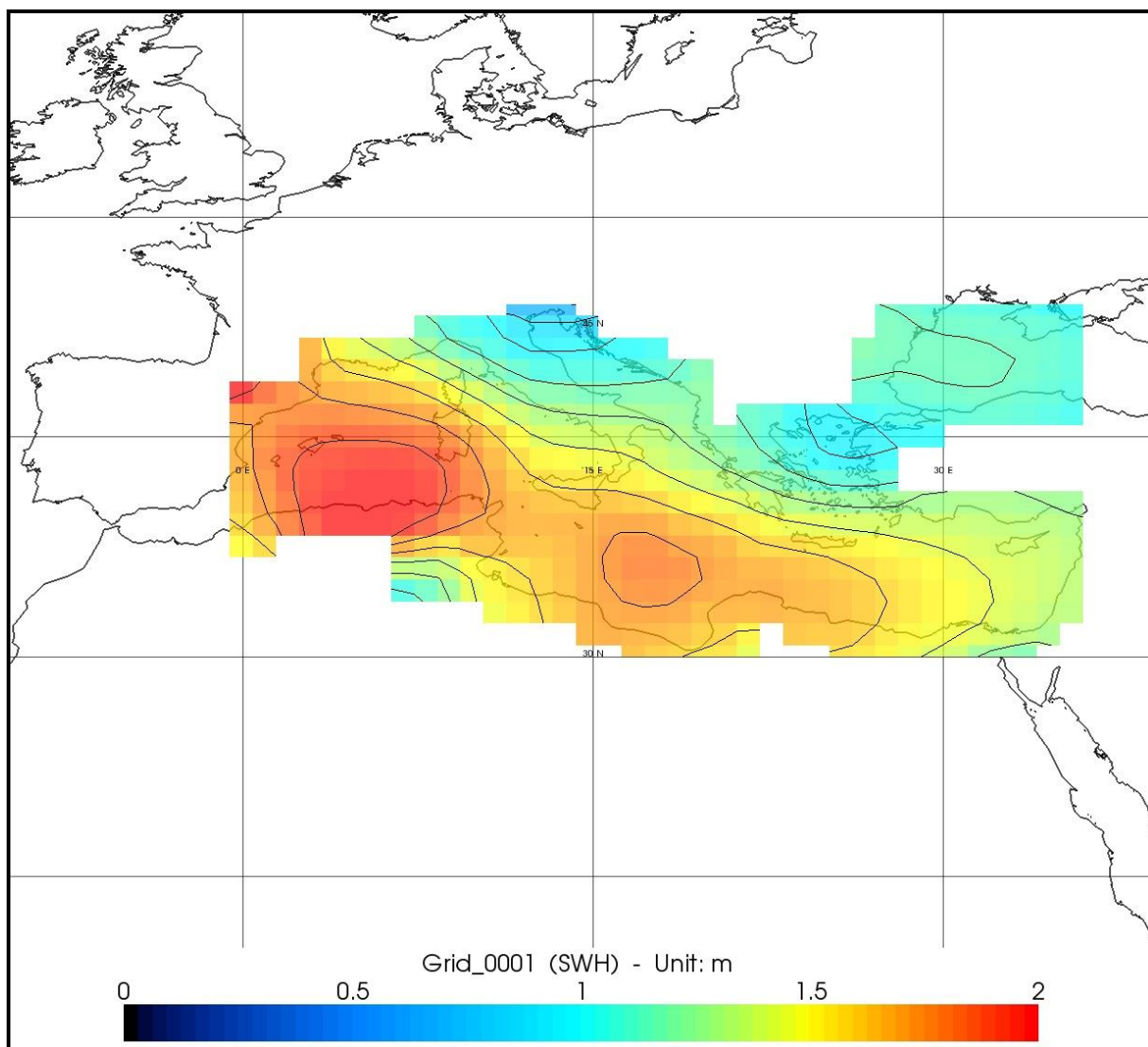
Εικόνα 5-53: Χάρτης Σημαντικού Ύψους Κύματος (MSWH) από gridded δεδομένα SWH για το έτος 2011.



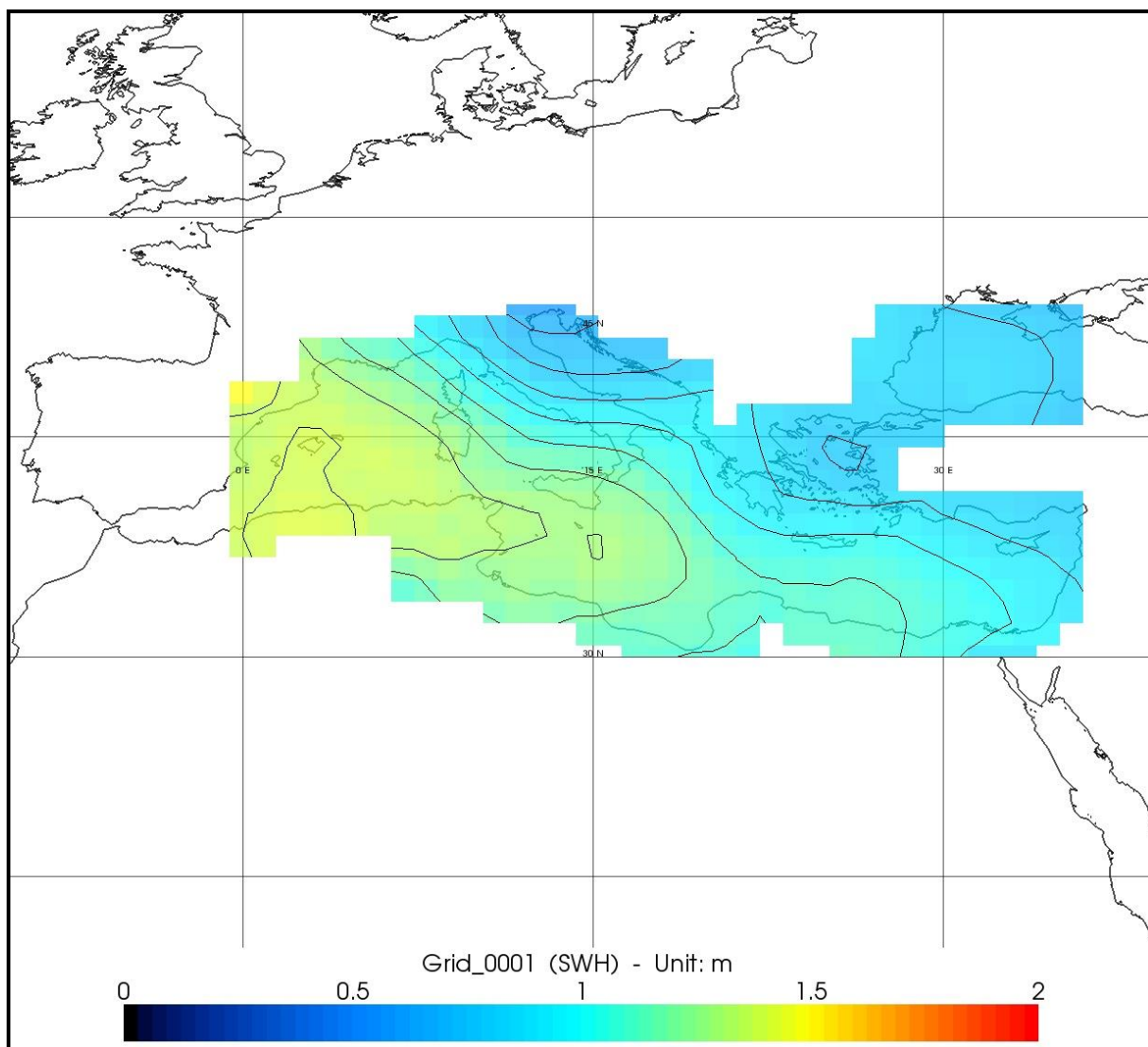
Εικόνα 5-54: Χάρτης Σημαντικού Ύψους Κύματος (MSWH) από gridded δεδομένα SWH για το έτος 2012.



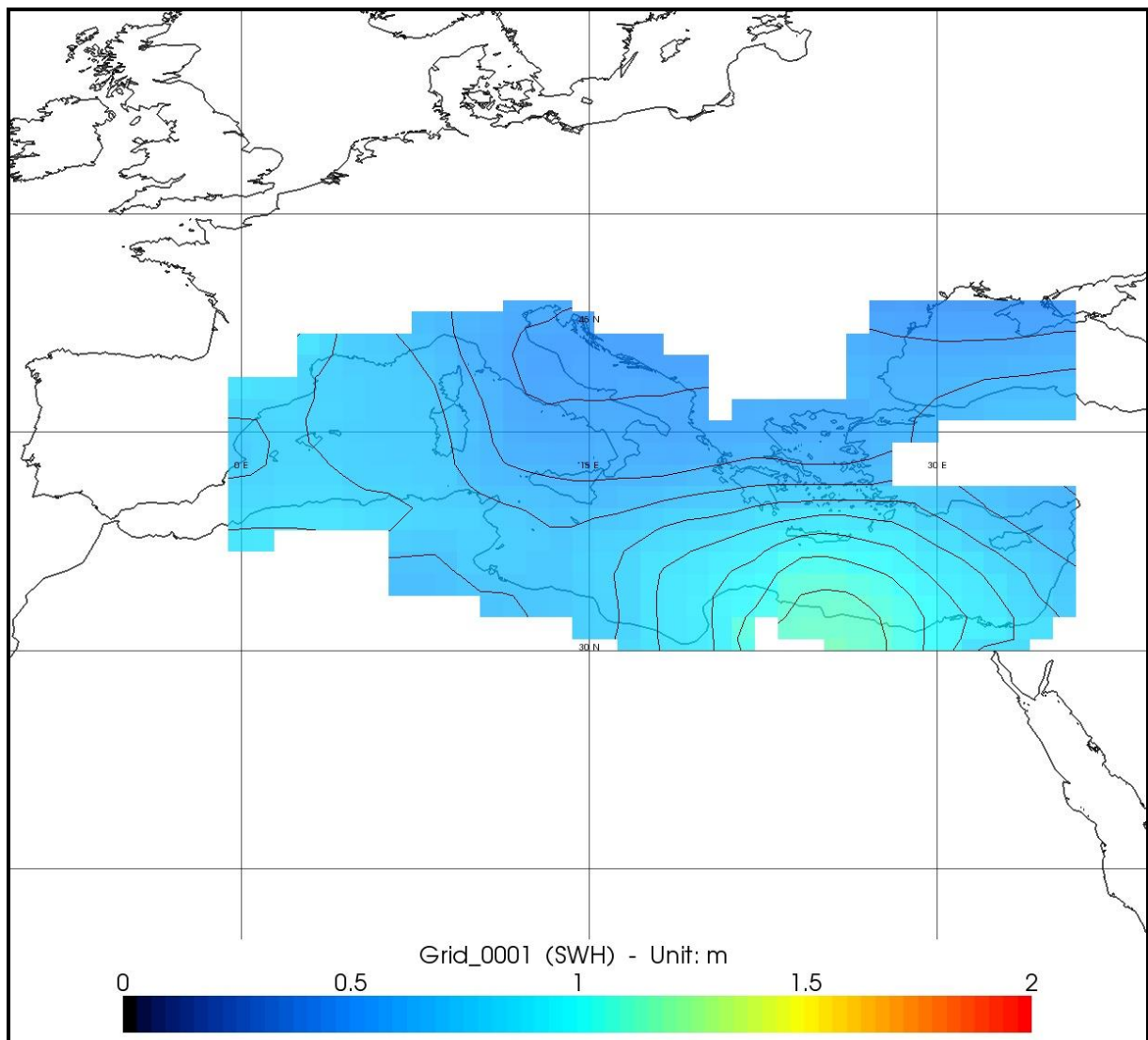
Εικόνα 5-55: Χάρτης Σημαντικού Ύψους Κύματος (MSWH) από gridded δεδομένα SWH για το έτος 2013.



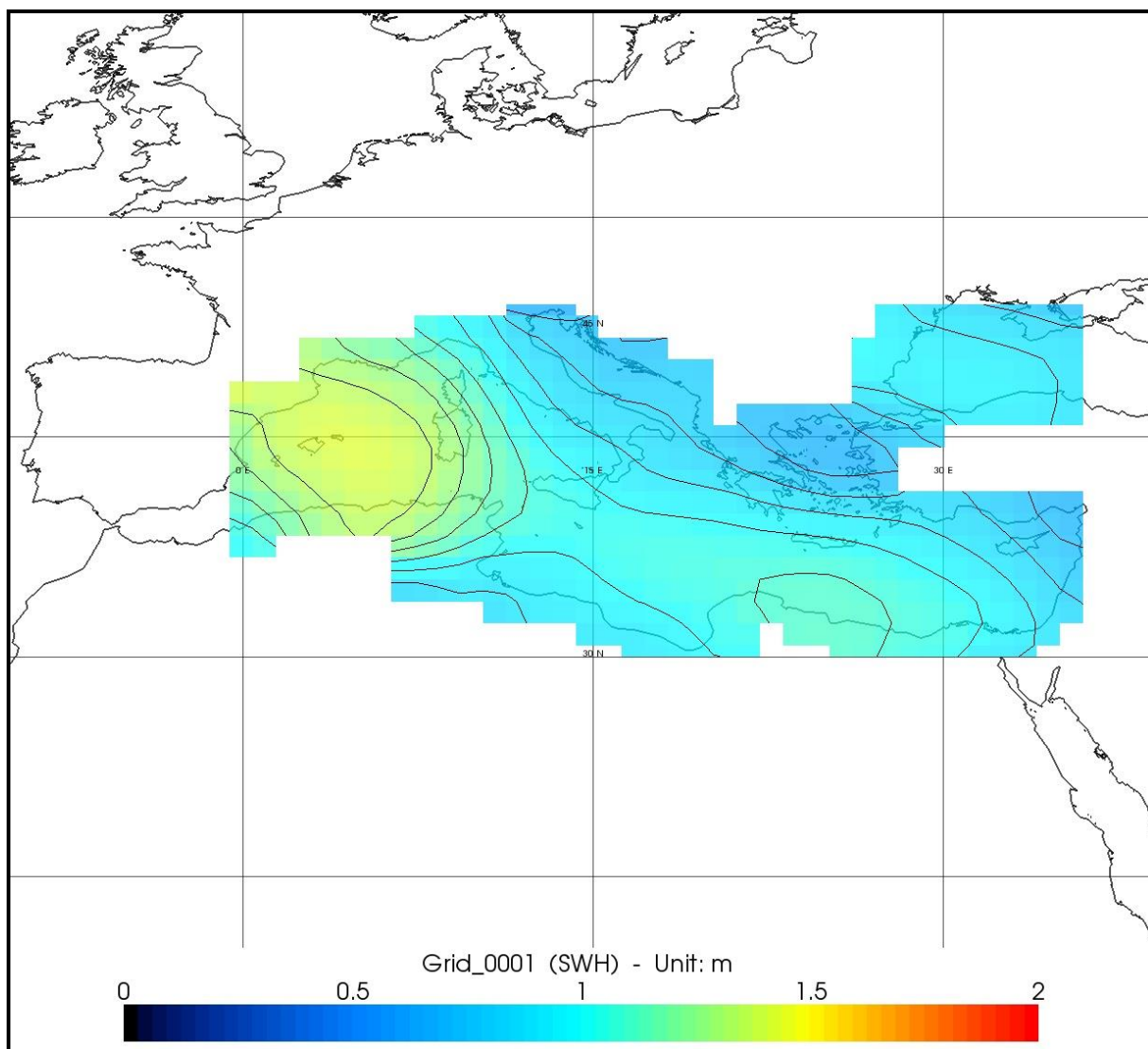
Εικόνα 5-56: Χάρτης Σημαντικού Ύψους Κύματος (MSWH) από gridded δεδομένα SWH για τον Χειμώνα του έτους 2013.



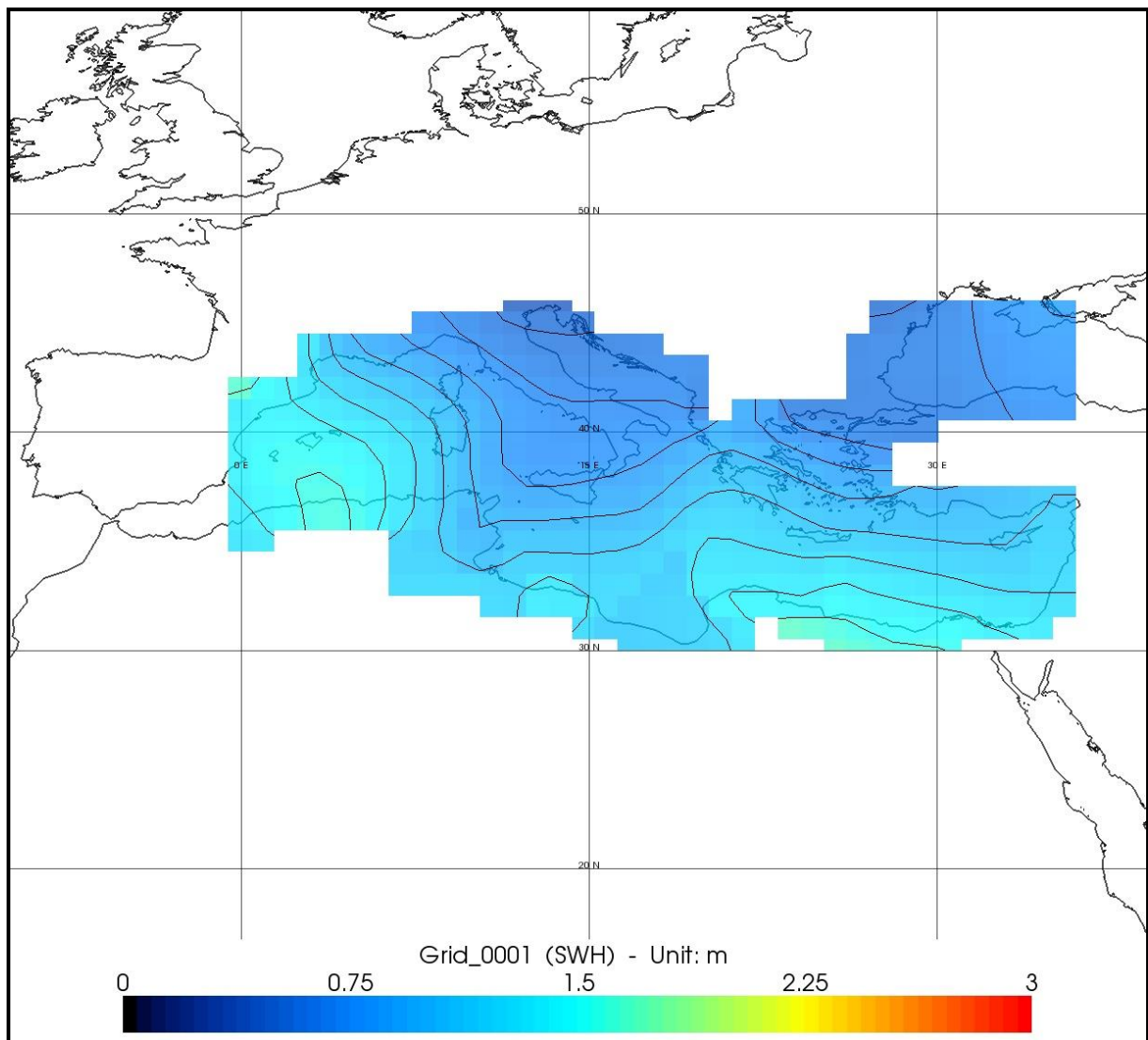
Εικόνα 5-57: Χάρτης Σημαντικού Ύψους Κύματος (MSWH) από gridded δεδομένα SWH για την Άνοιξη του έτους 2013.



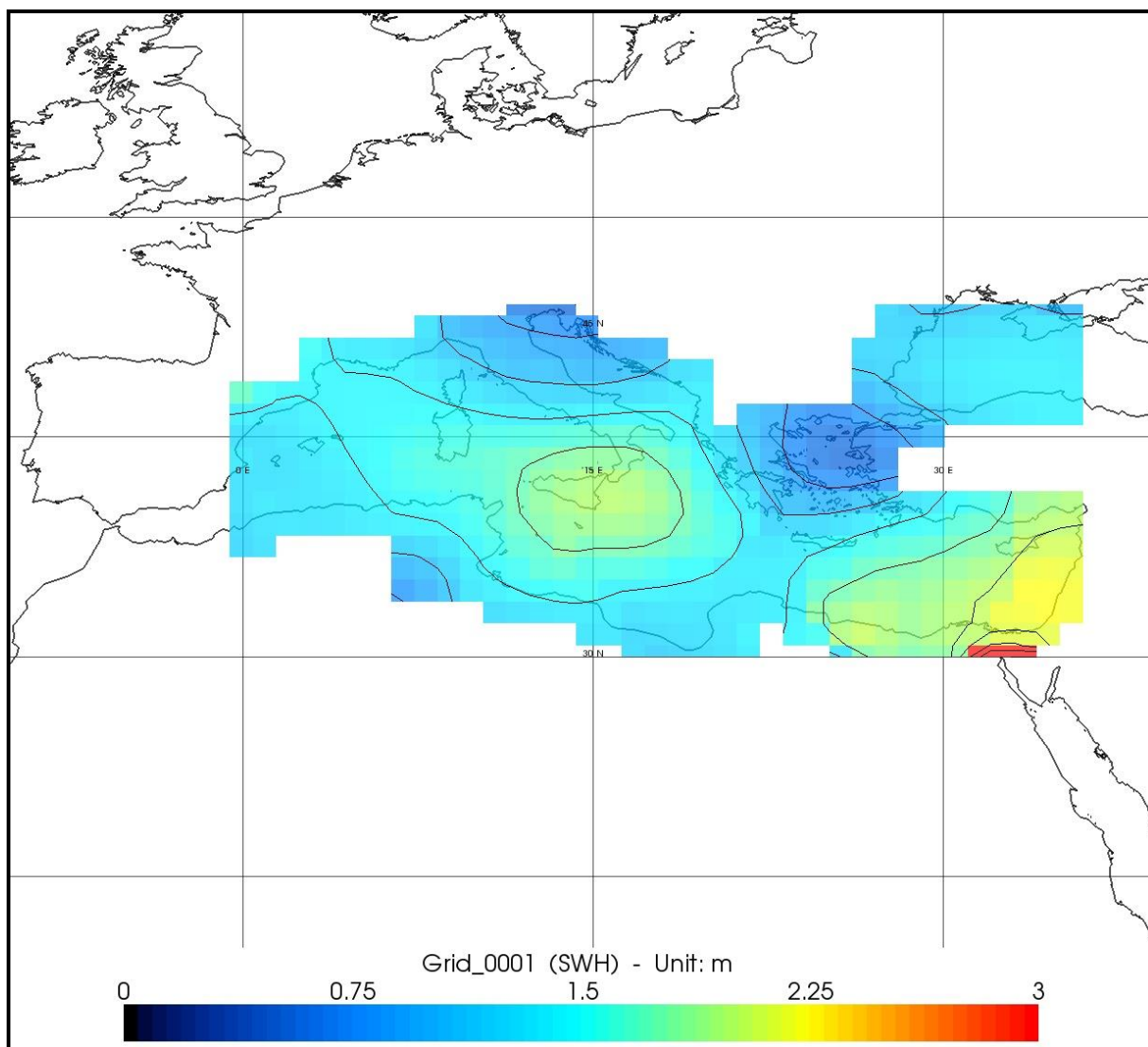
Εικόνα 5-58: Χάρτης Σημαντικού Ύψους Κύματος (MSWH) από gridded δεδομένα SWH για το Καλοκαίρι του έτους 2013.



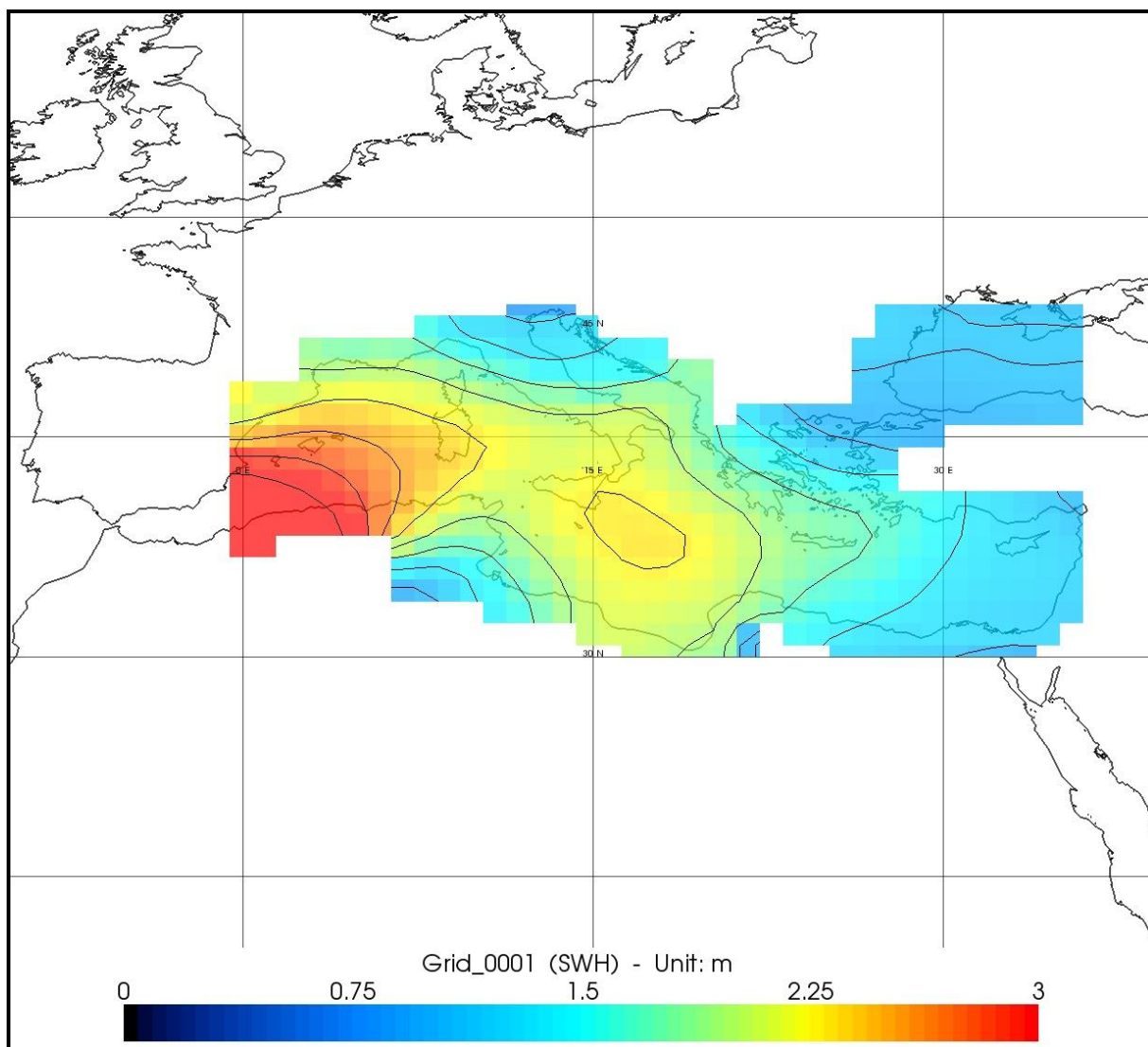
Εικόνα 5-59: Χάρτης Σημαντικού Ύψους Κύματος (MSWH) από gridded δεδομένα SWH για το Φθινόπωρο του έτους 2013.



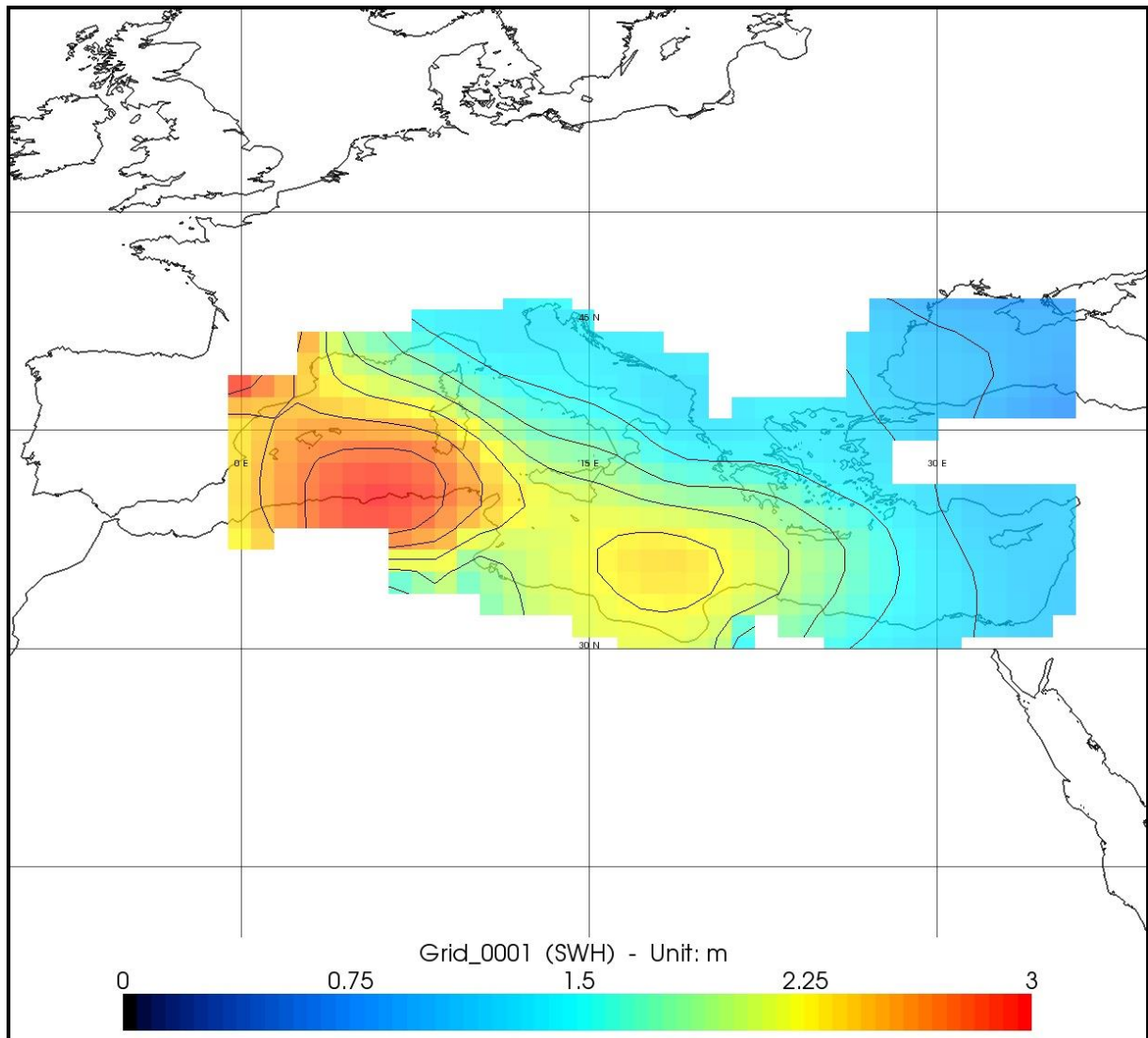
Εικόνα 5-60: Χάρτης Σημαντικού Ύψους Κύματος (MSWH) από gridded δεδομένα SWH για την 1^η εβδομάδα του Ιανουαρίου του έτους 2013.



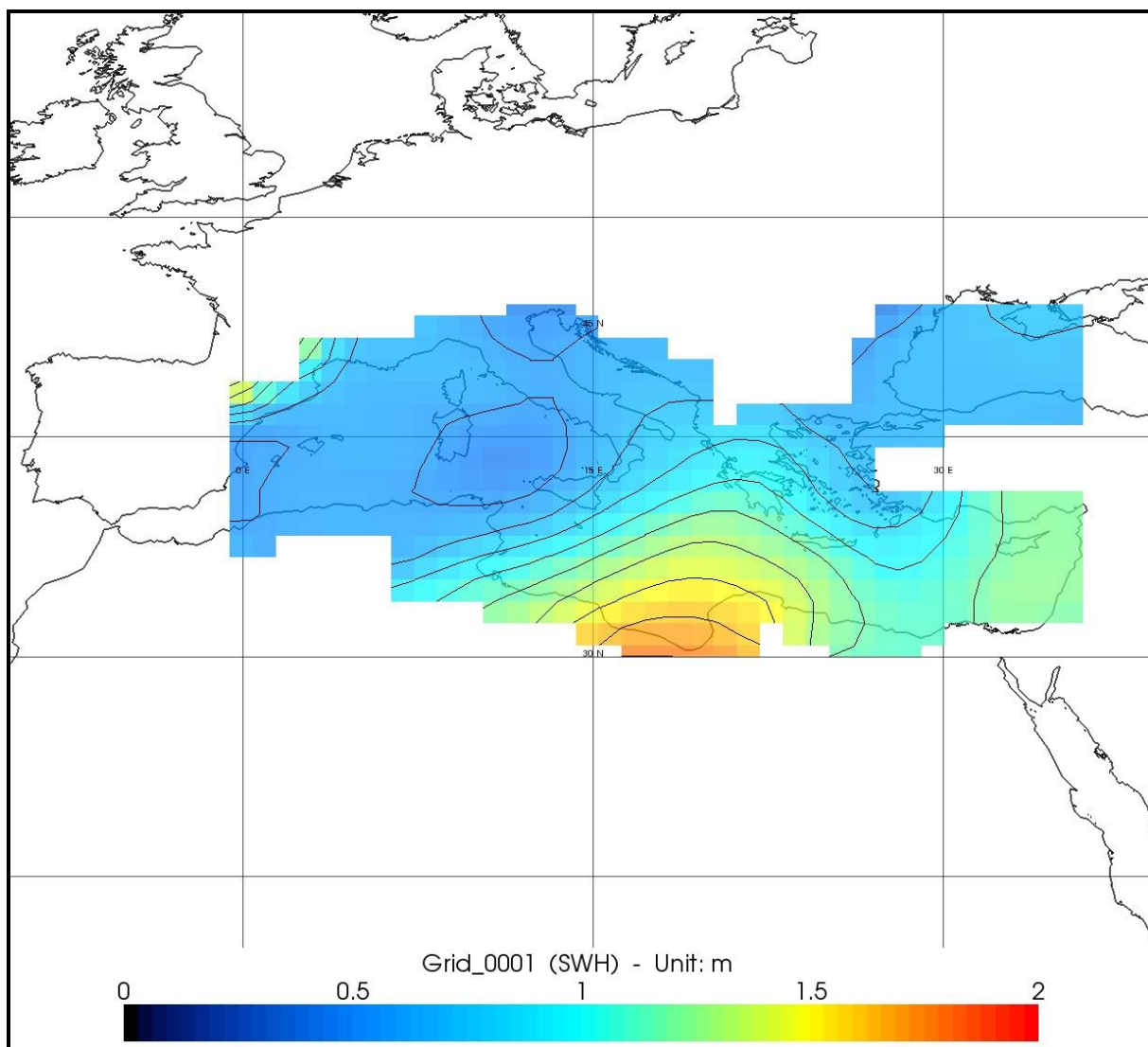
Εικόνα 5-61: Χάρτης Σημαντικού Ύψους Κύματος (MSWH) από gridded δεδομένα SWH για την 2^η εβδομάδα του Ιανουαρίου του έτους 2013.



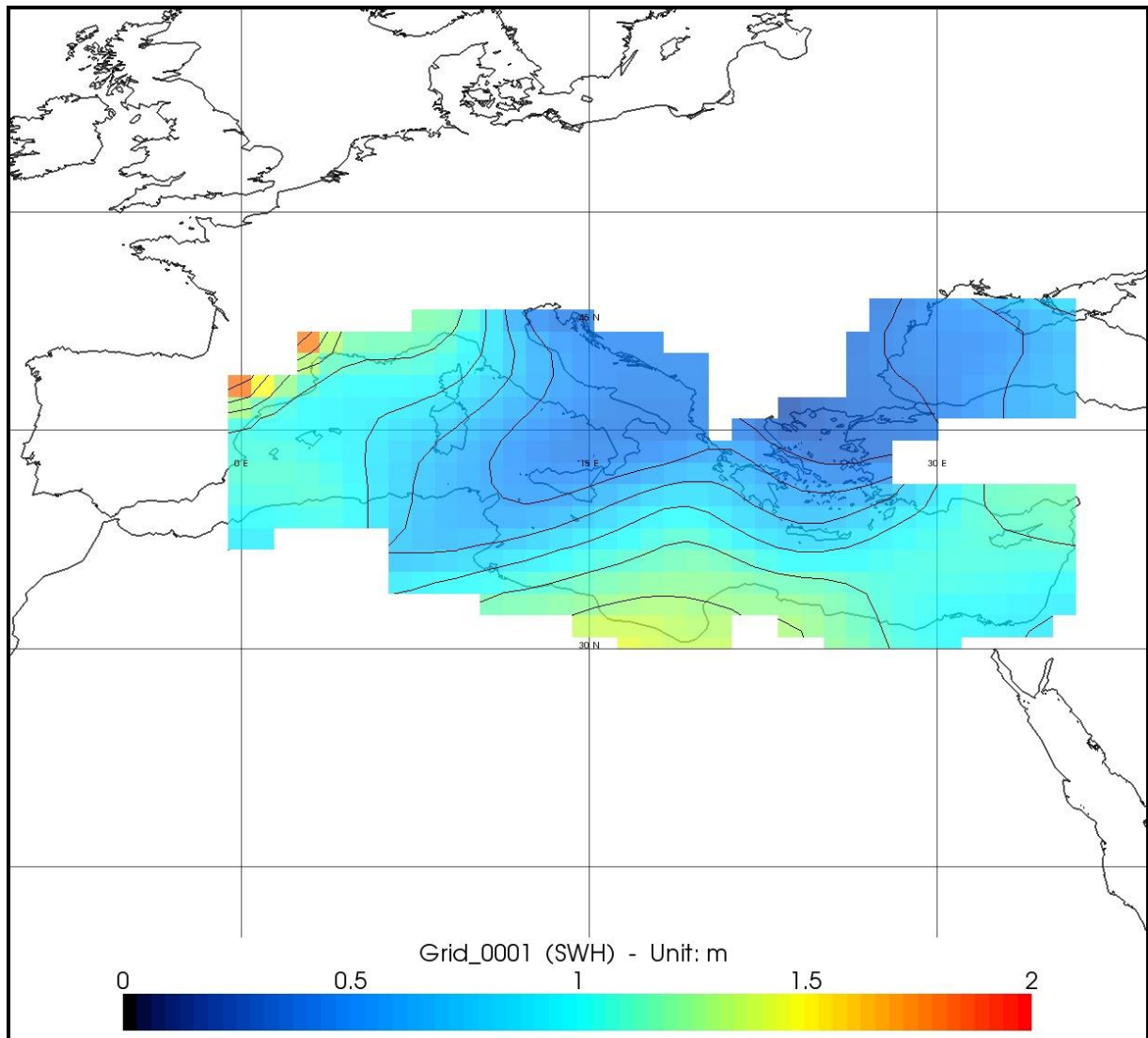
Εικόνα 5-62: Χάρτης Σημαντικού Ύψους Κύματος (MSWH) από gridded δεδομένα SWH για την 3^η εβδομάδα του Ιανουαρίου του έτους 2013.



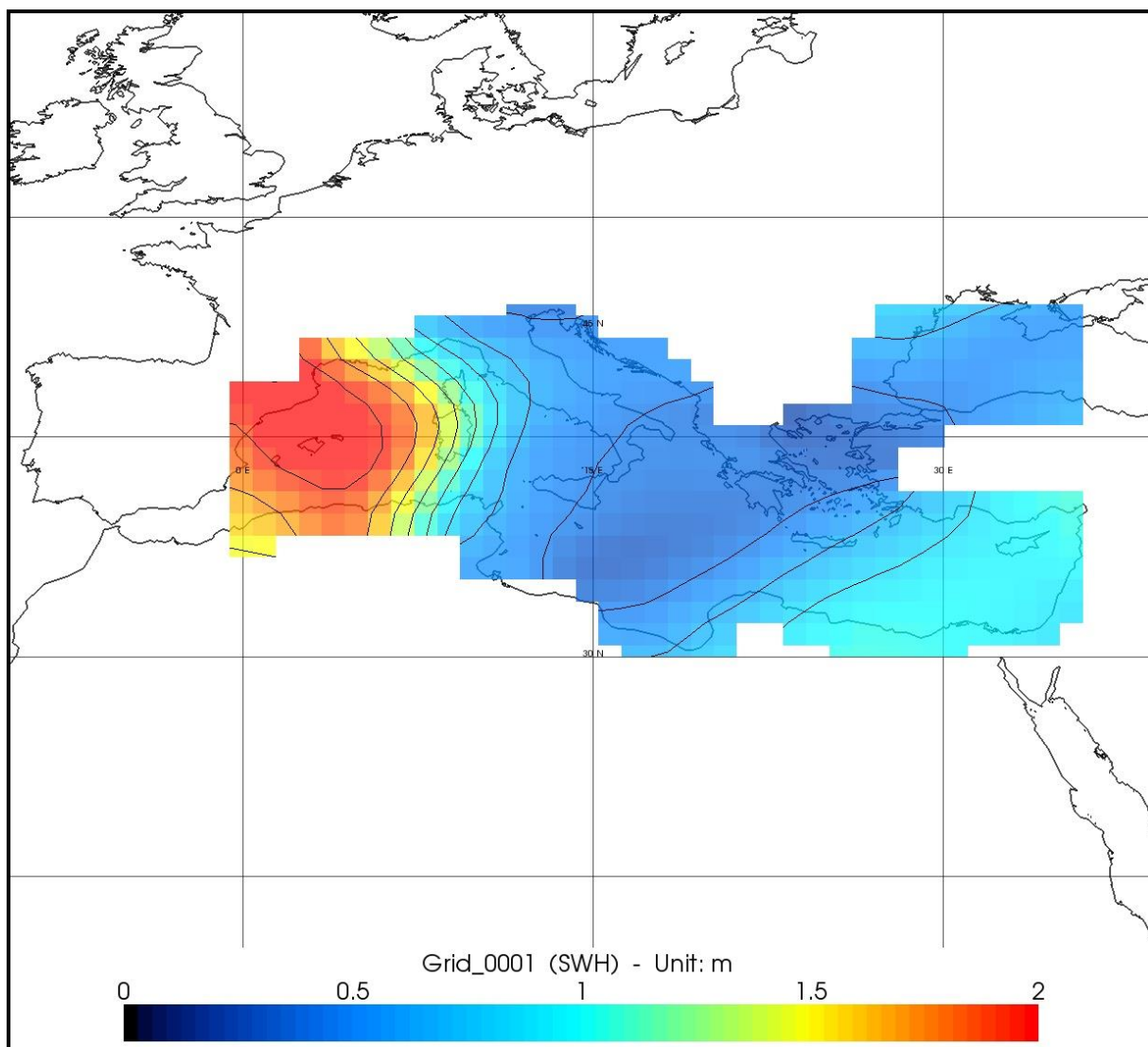
Εικόνα 5-63: Χάρτης Σημαντικού Ύψους Κύματος (MSWH) από gridded δεδομένα SWH για την 4^η εβδομάδα του Ιανουαρίου του έτους 2013.



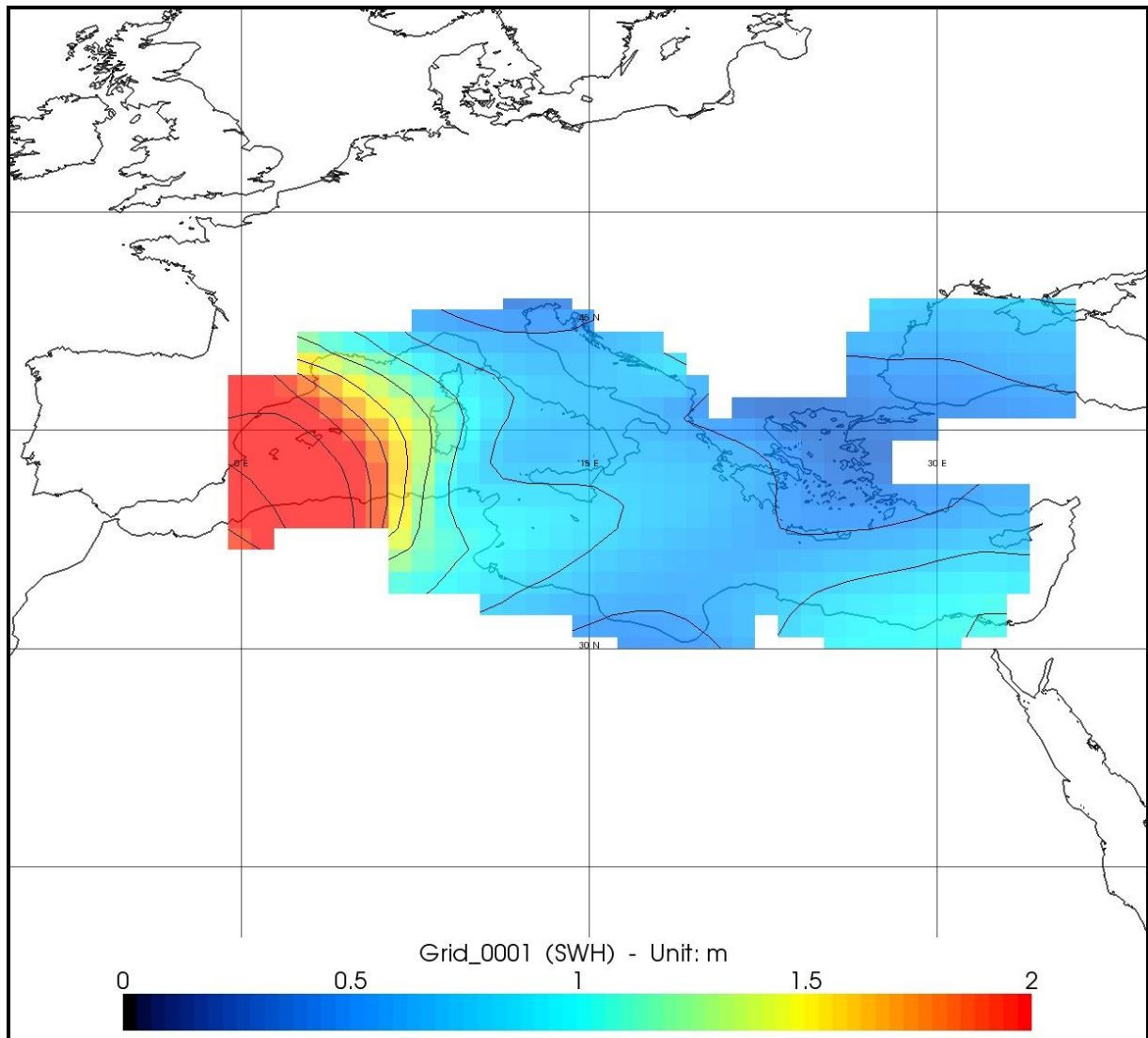
Εικόνα 5-64: Χάρτης Σημαντικού Ύψους Κύματος (MSWH) από gridded δεδομένα SWH για την 1^η ημέρα του Ιανουαρίου του έτους 2013 (01-01-2013).



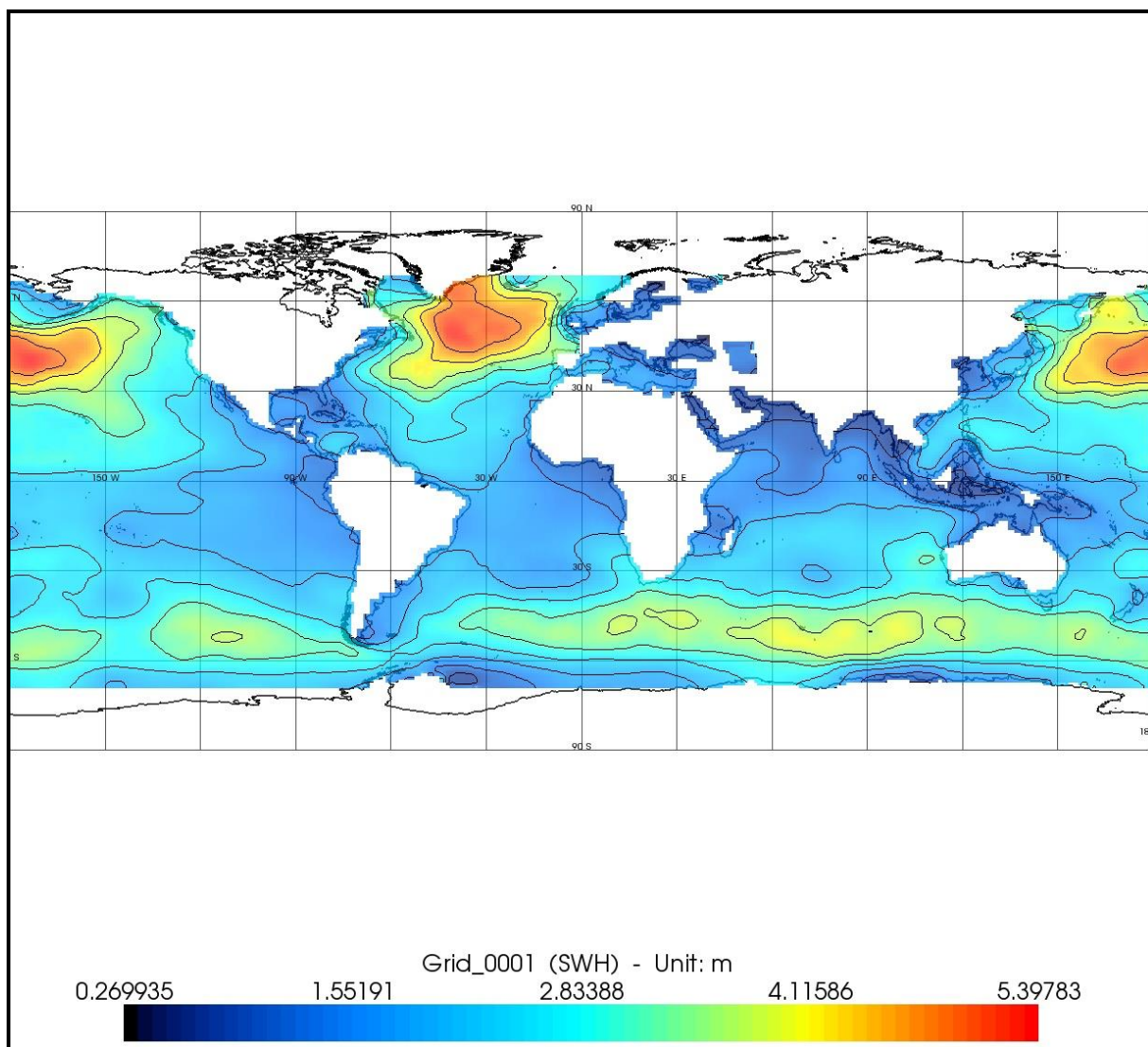
Εικόνα 5-65: Χάρτης Σημαντικού Ύψους Κύματος (MSWH) από gridded δεδομένα SWH για την 2^η ημέρα του Ιανουαρίου του έτους 2013 (02-01-2013).



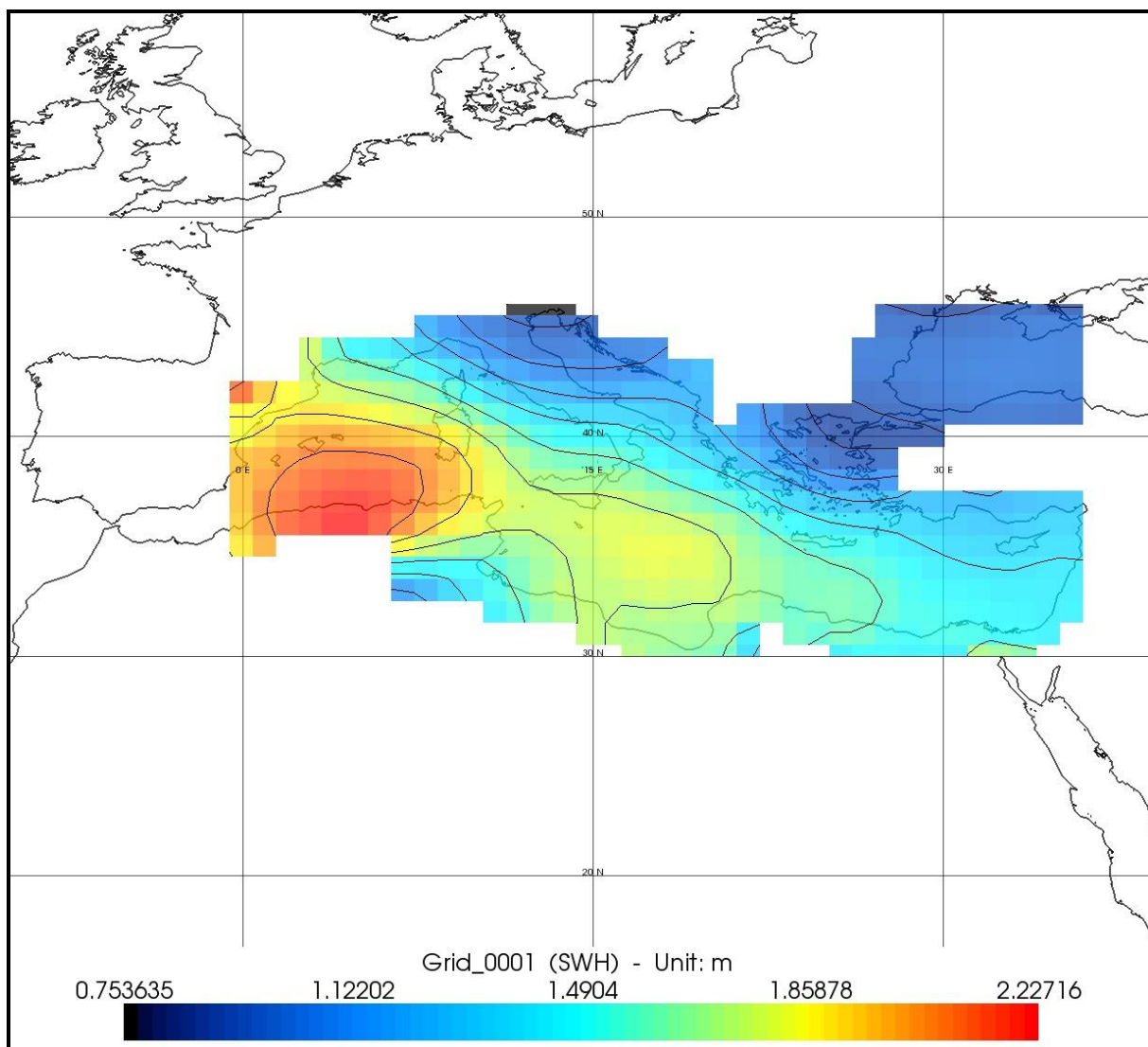
Εικόνα 5-66: Χάρτης Σημαντικού Ύψους Κύματος (MSWH) από gridded δεδομένα SWH για την 3^η ημέρα του Ιανουαρίου του έτους 2013 (03-01-2013).



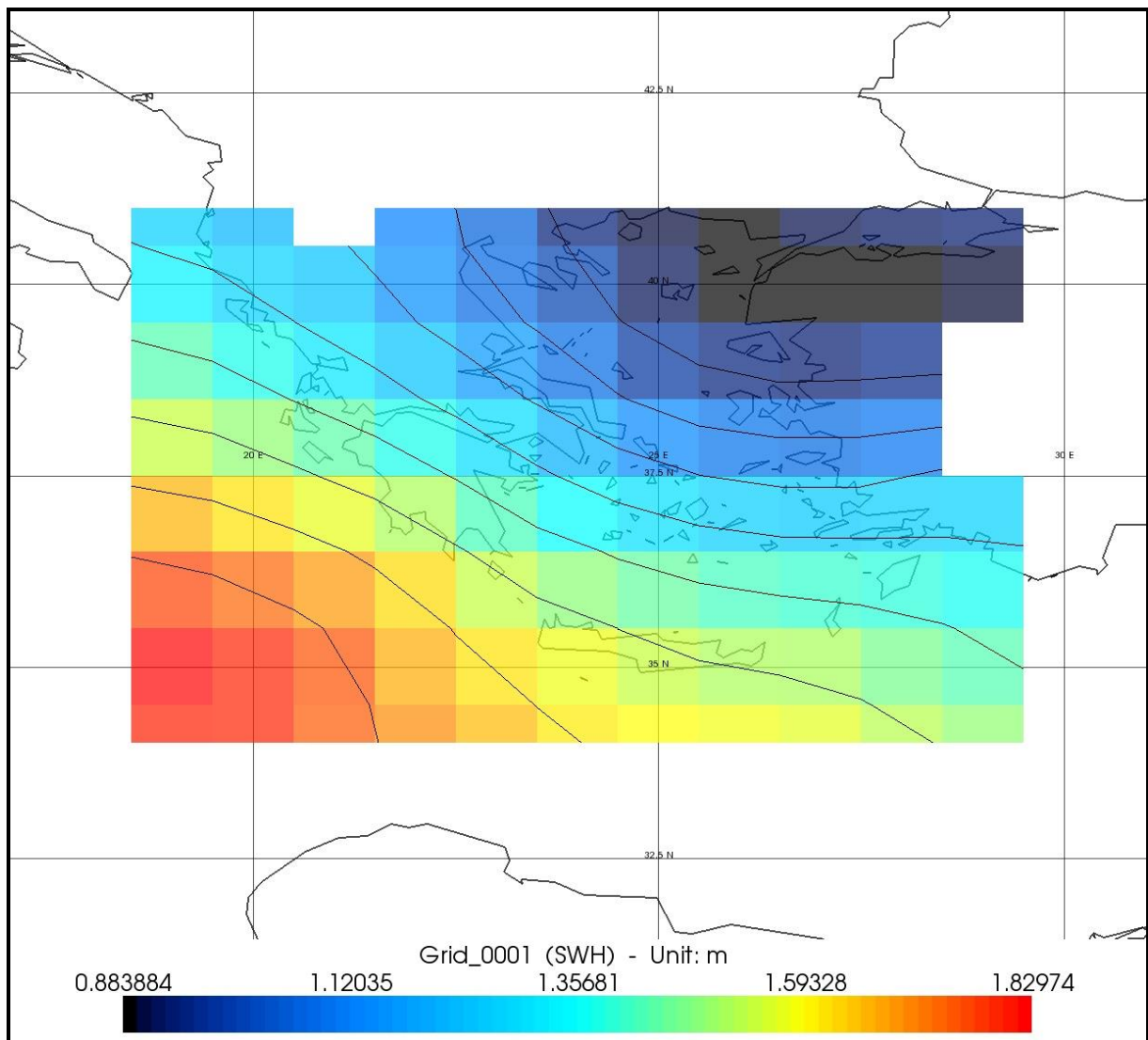
Εικόνα 5-67: Χάρτης Σημαντικού Ύψους Κύματος (MSWH) από gridded δεδομένα SWH για την 4^η ημέρα του Ιανουαρίου του έτους 2013 (04-01-2013).



Εικόνα 5-68: Παγκόσμιος χάρτης Σημαντικού Ύψους Κύματος (MSWH) από gridded δεδομένα SWH για τον Ιανουάριο του έτους 2013.



Εικόνα 5-69: Χάρτης Σημαντικού Ύψους Κύματος (MSWH) από gridded δεδομένα SWH με περιοχή μελέτης τη Μεσόγειο Θάλασσα για τον Ιανουάριο του έτους 2013.



Εικόνα 5-70: Χάρτης Σημαντικού Ύψους Κύματος (MSWH) από gridded δεδομένα SWH με περιοχή μελέτης τον Ελλαδικό χώρο για τον Ιανουάριο του έτους 2013.

5.5.2.3 Συμπεράσματα

Γενικά, παρατηρεί κανείς ότι χρησιμοποιώντας gridded δεδομένα Σημαντικού Ύψους Κύματος για τη μελέτη του κυματισμού στην Μεσόγειο Θάλασσα, προκύπτουν χάρτες χαμηλής σχετικά χωρικής ανάλυσης. Μέσω αυτών των χαρτών δεν είναι δυνατή η λεπτομερής μελέτη του φαινομένου, αλλά δίνεται μία γενική εικόνα και μπορούν να γίνουν σημαντικές διαπιστώσεις. Χαρακτηριστική αδυναμία αυτών των δεδομένων είναι η ύπαρξη μεγάλου σχετικά ποσοστού πληροφορίας σε ηπειρωτικές περιοχές (όλη η έκταση της Ελλάδας και της Ιταλίας είναι καλυμμένη από ψευδή δεδομένα). Σημειώνεται, επίσης, ότι τιμές κυματισμού αποδίδονται και στη Μαύρη Θάλασσα, καθώς εντάσσεται μέσα στην περιοχή της Μεσογείου όπως αυτή ορίζεται μέσω συντεταγμένων (γεωγραφικό μήκος: -6° έως 36° και γεωγραφικό πλάτος: 30° έως 46°), χωρίς αυτό, βέβαια, να αποτελεί μειονέκτημα είτε των συγκεκριμένων δεδομένων είτε του λογισμικού.

Μέσω των σειρών χαρτών διαφορετικών χρονικών διαστημάτων μπορεί κανείς να διακρίνει τις βασικές διαφορές στο Σημαντικό Ύψος Κύματος στην περιοχή μελέτης. Ειδικότερα, στη σειρά χαρτών ανά έτος, παρατηρείται ότι το υψηλότερο Σημαντικό Ύψος Κύματος παρουσιάζεται μόνιμα στη νοτιοδυτική Μεσόγειο, ενώ λίγο χαμηλότερο Σημαντικό Ύψος Κύματος παρουσιάζεται στην ευρύτερη περιοχή του Λιβυκού Πελάγους. Τα ύψη διαφοροποιούνται στα τέσσερα διαδοχικά έτη, διατηρώντας, όμως, μία συνοχή.

Στη σειρά χαρτών ανά εποχή, είναι έντονη η διαφορά του κυματισμού κατά τη διάρκεια των χειμερινών μηνών σε σχέση με το υπόλοιπο έτος και ιδιαίτερα σε σχέση με τους καλοκαιρινούς μήνες. Παρατηρείται και εδώ, ότι τα μεγαλύτερα ύψη κύματος παρουσιάζονται στη νοτιοδυτική Μεσόγειο, με εξαίρεση τους καλοκαιρινούς μήνες που μεγαλύτερα, σχετικά με την υπόλοιπη περιοχή, ύψη κύματος παρουσιάζονται στο Λιβυκό Πέλαγος.

Στη σειρά χαρτών ανά εβδομάδα, μπορεί κανείς να συμπεράνει την εξέλιξη του κυματισμού σε περίοδο ενός μήνα. Κατά την 1^η εβδομάδα, παρουσιάζονται χαμηλά ύψη κύματος στις ίδιες περιοχές υψηλού γενικά κυματισμού (νοτιοδυτική Μεσόγειος και Λιβυκό Πέλαγος), κατά τη 2^η εβδομάδα φαίνεται να μετακινούνται προς τα ανατολικά και να αυξάνεται κατά μικρό βαθμό ο κυματισμός και κατά την 3^η και 4^η εβδομάδα εντοπίζεται και πάλι ο υψηλότερος κυματισμός στις συνήθεις περιοχές, με μία μικρή διαφοροποίηση μεταξύ τους.

Στη σειρά χαρτών ανά ημέρα, παρατηρείται κατά την 3^η και 4^η ημέρα φαινόμενο έντονου κυματισμού. Και από αυτή τη σειρά, μπορεί κανείς να παρακολουθήσει την εξέλιξη του κυματισμού και ίσως μέσω αυτών να πραγματοποιήσει κάποιες χονδροειδείς προβλέψεις.

Όσον αφορά τη σειρά χαρτών διαφορετικών περιοχών μελέτης από gridded δεδομένα SWH, σε παγκόσμιο επίπεδο μπορεί κανείς να εξάγει σαφή συμπεράσματα για τη συγκέντρωση των υψηλότερων κυματισμών ανά περιοχές. Στο επιλεγμένο χρονικό διάστημα (κατά τη

διάρκεια του Ιανουαρίου του 2013) τα υψηλότερη ύψη κύματος παρουσιάζονται στα μεγαλύτερα γεωγραφικά πλάτη, καθώς γενικότερα κατά τους χειμερινούς μήνες παρουσιάζονται βόρεια, ενώ κατά τη διάρκεια των θερινών μηνών συγκεντρώνονται στα νότια (βόρεια της Ανταρκτικής). Όσον, αφορά τους χάρτες σε επίπεδο Μεσογείου, όπως αναφέρθηκε και νωρίτερα, μπορεί κανείς να λάβει μία γενική ιδέα του φαινομένου, χωρίς τη δυνατότητα αναγνώρισης των ακριβών περιοχών υψηλού κυματισμού. Αντίθετα, σε επίπεδο Αιγαίου είναι σχεδόν αδύνατη η εξαγωγή συμπερασμάτων. Το Αιγαίο Πέλαγος, εκτός του ότι είναι πολύ κλειστή θάλασσα, είναι και αρκετά μικρό σε έκταση σε σχέση με την ανάλυση του καννάβου αυτών των δεδομένων. Συνεπώς, όπως φαίνεται και από την **Εικόνα 5-70**, οι εδαφοψηφίδες καλύπτουν όλο τον ελλαδικό χώρο και καθιστούν αδύνατη τη μελέτη ενός τέτοιου φαινομένου.

Τέλος, η εφαρμογή του φίλτρου Loess Smooth, αποδεικνύεται μη αποτελεσματική, καθώς φαίνεται να αλλοιώνει σημαντικά τα χαρακτηριστικά της περιοχής, ενώ η ανάλυση του παραμένει, προφανώς, η ίδια. Θεωρείται προτιμότερο σε αυτού του είδους τα δεδομένα να γίνεται οπτικοποίηση με τα πρωτογενή δεδομένα.

5.5.3 Περίπτωση 2^η

5.5.3.1 Δεδομένα

Στην δεύτερη περίπτωση επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθούν διορθωμένα Along-track δεδομένα του Ύψους της Επιφάνειας της Θάλασσας (CorSSH), με επιφάνεια αναφοράς το ελλειψοειδές αναφοράς, από την αλτιμετρική αποστολή Jason-2. Σε αυτά εμπεριέχονται, εκτός των άλλων, παρατηρήσεις του Σημαντικού Ύψους Κύματος και του συντελεστή οπισθοσκέδασης, καθώς και κάποιες γεωφυσικές παράμετροι (Centre National d'Etudes Spatiales (CNES), Aviso+). Τα βασικά τους χαρακτηριστικά είναι:

- Είδος δεδομένων: Along-track
- Κατηγοριοποίηση με βάση το χρόνο διαθεσιμότητάς τους: Delayed Time (DT)
- Κατηγοριοποίηση με βάση τις χρησιμοποιούμενες αποστολές: Monomission
- Χωρική κάλυψη: Παγκόσμια
- Χρονική κάλυψη: από τον Μάιο του 2010 και έπειτα
- Μορφότυπος: NetCDF
- Συχνότητα δεδομένων: Ένα αρχείο για κάθε περιστροφή του δορυφόρου Jason-2.
- Copyright : 1992- ongoing Cnes-CLS
- Acknowledgement: “This altimeter products were produced by CLS Space Oceanography Division and distributed by AVISO, with support from CNES”

Τα δεδομένα DT CorSSH προκύπτουν από την επεξεργασία γεωφυσικών δεδομένων GDR και μετά από ακριβή προσδιορισμό της τροχιάς του εκάστοτε δορυφόρου. Είναι διαθέσιμα στους χρήστες μετά από δύο μήνες περίπου (ανάλογα με την αποστολή). Η επεξεργασία

τους περιλαμβάνει ποιοτικό έλεγχο, επικύρωση των δεδομένων και γεωφυσικές διορθώσεις. Για τις παρατηρήσεις που έχουν συλλεχθεί από παράκτιες περιοχές (σε απόσταση 10-50 km από την ακτή) εφαρμόζεται κάποια επιπλέον ειδική επεξεργασία. Σημειώνεται, επίσης, ότι τα δεδομένα που προέρχονται από μία και μόνο αποστολή δεν βαθμονομούνται σε σχέση με άλλες. Για παράδειγμα, δεδομένα προερχόμενα από τις αποστολές Jason-1 και Envisat μπορεί να μην είναι ομοιογενή σε κάποια σημεία, διότι οι δύο αποστολές περιστρέφονται γύρω από διαφορετικές τροχιές (Collecte Localisation Satellites (CLS), Aviso + 2012).

Για τη συγκεκριμένη εφαρμογή αντλήθηκαν δεδομένα για τη χρονική περίοδο Μάιος 2010 – Μάιος 2014, όσα δηλαδή ήταν διαθέσιμα.

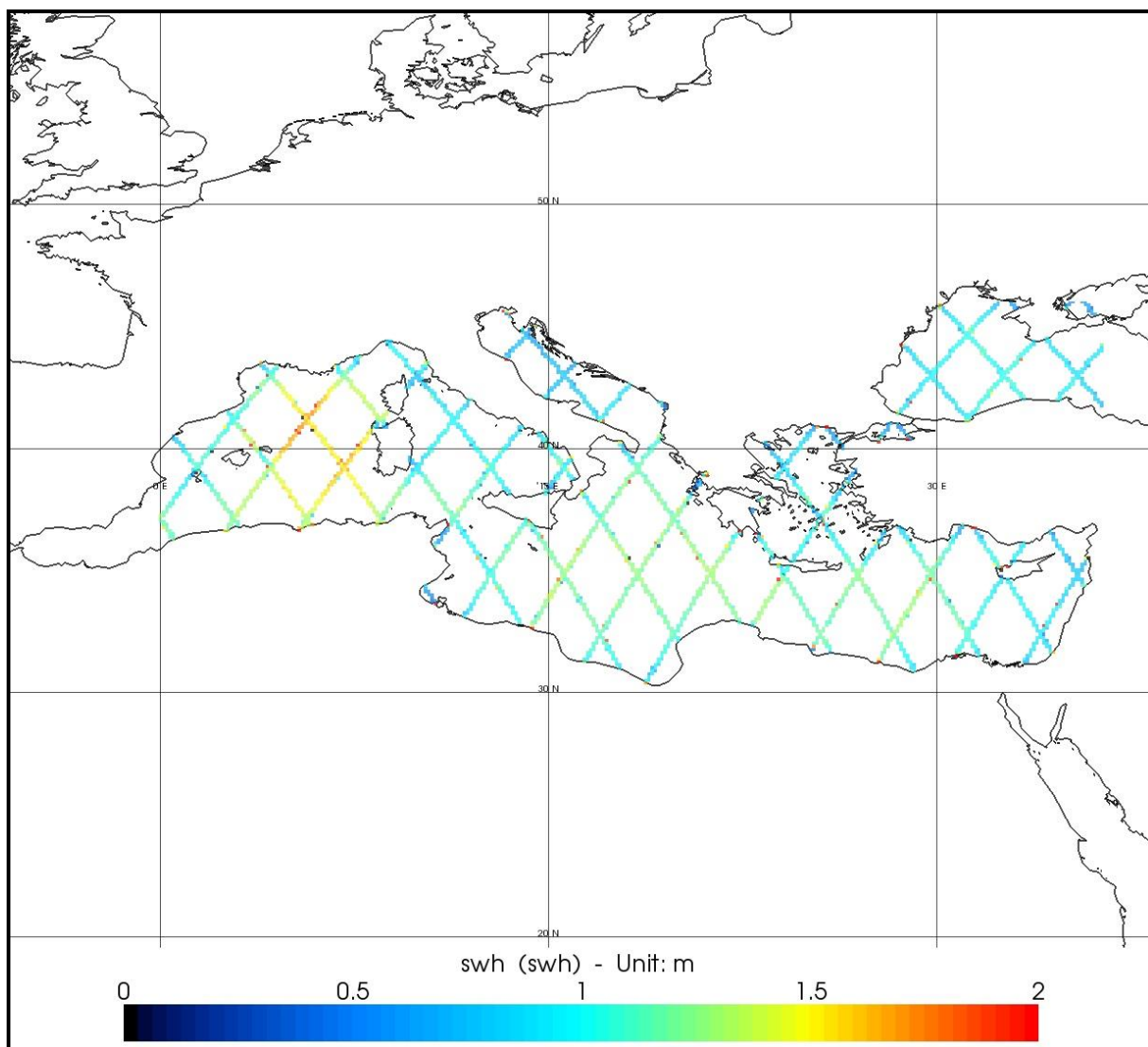
5.5.3.2 Επεξεργασία και Αποτελέσματα

Κατά τη δεύτερη περίπτωση δημιουργίας χαρτών MSWH, χρησιμοποιήθηκε το σύνολο των δεδομένων DT CorSSH, δηλαδή δεδομένα τεσσάρων χρόνων (Μάιος 2010 – Μάιος 2014) (**Εικόνα 5-71**). Η εφαρμογή αυτή επιλέχθηκε με σκοπό να συγκριθούν οι χάρτες MSWH προερχόμενοι από gridded και από along-track δεδομένα.

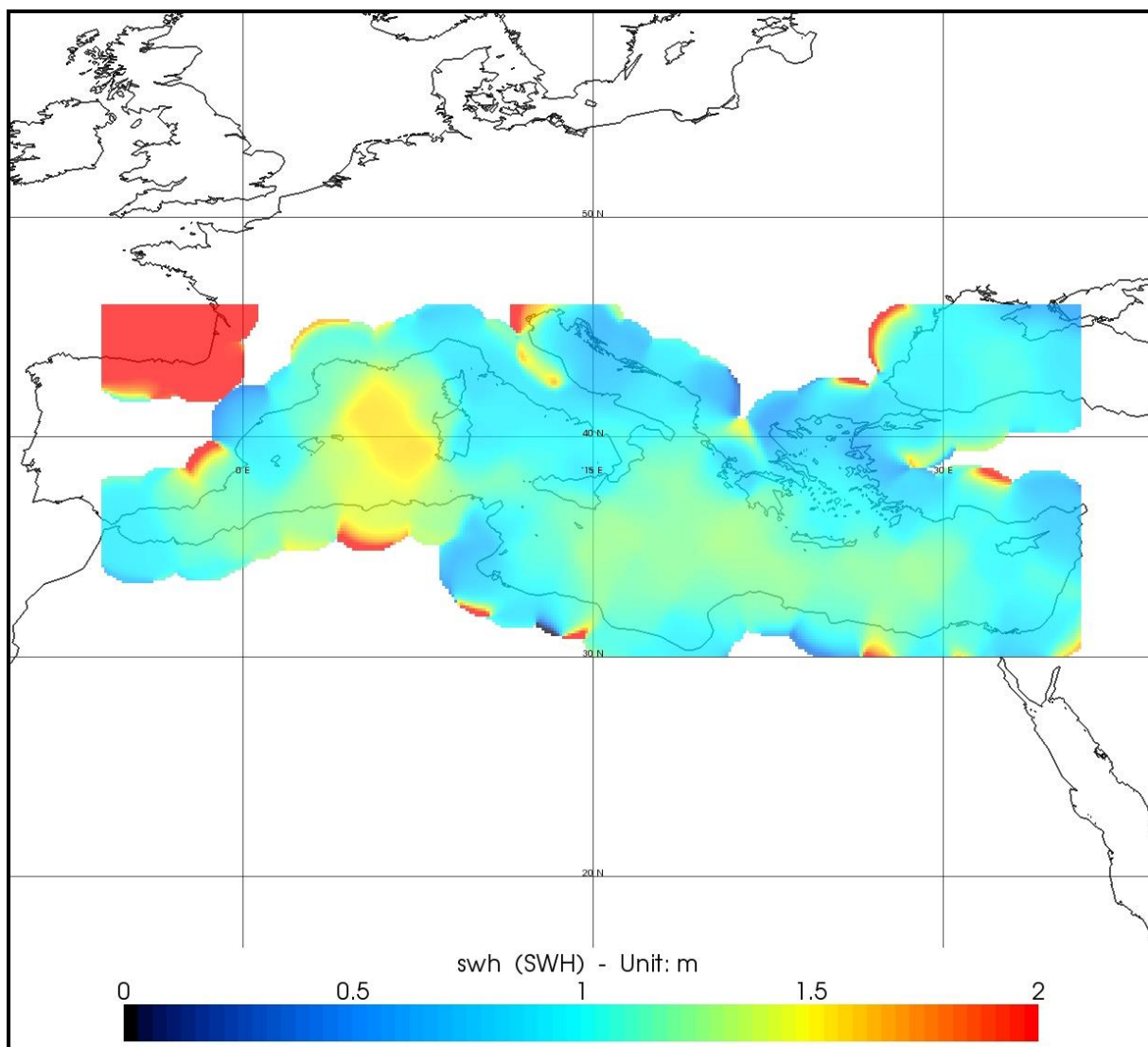
Κατά την επεξεργασία του συγκεκριμένου τύπου δεδομένων στο περιβάλλον του BRAT, ορίσθηκαν το γεωγραφικό μήκος και πλάτος ως άξονες X και Y και το πεδίο swH, το οποίο περιέχει τις τιμές του Σημαντικού Ύψους Κύματος, ως Data Expression. Στη συνέχεια, ορίσθηκε η περιοχή μελέτης και το βήμα του καννάβου. Εφόσον πρόκειται για along-track δεδομένα, δεν υπάρχει συγκεκριμένη ανάλυση από την προεπεξεργασία τους. Συνεπώς, ο χρήστης επιλέγει, ανάλογα με τη φύση της εφαρμογής, την ανάλυση του χάρτη. Εδώ η ανάλυση ορίσθηκε $1/8^\circ \times 1/8^\circ$, η οποία θεωρείται σχετικά μεγάλη ανάλυση για χάρτες τέτοιου τύπου.

Κατά την απεικόνιση του χάρτη, έγινε εστίαση στην περιοχή της Μεσογείου. Η εισαγωγή ισοϋψών καμπύλων δεν έχει κάποιο νόημα εδώ, καθώς τα δεδομένα του Σημαντικού Ύψους Κύματος αναπαρίστανται κατά μήκος των ιχνών των διαβάσεων του δορυφόρου. Σαν μονάδα μέτρησης, διατηρήθηκε η προεπιλεγμένη, τα μέτρα, ενώ το εύρος της χρωματικής κλίμακας τροποποιήθηκε σε 0 – 2 m.

Και σε αυτή την περίπτωση, δημιουργήθηκε ένας επιπλέον χάρτης (**Εικόνα 5-72**) από τα ίδια δεδομένα και με τα ίδια βήματα επεξεργασίας, αλλά με εφαρμογή του φίλτρου Loess (τιμή Cut-Off 31). Επειδή ακριβώς κατά τη χρήση Along-track δεδομένων υπάρχουν σε όλη την έκταση της περιοχής μελέτης κενά, το συγκεκριμένο φίλτρο δημιουργεί μία πιο ομοιογενή εικόνα του φαινομένου. Επίσης, μία ακόμη σκοπιμότητα για τη δημιουργία του χάρτη αυτού είναι η σύγκρισή του με τον αντίστοιχο που προέρχεται από gridded δεδομένα.



Εικόνα 5-71: Χάρτης Σημαντικού Ύψους Κύματος από δεδομένα DT CorSSH για τη χρονική περίοδο Μάιος 2010 – Μάιος 2014 χωρίς τη χρήση φίλτρου.



Εικόνα 5-72: Χάρτης Σημαντικού Ύψους Κύματος από δεδομένα DT CorSSH για τη χρονική περίοδο Μάιος 2010 – Μάιος 2014 με την εφαρμογή του φίλτρου Loess (Cut-Off 31).

5.5.3.3 Συμπεράσματα

Συγκρίνοντας τους δύο χάρτες MSWH, τον πρώτο που δημιουργήθηκε από δεδομένα gridded και τον δεύτερο από along-track με τη χρήση φίλτρου, παρατηρεί κανείς ότι οι γενικές τάσεις του κυματισμού είναι ίδιες. Στο μεν πρώτο χάρτη υπάρχει χαμηλή χωρική ανάλυση και πλήθος ψευδών δεδομένων σε ηπειρωτικές περιοχές και στο δε δεύτερο υπάρχει μεγάλος βαθμός εξομάλυνσης των δεδομένων, γεγονός που επιτρέπει την εξαγωγή μόνο χονδροειδών συμπερασμάτων.

Αναφέρεται ότι ο υψηλός βαθμός εξομάλυνσης ήταν απαραίτητος για να υπάρχει ένα ομοιογενές οπτικό αποτέλεσμα, διαφορετικά θα διακρίνονταν τα ίχνη της τροχιάς του δορυφόρου.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

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.

Ακολούθως, και όσον αφορά τις εφαρμογές που εκπονήθηκαν στο περιβάλλον του BRAT, εξήχθησαν κάποια συμπεράσματα, κυρίως σχετικά με τα είδη των χρησιμοποιούμενων αλτιμετρικών δεδομένων. Συγκεκριμένα, διακρίνοντας, αρχικά, τα δεδομένα σε gridded και along-track, κρίνεται ότι τα τελευταία παράγουν πιο αποτελεσματικούς χάρτες λόγω της υψηλότερης ακρίβειά τους. Τα gridded δεδομένα, εφόσον προκύπτουν μετά από συνδυασμό μετρήσεων (αλτιμετρικά δεδομένα, δεδομένα από επί τόπου ωκεανογραφικές μετρήσεις κ.λπ.) θεωρούνται καταλληλότερα για μελέτες μεγαλύτερων περιοχών σε σχέση με τη Μεσόγειο Θάλασσα, που είναι μία κλειστή θάλασσα. Ειδικά για την περιοχή του Ελλαδικού θαλάσσιου χώρου, αν το απαιτεί η εφαρμογή, είναι σίγουρα προτιμότερο να χρησιμοποιήσει κανείς along-track δεδομένα πολλαπλών αποστολών.

Αν εξετασθεί η διάκριση των gridded δεδομένων σε “two-sat-merged” και “all-sat-merged”, τα τελευταία, συμπεραίνοντας από τους σχετικούς χάρτες, διατηρούν μεγαλύτερο μέρος πληροφορίας, καθώς διατηρούν μεγαλύτερο μέρος από το λαμβανόμενο σήμα και ειδικά αυτό των χαμηλών συχνοτήτων, το οποίο απαλείφεται πιο εύκολα όταν υπάρχει μικρότερος αριθμός διαθέσιμων αλτιμετρικών αποστολών.

Κατά τη σύγκριση των δεδομένων ως προς το χρόνο διάθεσής τους στους χρήστες, τα δεδομένα Delayed-Time, φαίνεται να παρουσιάζουν, επίσης, βελτιωμένα αποτελέσματα σε σχέση με τα Near-Real-Time. Το γεγονός αυτό, βέβαια, ήταν αναμενόμενο, καθώς, κατά την προεπεξεργασία των δεδομένων DT πραγματοποιείται ακριβής προσδιορισμός της τροχιάς

του δορυφόρου και υποβάλλονται σε ένα σύνολο διορθώσεων, που τα καθιστούν ακριβέστερα.

Τα βοηθητικά προϊόντα, επίσης, παρουσιάζουν τα πιο ακριβή και με περισσότερη λεπτομέρεια αποτελέσματα. Έχουν, όμως, το βασικό μειονέκτημα ότι αναφέρονται σε μία αρκετά μεγάλη χρονική περίοδο. Έτσι, είναι κατάλληλα για τη γενικότερη μελέτη ενός φαινομένου και δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη διερεύνηση της δυναμικότητας του συναρτήσει του χρόνου.

Τέλος, όσον αφορά στους χάρτες Σημαντικού Ύψους Κύματος, όπως αναφέρθηκε και στην αντίστοιχη ενότητα, με τη δημιουργία χαρτών MSWH από gridded δεδομένα SWH παρέχεται μία εξομαλυμένη εικόνα της κυματικής δραστηριότητας στην περιοχή μελέτης. Για την πληρέστερη εικόνα του κυματικού ενεργειακού δυναμικού σε μία περιοχή επιβάλλεται να χρησιμοποιηθούν μακροχρόνιες χρονοσειρές δεδομένων Σημαντικού Ύψους Κύματος σε συγκεκριμένα χαρακτηριστικά σημεία, μέσω της ανάλυσης των οποίων δίνεται η δυνατότητα να υπολογιστούν λεπτομερή στατιστικά στοιχεία των κυματικών κλιματολογικών συνθηκών και του κυματικού ενεργειακού δυναμικού στις περιοχές που αντιπροσωπεύουν τα εν λόγω σημεία. Αναφέρεται ότι η επιλογή των σημείων αυτών γίνεται μέσω της μελέτης των κυρίων κατευθύνσεων της πνοής των ανέμων. Σε αντίθεση με τους χάρτες MSWH, από τους οποίους δεν μπορούν να εξαχθούν άμεσα αποτελέσματα για την κυματική δραστηριότητα σε συγκεκριμένες περιοχές, εξάγοντας χρονοσειρές δεδομένων SWH σε μεμονωμένα σημεία βλέπει κανείς απευθείας τις χρονικές μεταβολές στο εκάστοτε σημείο ενδιαφέροντος. Τέτοιες χρονοσειρές δεδομένων μπορούν να δημιουργηθούν από gridded δεδομένα SWH, επιλέγοντας τις τιμές SWH σε επιλεγμένα σημεία του καννάβου ή και από along-track δεδομένα, όπως για παράδειγμα από τις αλτιμετρικές αποστολές Jason-1, Jason-2 και Envisat.

ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

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 αλτίμετρα 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, Γεωστροφικά ρεύματα κ.ά.) με σημαντικά βελτιωμένη ακρίβεια.

Τέλος, με βάση τα όσα διατυπώθηκαν παραπάνω για τη διερεύνηση του κυματικού ενεργειακού δυναμικού, μία πολύ χρήσιμη και επίκαιρη εφαρμογή, δεδομένης της ανάγκης ανάπτυξης νέων Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, θα ήταν η μελέτη της κυματικής δραστηριότητας στην ευρύτερη περιοχή του Αιγαίου Πελάγους για τον εντοπισμό των περιοχών εκείνων, όπου οι κυματισμοί έχουν τέτοιο μέγεθος ώστε να μπορούν να εκμεταλλευθούν για την παραγωγή ενέργειας. Ο πιο ενδεδειγμένος τρόπος για μία τέτοια μελέτη αποδεικνύεται από υπάρχουσες εργασίες ότι είναι η χρήση πολυετών δεδομένων

για συγκεκριμένα σημεία (περισσότερα των τεσσάρων ετών που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία), μέσω της οποίας είναι δυνατή η παρακολούθηση της κυματικής δραστηριότητας. Έχει ήδη αποδειχθεί ότι οι ελληνικές θάλασσες διαθέτουν σημαντικό αξιοποιήσιμο θαλάσσιο δυναμικό κυματικής ενέργειας, με τις περιοχές του νοτιοδυτικού Αιγαίου να εμφανίζουν από τα υψηλότερα επίπεδα της Μεσογείου.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

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.”**
- Bosch, W., Dettmering, D., and Schwatke, C. (2014). **“Multi-Mission Cross-Calibration of Satellite Altimeters: Constructing a Long-Term Data Record for Global and Regional Sea Level Change Studies.”** *Remote Sensing*, 6, 2255-2281.
- Bosch, W., and Savcenko R. (2007). **“Satellite Altimetry: Multi-Mission Cross Calibration.”** *Dynamic Planet, 130, International Association of Geodesy Symposia*, 51-56.
- Brown, G. S. (1977) **“The average impulse response of a rough surface and its applications”**, *Antennas and Propagation, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 25 (1), 67-74.
- 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., Adjrard, 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.
- Le Traon, P. Y., Schaeffer, P., Guinehut, S., Rio, M. H., Hernandez, F., Larnicol, G. and Lemoine, J. M. "Mean Ocean Dynamic Topography From Goce And Altimetry."
- Lee-Lueng, F. and Cazanave, A. (2001). "Satellite Altimetry and Earth Sciences: A Handbook of Techniques and Applications", 69, Academic Press.
- McAdoo, D. (2006). "Marine Geoid, Gravity and Bathymetry:An increasingly clear view with satellite altimetry."

- Mertikas, S. P., Pavlis, E. C., Tziavos, I. N., Koutroulis, E., Palamartchouk, K., Papadopoulos, T. and Vergos, G. S. (2004). **“Permanent facility for calibration/validation of satellite altimetry: GAVDOS.”** *Proceedings of SPIE, The International Society for Optical Engineering, Remote Sensing of the Ocean and Sea Ice 2004*, Edited by Charles, R., Bostater, Jr. and Santoreli, R., 5569, 14-25.
- Niedzielski, T. and Kosek, W. (2009). **“Forecasting sea level anomalies from TOPEX/Poseidon and Jason-1 satellite altimetry.”** *Journal of Geodesy*, 83(5), 469-476.
- Pavlis, N. K., Holmes, S. A., Kenyon, S. C. and Factor J. K. (2012). **“The development and evaluation of the Earth Gravitational Model 2008 (EGM2008).”** *Journal Of Geophysical Research: Solid Earth (1978-2012)*, 117 (B4), 1-38.
- Quartly , G. and Chen, G. (2006). **“Introduction to the Special Issue on "Satellite Altimetry: New Sensors and New Applications"”**, *Sensors*, 6(6), 616-619.
- 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.
- Rio, M. H. (2010). **“Absolute Dynamic Topography from Altimetry: Status and Prospects in the Upcoming GOCE Era.”** *Oceanography from Space*, Barale, V., Gower, J. F. R. and Alberotanza, L., Springer Netherlands, 165-179.
- Rio, M. H., Mulet, S., Schaeffer, P. and Picot, N. (2012). **“The Ocean Mean Dynamic Topography: 20 Years of Improvements.”** *20 Years of Progress in Radar Altimetry Symposium, Venice, 2.*
- Robinson, A. R., Leslie, W. G., Thecharis, A. and Lascaratos, A. (2001). **“Mediterranean Sea Circulation”**, Academic Press.
- Rodriguez, E. and Pollard, B. (2003). **“Centimetric Sea Surface Height Accuracy Using the Wide-Swath Ocean Altimeter.”**
- Shum, C. K., Ries, J. C. and Tapley, B. D. (1995). **“The accuracy and applications of satellite altimetry.»** *Geophysical Journal International* 121, 321-336.
- Smith, W. H. F. and Sandwell, D. T. (1997). **“Global Sea Floor Topography from Satellite Altimetry and Ship Depth Soundings.”** *SCIENCE*, 1956-1962.

- Smith, W. H. F., Scharroo, R., Titov, V. V., Arcas, D. and Arbic, B. K. (2005). **“Satellite Altimeters Measure Tsunami.”** *Oceanography*, 11-13.
- Snyder, J. P. and Voxland, P. M. (1989). **“An album of map projections.”**, *USGS Professional Paper: 1453*.
- Techet, A. (2006). **“Geostrophic Currents.”**
- Vergos, G. S., Grigoriadis, V. N., Tziavos, I. N. and Sideris, M. G. (2007). **“Combination of multi-satellite altimetry data with CHAMP and GRACE EGMs for geoid and sea surface topography determination.”**, *Dynamic Planet*, 130, 244-250.
- Vignudelli, S., Kostianoy, A. G., Cipollini, P., and Benveniste, J. (2010). **“Coastal Altimetry”**. Springer.
- Wunsch, C. and Stammer, D. (1997). **“Atmospheric Loading and the Oceanic "Inverted Barometer" Effect.”** *Reviews of Geophysics*, 79–107.
- Wunsch, C. and Stammer, D. (1998). **“Satellite Altimetry, Marine Geoid and the Oceanic General Circulation.”** *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 219-253.

Βιβλιογραφία στα Ελληνικά

- 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.
- Δεληκαράογλου, Δ. και Δεληκαράογλου Σ. (2012) «**Η συνεισφορά των αλτιμετρικών γεωδαιτικών δορυφόρων στη χαρτογράφηση του ελληνικού θαλάσσιου χώρου – Η περίπτωση μιας προμελέτης για την αξιοποίηση της κυματικής ενέργειας**» *ΓΕΩΓΡΑΦΙΕΣ* 2012, 19, 70-88. (<https://app.box.com/s/v17sd42o1alg3ychom4q> και http://geographies.gr/wp-content/uploads/2013/05/GEO19-070-088_new.pdf)

«Εισαγωγή στη Γεωδαισία.» Αθήνα, 2007.

Μανδηλαράς, Ν., Ματθαίου, Σ. και Μερκουριάδη, Ε. «**Το ελλειψοειδές και οι εφαρμογές του στη Γεωδαισία και Ιατρική.**»

Παπαθεοδώρου, Γ. «**Επιχειρησιακή Ωκεανογραφία (Στοιχεία για τη φυσική συμπεριφορά του θαλασσινού νερού στους ωκεανούς).**» Πάτρα, 2011.

Πηγές από το Διαδίκτυο

Andersen, O. B., and Knudsen, P. (2004). «**Μοντέλο Μέσης Επιφάνειας της Θάλασσας, KMS04**». *Γεωχωρικά δεδομένα στο ΓΕΩΤΟΠΟ*, <http://portal.survey.ntua.gr/geohopper/CoreCollections/CoreDataCollection/20070827_DSC-KMS04-2004.htm> (Ιούνιος 12, 2014).

Asia-Pacific Data-Research Center. (2011). «**1992-2002 Mean Dynamic Ocean Topography.**», <<http://apdrc.soest.hawaii.edu/projects/DOT/>> (Μάιος 18, 2014).

Center for Satellite Applications and Research. (2014). «**Laboratory for Satellite Altimetry / Geosat Follow-On**», <www.star.nesdis.noaa.gov> (Ιούνιος 3, 2014).

Centre National d'Etudes Spatiales (CNES), Aviso+. «**CorSSH - Corrected Sea Surface Heights.**», <<http://www.aviso.altimetry.fr/en/data/products/windwave-products/swh-and-sigma0-in-corssh.html>> (Ιούνιος 5, 2014).

Collecte Localisation Satellites (CLS). «**Altimetric measurements over lands.**», <http://www.altimetry.info/html/alti/principle/waveform/welcome_en.html> (Ιούνιος 9, 2014).

COASTALT. «**Altimetry sails closer to the coast.**», <www.coastalt.eu/files/pics/COASTALT_webstory_fig1.gif> (Ιούνιος 19, 2014).

Daily Mail UK. (2014). <http://i.dailymail.co.uk/i/pix/2014/05/28/article-2641602-1E45F5B900000578-988_634x971.jpg> (Ιούνιος 19, 2014).

Earth Observation. (2008). «**Cryosat-2 opportunity.**», <<http://blog.antarctica.ac.uk/eo/2008/12/17/cryosat-2-opportunity/>> (Ιούνιος 9, 2014).

European Space Agency (ESA). «**SeaSat**», <<https://earth.esa.int/web/guest/missions/3rd-party-missions/historical-missions/seasat>> (Ιούνιος 12, 2014).

European Space Agency. «**Europe's Environmental Satellite.**», <http://www.esa.int/Our_Activities/Observing_the_Earth/Envisat/Europe_s_Environment_Satellite> (Ιούνιος 9, 2014).

German Aerospace Center (DLR). “**CHAMP - CHALLENGING Minisatellite Payload.**”, <http://www.dlr.de/rb/en/desktopdefault.aspx/tabid-2814/4262_read-6313/> (Ιούλιος 14, 2014).

Gruppo Nazionale di Oceanografia Operativa. (2009). “**Mediterranean ocean Forecasting System.**”, <<http://gnoo.bo.ingv.it/mfs/myocean/description.html>> (Μάιος 18, 2014).

Gunter's Space Page. (2014). “**ERS 1, 2.**”, <http://space.skyrocket.de/doc_sdat/ers-1.htm> (Ιούλιος 9, 2014).

Helmholtz Centre Potsdam (GFZ). (2013). “**Integrative gravity and isostatic models of the lithosphere and upper mantle.**”, <<http://www.gfz-potsdam.de/en/research/organizational-units/departments/department-1/earth-system-modelling/topics/density-structure-of-the-earth/integrative-gravity-and-isostatic-models/>> (Μάιος 29, 2014).

Jet Propulsion Laboratory (NASA). (2012). “**Dynamic Ocean Topography.**”, <<http://grace.jpl.nasa.gov/data/dot/>> (Ιούλιος 12, 2014).

NASA Goddard Space Flight Center. (2006). “**TOPEX/Poseidon:Revealing Hidden Tidal Energy.**”, <<http://svs.gsfc.nasa.gov/stories/topex/tides.html>> (Μάιος 29, 2014).

NASA's Earth Observing System. (2013) “**Seasat 1.**”, <<http://eosps0.gsfc.nasa.gov/missions/seasat-1>> (Ιούλιος 9, 2014).

National Geographic. (2014). “**Epic California Drought and Groundwater: Where Do We Go From Here?**”, <<http://newswatch.nationalgeographic.com/2014/02/04/epic-california-drought-and-groundwater-where-do-we-go-from-here/>> (Ιούλιος 14, 2014).

National Oceanic and Atmospheric Administration. (2014). “**Bathymetry is the study of the "beds" or "floors" of water bodies, including the ocean, rivers, streams, and lakes.**”, <<http://oceanservice.noaa.gov/facts/bathymetry.html>?> (Ιούλιος 12, 2014).

NOAA National Geophysical Data Center (NGDC). <http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/image/global_grav_large.gif> (Ιούλιος 19, 2014).

NOAA Satellite and Information Service. (2014). “**Laboratory for Satellite Altimetry / Geosat Follow-On.**”, <<http://www.star.nesdis.noaa.gov/sod/lisa/GFO/>> (Ιούλιος 9, 2014).

Open Altimeter Database. “**Sea Level Anomalies (SLA).**”, <<http://openadb.dgfi.badw.de/index.php?id=138>> (Ιούλιος 2, 2014).

OSTM, Jet Propulsion Laboratory, NASA. (2001). “**Gallery.**”, <<http://sealevel.jpl.nasa.gov/>>

gallery/videos/?ImageID=129> (Ιούνιος 9, 2014).

PO.DAAC, NASA Jet Propulsion Laboratory. “**GEOS-3.**”, <<http://podaac.jpl.nasa.gov/GEOS-3>> (Ιούνιος 9, 2014).

Radartutorial.eu. “**Antenna’s “Footprint”**”, <www.radartutorial.eu> (Μάιος 21, 2014).

Red Orbit. (2008). “**Satellites Used To Measure Inland Floods.**”, <http://www.redorbit.com/news/space/1612770/satellites_used_to_measure_inland_floods/> (Ιούνιος 9, 2014).

Runoff Processes. (2009). “**Jason-2: Using Satellite Altimetry to monitor the ocean.**”, <<http://stream2.cma.gov.cn/pub/comet/Climate/Jason2UsingSatelliteAltimetrytoMonitortheOcean/comet/EUMETSAT/jason/print.htm>> (Ιούνιος 2, 2014).

Space Newsfeed. <<http://www.spacenewsfeed.co.uk/index.php/launch-services/685-ground-operations-ready-for-goce-launch>> (Μάιος 27, 2014).

Spaceflight Insider. (2013). “**GOCE mission ends in a fiery blaze.**”, <<http://www.spaceflightinsider.com/space-flight-news/goce-mission-ends-in-a-fiery-blaze/>> (Ιούνιος 14, 2014).

Unidata. “**NetCDF FAQ**”, <<http://www.unidata.ucar.edu/software/netcdf/docs/faq.html#whatisit>> (Ιούλιος 12, 2014).

United States Geological Survey. (2013). “**USGS CMG "Bathymetry" Definition.**”, <<http://walrus.wr.usgs.gov/infobank/programs/html/definition/bath.html>> (Ιούνιος 12, 2014).

Wikimapia. (2013). “**Kiruna Satellite Station (European Space Agency).**”, <<http://wikimapia.org/13087368/Kiruna-Satellite-Station-European-Space-Agency>> (Ιούλιος 13, 2014).

Wikipedia. (2014). “**Altimeter.**”, <<http://en.wikipedia.org/wiki/Altimeter>> (Ιούνιος 12, 2014).

Wikipedia. (2014). “**3D projection.**”, <http://en.wikipedia.org/wiki/3D_projection> (Ιούλιος 12, 2014).

Αναγνωρίσεις

- These altimeter products were produced by CLS Space Oceanography Division and distributed by AVISO, with support from CNES.
- RioMed was produced by CLS Space Oceanography Division and distributed by Aviso, with support from Cnes (<http://www.aviso.oceanobs.com/>).

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Στον **Πίνακα 1** αναφέρονται τα είδη των αλτιμετρικών δεδομένων επιπέδου επεξεργασίας 1B και 2, τα οποία είναι αναγνώσιμα από το λογισμικό BRAT και στον **Πίνακα 2** τα αντίστοιχα δεδομένα υψηλότερων επιπέδων επεξεργασίας.

Πίνακας 1: Τα αναγνώσιμα από το BRAT αλτιμετρικά δεδομένα επιπέδου επεξεργασίας 1B και 2.

Data	Satellite(s)	Data center	Format
Level 1B & level 2	Cryosat	ESA	ESA PDS
RA-2 wind/wave product for Meteo Users (RA2_WWV_2P)	Envisat	ESA	ESA PDS
RA-2 Fast Delivery Geophysical Data Record (RA2_FGD_2P)	Envisat	ESA	ESA PDS
RA-2 Geophysical Data Record (RA2_GDR_2P)	Envisat	ESA	ESA PDS
RA-2 Intermediate Geophysical Data Record (RA2_IGD_2P)	Envisat	ESA	ESA PDS
RA-2 Sensor Data Record (RA2_MWS_2P)	Envisat	ESA	ESA PDS
Interim Geophysical data record (IGDR)	Jason-1, Topex/Poseidon	AVISO PO.DAAC	binary
Geophysical data record (GDR)	Jason-1, Topex/Poseidon	AVISO PO.DAAC	binary
Operational Sensor Data Record (OSDR)	Jason-1	AVISO PO.DAAC	binary
Sensor Geophysical data record (SGDR)	Jason-1	AVISO PO.DAAC	binary
Operational / Interim / Geophysical data record (O/I/GDR)	Jason-2	AVISO EUMETSAT NOAA	netCDF
Sensor (Interim) Geophysical data record (S(I)GDR)	Jason-2	AVISO EUMETSAT NOAA	netCDF
Sea Surface Height Anomaly Operational / Interim / Geophysical data record (SSHA O/I/GDR)	Jason-2	AVISO EUMETSAT NOAA	netCDF
Topex waveforms	Topex/Poseidon	PO.DAAC	binary
RA OPR	ERS-1 and 2	CERSAT	ESA PDS
RA WAP	ERS-1 and 2	CERSAT	ESA PDS
Geophysical data record (GDR)	GFO	NOAA	binary

Πηγή: (Basic Radar Altimetry Toolbox v3.1, User Manual 2012)

Πίνακας 2: Τα αναγνώσιμα από το BRAT αλτιμετρικά δεδομένα υψηλότερων επιπέδων επεξεργασίας.

Data	Satellite(s)	Data center	Format
Along-track Delayed-Time and Near Real Time Sea Level Anomalies (DT- & NRT-SLA) (Ssalto/Duacs multimission products)	Cryosat [*] , Jason-1, Jason-2, Topex/Poseidon, GFO, Envisat, ERS-2, ERS-1	AVISO	netCDF
Along-track Delayed-Time and Near Real Time Absolute Dynamic Topography (DT- & NRT-ADT) (Ssalto/Duacs multimission products)	Cryosat [*] , Jason-1, Jason-2, Topex/Poseidon, GFO, Envisat, ERS-2, ERS-1	AVISO	netCDF
Gridded Delayed-Time and Near Real Time Maps of Sea Level Anomalies (DT- & NRT-MSLA) (Ssalto/Duacs multimission products)	merged	AVISO	netCDF
Gridded Delayed-Time and Near Real Time Maps of Sea Level Anomalies mapping error (DT- & NRT-MSLA) (Ssalto/Duacs multimission products)	merged	AVISO	netCDF
Gridded Delayed-Time and Near Real Time Maps of Sea Level Anomalies geostrophic velocities (DT- & NRT-MSLA) (Ssalto/Duacs multimission products)	merged	AVISO	netCDF
Gridded Delayed-Time and Near Real Time Maps of Absolute Dynamic Topography (DT- & NRT-MADT) (Ssalto/Duacs multimission products)	merged	AVISO	netCDF
Delayed-Time and Near Real Time Absolute Dynamic Topography geostrophic velocities (DT- & NRT-MADT) (Ssalto/Duacs multimission products)	merged	AVISO	netCDF
Along-track Delayed-Time Sea Level Anomalies (DT-SLA) (monomission product)	Cryosat [*] , Jason-1, Jason-2, Topex/Poseidon, Envisat, ERS-2	AVISO	netCDF
Along-track Delayed-Time Corrected Sea Surface Height (DT-CorSSH) (monomission product)	Cryosat [*] , Jason-1, Jason-2, Topex/Poseidon, Envisat, ERS-2	AVISO	netCDF
Along-track Sea Surface Height Anomalies (AT-SSHA)	Topex/Poseidon, Jason-1	PO.DAAC	binary
Along-track Gridded Sea Surface Height Anomalies (ATG-SSHA)	Topex/Poseidon, Jason-1	PO.DAAC	binary
Gridded Near Real Time Maps of	Jason-1, Jason-2,	AVISO	netCDF

Significant Wave Height (NRT-MSWH) (mono- and multi-mission products)	Topex/Poseidon, Envisat, GFO, merged		
Gridded Near Real Time Maps of Wind Speed modulus (NRT- MWind)	Jason-1, Jason-2, Topex/Poseidon, Envisat, GFO, merged	AVISO	netCDF
Heracles along-track land-ice (multimission products)*	Cryosat* , Envisat	ESA	netCDF
Heracles crossover land-ice (multimission products)*	Cryosat* , Envisat	ESA	netCDF
Gridded Heracles SHA land-ice (multimission products)*	Cryosat* , Envisat, merged	ESA	netCDF
Gridded Heracles Sigma0 land-ice (multimission products)*	Cryosat* , Envisat, merged	ESA	netCDF
Gridded Heracles Leading Edge Width (LEW) land-ice (multimission products)*	Cryosat* , Envisat, merged	ESA	netCDF
River & Lake products	Envisat	ESA	binary

Πηγή: (Basic Radar Altimetry Toolbox v3.1, User Manual 2012)

* Προσεχής τύπος δεδομένων ή προσεχής δορυφορική αποστολή για το συγκεκριμένο τύπο δεδομένων.

Στον **Πίνακα 3** παρατίθενται όλες οι διαθέσιμες συναρτήσεις στο λογισμικό BRAT, συνοδευόμενες από μία σύντομη περιγραφή της λειτουργίας τους, τον τρόπο σύνταξής τους και τον τύπο τους.

Πίνακας 3: Οι διαθέσιμες συναρτήσεις στο περιβάλλον του λογισμικού BRAT.

Name	Description	Syntax	Type
!	logical negation operator NOT The logical negation operator (!) reverses the meaning of its operand. The result is <i>true</i> if the converted operand is false; the result is <i>false</i> if the converted operand is true.	! expr1	Logical
!=	not-equal-to operator The not-equal-to operator (!=) returns <i>true</i> if the operands do not have the same value; otherwise, it returns <i>false</i> A != B is true (when no default in A or B) if abs(A-B) >= epsilon	expr1 != expr2	Relational

&&	logical AND operator The logical AND operator (&&) returns the boolean value <i>true</i> if both operands are <i>true</i> and returns <i>false</i> otherwise. Logical AND has left associativity.	expr1 && expr2	Logical
	logical OR operator The logical OR operator () returns the boolean value <i>true</i> if either one operand is true or both operands are true and returns <i>false</i> otherwise. Logical OR has left associativity	expr1 expr2	Logical
<	less than It yields values of the Boolean type. The value returned is false (0) if the relationship in the expression is false; otherwise, the value returned is <i>true</i> (1).	arithmetic expr1 < arithmetic expr2	Logical
<=	less than or equal to It yields values of the Boolean type. The value returned is false (0) if the relationship in the expression is false; otherwise, the value returned is <i>true</i>	arithmetic expr1 <= arithmetic expr2	Logical
==	equal-to operator A == B is true (when there is no default in A or B) if $\text{abs}(A - B) < \text{epsilon}$ The equal-to operator returns true (1) if both operands have the same value; otherwise, it returns <i>false</i> (0).	==	Relational
>	greater than It yields values of the Boolean type. The value returned is false (0) if the relationship in the expression is false; otherwise, the value returned is true (1).	arithmetic expr1 > arithmetic expr2	Relational
>=	greater than or equal to It yields values of the Boolean type. The value returned is false (0) if the relationship in the expression is false; otherwise, the value returned is true (1).	arithmetic expr1 >= arithmetic expr2	Relational

~	bitwise not operator Takes the value as an integer (a default value if the floating point one is outside the integer range) and reverses each bit.	~ expr1	Bitwise operator
&	bitwise and operator Takes the value of each operand as an integer (a default value if the floating point one is outside the integer range) and does an <i>and</i> operation on each corresponding bit <i>And</i> operation: 0011 & 0101 = 0001	expr1 & expr2	Bitwise operator
	bitwise or operator Takes the value of each operand as an integer (a default value if the floating point one is outside the integer range) and does an <i>or</i> operation on each corresponding bit <i>Or</i> operation: 0011 0101 = 0111	expr1 expr2	Bitwise operator
()	parenthesis operator Isolates an expression (or a sub expression) in order to take it as a whole. Example: A * (B + C) multiplies (B + C) by A. without parentheses, B would be multiplied by A and then C added	(expr1)	
DV	Default value	DV	Constant
PI	PI value	PI	Constant
PI2	PI/2 value	PI2	Constant
PI4	PI/4 value	PI4	Constant
abs	absolute value Calculates the absolute value.	abs(param1)	Math&Trigo
ceil	ceiling of a value Calculates the ceiling of a value.	ceil(param1)	Math&Trigo
cos	cosine (radian) Calculates the cosine (radian) of a value.	cos(param1)	Math&Trigo
cosd	cosine (degree) Calculates the cosine (degree) of a value.	cosd(param1)	Math&Trigo
deg2rad	Translates Degree to Radian.	deg2rad(param1)	Math&Trigo
deg_normalize	Normalizes longitude (degree) Z = deg_normalize(X, Y) returns a value which makes the following expressions true: Z = Y + n*360, X <= Z < X+360	deg_normalize(param1, param2)	geographical
dv (DV)	Default value	DV	Constant
exp	exponential Calculates the exponential.	exp(param1)	Math&Trigo

floor	floor of a value Calculates the floor of a value	floor(param1)	Math&Trigo
frac	fractional parts Calculates the fractional parts of a value.	frac(param1)	Math&Trigo
iif	Inline if If the first parameter is true (not 0 and not default value), the second parameter is returned, otherwise the third one is returned. Logically equivalent to: if (param1 is true)	iif(param1, param2, param3)	Logical
iif3	I Inline if with default value case If the first parameter is true (not 0 and not default value), The second parameter is returned. If is 0, the third one is returned, otherwise (it is a default value) the fourth one is returned. Logically equivalent to: if (param1 is default value) return param4 else if (param1 is true) return param2 else return param3 end if end if	iif3(param1, param2, param3, param4)	Logical
int	integer parts Calculates the integer parts of a value.	int(param1)	Math&Trigo
is_bounded	Checks whether a value x is included between two values (min/max). is_bounded(min, x, max)	is_bounded(para m1,par am2,param3)	Relational
is_bounded_strict	Checks whether a value x is strictly included between two values (min/max). is_bounded_strict(min, x, max)	is_bounded_stric t(para m1,param2,para m3)	Relational
is_default	Checks whether a value is a default value (1: yes, 0: no)	is_default(param 1)	Logical
log	logarithm Calculates the logarithm of a value	log(param1)	Math&Trigo

log10	base-10 logarithm Calculates the base-10 logarithm of a value	log10(param1)	Math&Trigo
max	Maximum Calculates the larger of two values	max(param1,param2)	
min	Minimum Calculates the smaller of two values	min(param1,param2)	
mod	floating-point remainder Calculates the floating-point remainder	mod(param1,param2)	Math&Trigo
rad2deg	Translates Radian to Degree	rad2deg(param1)	Math&Trigo
round	rounded value Calculates the rounded value	round(param1)	Math&Trigo
rnd	rounded value Calculates the rounded value of a number x with a decimal precision of n figures after decimal point. rnd(x,decimal precision)	Rnd(param1,param2)	Math&Trigo
sign	Checks the sign of a value (-1: negative, 1: positive or zero)	sign(param1)	Math&Trigo
sin	sine (radian) Calculates the sine (radian) of a value.	sin(param1)	Math&Trigo
sind	sine (degree) Calculates the sine (degree) of a value.	sind(param1)	Math&Trigo
sqr	square Calculates the square of a value.	sqr(param1)	Math&Trigo
sqrt	square root Calculates the square root of a value.	sqrt(param1)	Math&Trigo
tan	tangent (radian) Calculates the tangent (radian) of a value.	tan(param1)	Math&Trigo
tand	tangent (degree) Calculates the tangent (degree) of a value.	tand(param1)	Math&Trigo

to_date	<p>Date formats conversion</p> <p>Translates a string value into a date value</p> <p>Allowed formats are:</p> <p>YYYY-MM-DD HH:MN:SS.MS string.</p> <p>For instance:</p> <p>'1995-12-05 12:02:10.1230'</p> <p>'1995-12-05 12:02:10'</p> <p>'1995-12-05'</p> <p>a Julian string: format: positive 'Days Seconds Microseconds'</p> <p>Seconds must be strictly less 86400 and Microseconds must be strictly less than 1000000</p> <p>For instance:</p> <p>'2530 230 4569'</p> <p>a Julian string: format: positive decimal Julian day</p> <p>For instance:</p> <p>'850.2536985'</p>	to_date(param1)	Date&Time
---------	---	-----------------	-----------

Πηγή: (Basic Radar Altimetry Toolbox v3.1, User Manual 2012)