Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Τμήμα Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, Πολυτεχνική Σχολή

Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών Γεωπληροφορική

Σύγχρονες Γεωδαιτικές Εφαρμογές

**Αφροδίτη Κ. Κατσαδούρου**

Διπλωματούχος Αγρονόμος και Τοπογράφος Μηχανικός, Α.Π.Θ.

# Η συμβολή των σύγχρονων γεωδυναμικών μοντέλων των αποστολών GRACE και GOCE στον προσδιορισμό της δυναμικής θαλάσσιας τοπογραφίας με συνδυασμό αλτιμετρικών δεδομένων

Μεταπτυχιακή διατριβή

που υποβλήθηκε στο Τμήμα Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών

της Πολυτεχνικής Σχολής του Α.Π.Θ

Τμήμα Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών

Θεσσαλονίκη, Νοέμβριος 2012

# Περίληψη

Η παρούσα εργασία αφορά στην μελέτη των βασικών εννοιών του πεδίου βαρύτητας της Γης και τη σχέση μεταξύ της γεωδαισίας και της φυσικής ωκεανογραφίας. Η επιστήμη της γεωδαισίας επικεντρώνεται στη μελέτη και την κατανόηση του δυναμικού συστήματος της Γης και τον προσδιορισμό του πεδίου βαρύτητας. Μέχρι τα τέλη του 20ου αιώνα, η αναπαράσταση του πεδίου βαρύτητας της Γης βασίστηκε αποκλειστικά σε επίγειες παρατηρήσεις, περιλαμβανομένων των εναέριων και θαλάσσιων παρατηρήσεων. Η εξέλιξη της γεωδαισίας οδήγησε στη δημιουργία σύγχρονων δορυφορικών αποστολών και νέων μεθόδων προσδιορισμού και παρακολούθησης του πεδίου βαρύτητας της Γης με ομοιογένεια και παγκόσμια κάλυψη. Τόσο το φάσμα όσο και οι συνιστώσες του πεδίου βαρύτητας προσδιορίζονται σε ηπειρωτικές και θαλάσσιες περιοχές, με πολύ μεγαλύτερη ακρίβεια. Στο πλαίσιο αυτό, οι δορυφορικές αποστολές CHAMP, GRACE και GOCE έχουν ως κύριο στόχο την υψηλή ακρίβεια και την χαρτογράφηση του πεδίου βαρύτητας της Γης σε παγκόσμια αλλά και τοπική κλίμακα. Τα νέα γεωδυναμικά μοντέλα που προέρχονται από το συνδυασμό της δορυφορικής αλτιμετρίας και των επίγειων δεδομένων βαρύτητας αποτελούν τις πιο ακριβείς λύσεις. Οι λύσεις αυτές μπορούν να αφορούν αποκλειστικά στην επιφάνεια της θάλασσας (ωκεάνια μοντέλα γεωειδούς, ωκεάνια μοντέλα πεδίου βαρύτητας). Η μελέτη των μεταβολών της στάθμης της θάλασσας και ο προσδιορισμός της τοπογραφίας της επιφάνειας της θάλασσας αφορά τόσο την επιστήμη της γεωδαισίας όσο και της ωκεανογραφίας. Από γεωδαιτική σκοπιά, η τοπογραφία της επιφάνειας της θάλασσας συμβάλλει στον προσδιορισμό του γεωειδούς, το οποίο αποτελεί τη βασική επιφάνεια αναφοράς για παρατηρήσεις που καθορίζονται με τη χρήση γεωδαιτικών μεθόδων, ενώ ταυτόχρονα αποτελεί την κύρια επιφάνεια για τον προσδιορισμό της ωκεάνιας κυκλοφορίας και της μελέτης των ιδιοτήτων θαλασσινού νερού.

Στο πλαίσιο αυτό κύριος στόχος της παρούσας εργασίας είναι ο προσδιορισμός της Δυναμικής Τοπογραφίας της επιφάνειας της θάλασσας (MDT) σε δύο περιοχές μελέτης, της περιοχής του Βόρειου Ατλαντικού Ωκεανού και της περιοχής της κλειστής λεκάνης της Μεσόγειου και του ευρύτερου Ευρωπαϊκού χώρου. Για τον υπολογισμό της δυναμικής θαλάσσιας τοπογραφίας συνδυάστηκε ένα παγκόσμιο γεωδυναμικό μοντέλου ($N_{GOCO02S}$) και ένα μοντέλου μέσης στάθμης της θάλασσας ($MDOT_{DTU2010}$). Η βελτιστοποίηση του πεδίου της δυναμικής τοπογραφίας της θάλασσας επιτυγχάνεται στη συνέχεια μέσω της εφαρμογής στατιστικών ελέγχων και γραμμικών φίλτρων για την απομάκρυνση του θορύβου και των σφαλμάτων. Τέλος πραγματοποιείται ο υπολογισμός των ταχυτήτων των ωκεάνιων ρευμάτων των περιοχών αυτών με την χρήση γεωδαιτικών μεθόδων.

# Mean dynamic ocean topography determination from recent GOCE/GRACE geopotential models and satellite altimetry data

## EXTENDED ABSTRACT

The present thesis focuses on the study of fundamental concepts of the Earth's gravity field and their application to the determination of functionals related to the Earth's oceans, i.e., especially to the interrelation between space geodesy and physical oceanography. The science of Geodesy focuses on studying and understanding of the Earth's dynamic system and the determination of the Earth's gravity field. Until the late 20th century the representation of the Earth's gravitational field was based solely on ground-based observations, including airborne and marine observations. The evolution of space geodesy led to the establishment of modern satellite missions and new methods of determining and tracking homogeneously the Earth's gravity field, thus providing a unique outlook of its spectrum and components, both in continental and marine areas, much more accurately. In this respect, the satellite missions of CHAMP, GRACE and that of GOCE, have as their main objectives the high accuracy and global representation of the Earth's gravity field.

The new geopotential models derived from combining satellite altimetry, and marine and terrestrial gravity, represent the most accurate solutions in a global coverage of the Earth's gravity field. These solutions can be identified exclusively in sea surface (ocean geoid models, ocean gravity field models). The study of sea level variations and the determination of the sea surface topography outline in effect the interrelation of Geodesy and Oceanography. From a geodetic perspective, the sea surface topography contributes to the determination of the geoid, which is the basic reference surface for observations specified by geodetic methods, while simultaneously constitutes the main surface for the determination of the ocean circulation and study of seawater properties. The interrelation between the two disciplines allows the determination of sea surface topography, either directly from oceanographic observations (atmospheric pressure, speed and wind currents, temperature, salinity and density) as well as through oceanographic models, identified by in-situ observations, or via geodetic methods by using geoid models. Afterwards, it is possible to calculate the speed of ocean currents via the geodetic defined Quasi-stationary Sea Surface Topography (QSST), and vice versa, determine the QSST through oceanographic data and methods.

The main objective of this thesis is the determination of stationary Dynamic Ocean Topography (DOT) or Mean Dynamic Topography (MDT) of two study areas, which are located in the North Atlantic Ocean and the Mediterranean sea. This is achieved by combining a Global Geopotential Model (GGM) and a Mean Sea Surface Model (MSS) from satellite altimetry. In all such applications, filtering is needed in order to account for the observation noise, as well as the geoid omission and commission errors. Therefore, linear,

isotropic, filters have been applied. Finally the ocean current velocities in these regions were calculated by using geodetic methods.

The first objective of this thesis is to present the basic methods of approaching the Earth's gravity field from space, by analyzing the goals and the accuracies achieved by the modern missions of CHAMP, GRACE and GOCE. In this regard and in the context of the present study, the determination of the Dynamic Ocean Topography for the two areas under study has been based on the GOCO02S GGM, which resulted from the combination of CHAMP, GRACE and GOCE observations, and the DTU2010 MSS model. The DTU2010 MDT model has been used as ground truth for validation purposes.

The second objective of this thesis is the proper data processing for the determination of the MDT for both areas under study, the evaluation of the results and subsequently the optimization of the solution through the implementation of statistical tests (2σ and 3σ test) and linear filters (Boxcar, Cosine arch, Gaussian) to remove the omission and commission errors as well as the white noise.

The third objective of this thesis is the determination of the ocean circulation and velocities of the currents for the study areas according to the steady-state geostrophic equations..

The first chapter of this thesis is dedicated to the problem statement and the objectives, as well as to the structure and analysis of the contents.

The second chapter of this thesis summarizes the main methods of measuring the Earth's gravity field from space. Initially, the fundamentals of satellite altimetry, satellite to satellite tracking and satellite gravity gradiometry are provided. Thereafter, the spherical harmonic functions of the main components of earth's gravitational field geoid heights (N) and gravity anomalies (Δg) is briefly presented. These are analyzed in the context of data combination methods from space geodesy (CHAMP, GRACE and GOCE data), satellite altimetry, terrestrial gravity observations, Laser observations, Gradiometry and GNSS observations (always in combination with one of the above methods). The modern satellite missions CHAMP, GRACE and GOCE are then presented, as well as the aim and the data of each mission, the structure of each satellite board, the accuracies achieved and its applications in Geosciences and scientific objectives. Also, the basic notions of MDT are presented along with its determination via geodetic and oceanographic methods. Consequently, as already mentioned, the MDT is a key reference surface for the sciences of Geodesy and Oceanography. This thesis presents the methodology used to calculate the components of the geostrophic flow velocities, according to the equations of Pond and Pickard (2000). Finally, in an effort to determine the Sea Surface Topography, because of the combination of Mean Sea Surface and Geoid models, which are characterized by different spatial resolution and accuracy, necessitates the application of filters to remove high frequency and white noise. In the present thesis the types of filters used refer to Boxcar, Cosine-arch, and Gaussian ones. For each filter, it is possible to employ various spatial wavelengths for the filter cut-off frequency.

The third chapter of this thesis focuses on the two study areas that were selected, the justification of these options as well as all of the applications incurred to determine the MDT, Ocean Circulation and velocities of geostrophic currents in these regions. The global MSS model from DTU2010, the global Mean Dynamic Topography model from DTU2010 (MDOT from DTU2010) and the GOCO02S GGM, which were used for this purpose, are presented in detail. Moreover, reference is made to GOCE mission and its contribution in improving the accuracy and resolution of the Geoid model GOCO02S. Afterwards, the estimation process used for the analysis of the available data is presented in order to identify the optimal synthetic Mean Dynamic Ocean Topography model for the two regions as well as all the experiments performed in the pretreatment phase and initial results. in first step the MDOT calculated through the difference of MSS from DTU2010 and N from GOCO02S, which will be referred to the name MDOTC (Mean Dynamic Ocean Topography Combined) as well as the differences with the Mean Dynamic Ocean Topography as given by DTU2010 (MDOT from DTU2010) for each of the two regions. Finally, two statistical tests (2σ and 3σ test) were applied. From the results of these tests, it is obvious that a significant part of the errors and also the erroneous observations of the initial field, close to the coastlines and due to the presence of islands, were unable to be removed by the filtering data program *gmtselect.* Therefore, the application of 2σ and 3σ test managed to remove and thus improve considerably the data quality and the results of the MDOTC filed for both regions.

The fourth chapter of this thesis presents the results of applying linear filters in two fields of MDOTC obtained after the application of two statistical tests (2σ and 3σ test) for each of the two study areas. Through the Multitool Mirone, developed in Matlab, the linear filters Boxcar, Cosine arch and Gaussian were applied to the data. The function *Grdfilter* allows filtering data through the selected Boxcar, Cosine arch, Gaussian and Median filters by the application of various spatial wavelengths for the filter width. A series of experiments were applied in order to find the proper filter and filter width. The main purpose of this process is to achieve the smallest differences between the MDOTC field and the MDOTC from DTU2010 in terms of the std, mean and range. Consequently, after the application of the filtering process to the data of both regions, the most appropriate filter derived from the analysis of the statistical characteristics is Boxcar. Finally, a calculation of the components of the current velocities is presented describing the ocean circulation and known ocean currents in both study areas.

In the fifth chapter concluding notes on the results of this thesis and recommendations for future work in this research field are proposed.

# Ευχαριστίες

Η παρούσα μεταπτυχιακή εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια του μεταπτυχιακού προγράμματος σπουδών Γεωπληροφορική στην κατεύθυνση των Σύγχρονων Γεωδαιτικών Εφαρμογών του τμήματος Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών (ΤΑΤΜ) της Πολυτεχνικής Σχολής του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης (ΑΠΘ) υπό την επίβλεψη του Καθηγητή Ηλία Τζιαβού και του Λέκτορα Γεώργιου Βέργου. Έχοντας ολοκληρώσει την εργασία θα ήθελα να τους ευχαριστήσω πολύ για τη σημαντική βοήθεια, τις συμβουλές αλλά και την υπομονή τους. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου Αγγελική και Κωνσταντίνο και τα αδέρφια μου Χρύσα και Δημήτρη για τη βοήθειά και την αγάπη τους. Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω τους φίλους μου Γεωργία Μιχαηλούδη και Νίκο Λαλέα για την υπομονή και τη συμπαράστασή τους τόσα χρόνια. Σας ευχαριστώ όλους!

Θεσσαλονίκη, Νοέμβριος 2012

Αφροδίτη Κ. Κατσαδούρου

# Αφιέρωση

*Στους γονείς μου*

*Αγγελική & Κωνσταντίνο,*

*και στα αδέρφια μου*

*Χρύσα &Δημήτρη*

# Περιεχόμενα

**Περίληψη** ..... **iii**

**Extended Abstract** ..... **v**

**Ευχαριστίες** ..... **ix**

**Αφιέρωση** ..... **xi**

**Περιεχόμενα** ..... **xiii**

**Κατάλογος Πινάκων** ..... **xvii**

**Κατάλογος Σχημάτων** ..... **xxi**

**Κατάλογος Συμβόλων** ..... **xxxv**

**Συντομογραφίες** ..... **xxxvii**

**1 Εισαγωγή - Αντικείμενο μελέτης** ..... **1**

1.1 Εισαγωγή ..... 1

1.2 Αντικείμενο μελέτης και στόχοι της εργασίας ..... 1

1.3 Διάρθρωση και ανάλυση των περιεχομένων της εργασίας ..... 3

**2 Προσέγγιση του Πεδίου Βαρύτητας της Γης** ..... **5**

2.1 Εισαγωγή ..... 5

2.2 Μέθοδοι προσέγγισης του Πεδίου Βαρύτητας της Γης από το διάστημα ..... 7

2.2.1 Δορυφορική Αλτιμετρία, Μέθοδος μέτρησης διαδορυφορικών αποστάσεων, Δορυφορική Βαθμιδομετρία ..... 7

2.3 Αναπτύγματα σφαιρικών αρμονικών και Συνθετικά Μοντέλα προσδιορισμού του Πεδίου Βαρύτητας της Γης ..... 12

2.4 Σύγχρονες Δορυφορικές αποστολές παρατήρησης του Πεδίου Βαρύτητας της Γης ..... 15

2.4.1 Η Δορυφορική αποστολή CHAMP ..... 15

*2.4.1.1 Σκοπός και δορυφορικά δεδομένα* ..... 15

*2.4.1.2 Δομή και ανάλυση δορυφόρου CHAMP* ..... 16

*2.4.1.3 Εφαρμογές στις Γεωεπιστήμες και επιστημονικοί στόχοι* ..... 17

2.4.2 Η Δορυφορική αποστολή GRACE ..... 19

*2.4.2.1 Σκοπός και δορυφορικά δεδομένα* ..... 19

*2.4.2.2 Δομή και ανάλυση δορυφόρου CHAMP* ..... 20

*2.4.2.3 Εφαρμογές στις Γεωεπιστήμες και επιστημονικοί στόχοι* ..... 20

2.4.3 Η Δορυφορική αποστολή GOCE ..... 22

*2.4.3.1 Σκοπός και δορυφορικά δεδομένα* ..... 22

*2.4.3.2 Δομή και ανάλυση δορυφόρου CHAMP* ..... 23

*2.4.3.3 Το Βαθμιδόμετρο EEGκαι η λειτουργία του* ..... 24

*2.4.3.4 Εφαρμογές στις Γεωεπιστήμες και επιστημονικοί στόχοι* ...25

2.5 Δυναμική Τοπογραφία της Επιφάνειας της Θάλασσας και Ωκεάνια Κυκλοφορία ...26

2.5.1 Δυναμική Τοπογραφία της Επιφάνειας της Θάλασσας ...26

2.5.2 Ωκεάνια Κυκλοφορία, Γεωστροφική ροή και ταχύτητες ρευμάτων.28

2.6 Γραμμικά φίλτρα και εφαρμογή στον προσδιορισμό της Τοπογραφίας της Επιφάνειας της Θάλασσας ...30

2.7 Ανακεφαλαίωση - Συμπεράσματα ...35

**3 Περιοχές μελέτης, διαθέσιμα δεδομένα και προ-επεξεργασία ...37**

3.1 Εισαγωγή ...37

3.2 Περιοχές μελέτης ...37

3.3 Δεδομένα αποστολής GOCE και τρόποι διάθεσης ...41

3.4 Διαθέσιμα δεδομένα και μοντέλα ...43

3.4.1 Το Γεωδυναμικό μοντέλο GOCO02S ...44

3.4.2 Μοντέλα DTU ...47

3.5 Προ-επεξεργασία δεδομένων και αρχικά αποτελέσματα ...49

3.6 Η δυναμική τοπογραφία της επιφάνειας της θάλασσας στο Βόρειο Ατλαντικό ...51

3.6.1 Αποτελέσματα εφαρμογής στατιστικών ελέγχων ...54

3.7 Η Δυναμική Τοπογραφία της Επιφάνειας της Θάλασσας στη Μεσόγειο και τον ευρύτερο Ευρωπαϊκό χώρο ...58

3.7.1 Αποτελέσματα εφαρμογής στατιστικών ελέγχων ...62

3.8 Ανακεφαλαίωση - Συμπεράσματα ...66

**4 Εφαρμογή φίλτρων στην MDOTC και ωκεάνια κυκλοφορία ...67**

4.1 Εισαγωγή ...67

4.2 Η Δυναμική Τοπογραφία της Θάλασσας MDOTC στο Βόρειο Ατλαντικό μετά την εφαρμογή φίλτρων ...68

4.2.1 Αποτελέσματα εφαρμογής φίλτρων στο πεδίο MDOTC μετά το 2σ τεστ ...68

4.2.2 Αποτελέσματα εφαρμογής φίλτρων στο πεδίο MDOTC μετά το 3σ τεστ ...84

4.3 Η Δυναμική Τοπογραφία της Θάλασσας MDOTC στη Μεσόγειο και τον ευρύτερο Ευρωπαϊκό χώρο μετά την εφαρμογή φίλτρων ...100

4.3.1 Αποτελέσματα εφαρμογής φίλτρων στο πεδίο MDOTC μετά το 2σ τεστ ...100

4.3.2 Αποτελέσματα εφαρμογής φίλτρων στο πεδίο MDOTC μετά το 3σ τεστ ...115

4.4 Ωκεάνια κυκλοφορία και προσδιορισμός ταχύτητας ρευμάτων των περιοχών μελέτης ...129

4.5 Ανακεφαλαίωση – Συμπεράσματα .....147
**5 Συμπεράσματα - Προτάσεις ..... 151**
**Βιβλιογραφία ..... 155**

# Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 3.1: Στατιστικά στοιχεία για τα πεδία τιμών , $N_{GOCO02S}$, $MSS_{DTU2010}$ και $MDOT_{DTU2010}$ της περιοχής του Βόρειου Ατλαντικού {m}.....53

Πίνακας 3.2: Στατιστικά στοιχεία για τα πεδία τιμών $MDOT_{DTU2010}$, MDOTC και $MDOT_{DTU2010}$-MDOTC της περιοχής του Βόρειου Ατλαντικού {m} .....54

Πίνακας 3.3: Στατιστικά στοιχεία για τα πεδία τιμών, $MDOT_{DTU2010}$, MDOTC, $MDOT_{DTU2010}$-MDOTC, 2σ τεστ στη διαφορά $MDOT_{DTU2010}$-MDOTC, MDOTC μετά το 2σ τεστ, $MDOT_{DTU2010}$-MDOTC μετά το 2σ τεστ, 3σ τεστ στη διαφορά $MDOT_{DTU2010}$-MDOTC, MDOTC μετά το 3σ τεστ, $MDOT_{DTU2010}$-MDOTC μετά το 3σ τεστ {m}...57

Πίνακας 3.4: Στατιστικά στοιχεία για τα πεδία τιμών $N_{GOCO02S}$, $MSS_{DTU2010}$ και $MDOT_{DTU2010}$ της περιοχής της Μεσογείου και του ευρύτερου Ευρωπαϊκού χώρου{m} .....60

Πίνακας 3.5: Στατιστικά στοιχεία για τα πεδία τιμών $MDOT_{DTU2010}$, MDOTC και $MDOT_{DTU2010}$-MDOTC της περιοχής της Μεσογείου και του ευρύτερου Ευρωπαϊκού χώρου {m}.....62

Πίνακας 3.6: Στατιστικά στοιχεία για τα πεδία τιμών, $MDOT_{DTU2010}$, MDOTC, $MDOT_{DTU2010}$-MDOTC, 2σ τεστ στη διαφορά $MDOT_{DTU2010}$-MDOTC, MDOTC μετά το 2σ τεστ, $MDOT_{DTU2010}$-MDOTC μετά το 2σ τεστ, 3σ τεστ στη διαφορά $MDOT_{DTU2010}$-MDOTC, MDOTC μετά το 3σ τεστ, $MDOT_{DTU2010}$-MDOTC μετά το 3σ τεστ {m}...64

Πίνακας 4.1: Στατιστικά χαρακτηριστικά του φίλτρου Boxcar που εφαρμόστηκε στο πεδίο τιμών MDOTC μετά το 2σ τεστ {m}.....70

Πίνακας 4.1: Στατιστικά χαρακτηριστικά για το πεδίο τιμών των διαφορών $MDOT_{DTU2010}$-MDOTC (Boxcar) {m} .....70

Πίνακας 4.3: Στατιστικά χαρακτηριστικά του φίλτρου Cosine arch που εφαρμόστηκε στο πεδίο τιμών MDOTC μετά το 2σ τεστ {m}.....74

Πίνακας 4.4: Στατιστικά χαρακτηριστικά για το πεδίο τιμών των διαφορών $MDOT_{DTU2010}$-MDOTC (Cosine arch) {m}.....75

Πίνακας 4.5: Στατιστικά χαρακτηριστικά του φίλτρου Gaussian που εφαρμόστηκε στο πεδίο τιμών MDOTC μετά το 2σ τεστ {m}.....80

Πίνακας 4.6: Στατιστικά χαρακτηριστικά για το πεδίο τιμών των διαφορών $MDOT_{DTU2010}$-MDOTC (Gaussian) {m} .....80

Πίνακας 4.7: Στατιστικά χαρακτηριστικά του φίλτρου Boxcar που εφαρμόστηκε στο πεδίο τιμών MDOTC μετά το 3σ τεστ {m}.....86

Πίνακας 4.8: Στατιστικά χαρακτηριστικά για το πεδίο τιμών των διαφορών $MDOT_{DTU2010}$-MDOTC (Boxcar) {m} .....86

Πίνακας 4.9: Στατιστικά χαρακτηριστικά του φίλτρου Cosine arch που εφαρμόστηκε στο πεδίο τιμών MDOTC μετά το 3σ τεστ{m}.....90

Πίνακας 4.10: Στατιστικά χαρακτηριστικά για το πεδίο τιμών των διαφορών $MDOT_{DTU2010}$-MDOTC (Cosine arch) {m} .....91

Πίνακας 4.11: Στατιστικά χαρακτηριστικά του φίλτρου Gaussian που εφαρμόστηκε στο πεδίο τιμών MDOTC μετά το 3σ τεστ {m} .....96

Πίνακας 4.12: Στατιστικά χαρακτηριστικά για το πεδίο τιμών των διαφορώνMDOT$_{DTU2010}$-MDOTC (Gaussian) {m} .....96

Πίνακας 4.13: Στατιστικά χαρακτηριστικά του φίλτρου Boxcar που εφαρμόστηκε στο πεδίο τιμών MDOTC μετά το 2σ τεστ {m} .....102

Πίνακας 4.14: Στατιστικά χαρακτηριστικά για το πεδίο τιμών των διαφορώνMDOT$_{DTU2010}$-MDOTC (Boxcar) {m} .....102

Πίνακας 4.15: Στατιστικά χαρακτηριστικά του φίλτρου Cosine arch που εφαρμόστηκε στο πεδίο τιμών MDOTC μετά το 2σ τεστ {m} .....106

Πίνακας 4.16: Στατιστικά χαρακτηριστικά για το πεδίο τιμών των διαφορών $MDOT_{DTU2010}$-MDOTC (Cosine arch) {m} .....107

Πίνακας 4.17: Στατιστικά χαρακτηριστικά του φίλτρου Gaussian που εφαρμόστηκε στο πεδίο τιμών MDOTC μετά το 2σ τεστ {m} .....111

Πίνακας 4.18: Στατιστικά χαρακτηριστικά για το πεδίο τιμών των διαφορών $MDOT_{DTU2010}$-MDOTC (Gaussian) {m} .....111

Πίνακας 4.19: Στατιστικά χαρακτηριστικά του φίλτρου Boxcar που εφαρμόστηκε στο πεδίο τιμών MDOTC μετά το 2σ τεστ {m} .....116

Πίνακας 4.20: Στατιστικά χαρακτηριστικά για το πεδίο τιμών των διαφορών $MDOT_{DTU2010}$-MDOTC (Boxcar) {m} .....117

Πίνακας 4.21: Στατιστικά χαρακτηριστικά του φίλτρου Cosine arch που εφαρμόστηκε στο πεδίο τιμών MDOTC μετά το 2σ τεστ {m} .....120

Πίνακας 4.22: Στατιστικά χαρακτηριστικά για το πεδίο τιμών των διαφορών $MDOT_{DTU2010}$-MDOTC (Cosine arch) {m} .....121

Πίνακας 4.23: Στατιστικά χαρακτηριστικά του φίλτρου Gaussian που εφαρμόστηκε στο πεδίο τιμών MDOTC μετά το 2σ τεστ {m} .....125

Πίνακας 4.24: Στατιστικά χαρακτηριστικά για το πεδίο τιμών των διαφορών $MDOT_{DTU2010}$-MDOTC (Gaussian) {m} .....125

Πίνακας 4.25: Στατιστικά χαρακτηριστικά για το πεδίο τιμών των διαφορών $MDOT_{DTU2010}$-MDOTC (μετά το 2σ τεστ) της περιοχής του Βόρειου Ατλαντικού για τα φίλτρα Boxcar, Cosine arch και Gaussian {m} .....148

Πίνακας 4.36: Στατιστικά χαρακτηριστικά για το πεδίο τιμών των διαφορών $MDOT_{DTU2010}$-MDOTC (μετά το 3σ τεστ) της περιοχής του Βόρειου Ατλαντικού για τα φίλτρα Boxcar, Cosine arch και Gaussian {m} .....148

Πίνακας 4.47: Στατιστικά χαρακτηριστικά για το πεδίο τιμών των διαφορών $MDOT_{DTU2010}$-MDOTC (μετά το 2σ τεστ) της περιοχής της κλειστής λεκάνης της Μεσογείου και του ευρύτερου Ευρωπαϊκού χώρου για τα φίλτρα Boxcar, Cosine arch και Gaussian {m} .....148

Πίνακας 4.58: Στατιστικά χαρακτηριστικά για το πεδίο τιμών των διαφορών $MDOT_{DTU2010}$-MDOTC (μετά το 3σ τεστ) της περιοχής της κλειστής λεκάνης της Μεσογείου και του ευρύτερου Ευρωπαϊκού χώρου για τα φίλτρα Boxcar, Cosine arch και Gaussian {m} .....148

# Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 2.1: Κλασσικές μέθοδοι μέτρησης της βαρύτητας μέσω επίγειων, θαλάσσιων και από αέρα παρατηρήσεων ....5

Σχήμα 2.2: Δορυφορικές μέθοδοι μέτρησης της βαρύτητας ....5

Σχήμα 2.3: Το δορυφορικά σκάφοι CHAMP, GRACE και GOCE (NASA, ESA, GFZ) ....6

Σχήμα 2.4: Η αρχή της δορυφορικής αλτιμετρίας ....8

Σχήμα 2.5: Η τεχνική SST high low ....11

Σχήμα 2.6: Η τεχνική SST low low ....12

Σχήμα 2.7: Η τεχνική της Δορυφορικής Βαθμιδομετρίας ....12

Σχήμα 2.8: (1)Το κύριο δορυφορικό σκάφος και (2) ο βραχίονας ....16

Σχήμα 2.9: Η κεραία GPS που φέρει το δορυφορικό σκάφος CHAMP (GFZ) ....17

Σχήμα 2.10: Ο δορυφόρος CHAMP στη φάση κατασκευής του σκάφους (GFZ) ....17

Σχήμα 2.11: Το μαγνητικό πεδίο της Γης από μετρήσεις του δορυφόρου CHAMP (GFZ) ....18

Σχήμα 2.12: Το βαρυτικό πεδίο της Γης από μετρήσεις του δορυφόρου CHAMP (GFZ) ....18

Σχήμα 2.13: Οι δίδυμοι δορυφόροι της αποστολής GRACE (GFZ) ....19

Σχήμα 2.14: Τα δορυφορικά σκάφοι της αποστολής GRACE κατά τη διάρκεια ενσωμάτωσης των μετρητικών οργάνων (GFZ) ....19

Σχήμα 2.15: Η διάταξη των δίδυμων δορυφόρων GRACE πάνω στην τροχιά τους (NASA) ...20

Σχήμα 2.16: Αριστερά φαίνεται το γεωειδές στην Ελλάδα από το μοντέλο EIGEN 6C βαθμού και τάξης 1420, από δεδομένα GRACE, GOCE, LAGEOS, δορυφορικής αλτιμετρίας και επίγειων τιμών βαρύτητας. Δεξιά φαίνεται η δυναμική θαλάσσια τοπογραφία από δεδομένα GRACE, άλλα δορυφορικά δεδομένα και αλτιμετρικά δεδομένα βαρύτητας (NASA) ....21

Σχήμα 2.17: Στα αριστερά φαίνονται οι διακυμάνσεις των θαλάσσιων μαζών από παρατηρήσεις GRACE για την χρονική περίοδο 2003-2009. Το βαθύ μπλε χρώμα δείχνει απώλεια μάζας ενώ το κόκκινο χρώμα δείχνει αύξηση μάζας. Στα δεξιά φαίνονται οι μεταβολές υδάτινων μαζών λόγω βροχοπτώσεων σε μηνιαίους χάρτες της Ν. Αμερικής από δεδομένα GRACE 2003 (NASA) ....21

Σχήμα 2.18: Το δορυφορικό σκάφος της αποστολής GOCE (ESA) ....22

Σχήμα 2.19: Το δορυφορικό σκάφος GOCE στη φάση κατασκευής του (ASTRIUM) ....23

Σχήμα 2.20: Ηλεκτρικός προωθητής ιόντων του δορυφόρου GOCE (ESA) ....23

Σχήμα 2.21: Το δορυφορικό σκάφος GOCE και τα έξι ηλιακά πάνελ με τα οποία είναι εξοπλισμένος (ESA) ....24

Σχήμα 2.22: Το ωφέλιμο φορτίο του δορυφορικού σκάφους GOCE (ESA) ....24

Σχήμα 2.23: Το βαθμιδόμετρο EEG (Electrostatic Gravity Gradiometer) του δορυφόρου GOCE (ESA) ....24

Σχήμα 2.24: Το ηλεκτροστατικό βαθμιδόμετρο του δορυφόρου GOCE και οι φάσεις κατασκευής (ESA) ..... 25

Σχήμα 2.25: Η απεικόνιση του βαρυτικού πεδίου της Γης από δεδομένα GOCE (ESA) ..... 26

Σχήμα 2.26: Δυναμική θαλάσσια τοπογραφία από GOCE (ESA) ..... 26

Σχήμα 2.27: Η δυναμική θαλάσσια τοπογραφία στον Βόρειο Ατλαντικό σε μέτρα (AWI) ..... 28

Σχήμα 2.28: Ωκεάνια ρεύματα της Γης και οι κυριότερες ονομασίες τους, όπου με κόκκινο παρουσιάζονται τα θερμά ρεύματα και με μπλε τα ψυχρά ρεύματα (Pidwirny, 2006) ..... 30

Σχήμα 2.29: Συχνότητα απόκρισης φίλτρου Boxcar (Vergos and Tziavos, 2012) ..... 33

Σχήμα 2.30: Συχνότητα απόκρισης φίλτρου Cosine arch (Vergos and Tziavos, 2012) ..... 34

Σχήμα 2.31: Συχνότητα απόκρισης φίλτρου Gaussian (Vergos and Tziavos, 2012) ..... 35

Σχήμα 3.1: Περιοχή μελέτης Βόρειου Ατλαντικού ωκεανού ..... 38

Σχήμα 3.2: Δορυφορική εικόνα της μορφολογία της περιοχής του Βόρειου Ατλαντικού ..... 38

Σχήμα 3.3: Τα σημαντικότερα θαλάσσια ρεύματα της περιοχής του Βόρειου Ατλαντικού ..... 39

Σχήμα 3.4: Περιοχή μελέτης κλειστής λεκάνης της Μεσογείου και ευρύτερου Ευρωπαϊκού χώρου ..... 40

Σχήμα 3.5: Δορυφορική εικόνα της μορφολογία της περιοχής της Μεσογείου και του ευρύτερου Ευρωπαϊκού χώρου ..... 40

Σχήμα 3.6: Πάνω αριστερά φαίνεται η ωκεάνια κυκλοφορία στο Βισκαϊκό Κόλπο (Koutsikopoulos and Le Cann (1996)/OSPAR). Όμοια πάνω δεξιά φαίνεται η κυκλοφορία των ρευμάτων της περιοχής της Βόρειας θάλασσας (J. Bartholomew, 1957). Ενώ κάτω παρουσιάζονται τα ρεύματα της κλειστής λεκάνης της Μεσογείου ..... 41

Σχήμα 3.7: Το πρώτο παγκόσμιο μοντέλου του πεδίου βαρύτητας της Γης από δεδομένα δυο μηνών της αποστολής GOCE, Νοέμβριος-Δεκέμβριος 2009, (ESA) ..... 43

Σχήμα 3.8: Αθροιστικά σφάλματα εκτιμήσεων του γεωειδούς σε σχέση με το βαθμό ανάπτυξης. Σύγκριση των γεωδυναμικών μοντέλων GOCO02S, GOCO01S, EIGEN-51C, EGM2008 (EGU General Assembly, Vienna 2011, GOCO Consortium) ..... 45

Σχήμα 3.9: Τμήμα αρχείου του μοντέλου GOCO02S ..... 46

Σχήμα 3.10: Οι διαφορές μεταξύ του $MSS_{DNSC08}$ και του $MSS_{DTU2010}$ σε μέτρα (Andersen et all, 2011) ..... 48

Σχήμα 3.11: Στα αριστερά φαίνεται τμήμα αρχείου point.txt και ζεύγη φ, λ του κανάβου της περιοχής μελέτης του Βόρειου Ατλαντικού ενώ στα δεξιά φαίνεται τμήμα του αρχείου του μοντέλου GOCO02S ..... 49

Σχήμα 3.12: Χάρτης υψομέτρων του γεωειδούς της περιοχής του Βόρειου Ατλαντικού από το μοντέλο GOCO02S {m} ..... 51

Σχήμα 3.13: Χάρτης της μέσης στάθμης της θάλασσας της περιοχής του Βόρειου Ατλαντικού από το παγκόσμιο μοντέλο $MSS_{DTU2010}$ {m} ..... 51

Σχήμα 3.14: Χάρτης δυναμικής θαλάσσιας τοπογραφίας της περιοχής του Βόρειου Ατλαντικού από το παγκόσμιο μοντέλο $MDOT_{DTU2010}$ {m} .....52

Σχήμα 3.15: Χάρτης MDOTC όπως υπολογίστηκε από τη διαφορά των $MSS_{DTU2010}$ και των $N_{GOCO02S}$ {m} .....53

Σχήμα 3.16: Χάρτης διαφορών του $MDOT_{DTU2010}$ και MDOTC {m} .....53

Σχήμα 3.17: Χάρτης των διαφορών $MDOT_{DTU2010}$-MDOTC μετά την εφαρμογή του 2σ τεστ {m} .....55

Σχήμα 3.18: Χάρτης του αντίστοιχου πεδίου τιμών MDOTC ύστερα από την εφαρμογή του 2σ τεστ στις διαφορές $MDOT_{DTU2010}$-MDOTC {m} .....55

Σχήμα 3.19: Χάρτης των διαφορών $MDOT_{DTU2010}$-MDOTC μετά την εφαρμογή του 3σ τεστ {m} .....56

Σχήμα 3.20: Χάρτης του αντίστοιχου πεδίου τιμών MDOTC ύστερα από την εφαρμογή του 3σ τεστ στις διαφορές $MDOT_{DTU2010}$-MDOTC {m} .....56

Σχήμα 3.21: Χάρτης υψομέτρων του γεωειδούς της περιοχής της Μεσογείου και του ευρύτερου Ευρωπαϊκού χώρου από το μοντέλο GOCO02S {m} .....59

Σχήμα 3.22: Χάρτης της μέσης στάθμης της θάλασσας της περιοχής της Μεσογείου και του ευρύτερου Ευρωπαϊκού χώρου από το παγκόσμιο μοντέλο $MSS_{DTU2010}$ {m} .....59

Σχήμα 3.23: Χάρτης δυναμικής θαλάσσιας τοπογραφίας της περιοχής της Μεσογείου και του ευρύτερου Ευρωπαϊκού χώρου από το παγκόσμιο μοντέλο $MDT_{DTU2010}$ {m} .....60

Σχήμα 3.24: Χάρτης συνθετικής δυναμικής θαλάσσιας τοπογραφίας MDOTC όπως υπολογίστηκε από τη διαφορά των $MSS_{DTU2010}$ και των $N_{GOCO02S}$ {m} .....61

Σχήμα 3.25: Χάρτης διαφορών του $MDOT_{DTU2010}$ και του MDOTC {m} .....61

Σχήμα 3.26: Χάρτης των διαφορών $MDOT_{DTU2010}$-MDOTC μετά την εφαρμογή του 2σ τεστ {m} .....62

Σχήμα 3.27: Χάρτης του πεδίου τιμών MDOTC μετά την εφαρμογή του 2σ τεστ στις διαφορές $MDOT_{DTU2010}$-MDOTC {m} .....63

Σχήμα 3.28: Χάρτης των διαφορών $MDOT_{DTU2010}$-MDOTC μετά την εφαρμογή του 3σ τεστ {m} .....63

Σχήμα 3.29: Χάρτης του πεδίου τιμών MDOTC μετά την εφαρμογή του 3σ τεστ στις διαφορές $MDOT_{DTU2010}$-MDOTC {m} .....64

Σχήμα 4.1: Φιλτράρισμα δεδομένων μέσω της επιλογής *Grdfilter* του *Mirone* .....67

**Βόρειος Ατλαντικός – αποτελέσματα εφαρμογής φίλτρων στο MDOTC μετά το 2σ τεστ**

Σχήμα 4.2: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Boxcar (λ=300km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m} .....70

Σχήμα 4.3: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Boxcar (λ=350km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m} .....71

Σχήμα 4.4: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Boxcar (λ=400km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m} ....71

Σχήμα 4.5: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Boxcar (λ=450km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m} ....71

Σχήμα 4.6: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Boxcar (λ=500km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m} ....72

Σχήμα 4.7: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Boxcar (λ=550km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m} ....72

Σχήμα 4.8: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Boxcar (λ=620km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m} ....72

Σχήμα 4.9: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Boxcar (λ=700km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m} ....73

Σχήμα 4.10: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Boxcar (λ=780km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m} ....73

Σχήμα 4.11: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Boxcar (λ=900km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m} ....73

Σχήμα 4.12: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Boxcar (λ=1200km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m} ....74

Σχήμα 4.13: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Cosine arch (λ=300km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}....75

Σχήμα 4.14: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Cosine arch (λ=350km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}....75

Σχήμα 4.15: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Cosine arch (λ=400km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}....76

Σχήμα 4.16: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Cosine arch (λ=450km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}....76

Σχήμα 4.17: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Cosine arch (λ=500km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}.....76

Σχήμα 4.18: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Cosine arch (λ=600km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}.....77

Σχήμα 4.19: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Cosine arch (λ=650km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}.....77

Σχήμα 4.20: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Cosine arch (λ=750km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}.....77

Σχήμα 4.21: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Cosine arch (λ=790km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}.....78

Σχήμα 4.22: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Cosine arch (λ=900km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}.....78

Σχήμα 4.23: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Cosine arch (λ=1500km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}.....78

Σχήμα 4.24: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Gaussian (λ=400km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}.....80

Σχήμα 4.25: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Gaussian (λ=450km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}.....81

Σχήμα 4.26: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Gaussian (λ=500km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}.....81

Σχήμα 4.27: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Gaussian (λ=550km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}.....81

Σχήμα 4.28: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Gaussian (λ=650km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}.....82

Σχήμα 4.29: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Gaussian (λ=700km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}.....82

Σχήμα 4.30: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Gaussian (λ=800km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}.....82

Σχήμα 4.31: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Gaussian (λ=950km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}.....83

Σχήμα 4.32: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Gaussian (λ=1100km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}.....83

Σχήμα 4.33: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Gaussian (λ=1150km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}.....83

Σχήμα 4.34: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Gaussian (λ=1200km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}.....84

**Βόρειος Ατλαντικός – αποτελέσματα εφαρμογής φίλτρων στο MDOTC μετά το 3σ τεστ**

Σχήμα 4.35: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Boxcar (λ=300km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}.....86

Σχήμα 4.36: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Boxcar (λ=350km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}.....87

Σχήμα 4.37: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Boxcar (λ=400km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}.....87

Σχήμα 4.38: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Boxcar (λ=450km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}.....87

Σχήμα 4.39: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Boxcar (λ=500km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}.....88

Σχήμα 4.40: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Boxcar (λ=620km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}.....88

Σχήμα 4.41: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Boxcar (λ=700km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}.....88

Σχήμα 4.42: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Boxcar (λ=780km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}.....89

Σχήμα 4.43: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Boxcar (λ=900km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m} ....89

Σχήμα 4.44: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Boxcar (λ=1200km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m} ....89

Σχήμα 4.45: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Boxcar (λ=1500km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m} ....90

Σχήμα 4.46: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Cosine arch (λ=300km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}....91

Σχήμα 4.47: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Cosine arch (λ=350km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}....91

Σχήμα 4.48: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Cosine arch (λ=400km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}....92

Σχήμα 4.49: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Cosine arch (λ=450km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}....92

Σχήμα 4.50: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Cosine arch (λ=500km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}....92

Σχήμα 4.51: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Cosine arch (λ=620km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}....93

Σχήμα 4.52: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Cosine arch (λ=700km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}....93

Σχήμα 4.53: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Cosine arch (λ=780km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}....93

Σχήμα 4.54: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Cosine arch (λ=900km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}....94

Σχήμα 4.55: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Cosine arch (λ=1100km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}....94

Σχήμα 4.56: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Cosine arch (λ=1500km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}.....94

Σχήμα 4.57: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Gaussian (λ=400km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}.....96

Σχήμα 4.58: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Gaussian (λ=500km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}.....97

Σχήμα 4.59: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Gaussian (λ=600km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}.....97

Σχήμα 4.60: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Gaussian (λ=650km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}.....97

Σχήμα 4.61: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Gaussian (λ=700km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}.....98

Σχήμα 4.62: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Gaussian (λ=800km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}.....98

Σχήμα 4.63: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Gaussian (λ=950km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}.....98

Σχήμα 4.64: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Gaussian (λ=1000km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}.....99

Σχήμα 4.65: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Gaussian (λ=1200km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}.....99

Σχήμα 4.66: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Gaussian (λ=1300km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}.....99

Σχήμα 4.67: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Gaussian (λ=1500km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}.....100

**Μεσόγειος και ευρύτερος Ευρωπαϊκός χώρος – αποτελέσματα εφαρμογής φίλτρων στο MDOTC μετά το 2σ τεστ**

Σχήμα 4.68: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Boxcar (λ=400km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}.....103

Σχήμα 4.69: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Boxcar (λ=500km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m} ....103

Σχήμα 4.70: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Boxcar (λ=580km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m} ....103

Σχήμα 4.71: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Boxcar (λ=600km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m} ....104

Σχήμα 4.72: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Boxcar (λ=650km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m} ....104

Σχήμα 4.73: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Boxcar (λ=750km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m} ....104

Σχήμα 4.74: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Boxcar (λ=780km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m} ....105

Σχήμα 4.75: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Boxcar (λ=800km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m} ....105

Σχήμα 4.76: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Boxcar (λ=1000km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m} ....105

Σχήμα 4.77: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Boxcar (λ=1300km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m} ....106

Σχήμα 4.78: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Cosine arch (λ=400km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}....107

Σχήμα 4.79: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Cosine arch (λ=500km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}....107

Σχήμα 4.80: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Cosine arch (λ=580km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}....108

Σχήμα 4.81: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Cosine arch (λ=600km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}....108

Σχήμα 4.82: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Cosine arch (λ=650km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}.....108

Σχήμα 4.83: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Cosine arch (λ=750km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}.....109

Σχήμα 4.84: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Cosine arch (λ=780km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}.....109

Σχήμα 4.85: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Cosine arch (λ=800km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}.....109

Σχήμα 4.86: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Cosine arch (λ=1000km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}.....110

Σχήμα 4.87: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Cosine arch (λ=1500km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}.....110

Σχήμα 4.88: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Gaussian (λ=500km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}.....112

Σχήμα 4.89: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Gaussian (λ=580km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}.....112

Σχήμα 4.90: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Gaussian (λ=650km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}.....112

Σχήμα 4.91: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Gaussian (λ=700km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}.....113

Σχήμα 4.92: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Gaussian (λ=750km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}.....113

Σχήμα 4.93: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Gaussian (λ=780km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}.....113

Σχήμα 4.94: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Gaussian (λ=1000km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}.....114

Σχήμα 4.95: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Gaussian (λ=1250km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}.....114

Σχήμα 4.96: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Gaussian (λ=1500km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}.....114

**Μεσόγειος και ευρύτερος Ευρωπαϊκός χώρος – αποτελέσματα εφαρμογής φίλτρων στο MDOTC μετά το 3σ τεστ**

Σχήμα 4.97: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Boxcar (λ=400km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}.....117

Σχήμα 4.98: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Boxcar (λ=500km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}.....117

Σχήμα 4.99: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Boxcar (λ=650km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}.....118

Σχήμα 4.100: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Boxcar (λ=700km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}.....118

Σχήμα 4.101: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Boxcar (λ=750km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}.....118

Σχήμα 4.102: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Boxcar (λ=800km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}.....119

Σχήμα 4.103: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Boxcar (λ=900km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}.....119

Σχήμα 4.104: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Boxcar (λ=1200km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}.....119

Σχήμα 4.105: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Boxcar (λ=1500km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}.....120

Σχήμα 4.106: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Cosine arch (λ=400km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}.....121

Σχήμα 4.107: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Cosine arch (λ=500km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}.....121

Σχήμα 4.108: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Cosine arch (λ=650km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}.....122

Σχήμα 4.109: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Cosine arch (λ=700km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}.....122

Σχήμα 4.110: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Cosine arch (λ=750km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}.....122

Σχήμα 4.111: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Cosine arch (λ=800km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}.....123

Σχήμα 4.112: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Cosine arch (λ=1000km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}.....123

Σχήμα 4.113: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Cosine arch (λ=1200km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}.....123

Σχήμα 4.114: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Cosine arch (λ=1500km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}.....124

Σχήμα 4.115: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Gaussian (λ=500km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}.....125

Σχήμα 4.116: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Gaussian (λ=580km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}.....126

Σχήμα 4.117: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Gaussian (λ=650km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}.....126

Σχήμα 4.118: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Gaussian (λ=750km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}.....126

Σχήμα 4.119: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Gaussian (λ=800km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}.....127

Σχήμα 4.120: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Gaussian (λ=1000km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}.....127

Σχήμα 4.121: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Gaussian (λ=1250km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}.....127

Σχήμα 4.122: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Gaussian (λ=1300km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}.....128

Σχήμα 4.123: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Gaussian (λ=1500km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}.....128

Σχήμα 4.124: Τα κυριότερα ωκεάνια ρεύματα του Βόρειου Ατλαντικού (Bartholomew, 1957) .....129

Σχήμα 4.125: Τα κυριότερα ρεύματα της κλειστής λεκάνης της Μεσογείου (NOAA NGDC 2008) .....130

Σχήμα 4.126: Τα κυριότερα ρεύματα της κλειστής λεκάνης της Μεσογείου (Pierre-Yves Dar ) .....130

Σχήμα 4.127: Η Ωκεάνια κυκλοφορία της Βόρειας Θάλασσας και της Βαλτικής Θάλασσας (NOAA NGDC 2008) .....131

Σχήμα 4.128: Η Ωκεάνια κυκλοφορία στην περιοχή του Βόρειου Ατλαντικού (FL: Boxcar λ=400Km) .....133

Σχήμα 4.129: Η Ωκεάνια κυκλοφορία στην περιοχή του Βόρειου Ατλαντικού (FL: Cosine arch λ=400Km) .....133

Σχήμα 4.130: Η Ωκεάνια κυκλοφορία στην περιοχή του Βόρειου Ατλαντικού (FL: Gaussian λ=550Km) .....134

Σχήμα 4.131: Η Ωκεάνια κυκλοφορία στη βόρεια θαλάσσια περιοχή του Βόρειου Ατλαντικού, (FL: Boxcar λ=400Km) .....135

Σχήμα 4.132: Η Ωκεάνια κυκλοφορία στη βόρεια θαλάσσια περιοχή του Βόρειου Ατλαντικού,(FL: Cosine arch λ=400Km) .....135

Σχήμα 4.133: Η Ωκεάνια κυκλοφορία στη βόρεια θαλάσσια περιοχή του Βόρειου Ατλαντικού, (FL: Gaussian λ=550Km) .....136

Σχήμα 4.134: Η Ωκεάνια κυκλοφορία στην κεντρική θαλάσσια περιοχή του Βόρειου Ατλαντικού, (FL: Boxcar λ=400Km) .....137

Σχήμα 4.135: Η Ωκεάνια κυκλοφορία στην κεντρική θαλάσσια περιοχή του Βόρειου Ατλαντικού, (FL: Cosine arch λ=400Km) .....137

Σχήμα 4.136: Η Ωκεάνια κυκλοφορία στην κεντρική θαλάσσια περιοχή του Βόρειου Ατλαντικού, (FL: Gaussian λ=550Km) .....137

Σχήμα 4.137: Η Ωκεάνια κυκλοφορία στην νότια θαλάσσια περιοχή του Βόρειου Ατλαντικού, (FL: Boxcar λ=400Km) .....138

Σχήμα 4.138: Η Ωκεάνια κυκλοφορία στην νότια θαλάσσια περιοχή του Βόρειου Ατλαντικού, (FL: Cosine arch λ=400Km) .....139

Σχήμα 4.139: Η Ωκεάνια κυκλοφορία στην νότια θαλάσσια περιοχή του Βόρειου Ατλαντικού, (FL: Gaussian λ=550Km) .....139

Σχήμα 4.140: Η Ωκεάνια κυκλοφορία στην περιοχή της Μεσογείου και του ευρύτερου Ευρωπαϊκού χώρου (FL: Boxcar λ=600Km) .....141

Σχήμα 4.141: Η Ωκεάνια κυκλοφορία στην περιοχή της Μεσογείου και του ευρύτερου Ευρωπαϊκού χώρου (FL: Cosine arch λ=600Km) .....141

Σχήμα 4.142: Η Ωκεάνια κυκλοφορία στην περιοχή της Μεσογείου και του ευρύτερου Ευρωπαϊκού χώρου (FL: Gaussian λ=780Km) .....142

Σχήμα 4.143: Η Ωκεάνια κυκλοφορία στη θαλάσσια περιοχή της Τυρρηνικής, της Μεσογείου και της Αδριατικής Θάλασσας, αριστερά (FL: Boxcar λ=600Km), δεξιά(FL: Cosine arch λ=600Km) .....143

Σχήμα 4.144: Η Ωκεάνια κυκλοφορία στην θαλάσσια περιοχή της Τυρρηνικής, της Μεσογείου και της Αδριατικής Θάλασσας (FL: Gaussian λ=780Km) .....143

Σχήμα 4.145: Η Ωκεάνια κυκλοφορία στη θαλάσσια περιοχή του Ιονίου, της Μεσογείου και της Αιγαίου πελάγου αριστερά (FL: Boxcar λ=600Km), δεξιά (FL: Cosine arch λ=600Km .....144

Σχήμα 4.146: Η Ωκεάνια κυκλοφορία στην θαλάσσια περιοχή του Ιονίου, της Μεσογείου και του Αιγαίου (FL: Gaussian λ=780Km) .....145

Σχήμα 4.147: Η Ωκεάνια κυκλοφορία στην θαλάσσια περιοχή της Βισκαϊκού Κόλπου και της Βόρειας Θάλασσας (FL: Boxcar λ=600Km) .....146

Σχήμα 4.148: Η Ωκεάνια κυκλοφορία στην θαλάσσια περιοχή της Βισκαϊκού Κόλπου και της Βόρειας Θάλασσας (FL: Cosine arch λ=600Km) .....146

Σχήμα 4.149: Η Ωκεάνια κυκλοφορία στην θαλάσσια περιοχή της Βισκαϊκού Κόλπου και της Βόρειας Θάλασσας (FL: Gaussian λ=780Km) .....147

# Κατάλογος Συμβόλων

| Σύμβολο | Περιγραφή |
|---|---|
| $h_{\Sigma\Epsilon\Theta}$ | Γεωμετρικό υψόμετρο της επιφάνειας της θάλασσας |
| $h_s$ | Γεωμετρικό ύψος του δορυφόρου |
| $h_{alt}$ | Απόσταση μεταξύ δορυφόρου και της Στιγμιαίας Στάθμης της Θάλασσας |
| $N$ | Υψόμετρο γεωειδούς |
| $\zeta$ | Τοπογραφία της επιφάνειας της θάλασσας |
| $\zeta_t$ | Δυναμική ή χρονικά μεταβαλλόμενη τοπογραφία της επιφάνειας της θάλασσας |
| $\zeta_c$ | Σχεδόν στάσιμο μέρος της τοπογραφίας της επιφάνειας της θάλασσας |
| $h_{\text{ΜΣΘ}}$ | Υψόμετρο Μέσης Στάθμης της θάλασσας |
| $N^{alt}$ | Υψόμετρο γεωειδούς από αλτιμετρικές παρατηρήσεις |
| $N^{grav}$ | Υψόμετρο γεωειδούς από δεδομένα βαρύτητας |
| $T$ | Διαταρακτικό δυναμικό |
| $V$ | Γήινο δυναμικό έλξης |
| $V'$ | Κανονικό δυναμικό έλξης |
| $W$ | Δυναμικό της βαρύτητας της Γης |
| $U$ | Δυναμικό που οφείλεται στο ελλειψοειδές εκ περιστροφής |
| $\Phi$ | Φυγόκεντρο δυναμικό |
| a | Ο μεγάλος ημιάξονας του ελλειψοειδούς εκ περιστροφής |
| M | Η μάζα της Γης |
| M′ | Η μάζα του ελλειψοειδούς εκ περιστροφής |

| Σύμβολο | Περιγραφή |
|---|---|
| $\bar{C}_{nm}, \bar{S}_{nm}$ | Οι πλήρως κανονικοποιημένοι συντελεστές του αναπτύγματος του κανονικού δυναμικού |
| $\bar{C}'_{nm}, \bar{S}'_{nm}$ | Συντελεστές ανάπτυξης του κανονικού δυναμικού |
| $\bar{P}_{nm}(\cos\theta)$ | Οι γενικευμένες συναρτήσεις Legendre |
| $n, m$ | Ο βαθμός και η τάξη ανάπτυξης του μοντέλου σφαιρικών αρμονικών |
| $G$ | Η παγκόσμια σταθερά έλξης |
| $\Delta\bar{C}_{nm}, \Delta\bar{S}_{nm}$ | Οι διαφορές των πλήρως κανονικοποιημένων συντελεστών του αναπτύγματος του κανονικού δυναμικού |
| $\gamma$ | Ποσότητα η οποία αναφέρεται στην κανονική βαρύτητα |
| $\Delta\varphi$ | Η διακριτική ικανότητα των δεδομένων εκφρασμένη σε μοίρες |
| $u_s, v_s$ | Οι συνιστώσες της ταχύτητας της γεωστροφικής ροής |
| $v$ | Το μέτρο της ταχύτητας της γεωστροφικής ροής |
| $R$ | Η μέση ακτίνα της Γης ίση με 6371km |
| $f$ | Η δύναμη Coriolis |
| $\Omega$ | Η γωνιακή ταχύτητα περιστροφής της Γης |
| $H$ | Η ΤΕΘ |
| $\varphi, \lambda$ | Οι γεωγραφικές συντεταγμένες |
| $H(u,v)$ | Εξίσωση φίλτρου στο χώρο των συχνοτήτων |
| $h(x,y)$ | Εξίσωση φίλτρου στο χώρο των αποστάσεων |
| $\omega_c$ | η γωνιακή συχνότητα |
| $\lambda_c$ | το μήκος κύματος |
| $u, v$ | οι ακτινικές συνιστώσες |
| $\omega$ | Το μέτρο της γωνιακής συχνότητας |
| $\sigma$ | Η τυπική απόκλιση |
| $\beta$ | Roll off του φίλτρου Cosine arch $(\beta = 0.5)$ |

# Συντομογραφίες

CHAMP-CHAllenging Minisatellite Payload

DIR-Direct solution

DLR-Deutsches Zentrum für Luft - und Raumfahrt

DOT-Dynamic Ocean Topography

DTU-Technical University of Denmark

EEG-Electrostatic Gravity Gradiometer

EGG-C-European GOCE Gravity Consortium

EGM96-Earth Gravity Model 1996

ESA-European Space Agency

ESOK-European Space Operations Center

ESRI-European Space Research Institute

GNSS-Global Navigation Satellite System

GOCE MAG-GOCE Mission Advisory Group

GRACE-Gravity Recovery and Climate Experiment

GOCE-Gravity field and steady-state Ocean Circulation Explorer

GRDs-Geophysical Data Records

GFZ-GeoForschungsZentrum

IAPG-Institute of Astronomical and Physical Geodesy

ITSG-Institute of Theoretical Geodesy and Satellite Geodesy

ICGEM-International Centre for Global Earth Models

IGFS-International Gravity Field Service

IAG-International Association of Geodesy

LEO-Low Earth Orbiter

MDOTC-Mean Dynamic Ocean Topography Combined

$MDOT_{DTU2010}$-Mean Dynamic Ocean Topography from DTU2010

$MSS_{DTU2010}$-Mean Sea Surface from DTU2010

NASA-National Aeronautics and Space Administration

NSI-National Space Institute

TIM-Time-wise solution

QSST-Quasi Stationary Sea Surface Topography

SST-Satellite to Satellite Tracking

SGG-Satellite Gravity Gradiometry

SSH-Sea Surface Height

SST hl-Satellite to Satellite Tracking high-low

SST ll-Satellite to Satellite Tracking low-low

SLR-Satellite Laser Ranging

SPW-Space solution

STD-Standard Deviation

ΜΣΘ-Μέση Στάθμη Θάλασσας

ΤΕΘ-Τοπογραφία της Επιφάνειας της Θάλασσας

ΣΣΤΕΘ-Σχεδόν Στάσιμη Τοπογραφία της Επιφάνειας της Θάλασσας

ΧΜΤΕΘ-Χρονικά Μεταβαλλόμενη Τοπογραφία της Επιφάνειας της Θάλασσας

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1$^{ο}$

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ - ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΜΕΛΕΤΗΣ

### 1.1 Εισαγωγή

Η παρούσα εργασία αφορά στη μελέτη των βασικών παραμέτρων του πεδίου βαρύτητας της Γης καθώς και των μεθόδων αποτύπωσης του φάσματος και των συνιστωσών του και τη σύνδεσή τους με την επιστήμη της ωκεανογραφίας. Αναλύονται οι σημαντικότερες σύγχρονες δορυφορικές αποστολές μέτρησης του πεδίου βαρύτητας της Γης, CHAMP, GRACE και GOCE, καθώς και οι εφαρμογές και οι επιστημονικοί στόχοι αυτών. Βασικός στόχος της εργασίας είναι ο προσδιορισμός της δυναμικής τοπογραφίας της επιφάνειας της θάλασσας των περιοχών μελέτης του Βορείου Ατλαντικού και της κλειστής λεκάνης της Μεσογείου και του ευρύτερου Ευρωπαϊκού χώρου, μέσω συνδυασμού ενός παγκόσμιου μοντέλου γεωειδούς και ενός παγκόσμιου μοντέλου μέσης στάθμης της θάλασσας, η βελτιστοποίηση του πεδίου μέσω της εφαρμογής στατιστικών ελέγχων και γραμμικών φίλτρων για την απομάκρυνση του θορύβου και των σφαλμάτων και κατόπιν ο υπολογισμός των ταχυτήτων των ωκεάνιων ρευμάτων των περιοχών αυτών με τη χρήση γεωδαιτικών μεθόδων.

### 1.2 Αντικείμενο μελέτης και στόχοι της εργασίας

Η επιστήμη της γεωδαισίας έχει σκοπό τη μελέτη και την κατανόηση του δυναμικού συστήματος Γη και τον προσδιορισμό του πεδίου βαρύτητας της Γης και των μεταβολών που παρουσιάζει. Μέχρι τα τέλη του 20$^{ου}$ αιώνα η αναπαράσταση του πεδίου βαρύτητας της Γης προέκυπτε αποκλειστικά και μόνο από επίγειες παρατηρήσεις, συμπεριλαμβανομένων και των από αέρα και θαλάσσιων παρατηρήσεων. Η εξέλιξη της δορυφορικής γεωδαισίας είχε σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία σύγχρονων δορυφορικών αποστολών και νέων μεθόδων προσδιορισμού και παρακολούθησης αποκλειστικά του πεδίου βαρύτητας της Γης, αποδίδοντας έτσι το φάσμα και τις συνιστώσες του, τόσο σε ηπειρωτικές όσο και σε θαλάσσιες περιοχές, με πολύ μεγαλύτερη ακρίβεια. Οι αποστολές CHAMP, GRACE και η νεότερη GOCE. έχουν σαν βασικούς στόχους την υψηλή ακρίβεια και τη παγκόσμια κάλυψη. Η σημαντικότερη αποστολή από αυτές, η δορυφορική αποστολή GOCE, αποτέλεσε το διαστημικό πρόγραμμα με τις μεγαλύτερες προσδοκίες για ακρίβεια και διακριτική ικανότητα, στην αποτύπωση του φάσματος του γήινου βαρυτικού πεδίου (ακρίβεια καλύτερη της τάξης του ±1cm μέχρι βαθμό ανάπτυξης n=250, λ/2=80km), στη χαρτογράφηση του γεωειδούς (ακρίβεια καλύτερη της τάξης του ±1cm για λ=150-160km) καθώς επίσης και στη μελέτη της ωκεάνιας κυκλοφορίας και του επιπέδου της στάθμης της θάλασσας.

Τα γεωδυναμικά μοντέλα που αναπτύχθηκαν από τα υψηλής ακρίβειας δεδομένα των αποστολών αυτών αποδίδουν το πεδίο βαρύτητας της Γης σε παγκόσμια κλίμακα, τόσο σε ηπειρωτικές όσο και σε θαλάσσιες περιοχές με ομοιογένεια και ενιαία ακρίβεια. Η μελέτη των μεταβολών και των παραμέτρων της τοπογραφίας της επιφάνειας της θάλασσας, ως αποτέλεσμα της επίδρασης του βαρυτικού πεδίου και των μεταβολών του, ορίζει τη σχέση γεωδαισίας και ωκεανογραφίας. Η ΤΕΘ από γεωδαιτική σκοπιά συμβάλλει στον προσδιορισμό της επιφάνειας του γεωειδούς, τη σημαντικότερη επιφάνεια αναγωγής παρατηρήσεων προσδιοριζόμενων με γεωδαιτικές μεθόδους, ενώ ταυτόχρονα αποτελεί την επιφάνεια προσδιορισμού της ωκεάνιας κυκλοφορίας και των ιδιοτήτων του θαλάσσιου νερού. Η σχέση των δύο επιστημών επιτρέπει τον προσδιορισμό της ΤΕΘ είτε άμεσα από ωκεανογραφικές παρατηρήσεις ατμοσφαιρικής πίεσης, ταχύτητας ρευμάτων και ανέμων, θερμοκρασίας, πυκνότητας και αλατότητας καθώς επίσης και μέσω ωκεανογραφικών μοντέλων προσδιοριζόμενων από χρονοσειρές παρατηρήσεων, είτε μέσω γεωδαιτικών μεθόδων χρησιμοποιώντας μοντέλα γεωειδούς. Επίσης υπάρχει η δυνατότητα υπολογισμού των ταχυτήτων των ωκεάνιων ρευμάτων μέσω της γεωδαιτικά προσδιορισμένης στάσιμης τοπογραφίας της επιφάνειας της θάλασσας, άλλα και το αντίστροφο, ο προσδιορισμός δηλαδή της ΣΣΤΕΘ μέσω καθαρά ωκεανογραφικών μεθόδων.

Καθώς ήδη έχει αναφερθεί, βασικός στόχος της εργασίας είναι ο προσδιορισμός της δυναμικής τοπογραφίας της επιφάνειας της θάλασσας των περιοχών μελέτης του Βόρειου Ατλαντικού και της κλειστής λεκάνης της Μεσογείου και του ευρύτερου Ευρωπαϊκού χώρου μέσω συνδυασμού ενός παγκόσμιου μοντέλου γεωειδούς και ενός παγκόσμιου μοντέλου μέσης στάθμης της θάλασσας, η βελτιστοποίηση του πεδίου της δυναμικής τοπογραφίας της θάλασσας μέσω της εφαρμογής στατιστικών ελέγχων και γραμμικών φίλτρων για την απομάκρυνση του θορύβου και των σφαλμάτων και κατόπιν ο υπολογισμός των ταχυτήτων των ωκεάνιων ρευμάτων των περιοχών αυτών με την χρήση γεωδαιτικών μεθόδων.

Αρχικός στόχος της εργασίας είναι η παρουσίαση βασικών εννοιών και μεθόδων προσέγγισης του πεδίου βαρύτητας της Γης από το διάστημα αναλύοντας τα αποτελέσματα και τις ακρίβειες που επιτεύχθηκαν μέσω των σύγχρονων αποστολών CHAMP, GRACE και GOCE. Στην κατεύθυνση αυτή και στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας χρησιμοποιήθηκαν σε πρώτη φάση το παγκόσμιο μοντέλο γεωειδούς GOCO02S, το οποίο προέκυψε από το συνδυασμό παρατηρήσεων CHAMP, GRACE και GOCE, η μέση στάθμη της θάλασσας από το παγκόσμιο μοντέλο DTU2010 καθώς επίσης η δυναμική τοπογραφία από το παγκόσμιο μοντέλο DTU2010 με σκοπό τον υπολογισμό της δυναμικής θαλάσσιας τοπογραφίας (MDOTC - Mean Dynamic Ocean Topography Combined).

Δεύτερος στόχος της εργασίας είναι η κατάλληλη επεξεργασία των δεδομένων των παγκόσμιων μοντέλων για τον προσδιορισμό της δυναμικής τοπογραφίας της επιφάνειας της θάλασσας των δύο περιοχών μελέτης και η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων και εν συνεχεία η βελτιστοποίηση της λύσης μέσω της εφαρμογής στατιστικών ελέγχων (2σ και 3σ τεστ) και γραμμικών φίλτρων (Boxcar, Cosine arch, Gaussian) με σκοπό την απομάκρυνση ακραίων τιμών και θορύβου.

Τρίτος στόχος της εργασίας είναι ο προσδιορισμός της ωκεάνιας κυκλοφορίας και των ταχυτήτων των ρευμάτων των περιοχών μελέτης (Pond and Pickard, 2000).

## 1.3 Διάρθρωση και ανάλυση των περιεχομένων της εργασίας

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται βασικές έννοιες και μέθοδοι αποτύπωσης του φάσματος και των συνιστωσών του πεδίου βαρύτητας της Γης, των σύγχρονων δορυφορικών αποστολών που αναπτύχθηκαν για το σκοπό αυτό και λύσεις που χρησιμοποιήθηκαν για την απόδοση της δυναμικής τοπογραφίας της θάλασσας των περιοχών μελέτης του Βόρειου Ατλαντικού και της κλειστής λεκάνης της Μεσογείου και του ευρύτερου Ευρωπαϊκού χώρου. Παρουσιάζεται η επεξεργασία των δεδομένων δύο παγκόσμιων μοντέλων, ενός μοντέλου του γεωειδούς ($N_{GOCO02S}$) και ενός μοντέλου μέσης στάθμης της θάλασσας ($MSS_{DTU2010}$), εκ των οποίων προσδιορίστηκε η δυναμική τοπογραφία της θάλασσας (MDOTC) των δύο περιοχών μελέτης. Στη συνέχεια παρουσιάζονται μέθοδοι απομάκρυνσης των σφαλμάτων και του θορύβου των αποτελεσμάτων (στατιστικοί έλεγχοι, φιλτράρισμα δεδομένων) για την καλύτερη προσέγγιση του πεδίου MDOTC και ο υπολογισμός των διαφορών αυτής με ένα παγκόσμιο μοντέλο δυναμικής τοπογραφίας της θάλασσας ($MDOT_{DTU2010}$). Τέλος, παρουσιάζεται η ωκεάνια κυκλοφορία και οι ταχύτητες των ρευμάτων των περιοχών μελέτης για επιλεγμένες βέλτιστες λύσεις του πεδίου MDOTC. Η δομή της εργασίας, μετά το πρώτο εισαγωγικό κεφάλαιο, παρουσιάζεται συνοπτικά στη συνέχεια.

Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι κυριότερες μέθοδοι προσέγγισης του πεδίου βαρύτητας της Γης από το διάστημα. Αρχικά δίνονται οι βασικές αρχές των μεθόδων της δορυφορικής αλτιμετρίας, της μεθόδου μέτρησης των δια-δορυφορικών αποστάσεων και της δορυφορικής βαθμιδομετρίας. Κατόπιν παρουσιάζεται συνοπτικά η μέθοδος ανάπτυξης των κυριότερων συνιστωσών του γήινου βαρυτικού πεδίου, του υψομέτρου του γεωειδούς (N) και των ανωμαλιών βαρύτητας (Δg), σε αναπτύγματα σφαιρικών αρμονικών συναρτήσεων από το συνδυασμό των μεθόδων της δορυφορικής γεωδαισίας (με τις αποστολές CHAMP, GRACE και GOCE), της δορυφορικής αλτιμετρίας, των επίγειων δεδομένων βαρύτητας, των παρατηρήσεων Laser, της εναέριας βαθμιδομετρίας και των παρατηρήσεων GNSS (πάντοτε σε συνδυασμό με μια εκ των παραπάνω μεθόδων). Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι σύγχρονες δορυφορικές αποστολές CHAMP, GRACE και GOCE, που αναπτύχθηκαν για να αποδώσουν το φάσμα του γήινου πεδίου βαρύτητας, ο σκοπός και τα δεδομένα κάθε αποστολής, η δομή κάθε δορυφορικού σκάφους, οι ακρίβειες που επιτεύχθηκαν καθώς επίσης και οι εφαρμογές στις γεωεπιστήμες και οι επιστημονικοί στόχοι κάθε αποστολής. Ακόμη παρουσιάζονται βασικές έννοιες της τοπογραφίας της θαλάσσιας επιφάνειας, των συνιστωσών της και των μεθόδων προσδιορισμού της μέσω γεωδαιτικών και ωκεανογραφικών μεθόδων. Καθώς λοιπόν η τοπογραφία της θάλασσας αποτελεί βασική επιφάνεια για τις επιστήμες της γεωδαισίας και της ωκεανογραφίας, παρουσιάζεται η σύνδεση των επιστημών η οποία έγκειται στη δυνατότητα υπολογισμού των ταχυτήτων των ωκεάνιων ρευμάτων μέσω της γεωδαιτικά προσδιορισμένης στάσιμης τοπογραφίας της επιφάνειας της θάλασσας, άλλα και το αντίστροφο, ο προσδιορισμός δηλαδή της ΣΣΤΕΘ μέσω καθαρά ωκεανογραφικών μεθόδων. Στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό των συνιστωσών των ταχυτήτων της γεωστροφικής ροής ,σε σφαιρική προσέγγιση (Pond and Pickard, 2000). Τέλος, στη προσπάθεια προσδιορισμού της τοπογραφίας της επιφάνειας της θάλασσας, ο συνδυασμός μοντέλων μέσης στάθμης της θάλασσας και μοντέλων γεωειδούς,

διαφορετικής διακριτικής ανάλυσης και ακρίβειας, καθιστά αναγκαία την εφαρμογή φίλτρων με σκοπό την απομάκρυνση των υψηλών συχνοτήτων και του θορύβου, για το λόγο αυτό παρουσιάζονται τα φίλτρα δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν.

Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι δύο περιοχές μελέτης που επιλέχθηκαν, η αιτιολόγηση των επιλογών αυτών καθώς επίσης και το σύνολο των εφαρμογών που πραγματοποιήθηκαν με σκοπό τον προσδιορισμό της δυναμικής τοπογραφίας της επιφάνειας της θάλασσας, της ωκεάνιας κυκλοφορίας και των ταχυτήτων των γεωστροφικών ρευμάτων των περιοχών αυτών. Παρουσιάζονται αναλυτικά, το παγκόσμιο μοντέλο μέσης στάθμης της θάλασσας από το DTU2010 ($MSS_{DTU2010}$), το μοντέλο της δυναμικής τοπογραφίας της επιφάνειας της θάλασσας από το DTU2010 ($MDOT_{DTU2010}$) και το παγκόσμιο μοντέλο γεωειδούς GOCO02S ($N_{GOCO02S}$), τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για το σκοπό αυτό. Επίσης, γίνεται αναφορά στα διαθέσιμα δεδομένα της αποστολής GOCE και τη συμβολή αυτών στη βελτίωση της ακρίβειας και της διακριτικής ικανότητας του μοντέλου του γεωειδούς GOCO02S. Παρουσιάζεται η επεξεργασία που εφαρμόστηκε στα διαθέσιμα δεδομένα των μοντέλων με σκοπό το βέλτιστο προσδιορισμό ενός συνθετικού μοντέλου της δυναμικής θαλάσσιας τοπογραφίας των δύο περιοχών καθώς επίσης και το σύνολο των πειραμάτων που πραγματοποιήθηκαν στη φάση της προεπεξεργασίας και τα αρχικά αποτελέσματα. Σε ένα πρώτο στάδιο πραγματοποιήθηκε ο υπολογισμός των αποχών της μέσης στάθμης της θάλασσας από το μοντέλο DTU2010 και το μοντέλο γεωειδούς GOCO02S, το οποίο θα αναφέρεται στη συνέχεια με την ονομασία MDOTC, καθώς επίσης και οι διαφορές αυτού με το μοντέλο της δυναμικής τοπογραφίας, όπως αυτό δίνεται από το DTU2010 για κάθε μια από τις δύο περιοχές. Τέλος, πραγματοποιήθηκαν δυο στατιστικά τεστ (2σ και 3σ τεστ) τα αποτελέσματα των οποίων αξιολογούνται.

Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα εφαρμογής φίλτρων στα δυο πεδία τιμών MDOTC που προέκυψαν μετά την εφαρμογή των δύο στατιστικών ελέγχων (2σ και 3σ τεστ), για κάθε μια από τις δύο περιοχές μελέτης, του Βόρειου Ατλαντικού και της Μεσογείου. Μέσω του πολυεργαλείου *Mirone* ανεπτυγμένο σε περιβάλλον Matlab εφαρμόστηκαν στα δεδομένα τα γραμμικά φίλτρα Boxcar, Cosine arch και Gaussian. Στην παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκε φιλτράρισμα των πεδίων τιμών, MDOTC μετά το 2σ τεστ και MDOTC μετά το 3σ τεστ, των δυο περιοχών μελέτης μέσω της επιλογής *Grdfilter* του *Mirone*. Η λειτουργία *Grdfilter* δίνει τη δυνατότητα φιλτραρίσματος δεδομένων μέσω των φίλτρων Boxcar, Cosine arch, Gaussian και Median, όπου επιλέγεται ο τύπος φίλτρου και το μήκος κύματος φίλτρου. Εφαρμόστηκε σειρά πειραμάτων με σκοπό την εύρεση τόσο του καλύτερου φίλτρου όσο και του κατάλληλου εκείνου μήκους κύματος ώστε το πεδίο MDOTC να παρουσιάζει τις μικρότερες απώλειες σήματος σε σχέση με το θόρυβο καθώς και μικρές διαφορές σε σχέση με το πεδίο $MDOT_{DTU2010}$. Ακόμη, πραγματοποιήθηκε ο υπολογισμός των συνιστωσών των ταχυτήτων της γεωστροφικής ροής των περιοχών προσδιορίζοντας έτσι την ωκεάνια κυκλοφορία και τα γνωστά θαλάσσια ρεύματα στις δύο περιοχές μελέτης.

Τέλος, στο πέμπτο κεφάλαιο της εργασίας παρουσιάζονται τα συμπεράσματα, όπως προκύπτουν από την επεξεργασία και την ανάλυση που πραγματοποιείται στα προηγούμενα κεφάλαια και δίνονται ορισμένες ιδέες και απόψεις για μελλοντική έρευνα.

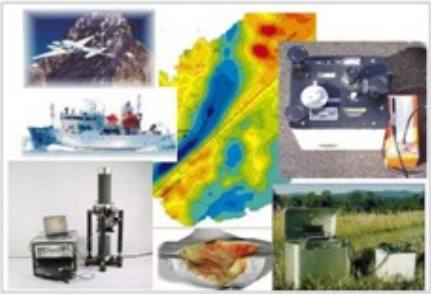
# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2$^{ο}$

## ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΤΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΓΗΣ

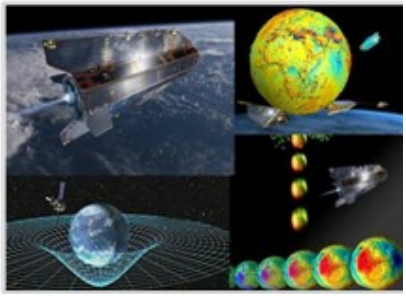
### 2.1 Εισαγωγή

Η γεωδαισία ως επιστήμη έχει σκοπό τη μελέτη και την κατανόηση του δυναμικού συστήματος Γη. Η βαρύτητα, πέραν των άλλων θεμελιωδών δυνάμεων, αποτελεί τη βασική αιτία ύπαρξης του συστήματος των πλανητών, της Γης και των λοιπών αστρικών σωμάτων, καθώς επίσης είναι *υπεύθυνη* για τις τροχιές των πλανητών. Οι τεκτονικές μετακινήσεις, οι κινήσεις του πυρήνα, οι μεταβολές του γήινου φλοιού και του μανδύα, οι γήινες παλίρροιες και οι σεισμικές μετακινήσεις αποτελούν φαινόμενα που αποδεικνύουν ότι η Γη είναι ένας ζωντανός οργανισμός και η γενεσιουργός αιτία ύπαρξης της Γης είναι η βαρύτητα. Ένα από τα βασικότερα αντικείμενα μελέτης της επιστήμης της γεωδαισίας αποτελεί το πεδίο βαρύτητας της Γης, οι μεταβολές και οι παραμορφώσεις του σε χωρική και χρονική κλίμακα, καθώς και η χαρτογράφηση αυτού σε τοπική και παγκόσμια κλίμακα.

Μέχρι τα τέλη του 20$^{ου}$ αιώνα η αναπαράσταση του πεδίου βαρύτητας της Γης προέκυπτε αποκλειστικά και μόνο από επίγειες παρατηρήσεις (συμπεριλαμβανομένων και των από αέρα και θαλάσσιων παρατηρήσεων). Για να επιτευχθούν όμως υψηλές ακρίβειες από επίγειες παρατηρήσεις σε παγκόσμια κλίμακα θα έπρεπε αυτές να αφορούν σε μεγάλες εκτάσεις, κάτι το οποίο συνεπάγεται υψηλό κόστος και μεγάλο χρονικό διάστημα για την περαίωσή τους. Εξαιτίας αυτών των σημαντικών δυσκολιών όπως, η αδυναμία κάλυψης μεγάλων εκτάσεων, το αυξημένο κόστος και ο εξειδικευμένος εξοπλισμός τόσο για την κάλυψη θαλάσσιων περιοχών όσο και για τις από αέρα παρατηρήσεις καθώς και η ανομοιογένεια στη διακριτική ικανότητα, είχαν ως αποτέλεσμα η προσέγγιση του πεδίου βαρύτητας να χαρακτηρίζεται ως αναξιόπιστη και η ακρίβεια των αποτελεσμάτων περιορισμένη. Πιο συγκεκριμένα, μέσω των τεχνικών αυτών προέκυπτε μια προσέγγιση του γήινου πεδίου βαρύτητας σε παγκόσμια κλίμακα (EGM96) με ακρίβεια της τάξης των ±46 cm για μήκη κύματος της τάξης των 100km περίπου (Βέργος, 2011 ). Με την έναρξη του 21$^{ου}$ αιώνα οι παραδοσιακές τεχνικές παρατήρησης του γήινου βαρυτικού



**Σχήμα 2.1**: Κλασσικές μέθοδοι μέτρησης της βαρύτητας μέσω επίγειων, θαλάσσιων και από αέρα παρατηρήσεων



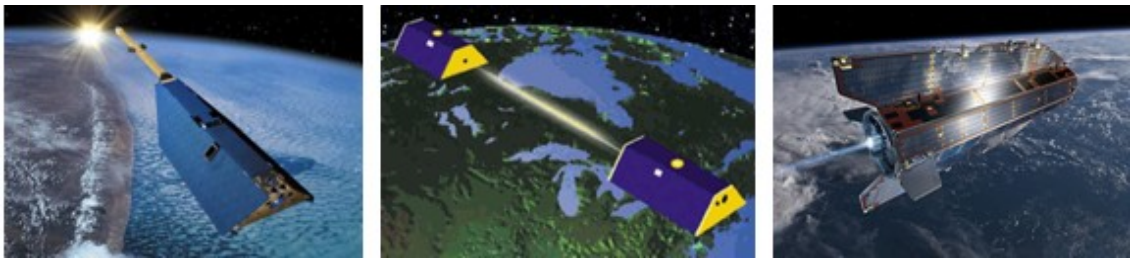
**Σχήμα 2.2**: Δορυφορικές μέθοδοι μέτρησης της βαρύτητας

πεδίου έρχονται να ενισχυθούν σημαντικά από τις δορυφορικές αποστολές και να προσφέρουν σήμερα μια σημαντικά βελτιωμένη εικόνα του συστήματος της Γης. Η συλλογή παρατηρήσεων από το διάστημα αποτελεί βασική και αξιόπιστη μέθοδο χαρτογράφησης διάφορων συχνοτήτων του φάσματος του πεδίου βαρύτητας της Γης που εγγυάται ομοιογενή και παγκόσμια κάλυψη.

Η σημαντικότητα συνεπώς των εφαρμογών της διαστημικής γεωδαισίας γίνεται αντιληπτή στην συμμετοχή της στην κατανόηση των φυσικών διεργασιών στο εσωτερικό της Γης, στις κινήσεις των τεκτονικών πλακών, στη δυναμική μεταβολή των ωκεανών, στις μεταβολές της θαλάσσιας στάθμης και στα συστήματα υψών τοπικής και παγκόσμιας κλίμακας. Στο πλαίσιο της προσπάθειας κατανόησης του συστήματος Γη, η Ευρωπαϊκή Υπηρεσία Διαστήματος (ESA-European Space Agency) σε συνεργασία με την Εθνική Υπηρεσία Αεροναυτικής και Διαστήματος (NASA-National Aeronautics and Space Administration) έθεσαν σε τροχιά σημαντικό αριθμό δορυφόρων με κύριο σκοπό την παρατήρηση του πεδίου βαρύτητας της Γης και των μεταβολών του, με αποτελέσματα υψηλής ακρίβειας και διακριτικής ικανότητας.

Ο συνδυασμός των κλασσικών μεθόδων μέτρησης της βαρύτητας, των παρατηρήσεων των δορυφορικών τροχιών και της μέτρησης των στιγμιαίων υψών της θαλάσσιας επιφάνειας είχε ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη των λεγόμενων συνθετικών μοντέλων βαρύτητας ή μοντέλων συνδυασμού (Synthetic or Combined Earth Gravity Models). Τα συνθετικά μοντέλα βαρύτητας αναπτύχθηκαν με σκοπό τον προσδιορισμό του πεδίου βαρύτητας μέσω συνδυασμού κλασσικών μεθόδων μέτρησης της βαρύτητας, μέτρησης της στιγμιαίας στάθμης της θάλασσας και παρατηρήσεων των δορυφορικών τροχιών. Τα μοντέλα αυτά συνέβαλαν στην προσέγγιση του πεδίου βαρύτητας της Γης σε παγκόσμια κάλυψη και με υψηλή ακρίβεια. Η συνεχής βελτίωση των δορυφορικών αποστολών αποτέλεσε βασικό κομμάτι στη συνεχή βελτίωση της ακρίβειας του πεδίου βαρύτητας της Γης. Τα συνθετικά μοντέλα μπορούν να δώσουν συνεχείς χρονοσειρές δεδομένων της ωκεάνιας κυκλοφορίας, τις εποχικές και ετήσιες μεταβολές της μέσης στάθμης της θάλασσας, το λιώσιμο των πάγων, τις μεταβολές του γήινου φλοιού και του μανδύα κλπ. με υψηλή ακρίβεια η οποία και βελτιώνεται συνεχώς μέσω νέων εξελιγμένων δορυφορικών αποστολών.

Η έναρξη του προγράμματος "Ζωντανός Πλανήτης" (ESA Living Planet Programme, 1999) με στόχο, αφενός τη μελέτη του πεδίου βαρύτητας της Γης και των μεταβολών του καθώς και τις μεταβολές και την κυκλοφορία των ωκεάνιων μαζών και αφετέρου τη μελέτη της ατμόσφαιρας, πραγματοποιείται στα μέσα του 2000 με την αποστολή CHAMP, ακολουθεί η δορυφορική αποστολή GRACE το 2002 και στη συνέχεια ακολουθεί η



**Σχήμα 2.3**: Το δορυφορικά σκάφοι CHAMP, GRACE και GOCE (NASA, ESA, GFZ)

αποστολή GOCE το 2009, το νεότερο και σημαντικότερο επίτευγμα της δορυφορικής γεωδαισίας που έδωσε μοντέλα του γήινου βαρυτικού πεδίου και του γεωειδούς με ακρίβειες της τάξης του ±1cm για λ/2=65km (Βέργος 2011). Οι δορυφορικές αποστολές CHAMP, GRACE και GOCE συνέβαλαν σημαντικά στην βελτίωση της ακρίβειας και της διακριτικής ικανότητας των υπαρχόντων μοντέλων του πεδίου βαρύτητας της Γης καθώς και στη δημιουργία νέων ακριβέστερων.

Το πεδίο βαρύτητας και κατ' επέκταση οι ανωμαλίες βαρύτητας αποτελούν βασικές παραμέτρους για τις επιστήμες της γεωδαισίας, της γεωφυσικής, της ωκεανογραφίας και της γεωλογίας. Μέσω των ανωμαλιών βαρύτητας προσδιορίζονται μοντέλα γεωειδούς σε διάφορες κλίμακες. Οι κυριότερες τεχνικές για την προσέγγιση του πεδίου βαρύτητας που χρησιμοποιούνται σήμερα είναι: η δορυφορική αλτιμετρία (Satellite Altimetry), η μέτρηση της δια-δορυφορικής απόστασης και η παρακολούθηση των επιδράσεων του πεδίου βαρύτητας σε ένα σύστημα δύο δορυφόρων (SST-Satellite to Satellite Tracking) και η δορυφορική βαθμιδομετρία (SGG-Satellite Gravity Gradiometry). Τα κυριότερα πλεονεκτήματα των μεθόδων αυτών είναι: η παγκόσμια και ομοιογενής κάλυψη, η σημαντικά βελτιωμένη ποιότητα των παρατηρήσεων και η κατά συνέπεια υψηλή ακρίβεια των αποτελεσμάτων, η καλύτερη γνώση για το τι συμβαίνει στο εσωτερικό της Γης και η μελέτη των φαινομένων που προκαλούν τη γήινη παραμόρφωση. Βασικό μειονέκτημα αυτών των δορυφορικών αποστολών που αφορούν στη μελέτη του πεδίου βαρύτητας είναι η απαίτηση για ομαλοποίηση του σήματος λόγω του ύψους πτήσης τροχιάς του δορυφόρου. Για τον λόγο αυτόν το ύψος της τροχιάς έχει επιλεγεί να είναι πολύ χαμηλό, της τάξεως των μερικών εκατοντάδων km, σε αντίθεση με τους αλτιμετρικούς δορυφόρους, όπου το ύψος πτήσης είναι περίπου 1360km, και τους δορυφόρους GPS, όπου είναι περίπου 20000km (Δεληκαράογλου, 2003).

## 2.2 Μέθοδοι προσέγγισης του Πεδίου Βαρύτητας της Γης από το διάστημα

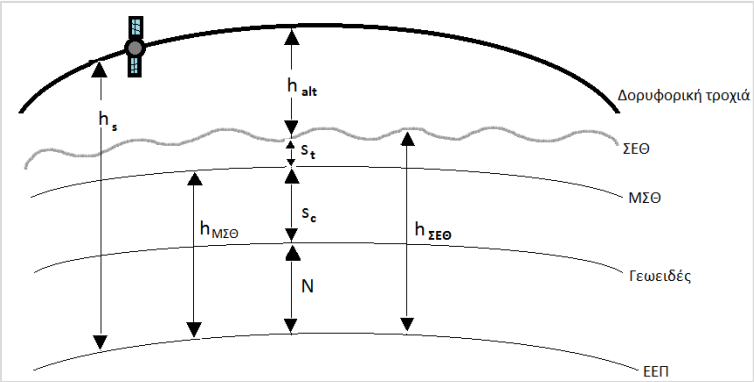
Στη συνέχεια αναλύονται οι βασικές μέθοδοι προσδιορισμού του πεδίου βαρύτητας της Γης από το διάστημα και συγκεκριμένα η μέθοδος της δορυφορικής αλτιμετρίας, η μέθοδος μέτρησης δια-δορυφορικών αποστάσεων και η μέθοδος της δορυφορικής βαθμιδομετρίας. Τέλος στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται τα αναπτύγματα σφαιρικών αρμονικών και τα συνθετικά μοντέλα προσδιορισμού του πεδίου βαρύτητας της Γης.

### 2.2.1 Δορυφορική αλτιμετρία, μέθοδος μέτρησης δια-δορυφορικών αποστάσεων, δορυφορική βαθμιδομετρία

Η δορυφορική αλτιμετρία εφαρμόζεται τα τελευταία τριάντα χρόνια στο τομέα των επιστημών της γεωδυναμικής, της ωκεανογραφίας, της μετεωρολογίας και των επιστημών του περιβάλλοντος. Ως μια εκ των δορυφορικών μεθόδων στηρίζεται στη μέτρηση των υψομέτρων της θαλάσσιας επιφάνειας, στη μελέτη των μεταβολών της μέσης στάθμης της θάλασσας και της ωκεάνιας κυκλοφορίας με στόχο την μελέτη της αιτίας των δυναμικών

αυτών φαινομένων, δηλαδή του πεδίου βαρύτητας της Γης στις ωκεάνιες και θαλάσσιες περιοχές. Βασικό μειονέκτημα της μεθόδου αποτελεί η ύπαρξη μεγάλου ποσοστού θορύβου στις παρατηρήσεις που αφορούν τις ηπειρωτικές περιοχές, γι' αυτό και αξιοποιούνται μόνο σε περιπτώσεις βελτίωσης ψηφιακών μοντέλων εδάφους. Πρόκειται ουσιαστικά για μια τεχνική αποτύπωσης της τοπογραφίας της Γης σε συνέχεια των θαλάσσιων περιοχών.

Κατά την εφαρμογή της τεχνικής αυτής, το δορυφορικό αλτίμετρο, το οποίο φέρει ο δορυφόρος, στέλνει έναν ηλεκτρομαγνητικό παλμό που ανακλάται από την επιφάνεια της θάλασσας και των πάγων. Αν και ο ανακλώμενος, από την θαλάσσια επιφάνεια, παλμός είναι άριστης ποιότητας δεν ισχύει το ίδιο κοντά στην ξηρά. Το σήμα στην περίπτωση αυτή απορροφάται και οι αλτιμετρικές παρατηρήσεις παρουσιάζουν υψηλά ποσοστά θορύβου, γι' αυτό και οι μη αξιόπιστες αυτές παρατηρήσεις δεν λαμβάνονται υπόψη στη μελέτη των θαλάσσιων μεταβολών. Μετά την συλλογή και επεξεργασία του συνόλου των αλτιμετρικών δεδομένων προκύπτουν: η χαρτογράφηση των ιδιοτήτων και των μεταβολών της θαλάσσιας επιφάνειας, το λιώσιμο των πάγων, οι θαλάσσιες παλίρροιες και τα ύψη των κυμάτων, οι ταχύτητες των ανέμων και ειδικότερα, η μελέτη του πεδίου βαρύτητας της Γης, των ανωμαλιών βαρύτητας, των αποκλίσεων της κατακορύφου και των υψομέτρων του γεωειδούς πάνω από τις θάλασσες.




**Σχήμα 2.4**: Η αρχή της δορυφορικής αλτιμετρίας

Η αρχή της δορυφορικής αλτιμετρίας είναι η εξής: ο δορυφόρος φέρει ένα ραντάρ το οποίο και εκπέμπει έναν ηλεκτρομαγνητικό παλμό κάθετα προς την επιφάνεια της θάλασσας. Το σήμα αυτό, αφού ανακλαστεί, επιστρέφει στον πομπό ο οποίος λειτουργεί και ως δέκτης. Το χρονόμετρο του δορυφόρου καταγράφει τον χρόνο διάδοσης του ηλεκτρομαγνητικού παλμού και αποδίδει την κάθετη μετρούμενη απόσταση ως το μισό του γινομένου της διαδρομής με την ταχύτητα διάδοσης του παλμού. Το σύνολο των παρατηρήσεων αποδίδει την απόσταση μεταξύ του δορυφορικού σκάφους και της Στιγμιαίας Επιφάνειας της Θάλασσας-ΣΕΘ (ISST-Instantaneous Sea Surface Topography). Η δορυφορική αλτιμετρία στην πραγματικότητα είναι πιο σύνθετη διαδικασία και αυτό γιατί ο δορυφόρος, εξαιτίας του χαμηλού τροχιακού του ύψους, βρίσκεται υπό την επίδραση του πεδίου βαρύτητας της Γης αλλά και των μη βαρυτικών επιδράσεων. Η δορυφορική τροχιά μεταβάλλεται, γι' αυτό και οι αλτιμετρικοί δορυφόροι φέρουν δέκτη GPS ώστε αυτή να ελέγχεται και να διορθώνεται συνεχώς.

Όπως φαίνεται στο παραπάνω σχήμα αν θεωρήσουμε ότι ($h_{alt}$) είναι η απόσταση δορυφόρου-ΣΕΘ, ενώ ($h_s$) είναι το γεωμετρικό ύψος του δορυφόρου (ελλειψοειδές αναφοράς (πχ GRS80, WGS84), τότε το γεωμετρικό υψόμετρο της επιφάνειας της θάλασσας ($h_{\Sigma\Epsilon\Theta}$) (SSH-Sea Surface Height) υπολογίζεται ως εξής:

$$h_{\Sigma\Epsilon\Theta} = h_s - h_{alt} \tag{2.1}$$

Τόσο η αλτιμετρική υψομετρική παρατήρηση όσο και το γεωμετρικό ύψος του δορυφόρου περιέχουν σημαντικά σφάλματα τα οποία πρέπει να λαμβάνονται υπόψη. Το σημαντικότερο σφάλμα του τροχιακού ύψους είναι το λεγόμενο *ακτινικό τροχιακό σφάλμα*, ενώ τα σφάλματα που εμπεριέχονται στην αλτιμετρική παρατήρηση οφείλονται κυρίως σε μηχανικές βλάβες του ραντάρ ή στη διέλευση του δορυφόρου από την τροπόσφαιρα και την ιονόσφαιρα (σφάλματα γεωφυσικού χαρακτήρα). Υπεύθυνα για την προ-επεξεργασία και διόρθωση των πρωτογενών αλτιμετρικών παρατηρήσεων είναι ορισμένα ινστιτούτα, τα όποια αφού σε πρώτο στάδιο εφαρμόσουν κατάλληλες διορθώσεις, στη συνέχεια παρέχουν τα λεγόμενα *έγγραφα γεωφυσικών δεδομένων* (GRDs-Geophysical Data Records). Οι διορθωμένες λοιπόν παρατηρήσεις της ΣΕΘ υπολογίζονται από την παρακάτω σχέση (Αραμπέλος και Τζιαβός 2007):

$$h_{\Sigma\Epsilon\Theta} = N + s = N + s_t + s_c \tag{2.2}$$

όπου,

$N$ : υψόμετρο του γεωειδούς,

$s$ : η τοπογραφία της επιφάνειας της θάλασσας (**SST**-**S**ea **S**urface **T**opography) η οποία αποτελείται από τις δύο παρακάτω συνιστώσες,

$s_t$ : τη δυναμική ή χρονικά μεταβαλλόμενη τοπογραφία της επιφάνειας της θάλασσας (dynamic or time dependent sea surface topography) η οποία και μεταβάλλεται με το χρόνο και

$s_c$ : το σχεδόν στάσιμο μέρος της τοπογραφίας της επιφάνειας της θάλασσας (quasi-stationary sea surface topography – mean sea surface topography – mean dynamic topography) το οποίο θεωρείται αμετάβλητο συναρτήσει του χρόνου.

Η χρονικά μεταβαλλόμενη τοπογραφία της επιφάνειας της θάλασσας λαμβάνει σημαντικές τιμές, κάτω του μέτρου, στις ανοιχτές θάλασσες και οφείλεται στις θαλάσσιες παλίρροιες και τις παλίρροιες του γήινου στερεού φλοιού, στα θαλάσσια ρεύματα καθώς και σε φαινόμενα που προκαλούνται λόγο φόρτισης του θαλάσσιου και ωκεάνιου πυθμένα.

Εάν αφαιρεθεί το δυναμικό μέρος της θαλάσσιας τοπογραφίας προκύπτει η μέση στάθμη της θάλασσας-ΜΣΘ ως εξής:

$$h_{\Mu\Sigma\Theta} = h_{\Sigma\Epsilon\Theta} - s_t = N + s_c \tag{2.3}$$

Από την παραπάνω σχέση φαίνεται ότι η ΜΣΘ δεν συμπίπτει με το υψόμετρο του γεωειδούς εξαιτίας της συνιστώσας ($s_c$). Θεωρητικά η ΜΣΘ δεν ταυτίζεται με μια ισοδυναμική επιφάνεια του γήινου πεδίου βαρύτητας. Το σχεδόν στάσιμο μέρος της τοπογραφίας της επιφάνειας της θάλασσας ορίζεται ως η διαφορά ανάμεσα στη ΜΣΘ και το γεωειδές (βλ. σχήμα 2.4). Για τον υπολογισμό συνεπώς των υψομέτρων του γεωειδούς ισχύει η ακόλουθη σχέση:

$$N = h_{\text{ΜΣΘ}} - s_c \tag{2.4}$$

Η σχεδόν στάσιμη τοπογραφία της επιφάνειας της θάλασσας μπορεί να προσδιοριστεί είτε με γεωδαιτικές είτε με ωκεανογραφικές μεθόδους. Η γεωδαιτική προσέγγιση αφορά τον συνδυασμό μοντέλων γεωειδούς από δεδομένα αλτιμετρίας και δεδομένα θαλάσσιας βαρυτημετρίας. Στην περίπτωση αυτή η συνιστώσα ($s_c$) υπολογίζεται ως εξής:

$$s_c = N^{alt} - N^{grav} \tag{2.5}$$

όπου,

$N^{alt}$ : υψόμετρα γεωειδούς από αλτιμετρικές παρατηρήσεις

$N^{grav}$ : υψόμετρα γεωειδούς από δεδομένα βαρύτητας

Άλλες γεωδαιτικές μέθοδοι προσδιορισμού του στάσιμου μέρους της τοπογραφίας της επιφάνειας της θάλασσας είναι η αναγωγή των γεωδαιτικών υψομέτρων σε μια επιφάνεια αναφοράς ενός γεωδυναμικού μοντέλου και στη συνέχεια το φιλτράρισμα των δεδομένων. Επίσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν κατάλληλες φασματικές τεχνικές όπως τα συστήματα πολλαπλής εισόδου-εξόδου. Τέλος οι ωκεανογραφικές τεχνικές αποδίδουν τόσο την θαλάσσια τοπογραφία όσο και την ωκεάνια κυκλοφορία και στηρίζονται στο προσδιορισμό παραμέτρων που αφορούν τις ιδιότητες του θαλασσινού νερού όπως η αλατότητα, η πίεση, η θερμοκρασία και η περιεκτικότητα οξυγόνου. Στις μέρες μας ανεξάρτητα από την επιλεγόμενη μέθοδο προσδιορισμού η ακρίβεια που επιτυγχάνεται είναι υψηλή και συγκεκριμένα της τάξης του ±1cm (Κατσάμπαλος και Τζιαβός, 1999).

Η μέθοδος μέτρησης των δια-δορυφορικών αποστάσεων έρχεται να ενισχύσει σημαντικά την συνεχή παρατήρηση του δορυφόρου στις τρείς διαστάσεις καθώς επίσης και τη μέτρηση και απομάκρυνση, κατά το δυνατό, των μη βαρυτικών επιδράσεων. Στην περίπτωση της μεθόδου αυτής, μελετάται η κίνηση του δορυφορικού σκάφους σαν αυτό να είναι μία πειραματική μάζα που κινείται υπό την επίδραση του πεδίου βαρύτητας της Γης. Με τον προσδιορισμό των βαρυτικών και μη βαρυτικών επιδράσεων που επενεργούν στον δορυφόρο είναι δυνατό να υπολογισθεί η ακριβής τροχιά του, ενώ ταυτόχρονα προσδιορίζεται η θέση πάνω στην τροχιά (πραγματική τροχιά) σε τακτά χρονικά διαστήματα και μέσω επίγειων σταθμών ή με συστήματα GNSS. Υπολογίζοντας τις αποκλίσεις της τροχιάς αυτής από μία τροχιά αναφοράς προσδιορίζονται οι διορθώσεις στις αρχικές γνωστές παραμέτρους του πεδίου βαρύτητας.

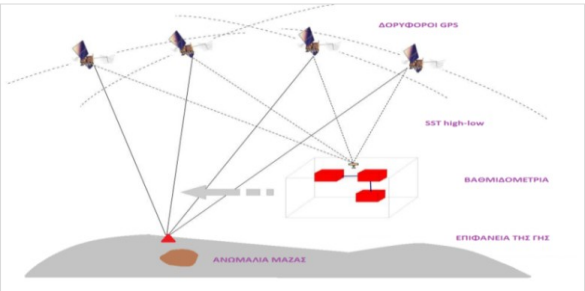
Η απόσταση δορυφόρου γήινης επιφάνειας και συνεπώς η απόσταση δορυφόρου και διαταρακτικών μαζών είναι αντιστρόφως ανάλογη της ευαισθησίας του παραγόμενου μοντέλου στα μικρά μήκη κύματος του παρατηρούμενου πεδίου, δηλαδή όσο μεγαλώνει η απόσταση τόσο μειώνεται η ικανότητα του υπολογιζόμενου βαρυτικού μοντέλου να αποτυπώσει τις τοπικού χαρακτήρα ανωμαλίες του πραγματικού πεδίου βαρύτητας.

Ανάλογα με τις τροχιές διακρίνονται οι εξής μέθοδοι μέτρησης διαδορυφορικών αποστάσεων:

1. Η SST (Satellite to Satellite Tracking) high-low
2. Η SST (Satellite to Satellite Tracking) low-low

Η τεχνική ***SST high-low***

Το τροχιακό ύψος του δορυφόρου είναι χαμηλό (LEO-Low Earth Orbiter) και φέρει δέκτη που μπορεί να λαμβάνει σήμα από σύστημα GPS ή GLONASS καθώς και επιταχυνσιόμετρο τριών αξόνων. Το επιταχυνσιόμετρο είναι τοποθετημένο στο κέντρο μάζας του δορυφόρου και μετρά τις μη βαρυτικές επιδράσεις οι οποίες είναι: (α) η πίεση της ηλιακής ακτινοβολίας, (β) η ατμοσφαιρική τριβή, (γ) η πίεση που ασκείται στο σκάφος εξαιτίας της ανακλώμενης από την γήινη επιφάνεια ηλιακής ακτινοβολίας. Επιπλέον ο δέκτης μπορεί να λαμβάνει σήμα από τουλάχιστον 12 δορυφόρους GPS ή GLONASS προσδιορίζοντας το τρισδιάστατο διάνυσμα θέσης με ακρίβεια εκατοστού. Ένας τέτοιος δορυφόρος ήταν ο CHAMP. Το τροχιακό ύψος σε χαμηλή τροχιά κυμαίνεται από 200Km έως 500Km (Βέργος 2006).

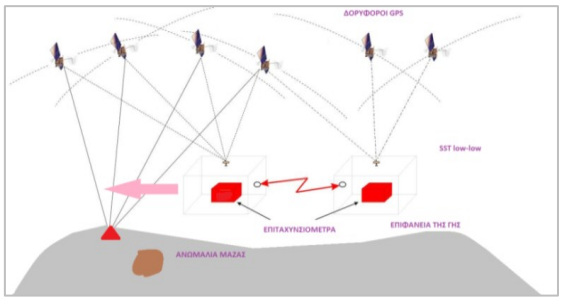



**Σχήμα 2.5**: Η τεχνική SST high low

Η τεχνική ***SST low-low***

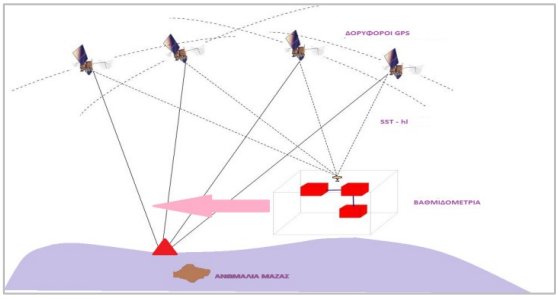
Οι δύο δορυφόροι βρίσκονται στο ίδιο τροχιακό ύψος, ακολουθούν την ίδια τροχιά έχοντας μια απόσταση μεταξύ τους που κυμαίνεται από 100Km έως 400Km. Σκοπός είναι η ακριβής μέτρηση της δια-δορυφορικής απόστασης, της απόστασης των κέντρων μάζας, η οποία και μεταβάλλεται. Οι μη βαρυτικές επιδράσεις στους δορυφόρους είτε μετρούνται και απομακρύνονται είτε αντισταθμίζονται. Η μέθοδος SST low-low δίνει τη δυνατότητα απομάκρυνσης ή μείωσης της ομαλοποίησης του βαρυτικού σήματος λόγω του ύψους πτήσης το οποίο κυμαίνεται από 200Km έως 500Km. Τα δύο σκάφη πρέπει να είναι πανομοιότυπα. Η δια-δορυφορική απόσταση μετράται από μία σύνδεση μικροκυμάτων (Ku-band) και ταυτόχρονα με τη βοήθεια των επιταχυνσιομέτρων και των παρατηρήσεων θέσης πάνω στην τροχιά μετρώνται οι επιταχύνσεις στις τρείς διαστάσεις. Η τεχνική αυτή

εφαρμόζεται στη δορυφορική αποστολή GRACE. *Σημείωση: Η τεχνική SST low-low πραγματοποιείται πάντα σε συνδυασμό με την τεχνική SST high-low (Βέργος 2006).




**Σχήμα 2.6**: Η τεχνική SST low low

Στην περίπτωση της τεχνικής της Δορυφορικής βαθμιδομετρίας (SGG-Satellite Gravity Gradiometry) προσδιορίζονται οι κλίσεις της βαρύτητας, των επιταχύνσεων και της θέσης, δηλαδή οι διαφορές των επιταχύνσεων σε τρείς μάζες, (μια για κάθε διεύθυνση) ελέγχου ενός επιταχυνσιομέτρου. Μετρώνται ουσιαστικά από κάθε ζεύγος επιταχυνσιομέτρων οι δεύτερες παράγωγοι του δυναμικού έλξης $V_{xx}, V_{yy}, V_{zz}$ όπου ο $x$ αφορά στη τροχιά του δορυφορικού σκάφους, ο $y$ στην εγκάρσια διεύθυνση και τέλος ο $z$ στην ακτινική διεύθυνση. Αποτέλεσμα αυτής της παρατήρησης είναι η διαφορά των βαρυτιμετρικών επιταχύνσεων των μαζών λόγω των ελκτικών δυνάμεων από τις γήινες μάζες. Με την εφαρμογή της τεχνικής αυτής στην δορυφορική αποστολή GOCE επιτεύχθηκαν ακρίβειες της τάξεως ±1cm στον προσδιορισμό του γεωειδούς και 1mgal στον προσδιορισμό των ανωμαλιών βαρύτητας της Γης (Βέργος 2006).




**Σχήμα 2.7**: Η τεχνική της Δορυφορικής Βαθμιδομετρίας

## 2.3 Αναπτύγματα σφαιρικών αρμονικών και συνθετικά μοντέλα προσδιορισμού του πεδίου βαρύτητας της Γης

Η προσέγγιση και η αναπαράσταση του πεδίου βαρύτητας της Γης γίνεται σήμερα με τα διάφορα γεωδυναμικά μοντέλα, τα οποία προκύπτουν από συνδυασμό διαφόρων μεθόδων, όπως α) τη δορυφορική γεωδαισία, με τις αποστολές CHAMP, GRACE και GOCE, β) τη δορυφορική αλτιμετρία, γ) τα επίγεια δεδομένα βαρύτητας, δ) τις παρατηρήσεις Laser, ε) την εναέρια βαθμιδομετρία, και στ) τις παρατηρήσεις GNSS (πάντα σε συνδυασμό με μια εκ των παραπάνω μεθόδων). Πρόκειται για μοντέλα συντελεστών σφαιρικών

αρμονικών συναρτήσεων του διαταρακτικού δυναμικού (disturbing potential) τα οποία παρέχουν πληροφορίες που αφορούν το πεδίο βαρύτητας της Γης, τη δομή του (επιφανειακές σφαιρικές αρμονικές συνιστώσες-harmonic coefficients) και τα στατιστικά χαρακτηριστικά του (σφάλματα σφαιρικών αρμονικών συνιστωσών-harmonic coefficient errors) .Η σημαντική εξέλιξη στον τομέα της δορυφορικής γεωδαισίας τα τελευταία χρόνια καθώς και η σημαντικά αυξημένη πυκνότητα και ποιότητα των παρατηρήσεων, είχε ως αποτέλεσμα την προσέγγιση του πεδίου βαρύτητας της Γης με ιδιαίτερα αυξημένη ακρίβεια, σε σχέση με το παρελθόν. Για τη δημιουργία ενός νέου μοντέλου βαρύτητας σε σειρά σφαιρικών αρμονικών συντελεστών υπολογίζονται οι πλήρως κανονικοποιημένοι σφαιρικοί αρμονικοί συντελεστές $\overline{\mathrm{C}}_{\mathrm{nm}}, \overline{\mathrm{S}}_{\mathrm{nm}}$ μέσω των παρατηρήσεων που λαμβάνονται από τις δορυφορικές αποστολές, ή τις επίγειες παρατηρήσεις βαρύτητας (συμπεριλαμβανομένων και των θαλάσσιων και από αέρα παρατηρήσεων) ή από το συνδυασμό τους. Με τη βοήθεια των σφαιρικών αρμονικών συνιστωσών είναι δυνατό να υπολογιστεί το διαταρακτικό δυναμικό $T$ σε κάθε σημείο της γήινης επιφάνειας. Το διαταρακτικό δυναμικό $T$ ορίζεται ως η διαφορά μεταξύ του δυναμικού του πραγματικού πεδίου βαρύτητας $W$ και του δυναμικού του κανονικού πεδίου βαρύτητας $U$ :

$$T = W - U = V + \Phi - (V' + \Phi) = V - V' \tag{2.6}$$

όπου,

$V$ : το γήινο δυναμικό έλξης,

$V'$ : το κανονικό δυναμικό έλξης,

$W$ : το δυναμικό της βαρύτητας της Γης,

$U$ : το δυναμικό που οφείλεται στο ελλειψοειδές εκ περιστροφής,

$\Phi$ : το φυγόκεντρο δυναμικό.

Για τον υπολογισμό συνεπώς του διαταρακτικού δυναμικού $T$ σε ορισμένο σημείο πάνω στην επιφάνεια της Γης με πολικές συντεταγμένες $\theta, \lambda$ και πολική απόσταση $\mathrm{r}$ ισχύει η παρακάτω σχέση:

$$V(\mathrm{r}, \theta, \lambda) = \frac{k\,\mathrm{M}}{\mathrm{r}} \left[ 1 + \sum_{\mathrm{n}=2}^{\infty} \left( \frac{\mathrm{a}}{\mathrm{r}} \right)^{\mathrm{n}} \sum_{\mathrm{m}=0}^{\infty} (\overline{\mathrm{C}}_{\mathrm{nm}} \cos \mathrm{m}\lambda + \overline{\mathrm{S}}_{\mathrm{nm}} \sin \mathrm{m}\lambda)\, \overline{\mathrm{P}}_{\mathrm{nm}}(\cos\theta) \right] \tag{2.7}$$

$$V'(\mathrm{r}, \theta, \lambda) = \frac{k\,\mathrm{M}'}{\mathrm{r}} \left[ 1 + \sum_{\mathrm{n}=2}^{\infty} \left( \frac{\mathrm{a}}{\mathrm{r}} \right)^{\mathrm{n}} \sum_{\mathrm{m}=0}^{\infty} (\overline{\mathrm{C}}'_{\mathrm{nm}} \cos \mathrm{m}\lambda + \overline{\mathrm{S}}'_{\mathrm{nm}} \sin \mathrm{m}\lambda)\, \overline{\mathrm{P}}_{\mathrm{nm}}(\cos\theta) \right] \tag{2.8}$$

όπου,

$\mathrm{a}$ : ο μεγάλος ημιάξονας του ελλειψοειδούς εκ περιστροφής,

$\mathrm{M}$ : η μάζα της Γης,

$\mathrm{M}'$ : η μάζα του ελλειψοειδούς εκ περιστροφής

$\bar{\mathrm{C}}_{\mathrm{nm}}, \bar{\mathrm{S}}_{\mathrm{nm}}$ : οι πλήρως κανονικοποιημένοι συντελεστές του αναπτύγματος του κανονικού δυναμικού,

$\bar{\mathrm{C}}'_{\mathrm{nm}}, \bar{\mathrm{S}}'_{\mathrm{nm}}$ : συντελεστές ανάπτυξης του κανονικού δυναμικού έλξης,

$\bar{\mathrm{P}}_{\mathrm{nm}}(\cos\theta)$ : οι γενικευμένες συναρτήσεις Legendre,

$\mathrm{n,m}$ : ο βαθμός και η τάξη ανάπτυξης αντίστοιχα του μοντέλου σφαιρικών αρμονικών.

Για το διαταρακτικό δυναμικό ισχύει η εξίσωση Laplace,

$$\Delta T = 0 \tag{2.9}$$

συνεπώς τα αναπτύγματα σε σφαιρικές αρμονικές αποτελούν και λύσεις των προβλημάτων συνοριακών τιμών της φυσικής γεωδαισίας. Θεωρώντας ότι η μάζα του ελλειψοειδούς εκ περιστροφής ταυτίζεται με τη μάζα της Γης καθώς επίσης ότι το κέντρο μάζας της Γης ταυτίζεται με το κέντρο μάζας του ελλειψοειδούς εκ περιστροφής, το διαταρακτικό δυναμικό για κάποιο σημείο της Γης με γεωγραφικές συντεταγμένες *(φ, λ)* και πολική απόσταση *r* υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση:

$$T = \frac{G\mathrm{M}}{\mathrm{r}}\left[\sum_{\mathrm{n}=2}^{\infty}\left(\frac{\mathrm{a}}{\mathrm{r}}\right)^{\mathrm{n}}\sum_{\mathrm{m}=0}^{\mathrm{n}}(\Delta\bar{\mathrm{C}}_{\mathrm{nm}}\cos\mathrm{m}\lambda + \Delta\bar{\mathrm{S}}_{\mathrm{nm}}\sin\mathrm{m}\lambda)\,\bar{\mathrm{P}}_{\mathrm{nm}}(\cos\theta)\right] \tag{2.10}$$

όπου,

$G$ : η παγκόσμια σταθερά έλξης,

$\mathrm{a}$ : ο μεγάλος ημιάξονας του ελλειψοειδούς εκ περιστροφής,

$\mathrm{M}$ : η μάζα της Γης,

$\Delta\bar{\mathrm{C}}_{\mathrm{nm}}, \Delta\bar{\mathrm{S}}_{\mathrm{nm}}$ : οι διαφορές των πλήρως κανονικοποιημένων συντελεστών του αναπτύγματος του κανονικού δυναμικού,

$\bar{\mathrm{P}}_{\mathrm{nm}}(\cos\theta)$ : οι γενικευμένες συναρτήσεις Legendre,

$\mathrm{n,m}$ : ο βαθμός και η τάξη ανάπτυξης αντίστοιχα του μοντέλου σφαιρικών αρμονικών

Οι δύο κυριότερες συνιστώσες του πεδίου βαρύτητας της Γης που μπορούν να αναπτυχθούν σε σφαιρικές αρμονικές συναρτήσεις είναι το υψόμετρο του γεωειδούς $N$ και οι ανωμαλίες βαρύτητας $\Delta g$ . Σύμφωνα με την εξίσωση του *Bruns* ισχύει ότι :

$$N = \frac{T}{\gamma} \tag{2.11}$$

$$N = \frac{GM}{r\gamma}\left[\sum_{n=2}^{\infty}\left(\frac{a}{r}\right)^{n}\sum_{m=0}^{n}\left(\Delta\bar{C}_{nm}\cos m\,\lambda + \Delta\bar{S}_{nm}\sin m\,\lambda\right)\bar{P}_{nm}\left(\cos\theta\right)\right] \tag{2.12}$$

$$\Delta g = \frac{GM}{r^{2}}\left[\sum_{n=2}^{\infty}\left(\frac{a}{r}\right)^{n}(n-1)\sum_{m=0}^{n}\left(\Delta\bar{C}_{nm}\cos m\,\lambda + \Delta\bar{S}_{nm}\sin m\,\lambda\right)\bar{P}_{nm}\left(\cos\theta\right)\right] \tag{2.13}$$

όπου η ποσότητα $\gamma$ αναφέρεται στην κανονική βαρύτητα.

Τέλος ο μέγιστος βαθμός ανάπτυξης του γεωδυναμικού μοντέλου εξαρτάται από τη διακριτική ικανότητα των παρατηρήσεων και υπολογίζεται από τη σχέση:

$$n_{max} = \frac{180°}{\Delta\varphi}$$

όπου η ποσότητα $\Delta\varphi$ είναι η διακριτική ικανότητα των δεδομένων εκφρασμένη σε μοίρες.

## 2.4 Σύγχρονες Δορυφορικές αποστολές παρατήρησης του Πεδίου Βαρύτητας της Γης

Στις ενότητες που ακολουθούν παρουσιάζονται ο σκοπός και τα δορυφορικά δεδομένα, η δομή και η ανάλυση των δορυφόρων, καθώς επίσης και οι εφαρμογές και οι επιστημονικοί στόχοι των σύγχρονων δορυφορικών αποστολών CHAMP, GRACE και GOCE.

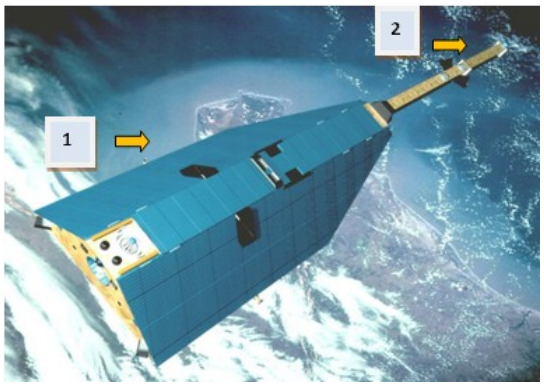
### 2.4.1 Η Δορυφορική αποστολή CHAMP

#### *2.4.1.1 Σκοπός και δορυφορικά δεδομένα*

Η δορυφορική αποστολή CHAMP (CHAllenging Minisatellite Payload) σχεδιάστηκε και διοικήθηκε από το Γερμανικό Ινστιτούτο Γεωφυσικών Ερευνών (GFZ-GeoForschungsZentrum, Potsdam, Germany). Πρωταρχικός στόχος της μικρής αυτής δορυφορικής αποστολής ήταν η μέτρηση και η βελτίωση του μοντέλου του μαγνητικού πεδίου της Γης, φέροντας επιστημονικά όργανα και χαρακτηριστικά που θα πραγματοποιούσαν το σκοπό αυτό. Πέραν του προσδιορισμού του μαγνητικού πεδίου σκοπός της αποστολής ήταν επίσης η παρακολούθηση και ο προσδιορισμός του πεδίου βαρύτητας της Γης.

Εξοπλισμένος με ιδιαίτερα ακριβής, σύνθετες και συμπληρωματικές συσκευές και λόγω των χαρακτηριστικών της τροχιάς του, ο δορυφόρος CHAMP παρήγαγε για πρώτη φορά ταυτόχρονα μετρήσεις βαρύτητας και μαγνητικού πεδίου με μεγάλη ακρίβεια (από τα μέσα του 2000).Επιπλέον επιστημονικά στοιχεία που παρήχθησαν από την δορυφορική αποστολή CHAMP ήταν ατμοσφαιρικές έρευνες βασισμένες στην παροχή καθημερινών

(περίπου 200 συνολικά διανεμημένων) κάθετων διαγραμμάτων της θερμοκρασίας, περιεκτικότητας σε υδρατμούς της τροπόσφαιρας και της στρατόσφαιρας, πυκνότητα ηλεκτρονίων στην ιονόσφαιρα. Τα στοιχεία αυτά χρησιμοποιήθηκαν, από διάφορα κέντρα πρόβλεψης του κλίματος με σκοπό την βελτίωση των προβλέψεων.



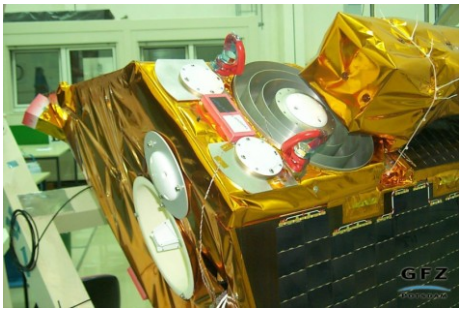

**Σχήμα 2.8**: (1)Το κύριο μέρος του δορυφόρου και (2) ο βραχίονας (GFZ)

Η επιτυχημένη εκτόξευση του δορυφόρου CHAMP πραγματοποιήθηκε στις 15 Ιουλίου του 2000 στην θέση εκτόξευσης Plesetsk η οποία βρίσκεται 800Km βορειοανατολικά της Μόσχας και είναι ιστορικά η πιο ενεργή θέση εκτόξευσης επάνω στη γη, από την οποία περίπου το ένα τρίτο του συνόλου των εκτοξεύσεων που έχουν ποτέ υλοποιηθεί πραγματοποιήθηκαν εκεί. Τέθηκε σε τροχιά σχεδόν κυκλική (e=0.004001) και σχεδόν πολική (i=87.3$^0$) σε αρχικό τροχιακό ύψος 454 Km (Τσούλης, 2006). Ο λόγος για τον οποίο επιλέχθηκε σχεδόν κυκλική και σχεδόν πολική τροχιά είναι το πλεονέκτημα ομοιογενούς και ολοκληρωμένης παγκόσμιας κάλυψης της γήινης σφαίρας. Το αρχικό τροχιακό ύψος των 454Km στόχευε: (α) στην πολυετή διάρκεια ζωής της αποστολής ακόμη και υπό την επίδραση της έντονης ηλιακής δραστηριότητας, (β) στο να ληφθεί υπόψη ότι για την διερεύνηση των διαφόρων στρωμάτων της ατμόσφαιρας ακόμη και ένα μεγαλύτερο τροχιακό ύψος θα ήταν βέλτιστο και (γ) στην επιλογή του κατάλληλου τροχιακού ύψους για την παρατήρηση του μαγνητικού πεδίου της γης, αν και από την πλευρά παρατήρησης του πεδίου βαρύτητας της Γης χαμηλότερο ύψος από το αρχικό θα ήταν επιθυμητό. Λόγω της επίδρασης της τριβής του ατμοσφαιρικού αέρα, το αρχικό τροχιακό ύψος του CHAMP μειώθηκε στη διάρκεια ζωής της αποστολής. Το μέγεθος των απωλειών εκτιμήθηκε να κυμανθεί μεταξύ 50Km και 200Km σε σχέση με το αρχικό τροχιακό ύψος, όπως και τελικά παρατηρήθηκε και μερικούς μήνες πριν το τέλος της αποστολής. Αν και ο αρχικός προγραμματισμός προέβλεπε ότι η διάρκεια ζωής της αποστολής θα ήταν 5 χρόνια η αποστολή CHAMP καταστράφηκε στις 19 Σεπτεμβρίου του 2010, μετά από δέκα χρόνια, δύο μήνες και τέσσερις ημέρες, και μετά από 58.277 τροχιές (Herman Lühr, GFZ).

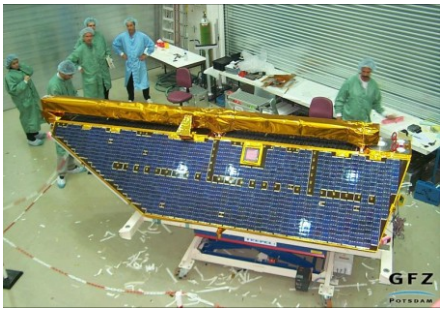
### *2.4.1.2 Δομή και ανάλυση δορυφόρου CHAMP*

Τα δύο βασικά μέρη του δορυφόρου που δομούν το σκάφος CHAMP είναι το κύριο μέρος του δορυφόρου και ο βραχίονας μήκους 4m που φέρει το μαγνητόμετρο. Ο βασικός λόγος ύπαρξης του βραχίονα είναι για να αποφευχθεί τυχόν αλλοίωση στις ενδείξεις του

επιταχυνσιομέτρου λόγω της ύπαρξης των υπολοίπων οργάνων του σκάφους. Η αποστολή βασίστηκε στην τεχνική SST high-low με βασικό σκοπό την παρατήρηση του πεδίου βαρύτητας της Γης φέροντας και τον ανάλογο εξοπλισμό.




**Σχήμα 2.9**: Η κεραία GPS που φέρει ο δορυφόρος CHAMP (GFZ)



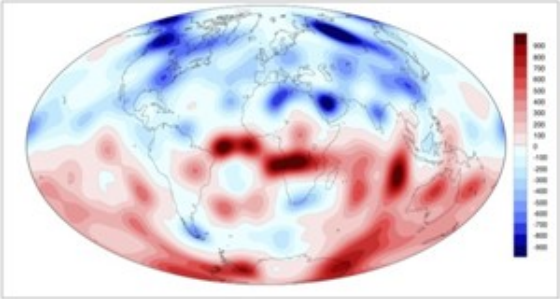

**Σχήμα 2.10**: Ο δορυφόρος CHAMP στη φάση κατασκευής του σκάφους (GFZ)

Τα κυριότερα επιστημονικά όργανα του δορυφόρου CHAMP είναι: (α)Μαγνητόμετρο OVERHAUSER για τη μέτρηση μαγνητικού πεδίου που δημιουργούσε ο δορυφόρος λόγω του συνεχούς ρεύματος στα κυκλώματα του και τη διόρθωση των μετρήσεων του μαγνητικού πεδίου της Γης. (β) Δύο μαγνητόμετρα FLUXGATE για τη μελέτη του μαγνητικού πεδίου της Γης και των μαγνητικών διαταραχών. Τα μαγνητόμετρα αυτά εξασφάλισαν παγκόσμια κάλυψη και στις τρείς διαστάσεις. (γ) Δύο αστρικές πυξίδες, οι οποίες συνέβαλαν στον έλεγχο της θέσης και του προσανατολισμού του σκάφους. Κάθε αστρική πυξίδα έφερε δύο φωτογραφικές μηχανές πολύ υψηλής ανάλυσης. (δ) Δέκτης GPS TRSR-2, ο οποίος μαζί με το επιταχυνσιόμετρο συνέβαλε στον ακριβή προσδιορισμό της δορυφορικής τροχιάς παρατηρώντας δορυφόρους GPS ή GLONASS. (ε) Ηλεκτροστατικό επιταχυνσιόμετρο STAR, για τη μέτρηση μη βαρυτικών δυνάμεων που επιδρούσαν στο σκάφος. (στ) Τετραεδρικός ανακλαστήρας Laser, για την λήψη παρατηρήσεων SLR μεταξύ επίγειου σταθμού παρακολούθησης και δορυφόρου με ακρίβεια της τάξης 1cm με 2cm, χωρίς ασάφειες φάσης. (ζ) Ψηφιακός μετρητής ιόντων, για τη μελέτη κατανομής των ιόντων στην Ιονόσφαιρα. Για τον διαχωρισμό των εσωτερικών από τις εξωτερικές επιδράσεις οι μετρήσεις αυτές συνδυάστηκαν με μετρήσεις του μαγνητικού πεδίου.

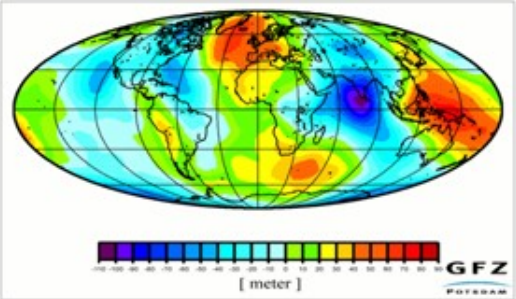
### *2.4.1.3 Εφαρμογές στις γεωεπιστήμες και επιστημονικοί στόχοι*

Βασικοί στόχοι της αποστολής CHAMP ήταν, η απαίτηση για υψηλή ακρίβεια και η κάλυψη σε παγκόσμια κλίμακα, κάτι που δεν θα επιτυγχάνονταν με επίγειες μεθόδους μέτρησης της βαρύτητας εξαιτίας του υψηλού κόστους και του μεγάλου χρονικού διαστήματος παρατηρήσεων που θα έπρεπε να πραγματοποιηθούν σε τεράστιες εκτάσεις. Με την δορυφορική αποστολή CHAMP ξεκινά μια νέα εποχή για τη γεωδαισία και τις γεωεπιστήμες. Οι σχετικές με το πεδίο βαρύτητας δορυφορικές αποστολές συνέβαλαν στη βελτίωση των μοντέλων ως προς την ακρίβεια και τη διακριτική τους ικανότητα. Η συλλογή παρατηρήσεων από το διάστημα, αποτέλεσε την μόνη μέθοδο συλλογής τεράστιου όγκου δεδομένων με παγκόσμια κάλυψη, ομοιογένεια και αξιοπιστία.

Τα κυριότερα επιστημονικά πεδία που επωφελήθηκαν από τον τεράστιο αυτό όγκο διαστημικών δεδομένων και που σχετίζονται με τις διάφορες παραμέτρους του δυναμικού συστήματος Γη, είναι η μελέτη του βαρυτικού και μαγνητικού πεδίου της Γης καθώς και ένα ευρύ φάσμα επιστημών που μελετούν την ατμόσφαιρα καθώς και των επιστημών της ωκεανογραφίας, της γεωφυσικής, της γεωλογίας και της γεωδαισίας. Τα δορυφορικά δεδομένα της αποστολής CHAMP συνδυάστηκαν με δεδομένα βαρύτητας επίγειων σταθμών και αλτιμετρικά δεδομένα στους ωκεανούς, με κύριο σκοπό τον προσδιορισμό του πεδίου βαρύτητας της Γης που δημιουργείται εξαιτίας της ανομοιογενούς μάζας και πυκνότητας στο εσωτερικό της. Επιπλέον, η χαμηλού ύψους τροχιά του CHAMP, επέτρεπε την καταγραφή των μη βαρυτικών επιδράσεων και τον προσδιορισμό του μαγνητικού και βαρυτικού πεδίου προσδιορίζοντάς τα όχι μόνο χωρικά αλλά και χρονικά.



**Σχήμα 2.11**: Το μαγνητικό πεδίο της Γης από μετρήσεις του δορυφόρου CHAMP (GFZ)




**Σχήμα 2.12**: Το βαρυτικό πεδίο της Γης από μετρήσεις του δορυφόρου CHAMP (GFZ)

Στον τομέα της γεωδαισίας ο δορυφόρος CHAMP μετρώντας τις πρώτες παραγώγους του δυναμικού του βαρυτικού πεδίου έδωσε την δυνατότητα προσδιορισμού των υψομέτρων του γεωειδούς με μεγάλη ακρίβεια και εγκαινίασε μια νέα εποχή στην χωροστάθμηση με χρήση παρατηρήσεων GPS. Με την δορυφορική αποστολή CHAMP, οι χρονικές μεταβολές στο πεδίο βαρύτητας της Γης που οφείλονται στην παγκόσμια ανακατανομή των μαζών, οι οποίες είναι κατά κανόνα μικρές, αργές και μεγάλης κλίμακας, μπορεί να ανακτηθούν με υψηλότερη αναλογία σήματος προς τον θόρυβο και με πιο αυξημένη φασματική ανάλυση. Οι πιο ενδιαφέρουσες χρονικές διακυμάνσεις της βαρύτητας αποτυπώνονται σε παγκόσμια κλίμακα ως αλλαγές. Η αναγκαιότητα για επίτευξη υψηλών ακριβειών έγκειται στην προσπάθεια να κατανοήσουμε τις φυσικές διεργασίες στο εσωτερικό της Γης, τη δυναμική μεταβολή των ωκεανών, την αλληλεπίδραση των τεκτονικών πλακών, τη μελέτη του ισοζυγίου πάγου στους ωκεανούς, τις μεταβολές της στάθμης της θάλασσας και τα συστήματα υψών σε τοπική και παγκόσμια κλίμακα.

Ένα παράδειγμα για να κατανοήσουμε το κέρδος σε πληροφορίες από την παρακολούθηση των χρονικών μεταβολών της βαρύτητας είναι το εξής: η βαρύτητα γίνεται αντιληπτή από την επίδραση που ασκεί στις μάζες, εξαιτίας της μεταβολής του όγκου νερού, ως ένα εύρος παλίρροιας ή μέσω αλτιμετρίας όπου μετράται η επίδραση, συνδυαστικά, στη μάζα και την πυκνότητα, εξαιτίας των μεταβολών της θερμοκρασίας. Ο συνδυασμός των τεχνικών θα επιτρέψει το διαχωρισμό της παγκόσμιας επίδρασης της θερμοκρασίας στη μεταβολή του όγκου των υδάτων και την εναλλαγή μάζας μεταξύ νερού και πάγου. Τέλος, η αποστολή CHAMP ωφέλησε σημαντικά τις επιστήμες της ατμόσφαιρας,

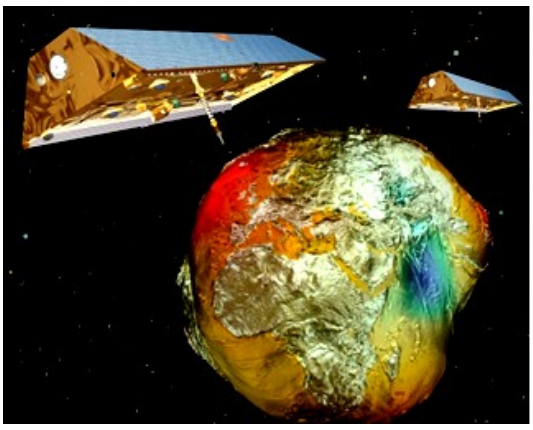
όπως τη μελέτη της ιονόσφαιρας, τις κλιματικές αλλαγές και τη γενικότερη κλιματική έρευνα, με την εφαρμογή της μεθόδου απόκρυψης ραδιοσήματος (Radio Occultation Method) και σε συνδυασμό με επίγεια δεδομένα.

### 2.4.2 Η Δορυφορική αποστολή GRACE

#### *2.4.2.1 Σκοπός και δορυφορικά δεδομένα*

Τη δορυφορική αποστολή CHAMP ακολούθησε η αποστολή GRACE (Gravity Recovery and Climate Experiment) αποτελούμενη από ένα σύστημα δύο πανομοιότυπων δορυφόρων. Η δορυφορική αποστολή σχεδιάστηκε και διοικήθηκε από την Εθνική Υπηρεσία Αεροναυτικής και Διαστήματος (NASA-National Aeronautics and Space Administration), το Γερμανικό Ινστιτούτο Διαστημικών Ερευνών (DLR-Deutsches Zentrum für Luft - und Raumfahrt), το Κέντρο Διαστημικής Έρευνας του Πανεπιστημίου του Τέξας (University of Texas at Austin Center of Space Research) και το Γεωεπιστημονικό Κέντρο στο Potsdam της Γερμανίας (GFZ-GeoForschungsZentrum).

Η εκτόξευσή τους πραγματοποιήθηκε στις 17 Μαρτίου του 2002 στη θέση εκτόξευσης Plesetsk. Οι δύο πανομοιότυποι δορυφόροι τέθηκαν στην ίδια τροχιά, σε αρχικό τροχιακό ύψος 485Km και με απόσταση μεταξύ τους περίπου 220Km. Βασικός στόχος του σχεδιασμού της δορυφορικής αυτής αποστολής, ήταν η δυνατότητα ανίχνευσης των μη βαρυτικών επιδράσεων και ο προσδιορισμός των χρονικά μεταβαλλόμενων συνιστωσών του γήινου βαρυτικού πεδίου (Τσούλης, 2006). Στην κατεύθυνση αυτή λοιπόν η διαστημική αποστολή στόχευε στη δημιουργία ενός παγκόσμιου μοντέλου του γήινου βαρυτικού πεδίου ακρίβειας καλύτερης του 1-2mgal και στη δημιουργία μοντέλου γεωειδούς με ακρίβεια καλύτερη του 1cm.



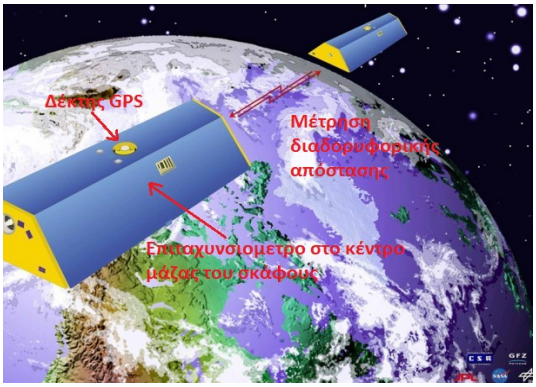
**Σχήμα 2.13**: Οι δίδυμοι δορυφόροι της αποστολής GRACE (GFZ)

**Σχήμα 2.14**: Τα δορυφορικά σκάφοι της αποστολής GRACE κατά τη διάρκεια ενσωμάτωσης των μετρητικών οργάνων (GFZ)

### *2.4.2.2 Δομή και ανάλυση δορυφόρων GRACE*

Για την μέτρηση της διαδορυφορικής απόστασης και κατ' επέκταση τον προσδιορισμό του χρονικά μεταβαλλόμενου πεδίου βαρύτητας της Γης, οποιαδήποτε στιγμή, με ακρίβεια της τάξης του 1μm/s, οι δυο δορυφόροι είναι εξοπλισμένοι με μικροκυματικό βραχίονα (Ku-band). Επιπλέον για την ανίχνευση των μη βαρυτικών επιδράσεων, όπως η πίεση της ηλιακής ακτινοβολίας (solar radiation pressure), η ατμοσφαιρική τριβή (air drag), η πίεση που ασκείται στο δορυφόρο λόγω της επίδρασης της ηλιακής ακτινοβολίας μετά την ανάκλαση της στη γήινη επιφάνεια (earth albedo), τα δύο σκάφοι φέρουν στο κέντρο μάζας τους επιταχυνσιόμετρο. Ακόμη, όσον αφορά τον ακριβή προσδιορισμό του προσανατολισμού και τον έλεγχο της θέσης των δορυφόρων GRACE αυτοί είναι εξοπλισμένοι με αστρικές κάμερες. Τέλος, τόσο η θέση όσο και η ταχύτητα τον σκαφών και συνεπώς η πραγματική τροχιά τους, προσδιορίζεται με τη βοήθεια δεκτών GPS με τους οποίους είναι εξοπλισμένοι οι δορυφόροι και των παγκοσμίων συστημάτων θέσης GNSS.

Οι μεταβολές των γήινων μαζών από περιοχή σε περιοχή καθώς και οι πυκνότητες των υλικών του υπεδάφους προκαλούν μη βαρυτικές επιδράσεις που ανιχνεύονται από τα δορυφορικά σκάφη της αποστολής GRACE και είναι υπεύθυνες τόσο για τις μεταβολές στην τροχιά τους όσο και για τις αλλαγές στην μεταξύ τους απόσταση. Οι δίδυμοι δορυφόροι GRACE, οι οποίοι περιστρέφονται 15 φορές την ημέρα γύρω από τη Γη, καταγράφουν τις διακυμάνσεις του γήινου βαρυτικού πεδίου με μεγάλη ακρίβεια αποδίδοντας έτσι λεπτομερής χάρτες (Κιτσάκης, 2011).

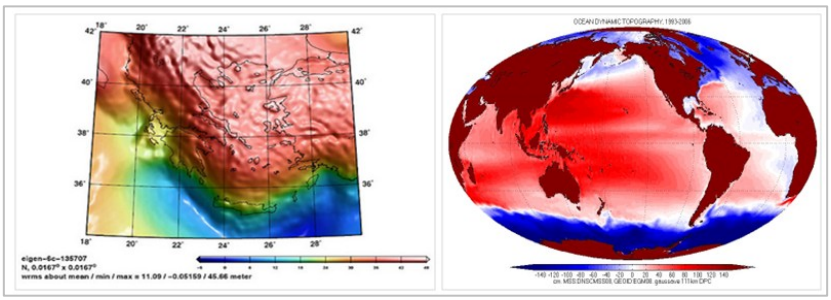



**Σχήμα 2.15**: Η διάταξη των δίδυμων δορυφόρων GRACE πάνω στην τροχιά τους (NASA)

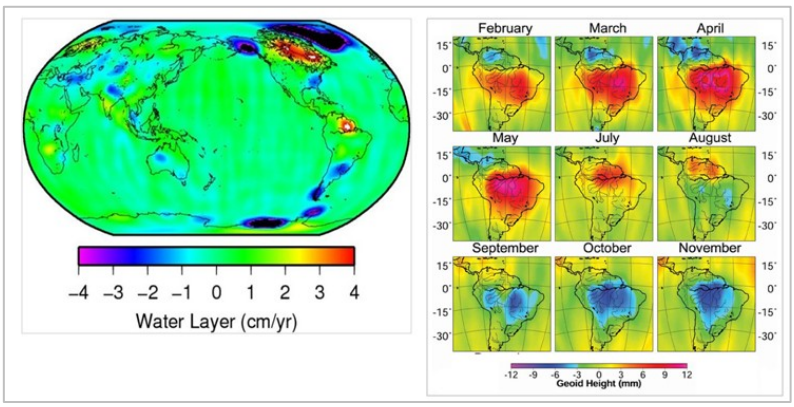
### *2.4.2.3 Εφαρμογές στις γεωεπιστήμες και επιστημονικοί στόχοι*

Η αποστολή GRACE επέφερε σημαντικές εξελίξεις στους τομείς της ωκεανογραφίας, της γεωδαισίας και της γεωφυσικής. Οι δορυφορικές παρατηρήσεις της αποστολής, σε συνδυασμό με επίγεια δεδομένα καθώς επίσης και δεδομένα δορυφορικής αλτιμετρίας, είχαν ως αποτέλεσμα τη βελτίωση των γνώσεων του πεδίου βαρύτητας της Γης και του γεωειδούς. Επίσης συνεισέφεραν σε εφαρμογές όπως: διερεύνηση των μεταβολών και των κινήσεων των υδάτινων μαζών και της ωκεάνιας κυκλοφορίας, μεταβολές της μέσης στάθμης της θάλασσας, μεταβολές των θαλάσσιων μαζών εξαιτίας του λιώσιμου των

πάγων, μελέτη των ωκεάνιων ρευμάτων στην θαλάσσια επιφάνεια άλλα και σε μεγαλύτερα βάθη καθώς επίσης και μεταβολές που διενεργούνται στη λιθόσφαιρα. Μέσω της παρατήρησης των διαχρονικών μεταβολών του πεδίου βαρύτητας της Γης κατέστη δυνατή η μελέτη και ο εντοπισμός των αιτιών των μεταβολών αυτών. Τα φαινόμενα μεταβολής των γήινων μαζών, το λιώσιμο των πάγων, οι μεταβολές των υδάτινων όγκων, οι αλληλεπιδράσεις των τεκτονικών πλακών και το σύνολο των διεργασιών στο εσωτερικό της Γης αποτελούν τις αιτίες των μεταβολών που παρουσιάζει το πεδίο βαρύτητας σε χωρική και χρονική κλίμακα. Τα σημαντικότερα επιτεύγματα της αποστολής GRACE παρουσιάζονται στο τομέα της υδρολογίας. Τα προϊόντα των μετρήσεων της αποστολής επέφεραν σημαντικές εξελίξεις σε ερευνητικά πεδία μελέτης της υδρολογίας με υδρολογικά και υδραυλικά μοντέλα παρακολούθησης των αποθεμάτων του νερού σε μεγάλες λεκάνες απορροής, με την ανάπτυξη μεθόδων υπολογισμού του όγκου των επιφανειακών αλλά και υπόγειων θαλάσσιων μαζών, με τη μελέτη των μεταβολών του επιπέδου της θάλασσας καθώς επίσης και τη μελέτη του φαινομένου της παγετώδους ανόδου (post-glacial rebound). Τέλος, σημαντική ήταν η συνεισφορά των παρατηρήσεων GRACE στον υπολογισμό της δυναμικής τοπογραφίας της επιφάνειας της θάλασσας (DOT-Dynamic Ocean Topography) μέσω του συνδυασμού των παρατηρήσεων της αποστολής, άλλων δορυφορικών παρατηρήσεων καθώς επίσης και παρατηρήσεων βαρύτητας στην θαλάσσια επιφάνεια (Κιτσάκης, 2011).



**Σχήμα 2.16**: Αριστερά φαίνεται το γεωειδές στην Ελλάδα από το μοντέλο EIGEN 6C βαθμού και τάξης 1420, από δεδομένα GRACE, GOCE, LAGEOS, δορυφορικής αλτιμετρίας και επίγειων τιμών βαρύτητας. Δεξιά φαίνεται η δυναμική θαλάσσια τοπογραφία από δεδομένα GRACE, άλλα δορυφορικά δεδομένα και αλτιμετρικά δεδομένα βαρύτητας (NASA)



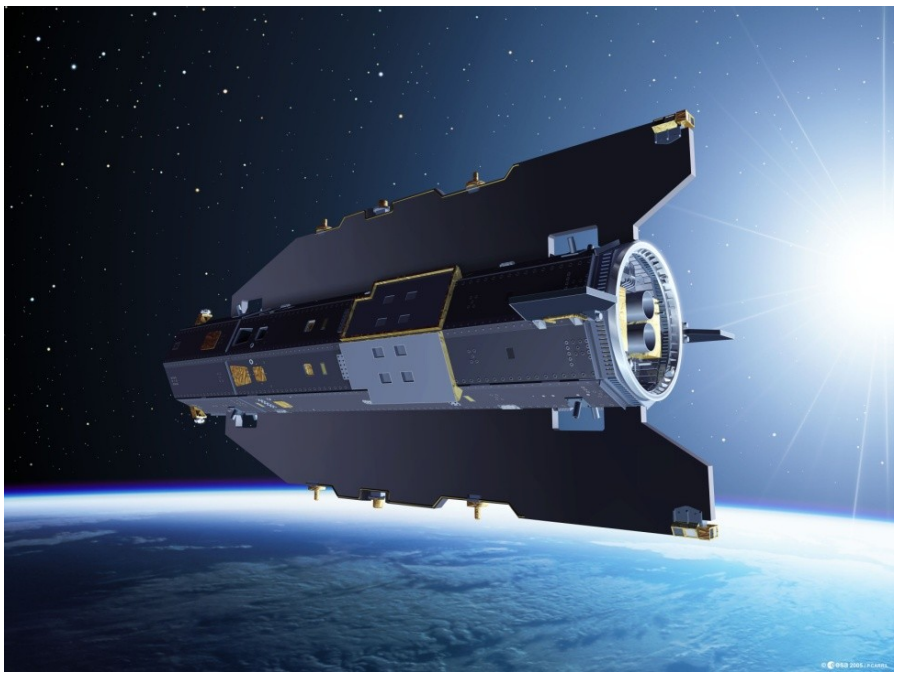

**Σχήμα 2.17**: Στα αριστερά φαίνονται οι διακυμάνσεις των θαλάσσιων μαζών από παρατηρήσεις GRACE για την χρονική περίοδο 2003-2009. Το βαθύ μπλε χρώμα δείχνει απώλεια μάζας ενώ το κόκκινο χρώμα δείχνει αύξηση μάζας. Στα δεξιά φαίνονται οι μεταβολές υδάτινων μαζών λόγω βροχοπτώσεων σε μηνιαίους χάρτες της Ν. Αμερικής από δεδομένα GRACE 2003 (NASA)

### 2.4.3 Η Δορυφορική αποστολή GOCE

#### *2.4.3.1 Σκοπός και δορυφορικά δεδομένα*

Τις δορυφορικές αποστολές CHAMP και GRACE ακολούθησε η αποστολή GOCE (Gravity field and steady-state Ocean Circulation Explorer), η οποία και βελτίωσε σημαντικά τη γνώση γύρω από το πεδίο βαρύτητας της Γης, αποδίδοντας σημαντικά βελτιωμένης ακρίβειας χάρτες λόγω των ακριβέστερων μετρητικών οργάνων που διαθέτει. Η εκτόξευση του δορυφόρου πραγματοποιήθηκε στις 17 Μαρτίου του 2009 στο Κοσμοδρόμιο Plesetsk. Η τεχνολογική εξέλιξη της διαστημικής γεωδαισία, αποτυπώνεται στον εντυπωσιακά αεροδυναμικά σχεδιασμένο δορυφόρο GOCE, ο οποίος ζυγίζει μόλις 1.05 τόνους και έχει διαστάσεις, 5m μήκος και $1m^2$ διατομή, χαρακτηριστικά πολύ μικρά για ένα δορυφόρο.

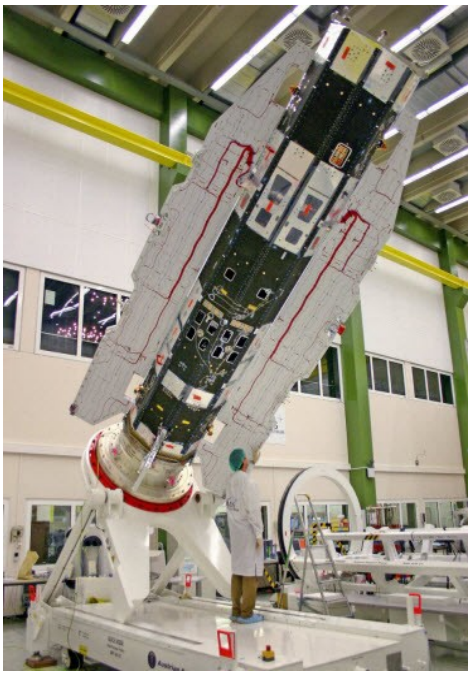
Το αρχικό τροχιακό ύψος των μόλις 263km, ύψος σημαντικά χαμηλότερο από αυτό των αποστολών CHAMP και GRACE, όπου το βαρυτικό σήμα είναι αρκετά ισχυρό, έδωσε τη δυνατότητα καταγραφής, με μεγάλη ακρίβεια, των ανωμαλιών βαρύτητας, σε χωρική και χρονική κλίμακα, με τη μεγαλύτερη διακριτική ικανότητα έως σήμερα. Ο δορυφόρος GOCE ακολουθεί ηλιοσύγχρονη, σχεδόν κυκλική τροχιά ($i=96.7^o$) με την ίδια πλευρά μονίμως με φορά προς τον ήλιο. Σκοπός της δορυφορικής αυτής αποστολής είναι η λεπτομερής αποτύπωση του φάσματος του πεδίου βαρύτητας της Γης και των διακυμάνσεών του, τη μελέτη των ωκεάνιων ρευμάτων, της μέσης στάθμης της θάλασσας καθώς επίσης τη δημιουργία χαρτών απεικόνισης του γεωειδούς με τη μέγιστη δυνατή ακρίβεια και ανάλυση.



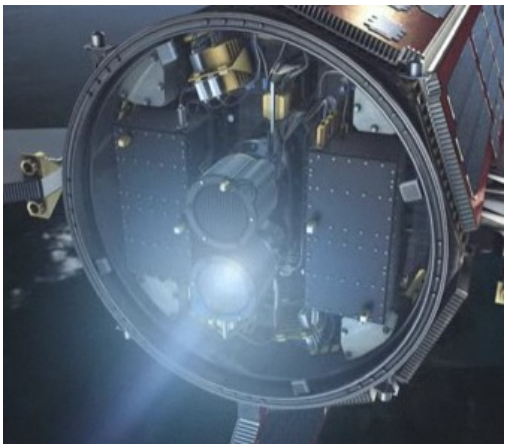
**Σχήμα 2.18**: Ο δορυφόρος GOCE (ESA)

### *2.4.3.2 Δομή και ανάλυση δορυφόρου GOCE*

Η αεροδυναμική κατασκευή του σκάφους είναι αποτέλεσμα της επιλογής χαμηλού τροχιακού ύψους. Σε αυτό το χαμηλό ύψος τροχιάς οι ατμοσφαιρικές συνθήκες, οι τριβές, τα ρεύματα των ανέμων και η ροπή του αέρα μειώνουν σταδιακά την ταχύτητα του σκάφους και επηρεάζουν σημαντικά τη θέση και την ταχύτητά του. Για να μπορεί να αποδώσει τις απαιτούμενες ακριβείς παρατηρήσεις, θα πρέπει, να διορθώσει τη θέση και την ταχύτητά του, αντισταθμίζοντας οποιαδήποτε έλξη. Για το λόγο αυτό φέρει έναν ηλεκτρικό προωθητή ιόντων στο πίσω μέρος, ο οποίος εκτοξεύει με μεγάλη ταχύτητα ιόντα ευγενούς αερίου ξένου, ενώ ταυτόχρονα η συμμετρική κατασκευή του παρέχουν πρόσθετη σταθερότητα.

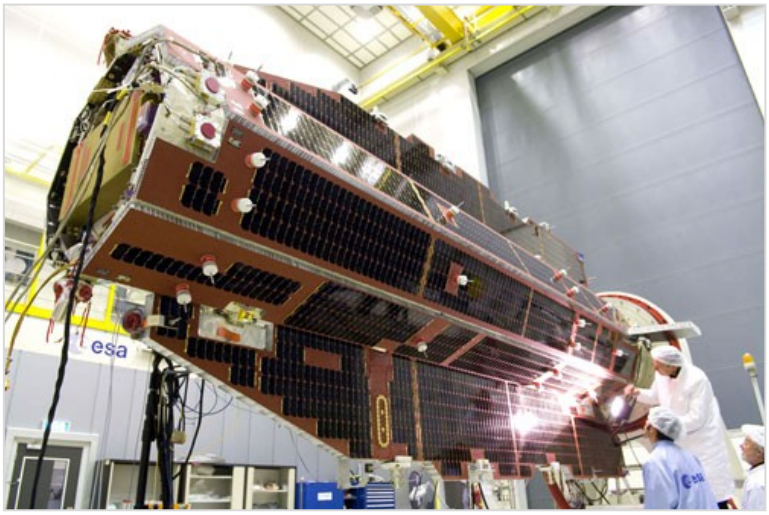


**Σχήμα 2.19**: Ο δορυφόρος GOCE στη φάση κατασκευής του (ASTRIUM)



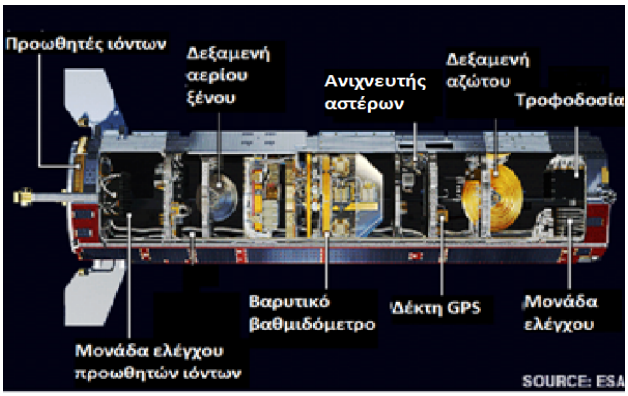
**Σχήμα 2.20**: Ηλεκτρικός προωθητής ιόντων του δορυφόρου GOCE (ESA)

Ο δορυφόρος φέρει συνολικά έξι ηλιακά πάνελ, τέσσερα στο κεντρικό μέρος του και δύο στα πλευρικά πτερύγια, τα οποία αν και εκτίθενται σε ακραίες θερμοκρασίες δεν παρουσιάζουν κανένα λειτουργικό πρόβλημα. Η δομή είναι τέτοια που εξασφαλίζει σταθερές συνθήκες στο εσωτερικό του σκάφους (πλαίσια ινών άνθρακα, παθητικές διατάξεις ελέγχου της θερμοκρασίας, ειδικά συστήματα σε περίπτωση ακραία χαμηλών θερμοκρασιών, μονωτικά καλύμματα στο εσωτερικό του σκάφους). Επιπλέον σε κάθε ένα από τα δύο πλευρικά πτερύγια βρίσκεται μία κεραία επικοινωνίας συχνότητας S, μία με κατεύθυνση προς τα πάνω και μια προς τα κάτω με σκοπό την σφαιρική κάλυψη. Ακόμη, για να διασφαλιστεί η υψηλή ακρίβεια των παρατηρήσεων θα πρέπει να είναι γνωστή με ακρίβεια η θέση του σκάφους στη δορυφορική τροχιά, γι' αυτό και είναι εξοπλισμένο με δύο κεραίες GPS για την υλοποίηση της τεχνικής SST και τον συνεχή εντοπισμό της θέσης στις τρείς διαστάσεις.

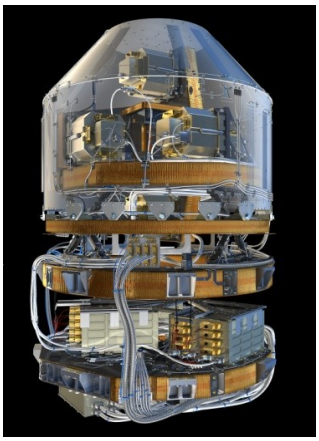



**Σχήμα 2.21**: Ο δορυφόρος GOCE και τα έξι ηλιακά πάνελ με τα οποία είναι εξοπλισμένος (ESA)

Το κυρίως μέρος του δορυφορικού σκάφους, το οποίο έχει τη μορφή ενός οκτάγωνου σωλήνα, χωρίζεται σε επτά κομμάτια, όπου στεγάζονται ο εξοπλισμός και τα μηχανικά μέρη του δορυφόρου. Στο κέντρο μάζας του δορυφόρου βρίσκεται το ηλεκτροστατικό βαρυτικό βαθμιδόμετρο (EEG-Electrostatic Gravity Gradiometer), το οποίο αποτελεί και το σημαντικότερο μετρητικό όργανο της αποστολής. Τέλος, ο δορυφόρος GOCE είναι εξοπλισμένος με ανακλαστήρα Laser έτσι ώστε να είναι εφικτός ο εντοπισμός του από επίγεια παγκόσμια συστήματα SLR (Drinkwater et al 2002).




**Σχήμα 2.22**: Το ωφέλιμο φορτίο του δορυφορικού σκάφους GOCE (ESA)

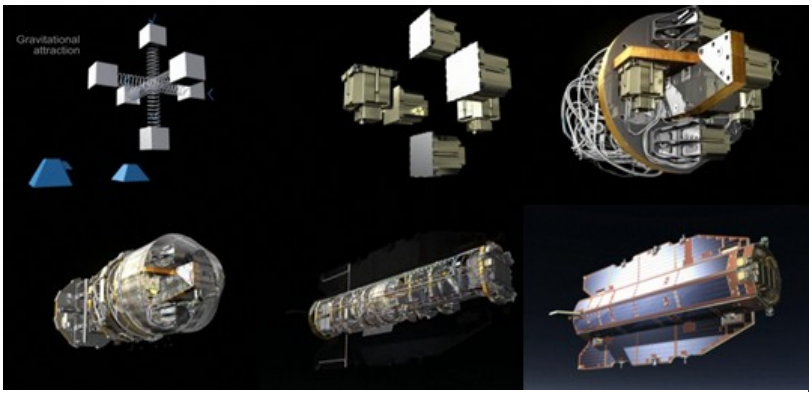


**Σχήμα 2.23**: Το βαθμιδόμετρο EEG (Electrostatic Gravity Gradiometer) του δορυφόρου GOCE (ESA)

### *2.4.3.3 Το βαθμιδόμετρο EEG και η λειτουργία του*

Το σημαντικότερο μετρητικό όργανο του δορυφόρου GOCE, το βαθμιδόμετρο EEG(Electrostatic Gravity Gradiometer), αποτελεί ένα εξαιρετικά ευαίσθητο μετρητικό όργανο, το οποίο απαρτίζεται από τρία όμοια ζεύγη επιταχυνσιομέτρων σταθερά συνδεδεμένων μεταξύ τους σε βραχίονα, σχηματίζοντας τους τρεις άξονες του βαθμιδόμετρου. Οι τρείς άξονες του βαθμιδόμετρου EEG είναι τοποθετημένοι κάθετα

μεταξύ τους, ο ένας είναι ευθυγραμμισμένος σύμφωνα με την τροχιά του δορυφορικού σκάφους, ο δεύτερος είναι κάθετος σε αυτή και ο τρίτος είναι σύμφωνος με τη διεύθυνση του κέντρου της Γης. Η αρχή λειτουργίας του στηρίζεται στη μέτρηση των δυνάμεων που ενεργούν σε τρείς μάζες στο κέντρο ειδικά διαμορφωμένων κλωβών, οι οποίοι αποτελούν τα τρία επιταχυνσιόμετρα της πλατφόρμας, καθιστώντας έτσι δυνατή τη μέτρηση των κλίσεων της βαρύτητας προς όλες τις κατευθύνσεις. Με τη διάταξη αυτή είναι δυνατή η μέτρηση και η χαρτογράφηση του στατικού μέρους του πεδίου βαρύτητας της Γης και της έντασής του, καθώς επίσης και η χαρτογράφηση του γεωειδούς με υψηλή ακρίβεια και διακριτική ικανότητα. Τέλος, όσον αφορά την κατασκευή των επιταχυνσιομέτρων της διάταξης, οι θέσεις αυτών καθορίστηκαν με ακρίβεια της τάξης του ενός πικόμετρου (τρισεκατομμυριοστό του μέτρου), που αναλογεί σε μετρητική ευαισθησία εκατό φορές μεγαλύτερη από διατάξεις που έφεραν προηγούμενες δορυφορικές αποστολές (Drinkwater et al 2002).

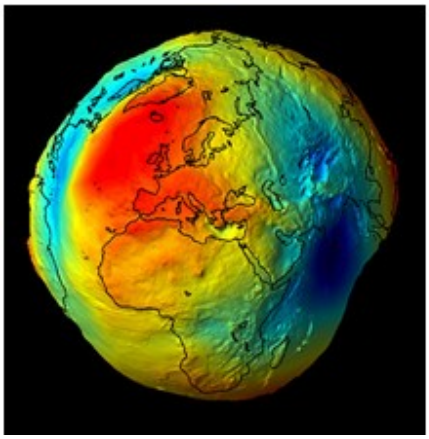



**Σχήμα 2.24**: Το ηλεκτροστατικό βαθμιδόμετρο του δορυφόρου GOCE και οι φάσεις κατασκευής (ESA)

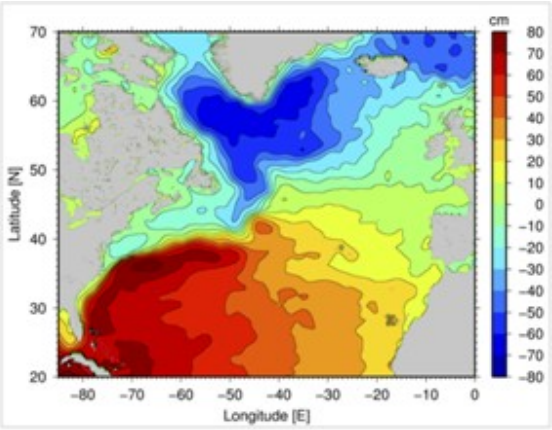
### *2.4.3.4 Εφαρμογές στις γεωεπιστήμες και επιστημονικοί στόχοι*

Οι επιστήμες που ωφελήθηκαν περισσότερα από τα αποτελέσματα της αποστολής GOCE είναι η γεωδαισία, η γεωφυσική, η γεωλογία, η ωκεανογραφία και η σεισμολογία. Η δορυφορική αποστολή GOCE, αποτέλεσε το διαστημικό πρόγραμμα με τις μεγαλύτερες προσδοκίες για ακρίβεια και διακριτική ικανότητα, στην αποτύπωση του φάσματος του πεδίου βαρύτητας της Γης (ακρίβεια της τάξης του ±1cm μέχρι βαθμό ανάπτυξης n=250, λ/2=80km), στην χαρτογράφηση του γεωειδούς (ακρίβεια καλύτερη της τάξης του ±1cm για λ=150-160km), καθώς επίσης και στη μελέτη της ωκεάνιας κυκλοφορίας και του επιπέδου της στάθμης της θάλασσας (Βέργος 2011). Η ζωτικής σημασίας συνεισφορά των προϊόντων GOCE οδήγησε στην καλύτερη γνώση της ωκεάνιας κυκλοφορίας και του επιπέδου της θαλάσσιας στάθμης και στην πρόγνωση των κλιματικών αλλαγών. Συνέβαλε επίσης στην πληρέστερη γνώση των διεργασιών στο εσωτερικό της Γης και κατ' επέκταση στη μελέτη και πρόγνωση σεισμών και ηφαιστειακών εκρήξεων, καθώς επίσης και στη δημιουργία ενός παγκόσμιου συστήματος μέτρησης υψομέτρων με την ενοποίηση των κατακόρυφων συστημάτων αναφοράς και τη δυνατότητα χωροστάθμησης με GPS.

Τα υψηλής ποιότητας δεδομένα GOCE χαρτογραφούν το γεωειδές με υψηλή διακριτική ανάλυση και ακρίβεια. Αντίστοιχα, τα δεδομένα δορυφορικής αλτιμετρίας χαρτογραφούν την στιγμιαία επιφάνεια των ωκεανών. Ο συνδυασμός του δίνει ως αποτέλεσμα την τοπογραφία των ωκεανών (Ocean Topography) και επιτρέπει τη μελέτη της ωκεάνιας κυκλοφορίας (Ocean Circulation). Ύστερα από περίπου τρία χρόνια σε τροχιά, ο δορυφόρος GOCE απέδωσε έως σήμερα το ακριβέστερο μοντέλο γεωειδούς, του οποίου η ακρίβεια συνεχώς βελτιώνεται, ενώ ταυτόχρονα ανιχνεύει τις μεταβολές του πεδίου βαρύτητας βοηθώντας έτσι στην καλύτερη κατανόηση των διεργασιών στα ανώτερα στρώματα της λιθόσφαιρας. Τέλος, μέσω της μελέτης των μεταβολών ωκεάνιων μαζών και του επιπέδου της θαλάσσιας στάθμης κατέστη δυνατή η μελέτη και παρακολούθηση σημαντικών κλιματικών φαινομένων όπως το El Niño και η La Niña.



**Σχήμα 2.25**: Η απεικόνιση του βαρυτικού πεδίου της Γης από δεδομένα GOCE (ESA)




**Σχήμα 2.26**: Δυναμική θαλάσσια τοπογραφία από GOCE (ESA)

## 2.5 Δυναμική Τοπογραφία της Επιφάνειας της Θάλασσας και Ωκεάνια Κυκλοφορία

### 2.5.1 Δυναμική Τοπογραφία της Επιφάνειας της Θάλασσας

Αν και σε μια πρώτη προσέγγιση η μέση στάθμη της θάλασσας (επιφάνεια μηδενικού ύψους-zero-height surface) συμπίπτει με το γεωειδές, στην πραγματικότητα αυτό δεν ισχύει. Το γεωειδές αποτελεί μια ισοδυναμική επιφάνεια, η οποία μεταβάλλεται χωρικά και χρονικά εξαιτίας των μεταβολών του πεδίου βαρύτητας της Γης παρουσιάζοντας αποχές από την μέση στάθμη της θάλασσας. Το γεωειδές προσεγγίζεται μέσω σφαιρικών αρμονικών συναρτήσεων με αναλυτικούς υπολογισμούς, υποθέσεις και παραδοχές. Η αποχή αυτή της μέσης στάθμης της θάλασσας από το γεωειδές ονομάζεται δυναμική θαλάσσια τοπογραφία (DOT-Dynamic Ocean Topography) ή τοπογραφία της επιφάνειας της θάλασσας (SST-Sea Surface Topography). Οι αποχές του γεωειδούς από την μέση στάθμη της θάλασσας σε παγκόσμια κλίμακα είναι της τάξης των 70cm έως -2.2m (Ανταρκτική) με

μια τυπική απόκλιση ±62cm (Koblinsky et al. 1999). Γενεσιουργές αιτίες των αποχών αυτών αποτελούν τα δυναμικά ωκεάνια φαινόμενα, τα οποία προκαλούνται από τις επιδράσεις της ατμόσφαιρας (άνεμοι, ατμοσφαιρική πίεση) και τις διαφορές που παρουσιάζονται στις ιδιότητες του νερού (θερμοκρασία, πυκνότητα, αλατότητα).

Όπως έχει ήδη αναφερθεί στην ενότητα 2.2 η δυναμική θαλάσσια τοπογραφία διακρίνεται σε δύο συνιστώσες:

1. Το σχεδόν στάσιμο μέρος $s_c$ (ΣΣΤΕΘ, σχεδόν-στάσιμη τοπογραφία της επιφάνειας της θάλασσας) , το οποίο δεν μεταβάλλεται με το χρόνο, και

2. Το χρονικά μεταβαλλόμενο μέρος $s_t$ (ΧΜΤΕΘ, χρονικά μεταβαλλόμενη τοπογραφία της επιφάνειας της θάλασσας), το οποίο μεταβάλλεται με το χρόνο εξαιτίας των δυναμικών ωκεάνιων φαινομένων.

Σύμφωνα λοιπόν με όσα αναφέρθηκαν παραπάνω, η σχέση σύνδεσης των υψομέτρων του γεωειδούς (N), των υψομέτρων της θαλάσσιας επιφάνειας (SSH- Sea Surface Height ή $h^{alt}$) και της τοπογραφίας της θαλάσσιας επιφάνειας (SST-Sea Surface Topography) είναι η εξής:

$$SSH = N + SST \tag{2.15}$$

ή

$$h^{alt} = N + s \tag{2.16}$$

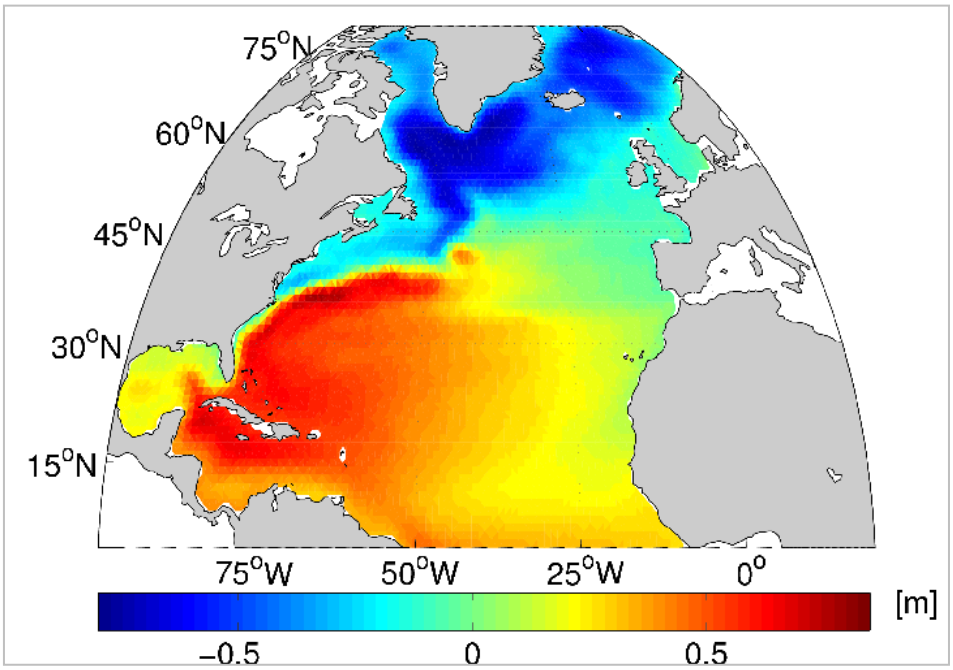
όπου,

$$s = s_c + s_t \tag{2.17}$$

είναι η θαλάσσια τοπογραφία, το άθροισμα δηλαδή των δυο συνιστωσών, της σχεδόν στάσιμης συνιστώσας της τοπογραφίας της θάλασσας και της χρονικά μεταβαλλόμενης τοπογραφίας της επιφάνειας της θάλασσας. Η τοπογραφία της επιφάνειας της θάλασσας μπορεί να προσδιοριστεί είτε άμεσα από ωκεανογραφικές παρατηρήσεις ατμοσφαιρικής πίεσης, ταχύτητας ρευμάτων και ανέμων, θερμοκρασίας, πυκνότητας και αλατότητας καθώς επίσης και μέσω ωκεανογραφικών μοντέλων προσδιοριζόμενων από χρονοσειρές παρατηρήσεων, είτε μέσω γεωδαιτικών μεθόδων χρησιμοποιώντας μοντέλα γεωειδούς. Στην περίπτωση προσδιορισμού της σχεδόν στάσιμης τοπογραφίας της επιφάνειας της θάλασσας μέσω γεωδαιτικών μεθόδων η ΣΣΤΕΘ προκύπτει ως η διαφορά ενός αλτιμετρικού και ενός βαρυμετρικού μοντέλου γεωειδούς, όπως ορίζεται από την εξίσωση (2.5). Τα αλτιμετρικά μοντέλα γεωειδούς έχουν ως επιφάνεια αναφοράς την επιφάνεια της θάλασσας, για το λόγο αυτό είναι απαραίτητη η χρήση κάποιου παγκόσμιου μοντέλου της ΤΕΘ με σκοπό την αναγωγή των υψομέτρων στο γεωειδές. Βασικό μειονέκτημα των αναγωγών αυτών αποτελεί η σημαντικά περιορισμένη ακρίβεια στις κλειστές θάλασσες, αφού ο σχεδιασμός των μοντέλων της ΤΕΘ αφορά κυρίως την αναπαράσταση της θαλάσσιας τοπογραφίας των ωκεανών. Εναλλακτικά η ΣΣΤΕΘ μπορεί να προσδιοριστεί

μέσω των αλτιμετρικών υψομέτρων της ΤΕΘ και ενός γεωδυναμικού μοντέλου χαμηλού βαθμού ανάπτυξης. Και στις δύο περιπτώσεις ο προσδιορισμός της ΣΣΤΕΘ βασίζεται στη χρήση αναπτυγμάτων σφαιρικών αρμονικών συντελεστών. Ο προσδιορισμός συνεπώς της στάσιμης τοπογραφίας είναι σημαντικός, τόσο για τη γεωδαισία όσο και την ωκεανογραφία, με σκοπό τον προσδιορισμό γεωειδούς ακρίβειας ±1cm.

Η χρονικά μεταβαλλόμενη ΤΕΘ μπορεί να προσδιοριστεί με τη χρήση διαφόρων τεχνικών όπως, την ανάλυση επαναλαμβανόμενων τροχιακών ιχνών των αλτιμετρικών δορυφόρων και τον προσδιορισμό και στη συνέχεια την αφαίρεση της ΧΜΤΕΘ από τα αλτιμετρικά δεδομένα. Επίσης, ο προσδιορισμός και αφαίρεση της ΤΕΘ μπορεί να γίνει βάση την υπόθεση ότι αποτελεί μέρος του θορύβου των αλτιμετρικών παρατηρήσεων, το οποίο απομακρύνεται κατά τη συνόρθωση στις τομές των τροχιακών ιχνών. Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η δυναμική θαλάσσια τοπογραφία όπως υπολογίστηκε από δορυφορικές παρατηρήσεις των αποστολών Jason-1, GRACE και GOCE. Τα αλτιμετρικά αυτά δεδομένα αφομοιώθηκαν σε ήδη υπάρχοντα ωκεανογραφικά μοντέλα του Βορείου Ατλαντικού βελτιώνοντας έτσι τις εκτιμήσεις της μέσης ωκεάνιας κυκλοφορίας καθώς επίσης και τις εκτιμήσεις μεταφοράς θερμότητας κατά την κίνηση των ωκεάνιων μαζών.




**Σχήμα 2.27**: Η δυναμική θαλάσσια τοπογραφία στον Βόρειο Ατλαντικό σε μέτρα (AWI)

### 2.5.2 Ωκεάνια Κυκλοφορία, γεωστροφική ροή και ταχύτητες ρευμάτων

Η επιφάνεια των ωκεάνιων μαζών βρίσκεται διαρκώς υπό την επίδραση των ατμοσφαιρικών συνθηκών, της ατμοσφαιρικής πίεσης, της ηλιακής ενέργειας και της εξάτμισης με αποτέλεσμα τη μεταβολή της πυκνότητας και της αλατότητας. Επιπλέον οι ωκεανοί βρίσκονται υπό την επίδραση της δύναμης Coriolis, η οποία συνδέεται με την περιστροφή της Γης, επηρεάζοντας τους ανέμους και τα θαλάσσια ρεύματα. Η σύνδεση των επιστημών της ωκεανογραφίας και της γεωδαισίας έγκειται στη δυνατότητα υπολογισμού

των ταχυτήτων των ωκεάνιων ρευμάτων μέσω της γεωδαιτικά προσδιορισμένης στάσιμης τοπογραφίας της επιφάνειας της θάλασσας. Υπάρχει όμως και η αντίστροφη σύνδεση, ο προσδιορισμός δηλαδή της ΣΣΤΕΘ μέσω καθαρά ωκεανογραφικών μεθόδων. Από γεωδαιτική σκοπιά στόχος είναι ο υπολογισμός των γεωστροφικών ρευμάτων και των ταχυτήτων τους στην επιφάνεια μηδενικού βάθους. Η επιφάνεια μηδενικού βάθους όπως και η επιφάνεια μηδενικού ύψους αναφέρονται στο γεωειδές. Στην παρούσα εργασία υπολογίστηκαν οι συνιστώσες της ταχύτητας της γεωστροφικής ροής καθώς επίσης και το μέτρο της, σε σφαιρική προσέγγιση, σύμφωνα με τις παρακάτω εξισώσεις (Pond and Pickard, 2000):

$$u_s = -\frac{g}{fR}\frac{\partial H}{\partial \varphi} \tag{2.18}$$

$$v_s = \frac{g}{fR\cos\varphi}\frac{\partial H}{\partial \lambda} \tag{2.19}$$

όπου,

$$f = 2\Omega \sin\varphi \tag{2.20}$$

ενώ το μέτρο της ταχύτητας δίνεται από τη σχέση:

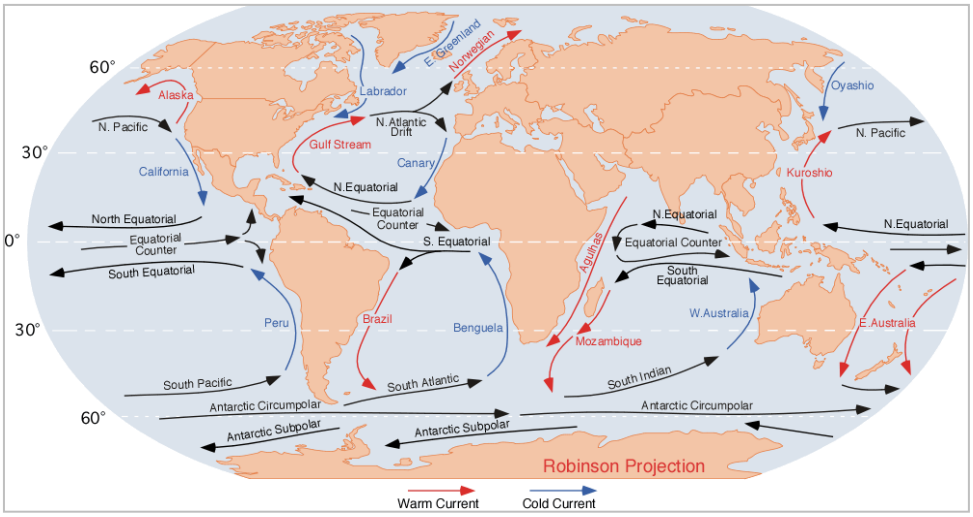
$$v = \sqrt{u_s^2 + v_s^2} \tag{2.21}$$

όπου,

$R$ : η μέση ακτίνα της Γης ίση με 6371km, $g$ η βαρύτητα, $f$ η δύναμη Coriolis, $\Omega$ η γωνιακή ταχύτητα περιστροφής της Γης,

$H$ : η ΤΕΘ και $\varphi, \lambda$ οι γεωγραφικές συντεταγμένες

Η παραπάνω μέθοδος προσδιορισμού των ταχυτήτων των ωκεάνιων ρευμάτων ονομάζεται *μέθοδος της γεωστροφικής ροής.* Η μέθοδος αυτή πλεονεκτεί σημαντικά από τις ωκεανογραφικές μεθόδους διότι μπορεί να συνδυαστεί με αλτιμετρικές παρατηρήσεις, παρέχοντας έτσι ομοιογενή και παγκόσμια κάλυψη καθώς επίσης και υψηλότερη ακρίβεια. Θα πρέπει εν τέλει να σημειωθεί ότι η ωκεάνια κυκλοφορία αποτελεί τον βασικό παράγοντα διαμόρφωσης του κλίματος (Βέργος, 2006). Τα θερμά ωκεάνια ρεύματα μεταφέρουν θερμότητα από χαμηλά σε υψηλά γεωγραφικά πλάτη στην επιφάνεια των ωκεανών, ενώ τα ψυχρά ωκεάνια ρεύματα κατευθύνονται από μεγάλα γεωγραφικά πλάτη προς τον Ισημερινό, σε βαθύτερα νερά. Στο παρακάτω σχήμα φαίνονται τα ωκεάνια ρεύματα της Γης και οι ονομασίες τους. Με κόκκινο παρουσιάζονται τα θερμά ρεύματα ενώ με μπλε τα ψυχρά.




**Σχήμα 2.28**: Ωκεάνια ρεύματα της Γης και οι κυριότερες ονομασίες τους, όπου με κόκκινο παρουσιάζονται τα θερμά ρεύματα και με μπλε τα ψυχρά ρεύματα (Pidwirny, 2006)

Η σημασία των ωκεάνιων υδάτων στην κατανομή της θερμότητας φαίνεται από τη μελέτη του ρεύματος του Κόλπου του Ατλαντικού (Gulf Stream). Το ρεύμα αυτό μεταφέρει θερμά νερά από τον κόλπο του Μεξικού επηρεάζοντας το κλίμα της ανατολικής ακτής των ΗΠΑ και του Καναδά αλλά, και τα παράκτια νερά της Ευρώπης, τα οποία είναι κατά 4$^{o}$C πιο θερμά από αντίστοιχα γεωγραφικά πλάτη στο Βόρειο Ειρηνικό. Η δορυφορική αποστολή GOCE ενισχύει σημαντικά τη μελέτη και την πρόβλεψη των κλιματικών αλλαγών, μέσω της διερεύνησης των διεργασιών στο εσωτερικό της Γης. Οι παρατηρήσεις GOCE απέδωσαν έναν ακριβή χάρτη του γεωειδούς ενισχύοντας τη γνώση για τη διαμόρφωση του κλίματος σε παγκόσμια κλίμακα καθώς και τη μελέτη της ωκεάνιας κυκλοφορίας των επιφανειακών και των βαθύτερων υδάτινων μαζών. Τόσο η ποιότητα των δεδομένων όσο και τα προϊόντα του GOCE χαρακτηρίζονται από υψηλή ακρίβεια αποδίδοντας τόσο τη δυναμική τοπογραφία όσο και την ωκεάνια κυκλοφορία με υψηλή διακριτική ανάλυση.

## 2.6 Γραμμικά φίλτρα και εφαρμογή στον προσδιορισμό της Τοπογραφία της Επιφάνειας της Θάλασσας

Το σύνολο των αλτιμετρικών παρατηρήσεων που προήλθαν από τις δορυφορικές αποστολές, παλαιότερες και νέες, συνέβαλαν σημαντικά στις εφαρμογές της γεωδαισίας και της ωκεανογραφίας. Με τη χρήση των παρατηρήσεων αυτών επιτεύχθηκε ο προσδιορισμός των αποχών της μέσης στάθμης της θάλασσας από ένα γεωειδές καθορισμένο με υψηλή ακρίβεια και διακριτική ικανότητα. Στην προσπάθεια προσδιορισμού της τοπογραφίας της επιφάνειας της θάλασσας, ο συνδυασμός μοντέλων μέσης στάθμης θάλασσας και μοντέλων γεωειδούς, διαφορετικής διακριτικής ανάλυσης και ακρίβειας καθιστά αναγκαία την εφαρμογή φίλτρων με σκοπό την απομάκρυνση των υψηλών συχνοτήτων και του θορύβου (white noise), αλλά και μείωση της επίδρασης του σφάλματος αποκοπής (geoid omission error) και του αθροιστικού σφάλματος (geoid commission error), όπως αυτό προκύπτει από τα σφάλματα των συντελεστών του

γεωδυναμικού μοντέλου. Επιπλέον, θα πρέπει να απομακρυνθούν τα σφάλματα των αλτιμετρικών παρατηρήσεων κοντά στις ηπειρωτικές περιοχές που εμφανίζονται συνήθως ως χονδροειδή (blunders) σφάλματα κατά την αξιολόγηση των δορυφορικών δεδομένων. Διάφορες τεχνικές έχουν αναπτυχθεί με σκοπό τη μείωση τις επίδρασής τους, όπως για παράδειγμα τα στατιστικά πειράματα (2rms, 3rms, 2σ, 3σ τεστ) καθώς και το φιλτράρισμα δεδομένων.

Το φιλτράρισμα εφαρμόζεται στα δεδομένα με σκοπό την ενίσχυση ή την υποβάθμιση της λεπτομέρειας για τη βελτίωση της οπτικής αναπαράστασης. Τα φίλτρα στοχεύουν στην αφαίρεση των φασματικών εκείνων συχνοτήτων με σκοπό τη βελτίωση της αναπαράστασης του προσδιοριζόμενου μεγέθους, τροποποιώντας την τιμή του μεγέθους ανάλογα με τις γειτονικές τιμές. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται η διατήρηση του εύρους των συχνοτήτων που ενδιαφέρει. Πρώτος ο Rudolf E. Kalman ανέπτυξε τη θεωρία των φίλτρων το 1960. Ο αλγόριθμος Kalman αποτελεί έναν βέλτιστο γραμμικό εκτιμητή δυναμικών συστημάτων, ο οποίος λαμβάνει υπόψη το σύνολο των πληροφοριών που διατίθενται, ανεξάρτητα από την ακρίβεια, με απώτερο σκοπό των προσδιορισμό μεταβλητών του συστήματος όσο το δυνατόν καλύτερα και απαλλαγμένων από θόρυβο. Τα φίλτρα διακρίνονται σε γραμμικά και μη γραμμικά, σε φίλτρα χαμηλής και υψηλής συχνότητας. Στα γραμμικά φίλτρα τα δεδομένα εξόδου αποτελούν γραμμικό συνδυασμό των δεδομένων εισόδου. Τα φίλτρα χαμηλής συχνότητας ή χαμηλοπερατά φίλτρα (low-pass filtering) εφαρμόζονται με σκοπό την εξομάλυνση του θορύβου και τη μείωση των ακραίων τιμών των συχνοτήτων. Τα φίλτρα αυτά ονομάζονται και φίλτρα εξομάλυνσης ή μέσης τιμής. Τα φίλτρα υψηλών συχνοτήτων ή υψηλοπερατά φίλτρα (high-pass filtering) απομακρύνουν τις χαμηλές συχνότητες ενώ τονίζουν τις χωρικές λεπτομέρειες των υψηλών συχνοτήτων. Τα φίλτρα αυτά ονομάζονται και φίλτρα όξυνσης. Στην προσπάθεια προσδιορισμού συνεπώς της δυναμικής θαλάσσιας τοπογραφίας, η προκύπτουσα επιφάνεια φιλτράρεται με τη χρήση γραμμικών φίλτρων χαμηλής συχνότητας (linear low-pass filtering) με σκοπό την απομάκρυνση της επίδρασης του θορύβου και την επίτευξη της βέλτιστης λύσης με την μικρότερη δυνατή απώλεια σήματος (Grewal and Andrews, 2011).

Μία από τις πιο σημαντικές λειτουργίες επεξεργασίας που εφαρμόζεται στα δεδομένα είναι η εξομάλυνση (smoothing), μέσω χαμηλοπερατού φιλτραρίσματος, η οποία μας δίνει τη δυνατότητα να μειώσουμε το θόρυβο των δεδομένων εισόδου. Από την άλλη πλευρά όμως η εφαρμογή αυτή της μεθόδου οδηγεί σε αλλοιωμένα δεδομένα εξόδου. Τόσο η υψηλή περιεκτικότητα θορύβου των δεδομένων εισόδου όσο και η παραμόρφωση των δεδομένων εξόδου έχουν αρνητικές συνέπειες στα αποτελέσματα και στα συμπεράσματα που προκύπτουν για τα αποτελέσματα εξόδου. Ως εκ τούτου, είναι σημαντικό να επιλεγεί η κατάλληλη συνάρτηση απόκρισης συχνότητας φίλτρου (frequency impulse response), έτσι ώστε να αντισταθμιστεί ο θόρυβος από τη μια πλευρά και η παραμόρφωση από την άλλη, εξασφαλίζοντας έτσι την ομαλότητα των δεδομένων εξόδου. Στην περίπτωση ενός ιδανικού βαθυπερατού φίλτρου θα έπρεπε να εξαλείφονται όλες εκείνες οι συχνότητες πάνω από την επιλεγόμενη γωνία αποκοπής. Στο σύνολο όμως των πρακτικών εφαρμογών δεν υπάρχουν ιδανικά φίλτρα. Τα πραγματικά φίλτρα προσεγγίζουν το ιδανικό μέσω της αποκοπής συχνοτήτων και της δημιουργίας ενός «παραθύρου» όπου η άπειρη συχνότητα απόκρισης γίνεται πεπερασμένη. Η καθυστέρηση σήματος που εφαρμόζεται ερμηνεύεται ουσιαστικά ως μια μετατόπιση φάσης. Η απόκριση συχνότητας ενός φίλτρου

χαρακτηρίζεται κυρίως από την γωνία αποκοπής (cutoff frequency) και το ρυθμό συχνότητας φίλτρου (rate of frequency). Κατ' αυτό τον τρόπο η διάταξη του φίλτρου καθορίζει το μέγεθος της εξασθένισης των συχνοτήτων που είναι υψηλότερες από τη συχνότητα αποκοπής (Rabiner et al 1975). Υπάρχουν πολλοί διαφορετικοί τύποι φίλτρων με διαφορετική απόκριση στις διάφορες συχνότητες αποκοπής που μπορούν να εφαρμοστούν

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τρία συνελικτικά φίλτρα, το φίλτρο Boxcar, το φίλτρο Gaussian καθώς επίσης και το φίλτρο Cosine arch. Βασικός στόχος της εφαρμογής των φίλτρων στη παρούσα εργασία ήταν η εύρεση, η εφαρμογή και τελικά η επιλογή του κατάλληλου εκείνου μήκους κύματος, μέσω μιας ευρείας σειράς πειραμάτων, που θα αποφέρει τα καλύτερα δυνατά αποτελέσματα (μείωση θορύβου με κατά το δυνατό μικρότερη απώλεια σήματος) σε ένα υπολογιζόμενο μοντέλο της δυναμικής τοπογραφίας της επιφάνειας της θάλασσας το οποίο προέκυψε από ένα ήδη υπάρχον μοντέλο γεωειδούς (GOCO02S) και ένα μοντέλο μέσης στάθμης της θάλασσας ($MSS_{DTU2010}$) και στη συνεχεία η επίτευξη των μικρότερων διαφορών σε σχέση με τη δυναμική τοπογραφία ($MSS_{DTU2010}$). Τα παραπάνω θα παρουσιαστούν αναλυτικά στα επόμενα κεφάλαια. Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι εξισώσεις και η συχνότητα απόκρισης των φίλτρων που χρησιμοποιήθηκαν.

**Φίλτρο Boxcar (Boxcar filter)**

Η εξίσωση (2.22) περιγράφει το φίλτρο Boxcar στο χώρο των αποστάσεων, ενώ η εξίσωση (2.23) στο χώρο των συχνοτήτων.

$$h(x,y) = 2\lambda_c \sin(2\lambda_c(x^2+y^2)) \tag{2.22}$$

$$H(u,v) = \Pi\left(\frac{\omega}{2\omega_c}\right) \tag{2.23}$$

όπου,

$\omega_c$ : η γωνιακή συχνότητα,

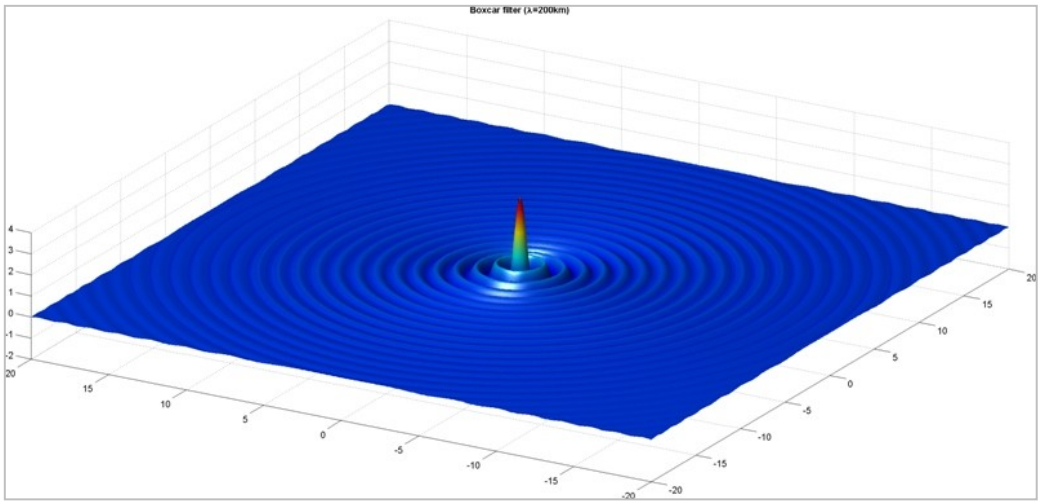
$\lambda_c$ : το μήκος κύματος,

$u, v$ : οι ακτινικές συνιστώσες και

$\omega = \sqrt{u^2+v^2}$

Για να αξιολογηθεί η απόκριση συχνότητας του φίλτρου Boxcar χρησιμοποιήθηκαν δειγματικές τιμές το μέγεθος των οποίων φαίνεται στον οριζόντιο άξονα του σχήματος (2.29) ενώ το κέρδος φίλτρου (gain) φαίνεται στον κατακόρυφο άξονα. Στο δείγμα εφαρμόστηκε δοκιμαστικά μήκος κύματος 200km. Από το σχήμα 2.30 φαίνεται ότι το gain του φίλτρου, και συνεπώς η ισχύς του, είναι μεγάλο στις τιμές που βρίσκονται κοντά στο

μηδέν, παρόλα αυτά φαίνεται ότι οι συχνότητες διαχέονται όπως φαίνεται από τους κυματισμούς που δημιουργούνται (Vergos and Tziavos, 2012).




**Σχήμα 2.29**: Συχνότητα απόκρισης φίλτρου Boxcar (Vergos and Tziavos, 2012)

**Φίλτρο Cosine arch (Cosine ach filter)**

Η εξίσωση (2.24) περιγράφει το φίλτρο Cosine arch στο χώρο των αποστάσεων, ενώ η εξίσωση (2.25) στο χώρο των συχνοτήτων.

$$h(x,y) = \sin c\left(\frac{x^2+y^2}{\lambda_c}\right)\frac{\cos\left(\frac{\beta\pi(x^2+y^2)}{\lambda_c}\right)}{1-\frac{4\beta^2(x^2+y^2)}{\lambda_c^2}} \tag{2.24}$$

$$H(u,v) = \begin{cases} 1 & |\omega| \le \omega_c(1-\beta) \\ \dfrac{1+\cos\left(\dfrac{\pi(\omega-\omega_c(1-\beta))}{2\beta\omega_c}\right)}{2} & \omega_c(1-\beta) \le |\omega| \le \omega_c(1+\beta) \\ 0 & |\omega| \ge \omega_c(1+\beta) \end{cases} \tag{2.25}$$

όπου,

$\omega_c$ : η γωνιακή συχνότητα,

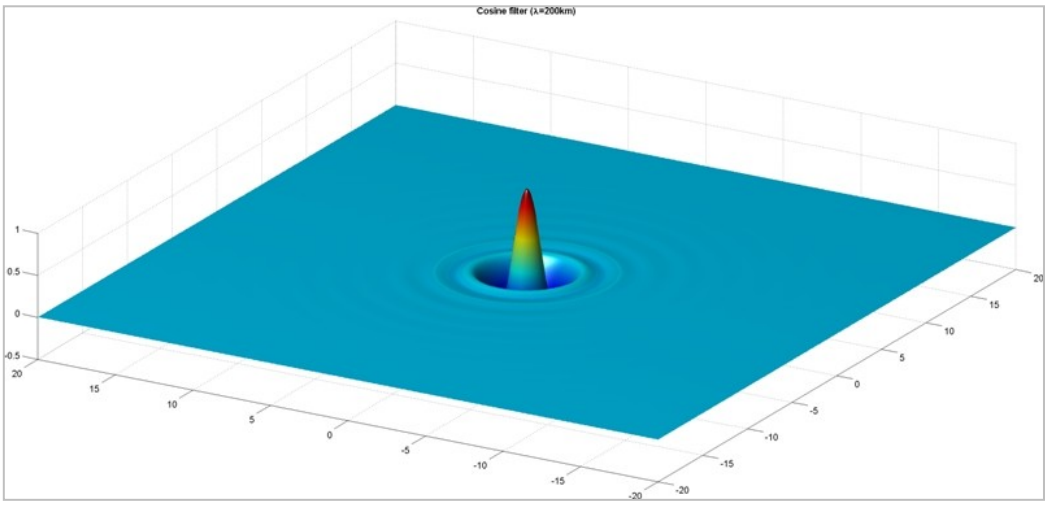
$\lambda_c$ : το μήκος κύματος,

$u, v$ : οι ακτινικές συνιστώσες,

$\omega = \sqrt{u^2+v^2}$ και

$\beta$ : roll off του φίλτρου $(\beta = 0.5)$

Όπως και προηγουμένως, για να αξιολογηθεί η απόκριση συχνότητας του φίλτρου Cosine arch χρησιμοποιήθηκαν οι ίδιες δειγματικές τιμές με αυτές του φίλτρου Boxcar, το μέγεθος των οποίων φαίνεται στον οριζόντιο άξονα του σχήματος (2.30), όπου και εδώ εφαρμόστηκε δοκιμαστικά μήκος κύματος 200km. Από το σχήμα (2.30) φαίνεται ότι παρουσιάζονται αρνητικές τιμές κοντά στις αποκοπτόμενες συχνότητες (Vergos and Tziavos 2012).




**Σχήμα 2.30**: Συχνότητα απόκρισης φίλτρου Cosine arch (Vergos and Tziavos, 2012)

**Φίλτρο Gaussian (Gaussian filter)**

Η εξίσωση (2.26) περιγράφει το φίλτρο Gaussian στο χώρο των αποστάσεων, ενώ η εξίσωση (2.27) στο χώρο των συχνοτήτων.

$$h(x,y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}} \tag{2.26}$$

$$H(u,v) = 2\pi\sigma^2 e^{-2\pi^2\sigma^2(u^2+v^2)} \tag{2.27}$$

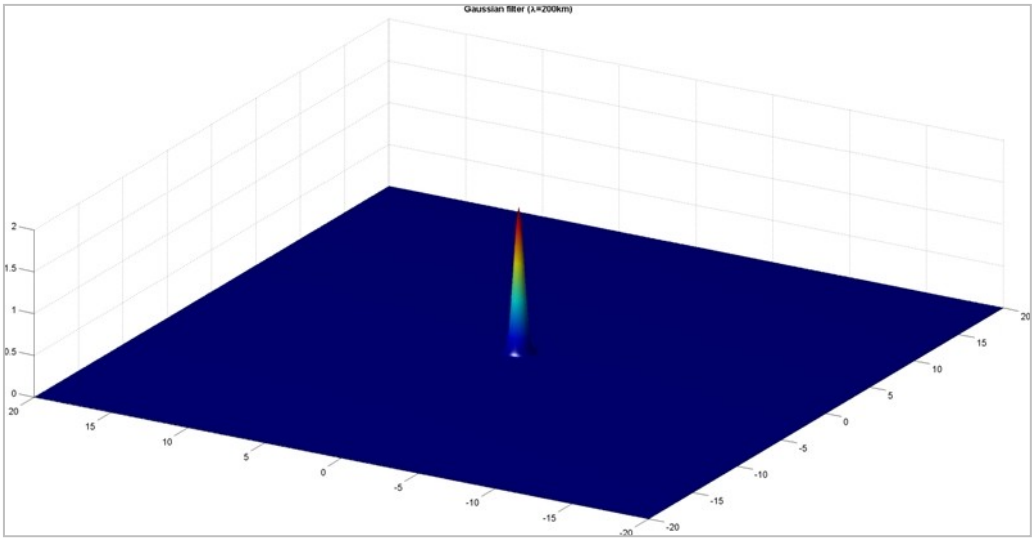
όπου,

$\sigma$ : η τυπική απόκλιση και

$u, v$ : οι ακτινικές συνιστώσες

Τέλος, για να αξιολογηθεί η συνάρτηση απόκρισης συχνότητας του φίλτρου Gaussian χρησιμοποιήθηκαν και εδώ οι ίδιες δειγματικές τιμές με προηγουμένως και εφαρμόστηκε μήκος κύματος φίλτρου 200km. Από το σχήμα (2.31) φαίνεται ότι το φίλτρο Gaussian

θεωρητικά είναι το καλύτερο φίλτρο, καθώς παρουσιάζει μικρά side lops κοντά στο μηδέν ενώ οι υπόλοιπες τιμές είναι μηδενικές (Vergos and Tziavos, 2012).




**Σχήμα 2.31**: Συχνότητα απόκρισης φίλτρου Gaussian (Vergos and Tziavos, 2012)

## 2.7 Ανακεφαλαίωση - Συμπεράσματα

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάστηκαν αρχικά κάποιες εισαγωγικές έννοιες σχετικά με το πεδίο βαρύτητας της Γης και την προσέγγισή του μέσω επίγειων και από το διάστημα παρατηρήσεων. Παρουσιάστηκαν συνοπτικά η μέθοδος της δορυφορικής αλτιμετρίας, η μέθοδος μέτρησης των διαδορυφορικών αποστάσεων καθώς επίσης και η μέθοδος της δορυφορικής βαθμιδομετρίας. Αποτέλεσμα του συνδυασμού ετερογενών παρατηρήσεων βαρύτητας αποτέλεσαν τα συνθετικά μοντέλα σε αναπτύγματα σφαιρικών αρμονικών συντελεστών για τα μεγέθη του διαταρακτικού δυναμικού, των ανωμαλιών βαρύτητας και των υψομέτρων του γεωειδούς, για τα οποία έγινε εκτενής αναφορά. Η ανάγκη για λύσεις αυξημένης ακρίβειας οδήγησε στη δημιουργία νέων δορυφορικών αποστολών με βασικό στόχο την αποτύπωση του φάσματος και των συνιστωσών του πεδίου βαρύτητας της Γης. Στην κατεύθυνση αυτή αναπτύχθηκαν και παρουσιάζονται στην παρούσα εργασία ο σκοπός και τα δορυφορικά δεδομένα, η δομή και η ανάλυση καθώς επίσης και οι εφαρμογές στις γεωεπιστήμες και οι επιστημονικοί στόχοι των σύγχρονων δορυφορικών CHAMP, GRACE και GOCE. Η τοπογραφία της επιφάνειας της θάλασσας, η ωκεάνια κυκλοφορία και οι ταχύτητες των ρευμάτων αποτελούν σημαντικές παραμέτρους τόσο για την επιστήμη της γεωδαισίας όσο και της ωκεανογραφίας. Η προσέγγιση τους και η απόδοση των μεγεθών και των μεταβολών τους μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε μέσω ωκεανογραφικών είτε μέσω γεωδαιτικών τεχνικών. Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται με ποιο τρόπο οι αλτιμετρικές παρατηρήσεις αξιοποιούνται στον προσδιορισμό της ΤΕΘ και στον υπολογισμό των ταχυτήτων των γεωστροφικών κυμάτων. Τέλος, για τον προσδιορισμό της ΤΕΘ και των συνιστωσών της, ο συνδυασμός ετερογενών παρατηρήσεων και μοντέλων διαφορετικής διακριτικής ικανότητας και ακρίβειας επιφέρει σφάλματα στα αποτελέσματα τα οποία είναι

δυνατό να απομακρυνθούν μέσω της εφαρμογής στατιστικών ελέγχων και φίλτρων. Στο κεφάλαιο αυτό εν κατακλείδι, παρουσιάζονται οι εξισώσεις που περιγράφουν τα χαμηλοπερατά φίλτρα Boxcar, Cosine arch και Gaussian. Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάστηκε το αναγκαίο θεωρητικό υπόβαθρο για το σύνολο των αριθμητικών εφαρμογών που πραγματοποιήθηκαν και αναλύονται στα επόμενα κεφάλαια για τον προσδιορισμό της δυναμικής θαλάσσιας τοπογραφίας δύο περιοχών μελέτης, αυτή του Βόρειου Ατλαντικού και της κλειστής λεκάνης της Μεσογείου και του ευρύτερου Ευρωπαϊκού χώρου.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3$^{ο}$

## ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΜΕΛΕΤΗΣ, ΔΙΑΘΕΣΙΜΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΠΡΟ-ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

### 3.1 Εισαγωγή

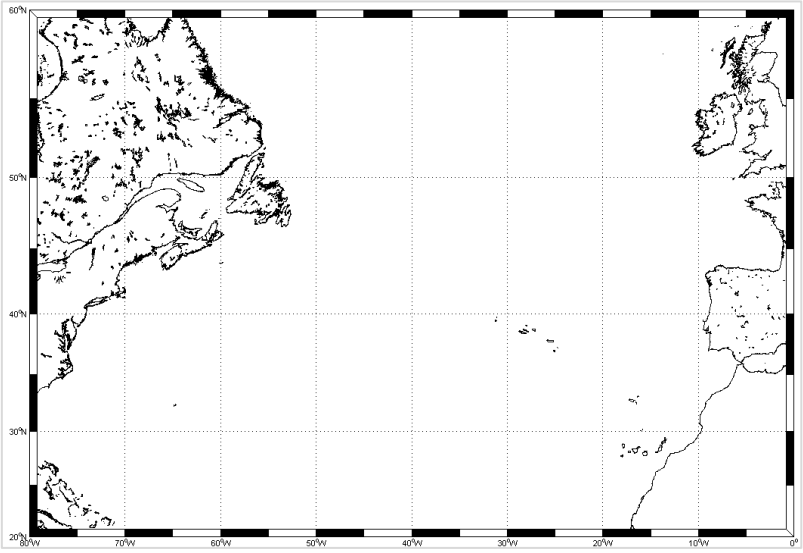
Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται οι δύο περιοχές μελέτης που επιλέχθηκαν, η αιτιολόγηση των επιλογών αυτών καθώς επίσης και το σύνολο των εφαρμογών που πραγματοποιήθηκαν με σκοπό τον προσδιορισμό της δυναμικής τοπογραφίας της επιφάνειας της θάλασσας, της ωκεάνιας κυκλοφορίας και των ταχυτήτων των γεωστροφικών κυμάτων των περιοχών. Παρουσιάζονται αναλυτικά, το παγκόσμιο μοντέλο μέσης στάθμης της θάλασσας από το DTU2010 το μοντέλο της δυναμικής τοπογραφίας της επιφάνειας της θάλασσας από το DTU2010 και το παγκόσμιο μοντέλο γεωειδούς GOCO02S, τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για το σκοπό αυτό. Στη συνέχεια γίνεται αναφορά στα διαθέσιμα δεδομένα της αποστολής GOCE και τη συμβολή αυτών στη βελτίωση της ακρίβειας και της διακριτικής ικανότητας του μοντέλου του γεωειδούς GOCO02S. Παρουσιάζεται η επεξεργασία που εφαρμόστηκε στα διαθέσιμα δεδομένα των μοντέλων με σκοπό το βέλτιστο προσδιορισμό ενός συνθετικού μοντέλου της δυναμικής θαλάσσιας τοπογραφίας των δύο περιοχών, καθώς επίσης και το σύνολο των πειραμάτων που πραγματοποιήθηκαν στη φάση της προ-επεξεργασίας και τα αρχικά αποτελέσματα. Σε πρωταρχικό στάδιο πραγματοποιήθηκε ο υπολογισμός των αποχών της μέσης στάθμης της θάλασσας από το μοντέλο DTU2010 και το μοντέλο γεωειδούς GOCO02S, το οποίο θα αναφέρεται στη συνέχεια με την ονομασία MDOTC (Mean Dynamic Ocean Topography Combined) καθώς επίσης και οι διαφορές αυτού με το μοντέλο της δυναμικής τοπογραφίας όπως αυτό δίνεται από το DTU2010 ($MDOT_{DTU2010}$) για κάθε μια από τις δύο περιοχές. Τέλος, πραγματοποιήθηκαν δυο στατιστικά τεστ (2σ και 3σ τεστ) τα αποτελέσματα των οποίων παρουσιάζονται στη συνέχεια.

### 3.2 Περιοχές μελέτης

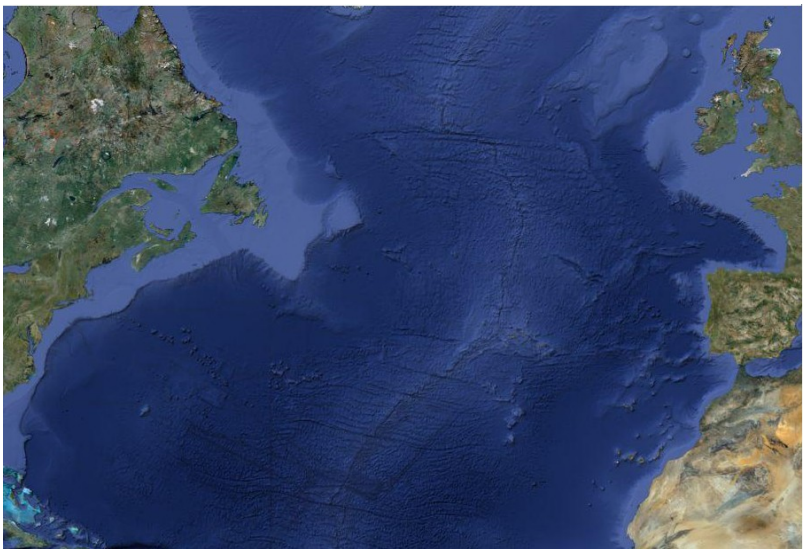
Οι πρόσφατες δορυφορικές αποστολές, με νεότερη την αποστολή GOCE, παρέχουν βελτιωμένης ακρίβειας και διακριτικής ικανότητας δεδομένα για το πεδίο βαρύτητας της Γης μέσω παγκόσμιων γεωδυναμικών μοντέλων, καθώς επίσης εξασφαλίζουν ομοιογενή και παγκόσμια κάλυψη με απώτερο σκοπό την αποτύπωση του φάσματος του πεδίου βαρύτητας και τον μεταβολών του με τη μέγιστη δυνατή ακρίβεια. Το σύνολο των διεργασιών στο εσωτερικό της Γης επιφέρει αλλαγές που είναι πλέον δυνατό να καταγράφονται και να αναλύονται, ερμηνεύοντας έτσι καλύτερα τα φαινόμενα που λαμβάνουν χώρα τόσο στο εσωτερικό της Γης όσο στην επιφάνεια και την ατμόσφαιρα. Τα υψηλής ακρίβειας προϊόντα των αποστολών, όπως ήδη έχει αναφερθεί, αξιοποιούνται στον προσδιορισμό βελτιωμένων λύσεων του γεωειδούς, υψηλής ανάλυσης και διακριτικής

ικανότητας, με σημαντικότερη τη συνεισφορά των δεδομένων της πρόσφατης αποστολής GOCE, και κατ' επέκταση τη μελέτη της ωκεάνιας κυκλοφορίας και των ρευμάτων, των μεταβολών του επιπέδου της στάθμης της θάλασσας, τη μελέτη των ατμοσφαιρικών φαινομένων και του κλίματος, τη μελέτη και διερεύνηση της σεισμικής δραστηριότητας και των εκρήξεων των ηφαιστείων καθώς επίσης τη βελτίωση προϋπαρχόντων λύσεων με την ενσωμάτωση των ακριβέστερων αυτών δορυφορικών δεδομένων.

Με βάση τα παραπάνω, και στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας, στη προσπάθεια μελέτης της δυναμικής θαλάσσιας τοπογραφίας και της ωκεάνιας κυκλοφορίας, πραγματοποιήθηκε η επιλογή δύο περιοχών μελέτης. Η πρώτη περιοχή αφορά στο Βόρειο τμήμα του Ατλαντικού ωκεανού ($20^o \leq \phi \leq 60^o$ και $-80^o \leq \lambda \leq 0^o$) όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήματα 3.1 και 3.2.




**Σχήμα 3.1**: Περιοχή μελέτης Βόρειου Ατλαντικού ωκεανού



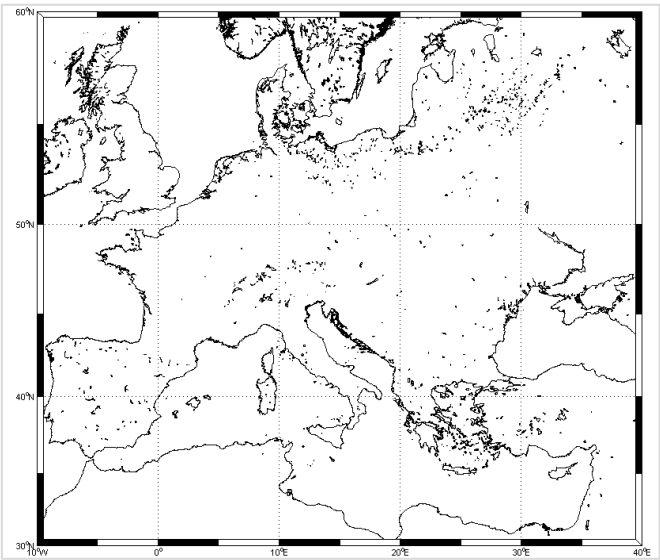
**Σχήμα 3.2**: Δορυφορική εικόνα της μορφολογία της περιοχής του Βόρειου Ατλαντικού

Η περιοχή αυτή επιλέχθηκε καθώς αφορά κατά το μεγαλύτερο μέρος της στο Βόρειο τμήμα του Ατλαντικού ωκεανού. Όπως ήδη έχει αναφερθεί και προηγουμένως, το Ρεύμα του Κόλπου (Gulf Stream) , το οποίο περιλαμβάνει το ωκεάνιο ρεύμα της Φλόριντα, αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα θερμά ωκεάνια ρεύματα του βόρειου ημισφαίριου της Γης το οποίο εκτείνεται από τη Φλόριντα έως και τη Βορειοδυτική Ευρώπη επηρεάζοντας τις καιρικές συνθήκες της Αμερικής αλλά και της δυτικής Ευρώπης. Επιπλέον, ιδιαίτερη είναι και η μορφολογία του πυθμένα με κυριότερο χαρακτηριστικό τη λεγόμενη Μεσο-Ατλαντική ράχη η οποία χωρίζει τον Ατλαντικό σε δύο μέρη δημιουργώντας ωκεάνιες λεκάνες. Τόσο λοιπόν τα σημαντικά ωκεάνια ρεύματα που λαμβάνουν χώρα στην περιοχή όσο και η μορφολογία του πυθμένα συνέβαλαν στην επιλογή της περιοχής αυτής και στη μελέτη της δυναμικής τοπογραφίας και της ωκεάνιας κυκλοφορίας. Στο σχήμα 3.3 παρουσιάζονται τα σημαντικότερα θαλάσσια ρεύματα της περιοχής του Βόρειου Ατλαντικού. Με κόκκινο χρώμα φαίνονται τα θερμά επιφανειακά ρεύματα ενώ με μπλε τα ψυχρά υπόγεια ρεύματα.

**Σχήμα 3.3**: Τα σημαντικότερα θαλάσσια ρεύματα της περιοχής του Βόρειου Ατλαντικού

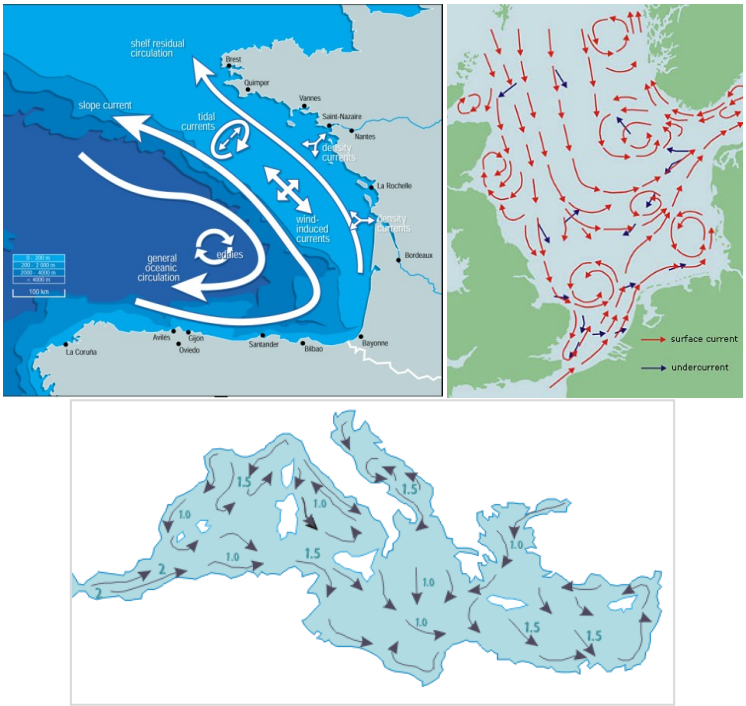
Η δεύτερη περιοχή μελέτης αφορά στην κλειστή λεκάνη της Μεσογείου και στην ευρύτερη περιοχή του Ευρωπαϊκού χώρου περιλαμβάνοντας και το βορειοδυτικό κομμάτι του Ατλαντικού ωκεανού που βρέχει τη δυτική Ευρώπη, ($30^o \leq \phi \leq 60^o$ και $-10^o \leq \lambda \leq 40^o$), όπως φαίνεται και στο σχήμα 3.4. Η δεύτερη περιοχή μελέτης επιλέχθηκε με σκοπό τη μελέτη της δυναμικής θαλάσσιας τοπογραφίας και των γεωστροφικών κυμάτων στη κλειστή λεκάνη της Μεσογείου. Η λεκάνη της Μεσογείου δημιουργήθηκε από τη σύγκλιση των τεκτονικών πλακών της Αφρικανικής και της Ευρασιατικής πλάκας. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα τις μεταβολές των ωκεάνιων ρευμάτων αλλά και των κλιματικών συνθηκών. Συνδέεται δυτικά με τον Ατλαντικό ωκεανό, ανατολικά με τη Μαύρη Θάλασσα και νοτιοανατολικά με την Ερυθρά Θάλασσα. Χαρακτηριστικό της μορφολογίας του πυθμένα αποτελεί η ράχη ανάμεσα στη Σικελία και την Τυνησία χωρίζοντας έτσι τη Μεσόγειο σε δύο λεκάνες, τη δυτική και την ανατολική. Το φαινόμενο της εξάτμισης στο ανατολικό μέρος

δημιουργεί θερμά νερά αυξημένης πυκνότητας και αλατότητας τα οποία ρέουν από το στενό πέρασμα του Γιβραλτάρ προς τον Ατλαντικό ωκεανό. Στην περίπτωση της Μεσογείου, η οποία αποτελεί κλειστή θάλασσα και θεωρείται απαλλαγμένη από έντονες παλίρροιες η κυριότερη αιτία δημιουργίας των κυματισμών είναι ο άνεμος. Το σύνολο των κυματικών φαινομένων των ωκεάνιων περιοχών, τα οποία συνδέονται μεταξύ τους, οφείλονται συνεπώς στη παραμόρφωση του πυθμένα, στην επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας στην ελεύθερη θαλάσσια επιφάνεια, στις επιδράσεις των ανέμων και ταυτόχρονα αποτελούν επίσης αποτέλεσμα της επίδρασης της περιστρεφόμενης Γης, η οποία μέσω των βαρυτικών δυνάμεων αλληλεπιδρά με άλλα ουράνια σώματα. Στα σχήματα 3.4 και 3.5 παρουσιάζεται η περιοχή μελέτης, ενώ στο σχήμα 3.6 φαίνεται η ωκεάνια κυκλοφορία στη κλειστή λεκάνη της Μεσογείου, το Βισκαϊκό Κόλπο και τη Βόρεια Θάλασσα.




**Σχήμα 3.4:** Περιοχή μελέτης κλειστής λεκάνης της Μεσογείου και ευρύτερου Ευρωπαϊκού χώρου

**Σχήμα 3.5**: Δορυφορική εικόνα της μορφολογία της περιοχής της Μεσογείου και του ευρύτερου Ευρωπαϊκού χώρου




**Σχήμα 3.6**: Πάνω αριστερά φαίνεται η ωκεάνια κυκλοφορία στο Βισκαϊκό Κόλπο (Koutsikopoulos and Le Cann, 1996). Όμοια πάνω δεξιά φαίνεται η κυκλοφορία των ρευμάτων της περιοχής της Βόρειας θάλασσας (J. Bartholomew, 1957). Ενώ κάτω παρουσιάζονται τα ρεύματα της κλειστής λεκάνης της Μεσογείου (Valery Kulaga)

Η τεχνολογική εξέλιξη και οι πρόσφατες δορυφορικές αποστολές έδωσαν τη δυνατότητα μελέτης του δυναμικού συστήματος της Γης και της γενεσιουργού αιτίας δημιουργίας των φαινομένων, δηλαδή της βαρύτητας. Τα διαστημικά προγράμματα εξερευνούν το βαρυτικό πεδίο όλου του πλανήτη δίνοντας έτσι τη δυνατότητα μελέτης και ερμηνείας των ωκεάνιων ρευμάτων και των μεταβολών του θαλάσσιου επιπέδου. Μια τέτοια σημαντική αποστολή είναι και αυτή του GOCE η οποία απέδωσε τις διακυμάνσεις της βαρύτητας χωρικά και χρονικά με παγκόσμια κάλυψη αλλά και υψηλή ακρίβεια και διακριτική ικανότητα. Η προκύπτουσα αναλυτική μαθηματική επιφάνεια της Γης από τα δεδομένα GOCE, δηλαδή η επιφάνεια του γεωειδούς, προσδιορίζεται με μεγάλη ακρίβεια δίνοντας έτσι τη δυνατότητα κατανόησης όλων εκείνων των φαινομένων που οφείλονται στο σύνολο των διεργασιών που λαμβάνουν χώρα στο εσωτερικό της Γης.

## 3.3 Δεδομένα αποστολής GOCE και τρόποι διάθεσης

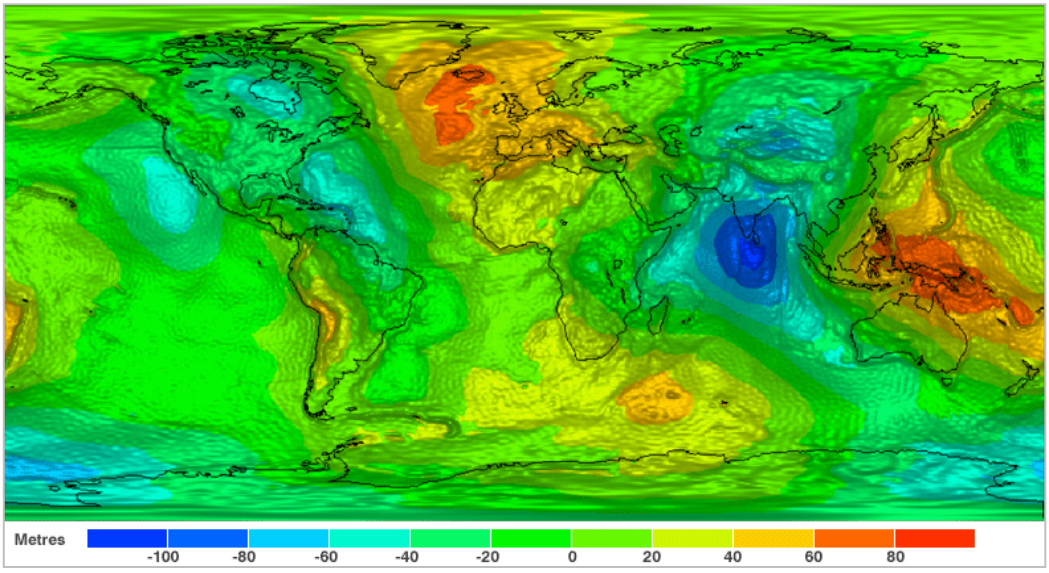
Η Γη ως δυναμικό σύστημα υφίσταται συνεχώς αλλαγές. Στην προσπάθεια κατανόησης και ερμηνείας τόσο των επιφανειακών όσο και των φαινομένων που λαμβάνουν χώρα στους ωκεανούς αλλά και στα ανώτερα στρώματα της γήινης σφαίρας θα πρέπει να βελτιωθεί η γνώση του πεδίου βαρύτητας. Η ανάλυση του πεδίου βαρύτητας της Γης αλλά και η λεπτομερής αποτύπωση του γεωειδούς αποτελούν σημαντικά εργαλεία για τη μελέτη της δυναμικής θαλάσσιας τοπογραφίας, τον προσδιορισμό παγκόσμιων ωκεανογραφικών μοντέλων, τη μελέτης της σεισμικής δραστηριότητας, τον προσδιορισμό υψομέτρων με

αναφορά το ακριβές γεωειδές καθώς και τη μελέτη της ατμόσφαιρας και των αλλαγών του κλίματος. Το μοντέλα πεδίου βαρύτητας της Γης που προέρχονται από δεδομένα GOCE παρέχονται σε σειρές σφαιρικών αρμονικών συντελεστών μέχρι ένα μέγιστο βαθμό ανάπτυξης Οι γνώσεις γύρω από τις διεργασίες του μανδύα και της δυναμικής της λιθόσφαιρας ενισχύονται σημαντικά λόγω της βελτιωμένης και λεπτομερούς γνώσης που παρέχεται από τα δεδομένα του GOCE. Επιπλέον, δίνεται η δυνατότητα μελέτης των μεταβολών της γήινης επιφάνειας εξαιτίας του φαινομένου του λιώσιμου των πάγων, γνωστό και ως μεταπαγετώδης άνοδος. Στην κατεύθυνση λοιπόν αυτή η βελτιωμένη και λεπτομερής γνώση των φαινομένων αυτών προϋποθέτει τον προσδιορισμό του πεδίου βαρύτητας με παγκόσμια κάλυψη και με χωρική ανάλυση μισού μήκους κύματος μεταξύ 50km έως 400km. Ένας ακόμη στόχος της αποστολής GOCE αποτέλεσε ο προσδιορισμός του γεωειδούς με υψηλή ακρίβεια, της τάξεως του ±1cm. Η επίτευξη τέτοιων ακριβειών αποτελεί σημαντικό επίτευγμα για τις εφαρμογές της τοπογραφίας, της χαρτογραφίας και της πλοήγησης καθώς δίνεται η δυνατότητα ενοποίησης των διαφορετικών συστημάτων υψών και τελικά ο προσδιορισμός ορθομετρικών υψομέτρων με βελτιωμένη ακρίβεια.

Η Ευρωπαϊκή Υπηρεσία Διαστήματος (ESA) για τη διασφάλιση της σωστής επεξεργασίας των δεδομένων της αποστολής GOCE προκειμένου να αποδώσει στους επιστημονικούς χρήστες βαρυτικά μοντέλα υψηλής ακρίβειας, φρόντισε να διασφαλίσει τη συμμετοχή των καλύτερων επιστημόνων στο τομέα της δορυφορικής γεωδαισίας στην Ευρώπη, ιδρύοντας την Ευρωπαϊκή κοινότητα διαχείρισης δεδομένων βαρύτητας του GOCE (EGG-C,European GOCE Gravity Consortium). Τα διαθέσιμα δεδομένα GOCE διακρίνονται σε επίπεδα (levels) και επιλύσεις(solutions). Βασικός σκοπός είναι η μετατροπή των πρωτογενών δεδομένων σε προϊόντα που θα μπορούν να ληφθούν από χρήστες σε όλο των κόσμο. Το τμήμα εδάφους αποτελείται ουσιαστικά από τρία μέρη, το κέντρο ελέγχου και διαχείρισης της δορυφορικής αποστολής, τα κέντρα διαχείρισης, επεξεργασίας και αποθήκευσης των δεδομένων και το κέντρο παροχής δεδομένων στους χρήστες. Η λειτουργία του δορυφορικού σκάφους GOCE ελέγχεται από το Ευρωπαϊκό Διαστημικό Κέντρο της ESA (ESOK-European Space Operations Center) στο Ντάρμσταρ της Γερμανίας. Τα πρωτογενή δεδομένα του δορυφόρου λαμβάνονται από τους επίγειους σταθμούς της Κίρουνα, στη βόρεια Σουηδία, και του Σβάλμπαρντ, βόρεια της ηπειρωτικής Ευρώπης. Τα δεδομένα στη συνέχεια διαβιβάζονται στο Ευρωπαϊκό Ινστιτούτο Διαστημικών Ερευνών της ESA (ESRI-European Space Research Institute) στο Φράσκατι της Ιταλίας.

Η διαχείριση των δεδομένων της αποστολής από την ESA και την EGG-C έχει ως εξής: Η ομάδα διαχείρισης του προγράμματος GOCE της ESA (ESA GOCE project team) είναι υπεύθυνη για τη διαχείριση της αποστολής κατά την διάρκεια της πτήσης (level 0), καθώς επίσης είναι υπεύθυνη για τη διαχείριση του επίγειου τμήματος. Η ομάδα αυτή διαχειρίζεται επίσης τα πρωτογενή δεδομένα φροντίζοντας την βαθμονόμηση και εν συνεχεία τη χρονική ταξινόμηση τους, αξιολογώντας ταυτόχρονα την ποιότητα αυτών, χωρίς όμως να τα διαθέτει στο ευρύ επιστημονικό κοινό (level 1A products). Στη συνέχεια τα δεδομένα του επιπέδου 1A διορθώνονται από σφάλματα, όπως τα σφάλματα της τροχιάς και οι μη βαρυτικές επιδράσεις (level 1B products) και ύστερα από κατάλληλη επεξεργασία προκύπτει το πεδίο βαρύτητας σε μορφή σφαιρικών αρμονικών συντελεστών (level 2 products). Η συμβουλευτική ομάδα της αποστολής GOCE (GOCE MAG-GOCE Mission Advisory Group) παρέχει χρήσιμες συμβουλές στην ESA σχετικά με την επιστημονική χρήση

των δεδομένων από την επιστημονική κοινότητα (GOCE Level 1, Level 2 Product Data Handbook, ESA). Στη συνέχεια τα δεδομένα των επιπέδων 1A, 1B και 2 λαμβάνονται από την Ευρωπαϊκή κοινότητα διαχείρισης δεδομένων βαρύτητας του GOCE (EGG-C,European GOCE Gravity Consortium) με τη μορφή τριών διαφορετικών επιλύσεων, τη χρονική επίλυση (TIM,Time-wise solution) η οποία περιλαμβάνει μόνο δεδομένα GOCE, την άμεση επίλυση (DIR, Direct solution) η οποία αποτελεί λύση συνδυασμού με την ενσωμάτωση δεδομένων άλλων δορυφορικών αποστολών (π.χ. GRACE) και τέλος τη χωρική λύση (SPW,Space solution) όπου εδώ λαμβάνονται υπόψη τα δεδομένα παρακολούθησης του δορυφόρου από το δέκτη GPS που φέρει, όπως επίσης και τα δεδομένα των επιταχυνσιομέτρων. Οι τρείς αυτές επιλύσεις αποτελούν τα προϊόντα του επιπέδου 3 (level 3 products), τα οποία λαμβάνονται από τους επιστημονικούς χρήστες για γεωδαιτικές και ωκεανογραφικές εφαρμογές, εφαρμογές μελέτης του λιώσιμου των πάγων καθώς και εφαρμογές που αφορούν στη διερεύνηση της μεταβολής του επιπέδου της θάλασσας (Delikaraoglou 2012). Στο σχήμα 3.7 παρουσιάζονται οι διακυμάνσεις της βαρύτητας όπως χαρτογραφήθηκαν από τον GOCE από δεδομένα των δύο πρώτων μηνών. Τα δεδομένα αφορούν στην περίοδο Νοέμβριο έως Δεκέμβριο του 2009 και αποδεικνύουν την ικανότητα του δορυφόρου GOCE να αποτυπώνει τις μικρές διακυμάνσεις της βαρύτητας με παγκόσμια κάλυψη και υψηλή ακρίβεια.




**Σχήμα 3.7**: Το πρώτο παγκόσμιο μοντέλου του πεδίου βαρύτητας της Γης από δεδομένα δυο μηνών της αποστολής GOCE, Νοέμβριος-Δεκέμβριος 2009, (ESA)

## 3.4 Διαθέσιμα δεδομένα και μοντέλα

Όπως ήδη έχει αναφερθεί, ένας από τους σημαντικότερους στόχους της δορυφορικής αποστολής GOCE είναι η βελτίωση των ήδη υπαρχόντων εκτιμήσεων της παγκόσμιας ωκεάνιας κυκλοφορίας βασισμένων σε εκτιμήσεις της δυναμικής θαλάσσιας τοπογραφίας (MDOT). Στην κατεύθυνση αυτή και στα πλαίσια της παρούσας εργασίας χρησιμοποιήθηκαν σε πρώτη φάση το παγκόσμιο μοντέλο γεωειδούς GOCO02S, η μέση στάθμη της θάλασσας από το παγκόσμιο μοντέλο DTU2010 καθώς επίσης η δυναμική τοπογραφία από το παγκόσμιο μοντέλο DTU2010 με σκοπό τον υπολογισμό της δυναμικής θαλάσσιας τοπογραφίας (MDOTC) των επιλεγμένων περιοχών μελέτης όπως αυτή προκύπτει από μια

χωρική προσέγγιση, δηλαδή τη διαφορά του γεωειδούς από τη μέση στάθμη της θάλασσας. Αρχικά θα γίνει μια εκτενής αναφορά στα χαρακτηριστικά των δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν.

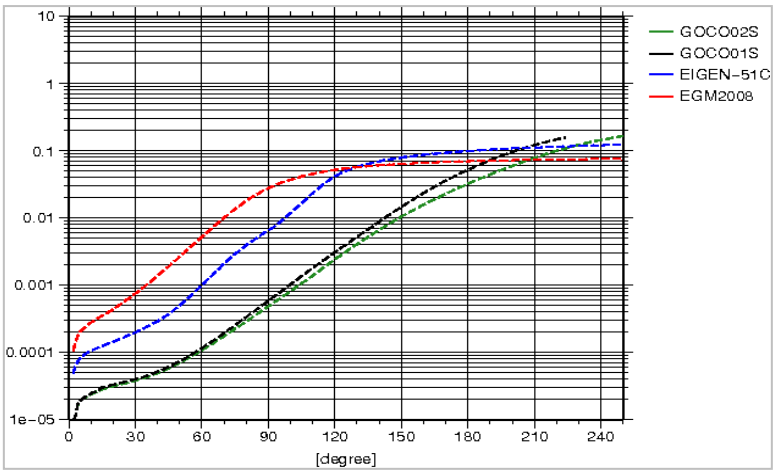
### 3.4.1 Το Γεωδυναμικό μοντέλο GOCO02S

Η Ευρωπαϊκή Υπηρεσία Διαστήματος (ESA) στο πλαίσιο διαχείρισης και επεξεργασίας των δεδομένων GOCE δημιουργεί, σε συνεργασία με το Ινστιτούτο Αστρονομίας και Φυσικής Γεωδαισίας της Γερμανίας (IAPG-Institute of Astronomical and Physical Geodesy), το Ινστιτούτο Γεωδαισίας και Γεωπληροφορικής της Ελβετίας (Institute of Geodesy and Geoinformation), το Ινστιτούτο Θεωρητικής Γεωδαισίας και Δορυφορικής Γεωδαισίας της Αυστρίας (ITSG-Institute of Theoretical Geodesy and Satellite Geodesy) και το Ινστιτούτο Διαστημικών Ερευνών της Αυστρίας (Space Research Institute) το πρόγραμμα GOCO (Gravity Observation Combination). Βασικός στόχος ήταν ο συνδυασμός των παρατηρήσεων βαρύτητας από δεδομένα των δορυφορικών αποστολών CHAMP, GRACE, GOCE, επίγεια δεδομένα βαρύτητας, δεδομένα δορυφορικής αλτιμετρίας καθώς και δεδομένα SLR για τον υπολογισμό παγκοσμίων μοντέλων βαρύτητας υψηλής ακρίβειας και διακριτικής ικανότητας. Τα μοντέλα διατίθενται από την ιστοσελίδα του Διεθνούς Κέντρου για τα Παγκόσμια Μοντέλα Βαρύτητας της Γης(ICGEM-International Centre for Global Earth Models), το οποίο ανήκει στη Διεθνή Υπηρεσία Βαρυτικού Πεδίου (IGFS-International Gravity Field Service ), της Διεθνούς Ένωσης Γεωδαισίας (IAG-International Association of Geodesy). Το διεθνές Κέντρο ICGEM είναι υπεύθυνο για τη συλλογή και αρχειοθέτηση του συνόλου των παγκοσμίων μοντέλων βαρύτητας, την αναπαράσταση μοντέλων βαρύτητας καθώς και των διαφορών και των χρονικών μεταβολών τους. Το κέντρο είναι επίσης υπεύθυνο για την παροχή πληροφοριών σχετικά με τον θεωρητικό και υπολογιστικό προσδιορισμό των σφαιρικών αρμονικών συναρτήσεων και τέλος την πρόσβαση στα παγκόσμια βαρυτικά μοντέλα μέσω διαδικτύου σε επιστημονικούς και μη χρήστες.

Αποτέλεσμα των προσπαθειών αυτών ήταν αρχικά ο υπολογισμός του παγκόσμιου μοντέλου $N_{GOCO01S}$ βαθμού ανάπτυξης 224. Το μοντέλο αυτό προέκυψε αποκλειστικά και μόνο από δορυφορικά δεδομένα των αποστολών GOCE και GRACE. Πιο συγκεκριμένα το μοντέλο αποτελείται από τα εξής δεδομένα: μοντέλο που προέκυψε από δύο μήνες παρατηρήσεων επιταχυνσιομέτρου της αποστολής GOCE (GOCE SGG τη χρονική περίοδο Νοέμβριο έως Δεκέμβριο του 2009) μεγίστου βαθμού ανάπτυξης 224, το μοντέλο κανονικών εξισώσεων ITG-Grace2010s το οποίο προέκυψε από επτά χρόνια παρατηρήσεων της αποστολής GRACE (χρονική περίοδος Αύγουστος 2002 έως Αύγουστος 2009) μεγίστου βαθμού ανάπτυξης 180. Τέλος, προκειμένου να επιτευχθεί η απομάκρυνση του θορύβου με τη μικρότερη απώλεια σήματος, εφαρμόστηκε στον ανωτέρω συνδυασμό ο κανόνας Kaula ξεκινώντας από το βαθμό ανάπτυξης 170 έως το βαθμό ανάπτυξης 224. Θα πρέπει να αναφερθεί ότι εξαιτίας του συνδυασμού των δεδομένων GOCE και GRACE, καμία πληροφορία που προέκυψε από την τροχιά του δορυφόρου GOCE δεν έχει συμπεριληφθεί στη δημιουργία του μοντέλου GOCO01S. Στο σχήμα (3.9) παρουσιάζεται ένα τμήμα του αρχείου γεωδυναμικού μοντέλου.

Στη συνέχεια ακολούθησε η δημιουργία του μοντέλου $N_{GOCO02S}$ βαθμού ανάπτυξης 250 το οποίο αποτελείται από τα εξής δεδομένα: το μοντέλο κανονικών εξισώσεων ITG-Grace2010s το οποίο προέκυψε από επτά χρόνια παρατηρήσεων της αποστολής GRACE (χρονική περίοδος Αύγουστος 2002 έως Αύγουστος 2009) μεγίστου βαθμού ανάπτυξης 180, το μοντέλο GOCE SGG που προέκυψε από οκτώ μήνες παρατηρήσεων μέγιστου βαθμού ανάπτυξης 250, μοντέλο GOCE SST-hl (Satellite to Satellite Tracking high-low) από 12 μήνες παρατηρήσεων μεγίστου βαθμού ανάπτυξης 110, παρατηρήσεις CHAMP διάρκειας 8 ετών μεγίστου βαθμού ανάπτυξης 120, παρατηρήσεις SLR πέντε ετών από πέντε δορυφόρους. Τέλος, προκειμένου να επιτευχθεί η απομάκρυνση του θορύβου με τη μικρότερη απώλεια σήματος, στον ανωτέρω συνδυασμό εφαρμόστηκε ο κανόνας Kaula ξεκινώντας από βαθμό το βαθμό ανάπτυξης 180 έως το βαθμό ανάπτυξης 250. Τα χαρακτηριστικά του μοντέλου είναι τα εξής: μεγάλος ημιάξονας a(m)=6.3781363*$10^6$, βαρυτική σταθερά της Γης GM($m^3/s^2$)=398600.4415*$10^9$, *Tide free* μοντέλο παλιρροιών. Το ελλειψοειδές αναφοράς του μοντέλου GOCO02S είναι το TOPEX. Αναφορικά να σημειωθεί ότι υπάρχουν τρείς τύποι μοντέλων παλιρροιών, το μοντέλο *Tide free*, στο οποίο έχουν αφαιρεθεί οι παλιρροϊκές επιδράσεις της Σελήνης και του Ήλιου, το μοντέλο *Mean Tide*, στο οποίο η επιφάνεια του γεωειδούς προσδιορίζεται λαμβάνοντας υπόψη μόνο τις βραχυχρόνιες παλιρροϊκές επιδράσεις της Σελήνης και του Ήλιου και το μοντέλο *Zero Tide* στο οποίο αφαιρούνται οι πρόσφατες επιδράσεις αλλά λαμβάνονται υπόψη η επίδραση των πλανητών της Σελήνης και του Ήλιου που προκαλεί την ελαστική παραμόρφωση της Γης.

Στο σχήμα 3.8 φαίνονται οι εκτιμήσεις των σφαλμάτων του γεωειδούς σε σχέση με τον βαθμό ανάπτυξης τεσσάρων γεωδυναμικών μοντέλων του GOCO02S (μέγιστου βαθμού ανάπτυξης 250), του GOCO01S (μέγιστου βαθμού ανάπτυξης 224), του EIGEN-51C (μέγιστου βαθμού ανάπτυξης 359), του EGM2008 (μέγιστου βαθμού ανάπτυξης 2190). Από το σχήμα φαίνεται ότι το μοντέλο GOCO02S δίνει τις μικρότερες τιμές σφαλμάτων σε σχέση με τον βαθμό ανάπτυξης μέχρι τον βαθμό 210. Επιπλέον από το σχήμα φαίνεται ότι το μοντέλο GOCO01S και το μοντέλο GOCO02S δίνουν τις ίδιες τιμές σφαλμάτων μέχρι το βαθμό ανάπτυξης 60. Το μοντέλο EGM2008 παρουσιάζει τις μικρότερες τιμές σφαλμάτων για βαθμούς ανάπτυξης μεγαλύτερους από 210 (http://www.goco.eu/).




**Σχήμα 3.8**: Αθροιστικά σφάλματα εκτιμήσεων του γεωειδούς σε σχέση με το βαθμό ανάπτυξης. Σύγκριση των γεωδυναμικών μοντέλων GOCO02S, GOCO01S, EIGEN-51C, EGM2008 (EGU General Assembly GOCO Consortium, 2011)

Στο σχήμα 3.9 που ακολουθεί παρουσιάζεται ένα τμήμα του αρχείου του μοντέλου GOCO02S. Στην αρχή του αρχείου αυτού αναγράφονται, πιο συγκεκριμένα, το σύνολο των επιστημών που εργάστηκαν για τη δημιουργία του μοντέλου, ακολουθεί αναφορά σε κάποια βασικά χαρακτηριστικά του προγράμματος GOCO της ESA, στη συνέχεια αναφέρονται οι πηγές των δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν για τη δημιουργία του μοντέλου και μετά ακολουθούν ορισμένα χαρακτηριστικά του, όπως η ονομασία, η βαρυτική σταθερά της Γης, ο μέγιστος βαθμός ανάπτυξης κλπ. Ύστερα από την εισαγωγή αυτή ακολουθεί η πληροφορία σε έξι στήλες. Η πρώτη στήλη L αφορά τον βαθμό ανάπτυξης, η δεύτερη στήλη M αφορά την τάξη ανάπτυξης, η τρίτη και η τέταρτη στήλη, C και S, αφορά στους πλήρως κανονικοποιημένους συντελεστές του αναπτύγματος των σφαιρικών αρμονικών συντελεστών και η πέμπτη και έκτη στήλη αφορούν στις τυπικές αποκλίσεις των σφαιρικών αρμονικών συντελεστών.

```
The combined satellite-only global gravity field model GOCO02S
==============================================================
Goiginger H., Hoeck E., Rieser D., Mayer-Guerr T., Maier A., Krauss S.
Pail R., Fecher T., Gruber T., Brockmann J.M.,  Krasbutter I., Schuh W.-D.,
Jaeggi A., Prange L., Hausleitner W., Baur O., Kusche J.:
presented at the 2011 General Assembly of the European Geosciences Union,
Vienna, Austria, April 4-8, 2011.

GOCO (Gravity Observation Combination) is a project initiative in the frame
of ESA's GOCE Data AO (project no. 4248), with the objective to compute
high-accuracy and high-resolution static global gravity field models.

The following satellite missions contribute to this solution:
- GOCE  (8 months)
- GRACE (7 years)
- CHAMP (8 years)
- SLR   (5 years, 5 satellites)
- Regularization: Kaula starting at degree/order 180
The reference epoch of this mean gravity field model is 1 January 2005.

modelname              GOCO02s
product_type           gravity_field
earth_gravity_constant 3.9860044150e+14
radius                 6.3781363000e+06
max_degree             250
norm                   fully_normalized
errors                 formal
tide_system            tide_free

url                    http://www.itsg.tugraz.at/research/goco

key   L   M       C                   S                   sigma C             sigma S
end_of_head ==================================================================================
gfc    0   0  1.000000000000e+00  0.000000000000e+00  0.000000000000e+00  0.000000000000e+00
gfc    1   0  0.000000000000e+00  0.000000000000e+00  0.000000000000e+00  0.000000000000e+00
gfc    1   1  0.000000000000e+00  0.000000000000e+00  0.000000000000e+00  0.000000000000e+00
gfc    2   0 -4.841650636927e-04  0.000000000000e+00  4.406099050689e-13  0.000000000000e+00
gfc    2   1 -2.356793082228e-10  1.467214971653e-09  4.326546083831e-13  4.561241825607e-13
gfc    2   2  2.439338868803e-06 -1.400276608538e-06  8.792467436219e-13  8.967975528161e-13
gfc    3   0  9.571979407643e-07  0.000000000000e+00  2.137892582968e-13  0.000000000000e+00
gfc    3   1  2.030464598070e-06  2.481927474706e-07  2.044613121584e-13  2.132179624290e-13
gfc    3   2  9.047887848982e-07 -6.189962125057e-07  2.541764762015e-13  2.620104953798e-13
gfc    3   3  7.212818355569e-07  1.414377301843e-06  5.933137845862e-13  5.890413434343e-13
gfc    4   0  5.400035352379e-07  0.000000000000e+00  8.604427732526e-14  0.000000000000e+00
gfc    4   1 -5.361493397523e-07 -4.735676842495e-07  9.188377293643e-14  9.840542992922e-14
gfc    4   2  3.504986845960e-07  6.624823387143e-07  1.318798257736e-13  1.364554563669e-13
gfc    4   3  9.908646038863e-07 -2.009553288652e-07  2.836350858739e-13  2.809551515148e-13
gfc    4   4 -1.884881851483e-07  3.088248090821e-07  1.357118268309e-12  1.357185721573e-12
gfc    5   0  6.867019737530e-08  0.000000000000e+00  6.022363761493e-14  0.000000000000e+00
gfc    5   1 -6.291877869213e-08 -9.437006399760e-08  6.223282470682e-14  6.679929976843e-14
gfc    5   2  6.520808457706e-07 -3.233477774488e-07  8.230717077416e-14  8.528424063915e-14
gfc    5   3 -4.518499312855e-07 -2.149614535857e-07  1.569690244409e-13  1.552213875248e-13
gfc    5   4 -2.953285381028e-07  4.980524228950e-08  3.212322372464e-13  3.232430100073e-13
gfc    5   5  1.748083823637e-07 -6.693671664740e-07  5.726352503983e-13  5.696287079803e-13
gfc    6   0 -1.499582779087e-07  0.000000000000e+00  4.513646943486e-14  0.000000000000e+00
gfc    6   1 -7.592430491151e-08  2.651834012810e-08  4.601646090388e-14  4.949632251790e-14
```

**Σχήμα 3.9**: Τμήμα αρχείου του μοντέλου GOCO02S

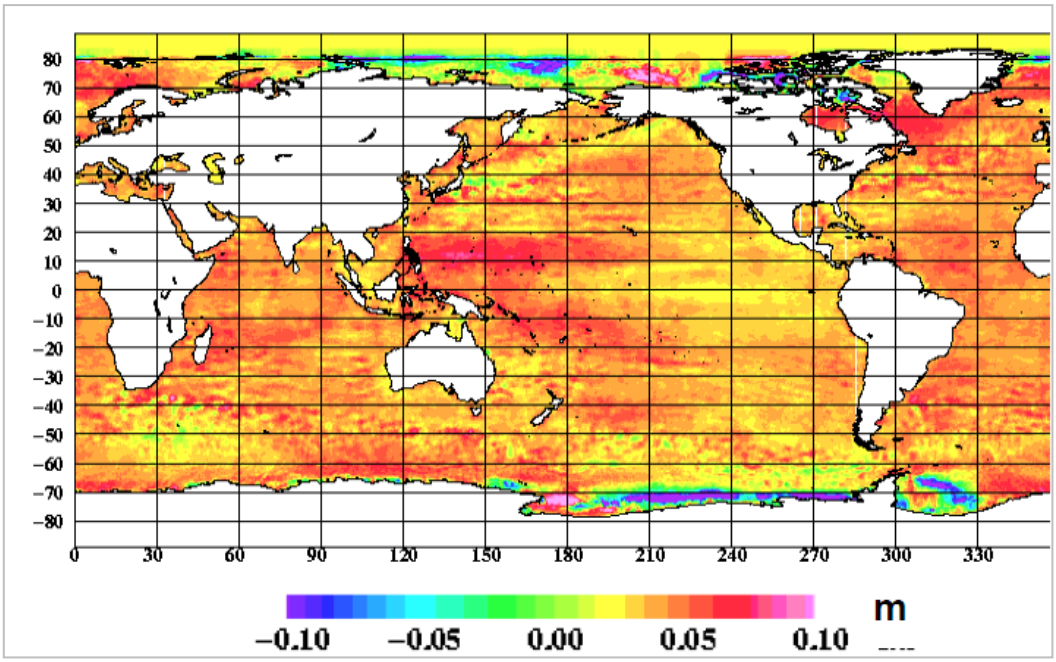
### 3.4.2 Μοντέλα DTU

Το Εθνικό Ινστιτούτο Διαστήματος (NSI-National Space Institute) αποτελεί ερευνητικό οργανισμό του Τεχνικού Πανεπιστημίου της Δανίας (DTU-Technical University of Denmark), ο οποίος αξιοποιεί την τεχνογνωσία και τις υποδομές της χώρας, με κύριο σκοπό τη μελέτη της γήινης σφαίρας, αλλά και την ανάπτυξη κατάλληλων μεθόδων για την επεξεργασία δεδομένων και την παραγωγή επιστημονικών συμπερασμάτων. Στα πλαίσια της επιστημονικής δραστηριότητας του πανεπιστημίου εντάσσεται και η μελέτη των φαινομένων που λαμβάνουν χώρα στη Γη αλλά και στο διάστημα. Στην κατεύθυνση αυτή το ινστιτούτο δραστηριοποιείται τόσο στην ανάπτυξη της κατάλληλης τεχνολογίας, όσο και στην ανάλυση και επεξεργασία των δεδομένων των δορυφορικών αποστολών. Το ινστιτούτο διεξάγει έρευνα για τα εξής επιστημονικά πεδία: το μαγνητικό και βαρυτικό πεδίο της Γης, το επίπεδο της θαλάσσιας επιφάνειας και την ωκεάνια κυκλοφορία, την κρυόσφαιρα, τα γεωδαιτικά συστήματα και πλαίσια αναφοράς, τις ηλεκτρικές εκκενώσεις των ανώτερων στρωμάτων της ατμόσφαιρας, τις πλανητικές αλληλεπιδράσεις, την ηλιακή δραστηριότητα και τις επιδράσεις της, τις κλιματικές αλλαγές, τη δομή του σύμπαντος σε μεγάλες κλίμακες καθώς επίσης και έρευνα για την ανάπτυξη της κατάλληλης τεχνολογίας και των κατάλληλων επιστημονικών οργάνων για τις παραπάνω εφαρμογές, όπως ραντάρ, μαγνητόμετρα κλπ. Συνεπώς παράγει σημαντικό έργο για τις εφαρμογές των επιστημών της φυσικής γεωδαισίας, της διαστημικής γεωδαισίας, της ωκεανογραφίας, της γενικής φυσικής και της μελέτης του σύμπαντος και του ηλιακού συστήματος, τη μελέτη του περιβάλλοντος και των κλιματικών αλλαγών καθώς επίσης και την ανάπτυξη των απαραίτητων οργάνων, συστημάτων και μεθόδων. Το ινστιτούτο ερευνών του πανεπιστημίου της Δανίας πραγματοποιεί έρευνα σε συνεργασία με άλλα ερευνητικά κέντρα όπως η ESA και η NASA.

Το DTU στην προσπάθεια διερεύνησης του μαγνητικού και βαρυτικού πεδίου της Γης καθώς επίσης και των διακυμάνσεων που παρουσιάζουν χωρικά και χρονικά, χρησιμοποιεί δεδομένα των δορυφορικών αποστολών με σκοπό, τη βελτίωση της ακρίβειας των βαρυτικών μοντέλων της Γης και κατ' επέκταση της ωκεάνιας κυκλοφορίας, τη μελέτη του κλίματος και την δημιουργία ακριβέστερων κλιματικών μοντέλων καθώς επίσης εργάζεται για τη βελτίωση των δορυφορικών συστημάτων πλοήγησης όπως το Αμερικανικό σύστημα GPS και το Ευρωπαϊκό σύστημα Galileo. Η δορυφορική αποστολή GOCE συνέβαλε σημαντικά στη διερεύνηση και τη λεπτομερή χαρτογράφηση των φαινομένων που λαμβάνουν χώρα στην γήινη επιφάνεια, και ειδικότερα στη χαρτογράφηση των θαλάσσιων μεταβολών και των ωκεάνιων ρευμάτων, παρέχοντας πλήθος δεδομένων που χαρακτηρίζονται από ακρίβεια αλλά και παγκόσμια κάλυψη. Όσον αφορά τη μελέτη του επιπέδου της θάλασσας, η οποία αποτελεί σημαντικό παράγοντα τόσο για τη μελέτη του κλίματος και των αλλαγών του όσο και για την επίδραση που ασκεί στα ωκεάνια ρεύματα, το DTU λαμβάνει τα δορυφορικά δεδομένα από επίγειους σταθμούς διαχείρισης των αποστολών αλλά και δεδομένα επίγειων παρατηρήσεων, τα αναλύει και προσδιορίζει τις μεταβολές. Αποτέλεσμα των μελετών αυτών είναι η δημιουργία μοντέλων όπως παγκόσμια μοντέλα βαθυμετρίας, πεδίου βαρύτητας των ωκεανών, παλιρροιακό μοντέλο, μοντέλο της δυναμικής θαλάσσιας τοπογραφίας, μοντέλο της μέσης στάθμης της θάλασσας και άλλα, στα οποία έχουν πρόσβαση οι επιστημονικοί χρήστες. Δυο μοντέλα από αυτά χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία και είναι, το μοντέλο μέσης στάθμης της

θάλασσας $MSS_{DTU2010}$ και το μοντέλο της δυναμικής θαλάσσιας τοπογραφίας $MDOT_{DTU2010}$ (Andersen, 2010).

Η μέση στάθμη της θάλασσας αποτελεί σημαντική επιφάνεια αναφοράς για τις επιστήμες της γεωδαισίας και της ωκεανογραφίας. Κατά την χαρτογράφησή της βασικός στόχος είναι η επίτευξη της μέγιστης ακρίβειας και διακριτικής ικανότητας. Οι σημαντικότερες πηγές σφαλμάτων κατά την χαρτογράφηση της MSS είναι, τα σφάλματα παρεμβολής (interpolation errors), τα σφάλματα που οφείλονται στην εφαρμογή γεωφυσικών διορθώσεων, τα σφάλματα συσχέτισης (correlated errors) και τα σφάλματα εξομάλυνσης (smoothing errors). Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η MSS προκύπτει από μακροχρόνιες παρατηρήσεις της μεταβλητότητας της θαλάσσιας επιφάνειας. Όπως ήδη έχει αναφερθεί η μέση στάθμη της θάλασσας είναι η αποχή της θαλάσσιας επιφάνειας σε σχέση με ένα μαθηματικό μοντέλο της Γης το οποίο προσεγγίζει το πραγματικό της σχήμα και την επιφάνεια του γεωειδούς. Το μοντέλο $MSS_{DTU2010}$ προσδιορίστηκε από δεδομένα της χρονικής περιόδου 1993 έως 2009. Αποτελεί βελτιωμένη έκδοση του παγκόσμιου μοντέλου $MSS_{DNSC08}$ δεδομένων της χρονικής περιόδου 1993 έως 2004, και έχει χαρτογραφηθεί με χωρική ανάλυση 1'x1'.Το μοντέλο $MSS_{DNSC08}$ προήλθε από το συνδυασμό 12 συνολικά αλτιμετρικών δορυφόρων και αποτελεί την πρώτη παγκόσμια προσέγγιση που συμπεριλαμβάνει και τον Αρκτικό Ωκεανό μέσω των δεδομένων της δορυφορικής αποστολής ICESat (DTU Space). Η βελτιωμένη έκδοση του, δηλαδή το νέο μοντέλο $MSS_{DTU2010}$, οφείλεται στα περισσότερα και καλύτερης ακρίβειας δεδομένα, στη βελτίωση των μεθόδων πρόγνωσης και φιλτραρίσματος των αλτιμετρικών δεδομένων καθώς επίσης και στην καλύτερη αναφορά (reference EGM08). Στο σχήμα 3.10 φαίνονται οι διαφορές μεταξύ του $MSS_{DNSC08}$ και του $MSS_{DTU2010}$ και κυμαίνονται περίπου κατά μέσο όρο στα 3cm.




**Σχήμα 3.10**: Οι διαφορές μεταξύ του $MSS_{DNSC08}$ και του $MSS_{DTU2010}$ σε μέτρα (Andersen, 2011)

Καθώς ήδη έχει αναφερθεί η δυναμική θαλάσσια τοπογραφία ορίζεται ως η αποχή του γεωειδούς από τη μέση στάθμη της θάλασσας και οφείλεται κυρίως στις διακυμάνσεις της θερμοκρασίας στους ωκεανούς και στα ωκεάνια ρεύματα. Το μοντέλο $MDOT_{DTU2010}$ προέκυψε από τη διαφορά του μοντέλου $MSS_{DTU2010}$ και το παγκόσμιο μοντέλο γεωειδούς EGM2008 και έχει χαρτογραφηθεί με χωρική ανάλυση 1'x1'. Τα δεδομένα των μοντέλων είναι διαθέσιμα σε επιστημονικούς και μη χρήστες από το Εθνικό Ινστιτούτο Διαστήματος στην ιστοσελίδα ftp://ftp.spacecenter.dk/pub/DTU10/.

## 3.5 Προ-επεξεργασία δεδομένων και αρχικά αποτελέσματα

Το πρώτο βήμα στη φάση της προ-επεξεργασίας ήταν η συλλογή όλων των απαραίτητων δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν για τον προσδιορισμό ενός συνθετικού μοντέλου Δυναμικής Θαλάσσιας Τοπογραφίας (MDOTC) των δύο περιοχών μελέτης. Τα δεδομένα αυτά ήταν τα υψόμετρα του γεωειδούς από το παγκόσμιο μοντέλο GOCO02S, η μέση στάθμη της θάλασσας από το παγκόσμιο μοντέλο DTU2010 και η δυναμική θαλάσσια τοπογραφία από το μοντέλο DTU2010 .

Αρχικά πραγματοποιήθηκε σε περιβάλλον Matlab η δημιουργία δύο κανάβων 20'x20' για τις δύο περιοχές μελέτης. Κάθε κάναβος ορίστηκε να ξεκινά από την πάνω αριστερή γωνία της περιοχής διατηρώντας σταθερό το λ για όλα τα φ με βήμα 20'. Δημιουργήθηκε ένα αρχείο με την ονομασία *points.txt* η μορφή του οποίου φαίνεται στο σχήμα 3.11. Επιπλέον το αρχείο του μοντέλου GOCO02S ύστερα από επεξεργασία τροποποιήθηκε ώστε να ξεκινά από βαθμό και τάξη ανάπτυξης 2, 0.

| | | | |
|---|---|---|---|
| 1 | 60.000000000 | -80.000000000 | 0.000 0.000 |
| 1 | 59.666666667 | -80.000000000 | 0.000 0.000 |
| 1 | 59.333333333 | -80.000000000 | 0.000 0.000 |
| 1 | 59.000000000 | -80.000000000 | 0.000 0.000 |
| 1 | 58.666666667 | -80.000000000 | 0.000 0.000 |
| 1 | 58.333333333 | -80.000000000 | 0.000 0.000 |
| 1 | 58.000000000 | -80.000000000 | 0.000 0.000 |
| 1 | 57.666666667 | -80.000000000 | 0.000 0.000 |
| 1 | 57.333333333 | -80.000000000 | 0.000 0.000 |
| 1 | 57.000000000 | -80.000000000 | 0.000 0.000 |
| 1 | 56.666666667 | -80.000000000 | 0.000 0.000 |
| 1 | 56.333333333 | -80.000000000 | 0.000 0.000 |
| 1 | 56.000000000 | -80.000000000 | 0.000 0.000 |
| 1 | 55.666666667 | -80.000000000 | 0.000 0.000 |
| 1 | 55.333333333 | -80.000000000 | 0.000 0.000 |
| 1 | 55.000000000 | -80.000000000 | 0.000 0.000 |
| 1 | 54.666666667 | -80.000000000 | 0.000 0.000 |
| 1 | 54.333333333 | -80.000000000 | 0.000 0.000 |
| 1 | 54.000000000 | -80.000000000 | 0.000 0.000 |
| 1 | 53.666666667 | -80.000000000 | 0.000 0.000 |
| 1 | 53.333333333 | -80.000000000 | 0.000 0.000 |
| 1 | 53.000000000 | -80.000000000 | 0.000 0.000 |
| 1 | 52.666666667 | -80.000000000 | 0.000 0.000 |
| 1 | 52.333333333 | -80.000000000 | 0.000 0.000 |
| 1 | 52.000000000 | -80.000000000 | 0.000 0.000 |
| 1 | 51.666666667 | -80.000000000 | 0.000 0.000 |
| 1 | 51.333333333 | -80.000000000 | 0.000 0.000 |
| 1 | 51.000000000 | -80.000000000 | 0.000 0.000 |
| 1 | 50.666666667 | -80.000000000 | 0.000 0.000 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| gfc | 2 | 0 | -4.841650636927e-04 | 0.000000000000e+00 | 4.406099050689e-13 | 0.000000000000e+00 |
| gfc | 2 | 1 | -2.356793082228e-10 | 1.467214971653e-09 | 4.326546083831e-13 | 4.561241825607e-13 |
| gfc | 2 | 2 | 2.439338868803e-06 | -1.400276608538e-06 | 8.792467436219e-13 | 8.967975528161e-13 |
| gfc | 3 | 0 | 9.571979407643e-07 | 0.000000000000e+00 | 2.137892582968e-13 | 0.000000000000e+00 |
| gfc | 3 | 1 | 2.030464598070e-06 | 2.481927476706e-07 | 2.044613121584e-13 | 2.132179624290e-13 |
| gfc | 3 | 2 | 9.047887848982e-07 | -6.189962125057e-07 | 2.541764762015e-13 | 2.620104953798e-13 |
| gfc | 3 | 3 | 7.212818355569e-07 | 1.414377301843e-06 | 5.933137845862e-13 | 5.890413434343e-13 |
| gfc | 4 | 0 | 5.400035352379e-07 | 0.000000000000e+00 | 8.604427732526e-14 | 0.000000000000e+00 |
| gfc | 4 | 1 | -5.361493397523e-07 | -4.735676842495e-07 | 9.188377293643e-14 | 9.840542992922e-14 |
| gfc | 4 | 2 | 3.504986845960e-07 | 6.624823387143e-07 | 1.318798257736e-13 | 1.364554563669e-13 |
| gfc | 4 | 3 | 9.908646038863e-07 | -2.009553288652e-07 | 2.836350858739e-13 | 2.809551515148e-13 |
| gfc | 4 | 4 | -1.884881851483e-07 | 3.088248090821e-07 | 1.357118268309e-12 | 1.357185721573e-12 |
| gfc | 5 | 0 | 6.867019737530e-08 | 0.000000000000e+00 | 6.022363761493e-14 | 0.000000000000e+00 |
| gfc | 5 | 1 | -6.291877869213e-08 | -9.437006399760e-08 | 6.223282470682e-14 | 6.679929976843e-14 |
| gfc | 5 | 2 | 6.520808457706e-07 | -3.233477774488e-07 | 8.230717077416e-14 | 8.528424063915e-14 |
| gfc | 5 | 3 | -4.518499312855e-07 | -2.149614535857e-07 | 1.569690244409e-13 | 1.552213875248e-13 |
| gfc | 5 | 4 | -2.953285381028e-07 | 4.980524228950e-08 | 3.212322372464e-13 | 3.232430100073e-13 |
| gfc | 5 | 5 | 1.748083823637e-07 | -6.693671666740e-07 | 5.726352503983e-13 | 5.696287079803e-13 |
| gfc | 6 | 0 | -1.499582779087e-07 | 0.000000000000e+00 | 4.513646943486e-14 | 0.000000000000e+00 |
| gfc | 6 | 1 | -7.592430491151e-08 | 2.651834012810e-08 | 4.601646090388e-14 | 4.949632251790e-14 |
| gfc | 6 | 2 | 4.864764796462e-08 | -3.737871636670e-07 | 5.813168421346e-14 | 6.026230738185e-14 |
| gfc | 6 | 3 | 5.724162633626e-08 | 8.951489373562e-09 | 1.039476359392e-13 | 1.027919235693e-13 |
| gfc | 6 | 4 | -8.601147319883e-08 | -4.714264815449e-07 | 3.385199140991e-13 | 3.392325998814e-13 |
| gfc | 6 | 5 | -2.671677194242e-07 | -5.364936697318e-07 | 2.561744728463e-13 | 2.546937452598e-13 |
| gfc | 6 | 6 | 9.469782488769e-09 | -2.373900306886e-07 | 8.201959599994e-13 | 8.202620820614e-13 |
| gfc | 7 | 0 | 9.051067936971e-08 | 0.000000000000e+00 | 3.622062375595e-14 | 0.000000000000e+00 |
| gfc | 7 | 1 | 2.808864291893e-07 | 9.512723726444e-08 | 3.655320182826e-14 | 3.934049772109e-14 |
| gfc | 7 | 2 | 3.304058047616e-07 | 9.299997976461e-08 | 4.444368669861e-14 | 4.614338206929e-14 |
| gfc | 7 | 3 | 2.504564526981e-07 | -2.171206953080e-07 | 7.479919782130e-14 | 7.399113335633e-14 |
| gfc | 7 | 4 | -2.749947026637e-07 | -1.240582576483e-07 | 1.344477553943e-13 | 1.353982366255e-13 |
| gfc | 7 | 5 | 1.669470583684e-09 | 1.792701965490e-08 | 1.800822551005e-13 | 1.786982395962e-13 |
| gfc | 7 | 6 | -3.588023239627e-07 | 1.517960985918e-07 | 3.635124913056e-13 | 3.631766218856e-13 |
| gfc | 7 | 7 | 1.524176406559e-09 | 2.410559080602e-08 | 6.506480837001e-13 | 6.536962696384e-13 |
| gfc | 8 | 0 | 4.947705515851e-08 | 0.000000000000e+00 | 3.041385164370e-14 | 0.000000000000e+00 |
| gfc | 8 | 1 | 2.315873425352e-08 | 5.889732870487e-08 | 3.037327101234e-14 | 3.269511194397e-14 |

**Σχήμα 3.11**: Στα αριστερά φαίνεται τμήμα αρχείου points.txt και ζεύγη φ, λ του κανάβου της περιοχής μελέτης του Βόρειου Ατλαντικού ενώ στα δεξιά φαίνεται τμήμα του αρχείου του μοντέλου GOCO02S

Ύστερα από τη δημιουργία των αρχείων, τρία συνολικά, δύο αρχεία *points.txt* των δύο κανάβων των περιοχών μελέτης και το αρχείο του μοντέλου GOCO02S, χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα *harmonic_synth* για να ληφθούν τα υψόμετρα του γεωειδούς στις κορυφές του κανάβου κάθε περιοχής μελέτης. Για κάθε περιοχή μελέτης εισάγονται στο πρόγραμμα ο κάναβος και το αρχείο του GOCO02S. Αποτέλεσμα αυτής της επεξεργασίας ήταν να

προκύψουν δύο αρχεία, ένα για κάθε περιοχή μελέτης, που περιέχει τα φ, λ, και το πεδίο τιμών δηλαδή τα υψόμετρα του γεωειδούς $N_{GOCO02S}$. Για την περιοχή του Ατλαντικού προέκυψαν 28800 τιμές υψομέτρων του γεωειδούς στις κορυφές του πλέγματος που δημιουργήθηκε και στην περιοχή της Μεσογείου και του ευρύτερου Ευρωπαϊκού χώρου προέκυψαν 13500 τιμές υψομέτρων του γεωειδούς.

Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε μια ανάλογη επεξεργασία στα δεδομένα μέσης στάθμης της θάλασσας και τα δεδομένα δυναμικής θαλάσσιας τοπογραφίας από το DTU2010 ($MSS_{DTU2010}$, $MDOT_{DTU2010}$). Οι τιμές μέσης στάθμης της θάλασσας και δυναμικής τοπογραφίας της επιφάνειας της θάλασσας μέσω του DTU2010 προέκυψαν με τη χρήση κατάλληλου προγράμματος (Βέργος 2012) και στο οποίο εισήχθησαν τα γεωγραφικά όρια της περιοχής και προέκυψαν οι τιμές φ, λ, πεδίο τιμών 1 ($MSS_{DTU2010}$), πεδίο τιμών 2 ($MDOT_{DTU2010}$). Οι τιμές αυτές αναφέρονται αρχικά σε πλέγμα ορισμένο ανά 1'x1΄ της μοίρας και είναι συγκεκριμένα 11520000 τιμές για κάθε ένα από τα δύο πεδία για την περιοχή του Ατλαντικού και 5400000 τιμές για την περιοχή της Μεσόγειου και του ευρύτερου Ευρωπαϊκού χώρου.

Μέσω κατάλληλης επεξεργασίας σε περιβάλλον Matlab δεσμεύτηκαν οι τιμές ανά 20' και απομακρύνθηκαν οι υπόλοιπες τιμές. Στην περίπτωση της περιοχής της Μεσογείου τα αρχεία που προέκυψαν από το DTU2010 και περιέχουν τα φ, λ, τιμή $MSS_{DTU2010}$, τιμή $MDOT_{DTU2010}$ είναι δύο, λόγω αδυναμίας του προγράμματος να αναγνωρίσει το γεωγραφικό πλάτος $\lambda=0^{o}$ και τότε η περιοχή "χωρίστηκε" σε υποπεριοχές. Αποτέλεσμα της επεξεργασίας των παραπάνω δεδομένων σε περιβάλλον Matlab ήταν να δεσμευτούν 28800 τιμές μέσης στάθμης της θάλασσας και 28800 τιμές δυναμικής θαλάσσιας τοπογραφίας από το DTU2010 για την περιοχή του Ατλαντικού καθώς επίσης και 13500 τιμές μέσης στάθμης της θάλασσας και 13500 τιμές δυναμικής θαλάσσιας τοπογραφίας από το DTU2010 για την περιοχή της Μεσογείου και του ευρύτερου Ευρωπαϊκού χώρου.

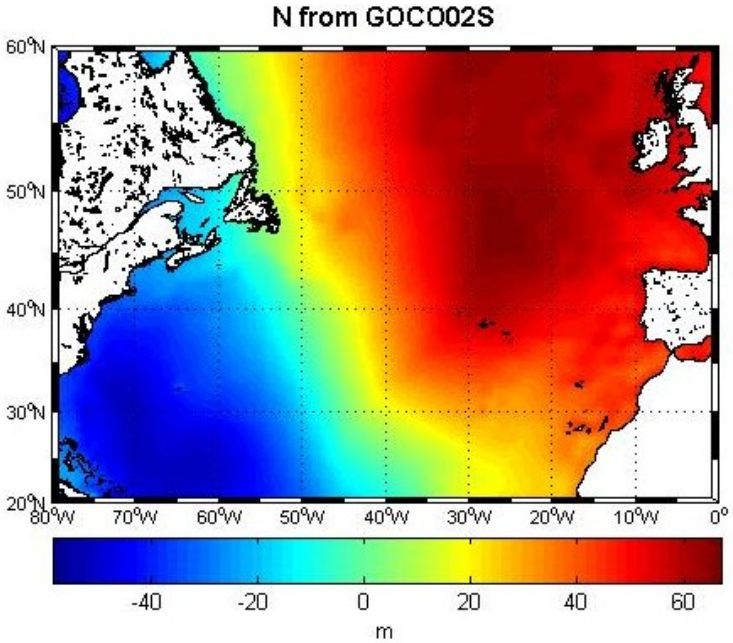
Έπειτα δημιουργήθηκαν δύο προγράμματα σε περιβάλλον Matlab, ένα για κάθε περιοχή μελέτης. Στην περίπτωση της περιοχής μελέτης του Ατλαντικού εισήχθησαν στο πρόγραμμα τρία αρχεία που περιείχαν τα ζεύγη φ, λ και τα τρία πεδία τιμών αντίστοιχα. Στη συνέχεια δημιουργήθηκαν τρείς χάρτες, ένας για κάθε πεδίο τιμών, και υπολογίστηκαν τα εξής στατιστικά στοιχεία: ελάχιστη τιμή (min), μέγιστη τιμή (max), μέση τιμή (mean) και τυπική απόκλιση (STD-Standard Deviation). Η τυπική απόκλιση υπολογίζεται ως εξής:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} a_i^{\,2}}{n-1} - \frac{n}{n-1}\left(\frac{\sum_{i=1}^{n} a_i}{n}\right)^2} \tag{3.1}$$

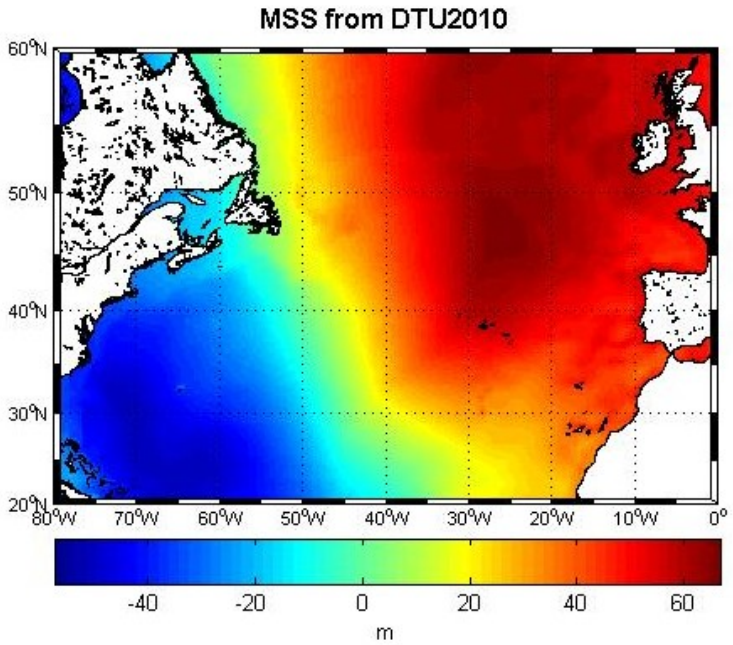
όπου *n* οι τιμές $\{a_1, a_2, \ldots$

## 3.6 Η δυναμική τοπογραφία της επιφάνειας της θάλασσας στο Βόρειο Ατλαντικό

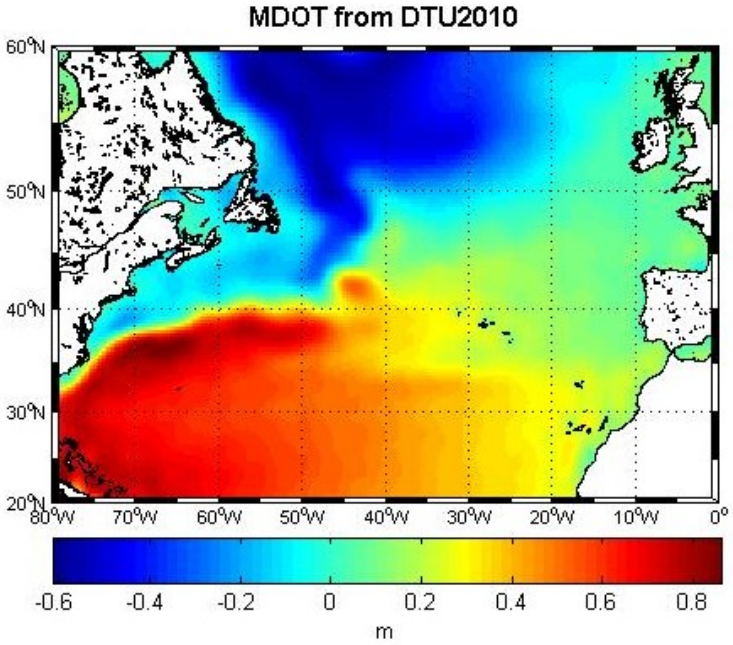
Στα σχήματα 3.12-3.14 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της επεξεργασίας που πραγματοποιήθηκε σε περιβάλλον Matlab και οι χάρτες που δημιουργήθηκαν με τη βοήθεια της σχεδιαστικής εργαλειοθήκης του Matlab, m_map και απεικονίζουν τα τρία πεδία τιμών για την περιοχή Βόρειου Ατλαντικού και στον πίνακα 3.1 παρουσιάζονται τα στατιστικά στοιχεία που υπολογίστηκαν. Οι κλίμακες των χαρτών καθώς και οι τιμές των στατιστικών στοιχείων που υπολογίστηκαν δίνονται σε μέτρα.




**Σχήμα 3.12**: Χάρτης υψομέτρων του γεωειδούς της περιοχής του Βόρειου Ατλαντικού από το μοντέλο GOCO02S {m}




**Σχήμα 3.13**: Χάρτης της μέσης στάθμης της θάλασσας της περιοχής του Βόρειου Ατλαντικού από το παγκόσμιο μοντέλο $MSS_{DTU2010}$ {m}




**Σχήμα 3.14**: Χάρτης δυναμικής θαλάσσιας τοπογραφίας της περιοχής του Βόρειου Ατλαντικού από το παγκόσμιο μοντέλο $MDOT_{DTU2010}$ {m}

**Πίνακας 3.1**:Στατιστικά στοιχεία για τα πεδία τιμών, $N_{GOCO02S}$, $MSS_{DTU2010}$ και $MDOT_{DTU2010}$ της περιοχής του Βόρειου Ατλαντικού {m}

| | max | min | mean | std |
|---|---|---|---|---|
| $N_{GOCO02S}$ | 66.895 | -58.391 | 14.926 | ±37.840 |
| $MSS_{DTU2010}$ | 66.735 | -57.494 | 15.029 | ±37.619 |
| $MDOT_{DTU2010}$ | 0.862 | -0.614 | 0.146 | ±0.333 |

Για τον προσδιορισμό της MDOTCστην περιοχή μελέτης του Βόρειου Ατλαντικού υπολογίστηκε η διαφορά της $MSS_{DTU2010}$ και των υψομέτρων του γεωειδούς από το GOCO02S ως εξής:

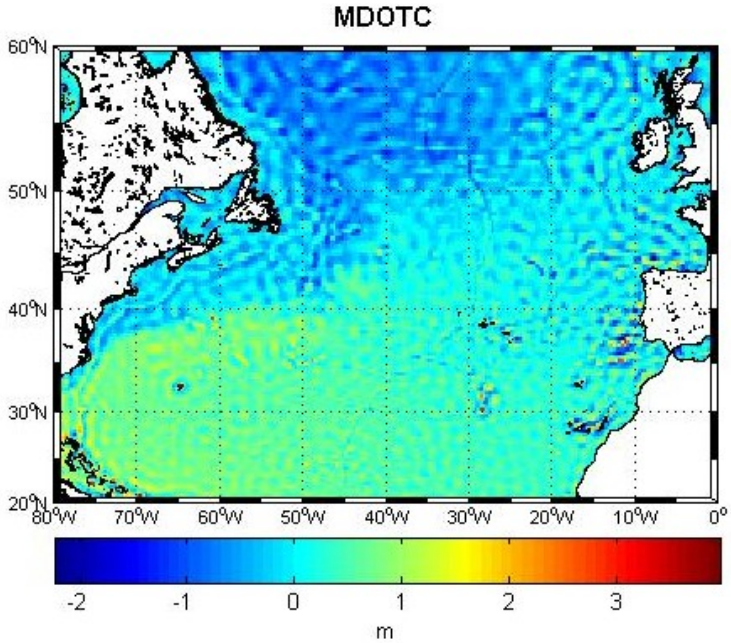
$$MDTOC=MSS_{DTU2010}-N_{GOCO02S} \tag{3.2}$$

Επιπλέον υπολογίστηκαν οι διαφορές του προσδιοριζόμενου συνθετικού μοντέλου δυναμικής θαλάσσιας τοπογραφίας MDTOC με το μοντέλο $MDOT_{DTU2010}$ ως εξής:

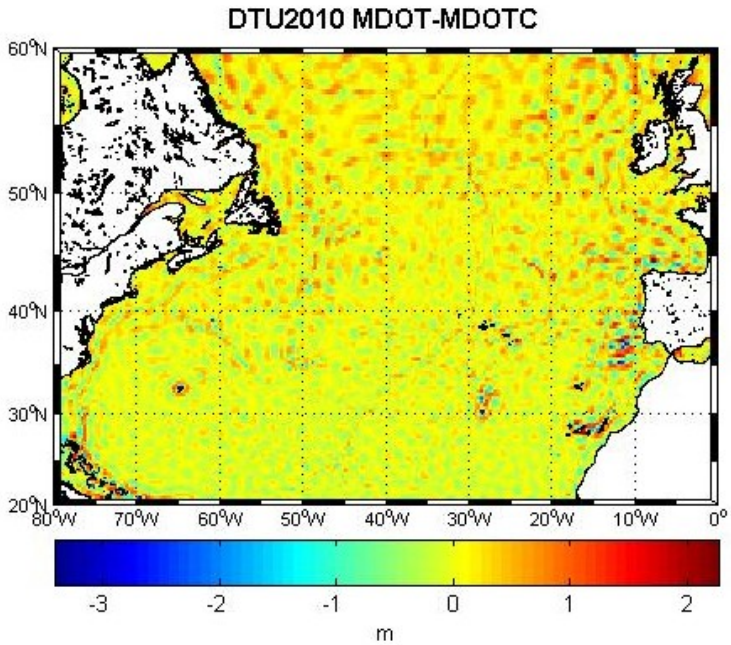
$$Differences=MDOT_{DTU2010}-MDOTC \tag{3.3}$$

Στη συνέχεια με τη βοήθεια του φίλτρου δεδομένων *gmtselect* και σε περιβάλλον Linux μέσω του προγράμματος Cygwin εισήχθησαν δυο αρχεία εισαγωγής που περιείχαν, τα φ, λ και τα πεδία τιμών MDTOC και τις διαφορές αντίστοιχα, όλης της περιοχής μελέτης, όπου ύστερα από μια σειρά εντολών απομακρύνθηκαν τα ηπειρωτικά δεδομένα και προσδιορίστηκε η MDOTC καθώς επίσης και οι διαφορές με το $MDOT_{DTU2010}$ μόνο για την

ωκεάνια περιοχή. Τα αποτελέσματα των υπολογισμών (βλέπε σχήμα 3.15 και 3.16) και τα στατιστικά στοιχεία αυτών (βλέπε πίνακα 3.2) δίνονται σε μέτρα.




**Σχήμα 3.15**: Χάρτης MDOTC όπως υπολογίστηκε από τη διαφορά των $MSS_{DTU2010}$ και των $N_{GOCO02S}$ {m}




**Σχήμα 3.16**: Χάρτης διαφορών του $MDOT_{DTU2010}$ και MDOTC {m}

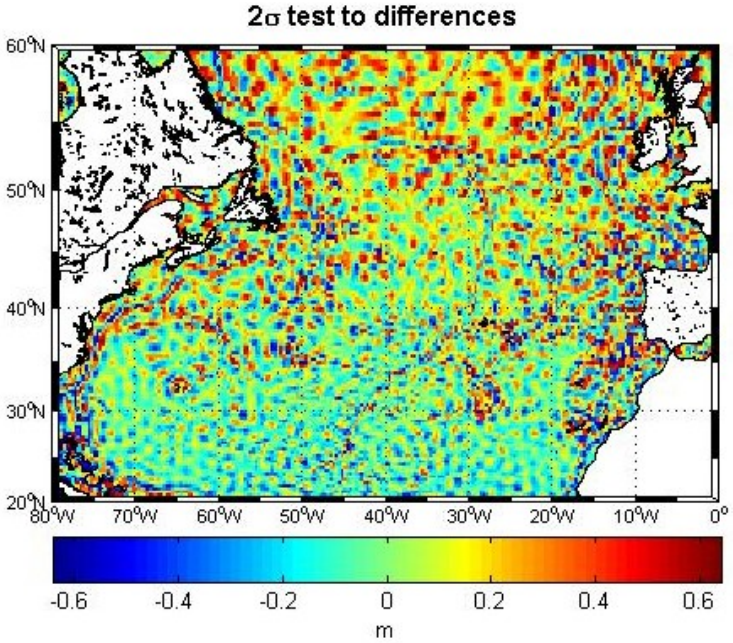
**Πίνακας 3.2**: Στατιστικά στοιχεία για τα πεδία τιμών $MDOT_{DTU2010}$, MDOTC και $MDOT_{DTU2010}$-MDOTC της περιοχής του Βόρειου Ατλαντικού {m}

| | max | min | mean | std |
|---|---|---|---|---|
| $MDOT_{DTU2010}$ | 0.862 | -0.614 | 0.146 | ±0.333 |
| MDOTC | 3.957 | -2.235 | 0.080 | ±0.529 |
| $MDOT_{DTU2010}$-MDOTC | 2.280 | -3.408 | 0.072 | ±0.320 |

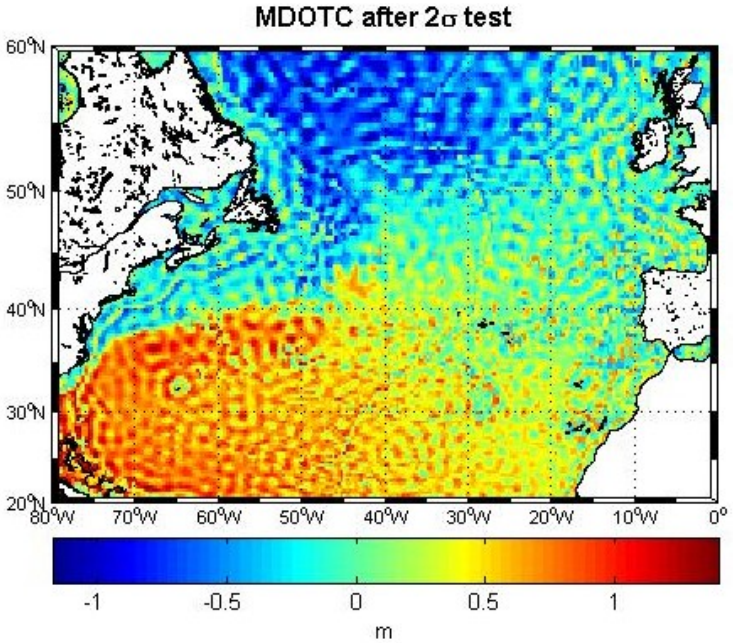
Όπως φαίνεται από τα στατιστικά του πίνακα 3.2 το πεδίο MDOTC παρουσιάζει σημαντικές διαφορές σε σχέση με το $MDOT_{DTU2010}$. Φαίνεται ότι οι ακραίες τιμές είναι πολύ μεγάλες σε σχέση με τις ακραίες τιμές του μοντέλου $MDOT_{DTU2010}$ και είναι λογικό καθώς δεν έχει εφαρμοστεί μέχρι στιγμής κανένας έλεγχος απομάκρυνσης των χονδροειδών σφαλμάτων. Για το λόγω αυτό στη συνέχεια εφαρμόστηκαν δύο στατιστικοί έλεγχοι στα πεδίο τιμών των διαφορών $MDOT_{DTU2010}$-MDOTC και συγκεκριμένα πραγματοποιήθηκαν 2σ και 3σ τεστ, όπου σ η τυπική απόκλιση. Τα στατιστικά αυτά τεστ εφαρμόστηκαν για να απομακρυνθούν οι τυχόν ακραίες τιμές του πεδίου που δεν κατάφεραν να απομακρυνθούν μέσω του φίλτρου δεδομένων *gmtselect* κατά την απομάκρυνση των δεδομένων που αφορούν στις ηπειρωτικές περιοχές καθώς και για την απομάκρυνση των χονδροειδή σφαλμάτων. Οι ακραίες τιμές του πεδίου πιθανότατα παρουσιάζονται στις ακτογραμμές και στα νησιά, δεν αντιστοιχούν σε ωκεάνιες περιοχές, αλλοιώνοντας έτσι τα αποτελέσματα.

### 3.6.1 Αποτελέσματα εφαρμογής στατιστικών ελέγχων

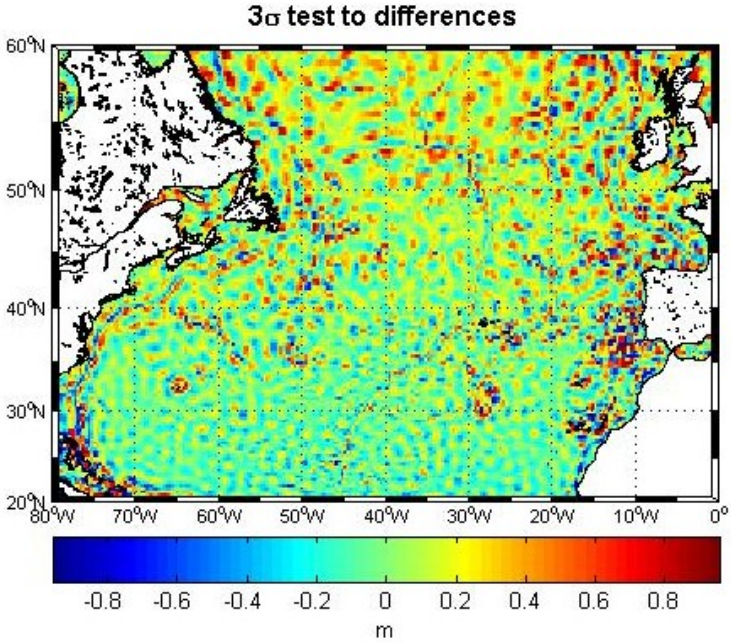
Τα 2σ και 3σ τεστ εφαρμόστηκαν στο πεδίο τιμών των διαφορών $MDOT_{DTU2010}$-MDOTC όπου η τυπική απόκλιση ορίστηκε ίση με 0.320m, δηλαδή ίση με τη τιμή της τυπικής απόκλισης των διαφορών. Ύστερα από την εφαρμογή των 2σ και 3σ τεστ στις διαφορές προέκυψαν δύο νέα πεδία τιμών των διαφορών και προσδιορίστηκαν στη συνέχεια τα δύο αντίστοιχα πεδία τιμών MDOTC. Δηλαδή για τα ζεύγη φ, λ των πεδίων τιμών των διαφορών ύστερα από την εφαρμογή των 2σ και 3σ τεστ, δεσμευτήκαν οι αντίστοιχες τιμές του πεδίου MDOTC. Αποτέλεσμα της επεξεργασίας αυτής ήταν από τις συνολικά 28800 τιμές του πεδίου τιμών των διαφορών μετά την εφαρμογή του 2σ τεστ να απομακρυνθούν 6990 τιμές, ποσοστό 24.3% επηρεασμένες παρατηρήσεις από σφάλματα, και παρέμειναν 21810, ενώ αντίστοιχα το νέο πεδίο τιμών MDOTC περιλαμβάνει 21810 τιμές δυναμικής θαλάσσιας τοπογραφίας στα αντίστοιχα φ, λ του νέου πεδίου τιμών των διαφορών. Ενώ ύστερα από την εφαρμογή του 3σ τεστ, το οποίο είναι λιγότερο αυστηρό από το 2σ, από τις 28800 τιμές του πεδίου τιμών των διαφορών απομακρύνθηκαν οι 6203 τιμές, ποσοστό 21.5% επηρεασμένες παρατηρήσεις από σφάλματα, και παρέμειναν 22597, ενώ αντίστοιχα το νέο πεδίο τιμών MDOTC περιλαμβάνει 22597 τιμές δυναμικής θαλάσσιας τοπογραφίας στα αντίστοιχα φ, λ του νέου πεδίου τιμών των διαφορών. Τα αποτελέσματα των υπολογισμών για τα δύο νέα πεδία τιμών MDOTC μετά την εφαρμογή των 2σ και 3σ τεστ στις διαφορές (βλέπε σχήματα 3.17-3.20) καθώς επίσης και τα στατιστικά στοιχεία αυτών (βλέπε πίνακα 3.3) δίνονται σε μέτρα.



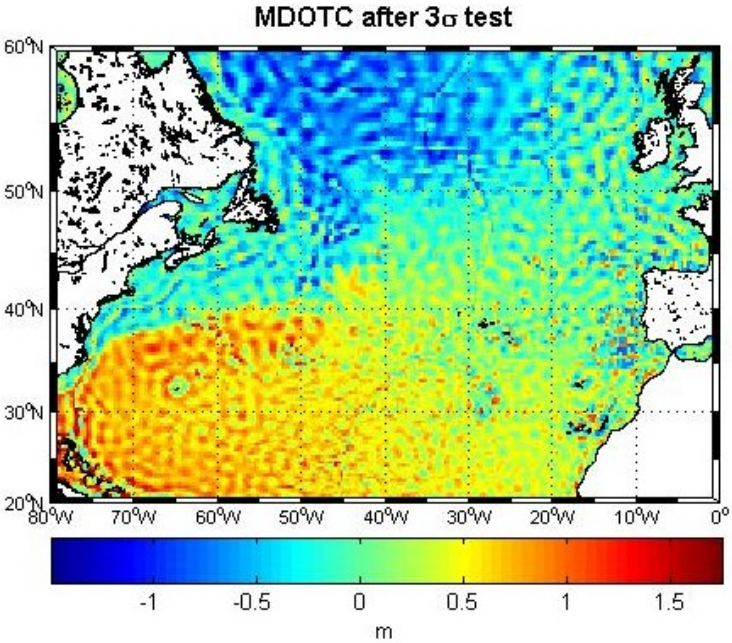

**Σχήμα 3.17**: Χάρτης των διαφορών $MDOT_{DTU2010}$-MDOTC μετά την εφαρμογή του 2σ τεστ {m}




**Σχήμα 3.18**: Χάρτης του αντίστοιχου πεδίου τιμών MDOTC ύστερα από την εφαρμογή του 2σ τεστ στις διαφορές $MDOT_{DTU2010}$-MDOTC {m}




**Σχήμα 3.19**: Χάρτης των διαφορών $MDOT_{DTU2010}$-MDOTC μετά την εφαρμογή του 3σ τεστ {m}




**Σχήμα 3.20:** Χάρτης του αντίστοιχου πεδίου τιμών MDOTC ύστερα από την εφαρμογή του 3σ τεστ στις διαφορές $MDOT_{DTU2010}$-MDOTC {m}

Στον πίνακα 3.3 παρουσιάζονται τα στατιστικά στοιχεία σε μέτρα των δύο πεδίων τιμών, των διαφορών $MDOT_{DTU2010}$-MDOTC και του αντίστοιχου πεδίου τιμών MDOTC μετά την εφαρμογή του 2σ και του 3σ τεστ.

**Πίνακας 3.3**: Στατιστικά στοιχεία για τα πεδία τιμών, $MDOT_{DTU2010}$, MDOTC, $MDOT_{DTU2010}$-MDOTC, 2σ τεστ στη διαφορά $MDOT_{DTU2010}$-MDOTC, MDOTC μετά το 2σ τεστ, $MDOT_{DTU2010}$-MDOTC μετά το 2σ τεστ, 3σ τεστ στη διαφορά $MDOT_{DTU2010}$-MDOTC, MDOTC μετά το 3σ τεστ, $MDOT_{DTU2010}$-MDOTC μετά το 3σ τεστ {m}

| | max | min | mean | std |
|---|---|---|---|---|
| $MDOT_{DTU2010}$ | **0.862** | **-0.614** | **0.146** | **±0.333** |
| MDOTC | **3.957** | **-2.235** | **0.080** | **±0.529** |
| $MDOT_{DTU2010}$-MDOTC | 2.280 | -3.408 | 0.072 | ±0.320 |
| 2σ τεστ στη διαφορά $MDOT_{DTU2010}$-MDOTC | 0.640 | -0.640 | 0.029 | ±0.238 |
| MDTOC μετά το 2σ τεστ | **1.407** | **-1.173** | **0.152** | **±0.479** |
| $MDOT_{DTU2010}$-MDOTC μετά το 2σ τεστ | 0.790 | -0.727 | 0.055 | ±0.044 |
| 3σ τεστ στη διαφορά $MDOT_{DTU2010}$-MDOTC | 0.960 | -0.957 | 0.037 | ±0.273 |
| MDTOC μετά το 3σ τεστ | **1.753** | **-1.494** | **0.141** | **±0.501** |
| $MDOT_{DTU2010}$-MDOTC μετά το 3σ τεστ | 1.029 | -0.957 | 0.066 | ±0.063 |

Όπως φαίνεται από τα στατιστικά αποτελέσματα του πίνακα 3.3 ύστερα από την εφαρμογή των 2σ και 3σ τεστ, το πεδίο τιμών της συνθετικής δυναμικής θαλάσσιας τοπογραφίας (MDOTC) των ωκεάνιων δεδομένων παρουσιάζει σημαντικά μειωμένες διαφορές στα στατιστικά στοιχεία σε σχέση με το πεδίο $MDOT_{DTU2010}$ καθώς επίσης σημαντικές είναι και οι διαφορές $MDOT_{DTU2010}$-MDOTC μετά τα δύο τεστ που εφαρμόστηκαν. Συγκεκριμένα μετά το 2σ τεστ οι διαφορές $MDOT_{DTU2010}$-MDOTC σε σχέση με τις διαφορές $MDOT_{DTU2010}$-MDOTC μετά το 2σ τεστ παρουσιάζουν μείωση κατά απόλυτη τιμή στη μέγιστη τιμή 1.49m, στην ελάχιστη τιμή είναι 2.681m ενώ η διαφορά στην τυπική απόκλιση είναι ±0.276m. Αντίστοιχα, οι διαφορές μετά την εφαρμογή του 3σ τεστ παρουσιάζουν μείωση στα στατιστικά στοιχεία κατά απόλυτη τιμή, στη μέγιστη τιμή 1.251m, στην ελάχιστη τιμή 2.451m ενώ η διαφορά στην τυπική απόκλιση είναι ±0.257m. Επιπλέον φαίνεται ότι τα στατιστικά στοιχεία μεταξύ του πεδίου τιμών MDOTC και των νέων πεδίων MDTOC μετά το 2σ τεστ και MDTOC μετά το 3σ τεστ μειώνονται σημαντικά προσεγγίζοντας πολύ καλύτερα τα το πεδίο του παγκόσμιου μοντέλου. Συγκεκριμένα η διαφορά του MDOTC και του MDOTC μετά το 2σ τεστ παρουσιάζει μείωση κατά απόλυτη τιμή στη μέγιστη τιμή 2.55m, στην ελάχιστη τιμή 1.062m ενώ η διαφορά στην τυπική απόκλιση είναι ±0.05m. Αντίστοιχα οι ακραίες τιμές του νέου πεδίου τιμών MDTOC μετά το 2σ τεστ είναι μεγαλύτερες από αυτές του παγκόσμιου μοντέλου $MDOT_{DTU2010}$ αλλά με σημαντικά μειωμένη διαφορά σε σχέση με το πεδίο MDOTC πριν την εφαρμογή του 2σ τεστ. Συγκεκριμένα οι διαφορές αρχικά ήταν κατά απόλυτη τιμή στη μέγιστη τιμή 3.095m, στην ελάχιστη τιμή 1.621m ενώ η διαφορά στην τυπική απόκλιση ήταν ±0.196m ενώ μετά την εφαρμογή του 2σ τεστ οι διαφορές αυτές μειώθηκαν και είναι κατά απόλυτη τιμή στη μέγιστη τιμή 0.545m, στην ελάχιστη τιμή 0.559m ενώ η διαφορά στην τυπική απόκλιση είναι ±0.146m. Τέλος η διαφορά του MDOTC και του MDOTC μετά το 3σ τεστ παρουσιάζει μείωση κατά απόλυτη τιμή στη μέγιστη τιμή 2.204m, στην ελάχιστη τιμή 0.741m ενώ η διαφορά στην τυπική απόκλιση είναι ±0.028m. Αντίστοιχα οι ακραίες τιμές του νέου πεδίου

τιμών MDTOC μετά το 3σ τεστ είναι μεγαλύτερες από αυτές του παγκόσμιου μοντέλου $MDOT_{DTU2010}$ αλλά με σημαντικά μειωμένη διαφορά σε σχέση με το πεδίο MDOTC πριν την εφαρμογή του 3σ τεστ. Συγκεκριμένα μετά την εφαρμογή του 3σ τεστ οι διαφορές αυτές μειώθηκαν και είναι κατά απόλυτη τιμή στη μέγιστη τιμή 0.891m, στην ελάχιστη τιμή 0.88m ενώ η διαφορά στην τυπική απόκλιση είναι ±0.168m.

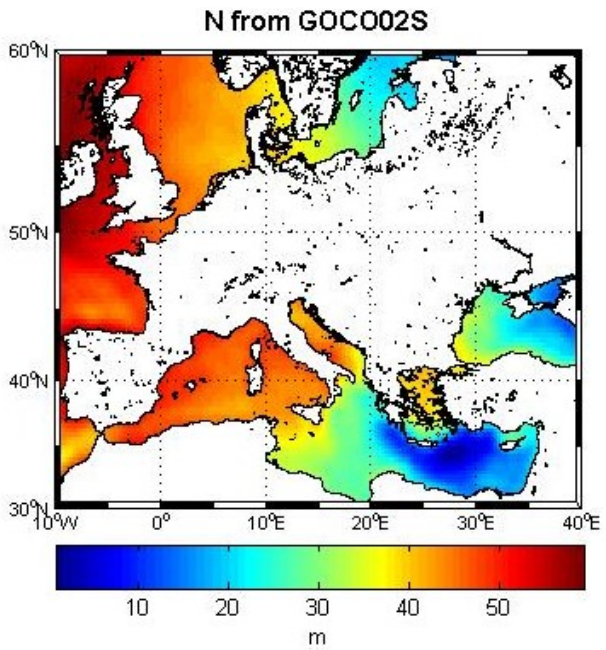
Συμπερασματικά λοιπόν ύστερα από την εφαρμογή των 2σ και 3σ τεστ στα δεδομένα φαίνεται από τα αποτελέσματα ότι σημαντικό μέρος των χονδροειδών σφαλμάτων των δεδομένων καθώς επίσης και οι τυχόν ακραίες τιμές του πεδίου που δεν κατάφεραν να απομακρυνθούν μέσω του φίλτρου δεδομένων *gmtselect,* και αφορούν στις ακτογραμμές και τα νησιά, απομακρύνθηκαν βελτιώνοντας έτσι σημαντικά την ποιότητα των δεδομένων αλλά και τα αποτελέσματα του πεδίου της συνθετικής δυναμικής θαλάσσιας τοπογραφίας MDOTC της περιοχής μελέτης του Βόρειου Ατλαντικού. Για την περαιτέρω βελτίωση του πεδίου MDOTC της περιοχής πραγματοποιήθηκε η εφαρμογή γραμμικών φίλτρων (Boxcar, Cosine arch, Gaussian) τα αποτελέσματα των οποίων παρουσιάζονται στο επόμενο κεφάλαιο.

## 3.7 Η δυναμική τοπογραφία της επιφάνειας της θάλασσας στη Μεσόγειο και τον ευρύτερο Ευρωπαϊκό

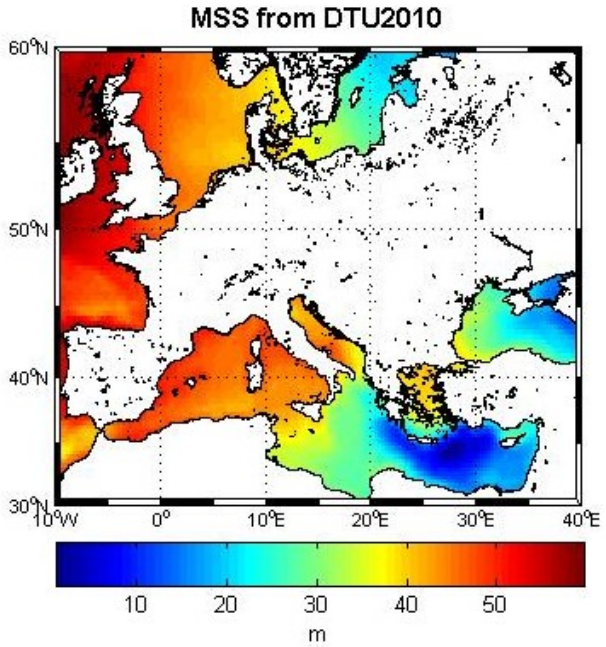
Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε ανάλογη διαδικασία, σε σχέση με προηγουμένως, στα δεδομένα της δεύτερης περιοχής μελέτης, της κλειστής λεκάνης της Μεσογείου και του ευρύτερου Ευρωπαϊκού χώρου. Πιο συγκεκριμένα στην φάση της προεπεξεργασίας δημιουργήθηκε αρχικά σε περιβάλλον Matlab ένας κάναβος ο οποίος ορίστηκε να ξεκινά από την πάνω αριστερή γωνία της περιοχής διατηρώντας σταθερό το λ για όλα τα φ με βήμα 20΄,στις κορυφές του οποίου θα αναφέρονται οι τιμές: μέσης στάθμης της θάλασσας από το DTU2010, δυναμικής τοπογραφίας της επιφάνειας της θάλασσας από το DTU2010 καθώς και των υψομέτρων του γεωειδούς N από το GOCO02S. Οι τιμές των δυο πεδίων $MSS_{DTU2010}$ και $MDOT_{DTU2010}$, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, αναφέρονται αρχικά σε πλέγμα ορισμένο ανά 1'x1΄ της μοίρας. Μέσω κατάλληλης επεξεργασίας που έγινε σε περιβάλλον Matlab δεσμεύτηκαν οι τιμές ανά 20' και απομακρύνθηκαν οι υπόλοιπες τιμές ομοίως και στην περίπτωση της δεύτερης περιοχής μελέτης. Όπως ήδη έχει αναφερθεί από τις συνολικά 5400000 τιμές των πεδίων $MSS_{DTU2010}$ και $MDOT_{DTU2010}$ δεσμευτήκαν 13500 τιμές κάθε πεδίου. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι αντίθετα με τα πεδία τιμών $MSS_{DTU2010}$ και $MDOT_{DTU2010}$ οι τιμές των υψομέτρων του γεωειδούς από το GOCO02S δίνονται ανά 20΄της μοίρας.

Στα σχήματα 3.21-3.23 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της επεξεργασίας που πραγματοποιήθηκε σε περιβάλλον Matlab και οι χάρτες που δημιουργήθηκαν με τη βοήθεια της σχεδιαστικής εργαλειοθήκης του Matlab, m_map και απεικονίζουν τα τρία πεδία τιμών για την περιοχή της Μεσογείου και του ευρύτερου Ευρωπαϊκού χώρου και στον πίνακα 3.4 παρουσιάζονται τα στατιστικά στοιχεία που υπολογίστηκαν. Και στην περιοχή αυτή εφαρμόστηκε το φίλτρο δεδομένων *gmtselect* για την απομάκρυνση των δεδομένων των ηπειρωτικών περιοχών έτσι ώστε τα δεδομένα της συνθετικής δυναμικής

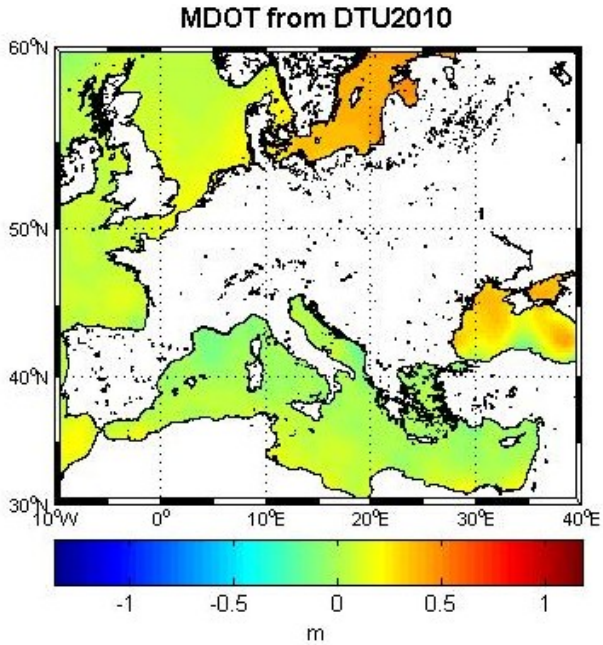
τοπογραφίας της επιφάνειας της θάλασσας MDOTC καθώς επίσης και οι διαφορές με την $MDOT_{DTU2010}$ να αναφέρονται μόνο στην ωκεάνια περιοχή. Οι κλίμακες των χαρτών καθώς και οι τιμές των στατιστικών στοιχείων που υπολογίστηκαν δίνονται σε μέτρα.




**Σχήμα 3.21**: Χάρτης υψομέτρων του γεωειδούς της περιοχής της Μεσογείου και του ευρύτερου Ευρωπαϊκού χώρου από το μοντέλο GOCO02S {m}




**Σχήμα 3.22**: Χάρτης της μέσης στάθμης της θάλασσας της περιοχής της Μεσογείου και του ευρύτερου Ευρωπαϊκού χώρου από το παγκόσμιο μοντέλο $MSS_{DTU2010}$ {m}

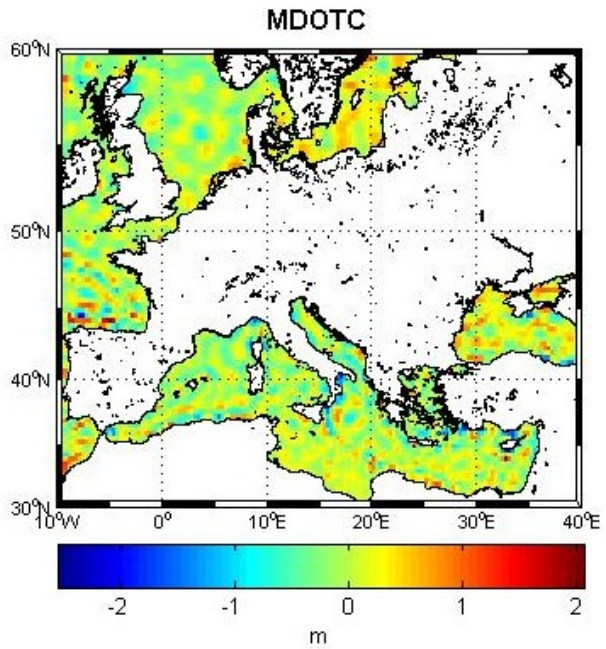



**Σχήμα 3.23:** Χάρτης δυναμικής θαλάσσιας τοπογραφίας της περιοχής της Μεσογείου και του ευρύτερου Ευρωπαϊκού χώρου από το παγκόσμιο μοντέλο $MDT_{DTU2010}$ {m}

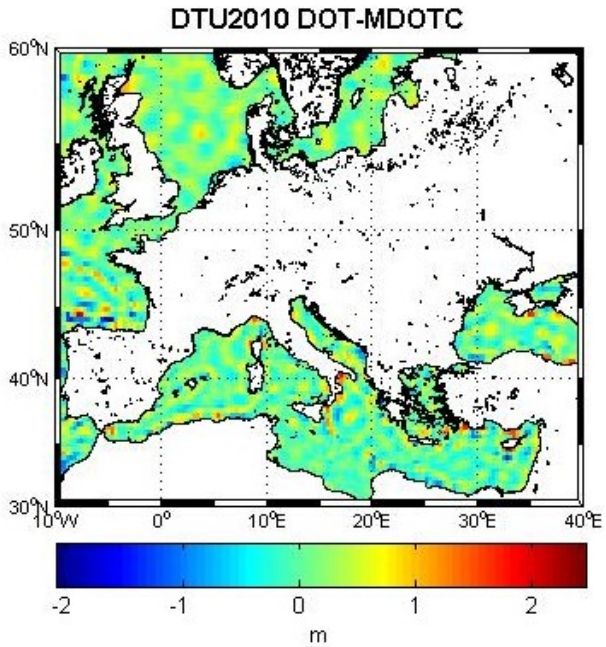
**Πίνακας 3.4:** Στατιστικά στοιχεία για τα πεδία τιμών , $N_{GOCO02S}$, $MSS_{DTU2010}$ και $MDT_{DTU2010}$ της περιοχής της Μεσογείου και του ευρύτερου Ευρωπαϊκού χώρου {m}

| | max | min | mean | std |
|---|---|---|---|---|
| $N_{GOCO02S}$ | 59.433 | 0.888 | 36.691 | ±13.198 |
| $MSS_{DTU2010}$ | 59.702 | 0.923 | 36.873 | ±13.032 |
| $MDOT_{DTU2010}$ | 1.174 | -1.367 | 0.071 | ±0.156 |

Για τον προσδιορισμό της MDOTC στην περιοχή μελέτης της κλειστής λεκάνης της Μεσογείου και του ευρύτερου Ευρωπαϊκού χώρου χρησιμοποιήθηκε όπως και προηγουμένως η σχέση 3.2. Επιπλέον υπολογίστηκαν οι διαφορές του προσδιοριζόμενου συνθετικού μοντέλου MDTOC με το μοντέλο $MDOT_{DTU2010}$ για την περιοχή σύμφωνα με τη σχέση 3.3. Στη συνέχεια, όπως και στην περίπτωση της περιοχής του Ατλαντικού έτσι και στη περιοχή μελέτης της Μεσογείου και του ευρύτερου Ευρωπαϊκού χώρου, με τη βοήθεια του φίλτρου δεδομένων *gmtselect* και σε περιβάλλον Linux μέσω του προγράμματος Cygwin εισήχθησαν δυο αρχεία εισαγωγής που περιείχαν, τα φ, λ και τα πεδία τιμών MDOTC και τις διαφορές αντίστοιχα, όλης της περιοχής μελέτης, όπου ύστερα από μια σειρά εντολών απομακρύνθηκαν τα ηπειρωτικά δεδομένα και προσδιορίστηκε η MDOTC καθώς επίσης και οι διαφορές με το $MDOT_{DTU2010}$ μόνο για την ωκεάνια περιοχή. Τα αποτελέσματα των υπολογισμών (βλέπε σχήμα 3.24 και 3.25) και τα στατιστικά στοιχεία αυτών (βλέπε πίνακα 3.5) δίνονται σε μέτρα.




**Σχήμα 3.24:** Χάρτης συνθετικής δυναμικής θαλάσσιας τοπογραφίας MDOTC όπως υπολογίστηκε από τη διαφορά των $MSS_{DTU2010}$ και των $N_{GOCO02S}$ {m}



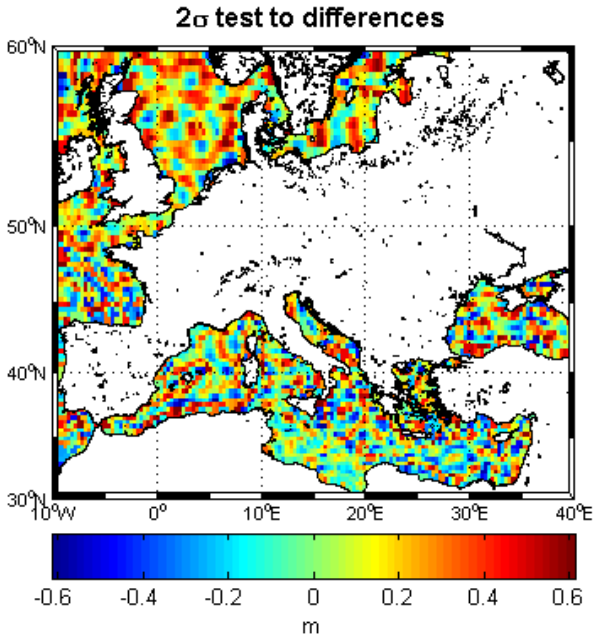

**Σχήμα 3.25:** Χάρτης διαφορών του $MDOT_{DTU2010}$ και του MDOTC **{m}**

**Πίνακας 3.5:** Στατιστικά στοιχεία για τα πεδία τιμών $MDOT_{DTU2010}$, MDOTC και $MDOT_{DTU2010}$-MDOTC της περιοχής της Μεσογείου και του ευρύτερου Ευρωπαϊκού χώρου {m}

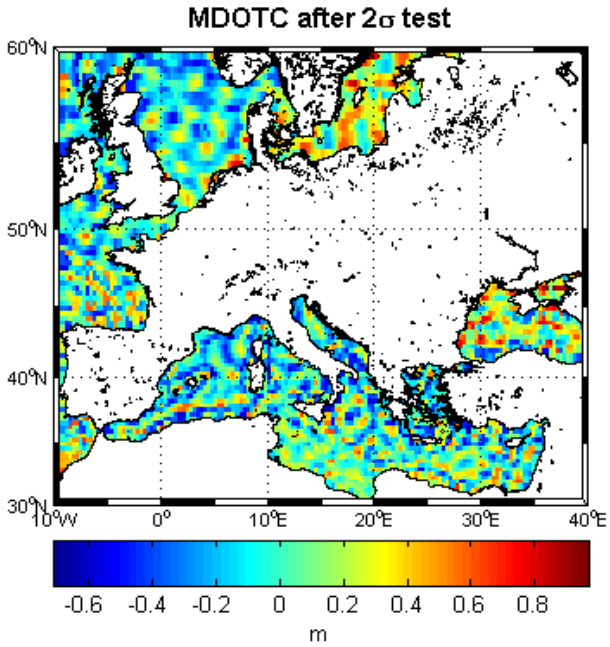
| | max | min | mean | std |
|---|---|---|---|---|
| $MDOT_{DTU2010}$ | 1.174 | -1.367 | 0.071 | ±0.156 |
| MDOTC | 2.061 | -2.565 | -0.015 | ±0.407 |
| $MDOT_{DTU2010}$-MDOTC | 2.457 | -2.084 | 0.099 | ±0.307 |

### 3.7.1 Αποτελέσματα εφαρμογής στατιστικών ελέγχων

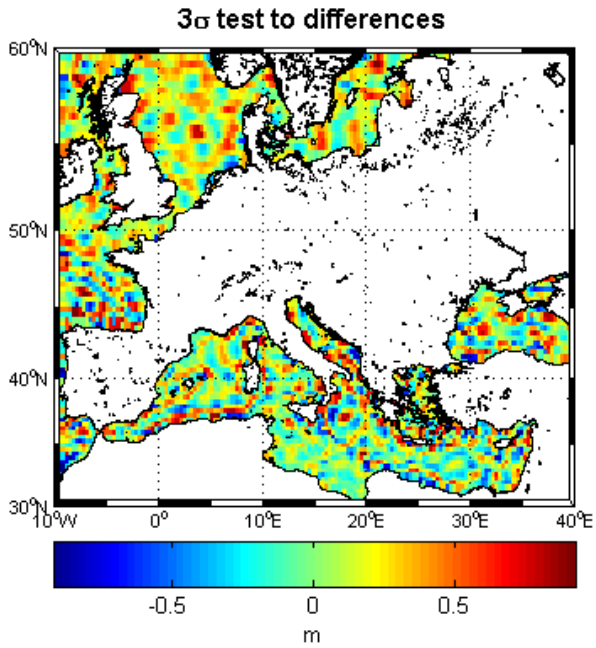
Στη συνέχεια εφαρμόστηκαν δύο στατιστικοί έλεγχοι, 2σ και 3σ τεστ. Τα στατιστικά αυτά τεστ εφαρμόστηκαν στο πεδίο τιμών των διαφορών $MDOT_{DTU2010}$-MDOTC όπου σ ορίστηκε ίση με 0.307m, δηλαδή ίση με τη τιμή της τυπικής απόκλισης του πεδίου των διαφορών. Από τις συνολικά 13500 τιμές κάθε πεδίου μετά την εφαρμογή του 2σ τεστ απομακρύνθηκαν 9108 τιμές, ποσοστό 67.5% επηρεασμένες παρατηρήσεις από σφάλματα και παρέμειναν 4392 τιμές για κάθε ένα από τα δύο πεδία τιμών. Ύστερα από το 3σ τεστ, το οποίο είναι λιγότερο αυστηρό από το 2σ, από τις 13500 τιμές των πεδίων απομακρύνθηκαν οι 8754 τιμές, ποσοστό 64.9% επηρεασμένες παρατηρήσεις από σφάλματα και παρέμειναν 4746 τιμές για κάθε ένα από τα δύο πεδία τιμών. Τα αποτελέσματα των υπολογισμών για τα δύο νέα πεδία τιμών MDOTC μετά την εφαρμογή των 2σ και 3σ τεστ στις διαφορές (βλέπε σχήματα 3.26-3.29) καθώς επίσης και τα στατιστικά στοιχεία αυτών (βλέπε πίνακα 3.6) δίνονται σε μέτρα.



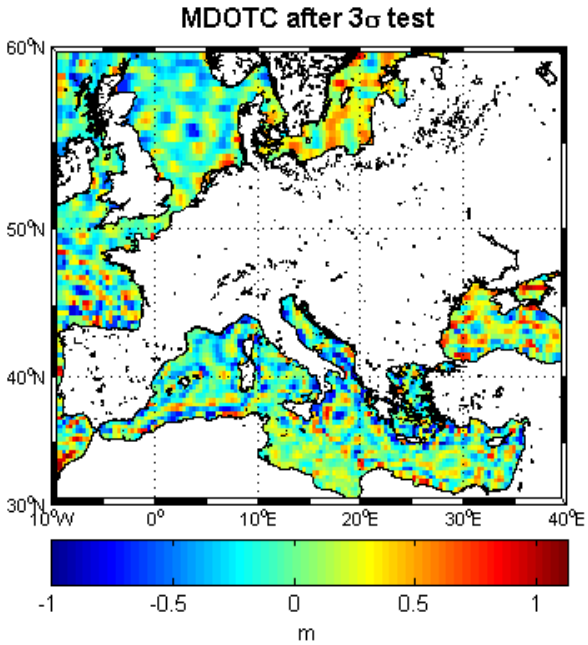

**Σχήμα 3.26:** Χάρτης των διαφορών $MDOT_{DTU2010}$-MDOTC μετά την εφαρμογή του 2σ τεστ {m}




**Σχήμα 3.27:** Χάρτης του πεδίου τιμών MDOTC μετά την εφαρμογή του 2σ τεστ στις διαφορές $MDOT_{DTU2010}$-MDOTC {m}




**Σχήμα3.28:** Χάρτης των διαφορών $MDOT_{DTU2010}$-MDOTC μετά την εφαρμογή του 3σ τεστ {m}




**Σχήμα 3.29:** Χάρτης του πεδίου τιμών MDOTC μετά την εφαρμογή του 3σ τεστ στις διαφορές $MDOT_{DTU2010}$-MDOTC {m}

Στον πίνακα 3.6 παρουσιάζονται τα στατιστικά στοιχεία σε μέτρα των δύο πεδίων τιμών, των διαφορών $MDOT_{DTU2010}$-MDOTC και του αντίστοιχου πεδίου τιμών MDOTC μετά την εφαρμογή του 2σ και του 3σ τεστ .

**Πίνακας 3.6:** Στατιστικά στοιχεία για τα πεδία τιμών, $MDOT_{DTU2010}$, MDOTC, $MDOT_{DTU2010}$-MDOTC, 2σ τεστ στη διαφορά $MDOT_{DTU2010}$-MDOTC, MDOTC μετά το 2σ τεστ, $MDOT_{DTU2010}$-MDOTC μετά το 2σ τεστ, 3σ τεστ στη διαφορά $MDOT_{DTU2010}$-MDOTC, MDOTC μετά το 3σ τεστ, $MDOT_{DTU2010}$-MDOTC μετά το 3σ τεστ {m}

| | max | min | mean | std |
|---|---|---|---|---|
| $MDOT_{DTU2010}$ | **1.174** | **-1.367** | **0.071** | **±0.156** |
| MDOTC | **2.061** | **-2.565** | **-0.015** | **±0.407** |
| $MDOT_{DTU2010}$-MDOTC | 2.457 | -2.084 | 0.099 | ±0.307 |
| 2σ τεστ στη διαφορά $MDOT_{DTU2010}$-MDOTC | 0.612 | -0.614 | 0.065 | ±0.268 |
| MDTOC μετά το 2σ τεστ | **0.969** | **-0.713** | **0.023** | **±0.290** |
| $MDOT_{DTU2010}$-MDOTC μετά το 2σ τεστ | 1.252 | -1.381 | 0.039 | ±0.057 |
| 3σ τεστ στη διαφορά $MDOT_{DTU2010}$-MDOTC | 0.921 | -0.917 | 0.084 | ±0.323 |
| MDTOC μετά το 3σ τεστ | **1.127** | **-1.004** | **0.002** | **±0.342** |
| $MDOT_{DTU2010}$-MDOTC μετά το 3σ τεστ | 1.315 | -1.381 | 0.055 | ±0.064 |

Όπως φαίνεται από τον πίνακα 3.6 ύστερα από την εφαρμογή των 2σ και 3σ τεστ, το πεδίο τιμών MDOTC των ωκεάνιων δεδομένων παρουσιάζει σημαντικά μειωμένες διαφορές στα στατιστικά στοιχεία σε σχέση με το πεδίο $MDOT_{DTU2010}$ καθώς επίσης σημαντικές είναι και οι διαφορές $MDOT_{DTU2010}$-MDOTC μετά τα δύο τεστ που εφαρμόστηκαν. Συγκεκριμένα μετά το 2σ τεστ οι διαφορές $MDOT_{DTU2010}$-MDOTC σε σχέση με τις διαφορές $MDOT_{DTU2010}$-MDOTC μετά το 2σ τεστ παρουσιάζει μείωση κατά απόλυτη

τιμή στη μέγιστη τιμή 1.205m, στην ελάχιστη τιμή είναι 0.703m ενώ η διαφορά στην τυπική απόκλιση είναι ±0.25m. Αντίστοιχα, οι διαφορές στα στατιστικά στοιχεία κατά απόλυτη τιμή μετά την εφαρμογή του 3σ τεστ παρουσιάζουν μείωση, στη μέγιστη τιμή 1.142m, στην ελάχιστη τιμή 0.703m ενώ η διαφορά στην τυπική απόκλιση είναι ±0.243m. Επιπλέον φαίνεται ότι τα στατιστικά στοιχεία μεταξύ του πεδίου τιμών MDOTC και των νέων πεδίων MDTOC μετά το 2σ τεστ και MDTOC μετά το 3σ τεστ μειώνονται σημαντικά προσεγγίζοντας πολύ καλύτερα τα το πεδίο του παγκόσμιου μοντέλου $MDOT_{DTU2010}$. Συγκεκριμένα η διαφορά του MDOTC και του MDOTC μετά το 2σ τεστ παρουσιάζει μείωση κατά απόλυτη τιμή στη μέγιστη τιμή 1.092m, στην ελάχιστη τιμή 1.852m ενώ η διαφορά στην τυπική απόκλιση είναι ±0.117m.

Αντίστοιχα οι διαφορές του νέου πεδίου τιμών MDTOC μετά το 2σ τεστ και του παγκόσμιου μοντέλου $MDOT_{DTU2010}$ είναι σημαντικά μειωμένες σε σχέση με το πεδίο MDOTC πριν την εφαρμογή του 2σ τεστ. Συγκεκριμένα τα στατιστικά είναι μικρότερα στην μέγιστη και ελάχιστη τιμή αλλά με μεγαλύτερη τιμή τυπικής απόκλισης. Συγκεκριμένα οι διαφορές αρχικά ήταν μεγαλύτερες και κατά απόλυτη τιμή στη μέγιστη τιμή 0.887m, στην ελάχιστη τιμή 1.198m ενώ η διαφορά στην τυπική απόκλιση ήταν ±0.251m μετά την εφαρμογή του 2σ τεστ οι διαφορές αυτές μειώθηκαν και είναι κατά απόλυτη τιμή στη μέγιστη τιμή 0.205m, στην ελάχιστη τιμή 0.654m μικρότερες ενώ η διαφορά στην τυπική απόκλιση είναι ±0.134m μεγαλύτερη. Τέλος η διαφορά του MDOTC και του MDOTC μετά το 3σ τεστ παρουσιάζει μείωση κατά απόλυτη τιμή στη μέγιστη τιμή 0.934m, στην ελάχιστη τιμή 1.561m ενώ η διαφορά στην τυπική απόκλιση είναι ±0.065m. Αντίστοιχα οι διαφορές του νέου πεδίου τιμών MDTOC μετά το 3σ και του παγκόσμιου μοντέλου $MDOT_{DTU2010}$ είναι μεγαλύτερες αλλά με σημαντικά μειωμένη διαφορά σε σχέση με το πεδίο MDOTC πριν την εφαρμογή του 3σ τεστ. Συγκεκριμένα μετά την εφαρμογή του 3σ τεστ οι διαφορές αυτές μειώθηκαν και είναι κατά απόλυτη τιμή στη μέγιστη τιμή 0.047m, στην ελάχιστη τιμή 0.363m ενώ η διαφορά στην τυπική απόκλιση είναι ±0.186m.

Συμπερασματικά λοιπόν ύστερα από την εφαρμογή των 2σ και 3σ τεστ στα δεδομένα φαίνεται από τα αποτελέσματα ότι σημαντικό μέρος των χονδροειδών σφαλμάτων των δεδομένων καθώς επίσης και οι τυχόν ακραίες τιμές του πεδίου που δεν κατάφεραν να απομακρυνθούν μέσω του φίλτρου δεδομένων *gmtselect* και αφορούν στις ακτογραμμές και τα νησιά, απομακρύνθηκαν βελτιώνοντας έτσι σημαντικά την ποιότητα των δεδομένων αλλά και τα αποτελέσματα του πεδίου MDOTC της περιοχής μελέτης της κλειστής λεκάνης της Μεσογείου και του ευρύτερου Ευρωπαϊκού χώρου. Για την περαιτέρω βελτίωση του πεδίου MDOTC της περιοχής πραγματοποιήθηκε η εφαρμογή γραμμικών φίλτρων (Boxcar, Cosine arch, Gaussian) τα αποτελέσματα των οποίων παρουσιάζονται στο επόμενο κεφάλαιο.

## 3.8 Ανακεφαλαίωση – Συμπεράσματα

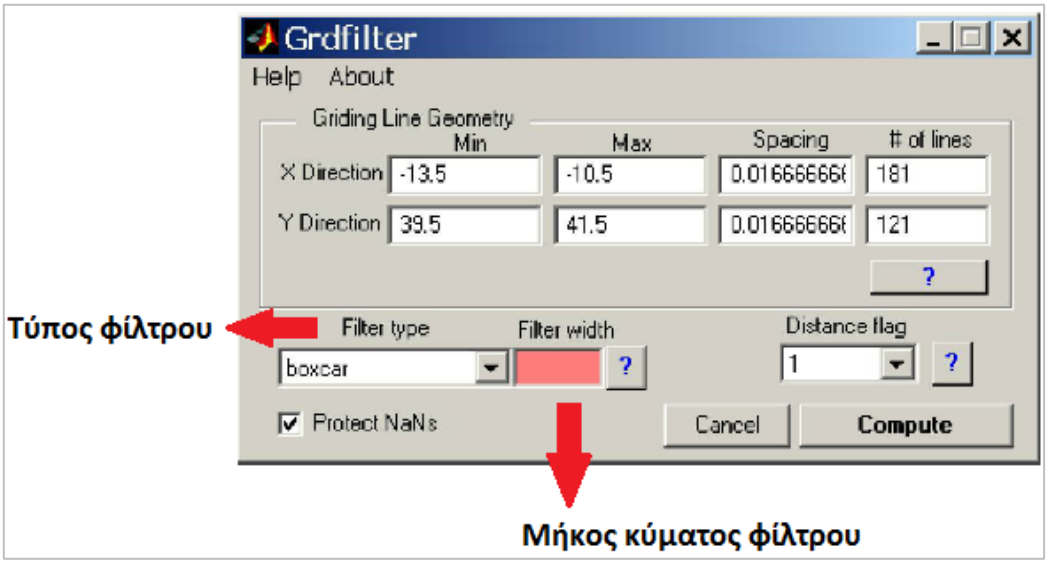
Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάστηκαν αρχικά οι δύο περιοχές μελέτης που επιλέχθηκαν (Βόρειος Ατλαντικός, Μεσόγειος και ευρύτερος Ευρωπαϊκός χώρος) και η αιτιολόγηση της επιλογής αυτής. Πραγματοποιήθηκε στη συνέχεια μια λεπτομερής παρουσίαση των παγκόσμιων μοντέλων $N_{GOCO02S}$, $MSS_{DTU2010}$, και $MDOT_{DTU2010}$ τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για τον προσδιορισμό της MDOTC των δύο περιοχών μελέτης. Στο στάδιο της προεπεξεργασίας των δεδομένων το πεδίο MDOTC κάθε περιοχής μελέτης, το οποίο αφορά αποκλειστικά την ωκεάνια περιοχή, παρουσιάζει σημαντικές διαφορές συγκριτικά με το πεδίο $MDOT_{DTU2010}$. Συγκεκριμένα για την περιοχή μελέτης του Βόρειου Ατλαντικού οι διαφορές είναι κατά απόλυτη τιμή της τάξης των 2.2m έως 3.4m ενώ η τυπική απόκλιση είναι 0.32m. Αντίστοιχα για την περιοχή μελέτης της κλειστής λεκάνης της Μεσογείου και του ευρύτερου Ευρωπαϊκού χώρου οι διαφορές κατά απόλυτη τιμή είναι 2m έως 2.5m περίπου με τυπική απόκλιση 0.31m περίπου. Εξαιτίας των σημαντικών αυτών διαφορών, για την απομάκρυνση ακραίων τιμών του πεδίου που πιθανότατα αφορούν στις ακτογραμμές και τα νησιά εφαρμόστηκαν δύο στατιστικοί έλεγχοι, 2σ και 3σ τεστ, στα πεδία τιμών των διαφορών $MDOT_{DTU2010}$-MDOTC. Αποτέλεσμα της εφαρμογής αυτής ήταν να απομακρυνθούν οι ακραίες τιμές του πεδίου βελτιώνοντας έτσι την πληροφορία που αφορά στην ωκεάνια περιοχή των δύο περιοχών μελέτης. Οι διαφορές $MDOT_{DTU2010}$-MDOTC για την περιοχή μελέτης του Βόρειου Ατλαντικού μετά την εφαρμογή του 2σ και 3σ τεστ είναι μικρότερες του 1 m ενώ σημαντική είναι και η διαφορά στην τυπική απόκλιση η οποία είναι μικρότερη του 0.1m. Ομοίως για την περιοχή μελέτης της κλειστής λεκάνης την Μεσογείου και του ευρύτερου Ευρωπαϊκού χώρου οι διαφορές μετά την εφαρμογή του 2σ και 3σ τεστ είναι μικρότερες του 1.4m ενώ σημαντική είναι και η διαφορά στην τυπική απόκλιση η οποία είναι μικρότερη του 0.1m. Συμπερασματικά λοιπόν η εφαρμογή των δυο στατιστικών τεστ στις δύο περιοχές μελέτης βελτίωσε σημαντικά την ποιότητα των αποτελεσμάτων του πεδίου. Για την περαιτέρω βελτίωση του πεδίου MDOTC των δύο περιοχών μελέτης και θέλοντας το πεδίο MDOTC να προσεγγίζει όσο το δυνατόν καλύτερα το πεδίο $MDOT_{DTU2010}$ πραγματοποιείται στη συνέχεια η εφαρμογή γραμμικών φίλτρων, με σκοπό την απομάκρυνση της επίδρασης του θορύβου και την επίτευξη της βέλτιστης λύσης με την μικρότερη δυνατή απώλεια σήματος. Το κεφάλαιο αυτό περιέχει όλο το θεωρητικό υπόβαθρο των παγκόσμιων μοντέλων που χρησιμοποιήθηκαν για τον προσδιορισμό της δυναμικής τοπογραφίας της επιφάνειας της θάλασσας των δύο περιοχών μελέτης καθώς και το σύνολο των αριθμητικών εφαρμογών που πραγματοποιήθηκαν στο στάδιο της προεπεξεργασίας των δεδομένων για τον προσδιορισμό της βέλτιστης λύσης.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4$^{ο}$

## ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΦΙΛΤΡΩΝ ΣΤΗΝ MDOTC ΚΑΙ ΩΚΕΑΝΙΑ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑ

### 4.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα αποτελέσματα εφαρμογής φίλτρων στα δυο πεδία τιμών της συνθετικής δυναμικής θαλάσσιας Τοπογραφίας MDOTC που προέκυψαν μετά την εφαρμογή των δύο στατιστικών ελέγχων (2σ και 3σ τεστ), για κάθε μια από τις δύο περιοχές μελέτης, του Βόρειου Ατλαντικού και της Μεσογείου. Μέσω του πολυεργαλείου *Mirone* ανεπτυγμένο σε περιβάλλον Matlab, εφαρμόστηκαν στα δεδομένα τα γραμμικά φίλτρα Boxcar, Cosine arch και Gaussian. Το *Mirone* αποτελεί γραφικό περιβάλλον μέσω του οποίου καθίσταται εύκολη και γρήγορη η διαχείριση δεδομένων σε μορφή πλέγματος. Επιπλέον διαθέτει ένα ευρύ φάσμα εργαλείων αποκλειστικά για εφαρμογές των επιστημών της Γης όπως μελέτες της ελαστικής παραμόρφωσης, μοντελοποίηση της διάδοσης των τσουνάμι, υπολογισμούς σχετικά με το μαγνητικό πεδίο της Γης, αναπαράσταση των τεκτονικών πλακών και της σεισμικότητας, φιλτράρισμα δεδομένων, καθώς και πλήθος εργαλείων για τη μέτρηση μηκών, εμβαδών και αζιμούθιων καθώς και σχεδιαστικά εργαλεία. Στην παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκε φιλτράρισμα των πεδίων τιμών MDOTC μετά το 2σ τεστ και MDOTC μετά το 3σ τεστ των δυο περιοχών μελέτης μέσω της επιλογής *Grdfilter* του *Mirone*. Η λειτουργία *Grdfilter* δίνει τη δυνατότητα φιλτραρίσματος δεδομένων μέσω των φίλτρων Boxcar, Cosine arch, Gaussian και Median όπου επιλέγεται το φίλτρο και το μήκος κύματος (πλήρες μήκος) του φίλτρου όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.




**Σχήμα 4.1**: Φιλτράρισμα δεδομένων μέσω της επιλογής *Grdfilter* του *Mirone*

Πραγματοποιήθηκε μια εκτενής σειρά πειραμάτων με σκοπό την εύρεση τόσο του καλύτερου φίλτρου όσο και του κατάλληλου εκείνου μήκους κύματος (πλήρες μήκος κύματος) έτσι ώστε το πεδίο MDOTC να παρουσιάζει τις μικρότερες διαφορές από το πεδίο MDOT του παγκόσμιου μοντέλου DTU2010. Τέλος πραγματοποιήθηκε ο υπολογισμός των συνιστωσών των ταχυτήτων της γεωστροφικής ροής των περιοχών προσδιορίζοντας έτσι την ωκεάνια κυκλοφορία και τα γνωστά θαλάσσια ρεύματα στις δύο περιοχές μελέτης. Τα αποτελέσματα της εφαρμογής των φίλτρων και η ωκεάνια κυκλοφορία καθώς επίσης και τα στατιστικά τους για τις δύο περιοχές μελέτης παρουσιάζονται στη συνέχεια.

## 4.2 Η Δυναμική Τοπογραφία της Θάλασσας MDOTC στο Βόρειο Ατλαντικό μετά την εφαρμογή φίλτρων

Όπως έχει ήδη παρουσιαστεί στο τρίτο κεφάλαιο, η εφαρμογή των στατιστικών ελέγχων 2σ και 3σ τεστ είχε σαν αποτέλεσμα την απομάκρυνση των χονδροειδών σφαλμάτων των δεδομένων και των ακραίων τιμών του πεδίου MDOTC της περιοχής του Βόρειου Ατλαντικού τα οποία δεν απομακρύνθηκαν μέσω του φίλτρου *gmtselect* και αφορούν κυρίως στις ακτογραμμές και τα νησιά. Για την βελτίωση του πεδίου MDOTC της περιοχής ακολούθησε η εφαρμογή των φίλτρων Boxcar, Cosine arch και Gaussian τα αποτελέσματα των οποίων παρουσιάζονται στη συνέχεια.

### 4.2.1 Αποτελέσματα εφαρμογής φίλτρων στο πεδίο MDOTC μετά το 2σ τεστ

Αρχικά χρησιμοποιήθηκαν τα θαλάσσια δεδομένα της περιοχής του Βόρειου Ατλαντικού του πεδίου τιμών MDOTC μετά το 2σ τεστ με τη μορφή αρχείου εισαγωγής φ σε μοίρες, λ σε μοίρες, τιμή πεδίου σε μέτρα (πχ 35.66666 286.66666 0.46925649). Στη συνέχεια μέσω του φίλτρου δεδομένων *gmtselect* και με την εφαρμογή κατάλληλων εντολών προέκυψε ένα νέο αρχείο του πεδίου τιμών σε grd format για την εφαρμογή των φίλτρων μέσω του *Mirone*. Στο πεδίο τιμών αυτό εφαρμόζεται κάθε φορά φίλτρο και επιλέγεται κάποια τιμή μήκους κύματος (πλήρες μήκος κύματος). Τα αρχεία εισαγωγής του προγράμματος που αναπτύχθηκε σε περιβάλλον Matlab είναι το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του εκάστοτε φίλτρου, καθώς επίσης και το πεδίο MDOT από το Παγκόσμιο μοντέλο DTU2010, με σκοπό τον υπολογισμό των νέων διαφορών μεταξύ των δύο προαναφερθέντων πεδίων.

Στη συνέχεια και πάλι μέσω του φίλτρου δεδομένων *gmtselect* απομακρύνονται οι τιμές που αφορούν στις ηπειρωτικές περιοχές έτσι ώστε οι χάρτες του νέου πεδίου MDOTC, οι διαφορές, όπως επίσης και τα στατιστικά να υπολογίζονται μόνο από τα δεδομένα που αφορούν στη θαλάσσια περιοχή. Στην περίπτωση της περιοχής μελέτης του Βόρειου Ατλαντικού εφαρμόστηκε αρχικά το φίλτρο Boxcar επιλέγοντας δεκαέξι τιμές μήκους κύματος μεταξύ των τιμών 300km έως 1500km (μισό μήκος κύματος 150 km – 750 km), στη συνέχεια εφαρμόστηκε το φίλτρο Cosine arch επιλέγοντας δεκαεπτά τιμές μήκους κύματος μεταξύ των τιμών 300km έως 1500km (μισό μήκος κύματος 150 km – 750 km), και τέλος

εφαρμόστηκε το φίλτρο Gaussian επιλέγοντας δεκαεννέα τιμές μήκους κύματος μεταξύ των τιμών 400km έως 1500km (μισό μήκος κύματος 200 km – 750 km). Θα πρέπει να αναφερθεί ότι δεν υπήρχε σταθερό βήμα μήκους κύματος φίλτρου κατά την εφαρμογή των φίλτρων. Στη συνέχεια παρουσιάζεται μέρος των αποτελεσμάτων του φίλτρου Boxcar που εφαρμόστηκε στο πεδίο MDOTC μετά το 2σ τεστ.

Σύμφωνα με τα στατιστικά αποτελέσματα του πίνακα 4.2 του φίλτρου Boxcar, που εφαρμόστηκε στο πεδίο τιμών MDOTC μετά το 2σ τεστ, φαίνεται ότι το καταλληλότερο μήκος κύματος φίλτρου είναι τα 400km. Το συμπέρασμα αυτό προέκυψε από τα αποτελέσματα των στατιστικών στοιχείων των διαφορών $MDOT_{DTU2010}$-MDOTC που υπολογίστηκαν. Παρατηρώντας τα στατιστικά χαρακτηριστικά του πεδίου τιμών των διαφορών φαίνεται ότι με την εφαρμογή μήκους κύματος φίλτρου λ=400km στο πεδίο τιμών MDOTC προκύπτει η μικρότερη τυπική απόκλιση, ±0.081m, στις υπολογιζόμενες εκ των υστέρων διαφορές με το παγκόσμιο μοντέλο, ενώ το εύρος διακύμανσης των τιμών είναι 0.72m. Επιπλέον από τους χάρτες των διαφορών φαίνεται ότι στα μήκη κύματος φίλτρου μικρότερα από 400km παρουσιάζονται οι μεγαλύτερες θετικές και αρνητικές τιμές του πεδίου των διαφορών σε περιοχές κοντά στις ακτογραμμές, τα νησιά αλλά και στη θαλάσσια περιοχή με γεωγραφικά όρια $50^o \leq \phi \leq 60^o$ και $-80^o \leq \lambda \leq 0^o$.

Για μεγαλύτερα μήκη κύματος φίλτρου, που εφαρμόστηκαν στο πεδίο τιμών στα πλαίσια της ερευνητικής επεξεργασίας των δεδομένων, και πιο συγκεκριμένα για μήκη κύματος φίλτρου από 450km έως 620km, φαίνεται ότι αυξάνει τόσο η τυπική απόκλιση των διαφορών κατά 4mm όσο και το εύρος διακύμανσης των στατιστικών τιμών των διαφορών αυξάνει κατά 16mm. Ταυτόχρονα, από τους χάρτες των διαφορών φαίνεται ότι το μεγαλύτερο μέρος των τιμών εξομαλύνεται. Αυτό φαίνεται στη θαλάσσια περιοχή $50^o \leq \phi \leq 60^o$ και $-65^o \leq \lambda \leq 10^o$ όπου οι ακραίες θετικές τιμές του πεδίου εξομαλύνθηκαν αλλά και στη θαλάσσια περιοχή $20^o \leq \phi \leq 30^o$ και $-80^o \leq \lambda \leq 10^o$ όπου εξομαλύνθηκαν και οι ακραίες αρνητικές τιμές του πεδίου. Παρ' όλα αυτά παρουσιάζονται τοπικά οι μέγιστες θετικές και αρνητικές τιμές του πεδίου, και πιο συγκεκριμένα στη θαλάσσια περιοχή του ρεύματος του Κόλπου (Gulf Stream), με γεωγραφικά όρια $30^o \leq \phi \leq 50^o$ και $-80^o \leq \lambda \leq -40^o$, καθώς επίσης και κοντά στις ακτογραμμές και τα νησιά, όπου φαίνεται ότι η εφαρμογή μεγαλύτερων μηκών κύματος προκαλούν ναι μεν την απομάκρυνση της επίδρασης του θορύβου του πεδίου συνολικά αλλά ταυτόχρονα και την απομάκρυνση σήματος τοπικά.

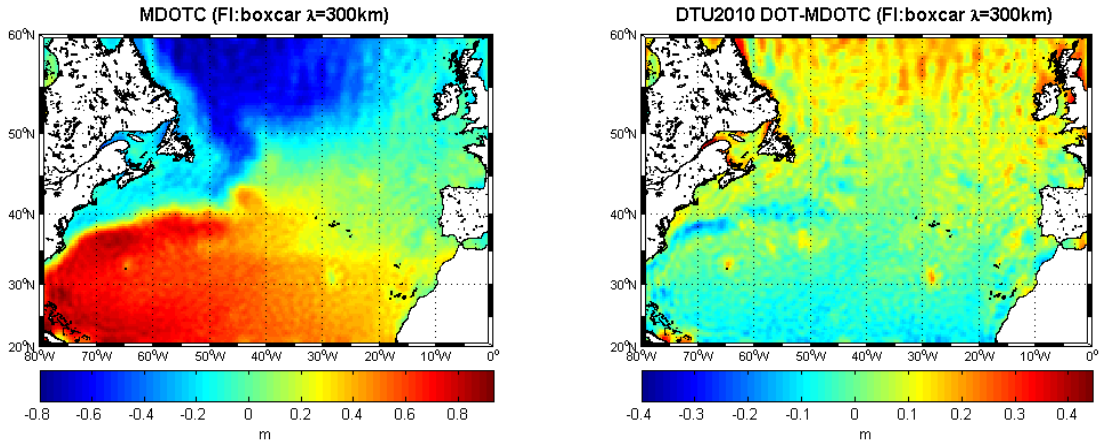
Τέλος για μήκη κύματος μεγαλύτερα των 620km έως και τα 1200km φαίνεται ότι οι ακραίες τιμές που παρουσιάζονται στις παραπάνω περιοχές είναι ακόμη μεγαλύτερες που συνεπάγεται την μεγαλύτερη απομάκρυνση σήματος και ωφέλιμης πληροφορίας. Από τα παραπάνω φαίνεται συμπερασματικά ότι η επίτευξη της βέλτιστης λύσης με την εφαρμογή του φίλτρου Boxcar, δηλαδή η απομάκρυνση της επίδρασης του θορύβου με την μικρότερη δυνατή απώλεια σήματος επιτεύχθηκε με την εφαρμογή μήκους κύματος φίλτρου 400km. Οι χάρτες που παρουσιάζονται στη συνέχεια δίνονται σε μέτρα και με ενιαία κλίμακα για την μεταξύ τους σύγκριση καθώς επίσης και τα στατιστικά τους δίνονται σε μέτρα. Το μήκος κύματος φίλτρου λ δίνεται σε km.

**Πίνακας 4.1:** Στατιστικά χαρακτηριστικά του φίλτρου Boxcar που εφαρμόστηκε στο πεδίο τιμών MDOTC μετά το 2σ τεστ {m}

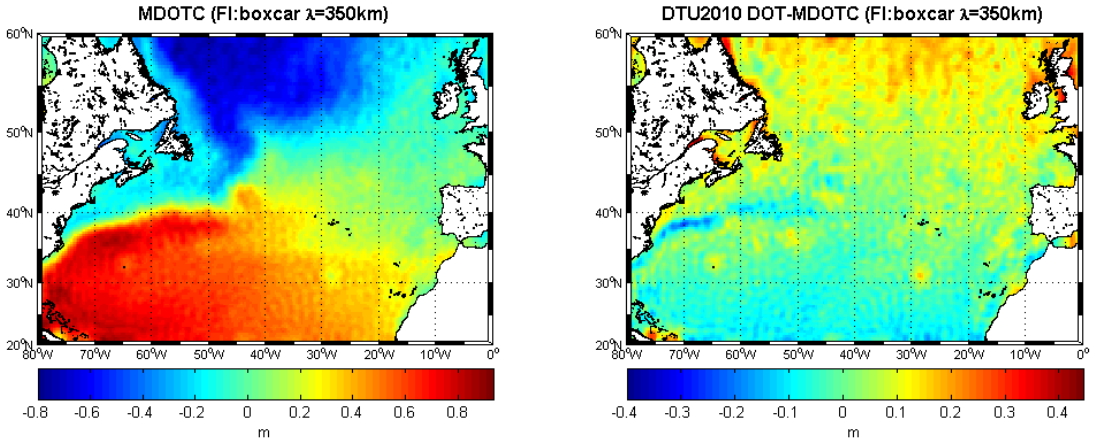
| Φίλτρο | λ | max | min | mean | std |
|---|---|---|---|---|---|
| Boxcar | 300 | 0.946 | -0.820 | 0.154 | ±0.419 |
| Boxcar | 350 | 0.914 | -0.794 | 0.154 | ±0.418 |
| Boxcar | 400 | 0.884 | -0.769 | 0.154 | ±0.416 |
| Boxcar | 450 | 0.875 | -0.760 | 0.154 | ±0.415 |
| Boxcar | 500 | 0.854 | -0.759 | 0.153 | ±0.414 |
| Boxcar | 550 | 0.848 | -0.754 | 0.153 | ±0.412 |
| Boxcar | 620 | 0.842 | -0.739 | 0.152 | ±0.411 |
| Boxcar | 700 | 0.837 | -0.737 | 0.152 | ±0.408 |
| Boxcar | 780 | 0.821 | -0.740 | 0.151 | ±0.406 |
| Boxcar | 900 | 0.813 | -0.730 | 0.150 | ±0.403 |
| Boxcar | 1200 | 0.781 | -0.700 | 0.149 | ±0.394 |

**Πίνακας 4.2:** Στατιστικά χαρακτηριστικά για το πεδίο τιμών των διαφορών $MDOT_{DTU2010}$-MDOTC (Boxcar) {m}

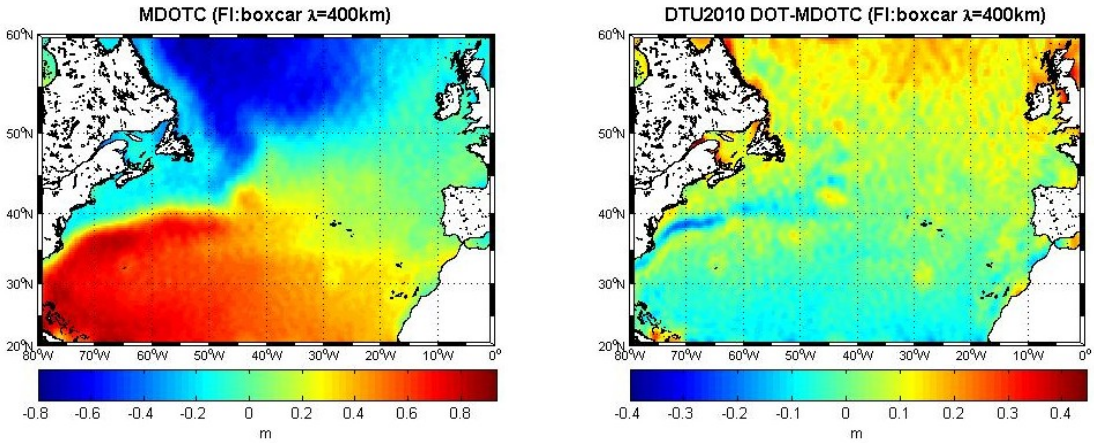
| Φίλτρο | λ | max | min | mean | std | range |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Boxcar | 300 | 0.448 | -0.226 | 0.026 | ±0.083 | 0.674 |
| Boxcar | 350 | 0.462 | -0.256 | 0.027 | ±0.082 | 0.718 |
| **Boxcar** | **400** | **0.469** | **-0.251** | **0.027** | **±0.081** | **0.720** |
| Boxcar | 450 | 0.462 | -0.277 | 0.027 | ±0.081 | 0.739 |
| Boxcar | 500 | 0.449 | -0.295 | 0.028 | ±0.082 | 0.744 |
| Boxcar | 550 | 0.437 | -0.299 | 0.028 | ±0.083 | 0.736 |
| Boxcar | 620 | 0.425 | -0.311 | 0.028 | ±0.085 | 0.736 |
| Boxcar | 700 | 0.410 | -0.326 | 0.029 | ±0.087 | 0.736 |
| Boxcar | 780 | 0.394 | -0.345 | 0.029 | ±0.090 | 0.739 |
| Boxcar | 900 | 0.388 | -0.355 | 0.030 | ±0.094 | 0.743 |
| Boxcar | 1200 | 0.408 | -0.385 | 0.032 | ±0.103 | 0.793 |



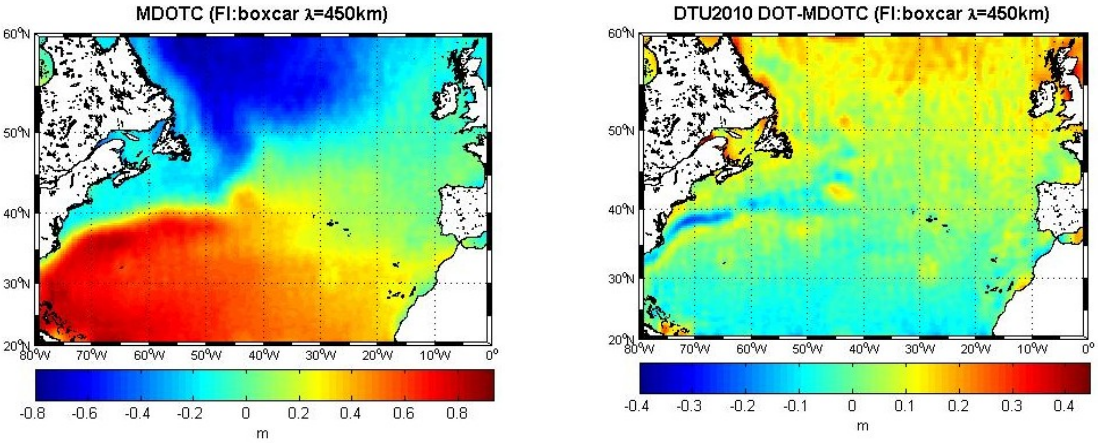

**Σχήμα 4.2**: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Boxcar (λ=300km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}



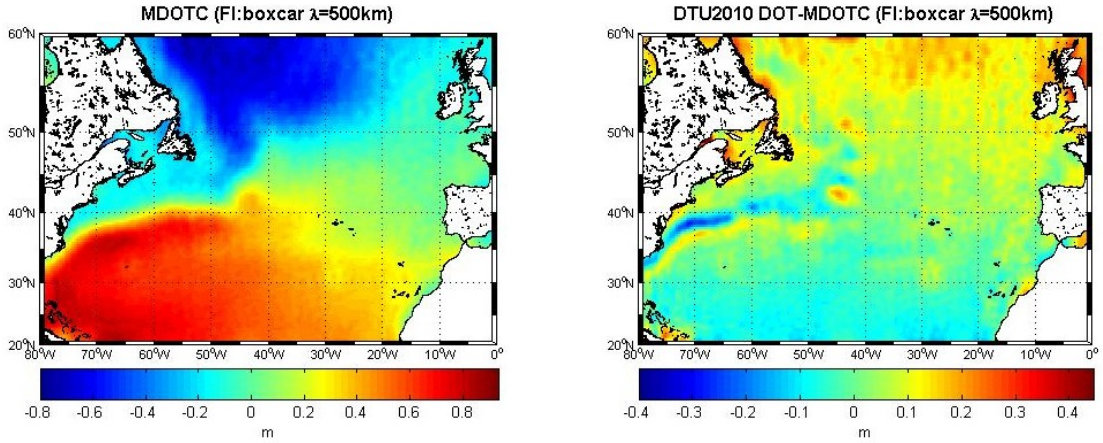

**Σχήμα 4.3**: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Boxcar (λ=350km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}



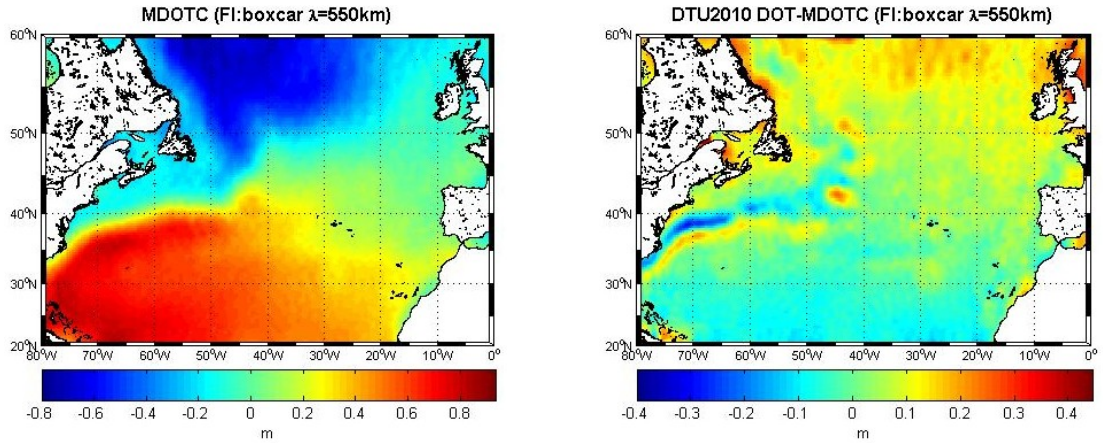

**Σχήμα 4.4**: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Boxcar (λ=400km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}



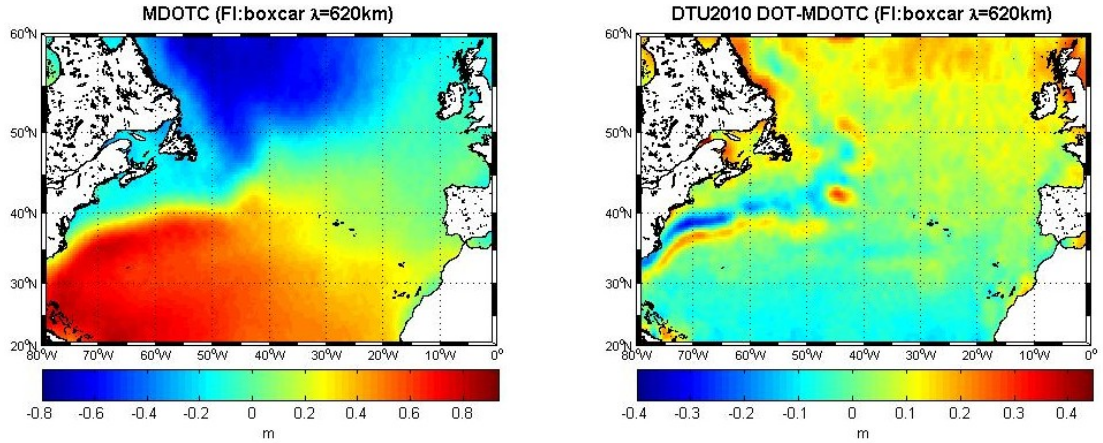

**Σχήμα 4.5**: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Boxcar (λ=450km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}



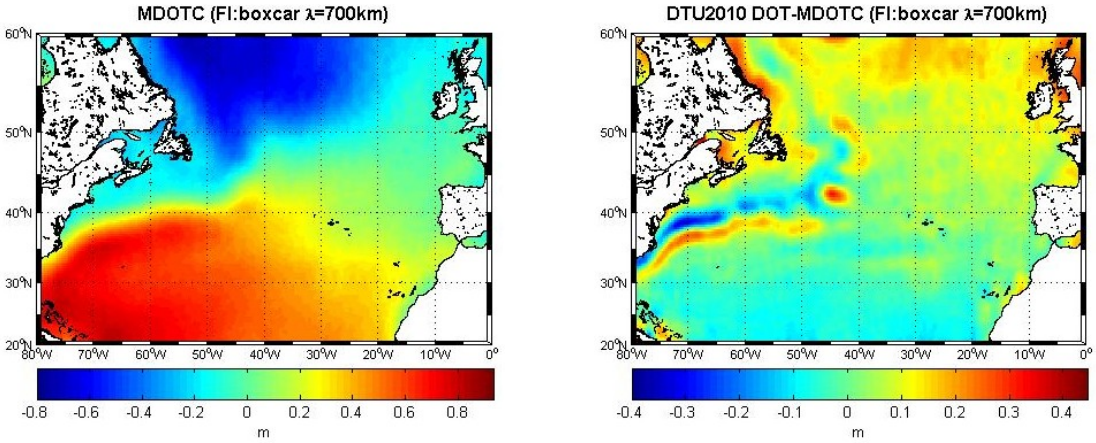

**Σχήμα 4.6**: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Boxcar (λ=500km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}



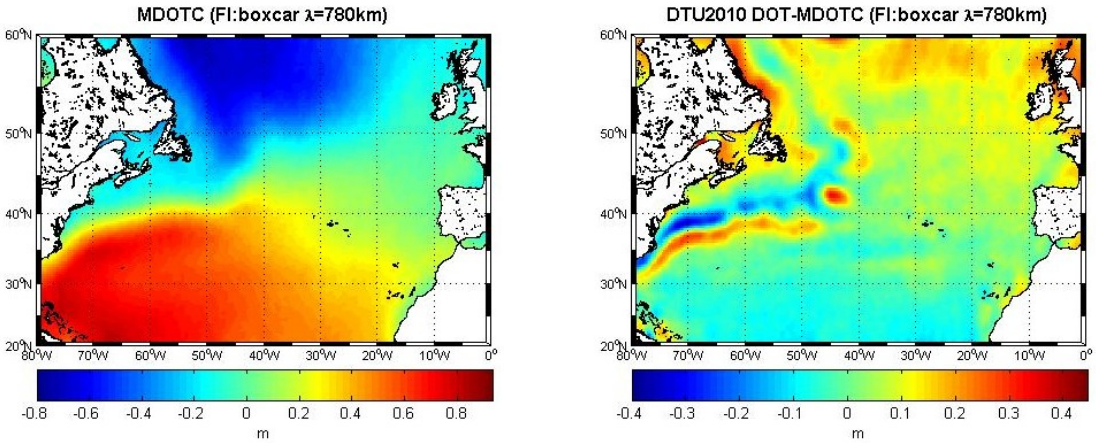

**Σχήμα 4.7**: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Boxcar (λ=550km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}



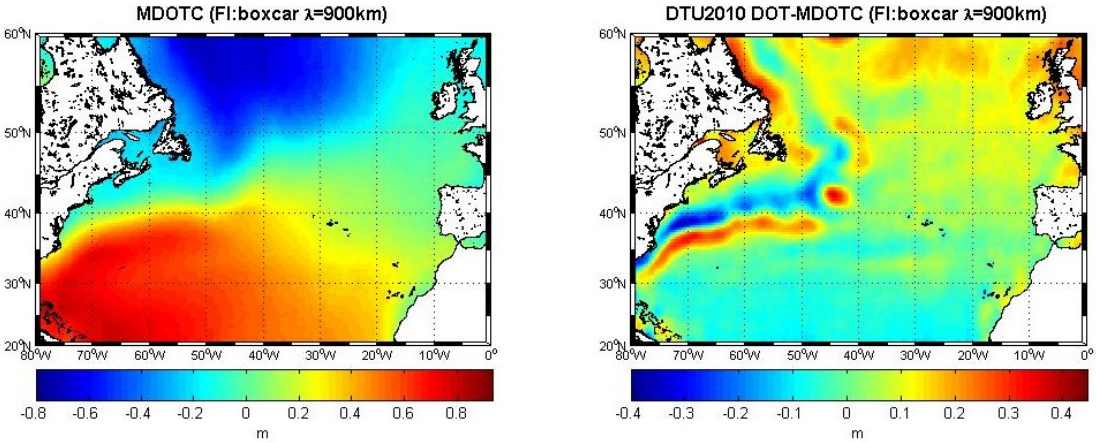

**Σχήμα 4.8**: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Boxcar (λ=620km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}



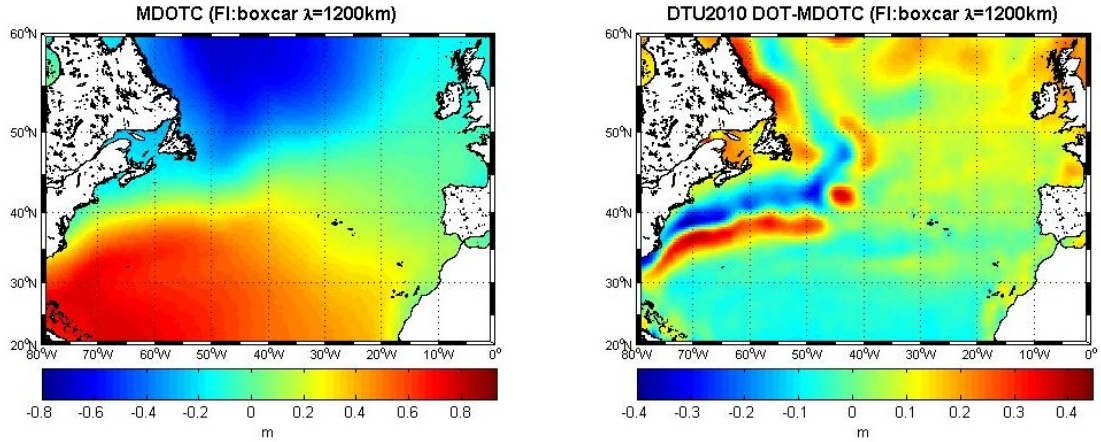

**Σχήμα 4.9**: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Boxcar (λ=700km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}




**Σχήμα 4.10**: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Boxcar (λ=780km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}




**Σχήμα 4.11**: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Boxcar (λ=900km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}




**Σχήμα 4.12**: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Boxcar (λ=1200km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}

Στον πίνακα 4.4 παρουσιάζεται μέρος των αποτελεσμάτων του φίλτρου Cosine arch που εφαρμόστηκε στο πεδίο MDOTC μετά το 2σ τεστ. Σύμφωνα με τα στατιστικά αποτελέσματα του πίνακα 4.4 για το φίλτρο φίλτρου Cosine arch, που εφαρμόστηκε στο πεδίο τιμών MDOTC μετά το 2σ τεστ, φαίνεται ότι όμοια με το φίλτρο Boxcar, το καταλληλότερο μήκος κύματος φίλτρου είναι τα 400km. Το συμπέρασμα αυτό προέκυψε από τα αποτελέσματα των στατιστικών στοιχείων των διαφορών $DOT_{DTU2010}$-MDOTC που υπολογίστηκαν.

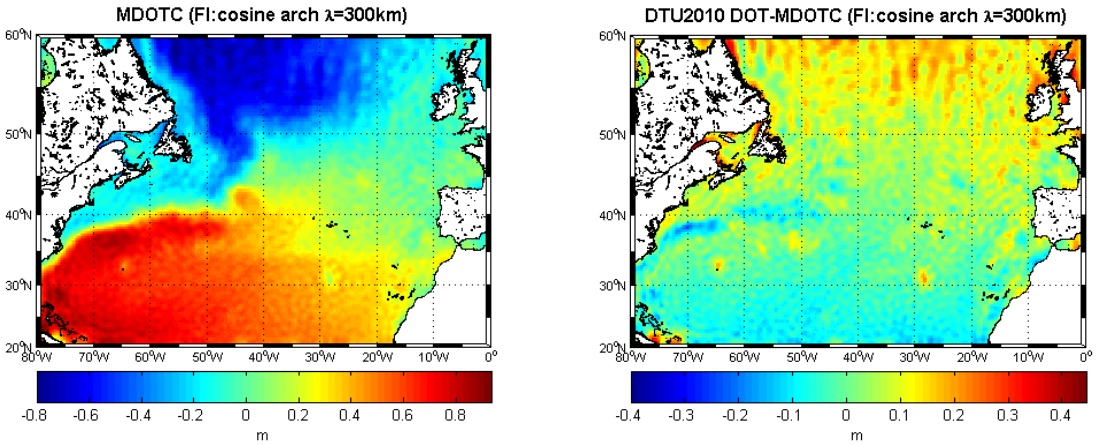
Τα στατιστικά αποτελέσματα των φίλτρων Boxcar και Cosine arch δείχνουν ότι τα δύο φίλτρα λειτουργούν με τον ίδιο τρόπο στα δεδομένα του πεδίου τιμών της συνθετικής δυναμικής θαλάσσιας τοπογραφίας MDOTC καθώς παρουσιάζουν σχεδόν τα ίδια στατιστικά αποτελέσματα, όπως επίσης προκύπτουν τα ίδια συμπεράσματα από τους χάρτες των διαφορών με το παγκόσμιο μοντέλο της $MDOT_{DTU2010}$ (βλέπε πίνακα 4.2 και 4.4).

**Πίνακας 4.3:** Στατιστικά χαρακτηριστικά του φίλτρου Cosine arch που εφαρμόστηκε στο πεδίο τιμών MDOTC μετά το 2σ τεστ {m}

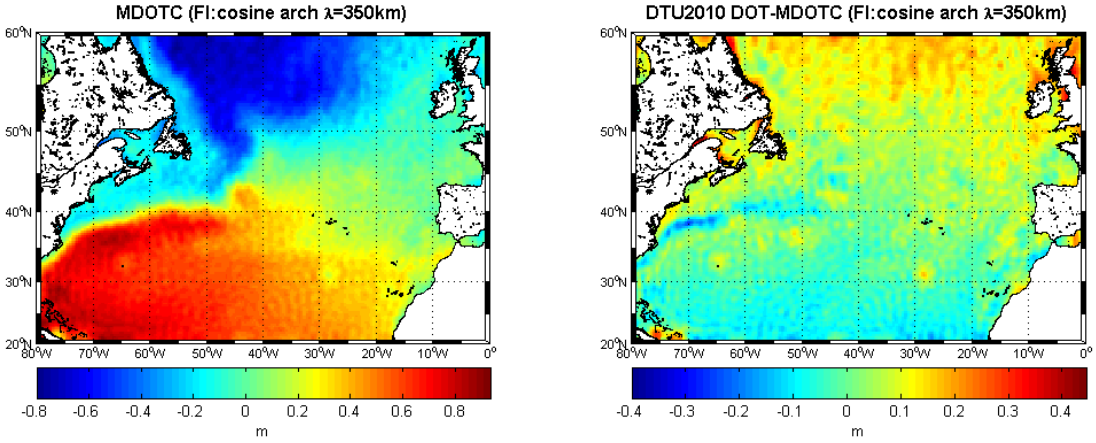
| Φίλτρο | λ | max | min | mean | std |
|---|---|---|---|---|---|
| Cosine arch | 300 | 0.946 | -0.820 | 0.154 | ±0.419 |
| Cosine arch | 350 | 0.914 | -0.794 | 0.154 | ±0.418 |
| Cosine arch | 400 | 0.884 | -0.769 | 0.154 | ±0.416 |
| Cosine arch | 450 | 0.875 | -0.760 | 0.154 | ±0.415 |
| Cosine arch | 500 | 0.854 | -0.759 | 0.153 | ±0.414 |
| Cosine arch | 600 | 0.844 | -0.740 | 0.152 | ±0.411 |
| Cosine arch | 650 | 0.835 | -0.739 | 0.152 | ±0.410 |
| Cosine arch | 750 | 0.830 | -0.741 | 0.151 | ±0.407 |
| Cosine arch | 790 | 0.819 | -0.741 | 0.151 | ±0.406 |
| Cosine arch | 900 | 0.813 | -0.730 | 0.150 | ±0.403 |
| Cosine arch | 1500 | 0.763 | -0.688 | 0.147 | ±0.385 |

**Πίνακας 4.4:** Στατιστικά χαρακτηριστικά για το πεδίο τιμών των διαφορών $MDOT_{DTU2010}$-MDOTC (Cosine arch) {m}

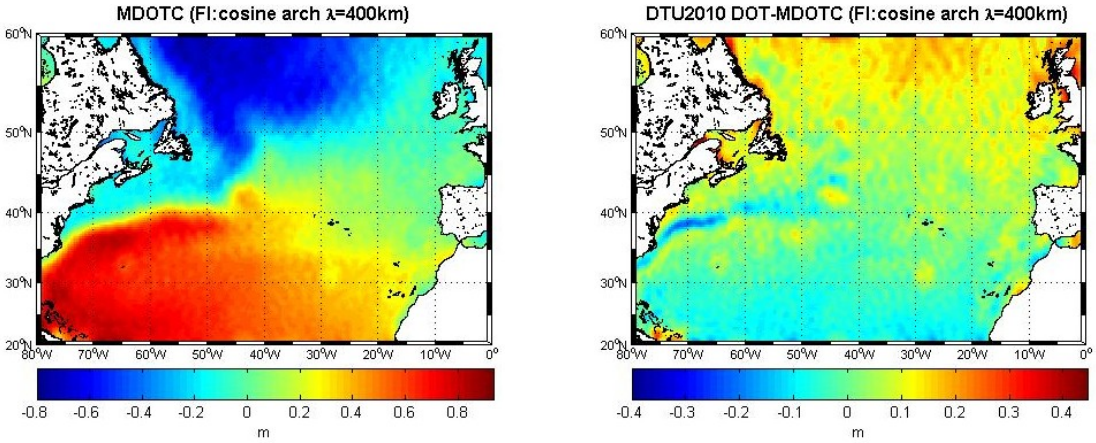
| Φίλτρο | λ | max | min | mean | std | range |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Cosine arch | 300 | 0.448 | -0.226 | 0.026 | ±0.083 | 0.674 |
| Cosine arch | 350 | 0.462 | -0.256 | 0.027 | ±0.082 | 0.718 |
| **Cosine arch** | **400** | **0.469** | **-0.251** | **0.027** | **±0.081** | **0.720** |
| Cosine arch | 450 | 0.462 | -0.277 | 0.027 | ±0.081 | 0.739 |
| Cosine arch | 500 | 0.449 | -0.295 | 0.028 | ±0.082 | 0.744 |
| Cosine arch | 600 | 0.426 | -0.309 | 0.028 | ±0.084 | 0.735 |
| Cosine arch | 650 | 0.419 | -0.316 | 0.029 | ±0.086 | 0.735 |
| Cosine arch | 750 | 0.400 | -0.342 | 0.029 | ±0.089 | 0.742 |
| Cosine arch | 790 | 0.393 | -0.353 | 0.030 | ±0.090 | 0.746 |
| Cosine arch | 900 | 0.388 | -0.355 | 0.030 | ±0.094 | 0.743 |
| Cosine arch | 1500 | 0.447 | -0.399 | 0.034 | ±0.109 | 0.846 |



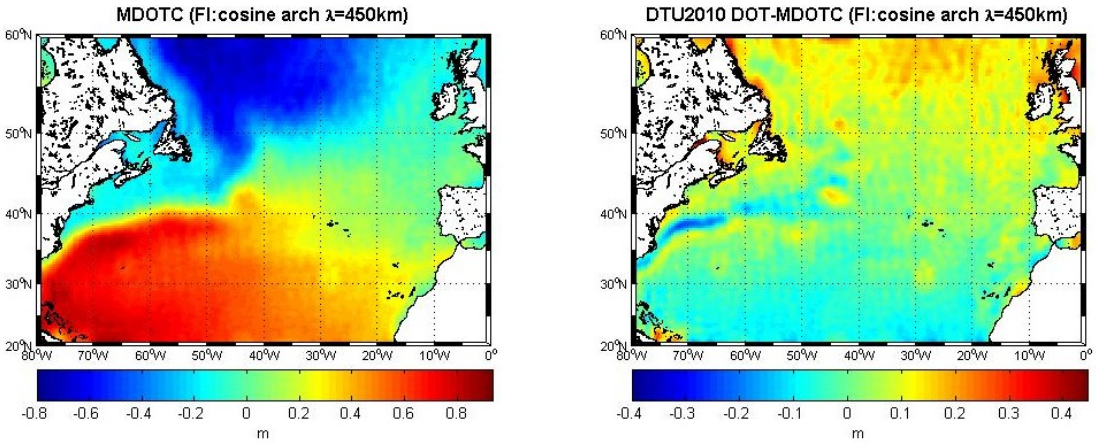

**Σχήμα 4.13**: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Cosine arch (λ=300km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}



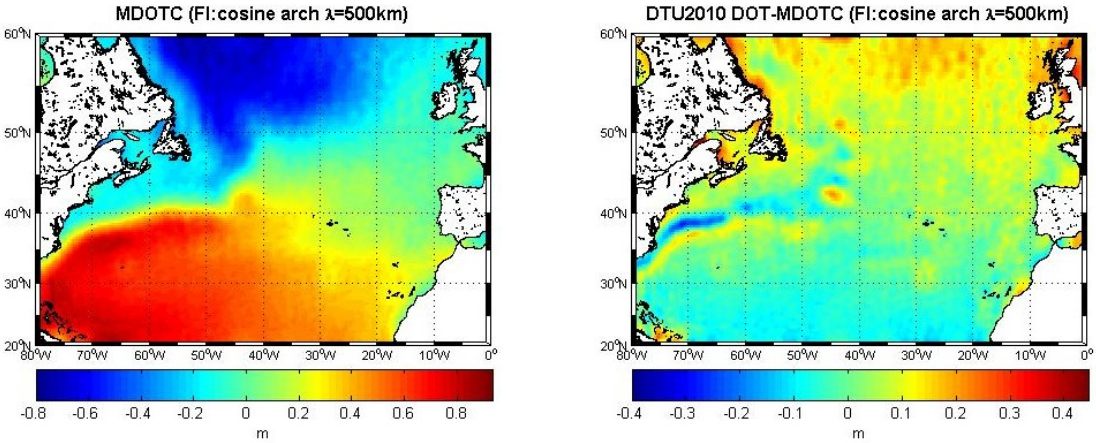

**Σχήμα 4.14**: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Cosine arch (λ=350km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}



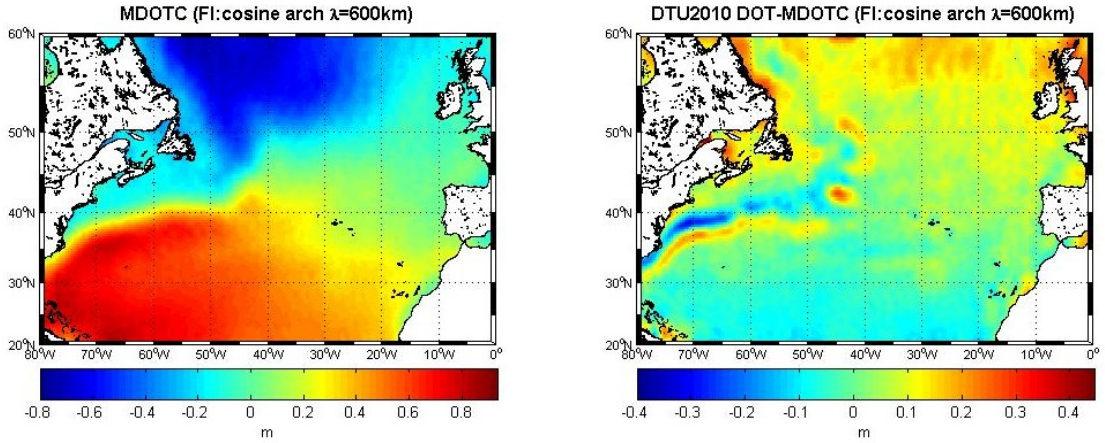

**Σχήμα 4.15**: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Cosine arch (λ=400km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}



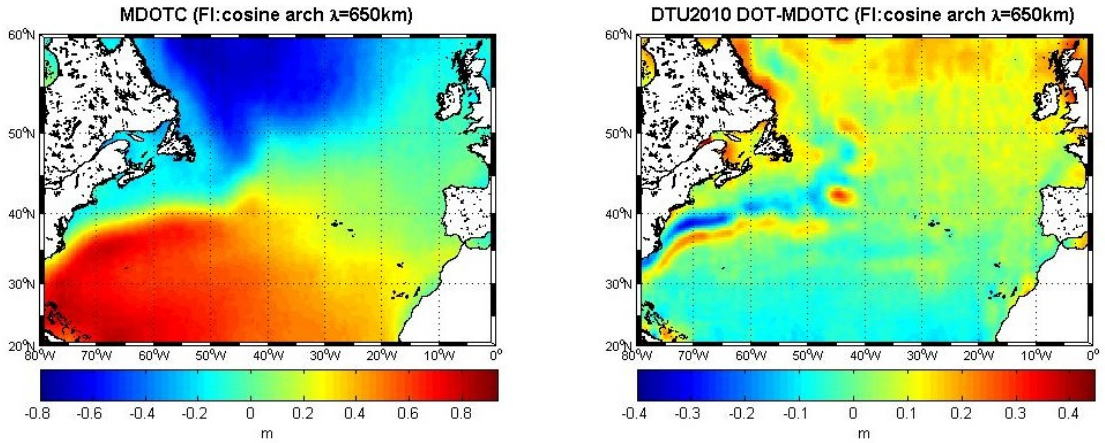

**Σχήμα 4.16**: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Cosine arch (λ=450km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}



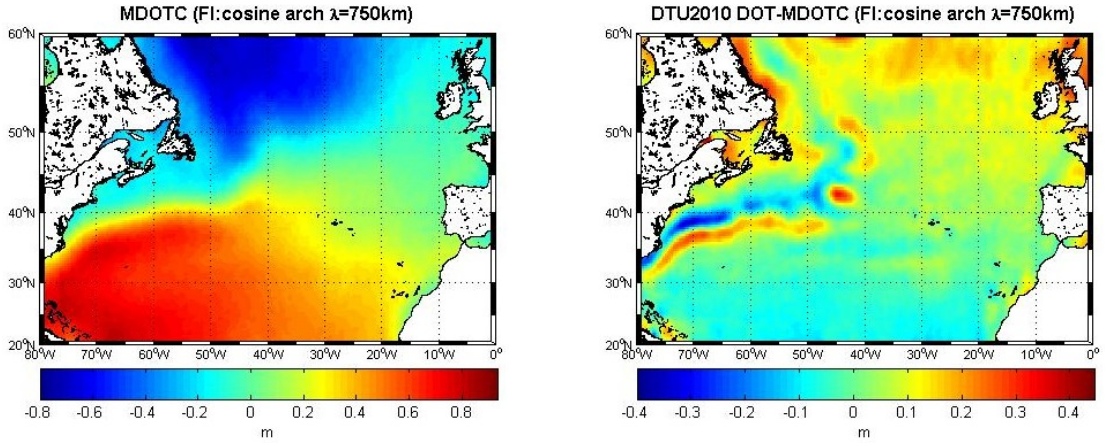

**Σχήμα 4.17**: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Cosine arch (λ=500km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}



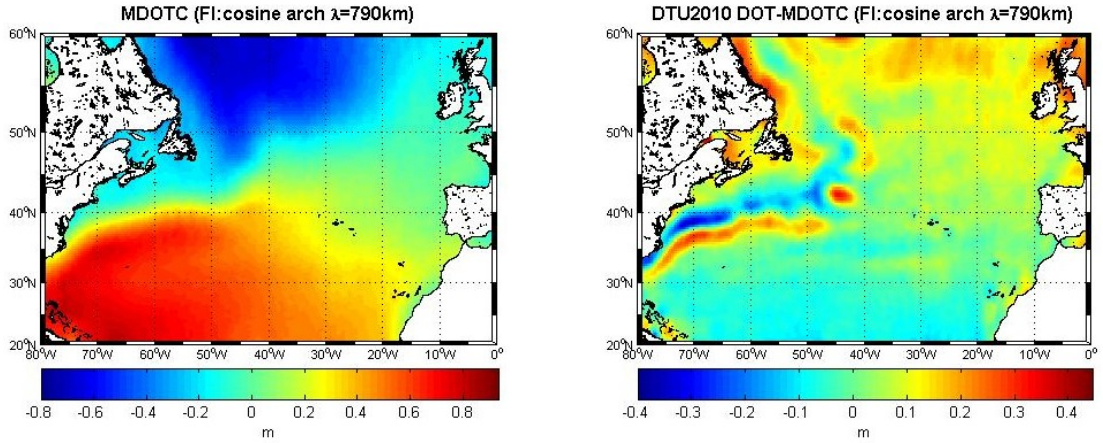

**Σχήμα 4.18**: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Cosine arch (λ=600km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}



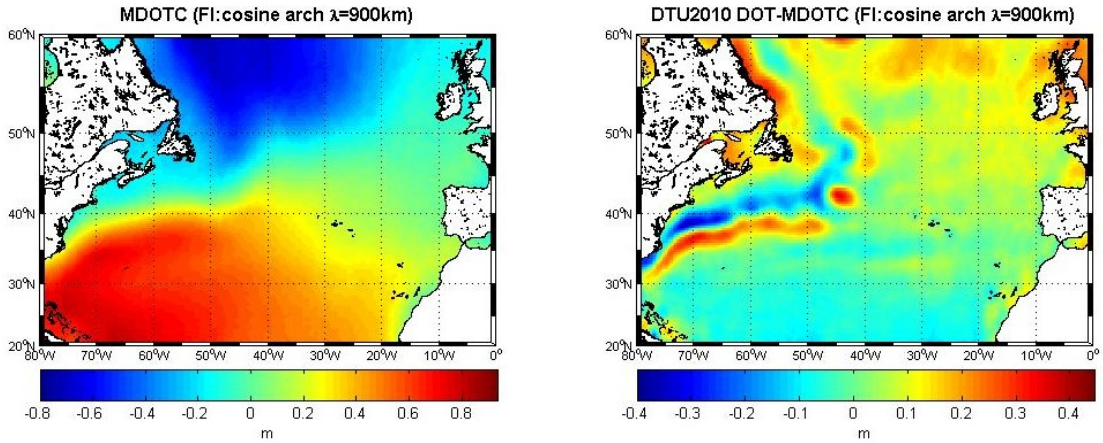

**Σχήμα 4.19**: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Cosine arch (λ=650km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}



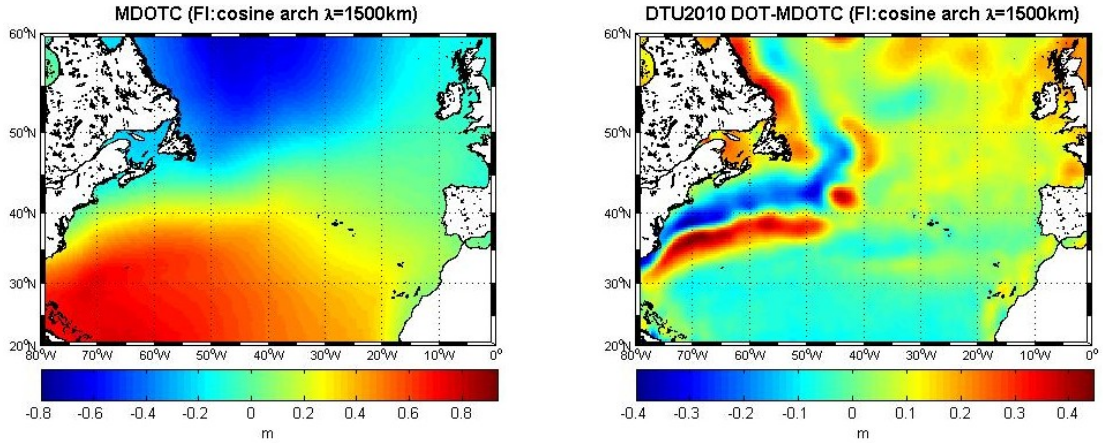

**Σχήμα 4.20**: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Cosine arch (λ=750km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}




**Σχήμα 4.21**: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Cosine arch (λ=790km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}




**Σχήμα 4.22**: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Cosine arch (λ=900km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}




**Σχήμα 4.23**: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Cosine arch (λ=1500km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}

Στη συνέχεια παρουσιάζεται μέρος των αποτελεσμάτων του τελευταίου φίλτρου που εφαρμόστηκε στο πεδίο MDOTC μετά το 2σ τεστ, του φίλτρου Gaussian. Σύμφωνα με τα στατιστικά αποτελέσματα του πίνακα 4.6 του φίλτρου Gaussian, που εφαρμόστηκε στο πεδίο τιμών MDOTC μετά το 2σ τεστ, φαίνεται ότι το καταλληλότερο μήκος κύματος φίλτρου είναι τα 550km. Το συμπέρασμα αυτό προέκυψε από τα αποτελέσματα των στατιστικών στοιχείων των διαφορών $DOT_{DTU2010}$-MDOTC που υπολογίστηκαν. Σύμφωνα με τα στατιστικά χαρακτηριστικά του πεδίου τιμών των διαφορών φαίνεται ότι με την εφαρμογή μήκους κύματος φίλτρου λ=550km στο πεδίο τιμών προκύπτει τυπική απόκλιση, ±0.08m, στις υπολογιζόμενες εκ των υστέρων διαφορές με το παγκόσμιο μοντέλο, ενώ το εύρος διακύμανσης των τιμών είναι 0.646m. Επιπλέον από τους χάρτες των διαφορών φαίνεται ότι στα μήκη κύματος φίλτρου μικρότερα από 550km παρουσιάζονται αρκετές ακραίες τιμές σε περιοχές κοντά στις ακτογραμμές, τα νησιά αλλά και στη θαλάσσια περιοχή με γεωγραφικά όρια $50^o \leq \phi \leq 60^o$ και $-80^o \leq \lambda \leq 0^o$.

Για μεγαλύτερα μήκη κύματος φίλτρου, που εφαρμόστηκαν στο πεδίο τιμών στα πλαίσια της επεξεργασίας των δεδομένων, και πιο συγκεκριμένα για μήκη κύματος φίλτρου από 600km έως 950km, φαίνεται ότι η τυπική απόκλιση των διαφορών είναι περίπου η ίδια αλλά το εύρος διακύμανσης των στατιστικών τιμών των διαφορών αυξάνει. Ταυτόχρονα, από τους χάρτες των διαφορών φαίνεται ότι το μεγαλύτερο μέρος των τιμών εξομαλύνεται. Αυτό φαίνεται στη θαλάσσια περιοχή με γεωγραφικά όρια $50^o \leq \phi \leq 60^o$ και $-65^o \leq \lambda \leq -10^o$ όπου οι ακραίες θετικές τιμές του πεδίου εξομαλύνθηκαν αλλά και στη θαλάσσια περιοχή με γεωγραφικά όρια $20^o \leq \phi \leq 30^o$ και $-80^o \leq \lambda \leq -10^o$ όπου εξομαλύνθηκαν και οι ακραίες αρνητικές τιμές του πεδίου. Παρ' όλα αυτά παρουσιάζονται τοπικά, στη θαλάσσια περιοχή του ρεύματος του Κόλπου (Gulf Stream), με γεωγραφικά όρια $30^o \leq \phi \leq 50^o$ και $-80^o \leq \lambda \leq -40^o$, έντονα ακραίες τιμές όπου φαίνεται ότι η εφαρμογή μεγαλύτερων μηκών κύματος προκαλούν την απομάκρυνση της επίδρασης του θορύβου τοπικά αλλά ταυτόχρονα και την απομάκρυνση σήματος, όπως συνέβη και στην περίπτωση εφαρμογής των φίλτρων Boxcar και Cosine arch.

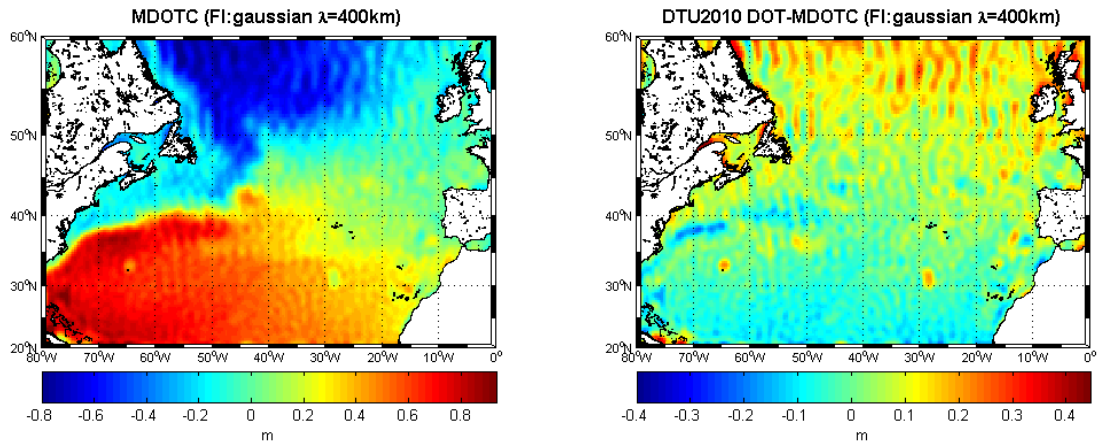
Τέλος για μήκη κύματος μεγαλύτερα των 950km έως και τα 1200km φαίνεται ότι οι ακραίες τιμές που παρουσιάζονται στις παραπάνω περιοχές είναι ακόμη μεγαλύτερες που συνεπάγεται την μεγαλύτερη απομάκρυνση σήματος και ωφέλιμης πληροφορίας. Από τα παραπάνω φαίνεται συμπερασματικά ότι η επίτευξη της βέλτιστης λύσης με την εφαρμογή του φίλτρου Gaussian, δηλαδή η απομάκρυνση της επίδρασης του θορύβου με την μικρότερη δυνατή απώλεια σήματος επιτεύχθηκε με την εφαρμογή μήκους κύματος φίλτρου 550km.

**Πίνακας 4.5:** Στατιστικά χαρακτηριστικά του φίλτρου Gaussian που εφαρμόστηκε στο πεδίο τιμών MDOTC μετά το 2σ τεστ {m}

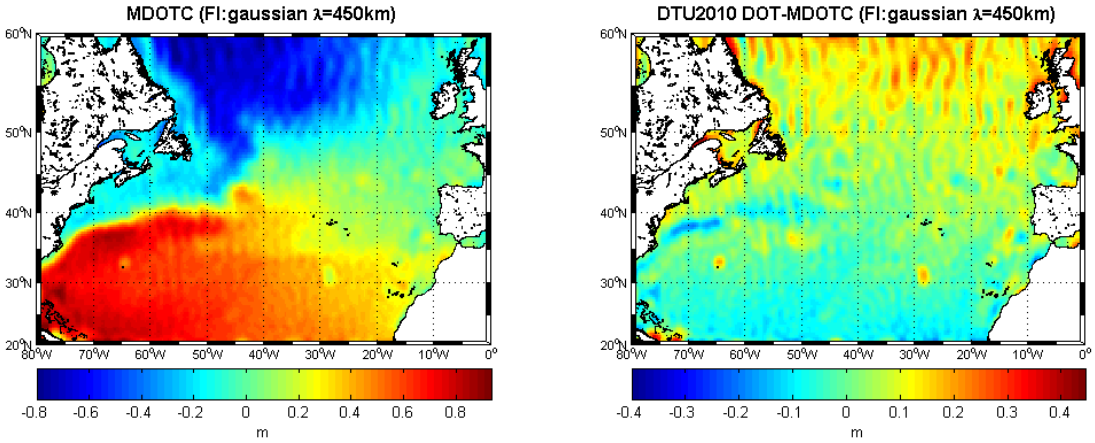
| Φίλτρο | λ | max | min | mean | std |
|---|---|---|---|---|---|
| Gaussian | 400 | 1.022 | -0.861 | 0.155 | ±0.421 |
| Gaussian | 450 | 0.976 | -0.825 | 0.154 | ±0.420 |
| Gaussian | 500 | 0.934 | -0.800 | 0.154 | ±0.418 |
| Gaussian | 550 | 0.904 | -0.782 | 0.154 | ±0.417 |
| Gaussian | 650 | 0.869 | -0.757 | 0.154 | ±0.416 |
| Gaussian | 700 | 0.861 | -0.749 | 0.154 | ±0.415 |
| Gaussian | 800 | 0.850 | -0.739 | 0.153 | ±0.413 |
| Gaussian | 950 | 0.838 | -0.729 | 0.153 | ±0.411 |
| Gaussian | 1100 | 0.829 | -0.723 | 0.152 | ±0.408 |
| Gaussian | 1150 | 0.826 | -0.722 | 0.152 | ±0.408 |
| Gaussian | 1200 | 0.823 | -0.721 | 0.152 | ±0.407 |

**Πίνακας 4.6:** Στατιστικά χαρακτηριστικά για το πεδίο τιμών των διαφορών $MDOT_{DTU2010}$-MDOTC (Gaussian) {m}

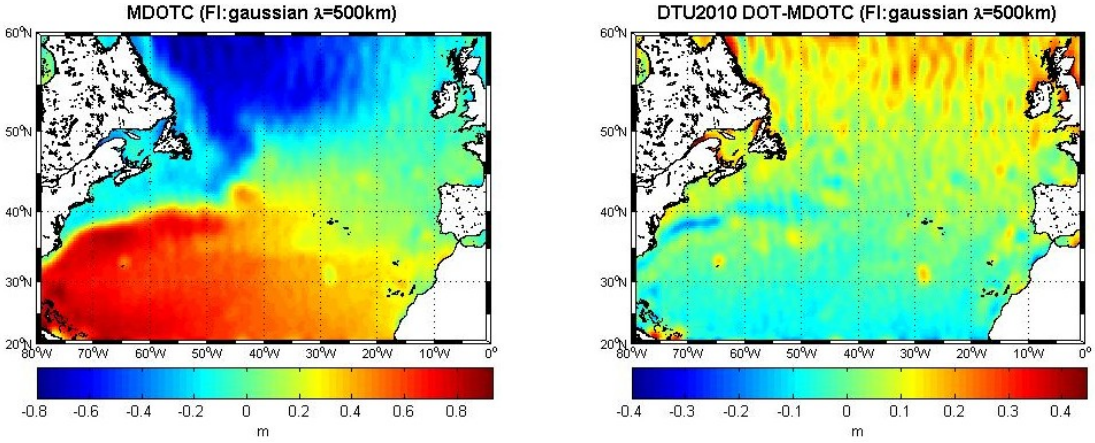
| Φίλτρο | λ | max | min | mean | std | range |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Gaussian | 400 | 0.453 | -0.278 | 0.026 | ±0.088 | 0.731 |
| Gaussian | 450 | 0.446 | -0.236 | 0.026 | ±0.084 | 0.682 |
| Gaussian | 500 | 0.447 | -0.203 | 0.026 | ±0.081 | 0.650 |
| **Gaussian** | **550** | **0.447** | **-0.199** | **0.027** | **±0.080** | **0.646** |
| Gaussian | 650 | 0.446 | -0.213 | 0.027 | ±0.079 | 0.659 |
| Gaussian | 700 | 0.444 | -0.224 | 0.027 | ±0.079 | 0.668 |
| Gaussian | 800 | 0.438 | -0.245 | 0.028 | ±0.080 | 0.683 |
| Gaussian | 950 | 0.425 | -0.273 | 0.028 | ±0.081 | 0.698 |
| Gaussian | 1100 | 0.410 | -0.296 | 0.029 | ±0.084 | 0.706 |
| Gaussian | 1150 | 0.405 | -0.302 | 0.029 | ±0.085 | 0.707 |
| Gaussian | 1200 | 0.400 | -0.308 | 0.029 | ±0.085 | 0.708 |



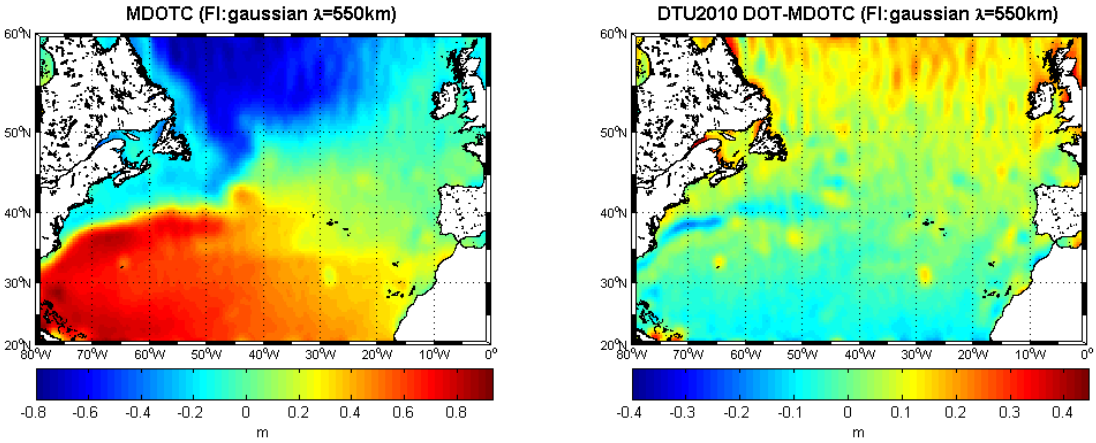

**Σχήμα 4.24**: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Gaussian (λ=400km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}



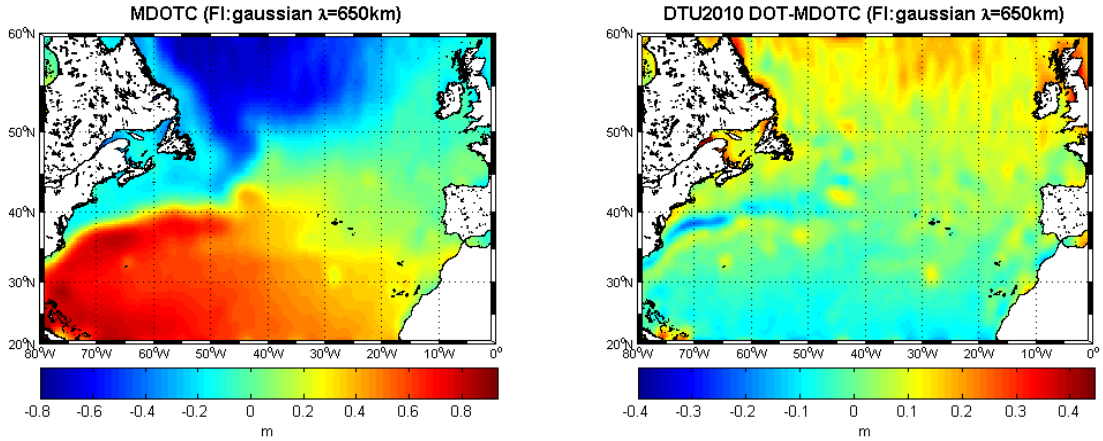

**Σχήμα 4.25**: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Gaussian (λ=450km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}



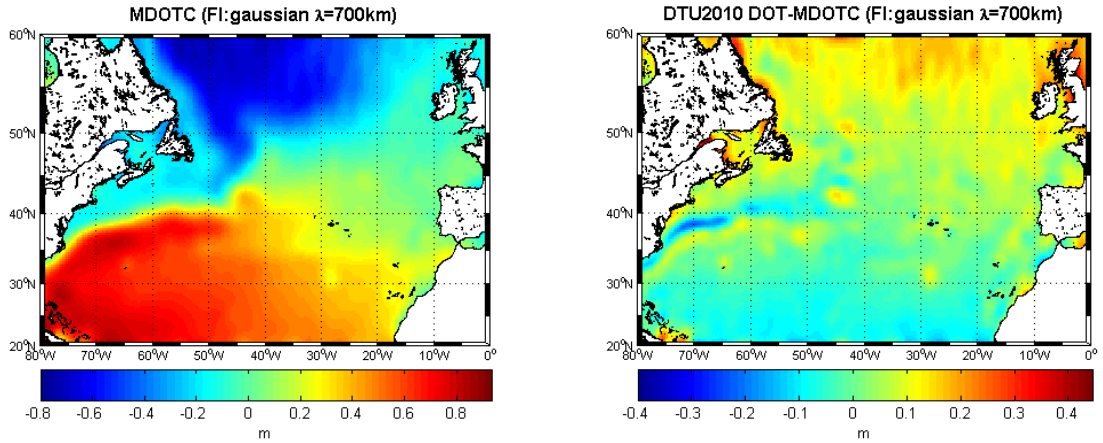

**Σχήμα 4.26**: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Gaussian (λ=400km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}



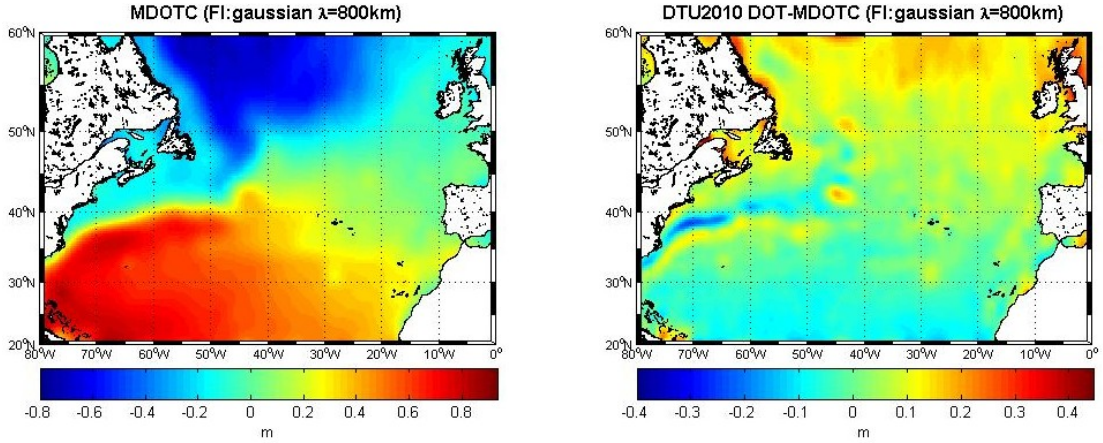

**Σχήμα 4.27**: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Gaussian (λ=550km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}



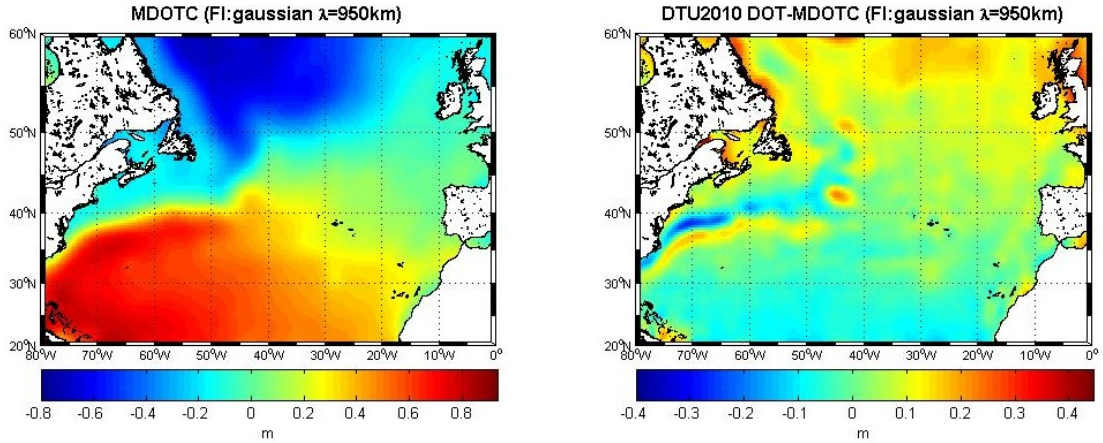

**Σχήμα 4.28**: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Gaussian (λ=650km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}



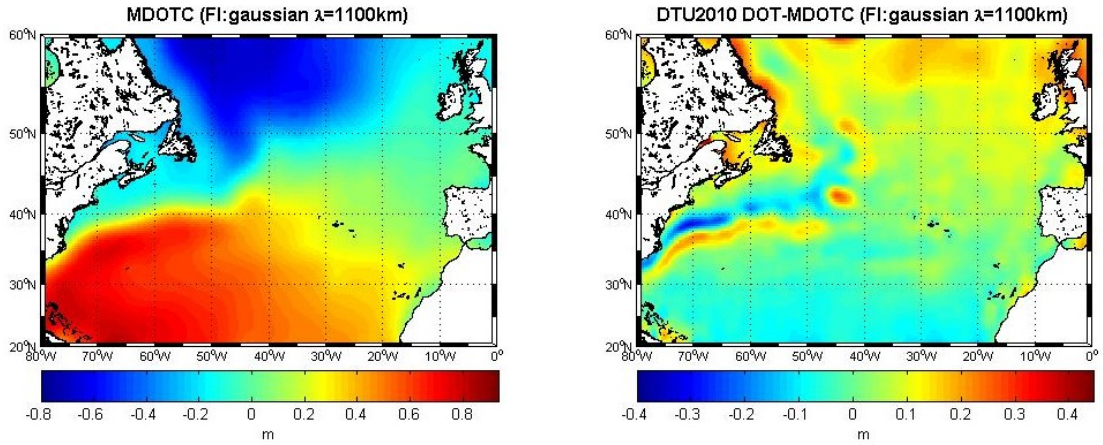

**Σχήμα 4.29**: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Gaussian (λ=700km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}



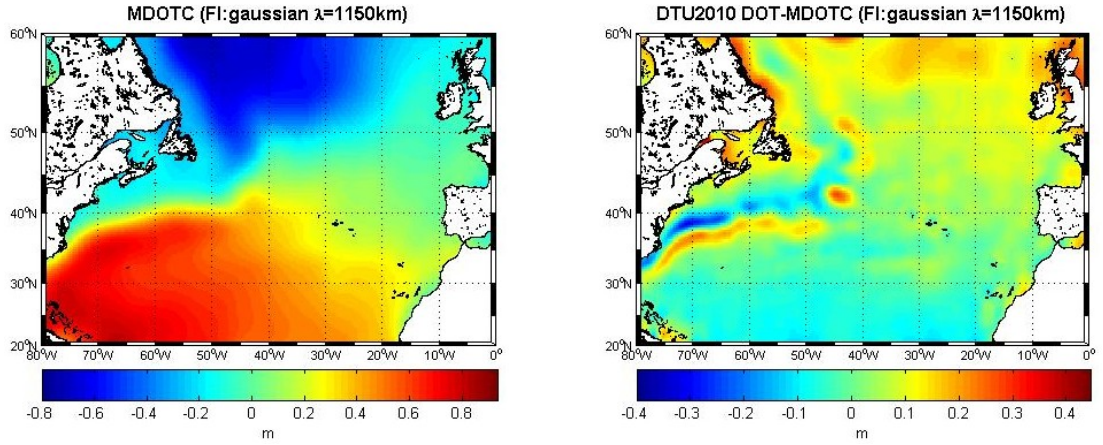

**Σχήμα 4.30**: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Gaussian (λ=800km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}



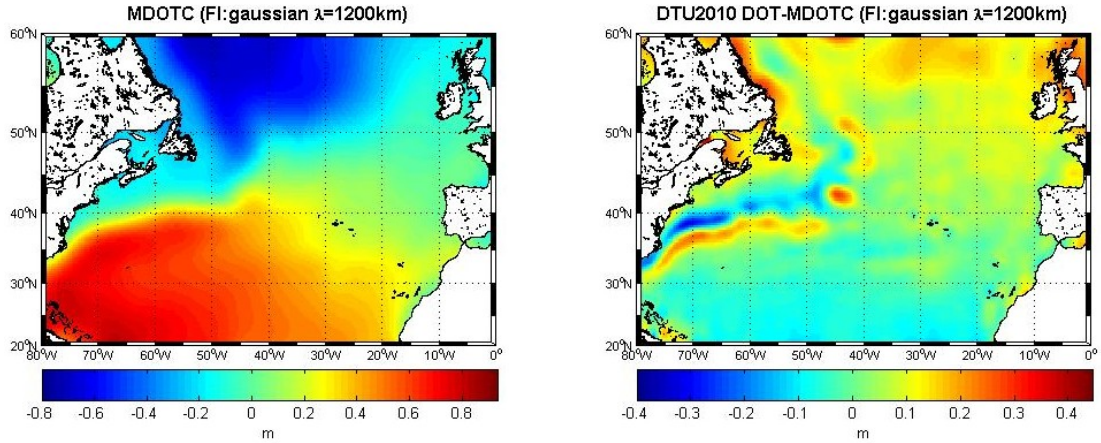

**Σχήμα 4.31**: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Gaussian (λ=950km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}




**Σχήμα 4.32**: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Gaussian (λ=1100km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}




**Σχήμα 4.33**: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Gaussian (λ=1150km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}




**Σχήμα 4.34**: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Gaussian (λ=1200km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}

Συμπερασματικά λοιπόν από τα παραπάνω αποτελέσματα της εφαρμογής των τριών φίλτρων στο πεδίο τιμών MDOTC μετά το 2σ τεστ της περιοχής μελέτης του Βόρειου Ατλαντικού, προέκυψε ότι με την εφαρμογή των φίλτρων Boxcar και Cosine arch προκύπτουν καλύτερα στατιστικά αποτελέσματα στις τιμές των διαφορών, σε μικρότερες συχνότητες αποκοπής, συγκριτικά με το φίλτρο Gaussian, απομακρύνοντας έτσι μέρος του θορύβου και προσεγγίζοντας ταυτόχρονα καλύτερα το πεδίο τιμών $MDOT_{DTU2010}$.

### 4.2.2 Αποτελέσματα εφαρμογής φίλτρων στο πεδίο MDOTC μετά το 3σ τεστ

Όμοια με την περίπτωση επεξεργασίας του πεδίου τιμών MDOTC μετά το 2σ τεστ, πριν την εφαρμογή των φίλτρων, χρησιμοποιήθηκαν αρχικά τα θαλάσσια δεδομένα της περιοχής του Βόρειου Ατλαντικού του πεδίου τιμών MDOTC μετά το 3σ τεστ με τη μορφή αρχείου εισαγωγής φ σε μοίρες, λ σε μοίρες, τιμή πεδίου σε μέτρα (πχ 40.33333, 304.33333, 0.311075509). Στη συνέχεια μέσω του φίλτρου δεδομένων *gmtselect* και με την εφαρμογή κατάλληλων εντολών προέκυψε ένα νέο αρχείο του πεδίου τιμών σε grd format για την εφαρμογή των φίλτρων μέσω του *Mirone*. Στο πεδίο τιμών αυτό εφαρμόζεται κάθε φορά φίλτρο και επιλέγεται κάποια τιμή πλήρους μήκους κύματος. Τα αρχεία εισαγωγής του προγράμματος που αναπτύχθηκε σε περιβάλλον Matlab είναι, το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του εκάστοτε φίλτρου, καθώς επίσης και το πεδίο $MDOT_{DTU2010}$, με σκοπό τον υπολογισμό των νέων διαφορών μεταξύ των δύο προαναφερθέντων πεδίων.

Στη συνέχεια και πάλι μέσω του φίλτρου δεδομένων *gmtselect* απομακρύνονται οι τιμές που αφορούν στις ηπειρωτικές περιοχές έτσι ώστε οι χάρτες του νέου πεδίου MDOTC μετά την εφαρμογή του εκάστοτε φίλτρου, οι διαφορές, όπως επίσης και τα στατιστικά να υπολογίζονται μόνο από τα δεδομένα που αφορούν στη θαλάσσια περιοχή. Στην περίπτωση της περιοχής μελέτης του Βόρειου Ατλαντικού εφαρμόστηκε αρχικά το φίλτρο Boxcar επιλέγοντας δεκαέξι τιμές μήκους κύματος, μεταξύ των τιμών 300km έως 1500km (μισό μήκος κύματος 150 km – 750 km), στη συνέχεια εφαρμόστηκε το φίλτρο Cosine arch επιλέγοντας δεκαεπτά τιμές μήκους κύματος, μεταξύ των τιμών 300km έως 1500km (μισό μήκος κύματος 150 km – 750 km) και τέλος εφαρμόστηκε το φίλτρο Gaussian επιλέγοντας

δεκαέξι τιμές μήκους κύματος, μεταξύ των τιμών 500km έως 1500km (μισό μήκος κύματος 250 km – 750 km). Θα πρέπει να αναφερθεί ότι δεν υπήρχε σταθερό βήμα μήκους κύματος φίλτρου κατά την εφαρμογή των φίλτρων. Στη συνέχεια παρουσιάζεται μέρος των αποτελεσμάτων του φίλτρου Boxcar που εφαρμόστηκε στο πεδίο MDOTC μετά το 3σ τεστ.

Σύμφωνα με τα στατιστικά αποτελέσματα του πίνακα 4.8 φίλτρου Boxcar, που εφαρμόστηκε στο πεδίο τιμών MDOTC μετά το 3σ τεστ, φαίνεται ότι το καταλληλότερο μήκος κύματος φίλτρου είναι τα 400km. Το συμπέρασμα αυτό προέκυψε από τα αποτελέσματα των στατιστικών στοιχείων των διαφορών $DOT_{DTU2010}$-MDOTC που υπολογίστηκαν. Παρατηρώντας τα στατιστικά χαρακτηριστικά του πεδίου τιμών των διαφορών φαίνεται ότι με την εφαρμογή μήκους κύματος φίλτρου λ=400km στο πεδίο τιμών MDOTC προκύπτει η μικρότερη τυπική απόκλιση, ±0.088m, στις υπολογιζόμενες εκ των υστέρων διαφορές με το παγκόσμιο μοντέλο, καθώς και το μικρότερο εύρος διακύμανσης των τιμών στα 0.933m. Επιπλέον από τους χάρτες των διαφορών φαίνεται ότι στα μήκη κύματος φίλτρου μικρότερα από 400km παρουσιάζονται οι μέγιστες και ελάχιστες τιμές του πεδίου των διαφορών σε περιοχές κοντά στις ακτογραμμές, τα νησιά αλλά και στη θαλάσσια περιοχή με γεωγραφικά όρια $20^o \leq \phi \leq 40^o$ και $-80^o \leq \lambda \leq 0^o$.

Για μεγαλύτερα μήκη κύματος φίλτρου, που εφαρμόστηκαν στο πεδίο τιμών στα πλαίσια της ερευνητικής επεξεργασίας των δεδομένων, και πιο συγκεκριμένα για μήκη κύματος φίλτρου από 450km έως 620km, φαίνεται ότι η τυπική απόκλιση των διαφορών αυξάνει κατά 4mm ενώ το εύρος διακύμανσης των στατιστικών τιμών των διαφορών μειώνει εξαιτίας της απομάκρυνσης του θορύβου αλλά και σήματος. Ταυτόχρονα, από τους χάρτες των διαφορών φαίνεται ότι το μεγαλύτερο μέρος των τιμών εξομαλύνεται. Αυτό φαίνεται στη θαλάσσια περιοχή με γεωγραφικά όρια $50^o \leq \phi \leq 60^o$ και $-65^o \leq \lambda \leq -10^o$ όπου οι θετικές τιμές του πεδίου εξομαλύνθηκαν αλλά και στη θαλάσσια περιοχή με γεωγραφικά όρια $20^o \leq \phi \leq 40^o$ και $-80^o \leq \lambda \leq -10^o$ όπου εξομαλύνθηκαν και οι αρνητικές τιμές του πεδίου. Παρ' όλα αυτά παρουσιάζονται τοπικά, στη θαλάσσια περιοχή του ρεύματος του Κόλπου (Gulf Stream), με γεωγραφικά όρια $30^o \leq \phi \leq 50^o$ και $-80^o \leq \lambda \leq -40^o$ καθώς επίσης και κοντά στις ακτογραμμές και τα νησιά οι μέγιστες θετικές και αρνητικές τιμές όπου φαίνεται ότι η εφαρμογή μεγαλύτερων μηκών κύματος προκαλούν ναι μεν την απομάκρυνση της επίδρασης του θορύβου του πεδίου συνολικά αλλά ταυτόχρονα και την απομάκρυνση σήματος τοπικά.

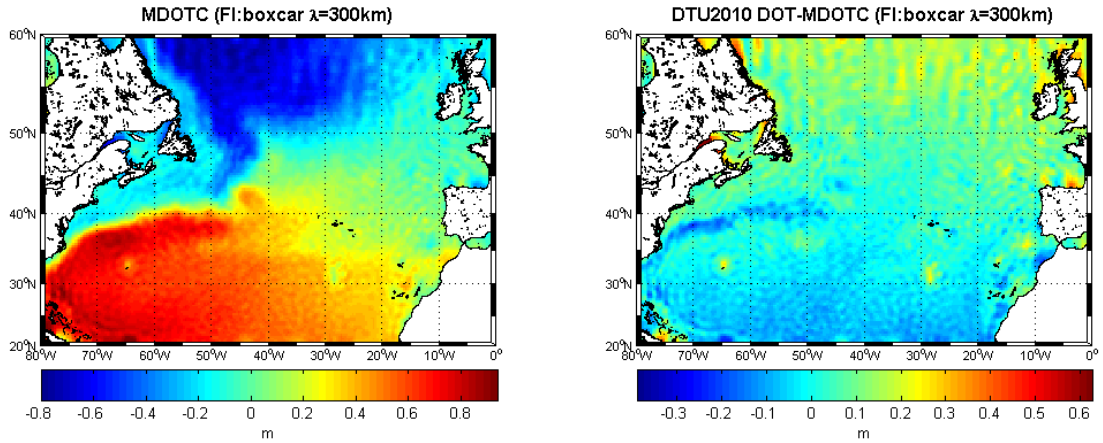
Τέλος για μήκη κύματος μεγαλύτερα των 620km έως και τα 1500km φαίνεται ότι οι μέγιστες και ελάχιστες τιμές του πεδίου των διαφορών που παρουσιάζονται στις παραπάνω περιοχές είναι ακόμη μεγαλύτερες συγκριτικά με αυτές των φίλτρων μήκους κύματος από 450km έως 620km, που συνεπάγεται την μεγαλύτερη απομάκρυνση σήματος και ωφέλιμης πληροφορίας. Από τα παραπάνω φαίνεται συμπερασματικά ότι η επίτευξη της βέλτιστης λύσης με την εφαρμογή του φίλτρου Boxcar, δηλαδή η απομάκρυνση της επίδρασης του θορύβου με την μικρότερη δυνατή απώλεια σήματος επιτεύχθηκε με την εφαρμογή μήκους κύματος φίλτρου 400km.

**Πίνακας 4.7:** Στατιστικά χαρακτηριστικά του φίλτρου Boxcar που εφαρμόστηκε στο πεδίο τιμών MDOTC μετά το 3σ τεστ {m}

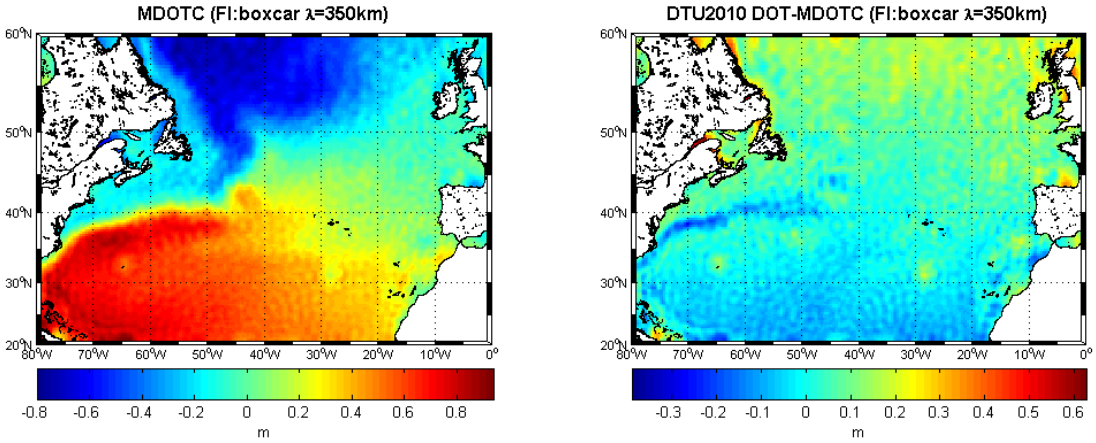
| Φίλτρο | λ | max | min | mean | std |
|---|---|---|---|---|---|
| Boxcar | 300 | 1.046 | -0.822 | 0.150 | ±0.424 |
| Boxcar | 350 | 0.940 | -0.795 | 0.149 | ±0.423 |
| Boxcar | 400 | 0.929 | -0.779 | 0.149 | ±0.421 |
| Boxcar | 450 | 0.942 | -0.780 | 0.148 | ±0.420 |
| Boxcar | 500 | 0.915 | -0.774 | 0.148 | ±0.419 |
| Boxcar | 620 | 0.868 | -0.743 | 0.147 | ±0.416 |
| Boxcar | 700 | 0.863 | -0.747 | 0.146 | ±0.414 |
| Boxcar | 780 | 0.848 | -0.743 | 0.145 | ±0.412 |
| Boxcar | 900 | 0.831 | -0.733 | 0.144 | ±0.409 |
| Boxcar | 1200 | 0.797 | -0.708 | 0.142 | ±0.400 |
| Boxcar | 1500 | 0.775 | -0.698 | 0.140 | ±0.391 |

**Πίνακας 4.8:** Στατιστικά χαρακτηριστικά για το πεδίο τιμών των διαφορών $MDOT_{DTU2010}$-MDOTC (Boxcar) {m}

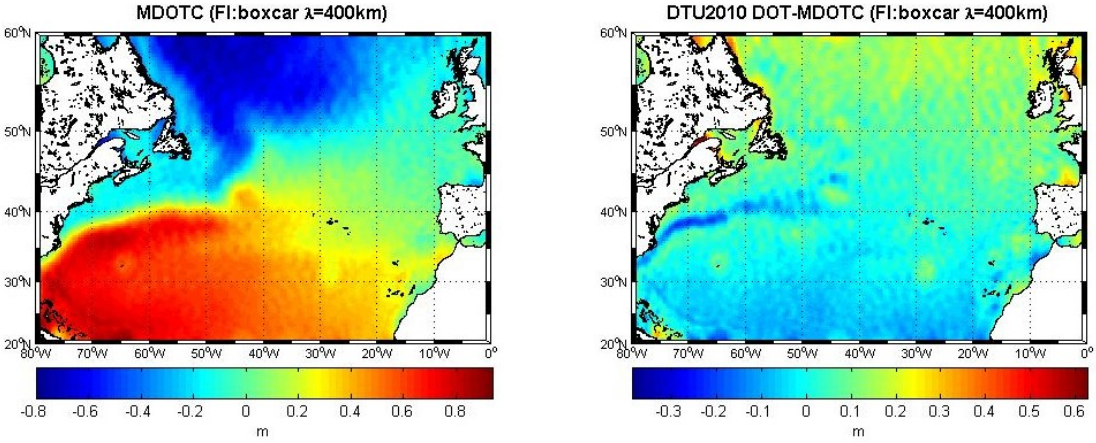
| Φίλτρο | λ | max | min | mean | std | range |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Boxcar | 300 | 0.684 | -0.331 | 0.031 | ±0.091 | 1.015 |
| Boxcar | 350 | 0.687 | -0.280 | 0.031 | ±0.089 | 0.967 |
| **Boxcar** | **400** | **0.677** | **-0.256** | **0.032** | **±0.088** | **0.933** |
| Boxcar | 450 | 0.661 | -0.290 | 0.032 | ±0.089 | 0.951 |
| Boxcar | 500 | 0.629 | -0.293 | 0.033 | ±0.089 | 0.922 |
| Boxcar | 620 | 0.566 | -0.307 | 0.034 | ±0.092 | 0.873 |
| Boxcar | 700 | 0.531 | -0.333 | 0.035 | ±0.095 | 0.864 |
| Boxcar | 780 | 0.499 | -0.346 | 0.035 | ±0.097 | 0.845 |
| Boxcar | 900 | 0.456 | -0.355 | 0.036 | ±0.101 | 0.811 |
| Boxcar | 1200 | 0.422 | -0.383 | 0.039 | ±0.109 | 0.805 |
| Boxcar | 1500 | 0.447 | -0.382 | 0.041 | ±0.115 | 0.829 |



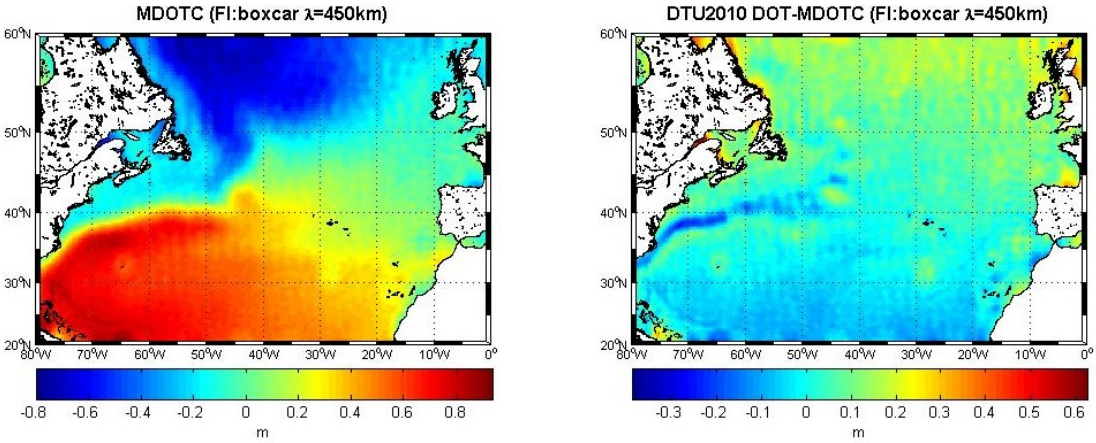

**Σχήμα 4.35**: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Boxcar (λ=300km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}



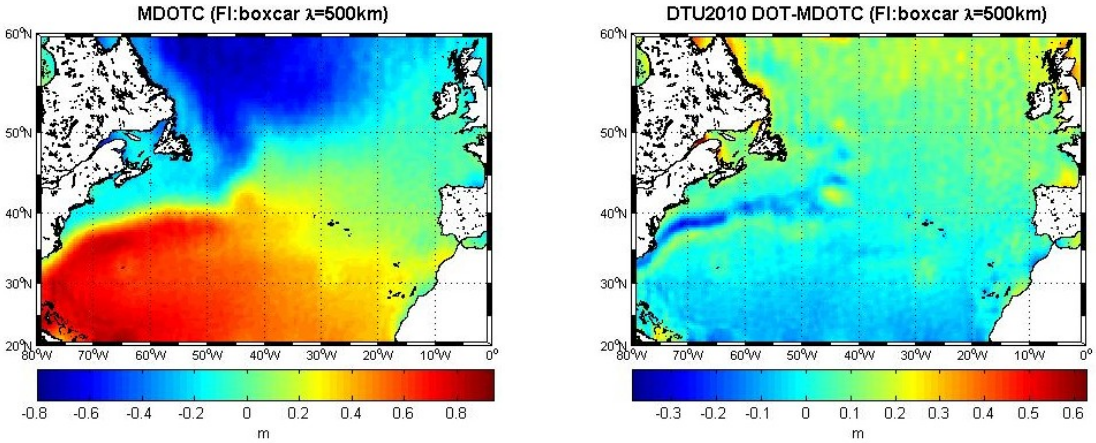

**Σχήμα 4.36**: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Boxcar (λ=350km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}



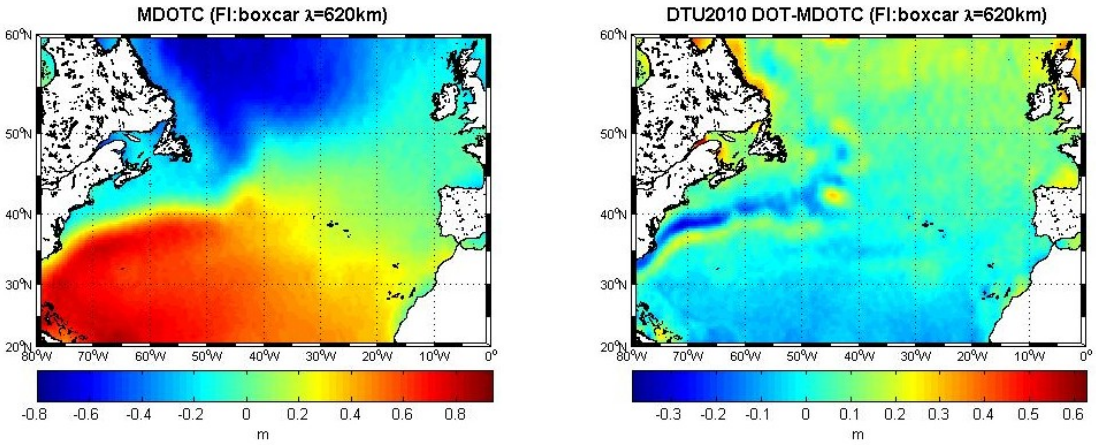

**Σχήμα 4.37**: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Boxcar (λ=400km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}



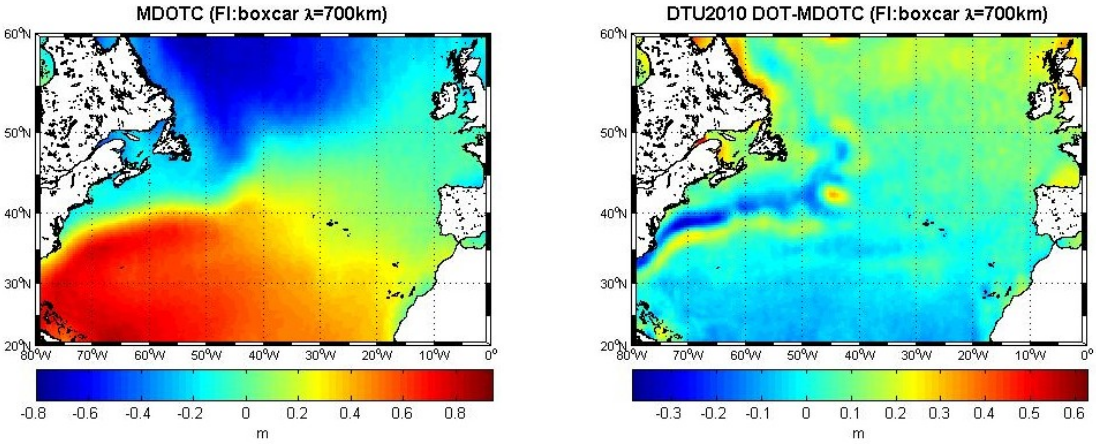

**Σχήμα 4.38**: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Boxcar (λ=450km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}



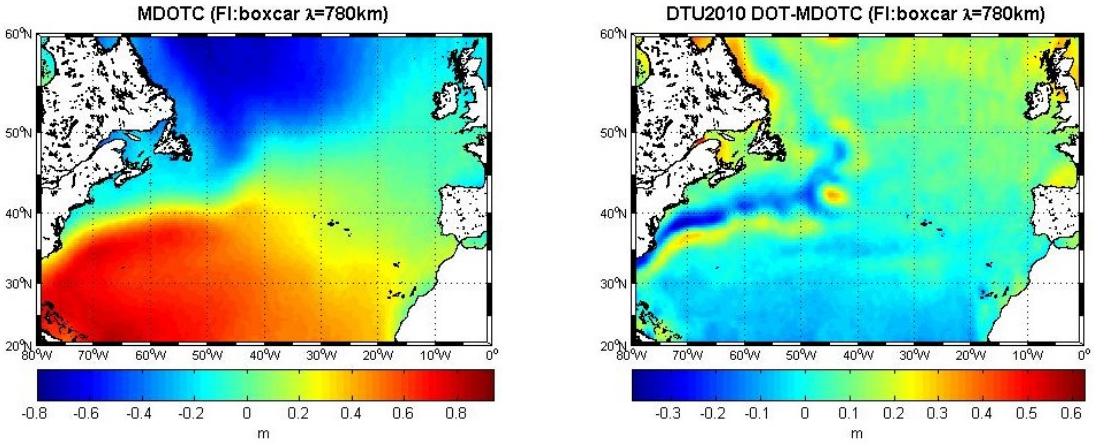

**Σχήμα 4.39**: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Boxcar (λ=500km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}



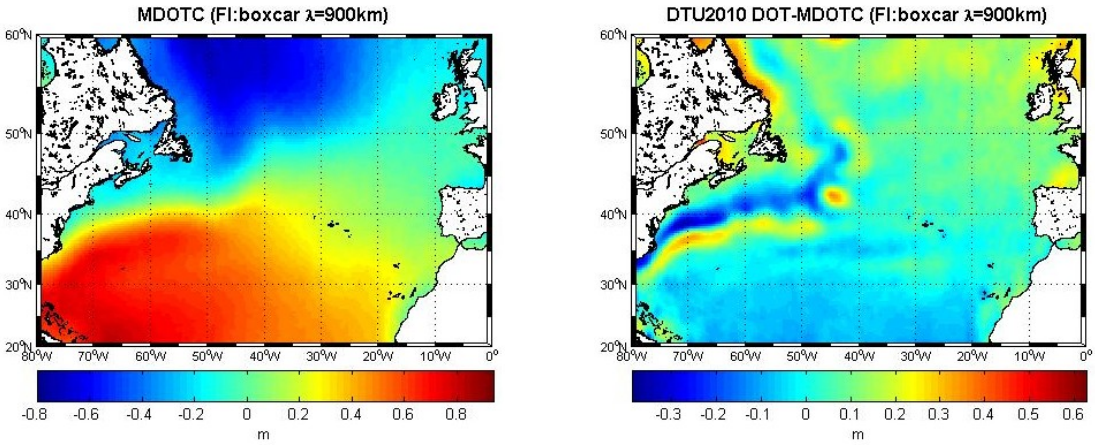

**Σχήμα 4.40**: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Boxcar (λ=620km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}



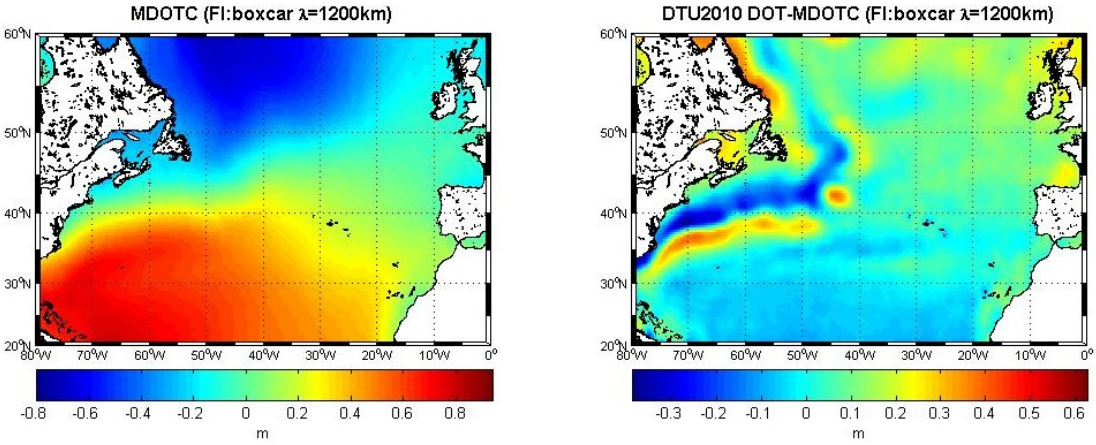

**Σχήμα 4.41**: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Boxcar (λ=700km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}



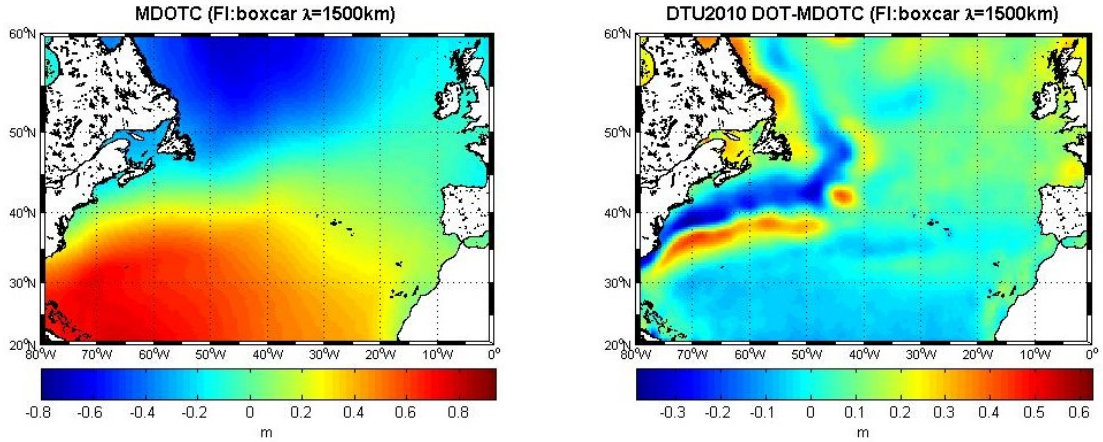

**Σχήμα 4.42**: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Boxcar (λ=780km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}




**Σχήμα 4.43**: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Boxcar (λ=900km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}




**Σχήμα 4.44**: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Boxcar (λ=1200km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}




**Σχήμα 4.45**: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Boxcar (λ=1500km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}

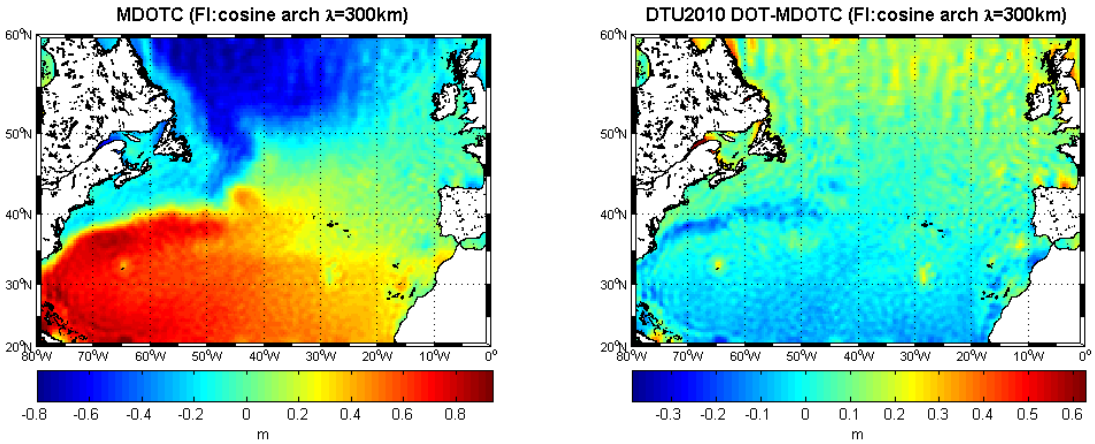
Στη συνέχεια παρουσιάζεται μέρος των αποτελεσμάτων του φίλτρου Cosine arch που εφαρμόστηκε στο πεδίο MDOTC μετά το 3σ τεστ. Σύμφωνα με τα παραπάνω στατιστικά αποτελέσματα του φίλτρου Cosine arch, που εφαρμόστηκε στο πεδίο τιμών MDOTC μετά το 3σ τεστ, φαίνεται ότι όμοια με το φίλτρο Cosine arch, το καταλληλότερο μήκος κύματος φίλτρου είναι τα 400km. Το συμπέρασμα αυτό προέκυψε από τα αποτελέσματα των στατιστικών στοιχείων των διαφορών $DOT_{DTU2010}$-MDOTC που υπολογίστηκαν. Τα στατιστικά αποτελέσματα των δύο παραπάνω φίλτρων Boxcar και Cosine arch δείχνουν ότι τα δύο φίλτρα λειτουργούν με τον ίδιο τρόπο στα δεδομένα του πεδίου τιμών της συνθετικής δυναμικής θαλάσσιας τοπογραφίας MDOTC καθώς παρουσιάζουν σχεδόν τα ίδια στατιστικά αποτελέσματα, όπως επίσης προκύπτουν τα ίδια συμπεράσματα από τους χάρτες των διαφορών με το παγκόσμιο μοντέλο της $MDOT_{DTU2010}$.

**Πίνακας 4.9:** Στατιστικά χαρακτηριστικά του φίλτρου Cosine arch που εφαρμόστηκε στο πεδίο τιμών MDOTC μετά το 3σ τεστ {m}

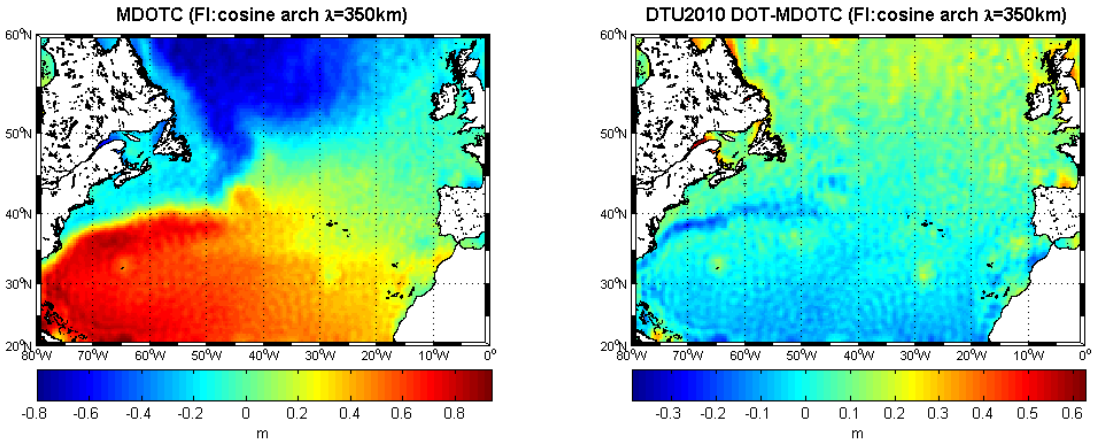
| Φίλτρο | λ | max | min | mean | std |
|---|---|---|---|---|---|
| Cosine arch | 300 | 1.046 | -0.822 | 0.150 | ±0.424 |
| Cosine arch | 350 | 0.940 | -0.795 | 0.149 | ±0.423 |
| Cosine arch | 400 | 0.929 | -0.779 | 0.149 | ±0.421 |
| Cosine arch | 450 | 0.942 | -0.780 | 0.148 | ±0.420 |
| Cosine arch | 500 | 0.915 | -0.774 | 0.148 | ±0.419 |
| Cosine arch | 620 | 0.882 | -0.744 | 0.147 | ±0.416 |
| Cosine arch | 700 | 0.863 | -0.747 | 0.146 | ±0.414 |
| Cosine arch | 780 | 0.848 | -0.743 | 0.145 | ±0.412 |
| Cosine arch | 900 | 0.831 | -0.733 | 0.144 | ±0.409 |
| Cosine arch | 1100 | 0.817 | -0.738 | 0.143 | ±0.404 |
| Cosine arch | 1500 | 0.775 | -0.698 | 0.140 | ±0.391 |

**Πίνακας 4.10:** Στατιστικά χαρακτηριστικά για το πεδίο τιμών των διαφορών $MDOT_{DTU2010}$-MDOTC (Cosine arch) {m}

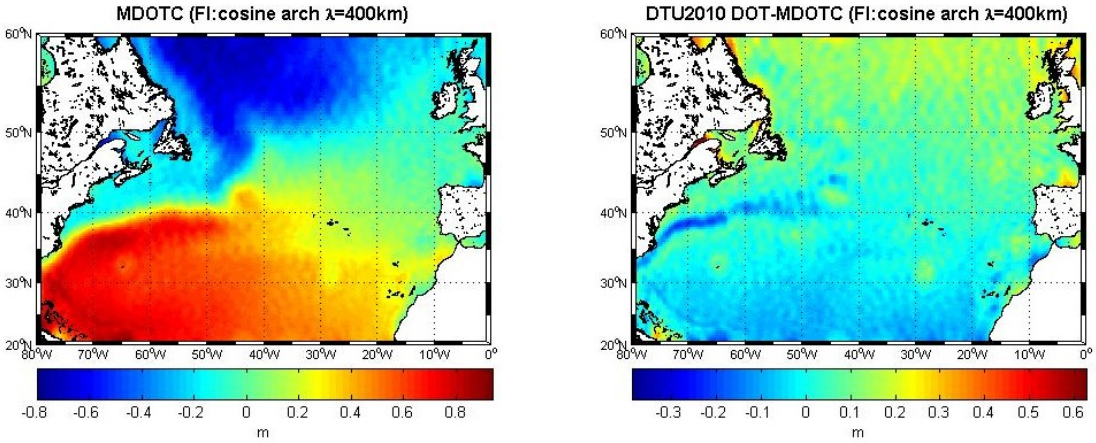
| Φίλτρο | λ | max | min | mean | std | range |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Cosine arch | 300 | 0.684 | -0.331 | 0.031 | ±0.091 | 1.015 |
| Cosine arch | 350 | 0.687 | -0.28 | 0.031 | ±0.089 | 0.967 |
| **Cosine arch** | **400** | **0.677** | **-0.256** | **0.032** | **±0.088** | **0.933** |
| Cosine arch | 450 | 0.661 | -0.29 | 0.032 | ±0.089 | 0.951 |
| Cosine arch | 500 | 0.629 | -0.293 | 0.033 | ±0.089 | 0.922 |
| Cosine arch | 620 | 0.566 | -0.307 | 0.034 | ±0.092 | 0.873 |
| Cosine arch | 700 | 0.531 | -0.333 | 0.035 | ±0.095 | 0.864 |
| Cosine arch | 780 | 0.499 | -0.346 | 0.035 | ±0.097 | 0.845 |
| Cosine arch | 900 | 0.456 | -0.355 | 0.036 | ±0.101 | 0.811 |
| Cosine arch | 1100 | 0.414 | -0.377 | 0.038 | ±0.106 | 0.791 |
| Cosine arch | 1500 | 0.447 | -0.382 | 0.041 | ±0.115 | 0.829 |



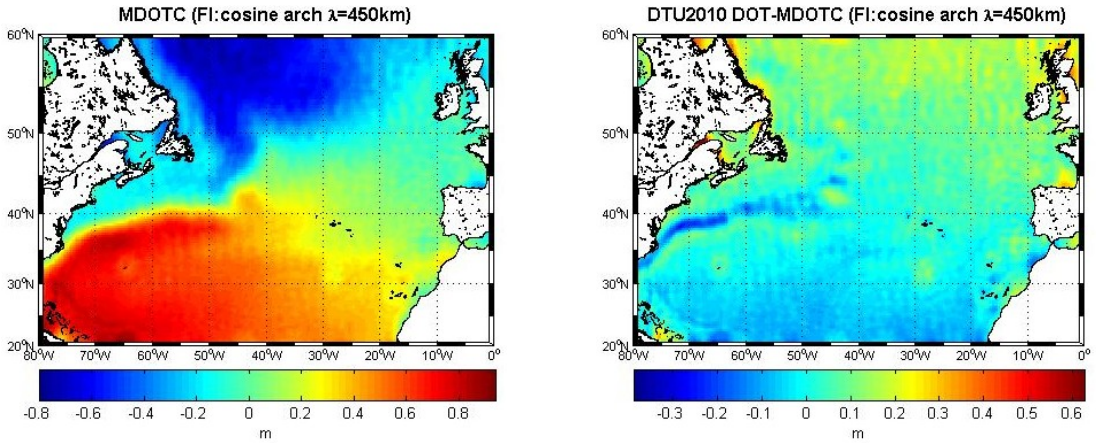

**Σχήμα 4.46**: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Cosine arch (λ=300km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}



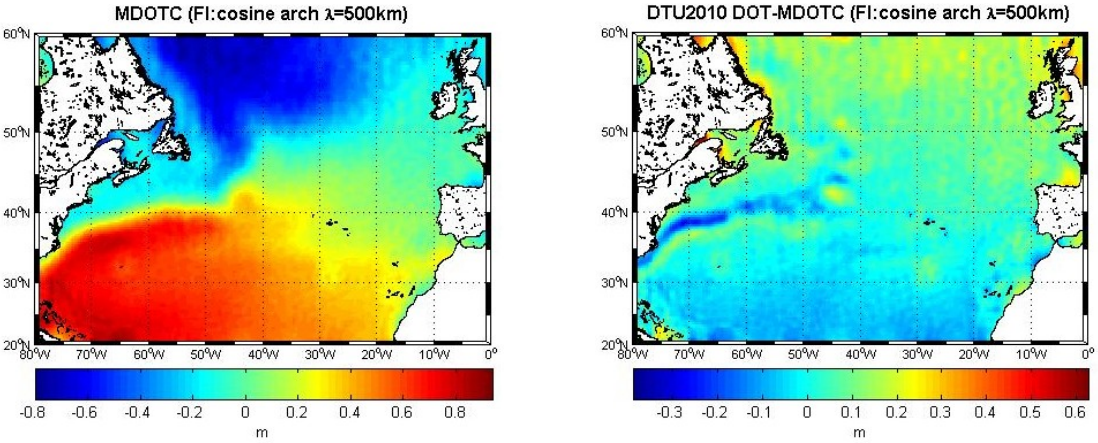

**Σχήμα 4.47**: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Cosine arch (λ=350km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}



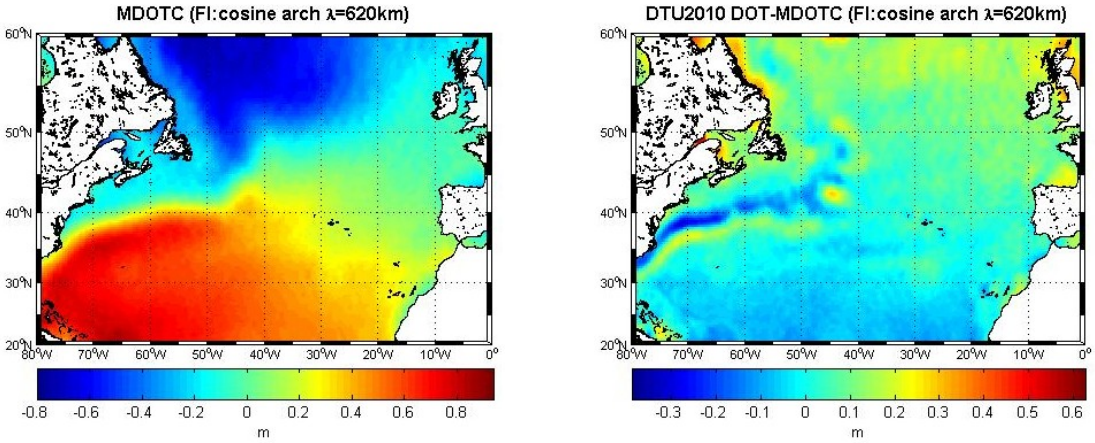

**Σχήμα 4.48**: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Cosine arch (λ=400km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}



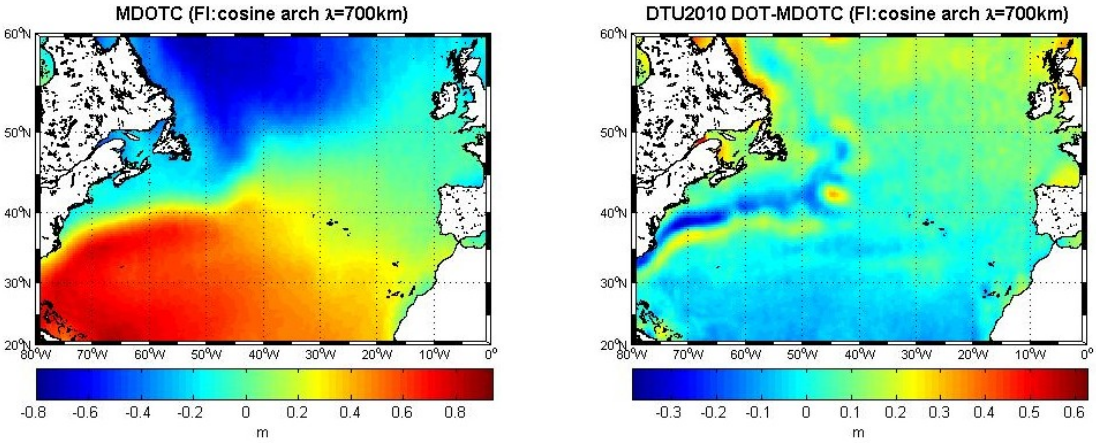

**Σχήμα 4.49**: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Cosine arch (λ=450km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}



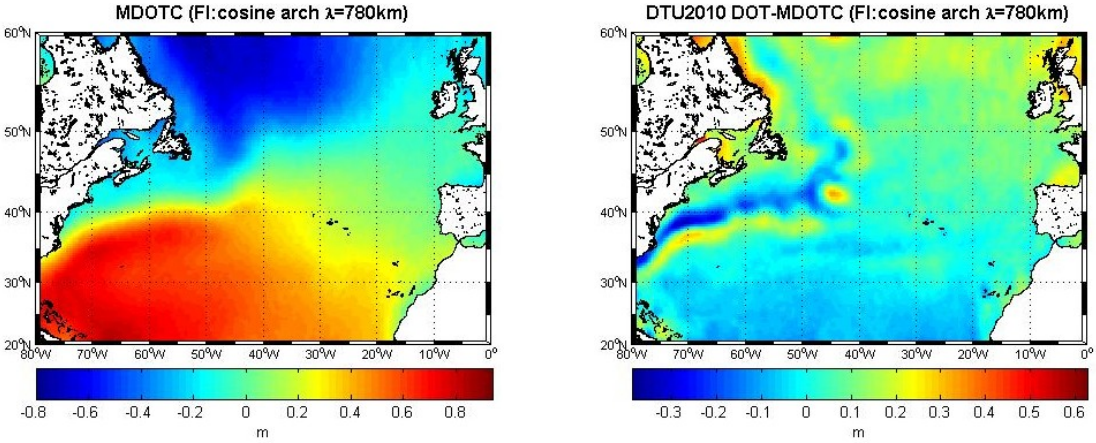

**Σχήμα 4.50**: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Cosine arch (λ=500km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}



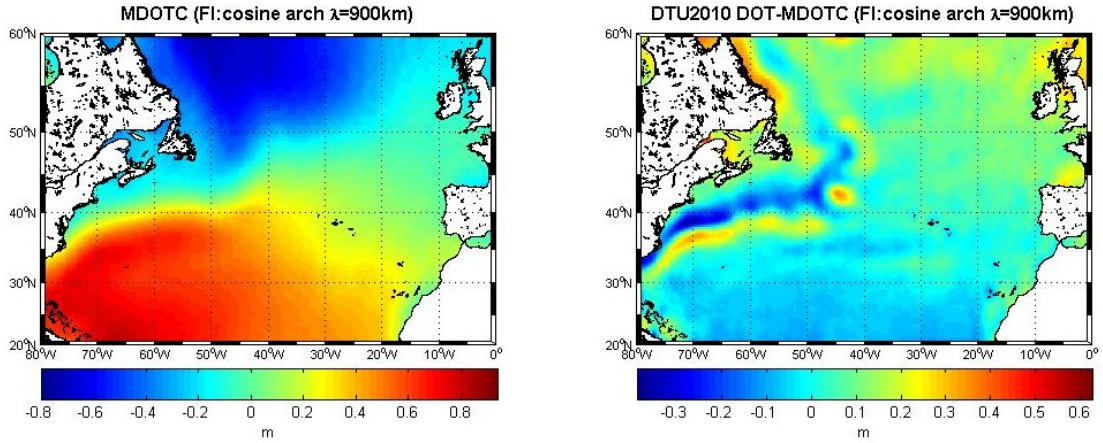

**Σχήμα 4.51**: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Cosine arch (λ=620km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}



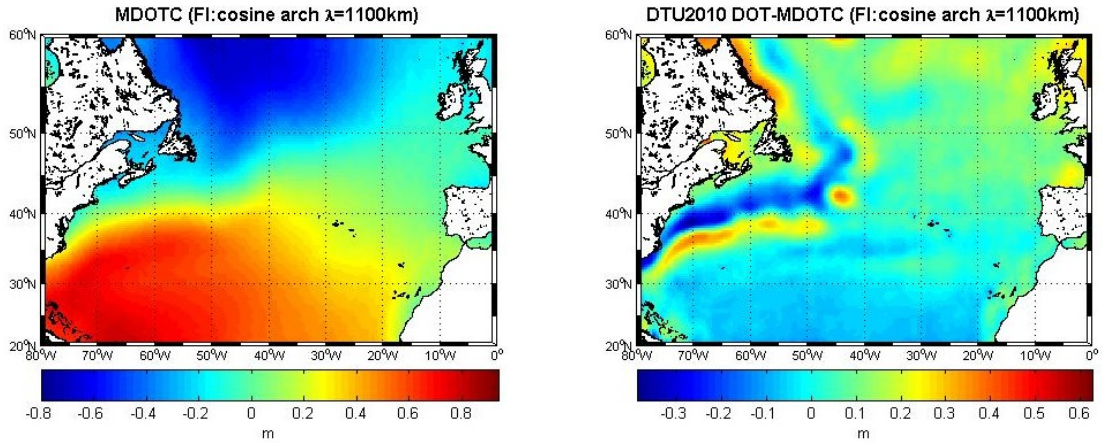

**Σχήμα 4.52**: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Cosine arch (λ=300km) {m}. Δεξιά ά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}



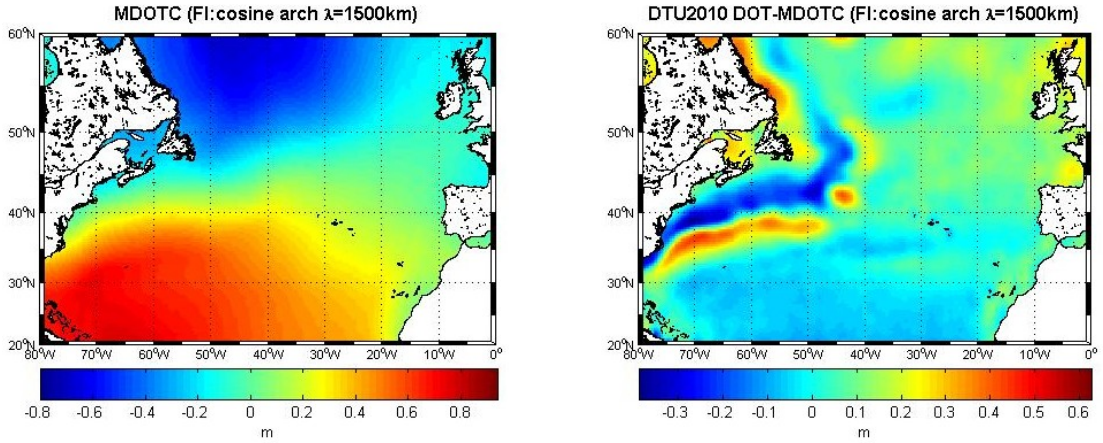

**Σχήμα 4.53**: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Cosine arch (λ=780km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}




**Σχήμα 4.54**: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Cosine arch (λ=900km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}




**Σχήμα 4.55**: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Cosine arch (λ=1100km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}




**Σχήμα 4.56**: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Cosine arch (λ=1500km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}

Στη συνέχεια παρουσιάζεται μέρος των αποτελεσμάτων του τελευταίου φίλτρου που εφαρμόστηκε στο πεδίο MDOTC μετά το 3σ τεστ, του φίλτρου Gaussian. Σύμφωνα με τα στατιστικά αποτελέσματα του πίνακα 4.10 του φίλτρου Gaussian, που εφαρμόστηκε στο πεδίο τιμών MDOTC μετά το 3σ τεστ, φαίνεται ότι το καταλληλότερο μήκος κύματος φίλτρου είναι τα 650km. Το συμπέρασμα αυτό προέκυψε από τα αποτελέσματα των στατιστικών στοιχείων των διαφορών $DOT_{DTU2010}$-MDOTC που υπολογίστηκαν. Σύμφωνα με τα στατιστικά χαρακτηριστικά του πεδίου τιμών των διαφορών φαίνεται ότι με την εφαρμογή μήκους κύματος φίλτρου λ=650km στο πεδίο τιμών προκύπτει τυπική απόκλιση, ±0.086m, στις υπολογιζόμενες εκ των υστέρων διαφορές με το παγκόσμιο μοντέλο, ενώ το εύρος διακύμανσης των τιμών είναι 0.944m. Επιπλέον από τους χάρτες των διαφορών φαίνεται ότι στα μήκη κύματος φίλτρου μικρότερα από 650km παρουσιάζονται αρκετές ακραίες τιμές σε περιοχές κοντά στις ακτογραμμές, τα νησιά αλλά και σε όλη στην έκταση της θαλάσσιας περιοχής οι οποίες εξομαλύνονται με την εφαρμογή μήκους κύματος 650km.

Για μεγαλύτερα μήκη κύματος φίλτρου, που εφαρμόστηκαν στο πεδίο τιμών στα πλαίσια της επεξεργασίας των δεδομένων, και πιο συγκεκριμένα για μήκη κύματος φίλτρου από 700km έως 1000km, φαίνεται ότι η τυπική απόκλιση των διαφορών αυξάνει κατά 3mm και το εύρος διακύμανσης των στατιστικών τιμών των διαφορών μειώνεται κατά 92cm. Ταυτόχρονα, από τους χάρτες των διαφορών φαίνεται ότι το μεγαλύτερο μέρος των ακραίων τιμών του συνολικά στη θαλάσσια περιοχή εξομαλύνεται. Παρ' όλα αυτά παρουσιάζονται τοπικά, στη θαλάσσια περιοχή του ρεύματος του Κόλπου (Gulf Stream), με γεωγραφικά όρια $30^o \leq \phi \leq 50^o$ και $-80^o \leq \lambda \leq -40^o$ αλλά και κοντά στις ακτογραμμές κυρίως της ανατολικής Βόρειου Αμερικής, έντονα ακραίες τιμές, όπου φαίνεται ότι η εφαρμογή μεγαλύτερων μηκών κύματος φίλτρου προκαλούν την απομάκρυνση της επίδρασης του θορύβου τοπικά αλλά ταυτόχρονα και την απομάκρυνση σήματος, όπως συνέβη και στην περίπτωση εφαρμογής των φίλτρων Boxcar και Cosine arch.

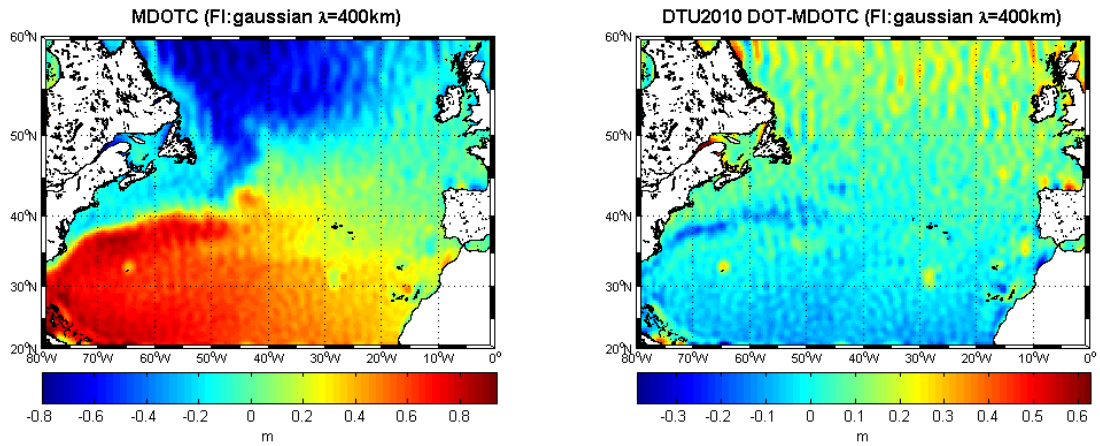
Τέλος για μήκη κύματος μεγαλύτερα των 1000km έως και τα 1500km φαίνεται ότι οι ακραίες τιμές που παρουσιάζονται στις παραπάνω περιοχές είναι ακόμη μεγαλύτερες που συνεπάγεται την μεγαλύτερη απομάκρυνση σήματος και ωφέλιμης πληροφορίας. Από τα παραπάνω φαίνεται συμπερασματικά ότι η επίτευξη της βέλτιστης λύσης με την εφαρμογή του φίλτρου Gaussian, δηλαδή η απομάκρυνση της επίδρασης του θορύβου με την μικρότερη δυνατή απώλεια σήματος επιτεύχθηκε με την εφαρμογή μήκους κύματος φίλτρου 650km.

**Πίνακας 4.11:** Στατιστικά χαρακτηριστικά του φίλτρου Gaussian που εφαρμόστηκε στο πεδίο τιμών MDOTC μετά το 3σ τεστ {m}

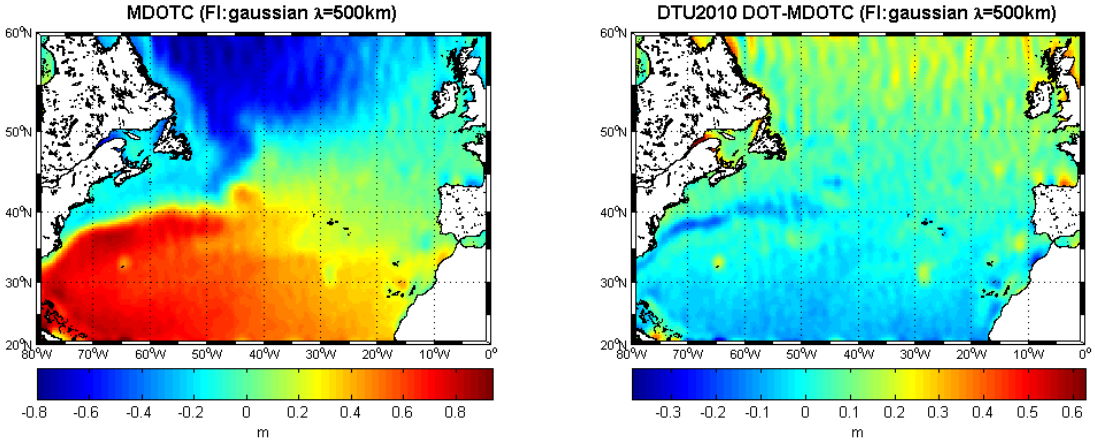
| Φίλτρο | λ | max | min | mean | std |
|---|---|---|---|---|---|
| Gaussian | 400 | 1.313 | -0.864 | 0.150 | 0.426 |
| Gaussian | 500 | 1.153 | -0.800 | 0.149 | 0.423 |
| Gaussian | 600 | 1.050 | -0.769 | 0.149 | 0.421 |
| Gaussian | 650 | 1.013 | -0.758 | 0.149 | 0.420 |
| Gaussian | 700 | 0.983 | -0.751 | 0.148 | 0.420 |
| Gaussian | 800 | 0.939 | -0.742 | 0.148 | 0.418 |
| Gaussian | 950 | 0.895 | -0.735 | 0.147 | 0.416 |
| Gaussian | 1000 | 0.885 | -0.733 | 0.147 | 0.415 |
| Gaussian | 1200 | 0.857 | -0.727 | 0.146 | 0.412 |
| Gaussian | 1300 | 0.847 | -0.725 | 0.145 | 0.410 |
| Gaussian | 1500 | 0.830 | -0.719 | 0.144 | 0.407 |

**Πίνακας 4.12:** Στατιστικά χαρακτηριστικά για το πεδίο τιμών των διαφορών $MDOT_{DTU2010}$-MDOTC (Gaussian) {m}

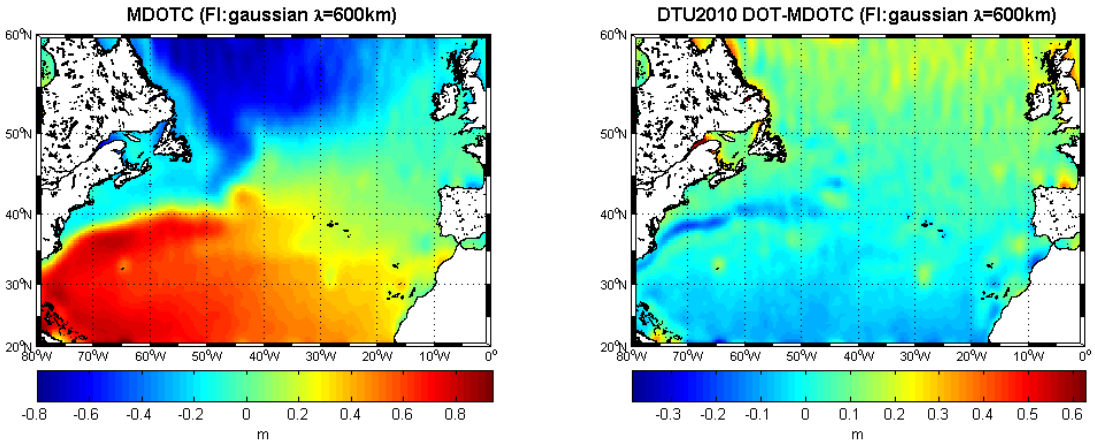
| Φίλτρο | λ | max | min | mean | std | range |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Gaussian | 400 | 0.731 | -0.598 | 0.031 | 0.096 | 1.329 |
| Gaussian | 500 | 0.694 | -0.438 | 0.031 | 0.089 | 1.132 |
| Gaussian | 600 | 0.661 | -0.335 | 0.032 | 0.087 | 0.996 |
| **Gaussian** | **650** | **0.646** | **-0.298** | **0.032** | **0.086** | **0.944** |
| Gaussian | 700 | 0.637 | -0.268 | 0.032 | 0.086 | 0.905 |
| Gaussian | 800 | 0.617 | -0.243 | 0.033 | 0.087 | 0.860 |
| Gaussian | 950 | 0.582 | -0.272 | 0.034 | 0.089 | 0.854 |
| Gaussian | 1000 | 0.571 | -0.281 | 0.034 | 0.089 | 0.852 |
| Gaussian | 1200 | 0.529 | -0.307 | 0.035 | 0.092 | 0.836 |
| Gaussian | 1300 | 0.510 | -0.318 | 0.035 | 0.094 | 0.828 |
| Gaussian | 1500 | 0.478 | -0.334 | 0.036 | 0.097 | 0.812 |



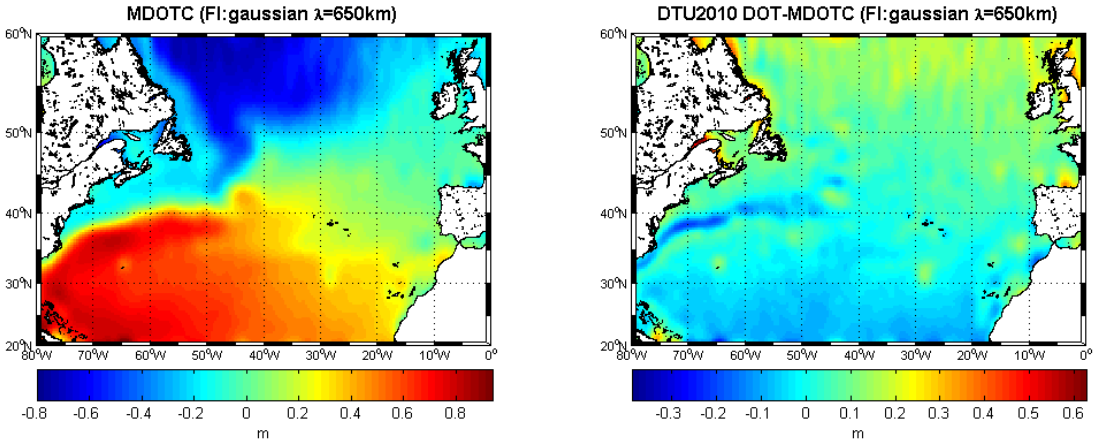

**Σχήμα 4.57**: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Gaussian (λ=400km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}



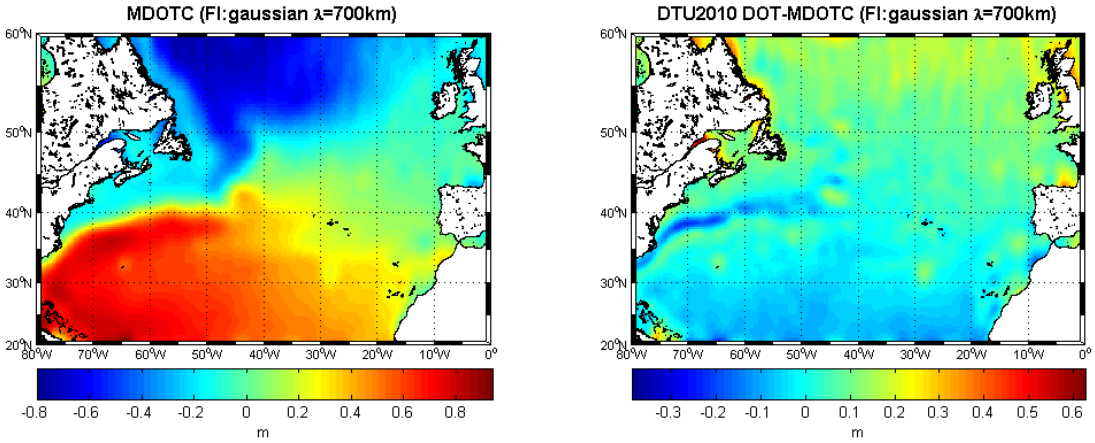

**Σχήμα 4.58**: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Gaussian (λ=500km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}



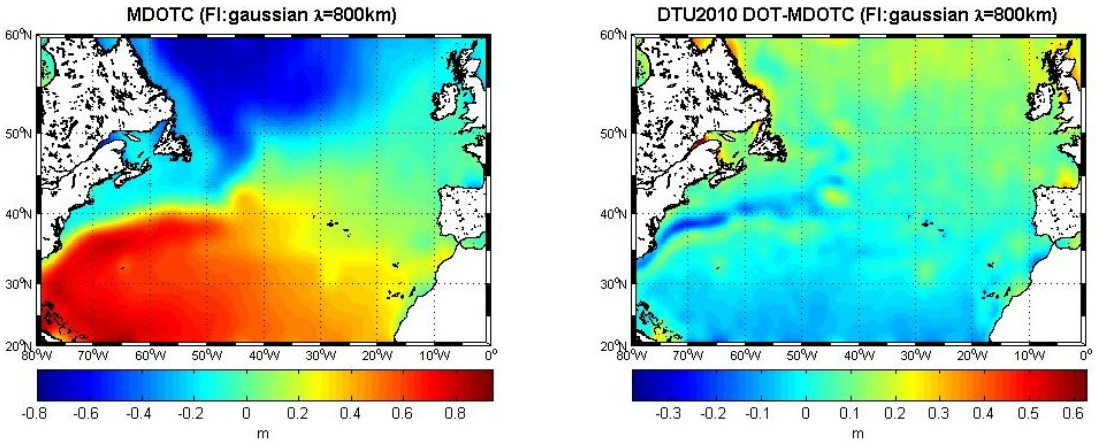

**Σχήμα 4.59**: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Gaussian (λ=600km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}



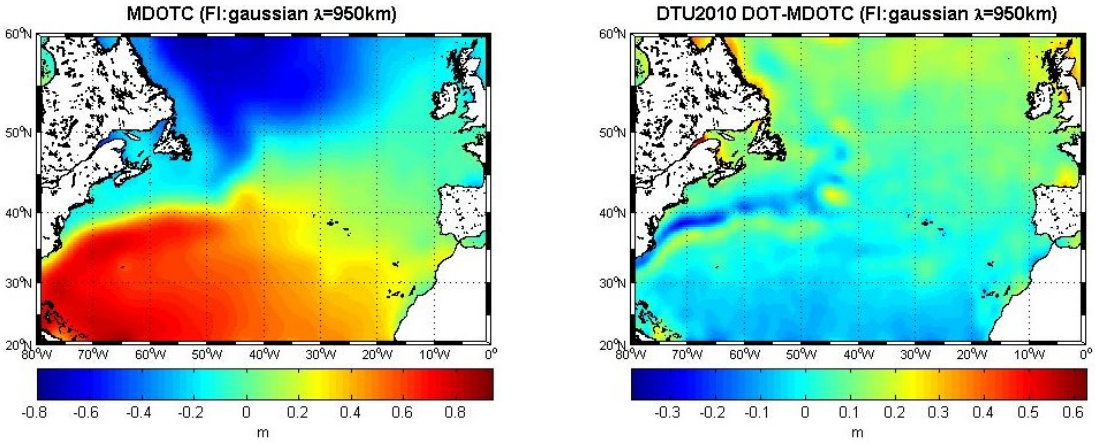

**Σχήμα 4.60**: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Gaussian (λ=650km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}



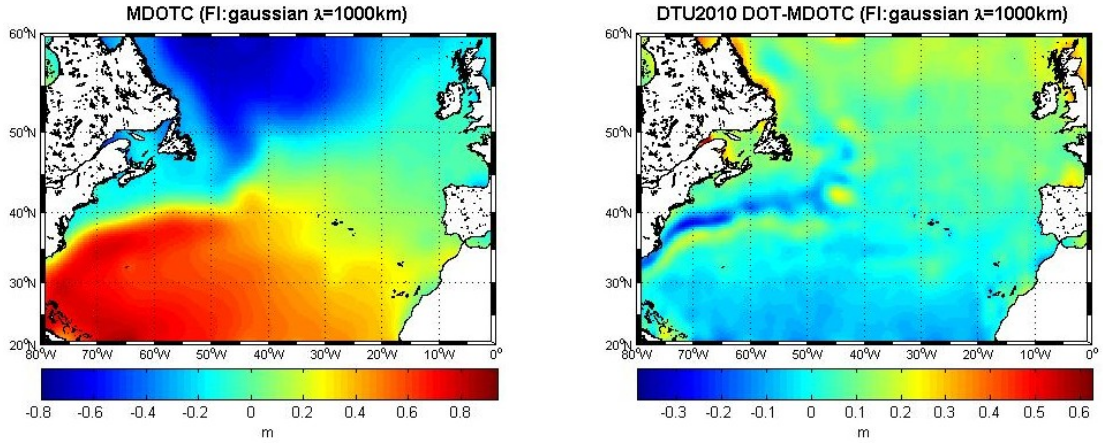

**Σχήμα 4.61**: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Gaussian (λ=700km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}



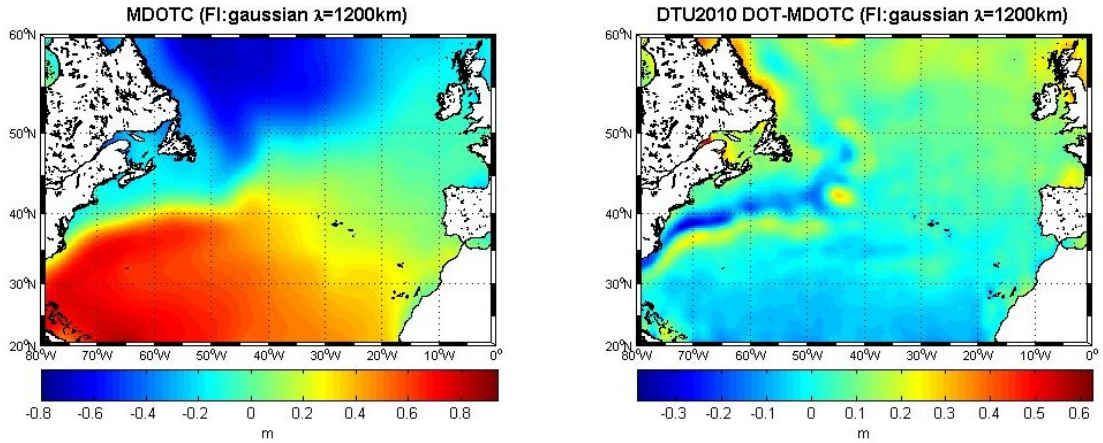

**Σχήμα 4.62**: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Gaussian (λ=800km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}



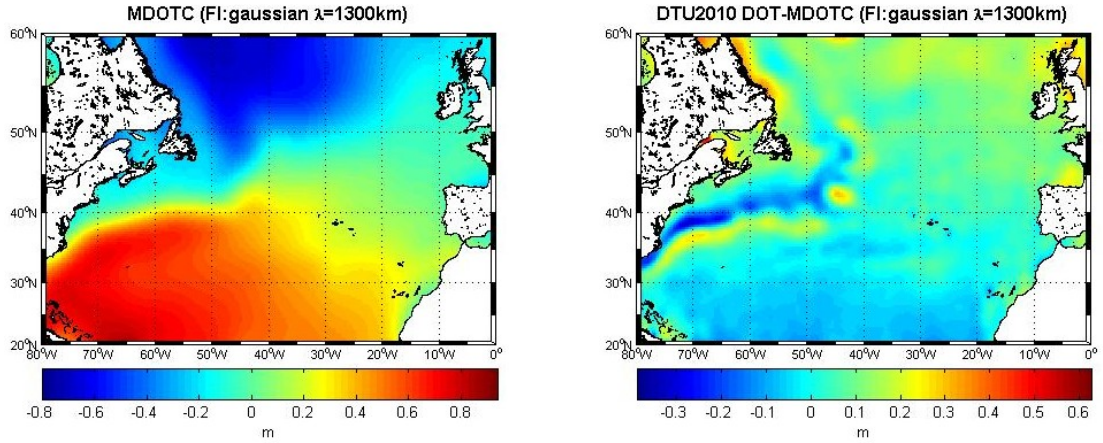

**Σχήμα 4.63**: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Gaussian (λ=950km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}



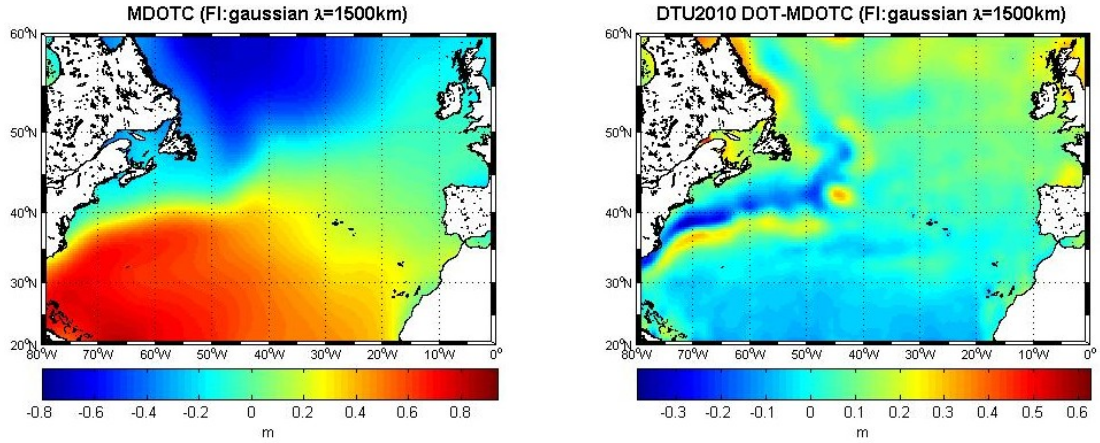

**Σχήμα 4.64**: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Gaussian (λ=1000km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}




**Σχήμα 4.65**: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Gaussian (λ=1200km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}




**Σχήμα 4.66**: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Gaussian (λ=1300km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}




**Σχήμα 4.67**: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Gaussian (λ=1500km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}

Συμπερασματικά λοιπόν από τα παραπάνω αποτελέσματα της εφαρμογής των τριών φίλτρων στο πεδίο τιμών MDOTC μετά το 3σ τεστ της περιοχής μελέτης της κλειστής λεκάνης της Μεσογείου και του ευρύτερου Ευρωπαϊκού χώρου, προέκυψε ότι με την εφαρμογή των φίλτρων Boxcar και Cosine arch προκύπτουν καλύτερα στατιστικά αποτελέσματα στις τιμές των διαφορών, σε μικρότερες συχνότητες αποκοπής, συγκριτικά με το φίλτρο Gaussian, απομακρύνοντας έτσι μέρος του θορύβου και προσεγγίζοντας ταυτόχρονα καλύτερα το πεδίο τιμών $MDOT_{DTU2010}$.

## 4.3 Η Δυναμική Τοπογραφία της Θάλασσας MDOTC στη Μεσόγειο και τον ευρύτερο Ευρωπαϊκό χώρο μετά την εφαρμογή φίλτρων

Καθώς ήδη έχει παρουσιαστεί στο τρίτο κεφάλαιο, η εφαρμογή των στατιστικών ελέγχων 2σ και 3σ τεστ είχε ως αποτέλεσμα την απομάκρυνση των χονδροειδών σφαλμάτων των δεδομένων και των ακραίων τιμών του πεδίου MDOTC της περιοχής μελέτης τα οποία δεν απομακρύνθηκαν μέσω του φίλτρου *gmtselect* και αφορούν κυρίως στις ακτογραμμές και τα νησιά. Για την βελτίωση του πεδίου MDOTC της Μεσογείου ακολούθησε η εφαρμογή των φίλτρων Boxcar, Cosine arch και Gaussian τα αποτελέσματα των οποίων παρουσιάζονται παρακάτω.

### 4.3.1 Αποτελέσματα εφαρμογής φίλτρων στο πεδίο MDOTC μετά το 2σ τεστ

Όμοια με την περιοχή μελέτης του Βόρειου Ατλαντικού έτσι και στην δεύτερη περιοχή μελέτης της κλειστής λεκάνης της Μεσογείου και του ευρύτερου Ευρωπαϊκού χώρου αρχικά χρησιμοποιήθηκαν τα θαλάσσια δεδομένα της περιοχής του πεδίου τιμών MDOTC μετά το 2σ τεστ με τη μορφή αρχείου εισαγωγής φ σε μοίρες, λ σε μοίρες, τιμή πεδίου σε μέτρα (πχ 35.66666 286.66666 0.46925649). Στη συνέχεια μέσω του φίλτρου δεδομένων *gmtselect* και με την εφαρμογή κατάλληλων εντολών προέκυψε ένα νέο αρχείο του πεδίου τιμών σε grd format για την εφαρμογή των φίλτρων μέσω του *Mirone*. Στο πεδίο τιμών αυτό

εφαρμόζεται κάθε φορά φίλτρο και επιλέγεται κάποια τιμή μήκους κύματος (πλήρες μήκος κύματος) Τα αρχεία εισαγωγής του προγράμματος που αναπτύχθηκε σε περιβάλλον Matlab είναι, το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του εκάστοτε φίλτρου, καθώς επίσης και το πεδίο MDOT από το Παγκόσμιο μοντέλο DTU2010, με σκοπό τον υπολογισμό των νέων διαφορών μεταξύ των δύο προαναφερθέντων πεδίων.

Στη συνέχεια και πάλι μέσω του φίλτρου δεδομένων *gmtselect* απομακρύνονται οι τιμές που αφορούν στις ηπειρωτικές περιοχές έτσι ώστε οι χάρτες του νέου πεδίου MDOTC, οι διαφορές, όπως επίσης και τα στατιστικά να υπολογίζονται μόνο από τα δεδομένα που αφορούν στη θαλάσσια περιοχή. Στην περίπτωση της περιοχής μελέτης της Μεσογείου εφαρμόστηκε αρχικά το φίλτρο Boxcar επιλέγοντας δεκαεπτά τιμές μήκους κύματος μεταξύ των τιμών 400km έως 1500km (μισό μήκος κύματος 200 km – 750 km), στη συνέχεια εφαρμόστηκε το φίλτρο Cosine arch επιλέγοντας δεκαεπτά τιμές μήκους κύματος μεταξύ των τιμών 400km έως 1500km (μισό μήκος κύματος 200 km – 750 km), και τέλος εφαρμόστηκε το φίλτρο Gaussian επιλέγοντας δεκαεπτά τιμές μήκους κύματος μεταξύ των τιμών 500km έως 1500km (μισό μήκος κύματος 250 km – 750 km). Θα πρέπει να αναφερθεί ότι δεν υπήρχε σταθερό βήμα μήκους κύματος φίλτρου κατά την εφαρμογή των φίλτρων.

Παρουσιάζεται αρχικά μέρος των αποτελεσμάτων του φίλτρου Boxcar που εφαρμόστηκε στο πεδίο MDOTC μετά το 2σ τεστ. Σύμφωνα με τα στατιστικά αποτελέσματα του πίνακα 4.12 του φίλτρου Boxcar, που εφαρμόστηκε στο πεδίο τιμών MDOTC μετά το 2σ τεστ, φαίνεται ότι το καταλληλότερο μήκος κύματος φίλτρου είναι τα 600km. Το συμπέρασμα αυτό προέκυψε από τα αποτελέσματα των στατιστικών στοιχείων των διαφορών $DOT_{DTU2010}$-MDOTC που υπολογίστηκαν. Παρατηρώντας τα στατιστικά χαρακτηριστικά του πεδίου τιμών των διαφορών φαίνεται ότι με την εφαρμογή μήκους κύματος φίλτρου λ=600km στο πεδίο τιμών MDOTC προκύπτει τυπική απόκλιση, ±0.098m, στις υπολογιζόμενες εκ των υστέρων διαφορές με το παγκόσμιο μοντέλο, καθώς και το μικρότερο εύρος διακύμανσης των τιμών στα 0.676m. Επιπλέον, από τους χάρτες των διαφορών, φαίνεται ότι στα μήκη κύματος φίλτρου μικρότερα από 600km παρουσιάζονται οι μέγιστες και ελάχιστες τιμές του πεδίου των διαφορών σε περιοχές κοντά στις ακτογραμμές, τα νησιά αλλά και σε θαλάσσιες περιοχές όπως η κλειστή λεκάνη της Μαύρης Θάλασσας, η Βόρεια Θάλασσα καθώς επίσης και ο Βισκαϊκός κόλπος Βόρεια της Ισπανίας. Αν και η τυπική απόκλιση των διαφορών είναι κατά 1mm μικρότερη στα 400km, αντίθετα το εύρος διακύμανσης των τιμών είναι κατά 9.4cm μεγαλύτερο. Οι μέγιστες και ελάχιστες τιμές στις περιοχές αυτές εξομαλύνονται με την εφαρμογή μήκους κύματος φίλτρου 600km.

Για μεγαλύτερα μήκη κύματος φίλτρου, που εφαρμόστηκαν στο πεδίο τιμών στα πλαίσια της επεξεργασίας των δεδομένων, και πιο συγκεκριμένα για μήκη κύματος φίλτρου από 650km έως 800km, φαίνεται ότι η τυπική απόκλιση των διαφορών αυξάνει κατά 1mm ενώ το εύρος διακύμανσης των στατιστικών τιμών των διαφορών αυξάνει κατά 7.6cm. Ταυτόχρονα, από τους χάρτες των διαφορών φαίνεται ότι το μεγαλύτερο μέρος των τιμών εξομαλύνεται στις προαναφερθείσες θαλάσσιες περιοχές. Παρ' όλα αυτά παρουσιάζονται κοντά στις ακτογραμμές και τα νησιά οι μέγιστες θετικές και αρνητικές τιμές όπου φαίνεται ότι η εφαρμογή μεγαλύτερων μηκών κύματος προκαλούν ναι μεν την απομάκρυνση της επίδρασης του θορύβου του πεδίου συνολικά αλλά ταυτόχρονα και την απομάκρυνση σήματος.

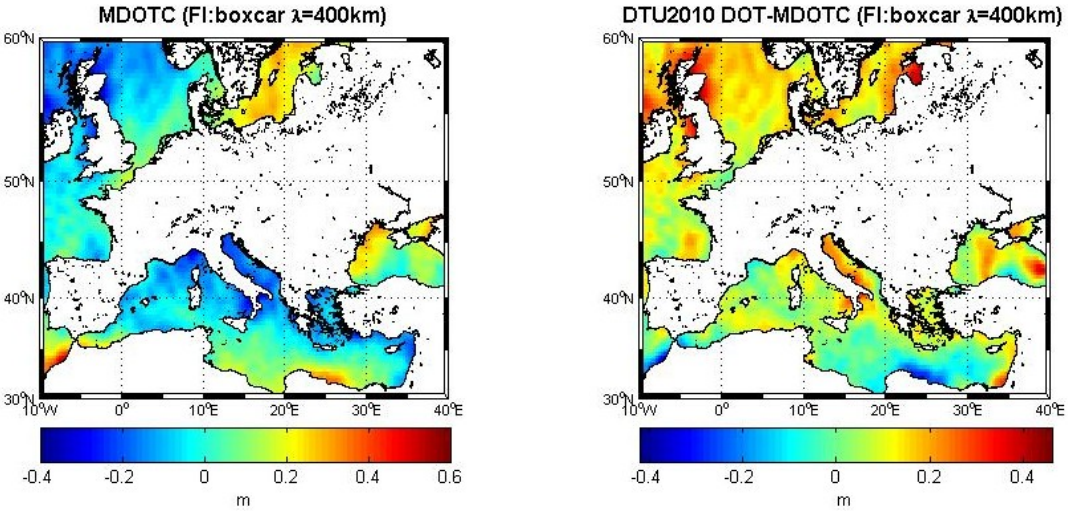
Τέλος για μήκη κύματος μεγαλύτερα των 800km έως και τα 1300km φαίνεται ότι οι ακραίες τιμές, που παρουσιάζονται κοντά στις ακτογραμμές καθώς επίσης και στην κλειστή λεκάνη της Μαύρης Θάλασσας, είναι ακόμη μεγαλύτερες, που συνεπάγεται την μεγαλύτερη απομάκρυνση σήματος και ωφέλιμης πληροφορίας. Τόσο η τυπική απόκλιση των τιμών των διαφορών όσο και το εύρος διακύμανσης αυξάνουν εξαιτίας του έντονου ανάγλυφου της περιοχής μελέτης. Από τα παραπάνω φαίνεται ότι η επίτευξη της βέλτιστης λύσης με την εφαρμογή του φίλτρου Boxcar, δηλαδή η απομάκρυνση της επίδρασης του θορύβου με την μικρότερη δυνατή απώλεια σήματος επιτεύχθηκε με την εφαρμογή μήκους κύματος φίλτρου 600km.

**Πίνακας 4.13:** Στατιστικά χαρακτηριστικά του φίλτρου Boxcar που εφαρμόστηκε στο πεδίο τιμών MDOTC μετά το 2σ τεστ {m}

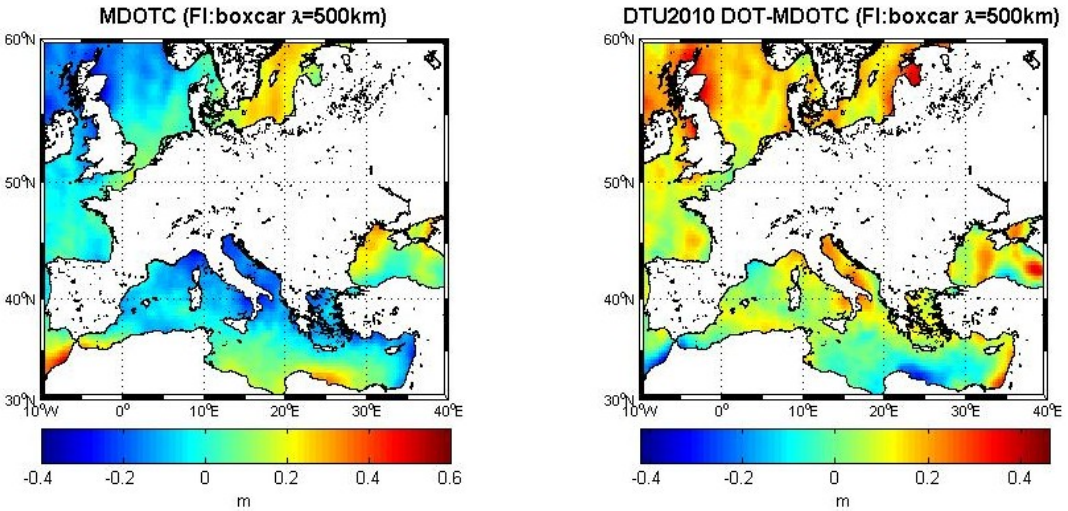
| Φίλτρο | λ | max | min | mean | std |
|---|---|---|---|---|---|
| Boxcar | 400 | 0.519 | -0.335 | 0.000 | ±0.135 |
| Boxcar | 500 | 0.495 | -0.32 | -0.002 | ±0.134 |
| Boxcar | 580 | 0.467 | -0.295 | -0.003 | ±0.132 |
| Boxcar | 600 | 0.461 | -0.286 | -0.004 | ±0.131 |
| Boxcar | 650 | 0.461 | -0.278 | -0.004 | ±0.131 |
| Boxcar | 750 | 0.456 | -0.261 | -0.005 | ±0.129 |
| Boxcar | 780 | 0.472 | -0.258 | -0.006 | ±0.128 |
| Boxcar | 800 | 0.480 | -0.260 | -0.006 | ±0.128 |
| Boxcar | 1000 | 0.520 | -0.252 | -0.008 | ±0.123 |
| Boxcar | 1300 | 0.547 | -0.215 | -0.012 | ±0.112 |

**Πίνακας 4.14:** Στατιστικά χαρακτηριστικά για το πεδίο τιμών των διαφορών $MDOT_{DTU2010}$-MDOTC (Boxcar) {m}

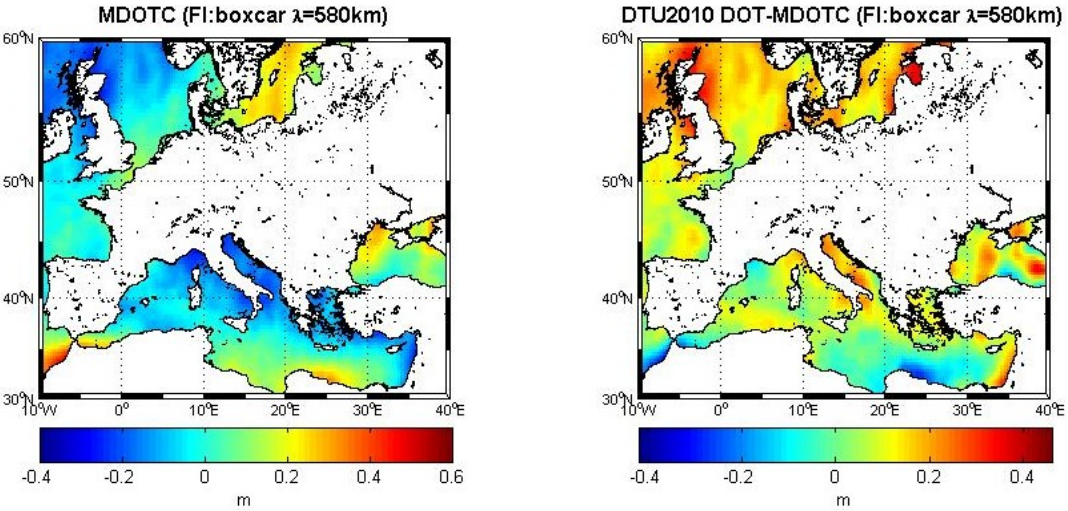
| Φίλτρο | λ | max | min | mean | std | range |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Boxcar | 400 | 0.410 | -0.360 | 0.084 | 0.097 | 0.770 |
| Boxcar | 500 | 0.387 | -0.333 | 0.086 | 0.098 | 0.720 |
| Boxcar | 580 | 0.374 | -0.308 | 0.087 | 0.098 | 0.682 |
| **Boxcar** | **600** | **0.374** | **-0.302** | **0.088** | **0.098** | **0.676** |
| Boxcar | 650 | 0.379 | -0.302 | 0.088 | 0.098 | 0.681 |
| Boxcar | 750 | 0.400 | -0.320 | 0.090 | 0.098 | 0.720 |
| Boxcar | 780 | 0.405 | -0.336 | 0.090 | 0.099 | 0.741 |
| Boxcar | 800 | 0.408 | -0.344 | 0.090 | 0.099 | 0.752 |
| Boxcar | 1000 | 0.429 | -0.384 | 0.092 | 0.099 | 0.813 |
| Boxcar | 1300 | 0.422 | -0.411 | 0.096 | 0.099 | 0.833 |



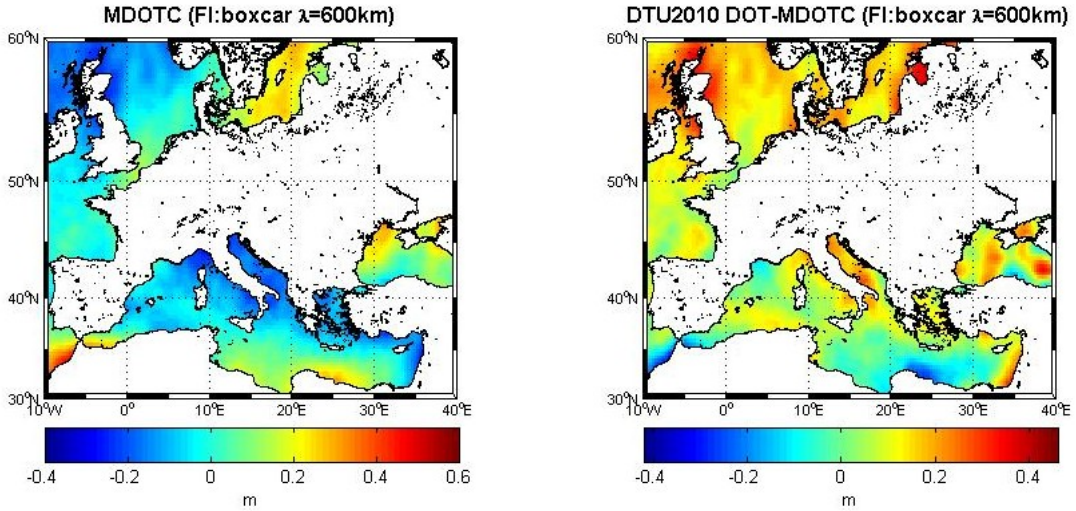

**Σχήμα 4.68**: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Boxcar (λ=400km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}



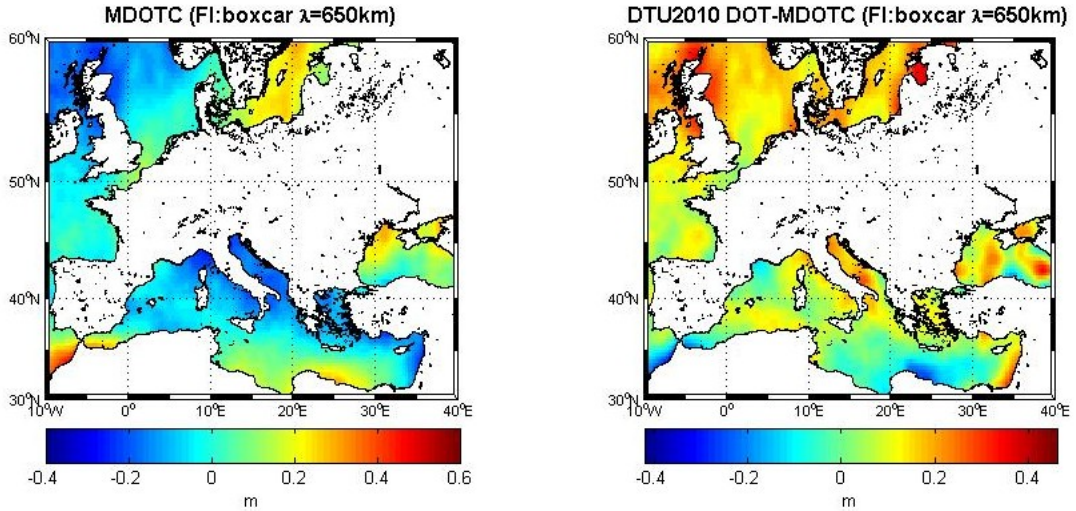

**Σχήμα 4.69**: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Boxcar (λ=500km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}



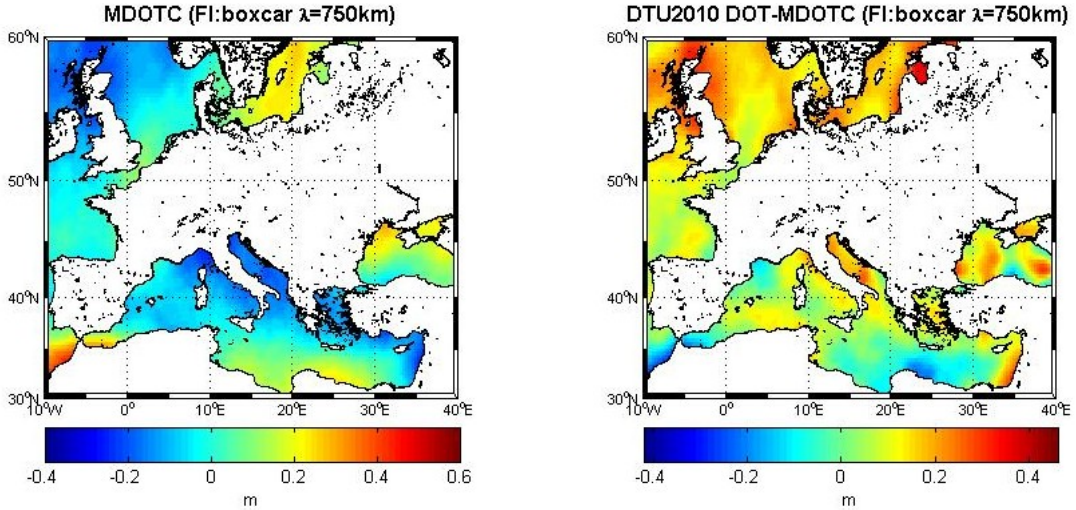

**Σχήμα 4.70**: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Boxcar (λ=580km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}



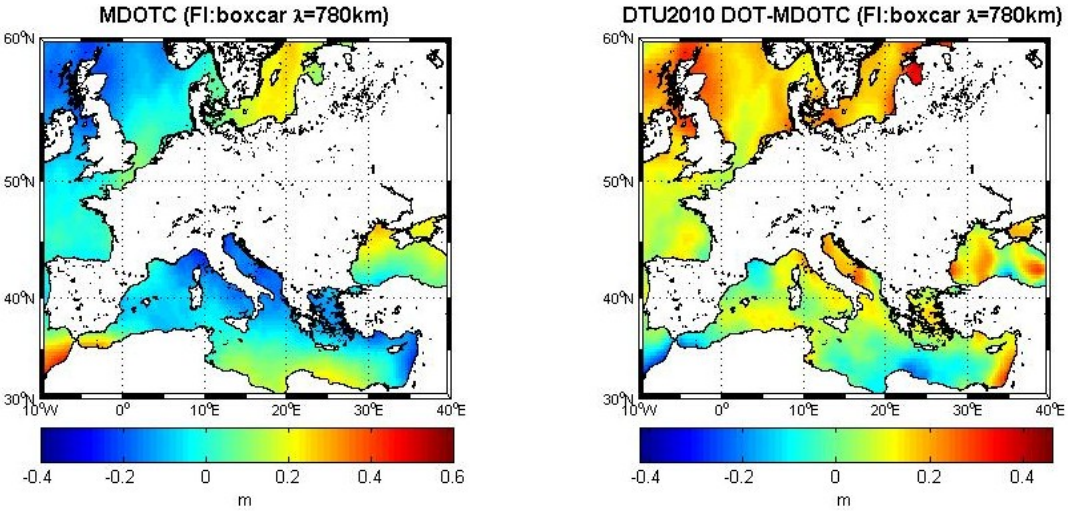

**Σχήμα 4.71**: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Boxcar (λ=600km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}



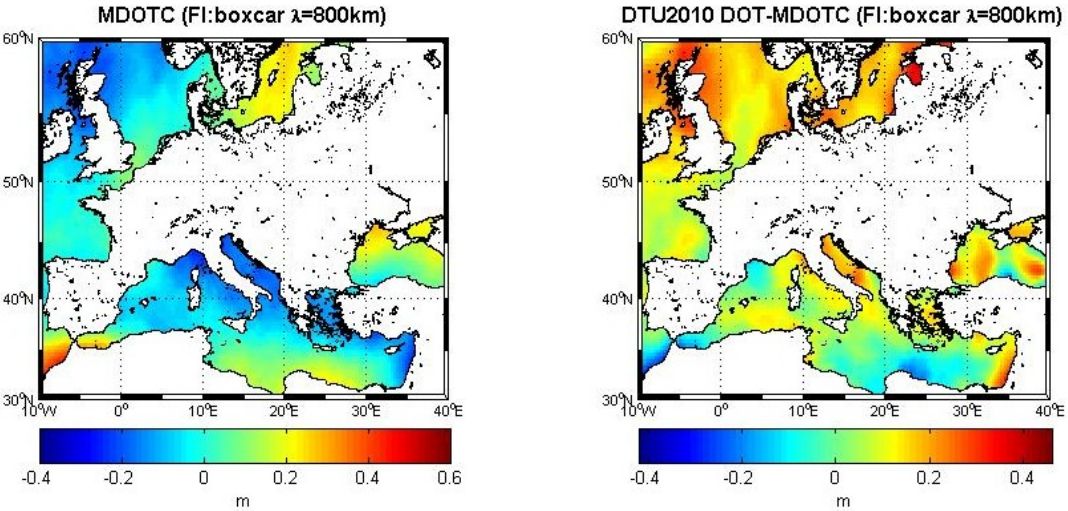

**Σχήμα 4.72**: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Boxcar (λ=650km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}



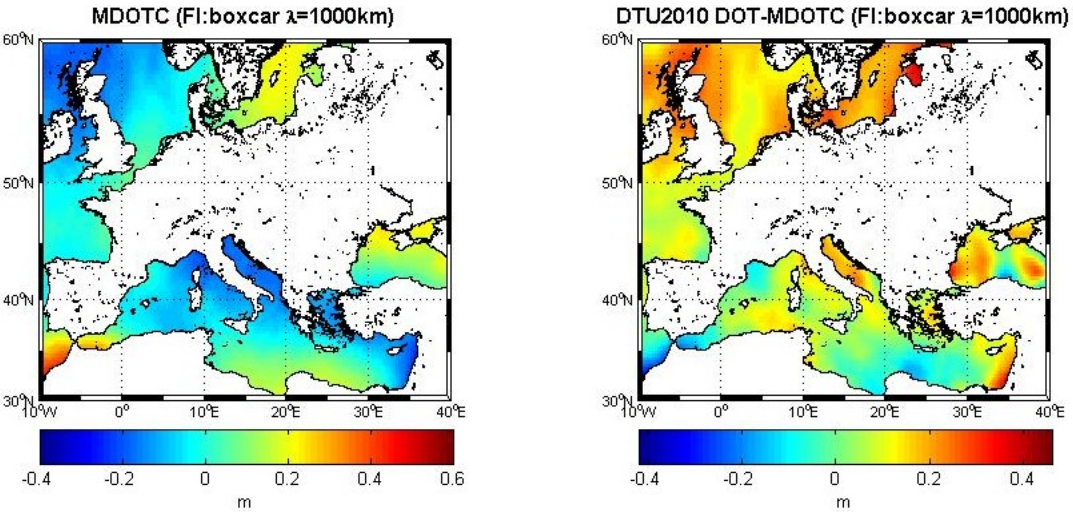

**Σχήμα 4.73**: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Boxcar (λ=750km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}



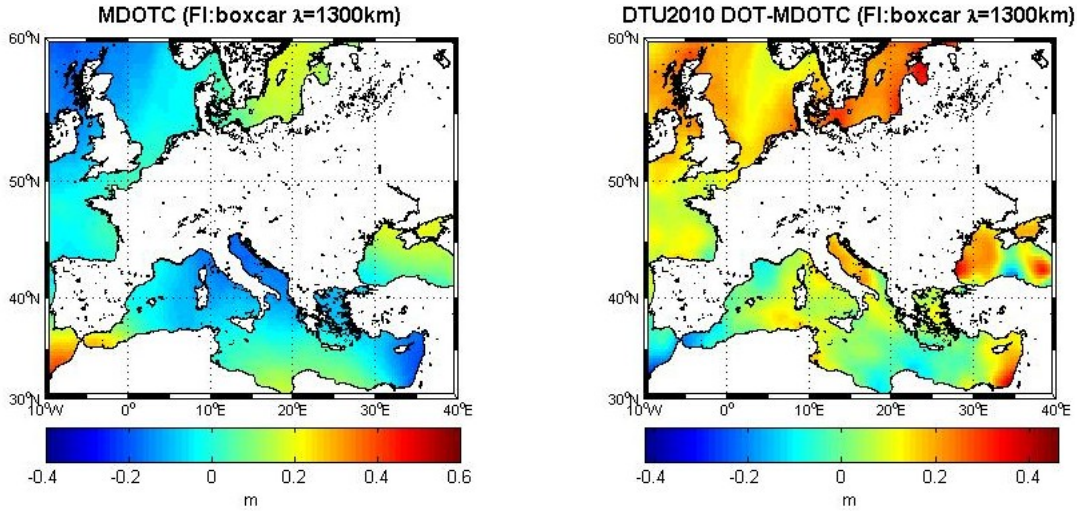

**Σχήμα 4.74**: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Boxcar (λ=780km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}




**Σχήμα 4.75**: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Boxcar (λ=800km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}




**Σχήμα 4.76**: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Boxcar (λ=1000km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}




**Σχήμα 4.77**: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Boxcar (λ=1300km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}

Στη συνέχεια παρουσιάζεται μέρος των αποτελεσμάτων του φίλτρου Cosine arch που εφαρμόστηκε στο πεδίο MDOTC μετά το 2σ τεστ. Σύμφωνα με τα στατιστικά αποτελέσματα του πίνακα 4.16 του φίλτρου Cosine arch, που εφαρμόστηκε στο πεδίο τιμών MDOTC μετά το 2σ τεστ της περιοχής μελέτης της Μεσογείου και του ευρύτερου Ευρωπαϊκού χώρου, προέκυψε ότι, όμοια με το φίλτρο Boxcar, το καταλληλότερο μήκος κύματος του φίλτρου Cosine arch είναι τα 600km με τυπική απόκλιση, ±0.098m, στις υπολογιζόμενες εκ των υστέρων διαφορές με το Παγκόσμιο μοντέλο, καθώς και το μικρότερο εύρος διακύμανσης των τιμών στα 0.676m. Το συμπέρασμα αυτό προέκυψε από τα αποτελέσματα των στατιστικών στοιχείων των διαφορών $DOT_{DTU2010}$-MDOTC που υπολογίστηκαν.

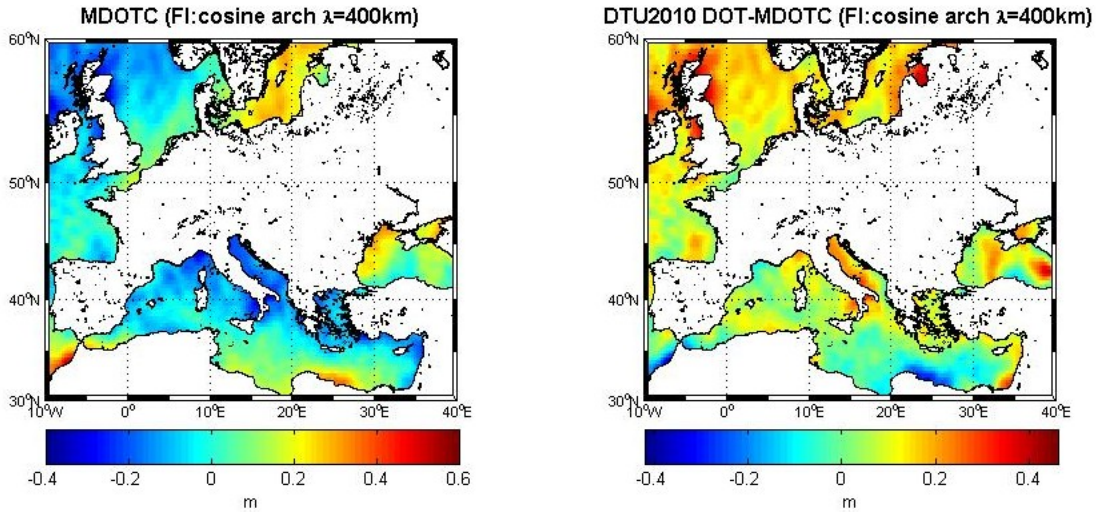
Τα στατιστικά αποτελέσματα των δύο παραπάνω φίλτρων Boxcar και Cosine arch δείχνουν ότι τα δύο φίλτρα λειτουργούν με τον ίδιο τρόπο στις τιμές του πεδίου της συνθετικής Δυναμικής Θαλάσσιας Τοπογραφίας MDOTC καθώς παρουσιάζουν σχεδόν τα ίδια στατιστικά αποτελέσματα, όπως επίσης προκύπτουν τα ίδια συμπεράσματα από τους χάρτες των διαφορών με το παγκόσμιο μοντέλο της $MDOT_{DTU2010}$.

**Πίνακας 4.15:** Στατιστικά χαρακτηριστικά του φίλτρου Cosine arch που εφαρμόστηκε στο πεδίο τιμών MDOTC μετά το 2σ τεστ {m}

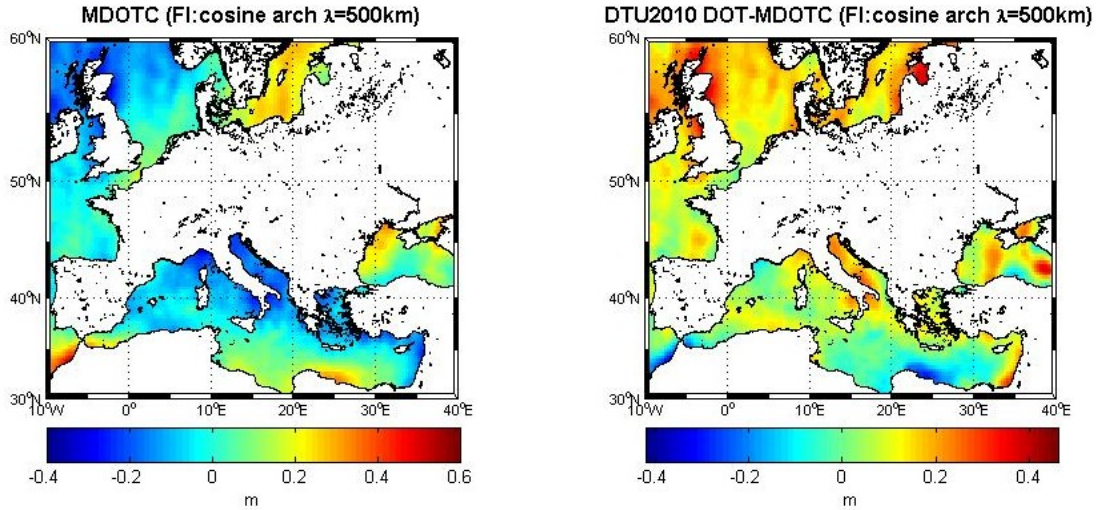
| Φίλτρο | λ | max | min | mean | std |
|---|---|---|---|---|---|
| Cosine arch | 400 | 0.519 | -0.335 | 0.000 | 0.135 |
| Cosine arch | 500 | 0.495 | -0.320 | -0.002 | 0.134 |
| Cosine arch | 580 | 0.467 | -0.295 | -0.003 | 0.132 |
| Cosine arch | 600 | 0.461 | -0.286 | -0.004 | 0.131 |
| Cosine arch | 650 | 0.461 | -0.278 | -0.004 | 0.131 |
| Cosine arch | 750 | 0.456 | -0.261 | -0.005 | 0.129 |
| Cosine arch | 780 | 0.472 | -0.258 | -0.006 | 0.128 |
| Cosine arch | 800 | 0.480 | -0.260 | -0.006 | 0.128 |
| Cosine arch | 1000 | 0.520 | -0.252 | -0.008 | 0.123 |
| Cosine arch | 1500 | 0.530 | -0.203 | -0.015 | 0.104 |

**Πίνακας 4.16:** Στατιστικά χαρακτηριστικά για το πεδίο τιμών των διαφορών $MDOT_{DTU2010}$-MDOTC (Cosine arch) {m}

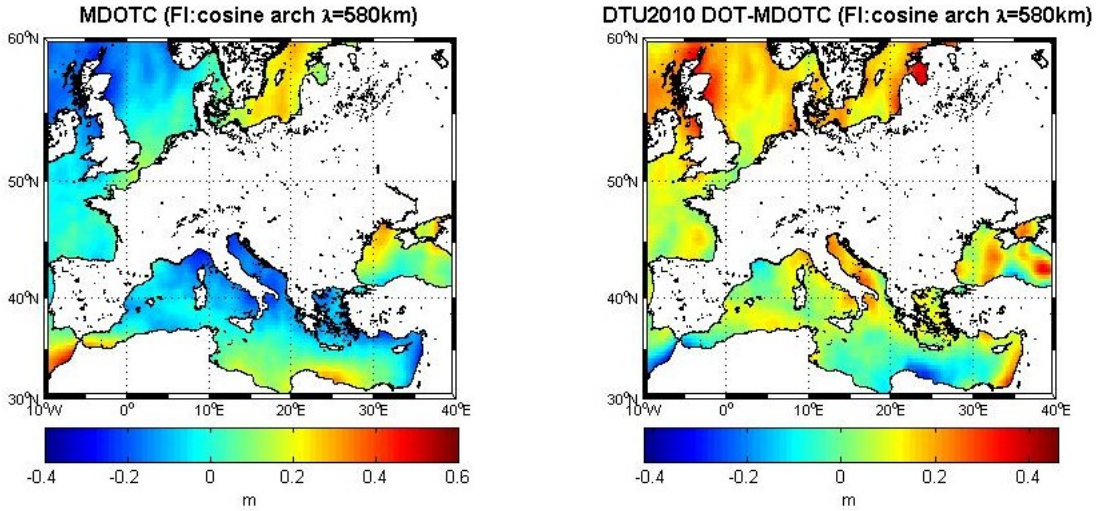
| Φίλτρο | λ | max | min | mean | std | range |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Cosine arch | 400 | 0.410 | -0.360 | 0.084 | 0.097 | 0.770 |
| Cosine arch | 500 | 0.387 | -0.333 | 0.086 | 0.098 | 0.720 |
| Cosine arch | 580 | 0.374 | -0.308 | 0.087 | 0.098 | 0.682 |
| **Cosine arch** | **600** | **0.374** | **-0.302** | **0.088** | **0.098** | **0.676** |
| Cosine arch | 650 | 0.379 | -0.302 | 0.088 | 0.098 | 0.681 |
| Cosine arch | 750 | 0.400 | -0.320 | 0.090 | 0.098 | 0.720 |
| Cosine arch | 780 | 0.405 | -0.336 | 0.090 | 0.099 | 0.741 |
| Cosine arch | 800 | 0.408 | -0.344 | 0.090 | 0.099 | 0.752 |
| Cosine arch | 1000 | 0.429 | -0.384 | 0.092 | 0.099 | 0.813 |
| Cosine arch | 1500 | 0.409 | -0.394 | 0.099 | 0.099 | 0.803 |



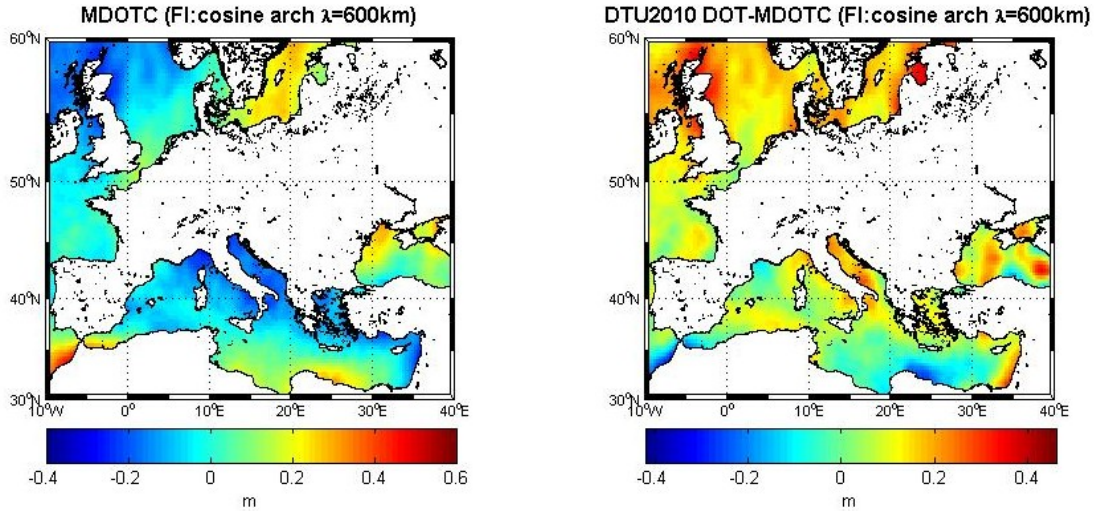

**Σχήμα 4.78**: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Cosine arch (λ=400km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}



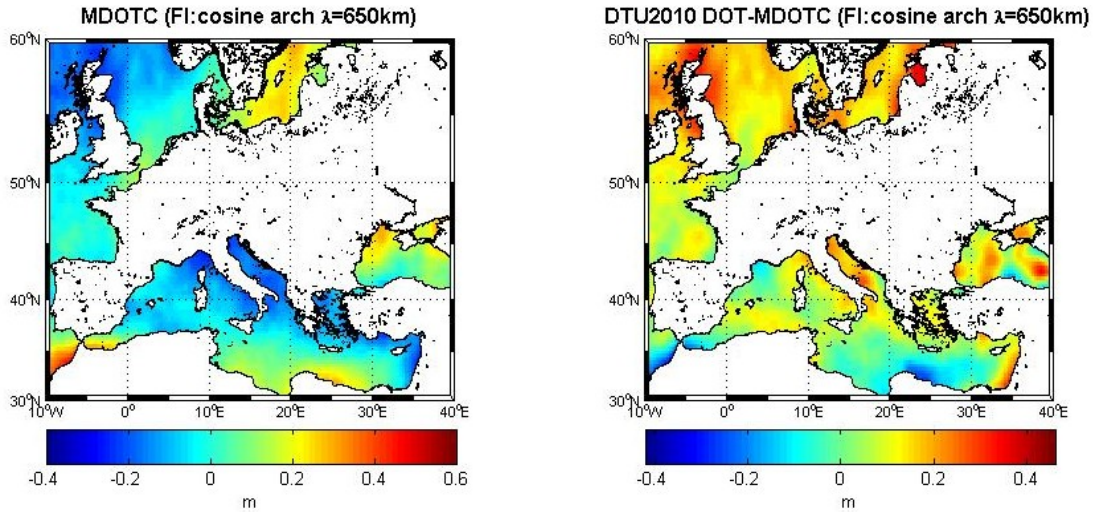

**Σχήμα 4.79**: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Cosine arch (λ=500km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}



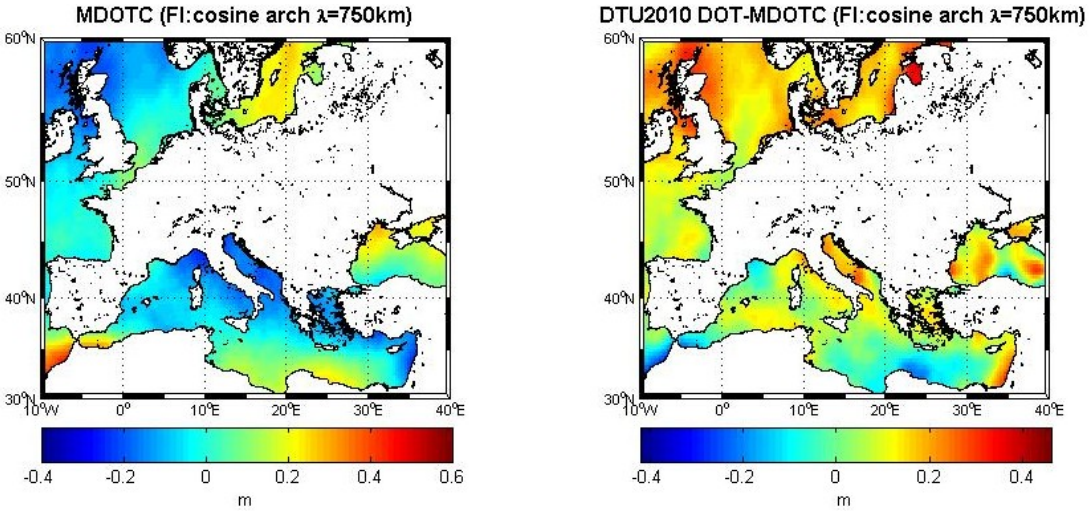

**Σχήμα 4.80**: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Cosine arch (λ=580km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}



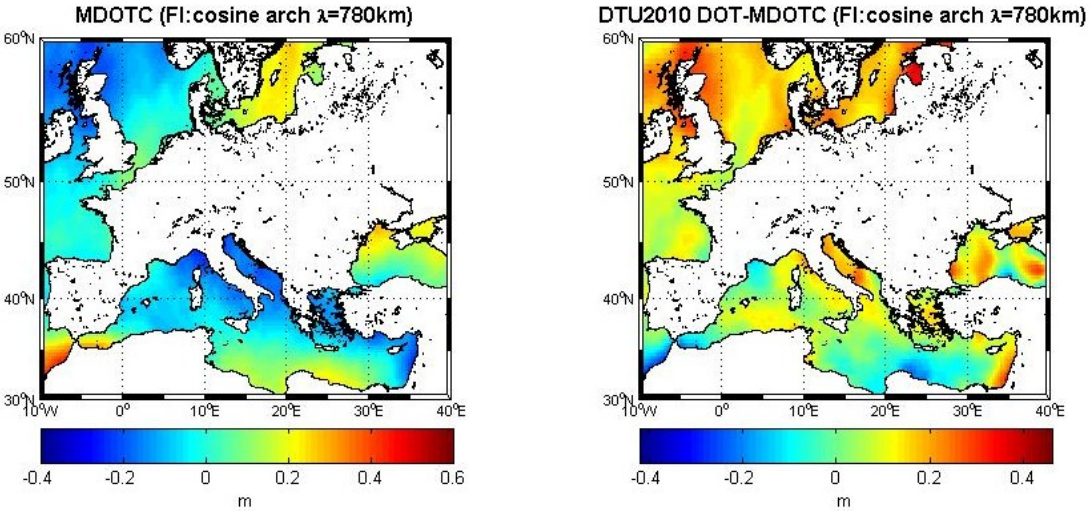

**Σχήμα 4.81**: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Cosine arch (λ=600km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}



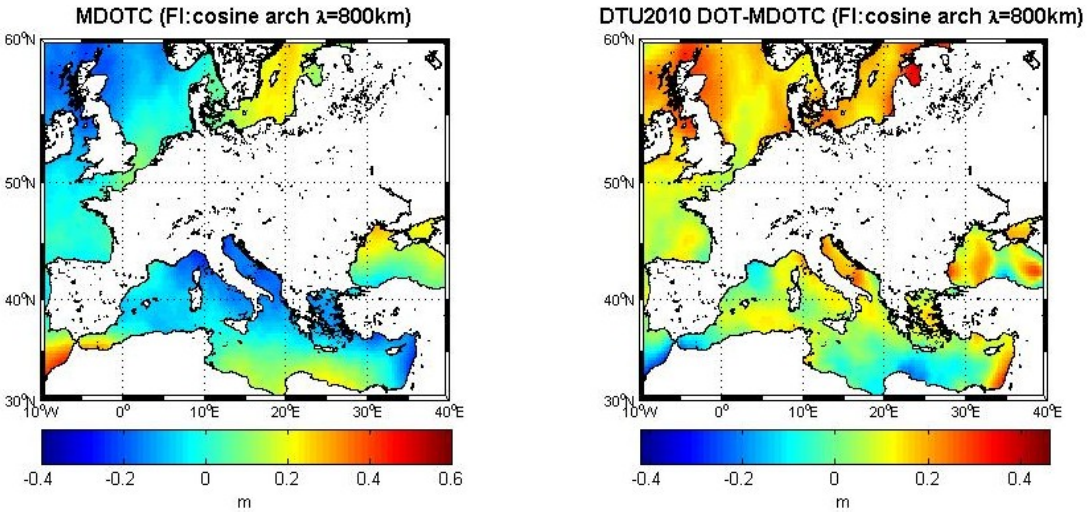

**Σχήμα 4.82**: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Cosine arch (λ=650km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}



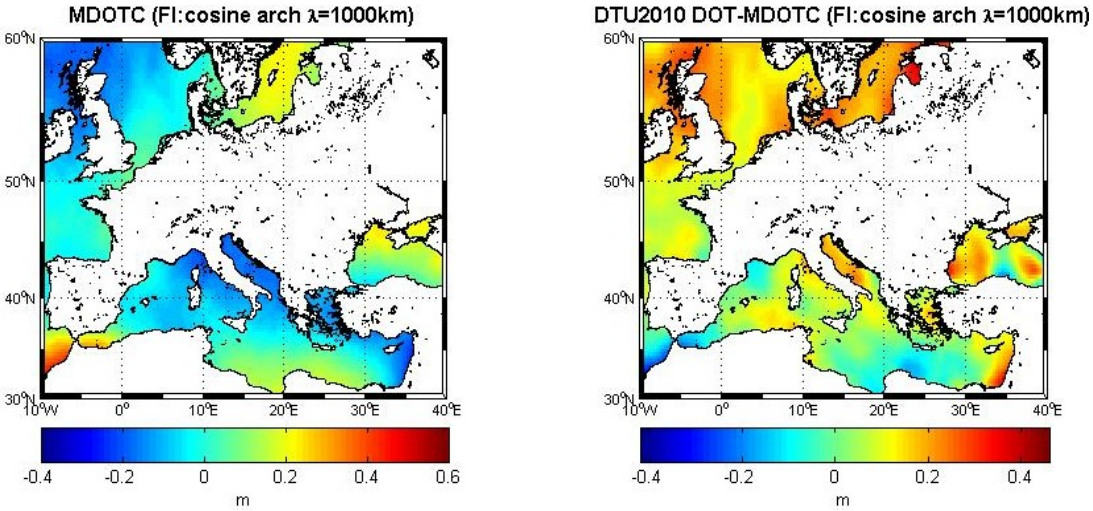

**Σχήμα 4.83**: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Cosine arch (λ=750km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}



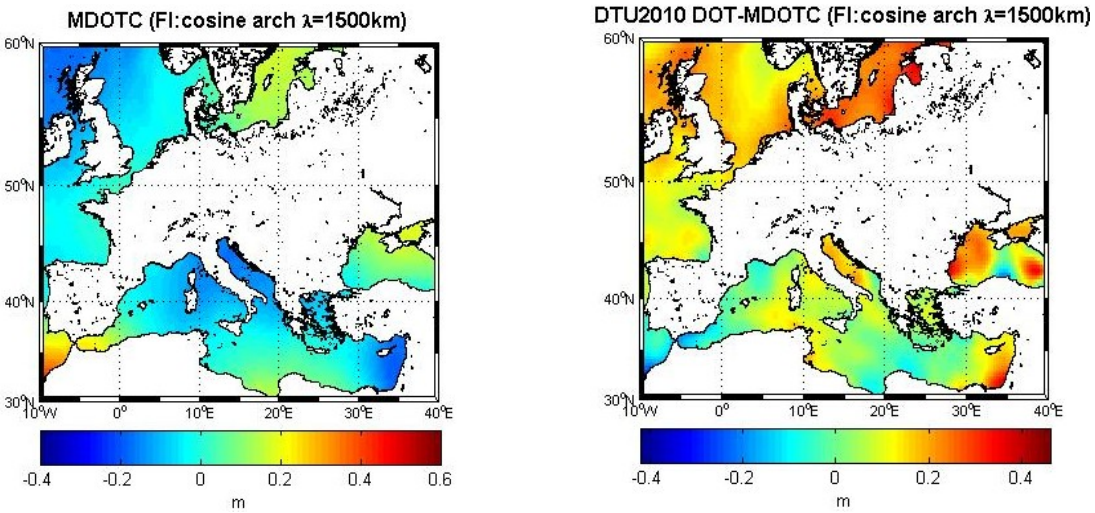

**Σχήμα 4.84**: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Cosine arch (λ=780km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}




**Σχήμα 4.85**: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Cosine arch (λ=800km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}




**Σχήμα 4.86**: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Cosine arch (λ=1000km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}




**Σχήμα 4.87**: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Cosine arch (λ=1500km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}

Στη συνέχεια παρουσιάζεται μέρος των αποτελεσμάτων του τελευταίου φίλτρου που εφαρμόστηκε στο πεδίο MDOTC μετά το 2σ τεστ, του φίλτρου Gaussian. Σύμφωνα με τα στατιστικά αποτελέσματα του πίνακα 4.18 του φίλτρου Gaussian, που εφαρμόστηκε στο πεδίο τιμών MDOTC μετά το 2σ τεστ, φαίνεται ότι το καταλληλότερο μήκος κύματος φίλτρου είναι τα 780km. Το συμπέρασμα αυτό προέκυψε από τα αποτελέσματα των στατιστικών στοιχείων των διαφορών $DOT_{DTU2010}$-MDOTC που υπολογίστηκαν. Σύμφωνα με τα στατιστικά χαρακτηριστικά του πεδίου τιμών των διαφορών φαίνεται ότι με την εφαρμογή μήκους κύματος φίλτρου λ=780km στο πεδίο τιμών προκύπτει τυπική απόκλιση, ±0.093m, στις υπολογιζόμενες εκ των υστέρων διαφορές με το παγκόσμιο μοντέλο, ενώ το εύρος διακύμανσης των τιμών είναι 0.705m.

Επιπλέον, από τους χάρτες των διαφορών, φαίνεται ότι στα μήκη κύματος φίλτρου μικρότερα από 780km παρουσιάζονται οι μέγιστες και ελάχιστες τιμές του πεδίου των διαφορών σε περιοχές κοντά στις ακτογραμμές, τα νησιά αλλά και σε θαλάσσιες περιοχές

όπως η κλειστή λεκάνη της Μαύρης Θάλασσας, η Βόρεια Θάλασσα καθώς επίσης και ο Βισκαϊκός κόλπος Βόρεια της Ισπανίας. Η τυπική απόκλιση των διαφορών είναι 1mm έως 4mm μεγαλύτερη ενώ το εύρος διακύμανσης των τιμών είναι από 0.4cm έως 8.5cm μεγαλύτερη. Οι μέγιστες και ελάχιστες τιμές στις περιοχές αυτές εξομαλύνονται με την εφαρμογή μήκους κύματος φίλτρου 780km.

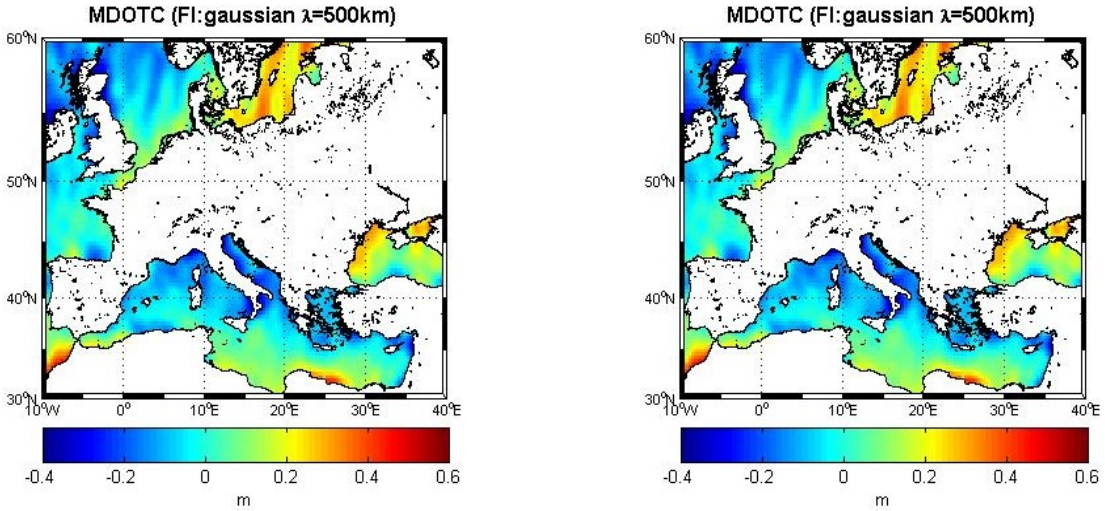
Για μεγαλύτερα μήκη κύματος φίλτρου, και πιο συγκεκριμένα για μήκη κύματος φίλτρου από 1000km έως 1500km,φαίνεται ότι οι ακραίες τιμές, που παρουσιάζονται κοντά στις ακτογραμμές και κυρίως στην κλειστή λεκάνη της Μαύρης Θάλασσας, είναι ακόμη μεγαλύτερες, που συνεπάγεται την μεγαλύτερη απομάκρυνση σήματος και ωφέλιμης πληροφορίας. Η τυπική απόκλιση των διαφορών αυξάνει κατά 1 mm με 2mm, ενώ το εύρος τιμών μειώνεται λόγω της απομάκρυνσης σήματος. Από τα παραπάνω φαίνεται ότι η επίτευξη της βέλτιστης λύσης με την εφαρμογή του φίλτρου Gaussian, δηλαδή η απομάκρυνση της επίδρασης του θορύβου με την μικρότερη δυνατή απώλεια σήματος επιτεύχθηκε με την εφαρμογή μήκους κύματος φίλτρου 780km.

**Πίνακας 4.17:** Στατιστικά χαρακτηριστικά του φίλτρου Gaussian που εφαρμόστηκε στο πεδίο τιμών MDOTC μετά το 2σ τεστ {m}

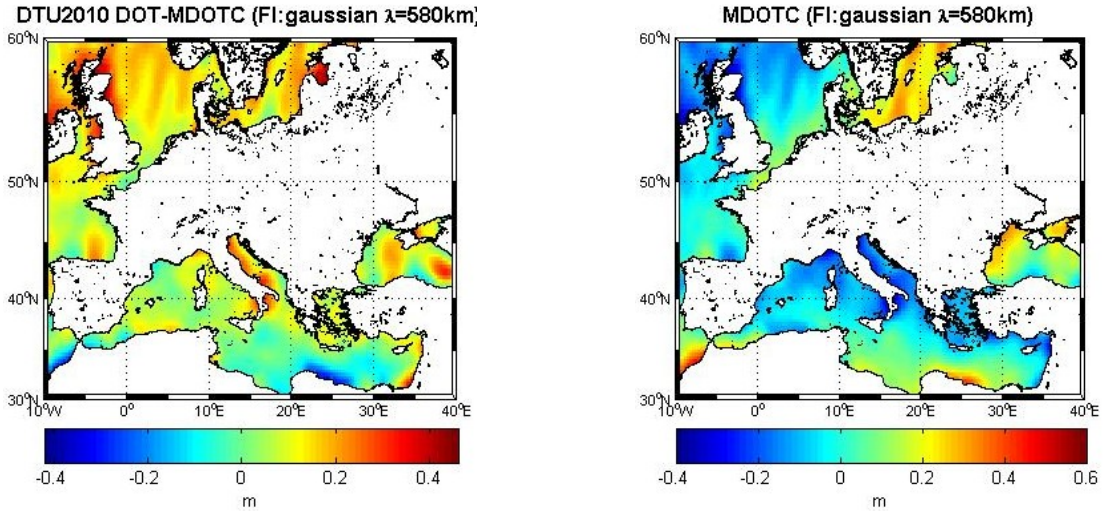
| Φίλτρο | λ | max | min | mean | std |
|---|---|---|---|---|---|
| Gaussian | 500 | 0.597 | -0.375 | 0.003 | 0.138 |
| Gaussian | 580 | 0.556 | -0.354 | 0.001 | 0.135 |
| Gaussian | 650 | 0.520 | -0.339 | 0.000 | 0.133 |
| Gaussian | 700 | 0.495 | -0.329 | 0.000 | 0.133 |
| Gaussian | 750 | 0.471 | -0.320 | -0.001 | 0.132 |
| Gaussian | 780 | 0.470 | -0.314 | -0.001 | 0.131 |
| Gaussian | 1000 | 0.460 | -0.280 | -0.003 | 0.129 |
| Gaussian | 1250 | 0.442 | -0.251 | -0.005 | 0.125 |
| Gaussian | 1500 | 0.440 | -0.243 | -0.007 | 0.121 |

**Πίνακας 4.18:** Στατιστικά χαρακτηριστικά για το πεδίο τιμών των διαφορών $MDOT_{DTU2010}$-MDOTC (Gaussian) {m}

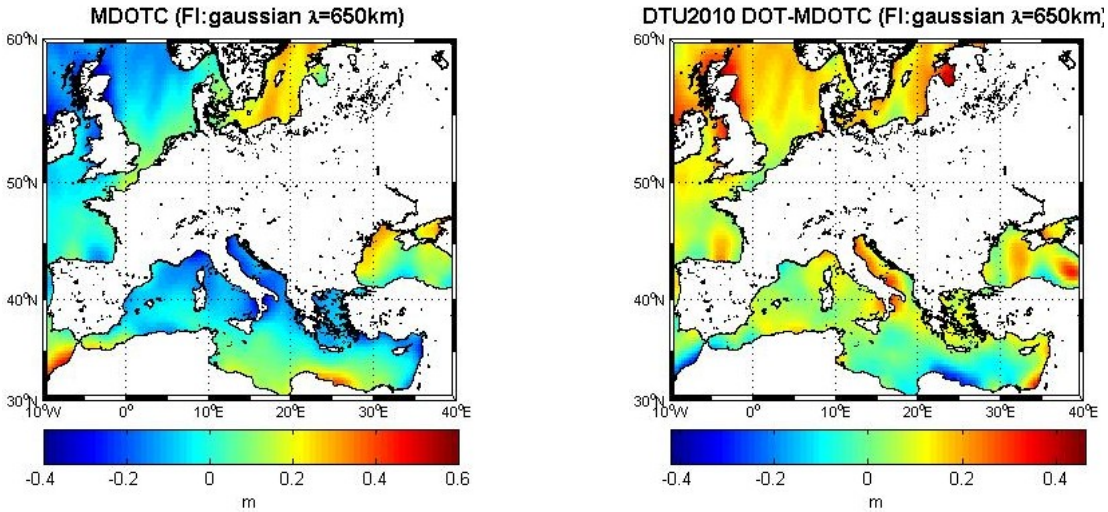
| Φίλτρο | λ | max | min | mean | std | range |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Gaussian | 500 | 0.457 | -0.333 | 0.081 | 0.097 | 0.790 |
| Gaussian | 580 | 0.432 | -0.325 | 0.083 | 0.095 | 0.757 |
| Gaussian | 650 | 0.413 | -0.318 | 0.084 | 0.094 | 0.731 |
| Gaussian | 700 | 0.403 | 0.311 | 0.084 | 0.094 | 0.714 |
| Gaussian | 750 | 0.398 | -0.311 | 0.085 | 0.093 | 0.709 |
| **Gaussian** | **780** | **0.394** | **-0.311** | **0.085** | **0.093** | **0.705** |
| Gaussian | 1000 | 0.386 | -0.301 | 0.087 | 0.094 | 0.687 |
| Gaussian | 1250 | 0.397 | -0.282 | 0.089 | 0.095 | 0.679 |
| Gaussian | 1500 | 0.404 | -0.304 | 0.091 | 0.095 | 0.708 |



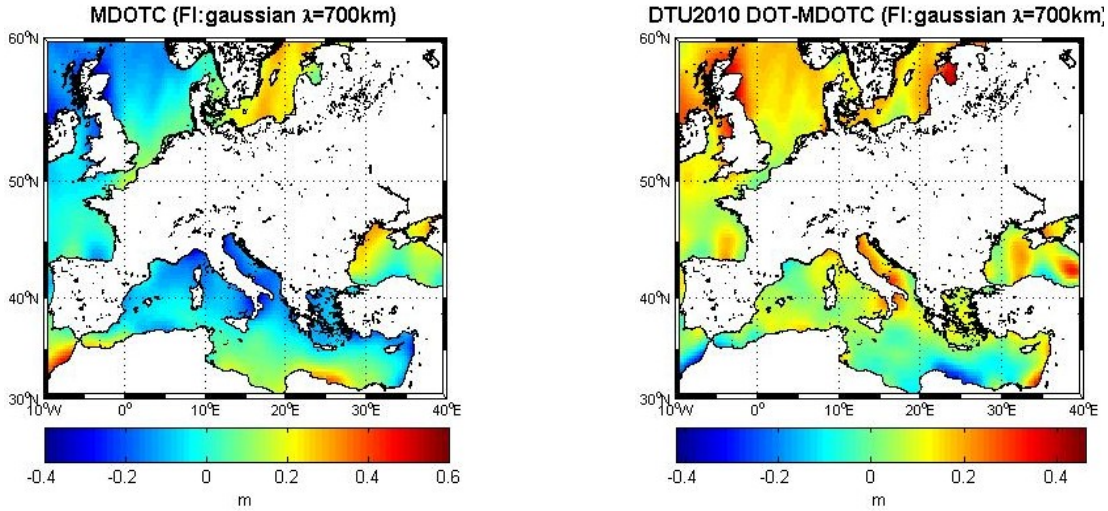

**Σχήμα 4.88**: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Gaussian (λ=500km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}



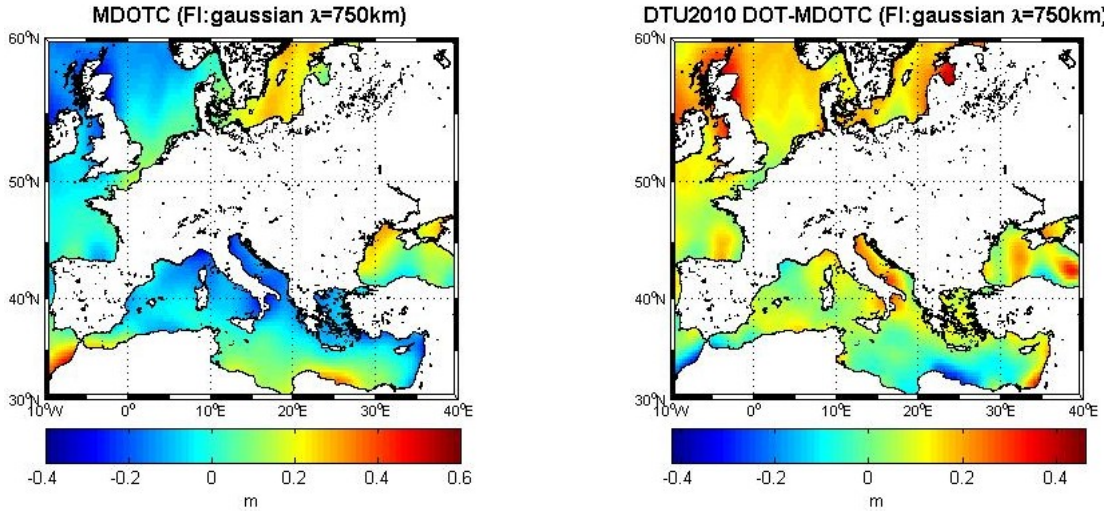

**Σχήμα 4.89**: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Gaussian (λ=580km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}



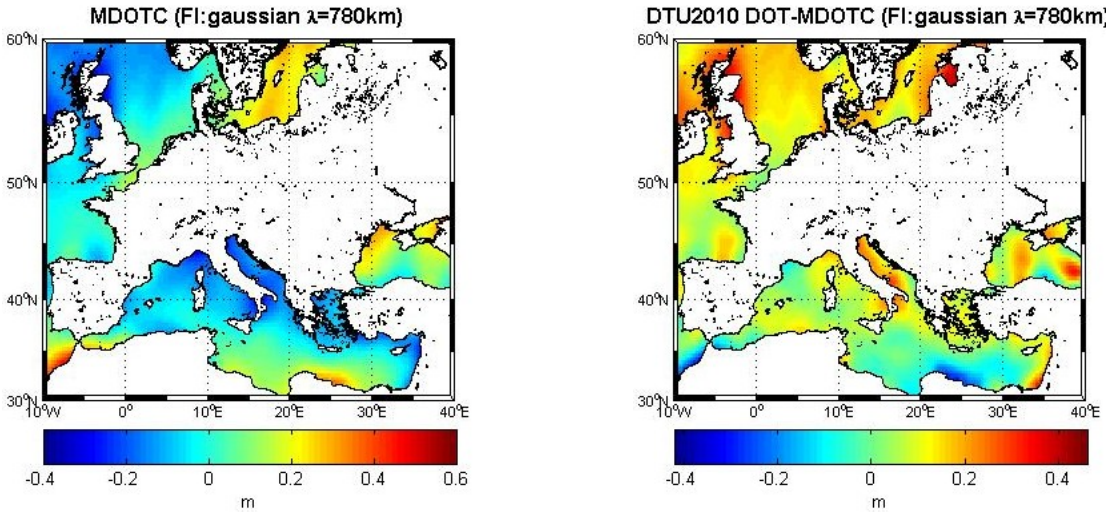

**Σχήμα 4.90**: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Gaussian (λ=650km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}



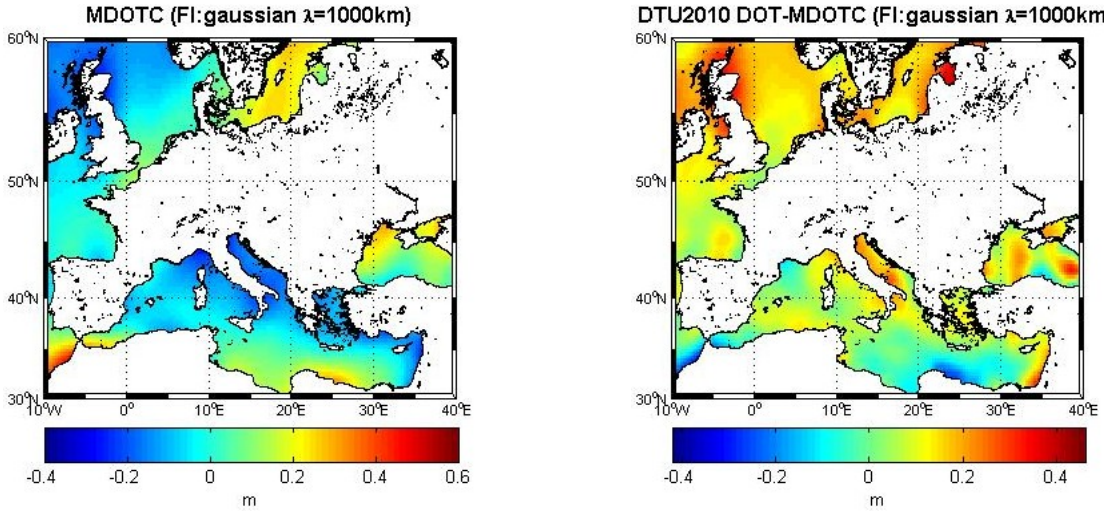

**Σχήμα 4.91**: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Gaussian (λ=700km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}



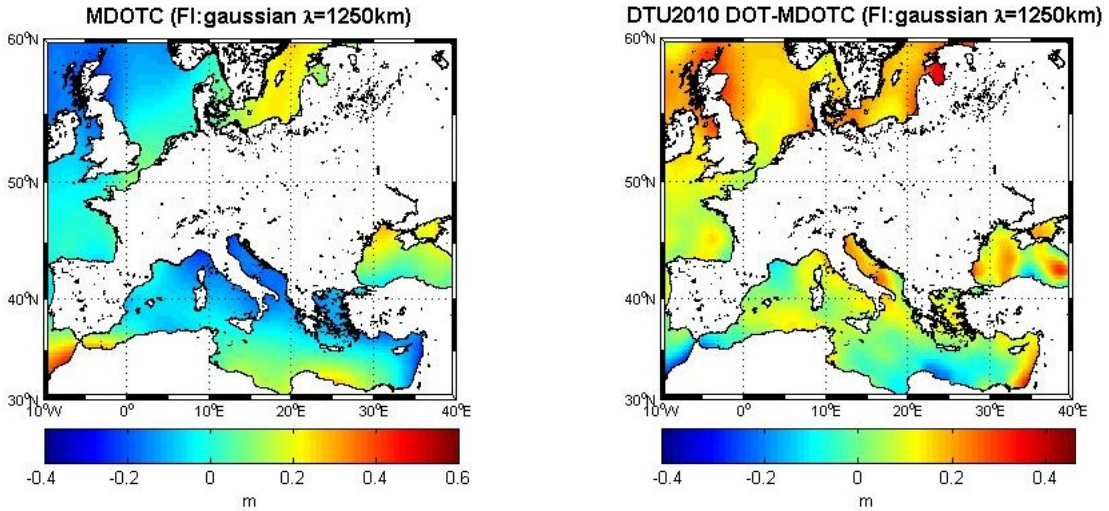

**Σχήμα 4.92**: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Gaussian (λ=750km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}



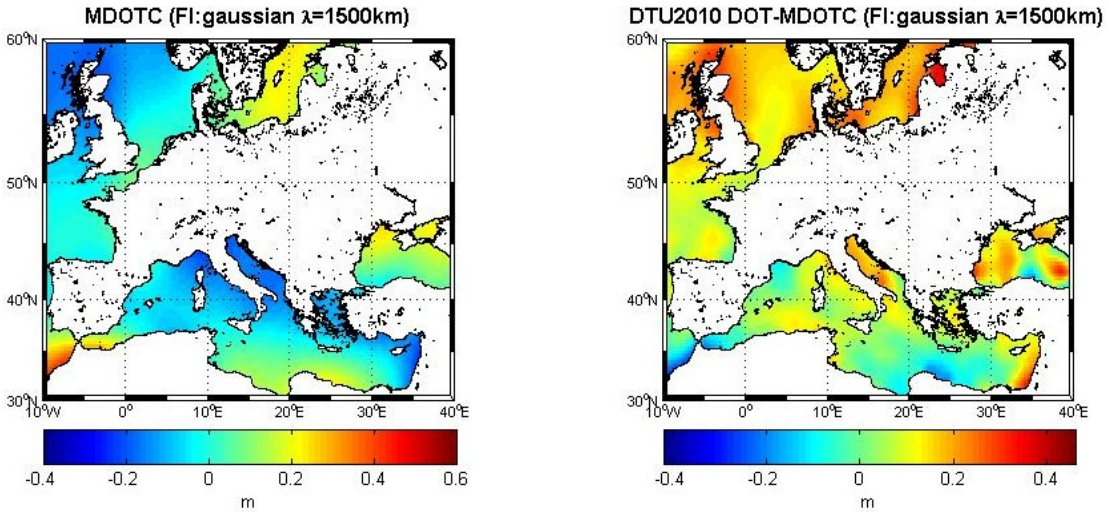

**Σχήμα 4.93**: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Gaussian (λ=780km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}




**Σχήμα 4.94**: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Gaussian (λ=1000km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}




**Σχήμα 4.95**: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Gaussian (λ=1250km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}




**Σχήμα 4.96**: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Gaussian (λ=1500km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}

Συμπερασματικά λοιπόν από τα παραπάνω αποτελέσματα της εφαρμογής των τριών φίλτρων στο πεδίο τιμών MDOTC μετά το 2σ τεστ της περιοχής μελέτης της κλειστής λεκάνης της Μεσογείου και του ευρύτερου Ευρωπαϊκού χώρου, προέκυψε ότι με την εφαρμογή των φίλτρων Boxcar και Cosine arch προκύπτουν καλύτερα στατιστικά αποτελέσματα στις τιμές των διαφορών, σε μικρότερες συχνότητες αποκοπής, συγκριτικά με το φίλτρο Gaussian, απομακρύνοντας έτσι μέρος του θορύβου και προσεγγίζοντας ταυτόχρονα καλύτερα το πεδίο τιμών $MDOT_{DTU2010}$.

### 4.3.2 Αποτελέσματα εφαρμογής φίλτρων στο πεδίο MDOTC μετά το 3σ τεστ

Όμοια με την περίπτωση επεξεργασίας του πεδίου τιμών MDOTC μετά το 2σ τεστ, πριν την εφαρμογή των φίλτρων, χρησιμοποιήθηκαν αρχικά τα θαλάσσια δεδομένα της περιοχής του Μεσογείου και του ευρύτερου Ευρωπαϊκού χώρου του πεδίου τιμών MDOTC μετά το 3σ τεστ με τη μορφή αρχείου εισαγωγής φ σε μοίρες, λ σε μοίρες, τιμή πεδίου σε μέτρα (πχ 40.33333, 304.33333, 0.311075509). Στη συνέχεια μέσω του φίλτρου δεδομένων *gmtselect* και με την εφαρμογή κατάλληλων εντολών προέκυψε ένα νέο αρχείο του πεδίου τιμών σε grd format για την εφαρμογή των φίλτρων μέσω του *Mirone*. Στο πεδίο τιμών αυτό εφαρμόζεται κάθε φορά φίλτρο και επιλέγεται κάποια τιμή πλήρους μήκους κύματος. Τα αρχεία εισαγωγής του προγράμματος που αναπτύχθηκε σε περιβάλλον Matlab είναι, το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του εκάστοτε φίλτρου, καθώς επίσης και το πεδίο MDOT από το Παγκόσμιο μοντέλο DTU2010, με σκοπό τον υπολογισμό των νέων διαφορών μεταξύ των δύο προαναφερθέντων πεδίων. Στη συνέχεια και πάλι μέσω του φίλτρου δεδομένων *gmtselect* απομακρύνονται οι τιμές που αφορούν στις ηπειρωτικές περιοχές έτσι ώστε οι χάρτες του νέου πεδίου MDOTC μετά την εφαρμογή του εκάστοτε φίλτρου, οι διαφορές, όπως επίσης και τα στατιστικά να υπολογίζονται μόνο από τα δεδομένα που αφορούν μόνο στη θαλάσσια περιοχή.

Στην περίπτωση της περιοχής μελέτης της κλειστής λεκάνης της Μεσογείου και του ευρύτερου Ευρωπαϊκού χώρου εφαρμόστηκε αρχικά το φίλτρο Boxcar επιλέγοντας δεκαεπτά τιμές μήκους κύματος, μεταξύ των τιμών 400km έως 1500km (μισό μήκος κύματος 200 km – 750 km), στη συνέχεια εφαρμόστηκε το φίλτρο Cosine arch επιλέγοντας δεκαπέντε τιμές μήκους κύματος, μεταξύ των τιμών 400km έως 1500km (μισό μήκος κύματος 200 km – 750 km) και τέλος εφαρμόστηκε το φίλτρο Gaussian επιλέγοντας δώδεκα τιμές μήκους κύματος, μεταξύ των τιμών 500km έως 1500km (μισό μήκος κύματος 250 km – 750 km). Θα πρέπει να αναφερθεί ότι δεν υπήρχε σταθερό βήμα μήκους κύματος φίλτρου κατά την εφαρμογή των φίλτρων. Στη συνέχεια παρουσιάζεται μέρος των αποτελεσμάτων του φίλτρου Boxcar που εφαρμόστηκε στο πεδίο MDOTC μετά το 3σ τεστ.

Σύμφωνα με τα στατιστικά αποτελέσματα του πίνακα 4.20 του φίλτρου Boxcar, που εφαρμόστηκε στο πεδίο τιμών MDOTC μετά το 3σ τεστ, φαίνεται ότι το καταλληλότερο μήκος κύματος φίλτρου είναι τα 750km. Το συμπέρασμα αυτό προέκυψε από τα αποτελέσματα των στατιστικών στοιχείων των διαφορών $DOT_{DTU2010}$-MDOTC που υπολογίστηκαν. Παρατηρώντας τα στατιστικά χαρακτηριστικά του πεδίου τιμών των διαφορών φαίνεται ότι με την εφαρμογή μήκους κύματος φίλτρου λ=750km στο πεδίο

τιμών MDOTC προκύπτει η μικρότερη τυπική απόκλιση, ±0.101m, στις υπολογιζόμενες εκ των υστέρων διαφορές με το παγκόσμιο μοντέλο, καθώς και το μικρότερο εύρος διακύμανσης των τιμών ,στα 0.71m.

Επιπλέον, από τους χάρτες των διαφορών, φαίνεται ότι στα μήκη κύματος φίλτρου μικρότερα από 750km παρουσιάζονται οι μέγιστες και ελάχιστες τιμές του πεδίου των διαφορών σε περιοχές κοντά στις ακτογραμμές, τα νησιά αλλά και σε θαλάσσιες περιοχές όπως γύρω από τις ακτές του Ηνωμένου Βασιλείου, τις βορειοανατολικές ακτές της Βαλτικής Θάλασσας, τη θαλάσσια περιοχή δυτικά του περάσματος του Γιβραλτάρ, τη θαλάσσια περιοχή κοντά στις ακτές της Λιβύης καθώς επίσης και στις ακτές της Ιταλίας. Η τυπική απόκλιση των διαφορών είναι κατά 1mm έως 4mm μεγαλύτερη και το εύρος διακύμανσης των τιμών είναι κατά 0.5cm έως 21.3cm μεγαλύτερο. Οι μέγιστες και ελάχιστες τιμές στις περιοχές αυτές εξομαλύνονται με την εφαρμογή μήκους κύματος φίλτρου 750km.

Για μεγαλύτερα μήκη κύματος φίλτρου, που εφαρμόστηκαν στο πεδίο τιμών στα πλαίσια της επεξεργασίας των δεδομένων, και πιο συγκεκριμένα για μήκη κύματος φίλτρου από 800km έως 1500km, φαίνεται ότι η τυπική απόκλιση των διαφορών μειώνεται κατά 2mm έως 3mm ενώ το εύρος διακύμανσης των στατιστικών τιμών των διαφορών αυξάνει κατά 3.3cm έως 11.6cm. Παρ' όλο που η τυπική απόκλιση μειώνεται το εύρος διακύμανσης των τιμών των διαφορών αυξάνει σημαντικά κάτι που σημαίνει την απομάκρυνση σήματος και ωφέλιμης πληροφορίας.

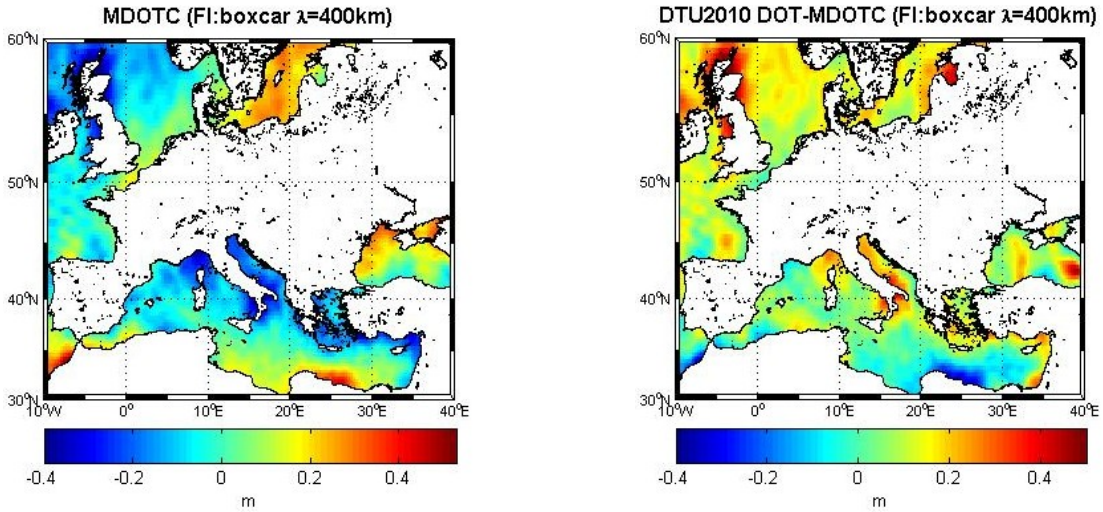
Ταυτόχρονα από τους χάρτες των διαφορών φαίνεται ότι οι ακραίες τιμές του πεδίου είναι μεγαλύτερες στη θαλάσσια περιοχή της Βόρειας Θάλασσας, γύρω από το Ηνωμένο Βασίλειο, στο πέρασμα του Γιβραλτάρ, στην περιοχή νοτιοανατολικά της Κύπρου καθώς επίσης και στη κλειστή λεκάνη της Μαύρης Θάλασσας. Από τα παραπάνω φαίνεται ότι η επίτευξη της βέλτιστης λύσης με την εφαρμογή του φίλτρου Boxcar, δηλαδή η απομάκρυνση της επίδρασης του θορύβου με την μικρότερη δυνατή απώλεια σήματος επιτεύχθηκε με την εφαρμογή μήκους κύματος φίλτρου 750km.

**Πίνακας 4.19:** Στατιστικά χαρακτηριστικά του φίλτρου Boxcar που εφαρμόστηκε στο πεδίο τιμών MDOTC μετά το 3σ τεστ {m}

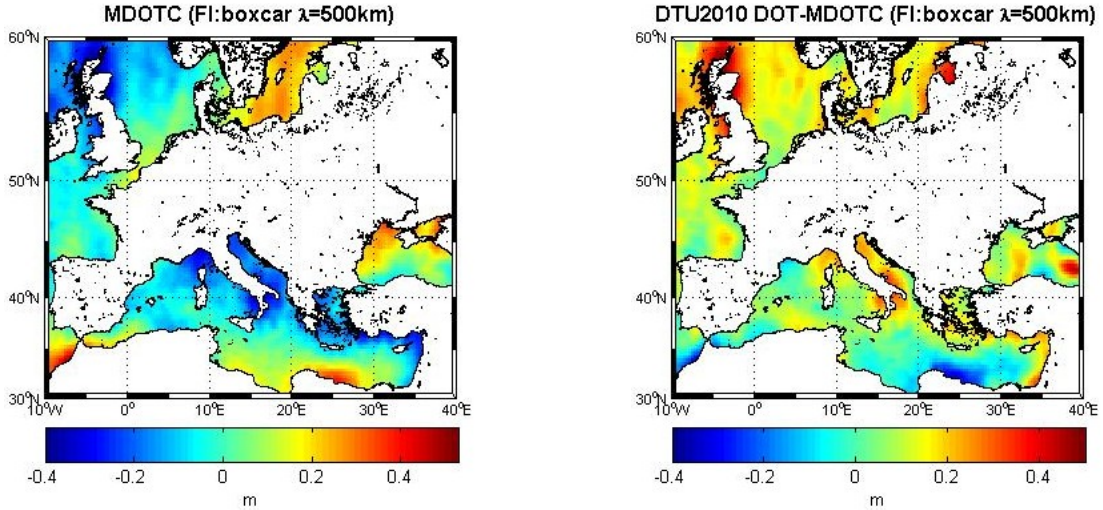
| Φίλτρο | λ | max | min | mean | std |
|---|---|---|---|---|---|
| Boxcar | 400 | 0.521 | -0.481 | -0.011 | 0.148 |
| Boxcar | 500 | 0.484 | -0.399 | -0.013 | 0.146 |
| Boxcar | 650 | 0.445 | -0.365 | -0.115 | 0.142 |
| Boxcar | 700 | 0.440 | -0.347 | -0.016 | 0.141 |
| Boxcar | 750 | 0.449 | -0.323 | -0.017 | 0.140 |
| Boxcar | 800 | 0.472 | -0.318 | -0.017 | 0.138 |
| Boxcar | 900 | 0.482 | -0.293 | -0.018 | 0.135 |
| Boxcar | 1200 | 0.530 | -0.261 | -0.023 | 0.123 |
| Boxcar | 1500 | 0.524 | -0.243 | -0.027 | 0.110 |

**Πίνακας 4.20:** Στατιστικά χαρακτηριστικά για το πεδίο τιμών των διαφορών $MDOT_{DTU2010}$-MDOTC (Boxcar) {m}

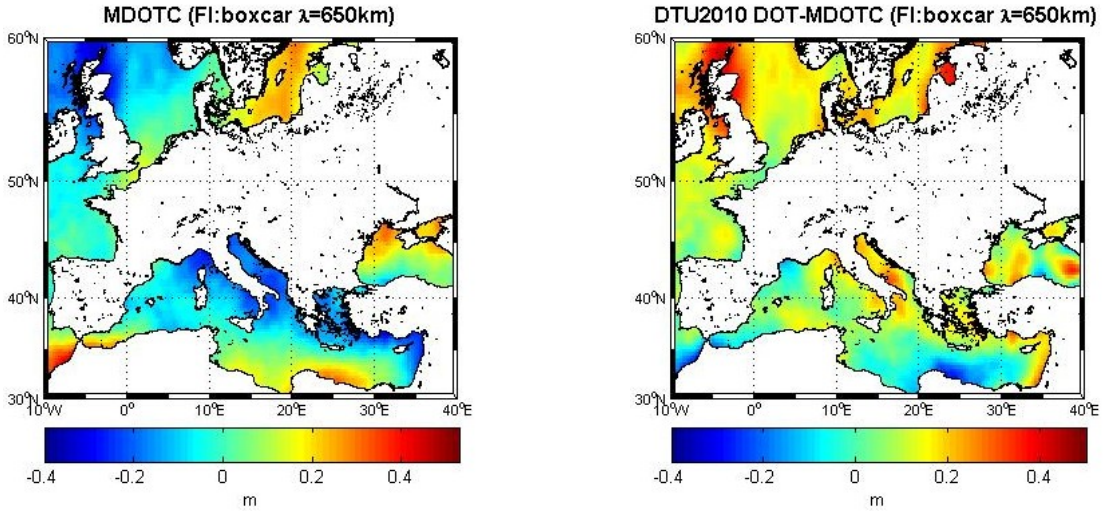
| Φίλτρο | λ | max | min | mean | std | range |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Boxcar | 400 | 0.571 | -0.352 | 0.095 | 0.108 | 0.923 |
| Boxcar | 500 | 0.490 | -0.341 | 0.097 | 0.107 | 0.831 |
| Boxcar | 650 | 0.440 | -0.287 | 0.099 | 0.106 | 0.727 |
| Boxcar | 700 | 0.411 | -0.304 | 0.100 | 0.105 | 0.715 |
| **Boxcar** | **750** | **0.397** | **-0.313** | **0.101** | **0.104** | **0.710** |
| Boxcar | 800 | 0.407 | -0.336 | 0.101 | 0.104 | 0.743 |
| Boxcar | 900 | 0.412 | -0.346 | 0.102 | 0.104 | 0.758 |
| Boxcar | 1200 | 0.441 | -0.394 | 0.107 | 0.102 | 0.835 |
| Boxcar | 1500 | 0.438 | -0.388 | 0.111 | 0.101 | 0.826 |



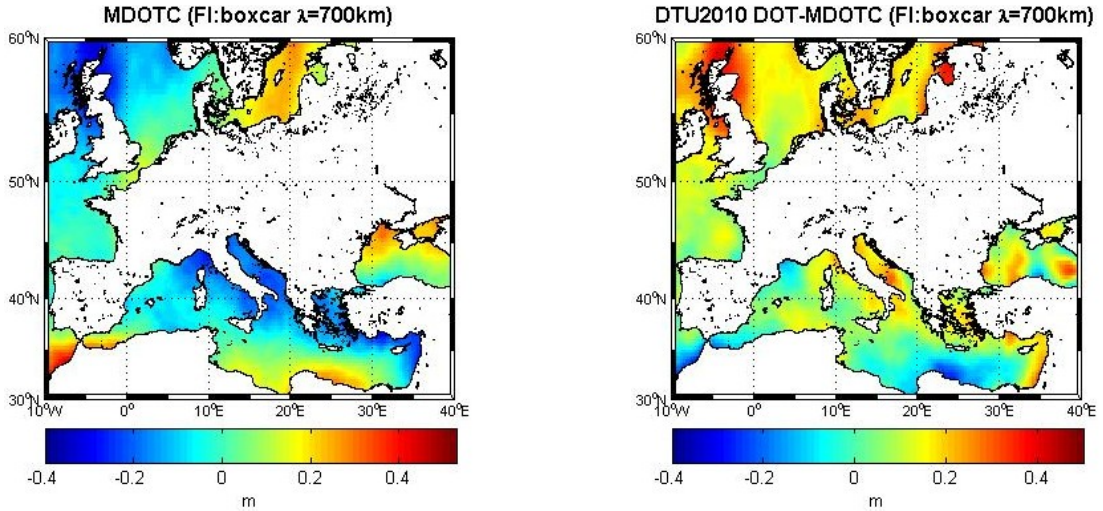

**Σχήμα 4.97**: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Boxcar (λ=400km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}



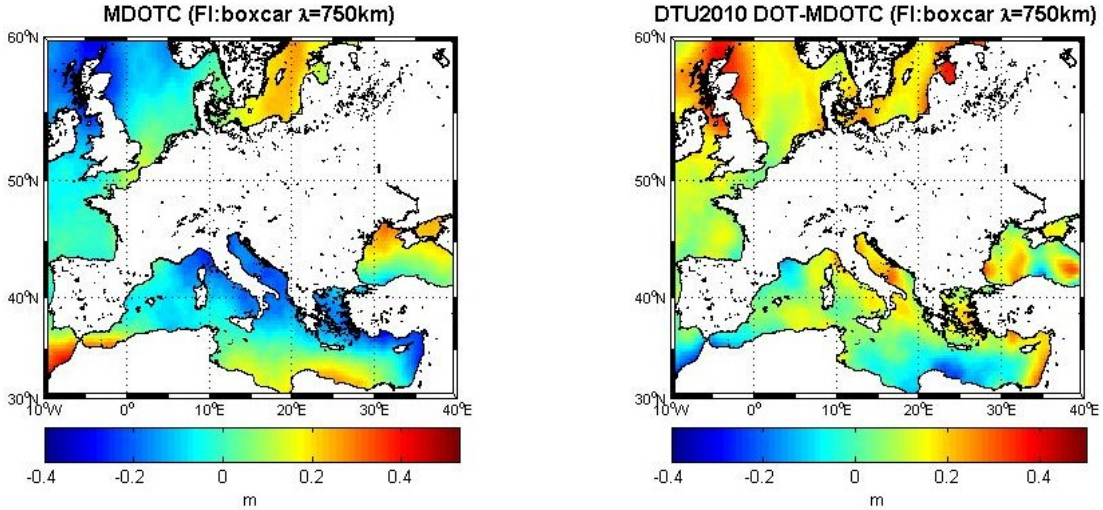

**Σχήμα 4.98**: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Boxcar (λ=500km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}



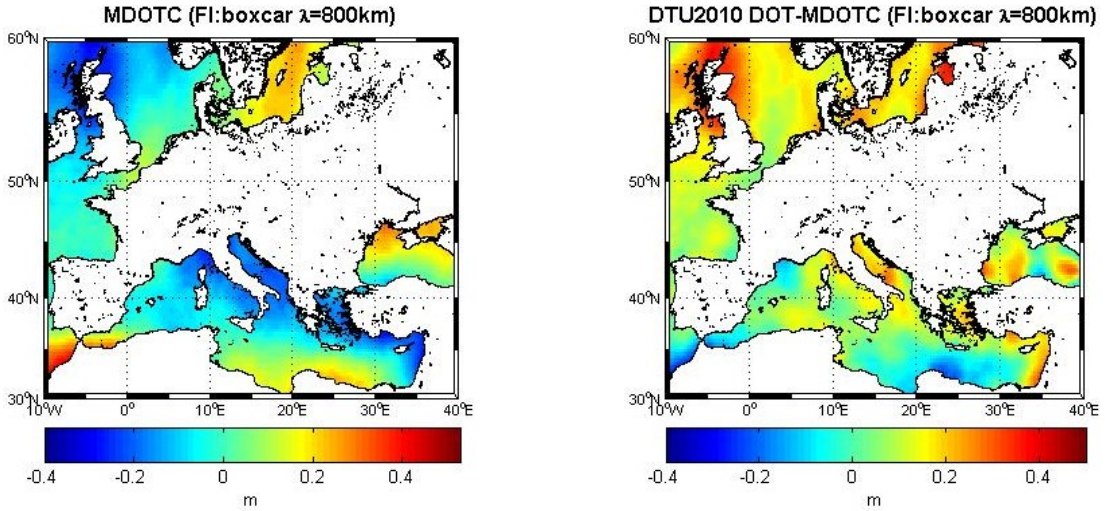

**Σχήμα 4.99**: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Boxcar (λ=650km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}



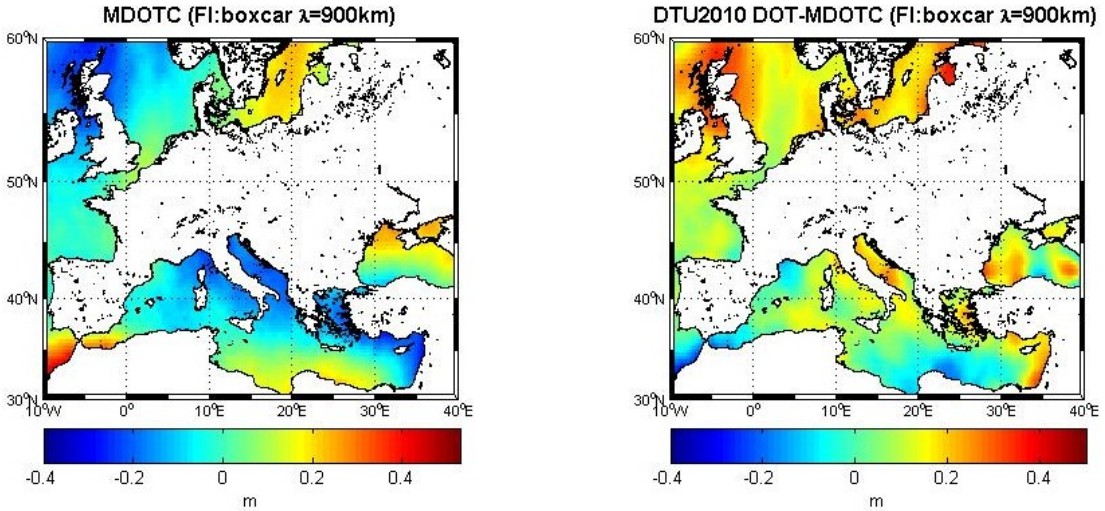

**Σχήμα 4.100**: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Boxcar (λ=700km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}



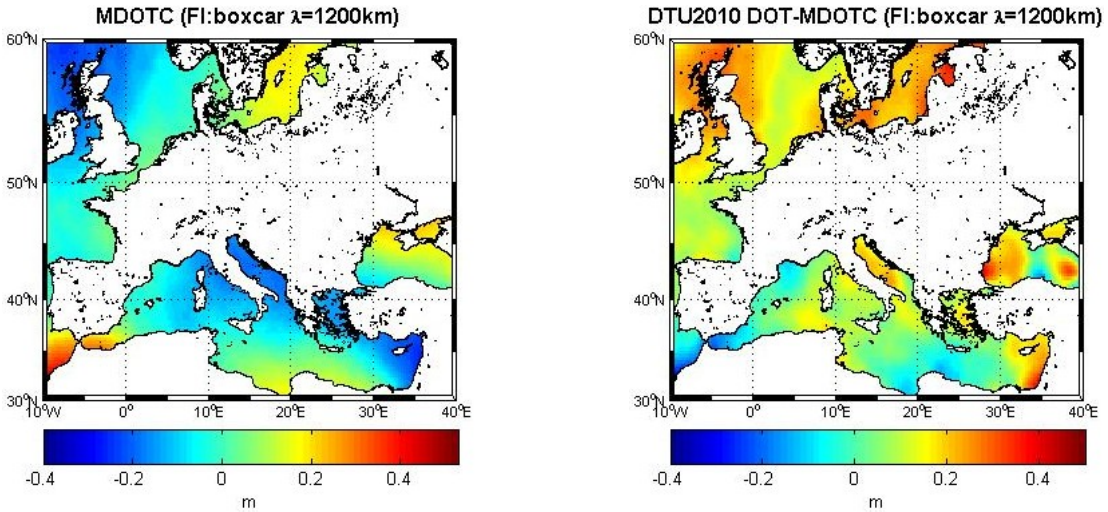

**Σχήμα 4.101**: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Boxcar (λ=750km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}



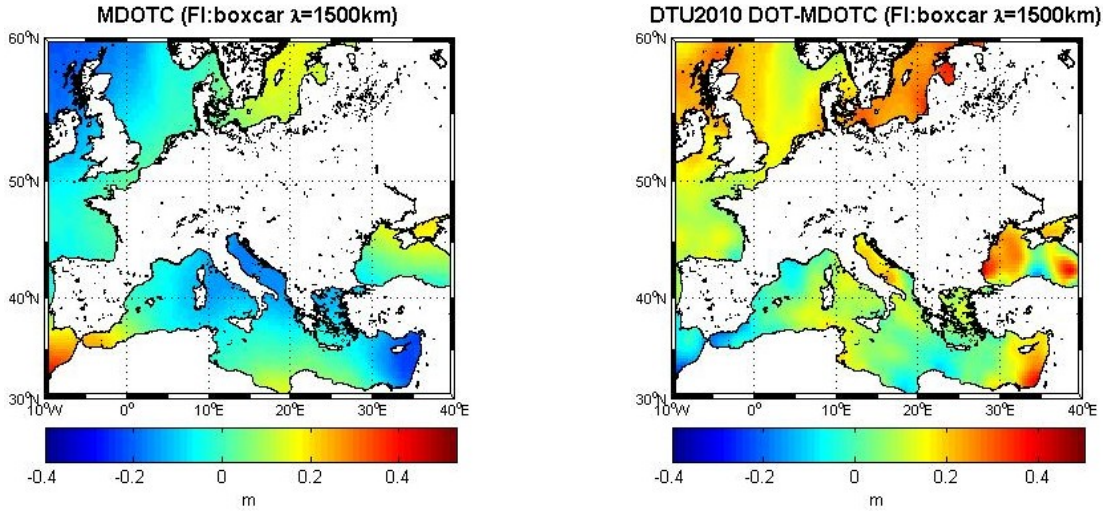

**Σχήμα 4.102**: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Boxcar (λ=800km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}




**Σχήμα 4.103**: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Boxcar (λ=900km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}




**Σχήμα 4.104**: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Boxcar (λ=1200km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}




**Σχήμα 4.105**: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Boxcar (λ=1500km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}

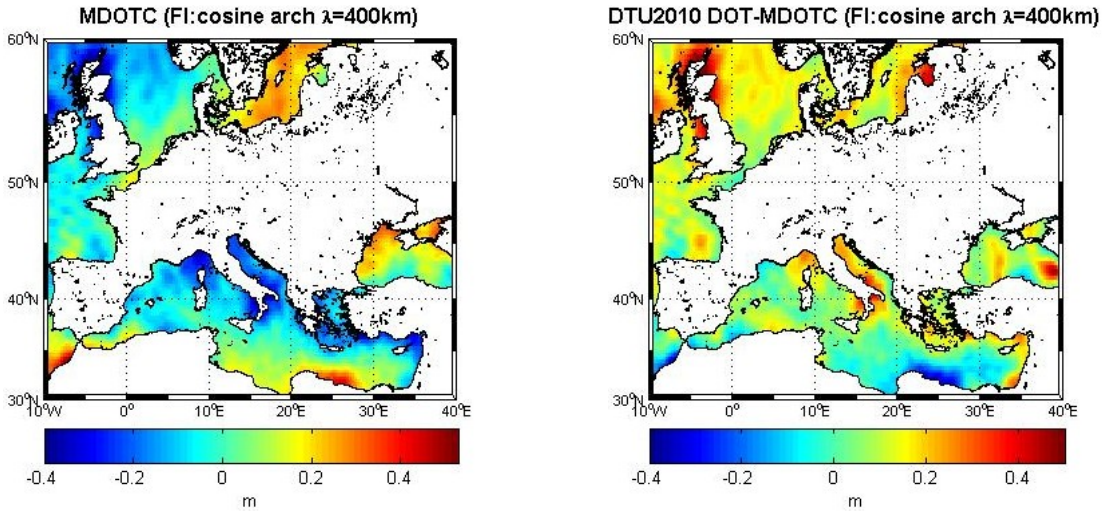
Στη συνέχεια παρουσιάζεται μέρος των αποτελεσμάτων του φίλτρου Cosine arch που εφαρμόστηκε στο πεδίο MDOTC μετά το 3σ τεστ. Σύμφωνα με τα παραπάνω στατιστικά αποτελέσματα του φίλτρου Cosine arch, που εφαρμόστηκε στο πεδίο τιμών MDOTC μετά το 3σ τεστ της περιοχής μελέτης της Μεσογείου και του ευρύτερου Ευρωπαϊκού χώρου, προέκυψε ότι, όμοια με το φίλτρο Boxcar, το καταλληλότερο μήκος κύματος του φίλτρου Cosine arch είναι τα 750Km με τυπική απόκλιση, ±0.104m, στις υπολογιζόμενες εκ των υστέρων διαφορές με το παγκόσμιο μοντέλο, καθώς και το μικρότερο εύρος διακύμανσης των τιμών στα 0.71m. Το συμπέρασμα αυτό προέκυψε από τα αποτελέσματα των στατιστικών στοιχείων των διαφορών $DOT_{DTU2010}$-MDOTC που υπολογίστηκαν. Τα στατιστικά αποτελέσματα των δύο παραπάνω φίλτρων Boxcar και Cosine arch δείχνουν ότι τα δύο φίλτρα λειτουργούν με τον ίδιο τρόπο στις τιμές του πεδίου της συνθετικής δυναμικής θαλάσσιας τοπογραφίας MDOTC καθώς παρουσιάζουν σχεδόν τα ίδια στατιστικά αποτελέσματα, όπως επίσης προκύπτουν τα ίδια συμπεράσματα από τους χάρτες των διαφορών με το παγκόσμιο μοντέλο της $MDOT_{DTU2010}$.

**Πίνακας 4.21:** Στατιστικά χαρακτηριστικά του φίλτρου Cosine arch που εφαρμόστηκε στο πεδίο τιμών MDOTC μετά το 3σ τεστ {m}

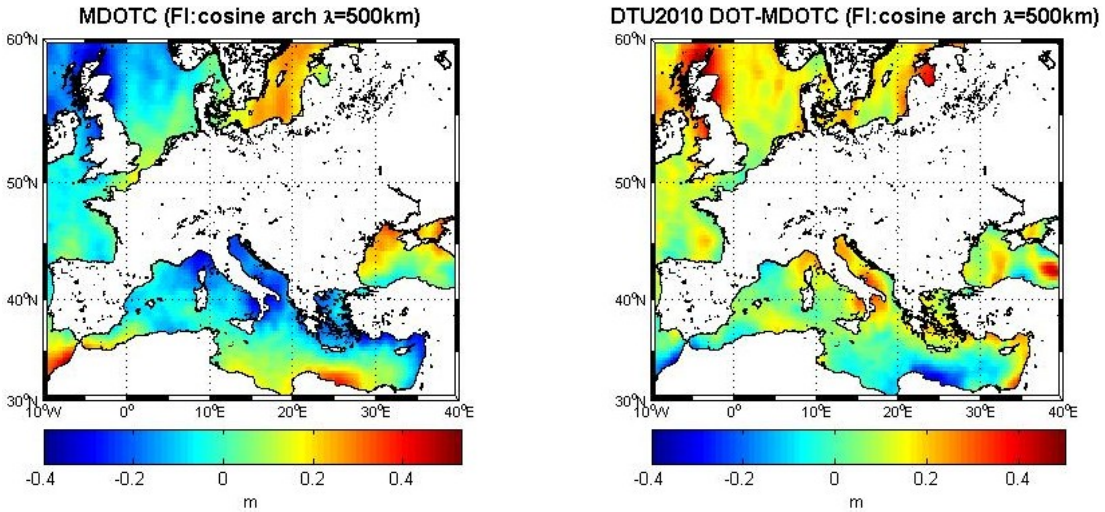
| Φίλτρο | λ | max | min | mean | std |
|---|---|---|---|---|---|
| Cosine arch | 400 | 0.521 | -0.481 | -0.011 | 0.148 |
| Cosine arch | 500 | 0.484 | -0.399 | -0.013 | 0.146 |
| Cosine arch | 650 | 0.445 | -0.365 | -0.115 | 0.142 |
| Cosine arch | 700 | 0.440 | -0.347 | -0.016 | 0.141 |
| Cosine arch | 750 | 0.449 | -0.323 | -0.017 | 0.140 |
| Cosine arch | 800 | 0.472 | -0.318 | -0.017 | 0.138 |
| Cosine arch | 1000 | 0.503 | -0.287 | -0.020 | 0.132 |
| Cosine arch | 1200 | 0.530 | -0.261 | -0.023 | 0.123 |
| Cosine arch | 1500 | 0.524 | -0.243 | -0.027 | 0.110 |

**Πίνακας 4.22:** Στατιστικά χαρακτηριστικά (m) για το πεδίο τιμών των διαφορών $MDOT_{DTU2010}$-MDOTC (Cosine arch)

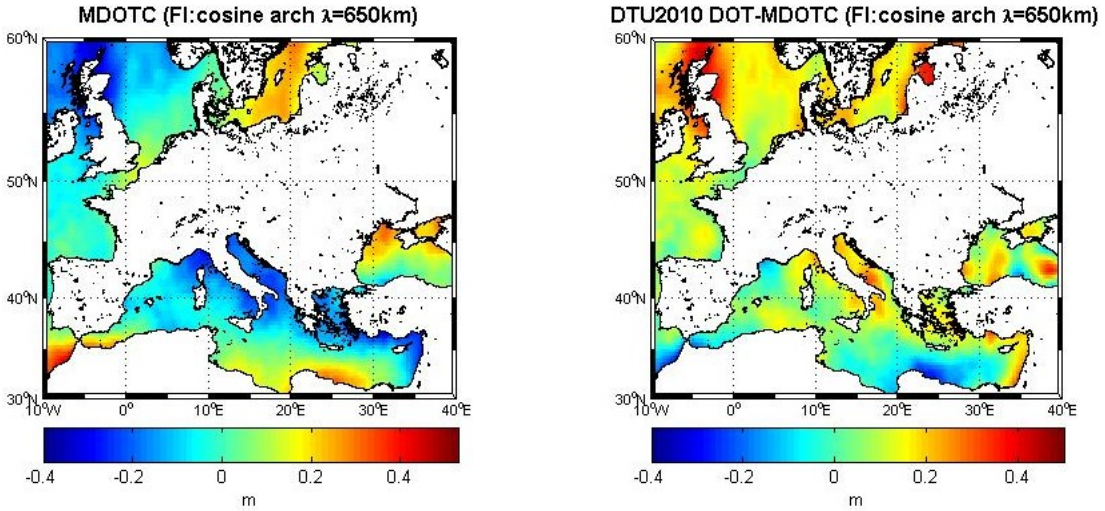
| Φίλτρο | λ | max | min | mean | std | range |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Cosine arch | 400 | 0.571 | -0.352 | 0.095 | 0.108 | 0.923 |
| Cosine arch | 500 | 0.490 | -0.341 | 0.097 | 0.107 | 0.831 |
| Cosine arch | 650 | 0.440 | -0.287 | 0.099 | 0.106 | 0.727 |
| Cosine arch | 700 | 0.411 | -0.304 | 0.1 | 0.105 | 0.715 |
| **Cosine arch** | **750** | **0.397** | **-0.313** | **0.101** | **0.104** | **0.710** |
| Cosine arch | 800 | 0.407 | -0.336 | 0.101 | 0.104 | 0.743 |
| Cosine arch | 1000 | 0.433 | -0.367 | 0.104 | 0.103 | 0.800 |
| Cosine arch | 1200 | 0.441 | -0.394 | 0.107 | 0.102 | 0.835 |
| Cosine arch | 1500 | 0.438 | -0.388 | 0.111 | 0.101 | 0.826 |



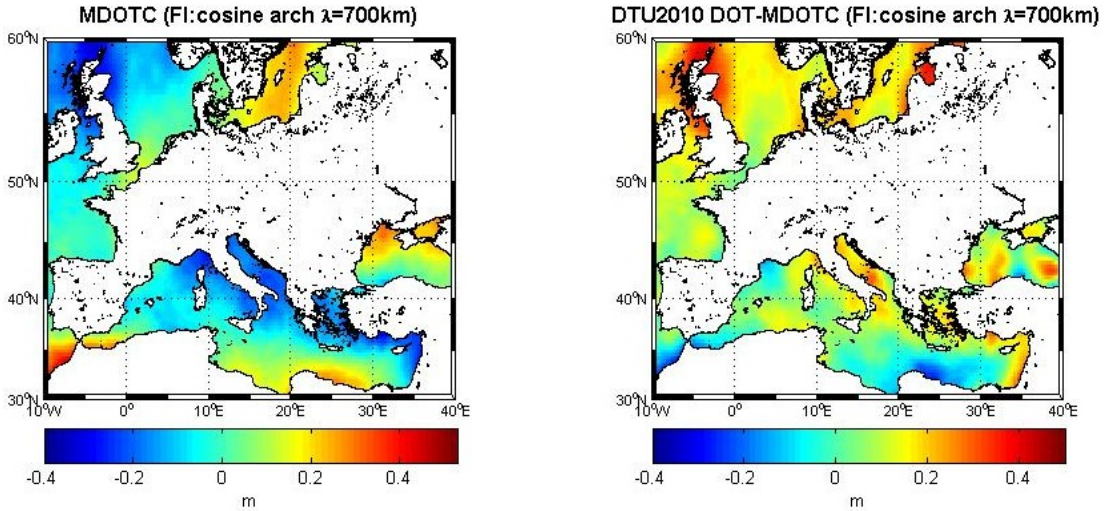

**Σχήμα 4.106**: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Cosine arch (λ=400km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}



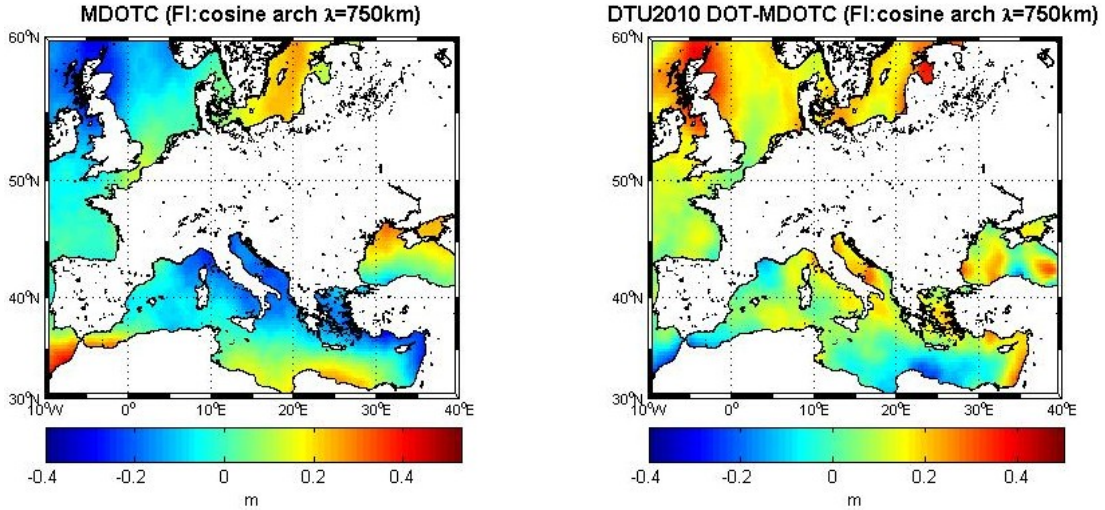

**Σχήμα 4.107**: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Cosine arch (λ=500km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}



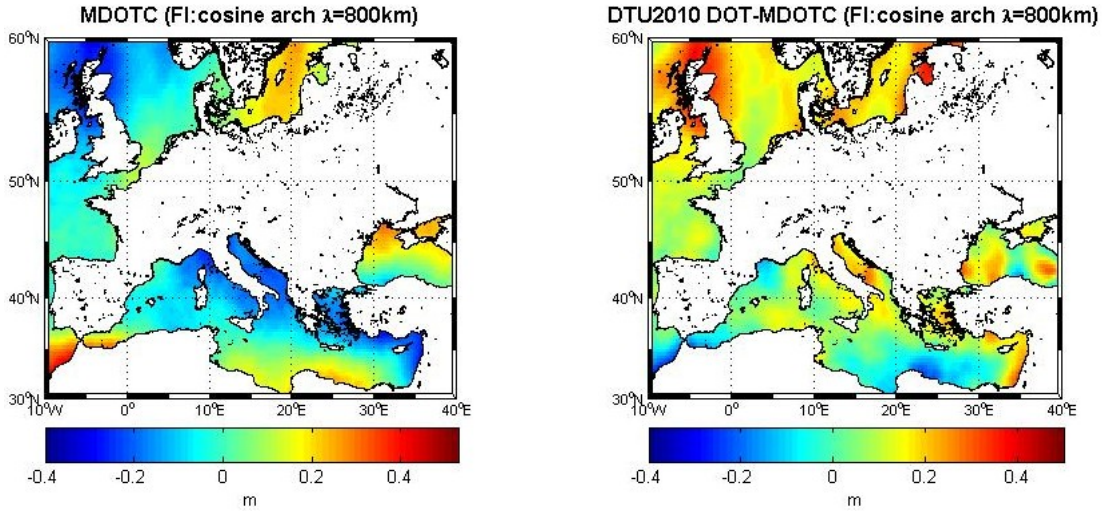

**Σχήμα 4.108**: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Cosine arch (λ=650km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}



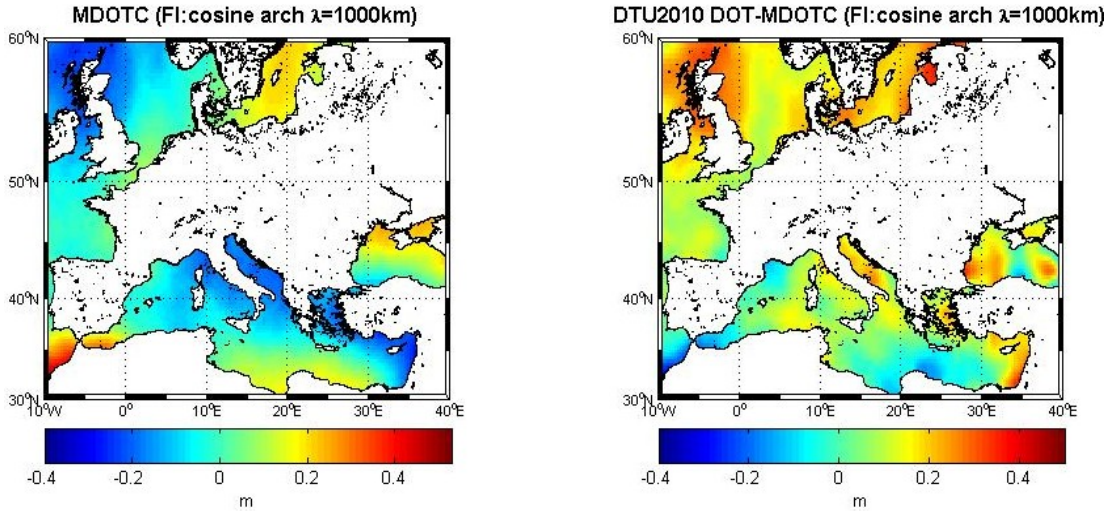

**Σχήμα 4.109**: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Cosine arch (λ=700km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}



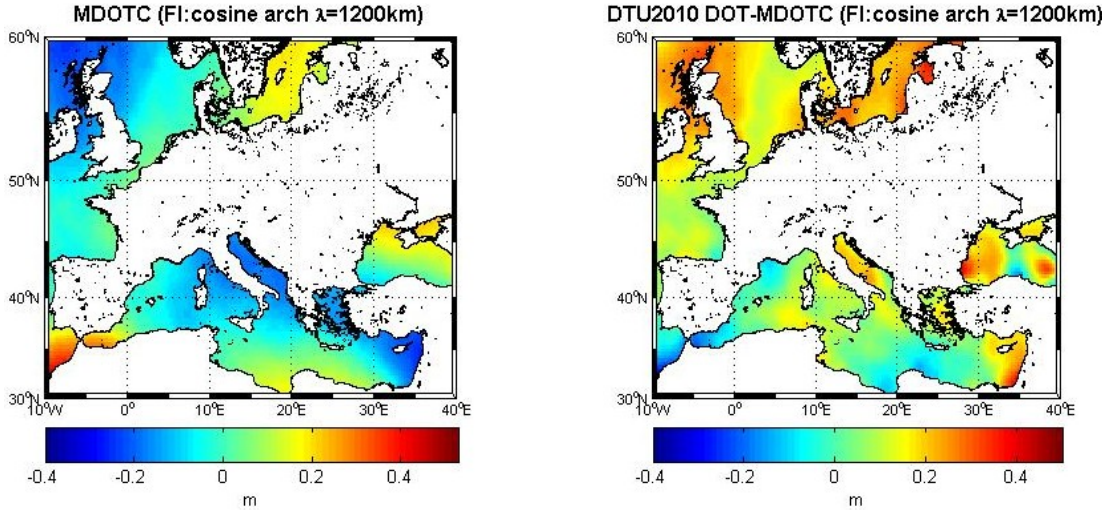

**Σχήμα 4.110**: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Cosine arch (λ=750km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}



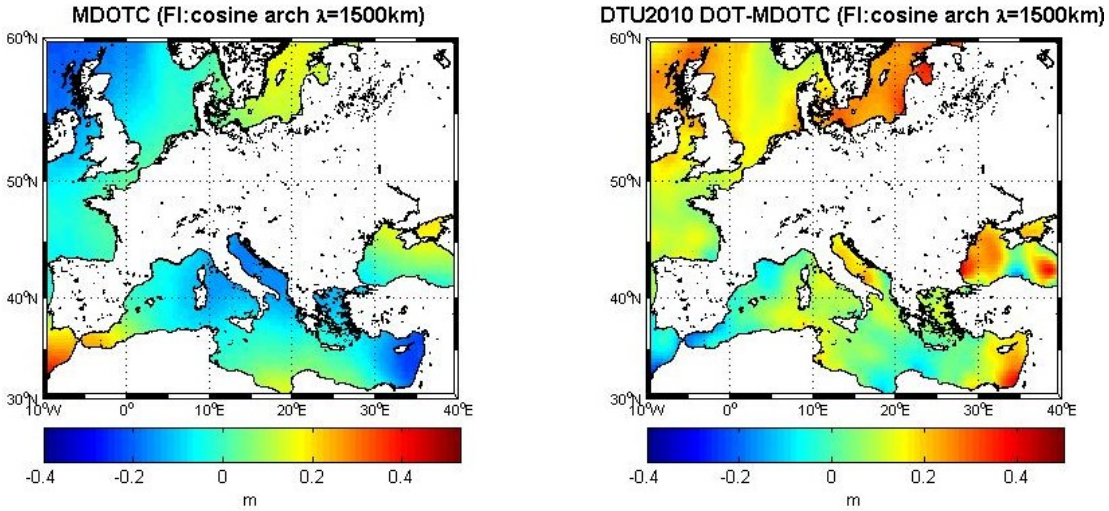

**Σχήμα 4.111**: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Cosine arch (λ=800km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}




**Σχήμα 4.112**: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Cosine arch (λ=1000km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}




**Σχήμα 4.113**: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Cosine arch (λ=1200km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}




**Σχήμα 4.114**: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Cosine arch (λ=1500km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}

Στη συνέχεια παρουσιάζεται μέρος των αποτελεσμάτων του τελευταίου φίλτρου που εφαρμόστηκε στο πεδίο MDOTC μετά το 3σ τεστ, του φίλτρου Gaussian. Σύμφωνα με τα στατιστικά αποτελέσματα του πίνακα 4.24 του φίλτρου Gaussian, που εφαρμόστηκε στο πεδίο τιμών MDOTC μετά το 3σ τεστ, φαίνεται ότι το καταλληλότερο μήκος κύματος φίλτρου είναι τα 1300km. Το συμπέρασμα αυτό προέκυψε από τα αποτελέσματα των στατιστικών στοιχείων των διαφορών $DOT_{DTU2010}$-MDOTC που υπολογίστηκαν. Παρατηρώντας τα στατιστικά χαρακτηριστικά του πεδίου τιμών των διαφορών φαίνεται ότι με την εφαρμογή μήκους κύματος φίλτρου λ=1300km στο πεδίο τιμών MDOTC προκύπτει η μικρότερη τυπική απόκλιση, ±0.100m, στις υπολογιζόμενες εκ των υστέρων διαφορές με το παγκόσμιο μοντέλο, καθώς και το μικρότερο εύρος διακύμανσης των τιμών ,στα 0.664m.

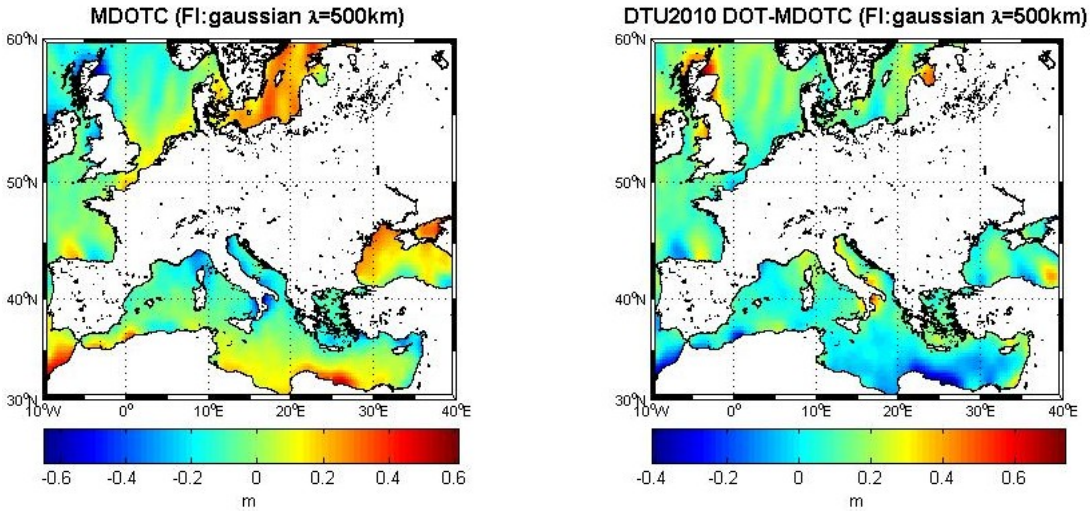
Επιπλέον, από τους χάρτες των διαφορών, φαίνεται ότι στα μήκη κύματος φίλτρου μικρότερα από 1300km παρουσιάζονται οι μέγιστες και ελάχιστες τιμές του πεδίου των διαφορών σε περιοχές κοντά στις ακτογραμμές, τα νησιά αλλά και σε θαλάσσιες περιοχές όπως γύρω από τις ακτές βόρεια του Ηνωμένου Βασιλείου, τις βορειοανατολικές ακτές της Βαλτικής Θάλασσας, τη θαλάσσια περιοχή του περάσματος του Γιβραλτάρ, τη θαλάσσια περιοχή κοντά στις ακτές της Λιβύης καθώς επίσης και στις ακτές της Ιταλίας. Η τυπική απόκλιση των διαφορών είναι κατά 1mm έως 9mm μεγαλύτερη και το εύρος διακύμανσης των τιμών είναι από 0.474cm έως 0.1cm μεγαλύτερο. Οι μέγιστες και ελάχιστες τιμές στις περιοχές αυτές εξομαλύνονται με την εφαρμογή μήκους κύματος φίλτρου 1300km. Για μεγαλύτερα μήκη κύματος φίλτρου, που εφαρμόστηκαν στο πεδίο τιμών στα πλαίσια της επεξεργασίας των δεδομένων, και πιο συγκεκριμένα για μήκη κύματος φίλτρου από 1300km έως 1500km, φαίνεται ότι η τυπική απόκλιση των διαφορών μειώνεται κατά 1mm ενώ το εύρος διακύμανσης των στατιστικών τιμών των διαφορών αυξάνει κατά 1.4cm. Παρ' όλο που η τυπική απόκλιση μειώνεται το εύρος διακύμανσης των τιμών των διαφορών αυξάνει κάτι που σημαίνει την απομάκρυνση σήματος και ωφέλιμης πληροφορίας. Από τα παραπάνω φαίνεται ότι η επίτευξη της βέλτιστης λύσης με την εφαρμογή του φίλτρου Gaussian, δηλαδή η απομάκρυνση της επίδρασης του θορύβου με την μικρότερη δυνατή απώλεια σήματος επιτεύχθηκε με την εφαρμογή μήκους κύματος φίλτρου 1300km.

**Πίνακας 4.23:** Στατιστικά χαρακτηριστικά του φίλτρου Gaussian που εφαρμόστηκε στο πεδίο τιμών MDOTC μετά το 3σ τεστ {m}

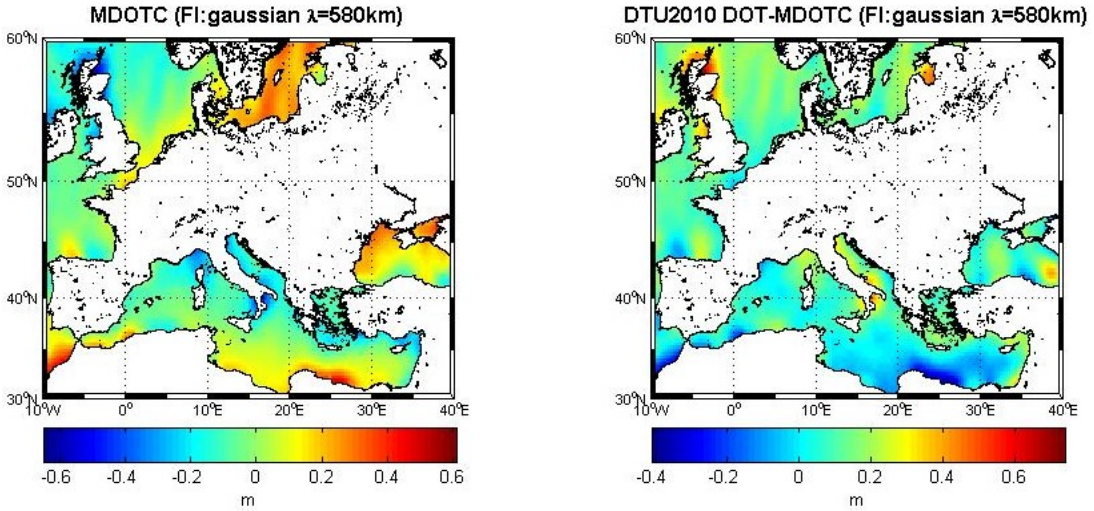
| Φίλτρο | λ | max | min | mean | std |
|---|---|---|---|---|---|
| Gaussian | 500 | 0.610 | -0.645 | -0.007 | 0.151 |
| Gaussian | 580 | 0.572 | -0.580 | -0.009 | 0.148 |
| Gaussian | 650 | 0.537 | -0.531 | -0.010 | 0.146 |
| Gaussian | 750 | 0.490 | -0.472 | -0.011 | 0.144 |
| Gaussian | 800 | 0.468 | -0.447 | -0.012 | 0.143 |
| Gaussian | 1000 | 0.442 | -0.370 | -0.014 | 0.140 |
| Gaussian | 1250 | 0.427 | -0.309 | -0.016 | 0.135 |
| Gaussian | 1300 | 0.424 | -0.300 | -0.017 | 0.134 |
| Gaussian | 1500 | 0.422 | -0.270 | -0.018 | 0.130 |

**Πίνακας 4.24:** Στατιστικά χαρακτηριστικά για το πεδίο τιμών των διαφορών $MDOT_{DTU2010}$-MDOTC (Gaussian) {m}

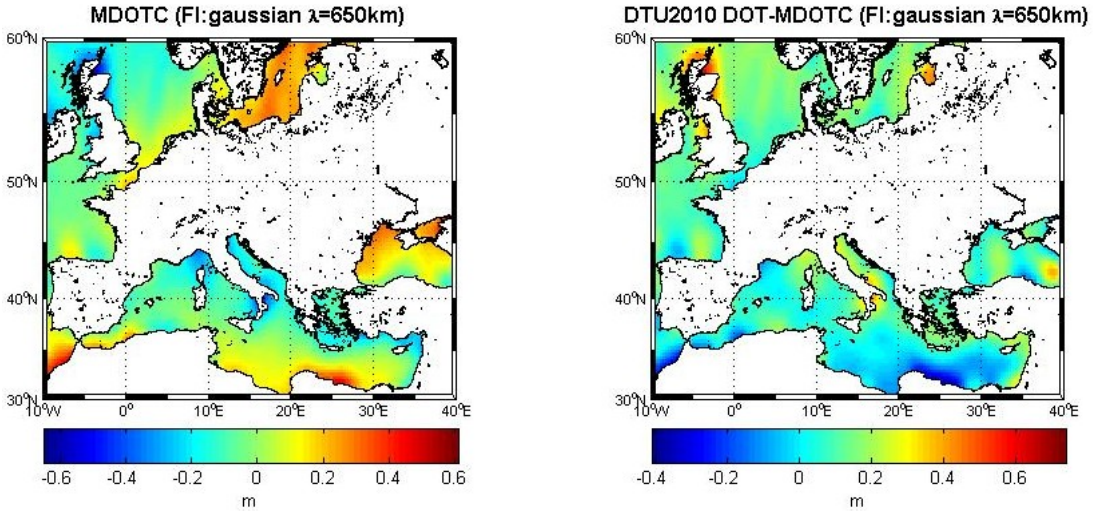
| Φίλτρο | λ | max | min | mean | std | range |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Gaussian | 500 | 0.735 | -0.403 | 0.091 | 0.109 | 1.138 |
| Gaussian | 580 | 0.670 | -0.373 | 0.093 | 0.106 | 1.043 |
| Gaussian | 650 | 0.621 | -0.350 | 0.094 | 0.104 | 0.971 |
| Gaussian | 750 | 0.562 | -0.331 | 0.095 | 0.103 | 0.893 |
| Gaussian | 800 | 0.537 | -0.324 | 0.096 | 0.102 | 0.861 |
| Gaussian | 1000 | 0.460 | -0.290 | 0.098 | 0.101 | 0.750 |
| Gaussian | 1250 | 0.400 | -0.265 | 0.100 | 0.100 | 0.665 |
| **Gaussian** | **1300** | **0.402** | **-0.262** | **0.101** | **0.1** | **0.664** |
| Gaussian | 1500 | 0.410 | -0.268 | 0.102 | 0.099 | 0.678 |



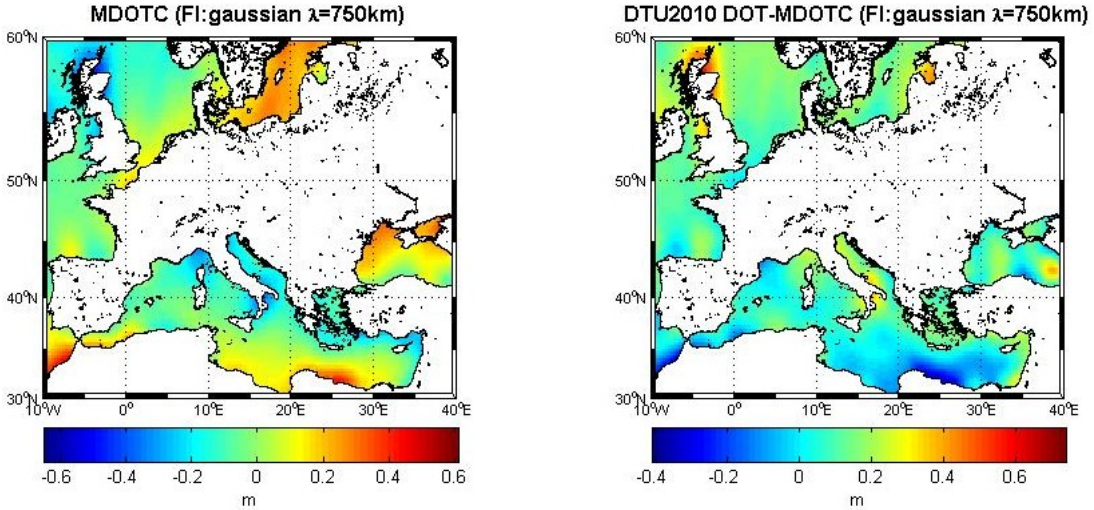

**Σχήμα 4.115**: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Gaussian (λ=500km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}



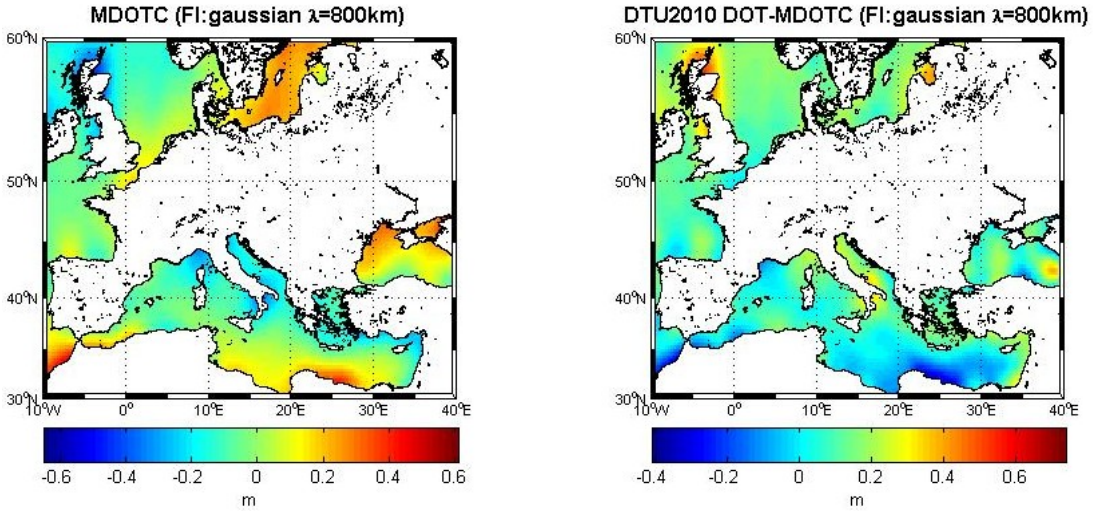

**Σχήμα 4.116**: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Gaussian (λ=580km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}



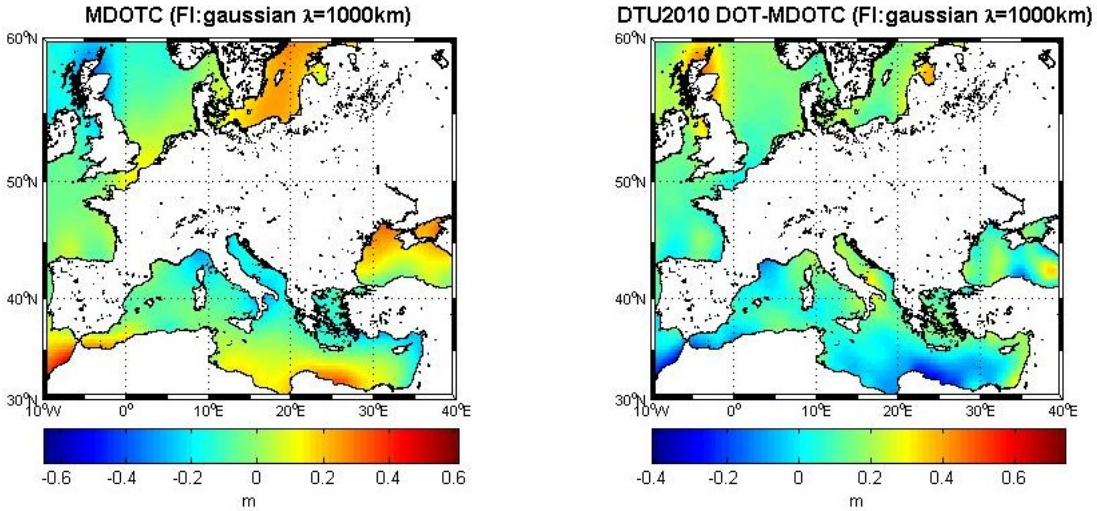

**Σχήμα 4.117**: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Gaussian (λ=650km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}



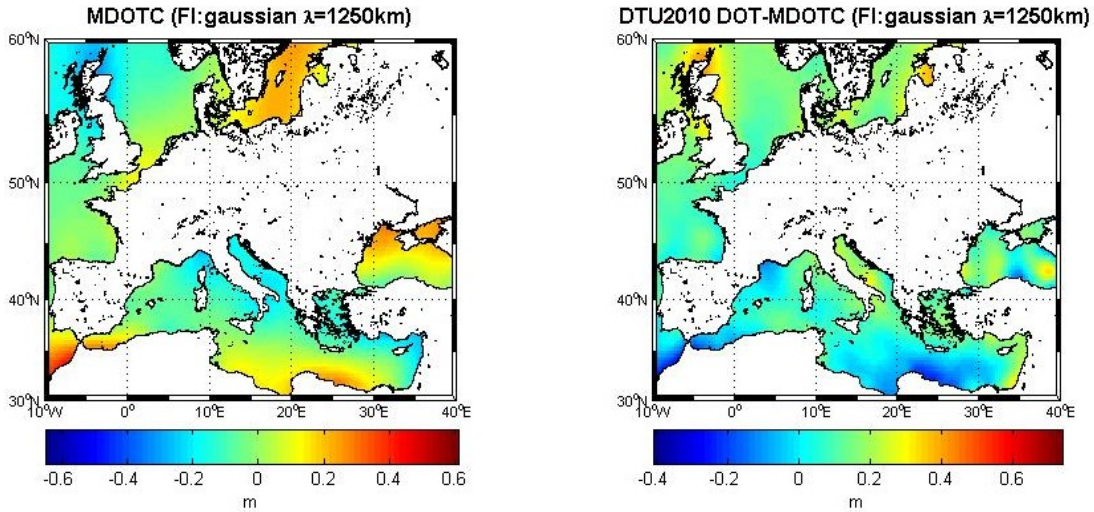

**Σχήμα 4.118**: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Gaussian (λ=750km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}



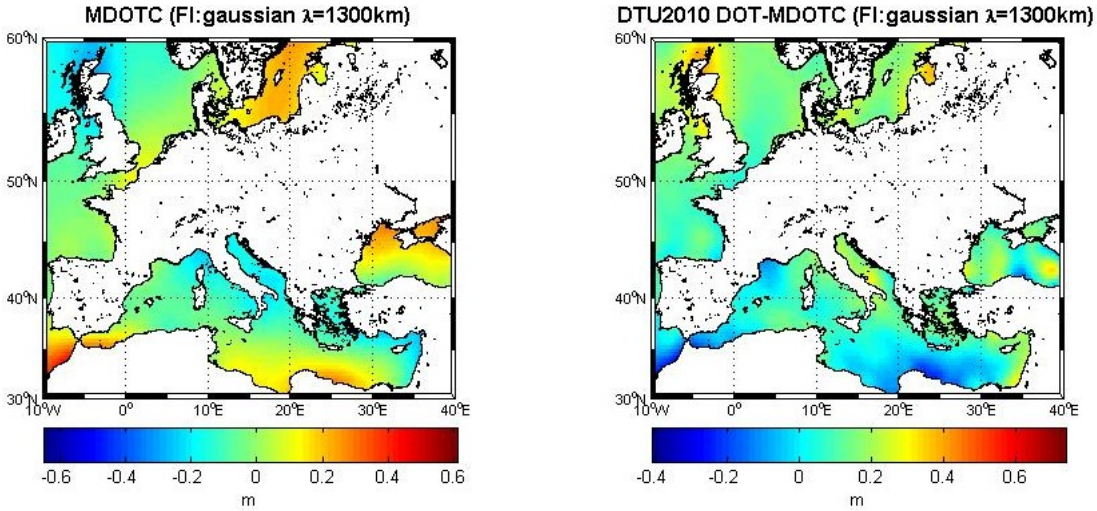

**Σχήμα 4.119**: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Gaussian (λ=800km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}



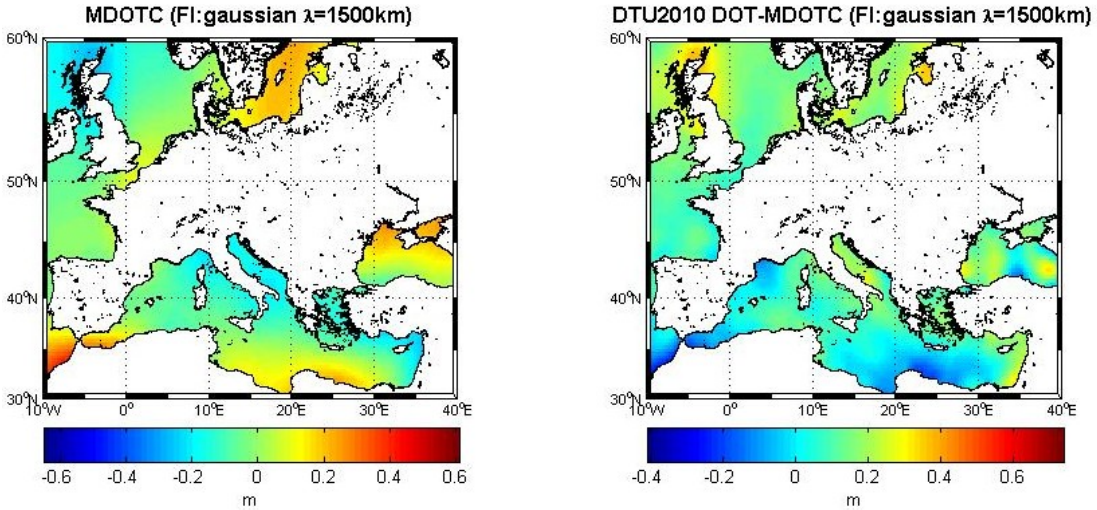

**Σχήμα 4.120**: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Gaussian (λ=1000km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}




**Σχήμα 4.121**: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Gaussian (λ=1250km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}




**Σχήμα 4.122**: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Gaussian (λ=1300km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}




**Σχήμα 4.123**: Αριστερά το πεδίο MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου Gaussian (λ=1500km) {m}. Δεξιά το πεδίο των διαφορών $DOT_{DTU2010}$ - MDOTC μετά την εφαρμογή του φίλτρου στο πεδίο MDOTC {m}

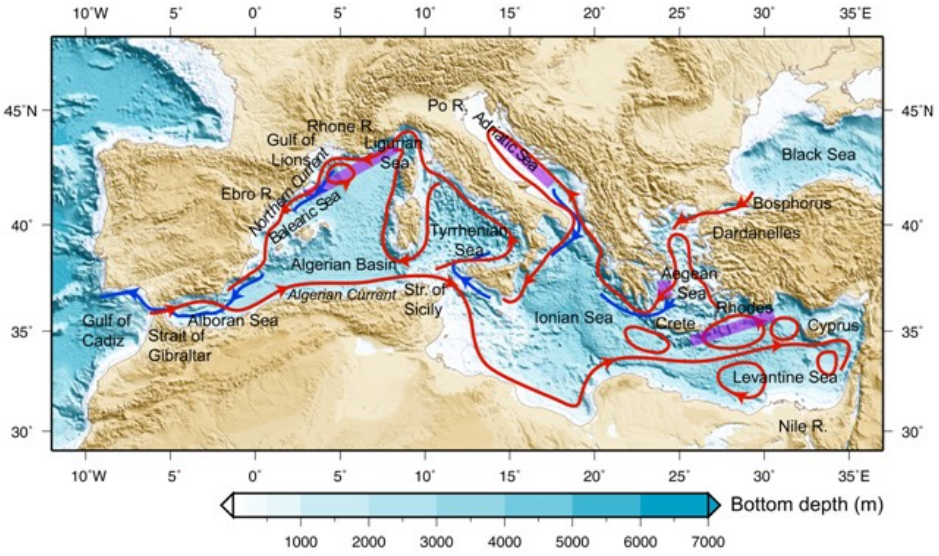
Συμπερασματικά λοιπόν από τα παραπάνω αποτελέσματα της εφαρμογής των τριών φίλτρων στο πεδίο τιμών MDOTC μετά το 3σ τεστ της περιοχής μελέτης της κλειστής λεκάνης της Μεσογείου και του ευρύτερου Ευρωπαϊκού χώρου, προέκυψε ότι με την εφαρμογή των φίλτρων Boxcar και Cosine arch προκύπτουν καλύτερα στατιστικά αποτελέσματα στις τιμές των διαφορών, σε μικρότερες συχνότητες αποκοπής, συγκριτικά με το φίλτρο Gaussian, απομακρύνοντας έτσι μέρος του θορύβου και προσεγγίζοντας ταυτόχρονα καλύτερα το πεδίο τιμών $MDOT_{DTU2010}$.

## 4.4 Ωκεάνια κυκλοφορία και προσδιορισμός ταχύτητας ρευμάτων των περιοχών μελέτης

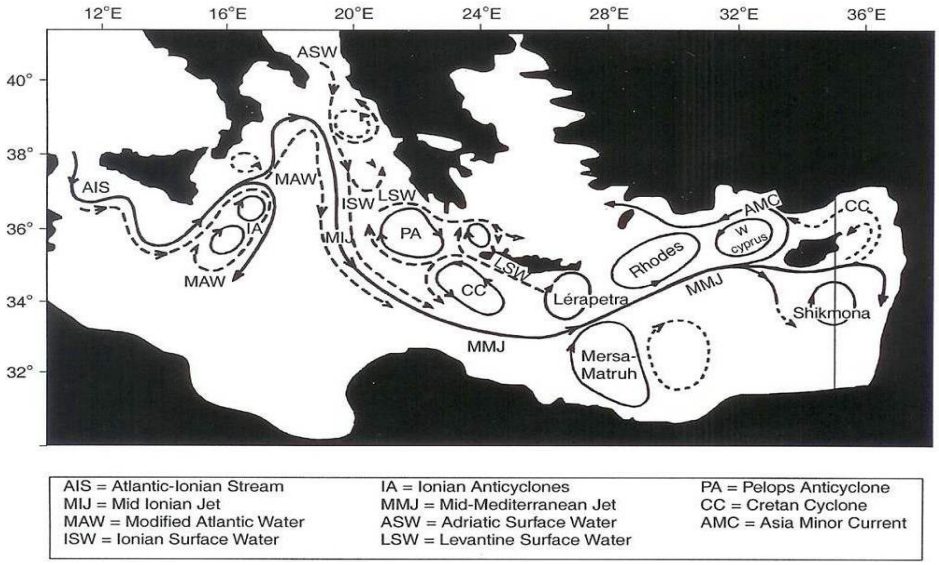
Το σημαντικότερο θερμό ωκεάνιο ρεύμα του Βόρειου Ατλαντικού, όπως ήδη έχει αναφερθεί στην παράγραφό 2.6.2, είναι το ρεύμα του Κόλπου (Gulf Stream) το οποίο αποτελεί συγχώνευση τριών ωκεάνιων ρευμάτων. της Φλόριντας, της Κούβας και του Βόρειου Ισημερινού. Το θερμό αυτό ρεύμα κατευθύνεται βόρεια και ενώνεται με το ψυχρό ρεύμα του Λαμπραντόρ (Labrador). Λόγω αυτής της ένωσης ψυχραίνεται και αλλάζει διεύθυνση ρέοντας βορειοανατολικά. Κοντά στην Ευρώπη χωρίζεται σε δύο τμήματα, το βόρειο που ρέει προς την Ισλανδία και το νότιο που ρέει προς τις Αζόρες και τα Κανάρια νησιά. Ο υδάτινος αυτός κυκλοφοριακός δακτύλιος που σχηματίζεται αποτελείται ουσιαστικά από τα θερμά επιφανειακά νερά στους τροπικούς που ρέουν προς τον Βόρειο Ατλαντικό και τα ψυχρά που βυθίζονται και ρέουν προς τον Ισημερινό (βλέπε σχήμα.4.124).

**Σχήμα 4.124:** Τα κυριότερα ωκεάνια ρεύματα του Βόρειου Ατλαντικού(Bartholomew, 1957)

Στο παρακάτω σχήμα (σχ. 4.247) φαίνεται η ωκεάνια κυκλοφορία στη κλειστή λεκάνη της Μεσογείου. Η γεωμετρία της κλειστής λεκάνης της Μεσογείου επηρεάζει έντονα την κυκλοφορία των υδάτινων μαζών. Τα θερμά επιφανειακά ύδατα του Βόρειου Ατλαντικού εισέρχονται από το στενό πέρασμα του Γιβραλτάρ. Η ωκεάνια κυκλοφορία κοντά στο πέρασμα είναι αντικυκλωνική αλλά γίνεται κυκλωνική καθώς κατευθύνεται κατά μήκος των παραλίων της Αφρικής. Η ροή αυτή των υδάτων ονομάζεται ρεύμα της Αλγερίας (Algerian Current). Η ροή διαχωρίζεται στη Σικελία δημιουργώντας βορειοδυτικά το Βόρειο Ρέυμα (Northern Current). Στην Ανατολική Μεσόγειο, την Αδριατική, το Ιόνιο και το Αιγαίο η κυκλοφορία είναι κυκλωνική και πιο σύνθετη καθώς δημιουργούνται κυματισμοί και ρεύματα που φαίνονται λεπτομερώς παρακάτω (σχ. 4.126).

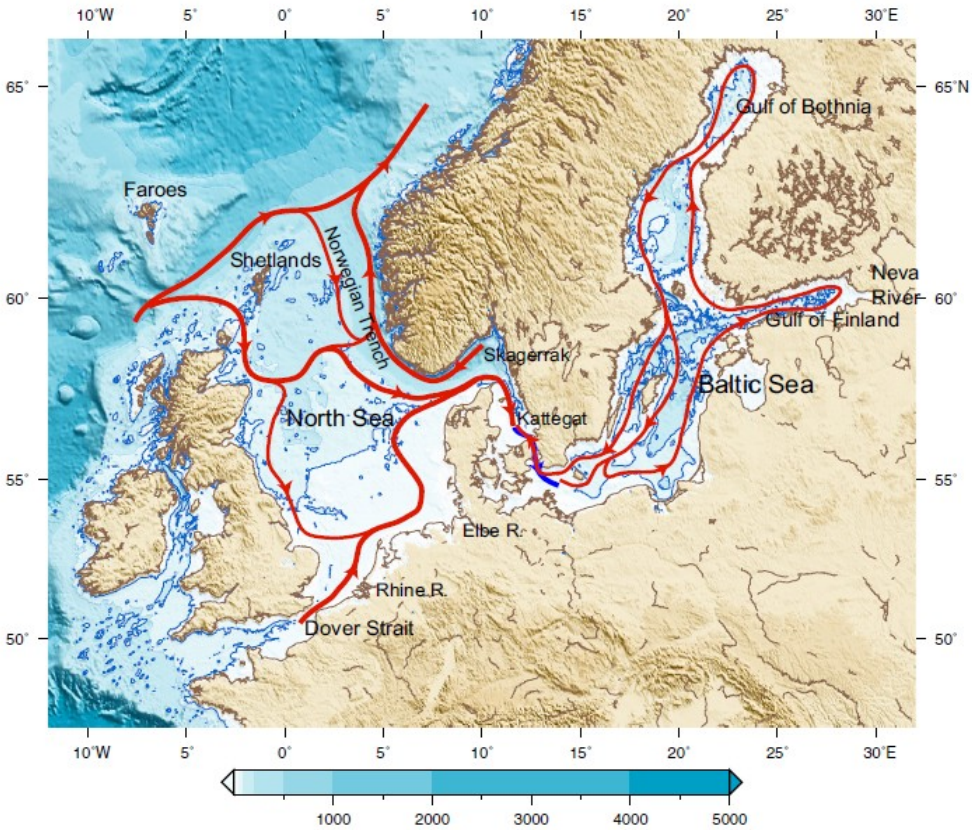



**Σχήμα 4.125:** Τα κυριότερα ρεύματα της κλειστής λεκάνης της Μεσογείου (NOAA NGDC 2008)




**Σχήμα 4.126:** Τα κυριότερα ρεύματα της κλειστής λεκάνης της Μεσογείου (Pierre-Yves Dar)

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η Βόρεια Θάλασσα η οποία συνδέεται με τον Βόρειο Ατλαντικό και βρέχει τα ανατολικά παράλια του Ηνωμένου Βασιλείου, τα δυτικά παράλια της Νορβηγίας και τη βόρεια Ευρώπη. Επιπλέον συνδέεται ανατολικά με τη σχεδόν κλειστή Θάλασσα της Βαλτικής, ενώ η κυκλοφορία είναι κυκλωνική. Η ωκεάνια κυκλοφορία στο δυτικό μέρος επηρεάζεται από τις παλίρροιες ενώ η προς τα βόρεια κυκλοφορία των υδάτων κατά μήκος της Νορβηγίας χαρακτηρίζεται από αυξημένη αλατότητα λόγω της εισροής των υδάτων της Βαλτικής.




**Σχήμα 4.127:** Η Ωκεάνια κυκλοφορία της Βόρειας Θάλασσας και της Βαλτικής Θάλασσας (NOAA NGDC 2008)

Στην παρούσα εργασία και σύμφωνα με τα αποτελέσματα που προέκυψαν βάσει της διαδικασίας του φιλτραρίσματος του πεδίου της δυναμικής θαλάσσιας τοπογραφίας, για τις δύο περιοχές μελέτης, προσδιορίστηκαν οι ταχύτητες των ωκεάνιων ρευμάτων σύμφωνα με τις εξισώσεις της γεωστροφικής ροής που παρουσιάστηκαν στην παράγραφο 2.6.2. Πιο συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκαν τα πεδία τιμών των επιλεγμένων ως καλύτερων φίλτρων που εφαρμόστηκαν στο πεδίο 2σ των δύο περιοχών μελέτης. Δηλαδή για την περιοχή μελέτης του Βόρειου Ατλαντικού χρησιμοποιήθηκαν τα πεδία τιμών: MDOTC (FL:boxcar λ=400), MDOTC (FL:cosine arch λ=400), MDOTC (FL:gaussian λ=550), ενώ για την περιοχή μελέτης της Μεσογείου και του ευρύτερου Ευρωπαϊκού χώρου χρησιμοποιήθηκαν τα πεδία τιμών: MDOTC (FL:boxcar λ=750), MDOTC (FL:cosine arch λ=750), MDOTC (FL:gaussian λ=780).

Στους χάρτες παρουσιάζονται στη συνέχεια δίνονται τα αποτελέσματα των υπολογισμών, όπου στο υπόβαθρο του χάρτη διακρίνεται το πεδίο της δυναμικής θαλάσσιας τοπογραφίας MDOTC ενώ τα βέλη δείχνουν τη διεύθυνση και το μέτρο της ταχύτητας, το οποίο δίνεται σε κλίμακα m/s, αποδίδοντας έτσι τις ταχύτητες των ρευμάτων και τη θαλάσσια κυκλοφορία των δύο περιοχών μελέτης. Αρχικά παρουσιάζεται η ωκεάνια κυκλοφορία και οι ταχύτητες των ρευμάτων της περιοχής της περιοχή μελέτης του Βόρειου Ατλαντικού, όπως υπολογίστηκε για κάθε βέλτιστο φίλτρο. Πρώτα δίνεται η ωκεάνια κυκλοφορία για το πεδίο MDOTC που προέκυψε ύστερα από την εφαρμογή του φίλτρου Boxcar (λ=400km), στη συνέχεια για το πεδίο MDOTC που προέκυψε ύστερα από την

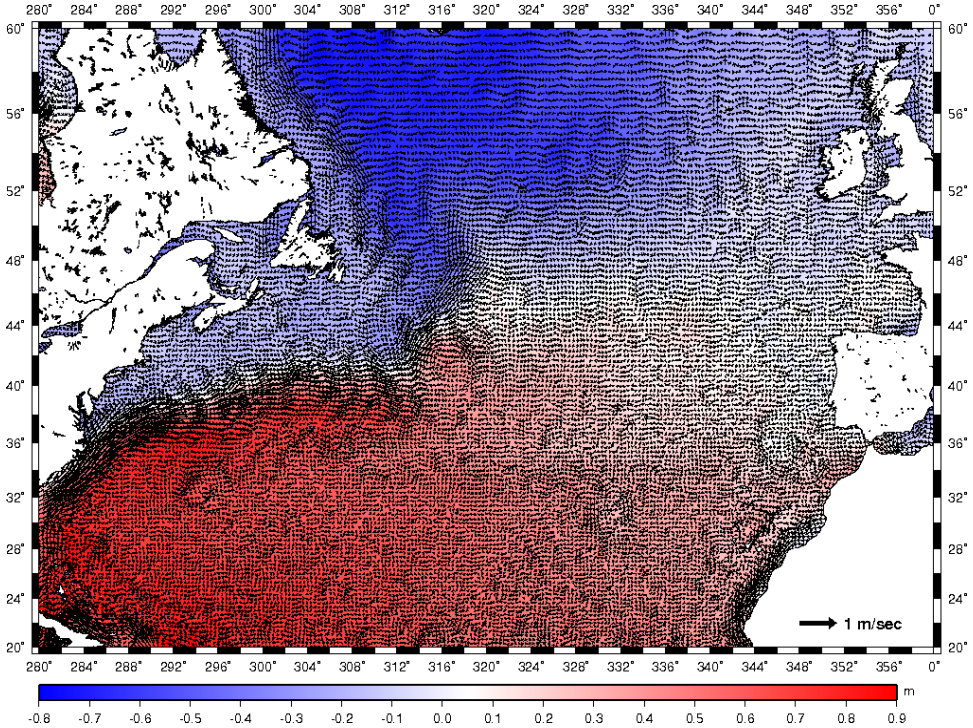
εφαρμογή του φίλτρου Cosine arch (λ=400km), και τέλος για το πεδίο MDOTC που προέκυψε ύστερα από την εφαρμογή του φίλτρου Gaussian (λ=550km).

Στη συνέχεια, με σκοπό την ανάλυση των αποτελεσμάτων, της γεωστροφικής ροής αλλά και τη μελέτη των αποτελεσμάτων των φιλτραρισμένων πεδίων της περιοχής μελέτης του Βόρειου Ατλαντικού, με περισσότερη λεπτομέρεια, υπολογίστηκαν και απεικονίζονται στα παρακάτω σχήματα οι ταχύτητες των ρευμάτων σε επιλεγμένες υποπεριοχές. Αρχικά παρουσιάζεται ένα μέρος της θαλάσσιας περιοχής του Βόρειου Ατλαντικού που αφορά το ρεύμα του Λαμπραντόρ και το Subpolar gyre, με γεωγραφικά όρια $40^o \leq \phi \leq 60^o$ και $296^o \leq \lambda \leq 336^o$. Στη συνέχεια παρουσιάζεται ένα μέρος στο κέντρο της θαλάσσιας περιοχής, εκεί όπου σχηματίζεται το ρεύμα του Κόλπου, με γεωγραφικά όρια $28^o \leq \phi \leq 44^o$ και $280^o \leq \lambda \leq 322^o$. Τέλος παρουσιάζεται ένα μέρος νότια της περιοχής μελέτης με γεωγραφικά όρια $20^o \leq \phi \leq 36^o$ και $314^o \leq \lambda \leq 340^o$. Οι παραπάνω υποπεριοχές αφορούν σε κάθε φίλτρο, όμοια με προηγουμένως.

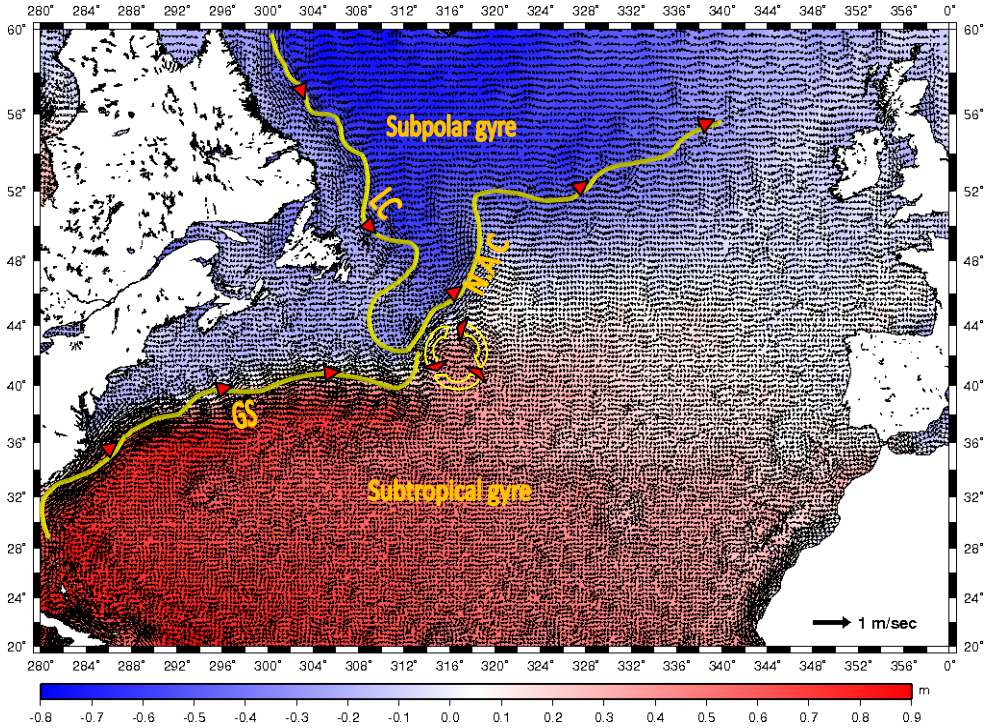
Στα σχήματα, 4.128 και 4.129, των ταχυτήτων των ρευμάτων που υπολογίστηκαν για τα φιλτραρισμένα πεδία τιμών MDOTC (μέσω των Boxcar και Cosine arch) παρατηρούμε το θερμό επιφανειακό ρεύμα του Κόλπου (Gulf Stream), στην θαλάσσια περιοχή με γεωγραφικά όρια $28^o \leq \phi \leq 40^o$ και $280^o \leq \lambda \leq 314^o$, να κατευθύνεται από τα νοτιοδυτικά και τις ακτές των ΗΠΑ και του Καναδά προς τα βορειοανατολικά . Επιπλέον φαίνεται το ψυχρό ρεύμα του Λαμπραντόρ (Labrador) να ρέει νότια κατά μήκος των ακτών του Καναδά, στη θαλάσσια περιοχή με γεωγραφικά όρια $42^o \leq \phi \leq 60^o$ και $296^o \leq \lambda \leq 314^o$, και να ενώνεται με το ρεύμα του Κόλπου. Επιπλέον στη θαλάσσια περιοχή με γεωγραφικά όρια $42^o \leq \phi \leq 60^o$ και $280^o \leq \lambda \leq 0^o$ φαίνεται ο σχηματισμός του Subpolar Gyre (Υποπολικός κυματισμός) ενώ στη περιοχή με γεωγραφικά όρια $0^o \leq \phi \leq 42^o$ και $280^o \leq \lambda \leq 0^o$ φαίνεται ο σχηματισμός του Subtropical Gyre (Υποτροπικός κυματισμός).

Τέλος φαίνεται να σχηματίζεται ένα anticyclone gyre (αντικυκλωνικός κυματισμός) στην ένωση των δύο σημαντικότερων ρευμάτων, του Κόλπου και του Λαμπραντόρ, στη θαλάσσια περιοχή με γεωγραφικά όρια $40^o \leq \phi \leq 44^o$ και $314^o \leq \lambda \leq 320^o$. Στο σχήμα 4.130 των ταχυτήτων των ρευμάτων, που υπολογίστηκαν για το πεδίο MDOTC ύστερα από την εφαρμογή του φίλτρου Gaussian, φαίνονται οι σχηματισμοί των ρευμάτων του Κόλπου και του Λαμπραντόρ, καθώς επίσης και κάποιων gyres (κυματισμοί) στη θαλάσσια περιοχή με γεωγραφικά όρια $30^o \leq \phi \leq 34^o$ και $292^o \leq \lambda \leq 296^o$ και στην περιοχή με γεωγραφικά όρια $29^o \leq \phi \leq 32^o$ και $328^o \leq \lambda \leq 334^o$.

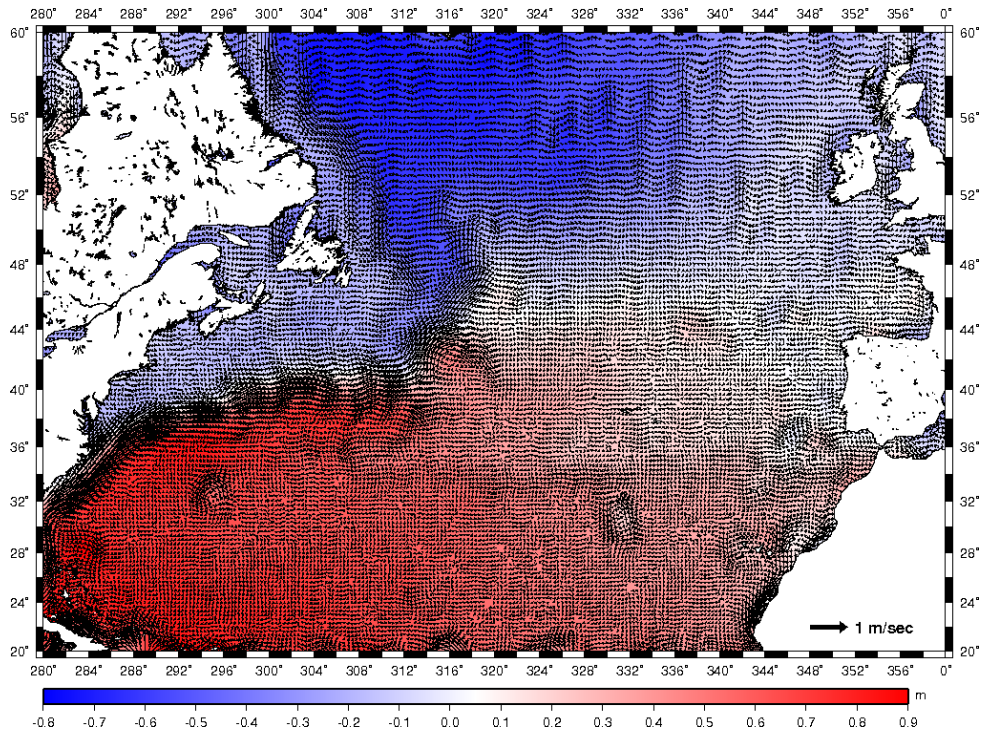
Παρ' όλα αυτά τα αποτελέσματα του σχήματος 4.130 δεν θεωρούνται αξιόπιστα, συγκριτικά με τα δύο προηγούμενα, καθώς οι λωρίδες που φαίνονται να σχηματίζονται στο χάρτη αποδεικνύουν ότι με την εφαρμογή του φίλτρου Gaussian αφαιρέθηκε σήμα και ωφέλιμη πληροφορία του πεδίου. Επιπλέον το gyre που παρατηρήθηκε προηγουμένως, στην ένωση των δύο ρευμάτων του Κόλπου και του Λαμπραντόρ, και φαίνεται στα σχήματα 4.128 και 4.129 αλλοιώνεται όπως δείχνουν τα αποτελέσματα του σχήματος 4.130.




**Σχήμα 4.128:** Η Ωκεάνια κυκλοφορία στην περιοχή του Βόρειου Ατλαντικού (FL: Boxcar λ=400km)

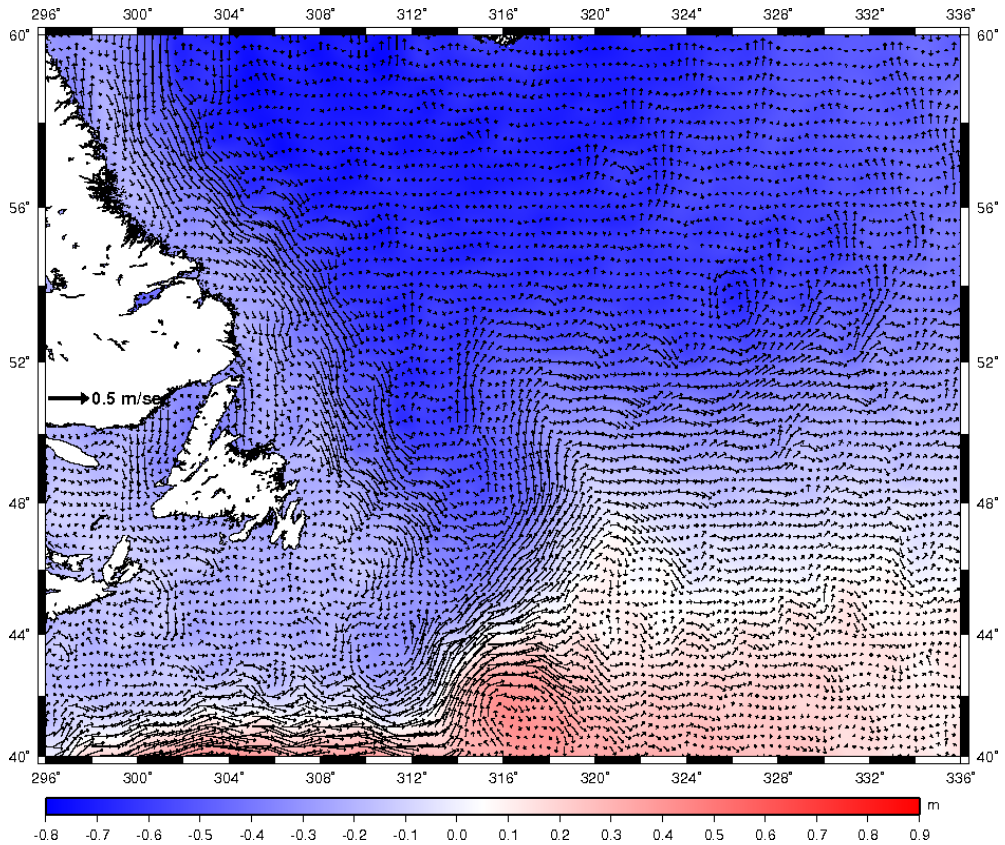



**Σχήμα 4.129:** Η Ωκεάνια κυκλοφορία στην περιοχή του Βόρειου Ατλαντικού (FL: Cosine arch λ=400km)

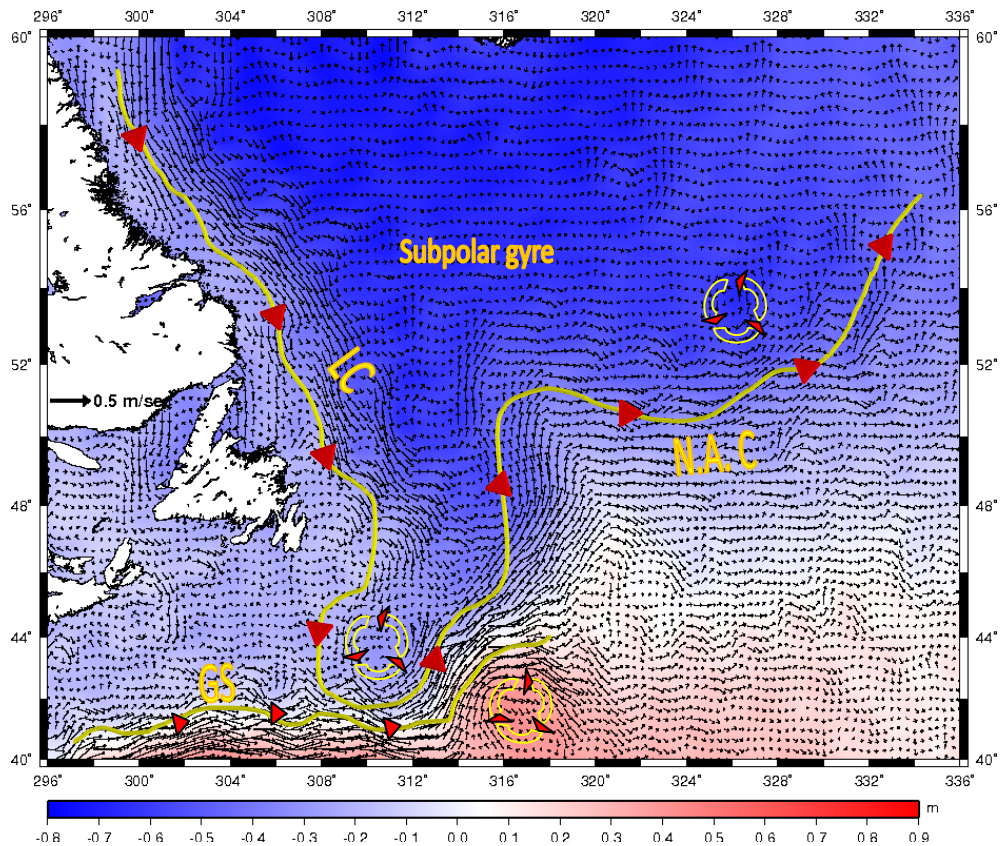



**Σχήμα 4.130:** Η Ωκεάνια κυκλοφορία στην περιοχή του Βόρειου Ατλαντικού (FL: Gaussian λ=550km)

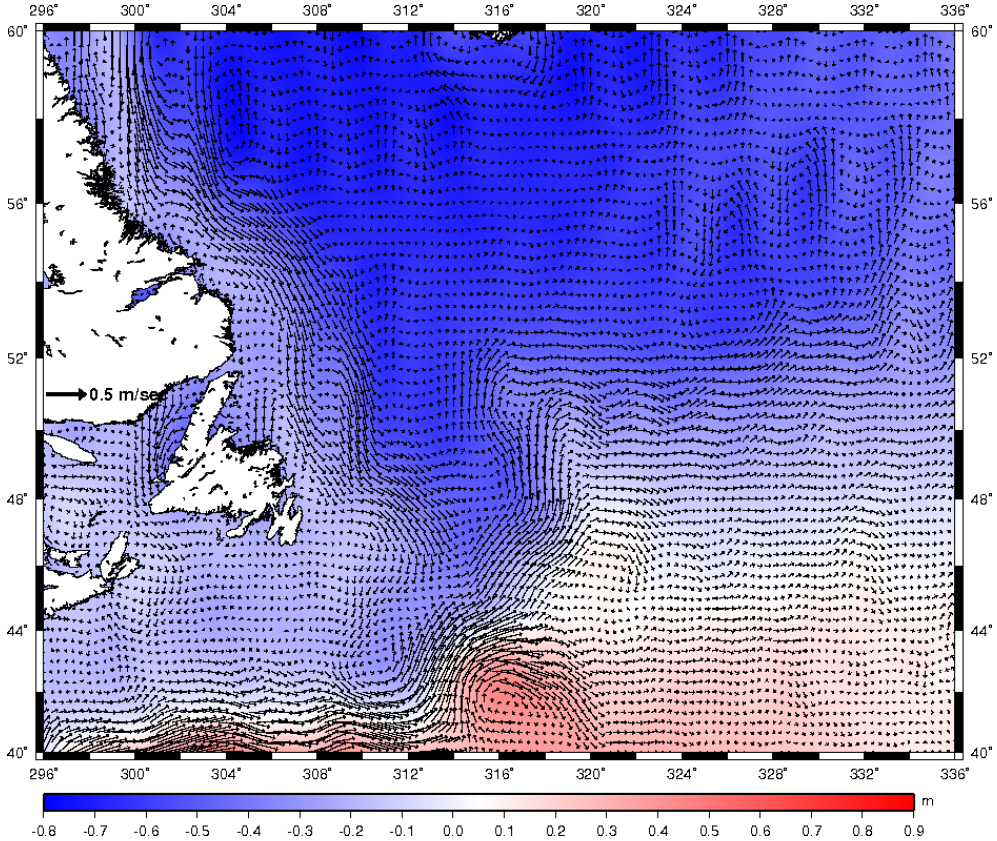
Στα σχήματα 4.131 και 4.132, των ταχυτήτων των ρευμάτων που υπολογίστηκαν για τα φιλτραρισμένα πεδία τιμών MDOTC (μέσω των Boxcar και Cosine arch) της περιοχής με γεωγραφικά όρια $40^o \leq \phi \leq 60^o$ και $296^o \leq \lambda \leq 336^o$ παρατηρούμε με καλύτερη λεπτομέρεια το ψυχρό ρεύμα του Λαμπραντόρ (Labrador Current) να ρέει νότια κατά μήκος των ακτών του Καναδά, στη θαλάσσια περιοχή με γεωγραφικά όρια $42^o \leq \phi \leq 60^o$ και $296^o \leq \lambda \leq 314^o$, και να ενώνεται με το ρεύμα του Κόλπου. Επιπλέον φαίνεται να σχηματίζεται ένα cyclone gyre (κυκλωνικός κυματισμός) στη θαλάσσια περιοχή με γεωγραφικά όρια $53^o \leq \phi \leq 55^o$ και $324^o \leq \lambda \leq 326^o$ καθώς επίσης φαίνεται ο σχηματισμός του anticyclone gyre (αντικυκλωνικός κυματισμός) κοντά στην ένωση των δύο σημαντικότερων ρευμάτων, του Κόλπου και του Λαμπραντόρ, στη θαλάσσια περιοχή με γεωγραφικά όρια $40^o \leq \phi \leq 43^o$ και $315^o \leq \lambda \leq 318^o$ που παρατηρήθηκε και προηγουμένως. Ένα ακόμη cyclone gyre φαίνεται να σχηματίζεται στην περιοχή με γεωγραφικά όρια $42^o \leq \phi \leq 45^o$ και $308^o \leq \lambda \leq 312^o$. Στο σχήμα 4.255 των ταχυτήτων των ρευμάτων, που υπολογίστηκαν για το πεδίο MDOTC ύστερα από την εφαρμογή του φίλτρου Gaussian για την υπό-περιοχή του Βόρειου Ατλαντικού, φαίνονται οι σχηματισμοί των ρευμάτων του Κόλπου και του Λαμπραντόρ, παρ' όλα αυτά το cyclone gyre που παρατηρείται στα σχήματα 4.131 και 4.132 δεν φαίνεται στα αποτελέσματα του σχήματος 4.133 ενώ ταυτόχρονα το anticyclone gyre κοντά στην ένωση των ρευμάτων του Κόλπου και του Λαμπραντόρ αλλοιώνεται εξαιτίας της απομάκρυνσης σήματος. Επιπλέον οι λωρίδες που φαίνεται να σχηματίζονται αποτελούν ένδειξη της απομάκρυνσης ωφέλιμης πληροφορίας.




**Σχήμα 4.131:** Η Ωκεάνια κυκλοφορία στη βόρεια θαλάσσια περιοχή του Βόρειου Ατλαντικού, (FL: Boxcar λ=400km)



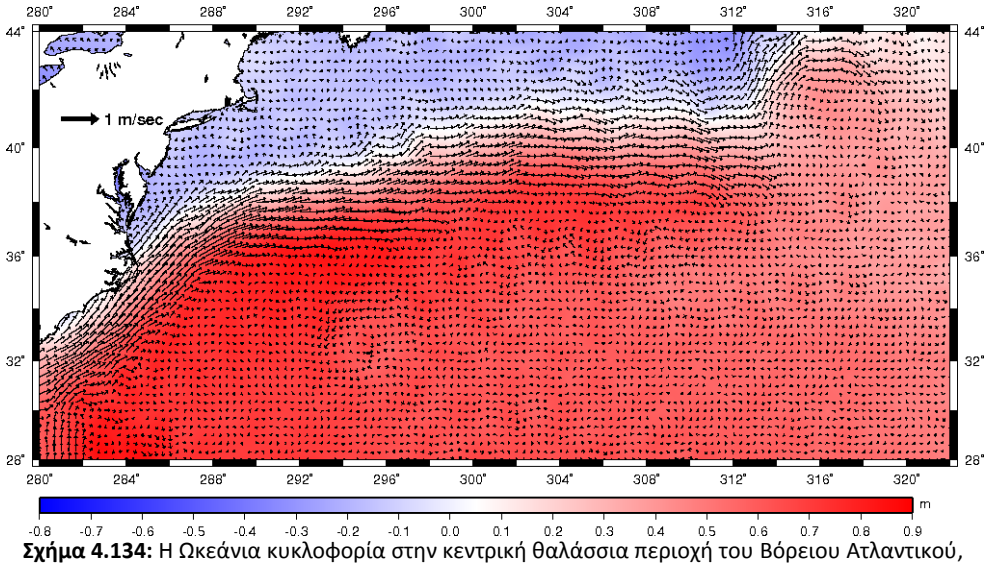

**Σχήμα 4.132:** Η Ωκεάνια κυκλοφορία στη βόρεια θαλάσσια περιοχή του Βόρειου Ατλαντικού, (FL: Cosine arch λ=400km)



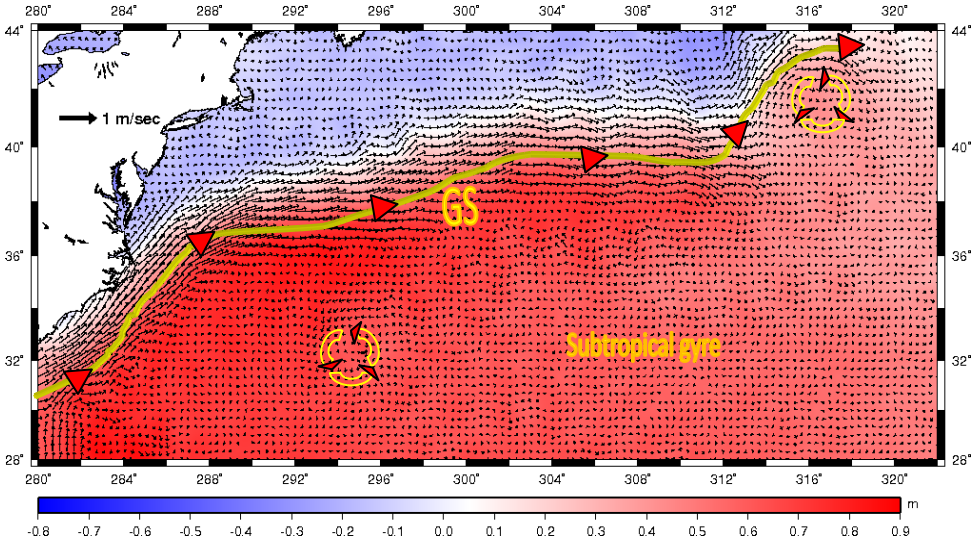

**Σχήμα 4.133:** Η Ωκεάνια κυκλοφορία στη βόρεια θαλάσσια περιοχή του Βόρειου Ατλαντικού, (FL: Gaussian λ=550km)

Στα σχήματα, 4.134 και 4.135, των ταχυτήτων των ρευμάτων που υπολογίστηκαν για τα φιλτραρισμένα πεδία τιμών MDOTC (μέσω των Boxcar και Cosine arch) της περιοχής με γεωγραφικά όρια $28^o \leq \phi \leq 44^o$ και $280^o \leq \lambda \leq 322^o$ παρατηρούμε με καλύτερη λεπτομέρεια το θερμό επιφανειακό ρεύμα του Κόλπου (Gulf Stream), στην θαλάσσια περιοχή με γεωγραφικά όρια $28^o \leq \phi \leq 44^o$ και $280^o \leq \lambda \leq 316^o$, να κατευθύνεται από τα νοτιοδυτικά και τις ακτές των ΗΠΑ και του Καναδά προς τα βορειοανατολικά. Επιπλέον παρατηρείται ο σχηματισμός ενός anticyclone gyre στη θαλάσσια περιοχή με γεωγραφικά όρια $40^o \leq \phi \leq 43^o$ και $314^o \leq \lambda \leq 318^o$ καθώς επίσης και ο σχηματισμός ενός cyclone gyre στη περιοχή με γεωγραφικά όρια $31^o \leq \phi \leq 33^o$ και $293^o \leq \lambda \leq 297^o$.

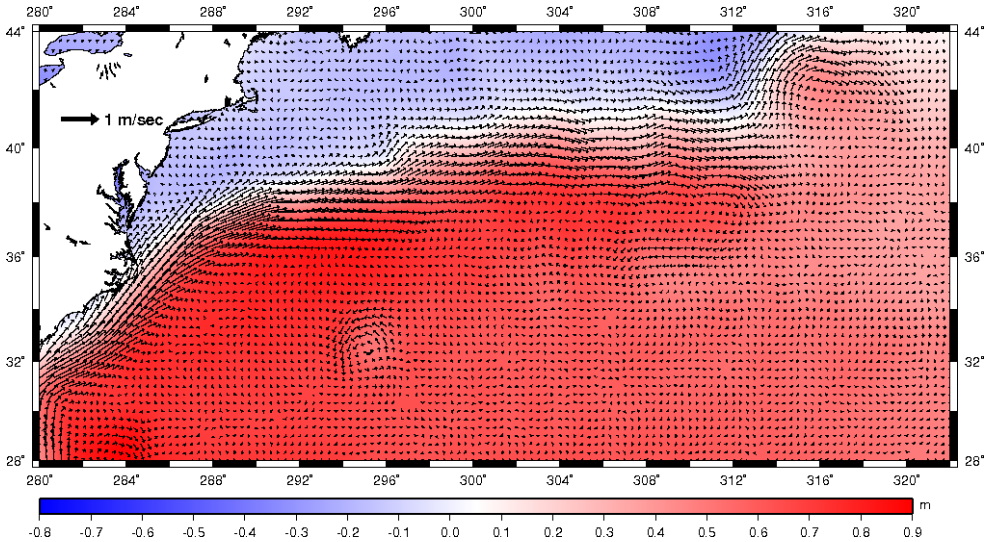
Αντίθετα στο σχήμα 4.136, αν και τα δυο gyres που παρατηρήθηκαν προηγουμένως διακρίνονται πιο έντονα στα αποτελέσματα της γεωστροφικής ροής για το φίλτρο Gaussian, παρ' όλα αυτά φαίνεται το φιλτραρισμένο πεδίο να έχει χάσει πληροφορία. Αυτό είναι εμφανές τόσο στις αρνητικές τιμές του πεδίου που παρουσιάζονται στην περιοχή με γεωγραφικά όρια $28^o \leq \phi \leq 44^o$ και $284^o \leq \lambda \leq 314^o$ όσο και στις θετικές στην περιοχή με γεωγραφικά όρια $28^o \leq \phi \leq 44^o$ και $294^o \leq \lambda \leq 322^o$.




**Σχήμα 4.134:** Η Ωκεάνια κυκλοφορία στην κεντρική θαλάσσια περιοχή του Βόρειου Ατλαντικού, (FL: Boxcar λ=400km)

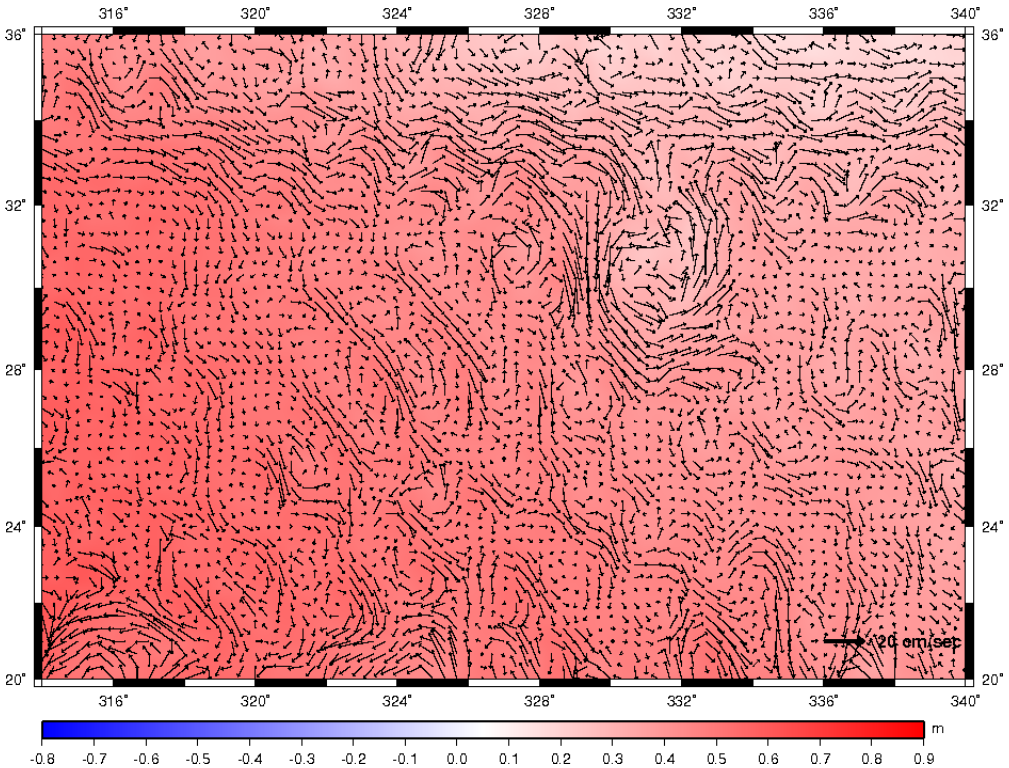



**Σχήμα 4.135:** Η Ωκεάνια κυκλοφορία στην κεντρική θαλάσσια περιοχή του Βόρειου Ατλαντικού, (FL: Cosine arch λ=400km)

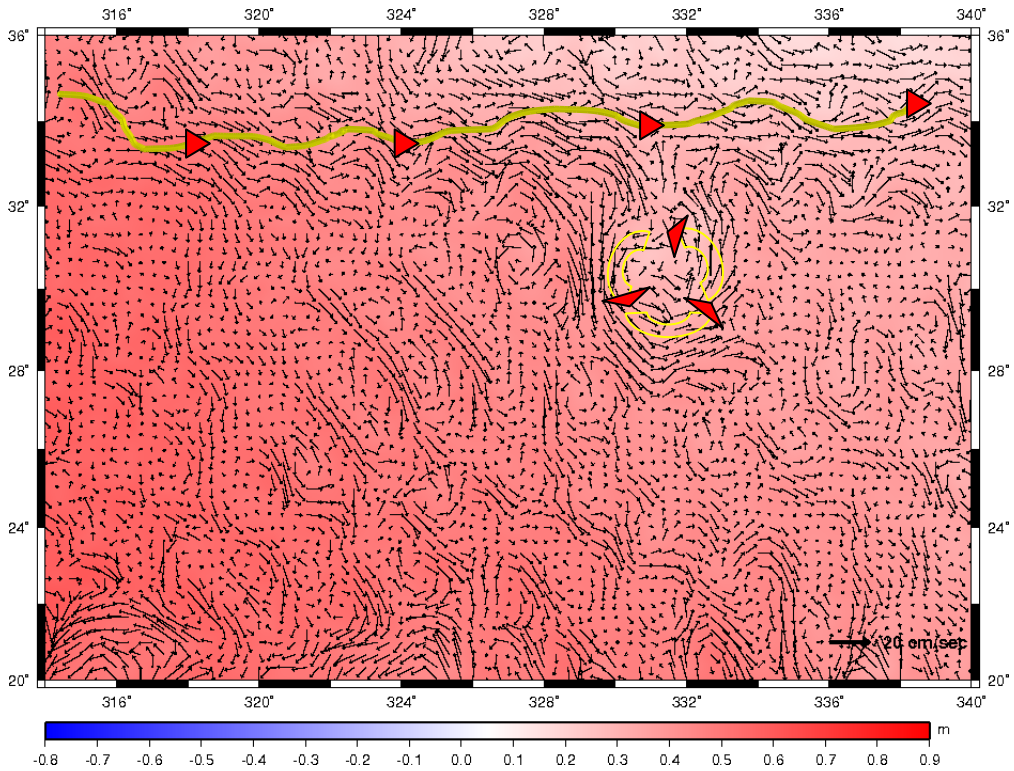



**Σχήμα 4.136:** Η Ωκεάνια κυκλοφορία στην κεντρική θαλάσσια περιοχή του Βόρειου Ατλαντικού, (FL: Gaussian λ=550km)

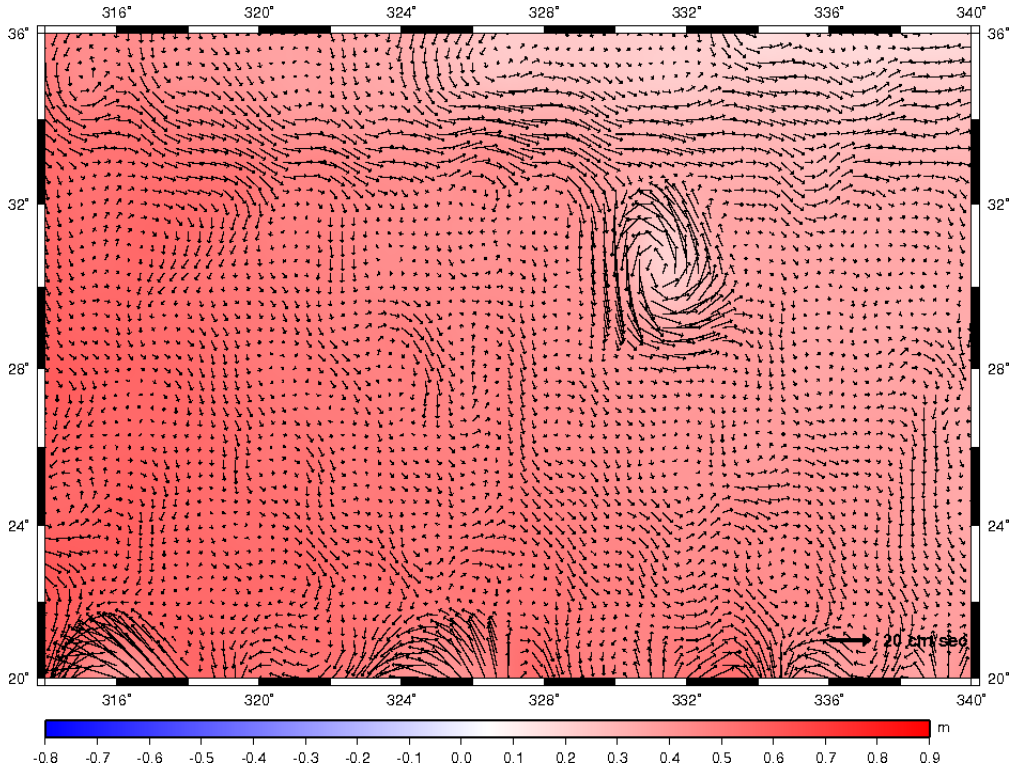
Τέλος παρουσιάζεται ένα μέρος στα νότια της θαλάσσιας περιοχής μελέτης του Βόρειου Ατλαντικού. Στα σχήματα, 4.137 και 4.138, των ταχυτήτων των ρευμάτων που υπολογίστηκαν για τα φιλτραρισμένα πεδία τιμών MDOTC (μέσω των Boxcar και Cosine arch) παρατηρούμε με καλύτερη λεπτομέρεια eddies που σχηματίζονται στην παραπάνω περιοχή και ιδιαίτερα έναν κυκλωνικό σχηματισμό με τιμές ταχυτήτων 20-40 cm/s (Βλέπε σχήμα 4.138). Επιπλέον, η ασταθής κυκλοφορία με ανατολική διεύθυνση στην περιοχή μεταξύ $32^{o}$ και $34^{o}$ αποτελεί ενδεχόμενα απεικόνιση των κλάδων του subtropical gyre (βλ. και Σχήμα 4.132). Το μεγαλύτερο αυτών βρίσκεται στη περιοχή με γεωγραφικό πλάτος φ $29^{0}$ έως $32^{0}$ βόρεια του Ισημερινού και γεωγραφικό μήκος λ από $330^{0}$ έως $334^{0}$. Το gyre αυτό παρατηρείται και στα τρία παραπάνω σχήματα, αντίθετα όμως τα anticyclone gyres που φαίνονται στα αποτελέσματα των υπολογισμών για τα πεδία τιμών MDOTC των φίλτρων Boxcar και Cosine arch δεν φαίνονται στα αποτελέσματα του σχήματος 4.139 του φίλτρου Gaussian. Επιπλέον από το σχήμα 4.139 φαίνεται να έχει απομακρυνθεί μεγαλύτερη πληροφορία σήματος καθώς οι περισσότερες τιμές του πεδίου φαίνεται να είναι σημαντικά μικρότερες από τις τιμές του πεδίου στα σχήματα 4.137 και 4.138. Συμπερασματικά τα πεδία τιμών της MDOTC που προέκυψαν μετά την εφαρμογή των φίλτρων Boxcar και Cosine arch αποδίδουν ορθότερα την ωκεάνια κυκλοφορία της περιοχής μελέτης του Βόρειου Ατλαντικού συγκριτικά με το φίλτρο Gaussian όπου απομακρύνεται περισσότερο σήμα.




**Σχήμα 4.137:** Η Ωκεάνια κυκλοφορία στην νότια θαλάσσια περιοχή του Βόρειου Ατλαντικού, (FL: Boxcar λ=400km)



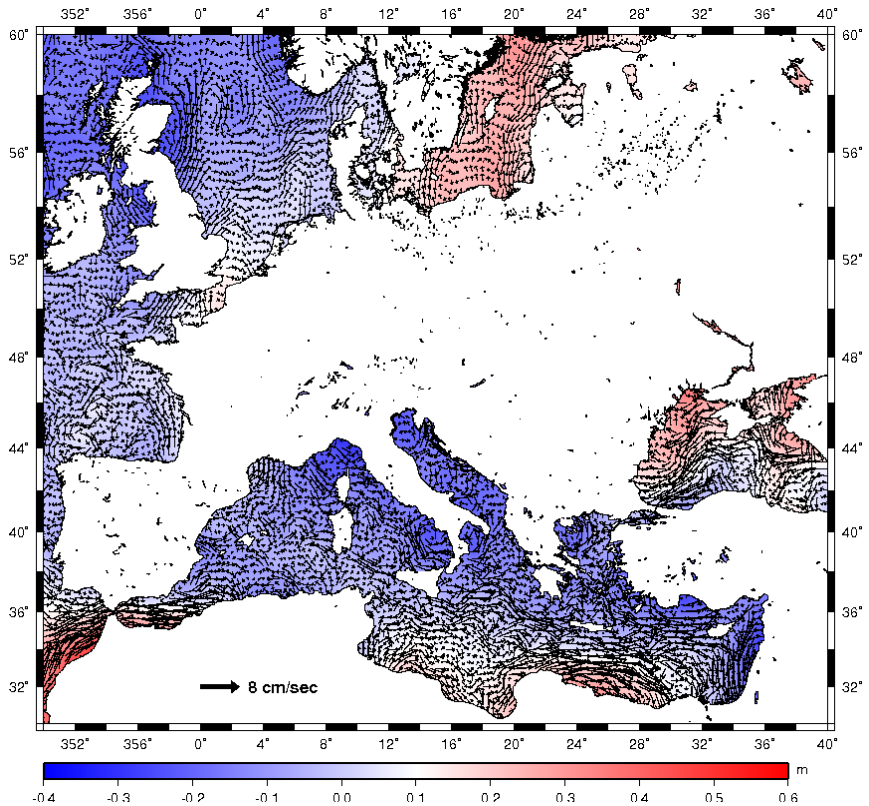

**Σχήμα 4.138:** Η Ωκεάνια κυκλοφορία στην νότια θαλάσσια περιοχή του Βόρειου Ατλαντικού, (FL: Cosine arch λ=400km)



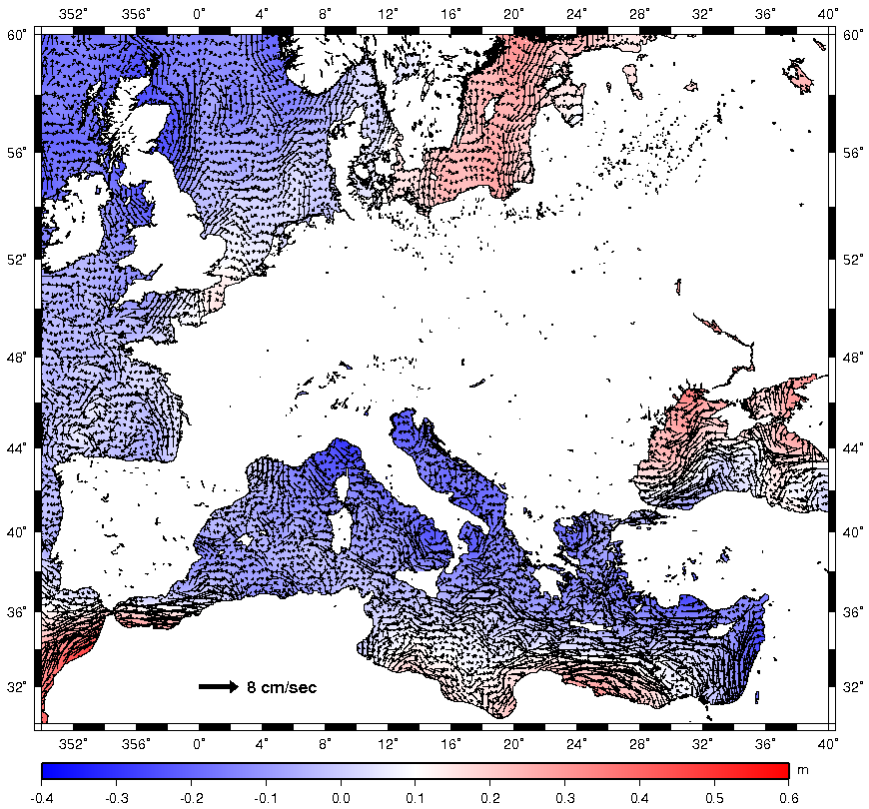

**Σχήμα 4.139:** Η Ωκεάνια κυκλοφορία στην νότια θαλάσσια περιοχή του Βόρειου Ατλαντικού, (FL: Gaussian λ=550km)

Στη συνέχεια παρουσιάζεται η ωκεάνια κυκλοφορία και οι ταχύτητες των ρευμάτων της περιοχής της περιοχή μελέτης της Μεσογείου και του ευρύτερου Ευρωπαϊκού χώρου, όπως υπολογίστηκε για κάθε βέλτιστο φίλτρο. Αρχικά δίνεται η ωκεάνια κυκλοφορία για το πεδίο MDOTC που προέκυψε ύστερα από την εφαρμογή του φίλτρου Boxcar (λ=600km), στη συνέχεια για το πεδίο MDOTC που προέκυψε ύστερα από την εφαρμογή του φίλτρου Cosine arch (λ=600km), και τέλος για το πεδίο MDOTC που προέκυψε ύστερα από την εφαρμογή του φίλτρου Gaussian (λ=780km). Έπειτα, με σκοπό την ανάλυση των αποτελεσμάτων, της γεωστροφικής ροής αλλά και τη μελέτη των αποτελεσμάτων των φιλτραρισμένων πεδίων της περιοχής μελέτης της κλειστής λεκάνης της Μεσογείου αλλά και του ευρύτερου Ευρωπαϊκού χώρου με περισσότερη λεπτομέρεια, υπολογίστηκαν και απεικονίζονται στα παρακάτω σχήματα οι ταχύτητες των ρευμάτων σε επιλεγμένες υποπεριοχές. Αρχικά παρουσιάζεται ένα μέρος της θαλάσσιας περιοχής της Μεσογείου και συγκεκριμένα η θαλάσσια περιοχή γύρω από την Ιταλία όπου φαίνεται μέρος της Τυρρηνικής Θάλασσας στα δυτικά της Μεσογείου στα Νότια και της Αδριατικής Θάλασσας στα ανατολικά. Η περιοχή αυτή έχει τα εξής γεωγραφικά όρια: $30^o \leq \phi \leq 45^o$ και $10^o \leq \lambda \leq 20^o$. Στη συνέχεια παρουσιάζεται μέρος της θαλάσσια περιοχής της Μεσογείου γύρω από τον Ελλαδικό χώρο όπου φαίνεται η ωκεάνια κυκλοφορία του Ιονίου στα δυτικά της Μεσογείου στα Νότια και του Αιγαίου στα ανατολικά. Η περιοχή αυτή έχει τα εξής γεωγραφικά όρια: $30^o \leq \phi \leq 45^o$ και $20^o \leq \lambda \leq 30^o$. Τέλος παρουσιάζεται η ωκεάνια κυκλοφορία της Βόρειας Θάλασσας και του Βασκικού κόλπου. Η περιοχή αυτή έχει τα εξής γεωγραφικά όρια: $42^o \leq \phi \leq 60^o$ και $350^o \leq \lambda \leq 12^o$. Οι παραπάνω υποπεριοχές αφορούν σε κάθε φίλτρο, όμοια με προηγουμένως.

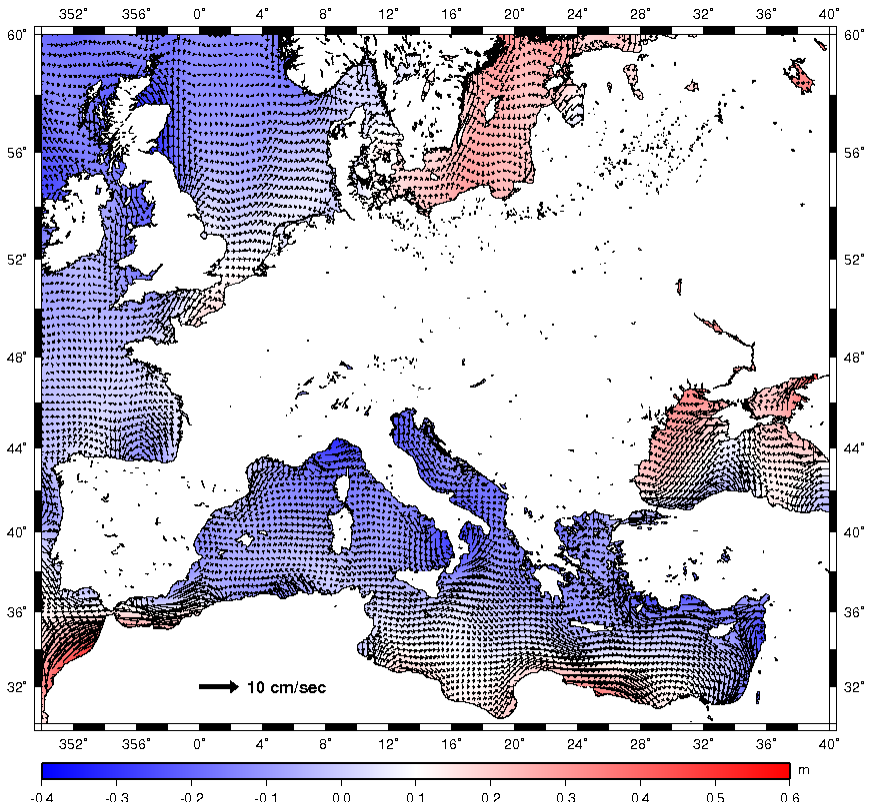
Στα σχήματα 4.140 και 4.141 των ταχυτήτων των ρευμάτων, που υπολογίστηκαν για τα φιλτραρισμένα πεδία τιμών MDOTC (μέσω των Boxcar καιCosine arch), εξαιτίας της μεγάλης έκτασης της περιοχής, του έντονου ανάγλυφου καθώς επίσης και το γεγονός ότι η περιοχή που καλύπτεται από θάλασσα είναι σημαντικά μικρότερη από τις ηπειρωτικές περιοχές, ορθότερα συμπεράσματα προκύπτουν από τις υποπεριοχές της περιοχής μελέτης που θα παρουσιαστούν στη συνέχεια. Αξίζει να σχολιασθεί όμως η διαφορά των αποτελεσμάτων της ωκεάνιας κυκλοφορίας μεταξύ των πεδίων που προέκυψαν από τα φίλτρα Boxcar καιCosine arch και του φίλτρου Gaussian. Είναι εμφανές ότι τόσο οι αρνητικές όσο και οι θετικές τιμές του πεδίου ανάμεσα στα φίλτρα Boxcar καιCosine arch συγκριτικά με το φίλτρο Gaussian του σχήματος 4.142 διαφέρουν. Το πεδίο τιμών MDOTC ύστερα από την εφαρμογή του φίλτρου Gaussian παρουσιάζει μικρότερες τιμές κάτι που σημαίνει και εδώ την απομάκρυνση σήματος.




**Σχήμα 4.140:** Η Ωκεάνια κυκλοφορία στην περιοχή της Μεσογείου και του ευρύτερου Ευρωπαϊκού χώρου (FL: Boxcar λ=600km)



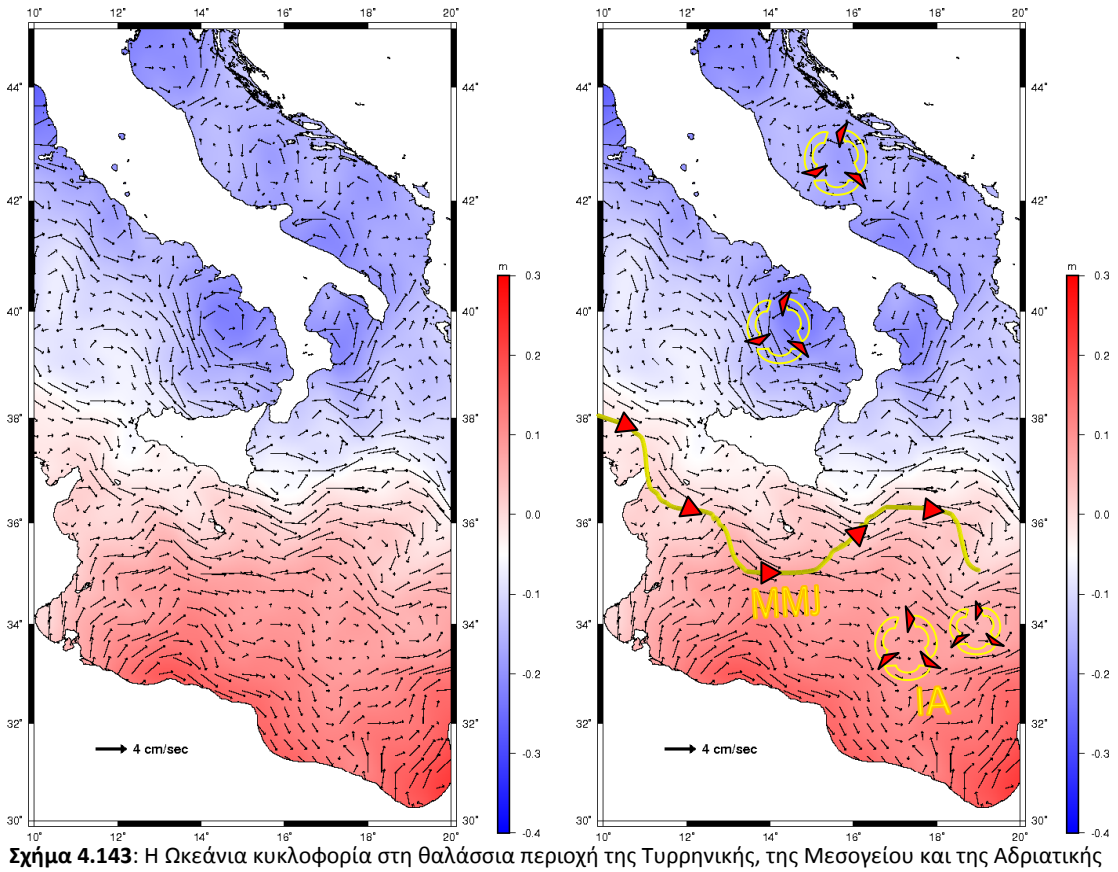

**Σχήμα 4.141:** Η Ωκεάνια κυκλοφορία στην περιοχή της Μεσογείου και του ευρύτερου Ευρωπαϊκού χώρου (FL: Cosine arch λ=600km)



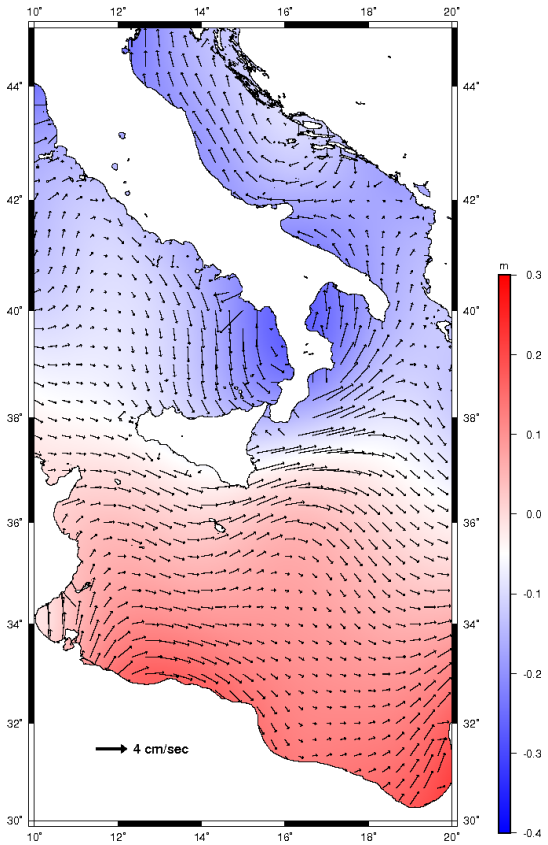

**Σχήμα 4.142:** Η Ωκεάνια κυκλοφορία στην περιοχή της Μεσογείου και του ευρύτερου Ευρωπαϊκού χώρου (FL: Gaussian λ=780km)

Στο σχήμα 4.143, των ταχυτήτων των ρευμάτων που υπολογίστηκαν για τα φιλτραρισμένα πεδία τιμών MDOTC (μέσω των Boxcar και Cosine arch) της περιοχής με γεωγραφικά όρια $30^o \leq \phi \leq 45^o$ και $10^o \leq \lambda \leq 20^o$, παρατηρούμε με καλύτερη λεπτομέρεια τα gyres που σχηματίζονται. Για παράδειγμα στην Τυρρηνική Θάλασσα και συγκεκριμένα στη θαλάσσια περιοχή με γεωγραφικά όρια $39^o \leq \phi \leq 41^o$ και $13^o \leq \lambda \leq 15^o$ φαίνεται να σχηματίζεται ένα cyclone gyre. Επίσης στη θαλάσσια περιοχή της Μεσογείου και νοτιοανατολικά της Σικελίας στις περιοχές με τα εξής γεωγραφικά όρια: $33^o \leq \phi \leq 35^o$ και $16^o \leq \lambda \leq 18^o$ καθώς και $33.5^o \leq \phi \leq 34.5^o$ και $19^o \leq \lambda \leq 20^o$ παρατηρείται να σχηματίζονται δύο anticyclone gyres γνωστά ως Ionian Anticyclones. Ακόμη στην Αδριατική Θάλασσα φαίνεται να σχηματίζεται ένα cyclone gyre στην περιοχή με γεωγραφικά όρια: $33^o \leq \phi \leq 35^o$ και $15^o \leq \lambda \leq 16^o$ καθώς επίσης διακρίνεται η ροή του Atlantic Ionian Stream νότια της Σικελίας να διαχωρίζεται ρέοντας κατά μέρος νότια προς τη Μεσόγειο και Βόρεια προς τα νερά της Αδριατικής. Τέλος διακρίνεται το Μέσο Μεσογειακό ρεύμα (MMJ-Mid Mediterranean Jet) να ρέει από τα δυτικά προς τα ανατολικά, νότια της Σικελίας.

Αντίθετα τα αποτελέσματα του σχήματος 4.144 δεν αποδίδουν σωστά την ωκεάνια κυκλοφορία της περιοχής καθώς φαίνεται, αφού το φιλτραρισμένο πεδίο φαίνεται να έχει χάσει πληροφορία. Τόσο οι θετικές όσο και οι αρνητικές τιμές είναι μικρότερες καθώς με την εφαρμογή μεγαλύτερου μήκους κύματος απομακρύνθηκε σήμα. Στη συνέχεια παρουσιάζεται η ωκεάνια κυκλοφορία γύρω από τον Ελλαδικό χώρο.



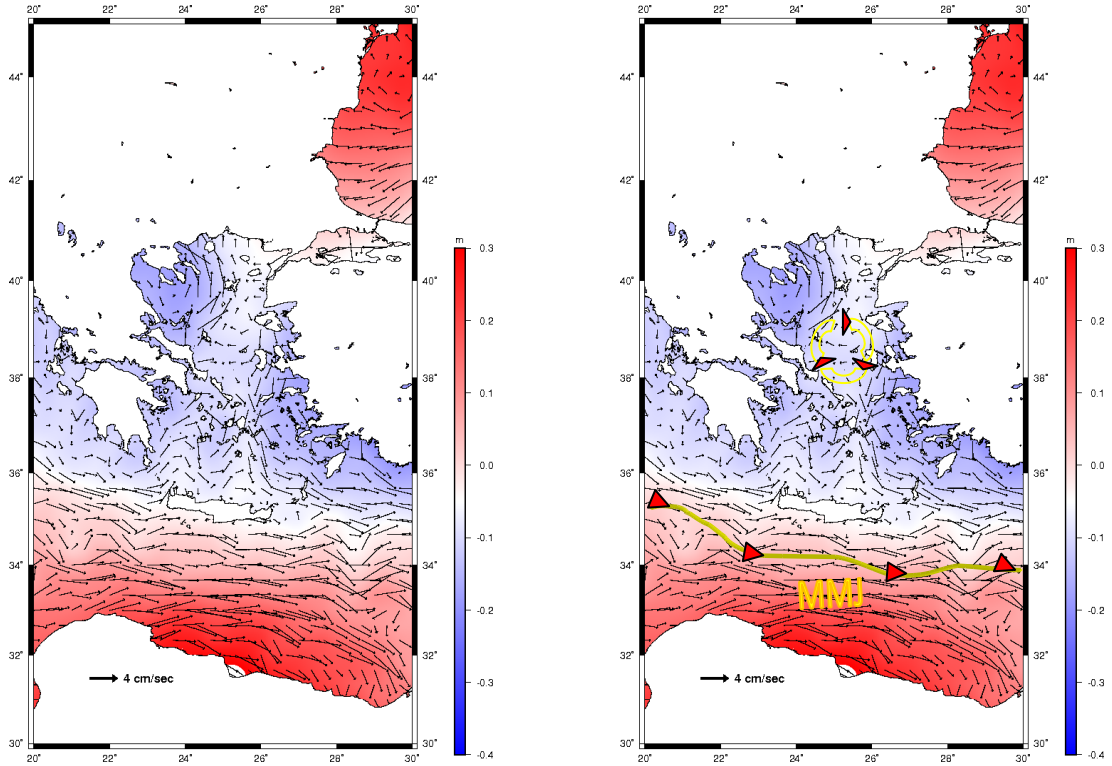

**Σχήμα 4.143**: Η Ωκεάνια κυκλοφορία στη θαλάσσια περιοχή της Τυρρηνικής, της Μεσογείου και της Αδριατικής Θάλασσας, αριστερά (FL: Boxcar λ=600km), δεξιά (FL: Cosine arch λ=600km)



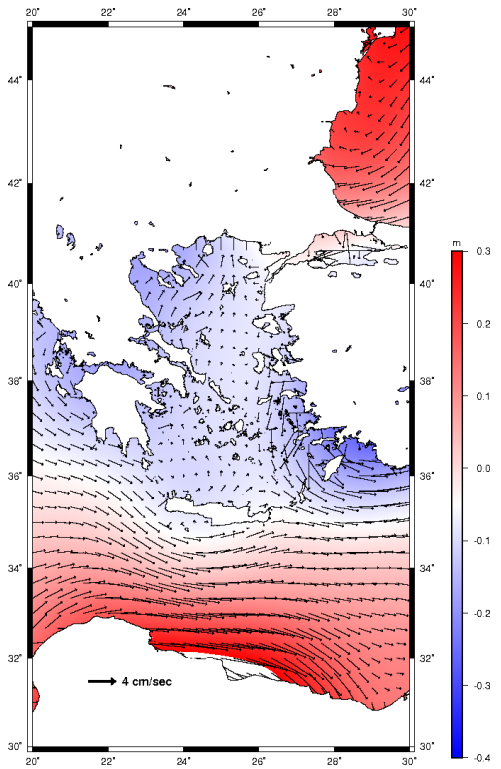

**Σχήμα 4.144:** Η Ωκεάνια κυκλοφορία στη θαλάσσια περιοχή της Τυρρηνικής, της Μεσογείου και της Αδριατικής Θάλασσας (FL: Gaussian λ=780km)

Στο σχήμα 4.145 των ταχυτήτων των ρευμάτων που υπολογίστηκαν για τα φιλτραρισμένα πεδία τιμών MDOTC (μέσω των Boxcar και Cosine arch) της περιοχής με γεωγραφικά όρια $30^o \leq \phi \leq 45^o$ και $20^o \leq \lambda \leq 30^o$ παρατηρούμε με καλύτερη λεπτομέρεια τα gyres που σχηματίζονται στην θαλάσσια περιοχή γύρω από τον Ελλαδικό χώρο. Η γενικότερη ωκεάνια κυκλοφορία των υδάτων του Αιγαίου είναι γενικά κυκλωνική. Τα νερά ρέουν από τη θάλασσα της Λεβαντίνης και της ανατολικής Μεσογείου βορειοανατολικά κατά μήκος των παραλίων της Μικράς Ασίας. Στη συνέχεια κινούνται δυτικά και ρέουν νότια κατά μήκος των ελληνικών ακτών όπου εξέρχονται τελικά προς τα νότια και τη Μεσόγειο μεταξύ των Κυθήρων και της Κρήτης. Στα σχήματα φαίνεται επίσης το Μέσο Μεσογειακό ρεύμα να ρέει από τα δυτικά προς τα ανατολικά. Επιπλέον φαίνεται ο σχηματισμός ενός anticyclone gyre στην περιοχή του Βόρειου Αιγαίου με τα εξής γεωγραφικά όρια: $39^o \leq \phi \leq 40^o$ και $25^o \leq \lambda \leq 26^o$.

Αντίθετα στο σχήμα 4.146 των ταχυτήτων των ρευμάτων που υπολογίστηκε για το φιλτραρισμένο πεδίο τιμών MDOTC μέσω του φίλτρου Gaussian δεν αποδίδεται σωστά η ωκεάνια κυκλοφορία της περιοχής καθώς φαίνεται, αφού το φιλτραρισμένο πεδίο φαίνεται να έχει χάσει πληροφορία. Τόσο οι θετικές όσο και οι αρνητικές τιμές είναι μικρότερες καθώς με την εφαρμογή μεγαλύτερου μήκους κύματος απομακρύνθηκε σήμα.



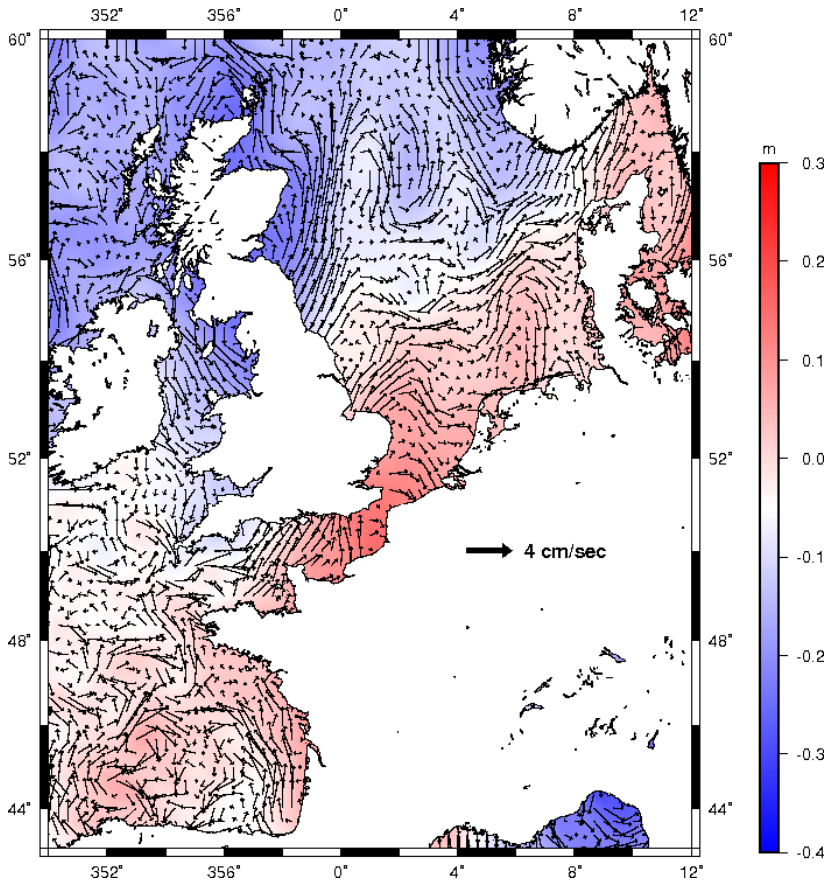

**Σχήμα 145:** Η Ωκεάνια κυκλοφορία στη θαλάσσια περιοχή του Ιονίου, της Μεσογείου και του Αιγαίου, αριστερά (FL: Boxcar λ=600km), δεξιά (FL: Cosine arch λ=600km)



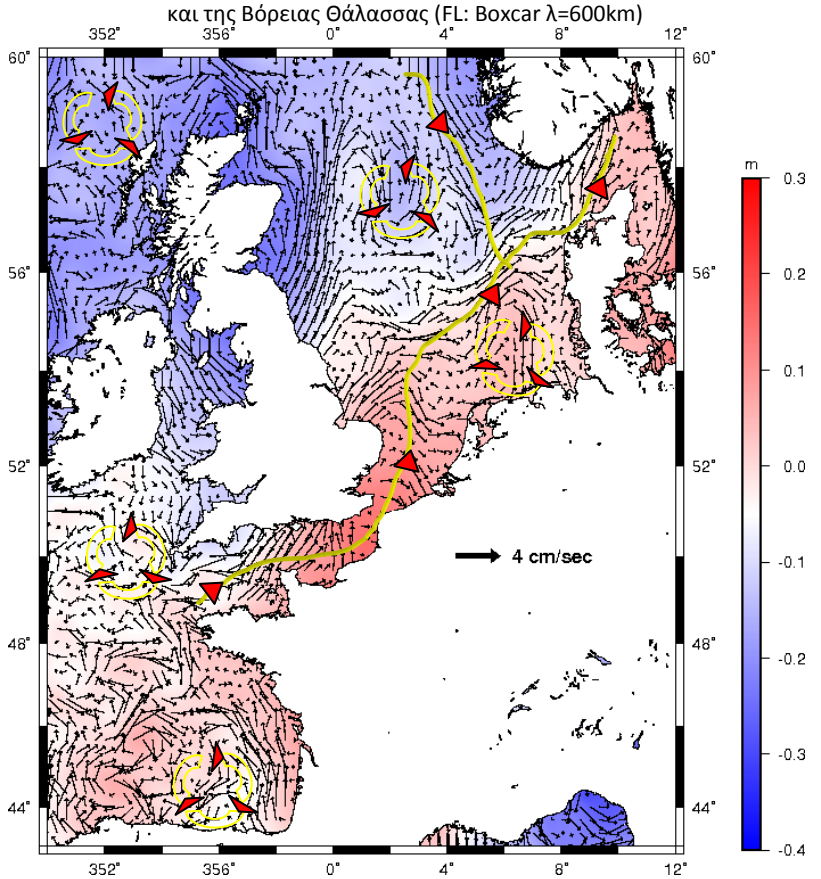

**Σχήμα 4.146:** Η Ωκεάνια κυκλοφορία στη θαλάσσια περιοχή του Ιονίου, της Μεσογείου και του Αιγαίου (FL: Gaussian λ=780km)

Στα σχήματα, 4.147 και 4.148, των ταχυτήτων των ρευμάτων που υπολογίστηκαν για τα φιλτραρισμένα πεδία τιμών MDOTC (μέσω των Boxcar και Cosine arch) της περιοχής με γεωγραφικά όρια $42^o \leq \phi \leq 60^o$ και $350^o \leq \lambda \leq 12^o$ παρατηρούμε με καλύτερη λεπτομέρεια τα gyres που σχηματίζονται στην Βόρεια Θάλασσα και το Βισκαϊκό Κόλπο. Πιο συγκεκριμένα διακρίνεται στη Βόρεια Θάλασσα ένα cyclone gyre στην περιοχή με τα εξής γεωγραφικά όρια: $57^o \leq \phi \leq 59^o$ και $1^o \leq \lambda \leq 4^o$ καθώς επίσης και ένα anticyclone gyre στα νότια της θαλάσσιας περιοχής της Βόρειου Θάλασσας με τα εξής γεωγραφικά όρια: $51^o \leq \phi \leq 53^o$ και $4^o \leq \lambda \leq 8^o$. Επιπλέον στην περιοχή της Κελτικής Θάλασσας νότια της Ιρλανδίας διακρίνεται ο σχηματισμός ενός anticyclone gyre στην περιοχή με τα εξής γεωγραφικά όρια: $57^o \leq \phi \leq 59^o$ και $351^o \leq \lambda \leq 354^o$. Ένα ακόμη anticyclone gyre διακρίνεται στο Βισκαϊκό Κόλπο στη περιοχή με τα εξής γεωγραφικά όρια: $57^o \leq \phi \leq 59^o$ και $354^o \leq \lambda \leq 357^o$. Τέλος βορειοδυτικά του Ηνωμένου Βασιλείου διακρίνεται ο σχηματισμός ενός ακόμη cyclone gyre στην περιοχή με τα εξής γεωγραφικά όρια: $58^o \leq \phi \leq 60^o$ και $350^o \leq \lambda \leq 354^o$.

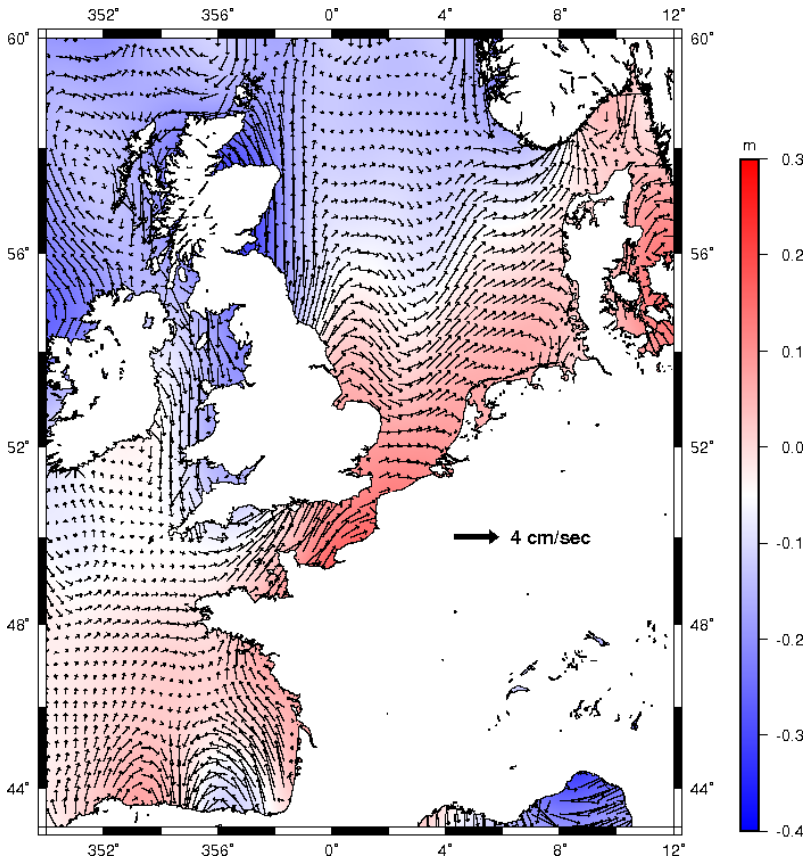
Συγκρίνοντας όμως την ωκεάνια κυκλοφορία που προέκυψε για τα πεδία τιμών από τα φίλτρα Boxcar και Cosine arch με τα αποτελέσματα του σχήματος 4.149 του φίλτρου Gaussian είναι εμφανές ότι το πεδίο παρουσιάζει μικρότερες θετικές και αρνητικές τιμές καθώς η εφαρμογή μεγαλύτερου μήκους κύματος είχε ως αποτέλεσμα και εδώ την απομάκρυνση σήματος. Η απομάκρυνση αυτή σήματος έχει ως αποτέλεσμα να μην είναι δυνατό να αποδοθεί με λεπτομέρεια η ωκεάνια κυκλοφορία και τα gyres που διακρίνονται στα δύο προηγούμενα σχήματα.




**Σχήμα 4.147:** Η Ωκεάνια κυκλοφορία στην θαλάσσια περιοχή της Βισκαϊκού Κόλπου και της Βόρειας Θάλασσας (FL: Boxcar λ=600km)




**Σχήμα 4.148:** Η Ωκεάνια κυκλοφορία στην θαλάσσια περιοχή της Βισκαϊκού Κόλπου και της Βόρειας Θάλασσας (FL: Cosine arch λ=600km)




**Σχήμα 4.149:** Η Ωκεάνια κυκλοφορία στην θαλάσσια περιοχή της Βισκαϊκού Κόλπου και της Βόρειας Θάλασσας (FL: Gaussian λ=780km)

## 4.5 Ανακεφαλαίωση – Συμπεράσματα

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάστηκαν το σύνολο των αριθμητικών εφαρμογών καθώς επίσης και τα αποτελέσματα της εφαρμογής φίλτρων στα δυο πεδία τιμών MDOTC μετά το 2σ τεστ και MDOTC μετά το 3σ τεστ των δυο περιοχών μελέτης του Βόρειου Ατλαντικού και της κλειστής λεκάνης της Μεσογείου και του ευρύτερου Ευρωπαϊκού χώρου. Αρχικά παρουσιάστηκαν τα αποτελέσματα για κάθε πεδίο της περιοχής του Βόρειου Ατλαντικού μετά την εφαρμογή των φίλτρων Boxcar, Cosine arch και Gaussian και στη συνέχεια παρουσιάστηκαν τα αποτελέσματα της Μεσογείου και του ευρύτερου Ευρωπαϊκού χώρου. Και για τις δύο περιοχές μελέτης το συμπέρασμα που προέκυψε είναι ότι τα φίλτρα Boxcar και Cosine arch λειτουργούν κατά τον ίδιο τρόπο καθώς παρουσίασαν τα ίδια στατιστικά αποτελέσματα τόσο στο πεδίο MDOTC όσο και στις διαφορές αυτού με το παγκόσμιο μοντέλο $MDOT_{DTU2010}$. Αντίθετα με το επιλεγμένο ως βέλτιστο μήκος κύματος φίλτρου για το φίλτρο Gaussian, το οποίο είναι μεγαλύτερο από τα δύο άλλα φίλτρα, προέκυψε ότι απομάκρυνε περισσότερο σήμα του πεδίου, κάτι το οποίο διακρίθηκε τοπικά στα αποτελέσματα των σχημάτων των διαφορών με το παγκόσμιο μοντέλο $MDOT_{DTU2010}$ Συγκεκριμένα για την περιοχή μελέτης του Βόρειου Ατλαντικού και τα πεδία MDOTC μετά το 2σ τεστ και MDOTC μετά το 3σ τεστ επιλέχθηκαν τα εξής βέλτιστα φίλτρα:

**Πίνακας 4.35:** Στατιστικά χαρακτηριστικά για το πεδίο τιμών των διαφορών $MDOT_{DTU2010}$-MDOTC (μετά το 2σ τεστ) της περιοχής του Βόρειου Ατλαντικού για τα φίλτρα Boxcar, Cosine arch και Gaussian {m}

| Φίλτρο | λ | max | min | mean | std | range |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Boxcar** | **400** | **0.469** | **-0.251** | **0.027** | **±0.081** | **0.720** |
| **Cosine arch** | **400** | **0.469** | **-0.251** | **0.027** | **±0.081** | **0.720** |
| Gaussian | 550 | 0.447 | -0.199 | 0.027 | ±0.080 | 0.646 |

**Πίνακας 4.46:** Στατιστικά χαρακτηριστικά για το πεδίο τιμών των διαφορών $MDOT_{DTU2010}$-MDOTC (μετά το 3σ τεστ) της περιοχής του Βόρειου Ατλαντικού για τα φίλτρα Boxcar, Cosine arch και Gaussian {m}

| Φίλτρο | λ | max | min | mean | std | range |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Boxcar** | **400** | **0.677** | **-0.256** | **0.032** | **±0.088** | **0.933** |
| **Cosine arch** | **400** | **0.677** | **-0.256** | **0.032** | **±0.088** | **0.933** |
| Gaussian | 650 | 0.646 | -0.298 | 0.032 | ±0.086 | 0.944 |

Στην περίπτωση της περιοχής μελέτης της κλειστής λεκάνης της Μεσογείου και του ευρύτερου Ευρωπαϊκού χώρου τα συμπεράσματα για τα τρία φίλτρα είναι ανάλογα με προηγουμένως ενώ τα βέλτιστα φίλτρα που επιλέχθηκαν για τα πεδία MDOTC μετά το 2σ τεστ και MDOTC μετά το 3σ τεστ είναι τα εξής:

**Πίνακας 4.57:** Στατιστικά χαρακτηριστικά για το πεδίο τιμών των διαφορών $MDOT_{DTU2010}$-MDOTC (μετά το 2σ τεστ) της περιοχής της κλειστής λεκάνης της Μεσογείου και του ευρύτερου Ευρωπαϊκού χώρου για τα φίλτρα Boxcar, Cosine arch και Gaussian {m}

| Φίλτρο | λ | max | min | mean | std | range |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Boxcar** | **600** | **0.374** | **-0.302** | **0.088** | **±0.098** | **0.676** |
| **Cosine arch** | **600** | **0.374** | **-0.302** | **0.088** | **±0.098** | **0.676** |
| Gaussian | 780 | 0.394 | -0.311 | 0.085 | ±0.093 | 0.705 |

**Πίνακας 4.68:** Στατιστικά χαρακτηριστικά για το πεδίο τιμών των διαφορών $MDOT_{DTU2010}$-MDOTC (μετά το 3σ τεστ) της περιοχής της κλειστής λεκάνης της Μεσογείου και του ευρύτερου Ευρωπαϊκού χώρου για τα φίλτρα Boxcar, Cosine arch και Gaussian {m}

| Φίλτρο | λ | max | min | mean | std | range |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Boxcar** | **750** | **0.397** | **-0.313** | **0.101** | **±0.104** | **0.710** |
| **Cosine arch** | **750** | **0.397** | **-0.313** | **0.101** | **±0.104** | **0.710** |
| Gaussian | 1300 | 0.402 | -0.262 | 0.101 | ±0.100 | 0.664 |

Στη συνέχεια παρουσιάστηκε το θεωρητικό υπόβαθρο της ωκεάνιας κυκλοφορίας στις δύο περιοχές μελέτης καθώς και το σύνολο των αριθμητικών εφαρμογών που πραγματοποιήθηκαν για τον προσδιορισμό της ωκεάνιας κυκλοφορίας για τα πεδία τιμών

MDOTC μετά το 2σ τεστ κάθε περιοχής. Από τα αποτελέσματα προέκυψε ότι τα φίλτρα Boxcar και Cosine arch επιτυγχάνουν να αντισταθμιστεί ο θόρυβος από τη μια πλευρά και η παραμόρφωση από την άλλη, εξασφαλίζοντας έτσι την ομαλότητα των δεδομένων εξόδου και αποδίδοντας κατ' αυτό τον τρόπο την ωκεάνια κυκλοφορία με περισσότερη λεπτομέρεια προσεγγίζοντας την πραγματικότητα. Αντίθετα το φίλτρο Gaussian αποδίδει ελλιπώς την ωκεάνια κυκλοφορία καθώς απομακρύνει μεγάλο μέρος σήματος με αποτέλεσμα να μην διακρίνονται τα gyres που διακρίνονται στα αποτελέσματα των δύο άλλων φίλτρων.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5$^{ο}$

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Στην παρούσα εργασία παρουσιάστηκαν οι βασικές έννοιες του πεδίου βαρύτητας της Γης καθώς επίσης και οι μέθοδοι προσέγγισης του φάσματος και των παραμέτρων του από δορυφορικές μετρήσεις. Ειδικότερα, μελετήθηκε η δυναμική τοπογραφία της επιφάνειας της θάλασσας και επιχειρήθηκε μέσω αυτής η σύνδεση των επιστημονικών εφαρμογών της γεωδαισίας και της ωκεανογραφίας. Αναλύθηκαν οι μέθοδοι προσέγγισης του πεδίου βαρύτητας της Γης από το διάστημα και συγκεκριμένα η μέθοδος της δορυφορικής αλτιμετρίας, η μέθοδος μέτρησης των διαδορυφορικών αποστάσεων καθώς και η δορυφορική βαθμιδομετρία.

Αποτέλεσμα του συνδυασμού ετερογενών παρατηρήσεων ήταν η ανάπτυξη συνθετικών μοντέλων σε αναπτύγματα σφαιρικών αρμονικών για μεγέθη όπως το διαταρακτικό δυναμικό, οι ανωμαλίες βαρύτητας και τα υψόμετρα του γεωειδούς. Περιγράφηκαν αναλυτικά οι σύγχρονες δορυφορικές αποστολές CHAMP, GRACE και GOCE, τα δορυφορικά δεδομένα, η δομή και η ανάλυση καθώς επίσης και οι εφαρμογές στις γεωεπιστήμες και οι επιστημονικοί στόχοι αυτών. Η τοπογραφία της επιφάνειας της θάλασσας, η ωκεάνια κυκλοφορία και οι ταχύτητες των ρευμάτων είναι σημαντικές παράμετροι για τις επιστήμες της γεωδαισίας και της ωκεανογραφίας. Στην κατεύθυνση αυτή παρουσιάστηκε ο τρόπος με τον οποίο οι αλτιμετρικές παρατηρήσεις αξιοποιούνται στον προσδιορισμό της τοπογραφίας της επιφάνειας της θάλασσας και της γεωστροφικής ροής των θαλάσσιων ρευμάτων.

Πρωταρχικό στόχο της παρούσας εργασίας αποτέλεσε ο προσδιορισμός της δυναμικής τοπογραφίας της επιφάνειας της θάλασσας (MDOTC) των περιοχών μελέτης του Βορείου Ατλαντικού και της κλειστής λεκάνης της Μεσογείου και του ευρύτερου Ευρωπαϊκού χώρου μέσω συνδυασμού ενός παγκόσμιου μοντέλου γεωειδούς ($N_{GOCO02S}$) και ενός παγκόσμιου μοντέλου μέσης στάθμης της θάλασσας ($MSS_{DTU2010}$). Ένας δεύτερος στόχος ήταν η βελτιστοποίηση του πεδίου μέσω της εφαρμογής στατιστικών ελέγχων (2σ, 3σ τεστ) και γραμμικών φίλτρων (Boxcar, Cosine arch, Gaussian) για την απομάκρυνση του θορύβου (white noise) και των σφαλμάτων (commission, omission errors, blunders). Παράλληλα πραγματοποιήθηκε και η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της εφαρμογής φίλτρων μέσω του προσδιορισμού των διαφορών που παρουσιάζει η υπολογιζόμενη κατ' αυτό τον τρόπο δυναμική τοπογραφία της επιφάνειας της θάλασσας με ένα παγκόσμιο μοντέλο δυναμικής τοπογραφίας της θάλασσας ($MDOT_{DTU2010}$). Τελικό, ζητούμενο αποτέλεσε ο υπολογισμός των ταχυτήτων των ωκεάνιων ρευμάτων των περιοχών αυτών με τη χρήση γεωδαιτικών μεθόδων.

Με βάση τα αρχικά διαθέσιμα δεδομένα προσδιορίστηκε η μέση στάθμη της θάλασσας, η δυναμική τοπογραφία της επιφάνειας της θάλασσας και τα υψόμετρα του γεωειδούς όπως δίνονται από τα παγκόσμια μοντέλα $MSS_{DTU2010}$, $MDOT_{DTU2010}$, $N_{GOCO02S}$ για τις δύο περιοχές μελέτης και μόνο για την ωκεάνια περιοχή. Για την αξιολόγηση των

αρχικών αυτών αποτελεσμάτων υπολογίστηκαν αρχικά οι διαφορές της MDOTC με το παγκόσμιο μοντέλο $MDOT_{DTU2010}$.

Στην περίπτωση της περιοχής μελέτης του Βορείου Ατλαντικού οι διαφορές που παρουσιάστηκαν αρχικά ήταν της τάξεως των 2.3m στη μέγιστη έως -3.4m στην ελάχιστη τιμή, ενώ η τυπική απόκλιση των διαφορών ήταν ±0.32m. Κατά την αφαίρεση των δεδομένων που αφορούσαν σε ηπειρωτικές περιοχές δεν απομακρύνθηκαν τιμές κοντά σε ακτογραμμές και νησιά. Για το λόγο αυτό στη συνέχεια εφαρμόστηκαν δύο στατιστικοί έλεγχοι στα πεδίο τιμών των διαφορών $MDOT_{DTU2010}$-MDOTC και συγκεκριμένα πραγματοποιήθηκαν 2σ και 3σ τεστ. Μετά την εφαρμογή του 2σ τεστ στο πεδίο τιμών των διαφορών απομακρύνθηκε ποσοστό 24.3% των παρατηρήσεων και οι διαφορές που προέκυψαν ήταν της τάξεως των 0.8m στη μέγιστη τιμή και -0.7m στην ελάχιστη τιμή, ενώ η τυπική απόκλιση των διαφορών ήταν ±0.044m. Αντιστοίχως, μετά την εφαρμογή του 3σ τεστ στο πεδίο τιμών των διαφορών απομακρύνθηκε ποσοστό 21.5% των παρατηρήσεων από σφάλματα και οι διαφορές που προέκυψαν ήταν της τάξης του 1m στη μέγιστη τιμή και -1m στην ελάχιστη τιμή, ενώ η τυπική απόκλιση των διαφορών ήταν ±0.063m.

Στην περίπτωση της περιοχής μελέτης της κλειστής λεκάνης της Μεσογείου και του ευρύτερου Ευρωπαϊκού χώρου οι διαφορές που παρουσιάστηκαν αρχικά ήταν της τάξης των 2.5m στη μέγιστη έως -2m στην ελάχιστη τιμή, ενώ η τυπική απόκλιση των διαφορών ήταν ±0.31m. Κατά την απομάκρυνση των δεδομένων που αφορούσαν σε ηπειρωτικές περιοχές δεν απομακρύνθηκαν τιμές που αφορούν σε ακτογραμμές και νησιά. Για το λόγω αυτό, όπως και στην περιοχή μελέτης του Βορείου Ατλαντικού, εφαρμόστηκαν δύο στατιστικοί έλεγχοι στα πεδίο τιμών των διαφορών $MDOT_{DTU2010}$-MDOTC (2σ και 3σ τεστ). Μετά την εφαρμογή του 2σ τεστ στο πεδίο τιμών των διαφορών απομακρύνθηκε ποσοστό 67.5% των παρατηρήσεων που χαρακτηρίστηκαν σαν επηρεασμένες από χονδροειδή σφάλματα και οι διαφορές που προέκυψαν ήταν της τάξης των 1.25m στη μέγιστη τιμή και -1.4m στην ελάχιστη τιμή, ενώ η τυπική απόκλιση των διαφορών ήταν ±0.057m. Αντιστοίχως, μετά την εφαρμογή του 3σ τεστ στο πεδίο τιμών των διαφορών απομακρύνθηκε ποσοστό 64.9% των παρατηρήσεων που χαρακτηρίστηκαν σαν επηρεασμένες από χονδροειδή σφάλματα οι διαφορές που παρουσιάστηκαν ήταν της τάξης των 1.3m στη μέγιστη τιμή και -1.4m στην ελάχιστη τιμή, ενώ η τυπική απόκλιση των διαφορών ήταν ±0.064m.

Για την περαιτέρω βελτίωση του πεδίου MDOTC των δύο περιοχών μελέτης και για να προσεγγίζει το πεδίο MDOTC όσο το δυνατόν καλύτερα στο πεδίο $MDOT_{DTU2010}$ πραγματοποιήθηκε στη συνέχεια η εφαρμογή γραμμικών φίλτρων, με σκοπό την απομάκρυνση της επίδρασης του θορύβου και την επίτευξη της βέλτιστης λύσης με την μικρότερη δυνατή απώλεια σήματος. Το φιλτράρισμα των δεδομένων εφαρμόστηκε στα πεδία τιμών MDOTC μετά το 2σ τεστ και MDOTC μετά το 3σ τεστ και για τις δυο περιοχές μελέτης. Ύστερα από μια εκτενή σειρά πειραμάτων, επιλέχθηκε από κάθε φίλτρο το βέλτιστο εκείνο μήκος κύματος για την συχνότητα αποκοπής που απέδιδε τις μικρότερες τιμές στις διαφορές, τη μικρότερη τυπική απόκλιση καθώς επίσης και το μικρότερο εύρος διακύμανσης των τιμών στις υπολογιζόμενες εκ των υστέρων διαφορές με το παγκόσμιο μοντέλο $MDOT_{DTU2010}$.

Αρχικά για την περιοχή μελέτης του Βόρειου Ατλαντικού, για το πεδίο τιμών μετά το 2σ τεστ και σύμφωνα με τα στατιστικά αποτελέσματα των διαφορών $MDOT_{DTU2010}$-MDOTC προέκυψε ότι το βέλτιστο πλήρες μήκος κύματος φίλτρου για το φίλτρο Boxcar είναι λ=400km (max=0.469m, min=-0.251m, std=±0.081m,range=0.72m), για το φίλτρο Cosine arch είναι λ=400km (max=0.469m, min=-0.251m, std=±0.081m, range=0.72m) και για το φίλτρο Gaussian είναι λ=550km (max=0.447m, min=-0.199m, std=±0.080m, range=0.646m). Για το πεδίο τιμών μετά το 3σ τεστ και σύμφωνα με τα στατιστικά αποτελέσματα των διαφορών προέκυψε ότι το βέλτιστο πλήρες μήκος κύματος φίλτρου για το φίλτρο Boxcar είναι λ=400km (max=0.677m, min=-0.256m, std=±0.088m, range=0.933m), για το φίλτρο Cosine arch είναι λ=400km (max=0.677m, min=-0.256m, std=±0.088m, range=0.933m), και για το φίλτρο Gaussian είναι λ=550km (max=0.646m, min=-0.298m, std=±0.086m, range=0.944m). Αντιστοίχως, για την περιοχή μελέτης της κλειστής λεκάνης της Μεσογείου και του ευρύτερου Ευρωπαϊκού χώρου, για το πεδίο τιμών μετά το 2σ τεστ και σύμφωνα με τα στατιστικά αποτελέσματα των διαφορών $MDOT_{DTU2010}$-MDOTC προέκυψε ότι το βέλτιστο πλήρες μήκος κύματος φίλτρου για το φίλτρο Boxcar είναι λ=600km (max=0.374m, min=-0.302m, std=±0.098m, range=0.676m), για το φίλτρο Cosine arch είναι λ=600km (max=0.374m, min=-0.302m, std=±0.098m, range=0.676m) και για το φίλτρο Gaussian είναι λ=780km (max=0.394m, min=-0,311m, std=±0.085m, range=0.705m). Για το πεδίο τιμών μετά το 3σ τεστ και σύμφωνα με τα στατιστικά αποτελέσματα των διαφορών προέκυψε ότι το βέλτιστο πλήρες μήκος κύματος φίλτρου για το φίλτρο Boxcar είναι λ=750km (max=0.397m, min=-0.313m, std=±0.104m, range=0.710m), το βέλτιστο πλήρες μήκος κύματος φίλτρου για το φίλτρο Cosine arch είναι λ=750km (max=0.397m, min=-0.313m, std=±0.104m,range=0.710m), και το βέλτιστο πλήρες μήκος κύματος φίλτρου για το φίλτρο Gaussian είναι λ=1300km (max=0.402m, min=-0.262m, std=±0.100m, range=0.664m). Συμπερασματικά προέκυψε ότι τα φίλτρα Boxcar και Cosine arch λειτουργούν κατά τον ίδιο τρόπο και δίνουν ορθότερα αποτελέσματα σε σχέση με αυτά του φίλτρου Gaussian, το οποίο απομάκρυνε μεγάλο μέρος του σήματος. Στη συνέχεια με βάση τα παραπάνω αποτελέσματα επιλέχθηκαν τα βέλτιστα φίλτρα του πεδίου MDOTC μετά το 2σ τεστ και για τις δύο περιοχές μελέτης και προσδιορίστηκε η ωκεάνια κυκλοφορία. Καθώς λοιπόν το φίλτρο Gaussian απομάκρυνε περισσότερο σήμα από τα δύο άλλα φίλτρα δεν απέδωσε τα gyres και τα currents με την ίδια λεπτομέρεια που τα απέδωσαν τα δύο άλλα φίλτρα.

Με το πέρας του συνόλου των αριθμητικών εφαρμογών που πραγματοποιήθηκαν και των συμπερασμάτων που προέκυψαν θεωρείται χρήσιμο να γίνουν ορισμένες προτάσεις για μελλοντική έρευνα στο συγκεκριμένο πεδίο. Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η δορυφορική αποστολή GOCE αποτελεί σήμερα μια από τις σημαντικότερες πηγές δορυφορικών δεδομένων υψηλής ακρίβειας. Ο συνδυασμός δεδομένων της αποστολής GOCE με ήδη υπάρχοντα δεδομένα ή η ενσωμάτωση δεδομένων GOCE σε ήδη υπάρχοντα μοντέλα αναμένεται να δώσει νέα αποτελέσματα μεγαλύτερης ακρίβεια και διακριτικής ικανότητας για τη μελέτη και την ερμηνεία των δυναμικών φαινομένων που αφορούν στις επιστήμες της γεωδαισίας, της γεωφυσικής, της γεωλογίας και της ωκεανογραφίας.

Ο συνδυασμός δορυφορικών δεδομένων των νεώτερων αποστολών με δεδομένα στιγμιαίων υψών δίνει τη δυνατότητα μελέτης των δυναμικών χαρακτηριστικών των ωκεανών και τη μελέτη της γεωστροφικής ροής. Ως προς τον προσδιορισμό της δυναμικής τοπογραφίας της επιφάνειας της θάλασσας τόσο η ποιότητα των δεδομένων όσο και τα

προϊόντα του GOCE χαρακτηρίζονται από υψηλή ακρίβεια, αποδίδοντας τόσο τη δυναμική τοπογραφία όσο και την ωκεάνια κυκλοφορία με υψηλή διακριτική ανάλυση. Το σύνολο των διαθέσιμων αλτιμετρικών δεδομένων σε συνδυασμό με γεωδυναμικά μοντέλα της αποστολής GOCE δίνουν τη δυνατότητα προσδιορισμού της ΤΕΘ και των μεταβολών της αλλά και την χωρική και χρονική ανάλυση των δεδομένων. Έτσι, μπορεί να προσδιοριστούν η ΣΣΤΕΘ, η ΧΜΤΕΘ καθώς επίσης και η ωκεάνια κυκλοφορία. Μια γενική πρόταση που καλύπτει το σύνολο τον εφαρμογών που πραγματοποιήθηκαν στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας, είναι ο συνδυασμός διαφορετικών μοντέλων για τον προσδιορισμό της ΜΣΘ, της ΣΣΤΘ και των υψομέτρων του γεωειδούς και κατόπιν η εφαρμογή νέων εξελιγμένων φίλτρων για την απομάκρυνση του θορύβου και τον σφαλμάτων με τελικό σκοπό τη μελέτη της ωκεάνιας κυκλοφορίας και των ταχυτήτων των ρευμάτων.

# Βιβλιογραφία

## Ξενόγλωσση


Center for Space Research (2007) GRACE Level-2 Gravity Field Product User Handbook. GRACE 327-734, Rev 2.3, CSR Publ, CSR-GR-03-01.

Center for Space Research (2007) GRACE Product Specification Document. GRACE 327-720, Rev 4.5, CSR Publ, CSR-GR-03-02.

Mark R. Drinkwater, R. Haagmans, D. Muzi, A. Popescu, R. Floberghagen, M. Kern and M. Fehringer The Goce Gravity Mission: ESA's first core earth explorer, 2006.

M.R. Drinkwater, R. Floberghagen, R. Haagmans, D. Muzi and A.Popescu GOCE: ESA's first earth explorer core mission, 2002.

H. Lühr , GFZ German Research Center for Geosciences The CHAMP Mission. Website: http://op.gfz-potsdam.de/champ/.

Pond S, Pickard G (2000) Introduction to dynamical oceanography. 3rd edition, Butterworth-Heinemann.

Angus P. Andrews, Mohinder S. Grewal (2011) Kalman Filtering: Theory and Practice Using Matlab/ Edition 2.

Rabiner, L.R. and B. Gold, 1975. Theory and application of digital signal processing. New Jersey: Prentice-Hall, USA.

G.S Vergos and I.N Tziavos (2012): A first outlook of GOCE contribution to the determination of the dynamic ocean topography and ocean circulation in the Mediterranean Sea. EGU General Assembly, Session G4.2 – "Satellite Gravimetry: GOCE, GRACE and Future Gravity Missions" – EGU2012-31.

Andersen O B and Knudsen P (2010) The DTU10 mean sea surface and mean dynamic topography. Improvements in the Artic and coastal zone. DTU Space, Technical University of Denmark. OSTST, Lissabon, Portugal, October 2010.

Helmut Goiginger, Daniel Rieser, Torsten Mayer-Guerr, Roland Pail, Thomas Fecher, Thomas Gruber, Alberta Albertella, Andrea Maier, Eduard Höck, Sandro Krauss, Walter Hausleitner, Oliver Baur, Adrian Jäggi, Ulrich Meyer, Jan Martin Brockmann, Wolf-Dieter Schuh , Ina Krasbutter, Jürgen Kusche (2011): The satellite-only global gravity filed model GOCO02S. EGU General Assembly. Vienna, 04-04-2011. GOCO Constrium.

Ole B. Andersen1, M-.H., Rio2 (1) DTU Space, Juliane Maries Vej 30, Copenhagen, Denmark (2) CLS, Ramon St Agne, France (July 2011). On the accuracy of current mean sea surface models for the use with GOCE data. Proc. of '4th International GOCE User Workshop, Munich, Germany 31 March – 1 April 2011 (ESA SP-696).

## Ελληνική

Βέργος Γ. (2006) Μελέτη του πεδίου βαρύτητας και της θαλάσσιας τοπογραφίας στον Ελληνικό χώρο με συνδυασμό επίγειων δεδομένων και δεδομένων των δορυφορικών αποστολών CHAMP και GRACE. Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, Πολυτεχνική Σχολή ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη.

Κατσάμπαλος ΚΕ, Τζιαβός ΗΝ (1991) Φυσική Γεωδαισία. Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη.

Κιτσάκης Δ, Βακαλοπούλου Μ, Δεληκαράογλου Δ (2011) Χαρτογραφώντας το πεδίο βαρύτητας της Γης ...σε High Definition: Η δορυφορική αποστολή GRACE. Γεωδαισίας Δείγματα και Παραδείγματα (Περιοδικό σε διαδικτυακή μορφή-ΕΜΠ), Τεύχος 7, Ιστοσελίδα: http://users.ntua.gr/ddeli/GSE/7_issue_GSE.html

Ν. Καλαμπόγιας, Μ. Καμποσούλη, Γ. Μπουμπάκης, Σ. Φαχουρίδη και Δ. Δεληκαράογλου (2011), Χαρτογραφώντας το πεδίο βαρύτητας της Γης σε High Definition: Η δορυφορική αποστολή GOCE, 2012 Γεωδαισίας Δείγματα και Παραδείγματα (Περιοδικό σε διαδικτυακή μορφή-ΕΜΠ), Τεύχος 7, Ιστοσελίδα http://users.ntua.gr/ddeli/GSE/8_issue_GSE.html.

Τσούλης Δ (2006) Διαστημική Γεωδαισία και Εφαρμογές. Τμήμα Εκδόσεων ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη.

Βέργος (2011) Σύγχρονες δορυφορικές αποστολές μελέτης του πεδίου βαρύτητας της Γης και συμβολή στις γεωεπιστήμες.

Δ. Δεληκαράογλου (2003) Γεωφυσικές Διασκοπήσεις Βαρυτημετρία.

Αραμπέλος Δ.Ν, Τζιαβός (2007)Η.Ν Εισαγωγή στο πεδίο βαρύτητας της Γης.

## Διαδικτυακοί τόποι

CFZ, Information about GHAMP mission. Internet Resources:

http://op.gfz-potsdam.de/champ/

CSR, Information about GRACE mission. Internet Resources:

http://www.csr.utexas.edu/grace/asdp.html

GFZ, Information about GRACE mission. Internet Resources:

http://isdc.gfz-potsdam.de/index.php?module=pagesetter&func=viewpub&tid=1&pid=35

ESA, Information about GOCE mission. Internet Resources:

http://www.esa.int/SPECIALS/GOCE/index.html

DTU Data and Software. Internet Resources:

ftp://ftp.spacecenter.dk/pub/

Institute of Theoretical Geodesy and Satellite Geodesy. Models and Downloads (GOCO02S). Internet Resources:

http://portal.tugraz.at/portal/page/portal/TU_Graz/Einrichtungen/Institute/Homepages/i5210/research/goco

**Διαδικτυακοί τόποι εικόνων**

**Σχήμα 2.3**: http://www.astrium.eads.net/en/programme/champ.html, http://nsidc.org/data/icesat/grace.html, http://space.skyrocket.de/doc_sdat/goce.htm

**Σχήμα 2.8**: http://www.epm.ethz.ch/research/observational_studies/sat_geom/champ.jpg

**Σχήμα 2.9**: http://www-app2.gfz-potsdam.de/pb1/op/champ/systems/index_SYSTEMS.html

**Σχήμα 2.10**: http://www-app2.gfz-potsdam.de/pb1/op/champ/systems/index_SYSTEMS.html

**Σχήμα 2.11**: http://op.gfz-potsdam.de/champ/science/index_SCIENCE.html

**Σχήμα 2.12**: http://op.gfz-potsdam.de/champ/science/index_SCIENCE.html

**Σχήμα 2.13**: http://www.astrium.eads.net/en/news2/happy-birthday-grace.html

**Σχήμα 2.14**: http://op.gfz-potsdam.de/grace/satellite/satellite.html

**Σχήμα 2.15**: http://www.redorbit.com/news/space/336498

**Σχήμα 2.16**: http://users.ntua.gr/ddeli/GSE/current_issue_GSE.html, http://grace.jpl.nasa.gov/data/dot/

**Σχήμα 17**: http://www.siswebs.org/water/story.php?title=Trends_Due_to_Surface_Mass_Variations_From_GRACE_2003-2009, http://discovermagazine.com/2007/mar/grace-in-space/

**Σχήμα 2.18**: http://www.bis.gov.uk/ukspaceagency/missions/goce-measuring-the-earths-gravity

**Σχήμα 2.19**: http://www.astrium.eads.net/node.php?articleid=7866

**Σχήμα 2.20**: http://www.redorbit.com/news/space/1666431

**Σχήμα 2.21**: http://www.space.com/9254-european-gravity-probe-returned-normal-orbit.html

**Σχήμα 2.22**: http://cpjournalist.wordpress.com/2010/06/29/goce-satellite-views-earths-gravity-in-high-definition/

**Σχήμα 2.23**: http://www.esa.int/esaLP/ESAHTK1VMOC_LPgoce_1.html

**Σχήμα 2.24**: http://www.esa.int/esaLP/ESAHTK1VMOC_LPgoce_1.html

**Σχήμα 2.25**: http://nationalspacestudiescenter.files.wordpress.com/2010/09/goce.jpg

**Σχήμα 2.26**: https://earth.esa.int/web/guest/news/featured-stories/image-gallery1

**Σχήμα 2.27**:
http://www.awi.de/en/research/research_divisions/climate_science/climate_dynamics/research_projects/combination_of_gravity_observations_and_other_geodetic_parameters_with_ocean_models/

**Σχήμα 2.28**: http://www.physicalgeography.net/fundamentals/8q_1.html

**Σχήμα 3.3**: http://www.bigmarinefish.com/Atlantic_Hot_Spots.htm

**Σχήμα 3.6**: http://www.eoearth.org/article/Bay_of_Biscay?topic=49523
http://www.answers.com/topic/atlantic-ocean
http://www.1yachtua.com/meditmarinas/Mediterranean_Sailing/mediterranean_currents.shtm

**Σχήμα 3.7**: http://www.esa.int/SPECIALS/GOCE/index.html

**Σχήμα 3.8**:
http://portal.tugraz.at/portal/page/portal/Files/i5210/files/projekte/GOCOnAUT/EGU2011-10571-GOCO02S.pdf