



ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ, ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ ΚΑΙ

ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ

**Διερεύνηση αλλαγών της Στάθμης της Θάλασσας στην Κρήτη, με τη
χρήση της Δορυφορικής Αλτιμετρίας**

Πτυχιακή εργασία

Δέσποινα Μπάφη

Αθήνα, 2019



ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

**ΣΧΟΛΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ, ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ ΚΑΙ
ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ**

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή

**Παρχαρίδης Ισαάκ (Επιβλέπων) , Αναπληρωτής Καθηγητής, Τμήμα
Γεωγραφίας, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο**

**Καρύμπαλης Ευθύμιος, Αναπληρωτής Καθηγητής, Τμήμα Γεωγραφίας,
Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο**

**Πέτρος Κατσαφάδος, Αναπληρωτής Καθηγητής, Τμήμα Γεωγραφίας,
Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο**

Εγώ, Μπάφη Δέσποινα δηλώνω υπεύθυνα ότι:

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

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Κατά την ολοκλήρωση της παρούσας Πτυχιακής Εργασίας, θα ήθελα αρχικά να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή της εργασίας μου, τον κ. Ισαάκ Παρχαρίδη, για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε με την ανάθεση αυτής της εργασίας, καθώς και για την καθοδήγηση και τις στοχευμένες παρατηρήσεις του, καθ' όλη την διάρκεια της εκπόνησης της εργασίας μου.

Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά και την φοιτήτρια μεταπτυχιακού του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, Μαριάνθη Καραντζιά για πολύτιμη βοήθεια και συνεργασία της, καθώς και τον κ. Ευθύμιο Καρύμπαλη που βοήθησε στην συγγραφή και κατανόηση ορισμένων γεωλογικών θεμάτων σε αυτήν την Πτυχιακή Εργασία.

Επίσης, θεωρώ σημαντικό να ευχαριστήσω και την Ευρωπαϊκή Υπηρεσία Διαστήματος (ESA: European Space Agency) και συγκεκριμένα τους κύριους Jerome Benveniste, Marco Restano και Americo Ambrozio, για την συνεχή βοήθεια τους κατά την επεξεργασία των δεδομένων της πτυχιακής, καθώς και για την ευκαιρία που μου προσέφε η ESA ώστε να συμμετάσχω στο θερινό σχολείο 2018 που διεξήγαγε, με σκοπό την καλύτερη κατανόηση του θέματος το οποίο επέλεξα να εργαστώ σε αυτήν την πτυχιακή.

Στην οικογένεια και τους φίλους μου

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

Περίληψη στα Ελληνικά	8
Περίληψη στα Αγγλικά.....	9
Κατάλογος Εικόνων.....	10
Συντομογραφίες.....	11
Κατάλογος Χαρτών.....	12
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ^ο : Εισαγωγή.....	14
1.1 Σκοπός.....	15
1.2 Ιστορική Αναδρομή.....	16
1.3 Βιβλιογραφική Ανασκόπηση.....	17
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ^ο : Περί κλιματικής αλλαγής και αλλαγής στάθμης της θάλασσας.....	21
2.1 Δορυφορική Παρακολούθηση και Κλιματική αλλαγή.....	21
2.2 Δράσεις για την μελέτη της κλιματικής αλλαγής.....	22
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ^ο : Δορυφορική Αλτιμετρία.....	25
3.1 Εισαγωγή στην Αλτιμετρία.....	25
3.1.1 Συχνότητες.....	27
3.1.2 Έννοιες Αλτιμετρίας που θα αξιοποιηθούν για τα δεδομένα.....	28
3.1.3 Τύποι Αλτιμετρίας.....	30
3.2 Δορυφόροι Αλτιμετρίας.....	33
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ^ο : Περιγραφή της περιοχής μελέτης.....	41
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ^ο :Δεδομένα, Προγράμματα και Μεθοδολογία.....	43
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 ^ο : Επεξεργασία και Ανάλυση Δεδομένων.....	48
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 ^ο : Παρουσίαση Αποτελεσμάτων και Συζήτηση.....	60
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8 ^ο Συμπεράσματα.....	74
Βιβλιογραφία.....	76
Παράρτημα Χαρτών.....	78

Περίληψη

Όπως είναι γνωστό, η κλιματική αλλαγή και οι επιπτώσεις της είναι κάτι που απασχολεί πολύ τις σύγχρονες κοινωνίες. Για αυτόν τον λόγο, γίνονται πολλές προσπάθειες για την διερεύνηση, αλλά και κατανόηση των αλλαγών αυτών με διάφορα μέσα. Ένα από αυτά είναι και η παρακολούθηση της Γης με την χρήση δορυφορικών συστημάτων και δορυφορικών μεθόδων. Η μέθοδος της Δορυφορικής Αλτιμετρίας, η οποία αποτελεί και βασικό αντικείμενο της εργασίας, είναι ένα σπουδαίο μέσο παρακολούθησης και μελέτης των ωκεανογραφικών, κλιματολογικών, γεωφυσικών, και πολλών ακόμα φαινομένων.

Η παρούσα πτυχιακή απαρτίζεται από οκτώ επιμέρους κεφάλαια και φιλοδοξεί να μελετήσει το πώς η μέθοδος της Δορυφορικής Αλτιμετρίας, μπορεί να βοηθήσει στην καλύτερη διερεύνηση των αλλαγών στην Στάθμη της Θάλασσας, καθώς και των επιπτώσεών τους, εστιάζοντας στο νησί της Κρήτης ανά εξάμηνα, κατά την χρονική περίοδο 2010-2018, με την χρήση δεδομένων από τους δορυφόρους Cryosat-2 και Sentinel 3. Τα δεδομένα συλλέχθηκαν από την ελεύθερη πλατφόρμα G-POD της Ευρωπαϊκής Υπηρεσίας Διαστήματος (ESA) και επεξεργάστηκαν στο ελεύθερο λογισμικό BRAT. Τα αποτελέσματα αυτής της μελέτης έχουν ως σκοπό να αποκτηθεί μια γνώση όσον αφορά την άνοδο της στάθμης της θάλασσας στις ακτές της Κρήτης, πράγμα που θα μπορέσει να συμβάλει στην καλύτερη εκτίμηση της τρωτότητας των ακτών του νησιού.

Λέξεις Κλειδιά: Αλτιμετρία, Κρήτη, Στάθμη της Θάλασσας, BRAT, GPOD

Abstract

As it is known, climate change and its effects are very much of a concern for modern societies. For this reason, many attempts are being made in order to explore and understand these changes by using various methods and means. One of these means, is Earth Observation that uses satellite systems and satellite methods. The method of Satellite Alimetry, which is also the main subject of this study, is an important tool of monitoring and studying oceanographic, climatic, geophysical, and many other phenomena.

The main objective of this thesis, that is divided into eight chapters, is to study how the Satellite Alimetry can help to better explore changes in the sea level and their impacts, by focusing on the island of Crete during the period 2010-2018 which is divided into semesters, with data from the Cryosat-2 and Sentinel 3 satellites. Data was collected from ESA's free G-POD web portal and processed on BRAT free software. The results of this study aim on the rise of sea level on the coast of Crete, which will help to better assess the vulnerability of the coastline of the island.

Key Words: *Coastal Altimetry, Crete, Sea Level, BRAT, GPOD*

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1: Τυπική κυματομορφή ανακλώμενου παλμού ραντάρ δορυφορικού αλτιμέτρου.....	26
Εικόνα 2: Βασική Αρχή της Δορυφορικής Αλτιμετρίας.....	27
Εικόνα 3: CEOS EO Handbook: RADAR ALTIMETERS.....	30
Εικόνα 4: Αλτιμετρικές Αποστολές και ιδιότητες τους από το 2008 έως το 2022.....	33
Εικόνα 5: CryoSat-2.....	38
Εικόνα 6: Αποστολές διαθέσιμες στο G-POD και τρόπος λειτουργίας της πλατφόρμας.....	46
Εικόνα 7: Κεντρική Σελίδα της πλατφόρμας G-POD.....	46
Εικόνα 8: Επιλογή Υπηρεσιών.....	49
Εικόνα 9: Παραμετροποίηση για τον Cryosat-2.....	50
Εικόνα 10: Παραμετροποίηση για τον Sentinel3.....	52
Εικόνα 11: Workspace στο G-POD.....	53
Εικόνα 12: Ολοκλήρωση κατεβάσματος δεδομένων στο G-POD.....	54
Εικόνα 13: Παραμετροποίηση για εξαγωγή αποτελεσμάτων SSH του Cryosat-2 από το λογισμικό BRAT.....	55
Εικόνα 14: Παραμετροποίηση για εξαγωγή αποτελεσμάτων SLA του Cryosat-2 από το λογισμικό BRAT.....	56
Εικόνα 15: Αποτέλεσμα εφαρμογής του φίλτρου LOESS στα δεδομένα SSH του Cryosat-2 για το 3ο εξάμηνο (12/07/2011- 12/12.2011).....	56
Εικόνα 16: Παραμετροποίηση για αρχεία NetCDF και την παραγωγή αρχείου Raster.....	58

Συντομογραφίες

BRAT	Broadview Radar Altimetry Toolbox
CNES	Centre National d'Études Spatiales
ESA	European Space Agency
GPOD	Grid Processing On Demand
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NetCDF	Network Common Data Form
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
SAMOSA	SAR Altimetry Mode Studies and Applications
SAR	Synthetic Aperture Radar
SARVATORE	SAR Versatile Altimetric Toolkit for Ocean Research & Exploitation
SLA	Sea Level Anomaly
SSH	Sea Surface Height
UNEP	United Nations Environment Programme
WGS84	World Geodetic System 1984
WMO	World Meteorological Organization

Κατάλογος Χαρτών

Χάρτης 1: Χάρτης SSH που παράχθηκε στο ArcGIS από τα δεδομένα του δορυφόρου Cryosat-2 για το 3ο εξάμηνο (12/07/2011- 12/12/2011) στην Κρήτη.....	58
Χάρτης 2: Χάρτης SLA που παράχθηκε στο ArcGIS από τα δεδομένα του δορυφόρου Cryosat-2 για το 3ο εξάμηνο (12/07/2011- 12/12/2011) στην Κρήτη.....	59
Χάρτης 3: Χάρτης SLA (αριστερά) και SSH (Δεξιά) που παράχθηκε στο ArcGIS από τα δεδομένα του δορυφόρου Cryosat-2 για το 1ο εξάμηνο (10/09/2010- 10/02/2011) στην Κρήτη.....	62
Χάρτης 4: Χάρτης SLA (αριστερά) και SSH (Δεξιά) που παράχθηκε στο ArcGIS από τα δεδομένα του δορυφόρου Cryosat-2 για το 2ο εξάμηνο (11/02/2011- 11/07/2011) στην Κρήτη.....	63
Χάρτης 5: Χάρτης SLA (αριστερά) και SSH (Δεξιά) που παράχθηκε στο ArcGIS από τα δεδομένα του δορυφόρου Cryosat-2 για το 3ο εξάμηνο (12/07/2011- 12/12/2011) στην Κρήτη.....	64
Χάρτης 6: Χάρτης SLA (αριστερά) και SSH (Δεξιά) που παράχθηκε στο ArcGIS από τα δεδομένα του δορυφόρου Cryosat-2 για το 4ο εξάμηνο (13/12/2011- 13/05/2012) στην Κρήτη.....	65
Χάρτης 7: Χάρτης SLA (αριστερά) και SSH (Δεξιά) που παράχθηκε στο ArcGIS από τα δεδομένα του δορυφόρου Cryosat-2 για το 5ο εξάμηνο (14/05/2012- 14/10/2012) στην Κρήτη.....	66
Χάρτης 8: Χάρτης SLA (αριστερά) και SSH (Δεξιά) που παράχθηκε στο ArcGIS από τα δεδομένα του δορυφόρου Cryosat-2 για το 6ο εξάμηνο (15/10/2012- 15/03/2013) στην Κρήτη.....	67
Χάρτης 9: Χάρτης SLA (αριστερά) και SSH (Δεξιά) που παράχθηκε στο ArcGIS από τα δεδομένα του δορυφόρου Cryosat-2 για το 8ο εξάμηνο (17/08/2013- 17/01/2014) στην Κρήτη.....	68
Χάρτης 10: Χάρτης SLA (αριστερά) και SSH (Δεξιά) που παράχθηκε στο ArcGIS από τα δεδομένα του δορυφόρου Cryosat-2 για το 11ο εξάμηνο (20/11/2014- 20/04/2015) στην Κρήτη.....	69
Χάρτης 11: Χάρτης SLA (αριστερά) και SSH (Δεξιά) που παράχθηκε στο ArcGIS από τα δεδομένα του δορυφόρου Cryosat-2 για το 12ο εξάμηνο (21/04/2015- 21/09/2015) στην Κρήτη.....	70
Χάρτης 12: Χάρτης SLA (αριστερά) και SSH (Δεξιά) που παράχθηκε στο ArcGIS από τα δεδομένα του δορυφόρου Cryosat-2 για το 13ο εξάμηνο (22/09/2015- 22/02/2016) στην Κρήτη.....	71
Χάρτης 13: Χάρτης SSH (αριστερά) και SLA (Δεξιά) που παράχθηκε στο ArcGIS από τα δεδομένα του δορυφόρου Sentinel 3 για το 1ο εξάμηνο (19/06/2016- 19/11/2016) και για το 2ο εξάμηνο (20/11/2016- 20/04/2017) στην Κρήτη.....	72
Χάρτης 14: Χάρτης SSH (αριστερά) και SLA (Δεξιά) που παράχθηκε στο ArcGIS από τα δεδομένα του δορυφόρου Sentinel 3 για το 3ο εξάμηνο (21/04/2017- 21/09/2017) και για το 4ο εξάμηνο (22/09/2017- 22/01/2018) στην Κρήτη.....	73
Χάρτης 15: Χάρτης SSH (που παράχθηκε στο ArcGIS από τα δεδομένα του δορυφόρου Cryosat-2 για το 7ο εξάμηνο (16/03/2013- 16/08/2013) στην Κρήτη...	78

Χάρτης 16: Χάρτης SLA (που παράχθηκε στο ArcGIS από τα δεδομένα του δορυφόρου Cryosat-2 για το 7ο εξάμηνο (16/03/2013- 16/08/2013) στην Κρήτη.....	79
Χάρτης 17: Χάρτης SSH που παράχθηκε στο ArcGIS από τα δεδομένα του δορυφόρου Cryosat-2 για το 9ο εξάμηνο (18/01/2014- 18/06/2014) στην Κρήτη.....	80
Χάρτης 18: Χάρτης SLA που παράχθηκε στο ArcGIS από τα δεδομένα του δορυφόρου Cryosat-2 για το 9ο εξάμηνο (18/01/2014- 18/06/2014) στην Κρήτη.....	81
Χάρτης 19: Χάρτης SSH που παράχθηκε στο ArcGIS από τα δεδομένα του δορυφόρου Cryosat-2 για το 10ο εξάμηνο (19/06/2014- 19/11/2014) στην Κρήτη.....	82
Χάρτης 20: Χάρτης SLA που παράχθηκε στο ArcGIS από τα δεδομένα του δορυφόρου Cryosat-2 για το 10ο εξάμηνο (19/06/2014- 19/11/2014) στην Κρήτη.....	83
Χάρτης 21: Χάρτης SSH που παράχθηκε στο ArcGIS από τα δεδομένα του δορυφόρου Cryosat-2 για το 14ο εξάμηνο (23/02/2016- 23/007/2016) στην Κρήτη.....	84
Χάρτης 22: Χάρτης SLA που παράχθηκε στο ArcGIS από τα δεδομένα του δορυφόρου Cryosat-2 για το 14ο εξάμηνο (23/02/2016- 23/07/2016) στην Κρήτη.....	85
Χάρτης 23: Χάρτης SSH που παράχθηκε στο ArcGIS από τα δεδομένα του δορυφόρου Cryosat-2 για το 15ο εξάμηνο (24/07/2016- 24/12/2016) στην Κρήτη.....	86
Χάρτης 24: Χάρτης SLA που παράχθηκε στο ArcGIS από τα δεδομένα του δορυφόρου Cryosat-2 για το 15ο εξάμηνο (24/07/2016- 24/12/2016) στην Κρήτη.....	87
Χάρτης 25: Χάρτης SSH που παράχθηκε στο ArcGIS από τα δεδομένα του δορυφόρου Cryosat-2 για το 16ο εξάμηνο (25/12/2016- 25/05/2017) στην Κρήτη.....	88
Χάρτης 26: Χάρτης SLA που παράχθηκε στο ArcGIS από τα δεδομένα του δορυφόρου Cryosat-2 για το 16ο εξάμηνο (25/12/2016- 25/05/2017) στην Κρήτη.....	89
Χάρτης 27: Χάρτης SSH που παράχθηκε στο ArcGIS από τα δεδομένα του δορυφόρου Cryosat-2 για το 17ο εξάμηνο (26/05/2017- 26/11/2017) στην Κρήτη.....	90
Χάρτης 28: Χάρτης SLA που παράχθηκε στο ArcGIS από τα δεδομένα του δορυφόρου Cryosat-2 για το 17ο εξάμηνο (26/05/2017- 26/11/2017) στην Κρήτη.....	91

1. Εισαγωγή

Η αλλαγή της στάθμης της θάλασσας επηρεάζει πολύ τις παράκτιες ζώνες, οι οποίες όπως γνωρίζουμε, συνιστούν ένα δυναμικό και τρωτό χώρο, αφού είναι κέντρο δημογραφικής και οικονομικής ανάπτυξης. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την μεταβολή χρήσεων γης και σε αρκετές περιπτώσεις σε συνδυασμό με την γεωμορφολογία, οδηγούν σε περιβαλλοντικές καταστροφές, διατάραξη της οικολογικής ισορροπίας και στην απώλεια ανθρώπων και υλικών αγαθών (Καρτάλης, Φειδάς, 2013). «Ο ορισμός και ο καθορισμός της θαλάσσιας στάθμης, είναι πολύ δύσκολος διότι η επιφάνεια των θαλασσών και των ωκεανών δεν είναι επίπεδη και επηρεάζεται από πολλές διεργασίες τόσο μικρής όσο και μεγάλης περιόδου. Η θαλάσσια στάθμη ορίζεται σαν το μέσο ύψος της επιφάνειας της θάλασσας» (Καρύμπαλης, 2010). Οι μελέτες που αφορούν την παρακολούθηση των παράκτιων περιοχών μας βοηθούν να εκτιμήσουμε και την παράκτια τρωτότητα. Η παράκτια τρωτότητα ουσιαστικά, σχετίζεται με τον κίνδυνο, ο οποίος ποσοτικά εκφράζεται από την πιθανότητα να προκληθούν ζημιές στην παράκτια ζώνη, από την επίδραση επικίνδυνων, πλημμυρικών γεγονότων. «Οι Klein και Nicholls όρισαν την παράκτια τρωτότητα ως τη σύνθεση της επικινδυνότητας του φυσικού παράκτιου συστήματος και της επικινδυνότητας του κοινωνικοοικονομικού παράκτιου συστήματος λόγω των κλιματικών αλλαγών» (Δουκάκης, 2007). Ο στόχος των διαστημικών αποστολών που είναι αφιερωμένα στην μελέτη της κλιματικής αλλαγής είναι να μετρήσουν κάποια χαρακτηριστικά κλειδιά του πλανήτη για να βελτιώσουμε την αντίληψή μας και την ικανότητά μας να προβλέπουμε πως αυτά αλλάζουν. Ένας από τους λόγους που οι δορυφόροι είναι ιδιαίτερα χρήσιμα εργαλεία για αυτόν τον σκοπό, είναι γιατί μπορούν να χρησιμοποιηθούν για παγκόσμια, επαναλαμβανόμενη και αυτόματη παρατήρηση ολόκληρου του πλανήτη (Cracknell, Clavaud & Roca, 2015). Τα αλτιμετρικά ραντάρ τα οποία αξιοποιούνται στην παρούσα εργασία, εκπέμπουν μικροκυματική ακτινοβολία προς την Γη και μετά λαμβάνοντας πίσω την ηχώ που αντανακλάται από την επιφάνειά της, μετράνε τον χρόνο που έκανε το σήμα για να πάει και να επιστρέψει στον δορυφόρο και έτσι μπορούν να μας δώσουν πληροφορίες για διάφορα υψόμετρα στην επιφάνεια της Γης, όπως ωκεανών, πάγων, λίμνες, ποτάμια και όλα αυτά με μεγάλη ακρίβεια. Όταν χρησιμοποιούνται

στους ωκεανούς μπορούν να δώσουν και πληροφορίες για το ύψος των κυμάτων και την ταχύτητα των ανέμων. Όλα αυτά τα δεδομένα είναι πολύ σημαντικά για την παρακολούθηση του κλίματος και των ωκεανών (Cracknell, Clavaud & Roca, 2015). Εστιάζοντας τώρα στην Δορυφορική Αλτιμετρία, που θα μελετηθεί σε αυτήν την εργασία, είναι η τεχνική μέτρησης του υψομέτρου της επιφάνειας της θάλασσας και των διακυμάνσεών της με ηλεκτρομαγνητικά σήματα που εκπέμπονται από τον δορυφόρο προς την επιφάνειά της και στόχος είναι να προσδιοριστεί το ύψος της θαλάσσιας επιφάνειας με μεγάλη ακρίβεια (Μερτίκας, 2017). Όταν καθορίσουμε την επιφάνεια της θάλασσας μπορούμε να έχουμε πληροφορίες για τη βαθυμετρία, το γεωειδές, τα ρεύματα, την κυκλοφορία των ωκεανών, την αλλαγή του κλίματος μέσω παρακολούθηση της στάθμης της θάλασσας, κλπ. (Μερτίκας, 2017). Τα τελευταία 30 χρόνια έχει γίνει μεγάλη πρόοδος και η τεχνική αυτή αποτελεί κλειδί για την παρακολούθηση της δυναμικής των ωκεανών. Αυτές οι συνεχείς προσπάθειες για την εξέλιξη αυτής της τεχνικής από την δεκαετία του 1970 μέχρι και σήμερα και έχει ακόμα πολλές δυνατότητες οι οποίες ελπίζουμε να αξιοποιηθούν στο μέλλον (Deng Xiaoli et. al 2016).

1.1 Σκοπός

Σκοπός της παρούσας μελέτης είναι να ερμηνεύσει τις αλλαγές που συμβαίνουν στην στάθμη της θάλασσας στην Κρήτη, με τη χρήση της Δορυφορικής Αλτιμετρίας, καθώς όπως είπαμε η αλλαγή της στάθμης της θάλασσας επηρεάζει πολύ τις παράκτιες ζώνες, οι οποίες είναι πολύ σημαντικές, καθώς μεγάλη ανθρώπινη δραστηριότητα συγκεντρώνεται εκεί. Αυτή η προσπάθεια θα γίνει με δεδομένα SAR που προέρχονται από τους δορυφόρους Cryosat-2 και Sentinel 3 και έχουν συλλεχθεί από την πλατφόρμα GPOD της Ευρωπαϊκής Υπηρεσίας Διαστήματος (ESA).

Στην πλατφόρμα υπάρχει η δυνατότητα επεξεργασίας L1b (Full Bit Rate- FBR) για να παραχθούν γεωφυσικά δεδομένα L2. Τα αρχεία εξόδου είναι σε μορφή NetCDF τα οποία την συνέχεια επεξεργάστηκαν στο ελεύθερο λογισμικό BRAT, ένα πρόγραμμα που αποτελεί συνεργασία της ESA και του Εθνικού Κέντρου Διαστημικών Μελετών (CNES). Από το BRAT, έχουν εξαχθεί εικόνες Sea Surface Height (SSH) και Sea Level Anomaly (SLA), για όλη την περίοδο 2010-2017 η οποία έχει χωριστεί σε εξάμηνα,

έχουμε ένα σύνολο 21 εξαμήνων. Συνεπώς, συνολικά έχουμε 43 εικόνες, 21 εικόνες SSH και 21 εικόνες SLA για κάθε εξάμηνο της περιόδου μελέτης, καθώς και μια εικόνα που περιέχει τα δεδομένα για όλη την χρονική περίοδο.

1.2 Ιστορική Αναδρομή

Η δορυφορική Αλτιμετρία είναι μια τεχνική που έχει αναπτυχθεί ραγδαία τα τελευταία 20 χρόνια. Οι αρχές της τεχνικής αυτής είχαν οραματιστεί από την δεκαετία του '60 και αναγνωρίστηκε ως τεχνική υψηλής προτεραιότητας στο Williamstown Symposium το 1969. Από τα πρώτα αντικείμενα που κλήθηκε να μετρήσει η Δορυφορική Αλτιμετρία ήταν το σχήμα της Γης και παρόλο που δεν φαίνεται ως ένας στόχος ιδιαίτερα σημαντικός για τα σημερινά δεδομένα, αξίζει να αναφερθεί ότι η πρώτη μέτρηση ήταν σε ακρίβεια της τάξεως των 100m και είχε αρκετά σφάλματα (Vignudelli, Kostianoy, Cipollini, Benveniste, 2011). Υπήρξαν συνεχείς προσπάθειες για την τεχνολογική εξέλιξη της αλτιμετρίας και οδήγησε στο πρώτο δορυφορικό αλτίμετρο, που ανήκε στον αμερικάνικο δορυφόρο SKYLAB που εκτοξεύθηκε το 1973 και από τότε έχουν επιτευχθεί σημαντικές τεχνολογικές εξελίξεις. «Πλέον προσδιορίζουμε το υψόμετρο της επιφάνειας της θάλασσας από δορυφόρους με ακρίβεια εκατοστού κάθε 1s (ή και με ρυθμούς 20-40 φορές σε 1s, με ταχύτητα δηλαδή δειγματοληψίας 20-40Hz) και από ύψος περίπου 800-1300 km πάνω από την επιφάνεια της Γης» (Μερτίκας, 2016). Άλλες σημαντικές αποστολές ήταν το GEOS-3 (9 Απριλίου 1975- Δεκέμβριος 1978) και του Seasat (Ιούνιος 1978- Οκτώβριος 1978). Μετά την έλευση οργάνων μεγάλης ακρίβειας να πετάνε σε γνωστές τροχιές, η αλτιμετρία άρχισε να μας δίνει σπουδαίες πληροφορίες για την Γεωδαισία, την Ωκεανογραφία, τους παγετώνες και πολλά άλλα. Μετά τον Seasat ο οποίος αποτέλεσε έμπνευση για την NASA, την ESA, τον Αμερικάνικο στρατό και τον Γαλλικό Διαστημικό Οργανισμό CNES, οδήγησε στην δημιουργία του Geosat, το Ευρωπαϊκό Δορυφορικό Πρόγραμμα Τηλεπισκόπησης που έφερε το ERS-1 και αργότερα το

ERS-2. Παράλληλα η NASA αναπτύσσει το Τοπογραφικό Πείραμα (Topographic Experiment) και ο CNES το Πρόγραμμα Poseidon, τα οποία κατέληξαν να δουλεύουν μαζί στην αποστολή TOPEX/Poseidon. Το Geosat δημιουργήθηκε από τον Αμερικάνικο Στρατό το 1985 και ήταν από τους δορυφόρους που σε συνδυασμό με

τα δεδομένα του ERS-1 μας δώσανε μια καλή εικόνα του θαλάσσιου γεωειδούς και την τοπογραφία του θαλάσσιου πυθμένα πριν την έλευση των GRACE και GOCE, καθώς επίσης μας έδωσε και μια πολύ καλή εικόνα του φαινομένου El Niño.

Μια λιγότερο γνωστή εξέλιξη στην δορυφορική αλτιμετρία αποτελεί μια σειρά από Ρωσικές Αλτιμετρικές αποστολές με το πρόγραμμα GEOIK το οποίο έφερε πολλές καινοτομίες όπως το σύστημα Doppler ένα αλτίμετρο 9.5GHz, κ.α. Ξεκίνησε το 1985 για να λάβει ένα σύστημα αναφοράς και το βαρυτικό πεδίο για την Γη που ονομάστηκε EP-90, αυτά τα δεδομένα ήταν απόρρητα και έγιναν προσβάσιμα το 1992 όπου δόθηκαν στην Ρωσική Ακαδημία των Επιστημών. Παρόλα αυτά, το επίπεδο αυτών των οργάνων δεν επέτρεπε την χρήση τους για ωκεανογραφικά στοιχεία. Μέχρι τότε όμως, σύσσωμη η επιστημονική κοινότητα είχε επικεντρωθεί και δούλευε συστηματικά στο πρόγραμμα TOPEX/Poseidon, με τακτικές συναντήσεις και θεωρείται πως αυτό το πρόγραμμα είναι αυτό που συντέλεσε ώστε να γίνουν τα μεγαλύτερα βήματα για την περαιτέρω εξέλιξη της Δορυφορικής Αλτιμετρίας. Το πρόγραμμα TOPEX/Poseidon είναι ένα επίτευγμα 20 χρόνων προσπάθειών τεχνολογικής ανάπτυξης (Vignudelli, Kostianoy, Cipollini, Benveniste, 2011).

Αυτό που συνειδητοποιούμε μετά την παράθεση όλων των παραπάνω, είναι πως εκτός του ότι η Αλτιμετρία είναι ένα νέο αντικείμενο που αποτελεί ένα πολύτιμο εργαλείο για την καλύτερη κατανόηση πολλών φαινομένων, είναι και μια τεχνική που συνεχώς εξελίσσεται και θα μας προσφέρει πολλά περισσότερα στο μέλλον.

1.3 Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

Καθώς η Αλτιμετρία μας βοηθάει να αποκτήσουμε μια εικόνα για την κλιματική αλλαγή και γενικά αποτελεί εργαλείο για πολλές εφαρμογές, πολλοί επιστήμονες εκδηλώνουν ενδιαφέρον για την μελέτη της τεχνικής αυτής. Παρακάτω παραθέτονται συγγράμματα και έρευνες που αφορούν την Αλτιμετρία και που προσέφεραν πολύτιμες πληροφορίες για την ολοκλήρωση της παρούσας πτυχιακής εργασίας.

Οι **Cazenave A., Cabanes C, Domihn K., Mangiarotti S.** (2001) στην έρευνά τους «**Recent Sea Level Change in the Mediterranean Sea Revealed by TOPEX/Poseidon Satellite Altimetry**» όπου αξιοποίησαν τα αλτιμετρικά δεδομένα του Topex/Poseidon που είναι διαθέσιμα, απέδειξαν πως στην ανατολική Μεσόγειο η στάθμη της θάλασσας είχε συνεχή άνοδο κατά τα έτη 1993-1999, με έναν ρυθμό της τάξεως των 20 mm/yr στην νοτιοανατολική Κρήτη. Πιστεύουν ότι αυτές οι αυξομειώσεις στην θαλάσσια στάθμη πιθανόν οφείλονται σε δυο λόγους. Ο πρώτος εστιάζει στο γεγονός ότι, υπάρχει αλλαγή στον όγκο εξαιτίας αλλαγών πυκνότητας. Οι αλλαγές στην πυκνότητα οφείλονται στις μεταβολές αλατότητας και της θερμοκρασίας. Ο δεύτερος λόγος είναι, στην αλλαγή μάζας νερού που ανταλλάσσεται μεταξύ της ατμόσφαιρας και της ξηράς με τις διαδικασίες της εξάτμισης, των κατακρημνίσεων και των ποτάμιων απορροών. Αναφέρουν πως παρόλο που υπάρχει αυτή η μεταβολή δεν μπορούν με μόνο αυτά τα δεδομένα να έχουν μια ξεκάθαρη εικόνα για το αν αυτές οι μεταβολές στην επιφάνεια της θάλασσας, θα συνεχίσουν στο μέλλον ή απλά πρόκειται για μεταβολές που παρατηρήθηκαν μόνο αυτήν την δεκαετία. Συνεπώς, προτείνουν την διαρκή παρακολούθηση αυτών των περιοχών αφού η στάθμη της θάλασσας έδειξε ανοδική τάση.

Οι **Vignudelli S., Kostianoy A.G., Cipollini P., Benveniste J.** (2011), στο σύγγραμμά τους «**Coastal Altimetry**» σε συνεργασία με άλλους επιστήμονες, από πολλά ερευνητικά κέντρα, οργανισμούς και πανεπιστήμια που ασχολούνται με την Παράκτια Αλτιμετρία παραθέτουν τις έρευνές τους. Στόχος τους είναι να μας παρουσιάσουν την σημαντικότητα αυτής της τεχνικής, που εντοπίζεται στο γεγονός ότι μπορεί να αποτυπώνει την δυναμική των ωκεανών και να εστιάζει στις παράκτιες ζώνες, δίνοντας ανεκτίμητες πληροφορίες για την παγκόσμια στάθμη της θάλασσας, ιδιαιτέρως σε αυτές τις στιγμές που η κλιματική αλλαγή γίνεται όλο και πιο αισθητή.

Οι **Δεληκαράογλου Δ. και Δεληκαράογλου Σ.** (2012), στο άρθρο τους «**Η συνεισφορά των Αλτιμετρικών Γεωδαιτικών Δορυφόρων στην Χαρτογράφηση του Ελληνικού Θαλάσσιου Χώρου**» αναφέρουν την σπουδαιότητα που έχει η αξιοποίηση όλων αυτών των δεδομένων για μια χώρα σαν την Ελλάδα που είναι

κατεξοχήν παράκτια, έτσι ώστε να υπάρχουν καλύτεροι τρόποι αντιμετώπισης, κατανόησης και μελέτης των φυσικών φαινομένων που επηρεάζουν το θαλάσσιο περιβάλλον, καθώς και στην εξυπηρέτηση εθνικών αναγκών όπως η ναυσιπλοΐα, η εθνική άμυνα, η προαγωγή των θαλάσσιων επιστημονικών ερευνών και την χωροθέτηση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας. Στην συνέχεια περιγράφουν τους κυματισμούς και ορισμένα χαρακτηριστικά τους που μας βοηθάνε να καταλάβουμε πώς να εξηγήσουμε την ενέργεια που φέρουν. Έπειτα εστιάζουν στον σημαντικό ρόλο της Αλτιμετρίας στην προσπάθεια αξιολόγησης του ενεργειακού δυναμικού των θαλάσσιων περιοχών, όπου συμβάλλει στη δημιουργία δεδομένων, που στόχο έχουν να βελτιστοποιήσουν τη χρήση του θαλάσσιου χώρου και των ωκεανών.

Ο **Μερτίκας Σ.Π (2016)**, στο σύγγραμμά του **«Εισαγωγή στην Γεωδαισία του Δορυφορικού Εντοπισμού και την Αλτιμετρία»**, περιγράφει βασικές και θεμελιώδεις έννοιες της Γεωδαισίας, του δορυφορικού εντοπισμού και της αλτιμετρίας. Το ενδέκατο κεφάλαιο εστιάζει στην Αλτιμετρία και δίνει έμφαση στη σπουδαιότητα αυτής της τεχνικής σε θέματα που αφορούν την δυναμική των ωκεανών και την αποτελεσματικότητα της τεχνικής αυτής στον καθορισμό του ύψους της θαλάσσιας επιφάνειας με μεγάλη ακρίβεια. Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο αναφέρει τον τρόπο λειτουργίας και βασικές αρχές της τεχνικής της αλτιμετρίας (κυματομορφές, συμπίεση παλμού ραντάρ, τι επηρεάζει το σήμα, κλπ), τους διάφορους τύπους αλτιμετρίας (παλμικά πεπερασμένα, δεσμικά πεπερασμένα, Αλτιμετρία SAR(Doppler)), τις διεργασίες στην επιφάνεια της θάλασσας και πως επηρεάζουν τις μετρήσεις της.

Οι **Xiaohong Sui Running Zhang Falin Wu, Yang Li Xiaoyun Wan (2017)**, στο άρθρο τους **«Sea surface height measuring using InSAR altimeter»** συγκρίνουν την συμβατική αλτιμετρία με την αλτιμετρία που χρησιμοποιεί το αλτιμετρικό όργανο InSAR. Η πρώτη, είναι μονοδιάστατη μέτρηση με χαμηλή ανάλυση και τους περιορισμούς (nadir radar altimetry) που υπάρχουν για την αλτιμετρία, ενώ το δεύτερο παράγει δεδομένα με υψηλή ανάλυση, καθώς χρησιμοποιεί το όργανο InSAR αντί για το nadir radar altimetry της πρώτης μεθόδου. Η εργασία επικεντρώνεται σε μια μέθοδο ανίχνευσης με echo-tracking, για το σύστημα ύψους

InSAR, προκειμένου να διορθωθούν οι μετρήσεις κλίσης και τελικά να βελτιωθεί η ακρίβεια μέτρησης ύψους σε επίπεδο εκατοστών. Προσωμοιώσεις του ύψους της θαλάσσιας επιφάνειας εφαρμόζονται στο τέλος της εργασίας δείχνουν ότι με διορθωμένες κλίσεις (slant range), η ακρίβεια του InSAR altimetry μπορεί να είναι πολύ καλύτερη από την συμβατική.

Οι **Idžanović M., Ophaug V., Andersen O. B. (2017)**, στην έρευνά τους «**Coastal sea level from CryoSat-2 SAR in altimetry in Norway**» κάνουν αναφορά στο γεγονός ότι η αλτιμετρία μπορεί να δώσει καλά αποτελέσματα για το ύψος της επιφάνειας της θάλασσας της τάξεως ορισμένων εκατοστών στον ανοικτό ωκεανό. Όμως όταν μιλάμε για παράκτιες περιοχές ή περιοχές που παρεμβάλλονται ηπειρωτικές περιοχές όπως η Νορβηγία με τα Φιόρδ, υπάρχουν πολλοί παράγοντες που μπορούν να υποβιβάσουν την ποιότητα των δεδομένων. Εστιάζουν στην χρήση του δορυφόρου CryoSat-2 και συγκρίνουν μια σειρά από δεδομένα για Sea Level Anomalies με μια σειρά από δεδομένα in situ για αλλαγή της θαλάσσιας στάθμης με 22 παλίρροιες. Από αυτήν την σύγκριση μπορούν να συλλέξουν σημαντικά δεδομένα για τις παλίρροιες, για την πίεση του αέρα κλπ. Στο τέλος πραγματοποιούν την ίδια ανάλυση και με άλλες αλτιμετρικές αποστολές, τις Envisat, SARAL/AltiKa, και Jason-2. Τελικά, αποδεικνύεται ότι τα δεδομένα της συμβατικής αλτιμετρίας έχουν καλύτερη συμφωνία με τις in situ μετρήσεις, ενώ για την αλτιμετρία SAR τα δεδομένα γίνονται καλύτερα όσο απομακρυνόμαστε από τις ακτές.

2. Περί Κλιματικής Αλλαγής και αλλαγής της Στάθμης της Θάλασσας

Ο άνθρωπος ανέκαθεν, ήθελε να γνωρίζει οτιδήποτε γίνεται γύρω του έτσι ώστε να είναι σε θέση να επιβιώνει και να αντιμετωπίζει ότι μπορεί να αναχαιτίσει τα σχέδιά του. Ορισμένες φορές όμως αυτή η τάση του ανθρώπου να ελέγχει τα πάντα οδηγεί σε ραγδαίες αλλαγές, οι οποίες δεν είναι πάντα προς το καλύτερο. Καθώς η κλιματική αλλαγή είναι κάτι που ενδιαφέρει πολύ τις σύγχρονες κοινωνίες, τις τελευταίες δεκαετίες έχουν γίνει τεράστια βήματα για την καλύτερη κατανόηση τόσο του πλανήτη στο οποίο ζούμε όσο και στο ότι βρίσκεται εκτός από αυτόν και τον επηρεάζει. Ταυτόχρονα με την κατανόηση των παραπάνω, γίνονται και προσπάθειες να μελετηθούν και οι μεταβολές που υφίσταται ο πλανήτης μας, καθώς και τα προβλήματα που μπορεί να προέλθουν από τις μεταβολές αυτές, έτσι ώστε να είμαστε σε θέση να αποτρέψουμε κάποια φυσικά, και όχι μόνο, φαινόμενα από το να πλήξουν τις κοινωνίες μας.

2.1 Δορυφορική Παρακολούθηση και κλιματική αλλαγή

Ένα από αυτά τα βήματα που συντέλεσαν στην ερμηνεία και κατανόηση πολλών φαινομένων είναι η παρατήρηση της Γης με την χρήση δορυφόρων και κατ' επέκταση της μεθόδου που θα μελετηθεί στην παρούσα πτυχιακή εργασία, τη Δορυφορική Αλτιμετρία. Όπως αναφέραμε και παραπάνω, οι δορυφόροι είναι ιδιαίτερα χρήσιμα εργαλεία, γιατί μπορούν να δώσουν άμεσα και γρήγορα πληροφορίες για ολόκληρο τον πλανήτη. Επίσης, τα δορυφορικά δεδομένα μπορούν να μας δίνουν δεδομένα σε σταθερή βάση, γεγονός που βοηθάει πολύ στην εκτίμηση αλλαγών στο περιβάλλον, με την σύγκριση εικόνων που έχουν ληφθεί σε διάφορες χρονικές εποχές, χρόνια κλπ. και όλα αυτά με μεγάλη ακρίβεια (Καρτάλης & Φειδάς, 2015). Συνεπώς, η δορυφορική παρακολούθηση μπορεί και μας δίνει και πιο συγκεκριμένες πληροφορίες για ένα μεγάλο εύρος μεταβλητών που αφορούν το κλίμα, όπως θερμοκρασία της επιφάνειας και ωκεανών, διαφόρων στρωμάτων της ατμόσφαιρας, στάθμη της θάλασσας, πάχος των πάγων, βροχή, βλάστηση, κλπ.

(Cracknell, Clavaud & Roca, 2015).

Για την καλύτερη μελέτη της κλιματικής αλλαγής και πιο συγκεκριμένα, της αλλαγής της στάθμης της θάλασσας, αλλά και γενικά οποιουδήποτε φαινομένου, είναι αναγκαίο όλες οι επιστημονικές κοινότητες, καθώς και οι κοινότητες που επεξεργάζονται δορυφορικά δεδομένα, να συνεργαστούν για την δημιουργία κλιματικών μεταβλητών και μοντέλων που θα μπορούν να κάνουν καλύτερες προγνώσεις και να μελετήσουν διαχρονικά και αποτελεσματικότερα τις κλιματικές αλλαγές (Cracknell, Clavaud & Roca, 2015). Η χρήση των δορυφόρων για την παρακολούθηση του κλίματος και του εντοπισμού των επιδράσεων της ανθρώπινης δραστηριότητας, είναι ίσως από τις πιο σημαντικές χρήσεις, καθώς είναι και αυτή που γίνεται σε πολύ γρήγορους ρυθμούς. Επομένως, τα δορυφορικά δεδομένα με τα πλεονεκτήματα που αναφέραμε παραπάνω, αποκτούν κυρίαρχο ρόλο στην ανάλυση και πρόβλεψη της κλιματικής αλλαγής.

2.2 Δράσεις για την μελέτη της κλιματικής αλλαγής

Καθώς όπως είδαμε, η καλύτερη έρευνα και πρόγνωση της Κλιματικής Αλλαγής, αποτελεί ένα μείζον θέμα για την διασφάλιση των ανθρώπινων κοινωνιών και της οικονομίας, εκδηλώνεται μεγάλο ενδιαφέρον και γίνονται πολλές δράσεις για από διάφορους οργανισμούς για να επιτευχθεί αυτός ο σκοπός, θεωρείται σημαντικό να αναφερθούμε συνοπτικά σε ορισμένες από αυτές δράσεις.

Copernicus (ESA): Αναφορικά με την Ευρώπη, έχει σημειώσει μεγάλη πρόοδο τα τελευταία πέντε χρόνια με πολλά προγράμματα για όπως οι αποστολές Sentinel για το πρόγραμμα Copernicus. «Το Ευρωπαϊκό πρόγραμμα Copernicus χρησιμοποιεί ακριβή και έγκαιρα δεδομένα από τους δορυφόρους παρατήρησης της Γης και άλλες πηγές για την παροχή βασικών υπηρεσιών πληροφοριών για να βελτιώσει τον τρόπο διαχείρισης του περιβάλλοντος, την άμβλυνση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής, ενώ θα επιτρέψει τη δημιουργία νέων εφαρμογών και υπηρεσιών για τους πολίτες και τις επιχειρήσεις, και θα συμβάλλει στη διασφάλιση της καθημερινής ζωής» (ESA, 2014). Πιο συγκεκριμένα, η ESA σκοπεύει να παρακινήσει πολλούς επιστήμονες στην Ευρώπη να δημιουργήσουν συνεχής

καταγραφές δεδομένων, τις οποίες ονομάζει ‘Essential Climate Variables’, από όλους τους δορυφόρους με απώτερο σκοπό να αναλυθεί η κλιματική αλλαγή και τα μοτίβα που ακολουθούνται έτσι όπως προκύπτουν από την μελέτη των σταθερών και διαχρονικών δεδομένων (Cracknell, Clavaud & Roca, 2015). Συγκεκριμένα στο πρόγραμμα Copernicus έχει δημιουργηθεί μια ξεχωριστή υπηρεσία για την Κλιματική Αλλαγή, η οποία θα διασφαλίσει την μακροχρόνια λειτουργική διαθεσιμότητα των καλής ποιότητας κλιματικών δεδομένων.

IPCC: Η Διακυβερνητική Επιτροπή για την Αλλαγή του Κλίματος (Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC) είναι επιστημονική διακυβερνητική επιτροπή υπό την αιγίδα του Οργανισμού Ηνωμένων Εθνών. Η IPCC ιδρύθηκε από τον Παγκόσμιο Μετεωρολογικό Οργανισμό (World Meteorological Organization- WMO) και το Πρόγραμμα Περιβάλλοντος των Ηνωμένων Εθνών (United Nations Environment Programme (UNEP) το 1988. Ο σκοπός της επιτροπής είναι η αξιολόγηση της επιστημονικής γνωστικής βάσης και των ερευνών που διεξάγονται για τη μελέτη των κλιματικών αλλαγών. Οι συνέπειες των κλιματικών μεταβολών που προέρχονται από ανθρώπινη δραστηριότητα ελέγχονται επίσης από την επιτροπή η οποία στην συνέχεια προσπαθεί να κάνει δράσεις και να δημιουργήσει πολιτικές που θα αποτρέψουν επερχόμενους κινδύνους. Μέχρι το 2017 έχουν δημοσιευθεί πέντε εκθέσεις (1990, 1995, 2001, 2007 και 2014) σχετικά με τις κλιματικές αλλαγές που έχουν παρατηρηθεί και τις πιθανές επιπτώσεις αυτών. Οι εκθέσεις της IPCC αποτελούν σημείο αναφοράς για τα ζητήματα που άπτονται της παγκόσμιας θέρμανσης και βασίζονται σε επιστημονικές δημοσιεύσεις ειδικών ερευνητών.

Η επιτροπή είναι ένα διακυβερνητικό σώμα, προσβάσιμο σε όλες τις χώρες μέλη του Παγκόσμιου Μετεωρολογικού Οργανισμού και του Προγράμματος για το Περιβάλλον του ΟΗΕ. Μια φορά κάθε χρόνο, προκειμένου να καθοριστεί η εσωτερική λειτουργία, οι αρχές και το πρόγραμμα εργασίας, καθώς και για να εγκριθούν οι εκθέσεις της, συγκαλείται η επιτροπή. Αποτελείται από τρεις ομάδες εργασίας, η πρώτη αναφέρεται στην αξιολόγηση των επιστημονικών παραμέτρων των κλιματικών μεταβολών, η δεύτερη ομάδα εστιάζει στις επιπτώσεις, την προσαρμογή και τρωτότητα που προκύπτει από τις μεταβολές αυτές και την τρίτη ομάδα που αφορά τις διάφορες πολιτικές και δράσεις που μπορούν να εφαρμοστούν για την αντιμετώπιση και τελικώς μείωση των επιπτώσεων της

κλιματικής αλλαγής. Η επιτροπή δεν εξάγει έρευνα, ούτε συλλέγει δεδομένα, απλά ελέγχει και συνθέτει υπάρχουσες γνώσεις για την πρόβλεψη και πρόληψη των κλιματικών αλλαγών. Οι εκθέσεις δημιουργούνται από ομάδες επιστημόνων από πανεπιστήμια ή ερευνητικά κέντρα, καθώς και μελών από περιβαλλοντικούς ή οικονομικούς οργανισμούς και οι εκθέσεις αυτές ελέγχονται εξονυχιστικά από επιστήμονες και την κυβέρνηση (ιστοσελίδα της IPCC,2018).

3. Δορυφορική Αλτιμετρία

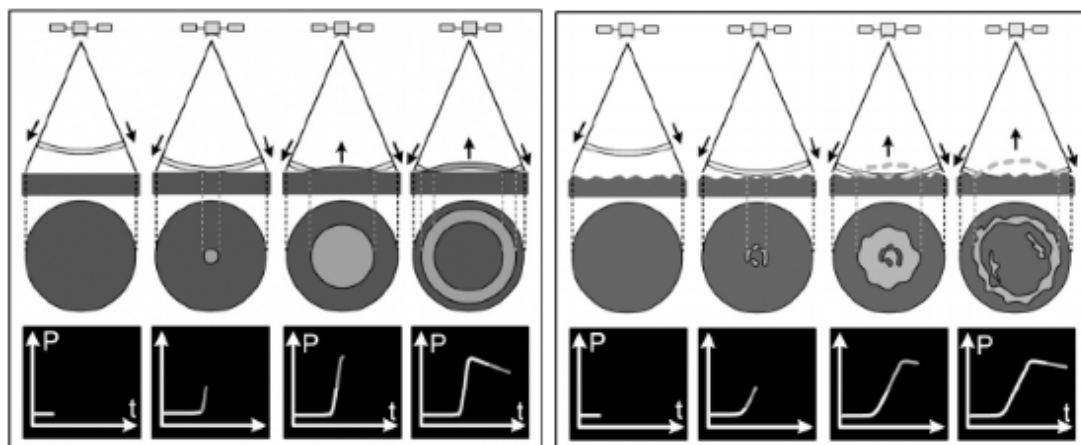
Για να προβλέψουμε το κλίμα, να ελέγχουμε την μέση στάθμη της θάλασσας, καθώς και τις στάθμες των ποταμών και λιμνών, την υπερθέρμανση του πλανήτη, τα φαινόμενα El Niño και La Niña, τα θαλάσσια ρεύματα και την ωκεάνια κυκλοφορία, τις παλίρροιες, εκτιμήσεις όσον αφορά το γεωειδές, τον άνεμο και τα κύματα, το πάχος παγετώνων, κ.ο.κ. η Δορυφορική Αλτιμετρία είναι η μέθοδος που έχει την δυνατότητα να μας προσφέρει αυτόν τον πλούτο πληροφοριών και πολλών περισσότερων, από τις μετρήσεις που γίνονται από αυτήν (Benveniste, Picot, 2016). Η Αλτιμετρία είναι ουσιαστικά μια τεχνική που μετράει το ύψος. Μετράει δηλαδή τον χρόνο που χρειάζεται ένας παλμός ραντάρ να ταξιδέψει από την κεραία (πομπό) του δορυφόρου στην επιφάνεια (θάλασσα, έρημο, ποτάμι, λίμνη, κλπ.) και πίσω στον δέκτη του δορυφόρου (βλ. εικόνα 3.2) (Xiaoli Deng, 2015). Ασφαλώς αυτή η μέτρηση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να δούμε πολλά διαφορετικά πράγματα, όπως αναφέραμε στην προηγούμενη παράγραφο.

3.1 Εισαγωγή στην Αλτιμετρία

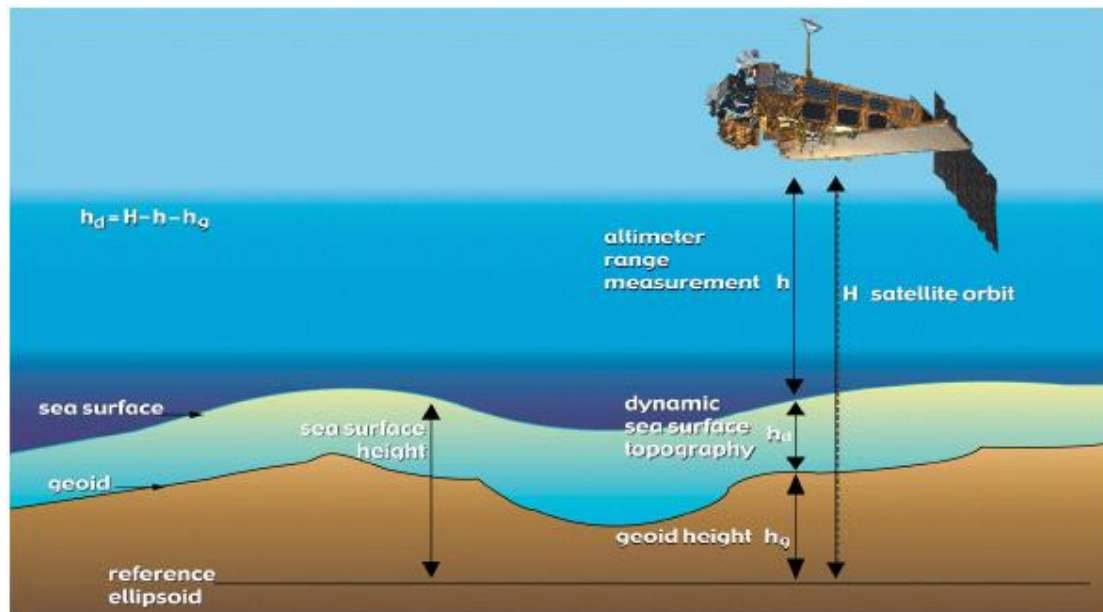
Γνωρίζοντας ότι η Αλτιμετρία είναι η τεχνική που μετράει το υψόμετρο αλλά και τις διακυμάνσεις στην επιφάνεια και πιο συγκεκριμένα στην συγκεκριμένη εργασία, την επιφάνεια της θάλασσας, θα ήταν σωστό να εξηγήσουμε ορισμένα πράγματα για αυτήν την τεχνική έτσι ώστε να είναι πιο κατανοητά όσα θα ακολουθήσουν στα επόμενα κεφάλαια.

Αρχικά, θα αναφερθούμε στον τρόπο εκπομπής του παλμού που γίνεται από το αλτίμετρο που είναι όργανο μέτρησης που υπάρχει σε κάποιους δορυφόρους στους οποίους θα αναφερθούμε εκτενέστερα παρακάτω (Cryosat2, Sentinel3, JASON, κλπ). «Το δορυφορικό αλτίμετρο εκπέμπει έναν παλμό μικροκυματικής ακτινοβολίας (ραντάρ), βραχείας χρονικής διάρκειας προς το σημείο ναδίρ της θέσης του δορυφόρου (το σημείο στην επιφάνεια της θαλάσσης, ακριβώς κάτω από τον δορυφόρο). Ο ηλεκτρομαγνητικός παλμός φτάνει στην θαλάσσια επιφάνεια και μέρος της προσπίπτουσας ακτινοβολίας επιστρέφει στον δορυφόρο, καταγράφεται και αναλύεται» (Μερτίκας, 2016). Έτσι, προσδιορίζουμε την απόσταση από τον δορυφόρο μέχρι την θαλάσσια επιφάνεια.

Ο παλμός αυτός όταν φτάνει στην επιφάνεια της θάλασσας ανακλάται και η ανάκλαση αυτή αποκαλείται *κυματομορφή (waveform)* και το μέγεθος και η μορφή της εξαρτάται από την ανακλαστική επιφάνεια (ξηρά, νερό, κλπ), καθώς και την κατάσταση που βρίσκεται η επιφάνεια την στιγμή της μέτρησης (ήρεμη θαλάσσια επιφάνεια, κυματώδης θαλάσσια επιφάνεια) (Delikaraoglou et al. 2012). Βλέποντας την εικόνα 3.1, παρατηρούμε ότι ο παλμός αυτός, όταν η επιφάνεια της θάλασσας είναι επίπεδη, δηλαδή όταν υπάρχει περίοδος ηρεμίας (αριστερά), ανακλάται έντονα από τη στιγμή που ο εκπεμπόμενος παλμός ραντάρ φτάνει στην επιφάνεια. Στην περίπτωση που επικρατεί θαλασσοταραχή (δεξιά), ο παλμός ανακλάται αρχικά από την κορυφή του υψηλότερου κύματος που βρίσκεται απευθείας κάτω από το δορυφόρο και έπειτα από τη σειρά άλλων κυματοκορυφών διαδοχικών κυμάτων, με αποτέλεσμα το πλάτος του ανακλώμενου παλμού του ραντάρ να αυξάνεται σταδιακά. Με τον τρόπο αυτό μπορεί να εκτιμηθεί το σημαντικό ύψος των κυμάτων από την κλίση της καμπύλης που αντιπροσωπεύει το πλάτος του ανακλώμενου παλμού με την πάροδο του χρόνου κατά μήκος του ίχνους του ραντάρ στην επιφάνεια της θάλασσας, καθώς και η ταχύτητα του ανέμου από την ταχύτητα της οπισθοσκέδασης (backscatter)



Εικόνα 1: Τυπική κυματομορφή ανακλώμενου παλμού ραντάρ δορυφορικού αλτιμέτρου. Πηγή: Δελικαράογλου, 2012



Εικόνα 2.: Βασική Αρχή της Δορυφορικής Αλτιμετρίας
Πηγή: CNES, ESA

3.1.1. Συχνότητες

Ο παλμός που εκπέμπεται από την κεραία του αλτιμετρικού οργάνου ανήκει συνήθως σε γνωστές συχνότητες και ισχύος.

Αρχικά αναφέρουμε ότι οι συχνότητες που χρησιμοποιούνται στην αλτιμετρία ανήκουν στον μικροκυμματικό φάσμα και η επιλογή εξαρτάται από τις προδιαγραφές και τις δυνατότητες των δορυφόρων, τα αντικείμενα των αποστολών και περιορισμούς και τεχνικές δυσκολίες. Φυσικά η κάθε συχνότητα έχει προτερήματα και μειονεκτήματα (ESA, 2016).

- **Ku Band (13.6 GHz):**

Η Ku συχνότητα είναι η πιο διαδεδομένη και αξιοποιείται σε αποστολές όπως, Topex/Poseidon, Jason-1, Envisat, ERS. Είναι ο καλύτερος συνδυασμός μεταξύ των τεχνολογικών δυνατοτήτων, το διαθέσιμο εύρος ζώνης, την ευαισθησία στις διαταραχές που υπάρχουν στην ατμόσφαιρα και σφάλματα λόγω των ηλεκτρονίων που υπάρχουν στην ιονόσφαιρα.

- **C Band (5.3 GHz):**

Η C συχνότητα είναι ευαίσθητη στις ιονοσφαιρικές διαταραχές σε σχέση με την Ku, και λιγότερο ευαίσθητη στις επιδράσεις των υδρατμών της ατμόσφαιρας. Η βασική της χρήση συνίσταται για την διόρθωση των ιονοσφαιρικών καθυστερήσεων σε συνδυασμό με τις μετρήσεις της συχνότητας Ku. Αν θέλουμε

να επιτύχουμε τα καλύτερα αποτελέσματα μια βοηθητική συχνότητα όπως η C, θα πρέπει να διαφέρει αρκετά από την κύρια συχνότητα (εδώ μιλάμε για Ku).

- **S Band (3.2 GHz):**

Η S συχνότητα χρησιμοποιείται βοηθητικά μαζί με την Ku, για τους ίδιους λόγους με την C.

- **Ka Band (35 GHz):**

Οι συχνότητες στην Ka επιτρέπουν την καλύτερη παρακολούθηση του πάγου, της βροχής, των παράκτιων περιοχών, ηπειρωτικών περιοχών (δάση, κλπ). Εξαιτίας διεθνών κανόνων για τη χρήση μεγάλου εύρους των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων, είναι διαθέσιμες μεγαλύτερες συχνότητες από ότι άλλες και έτσι επιτρέπεται η επίτευξη καλύτερης ανάλυσης και πιο συγκεκριμένα κοντά στις ακτές. Και είναι επίσης καλύτερα ανακλώμενη στον πάγο. Παρόλα αυτά, το σήμα της εξασθενεί πολύ εξαιτίας του νερού ή των υδρατμών στην τροπόσφαιρα και αυτό σημαίνει ότι δεν γίνονται μετρήσεις όταν το ύψος βροχής είναι μεγαλύτερο από 1.5 mm/h.

- **Αξιοποίηση Δύο Συχνοτήτων:**

Με την χρήση δύο συχνοτήτων μπορούμε να εκτιμήσουμε το περιεχόμενο ιονοσφαιρικών ηλεκτρονίων στην ατμόσφαιρα και έτσι να διορθώσουμε τις μετρήσεις απόστασης R από τις καθυστερήσεις που προκαλούν. Άλλη χρήση ταυτόχρονη χρήση δυο συχνοτήτων μπορεί να είναι, η εκτίμηση του ύψους βροχής (ESA, 2016).

3.1.2 Έννοιες Αλτιμετρίας που θα αξιοποιηθούν για τα δεδομένα.

- **Ύψος Επιφάνειας (surface height) (H):** είναι η απόσταση του δορυφόρου σε μια συγκεκριμένη στιγμή από μια επιφάνεια αναφοράς. Επομένως:

$$(\text{corrected}) \text{ Height} = \text{Altitude} - (\text{corrected}) \text{ Range}$$

- **Μέσο Επίπεδο της Θάλασσας (Mean Sea Level (MSL)):**

Δεν είναι η Μέση Στάθμη Θάλασσας (ΜΣΘ) αλλά είναι ένα μέτρο για να παρακολουθούμε τις μεταβολές στο επίπεδο της θάλασσας στο χρόνο.

- **Υψόμετρο επιφάνειας της θάλασσας (Sea Surface Height (SSH)):**

$$SSH = h - R$$

Όπου h είναι το υψόμετρο που βρίσκεται ο δορυφόρος από το ελλειψοειδές αναφοράς και R είναι η απόσταση από τον δορυφόρο στην επιφάνεια της θάλασσας.

- **Ανωμαλίες Επιφάνειας της Θάλασσας (Sea Level Anomalies (SLA)):**

Είναι η απόσταση μεταξύ της επιφάνειας της θάλασσας και της Μέσης Στάθμης της Θάλασσας. Και δίνεται από τον τύπο:

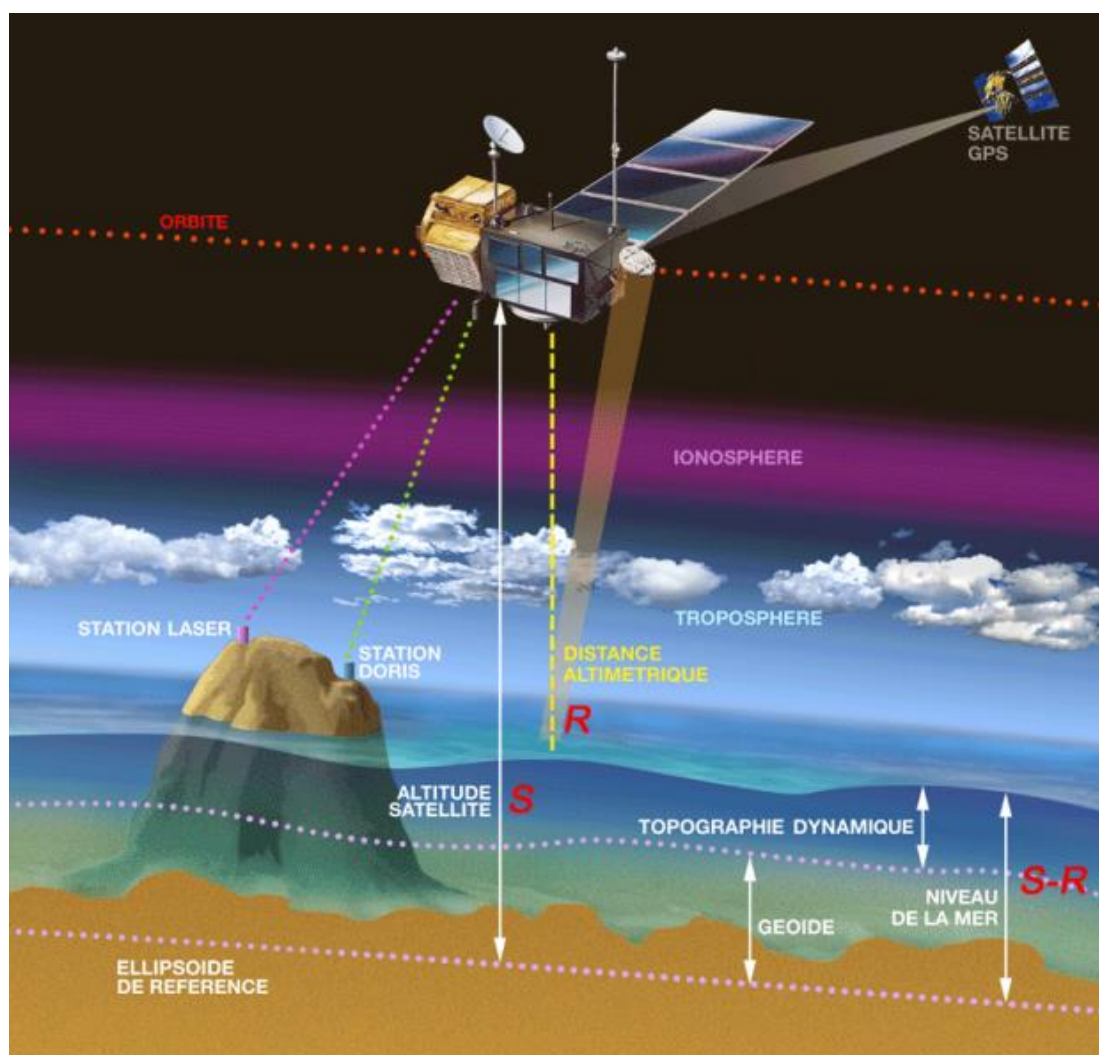
$$SSH = MSS + SLA/SSHA = \text{geoid} + MDT + SLA/SSHA$$

Αναφέρουμε απλά για την καλύτερη κατανόηση του παραπάνω τύπου τα εξής:

$$MSS \text{ (Mean Sea Surface)} = \text{geoid} + MDT$$

$$MDT \text{ (Mean Dynamic Topography)} = MSS - \text{Geoid (ESA, 2016)}.$$

Το να μετρήσουμε όμως την τοπογραφία της θαλάσσιας επιφάνειας σε ένα υψόμετρο πάνω από 800χλμ και από έναν δορυφόρο που δεν παραμένει σταθερός και κινείται με 7000m/s δεν είναι απλό, καθώς όχι μόνο είναι απαραίτητο να γνωρίζουμε που ακριβώς είναι ο δορυφόρος την στιγμή των μετρήσεων, αλλά και να κάνουμε τις απαραίτητες διορθώσεις και αναγωγές από επιδράσεις που δέχονται τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα (Μερτίκας, 2016). Πιο συγκεκριμένα, οι επιδράσεις αυτές μπορεί να είναι ατμοσφαιρικές, σφάλματα των οργάνων των δορυφόρων, εξωτερικές γεωφυσικές επιδράσεις στην επιφάνεια της θάλασσας (παλίρροιες, βαρύτητα, κλπ). Όταν γίνουν αυτές οι διορθώσεις τότε τα αποτελέσματα που λαμβάνουμε, τότε έχουμε μια καλή εικόνα για το υψόμετρο της θαλάσσιας στάθμης ως προς το ελλειψοειδές εκ περιστροφής (Μερτίκας, 2016).



Εικόνα 3: CEOS EO Handbook: RADAR ALTIMETERS
(ESA 2011) http://www.eohandbook.com/eohb2011/earth_altimeters.html

3.1.3 Τύποι Αλτιμετρίας

Υπάρχουν διάφορες κατηγορίες αλτιμετρίας ανάλογα με τον τρόπο εκπομπής των παλμών, την συνοχή των σημάτων, την ακριβή χρονομέτρηση και την επεξεργασία των αλτιμετρικών σημάτων. Συνεπώς, υπάρχει η **Συμβατική Αλτιμετρία** (Conventional Altimetry) και η **Αλτιμετρία SAR με παρατηρήσεις Doppler** (Synthetic Aperture Radar ή Delay-Doppler Αλτίμετρα). Στην συγκεκριμένη εργασία θα εστιάσουμε στην αλτιμετρία με παρατηρήσεις Doppler, παρόλα αυτά θα αναφερθούμε με λίγα λόγια και στον άλλον τρόπο.

- **Συμβατική Αλτιμετρία**

Αρχικά, η Συμβατική Αλτιμετρία, η οποία χωρίζεται στην **Παλμικά Πεπερασμένη Αλτιμετρία** (Pulse-Limited) και στην **Δεσμικά Πεπερασμένη Αλτιμετρία** (Beam-limited). Στην πρώτη περίπτωση οι παλμοί εκπέμπονται σε ευρεία γωνιακή δέσμη, αλλά οι αλτιμετρικές μετρήσεις πραγματοποιούνται μόνον εντός του δορυφορικού παλμού, ενώ στην δεύτερη η εκπομπή των παλμών γίνεται εντός στενής δέσμης (βλ. εικόνα 3.2). Το ίχνος κάθε δέσμης ακτινοβολίας που εκπέμπεται από έναν δορυφόρο και αποτυπώνεται ως εμβαδόν στην επιφάνεια της θάλασσας, καθορίζεται από το *γωνιακό εύρος* θ της κεραίας εκπομπής. Ουσιαστικά, το ίχνος μας δείχνει την περιοχή που η ισχύς της ακτινοβολίας είναι αρκετά υψηλή. Συνεπώς, για να έχουμε μια αξιόπιστη μέτρηση της μέσης στάθμης της θάλασσας, θα πρέπει το οπτικό πεδίο θ της δέσμης εκπομπής να είναι ευρύ για να καλύπτεται μεγαλύτερο μέρος της επιφάνειας, έτσι ώστε οι επιδράσεις του ύψους των κυμάτων να αλληλοεξουδετερώνονται, λαμβάνοντας υπόψιν τον μέσο όρο των υψομέτρων. Παράλληλα όμως, η ευρεία γωνιακή δέσμη δεν είναι στενή ώστε να εστιάζει ακριβώς στο σημείο που θέλουμε, καθώς επίσης προκαλεί παραμορφώσεις και αλλοιώσεις πιο συχνά αν βρεθεί κάποιο εμπόδιο στο οπτικό πεδίο του δορυφόρου, π.χ. ξηρά (Μερτίκας, 2016). Από αυτά παρατηρούμε πως η καλύτερη μέθοδος στην συμβατική αλτιμετρία είναι να συνδυάσουμε και την Παλμικά Πεπερασμένη και την Δεσμικά Πεπερασμένη αλτιμετρία για να αποφύγουμε τα σφάλματα και τα προβλήματα που αναφέραμε παραπάνω.

Για να αιτιολογηθεί ο λόγος που χρησιμοποιήθηκε η αλτιμετρία SAR, θα αναφέρουμε ορισμένα μειονεκτήματα της Συμβατικής Αλτιμετρίας.

Ένα από τα μειονεκτήματα της Συμβατικής Αλτιμετρίας και κυρίως στην Παλμικά πεπερασμένη Αλτιμετρία, είναι η σπατάλη ενέργειας, καθώς όπως είπαμε χρησιμοποιεί μεγάλο εύρος δέσμης εκπομπής για να προσδιορίσει το υψόμετρο σε ένα σημείο με αποτέλεσμα πολλά από τα στοιχεία τα οποία λαμβάνει (1/10) να μην αξιοποιούνται τελικώς λόγω των παραμορφώσεων και της χαμηλής ισχύς ακτινοβολίας σε πολλά σημεία. Ταυτόχρονα, τραχύτητα στις επιφάνειες (π.χ κυματισμοί) έχουν ως αποτέλεσμα ορισμένες φορές, το ίχνος του δορυφόρου να μεταπηδάει από μια υπερυψωμένη περιοχή σε μια άλλη αντίστοιχη, αλλά σε

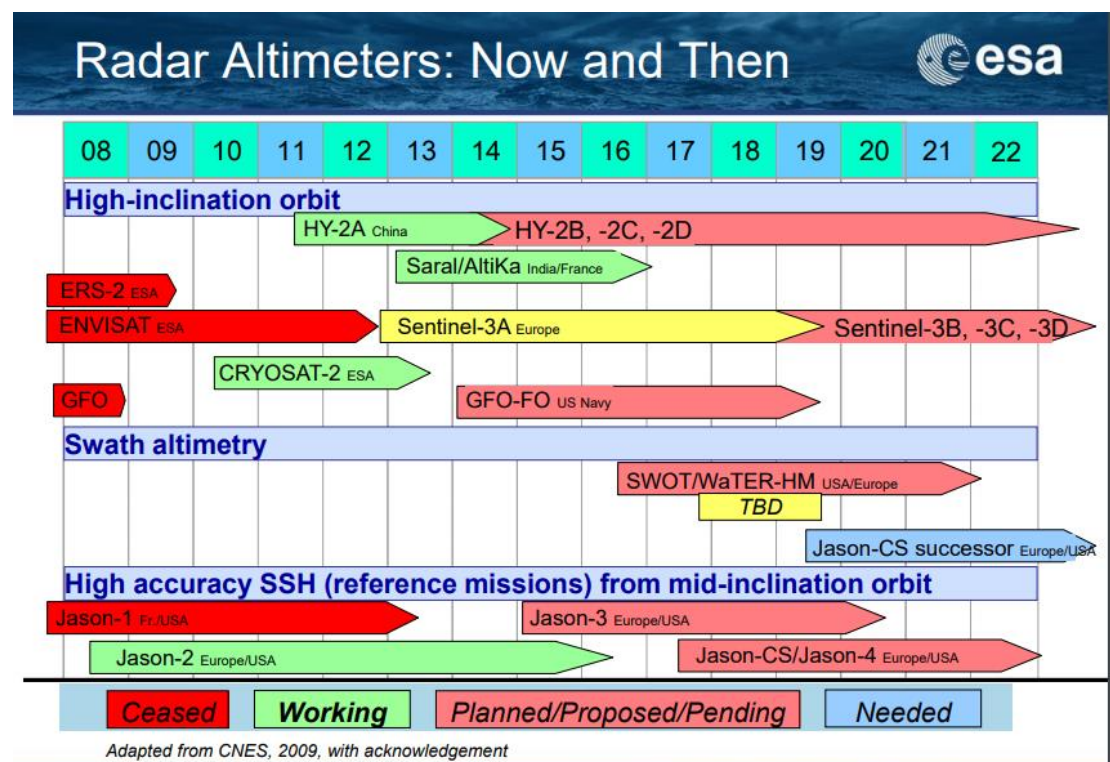
τελείως διαφορετική θέση στόχο και συνεπώς δεν μπορεί να υπάρχει συνεχής και αξιόπιστη παρακολούθηση των υψομέτρων (διαστολή του επίγειου ίχνους) (Μερτίκας, 2016).

- **Αλτιμετρία SAR ή αλτιμετρία με μετρήσεις στις καθυστερήσεις Doppler**
Λόγω των παραπάνω, μια νέα τεχνολογία, η αλτιμετρία SAR ή αλτιμετρία με μετρήσεις στις καθυστερήσεις Doppler, αξιοποιείται. «Η τεχνική αυτή βασίζεται στην παρακολούθηση όλου του ιστορικού των σημάτων επιστροφής, κατά μήκος της τροχιάς σε όλο το εύρος του οπτικού πεδίου της δέσμης ακτινοβολίας. Συνεισφέρει στον αντίστοιχο προσδιορισμό υψομέτρων σε διαφορετικές θέσεις εντός του οπτικού πεδίου της δέσμης και δεν περιορίζεται μόνο σε ένα υψόμετρο εντός του οπτικού πεδίου της δέσμης» (Μερτίκας, 2016). Σημαντικό πλεονέκτημα της τεχνολογίας αυτής είναι ότι μπορούμε να βελτιώσουμε κατά πολύ την διακριτική ικανότητα της αλτιμετρίας, λόγω της λεπτομερούς παρακολούθησης στις μεταβολές της συχνότητας Doppler για διάφορες θέσεις των στόχων. Η αλτιμετρία SAR προσδιορίζει τα υψόμετρα θαλάσσης κατά μήκος της τροχιάς, με ακρίβεια και μεγάλη χωρική ανάλυση (διακριτική ικανότητα) τόσο σε ανοιχτή θάλασσα όσο και σε παράκτιες περιοχές, λίμνες, ποτάμια και επιπλέον βοηθάει στην αποτύπωση της τοπογραφίας παγετώνων και ξηράς (Μερτίκας, 2016). Ο τρόπος εκπομπής του σήματος στην αλτιμετρία με μετρήσεις στις καθυστερήσεις Doppler, είναι διαφορετικός από ότι στην συμβατική αλτιμετρία, καθώς πολλοί διαδοχικοί παλμοί σε γρήγορους ρυθμούς προσπίπτουν στην θαλάσσια επιφάνεια και αυτό καθιστά την επεξεργασία των σημάτων επιστροφής πολύπλοκη. Αυτή όμως η πολυπλοκότητα και η επιβάρυνση με επιπρόσθετη επεξεργασία (λόγω των σημάτων και Doppler), έχει ως αποτέλεσμα να αυξάνει η χωρική διακριτική ικανότητα (250-300μ. κατά μήκος της τροχιάς) σε σχέση με την συμβατική αλτιμετρία (3-5 χλμ), καθώς και μεγαλύτερη επιφανειακή κάλυψη με δεδομένα που είναι αξιοποιήσιμα και δεν χάνονται (βλ. Παλμικά Πεπερασμένη Αλτιμετρία). Η τεχνική SAR για να είναι αποτελεσματική και να μας προσφέρει αυτήν την ακρίβεια που αναφέραμε, έχει ως προϋπόθεση την επακριβή γνώση της συνοχής (συμφωνίας) των σημάτων των παλμών. Όταν λέμε συνοχή σήματος εννοούμε, ότι το ρολόι του δορυφόρου είναι σωστά ρυθμισμένο και ακριβές, ώστε να επιτρέπει την παρατήρηση οποιασδήποτε

μεταβολής σε φάση και συχνότητα του λαμβανόμενου σήματος. Θέλουμε δηλαδή, οι παλμοί να είναι καθ' όλη την διάρκεια της εκπομπής να έχουν σταθερή διαφορά φάσης και σταθερή συχνότητα. Καθώς επίσης η επανάληψη κάθε εκπομπής να είναι και αυτή σταθερή και αμετάβλητη (Μερτίκας 2016).

3.2 Δορυφόροι Αλτιμετρίας

Σε αυτό το σημείο θεωρείται σημαντικό να αναφερθούμε σε ορισμένες αλτιμετρικές αποστολές και δορυφόρους. Οι δορυφόροι παραθέτονται σε χρονολογική σειρά ανάλογα με την ημερομηνία εκτόξευσής τους. Οι δορυφόροι που αξιοποιήθηκαν σε αυτήν την εργασία είναι ο Cryosat-2 και ο Sentinel 3.



Εικόνα 4: Αλτιμετρικές Αποστολές και ιδιότητες τους από το 2008 έως το 2022

Πηγή: Cipollini ESA, 2011

- **SKYLAB:** Είναι ο πρώτος αμερικανικός πειραματικός διαστημικός σταθμός και εκτοξεύθηκε το Μάιο του 1973 από την NASA και είχε το πρώτο αλτίμετρο που έκανε πειραματικές μετρήσεις και έφερε ένα σύστημα μικροκυματικής ακτινοβολίας, το οποίο ήταν ταυτόχρονα ενεργητικό και παθητικό, το S193, πετώντας στα 435χλμ με κλίση 50 μοιρών. Χρησιμοποιούσε ένα παλμό εύρους 0.1 ms και η ανάλυση

έφτανε τα 15 m. Η λειτουργία του αλτίμετρου περιοριζόταν σε κάποια μέρη της τροχιάς του δορυφόρου, αλλά παρείχε πληροφορίες σχετικά με τα γενικά χαρακτηριστικά του θαλάσσιου γεωειδούς, όπως για παράδειγμα τις κύριες ωκεάνιες τάφρους (ESA).

- **GEOS 3 (Geodynamics and Earth Ocean Satellite):** Εκτοξεύθηκε τον Απρίλιο του 1975 και η αποστολή τελείωσε τον Δεκέμβριο του 1978. Διέγραφε τροχιά σε υψόμετρο 845 Km και είχε κλίση 115 μοίρες, επίσης έφερε ένα ραντάρ αλτίμετρο για την χαρτογράφηση των ωκεανών, καθώς και άλλα χρήσιμα όργανα όπως σύστημα εντοπισμού Doppler. Το αλτίμετρό του ήταν βελτιωμένο σε σχέση με αυτό του Skylab, αλλά ακόμα κι έτσι δεν επαρκούσε, ώστε να παρέχει όλες τις απαραίτητες πληροφορίες στους επιστήμονες. Η κύρια αποστολή του GEOS-3 ήταν η Γεωδαισία, να παράγει πληροφορίες σχετικά με το βαρυτικό πεδίο της Γης, να εντοπίζει τις ανωμαλίες του και να αναδείξει τις προοπτικές για τον προσδιορισμό της ωκεάνιας κυκλοφορίας μέσης κλίμακας (ESA).
- **Seasat (SEAfaring SATellite):** Εκτοξεύθηκε τον Ιούνιο του 1978, από την NASA και σκοπός του ήταν η παρακολούθηση των ωκεανών. Ο δορυφόρος διέθετε το πρώτο ραντάρ συνθετικού ανοίγματος (SAR), σκεδασίμετρο μικροκυμάτων, καθώς και ένα αλτίμετρο ραντάρ. Η τροχιά του ήταν σε ύψος 800 km και είχε κλίση 108 μοίρες. Η λειτουργία του διακόπηκε τον Οκτώβριο του 1978 και αν και είχε μικρό χρόνο ζωής έδωσε πληροφορίες για διάφορα ωκεανογραφικά φαινόμενα, όπως την επιφανειακή θερμοκρασία των θαλασσών, τους ανέμους και το ύψος των κυμάτων, τους πάγους και την ωκεάνια τοπογραφία, και έδωσε τη δυνατότητα παρατήρησης της παγκόσμιας ωκεάνιας κυκλοφορίας (ESA).
- **Geosat (GEOdetic SATellite):** Ο δορυφόρος Geosat του Αμερικανικού Ναυτικού, ξεκίνησε την αποστολή του τον Μάρτιο του 1985 και την ολοκλήρωσε τον Ιούνιο του 1990. Πρωταρχικός ρόλος του ήταν να περιγράψει το θαλάσσιο γεωειδές, την ταχύτητα των ανέμων και το ύψος των κυμάτων. Το ύψος της τροχιάς ήταν στα 785 km και με τροχιακή κλίση 108 μοίρες. Η αποστολή του Geosat είχε δύο φάσεις, η πρώτη φάση ήταν η γεωδαιτική αποστολή του δορυφόρου (Geodetic

Mission - GM) και διήρκησε από τις 30 Μαρτίου 1985 έως τις 30 Σεπτεμβρίου 1986 και η δεύτερη φάση ήταν η εφαρμογή μιας αυστηρά επαναλαμβανόμενης τροχιάς κάθε 17 μέρες, που σκοπό είχε μεγαλύτερη κάλυψη δεδομένων ξεκίνησε στις 8 Νοεμβρίου 1986 και τελείωσε τον Δεκέμβριο του 1990. Αποτέλεσμα της πρώτης φάσης του GEOSAT ήταν ένα υψηλής διακριτικής ικανότητας πλέγμα δεδομένων, που αξιοποιήθηκε πολύ. Στην δεύτερη φάση, λόγω μηχανικών προβλημάτων του δορυφόρου, τα δεδομένα της είχαν μειωμένη ακρίβεια και τελικά η αποστολή του GEOSAT τερματίστηκε. Παρόλο τον τερματισμό της αποστολής κατάφερε να παρέχει εκατομμύρια μετρήσεις της στάθμης της θάλασσας, του ύψους των κυμάτων και της ταχύτητα του ανέμου πάνω από τους ωκεανούς του κόσμου (ESA).

- **ERS-1 (European Remote Sensing Satellite 1):** Είναι ο πρώτος ευρωπαϊκός δορυφόρος και τέθηκε σε τροχιά στις 17 Ιουλίου 1991 από την Ευρωπαϊκή Υπηρεσία Διαστήματος (European Space Agency – ESA), απενεργοποιήθηκε τον Ιούνιο του 1996 και αποσύρθηκε τον Μάρτιο του 2000. Οι στόχοι του ERS-1 ήταν η παρακολούθηση και καταγραφή των μεταβολών της επιφάνειας των ωκεανών και της κίνησης των πάγων, η μέτρηση του ύψους των κυμάτων και της επιφανειακής θερμοκρασίας των θαλάσσιων μαζών, καθώς και η μέτρηση της ταχύτητας και της διεύθυνσης των ανέμων. Για να μπορέσει ο δορυφόρος να φέρει εις πέρας την αποστολή έφερε ραντάρ συνθετικού ανοίγματος (SAR) και αλτίμετρο ραντάρ. Είχε πολική ηλιοσύγχρονη τροχιά ύψους 785 km και κλίσης 98.5 μοιρών.
- **TOPEX/Poseidon (TOPographic EXperiment/POSEIDON – T/P):** Αποτελούσε αποτέλεσμα συνεργασίας της NASA με το Εθνικό Κέντρο Διαστημικών Μελετών της Γαλλίας (Centre National d'Etudes Spatiales – CNES) για την κατασκευή ενός δορυφόρου με μεγάλη διάρκεια ζωής και μεγάλη ακρίβεια στον προσδιορισμό της τροχιάς. Τέθηκε σε τροχιά τον Αύγουστο του 1992 και η τροχιά του δορυφόρου ήταν σε ύψος 1336 km σχεδόν κυκλική, μη ηλιοσύγχρονη με κλίση 66 μοιρών. Ο T/P έχει υψηλές ακρίβειες προσδιορισμού της τροχιάς ($\pm 1\text{-}3\text{ cm}$) που οφείλονταν

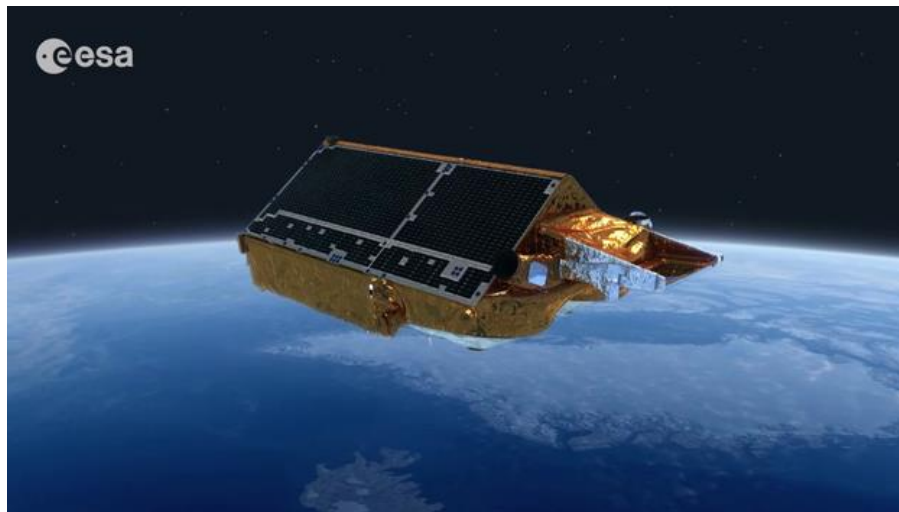
στους δέκτες δορυφορικών συστημάτων εντοπισμού θέσης (GPS, DORIS), με τους οποίους ήταν εφοδιασμένος. Η περίοδός του ήταν 112 λεπτά και η επανάληψη του τροχιακού του ίχνους είχε ακρίβεια 1 km. Στις 18 Ιανουαρίου 2006 τερμάτισε η λειτουργία του δορυφόρου, αφού έδωσε στην επιστημονική κοινότητα τον μεγαλύτερο όγκο πληροφοριών από όλες τις προηγούμενες αποστολές, με πληροφορίες τόσο για υψόμετρα του γεωειδούς κατά μήκος των τροχιακών ιχνών, τις μεταβολές της επιφάνειας της θάλασσας μέσω διαχρονικών παρατηρήσεων, συνέβαλε σημαντικά στη μελέτη της κίνησης θαλάσσιων ρευμάτων (π.χ. Ρεύμα του Κόλπου) και μετεωρολογικών φαινομένων (El Niño και La Niña) που επηρεάζουν πολύ τον πλανήτη μας.

- **ERS-2:** Ο αλτιμετρικός δορυφόρος ERS-2 τέθηκε λειτουργία τον Απρίλιο του 1992 και αποτελούσε διάδοχο του ERS-1. Κύρια αποστολή του δορυφόρου ήταν η παρατήρηση της Γης και κυρίως της ατμόσφαιρας και των ωκεανών. Οι δορυφόροι ERS-1 και ERS-2, είχαν τοποθετηθεί σε συνδυασμό από τον Αύγουστο του 1995 μέχρι τον Ιούνιο του 1996 με περίοδο 35 ημερών με κοινή τροχιά και κλίση. Από το 2003 ο ERS-2 υπέστη σοβαρές βλάβες η μηχανή καταγραφής των αλτιμετρικών δεδομένων και για αυτό, τα δεδομένα ήταν διαθέσιμα μόνο όταν ο δορυφόρος ήταν εντός της ορατότητας των επίγειων σταθμών της ESA στην Ευρώπη, το Βόρειο Ατλαντικό ωκεανό, τον Αρκτικό και τη βορειοδυτική Αμερική. Τελικά, τον Ιούλιο του 2011, ο ERS-2 αποσύρθηκε μεταβαίνοντας σε χαμηλότερη τροχιά.
- **Geosat Follow-On (GFO):** Εκτοξεύθηκε τον Φεβρουάριο του 1998 και αποσύρθηκε τον Νοέμβριο του 2008. Είχε κύριο σκοπό να μετρήσει την ωκεάνια τοπογραφία και να παρέχει δεδομένα σε πραγματικό χρόνο (real-time) για αυτήν στο Αμερικανικό Ναυτικό. Η τροχιά του ήταν σε ύψος 880 km και η κλίση 108 μοίρες.
- **Envisat (ENVironmental SATellite):** Τέθηκε σε λειτουργία τον Μάρτιο του 2002 από την ESA, και όπως αναμενόταν, συνέχισε τις αλτιμετρικές παρατηρήσεις των δορυφορικών αποστολών ERS-1 και ERS-2 για 10 χρόνια, μέχρι που σταμάτησε η λειτουργία του τον Απρίλιο του 2012.

Η τροχιά του ήταν πολική, ηλιοσύγχρονη σε ύψος 800 km με κλίση 98.55 μοίρες και πραγματοποιούσε επαναλαμβανόμενες μετρήσεις σύμφωνα με περίοδο 35 ημερών. Παρατηρούσε την ατμόσφαιρα και την επιφάνεια της Γης και δεν εστίαζε μόνο σε αλτιμετρικές μετρήσεις.

- **Jason-1:** Η αποστολή Jason-1 είναι η συνέχεια του δορυφόρου TOPEX/POSEIDON, είναι και αυτή αποτέλεσμα συνεργασίας NASA και CNES, εκτοξεύθηκε τον Δεκέμβριο του 2001 και αποτέλεσε τον προπομπό μιας σειράς νέων αλτιμετρικών δορυφόρων, που θα έχουν τη δυνατότητα αποστολής δεδομένων σε πραγματικό χρόνο παρατήρησης (real-time). Το ύψος της τροχιάς ήταν 1336 km, κλίση τροχιάς 66 μοίρες και περίοδο 112 λεπτά (όπως και ο T/P). Η αποστολή εστίαζε στην εκτίμηση του υψομέτρου της θαλάσσιας επιφάνειας. Μετά από ορισμένα χρόνια λειτουργίας, ο JASON-1 τέθηκε στην ίδια τροχιά με αυτή του T/P και χρονικά προηγείτο κατά την επίσκεψή τους πάνω από την ίδια περιοχή και αυτό αποσκοπούσε στην επίτευξη καλύτερης ακρίβειας των αλτιμετρικών δεδομένων, και συνεπώς στις καλύτερες πληροφορίες για την στάθμη της θάλασσας. Το αλτίμετρο ήταν της γενιάς POSEIDON, μόνο πιο εξελιγμένο, το POSEIDON-2. Διέθετε επίσης, τρία διαφορετικά συστήματα εντοπισμού θέσης, τα DORIS, SLA και TRSR, για την επίτευξη του ακριβούς προσδιορισμού της τροχιάς του. Τον Ιούλιο του 2013 κάθε επαφή χάθηκε με τον δορυφόρο και έτσι τερματίστηκε η λειτουργία του.
- **Jason-2:** Εκτοξεύθηκε τον Ιούνιο του 2008, ως συνέχεια των αποστολών των δορυφόρων TOPEX/POSEIDON και Jason-1 και ήταν προϊόν συνεργασίας των CNES, Eumetsat, NASA και NOAA. Διέθετε ηλιοσύγχρονη τροχιά υψομέτρου 1336 km και κλίσης 66 μοιρών και τα όργανα που διαθέτει είναι ίδια με του Jason-1 και η μόνη διαφορά είναι στο αλτίμετρό του που είναι επόμενης γενιάς από εκείνο του Jason-1, το αλτίμετρο POSEIDON-3.
- **Cryosat-2:** Ο δορυφόρος Cryosat-2 ο οποίος χρησιμοποιείται στην παρούσα εργασία, είναι κατασκευασμένος από την ESA και εκτοξεύθηκε τον Απρίλιο του 2010, η αποστολή του ήταν η παρατήρηση των πολικών

περιοχών. Σκοπός ήταν να καθορίσει τις διακυμάνσεις του πάχους των φύλλων πάγου της Γης και του θαλάσσιου καλύμματος πάγου και να προβλέψει για την τήξη των αρκτικών πάγων λόγω της υπερθέρμανσης του πλανήτη (Benveniste, Vignudelli et al. 2011). Διαγράφει τροχιά μη ηλιοσύγχρονη σε υψόμετρο 717 km και κλίσης 92 μοιρών, ώστε να καλύπτει όλες τις αρκτικές περιοχές. Σε αντίθεση με τους περισσότερους δορυφόρους, ο CryoSat δεν διαθέτει ηλιακούς συλλέκτες. Στην πραγματικότητα ο δορυφόρος δεν έχει καθόλου κινούμενα μέρη, εκτός από μερικές βαλβίδες στο σύστημα προώθησης. Αυτό επέτρεψε μια πολύ σημαντική εξοικονόμηση κόστους, αλλά δημιούργησε κάποια προβλήματα για την παροχή επαρκούς ηλιακής ενέργειας στην ασυνήθιστη τροχιά του CryoSat. Οι ηλιακοί συλλέκτες στερεώνονται σταθερά στο δορυφορικό σώμα, δημιουργώντας μια 'οροφή' (Βλ. εικόνα 3.5) με μια προσεκτικά βελτιστοποιημένη γωνία, παρέχουν επαρκή ισχύ κάτω από όλες τις τροχιακές συνθήκες και ήταν ακόμα σε θέση να χωρέσουν μέσα στο όχημα εκτόξευσης (ESA).



Εικόνα 5: CryoSat-2. Πηγή: ESA.

Κύριο όργανο του δορυφόρου είναι το Synthetic Aperture Interferometric Radar Altimeter (SIRAL) το οποίο λειτουργεί στην Ku-band (13.575 GHz). Έχει σχεδιαστεί για να ανταποκριθεί στις απαιτήσεις της μέτρησης ανύψωσης των φύλλων πάγων και της ανύψωσης των φύλλων θαλάσσης-πάγου, που είναι το ύψος του πάγου που προεξέχει

από το νερό (ESA). Κάθε λωρίδα που εκπέμπει, έχει πλάτος περίπου 250 m και το διάστημα μεταξύ των ριπών ρυθμίζεται έτσι ώστε ο δορυφόρος να κινείται προς τα εμπρός κατά 250 m κάθε φορά. Οι λωρίδες που καθορίζονται από διαδοχικές ριπές μπορούν ως εκ τούτου να τοποθετηθούν μεταξύ τους και να υπολογίσουν κατά μέσο όρο για να μειώσουν τον θόρυβο. Αυτός ο τρόπος λειτουργίας είναι γνωστός ως λειτουργία SAR (Synthetic Aperture Radar). Έχει χαμηλή ανάλυση στις μετρήσεις συμβατικής αλτιμετρίας και πολύ θόρυβο. Ενώ στο SAR mode βελτιώνει την ανάλυση along-track (~250 μ) όπως και στο SARIN mode διότι χρησιμοποιείται και το φαινόμενο Doppler.

- **HaiYang-2 (HY-2):** Το όνομα δορυφόρου σημαίνει «ωκεανός» στα κινέζικα και ανήκει σε μια σειρά προβλεπόμενων δορυφόρων (HY-2A έως HY-2D) που έχουν σαν αποστολή την παρατήρηση των ωκεανών. Εκτοξεύθηκε τον Αύγουστο του 2011 και για τα δύο πρώτα χρόνια είχε τροχιά μη ηλιοσύγχρονη υψομέτρου 971 km και κλίσης 99.3 μοιρών, μετά στην γεωδαιτική του φάση, η τροχιά του τέθηκε σε υψόμετρο 973 km. Το αντικείμενο του συγκεκριμένου δορυφόρου είναι η παρακολούθηση του δυναμικού ωκεάνιου περιβάλλοντος με τη χρήση μικροκυματικών αισθητήρων για να προσδιορίσει τους ανέμους στην επιφάνεια της θάλασσας, καθώς και το ύψος και τη θερμοκρασία της. Χρησιμοποιεί διπλή συχνότητα στην Ku και στην C-band.
- **Saral (Satellite with ARgos and ALtika):** Είναι προϊόν της Isro (Indian Space Research Organization) και τέθηκε σε τροχιά στις 25 Φεβρουαρίου 2013. Ακολουθεί την τροχιά και την περίοδο των ERS και ENVISAT, σε υψόμετρο περίπου 800 km και κλίση 98.55 μοιρών. Διαθέτει το αλτίμετρο AltiKa που λειτουργεί στην Ka-band: 35 GHz γεγονός που καθιστά δυνατή την καλύτερη παρακολούθηση του πάγου, της βροχής, των παράκτιων ζωνών, των μαζών (δάση κ.λπ.) και των υψών των κυμάτων. Τα κύρια αντικείμενά του είναι να παράγει ακριβείς, επαναληπτικές παγκόσμιες μετρήσεις του υψομέτρου της επιφάνειας της θάλασσας για τη βελτίωση της ωκεανογραφίας, την καλύτερη κατανόηση του κλίματος, την βελτίωση των δυνατοτήτων πρόβλεψης,

την μετεωρολογία, τις εφαρμογές παράκτιων, ηπειρωτικών και παγωμένων περιοχών. Δεύτερον, να εξασφαλίσει, με τη συμβολή και του Jason-2, τη διαχρονική συνέχεια των αλτιμετρικών ωκεάνιων παρατηρήσεων και τρίτον, να συμβάλλει στη δημιουργία ενός παγκόσμιου συστήματος παρακολούθησης των ωκεανών.

- **Jason-3:** Ο δορυφόρος Jason-3 θεωρείται πως θα συνεχίσει το έργο των Torrex/Poseidon, Jason-1 και 2, υπό την συνεργασία των CNES, NASA, Eumetsat και NOAA. Εκτοξεύθηκε τον Ιανουάριο του 2016 σε τροχιά μη ηλιοσύγχρονη, σε ύψος 1336 km, με κλίση 66 μοιρών. Γενικά, λειτουργεί όπως και οι προκάτοχοί του.
- **Sentinel-3:** Και ο συγκεκριμένος δορυφόρος αξιοποιείται στην παρούσα εργασία παρόλα αυτά καλύτερης ποιότητας δεδομένα προστέθηκαν πρόσφατα στην πλατφόρμα G-POD που χρησιμοποιήθηκε στην εργασία και έτσι τα δεδομένα που έχουμε δεν είναι πολύ καλά. Ο συγκεκριμένος δορυφόρος χωρίζεται στον Sentinel 3A και τον Sentinel 3B. Ο πρώτος εκτοξεύθηκε τον Φεβρουάριο του 2016 και ο δεύτερος τον Απρίλιο του 2018. Είναι προϊόν της ESA και η Eumetsat συμμετέχει στην λειτουργία του. Η τροχιά του είναι ηλιοσύγχρονη σε ύψος 815 km και με κλίση 98.65 μοιρών. Διαθέτει το αλτίμετρο Synthetic Aperture Radar Altimeter (SRAL) που λειτουργεί στην Ku-band και την C-band με χωρική ανάλυση περίπου 300 m. Κύριος στόχος του Sentinel είναι να παρέχονται δεδομένα σε πραγματικό χρόνο για την αλλαγή της στάθμης της θάλασσας και χαρτογράφηση της θερμοκρασίας της θάλασσας, διαχείριση της ποιότητας των υδάτων, έκταση και πάχος θαλάσσιου πάγου, χαρτογράφηση κάλυψη εδάφους, παρακολούθηση της υγείας της βλάστησης, παρακολούθηση παγετώνων, παρακολούθηση των υδάτινων πόρων, ανίχνευση πυρκαγιών, αριθμητική πρόβλεψη καιρού (ESA).

4. Περιγραφή Περιοχής Μελέτης

Η παρούσα πτυχιακή εστιάζει στο νησί της Κρήτης για την εφαρμογή της τεχνικής της δορυφορικής Αλτιμετρίας. Συνεπώς, θα παρουσιάσουμε κάποια χαρακτηριστικά του νησιού για την καλύτερη εξήγηση των αποτελεσμάτων. Η Κρήτη είναι το μεγαλύτερο και πολυπληθέστερο νησί της Ελλάδας και το πέμπτο σε έκταση μεγαλύτερο της Μεσογείου, μετά τη Σικελία, τη Σαρδηνία, την Κύπρο και την Κορσική. Το Ηράκλειο, είναι η πρωτεύουσα του νησιού το οποίο είναι έδρα της περιφέρειας Κρήτης που συμπεριλαμβάνει γειτονικά νησιά και νησίδες. Ο πληθυσμός είναι 623.065 κάτοικοι και βρίσκεται περίπου 160 χιλιόμετρα νότια της ελληνικής ηπειρωτικής χώρας και εκτεινόμενη από τα δυτικά προς τα ανατολικά. Είναι στο νότιο άκρο του Αιγαίου πελάγους και καλύπτει μια περιοχή 8.336 τχλμ. Βρέχεται βόρεια από το Κρητικό και νότια από το Λιβυκό πέλαγος. Αποτελεί σημαντικό κομμάτι της οικονομίας και της πολιτισμικής κληρονομιάς της Ελλάδας. Εκείνο που συνιστά ιδιαίτερο χαρακτηριστικό του κρητικού περιβάλλοντος, είναι η μεγάλη ποικιλία των γεωλογικών σχηματισμών. Σπήλαια, φαράγγια και οροπέδια αποτελούν βασικά συστατικά του κρητικού τοπίου και αρκετές καρστικές γεωμορφές. Το κλίμα της Κρήτης χαρακτηρίζεται ως ήπιο μεσογειακό, με τους χειμώνες να είναι βροχεροί και συνήθως ήπιοι και τα καλοκαίρια ζεστά και ξηρά. Γνωρίζουμε πως το νησί της Κρήτης βρίσκεται στα όρια των πλακών και αποτελεί μέρος της Ελληνικής ζώνης υποβύθισης της γρηγορότερης και πιο σεισμικά ενεργής ζώνης υποβύθισης στην Μεσόγειο, όπου η βύθιση της Αφρικανικής πλάκας κάτω από την Κρήτη με ταχύτητα $\sim 39 \text{ mm yr}^{-1}$ (Gallen, et al., 2014). Παράλληλα, η έκταση που το κλίμα, ο ευστατισμός, η ισοστασία και η τεκτονική επιδρά με το τοπίο του νησιού δεν είναι εκτενώς γνωστή. Αλλουβιακές αποθέσεις αρκετές φορές μας παρέχουν με πολύτιμες πληροφορίες που επιτρέπουν αποκτήσουμε μια εικόνα των περίπλοκων παράκτιων τοπίων όπως αυτές στην Ανατολική Μεσόγειο (Mouslopoulou, Begg, et al. 2017). Στην έρευνά τους η Mouslopoulou, Begg, et al, είδαν ότι η θαλάσσια επιφάνεια σε συνδυασμό με τις κλιματικές συνθήκες διαμορφώνουν το νησί, καθώς και η γρήγορη τεκτονική ανύψωση που έχει περάσει το νησί της Κρήτης εδώ και 20 χιλιάδες χρόνια είναι αυτά που το επηρεάζουν

επίσης. Επομένως, κατέληξαν πως και η ευστατισμός και ο τεκτονισμός είναι αυτοί που ευθύνονται για την διαμόρφωση του τοπίου, αλλά προσωρινά σε διακριτές χρονικές περιόδους. Όπως είναι κατανοητό από τα παραπάνω, δεν είναι εύκολο να προσδιορίσει κανείς ακριβώς τι συμβαίνει με την στάθμη της θάλασσας στο νησί της Κρήτης αλλά και γενικά, χωρίς να λάβει υπόψιν και άλλους παράγοντες όπως οι γεωλογικοί την ισοστασία, τον ευστατισμό, κλπ. Ο λόγος είναι ότι μπορεί μια αλλαγή που εμείς παρατηρούμε στη στάθμη της θάλασσας να είναι λόγω ευστατισμού, δηλαδή μια αλλαγή στην θαλάσσια επιφάνεια παγκόσμια, που προκαλείται λόγω τήξης ή πήξης των παγετώνων ή λόγω ισοστατισμού, δηλαδή μιας καθοδικής ή ανοδικής κίνησης της ξηράς που οφείλεται στην αυξομείωση του βάρους των πάγων που την καλύπτουν κατά τις παγετώδεις και μεσοπαγετώδεις περιόδους (Καρύμπαλης, 2010) ή μπορεί να οφείλεται στον τεκτονισμό και τα ρήγματα. Σε αυτήν την έρευνα δεν είναι δυνατόν να εξετάσουμε όλες τις πιθανότητες οπότε θα εστιάσουμε μόνο σε αυτά που μας δείχνουν οι τελικές εικόνες που δημιουργήθηκαν.

5. Δεδομένα, Προγράμματα και Μεθοδολογία

Αφού έχουμε δώσει κάποιες βάσεις για την κατανόηση της τεχνικής της Δορυφορικής Αλτιμετρίας, τώρα θα εστιάσουμε στο τεχνικό κομμάτι της εργασίας που είναι να εξηγήσουμε τον τύπο των δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν, καθώς και την μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για την παραγωγή των αποτελεσμάτων.

Τα δεδομένα είναι μορφής NetCDF επιπέδου L2 τα οποία συλλέχθηκαν από την πλατφόρμα G-POD της ESA και στην συνέχεια επεξεργάστηκαν στο λογισμικό BRAT.. Παρακάτω θα εξηγηθεί αναλυτικά τι είναι το κάθε λογισμικό καθώς και τα δεδομένα.

- **Δεδομένα**

Τα δεδομένα αλτιμετρίας ανάλογα με τον βαθμό επεξεργασίας τους χωρίζονται σε επίπεδα. Αυτά τα επίπεδα διαμορφώνονται με κάποια βήματα που μας οδηγούν στην διαβάθμιση των δεδομένων σε επίπεδα ανάλογα με τον βαθμό επεξεργασίας. Τα βήματα είναι τα εξής:

1. *Βήμα 0 Συλλογή Δεδομένων:*

Πρώτα από όλα, τα δεδομένα που έχουν παραχθεί από τους δορυφόρους πρέπει να συλλεχθούν και να οργανωθούν στους επίγειους σταθμούς.

2. *Βήμα 1 Raw telemetry (level 0) και level 1 δεδομένα:*

Η ακατέργαστη τηλεμετρία που έχει συνδεθεί προς τα κάτω στους επίγειους σταθμούς προωθείται στα κέντρα ελέγχου για επεξεργασία και έλεγχο ποιότητας. Στη συνέχεια η τηλεμετρία επεξεργάζεται για λήψη δεδομένων επιπέδου 1, δηλαδή δεδομένων που χρονολογούνται και εντοπίζονται, εκφράζονται στις κατάλληλες μονάδες και ελέγχονται για ποιότητα.

3. *Βήμα 2 L1 δεδομένα και L2 γεωφυσικά δεδομένα:*

Τα L1 δεδομένα είναι διορθωμένα για σφάλματα οργάνων, σφάλματα λόγω ατμοσφαιρικών παραγόντων και σφάλματα διάδοσης των σημάτων και εμπόδια λόγω αντανάκλασης της επιφάνειας. Γεωφυσικές διορθώσεις εφαρμόζονται μετά (solid earth, ocean and pole tides, κλπ.). Επιπλέον, ακριβής ορισμός της τροχιάς (precise orbit determination (POD)) μπορεί να εφαρμοστεί για πιο ακριβή δεδομένα.

4. Βήμα 3 Αξιολόγηση και επικύρωση Δεδομένων

Τα γεωφυσικά δεδομένα τώρα εκτιμώνται για διασφάλιση ποιότητας. Η αξιολόγηση περιλαμβάνει ακριβής ποιοτικούς ελέγχους και ελέγχει τα όργανα και πιθανά προβλήματα. Είναι ένα πολύ σημαντικό βήμα που πρέπει να γίνει για να δοθούν τα δεδομένα αυτά στους χρήστες.

5. Βήμα 4 Level 3 και level 4 δεδομένα : “value-added products”

Τα L3 δεδομένα είναι επικυρωμένα, along-track data. Περαιτέρω επεξεργασία γίνεται L2 γεωφυσικά δεδομένα (π.χ. SSH ή SLA).

- **NetCDF δεδομένα**

Τα δεδομένα που αξιοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία είναι επιπέδου 2 (L2 data) και εξάγονται από το G-POD σε μορφή NetCDF και στην συνέχεια επεξεργάστηκαν στο λογισμικό BRAT. Τα δεδομένα σε μορφή NetCDF είναι αυτά που αξιοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία. Το NetCDF αναφέρεται, σε ένα σύνολο διεπαφών προσανατολισμένων στην πρόσβαση δεδομένων τα οποία είναι δομημένα σε πίνακες. Περιλαμβάνει, βιβλιοθήκες για την πρόσβαση δεδομένων για διάφορες γλώσσες προγραμματισμού, όπως τις C, Fortran, C++. Με τις βιβλιοθήκες αυτές μπορούμε να υλοποιήσουμε διεπαφές ανεξάρτητα από το σύστημα που χρησιμοποιούμε (machine-independent) για την αναπαράσταση επιστημονικών δεδομένων. Το σύνολο των διεπαφών, των βιβλιοθηκών και ο μορφότυπος NetCDF παρέχουν τη δυνατότητα δημιουργίας, πρόσβασης και ανταλλαγής επιστημονικών δεδομένων (Unidata) (ESRI NetCDF tutorial, 2010).

- **Grid Processing on Demand (G-POD)**

Το G-POD είναι ένα γενικό λειτουργικό περιβάλλον υπολογιστών με βάση το GRID που παρέχει στους χρήστες μια γρήγορη υπολογιστική εγκατάσταση χωρίς να χρειάζεται να χειρίζονται ογκώδη δεδομένα. Το σύστημα G-POD φιλοξενεί συνδεσιμότητα υψηλής ταχύτητας, κατανεμημένους πόρους επεξεργασίας και μεγάλους όγκους δεδομένων, παρέχοντας στους επιστημονικούς και βιομηχανικούς εταίρους μια κοινή πλατφόρμα επεξεργασίας δεδομένων που προωθεί την ανάπτυξη, επικύρωση και λειτουργία νέων εφαρμογών της Γης (ESA, GPOD 2013).

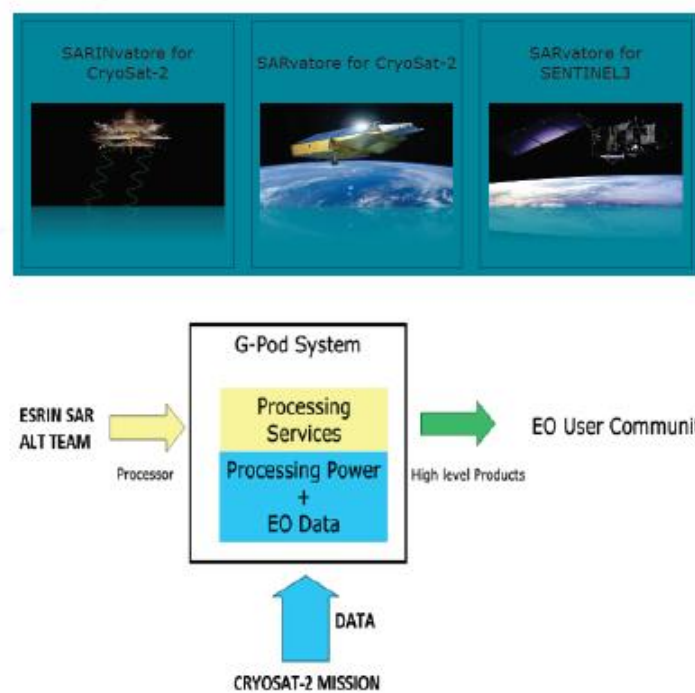
Τα δεδομένα Παρακολούθησης της Γης (Earth Observation (EO)) που είναι διαθέσιμα στο G-POD είναι δεδομένα που είναι και από αποστολές της ESA αλλά και από αποστολές που δεν είναι δικές της. Η δικτυακή πύλη G-POD είναι μια ευέλικτη, ασφαλής, γενική και κατανεμημένη πλατφόρμα ιστού. Από τη δημιουργία ενός νέου έργου στην έξοδο (output), μέσω της επιλογής δεδομένων και της παρακολούθησης της εργασίας, ο χρήστης περνάει από ένα φιλικό και διαισθητικό περιβάλλον εργασίας προσβάσιμο από παντού. Η υπηρεσία ESA G-POD, SARvatore (SAR Versatile Altimetric Toolkit for Ocean Research & Exploitation) είναι μια εφαρμογή Earth Observation που παρέχει τη δυνατότητα επεξεργασίας από απόσταση και κατόπιν παραγγελίας δεδομένων CryoSat-2 SAR / SARin από την L1a (FBR) μέχρι τα προϊόντα γεωφυσικών δεδομένων SAR Level 2. Η υπηρεσία επεξεργασίας δεδομένων Sentinel-3 έχει αναπτυχθεί και χρησιμοποιείται αλλά ακόμα γίνονται προσαρμογές και διορθώσεις.

Στο σύστημα περιλαμβάνονται:

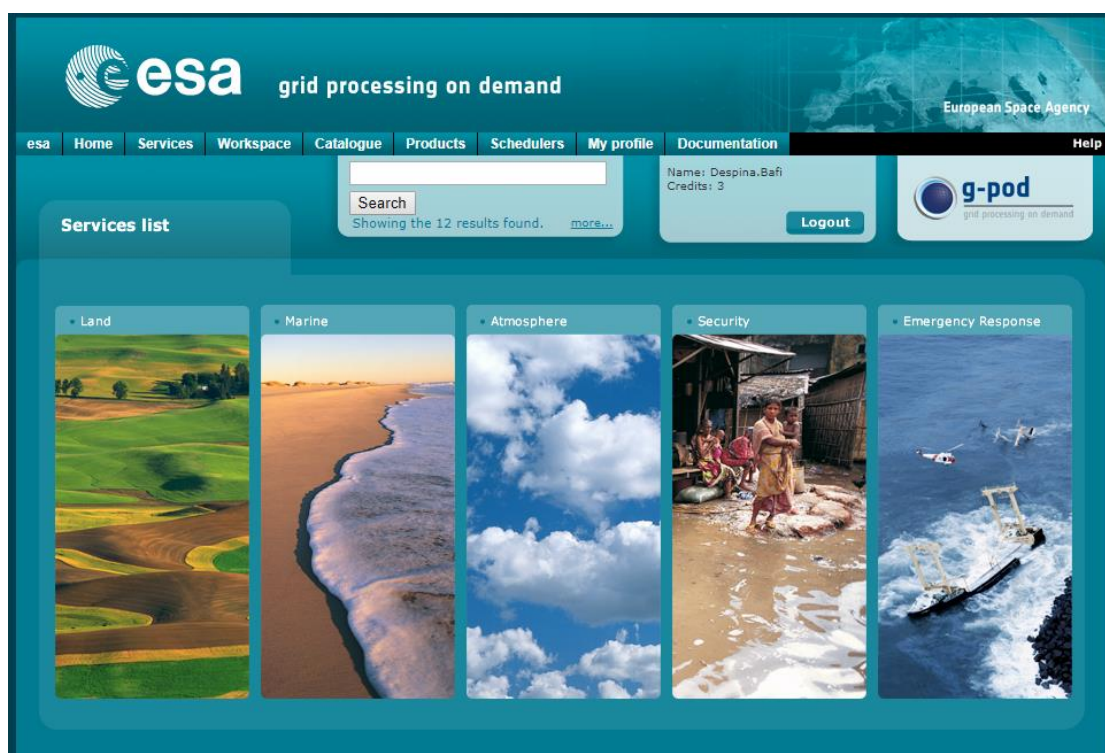
- SAR/SARin L1b Processor Prototype (Standard Delay-Doppler Processing).
- SAR/SARin L2 Retracker Prototype (with SAMOSA Analytical Model and LEVMAR Least Square Estimator).
- Input: CRYOSAT SAR/SARIN FBR Data – Sentinel-3 SAR Data
- Output L1b Radar Echogram.
- Output L2 SSH, SLA, SWH, sigma0, wind speed.

Οι στόχοι της υπηρεσίας GPOD είναι να πειραματιστούν εσωτερικά ερευνητικά προγράμματα τα οποία θα αξιοποιηθούν περαιτέρω στα σχέδια της ESA, επίσης να επικυρωθεί η λειτουργία και η χρησιμότητα του CryoSat-2 για εφαρμογές στους ωκεανούς, να γίνει εκμετάλλευση των δεδομένων Sentinel-3 και τέλος να παρέχουν στους επιστήμονες πρόσβαση στην επεξεργασία SAR / SARin για να γνωρίσουν τις καινοτομίες της αλτιμετρίας και να δημιουργήσουν τα δικά τους δεδομένα.

Η πλατφόρμα είναι δωρεάν και απλά χρειάζεται μια εγγραφή. Μόλις σταλεί το σχετικό email από τα κεντρικά της ESA, τότε η χρήση της πλατφόρμας μπορεί να γίνει άμεσα. Οι υπηρεσίες που προσφέρονται αφού κάποιος ολοκληρώσει την εγγραφή είναι και υπηρεσίες που αφορούν την Γη, το θαλάσσιο περιβάλλον, την ατμόσφαιρα, την ασφάλεια και υπηρεσία για έκτακτες περιπτώσεις που χρειάζονται άμεση απόκριση (Βλ. εικόνα 5.2).



Εικόνα 6: Αποστολές διαθέσιμες στο G-POD και τρόπος λειτουργίας της πλατφόρμας. Πηγή: ESA.



Εικόνα 7: Κεντρική Σελίδα της πλατφόρμας G-POD. Πηγή: ESA, G-POD.

- **Basic Radar Altimetry Toolbox (BRAT)**

Το ελεύθερο λογισμικό Basic Radar Altimetry Toolbox (BRAT) είναι μία συλλογή από εργαλεία και εγχειρίδια, σχεδιασμένα από την ESA και την CNES με σκοπό να διευκολύνει τη χρήση των αλτιμετρικών δεδομένων τόσο από αρχάριους, όσο και έμπειρους χρήστες. Στο BRAT μπορεί κανείς να διαχειριστεί διάφορους μορφότυπους (formats) δεδομένων από αρκετές αλτιμετρικές αποστολές, όπως είναι οι ERS-1 & 2, Torrex/Poseidon καθώς και την αποστολή Cryosat-2 που χρησιμοποιούμε στην παρούσα εργασία. Επιπλέον παρέχει τη δυνατότητα εισαγωγής, επεξεργασίας και στατιστικής ανάλυσης των δεδομένων, καθώς και εξαγωγής και οπτικοποίησης των αντίστοιχων αποτελεσμάτων. Το BRAT έχει διάφορες ενότητες που οποίες λειτουργούν σε διαφορετικά επίπεδα άντλησης δεδομένων. Οι ενότητες είναι, το Γραφικό Περιβάλλον Χρήστη (Graphical User Interface (GUI)), τα εργαλεία της γραμμής εντολών, περιβάλλοντα διεπαφής με άλλες υπάρχουσες εφαρμογές, π.χ. IDL και MATLAB, και Διεπαφές Προγραμματισμού Εφαρμογών (Application Programming Interface – API) σε γλώσσες προγραμματισμού, όπως είναι η PYTHON, η C και η FORTRAN. Επίσης είναι σημαντικό να αναφέρουμε ότι το BRAT είναι λογισμικό ανοιχτού κώδικα και έτσι ο χρήστης έχει την δυνατότητα να προσφέρει διορθώσεις έτσι ώστε να υπάρξει περαιτέρω εξέλιξη και βελτιστοποίηση του λογισμικού.

Η εξαγωγή των δεδομένων γίνεται στο δυαδικό μορφότυπο NetCDF (network Common Data Form), σε αρχείο ASCII, Geo Tiff ή και σε αρχείο αναγνώσιμο από το πρόγραμμα Google Earth (kml). Ακόμα, είναι δυνατόν να αποθηκευτούν οι οπτικοποιήσεις των αποτελεσμάτων σε εικόνα μορφής .png, .jpeg, .bmp, .tiff και .pnm.

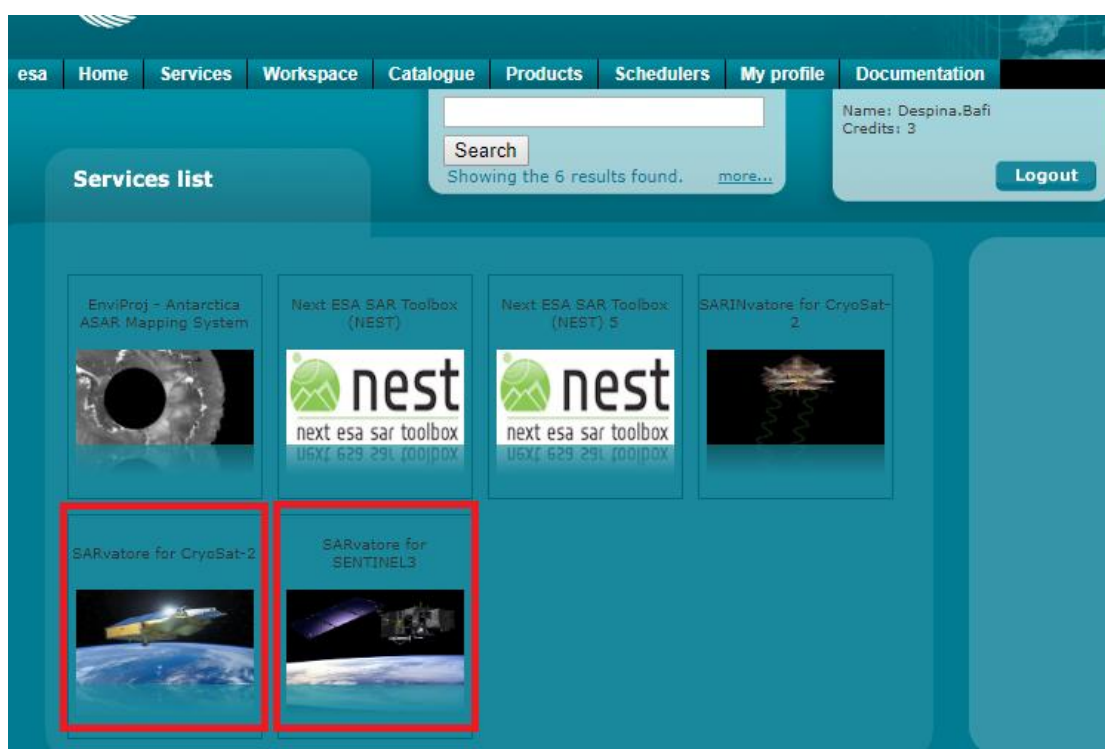
6. Επεξεργασία και Ανάλυση

Σε αυτό το κεφάλαιο θα επικεντρωθούμε στην επεξεργασία των δεδομένων καθώς και στην ανάλυσή τους. Αρχικά η λήψη των δεδομένων έγινε από την πλατφόρμα G-POD, η επεξεργασία των δεδομένων έγινε στο BRAT και η παραγωγή χαρτών στο ArcGIS. Σημειώνεται ότι τα δεδομένα κατεβαίνουν από το G-POD με σύστημα αναφοράς το WGS84.

- **G-POD:** Από το service list επιλέγουμε το Marine και στην συνέχεια για την συγκεκριμένη εργασία επιλέξαμε το SARvatore for Cryosat-2 και το SARvatore for Sentinel-3. Στις παραμέτρους το G-POD αναφέρει συνοπτικά τι κάνει η κάθε παράμετρος και προτείνει ανάλογα με την εφαρμογή μας. Η ESA συνέστησε να μην πειράξω πολύ αυτές τις παραμέτρους, καθώς χωρίς να υπάρχει αρκετά καλή γνώση του αντικειμένου ίσως να είχε ως αποτέλεσμα την περαιτέρω δυσκολία στην ερμηνεία των αποτελεσμάτων. Αξίζει να σημειωθεί ότι το G-POD δεν παρέχει πολύ καλά δεδομένα ακόμα, για την παρατήρηση μιας τόσο μικρής περιοχής όπως η Κρήτη και τόσο κοντά στις ακτές. Αυτό όλο είχε ως αποτέλεσμα την παρουσία πολλών σφαλμάτων και ακραίων τιμών, που όπως ενημερώθηκα θα έπρεπε να κατέχεται καλή γνώση προγραμματισμού έτσι ώστε να παραχθούν καλύτερα αποτελέσματα. Παρόλα αυτά η βελτιστοποίηση των δεδομένων που είναι στην πλατφόρμα, είναι κάτι που στοχεύουν στο μέλλον.

SAMOSA: Το SAMOSA είναι ένα έργο που χρηματοδοτείται από την ESA για τη μελέτη των ωκεανών και των υδάτων όπως λίμνες με εφαρμογές Synthetic Aperture Radar (SAR) mode (ή Delay Doppler mode) altimetry. Είναι ουσιαστικά μια συντομογραφία για το Development of SAR Altimetry Mode Studies and Applications over Ocean, Coastal Zones and Inland Waters. Το μοντέλο SAMOSA που χρησιμοποιείται για re-tracking. Το SAMOSA3 είναι μια περικομμένη έκδοση του SAMOSA2, το SAMOSA + είναι το μοντέλο SAMOSA2 προσαρμοσμένο για τον τομέα των εσωτερικών υδάτων, του θαλάσσιου πάγου και της παράκτιας ζώνης. Στην παρούσα πτυχιακή χρησιμοποιήθηκε το SAMOSA+. Η αποστολή Cryosat-2 είναι η πρώτη που εφαρμόζει SAR mode Altimeter, που αρχικά ήταν σχεδιασμένο για να

παίρνει μετρήσεις πάνω από της πολικές περιοχές της γης. Η τοπογραφική αποστολή Sentinel-3 θα μπορεί να λειτουργήσει σε SAR mode πάνω από τον ωκεανό και στοχεύει στο να επιτύχει υψηλής ανάλυσης και ακρίβειας αλτιμετρική χαρτογράφηση πάνω από τον ωκεανό σε περιοχές με μεταβολές στις παράκτιες περιοχές και επίσης πάνω από εσωτερικά ύδατα (ESA). Το πρόγραμμα SAMOSA ξεκίνησε το 2007 για να ερευνήσει τις βελτιώσεις που η SAR αλτιμετρία μπορεί να προσφέρει με τις μετρήσεις πάνω από τον ωκεανό, παράκτιες περιοχές και επιφάνειες εσωτερικών υδάτων, αναπτύσσοντας πρακτική εφαρμογή νέων θεωρητικών μοντέλων για την κυματομορφή ηχώ SAR ως μέρος αυτής της διαδικασίας (SAR echo waveform).



Εικόνα 8: Επιλογή Υπηρεσιών
Πηγή: G-POD

SARvatore for CryoSat-2 και SARvatore for Sentinel3: Στο Data Selection ορίζουμε τις παραμέτρους ανάλογα με τις ημερομηνίες, την περιοχή που θέλουμε να μελετήσουμε και τις παραμέτρους που θέλουμε να ορίσουμε για το πως θέλουμε να εξαχθούν τα δεδομένα, π.χ επιλογές για τα δεδομένα L1, L2, ποιο μοντέλο SAMOSA επιθυμούμε να προσαρμοστεί στα δεδομένα, κ.ο.κ. Οι παράμετροι για τον CryoSat-2 εμφανίζονται στην εικόνα 6.2 και για τον Sentinel3 στην εικόνα 6.3 και οι περίοδοι

που έχουν οριστεί για το κατέβασμα των αρχείων είναι ανά εξάμηνα, από τον Σεπτέμβριο του 2010 μέχρι τον Ιανουάριο του 2018. Από τον Σεπτέμβριο του 2010 έως και τον Νοέμβριο του 2017 τα δεδομένα είναι από το δορυφόρο CryoSat-2, σύνολο 17 εξάμηνα. Ο δορυφόρος Sentinel 3 έχει χρησιμοποιηθεί για τις περιόδους 19/06/2016 έως τις 24/01/2018, με συνολικά εξάμηνα 4. Σημαντικό θεωρείται να αναφερθεί πως τα δεδομένα του Sentinel 3 όσο εκπονούνταν η εργασία, δεν ήταν αρκετά και έτσι θα παρατηρήσουμε στο κεφάλαιο 7, πολλά λάθη και αρκετές τροχιές λείπουν.

Processing Parameters

Repository
Here you find a repository of Data processed in G-POD with SARvatore service. Data are available for download.
[Data Repository](#)

Pick profile
Select the processing configuration you want to use Coastal Zone ▼
Here you can choose some pre-defined processing configuration: by selecting one of the available items in the drop-down menu above, the processing options (recommended for the specific thematic application) will be automatically selected and then you can go directly to the processing clicking on the "Process it!" button. Please note that only the profiles " with Data" will produce output netCDF data products including the Range Integrated Power (RIP) and the SAR Echo Waveforms.
Here you find a list of processing options that you can select according to the processing level.
[For a wiki user manual of the service, go here: wiki](#)

L1b Processor

Filter out Duplicated CryoSat-2 Products during the processing time Enable ▼
Enable to filter out duplicated products during the processing: duplicated products will not be processed

Data Posting Rate 20 Hz/80 Hz 20 Hz ▼
Flag to set the data posting rate: 20 Hz (canonic posting rate) or 80 Hz (finer posting rate)

Hamming Weighting Window Apply only in coastal zone ▼
Flag to set the application of the Hamming Weighting Window on the burst data (section 4.4 in REF1)

Exact Beam-Forming Approximated ▼
Flag to set the application of exact or approximated Doppler Beam Steering (section 4.4 in REF1)

FFT Zero-Padding Yes, apply Zero-Padding ▼
Flag to operate the Zero-Padding prior to the range FFT (section 4.8 in REF1). Zero-Padding is indicated for coastal zone analysis

Radar Receiving Window Size 256 range bins ▼
Flag to select the size of the radar receiving window: 128 range bins (standard) or 256 range bins (extended). Extended window is indicated for coastal zone analysis

Antenna Pattern Compensation No ▼
Flag to activate the antenna pattern compensation on the Stack Data

Dump SAR Stack Data in output

No

Flag to dump the SAR Stack Data in the output package. Be aware that SAR Stack Data are bulky data products (around 1 GB for single pass); do not process them massively but limit yourself at around 10/20 passes at the time.

L2 Processor

Restrict the re-tracking on specific surfaces

Process only water points

Flag to limit the processing on open sea or on water (open sea, coastal zone and inland water) or to process the full pass

PTR width alphap parameter

LUT

Use a LUT (Look-Up Table) or a constant for PTR (Point Tartet Response) alphap parameter

SAMOSA Model Generation

Use SAMOSA+

Flag to select the generation of the SAMOSA model to use in the re-tracking. SAMOSA3 is a truncated version (only zero order term) of SAMOSA2 (REF2), SAMOSA+ is the SAMOSA2 model tailored for inland water, sea ice and coastal zone domain

Single-Look or Multi-Look Model

Multi-Look

Flag to set the application of the Model Multilooking (Single-Look or Multi-Look). Single-Look option is indicated for quick look operations while Multi-Look is the most accurate

Dump RIP in output

No

Flag to append Range Integrated Power (RIP) in the output netCDF data product

Dump SAR Echo Waveforms in output

No

Flag to append the SAR Echo Waveforms in the output netCDF data product

Information

Users are invited to join the ESA Join and Share G-POD Forum available at the following [Link](#) to suggest new features for SARvatore and to report issues in using the services and the data repository. The Forum is also the best place to discuss results obtained by using data processed with SARvatore.

Εικόνα 9: Παραμετροποίηση για τον Cryosat-2
Πηγή: G-POD

Pick Profile:

Here you can choose some pre-defined processing configuration: by selecting one of the available items in the drop-down menu below, the processing options (recommended for the specific thematic application) will be automatically selected and then you can go directly to the processing clicking on the "Process it!" button.

Select the processing configuration you want to use: Coastal Zone ▼

Here you find a list of processing options that you can select according to the processing level
 For a wiki user manual of the service, go here: [wiki](#)
 For a hands-on presentation, go here: [slides](#)

L1B Processor:

- **Select the data type NT/ST you want to process**
 Flag to process only ST (Short Time Critical) or only NT (Non Time Critical) or both data types only NT ▼
- **Data Posting Rate**
 Flag to set the data posting rate: 20 Hz (canonic posting rate) or 80 Hz (finer posting rate) 20 Hz ▼
- **Hamming Weighting Window**
 Flag to set the application of the Hamming Weighting Window on the burst data (section 4.4 in REF1) Yes, apply it ▼
- **Exact Beam-Forming**
 Flag to set the application of exact or approximated Doppler Beam Steering (section 4.4 in REF1) Approximated ▼
- **FFT Zero-Padding**
 Flag to operate the Zero-Padding prior to the range FFT (section 4.8 in REF1). Zero-Padding is indicated for coastal zone analysis Yes, apply Zero-Pai ▼
- **Radar Receiving Window Size**
 Flag to select the size of the radar receiving window: 128 range bins (standard) or 256 range bins (extended). Extended window is indicated for coastal zone analysis 256 range bins ▼
- **Antenna Pattern Compensation**
 Flag to activate the antenna pattern compensation on the Stack Data No ▼
- **Dump SAR Stack Data in output**
 Flag to dump the SAR Stack Data in the output package. Be aware that SAR Stack Data are bulky data products (around 1 GB for single pass); do not process them massively but limit yourself at around 10/20 passes at the time No ▼

L2 Processor:

- **Restrict the re-tracking on specific surfaces**
 Flag to limit the processing on open sea or on water (open sea, coastal zone and inland water) or to process the full pass Process only water ▼
- **PTR width alphap parameter**
 Use a LUT (Look-Up Table) or a constant for PTR (Point Tartet Response) alphap parameter LUT ▼
- **SAMOSa Model Generation**
 Flag to select the generation of the SAMOSA model to use in the re-tracking. SAMOSA3 is a truncated version (only zero order term) of SAMOSA2 (REF2), SAMOSA+ is the SAMOSA2 model tailored for inland water, sea ice and coastal zone domain Use SAMOSA+ ▼
- **Dump RIP in output**
 Flag to append Range Integrated Power (RIP) in the output netCDF data product Yes ▼
- **Dump SAR Echo Waveforms in output**
 Flag to append the SAR Echo Waveforms in the output netCDF data product Yes ▼
- **Single-look or Multi-look Model**
 Flag to set the application of the Model Multilooking (Single-Look or Multi-Look). Single-Look option is indicated for quick look operations while Multi-Look is the most accurate Multi-look ▼

REF1: Guidelines for the SAR (Delay-Doppler) L1b Processing
 REF2: SAR Altimeter Backscattered Waveform Model (SAMOSA Model Paper),
 IEEE-TGARSS, Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on (Volume:53, Issue: 2)

For any question, bugs and support, please contact us at: altimetry.info@esa.int
 For G-POD specific questions, please contact eo-gpod@esa.int

Εικόνα 10: Παραμετροποίηση για τον Sentinel3
 Πηγή: G-POD

Στην συνέχεια αφού επιλέξουμε τις παραμέτρους πατάμε Process it και περιμένουμε. Στο Workspace μπορούμε να δούμε πως προχωράει η επεξεργασία των δεδομένων μας (Βλ. Εικόνα 6.4)

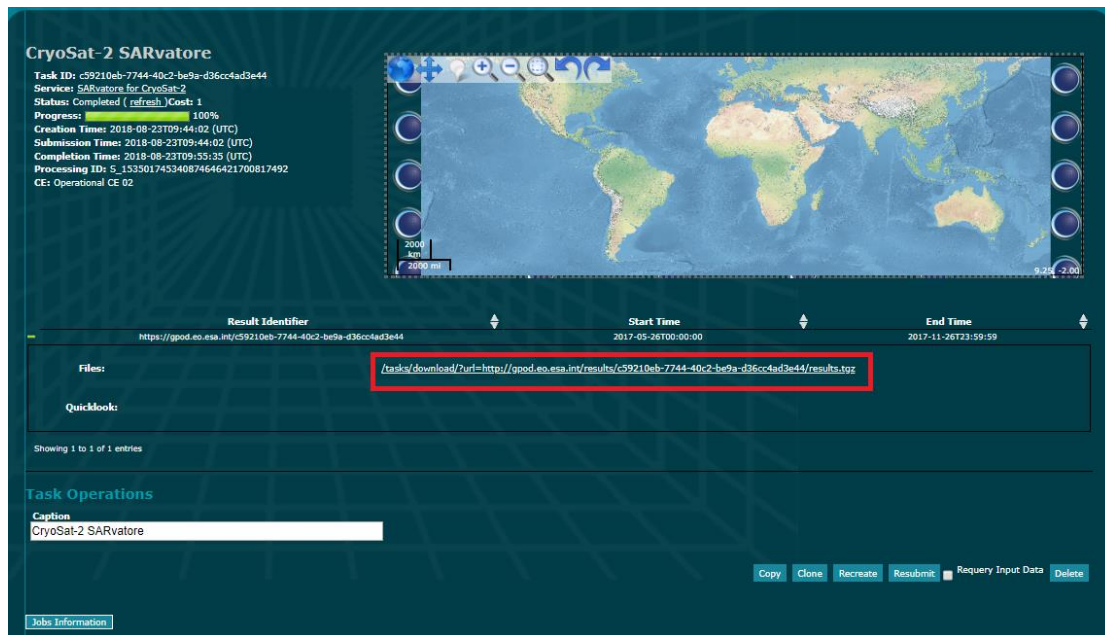
The screenshot shows the G-POD Workspace interface. At the top, there are navigation tabs: esa, Home, Services, Workspace, Catalogue, Products, Schedulers, My profile, Documentation, and Help. Below these, there is a search bar and a dropdown menu showing '20' results. The main content area is titled 'Workspace' and contains a table with the following columns: All, Prepared, Created, Pending, Active, Paused, Failed, Completed, Incomplete, Deleted. The table lists various processing jobs with columns for Caption, Service, Computing Resource, Status, Creation time, Submission time, and Completion time. The jobs are mostly 'CryoSat-2 SARvatore' and 'SARvatore for S3' with statuses ranging from 'Failed' to 'Completed'.

All	Prepared	Created	Pending	Active	Paused	Failed	Completed	Incomplete	Deleted
Caption	Service	Computing Resource	Status	Creation time	Submission time	Completion time			
CryoSat-2 SARvatore	SARvatore for CryoSat-2	Operational CE 02	Failed	2018-09-24 06:33:53 (UTC)	2018-09-24 06:33:53 (UTC)	2018-09-27 06:37:44 (UTC)			
CryoSat-2 SARvatore	SARvatore for CryoSat-2	Operational CE 02	Completed	2018-08-23 09:44:02 (UTC)	2018-08-23 09:44:02 (UTC)	2018-08-23 09:55:35 (UTC)			
CryoSat-2 SARvatore	SARvatore for CryoSat-2	Operational CE 02	Completed	2018-08-23 09:26:40 (UTC)	2018-08-23 09:26:40 (UTC)	2018-08-23 09:38:35 (UTC)			
CryoSat-2 SARvatore	SARvatore for CryoSat-2	Operational CE 02	Completed	2018-08-23 08:23:40 (UTC)	2018-08-23 08:23:40 (UTC)	2018-08-23 09:11:38 (UTC)			
CryoSat-2 SARvatore	SARvatore for CryoSat-2	Operational CE 02	Completed	2018-08-20 10:53:45 (UTC)	2018-08-20 10:53:45 (UTC)	2018-08-20 12:27:37 (UTC)			
CryoSat-2 SARvatore	SARvatore for CryoSat-2	Operational CE 02	Completed	2018-08-20 09:51:06 (UTC)	2018-08-20 09:51:06 (UTC)	2018-08-20 10:45:38 (UTC)			
CryoSat-2 SARvatore	SARvatore for CryoSat-2	Operational CE 02	Completed	2018-08-19 11:06:20 (UTC)	2018-08-19 11:06:20 (UTC)	2018-08-19 12:09:34 (UTC)			
CryoSat-2 SARvatore	SARvatore for CryoSat-2	Operational CE 02	Completed	2018-08-19 09:59:45 (UTC)	2018-08-19 09:59:45 (UTC)	2018-08-19 10:50:36 (UTC)			
CryoSat-2 SARvatore	SARvatore for CryoSat-2	Operational CE 02	Completed	2018-07-05 10:35:49 (UTC)	2018-07-05 10:35:49 (UTC)	2018-07-05 11:33:16 (UTC)			
CryoSat-2 SARvatore	SARvatore for CryoSat-2	Operational CE 02	Completed	2018-07-05 08:38:24 (UTC)	2018-07-05 08:38:24 (UTC)	2018-07-05 10:31:49 (UTC)			
CryoSat-2 SARvatore	SARvatore for CryoSat-2	Operational CE 02	Completed	2018-07-02 11:08:23 (UTC)	2018-07-02 11:08:23 (UTC)	2018-07-02 14:58:17 (UTC)			
CryoSat-2 SARvatore	SARvatore for CryoSat-2	Operational CE 02	Completed	2018-07-02 10:10:48 (UTC)	2018-07-02 10:10:48 (UTC)	2018-07-02 10:42:46 (UTC)			
CryoSat-2 SARvatore	SARvatore for CryoSat-2	Operational CE 02	Completed	2018-05-18 08:24:28 (UTC)	2018-05-18 08:24:28 (UTC)	2018-05-18 08:32:09 (UTC)			
CryoSat-2 SARvatore	SARvatore for CryoSat-2	Operational CE 02	Completed	2018-03-28 08:27:39 (UTC)	2018-04-06 21:33:54 (UTC)	2018-04-07 02:44:46 (UTC)			
CryoSat-2 SARvatore	SARvatore for CryoSat-2	Operational CE 02	Completed	2018-03-22 07:40:41 (UTC)	2018-03-22 07:40:41 (UTC)	2018-03-22 10:34:15 (UTC)			
CryoSat-2 SARvatore	SARvatore for CryoSat-2	Operational CE 02	Completed	2018-02-02 07:25:10 (UTC)	2018-02-02 07:25:10 (UTC)	2018-02-02 07:51:37 (UTC)			
CryoSat-2 SARvatore	SARvatore for CryoSat-2	Operational CE 02	Completed	2018-01-26 11:39:21 (UTC)	2018-01-26 11:39:21 (UTC)	2018-01-26 12:46:24 (UTC)			
SARvatore for S3	SARvatore for SENTINEL3	ESRIN CE 01 SL6 64bits Optimised for S3	Completed	2018-01-25 07:38:54 (UTC)	2018-01-25 07:38:54 (UTC)	2018-01-25 11:49:01 (UTC)			
SARvatore for S3	SARvatore for SENTINEL3	ESRIN CE 01 SL6 64bits Optimised for S3	Completed	2018-01-24 09:22:16 (UTC)	2018-01-24 09:22:16 (UTC)	2018-01-24 15:35:32 (UTC)			
CryoSat-2 SARvatore	SARvatore for CryoSat-2	Operational CE 02	Completed	2018-01-24 09:02:32 (UTC)	2018-01-24 09:02:32 (UTC)	2018-01-24 09:08:55 (UTC)			

Εικόνα 11: Workspace στο G-POD

Πηγή: G-POD

Το ποσοστό του κατά πόσο έχει ολοκληρωθεί η επεξεργασία των δεδομένων φαίνεται αν πατήσουμε στο αντίστοιχο δεδομένο και μόλις τελειώσει το κατέβασμα, το G-POD μας εμφανίζει έναν σύνδεσμο τον οποίο μόλις επιλέξουμε, μας κατεβάζει αυτόματα τα δεδομένα μας και έτσι μπορούμε να προχωρήσουμε στο επόμενο βήμα που είναι η επεξεργασία στο BRAT.



Εικόνα 12: Ολοκλήρωση κατεβάσματος δεδομένων στο G-POD
Πηγή: G-POD

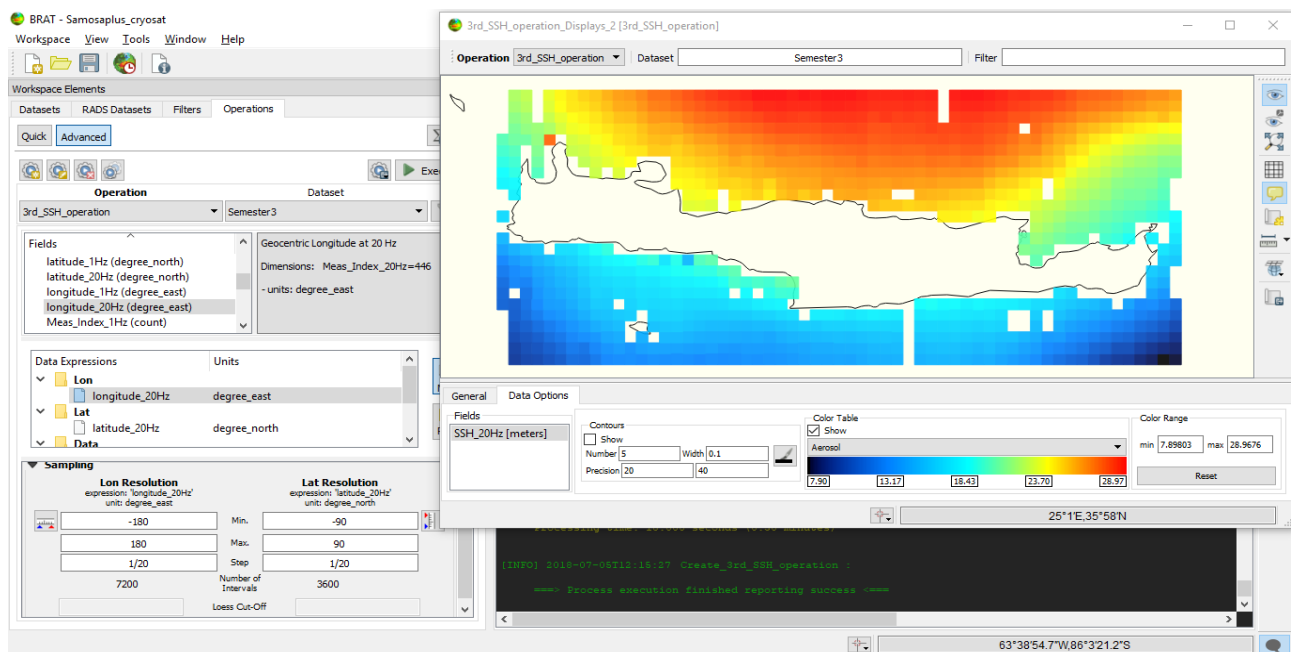
- **BRAT:** Μετά την ολοκλήρωση της λήψης των δεδομένων, με την χρήση του λογισμικού BRAT, επεξεργαζόμαστε τα δεδομένα. Αρχικά δημιουργούμε ένα καινούργιο περιβάλλον εργασίας (Workspace) και το ονομάζουμε. Εισάγουμε τα δεδομένα NetCDF και στην συνέχεια δημιουργούμε λειτουργίες (operations) και επιλέγουμε τις επιλογές για προχωρημένους έτσι ώστε να επιλέξουμε τον συνδυασμό των κατάλληλων μεταβλητών για την εργασία. Μέσω της καρτέλας Operations μπορούν να εφαρμοστούν, κάποια φίλτρα στα δεδομένα με σκοπό την εξομάλυνσή τους, την αφαίρεση των χονδροειδών σφαλμάτων, καθώς και την εφαρμογή παρεμβολής σε αυτά. Συγκεκριμένα, τα φίλτρα αυτά είναι τα εξής:

1. Smooth: εξομαλύνει τις τιμές των δεδομένων όπου αυτά υπάρχουν (δεν πραγματοποιεί παρεμβολή)
2. Extrapolate: με την εφαρμογή παρεμβολής, συμπληρώνει τις τιμές των δεδομένων όπου αυτά δεν υπάρχουν
3. Loess: πραγματοποιεί τις δύο παραπάνω ενέργειες ταυτόχρονα. Σε αυτό το φίλτρο, ο χρήστης πρέπει να ορίσει την τιμή Loess cut-off. Όσο μεγαλύτερη τιμή λαμβάνει η τιμή αυτή, τόσο μεγαλώνει η ακτίνα επιρροής του φίλτρου και επομένως τόσο πιο πολύ διαφοροποιείται το αποτέλεσμα. Σημειώνεται πως η τιμή του Loess

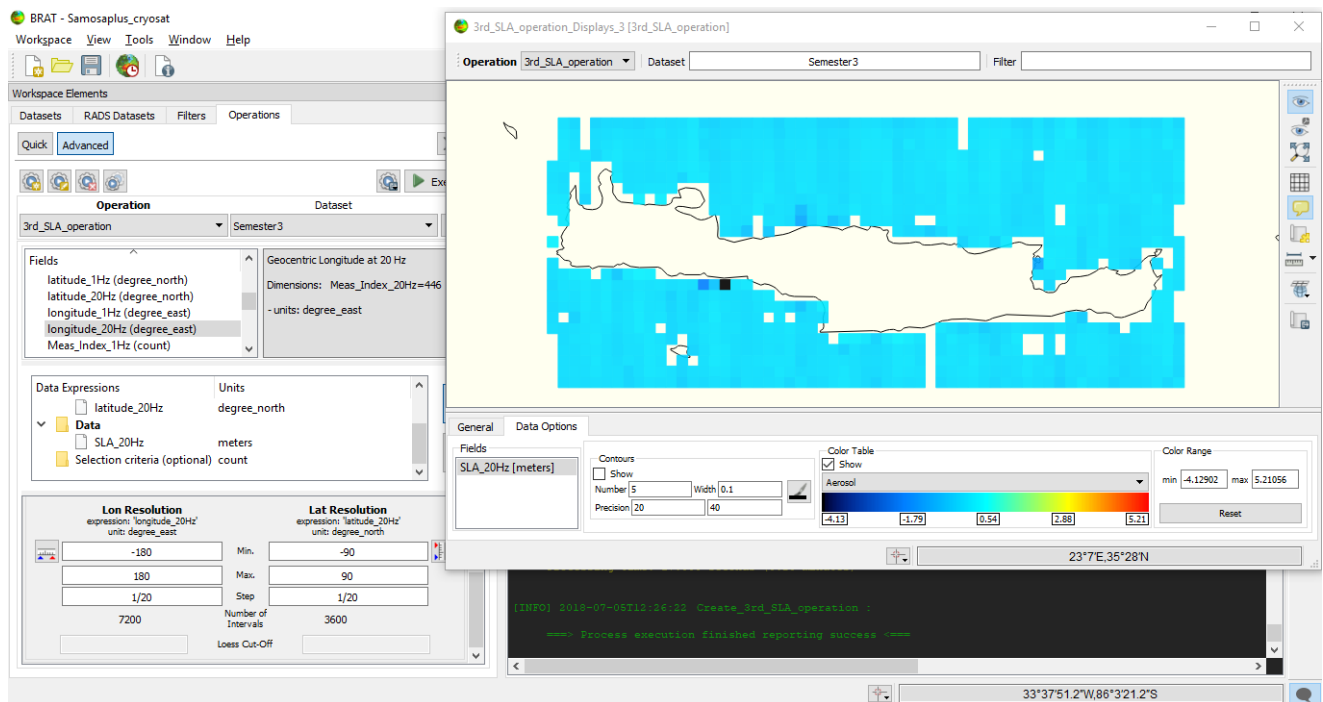
cut-off πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 30 για την εξαγωγή ορθών αποτελεσμάτων.

Στην συγκεκριμένη εργασία για την εξαγωγή αποτελεσμάτων αξιοποιήθηκαν οι μεταβλητές Γεωγραφικό μήκος (longitude (20Hz)), Γεωγραφικό Πλάτος (latitude (20Hz)) , SSH και SLA και είναι όλα default σε μέτρα. Η περαιτέρω παραμετροποίηση για την δημιουργία των SSH φαίνεται στην εικόνα 6.6 και των SLA στην εικόνα 6.7.

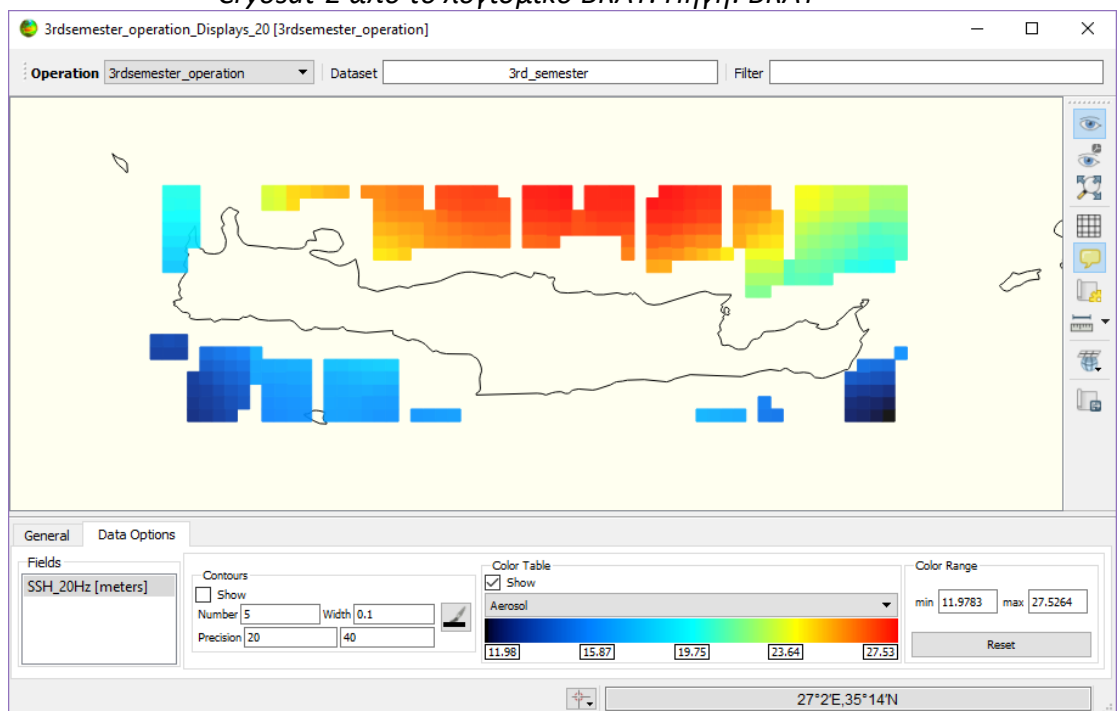
Αξίζει να σημειωθεί ότι για την εξομάλυνση των αποτελεσμάτων, που όπως αναφέραμε στο κεφάλαιο 5, έχουν εκ φύσεως κάποια προβλήματα στην πλατφόρμα, έγινε μια προσπάθεια να χρησιμοποιηθούν ορισμένα φίλτρα όπως το LOESS (βλ. εικόνα 6.8). Παρόλα αυτά τα αποτελέσματα δεν ήταν ικανοποιητικά και έτσι απλά θα παραθέσουμε μια περίπτωση για να επιστημονικούς σκοπούς.



Εικόνα 13: Παραμετροποίηση για εξαγωγή αποτελεσμάτων SSH του Cryosat-2 από το λογισμικό BRAT. Πηγή: BRAT



Εικόνα 14: Παραμετροποίηση για εξαγωγή αποτελεσμάτων SLA του Cryosat-2 από το λογισμικό BRAT. Πηγή: BRAT



Εικόνα 15: Αποτέλεσμα εφαρμογής του φίλτρου LOESS στα δεδομένα SSH του Cryosat-2 για το 3^ο εξάμηνο (12/07/2011- 12/12.2011). Πηγή: BRAT

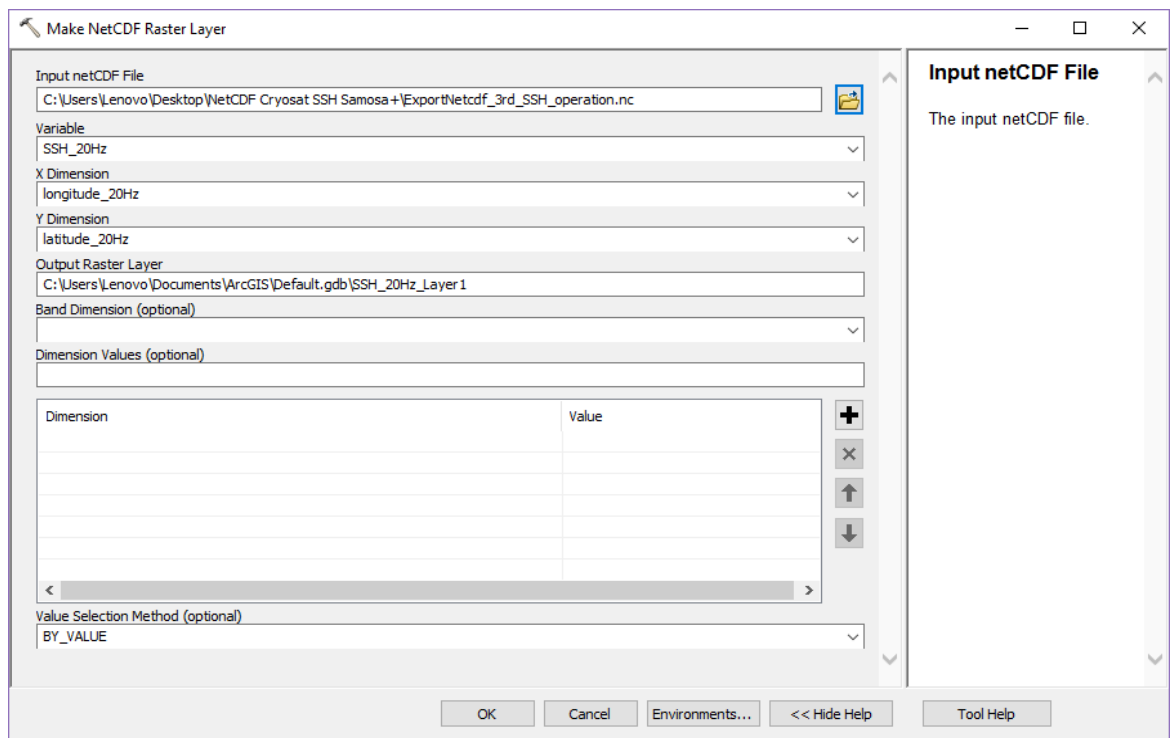
Αφού γίνει η παραμετροποίηση, μας μένει να οπτικοποιήσουμε τα δεδομένα. Ορίζοντας ως $X = \text{longitude}$ $Y = \text{latitude}$, είναι χάρτες που αναπαριστούν την έκφραση Data Expression (SSH, SLA) συναρτήσεως του

γεωγραφικού μήκους (οριζόντιος άξονας) και του γεωγραφικού πλάτους (κάθετος άξονας).

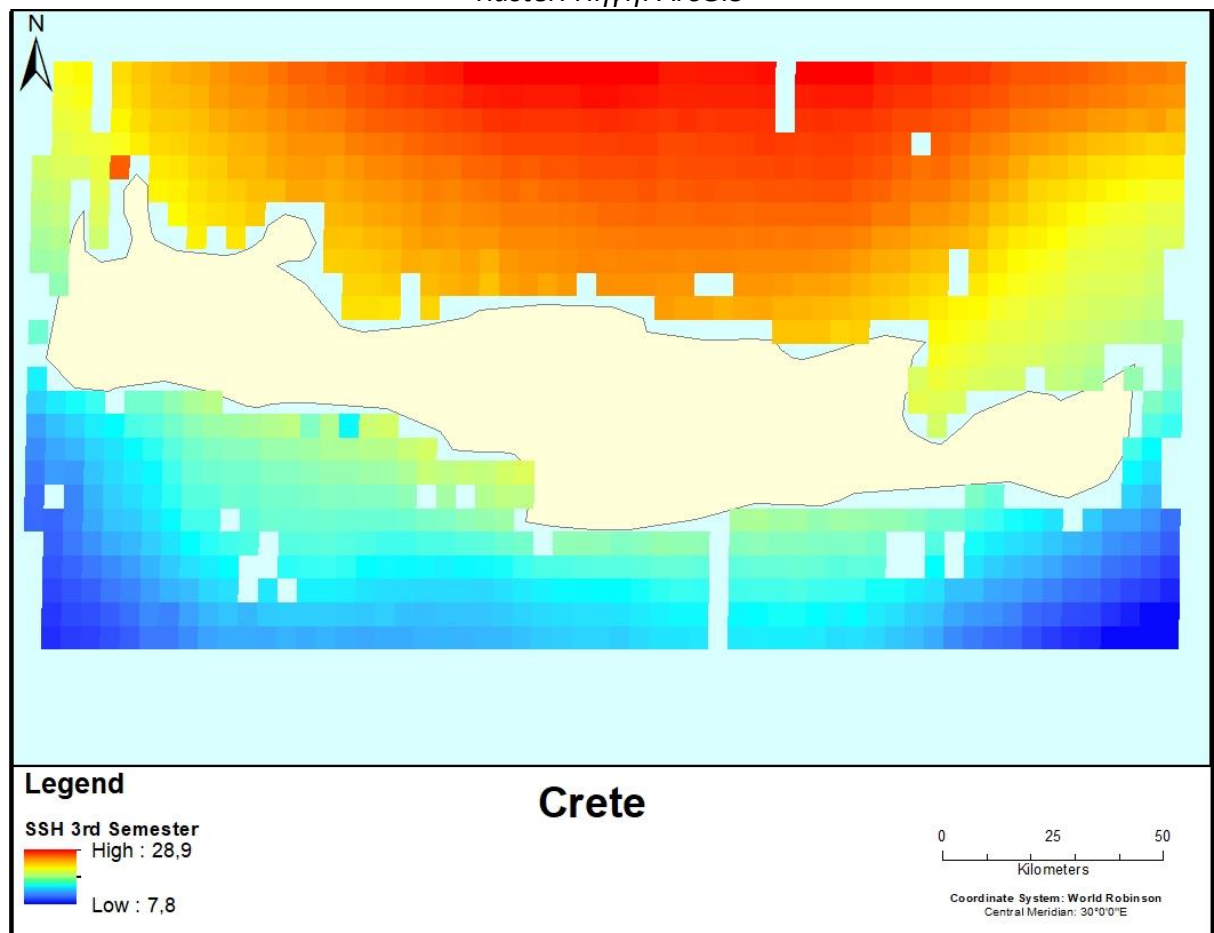
Εδώ, ο χρήστης μπορεί να μεταβάλλει το είδος της χαρτογραφικής προβολής (σε σχέση με αυτή που είχε επιλέξει από την καρτέλα Views σε εμάς είναι Κυλινδρική Μερκατορική), να ορίσει το κέντρο της απεικόνισης στις δισδιάστατες προβολές και να ορίσει τις απαραίτητες παραμέτρους σχετικά με την χρωματική κλίμακα, κλπ (βλ. εικόνα 6.9).

Αφού κάνουμε εξαγωγή δεδομένων περνάμε στην δημιουργία χαρτών στο πρόγραμμα ArcGIS.

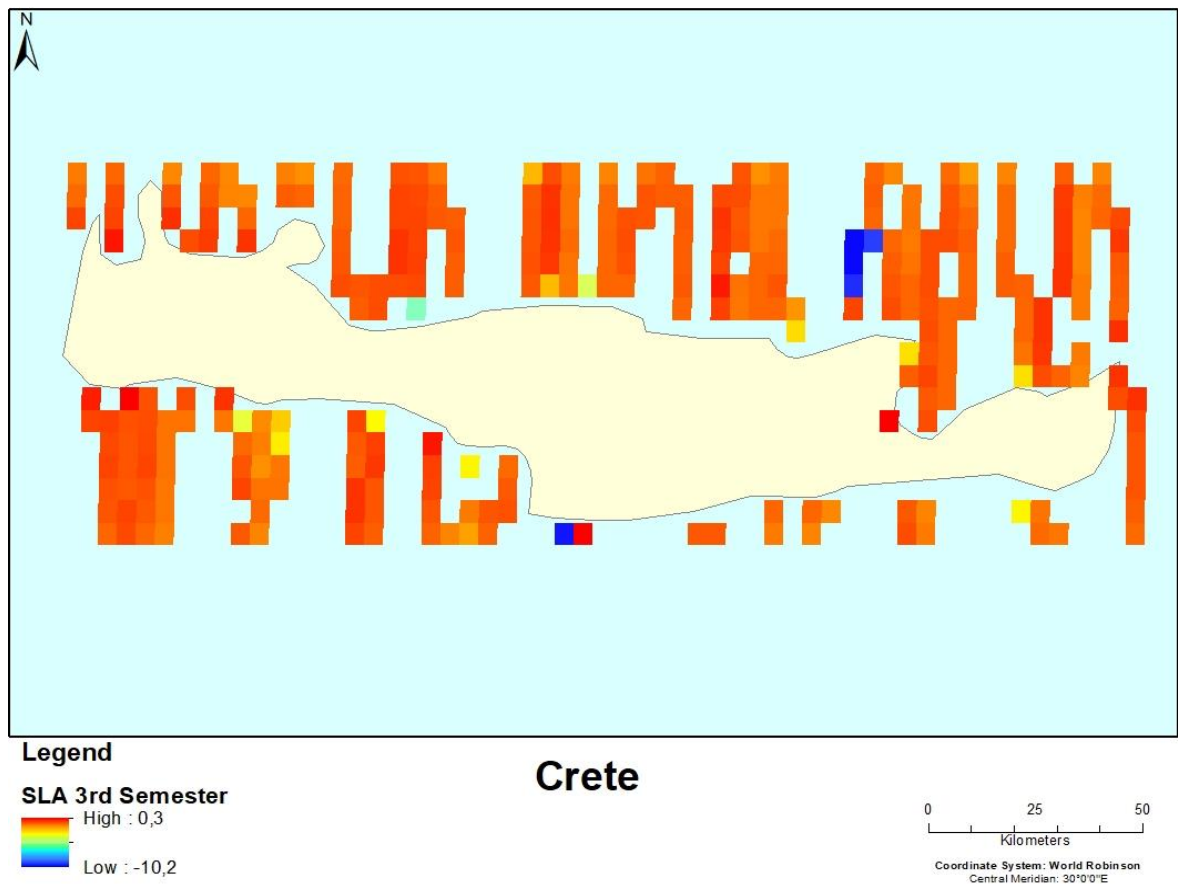
- **ArcGIS:** Για την παραγωγή τελικών χαρτών, εισάγουμε τα δεδομένα NetCDF στο ArcGIS και επιλέγουμε από τον κατάλογο System Toolboxes, Multidimension Tools και τέλος την διαδικασία «Make NetCDF Raster Layer» για να μπορέσουμε να προβάλλουμε αυτά τα δεδομένα και σε μορφή χαρτών στο ArcGIS, καθώς τα δεδομένα αυτά περιέχουν πολυδιάστατες πληροφορίες και χρειάζεται να γίνει επιλογή των δεδομένων που θα προβληθούν έπειτα σε χάρτη. Η παραμετροποίηση, φαίνεται παρακάτω στην εικόνα 6.9. και η κλίμακα είναι 1: 980.000. Στην συνέχεια μόλις τελειώσει αυτή η διαδικασία αρχίζουμε να διαμορφώνουμε τον χάρτη εισάγοντας, υπόμνημα, κλίμακα, κλπ. Το τελικό αποτέλεσμα εμφανίζεται στην εικόνα 6.10. Περαιτέρω συζήτηση και παρουσίαση των αποτελεσμάτων θα γίνει στα κεφάλαια 7 και 8 (βλ. χάρτες 6.1 και 6.2).



Εικόνα 16: Παραμετροποίηση για αρχεία NetCDF και την παραγωγή αρχείου Raster. Πηγή: ArcGIS



Χάρτης 1: Χάρτης SSH που παράχθηκε στο ArcGIS από τα δεδομένα του δορυφόρου Cryosat-2 για το 3^ο εξάμηνο (12/07/2011- 12/12/2011) στην Κρήτη.



Χάρτης 2: Χάρτης SLA που παράχθηκε στο ArcGIS από τα δεδομένα του δορυφόρου Cryosat-2 για το 3ο εξάμηνο (12/07/2011- 12/12/2011) στην Κρήτη.

7. Παρουσίαση Αποτελεσμάτων και Συζήτηση

Όπως είδαμε οι Cazenave et al., απέδειξαν πως στην ανατολική Μεσόγειο η στάθμη της θάλασσας είχε συνεχή άνοδο κατά τα έτη 1993-1999, με έναν ρυθμό της τάξεως των 20 mm/yr στην νοτιοανατολική Κρήτη. Θεωρούν, ότι αυτές οι αυξομειώσεις στην θαλάσσια στάθμη οφείλονται σε δυο λόγους. Ο πρώτος εστιάζει στο γεγονός ότι, υπάρχει αλλαγή στον όγκο εξαιτίας αλλαγών πυκνότητας. Οι αλλαγές στην πυκνότητα οφείλονται στις μεταβολές αλατότητας και της θερμοκρασίας. Ο δεύτερος λόγος είναι, στην αλλαγή μάζας νερού που ανταλλάσσεται μεταξύ της ατμόσφαιρας και της ξηράς με τις διαδικασίες της εξάτμισης, των κατακρημνίσεων και των ποτάμιων απορροών. Η Μεσόγειος όντας μια κλειστή θάλασσα, η ανταλλαγή νερού μέσω των στενών είναι αρκετά δύσκολη και ίσως και αυτό προκαλεί μεταβολές στην στάθμη της θάλασσας. Η θέρμανση της θάλασσας, αυξάνει τη στάθμη της, ενώ η αύξηση της αλατότητας την υποβιβάζει εξαιτίας της αύξησης της πυκνότητας. Παρομοίως, η αύξηση των κατακρημνίσεων και της απορροής των ποταμών έχουν ως αποτέλεσμα την εισροή στην περιοχή αρκετής ποσότητας νερού που σε συνδυασμό με το γεγονός ότι η Μεσόγειος είναι μια κλειστή θάλασσα, αυξάνουν τη στάθμη της θάλασσας, ενώ η αύξηση της εξάτμισης έχει ένα αντίθετο αποτέλεσμα. Έτσι η μεταβολή της στάθμης της θάλασσας μπορεί να εκτιμηθεί με ακρίβεια όταν είναι αποτέλεσμα μιας πολύπλευρης έρευνας που εστιάζει σε συνδυασμό γνώσεων από διαφορετικές επιστήμες. Εφόσον όλα αυτά ισχύουν για την Μεσόγειο, ισχύουν και για την Κρήτη και μπορούν να θεωρηθούν ως βάση για την ερμηνεία των αποτελεσμάτων.

Εστιάζοντας τώρα στα εξαγόμενα δεδομένα, όπως αναφέραμε και στην εισαγωγή και στο κεφάλαιο 6, οι περίοδοι που έχουν οριστεί για το κατέβασμα των αρχείων είναι ανά εξάμηνα, από τον Σεπτέμβριο του 2010 μέχρι τον Ιανουάριο του 2018. Από τον Σεπτέμβριο του 2010 έως και τον Νοέμβριο του 2017 τα δεδομένα είναι από το δορυφόρο CryoSat-2, συνεπώς ένα σύνολο από 17 εξάμηνα. Ο δορυφόρος Sentinel 3 έχει χρησιμοποιηθεί για τις περιόδους 19/06/2016 έως τις 24/01/2018, με συνολικά εξάμηνα 4. Αξίζει να αναφέρουμε πως τα δεδομένα του Sentinel 3 όσο εκπονούνταν η εργασία, δεν ήταν αρκετά καθώς η αποστολή ήταν ακόμα σε αρχικό στάδιο και έτσι τα δεδομένα παρουσιάζουν αρκετά κενά, γιατί δεν

ήταν διαθέσιμα στην πλατφόρμα αρκετά από αυτά. Συνεπώς, αρκετές τροχιές λείπουν. Για τα 17 εξάμηνα του CryoSat-2 και τα 4 εξάμηνα του Sentinel 3 έχουν εξαχθεί και τα SLA και SSH.

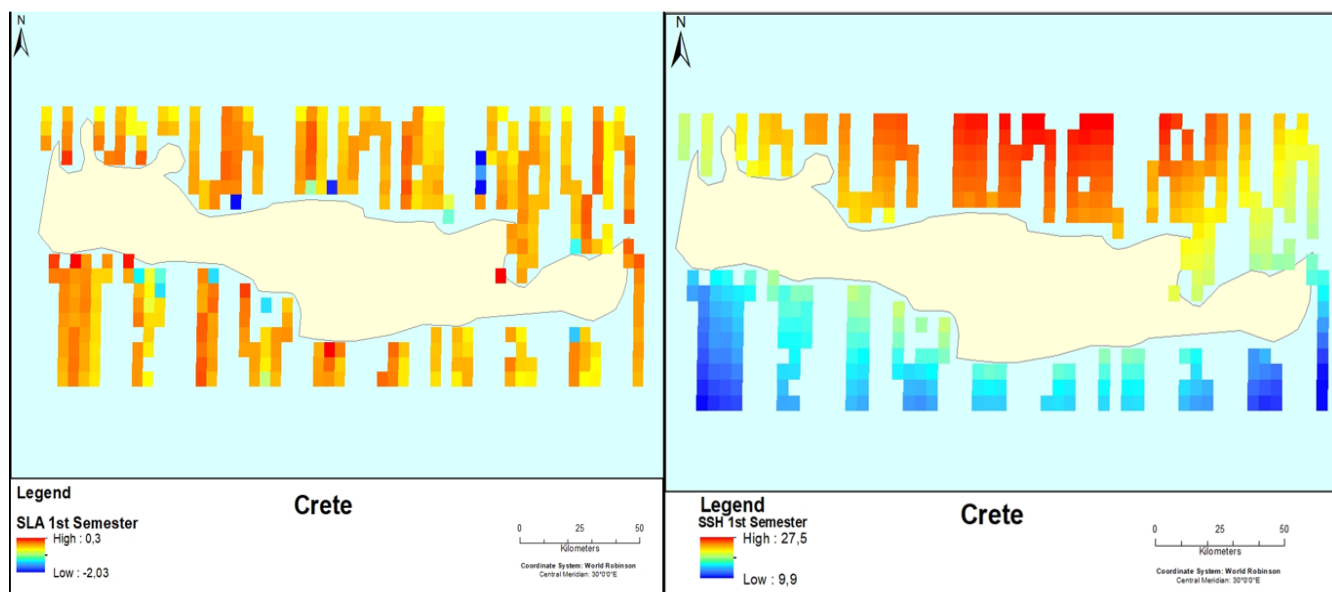
Οι χάρτες SSH παρατίθενται παρακάτω ανά έτη για λόγους οικονομίας, καθώς οι χάρτες είναι 42.

CryoSat-2 :

Αρχικά είναι ορθό να αναφερθεί ότι τα εξάμηνα 7,9,10 14,15,16 και 17 (βλ. Παράρτημα Χαρτών, Χάρτες 1-14) του CryoSat 2 παρουσιάζουν μεγάλες αποκλίσεις μεταξύ των μέγιστων και των ελάχιστων τιμών, καθώς επίσης υπάρχει και πρόβλημα με τις τροχιές, αφού όπως ενημέρωσε η ESA οφείλεται στην τροχιά του δορυφόρου καθώς επίσης και στην πλατφόρμα η οποία μπορεί να μην είχε κάποια από τα δεδομένα και τις τροχιές των συγκεκριμένων περιόδων.

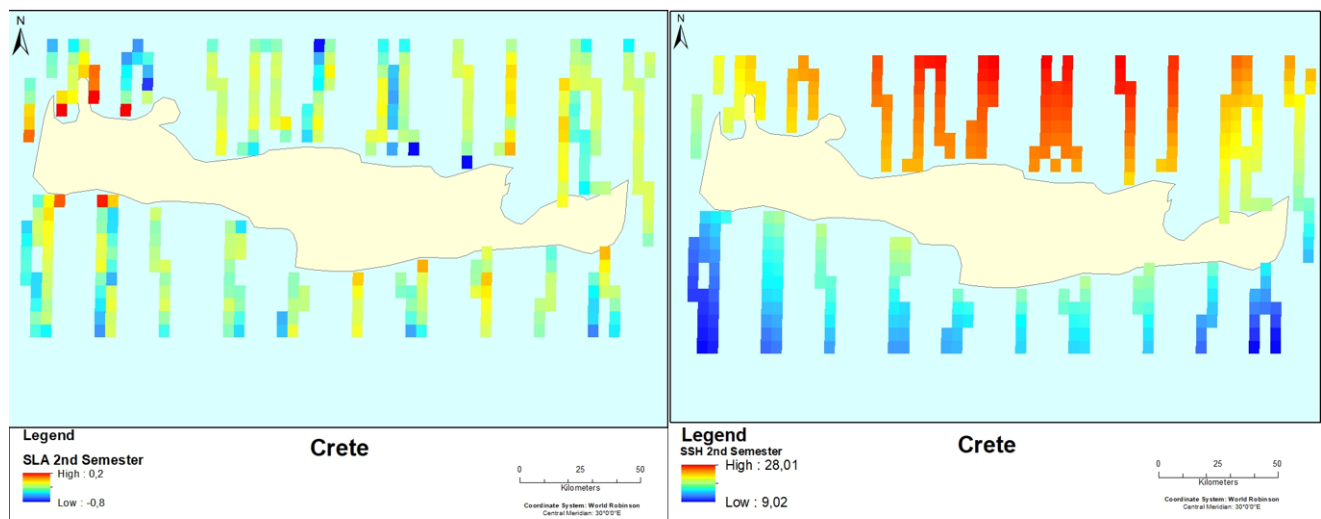
Τα υπόλοιπα εξάμηνα του CryoSat-2, στο SSH παρουσιάζουν μεγάλη ομοιότητα στα μέγιστα και τα ελάχιστα, καθώς τα μέγιστά τους κυμαίνονται σε τιμές περίπου 27 με 28 και αντίστοιχα και τα ελάχιστα μεταξύ 6 και 9. Αυτές οι μικρές μεταβολές στο SSH (Sea Surface Height) είναι πιο πιθανό να σχετίζονται με την περίοδο λήψης των δεδομένων από τον δορυφόρο και με το γεγονός ότι, όπως είδαμε προηγουμένως, η Μεσόγειος αποτελεί μια κλειστή θάλασσα, έτσι μικρές αλλαγές στην θερμοκρασία της, την αλατότητα και την πυκνότητά της μπορούν να μεταβάλλουν την στάθμη της. Όπως αναφέραμε, κατακρημνίσεις, αλατότητα, άρα αλλαγές στην πυκνότητα, θαλασσοταραχές, μπορεί να συμβαίνουν σε περιόδους σαν αυτές. Παρόλα αυτά, παρατηρούμε ότι οι περισσότερες κόκκινες αποχρώσεις, συναντώνται στο βόρειο τμήμα του νησιού και ίσως αυτό σχετίζεται με το γεγονός ότι η νότια πλευρά του νησιού, ανυψώνεται, λόγω τεκτονισμού, όπως είδαμε στα προηγούμενα κεφάλαια. Όμως από την στιγμή που δεν μελετάμε την μεταβολή της στάθμης της θάλασσας σε συνδυασμό με την ανύψωση ή καθίζηση της ξηράς, δεν μπορούμε να είμαστε σίγουροι για το τι ακριβώς συμβαίνει. Τα SLA δεν διαφοροποιούνται πολύ, επίσης.

Εξάμηνο 1 (10/09/2010- 10/02/2011): Στους χάρτες SSH (Sea Surface Height) και SLA (Sea Level Anomalies) του πρώτου εξαμήνου (χάρτης 3) παρατηρείται, μια συγκέντρωση των μέγιστων τιμών στο βόρειο τμήμα του νησιού και ίσως πιο αισθητά στον χάρτη SSH(δεξιά) και οι μικρότερες τιμές συγκεντρώνονται στο νότιο τμήμα. Όπως προαναφέρθηκε προηγουμένως, οι λόγοι μπορεί να είναι τεκτονισμός, αλλαγές στην πυκνότητα, στην θερμοκρασία κλπ. Παρατηρείται επίσης στον χάρτη των SLA (αριστερά) ότι παρουσιάζεται μια ομοιογένεια στις τιμές οι οποίες συγκεντρώνονται στο μέσο του συνολικού εύρους τιμών (πορτοκαλί επικρατέστερο χρώμα στον χάρτη), πράγμα που ίσως υποδηλώνει ότι δεν υπάρχουν μεγάλες ανωμαλίες στην επιφάνεια της θάλασσας (βαρύτητα, κλπ).



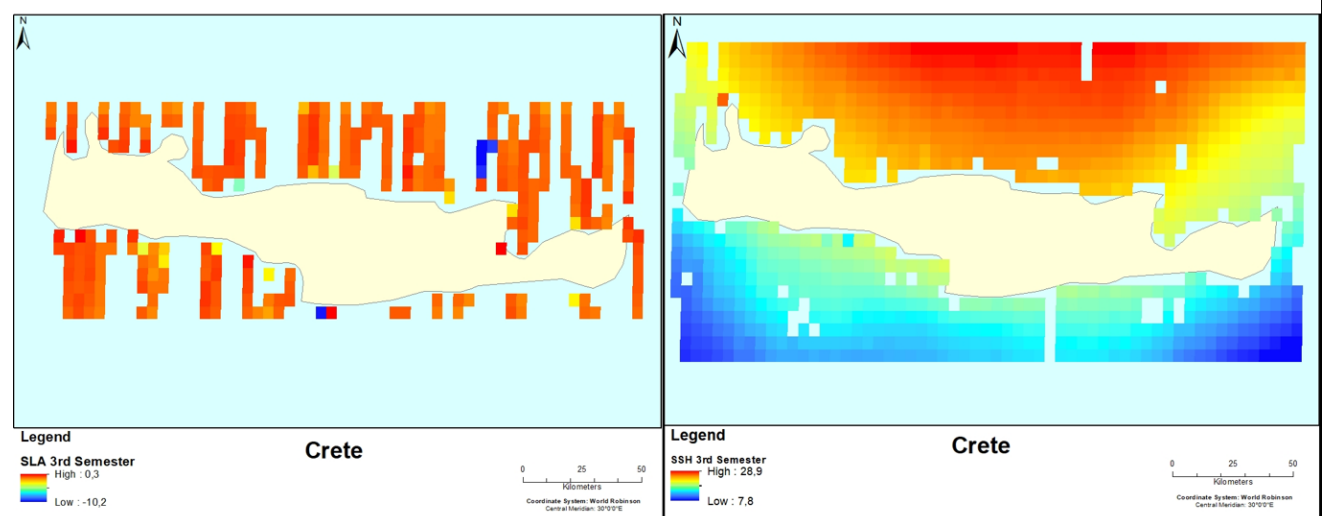
Χάρτης 3: Χάρτης SLA (αριστερά) και SSH (Δεξιά) που παράχθηκε στο ArcGIS από τα δεδομένα του δορυφόρου Cryosat-2 για το 1ο εξάμηνο (10/09/2010- 10/02/2011) στην Κρήτη.

Εξάμηνο 2 (11/02/2011- 11/07/2011): Στους χάρτες SSH (Sea Surface Height) και SLA (Sea Level Anomalies) του δεύτερου εξαμήνου (χάρτης 4) παρατηρείται πάλι συγκέντρωση των μέγιστων τιμών στο βόρειο τμήμα του νησιού και ίσως πιο αισθητά, στον χάρτη SSH (δεξιά) και οι μικρότερες τιμές συγκεντρώνονται στο νότιο τμήμα. Ο χάρτης SSH είναι πανομοιότυπος με τον χάρτη SSH του εξαμήνου 1. Στον χάρτη SLA (αριστερά) οι τιμές είναι χαμηλότερες σε σύγκριση με τον προηγούμενο χάρτη SLA του εξαμήνου 1 , και πιθανόν να οφείλεται στην περίοδο που μελετάμε (τέλη χειμώνα με αρχές καλοκαιριού).



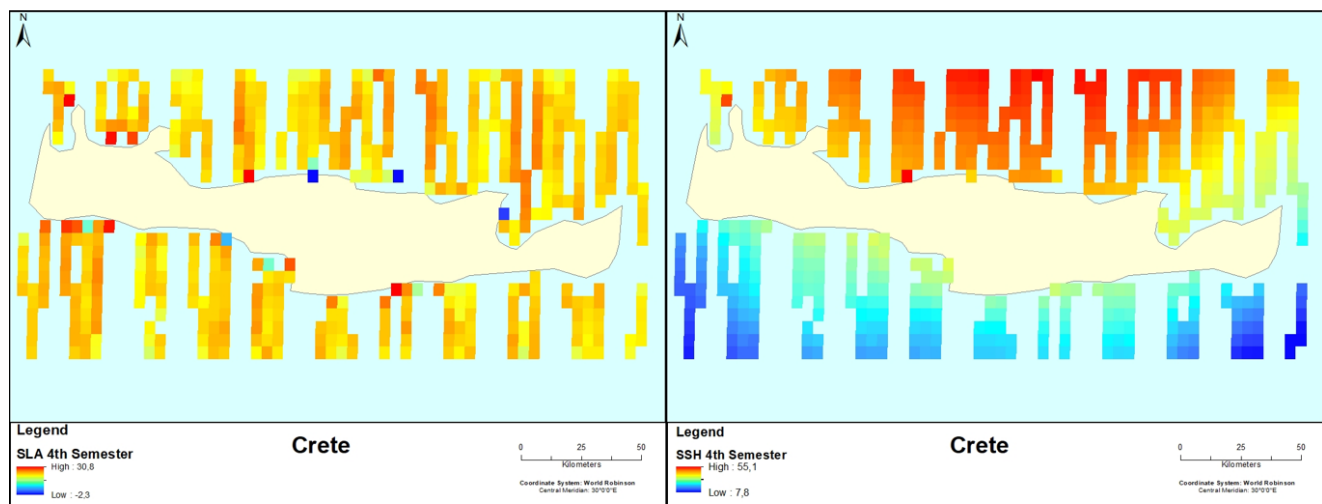
Χάρτης 4: Χάρτης SLA (αριστερά) και SSH (Δεξιά) που παράχθηκε στο ArcGIS από τα δεδομένα του δορυφόρου Cryosat-2 για το 2ο εξάμηνο (11/02/2011- 11/07/2011) στην Κρήτη

Εξάμηνο 3 (12/07/2011- 12/12/2011): Στους χάρτες SSH (Sea Surface Height) και SLA (Sea Level Anomalies) του τρίτου εξαμήνου (χάρτης 5) παρατηρείται πάλι συγκέντρωση των μέγιστων τιμών στο βόρειο τμήμα του νησιού και ίσως πιο αισθητά, στον χάρτη SSH (δεξιά) και οι μικρότερες τιμές συγκεντρώνονται στο νότιο τμήμα. Ο χάρτης SSH είναι πανομοιότυπος με τους προηγούμενους χάρτες SSH. Στον χάρτη SLA (αριστερά) οι τιμές είναι οι υψηλότερες μέχρι στιγμής σε σύγκριση με τους προηγούμενους χάρτες SLA , και πιθανόν να οφείλεται στην περίοδο που μελετάμε καθώς τα περισσότερα δεδομένα προέρχονται από περιόδους που η Ελλάδα εμφανίζει μεγάλες θερμοκρασίες και όπως αναφέρθηκε η θερμοκρασία μπορεί να επηρεάσει σε μεγάλο βαθμό την επιφάνεια της θάλασσας. Συνεπώς, είναι πολύ πιθανό να οφείλεται σε αυτές τις αλλαγές.



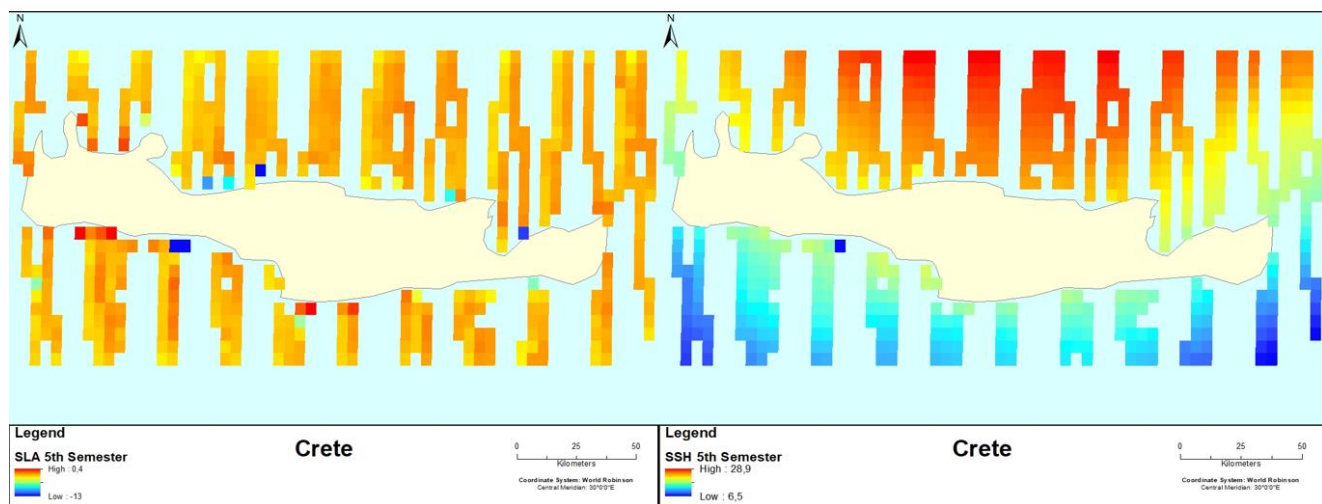
Χάρτης 5: Χάρτης SLA (αριστερά) και SSH (Δεξιά) που παράχθηκε στο ArcGIS από τα δεδομένα του δορυφόρου Cryosat-2 για το 3ο εξάμηνο (12/07/2011- 12/12/2011) στην Κρήτη

Εξάμηνο 4 (13/12/2011- 13/05/2012): Στους χάρτες SSH (Sea Surface Height) και SLA (Sea Level Anomalies) του τέταρτου εξαμήνου (χάρτης 6) παρατηρείται πάλι συγκέντρωση των μέγιστων τιμών στο βόρειο τμήμα του νησιού και ίσως πιο αισθητά, στον χάρτη SSH (δεξιά) και οι μικρότερες τιμές συγκεντρώνονται στο νότιο τμήμα. Ο χάρτης SSH είναι για άλλη μια φορά παρόμοιος με τους προηγούμενους χάρτες SSH. Στον χάρτη SLA (αριστερά) οι τιμές είναι πάλι στο μέσο του εύρους τιμών που όπως ήδη είπαμε ότι οφείλεται στα φαινόμενα τεκτονισμού, αλλαγές στην πυκνότητα, αλατότητα, κλπ.



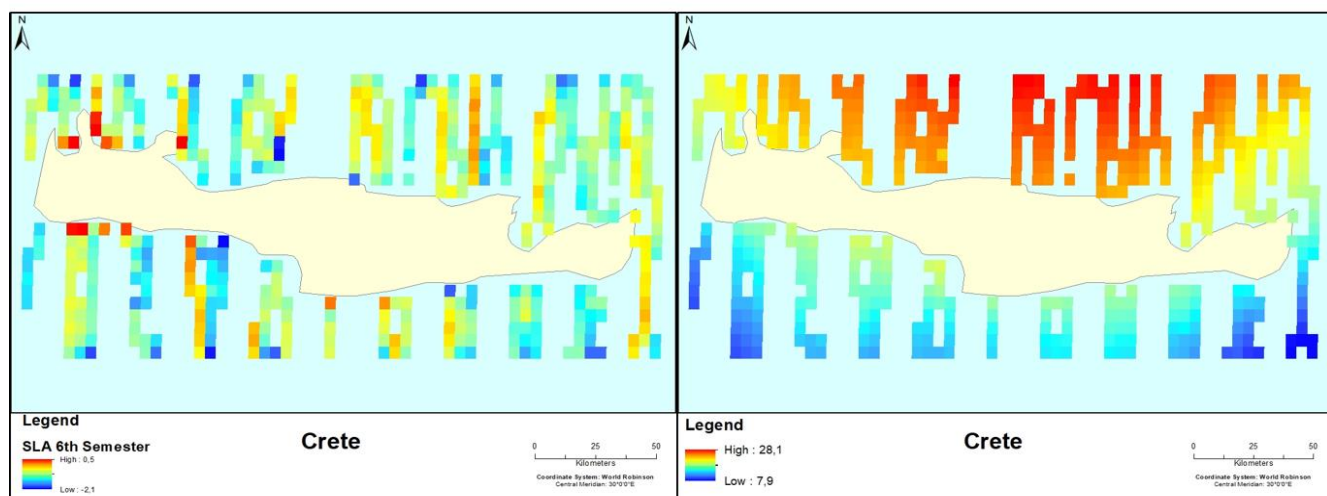
Χάρτης 6: Χάρτης SLA (αριστερά) και SSH (Δεξιά) που παράχθηκε στο ArcGIS από τα δεδομένα του δορυφόρου Cryosat-2 για το 4ο εξάμηνο (13/12/2011- 13/05/2012) στην Κρήτη.

Εξάμηνο 5 (14/05/2012- 14/10/2012): Στους χάρτες SSH (Sea Surface Height) και SLA (Sea Level Anomalies) του πρώτου εξαμήνου (χάρτης 7) παρατηρείται πάλι συγκέντρωση των μέγιστων τιμών στο βόρειο τμήμα του νησιού και ίσως πιο αισθητά, στον χάρτη SSH (δεξιά) και οι μικρότερες τιμές συγκεντρώνονται στο νότιο τμήμα. Ο χάρτης SSH είναι πανομοιότυπος με τους προηγούμενους χάρτες SSH. Στον χάρτη SLA (αριστερά) οι τιμές είναι πάλι σχετικά στο μέσο του εύρους τιμών σε σύγκριση με τους προηγούμενους χάρτες SLA.



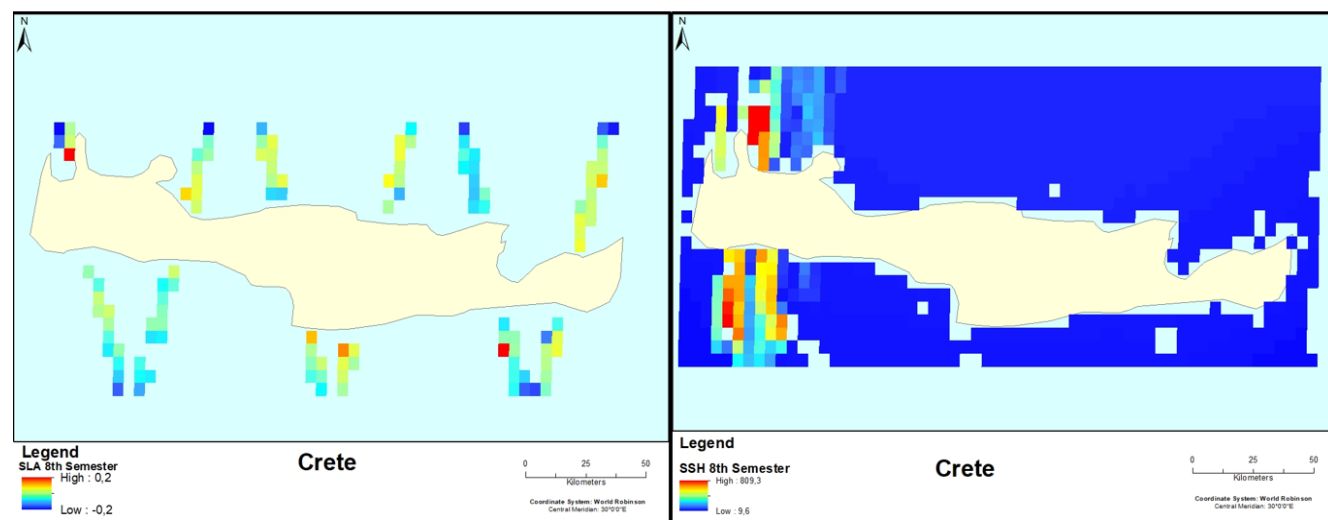
Χάρτης 7: Χάρτης SLA (αριστερά) και SSH (Δεξιά) που παράχθηκε στο ArcGIS από τα δεδομένα του δορυφόρου Cryosat-2 για το 5ο εξάμηνο (14/05/2012- 14/10/2012) στην Κρήτη.

Εξάμηνο 6 (15/10/2012- 15/03/2013): Στους χάρτες SSH (Sea Surface Height) και SLA (Sea Level Anomalies) του έκτου εξαμήνου (χάρτης 8) παρατηρείται πάλι συγκέντρωση των μέγιστων τιμών στο βόρειο τμήμα του νησιού και ίσως πιο αισθητά, στον χάρτη SSH (δεξιά) και οι μικρότερες τιμές συγκεντρώνονται στο νότιο τμήμα. Στον χάρτη SLA (αριστερά) οι τιμές είναι για άλλη μια φορά πιο χαμηλές σε σχέση με τα προηγούμενα δεδομένα των εξαμήνων στην μεταβλητή SLA. Παρόλα αυτά, τα αποτελέσματα του συγκεκριμένου χάρτη SLA (χαρτης 8) συμπίπτουν με τον χάρτη 4 του 2^{ου} εξαμήνου και οι περίοδοι που μελετήθηκαν και στα δυο αυτά εξάμηνα το μεγαλύτερο εύρος των τιμών βρίσκεται σε χειμερινή περίοδο. Συνεπώς, ίσως λόγω θερμοκρασίας παρατηρούμε τις πτώσεις των τιμών στις ανωμαλίες, καθώς όπως παρατηρήθηκε, η θερμοκρασία επηρεάζει την θαλάσσια στάθμη.



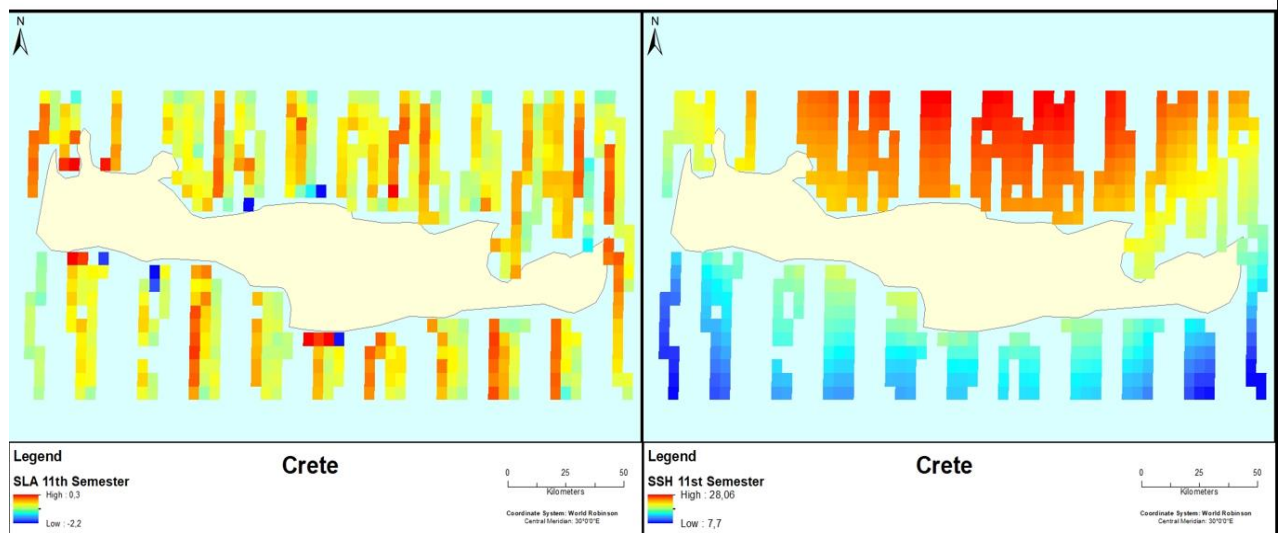
Χάρτης 8: Χάρτης SLA (αριστερά) και SSH (Δεξιά) που παράχθηκε στο ArcGIS από τα δεδομένα του δορυφόρου Cryosat-2 για το 6ο εξάμηνο (15/10/2012- 15/03/2013) στην Κρήτη.

Εξάμηνο 8 (17/08/2013- 17/01/2014): Στους χάρτες SSH (Sea Surface Height) και SLA (Sea Level Anomalies) του όγδοου εξαμήνου (χάρτης 9) παρατηρείται μια πιο περίεργη κατανομή των τιμών, που μπορεί να οφείλεται σε σφάλματα του δορυφόρου. Στον χάρτη SSH (δεξιά) επικρατεί σε μεγάλο τμήμα του νησιού το μπλε χρώμα δηλαδή οι χαμηλότερες τιμές, αυτό οφείλεται σε ακραίες τιμές που δεν μπορούσαν να αφαιρεθούν, διότι απαιτούνταν η γνώση κώδικα. Αυτές οι ακραίες τιμές ίσως οφείλονται σε σφάλματα του δορυφόρου. Στον χάρτη SLA (αριστερά) οι τιμές είναι για άλλη μια φορά πιο χαμηλές σε σχέση με τα προηγούμενα δεδομένα των εξαμήνων στην μεταβλητή SLA. Παρόλα αυτά, τα αποτελέσματα του συγκεκριμένου χάρτη SLA (χαρτης 9) συμπίπτουν με τον χάρτη 4 του 2ου εξαμήνου και τον χάρτη 8 του 6^{ου} εξαμήνου. Παρόλα αυτά ενώ οι προηγούμενοι χάρτες (4 και 8) αναφέρονται σε χειμερινές περιόδους, ο χάρτης 9 δεν ανήκει σε χειμερινή περίοδο. Συμπερασματικά, ίσως το συγκεκριμένο εξάμηνο είναι λάθος λόγω του δορυφόρου και έτσι δεν είναι άμεσα συγκρίσιμο με τα προηγούμενα δεδομένα της πτυχιακής.



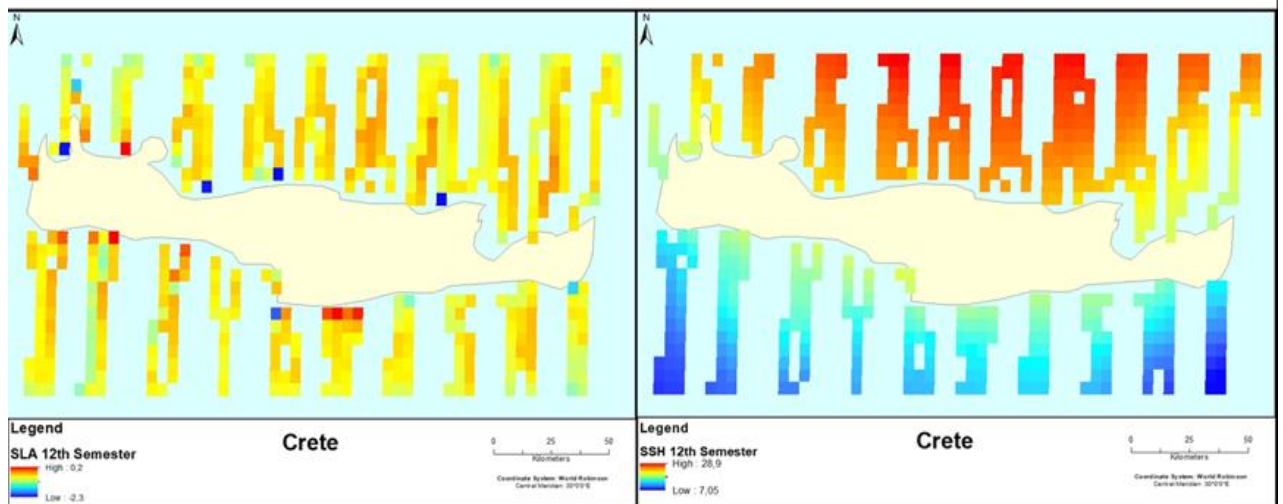
Χάρτης 9: Χάρτης SLA (αριστερά) και SSH (Δεξιά) που παράχθηκε στο ArcGIS από τα δεδομένα του δορυφόρου Cryosat-2 για το 8ο εξάμηνο (17/08/2013- 17/01/2014) στην Κρήτη.

Εξάμηνο 11 (20/11/2014- 20/04/2015): Στους χάρτες SSH (Sea Surface Height) και SLA (Sea Level Anomalies) του εντέκατου εξαμήνου (χάρτης 10) παρατηρείται πάλι συγκέντρωση των μέγιστων τιμών στο βόρειο τμήμα του νησιού και ίσως πιο αισθητά, στον χάρτη SSH (δεξιά) και οι μικρότερες τιμές συγκεντρώνονται στο νότιο τμήμα. Ο χάρτης SSH είναι πανομοιότυπος με αρκετούς από τους προηγούμενους χάρτες SSH (χάρτες 3, 6 και 7). Στον χάρτη SLA (αριστερά) οι τιμές είναι πάλι σχετικά στο μέσο του εύρους τιμών σε σύγκριση με τους προηγούμενους χάρτες SLA.



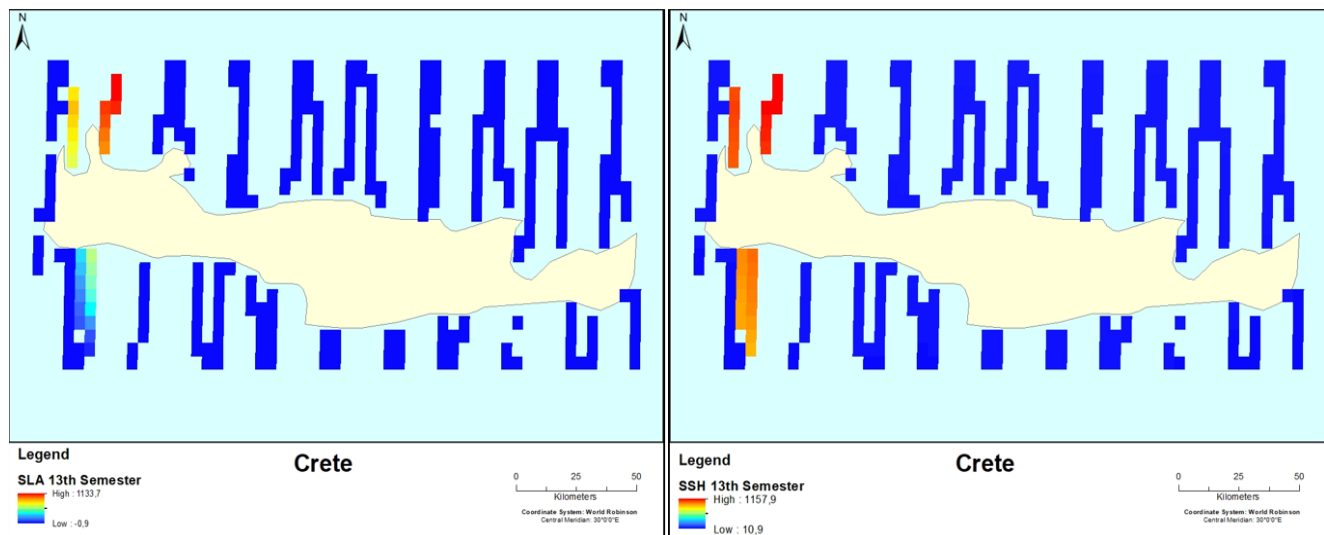
Χάρτης 10: Χάρτης SLA (αριστερά) και SSH (Δεξιά) που παράχθηκε στο ArcGIS από τα δεδομένα του δορυφόρου Cryosat-2 για το 11ο εξάμηνο (20/11/2014- 20/04/2015) στην Κρήτη.

Εξάμηνο 12 (21/04/2015- 21/09/2015): Στους χάρτες SSH (Sea Surface Height) και SLA (Sea Level Anomalies) του δωδέκατου εξαμήνου (χάρτης 11) παρατηρείται πάλι συγκέντρωση των μέγιστων τιμών στο βόρειο τμήμα του νησιού και ίσως πιο αισθητά, στον χάρτη SSH (δεξιά) και οι μικρότερες τιμές συγκεντρώνονται στο νότιο τμήμα. Ο χάρτης SSH είναι πανομοιότυπος με αρκετούς από τους προηγούμενους χάρτες SSH (χάρτες 3, 6,7 και 10). Στον χάρτη SLA (αριστερά) οι τιμές είναι για άλλη μια φορά σχετικά στο μέσο του εύρους τιμών σε σύγκριση με τους προηγούμενους χάρτες SLA.



Χάρτης 11: Χάρτης SLA (αριστερά) και SSH (Δεξιά) που παράχθηκε στο ArcGIS από τα δεδομένα του δορυφόρου Cryosat-2 για το 12ο εξάμηνο (21/04/2015- 21/09/2015) στην Κρήτη.

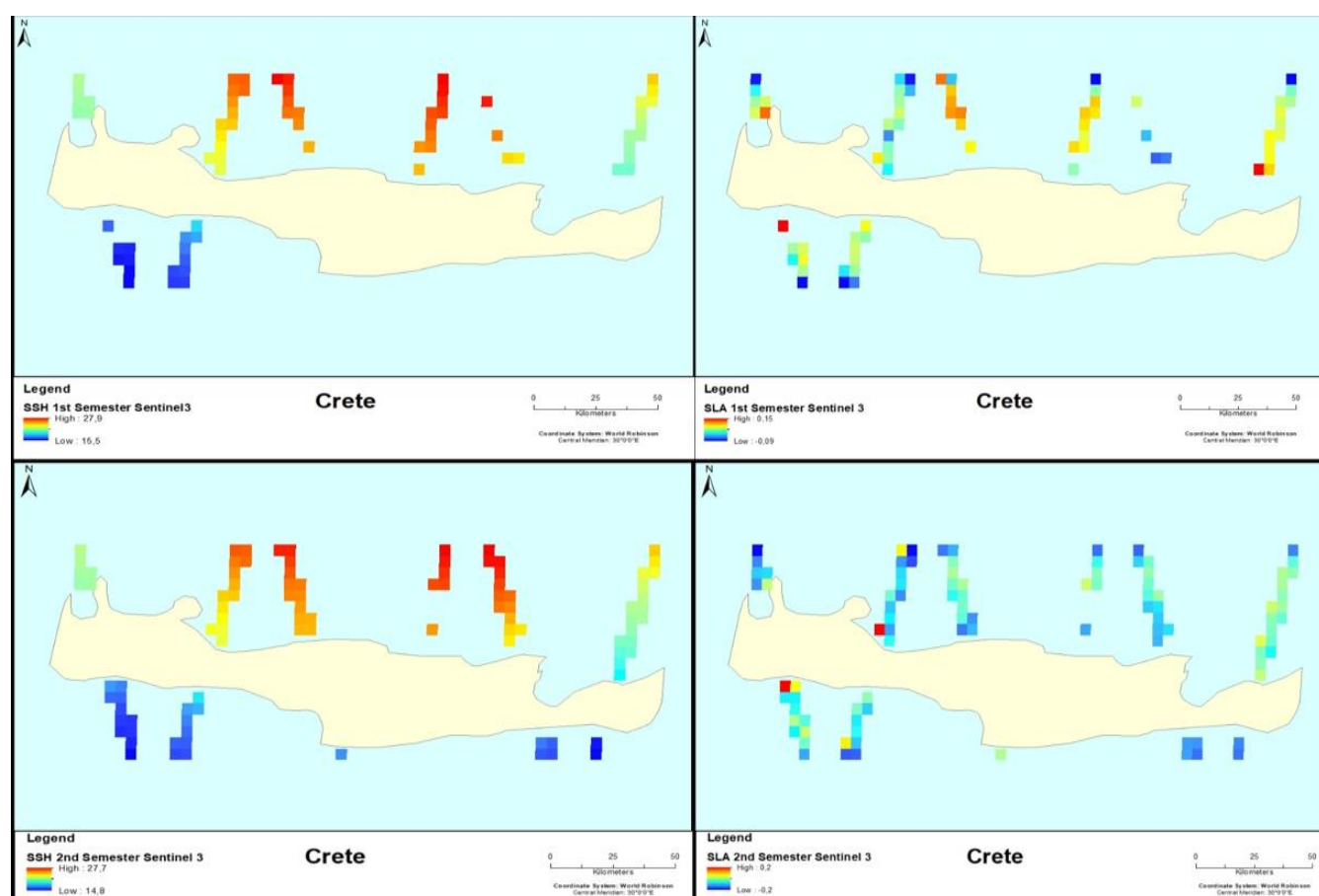
Εξάμηνο 13 (22/09/2015- 22/02/2016): Στους χάρτες SSH (Sea Surface Height) και SLA (Sea Level Anomalies) του δέκατου τρίτου εξαμήνου (χάρτης 12) παρατηρείται μια από τις πιο περίεργες κατανομές των τιμών, που μπορεί να οφείλεται όπως ξαναείδαμε, σε σφάλματα του δορυφόρου. Στον χάρτη SSH (δεξιά) επικρατεί σε μεγάλο τμήμα του νησιού το μπλε χρώμα δηλαδή οι χαμηλότερες τιμές, αυτό οφείλεται σε ακραίες τιμές που δεν μπορούσαν να αφαιρεθούν, διότι όπως αναφέρθηκε ξανά απαιτούνταν η γνώση κώδικα. Αυτές οι ακραίες τιμές ίσως οφείλονται σε σφάλματα του δορυφόρου. Στον χάρτη SLA (αριστερά) οι τιμές είναι για άλλη μια φορά πιο χαμηλές σε σχέση με τα προηγούμενα δεδομένα των εξαμήνων στην μεταβλητή SLA. Παρόλα αυτά, τα αποτελέσματα του συγκεκριμένου χάρτη SLA μοιάζει αρκετά με τον χάρτη του SSH του ίδιου εξαμήνου και είναι η πρώτη φορά που παρουσιάζεται αυτό. Για άλλη μια φορά, ίσως το συγκεκριμένο εξάμηνο είναι λάθος λόγω του δορυφόρου και έτσι δεν μπορεί να συγκριθεί με τα προηγούμενα δεδομένα της πτυχιακής και απλά αναφέρεται για λόγους ερευνητικούς.



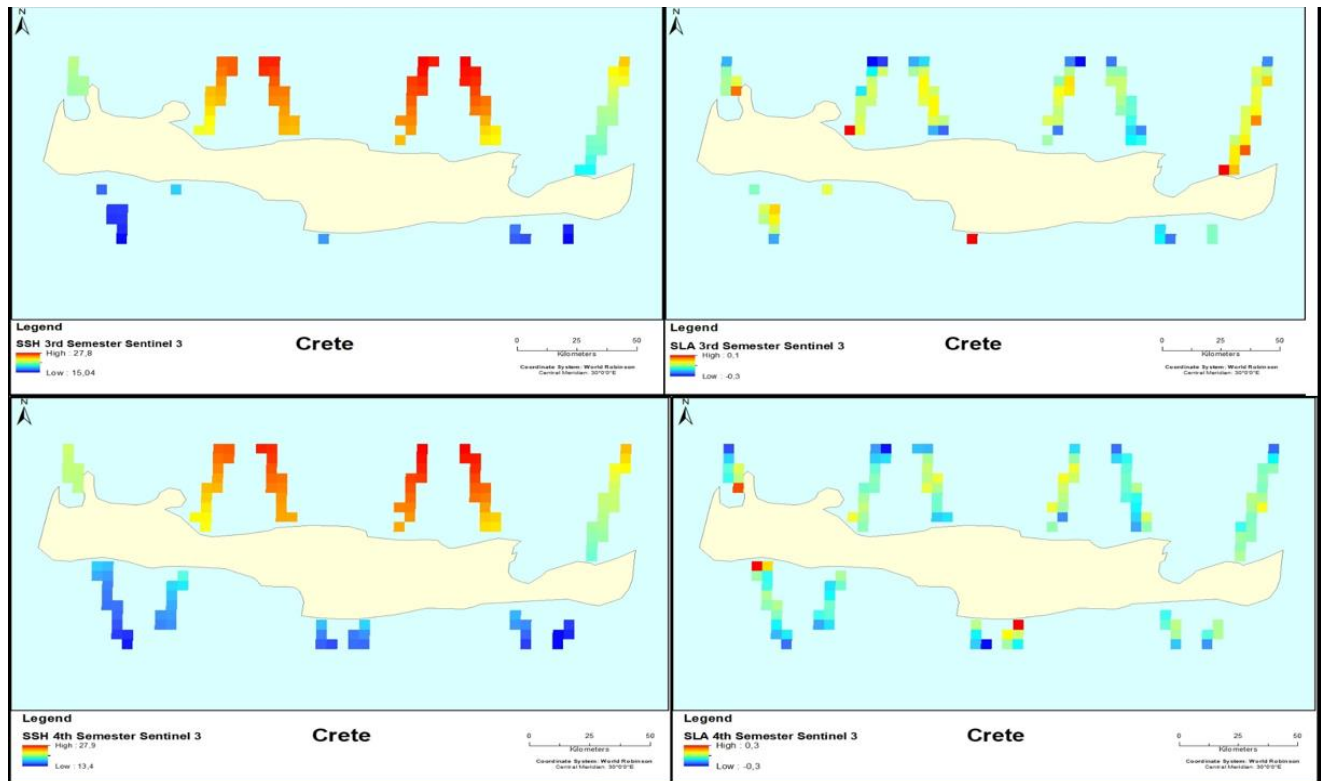
Χάρτης 12: Χάρτης SLA (αριστερά) και SSH (Δεξιά) που παράχθηκε στο ArcGIS από τα δεδομένα του δορυφόρου Cryosat-2 για το 13ο εξάμηνο (22/09/2015- 22/02/2016) στην Κρήτη.

Sentinel 3:

Παρατηρούμε από τις τιμές ότι και πάλι δεν παρουσιάζουν μεγάλη διαφορά μεταξύ τους, καθώς από ότι φαίνεται όποιες μεταβολές παρατηρούνται είναι σταθερές εδώ και χρόνια. Και επίσης ξανά βλέπουμε ότι τα μέγιστα συγκεντρώνονται στο βόρειο τμήμα της Κρήτης. Μπορεί αν συλλέξουμε αποτελέσματα περισσότερων χρόνων να παρατηρήσουμε κάτι πιο ουσιαστικό. Γιατί, αντίστοιχες μεταβολές παρατήρησαν από το 1993-1999 οι Cazenave et al. Και θεώρησαν πως αφενός είναι σωστό να παρατηρούνται αυτές οι μεταβολές, αλλά μια δεκαετία μετρήσεων δεν αρκεί για την μελέτη της στάθμης της θάλασσας.



Χάρτης 13: Χάρτης SSH (αριστερά) και SLA (Δεξιά) που παράχθηκε στο ArcGIS από τα δεδομένα του δορυφόρου Sentinel 3 για το 1ο εξάμηνο (19/06/2016- 19/11/2016) και για το 2ο εξάμηνο (20/11/2016- 20/04/2017) στην Κρήτη.



Χάρτης 14: Χάρτης SSH (αριστερά) και SLA (Δεξιά) που παράχθηκε στο ArcGIS από τα δεδομένα του δορυφόρου Sentinel 3 για το 3ο εξάμηνο (21/04/2017- 21/09/2017) και για το 4ο εξάμηνο (22/09/2017- 22/01/2018) στην Κρήτη.

8. Συμπεράσματα

Σκοπός της εργασίας ήταν να προσδιορίσουμε τις μεταβολές στην στάθμη της θάλασσας για το νησί της Κρήτης με την χρήση δεδομένων από την πλατφόρμα G-POD, των δορυφόρων CryoSat2 και Sentinel 3 και της επεξεργασίας τους στο λογισμικό BRAT. Κατά την εκπόνηση της εργασίας υπήρχε συνεχής επαφή με την ESA μέσω μηνυμάτων ηλεκτρονικού ταχυδρομείου, για την κατανόηση της λειτουργίας των προγραμμάτων που αναφέρθηκαν, καθώς και για επίλυση αποριών. Επιπλέον, για την περαιτέρω κατανόηση της Δορυφορικής Αλτιμετρίας, μου δόθηκε η ευκαιρία από την ESA για συμμετοχή στο Θερινό Σχολείο Παρακολούθησης της Γης (EO Summer School 2018) που οργανώνει.

Σε αυτό το σημείο, είναι σημαντικό να αναφέρουμε ορισμένα προβλήματα που συναντήθηκαν κατά την εκπόνηση της εργασίας. Αρχικά, τα δεδομένα που ήταν διαθέσιμα στο G-POD δεν ήταν πάντα ολοκληρωμένα (έλλειψη τροχιών) με αποτέλεσμα οι χάρτες να μην μπορούν να δώσουν μια πλήρη εικόνα της κατάστασης. Επίσης, όπως ενημέρωσε η ESA, τα δεδομένα αλτιμετρίας που εστιάζουν στις παράκτιες περιοχές υφίστανται παραμορφώσεις και έχουν πολύ θόρυβο που πρέπει να αφαιρεθεί, για να είναι το τελικό αποτέλεσμα ακριβές. Οι παραμορφώσεις και ο θόρυβος οφείλονται στο ότι το σήμα του δορυφόρου αλλάζει μέσω διάδοσης (από νερό σε ξηρά), συναντά ουσιαστικά ένα εμπόδιο και έτσι δημιουργούνται κάποια προβλήματα στα δεδομένα. Η ESA προτείνει, για την απαλοιφή αυτών, τη δημιουργία κώδικα προσαρμοσμένου στις ανάγκες της εκάστοτε έρευνας. Επιπλέον, η κατανόηση και η απόκτηση γνώσεων, της τεχνικής της Αλτιμετρίας, είναι κάτι που απαιτεί πολλά χρόνια ενασχόλησης με το αντικείμενο. Δυσκολεύτηκα αρκετά να κατανοήσω και να συνδυάσω όλες αυτές τις έννοιες και βασικές αρχές της αλτιμετρίας, γιατί δεν διαθέτω τις γνώσεις που απαιτούνται. Σκοπός μου όμως, είναι να επεκτείνω τις γνώσεις μου στην τεχνική της Δορυφορικής Αλτιμετρίας με κάποιο Μεταπτυχιακό και στην συνέχεια Διδακτορικό. Συμπερασματικά, το να προσδιορίσουμε την θαλάσσια στάθμη είναι δύσκολο, καθώς οι ωκεάνιες και θαλάσσιες επιφάνειες είναι δυναμικές και όχι πάντα επίπεδες. Οι διακυμάνσεις στη στάθμη της επιφάνειας της θάλασσας, τόσο τοπικά, όσο και σε παγκόσμιο επίπεδο, μπορεί να οφείλονται, πέραν της κλιματικής

αλλαγής, και άλλους παράγοντες που μπορεί να επηρεάζουν την στάθμη της θάλασσας στις περιοχές ενδιαφέροντος, όπως παλίρροιες, ρεύματα, κλπ. Όπως είδαμε η Αλτιμετρία αποτελεί σημαντικό εργαλείο για την μελέτη και αξιολόγηση της δυναμικής των θαλάσσιων, καθώς και των παράκτιων περιοχών. Με τα αποτελέσματά της στην εκτίμηση της στάθμης της θάλασσας, μπορεί να μας δώσει πληροφορίες και για την παράκτια τρωτότητα, μια πληροφορία πολύ χρήσιμη για μια χώρα που είναι κατεξοχήν θαλάσσια όπως η Ελλάδα. Με την χρήση των αλτιμετρικών δεδομένων, αποδείχθηκε πως στην ανατολική Μεσόγειο η στάθμη της θάλασσας είχε συνεχή άνοδο κατά τα έτη 1993-1999, με ρυθμό 20 mm/yr στην νοτιοανατολική Κρήτη και όπως αναφέραμε και στο προηγούμενο κεφάλαιο αυτές οι μεταβολές στην στάθμη μπορεί να οφείλονται σε αρκετούς παράγοντες όπως η θερμοκρασία, η αλατότητα, οι κατακρημνίσεις, ο τεκτονισμός, κλπ. Από τα συμπεράσματα και την έρευνα που έγινε κατά την εκπόνηση αυτής της εργασίας βλέπουμε πως αυτό είναι όντως γεγονός ότι οι διαφορές που εντοπίζουμε είναι συνήθως λόγω των παραπάνω.

Βιβλιογραφία

Ελληνική Βιβλιογραφία:

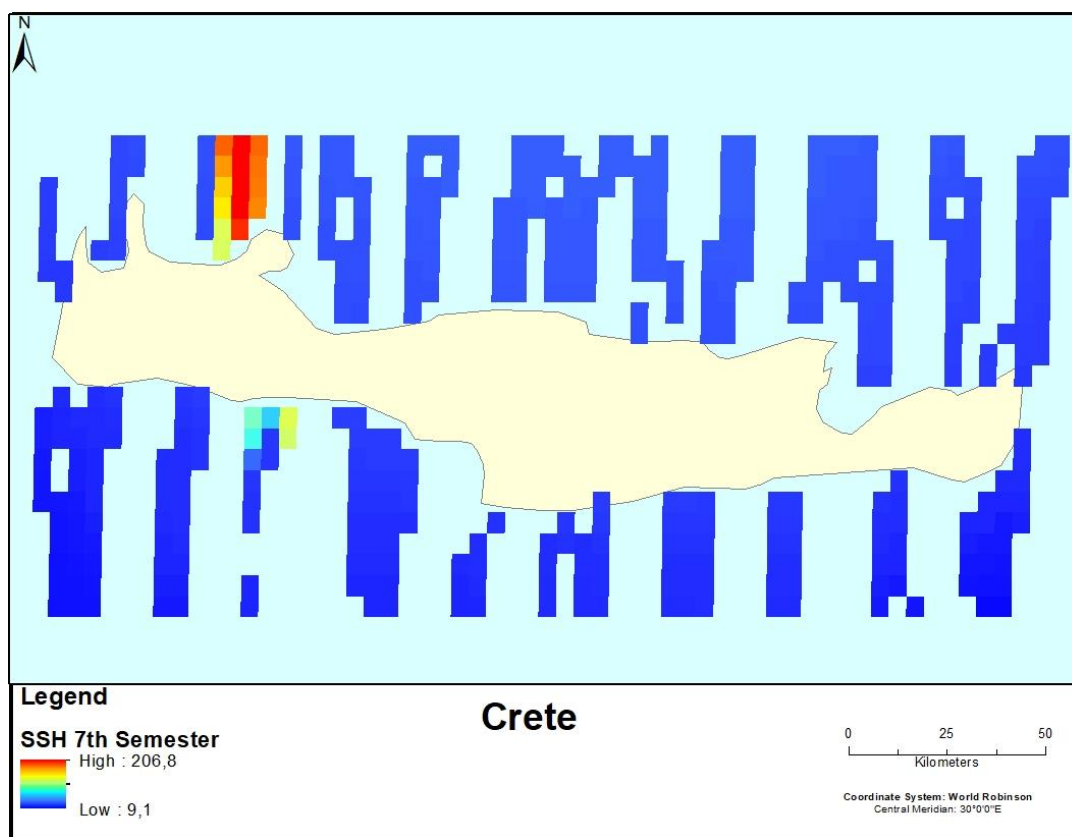
- Δεληκαράογλου Δ. και Δεληκαράογλου Σ., 2012, Η συνεισφορά των Αλτιμετρικών Γεωδαιτικών Δορυφόρων στην Χαρτογράφηση του Ελληνικού Θαλάσσιου Χώρου, ΓΕΩΓΡΑΦΙΕΣ. 70-88
- Καρτάλης Κ., Φειδάς Χ, 2013, Αρχές και Εφαρμογές Δορυφορικής Τηλεπισκόπησης, Εκδόσεις ΤΖΙΟΛΑ, Αθήνα, σελ. 485-493.
- Καρύμπαλης Ε.Θ., 2010, Παράκτια Γεωμορφολογία, Εκδόσεις ΙΩΝ, Αθήνα, σελ 63-80.
- Μερτίκας Σ.Π., 2016, Εισαγωγή στην Γεωδαισία των Δορυφορικών Εντοπισμών και την Αλτιμετρία, Εκδόσεις Κλειδάριθμος, Αθήνα.

Διεθνής Βιβλιογραφία:

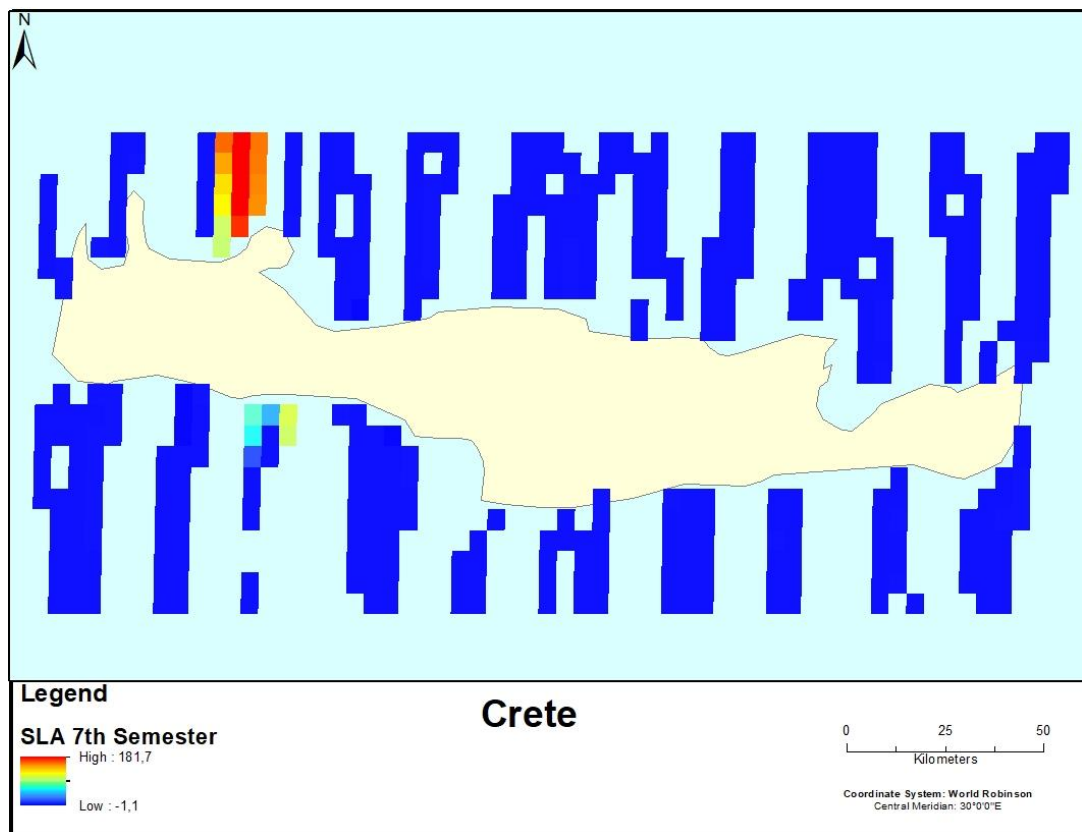
- Benveniste J., Picot N., 2016, Radar Altimetry Tutorial, ESA & CNES.
- Cazenave A., Cabanes C., Dominh K., Mangiarotti S., 2001, Recent Sea Level Change in the Mediterranean Sea Revealed by Topex/Poseidon Satellite Altimetry, GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS, VOL. 28, NO. 8, PAGES 1607-1610, Toulouse France.
- Cracknell G., Clavaud R., Roca R., 2015, Climate Change and Satellites, Suds-Concepts, France.
- ESA, CNES, Deimos, isardSAT, TUDelt, 2017, BRAT User Manual.
- Gaki-Papanastassiou K. Karymbalis E., Papanastassiou D., Maroukian H., 2009, Quaternary marine terraces as indicators of neotectonic activity of the Ierapetra normal fault SE Crete (Greece), Geomorphology 104, 38–46, Elsevier.
- Idžanovića M., Ophaug V., Andersen O.B., 2018, Coastal sea level from CryoSat-2 SARIn altimetry in Norway, Advances in Space Research Volume 62, Issue 6, , Pages 1344-1357.
- Mintourakis I., Delikaraoglou D., Comparison between GPS sea surface heights, MSS models and satellite altimetry data in the Aegean Sea. Implications for local geoid improvement, Department of Surveying Engineering, National Technical University of Athens, Athens.
- Mouslopoulou V., Begg J., Fülling A., Moraetis D., Partsinevelos P., Oncken O., Distinct Phases of eustatic and tectonic forcing for late Quaternary landscape evolution in southwest Crete, Greece, 2017, Earth Surface Dynamics, 5, 511–527.
- Mouslopoulou V., Begg J., Nicol A., Oncken O., Prior C., 2015, Formation of Late Quaternary paleoshorelines in Crete, Eastern Mediterranean, Earth and Planetary Science Letters 431, 294–307, Elsevier.
- NetCDF Tutorial, ESRI, Copyright 1995-2010.

- Rosmorduc V., Benveniste J., Picot N., Niemeijer S., Basic Radar Altimetry Toolbox & Tutorial.
- Vignudelli S., Kostianoy A.G., Cipollini P., Benveniste J., 2011, Coastal Altimetry, Springer, Berlin.
- Xiaohong Sui, Running Zhang, Falin Wu, Yang Li, Xiaoyun Wan, 2017, Sea surface height measuring using InSAR altimeter, Geodesy and Geodynamics 8 278-284, China.
- Xiaoli Deng, 2016, Satellite Altimetry, Australia.

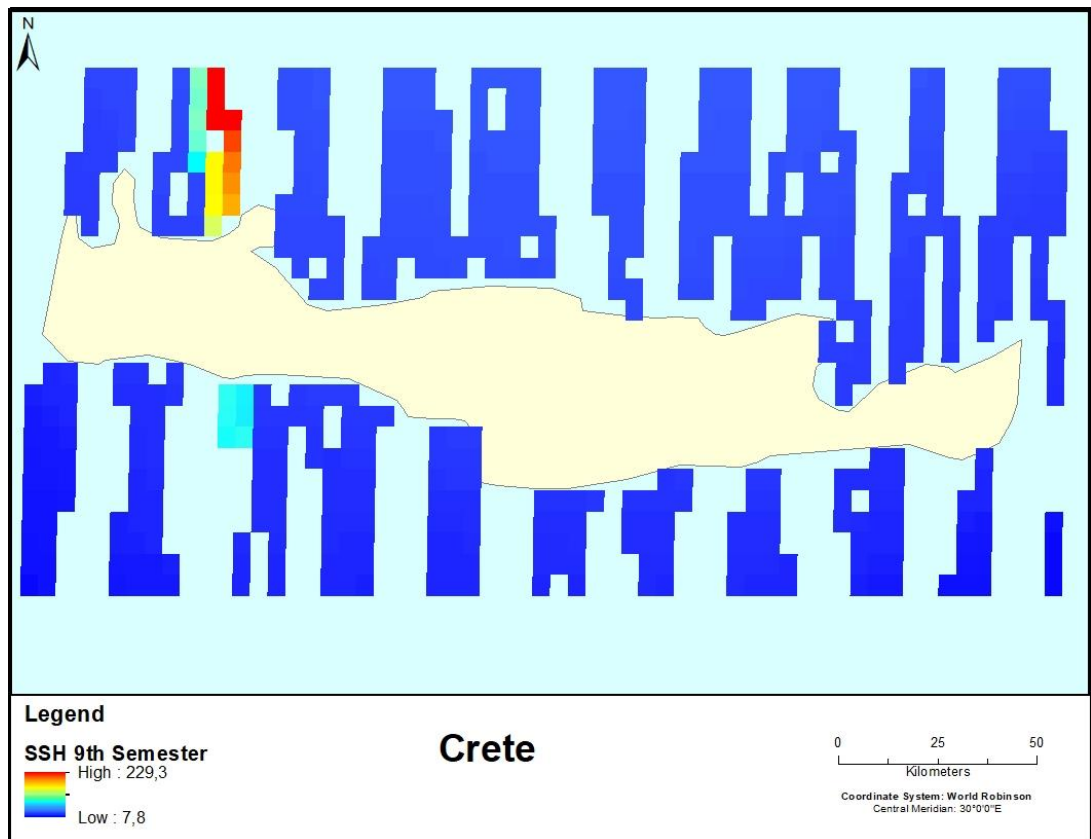
Παράρτημα Χαρτών



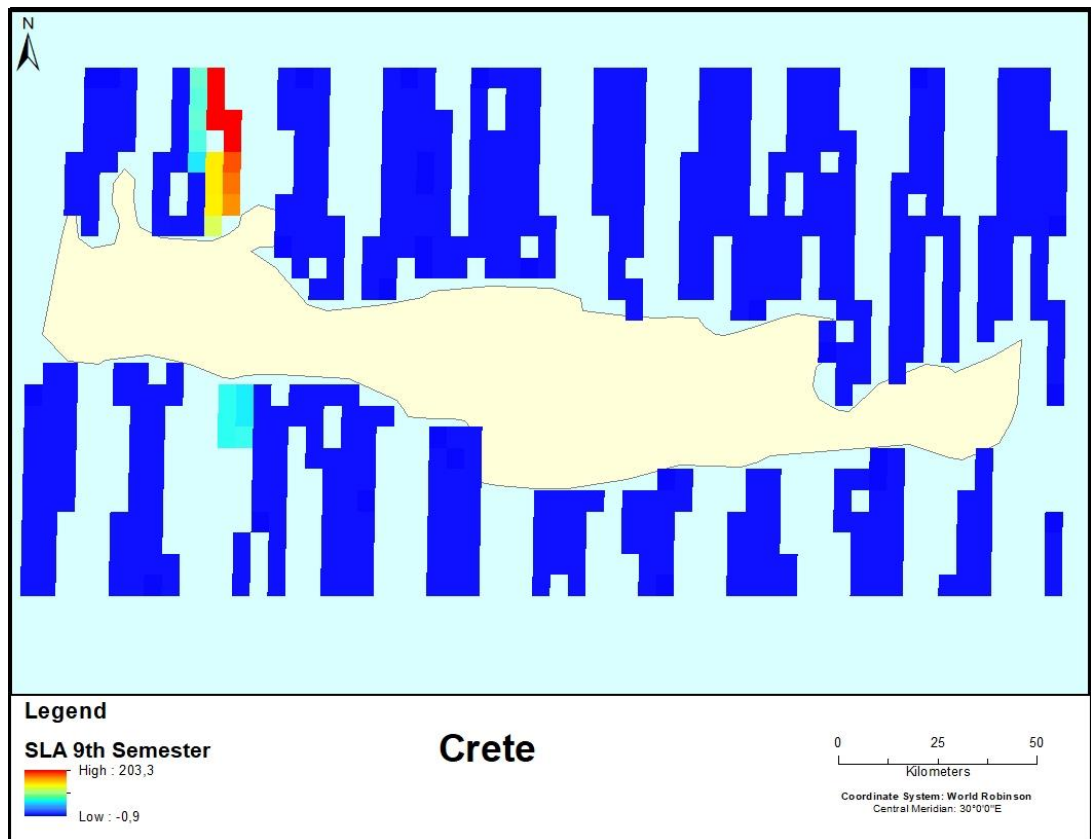
Χάρτης 15: Χάρτης SSH που παράχθηκε στο ArcGIS από τα δεδομένα του δορυφόρου Cryosat-2 για το 7ο εξάμηνο (16/03/2013- 16/08/2013) στην Κρήτη.



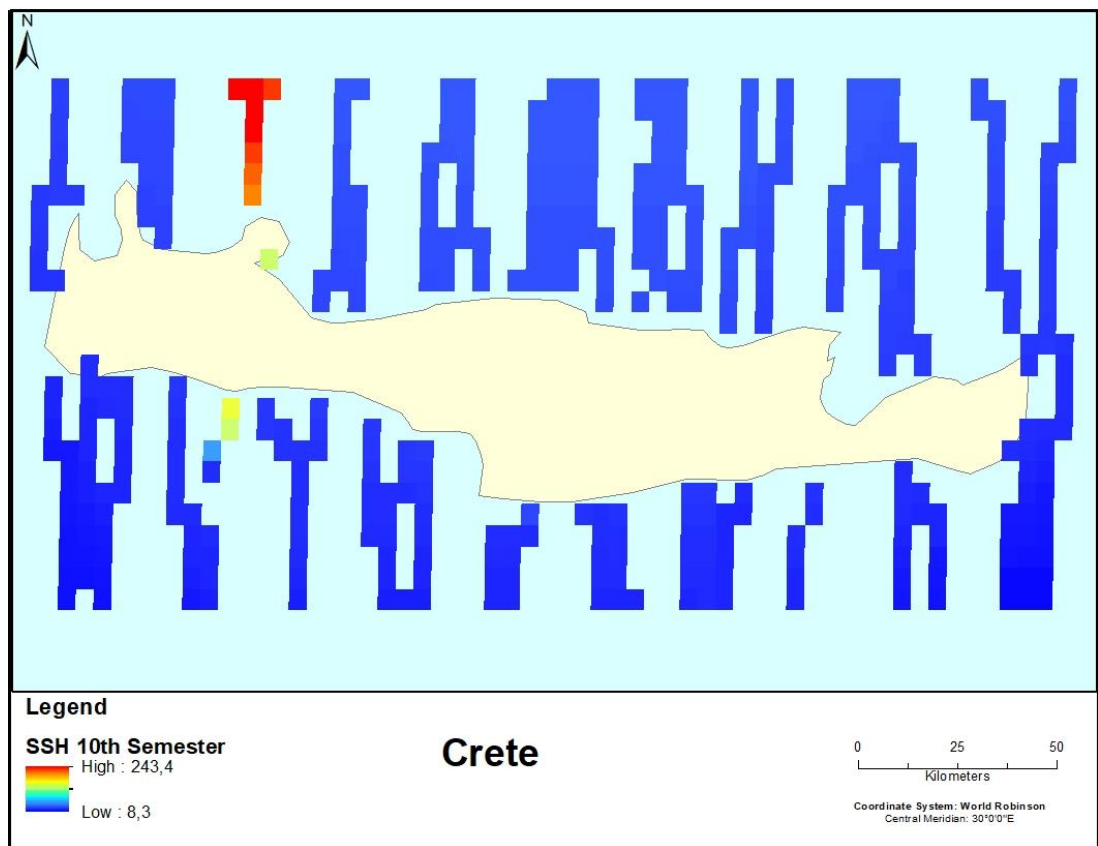
Χάρτης 16: Χάρτης SLA (που παράχθηκε στο ArcGIS από τα δεδομένα του δορυφόρου Cryosat-2 για το 7ο εξάμηνο (16/03/2013- 16/08/2013) στην Κρήτη.



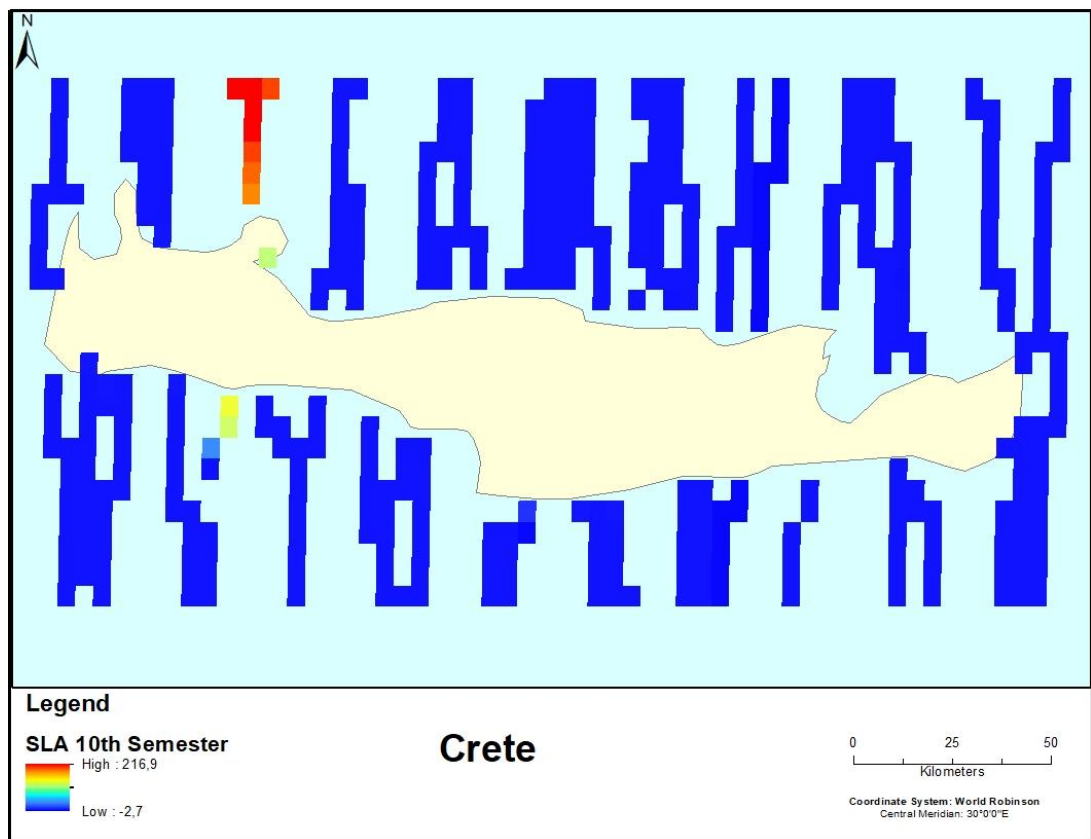
Χάρτης 17: Χάρτης SSH που παράχθηκε στο ArcGIS από τα δεδομένα του δορυφόρου Cryosat-2 για το 9ο εξάμηνο (18/01/2014- 18/06/2014) στην Κρήτη.



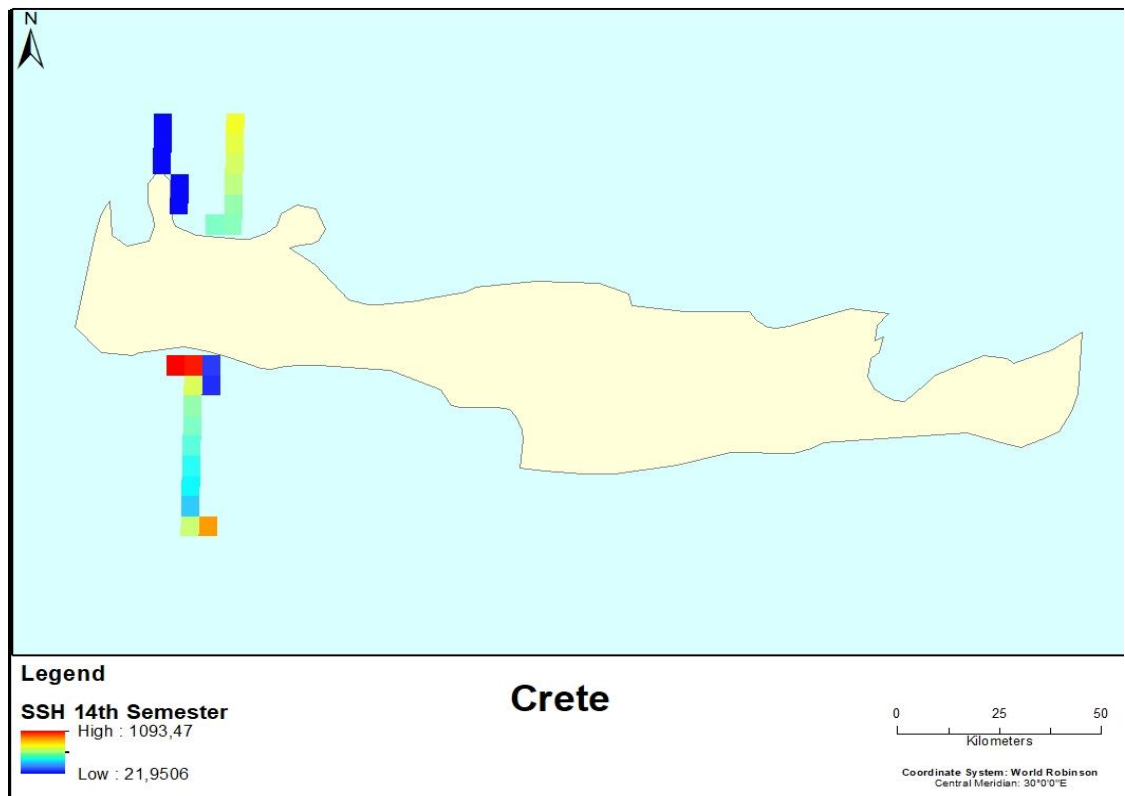
Χάρτης 18: Χάρτης SLA που παράχθηκε στο ArcGIS από τα δεδομένα του δορυφόρου Cryosat-2 για το 9ο εξάμηνο (18/01/2014- 18/06/2014) στην Κρήτη.



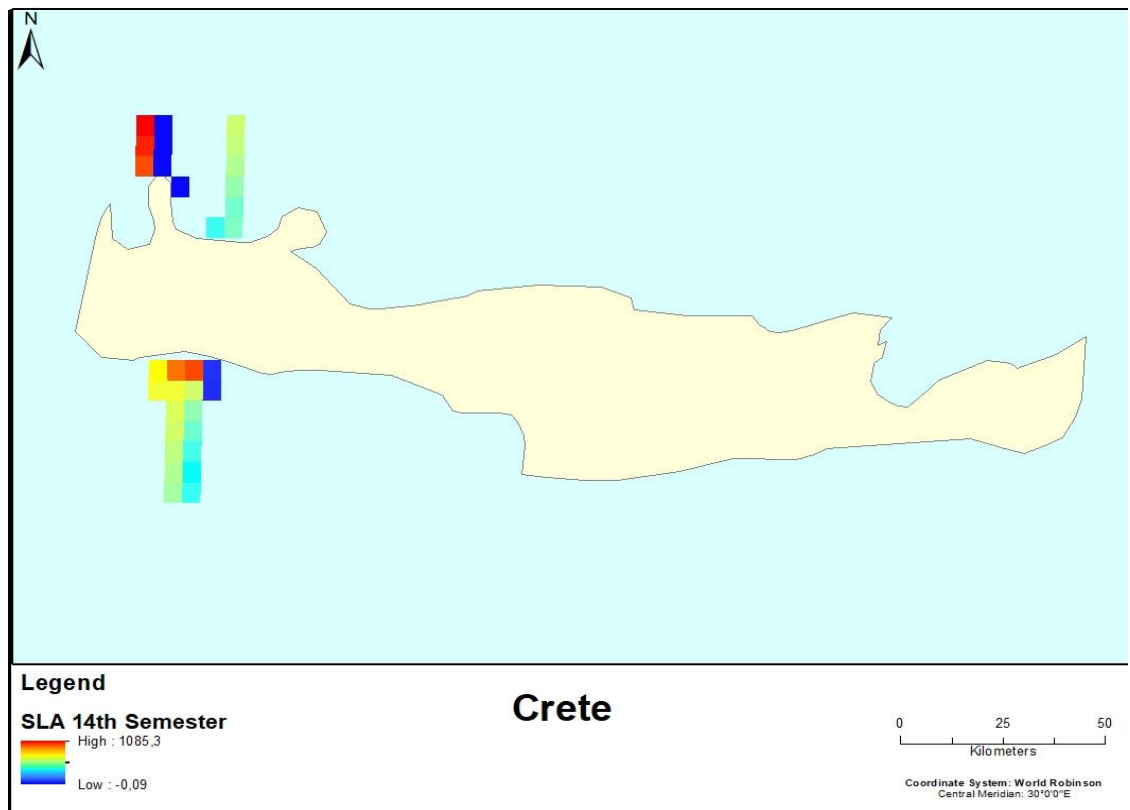
Χάρτης 19: Χάρτης SSH που παράχθηκε στο ArcGIS από τα δεδομένα του δορυφόρου Cryosat-2 για το 10ο εξάμηνο (19/06/2014- 19/11/2014) στην Κρήτη.



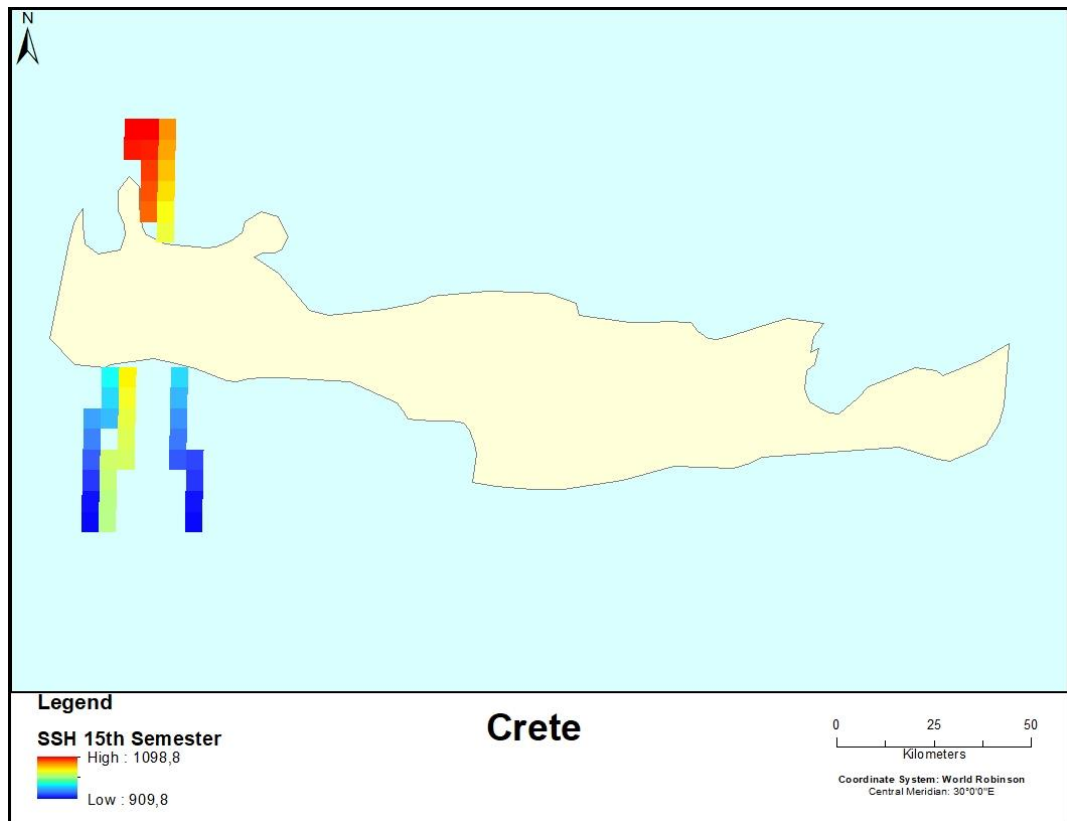
Χάρτης 20: Χάρτης SLA που παράχθηκε στο ArcGIS από τα δεδομένα του δορυφόρου Cryosat-2 για το 10ο εξάμηνο (19/06/2014- 19/11/2014) στην Κρήτη.



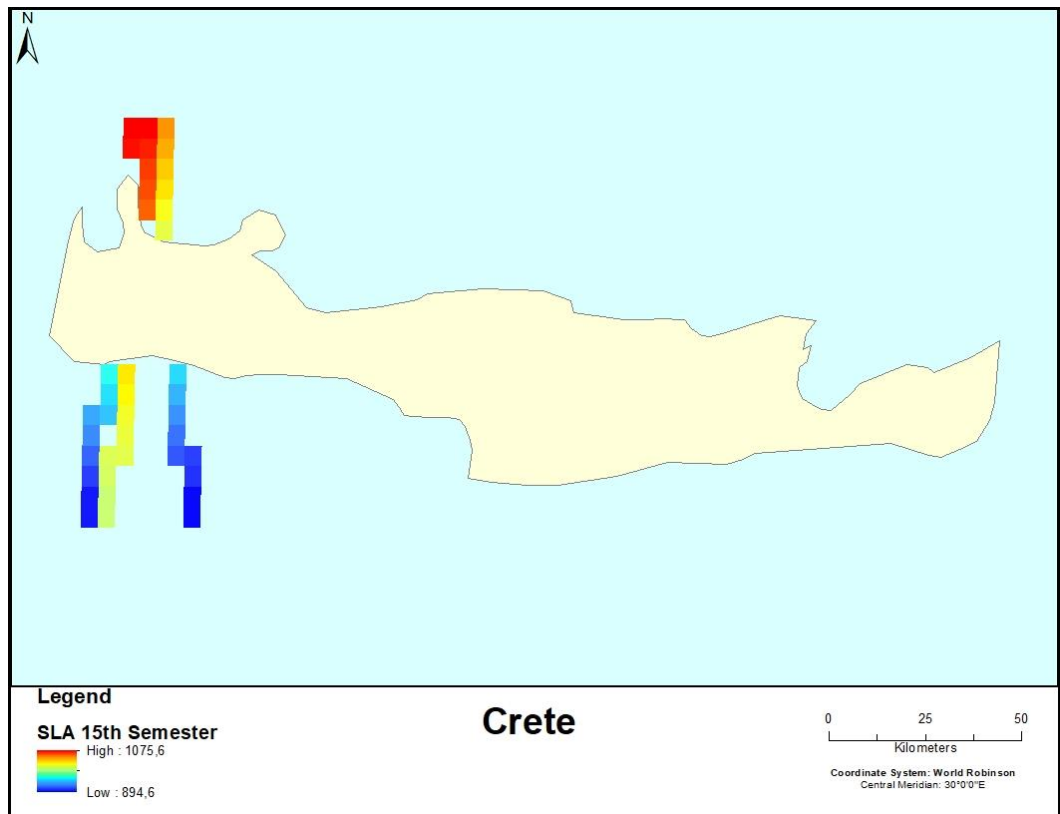
Χάρτης 21: Χάρτης SSH που παράχθηκε στο ArcGIS από τα δεδομένα του δορυφόρου Cryosat-2 για το 14ο εξάμηνο (23/02/2016- 23/007/2016) στην Κρήτη.



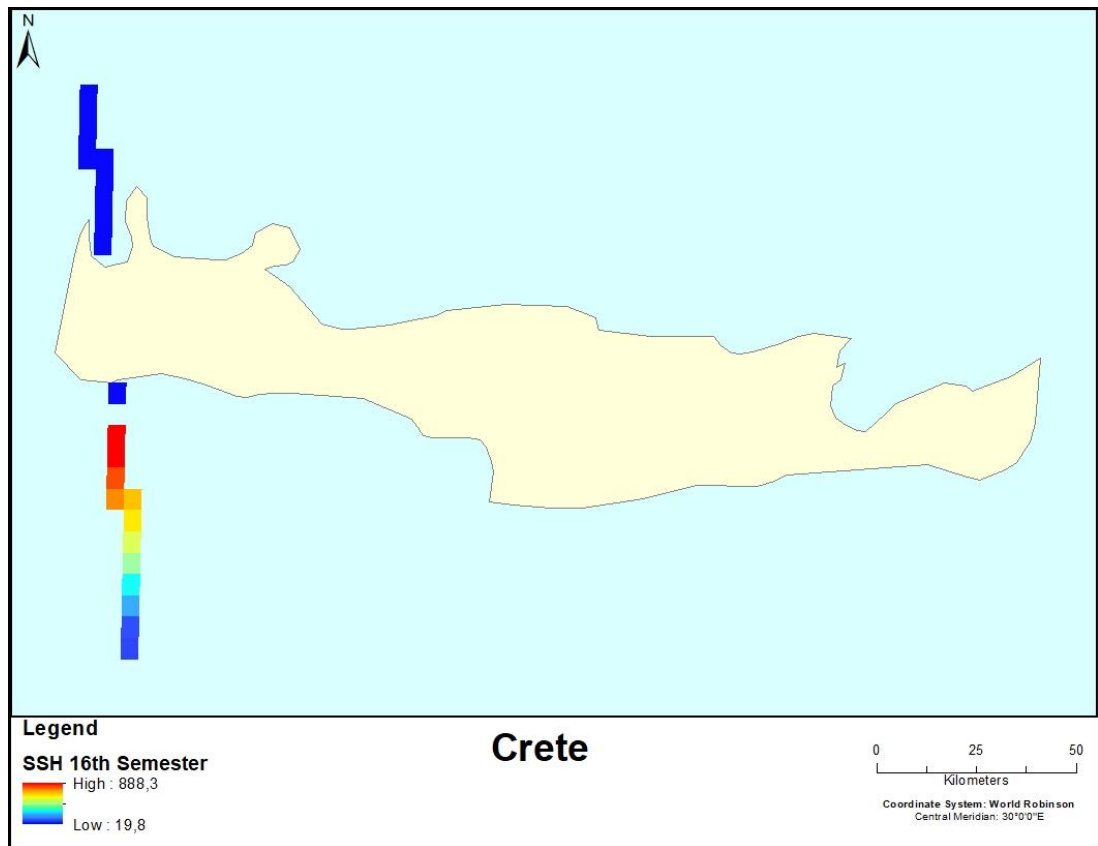
Χάρτης 22: Χάρτης SLA που παράχθηκε στο ArcGIS από τα δεδομένα του δορυφόρου Cryosat-2 για το 14ο εξάμηνο (23/02/2016- 23/07/2016) στην Κρήτη.



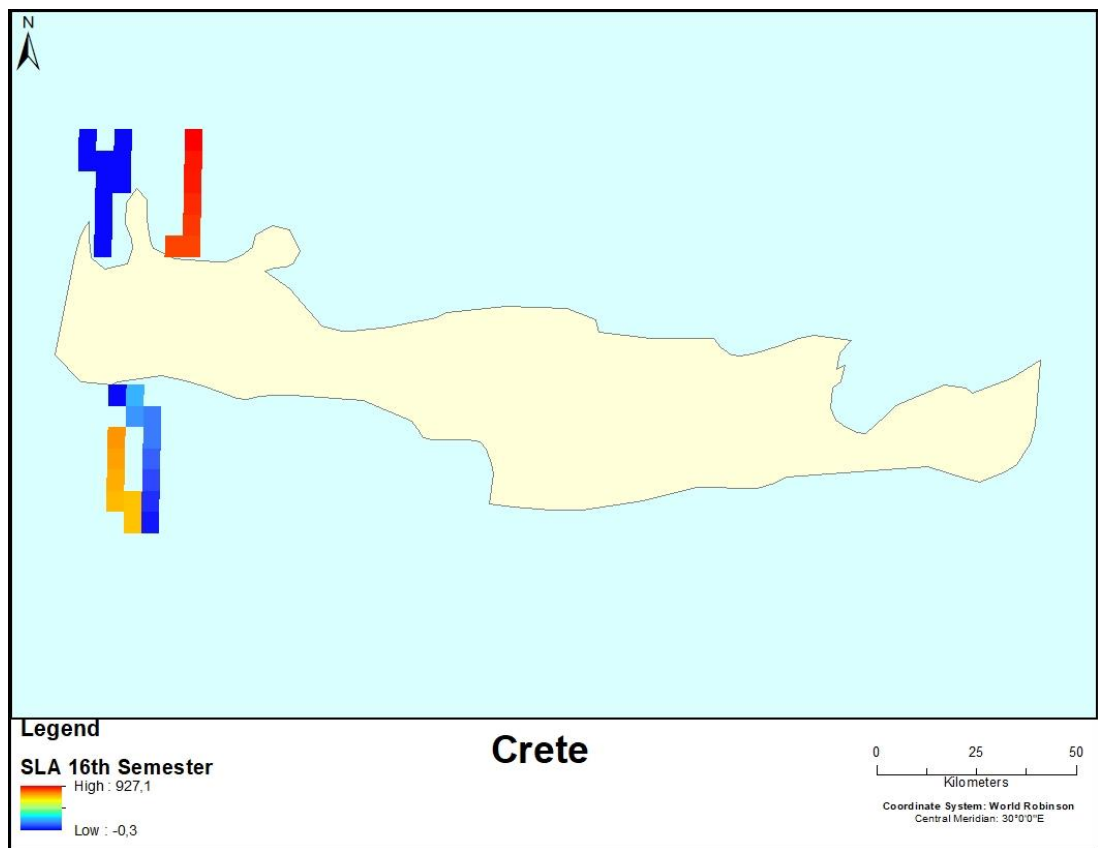
Χάρτης 23: Χάρτης SSH που παράχθηκε στο ArcGIS από τα δεδομένα του δορυφόρου Cryosat-2 για το 15ο εξάμηνο (24/07/2016- 24/12/2016) στην Κρήτη.



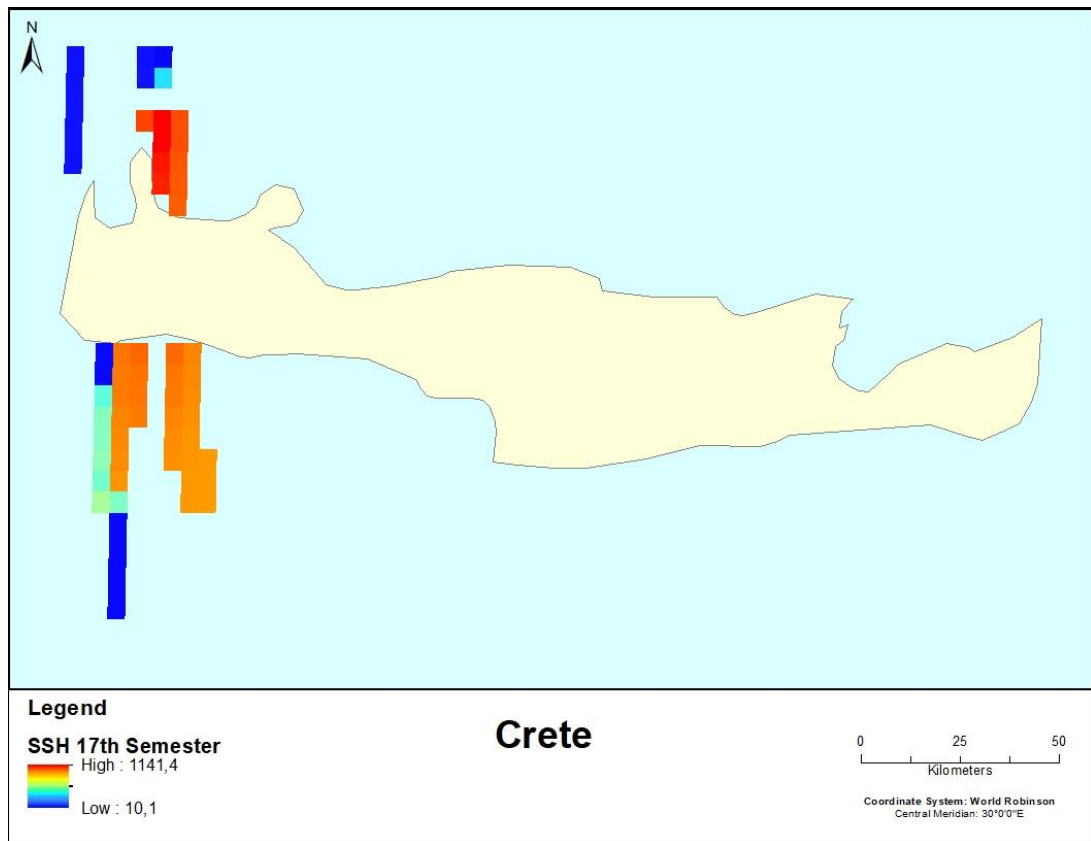
Χάρτης 24: Χάρτης SLA που παράχθηκε στο ArcGIS από τα δεδομένα του δορυφόρου Cryosat-2 για το 15ο εξάμηνο (24/07/2016- 24/12/2016) στην Κρήτη.



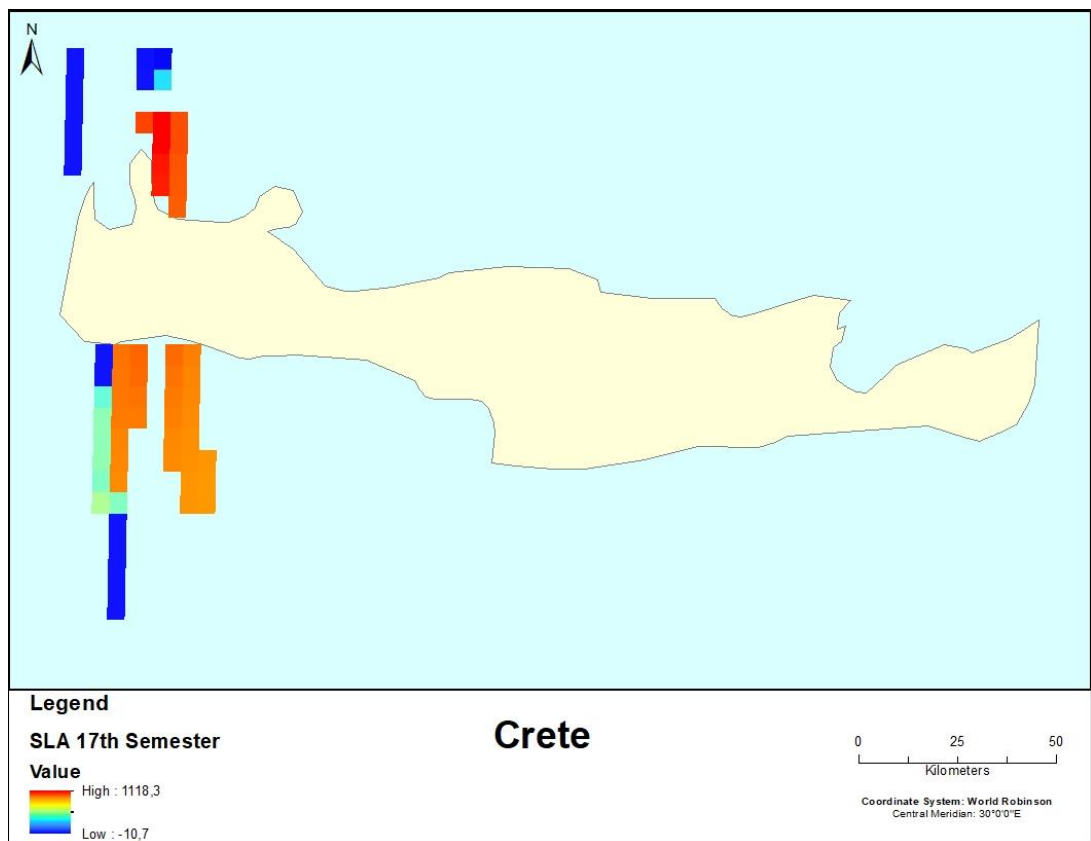
Χάρτης 25: Χάρτης SSH που παράχθηκε στο ArcGIS από τα δεδομένα του δορυφόρου Cryosat-2 για το 16ο εξάμηνο (25/12/2016- 25/05/2017) στην Κρήτη.



Χάρτης 26: Χάρτης SLA που παράχθηκε στο ArcGIS από τα δεδομένα του δορυφόρου Cryosat-2 για το 16ο εξάμηνο (25/12/2016- 25/05/2017) στην Κρήτη.



Χάρτης 27: Χάρτης SSH που παράχθηκε στο ArcGIS από τα δεδομένα του δορυφόρου Cryosat-2 για το 17ο εξάμηνο (26/05/2017- 26/11/2017) στην Κρήτη.



Χάρτης 28: Χάρτης SLA που παράχθηκε στο ArcGIS από τα δεδομένα του δορυφόρου Cryosat-2 για το 17ο εξάμηνο (26/05/2017- 26/11/2017) στην Κρήτη