



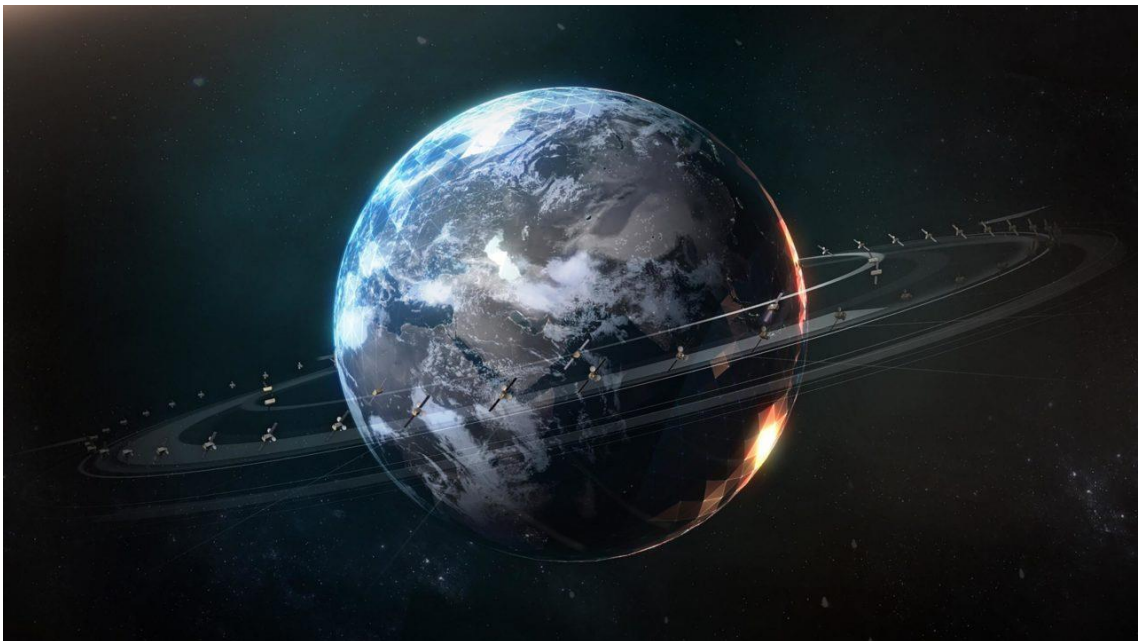
Τεχνολογικό  
Πανεπιστήμιο  
Κύπρου

Σχολή Μηχανικής και  
Τεχνολογίας

**Μεταπτυχιακή διατριβή**

**Παρατήρηση, Επεξεργασία και Ανάλυση Βιογεωχημικών και  
Φυσικών Θαλάσσιων Προϊόντων μέσω Δορυφορικής  
Τηλεπισκόπησης και Συστημάτων Γεωγραφικών  
Πληροφοριών**

**ΘΕΟΧΑΡΙΔΗΣ ΧΡΗΣΤΟΣ**



**Λεμεσός, Νοέμβριος 2019**



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ  
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

Μεταπτυχιακή διατριβή

Παρατήρηση, Επεξεργασία και Ανάλυση Βιογεωχημικών και Φυσικών  
Θαλάσσιων Προϊόντων μέσω Δορυφορικής Τηλεπισκόπησης και  
Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών

του

Χρήστου Θεοχαρίδη

Λεμεσός, Νοέμβριος 2019

## Έντυπο έγκρισης

Μεταπτυχιακή διατριβή

### **Παρατήρηση, Επεξεργασία και Ανάλυση Βιογεωχημικών και Φυσικών Θαλάσσιων Προϊόντων μέσω Δορυφορικής Τηλεπισκόπησης και Συστημάτων Πληροφοριών**

Παρουσιάστηκε από

Χρήστος Θεοχαρίδη

Επιβλέπων καθηγητής: Χατζημιτσής Διόφαντος, Καθηγητής

Υπογραφή \_\_\_\_\_

Μέλος επιτροπής: Όνομα και ιδιότητα

Υπογραφή \_\_\_\_\_

Μέλος επιτροπής: Όνομα και ιδιότητα

Υπογραφή \_\_\_\_\_

Τεχνολογικό Πανεπιστήμιο Κύπρου

Λεμεσός, Νοέμβριος 2019

## **Πνευματικά δικαιώματα**

Copyright © Χρήστος Θεοχαρίδης, 2019

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Η έγκριση της μεταπτυχιακής διατριβής από το Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών και Μηχανικών Γεωπληροφορικής του Τεχνολογικού Πανεπιστημίου Κύπρου δεν υποδηλώνει απαραίτητως και αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα εκ μέρους του Τμήματος.

Με την επιτυχή ολοκλήρωση της Μεταπτυχιακής Διατριβής μου θα ήθελα να απευθύνω θερμές ευχαριστίες σε εκείνα τα άτομα, των οποίων η πολύτιμη βοήθεια συνετέλεσε στην επιτυχή εκπόνηση της.

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή μου Δρ. Διόφαντο Χατζημιτσή για την ευκαιρία που μου έδωσε να συνεργαστώ μαζί του, τις πολύτιμες γνώσεις που μοιράστηκε μαζί μου κατά τη διάρκεια του μεταπτυχιακού προγράμματος, αλλά και για τη δυνατότητα που μου παρείχε να ασχοληθώ με ένα τόσο ενδιαφέρον θέμα.

Οφείλω ευγνωμοσύνη στους Χριστόδουλο Μέττα και Ευαγόρα Ευαγόρου, διότι χωρίς την καθοδήγηση, τις γνώσεις, την εμπειρία και την υπομονή τους δεν θα είχα ανταπεξέλθει στις μικρές, αλλά και μεγάλες δυσκολίες που προέκυψαν κατά την διάρκεια εκπόνησης της μεταπτυχιακής διατριβής μου. Επίσης, θέλω να ευχαριστήσω το έργο με τίτλο «Διασυνοριακή συνεργασία για εφαρμογή θαλάσσιου χωροταξικού σχεδιασμού» και ακρωνύμιο «ΘΑΛ-ΧΩΡ 2» για την συμβολή του στην ολοκλήρωση της μεταπτυχιακής διατριβής μου.

Τέλος, θέλω να ευχαριστήσω μέσα από την καρδιά μου την οικογένεια μου, η οποία βρίσκεται πάντα υπομονετικά δίπλα μου προσφέροντας μου αγάπη και συγκεκριμένα στον αδερφό μου, ο οποίος αποτελεί το κίνητρο μου για να συνεχίσω την προσπάθεια μου.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή παρουσιάζει τρόπους ανάκτησης, επεξεργασίας και ανάλυσης δορυφορικών προϊόντων με την βοήθεια της δορυφορικής τηλεπισκόπησης στην περιοχή του Ασπρόκρεμου της επαρχίας της Πάφου. Τα προϊόντα αυτά περιλαμβάνουν δεδομένα Χλωροφύλλης-a, Θολερότητας, Επιφανειακής Θαλάσσιας Θερμοκρασίας και Επιφανειακής Θαλάσσιας Αλατότητας. Στην βιβλιογραφική ανασκόπηση, γίνεται αναφορά σε άλλες έρευνες οι οποίες χρησιμοποιούν δορυφορικά δεδομένα χλωροφύλλης-a, θολερότητας, SST (Sea Surface Temperature) και SSS (Sea Surface Salinity) περισσότερο από την ανοιχτή θάλασσα και λιγότερο από λίμνες και ποτάμια, τα οποία επικύρωσαν μέσω των επιτόπιων μετρήσεων τους υπολογίζοντας και συγκρίνοντας τα διάφορα σφάλματα που προέκυψαν.

Για την ανάκτηση των δεδομένων μας χρησιμοποιήθηκαν οι δορυφόροι Sentinel-2, Sentinel-3 και SMOS, ενώ για την επεξεργασία και ανάλυση των δεδομένων έγινε χρήση του λογισμικού SNAP. Στη συνέχεια, χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από την Υπηρεσία Παρακολούθησης του Θαλάσσιου Περιβάλλοντος (CMEMS) λόγω της αναγνωρισμένης αξιοπιστίας και ακρίβειας τους. Από τα δεδομένα, υπολογίστηκε το RMSE μεταξύ των τιμών της CMEMS και των δορυφόρων ξεχωριστά. Η εξαγωγή των αποτελεσμάτων εξαρτήθηκε σε μεγάλο βαθμό από τις καιρικές συνθήκες, με αποτέλεσμα μερικά εξ αυτών να μην είναι ιδιαίτερος ενθαρρυντικά. Τα αποτελέσματα συνετέλεσαν ώστε να είναι δυνατή η προβολή διαγραμμάτων και η παραγωγή χαρτών μέσω του λογισμικού προβολής, επεξεργασίας, δημιουργίας και ανάλυσης γεωχωρικών δεδομένων, ArcMap.

Σκοπός της εργασίας ήταν να καταστήσει στον αναγνώστη τις δυσκολίες που συναντήθηκαν, καθώς και οι λόγοι για τους οποίους διατυπώθηκαν τα συμπεράσματα. Τέλος, γίνεται σχολιασμός των αποτελεσμάτων και προτάσεις επί των τρόπων αντιμετώπισης των διάφορων δυσκολιών που προέκυψαν αφήνοντας αναπάντητα ερωτήματα στα οποία πρέπει να κληθούν να απαντήσουν οι αρμόδιοι φορείς.

**Λέξεις κλειδιά:** CMEMS, SST, SSS, Χλωροφύλλη-a, Θολερότητα

## **ABSTRACT**

This master's thesis presents ways on how to retrieve, process and analyze various satellite data along with the contribution of satellite remote sensing in the Asprokremos area of Paphos province. These data are composed of Chlorophyll-a, Turbidity, Sea Surface Temperature and Sea Surface Salinity data. In the literature review, allusion is made to other studies, which use chlorophyll-a, turbidity, SST (Sea Surface Temperature) and SSS (Sea Surface Salinity) data more in the open ocean a than in lakes and rivers. These physical and biogeochemical marine products were validated through measurements, by computing and comparing various errors that were encountered. Sentinel-2, Sentinel-3, and SMOS satellite were used to retrieve data, while SNAP software was utilized to process and analyze them. Subsequently, data from the Copernicus Marine Environment Monitoring System (CMEMS) were used due to their renowned reliability and accuracy. In order to figure the RMSE value there was a separate calculation between the CMEMS values and the ones of the satellites, in order to make a comparison. The output of the results was largely dependent on the weather, meaning that some of the results were not particularly encouraging. The results made it possible to view charts and map production through the geospatial data viewer, processor, creator and analyzer, ArcMap.

The purpose of this thesis was to make the reader aware of the various difficulties that were encountered, as well as the reasons for the conclusions that were drawn. Finally, there is a thorough comment on the results and a list of suggestions on how to tackle the various difficulties that have arisen, leaving a wide range of questions on which the relevant authorities are accountable for.

**Keywords:** CMEMS, SST, SSS, Chlorophyll-a, Turbidity



## ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	vi
ABSTRACT.....	vii
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ .....	viii
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ .....	xii
ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ .....	xvii
ΑΠΟΔΟΣΗ ΟΡΩΝ .....	xx
1 Εισαγωγή .....	1
2 Βιβλιογραφική ανασκόπηση.....	3
2.1 Επιφανειακή θαλάσσια αλατότητα .....	4
2.2 Θολρότητα νερού .....	7
2.3 Επιφανειακή θαλάσσια θερμοκρασία .....	13
2.4 Χλωροφύλλη-a .....	19
3 Περιοχή μελέτης .....	28
4 Μέσα συλλογής δεδομένων .....	30
4.1 Ο δορυφόρος Sentinel-2.....	30
4.2 Ο δορυφόρος Sentinel-3.....	32
4.2.1 Το όργανο SLSTR .....	33
4.2.2 Το όργανο SRAL .....	34
4.2.3 Το όργανο MWR .....	34
4.3 Ο δορυφόρος SMOS (Soil Moisture and Ocean Salinity) .....	34
4.3.1 Το όργανο MIRAS.....	35
4.4 Ο επεξεργαστής C2RCC .....	36
4.5 Marine Copernicus .....	38

4.5.1	Η αρχιτεκτονική της CMEMS.....	40
4.5.2	Προϊόντα CMEMS.....	41
4.5.2.1	Επιφανειακή θαλάσσια αλατότητα.....	42
4.5.3	Η χωρική κάλυψη των MFCs και TACs.....	43
4.5.3.1	Παγκόσμια χωρική κάλυψη.....	43
4.5.3.2	Χωρική κάλυψη στη Μεσόγειο Θάλασσα.....	43
4.5.4	Ειδικές απαιτήσεις για την επικύρωση (validation) των προϊόντων των δορυφορικών δεδομένων. ....	44
4.5.5	Συμπεράσματα. ....	45
4.6	Το δίκτυο ARGO .....	46
5	Μεθοδολογία έρευνας.....	48
5.1	Μέθοδος ανάκτησης και επεξεργασίας δορυφορικών δεδομένων.....	49
5.1.1	S2 Resampling Processor.....	51
5.1.2	Subset δορυφορικής εικόνας.....	53
5.1.3	Μεθοδολογία ανάκτησης χλωροφύλλης-α στο λογισμικό SNAP. ....	54
5.1.3.1	Μεθοδολογία ανάκτησης δορυφορικών δεδομένων Χλωροφύλλης-α μέσω του Marine Copernicus. ....	56
5.1.3.2	Μεθοδολογία επεξεργασίας δορυφορικών εικόνων Sentinel-2 για σύγκριση δεδομένων χλωροφύλλης-α με εικόνες του Marine Copernicus. ....	57
5.1.4	Μεθοδολογία ανάκτησης θολερότητας στο λογισμικό SNAP .....	59
5.1.5	Μεθοδολογία ανάκτησης δορυφορικών δεδομένων Sentinel-3 Επιφανειακής Θαλάσσιας Θερμοκρασίας. ....	60
5.1.5.1	Μεθοδολογία ανάκτησης δορυφορικών δεδομένων Επιφανειακής Θαλάσσιας Θερμοκρασίας μέσω του Marine Copernicus.....	61
5.1.5.2	Μεθοδολογία επεξεργασίας δορυφορικών εικόνων Sentinel-3 για σύγκριση δεδομένων SST με εικόνες του Marine Copernicus.....	63

5.1.6	Μεθοδολογία ανάκτησης δορυφορικών δεδομένων SMOS Επιφανειακής Θαλάσσιας Αλατότητας.....	64
5.1.6.1	Μεθοδολογία ανάκτησης δορυφορικών δεδομένων Επιφανειακής Θαλάσσιας Αλατότητας μέσω του Marine Copernicus.....	65
5.1.6.2	Μεθοδολογία επεξεργασίας δορυφορικών εικόνων SMOS για σύγκριση με εικόνες του Marine Copernicus. ....	66
6	Αποτελέσματα.....	69
6.1	Αποτελέσματα χλωροφύλλης-a.....	69
6.2	Αποτελέσματα Επιφανειακής Θαλάσσιας Θερμοκρασίας.....	73
6.3	Αποτελέσματα Επιφανειακής Θαλάσσιας Αλατότητας.....	76
7	Σχολιασμός Αποτελεσμάτων.....	78
7.1	Σχολιασμός αποτελεσμάτων χλωροφύλλης-a.....	78
7.2	Σχολιασμός αποτελεσμάτων Επιφανειακής Θαλάσσιας Θερμοκρασίας.....	79
7.3	Σχολιασμός αποτελεσμάτων Επιφανειακής Θαλάσσιας Αλατότητας.....	79
7.4	Σχολιασμός αποτελεσμάτων θολερότητας.....	79
8	Συμπεράσματα.....	80
	ΕΠΙΛΟΓΟΣ.....	84
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	86
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι.....	99

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1 Κατηγοριοποίηση των οικοσυστημάτων ως προς τον ευτροφισμό. ....	20
Πίνακας 2. Ημερομηνία και ώρα παρατήρησης των εικόνων για SST του δορυφόρου Sentinel-3 και της υπηρεσίας Marine Copernicus. ....	62
Πίνακας 3. Ημερομηνία και ώρα παρατήρησης των εικόνων για SSS του δορυφόρου SMOS και της υπηρεσίας Marine Copernicus.....	66
Πίνακας 4. Επικύρωση των αποτελεσμάτων μεταξύ των δορυφορικών δεδομένων και των δεδομένων του Marine Copernicus.....	78
Πίνακας 5. Τιμές μετρήσεων του Argo έναντι του Marine Copernicus για την Επιφανειακή Θαλάσσια Θερμοκρασία. ....	102
Πίνακας 6. Τιμές μετρήσεων του Argo έναντι του Marine Copernicus για την Επιφανειακή Θαλάσσια Αλατότητα. ....	102
Πίνακας 7. Τιμές μετρήσεων του Argo έναντι του Sentinel-3 για την Επιφανειακή Θαλάσσια Θερμοκρασία. ....	104

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Διάγραμμα 1. Κατανομή της αλατότητας και της διαφοράς εξάτμισης μείον κατακρημνίσματα από το Βόρειο ως το Νότιο ημισφαίριο. (Albanakis 2007).....	6
Διάγραμμα 2 .Κατανομή της αλατότητας με το βάθος.(Albanakis 2007).....	6
Διάγραμμα 3. (A) Η λεκάνη απορροής του ποταμού Doce και η ακτή Espírito Santo (MODIS-Aqua RGB, Σεπτέμβριος 2015 (B-C) Εικόνες Landsat-8 OLI. Στο διάγραμμα D απεικονίζεται η εκβολή του ποταμού Doce. Το διάγραμμα d αποκτήθηκε τον Ιούνιο του 2015 πριν την καταστροφή και το διάγραμμα E αποκτήθηκε τον Νοέμβριο του 2015 μετά την καταστροφή. (Rudorff et al. 2018). .....	13
Διάγραμμα 4. Οι κύριες δορυφορικές αποστολές που συμβάλλουν στις τρέχουσες μετρήσεις επιφανειακής θαλάσσιας θερμοκρασίας. (OCarroll 2018) .....	14
Διάγραμμα 5 . Κλίμακες επιφανειακής θαλάσσιας θερμοκρασίας (Minnett and Kaiser-Weiss 2012) .....	16
Διάγραμμα 6. Φάσμα απορρόφησης χλωροφύλλης a και b. Πηγή: (Κ.Π.Ε Καστοριάς) 19	
Διάγραμμα 7. Δορυφορικά όργανα χρώματος ωκεανών που εξετάζονται στη μελέτη. Η διεθνής ομάδα συντονισμού χρωμάτων ωκεανού (IOCCG) παρέχει πρόσθετες λεπτομέρειες για κάθε όργανο ( <a href="http://www.ioccg.org">http://www.ioccg.org</a> ) .....	22
Διάγραμμα 8. Σύγκριση των φασματικών καναλιών πέντε αισθητήρων χρώματος ωκεανών της πρώτης (CZCS), δεύτερης (SeaWiFS), τρίτης (MERIS, MODIS) και τέταρτης (VIIRS) γενιάς. ....	23
Διάγραμμα 9. Οι σταθμοί δειγματοληψίας στην Chesapeake Bay που χρησιμοποιήθηκαν στην μελέτη.....	24
Διάγραμμα 10. Τοποθεσία της λίμνης Ba Be στο Βιετνάμ και σημεία δειγματοληψίας νερού πάνω από το νερό της λίμνης στις τρεις ημερομηνίες έρευνας: (Πορτοκαλί τετράγωνο) 4 Μάϊου 2017, (Κίτρινος κύκλος) 5 Νοεμβρίου 2016 και (Πράσινο αστέρι) 26 Ιουνίου 2016 (Ha et al. 2017). .....	25
Διάγραμμα 11. Καμπύλες φάσματος ανάκλασης των σημείων δειγματοληψίας νερού πάνω από τη λίμνη Ba Be που μετρήθηκαν στις 4 Μάϊου 2017 (α) και στις 26 Ιουνίου 2016 (b) που καλύπτονται με Sentinel-2A ορατά στα κανάλια του κοντινού υπέρυθρου	

(Κανάλι 1: B1 έως 8a: B8a), θέσεις που δείχνουν τις συμπτώσεις των πράσινων και κόκκινων ζωνών S2A στην κορυφή και των κατώτατων ανακλάσεων του νερού αντίστοιχα. ....	26
Διάγραμμα 12. Η κατανομή της χλωροφύλλης-a (Chl-a) υπολογίζεται από την εξίσωση $Chl_a = 0.80 \cdot \exp(0.35 \cdot B3/B4)$ και τις επτά εικόνες S2A που αποκτήθηκαν σε επτά ημερομηνίες (ημέρα/μήνας/έτος) με καθαρό ουρανό και ήρεμες συνθήκες ανέμου πάνω από την λίμνη Ba Be από το 2015. ....	27
Διάγραμμα 13. Περιοχή μελέτης. ....	29
Διάγραμμα 14. Η τροχιακή διαμόρφωση των δίδυμων δορυφόρων Sentinel-2. Πηγή: ESA .....	31
Διάγραμμα 15. Τα κανάλια του Sentinel-2 με τα κεντρικά μήκη κύματα σε μm και την ανάλυση τους σε μέτρα. ....	31
Διάγραμμα 16. Ο Sentinel-3 και τα όργανα που φέρει. (Πηγή:ESA).....	33
Διάγραμμα 17. Ο πρώτος παγκόσμιος χάρτης της ωκεάνιας αλατότητας δημιουργημένος από τον δορυφόρο SMOS. Η αλατότητα ποικίλει από 32 ‰ (σκούρο μωβ) σε 38 ‰ (φωτεινό κόκκινο). (ESA).....	35
Διάγραμμα 18. Η αρχιτεκτονική του επεξεργαστή C2RCC. Τα νευρωνικά δίκτυα παρουσιάζονται στα πράσινα κουτιά και τα τεστ ποιότητας στα μπλέ κουτιά (Brockmann et al. 2016). ....	37
Διάγραμμα 19. Η αρχιτεκτονική της CMEMS. ....	40
Διάγραμμα 20. Η παγκόσμια κατανομή των πλωτών μέσων του δικτύου ARGO. Πηγή: <a href="http://www.argo.ucsd.edu">http://www.argo.ucsd.edu</a> .....	47
Διάγραμμα 21. Διάγραμμα ροής δεδομένων με τις μεθοδολογίες που ακολουθήθηκαν. .....	49
Διάγραμμα 22. Εισαγωγή παραμέτρων και επιλογή περιοχή μελέτης. ....	50
Διάγραμμα 23. Επιλογή κατάλληλης δορυφορικής εικόνας για τις 5 Μαρτίου 2019 σύμφωνα με την περιοχή μελέτης μας. ....	50
Διάγραμμα 24. Επιλογή κατάλληλης δορυφορικής εικόνας για τις 25 Μαρτίου 2019 σύμφωνα με την περιοχή μελέτης μας. ....	51

Διάγραμμα 25. Δορυφορικές εικόνες Sentinel-2 MSI L1C.....	51
Διάγραμμα 26. S2 Resampling. ....	52
Διάγραμμα 27. Σύγκριση γεωμετρίας εικόνας. Επάνω: Εργαλείο Resampling. Κάτω: S2 Resampling Processor.....	53
Διάγραμμα 28. Specify Product Subset. Αριστερά: Δορυφορική εικόνα 5 Μαρτίου 2019. Δεξιά: 25 Μαρτίου 2019.....	54
Διάγραμμα 29. C2RCC MSI Processor. Αριστερά: Οι τιμές των παραμέτρων για την δορυφορική εικόνα στις 5 Μαρτίου 2019. Δεξιά: Οι τιμές των παραμέτρων για την δορυφορική εικόνα στις 25 Μαρτίου 2019.....	55
Διάγραμμα 30. Επάνω: Χλωροφύλλη για τις 5 Μαρτίου 2019. Κάτω: Χλωροφύλλη για τις 25 Μαρτίου 2019.....	56
Διάγραμμα 31. Απαραίτητες παράμετροι για την ανάκτηση χλωροφύλλης-a στην περιοχή της Μεσόγειου Θάλασσας. ....	57
Διάγραμμα 32. Επιλογή ημερομηνίας για την λήψη των δεδομένων μας.....	57
Διάγραμμα 33. Χλωροφύλλη-a στη Μεσόγειο Θάλασσα από Marine Copernicus. Αριστερά: 5 Μαρτίου 2019. Δεξιά: 25 Μαρτίου 2019.....	58
Διάγραμμα 34. Περιοχή μελέτης για σύγκριση Χλωροφύλλης-a από Marine Copernicus. Αριστερά: 5 Μαρτίου 2019. Δεξιά: 25 Μαρτίου 2019.....	58
Διάγραμμα 35. Το εργαλείο Reprojection στο λογισμικό SNAP.....	59
Διάγραμμα 36. Περιοχή μελέτης χλωροφύλλης-a από εικόνες Marine Copernicus και Sentinel-2 αριστερά και δεξιά αντίστοιχα. Επάνω: 5 Μαρτίου 2019. Κάτω: 25 Μαρτίου 2019. ....	59
Διάγραμμα 37. Επάνω: Θολερότητα για τις 5 Μαρτίου 2019. Κάτω: Θολερότητα για τις 25 Μαρτίου 2019. ....	60
Διάγραμμα 38. Εισαγωγή κατάλληλων παραμέτρων για αναζήτηση SST προϊόντων μέσω της πλατφόρμας CREODIAS. ....	61
Διάγραμμα 39. Απαραίτητες παράμετροι για την ανάκτηση Επιφανειακής Θαλάσσιας Θερμοκρασίας στην περιοχή της Μεσόγειου Θάλασσας. ....	62

Διάγραμμα 40. Επιλογή ημερομηνίας και ώρας για την λήψη των SST δεδομένων μας. .....	62
Διάγραμμα 41. Μετατροπή βαθμών Κέλβιν σε βαθμούς Κελσίου μέσω SNAP.....	63
Διάγραμμα 42. Περιοχή μελέτης Επιφανειακής Θαλάσσιας Θερμοκρασίας από εικόνες Marine Copernicus και Sentinel-3 αριστερά και δεξιά αντίστοιχα. Επάνω: 5 Μαρτίου 2019. Κάτω: 25 Μαρτίου 2019.....	64
Διάγραμμα 43. Απαραίτητες παράμετροι για την ανάκτηση Επιφανειακής Θαλάσσιας Αλατότητας στην περιοχή μελέτης μας. ....	65
Διάγραμμα 44. Απαραίτητες παράμετροι για την ανάκτηση Επιφανειακής Θαλάσσιας Αλατότητας στην περιοχή της Μεσόγειου Θάλασσας .....	66
Διάγραμμα 45. Δορυφορικές εικόνες SMOS Επιφανειακής Θαλάσσιας Αλατότητας. Αριστερά: 6 Μαρτίου 2019. Δεξιά: 25 Μαρτίου 2019.....	67
Διάγραμμα 46. Τα σημεία (pins) που χρησιμοποιήθηκαν για την επικύρωση των αποτελεσμάτων για τις 6 Μαρτίου 2019. Αριστερά: Εικόνα SMOS. Δεξιά: Εικόνα Marine Copernicus. ....	68
Διάγραμμα 47. Τα σημεία (pins) που χρησιμοποιήθηκαν για την επικύρωση των αποτελεσμάτων για τις 25 Μαρτίου 2019. Αριστερά: Εικόνα SMOS. Δεξιά: Εικόνα Marine Copernicus.....	68
Διάγραμμα 48. Chl-a validation μεταξύ Sentinel-2 και Marine Copernicus για τις 5 Μαρτίου 2019.....	70
Διάγραμμα 49. Chl-a validation μεταξύ Sentinel-2 και Marine Copernicus για τις 25 Μαρτίου 2019.....	70
Διάγραμμα 50. Χάρτης συγκέντρωσης χλωροφύλλης-a στις 5 Μαρτίου 2019.....	71
Διάγραμμα 51. Χάρτης συγκέντρωσης χλωροφύλλης-a για τις 25 Μαρτίου 2019.....	72
Διάγραμμα 52. Χάρτης Επιφανειακής Θαλάσσιας Θερμοκρασίας από Sentinel-3 για τις 6 Μαρτίου 2019. ....	73
Διάγραμμα 53. Χάρτης Επιφανειακής Θαλάσσιας Θερμοκρασίας από Sentinel-3 για τις 25 Μαρτίου 2019. ....	74



Διάγραμμα 54. Χάρτης ποιότητας για την εικόνα SST του δορυφόρου Sentinel-3 για τις 6 Μαρτίου 2019. ....	74
Διάγραμμα 55. Χάρτης ποιότητας για την εικόνα SST του δορυφόρου Sentinel-3 για τις 25 Μαρτίου 2019. ....	75
Διάγραμμα 56. SST validation μεταξύ Sentinel-3 και Marine Copernicus Model για τις 6 Μαρτίου 2019. ....	75
Διάγραμμα 57. SST validation μεταξύ Sentinel-3 και Marine Copernicus Model για τις 25 Μαρτίου 2019. ....	76
Διάγραμμα 58. SSS validation μεταξύ SMOS και Marine Copernicus Model για τις 6 Μαρτίου 2019. ....	77
Διάγραμμα 59. SSS validation μεταξύ SMOS και Marine Copernicus Model για τις 25 Μαρτίου 2019. ....	77
Διάγραμμα 60. Απώλεια δεδομένων λόγω των παρεμβολών των ραδιοσυχνοτήτων. Αριστερά: Παρατηρούνται χαμηλότερες τιμές στην επιφανειακή θαλάσσια αλατότητα εξαιτίας χαμηλών εκπομπών RFI, αλλά και ορισμένες ολικές απώλειες δεδομένων (Λευκοί κύκλοι). Δεξιά: Παρατηρείται ολική απώλεια δεδομένων σε τεράστια έκταση λόγω των πολύ ισχυρών εκπομπών RFI (Λευκοί κύκλοι). ....	83
Διάγραμμα 61. Η πορεία που ακολούθησε το πλοίο του ARGO. ....	99
Διάγραμμα 62. Τα σημεία που είναι μέσα στα κόκκινα κουτιά υποδηλώνουν τις πορείες που επελέγησαν για την επικύρωση των αποτελεσμάτων. ....	100
Διάγραμμα 63. Αριστερά: Διακρίνονται οι τιμές της αλατότητας ανάλογα με την πίεση του νερού. Δεξιά: Διακρίνονται οι τιμές της θερμοκρασίας ανάλογα με την πίεση του νερού. ....	100
Διάγραμμα 64. Οι τιμές των πορειών για SST και SSS. ....	101
Διάγραμμα 65. Σύγκριση SST του ARGO με τους πολυαισθητήρες του Marine Copernicus ....	105
Διάγραμμα 66. Σύγκριση SSS του ARGO με το μοντέλο του Marine Copernicus. ....	105
Διάγραμμα 67. Σύγκριση SST του ARGO με τα δεδομένα του δορυφόρο Sentinel-3. ....	105

## ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

ACDP	Acoustic Doppler Current Profiler
AVHRR	Advanced Very High-Resolution Radiometer
BGC	Biocheochemical
BT	Brightness Temperature
C2RCC	Case 2 Regional Coastal Colour
Chl-a	Chlorophyll-a
CIS	Central Information System
CMEMS	Copernicus Marine Environment Monitoring Service
CTDs	Conductivity, Temperature, Depth
CZCS	Coastal Zone Color Scanner
EESS	Earth Exploration-Satellite Service
ELM	Empirical Line Method
EO	Earth Observation
ESA	European Space Agency
EUMESAT	European Organisation for the Exploitation of Meteorological Sattelites
EuroGOOS	European Global Ocean Observing System
FNU	Formazin Nephelometric Units
FRM	Fiducial Reference Measurements
GNDVI	Green Normalized Difference Vegetation Index
GODAE	Global Ocean Data Assimilation Experiment
GOOS	Global Ocean Observing System
HAB	Harmful Algal Blooms
IOCCG	International Ocean-Colour Coordinating Group
ITU-R	International Telecommunications Union-Radiocommunication

JTCOMM	Joint Technical Commission for Oceanography and Marine Meteorology
MBR	Maximum Band Ratio
MCI	Maximum Chlorophyll
MERIS	Medium Resolution Imaging Spectrometer
MFCs	Monitoring and Forecasting Centres
MIRAS	Microwave Imaging Radiometer using Aperture Synthesis
MODIS	Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
MSI	Multispectral Instrument
MWR	Microwave Radiometer
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NDTI	Normalized Difference Turidity Index
NIR	Near Infrared
NRT	Near Real Time
NTU	Nephelometric Turbidity Index
OLCI	Ocean and Land Instrument
OLI	Operational Land Imager
OMIs	Ocean Monitoring Indicators
RFI	Radio Frequency Interference
RMSE	Root Mean Square Error
SeaWiFS	Sea-viewing Wide Field of view Sensor
SLSTR	Sea and Land Surface Temperature Instrument
SMAP	Soil Moisture Active Passive
SMOS	Soil Moisture and Ocean Salinity
SPAL	SAR Radar Altimeter
SPM	Suspended Matter

SSS	Sea Surface Salinity
SST	Sea Surface Temperature
SWOT	Surface Water and Ocean Topography
TACs	Thematic Assembly Centres
TOA	Top Of Atmosphere
TSM	Total Suspended Matter
US EPA	United States Enviromental Protection Agency
VIIRS	Visible Infrared Imaging Radiometer Suite
WRC	World Radiocommunication Conferences
ΘΧΣ	Θαλάσσιος Χωροταξικός Σχεδιασμός
ΕΕ	Ευρωπαϊκή Ένωση

## ΑΠΟΔΟΣΗ ΟΡΩΝ

Determination coefficient	Συντελεστής προσδιορισμού
Drifting buoys	Παρασυρόμενες σηματοδούρες
International Council of the Exploration of the Sea	Διεθνές Συμβούλιο για την εξερεύνηση της Θάλασσας
Validation	Επικύρωση

## 1 Εισαγωγή

Ο σημαντικότερος πόρος του πλανήτη μας αποτελεί αναμφισβήτητα το νερό. Εξαιτίας αυτού του αγαθού, που δίνει απλόχερα η γη από την δημιουργία της ακόμη, έχουνε συμβεί αμέτρητες διαμάχες από τα ιστορικά χρόνια έως και σήμερα. Με την αλματώδη αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού και μάλιστα τις τελευταίες δύο εκατονταετίες, προσπαθούμε να κατανοήσουμε καθημερινώς την σχέση μεταξύ «νερό-πληθυσμός γης» όπου το πρώτο μέλος, η τιμή παραμένει θεωρητικά σταθερή, ενώ στο δεύτερο η τιμή αυξάνεται δραματικά, δημιουργώντας μια μεγάλη ανισότητα στην συστοιχία προσφορά και ζήτηση. Η θεώρηση αυτή, μας κάνει αντιληπτό, πως ασχέτως των κλιματικών μεταβολών και της παγκόσμιας κλιματικής αλλαγής, ο πόρος νερό θα είναι σε διαρκή και αυξανόμενη έλλειψη.

Η δυναμική εξέλιξη της τεχνολογίας δημιουργεί καθημερινώς νέες προκλήσεις και ανταγωνισμούς για θαλάσσιο χώρο στα ευρωπαϊκά ύδατα. Ο ανταγωνισμός αυτός έγκειται, στην εγκατάσταση εξοπλισμού παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, δραστηριότητες υδατοκαλλιέργειας και άλλες χρήσεις. Σε αυτό το σημείο κάνει την εμφάνιση του ο θαλάσσιος χωροταξικός σχεδιασμός (ΘΧΣ) όπου αναπτύσσεται σε διασυνοριακό και διατομεακό επίπεδο, έτσι ώστε οι ανθρώπινες δραστηριότητες στη θάλασσα να διεξάγονται με αποτελεσματικό, ασφαλή και βιώσιμο τρόπο. Τα οφέλη του θαλάσσιου χωροταξικού περιλαμβάνουν τον περιορισμό των συγκρούσεων μεταξύ τομέων και δημιουργία συνεργειών μεταξύ διάφορων δραστηριοτήτων. Την ενθάρρυνση των επενδύσεων με την εξασφάλιση προβλεψιμότητας, διαφάνειας και σαφέστερων κανόνων. Την ενίσχυση της διασυνοριακής συνεργασίας ανάμεσα στις χώρες της ΕΕ για τη δημιουργία ενεργειακών δικτύων, οδών ναυσιπλοΐας, αγωγών, την εγκατάσταση συνεκτικών δικτύων προστατευόμενων περιοχών. Την προστασία του περιβάλλοντος μέσω της έγκαιρης εκτίμησης του αντικτύπου και των δυνατοτήτων πολλαπλής χρήσης του χώρου. (Commission 2019).

Η παρούσα μεταπτυχιακή εργασία, αποτελεί σημαντικό κομμάτι για τον θαλάσσιο χωροταξικό σχεδιασμό καθώς προσπαθεί να συμβάλει στην παρακολούθηση, πρόληψη και αποτροπή της υποβάθμισης του παράκτιου-θαλάσσιου περιβάλλοντος της επαρχίας της Πάφου, από ακραία καιρικά φαινόμενα, μέσω της δορυφορικής τηλεπισκόπησης και των Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών. Αρχικά, στο κεφάλαιο 2, γίνεται βιβλιογραφική ανασκόπηση όπου αναφέρονται διάφορες έρευνες και μεθοδολογίες που έχουν γίνει στο παρελθόν όσον αφορά την δορυφορική τηλεπισκόπηση σε λιμναία, παράκτια αλλά και ανοιχτά ωκεάνια ύδατα. Στη συνέχεια, στο κεφάλαιο **Error! Reference source not found.** περιγράφεται, η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για την ανάκτηση, επεξεργασία και ανάλυση των δορυφορικών εικόνων, ενώ στο κεφάλαιο 6, περιγράφονται τα αποτελέσματα της έρευνας. Ο

σχολιασμός των αποτελεσμάτων διενεργείται στο κεφάλαιο 7, καταλήγοντας στα συμπεράσματα που έχουν δημιουργηθεί από την έρευνα αυτή, τα οποία συναντώνται στο κεφάλαιο 8. Τέλος, στο παράρτημα γίνεται αναφορά επιπρόσθετης έρευνας αναλύοντας και παρουσιάζοντας τα αποτελέσματα που προέκυψαν, από διαφορετική περιοχή μελέτης με την αρχική έρευνα.

## 2 Βιβλιογραφική ανασκόπηση

Η βιβλιογραφική αυτή ανασκόπηση θέτει ως στόχο να ενημερώσει σχετικά με την καταγραφή και παρακολούθηση της Επιφανειακής Θαλάσσιας Αλατότητας (Sea Surface Salinity/SSS), της Επιφανειακής Θαλάσσιας Θερμοκρασίας (Sea Surface Temperature/SST), της χλωροφύλλης-a (Chlorophyll-a/Chl-a) και της Θολερότητας (Turbidity) στο θαλασσινό νερό μέσω δορυφορικής τηλεπισκόπησης.

Οι μετρήσεις της αλατότητας καθίστανται ολοένα και πιο σημαντικές, καθώς συνιστούν αξιόλογο κριτήριο στην κατανόηση της κυκλοφορίας των ωκεανών και του κύκλου του νερού της Γης. Για αυτό τον λόγο με την πάροδο των χρόνων, την δυναμική εξέλιξη της τεχνολογίας και πιο συγκεκριμένα της δορυφορικής τηλεπισκόπησης, δημιουργήθηκαν ειδικά διαμορφωμένοι και εξοπλισμένοι δορυφόροι με αισθητήρες, οι οποίοι βοηθούν στην παρατήρηση της αλατότητας στο θαλάσσιο νερό, όπως είναι ο Aquarius-SAC-D, ο SMOS και ο SMAP. Συγκεκριμένα, οι δορυφόροι αυτοί παρακολουθούν τις αλλαγές στην ποσότητα του νερού που συγκρατείται στα επιφανειακά στρώματα του εδάφους και των συγκεντρώσεων άλατος στο άνω στρώμα του θαλασσινού νερού, τα οποία αμφότερα αποτελούν συνέπεια της συνεχούς ροής νερού μεταξύ των ωκεανών, της ατμόσφαιρας και της γής. Όσον αφορά την επιφανειακή θαλάσσια θερμοκρασία, η ανάγκη για ακριβείς μετρήσεις της συνολικής επιφανειακής θερμοκρασίας της θάλασσας έχει βαρύνουσα σημασία, κυρίως λόγω της κατανόησης της μεταβλητότητας στο παγκόσμιο κλίμα. (European Space Agency 2014)

Από την άλλη, οι μετρήσεις μέσω δορυφορικού SST καθίστανται ολοένα και πιο ελκυστικές λόγω της παγκόσμιας επανειλημμένης κάλυψης σε σύγκριση με οποιοδήποτε άλλο τύπο μετρήσεων, για αυτό το λόγο τα τελευταία χρόνια έχει αναπτυχθεί ένας μεγάλος αριθμός μεθόδων πολλαπλών καναλιών για την ανάκτηση δεδομένων χωρίς σύννεφα για τη θερμοκρασία της θάλασσας.

Αναφορικά με τη Θολερότητα του θαλασσινού νερού παρουσιάζονται διάφοροι τρόποι παρατήρησης και εντοπισμού της θολερότητας του νερού με την βοήθεια της δορυφορικής τηλεπισκόπησης. Το νερό αποτελεί αγαθό αδιαμφισβήτητης αξίας, του οποίου η σημασία θεωρείται ανεκτίμητη καθώς δίχως αυτό, οποιαδήποτε μορφή ζωής πάνω στην Γη δεν θα επιβίωνε. Είναι αξιοσημείωτο ότι πολυάριθμοι πόλεμοι και διαμάχες ξεκίνησαν εξαιτίας του νερού. Το 96,5% του νερού της Γης περιέχεται στους Ωκεανούς (και τις θάλασσες), το 1,7% στα παγοκαλύμματα και στις παγωμένες σπηλιές της Ανταρκτικής και της Γροιλανδίας, 1,7% στα υπόλοιπα επιφανειακά νερά και 0,001% ως υγρασία της



ατμόσφαιρας και σε σύννεφα. Το 98,8% του πόσιμου νερού βρίσκεται στα παγοκαλύμματα και στα υπόγεια ύδατα, ενώ το 2,5% του νερού της Γης είναι «γλυκό».

Τέλος, η ανάγκη για πιο αποτελεσματική περιβαλλοντική παρακολούθηση του ανοιχτού και παράκτιου ωκεανού οδήγησε πρόσφατα σε αξιοσημείωτη πρόοδο στην δορυφορική τεχνολογία αναφορικά με την αποτύπωση του χρώματος των ωκεανών και την έρευνα αλγορίθμων. Τα δεδομένα των δορυφορικών αισθητήρων για το χρώμα των ωκεανών χρησιμοποιούνται ευρέως για την ανίχνευση, την χαρτογράφηση και την παρακολούθηση του φυτοπλαγκτόν επειδή η παρατήρηση της γης παρέχει μια συνοπτική εικόνα του ωκεανού, τόσο στο χώρο, όσο και στο χρόνο. Η ανθοφορία είναι δείκτης της υγείας του θαλάσσιου οικοσυστήματος επομένως, η παρακολούθηση της αποτελεί βασικό στοιχείο της αποτελεσματικής διαχείρισης των παράκτιων και ωκεάνιων πόρων (Krestenitis et al. 2015). Παρακάτω αναφερόμαστε στην κάθε κατηγορία ξεχωριστά με το τι προϋπήρχε και τι θα ακολουθήσει στα επόμενα χρόνια σχετικά με τις μεθοδολογίες ανάκτησης τους μέσω των σύγχρονων τεχνολογιών τηλεπισκόπησης.

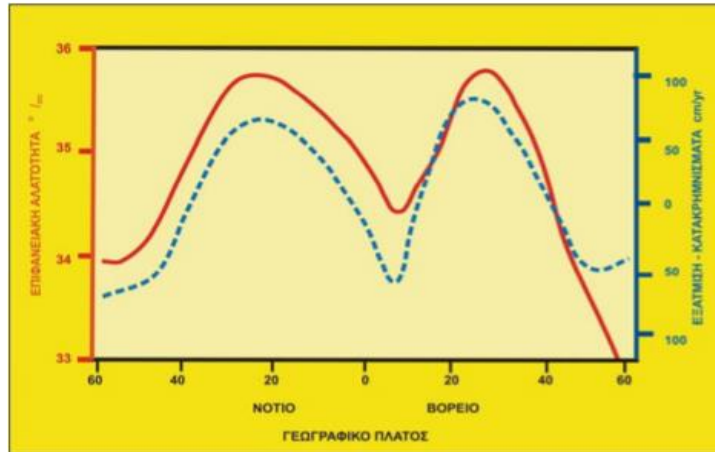
## **2.1 Επιφανειακή θαλάσσια αλατότητα**

Στο έργο του Lagerloef et al. 1995 αναφέρεται πως το 1909, το Διεθνές Συμβούλιο για την εξερεύνηση της Θάλασσας (International Council of the Exploration of the Sea) καθιέρωσε τον πλήρη ορισμό της αλατότητας ως εξής: «Αλατότητα είναι το συνολικό ποσό σε γραμμάρια των διαλυμένων στερεών ουσιών που περιέχονται σε 1 Kg θαλασσινού νερού, όταν όλα τα ανθρακικά έχουν μετατραπεί σε οξείδια, το βρώμιο και το ιώδιο έχουν αντικατασταθεί από χλώριο και όλα τα οργανικά έχουν οξειδωθεί τελείως». Η πρώτη απόπειρα μέτρησης της επιφανειακή αλατότητα της θάλασσας έγινε το 1977 στο Skylab (Lerner and Hollinger 1977). Η έρευνα που οδήγησε το Skylab στη διεξαγωγή πειράματος ξεκίνησε ως προσπάθεια στα τέλη της δεκαετίας του 1940 και στις αρχές της δεκαετίας του 1950, όταν επιχειρήθηκε η μέτρηση της σύνθετης διηλεκτρικής σταθεράς αλατούχων διαλυμάτων για διάφορες θερμοκρασίες αλατότητας και συχνότητες μικροκυμάτων. Αυτές οι σχέσεις παρέχουν την φυσική βάση για την τηλεπισκόπηση του ωκεανού μέσω μικροκυμάτων. Η πρώτη παρουσίαση για εναέρια μέτρηση της αλατότητας έγινε στον ποταμό Μισισσιπή (Droppleman et al. 1970). Αυτό τους οδήγησε στο να ανανεώσουν τις προσπάθειες τους για την βελτίωση της διηλεκτρικής σταθεράς και των εξισώσεων που διέπουν την εφαρμογή για την τηλεπισκόπηση των ωκεανών (Klein and Swift 1977). Στη συνέχεια, ακολούθησε μια σειρά εναέριων πειραμάτων από το Skylab, όπου χαρτογράφησαν τα μοτίβα της παράκτιας αλατότητας στις εκβολές του ποταμού Chesapeake και Savannah και κατά μήκος

της ακτογραμμής του Πουέρτο Ρίκο. (Blume et al. 1978 & 1981). Οι Zhao et al. (2017) ανέπτυξαν έναν πολυπαραγοντικό γραμμικό αλγόριθμο που αποδίδει την θαλάσσια επιφανειακή αλατότητα από την τηλεπισκόπηση της αντανάκλασης (Rrs-Remote Sensing Reflectance) στον Αραβικό κόλπο. Οι επιτόπιες μετρήσεις Rrs βοήθησαν στην ανάπτυξη του αλγορίθμου. Οι συγκρίσεις μεταξύ εκτιμώμενης και επιτόπιας μέτρησης επιφανειακής θαλάσσιας αλατότητας παρήγαγαν R<sup>2</sup>s (Determination coefficient) φθάνοντας το 0,74 και RMSE (Root Mean Square Error) < 2%. Ο προτεινόμενος αλγόριθμος εφαρμόστηκε στις εικόνες OLI (Operational Land Imager) που συλλέχθηκαν τον Νοέμβριο του 2013 και τον Μάρτιο του 2016 για να επιδείξουν αλλαγές στο SSS από κανονικές συνθήκες μέχρι ακραία γεγονότα. Η καλή συμφωνία μεταξύ των δορυφορικών εικόνων και in situ Rrs υποδηλώνει ότι οι αβεβαιότητες του αλγορίθμου αποδίδονται κυρίως στην παραμετροποίηση του αλγορίθμου, με αποτέλεσμα να απαιτούνται περισσότερες μετρήσεις για βελτίωση της απόδοσης. Σε σύγκριση με τα προερχόμενα OLI προϊόντα, οι αριθμητικές προσομοιώσεις υπερεκτίμησαν το SSS κατά 3,4%. Τα ευρήματα μας καταδεικνύουν το δυναμικό των δορυφορικών προϊόντων υψηλής ανάλυσης για τη μελέτη βραχυπρόθεσμων γεγονότων και τη συλλογή λεπτομερών χαρακτηριστικών στο θαλάσσιο περιβάλλον.

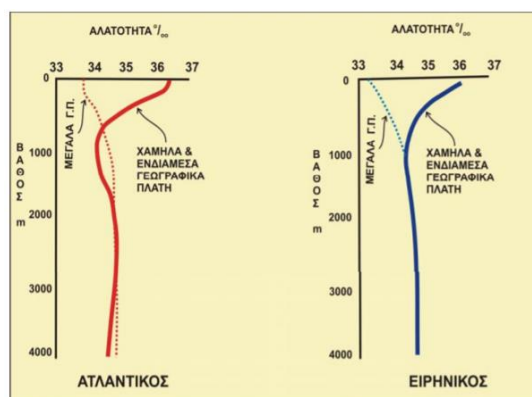
Η κατανομή της αλατότητας και της θερμοκρασίας στην επιφάνεια της θάλασσας τείνει να αναπτύσσεται κατά ζώνες σύμφωνα με το γεωγραφικό πλάτος και την εποχή. Η κατανομή της αλατότητας καθορίζεται από την εξάτμιση και τα κατακρημνίσματα μιας περιοχής. Υπολογίζοντας το μέσο όρο της αλατότητας όσον αφορά το γεωγραφικό πλάτος (ανατολή-δύση) παρατηρείται ότι υπάρχει ισχυρή συσχέτιση μεταξύ της αλατότητας και της διαφοράς της εξάτμισης μείον τα κατακρημνίσματα (Διάγραμμα 1).

Υπάρχει επίσης διαφοροποίηση στην κατανομή της αλατότητας από ωκεανό σε ωκεανό. Στον ανοικτό ωκεανό το εύρος της επιφανειακής αλατότητας κυμαίνεται από 33‰ ως 37‰. Κατά μέσο όρο, ο βόρειος Ατλαντικός έχει τη μεγαλύτερη επιφανειακή αλατότητα, με τιμή γύρω στο 35,5‰, ακολουθούν ο νότιος Ατλαντικός και ο νότιος Ειρηνικός με 35,2‰, ο Ινδικός με 35‰, τέλος ο βόρειος Ειρηνικός με 34,2‰. Οι μεγαλύτερες αποκλίσεις της αλατότητας από τη μέση τιμή μια ωκεάνιας λεκάνης εμφανίζονται σε περιοχές που λιώνουν οι πάγοι, κοντά σε εκβολές μεγάλων ποταμών, αλλά και σε κλειστές θάλασσες με μεγάλη εξάτμιση. Έτσι στην ανατολική Μεσόγειο παρατηρείται αλατότητα της τάξης των 39‰ ενώ στην Ερυθρά θάλασσα η τιμή της φτάνει το 41‰. Αντίθετα στη Βαλτική θάλασσα το νερό είναι υφάλμυρο, με αλατότητα 10‰ στην επιφάνεια και 15‰ στο βάθος, λόγω της μικρής εξάτμισης και των μεγάλων ποσοτήτων γλυκού νερού από τα ποτάμια και το λιώσιμο των πάγων (Albanakis 2007).



**Διάγραμμα 1. Κατανομή της αλατότητας και της διαφοράς εξάτμισης μείον κατακρημνίσματα από το Βόρειο ως το Νότιο ημισφαίριο. (Albanakis 2007)**

Η κατακόρυφη κατανομή της αλατότητας δε μπορεί να ταξινομηθεί εύκολα σε ομάδες και τυποποιημένες κατανομές, γιατί οι μεταβολές της, σε αντίθεση με τη θερμοκρασία, είναι πολύ μικρές για να επηρεάσουν την πυκνότητα, η οποία είναι ο καθοριστικός παράγοντας της κατακόρυφης ισορροπίας του νερού. Χρήζει προσοχής όμως ότι σε βάθος κάτω από τα 2000 μέτρα συμβαίνουν ελάχιστες διαφοροποιήσεις στην αλατότητα και όλοι οι ωκεανοί παρουσιάζουν παρόμοια αλατότητα 34,6‰ ως 34,9‰. Στις παράκτιες περιοχές με σημαντική επίδραση από νερά ποταμών, υπάρχει στην επιφάνεια νερό μειωμένης αλατότητας. Αμέσως βαθύτερα, βρίσκεται μια ζώνη στην οποία η αλατότητα αυξάνεται απότομα και διαχωρίζει τα βαθιά αλμυρά νερά από τα επιφανειακά υφάλμυρα. Η ζώνη αυτή ονομάζεται αλοκλινές. Στην περίπτωση αυτή το πυκνοκλινές (δηλ το εύρος βάρων στο οποίο πυκνότητα των νερών μεταβάλλεται απότομα) καθορίζεται από το αλοκλινές και η θερμοκρασίας επηρεάζει λιγότερο την μεταβολή της πυκνότητας όπως ανέφερε ο Albanakis το 2007, (Διάγραμμα 2).



**Διάγραμμα 2. Κατανομή της αλατότητας με το βάθος. (Albanakis 2007)**

## 2.2 Θολερότητα νερού

Η χρήση δορυφορικών εικόνων για χαρτογράφηση της ποιότητας υδάτων ξεκίνησε ήδη από τις αρχές του 1973 με τα έργα των Klemas, Bowker και Ruggles οι οποίοι αναφέρουν τα σημαντικά αποτελέσματα που ανέκτησαν από δορυφόρο ERTS-1, ο οποίος αργότερα μετονομάστηκε σε Landsat-1. Υπάρχει έντονο επιστημονικό ενδιαφέρον αναφορικά με την παρακολούθηση της θολερότητας του νερού των παράκτιων υδάτων και στις εκβολές των ποταμών. Η δορυφορική χαρτογράφηση της θολερότητας είναι σημαντική, τόσο ως δείκτης του οπτικού περιβάλλοντος για σκοπούς παρακολούθησης της ποιότητας του νερού (Nechad et al. 2009), όσο και ως μια εύκολη μέτρηση για τη συγκέντρωση αιρούμενων σωματιδίων (SPM) σε εφαρμογές μεταφοράς ιζημάτων (Girpel 1995). Η ποσότητα της αδιάλυτης ύλης που υπάρχει στο πόσιμο νερό είναι ένας βασικός δείκτης ποιότητας του. Η λάσπη, η άμμος, τα βακτήρια, τα σπόρια και τα ιζήματα συντελούν στη θολότητα του νερού. Το πόσιμο νερό το οποίο είναι εξαιρετικά θολό, μπορεί να έχει δυσάρεστη γεύση στον άνθρωπο. Η κατανάλωση ακόμη και χαμηλών συγκεντρώσεων ορισμένων βακτηρίων και άλλων μικροοργανισμών μπορεί να προκαλέσει σοβαρές επιπτώσεις στην υγεία. Τα επίπεδα θολότητας είναι κατά κανόνα πολύ υψηλότερα στο νερό προερχόμενο από πηγές επιφανειακών υδάτων, όπως ρέματα, ποτάμια και λίμνες, από πηγές υπόγειων υδάτων. Ορισμένες πηγές επιφανειακών υδάτων εμφανίζουν υψηλά επίπεδα θολότητας κατά τη διάρκεια περιόδων υψηλής βροχόπτωσης ή τήξης χιονιού (π.χ απορροή με άνοιξη). Οι οργανισμοί δημόσιας υγείας και ασφάλειας σε όλο τον κόσμο έχουν αναγνωρίσει τη σημασία της μέτρησης της ποιότητας του πόσιμου νερού μέσω της θολότητας. Η οδηγία της Ευρωπαϊκής Ένωσης για το πόσιμο νερό προσδιορίζει τη θολότητα ως μία από τις εννέα παραμέτρους σταθερής παρακολούθησης που πρέπει να μετριούνται στο νερό το οποίο προορίζεται για ανθρώπινη κατανάλωση (Howarth 2008). Η υπηρεσία προστασίας περιβάλλοντος (US EPA) στις ΗΠΑ απαιτεί την παρακολούθηση της θολότητας για όλο το παραγόμενο πόσιμο νερό. Ο παγκόσμιος οργανισμός υγείας συνιστά την παρακολούθηση της θολότητας συχνά και σε πολλαπλά σημεία καθ' όλη τη διάρκεια της διαδικασίας επεξεργασίας. Συνεπώς, η ακριβής και με υψηλή ευαισθησία μέτρηση της θολότητας είναι ζωτικής σημασίας για τη διασφάλιση πόσιμου νερού χωρίς τους επιβλαβείς μικροοργανισμούς που περιέχονται σε αυτό.

Η μετρημένη θολότητα εξαρτάται από το μήκος κύματος του φωτός και την γωνία στην οποία είναι τοποθετημένος ο ανιχνευτής. Για διάφορους λόγους, οι αισθητήρες θολερότητας δεν χρησιμοποιούν όλες τις ίδιες πηγές φωτός, γωνίες μέτρησης για την ανίχνευση του διασκορπισμένου φωτός και στρατηγικές επεξεργασίας σημάτων. Ως αποτέλεσμα, οι μετρήσεις από διαφορετικά μοντέλα ανιχνευτών θολότητας ενδέχεται να μην είναι συγκρίσιμες με τις άλλες. Για να βοηθήσουν στην κατηγοριοποίηση των διαφορών στο σχεδιασμό του ερευνητή θολερότητας και να γίνει διάκριση μεταξύ

των μετρήσεων θολερότητας που μπορεί να μην είναι συγκρίσιμες, δημιουργήθηκαν νέες μονάδες μέτρησης το 2004. Οι διαφορές βασίζονται κυρίως στο μήκος κύματος του φωτός που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση, στη γωνία στην οποία ανιχνεύεται το διασκορπισμένο φως, στον αριθμό των ανιχνευτών και σε οποιαδήποτε ειδική επεξεργασία σήματος. Για παράδειγμα, μια Νεφελομετρική Μονάδα Φορμαζίνης (FNU) είναι παρόμοια με μια Νεφελομετρική Μονάδα Θολότητας (Nephelometric Turbidity Index -NTU) διότι και οι δύο μετρούν το διασκορπισμένο φως σε 90 μοίρες από την προσπίπτουσα δέσμη φωτός, αλλά η FNU μετριέται με μια πηγή υπέρυθρου φωτός σύμφωνα με το ISO 7027 ενώ η NTU μετριέται με λευκό φως σύμφωνα με τη μέθοδο 180.1 της υπηρεσίας προστασίας περιβάλλοντος (Environmental Protection Agency) (USGS 2017).

Για αυτό το λόγο οι πιο συνηθισμένες μετρήσεις θολερότητας του νερού είναι οι Νεφελομετρικές Μονάδες Θολότητας και οι Μονάδες Θολότητας Φορμαζίνης (FTU). Οι Νεφελομετρικές Μονάδες Θολότητας καθορίζονται ως εξής:

- < 1 NTU = Good
- 1-5 NTU's = Fair
- > 5 NTU's = Poor

Με την πάροδο του χρόνου, ολοένα και περισσότερες επιστημονικές μελέτες θα φέρουν στο φως της δημοσιότητας το μακροχρόνιο πρόβλημα που υπάρχει με την ποιότητα νερού στη Γη. Χαρακτηριστικό παράδειγμα, αποτελεί ο ταχύς ρυθμός αστικοποίησης και η κοινωνικοοικονομική ανάπτυξη στην Κίνα, η οποία αντιμετωπίζει σοβαρά προβλήματα όσον αφορά το νερό. (Ma et al. 2014; Wang and Yang 2019). Η άνιση κατανομή των πόρων των γλυκών υδάτων κάνει ορισμένα τμήματα της Κίνας να παρουσιάζουν ανεπάρκεια στη ποσότητα νερού που διαθέτουν. Τα προβλήματα λειψυδρίας στην Κίνα επιδεινώνονται έτι περαιτέρω από τη ρύπανση των υδάτων, τόσο των εσωτερικών γλυκών νερών, αλλά και των παράκτιων υδάτινων πόρων. Με τη δυναμική εξέλιξη της τεχνολογίας και των σύγχρονων μεθόδων τηλεπισκόπησης έχει καταστεί αναγκαία και η εξέλιξη των υπάρχων αλγορίθμων για τη θολερότητα του νερού. Σύμφωνα με τις έρευνες που αναφέρθηκαν μπορούμε να πούμε πως όσον αφορά τον εντοπισμό της θολερότητας χρησιμοποιούνται το κόκκινο και το εγγύς υπέρυθρο κανάλι των διαφόρων οπτικών δορυφόρων. Φυσικά τα αποτελέσματα και οι διάφορες επεξεργασίες που χρειάζονται διαφέρουν αναλόγως περιοχής μελέτης και φυσικού περιβάλλοντος.

Αρχικά, τα όργανα τηλεπισκόπησης αποκτούν μια οπτική μέτρηση του χρώματος του νερού και της θολερότητας. Το χρώμα αυξάνει την απορρόφηση του φωτός στο νερό και μειώνει το σήμα που

λαμβάνεται ενώ παράλληλα, η θολότητα αυξάνει την ανάκλαση του φωτός. Σε χαμηλές συγκεντρώσεις αιωρούμενων υλικών, η φασματική ανακλαστικότητα καθορίζεται κυρίως από τα χαρακτηριστικά απορρόφησης του νερού. Σε υψηλότερες συγκεντρώσεις, τα χαρακτηριστικά απορρόφησης των αιωρούμενων σωματιδίων είναι ο σημαντικότερος παράγοντας. Η τηλεπισκόπηση προσφέρει σημαντικά πλεονεκτήματα για τη μελέτη μεγάλων περιοχών, τον προσδιορισμό μοντέλων ρευμάτων και κυκλοφορίας του νερού καθώς και παρακολούθηση της καθίζησης, της παραγωγικότητας του νερού και του ευτροφισμού.

Προκειμένου να μελετηθεί η ποιότητα του νερού στο φράγμα της λίμνης στο Wadi Baysh της Σαουδικής Αραβίας, χρησιμοποιήθηκαν παράμετροι συγκέντρωσης χλωροφύλλης-a, νιτρικού άλατος και θολότητας νερού (Elhag et al. 2019). Οι παράμετροι αυτοί συλλέγονταν καθημερινά για δύο χρόνια (2017-2018) από τον σταθμό επεξεργασίας ύδατος που βρίσκεται μέσα στην περιοχή του φράγματος και αντίστοιχα δοκιμάστηκαν σε σχέση με τις παραμέτρους της ποιότητας νερού που συλλέχθηκαν μέσω τηλεπισκόπησης. Τα δεδομένα συλλέχθηκαν από τον αισθητήρα Sentinel-2 του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Διαστήματος (ESA) σε βάση δορυφορικής χρονικής ανάλυσης. Τα δεδομένα προεξεργάστηκαν και μετά έγινε η επεξεργασία τους προκειμένου να εκτιμηθεί ο ανώτατος δείκτης χλωροφύλλης-a (MCI-Maximum Chlorophyll), ο πράσινος κανονικοποιημένος δείκτης διαφοράς βλάστησης (GNDVI-Green Normalized Difference Vegetation Index) και ο κανονικοποιημένος δείκτης διαφοράς θολερότητας (NDTI-Normalized Difference Turbidity Index). Στατιστικές ζώνες χρησιμοποιήθηκαν για τη βελτίωση της ανάλυσης παλινδρόμησης μεταξύ χωρικών δεδομένων που υπολογίστηκαν από τις εικόνες που πάρθηκαν μέσω τηλεπισκόπησης και τα δεδομένα που δεν συλλέχθηκαν από την μονάδα επεξεργασίας νερού. Τα αποτελέσματα έδειξαν διαφορετική συσχέτιση μεταξύ των επί τόπου συλλεγόμενων δεδομένων και των δεδομένων που συλλέχθηκαν μέσω τηλεπισκόπησης. Οι πραγματικές μετρήσεις θολερότητας νερού έδειξαν υψηλή συσχέτιση με τις εκτιμώμενες μέσες τιμές NDTI με  $R^2$  0.94. Ο αλγόριθμος που αναπτύχθηκε από τους Lacaux et al. (2007) για την εκτίμηση της θολερότητας του νερού χρησιμοποιώντας δεδομένα τηλεπισκόπησης συγκεκριμένα για λίμνες και εσωτερικά ύδατα είναι:

$$NDTI = \frac{Red - Green}{Red + Green}$$

Τον αλγόριθμο αυτόν τον χρησιμοποίησαν για εικόνες του δορυφόρου SPOT-5 αλλά για τον Sentinel-2 ισχύει, όπου Red είναι το κόκκινο κανάλι και όπου Green είναι το πράσινο κανάλι του δορυφόρου Sentinel-2.

Η τηλεπισκόπηση όσον αφορά το χρώμα των ωκεανών έχει αποδειχθεί ένα χρήσιμο εργαλείο στη χαρτογράφηση της θολερότητας (T) και της αιωρούμενης συγκέντρωσης σωματιδίων (SPM) σε θολά παράκτια ύδατα. Διαφορετικοί αλγόριθμοι για την ανάκτηση της θολερότητας (T) και της αιωρούμενης συγκέντρωσης σωματιδίων (SPM) από την ανάκλαση του νερού υφίστανται ήδη, ωστόσο υπάρχουν σημαντικά ερωτήματα σχετικά με το εάν αυτοί οι αλγόριθμοι πρέπει να βαθμονομηθούν ειδικά για διαφορετικές περιοχές.

Γενικά υπάρχει καλή συσχέτιση μεταξύ θολερότητας και ανακλαστικότητας στα διάφορα κανάλια του δορυφόρου που βρίσκονται στο κόκκινο μέρος του φάσματος για χαμηλές έως μέτριες τιμές θολερότητας. Το κανάλι 3 (630-690) του δορυφόρου Landsat έχει χρησιμοποιηθεί για να χαρτογραφηθεί η θολερότητα στον ποταμό Guadalquivir (Ισπανία) για κλίμακα θολερότητας 1,5-8 NTU (Bustamante et al. 2009). Επίσης υπήρξε καλή συσχέτιση μεταξύ του κόκκινου καναλιού LISS-I (620-680 nm) και της θολερότητας σε κλίμακα 15-45 NTU στη δεξαμενή Tawa στην Ινδία (Choubey 1992). Οι Goodin et al. (1996), χρησιμοποίησαν το κόκκινο κανάλι του SPOT-HRV2 (610-680 nm) για να χαρτογραφήσουν τα σχετικά χαμηλά επίπεδα θολότητας, που κυμαινόταν από 3 έως 15 NTU, στον ταμιευτήρα Tuttel Creek στο Κάνσας των ΗΠΑ. Το κανάλι των 645 nm με χωρική διακριτική ικανότητα 250 μ του δορυφόρου MODIS χρησιμοποιήθηκε επιτυχώς για να χαρτογραφηθεί η θολερότητα στον κόλπο Tampa (ΗΠΑ) για επίπεδα θολερότητας που κυμαινόταν μεταξύ 0,9-8 NTU (Chen et al. 2007). Ωστόσο, ο αλγόριθμος του Chen εξετάστηκε και ξανά βαθμονομήθηκε για τους κόλπους της Σικελίας (Ιταλία), όπου η μετρημένη θολερότητα κυμαινόταν μεταξύ 1,5 και 6 FNU (Maltese et al. 2013). Για τη χαρτογράφηση της θολερότητας του ποταμού Adour στον Βισκαϊκό κόλπο στη Γαλλία αναπτύχθηκε ένας αλγόριθμος για το κόκκινο κανάλι του δορυφόρου MODIS-Aqua όπου οι τιμές θολερότητας του χώρου έρευνας κυμαινόταν μεταξύ 0,5-70 NTU (Petus et al. 2010). Οι Ouillon et al. (2008), διαπίστωσαν ότι το κανάλι στα 681 nm του δορυφόρου MERIS ταιριάζει καλύτερα στις τιμές θολερότητας που κυμαίνονται μεταξύ 1-25 FTU σε τρία διαφορετικά τροπικά παράκτια ύδατα της Νέας Καληδονίας, στην Κούβα και στα Φίτζι. Οι Potes et al. (2012), βρήκαν μια καλή γραμμική σχέση μεταξύ θολότητας και του λόγου μεταξύ του πράσινου (560 nm) και του μπλε (412,5 nm) καναλιού του δορυφόρου MERIS για τιμές θολερότητας που κυμαίνονται από 1 έως 60 NTU.

Παρόλο που αναπτύχθηκαν πολυάριθμες μελέτες για ύδατα χαμηλής θολότητας, δεν μπορούμε να πούμε το ίδιο και για μελέτες για ύδατα με πολύ υψηλές συγκεντρώσεις θολερότητας. Μια ανάλυση πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης χρησιμοποιήθηκε για το κόκκινο κανάλι (630-690 nm) και το κοντινού υπέρυθρου καναλιού (750-900 nm) για την πρόβλεψη θολερότητας σε μια παγετώδη λίμνη στην Αλάσκα όπου η τιμές θολερότητας κυμαινόταν μεταξύ 2-997 NTU (Liversedge 2007). Επίσης τα

ημι-αναλυτικά μοντέλα έχουν επίσης προταθεί για την ανάκτηση της θολερότητας. Ο Gohin (2011), εντόπισε θολερότητα μέσω δορυφόρου από συγκεντρώσεις χλωροφύλλης-a και μη-αλγών αιωρούμενων σωματιδίων. Καταρχάς, η χλωροφύλλη-a Chl-a προσδιορίζεται χρησιμοποιώντας προκαθορισμένους πίνακες ανίχνευσης (Gohin et al. 2002) και στη συνέχεια τα αιωρούμενα σωματίδια εκτιμώνται από την ακτινοβολία στα 555 nm ή 670 nm αντιστρέφοντας ένα ημι-αναλυτικό μοντέλο (Gohin et al. 2005). Τελικά η θολερότητα προέρχεται από την χλωροφύλλη-a (για το μέρος του φυτοπλαγκτόν) και από τα σωματίδια των μη αλγών χρησιμοποιώντας μια εμπειρική σχέση μεταξύ αιωρούμενων σωματιδίων και θολερότητας που προέρχεται από *in situ* μετρήσεις που διεξήχθησαν στην Μπουλόν και την Δουνκέρκη της Γαλλίας με τιμές κυμαινόμενες από 0,2 έως 100 NTU. Η έρευνα των Nechad et al. (2009), ανέπτυξε έναν ημι-αναλυτικό γενικό αλγόριθμο μιας ζώνης για θολερότητα ως συνάρτηση της ανάκλασης για τα παράκτια ύδατα. Ο αλγόριθμος ο οποίος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για οποιοδήποτε οπτικό αισθητήρα μέτρησης κάπου στη φασματική περιοχή 520-885 nm, βαθμονομήθηκε χρησιμοποιώντας επιτόπιες μετρήσεις ραδιομετρίας και θολερότητας στα νότια της Βόρειας θάλασσας και επικυρώθηκε χρησιμοποιώντας ανεξάρτητο σύνολο μετρήσεων θαλάσσιων επιφανειών από την ίδια περιοχή. Ο αλγόριθμος βαθμονομήθηκε για τα κανάλια του δορυφόρου MERIS και η καλύτερη γραμμική προσαρμογή ελάχιστης τετραγωνικής παλινδρόμησης μεταξύ της ανακλαστικότητας και της θολότητας αποκτήθηκε στο κόκκινο κανάλι των 681 nm για τιμές θολερότητας στην κλίμακα 0,6-83 FNU.

Προκειμένου να βρεθεί ένας αλγόριθμος, ο οποίος θα έβρισκε θολερότητα μέσω δεδομένων τηλεπισκόπησης για παράκτια ύδατα και εκβολές ποταμών εξετάστηκε ο ημι-αναλυτικός αλγόριθμος του Nechad (Dogliotti et al. 2015), καθώς σχετίζει την θολερότητα με την ανάκλαση της θάλασσας στο μήκος κύματος  $\lambda$ ,  $\rho_w$  <sup>(λ)</sup>. Στην έρευνα τους, επικεντρώθηκαν στην ανάλυση του ημι-εμπειρικού αλγορίθμου χρησιμοποιώντας το εγγύς υπέρυθρο κανάλι (NIR) των 859 nm για υψηλές τιμές θολερότητας. Σε αυτό το μήκος κύματος η υψηλή απορρόφηση καθαρού νερού αποφεύγει τον κορεσμό όπως αναμένει ο αλγόριθμος σε χαμηλότερα μήκη κύματος (Bowers et al. 1998). Προτείνεται επίσης η χρήση των 645 nm σε ύδατα μέσης έως χαμηλής θολερότητας.

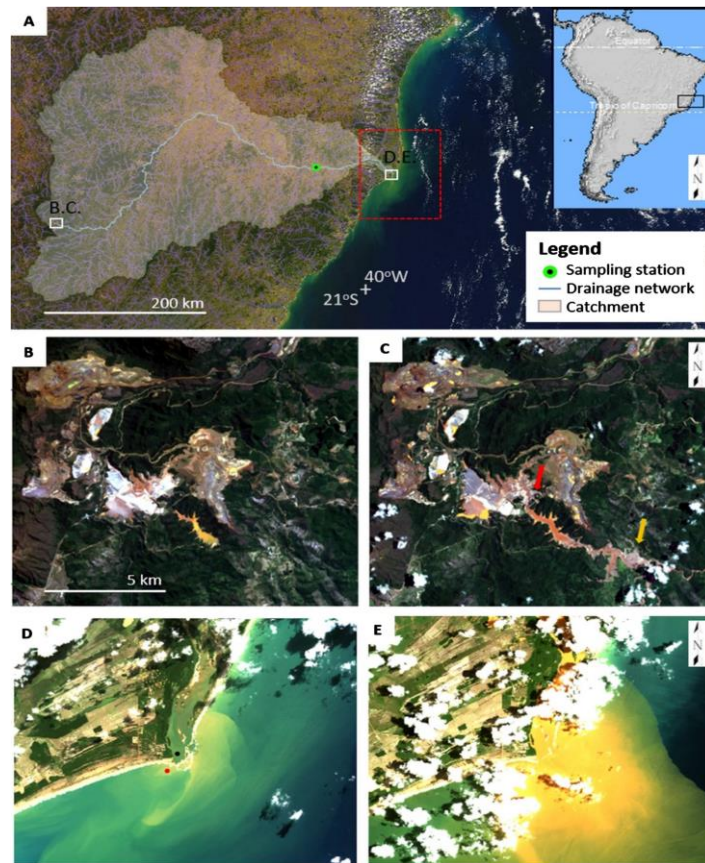
Τον Νοέμβριο του 2015 υπήρξε μια άλλη προσέγγιση αναφορικά με την παρατήρηση και την καταγραφή της θολερότητας. Η λεκάνη του ποταμού Doce στη Βραζιλία υπέστη την χειρότερη περιβαλλοντική καταστροφή που θα μπορούσε καθώς ένα φράγμα στο οποίο περιέχονταν μεταλλικά απόβλητα από σιδηρομεταλλεύματα κατέρρευσε με αποτέλεσμα μολυσμένη λάσπη 60 Mm<sup>3</sup> να φτάσει μέχρι τον Ατλαντικό ωκεανό (Διάγραμμα 3). Εξαιτίας του γεγονότος αυτού, διεξήχθη μια ανάλυση της επίδρασης της αποτυχίας του φράγματος, στη θολερότητα του ποταμού Doce και των παράκτιων υδάτων με βάση μεθόδους τηλεπισκόπησης από τους δορυφόρους Landsat και Modis-Aqua



(Rudorff et al. 2018). Οι χάρτες θολότητας παράχθηκαν χρησιμοποιώντας έναν ημι-αναλυτικό αλγόριθμο ο οποίος χρησιμοποιεί ένα σύστημα επιλογής δύο καναλιών (κόκκινο και εγγύς υπέρυθρο) για τη βελτιστοποίηση της ανάκτησης για ένα ευρύ φάσμα επιπέδων θολερότητας. Η αποτυχία του φράγματος έλαβε χώρα στο πλαίσιο μιας σοβαρής υδρολογικής ξηρασίας, αλλά παρά την ασυνήθιστα χαμηλή ροή ρεύματος, οι τιμές θολότητας στην ακτή ύστερα από την καταστροφή ήταν σε επίπεδα άνω των 1000 FNU. Η συνέχεια του προβλήματος κορυφώθηκε με τα γεγονότα βροχοπτώσεων παράλληλα με την κατατεθειμένη λάσπη μέσα στον ποταμό όπου εξακολουθούσε να ξεπλένεται προκαλώντας υψηλά επίπεδα θολερότητας με εκτεταμένες μάζες πάνω από την παράκτια ζώνη. Η έντονη θολερότητα (>20 FNU) έφθασε τα 11 χιλιόμετρα από την ακτή προς το νότια. Μέτρια επίπεδα θολερότητας (10-20 FNU) εντοπίστηκαν μέχρι και στα 39 χλμ, ενώ χαμηλές τιμές θολερότητας (<5 FNU) ξεπέρασαν τα 75 χλμ. Η λάσπη που κατατέθηκε μετά την καταστροφή παρέμεινε ως μια πηγή στη θολερότητα του παραθαλάσσιου μετώπου κατά τη διάρκεια του 2016 και του 2017. Σημαντικός παράγοντας στη γρήγορη καταπολέμηση του προβλήματος αυτού αποτέλεσε ο συνδυασμός υψηλών χωρικών και χρονικών αναλύσεων και απεικονίσεων Landsat και MODIS-Aqua με παράλληλες βοηθητικές επιτόπιες μετρήσεις. Οι χάρτες θολερότητας αποκτήθηκαν χρησιμοποιώντας τον παραμετροποιημένο ημι-αναλυτικό αλγόριθμο με συλλεγόμενα δεδομένα από διάφορες εκβολές ποταμών και παράκτιες περιοχές με κλίμακα από 1-1000 FNU (Dogliotti et al. 2015). Ο αλγόριθμος χρησιμοποιεί δύο κανάλια χρησιμοποιώντας την αντανάκλαση του νερού στο κόκκινο κανάλι (645-655 nm) σε καθαρότερα νερά και για νερά υψηλής θολερότητας (>20 FNU) χρησιμοποιεί το κανάλι του εγγύς υπέρυθρου (859-865 nm). Οι επιτόπιες μετρήσεις θολερότητας λαμβάνονται με άμεση σχέση με τη διασπορά σωματιδίων, επομένως αυτή η παράμετρος παρέχει μια άμεση και καθολική σχέση με την ανακλαστικότητα του νερού, ανεξάρτητα από τη συνάθροιση των σωματιδίων. Συνεπώς, αυτή η προσέγγιση μπορεί να θεωρηθεί ένας παγκόσμιος αλγόριθμος για εφαρμογές εσωτερικών και παράκτιων υδάτων, ανεξαρτήτως περιφερειακής και εποχικής μεταβλητότητας συγκεκριμένων οπτικών ιδιοτήτων.

Στο παρακάτω διάγραμμα, στην εικόνα a διακρίνεται η λεκάνη απορροής του ποταμού Doce και η ακτή Espirito Santo (Modis-Aqua, Σεπτέμβριος 2015), υποδεικνύοντας την πορεία της λάσπης, τον σταθμό μέτρησης Colatina και την επιλογή θέσης χρονοσειρών MODIS-Aqua (κόκκινο διακεκομμένο κουτί). Οι εικόνες B και C είναι δορυφορικές εικόνες Landsat-8 OLI όπου αριστερά απεικονίζεται η θέση εξόρυξης πριν τον Σεπτέμβριο του 2015 και δεξιά η “αστοχία” του φράγματος απορριμμάτων τον Ιανουάριο του 2016. Το κόκκινο βέλος δείχνει την θέση του φράγματος. Το κίτρινο βέλος δείχνει την περιοχή δείχνει την περιοχή Bento Rodrigues που πλημμύρισε από το καταστροφικό κύμα λάσπης. Στο διάγραμμα A απεικονίζεται η εκβολή του ποταμού Doce. Το διάγραμμα D αποκτήθηκε τον Ιούνιο του

2015 πριν την καταστροφή και το διάγραμμα Ε αποκτήθηκε τον Νοέμβριο του 2015 μετά την καταστροφή. Η κόκκινη κουκίδα υποδεικνύει τον τόπο των επιτόπιων μετρήσεων ενώ η μαύρη κουκίδα τον τόπο εξαγωγής των εικόνων OLI (Operational Land Imager).



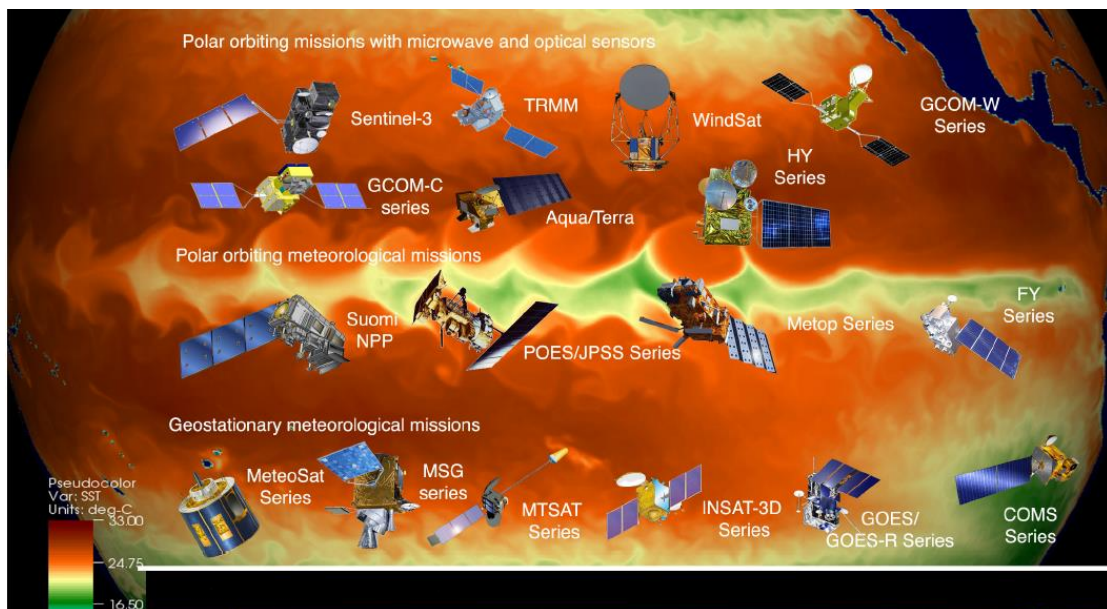
**Διάγραμμα 3.** (A) Η λεκάνη απορροής του ποταμού Doce και η ακτή Espírito Santo (MODIS-Aqua RGB, Σεπτέμβριος 2015 (B-C) Εικόνες Landsat-8 OLI. Στο διάγραμμα D απεικονίζεται η εκβολή του ποταμού Doce. Το διάγραμμα d αποκτήθηκε τον Ιούνιο του 2015 πριν την καταστροφή και το διάγραμμα E αποκτήθηκε τον Νοέμβριο του 2015 μετά την καταστροφή. (Rudorff et al. 2018).

### 2.3 Επιφανειακή θαλάσσια θερμοκρασία

Η θερμοκρασία της θαλάσσιας επιφάνειας (SST) ήταν μια από τις πρώτες μεταβλητές του ωκεανού που έπρεπε να μελετηθούν από τους δορυφόρους για την παρατήρηση της γής. Οι πρωτοποριακές εικόνες από τα υπέρυθρα ραδιόμετρα αποκάλυψαν την πολυπλοκότητα των πεδίων της θερμοκρασίας της επιφάνειας, αλλά αυτά προέκυψαν από μετρήσεις ακτινοβολίας σε ύψος τροχιάς και περιλάμβαναν τα αποτελέσματα της παρεμβαλλόμενης ατμόσφαιρας. Κατέστησαν δυνατές οι διορθώσεις των επιδράσεων της ατμόσφαιρας, ώστε να γίνουν ποσοτικές εκτιμήσεις του SST, όταν αναπτύχθηκαν

ραδιόμετρα με πολλαπλά υπέρυθρα κανάλια το 1979. Ταυτόχρονα, χρησιμοποιήθηκαν ραδιόμετρα μικροκυμάτων με δυνατότητες εντοπισμού της επιφανειακής θαλάσσιας θερμοκρασίας. Έκτοτε, η επιφανειακή θαλάσσια θερμοκρασία προέρχεται από υπέρυθρα και μικροκυματικά ραδιόμετρα από δορυφόρους πολικής τροχιάς και από υπέρυθρα ραδιόμετρα γεωστατικών διαστημικών οχημάτων. Όσο η απόδοση των δορυφορικών ραδιομέτρων και των αλγορίθμων ανάκτησης του SST βελτιώθηκαν, έγιναν πιο ακριβείς σε παγκόσμια κλίμακα και αυξήθηκε η δειγματοληψία της επιφανειακής θαλάσσιας θερμοκρασίας με υψηλότερη ανάλυση, τόσο πιο μείζονος σημασίας έγιναν για πολλές ερευνητικές και επιχειρησιακές δραστηριότητες (Minnett et al. 2019).

Δεδομένου ότι οι δορυφορικές παρατηρήσεις SST άρχισαν στις αρχές της δεκαετίας του 1980 ο αριθμός και η ποικιλία των αισθητήρων έχει αυξηθεί δραματικά και εξελίσσεται συνεχώς. Το Διάγραμμα 4 παρουσιάζει τις κύριες δορυφορικές αποστολές που συμβάλλουν στην μέτρηση της επιφανειακής θαλάσσιας θερμοκρασίας. Η συνέχεια και ο πλεονασμός εξασφαλίζονται κυρίως από τα διαστημικά προγράμματα των μετεωρολογικών οργανισμών, καθώς και πρωτοβουλίες όπως το πρόγραμμα Κοπέρνικος. Είναι ζωτικής σημασίας να συνεχιστεί η καινοτομία για να βελτιωθεί η ανάλυση και η ακρίβεια των πεδίων SST.



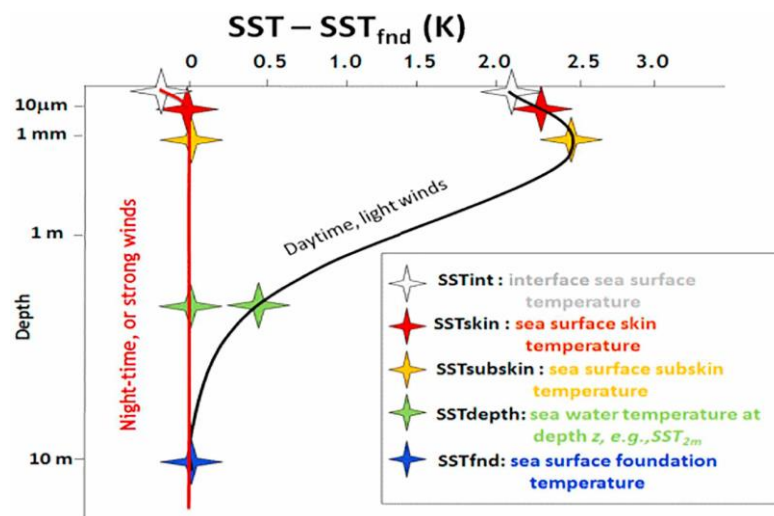
**Διάγραμμα 4.** Οι κύριες δορυφορικές αποστολές που συμβάλλουν στις τρέχουσες μετρήσεις επιφανειακής θαλάσσιας θερμοκρασίας. (OCarroll 2018)

Η θερμοκρασία της θαλάσσιας επιφάνειας είναι μια πολύ σημαντική μεταβλητή στο γήινο κλιματικό σύστημα. Όντας στη διεπαφή του ωκεανού και της ατμόσφαιρας, το SST είναι κρίσιμο και για τις δύο αλλά και για τις ανταλλαγές της θερμότητας, υγρασίας, ορμής και αερίων μεταξύ των δύο. (Bentamy et

al. 2017; Wanninkhof et al. 2009). Τα μοτίβα του SST αποκαλύπτουν τη δυναμική της υποεπιφάνειας, τουλάχιστον εκείνες με επιφανειακές θερμικές εκφράσεις όπως τα μέτωπα και τις στροφές (Tandeo et al. 2014) και η διαμόρφωση στις αλλαγές της ορμής της επιφάνειας κατά μήκος των διαβαθμίσεων θερμοκρασίας οι οποίες τροποποιούν το οριακό στρώμα της ατμόσφαιρας σε μεσαίες (O'Neill et al. 2010; Perlin et al. 2014) και μεγαλύτερες κλίμακες (McPhaden et al. 2006; Minobe et al. 2008). Οι χρονικές μεταβολές στα μοτίβα του SST σε κλίμακες κόλπων μπορούν να αποκαλύψουν διαταραχές μεγάλης κλίμακας στην παγκόσμια κυκλοφορία (Dong et al. 2018) και πολλές αλλαγές σε βάθος δεκαετίας στο κλίμα (Jha et al. 2014). Δεδομένου ότι όλες οι διαδικασίες στη φύση παρουσιάζουν μια εξάρτηση από την θερμοκρασία, οι παραλλαγές του SST επηρεάζουν πολλά συστατικά του κλίματος συμπεριλαμβανομένης της πρωτογενούς παραγωγής του ωκεανού (Behrenfeld et al. 2006; Behrenfeld and Falkowski 1997), η οποία είναι σημαντική για τη ροή του άνθρακα μέσω του παγκόσμιου περιβάλλοντος και είναι η βάση της τροφικής αλυσίδας των ωκεανών. Η παγκόσμια δειγματοληψία της επιφανειακής θαλάσσιας θερμοκρασίας είναι εφικτή μόνο από δορυφόρους παρατήρησης γης, με αισθητήρες που βρίσκονται σε γεωστατικούς δορυφόρους που παρέχουν ταχεία δειγματοληψία στις τροπικά και μεσαία γεωγραφικά πλάτη και εκείνους τους αισθητήρες, που βρίσκονται σε δορυφόρους πολικής τροχιάς οι οποίοι παράγουν παγκόσμια δεδομένα αλλά με μικρότερη συχνότητα. Οι δορυφόροι σε γεωστατικές τροχιές περιστρέφονται γύρω από τη γη στο ισημερινό επίπεδο με μια περίοδο ίση με εκείνη της περιστροφής της γης στον άξονα της και έτσι φαίνονται να έχουν ένα περίπου σταθερό γεωγραφικό μήκος. Οι δορυφόροι είναι περίπου 35.900 χιλιόμετρα πάνω από τον ισημερινό. Ο όρος "δορυφόρος πολικής τροχιάς" χρησιμοποιείται συχνά για "κοντινούς πολικής τροχιάς ηλιοσύγχρονους δορυφόρους". Οι δορυφόροι αυτοί περιστρέφονται γύρω από τη γη σε ύψος 700-800 χλμ και έχουν κλίση  $\sim 98^\circ$ , δηλαδή όταν διασχίζουν τον ισημερινό κινούνται προς την κατεύθυνση των  $98^\circ$  μετρούμενων από την ανατολή. Η επιλογή του υψομέτρου και της κλίσης καθορίζεται από τις επιδράσεις της ισημερινής διόγκωσης της γης στο πεδίο βαρύτητας της και οδηγεί στο επίπεδο στο οποίο οι δορυφορικές τροχιές περνούν στο διάστημα μια φορά το χρόνο, που σημαίνει ότι ο δορυφόρος περνάει πάνω από ένα δεδομένο γεωγραφικό πλάτος περίπου ίδιες φορές την ημέρα, πηγαίνοντας βόρεια (αύξουσα καμπύλη τόξου) και ξανά πηγαίνοντας νότια (φθίνουσα καμπύλη τόξου). Αυτό έχει πλεονέκτημα ότι οι μετρήσεις του ίδιου χώρου λαμβάνονται περίπου την ίδια τοπική ώρα, αλλά σημαίνει ότι οι ημερήσιες αλλαγές δεν επιλύονται σωστά από ένα μόνο δορυφόρο. Λεπτομέρειες των δορυφορικών τροχιών της γης δίνονται από τους Montenbruck and Gill (2002).

Αν και το SST δεν είναι παρά μόνο μια μεταβλητή, θεωρείται από πολλούς ότι είναι η θερμοκρασία στο μεταξύ 0 έως 10 μέτρων. Οι ροές μεταξύ αέρα και θάλασσας, της θερμότητας, της υγρασίας και της

ορμής, καθώς και η αναταραχή των ωκεανών σημαίνει ότι η μεταβολή της θερμοκρασίας μέσω του “μικτού στρώματος” μπορεί να είναι πολύπλοκη και μεταβλητή. Αυτή η πολυπλοκότητα και η μεταβλητότητα πρέπει να λαμβάνονται υπ’ όψιν, όταν συγκρίνεται ή συνδυάζεται η μέτρηση του SST από διαφορετικούς δορυφόρους και επιτόπιους αισθητήρες. Για να διευκολυνθούν τέτοιες δραστηριότητες αναπτύχθηκε ένα σύνολο ορισμών του SST από την επιστημονική ομάδα GHRSSST. Αυτοί οι ορισμοί επιτυγχάνουν τη στενότερη δυνατή συμφωνία μεταξύ του τι ορίζεται και του τι μπορεί να μετρηθεί, λαμβάνοντας υπόψη την τρέχουσα κατανόηση της τρέχουσας θερμοκρασιακής μεταβλητότητας κοντά στην επιφάνεια της θάλασσας. Οι ορισμοί συμφωνούν με τη σύμβαση για τα μεταδεδομένα για το κλίμα και την πρόγνωση και χρησιμοποιούνται τώρα σε προϊόντα SST με μορφή GHRSSST. Οι ορισμοί παρουσιάζονται σχηματικά στο Διάγραμμα 5. Περαιτέρω λεπτομέρειες για την παραγωγή τους συζητούνται από τους Minnett and Kaiser-Weiss (2012).



**Διάγραμμα 5 . Κλίμακες επιφανειακής θάλασσας θερμοκρασίας (Minnett and Kaiser-Weiss 2012)**

Η φασματική κατανομή της ακτινοβολίας που εκπέμπεται από την επιφάνεια της θάλασσας σε απόλυτη θερμοκρασία  $T$ , δίνεται από την εξίσωση Planck:  $B^\lambda(T) = 2hc^2 \lambda^{-5} (e^{hc / (\lambda kT)} - 1)^{-1}$  όπου  $h$  είναι η σταθερά του Planck,  $c$  είναι η ταχύτητα του φωτός στο κενό,  $k$  είναι η σταθερά του Boltzmann, και  $\lambda$  είναι το μήκος κύματος. Η εξίσωση του Planck είναι για μια τέλεια εκπεμπόμενη μαύρη επιφάνεια, ενώ όλες οι φυσικές επιφάνειες όπου εκπέμπουν ατελείωτα με την αναλογία της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας στην εξίσωση του Planck είναι η εκπομπή  $\epsilon$  η οποία είναι συνάρτηση του μήκους κύματος της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας και της σχετικής γωνίας εκπομπής σε κανονικό επίπεδο επιφάνειας  $\theta$ . Η κλίση των όψεων της επιφάνειας της θάλασσας που προέρχονται από τον άνεμο δημιουργούν κύματα (Cox and Munk 1954) και παρουσιάζουν μια φαινομενική εξάρτηση από την ταχύτητα του ανέμου  $u$ . (Hanafin and

Minnett 2005; Naili et al. 2008; Nalli et al. 2008). Η εκπομπή του θαλασσινού νερού στα υπέρυθρα μήκη κύματος όπου πραγματοποιούνται μετρήσεις SST είναι υψηλή (~0,985 σε  $\lambda = 10 \mu\text{m}$  σε μια γωνία εκπομπής  $40^\circ$  και 0,970 σε  $55^\circ$ ) (Hanafin and Minnett 2005) και παρουσιάζουν μικρή εξάρτηση από την ταχύτητα του ανέμου, τουλάχιστον για γωνίες εκπομπών  $<60^\circ$ . Μια σημαντική ιδιότητα της λειτουργίας του Planck είναι ότι η εκπεμπόμενη ακτινοβολία σε οποιοσδήποτε μήκος κύματος αυξάνεται καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία εκπομπής. Έτσι, μπορεί να χρησιμοποιηθεί μια μέτρηση της ακτινοβολίας σε ένα γνωστό μήκος κύματος για την εξαγωγή της εκπεμπόμενης θερμοκρασίας μέσω της εξίσωσης.

Η τυπική φασματική υπογραφή του νερού εμφανίζεται σαν μια καμπύλη η οποία παρουσιάζει μόνο ένα τοπικό μέγιστο γύρω στα  $0,5 \mu\text{m}$  με προσεγγιστική τιμή στο 10% της ανακλαστικότητας. Η φασματική υπογραφή μηδενίζεται σχεδόν στις περιοχές των μηκών κύματος  $0,8-0,9 \mu\text{m}$ . Σημαντικοί παράγοντες που επηρεάζουν την φασματική υπογραφή του νερού είναι: Η θολότητα που μπορεί να οφείλεται σε ρύπους ή ιζήματα, η αναταραχή της υδάτινης επιφάνειας από την οποία εξήχθη η φασματική υπογραφή, η περιεκτικότητα του νερού σε βιομηχανικά ή γεωργικά απόβλητα που ευνοούν την ανάπτυξη μικροοργανισμών (όπως συνέβη με την εμφάνιση σε μεγάλο βαθμό ύπαρξης φυτοπλαγκτόν στον Παγασητικό κόλπο, λόγω φυτοφαρμάκων που εξέρρεαν στον κόλπο) και τέλος η περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη-*a* (π.χ φύκια) με αποτέλεσμα η φασματική υπογραφή του νερού να αυξάνεται στο μήκος κύματος που αντιστοιχεί το πράσινο χρώμα.

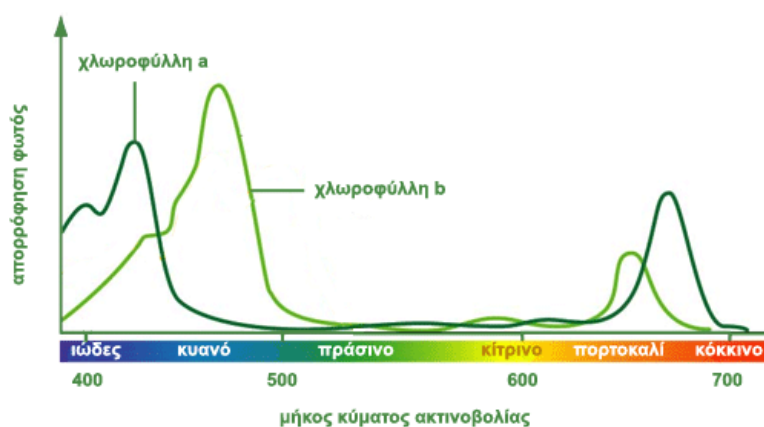
Στις συχνότητες μεταξύ 4 και 11 GHz, η κατακόρυφα πολωμένη θερμοκρασία φωτεινότητας μικροκυμάτων των ωκεάνιων περιοχών έχει μια υπολογίσιμη ευαισθησία στο SST. Εκτός από το SST, η θερμοκρασία φωτεινότητας εξαρτάται από την τραχύτητα της θαλάσσιας επιφάνειας και από την ατμοσφαιρική θερμοκρασία και την υγρασία. Ευτυχώς οι φασματικές υπογραφές και οι πολωσιμετρικές υπογραφές της επιφανειακής τραχύτητας και της ατμόσφαιρας είναι αρκετά διαφορετικές από την υπογραφή του SST και το αποτέλεσμα αυτών των επιδράσεων μπορεί να αφαιρεθεί με ταυτόχρονες μετρήσεις σε πολλαπλές συχνότητες και πολώσεις. Τα όργανα μικροκυμάτων TMI, AMSR-E, AMSR2, WindSat και GMI μετρούν όλες τις συχνότητες που είναι περισσότερο από επαρκείς για την εξάλειψη της επιφανειακής τραχύτητας και των ατμοσφαιρικών επιπτώσεων. Η τραχύτητα της θαλάσσιας επιφάνειας, η οποία συσχετίζεται στενά με τον τοπικό άνεμο, είναι συνήθως παραμετροποιημένη από την άποψη της ταχύτητας και της κατεύθυνσης του ανέμου πλησίον της επιφάνειας. Το επιπρόσθετο κανάλι των 7 GHz που υπάρχει στα AMSR-E και AMSR2 αλλά όχι στο TMI, παρέχει βελτιωμένες εκτιμήσεις της τραχύτητας της θαλάσσιας επιφάνειας και βελτιωμένη ακρίβεια για το SST μικρότερα των  $12^\circ \text{C}$  (Gentemann et al. 2010). Όλα τα κανάλια χρησιμοποιούνται για την ταυτόχρονη ανάκτηση του SST, της ταχύτητας του ανέμου, της εξάτμισης του νερού, την υγρασία και τα ποσοστά

βροχόπτωσης. Η ανάκτηση SST εμποδίζεται μόνο σε περιοχές με ηλιοφάνεια, βροχή ή γειννίαση με τη γη. Δεδομένου ότι μόνο ένας μικρός αριθμός ανακτήσεων του SST είναι ανεπιτυχής, σχεδόν πλήρης παγκόσμια κάλυψη επιτυγχάνεται καθημερινά. Οποιαδήποτε λάθη στην ανακτημένη ταχύτητα του ανέμου στους υδρατμούς ή στην υγρασία των νεφών μπορεί να οδηγήσουν σε σφάλματα στα ανακτημένα SST. Μετρήσεις για την επιφανειακή θαλάσσια θερμοκρασία γινόταν για παραπάνω από 200 χρόνια για μια ευρεία ποικιλία σκοπών. Οι πρώτες μετρήσεις SST πραγματοποιήθηκαν τον 18<sup>ο</sup> Αιώνα οι οποίες λήφθηκαν ως βοήθημα για την ναυσιπλοΐα. Με την πάροδο του χρόνου και μετά την ενίσχυση της σύνδεσης μεταξύ του SST και των ωκεάνιων ρευμάτων έγινε μεγάλος αριθμός μετρήσεων για την κατασκευή διαγραμμάτων πλοήγησης (Kennedy et al. 2012). Σταδιακά, οι ανάγκες για δεδομένα για τις καιρικές συνθήκες και στατιστικά πρότυπα, καθώς και η κατανόηση ενός μεταβαλλόμενου κλίματος, έγιναν οι κύριοι μοχλοί συλλογής δεδομένων SST. Αυτή η εξέλιξη αντανάκλασε μια αλλαγή στη μέθοδο μετρήσεων από κυρίως χειριστές ανθρώπων σε εθελοντικά παρατηρητήρια πλοίων σε πλήρως αυτοματοποιημένες μετρήσεις από σηματοδότες (και δορυφόρους). Οι δορυφορικές μετρήσεις βασίζονται σε επιτόπια δεδομένα (in situ data) για ανάκτηση και επικύρωση. Οι δύο πηγές SST χρησιμοποιούνται σε πολλές εφαρμογές, όπως οι συνόψεις των κλιματικών και καιρικών συνθηκών. (Folland 2005; Kennedy et al. 2012) και προϊόντα ανάλυσης SST (Roberts-Jones et al. 2012).

Η παραδοσιακή προσέγγιση για τον προσδιορισμό σφαλμάτων στους SST δορυφόρους είναι η σύγκριση με τα in situ θερμομέτρα. (Gentemann and Hilburn 2015; Kilpatrick et al. 2001; Llewellyn-Jones et al. 1984; Reynolds et al. 2010; Strong and McClain 1984) ή τα ραδιόμετρα των πλοίων (Kearns et al. 2000; Kilpatrick et al. 2015; Wimmer et al. 2012). Η επιστημονική ομάδα του GHRSSST έχει υποστηρίξει τις προσπάθειες τα τελευταία 10 χρόνια για την ενοποίηση δεδομένων in situ για δορυφορική επικύρωση (π.χ επιτόπια παρατήρηση ποιότητας SST, iQuam)(Xu and Ignatov 2014). Ο Corlett et al. (2014) πρότεινε μια νέα προσέγγιση για το την επικύρωση του δορυφορικού SST, με την προσαρμογή της μεθόδου των Wimmer et al. (2012) για να καλύψουν όλους τους τύπους επιτόπιων μετρήσεων και να συνεισφέρουν οι όροι ως αβεβαιότητες και όχι ως απόλυτα σφάλματα. Ένα όφελος της προσέγγισης των Corlett et al. (2014) είναι ότι προσφέρει επικύρωση της δορυφορικής αβεβαιότητας του SST. Μια συνεχής πρόκληση είναι να κατανοήσουμε τη χωρική μεταβλητότητα μέσα σε ένα εικονοστοιχείο δορυφορικού SST (Castro et al. 2010) προκειμένου να δικαιολογήσουμε τις υποθέσεις στην αντιμετώπιση των χωρικών διαφορών μεταξύ των δορυφορικών και των επιτόπιων δεδομένων.

## 2.4 Χλωροφύλλη-a

Από τα τέλη της δεκαετίας του 1970, έχουν αναπτυχθεί ένα ευρύ φάσμα επιχειρησιακών δορυφορικών αισθητήρων και αλγορίθμων (Blondeau-Patissier et al. 2014). Οι περισσότερες μελέτες που αφορούν τον εντοπισμό της χλωροφύλλης-a στο νερό μέσω Τηλεπισκόπησης βασίζονται σε εμπειρικές σχέσεις μεταξύ ακτινοβολίας ή ανάκλασης σε μικρά κύματα. Διάφορα δεδομένα πεδίου συλλέγονται για τη βαθμονόμηση της στατιστικής σχέσης ή για την επικύρωση του αναπτυγμένου μοντέλου. Διαπιστώθηκε ότι οι επί τόπου μετρήσεις δίνουν ένα φάσμα με αυξανόμενη ανάκλαση με αυξημένη συγκέντρωση χλωροφύλλης-a (Devi et al. 2015). Σχετικά με την παρατήρηση της γήινης επιφάνειας, οι ανιχνευτές μετρούν το ποσοστό της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που αντανακλάται από τα διάφορα υλικά. Κάθε αντικείμενο-επιφάνεια-υλικό που βρίσκεται επάνω στη Γη, έχει ένα μοναδικό τρόπο να αντανακλά την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία σε διαφορετικά μήκη κύματος. Για παράδειγμα η χλωροφύλλη-a που βρίσκεται στα πράσινα μέρη των φυτών, έχει την ιδιότητα να αντανακλά σε μεγάλο βαθμό την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία στο πράσινο τμήμα του ορατού ηλεκτρομαγνητικού φάσματος και να την απορροφά στο μπλε και κόκκινο τμήμα. Η φασματική αυτή συμπεριφορά έχει ως αποτέλεσμα να αντιλαμβανόμαστε το πράσινο χρώμα των ζωντανών φυτών. Κατά παρόμοιο τρόπο όλα τα υλικά μπορούν να μελετηθούν, να εντοπισθούν και να απεικονισθούν χρησιμοποιώντας την αντανακλαστική τους συμπεριφορά. Η χλωροφύλλη-a έχει χημικό τύπο  $C_{55}H_{72}O_5N_4Mg$  και αποτελεί χρωστική ουσία στην οποία οφείλεται το πράσινο χρώμα των φυτών (Perakis et al. 2015). Η χλωροφύλλη-a απορροφά σε μήκη κύματος που αντιστοιχούν στο κόκκινο και στο μπλέ-μοβ χρώμα του φάσματος. Το φάσμα απορρόφησης της χρωστικής χλωροφύλλης-a φαίνεται στο Διάγραμμα 6.



**Διάγραμμα 6. Φάσμα απορρόφησης χλωροφύλλης a και b. Πηγή: (Κ.Π.Ε Καστοριάς)**

Η κυρίαρχη χρωστική των φυτοπλακτονικών οργανισμών που ζουν στα ανώτερα μέρη της εύφωτης ζώνης είναι η χλωροφύλλη-a, η οποία συναντάται και σε φυτοπλακτονικούς οργανισμούς που ζούν



στα κατώτερα μέρη της εύφωτης ζώνης. Επίσης συναντάται στα κυανοπράσινα φύκη ή κυανοβακτήρια. Αποτέλεσμα αυτής της γνώσης, όπως παρατέθηκε και προηγουμένως, είναι ότι η συγκέντρωση της χλωροφύλλης-a σε ένα οικοσύστημα δίνει χρήσιμες πληροφορίες για την εκτίμηση της βιομάζας του φυτοπλαγκτού σε μια υδάτινη περιοχή και αποτελεί δείκτη ρύπανσης από ευτροφισμό. (Jorgensen and Richardson 1996)

Αναλόγως με τη συγκέντρωση χλωροφύλλης-a στα διάφορα υδάτινα οικοσυστήματα, αυτά μπορούν να χαρακτηριστούν ως ολιγοτροφικά, μεσοτροφικά και ευτροφικά. Σύμφωνα με το παρακάτω πίνακα (Πίνακας 1) γίνεται μια ενδεικτική κατηγοριοποίηση για την Ευρωπαϊκή Ένωση.

**Πίνακας 1 Κατηγοριοποίηση των οικοσυστημάτων ως προς τον ευτροφισμό.**

Επίπεδα Ευτροφισμού	Χλωροφύλλη-a $\mu\text{g/l}$	Κατάσταση
Ολιγοτροφικό	<0,1	Υψηλό
Χαμηλό Μεσοτροφικό	0,1 – 0,4	Καλό
Χαμηλό Μεσοτροφικό	0,4 – 0,6	Μέτριο
Υψηλό Μεσοτροφικό	0,6 – 2,21	Φτωχό
Ευτροφικό	>2,21	Κακό

Πηγή: M.Karydis 2005

Ένας υψηλός βαθμός συνοχής και συγκρισιμότητας μεταξύ αλγορίθμων χλωροφύλλης-a είναι απαραίτητος για την επίτευξη των στόχων της συγχώνευσης δεδομένων από ταυτόχρονες αλληλεπικαλυπτόμενες αποστολές για το χρώμα των ωκεανών για αυξημένη κάλυψη του παγκόσμιου ωκεανού και την επέκταση των υφιστάμενων χρονοσειρών για την κάλυψη δεδομένων από αποστολές που έχουν ξεκινήσει πρόσφατα και εκείνες που σχεδιάζονται στο εγγύς μέλλον, όπως PACE, OLCI, HawkEye, EnMAP και SABIA-MAR. Οι O'Reilly and Werdell (2019) για να επιτύχουν αυτούς τους στόχους ανέπτυξαν 65 εμπειρικούς αλγόριθμους χλωροφύλλης-a (OC) για 25 δορυφορικά όργανα που χρησιμοποιούν τη μεγαλύτερη διαθέσιμη και πιο παγκοσμίως αντιπροσωπευτική βάση δεδομένων για τον ταυτόχρονο εντοπισμό χλωροφύλλης-a με in situ δεδομένα και τηλεπισκόπηση. Επιτεύχθηκε άριστη εσωτερική συνοχή σε αυτούς τους αλγόριθμους της OC 'version-7' όπως καταδεικνύεται από μια μέση κλίση κλίσης (median regression slope) και συντελεστή προσδιορισμού ( $R^2$ ) 0.985 και 0,859 αντίστοιχα μεταξύ των 903 ζευγών συγκρίσεων της χλωροφύλλης-a με μοντέλο OC. Τα in situ αποτελέσματα των δορυφόρων SeaWiFS και MODIS-Aqua εμφάνισαν ισοδύναμα και μερικές φορές ανώτερες επιδόσεις στους τρέχοντες αλγόριθμους χλωροφύλλης-a. Κατά τη διάρκεια των τελευταίων σαράντα ετών έρευνας

σε ωκεάνια χρώματα, η ιώδης ζώνη (412 nm) σπάνια χρησιμοποιήθηκε σε εμπειρικούς αλγόριθμους για την εκτίμηση συγκεντρώσεων χλωροφύλλης-a στα ωκεάνια επιφανειακά ύδατα. Ενώ η κορυφή στην ειδική απορρόφηση χλωροφύλλης-a συμπίπτει με τη ζώνη των 443 nm που υπάρχει στους περισσότερους αισθητήρες για τα ωκεάνια χρώματα, το μέγεθος της ειδικής απορρόφησης χλωροφύλλης-a στα 412 nm μπορεί να φτάσει πάνω από το 70% εκείνης στα 443 nm. Σχεδόν το ένα τρίτο της συνολικής απορρόφησης ειδικής χλωροφύλλης-a μεταξύ 400 και 700 nm συμβαίνει κάτω από τα 443 nm, γεγονός που υποδηλώνει ότι ζώνες κάτω των 443 nm, όπως η ζώνη 412 nm που υπάρχει στους περισσότερους αισθητήρες ωκεάνιων χρωμάτων, μπορούν επίσης να είναι χρήσιμες στην ανίχνευση χλωροφύλλης-a υπό ορισμένες συνθήκες και παραδοχές. Η ζώνη των 412 nm είναι επίσης η πιο φωτεινή ζώνη (δηλαδή με το πιο κυρίαρχο μέγεθος) στις απομακρυσμένες ανιχνευόμενες ανακλάσεις που ανακτώνται από τα παθητικά έγχρωμα όργανα ωκεανού όταν η χλωροφύλλη-a είναι μικρότερη από  $\sim 0,1 \text{ mg m}^{-3}$ , η οποία περιλαμβάνει  $\sim 24\%$ . Για αυτό το λόγο, για να επιχειρήσουν να εκμεταλλευτούν αυτές τις πρόσθετες πληροφορίες φασματικής προέλευσης, ανέπτυξαν δύο νέες οικογένειες αλγορίθμων OC, τους αλγόριθμους OC5 και OC6, οι οποίοι περιλαμβάνουν τη ζώνη των 412 nm στο MBR (Maximum Band Ratio). Με τη χρήση αυτής της φωτεινότερης ζώνης σε εμπειρικούς αλγόριθμους χλωροφύλλης-a MBR, μπορεί να επιτευχθεί το υψηλότερο δυνατό δυναμικό εύρος MBR σε αυτές τις ολιγοτροφικές περιοχές (O'Reilly and Werdell 2019).

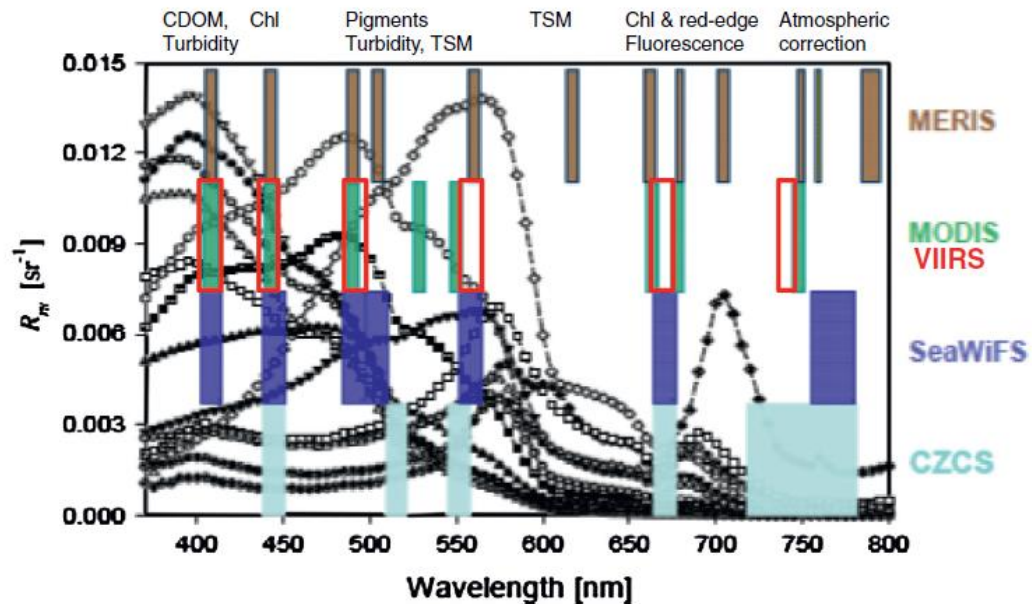
Συγκεκριμένα, το πεδίο εφαρμογής της έρευνας αυτής είναι διπλή. Πρώτα, παρουσίασαν την παραγωγή επικαιροποιημένων και εσωτερικά αξιόπιστων εκδόσεων ενός πακέτου χρώματος ωκεανών αλγορίθμων για 25 δορυφορικούς αισθητήρες χρώματος ωκεανού (Διάγραμμα 7) καθώς και τα *in situ* αποτελέσματα επικύρωσης για τους δορυφόρους SeaWiFS και MODIS-Aqua. Δεύτερον παρουσίασαν εκτεταμένες εκδόσεις των αλγορίθμων χρώματος ωκεανών (OC algorithms) που χρησιμοποιούν πρόσθετες πληροφορίες φάσματος όταν είναι διαθέσιμες (μήκη κύματος πάνω ή κοντά στα 412 nm και 670 nm). Αυτή η προσέγγιση στους αλγόριθμους χρώματος ωκεανών προσφέρει μια μοναδική ευκαιρία στο να συνδέσει τις παγκόσμιες δορυφορικές μετρήσεις της θαλάσσιας βιόσφαιρας από το 1978 μέχρι σήμερα, μια δραστηριότητα η οποία δεν μπορεί να επιτευχθεί εξίσου αποτελεσματικά χρησιμοποιώντας εναλλακτικές προσεγγίσεις με εξειδικευμένες απαιτήσεις για το μήκος κύματος. Επιπλέον, η χλωροφύλλη-a χρησιμεύει σαν *input* δεδομένο σε πολλούς δευτερεύοντες αλγόριθμους που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή άλλων βιογεωχημικών και βιο-οπτικών προϊόντων (Hirata et al. 2011, Uitz et al. 2010, Werdell et al. 2013).

Instrument	Key wavelengths	Agency/Spacecraft	Mission life
CZCS	443;520;550	NASA/Nimbus-7	1978-1986
OCTS	412;443;490;516;565;667	NASDA/ADEOS	1996-1997
POLDER	443;490;565	CNES/ADEOS	1996-1997
MOS	408;443;485;520;570;615	DLR/IRS-P3	1996-2004
SeaWiFS	412;443;490;510;555;670	NASA-Orbital/Orbview-2	1997-2010
OCI	443;490;510;555	NEC/ROCSAT-1	1999-2004
OSMI	412;443;490;510;555;670	KARI/KOMPSAT-1	1999-2008
OCM; OCM-2 <sup>a</sup>	412;443;490;510;555;660	ISRO/IRS-P4; Oceansat-2	1999-2010; 2009-present
MISR	446;557	NASA/Terra	1999-present
MODIS	412;442;488;530;554;666	NASA/Terra; Aqua	1999-present; 2002-present
GLI	412;443;490;520;565;666	NASDA/ADEOS-II	2002-2003
POLDER 2	443;490;565	CNES/ADEOS-II	2002-2003
COCTS	412;443;490;520;565;670	SOA/SZ-3; HY-1B	2002-2004; 2007-present
MERIS	412;442;490;510;560;665	ESA/Envisat	2002-2012
MERSI	412;443;490;520;565;650	CMA-NSMC/FY-3	2008-2015
HICO	416;444;490;513;553;668	ONR-DOD-NASA/ISS	2009-2014
GOCI	412;443;490;555;660;680	KIOST/COMS	2010-present
VIIRS <sup>b</sup>	410;443;486;551	NOAA-NASA/Suomi NPP	2012-present
OLI <sup>c</sup>	443;482;561	USGS-NASA Landsat-8	2013-present
OLCI <sup>d</sup>	413;443;490;510;560;665	ESA-Copernicus/Sentinel-3	2016-present
SGLI	412;443;490;530;565;674	JAXA/GCOM-C	2017-present
HawkEye	412;443;490;510;555;670	NASA-UNCW/SeaHawk	2018-present
EnMAP	424;445;489;490;513;554;672	DLR	2019 launch
SABIA-Mar	412;443;490;510;555;665	CONAE-AEB-INPE	2020 launch
PACE-OCI <sup>e</sup>	412;443;490;510;555;678	NASA	2022 launch

**Διάγραμμα 7. Δορυφορικά όργανα χρώματος ωκεανών που εξετάζονται στη μελέτη. Η διεθνής ομάδα συντονισμού χρωμάτων ωκεανού (IOCCG) παρέχει πρόσθετες λεπτομέρειες για κάθε όργανο (<http://www.ioccg.org>)**

Σύμφωνα με έρευνα των Blondeau-Patissier et al. (2014) έγινε μια συνολική ανασκόπηση η οποία κατέγραψε τις λεπτομέρειες της προόδου και εξέτασε τα πλεονεκτήματα και τους περιορισμούς των αλγορίθμων που χρησιμοποιούνται με τους αισθητήρες πολυφασματικών αισθητήρων για το χρώμα των ωκεανών των δορυφόρων CZCS, SeaWiFS, MODIS και MERIS. Η ανάγκη των συγκεντρώσεων χλωροφύλλης-a σε ανοικτά και παράκτια ύδατα των ωκεανών από τα δεδομένα των αποχρώσεων των ωκεανών έχει οδηγήσει το μεγαλύτερο μέρος της έρευνας στην ανάπτυξη αλγορίθμων τα τελευταία τριάντα χρόνια. Άλλοι αλγόριθμοι έχουν επίσης αναπτυχθεί, όπως αυτοί που χρησιμοποιούν συγκεκριμένα φασματικά χαρακτηριστικά του φάσματος ανάκλασης για την ανίχνευση του φυτοπλαγκτού με επιφανειακές εκφράσεις. Υπάρχει μια μεγάλη ποικιλία επιχειρησιακών δορυφορικών αισθητήρων και αλγορίθμων που βοηθούν στην ανίχνευση και την παρακολούθηση των ανθισμάτων φυτοπλαγκτού. Σε ανοικτά ωκεάνια ύδατα το φυτοπλαγκτόν είναι το κύριο συστατικό του νερού (Morel 1980, Morel and Prieur 1977). Συνεπώς, οι συγκεντρώσεις Chl-a μπορούν να σχετίζονται εμπειρικά με την ανάκλαση ύδατος χρησιμοποιώντας σχέσεις διαφόρων μορφών, (Fargion and McClain 2003) in situ σύνολα δεδομένων των συμπτωματικών μετρήσεων Chl-a και ανάκλασης. Εμπειρικά, τα μπλέ-πράσινα (440-550 nm) φασματικά κανάλια είναι τα πιο συνηθισμένα είδη αλγορίθμων των χρωμάτων ωκεανού που χρησιμοποιούνται για τις αναλύσεις Chl-a επειδή το μεγαλύτερο μέρος της απορρόφησης φυτοπλαγκτού εμφανίζεται μέσα σε αυτό το τμήμα του ορατού φάσματος. Ωστόσο, η χρήση ορατών μηκών κύματος μπορεί να είναι αναξιόπιστη στα παράκτια ύδατα. Σε οπτικά πολύπλοκα ύδατα οι

αναλογίες ζώνης ανάκλασης κυανού-πράσινου καθίστανται λιγότερο ευαίσθητες στις μεταβολές των συγκεντρώσεων Chl-a διότι αυξάνονται οι συγκεντρώσεις της συνολικής διαλυμένης οργανικής ύλης (TSM) (Bowers et al. 1996) απαιτούν τη χρήση άλλων φασματικών καναλιών (Gitelson et al. 2009) που βρίσκονται στο κόκκινο (620-700 nm) και NIR (>700 nm) όπως στο παρακάτω διάγραμμα όπου συγκρίνονται τα φασματικά κανάλια πέντε διαφορετικών αισθητήρων χρώματος ωκεανών (Διάγραμμα 8).



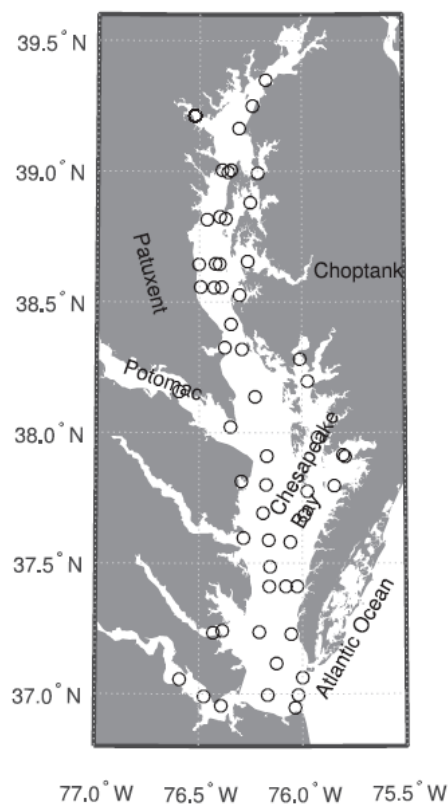
**Διάγραμμα 8.** Σύγκριση των φασματικών καναλιών πέντε αισθητήρων χρώματος ωκεανών της πρώτης (CZCS), δεύτερης (SeaWiFS), τρίτης (MERIS, MODIS) και τέταρτης (VIIRS) γενιάς.

Ο μέγιστος δείκτης χλωροφύλλης-a (Maximum Chlorophyll Index-MCI) μπορεί να εφαρμοστεί μόνο στο δορυφόρο MERIS λόγω της χρήσης του καναλιού 708,75 nm. Αυτό το κανάλι ανταποκρίνεται περισσότερο στην ισχυρή ανάκλαση στο NIR και η έλλειψη παρόμοιων καναλιών στα μοντέλα MODIS και VIIRS μπορεί να παρεμποδίσει την ανίχνευση των γεγονότων μεγάλης συγκέντρωσης. Ο μέγιστος δείκτης χλωροφύλλης-a έχει σχεδιαστεί κυρίως για την ανίχνευση ανθισμένων φυκιών υψηλής συγκέντρωσης για την παγκόσμια παρακολούθηση των ανθισμάτων φυτοπλαγκτού στους ωκεανούς του κόσμου από τους Gower et al. (2008). Η ελάχιστη συγκέντρωση Chl-a που απαιτείται για την ανίχνευση ενός φυτοπλαγκτόν από τον δείκτη MCI είναι  $\sim 30 \text{ mg m}^{-3}$  (Gower et al. 2005), αλλά και τα άνθη φυτοπλαγκτού μπορούν να έχουν πολύ υψηλότερες συγκεντρώσεις, με μερικές μελέτες να αναφέρουν  $\text{Chl-a} > 200 \text{ mg}^{-3}$  (Gower and King 2007; Sasamal et al. 2005).

Σύμφωνα με τους Zheng and Digiacomo (2017) η τηλεπισκόπηση της συγκέντρωσης χλωροφύλλης-a, είναι δύσκολη στα παράκτια ύδατα όπως ο κόλπος Chesapeake, λόγω κυρίως των χερσαίων ουσιών

(όπως ορυκτών και χούμου), οι οποίες είναι οπτικά σημαντικές αλλά δεν έρχονται σε επαφή με το φυτοπλαγκτόν. Στην έρευνα που πραγματοποίησαν, επανεξέτασαν την ημι-αναλυτική μέθοδο αποδόσεως Chl-a βάσει του συντελεστή απορρόφησης φωτός φυτοπλαγκτόν εισάγοντας το γενικευμένο μοντέλο στοιβαγμένων περιορισμών (Generalised Stacked Constraints Model-GSCM) στον συντελεστή απορρόφησης του συνολικού συντελεστή απορρόφησης νερού που προέρχεται από το δορυφόρο (με καθαρό νερό),  $a_{nw}(\lambda)$  στο φυτοπλαγκτόν  $a_{ph}(\lambda)$  και στο μη φυτοπλαγκτόν όπου το  $a_{nw}(\lambda)$  προέρχεται από τη δορυφορική τηλεπισκόπηση,  $R_{rs}(\lambda)$  χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο Quasi-Analytical, (Zheng and DiGiacomo 2017).

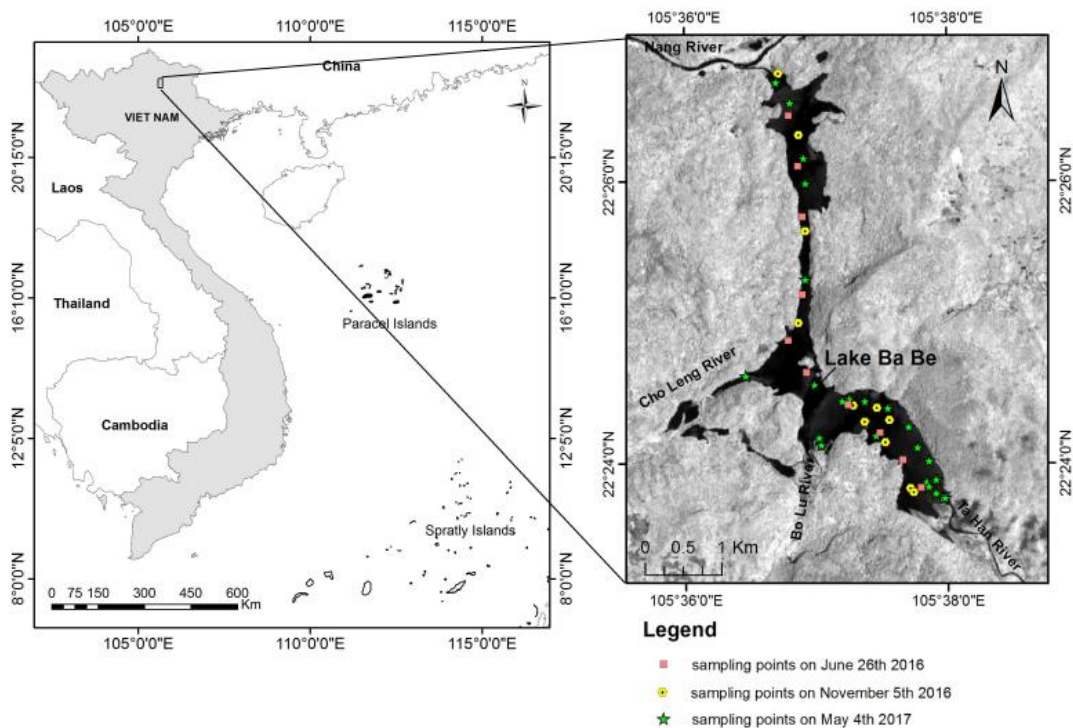
Στην περιοχή Chesapeake Bay (Διάγραμμα 9), διακρίνονται οι θέσεις από ένα σύνολο 64 σταθμών δειγματοληψίας που χρησιμοποιήθηκαν για την ταυτοποίηση τους με τα δορυφορικά δεδομένα αυτοί οι σταθμοί επιλέχθηκαν προκειμένου να μεγιστοποιήσουν τη διαθεσιμότητα των επί τόπου δεδομένων διατηρώντας παράλληλα μια λογική απόσταση από το έδαφος για να ελαχιστοποιήσουν την επίδραση της γεινίασης σε δορυφορικές εικόνες που προκαλούνται από το φως που διασκορπίζεται από φωτεινότερα εικονοστοιχεία (οπώς η γή) στο οπτικό πεδίο των γειτονικών εικονοστοιχείων νερού.



**Διάγραμμα 9. Οι σταθμοί δειγματοληψίας στην Chesapeake Bay που χρησιμοποιήθηκαν στην μελέτη.**

Σε μια άλλη μελέτη, οι Ha et al. (2017), προσπάθησαν με την μελέτη τους να στοχεύσουν στην ανάπτυξη μιας μεθόδου για την εκτίμηση συγκέντρωσης χλωροφύλλης-a σε τροπικά νερά λιμνών

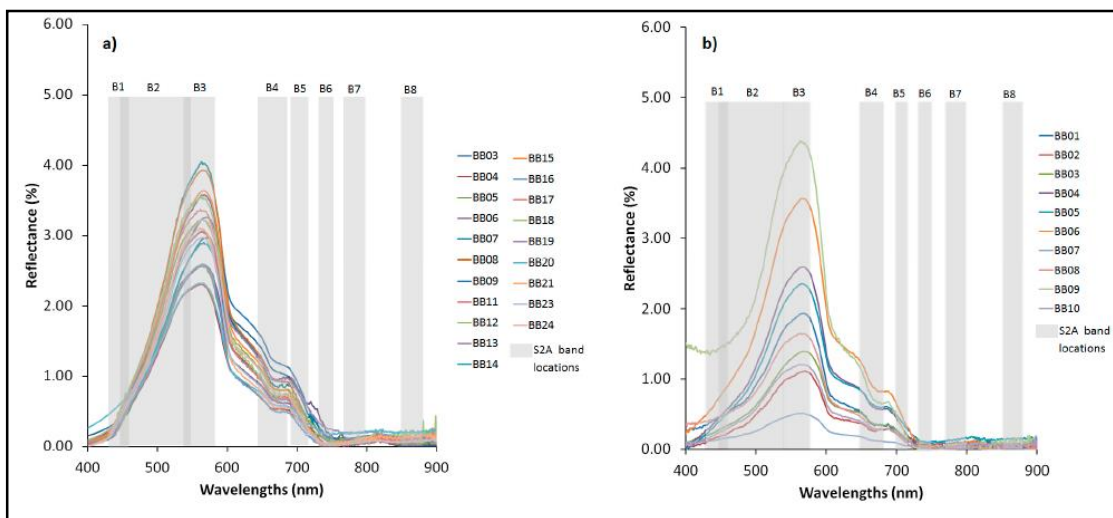
γλυκού νερού χρησιμοποιώντας in situ δεδομένα χλωροφύλλης-a, αντανακλάσεις ύδατος και ταυτόχρονες εικόνες Sentinel 2A MSI (S2A) πάνω από τη λίμνη Ba Be, η οποία αποτελεί τη μεγαλύτερη φυσική λίμνη γλυκού νερού στο Βιετνάμ (Διάγραμμα 10). Δεδομένα από 30 περιοχές δειγματοληψίας πάνω από το νερό της λίμνης τον Ιούνιο του 2016 και τον Μάιο του 2017 κατέδειξαν την καταλληλότητα της αναλογίας S2A πράσινης-κόκκινης ζώνης (κανάλι 3 έναντι καναλιού 4) για τον υπολογισμό της χλωροφύλλης-a (Ch1a). Αυτό αποδείχθηκε μέσω μιας ισχυρής συσχέτισης του αναλογικού συντελεστή ανάκλασης που αντιστοιχεί στον τομέα με την χλωροφύλλη-a με μια εκθετική καμπύλη ( $r^2 = 0,68$ , το μέσο πρότυπο σφάλμα των εκτιμήσεων που αντιστοιχεί στο 5% της μέσης τιμής in situ Ch1a και της εκτιμώμενης Ch1a από την S2A που αποκτήθηκε ταυτόχρονα επιβεβαίωσε την αναλογία S2A πράσινης-κόκκινης ζώνης (green-red band ratio) ως την καταλληλότερη επιλογή για την παρακολούθηση χλωροφύλλης-a στη λίμνη Ba Be. Τα αποτελέσματα τους επιβεβαίωσαν επίσης ότι ο Sentinel-2A μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως δωρεάν εργαλείο για την παρακολούθηση και την έρευνα της λίμνης λόγω δεδομένων υψηλής χωρικής ανάλυσης (10 μέτρα μέγεθος το κάθε εικονοστοιχείο).



**Διάγραμμα 10. Τοποθεσία της λίμνης Ba Be στο Βιετνάμ και σημεία δειγματοληψίας νερού πάνω από το νερό της λίμνης στις τρεις ημερομηνίες έρευνας: (Πορτοκαλί τετράγωνο) 4 Μάϊου 2017, (Κίτρινος κύκλος) 5 Νοεμβρίου 2016 και (Πράσινο αστέρι) 26 Ιουνίου 2016 (Ha et al. 2017).**

Μετά την ανάκτηση των δορυφορικών εικόνων προσπάθησαν να βρουν την κατάλληλη μέθοδο διόρθωσης της ατμόσφαιρας. Η διαδικασία ατμοσφαιρικής διόρθωσης Sen2cor στην εργαλειοθήκη του

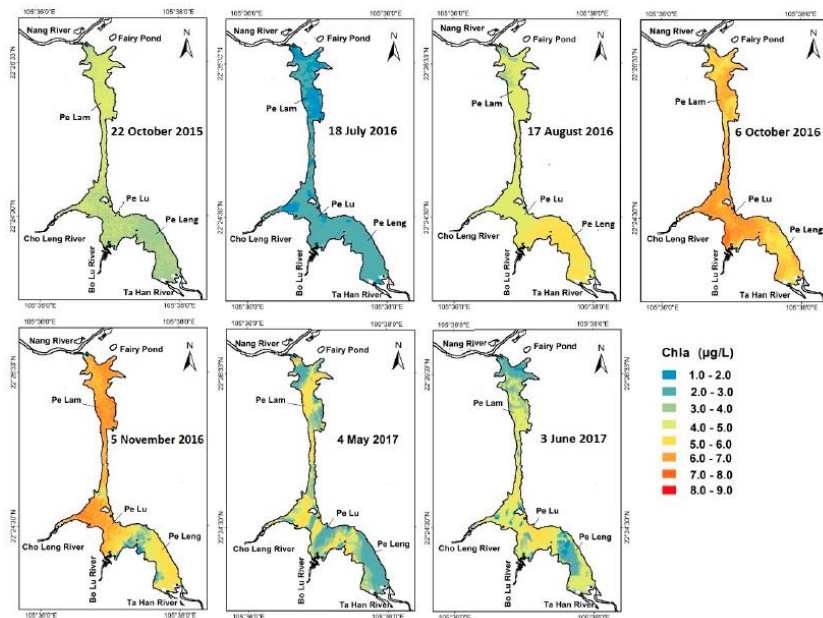
λογισμικού SNAP δεν σχεδιάστηκε για υδάτινα σώματα (Toming et al. 2016) και αποδείχθηκε ακατάλληλη για την εκτίμηση των ανακλάσεων στην περιοχή NIR, ιδιαίτερα για ανακλαστικότητα στα 705 nm (S2A κανάλι 5. Στην παρούσα μελέτη χρησιμοποιήθηκε η παραδοσιακή μέθοδος εμπειρικής γραμμής (ELM), η οποία αναγνωρίστηκε ως η πλέον ακριβής μέθοδος για τη διόρθωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, ιδιαίτερα για την ατμοσφαιρική διόρθωση πάνω από τα ύδατα (Gerace et al. 2013). Το ELM χρησιμοποιεί γραμμική παλινδρόμηση κάθε ανακλάσεως TOA ζώνης S2A με ταυτόχρονη μέτρηση της ανάκλασης της επιφάνειας για να αφαιρέσει το ατμοσφαιρικό αποτέλεσμα με την παραδοχή ότι η ατμόσφαιρα είναι σταθερή σε ολόκληρη τη λίμνη. Ένα αποτέλεσμα της έρευνας ήταν η ελαφρώς διαφορά της υπερφασματικής ανακλαστικότητας μεταξύ των δύο συνόλων δεδομένων με υψηλότερη ανάκλαση του νερού σε 400 nm, που μετρήθηκε τον Ιούνιο του 2016, σε σύγκριση με τη μέτρηση του Μαΐου το 2017 (Διάγραμμα 11). Παρόλα αυτά, και στις δύο ομάδες δεδομένων που εξετάστηκαν, ήταν δυνατό να προσδιοριστούν φασματικά χαρακτηριστικά παρόμοια με τα φάσματα ανάκλασης που παρατηρήθηκαν για καθαρά νερά (Tiwari et al. 2013; Yu et al. 2014). Αυτό περιλάμβανε μια κατάπτωση στα 440 nm, μια προεξέχουσα κορυφή γύρω στα 565 nm και μια ελαφρά κοιλότητα στα 665 nm. Μια μικρή κορυφή ανάκλασης εμφανίστηκε ασθενώς κοντά στα 690 nm υποδεικνύοντας το χαμηλό ποσοστό χλωροφύλλης-*a* που περιέχεται στο νερό της λίμνης.



**Διάγραμμα 11.** Καμπύλες φάσματος ανάκλασης των σημείων δειγματοληψίας νερού πάνω από τη λίμνη Ba Be που μετρήθηκαν στις 4 Μαΐου 2017 (α) και στις 26 Ιουνίου 2016 (β) που καλύπτονται με Sentinel-2A ορατά στα κανάλια του κοντινού υπέρυθρου (Κανάλι 1: B1 έως 8α: B8α), θέσεις που δείχνουν τις συμπτώσεις των πράσινων και κόκκινων ζωνών S2A στην κορυφή και των κατώτατων ανακλάσεων του νερού αντίστοιχα.

Τέλος για την περαιτέρω κατανόηση της χρονικής δυναμικής του Chla, διερευνήθηκαν εικονοστοιχεία όλων των διαθέσιμων εικόνων S2A χωρίς κάλυψη σύννεφων πάνω από τη Λίμνη Ba Be

χρησιμοποιώντας τις προαναφερθείσες μεθόδους εκτίμησης της χλωροφύλλης-a στο νερό της λίμνης. Στο Διάγραμμα 12, διευκρινίζεται η χρονική μεταβολή των μέσων τιμών της κατανομής Chl-a πάνω από τη λίμνη Ba Be, υποθέτοντας ότι η chl-a που εκτιμάται τον ίδιο μήνα είναι παρόμοιο με τη γενική τάση στις εικόνες που αποκτήθηκαν κατά τα έτη του 2015 έως 2017. Κατά τη διάρκεια ενός έτους, το Chl-a ήταν χαμηλό στους μήνες της άνοιξης (Ιανουάριος-Μάιος), και αυξήθηκε στην κορυφή στα τέλη του καλοκαιριού έως τις αρχές του φθινοπώρου (Σεπτέμβριος έως αρχές Οκτωβρίου), και στη συνέχεια μειώθηκε σταδιακά σε χαμηλό επίπεδο κατά τα τέλη του φθινοπώρου έως το χειμώνα (Νοέμβριος-Δεκέμβριος).



**Διάγραμμα 12.** Η κατανομή της χλωροφύλλης-a (Chl-a) υπολογίζεται από την εξίσωση  $Chl_a = 0.80 \cdot \exp(0.35 \cdot B3/B4)$  και τις επτά εικόνες S2A που αποκτήθηκαν σε επτά ημερομηνίες (ημέρα/μήνας/έτος) με καθαρό ουρανό και ήμερες συνθήκες ανέμου πάνω από την λίμνη Ba Be από το 2015.

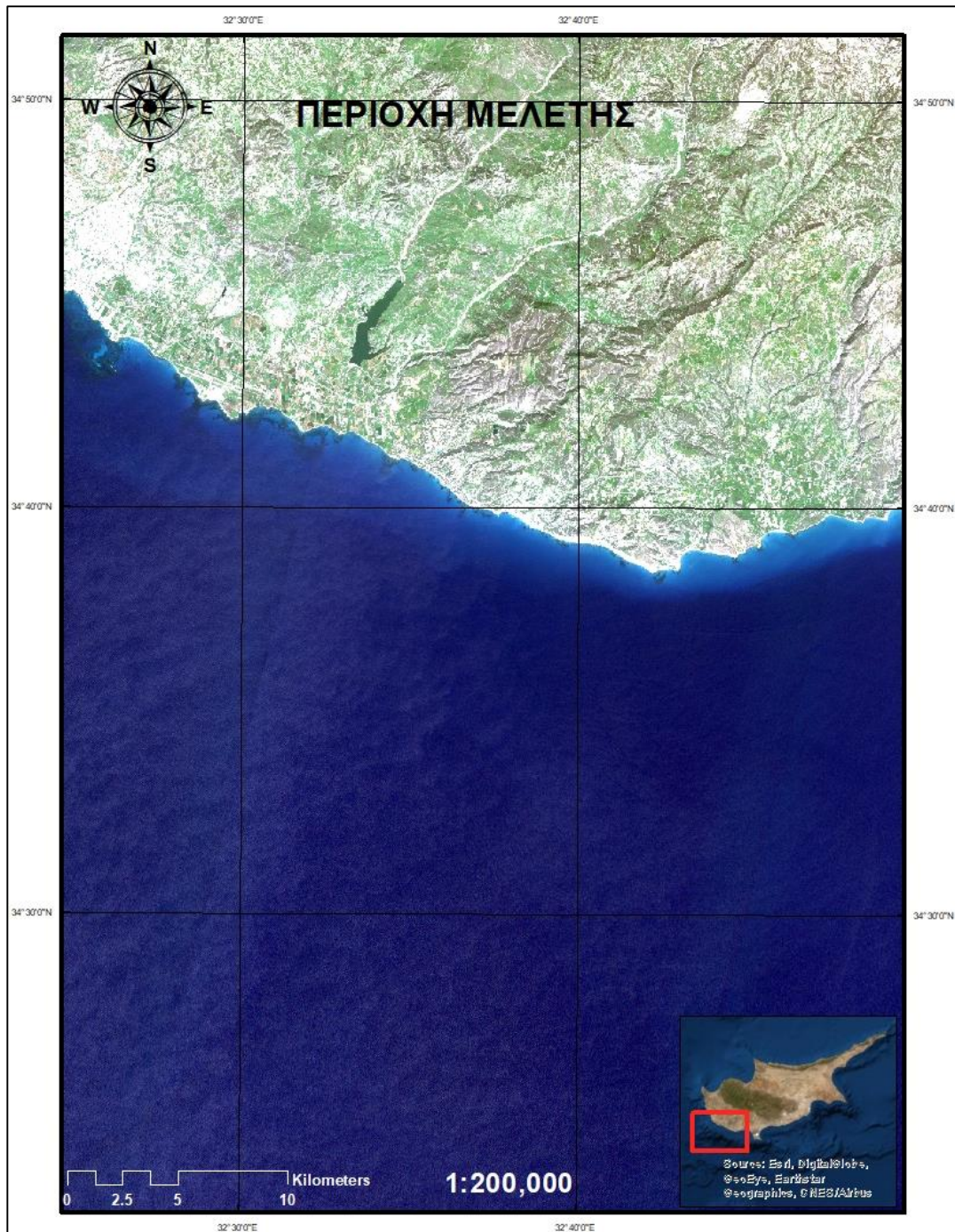
Οι Watanabe et al. το (2018), ερεύνησαν την τροφική κλίση σε τρεις δεξαμενές που διασχίζουν τον ποταμό Tiete, στη Νοτιοανατολική Βραζιλία, με βάση τη συγκέντρωση χλωροφύλλης-a (chl-a). Ο στόχος της μελέτης αυτής ήταν να προσδιοριστούν τα χωρικά μοτίβα στην κατανομή της chl-a, τα οποία σχετίζονται με τη διαδικασία διήθησης που προκαλείται από την κατακόρυφη δεξαμενή. Ως εκ τούτου, αναπτύχθηκαν χάρτες με περιεχόμενο chl-a, λαμβάνοντας υπόψη μια σύντομη χρονική σειρά εικόνων MSI Sentinel-2A (2016-2018). Χρησιμοποιήθηκε ένας αλγόριθμος πρόβλεψης chl-a σε εικόνες, η βαθμονόμηση των οποίων έγινε από δεδομένα που συλλέχθηκαν κατά τη διάρκεια μιας σοβαρής ξηρασίας (2014), η οποία οδήγησε σε έντονες βλαβερές ανθοφόρες (HABs) και μετά την ξηρασία (2016). Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι με 20 μέτρα χωρική ανάλυση των εικόνων MSI Sentinel-2A είναι



κατάλληλες για την εκτίμηση της συγκέντρωσης των χρωστικών σε μικρές και μεσαίες δεξαμενές. Επιπλέον, το εργαλείο διόρθωσης ατμοσφαιρικής ρύθμισης Sen2cor επέδειξε καλές επιδόσεις στην αφαίρεση των αποτελεσμάτων σκέδασης. Η εφαρμογή της στην ανάκτηση του περιεχομένου chl-a παρουσίασε επίσης καλά αποτελέσματα. Εκτός από την τάξη των δεξαμενών στον καταρράκτη, το σύστημα αποθήκευσης έδειξε ότι είναι παράγοντας που επηρεάζει επίσης την τροφική κατάσταση στις κατάντη κατακρημνίσεις.

### **3 Περιοχή μελέτης**

Η περιοχή μελέτης συμπεριλαμβάνει την επαρχία της Πάφου στην Κύπρο και πιο συγκεκριμένα την περιοχή της τεχνητής λίμνης του Ασπρόκρεμμου και την ευρύτερη θαλάσσια περιοχή όπου εκβάλει το νερό από το φράγμα της (Διάγραμμα 13). Αποτελεί τη δεύτερη μεγαλύτερη σε χωρητικότητα τεχνητή λίμνη της Κύπρου. Η μεγαλύτερη επιφάνεια της τεχνητής λίμνης βρίσκεται στην κοινότητα Φοίνικας Πάφου, ενώ μικρά μέρη της βρίσκονται εντός των διοικητικών ορίων των κοινοτήτων Αναρίτα, Νικόκλεια και Μαντριά. Κύρια πηγή συγκέντρωσης του νερού στην τεχνητή λίμνη αποτελεί ο ποταμός Ξερός. Για την δημιουργία της τεχνητής λίμνης κατασκευάστηκε χωμάτινο φράγμα του οποίου η κατασκευή ολοκληρώθηκε το 1982 και αποτελεί από τότε μέρος του Αρδευτικού έργου Πάφου υπό την διαχείριση του τμήματος Αναπτύξεως Υδάτων της Κυπριακής Δημοκρατίας. Το ύψος του φράγματος ανέρχεται στα 52 μέτρα, το συνολικό μήκος του είναι 700 μέτρα ενώ το μήκος του υπερχειλιστή είναι 230 μέτρα. Η επιφάνεια της λεκάνης απορροής όπου συγκρατείται νερό συνολικής χωρητικότητας έως και 52375000 m<sup>3</sup> είναι 227 km<sup>2</sup>. Από την ημέρα κατασκευής της έως σήμερα, η τεχνητή λίμνη του Ασπρόκρεμμου έχει υπερχειλίσει έξι φορές (1988, 1989, 29 Ιανουαρίου 2004, 26 Ιανουαρίου 2012, 2013 και πρόσφατα στις 5 Μαρτίου 2019) (Department 2019).



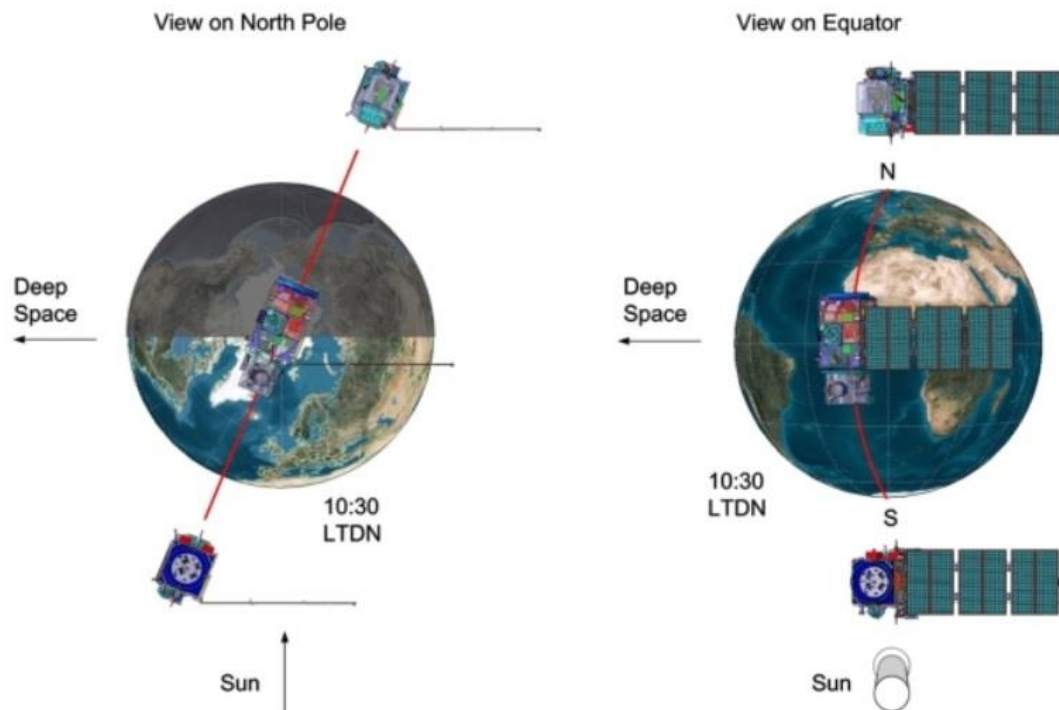
Διάγραμμα 13. Περιοχή μελέτης.

## 4 Μέσα συλλογής δεδομένων

Τα μέσα συλλογής των δεδομένων μας αποτέλεσαν οι τηλεπισκοπικοί δορυφόροι του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Διαστήματος (ESA) και η Υπηρεσία Κοπέρνικος για την Παρακολούθηση του Θαλάσσιου Περιβάλλοντος (CMEMS) τα οποία μέσα, αναλύονται παρακάτω ξεχωριστά.

### 4.1 Ο δορυφόρος Sentinel-2

Η αποστολή Copernicus Sentinel-2 περιλαμβάνει έναν συνδυασμό από δύο πολικής τροχιάς δορυφόρους τοποθετημένους στην ίδια ήλιο-σύγχρονη τροχιά, με γωνιακή απόκλιση  $180^\circ$  μεταξύ τους, σχεδιασμένοι για να δίνουν μια υψηλή συχνότητα επανάληψης 5 ημερών στον Ισημερινό (Διάγραμμα 14). Οι δύο αυτοί δορυφόροι συνυπάρχουν και είναι όμοιοι μεταξύ τους καλύπτοντας όλη την γήινη επιφάνεια. Φέρουν ωφέλιμο φορτίο οπτικού οργάνου το οποίο περιλαμβάνει 13 φασματικά κανάλια με διακριτική ικανότητα τα 10, 20 και 60 μέτρα (Διάγραμμα 15). Κάθε ένας από τους δορυφόρους αυτούς ζυγίζει 1140 kg. Ο σχεδιασμός τους έγινε για 7 έτη επιχειρησιακής λειτουργίας με προοπτικές για ακόμη μεγαλύτερη διάρκεια ύπαρξης. Πετάνε σε ύψος 786 km πάνω από την επιφάνεια της γης. Λόγω επικάλυψης των δορυφορικών δεδομένων τους με τον δορυφόρο Landsat 8, η NASA και η ESA σε συνεννόηση οδήγησαν τους δύο δορυφόρους σε επαναδιέλευση 3 ημερών (από τον Ισημερινό). Οι δορυφόροι Sentinel-2A και Sentinel-2B τέθηκαν σε τροχιά στις 23 Ιουνίου 2015 και στις 7 Μαρτίου 2017, αντίστοιχα, μέσω ενός πυραύλου Vega από τον Ευρωπαϊκό σταθμό που βρίσκεται κοντά στο Κουρού στην Γαλλική Γουινέα. Η κατασκευή αυτών των δορυφόρων έγινε προκειμένου να παρέχουν δεδομένα, τόσο για δασικές, όσο και για αγροτικές περιοχές με κύριο στόχο την ασφάλεια και τη σωστή διαχείριση του πλανήτη μας. Συγκεκριμένα, τα δεδομένα που παρέχουν, βοηθούν στον προσδιορισμό πολυάριθμων παραγόντων, κρίσιμης σημασίας για την ανθρώπινη διαβίωση και επιβίωση, όπως οι δείκτες περιεκτικότητας νερού και chl-a στις φυτοκοινωνίες. Η καταγραφή δασικών περιοχών και δασικών καταστροφών, η καταγραφή της μόλυνσης παράκτιων και λιμναίων περιοχών, η διαχείριση των αλλαγών των καλύψεων-χρήσεων γης, η διαχείριση και καταγραφή ανάπτυξης φυτικών πληθυσμών καθώς και οι συνεχείς απεικονίσεις φυσικών καταστροφών (Πλημμυρών, Ηφαιστειακών εκρήξεων κ.α), τον κατέστησε ως έναν από τους καταλληλότερους δορυφόρους στην προσπάθεια της σωστής διαχείρισης του φυσικού περιβάλλοντος (European Space Agency 2012a).



**Διάγραμμα 14.** Η τροχιακή διαμόρφωση των δίδυμων δορυφόρων Sentinel-2. Πηγή: ESA

Sentinel-2 Bands	Central Wavelength ( $\mu\text{m}$ )	Resolution (m)
Band 1 - Coastal aerosol	0.443	60
Band 2 - Blue	0.490	10
Band 3 - Green	0.560	10
Band 4 - Red	0.665	10
Band 5 - Vegetation Red Edge	0.705	20
Band 6 - Vegetation Red Edge	0.740	20
Band 7 - Vegetation Red Edge	0.783	20
Band 8 - NIR	0.842	10
Band 8A - Vegetation Red Edge	0.865	20
Band 9 - Water vapour	0.945	60
Band 10 - SWIR - Cirrus	1.375	60
Band 11 - SWIR	1.610	20
Band 12 - SWIR	2.190	20

**Διάγραμμα 15.** Τα κανάλια του Sentinel-2 με τα κεντρικά μήκη κύματα σε  $\mu\text{m}$  και την ανάλυση τους σε μέτρα.

## 4.2 Ο δορυφόρος Sentinel-3

Ο Sentinel-3 είναι ένας δορυφόρος για την παρατήρηση της γής που αναπτύχθηκε από τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Διαστήματος ως μέρος του προγράμματος Copernicus (Διάγραμμα 16). Όπως ο Sentinel-2, έτσι και ο Sentinel-3 αποτελείται από δύο δίδυμους δορυφόρους. Ο Sentinel-3A και ο Sentinel-3B εκτοξεύθηκαν στις 16 Φεβρουαρίου 2016 και στις 25 Απριλίου 2018, από το κοσμοδρόμιο του Plesetsk, το οποίο βρίσκεται κοντά στο Arkhangelsk στη Ρωσία. Το βάρος του δορυφόρου ανέρχεται περίπου στα 1150 κιλά. Έχει ηλιοσύγχρονη, σχεδόν πολική, τροχιά με κλίση 98,6°, επιχειρεί σε ύψος 814 χιλιομέτρων πάνω από την επιφάνεια της γης και η επιχειρησιακή διάρκεια ζωής του είναι 7 έτη. Ο κύριος στόχος της αποστολής του Sentinel-3 είναι η μέτρηση της τοπογραφίας της θάλασσας, της θερμοκρασίας της επιφάνειας της θάλασσας και της επιφάνειας της γής με ακρίβεια στην υποστήριξη των συστημάτων πρόβλεψης των ωκεανών για την παρακολούθηση του περιβάλλοντος και του κλίματος. Ο Sentinel-3 βασίζεται άμεσα στην κληρονομιά που άφησαν οι δορυφόροι ERS-2 και Envisat. Μέσω του δορυφόρου παρέχονται δεδομένα σε πραγματικό χρόνο για την παρατήρηση των ωκεανών, τη χαρτογράφηση των θαλάσσιων πάγων και τις υπηρεσίες θαλάσσιας ασφάλειας σχετικά με την κατάσταση της επιφάνειας των ωκεανών, συμπεριλαμβανομένης της θερμοκρασίας της επιφάνειας της θάλασσας, των θαλάσσιων οικοσυστημάτων, της ποιότητας των υδάτων και της παρακολούθησης της ρύπανσης, τα οποία αποτελούν μερικούς από τους στόχους της αποστολής αυτής. Το ζευγάρι των δορυφόρων Sentinel-3 επιτρέπουν έναν σύντομο χρόνο επανεξέτασης, που ανέρχεται σε λιγότερο από δύο ημέρες, για το όργανο OLCI και λιγότερο από μια ημέρα για το όργανο SLSTR στον Ισημερινό, το οποίο χρησιμοποιήσαμε στην μελέτη μας. Αυτό επιτυγχάνεται χρησιμοποιώντας αμφοτέρους τους δορυφόρους Sentinel-3A και Sentinel-3B. Η δορυφορική τροχιά παρέχει μια επανάληψη 27 ημερών με έναν υπο-κύκλο 4 ημερών. Τα τέσσερα κύρια όργανα, τα οποία φέρει το σκάφος είναι:

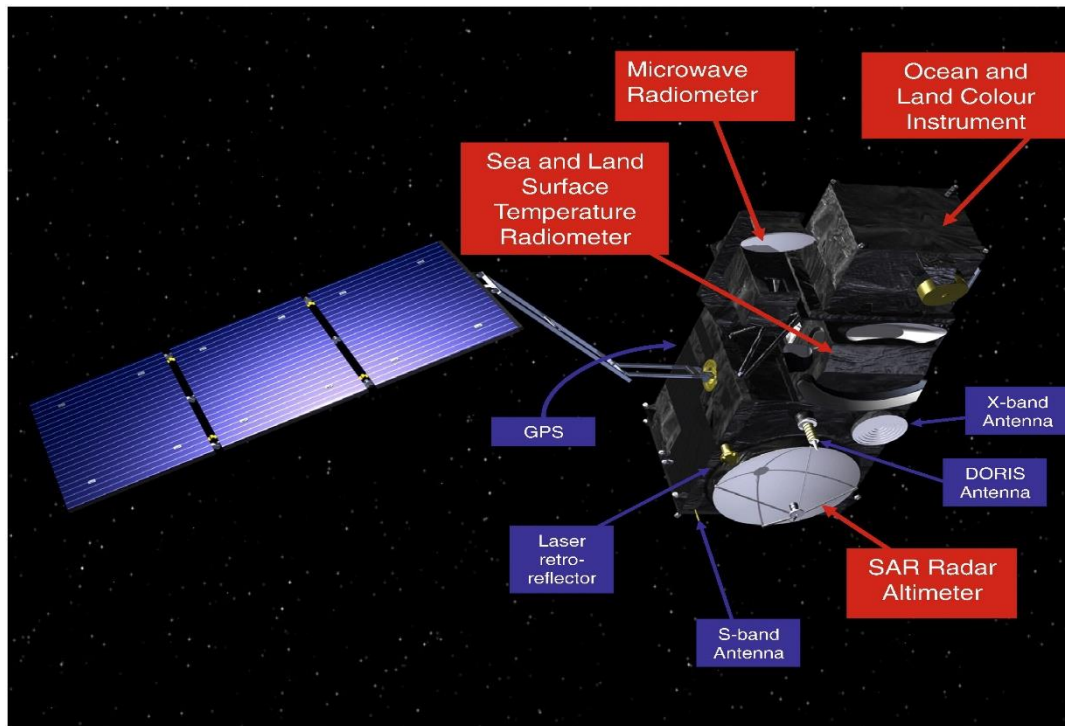
OLCI: Ocean and Land Instrument

- SLSTR: Sea and Land Surface Temperature Instrument
- SRAL: SAR Radar Altimeter
- MWR: Microwave Radiometer

Οι στόχοι της αποστολής είναι:

- Η παρατήρηση της τοπογραφίας της επιφάνειας της θάλασσας, το σημαντικό ύψος κύματος και η ταχύτητα του επιφανειακού ανέμου στον παγκόσμιο ωκεανό,
- η επιφανειακή θερμοκρασία της θάλασσας, του πάγου και της γης,

- το χρώμα του ωκεανού και της ανάκλασης της επιφάνεια του εδάφους
- και η δημιουργία προϊόντων συνέργειας επί επιφανειών εδάφους που προέρχονται από δεδομένα οπτικών οργάνων (European Space Agency 2012b).



Διάγραμμα 16. Ο Sentinel-3 και τα όργανα που φέρει. (Πηγή:ESA)

#### 4.2.1 Το όργανο SLSTR

Το όργανο SLSTR (Sea and Land Surface Temperature Radiometer) καθορίζει τις συνολικές θερμοκρασίες των θαλάσσιων επιφανειών με ακρίβεια καλύτερη από 0,3 °C. Μετράει σε εννέα φασματικά κανάλια και δύο επιπρόσθετα βελτιστοποιημένα κανάλια για παρακολούθηση της πυρκαγιάς. Τα πρώτα έξι φασματικά κανάλια καλύπτουν το φάσμα του ορατού και του εγγύς υπέρυθρου (VNIR), καθώς και το φάσμα των υπέρυθρων ακτινών μικρού μήκους κύματος (SWIR). Στο VNIR βρίσκονται τα κανάλια 1 έως 3 και στο SWIR τα κανάλια 4 έως 6. Αυτά τα έξι κανάλια έχουν χωρική ανάλυση 500 μέτρα (1600 ft), ενώ τα κανάλια 7 έως 9 καθώς και τα δύο πρόσθετα έχουν χωρική ανάλυση 1 km.

#### 4.2.2 Το όργανο SRAL

Το SRAL (Synthetic Aperture Radar Altimeter) είναι όργανο αλτιμετρίας και είναι το βασικό όργανο της τοπογραφικής αποστολής που διεξάγεται από τον Sentinel-3 καθώς, έχει σχεδιαστεί για να συλλέγει συνεχείς, μακροπρόθεσμες μετρήσεις της κλίμακας του ύψους σε διαφορετικούς τύπους επιφανειών. Οι μετρήσεις της κλίμακας του SRAL μεταξύ του δορυφόρου και της επιφάνειας θα μετατραπούν σε μετρήσεις ύψους κατά μήκος της δορυφορικής τροχιάς μετά από κατάλληλη επεξεργασία στο έδαφος και με τη χρήση ακριβούς γνώσης του ύψους του δορυφόρου πάνω από το ελλειψοειδές της Γης.

#### 4.2.3 Το όργανο MWR

Ο πρωταρχικός σκοπός των παρατηρήσεων του μικροκυματικού ραδιομέτρου είναι να διορθωθεί η καθυστέρηση του σήματος του αλτιμετρικού ραντάρ (SRAL), κατά τη διάρκεια της διαδρομής του στην ατμόσφαιρα. Το μεταβλητό μέρος της καθυστέρησης προκαλείται από την περιεκτικότητα σε νερό της τροπόσφαιρας και προσδιορίζεται τόσο από την ενσωματωμένη ατμοσφαιρική περιεκτικότητα σε υδρατμούς όσο και από το υγρό νερό. Το σταθερό μέρος προκαλείται από το μοριακό άζωτο που έχει μια σταθερή και γνωστή αναλογία ανάμιξης και έτσι μπορεί να προβλεφθεί με ακρίβεια χρησιμοποιώντας μοντέλα τελευταίας τεχνολογίας. Η ακρίβεια της διόρθωσης καθυστέρησης ισοδυναμεί με μήκος διαδρομής 1,2-1,5 εκατοστά. Επιπροσθέτως, τα δεδομένα μέτρησης MWR μπορούν να είναι χρήσιμα για τον προσδιορισμό της εκπομπής της επιφάνειας της γης και της υγρασίας του εδάφους, για επιθεωρήσεις του προϋπολογισμού της επιφάνειας της ενέργειας για την υποστήριξη των μελετών σχετικά με την ατμόσφαιρα και για τον χαρακτηρισμό του πάγου. Στο πλαίσιο της επιχειρησιακής αποστολής Sentinel-3, η παράδοση προϊόντων αυτού του τύπου αποτελεί δευτερεύον στόχο (European Space Agency 2012b).

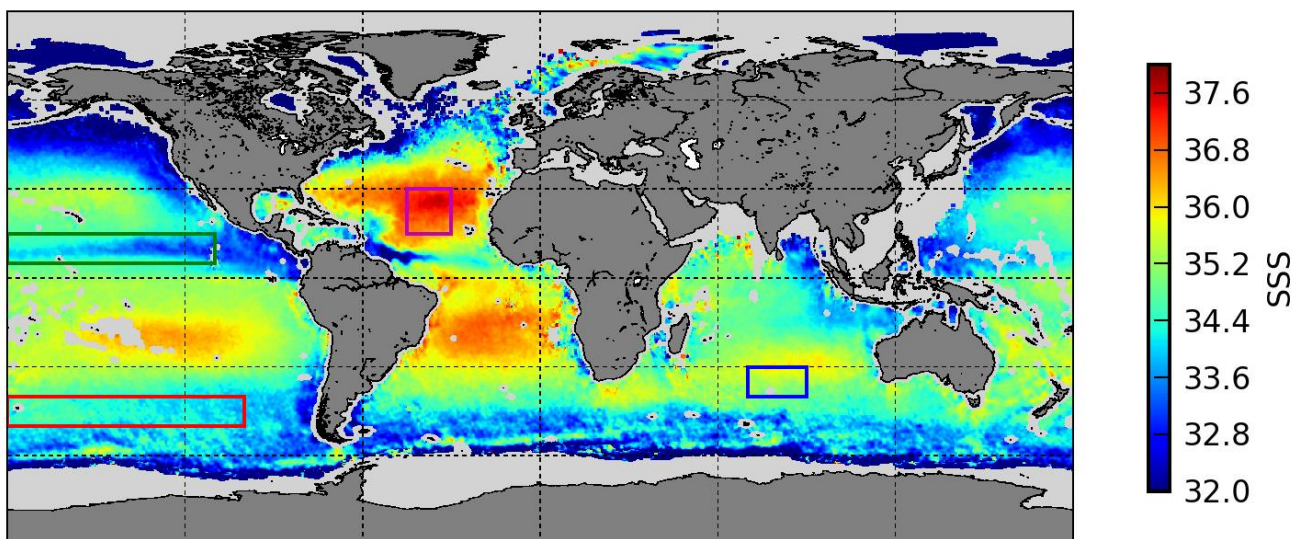
### 4.3 Ο δορυφόρος SMOS (Soil Moisture and Ocean Salinity)

Ο δορυφόρος SMOS αποτελεί αποστολή της ESA, η οποία είναι αφιερωμένη στη διεξαγωγή παγκόσμιων παρατηρήσεων σχετικά με την υγρασία του εδάφους στη γη και την αλατότητα των ωκεανών (Διάγραμμα 17). Με τη συνεπή χαρτογράφηση αυτών των δύο σημαντικών συνιστωσών στον κύκλο του νερού, ο SMOS προωθεί την κατανόηση των διαδικασιών ανταλλαγής μεταξύ της επιφάνειας τη Γης και της ατμόσφαιρας και συμβάλλει στη βελτίωση των καιρικών και κλιματικών μοντέλων. Ο δορυφόρος εκτοξεύτηκε στις 2 Νοεμβρίου 2019, διαγράφοντας ηλιοσύγχρονη τροχιά και παρόλο που σχεδιάστηκε ως πενταετής αποστολή, παρέχει ακόμη βασικά δεδομένα για την προώθηση της επιστήμης και των δεδομένων που χρησιμοποιούνται σε διάφορες πρακτικές εφαρμογές, όπως η πρόγνωση του

καιρού, αντανακλώντας την ευελιξία και τις νέες συνεργιστικές ευκαιρίες. Ο δορυφόρος SMOS αποτελεί μια από τις αποστολές Earth Explorer του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Διαστήματος (ESA), οι οποίες αποτελούν στοιχεία του προγράμματος Living Planet. Αυτή η οικογένεια δορυφορικών αποστολών απευθύνεται σε σημαντικές επιστημονικές προκλήσεις που εντοπίζονται από την επιστημονική κοινότητα επιδεικνύοντας πρωτοποριακές τεχνολογίες στις τεχνικές παρατήρησης (Mecklenburg et al. 2008).

#### 4.3.1 Το όργανο MIRAS.

Το όργανο MIRAS (Microwave Imaging Radiometer using Aperture Synthesis) που φέρει η αποστολή είναι ένα παθητικό συμβολομετρικό ραδιόμετρο που λειτουργεί στην κλίμακα μικροκυμάτων της ζώνης L (1,4 GHz), το οποίο μετράει τις αλλαγές στην υγρασία της γης και στην αλατότητα του θαλασσινού νερού, παρατηρώντας παραλλαγές στη φυσική εκπομπή μικροκυμάτων που προέρχεται από την επιφάνεια του πλανήτη. Αυτές οι εικόνες χρησιμοποιούνται για την εξαγωγή παγκόσμιων χαρτών της υγρασίας τους εδάφους κάθε τρεις ημέρες, επιτυγχάνοντας μια ακρίβεια 4% σε χωρική ανάλυση 50 km. Πάνω από τους ωκεανούς, οι χάρτες SMOS δείχνουν αλατότητα κάτω από 0,1 μονάδες πρακτικής αλατότητας (psu) (Font et al. 2010).



**Διάγραμμα 17.** Ο πρώτος παγκόσμιος χάρτης της ωκεάνιας αλατότητας δημιουργημένος από τον δορυφόρο SMOS. Η αλατότητα ποικίλει από 32 ‰ (σκούρο μωβ) σε 38 ‰ (φωτεινό κόκκινο). (ESA)

Πηγαίνοντας πέρα από την αρχική επιστημονική ενημέρωση για την παροχή σημαντικών πληροφοριών για την κατανόηση του κύκλου της Γης, ο SMOS συνεχίζει να αποδεικνύει την καταλληλότητα της για νέες χρήσεις. Τα πιο πρόσφατα παραδείγματα από αυτή την πολυτάλαντη αποστολή περιλαμβάνουν,



την παροχή πληροφοριών για τη μέτρηση του λεπτού πάγου που αιωρείται στις πολικές θάλασσες με αρκετή ακρίβεια για την πρόβλεψη και τη δρομολόγηση των πλοίων.

Το λογισμικό SNAP (Sentinel Application Platform) που χρησιμοποιήθηκε για την υλοποίηση αυτής της εργασίας, είναι ένα πρόγραμμα επεξεργασίας δορυφορικών δεδομένων Sentinel, το οποίο είναι ιδανικό και για την επεξεργασία και την ανάλυση και παρατήρηση της Γής. Τα χαρακτηριστικά του γνωρίσματα είναι η κοινή αρχιτεκτονική που διαθέτει για όλες τις εργαλειοθήκες (toolboxes), η πολλή γρήγορη απεικόνιση εικόνων και πλοήγηση ακόμη και εικόνων giga-pixel. Έχει επίσης τη δυνατότητα επεξεργασίας γραφημάτων (GPF) για τη δημιουργία αλυσίδων επεξεργασίας καθορισμένων από τον χρήστη. Η προηγμένη διαχείριση επιπέδων επιτρέπει την προσθήκη και τον χειρισμό νέων επικαλύψεων, όπως εικόνες άλλων ζωνών, εικόνες από διακομιστές WMS ή φακέλους Shape ESRI. Επιπρόσθετα, διαθέτει δυνατότητα εκ νέου προβολής και ορθο-διόρθωσης σε κοινές προβολές χάρτη, αυτόματη λήψη SRTM DEM και έχει τη δυνατότητα μιας ολοκληρωμένης οπτικοποίησης WorldWind. Τέλος, υποστηρίζει τη λειτουργία του προγράμματος με πολλαπλούς επεξεργαστές και πολλαπλούς πυρήνες (Foumelis et al. 2018).

#### **4.4 Ο επεξεργαστής C2RCC**

Ο επεξεργαστής C2RCC που χρησιμοποιήθηκε, όπως φαίνεται στη συνέχεια, βασίζεται σε μια μεγάλη βάση δεδομένων με προσομοιωμένο νερό που αφήνει ανακλάσεις και σχετικές ακτινοβολίες πάνω από την ατμόσφαιρα (top-of-atmosphere radiances). Τα νευρωνικά δίκτυα είναι “εκπαιδευμένα” προκειμένου να πραγματοποιηθεί η αναστροφή του φάσματος για την ατμοσφαιρική διόρθωση. Ο επεξεργαστής C2RCC χωρίζεται σε δύο βασικά μέρη: στο μέρος της ατμοσφαιρικής διόρθωσης και στο κομμάτι του νερού. Το Διάγραμμα 18, παρουσιάζει την αρχιτεκτονική του επεξεργαστή C2RCC.



out-of-range στο φάσμα (μπλε κουτί Check OOR) γίνεται η αντιστροφή του φάσματος σε IOPs (πράσινο κουτί IOP\_NN). Αυτά τα IOP διαβιβάζονται έπειτα στο πρότυπο μοντέλο για τον υπολογισμό του φάσματος (πράσινο κουτί IOP\_Rw\_for\_NN) και εκτελούν τη δοκιμή εκτός πεδίου εφαρμογής για τη σύγκριση του νερού που αφήνει την ανακλαστικότητα και τα εκτιμώμενα φάσματα (μπλε κουτί compare Rw). Το αποτέλεσμα είναι το κόκκινο κουτί Rw\_OSS\_flag. Ένας προαιρετικός υπολογισμός για input στο νερό που αφήνει ανακλάσεις είναι να εξάγει τον συντελεστή διάχυσης εξασθένησης από ένα αποκλειστικό νευρωνικό “δίχτυ” από το φάσμα (πράσινο κουτί kd\_NN). Χρησιμοποιώντας τα εισερχόμενα IOP ως input, οι αβεβαιότητες ανά IOP υπολογίζονται από τα δίχτυα αβεβαιότητας (πράσινο κουτί uncNN) για τα 5 συστατικά καθώς και για τα συνδυασμένα 3 συστατικά (πράσινο κουτί uncNN\_comb). Τέλος, τα IOP μετατρέπονται σε συγκεντρώσεις χλωροφύλλης-a και θολερότητας (TSM) χρησιμοποιώντας αριθμητικούς συντελεστές μετατροπής (δεν φαίνονται στο σχήμα). Οι προεπιλεγμένες τιμές του επεξεργαστή SNAP χρησιμοποιούνται στην τυπική επεξεργασία της ESA για τους αισθητήρες OLCI και MERIS (Brockmann et al. 2016).

#### **4.5 Marine Copernicus**

Η Υπηρεσία Παρακολούθησης Θαλάσσιου Περιβάλλοντος (CMEMS) είναι μια από τους έξι πυλώνες του προγράμματος Copernicus της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Η υπηρεσία Mercator Ocean International ανατέθηκε από την ΕΕ το 2014 βάσει συμφωνίας για να εξουσιοδοτήσει την επιχειρησιακή φάση της υπηρεσίας από το 2015 έως το 2021. Το CMEMS παρέχει τακτικές και συστηματικές πληροφορίες αναφοράς για τη φυσική και βιογεωχημική κατάσταση του ωκεανού και του θαλάσσιου πάγου για τον παγκόσμιο ωκεανό και τις ευρωπαϊκές περιφερειακές θάλασσες. Αυτή η ικανότητα περιλαμβάνει την περιγραφή της τρέχουσας κατάστασης (ανάλυση), την πρόβλεψη της κατάστασης για 10 ημέρες (πρόβλεψη) και την παροχή συνεκτικών αναδρομικών δεδομένων (επανεπεξεργασία και επανεξέταση). Το CMEMS παρέχει μια βιώσιμη απάντηση στις ευρωπαϊκές ανάγκες των χρηστών σε τέσσερις τομείς:

- θαλάσσια ασφάλεια,
- θαλάσσιοι πόροι,
- παράκτιο και θαλάσσιο περιβάλλον,
- καιρικές συνθήκες, εποχικές προβλέψεις και κλίμα.

Ένας βασικός στόχος του CMEMS είναι να παραδώσει και να διατηρήσει μια υπερσύγχρονη ευρωπαϊκή υπηρεσία η οποία θα μπορεί να ανταποκριθεί στις αυξανόμενες ανάγκες του κοινού και του μέσου χρήστη.

Η αποστολή CMEMS περιλαμβάνει:

- Παροχή βραχυπρόθεσμων προβλέψεων και προοπτικών για τις θαλάσσιες συνθήκες και όταν κρίνεται αναγκαίο παροχή προειδοποιήσεων στις κατώτερες υπηρεσίες ή και ταχείες απαντήσεις σε ακραία ή επικίνδυνα συμβάντα.
- Παροχή λεπτομερών περιγραφών της κατάστασης του ωκεανού για την προετοιμασία συνδυασμένων μοντέλων ωκεανών/ατμόσφαιρας για την πρόβλεψη αλλαγών στην ατμόσφαιρα/κλίμα.
- Παρακολούθηση και αναφορά της κατάστασης των θαλάσσιων περιβαλλοντικών συνθηκών για το παρελθόν και το παρόν (φυσική και βιογεωχημεία) και ειδικότερα την αντίδραση των ωκεανών στην αλλαγή του κλίματος και άλλων παραγόντων.
- Ανάλυση και ερμηνεία των αλλαγών και των τάσεων του θαλάσσιου περιβάλλοντος.
- Παροχή εύκολης, αποτελεσματικής και έγκαιρης παράδοσης πληροφοριών υπηρεσιών προς τους χρήστες.
- Ανάπτυξη σχεδίου επικοινωνίας και προσέγγισης για δραστηριότητες που επιτρέπουν στους ευρωπαίους χρήστες να επωφεληθούν πλήρως από τις πληροφορίες και την νοημοσύνη που υπάρχει σχετικά με το θαλάσσιο περιβάλλον.

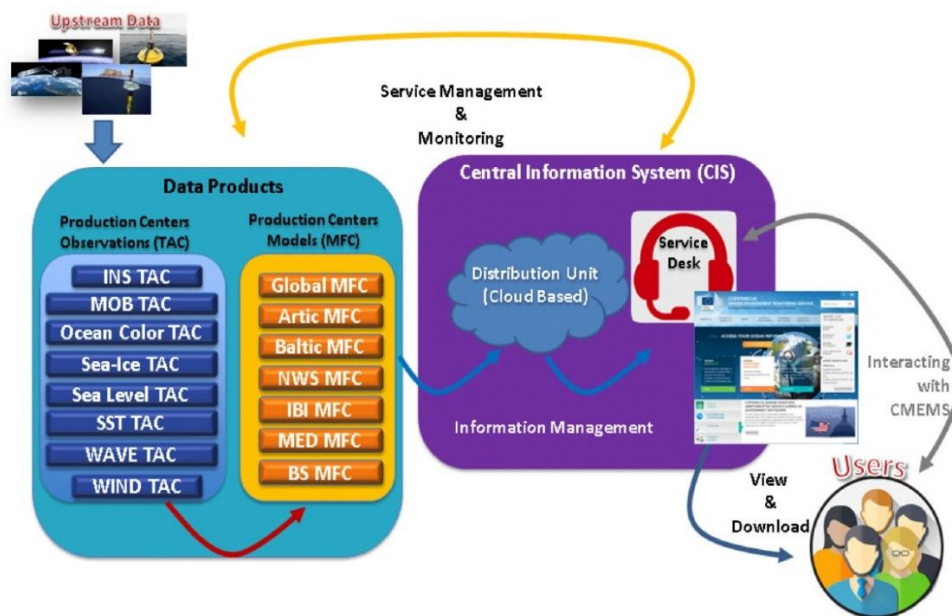
Οι παρατηρήσεις αποτελούν βασικό πυλώνα στην αξία της αλυσίδας της CMEMS, η οποία εκτείνεται από την παρατήρηση έως την πληροφόρηση των χρηστών. Η χρήση της μοντελοποίησης και της αφομοίωσης δεδομένων αποτελεί ουσιαστικό βήμα για τη μετατροπή των αραιών *in situ* παρατηρήσεων σε τέσσερις διαστάσεις ωκεάνιων πεδίων και προβλέψεων (Bell et al. 2015).

Η αφομοίωση δεδομένων επιτρέπει τη δυναμική παρεμβολή των παρατηρήσεων, λαμβάνοντας υπόψη τη συμπληρωματικότητα μεταξύ των διαφόρων τύπων παρατηρήσεων, επιτρέποντας την εξαγωγή παραμέτρων που δεν είναι άμεσα παρατηρήσιμα. Με αυτό τον τρόπο προκύπτουν χωρικά και χρονικά χωρικά ωκεάνια πεδία σύμφωνα με τις παρατηρήσεις, τη δυναμική του μοντέλου και τις ωκεάνιες προβλέψεις. Το σύστημα παρακολούθησης των ωκεανών εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη διεθνή συνεργασία και το διεθνή συντονισμό που διενεργείται από το Παγκόσμιο Σύστημα Παρακολούθησης του Ωκεανού (GOOS) και την Επιτροπή Δορυφόρων Παρατήρησης της Γης (CEOS) τα οποία είναι ουσιαστικής σημασίας για τη CMEMS. Η CMEMS ωφελείται και συμβάλλει στη διεθνή συνεργασία και συντονισμό για τη μοντελοποίηση και την αφομοίωση δεδομένων. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω του

προγράμματος GODAE OceanView/ Ocean Predict, των χρηστών και των εφαρμογών μέσω της πρωτοβουλίας Blue Planet της Ομάδας Παρατήρησης της Γης (Group Earth Observation- GEO).

#### 4.5.1 Η αρχιτεκτονική της CMEMS.

Η ραχοκοκαλιά της CMEMS βασίζεται σε μια κατανεμημένη αρχιτεκτονική των κέντρων παραγωγής για την παρακολούθηση (Thematic Assembly Centres-TACs), την μοντελοποίηση/αφομοίωση παρατηρήσεων (Monitoring and Forecasting Centres-MFCs) και σε ένα Κεντρικό Σύστημα Πληροφοριών (Central Information System-CIS) (Διάγραμμα 19).



Διάγραμμα 19. Η αρχιτεκτονική της CMEMS.

Η αρχιτεκτονική της CMEMS περιλαμβάνει:

- Οκτώ κέντρα παραγωγής για παρακολούθηση (TAC), έξι δορυφόρους TAC που οργανώνονται από τις μεταβλητές του ωκεανού (θαλάσσια επιφανειακή τοπογραφία, χρώμα ωκεανού, επιφανειακή θαλάσσια θερμοκρασία, θαλάσσιο πάγο, ανέμους και κύματα), έναν για επιτόπιες μετρήσεις και έναν TAC πολλαπλής παρατήρησης (που συνδυάζει διαφορετικά in situ και δορυφορικά δεδομένα για την επεξεργασία προϊόντων υψηλού επιπέδου). Αυτά τα κέντρα παραγωγής συγκεντρώνουν δεδομένα παρατήρησης από τα in situ δίκτυα [π.χ. το Παγκόσμιο Σύστημα Παρακολούθησης Ωκεανών (Global Ocean Observing System-GOOS), της Συντονισμένης Τεχνικής Επιτροπής για την Ωκεανογραφία και της Θαλάσσιας Μετεωρολογίας

(Joint Technical Commission for Oceanography and Marine Meteorology-JTCOMM), του Ευρωπαϊκού του Παγκόσμιου Συστήματος Παρακολούθησης του Ωκεανού (European Global Ocean Observing System-EuroGOOS), των δορυφορικών δεδομένων μέσω του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Διαστήματος (ESA) και του Ευρωπαϊκού Οργανισμού για την εκμετάλλευση του Μετεωρολογικού Δορυφόρου. (EUMETSAT)]. Τα TAC παράγουν επικυρωμένα σύνολα δεδομένων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν άμεσα για αφομοίωση στα μοντέλα (MFCs) και εξάγουν προϊόντα υψηλού επιπέδου που μπορούν να χρησιμοποιηθούν άμεσα για μεταγενέστερες εφαρμογές.

- Επτά MFC, που κατανέμονται ανάλογα με την καλυπτόμενη θαλάσσια περιοχή (Παγκόσμιος Ωκεανός, Αρκτικός Ωκεανός, Βαλτική Θάλασσα, Βόρειος Ατλαντικός, Ιβηρία-Βισκαϊκός Κόλπος-Ιρλανδία, Μεσόγειος Θάλασσα και Μαύρη Θάλασσα) που παράγουν μοντέλα με βάση την φυσική κατάσταση του ωκεανού και τα βιογεωχημικά χαρακτηριστικά του συμπεριλαμβανομένων των προβλέψεων, των αναδρομικών μεταδόσεων και των αναλύσεων.
- Κεντρικό Σύστημα Πληροφοριών (CIS) που περιλαμβάνει τη διαχείριση και οργάνωση πληροφοριών και προϊόντων CMEMS. Ένας μοναδικός κατάλογος (παγκόσμια και ευρωπαϊκή κάλυψη) προσφέρεται στους χρήστες. Το CIS επιτρέπει την αναζήτηση, προβολή, λήψη προϊόντων και παρακολούθηση του συστήματος. Μια επανδρωμένη υπηρεσία εξυπηρέτησης παρέχει ένα δίκτυο από τεχνικούς και ναυτικούς εμπειρογνώμονες για την υποστήριξη των χρηστών.

#### 4.5.2 Προϊόντα CMEMS

Τα προϊόντα CMEMS βασίζονται σε σύγχρονες τεχνικές επεξεργασίας δεδομένων και προηγμένες τεχνικές μοντελοποίησης και εξομοίωσης δεδομένων. Οι αβεβαιότητες των προϊόντων αξιολογούνται με αυστηρότητα διεθνώς αναγνωρισμένες μεθόδους αξιολόγησης της ποιότητας (Hernandez et al. 2015). Η CMEMS σήμερα παρέχει περίπου 160 διαφορετικά προϊόντα για παρατηρήσεις και εξαγωγές μοντέλων καλύπτοντας τη φυσική των ωκεανών (θερμοκρασία, αλατότητα, στάθμη της θάλασσας, ρεύματα, κύματα), τον θαλάσσιο πάγο (συγκέντρωση, πάχος, μετατόπιση) και την βιογεωχημεία (chl-a, οξυγόνο, pH, θρεπτικά συστατικά). Τα προϊόντα μοντελοποίησης και αφομοίωσης δεδομένων έχουν ανάλυση 1/12° για την παγκόσμια κλίμακα και από 1/24° έως 1/72° για τις περιφερειακές εφαρμογές. Η CMEMS δημοσιεύει μια ετήσια έκθεση αναφοράς για τους ωκεανούς (von Schuckmann et al. 2016, 2018, 2019) για την επιστημονική κοινότητα καθώς και για τους υπεύθυνους χάραξης πολιτικής και λήψης αποφάσεων. Οι εν λόγω εκθέσεις παρέχουν πληροφορίες σχετικά με την κατάσταση του

παγκόσμιου ωκεανού και των ευρωπαϊκών περιφερειακών θαλασσών και πως έχουν αλλάξει κατά το πρόσφατο παρελθόν. Οι εκθέσεις βασίζονται στη μοναδική ικανότητα και την εμπειρογνομosύνη που συγκεντρώνει η CMEMS στην Ευρώπη για την παρακολούθηση την αξιολόγηση και την αναφορά στις παλαιότερες και τις σημερινές θαλάσσιες περιβαλλοντικές συνθήκες και την ανάλυση και ερμηνεία των αλλαγών και των τάσεων στο θαλάσσιο περιβάλλον. Με βάση τα αποτελέσματα εκθέσεων η CMEMS παράγει Ωκεάνιους δείκτες παρακολούθησης (Ocean Monitoring Indicators-OMIs) που χρησιμοποιούνται για την παρακολούθηση των κύριων αλλαγών και των τάσεων στο θαλάσσιο περιβάλλον τα τελευταία 25 χρόνια. Τα δεδομένα και τα προϊόντα CMEMS επιτρέπουν την πλήρη κατανόηση και παρακολούθηση του παγκόσμιου ωκεανού και των ευρωπαϊκών θαλασσών.

#### ***4.5.2.1 Επιφανειακή θαλάσσια αλατότητα***

Αρκετές δορυφορικές αποστολές (SMOS, SMAP, Aquarius) εκτοξεύθηκαν τα τελευταία χρόνια για την παρατήρηση της παγκόσμιας αλατότητας των θαλάσσιων επιφανειών (SSS). Τα συστήματα πρόγνωσης της CMEMS για τους ωκεανούς βασίζονται σε παρατηρήσεις αλατότητας κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας κυρίως από πλωτήρες ARGO για να περιορίσουν την αλατότητα. Η σύγκριση δεδομένων από μοντέλα και επιτόπιες μετρήσεις SSS δείχνει ότι οι αβεβαιότητες του μοντέλου είναι μικρότερες από 0,1/0,2 pss στις περισσότερες περιοχές των ωκεανών με μεγαλύτερα σφάλματα στις ωκεάνιες περιοχές που ελέγχονται από μεγάλες εκροές ποταμών (π.χ Αμαζόνιος) και στους τροπικούς ωκεανούς (Lellouche et al. 2018). Οι παρατηρήσεις SSS από το διάστημα ακόμα και αν εξακολουθούν να υστερούν, ωστόσο παρέχουν πολύτιμες πληροφορίες (Martin et al. 2019; Reul et al. 2014). Η CMEMS παρέχει χάρτες SSS με βάση ένα συνδυασμό in situ και δεδομένων SMOS (Droghei et al. 2018). Στα πλαίσια του έργου ESA SMOS Nino 2015 project, τα αφομοιωμένα δορυφορικά δεδομένα SSS αξιολογήθηκαν με τα συστήματα παγκόσμιας ωκεάνιας ανάλυσης και πρόβλεψης (Mercator Ocean Global Ocean Analysis and Forecasting Systems) και την Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία του Ηνωμένου Βασιλείου (MET Office) (Martin et al. 2019; Tranchant et al. 2018). Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η αφομοίωση δορυφορικών δεδομένων SSS μπορεί να περιορίσει πρότυπες προβλέψεις χωρίς να εισάγει συγκρίσιμες πληροφορίες στις άλλες αφομοιωμένες παρατηρήσεις. Έτσι, απαιτείται περαιτέρω πρόοδος όσον αφορά την λήψη δορυφορικών δεδομένων SSS για να ενισχυθεί η αφομοίωση τους ιδίως όταν πλησιάζουν σε ακτές και μεγάλα γεωγραφικά πλάτη.

### 4.5.3 Η χωρική κάλυψη των MFCs και TACs.

#### 4.5.3.1 Παγκόσμια χωρική κάλυψη

Το σύστημα παγκόσμιας ωκεάνιας ανάλυσης και φυσικής πρόβλεψης της CMEMS εξομοιώνει τις επιτόπιες μετρήσεις επιφανειακής θαλάσσιας θερμοκρασίας και αλατότητας και τις χρονοσειρές από τους πλωτήρες Argo, XBTs (bathythermographs), CTDs (Conductivity, Temperature, Depth), αγκυροβόλια, ανεμόπτερα και μετρήσεις με θαλάσσια θηλαστικά (Lellouche et al. 2013). Σε παγκόσμια κλίμακα, η λήψη των παρατηρήσεων του Argo παρέχει έναν αποτελεσματικό περιορισμό στη μεγάλη ωκεάνια θερμοκρασία και την αλατότητα άνω των 2000 μέτρων. Άλλες πλατφόρμες στοχεύουν διαδικασίες με διαφορετικές χωρικές και χρονικές κλίμακες και περιορίζουν τις αναλύσεις σε περιφερειακές/τοπικές κλίμακες. Εντούτοις, ορισμένες περιοχές παραμένουν ανεστραμμένες, όπως ο Νότιος Ωκεανός, ο Αρκτικός Ωκεανός ή ο Βαθύς Ωκεανός, οι οποίες περιορίζουν την ικανότητα του συστήματος να αντιπροσωπεύουν την κατάσταση του παγκόσμιου ωκεανού.

#### 4.5.3.2 Χωρική κάλυψη στη Μεσόγειο Θάλασσα.

Υπάρχει αναγνωρισμένη ανησυχία σχετικά με την υπάρχουσα και την μελλοντική κατάσταση του συστήματος παρατήρησης στη Μεσόγειο Θάλασσα. Υφίστανται σημαντικά προβλήματα στην χωρική κάλυψη λόγω της έλλειψης μέσων ιδιαίτερα στην περιοχή της Κεντρικής και Ανατολικής Μεσογείου και της βόρειας ακτής της Αφρικής, οδηγώντας τον Βορρά/Νότο και Δύση/Ανατολή σε ισχυρή ανισορροπία. Η υπάρχουσα κάλυψη του δικτύου Argo είναι περίπου 60 ενεργοί πλωτήρες στη Μεσόγειο Θάλασσα που είναι διπλάσιοι από την κανονική πυκνότητα του Argo (Euro-Argo-ERIC 2017). Για την πλήρη λειτουργία της CMEMS απαιτείται κατακόρυφη ανάλυση πλήρους κατατομής, ώστε να είναι δυνατή η χρήση της σε επιχειρησιακές αναλύσεις. Υπάρχει επίσης ανάγκη για αυξημένο αριθμό πλωτήρων Argo σε δυναμικές περιοχές και τις περιοχές με μεγάλο βάθος. Αυτό συμβαίνει με την ανάγκη επανεισαγωγής των μετρήσεων XBT με βαθυθερμογράφους (bathythermograph) για να αυξηθεί ο αριθμός των επιτόπιων μετρήσεων της ταχύτητας (velocity) [π.χ αγκυροβόλια, HF ραντάρ (High-Frequency Radar), σηματοδότες, Acoustic Doppler Current Profiler (ACDP)]. Επίσης, πρέπει να διατηρηθεί και να αυξηθεί ο αριθμός κυματοθραυστών και να συμπεριληφθούν οι μετρήσεις κυμάτων από τα HR ραντάρ, ιδίως στην Κεντρική και Ανατολική Μεσόγειο και κατά μήκος των αφρικανικών ακτών. Υπάρχει σαφής ανάγκη για αυξημένη κάλυψη στα Ανατολικά και Βόρεια σημεία της Μεσογείου όσον αφορά τον αριθμό των BGC-Argo πλωτήρων και τον αριθμό των αγκυροβολίων με αισθητήρες BGC (Biogeochemical).



#### 4.5.4 Ειδικές απαιτήσεις για την επικύρωση (validation) των προϊόντων των δορυφορικών δεδομένων.

Η βαθμονόμηση και η επικύρωση των δορυφορικών δεδομένων αποτελεί ευθύνη της ESA και της EUMESAT, οι οποίες εργάζονται για την ανάπτυξη ενός ειδικού συστήματος επιτόπιας παρατήρησης για να εξασφαλίζουν την ανάκτηση υψηλής ποιότητας επιτόπιων μετρήσεων, μαζί με τις αβεβαιότητες τους που αναφέρονται ως “Fiducial Reference Measurements” (FRM). Αυτές οι μετρήσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν από TAC και MFC της CMEMS για τις δραστηριότητες επικύρωσης των δεδομένων τους. Είναι σημαντικό ότι οι απαιτήσεις της CMEMS λαμβάνονται υπ’ όψιν, όταν σχεδιάζονται και αναπτύσσονται νέες πλατφόρμες απόκτησης FRM. Οι δορυφορικές μετρήσεις της στάθμης της θάλασσας επικυρώνονται με τη χρήση δικτύων μετρητών παλίρροιας, σημαδούρων, ανεμόπτερων, HF ραντάρ, ADCP και πλωτήρων Argo. Ενώ σε παγκόσμιο επίπεδο ο αριθμός των διαθέσιμων επιτόπιων παρατηρήσεων επαρκεί για την επικύρωση των ελέγχων σε περιφερειακό επίπεδο, αυτό δεν ισχύει για τη Μεσόγειο Θάλασσα και την Μαύρη Θάλασσα, λόγω του περιορισμένου διαθέσιμου αριθμού δεδομένων μετρητών παλίρροιας, με τα οποία γίνεται μια ισχυρή επικύρωση. Τα in situ δεδομένα χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση και βαθμονόμηση των αλγορίθμων τηλεπισκόπησης των ωκεανών και για την επικύρωση των λειτουργικών προϊόντων που διανέμονται από τη CMEMS. Αυτές οι μετρήσεις αποκτώνται μέσω μιας ποικιλίας συστημάτων και πλατφορμών, όπως αυτοματοποιημένοι ραδιομετρητές, που τοποθετούνται σε βάση στο νερό ή σε πύργους και από πλωτήρες, οι οποίες μετρήσεις αποκτήθηκαν κατά τη διάρκεια θαλάσσιων ερευνών. Προς το παρόν αυτές οι παρατηρήσεις είναι πολύ αραιές και περιορισμένες. Υπάρχει σαφής ανάγκη για αύξηση του αριθμού των πλατφορμών που να μπορούν να εκτελέσουν τέτοιες μετρήσεις. Επιπλέον, τα μελλοντικά συστήματα πρέπει να σχεδιάζονται κατά τέτοιο τρόπο, ώστε να επιτρέπουν μια ροή δεδομένων NRT (Near Real Time) καθώς και λειτουργικές δυνατότητες που ικανοποιούν τις ανάγκες των υπηρεσιών CMEMS. Η επικύρωση των προϊόντων SSS γίνεται λειτουργικά χρησιμοποιώντας επί τόπου δεδομένα που αποκτήθηκαν από παρασυρόμενες σημαδούρες (drifting buoys), πλωτήρες Argo (Argo Floats), επιτόπιους ραδιομετρητές σε πλοίο ως ανεξάρτητη πηγή σύγκρισης. Τα in situ δεδομένα πρέπει να συλλέγονται με την υψηλότερη διαθέσιμη συχνότητα και πρέπει να περιέχουν περισσότερα μεταδεδομένα για καλύτερη επιλογή/φιλτράρισμα δεδομένων για εμπιστοσύνη στην επικύρωση. Οι δορυφορικοί αισθητήρες παρέχουν μετρήσεις επιφάνειας, ωστόσο σχεδόν σε όλα τα προϊόντα της CMEMS, τα οποία είναι με παρεμβολή (interpolated) είναι κατασκευασμένα για να αντιπροσωπεύουν τη “θεμελιώδη θερμοκρασία” (δηλαδή τη θερμοκρασία σε βάθος που δεν επηρεάζεται από τις επιδράσεις της επιφάνειας και από τον ημερήσιο κύκλο). Εντούτοις, υπάρχουν σημαντικές διαφορές που παρατηρούνται μεταξύ των επιτόπιων

παρατηρήσεων που συλλέγονται σε διαφορετικά βάθη, ανάλογα με την τοπική ώρα και τις ατμοσφαιρικές συνθήκες.

Όσον αφορά την κάλυψη, συνίσταται η αύξηση των μετρήσεων στην Μαύρη Θάλασσα, στην Θάλασσα της Βαλτικής και της Αρκτικής λόγω του πολύ μικρού αριθμού παρατηρήσεων που υπάρχουν εκεί πέρα. Μια επιπλέον σημαντική προϋπόθεση για επικύρωση μέσω δορυφόρου είναι η ύπαρξη διαθέσιμων επιτόπιων μετρήσεων σχεδόν σε πραγματικό χρόνο π.χ μέσα σε 24 ώρες. Είναι σημαντικό να σημειωθεί, ότι για να συνδεθούν καλύτερα οι παρατηρήσεις του Argo με τις δορυφορικές παρατηρήσεις, λαμβάνοντας υπόψη των ζητημάτων περιορισμού της τεχνολογίας των αισθητήρων, θα πρέπει να καταβληθούν προσπάθειες για την καλύτερη δειγματοληψία στα πρώτα πέντε μέτρα βάθος του ωκεανού (Le Traon et al. 2019).

#### 4.5.5 Συμπεράσματα.

Η υπηρεσία Marine Copernicus έχει ξεκινήσει μια επιτυχημένη αρχική φάση τα τελευταία 4 χρόνια. Οι επιχειρησιακές δυνατότητες έχουν καταδειχθεί, ο αριθμός των χρηστών αυξάνεται σταθερά και οι δραστηριότητες εξέλιξης των υπηρεσιών επιτρέπουν την τακτική βελτίωση των προϊόντων και υπηρεσιών που παρέχονται στους χρήστες. Οι παρατηρήσεις αποτελούν βασικό πυλώνα στην λειτουργία και την ανάπτυξη της CMEMS καθώς παράλληλα εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την έγκαιρη διαθεσιμότητα ολοκληρωμένων δορυφορικών και επιτόπιων μετρήσεων. Αυτή η εξάρτηση ελέγχεται και διοικείται από τη CMEMS, ώστε να εξασφαλιστεί, ότι οι απαιτήσεις της θα ενσωματωθούν στα σχέδια των παρατηρήσεων. Ο κύριος ρόλος της CMEMS είναι να διευκρινίσει τις απαιτήσεις του (από άποψη ενός ολοκληρωμένου συστήματος), να πραγματοποιήσει αξιολογήσεις επιπτώσεων και να αλληλεπιδράσει με δορυφορικά και in situ δομικά στοιχεία του Copernicus για θέματα εφαρμογής. Επιπρόσθετα, επιδιώκει να υποστηρίξει τον θεμελιώδη ρόλο των παρατηρήσεων για τις υπηρεσίες που παρέχει. Με βάση την ανάλυση των υφιστάμενων και μελλοντικών δυνατοτήτων παρατήρησης, των μελετών αξιολόγησης αντικτύπου και των σχεδίων εξέλιξης της μακροπρόθεσμης υπηρεσίας, οι κύριες συστάσεις της CMEMS μπορούν να συνοψίσουν την εξέλιξη του συστήματος παρατήρησης των ωκεανών ως εξής:

- Θα πρέπει πρώτα να εξασφαλιστεί η συνέχεια των υφιστάμενων δυνατοτήτων των αποστολών Sentinel. Εκτός από την ήδη αποφασισμένη όπως το SWOT (Surface Water and Ocean Topography) (Morrow et al. 2019), που αναμένεται να έχουν σημαντικό αντίκτυπο στη CMEMS, θα πρέπει να αναπτυχθούν νέες δυνατότητες στο μέσο (πριν το 2025) και μακροπρόθεσμα (μετά το 2030). Μεσοπρόθεσμα, πρέπει να

αναπτυχθεί μια ευρωπαϊκή παθητική αποστολή μικροκυμάτων για την ωκεάνια επιφανειακή θερμοκρασία, την συγκέντρωση του θαλάσσιου πάγου και την επιφανειακή θαλάσσια αλατότητα. Επιπρόσθετα η συνέχεια της αποστολής Cryosat-2 για το πάχος του θαλάσσιου πάγου και την παρακολούθηση της στάθμης της θάλασσας σε πολικές περιοχές πρέπει να διασφαλιστεί. Μακροπρόθεσμα, πρέπει να αναπτυχθούν νέες δυνατότητες για επιχειρησιακή αποστολή ευρείας γωνίας (wide-swath) αλτιμετρίας και γεωσταθερότητας για το χρώμα των ωκεανών πάνω από την Ευρώπη.

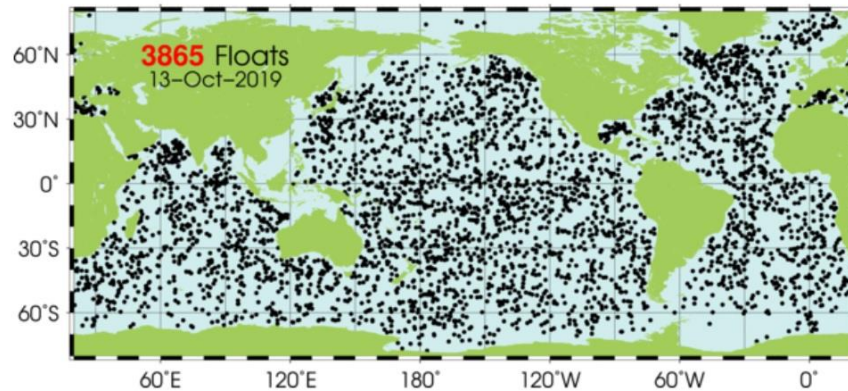
- Όσο αφορά το σύστημα των επιτόπιων παρατηρήσεων, υπάρχουν σημαντικά κενά βιωσιμότητας, κενά δειγματοληψίας και μεγάλα BGC παρατηρούμενα κενά (π.χ άνθρακας, οξυγόνο, θρεπτικά συστατικά, chl-a). Αυτά τα κενά θα πρέπει να καλύπτονται από διαφορετικά δίκτυα. Η εξέλιξη των δορυφορικών παρατηρήσεων όσον αφορά υψηλότερη χωρική/χρονική ανάλυση υποδεικνύει επίσης ότι η διατήρηση και η ενίσχυση του συστήματος επιτόπιων παρατηρήσεων είναι κρίσιμης σημασίας για την επικύρωση και τη συμπλήρωση των μελλοντικών δορυφορικών παρατηρήσεων υψηλής ανάλυσης.

Αυτές οι απαιτήσεις θα εξελίσσονται με την πάροδο του χρόνου όσο τα συστήματα της CMEMS αναπτύσσονται. Είναι σημαντικό να ενισχυθούν οι δυνατότητες της CMEMS για την αξιολόγηση των επιπτώσεων των σημερινών και μελλοντικών παρατηρήσεων για να καθοδηγήσουν συστήματα παρατήρησης υπηρεσιών για καλύτερη χρήση των μοντέλων παρατήρησης. Οι δραστηριότητες αυτές πρέπει να αναπτυχθούν περαιτέρω στο Copernicus 2.0 (μετά το 2021) σε συνεργασία με διεθνείς εταίρους.

## 4.6 Το δίκτυο ARGO

Η πλατφόρμα ευρείας κλίμακας πλωτών επιφανειών θερμοκρασίας/αλατότητας, γνωστή ως Argo, έχει ήδη εξελιχθεί σε σημαντικό συστατικό στοιχείο του συστήματος παρατήρησης των ωκεανών και αποτελεί βασικός πυλώνας του Marine Copernicus. Σήμερα το δίκτυο Argo είναι το βασικό δίκτυο επιτόπιων παρατηρήσεων για επιχειρησιακή ωκεανογραφία καθώς παρέχει χιλιάδες καθημερινές μετρήσεις της φυσικής των ωκεανών και σταδιακά καθίστανται η κύρια πηγή BGC παρατηρήσεων στην ανοικτή θάλασσα. Το Argo είναι ένα πρότυπο στο οποίο μπορούν να "πατήσουν" και άλλα αναπτυσσόμενα συστήματα παρατήρησης των ωκεανών. Για παράδειγμα, το Argo προσφέρει ιδέες για διάφορα θέματα, όπως πώς να συνεργαστεί διεθνώς, πώς να αναπτύξει ένα σύστημα διαχείρισης

δεδομένων και πως να αλλάξει τον τρόπο σκέψης των επιστημόνων σχετικά με τη συλλογή δεδομένων. Οι αναπτύξεις ξεκίνησαν το 2000 και συνεχίζονται έως και σήμερα με ρυθμό περίπου 800 τον χρόνο απαριθμώντας στην τελευταία μέτρηση που έγινε 3865 πλωτές πλατφόρμες (Διάγραμμα 20).



**Διάγραμμα 20. Η παγκόσμια κατανομή των πλωτών μέσω του δικτύου ARGO. Πηγή: <http://www.argo.ucsd.edu>**

Το όνομα Argo επιλέχθηκε για να τονίσει την ισχυρή συμπληρωματική σχέση της παγκόσμιας κατανομής των πλωτήρων του δικτύου με την αποστολή του δορυφορικού αλτιμετρητή Jason. Στην ελληνική μυθολογία ο Ιάσοντας έπλευσε σε ένα πλοίο που ονομάζεται “Αργώ” για κλέψει το χρυσόμαλλο δέρας. Μαζί, τα σύνολα δεδομένων Argo και Jason εξομοιώνονται με μοντέλα υπολογιστών που αναπτύχθηκαν από το GODAE OceanView, τα οποία θα επιτρέψουν τη δοκιμή της ικανότητας μας να προβλέπουμε το ωκεάνιο κλίμα. Για πρώτη φορά, η φυσική κατάσταση του άνω στρώματος του ωκεανού μετριέται συστηματικά και τα δεδομένα εξομοιώνονται σχεδόν σε πραγματικό χρόνο με μοντέλα υπολογιστών. Το Argo βασίζεται σε άλλα δίκτυα παρατήρησης των ωκεανών, επεκτείνοντας την κάλυψη τους στο διάστημα, το εύρος βάθους και την ακρίβεια τους, ενισχύοντας τα με την προσθήκη μετρήσεων αλατότητας και ταχύτητας. Το δίκτυο δεν περιορίζεται σε μεγάλες ναυτικές διαδρομές, οι οποίες μπορεί να διαφέρουν ανάλογα με την εποχή, όπως είναι με τα άλλα δίκτυα παρακολούθησης των ωκεανών. Αντί αυτού, η παγκόσμια σειρά 3865 πλωτήρων θα διανέμεται περίπου κάθε 3 μίρες (300 km). Το Argo είναι η μόνη πηγή παγκόσμιων συνόλων δεδομένων υποεπιφάνειας που χρησιμοποιείται σε όλα τα μοντέλα εξομοίωσης δεδομένων των ωκεανών για αναλύσεις.

Οι κύριες αποστολές του δικτύου Argo είναι:

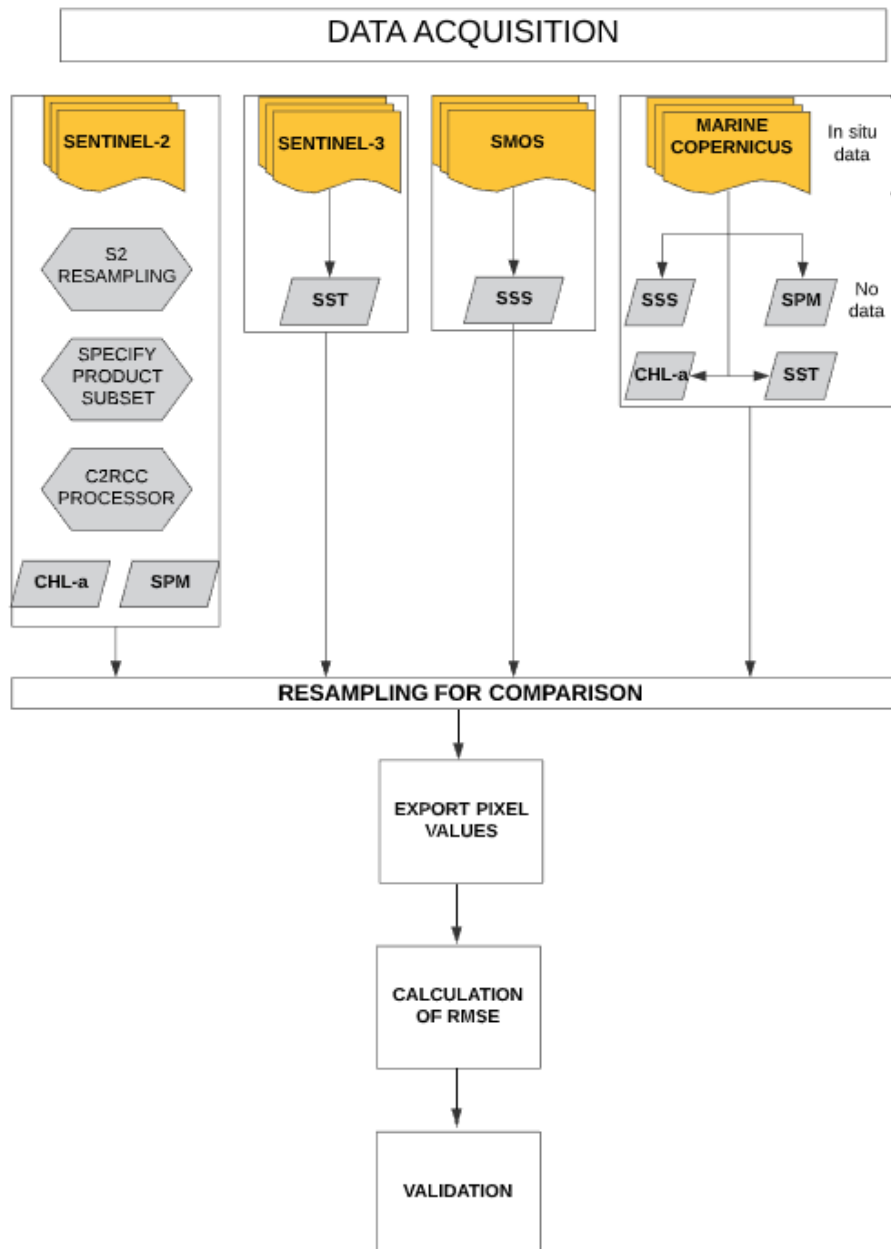
- Η παροχή μια ποσοτικής περιγραφής της μεταβαλλόμενης κατάστασης του άνω ωκεανού και τα πρότυπα μεταβλητότητας του ωκεάνιου κλίματος από μήνες σε δεκαετίες, συμπεριλαμβανομένης της αποθήκευσης και μεταφοράς θερμότητας και γλυκού νερού.

- Τα δεδομένα να αυξήσουν την αξία του αλτιμετρητή Jason μέσω της μέτρησης της θερμοκρασίας, της αλατότητας και της ταχύτητας της υποεπιφάνειας με επαρκή κάλυψη και ανάλυση, ώστε να καταστεί δυνατή η ερμηνεία της μεταβλητότητας του ύψους της επιφάνειας της θάλασσας.
- Τα δεδομένα Argo να χρησιμοποιούνται για την αρχικοποίηση των μοντέλων πρόβλεψης της ατμόσφαιρας των ωκεανών για εξέταση δεδομένων και δοκιμή μοντέλων.
- Η τεκμηρίωση της εποχιακής έως δεκαδικής μεταβλητότητας του κλίματος και η ενίσχυση της κατανόησης της προβλεψιμότητας.

Ο σχεδιασμός του δικτύου Argo πρέπει να προσαρμοστεί καθώς οι τεχνολογίες και οι απαιτήσεις αλλάζουν διαρκώς. Ένας νέος παγκόσμιος σχεδιασμός βρίσκεται υπό εξέλιξη, ο οποίος περιλαμβάνει τρία στοιχεία: την κατεύθυνση της χωρικής πληρότητας, την αύξηση της περιφερειακή επίλυσης σε βασικούς τομείς και σημαντικές νέες αποστολές (Argo 2019).

## **5 Μεθοδολογία έρευνας**

Στο κεφάλαιο αυτό, παρουσιάζεται η μεθοδολογία της έρευνας που διεξάχθηκε. Αρχικά, γίνεται αναφορά στην μέθοδο ανάκτησης των δορυφορικών εικόνων Sentinel-2 και τις μεθόδους ανάκτησης της χλωροφύλλης-a και θολερότητας. Στη συνέχεια, παρουσιάζεται ο τρόπος ανάκτησης των δορυφορικών εικόνων Sentinel-3 και η μέθοδος επεξεργασίας τους για ανάκτηση της επιφανειακής θαλάσσιας θερμοκρασίας (SST). Τελευταία μεθοδολογία αποτελεί της ανάκτησης των δορυφορικών εικόνων SMOS και της επεξεργασίας τους για ανάκτηση της επιφανειακής θαλάσσιας αλατότητας. Στο παρακάτω διάγραμμα ροής δεδομένων παρουσιάζονται αναλυτικά οι μεθοδολογίες που ακολουθήθηκαν (Διάγραμμα 21).



Διάγραμμα 21. Διάγραμμα ροής δεδομένων με τις μεθοδολογίες που ακολουθήθηκαν.

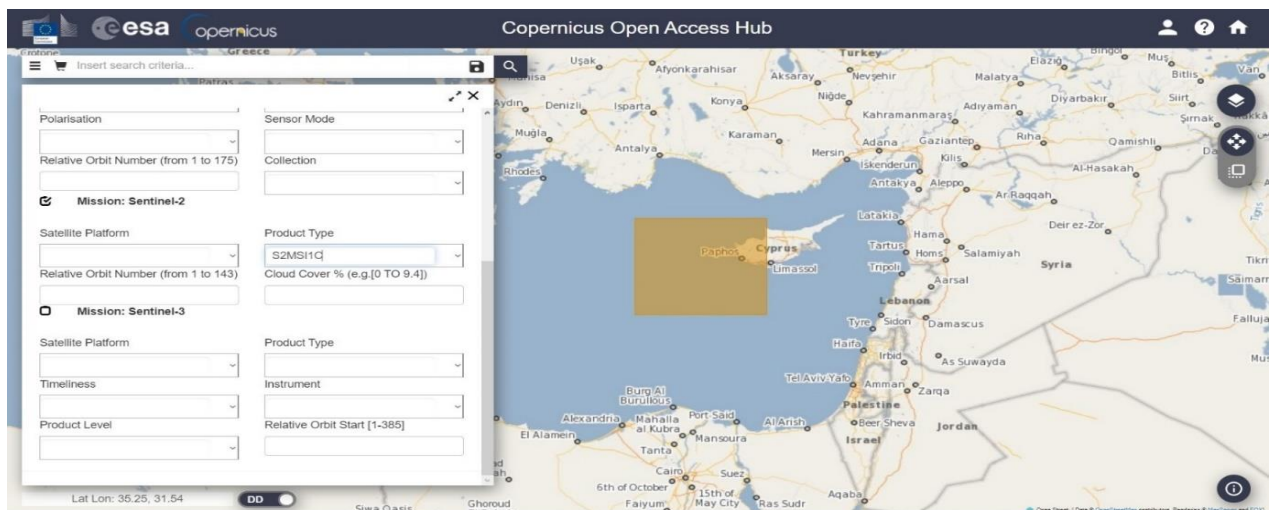
## 5.1 Μέθοδος ανάκτησης και επεξεργασίας δορυφορικών δεδομένων.

Η μεθοδολογία ξεκινάει πρώτα με την ανάκτηση των δορυφορικών δεδομένων από την ιστοσελίδα <https://scihub.copernicus.eu>, η οποία παρέχει στο κοινό ελεύθερα όλα τα προϊόντα του Sentinel-1, Sentinel-2, Sentinel-3 και Sentinel-5P. Στην προκειμένη περίπτωση ανακτήθηκαν δεδομένα από το Sentinel-2. Αφού λοιπόν γίνει η είσοδος στο σύστημα, και δημιουργηθεί λογαριασμός ειδάλλως δεν επιτρέπει το σύστημα να γίνει η λήψη δεδομένων, επιλέγεται η κατηγορία Open Hub. Στη συνέχεια επιλέγεται η περιοχή μελέτης και στην σύνθετη αναζήτηση (Advanced Search) εισάγονται οι

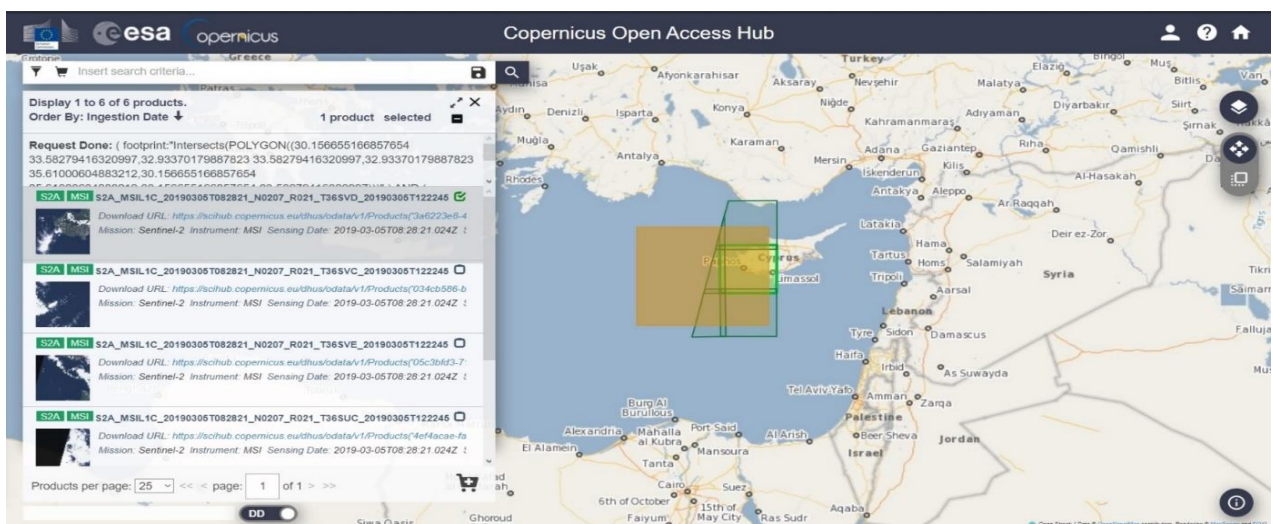
παράμετροι που ζητούνται, όπου στο Product type επιλέγεται το S2MSI1C καθώς μόνο με το συγκεκριμένο τύπο προϊόντος υπάρχει η δυνατότητα λήψης αποτελεσμάτων χλωροφύλλης-a (Διάγραμμα 22). Αφού γίνει αναζήτηση εμφανίζονται τα δορυφορικά δεδομένα σύμφωνα με τις παραμέτρους που εισήχθησαν στο σύστημα. Για την ανάγκη της εργασίας επιλέχθηκαν και “κατέβηκαν” τα προϊόντα:

- S2A\_MSIL1C\_20190305T082821\_N0207\_R021\_T36SVD\_20190305T122245.SAFE
- S2A\_MSIL1C\_20190325T082601\_N0207\_R021\_T36SVD\_20190325T104639.SAFE

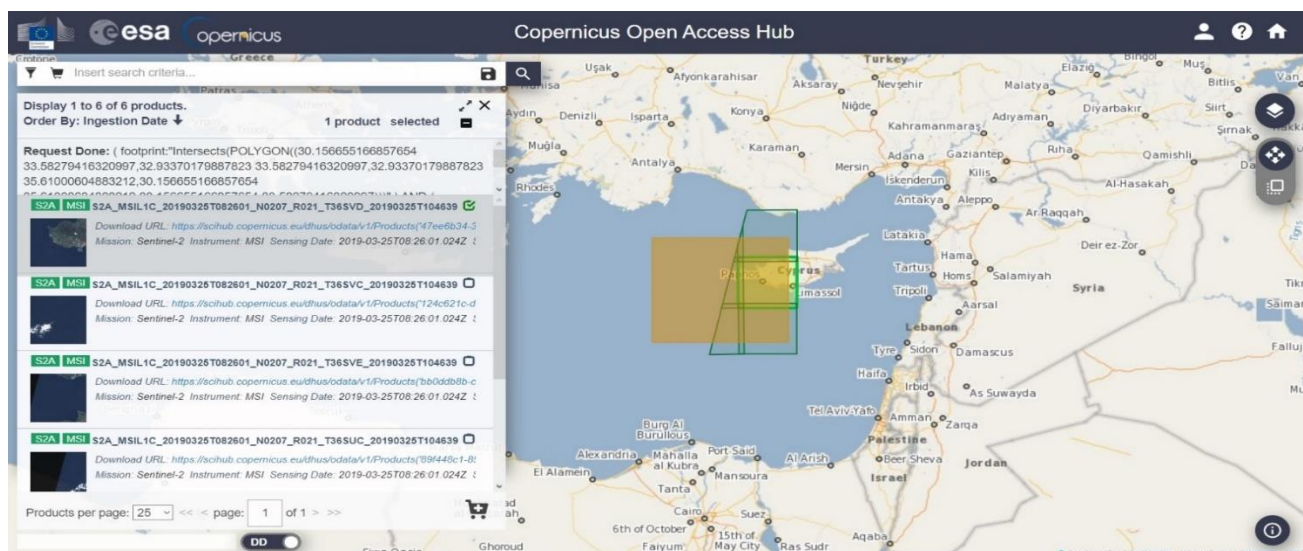
Τα προϊόντα αυτά είναι για τις 5 και 25 Μαρτίου 2019 αντίστοιχα (Διάγραμμα 23&Διάγραμμα 24).



**Διάγραμμα 22. Εισαγωγή παραμέτρων και επιλογή περιοχή μελέτης.**



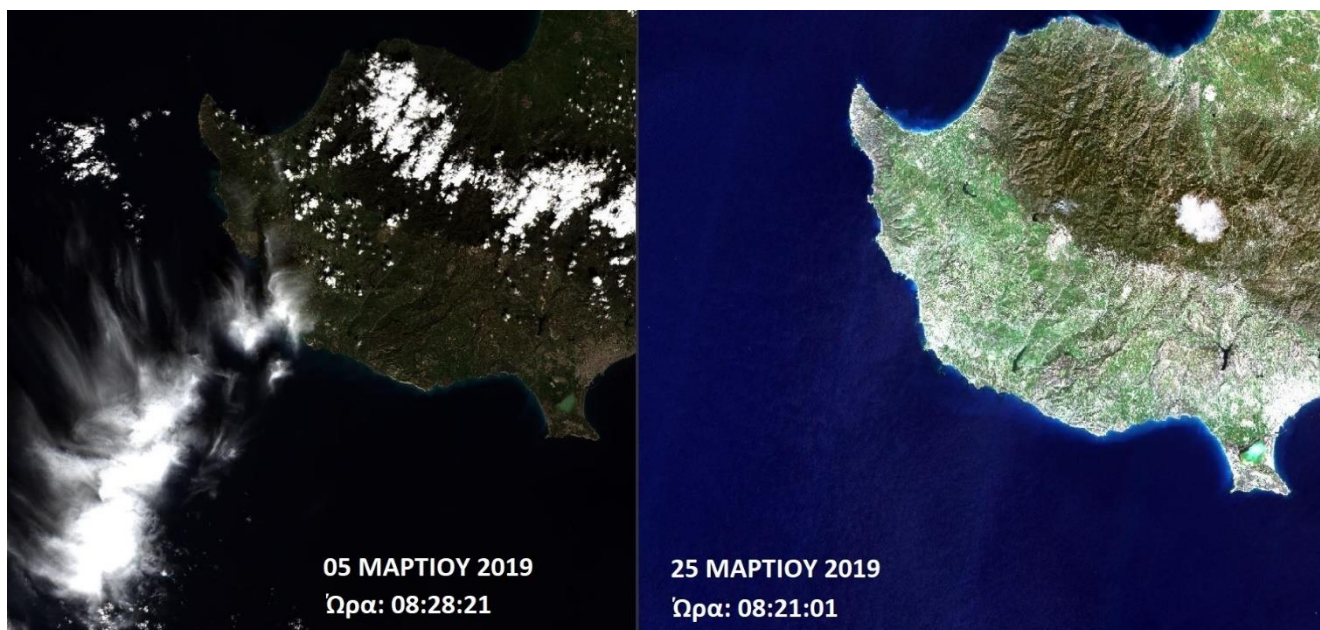
**Διάγραμμα 23. Επιλογή κατάλληλης δορυφορικής εικόνας για τις 5 Μαρτίου 2019 σύμφωνα με την περιοχή μελέτης μας.**



**Διάγραμμα 24. Επιλογή κατάλληλης δορυφορικής εικόνας για τις 25 Μαρτίου 2019 σύμφωνα με την περιοχή μελέτης μας.**

### 5.1.1 S2 Resampling Processor.

Αρχικά, γίνεται είσοδος στο λογισμικό SNAP και στο περιβάλλον που εμφανίζεται για να εισαχθούν οι δορυφορικές εικόνες, γίνεται drag & drop ή αλλιώς επιλέγεται “File → Import → Optical Sensors → Sentinel-2 → S2 MSI-L1C” (Διάγραμμα 25).

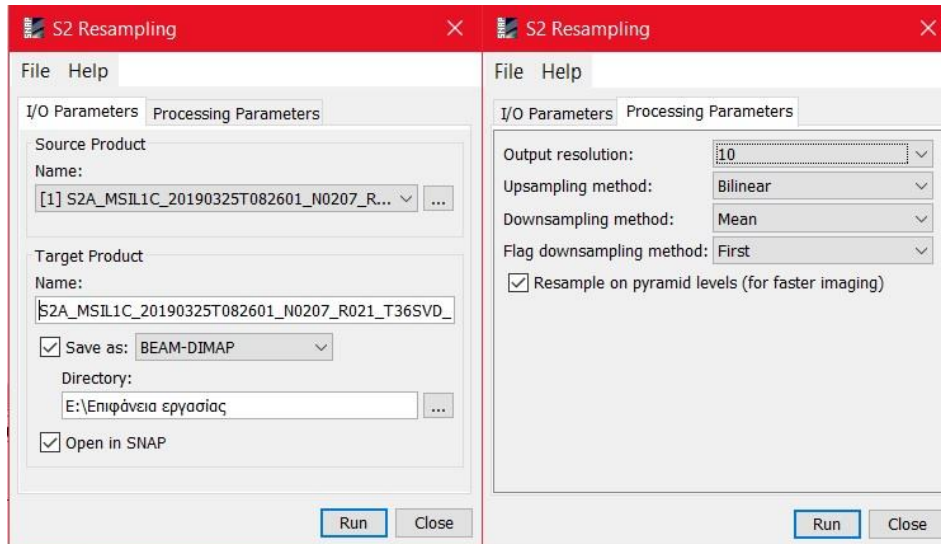


**Διάγραμμα 25. Δορυφορικές εικόνες Sentinel-2 MSI L1C.**

Πριν φτάσουμε στο σημείο όπου θα “κοπεί” η εικόνα στα μέτρα του χρήστη, προηγείται το κομμάτι της επαναδειγματοληψίας (resample) όπου θα πρέπει να μετατραπεί η χωρική ανάλυση όλων των καναλιών



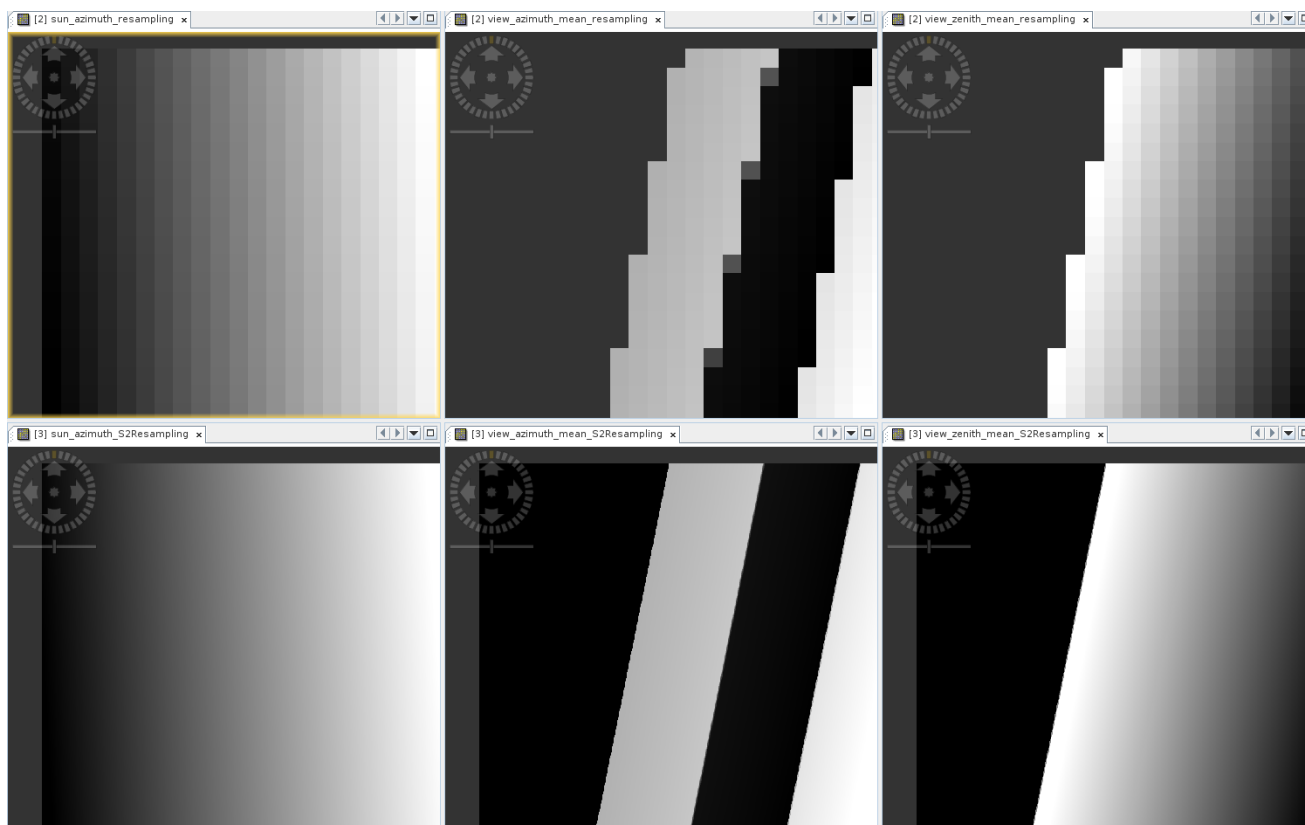
σε 10 μέτρα. Αυτό θα επιτευχθεί με το εργαλείο S2 Resampling. Επιλέγοντας Optical → Geometric → S2 Resampling Processor εμφανίζεται ένα παράθυρο, όπου στην επιλογή Source Product εισάγεται η δορυφορική εικόνα της επιλογής μας ενώ, στο Processing Parameters στην παράμετρο Output resolution μπαίνει η επιλογή “10” που υποδηλώνει την χωρική ανάλυση τα οποία θα έχουν σαν αποτέλεσμα όλα τα κανάλια (Διάγραμμα 26).



**Διάγραμμα 26. S2 Resampling.**

Η ενέργεια αυτή η οποία εξηγήθηκε παραπάνω, γίνεται πριν το Subset διότι το σύστημα δεν επιτρέπει να γίνει resampling η εικόνα εφόσον έχει δεχτεί επεξεργασία από το εργαλείο Subset το οποίο θα αναφερθεί παρακάτω. Παρ’ όλα αυτά, υπάρχει δυνατότητα να γίνει resampling και με ένα άλλο εργαλείο. Επιλέγοντας “Raster → Geometric Operations → Resampling” εμφανίζεται ένα παράθυρο στο οποίο θα πρέπει να επιλεγθεί η δορυφορική εικόνα που θέλει ο χρήστης να επεξεργαστεί και στη συνέχεια σε τι χωρικής ανάλυσης θέλει να μετατρέψει την εικόνα.

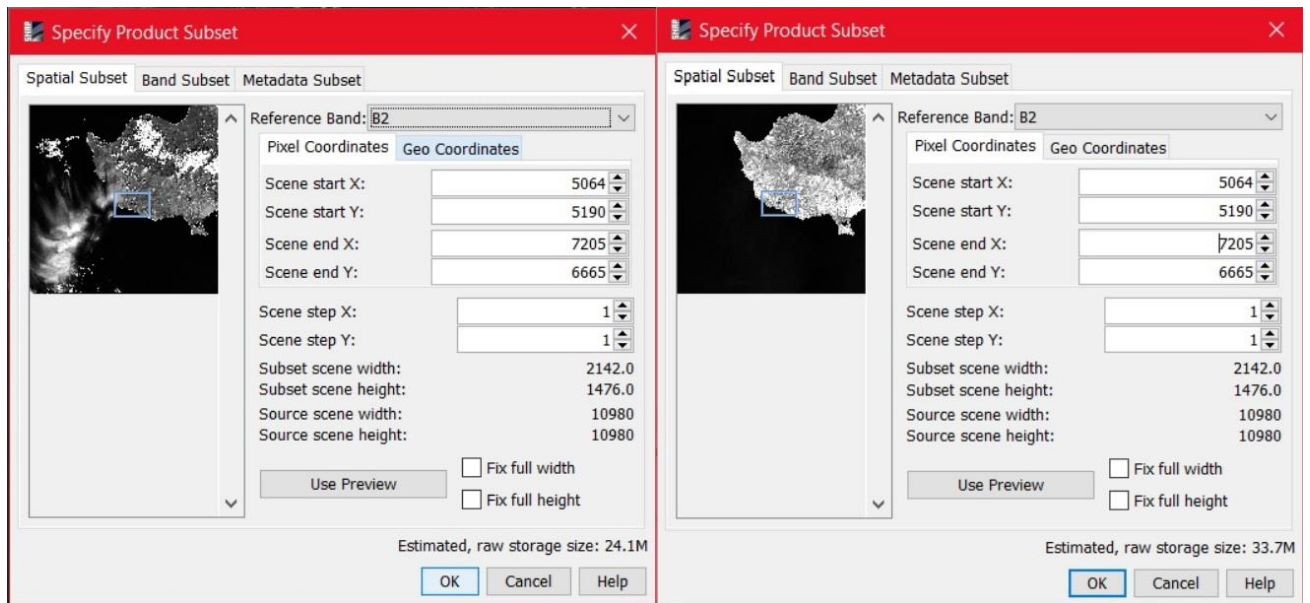
Η διαφορά που προκύπτει στα δύο αυτά εργαλεία είναι ότι επεξεργαστής S2 Resampling τον οποίο θα χρησιμοποιήσει ο χρήστης, επαναλαμβάνει αποτελεσματικά την γωνία του ήλιου και προβάλλει γεωμετρίες με πιο αποτελεσματικό τρόπο και με ομαλή χωρική κλίση. Ο χρόνος εκτέλεσης της επεξεργασίας διαρκεί περισσότερο και επεξεργάζεται 20000 περίπου φορές παραπάνω την εικόνα. Η διαφορά διακρίνεται εμφανώς παρακάτω στο Διάγραμμα 27.



**Διάγραμμα 27. Σύγκριση γεωμετρίας εικόνας. Επάνω: Εργαλείο Resampling. Κάτω: S2 Resampling Processor**

### 5.1.2 Subset δορυφορικής εικόνας.

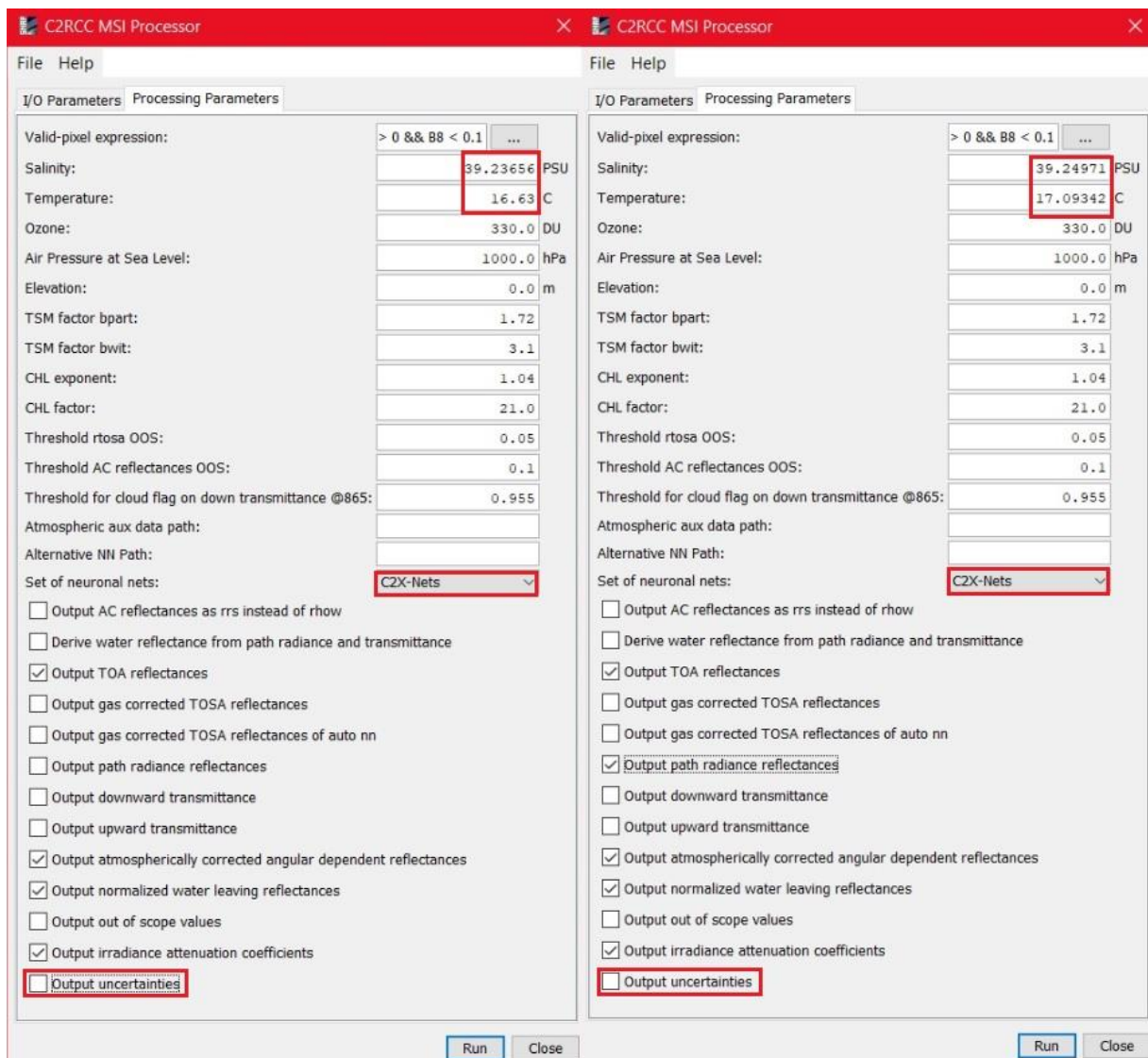
Αφού επεξεργαστούν οι εικόνες καταλλήλως, για λόγους αποφυγής επεξεργασίας μεγάλου όγκου δεδομένων και χρονοβόρας επεξεργασίας, πρώτο βήμα είναι να “κοπεί” η εικόνα στα μέτρα του κάθε χρήστη στην συγκεκριμένη περιοχή μελέτης του επιλέγοντας, Raster → Subset. Στο παράθυρο που εμφανίζεται υπάρχει δυνατότητα να μπουν και χειροκίνητα οι συντεταγμένες που θέλει ο χρήστης αλλά στην προκειμένη περίπτωση από την αριστερή thumbnail εικόνα που εμφανίζεται η περιοχή επιλέχθηκε από το μπλε κουτί. Σύμφωνα με το Subset της δορυφορικής εικόνας στις 5 Μαρτίου 2019 επιλέχθηκαν οι ίδιες συντεταγμένες εικονοστοιχείων και για την δορυφορική εικόνα στις 25 Μαρτίου για λόγους σύγκρισης και μελέτης. Το αποτέλεσμα είναι να δημιουργηθεί μια νέα εικόνα με τις συντεταγμένες που καθορίστηκαν. Να σημειωθεί ότι Subset μπορεί να γίνει και πατώντας δεξί κλικ στην εικόνα επιλέγοντας Spatial Subset from view (Διάγραμμα 28).



**Διάγραμμα 28. Specify Product Subset. Αριστερά: Δορυφορική εικόνα 5 Μαρτίου 2019. Δεξιά: 25 Μαρτίου 2019.**

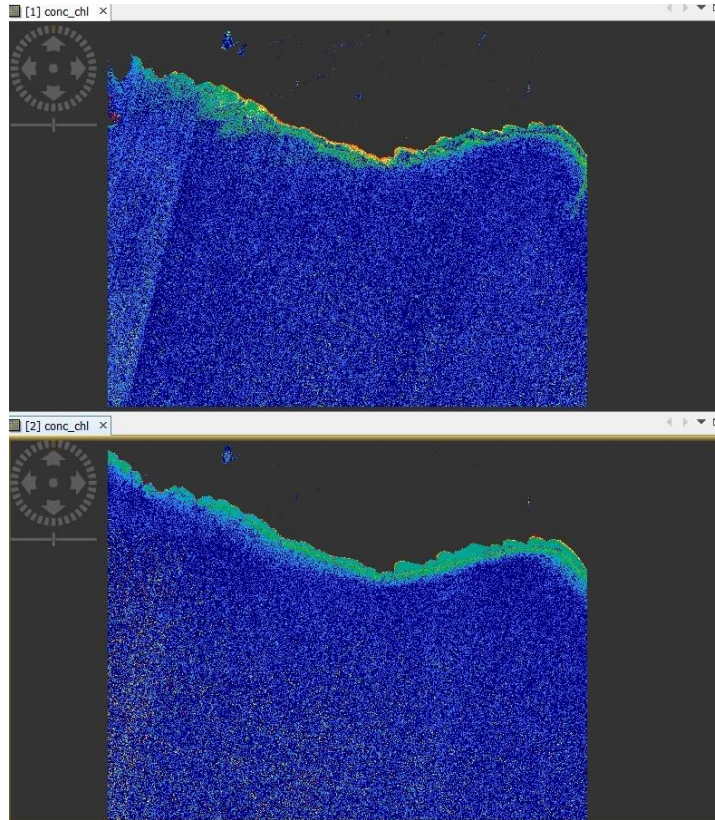
### 5.1.3 Μεθοδολογία ανάκτησης χλωροφύλλης-α στο λογισμικό SNAP.

Το επόμενο βήμα αποτελεί την ανάκτηση της θολερότητας και της χλωροφύλλης-α από τις δύο εικόνες. Στο περιβάλλον του SNAP επιλέγεται “Optical → Thematic Water Processing → C2RCC Processors → S2-MSI”. Στο παράθυρο που εμφανίζεται επιλέγεται η εικόνα που πρέπει να επεξεργαστεί όπως προηγουμένως και στις παραμέτρους μπορούν να εισαχθούν χειροκίνητα διάφορες παράμετροι όπως θερμοκρασία και αλατότητα της περιοχής μελέτης ή μείνουν οι προεπιλεγμένες τιμές. Στην προκειμένη περίπτωση εισήχθησαν χειροκίνητα οι τιμές στα κουτάκια Salinity και Temperature οι οποίες λήφθηκαν από την Υπηρεσία Παρακολούθησης του Θαλάσσιου Περιβάλλοντος (CMEMS) και κρίνονται αξιόπιστες και ακριβείς. Στο κουτάκι Set of neuronal nets επιλέγεται “C2X-Nets” για μεγαλύτερη ακρίβεια των αποτελεσμάτων και αφαιρείται η επιλογή Output uncertainties για αποφυγή χρονοβόρας επεξεργασίας (Διάγραμμα 29).



**Διάγραμμα 29. C2RCC MSI Processor. Αριστερά: Οι τιμές των παραμέτρων για την δορυφορική εικόνα στις 5 Μαρτίου 2019. Δεξιά: Οι τιμές των παραμέτρων για την δορυφορική εικόνα στις 25 Μαρτίου 2019.**

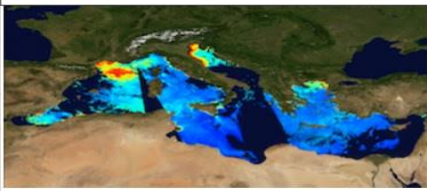
Αποτέλεσμα της ενέργειας αυτής είναι να δημιουργηθεί ένα νέο προϊόν για κάθε εικόνα ξεχωριστά. Στο Διάγραμμα 30, διακρίνεται η συγκέντρωση χλωροφύλλης-α για τις δορυφορικές εικόνες στις 5 Μαρτίου 2019 και 25 Μαρτίου 2019 όπου τα αποτελέσματα θα αναλυθούν εκτενέστερα στο κεφάλαιο 6.



**Διάγραμμα 30.** Επάνω: Χλωροφύλλη για τις 5 Μαρτίου 2019. Κάτω: Χλωροφύλλη για τις 25 Μαρτίου 2019.

#### *5.1.3.1 Μεθοδολογία ανάκτησης δορυφορικών δεδομένων Χλωροφύλλης-α μέσω του Marine Copernicus.*

Προκειμένου να εξακριβωθεί η ακρίβεια των αποτελεσμάτων της δορυφορικής εικόνας Sentinel-2 είναι απαραίτητο να παρθούν τιμές από επιτόπιες μετρήσεις. Οι μετρήσεις από την πλατφόρμα του Marine Copernicus (<http://marine.copernicus.eu>) θεωρούνται πλέον από τις πιο αξιόπιστες μετρήσεις. Για αυτό τον λόγο σαν in situ δεδομένα θεωρούνται οι τιμές που λήφθηκαν από την πλατφόρμα του Marine Copernicus. Μπαίνοντας στην ιστοσελίδα που αναγράφεται λίγο πιο πάνω επιλέγεται “Ocean Products” και γίνονται οι απαραίτητες επιλογές όπως διακρίνονται στο Διάγραμμα 31. Σαν Ocean Product επιλέγεται το “OCEANCOLOUR\_MED\_CHL\_L3\_NRT\_OBSERVATIONS\_009\_040” καθώς λαμβάνει προϊόντα χλωροφύλλης-α από πολλούς αισθητήρες και συγκεκριμένα από τους MODIS-AQUA, NPP-VIIRS και SENTINEL3-OLCI με 1 km χωρική ανάλυση. Επιλέχθηκε η ημερομηνία στην οποία λήφθηκε η δορυφορική εικόνα για να συγκριθεί (Διάγραμμα 32). Η ώρα που αναγράφεται (00:00:00) είναι ενδεικτική λόγω των πολλών αισθητήρων που συμμετέχουν στις μετρήσεις καθώς διαφέρουν σε τροχιά και ώρα λήψης δορυφορικών δεδομένων.

<b>REGIONAL DOMAIN</b> ▶ Mediterranean Sea <b>PARAMETERS</b> ▶ Plankton <b>TEMPORAL COVERAGE</b> From 1992-01-01 To 2019-11-26 <input type="checkbox"/> If checked, the search results will only show products containing the whole selected time range <b>PRODUCT WITH DEPTH LEVEL</b> <input type="checkbox"/>	<b>OCEANCOLOUR_MED_CHL_L3_NRT_OBSERVATIONS_009_040</b> MEDITERRANEAN SEA SURFACE CHLOROPHYLL CONCENTRATION FROM MULTI SATELLITE AND SENTINEL-3 OLCI OBSERVATIONS <table border="1"> <tr> <td>OBSERVATION</td> <td>L3</td> <td>MED</td> </tr> <tr> <td>CHL</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="3">1 km x 1 km (Surface only)</td> </tr> <tr> <td colspan="3">From 2016-04-25 to Present</td> </tr> <tr> <td colspan="3">daily-mean</td> </tr> </table> <div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <span>MORE INFO </span> <span>ADD TO CART </span> <span>WMS Sub-setting</span> </div> 	OBSERVATION	L3	MED	CHL			1 km x 1 km (Surface only)			From 2016-04-25 to Present			daily-mean		
OBSERVATION	L3	MED														
CHL																
1 km x 1 km (Surface only)																
From 2016-04-25 to Present																
daily-mean																


**Διάγραμμα 31.** Απαραίτητες παράμετροι για την ανάκτηση χλωροφύλλης-α στην περιοχή της Μεσόγειου Θάλασσας.

**GEOGRAPHICAL AREA**

45,99i

-6

36,50κ



30

Reset geographical selection

**TIME RANGE**  
(Default = Last date available)

<p>START DATE search :</p> <div style="border: 1px solid #ccc; padding: 2px;">2019-03-05 00:00:00</div> <ul style="list-style-type: none"> <li>2019-03-11 00:00:00</li> <li>2019-03-10 00:00:00</li> <li>2019-03-09 00:00:00</li> <li>2019-03-08 00:00:00</li> <li>2019-03-07 00:00:00</li> <li>2019-03-06 00:00:00</li> <li style="background-color: #ADD8E6;">2019-03-05 00:00:00</li> <li>2019-03-04 00:00:00</li> </ul>	<p>END DATE search :</p> <div style="border: 1px solid #ccc; padding: 2px;">2019-03-05 00:00:00</div> <ul style="list-style-type: none"> <li>2019-03-11 00:00:00</li> <li>2019-03-10 00:00:00</li> <li>2019-03-09 00:00:00</li> <li>2019-03-08 00:00:00</li> <li>2019-03-07 00:00:00</li> <li>2019-03-06 00:00:00</li> <li style="background-color: #ADD8E6;">2019-03-05 00:00:00</li> <li>2019-03-04 00:00:00</li> </ul>
---	---

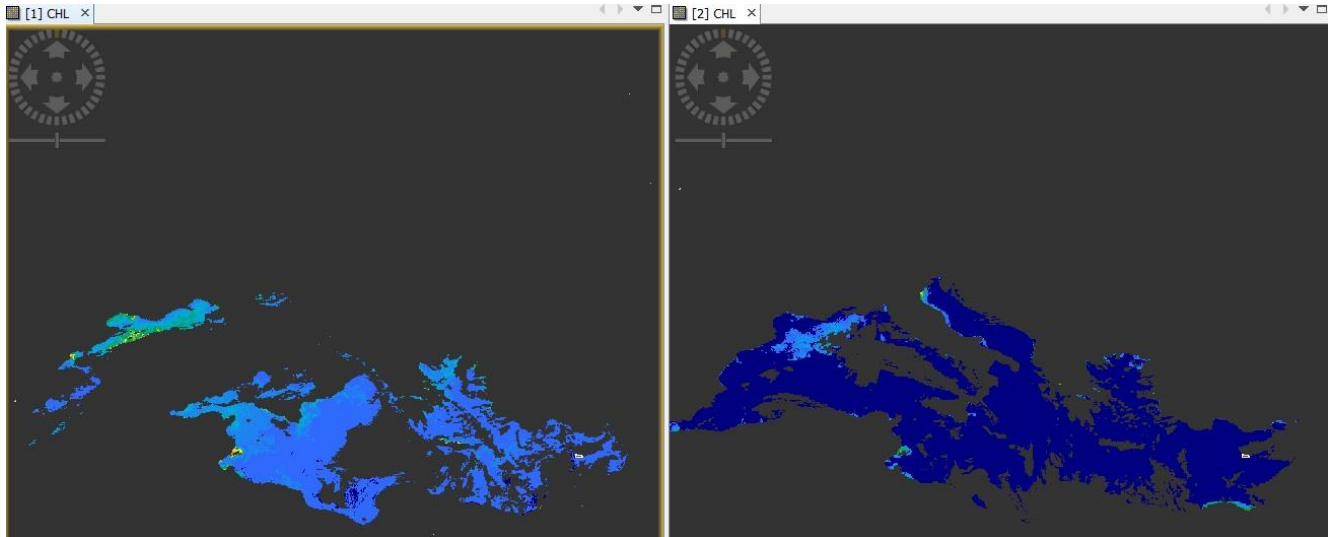
Intersection between product coverage and area defined by user.

Product coverage.

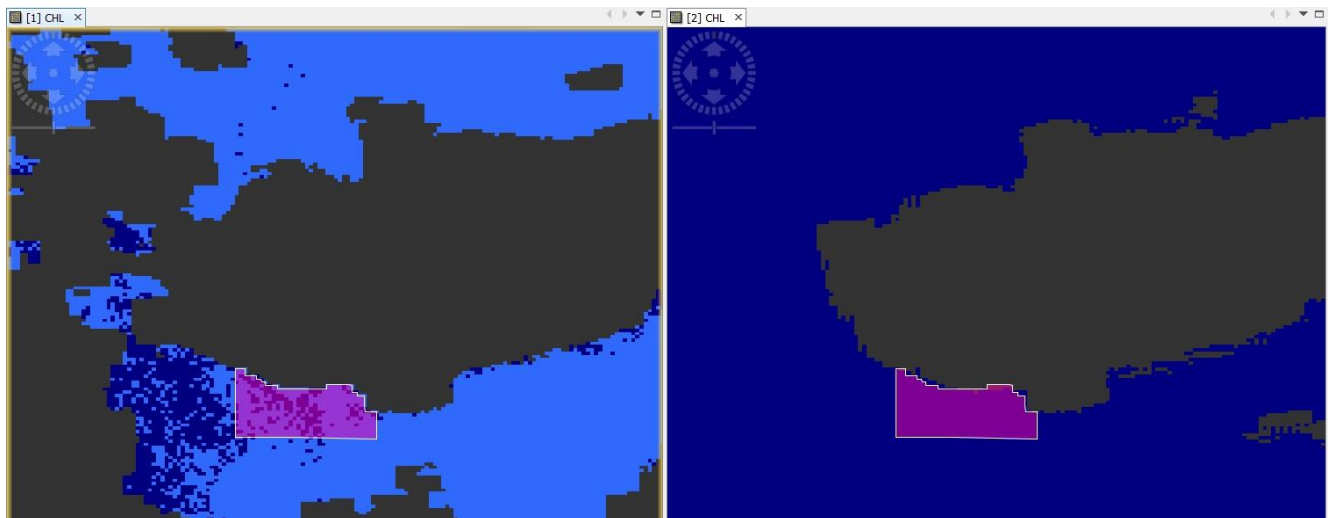
**Διάγραμμα 32.** Επιλογή ημερομηνίας για την λήψη των δεδομένων μας.

### **5.1.3.2 Μεθοδολογία επεξεργασίας δορυφορικών εικόνων Sentinel-2 για σύγκριση δεδομένων χλωροφύλλης-α με εικόνες του Marine Copernicus.**

Αφού έγινε η λήψη των δεδομένων του Marine Copernicus, εισήχθησαν στο SNAP όπου εμφανίζεται όλη η περιοχή της Μεσογείου (Διάγραμμα 33). Λόγω των καιρικών συνθηκών που επικρατούσαν στις 5 Μαρτίου 2019 αλλά και τις προηγούμενες αλλά και επόμενες ημέρες, ύστερα από πολλή έρευνα και μελέτη επελέγη η περιοχή μελέτης, η οποία δεν επηρεάζεται από σύννεφα προκειμένου να υπάρχουν οι καλύτερες δυνατές μετρήσεις (Διάγραμμα 34). Στη συνέχεια έγινε η εξαγωγή των τιμών των εικονοστοιχείων από την περιοχή μελέτης, όπου, υλοποιήθηκε η επικύρωση των αποτελεσμάτων τα οποία αναλύονται στο κεφάλαιο 3.



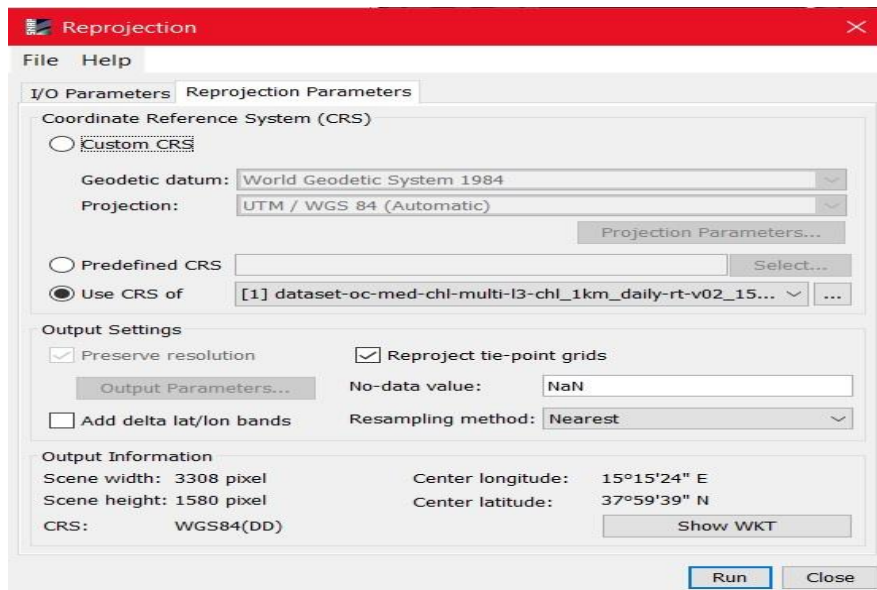
**Διάγραμμα 33. Χλωροφύλλη-a στη Μεσόγειο Θάλασσα από Marine Copernicus. Αριστερά: 5 Μαρτίου 2019. Δεξιά: 25 Μαρτίου 2019.**



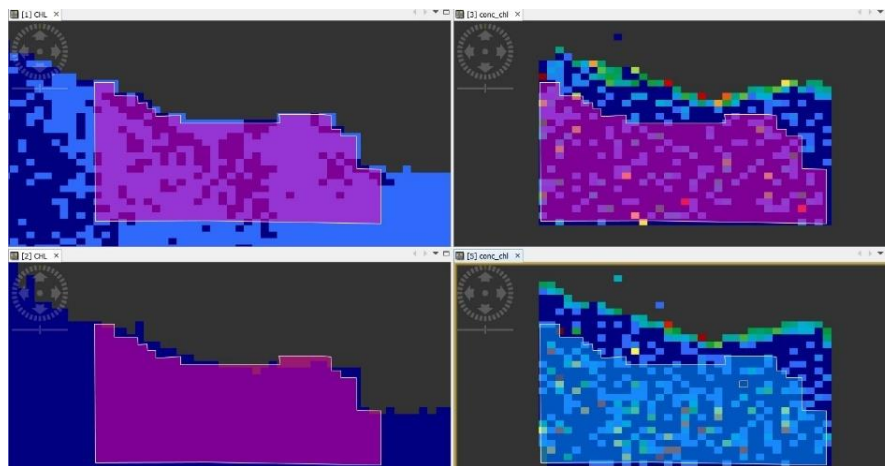
**Διάγραμμα 34. Περιοχή μελέτης για σύγκριση Χλωροφύλλης-a από Marine Copernicus. Αριστερά: 5 Μαρτίου 2019. Δεξιά: 25 Μαρτίου 2019.**

Για να μπορούσαν να συγκριθούν οι δορυφορικές εικόνες του Sentinel-2 και του Marine Copernicus έπρεπε να μετατραπεί η ανάλυση του κάθε εικονοστοιχείου των εικόνων του Sentinel-2 σε 1 km, δηλαδή το κάθε εικονοστοιχείο του Sentinel-2 που είναι 10 μέτρα στην πραγματικότητα να μετατραπεί σε ενός χιλιομέτρου. Η μετατροπή αυτή επετεύχθη με το εργαλείο Resampling που αναφέρθηκε προηγουμένως. Αφού έγινε η μετατροπή των εικονοστοιχείων έπρεπε το προβολικό τους σύστημα να μετατραπεί ώστε να είναι ίδιο με το σύστημα των εικονοστοιχείων των εικόνων του Marine Copernicus. Πατώντας, Raster → Geometric Operations → Reprojection εμφανίζεται το ανάλογο παράθυρο όπου επιλέχθηκε η εικόνα για επεξεργασία και στο Reprojection Parameters για να επιπρόσθετη διευκόλυνση από το

Use CRS of επιλέχθηκε η εικόνα από το Marine Copernicus εφόσον έχει εισαχθεί στο SNAP(Διάγραμμα 35). Με αυτόν τον τρόπο μετατράπηκαν σε συγκρίσιμη μορφή οι εικόνες του Sentinel-2 με τις εικόνες του Marine Copernicus όπως φαίνεται και στο Διάγραμμα 36 ενώ ύστερα αφού εξάχθηκαν οι τιμές των εικονοστοιχείων της περιοχής μελέτης που δημιουργήθηκε έγινε η επικύρωση των αποτελεσμάτων.



**Διάγραμμα 35. Το εργαλείο Reprojection στο λογισμικό SNAP.**

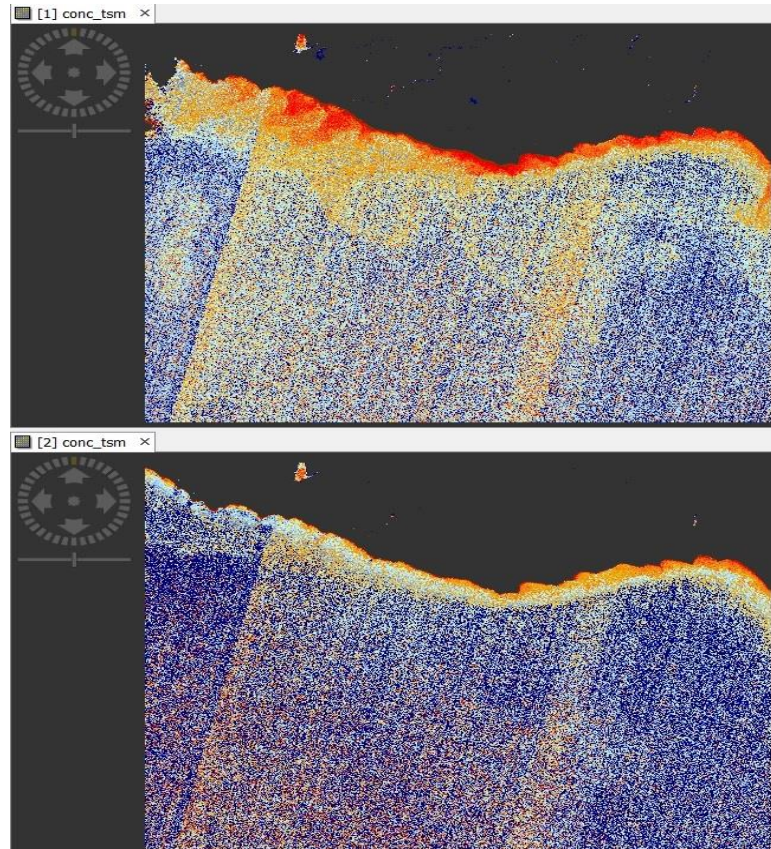


**Διάγραμμα 36. Περιοχή μελέτης χλωροφύλλης-a από εικόνες Marine Copernicus και Sentinel-2 αριστερά και δεξιά αντίστοιχα. Επάνω: 5 Μαρτίου 2019. Κάτω: 25 Μαρτίου 2019.**

#### 5.1.4 Μεθοδολογία ανάκτησης θολερότητας στο λογισμικό SNAP

Η μεθοδολογία της ανάκτησης είναι ίδια με την μεθοδολογία στο υποκεφάλαιο 5.1.3 όπου μετά την επεξεργασία της εικόνας από τον επεξεργαστή C2RCC δημιουργούνται οι εικόνες που παρουσιάζουν την θολερότητα στην περιοχή μελέτης (Διάγραμμα 37).





**Διάγραμμα 37. Επάνω: Θολερότητα για τις 5 Μαρτίου 2019. Κάτω: Θολερότητα για τις 25 Μαρτίου 2019.**

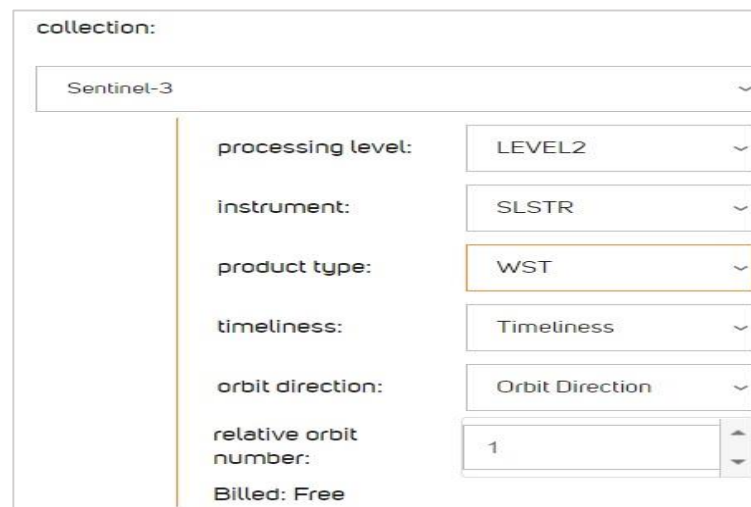
Να σημειωθεί, ότι δεν υπάρχει μεθοδολογία ανάκτησης δορυφορικών δεδομένων θολερότητας μέσω του Marine Copernicus. Το γεγονός αυτό προκύπτει από την έλλειψη δεδομένων θολερότητας τύπου SPM (Suspended Matter) στο Marine Copernicus για τη Μεσόγειο Θάλασσα όπως σημειώνεται στο υποκεφάλαιο 4.5.3.2. Αποτέλεσμα αυτού είναι η αδυναμία επικύρωσης των αποτελεσμάτων των εικόνων Sentinel-2 με τις εικόνες του Marine Copernicus.

#### **5.1.5 Μεθοδολογία ανάκτησης δορυφορικών δεδομένων Sentinel-3 Επιφανειακής Θαλάσσιας Θερμοκρασίας.**

Για την μεθοδολογία της ανάκτησης της επιφανειακής θαλάσσιας θερμοκρασίας επιλέχθηκε διαφορετικό μονοπάτι όσον αφορά το κομμάτι της λήψης των δορυφορικών δεδομένων. Τα προϊόντα της επιφανειακής θαλάσσιας θερμοκρασίας αποκτήθηκαν από τον δορυφόρο Sentinel-3 από την πλατφόρμα CREODIAS. Η πλατφόρμα CREODIAS είναι μια υποδομή cloud προσαρμοσμένη στην επεξεργασία μεγάλων ποσοτήτων δεδομένων ΕΟ (Earth Observation). Το αποθετήριο δεδομένων ΕΟ

περιέχει δορυφορικά δεδομένα Sentinel 1, 2, 3 και 5-P, Landsat-5, 7, 8, Envisat και πολλά δεδομένα του Copernicus Services. Η υποδομή και οι υπηρεσίες που προσφέρονται είναι βελτιστοποιημένες για τη χρήση δεδομένων γεωσκόπησης και υποστηρίζουν επιστημονικές, επιχειρησιακές και εμπορικές εφαρμογές.

Η επιλογή της πλατφόρμας CREODIAS κρίνεται απαραίτητη καθώς η υπηρεσία Copernicus Open Access Hub (<https://scihub.copernicus.eu>) δεν παρέχει τον συγκεκριμένο τύπο δεδομένων ο οποίος αναζητήθηκε. Για την ανάκτηση SST δεδομένων από τον δορυφόρο Sentinel-3 πρέπει η επεξεργασία να είναι επιπέδου 2 (Level 2) από τον αισθητήρα SLSTR (βλ.4.2.1) και ο τύπος του προϊόντος να είναι WST (Water Surface Temperature). Μπαίνοντας στην ιστοσελίδα της πλατφόρμας CREODIAS (<https://creodias.eu>), στην επιλογή “Data Discovery” και εφόσον δημιουργήθηκε προσωπικός λογαριασμός ορίστηκε η περιοχή μελέτης με την ημερομηνία που έπρεπε και εισάχθηκαν οι παράμετροι που αναφέρθηκαν πιο πάνω (Διάγραμμα 38).



The screenshot shows a search form titled "collection:". The form includes the following fields and values:

collection:	Sentinel-3
processing level:	LEVEL2
instrument:	SLSTR
product type:	WST
timeliness:	Timeliness
orbit direction:	Orbit Direction
relative orbit number:	1
Billed:	Free

**Διάγραμμα 38.** Εισαγωγή κατάλληλων παραμέτρων για αναζήτηση SST προϊόντων μέσω της πλατφόρμας CREODIAS.

#### ***5.1.5.1 Μεθοδολογία ανάκτησης δορυφορικών δεδομένων Επιφανειακής Θαλάσσιας Θερμοκρασίας μέσω του Marine Copernicus.***

Τα δεδομένα από το Marine Copernicus αποκτήθηκαν με την ίδια μεθοδολογία (βλ. 5.1.3.1) μόνο που οι παράμετροι προφανώς άλλαξαν (Διάγραμμα 39) για να γίνει η σύγκριση με το μοντέλο ανάλυσης και πρόβλεψης του Marine Copernicus με τις εικόνες Sentinel-3. Στο Διάγραμμα 40, φαίνεται η δυνατότητα ανάκτησης μετρήσεων ανά μια ώρα το οποίο θεωρείται αξιόπιστο. Στην επιλογή Data Selected επιλέχθηκε το “MED-CMCC-TEM-AN-FC-HTS”. Στην προκειμένη περίπτωση ανακτήθηκαν

δεδομένα για τις 19:30:00 η ώρα (6 Μαρτίου 2019) και 08:30:00 η ώρα (25 Μαρτίου 2019) των οποίων οι ώρες είναι πολύ κοντά στις ώρες των παρατηρήσεων των εικόνων Sentinel-3 (Πίνακας 2).

**Πίνακας 2. Ημερομηνία και ώρα παρατήρησης των εικόνων για SST του δορυφόρου Sentinel-3 και της υπηρεσίας Marine Copernicus.**

Ημερομηνία παρατήρησης	Ωρα Sentinel-3	Ωρα Marine Copernicus
6 Μαρτίου 2019	19:54:54	19:30:00
25 Μαρτίου 2019	08:03:05	08:30:00

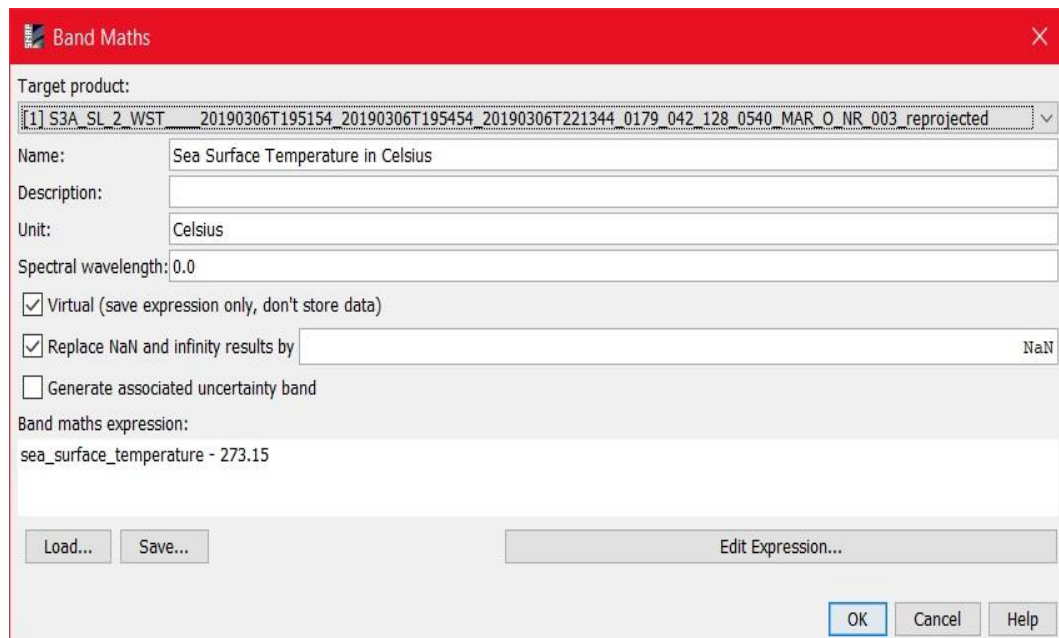
**Διάγραμμα 39. Απαραίτητες παράμετροι για την ανάκτηση Επιφανειακής Θαλάσσιας Θερμοκρασίας στην περιοχή της Μεσόγειου Θάλασσας.**

**Διάγραμμα 40. Επιλογή ημερομηνίας και ώρας για την λήψη των SST δεδομένων μας.**

Εισάγοντας τις παραμέτρους πιο πάνω “κατέβηκαν” δύο προϊόντα SST για τις 6 Μαρτίου 2019 και 25 Μαρτίου 2019. Το προϊόν της 6<sup>ης</sup> Μαρτίου αφορά την απογευματινή ώρα στις 19:51:54 διότι δεν υπήρχε κάλυψη για την προηγούμενη ημέρα και λόγω καιρικών συνθηκών δεν υπήρχαν μετρήσεις για τις πρωινές ώρες. Οι ενέργειες που έγιναν σε αντίθεση με την ανάκτηση της χλωροφύλλης-a και της θολερότητας λιγότεψαν καθώς τα προϊόντα SST που λήφθηκαν έχουν έτοιμες τις μετρήσεις SST.

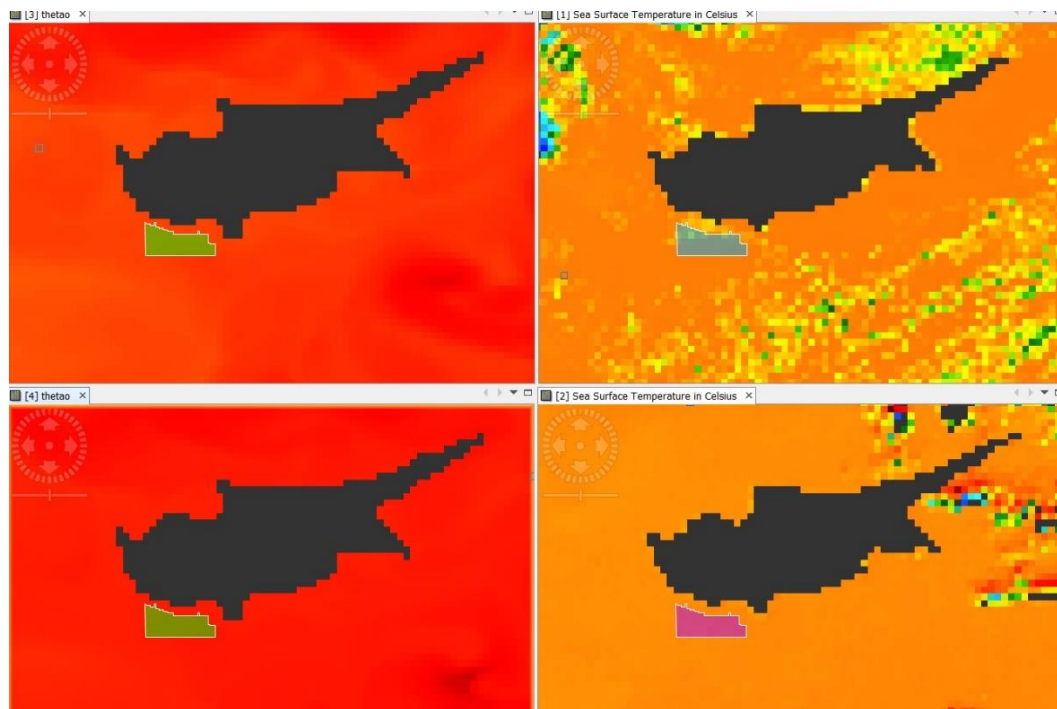
#### 5.1.5.2 Μεθοδολογία επεξεργασίας δορυφορικών εικόνων Sentinel-3 για σύγκριση δεδομένων SST με εικόνες του Marine Copernicus

Ανοίγοντας το λογισμικό SNAP γίνεται drag & drop ή αλλιώς επιλέγεται “File → Import → Optical Sensors → Sentinel-3 → Sentinel-3”. Στον φάκελο “bands” της κάθε εικόνας ανοίγουμε το αρχείο “Sea Surface Temperature”. Οι τιμές του συγκεκριμένου αρχείου είναι σε βαθμούς Κέλβιν, οπότε δημιουργείται ένα νέο αρχείο όπου οι τιμές είναι σε βαθμούς Κελσίου. Κάνοντας δεξί κλικ στο αρχείο “Sea Surface Temperature” επιλέγεται “Band Maths” και στο κουτί Band maths expression γράφουμε “Sea\_Surface\_Temperature - 273,15” όπου 273,15 Kelvin = 0 °C (Διάγραμμα 41), δημιουργώντας έτσι τις δύο εικόνες Sentinel-3. Είναι σημαντικό να αναφερθεί πως το πρόγραμμα επεξεργασίας και ανάλυσης δορυφορικών εικόνων SNAP δεν ανοίγει προϊόντα Sentinel-3 συμπιεσμένης μορφής (zip) οπότε κρίνεται απαραίτητη η αποσυμπίεση των συγκεκριμένων αρχείων.



**Διάγραμμα 41. Μετατροπή βαθμών Κέλβιν σε βαθμούς Κελσίου μέσω SNAP.**

Στη συνέχεια, η μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε είναι η ίδια. Κάνοντας Subset και reprojection τις δορυφορικές εικόνες του Sentinel-3 μετατράπηκαν σε συγκρίσιμη μορφή με τις εικόνες του Marine Copernicus (Διάγραμμα 42).



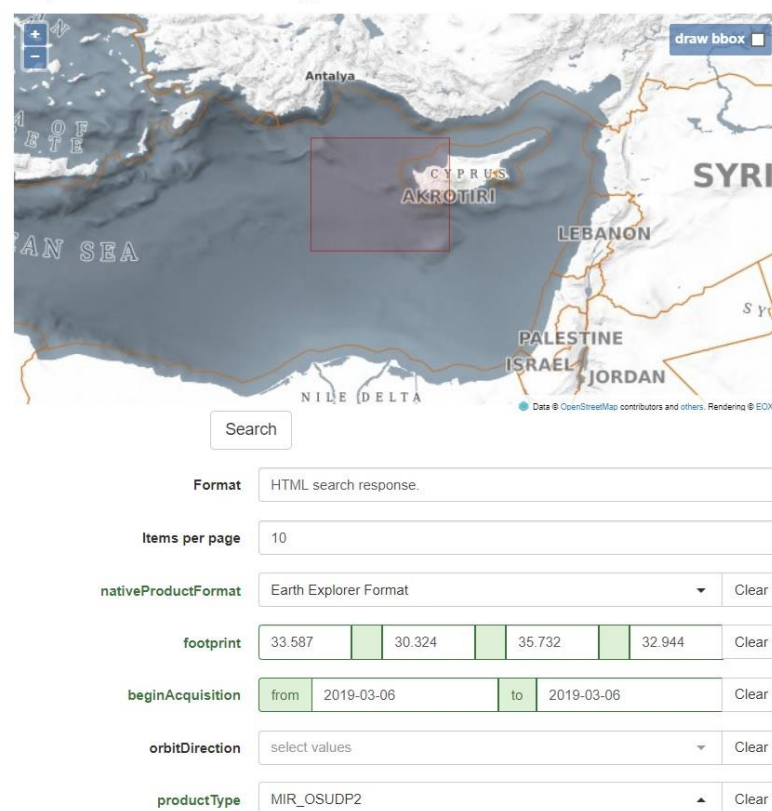
**Διάγραμμα 42.** Περιοχή μελέτης Επιφανειακής Θαλάσσιας Θερμοκρασίας από εικόνες Marine Copernicus και Sentinel-3 αριστερά και δεξιά αντίστοιχα. Επάνω: 5 Μαρτίου 2019. Κάτω: 25 Μαρτίου 2019.

#### 5.1.6 Μεθοδολογία ανάκτησης δορυφορικών δεδομένων SMOS Επιφανειακής Θαλάσσιας Αλατότητας.

Η μεθοδολογία της ανάκτησης δορυφορικών δεδομένων Επιφανειακής Θαλάσσιας Αλατότητας πηγάζει από την ηλεκτρονική υπηρεσία διάδοσης δεδομένων του δορυφόρου SMOS (ESA SMOS Online Dissemination Service). Αυτή η υπηρεσία παρέχει πρόσβαση στα ελεύθερα και ανοικτά επιστημονικά προϊόντα δεδομένων SMOS επιπέδου 1 και 2 (Level 1 and Level 2) συμπεριλαμβανομένων εκείνων που παράγονται σε κοντινή πραγματική ώρα (Near Real Time) και σε ορισμένα προϊόντα υψηλότερου επιπέδου). Όπως και με τις προηγούμενες μεθοδολογίες ανάκτησης των δεδομένων μας προκειμένου να “κατεβούν” τα αρχεία μας πρέπει ο χρήστης να δημιουργήσει προσωπικό λογαριασμό στην εν λόγω υπηρεσία. Μπαίνοντας στην υπηρεσία (<https://smos-diss.eo.esa.int/oads/access/>) στο “Collections → SMOS L1 and L2 Science data → Catalogue search”. Στο περιβάλλον που μεταφέρεται ο χρήστης επιλέγει την περιοχή μελέτης μέσω του παγκόσμιου χάρτη όπου εμφανίζει την ημερομηνία που θέλει

(στην προκειμένη περίπτωση 6 και 25 Μαρτίου 2019) και όσον αφορά τον τύπο του προϊόντος (product type) επιλέχθηκε “MIR\_OSUDP2” ο οποίος τύπος δίνει προϊόντα SSS (Διάγραμμα 43).

Fill in your selection criteria search the matching products.



Search

Format HTML search response.

Items per page 10

nativeProductFormat Earth Explorer Format Clear

footprint 33.587 30.324 35.732 32.944 Clear

beginAcquisition from 2019-03-06 to 2019-03-06 Clear

orbitDirection select values Clear

productType MIR\_OSUDP2 Clear

**Διάγραμμα 43. Απαραίτητες παράμετροι για την ανάκτηση Επιφανειακής Θαλάσσιας Αλατότητας στην περιοχή μελέτης μας.**

#### **5.1.6.1 Μεθοδολογία ανάκτησης δορυφορικών δεδομένων Επιφανειακής Θαλάσσιας Αλατότητας μέσω του Marine Copernicus**

Η μεθοδολογία ανάκτησης δορυφορικών δεδομένων Επιφανειακής Θαλάσσιας Αλατότητας μέσω του Marine Copernicus είναι όμοια με τις προηγούμενες μεθοδολογίες (βλ. 5.1.3.1 και 5.1.5.1) μόνο που προφανώς πρέπει να εισαχθούν οι κατάλληλες παράμετροι (Διάγραμμα 44). Στην επιλογή Data Selected επιλέχθηκε “MED-CMCC-SAL-AN-FC-HTS”. Στην περίπτωση αυτή ανακτήθηκαν δεδομένα για τις 03:30:00 η ώρα (6 Μαρτίου 2019) και 02:30:00 η ώρα (25 Μαρτίου 2019) των οποίων οι ώρες είναι πολύ κοντά στις ώρες των μετρήσεων του SMOS (Πίνακας 3).

**Πίνακας 3. Ημερομηνία και ώρα παρατήρησης των εικόνων για SSS του δορυφόρου SMOS και της υπηρεσίας Marine Copernicus.**

Ημερομηνία παρατήρησης	Ωρα SMOS	Ωρα Marine Copernicus
6 Μαρτίου 2019	03:09:14	03:30:00
25 Μαρτίου 2019	02:29:29	02:30:30

The screenshot displays the search interface for MEDSEA\_ANALYSIS\_FORECAST\_PHY\_006\_013. On the left, there are filters for REGIONAL DOMAIN (Mediterranean Sea), PARAMETERS (Salinity), and TEMPORAL COVERAGE (From 1992-01-01 to 2019-11-28). The main panel shows the product title, model details (T bottom T S SSH 3DUV MLD), and a map of the Mediterranean Sea showing Potential Temperature [°C] for 31/12/2016 00:00 UTC. The map includes a color scale from 12 to 22 degrees Celsius and a coordinate grid.

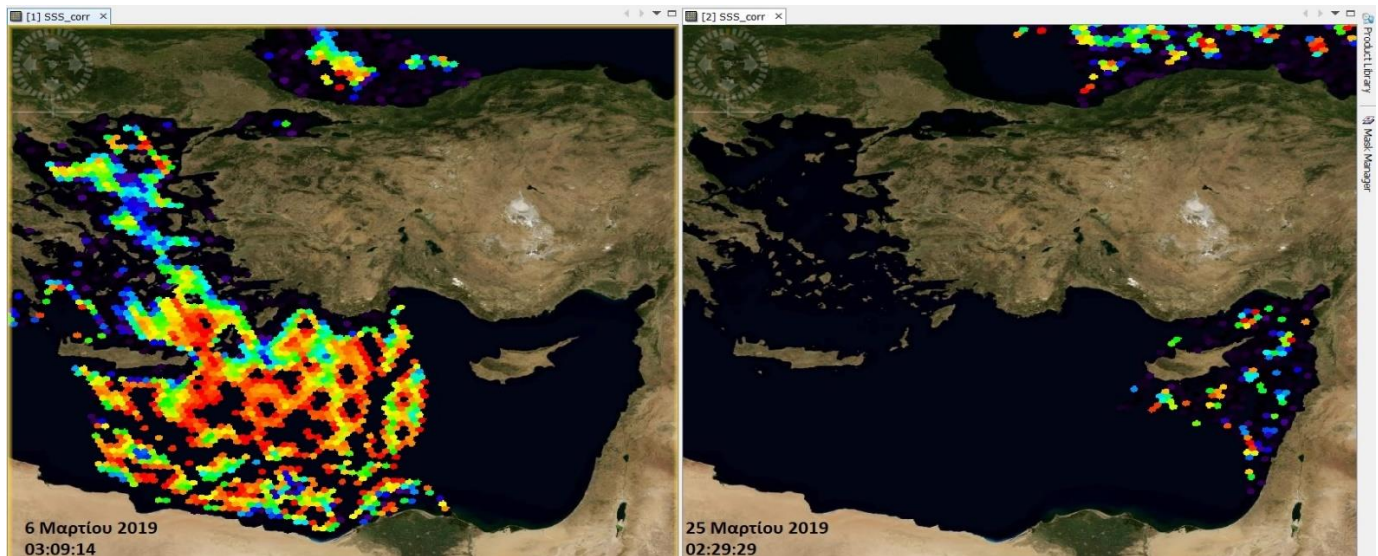
**Διάγραμμα 44. Απαραίτητες παράμετροι για την ανάκτηση Επιφανειακής Θαλάσσιας Αλατότητας στην περιοχή της Μεσόγειου Θάλασσας**

**5.1.6.2 Μεθοδολογία επεξεργασίας δορυφορικών εικόνων SMOS για σύγκριση με εικόνες του Marine Copernicus.**

Ανοίγοντας το λογισμικό SNAP γίνεται drag & drop ή αλλιώς “File → Import → Generic Formats → NetCDF (Generic)”. Στον φάκελο “bands” της κάθε εικόνας ανοίγεται το αρχείο “SSS\_corr” εμφανίζοντας τις εικόνες που λήφθηκαν (Διάγραμμα 45).

Παρατηρείται όμως, ότι δεν υπήρξαν μετρήσεις κοντά σε ακτές και γενικότερα έλλειψη δεδομένων για μεγάλες επιφάνειες, ενώ αυτό συμβαίνει και για άλλες εικόνες με διαφορετικές ημερομηνίες ύστερα από εκτεταμένη έρευνα. Αυτό συμβαίνει, διότι μόλις άρχισε η ανάλυση δεδομένων SMOS κατέστη σαφές, ότι η παρεμβολή ραδιοσυχοτήτων (Radio Frequency Interference-RFI) είχε αρνητική επίδραση στη συλλογή δεδομένων SMOS. Αυτές οι πηγές RFI που υπάρχουν σε μεγάλα τμήματα της Ευρώπης, της Κίνας, της Νότιας Ασίας και της Μέσης Ανατολής επηρεάζουν σημαντικά την ποιότητα των

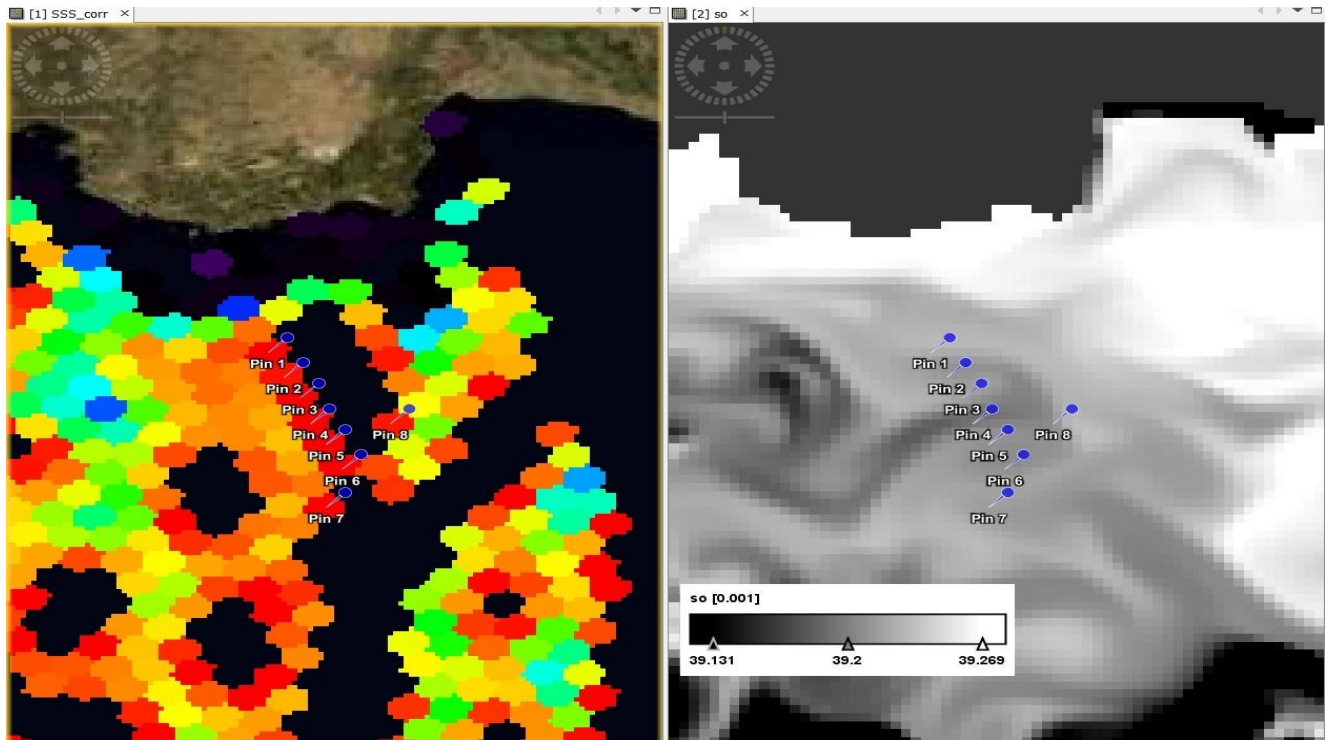
δεδομένων SMOS. Οι Oliva et al. (2012), επισημάνουν πως, η ανίχνευση και ο εντοπισμός των “μολυσμένων” παρατηρήσεων και η επικοινωνία με τις κρατικές αρχές για την εξάλειψη των επίγειων πηγών που εκπέμπουν στην προστατευόμενη ζώνη (1400-1427 MHz), παρουσιάζουν συνεχιζόμενες προκλήσεις.



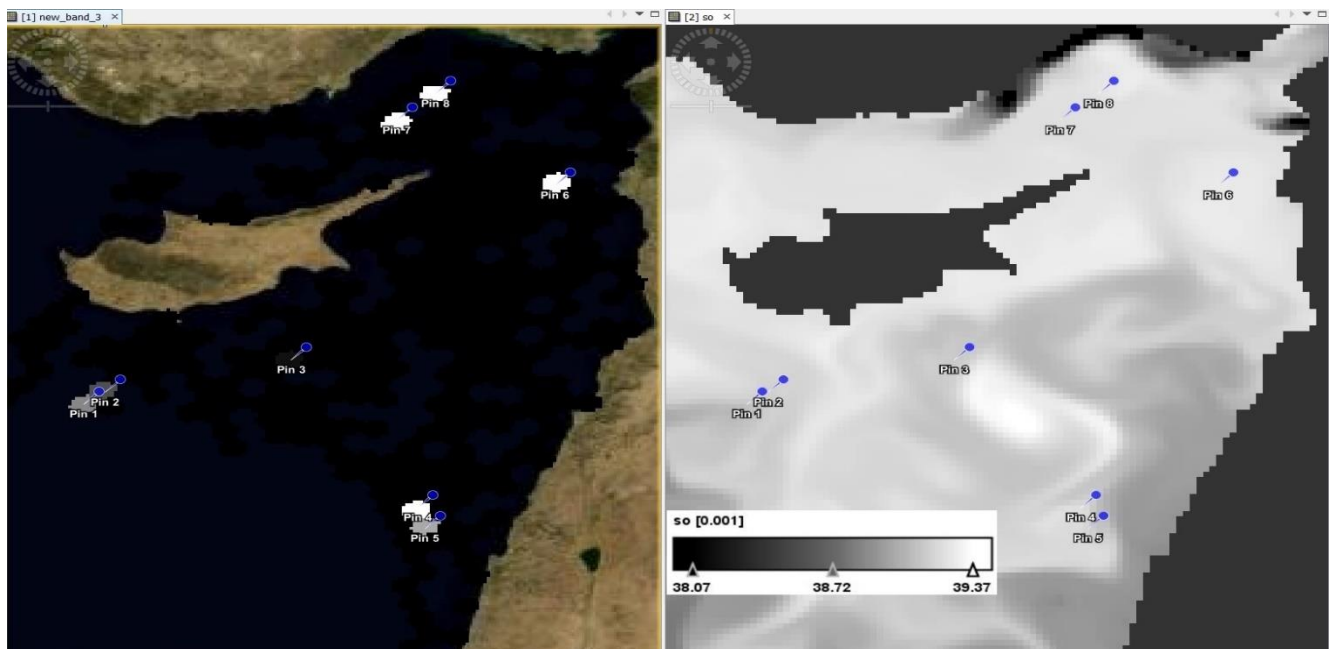
**Διάγραμμα 45. Δορυφορικές εικόνες SMOS Επιφανειακής Θαλάσσιας Αλατότητας. Αριστερά: 6 Μαρτίου 2019. Δεξιά: 25 Μαρτίου 2019.**

Για αυτό τον λόγο και μόνο μέσα από τις δύο εικόνες επιλέχθηκαν τιμές εικονοστοιχείων, οι οποίες είναι πιο κοντά στην πραγματικότητα προκειμένου να γίνει μια σύγκριση με τα δεδομένα που αποκτήθηκαν από το Marine Copernicus. Βλέποντας τις τιμές των εικονοστοιχείων στην κάθε εικόνα τοποθετήθηκαν οκτώ σημεία (pins) ίδιων συντεταγμένων, έτσι ώστε να γίνει η επικύρωση των αποτελεσμάτων για τις 6 Μαρτίου 2019 (Διάγραμμα 46) και τις 25 Μαρτίου 2019 (Διάγραμμα 47) αφού εξάχθηκαν πρώτα οι τιμές των εικονοστοιχείων.





Διάγραμμα 46. Τα σημεία (pins) που χρησιμοποιήθηκαν για την επικύρωση των αποτελεσμάτων για τις 6 Μαρτίου 2019. Αριστερά: Εικόνα SMOS. Δεξιά: Εικόνα Marine Copernicus.



Διάγραμμα 47. Τα σημεία (pins) που χρησιμοποιήθηκαν για την επικύρωση των αποτελεσμάτων για τις 25 Μαρτίου 2019. Αριστερά: Εικόνα SMOS. Δεξιά: Εικόνα Marine Copernicus.

## 6 Αποτελέσματα

Τα αποτελέσματα, ποικίλλουν αναλόγως τις μεθοδολογίες που ακολουθήθηκαν που αναφέρθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο. Σύμφωνα με τις επεξεργασίες που έγιναν παρατίθενται χάρτες των αποτελεσμάτων οι οποίοι δημιουργήθηκαν, μέσω του ArcMap. Το ArcMap αποτελεί το κύριο συστατικό της σειράς προγραμμάτων επεξεργασίας Geospatial ArcGIS της ESRI (Environmental Systems Research Institute) και χρησιμοποιείται κυρίως για την προβολή, επεξεργασία, δημιουργία και ανάλυση γεωχωρικών δεδομένων. Το ArcMap επιτρέπει στο χρήστη να διερευνά δεδομένα εντός ενός συνόλου δεδομένων, να συμβολίζει ανάλογα τις λειτουργίες και να δημιουργεί χάρτες.

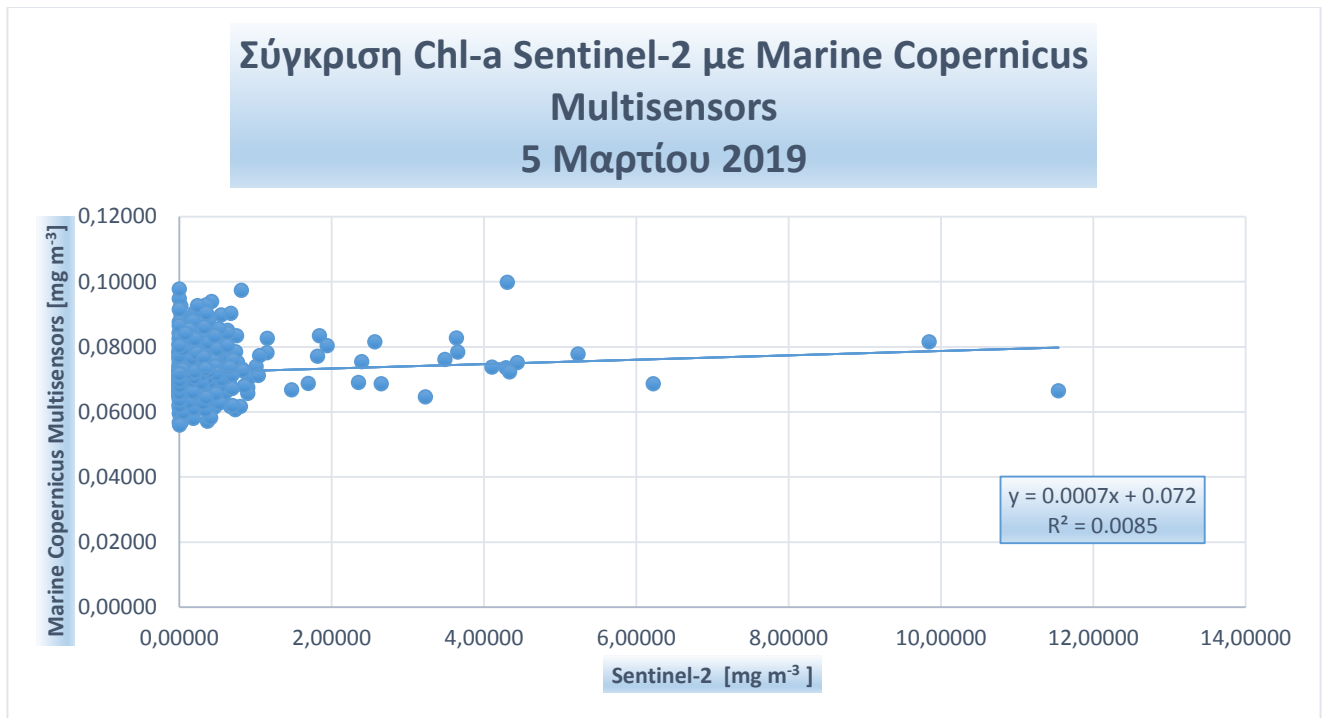
### 6.1 Αποτελέσματα χλωροφύλλης-a

Οι ποσότητες χλωροφύλλης-a που βρέθηκαν στις 5 Μαρτίου 2019 (Διάγραμμα 50) και στις 25 Μαρτίου 2019 (Διάγραμμα 51) σύμφωνα με την επεξεργασία που πραγματοποιήθηκε, παραθέτονται τα αποτελέσματα τους στους παρακάτω χάρτες τα οποία θα αναλυθούν και θα σχολιαστούν στο επόμενο κεφάλαιο.

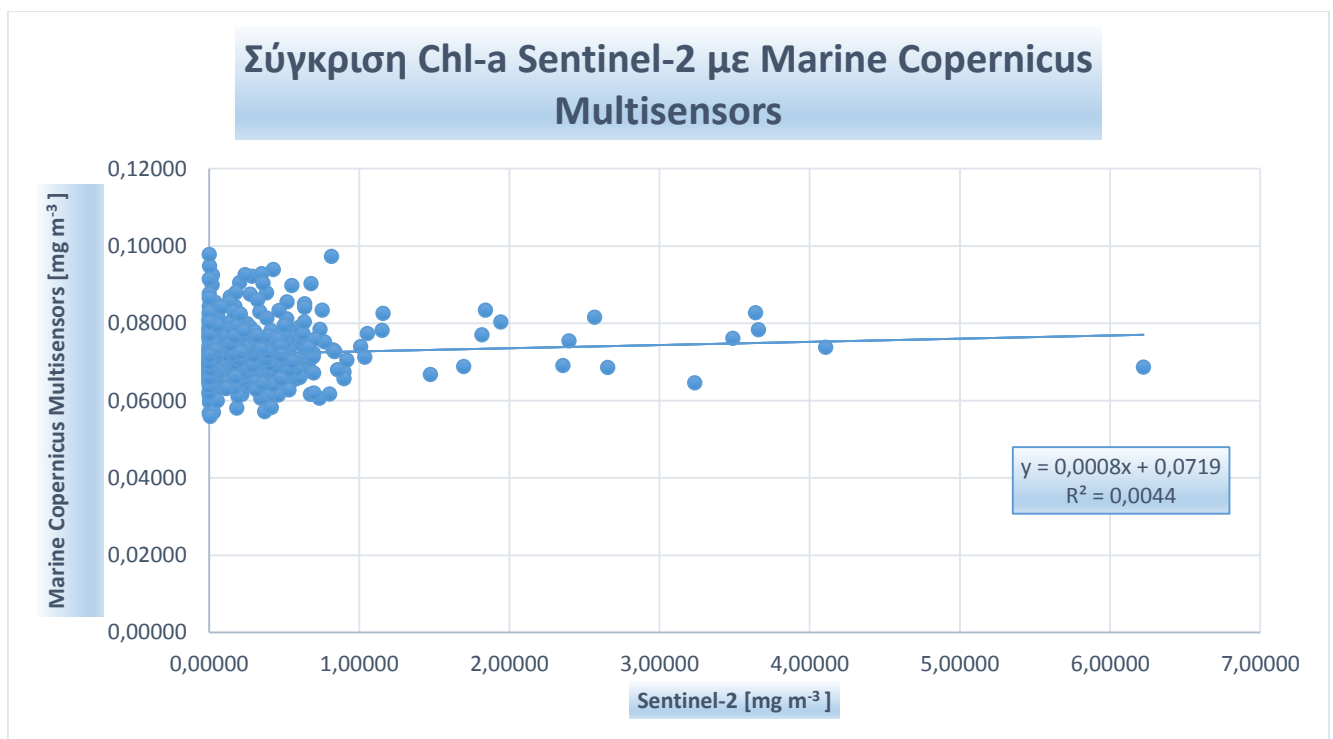
Στο υποκεφάλαιο 5.1.3.2, σχολιάστηκε η δημιουργία ενός πολυγώνου το οποίο ορίστηκε ως περιοχή μελέτης και επικύρωσης των αποτελεσμάτων μας. Από το πολύγωνο αυτό εξήχθησαν οι τιμές των εικονοστοιχείων έτσι ώστε να αποδοθεί της χλωροφύλλης-a στην συγκεκριμένη περιοχή. Αφού τοποθετήθηκαν οι τιμές των εικονοστοιχείων των εικόνων Sentinel-2 και Marine Copernicus σε υπολογιστικά φύλλα (excel), υπολογίστηκε το μέσο τετραγωνικό σφάλμα (RMSE). Η φόρμουλα του μέσου τετραγωνικού σφάλματος αποδίδεται ως εξής:

$$SQRT(SUMSQ(Difference)/COUNTA(Difference))$$

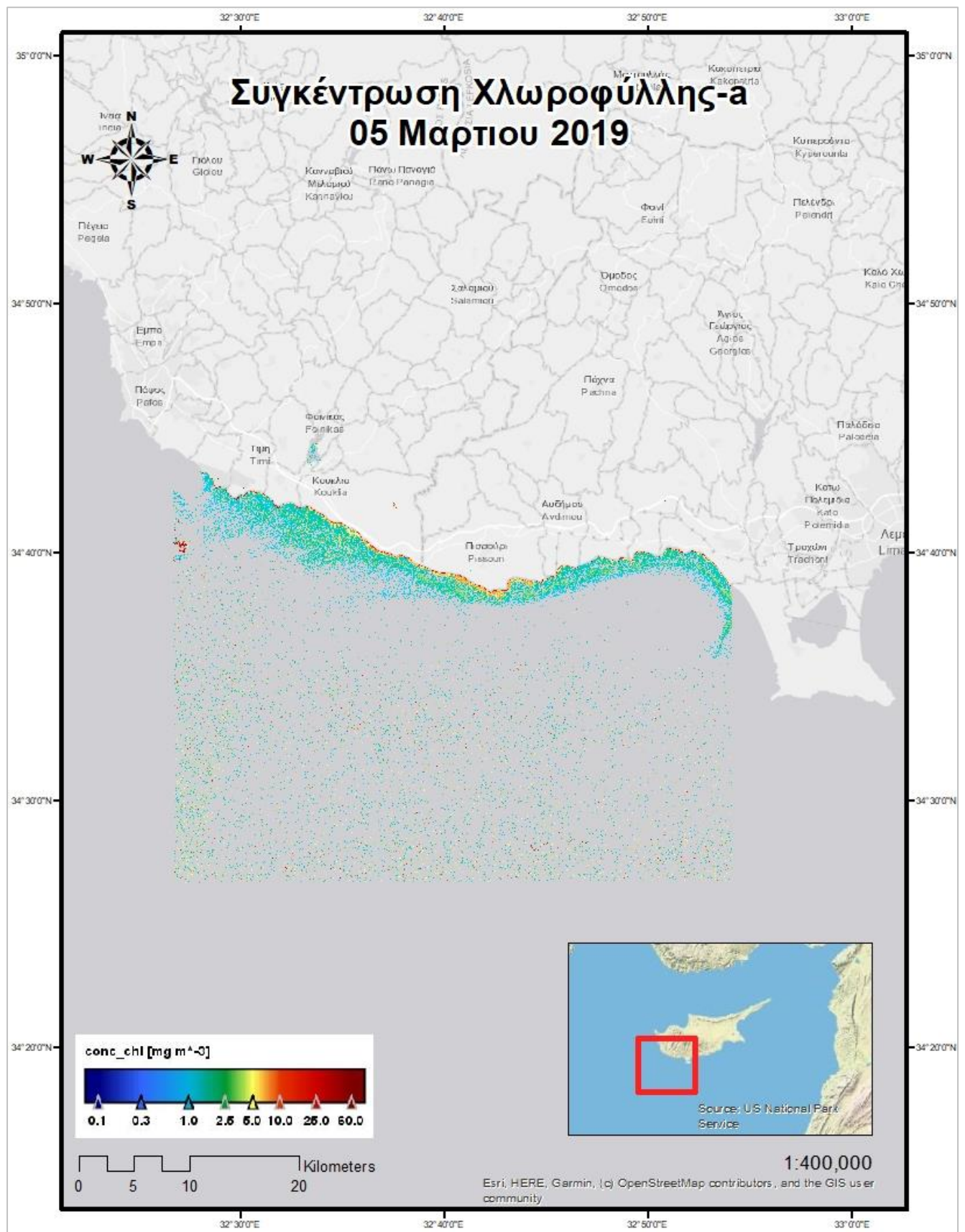
Όπου Difference ορίζεται η διαφορά των τιμών των εικονοστοιχείων του Sentinel-2 μείον του των εικονοστοιχείων του Marine Copernicus. Για τις 5 Μαρτίου 2019 το μέσο τετραγωνικό σφάλμα που βρέθηκε είναι RMSE: 0.97878 mg m<sup>-3</sup> και η συνολική διακύμανση R<sup>2</sup> = 0.0085 (Διάγραμμα 48). Στις 25 Μαρτίου 2019 το μέσο τετραγωνικό σφάλμα μεταξύ των τιμών μας διαφοροποιήθηκε αρκετά καθώς υπολογίστηκε σε RMSE: 0.584039 mg m<sup>-3</sup> και R<sup>2</sup> = 0.0044 (Διάγραμμα 49).



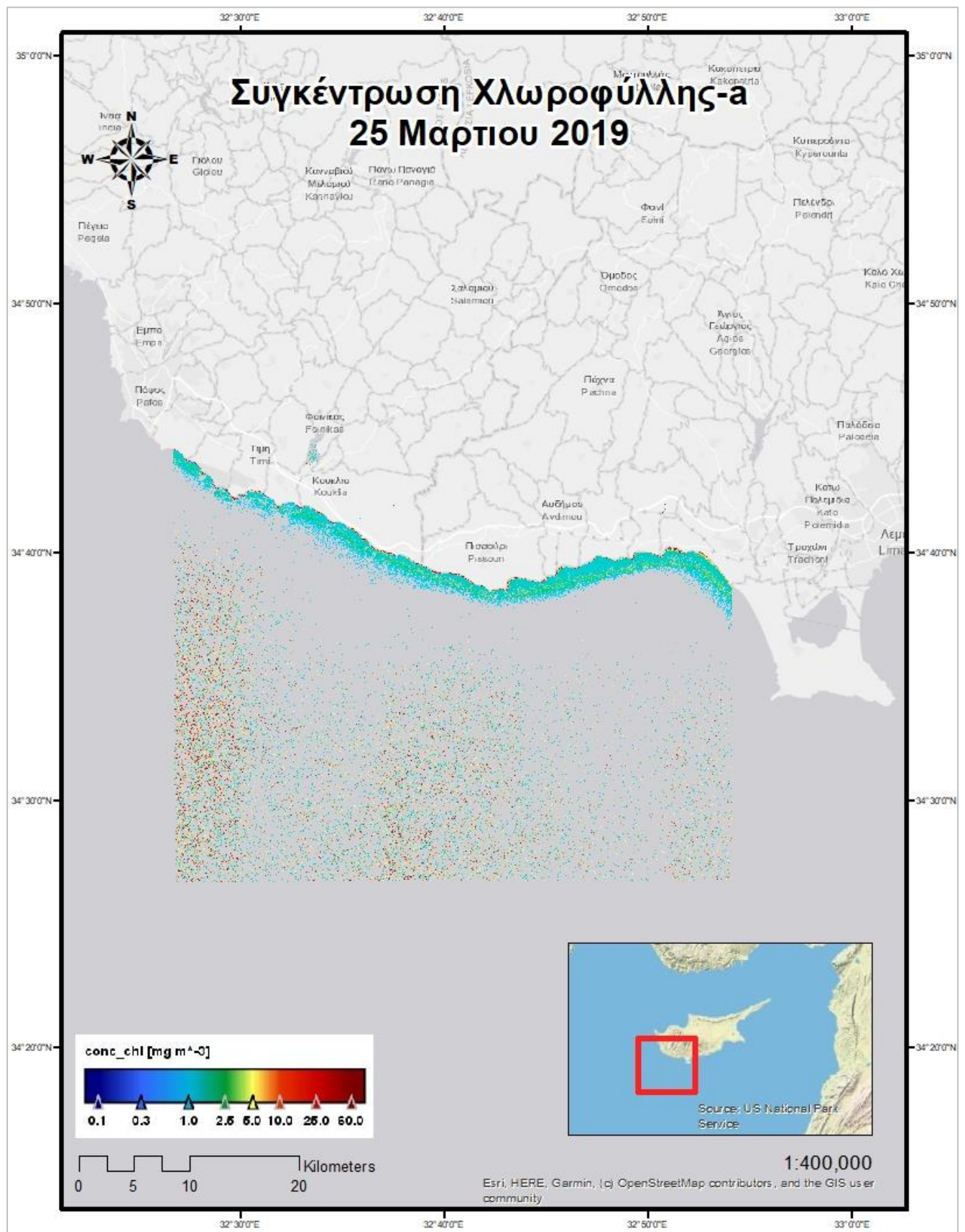
**Διάγραμμα 48.** Chl-a validation μεταξύ Sentinel-2 και Marine Copernicus για τις 5 Μαρτίου 2019.



**Διάγραμμα 49.** Chl-a validation μεταξύ Sentinel-2 και Marine Copernicus για τις 25 Μαρτίου 2019.



Διάγραμμα 50. Χάρτης συγκέντρωσης χλωροφύλλης-α στις 5 Μαρτίου 2019.

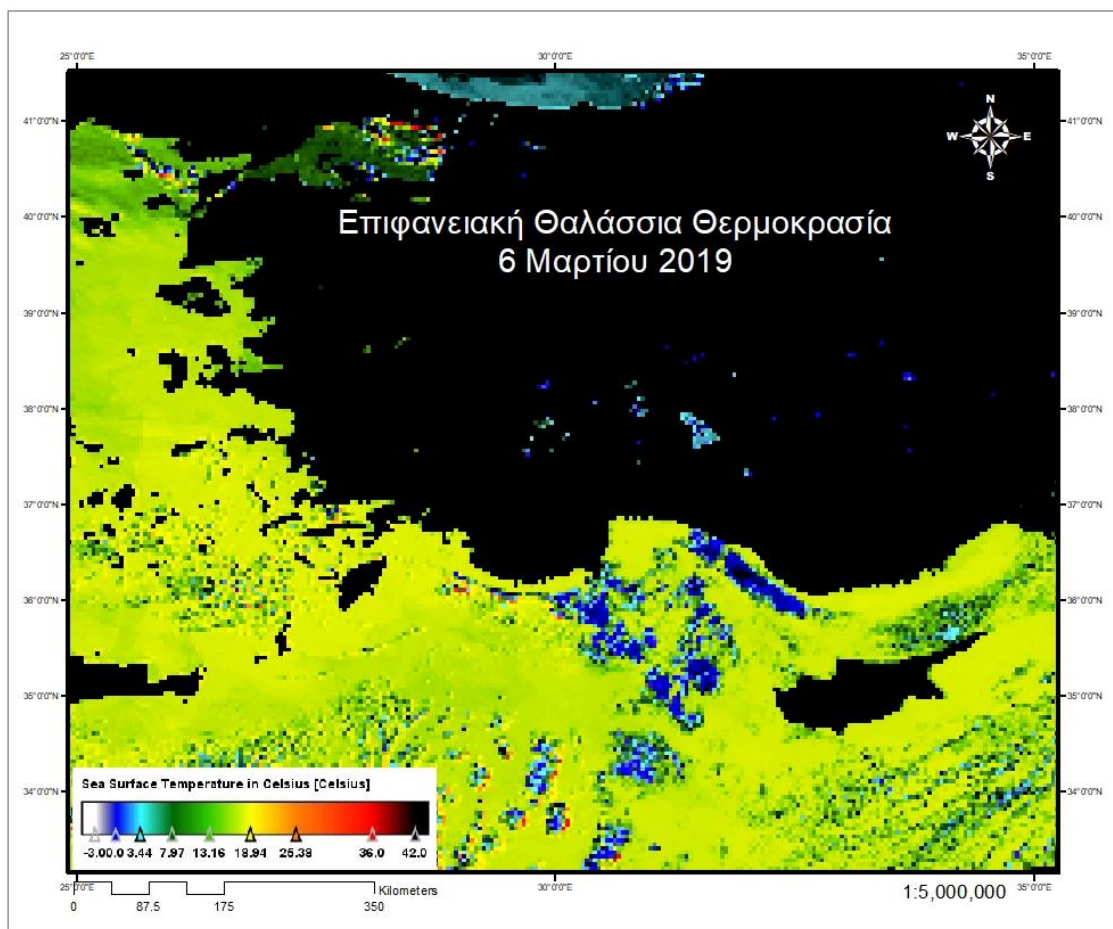


Διάγραμμα 51. Χάρτης συγκέντρωσης χλωροφύλλης-α για τις 25 Μαρτίου 2019.

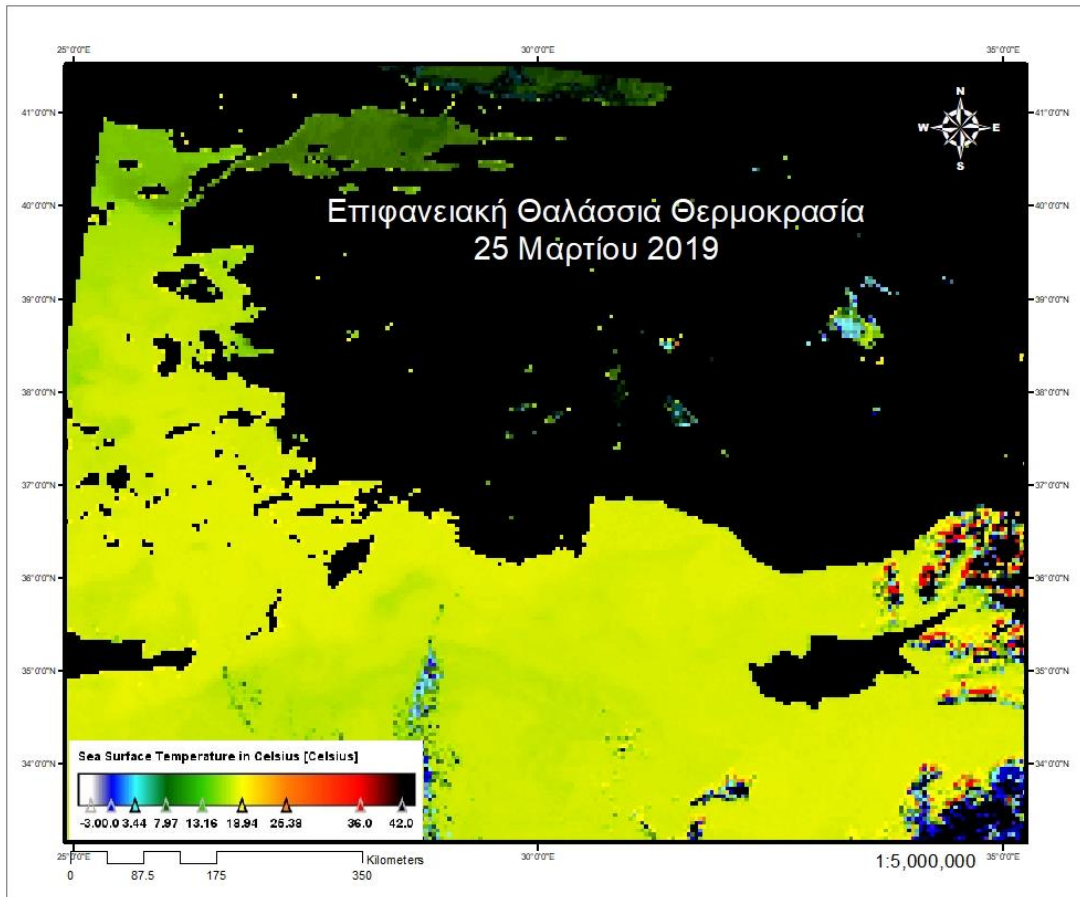
## 6.2 Αποτελέσματα Επιφανειακής Θαλάσσιας Θερμοκρασίας.

Η επιφανειακή θαλάσσια θερμοκρασία για τις 6 και 25 Μαρτίου 2019 αποτυπώνεται στους παρακάτω χάρτες που δημιουργήθηκαν από τις εικόνες του δορυφόρου Sentinel-3 (Διάγραμμα 52 Διάγραμμα 53). Επιπρόσθετα για τον καλύτερο σχολιασμό των αποτελεσμάτων δημιουργήθηκαν και δύο χάρτες ποιότητας για τις ημερομηνίες της μελέτης (Διάγραμμα 54 Διάγραμμα 55).

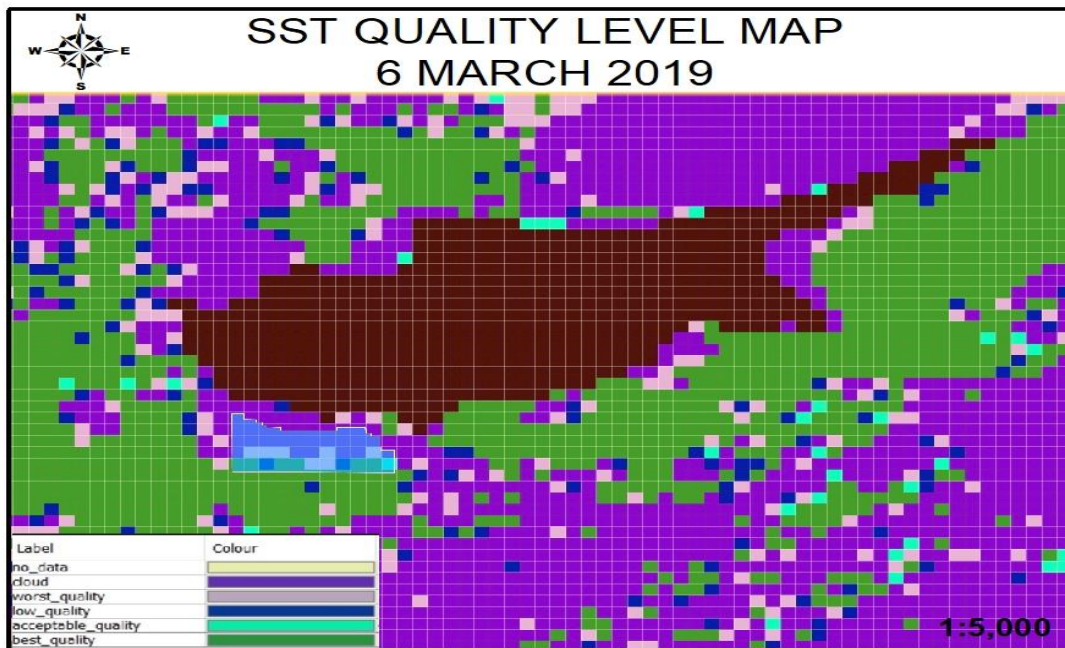
Με την ίδια μεθοδολογία όπως στο υποκεφάλαιο 3.1 έγινε υπολογισμός του μέσου τετραγωνικού σφάλματος των εικόνων Sentinel-3 με το μοντέλο του Marine Copernicus. Το RMSE για τις 6 Μαρτίου είναι  $RMSE=0.707024$  °C ενώ για τις 25 Μαρτίου είναι  $RMSE=0.133378$  °C με  $R^2=0.2977$  και  $R^2=0.0345$  (Διάγραμμα 56 Διάγραμμα 57).



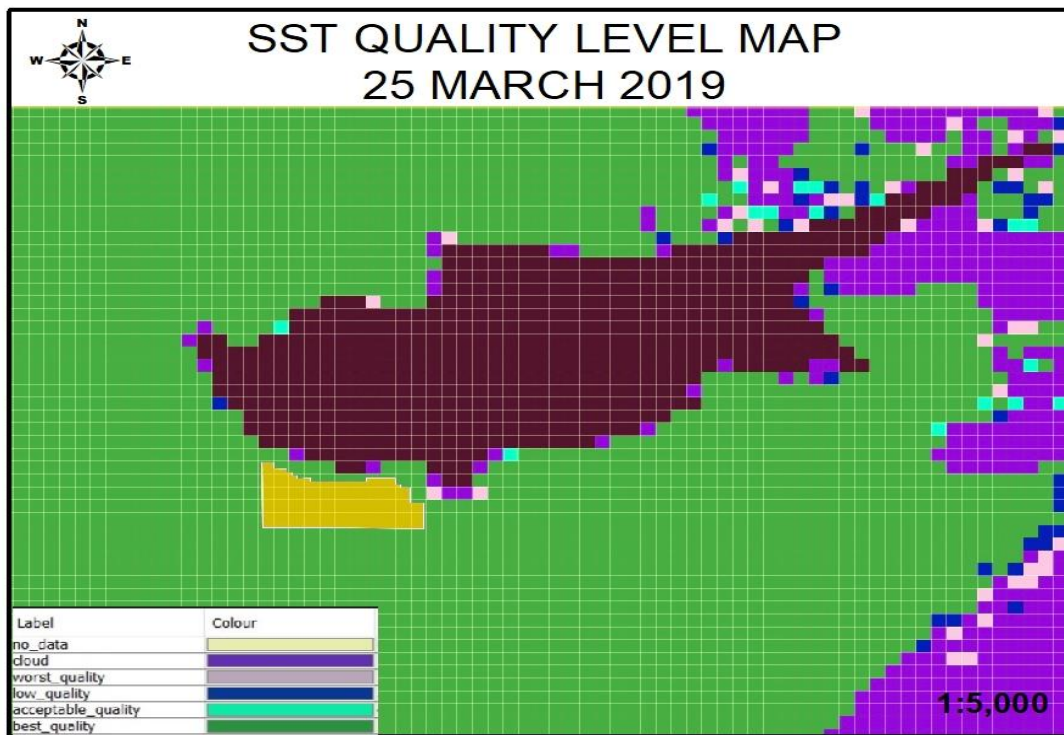
Διάγραμμα 52. Χάρτης Επιφανειακής Θαλάσσιας Θερμοκρασίας από Sentinel-3 για τις 6 Μαρτίου 2019.



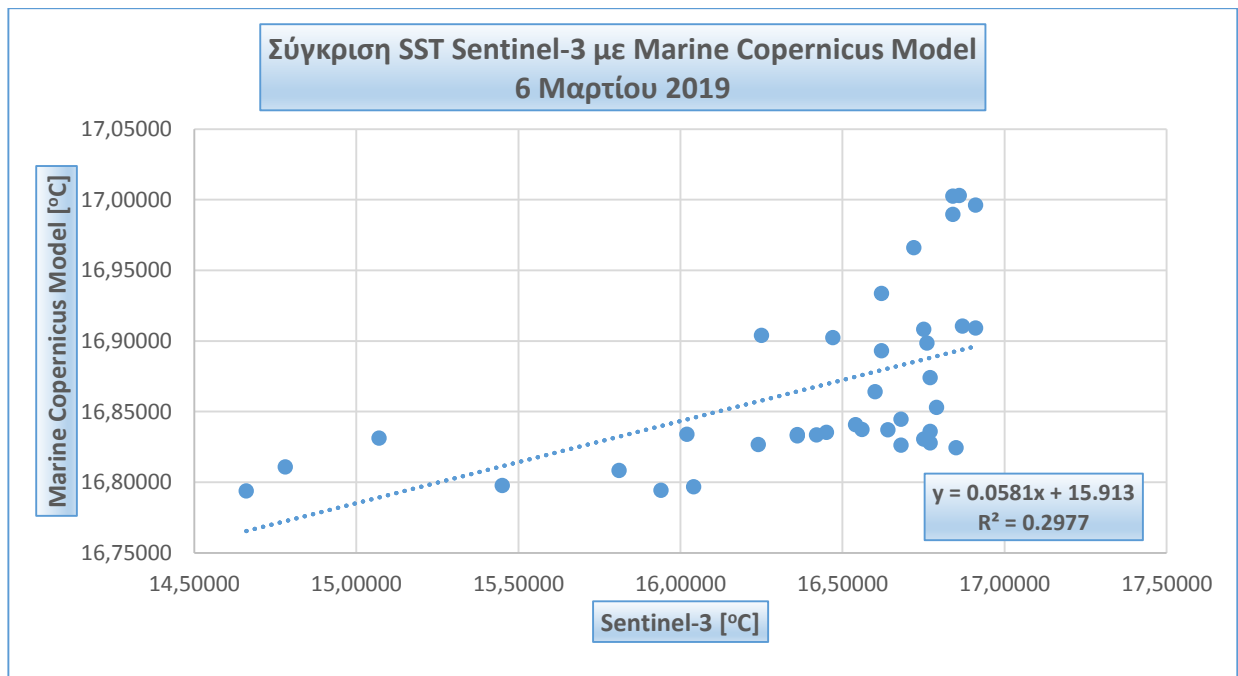
Διάγραμμα 53. Χάρτης Επιφανειακής Θαλάσσιας Θερμοκρασίας από Sentinel-3 για τις 25 Μαρτίου 2019.



Διάγραμμα 54. Χάρτης ποιότητας για την εικόνα SST του δορυφόρου Sentinel-3 για τις 6 Μαρτίου 2019.

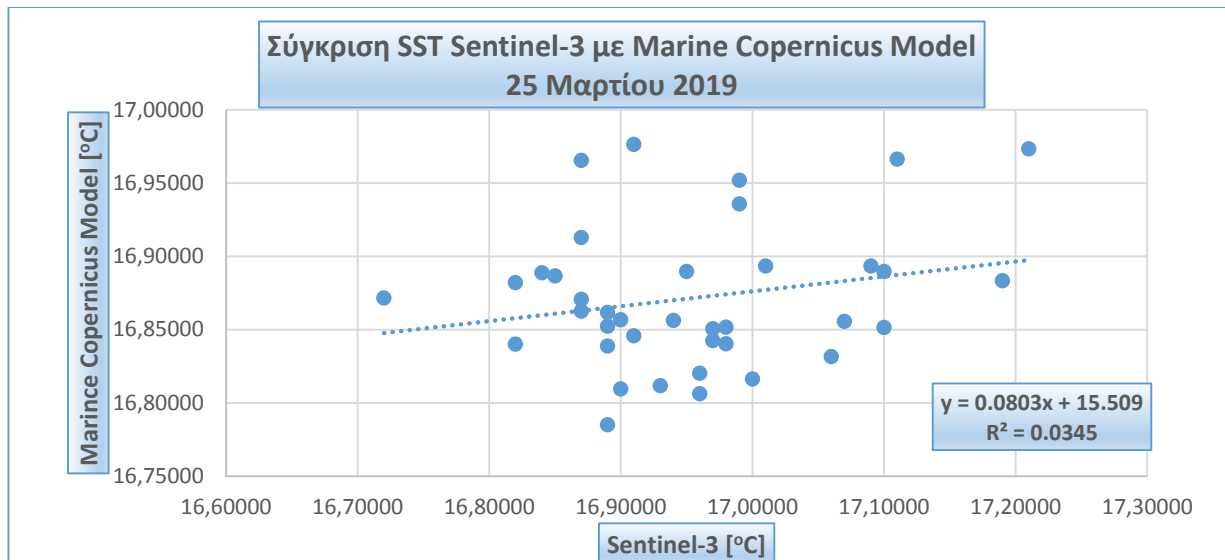


Διάγραμμα 55. Χάρτης ποιότητας για την εικόνα SST του δορυφόρου Sentinel-3 για τις 25 Μαρτίου 2019.



Διάγραμμα 56. SST validation μεταξύ Sentinel-3 και Marine Copernicus Model για τις 6 Μαρτίου 2019.

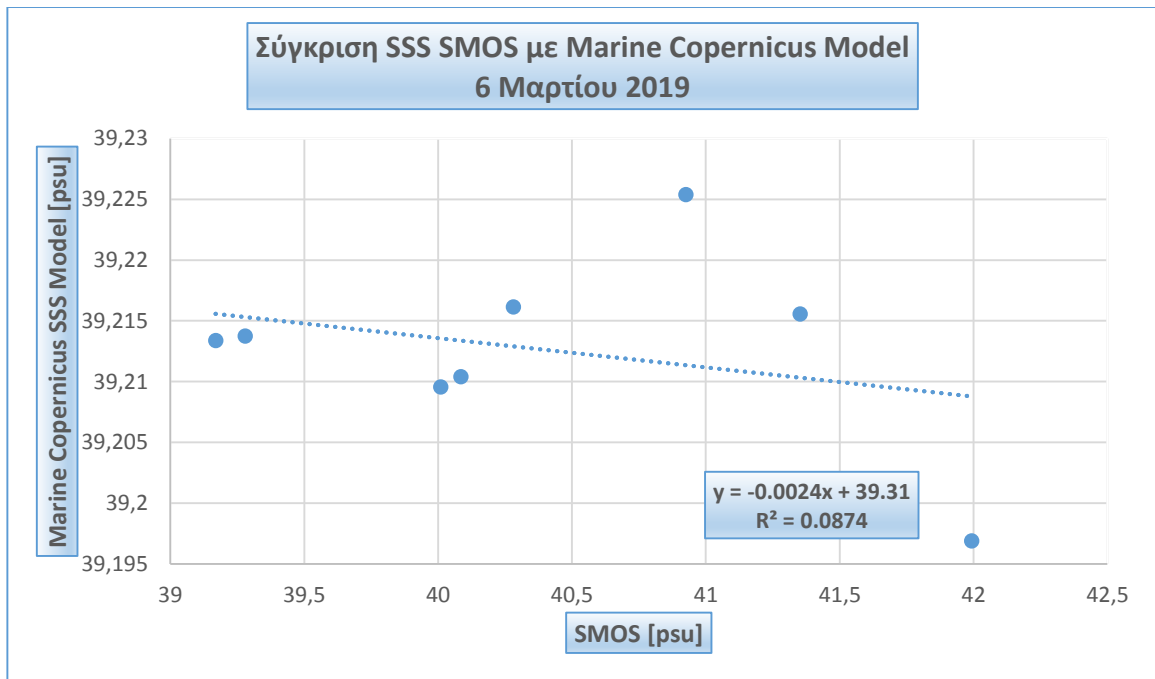




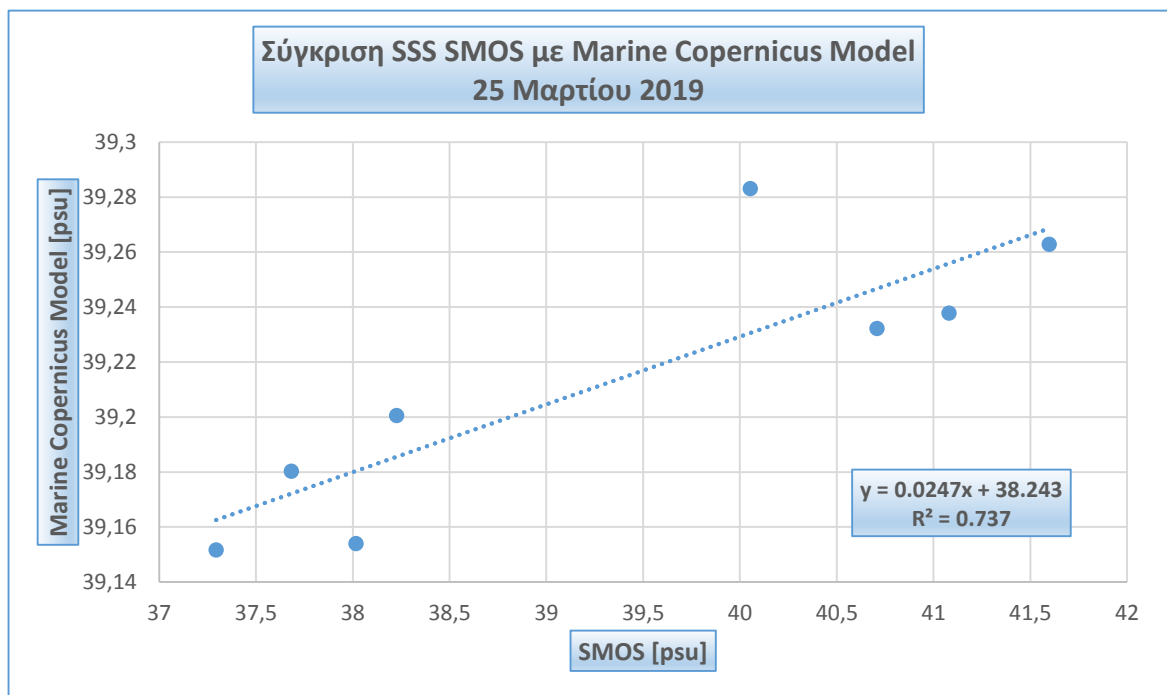
Διάγραμμα 57. SST validation μεταξύ Sentinel-3 και Marine Copernicus Model για τις 25 Μαρτίου 2019.

### 6.3 Αποτελέσματα Επιφανειακής Θαλάσσιας Αλατότητας.

Τα αποτελέσματα της Επιφανειακής Θαλάσσιας Αλατότητας δεν είναι αντιπροσωπευτικά με την περιοχή μελέτης καθώς όπως εξηγήθηκε προηγουμένως (βλ.4.5.2.1) και θα εξηγηθεί αναλυτικότερα στο κεφάλαιο 7 λόγω των παρεμβολών των ραδιοσυχνοτήτων τα δεδομένα δεν θεωρούνται αξιόπιστα. Παρ' όλα αυτά εξήχθησαν οι τιμές των εικονοστοιχείων των οποίων θεωρήθηκαν πιο κοντά στην πραγματικότητα και υπολογίστηκε το μέσο τετραγωνικό σφάλμα με τις τιμές των εικονοστοιχείων από το Marine Copernicus. Για τις 6 Μαρτίου 2019 το RMSE που υπολογίστηκε είναι  $RMSE = 1.492494$  psu (Διάγραμμα 58) ενώ για τις 25 Μαρτίου 2019 είναι  $RMSE = 1.563409$  psu (Διάγραμμα 59) με  $R^2 = 0.0874$  και  $R^2 = 0.737$  αντίστοιχα.



**Διάγραμμα 58. SSS validation μεταξύ SMOS και Marine Copernicus Model για τις 6 Μαρτίου 2019.**



**Διάγραμμα 59. SSS validation μεταξύ SMOS και Marine Copernicus Model για τις 25 Μαρτίου 2019.**

## 7 Σχολιασμός Αποτελεσμάτων.

Ο σχολιασμός των αποτελεσμάτων χωρίζεται σε υποκεφάλαια αναλόγως των παρατηρήσεων που υλοποιήθηκαν. Παρακάτω παρουσιάζεται ένας πίνακας με όλα τα σφάλματα από κάθε ημερομηνία που προέκυψαν από την επικύρωση μεταξύ των δορυφορικών δεδομένων και των δεδομένων που προήλθαν από το Marine Copernicus (Πίνακας 4).

**Πίνακας 4. Επικύρωση των αποτελεσμάτων μεταξύ των δορυφορικών δεδομένων και των δεδομένων του Marine Copernicus.**

	Satellites data validation with Marine Copernicus data		
RMSE	Sentinel-2	Sentinel-3	SMOS
Chl-a (05 March 2019)	0.97878 mg m <sup>-3</sup>		
Chl-a (25 March 2019)	0.584039 mg m <sup>-3</sup>		
SST (06 March 2019)		0.707024 °C	
SST (25 March 2019)		0.133378 °C	
SSS (06 March 2019)			1.492494 psu
SSS (25 March 2019)			1.563409 psu

### 7.1 Σχολιασμός αποτελεσμάτων χλωροφύλλης-a.

Από τα αποτελέσματα δύναται να διακριθεί ότι στις 5 Μαρτίου 2019 κοντά στις ακτές οι τιμές συγκέντρωσης χλωροφύλλης-a λίγες ώρες μετά την υπερχειλίση του φράγματος κυμαίνονται σε πιο υψηλά επίπεδα από το κανονικό ενισχύοντας την πρόκληση ευτροφισμού στις παράκτιες περιοχές της επαρχίας της Πάφου, ενώ όσο παρατηρεί κανείς τα επίπεδα συγκέντρωσης χλωροφύλλης-a προς την ανοικτή θάλασσα μειώνονται σημαντικά. Αντιθέτως, οι τιμές συγκέντρωσης χλωροφύλλης-a στις 25 Μαρτίου 2019 παρουσιάζουν μια ομαλοποιημένη κατάσταση που οφείλεται στο πέρασμα του χρόνου καθώς οι παρατηρήσεις έχουν διαφορά 20 ημέρες μετά την υπερχειλίση.

Εάν ανατρέξει κανείς στον Πίνακα 1, μπορεί να διακρίνει πως στις 5 Μαρτίου 2019 οι παράκτιες περιοχές κρίνονται ως ευτροφικές με κακή κατάσταση (χλωροφύλλη-a > 2,21 μg/l). Όσον αφορά στις 25 Μαρτίου 2019 τα επίπεδα χλωροφύλλης-a καθιστούν τις παράκτιες περιοχές ως ψηλά μεσοτροφικά με φτωχή κατάσταση (χλωροφύλλη-a 0,6- 2,21 μg/l.)

Όσον αφορά το μέσο τετραγωνικό σφάλμα που υπολογίστηκε για τις 5 και 25 Μαρτίου 2019 η μεγάλη διαφορά του RMSE για τις δύο ημερομηνίες οφείλεται κυρίως στις κακές καιρικές συνθήκες οι οποίες μπορεί να προκάλεσαν περισσότερα σφάλματα στον αισθητήρα MSI του Sentinel-2. Επίσης οι τιμές

στις εικόνες του Marine Copernicus είναι από πολλούς αισθητήρες μαζί, οι οποίοι διαφοροποιούνται σε τροχιά και ώρα παρατήρησης της περιοχής μας.

## **7.2 Σχολιασμός αποτελεσμάτων Επιφανειακής Θαλάσσιας Θερμοκρασίας.**

Από τους χάρτες θερμοκρασίας δεν παρατηρείται κάποια αισθητή διαφορά λόγω της ομοιομορφίας στον χρωματισμό της θερμοκρασίας, αλλά αν παρατηρήσει κανείς αναλυτικότερα στους χάρτες ποιότητας θα καταλάβει καλύτερα από που προκύπτει η μεγάλη διαφορά στο τετραγωνικό σφάλμα για τις 6 και 25 Μαρτίου 2019 (βλ. Πίνακας 4). Μεγάλο μέρος της περιοχής μελέτης στις 6 Μαρτίου καλύπτεται από σύννεφα (βλ. Διάγραμμα 54) σε αντίθεση με τις 25 Μαρτίου όπου η περιοχή μελέτης έχει την καλύτερη ποιότητα που θα μπορούσε καθώς δεν καλύπτεται καθόλου από σύννεφα ή οτιδήποτε άλλο (βλ. Διάγραμμα 55).

## **7.3 Σχολιασμός αποτελεσμάτων Επιφανειακής Θαλάσσιας Αλατότητας.**

Το μέσο τετραγωνικό σφάλμα που υπολογίστηκε δεν μπορεί να θεωρηθεί αξιόπιστο γιατί οι τιμές στα εικονοστοιχεία των εικόνων SMOS δεν συνάδουν με την πραγματικότητα και αυτό είναι γεγονός διότι οι τιμές των εικόνων του Marine Copernicus στην ευρύτερη περιοχή της Κύπρου κυμαίνονται μεταξύ 39.1 και 39.3 psu, οι οποίες θεωρούνται αξιόπιστες και ακριβείας. Επίσης, οι τιμές που εξήχθησαν από τον SMOS είναι όσο το δυνατόν πιο κοντά στις τιμές του Marine Copernicus και στην περιοχή της Κύπρου προκειμένου να υπολογιστεί η καλύτερη δυνατή συσχέτιση.

## **7.4 Σχολιασμός αποτελεσμάτων θολερότητας.**

Όσον αφορά την θολερότητα δεν υπάρχουν αποτελέσματα, καθώς δεν μπορεί να υλοποιηθεί η επικύρωση των αποτελεσμάτων μεταξύ των δεδομένων του δορυφόρου Sentinel-2 και των δεδομένων του Marine Copernicus διότι δεν υπάρχουν μετρήσεις SPM από το Marine Copernicus. Όπως αναφέραμε και στο υποκεφάλαιο 4.5.3.2 υπάρχει σαφής ανάγκη για αύξηση της κάλυψης σε σημεία της Ανατολικής Μεσογείου με BGC-Argo πλωτήρες και αγκυροβόλια με αισθητήρες BGC.

## 8 Συμπεράσματα

Βάση των αποτελεσμάτων από την έρευνα που έγινε, κατέστη σαφές ότι οι συγκεντρώσεις χλωροφύλλης-a συνδέονται άρρηκτα με τις καιρικές συνθήκες που επικρατούν σε κάθε περιοχή μελέτης. Το γεγονός ότι, στις 5 Μαρτίου 2019 αλλά και τις προηγούμενες ημέρες, επικρατούσαν δυσμενείς καιρικές συνθήκες με αποτέλεσμα την υπερχειλίση του φράγματος του Ασπρόκρεμου, δικαιολογεί τις μεγάλες συγκεντρώσεις χλωροφύλλης-a στην παράκτια περιοχή. Αντιθέτως, είκοσι ημέρες μετά το συμβάν, όπου υπήρχαν καλές καιρικές συνθήκες, οι συγκεντρώσεις χλωροφύλλης-a κυμαινόταν σε φυσιολογικά επίπεδα.

Ίδια σχέση αλλά πιο πολύπλοκη εμφανίζει η επιφανειακή θαλάσσια θερμοκρασία με τις εκάστοτε καιρικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή μελέτης. Η επιφανειακή θαλάσσια θερμοκρασία, μεταβάλλεται, ανάλογα με την ώρα της ημέρας (θέση ήλιου την δεδομένη χρονική στιγμή) παράλληλα, με τις καιρικές συνθήκες, την εποχή του χρόνου και διάφορους άλλους παράγοντες (π.χ θαλάσσια ρεύματα). Αυτή η σχέση γίνεται αντιληπτή διότι υπήρχαν χαμηλότερες θερμοκρασίες στις 5 Μαρτίου 2019 με τις 25 Μαρτίου 2019 λόγω καιρικών συνθηκών.

Από την άλλη μεριά, οι συγκεντρώσεις αλατότητας κατανέμονται ομοιόμορφα στις θαλάσσιες επιφάνειες και είναι αντιστρόφως ανάλογες με την πίεση του νερού καθώς όσο αυξάνεται η πίεση του νερού με το βάθος του ωκεανού τόσο πιο χαμηλές συγκεντρώσεις SSS υπάρχουν. Παρ' όλα αυτά, οι μετρήσεις της αλατότητας από τον SMOS δεν ήταν αντιπροσωπευτικές με την περιοχή μελέτη για λόγους που θα αναφερθούν παρακάτω.

Οι καιρικές συνθήκες, ήταν ένας ανασταλτικός παράγοντας όσον αφορά την μελέτη που διενεργήθηκε καθώς έπρεπε να ερευνηθούν πολλές δορυφορικές εικόνες διάφορων ωρών και ημερομηνίας έτσι ώστε να εξαχθούν όσο το δυνατόν καλύτερα αποτελέσματα. Επιπρόσθετα, έπρεπε να υπολογιστεί η διαφορά της ώρας των μετρήσεων μεταξύ των δορυφόρων που συγκρίθηκαν, έτσι ώστε οι ώρες παρατήρησης να είναι όσο πιο κοντά γίνεται με τις μετρήσεις αξιοπιστίας που λήφθηκαν (Magine Copernicus).

Οι μεγαλύτερες δυσκολίες που προέκυψαν, ήταν στην ανάκτηση επιτόπιων μετρήσεων στην περιοχή της Κύπρου πόσο μάλλον στην περιοχή του Ασπρόκρεμμου και της ευρύτερης παράκτιας περιοχής. Μέσω επισταμένης έρευνας έγινε πλήρως αντιληπτή κενών και ελλείψεων στα δεδομένα των επιτόπιων μετρήσεων στην Κύπρο. Για αυτόν τον λόγο θεωρήθηκαν ως αξιόπιστες μετρήσεις, οι μετρήσεις του Magine Copernicus, οι οποίες θεωρούνται, επί του παρόντος, από τις πιο ακριβείς και με πολύ μικρά σφάλματα. Η απώλεια των δεδομένων από επιτόπιες μετρήσεις μπορεί να γίνει αντιληπτή και σε επιπρόσθετη μελέτη που διεξήχθη, η οποία αναφέρεται παρακάτω παράρτημα.

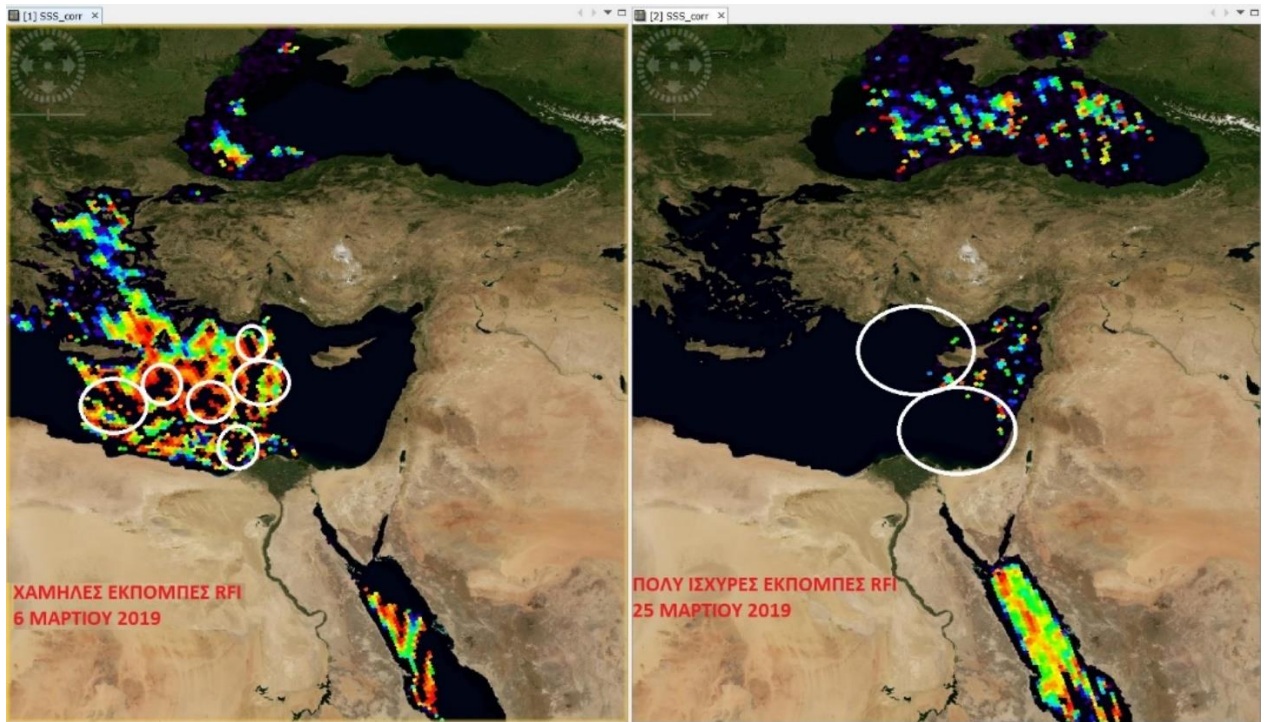
Ο δορυφόρος SMOS, βάσει της υποσημείωσης “RR 5.430” των κανονισμών ραδιοεπικοινωνιών της Διεθνούς Ένωσης Τηλεπικοινωνιών (ITU-R) απαγορεύει όλους τους τύπους εκπομπών στη ζώνη 1400-1427 MHz. Επιπλέον, η Παγκόσμια Διάσκεψη Ραδιοεπικοινωνιών το 2007 (WRC-07), ενέκρινε το ψήφισμα 750 σχετικά με τη «Συμβατότητα μεταξύ της Δορυφορικής Υπηρεσίας Γεωσκόπησης (EESS) και των σχετικών ενεργών υπηρεσιών». Το ψήφισμα αυτό αποσκοπεί να παροτρύνει τις διοικήσεις να πάρουν όλα τα λογικά μέτρα για να εξασφαλίσουν ότι οι ανεπιθύμητες εκπομπές ενεργών σταθμών στις ζώνες και στις υπηρεσίες που λειτουργούν δεν υπερβαίνουν τα επιτρεπτά όρια, σημειώνοντας παράλληλα ότι οι αισθητήρες (παθητικοί) της EESS παρέχουν παγκόσμιες μετρήσεις που ωφελούν όλες τις χώρες ακόμη και αν αυτοί οι αισθητήρες δεν λειτουργούν από τη χώρα τους. Γενικά, η επίδραση μιας πηγής RFI μπορεί να κατηγοριοποιηθεί ανάλογα με την ένταση της εντός της φασματικής ζώνης του SMOS. Άξιο αναφοράς, αποτελεί το γεγονός, ότι το πλάτος της παρεμβολής ποικίλλει ανάλογα με τη γωνία πρόσπτωσης της παρατήρησης του SMOS, ακολουθώντας το πρότυπο της κεραίας RFI. Αναλυτικότερα:

- 1) Χαμηλές εκπομπές RFI: Αυτές οι εκπομπές RFI είναι ίδιες μεγέθους ως φυσικά επίπεδα ή κάτω. Αυτές οι πηγές RFI είναι δύσκολο να εντοπιστούν και μπορεί να οδηγήσουν σε λανθασμένη φυσική ανάκτηση. Οι υψηλότερες θερμοκρασίες φωτεινότητας (Brightness Temperature-BT) θα προκαλέσουν τον αλγόριθμο ανάκτησης να συμπεράνει χαμηλότερη υγρασία του εδάφους ή χαμηλότερη αλατότητα της επιφάνειας της θάλασσας (η εκπομπή μειώνεται όταν η υγρασία ή η αλατότητα αυξάνονται).
- 2) Μέσες εκπομπές RFI: Αυτές οι εκπομπές RFI είναι εύκολα ανιχνεύσιμες και οι επιπτώσεις τους περιορίζονται στην επίγεια θέση του πομπού. Σε ορισμένες περιπτώσεις, μπορεί να υπάρχουν παρατηρήσεις σε κάποια γωνία πρόσπτωσης, πόλωσης ή συγκεκριμένες χρονικές περιόδους που είναι “άνοσες” από την παρεμβολή. Σε τέτοιες περιπτώσεις, μπορούν να εκτελεστούν αναφορές, αλλά η ποιότητα των δεδομένων θα επηρεαστεί αρνητικά (λιγότερα δεδομένα για ανάκτηση που οδηγεί σε χαμηλότερη ακρίβεια) και η ποιότητα θα συνδέεται επίσης με την ικανότητα του αποτελεσματικού διαχωρισμού του RFI.
- 3) Ισχυρές εκπομπές RFI: Αυτές οι εκπομπές RFI επηρεάζουν μεγαλύτερες περιοχές οι οποίες πρέπει να απορριφθούν για επιστημονική ανάκτηση οδηγώντας έτσι σε σημαντική απώλεια δεδομένων.
- 4) Πολύ ισχυρές εκπομπές RFI: Αυτές οι πηγές RFI ουσιαστικά “τυφλώνουν” το πλήρες οπτικό πεδίο του SMOS. Η συνέπεια είναι ότι γύρω περιοχές αυτών των RFI παραλείπονται σε μια

έκταση αρκετών εκατοντάδων χιλιομέτρων, προκαλώντας σημαντική απώλεια δεδομένων για επιστημονικές ανακαλύψεις (Oliva et al. 2012).

Χαρακτηριστικά παραδείγματα χαμηλών εκπομπών RFI παρατηρούνται στις εικόνες μελέτης στις 6 και 25 Μαρτίου 2019 όπου με τους λευκούς κύκλους αναδεικνύονται τα κενά που έχει στην μέτρηση του ο δορυφόρος SMOS εξαιτίας των παρεμβολών των ραδιοσυχνοτήτων (Διάγραμμα 60).

Η “μόλυνση” λόγω RFI, που παρατηρείται από το δορυφόρο SMOS, υπερβαίνει τα αναμενόμενα επίπεδα, ιδίως στην Ευρώπη, την Ασία, και τη Μέση Ανατολή. Όπως αναφέρθηκε, ιδιαίτερα ανησυχητικές είναι οι μη εξουσιοδοτημένες εκπομπές που παρατηρούνται εντός της προστατευόμενης παθητικής ζώνης (1400-1427 MHz), η οποία μπορεί να “τυφλώσει” εντελώς το οπτικό πεδίο του SMOS. Τα “μολυσμένα” δεδομένα θα χαθούν στις περισσότερες περιπτώσεις ή θα υποβαθμίσουν τις επιστημονικές αναζητήσεις στην καλύτερη περίπτωση όπως έγινε σε αυτή την έρευνα. Τα δεδομένα αυτά, είναι σημαντικά για την πρόγνωση καιρού και την πρόληψη ακραίων γεγονότων (ITU-R 2010). Από την έναρξη της αποστολής του δορυφόρου SMOS, έχει καταβληθεί μεγάλη προσπάθεια για τη μείωση του αριθμού των πηγών RFI. Μέχρι στιγμής, η κατάσταση έχει βελτιωθεί, κυρίως στην Ευρώπη, όπου οι μισές από τις ενεργές πηγές έχουν απενεργοποιηθεί, αλλά πολλές παραμένουν ενεργές. Η συνεργασία των εθνικών αρχών διαχείρισης συχνοτήτων είναι το κλειδί για να εξασφαλιστεί, τόσο η βελτίωση της αποτροπής των παρεμβολών στον SMOS, όσο και η συμμόρφωση με το υφιστάμενο κανονιστικό πλαίσιο για την προστασία της παθητικής ζώνης (1400-1427 MHz). Αυτή η προσπάθεια πρέπει να συνεχιστεί και να ενταθεί με την εξεύρεση νέων τρόπων προσδιορισμού και χαρακτηρισμού των πηγών RFI, καθώς και την αύξηση της ανησυχίας των διαφόρων χωρών και οργανώσεων σχετικά με τις επιπτώσεις της RFI στις επιστημονικές παρατηρήσεις.



**Διάγραμμα 60.** Απώλεια δεδομένων λόγω των παρεμβολών των ραδιοσυχνοτήτων. Αριστερά: Παρατηρούνται χαμηλότερες τιμές στην επιφανειακή θαλάσσια αλατότητα εξαιτίας χαμηλών εκπομπών RFI, αλλά και ορισμένες ολικές απώλειες δεδομένων (Λευκοί κύκλοι). Δεξιά: Παρατηρείται ολική απώλεια δεδομένων σε τεράστια έκταση λόγω των πολύ ισχυρών εκπομπών RFI (Λευκοί κύκλοι).



## ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Η παρατηρήσεις των φυσικών και βιογεωχημικών θαλάσσιων προϊόντων, ήταν, είναι και θα συνεχίσουν να αποτελούν μείζονος σημασίας για την παγκόσμια επιστημονική κοινότητα, προκειμένου να κατανοήσει όσο γίνεται καλύτερα την λειτουργία του θαλάσσιου περιβάλλοντος.

Η παρατήρηση του φυτοπλαγκτού καθίστανται σημαντική, γιατί η σημασία του φυτοπλαγκτού στη βιολογία του ωκεανού και στο κλίμα είναι κρίσιμη καθώς, όπως όλα τα φυτά, έτσι και το φυτοπλαγκτόν έχει χλωροφύλλη. Οποιαδήποτε μεταβολή του θα μπορούσε να έχει σημαντικές επιπτώσεις στη βιοποικιλότητα, την αλιεία, τις προμήθειες τροφίμων, καθώς και στους ρυθμούς υπερθέρμανσης του πλανήτη. Προβλέψεις από διάφορα μοντέλα ωκεάνιας χημείας και βιολογίας, υποστηρίζουν ότι θα μειωθεί η παραγωγικότητα του φυτοπλαγκτού, ενώ παράλληλα, η αύξηση του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα θερμαίνει σταδιακά την επιφάνεια του ωκεανού. Συνεπώς, τα θρεπτικά συστατικά από τα βαθιά νερά, εξαιτίας της λιγότερης κάθετης ανάμιξης ξαναέρχονται πίσω στην επιφάνεια. Αυτός είναι και ένας λόγος, όπου η τελευταία δεκαετία αποτέλεσε μια περίοδο αναζήτησης της τάσης αυτής μέσω των δορυφορικών παρατηρήσεων, με τις πρώτες μελέτες να δείχνουν μια μικρή μείωση στην παγκόσμια παραγωγικότητα. Η συνεχής αύξηση της θερμοκρασίας των ωκεανών, λόγω συσσώρευσης διοξειδίου του άνθρακα, προβλέπεται να μειώσει τους αριθμούς των ειδών του φυτοπλαγκτού. Οι μεταβολές στη σύνθεση του φυτοπλαγκτού μπορεί να είναι καλοήθειες ή να οδηγήσουν σε κλιμακωτές αρνητικές συνέπειες στο σύνολο της θαλάσσιας τροφικής αλυσίδας (Bopp et al. 2005).

Παρατηρούνται διάφορες προσπάθειες για την αύξηση των επιτόπιων μετρήσεων και την αύξηση των πλωτών μέσων των οποίων η βοήθεια, όσο μικρή και αν φαίνεται, έχει θετικό αντίκτυπο στην επιστημονική κοινότητα. Θα ήταν θετικό εάν η Κυπριακή Δημοκρατία επενδύσει στην έρευνα και ανάπτυξη, ιδιαίτερα στα τεχνικά μέσα και το ανθρώπινο δυναμικό, το οποίο θα εργάζεται ώστε να παρέχει επιτόπιες μετρήσεις, διαθέσιμες προς το κοινό για ανάλυση και επιπρόσθετη επεξεργασία. Επιπρόσθετα, το Τμήμα Ηλεκτρονικών Επικοινωνιών του Υπουργείου Μεταφορών, Επικοινωνιών και Έργων της Κυπριακής Δημοκρατίας ως αρμόδιος διαχειριστής των εκπομπών των ραδιοσυχνοτήτων, οφείλει να είναι σε θέση να αποτρέψει και παράλληλα να προστατέψει τις εκπομπές στην προστατευόμενη ζώνη λαμβάνοντας και εφαρμόζοντας τα κατάλληλα μέτρα.

Το εύλογο ερώτημα που τίθεται, είναι πότε, ποιοι και που θα στηθούν οι επίγειοι και πλωτοί σταθμοί επιτόπιων μετρήσεων για την υποστήριξη των ακαδημαϊκών ερευνητών, καθώς ήδη οι υπόλοιπες χώρες της Ευρώπης έχουν τους δικούς τους σταθμούς μέτρησης. Αυτοί έχουν δημιουργήσει μια πληθώρα μακροχρόνιων αποτελεσμάτων τα οποία αναλύονται, για την πρόβλεψη και αποτροπή γεγονότων, τα

οποία θα μπορούσαν να διαδραματίσουν αρνητικό ρόλο στην ομαλή λειτουργία του φυσικού μας περιβάλλοντος.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Albanakis, K. (2007). *Μαθήματα Ωκεανογραφίας*. University Studio Press, Thessaloniki.
- Argo. (2019). “Argo in brief.” <[http://www.argo.ucsd.edu/About\\_Argo.html](http://www.argo.ucsd.edu/About_Argo.html)>.
- Behrenfeld, M. J., and Falkowski, P. G. (1997). “Photosynthetic rates derived from satellite-based chlorophyll concentration.” *Limnology and Oceanography*, 42(1), 1–20.
- Behrenfeld, M. J., O’Malley, R. T., Siegel, D. A., McClain, C. R., Sarmiento, J. L., Feldman, G. C., Milligan, A. J., Falkowski, P. G., Letelier, R. M., and Boss, E. S. (2006). “Climate-driven trends in contemporary ocean productivity.” *Nature*, 444(7120), 752–755.
- Bell, M. J., Schiller, A., Le Traon, P.-Y., Smith, N. R., Dombrowsky, E., and Wilmer-Becker, K. (2015). “An introduction to GODAE OceanView.” *Journal of Operational Oceanography*, Taylor & Francis, 8(sup1), s2–s11.
- Bentamy, A., Piollé, J. F., Grouazel, A., Danielson, R., Gulev, S., Paul, F., Azelmat, H., Mathieu, P. P., Schuckmann, K. Von, Sathyendranath, S., Evers-King, H., Esau, I., Johannessen, J. A., Clayson, C. A., Pinker, R. T., Grodsky, S. A., Bourassa, M., Smith, S. R., Haines, K., Valdivieso, M., Merchant, C. J., Chapron, B., Anderson, A., Hollmann, R., and Josey, S. A. (2017). “Review and assessment of latent and sensible heat flux accuracy over the global oceans.” *Remote Sensing of Environment*, 201, 196–218.
- Blondeau-Patissier, D., Gower, J. F. R., Dekker, A. G., Phinn, S. R., and Brando, V. E. (2014). “A review of ocean color remote sensing methods and statistical techniques for the detection, mapping and analysis of phytoplankton blooms in coastal and open oceans.” *Progress in Oceanography*, 123, 123–144.
- Blume, H.-J. ~C., Kendall, B. ~M., and Fedors, J. ~C. (1978). “Measurement of ocean temperature and salinity via microwave radiometry.” *Boundary-Layer Meteorology*, 13, 295–308.
- Blume, H.-J. C., Kendall, B. M., and Fedors, J. C. (1981). “Multifrequency radiometer detection of submarine freshwater sources along the Puerto Rican coastline.” *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 86(C6), 5283–5291.
- Bopp, L., Aumont, O., Cadule, P., Alvain, S., and Gehlen, M. (2005). “Response of diatoms distribution to global warming and potential implications: A global model study.” *Geophysical Research Letters*, 32(19), n/a-n/a.

- Bowers, D. G., Boudjelas, S., and Harker, G. E. L. (1998). "The distribution of fine suspended sediments in the surface waters of the Irish Sea and its relation to tidal stirring." *International Journal of Remote Sensing*, 19(14), 2789–2805.
- Bowers, D. G., Harker, G. E. L., and Stephan, B. (1996). "Absorption spectra of inorganic particles in the Irish Sea and their relevance to remote sensing of chlorophyll." *International Journal of Remote Sensing*, Taylor & Francis, 17(12), 2449–2460.
- Brockmann, C., Doerffer, R., Peters, M., Stelzer, K., Embacher, S., and Ruescas, A. (2016). "Evolution of the C2RCC neural network for Sentinel 2 and 3 for the retrieval of ocean colour products in normal and extreme optically complex waters." *European Space Agency, (Special Publication) ESA SP*.
- Bustamante, J., Pacios, F., Díaz-Delgado, R., and Aragonés, D. (2009). "Predictive models of turbidity and water depth in the Doñana marshes using Landsat TM and ETM+ images." *Journal of Environmental Management*, 90(7), 2219–2225.
- Castro, S. L., Wick, G. A., Minnett, P. J., Jessup, A. T., and Emery, W. J. (2010). "The impact of measurement uncertainty and spatial variability on the accuracy of skin and subsurface regression-based sea surface temperature algorithms." *Remote Sensing of Environment*, 114(11), 2666–2678.
- Chen, Z., Muller-Karger, F., and Hu, C. (2007). "Remote sensing of water clarity in Tampa Bay." *Remote Sensing of Environment*, 109, 249–259.
- Choubey, V. K. (1992). "Correlation of turbidity with Indian Remote Sensing Satellite-1A data." *Hydrological Sciences Journal*, Taylor & Francis, 37(2), 129–140.
- Commission, E. (2019). "Maritime Spatial Planning." *Maritime Spatial Planning*, <[https://ec.europa.eu/maritimeaffairs/policy/maritime\\_spatial\\_planning\\_en](https://ec.europa.eu/maritimeaffairs/policy/maritime_spatial_planning_en)> (Nov. 25, 2019).
- Corlett, G. K., Merchant, C. J., Minnett, P. J., and Donlon, C. J. (2014). "Chapter 6.2 - Assessment of Long-Term Satellite Derived Sea Surface Temperature Records." *Optical Radiometry for Ocean Climate Measurements*, Experimental Methods in the Physical Sciences, G. Zibordi, C. J. Donlon, and A. C. Parr, eds., Academic Press, 639–677.
- Cox, C., and Munk, W. (1954). "Statistics of the sea surface derived from Sun glitter." *Journal of Marine Research*, 13(2), 198–227.
- Department, W. D. (2019). "Water Development Department." <[http://www.moa.gov.cy/moa/wdd/wdd.nsf/index\\_gr/index\\_gr?opendocument](http://www.moa.gov.cy/moa/wdd/wdd.nsf/index_gr/index_gr?opendocument)> (Nov. 1, 2019).

- Devi, G. K., Ganasri, B. P., and Dwarakish, G. S. (2015). “Applications of Remote Sensing in Satellite Oceanography: A Review.” *Aquatic Procedia*, 4, 579–584.
- Dogliotti, A. I., Ruddick, K. G., Nechad, B., Doxaran, D., and Knaeps, E. (2015). “A single algorithm to retrieve turbidity from remotely-sensed data in all coastal and estuarine waters.” *Remote Sensing of Environment*, 156, 157–168.
- Dong, B., Dai, A., Vuille, M., and Timm, O. E. (2018). “Asymmetric Modulation of ENSO Teleconnections by the Interdecadal Pacific Oscillation.” *Journal of Climate*, 31(18), 7337–7361.
- Droghei, R., Buongiorno Nardelli, B., and Santoleri, R. (2018). “A New Global Sea Surface Salinity and Density Dataset From Multivariate Observations (1993–2016).” *Frontiers in Marine Science*, 5, 84.
- Dropleman, J. D., Mennella, R. A., and Evans, D. E. (1970). “An airborne measurement of the salinity variations of the Mississippi River Outflow.” *Journal of Geophysical Research (1896-1977)*, 75(30), 5909–5913.
- Elhag, M., Gitas, I., Othman, A., Bahrawi, J., and Gikas, P. (2019). “Assessment of Water Quality Parameters Using Temporal Remote Sensing Spectral Reflectance in Arid Environments, Saudi Arabia.” *Water*, 11(3), 556.
- Euro-Argo-ERIC. (2017). *Strategy for evolution of Argo in Europe. Ea-2016-Eric-Strat.*
- European Space Agency. (2012a). *ESA’s Optical High-Resolution Mission for GMES Operational Services*. (K.Fletcher, ed.), ESA Communications, Noordwijk, The Netherlands.
- European Space Agency. (2012b). “Sentinel- 3: ESA’s Global Land and Ocean Mission for GMES Operational Services.” *Esa Sp - 1322/3*.
- European Space Agency. (2014). “Salinity matters.” <[https://www.esa.int/Space\\_in\\_Member\\_States/Greece/E\\_alathoteta\\_hechei\\_semashia](https://www.esa.int/Space_in_Member_States/Greece/E_alathoteta_hechei_semashia)> (Sep. 5, 2019).
- Fargion, G. S., and McClain, C. R. (2003). *MODIS validation, data merger and other activities accomplished by the SIMBIOS project: 2002-2003. NASA Technical Memorandum*, Greenbelt, Maryland 20771.
- Folland, C. (2005). “Assessing bias corrections in historical sea surface temperature using a climate model.” *International Journal of Climatology*, 25(7), 895–911.

- Font, J., Camps, A., Borges, A., Martin-Neira, M., Boutin, J., Reul, N., Kerr, Y. H., Hahne, A., and Mecklenburg, S. (2010). "SMOS: The challenging sea surface salinity measurement from space." *Proceedings of the IEEE*, 98(5), 649–665.
- Foumelis, M., Blasco, J. M. D., Desnos, Y. L., Engdahl, M., Fernández, D., Veci, L., Lu, J., and Wong, C. (2018). *ESA SNAP - Stamps integrated processing for Sentinel-1 persistent scatterer interferometry. International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*.
- Gentemann, C. L., and Hilburn, K. A. (2015). "In situ validation of sea surface temperatures from the GCOM-W1 AMSR2 RSS calibrated brightness temperatures." *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 120(5), 3567–3585.
- Gentemann, C. L., Meissner, T., and Wentz, F. J. (2010). "Accuracy of satellite sea surface temperatures at 7 and 11 GHz." *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 48(3 PART 1), 1009–1018.
- Gerace, A. D., Schott, J. R., and Nevins, R. (2013). "Increased potential to monitor water quality in the near-shore environment with Landsat's next-generation satellite." *Journal of Applied Remote Sensing*.
- Gippel, C. J. (1995). "Potential of turbidity monitoring for measuring the transport of suspended solids in streams." *Hydrological Processes*, 9(1), 83–97.
- Gitelson, A. A., Gurlin, D., Moses, W. J., and Barrow, T. (2009). "A bio-optical algorithm for the remote estimation of the chlorophyll-a concentration in case 2 waters." *Environmental Research Letters*, {IOP} Publishing, 4(4), 45003.
- Gohin, F. (2011). "Annual cycles of chlorophyll-a, non-algal suspended particulate matter, and turbidity observed from space and in-situ in coastal waters." *Ocean Science*, 7(5), 705–732.
- Gohin, F., Druon, J. N., and Lampert, L. (2002). "A five channel chlorophyll concentration algorithm applied to Sea WiFS data processed by SeaDAS in coastal waters." *International Journal of Remote Sensing*, 23(8), 1639–1661.
- Gohin, F., Loyer, S., Lunven, M., Labry, C., Froidefond, J. M., Delmas, D., Huret, M., and Herbland, A. (2005). "Satellite-derived parameters for biological modelling in coastal waters: Illustration over the eastern continental shelf of the Bay of Biscay." *Remote Sensing of Environment*, 95(1), 29–46.
- Goodin, D. G., Harrington, J. A., Nellis, M. D., and Rundquist, D. C. (1996). "Mapping reservoir turbidity patterns using spot-hrv data." *Geocarto International*, Taylor & Francis, 11(4), 71–78.

- Gower, J., and King, S. (2007). "Validation of chlorophyll fluorescence derived from MERIS on the west coast of Canada." *International Journal of Remote Sensing*, Taylor & Francis, 28(3–4), 625–635.
- Gower, J., King, S., Borstad, G., and Brown, L. (2005). "Detection of intense plankton blooms using the 709 nm band of the MERIS imaging spectrometer." *International Journal of Remote Sensing*, Taylor & Francis, 26(9), 2005–2012.
- Gower, J., King, S., and Goncalves, P. (2008). "Global monitoring of plankton blooms using MERIS MCI." *International Journal of Remote Sensing*, Taylor & Francis, 29(21), 6209–6216.
- Ha, N. T. T., Thao, N. T. P., Koike, K., and Nhuan, M. T. (2017). "Selecting the Best Band Ratio to Estimate Chlorophyll-a Concentration in a Tropical Freshwater Lake Using Sentinel 2A Images from a Case Study of Lake Ba Be (Northern Vietnam)." *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 6(9), 290.
- Hanafin, J. A., and Minnett, P. J. (2005). "Measurements of the infrared emissivity of a wind-roughened sea surface." *Applied Optics*, OSA, 44(3), 398.
- Hernandez, F., Blockley, E., Brassington, G. B., Davidson, F., Divakaran, P., Drévillon, M., Ishizaki, S., Garcia-Sotillo, M., Hogan, P. J., Lagemaat, P., Levier, B., Martin, M., Mehra, A., Mooers, C., Ferry, N., Ryan, A., Regnier, C., Sellar, A., Smith, G. C., Sofianos, S., Spindler, T., Volpe, G., Wilkin, J., Zaron, E. D., and Zhang, A. (2015). "Recent progress in performance evaluations and near real-time assessment of operational ocean products." *Journal of Operational Oceanography*, Taylor & Francis, 8(sup2), s221–s238.
- Hirata, T., Hardman-Mountford, N. J., Brewin, R. J. W., Aiken, J., Barlow, R., Suzuki, K., Isada, T., Howell, E., Hashioka, T., Noguchi-Aita, M., and Yamanaka, Y. (2011). "Synoptic relationships between surface Chlorophyll-*a* and diagnostic pigments specific to phytoplankton functional types." *Biogeosciences*, 8(2), 311–327.
- Howarth, W. (2008). *The marine strategy framework directive. Journal of Water Law*.
- ITU-R. (2010). *R-REP-RS.2178: The essential role and global importance of radio spectrum use for Earth observations and for related applications*. Geneva.
- Jha, B., Hu, Z. Z., and Kumar, A. (2014). "SST and ENSO variability and change simulated in historical experiments of CMIP5 models." *Climate Dynamics*, 42(7–8), 2113–2124.
- Jorgensen, B. ., and Richardson, K. E. (1996). "Eutrophication in Coastal Marine Ecosystems."

- K.P.E Kastoria. (n.d.). “No Title.” <<http://kpe-kastor.kas.sch.gr/leaf/texts/pigments.htm>>.
- Kearns, E. J., Hanafin, J. A., Evans, R. H., Minnett, P. J., and Brown, O. B. (2000). “An Independent Assessment of Pathfinder AVHRR Sea Surface Temperature Accuracy Using the Marine Atmosphere Emitted Radiance Interferometer (MAERI).” *Bulletin of the American Meteorological Society*, American Meteorological Society, 81(7), 1525–1536.
- Kennedy, J. J., Smith, R. O., and Rayner, N. A. (2012). “Using AATSR data to assess the quality of in situ sea-surface temperature observations for climate studies.” *Remote Sensing of Environment*, 116, 79–92.
- Kilpatrick, K. A., Podestá, G. P., and Evans, R. (2001). “Overview of the NOAA/NASA advanced very high resolution radiometer Pathfinder algorithm for sea surface temperature and associated matchup database.” *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 106(C5), 9179–9197.
- Kilpatrick, K. A., Podestá, G., Walsh, S., Williams, E., Halliwell, V., Szczodrak, M., Brown, O. B., Minnett, P. J., and Evans, R. (2015). “A decade of sea surface temperature from MODIS.” *Remote Sensing of Environment*, 165, 27–41.
- Krestenitis, I., Kombiadou, K., Makris, C., Androulidakis, I., and Karambas, T. (2015). *Coastal Engineering – Maritime Environmental Hydraulics*.
- Lacaux, J. P., Tourre, Y. M., Vignolles, C., Ndione, J. A., and Lafaye, M. (2007). “Classification of ponds from high-spatial resolution remote sensing: Application to Rift Valley Fever epidemics in Senegal.” *Remote Sensing of Environment*, 106(1), 66–74.
- Lagerloef, G., Swift, C., and Le Vine, D. (1995). “Sea Surface Salinity: The Next Remote Sensing Challenge.” *Oceanography*, 44–50.
- Lellouche, J.-M., Le Galloudec, O., Drévillon, M., Régnier, C., Greiner, E., Garric, G., Ferry, N., Desportes, C., Testut, C.-E., Bricaud, C., Bourdallé-Badie, R., Tranchant, B., Benkiran, M., Drillet, Y., Daudin, A., and De Nicola, C. (2013). “Evaluation of global monitoring and forecasting systems at Mercator Océan.” *Ocean Science*, 9(1), 57–81.
- Lellouche, J.-M., Greiner, E., Le Galloudec, O., Garric, G., Regnier, C., Drevillon, M., Benkiran, M., Testut, C.-E., Bourdalle-Badie, R., Gasparin, F., Hernandez, O., Levier, B., Drillet, Y., Remy, E., and Le Traon, P.-Y. (2018). “Recent updates to the Copernicus Marine Service global ocean monitoring and forecasting real-time 1/12° high-resolution system.” *Ocean Science*, 14(5), 1093–



- Lerner, R. M., and Hollinger, J. P. (1977). "Analysis of 1.4 GHz Radiometric measurements from Skylab." *Remote Sensing of Environment*, 6(4), 251–269.
- Liversedge, L. K. (2007). "Turbidity Mapping and Prediction in Ice Marginal Lakes At the." University of Michigan.
- Llewellyn-Jones, D. T., Minnett, P. J., Saunders, R. W., and Zavody, A. M. (1984). "Satellite multichannel infrared measurements of sea surface temperature of the N.E. Atlantic Ocean using AVHRR/2." *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 110(465), 613–631.
- M.Karydis. (2005). "UNDERSTANDING MARINE EUTROPHICATION FROM AGRICULTURAL RUNOFF IN SEMI ENCLOSED AREAS: A PRESENTATION OF QUANTITATIVE METHODOLOGY M." *Global Nest Journal*, 7(2), 228–235.
- Ma, H. L., Xu, J., and Wang, P. C. (2014). "Water resource utilization and China's urbanization." *Resources Science*, 36(2), 334–341.
- Maltese, A., Capodici, F., Ciruolo, G., and Loggia, G. La. (2013). "Coastal zone water quality: calibration of a water-turbidity equation for MODIS data." *European Journal of Remote Sensing*, Taylor & Francis, 46(1), 333–347.
- Martin, M. J., King, R. R., While, J., and Aguiar, A. B. (2019). "Assimilating satellite sea-surface salinity data from SMOS, Aquarius and SMAP into a global ocean forecasting system." *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, John Wiley & Sons, Ltd, 145(719), 705–726.
- McPhaden, M. J., Zhang, X., Hendon, H. H., and Wheeler, M. C. (2006). "Large scale dynamics and MJO forcing of ENSO variability." *Geophysical Research Letters*, 33(16), L16702.
- Mecklenburg, S., Kerr, Y., Font, J., and Hahne, A. (2008). "The soil moisture and ocean salinity mission - An overview." *International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*, 4(1), 18–26.
- Minnett, P. J., Alvera-Azcárate, A., Chin, T. M., Corlett, G. K., Gentemann, C. L., Karagali, I., Li, X., Marsouin, A., Marullo, S., Maturi, E., Santoleri, R., Saux Picart, S., Steele, M., and Vazquez-Cuervo, J. (2019). "Half a century of satellite remote sensing of sea-surface temperature." *Remote Sensing of Environment*, 233, 111366.
- Minnett, P., and Kaiser-Weiss, A. (2012). "Near-surface oceanic temperature gradients." *GHRSSST discussion document*.

- Minobe, S., Kuwano-Yoshida, A., Komori, N., Xie, S. P., and Small, R. J. (2008). "Influence of the Gulf Stream on the troposphere." *Nature*, 452(7184), 206–209.
- Montenbruck, O., Gill, E., and Lutze, F. (2002). *Satellite Orbits: Models, Methods, and Applications*. *Applied Mechanics Reviews*.
- Morel, A. (1980). "In-water and remote measurements of ocean color." *Boundary-Layer Meteorology*, 18(2), 177–201.
- Morel, A., and Prieur, L. (1977). "Analysis of variations in ocean color." *Limnology and Oceanography*, John Wiley & Sons, Ltd, 22(4), 709–722.
- Morrow, R., Fu, L.-L., Arduin, F., Benkiran, M., Chapron, B., Cosme, E., d'Ovidio, F., Farrar, J. T., Gille, S. T., Lapeyre, G., Le Traon, P.-Y., Pascual, A., Ponte, A., Qiu, B., Rasche, N., Ubelmann, C., Wang, J., and Zaron, E. D. (2019). "Global Observations of Fine-Scale Ocean Surface Topography With the Surface Water and Ocean Topography (SWOT) Mission ." *Frontiers in Marine Science* .
- Naili, N. R., Minnett, P. J., and Van Delst, P. (2008). "Emissivity and reflection model for calculating unpolarized isotropic water surface-leaving radiance in the infrared. I: Theoretical development and calculations." *Applied Optics*, OSA, 47(21), 3701–3721.
- Nalli, N. R., Minnett, P. J., Maddy, E., McMillan, W. W., and Goldberg, M. D. (2008). "Emissivity and reflection model for calculating unpolarized isotropic water surface-leaving radiance in the infrared 2: Validation using Fourier transform spectrometers." *Applied Optics*, OSA, 47(25), 4649.
- Nechad, B., Ruddick, K. G., and Neukermans, G. (2009). "Calibration and validation of a generic multisensor algorithm for mapping of turbidity in coastal waters." *Remote Sensing of the Ocean, Sea Ice, and Large Water Regions 2009*, C. R. Bostater, Jr., S. P. Mertikas, X. Neyt, and M. Velez-Reyes, eds., 74730H.
- O'Neill, L. W., Esbensen, S. K., Thum, N., Samelson, R. M., and Chelton, D. B. (2010). "Dynamical analysis of the boundary layer and surface wind responses to mesoscale SST perturbations." *Journal of Climate*, 23(3), 559–581.
- O'Reilly, J. E., and Werdell, P. J. (2019). "Chlorophyll algorithms for ocean color sensors - OC4, OC5 & OC6." *Remote Sensing of Environment*.
- O'Carroll, A. (2018). "Figure\_1\_OO19\_SST\_Whitepaper.tif."
- Oliva, R., Daganzo-Eusebio, E., Kerr, Y. H., Mecklenburg, S., Nieto, S., Richaume, P., and Gruhier, C.

- (2012). “SMOS radio frequency interference scenario: Status and actions taken to improve the RFI environment in the 1400-1427-MHZ passive band.” *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 50(5 PART 1), 1427–1439.
- Ouillon, S., Douillet, P., Petrenko, A., Neveux, J., Dupouy, C., Froidefond, J. M., Andréfouët, S., and Muñoz-Caravaca, A. (2008). “Optical algorithms at satellite wavelengths for total suspended matter in tropical coastal waters.” *Sensors*, 8(7), 4165–4185.
- Perakis, K., Moysiadis, A., and Faraslis, I. (2015). *Η Τηλεπισκόπηση σε 13 ενότητες*.
- Perlin, N., De Szoeki, S. P., Chelton, D. B., Samelson, R. M., Skyllingstad, E. D., and O’neill, L. W. (2014). “Modeling the atmospheric boundary layer wind response to mesoscale sea surface temperature perturbations.” *Monthly Weather Review*, 142(11), 4284–4307.
- Petus, C., Chust, G., Gohin, F., Doxaran, D., Froidefond, J. M., and Sagarminaga, Y. (2010). “Estimating turbidity and total suspended matter in the Adour River plume (South Bay of Biscay) using MODIS 250-m imagery.” *Continental Shelf Research*, 30(5), 379–392.
- Potes, M., Costa, M. J., and Salgado, R. (2012). “Satellite remote sensing of water turbidity in Alqueva reservoir and implications on lake modelling.” *Hydrology and Earth System Sciences*, 16(6), 1623–1633.
- Reul, N., Fournier, S., Boutin, J., Hernandez, O., Maes, C., Chapron, B., Alory, G., Quilfen, Y., Tenerelli, J., Morisset, S., Kerr, Y., Mecklenburg, S., and Delwart, S. (2014). “Sea Surface Salinity Observations from Space with the SMOS Satellite: A New Means to Monitor the Marine Branch of the Water Cycle.” *Surveys in Geophysics*, 35(3), 681–722.
- Reynolds, R. W., Gentemann, C. L., and Corlett, G. K. (2010). “Evaluation of AATSR and TMI satellite SST data.” *Journal of Climate*, 23(1), 152–165.
- Roberts-Jones, J., Fiedler, E. K., and Martin, M. J. (2012). “Daily, global, high-resolution SST and sea ice reanalysis for 1985-2007 using the OSTIA system.” *Journal of Climate*, American Meteorological Society, 25(18), 6215–6232.
- Rudorff, N., Rudorff, C. M., Kappel, M., and Ortiz, G. (2018). “Remote sensing monitoring of the impact of a major mining wastewater disaster on the turbidity of the Doce River plume off the eastern Brazilian coast.” *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 145, 349–361.
- Sasamal, S. K., Panigrahy, R. C., and Misra, S. (2005). “Asterionella blooms in the northwestern Bay of Bengal during 2004.” *International Journal of Remote Sensing*, Taylor & Francis, 26(17), 3853–

- von Schuckmann, K., Le Traon, P. Y., Alvarez-Fanjul, E., Axell, L., Balmaseda, M., Breivik, L. A., Brewin, R. J. W., Bricaud, C., Drevillon, M., Drillet, Y., Dubois, C., Embury, O., Etienne, H., Sotillo, M. G., Garric, G., Gasparin, F., Gutknecht, E., Guinehut, S., Hernandez, F., Juza, M., Karlson, B., Korres, G., Legeais, J. F., Levier, B., Lien, V. S., Morrow, R., Notarstefano, G., Parent, L., Pascual, Á., Pérez-Gómez, B., Perruche, C., Pinardi, N., Pisano, A., Poulain, P. M., Pujol, I. M., Raj, R. P., Raudsepp, U., Roquet, H., Samuelson, A., Sathyendranath, S., She, J., Simoncelli, S., Solidoro, C., Tinker, J., Tintoré, J., Viktorsson, L., Ablain, M., Almroth-Rosell, E., Bonaduce, A., Clementi, E., Cossarini, G., Dagneaux, Q., Desportes, C., Dye, S., Fratianni, C., Good, S., Greiner, E., Gourrion, J., Hamon, M., Holt, J., Hyder, P., Kennedy, J., Manzano-Muñoz, F., Melet, A., Meyssignac, B., Mulet, S., Buongiorno Nardelli, B., O’Dea, E., Olason, E., Paulmier, A., Pérez-González, I., Reid, R., Racault, M. F., Raitos, D. E., Ramos, A., Sykes, P., Szekely, T., and Verbrugge, N. (2016). “The Copernicus Marine Environment Monitoring Service Ocean State Report.” *Journal of Operational Oceanography*, Taylor & Francis, 9(sup2), s235–s320.
- von Schuckmann, K., Le Traon, P. Y., Smith, N., Pascual, A., Brasseur, P., Fennel, K., Djavidnia, S., Aaboe, S., Fanjul, E. A., Autret, E., Axell, L., Aznar, R., Benincasa, M., Bentamy, A., Boberg, F., Bourdallé-Badie, R., Nardelli, B. B., Brando, V. E., Bricaud, C., Breivik, L. A., Brewin, R. J. W., Capet, A., Ceschin, A., Ciliberti, S., Cossarini, G., de Alfonso, M., de Pascual Collar, A., de Kloe, J., Deshayes, J., Desportes, C., Drévillon, M., Drillet, Y., Droghei, R., Dubois, C., Embury, O., Etienne, H., Fratianni, C., Lafuente, J. G., Sotillo, M. G., Garric, G., Gasparin, F., Gerin, R., Good, S., Gourrion, J., Grégoire, M., Greiner, E., Guinehut, S., Gutknecht, E., Hernandez, F., Hernandez, O., Høyer, J., Jackson, L., Jandt, S., Josey, S., Juza, M., Kennedy, J., Kokkini, Z., Korres, G., Kōuts, M., Lagema, P., Lavergne, T., le Cann, B., Legeais, J. F., Lemieux-Dudon, B., Levier, B., Lien, V., Maljutenko, I., Manzano, F., Marcos, M., Marinova, V., Masina, S., Mauri, E., Mayer, M., Melet, A., Mélin, F., Meyssignac, B., Monier, M., Müller, M., Mulet, S., Naranjo, C., Notarstefano, G., Paulmier, A., Gomez, B. P., Pérez Gonzalez, I., Peneva, E., Perruche, C., Peterson, K. A., Pinardi, N., Pisano, A., Pardo, S., Poulain, P. M., Raj, R. P., Raudsepp, U., Ravdas, M., Reid, R., Rio, M. H., Salon, S., Samuelson, A., Sammartino, M., Sammartino, S., Britt Sandø, A., Santoleri, R., Sathyendranath, S., She, J., Simoncelli, S., Solidoro, C., Stoffelen, A., Storto, A., Szerkely, T., Tamm, S., Tietsche, S., Tinker, J., Tintore, J., Trindade, A., van Zanten, D., Vandenbulcke, L., Verhoef, A., Verbrugge, N., Viktorsson, L., von Schuckmann, K., Wakelin, S. L., Zacharioudaki, A., and Zuo, H. (2018). “Copernicus Marine Service Ocean State Report.” *Journal of Operational*

*Oceanography*, Taylor & Francis, 11(sup1), S1–S142.

von Schuckmann, K., Le Traon, P. Y., Smith, N., Pascual, A., Djavidnia, S., Gattuso, J. P., Grégoire, M., Nolan, G., Aaboe, S., Aguiar, E., Álvarez Fanjul, E., Alvera-Azcárate, A., Aouf, L., Barciela, R., Behrens, A., Belmonte Rivas, M., Ben Ismail, S., Bentamy, A., Borgini, M., Brando, V. E., Bensoussan, N., Blauw, A., Bryère, P., Buongiorno Nardelli, B., Caballero, A., Çağlar Yumruktepe, V., Cebrian, E., Chiggiato, J., Clementi, E., Corgnati, L., de Alfonso, M., de Pascual Collar, Á., Deshayes, J., Di Lorenzo, E., Dominici, J. M., Dupouy, C., Drévillon, M., Echevin, V., Eleveld, M., Enserink, L., García Sotillo, M., Garnesson, P., Garrabou, J., Garric, G., Gasparin, F., Gayer, G., Gohin, F., Grandi, A., Griffa, A., Gourrion, J., Hendricks, S., Heuzé, C., Holland, E., Iovino, D., Juza, M., Kurt Kersting, D., Kipson, S., Kizilkaya, Z., Korres, G., Kõuts, M., Lagema, P., Lavergne, T., Lavigne, H., Ledoux, J. B., Legeais, J. F., Lehodey, P., Linares, C., Liu, Y., Mader, J., Maljutenko, I., Mangin, A., Manso-Narvarte, I., Mantovani, C., Markager, S., Mason, E., Mignot, A., Menna, M., Monier, M., Mourre, B., Müller, M., Nielsen, J. W., Notarstefano, G., Ocaña, O., Pascual, A., Patti, B., Payne, M. R., Peirache, M., Pardo, S., Pérez Gómez, B., Pisano, A., Perruche, C., Peterson, K. A., Pujol, M. I., Raudsepp, U., Ravdas, M., Raj, R. P., Renshaw, R., Reyes, E., Ricker, R., Rubio, A., Sammartino, M., Santoleri, R., Sathyendranath, S., Schroeder, K., She, J., Sparnocchia, S., Staneva, J., Stoffelen, A., Szekely, T., Tilstone, G. H., Tinker, J., Tintoré, J., Tranchant, B., Uiboupin, R., Van der Zande, D., von Schuckmann, K., Wood, R., Woge Nielsen, J., Zabala, M., Zacharioudaki, A., Zuberer, F., and Zuo, H. (2019). “Copernicus Marine Service Ocean State Report, Issue 3.” *Journal of Operational Oceanography*, 12(sup1), S1–S123.

Strong, A. E., and McClain, E. P. (1984). “Improved Ocean Surface Temperatures From Space—Comparisons With Drifting Buoys.” *Bulletin of the American Meteorological Society*, 65(2), 138–142.

Swift, C. T. (1977). “An Improved Model for the Dielectric Constant of Sea Water at Microwave Frequencies.” *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, 2(1), 104–111.

Tandeo, P., Chapron, B., Ba, S., Autret, E., and Fablet, R. (2014). “Segmentation of mesoscale ocean surface dynamics using satellite SST and SSH observations.” *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 52(7), 4227–4235.

Tiwari, S. P., Shanmugam, P., Ahn, Y. H., and Ryu, J. H. (2013). “A Reflectance Model for Relatively Clear and Turbid.” *Engineering, Technology & Applied Science Research*, 3(1), 325–337.

Toming, K., Kutser, T., Laas, A., Sepp, M., Paavel, B., and Nõges, T. (2016). “First experiences in

- mapping lakewater quality parameters with sentinel-2 MSI imagery.” *Remote Sensing*, 8(8).
- Tranchant, B., Remy, E., Greiner, E., and Legalloudec, O. (2018). “Data assimilation of SMOS observations into the Mercator Ocean operational system: focus on the Nino 2015 event.” *Ocean Science Discussions*.
- Le Traon, P. Y., Reppucci, A., Alvarez Fanjul, E., Aouf, L., Behrens, A., Belmonte, M., Bentamy, A., Bertino, L., Brando, V. E., Kreiner, M. B., Benkiran, M., Carval, T., Ciliberti, S. A., Claustre, H., Clementi, E., Coppini, G., Cossarini, G., De Alfonso Alonso-Muñoyerro, M., Delamarche, A., Dibarboure, G., Dinessen, F., Drevillon, M., Drillet, Y., Faugere, Y., Fernández, V., Fleming, A., Garcia-Hermosa, M. I., Sotillo, M. G., Garric, G., Gasparin, F., Giordan, C., Gehlen, M., Gregoire, M. L., Guinehut, S., Hamon, M., Harris, C., Hernandez, F., Hinkler, J. B., Hoyer, J., Karvonen, J., Kay, S., King, R., Lavergne, T., Lemieux-Dudon, B., Lima, L., Mao, C., Martin, M. J., Masina, S., Melet, A., Buongiorno Nardelli, B., Nolan, G., Pascual, A., Pistoia, J., Palazov, A., Piolle, J. F., Pujol, M. I., Pequignet, A. C., Peneva, E., Pérez Gómez, B., Petit de la Villeon, L., Pinardi, N., Pisano, A., Pouliquen, S., Reid, R., Remy, E., Santoleri, R., Siddorn, J., She, J., Staneva, J., Stoffelen, A., Tonani, M., Vandenbulcke, L., von Schuckmann, K., Volpe, G., Wettre, C., and Zacharioudaki, A. (2019). “From Observation to Information and Users: The Copernicus Marine Service Perspective.” *Frontiers in Marine Science*, 6, 234.
- Uitz, J., Claustre, H., Gentili, B., and Stramski, D. (2010). “Phytoplankton class-specific primary production in the world’s oceans: Seasonal and interannual variability from satellite observations.” *Global Biogeochemical Cycles*, 24(3), n/a-n/a.
- USGS. (2017). “Turbidity-Units of Measurement.” <<https://or.water.usgs.gov/grapher/fnu.html>> (Sep. 21, 2019).
- Wang, X., and Yang, W. (2019). “Water quality monitoring and evaluation using remote-sensing techniques in China: A systematic review.” *Ecosystem Health and Sustainability*, 5(1), 47–56.
- Wanninkhof, R., Asher, W. E., Ho, D. T., Sweeney, C., and McGillis, W. R. (2009). “Advances in Quantifying Air-Sea Gas Exchange and Environmental Forcing.” *Annual Review of Marine Science*, 1(1), 213–244.
- Watanabe, F. S. Y., Alcântara, E., and Stech, J. L. (2018). “High performance of chlorophyll- a prediction algorithms based on simulated OLCI Sentinel-3A bands in cyanobacteria-dominated inland waters.” *Advances in Space Research*, 62(2), 265–273.

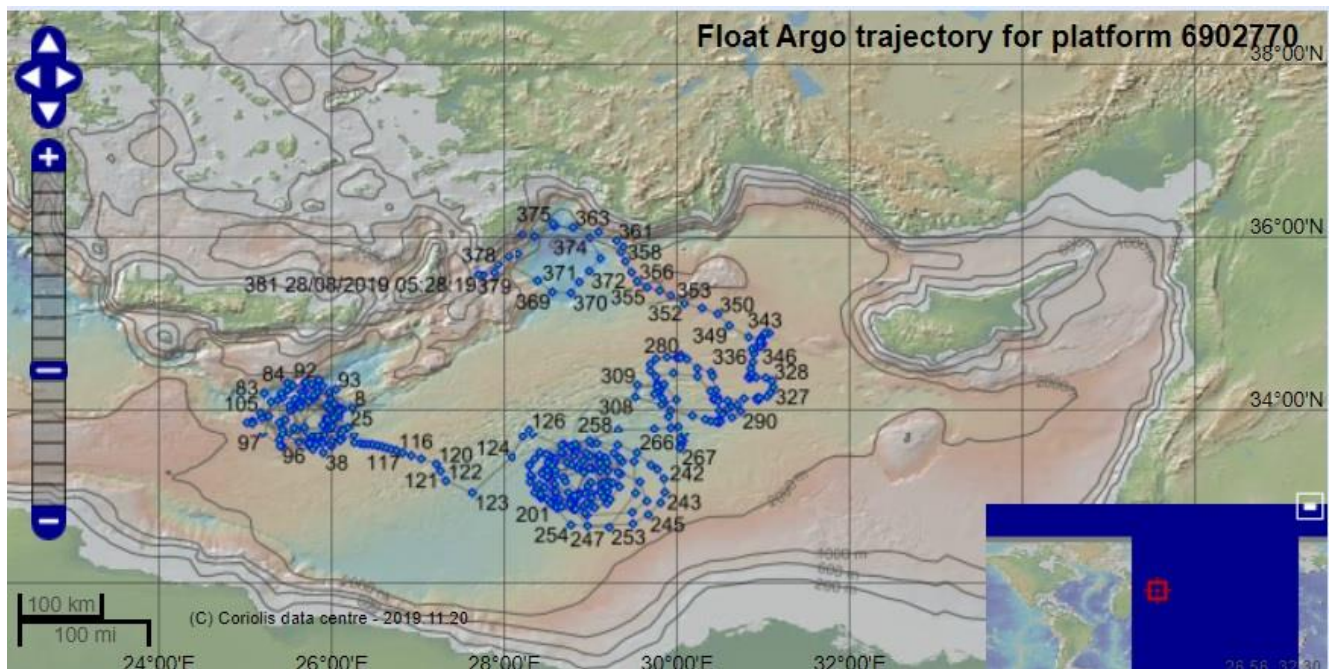
- Werdell, P. J., Franz, B. A., Bailey, S. W., Feldman, G. C., Boss, E., Brando, V. E., Dowell, M., Hirata, T., Lavender, S. J., Lee, Z. P., Loisel, H., Maritorena, S., Mélin, F., Moore, T. S., Smyth, T. J., Antoine, D., Devred, E., D'Andon, O. H. F., and Mangin, A. (2013). "Generalized ocean color inversion model for retrieving marine inherent optical properties." *Applied Optics*, 52(10), 2019–2037.
- Wimmer, W., Robinson, I. S., and Donlon, C. J. (2012). "Long-term validation of AATSR SST data products using shipborne radiometry in the Bay of Biscay and English Channel." *Remote Sensing of Environment*, 116, 17–31.
- Xu, F., and Ignatov, A. (2014). "In situ SST quality monitor (iQuam)." *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 31(1), 164–180.
- Yu, G., Yang, W., Matsushita, B., Li, R., Oyama, Y., and Fukushima, T. (2014). "Remote Estimation of Chlorophyll-a in Inland Waters by a NIR-Red-Based Algorithm: Validation in Asian Lakes." *Remote Sensing*, 6(4), 3492–3510.
- Zhao, J., Temimi, M., and Ghedira, H. (2017). "Remotely sensed sea surface salinity in the hyper-saline Arabian Gulf: Application to landsat 8 OLI data." *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 187, 168–177.
- Zheng, G., and DiGiacomo, P. M. (2017). "Remote sensing of chlorophyll-a in coastal waters based on the light absorption coefficient of phytoplankton." *Remote Sensing of Environment*, 201, 331–341.

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

### Επικύρωση των αποτελεσμάτων του δικτύου ARGO με τον δορυφόρο Sentinel-3 και το μοντέλο του Marine Copernicus.

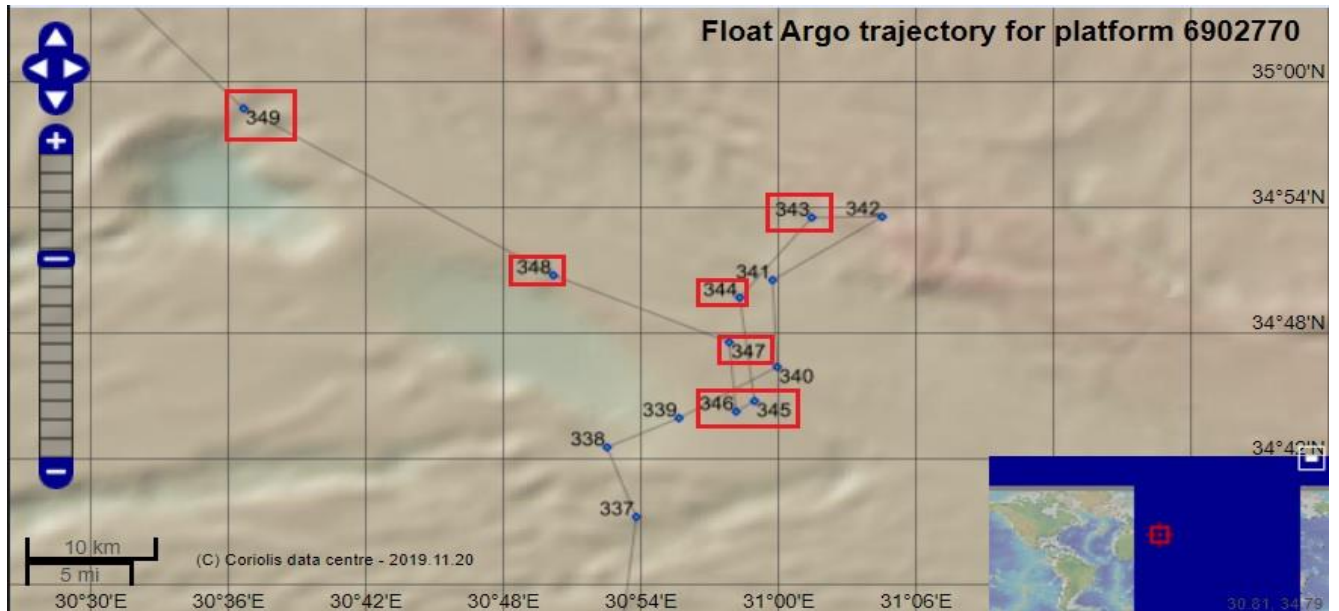
Σε μια επιπρόσθετη έρευνα έξω από τα πλαίσια της αρχικής έρευνας βρέθηκαν επιτόπιες μετρήσεις από πλοίο του δικτύου ARGO. Το εν λόγω σκάφος με την ονομασία “ARVOR-I” και τον κωδικό “6902770” το οποίο αναζητήθηκε στην ιστοσελίδα του δικτύου ARGO (<http://www.argodatamgt.org/Access-to-data/Argo-data-selection>) , και ακολούθησε μια πορεία (cycle) ανάμεσα Κρήτης και Κύπρου (Διάγραμμα 61) και διεξήγαγε μετρήσεις κάθε 5 μέρες σχεδόν την ίδια ώρα, κάθε φορά με απόκλιση πέντε λεπτών. Εξάγοντας τις τιμές, οι οποίες ήταν πιο κοντά στην Κύπρο, για την περίοδο 19/02/2019-21/03/2019 ώστε να βρίσκονται κοντά στις ημερομηνίες της αρχικής έρευνας (Διάγραμμα 62).

Στη συνέχεια από τα μεταδεδομένα (metadata) του κάθε αρχείου της πορείας που ελήφθησαν, αναζητήθηκαν οι συντεταγμένες τη δεδομένη χρονική στιγμή έτσι ώστε να γνωρίζεται ακριβώς που έγιναν οι μετρήσεις, αλλά και να είναι αντιληπτό ποιο εικονοστοιχείο επιλέχθηκε από τις εικόνες του Marine Copernicus και Sentinel-3.



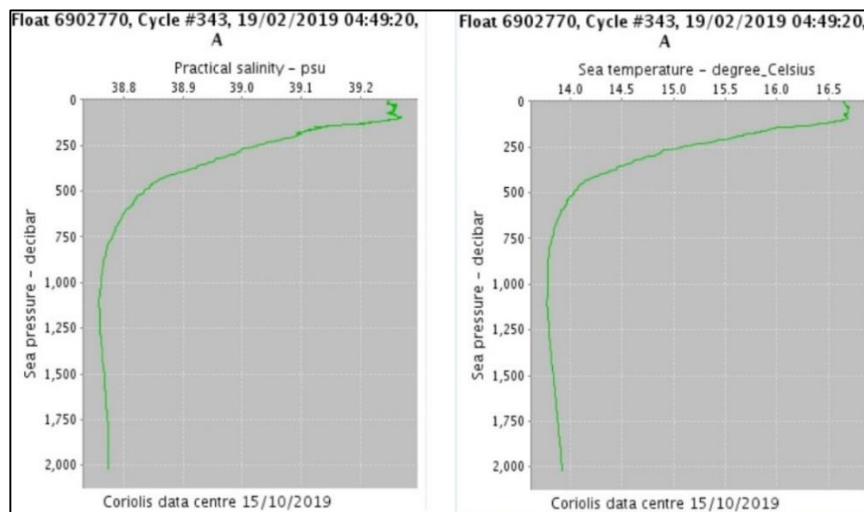
Διάγραμμα 61. Η πορεία που ακολούθησε το πλοίο του ARGO.



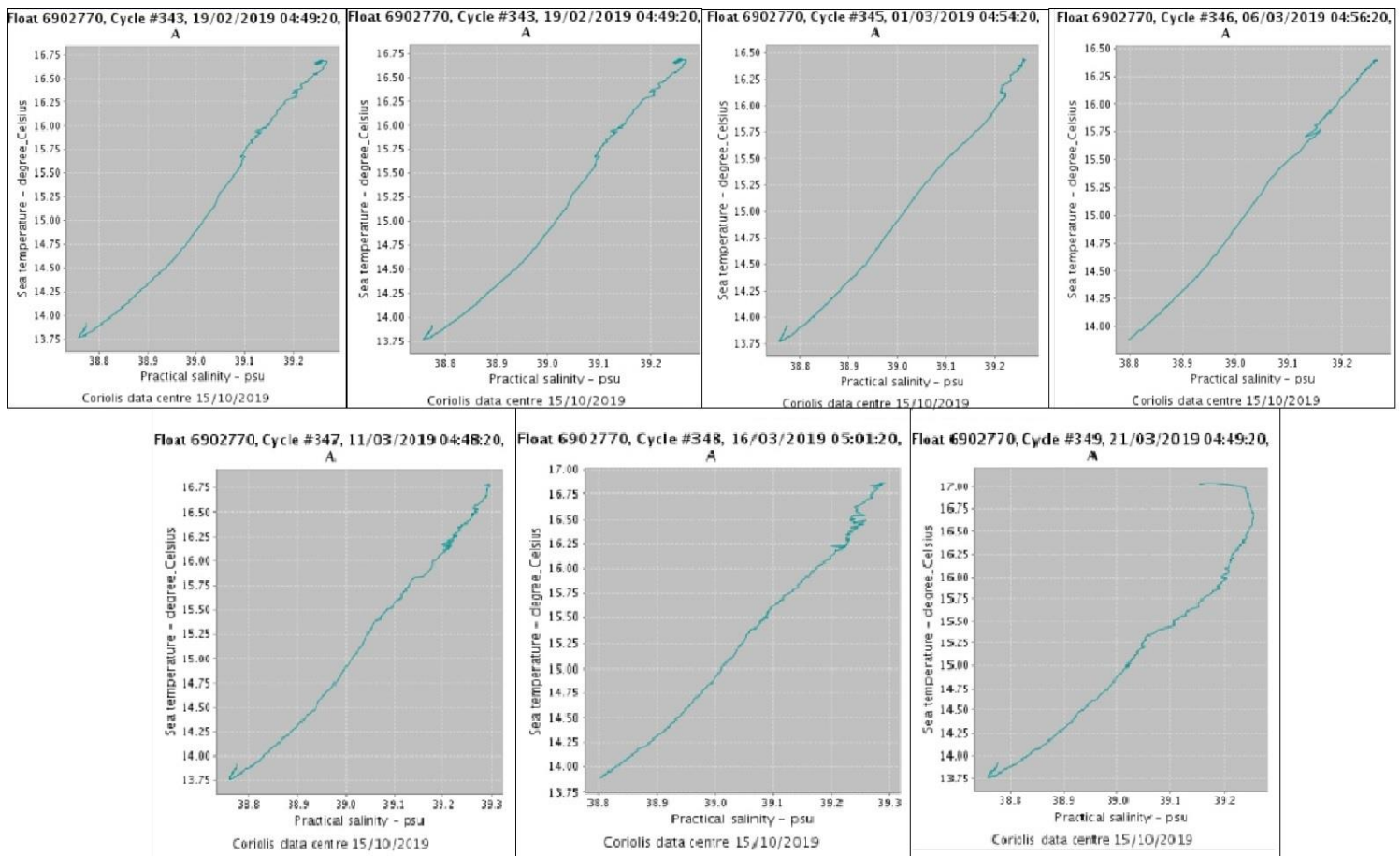


**Διάγραμμα 62.** Τα σημεία που είναι μέσα στα κόκκινα κουτιά υποδηλώνουν τις πορείες που επελέγησαν για την επικύρωση των αποτελεσμάτων.

Από τα γραφήματα και τις μετρήσεις που ελήφθησαν για την Επιφανειακή Θαλάσσια Θερμοκρασία και την Επιφανειακή Θαλάσσια Αλατότητα μπορεί να ισχυριστεί κανείς, πως η πίεση του νερού η οποία αυξάνεται με το βάθος είναι αντιστρόφως ανάλογη της θερμοκρασίας και της αλατότητας. (Διάγραμμα 63). Ενώ οι τιμές της θερμοκρασίας και της αλατότητας είναι ανάλογες μεταξύ τους, καθώς όσο πιο κοντά στην επιφάνεια της θάλασσας, τόσο πιο υψηλές τιμές παρατηρούνται στα δύο στοιχεία (Διάγραμμα 64).



**Διάγραμμα 63.** Αριστερά: Διακρίνονται οι τιμές της αλατότητας ανάλογα με την πίεση του νερού. Δεξιά: Διακρίνονται οι τιμές της θερμοκρασίας ανάλογα με την πίεση του νερού.



**Διάγραμμα 64. Οι τιμές των πορειών για SST και SSS.**

Από τις αναλύσεις και τις επεξεργασίες που διενεργήθηκαν, τα αποτελέσματα διαμορφώθηκαν στους παρακάτω πίνακες (Πίνακας 5 Πίνακας 6, Πίνακας 7, Πίνακας 7) μαζί με τα μέσα τετραγωνικά σφάλματα και στη συνέχεια παραθέτονται και τα γραφήματα των επικυρώσεων τους (Διάγραμμα 65 Διάγραμμα 66 Διάγραμμα 67). Από τα αποτελέσματα διακρίνεται ότι το μέσο τετραγωνικό σφάλμα στις συγκρίσεις των θερμοκρασιών μεταξύ Argo με Marine Copernicus Multisensors και Sentinel-3 είναι  $0.71903\text{ }^{\circ}\text{C}$  και  $0.532833\text{ }^{\circ}\text{C}$ , το οποίο λόγω και των καιρικών συνθηκών εκείνη την περίοδο θεωρείται σχετικά αποδεκτό αποτέλεσμα.

Παρ' όλα αυτά, η επικύρωση της αλατότητας μεταξύ του ARGO και του μοντέλου του Marine Copernicus ξεπέρασε κάθε προσδοκία, καθώς το μέσο τετραγωνικό σφάλμα υπολογίστηκε σε  $0.0515\text{ psu}$  πράγμα που επιβεβαιώνει την αξιοπιστία των μοντέλων του Marine Copernicus.

**Πίνακας 5. Τιμές μετρήσεων του Argo έναντι του Marine Copernicus για την Επιφανειακή Θαλάσσια Θερμοκρασία.**

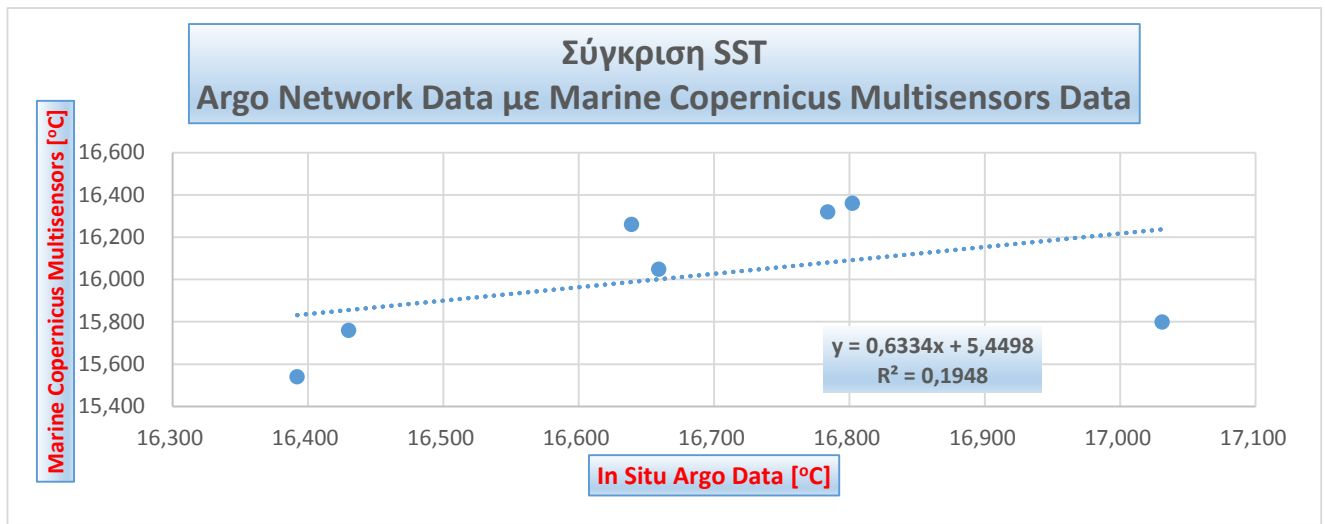
<b>SEA SURFACE TEMPERATURE</b>						
<b>Temperature Date</b>	<b>Argo (Vessel)</b>	<b>Observed time (Argo)</b>	<b>Marine Copernicus Multisensors</b>	<b>Observed time (Marince Copernicus)</b>	<b>Difference</b>	<b>RMSE</b>
19-Feb-19	<b>16.639</b>	4:49:20 AM	<b>16.260</b>	12:00:00 AM	<b>0.379</b>	<b>0.71903 °C</b>
24-Feb-19	<b>16.659</b>	4:56:20 AM	<b>16.049</b>	12:00:00 AM	<b>0.610</b>	
01-Mar-19	<b>16.430</b>	4:54:20 AM	<b>15.760</b>	12:00:00 AM	<b>0.670</b>	
06-Mar-19	<b>16.392</b>	4:56:20 AM	<b>15.540</b>	12:00:00 AM	<b>0.852</b>	
11-Mar-19	<b>16.784</b>	4:48:20 AM	<b>16.320</b>	12:00:00 AM	<b>0.464</b>	
16-Mar-19	<b>16.802</b>	5:01:20 AM	<b>16.360</b>	12:00:00 AM	<b>0.442</b>	
21-Mar-19	<b>17.031</b>	4:49:20 AM	<b>15.799</b>	12:00:00 AM	<b>1.232</b>	
	*Celsius		*Celsius	*Ενδεικτική τιμή λόγω multisensors observations		

**Πίνακας 6. Τιμές μετρήσεων του Argo έναντι του Marine Copernicus για την Επιφανειακή Θαλάσσια Αλατότητα.**

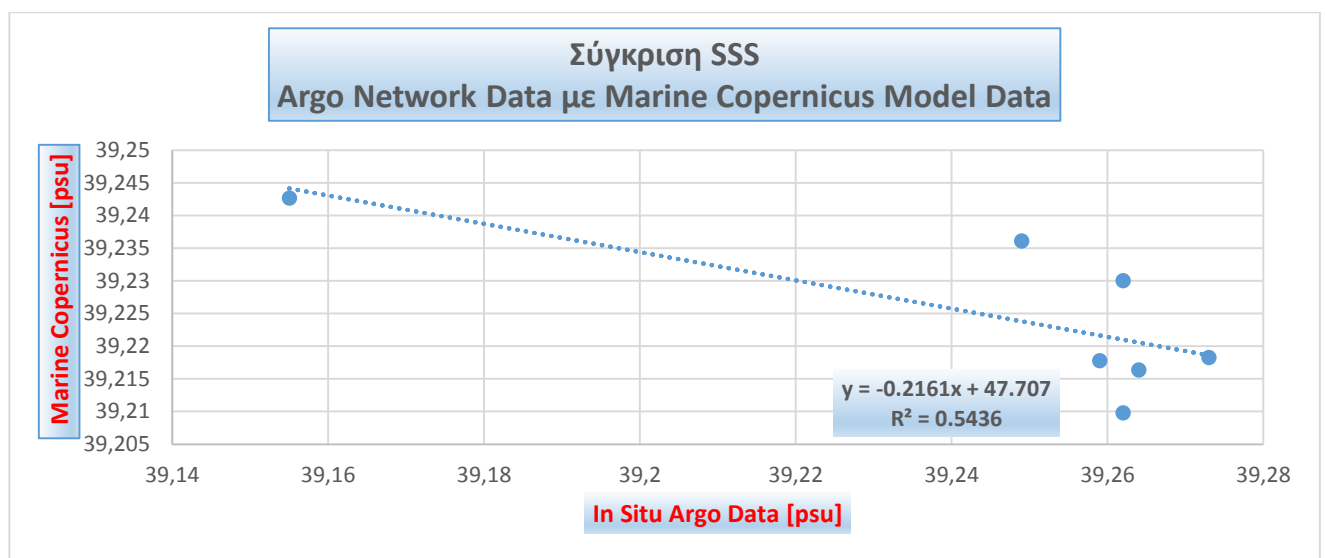
<b>SEA SURFACE SALINITY</b>						
<b>Temperature Date</b>	<b>Argo (Vessel)</b>	<b>Observed time (Argo)</b>	<b>Marine Copernicus Model</b>	<b>Observed time (Marine Copernicus Model)</b>	<b>Difference</b>	<b>RMSE</b>
19-Feb-19	<b>39.249</b>	4:49:20 AM	<b>39.23608</b>	4:30:00 AM	0.01292	<b>0.0515 psu</b>
24-Feb-19	<b>39.264</b>	4:56:20 AM	<b>39.21635</b>	4:30:00 AM	0.04765	
01-Mar-19	<b>39.259</b>	4:54:20 AM	<b>39.21774</b>	4:30:00 AM	0.04126	
06-Mar-19	<b>39.262</b>	4:56:20 AM	<b>39.20979</b>	4:30:00 AM	0.05221	
11-Mar-19	<b>39.262</b>	4:48:20 AM	<b>39.23003</b>	4:30:00 AM	0.03197	
16-Mar-19	<b>39.273</b>	5:01:20 AM	<b>39.21827</b>	4:30:00 AM	0.05473	
21-Mar-19	<b>39.155</b>	4:49:20 AM	<b>39.24265</b>	4:30:00 AM	-0.08765	
	*psu		*psu		*psu	

**Πίνακας 7. Τιμές μετρήσεων του Argo έναντι του Sentinel-3 για την Επιφανειακή Θαλάσσια Θερμοκρασία.**

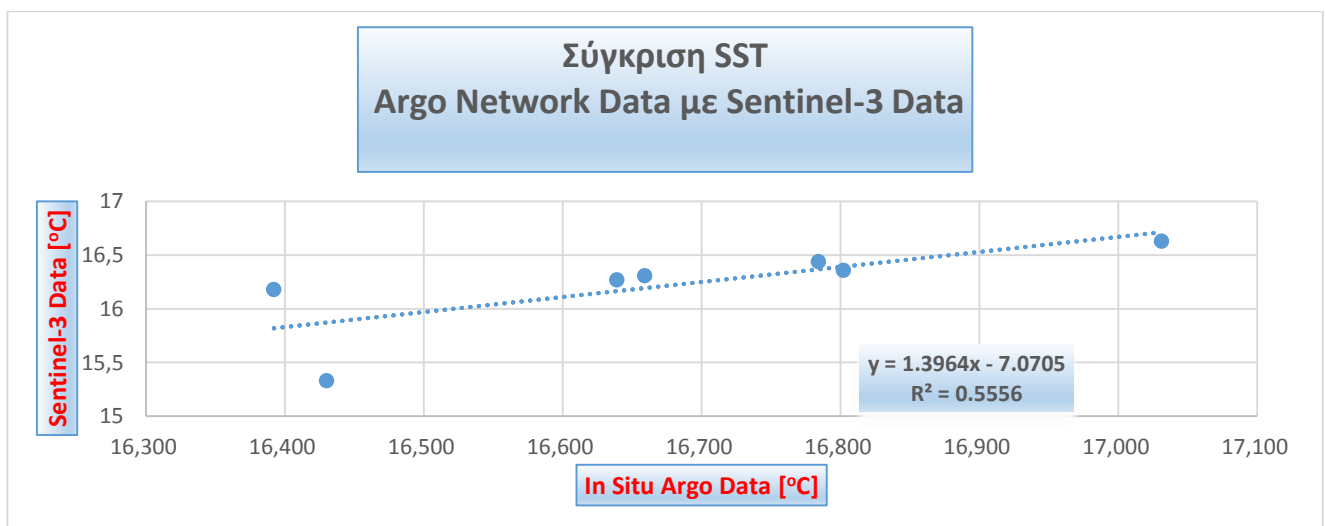
<b>SEA SURFACE TEMPERATURE</b>						
<b>Temperature Date</b>	<b>Argo (Vessel)</b>	<b>Observed time (Argo)</b>	<b>Sentinel-3</b>	<b>Observed time (Sentinel-3)</b>	<b>Difference</b>	<b>RMSE</b>
19-Feb-19	<b>16.639</b>	4:49:20 AM	<b>16.27001</b>	8:23:48 AM	0.369	<b>0.532833 °C</b>
24-Feb-19	<b>16.659</b>	4:56:20 AM	<b>16.30999</b>	7:53:53 AM	0.349	
01-Mar-19	<b>16.430</b>	4:54:20 AM	<b>15.33001</b>	7:50:08 AM (28 February 2019 due to bad weather conditions)	1.100	
06-Mar-19	<b>16.392</b>	4:56:20 AM	<b>16.17999</b>	8:35:00 AM	0.212	
11-Mar-19	<b>16.784</b>	4:48:20 AM	<b>16.44</b>	8:05:03 AM	0.344	
16-Mar-19	<b>16.802</b>	5:01:20 AM	<b>16.36001</b>	8:36:43 AM	0.442	
21-Mar-19	<b>17.031</b>	4:49:20 AM	<b>16.63</b>	7:23:43 PM	0.401	
	*Celsius		*Celsius		*Celsius	



Διάγραμμα 65. Σύγκριση SST του ARGO με τους πολυαισθητήρες του Marine Copernicus



Διάγραμμα 66. Σύγκριση SSS του ARGO με το μοντέλο του Marine Copernicus.



Διάγραμμα 67. Σύγκριση SST του ARGO με τα δεδομένα του δορυφόρου Sentinel-3.