

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή στις .../.../2023

.....
Β. Καραθανάση
Καθ. Ε.Μ.Π

.....
Κ. Καραντζαλος
Καθ. Ε.Μ.Π

.....
Π. Κολοκούσης
Ε.ΔΙ.Π. Ε.Μ.Π

.....
Αργυριάδη Πολυξένη

Διπλωματούχος Περιβαλλοντολόγος

Περίληψη

Η ανάγκη παρακολούθησης και προστασίας των θαλάσσιων υδάτων κρίνεται σημαντική για τα φυσικά οικοσυστήματα, για τον άνθρωπο και τις δραστηριότητες του. Επιτυγχάνεται με την παρακολούθηση των φυσικοχημικών παραμέτρων στα θαλάσσια ύδατα. Αρκετές φορές η διαδικασία αυτή είναι χρονοβόρα και αρκετά μεγάλου κόστους. Σήμερα, υπάρχουν μέθοδοι αρκετά αξιόπιστες και χαμηλού κόστους με την συμμετοχή των νέων τεχνολογιών και μεθόδων τηλεπισκόπησης. Στην παρούσα εργασία εξετάζεται η δυνατότητα εκτίμησης θαλάσσιων ποιοτικών χαρακτηριστικών με την χρήση τηλεπισκοπικών μεθόδων και δορυφορικών δεδομένων του δορυφόρου Landsat 8. Συγκεκριμένα, ως θαλάσσια ποιοτικά χαρακτηριστικά αναφέρονται η χλωροφύλλη (Chl-a), η αλατότητα της επιφάνειας της θάλασσας (SSS) και η θερμοκρασία της επιφάνειας της θάλασσας (SST). Πραγματοποιήθηκαν έλεγχοι συσχέτισης μεταξύ επίγειων μετρήσεων και τηλεπισκοπικών δεδομένων. Τα τηλεπισκοπικά δεδομένα είναι αποτελέσματα επεξεργασίας δορυφορικών δεδομένων, ως φασματική πληροφορία. Η περιοχή μελέτης ορίστηκε ο Βόρειος Θερμαϊκός κόλπος, την χρονική περίοδο από τον Ιούλιο του 2017 έως τον Μάϊο του 2018 και ακολούθησε επανάληψη της διαδικασίας στην περιοχή του κόλπου Λέοντος, στην Μασσαλία.

Η χλωροφύλλη-α μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως υποκατάστατο για το φυτοπλαγκτόν και επομένως είναι μια βασική παράμετρος ποιότητας του νερού. Η αλατότητα της επιφάνειας της θάλασσας (SSS) και η θερμοκρασία της επιφάνειας της θάλασσας (SST) είναι σημαντικά μέτρα για την υγεία των ωκεανών. Παρέχουν πληροφορίες σχετικά με την υπερθέρμανση των ωκεανών, τις ατμοσφαιρικές αλληλεπιδράσεις και την οξίνιση, με περαιτέρω επιπτώσεις στην παγκόσμια θερμοαλίνη κυκλοφορία και κατά συνέπεια στον παγκόσμιο κύκλο του νερού. Η θερμοκρασία και η αλατότητα μπορούν να συνδεθούν με την παραγωγικότητα του οικοσυστήματος, μπορούν να βοηθήσουν στη στρωματοποίηση διαφορετικών θαλάσσιων ζωνών, ενώ η αλατότητα μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ιχνηλάτης για τους ρύπους και αποτελεί μέτρο επιρροής της γης στον ωκεανό. Η χλωροφύλλη α χρησιμοποιείται ως δείκτης της πρωτογενούς παραγωγικότητας στο θαλάσσιο περιβάλλον.

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η εκτίμηση των φυσικοχημικών παραμέτρων με τα δορυφορικά προϊόντα μπορεί να δείξει κάποιες καλές συσχετίσεις και κάποιες όχι. Σημαντικό ρόλο διαδραματίζει η ημερομηνία λήψης των δορυφορικών εικόνων να είναι όσο πιο κοντινή στην λήψη της

δειγματοληψίας. Ακόμη, επηρεάζουν τις μετρήσεις τόσο ο καιρός όσο και η κυκλοφορία των ρεμάτων στις παράκτιες περιοχές. Ένα άλλο μέγεθος είναι το μέγεθος του πλήθους των δεδομένων. Υπήρξαν αρκετές διαφορές με την βιβλιογραφία στις στατιστικές συσχετίσεις των δεικτών των καναλιών με τις επίγειες μετρήσεις. Προέκυψαν συσχετίσεις μεταξύ 40% με \wedge 60% στην Χλωροφύλλη-α, 40% με \wedge 70% στην επιφανειακή θαλάσσια αλατότητα, και τέλος 60% με 95% στην επιφανειακή θαλάσσια θερμοκρασία.

Ευχαριστίες

Για το μακρύ μου ταξίδι αυτό κατά την διάρκεια του μεταπτυχιακού μου διπλώματος, βρήκα στο τέλος την δική μου Ιθάκη. Θα ήθελα να ευχαριστήσω από καρδιάς την καθηγήτρια κ. Β. Καραθανάση, η οποία ήταν δίπλα μου κατά την διάρκεια της εκπόνησης της διπλωματικής, καθοδηγώντας με επιστημονικά αλλά και στηρίζοντας με ψυχολογικά.

Επίσης να ευχαριστήσω όλους τους καθηγητές της Σχολής για όλες τις γνώσεις που με προσέφεραν.

Τέλος, τους δικούς μου ανθρώπους, οικογένεια και φίλους που με στήριζαν ψυχολογικά κάθε μέρα σε αυτό το ταξίδι. Τον Σταύρο, την Αργυρώ, την Ιωάννα και την Ειρήνη για την μεγαλύτερη ενθάρρυνση και τις ξεχωριστές στιγμές που ζήσαμε.

Abstract

The need to monitor and protect marine waters is considered important for natural ecosystems, for humans and their activities. It is achieved by monitoring the biogeochemical parameters in marine waters. Several times this process is time-consuming and quite expensive. Today, there are quite reliable and low-cost methods with the participation of new technologies and methods of televisions. In this work, the possibility of estimating marine quality characteristics is examined using remote sensing methods and satellite data from Landsat 8. Specifically, marine quality characteristics include chlorophyll (Chl-a), sea surface salinity (SSS) and the sea surface temperature (SST). Correlation checks were performed between measurement levels and remote sensing data. Remote sensing data is the result of satellite data, as spectral information. The study area was defined as the North Thermaikos gulf, in the time period from July 2017 to May 2018. Also, the process was repeated in the area of Leo Gulf, in Marseille.

Chlorophyll-a can be used as a surrogate for the plant and is therefore a key water quality parameter. Sea surface salinity (SSS) and sea surface temperature (SST) are important measures of ocean health. They provide information on ocean warming, atmospheric interactions and acidification, with further on the global thermohaline circulation and consequently the global water cycle. Temperature and salinity can be linked to ecosystem productivity, can help stratify different marine zones, while salinity can be used as a tracer for pollutants and a measure of land's influence on the ocean. Chlorophyll a is used as an indicator of primary productivity in the marine environment.

The results have shown that the assessment of physicochemical parameters from processing satellite products can show some good correlations and some do not. An important role plays the date for the reception of satellite images to be as close as the sampling. It also affects the measurements of both the weather and the circulation of streams in coastal areas. Another size is the size of the data multitude. There have been several differences with the literature on the statistical correlations of channel markers with ground measurements. Correlations were between 40% to ^60% in chlorophyll-A, 40% with ^70% in the surface salinity, and 60% to 95% at the surface marine temperature.

Περιεχόμενα

1. Εισαγωγή	11
2. Θεωρητικό Υπόβαθρο	13
2.1 Ιδιότητες του θαλασσινού νερού	13
2.1.1 Χλωροφύλλη –α	13
2.1.2 Επιφανειακή Θαλάσσια Αλατότητα	18
2.1.3 Επιφανειακή Θαλάσσια Θερμοκρασία	22
2.2 Ψηφιακή Τηλεπισκόπηση	24
2.2.1 Ο δορυφόρος Landsat 8	25
3. Βιβλιογραφική Ανασκόπηση	27
4. Μεθοδολογία.....	37
4.1 Περιοχή μελέτης: Θερμαϊκός κόλπος	37
4.2 Περιοχή μελέτης: Κόλπος του Λέοντα	41
4.3 In-situ δεδομένα για τον Θερμαϊκό κόλπο.....	42
4.5 In-situ δεδομένα για τον κόλπο του Λέοντα	47
4.3 Δορυφορικά δεδομένα	49
4.4 Δείκτες συσχετίσεων	52
4.5 Απλή Γραμμική Παλινδρόμηση.....	54
5. Αποτελέσματα	56
5.1 Θερμαϊκός κόλπος: Χλωροφύλλη-α	56
5.2 Θερμαϊκός κόλπος : Επιφανειακή Θαλάσσια Αλατότητα	59
5.3 Θερμαϊκός κόλπος : Επιφανειακή Θαλάσσια Θερμοκρασία	61
5.4 Κόλπος Λέοντα: Χλωροφύλλη-α	63
5.5 Κόλπος Λέοντα : Επιφανειακή Θαλάσσια Αλατότητα	66
5.6 Κόλπος Λέοντα : Επιφανειακή Θαλάσσια Θερμοκρασία	68
6. Συμπεράσματα.....	74

7. Μελλοντική έρευνα	77
Βιβλιογραφία	78

1. Εισαγωγή

Ο αυξανόμενος ρυθμός της παγκόσμιας κλιματικής αλλαγής που παρατηρήθηκε τον 20^ο αιώνα, και που προβλέπεται να επιταχυνθεί στον αιώνα που διανύουμε, θα επηρεάσει σημαντικά τους ωκεανούς της Γης. Η επιρροή αυτή της κλιματικής αλλαγής θα έχει αντίκτυπο και στους ωκεανούς της γης καθώς αυτοί αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι του υδρολογικού κύκλου (1). Ο υδρολογικός κύκλος συνδέεται άμεσα με τις αλλαγές στην ατμοσφαιρική θερμοκρασία και το ισοζύγιο της ακτινοβολίας. Αναγκάζει το νερό να κυκλοφορεί μεταξύ της υδρόσφαιρας, της ατμόσφαιρας, της ξηράς και της θάλασσας (2). Οι περισσότερες έρευνες επικεντρώνεται στις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στα χερσαία οικοσυστήματα, παράλληλα όμως υπάρχουν πρόσφατες έρευνες και επιστημονικές συζητήσεις για την παγκόσμια κατάσταση των ωκεανών οι οποίες αναφέρουν και παρουσιάζουν με αυξημένες ανησυχίες τις επιπτώσεις για τους θαλάσσιους βιολογικούς οργανισμούς (3).

Το νερό αποτελεί περίπου το 71% της επιφάνειας της Γης, ενώ το άλλο 29% αποτελείται από ξηρά. Ειδικότερα, το 96,5% του συνόλου του νερού της Γης αποτελείται από τους ωκεανούς ως αλμυρό νερό, ενώ το υπόλοιπο 3,5% είναι λίμνες γλυκού νερού και παγωμένο νερό εγκλωβισμένο στους παγετώνες και τους πολικούς πάγους (4).

Η πλούσια βιοποικιλότητα των ωκεανών προσφέρει πόρους για καινοτόμα φάρμακα ή εμβιομηχανική. Τα ωκεάνια οικοσυστήματα όπως οι κοραλλιογενείς ύφαλοι και τα μαγγρόβια δάση προστατεύουν τις ακτές από τσουνάμι και καταιγίδες. Επιπλέον, οι ωκεανοί απορροφούν το 93% της θερμότητας που συσσωρεύεται στην ατμόσφαιρα. Η θέρμανση των ωκεανών επηρεάζει τα περισσότερα οικοσυστήματα. Επιπλέον περίπου το ένα τέταρτο του συνόλου του διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) που εκπέμπεται από την καύση ορυκτών καυσίμων απορροφάται από τους ωκεανούς. Το πλαγκτόν μετατρέπει μέρος αυτού του CO₂ σε οργανική ύλη, μέρος της οποίας εξάγεται στον βαθύτερο ωκεανό. Το υπόλοιπο CO₂ προκαλεί προοδευτική οξίνιση από χημικές αντιδράσεις μεταξύ CO₂ και θαλασσινού νερού, ενώ η οξίνιση επιδεινώνεται από την παροχή θρεπτικών ουσιών και με την απώλεια περιεκτικότητας σε O₂. Όλες αυτές οι αλλαγές ενέχουν κινδύνους για τη θαλάσσια ζωή και μπορεί να επηρεάσουν την ικανότητα των ωκεανών να εκτελούν το ευρύ φάσμα λειτουργιών που είναι ζωτικής σημασίας για το περιβάλλον και την ανθρώπινη υγεία (5).

Οι ανθρώπινες δραστηριότητες επηρεάζουν επίσης τις συνθήκες των ωκεανών, όπως η υπερ-αλίευση, η ρύπανση και η απορροή θρεπτικών ουσιών μέσω των ποταμών που προκαλεί ευτροφισμό, μια διαδικασία που παράγει μεγάλες περιοχές νερού με χαμηλά επίπεδα οξυγόνου (μερικές φορές αποκαλούμενες «νεκρές ζώνες»). Το ευρύ φάσμα παραγόντων που επηρεάζουν τις συνθήκες των ωκεανών και οι περίπλοκοι τρόποι αλληλεπίδρασης αυτών των παραγόντων καθιστούν δύσκολο να απομονωθεί ο ρόλος που διαδραματίζει ένας παράγοντας στο πλαίσιο της κλιματικής αλλαγής ή να προσδιοριστούν με ακρίβεια οι συνδυασμένες επιπτώσεις αυτών των πολλαπλών παραγόντων (5).

Η ανάλυση του ωκεανού δίνει τη δυνατότητα στον άνθρωπο να κατανοήσει καλύτερα τη Γη. Σε αρκετές περιοχές το κλίμα εξαρτάται από την κατάσταση των ωκεανών και των θαλασσών. Οι αλλαγές στα ωκεάνια ρεύματα και τις θερμοκρασίες έχουν άμεσο αντίκτυπο στον καιρό. Ακόμη, μπορεί να οδηγήσουν σε ανατροφοδότηση του κλίματος, η οποία είτε θα αυξήσει είτε θα μειώσει τον ρυθμό της κλιματικής αλλαγής (6).

Η ανάγκη παρακολούθησης και προστασίας των υδάτων είναι ζωτικής σημασίας για τα φυσικά οικοσυστήματα και για τον άνθρωπο. Οι σύγχρονες τεχνολογίες και οι νέες μέθοδοι παρακολούθησης μέσω της ψηφιακής τηλεπισκόπησης, αποτελούν ένα πολύτιμο εργαλείο, αξιόπιστο και χαμηλού κόστους.

Η παρούσα εργασία έχοντας ως κίνητρο τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στους ωκεανούς και μελετά τις μεταβολές φυσικοχημικών παραγόντων όπως χλωροφύλλη-α Chl-a , επιφανειακή θαλάσσια θερμοκρασία SST και επιφανειακή θαλάσσια αλατότητα SSS στη θαλάσσια περιοχή του Θερμαϊκού κόλπου χρησιμοποιώντας δορυφορικά προϊόντα Landsat 8. Επιπλέον, εφαρμόζονται οι ίδιοι δείκτες και στον κόλπο του Λέοντα (Gulf of Lion), στην Μασσαλία.

2. Θεωρητικό Υπόβαθρο

2.1 Ιδιότητες του θαλασσινού νερού

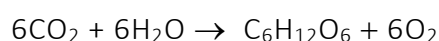
Οι φυσικοχημικές παράμετροι των θαλασσινών υδάτων καθορίζουν σημαντικά την ποιότητά του καθώς και τη θαλάσσια κυκλοφορία. Στις φυσικές παραμέτρους ανήκουν η θερμοκρασία, η πυκνότητα, η διαύγεια, η θολότητα και το χρώμα. Ενώ στις χημικές παραμέτρους εντάσσονται η αλατότητα, το pH, η ιονική σύνθεση και οι συγκεντρώσεις των αλάτων, των διαλυμένων αερίων και διάφορων οργανικών ουσιών. Στις βιολογικές παραμέτρους μπορεί να ενταχθεί η χλωροφύλλη και το φυτοπλαγκτόν.

Στο παρόν κεφάλαιο αναλύονται οι τρεις παράμετροι του θαλασσινού νερού (θερμοκρασία, αλατότητα και η χλωροφύλλη). Η σημαντικότητά τους για την διατήρηση της ζωής στα υδατικά οικοσυστήματα είναι σημαντική, καθώς η μεταβολή της επηρεάζει τόσο τη χλωρίδα, όσο και την πανίδα της θαλάσσιας περιοχής.

2.1.1 Χλωροφύλλη –α

Το φυτοπλαγκτόν περιλαμβάνει τους φωτοσυνθετικούς μικροοργανισμούς (προκαρυωτικούς / κυανοβακτήρια / ευκαρυωτικούς) (7), (8). Ζούνε στις θάλασσες, στις λίμνες και στα ποτάμια, όπου συνεισφέρουν ένα μέρος ή το μεγαλύτερο μέρος του οργανικού άνθρακα που διατίθεται στα πελαγικά οικοσυστήματα για τροφή (9). Η πιο θεμελιώδης πτυχή του φυτοπλαγκτού είναι η μετατροπή της φωτεινής ενέργειας σε βιομάζα μέσω της φωτοσύνθεσης (10).

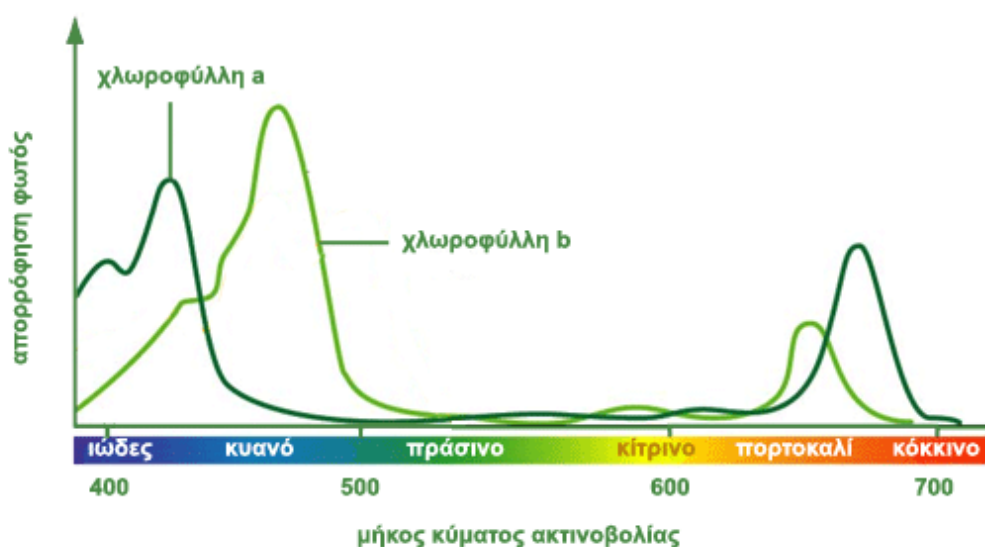
Η φωτοσύνθεση μπορεί να συνοψιστεί με την εξής εξίσωση:



Αυτή πραγματοποιείται από τις διάφορες χρωστικές του φυτοπλαγκτού (11). Στην βιβλιογραφία έχουν αναγνωριστεί διάφοροι τύποι της χλωροφύλλης. Κύρια χρωστική είναι η χλωροφύλλη α και βοηθητικές χρωστικές μερικές από αυτές είναι για παράδειγμα οι χλωροφύλλες b και c, τα καροτενοειδή και οι φυκοχλοπρωτεΐνες (12). Η χλωροφύλλη-α και b μπορεί να βρεθεί σε όλα τα ανώτερα φυτά και στα άλγη σε αντίθεση με τη c, η οποία υπάρχει μόνο στα άλγη και στα φύκια. Επιπρόσθετα, η χλωροφύλλη-α είναι η κύρια χρωστική

ουσία σε όλα τα φυτά και μπορεί να θεωρηθεί δείκτης της ανάπτυξης της βιομάζας τους (13).

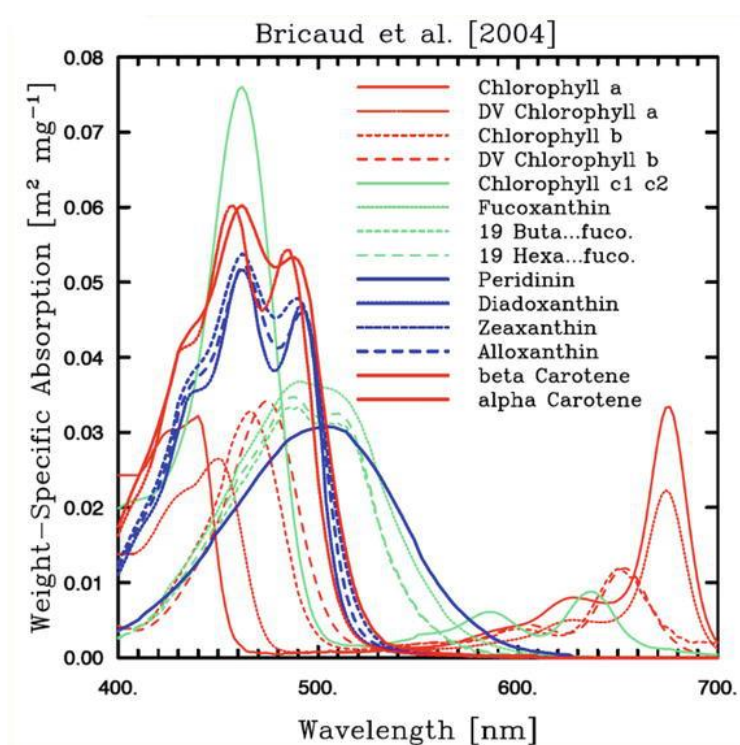
Είναι γνωστό πως στην Τηλεπισκόπηση για την αξιολόγηση των παράκτιων συστημάτων χρησιμοποιούνται δείκτες. Σύμφωνα με τους Κίτσιου και Καρύδης οι συγκεντρώσεις της χλωροφύλλης μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως δείκτης της ανάπτυξης του φυτοπλαγκτόν στα θαλάσσια ύδατα (14). Επιπλέον, η χλωροφύλλη είναι γνωστή για την ιδιότητά της ως χρωστική, δίνοντας το πράσινο χρώμα των φυτών. Η χλωροφύλλη-α απορροφά σε μήκη κύματος που αντιστοιχούν στο κόκκινο και στο μπλε-μοβ χρώμα του φάσματος. Το φάσμα απορρόφησης της χρωστικής χλωροφύλλης-α φαίνεται στην παρακάτω εικόνα, καθώς η συγκέντρωσή της μειώνεται, το φάσμα του ανακλώμενου ηλιακού φωτός μετατοπίζεται προοδευτικά από το μπλε στο πράσινο.



Εικόνα 1: Φάσμα απορρόφησης χλωροφύλλης α και β.

Είναι γεγονός ότι οι κλιματικές συνθήκες επηρεάζουν τις κοινότητες του φυτοπλαγκτού. Αντίθετα, το φυτοπλαγκτόν συμβάλλει στους βιο-γεωχημικούς κύκλους του πλανήτη. Η αύξηση του ατμοσφαιρικού CO₂ προκαλεί επιπτώσεις στα θαλάσσια ύδατα, αυξάνοντας τη συγκέντρωση του διαλυτού CO₂ στο νερό. (15). Αυτό με την σειρά του μέσω της μείωσης του pH επηρεάζει τη δέσμευση του CO₂ από διάφορα φυτοπλαγκτονικά είδη και ταυτόχρονα την ανάπτυξή τους. Σύμφωνα με την βιβλιογραφία το κατάλληλο pH ανάπτυξης κυμαίνεται από 6,3 έως και 10 (εργαστηριακές συνθήκες). Επιπλέον, η ύπαρξη ελάχιστων αλλαγών στο pH αποδεικνύει την κρισιμότητα επιρροής για την ανάπτυξη κάποιων ειδών ενώ για άλλα όχι. (16).

Η ανίχνευση του φυτοπλαγκτού μέσω της τηλεπισκόπησης (satellite detected fluorescence / remote sensing of phytoplankton) είναι μια μέθοδος για την αναγνώριση του φυτοπλαγκτού σε περιοχές μελέτης και διενεργείται μέσω δορυφορικών δεδομένων ή δεδομένων που λήφθηκαν από αεροπλάνα. Συγκεκριμένα, βασικό ρόλο διαδραματίζει ο φθορισμός πολλών ειδών φυτοπλαγκτού (λόγω φωτοσύνθεσης των χρωστικών όπως αναφέρθηκε νωρίτερα σε αυτήν την ενότητα). Δίνοντας ταυτόχρονα πληροφορία για τη βιομάζα και τη πρωτογενή παραγωγή των πληθυσμών που μελετώνται στην συγκεκριμένη περιοχή (17). Η τηλεανίχνευση μετρά μέσω οπτικής φασματικής ραδιομετρίας την συγκέντρωση διαφόρων χρωστικών στα σημεία που το χρώμα του ωκεανού διαφέρει. Η τεχνική αυτή μπορεί να δώσει τη δυνατότητα εκτίμησης των θρεπτικών του υπό μελέτη υδάτινου οικοσυστήματος, της ικανότητας χρήσης του φωτός από το φυτοπλαγκτό, της συμβολής του στον κύκλο του άνθρακα, όπως επίσης και της αλληλεπίδρασης κλίματος και φυσιολογίας του φυτοπλαγκτού (18). Συγκεκριμένα, οι διαφορετικές χρωστικές στο εσωτερικό του φυτοπλαγκτού όπως φαίνονται στην Εικόνα 3, παρουσιάζουν διαφορετικούς συντελεστές απορρόφησης, οι οποίοι είναι σημαντικοί και για την ερμηνεία του χρώματος των ωκεανών (19).



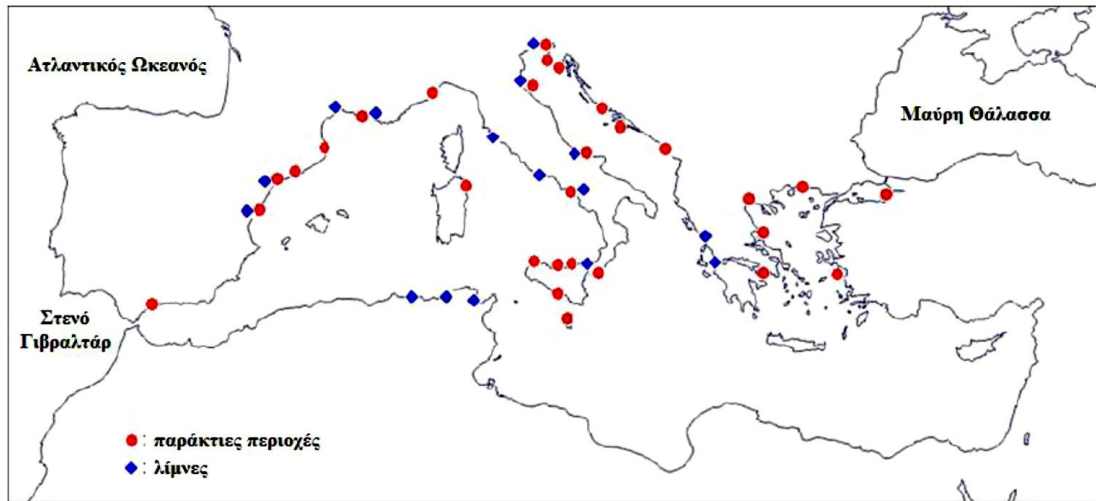
Εικόνα 2: Πηγή: Bricaud, A., Claustre, H., Ras, J., & Oubelkheir, K. (2004). Natural variability of phytoplanktonic absorption in oceanic waters: Influence of the size structure of algal populations. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 109(C11)

Στη συγκεκριμένη εργασία γίνεται εκτίμηση της χλωροφύλλη-α μέσω τηλεσκοπικών μεθόδων. Η χλωροφύλλη-α ανήκει στις βιολογικές παραμέτρους του νερού και είναι σημαντική για τους φωτοσυνθετικούς οργανισμούς προκειμένου να απελευθερώσουν χημική ενέργεια. Είναι κυανοπράσινη και η μοριακή της δομή αποτελείται από ένα δακτύλιο άζωτο με ένα άτομο μαγνησίου στο κέντρο, πλευρικές αλυσίδες και μια ουρά από υδρογονάνθρακα (20).

Η συγκέντρωση της Chl-a θεωρείται ως μια κρίσιμη παράμετρος για τον έλεγχο της ποιότητας του νερού σχετικά με πολλά περιβαλλοντικά ζητήματα όπως για παράδειγμα ο ευτροφισμός. Ο ευτροφισμός μπορεί να οδηγήσει σε σοβαρές επιπτώσεις στο υδάτινο περιβάλλον, αναφορικά κάποιες από αυτές είναι: η αύξηση της υποξίας, οι θάνατοι κάποιων θαλάσσιων ειδών και η παρουσία επιβλαβών φυκιών. Ειδικότερα οι επιπτώσεις του ευτροφισμού σε παράκτιο οικοσύστημα, είναι η παραγωγή τοξινών που μεταβάλλουν την γεύση και την οσμή του νερού, η αυξημένη κατανάλωση οξυγόνου το οποίο οδηγεί σε μικρή ποσότητα διαλυμένου οξυγόνου για το οικοσύστημα, η μείωση της διείσδυσης της ηλιακής ακτινοβολίας, η αύξηση της θνησιμότητας των οργανισμών, η απελευθέρωση σιδήρου, μαγνησίου, αμμωνίας και φωσφόρου από το ίζημα και η παραγωγή μεθανίου και υδρόθειου. Υπάρχει συσχέτιση της τιμής της συγκέντρωσης της χλωροφύλλης με το τροφικό επίπεδο των θαλάσσιων περιοχών και η διάκριση γίνεται κυρίως τρία τροφικά επίπεδα:

- ο Ολιγότροφο: Χαμηλή πρωτογενής παραγωγικότητα λόγω χαμηλής συγκέντρωσης θρεπτικών αλάτων. Τέτοιες περιοχές έχουν συγκεντρώσεις χλωροφύλλης κάτω από 0.05μg/l στην επιφάνεια έως και μέγιστες τιμές των 0.1-0.5μg/l σε βάθη 100-150 m.
- ο Μεσότροφο: Ενδιάμεσο επίπεδο παραγωγικότητας με συγκεντρώσεις χλωροφύλλης μεταξύ 0.5 και 1μg/l στην επιφάνεια.
- ο Εύτροφο: Υψηλή βιολογική παραγωγικότητα λόγω υψηλής συγκέντρωσης θρεπτικών αλάτων. Οι συγκεντρώσεις χλωροφύλλης είναι της τάξης των 1-10μg/l στα επιφανειακά νερά.

Σύμφωνα με την UNESCO στην περιοχή της Μεσογείου δεκαπέντε παράκτιες χώρες αντιμετωπίζουν πρόβλημα ευτροφισμού (21). Μέσα σε αυτές εντάσσεται και η Ελλάδα. Ειδικότερα μόνο κάποιοι συγκεκριμένοι κόλποι οι οποίοι παρουσιάζουν περιορισμένη κυκλοφορία έχουν ενδείξεις ευτροφισμού, μέσα σε αυτούς περιλαμβάνεται και ο Θερμαϊκός κόλπος και ο κόλπος του Λέοντα (gulf of Lion), όπως φαίνεται στην εικόνα 4.



Εικόνα 1: Ευτροφικές περιοχές στη Μεσόγειο θάλασσα. Πηγή: UNEP/FAO/WHO (1996), Assessment of the state of eutrophication in the Mediterranean Sea. MAP Technical Report Series No. 106, UNEP Athens, 455 pp.

2.1.2 Επιφανειακή Θαλάσσια Αλατότητα

Το 1909, το Διεθνές Συμβούλιο για την εξερεύνηση της Θάλασσας (International Council of the Exploration of the Sea) σύμφωνα με τους Lagerloef et al, 1995, 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». Ορίζεται ως ο συνολικός αριθμός γραμμαρίων διαλυμένων αλάτων σε ένα κιλό θαλασσινού νερού:

$$S = \text{gr διαλυμένων αλάτων} / \text{Kg θαλασσινού νερού}$$

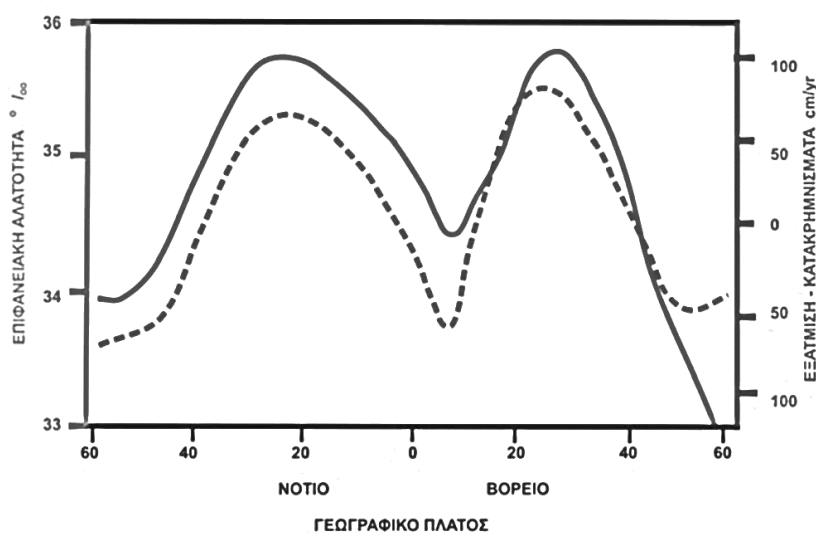
Οι μονάδες μέτρησης της αλατότητας είναι επομένως επί της χιλίους (‰) ή αντίστοιχα parts per thousand (ppt), ενώ επίσης χρησιμοποιείται και η ονομασία practical salinity units (psu). Το σύνολο των μονάδων αυτών είναι ισοδύναμο.

Σημαντική είναι η πρώτη απόπειρα μέτρησης της επιφανειακής αλατότητας της θάλασσας η οποία πραγματοποιήθηκε το 1977 στο Skylab (22). 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. Αυτές οι σχέσεις παρέχουν την φυσική βάση για την τηλεπισκόπηση του ωκεανού μέσω μικροκυμάτων. Όμως αρκετά χρόνια μετά έγινε η πρώτη παρουσίαση για εναέρια μέτρηση της αλατότητας στον ποταμό Μισισσιπή της Βόρειας Αμερικής (23). Στη συνέχεια, ακολούθησε μια σειρά εναέριων πειραμάτων από το Skylab, στα οποία χαρτογράφησαν τα μοτίβα της παράκτιας αλατότητας στις εκβολές του ποταμού Chesapeake και Savannah και κατά μήκος της ακτογραμμής του Πουέρτο Ρίκο (24).

Η προέλευση της αλατότητας στο θαλασσινό νερό καθορίζεται από την ύπαρξη των ιόντων. Τα ιόντα στο νερό της θάλασσας προστίθενται συνέχεια από δύο βασικές πηγές: τους ποταμούς που περιέχουν τα διαλυμένα προϊόντα της χημικής αποσάθρωσης των πετρωμάτων και την ηφαιστειακή δραστηριότητα (επιφανειακή & υποθαλάσσια).

Η αλατότητα στην επιφάνεια των ωκεανών εξαρτάται κυρίως από το ισοζύγιο εξάτμισης- κατακρήμνισης, δεδομένου ότι κατά την εξάτμιση αυξάνεται η συγκέντρωση αλάτων στο νερό (εξατμίζεται νερό και τα άλατα παραμένουν)

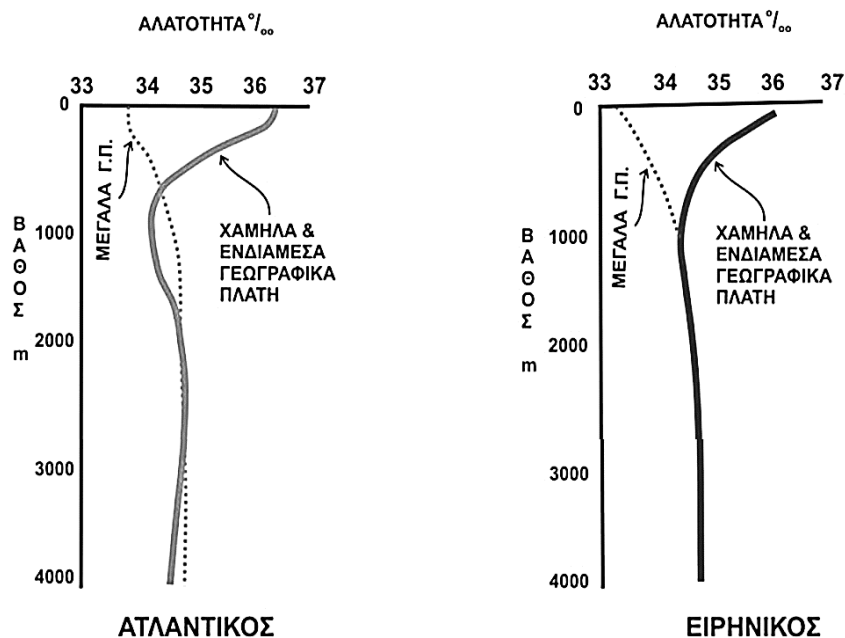
ενώ κατά την κατακρήμνιση (εισορή γλυκού νερού) μειώνεται η συγκέντρωση αλάτων. Η κατανομή της αλατότητας στην επιφάνεια της θάλασσας τείνει να αναπτύσσεται κατά ζώνες σύμφωνα με το γεωγραφικό πλάτος και την εποχή. Στις παράκτιες περιοχές η αλατότητα στα επιφανειακά νερά μειώνεται με την εισροή γλυκού νερού από ποτάμια και το λιώσιμο του πάγου στα μεγαλύτερα γεωγραφικά πλάτη. Αντίθετα σε μικρά γεωγραφικά πλάτη και σε κλειστές αβαθείς θαλάσσιες λεκάνες, όπου η εξάτμιση είναι μεγάλη και η εισροή γλυκού νερού μικρή, η αλατότητα στα επιφανειακά στρώματα αυξάνεται. 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 όπως φαίνεται στην Εικόνα 5.



Εικόνα 2: Κατανομή της αλατότητας και της διαφοράς εξάτμισης μείον κατακρημνίσματα από το Βόρειο ως το Νότιο ημισφαίριο. Πηγή: Albanakis, K. (2007). Μαθήματα Ωκεανογραφίας. University Studio Press, Thessaloniki

Γενικά, το 99% του νερού του παγκόσμιου ωκεανού έχει αλατότητα που κυμαίνεται μεταξύ 33 και 37ppt, ενώ μια μέση τιμή για την αλατότητα του θαλασσινού νερού είναι τα 35ppt. Υπάρχει 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. Ως αποτέλεσμα στην ανατολική Μεσόγειο παρατηρείται αλατότητα της τάξης των 39% ενώ

στην Ερυθρά θάλασσα η τιμή της φτάνει το 41‰. Σε αντίθεση 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 (25).



Εικόνα 3: Κατανομή της αλατότητας με το βάθος Πηγή: Albanakis, K. (2007). Μαθήματα Ωκεανογραφίας. University Studio Press, Thessaloniki

Αξιοσημείωτο είναι όπως αναφέρεται στο διδακτικό υλικό του κ. Αλμπανάκη (2007) ότι η κατακόρυφη κατανομή της αλατότητας δε μπορεί να ταξινομηθεί εύκολα σε ομάδες και τυποποιημένες κατανομές, διότι 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. Η αλατότητα και η θερμοκρασία είναι σημαντικοί παράγοντες για τον προσδιορισμό της πυκνότητας του θαλασσινού νερού και με τη σειρά της, η πυκνότητα είναι ένα κρίσιμο στοιχείο που οδηγεί τα ρεύματα στους ωκεανούς. Επομένως, η αλατότητα είναι μία από τις βασικές μεταβλητές που αξίζει να ληφθούν υπόψη κατά την παρακολούθηση και τη μοντελοποίηση της κυκλοφορίας στους ωκεανούς.

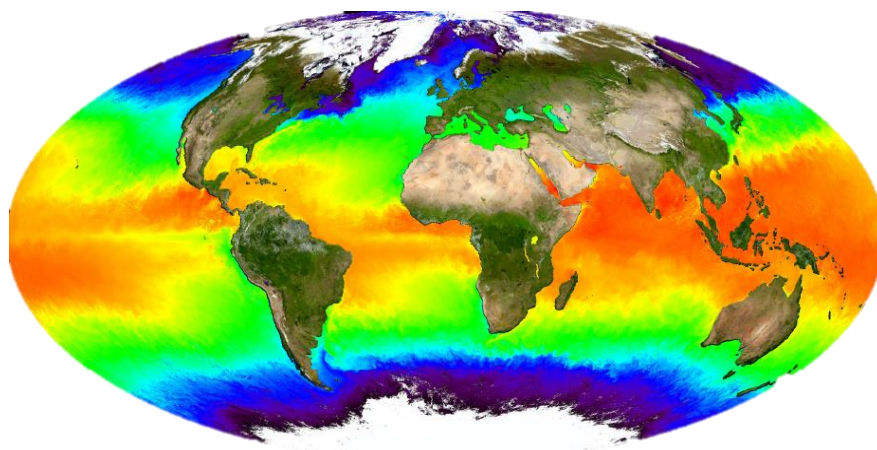
Στις παράκτιες περιοχές λόγω της επίδρασης των εκβολών των ποταμών, δημιουργείται μία ζώνη απότομης αύξησης της αλατότητας η οποία καλείται αλοκλινές (halocline) που αποτελεί τη διαχωριστική επιφάνεια μεταξύ του επιφανειακού στρώματος γλυκού νερού και του βαθύτερου στρώματος υψηλής αλατότητας.

Είναι σημαντικό ότι η μελέτη της κατανομή της αλατότητας των ωκεανών και των μεταβολών της χρονικά δίνουν στην επιστημονική κοινότητα σημαντικές

πληροφορίες για την επικρατούσα κατάσταση του παγκόσμιου κλίματος, και για την εξέλιξη του κλίματος του πλανήτη καθώς και τα χαρακτηριστικά των ωκεάνιων υδάτων. Επιπλέον, οι αλλαγές της αλατότητας επηρεάζουν την κυκλοφορία και τη στρωματοποίηση των ωκεανών με αποτέλεσμα να μεταβάλλεται η χωρητικότητα των ωκεανών για την αποθήκευση θερμότητας και άνθρακα. Επιπρόσθετα, η μεταβολή της αλατότητας αλλάζει τη βιολογική παραγωγικότητα ενός υδάτινου οικοσυστήματος και συμβάλλει στην τοπική αλλαγή της στάθμης της θάλασσας. Ακόμη, η αλατότητα των νερών μιας εκβολής επηρεάζει τις χημικές συνθήκες της περιοχής και ανάμεσα σε αυτές την ποσότητα του διαλυμένου οξυγόνου. Η διαλυτότητα, μειώνεται όσο αυξάνεται η αλατότητα και είναι σημαντική για τους έμβιους οργανισμούς που ζουν στις εκβολές. Τα επίπεδα αλατότητας εκτός των ορίων ανοχής, τους προκαλούν αρνητικές επιδράσεις συμπεριλαμβανομένης της αυξημένης πίεσης και των μειωμένων ποσοστών αναπαραγωγής και επιβίωσης. Για παράδειγμα, όταν η αλατότητα είναι σχετικά χαμηλή, το μικτό στρώμα θα είναι πιο σταθερό και η αντλία θρεπτικών συστατικών μπορεί να ανασταλεί μερικώς, οδηγώντας πιθανώς σε μειωμένη παραγωγικότητα ή καθυστέρηση στην έναρξη της ανθοφορίας του φυτοπλαγκτού την άνοιξη και το φθινόπωρο (26). Η εποχιακή και η ενδιάμεση μεταβλητότητα της αλατότητας της επιφάνειας της θάλασσας αντιπροσωπεύουν περιορισμούς στην υδρολογική ισορροπία και στα συνδυασμένα κλιματικά μοντέλα ωκεάνιας-ατμόσφαιρας (27). Η βροχόπτωση κάνει το νερό των ωκεανών πιο φρέσκο και λιγότερο πυκνό, το οποίο επικαλύπτει το αλμυρό νερό από κάτω, και αυτό το λεπτό στρώμα γλυκού νερού στην επιφάνεια της θάλασσας μπορεί να παραποιήσει τις ρηχές δορυφορικές μετρήσεις. Η επίδραση αυτού του φαινομένου στον τροπικό ωκεανό, όπου οι έντονες βροχοπτώσεις μπορούν να δημιουργήσουν πισίνες τοπικού γλυκού νερού, είναι πιο λογικό. Μπορεί να αυξήσει τη σταθερότητα του ανώτερου στρώματος της υδάτινης στήλης και να μειώσει σημαντικά τους ρυθμούς μεταφοράς αερίου κατά μήκος του πυκνόκλινου (pycnocline). Οι χωρικές και χρονικές διακυμάνσεις της αλατότητας είναι μεγαλύτερες στα εσωτερικά ύδατα και τους κόλπους επειδή επηρεάζονται έντονα από κλιματικά γεγονότα όπως η βροχόπτωση έναντι της εξάτμισης, οι εποχικές διακυμάνσεις της απορροής των ποταμών και οι ανταλλαγές με τους ωκεανούς λόγω της παλίρροιας και των χρόνων έκπλυσης. Διαστημικά και αερομεταφερόμενα πειράματα στις δεκαετίες του 1970 και του 1980 απέδειξαν τη δυνατότητα των παθητικών ραδιομέτρων μικροκυμάτων ζώνης L για τη μέτρηση της αλατότητας SSS.

2.1.3 Επιφανειακή Θαλάσσια Θερμοκρασία

Η θερμοκρασία του θαλασσινού νερού (SST) εκφράζεται συνήθως σε βαθμούς Κελσίου ($^{\circ}\text{C}$), ενώ σε κάποιες περιπτώσεις χρησιμοποιούνται και οι βαθμοί Kelvin ($\text{TK}=\text{T}^{\circ}\text{C}+273.15$), οπότε ονομάζεται απόλυτη θερμοκρασία. Η θερμοκρασία του νερού κυμαίνεται από -2 έως 30 $^{\circ}\text{C}$, ενώ αναπτύσσεται σχεδόν παράλληλα με τις ζώνες γεωγραφικού πλάτους, όπως φαίνεται στην εικόνα από κάτω.



Εικόνα 4: Κατανομή της μέσης επιφανειακής θερμοκρασίας του παγκόσμιου ωκεανού. Πηγή: NASA <https://visibleearth.nasa.gov/images/55878/surface-reflectance-and-ocean-temperature>

Η ηλιακή ακτινοβολία προκαλεί μεγαλύτερη αύξηση της θερμοκρασίας των επιφανειακών υδάτων, όσο πλησιέστερα βρίσκεται η θαλάσσια περιοχή στον ισημερινό. Κατά τη μετάβαση από τη μία εποχή του χρόνου στην επόμενη, η αλλαγή της έντασης του ηλιακού φωτός, αλλά και της ατμοσφαιρικής θερμοκρασίας, προκαλούν αντίστοιχες εποχιακές μεταβολές στη θερμοκρασία της στήλης του νερού.

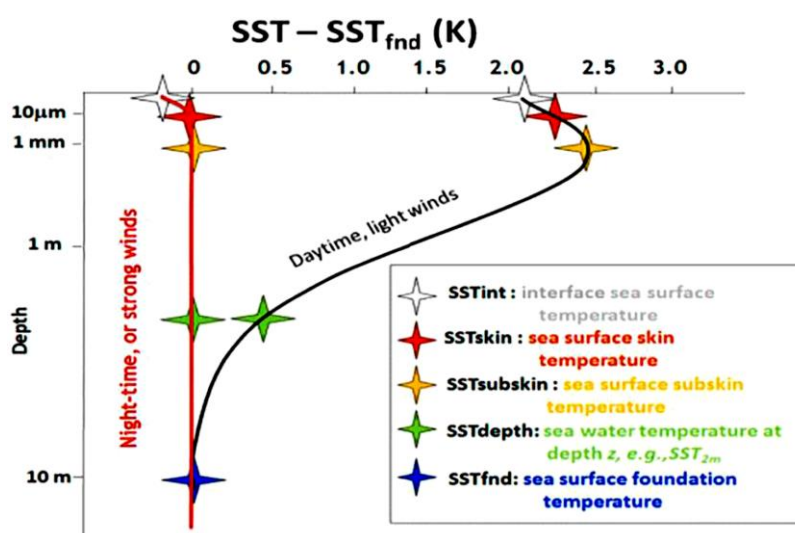
Οι δορυφορικές παρατηρήσεις SST άρχισαν στις αρχές της δεκαετίας του 1980. Ο αριθμός και ο τύπος και η ποιότητα των αισθητήρων έχει αυξηθεί και εξελίσσεται συνεχώς (28) (29).

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 (30). Οι χρονικές μεταβολές στα μοτίβα του SST σε κλίμακες κόλπων μπορούν να αποκαλύψουν διαταραχές μεγάλης κλίμακας στην παγκόσμια κυκλοφορία και στο κλίμα (31) (32). 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, η οποία είναι σημαντική για τη ροή του άνθρακα μέσω του παγκόσμιου περιβάλλοντος και είναι η βάση της τροφικής αλυσίδας των ωκεανών (33) (34).

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. (35).

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.

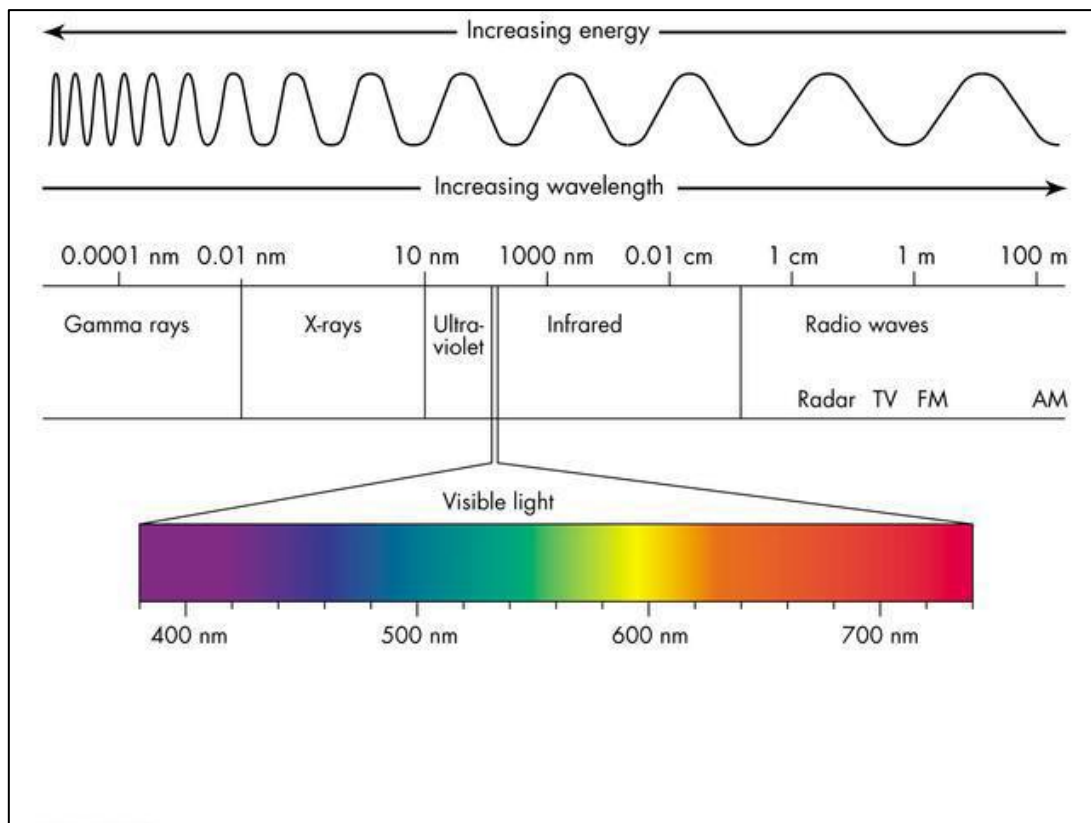


Εικόνα 5: Κλίμακες επιφανειακής θαλάσσιας θερμοκρασίας. Πηγή: Minnett, P., and Kaiser-Weiss, A. (2012). "Near-surface oceanic temperature gradients." GHRSSST discussion document.

Αυτή η πολυπλοκότητα και η μεταβλητότητα πρέπει να λαμβάνονται υπ' όψη, όταν συγκρίνεται ή συνδυάζεται η μέτρηση του SST από διαφορετικούς δορυφόρους και επιτόπιους αισθητήρες.

2.2 Ψηφιακή Τηλεπισκόπηση

Σήμερα με το όρο «τηλεπισκόπηση» εννοείται «η επιστήμη και η τεχνολογία παρατήρησης και μελέτης των χαρακτηριστικών της γήινης επιφάνειας από απόσταση, βάσει της αλληλεπίδρασης των υλικών που βρίσκονται επάνω σε αυτή με την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία».



Εικόνα 6: Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα

Η τηλεπισκόπηση αναλύει την ακτινοβολία που μετράται από έναν απομακρυσμένο αισθητήρα για την εξαγωγή πληροφοριών σχετικά με ένα συγκεκριμένο αντικείμενο ή υδάτινο σύστημα. Με τη χρήση απομακρυσμένων τεχνικών ανίχνευσης δίνεται η δυνατότητα της απόκτησης δεδομένων με χωρική και χρονική ομοιογένεια, ενώ στις επί τόπου μετρήσεις απαιτούνται παρακολούθηση του τόπου, δειγματοληψία και εργαστηριακή ανάλυση.

Στην τηλεπισκόπηση, η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία διασχίζει δύο φορές την ατμόσφαιρα. Μία με τη μεταφορά της ενέργειας από τον ήλιο στη γη όπου αλληλοεπιδρά με την επιφάνεια της και μία όταν ανακλάται και καταλήγει στους αισθητήρες των δορυφόρων, όπου καταγράφεται ως πληροφορία σε μορφή εικόνας.

2.2.1 Ο δορυφόρος Landsat 8

Ο δορυφόρος Landsat 8 εκτοξεύτηκε στις 11 Φεβρουαρίου 2013, από την αεροπορική βάση Vandenberg, Καλιφόρνια, με πύραυλο Atlas-V 401, με το εκτεταμένο ωφέλιμο φορτίο (EPF) από την United Launch Alliance, LLC. Το ωφέλιμο φορτίο του δορυφόρου Landsat 8 αποτελείται από δύο επιστημονικά όργανα—το Operational Land Imager (OLI) και τον θερμικό υπέρυθρο αισθητήρα (TIRS). Αυτοί οι δύο αισθητήρες παρέχουν εποχιακή κάλυψη της παγκόσμιας γης σε χωρική ανάλυση 30 μέτρων (ορατός, NIR, SWIR), 100 μέτρα (θερμικό), και 15 μέτρα (παγχρωματικό). Αναπτύχθηκε ως συνεργασία μεταξύ της NASA και του Γεωλογικού Ινστιτούτου των ΗΠΑ (USGS) (40).

Το όργανο OLI βελτιώνει τους παλαιότερους αισθητήρες Landsat χρησιμοποιώντας μια τεχνική προσέγγιση που αποδείχθηκε από έναν αισθητήρα που εφαρμόστηκε στον πειραματικό δορυφόρο EO-1 της NASA. Είναι ένας αισθητήρας ώθησης με τηλεσκόπιο τεσσάρων κατόπτρων και κβαντισμό 12 bit. Συλλέγει δεδομένα για ορατές, εγγύς υπέρυθρες και υπέρυθρες φασματικές ζώνες μικρού μήκους, καθώς και για μια παγχρωματική ζώνη. Έχει πενταετή διάρκεια σχεδιασμού. Το OLI παρέχει δύο νέες φασματικές ζώνες, η μία ειδικά προσαρμοσμένη για την ανίχνευση νεφών (θυσάνων) και η άλλη για παρατηρήσεις παράκτιας ζώνης.

Landsat-8 OLI and TIRS Bands (μm)		
30 m Coastal/Aerosol	0.435 - 0.451	Band 1
30 m Blue	0.452 - 0.512	Band 2
30 m Green	0.533 - 0.590	Band 3
30 m Red	0.636 - 0.673	Band 4
30 m NIR	0.851 - 0.879	Band 5
30 m SWIR-1	1.566 - 1.651	Band 6
100 m TIR-1	10.60 - 11.19	Band 10
100 m TIR-2	11.50 - 12.51	Band 11
30 m SWIR-2	2.107 - 2.294	Band 7
15 m Pan	0.503 - 0.676	Band 8
30 m Cirrus	1.363 - 1.384	Band 9

Εικόνα 7: Τα κανάλια του Landsat 8

Το όργανο TIRS συλλέγει δεδομένα για δύο ακόμη στενές φασματικές ζώνες στη θερμική περιοχή που παλαιότερα καλύπτονταν από μια ευρεία φασματική

ζώνη στους δορυφόρους Landsat 4–7. Τα δεδομένα από το όργανο TIRS 100 m καταχωρούνται στα δεδομένα OLI για τη δημιουργία ραδιομετρικών γεωμετρικών και διορθωμένα ως προς το έδαφος δεδομένων 12 bit. Ο Landsat 8 αποκτά τακτικά 725 σκηνές την ημέρα. Αυτό αυξάνει την πιθανότητα λήψης σκηνών χωρίς σύννεφο για την παγκόσμια στεριά. Το μέγεθος λήψης του Landsat 8 είναι 185 χιλιόμετρα διασταυρούμενης διαδρομής επί 180 χιλιόμετρα κατά μήκος διαδρομής. Το ονομαστικό ύψος του διαστημικού σκάφους είναι 705 χλμ. Για τα προϊόντα δεδομένων Landsat 8 απαιτείται χαρτογραφική ακρίβεια 12 m ή μεγαλύτερη (συμπεριλαμβανομένης της αντιστάθμισης για τις επιπτώσεις του εδάφους). (40)

3. Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

Η ενότητα αυτή της βιβλιογραφικής ανασκόπησης αναλύει και παραθέτει της έρευνες που έχουν διεκπεραιωθεί σχετικά με την καταγραφή και παρακολούθηση της χλωροφύλλης-a (Chlorophyll-a/Chl-a), της Επιφανειακής Θαλάσσιας Αλατότητας (Sea Surface Salinity/SSS), και της Επιφανειακής Θαλάσσιας Θερμοκρασίας (Sea Surface Temperature/SST) στο θαλασσινό νερό μέσω δορυφορικής τηλεπισκόπησης. Συνήθως ο σκοπός των ερευνών αυτών αποσκοπεί στην παρακολούθηση και εκτίμηση της ποιότητας των παράκτιων υδάτων. Υπάρχουν αρκετοί διαφορετικοί τρόποι εκτίμησης ανάλογα με την περιοχή και τον χρόνο. Ως αποτέλεσμα, να έχουν παραιτηθεί στην βιβλιογραφία διαφορετικοί δείκτες και μοντέλα για την εκτίμηση των ποιοτικών χαρακτηριστικών του θαλασσινού νερού, είτε από εμπειρικά, αναλυτικά μοντέλα ή νευρωνικά δίκτυα.

Κρίνεται αξιόλογη η σημαντικότητα των τριών παραμέτρων του θαλασσινού νερού ως προς την βιωσιμότητα. Αρχικά, 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 Γής. Ως αποτέλεσμα, 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 για παράδειγμα, 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 γης. Σχετικά με την σημαντικότητα της ακρίβειας των μετρήσεων που πρέπει να φέρει η επιφανειακή θαλάσσια θερμοκρασία, οδηγεί σε καλύτερα συμπεράσματα ώστε να κατανοηθεί καλύτερα η μεταβλητότητα στο παγκόσμιο κλίμα. 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. 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.

Μια από τις πρώτες έρευνες σχετικά με την εκτίμηση της συγκέντρωσης χλωροφύλλης-α από δορυφορικά δεδομένα (Coastal Zone Color Scanner -CZCS) είναι του Gitelson et. al 1996, αναφέρεται ότι γίνεται χρήση ενός αλγόριθμου για την περιοχή της βορειοδυτικής Μεσόγειου. Συλλέχθηκαν δεδομένα πεδίου συγκεντρώσεων χλωροφύλλης-α από 21 επίγειους σταθμούς στην περιοχή της Γάζας και χρησιμοποιήθηκαν για την συσχέτιση αυτών των δεδομένων με τον δορυφορικών κάνοντας χρήση μοντέλα λογαριθμικής παλινδρόμησης και λόγοι ακτινοβολίας μεταξύ κανάλι 1 προς κανάλι 3. (41)

Σε επόμενη έρευνα οι Volpe et al το 2007 χρησιμοποιώντας ένα μεγάλο σύνολο in situ δεδομένων συγκέντρωσης χλωροφύλλης καθώς και οπτικών μετρήσεων εισήγαγαν τον αλγόριθμό MedOC4 ο οποίος βασίστηκε στην προσαρμογή των συντελεστών του OC4v4 για τη Μεσόγειο Θάλασσα. Συγκεκριμένα, ο νέος αλγόριθμος MedOC4 περιγράφεται από μια πολυωνυμική σχέση 4ου βαθμού και οι συντελεστές υπολογίστηκαν μέσω παλινδρόμησης. Για την επικύρωση του χρησιμοποιήθηκε ένα ανεξάρτητο in situ σύνολο δεδομένων και διαπιστώθηκε ότι ο νέος αλγόριθμος υπολόγιζε καλύτερα τις συγκεντρώσεις χλωροφύλλης σε σχέση με τους αλγορίθμους OC4v4, BRIC και DORMA. (42)

Βασιζόμενος στην παραπάνω έρευνα, ο Santoleri et al. 2008 προσάρμοσε τους αλγόριθμους για τους δορυφόρους MODIS (MEDOC3M) και MERIS (MEDOC4ME) (43).

Ακόμη μία μελέτη το 2007, ήταν η ανάπτυξη αλγορίθμων για την εκτίμηση της συγκέντρωσης χλωροφύλλης-α στον κόλπο Pensacola χρησιμοποιώντας δεδομένα Landsat 7 ETM+. Οι τεχνικές που χρησιμοποιήθηκαν ήταν η αναλογία ζώνης και τα μοντέλα παλινδρόμησης. Ως μία από τις 39 εκβολές ποταμών που βρίσκονται στον Κόλπο του Μεξικού, ο κόλπος Pensacola επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από ποτάμια. Τα δεδομένα Landsat ETM+ διορθώθηκαν πρώτα γεωμετρικά. Στη συνέχεια, οι τιμές φωτεινότητας μετατράπηκαν σε ανακλαστικότητα μέσω της διαδικασίας ραδιομετρικής διόρθωσης. Για τα μοντέλα παλινδρόμησης, η λογαριθμικά μετασχηματισμένη χλωροφύλλη-α χρησιμοποιήθηκε ως εξαρτημένη μεταβλητή. Τα αποτελέσματα από τη μελέτη αυτή έδειξαν ότι η αναλογία $ETM+ 1/ETM + 3$ ήταν η πιο αποτελεσματική για την εκτίμηση της χλωροφύλλης-α στην συγκεκριμένη περιοχή (44).

Σημαντική είναι και η μελέτη του Mark William Mathews το 2010 στην οποία συγκεντρώνονται όλες τις έρευνες από το 1986 μέχρι και το 2010 σχετικά με

την εκτίμηση της ποιότητας των νερών από δορυφορικά δεδομένα με χρήση εμπειρικών αλγορίθμων. Οι περισσότεροι χρησιμοποιούμενοι δορυφόροι όσον αφορά την εκτίμηση της συγκέντρωσης της χλωροφύλλης-α ήταν οι MODIS , MERIS, Sea WFS, Landsat και οι περιοχές μελέτης ποικίλουν από κόλπους και λίμνες (45).

Ακόμα, μία μελέτη στην οποία γίνεται συγκεντρωτική αναφορά ερευνών για την επικύρωση αλγορίθμων υπολογισμού των διαφορετικών συστατικών του νερού από το 2006 μέχρι και το 2011. Αναφέρει ποικιλία αλγορίθμων στους οποίους περιλαμβάνονται: αλγόριθμοι του Ocean Color (OC3-OC4), αλγόριθμοι που χρησιμοποιούν τα κανάλια του υπερύθρου με κόκκινο και αλγόριθμοι που έχουν σχέση με δείκτες FLH και MCI. Οι δορυφόροι που λαμβάνονται υπόψη είναι οι SeaWIFS, MODIS, MERIS και Landsat. Η εργασία αυτή συμπεραίνει ότι ως προς την εκτίμηση της συγκέντρωσης χλωροφύλλης ότι οι αλγόριθμοι που χρησιμοποιούν τα κανάλια του μπλε και του πράσινου έχουν εφαρμογή κατά κύριο λόγο σε ολιγοτροφικές συνθήκες ενώ οι αλγόριθμοι που χρησιμοποιούν τα κανάλια του κόκκινου με το υπέρυθρο ισχύουν για περιπτώσεις όπου οι συγκεντρώσεις της είναι πάνω από 10 mg/m³ (46).

Το 2011 οι Drakopoulos et al χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα in situ από το σταθμό της Κρήτης του συστήματος Poseidon, μετρήσεις αντανάκλασης στην επιφάνεια της θάλασσας και προφίλ της μεταβολής της χλωροφύλλης με το βάθος συνδυάστηκαν για την αξιολόγηση υφιστάμενων εμπειρικών αλγορίθμων (MedOC4, MedOC3, OC4v4, OC3M) για τον υπολογισμό της χλωροφύλλης από δορυφορικά δεδομένα. Ως αποτέλεσμα προέκυψε ότι οι παγκόσμιοι αλγόριθμοι OC4v4, OC3 και MedOC3 υπερεκτιμούν τη συγκέντρωση της χλωροφύλλης με > 35% (47).

Σε ακόμα μία έρευνα των Drakopoulos et al το 2015 μελετήθηκε η περιοχή του ΝΑ Αιγαίου. Πιο συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκαν δείγματα από 7 σταθμούς in situ συγκέντρωσης χλωροφύλλης. Υπολογίστηκε η χλωροφύλλη από δορυφορικά δεδομένα MODIS χρησιμοποιώντας τους αλγορίθμους MedOC3 και του Ocean color 3 (OC3M). Έγινε συσχέτιση των δυο παραπάνω και αξιολόγηση χρησιμοποιώντας τον συντελεστή συσχέτισης (r), RMS και BIAS. Κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι ο αλγόριθμος MEDOC3 δίνει καλύτερα αποτελέσματα και επεσήμαναν την ανάγκη για ύπαρξη νέων αλγορίθμων (48).

Στην έρευνα των V. Markogianni et al το 2018 πραγματοποιήθηκε επιτόπια παρακολούθηση της ποιότητας του νερού της λίμνης με τη χρήση δορυφορική τηλεπισκόπησης. Αυτή η μελέτη διερεύνησε την καταλληλότητα του οργάνου Operational Land Imager (OLI) στη δορυφορική πλατφόρμα του Landsat 8 για την ακριβή εκτίμηση των βασικών παραμέτρων ποιότητας του νερού, όπως η

χλωροφύλλη-*a* και οι συγκεντρώσεις θρεπτικών συστατικών. Ως μελέτη περίπτωσης χρησιμοποιήθηκε το μεγαλύτερο γλυκό νερό της Ελλάδας (Λίμνη Τριχωνίδας). Χρησιμοποιήθηκαν δύο εικόνες Landsat 8 που καλύπτουν την περιοχή μελέτης και αποκτήθηκαν στις 30 Οκτωβρίου 2013 και στις 30 Αυγούστου 2014 αντίστοιχα. Σχεδόν ταυτόχρονες επιτόπιες παρατηρήσεις από δύο εκστρατείες δειγματοληψίας νερού αποκτήθηκαν επίσης από 22 σταθμούς κατά μήκος της υπό μελέτη λίμνης. Οι επιτόπιες μετρήσεις (συγκεντρώσεις θρεπτικών ουσιών και χλωροφύλλης-*a*) συσχετίστηκαν στατιστικά με διάφορους συνδυασμούς φασματικών ζωνών που προέκυψαν από τις εικόνες Landsat του έτους 2014. Στη συνέχεια, τα πιο πολλά υποσχόμενα στατιστικά μοντέλα πρόβλεψης εφαρμόστηκαν στη δορυφορική εικόνα του 2013 και η επικύρωση πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας επιτόπου στοιχεία του 2013 ως αναφορά. Τα αποτελέσματα έδειξαν μια σχετικά μεταβλητή στατιστική σχέση μεταξύ των *in-situ* και των ανακλάσεων. Τα ευρήματά της μελέτης έδειξαν ότι το Landsat 8 έχει μια πολλά υποσχόμενη ικανότητα στην εκτίμηση των ποιοτικών στοιχείων του νερού σε ένα ολιγοτροφικό σώμα γλυκού νερού (49).

Οι δορυφορικοί απομακρυσμένοι αισθητήρες παρέχουν πιο συχνά υψηλότερη χωρική ανάλυση δεδομένων και κάνουν παρατηρήσεις σε μεγάλα γεωγραφικά πλάτη. Καθώς η μέτρηση της επιφανειακής αλατότητας με παθητικά ραδιόμετρα μικροκυμάτων απαιτεί μεγάλα μήκη κύματος (20-30 cm), η ακριβής εκτίμηση του SSS από δορυφορικά υψόμετρα θα απαιτούσε μια τεράστια κεραία, την οποία οι περισσότεροι δορυφόροι δεν μπορούσαν να φιλοξενήσουν (50). Η νέα συμβολομετρική τεχνολογία κατέστησε δυνατή την αντιμετώπιση τέτοιων προβλημάτων με το μέγεθος της κεραίας (51). Για παράδειγμα, ο δορυφόρος Moisture and Ocean Salinity (SMOS) χρησιμοποιείται για τη μέτρηση SSS και την παροχή συνθετικών χαρτών SSS με υψηλή ακρίβεια (52).

Σε μία μελέτη το 2017 των Jun Zhao et al., αναπτύχθηκε ένας πολυμεταβλητός γραμμικός αλγόριθμος για την περιοχή του υπεραλατώδη Περσικού Κόλπου για την εκτίμηση της επιφανειακής θαλάσσιας αλατότητας. Οι συγκρίσεις μεταξύ των εκτιμώμενων και των επιτόπιων μετρήσεων SSS παρήγαγαν τιμές R² που έφτασαν το 0,74 και RMSE <2%. Ο προτεινόμενος αλγόριθμος εφαρμόστηκε σε δεδομένα OLI που συλλέχθηκαν τον Νοέμβριο του 2013 και τον Μάρτιο του 2016 για να καταδείξει τις αλλαγές SSS από τις κανονικές συνθήκες όταν εμφανίστηκαν ακραία γεγονότα. Η καλή συμφωνία μεταξύ των προερχόμενων από δορυφόρο δεδομένων και των *in situ* Rrs δείχνει ότι οι αβεβαιότητες του

αλγόριθμοι αποδίδονται κυρίως στην παραμετροποίηση του αλγόριθμου λόγω βελτίωση της απόδοσης. Σε σύγκριση με προϊόντα που προέρχονται από το όργανο OLI, οι αριθμητικές προσομοιώσεις υπερεκτίμησαν το SSS κατά 3,4%. Τα ευρήματά της έρευνας αυτής καταδεικνύουν τη δυνατότητα των δορυφορικών προϊόντων υψηλής ανάλυσης ώστε να μελετηθούν γεγονότα βραχείας διάρκειας και να αποτυπωθούν χαρακτηριστικά λεπτής κλίμακας στο θαλάσσιο περιβάλλον (53).

Στην έρευνα των Kaliraj Seenirandi et al. το 2021 αναλύθηκαν εικόνες Landsat 8 OLI της νότιας περιοχής της Ινδίας για την ανάκτηση της εποχιακής μεταβλητότητας της αλατότητας της επιφάνειας της θάλασσας (SSS) στη στήλη των παράκτιων υδάτων της Νότιας Ινδίας για περιόδους προμουσώνων, μουσώνων και μεταμουσώνων κατά την περίοδο 2017-18. Ο εμπειρικός αλγόριθμος που αναπτύχθηκε για τη μέτρηση του SSS (πρακτική μονάδα αλατότητας, PSU) χρησιμοποιώντας εικόνες Landsat 8 OLI, εκφράστηκε ως $SSS = 14.256 - 240.163 * Band\ 4 - 72.533 * Band\ 5 + 124.700 * Band\ 2 + 191.266 * Band\ 3 + 36.044 * Band\ 9 - 11.117 * Band\ 6 - 39.789 * Band\ 7$. Το αποτέλεσμα της έρευνας αυτής ενώ το προκύπτον SSS διασταυρώθηκε με τη χρήση in situ δεδομένων από σηματοδότες INCOIS έδειξε ότι η τιμή της γραμμικής παλινδρόμησης (R^2) 0,96 έχει ισχυρή συσχέτιση μεταξύ των παρατηρούμενων δεδομένων και των παραγόμενων προϊόντων SSS και το σφάλμα μέσου τετραγώνου ρίζας εκτιμήθηκε ως $\pm 0,138$, το οποίο υποδηλώνει σχετικά υψηλή ακρίβεια στα παράγωγα προϊόντα θερμοκρασίας της επιφάνειας της θάλασσας (54).

Ακόμα μία έρευνα την ίδια χρονιά (2021) των MajidBayati et al. εισάγει ένα μοντέλο προσαρμοστικής μάθησης που αξιοποιεί επιτόπιες μετρήσεις, τις δορυφορικές εικόνες και τους αλγόριθμους μηχανικής μάθησης για την εκτίμηση των χωροχρονικών αλλαγών του αλατότητας της επιφάνειας του νερού σε αλμυρές λίμνες. Αποδεικνύει τη δυνατότητα εφαρμογής του πλαισίου χρησιμοποιώντας δορυφορικά δεδομένα Sentinel-2 και Landsat-8 υψηλής ανάλυσης στη λίμνη Urmia (LU), όπου έγινε δειγματοληψία 130 σημείων τον Απρίλιο και τον Ιούλιο του 2019 για τους σκοπούς της βαθμονόμησης και της επικύρωσης του μοντέλου. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το Τεχνητό Νευρωνικό Δίκτυο (ANN) αποδίδει την πιο ακριβή σχέση μεταξύ SC και ανάκλασης επιφάνειας νερού ($R^2 = 0,94$; $NRMSE = 6,9\%$; $MAE = 12,3\ ppt$) σε σύγκριση με το σύστημα ασαφούς συμπερασμάτων που βασίζεται σε προσαρμοστικό δίκτυο (ANFIS). και μοντέλα πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης (MLR) (55).

Πολλοί ερευνητές έχουν χρησιμοποιήσει έμμεσες μεθόδους που βασίζονται, για παράδειγμα, σε προφίλ θερμοκρασίας που προέρχονται από δορυφόρους, θερμοκρασία φωτεινότητας και CDOM για τον προσδιορισμό της μεταβλητότητας SSS. Καθώς η αλατότητα δεν έχει άμεσο χρωματικό σήμα, θα μπορούσε μάλλον να εκτιμηθεί το χρωματικό σήμα που κυριαρχείται από κύρια συστατικά του νερού και αναπτυγμένες σχέσεις, όπως: (I) Σχέση μεταξύ αλατότητας, θερμοκρασίας και θερμοκρασίας φωτεινότητας (56), (57), (58), (59) (60), (61), (62), (63) και (II) Σχέση μεταξύ αλατότητας και CDOM (64) (65) (66)

Οι θερμικές υπέρυθρες ζώνες μπορούν να μετρήσουν την ποσότητα της υπέρυθρης ακτινοβολίας θερμότητας που εκπέμπεται από τις επιφάνειες της γης και τη θερμοκρασία ακτινοβολίας των υδάτινων σωμάτων που έχουν περιβαλλοντική και οικονομική σημασία. Καθώς το θερμικό υπέρυθρο εκπέμπεται από την επιφάνεια, οι εκτιμήσεις θερμοκρασίας που προέρχονται από τηλεπισκόπηση πρέπει να αξιολογούνται με μεγάλη προσοχή όταν υπάρχουν λόγοι να υποθέσουμε ότι το νερό είναι στρωματοποιημένο (67), το οποίο συμβαίνει λίγο μετά την κατακρήμνιση ή την ηλιακή θέρμανση και σε περιοχές που επηρεάζονται από γλυκό νερό απορροή. Σε τέτοιες περιπτώσεις, δεν μπορεί να αναμένεται καμία σχέση μεταξύ της θερμοκρασίας της επιφάνειας της θάλασσας και των θερμοκρασιών που βρίσκονται στο νερό κάτω από την επιφάνεια. Η θερμική διαστρωμάτωση σε ποταμούς που ρέουν ελεύθερα είναι εγγενώς ασταθής λόγω των διακυμάνσεων στο σχήμα του καναλιού και των αντικειμένων εντός του ρεύματος, τα οποία προκαλούν ένα ταραγμένο καθεστώς ροής και συνήθως μπορούν να ανιχνευθούν στις εικόνες (68).

Η εκπεμπόμενη ακτινοβολία TIR (3–14 μm) είναι μια καθιερωμένη πρακτική, ιδιαίτερα στην ωκεανογραφία όπου οι καθημερινές παρατηρήσεις της περιφερειακής και παγκόσμιας θερμοκρασίας της επιφάνειας της θάλασσας (SST) γίνονται από δορυφόρους (69) (70) (71) (72). Στο χερσαίο περιβάλλον, η τηλεπισκόπηση TIR της θερμοκρασίας των επιφανειακών υδάτων επικεντρώθηκε αρχικά στις λίμνες (73) και σε παράκτιες εφαρμογές όπως η θερμική ρύπανση από την εκκένωση νερού ψύξης από μια μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (74). Ωστόσο, ξεκινώντας από τη δεκαετία του 1990, η αερομεταφερόμενη τηλεπισκόπηση TIR έχει διεξαχθεί από κυβερνητικές υπηρεσίες σε χιλιάδες χιλιόμετρα ποταμών για την παρακολούθηση της ποιότητας του νερού, τον εντοπισμό πηγών εισροών κρύου νερού και την ανάπτυξη μοντέλων θερμοκρασίας ποταμού χωρικά αναφοράς (75). Επί του

παρόντος, είναι διαθέσιμοι πολλοί αισθητήρες απεικόνισης TIR που έχουν πολλαπλές φασματικές ζώνες που βρίσκονται σε διαφορετικά μήκη κύματος, γεγονός που τους καθιστά κατάλληλους για μετρήσεις θερμοκρασίας νερού. Για την επιλογή της κατάλληλης ζώνης ή ζωνών, απαιτείται προσεκτική εξέταση του ελάχιστου θορύβου του οργάνου και των ατμοσφαιρικών επιδράσεων για τον ακριβή υπολογισμό της θερμοκρασίας του νερού. Ωστόσο, μπορούν να υπολογιστούν κατά μέσο όρο πολλαπλές ζώνες για να μειωθεί ο θόρυβος λόγω διαφορών στην ατμόσφαιρα ή στους αισθητήρες και να παρέχει καλύτερη εκτίμηση της πραγματικής θερμοκρασίας (76). Οι δορυφορικές εικόνες TIR αποτελούν ελκυστική πηγή δεδομένων ευρείας κλίμακας λόγω του χαμηλού κόστους τους, της δυνατότητας περιφερειακής κάλυψης και των χρόνων επανεπίσκεψης, εάν είναι διαθέσιμες για το χρόνο μελέτης και έχουν επίσης κατάλληλο μέγεθος pixel. Οι αερομεταφερόμενοι αισθητήρες με μικρότερο μέγεθος pixel είναι απαραίτητοι για μικρότερα υδάτινα σώματα όπως τα ποτάμια, αλλά αυτές οι εικόνες περιορίζονται στη χρήση σε μεγάλες περιοχές λόγω του υψηλού κόστους της βαθμονόμησης και της επεξεργασίας. Η θερμοκρασία του νερού είναι ένας καλός δείκτης της κατάστασης κάθετης ανάμειξης και του τύπου μάζας νερού και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση της πρωτογενούς παραγωγής και των ρυθμών ανάπτυξης φυτοπλαγκτού. Προκαταρκτικές μελέτες έχουν δείξει ότι η εφαρμογή της τηλεπισκόπησης σε συνδυασμό με τις παραδοσιακές *in situ* μετρήσεις θερμοκρασίας μπορεί να παρέχει αξιόπιστες πληροφορίες για τις ζώνες θερμοκρασίας με σχετικά χαμηλό κόστος.

Η ακριβής μέτρηση της θερμοκρασίας της επιφάνειας της θάλασσας με τηλεπισκόπηση (SST) είναι ζωτικής σημασίας για τις καιρικές και κλιματικές συνθήκες λειτουργίας καθώς και για τις μελέτες της ατμόσφαιρας. Τα υπέρυθρα ραδιόμετρα αποδίδουν SST με ακρίβεια περίπου 0,5 °C, αν και η χρήση του είναι περιορισμένη σε σκιερές ζώνες λόγω της παρουσίας νεφών ή ομίχλης. Επομένως, θα πρέπει να εφαρμόζονται τυπικές πρακτικές τηλεπισκόπησης για τον εντοπισμό και την απόκρυψη αυτών των ζητημάτων από τις χρησιμοποιούμενες εικόνες προτού υπολογιστεί η θερμοκρασία του νερού. Οι τεχνικές παθητικών μικροκυμάτων χρησιμοποιούνται σε νεφελώδεις περιοχές με όριο ακρίβειας περίπου 1,5–2 °C λόγω της σχετικά μεγάλης διακύμανσης της εκπομπής μικροκυμάτων με τις επιφανειακές συνθήκες, όπως η ταχύτητα του ανέμου (77).

Οι M. A. Syariz et al, (2015) χρησιμοποίησαν *in situ* δεδομένα που μετρήθηκαν στις 22 Απριλίου 2015 και εκτιμώμενα δεδομένα θερμοκρασίας φωτεινότητας από το Landsat 8 Thermal Band Image (ζώνη 10 και ζώνη 11). Δημιούργησαν

έναν αλγόριθμο χρησιμοποιώντας 45 δεδομένα, αξιολογώντας τη σχέση των μετρούμενων in situ δεδομένων και της εκτιμώμενης θερμοκρασίας φωτεινότητας. Στη συνέχεια, επικύρωσαν τον αλγόριθμο χρησιμοποιώντας άλλα 40 σημεία. Τα αποτελέσματα έδειξαν την καλή απόδοση του αλγορίθμου θερμοκρασίας της επιφάνειας της θάλασσας με συντελεστή προσδιορισμού (R2) και Root Mean Square Error (RMSE) 0,912 και 0,028, αντίστοιχα (78).

Σε μια άλλη μελέτη οι V. E. Brando et al (2015), χρησιμοποίησαν τις ανεξάρτητες δορυφορικές παρατηρήσεις της θαλάσσιας θερμοκρασίας SST ως ιχνηθέτες για την επιφανειακή έκφραση της επιρροής του γλυκού νερού του ποταμού σε ένα συμβάν πλημμύρας. Πραγματοποίησαν στην ραδιομετρική και χωρική ανάλυση εικόνων L8 OLI και TIRS για την ταξινόμηση της υδάτινης μάζας που σχηματίζεται στη θάλασσα ως αποτέλεσμα της ανάμειξης της εκροής ποταμού και αλατούχου θαλασσινού νερού (79).

Οι δείκτες που θα εφαρμοστούν στη μεθοδολογία παρουσιάζονται παρακάτω στον πίνακα.

ΧΛΩΡΟΦΥΛΛΗ-A		
ΟΝΟΜΑ	ΤΥΠΟΣ (LANDSAT 8)	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ
2BDA	$(\text{band5})/(\text{band4})$	Buma, W. G., & Lee, S. (2020). Evaluation of Sentinel-2 and Landsat 8 Images for Estimating Chlorophyll-a Concentrations in Lake Chad, Africa. <i>Remote Sensing</i> , 12(15), 2437. & WATANABE, F., ALCÂNTARA, E., RODRIGUES, T., ROTTA, L., BERNARDO, N., & IMAI, N. (2017). Remote sensing of the chlorophyll-a based on OLI/Landsat-8 and MSI/Sentinel-2A (Barra Bonita reservoir, Brazil). <i>Anais Da Academia Brasileira de Ciências</i> , 90(2 suppl 1), 1987–2000. doi:10.1590/0001-3765201720170125 & Brivio, P. A., C. Giardino, and E. Zilioli. 2001. Determination of chlorophyll concentration changes in Lake Garda using an image-based radiative transfer code for Landsat TM images. <i>International Journal of Remote Sensing</i> 22: 487– 502.
3BDA	$(\text{band2}) - (\text{band4})/(\text{band3})$	
NDCI	$(\text{band5}) - (\text{band4})/(\text{band5}) + (\text{band4})$	
FLH_violet	$(\text{band3}) - [(\text{band4}) + (\text{band1}) - (\text{band4})]$	
	b2/b1	Yang, Z., Reiter, M. K., & Munyei, N. (2017). Estimation of chlorophyll-a concentrations in diverse water bodies using ratio-based NIR/Red indices. <i>Remote Sensing Applications: Society and Environment</i> , 6, 52–58. & A Comprehensive Review on Water Quality Parameters Estimation Using Remote Sensing Techniques Mohammad Haji Gholizadeh , Assefa M. Melesse and Lakshmi Reddi & Estimating Chlorophyll-A Concentration in a Freshwater Lake Using Landsat 8 Imagery Zhiming Yang*, Yolanda Anderson
	b3/b1	
	b3/b2	
	b4/b1	
	b4/b2	
	b4/b3	
	b5/b1	
	b5/b2	
	b5/b3	
	b5-b2	Alarcon, A. G., German, A., Aleksinko, A., Ferreyra, M. F. G., Scavuzzo, C. M., & Ferral, A. (2018). <i>Spatial Algal Bloom Characterization by Landsat 8-Oli and Field Data Analysis</i> .
	b5/b4	

	$5749.5 * B5 - 9951.1 * B2 + 128.7$	<i>IGARSS 2018 - 2018 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium. doi:10.1109/igarss.2018.8518844</i>
	$101.03 * B5/B4 - 48.04$	
	$(B4 + B5)/2$	Patra, P. P., Dubey, S. K., Trivedi, R. K., Sahu, S. K., & Rout, S. K. (2017). Estimation of chlorophyll-a concentration and trophic states in Nalban Lake of East Kolkata Wetland, India from Landsat 8 OLI data. <i>Spatial Information Research</i> , 25(1), 75–87. doi:10.1007/s41324-016-0069-z
	$(B3 + B5)/2$	
	$(B2 + B5)/2$	
	$(B4 + B2)/2$	
	$(B4 + B3)/2$	
	$(B3 + B2)/2$	
	$(B2 + B3 + B4)/3$	
	$(B2 + B3 + B5)/3$	
	$(B3 + B4 + B5)/3$	
	$(B2 + B4 + B5)/3$	
	$(B2 + B3 + B4 + B5)/4$	Modelling Reservoir Chlorophyll-a, TSS, and Turbidity Using Sentinel-2A MSI and Landsat-8 OLI Satellite Sensors with Empirical Multivariate Regression
	$B2 + B3$	
	$B3$	
	$B2 + B3 + B5$	
	$B2 + B3 + B4$	SEASONAL MONITORING OF CHLOROPHYLL-A WITH LANDSAT 8 OLI IN THE MADURA STRAIT, PASURUAN, EAST JAVA, INDONESIA
	$0.9889 (Rs4/Rs5) - 0.3619$	
	$B3/b4$	https://www.researchgate.net/publication/331168788_Developing_algorithm_for_estimating_chlorophyll-a_concentration_in_the_Thac_Ba_Reservoir_surface_water_using_Landsat_8_Imagery
SABI	$(B5 - B4)/(B2 + B3)$	Alawadi, F. 2010. Detection of surface algal blooms using the newly developed algorithm surface algal bloom index (SABI). <i>Proceedings of the International Society for Optics and Photonics</i> 7825 : 1– 14

ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΑΛΑΤΟΤΗΤΑ

ΟΝΟΜΑ	ΤΥΠΟΣ (LANDSAT 8)	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ
Normalized Difference Salinity Index (NDSI)	$NDSI = (B5 - B6)/(B5 + B6 + 1)$ $NDSI = (B5 - B7)/(B5 + B7 + 1)$	Rahman, M. M., Islam, M. M., & Kusumo, F. (2017). Assessment of Landsat 8 OLI data for monitoring sea surface salinity in the coastal waters of Bangladesh. <i>Journal of Oceanography and Marine Science</i> , 8(1), 1-9.
Modified Ocean Salinity Index (MOSI)	$MOSI = (B2 - B3)/(B2 + B3 + 1)$	Salinas, S. V., & Jovanovic, Z. (2019). Retrieval of sea surface salinity using Landsat 8 OLI data over the Gulf of Mexico. <i>International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation</i> , 74, 46-57.
Simple Salinity Index (SSI)	$SSI = B5/pswir$ $(B5/B6) \text{ KAI } B5/B7$	Singh, R. P., & Sharma, A. (2017). Remote sensing of sea surface salinity using Landsat 8 OLI data: a case study of coastal waters of the Gulf of Kachchh, India. <i>Arabian Journal of Geosciences</i> , 10(18), 404.
	$SSS = 25.2 + 3.99 * [B2/B4] + 23.7 * B5$ $B2/b4, b4/b2, b2/b3$	Nazeer, M., & Bilal, M. (2018). Evaluation of Ordinary Least Square (OLS) and Geographically Weighted Regression (GWR) for Water Quality Monitoring: A Case Study for the Estimation of Salinity. <i>Journal of Ocean University of China</i> , 17(2), 305–310. doi:10.1007/s11802-018-3380-6

		--	Landsat	5
	$SSS = 570.80 + 26535.17 * B1 + -62141.71 * B2 + 34952.89 * B3$	Ansari, M., & Akhoondzadeh, M. (2020). Mapping water salinity using Landsat-8 OLI satellite images (Case study: Karun basin located in Iran). <i>Advances in Space Research</i> , 65(5), 1490–1502.		
	$(B6 - B7) / (B6 + B7)$	Index database: https://www.indexdatabase.de/db/i-single.php?id=57 Berechnung ASTER: $B4 - B5 / B4 + B5$		
	$Salinity = 39.7975 - 36.7986 * b2 - 16.4412 * b3 + 90.9890 * b5 - 55.6872 * b7$	"Determining the Rate of Salinity of Persian Gulf Waters with the Aid of Satellite Images and Least Squares Method", written by Ali Reza Moaddab, Mostafa Khabazi, Hasan Roosta, published by <i>Open Journal of Marine Science</i> , Vol.7 No.1, 2017		

ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ

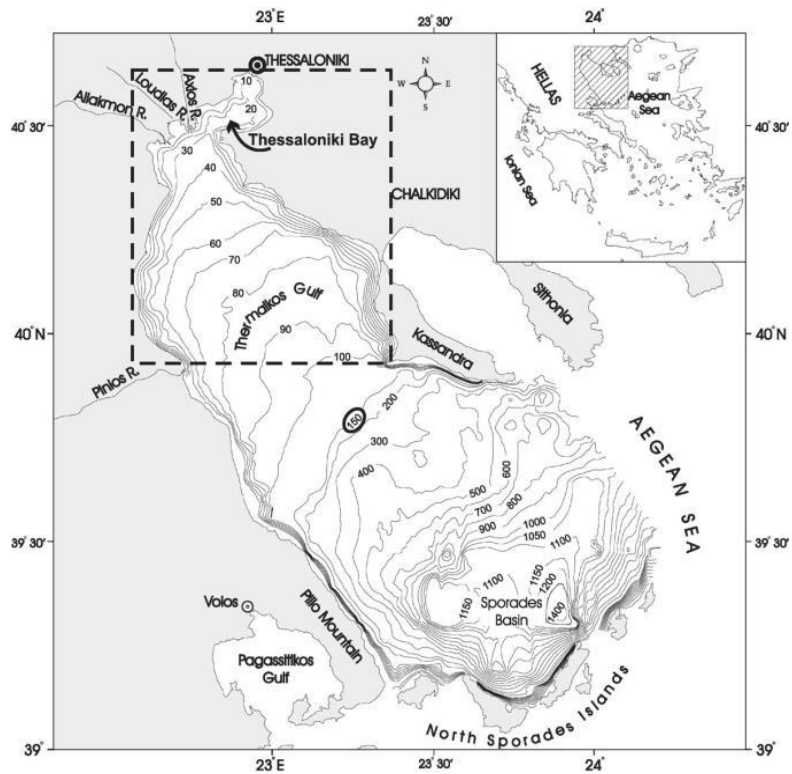
ΟΝΟΜΑ	ΤΥΠΟΣ (LANDSAT 8)	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ
	B10 B11	Syariz, M.A. et al. (2015) Retrieval of sea surface temperature over Poteran Island Water of Indonesia with Landsat 8 TIRS IMAGE: A preliminary algorithm, <i>The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences</i> . Available at: https://isprs-archives.copernicus.org/articles/XL-2-W4/87/2015/ (Accessed: 14 July 2023).

4. Μεθοδολογία

Στη συγκεκριμένη ενότητα αναλύονται η περιοχή μελέτης, παρουσιάζονται τα in situ δεδομένα, οι διαδικασίες που προέκυψαν για την επεξεργασία των δορυφορικών δεδομένων καθώς και η διαδικασία που ακολουθήθηκε για την εκτίμηση των συσχετίσεων μεταξύ των δορυφορικών δεδομένων και των in situ για τις περιπτώσεις της χλωροφύλλης -α , της επιφανειακής θαλάσσιας θερμοκρασίας και της επιφανειακής θαλάσσιας αλατότητας. Ολόκληρη η διαδικασία εκπονήθηκε με την χρήση των λογισμικών Qgis, και Rstudio.

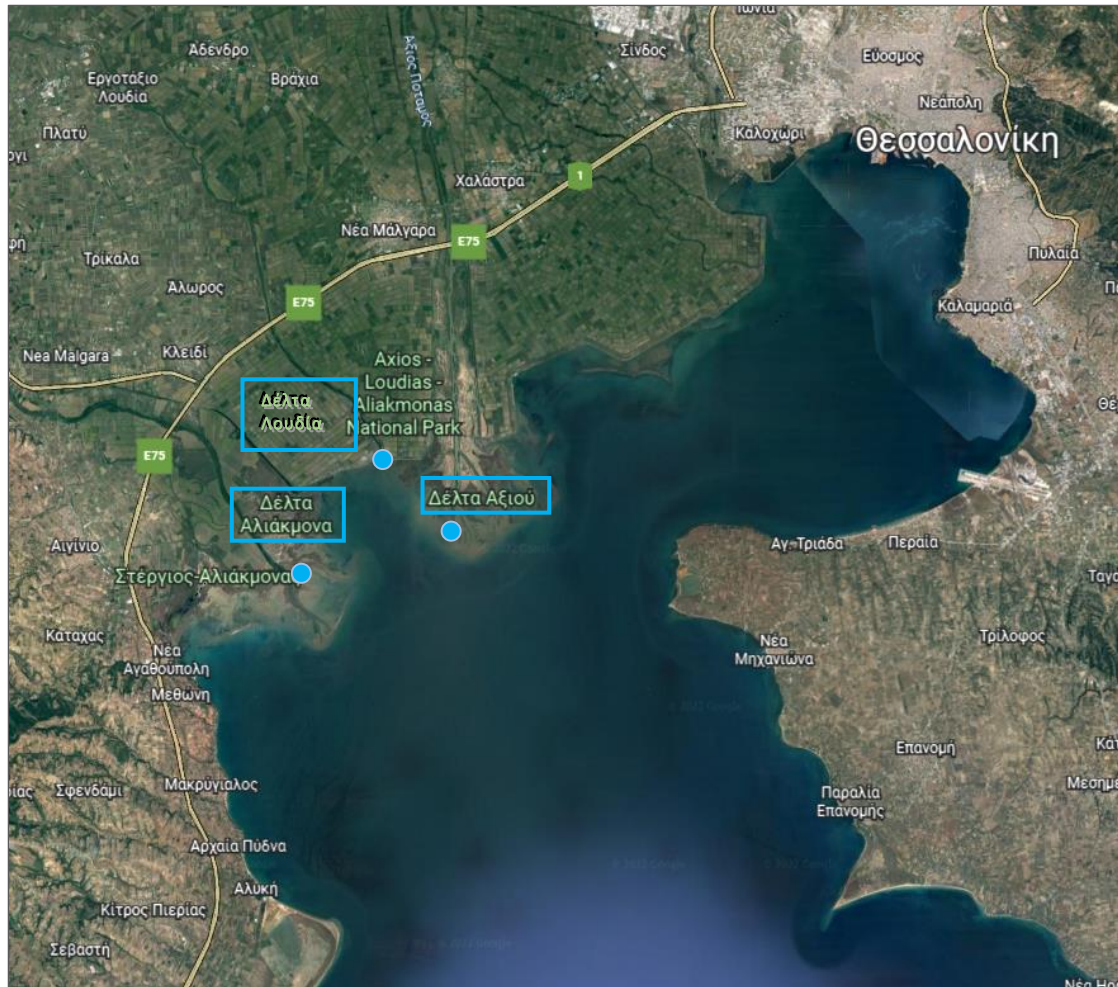
4.1 Περιοχή μελέτης: Θερμαϊκός κόλπος

Ο Θερμαϊκός Κόλπος βρίσκεται στο βορειοδυτικά ηπειρωτικά του Αιγαίου. Πιο συγκεκριμένα, περιλαμβάνει μία εκτεταμένη περιοχή υφαλοκρηπίδας η οποία έχει θαλάσσιο όριο την ισοβαθή των 150 μέτρων και χερσαίο την χερσόνησο της Χαλκιδικής στα ανατολικά και την ηπειρωτική Ελλάδα στα δυτικά. Επιπλέον, ο Θερμαϊκός κόλπος καταλήγει βόρεια στον εσωτερικό Θερμαϊκό κόλπο (ή αλλιώς κόλπος της Θεσσαλονίκης), ο οποίος έχει βάθος μικρότερο από 20 μέτρα και άνοιγμα περίπου 10 χιλιόμετρα προς τον Κόλπο. Τέλος, επικοινωνεί με τη βαθιά λεκάνη των Σποράδων προς το νότο.



Εικόνα 8: Θερμαϊκός κόλπος

Ο Θερμαϊκός Κόλπος είναι μια τυπική, τροφοδοτούμενη από ποτάμια, μικροπαλιρροϊκή, ημπερίκλειστη, παράκτια είσοδος της ανατολικής-κεντρικής Μεσογείου. Συγκεκριμένα τα τέσσερα μεγάλα ποτάμια που τροφοδοτούν τον κόλπο είναι: -ο Αξιός, ο Λουδίας και ο Αλιάκμονας στα βόρεια και ο Πηνειός πιο νότια (τα οποία είναι οι κύριες πηγές παροχής γλυκού νερού, θρεπτικών συστατικών και ιζημάτων). Ο Θερμαϊκός Κόλπος είναι ένα σημαντικό παράκτιο οικοσύστημα ευαίσθητο σε διάφορες ανθρωπογενείς πιέσεις, ισχυρές εκκενώσεις ποταμών και μεταβλητές μετεωρολογικές και ωκεάνιες συνθήκες (met-ocean). Ένα από τα σημαντικότερα περιβαλλοντικά προβλήματα της περιοχής είναι ο περιστασιακός σχηματισμός εκτεταμένων φαινομένων ευτροφισμού (κόκκινες παλίρροιες, βλεννώδη αδρανή), ιδιαίτερα πάνω από τον Βόρειο Θερμαϊκό Κόλπο (NTG).



Εικόνα 9: Χάρτης εσωτερικού Θερμαϊκού κόλπου με τις εκβολές των 3 μεγάλων ποταμών.

Πρέπει να σημειωθεί ότι, οι γεωργικές απαιτήσεις έχουν μειώσει την παροχή γλυκού νερού και αλλάζουν τη σύνθεση των ποτάμιων εισροών σε αυτόν. Ειδικότερα, αυτό έχει επιπτώσεις όχι μόνο στους υγροτόπους αλλά και στις γύρω υδατοκαλλιέργειες και στη λεκάνη απορροής. Τέλος, ο μεγάλος πληθυσμός της πόλης και οι βιομηχανικές εισροές στον κόλπο της Θεσσαλονίκης επηρεάζουν το όλο το θαλάσσιο οικοσύστημα.

Οι διεργασίες που διέπουν τη μεταφορά της ύλης στον Θερμαϊκό κόλπο διαμέσου της επαφής των παράκτιων υδάτων χαμηλής αλατότητας των ποταμών και των υδάτων λεκάνης υψηλότερης αλατότητας είναι (80):

- Η συνολική γενική κυκλοφορία της λεκάνης η οποία διαμορφώνεται από την δυναμική των ακτών και την αλληλεπίδραση με τις μεγαλύτερου μεγέθους ροές από το Αιγαίο.
- η αλληλεπίδραση μεταξύ της ξηράς και της θάλασσας που καθορίζεται από τη δυναμική της στήλης γλυκού νερού που κινείται μέσα στο θαλασσινό νερό

(plume). Τα γλυκά νερά των ποταμών περιέχουν ιζήματα και θρεπτικά συστατικά και είναι χαμηλής αλατότητας, οπότε η κίνησή τους μέσα στη θάλασσα ελέγχεται από την ορμή (αδράνεια), τη διάχυση και την πλευστότητα (διαφορές πυκνότητας).

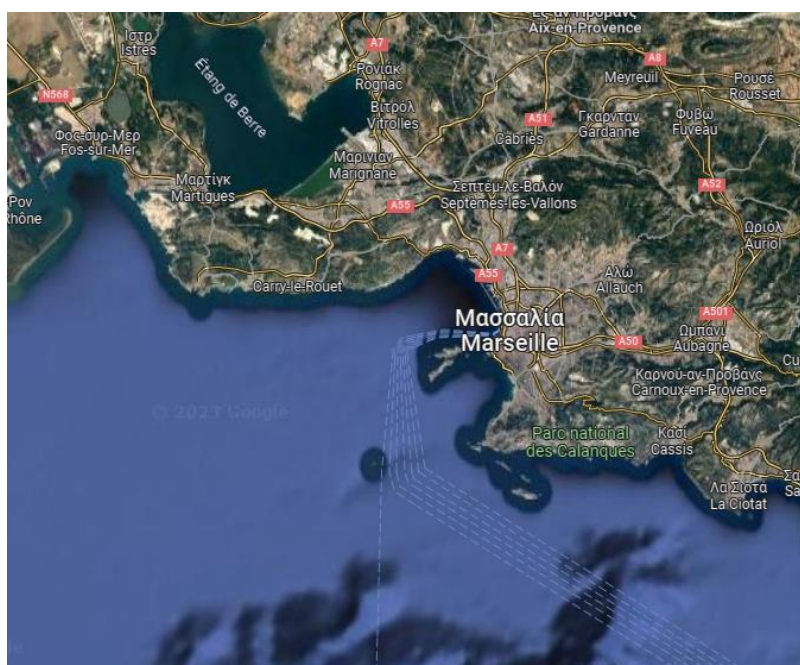
- η πίεση του ανέμου, η οποία επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό τη μεταφορά των υδάτων των ποταμών και των υλικών
- και οι διαδικασίες καθίζησης που καθορίζουν τους ρυθμούς και τις οδούς των σωματιδίων ιζημάτων, καθώς και τη θέση της τελικής εναπόθεσης τους.

4.2 Περιοχή μελέτης: Κόλπος του Λέοντα

Ο Κόλπος του Λέοντα, γαλλικό Golfe Du Lion, κόλπος της Μεσογείου, που εκτείνεται κατά μήκος της ακτής της νότιας Γαλλίας από τα ισπανικά σύνορα (δυτικά) έως την Τουλόν (ανατολικά). Ο κόλπος δέχεται τους ποταμούς Tech, Têt, Aude, Orb, Hérault, Vidourle και Petit και Grand Rhône.

Η ακτογραμμή του κόλπου περιλαμβάνει τα ανατολικότερα ορεινά των Πυρηναίων, αρκετές λιμνοθάλασσες, το δέλτα του ποταμού Ροδανού και ασβεστολιθικούς λόφους κοντά στην πόλη της Μασσαλίας. Πολλά κανάλια και πλωτές οδούς (ειδικά ο ποταμός Ροδανός) συνδέουν τις παράκτιες περιοχές με την ενδοχώρα. Ο κόλπος του Φος, που δέχεται την έξοδο από τη λιμνοθάλασσα Berre, και ο κόλπος της Μασσαλίας αποτελούν μέρος του Κόλπου του Λιονταριού. Τα σημαντικότερα λιμάνια κατά μήκος του κόλπου είναι η Μασσαλία και η Sète.

Οι κυριότεροι ποταμοί που εκβάλλουν στον κόλπο είναι ο Τες, ο Τετ, ο Ωντ, ο Ορμπ, ο Ερώ, ο Βιντούρλ, και ο Ροδανός.



Εικόνα 10 Εικόνα 14: Χάρτης εσωτερικού του κόλπου Λέοντα..

4.3 In-situ δεδομένα για τον Θερμαϊκό κόλπο

Τα δεδομένα in situ ανακτήθηκαν από την μελέτη “Effects of ocean circulation on the eutrophication of a Mediterranean gulf with river inlets: the Northern Thermaikos Gulf” των Yannis Androulidakis et al το 2021, όπως παρουσιάζονται σε αυτήν.

Στη συγκεκριμένη μελέτη, διερευνήθηκε η συμβολή των υδροδυναμικών διεργασιών στον σχηματισμό γεγονότων όπως ο ευτροφισμός, (κόκκινες παλίρροιες, βλενωδή αδρανή), υπό την επίδραση διαφορετικών μετεωρολογικών συνθηκών και συνθηκών απόρριψης ποταμών κατά τη διάρκεια του ετήσιου κύκλου. Πραγματοποιήθηκαν παρατηρήσεις πεδίου (φυσικοχημικές μετρήσεις), μικροσκοπική ανάλυση δειγμάτων φυτοπλαγκτού, ανάλυση δορυφορικής έγχρωμης εικόνας ωκεανού και εφαρμόστηκαν αριθμητικές υδροδυναμικές προσομοιώσεις υψηλής ανάλυσης με ενημερωμένες εκροές απόρριψης ποταμών για να ανιχνευθούν γεγονότα ευτροφισμού και να τα συσχετιστούν με τις επικρατούσες φυσικές διεργασίες και τα ωκεάνια μοτίβα κυκλοφορίας. Τα γεγονότα ευτροφισμού συνδέθηκαν κυρίως με την κυριαρχία των νότιων ανέμων, οι οποίοι επηρεάζουν την κυκλοφορία των ωκεανών πάνω από το βόρειο μέρος του κόλπου ενώ οι βόρειοι άνεμοι συμβάλλουν στην ανανέωση του κόλπου επιβάλλοντας μια ροή δύο επιπέδων, ιδιαίτερα κατά μήκος των ανατολικών ακτών.

Οι σταθμοί μετρήσεων βασίστηκαν στις υποπεριοχές του κόλπου με βάση τα γεωμορφολογικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά που έχουν (Εικόνα15):

Station 1 – S1) ο κεντρικός κόλπος, που βρίσκεται ανάμεσα στον εσωτερικό κόλπο και το ακρωτήριο Μεγάλο Έμβολο,

Station 2 – S2) ο εσωτερικός κόλπος, ο οποίος είναι ένας ρηχός και ημίκλειστος κόλπος στο βόρειο τμήμα του κόλπου μεταξύ του παραλιακού μετώπου της πόλης της Θεσσαλονίκης και του ακρωτηρίου Μικρού Έμβολου, και

Station 3 – S3) ο εξωτερικός κόλπος, νότια του ακρωτηρίου Μεγάλου Έμβολου, συμπεριλαμβανομένων των δύο μεγάλων ποταμών δέλτα του Αξιού και του Αλιάκμονα.

Stations	X	Y
S1	657230	4491764
S2	663616	4499422
S3	654654	4480358



Εικόνα 11: :Αποστάσεις μεταξύ των σταθμών μετρήσεων (Station 1 – S1, Station 2 – S2, Station 3 – S3) στον Θερμαϊκό κόλπο.

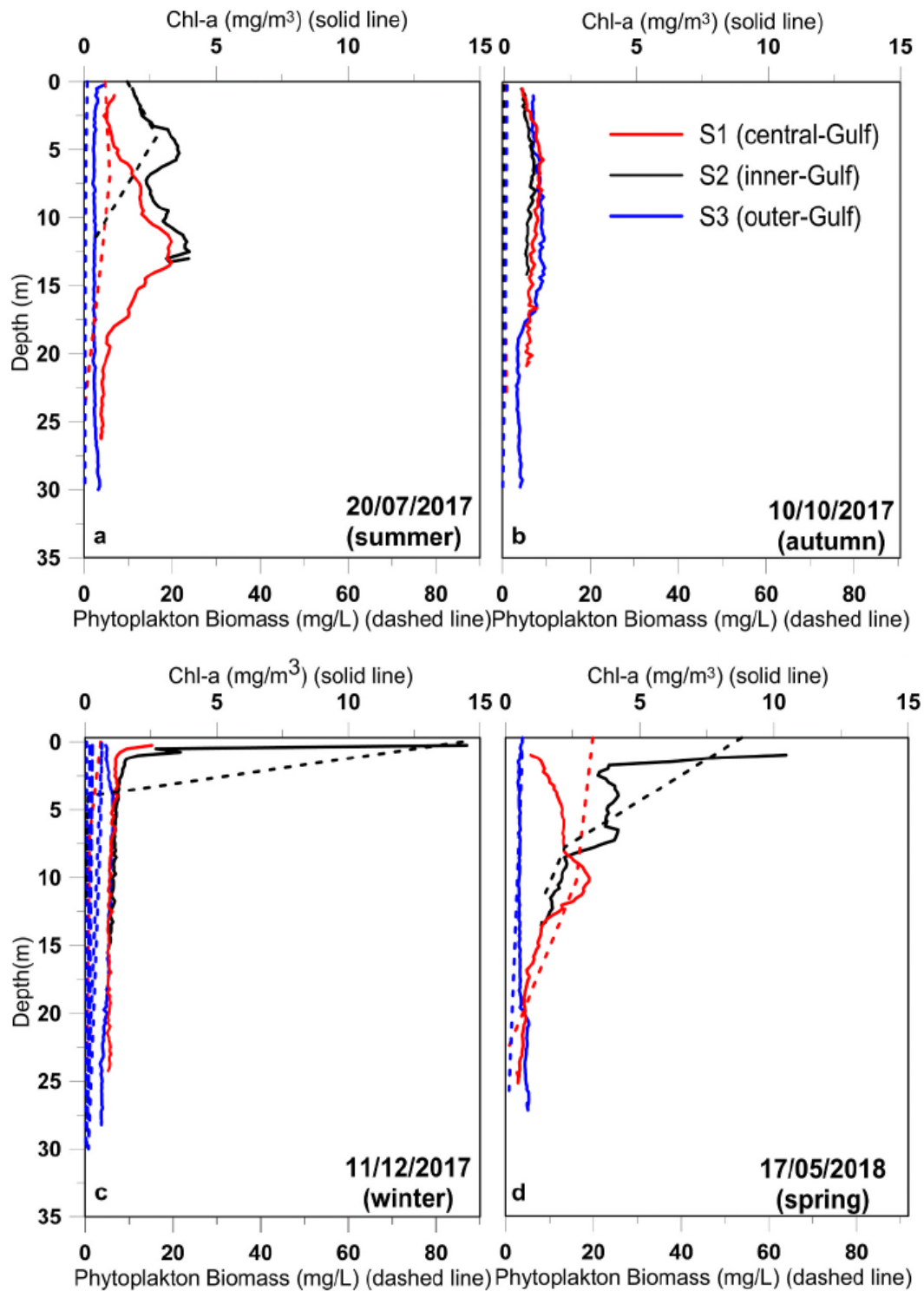
Οι μετρήσεις παρουσιάζονται στους πίνακες που ακολουθούν. Αναλυτικά για κάθε σταθμό και τη χρονική στιγμή που πραγματοποιήθηκαν, για την θαλάσσια χλωροφύλλη -α, την επιφανειακή θαλάσσια αλατότητα και θερμοκρασία. Όπως παρατηρείται οι μετρήσεις γίνονται ανά 2 μήνες για το έτος 2017 και μία μέτρηση το 2018, συλλέγονται εποχιακά από καλοκαίρι μέχρι άνοιξη.

OCEAN CHLOROPHYLL-a			
	S1	S2	S3
20/07/17	1.2 mg/m ³	1.6 mg/m ³	0.7 mg/m ³
10/10/17	0.65 mg/m ³	0.65 mg/m ³	1.1 mg/m ³
11/12/17	2.6 mg/m ³	2.7 mg/m ³	0.8 mg/m ³
17/05/18	0.9 mg/m ³	4.1 mg/m ³	0.6 mg/m ³

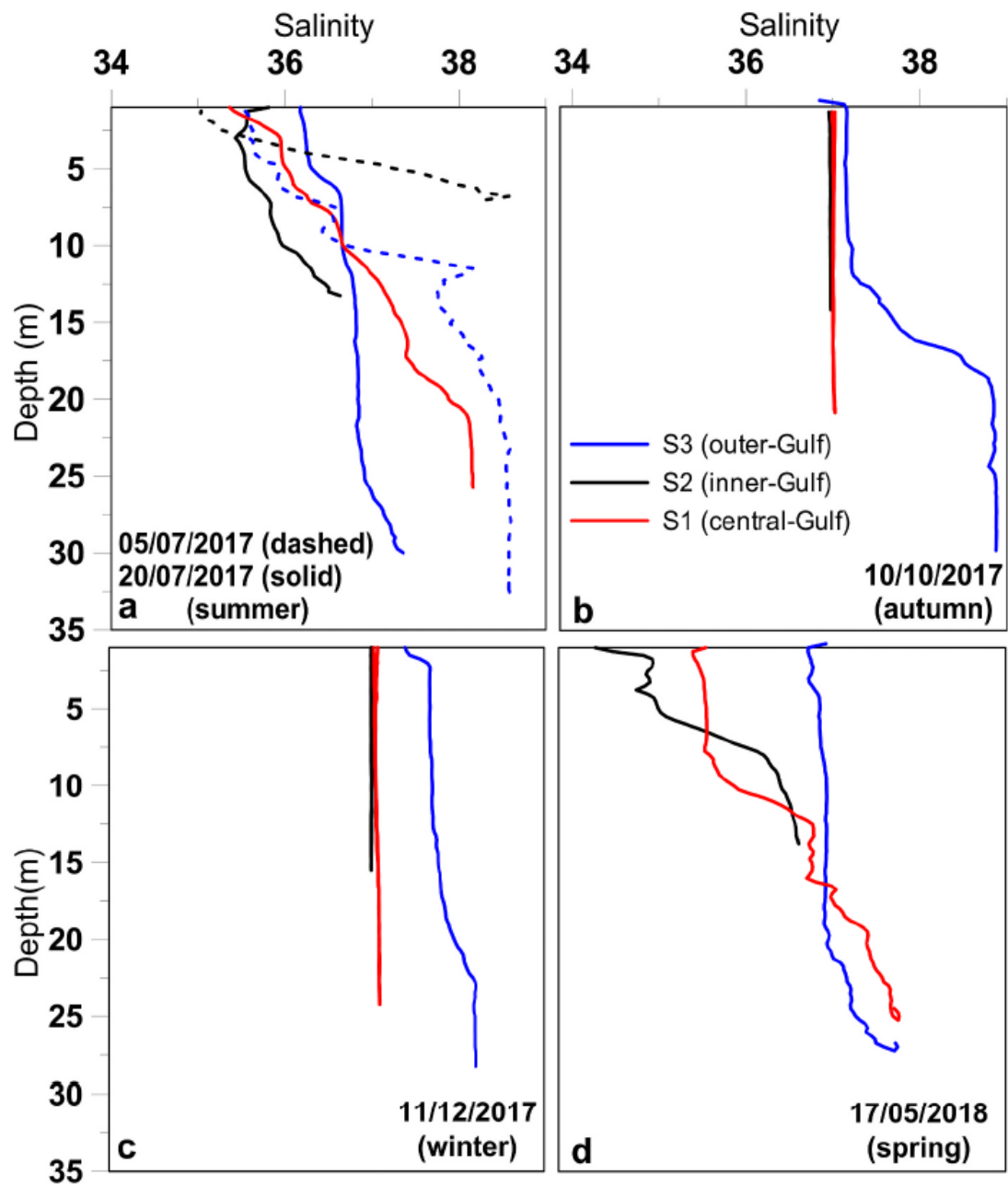
SEA SURFACE SALINITY			
	S1	S2	S3
20/07/17	35.3	35.8	36.2
10/10/17	37	37	37.2
11/12/17	37.1	37	37.4
17/05/18	35.5	34.3	36.9

SEA SURFASE TEMPERATURE			
	S1	S2	S3
20/07/17	26	25.8	24.6
10/10/17	20.9	21.1	21.1
11/12/17	12.6	12.6	15.4
17/05/18	23.5	25	21.7

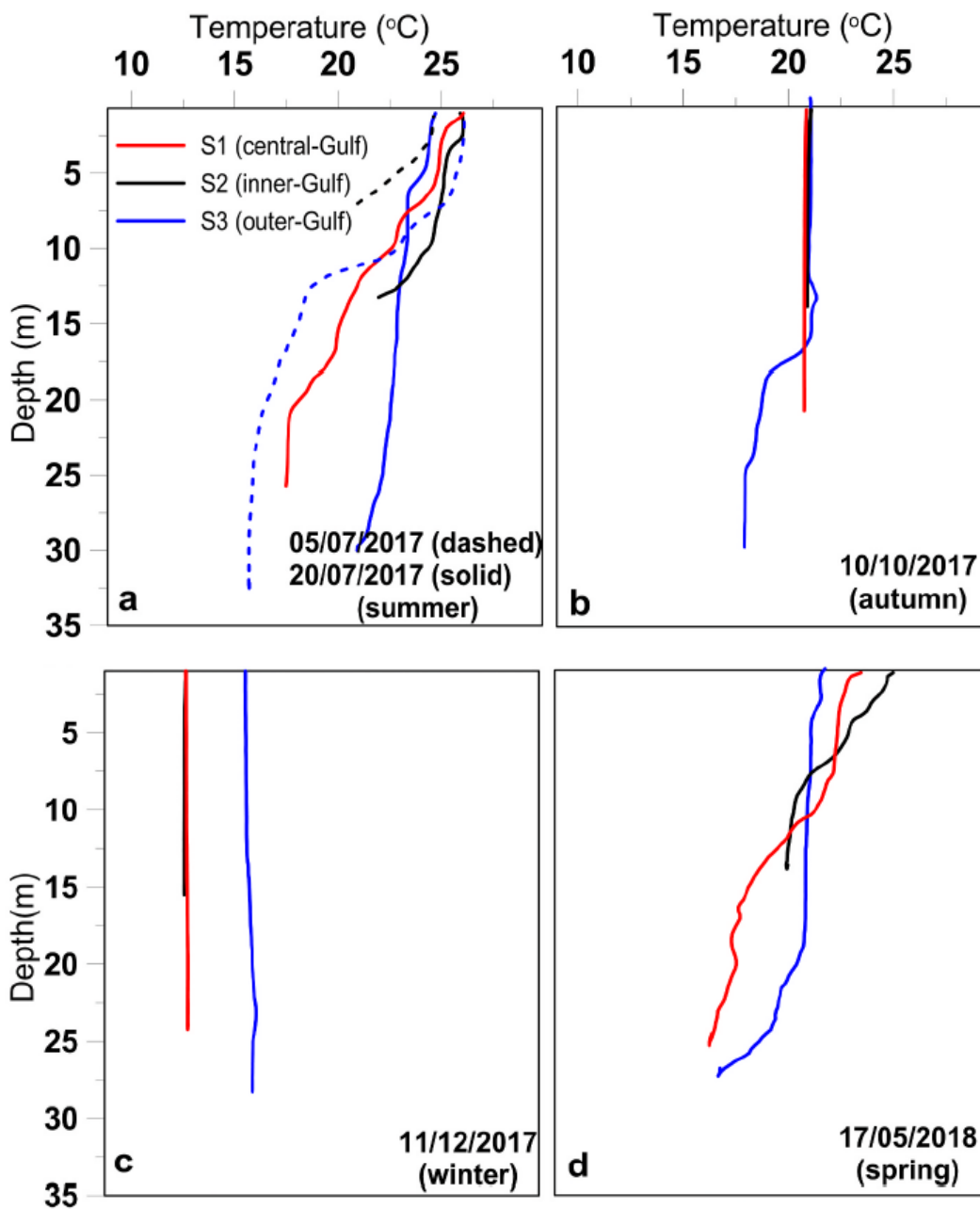
Παρακάτω παρουσιάζονται και τα γραφήματα των μετρήσεων για την θαλάσσια χλωροφύλλη -α, την επιφανειακή θαλάσσια αλατότητα και θερμοκρασία για την κάθε χρονική στιγμή, όπως αποδόθηκαν στην μελέτη των Yannis Androulidakis et all.



Εικόνα 12: Γραφήματα μετρήσεων Chl-a (mg/L)



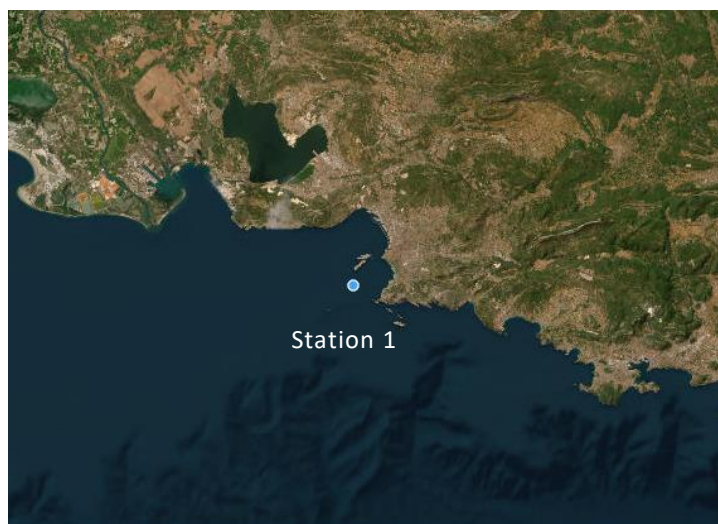
Εικόνα 13: Γραφήματα μετρήσεων επιφανειακής θαλάσσιας αλατότητας



Εικόνα 14: Γραφήματα μετρήσεων επιφανειακής θαλάσσιας θερμοκρασίας °C

4.5 In-situ δεδομένα για τον κόλπο του Λέοντα

Τα δεδομένα αποκτήθηκαν από την ιστοσελίδα του Marine Copernicus (<http://marineinsitu.eu/dashboard/>) από το 2018 μέχρι το 2021. Υπήρχε ένας σταθμός κοντά στο λιμάνι της Μασσαλίας.



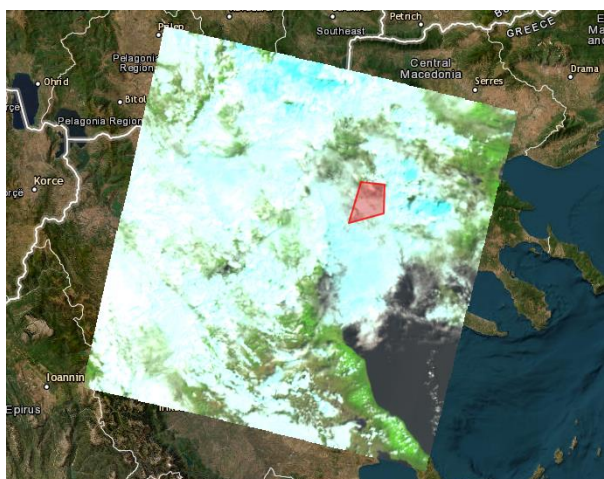
Πραγματοποιήθηκε επεξεργασία αρχείου netcdf4 με την βοήθεια της γλώσσας προγραμματισμού R. Για τις τιμές των μετρήσεων πάρθηκε ο μέσος όρος των τιμών που καταγράφηκαν από τις 10:00 έως τις 11:00 UTC. Παρουσιάζεται ο τελικός πίνακας τιμών των φυσικοχημικών παραμέτρων CHL-A, SST, SSS .

DATES	CHLA	SSS	SST
20180619	0.419	38.17	16.907
20180705	0.454	38.042	21.326
20180626	0.457	37.759	25.409
20190302	0.468	37.995	13.324
20190318	0.563	38.103	13.313
20190505	0.565	38.129	13.455
20190521	0.749	38.164	13.795
20190606	0.573	38.157	14.072
20190622	0.808	38.177	14.022
20190724	0.474	38.006	15.456
20190809	0.45	37.987	18.729
20190825	0.418	37.997	19.313
20190926	0.455	37.692	21.021
20191129	0.1825	38.246	17.252
20191215	0.079	38.382	25.587
20191231	0.103	38.252	18.4965
20190221	0.173	38.346	24.9115
20190325	0.081	38.296	17.82
20190512	0.093	38.436	24.454
20190613	0.086	38.485	23.004
20190715	0.276	38.375	22.217

20190731	0.191	38.13	16.99
20190816	0.199	38.175	15.663
20190917	4.112	37.716	15.259
20191222	0.16	37.876	14.716
20200405	0.443	38.975	13.553
20200507	0.667	38.245	13.864
20180619	0.419	38.17	16.907
20180705	0.454	38.042	21.326
20180626	0.457	37.759	25.409
20190302	0.468	37.995	13.324
20190318	0.563	38.103	13.313
20190505	0.565	38.129	13.455
20190521	0.749	38.164	13.795
20190606	0.573	38.157	14.072
20190622	0.808	38.177	14.022
20190724	0.474	38.006	15.456
20190809	0.45	37.987	18.729
20190825	0.418	37.997	19.313
20190926	0.455	37.692	21.021
20191129	0.1825	38.246	17.252
20191215	0.079	38.382	25.587
20191231	0.103	38.252	18.4965
20190221	0.173	38.346	24.9115
20190325	0.081	38.296	17.82
20190512	0.093	38.436	24.454
20190613	0.086	38.485	23.004
20190715	0.276	38.375	22.217
20190731	0.191	38.13	16.99
20190816	0.199	38.175	15.663
20190917	4.112	37.716	15.259
20191222	0.16	37.876	14.716
20200405	0.443	38.975	13.553
20200507	0.667	38.245	13.864

4.3 Δορυφορικά δεδομένα

Τα δορυφορικά δεδομένα αποκτήθηκαν μέσω της ιστοσελίδας <https://earthexplorer.usgs.gov>, στην οποία παρέχονται δωρεάν δεδομένα προς χρήση, από την Γεωλογική Υπηρεσία των Ηνωμένων Πολιτειών. Χρησιμοποιήθηκαν δορυφορικές εικόνες 1 για κάθε χρονική στιγμή λήψης in situ μετρήσεων. Αναφορικά με την περιοχή μελέτης του Θερμαϊκού κόλπου, οι δορυφορικές εικόνες Landsat 8 χρησιμοποιήθηκαν με μία ημέρα διαφορά από την λήψη της μέτρησης (20/07/17, 10/10/17, 11/12/17) . Ενώ για την τελευταία μέτρηση (17/05/18) χρησιμοποιήθηκαν δύο δορυφορικές εικόνες μία Landsat 7, με 12 ημέρες απόκλισης από την ημέρα της δειγματοληψίας και μία Landsat 8 με 13 ημέρες απόκλισης από την ημέρα της δειγματοληψίας. Αυτό πραγματοποιήθηκε διότι δεν υπήρχε διαθεσιμότητα εικόνας Landsat 8 με μικρό ποσοστό νεφοκάλυψης στην περιοχή του Θερμαϊκού κόλπου με αποτέλεσμα να μην γίνεται αντιληπτή η περιοχή μελέτης.



Εικόνα 15: Παράδειγμα εικόνας για ημερομηνία λήψης στις 21/05/2018 με νεφοκάλυψη σε όλη την περιοχή του Θερμαϊκού κόλπου , καθιστώντας αδύνατη την λήψη δεδομένων.

Περιοχή μελέτη: Θερμαϊκός κόλπος	
Ημερομηνίες δειγματοληψίας in situ δεδομένων	Ημερομηνίες δορυφορικών εικόνων Landsat 7 & 8
20-07-2017	21-07-2017
10-10-2017	09-10-2017
11-12-2017	12-12-2017
17-05-2018	29 & 30-05-2018

Οι δορυφορικές εικόνες που χρησιμοποιήθηκαν είναι οι εξής:

Περιοχή μελέτη: Θερμαϊκός κόλπος
LC08_L2SP_184032_20171009_20200903_02_T1
LC08_L2SP_184032_20170721_20200903_02_T1
LC08_L2SP_184032_20171212_20200902_02_T1
LE07_L2SP_184032_20180529_20200829_02_T1
LC08_L1TP_183032_20180530_20200831_02_T1

Για την περιοχή του κόλπου Λέοντα στην Μασσαλία , οι λήψη των δορυφορικών εικόνων ταυτίζεται με την ημέρα λήψης των δειγματοληψιών. Οπότε χρησιμοποιήθηκαν δορυφορικά προϊόντα Landsat 8 για τις ίδιες ημερομηνίες. Παρακάτω παρουσιάζονται οι ημερομηνίες. Συνολικά χρησιμοποιήθηκαν 56 δορυφορικές εικόνες.

Περιοχή μελέτη: κόλπος του Λέοντα			
20180619	20190302	20200405	20210118
20180705	20190318	20200507	20210307
20180626	20190505	20200624	20210323
	20190521	20200726	20210408
	20190606	20200811	20210424
	20190622	20200827	20210526
	20190724	20200912	20210713
	20190809	20200311	20210729
	20190825	20200530	20210814
	20190926	20200615	20210830
	20191129	20200701	20210210
	20191215	20200717	20210226
	20191231	20200802	20210314
	20190221	20200903	20210330
	20190325		20210415
	20190512		20210720
	20190613		20210805
	20190715		
	20190731		
	20190816		
	20190917		
	20191222		

Όλες οι εικόνες είναι προϊόντα Collection 2 - level 1. Από κάθε εικόνα εξάχθηκε ο μέσος όρος των τιμών DN που εμπεριέχονται σε ένα buffer των 100 μέτρων γύρω από τα σημειακά δεδομένα των σταθμών λήψης. Επιπλέον, στα θερμικά κανάλια εφαρμόστηκε ραδιομετρική διόρθωση (Top of Atmospheric spectral radiance) με τον παρακάτω τύπο (82):

$$TOA(L) = M_L * Q_{cal} + A_L$$

Όπου:

M_L = Συντελεστής πολλαπλασιασμού επανακλιμάκωσης για συγκεκριμένη ζώνη από τα μεταδεδομένα (RADIANCE_MULT_BAND_x, όπου x είναι ο αριθμός ζώνης).

Q_{cal} = αντιστοιχεί στο κανάλι 10 ή 11.

A_L = Συντελεστής επανακλιμάκωσης πρόσθετου για συγκεκριμένη ζώνη από τα μεταδεδομένα (RADIANCE_ADD_BAND_x, όπου x είναι ο αριθμός ζώνης).

Στη συνέχεια, εφαρμόστηκε ο παρακάτω τύπος για την μετατροπή από TOA σε θερμοκρασία φωτεινότητας (Brightness Temperature)

$$BT = (K_2 / (\ln(K_1 / L) + 1)) - 273.15$$

όπου:

K_1 = σταθερά θερμικής μετατροπής ειδικής ζώνης από τα μεταδεδομένα ($K1_CONSTANT_BAND_x$, όπου x είναι ο αριθμός θερμικής ζώνης).

K_2 = σταθερά θερμικής μετατροπής ειδικής ζώνης από τα μεταδεδομένα ($K2_CONSTANT_BAND_x$, όπου x είναι ο αριθμός θερμικής ζώνης).

Ενώ για τα υπόλοιπα 8 φασματικά κανάλια (εκτός του παγχρωματικού) πραγματοποιήθηκε μετασχηματισμός των ψηφιακών τιμών (DNs values) των δορυφορικών εικόνων σε ακτινοβολία στην κορυφή της ατμόσφαιρας (Top-Of-Atmosphere radiance) ή ανακλαστικότητα (Top-Of-Atmosphere reflectance). Μαζί με την διόρθωση της ηλιακής ανύψωσης (sun elevation). Η εξίσωση που χρησιμοποιείται για τη μετατροπή των ψηφιακών τιμών της εικόνας σε ακτινοβολία στην κορυφή της ατμόσφαιρας είναι η ακόλουθη:

$$\rho_l' = M\rho * Q_{cal} + A\rho \quad \& \quad \rho_l = \rho_l' / \sin(\theta_{sz})$$

Η παραπάνω διαδικασία πραγματοποιήθηκε στο περιβάλλον της R, πριν εφαρμοστούν οι δείκτες στα κανάλια των δορυφορικών εικόνων.

Οι τελικές τιμές αποθηκευτήκαν σε ένα .csv για την εφαρμογή των δεικτών CHL-A, SSS, SST, με την βοήθεια της R.

4.4 Δείκτες συσχετίσεων

Καταγράφηκαν και δημιουργήθηκαν δείκτες καναλιών με βάση την σχετική βιβλιογραφία που αναπτύχθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο, με σκοπό την δοκιμή αυτών για την εξαγωγή συμπερασμάτων συσχέτισης μέσω απλής γραμμικής παλινδρόμησης. Συγκεκριμένα να αποδοθούν οι μεγαλύτερες συσχετίσεις ανάμεσα στα in situ και τα δορυφορικά δεδομένα. Δοκιμάστηκαν όλοι οι δείκτες για τις τρεις περιπτώσεις εφαρμογής, χλωροφύλλης-α, επιφανειακής θαλάσσιας θερμοκρασίας και επιφανειακής θαλάσσιας αλατότητας.

Οι δείκτες που λήφθηκαν υπόψη έπρεπε να καλύψουν και τις διαφορετικές χρονικές αποκλίσεις λήψης των δορυφορικών εικόνων σε σύγκριση με τις δειγματοληψίες που πραγματοποιήθηκαν.

Παρατίθενται παρακάτω οι 36 δείκτες σε πίνακες ανά ομάδα χρήσης καναλιών για την χλωροφύλλη-α.

$B5/B4$
$B2-(B4/B3)$
$(B5-B4)/(B5+B4)$
$B3 - (B4 + B1 - B4)$
$B2/B1$
$B3/B1$
$B3/B2$
$B4/B1$
$B4/B2$
$B4/B3$
$B5/B1$
$B5/B2$
$B5/B3$
$B5/B4$
$B5-B2$
$5749.5 * B5 - 9951.1 * B2 + 128.7$
$101.03 * B5 / B4 - 48.04$
$(B4+B5)/2$
$(B3+B5)/2$
$(B2+B5)/2$
$(B4+B3)/2$
$(B4+B2)/2$
$(B3+B2)/2$
$(B2+B3+B4)/3$
$(B2+B3+B5)/3$
$(B3+B4+B5)/3$

$(B2+B4+B5)/3$
$(B2+B3+B4+B5)/3$
$B2+B3$
$B3$
$B2+B3+B5$
$B2+B3+B4$
$0.9889 * (B4/B5) - 0.3619$
$B2-B4$
$(B5 - B4)/(B2 + B3)$
$B3/B4$

Παρατίθενται παρακάτω οι 14 δείκτες σε πίνακες ανά ομάδα χρήσης καναλιών για την χλωροφύλλη-α και την αλατότητα.

$(B5-B6)/(B5+B6+1)$
$(B5-B7)/(B5+B7+1)$
$(B2-B3)/(B2+B3+1)$
$B5/B6$
$B5/B7$
$b2/b4$
$b2/b3$
$b4/b2$
$(B5-B6)/(B5+B6)$
$(B5-B7)/(B5+B7)$
$25.2 + 3.99 * (B2/B4) + 23.7 * B5$
$570.80 + 26535.17 * B1 + (-62141.71 * B2) + 34952.89 * B3$
$29.983 + 165.047 * (B2) - 260.227 * (B3) + 2.609 * (B4)$
$(B6-B7)/(B6+B7)$

Παρατίθενται παρακάτω οι δείκτες σε πίνακες ανά ομάδα χρήσης καναλιών για την επιφανειακή θαλάσσια θερμοκρασία.

T in Celsius BAND10
T in Celsius BAND11
$(B10+B11)/2$
$B10 + (2.946 * (B10-B11)) - 0.038$
$\ln(B10)$
$\ln(B11)$

4.5 Απλή Γραμμική Παλινδρόμηση

Σύμφωνα με τον ορισμό που δίνεται στην σελίδα της Wikipedia: “Στην στατιστική, η απλή γραμμική παλινδρόμηση (simple linear regression) είναι μια προσέγγιση μοντελοποίησης της σχέσης μιας απλής εξαρτημένης (dependent) μεταβλητής y (ονομάζεται και απόκρισης) με μια ανεξάρτητη (independent) / μη ερμηνευτική (explanatory) μεταβλητή x .” (83)

Δίνεται η εξήγησή ότι: “Σκοπός είναι να βρεθεί ένα απλό μαθηματικό μοντέλο, το οποίο να περιγράφει την σχέση αυτών των δύο μεταβλητών την x και την y . Το απλό μαθηματικό μοντέλο αναζήτησης είναι μια ευθεία γραμμή της μορφής $f(x) = y = \alpha + \beta x$, η οποία "ταιριάζει" καλύτερα στο σύνολο των δειγμάτων.” (83)

Η εξαρτημένη μεταβλητή y , στην συγκεκριμένη περίπτωση παίρνει τις τιμές των *in situ* δεδομένων συγκέντρωσης χλωροφύλλης- a , επιφανειακής θαλάσσιας αλατότητας και θερμοκρασίας κάθε φορά.

Ενώ η ανεξάρτητη μεταβλητή x , είναι ο δείκτης συσχέτισης που εφαρμόζεται κάθε φορά.

Μια μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα μελέτη για την εκτίμηση των παραμέτρων α και β , άρα και για την εύρεση της εξίσωσης της καλύτερης ευθείας που προσαρμόζεται στα δεδομένα, είναι η “μέθοδος ελαχίστων τετραγώνων”. Με τον σκοπό της ελαχιστοποίησης του αθροίσματος των τετραγώνων των κατακόρυφων αποστάσεων των σημείων (x_i, y_i) από την ευθεία $y = \alpha + \beta x$. (84)

Όπου y είναι η προβλεπόμενη τιμή απόκρισης, α είναι η τομή y , x είναι η τιμή χαρακτηριστικού και β είναι μια κλίση. Για τη δημιουργία του μοντέλου, αξιολογήθηκαν οι τιμές του συντελεστή παλινδρόμησης α και β . Και μόλις γίνει η εκτίμηση αυτών των συντελεστών, μπορεί να προβλεφθεί το μοντέλο απόκρισης.

Επομένως, για την εκτίμηση της ερμηνευτικής δύναμης του γραμμικού μοντέλου χρησιμοποιήθηκε ο συντελεστής προσδιορισμού (coefficient of determination) R^2 . Πιο αναλυτικά, μετρά πόση διακύμανση της εξαρτημένης μεταβλητής κατάφεραν να ερμηνεύσουν οι ανεξάρτητες μεταβλητές. “Ο συντελεστής προσδιορισμού R^2 είναι ο λόγος της διακύμανσης των εκτιμημένων τιμών της εξαρτημένης μεταβλητής προς τη διακύμανση των πραγματικών τιμών της εξαρτημένης μεταβλητής και υπολογίζεται ως εξής: ”

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}$$

Αρχικά ερευνήθηκε ο συντελεστής συσχέτισης μεταξύ των αποτελεσμάτων που έδωσαν οι δείκτες με τα in situ δεδομένα.

Σύμφωνα με τις διαλέξεις του κ. Σ. Νικολόπουλου του μαθήματος *Γρήγορη Εισαγωγή στο Απλό και Πολλαπλό Μοντέλο Γραμμικής Παλινδρόμησης στην R*. «Ο συντελεστής συσχέτισης μετρά το επίπεδο της συσχέτισης μεταξύ δύο μεταβλητών x και y . Η τιμή του κυμαίνεται μεταξύ -1 (τέλεια αρνητική συσχέτιση: όταν το x αυξάνεται το y μειώνεται) και $+1$ (τέλεια θετική συσχέτιση: όταν το x αυξάνεται το y αυξάνει). Μια τιμή κοντά στο 0.0 υποδηλώνει μια αδύναμη σχέση μεταξύ των μεταβλητών. Μια χαμηλή συσχέτιση ($0,2 < x < 0,2$) πιθανώς υποδηλώνει ότι μεγάλο μέρος της διακύμανσης της μεταβλητής αποτελέσματος (y) δεν εξηγείται από την μεταβλητή πρόβλεψης (x).» (85)

> cor(ανεξάρτητη μεταβλητή, εξαρτημένη μεταβλητή)

Σε επόμενο στάδιο, διερευνήθηκε η στατιστική σύνοψη του μοντέλου χρησιμοποιώντας την συνάρτηση της R(), σύνοψη (summary) :

> model <- lm(ανεξάρτητη μεταβλητή ~ εξαρτημένη μεταβλητή, data = πίνακας δεδομένων)

> summary(model)

«Το Τυπικό σφάλμα καταλοίπων (Residual standard error) το R^2 τετράγωνο (R^2) και η στατιστική F είναι μετρήσεις (στατιστικές) που χρησιμοποιούνται για να ελέγξουμε πόσο καλά το μοντέλο περιγράφει τα δεδομένα μας. Δηλαδή, πόσο καλά περιγράφει την σχέση ανάμεσα στην εξαρτημένη (y) και ανεξάρτητη μεταβλητή (x).» (85)

Ενδεικτικά τα αποτελέσματα που εξάγονται από των κώδικα είναι αυτής της μορφής.

```
Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-0.0062872 -0.0023726  0.0004616  0.0023009  0.0065241

Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  0.015960   0.001821   8.767 5.24e-06 ***
in_situ     -0.004009   0.001007  -3.980  0.0026 **
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.003687 on 10 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.6131,    Adjusted R-squared:  0.5744
F-statistic: 15.84 on 1 and 10 DF,  p-value: 0.002599
```

5. Αποτελέσματα

Παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την μεθοδολογία των συσχετίσεων των δεδομένων δειγματοληψίας στην περιοχή μελέτης του Θερμαϊκού κόλπου και των δορυφορικών δεδομένων, ανά κατηγορία ποιοτικού χαρακτηριστικού των παράκτιων υδάτων.

Συγκεκριμένα χωρίζονται σε ενότητες συγκεντρώσεις χλωροφύλλης-α (chl-a), επιφανειακής θαλάσσιας αλατότητας (sea surface salinity) και επιφανειακής θαλάσσιας θερμοκρασίας (sea surface temperature).

Για τις συσχετίσεις μεταξύ των δεδομένων, όπως προαναφέρθηκε χρησιμοποιήθηκε η απλή γραμμική παλινδρόμηση.

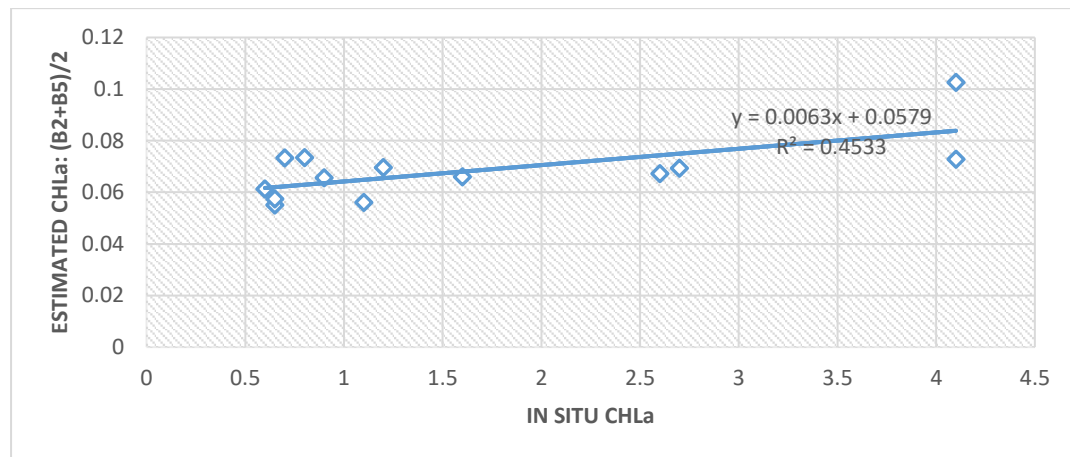
5.1 Θερμαϊκός κόλπος: Χλωροφύλλη-α

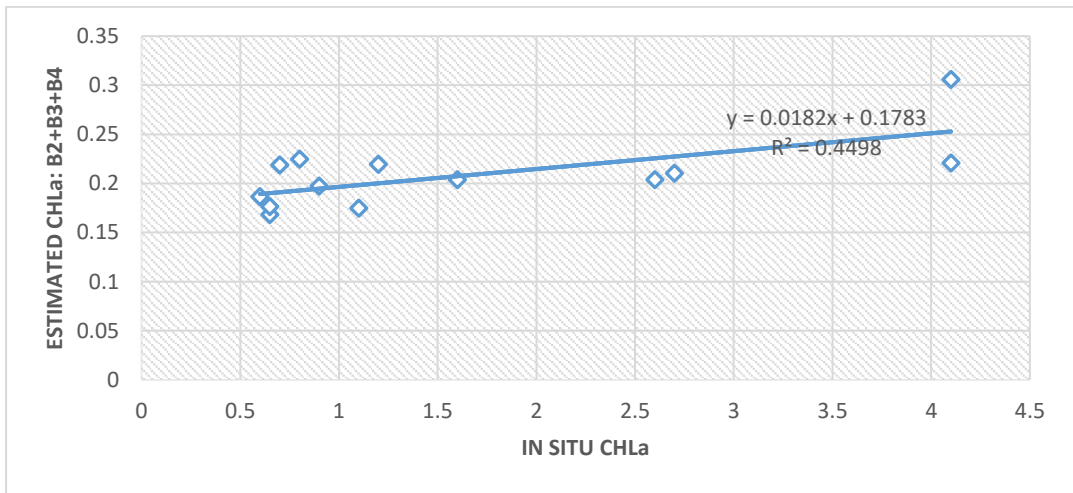
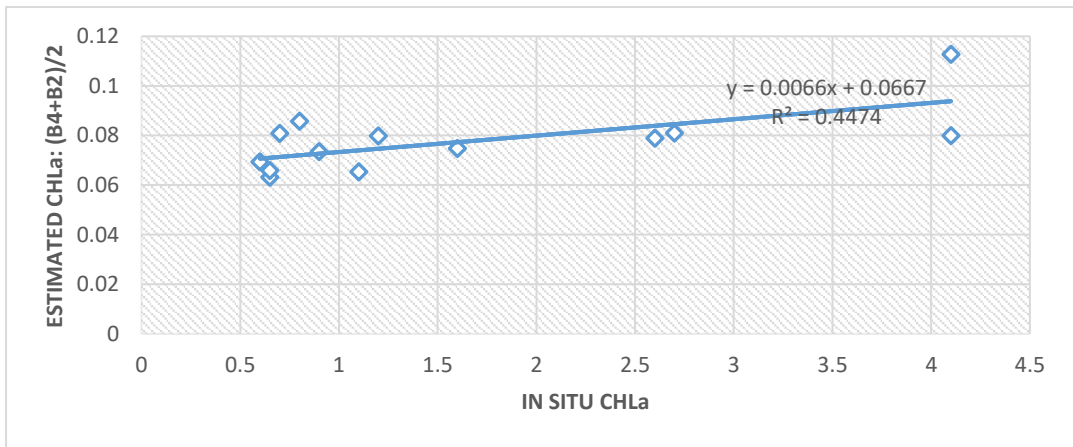
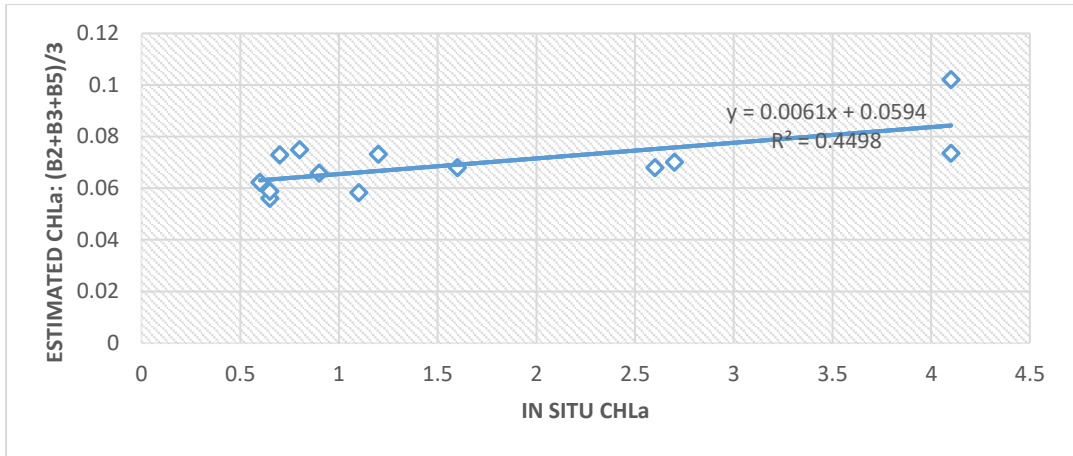
Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για την χλωροφύλλη-α. Όπως προαναφέρθηκε χρησιμοποιήθηκε η απλή γραμμική παλινδρόμηση. Στον παρακάτω πίνα φαίνονται οι δείκτες και οι τύποι τους καθώς ο συντελεστής συσχέτισης και το R^2 . Με πράσινο χρώμα σημειώνονται οι δείκτες για τους οποίους το R^2 είναι μεγαλύτερο του 0.4 , αλλιώς $R^2 > 40\%$.

	CORREL function returns the Pearson correlation coefficient	r2 Square of the Pearson	P-VALUE	Root Mean Square Error (RMSE)
	insitu	insitu	insitu	insitu
B5/B4	0.334976493	11.2209251	0.004319146	2.160258875
B2-(B4/B3)	0.13312989	1.772356772	0.000490221	2.080076303
(B5-B4)/(B5+B4)	-0.308028273	9.48814167	0.001205181	2.095584446
B3 - (B4 + B1 - B4)	-0.138478999	1.917643312	0.000733298	2.076760001
B2/B1	-0.012676066	0.016068265	0.028143641	2.19310016
B3/B1	0.139869876	1.956358227	0.007670158	2.125531278
B3/B2	0.320556346	10.27563707	0.007434468	2.183760865
B4/B1	0.449763627	20.22873205	0.002885582	2.093943066
B4/B2	0.396708262	15.73774454	0.001999282	2.131804111
B4/B3	0.399500605	15.96007332	0.00627317	2.185576426
B5/B1	0.388734181	15.11142635	0.001574585	2.081800042
B5/B2	0.412123532	16.98458058	0.000771932	2.101376441
B5/B3	0.399274291	15.94199595	0.001451435	2.1224358
B5/B4	0.334976493	11.2209251	0.004319146	2.160258875
B5-B2	0.191992024	3.686093745	0.000178588	2.077465565

$5749.5 * B5 - 9951.1 * B2 + 128.7$	-0.018792338	0.035315197	2.17253E-10	773.0181554
$101.03 * B5 / B4 - 48.04$	0.334976493	11.2209251	0.009516302	16.71386827
$(B4+B5)/2$	0.561733112	31.55440895	0.000299488	2.076414841
$(B3+B5)/2$	0.611191579	37.35551458	0.000320364	2.076631457
$(B2+B5)/2$	0.673282755	45.33096675	0.000349992	2.07712184
$(B4+B3)/2$	0.624867473	39.04593592	0.000334594	2.076882495
$(B4+B2)/2$	0.668892146	44.74167029	0.000365608	2.077452822
$(B3+B2)/2$	0.615046468	37.82821583	0.000391256	2.077903471
$(B2+B3+B4)/3$	0.667167807	44.51128821	0.000363049	2.077375317
$(B2+B3+B5)/3$	0.670674273	44.98039811	0.000352639	2.07715605
$(B3+B4+B5)/3$	0.59979711	35.97565726	0.000317807	2.076623849
$(B2+B4+B5)/3$	0.645928421	41.72235246	0.000337096	2.076927682
$(B2+B3+B4+B5)/3$	0.653041657	42.64634053	0.000342201	2.076997174
$B2+B3$	0.615046468	37.82821583	0.000586663	2.083719074
$B3$	0.648947639	42.11330384	0.000357997	2.077227774
$B2+B3+B5$	0.670674273	44.98039811	0.000644487	2.086689301
$B2+B3+B4$	0.667167807	44.51128821	0.00070588	2.088652866
$0.9889 * (B4/B5) - 0.3619$	-0.265868966	7.068630684	0.258151167	2.532002428
$B2-B4$	-0.242269906	5.869470754	0.000359692	2.076850488
$(B5 - B4)/(B2 + B3)$	0.227841679	5.191183069	0.000156927	2.078639776
$B3/B4$	-0.421546872	17.7701765	0.429519032	2.629028603

Ακολουθούν, οι γραφικές παραστάσεις των μοντέλων που παρουσιάζουν τα καλύτερα αποτελέσματα για το R^2 .



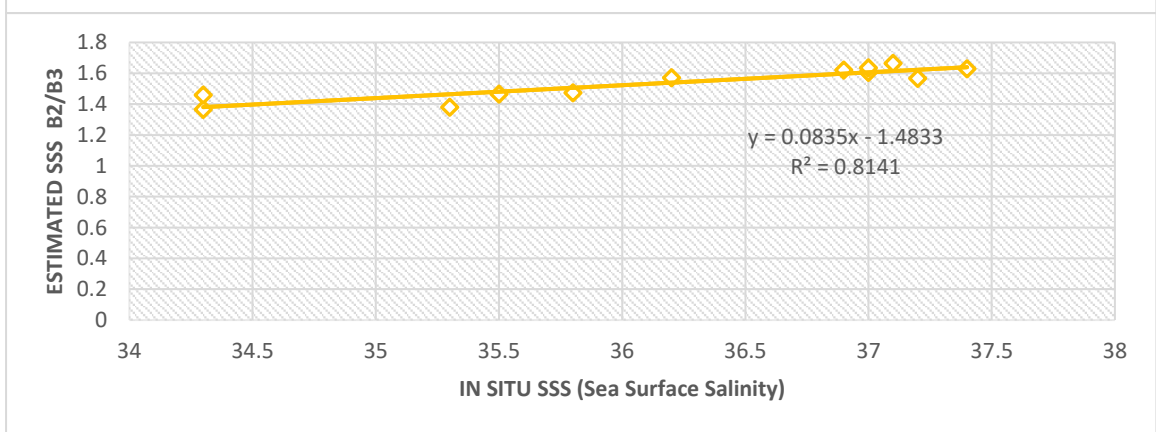
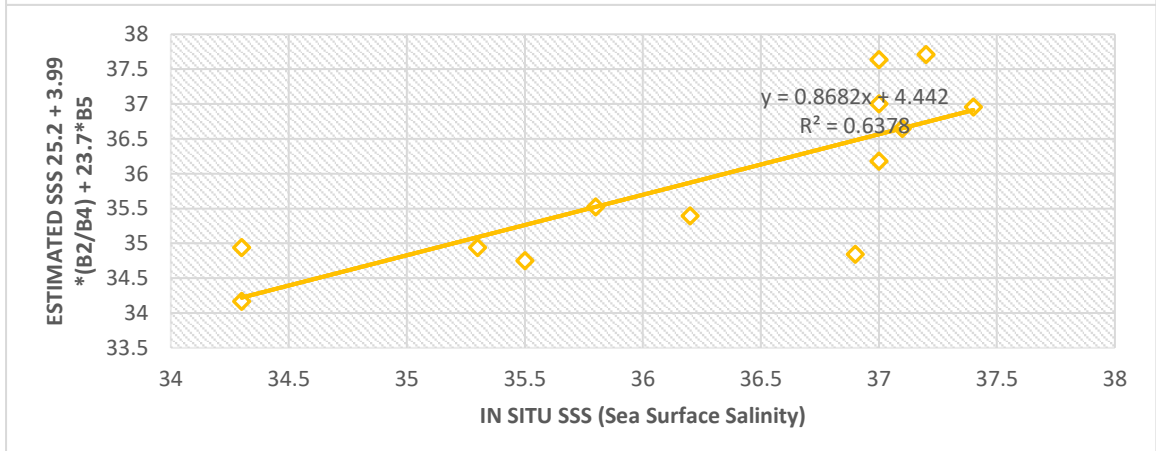
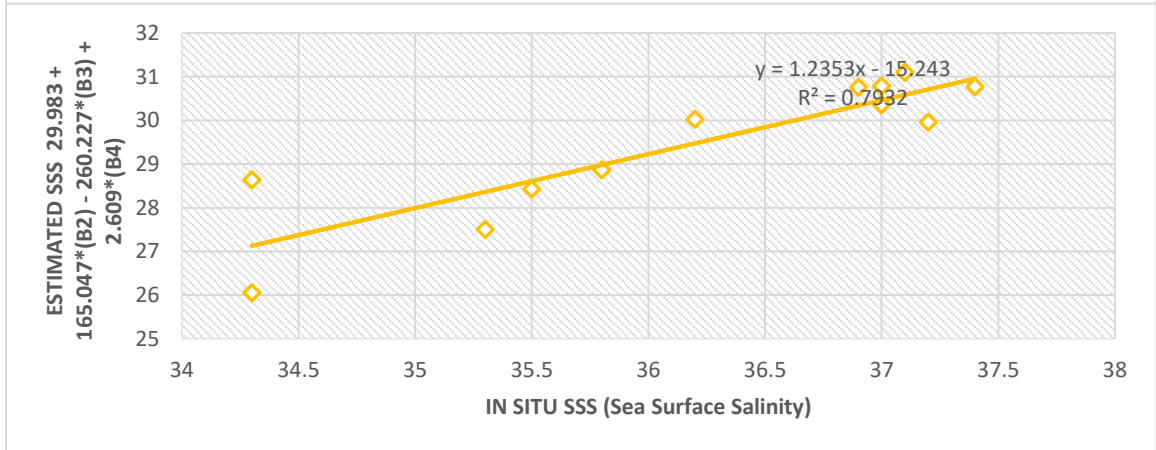
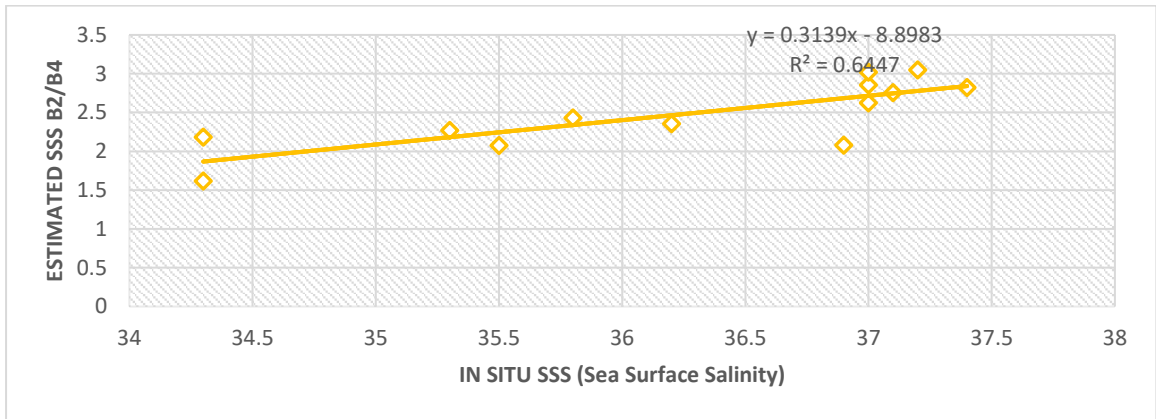


5.2 Θερμαϊκός κόλπος : Επιφανειακή Θαλάσσια Αλατότητα

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για την επιφανειακή θαλάσσια αλατότητα. Όπως προαναφέρθηκε χρησιμοποιήθηκε η απλή γραμμική παλινδρόμηση. Στον παρακάτω πίνα φαίνονται οι δείκτες και οι τύποι τους καθώς ο συντελεστής συσχέτισης και το R^2 . Με πράσινο χρώμα σημειώνονται οι δείκτες για τους οποίους το R^2 είναι μεγαλύτερο του 0.6 , αλλιώς $R^2 > 60\%$.

	CORREL function returns the Pearson correlation coefficient	r2 Square of the Pearson	P-VALUE	Root Mean Square Error (RMSE)
	insitu	insitu	insitu	insitu
$(B5-B6)/(B5+B6+1)$	-0.635959975	40.44450893	4.03281E-20	36.24597883
$(B5-B7)/(B5+B7+1)$	-0.749490897	56.17366049	4.15685E-20	36.24598129
$(B2-B3)/(B2+B3+1)$	0.483512055	23.37839078	3.87314E-20	36.24599214
B5/B6	0.605551253	36.66923206	3.49091E-20	36.36476989
B5/B7	0.550096635	30.26063079	1.17788E-15	36.60198241
b2/b4	0.802922848	64.46850993	1.92911E-21	36.33265432
b2/b3	0.902262078	81.4076857	2.35546E-20	36.27888211
b4/b2	-0.79342019	62.95155971	2.35546E-20	36.24845572
$(B5-B6)/(B5+B6)$	0.595919021	35.51194792	1.45521E-20	36.24873745
$(B5-B7)/(B5+B7)$	0.557386566	31.06797845	1.57251E-20	36.25059352
25.2 + 3.99 *(B2/B4) + 23.7*B5	0.798602259	63.77655682	0.0626464	58.17911663
$570.80 + 26535.17 * B1 + (-62141.71 * B2) + 34952.89 * B3$	-0.608672759	37.04825273	0.001543677	227.767789
29.983 + 165.047*(B2) - 260.227*(B3) + 2.609*(B4)	0.890606823	79.31805124	1.94918E-13	46.76404893
$(B6-B7)/(B6+B7)$	-0.227349412	5.168775535	7.29766E-20	36.24755523

Ακολουθούν, οι γραφικές παραστάσεις των μοντέλων που παρουσιάζουν τα καλύτερα αποτελέσματα για το R^2 .

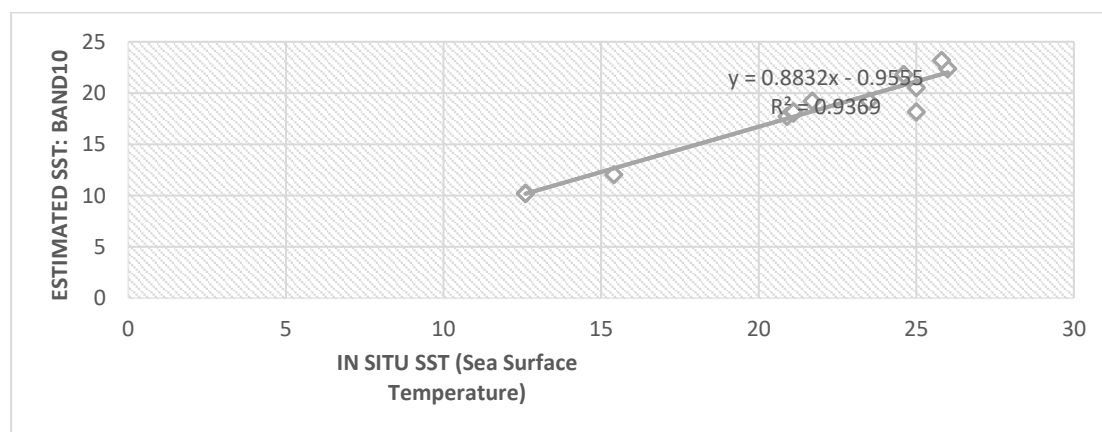


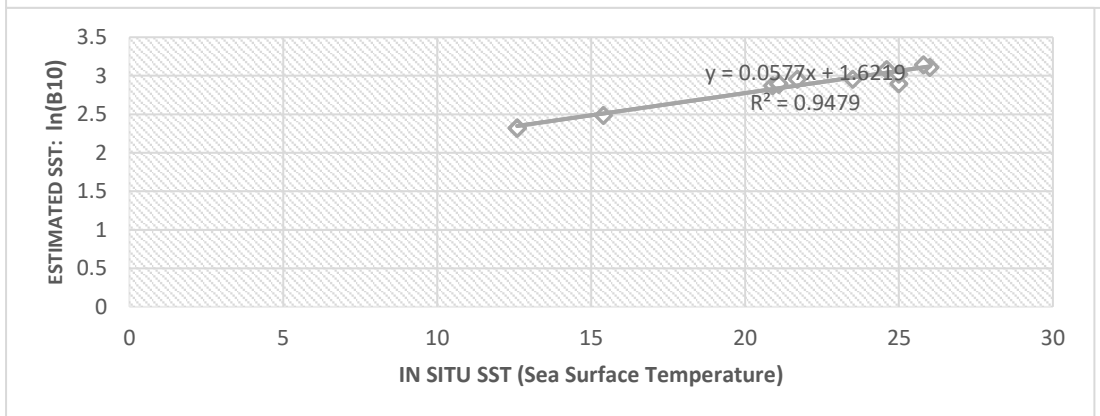
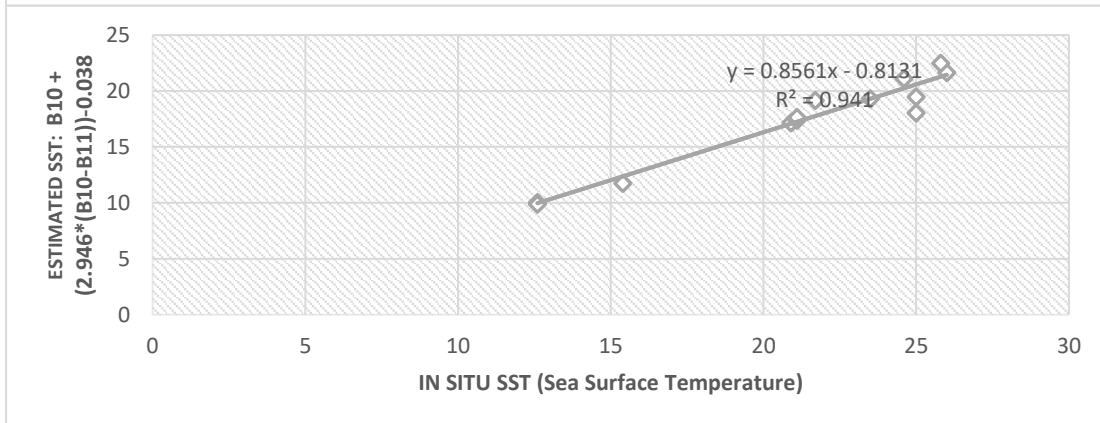
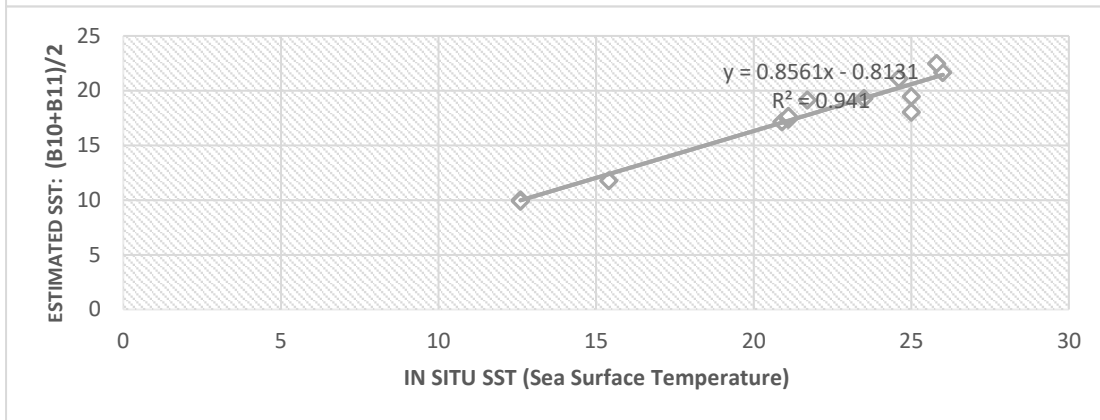
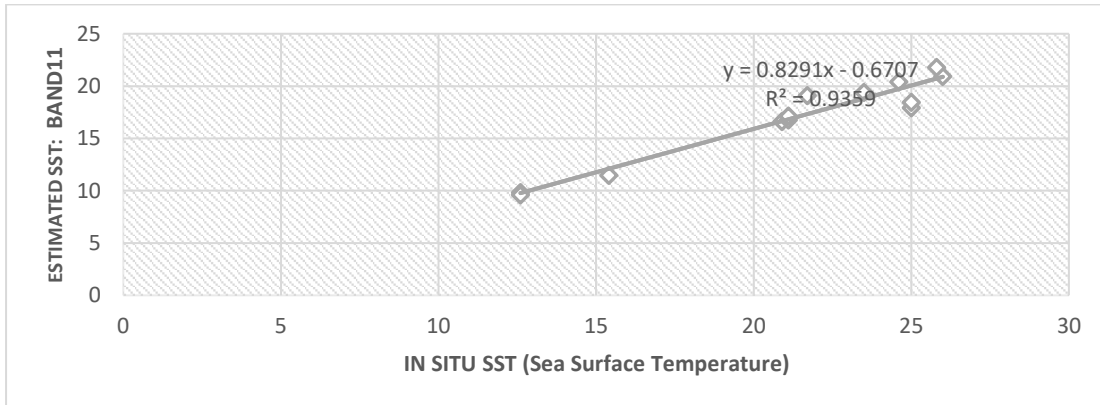
5.3 Θερμαϊκός κόλπος : Επιφανειακή Θαλάσσια Θερμοκρασία

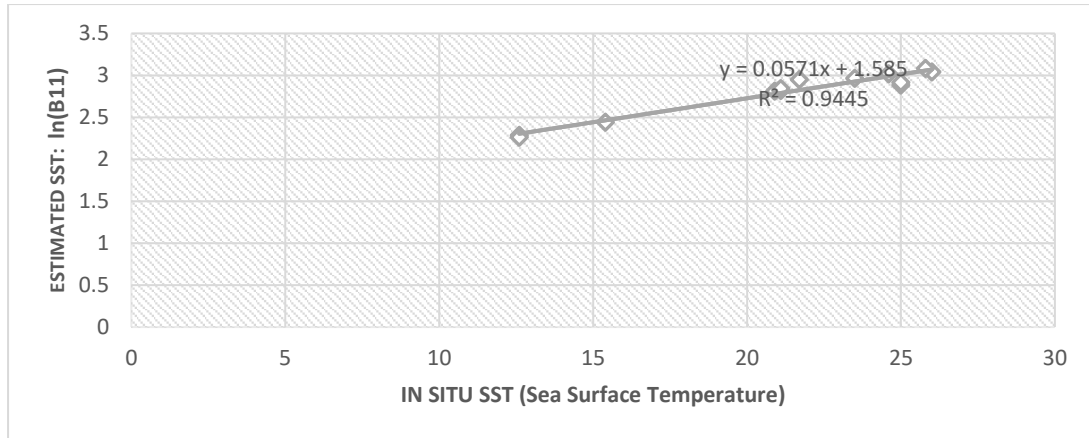
Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για την επιφανειακή θαλάσσια θερμοκρασία. Όπως προαναφέρθηκε χρησιμοποιήθηκε η απλή γραμμική παλινδρόμηση. Στον παρακάτω πίνα φαίνονται οι δείκτες και οι τύποι τους καθώς ο συντελεστής συσχέτισης και το R^2 . Με πράσινο χρώμα σημειώνονται οι δείκτες για τους οποίους το R^2 είναι μεγαλύτερο του 0.6 , αλλιώς $R^2 > 60\%$.

	CORREL function returns the Pearson correlation coefficient	r2 Square of the Pearson	P-VALUE	Root Mean Square Error (RMSE)
	insitu	insitu	insitu	insitu
T in Celsius BAND10	0.977945219	94.69179475	0.0000001610	28.31560459
T in Celsius BAND11	0.977395235	94.58535405	0.0000000302	27.74680278
(B10+B11)/2	0.970042637	94.09827175	0.0000000460	28.02762892
B10 + (2.946*(B10-B11))-0.038	0.902604002	81.46939836	0.0919580599	30.12068825
ln(B10)	0.973612091	94.79205032	0.0000000024	21.85243328
ln(B11)	0.971828877	94.44513654	0.0000000023	21.84606841

Ακολουθούν, οι γραφικές παραστάσεις των μοντέλων που παρουσιάζουν τα καλύτερα αποτελέσματα για το R^2 .







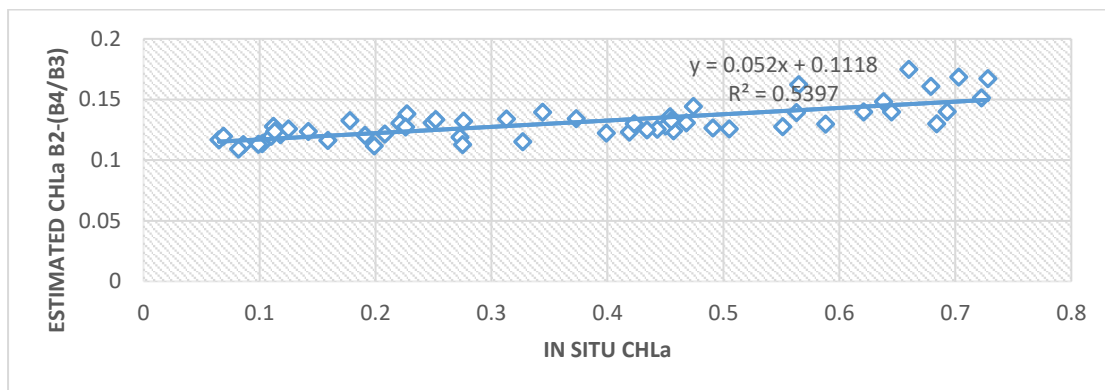
5.4 Κόλπος Λέοντα: Χλωροφύλλη-α

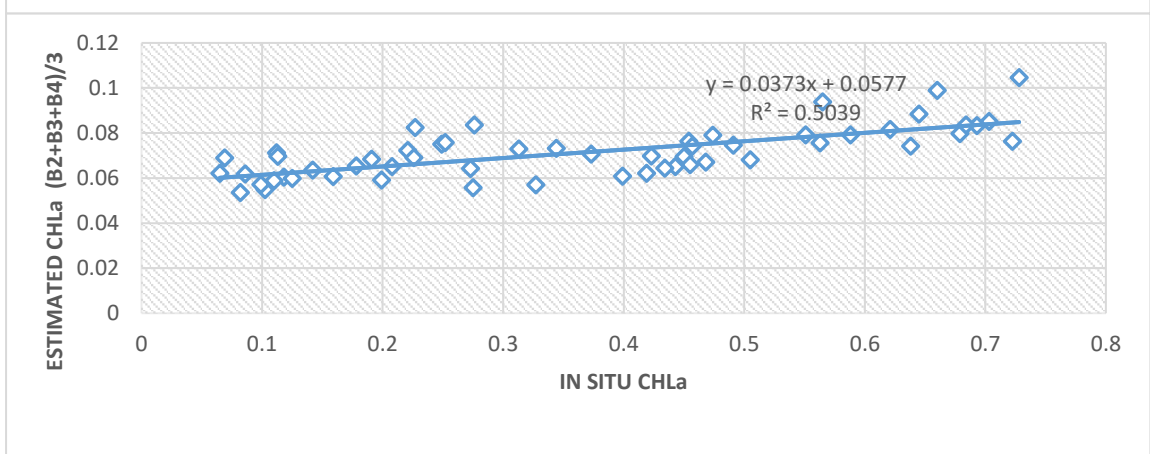
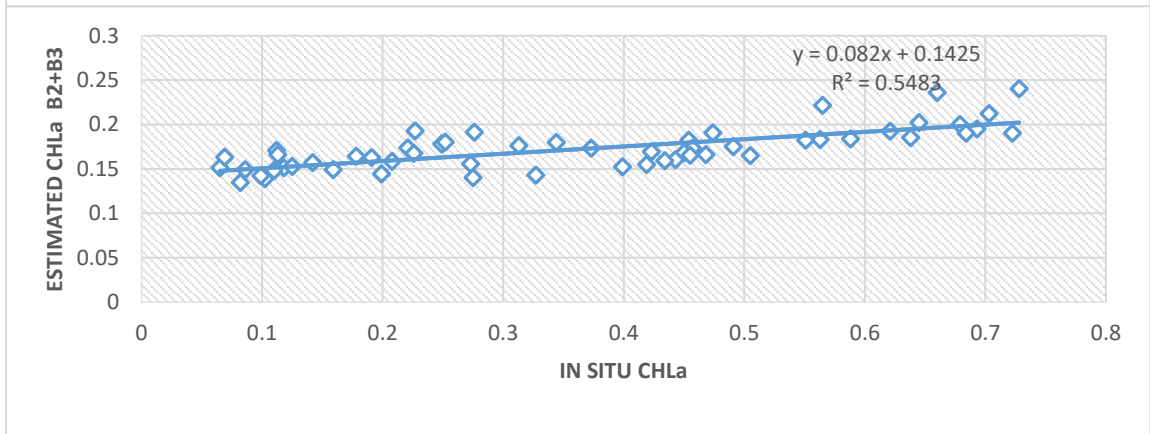
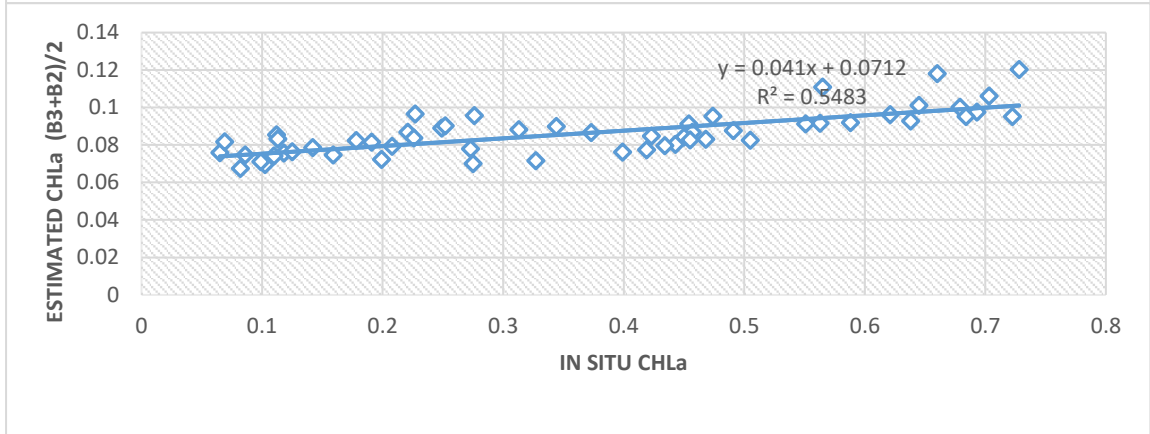
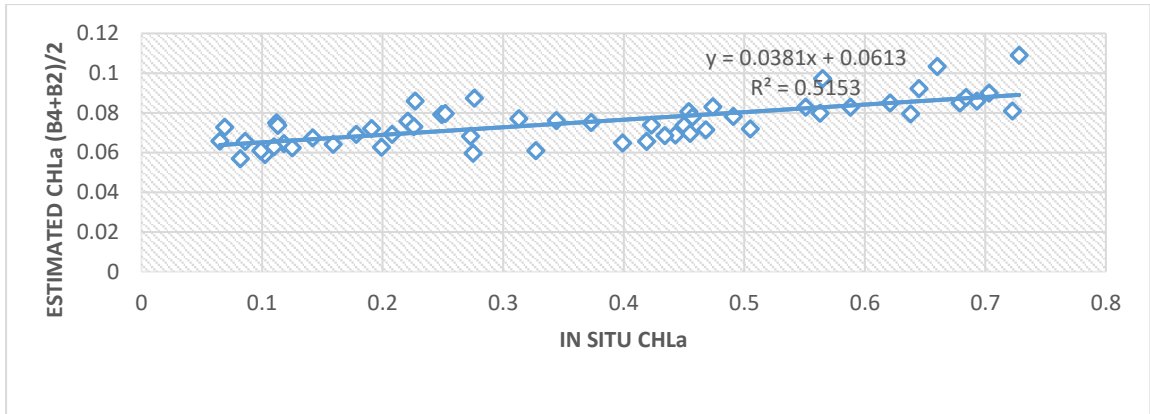
Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για την χλωροφύλλη-α. Όπως προαναφέρθηκε χρησιμοποιήθηκε η απλή γραμμική παλινδρόμηση. Στον παρακάτω πίνα φαίνονται οι δείκτες και οι τύποι τους καθώς ο συντελεστής συσχέτισης και το R^2 . Με πράσινο χρώμα σημειώνονται οι δείκτες για τους οποίους το R^2 είναι μεγαλύτερο του 0.45 , αλλιώς $R^2 > 45\%$.

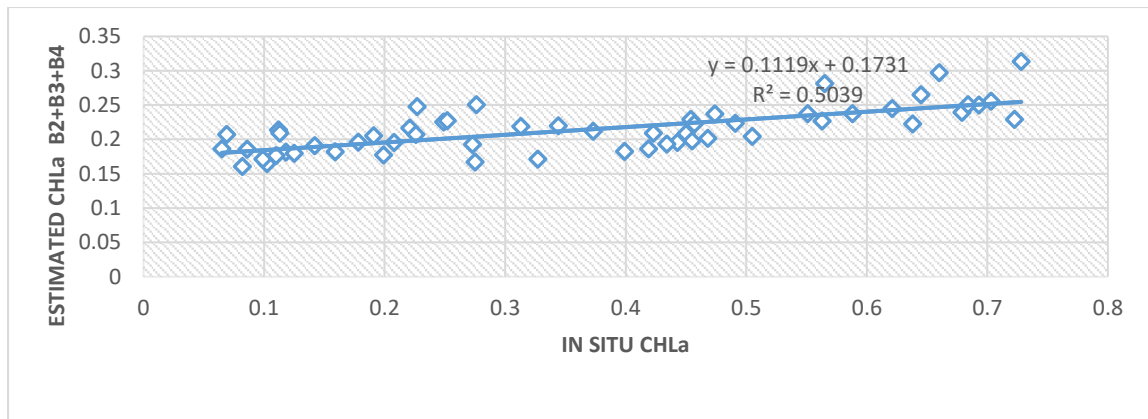
	CORREL function returns the Pearson correlation coefficient	r2 Square of the Pearson	P-VALUE	Root Mean Square Error (RMSE)
	insitu	insitu	insitu	insitu
B5/B4	0.240710153	5.794137763	6.41948E-12	0.752164951
B2-(B4/B3)	0.734613509	53.96570074	1.60457E-12	0.43895722
(B5-B4)/(B5+B4)	- 0.226911817	5.148897272	0.00053669	0.497438052
B3 - (B4 + B1 - B4)	- 0.074975759	0.562136438	5.01245E-22	0.425138164
B2/B1	0.623556276	38.8822429	2.51298E-23	0.899361545
B3/B1	0.466412583	21.7540698	0.000146912	0.626084731
B3/B2	0.388998265	15.13196502	1.35322E-11	0.717595259
B4/B1	0.397990997	15.83968339	0.008844339	0.520011535
B4/B2	0.349897458	12.24282309	0.301205068	0.568480228
B4/B3	0.295998087	8.761486763	3.09253E-15	0.773417341
B5/B1	0.337155086	11.36735519	8.58768E-09	0.467414726

B5/B2	0.309475943	9.577535928	9.36782E-06	0.491361802
B5/B3	0.271418445	7.366797235	0.085986323	0.595648468
B5/B4	0.240710153	5.794137763	6.41948E-12	0.752164951
B5-B2	- 0.375915785	14.1312677	2.25204E-22	0.42691226
5749.5 * B5 - 9951.1 * B2 + 128.7	- 0.632128095	39.95859286	1.28285E-51	807.9975745
101.03 * B5 / B4 - 48.04	0.240710153	5.794137763	1.70031E-10	18.92568305
(B4+B5)/2	0.513388315	26.3567562	1.18579E-17	0.420295002
(B3+B5)/2	0.58521741	34.24794165	4.05636E-17	0.421318
(B2+B5)/2	0.679789139	46.21132735	5.77658E-16	0.424340379
(B4+B3)/2	0.642704527	41.30691091	9.50004E-17	0.422178081
(B4+B2)/2	0.717863766	51.53283868	1.40618E-15	0.425601939
(B3+B2)/2	0.74044925	54.82650917	5.32961E-15	0.427691259
(B2+B3+B4)/3	0.709831199	50.38603314	8.73908E-16	0.424929068
(B2+B3+B5)/3	0.684505952	46.8548399	4.84208E-16	0.424118133
(B3+B4+B5)/3	0.583303914	34.02434562	3.55068E-17	0.421193917
(B2+B4+B5)/3	0.650953977	42.37410805	2.05301E-16	0.423033923
(B2+B3+B4+B5)/3	0.662748698	43.92358372	2.32854E-16	0.42319228
B2+B3	0.74044925	54.82650917	2.54219E-10	0.453424593
B3	0.68924642	47.50606276	3.40856E-16	0.42368897
B2+B3+B5	0.684505952	46.8548399	7.14219E-09	0.464748681
B2+B3+B4	0.709831199	50.38603314	6.06448E-08	0.471368258
0.9889 * (B4/B5) - 0.3619	- 0.207326686	4.298435483	3.72053E-22	1.445000849
B2-B4	0.409079592	16.73461126	1.18105E-15	0.424209256
(B5 - B4)/(B2 + B3)	0.20771948	4.314738224	2.42832E-23	0.428308241
B3/B4	- 0.282632757	7.988127548	1.04927E-35	1.629227563

Ακολουθούν, οι γραφικές παραστάσεις των μοντέλων που παρουσιάζουν τα καλύτερα αποτελέσματα για το R².







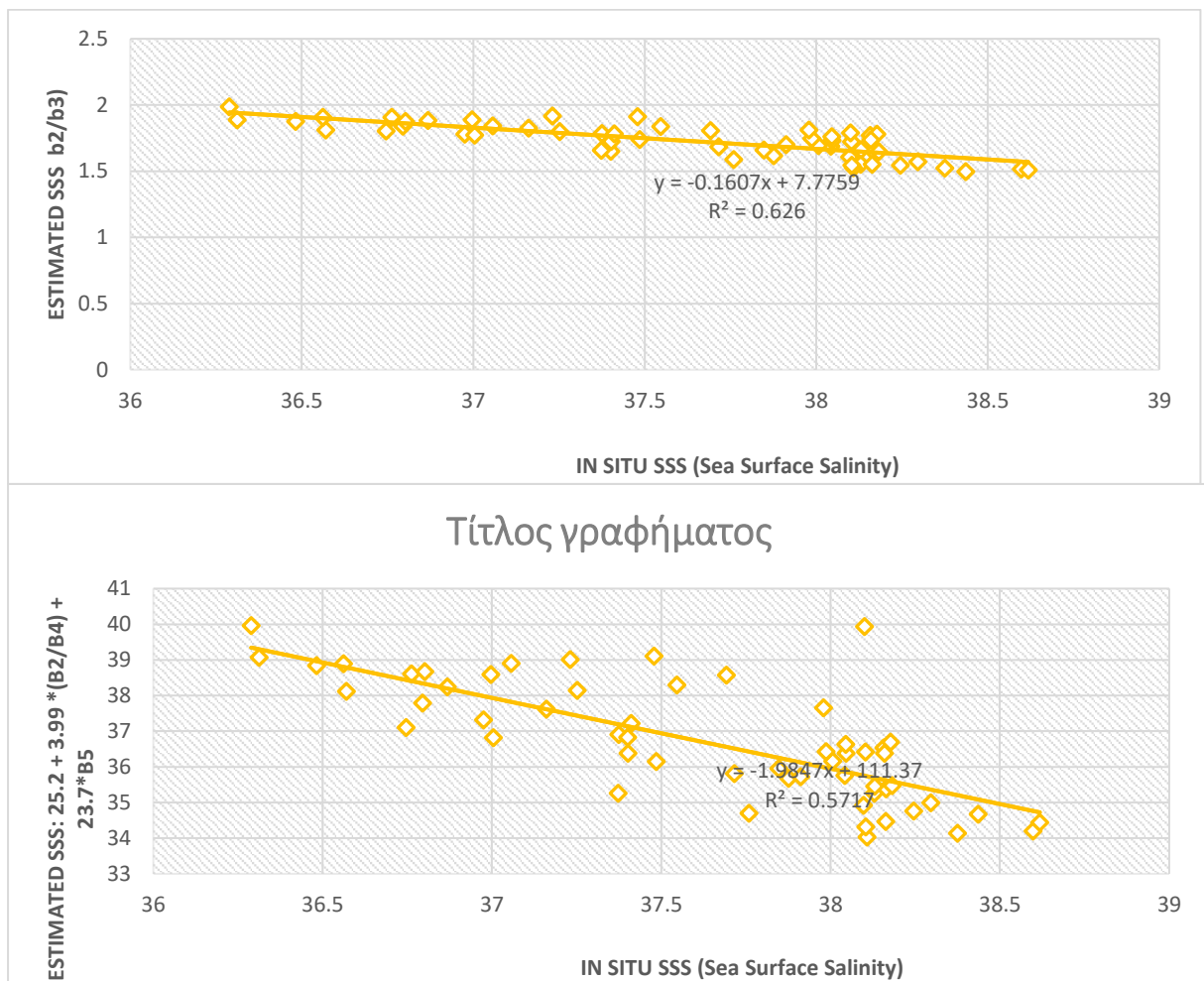
5.5 Κόλπος Λέοντα : Επιφανειακή Θαλάσσια Αλατότητα

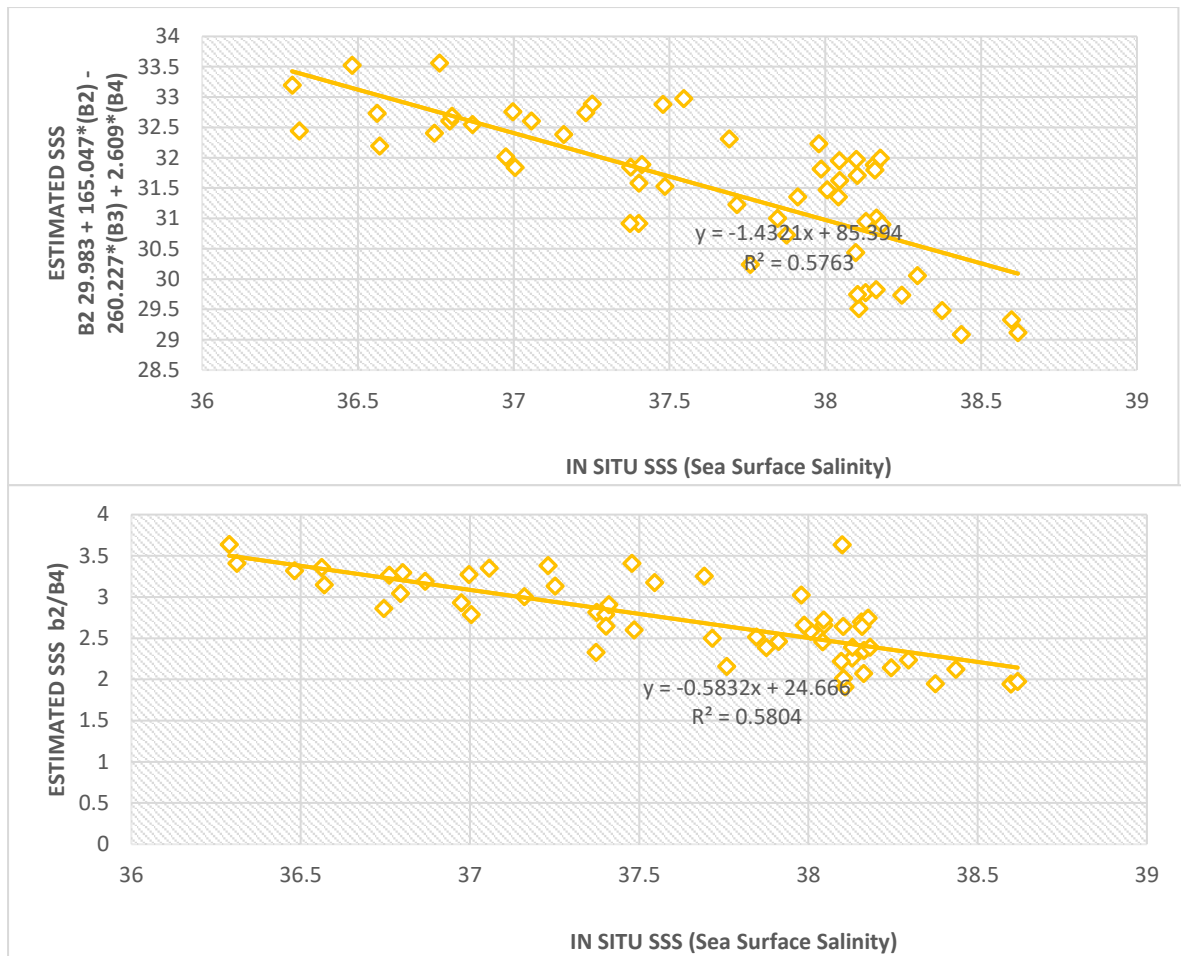
Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για την επιφανειακή θαλάσσια αλατότητα. Όπως προαναφέρθηκε χρησιμοποιήθηκε η απλή γραμμική παλινδρόμηση. Στον παρακάτω πίνα φαίνονται οι δείκτες και οι τύποι τους καθώς ο συντελεστής συσχέτισης και το R^2 . Με πράσινο χρώμα σημειώνονται οι δείκτες για τους οποίους το R^2 είναι μεγαλύτερο του 0.5 , αλλιώς $R^2 > 50\%$.

	CORREL function returns the Pearson correlation coefficient	r2 Square of the Pearson	P-VALUE	Root Mean Square Error (RMSE)
	insitu	insitu	insitu	insitu
$(B5-B6)/(B5+B6+1)$	0.412587254	17.02282423	3.5813E-100	37.62267686
$(B5-B7)/(B5+B7+1)$	0.582812066	33.9669904	3.2619E-100	37.62267799
$(B2-B3)/(B2+B3+1)$	-0.443509446	19.67006284	4.9432E-100	37.62269469
$B5/B6$	-0.6516418	42.46370357	5.22727E-75	37.72765434
$B5/B7$	-0.601122708	36.13485101	2.49405E-60	37.91445975
$b2/b4$	-0.761831127	58.03866656	3.04923E-86	37.72432677
$b2/b3$	-0.791179783	62.59654485	2.63145E-95	37.66264194
$b2/b5$	0.750643727	56.34660054	7.208E-102	37.62463895
$(B5-B6)/(B5+B6)$	-0.693942227	48.15558144	2.15832E-95	37.62500404
$(B5-B7)/(B5+B7)$	-0.674701706	45.52223924	5.30809E-95	37.6265838
$25.2 + 3.99 *(B2/B4) + 23.7*B5$	-0.756128543	57.17303742	0.001271998	52.58966698
570.80 +26535.17	0.154284988	2.380385763	2.49884E-27	378.1831709

*B1 +(-62141.71*B2) + 34952.89*B3					
29.983	+	-0.759157973	57.63208275	1.41926E-33	49.09659035
165.047*(B2)	-				
260.227*(B3)	+				
2.609*(B4)					
(B6-B7)/(B6+B7)		-0.571841403	32.70025906	1.9219E-98	37.62316163

Ακολουθούν, οι γραφικές παραστάσεις των μοντέλων που παρουσιάζουν τα καλύτερα αποτελέσματα για το R².



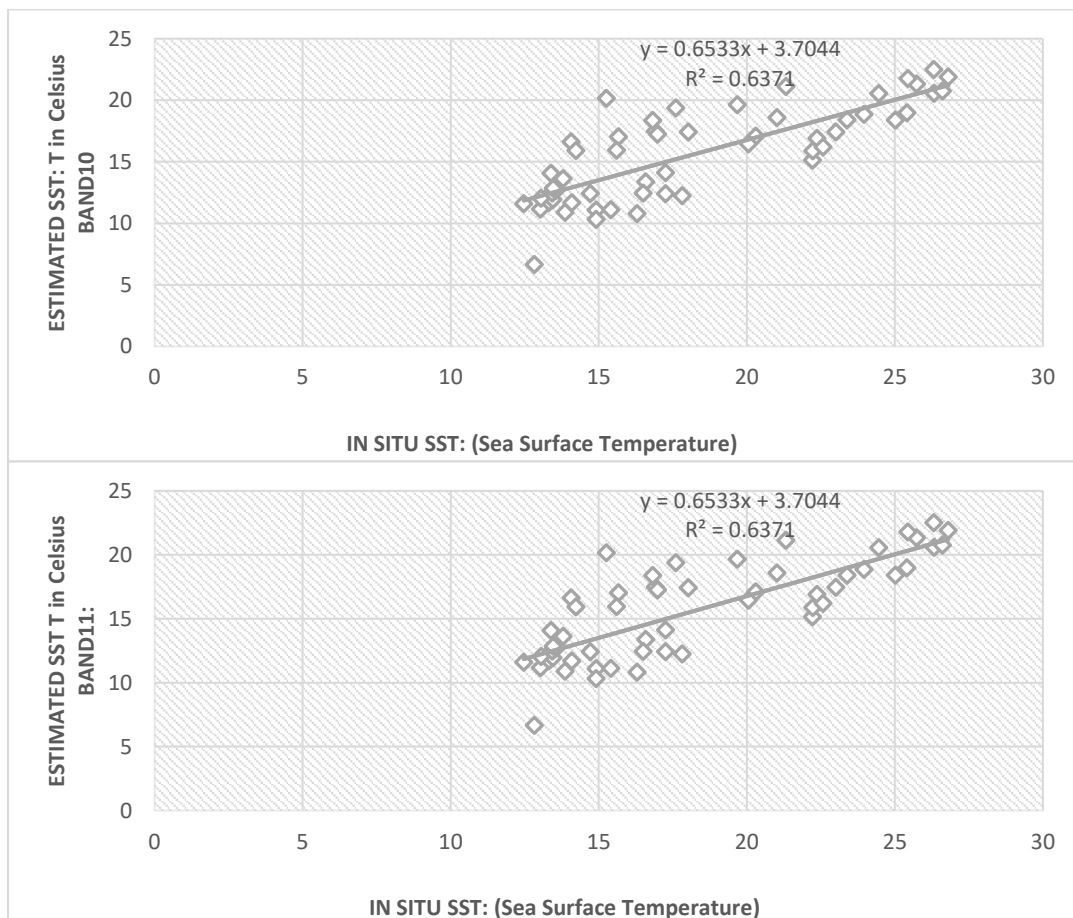


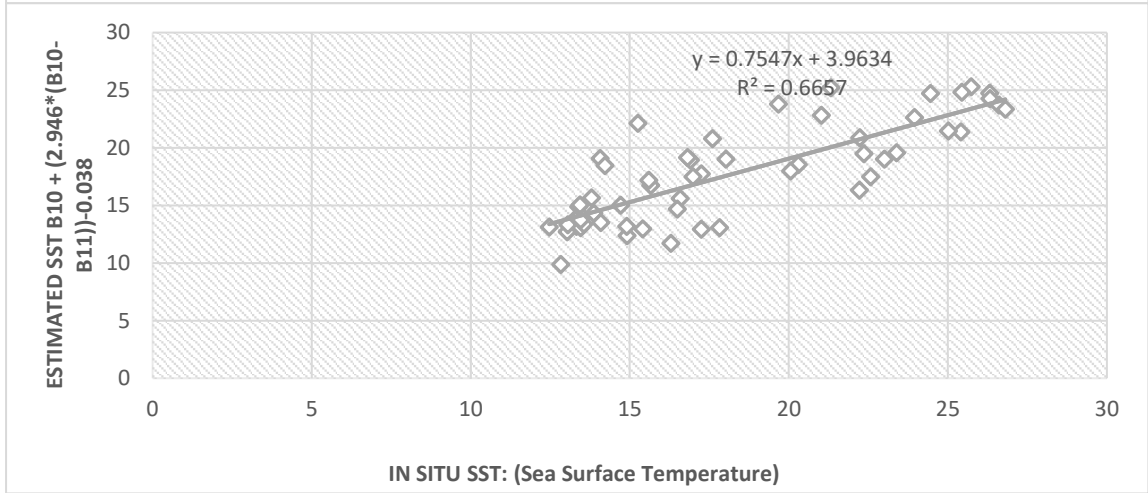
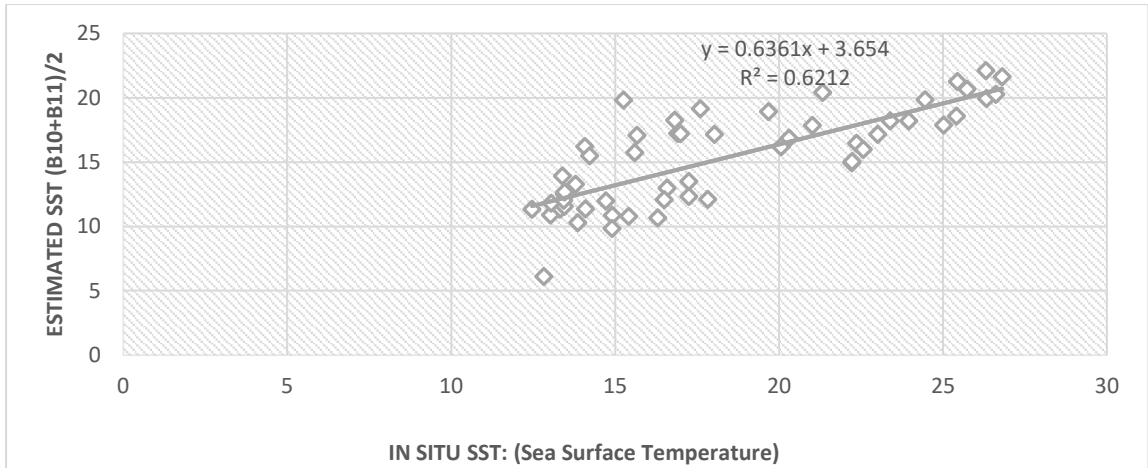
5.6 Κόλπος Λέοντα : Επιφανειακή Θαλάσσια Θερμοκρασία

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για την επιφανειακή θαλάσσια θερμοκρασία. Όπως προαναφέρθηκε χρησιμοποιήθηκε η απλή γραμμική παλινδρόμηση. Στον παρακάτω πίνα φαίνονται οι δείκτες και οι τύποι τους καθώς ο συντελεστής συσχέτισης και το R^2 . Με πράσινο χρώμα σημειώνονται οι δείκτες για τους οποίους το R^2 είναι μεγαλύτερο του 0.6 , αλλιώς $R^2 > 60\%$.

	CORREL function returns the Pearson correlation coefficient	r2 Square of the Pearson	P-VALUE	Root Mean Square Error (RMSE)
	insitu	insitu	insitu	insitu
T in Celsius BAND10	0.798176995	63.70865159	0.0000000020	3.783784425
T in Celsius BAND11	0.775668194	60.16611477	0.0000000000	4.399663553
(B10+B11)/2	0.788137228	62.11602901	0.0000000001	4.082380735
B10 + (2.946*(B10-B11))-0.038	0.81592921	66.57404758	0.0896363509	2.732376698
ln(B10)	0.766975778	58.82518446	0.0000000000	16.06332141
ln(B11)	0.736649803	54.26529327	0.0000000000	16.11137039

Ακολουθούν, οι γραφικές παραστάσεις των μοντέλων που παρουσιάζουν τα καλύτερα αποτελέσματα για το R².

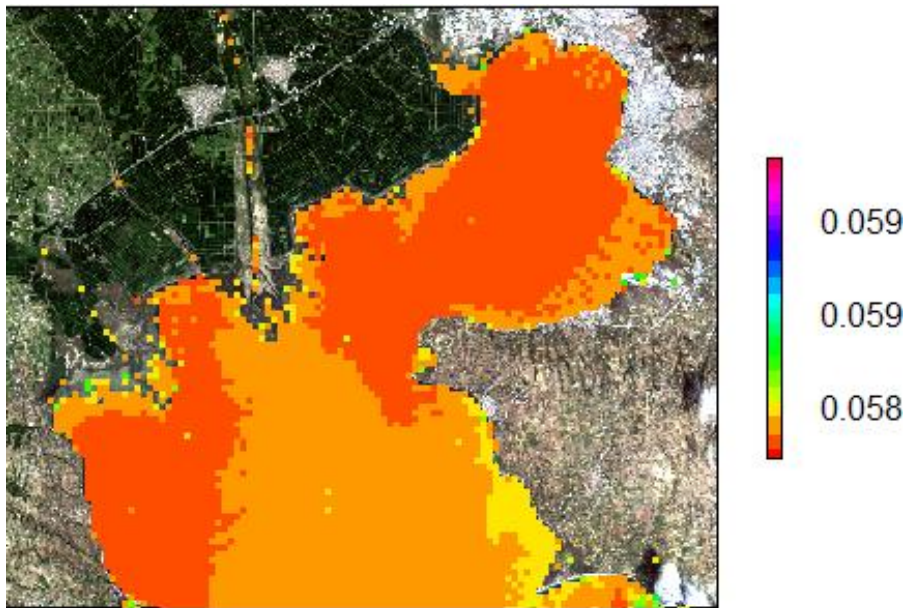




Παρουσιάζονται οπτικά οι δείκτες με καλές συσχετίσεις για την περιοχή μελέτης του Θερμαϊκού κόλπου μια φορά για τον χειμώνα και μία για το καλοκαίρι. Οι δείκτες αυτοί είναι:

1. Χλωροφύλλη-α: $(B2+B5)/2$
2. Επιφανειακή θαλάσσια Αλατότητα: $B2/B3$
3. Επιφανειακή θαλάσσια Θερμοκρασία: B10

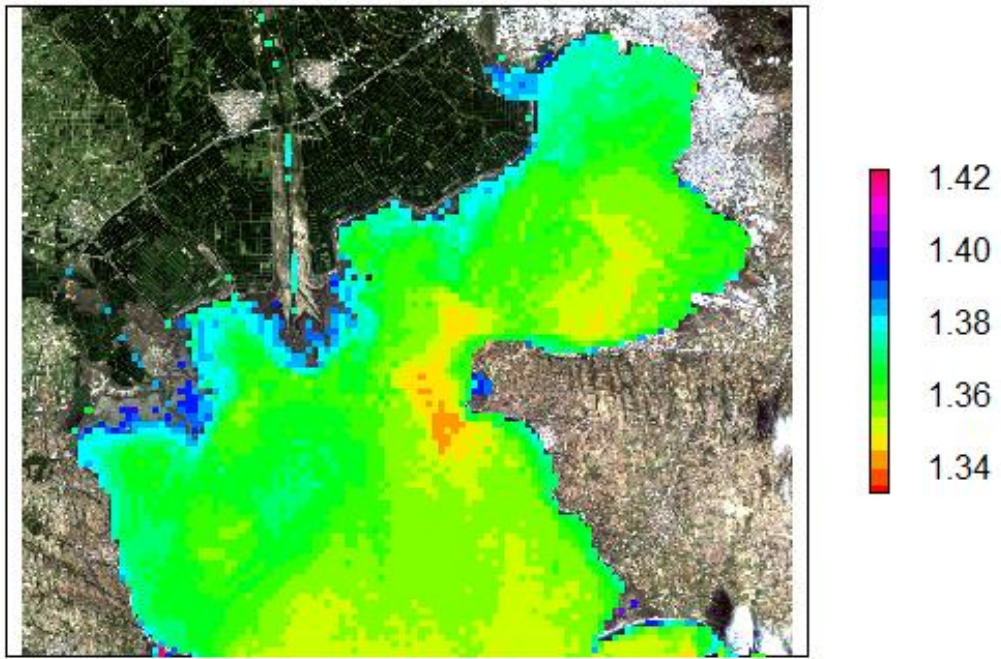
Καλοκαίρι - Χλωροφύλλη-α



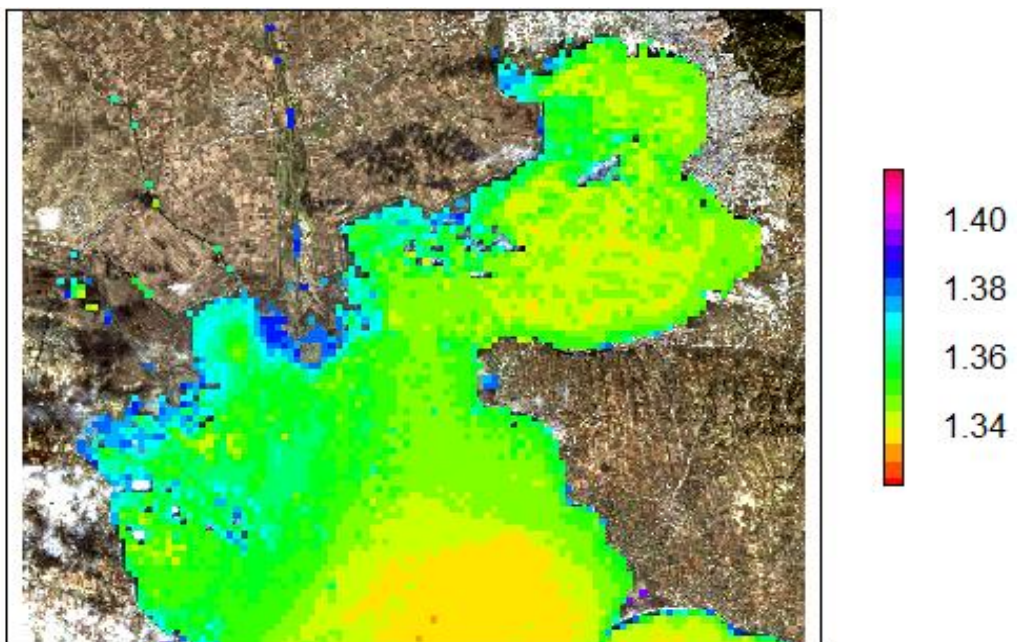
Χειμώνας - Χλωροφύλλη-α



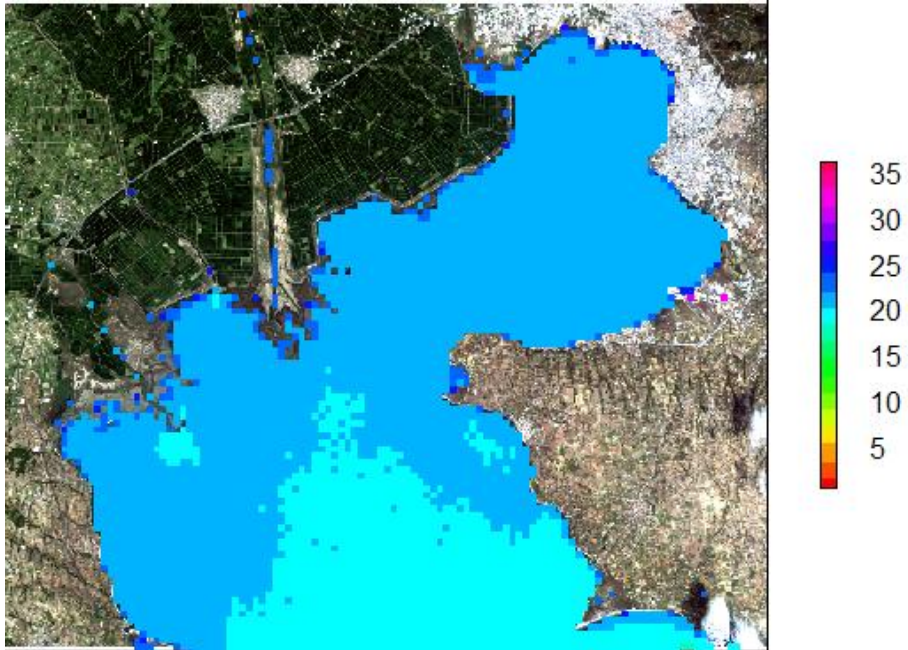
Καλοκαίρι – Επιφανειακή Θαλάσσια Αλατότητα



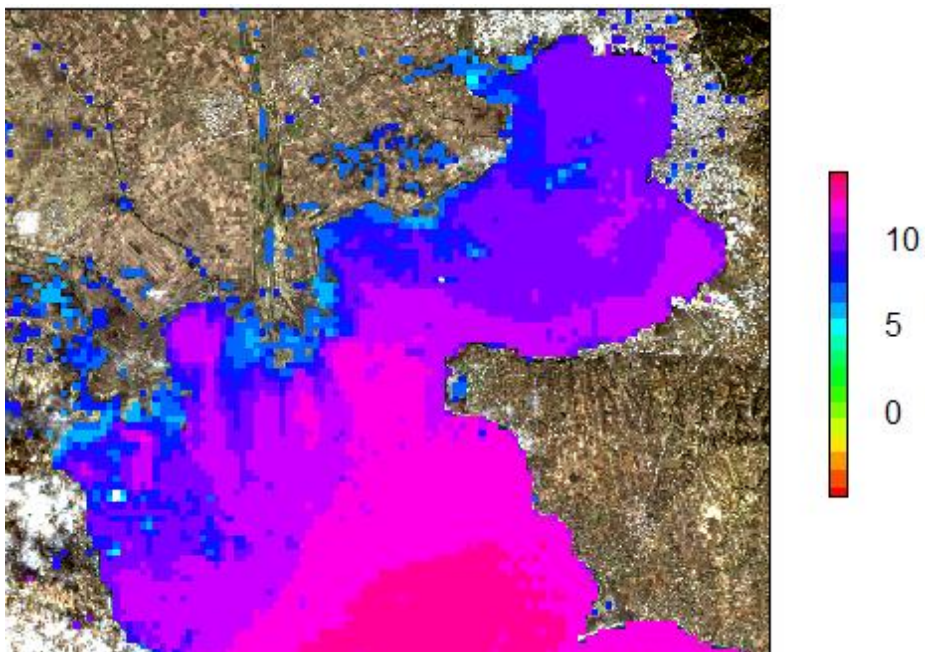
Χειμώνας – Επιφανειακή Θαλάσσια Αλατότητα



Καλοκαίρι – Επιφανειακή Θαλάσσια Θερμοκρασία



Χειμώνας – Επιφανειακή Θαλάσσια Θερμοκρασία



6. Συμπεράσματα

Λαμβάνοντας υπόψη δεδομένα πεδίου των φυσικοχημικών παραγόντων για την εκτίμηση της ποιότητας των υδάτων σχετικά με τις δύο περιοχές μελέτης (Θερμαϊκός κόλπος και κόλπος του Λέοντα), οι οποίες χαρακτηρίζονται ως παράκτια ύδατα, κατά την εκπόνηση της μεταπτυχιακής εργασίας πραγματοποιήθηκε η εκτίμηση των περιβαλλοντικών παραμέτρων χλωροφύλλης-α CHL-A, επιφανειακής θαλάσσιας αλατότητας SSS και επιφανειακής θαλάσσιας θερμοκρασίας SST. Η εκτίμηση των περιβαλλοντικών παραμέτρων ξεκίνησε με την επεξεργασία δορυφορικών εικόνων Landsat 8 Collection 2 Level 1 και στη συνέχεια υπολογίστηκαν οι δείκτες. Με τα αποτελέσματα να έχουν ως εξής:

1. Για την περιοχή μελέτης του Θερμαϊκού κόλπου υπήρξαν καλύτερες συσχετίσεις σε σύγκριση με την περιοχή του κόλπου του Λέοντα. Το δείγμα του Θερμαϊκού κόλπου είναι κατά πολύ μικρότερο του κόλπου του Λέοντα, με μόλις 12 μετρήσεις. Ενώ της περιοχής του κόλπου του Λέοντα με 56 μετρήσεις για κάθε φυσικοχημικό παράγοντα. Οπότε υπάρχει πιθανότητα να μην είναι τόσο πραγματικές οι συσχετίσεις στον Θερμαϊκό κόλπο.
2. Παράλληλα, στους περισσότερους δείκτες από την βιβλιογραφία παρατηρείται συσχέτιση που ξεπερνά το 80% και για τους τρεις φυσικοχημικούς παράγοντες. Στην μελέτη αυτή όμως τα ποσοστά είναι πιο χαμηλά.
3. Οι μετρήσεις τις θερμοκρασίας είναι αυτές που δίνουν την μεγαλύτερη στατιστική συσχέτιση και για τις δύο περιοχές μελέτης με R^2 μεγαλύτερο το 80%.
4. Σχετικά με τον φυσικοχημικό δείκτη της επιφανειακή θαλάσσιας αλατότητας παρατηρείται ότι οι δείκτες ταυτίζονται και για τις δύο περιοχές. Αυτό θα μπορούσε να εξηγηθεί σχετικά με την καθολική τιμή της αλατότητα, η οποία δεν έχει έντονες διακυμάνσεις.
5. Σχετικά με τον φυσικοχημικό δείκτη της χλωροφύλλης παρατηρείται ότι μόνο ένα δείκτης ταυτίζεται και στις δύο περιοχές, ο $(B4+B2)/2$ και έχει σχετικά ίδια στατιστική σημαντικότητα.

6. Στην βιβλιογραφία τα κανάλια που εμπειρεύχαν οι δείκτες με τις μεγαλύτερες συσχετίσεις ήταν το B1, B2, B3, B4 για την χλωροφύλλη-α. Κυρίως ο λόγος B1/B3 που έφτανε το 90%. Στην μελέτη αυτή έχουν μεγαλύτερη εμφάνιση τα κανάλια B2, B3, B4.
7. Στη Αλατότητα, μεγαλύτερη εμφάνιση δείχνουν επίσης τα ίδια κανάλια.

Πραγματοποιήθηκε η ίδια διαδικασία με ατμοσφαιρικά διορθωμένες δορυφορικές εικόνες δίνοντας πολύ μικρές συσχετίσεις οι οποίες δεν ξεπερνούσαν το 15% για κάθε φυσικοχημικό δείκτη.

Παρακάτω παρουσιάζονται οι δείκτες με τις μεγαλύτερες συσχετίσεις για την περιοχή μελέτης του Θερμαϊκού κόλπου.

ΘΕΡΜΑΪΚΟΣ ΚΟΛΠΟΣ			
	INDEX	R ²	Y =AX+B
CHLA	(B2+B5)/2	45.33096675	0.0063x+0.0579
	B2+B3+B5	44.98.39811	0.0182x+0.1783
	(B2+B3+B5)/3	44.98.39811	0.0061x+0.0594
	(B4+B2)/2	44.74167029	0.0066x+0.0667
SSS	B2/B3	81.4076857	0.0835x-1.4833
	29.983 + 165.047*(B2) - 260.227*(B3) + 2.609*(B4)	79.31805124	1.2353x-15.243
	B2/B4	64.46850993	0.3139x-8.8983
	25.2 + 3.99 *(B2/B4) + 23.7*B5	63.77655682	0.8682x+4.442
SST	ln(B10)	94.79205032	0.0577x+1.6219
	ln(B11)	94.44513654	0.0571x+1.585
	B10	93.69179475	0.8832x-0.9555
	B11	93.58535405	0.8291x-0.6707

Παρακάτω παρουσιάζονται οι δείκτες με τις μεγαλύτερες συσχετίσεις για την περιοχή μελέτης του κόλπου Λέοντα.

ΚΟΛΠΟΣ ΤΟΥ ΛΕΟΝΤΑ

	INDEX	R ²	Y =AX+B
CHLA	B2+B3	54.82650917	0.082x+0.1425
	(B2+B3) ²	54.82650917	0.014x+0.0712
	B2-(B4/B3)	53.96570074	0.052x+0.1118
	(B4+B2)/2	51.53283868	0.0381x+0.0613
SSS	B2/B3	62.59654485	-0.160x+7.7759
	B2/B4	58.0386656	-0.5832x+24.666
	25.2 + 3.99 *(B2/B4) + 23.7*B5	57.17303742	-1.9847x+111.37
	29.983 + 165.047*(B2) - 260.227*(B3) + 2.609*(B4)	57.63208275	-1.4321x+85.394
SST	B10 + (2.946*(B10-B11))-0.038	66.57404758	0.7547x+3.9634
	B10	63.70865159	0.6533x+3.7044
	(B10+B11)/2	62.11602901	0.6361x+3.654
	B11	60.16611477	0.6533x+3.7044

7. Μελλοντική έρευνα

Θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί η ίδια διαδικασία με δορυφορικά δεδομένα Sentinel ώστε να προκύψει η στατιστική σημαντικότητα σε σύγκριση των Sentinel και Landsat. Επιπλέον, θα ήταν χρήσιμο να χρησιμοποιηθεί μεγαλύτερο εύρος χρονικά στα δεδομένα, με κάλυψη αρκετών χρόνων και εποχών, ώστε να διερευνηθεί η επιρροή της εποχικότητας στην απόδοση των συσχετίσεων των δορυφορικών δεδομένων.

Βιβλιογραφία

1. **Frederick T. Shorta, Hilary A. Neckles.** The effects of global climate change on seagrasses. *Aquatic Botany, ELSEVIER.* 1999.
2. **H. Perlman, Χ. Μακρόπουλος, και Δ. Κουτσογιάννης.** Ο υδρολογικός κύκλος. [Ηλεκτρονικό] 2005. <http://www.itia.ntua.gr/el/docinfo/660/>.
3. **Donna D. W. Hauser, Elizabeth D. Tobin, Kirsten M. Feifel, Vega Shah, Diana M. Pietri.** Disciplinary reporting affects the interpretation of climate change impacts in global oceans. *Global Change Biology.* 2015.
4. **Gleick, Peter H.** *Water in crisis: a guide to the world's freshwater resources.* New York : Oxford University Press, 1993.
5. **Pörtner, H.-O., D.M. Karl, P.W. Boyd, W.W.L. Cheung, S.E. Lluch-Cota, Y. Nojiri, D.N. Schmidt, P.O. Zavialov.** Ocean systems. [book auth.] C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field. *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects.* Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 411-484. : Cambridge University Press, 2014.
6. **Rhein, M., S.R. Rintoul, S. Aoki, E. Campos, D. Chambers, R.A. Feely, S. Gulev, G.C. Johnson, S.A. Josey, A. Kostianoy, C. Mauritzen, D. Roemmich, L.D. Talley and F. Wang.** Observations: Ocean. [συγγρ. βιβλίου] T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)] Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis.* Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA : Cambridge University Press, 2013.
7. **Watanabe FSY, Alcântara E, Stech JL.** High performance of chlorophyll-a prediction algorithms based on simulated OLCI Sentinel-3A bands in

cyanobacteria-dominated inland waters. *Advances in Space Research*. 2018, σσ. 265–273.

8. **Graham James E., Wilcox Lee W., Graham Linda E.** *Algae*. s.l. : Benjamin Cummings, 2008.

9. **Reynolds, C. S.** *The ecology of Phytoplankton*. New York, USA : Cambridge University Press, 2006.

10. **Nybakken JW, Bertness MD.** *Marine Biology: An Ecological Approach*. San Francisco : Benjamin Cummings, 2001.

11. **Falkowski, P. G.** The ocean's invisible forest. *Scientific American*. 2002, pp. 54-61.

12. **Behrenfeld, M. J., & Falkowski, P. G.** Photosynthetic rates derived from satellite-based chlorophyll concentration. *Limnology and oceanography*. 1997, pp. 1-20.

13. **Aminot A., Rey, F.** hlorophyll a: Determination by spectroscopic methods. *ICES Techniques in Marine Environmental Sciences*. 2001.

14. **Kitsiou D., Karydis M.** Multi- dimensional evaluation and ranking of coastal areas using GIS and multiple criteria choice methods. *Science of the Total Environment*. 2002, 284.

15. **Riebesell, Ulf.** Effects of CO₂ Enrichment on Marine Phytoplankton. *Journal of Oceanography*. 2004, pp. 719-729.

16. **Hinga, Kenneth R.** Effects of pH on coastal marine phytoplankton. *MARINE ECOLOGY PROGRESS SERIES*. August 2002, pp. 281-300.

17. **M. J. Behrenfeld, T. K. Westberry, E. S. Boss, R. T. O'Malley, D. A. Siegel, J. D. Wiggert, B. A. Franz, C. R. McClain, G. C. Feldman, S. C. Doney, J. K. Moore, G. Dall'Olmo, A. J. Milligan, I. Lima, and N. Mahowald.** Satellite-detected fluorescence reveals global physiology of ocean phytoplankton. *Biogeosciences*. 2009, pp. 779-794.

18. Anitha Nair, Shubha Sathyendranath, Trevor Platt, Jesus Morales, Venetis Stuart, Marie-Helene Forget, Emmanuel Devred, Heather Bouman. Remote sensing of phytoplankton functional types. *Remote Sensing of Environment*. 2008, pp. 3366–3375.
19. Bricaud, A., Claustre, H., Ras, J., & Oubelkheir, K. Natural variability of phytoplanktonic absorption in oceanic waters: Influence of the size structure of algal populations. *Journal of Geophysical Research: Oceans*. 2004.
20. Θεόδωρος, Κουσουύρης. *Μικροβιακή Οικολογία*. Αθήνα : Δαρδανός Χρήστος, 2000.
21. UNEP/FAO/WHO. Assessment of the state of eutrophication in the Mediterranean Sea. *MAP Technical Report Series No. 106*. Athens : s.n., 1996.
22. Lerner R. M., Hollinger J. P.,. Analysis of 1.4 GHz Radiometric measurements from Skylab.” *Remote Sensing of Environment*. 1977, Vol. 6, 4.
23. Droppleman J. D., Mennella R. A., Evans D. E. An airborne measurement of the salinity variations of the Mississippi River Outflow. *Journal of Geophysical Research (1896-1977)*. 1970, Vol. 75, 30, pp. 5909–5913.
24. Blume H. -J.C., Kendall B.M., Fedors, J.C. Measurement of Ocean Temperature and Salinity via Microwave Radiometry. *Boundary-Layer Meteorology*. 1978, Τόμ. 134, σσ. 295-308.
25. Κ., Albanakis. *Μαθήματα Ωκεανογραφίας*. Thessaloniki : University Studio Press,, 2007.
26. Topliss, B. και Helbig, J. Sea Surface Salinity from Space: A Canadian Perspective. *Fisheries and Oceans: Sarnia, ON, Canada*. 2002.
27. *Ocean surface salinity-the why, what and whether*. In *Proceedings of the Consultative Meeting on Soil Moisture and Ocean Salinity Measurement Requirements and Radiometer Techniques (SMOS)*. Srokosz, M. Noordwijk, The Netherlands : s.n., 20–21 April 1995. pp. 49-56.

28. 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. Half a century of satellite remote sensing of sea-surface temperature. *Remote Sensing of Environment*. 2019.
29. O'Carroll, A. G., Armstrong, E. M., Beggs, H., Bouali, M., Casey, K. S., Corlett, G. K., Dash, P., Donlon, C., Gentemann, C. L., Høyer, J. L., Ignatov, A., Kabobah, K., Kachi, M., Kurihara, Y., Karagali, I., Maturi, E., Merchant, C. J., ...Wimmer, W. Observational needs of sea surface. *Frontiers in Marine Science*. 6, 2019.
30. 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., Josey, S. A.,. Review and assessment of latent and sensible heat flux accuracy over the global oceans. *Remote Sensing of Environment*. 2017, Τόμ. 201.
31. Dong, B., Dai, A., Vuille, M., and Timm, O. E. Asymmetric Modulation of ENSO Teleconnections by the Interdecadal Pacific Oscillation. *Journal of Climate*. 2018, Τόμ. 31, 18.
32. Jha, B., Hu, Z. Z., and Kumar, A. SST and ENSO variability and change simulated in historical experiments of CMIP5 models. *Climate Dynamics*. 2014, 42.
33. 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. Climate-driven trends in contemporary ocean productivity. *Nature*. 2006, 444.
34. Behrenfeld, M. J., and Falkowski, P. G. Photosynthetic rates derived from satellite-based chlorophyll concentration. *Limnology and Oceanography*. 1997, 42.
35. Montenbruck, O., Gill, E., and Lutze, F. Satellite Orbits: Models, Methods, and Applications. *Applied Mechanics Reviews*. 2002.

36. **Minnett, P., and Kaiser-Weiss, A.** Near-surface oceanic temperature gradients. *GHRSSST discussion document*. 2012.
37. **ESA.** Sentinel 2 - Sentinel Online. <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-2>. [Ηλεκτρονικό]
38. **Drusch M., Del Bello U., Carlier S., Colin O., Fernandez V., Gascon F., Hoersch B., Isola C., Laberinti P., Martimort P., Meygret A., Spoto F., Sy O., Marchese F., Bargellini P.** Sentinel-2: ESA's optical high-resolution mission for GMES operational services. *Remote Sensing of Environment*. 2012, 120.
39. **ESA.** Sentinel 3 -Sentinel Online. <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-3>. [Ηλεκτρονικό]
40. **NASA.** Landsat Science. <https://landsat.gsfc.nasa.gov/satellites/landsat-8/>. [Ηλεκτρονικό] December 2022.
41. **Gitelson A., Karnieli A.,Goldman N., Yacobi Y.Z.,Mayo M.,.** Chlorophyll estimation in the Southeastern Mediterranean using CZCS images: adaptation of an algorithm and its validation. *Journal of Marine Systems*. 1996.
42. **G.Volpe, R.Santoleri, V.Vellucci, M.Ribera d'Alcalà, S.Marullo, F.D'Ortenzio.** The colour of the Mediterranean Sea: Global versus regional bio-optical algorithms evaluation and implication for satellite chlorophyll estimates. *Remote Sensing of Environment*. 2007, Τόμ. 107, 4.
43. **Santoleri, R., G. Volpe, S. Marullo, and B. Buongiorno Nardelli.** Open Waters Optical Remote Sensing of the Mediterranean Seas. *Remote Sensing of the European Seas*. 2008.
44. **Luoheng Han, Karen J. Jordan,.** Estimating and mapping chlorophyll-a concentration in Pensacola Bay, Florida using Landsat ETM+ data. *International Journal of Remote Sensing*. 2007, Τόμ. 26, 23.
45. **Matthews, Mark William.** A current review of empirical procedures of remote sensing in inland and near-coastal transitional waters. *International Journal of Remote Sensing* . 2010, Τόμ. 32.

46. **Odermatt D., Gitelson A, Brando V., Schaepman M.** Review of constituent retrieval in optically deep and complex waters from satellite imagery. *Remote Sensing of Environment*. 2012, Τόμ. 118.
47. **Drakopoulos, P. G., A. C. Banks, G. Kakagiannis, A. P. Karageorgis, A. Lagaria, A. Papadopoulou, S. Psarra, N. Spyridakis, and V. Zervakis.** Above and in-water remote sensing reflectance measurements during the AegeanMarTech project: A first appraisal. *Proceedings 11th Panhellenic Symposium on Oceanography and Fisheries, Mytilene, Lesvos Island, Greece,*. 2015.
48. **Drakopoulos, P. G., G. Petihakis, and K. Nittis.** Environmental Monitoring with the POSEIDON System's Optical Instruments : Chlorophyll Retrieval from Ocean Colour. *Proceedings of the 3rd International CEMEPE and SECOTOX Conference Skiathos,*. 2011.
49. **Vassiliki Markogianni, Dionissios Kalivas, George P. Petropoulos, Elias Dimitriou.** An Appraisal of the Potential of Landsat 8 in Estimating Chlorophyll-a, Ammonium Concentrations and Other Water Quality Indicators. *Remote Sensing*. 2018, Τόμ. 10, 7.
50. **Klemas, V.** Remote sensing of sea surface salinity: An overview with case studies. *Journal of Coastal Research* . 2011, Τόμ. 27, 5.
51. **Martin, S.** An Introduction to Remote Sensing. *Cambridge University Press: Cambridge, UK,*. 2004.
52. **Barre, H.M., Duesmann, B. και Kerr, Y.H.** SMOS: The mission and the system. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. 2008, Τόμ. 46, 3.
53. **Jun Zhao, Marouane Temimi, Hosni Ghedira.** Remotely sensed sea surface salinity in the hyper-saline Arabian Gulf: Application to landsat 8 OLI data. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 2017, Τόμ. 187.
54. **Kaliraj Seenipandi, K.K. Ramachandran , Prashant Ghadei, Sulochana Shekhar.** 5 - Ocean remote sensing of seawater salinity and its seasonal variability: a case study of Southern Indian coastal water using Landsat 8 OLI images. *Remote Sensing of Ocean and Coastal Environments*. 2021.

55. **Majid Bayati, Mohammad Danesh-Yazdi.** Mapping the spatiotemporal variability of salinity in the hypersaline Lake Urmia using Sentinel-2 and Landsat-8 imagery. *Journal of Hydrology*. 2021, Τόμ. 595.
56. **Martin, A., και συν.** Remote sensing of sea surface salinity from CAROLS L-band radiometer in the Gulf of Biscay. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*,. 2012, Τόμ. 20, 5.
57. **Topliss, B. και Helbig, J.** Sea Surface Salinity from Space: A Canadian Perspective. *Fisheries and Oceans: Sarnia, ON, Canada*. 2002.
58. **Elachi, C. και van Zyl, J.J.** Introduction to the Physics and Techniques of Remote Sensing. *John Wiley & Sons: New York, NY, USA*. 2006, Τόμ. 28.
59. **Ikeda, M.** *Oceanographic Applications of Remote Sensing*. FL, USA, : CRC Press: Boca Raton, , 1995.
60. **Klein, L. και Swift, C.T.** An improved model for the dielectric constant of sea water at microwave frequencies. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation* . 1977, Τόμ. 25, 1.
61. **Lagerloef, G.S., Swift, C.T. και LeVine, D.M.** Sea surface salinity: The next remote sensing challenge. *Oceanography*. 1995, Τόμ. 8.
62. **Maes, C. και Behringer, D.** Using satellite-derived sea level and temperature profiles for determining the salinity variability: A new approach. *Journal of Geophysical Research: Oceans*. 2000, Τόμ. 105.
63. **Swift, C.** Passive microwave remote sensing of the ocean—A review. *Boundary-Layer Meteorology*. 1980, Τόμ. 18.
64. **Del Castillo, C.E. και Miller, R.L.** On the use of ocean color remote sensing to measure the transport of dissolved organic carbon by the Mississippi River Plume. *Remote Sensing of Environment*. 112, 2008.
65. **Ahn, Y., και συν.** Satellite remote sensing of a low-salinity water plume in the East China Sea. *In Annales Geophysicae; Copernicus GmbH: Antalya, Turkey*. 2008.

66. **Bai, Y., και συν.** Remote sensing of salinity from satellite-derived CDOM in the Changjiang River dominated East China Sea. *Journal of Geophysical Research: Oceans*. 118, 2013.
67. **Haakstad, M., Kogeler, J. και Dahle, S.** Studies of sea surface temperatures in selected northern norwegian fjords using Landsat TM data. *Polar Res.* 1994, Τόμ. 13.
68. **River, S. και Sub-Basins, S.R.** Aerial Surveys Using Thermal Infrared and Color Videography;. *University of California: Davis, CA, USA,*. 2004.
69. **Anding, D. και Kauth, R.** Estimation of sea surface temperature from space. *Remote Sens. Environ.* 1, 1970.
70. **Emery, W. και Yu, Y.** Satellite sea surface temperature patterns. *International Journal of Remote Sensing.* 18, 1997.
71. **Kilpatrick, K., Podesta, G. και Evans, R.** 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.* 2001, Τόμ. 106.
72. **Parkinson, C.L.** Aqua: An earth-observing satellite mission to examine water and other climate variables. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing.* 41, 2003.
73. **Bolgrien, D.W. και Brooks, A.S.** Analysis of thermal features of lake michigan from AVHRR satellite images. *Journal of Great Lakes Research.* 18, 1992.
74. **Chen, C., Shi, P. και Mao, Q.** Application of remote sensing techniques for monitoring the thermal pollution of cooling-water discharge from nuclear power plant. *Journal of Environmental Science and Health.* 38, 2003.
75. **Torgersen, C.E., και συν.** Airborne thermal remote sensing for water temperature assessment in rivers and streams. *Remote Sensing of Environment.* 76, 2001.

76. **Handcock, R., και συν.** Accuracy and uncertainty of thermal-infrared remote sensing of stream temperatures at multiple spatial scales. *Remote Sensing of Environment*. 100, 2006.
77. **Vesecky, J., και συν.** Water surface temperature estimates using active and passive microwave remote sensing: Preliminary results from an outdoor wind-wave tank. *n Geoscience and Remote Sensing Symposium, 1994. IGARSS'94. Surface and Atmospheric Remote Sensing: Technologies, Data Analysis and Interpretation, International; IEEE: New York, NY, USA, . 1994.*
78. **Syariz, M. A., Jaelani, L. M., Subehi, L., Pamungkas, A., Koenhardono, E. S., and Sulisetyono, A.** RETRIEVAL OF SEA SURFACE TEMPERATURE OVER POTERAN ISLAND WATER OF INDONESIA WITH LANDSAT 8 TIRS IMAGE: A PRELIMINARY ALGORITHM,. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.,.* 2015.
79. **Brando, V., και συν.** A. High-resolution satellite turbidity and sea surface temperature observations of river plume interactions during a significant flood event. *Ocean Science*. 11, 2015.
80. **Vassiliki H.Kourafalou, Yiannis G.Savvidis, Yiannis N.Krestenitis, Christophoros G.Koutitas.** Modelling studies on the processes that influence matter transfer on the Gulf of Thermaikos (NW Aegean Sea). *Continental Shelf Research*. 2004, Τόμ. 24, 2.
81. **USGS.** *How do I use a scale factor with Landsat Level-2 science products?* [Ηλεκτρονικό] [Παραπομπή: 17 12 2022.] shorturl.at/grz29.
82. **How to calculate Land Surface Temperature with Landsat 8 satellite images.** <https://giscrack.com/>. [Ηλεκτρονικό] shorturl.at/aiKNX.
83. **Wikipedia.** shorturl.at/gAGPR. [Online] 15 11 2022.
84. **Simple Linear Regression in R.** [Ηλεκτρονικό] Statistical tools for high-throughput data analysis. [Παραπομπή: 18 12 2022.] <http://www.sthda.com/english/articles/40-regression-analysis/167-simple-linear-regression-in-r/>.

85. Νικολόπουλος, Σωτήριος Δ. Γρήγορη Εισαγωγή στο Απλό και Πολλαπλό Μοντέλο Γραμμικής Παλινδρόμησης στην R. *eclass.uop.gr*. [Ηλεκτρονικό] [Παραπομπή: 17 12 2022.] https://eclass.uop.gr/modules/document/file.php/1832/Simple_Regression_30.01.2021.pdf.