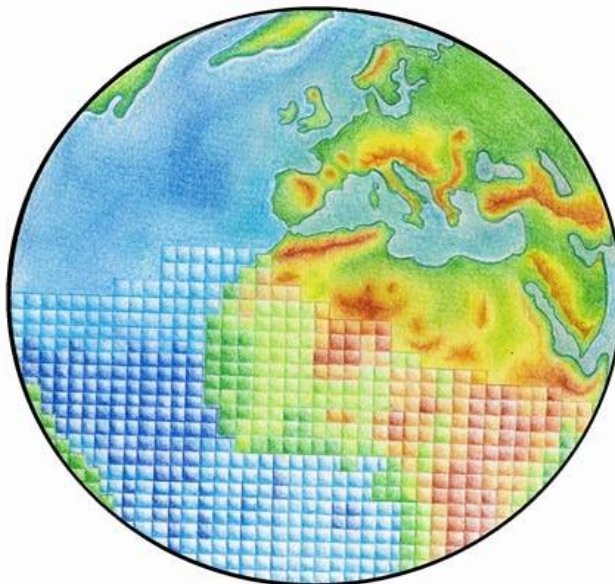




ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
Τομέας Τοπογραφίας- Εργαστήριο Τηλεπισκόπησης

**Εκτίμηση της Ποιότητας των Υδάτων με Τηλεπισκοπικές Μεθόδους σε Ελληνικές
Παράκτιες Ζώνες και τον Σαρωνικό κόλπο**

Estimating Water Quality through Remote Sensing in Greek Coastal Zones and the
Saronic Gulf



Διπλωματική Εργασία

Σαντόζα Φίλιππος – Ιωσήφ
Αθήνα, Οκτώβριος 2017

Επιβλέπων καθηγητής
Κωνσταντίνος Καράντζαλος

Διπλωματική Εργασία

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή στις 10/10/2017

.....
Κωνσταντίνος Καράντζαλος
Επίκουρος καθηγητής

.....
Μαρία Παπαδοπούλου
Καθηγήτρια

.....
Βασιλεία Καραθανάση
Καθηγήτρια

.....
Σαντόζα Φίλιππος – Ιωσήφ
Διπλωματούχος Αγρονόμος και Τοπογράφος Μηχανικός

Περίληψη

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.

Οι ανθρώπινες δραστηριότητες (π.χ. βιομηχανική παραγωγή, ιχθυοκαλλιέργειες κλπ.), συμβάλλουν καθοριστικά στο φαινόμενο του ευτροφισμού των παράκτιων υδάτων. Η Ευρωπαϊκή Οδηγία – Πλαίσιο για τα Νερά (2000/60/ΕΚ) και η εθνική νομοθεσία με την οποία εναρμονίστηκε, απαιτούν την παρακολούθηση της κατάστασης του θαλάσσιου περιβάλλοντος και την επίτευξη «Καλής Περιβαλλοντικής Κατάστασης» (Good Environmental Status), με συγκεκριμένους ποσοτικούς στόχους.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, διερευνήθηκε και αξιολογήθηκε η δυνατότητα εκτίμησης της ποιότητας των υδάτων της ελληνικής παράκτιας θαλάσσιας ζώνης και του Σαρωνικού κόλπου, από τα διαχρονικά τηλεπισκοπικά δεδομένα του δορυφόρου Landsat 8. Μελετήθηκαν σημαντικοί δείκτες ποιότητας, όπως η χλωροφύλλη-α, το διαλυμένο οξυγόνο και η αλατότητα, για τους οποίους συλλέγονται *in situ* δεδομένα από τους μόνιμους παράκτιους θαλάσσιους σταθμούς παρακολούθησης. Οι δορυφορικές εικόνες συσχετίστηκαν με τα δεδομένα δειγματοληψίας, με την μέθοδο της απλής γραμμικής και της εκθετικής παλινδρόμησης. Αξίζει να σημειωθεί, πως τα φασματικά δεδομένα απέχουν χρονικά από τα *in situ* δεδομένα, έως το πολύ 15 ημέρες.

Τα αποτελέσματα είναι ενθαρρυντικά, ιδιαίτερα για τις συσχετίσεις με μικρή χρονική απόκλιση μεταξύ των δορυφορικών εικόνων και των δεδομένων δειγματοληψίας. Συγκεκριμένα, για τη χλωροφύλλη-α επιτεύχθηκαν οι καλύτερες συσχετίσεις, της τάξης του 85% για $n=65$ παρατηρήσεις και $dt=0-10$ ημέρες, ενώ για την αλατότητα, προκύπτουν για $n=16$ παρατηρήσεις και $dt=0-2$ ημέρες, συσχετίσεις της τάξης του 90%. Τέλος, για το διαλυμένο οξυγόνο επιτυγχάνονται συσχετίσεις της τάξης του 70%, για $n=50$ παρατηρήσεις και $dt=0-5$ ημέρες.

Σε ορισμένες περιπτώσεις, επιτεύχθηκαν μοντέλα με ισχυρές συσχετίσεις για μεγάλο εύρος χρονικής απόκλισης μεταξύ των *in situ* και των δορυφορικών δεδομένων και μεγάλο πλήθος παρατηρήσεων, αναδεικνύοντας σημαντικά την αξιοπιστία τους. Με την εκθετική παλινδρόμηση, επιτεύχθηκαν μεγαλύτερες συσχετίσεις απ' ό,τι με την απλή γραμμική παλινδρόμηση και στην ελληνική παράκτια θαλάσσια ζώνη παρουσιάζονται υψηλότερες συσχετίσεις απ' ό,τι στον Σαρωνικό κόλπο.

Συμπερασματικά, με πολλαπλές διαχρονικές πολυφασματικές τηλεπισκοπικές παρατηρήσεις και αντίστοιχες μετρήσεις πεδίου είναι εφικτό να εκτιμηθούν βασικοί δείκτες ποιότητας υδάτων. Με τα αποτελέσματα της παρούσας διπλωματικής εργασίας, μπορεί να συστηματοποιηθεί η αξιοποίηση των τηλεπισκοπικών δεδομένων, για την ακριβή εκτίμηση της περιβαλλοντικής κατάστασης των παράκτιων υδάτων.

Abstract

The need to monitor and protect water is vital both for the natural ecosystems and for humanity. Modern technologies and new methods of monitoring through digital remote sensing, are a valuable and reliable tool with low cost.

Human activities (such as industrial production, fish farming etc), contribute decisively to eutrophication of coastal waters. The European Water Framework Directive (2000/60/EC) and the national legislation, require marine environmental state monitoring and “Good Environmental Status” achievement, with specific quantitative targets.

This diploma thesis, investigated and evaluated the ability to estimate the water quality of the Greek coastal zone and the Saronic Gulf, from multi-temporal remotely sensed data of the satellite Landsat-8. Important quality indicators, such as chlorophyll-a, dissolved oxygen and salinity, have been studied, for which *in situ* data were collected from the permanent coastal marine monitoring stations. The satellite images were associated with the sampling data, by the simple linear and the exponential regression method. It is worth mentioning, that there is a time difference of at most 15 days between spectral data and *in situ* data.

The results are promising, especially for correlations with a minor time difference between satellite images and sampling data. In particular, the best correlations were achieved for chlorophyll-a, reaching at approximately 85% for n=65 observations and dt=0-10 days, while there were salinity correlations at around 90% for n=16 observations and dt=0-2 days. Finally, dissolved oxygen correlations of the order of 70% were achieved, for n=50 observations and dt=0-5 days.

In some cases, models with strong correlations were achieved for a wide range of time difference between *in situ* and satellite data and for a large number of observations, highlighting their credibility. Exponential regression, achieved better correlations than the simple linear regression and higher correlations were noticed in the Greek coastal zone than in the Saronic Gulf.

In conclusion, important water quality indicators are feasible to calculate with high resolution, multi-temporal, multi-spectral, satellite data along with concurrent *in situ* field measurements. The results of this diploma thesis, could set the basis of the systemic use of remote sensing data, for the accurate estimation of the environmental status of coastal waters.

Ευχαριστίες

Καθώς ολοκληρώνεται ένας πολύ σημαντικός κύκλος της ζωής μου, ο οποίος με διαμόρφωσε σε μεγάλο βαθμό, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους όσους συμπορεύτηκαν μαζί μου σε αυτή τη διαδρομή. Θα ήθελα λοιπόν να ευχαριστήσω τη μητέρα μου και τον πατέρα μου για την στήριξή τους σε κάθε μου βήμα, την αγαπημένη μου αδελφή η οποία με τον ξεχωριστό της τρόπο μου δίνει πάντα τις καλύτερες συμβουλές, καθώς και την ακούραστη και λατρεμένη μου γιαγιά που όμοιά της δεν υπάρχει! Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους φίλους μου, με τους οποίους ζήσαμε όλα αυτά τα χρόνια τρομερές στιγμές, ανεξίτηλα χαραγμένες στη μνήμη. Θα ήθελα λοιπόν να ευχαριστήσω, τον Μίμη και τον Λορέντζο για όλα όσα μου μάθανε και περάσαμε μαζί, καθώς και τον Σπύρο, την Κλειώ και τον Βασίλη, τους “συνεργάτες μου στο έγκλημα”. Τέλος, το μεγαλύτερο ευχαριστώ το οφείλω στην Κορίνα, χάρη στην οποία τα τελευταία τρία χρόνια της ζωής μου είναι τα πιο ξεχωριστά.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω όλους τους καθηγητές της Σχολής για όλα όσα με δίδαξαν και ιδιαιτέρως τον κ. Κωνσταντίνο Καράντζαλο, ο οποίος μου έδωσε την ευκαιρία να ασχοληθώ με την Ψηφιακή Τηλεπισκόπηση και με καθοδήγησε επιστημονικά σε όλη την πορεία της διπλωματικής εργασίας. Από το εργαστήριο Τηλεπισκόπησης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Ζαχαρία Κανδυλάκη και τον Άρη Βαϊόπουλο για τη βοήθεια που μου προσέφεραν στους κώδικες προγραμματισμού. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την Κατερίνα Κικάκη, η οποία στάθηκε δίπλα μου και με βοήθησε σε όλα τα στάδια της διπλωματικής εργασίας.

Περιεχόμενα

1. Εισαγωγή	1
1.1 Κίνητρο.....	2
1.2 Συνεισφορά.....	2
2. Θεωρητικό υπόβαθρο	4
2.1 Ευρωπαϊκή νομοθεσία για την προστασία των υδάτων.....	4
2.2 Βασικές ποιοτικές παράμετροι.....	5
2.3 Ψηφιακή Τηλεπισκόπηση και Περιβάλλον.....	7
2.4 Πρόγραμμα Landsat.....	8
2.4.1 Το πρόγραμμα Landsat 8.....	9
2.4.2 Προϊόντα Surface Reflectance.....	11
3. Βιβλιογραφική ανασκόπηση	12
3.1 Σχετικές ερευνητικές εργασίες.....	12
4. Μεθοδολογία	16
4.1 Συλλογή και επεξεργασία δεδομένων.....	16
4.1.1 Επεξεργασία δορυφορικών εικόνων.....	25
4.2 Δείκτες συσχετίσεων.....	26
4.3 Θεωρία Παλινδρομήσεων.....	27
5. Αποτελέσματα και Αξιολόγηση	29
5.1 Χλωροφύλλη-α.....	30
5.1.1 Αποτελέσματα με τη χρήση του απλού γραμμικού μοντέλου.....	30
5.1.2 Αποτελέσματα με τη χρήση του εκθετικού μοντέλου.....	38
5.2 Διαλυμένο Οξυγόνο.....	47
5.2.1 Αποτελέσματα με τη χρήση του απλού γραμμικού μοντέλου.....	47
5.2.2 Αποτελέσματα με τη χρήση του εκθετικού μοντέλου.....	55
5.3 Αλατότητα.....	63
5.3.1 Αποτελέσματα με τη χρήση του απλού γραμμικού μοντέλου.....	63
5.3.2 Αποτελέσματα με τη χρήση του εκθετικού μοντέλου.....	68
6. Συμπεράσματα και Προτάσεις	74
Βιβλιογραφία	77
Κατάλογος εικόνων	78
Κατάλογος πινάκων	81

1. Εισαγωγή

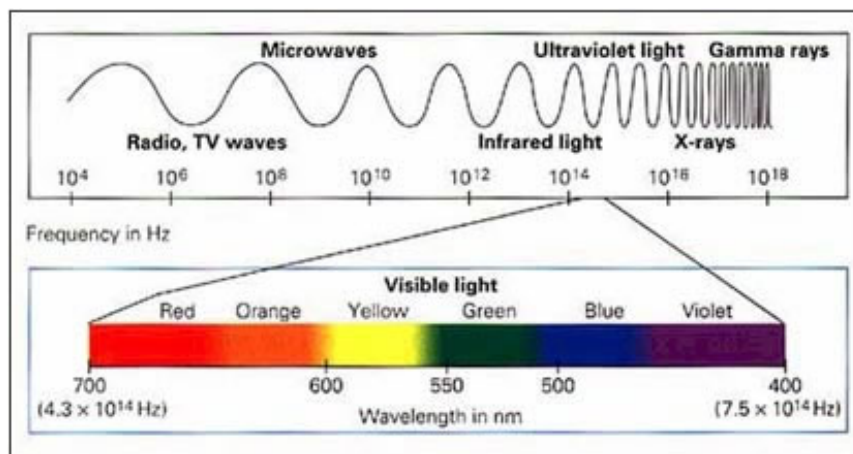
Το νερό αποτελεί αγαθό υψίστης σημασίας και αναγκαίο στοιχείο για την επιβίωση όλων των ζωντανών οργανισμών του πλανήτη. Η καταλυτική σημασία του νερού για τη ζωή στη Γη, δημιουργεί την ανάγκη για την παρακολούθηση και την σωστή διαχείρισή του.

Οι παράκτιες θαλάσσιες ζώνες είναι σύνθετες, δυναμικές και αποτελούν τις πιο παραγωγικές περιοχές στους ωκεανούς. Σε αυτές συσσωρεύονται οι θρεπτικές ουσίες και τα ιζήματα από επίγειες και ατμοσφαιρικές πηγές, ενώ σχεδόν το 90% των αλιευμάτων αντλείται από αυτές. Αποτελούν πηγή σημαντικών αγαθών και χώρο δραστηριοτήτων για τον άνθρωπο, καθώς η πυκνότητα του πληθυσμού αυξάνεται με μεγαλύτερο ρυθμό κατά μήκος των ακτών, σε σχέση με τη χερσαία ζώνη.

Η παράκτια θαλάσσια ζώνη υφίσταται μεγάλες πιέσεις, καθώς η ανθρώπινη δραστηριότητα οδηγεί στην υπερεκμετάλλευση των φυσικών πόρων και τη ρύπανση, με αποτέλεσμα την αύξηση της ροής των θρεπτικών ουσιών και των ιζημάτων στα ύδατα, προκαλώντας φαινόμενα ευτροφισμού (ανεπιθύμητη πληθυσμιακή αύξηση φυκιών). Οι πιο σημαντικοί ρυπαντές στις παράκτιες θαλάσσιες ζώνες είναι οι τοξικές ουσίες (π.χ. βιομηχανικά απόβλητα), οι θρεπτικές ουσίες (νιτρικά και φωσφορικά ιόντα από λιπάσματα και φυτοφάρμακα) και τα απορρίμματα.

Για την αντιμετώπιση και τον περιορισμό των δυσμενών ανθρωπογενών επεμβάσεων στο περιβάλλον και την ορθολογική διαχείριση των υδατικών πόρων, οι σύγχρονες κοινωνίες έχουν θεσπίσει περιβαλλοντικούς νόμους. Επίσης, η τεχνολογική πρόοδος προσφέρει δυνατότητες αντιμετώπισης των περιβαλλοντικών προβλημάτων. Η συνεχής παρακολούθηση της ποιοτικής κατάστασης των υδάτων είναι αναγκαία και υψίστης σημασίας. Η συμβατική μέθοδος παρακολούθησης απαιτεί την επιτόπια δειγματοληψία του νερού και την εργαστηριακή ανάλυση του δείγματος. Η διαδικασία αυτή είναι αρκετά χρονοβόρα και δαπανηρή, με αποτέλεσμα σε πολλές περιπτώσεις, οι δειγματοληψίες να μην πραγματοποιούνται τα απαιτούμενα χρονικά διαστήματα. Επιπλέον, τα αποτελέσματα δεν παρουσιάζουν τη συνολική εικόνα της κατάστασης που επικρατεί στην περιοχή μελέτης, ενώ σε πολλές περιπτώσεις η πρόσβαση στους υδάτινους αποδέκτες δεν είναι εφικτή.

Η τηλεπισκόπηση αποτελεί ένα αποτελεσματικό εργαλείο για την επίλυση των παραπάνω προβλημάτων, καθώς έχουμε τη δυνατότητα να αντλούμε δεδομένα από δορυφόρους, σε τακτά χρονικά διαστήματα. Η εκτίμηση της ποιότητας των υδάτων με τη χρήση της τηλεπισκόπησης εφαρμόζεται από το 1974 (Wrigley and Horne). Σύμφωνα με τον Δ. Π. Αργιαλά (1999): «Τηλεπισκόπηση είναι η επιστήμη και η τέχνη της απόκτησης πληροφοριών για ένα αντικείμενο ή ένα φαινόμενο δια μέσου της ανάλυσης δεδομένων τα οποία έχουν αποκτηθεί από μία συσκευή η οποία δεν είναι σε επαφή με το υπό έρευνα αντικείμενο, περιοχή ή φαινόμενο». Η λειτουργία της βασίζεται στο γεγονός πως διαφορετικά αντικείμενα και στοιχεία εκπέμπουν διαφορετικά στο φάσμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Τα συστήματα τηλεπισκόπησης διαχωρίζονται σε δύο κατηγορίες ανάλογα με την προέλευση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας: τα παθητικά συστήματα τα οποία ανιχνεύουν την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία προερχόμενη από μία φυσική πηγή και τα ενεργητικά συστήματα τα οποία προσλαμβάνουν την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία την οποία τα ίδια εκπέμπουν (π.χ. Radar).



Εικόνα 1: Το ορατό φάσμα φωτός

1.1 Κίνητρο

Κίνητρο για την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, αποτελεί η προσπάθεια εφαρμογής νέων τεχνολογιών και μεθόδων, καθώς και η ανάδειξη της συμβολής της τηλεπισκόπησης στην παρακολούθηση και στην εκτίμηση της ποιότητας των υδάτων. Σημαντικός στόχος είναι η συμβολή στην προσπάθεια αντιμετώπισης των περιβαλλοντικών προβλημάτων με την εφαρμογή νέων, γρήγορων και οικονομικών μεθόδων. Η εφαρμογή αυτής της τεχνολογίας έχει τεράστιες δυνατότητες και αποτελεί μια εναλλακτική και οικονομική μέθοδο για την παρατήρηση του περιβάλλοντος και συγκεκριμένα των υδάτων. Επίσης, μας δίνει την δυνατότητα να δημιουργήσουμε μία ολοκληρωμένη βάση δεδομένων, με τις λήψεις των δορυφορικών εικόνων να πραγματοποιούνται ανά τακτά χρονικά διαστήματα, ώστε να αναλυθούν πιθανές μεταβολές.

1.2 Συνεισφορά

Η παρούσα διπλωματική εργασία, συμβάλει στην αξιολόγηση των σύγχρονων υψηλής χωρικής ανάλυσης τηλεπισκοπικών δεδομένων για την ακριβή εκτίμηση της ποιότητας των παράκτιων θαλάσσιων υδάτων. Μελετήθηκαν σημαντικοί δείκτες ποιότητας των υδάτων, όπως η αλατότητα, το διαλυμένο οξυγόνο και η χλωροφύλλη-α. Τα πειραματικά αποτελέσματα των συσχετίσεων αξιολογήθηκαν για μόνιμους σταθμούς παρακολούθησης της ελληνικής παράκτιας θαλάσσιας ζώνης και του Σαρωνικού κόλπου. Η παρούσα διπλωματική εργασία λοιπόν επιχειρεί να συνεισφέρει στα εξής:

- Στον εμπλουτισμό της βιβλιογραφίας με την δημιουργία νέων μοντέλων συσχέτισης για τη χλωροφύλλη-α, το διαλυμένο οξυγόνο και την αλατότητα.
- Στον εμπλουτισμό της βιβλιογραφίας με τη χρήση προτεινόμενων δεικτών της βιβλιογραφίας στην περιοχή μελέτης, την σύγκριση των αποτελεσμάτων και την αξιολόγησή τους.

- Στον εμπλουτισμό της βιβλιογραφίας με την εξαγωγή προτεινόμενων δεικτών για τη χλωροφύλλη-α, το διαλυμένο οξυγόνο και την αλατότητα.
- Στην έρευνα αναφορικά με τις δυνατότητες του δορυφόρου Landsat 8 και τα περιθώρια αξιοποίησής του στη παράκτια θαλάσσια ζώνη.

2. Θεωρητικό υπόβαθρο

Στο κεφάλαιο αυτό, αναλύεται η νομοθεσία για την προστασία των υδατικών πόρων της Ευρώπης και παρουσιάζονται οι δείκτες ποιότητας που μελετήθηκαν στην παρούσα διπλωματική εργασία. Επίσης, αναφέρονται κάποια βασικά στοιχεία για την ψηφιακή τηλεπισκόπηση και για τον δορυφόρο Landsat 8.

2.1 Ευρωπαϊκή νομοθεσία για την προστασία των υδάτων

Στο παρόν κεφάλαιο, γίνεται διερεύνηση του θεσμικού πλαισίου που άπτεται της διαχείρισης των υδατικών πόρων, με ιδιαίτερη έμφαση στις οδηγίες 2000/60/ΕΚ και 2008/56/ΕΚ οι οποίες αποτελούν ορόσημο για την διαχείριση των υδάτων στην Ευρώπη.

Όλα τα κράτη-μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης είναι υποχρεωμένα να ακολουθούν πιστά την οδηγία 2000/60/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 23ης Οκτωβρίου 2000, για τη θέσπιση πλαισίου κοινοτικής δράσης στον τομέα της πολιτικής των υδάτων. Σκοπός της οδηγίας είναι η ολοκληρωμένη και ορθολογική διαχείριση των υδάτων, καθώς και η επίτευξη της καλής περιβαλλοντικής κατάστασης όλων των υδατικών σωμάτων (Good Environmental Status - GES), η αποτροπή της περαιτέρω επιδεινώσής τους και η προώθηση μιας βιώσιμης χρήσης των υδάτων βασισμένη στην μακροπρόθεσμη προστασία των διαθέσιμων υδατικών πόρων. Η Ελλάδα εναρμονίστηκε με την ευρωπαϊκή οδηγία 2000/60/ΕΚ, με την ψήφιση του Ν. 3199/2003 και το Π.Δ. 51/2007.

Η οδηγία 2000/60/ΕΚ αφορά επιφανειακά (ποτάμια, λίμνες, μεταβατικά και παράκτια ύδατα) και υπόγεια ύδατα. Ως παράκτια ορίζονται τα ύδατα, τα οποία βρίσκονται σε απόσταση μικρότερη του ενός ναυτικού μιλίου από το πλησιέστερο σημείο της γραμμής βάσης (η γραμμή από την οποία μετρείται το εύρος των χωρικών υδάτων). Η περιβαλλοντική τους κατάσταση προσδιορίζεται από την χημική και την οικολογική αξιολόγηση του υδάτινου σώματος.

Σύμφωνα με την οδηγία 2000/60/ΕΚ, η χημική κατάσταση εστιάζει στις συγκεντρώσεις των ρύπων, οι οποίες δεν πρέπει να υπερβαίνουν τα πρότυπα περιβαλλοντικής ποιότητας. Η οικολογική κατάσταση ορίζεται ως «η ποιοτική έκφραση της διάρθρωσης και της λειτουργίας των υδάτινων οικοσυστημάτων» και στα παράκτια ύδατα καθορίζεται από τα παρακάτω κριτήρια:

- Βιολογικά στοιχεία (σύνθεση, αφθονία, βιομάζα φυτοπλαγκτόν κτλ.)
- Υδρομορφολογικά στοιχεία (μορφολογικές συνθήκες, παλιρροιακό καθεστώς)
- Χημικά και φυσικοχημικά στοιχεία (διαύγεια νερού, θερμικές συνθήκες, συνθήκες οξυγόνωσης, αλατότητα, συνθήκες θρεπτικών ουσιών κτλ.)

Η οδηγία 2008/56/ΕΚ, ψηφίστηκε από το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο τον Ιούνιο του 2008, με στόχο την αποτελεσματική προστασία του θαλάσσιου περιβάλλοντος. Ενσωματώθηκε στην εθνική νομοθεσία με το Ν. 3983/2011.

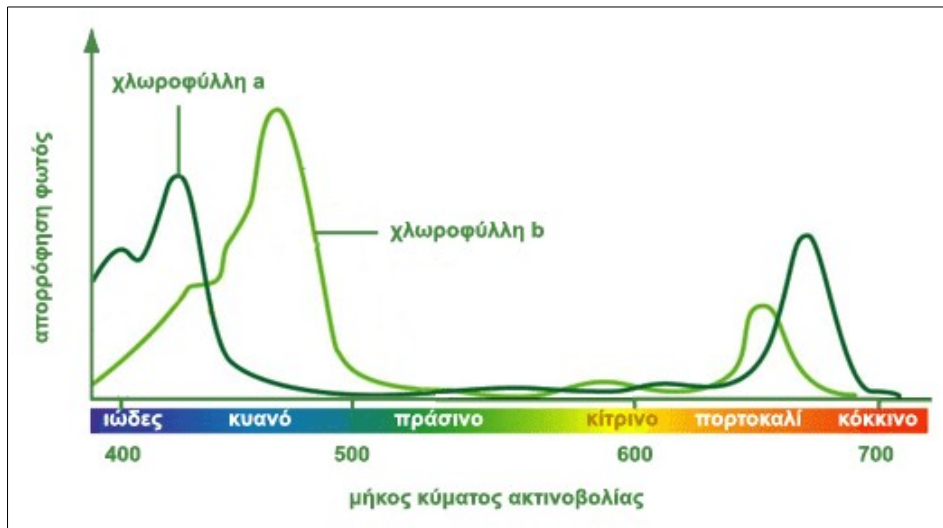
Οι στόχοι της οδηγίας 2008/56/EK είναι η διατήρηση και η αποκατάσταση του θαλάσσιου περιβάλλοντος της Ευρωπαϊκής Ένωσης έως το 2020, καθώς και η προστασία των θαλάσσιων πόρων από τους οποίους εξαρτώνται οικονομικές και κοινωνικές δραστηριότητες.

2.2 Βασικές ποιοτικές παράμετροι

Σε αυτό το κεφάλαιο, παρατίθενται οι βασικές ποιοτικές παράμετροι που μελετήθηκαν στην παρούσα διπλωματική εργασία, για τις οποίες πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις από τον φορέα διαχείρισης ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε. (Ελληνικό Κέντρο Θαλασσίων Ερευνών), το οποίο συμμετέχει στο Εθνικό Δίκτυο Παρακολούθησης της ποιότητας και της ποσότητας των Υδάτων της χώρας. Ο έλεγχος της ποιότητας των υδάτων αποτελεί ένα σημαντικό στοιχείο για την παρακολούθηση του περιβάλλοντος. Όταν η ποιότητα του νερού κρίνεται φτωχή επηρεάζεται όλο το οικοσύστημα. Οι παράμετροι που επηρεάζουν την ποιότητα του νερού αφορούν φυσικούς, χημικούς και βιολογικούς παράγοντες. Εν συνεχεία, αναφέρονται κάποια βασικά χαρακτηριστικά για τους δείκτες που μελετήθηκαν.

Χλωροφύλλη-α (chlorophyll-a, chl-a)

Η χλωροφύλλη βρίσκεται στα φυτά, στην άλγη και στο φυτοπλαγκτόν και είναι η χρωστική ουσία στην οποία οφείλεται το πράσινο χρώμα των φυτών. Υπάρχουν έξι διαφορετικές μορφές χλωροφύλλης (A, B, C, D, E, F) και η κάθε μία ανακλά ελαφρώς διαφορετικά στα πράσινα μήκη κύματος. Η μορφή χλωροφύλλης που είναι υπεύθυνη για τη φωτοσύνθεση είναι η χλωροφύλλη-α.



Εικόνα 2: Φάσμα απορρόφησης χλωροφύλλης α και β

Η χλωροφύλλη-α είναι ένας από τους σημαντικότερους ποιοτικούς δείκτες και οι μετρήσεις της περιλαμβάνονται σε όλα τα προγράμματα παρακολούθησης της τροφικής κατάστασης των υδάτων, καθώς αποτελεί δείκτη ρύπανσης ευτροφισμού. Η βασική επίδραση του ευτροφισμού των υδάτων

είναι η αύξηση του φυτοπλαγκτού, το οποίο συνεπάγεται στην αύξηση της χλωροφύλλης-α. Οι άμεσες συνέπειες της υπερβολικής αύξησης του φυτοπλαγκτού είναι οι εξής:

- Αλλαγές στην σύνθεση των θαλάσσιων ειδών και της λειτουργίας της τροφικής αλυσίδας
- Έντονη ιζηματογένεση της οργανικής ύλης
- Μεγαλύτερη κατανάλωση του οξυγόνου, με αποτέλεσμα τις συνακόλουθες αλλαγές στην δομή της υδρόβιας ζωής
- Πιθανή προώθηση επιβλαβών φυκιών που μπορούν να προκαλέσουν δηλητηρίαση στα ψάρια και στα όστρακα και επομένως και στον άνθρωπο

Τα υδάτινα οικοσυστήματα μπορούν να χαρακτηριστούν ως ολιγοτροφικά, μεσοτροφικά και ευτροφικά, ανάλογα με τη συγκέντρωση της χλωροφύλλης-α σε αυτά. Ακολουθεί η κατηγοριοποίηση των οικοσυστημάτων ως προς τον ευτροφισμό, σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Ένωση.

Επίπεδα Ευτροφισμού	Χλωροφύλλη-α µg/l	SIMBOURA et al.(2005)/7
Ολιγοτροφικό	<0.1	Υψηλό
Χαμηλό Μεσοτροφικό	0.1 - 0.4	Καλό
Χαμηλό Μεσοτροφικό	0.4 - 0.6	Μέτριο
Υψηλό Μεσοτροφικό	0.6 - 2.21	Φτωχό
Ευτροφικό	>2.21	Κακό

Πίνακας 1: Κατηγοριοποίηση των οικοσυστημάτων ως προς τον ευτροφισμό
[Πηγή: Καρύδης, 2005]

Διαλυμένο οξυγόνο (Dissolved Oxygen, DO)

Το διαλυμένο οξυγόνο αποτελεί μία από τις σημαντικότερες φυσικοχημικές παραμέτρους της ποιότητας των υδάτων. Η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου στο νερό, σχετίζεται με την ανάπτυξη πολλών μορφών ζωής και επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες, όπως την αλατότητα, τη θερμοκρασία, την ατμοσφαιρική πίεση, την υδροστατική πίεση, τη βιομάζα, τις συνθήκες φωτισμού κτλ.. Χρησιμοποιείται από τους περισσότερους οργανισμούς για την αναπνοή και την οξείδωση των οργανικών ουσιών. Το νερό οξυγονώνεται κυρίως από την ατμόσφαιρα, μέσω του φαινομένου της διάχυσης, καθώς και από τη φωτοσύνθεση των υδρόβιων φυτικών οργανισμών. Στα παραγωγικά συστήματα αναμένεται να υπάρχουν μεγάλες συγκεντρώσεις διαλυμένου οξυγόνου. Η έλλειψη του οξυγόνου, οδηγεί σε αφανισμό τους ανώτερους αερόβιους οργανισμούς (π.χ. ψάρια) και επιτρέπει την επιβίωση μόνο σε ορισμένα είδη βακτηρίων.

Αλατότητα (Salinity)

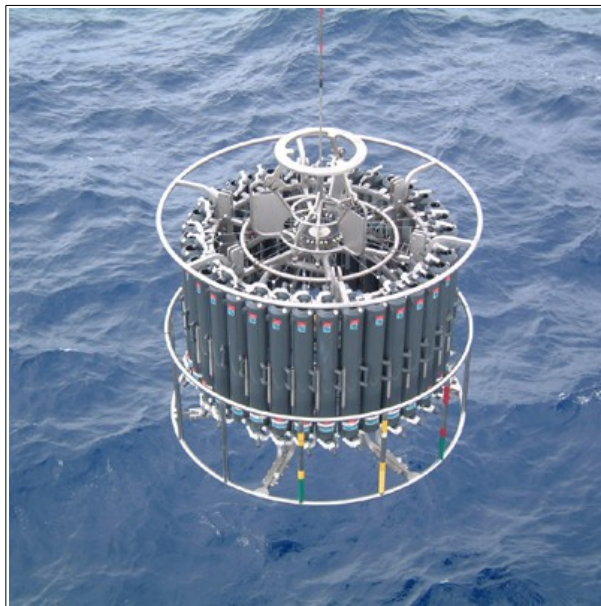
Αλατότητα είναι η ολική ποσότητα του στέρεου υλικού που περιέχεται στο θαλασσινό νερό, όταν το βρώμιο και το ιώδιο έχουν αντικατασταθεί από μία ισοδύναμη ποσότητα χλωρίου, το διοξείδιο του άνθρακα έχει μετατραπεί σε οξείδιο και η οργανική ύλη έχει οξειδωθεί. Οι ωκεανοί λαμβάνουν άλατα από τη διάβρωση και τη διάλυση των ορυκτών του εδάφους και από τις ηφαιστειακές

εκροές. Τα ευμετάβλητα στοιχεία των ορυκτών έρχονται σε διάλυση στη θάλασσα από τους χειμάρρους όπου συσσωρεύονται και ανακυκλώνονται μέσω ποικίλων διαδικασιών. Υψηλή αλατότητα παρουσιάζεται στα παράκτια νερά και σε εν μέρη κλειστές θάλασσες. Αυτό συμβαίνει κατά τη διάρκεια έντονων εκροών από τη ξηρά, από τις υψηλές τιμές της εξάτμισης και από την μικρή ανάμιξη με άλλα νερά όπως στην Ερυθρά και στην Μεσόγειο Θάλασσα. Στα επιφανειακά νερά των ωκεανών, η τιμή της αλατότητας εξαρτάται από τα εξής:

- Την εξάτμιση, που προκαλεί την συγκέντρωση των διαλυμένων αλάτων, λόγω της απομάκρυνσης μάζας νερού.
- Την βροχόπτωση, που συμβάλει στην αραιώση των διαλυμένων αλάτων, λόγω της προσθήκης ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων.
- Την ανάμιξη των επιφανειακών στρωμάτων θαλάσσιου νερού με τα υποκείμενα θαλάσσια στρώματα.

Στις παράκτιες περιοχές, εκτός από τις παραπάνω διεργασίες, σημαντικό ρόλο παίζει και η προσθήκη γλυκού νερού από τα ποτάμια, ελαττώνοντας την τιμή της αλατότητας.

Η μέτρηση της αλατότητας σήμερα, γίνεται με τον προσδιορισμό της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του θαλασσινού νερού (conductivity), μια μέθοδο με ακρίβεια 0,002%. Το όργανο που χρησιμοποιείται στο πεδίο για την μέτρηση της αλατότητας ονομάζεται CTD (Conductivity – Temperature - Depth) και χρησιμοποιεί μια επαγωγική κυψέλη.



Εικόνα 3: Το CTD καθώς ποντίζεται στη θάλασσα

2.3 Ψηφιακή Τηλεπισκόπηση και Περιβάλλον

Η Τηλεπισκόπηση ορίστηκε από την Αμερικανική Εταιρεία Φωτογραμμετρίας και Τηλεπισκόπησης (ASPRS - American Society for Photogrammetry and Remote Sensing) ως εξής: “Η μέτρηση ή

συλλογή πληροφοριών για κάποια ιδιότητα ενός αντικείμενου ή φαινομένου, μέσω κάποιου οργάνου καταγραφής, το οποίο δεν βρίσκεται σε άμεση επαφή με το υπό μελέτη αντικείμενο ή φαινόμενο.” (Colwell, 1983). Βασίζεται στο γεγονός, πως κάθε αντικείμενο έχει τη δική του φασματική υπογραφή και μέρος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που δέχεται το αντικείμενο ανακλάται. Το ανθρώπινο μάτι ευαισθητοποιείται στο τμήμα 350-700nm του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, ωστόσο άλλοι αισθητήρες έχουν την δυνατότητα να λαμβάνουν πληροφορία σε μεγαλύτερο τμήμα του. Η ανακλώμενη ακτινοβολία, λαμβάνεται από τους ενεργητικούς ή παθητικούς δέκτες και εξάγεται πληροφορία που αφορά τον στόχο αντικείμενο – φαινόμενο. Οι ενεργητικοί δέκτες εκπέμπουν ακτινοβολία προς τον στόχο (π.χ. Radar, Laser), ενώ οι παθητικοί δέκτες καταγράφουν την ενέργεια που ανακλάται από την επιφάνεια της Γης.

Οι εφαρμογές της Ψηφιακής Τηλεπισκόπησης τα τελευταία χρόνια είναι αρκετά διευρυμένες και μας δίνουν την δυνατότητα παρακολούθησης και αντιμετώπισης των ραγδαίων περιβαλλοντικών μεταβολών που καταγράφονται. Ορισμένες σημαντικές εφαρμογές της Ψηφιακής Τηλεπισκόπησης, αφορούν την παρακολούθηση της ποιότητας των υδάτων, την παρακολούθηση ωκεανογραφικών δεδομένων, την παρακολούθηση αγροτικών περιοχών, την μελέτη χρήσεων γης, τη χαρτογράφηση περιοχών, την καταγραφή μεταβολών (π.χ. της ακτογραμμής), τη χαρτογράφηση πλημμυρών και την παρακολούθηση πυρκαγιών. Η Ψηφιακή Τηλεπισκόπηση μας δίνει το πλεονέκτημα της παρακολούθησης των διαχρονικών αλλαγών και του καθορισμού των μελλοντικών δράσεων για την προστασία και την διαχείριση του περιβάλλοντος, καθώς και την αντιμετώπιση των περιβαλλοντικών κρίσεων.

Η Τηλεπισκόπηση παρουσιάζει πολλά πλεονεκτήματα:

- Η παθητική Τηλεπισκόπηση δεν είναι παρεμβατική, αφού ο δέκτης καταγράφει την ηλεκτρομαγνητική ενέργεια που ανακλά ή εκπέμπει το υπό εξέταση αντικείμενο - φαινόμενο, επομένως δεν το επηρεάζει.
- Τα όργανα Τηλεπισκόπησης είναι προγραμματισμένα να συλλέγουν δεδομένα με συστηματικό τρόπο, επομένως εξαλείφεται το δειγματοληπτικό σφάλμα.
- Είναι ο πιο οικονομικός τρόπος συλλογής δεδομένων.

Παρουσιάζει ωστόσο και κάποια μειονεκτήματα:

- Υπάρχει το ενδεχόμενο ανθρώπινου λάθους κατά τον καθορισμό των διαφόρων παραμέτρων για τα όργανα και τις εργασίες τηλεπισκόπησης.
- Ισχυρά ενεργητικά συστήματα αισθητήρων τηλεπισκόπησης, που εκπέμπουν τα ίδια ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, μπορεί να αποδειχθούν παρεμβατικά και να επηρεάσουν το υπό εξέταση φαινόμενο.
- Στα όργανα τηλεπισκόπησης, συχνά χάνεται η ακρίβεια της αρχικής βαθμονόμησης και το αποτέλεσμα είναι μη βαθμονομημένα δεδομένα τηλεπισκόπησης.

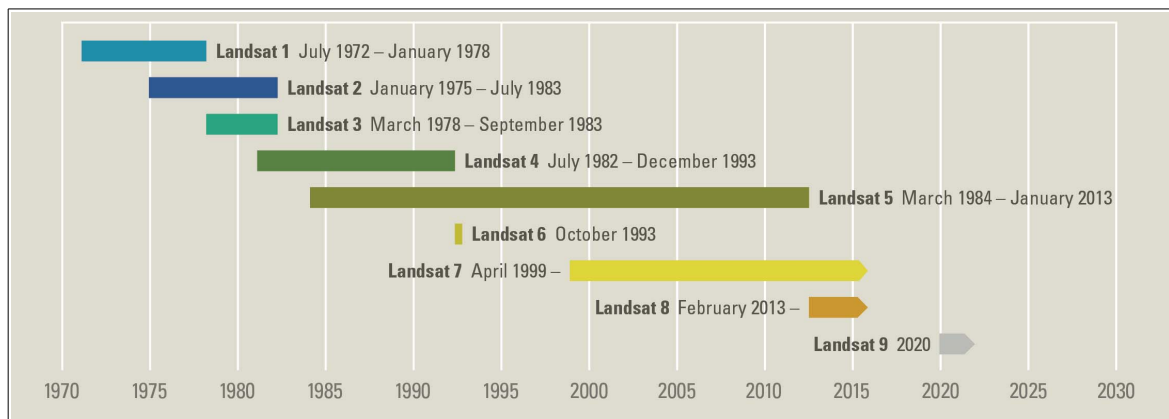
2.4 Πρόγραμμα Landsat

Το πρόγραμμα Landsat, αποτελεί την μακροβιότερη επιχείρηση για την απόκτηση δορυφορικών εικόνων της γήινης επιφάνειας. Πρόκειται για μια σειρά δορυφόρων, κινούμενων σε τροχιά γύρω

από τη Γη και των οποίων η λειτουργία βρίσκεται υπό την διαχείριση της NASA και της Γεωλογικής Υπηρεσίας των Η.Π.Α. (United States Geological Survey – USGS).

Οι δορυφόροι Landsat, παρέχουν πολυφασματικά δεδομένα σε καθημερινή βάση για ολόκληρο τον πλανήτη, παρέχοντας πληροφορίες για τις αλλαγές στην επιφάνεια της Γης στην επιστημονική κοινότητα. Οι δορυφόροι που συνθέτουν μέχρι σήμερα το πρόγραμμα Landsat είναι οι Landsat-1 (1972-1978), Landsat-2 (1975-1982), Landsat-3 (1978-1983), Landsat-4 (1982-1993), Landsat-5 (1984-2013), Landsat-6 (1993, αποτυχία εκτόξευσης) και οι εν ενεργεία Landsat-7 (1999) και Landsat-8 (2013). Ο νέος δορυφόρος Landsat-9 αναμένεται να εκτοξευτεί το έτος 2023.

Οι πληροφορίες που παρέχονται από το πρόγραμμα είναι πολύτιμες για ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών σε πολλά επιστημονικά πεδία, όπως της γεωργίας, της γεωλογίας, της χωροταξίας και της έρευνας των παγκόσμιων αλλαγών, καθώς και για την αντιμετώπιση καταστάσεων έκτακτης ανάγκης σε περιπτώσεις καταστροφών. Οι επιστήμονες είναι πλέον σε θέση να μελετήσουν πολλές πτυχές του πλανήτη και να αξιολογήσουν τις δυναμικές αλλαγές που προκαλούνται από φυσικά και από ανθρωπογενή αίτια.



Εικόνα 4: Χρονοδιάγραμμα και ιστορία των δορυφόρων Landsat

[Πηγή: <https://landsat.usgs.gov/landsat-missions-timeline>]

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, χρησιμοποιήθηκαν πολυφασματικά δεδομένα από τον δορυφόρο Landsat-8.

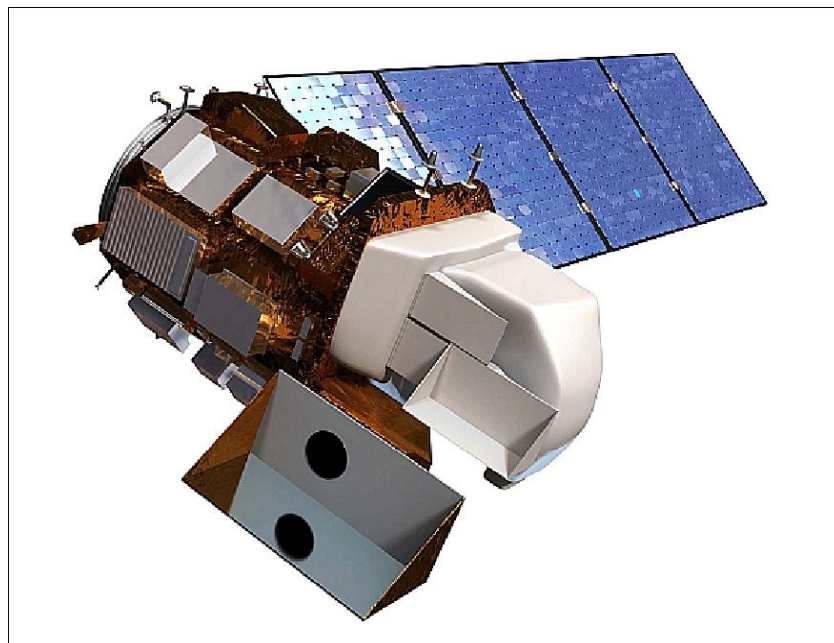
2.4.1 Το πρόγραμμα Landsat 8

Ο δορυφόρος Landsat-8 εκτοξεύτηκε τον Φεβρουάριο του 2013. Το σύστημα του Landsat-8 αποτελείται από δύο βασικά τμήματα, το παρατηρητήριο που αποτελείται από την διαστημική πλατφόρμα και τον επίγειο σταθμό. Η τροχιά του είναι γεωσύγχρονη, δηλαδή κινείται με την ταχύτητα περιστροφής της Γης και βρίσκεται σε ύψος 705 km. Καλύπτει ολόκληρη την υδρόγειο κάθε 16 μέρες και το σύστημα αναφοράς στο οποίο αποδίδονται τα δεδομένα είναι το Worldwide Reference System- 2 (WRS- 2), το οποίο βασίζεται σε συντεταγμένες path/row (το path αφορά την τροχιά από Βορρά προς Νότο, ενώ το row αφορά την τροχιά από Ανατολή προς Δύση). Ο Landsat-8 διαθέτει δύο αισθητήρες, τον Operational Land Imager (OLI) και τον Thermal Infrared Sensor (TIRS).

Ο αισθητήρας OLI έχει διάρκεια ζωής πέντε χρόνια. Συλλέγει δεδομένα σε εννέα φασματικά κανάλια. Τα οκτώ κανάλια βρίσκονται στην ορατή, στην εγγύς υπέρυθρη και στην μικρού μήκους κύματος υπέρυθρη περιοχή. Είναι υψηλής χωρικής ανάλυσης με εδαφοψηφίδα 30x30m, ενώ το ένατο παγχρωματικό κανάλι έχει χωρική ανάλυση 15m. Το κανάλι 1 (coastal/aerosol band) έχει σχεδιαστεί για μελέτες παράκτιων υδάτων και αερολυμάτων, ενώ το κανάλι 9 (cirrus band) αποσκοπεί στην ανίχνευση των θυσάνων (cirrus cloud). Ο αισθητήρας TIRS έχει διάρκεια ζωής τρία χρόνια. Καταγράφει τις πληροφορίες σε δύο θερμικά υπέρυθρα κανάλια με χωρική ανάλυση 100m. Η χρήση των δύο καναλιών, μας επιτρέπει τον διαχωρισμό της θερμοκρασίας της Γης από τη θερμοκρασία της ατμόσφαιρας. Διατίθεται επίσης, ένα κανάλι καταγραφής ποιοτικής πληροφορίας (Quality Assurance Band), το οποίο υποδεικνύει την παρουσία σκιών και σύννεφων.

Bands	Wavelength (micrometers)	Resolution (meters)
Band 1 - Coastal aerosol	0.43-0.45	30
Band 2 - Blue	0.45-0.51	30
Band 3 - Green	0.53-0.59	30
Band 4 - Red	0.64-0.67	30
Band 5 - Near Infrared (NIR)	0.85-0.88	30
Band 6 - SWIR 1	1.57-1.65	30
Band 7 - SWIR 2	2.11-2.29	30
Band 8 - Panchromatic	0.50-0.68	15
Band 9 - Cirrus	1.36-1.38	30
Band 10 - Thermal Infrared (TIRS) 1	10.60-11.19	100
Band 11 - Thermal Infrared (TIRS) 2	11.50-12.51	100

Πίνακας 2: Φασματικά κανάλια των αισθητήρων του δορυφόρου Landsat-8



Εικόνα 5: Ο δορυφόρος Landsat 8 με ευδιάκριτους τους δύο αισθητήρες

2.4.2 Προϊόντα Surface Reflectance

Τα πρωτογενή προϊόντα Landsat-8 (Level 1 Products) αποτελούνται από ψηφιακές τιμές, οι οποίες προέρχονται από την μετατροπή του αναλογικού σήματος σε ψηφιακό (διαδικασία κβαντοποίησης). Οι τιμές αυτές δεν εκφράζουν την πραγματική ακτινοβολία που εκπέμπεται από το επίγειο αντικείμενο. Αυτό συμβαίνει γιατί μεταξύ του δέκτη και του αντικειμένου, παρεμβάλλονται τα αερολύματα της ατμόσφαιρας, τα οποία προκαλούν την παραμόρφωση της ακτινοβολίας. Επομένως, για τη χρήση των εικόνων αυτών, απαιτείται η ατμοσφαιρική τους διόρθωση. Η διαδικασία αυτή, περιλαμβάνει δύο στάδια, αρχικά τον υπολογισμό των παραμορφώσεων και στην συνέχεια την διόρθωσή τους. Η ατμοσφαιρική διόρθωση, σε συνδυασμό με την γνώση της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας, καθιστά δυνατή την μετατροπή της ακτινοβολίας στην κορυφή της ατμόσφαιρας σε ανακλαστικότητα της γήινης επιφάνειας.

Η USGS παρέχει Surface Reflectance προϊόντα, δηλαδή προσεγγίζουν τις πληροφορίες που θα κατέγραφε ένας αισθητήρας πάνω από την γήινη επιφάνεια, εάν οι συνθήκες ήταν ιδανικές και δεν παρεμβάλλονταν ενδιάμεσα τα αερολύματα της ατμόσφαιρας. Κάθε σκηνή που παρέχει η USGS περιέχει τα εξής:

- τις διορθωμένες εικόνες των καναλιών 1 έως 7
- την εικόνα Cloud QA
- την εικόνα CF mask
- την εικόνα CF mask Cloud Confidence
- ένα αρχείο μεταδεδομένων

Οι εικόνες Cloud QA υποδεικνύουν το επίπεδο των αερολυμάτων της ατμόσφαιρας και επομένως την διόρθωση που έχει εφαρμοστεί σε κάθε pixel. Οι εικόνες CF mask παράγονται από τον αλγόριθμο C version of F mask και προσδιορίζουν εάν έχουν εντοπιστεί σύννεφα, σκιές σύννεφων, χιόνι ή νερό σε κάθε pixel. Σύμφωνα με τον οδηγό της USGS, παρέχουν πιο ακριβή αποτελέσματα από τα αντίστοιχα των εικόνων Cloud QA. Οι εικόνες CF mask Cloud Confidence παρέχουν το επίπεδο εμπιστοσύνης για την ανίχνευση των σύννεφων. Τέλος, τα μεταδεδομένα παρέχονται σε αρχεία .xml και περιλαμβάνουν κυρίως πληροφορίες γεωγραφικής φύσεως, όπως τις γεωγραφικές και ορθογώνιες συντεταγμένες των γωνιακών pixels, την ζώνη προβολής, τα path/row, το πλήθος των pixels, κτλ..

3. Βιβλιογραφική ανασκόπηση

Τις τελευταίες δεκαετίες, η Δορυφορική Τηλεπισκόπηση χρησιμοποιείται σε πολλές εφαρμογές για την εκτίμηση της ποιότητας νερού σε διεθνές επίπεδο. Οι εφαρμογές αυτές αφορούν την παρακολούθηση κάθε κατηγορίας υδάτων (λίμνες, ποτάμια, παράκτια και ωκεάνια ύδατα). Η κάθε κατηγορία παρουσιάζει διαφορετική σύνθεση και άρα διαφορετικά οπτικά χαρακτηριστικά. Λόγω της οπτικής πολυπλοκότητας του νερού και του ευρέως φάσματος του πεδίου μελέτης, δεν είναι δυνατόν να δημιουργηθεί ένας αλγόριθμος καθολικής χρήσης. Για το λόγο αυτό κάθε ερευνητική εργασία ακολουθεί διαφορετική προσέγγιση. Ταυτόχρονα, μεγάλη είναι η ποικιλία των αλγορίθμων που αναπτύσσονται, οι οποίοι μπορεί να διαμορφώνονται από εμπειρικά, ημι-αναλυτικά και αναλυτικά μοντέλα, βιο-οπτικούς δείκτες και νευρωνικά δίκτυα. Τα όρια κάθε μαθηματικής προσέγγισης είναι διαφορετικά, καθώς η εφαρμογή των εμπειρικών μοντέλων είναι περιορισμένη στην εκάστοτε περιοχή μελέτης, ενώ οι βιο-οπτικοί αλγόριθμοι μπορεί να έχουν και παγκόσμια εφαρμογή εντός των πλαισίων της κατηγορίας υδάτων που αναφέρονται.

Τα διαλυμένα και τα αιωρούμενα συστατικά του νερού, παρουσιάζουν μεγάλες διαφοροποιήσεις μεταξύ των διαφόρων περιοχών της Γης, κάτι που μπορεί να οδηγήσει σε διαφορετικούς συντελεστές παλινδρόμησης. Έτσι, είναι αναγκαίο να δημιουργείται μια εμπειρική σχέση για κάθε νέα περιοχή (Sass et al., 2007).

Οι παράμετροι οι οποίες έχουν απασχολήσει τις περισσότερες ερευνητικές εργασίες είναι η χλωροφύλλη-α (ένδειξη για το φαινόμενο του ευτροφισμού) και η διαύγεια (θολότητα) των υδάτων. Επίσης, οι μελετητές έχουν ασχοληθεί με τη θερμοκρασία, το διαλυμένο οξυγόνο, την ηλεκτρική αγωγιμότητα, τα νιτρικά και τα φωσφορικά άλατα και πλήθος άλλων παραμέτρων.

3.1 Σχετικές ερευνητικές εργασίες

Στο κεφάλαιο αυτό, παρουσιάζονται οι ερευνητικές εργασίες που πραγματοποιούν δοκιμές για δεδομένα Landsat, τα οποία μπορούν να δώσουν ικανοποιητικά αποτελέσματα, ύστερα από κατάλληλη επιλογή της περιοχής μελέτης και επεξεργασία των δεδομένων.

Ο Zhang (2005), εφάρμοσε διάφορες τεχνικές συσχέτισης μεταξύ *in situ* δεδομένων και διαφόρων δορυφορικών δεκτών στον κόλπο της Φινλανδίας (Archipelago Sea). Για τον Landsat TM, προκύπτει πως η μέθοδος της πολλαπλής παλινδρόμησης μπορεί να εκτιμήσει με καλύτερη ακρίβεια τη χλωροφύλλη-α, το βάθος Secchi, τη θολότητα και τα αιωρούμενα συστατικά, σε σχέση με την μέθοδο της απλής παλινδρόμησης. Όπως αναφέρει, η χρήση πολλαπλών καναλιών του Landsat TM, παρέχει περισσότερες πληροφορίες για τις υδάτινες συνθήκες, σε σχέση με τη χρήση απλών καναλιών ή λόγων αυτών. Συγκεκριμένα, για τη χλωροφύλλη-α προκύπτει πως αποτελεσματικότερη είναι η χρήση των συνδυασμών απλών καναλιών και λόγων αυτών.

Οι Han και Jordan (2005), ανέπτυξαν αλγορίθμους για την εκτίμηση της συγκέντρωσης της χλωροφύλλης-α στην ακτή Pensacola, χρησιμοποιώντας δεδομένα του Landsat 7 ETM+. Για τα δεδομένα του Landsat 7 ETM+ έγινε γεωμετρική και ραδιομετρική διόρθωση. Για τα μοντέλα

παλινδρόμησης, ο λογάριθμος της χλωροφύλλη-α χρησιμοποιήθηκε ως εξαρτημένη μεταβλητή. Οι ανεξάρτητες μεταβλητές των μοντέλων ήταν κανάλια ή αναλογίες καναλιών ή ο λογάριθμός τους. Τα αποτελέσματα έδειξαν πως η αναλογία ETM+1/ETM+3 ήταν η πιο αποτελεσματική στην εκτίμηση της χλωροφύλλης-α.

Οι Tayler et al (2007), χρησιμοποίησαν δορυφορικά δεδομένα του Landsat σε λίμνες με πολύ ρηχά νερά. Σκοπός τους ήταν ο προσδιορισμός των συγκεντρώσεων της χλωροφύλλης-α και των αιωρούμενων σωματιδίων. Ασχολήθηκαν με τη λίμνη Balaton στην Ουγγαρία, τη μεγαλύτερη λίμνη της Ευρώπης με βάθος μικρότερο από τρία μέτρα. Στη λίμνη παρατηρούνται συχνά επεισόδια ευτροφισμού. Επίγεια δεδομένα, συλλέχθηκαν από έντεκα σημεία κατά μήκος της λίμνης, με χρονική απόκλιση δύο ωρών από το πέρασμα του δορυφόρου. Ανέπτυξαν μια εξίσωση που συνδέει τη συγκέντρωση της χλωροφύλλης-α με τα αιωρούμενα σωματίδια και το καθαρό νερό και προέκυψε η βαθμονομημένη σχέση από την πολυπαραγοντική ανάλυση παλινδρόμησης με τιμή συσχέτισης $R^2=0,952$.

Οι Hadjimitsis και Clayton (2011), για να παρακολουθήσουν την ποιότητα των υδάτων στο Lower Thames Valley στο δυτικό Λονδίνο, χρησιμοποίησαν φασματοραδιομετρικές μετρήσεις για την εύρεση πιθανών φασματικών περιοχών, στις οποίες η χλωροφύλλη-α και τα σωματίδια οργανικού άνθρακα (POC) θα μπορούσαν να μετρηθούν. Η μεθοδολογία που χρησιμοποίησαν ήταν βασισμένη στην γραμμική ανάλυση παλινδρόμησης μεταξύ των μέσων τιμών ανακλαστικότητας και των συγκεντρώσεων χλωροφύλλης-α και σωματιδίων οργανικού άνθρακα. Τα φασματικά δεδομένα και τα δεδομένα συγκέντρωσης των ουσιών, συλλέχθηκαν την ίδια μέρα και ώρα. Κάθε μοντέλο παλινδρόμησης αντιστοιχούσε σε ένα μήκος κύματος του φασματοραδιομέτρου. Τελικά, κατέληξαν στο συμπέρασμα πως οι κατάλληλες φασματικές περιοχές για την παρακολούθηση της ποιότητας του νερού για τη χλωροφύλλη-α είναι μεταξύ 0,45-0,52 μm (TM Band 1) και για τα οργανικά σωματίδια άνθρακα είναι μεταξύ 0,52-0,60 μm (TM Bands 1 και 2).

Οι Chebud, Naja, Rivero et al (2012), ασχολήθηκαν με δεδομένα Landsat και την ανάπτυξη ενός νευρωνικού δικτύου, για την ποσοτικοποίηση των παραμέτρων της ποιότητας του νερού. Ασχολήθηκαν με τη χλωροφύλλη-α, τη θολότητα και το φώσφορο πριν και μετά την αποκατάσταση του οικοσυστήματος. Τα αποτελέσματα δείχνουν πως το νευρωνικό δίκτυο που αναπτύχθηκε, παρέχει μια εξαιρετικά καλή σχέση μεταξύ των παρατηρούμενων ποιοτικών παραμέτρων ποιότητας νερού και των παραμέτρων που προσομοιώθηκαν. Στην ευρύτερη περιοχή της Florida Everglades, η συσχέτιση R^2 ξεπέρασε το 95% για τις περιόδους 1998-1999 και 2009-2010. Επίσης, το μέσο τετραγωνικό σφάλμα ήταν 0,03 mg/L, 0,5 NTU και 0,17 mg/m³ για τη συγκέντρωση της χλωροφύλλης-α, της θολότητας και του φωσφόρου αντίστοιχα, κατά τις φάσεις κατάρτισης και επικύρωσης του νευρωνικού δικτύου. Χρησιμοποιώντας την μεθοδολογία που αναπτύχθηκε, ερευνήθηκαν οι τάσεις για τη χωρική και τη χρονική δυναμική των επιλεγμένων παραμέτρων.

Οι Harvey, Kratzer και Philipson (2015), αναφέρουν την ανάγκη παρακολούθησης της ποιότητας των υδάτων. Συγκεκριμένα, αναφέρουν πως η παρακολούθηση των υδάτων για τον κίνδυνο του ευτροφισμού, μπορεί να πραγματοποιηθεί με την παρακολούθηση της συγκέντρωσης της χλωροφύλλης, μέσω του χρώματος των ωκεανών από δεδομένα τηλεπισκόπησης. Οι Harvey, Kratzer και Philipson, συγκρίνουν τις συγκεντρώσεις της χλωροφύλλης-α που συλλέγονται από το δορυφορικό σύστημα MERIS (Medium Resolution Imaging Spectrophotometer) και τα *in situ* δεδομένα από την παρακολούθηση ship-based για τις χρονιές 2008 και 2010, σε μια παράκτια περιοχή της Βαλτικής θάλασσας. Οι συγκρίσεις δείχνουν πως τα δορυφορικά δεδομένα είναι

αξιόπιστα. Πολύ ισχυρή συσχέτιση παρουσιάζεται στη σύγκριση δορυφορικών και *in situ* δεδομένων, που έχουν μεταξύ τους χρονική απόκλιση από 0 έως 3 ημέρες. Η μελέτη δείχνει πως τα δεδομένα MERIS είναι καλύτερα, επειδή επιτρέπουν μια συνοπτική εικόνα και υψηλότερη χρονική ανάλυση. Τα αποτελέσματα δείχνουν πως ο συνδυασμός των τηλεπισκοπικών μεθόδων και των μεθόδων πεδίου, παρέχουν αποτελεσματικότερη παρακολούθηση της παράκτιας ζώνης. Επίσης, τα αποτελέσματα είναι σημαντικά για την αξιολόγηση του ευτροφισμού και η μέθοδος μπορεί να εφαρμοστεί στο πλαίσιο των εθνικών και των διεθνών συμφωνιών για τη παρακολούθηση της ποιότητας των υδάτων.

Οι Al-Fahdawi, Rabee και Al-Hirmizy (2015), ασχολήθηκαν με την παρακολούθηση των παραμέτρων ποιότητας νερού της λίμνης Habbaniyah, με εφαρμογή μεθόδων τηλεπισκόπησης και GIS. Τα αποτελέσματά τους συγκρίθηκαν και με επιτόπιες μετρήσεις. Οι παράμετροι με τις οποίες ασχολήθηκαν είναι οι εξής: χλωροφύλλη-α, θερμοκρασία, διαλυμένο οξυγόνο, BOD (Biochemical Oxygen Demand), ηλεκτρική αγωγιμότητα, TDS (Total Dissolved Solids), TSS (Total Suspended Solids), θολότητα, νιτρικά και φωσφορικά άλατα. Τα αποτελέσματα έδειξαν πως το κανάλι 5 συσχετίζεται σημαντικά με τη θολότητα το χειμώνα, τα κανάλια 2 και 3 συσχετίζονται σημαντικά με το TDS το φθινόπωρο και το καλοκαίρι, ενώ το κανάλι 2 παρουσιάζει σημαντική συσχέτιση με το TSS το φθινόπωρο. Το κανάλι 2 είναι πιο πιθανό να συσχετίζεται και με τη χλωροφύλλη-α το φθινόπωρο. Τα αποτελέσματα της μελέτης, έδειξαν πως υπάρχει σύγκλιση μεταξύ των επιτόπιων μετρήσεων και των δορυφορικών δεδομένων, καθώς δεν αποκλίνουν σημαντικά.

Η Θεολόγου (2014), επεδίωξε να τυποποιήσει την διαδικασία χαρτογράφησης των βασικών ποιοτικών παραμέτρων παρακολούθησης λιμναίων οικοσυστημάτων. Όρισε ως περιοχή μελέτης τη λίμνη Κάρλα και συνδύασε ταυτόχρονες επίγειες και δορυφορικές παρατηρήσεις, ενώ έγινε προσπάθεια εκτίμησης με τηλεπισκοπικά μέσα των ποιοτικών χαρακτηριστικών του νερού. Τα δεδομένα που χρησιμοποίησε ήταν δορυφορικές εικόνες Landsat 8, υπερφασματικά δεδομένα από φασματογράφο χειρός και τα αποτελέσματα των αντίστοιχων χημικών αναλύσεων. Εξετάστηκαν οι παράμετροι χλωροφύλλη-α, νιτρικά ιόντα, αμμώνιο, αγωγιμότητα, διαλυμένο οξυγόνο, θερμοκρασία, ολικός φώσφορος και pH. Τα αποτελέσματα ήταν εξαιρετικά ενθαρρυντικά, με εξαιρέσεις τον ολικό φώσφορο και το pH, που δεν έδωσαν αξιοσημείωτες συσχετίσεις στα υπερφασματικά δεδομένα.

Η Πατελάκη (2015), με δεδομένα τις δορυφορικές εικόνες των δορυφόρων Landsat 7 και Landsat 8 για την περίοδο 2011-2014, σε συνδυασμό με υπερφασματικά δεδομένα από φασματογράφο χειρός και τα αποτελέσματα επίγειων χημικών αναλύσεων, δημιούργησε μοντέλα παλινδρόμησης και εμπειρικών αλγορίθμων, για την εκτίμηση των ποιοτικών χαρακτηριστικών του νερού της λίμνης Κάρλα. Οι παράμετροι με τις οποίες ασχολήθηκε είναι η χλωροφύλλη-α, τα νιτρικά ιόντα, το αμμώνιο, ο ολικός φώσφορος, το pH, η αγωγιμότητα και το διαλυμένο οξυγόνο. Διαπίστωσε πως τα αποτελέσματα είναι ενθαρρυντικά, ωστόσο δημιουργείται η ανάγκη δημιουργίας μοντέλων για μικρότερα βάθη, όπου η επίδραση του πυθμένα είναι εντονότερη.

Η Μουντογιαννάκη (2015), διερεύνησε την δυνατότητα εκτίμησης της ποιότητας των υδάτων από διαχρονικά τηλεπισκοπικά δεδομένα, σε παράκτιες περιοχές της δυτικής και της νότιας Ευρώπης. Οι δείκτες ποιότητας που μελέτησε είναι η χλωροφύλλη-α, το αμμώνιο, το βάθος του δίσκου Secchi, η ηλεκτρική αγωγιμότητα, το διαλυμένο οξυγόνο και τα ορθοφωσφορικά ανιόντα. Τα δορυφορικά δεδομένα και οι μετρήσεις πεδίου ήταν επιλεγμένα, ώστε να απέχουν χρονικά έως 10 ημέρες. Τα δεδομένα συσχετίστηκαν με τις τεχνικές της απλής γραμμικής και της λογαριθμικής -

γραμμικής παλινδρόμησης. Οι συσχετίσεις που επιτεύχθηκαν για τη χλωροφύλλη-α, για συγκέντρωση 10 – 20 $\mu\text{g/L}$, φτάνουν το 92%, για τις συγκεντρώσεις του αμμωνίου φτάνουν το 70%, ενώ για το βάθος του δίσκου Secchi (με εύρος 2 – 6 m) φτάνουν το 92%. Επίσης, η ηλεκτρική αγωγιμότητα στους ισπανικούς σταθμούς παρακολούθησης στον Ατλαντικό Ωκεανό, συσχετίστηκε με R^2 περίπου 67%. Οι συσχετίσεις για το διαλυμένο οξυγόνο, δεν ξεπέρασαν το 62% για χρονική διαφορά 2 ημερών, ενώ τα ορθοφωσφορικά ανιόντα έδωσαν συσχετίσεις έως και 80%.

Η Κοντοπούλου (2016), χρησιμοποίησε δορυφορικές εικόνες Landsat 8, για να διερευνήσει τη συσχέτιση μεταξύ δορυφορικών και επίγειων δεδομένων και την δυνατότητα αξιολόγησης της ποιότητας των λιμναίων υδάτων, με τη χρήση δορυφορικών εικόνων. Ασχολήθηκε με έντεκα λιμναία συστήματα της Ελλάδας και οι δείκτες ποιότητας των υδάτων που μελέτησε είναι η χλωροφύλλη-α, το βάθος του δίσκου Secchi και η θερμοκρασία. Τα δορυφορικά δεδομένα και τα *in situ* δεδομένα ήταν επιλεγμένα, ώστε να απέχουν χρονικά έως 15 ημέρες. Τα δεδομένα συσχετίστηκαν με τη χρήση της απλής γραμμικής παλινδρόμησης. Για τη χλωροφύλλη-α, επιτεύχθηκαν συσχετίσεις της τάξης του 75% για $n=168$ παρατηρήσεις, για εύρος συγκέντρωσης 0,45 - 118,88 $\mu\text{g/L}$. Το βάθος του δίσκου Secchi, έδωσε συσχετίσεις για πλήθος παρατηρήσεων $n=193$ της τάξης του 70%, για εύρος τιμών 0,01- 14 m και για χρονική διαφορά έως 15 ημέρες. Οι συσχετίσεις της επιφανειακής θερμοκρασίας των υδάτων, για χρονική απόκλιση έως 5 ημέρες και πλήθος παρατηρήσεων $n=51$, φτάνουν το 64%.

Η Παπαγεωργίου (2016), διερεύνησε την δυνατότητα εκτίμησης των υδάτινων ποιοτικών χαρακτηριστικών, με τη χρήση δορυφορικών εικόνων Landsat 8. Όρισε ως περιοχή μελέτης 92 λίμνες της Γαλλίας, για την περίοδο Απρίλιος 2013 έως Δεκέμβριος 2014. Οι δείκτες ποιότητας που μελετήθηκαν είναι η χλωροφύλλη-α, το αμμώνιο και ο ολικός φώσφορος. Για τις συσχετίσεις μεταξύ των δορυφορικών και των *in situ* δεδομένων, έγινε χρήση του απλού γραμμικού μοντέλου, ενώ επίσης για τη χλωροφύλλη-α, έγινε έλεγχος συσχέτισης με μη γραμμικά μοντέλα παλινδρόμησης και νευρωνικά δίκτυα. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν είναι ενθαρρυντικά. Ο συντελεστής R^2 για τα μοντέλα που αφορούν τη χλωροφύλλη-α, το αμμώνιο και τον ολικό φώσφορο φτάνει το 90%, το 73% και το 75%, αντίστοιχα. Τέλος, για τα δεδομένα χλωροφύλλης-α, δημιουργήθηκαν χάρτες εκτίμησης συγκέντρωσης, για τα δεδομένα των λιμνών του νότιου μέρους της Γαλλίας.

4. Μεθοδολογία

Στο παρόν κεφάλαιο, αναφέρονται οι διαδικασίες που πραγματοποιήθηκαν, προκειμένου να βρεθούν οι πιθανές συσχετίσεις μεταξύ των δορυφορικών και των *in situ* δεδομένων. Αρχικά, περιγράφονται οι διαδικασίες συλλογής και προεπεξεργασίας των *in situ* και των δορυφορικών δεδομένων και παρουσιάζονται οι περιοχές μελέτης. Στην συνέχεια, αναλύεται η διαδικασία που ακολουθήθηκε, προκειμένου να βρεθούν μοντέλα με ικανοποιητικές συσχετίσεις μεταξύ των δεδομένων δειγματοληψίας (χλωροφύλλη-α, διαλυμένο οξυγόνο, αλατότητα) και των δορυφορικών εικόνων Landsat-8. Λόγω του μεγάλου όγκου των δεδομένων, κρίθηκε απαραίτητη η αυτοματοποίηση των επιμέρους σταδίων με λογισμικά προγράμματα (Python, MATLAB), για την επεξεργασία των εικόνων και για την εξαγωγή των τιμών ανακλαστικότητας, καθώς και για την διενέργεια των παλινδρομήσεων με απόκριση τον δείκτη συσχέτισης R^2 .

4.1 Συλλογή και επεξεργασία δεδομένων

Ως περιοχές μελέτης ορίστηκαν η ελληνική παράκτια θαλάσσια ζώνη και ο Σαρωνικός κόλπος. Τα *in situ* δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα διπλωματική εργασία, αντλήθηκαν από το Ελληνικό Κέντρο Θαλασσίων Ερευνών (ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε.), το οποίο συμμετέχει στο Εθνικό Δίκτυο Παρακολούθησης της ποιότητας και της ποσότητας των Υδάτων της χώρας, ενώ για τον Σαρωνικό κόλπο οι δειγματοληψίες πραγματοποιήθηκαν στα πλαίσια του ερευνητικού προγράμματος «Παρακολούθηση των οικοσυστημάτων του κόλπου της Ελευσίνας & του Σαρωνικού κόλπου υπό την επίδραση των κέντρων επεξεργασίας λυμάτων Ψυττάλειας & Θριάσιου πεδίου». Συγκεκριμένα, συγκεντρώθηκαν στοιχεία δειγματοληψίας που αφορούν τους ποιοτικούς δείκτες της χλωροφύλλης-α (chlorophyll-a), του διαλυμένου οξυγόνου (DO) και της αλατότητας (salinity), από 48 σταθμούς παρακολούθησης της ελληνικής παράκτιας θαλάσσιας ζώνης και από 10 σταθμούς παρακολούθησης του Σαρωνικού κόλπου. Η συλλογή των δεδομένων, αφορά τη χρονική περίοδο Οκτώβριος 2013 έως Σεπτέμβριος 2015 για την ελληνική παράκτια θαλάσσια ζώνη και τη χρονική περίοδο Οκτώβριος 2013 έως Αύγουστος 2016 για τον Σαρωνικό κόλπο. Στους πίνακες που ακολουθούν, παρουσιάζονται για κάθε ποιοτικό δείκτη το πλήθος των *in situ* δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν, καθώς και το εύρος των συγκεντρώσεων.

Ποιοτικός δείκτης	Πλήθος δεδομένων για την ελληνική παράκτια θαλάσσια ζώνη	Πλήθος δεδομένων για τον Σαρωνικό κόλπο	Συνολικό πλήθος παρατηρήσεων
χλωροφύλλη-α	78	60	138
διαλυμένο οξυγόνο	73	63	136
αλατότητα	65	62	127

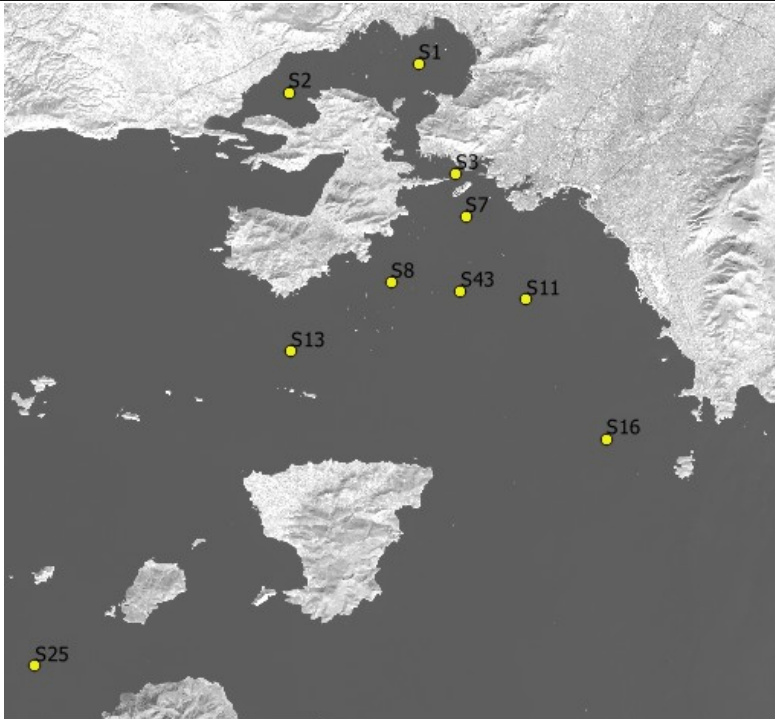
Πίνακας 3: Πλήθος *in situ* δεδομένων για τους ποιοτικούς δείκτες που μελετήθηκαν

Ποιοτικός δείκτης	Εύρος συγκεντρώσεων για την ελληνική παράκτια θαλάσσια ζώνη	Εύρος συγκεντρώσεων για τον Σαρωνικό κόλπο
χλωροφύλλη-α	0,009 – 1,301 mg/m ³	0,013 – 1,806 mg/m ³
διαλυμένο οξυγόνο	4,629 – 6,679 ml/L	4,540 – 6,260 ml/L
αλατότητα	34,707 – 39,250 psu	37,962 – 39,033 psu

Πίνακας 4: Εύρος συγκεντρώσεων των *in situ* δεδομένων για τους ποιοτικούς δείκτες

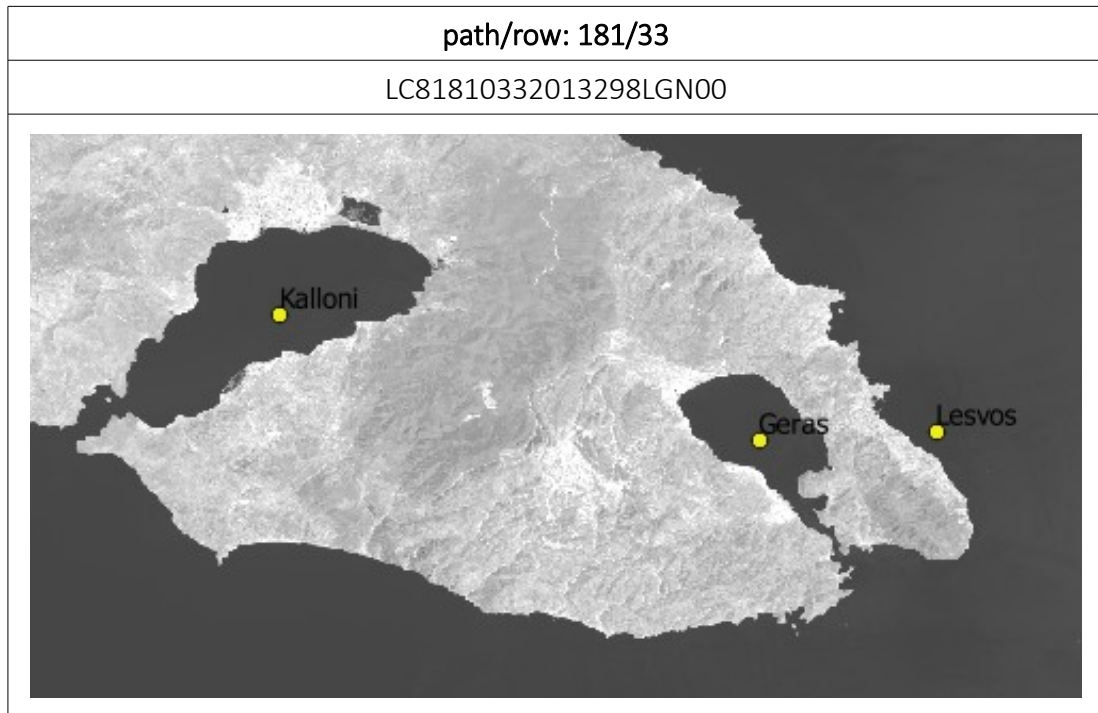
Τα δορυφορικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα διπλωματική εργασία είναι 42 δορυφορικές εικόνες του δορυφόρου Landsat-8. Οι εικόνες αυτές είναι δωρεάν διαθέσιμες από την Γεωλογική Υπηρεσία των Ηνωμένων Πολιτειών μέσω της ιστοσελίδας τους (<https://earthexplorer.usgs.gov>). Αξίζει να σημειωθεί πως χρησιμοποιήθηκαν οι δορυφορικές εικόνες οι οποίες απείχαν χρονικά από την δειγματοληψία έως 15 ημέρες και πως απορρίφθηκαν εκείνες οι οποίες παρουσίαζαν έντονη νεφοκάλυψη. Η διαδικασία συλλογής των κατάλληλων δορυφορικών δεδομένων, πραγματοποιήθηκε στο λογισμικό QGIS με την παράλληλη προβολή των σταθμών δειγματοληψίας και των αντίστοιχων δορυφορικών εικόνων στο σύστημα αναφοράς WGS' 84. Στην συνέχεια, ακολουθούν οι δορυφορικές εικόνες, καθώς και οι αντίστοιχοι επίγειοι σταθμοί παρακολούθησης, για κάθε *path/row* του δορυφόρου Landsat-8 που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα διπλωματική εργασία.

Γεωγραφική περιοχή: Σαρωνικός κόλπος

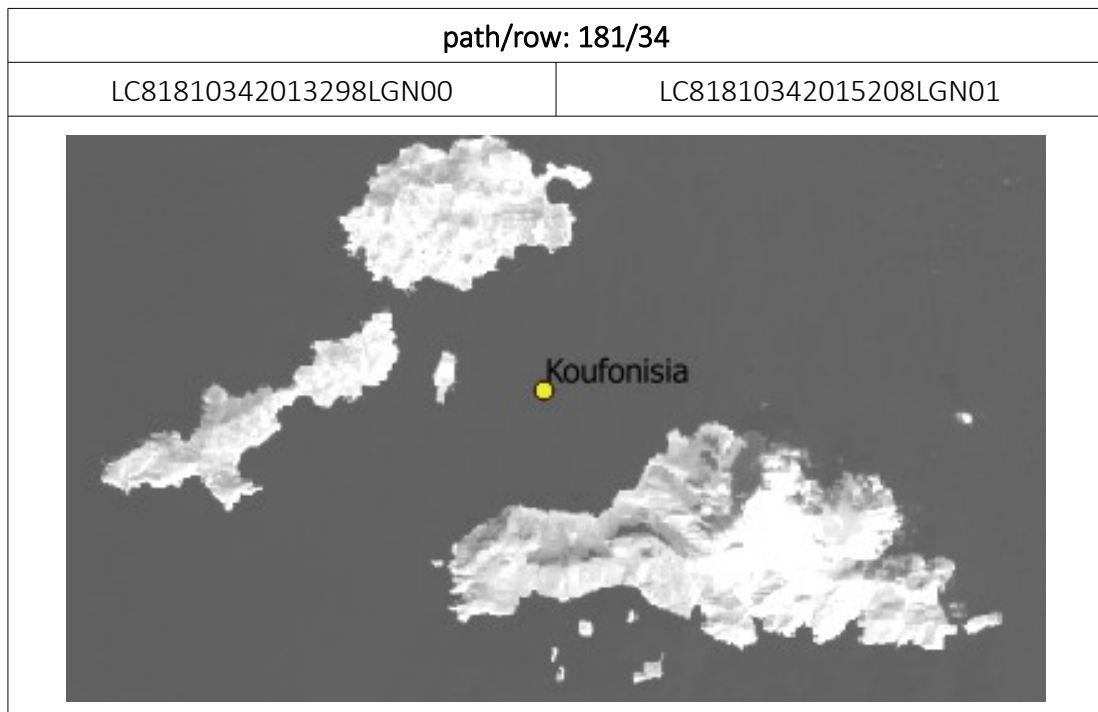
path/row: 183/34	
LC81830342013296LGN00	
LC81830342013312LGN00	
LC81830342014091LGN00	
LC81830342014251LGN00	
LC81830342015254LGN00	
LC81830342015334LGN00	
LC81830342016033LGN00	
LC81830342016241LGN00	

Πίνακας 5: Οι δορυφορικές εικόνες και οι αντίστοιχοι σταθμοί παρακολούθησης που χρησιμοποιήθηκαν για *path/row*: 183/34 του δορυφόρου Landsat-8

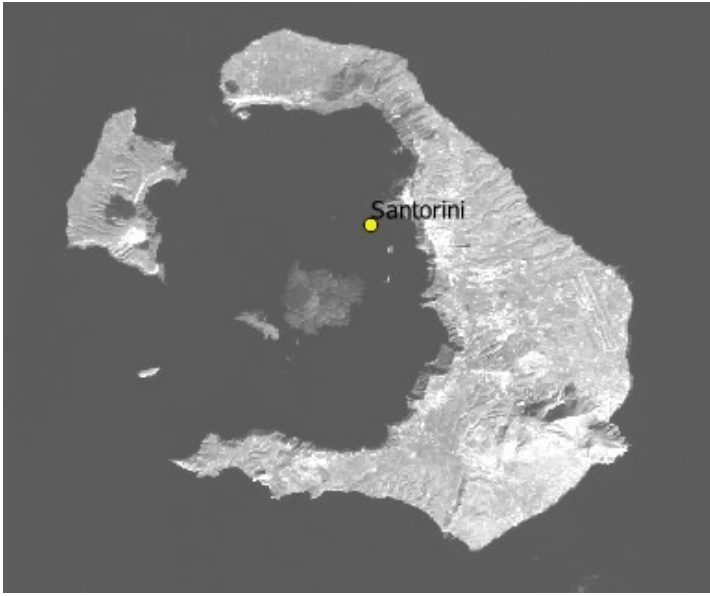
Γεωγραφική περιοχή: Ελληνική παράκτια θαλάσσια ζώνη



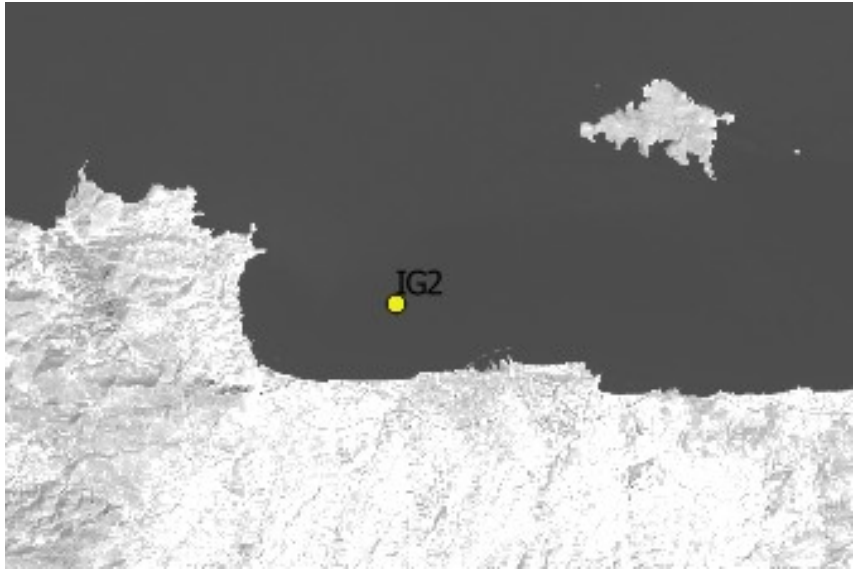
Πίνακας 6: Οι δορυφορικές εικόνες και οι αντίστοιχοι σταθμοί παρακολούθησης που χρησιμοποιήθηκαν για path/row: 181/33 του δορυφόρου Landsat-8



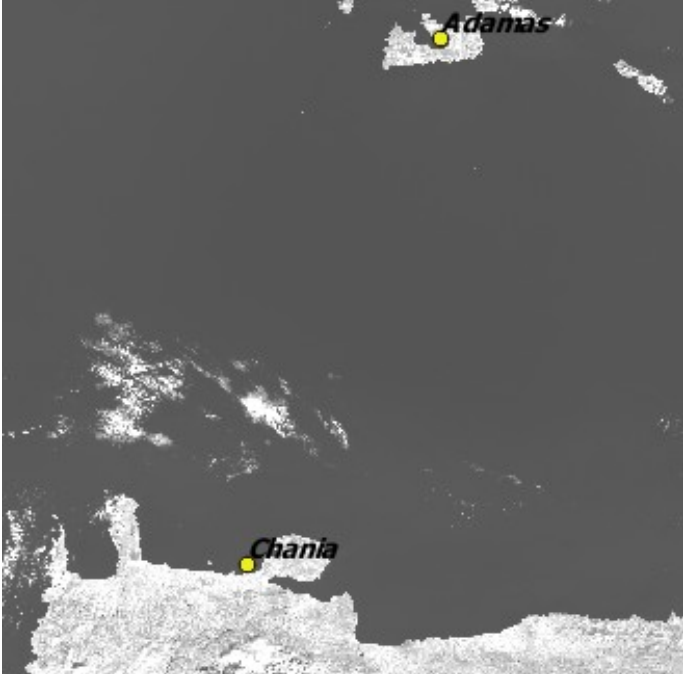
Πίνακας 7: Οι δορυφορικές εικόνες και οι αντίστοιχοι σταθμοί παρακολούθησης που χρησιμοποιήθηκαν για path/row: 181/34 του δορυφόρου Landsat-8

path/row: 181/35	
LC81810352013298LGN00	
	

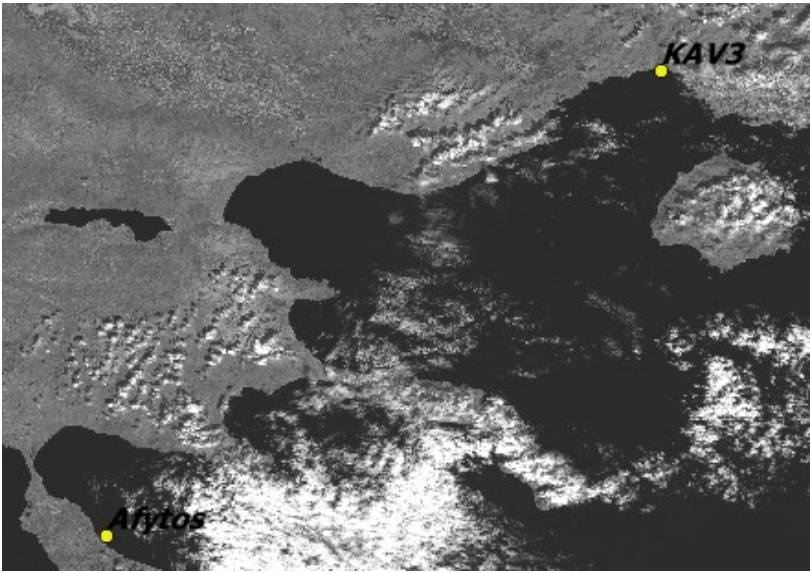
Πίνακας 8: Οι δορυφορικές εικόνες και οι αντίστοιχοι σταθμοί παρακολούθησης που χρησιμοποιήθηκαν για path/row: 181/35 του δορυφόρου Landsat-8

path/row: 181/36	
LC81810362014093LGN00	LC81810362015064LGN00
	

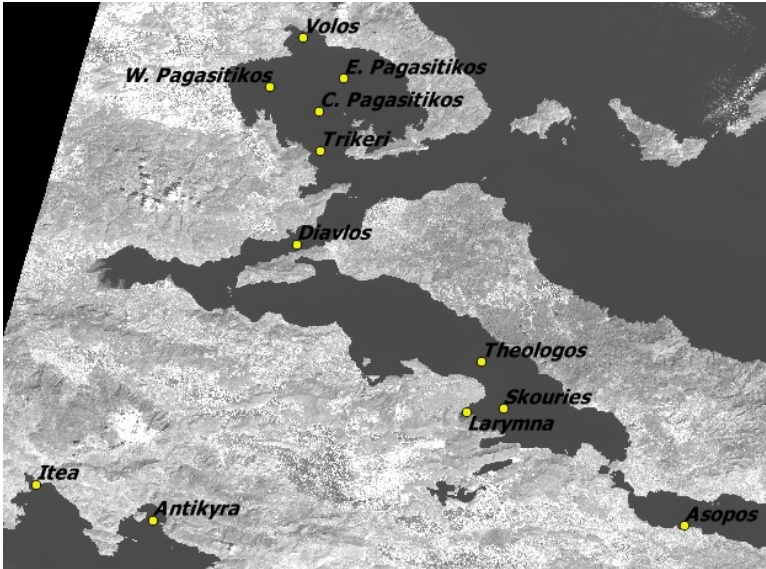
Πίνακας 9: Οι δορυφορικές εικόνες και οι αντίστοιχοι σταθμοί παρακολούθησης που χρησιμοποιήθηκαν για path/row: 181/36 του δορυφόρου Landsat-8

path/row: 182/35	
LC81820352013305LGN00	LC81820352015263LGN00
	

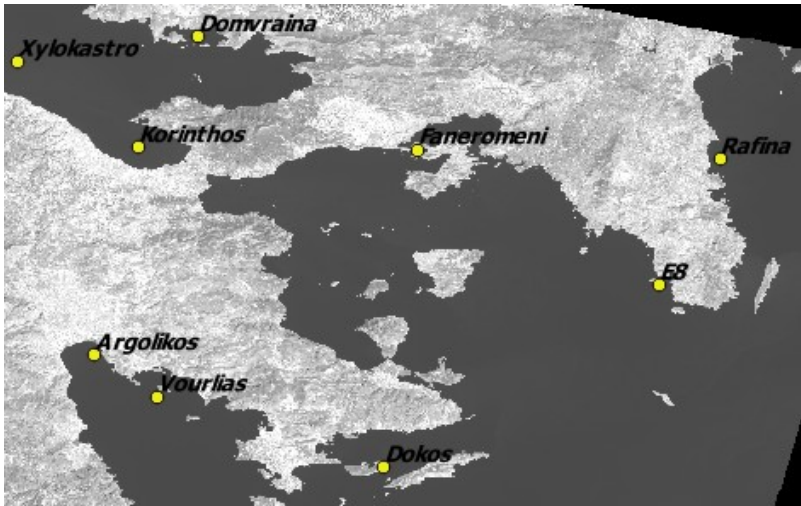
Πίνακας 10: Οι δορυφορικές εικόνες και οι αντίστοιχοι σταθμοί παρακολούθησης που χρησιμοποιήθηκαν για path/row: 182/35 του δορυφόρου Landsat-8

path/row: 183/32	
LC81830322014267LGN00	LC81830322014347LGN00
	


Πίνακας 11: Οι δορυφορικές εικόνες και οι αντίστοιχοι σταθμοί παρακολούθησης που χρησιμοποιήθηκαν για path/row: 183/32 του δορυφόρου Landsat-8

path/row: 183/33	
LC81830332013296LGN00	
LC81830332013312LGN00	
LC81830332014091LGN00	
LC81830332014267LGN00	
LC81830332014315LGN00	
LC81830332014347LGN00	
LC81830332015078LGN00	
LC81830332015206LGN00	
LC81830332015254LGN00	

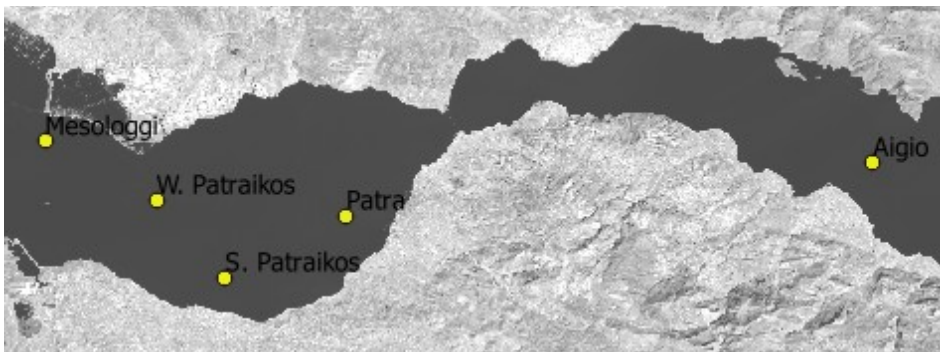
Πίνακας 12: Οι δορυφορικές εικόνες και οι αντίστοιχοι σταθμοί παρακολούθησης που χρησιμοποιήθηκαν για path/row: 183/33 του δορυφόρου Landsat-8

path/row: 183/34	
LC81830342013296LGN00	
LC81830342013312LGN00	
LC81830342014075LGN00	
LC81830342014091LGN00	
LC81830342014347LGN00	
LC81830342015078LGN00	
LC81830342015206LGN00	
LC81830342015254LGN00	

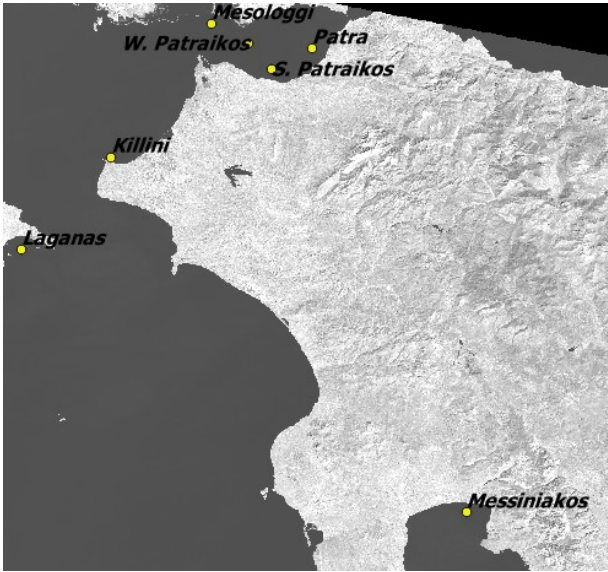
Πίνακας 13: Οι δορυφορικές εικόνες και οι αντίστοιχοι σταθμοί παρακολούθησης που χρησιμοποιήθηκαν για path/row: 183/34 του δορυφόρου Landsat-8

path/row: 184/32	
LC81840322014274LGN00	
	

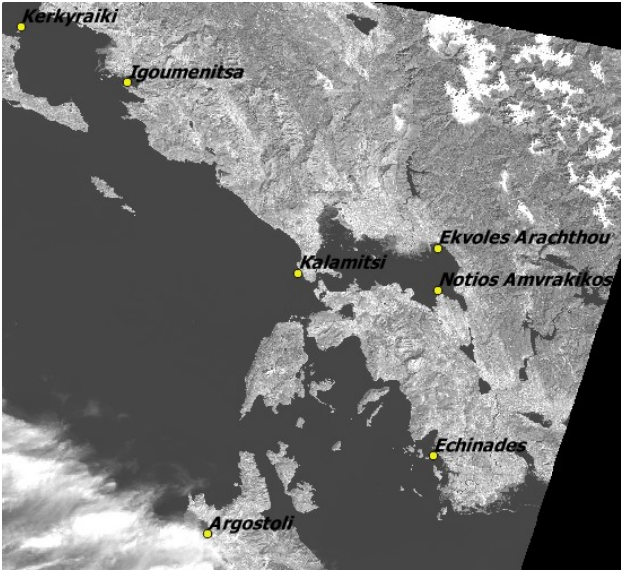
Πίνακας 14: Οι δορυφορικές εικόνες και οι αντίστοιχοι σταθμοί παρακολούθησης που χρησιμοποιήθηκαν για path/row: 184/32 του δορυφόρου Landsat-8

path/row: 184/33	
LC81840332013287LGN00	LC81840332015261LGN00
	

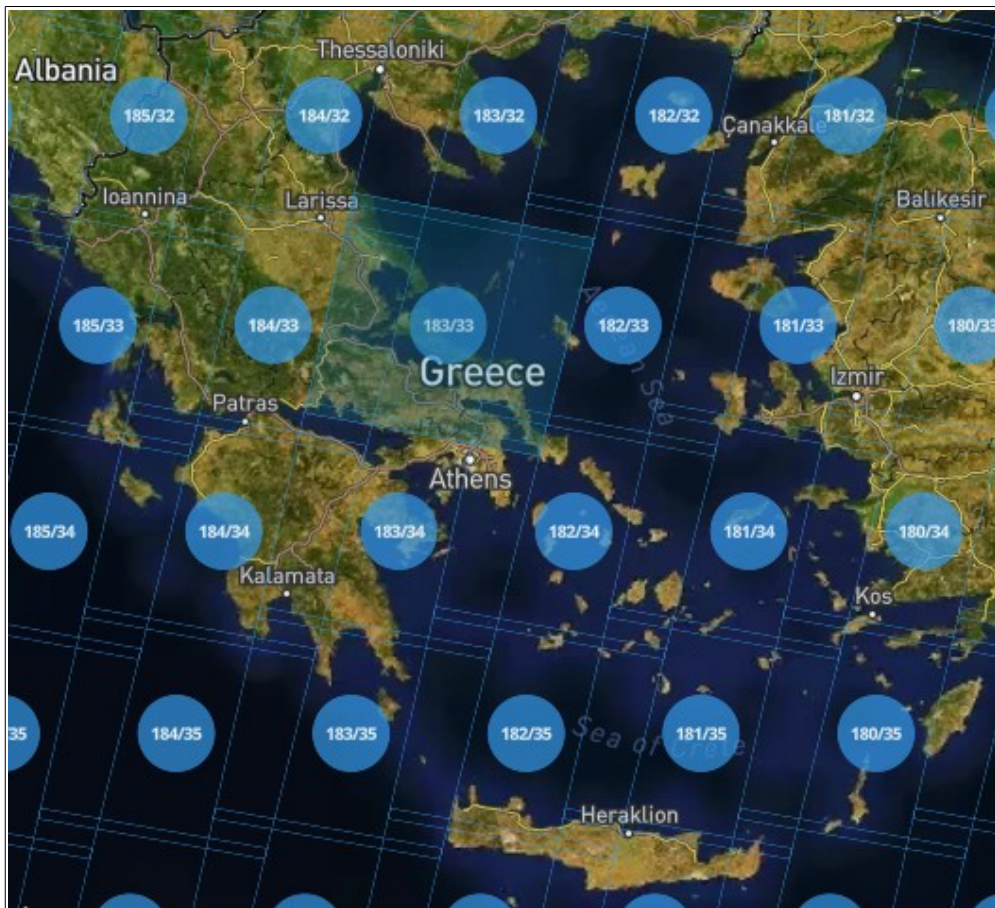
Πίνακας 15: Οι δορυφορικές εικόνες και οι αντίστοιχοι σταθμοί παρακολούθησης που χρησιμοποιήθηκαν για path/row: 184/33 του δορυφόρου Landsat-8

path/row: 184/34	
LC81840342014082LGN00	LC81840342014274LGN00
LC81840342014338LGN00	LC81840342015261LGN00
	

Πίνακας 16: Οι δορυφορικές εικόνες και οι αντίστοιχοι σταθμοί παρακολούθησης που χρησιμοποιήθηκαν για path/row: 184/34 του δορυφόρου Landsat-8

path/row: 185/33	
LC81850332013278LGN00	LC81850332013294LGN00
LC81850332014073LGN00	LC81850332014329LGN00
	

Πίνακας 17: Οι δορυφορικές εικόνες και οι αντίστοιχοι σταθμοί παρακολούθησης που χρησιμοποιήθηκαν για path/row: 185/33 του δορυφόρου Landsat-8



Εικόνα 6: Οι τροχιές των δορυφορικών εικόνων Landsat-8 που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα διπλωματική εργασία
(Πηγή: <https://remotepixel.ca>)

Για να αντλήσουμε την φασματική πληροφορία από τις δορυφορικές εικόνες, δημιουργήσαμε τα shapefiles με τις συντεταγμένες των σημείων δειγματοληψίας. Η εξαγωγή των τιμών ανακλαστικότητας από τις δορυφορικές εικόνες για τις συντεταγμένες δειγματοληψίας, έγινε με χρήση κώδικα Python. Ο κώδικας εξάγει ένα λογιστικό φύλλο, το οποίο για τις συντεταγμένες δειγματοληψίας – pixel ενδιαφέροντος, περιλαμβάνει για κάθε δορυφορική εικόνα τις παρακάτω πληροφορίες:

- το όνομα της εικόνας
- το path/row
- την ημερομηνία λήψης
- την ημέρα λήψης (DOY)
- το ποσοστό συννεφιάς (για όλη την εικόνα)
- τις συντεταγμένες δειγματοληψίας
- τις τιμές του pixel για όλα τα κανάλια

Στην συνέχεια, πραγματοποιήθηκε έλεγχος των δεδομένων, όπου αφαιρέθηκαν οι εξαιρετικά ακραίες τιμές, που οφείλονταν είτε σε λανθασμένη ατμοσφαιρική διόρθωση, είτε σε παρουσία σύννεφου, είτε σε pixel που δεν αντιστοιχούσε στο νερό. Όσες παρατηρήσεις ικανοποίησαν τις

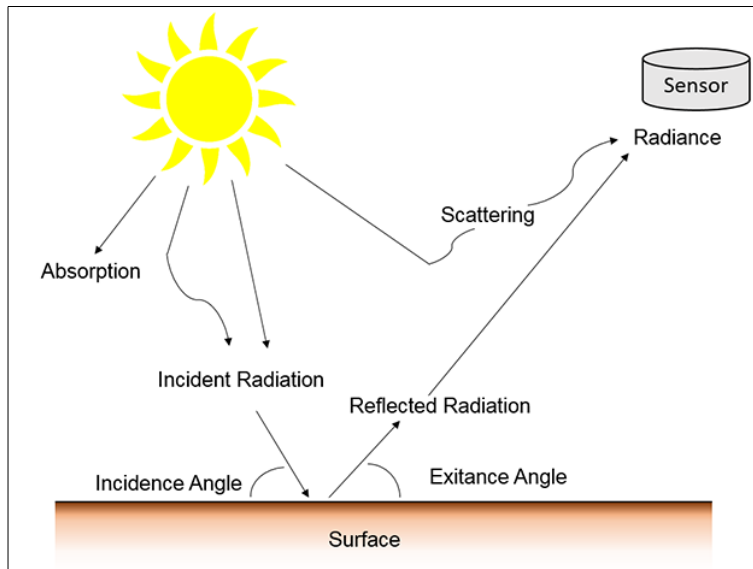
παραμέτρους, χρησιμοποιήθηκαν στο επόμενο στάδιο της διερεύνησης της συσχέτισης των ψηφιακών πολυφασματικών δεδομένων με τα *in situ* δεδομένα.

4.1.1 Επεξεργασία δορυφορικών εικόνων

Μετά την συλλογή των δορυφορικών εικόνων, ακολουθεί η ραδιομετρική διόρθωση των δεδομένων, μετατρέποντας τις τιμές των καναλιών από ψηφιακούς αριθμούς σε *top of atmosphere reflectance*. Η διαδικασία αυτή βελτιώνει την ερμηνεία και την ποιότητα των τηλεπισκοπικών δεδομένων. Με τη ραδιομετρική διόρθωση της εικόνας, απαλείφονται σφάλματα που οφείλονται στην απορύθμιση των αισθητήρων του καταγραφέα και γενικά σφάλματα και αλλοιώσεις που προέρχονται από τα τεχνικά στοιχεία της διαδικασίας καταγραφής και μετάδοσης. Δηλαδή, η ραδιομετρική διόρθωση, διορθώνει ραδιομετρικά και ατμοσφαιρικά σφάλματα που προέρχονται από την επίδραση του αναγλύφου, όπως είναι η σκιά ενός ορεινού όγκου. Η ενέργεια που ανιχνεύει ο δορυφόρος, διαφέρει από την πραγματική ενέργεια που εκπέμπεται ή ανακλάται από μία επιφάνεια εδάφους. Αυτό, μπορεί να οφείλεται στον ήλιο και στις ατμοσφαιρικές συνθήκες που μπορούν να επηρεάσουν την παρατηρούμενη ενέργεια. Επομένως, προκειμένου να επιτευχθεί η πραγματική ακτινοβολία ή ανάκλαση του εδάφους, τα ραδιομετρικά σφάλματα πρέπει να διορθωθούν. Η μετατροπή έγινε με τη βοήθεια του λογισμικού MATLAB και σύμφωνα με τις οδηγίες που παρέχει η USGS. Αξίζει να σημειωθεί πως κάθε δορυφορική εικόνα διαθέτει ένα metadata file (MTD file), με τις απαραίτητες πληροφορίες για την μετατροπή. Έτσι, η μετατροπή έγινε σύμφωνα με τον παρακάτω τύπο:

$$\rho_{\lambda} = \frac{M_{\rho} Q_{cal} + A_{\rho}}{\cos(\theta_{sz})}$$

- ρ_{λ} = αντανάκλαση toa (toa reflectance)
- M_{ρ} = σταθερά μετατροπής/ειδικός συντελεστής για κάθε κανάλι από το metadata file
- Q_{cal} = οι τιμές των εικονοστοιχείων σε ψηφιακούς αριθμούς (DN)
- A_{ρ} = προσθετική σταθερά για κάθε κανάλι από το metadata file
- θ_{se} = local sun elevation angle provided in the metadata file
- θ_{sz} = local solar zenith angle, $\theta_{sz} = 90^{\circ} - \theta_{se}$



Εικόνα 7: Η ακτινοβολία που ανιχνεύεται από τον αισθητήρα

4.2 Δείκτες συσχετίσεων

Σε αυτό το στάδιο, δημιουργήσαμε τους δείκτες των καναλιών, με σκοπό να γίνουν δοκιμές με τη μέθοδο της απλής γραμμικής και της εκθετικής παλινδρόμησης, ώστε να εντοπίσουμε τις εξισώσεις που παρουσιάζουν τις μεγαλύτερες συσχετίσεις μεταξύ των *in situ* και των δορυφορικών δεδομένων. Για τη χλωροφύλλη-α, το διαλυμένο οξυγόνο και την αλατότητα εξετάστηκαν οι παρακάτω 149 δείκτες, τόσο για την ελληνική παράκτια θαλάσσια ζώνη, όσο και για τον Σαρωνικό κόλπο. Αξίζει να σημειωθεί πως τα δεδομένα ομαδοποιήθηκαν και με βάση τη χρονική απόκλιση μεταξύ των δορυφορικών εικόνων και των δεδομένων δειγματοληψίας. Οι δείκτες που ακολουθούν επιλέχθηκαν βιβλιογραφικά.

Δείκτες 1 καναλιού	Δείκτες 2 καναλιών	Δείκτες 2 καναλιών	Δείκτες 3 καναλιών	Δείκτες 3 καναλιών	Δείκτες 4 καναλιών
B1REF	B2-B3	B1-B7	B1+B3+B4	B2+B4-B6	$\exp((B1-B7)^{to}(B2-B4))$
B2REF	B2+B3	B1+2xB2	$\exp(B4^{to}(B2+B6))$	B2+B4-B5	$(B2-B7)^{to}(B3-B6)$
B3REF	B2toB4	2xB1+B3	B3+B4-B5	B2+B4-B7	$(B3-B4)^{to}(B1-B7)$
B4REF	B4toB2	B3-B4	B3+B4-B6	B1+B4-B7	$(B2-B4)^{to}(B3-B6)$
B5REF	$(B4^{to}B2^2)$	B3toB7	B3+B4-B7	B1+B4-B5	B4to(B1+B2+B3)
B6REF	$(B5^{to}B2^2)$	$(B6+B7)^{to}2$	$(B1-B4)^{to}(B3-B4)$	B3+B5-B4	$(B1+B5-B4)^{to}B3$
B7REF	B2+B4	B3toB6	$\exp(B4^{to}(B2+B7))$	B1+B2-B7	$\ln((B1+B5-B4)^{to}B3)$
	B2-B4	$\exp(B4^{to}B3)$	B4to(B2+B6)	B1+B6-B7	$(B3+B7-B5)^{to}B2$
	B3toB4	$\exp(B2^{to}B4)$	$\exp(B4^{to}(B2+B5))$	B1+B5-B7	B3to(B2+B6-B5)
	B4toB3	B4toB7	$(B3^{to}B2)+B4$	B2+B6-B7	$\exp(B3^{to}(B2+B6-B5))$
	B1-B4	$\exp(B3^{to}B4)$	$\exp((B1+B3)^{to}B2)$	B2+B5-B7	$(B3-B4)^{to}(B2-B6)$
	$(B1-B4)^{to}(B1+B4)$	B1toB6	B2to(B1+B2+B3)	$\exp(B4^{to}(B1+B7))$	$\ln((B1-B6)^{to}(B3-B4))$
	B5toB4	$(B5+B6)^{to}2$	$(B2-B4)^{to}(B3-B4)$	$\exp((B2-B6)^{to}(B2-B4))$	$\ln((B2-B7)^{to}(B3-B4))$
	B4toB5	B1-B3	$\exp((B2-B4)^{to}(B3-B4))$	$\exp((B4-B6)^{to}(B2-B4))$	$(B3-B4)^{to}(B1-B6)$

B4-B7	B5+B6	B3to(B1+B2+B3)	exp((B2-B7)to(B2-B4))	ln((B2-B5)to(B3-B4))
B4+B7	B6+B7	(B2-B6)to(B3-B6)	(B2-B3)toB1	ln((B1-B7)to(B2-B6))
exp(B4toB2)	B5toB3	ln((2xB2+B5)toB3)	(B5toB4)+B6	(B2-B6)to(B1-B7)
B3-B7	exp(B5toB3)	(2xB2+B5)toB3	(B1-B3)toB4	exp(B1to(B2+B3+B4))
B3+B7	B3toB1	(B1-B3)toB2	(B4toB3)+B5	exp((B1-B6)to(B2-B4))
B3-B6	exp(B3toB1)	(B2-B4)toB3		(B3+B4)to(B1+B2)
B3+B6	B4toB6	(B1+B6)toB4		B4to(B1+B2+B3)
B3+B4	B1toB3	ln((B1+B6)toB4)		(B5-B7)to(B2-B4)
(B3+B4)to2	exp(B1toB3)	B1+B2-B4		exp((B5-B7)to(B2-B4))
B3toB2	B5toB1	B2+B3-B4		(B6-B7)to(B2-B4)
B2toB3	exp(B5toB1)	B1+B2-B5		exp((B6-B7)to(B2-B4))
exp(B3toB2)	B5toB2	(B1+B3)toB2		(B6-B7)to(B1-B4)
exp(B2toB3)	exp(B5toB2)	B1+B3-B4		exp((B6-B7)to(B1-B4))
B2-B6	(B2toB4)+B2	B1+B2-B6		(B5-B7)to(B1-B4)
B2-B7	(B2toB4)+B4	B4to(B1+B6)		exp((B5-B7)to(B1-B4))
2xB1+B2	(B2toB4)-B2	exp(B4to(B1+B6))		B2+B3+B4+B5
B1+B2	(B2toB4)-B4	B4to(B2+B5)		

Πίνακας 18: Όλοι οι δείκτες καναλιών που δοκιμάστηκαν στην παρούσα διπλωματική εργασία για τη συσχέτιση της χλωροφύλλης-α, του διαλυμένου οξυγόνου και της αλατότητας

4.3 Θεωρία Παλινδρομήσεων

Αφού συλλέχθηκαν όλα τα δεδομένα, ομαδοποιήθηκαν σε λογιστικά φύλλα και στην συνέχεια πραγματοποιήθηκε η ανάλυση των δεδομένων, με την μέθοδο της απλής γραμμικής και της εκθετικής παλινδρόμησης, με τη βοήθεια κατάλληλου κώδικα στο λογισμικό MATLAB. Τα μοντέλα παλινδρόμησης, συμβάλλουν στην εκτίμηση της τιμής μιας τυχαίας μεταβλητής, όταν δίνεται η τιμή μιας άλλης μεταβλητής. Στην παρούσα μελέτη, οι μεταβλητές είναι η συγκέντρωση της χλωροφύλλης-α, του διαλυμένου οξυγόνου και της αλατότητας, καθώς και οι διάφοροι δείκτες που εξετάζονται.

Απλή γραμμική παλινδρόμηση

Η απλούστερη μορφή παλινδρόμησης είναι η απλή γραμμική παλινδρόμηση με μια ανεξάρτητη μεταβλητή X . Την εξαρτημένη μεταβλητή Y , μπορούμε να την προσεγγίσουμε με μία γραμμική συνάρτηση του X ($Y = \alpha + \beta * X$, όπου α , β άγνωστοι συντελεστές παλινδρόμησης). Στην παρούσα μελέτη, η εξαρτημένη μεταβλητή Y είναι η συγκέντρωση της χλωροφύλλης-α, του διαλυμένου οξυγόνου και της αλατότητας αντίστοιχα και η ανεξάρτητη μεταβλητή X είναι ο εκάστοτε δείκτης συσχέτισης. Ο υπολογισμός των συντελεστών παλινδρόμησης και η εύρεση της ζητούμενης βέλτιστης ευθείας στην οποία υπακούουν τα δεδομένα, επιτυγχάνεται με την μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων, ώστε το άθροισμα των τετραγώνων των υπολοίπων να είναι το ελάχιστο δυνατό.

$$\sum \varepsilon_i^2 = \text{minimum} = \sum (Y_i - \hat{Y}_i)^2, \quad i=1,2,\dots,n, \quad \text{όπου } \hat{Y}_i \text{ η προβλεπόμενη τιμή της } Y_i.$$

Η αξιολόγηση της προσαρμογής της ευθείας στα δεδομένα, πραγματοποιείται με τη βοήθεια του συντελεστή προσδιορισμού R^2 , ο οποίος ορίζεται από την σχέση:

$$R^2 = 1 - \frac{SS_{\text{err}}}{SS_{\text{tot}}}$$

όπου, SS_{err} είναι το άθροισμα των τετραγώνων των σφαλμάτων του μοντέλου στις παρατηρήσεις της εξαρτημένης μεταβλητής και SS_{tot} είναι το συνολικό άθροισμα των τετραγώνων των αποστάσεων των παρατηρήσεων της εξαρτημένης μεταβλητής από την μέση τιμή.

$$SS_{\text{err}} = \sum (y_i - \hat{y}_i)^2$$

$$SS_{\text{tot}} = \sum (y_i - \bar{y})^2$$

Το εύρος των τιμών του συντελεστή R^2 , περιορίζεται μεταξύ των τιμών 0 και 1 και όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή του, τόσο πιο αξιόπιστο θεωρείται το μοντέλο και τόσο περισσότερο η προκύπτουσα ευθεία αντιπροσωπεύει τα δεδομένα. Αντιθέτως, όσο μικρότερη είναι η τιμή R^2 , τόσο μικρότερη είναι και η συσχέτιση ανάμεσα στις μεταβλητές. Η μεταβλητή αυτή χρησιμοποιήθηκε κατά κόρον στην παρούσα διπλωματική εργασία για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων.

Εκθετική παλινδρόμηση

Ένα εναλλακτικό μοντέλο της απλής γραμμικής παλινδρόμησης είναι το εκθετικό μοντέλο. Το μοντέλο αυτό έχει την παρακάτω μορφή:

$$Y = e^{\alpha + \beta X}$$

Το μοντέλο αυτό μπορεί να μετατραπεί σε γραμμικό τύπο με τον εξής τρόπο:

$$\ln Y = \alpha + \beta X$$

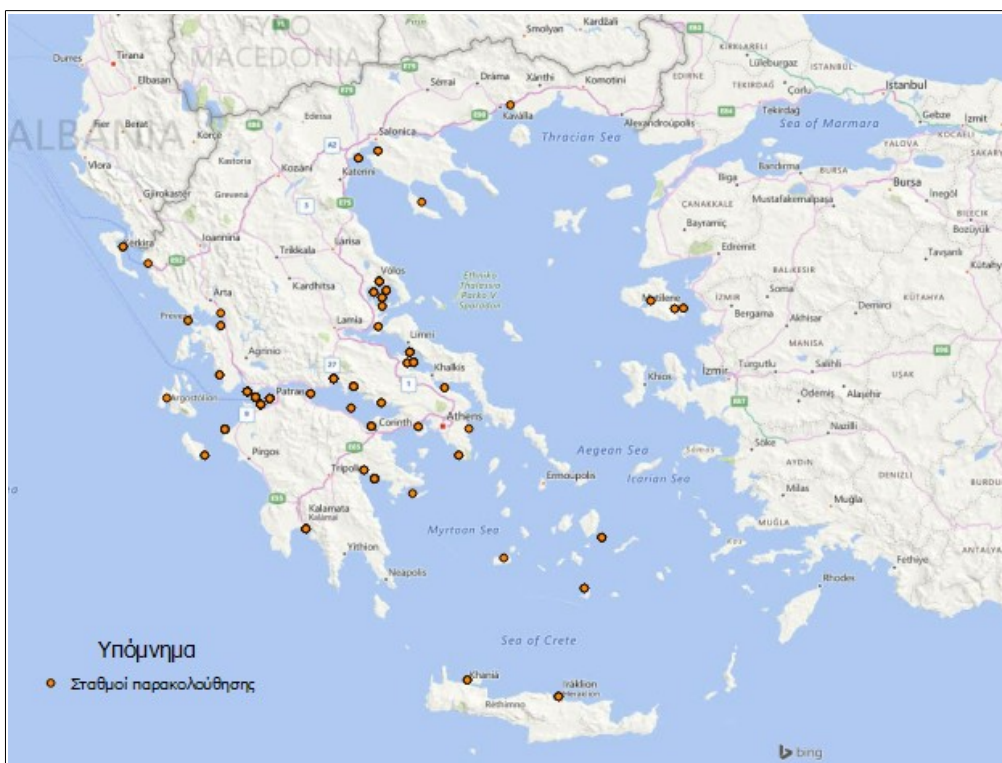
Για την εκτίμηση των παραμέτρων α και β , χρησιμοποιούμε την μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων, με τέτοιο τρόπο ώστε να ελαχιστοποιείται η παρακάτω ποσότητα.

$$\sum_{i=1}^n y_i (\ln y_i - \alpha - \beta x_i)^2.$$

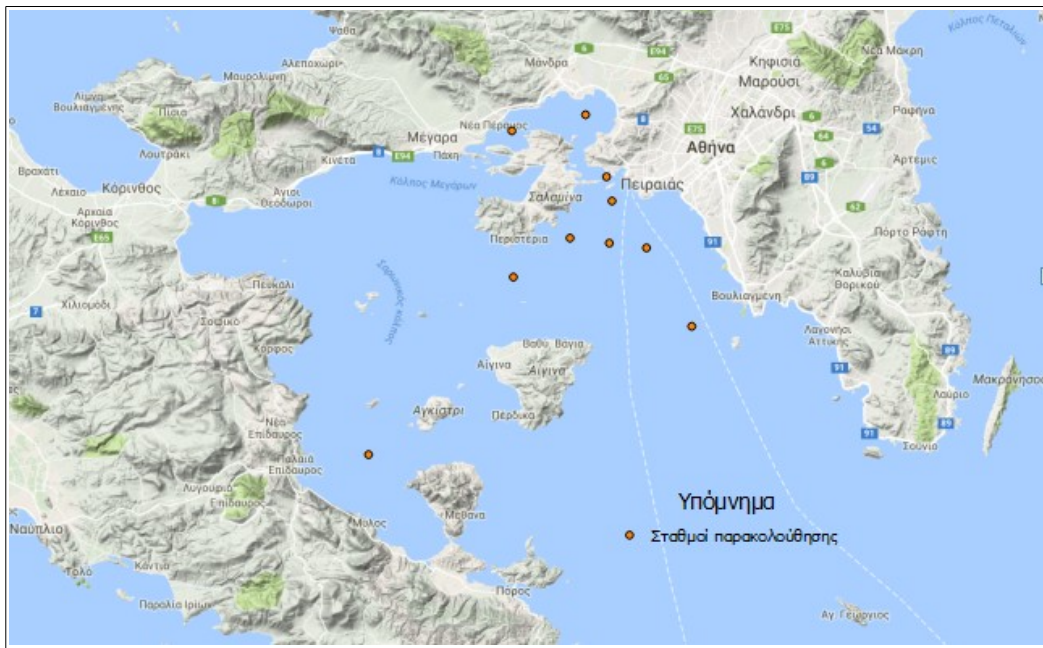
5. Αποτελέσματα και Αξιολόγηση

Στο κεφάλαιο αυτό, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις συσχετίσεις των δεδομένων δειγματοληψίας του νερού στις περιοχές μελέτης (*in situ* δεδομένα) και των φασματικών δεδομένων του δορυφόρου Landsat-8. Τα *in situ* δεδομένα, αφορούν τις συγκεντρώσεις χλωροφύλλης-α (chl-a), διαλυμένου οξυγόνου (do) και αλατότητας (salinity). Για τις συσχετίσεις, χρησιμοποιήθηκαν το απλό γραμμικό και το εκθετικό μοντέλο παλινδρόμησης.

Για την εξαγωγή συγκεκριμένων συμπερασμάτων, τα δεδομένα ομαδοποιήθηκαν με βάση τη χρονική απόκλιση μεταξύ των *in situ* δεδομένων και των δεδομένων από τις δορυφορικές εικόνες Landsat-8 και με βάση τη γεωγραφική θέση των σταθμών παρακολούθησης. Πιο συγκεκριμένα, η ομαδοποίηση των δεδομένων με βάση τη γεωγραφική θέση των σταθμών παρακολούθησης, αφορά την ελληνική παράκτια θαλάσσια ζώνη και τον Σαρωνικό κόλπο.



Εικόνα 8: Σταθμοί παρακολούθησης στην ελληνική παράκτια θαλάσσια ζώνη



Εικόνα 9: Σταθμοί παρακολούθησης στον Σαρωνικό κόλπο

5.1 Χλωροφύλλη-α

Σε αυτή την παράγραφο, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για τη χλωροφύλλη-α. Για την ανάπτυξη των μοντέλων, χρησιμοποιήθηκε η απλή γραμμική παλινδρόμηση και η εκθετική παλινδρόμηση. Πραγματοποιήθηκαν πολυάριθμες δοκιμές, αναλόγως τη γεωγραφική περιοχή και τη χρονική απόκλιση μεταξύ δειγματοληψίας και δορυφορικής λήψης.

5.1.1 Αποτελέσματα με τη χρήση του απλού γραμμικού μοντέλου

Γεωγραφική περιοχή: Ελληνική παράκτια θαλάσσια ζώνη

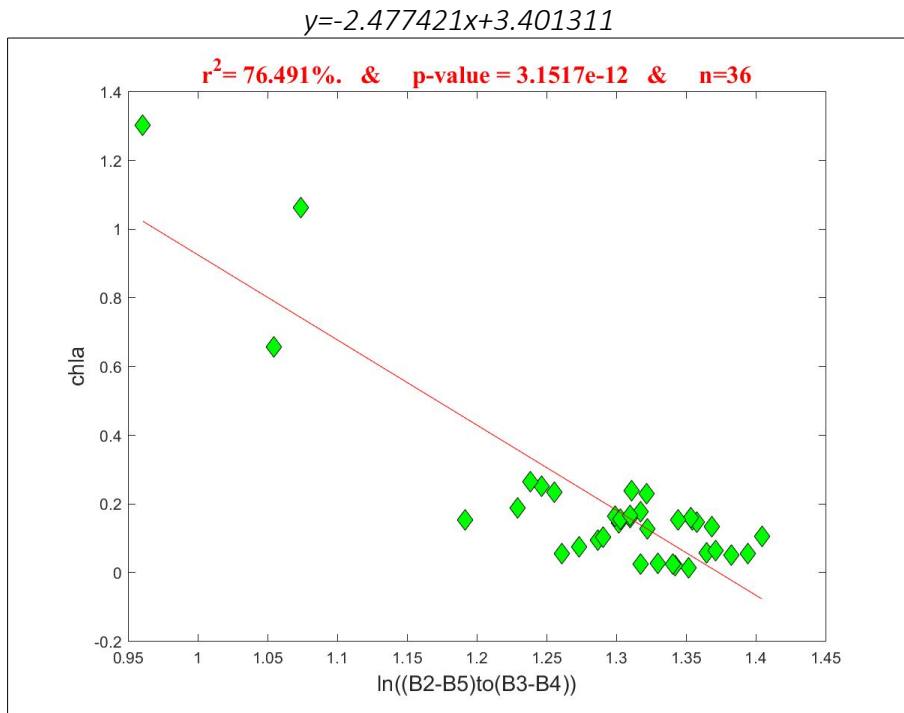
Με την απλή γραμμική παλινδρόμηση για το σύνολο των παρατηρήσεων της χλωροφύλλης-α από τους σταθμούς παρακολούθησης της ελληνικής παράκτιας θαλάσσιας ζώνης ($dt=0-15$ ημέρες), καθώς και για δοκιμές με μικρότερη χρονική απόκλιση μεταξύ των *in situ* και των δορυφορικών δεδομένων ($dt=0-10$ ημέρες και $dt=0-5$ ημέρες), προκύπτουν τα παρακάτω αποτελέσματα. Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται όλοι οι δείκτες με $R^2 > 40\%$.

Χ	dt=0-5 n=36	dt=0-10 n=65	dt=0-15 n=78
(B2-B7)to(B3-B6)	70,105	66,484	59,395
(B3-B4)to(B1-B7)	67,539	68,775	53,443
(B1-B4)to(B3-B4)	69,965	68,251	55,309

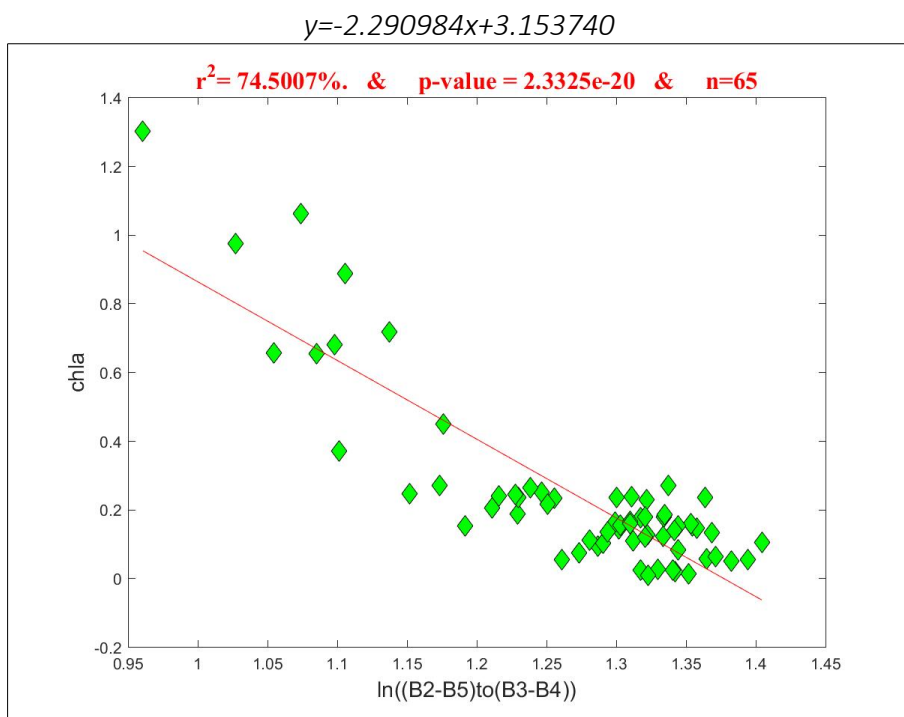
$(B2-B4)to(B3-B6)$	55,179	55,103	43,806
B3-B7	64,005	46,251	34,763
B3-B6	64,723	44,978	37,818
$(B3toB2)+B4$	61,935	59,697	37,093
$(B1+B5-B4)toB3$	54,166	54,865	40,849
$ln((B1+B5-B4)toB3)$	59,523	58,711	42,851
B3toB2	64,705	63,243	41,933
$(B2-B4)to(B3-B4)$	72,645	71,359	59,950
$exp((B2-B4)to(B3-B4))$	58,755	61,541	52,873
B2toB3	56,503	57,161	39,478
B3to(B1+B2+B3)	63,076	60,849	39,186
$(B2-B6)to(B3-B6)$	69,200	67,279	55,793
$exp(B3toB2)$	66,923	64,875	42,539
$ln((2xB2+B5)toB3)$	67,783	68,046	55,969
$(2xB2+B5)toB3$	64,645	65,821	54,382
$(B1-B3)toB2$	60,657	56,023	34,005
$exp(B2toB3)$	49,050	51,521	36,932
$(B3+B7-B5)toB2$	42,536	54,593	49,073
B3to(B2+B6-B5)	63,626	57,736	33,298
$exp(B3to(B2+B6-B5))$	66,985	59,915	33,759
B3+B5-B4	58,082	42,795	19,218
$(B3-B4)to(B2-B6)$	63,957	68,505	53,472
$ln((B1-B6)to(B3-B4))$	65,818	67,751	52,512
$ln((B2-B7)to(B3-B4))$	55,943	63,602	49,805
$(B3-B4)to(B1-B6)$	69,362	70,191	53,885
$ln((B2-B5)to(B3-B4))$	76,491	74,501	57,311
$ln((B1-B7)to(B2-B6))$	57,613	43,069	32,013
$(B2-B6)to(B1-B7)$	58,563	43,126	31,986
$exp(B1to(B2+B3+B4))$	44,746	40,059	22,095
B3-B4	65,705	54,802	47,333
$(B2-B3)toB1$	67,405	65,509	45,195
$(B3+B4)to(B1+B2)$	49,399	42,528	21,143
B3toB1	65,019	61,288	38,033
$exp(B3toB1)$	67,216	62,882	38,498
B1toB3	54,755	53,808	35,483
$exp(B1toB3)$	43,130	45,086	31,831
_B3REF	54,153	41,409	24,095

Πίνακας 19: Αποτελέσματα για τη χλωροφύλλη-α με τη χρήση του απλού γραμμικού μοντέλου για την ελληνική παράκτια θαλάσσια ζώνη

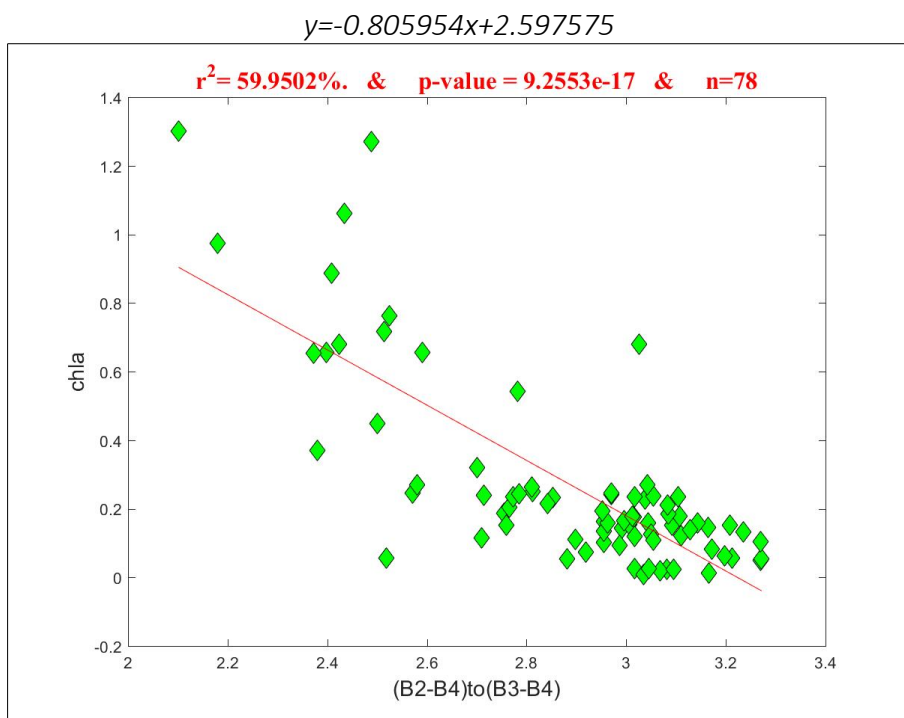
Ακολουθούν οι γραφικές παραστάσεις των μοντέλων που παρουσιάζουν τα καλύτερα αποτελέσματα για τις χρονικές αποκλίσεις που μελετήθηκαν (dt=0-5 ημέρες, dt=0-10 ημέρες και dt=0-15 ημέρες).



Εικόνα 10: Συσχέτιση χλωροφύλλης-α με τον δείκτη $\ln((B2-B5)to(B3-B4))$ με τη χρήση του απλού γραμμικού μοντέλου για την ελληνική παράκτια θαλάσσια ζώνη, dt=0-5 ημέρες



Εικόνα 11: Συσχέτιση χλωροφύλλης-α με τον δείκτη $\ln((B2-B5)to(B3-B4))$ με τη χρήση του απλού γραμμικού μοντέλου για την ελληνική παράκτια θαλάσσια ζώνη, dt=0-10 ημέρες



Εικόνα 12: Συσχέτιση χλωροφύλλης-α με τον δείκτη $(B2-B4)to(B3-B4)$ με τη χρήση του απλού γραμμικού μοντέλου για την ελληνική παράκτια θαλάσσια ζώνη, $dt=0-15$ ημέρες

Τέλος, ακολουθούν οι δείκτες και οι εξισώσεις των μοντέλων που παρουσιάζουν τις καλύτερες συσχετίσεις για τις χρονικές αποκλίσεις που μελετήθηκαν ($dt=0-5$ ημέρες, $dt=0-10$ ημέρες και $dt=0-15$ ημέρες).

X	dt=0-5, n=36	
	R ²	y
$\ln((B2-B5)to(B3-B4))$	76,491	$y = -2.477421x + 3.401311$
$(B2-B4)to(B3-B4)$	72,645	$y = -0.905103x + 2.896654$
$(B2-B7)to(B3-B6)$	70,105	$y = -2.331743x + 4.746167$
$(B1-B4)to(B3-B4)$	69,965	$y = -0.518477x + 2.371332$
$(B3-B4)to(B1-B6)$	69,362	$y = 10.642885x - 1.805955$
$(B2-B6)to(B3-B6)$	69,200	$y = -2.149032x + 4.305830$
$\ln((2x B2 + B5)to B3)$	67,783	$y = -4.437306x + 6.300396$
$(B3-B4)to(B1-B7)$	67,539	$y = 11.104848x - 1.858921$
$(B2-B3)to B1$	67,405	$y = -10.082351x + 3.768377$
$\exp(B3to B1)$	67,215	$y = 3.500481x - 5.187395$

Πίνακας 20: Οι δείκτες και οι εξισώσεις με τις καλύτερες συσχετίσεις για τη χλωροφύλλη-α με τη χρήση του απλού γραμμικού μοντέλου για την ελληνική παράκτια θαλάσσια ζώνη, $dt=0-5$ ημέρες

X	dt=0-10, n=65	
	R ²	y
ln((B2-B5)to(B3-B4))	74,501	$y=-2.290984x+3.153740$
(B2-B4)to(B3-B4)	71,359	$y=-0.789283x+2.535961$
(B3-B4)to(B1-B6)	70,191	$y=9.410551x-1.583113$
(B3-B4)to(B1-B7)	68,775	$y=9.520729x-1.575165$
(B3-B4)to(B2-B6)	68,505	$y=8.728967x-1.922532$
(B1-B4)to(B3-B4)	68,251	$y=-0.458429x+2.102602$
ln((2xB2+B5)toB3)	68,046	$y=-4.077881x+5.783336$
ln((B1-B6)to(B3-B4))	67,751	$y=-1.908010x+3.383845$
(B2-B6)to(B3-B6)	67,279	$y=-1.950585x+3.909197$
(B2-B7)to(B3-B6)	66,484	$y=-1.935515x+3.955273$

Πίνακας 21: Οι δείκτες και οι εξισώσεις με τις καλύτερες συσχετίσεις για τη χλωροφύλλη-α με τη χρήση του απλού γραμμικού μοντέλου για την ελληνική παράκτια θαλάσσια ζώνη, dt=0-10 ημέρες

X	dt=0-15, n=78	
	R ²	y
(B2-B4)to(B3-B4)	59,950	$y=-0.805954x+2.597575$
(B2-B7)to(B3-B6)	59,395	$y=-2.005915x+4.092126$
ln((B2-B5)to(B3-B4))	57,311	$y=-2.247416x+3.112473$
ln((2xB2+B5)toB3)	55,969	$y=-4.033904x+5.720794$
(B2-B6)to(B3-B6)	55,793	$y=-1.920764x+3.848809$
(B1-B4)to(B3-B4)	55,309	$y=-0.463358x+2.136522$
(2xB2+B5)toB3	54,382	$y=-1.045286x+4.312580$
(B3-B4)to(B1-B6)	53,885	$y=9.304085x-1.535546$
(B3-B4)to(B2-B6)	53,472	$y=8.606968x-1.861040$
(B3-B4)to(B1-B7)	53,443	$y=9.425417x-1.526943$

Πίνακας 22: Οι δείκτες και οι εξισώσεις με τις καλύτερες συσχετίσεις για τη χλωροφύλλη-α με τη χρήση του απλού γραμμικού μοντέλου για την ελληνική παράκτια θαλάσσια ζώνη, dt=0-15 ημέρες

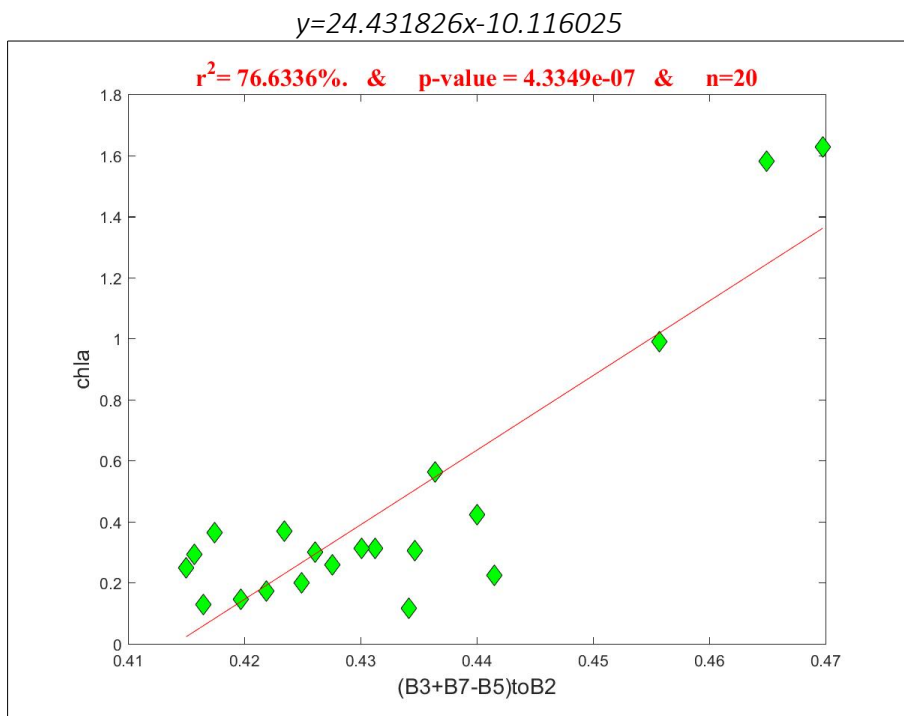
Γεωγραφική περιοχή: Σαρωνικός κόλπος

Με την απλή γραμμική παλινδρόμηση για το σύνολο των παρατηρήσεων της χλωροφύλλης-α από τους σταθμούς παρακολούθησης του Σαρωνικού κόλπου (dt=0-10 ημέρες), καθώς και για δοκιμές με μικρότερη χρονική απόκλιση μεταξύ των *in situ* και των δορυφορικών δεδομένων (dt=0-5 ημέρες και dt=0-2 ημέρες), προκύπτουν τα παρακάτω αποτελέσματα. Στον πίνακα που ακολουθεί, παρουσιάζονται όλοι οι δείκτες με R² > 40%.

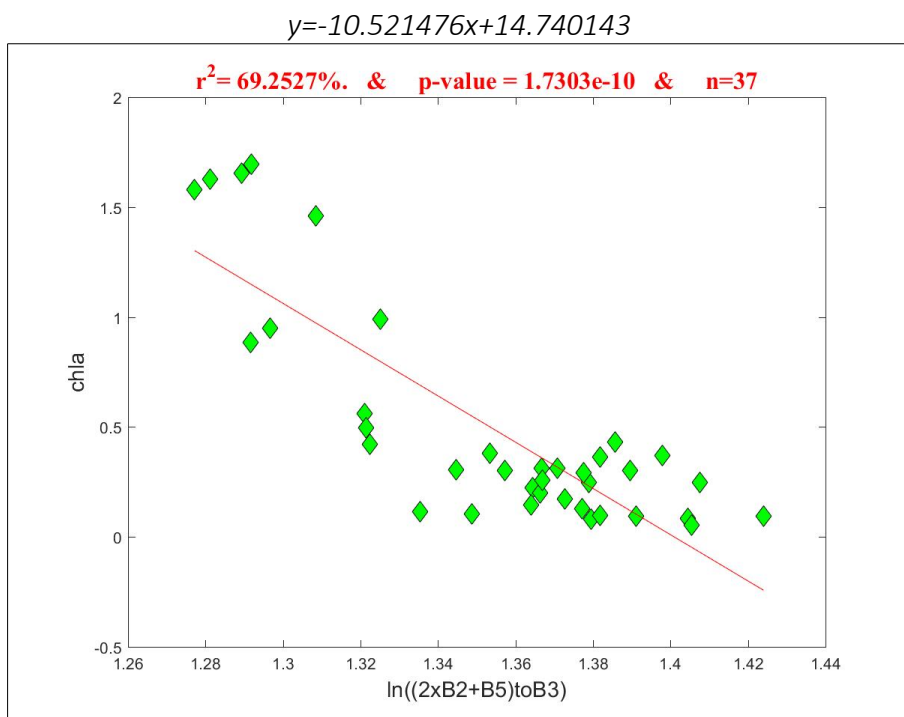
X	dt=0-2 n=20	dt=0-5 n=37	dt=0-10 n=60
(B2-B7)to(B3-B6)	68,391	59,785	30,151
(B3-B4)to(B1-B7)	60,133	38,422	33,945
(B1-B4)to(B3-B4)	66,195	51,532	32,505
(B2-B4)to(B3-B6)	51,117	61,757	18,182
(B3toB2)+B4	48,248	60,668	14,243
exp((B1+B3)toB2)	43,181	35,026	14,773
B2to(B1+B2+B3)	42,599	35,142	14,893
(B1+B5-B4)toB3	50,198	62,049	20,749
ln((B1+B5-B4)toB3)	52,642	64,258	20,562
B3toB2	52,637	63,571	15,853
(B2-B4)to(B3-B4)	75,021	62,559	35,971
exp((B2-B4)to(B3-B4))	68,032	58,235	37,081
B2toB3	49,505	60,613	16,503
B3to(B1+B2+B3)	49,925	63,013	15,163
(B2-B6)to(B3-B6)	66,163	65,957	25,421
exp(B3toB2)	53,493	64,365	15,602
ln((2xB2+B5)toB3)	67,535	69,253	28,109
(2xB2+B5)toB3	66,202	68,058	28,289
(B1-B3)toB2	40,850	57,502	12,908
exp(B2toB3)	46,613	57,817	16,810
(B3+B7-B5)toB2	76,633	63,081	50,746
(B1+B3)toB2	42,843	35,102	14,846
B3to(B2+B6-B5)	40,819	59,965	8,958
exp(B3to(B2+B6-B5))	41,857	61,135	8,486
(B3-B4)to(B2-B6)	67,597	47,433	36,879
ln((B1-B6)to(B3-B4))	61,528	42,939	33,850
ln((B2-B7)to(B3-B4))	60,503	37,615	35,588
(B3-B4)to(B1-B6)	63,585	44,064	33,839
ln((B2-B5)to(B3-B4))	73,695	60,462	29,649
(B2-B3)toB1	54,198	60,989	16,432
B3toB1	48,735	62,882	14,305
exp(B3toB1)	49,651	63,651	14,065
B1toB3	44,402	58,985	15,063
exp(B1toB3)	39,235	53,845	15,355

Πίνακας 23: Αποτελέσματα για τη χλωροφύλλη-α με τη χρήση του απλού γραμμικού μοντέλου για τον Σαρωνικό κόλπο

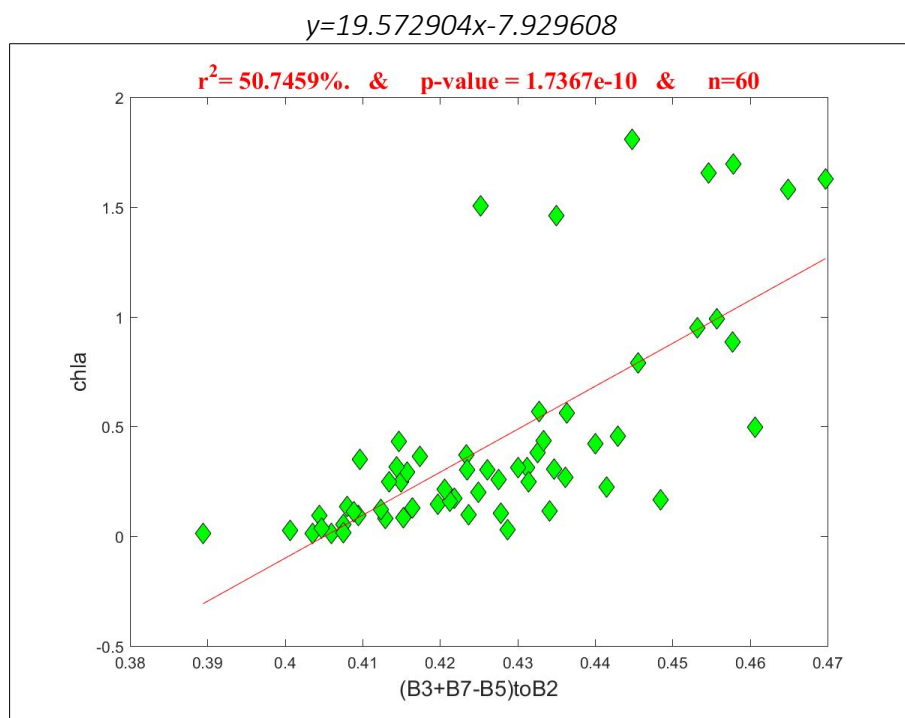
Ακολουθούν οι γραφικές παραστάσεις των μοντέλων που παρουσιάζουν τα καλύτερα αποτελέσματα για τις χρονικές αποκλίσεις που μελετήθηκαν (dt=0-2 ημέρες, dt=0-5 ημέρες και dt=0-10 ημέρες).



Εικόνα 13: Συσχέτιση χλωροφύλλης-α με τον δείκτη $(B3+B7-B5)toB2$ με τη χρήση του απλού γραμμικού μοντέλου για τον Σαρωνικό κόλπο, dt=0-2 ημέρες



Εικόνα 14: Συσχέτιση χλωροφύλλης-α με τον δείκτη $\ln((2xB2+B5)toB3)$ με τη χρήση του απλού γραμμικού μοντέλου για τον Σαρωνικό κόλπο, dt=0-5 ημέρες



Εικόνα 15: Συσχέτιση χλωροφύλλης-α με τον δείκτη (B3+B7-B5)toB2 με τη χρήση του απλού γραμμικού μοντέλου για τον Σαρωνικό κόλπο, dt=0-10 ημέρες

Τέλος, ακολουθούν οι δείκτες και οι εξισώσεις των μοντέλων που παρουσιάζουν τις καλύτερες συσχετίσεις για τις χρονικές αποκλίσεις που μελετήθηκαν (dt=0-2 ημέρες, dt=0-5 ημέρες και dt=0-10 ημέρες).

X	dt=0-2, n=20	
	R ²	y
(B3+B7-B5)toB2	76,635	$y=24.431826x-10.116025$
(B2-B4)to(B3-B4)	75,021	$y=-2.294560x+7.115989$
$\ln((B2-B5)to(B3-B4))$	73,695	$y=-7.191309x+9.735802$
(B2-B7)to(B3-B6)	68,391	$y=-5.468182x+10.819696$
$\exp((B2-B4)to(B3-B4))$	68,032	$y=-0.126000x+2.780595$
(B3-B4)to(B2-B6)	67,597	$y=27.709823x-6.321908$
$\ln((2xB2+B5)toB3)$	67,535	$y=-10.707039x+14.944985$
(2xB2+B5)toB3	66,202	$y=-2.782218x+11.228617$
(B1-B4)to(B3-B4)	66,195	$y=-1.401210x+6.241450$
(B2-B6)to(B3-B6)	66,163	$y=-5.216029x+10.186836$

Πίνακας 24: Οι δείκτες και οι εξισώσεις με τις καλύτερες συσχετίσεις για τη χλωροφύλλη-α με τη χρήση του απλού γραμμικού μοντέλου για τον Σαρωνικό κόλπο, dt=0-2 ημέρες

X	dt=0-5, n=37	
	R ²	y
ln((2xB2+B5)toB3)	69,253	$y=-10.521476x+14.740143$
(2xB2+B5)toB3	68,058	$y=-2.713869x+11.012577$
(B2-B6)to(B3-B6)	65,957	$y=-4.820552x+9.549382$
exp(B3toB2)	64,365	$y=8.113582x-13.714605$
ln((B1+B5-B4)toB3)	64,258	$y=-6.552424x+5.051313$
exp(B3toB1)	63,651	$y=9.833603x-14.708218$
B3toB2	63,571	$y=14.214131x-7.464787$
(B3+B7-B5)toB2	63,081	$y=22.684773x-9.291942$
B3to(B1+B2+B3)	63,013	$y=45.627198x-8.477391$
B3toB1	62,882	$y=15.213280x-6.128359$

Πίνακας 25: Οι δείκτες και οι εξισώσεις με τις καλύτερες συσχετίσεις για τη χλωροφύλλη-α με τη χρήση του απλού γραμμικού μοντέλου για τον Σαρωνικό κόλπο, dt=0-5 ημέρες

Τα αποτελέσματα των συσχετίσεων για τη χρονική απόκλιση μεταξύ των *in situ* και των δορυφορικών δεδομένων dt=0-10 ημέρες, δεν είναι ικανοποιητικά καθώς οι τιμές R² είναι πολύ μικρές και δεν ξεπερνούν το 50%. Μοναδική εξαίρεση παρουσιάζει ο δείκτης (B3+B7-B5)toB2 με συσχέτιση R²=50,746% και εξίσωση $y=19.572904x-7.929608$.

5.1.2 Αποτελέσματα με τη χρήση του εκθετικού μοντέλου

Γεωγραφική περιοχή: Ελληνική παράκτια θαλάσσια ζώνη

Με την εκθετική παλινδρόμηση για το σύνολο των παρατηρήσεων της χλωροφύλλης-α από τους σταθμούς παρακολούθησης της ελληνικής παράκτιας θαλάσσιας ζώνης (dt=0-15 ημέρες), καθώς και για δοκιμές με μικρότερη χρονική απόκλιση μεταξύ των *in situ* και των δορυφορικών δεδομένων (dt=0-10 ημέρες και dt=0-5 ημέρες), προκύπτουν τα παρακάτω αποτελέσματα. Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται όλοι οι δείκτες με R²> 40%.

X	dt=0-5 n=36	dt=0-10 n=65	dt=0-15 n=78
B2-B3	57,773	47,195	38,439
(B2-B7)to(B3-B6)	89,409	78,709	69,490
(B3-B4)to(B1-B7)	76,643	73,256	55,157
B4-B7	85,413	46,158	15,856
B3+B4-B5	80,062	44,528	32,703
B3+B4-B6	88,981	47,346	31,030
B3+B4-B7	90,848	51,550	29,798

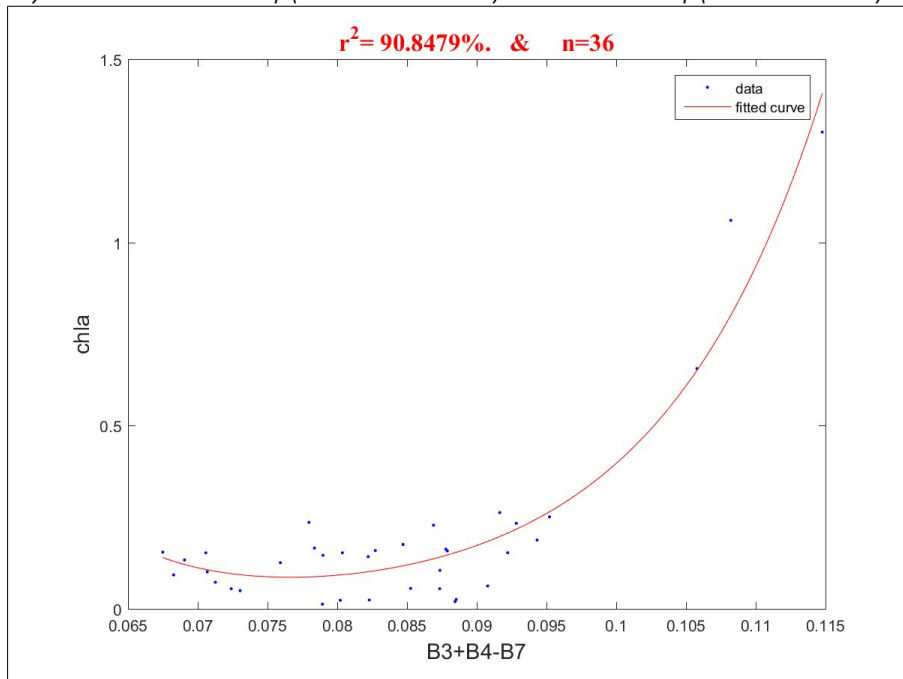
$(B1-B4)to(B3-B4)$	85,935	81,001	61,019
$(B2-B4)to(B3-B6)$	77,775	71,648	54,389
B3-B7	88,349	52,486	35,252
B3+B7	63,715	43,525	21,035
B3-B6	83,581	50,932	39,096
B3+B6	60,271	43,806	18,923
$(B3toB2)+B4$	85,648	74,383	38,158
$exp((B1+B3)toB2)$	52,730	40,515	40,412
B3+B4	85,940	50,355	22,736
$(B3+B4)to2$	85,940	50,355	22,736
$B2to(B1+B2+B3)$	51,705	40,415	40,286
$(B1+B5-B4)toB3$	84,405	77,218	50,502
$ln((B1+B5-B4)toB3)$	83,509	76,645	50,333
B3toB2	84,620	76,773	45,208
$(B2-B4)to(B3-B4)$	88,915	83,062	67,460
$exp((B2-B4)to(B3-B4))$	88,096	83,693	67,640
B2toB3	85,379	77,410	45,630
$B3to(B1+B2+B3)$	86,212	76,105	42,213
$(B2-B6)to(B3-B6)$	85,058	82,916	66,016
$exp(B3toB2)$	84,729	80,222	45,525
$ln((2xB2+B5)toB3)$	83,405	80,870	64,693
$(2xB2+B5)toB3$	83,780	80,069	64,279
$(B1-B3)toB2$	86,175	71,521	36,969
$(B2-B4)toB3$	85,695	59,645	25,873
$exp(B2toB3)$	87,001	77,865	45,737
$(B1+B6)toB4$	82,095	44,329	13,798
$ln((B1+B6)toB4)$	81,976	44,009	13,826
$(B3+B7-B5)toB2$	60,717	57,602	52,139
$(B1+B3)toB2$	51,703	40,462	40,221
$B3to(B2+B6-B5)$	86,169	70,571	34,019
$exp(B3to(B2+B6-B5))$	85,542	70,265	34,709
B3+B5-B4	83,115	52,085	26,440
$(B3-B4)to(B2-B6)$	73,749	74,270	56,965
$ln((B1-B6)to(B3-B4))$	76,937	75,360	55,793
$ln((B2-B7)to(B3-B4))$	72,842	71,116	56,028
$(B3-B4)to(B1-B6)$	76,599	75,217	55,803
$ln((B2-B5)to(B3-B4))$	88,575	85,325	62,211
$ln((B1-B7)to(B2-B6))$	82,315	43,149	35,482
$(B2-B6)to(B1-B7)$	82,020	51,009	35,309

$\exp(B1to(B2+B3+B4))$	82,542	62,273	22,268
B3-B4	77,295	58,945	49,443
$(B2-B3)toB1$	82,215	77,561	48,250
$(B1-B3)toB4$	87,395	53,830	16,751
$(B3+B4)to(B1+B2)$	86,451	60,028	23,915
B1-B3	70,771	60,765	37,519
B3toB1	86,188	74,710	39,920
$\exp(B3toB1)$	85,602	76,788	39,729
B1toB3	87,128	75,788	40,408
$\exp(B1toB3)$	87,698	76,728	40,699
_B3REF	84,736	50,542	31,531

Πίνακας 26: Αποτελέσματα για τη χλωροφύλλη-α με τη χρήση του εκθετικού μοντέλου για την ελληνική παράκτια θαλάσσια ζώνη

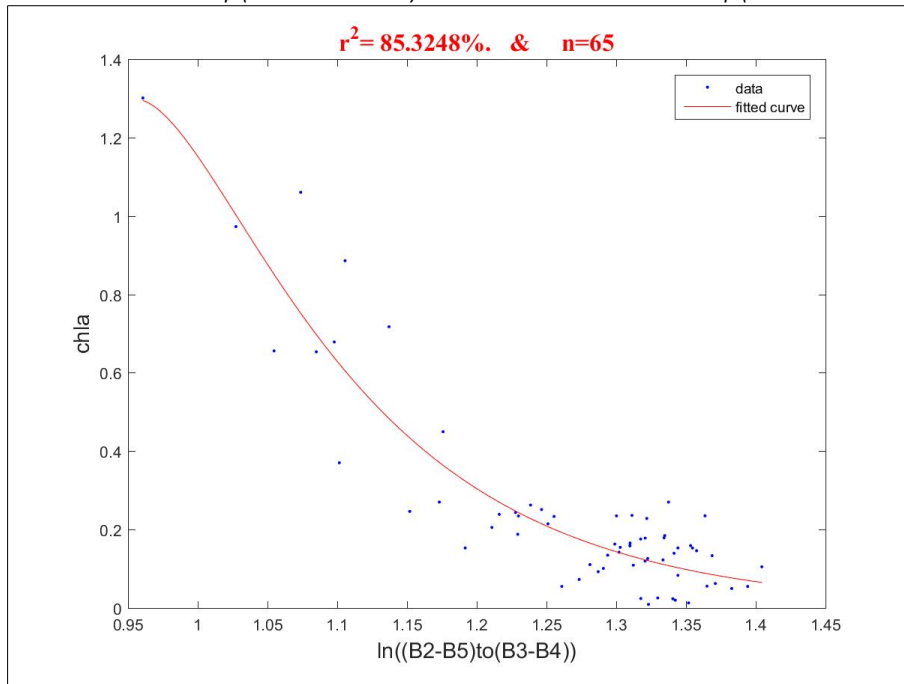
Ακολουθούν οι γραφικές παραστάσεις των μοντέλων που παρουσιάζουν τα καλύτερα αποτελέσματα για τις χρονικές αποκλίσεις που μελετήθηκαν (dt=0-5 ημέρες, dt=0-10 ημέρες και dt=0-15 ημέρες).

$$y=1183.141872*\exp(-136.815219*x)+0.000074*\exp(85.860277*x)$$



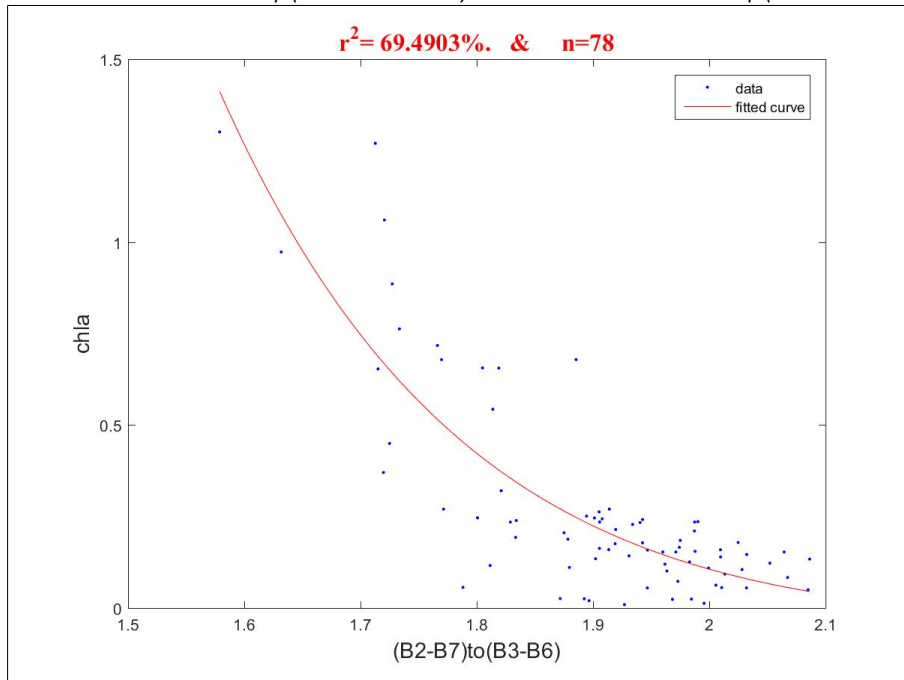
Εικόνα 16: Συσχέτιση χλωροφύλλης-α με τον δείκτη B3+B4-B7 με τη χρήση του εκθετικού μοντέλου για την ελληνική παράκτια θαλάσσια ζώνη, dt=0-5 ημέρες

$$y=2799.464877*\exp(-7.597363*x)-859187485.717081*\exp(-21.946480*x)$$



Εικόνα 17: Συσχέτιση χλωροφύλλης-α με τον δείκτη $\ln((B2-B5)to(B3-B4))$ με τη χρήση του εκθετικού μοντέλου για την ελληνική παράκτια θαλάσσια ζώνη, $dt=0-10$ ημέρες

$$y=-2635632.468653*\exp(-3.471457*x)+2636829.933397*\exp(-3.471663*x)$$



Εικόνα 18: Συσχέτιση χλωροφύλλης-α με τον δείκτη $(B2-B7)to(B3-B6)$ με τη χρήση του εκθετικού μοντέλου για την ελληνική παράκτια θαλάσσια ζώνη, $dt=0-15$ ημέρες

Τέλος, ακολουθούν οι δείκτες και οι εξισώσεις των μοντέλων που παρουσιάζουν τις καλύτερες συσχετίσεις για τις χρονικές αποκλίσεις που μελετήθηκαν (dt=0-5 ημέρες, dt=0-10 ημέρες και dt=0-15 ημέρες).

X	dt=0-5, n=36	
	R ²	γ
B3+B4-B7	90,848	$\gamma=1183.141872*\exp(-136.815219*x)+0.000074*\exp(85.860277*x)$
B3+B4-B6	88,981	$\gamma=37980.065116*\exp(-190.687162*x)+0.000099*\exp(85.865457*x)$
(B2-B4)to(B3-B4)	88,915	$\gamma=-28155723780.716011*\exp(-11.419076*x)+2272.128091*\exp(-3.267543*x)$
ln((B2-B5)to(B3-B4))	88,575	$\gamma=-620800855.251642*\exp(-21.301777*x)+5209.496979*\exp(-8.135370*x)$
B3-B7	88,349	$\gamma=3299107123.053851*\exp(-554.152389*x)+0.000310*\exp(116.549480*x)$
exp((B2-B4)to(B3-B4))	88,096	$\gamma=7.509957*\exp(-0.208189*x)+0.000077*\exp(0.252788*x)$
exp(B1toB3)	87,698	$\gamma=105.570962*\exp(-0.734757*x)+0.013544*\exp(0.153870*x)$
(B1-B3)toB4	87,395	$\gamma=705.328729*\exp(-4.462204*x)+0.031340*\exp(0.456280*x)$
B1toB3	87,128	$\gamma=7515.248933*\exp(-4.824773*x)+0.000003*\exp(3.955907*x)$
exp(B2toB3)	87,001	$\gamma=0.000059*\exp(0.991793*x)+846.377703*\exp(-1.450251*x)$

Πίνακας 27: Οι δείκτες και οι εξισώσεις με τις καλύτερες συσχετίσεις για τη χλωροφύλλη-α με τη χρήση του εκθετικού μοντέλου για την ελληνική παράκτια θαλάσσια ζώνη, dt=0-5 ημέρες

X	dt=0-10, n=65	
	R ²	γ
ln((B2-B5)to(B3-B4))	85,325	$\gamma=2799.464877*\exp(-7.597363*x)-859187485.717081*\exp(-21.946480*x)$
exp((B2-B4)to(B3-B4))	83,693	$\gamma=8.590880*\exp(-0.237175*x)+0.019126*\exp(0.057323*x)$
(B2-B4)to(B3-B4)	83,062	$\gamma=-61894.010610*\exp(-1.812092*x)+62012.298375*\exp(-1.812552*x)$
(B2-B6)to(B3-B6)	82,915	$\gamma=160289.914050*\exp(-7.301732*x)-23778510811331.840000*\exp(-20.150598*x)$
(B1-B4)to(B3-B4)	81,001	$\gamma=105.817308*\exp(-1.589145*x)+0.000000*\exp(2.873312*x)$
(B2-B7)to(B3-B6)	78,709	$\gamma=47084.351665*\exp(-3.732175*x)-45465.177405*\exp(-3.716645*x)$
exp(B2toB3)	77,865	$\gamma=13805.171505*\exp(-1.146991*x)-13469.942995*\exp(-1.145195*x)$
(B2-B3)toB1	77,561	$\gamma=-530901293.708481*\exp(-48.124040*x)+520565908.185008*\exp(-48.047465*x)$
B2toB3	77,410	$\gamma=29391.991748*\exp(-6.655355*x)+0.000000*\exp(10.777526*x)$
(B1+B5-B4)toB3	77,218	$\gamma=2915.390656*\exp(-4.894101*x)+0.000000*\exp(6.962031*x)$

Πίνακας 28: Οι δείκτες και οι εξισώσεις με τις καλύτερες συσχετίσεις για τη χλωροφύλλη-α με τη χρήση του εκθετικού μοντέλου για την ελληνική παράκτια θαλάσσια ζώνη, dt=0-10 ημέρες

X	dt=0-15, n=78	
	R ²	γ
(B2-B7)to(B3-B6)	69,490	$\gamma = -2635632.468653 * \exp(-3.471457 * x) + 2636829.933397 * \exp(-3.471663 * x)$
exp((B2-B4)to(B3-B4))	67,640	$\gamma = 6.997215 * \exp(-0.212286 * x) + 0.017262 * \exp(0.057008 * x)$
(B2-B4)to(B3-B4)	67,460	$\gamma = 673.108243 * \exp(-2.779055 * x) - 60189.576996 * \exp(-5.390837 * x)$
(B2-B6)to(B3-B6)	66,016	$\gamma = -1383249.688165 * \exp(-3.518618 * x) + 1384310.852690 * \exp(-3.518970 * x)$
(2xB2+B5)toB3	64,279	$\gamma = -484505.338245 * \exp(-2.044670 * x) + 488820.884742 * \exp(-2.046650 * x)$
(B1-B4)to(B3-B4)	61,019	$\gamma = -1702.149075 * \exp(-1.723600 * x) + 1683.894203 * \exp(-1.690243 * x)$
(B3-B4)to(B2-B6)	56,965	$\gamma = 0.011116 * \exp(36.580046 * x) - 0.011029 * \exp(36.602116 * x)$
ln((B2-B7)to(B3-B4))	56,028	$\gamma = 262593.081343 * \exp(-9.294863 * x) - 1345730.689393 * \exp(-10.880540 * x)$
(B3-B4)to(B1-B6)	55,803	$\gamma = 0.020161 * \exp(15.730785 * x) - 0.324816 * \exp(-2.837210 * x)$
(B3-B4)to(B1-B7)	55,157	$\gamma = 0.048715 * \exp(38.669036 * x) - 0.048295 * \exp(38.698529 * x)$

Πίνακας 29: Οι δείκτες και οι εξισώσεις με τις καλύτερες συσχετίσεις για τη χλωροφύλλη-α με τη χρήση του εκθετικού μοντέλου για την ελληνική παράκτια θαλάσσια ζώνη, dt=0-15 ημέρες

Γεωγραφική περιοχή: Σαρωνικός κόλπος

Με την εκθετική παλινδρόμηση για το σύνολο των παρατηρήσεων της χλωροφύλλης-α από τους σταθμούς παρακολούθησης του Σαρωνικού κόλπου (dt=0-10 ημέρες), καθώς και για δοκιμές με μικρότερη χρονική απόκλιση μεταξύ των *in situ* και των δορυφορικών δεδομένων (dt=0-5 ημέρες και dt=0-2 ημέρες), προκύπτουν τα παρακάτω αποτελέσματα. Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται όλοι οι δείκτες με R²> 40%.

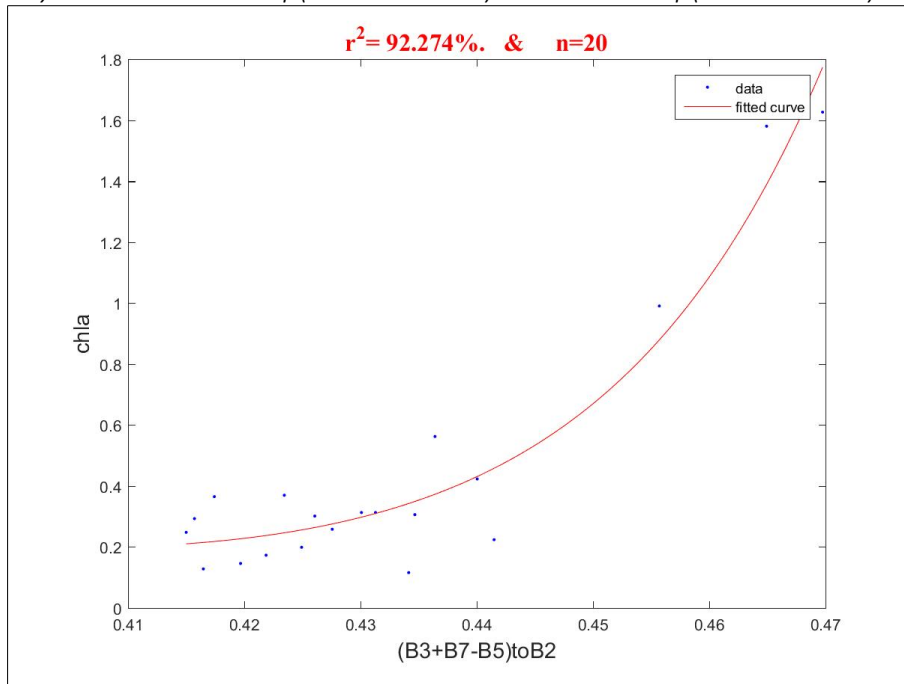
X	dt=0-2 n=20	dt=0-5 n=37	dt=0-10 n=60
(B2-B7)to(B3-B6)	85,255	69,045	56,098
(B3-B4)to(B1-B7)	70,486	42,402	33,679
(B1-B4)to(B3-B4)	78,222	59,275	45,866
(B2-B4)to(B3-B6)	79,425	80,893	36,495
(B3toB2)+B4	69,465	74,983	24,703
(B1+B5-B4)toB3	82,212	78,444	30,710
ln((B1+B5-B4)toB3)	82,302	78,248	30,340
B3toB2	70,769	78,080	29,203
(B2-B4)to(B3-B4)	90,469	68,615	56,193
exp((B2-B4)to(B3-B4))	91,385	67,933	57,075
B2toB3	71,197	78,268	16,981
B3to(B1+B2+B3)	70,632	74,445	25,620
(B2-B6)to(B3-B6)	87,798	78,082	53,580
exp(B3toB2)	69,543	77,756	28,925

$\ln((2 \times B2 + B5) \text{ to } B3)$	86,939	82,812	48,540
$(2 \times B2 + B5) \text{ to } B3$	87,535	82,675	49,006
$(B1 - B3) \text{ to } B2$	66,662	64,355	19,218
$\exp(B2 \text{ to } B3)$	72,290	78,385	29,618
$(B3 + B7 - B5) \text{ to } B2$	92,274	67,260	54,125
$B3 \text{ to } (B2 + B6 - B5)$	61,986	76,828	21,963
$\exp(B3 \text{ to } (B2 + B6 - B5))$	60,273	75,882	21,739
$(B3 - B4) \text{ to } (B2 - B6)$	82,838	50,197	35,793
$\ln((B1 - B6) \text{ to } (B3 - B4))$	72,135	49,028	33,855
$\ln((B2 - B7) \text{ to } (B3 - B4))$	74,000	41,033	35,633
$(B3 - B4) \text{ to } (B1 - B6)$	77,458	49,119	30,719
$\ln((B2 - B5) \text{ to } (B3 - B4))$	87,950	65,293	44,818
$(B2 - B3) \text{ to } B1$	64,832	70,816	33,109
$B3 \text{ to } B1$	71,180	71,261	23,061
$\exp(B3 \text{ to } B1)$	71,499	69,961	22,758
$B1 \text{ to } B3$	77,353	71,702	23,915
$\exp(B1 \text{ to } B3)$	77,849	72,525	15,362

Πίνακας 30: Αποτελέσματα για τη χλωροφύλλη-α με τη χρήση του εκθετικού μοντέλου για τον Σαρωνικό κόλπο

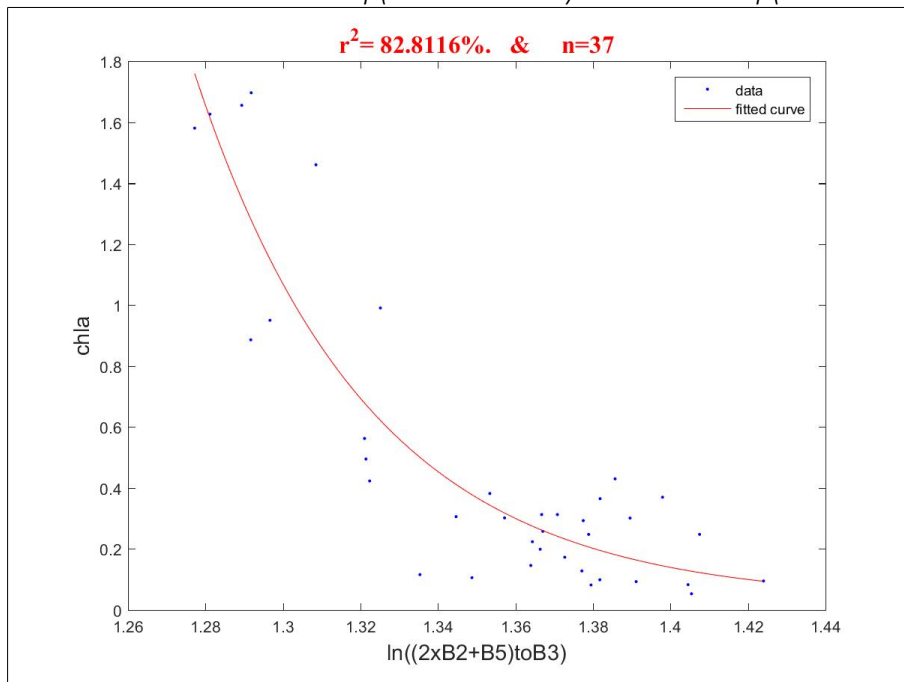
Ακολουθούν οι γραφικές παραστάσεις των μοντέλων που παρουσιάζουν τα καλύτερα αποτελέσματα για τις χρονικές αποκλίσεις που μελετήθηκαν ($dt=0-2$ ημέρες, $dt=0-5$ ημέρες και $dt=0-10$ ημέρες).

$$y=1052.828504*\exp(-22.049833*x)+0.000000*\exp(52.400016*x)$$



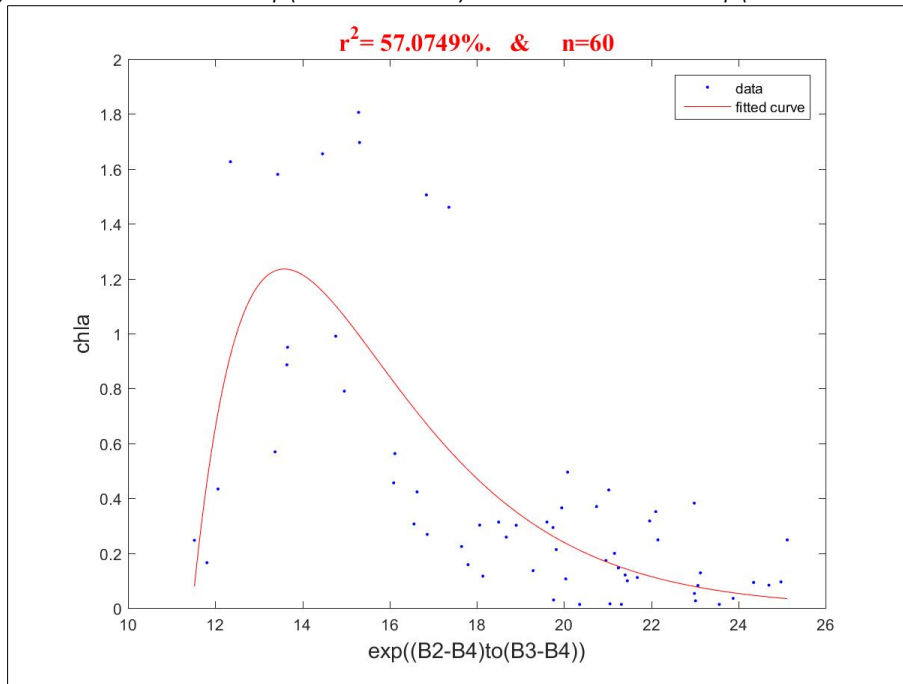
Εικόνα 19: Συσχέτιση χλωροφύλλης-α με τον δείκτη $(B3+B7-B5)toB2$ με τη χρήση του εκθετικού μοντέλου για τον Σαρωνικό κόλπο, $dt=0-2$ ημέρες

$$y=3747678820686.012700*\exp(-22.235169*x)+0.001535*\exp(2.028381*x)$$



Εικόνα 20: Συσχέτιση χλωροφύλλης-α με τον δείκτη $\ln((2xB2+B5)toB3)$ με τη χρήση του εκθετικού μοντέλου για τον Σαρωνικό κόλπο, $dt=0-5$ ημέρες

$$y=155642.098732*\exp(-0.472165*x)-159800.010049*\exp(-0.474462*x)$$



Εικόνα 21: Συσχέτιση χλωροφύλλης-α με τον δείκτη $\exp((B2-B4)to(B3-B4))$ με τη χρήση του εκθετικού μοντέλου για τον Σαρωνικό κόλπο, $dt=0-10$ ημέρες

Τέλος, ακολουθούν οι δείκτες και οι εξισώσεις των μοντέλων που παρουσιάζουν τις καλύτερες συσχετίσεις για τις χρονικές αποκλίσεις που μελετήθηκαν ($dt=0-2$ ημέρες, $dt=0-5$ ημέρες και $dt=0-10$ ημέρες).

X	dt=0-2, n=20	
	R ²	γ
(B3+B7-B5)toB2	92,274	$y=1052.828504*\exp(-22.049833*x)+0.000000*\exp(52.400016*x)$
$\exp((B2-B4)to(B3-B4))$	91,385	$y=91.131652*\exp(-0.317980*x)+0.000365*\exp(0.261158*x)$
(B2-B4)to(B3-B4)	90,469	$y=136149.461053*\exp(-4.465343*x)+0.000000*\exp(6.868882*x)$
$\ln((B2-B5)to(B3-B4))$	87,950	$y=47043818.447956*\exp(-8.750838*x)-46806409.721585*\exp(-8.747383*x)$
(B2-B6)to(B3-B6)	87,798	$y=215860138368.602660*\exp(-14.949004*x)+0.000309*\exp(3.292766*x)$
(2xB2+B5)toB3	87,535	$y=339921123209.965640*\exp(-7.275291*x)+0.000421*\exp(1.467339*x)$
(B2-B7)to(B3-B6)	85,255	$y=3520433761.027345*\exp(-12.320295*x)+0.000003*\exp(5.407485*x)$
$\ln((B1+B5-B4)toB3)$	82,302	$y=929675985553080.370000*\exp(-57.926521*x)+4.382255*\exp(-3.743267*x)$
(B1+B5-B4)toB3	82,212	$y=7672070457844.023400*\exp(-16.209251*x)+0.019806*\exp(1.247647*x)$
(B2-B4)to(B3-B6)	79,425	$y=148694173.626919*\exp(-15.611186*x)+0.000000*\exp(9.997026*x)$

Πίνακας 31: Οι δείκτες και οι εξισώσεις με τις καλύτερες συσχετίσεις για τη χλωροφύλλη-α με τη χρήση του εκθετικού μοντέλου για τον Σαρωνικό κόλπο, $dt=0-2$ ημέρες

X	dt=0-5, n=37	
	R ²	γ
ln((2xB2+B5)toB3)	82,812	$\gamma=3747678820686.012700*\exp(-22.235169*x)+0.001535*\exp(2.028381*x)$
(2xB2+B5)toB3	82,675	$\gamma=0.000000*\exp(-17.613171*x)+1787819500.158473*\exp(-5.784392*x)$
(B2-B4)to(B3-B6)	80,893	$\gamma=11216446.870936*\exp(-13.336026*x)+0.000191*\exp(4.512413*x)$
(B1+B5-B4)toB3	78,444	$\gamma=652486.448992*\exp(-7.231360*x)+0.000000*\exp(8.394526*x)$
exp(B2toB3)	78,385	$\gamma=223489.369385*\exp(-2.317958*x)+0.000719*\exp(0.807360*x)$
B2toB3	78,268	$\gamma=573107413.327322*\exp(-12.065035*x)+0.000001*\exp(6.401128*x)$
ln((B1+B5-B4)toB3)	78,248	$\gamma=3866.426855*\exp(-13.422966*x)+0.000000*\exp(22.025635*x)$
(B2-B6)to(B3-B6)	78,082	$\gamma=-297947070.034959*\exp(-7.986142*x)+303693020.497380*\exp(-7.994280*x)$
B3toB2	78,080	$\gamma=24312.044550*\exp(-23.543930*x)+0.000000*\exp(33.405670*x)$
exp(B3toB2)	77,756	$\gamma=0.006155*\exp(1.563331*x)+0.000000*\exp(19.376293*x)$

Πίνακας 32: Οι δείκτες και οι εξισώσεις με τις καλύτερες συσχετίσεις για τη χλωροφύλλη-α με τη χρήση του εκθετικού μοντέλου για τον Σαρωνικό κόλπο, dt=0-5 ημέρες

Τα αποτελέσματα των συσχετίσεων για τη χρονική απόκλιση μεταξύ των *in situ* και των δορυφορικών δεδομένων dt=0-10 ημέρες, δεν είναι ικανοποιητικά καθώς οι τιμές R² είναι πολύ μικρές και ελάχιστοι δείκτες ξεπερνούν το 50%.

5.2 Διαλυμένο Οξυγόνο

Σε αυτή την παράγραφο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για το διαλυμένο οξυγόνο. Για την ανάπτυξη των μοντέλων χρησιμοποιήθηκε η απλή γραμμική παλινδρόμηση και η εκθετική παλινδρόμηση. Πραγματοποιήθηκαν πολυάριθμες δοκιμές αναλόγως τη γεωγραφική περιοχή και τη χρονική απόκλιση μεταξύ δειγματοληψίας και δορυφορικής λήψης.

5.2.1 Αποτελέσματα με τη χρήση του απλού γραμμικού μοντέλου

Γεωγραφική περιοχή: Ελληνική παράκτια θαλάσσια ζώνη

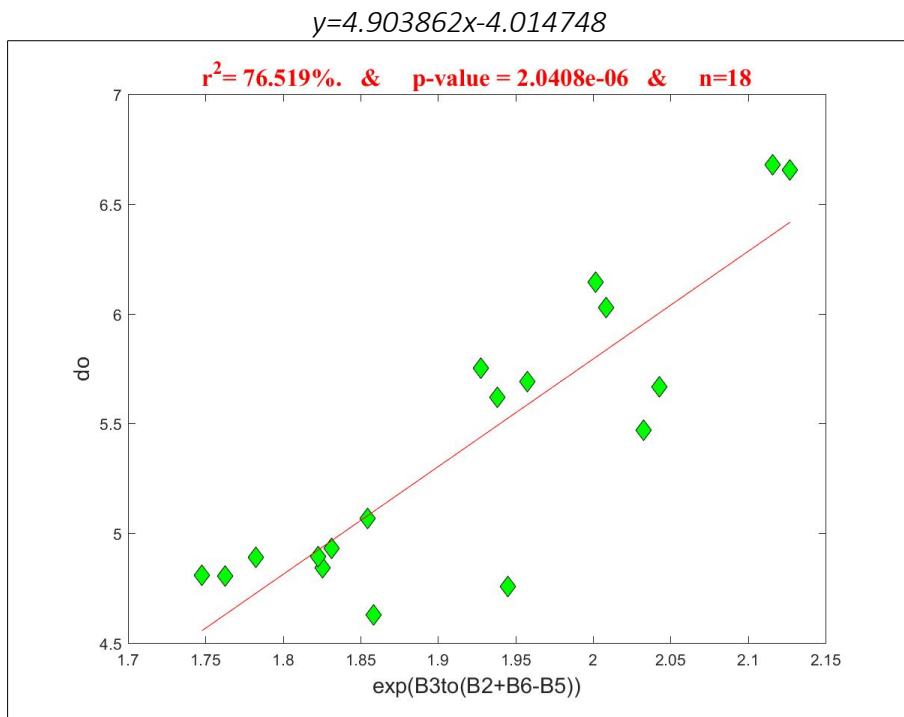
Με την απλή γραμμική παλινδρόμηση για το σύνολο των παρατηρήσεων του διαλυμένου οξυγόνου από τους σταθμούς παρακολούθησης της ελληνικής παράκτιας θαλάσσιας ζώνης (dt=0-10 ημέρες), καθώς και για δοκιμές με μικρότερη χρονική απόκλιση μεταξύ των *in situ* και των δορυφορικών δεδομένων (dt=0-5 ημέρες και dt=0-2 ημέρες), προκύπτουν τα παρακάτω αποτελέσματα. Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται όλοι οι δείκτες με R² > 40%.

X	dt=0-2 n=18	dt=0-5 n=50	dt=0-10 n=73
B2toB4	58,750	50,049	30,966
B4toB2	61,548	54,188	34,545
(B4toB2^2)	70,773	53,613	29,693
(B1-B4)to(B1+B4)	59,413	53,963	31,829
exp(B4to(B2+B6))	70,273	62,543	45,065
exp((B1-B7)to(B2-B4))	76,475	62,073	53,865
(B2-B7)to(B3-B6)	59,675	55,988	33,435
B4-B7	54,866	48,239	33,446
exp(B4toB2)	61,895	54,776	35,080
B3+B4-B6	59,623	41,349	24,173
B3+B4-B7	58,013	41,619	24,425
exp(B4to(B2+B7))	68,793	61,553	43,643
B4to(B2+B6)	69,869	61,951	44,356
exp(B4to(B2+B5))	68,999	57,503	37,725
(B2-B4)to(B3-B6)	73,203	69,989	46,787
B3-B7	65,103	41,439	22,586
(B3toB2)+B4	71,905	64,963	36,783
B4to(B1+B2+B3)	55,732	50,573	31,045
exp((B1+B3)toB2)	55,413	44,793	35,876
B2to(B1+B2+B3)	55,454	44,315	35,116
(B1+B5-B4)toB3	66,776	59,743	29,315
ln((B1+B5-B4)toB3)	68,319	61,483	29,935
B3toB2	70,439	65,468	36,616
B2toB3	68,484	63,133	34,768
B3to(B1+B2+B3)	68,713	63,932	32,973
(B2-B6)to(B3-B6)	66,982	63,116	37,389
exp(B3toB2)	70,865	65,961	37,119
ln((2xB2+B5)toB3)	63,173	58,023	30,426
(2xB2+B5)toB3	62,905	57,507	30,039
(B1-B3)toB2	63,689	59,131	26,313
(B2-B4)toB3	69,460	61,926	37,085
exp(B2toB3)	66,242	60,365	33,019
(B1+B6)toB4	62,126	55,263	34,303
ln((B1+B6)toB4)	64,073	57,846	36,546
(B1+B3)toB2	55,443	44,522	35,439
B4to(B1+B6)	65,727	60,197	38,716
exp(B4to(B1+B6))	66,076	60,723	39,229

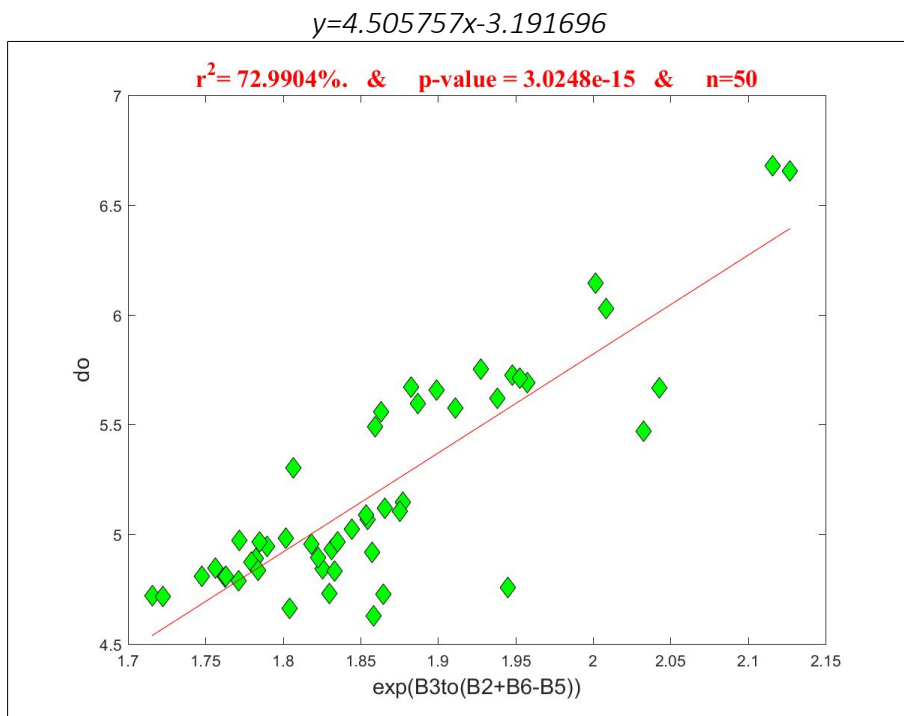
$B4_{to}(B2+B5)$	68,605	57,001	37,266
$B3_{to}(B2+B6-B5)$	75,553	72,213	47,897
$exp(B3_{to}(B2+B6-B5))$	76,519	72,990	49,029
$exp(B4_{to}(B1+B7))$	65,005	60,036	38,398
$exp(B1_{to}(B2+B3+B4))$	61,513	56,783	28,315
$exp((B1-B6)_{to}(B2-B4))$	76,369	60,856	53,886
$exp((B2-B6)_{to}(B2-B4))$	75,905	71,476	58,326
$exp((B2-B7)_{to}(B2-B4))$	74,893	70,325	55,996
$(B2-B3)_{to}B1$	70,825	65,153	41,189
$exp(B2_{to}B4)$	52,819	42,608	25,009
$(B1-B3)_{to}B4$	62,136	55,191	30,705
$(B3+B4)_{to}(B1+B2)$	70,357	63,929	36,595
$B3_{to}B1$	67,905	63,316	30,929
$exp(B3_{to}B1)$	68,439	63,886	31,189
$B1_{to}B3$	64,976	60,129	29,629
$exp(B1_{to}B3)$	60,751	55,486	27,823
$B4_{to}(B1+B2+B3)$	55,732	50,573	31,046
$(B5-B7)_{to}(B2-B4)$	57,873	60,519	46,515
$exp((B5-B7)_{to}(B2-B4))$	57,369	60,619	47,133
$(B5-B7)_{to}(B1-B4)$	56,346	60,428	44,813
$exp((B5-B7)_{to}(B1-B4))$	55,968	60,479	45,228
$(B2_{to}B4)+B2$	59,265	50,573	31,301
$(B2_{to}B4)+B4$	58,905	50,173	31,042
$(B2_{to}B4)-B2$	58,231	49,515	30,620
$(B2_{to}B4)-B4$	58,598	49,926	30,895

Πίνακας 33: Αποτελέσματα για το διαλυμένο οξυγόνο με τη χρήση του απλού γραμμικού μοντέλου για την ελληνική παράκτια θαλάσσια ζώνη

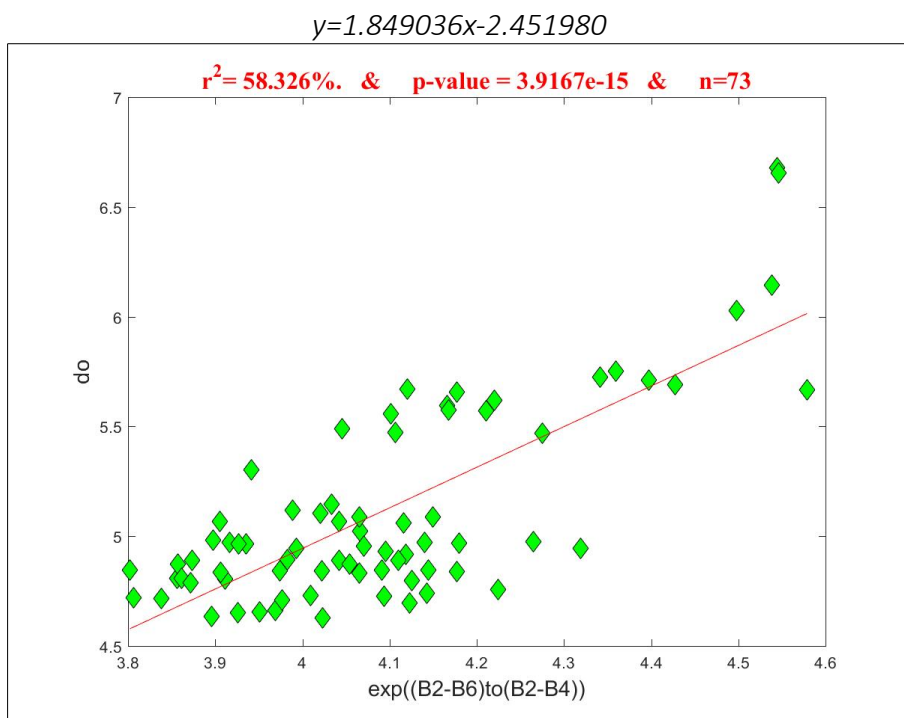
Ακολουθούν οι γραφικές παραστάσεις των μοντέλων που παρουσιάζουν τα καλύτερα αποτελέσματα για τις χρονικές αποκλίσεις που μελετήθηκαν ($dt=0-2$ ημέρες, $dt=0-5$ ημέρες και $dt=0-10$ ημέρες).



Εικόνα 22: Συσχέτιση διαλυμένου οξυγόνου με τον δείκτη $\text{exp}(B3\text{to}(B2+B6-B5))$ με τη χρήση του απλού γραμμικού μοντέλου για την ελληνική παράκτια θαλάσσια ζώνη, $dt=0-2$ ημέρες



Εικόνα 23: Συσχέτιση διαλυμένου οξυγόνου με τον δείκτη $\text{exp}(B3\text{to}(B2+B6-B5))$ με τη χρήση του απλού γραμμικού μοντέλου για την ελληνική παράκτια θαλάσσια ζώνη, $dt=0-5$ ημέρες



Εικόνα 24: Συσχέτιση διαλυμένου οξυγόνου με τον δείκτη $\exp((B2-B6)to(B2-B4))$ με τη χρήση του απλού γραμμικού μοντέλου για την ελληνική παράκτια θαλάσσια ζώνη, $dt=0-10$ ημέρες

Τέλος, ακολουθούν οι δείκτες και οι εξισώσεις των μοντέλων που παρουσιάζουν τις καλύτερες συσχετίσεις για τις χρονικές αποκλίσεις που μελετήθηκαν ($dt=0-2$ ημέρες, $dt=0-5$ ημέρες και $dt=0-10$ ημέρες).

X	dt=0-2, n=18	
	R ²	γ
$\exp(B3to(B2+B6-B5))$	76,519	$y=4.903862x-4.014748$
$\exp((B1-B7)to(B2-B4))$	76,475	$y=1.307121x-3.159731$
$\exp((B1-B6)to(B2-B4))$	76,369	$y=1.522609x-4.291055$
$\exp((B2-B6)to(B2-B4))$	75,905	$y=2.153709x-3.667009$
$B3to(B2+B6-B5)$	75,553	$y=9.394841x-0.711359$
$\exp((B2-B7)to(B2-B4))$	74,893	$y=1.836131x-2.553652$
$(B2-B4)to(B3-B6)$	73,203	$y=-3.980893x+10.504068$
$(B3toB2)+B4$	71,905	$y=13.170741x-2.523826$
$(B2-B3)toB1$	70,825	$y=-21.095801x+12.531203$
$(B4toB2^2)$	70,773	$y=1.973386x-1.159962$

Πίνακας 34: Οι δείκτες και οι εξισώσεις με τις καλύτερες συσχετίσεις για το διαλυμένο οξυγόνο με τη χρήση του απλού γραμμικού μοντέλου για την ελληνική παράκτια θαλάσσια ζώνη, $dt=0-2$

X	dt=0-5, n=50	
	R ²	y
exp(B3to(B2+B6-B5))	72,990	y=4.505757x-3.191696
B3to(B2+B6-B5)	72,213	y=8.524364x-0.090906
exp((B2-B6)to(B2-B4))	71,476	y=1.955279x-2.787116
exp((B2-B7)to(B2-B4))	70,325	y=1.635743x-1.664422
(B2-B4)to(B3-B6)	69,989	y=-3.596353x+10.075331
exp(B3toB2)	65,961	y=7.144473x-7.168358
B3toB2	65,468	y=12.521569x-1.665556
(B2-B3)toB1	65,153	y=-19.041106x+11.907007
(B3toB2)+B4	64,963	y=11.250245x-1.325805
B3to(B1+B2+B3)	63,932	y=38.953076x-2.345128

Πίνακας 35: Οι δείκτες και οι εξισώσεις με τις καλύτερες συσχετίσεις για το διαλυμένο οξυγόνο με τη χρήση του απλού γραμμικού μοντέλου για την ελληνική παράκτια θαλάσσια ζώνη, dt=0-5

X	dt=0-10, n=73	
	R ²	y
exp((B2-B6)to(B2-B4))	58,326	y=1.849036x-2.451980
exp((B2-B7)to(B2-B4))	55,996	y=1.543006x-1.380101
exp((B1-B6)to(B2-B4))	53,886	y=1.152588x-1.957797
exp((B1-B7)to(B2-B4))	53,865	y=0.998454x-1.186863

Πίνακας 36: Οι δείκτες και οι εξισώσεις με τις καλύτερες συσχετίσεις για το διαλυμένο οξυγόνο με τη χρήση του απλού γραμμικού μοντέλου για την ελληνική παράκτια θαλάσσια ζώνη, dt=0-10

Γεωγραφική περιοχή: Σαρωνικός κόλπος

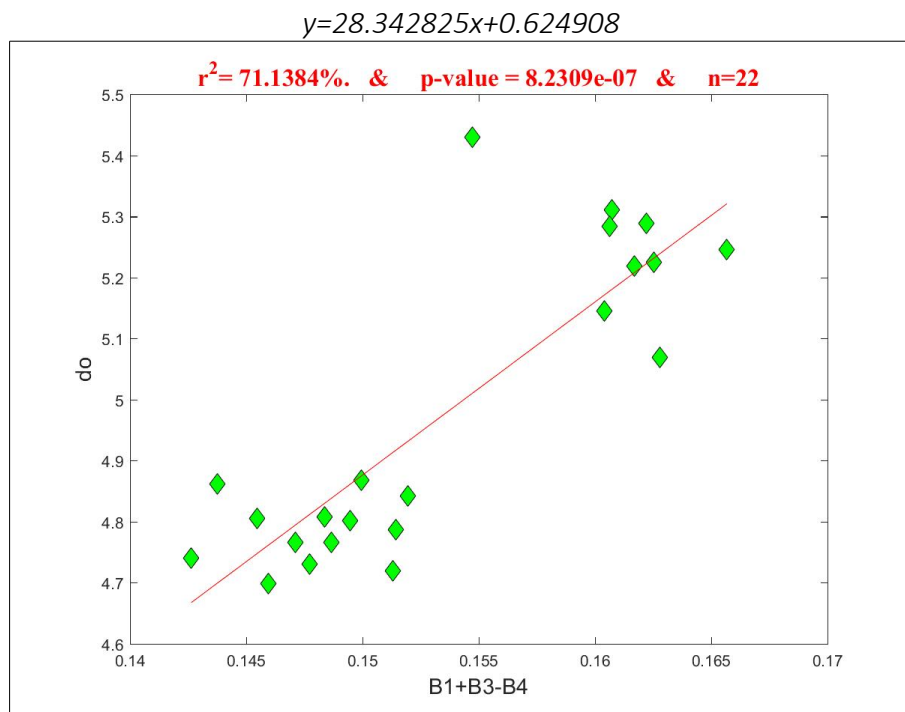
Με την απλή γραμμική παλινδρόμηση για το σύνολο των παρατηρήσεων του διαλυμένου οξυγόνου από τους σταθμούς παρακολούθησης του Σαρωνικού κόλπου (dt=0-10 ημέρες), καθώς και για δοκιμές με μικρότερη χρονική απόκλιση μεταξύ των *in situ* και των δορυφορικών δεδομένων (dt=0-5 ημέρες και dt=0-2 ημέρες), προκύπτουν τα παρακάτω αποτελέσματα. Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται όλοι οι δείκτες με R² > 40%.

X	dt=0-2 n=22	dt=0-5 n=40	dt=0-10 n=63
B2-B4	57,153	40,088	0,335
B1-B4	55,747	35,135	1,986
B3-B7	60,148	41,521	24,675
B3-B6	64,705	52,069	19,230
B1+B2-B4	62,550	36,905	0,008

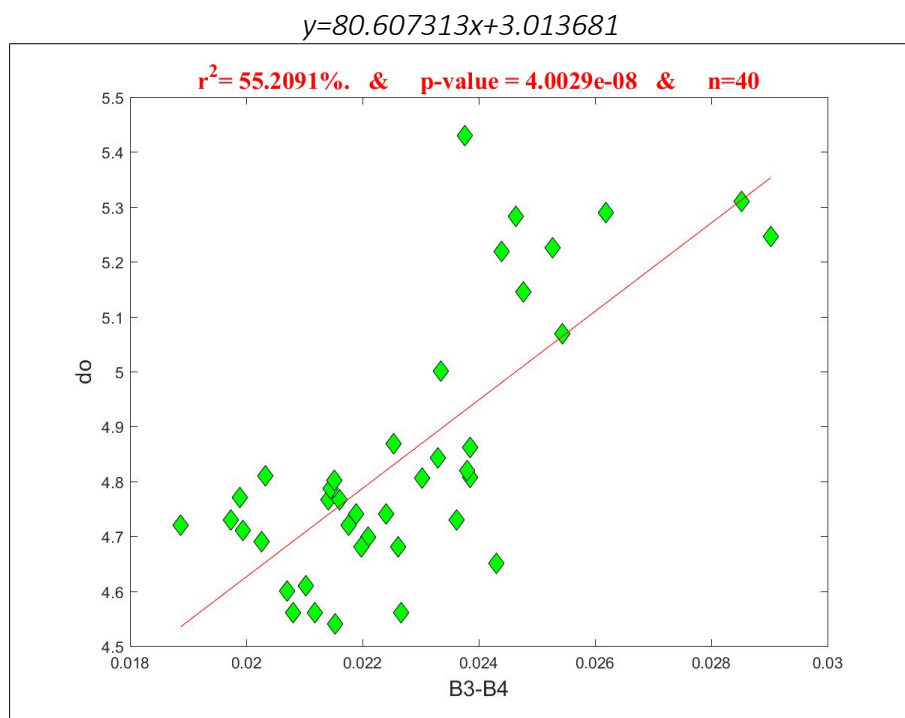
B2+B3-B4	68,198	40,701	4,895
B2-B6	70,880	50,935	3,595
B2-B7	69,673	46,645	6,462
B1+B2-B5	66,543	42,616	0,005
B1+B3-B4	71,138	41,456	1,363
B1+B2-B6	67,175	41,409	1,826
B2+B4-B6	61,735	33,460	12,935
B2+B4-B5	65,273	38,625	2,753
B1+B4-B5	67,212	37,693	0,300
B1+B2-B7	65,966	38,246	2,685
B1-B7	69,645	43,628	1,443
ln((B1-B7)to(B2-B6))	40,201	36,453	10,973
(B2-B6)to(B1-B7)	40,212	36,957	10,878
B3-B4	58,555	55,209	3,653

Πίνακας 37: Αποτελέσματα για το διαλυμένο οξυγόνο με τη χρήση του απλού γραμμικού μοντέλου για τον Σαρωνικό κόλπο

Ακολουθούν οι γραφικές παραστάσεις των μοντέλων που παρουσιάζουν τα καλύτερα αποτελέσματα.



Εικόνα 25: Συσχέτιση διαλυμένου οξυγόνου με τον δείκτη B1+B3-B4 με τη χρήση του απλού γραμμικού μοντέλου για τον Σαρωνικό κόλπο, dt=0-2 ημέρες



Εικόνα 26: Συσχέτιση διαλυμένου οξυγόνου με τον δείκτη B3-B4 με τη χρήση του απλού γραμμικού μοντέλου για τον Σαρωνικό κόλπο, dt=0-5 ημέρες

Τέλος, ακολουθούν οι δείκτες και οι εξισώσεις των μοντέλων που παρουσιάζουν τις καλύτερες συσχετίσεις για τις χρονικές αποκλίσεις που μελετήθηκαν (dt=0-2 ημέρες, dt=0-5 ημέρες και dt=0-10 ημέρες).

X	dt=0-2, n=22	
	R ²	y
B1+B3-B4	71,138	$y=28.342825x+0.624908$
B2-B6	70,880	$y=38.404849x+1.255556$
B2-B7	69,673	$y=38.835651x+1.155782$
B1-B7	69,645	$y=34.613326x+0.573079$
B2+B3-B4	68,198	$y=29.756324x+1.265790$
B1+B4-B5	67,212	$y=30.431814x+0.496895$
B1+B2-B6	67,175	$y=18.235031x+0.844664$
B1+B2-B5	66,543	$y=19.034859x+0.870940$
B1+B2-B7	65,966	$y=18.161346x+0.834188$
B2+B4-B5	65,273	$y=32.791156x+1.095072$

Πίνακας 38: Οι δείκτες και οι εξισώσεις με τις καλύτερες συσχετίσεις για το διαλυμένο οξυγόνο με τη χρήση του απλού γραμμικού μοντέλου για τον Σαρωνικό κόλπο, dt=0-2 ημέρες

X	dt=0-5, n=40	
	R ²	γ
B3-B4	55,209	γ=80.607313x+3.013681
B3-B6	52,069	γ=41.855559x+2.748548
B2-B6	50,935	γ=29.382642x+2.097546

Πίνακας 39: Οι δείκτες και οι εξισώσεις με τις καλύτερες συσχετίσεις για το διαλυμένο οξυγόνο με τη χρήση του απλού γραμμικού μοντέλου για τον Σαρωνικό κόλπο, dt=0-5 ημέρες

Τα αποτελέσματα των συσχετίσεων για τη χρονική απόκλιση μεταξύ των *in situ* και των δορυφορικών δεδομένων dt=0-10 ημέρες, δεν είναι ικανοποιητικά καθώς οι τιμές R² είναι πολύ μικρές και δεν ξεπερνούν το 50%.

5.2.2 Αποτελέσματα με τη χρήση του εκθετικού μοντέλου

Γεωγραφική περιοχή: Ελληνική παράκτια θαλάσσια ζώνη

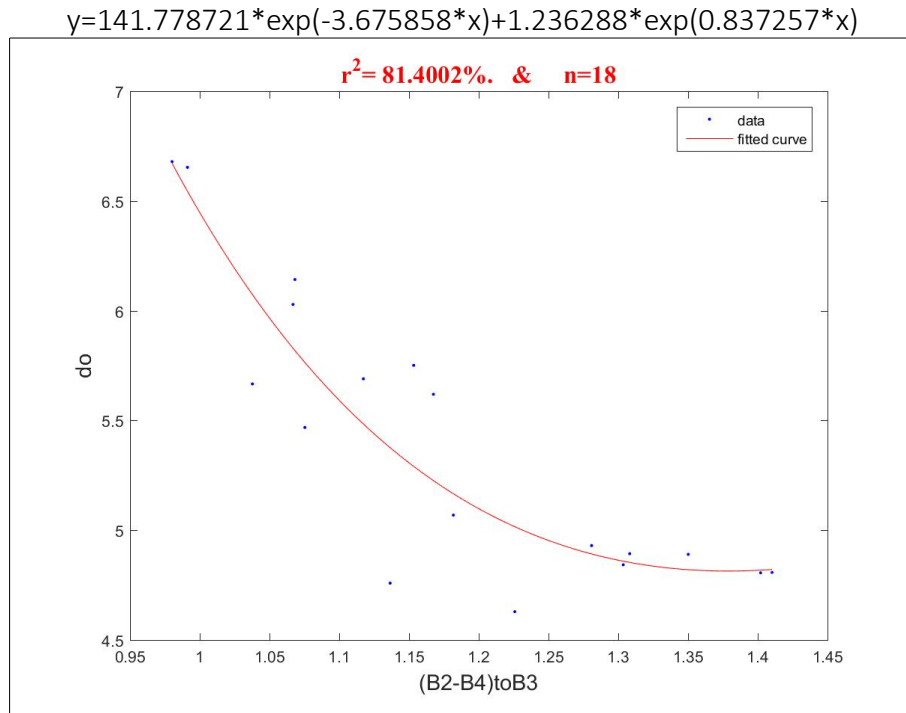
Με την εκθετική παλινδρόμηση για το σύνολο των παρατηρήσεων του διαλυμένου οξυγόνου από τους σταθμούς παρακολούθησης της ελληνικής παράκτιας θαλάσσιας ζώνης (dt=0-10 ημέρες), καθώς και για δοκιμές με μικρότερη χρονική απόκλιση μεταξύ των *in situ* και των δορυφορικών δεδομένων (dt=0-5 ημέρες και dt=0-2 ημέρες), προκύπτουν τα παρακάτω αποτελέσματα. Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται όλοι οι δείκτες με R²> 40%.

X	dt=0-2 n=18	dt=0-5 n=50	dt=0-10 n=73
B2toB4	66,177	60,806	42,198
B4toB2	65,688	60,735	42,153
(B4toB2 ²)	75,576	66,442	50,305
(B1-B4)to(B1+B4)	64,115	61,436	37,896
exp(B4to(B2+B6))	71,463	64,069	57,197
exp((B1-B7)to(B2-B4))	76,615	63,143	55,415
(B2-B7)to(B3-B6)	63,259	57,863	41,376
exp(B4toB2)	65,205	60,719	42,148
exp(B4to(B2+B7))	69,776	63,001	54,948
B4to(B2+B6)	75,505	69,126	57,203
exp(B4to(B2+B5))	70,789	67,856	50,839
(B2-B4)to(B3-B6)	81,268	73,389	55,993
(B3toB2)+B4	75,203	68,351	46,753
B4to(B1+B2+B3)	60,182	55,306	35,856
(B1+B5-B4)toB3	72,456	65,355	37,141

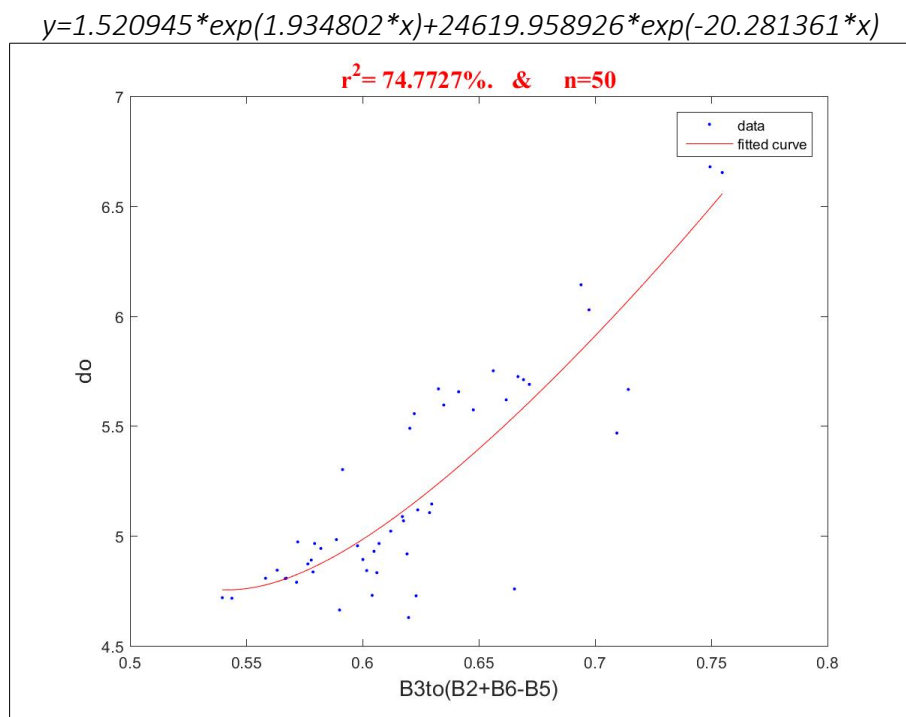
$\ln((B1+B5-B4)toB3)$	72,673	65,823	41,415
B3toB2	72,400	67,405	45,319
B2toB3	72,450	67,336	45,386
B3to(B1+B2+B3)	72,236	67,076	41,316
$(B2-B6)to(B3-B6)$	69,893	63,752	45,165
$\exp(B3toB2)$	72,248	67,352	43,933
$\ln((2xB2+B5)toB3)$	63,985	58,980	36,105
$(2xB2+B5)toB3$	64,453	58,648	37,516
$(B2-B4)toB3$	81,400	73,295	53,706
$\exp(B2toB3)$	72,015	67,310	46,875
$(B1+B6)toB4$	71,605	67,582	49,043
$\ln((B1+B6)toB4)$	71,415	67,522	48,989
B4to(B1+B6)	71,165	61,715	48,975
$\exp(B4to(B1+B6))$	70,103	62,181	48,970
B4to(B2+B5)	77,143	67,863	52,152
B3to(B2+B6-B5)	80,126	74,773	56,945
$\exp(B3to(B2+B6-B5))$	80,162	74,763	56,949
$\exp(B4to(B1+B7))$	65,906	61,425	47,165
$\exp(B1to(B2+B3+B4))$	71,797	58,675	31,815
$\exp((B1-B6)to(B2-B4))$	76,833	62,158	55,540
$\exp((B2-B6)to(B2-B4))$	77,058	73,213	64,298
$\exp((B2-B7)to(B2-B4))$	76,981	72,522	62,770
$(B2-B3)toB1$	70,966	65,703	46,723
$\exp(B2toB4)$	66,606	61,212	42,465
$(B1-B3)toB4$	77,223	71,149	47,016
$(B3+B4)to(B1+B2)$	79,905	72,678	50,695
B3toB1	71,686	66,436	38,975
$\exp(B3toB1)$	71,266	66,488	35,333
B1toB3	71,065	66,423	38,876
$\exp(B1toB3)$	71,005	66,379	43,568
$(B5-B7)to(B2-B4)$	66,188	61,660	51,435
$\exp((B5-B7)to(B2-B4))$	66,366	60,619	51,125
$(B5-B7)to(B1-B4)$	64,598	64,236	49,366
$\exp((B5-B7)to(B1-B4))$	64,436	63,106	48,786
$(B2toB4)+B4$	66,642	61,169	42,585
$(B2toB4)-B2$	65,011	59,855	41,212
$(B2toB4)-B4$	65,732	60,456	41,826

Πίνακας 40: Αποτελέσματα για το διαλυμένο οξυγόνο με τη χρήση του εκθετικού μοντέλου για την ελληνική παράκτια θαλάσσια ζώνη

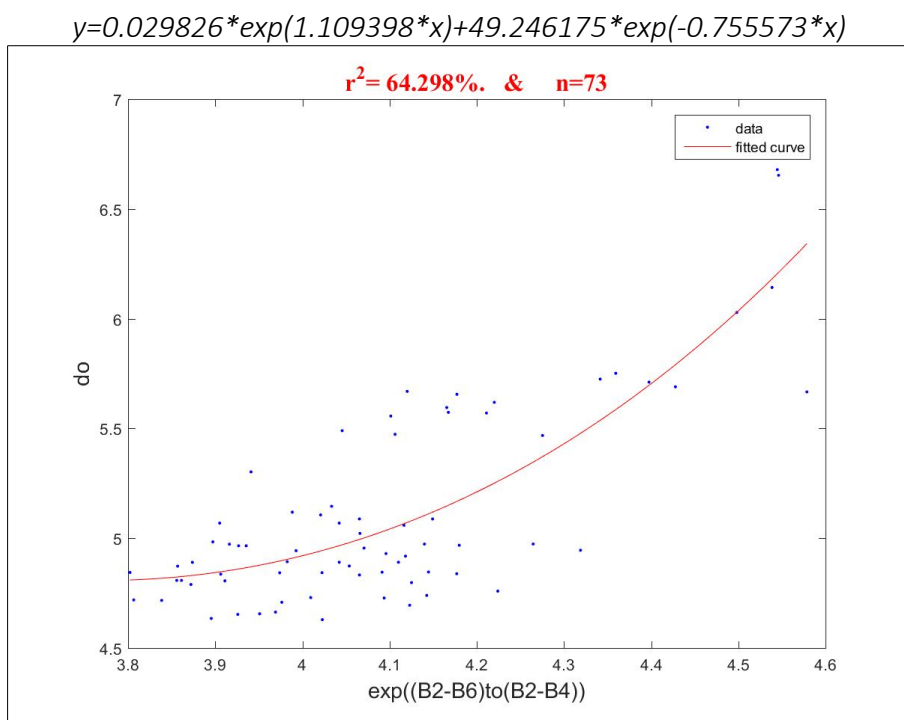
Ακολουθούν οι γραφικές παραστάσεις των μοντέλων που παρουσιάζουν τα καλύτερα αποτελέσματα για τις χρονικές αποκλίσεις που μελετήθηκαν (dt=0-2 ημέρες, dt=0-5 ημέρες και dt=0-10 ημέρες).



Εικόνα 27: Συσχέτιση διαλυμένου οξυγόνου με τον δείκτη $(B2-B4)toB3$ με τη χρήση του εκθετικού μοντέλου για την ελληνική παράκτια θαλάσσια ζώνη, dt=0-2 ημέρες



Εικόνα 28: Συσχέτιση διαλυμένου οξυγόνου με τον δείκτη $B3to(B2+B6-B5)$ με τη χρήση του εκθετικού μοντέλου για την ελληνική παράκτια θαλάσσια ζώνη, dt=0-5 ημέρες



Εικόνα 29: Συσχέτιση διαλυμένου οξυγόνου με τον δείκτη $\exp((B2-B6)to(B2-B4))$ με τη χρήση του εκθετικού μοντέλου για την ελληνική παράκτια θαλάσσια ζώνη, $dt=0-10$ ημέρες

Τέλος, ακολουθούν οι δείκτες και οι εξισώσεις των μοντέλων που παρουσιάζουν τις καλύτερες συσχετίσεις για τις χρονικές αποκλίσεις που μελετήθηκαν ($dt=0-2$ ημέρες, $dt=0-5$ ημέρες και $dt=0-10$ ημέρες).

X	dt=0-2, n=18	
	R ²	y
(B2-B4)toB3	81,400	$y=141.778721*\exp(-3.675858*x)+1.236288*\exp(0.837257*x)$
(B2-B4)to(B3-B6)	81,268	$y=24.962424*\exp(-1.268802*x)+0.000059*\exp(6.618945*x)$
$\exp(B3to(B2+B6-B5))$	80,162	$y=20889784318.609707*\exp(-13.965542*x)+0.600090*\exp(1.127861*x)$
B3to(B2+B6-B5)	80,126	$y=16154.380328*\exp(-17.906458*x)+1.054870*\exp(2.427510*x)$
(B3+B4)to(B1+B2)	79,905	$y=23.944352*\exp(-5.870323*x)+0.043865*\exp(10.528472*x)$
(B1-B3)toB4	77,223	$y=58.449325*\exp(-1.768323*x)+2.336730*\exp(0.227197*x)$
B4to(B2+B5)	77,143	$y=5945.201408*\exp(-33.001236*x)+0.281805*\exp(9.878648*x)$
$\exp((B2-B6)to(B2-B4))$	77,058	$y=0.000000*\exp(-10.681008*x)+0.981033*\exp(0.403806*x)$
$\exp((B2-B7)to(B2-B4))$	76,981	$y=5631111036580.309600*\exp(-7.742418*x)+0.912783*\exp(0.404842*x)$
$\exp((B1-B6)to(B2-B4))$	76,833	$y=53812.102065*\exp(-2.043421*x)+0.643515*\exp(0.328538*x)$

Πίνακας 41: Οι δείκτες και οι εξισώσεις με τις καλύτερες συσχετίσεις για το διαλυμένο οξυγόνο με τη χρήση του εκθετικού μοντέλου για την ελληνική παράκτια θαλάσσια ζώνη, $dt=0-2$ ημέρες

X	dt=0-5, n=50	
	R ²	y
B3to(B2+B6-B5)	74,773	$y=1.520945*\exp(1.934802*x)+24619.958926*\exp(-20.281361*x)$
exp(B3to(B2+B6-B5))	74,763	$y=0.000000*\exp(16.491713*x)+1.302911*\exp(0.739351*x)$
(B2-B4)to(B3-B6)	73,389	$y=12702571608275.344000*\exp(-29.473246*x)+11.495642*\exp(-0.589662*x)$
(B2-B4)toB3	73,295	$y=467.189828*\exp(-5.529098*x)+4.484146*\exp(0.022515*x)$
exp((B2-B6)to(B2-B4))	73,213	$y=0.808693*\exp(0.447700*x)+13421637.973342*\exp(-4.581191*x)$
(B3+B4)to(B1+B2)	72,678	$y=5.899146*\exp(-0.908281*x)+0.002125*\exp(15.943153*x)$
exp((B2-B7)to(B2-B4))	72,522	$y=5394153545.557980*\exp(-6.098688*x)+1.101368*\exp(0.364670*x)$
(B1-B3)toB4	71,149	$y=107.762020*\exp(-2.422680*x)+4.361662*\exp(0.027986*x)$
B4to(B2+B6)	69,126	$y=92.950496*\exp(-15.738862*x)+0.703228*\exp(5.944672*x)$
(B3toB2)+B4	68,351	$y=246.037985*\exp(-10.797332*x)+0.707056*\exp(3.253830*x)$

Πίνακας 42: Οι δείκτες και οι εξισώσεις με τις καλύτερες συσχετίσεις για το διαλυμένο οξυγόνο με τη χρήση του εκθετικού μοντέλου για την ελληνική παράκτια θαλάσσια ζώνη, dt=0-5 ημέρες

X	dt=0-10, n=73	
	R ²	y
exp((B2-B6)to(B2-B4))	64,298	$y=0.029826*\exp(1.109398*x)+49.246175*\exp(-0.755573*x)$
exp((B2-B7)to(B2-B4))	62,770	$y=248425.148628*\exp(-3.261953*x)+0.616848*\exp(0.485082*x)$
B4to(B2+B6)	57,203	$y=12.368548*\exp(-4.337363*x)+0.019688*\exp(14.564235*x)$
exp(B4to(B2+B6))	57,197	$y=645.999689*\exp(-3.984218*x)+0.000008*\exp(9.206444*x)$
exp(B3to(B2+B6-B5))	56,949	$y=2.297998*\exp(0.417415*x)+0.000000*\exp(13.450799*x)$
B3to(B2+B6-B5)	56,945	$y=3.125148*\exp(0.755903*x)+0.000000*\exp(27.133426*x)$
(B2-B4)to(B3-B6)	55,993	$y=9231747368590.066400*\exp(-28.536779*x)+8.936816*\exp(-0.420936*x)$
exp((B1-B6)to(B2-B4))	55,540	$y=0.000000*\exp(-7.241613*x)+1.297918*\exp(0.223139*x)$
exp((B1-B7)to(B2-B4))	55,415	$y=0.000000*\exp(-9.243828*x)+1.504090*\exp(0.193588*x)$
exp(B4to(B2+B7))	54,948	$y=4125.380678*\exp(-5.552022*x)+0.000325*\exp(6.657706*x)$

Πίνακας 43: Οι δείκτες και οι εξισώσεις με τις καλύτερες συσχετίσεις για το διαλυμένο οξυγόνο με τη χρήση του εκθετικού μοντέλου για την ελληνική παράκτια θαλάσσια ζώνη, dt=0-10 ημέρες

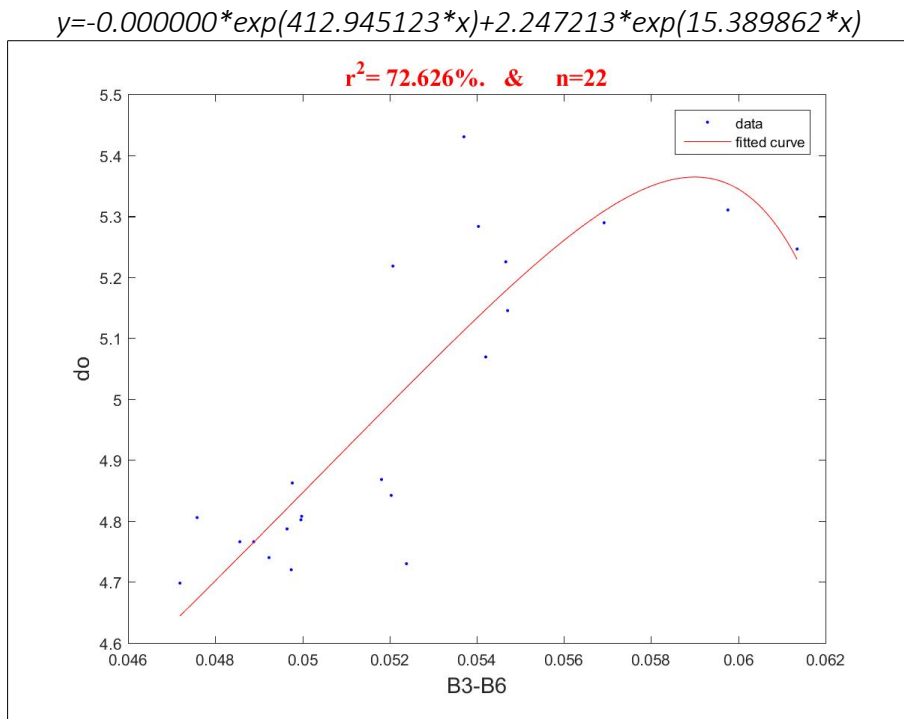
Γεωγραφική περιοχή: Σαρωνικός κόλπος

Με την εκθετική παλινδρόμηση για το σύνολο των παρατηρήσεων του διαλυμένου οξυγόνου από τους σταθμούς παρακολούθησης του Σαρωνικού κόλπου (dt=0-10 ημέρες), καθώς και για δοκιμές με μικρότερη χρονική απόκλιση μεταξύ των *in situ* και των δορυφορικών δεδομένων (dt=0-5 ημέρες και dt=0-2 ημέρες), προκύπτουν τα παρακάτω αποτελέσματα. Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται όλοι οι δείκτες με $R^2 > 40\%$.

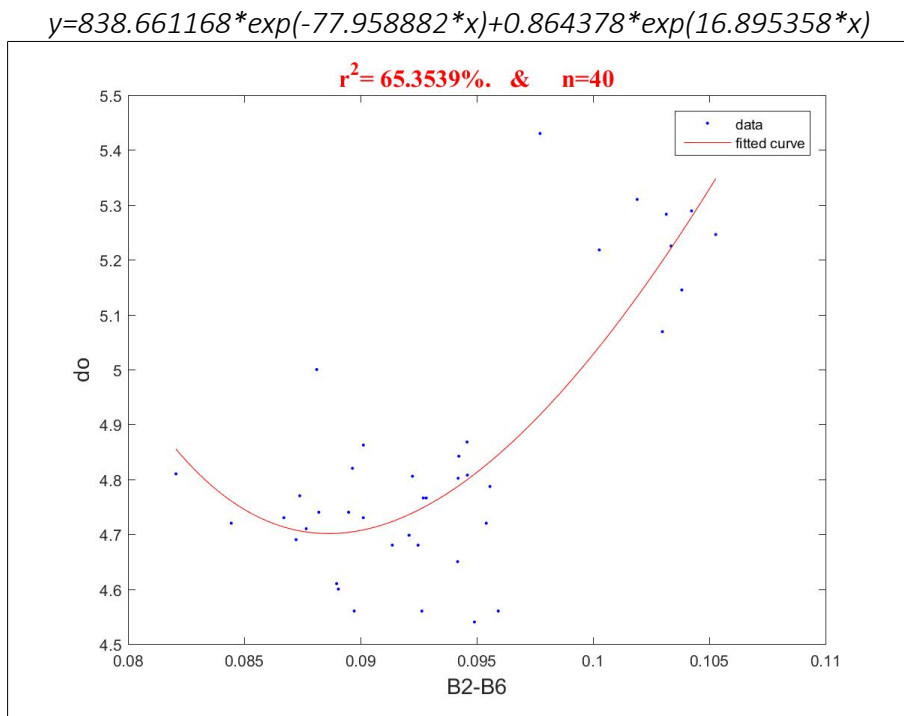
X	dt=0-2 n=22	dt=0-5 n=40	dt=0-10 n=63
B2-B4	59,282	56,103	6,062
B1-B4	56,035	54,618	16,518
B5toB4	59,711	46,181	25,215
B4toB5	59,990	49,582	24,905
B3-B7	61,763	47,713	25,468
B3-B6	72,626	60,006	20,888
B2+B3-B4	69,506	47,709	12,535
B2-B6	70,960	65,353	4,852
B2-B7	69,780	61,222	10,863
B1+B2-B5	68,969	60,759	2,185
B1+B3-B4	72,025	54,790	6,510
B1+B2-B6	70,428	59,422	3,206
B2+B4-B6	69,311	44,666	20,495
B1+B4-B7	62,196	44,533	16,963
B1+B4-B5	67,631	58,452	0,442
B1+B2-B7	69,536	56,005	2,629
B1-B7	69,895	63,736	2,269
B3-B4	63,313	59,218	3,686
(B5toB4)+B6	59,319	45,633	22,888
_B1REF	61,017	44,475	4,686

Πίνακας 44: Αποτελέσματα για το διαλυμένο οξυγόνο με τη χρήση του εκθετικού μοντέλου για τον Σαρωνικό κόλπο

Ακολουθούν οι γραφικές παραστάσεις των μοντέλων που παρουσιάζουν τα καλύτερα αποτελέσματα.



Εικόνα 30: Συσχέτιση διαλυμένου οξυγόνου με τον δείκτη B3-B6 με τη χρήση του εκθετικού μοντέλου για τον Σαρωνικό κόλπο, dt=0-2 ημέρες



Εικόνα 31: Συσχέτιση διαλυμένου οξυγόνου με τον δείκτη B2-B6 με τη χρήση του εκθετικού μοντέλου για τον Σαρωνικό κόλπο, dt=0-5 ημέρες

Τέλος, ακολουθούν οι δείκτες και οι εξισώσεις των μοντέλων που παρουσιάζουν τις καλύτερες συσχετίσεις για τις χρονικές αποκλίσεις που μελετήθηκαν (dt=0-2 ημέρες, dt=0-5 ημέρες και dt=0-10 ημέρες).

X	dt=0-2, n=22	
	R ²	y
B3-B6	72,626	$y = -0.000000 * \exp(412.945123 * x) + 2.247213 * \exp(15.389862 * x)$
B1+B3-B4	72,025	$y = -0.000000 * \exp(210.369148 * x) + 1.723953 * \exp(6.951693 * x)$
B2-B6	70,960	$y = 0.000000 * \exp(-454.723820 * x) + 2.358744 * \exp(7.697411 * x)$
B1+B2-B6	70,428	$y = 4925491356412.113300 * \exp(-146.341752 * x) + 1.674385 * \exp(4.754742 * x)$
B1-B7	69,895	$y = 0.000000 * \exp(-373.045006 * x) + 2.049515 * \exp(6.966944 * x)$
B2-B7	69,780	$y = 0.000000 * \exp(-1205.758245 * x) + 2.310005 * \exp(7.792855 * x)$
B1+B2-B7	69,536	$y = 5105302326546.031200 * \exp(-145.177203 * x) + 1.631670 * \exp(4.833368 * x)$
B2+B3-B4	69,506	$y = -0.000000 * \exp(254.624798 * x) + 2.066609 * \exp(7.087353 * x)$
B2+B4-B6	69,311	$y = 7504256830844.290000 * \exp(-259.535390 * x) + 1.612913 * \exp(8.591023 * x)$
B1+B2-B5	68,969	$y = 4123800714030.766100 * \exp(-154.556756 * x) + 1.803060 * \exp(4.666452 * x)$

Πίνακας 45: Οι δείκτες και οι εξισώσεις με τις καλύτερες συσχετίσεις για το διαλυμένο οξυγόνο με τη χρήση του εκθετικού μοντέλου για τον Σαρωνικό κόλπο, dt=0-2 ημέρες

X	dt=0-5, n=40	
	R ²	y
B2-B6	65,355	$y = 838.661168 * \exp(-77.958882 * x) + 0.864378 * \exp(16.895358 * x)$
B1-B7	63,736	$y = 1570.763218 * \exp(-59.113710 * x) + 0.242776 * \exp(22.002655 * x)$
B2-B7	61,222	$y = 1175.247103 * \exp(-77.882589 * x) + 0.628787 * \exp(19.555536 * x)$
B1+B2-B5	60,759	$y = 980161.929468 * \exp(-71.314198 * x) + 0.839970 * \exp(7.924568 * x)$
B3-B6	60,006	$y = 10269853635.416283 * \exp(-560.560680 * x) + 2.715631 * \exp(11.361548 * x)$
B1+B2-B6	59,422	$y = 70151.722985 * \exp(-53.631925 * x) + 0.568669 * \exp(9.089072 * x)$
B3-B4	59,218	$y = 39050907.623405 * \exp(-986.924765 * x) + 3.078593 * \exp(19.631430 * x)$
B1+B4-B5	58,452	$y = 63144.046986 * \exp(-79.541546 * x) + 0.314461 * \exp(17.751945 * x)$
B2-B4	56,103	$y = 26.719118 * \exp(-38.229950 * x) + 0.161099 * \exp(42.262284 * x)$
B1+B2-B7	56,005	$y = 0.581983 * \exp(8.951011 * x) + 198255.922289 * \exp(-58.251396 * x)$

Πίνακας 46: Οι δείκτες και οι εξισώσεις με τις καλύτερες συσχετίσεις για το διαλυμένο οξυγόνο με τη χρήση του εκθετικού μοντέλου για τον Σαρωνικό κόλπο, dt=0-5 ημέρες

Τα αποτελέσματα των συσχετίσεων για τη χρονική απόκλιση μεταξύ των *in situ* και των δορυφορικών δεδομένων dt=0-10 ημέρες, δεν είναι ικανοποιητικά καθώς οι τιμές R² είναι πολύ μικρές και δεν ξεπερνούν το 50%.

5.3 Αλατότητα

Σε αυτή την παράγραφο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για την αλατότητα. Για την ανάπτυξη των μοντέλων χρησιμοποιήθηκε η απλή γραμμική παλινδρόμηση και η εκθετική παλινδρόμηση. Πραγματοποιήθηκαν πολυάριθμες δοκιμές αναλόγως τη γεωγραφική περιοχή και τη χρονική απόκλιση μεταξύ δειγματοληψίας και δορυφορικής λήψης.

5.3.1 Αποτελέσματα με τη χρήση του απλού γραμμικού μοντέλου

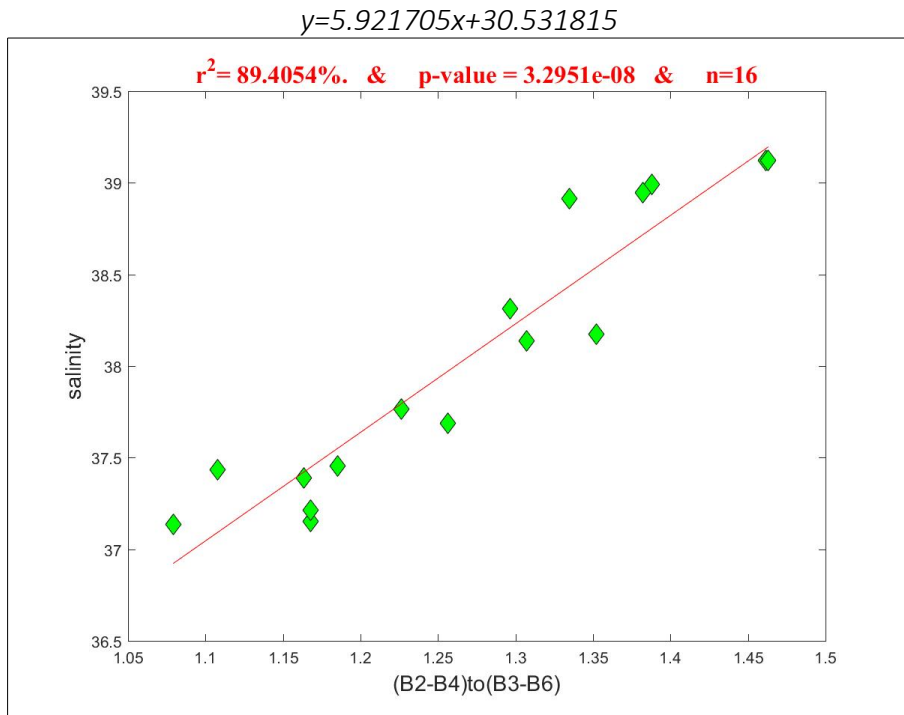
Γεωγραφική περιοχή: Ελληνική παράκτια θαλάσσια ζώνη

Με την απλή γραμμική παλινδρόμηση για το σύνολο των παρατηρήσεων της αλατότητας από τους σταθμούς παρακολούθησης της ελληνικής παράκτιας θαλάσσιας ζώνης ($dt=0-10$ ημέρες), καθώς και για δοκιμές με μικρότερη χρονική απόκλιση μεταξύ των *in situ* και των δορυφορικών δεδομένων ($dt=0-5$ ημέρες και $dt=0-2$ ημέρες), προκύπτουν τα παρακάτω αποτελέσματα. Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται όλοι οι δείκτες με $R^2 > 40\%$.

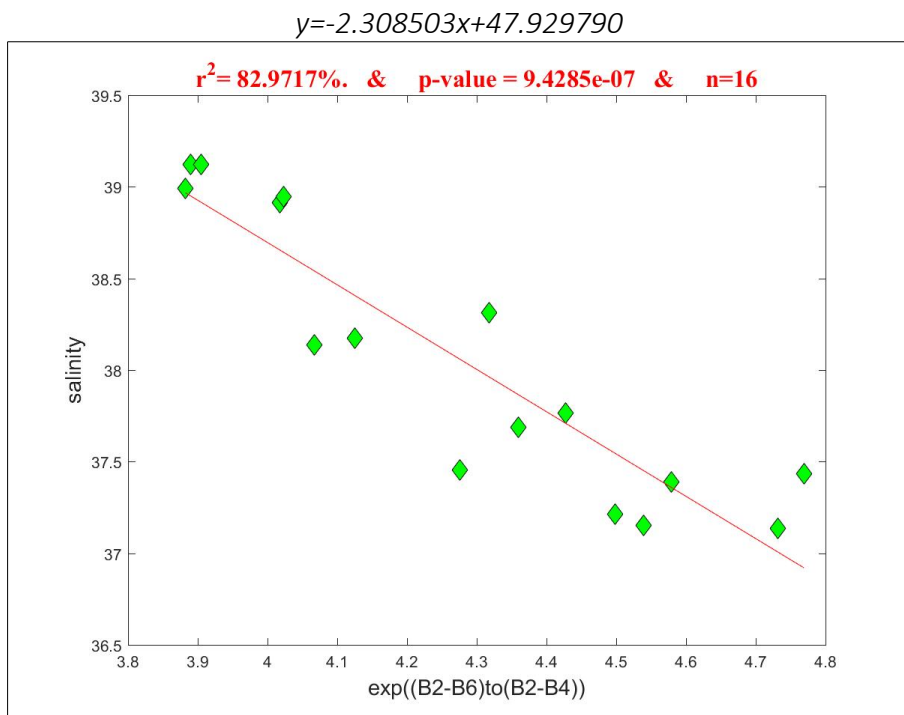
X	dt=0-2 n=16	dt=0-5 n=43	dt=0-10 n=65
$\exp(B4to(B2+B6))$	60,228	27,345	13,803
$\exp((B1-B7)to(B2-B4))$	68,640	36,636	15,725
$(B2-B7)to(B3-B6)$	74,403	23,795	32,623
B4-B7	60,777	21,555	10,957
B4to(B2+B6)	60,545	27,218	13,840
$(B2-B4)to(B3-B6)$	89,405	34,048	32,365
$\exp((B1+B3)toB2)$	54,025	28,769	21,075
B2to(B1+B2+B3)	53,755	28,762	20,890
$(B2-B6)to(B3-B6)$	78,533	25,735	30,973
$(B1+B3)toB2$	53,873	28,768	20,968
B3to(B2+B6-B5)	62,473	24,448	19,085
$\exp(B3to(B2+B6-B5))$	60,868	24,510	18,888
$\exp((B1-B6)to(B2-B4))$	70,111	36,189	18,381
$\exp((B2-B6)to(B2-B4))$	82,972	38,039	25,715
$\exp((B2-B7)to(B2-B4))$	78,506	35,429	20,050
$(B5-B7)to(B2-B4)$	61,953	28,019	11,296
$\exp((B5-B7)to(B2-B4))$	59,695	27,705	11,032
$(B5-B7)to(B1-B4)$	59,725	26,426	11,253
$\exp((B5-B7)to(B1-B4))$	58,200	26,268	11,075

Πίνακας 47: Αποτελέσματα για την αλατότητα με τη χρήση του απλού γραμμικού μοντέλου για την ελληνική παράκτια θαλάσσια ζώνη

Ακολουθούν οι γραφικές παραστάσεις των μοντέλων που παρουσιάζουν τα καλύτερα αποτελέσματα.



Εικόνα 32: Συσχέτιση αλατότητας με τον δείκτη $(B2-B4)to(B3-B6)$ με τη χρήση του απλού γραμμικού μοντέλου για την ελληνική παράκτια θαλάσσια ζώνη, $dt=0-2$ ημέρες



Εικόνα 33: Συσχέτιση αλατότητας με τον δείκτη $\exp((B2-B6)to(B2-B4))$ με τη χρήση του απλού γραμμικού μοντέλου για την ελληνική παράκτια θαλάσσια ζώνη, $dt=0-2$ ημέρες

Τέλος, ακολουθούν οι δείκτες και οι εξισώσεις των μοντέλων που παρουσιάζουν τις καλύτερες συσχετίσεις.

X	dt=0-2, n=16	
	R ²	y
(B2-B4)to(B3-B6)	89,405	$y=5.921705x+30.531815$
exp((B2-B6)to(B2-B4))	82,972	$y=-2.308503x+47.929790$
(B2-B6)to(B3-B6)	78,533	$y=7.106795x+25.007193$
exp((B2-B7)to(B2-B4))	78,506	$y=-5.666101x+47.422223$
(B2-B7)to(B3-B6)	74,403	$y=6.320822x+26.055203$
exp((B1-B6)to(B2-B4))	70,111	$y=-1.136379x+45.268816$
exp((B1-B7)to(B2-B4))	68,640	$y=-1.062970x+45.143459$
B3to(B2+B6-B5)	62,473	$y=-11.903973x+46.187295$
(B5-B7)to(B2-B4)	61,953	$y=-9.198123x+40.553036$
exp(B3to(B2+B6-B5))	60,868	$y=-5.830708x+49.614395$

Πίνακας 48: Οι δείκτες και οι εξισώσεις με τις καλύτερες συσχετίσεις για την αλατότητα με τη χρήση του απλού γραμμικού μοντέλου για την ελληνική παράκτια θαλάσσια ζώνη, dt=0-2 ημέρες

Τα αποτελέσματα των συσχετίσεων για τη χρονική απόκλιση μεταξύ των *in situ* και των δορυφορικών δεδομένων dt=0-5 ημέρες και dt=0-10 ημέρες, δεν είναι ικανοποιητικά καθώς οι τιμές R² είναι πολύ μικρές και δεν ξεπερνούν το 50%.

Γεωγραφική περιοχή: Σαρωνικός κόλπος

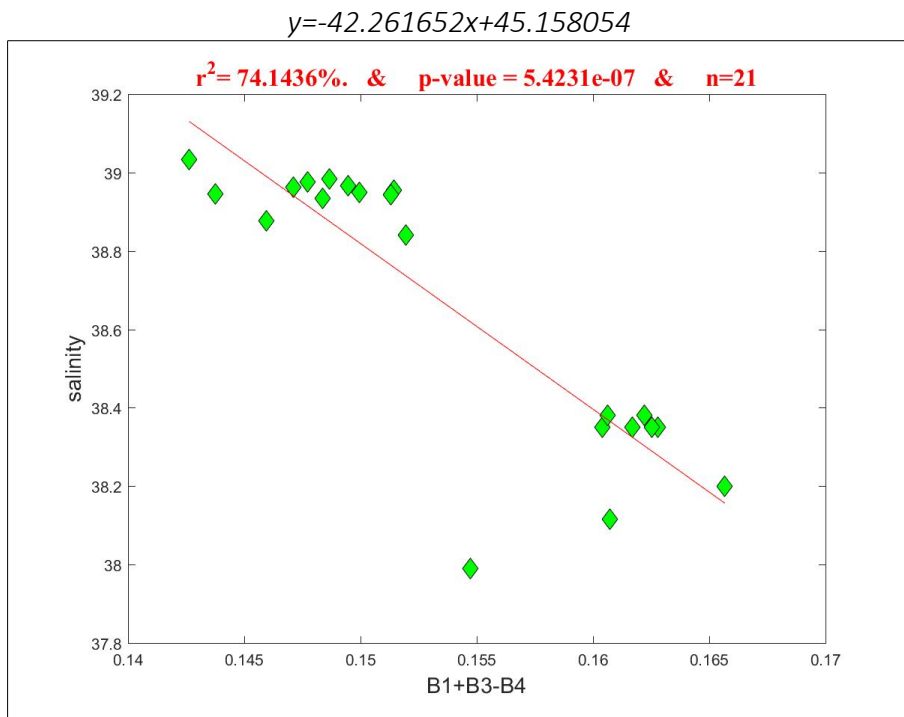
Με την απλή γραμμική παλινδρόμηση για το σύνολο των παρατηρήσεων της αλατότητας από τους σταθμούς παρακολούθησης του Σαρωνικού κόλπου (dt=0-10 ημέρες), καθώς και για δοκιμές με μικρότερη χρονική απόκλιση μεταξύ των *in situ* και των δορυφορικών δεδομένων (dt=0-5 ημέρες και dt=0-2 ημέρες), προκύπτουν τα παρακάτω αποτελέσματα. Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται όλοι οι δείκτες με R²> 40%.

X	dt=0-2 n=21	dt=0-5 n=39	dt=0-10 n=62
B2+B3	59,743	0,173	0,052
(B4toB2^2)	44,970	10,940	0,000
B2+B4	47,499	1,043	0,020
B2-B4	60,462	7,745	0,006
B1-B4	59,069	6,298	0,240
B1+B3+B4	53,795	1,211	0,045
B3+B4-B5	52,785	1,590	0,008

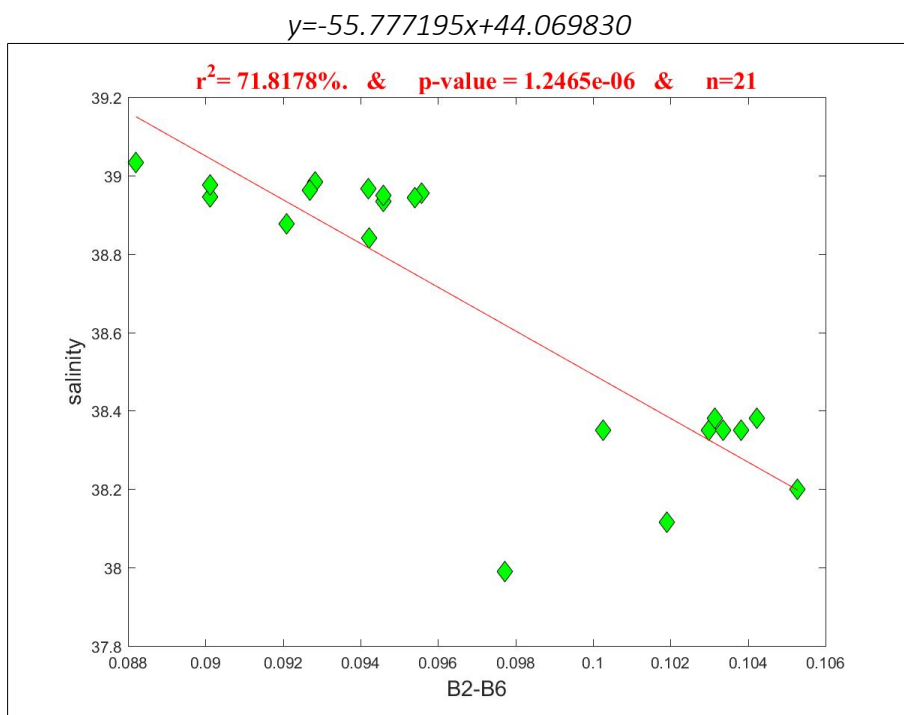
B3+B4-B6	47,215	2,333	0,245
B3-B7	60,845	0,040	1,412
B3-B6	65,773	0,022	0,900
B1+B2-B4	64,342	2,745	0,120
B2+B3-B4	70,782	0,883	0,169
B2-B6	71,818	2,468	0,065
B2-B7	70,299	1,983	0,215
B1+B2-B5	68,265	2,136	0,296
B1+B3-B4	74,143	1,030	0,018
B1+B2-B6	68,675	1,296	0,046
B2+B4-B6	63,553	0,011	0,015
B2+B4-B5	67,020	0,128	0,258
B2+B4-B7	59,548	0,095	0,073
B1+B4-B7	63,428	0,023	0,066
B1+B4-B5	69,273	0,223	0,946
B1+B2-B7	67,326	1,063	0,016
B1+B6-B7	58,585	0,136	0,283
B1+B5-B7	56,043	0,016	0,022
2xB1+B2	62,355	0,342	0,266
B1+B2	62,106	0,320	0,170
B1-B7	70,705	1,978	0,028
B2+B6-B7	55,715	0,048	0,022
B1+2xB2	61,745	0,298	0,093
B2+B5-B7	51,926	0,090	0,545
2xB1+B3	65,319	0,005	0,165
B3-B4	62,456	2,969	1,528
_B1REF	62,542	0,379	0,493
_B2REF	60,616	0,250	0,005

Πίνακας 49: Αποτελέσματα για την αλατότητα με τη χρήση του απλού γραμμικού μοντέλου για τον Σαρωνικό κόλπο

Ακολουθούν οι γραφικές παραστάσεις των μοντέλων που παρουσιάζουν τα καλύτερα αποτελέσματα.



Εικόνα 34: Συσχέτιση αλατότητας με τον δείκτη $B1+B3-B4$ με τη χρήση του απλού γραμμικού μοντέλου για τον Σαρωνικό κόλπο, $dt=0-2$ ημέρες



Εικόνα 35: Συσχέτιση αλατότητας με τον δείκτη $B2-B6$ με τη χρήση του απλού γραμμικού μοντέλου για τον Σαρωνικό κόλπο, $dt=0-2$ ημέρες

Τέλος, ακολουθούν οι δείκτες και οι εξισώσεις των μοντέλων που παρουσιάζουν τις καλύτερες συσχετίσεις.

X	dt=0-2, n=21	
	R ²	γ
B1+B3-B4	74,143	γ=-42.261652x+45.158054
B2-B6	71,818	γ=-55.777195x+44.069830
B2+B3-B4	70,782	γ=-44.357925x+44.201132
B1-B7	70,705	γ=-50.447597x+45.084244
B2-B7	70,299	γ=-56.561763x+44.231756
B1+B4-B5	69,273	γ=-45.612489x+45.385712
B1+B2-B6	68,675	γ=-26.890352x+44.761552
B1+B2-B5	68,265	γ=-27.833346x+44.668844
B1+B2-B7	67,326	γ=-26.832852x+44.789210
B2+B4-B5	67,020	γ=-49.278346x+44.505155

Πίνακας 50: Οι δείκτες και οι εξισώσεις με τις καλύτερες συσχετίσεις για την αλατότητα με τη χρήση του απλού γραμμικού μοντέλου για τον Σαρωνικό κόλπο, dt=0-2 ημέρες

Τα αποτελέσματα των συσχετίσεων για τη χρονική απόκλιση μεταξύ των *in situ* και των δορυφορικών δεδομένων dt=0-5 ημέρες και dt=0-10 ημέρες, δεν είναι ικανοποιητικά καθώς οι τιμές R² είναι πολύ μικρές και δεν ξεπερνούν το 50%.

5.3.2 Αποτελέσματα με τη χρήση του εκθετικού μοντέλου

Γεωγραφική περιοχή: Ελληνική παράκτια θαλάσσια ζώνη

Με την εκθετική παλινδρόμηση για το σύνολο των παρατηρήσεων της αλατότητας από τους σταθμούς παρακολούθησης της ελληνικής παράκτιας θαλάσσιας ζώνης (dt=0-10 ημέρες), καθώς και για δοκιμές με μικρότερη χρονική απόκλιση μεταξύ των *in situ* και των δορυφορικών δεδομένων (dt=0-5 ημέρες και dt=0-2 ημέρες), προκύπτουν τα παρακάτω αποτελέσματα. Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται όλοι οι δείκτες με R² > 40%.

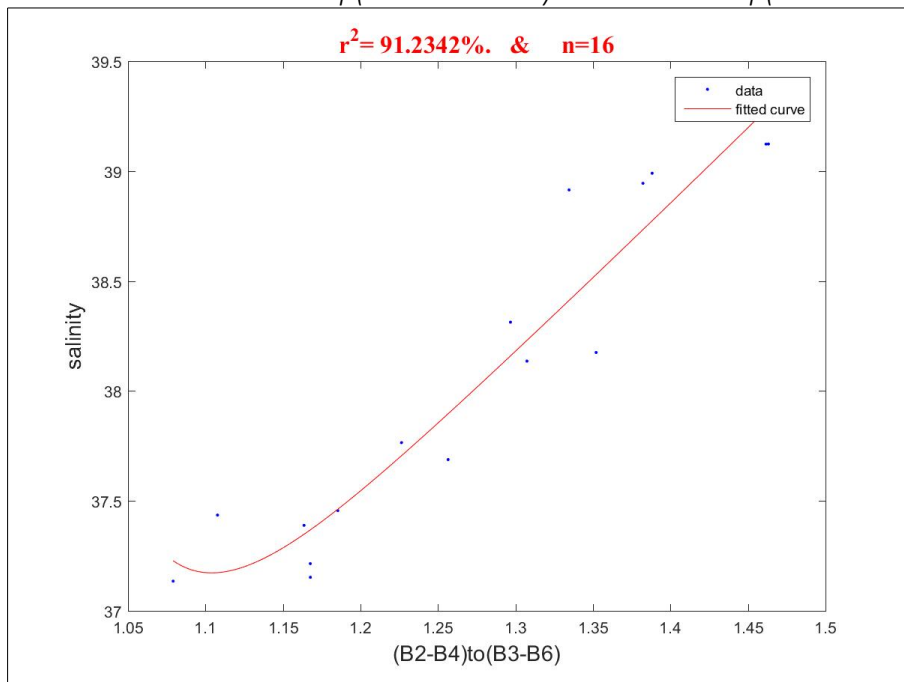
X	dt=0-2 n=16	dt=0-5 n=43	dt=0-10 n=65
exp(B4to(B2+B6))	63,466	27,693	14,075
exp((B1-B7)to(B2-B4))	68,662	36,763	16,718
(B2-B7)to(B3-B6)	74,635	26,166	37,845
B4-B7	70,577	21,566	11,335
exp(B4to(B2+B7))	59,119	26,325	12,395
B4to(B2+B6)	63,450	28,105	14,099
exp(B4to(B2+B5))	52,813	21,561	10,615
(B2-B4)to(B3-B6)	91,234	35,623	34,453

$\exp((B1+B3)toB2)$	54,495	28,770	22,015
$B2to(B1+B2+B3)$	53,619	28,753	22,046
$(B2-B6)to(B3-B6)$	79,390	28,062	35,175
$(B1+B3)toB2$	54,520	28,770	20,875
$B4to(B1+B6)$	60,030	21,546	11,743
$\exp(B4to(B1+B6))$	60,042	21,535	10,905
$B4to(B2+B5)$	56,376	23,490	11,453
$B3to(B2+B6-B5)$	73,345	24,520	19,979
$\exp(B3to(B2+B6-B5))$	73,362	24,813	20,109
$\exp(B4to(B1+B7))$	58,609	20,725	9,835
$\exp((B1-B6)to(B2-B4))$	72,145	36,462	19,266
$\exp((B2-B6)to(B2-B4))$	88,678	39,496	29,135
$\exp((B2-B7)to(B2-B4))$	85,072	36,359	22,052
$(B2-B3)toB1$	51,316	21,689	20,242
$(B5-B7)to(B2-B4)$	73,551	28,658	11,889
$(B5-B7)to(B1-B4)$	72,475	26,845	11,812

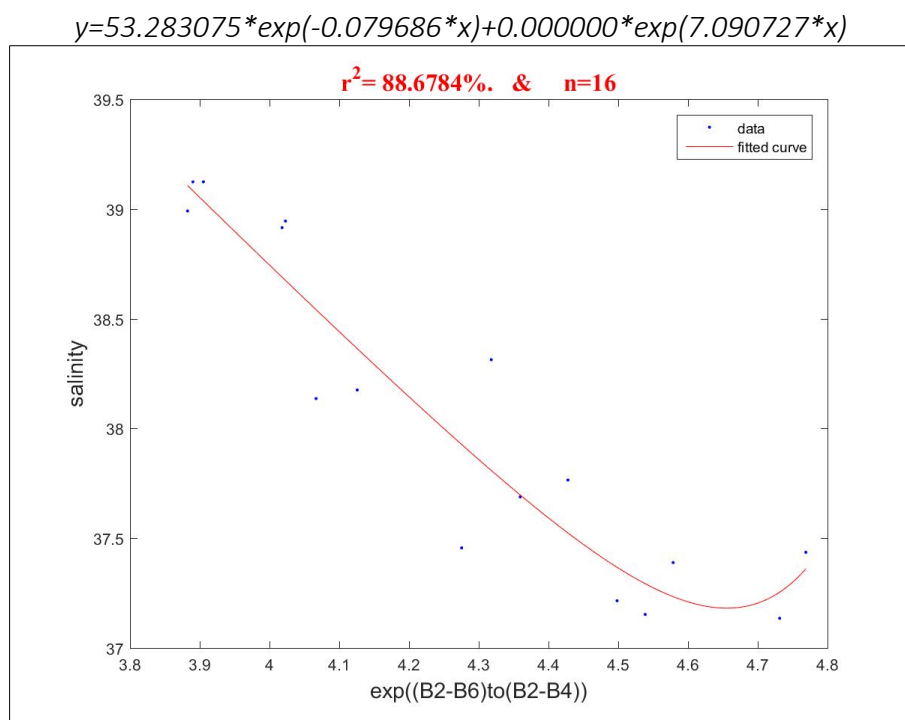
Πίνακας 51: Αποτελέσματα για την αλατότητα με τη χρήση του εκθετικού μοντέλου για την ελληνική παράκτια θαλάσσια ζώνη

Ακολουθούν οι γραφικές παραστάσεις των μοντέλων που παρουσιάζουν τα καλύτερα αποτελέσματα.

$$y=18053600695.203735*\exp(-22.519825*x)+30.380158*\exp(0.175738*x)$$



Εικόνα 36: Συσχέτιση αλατότητας με τον δείκτη $(B2-B4)to(B3-B6)$ με τη χρήση του εκθετικού μοντέλου για την ελληνική παράκτια θαλάσσια ζώνη, $dt=0-2$ ημέρες



Εικόνα 37: Συσχέτιση αλατότητας με τον δείκτη $\exp((B2-B6)to(B2-B4))$ με τη χρήση του εκθετικού μοντέλου για την ελληνική παράκτια θαλάσσια ζώνη, $dt=0-2$ ημέρες

Τέλος, ακολουθούν οι δείκτες και οι εξισώσεις των μοντέλων που παρουσιάζουν τις καλύτερες συσχετίσεις.

X	dt=0-2, n=16	
	R ²	γ
(B2-B4)to(B3-B6)	91,234	$y=18053600695.203735*\exp(-22.519825*x)+30.380158*\exp(0.175738*x)$
$\exp((B2-B6)to(B2-B4))$	88,678	$y=53.283075*\exp(-0.079686*x)+0.000000*\exp(7.090727*x)$
$\exp((B2-B7)to(B2-B4))$	85,072	$y=54.537180*\exp(-0.222692*x)+0.000000*\exp(10.135235*x)$
(B2-B7)to(B3-B6)	74,635	$y=-0.000000*\exp(6.799823*x)+26.215249*\exp(0.198933*x)$
(B5-B7)to(B2-B4)	73,551	$y=39.987458*\exp(-1.147444*x)+4.280785*\exp(2.561598*x)$
$\exp(B3to(B2+B6-B5))$	73,362	$y=243174.426748*\exp(-6.094396*x)+32.867435*\exp(0.052202*x)$
B3to(B2+B6-B5)	73,345	$y=1502.598482*\exp(-9.689868*x)+31.775283*\exp(0.176181*x)$
(B5-B7)to(B1-B4)	72,475	$y=16.840885*\exp(-9.494540*x)+33.214985*\exp(0.295758*x)$
$\exp((B1-B6)to(B2-B4))$	72,145	$y=48.141980*\exp(-0.036605*x)+-55666973.873715*\exp(-3.366002*x)$
B4-B7	70,577	$y=45.699723*\exp(-5.751826*x)+0.001070*\exp(170.813545*x)$

Πίνακας 52: Οι δείκτες και οι εξισώσεις με τις καλύτερες συσχετίσεις για την αλατότητα με τη χρήση του εκθετικού μοντέλου για την ελληνική παράκτια θαλάσσια ζώνη, $dt=0-2$ ημέρες

Τα αποτελέσματα των συσχετίσεων για τη χρονική απόκλιση μεταξύ των *in situ* και των δορυφορικών δεδομένων $dt=0-5$ ημέρες και $dt=0-10$ ημέρες, δεν είναι ικανοποιητικά καθώς οι τιμές R² είναι πολύ μικρές και δεν ξεπερνούν το 50%.

Γεωγραφική περιοχή: Σαρωνικός κόλπος

Με την εκθετική παλινδρόμηση για το σύνολο των παρατηρήσεων της αλατότητας από τους σταθμούς παρακολούθησης του Σαρωνικού κόλπου (dt=0-10 ημέρες), καθώς και για δοκιμές με μικρότερη χρονική απόκλιση μεταξύ των *in situ* και των δορυφορικών δεδομένων (dt=0-5 ημέρες και dt=0-2 ημέρες), προκύπτουν τα παρακάτω αποτελέσματα. Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται όλοι οι δείκτες με $R^2 > 40\%$.

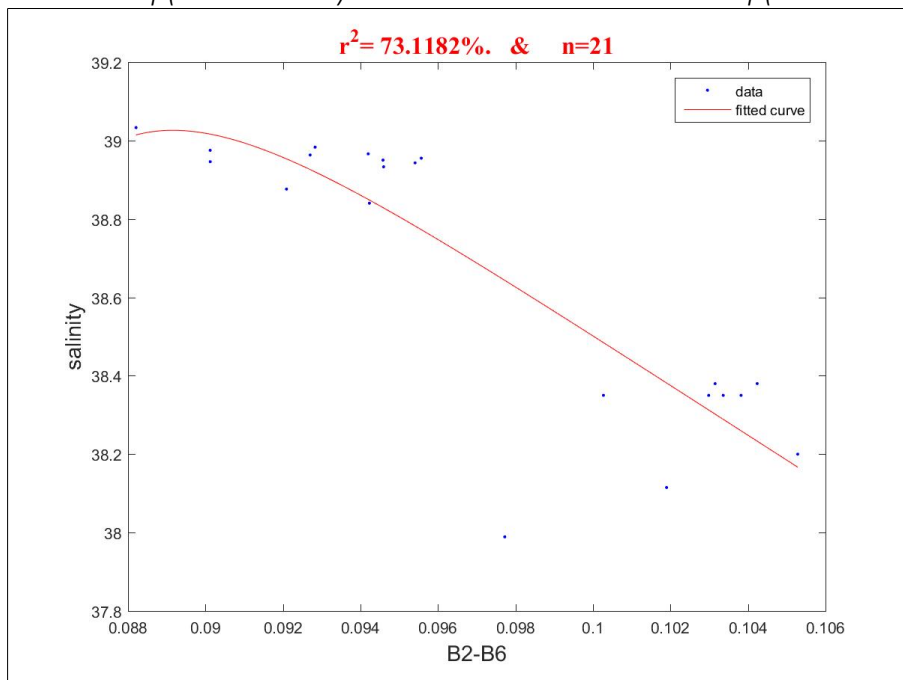
X	dt=0-2 n=21	dt=0-5 n=39	dt=0-10 n=62
B2+B3	67,085	12,873	0,052
(B5toB2^2)	56,836	18,145	4,866
B2+B4	56,686	3,382	0,503
B2-B4	60,428	8,955	5,082
B3toB4	50,156	20,965	3,503
B4toB3	50,131	19,695	3,215
B1-B4	60,805	8,250	7,223
B5toB4	53,128	18,845	3,386
B4toB5	53,568	18,958	7,105
B1+B3+B4	65,155	9,135	4,165
B3+B4-B5	56,296	21,403	12,622
B3-B7	63,049	29,276	23,976
B3-B6	70,675	25,805	22,455
B1+B2-B4	64,576	12,590	11,496
B2+B3-B4	70,951	23,555	8,532
B2-B6	73,118	15,737	8,282
B2-B7	71,903	17,799	7,032
B1+B2-B5	70,163	17,775	17,013
B1+B2-B6	71,059	22,549	12,662
B2+B4-B6	71,645	26,888	10,355
B2+B4-B5	69,085	29,146	15,032
B2+B4-B7	59,413	19,715	8,412
B1+B4-B7	71,565	31,549	10,095
B1+B4-B5	72,917	36,258	23,872
B1+B2-B7	69,976	23,386	11,013
B1+B6-B7	58,518	0,136	0,282
B1+B5-B7	63,690	15,113	3,625
2xB1+B2	65,856	19,899	10,899
B1+B2	65,793	0,319	9,850
B1-B7	72,530	18,819	11,233

B2+B6-B7	55,620	7,370	1,383
B1+2xB2	65,648	0,295	8,636
B2+B5-B7	51,795	5,179	4,070
2xB1+B3	70,826	25,280	9,175
B3-B4	66,408	13,506	8,470
exp(B4toB3)	50,131	19,695	3,218
(B5toB4)+B6	52,605	18,669	7,135
exp(B3toB4)	50,181	22,376	3,838
B5toB3	64,736	23,740	7,468
(B4toB3)+B5	58,239	22,705	4,365
_B1REF	65,746	20,306	12,646
_B2REF	60,533	15,615	5,706

Πίνακας 53: Αποτελέσματα για την αλατότητα με τη χρήση του εκθετικού μοντέλου για τον Σαρωνικό κόλπο

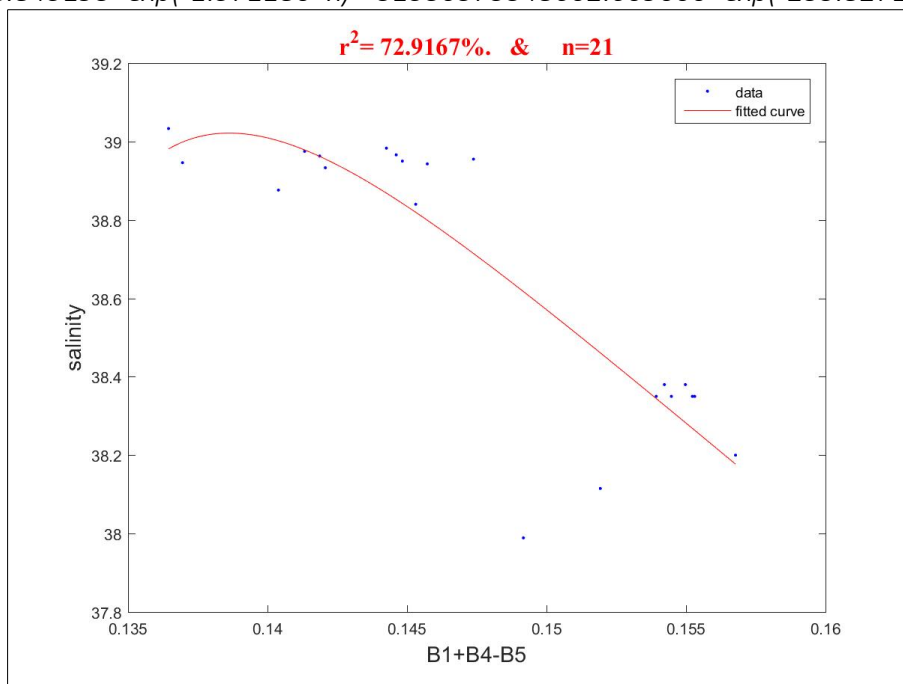
Ακολουθούν οι γραφικές παραστάσεις των μοντέλων που παρουσιάζουν τα καλύτερα αποτελέσματα.

$$y=45.493136*\exp(-1.667707*x)+-15235264855618.758000*\exp(-359.590241*x)$$



Εικόνα 38: Συσχέτιση αλατότητας με τον δείκτη B2-B6 με τη χρήση του εκθετικού μοντέλου για τον Σαρωνικό κόλπο, dt=0-2 ημέρες

$$y=48.845193*\exp(-1.571180*x)+-31530373348602.609000*\exp(-233.827136*x)$$



Εικόνα 39: Συσχέτιση αλατότητας με τον δείκτη B1+B4-B5 με τη χρήση του εκθετικού μοντέλου για τον Σαρωνικό κόλπο, dt=0-2 ημέρες

Τέλος, ακολουθούν οι δείκτες και οι εξισώσεις των μοντέλων που παρουσιάζουν τις καλύτερες συσχετίσεις.

X	dt=0-2, n=21	
	R ²	γ
B2-B6	73,119	$y=45.493136*\exp(-1.667707*x)+-15235264855618.758000*\exp(-359.590241*x)$
B1+B4-B5	72,915	$y=48.845193*\exp(-1.571180*x)+-31530373348602.609000*\exp(-233.827136*x)$
B1-B7	72,530	$y=47.508015*\exp(-1.605943*x)+-21578356614121.516000*\exp(-270.539198*x)$
B2-B7	71,903	$Y=45.945175*\exp(-1.740112*x)+-17851462820598.957000*\exp(-352.897389*x)$
B2+B4-B6	71,645	$y=-45203985977872.664000*\exp(-269.741219*x)+48.211299*\exp(-1.682355*x)$
B1+B4-B7	71,565	$y=51.022323*\exp(-1.708455*x)+-278461747933.312990*\exp(-180.695015*x)$
B1+B2-B6	71,059	$y=-23745687074649.867000*\exp(-152.520520*x)+47.201495*\exp(-0.872520*x)$
B2+B3-B4	70,951	$y=45.054455*\exp(-1.228992*x)+0.000000*\exp(247.307523*x)$
2xB1+B3	70,826	$y=49.346494*\exp(-0.762896*x)+-40480694094678.422000*\exp(-109.181908*x)$
B3-B6	70,675	$y=0.000000*\exp(448.143530*x)+44.499765*\exp(-2.709802*x)$

Πίνακας 54: Οι δείκτες και οι εξισώσεις με τις καλύτερες συσχετίσεις για την αλατότητα με τη χρήση του εκθετικού μοντέλου για τον Σαρωνικό κόλπο, dt=0-2 ημέρες

Τα αποτελέσματα των συσχετίσεων για τη χρονική απόκλιση μεταξύ των *in situ* και των δορυφορικών δεδομένων dt=0-5 ημέρες και dt=0-10 ημέρες, δεν είναι ικανοποιητικά καθώς οι τιμές R² είναι πολύ μικρές και δεν ξεπερνούν το 50%.

6. Συμπεράσματα και Προτάσεις

Σκοπός της εργασίας είναι η ανάπτυξη μοντέλων για την εκτίμηση των βασικών παραμέτρων ποιότητας του νερού της ελληνικής παράκτιας θαλάσσιας ζώνης και του Σαρωνικού κόλπου, με την επεξεργασία δορυφορικών εικόνων Landsat 8. Η αξιολόγηση γίνεται με τη χρήση τριών δεικτών ποιότητας υδάτων, της χλωροφύλλης-α, του διαλυμένου οξυγόνου και της αλατότητας. Στο κεφάλαιο αυτό, παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που απορρέουν από το σύνολο των εργασιών που πραγματοποιήθηκαν, καθώς και κάποιες προτάσεις, ενώ υπογραμμίζεται η ανάγκη ενασχόλησης με το συγκεκριμένο αντικείμενο και αξιοποίησης των εργαλείων που προσφέρει.

Γεωγραφική περιοχή: Ελληνική παράκτια θαλάσσια ζώνη

Για τη χλωροφύλλη-α, επιτεύχθηκαν με την απλή γραμμική παλινδρόμηση ισχυρές συσχετίσεις για μεγάλο εύρος συγκεντρώσεων ($R^2=55\%$, $n=78$ παρατηρήσεις, $dt=0-15$ ημέρες), ενώ με την εκθετική παλινδρόμηση παρουσιάζονται ακόμα μεγαλύτερες συσχετίσεις ($R^2=65\%$, $n=78$ παρατηρήσεις, $dt=0-15$ ημέρες). Επίσης, για μικρότερη χρονική απόκλιση μεταξύ των *in situ* και των δορυφορικών δεδομένων ($dt=0-5$ ημέρες και $dt=0-10$ ημέρες), προκύπτουν πολύ καλά αποτελέσματα της τάξης του 70% με την απλή γραμμική παλινδρόμηση και του 85% με την εκθετική παλινδρόμηση. Οι δείκτες $\ln((B2-B5)to(B3-B4))$ και $(B2-B4)to(B3-B4)$ είναι οι πιο αξιόπιστοι καθώς παρουσιάζουν υψηλές συσχετίσεις σε κάθε περίπτωση.

Για το διαλυμένο οξυγόνο, παρουσιάζονται με την απλή γραμμική παλινδρόμηση καλά αποτελέσματα για μεγάλο πλήθος παρατηρήσεων $n=73$ της τάξης του 55% με χρονική απόκλιση $dt=0-10$ ημέρες, ενώ με την εκθετική παλινδρόμηση επιτεύχθηκαν μεγαλύτερες συσχετίσεις της τάξης του 60%. Επίσης, για μικρότερη χρονική απόκλιση μεταξύ της δειγματοληψίας και των δορυφορικών εικόνων ($dt=0-2$ ημέρες και $dt=0-5$ ημέρες), προκύπτουν πολύ καλά αποτελέσματα της τάξης του 70% με την απλή γραμμική παλινδρόμηση και του 75% με την εκθετική παλινδρόμηση. Οι δείκτες $\exp(B3to(B2+B6-B5))$, $\exp((B2-B6)to(B2-B4))$ και $(B2-B4)to(B3-B6)$ είναι οι πιο αξιόπιστοι, καθώς παρουσιάζουν ισχυρές συσχετίσεις σε κάθε περίπτωση.

Για την αλατότητα, επιτεύχθηκαν πολύ υψηλές συσχετίσεις έως 89% με την απλή γραμμική παλινδρόμηση και 91% με την εκθετική παλινδρόμηση, για χρονική απόκλιση μεταξύ των *in situ* και των δορυφορικών δεδομένων $dt=0-2$ ημέρες και $n=16$ παρατηρήσεις. Ωστόσο, για μεγαλύτερο εύρος χρονικής απόκλισης και περισσότερες παρατηρήσεις, δεν προκύπτουν καλά αποτελέσματα, καθώς οι συσχετίσεις που παρουσιάζονται είναι πολύ μικρές.

Γεωγραφική περιοχή: Σαρωνικός κόλπος

Για τη χλωροφύλλη-α, επιτεύχθηκαν πολύ καλά αποτελέσματα με την απλή γραμμική και την εκθετική παλινδρόμηση, για χρονική απόκλιση μεταξύ της δειγματοληψίας και των δορυφορικών δεδομένων $dt=0-2$ ημέρες και $dt=0-5$ ημέρες. Με την απλή γραμμική παλινδρόμηση, παρουσιάζονται υψηλές συσχετίσεις της τάξης του 70%, ενώ με την εκθετική παλινδρόμηση προκύπτουν ακόμα καλύτερα αποτελέσματα. Ο δείκτης $(B3+B7-B5)toB2$ είναι ο πιο αξιόπιστος,

καθώς παρουσιάζει ισχυρές συσχετίσεις σε κάθε περίπτωση, ενώ και ο δείκτης $\ln((2 \times B_2 + B_5) / B_3)$ παρουσιάζει πολύ υψηλές συσχετίσεις.

Για το διαλυμένο οξυγόνο, με την απλή γραμμική παλινδρόμηση προκύπτουν μέτριες συσχετίσεις της τάξης του 70% για $dt=0-2$ ημέρες και 50% για $dt=0-5$ ημέρες. Με την εκθετική παλινδρόμηση επιτυγχάνονται καλύτερες συσχετίσεις της τάξης του 70% και 60% αντίστοιχα. Ωστόσο, για το σύνολο των παρατηρήσεων ($n=63$, $dt=0-10$), δεν παρουσιάζονται ικανοποιητικά αποτελέσματα. Οι δείκτες $B_1+B_3-B_4$, B_3-B_6 και B_2-B_6 είναι οι πιο αξιόπιστοι δείκτες καθώς επιτυγχάνουν τις πιο υψηλές συσχετίσεις.

Για την αλατότητα, με την απλή γραμμική και την εκθετική παλινδρόμηση επιτυγχάνονται συσχετίσεις της τάξης του 70% για $dt=0-2$ ημέρες και $n=21$ παρατηρήσεις. Για μεγαλύτερο εύρος χρονικής απόκλισης μεταξύ της δειγματοληψίας και των δορυφορικών εικόνων ($dt=0-5$ ημέρες και $dt=0-10$ ημέρες), δεν προκύπτουν ικανοποιητικά αποτελέσματα.

Ειδικότερα Συμπεράσματα

- Με την εκθετική παλινδρόμηση επιτεύχθηκαν μεγαλύτερες συσχετίσεις απ' ό,τι με την απλή γραμμική παλινδρόμηση, σε κάθε περίπτωση.
- Στην ελληνική παράκτια θαλάσσια ζώνη παρουσιάζονται υψηλότερες συσχετίσεις απ' ό,τι στον Σαρωνικό κόλπο.
- Για μεγάλη χρονική διαφορά μεταξύ των *in situ* και των δορυφορικών δεδομένων ($dt=0-10$ ημέρες και $dt=0-15$ ημέρες), προκύπτουν χαμηλότερες συσχετίσεις.
- Για τη χλωροφύλλη-α επιτεύχθηκαν τα πιο αξιόπιστα αποτελέσματα. Οι δείκτες που παρουσιάζουν υψηλές συσχετίσεις για τις χρονικές αποκλίσεις που μελετήθηκαν είναι κοινοί για την ελληνική παράκτια θαλάσσια ζώνη και τον Σαρωνικό κόλπο.
- Για τη χλωροφύλλη-α, τα κανάλια B_2 , B_3 και B_4 εμφανίζονται στους περισσότερους δείκτες που επιτυγχάνουν υψηλές συσχετίσεις.
- Για την αλατότητα, προκύπτουν υψηλές συσχετίσεις μόνο για μικρή χρονική απόκλιση μεταξύ δειγματοληψίας και δορυφορικών εικόνων ($dt=0-2$ ημέρες).
- Οι δείκτες που παρουσιάζουν μεγάλες συσχετίσεις για το διαλυμένο οξυγόνο και την αλατότητα είναι διαφορετικοί για την ελληνική παράκτια θαλάσσια ζώνη και τον Σαρωνικό κόλπο.
- Η ανομοιογένεια που παρουσιάζουν τα αποτελέσματα σε ορισμένες περιπτώσεις είναι πιθανό να οφείλεται στην εντονότερη επίδραση του πυθμένα στους σταθμούς παρακολούθησης της ελληνικής παράκτιας θαλάσσιας ζώνης.
- Σε γενικές γραμμές τα αποτελέσματα συμφωνούν με τη βιβλιογραφία.

Τα αποτελέσματα από την παρούσα εργασία είναι ενθαρρυντικά. Οι μεγαλύτερες συσχετίσεις παρουσιάζονται στα δεδομένα που αφορούν τη χλωροφύλλη-α, ενώ για το διαλυμένο οξυγόνο και την αλατότητα προκύπτουν πολύ καλά αποτελέσματα. Σε ορισμένες περιπτώσεις, επιτεύχθηκαν μοντέλα με ισχυρές συσχετίσεις για μεγάλο εύρος χρονικής απόκλισης μεταξύ των *in situ* και των δορυφορικών δεδομένων και μεγάλο πλήθος παρατηρήσεων, αναδεικνύοντας σημαντικά την αξιοπιστία τους.

Γενικά Συμπεράσματα και Προτάσεις

Με πολλαπλές διαχρονικές πολυφασματικές τηλεπισκοπικές παρατηρήσεις και αντίστοιχες μετρήσεις πεδίου είναι εφικτό να εκτιμηθούν βασικοί δείκτες ποιότητας υδάτων. Η συγκεκριμένη μεθοδολογία, προσφέρει τη δυνατότητα εκτίμησης της περιβαλλοντικής κατάστασης των υδάτων με χαμηλό κόστος, καθώς και την παρακολούθηση και την προστασία των υδατικών συστημάτων.

Τα αποτελέσματα της παρούσας διπλωματικής εργασίας μπορούν να βελτιωθούν, εφόσον οι αρμόδιοι φορείς συλλέγουν τα *in situ* δεδομένα από τους σταθμούς παρακολούθησης με την ελάχιστη δυνατή χρονική απόκλιση από την διέλευση του δορυφόρου Landsat 8, καθώς και με τη πρόσβαση σε περισσότερα στοιχεία δειγματοληψίας, προκειμένου τα δεδομένα να είναι πιο αξιόπιστα. Τέλος ακολουθούν ορισμένες ακόμα προτάσεις:

- Εφαρμογή περισσότερων μεθόδων παλινδρόμησης
- Χρήση δορυφορικών εικόνων Sentinel 2
- Έρευνα για περισσότερους δείκτες ποιότητας υδάτων
- Δημιουργία και ενημέρωση γεωβάσης με δεδομένα εισόδου σε τακτά χρονικά διαστήματα
- Έρευνα για περισσότερους συνδυασμούς καναλιών
- Χρήση και επαλήθευση των μοντέλων που παρουσιάζονται στην παρούσα διπλωματική εργασία, για την εκτίμηση της χλωροφύλλη-α, του διαλυμένου οξυγόνου και της αλατότητας στην ελληνική παράκτια θαλάσσια ζώνη και στον Σαρωνικό κόλπο σε δορυφορικές εικόνες Landsat 8.

Βιβλιογραφία

Δημήτρης Π. Αργιαλάς, Ψηφιακή Τηλεπισκόπηση, Αθήνα 1998

Δημήτρης Π. Αργιαλάς, Φωτοερμηνεία – Τηλεπισκόπηση, Αθήνα 1999

Ιωάννα Θεολόγου, Εκτίμηση και χαρτογράφηση ποιοτικών χαρακτηριστικών σε υδάτινους αποδέκτες με τεχνικές τηλεπισκόπησης: Η περίπτωση της λίμνης Κάρλα, Διπλωματική Εργασία, Αθήνα 2014

Βασιλεία Καραθανάση, Ειδικά Κεφάλαια Τηλεπισκόπησης, Αθήνα 2014

Ευαγγελία Κοντοπούλου, Εκτίμηση ποιότητας υδάτων σε λιμναία συστήματα της Ελλάδας με τηλεπισκοπικές μεθόδους, Διπλωματική Εργασία, Αθήνα 2016

Δέσποινα Μουντογιαννάκη, Εκτίμηση της ποιότητας των υδάτων σε παράκτιες περιοχές της Ευρώπης με υψηλής ανάλυσης πολυφασματικά τηλεπισκοπικά δεδομένα, Διπλωματική Εργασία, Αθήνα 2015

Ανδρεανή Παπαγεωργίου, Εκτίμηση ποιοτικών χαρακτηριστικών σε λιμναία συστήματα της Γαλλίας με χρήση τηλεπισκοπικών μεθόδων, Διπλωματική Εργασία, Αθήνα 2016

Μαριάντζελα Πατελάκη, Εκτίμηση και χαρτογράφηση ποιοτικών χαρακτηριστικών σε υδάτινους αποδέκτες από διαχρονικά τηλεπισκοπικά δεδομένα υψηλής χωρικής ανάλυσης, Διπλωματική Εργασία, Αθήνα 2015

Mohammad Haji Gholizadeh, Assefa M. Melesse, Lakshmi Reddi, A comprehensive review on water quality parameters estimation using remote sensing techniques, 2016

Alexandra Pavlidou et al., Methods of eutrophication assessment in the context of the water framework directive: Examples from the Eastern Mediterranean coastal areas, 2015

Majid Nazeer, Janet E. Nichol, Development and application of a remote sensing-based chlorophyll-a concentration prediction model for complex coastal waters of Hong Kong, 2015

Therese E. Harvey, Susanne Kratzer, Petra Philipson, Satellite-based water quality monitoring for improved spatial and temporal retrieval of chlorophyll-a in coastal waters, 2015

Chebud, Naja, Rivero et al., Water quality monitoring using remote sensing and an artificial neural network, 2012

Al-Fahdawi, Rabee, Al-Hirmizy, Water quality monitoring of Al-Habbaniyah Lake using remote sensing and *in situ* measurements, 2015

Luoheng Han, Karen J. Jordan, Estimating and mapping chlorophyll-a concentration in Pensacola Bay, Florida using Landsat ETM+ data, 2005

Κατάλογος εικόνων

Εικόνα 1: Το ορατό φάσμα του φωτός.....	2
Εικόνα 2: Φάσμα απορρόφησης χλωροφύλλης α και β.....	5
Εικόνα 3: Το CTD καθώς ποντίζεται στην θάλασσα.....	7
Εικόνα 4: Χρονοδιάγραμμα και ιστορία των δορυφόρων Landsat.....	9
Εικόνα 5: Ο δορυφόρος Landsat 8 με ευδιάκριτους τους δύο αισθητήρες.....	10
Εικόνα 6: Οι τροχιές των δορυφορικών εικόνων Landsat-8 που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα διπλωματική εργασία.....	24
Εικόνα 7: Η ακτινοβολία που ανιχνεύεται από τον αισθητήρα.....	26
Εικόνα 8: Σταθμοί παρακολούθησης στην ελληνική παράκτια θαλάσσια ζώνη.....	29
Εικόνα 9: Σταθμοί παρακολούθησης στον Σαρωνικό κόλπο.....	30
Εικόνα 10: Συσχέτιση χλωροφύλλης-α με τον δείκτη $\ln((B2-B5)to(B3-B4))$ με τη χρήση του απλού γραμμικού μοντέλου για την ελληνική παράκτια θαλάσσια ζώνη, $dt=0-5$ ημέρες.....	32
Εικόνα 11: Συσχέτιση χλωροφύλλης-α με τον δείκτη $\ln((B2-B5)to(B3-B4))$ με τη χρήση του απλού γραμμικού μοντέλου για την ελληνική παράκτια θαλάσσια ζώνη, $dt=0-10$ ημέρες.....	32
Εικόνα 12: Συσχέτιση χλωροφύλλης-α με τον δείκτη $(B2-B4)to(B3-B4)$ με τη χρήση του απλού γραμμικού μοντέλου για την ελληνική παράκτια θαλάσσια ζώνη, $dt=0-15$ ημέρες.....	33
Εικόνα 13: Συσχέτιση χλωροφύλλης-α με τον δείκτη $(B3+B7-B5)toB2$ με τη χρήση του απλού γραμμικού μοντέλου για τον Σαρωνικό κόλπο, $dt=0-2$ ημέρες.....	36
Εικόνα 14: Συσχέτιση χλωροφύλλης-α με τον δείκτη $\ln((2x B2+B5)to B3)$ με τη χρήση του απλού γραμμικού μοντέλου για τον Σαρωνικό κόλπο, $dt=0-5$ ημέρες.....	36
Εικόνα 15: Συσχέτιση χλωροφύλλης-α με τον δείκτη $(B3+B7-B5)toB2$ με τη χρήση του απλού γραμμικού μοντέλου για τον Σαρωνικό κόλπο, $dt=0-10$ ημέρες.....	37
Εικόνα 16: Συσχέτιση χλωροφύλλης-α με τον δείκτη $B3+B4-B7$ με τη χρήση του εκθετικού μοντέλου για την ελληνική παράκτια θαλάσσια ζώνη, $dt=0-5$ ημέρες.....	40
Εικόνα 17: Συσχέτιση χλωροφύλλης-α με τον δείκτη $\ln((B2-B5)to(B3-B4))$ με τη χρήση του εκθετικού μοντέλου για την ελληνική παράκτια θαλάσσια ζώνη, $dt=0-10$ ημέρες.....	41
Εικόνα 18: Συσχέτιση χλωροφύλλης-α με τον δείκτη $(B2-B7)to(B3-B6)$ με τη χρήση του εκθετικού μοντέλου για την ελληνική παράκτια θαλάσσια ζώνη, $dt=0-15$ ημέρες.....	41

Εικόνα 19: Συσχέτιση χλωροφύλλης-α με τον δείκτη $(B3+B7-B5)toB2$ με τη χρήση του εκθετικού μοντέλου για τον Σαρωνικό κόλπο, $dt=0-2$ ημέρες.....	45
Εικόνα 20: Συσχέτιση χλωροφύλλης-α με τον δείκτη $ln((2xB2+B5)toB3)$ με τη χρήση του εκθετικού μοντέλου για τον Σαρωνικό κόλπο, $dt=0-5$ ημέρες.....	45
Εικόνα 21: Συσχέτιση χλωροφύλλης-α με τον δείκτη $exp((B2-B4)to(B3-B4))$ με τη χρήση του εκθετικού μοντέλου για τον Σαρωνικό κόλπο, $dt=0-10$ ημέρες.....	46
Εικόνα 22: Συσχέτιση διαλυμένου οξυγόνου με τον δείκτη $exp(B3to(B2+B6-B5))$ με τη χρήση του απλού γραμμικού μοντέλου για την ελληνική παράκτια θαλάσσια ζώνη, $dt=0-2$ ημέρες.....	50
Εικόνα 23: Συσχέτιση διαλυμένου οξυγόνου με τον δείκτη $exp(B3to(B2+B6-B5))$ με τη χρήση του απλού γραμμικού μοντέλου για την ελληνική παράκτια θαλάσσια ζώνη, $dt=0-5$ ημέρες.....	50
Εικόνα 24: Συσχέτιση διαλυμένου οξυγόνου με τον δείκτη $exp((B2-B6)to(B2-B4))$ με τη χρήση του απλού γραμμικού μοντέλου για την ελληνική παράκτια θαλάσσια ζώνη, $dt=0-10$ ημέρες....	51
Εικόνα 25: Συσχέτιση διαλυμένου οξυγόνου με τον δείκτη $B1+B3-B4$ με τη χρήση του απλού γραμμικού μοντέλου για τον Σαρωνικό κόλπο, $dt=0-2$ ημέρες.....	53
Εικόνα 26: Συσχέτιση διαλυμένου οξυγόνου με τον δείκτη $B3-B4$ με τη χρήση του απλού γραμμικού μοντέλου για τον Σαρωνικό κόλπο, $dt=0-5$ ημέρες.....	54
Εικόνα 27: Συσχέτιση διαλυμένου οξυγόνου με τον δείκτη $(B2-B4)toB3$ με τη χρήση του εκθετικού μοντέλου για την ελληνική παράκτια θαλάσσια ζώνη, $dt=0-2$ ημέρες.....	57
Εικόνα 28: Συσχέτιση διαλυμένου οξυγόνου με τον δείκτη $B3to(B2+B6-B5)$ με τη χρήση του εκθετικού μοντέλου για την ελληνική παράκτια θαλάσσια ζώνη, $dt=0-5$ ημέρες.....	57
Εικόνα 29: Συσχέτιση διαλυμένου οξυγόνου με τον δείκτη $exp((B2-B6)to(B2-B4))$ με τη χρήση του εκθετικού μοντέλου για την ελληνική παράκτια θαλάσσια ζώνη, $dt=0-10$ ημέρες.....	58
Εικόνα 30: Συσχέτιση διαλυμένου οξυγόνου με τον δείκτη $B3-B6$ με τη χρήση του εκθετικού μοντέλου για τον Σαρωνικό κόλπο, $dt=0-2$ ημέρες.....	61
Εικόνα 31: Συσχέτιση διαλυμένου οξυγόνου με τον δείκτη $B2-B6$ με τη χρήση του εκθετικού μοντέλου για τον Σαρωνικό κόλπο, $dt=0-5$ ημέρες.....	61
Εικόνα 32: Συσχέτιση αλατότητας με τον δείκτη $(B2-B4)to(B3-B6)$ με τη χρήση του απλού γραμμικού μοντέλου για την ελληνική παράκτια θαλάσσια ζώνη, $dt=0-2$ ημέρες.....	64
Εικόνα 33: Συσχέτιση αλατότητας με τον δείκτη $exp((B2-B6)to(B2-B4))$ με τη χρήση του απλού γραμμικού μοντέλου για την ελληνική παράκτια θαλάσσια ζώνη, $dt=0-2$ ημέρες.....	64
Εικόνα 34: Συσχέτιση αλατότητας με τον δείκτη $B1+B3-B4$ με τη χρήση του απλού γραμμικού μοντέλου για τον Σαρωνικό κόλπο, $dt=0-2$ ημέρες.....	67

Εικόνα 35: Συσχέτιση αλατότητας με τον δείκτη $B2-B6$ με τη χρήση του απλού γραμμικού μοντέλου για τον Σαρωνικό κόλπο, $dt=0-2$ ημέρες.....	67
Εικόνα 36: Συσχέτιση αλατότητας με τον δείκτη $(B2-B4)to(B3-B6)$ με τη χρήση του εκθετικού μοντέλου για την ελληνική παράκτια θαλάσσια ζώνη, $dt=0-2$ ημέρες.....	69
Εικόνα 37: Συσχέτιση αλατότητας με τον δείκτη $exp((B2-B6)to(B2-B4))$ με τη χρήση του εκθετικού μοντέλου για την ελληνική παράκτια θαλάσσια ζώνη, $dt=0-2$ ημέρες.....	70
Εικόνα 38: Συσχέτιση αλατότητας με τον δείκτη $B2-B6$ με τη χρήση του εκθετικού μοντέλου για τον Σαρωνικό κόλπο, $dt=0-2$ ημέρες.....	72
Εικόνα 39: Συσχέτιση αλατότητας με τον δείκτη $B1+B4-B5$ με τη χρήση του εκθετικού μοντέλου για τον Σαρωνικό κόλπο, $dt=0-2$ ημέρες.....	73

Κατάλογος πινάκων

Πίνακας 1: Κατηγοριοποίηση των οικοσυστημάτων ως προς τον ευτροφισμό.....	6
Πίνακας 2: Φασματικά κανάλια των αισθητήρων του δορυφόρου Landsat-8.....	10
Πίνακας 3: Πλήθος <i>in situ</i> δεδομένων για τους ποιοτικούς δείκτες που μελετήθηκαν.....	16
Πίνακας 4: Εύρος συγκεντρώσεων των <i>in situ</i> δεδομένων για τους ποιοτικούς δείκτες.....	17
Πίνακας 5: Οι δορυφορικές εικόνες και οι αντίστοιχοι σταθμοί παρακολούθησης που χρησιμοποιήθηκαν για path/row: 183/34 του δορυφόρου Landsat-8.....	17
Πίνακας 6: Οι δορυφορικές εικόνες και οι αντίστοιχοι σταθμοί παρακολούθησης που χρησιμοποιήθηκαν για path/row: 181/33 του δορυφόρου Landsat-8.....	18
Πίνακας 7: Οι δορυφορικές εικόνες και οι αντίστοιχοι σταθμοί παρακολούθησης που χρησιμοποιήθηκαν για path/row: 181/34 του δορυφόρου Landsat-8.....	18
Πίνακας 8: Οι δορυφορικές εικόνες και οι αντίστοιχοι σταθμοί παρακολούθησης που χρησιμοποιήθηκαν για path/row: 181/35 του δορυφόρου Landsat-8.....	19
Πίνακας 9: Οι δορυφορικές εικόνες και οι αντίστοιχοι σταθμοί παρακολούθησης που χρησιμοποιήθηκαν για path/row: 181/36 του δορυφόρου Landsat-8.....	19
Πίνακας 10: Οι δορυφορικές εικόνες και οι αντίστοιχοι σταθμοί παρακολούθησης που χρησιμοποιήθηκαν για path/row: 182/35 του δορυφόρου Landsat-8.....	20
Πίνακας 11: Οι δορυφορικές εικόνες και οι αντίστοιχοι σταθμοί παρακολούθησης που χρησιμοποιήθηκαν για path/row: 183/32 του δορυφόρου Landsat-8.....	20
Πίνακας 12: Οι δορυφορικές εικόνες και οι αντίστοιχοι σταθμοί παρακολούθησης που χρησιμοποιήθηκαν για path/row: 183/33 του δορυφόρου Landsat-8.....	21
Πίνακας 13: Οι δορυφορικές εικόνες και οι αντίστοιχοι σταθμοί παρακολούθησης που χρησιμοποιήθηκαν για path/row: 183/34 του δορυφόρου Landsat-8.....	21
Πίνακας 14: Οι δορυφορικές εικόνες και οι αντίστοιχοι σταθμοί παρακολούθησης που χρησιμοποιήθηκαν για path/row: 184/32 του δορυφόρου Landsat-8.....	22
Πίνακας 15: Οι δορυφορικές εικόνες και οι αντίστοιχοι σταθμοί παρακολούθησης που χρησιμοποιήθηκαν για path/row: 184/33 του δορυφόρου Landsat-8.....	22
Πίνακας 16: Οι δορυφορικές εικόνες και οι αντίστοιχοι σταθμοί παρακολούθησης που χρησιμοποιήθηκαν για path/row: 184/34 του δορυφόρου Landsat-8.....	23

Πίνακας 17: Οι δορυφορικές εικόνες και οι αντίστοιχοι σταθμοί παρακολούθησης που χρησιμοποιήθηκαν για path/row: 185/33 του δορυφόρου Landsat-8.....	23
Πίνακας 18: Όλοι οι δείκτες καναλιών που δοκιμάστηκαν στην παρούσα διπλωματική εργασία για τη συσχέτιση της χλωροφύλλης-α, του διαλυμένου οξυγόνου και της αλατότητας.....	26
Πίνακας 19: Αποτελέσματα για τη χλωροφύλλη-α με τη χρήση του απλού γραμμικού μοντέλου για την ελληνική παράκτια θαλάσσια ζώνη.....	30
Πίνακας 20: Οι δείκτες και οι εξισώσεις με τις καλύτερες συσχετίσεις για τη χλωροφύλλη-α με τη χρήση του απλού γραμμικού μοντέλου για την ελληνική παράκτια θαλάσσια ζώνη, dt=0-5 ημέρες.....	33
Πίνακας 21: Οι δείκτες και οι εξισώσεις με τις καλύτερες συσχετίσεις για τη χλωροφύλλη-α με τη χρήση του απλού γραμμικού μοντέλου για την ελληνική παράκτια θαλάσσια ζώνη, dt=0-10 ημέρες.....	34
Πίνακας 22: Οι δείκτες και οι εξισώσεις με τις καλύτερες συσχετίσεις για τη χλωροφύλλη-α με τη χρήση του απλού γραμμικού μοντέλου για την ελληνική παράκτια θαλάσσια ζώνη, dt=0-15 ημέρες.....	34
Πίνακας 23: Αποτελέσματα για τη χλωροφύλλη-α με τη χρήση του απλού γραμμικού μοντέλου για τον Σαρωνικό κόλπο.....	35
Πίνακας 24: Οι δείκτες και οι εξισώσεις με τις καλύτερες συσχετίσεις για τη χλωροφύλλη-α με τη χρήση του απλού γραμμικού μοντέλου για τον Σαρωνικό κόλπο, dt=0-2 ημέρες.....	37
Πίνακας 25: Οι δείκτες και οι εξισώσεις με τις καλύτερες συσχετίσεις για τη χλωροφύλλη-α με τη χρήση του απλού γραμμικού μοντέλου για τον Σαρωνικό κόλπο, dt=0-5 ημέρες.....	38
Πίνακας 26: Αποτελέσματα για τη χλωροφύλλη-α με τη χρήση του εκθετικού μοντέλου για την ελληνική παράκτια θαλάσσια ζώνη.....	38
Πίνακας 27: Οι δείκτες και οι εξισώσεις με τις καλύτερες συσχετίσεις για τη χλωροφύλλη-α με τη χρήση του εκθετικού μοντέλου για την ελληνική παράκτια θαλάσσια ζώνη, dt=0-5 ημέρες.....	42
Πίνακας 28: Οι δείκτες και οι εξισώσεις με τις καλύτερες συσχετίσεις για τη χλωροφύλλη-α με τη χρήση του εκθετικού μοντέλου για την ελληνική παράκτια θαλάσσια ζώνη, dt=0-10 ημέρες.....	42
Πίνακας 29: Οι δείκτες και οι εξισώσεις με τις καλύτερες συσχετίσεις για τη χλωροφύλλη-α με τη χρήση του εκθετικού μοντέλου για την ελληνική παράκτια θαλάσσια ζώνη, dt=0-15 ημέρες.....	43
Πίνακας 30: Αποτελέσματα για τη χλωροφύλλη-α με τη χρήση του εκθετικού μοντέλου για τον Σαρωνικό κόλπο.....	43
Πίνακας 31: Οι δείκτες και οι εξισώσεις με τις καλύτερες συσχετίσεις για τη χλωροφύλλη-α με τη χρήση του εκθετικού μοντέλου για τον Σαρωνικό κόλπο, dt=0-2 ημέρες.....	46

Πίνακας 32: Οι δείκτες και οι εξισώσεις με τις καλύτερες συσχετίσεις για τη χλωροφύλλη-α με τη χρήση του εκθετικού μοντέλου για τον Σαρωνικό κόλπο, $dt=0-5$ ημέρες.....	47
Πίνακας 33: Αποτελέσματα για το διαλυμένο οξυγόνο με τη χρήση του απλού γραμμικού μοντέλου για την ελληνική παράκτια θαλάσσια ζώνη.....	48
Πίνακας 34: Οι δείκτες και οι εξισώσεις με τις καλύτερες συσχετίσεις για το διαλυμένο οξυγόνο με τη χρήση του απλού γραμμικού μοντέλου για την ελληνική παράκτια θαλάσσια ζώνη, $dt=0-2$ ημέρες.....	51
Πίνακας 35: Οι δείκτες και οι εξισώσεις με τις καλύτερες συσχετίσεις για το διαλυμένο οξυγόνο με τη χρήση του απλού γραμμικού μοντέλου για την ελληνική παράκτια θαλάσσια ζώνη, $dt=0-5$ ημέρες.....	52
Πίνακας 36: Οι δείκτες και οι εξισώσεις με τις καλύτερες συσχετίσεις για το διαλυμένο οξυγόνο με τη χρήση του απλού γραμμικού μοντέλου για την ελληνική παράκτια θαλάσσια ζώνη, $dt=0-10$ ημέρες.....	52
Πίνακας 37: Αποτελέσματα για το διαλυμένο οξυγόνο με τη χρήση του απλού γραμμικού μοντέλου για τον Σαρωνικό κόλπο.....	52
Πίνακας 38: Οι δείκτες και οι εξισώσεις με τις καλύτερες συσχετίσεις για το διαλυμένο οξυγόνο με τη χρήση του απλού γραμμικού μοντέλου για τον Σαρωνικό κόλπο, $dt=0-2$ ημέρες.....	54
Πίνακας 39: Οι δείκτες και οι εξισώσεις με τις καλύτερες συσχετίσεις για το διαλυμένο οξυγόνο με τη χρήση του απλού γραμμικού μοντέλου για τον Σαρωνικό κόλπο, $dt=0-5$ ημέρες.....	55
Πίνακας 40: Αποτελέσματα για το διαλυμένο οξυγόνο με τη χρήση του εκθετικού μοντέλου για την ελληνική παράκτια θαλάσσια ζώνη.....	55
Πίνακας 41: Οι δείκτες και οι εξισώσεις με τις καλύτερες συσχετίσεις για το διαλυμένο οξυγόνο με τη χρήση του εκθετικού μοντέλου για την ελληνική παράκτια θαλάσσια ζώνη, $dt=0-2$ ημέρες.....	58
Πίνακας 42: Οι δείκτες και οι εξισώσεις με τις καλύτερες συσχετίσεις για το διαλυμένο οξυγόνο με τη χρήση του εκθετικού μοντέλου για την ελληνική παράκτια θαλάσσια ζώνη, $dt=0-5$ ημέρες.....	59
Πίνακας 43: Οι δείκτες και οι εξισώσεις με τις καλύτερες συσχετίσεις για το διαλυμένο οξυγόνο με τη χρήση του εκθετικού μοντέλου για την ελληνική παράκτια θαλάσσια ζώνη, $dt=0-10$ ημέρες.....	59
Πίνακας 44: Αποτελέσματα για το διαλυμένο οξυγόνο με τη χρήση του εκθετικού μοντέλου για τον Σαρωνικό κόλπο.....	60
Πίνακας 45: Οι δείκτες και οι εξισώσεις με τις καλύτερες συσχετίσεις για το διαλυμένο οξυγόνο με τη χρήση του εκθετικού μοντέλου για τον Σαρωνικό κόλπο, $dt=0-2$ ημέρες.....	62

Πίνακας 46: Οι δείκτες και οι εξισώσεις με τις καλύτερες συσχετίσεις για το διαλυμένο οξυγόνο με τη χρήση του εκθετικού μοντέλου για τον Σαρωνικό κόλπο, $dt=0-5$ ημέρες.....	62
Πίνακας 47: Αποτελέσματα για την αλατότητα με τη χρήση του απλού γραμμικού μοντέλου για την ελληνική παράκτια θαλάσσια ζώνη.....	63
Πίνακας 48: Οι δείκτες και οι εξισώσεις με τις καλύτερες συσχετίσεις για την αλατότητα με τη χρήση του απλού γραμμικού μοντέλου για την ελληνική παράκτια θαλάσσια ζώνη, $dt=0-2$ ημέρες.....	65
Πίνακας 49: Αποτελέσματα για την αλατότητα με τη χρήση του απλού γραμμικού μοντέλου για τον Σαρωνικό κόλπο.....	65
Πίνακας 50: Οι δείκτες και οι εξισώσεις με τις καλύτερες συσχετίσεις για την αλατότητα με τη χρήση του απλού γραμμικού μοντέλου για Σαρωνικό κόλπο, $dt=0-2$ ημέρες.....	68
Πίνακας 51: Αποτελέσματα για την αλατότητα με τη χρήση του εκθετικού μοντέλου για την ελληνική παράκτια θαλάσσια ζώνη.....	68
Πίνακας 52: Οι δείκτες και οι εξισώσεις με τις καλύτερες συσχετίσεις για την αλατότητα με τη χρήση του εκθετικού μοντέλου για την ελληνική παράκτια θαλάσσια ζώνη, $dt=0-2$ ημέρες.....	70
Πίνακας 53: Αποτελέσματα για την αλατότητα με τη χρήση του εκθετικού μοντέλου για τον Σαρωνικό κόλπο.....	71
Πίνακας 54: Οι δείκτες και οι εξισώσεις με τις καλύτερες συσχετίσεις για την αλατότητα με τη χρήση του εκθετικού μοντέλου για τον Σαρωνικό κόλπο, $dt=0-2$ ημέρες.....	73