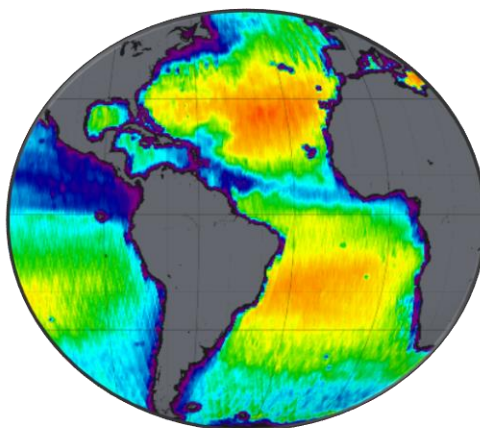




ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ & ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
Τομέας Τοπογραφίας-Εργαστήριο Τηλεπισκόπησης

**Εκτίμηση της ποιότητας των υδάτων σε παράκτιες περιοχές της
Ευρώπης με υψηλής ανάλυσης πολυφασματικά τηλεπισκοπικά δεδομένα**

**Estimating the quality of coastal European waters with high resolution
multispectral remote sensing data**



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Δέσποινα Μουντογιαννάκη

Αθήνα, Οκτώβριος 2015

Διπλωματική Εργασία

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή στις 22/10/2015.

.....
Κωνσταντίνος Καράντζαλος
Επ. Καθηγητής

.....
Μαρία Παπαδοπούλου
Αν. Καθηγήτρια

.....
Βασίλειος Τσιχριντζής
Καθηγητής

.....
Δέσποινα Μουντογιαννάκη
Διπλωματούχος Αγρονόμος Τοπογράφος Μηχανικός

© Αθήνα, 2015 Μουντογιαννάκη Δέσποινα

Με επιφύλαξη εντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Περίληψη

Οι ανθρώπινες δραστηριότητες, όπως η βιομηχανική παραγωγή και οι ιχθυοκαλλιέργειες, είναι αυτές που καθοριστικά συμβάλλουν στο φαινόμενο του ευτροφισμού των παράκτιων υδάτων. Οι Ευρωπαϊκές Οδηγίες-Πλαίσιο για το Νερό (2000/60/EC) και για τη Θαλάσσια Στρατηγική (2008/56/EC) απαιτούν την παρακολούθηση της κατάστασης του θαλάσσιου περιβάλλοντος και την επίτευξη «Καλής Περιβαλλοντικής Κατάστασης» (*Good Environmental Status*) σε όλα τα ύδατα με συγκεκριμένους ποσοτικούς στόχους.

Προς την κατεύθυνση αυτή, στην παρούσα διπλωματική εργασία διερευνήθηκε και αξιολογήθηκε η δυνατότητα εκτίμησης της ποιότητας των υδάτων από διαχρονικά τηλεπισκοπικά δεδομένα σε παράκτιες περιοχές της δυτικής και νότιας Ευρώπης. Μελετήθηκαν σημαντικοί δείκτες ποιότητας όπως η χλωροφύλλη-α, το αμμώνιο, το βάθος του δίσκου Secchi, η ηλεκτρική αγωγιμότητα, το διαλυμένο οξυγόνο και τα ορθοφωσφορικά ανιόντα σε σχέση με διαχρονικές δορυφορικές παρατηρήσεις και (in-situ) μετρήσεις (περισσότερες από 1100) από πυκνές δειγματοληψίες πεδίου. Τα πειραματικά αποτελέσματα των συσχετίσεων αξιολογήθηκαν για μόνιμους παράκτιους και θαλάσσιους σταθμούς παρακολούθησης (περί τους 80) δύο ευρωπαϊκών χωρών, της Γαλλίας και της Ισπανίας. Τα δορυφορικά δεδομένα και οι μετρήσεις πεδίου (in-situ) που αξιολογήθηκαν ήταν ταυτόχρονες ή επιλεγμένες να απέχουν χρονικά έως το πολύ 10 ημέρες. Τα δεδομένα συσχετίστηκαν με τεχνικές απλής γραμμικής και λογαριθμικής-γραμμικής παλινδρόμησης.

Τα πολλαπλά πειραματικά αποτελέσματα είναι ελπιδοφόρα και συμφωνούν σε γενικές γραμμές με την σχετική βιβλιογραφία. Συγκεκριμένα, για την χλωροφύλλη-α επιτεύχθηκαν συσχετίσεις τόσο για συγκεντρώσεις μεταξύ 4-10 $\mu\text{g/l}$ ($R^2 = 71\%$) όσο και για συγκεντρώσεις μεταξύ 10-20 $\mu\text{g/l}$ ($R^2 = 92\%$). Οι συγκεντρώσεις αμμωνίου συσχετίστηκαν με ταυτόχρονες δορυφορικές και μετρήσεις πεδίου με R^2 κοντά στο 70%. Το βάθος του δίσκου Secchi έδωσε ισχυρές συσχετίσεις ($R^2 = 92\%$) για μεγάλο εύρος τιμών (2μ-16μ). Αντιθέτως, η ηλεκτρική αγωγιμότητα συσχετίστηκε με R^2 περίπου 67% και σε βάθος 10 ημερών μόνο στους ισπανικούς σταθμούς στον Ατλαντικό Ωκεανό. Τις μικρότερες συσχετίσεις έδωσε το διαλυμένο οξυγόνο, όπου ο δείκτης R^2 δεν ξεπέρασε το 62% για χρονική διαφορά 2 ημερών. Οι συγκεντρώσεις ορθοφωσφορικών ανιόντων έδωσαν ικανοποιητικές συσχετίσεις έως και 80%.

Συμπερασματικά με πολλαπλές διαχρονικές πολυφασματικές τηλεπισκοπικές παρατηρήσεις και αντίστοιχες μετρήσεις πεδίου είναι εφικτό να εκτιμηθούν έγκαιρα και για εκτεταμένες χωρικά περιοχές βασικοί δείκτες ποιότητας σε παράκτια ύδατα. Με τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας και την περαιτέρω αξιολόγησή τους σε περισσότερα έτη μπορεί να συστηματοποιηθεί η αξιοποίηση των τηλεπισκοπικών δεδομένων για την ακριβή εκτίμηση της περιβαλλοντικής κατάστασης των παράκτιων υδάτων.

Abstract

Human activities, such as industrial production and sea fish farming are those that decisively contribute to eutrophication of coastal waters. The European Water Framework Directive (2000/60/EC) and the Marine Strategy Framework Directive (2008/56/EC) require marine environmental state monitoring and "Good Environmental Status» achievement with specific quantitative targets in all water bodies.

Towards this end, we studied and evaluated the estimation of water quality from multi-temporal remotely sensed data in coastal areas of western and southern Europe. Important quality indicators such as chlorophyll-a, ammonium, Secchi disk depth, electrical conductivity, dissolved oxygen and orthophosphate anions, were studied along with multitemporal satellite observations and (in-situ) measurements (more than 1100) from dense field sampling. The experimental results were focused on the permanent coastal and marine monitoring stations (about 80) of two European countries, France and Spain. The employed satellite data and field measurements (in-situ) were simultaneous or were selected to have a temporal offset of maximum 10 days. The established relations were based on simple linear and log-linear regression.

The multiple experimental results were promising and in most cases in accordance with the literature. In particular, chlorophyll-a correlations for concentrations of 4 to 10 ug/l reached a 71% (R^2) and for concentrations of 10 to 20 ug/l a 92%. Ammonium concentrations were correlated with simultaneous satellite and field measurements resulting to R^2 values close to 70%. The Secchi disk depth resulted to significant high correlations ($R^2 = 92\%$) for a wide range of values (2m-16m). The electrical conductivity was correlated only with the Spanish stations of Atlantic Ocean, providing a relative low R^2 at 67% with time window of 10 days. Dissolved Oxygen, also, resulted to relative low R^2 i.e., 62% for a time window of 2 days. The concentrations of the orthophosphate anions resulted to relative high correlations i.e., up to 80%.

To sum up, based on high resolution, multitemporal, multispectral satellite data along with concurrent in-situ field campaigns, it is possible to assess remotely certain key water quality indicators in regional and national scales. The derived and evaluated models along with a further evaluation including all available datasets can set the basis for the development of a validated, operational, remote sensing, monitoring system for the accurate and timely coastal water quality estimation.

Ευχαριστίες

Κλείνοντας τη διπλωματική μου εργασία θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους ανθρώπους που ήταν τόσα χρόνια πλάι μου και συνέβαλλαν λίγο ή πολύ και ο καθένας με τον δικό του τρόπο σε αυτήν μου τη προσπάθεια. Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου, οι οποίοι με στηρίζουν όχι μόνο τα τελευταία χρόνια αλλά και όλα τα προηγούμενα, έχοντας μου προσφέρει τις απαραίτητες βάσεις για να μπορώ να χτίσω και το δικό μου μέλλον. Στη συνέχεια τα αδέρφια μου Μάνο και Παναγιώτη, από τους οποίους έχω αντλήσει ήδη πολλά παραδείγματα προς μίμηση, μιας και είναι και μεγαλύτεροι μου.

Από τη σχολή θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους καθηγητές μου και ιδιαίτερα τον κ. Κωνσταντίνο Καράντζαλο, ο οποίος μου έδωσε την ευκαιρία να ασχοληθώ με το συγκεκριμένο αντικείμενο, το οποίο αξιοποιεί την τεχνολογία με στόχο ένα πολύ σημαντικό ζήτημα για εμένα, όπως είναι γενικότερα η προστασία του περιβάλλοντος και στη συνέχεια με κατεύθυνε μέχρι το τέλος της εργασίας. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω την κα. Μαρία Παπαδοπούλου για τις επιπλέον κατευθύνσεις που μου έδωσε και τον κ. Βασίλειο Τσιχριντζή για τα δεδομένα που μου διέθεσε.

Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω την Ιωάννα Θεολόγου για τη βοήθεια που ήταν πάντα πρόθυμη να μου προσφέρει και το Ζαχαρία Κανδυλάκη για τη βοήθεια που μου προσέφερε στο προγραμματιστικό κομμάτι.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω πολύ όλους τους φίλους μου για τη στήριξη που δίνουμε ο ένας στον άλλον όλα αυτά τα χρόνια και για τις τόσες πολλές και όμορφες στιγμές που περάσαμε. Πιστεύω ότι αυτό θα συνεχιστεί και τα επόμενα χρόνια, ανεξαρτήτως του που θα βρισκόμαστε στο μέλλον.

Περιεχόμενα

1. Εισαγωγή	1
1.1 Κίνητρο	3
1.2 Συνεισφορά	4
2. Δείκτες Ποιότητας Υδάτων και Τηλεπισκοπικές Παρατηρήσεις	6
2.1 Ευρωπαϊκή Νομοθεσία για την Προστασία των Υδάτων	6
2.2 Δείκτες Ποιότητας Νερού	9
2.3 Σταθμοί Παρακολούθησης	12
2.4 Μέθοδοι Παρατήρησης Γης και Τηλεπισκόπηση	14
2.5 Διάδοση Ακτινοβολίας στο Νερό	15
2.6 Πρόγραμμα Landsat	17
2.6.1 Δορυφόρος Landsat 8	17
2.6.2 Προϊόν Surface Reflectance	19
3. Σχετικές Ερευνητικές Εργασίες	23
3.1 Εργασίες της Βιβλιογραφίας στο Γενικότερο Θέμα	23
3.2 Πρόσφατες Σχετικές Εργασίες και Αποτελέσματα	27
4. Μεθοδολογία	36
4.1 Συλλογή και Προετοιμασία Δεδομένων	37
4.2 Εύρεση Ζευγών in-situ Μετρήσεων και Φασματικών Τιμών	40
4.3 Μοντέλα Παλινδρόμησης και Συσχετίσεις Δεδομένων	42
4.4 Διαδικασία Διερεύνησης για κάθε Ποιοτικό Δείκτη	45
5. Αποτελέσματα και Αξιολόγηση	50
5.1 Χλωροφύλλη-α	50
5.1.1 Αποτελέσματα συσχέτισεων με χρήση όλων των διαθέσιμων δεδομένων	50
5.1.2 Ομαδοποίηση βάσει συγκέντρωσης	52
5.1.3 Ομαδοποίηση βάσει γεωγραφικής περιοχής	56

5.2	Αμμώνιο	59
5.2.1	Αποτελέσματα συσχετίσεων με χρήση όλων των διαθέσιμων δεδομένων	59
5.2.2	Ομαδοποίηση βάσει συγκέντρωσης.....	61
5.2.3	Ομαδοποίηση βάσει γεωγραφικής περιοχής	61
5.3	Βάθος Secchi	65
5.3.1	Αποτελέσματα συσχετίσεων με χρήση όλων των διαθέσιμων δεδομένων	65
5.3.2	Ομαδοποίηση βάσει γεωγραφικής περιοχής	67
5.4	Ηλεκτρική Αγωγιμότητα.....	70
5.5	Διαλυμένο Οξυγόνο	72
5.6	Ορθοφωσφορικά Ανιόντα.....	73
5.7	Σύγκριση Αποτελεσμάτων με τους Δείκτες της Βιβλιογραφίας	75
5.7.1	Εφαρμογή και σύγκριση δεικτών χλωροφύλλης-α.....	76
5.7.2	Εφαρμογή και σύγκριση δεικτών βάθους Secchi	78
6.	Συμπεράσματα και Προτάσεις.....	80
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	84
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	99
	ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ.....	102
	ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	104

1. Εισαγωγή

Το νερό αποτελεί ένα αναγκαίο στοιχείο για την επιβίωση όλων των ζωντανών οργανισμών του πλανήτη. Έχει καθοριστικό ρόλο σε πολλές βιολογικές διεργασίες και είναι βασικό συστατικό για αναρίθμητες φυσικές και χημικές αντιδράσεις. Αποτελεί μία ανανεώσιμη πηγή, υπό την έννοια ότι ανακυκλώνεται μέσω του υδρολογικού κύκλου.

Οι παράκτιες ζώνες είναι αρκετά σύνθετες, δυναμικές και αποτελούν τις πιο παραγωγικές περιοχές στον παγκόσμιο ωκεανό. Συνθέτουν λιγότερο από το 8% των ωκεάνιων περιοχών του πλανήτη, και παρόλα αυτά σχεδόν το 90% των αλιευμάτων αντλείται από αυτές (Miller et al., 2005). Επιπλέον, σε αυτήν συσσωρεύονται οι θρεπτικές ουσίες και τα ιζήματα από επίγειες και ατμοσφαιρικές πηγές. Αποτελούν πηγή σημαντικών αγαθών και χώρο δραστηριοτήτων για τον άνθρωπο, όπως η μεταφορά, η ψυχαγωγία, η παροχή ενέργειας κτλ. Άλλωστε, δεν είναι τυχαίο, ότι η πυκνότητα του πληθυσμού αυξάνεται με μεγαλύτερο ρυθμό κατά μήκος των ακτών σε σχέση με τη χερσαία ζώνη (Miller et al., 2005).

Η παράκτια περιοχή επομένως υφίσταται μεγάλες πιέσεις. Η ανθρώπινη δραστηριότητα μπορεί να οδηγήσει στην υπερεκμετάλλευση των φυσικών πόρων και έχει μεταβάλλει τα πρότυπα των εισροών του γλυκού νερού αυξάνοντας τη ροή των θρεπτικών ουσιών και των ιζημάτων στα ποτάμια προκαλώντας φαινόμενα ευτροφισμού. Αυτές οι πτυχές, σε συνδυασμό με την ευαισθησία που χαρακτηρίζει το οικοσύστημα, έχουν επηρεάσει υπερβολικά τα παράκτια ύδατα, με αποτέλεσμα την πτώση της ποιότητας τους και τον περιορισμό της βιοποικιλότητας σε παγκόσμια κλίμακα. Οι διάφορες μορφές μόλυνσης πιθανόν να προέρχονται από παθογόνους μικροοργανισμούς (βακτήρια και ιούς), τοξικές ουσίες (π.χ. βαρέα μέταλλα και βιομηχανικά απόβλητα), θρεπτικές ουσίες (νιτρικά και φωσφορικά ιόντα από λιπάσματα και φυτοφάρμακα), εισροές ζεστού νερού, απορρίμματα κτλ.¹

Για τους παραπάνω λόγους, η συνεχής παρακολούθηση της ποιοτικής τους κατάστασης κρίνεται αναγκαία. Η συμβατική μέθοδος παρακολούθησης απαιτεί την επιτόπια δειγματοληψία του νερού και την εργαστηριακή ανάλυση του δείγματος. Πλεονέκτημα της είναι η ακρίβεια των πληροφοριών που παρέχει. Ωστόσο μειονεκτεί σε κάποια άλλα ζητήματα.

¹ <http://oceanworld.tamu.edu/resources/oceanography-book/introtocoastalpollution.htm>

Σε πολλές περιπτώσεις οι δειγματοληψίες δε πραγματοποιούνται ανά τα απαιτούμενα χρονικά διαστήματα λόγω του μεγάλου οικονομικού κόστους. Επιπλέον, η παρακολούθηση περιοχών μεγάλης κλίμακας είναι δύσκολο να πραγματοποιηθεί μόνο με επιτόπιες δειγματοληψίες. Χαρακτηριστικά παραδείγματα της τελευταίας περίπτωσης, είναι οι Μεσογειακές χώρες, οι οποίες διαθέτουν χιλιάδες χιλιόμετρα ακτογραμμής και μεγάλο πλήθος νησιών.

Η Τηλεπισκόπηση αποτελεί ένα αποδεδειγμένα αποτελεσματικό εργαλείο για την επίλυση των παραπάνω ζητημάτων. Η εκτίμηση της ποιότητας των υδάτων με χρήση της Τηλεπισκόπησης έχει ξεκινήσει από τη δεκαετία του 1970, για παράδειγμα από τους Strong (1974) και Klemas et al (1974) με χρήση του δορυφόρου ERTS-1 (Earth Resources Technology Satellite), ο οποίος μετονομάστηκε αργότερα σε Landsat-1. Μέχρι σήμερα υπάρχει πλήθος διαθέσιμων αλγορίθμων για τη μέτρηση και τη χαρτογράφηση των υδάτων. Πολλές μελέτες έχουν πραγματοποιηθεί για τα νερά Κατηγορίας-I², οι οποίες έχουν δώσει αξιόπιστα αποτελέσματα για την εκτίμηση του φυτοπλαγκτού και της χλωροφύλλης. Ωστόσο, η εκτίμηση διάφορων ουσιών του νερού για τα νερά Κατηγορίας-II³, όπως είναι τα παράκτια, είναι συχνά ανακριβής. Για αυτό το λόγο ένα από τα κυριότερα ζητήματα είναι η βελτίωση της ακρίβειας των αλγορίθμων αυτών μέσω της κατανόησης των οπτικών ιδιοτήτων των συστατικών του νερού.

Οι οπτικές ιδιότητες του νερού ταξινομούνται σε δύο κατηγορίες, τις Εγγενείς Οπτικές Ιδιότητες (*Inherent Optical Properties-IOPs*) και τις Φαινόμενες Οπτικές Ιδιότητες (*Apparent Optical Properties-AOPs*). Οι IOPs περιλαμβάνουν τις ιδιότητες που εξαρτώνται μόνο από το μέσο - στη συγκεκριμένη περίπτωση το θαλασσινό νερό - και δεν εξαρτώνται από τις συνθήκες φωτεινότητας του περιβάλλοντος. Οι ιδιότητες αυτές είναι συγκεκριμένες για ορισμένο όγκο νερού και μπορούν να αναλυθούν είτε με χρήση κάποιου δείγματος νερού σε κάποιο εργαστήριο, είτε με επιτόπια μέτρηση στη θάλασσα. Παραδείγματα είναι οι ιδιότητες απορρόφησης και διάχυσης του μέσου και οι οποίες εκφράζονται από το συντελεστή απορρόφησης και διάχυσης, αντιστοίχως. Η ανάπτυξη των ημι-αναλυτικών και αναλυτικών αλγορίθμων, που στοχεύουν στην εκτίμηση της ποιότητας του νερού, βασίζεται στην

² Τα νερά Κατηγορίας-I (Case-I) είναι αυτά, όπου οι οπτικές ιδιότητες τους χαρακτηρίζονται μόνο από ένα οπτικό χαρακτηριστικό, το φυτοπλαγκτόν. Οι ωκεανοί ανήκουν στην Κατηγορία-I (Gerace, 2010).

³ Τα νερά κατηγορίας II (Case-II) είναι οπτικά σύνθετα, επειδή πέρα από το φυτοπλαγκτόν, περιέχουν αιωρούμενα συστατικά και έγχρωμη διαλυμένη οργανική ύλη. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν τα εσωτερικά και παράκτια ύδατα (Gerace,2010).

πλειονότητα τους σε αυτούς τους δύο συντελεστές. Οι AOPs βασίζονται επιπλέον στη φύση των συστατικών που συναντώνται στο μέσο, π.χ. η συγκέντρωση χλωροφύλλης. Οι ιδιότητες αυτές είναι προσωρινές λόγω των μεταβολών που λαμβάνουν χώρα στη σύνθεση του νερού.

Παράλληλα, οι αλγόριθμοι που έχουν αναπτυχθεί βασίζονται συνήθως σε τρεις διαφορετικές προσεγγίσεις, την εμπειρική, την ημι-εμπειρική και την αναλυτική προσέγγιση (Abu Daya, 2004):

- Η εμπειρική προσέγγιση ή «στατιστική προσέγγιση» βασίζεται στον υπολογισμό της στατιστικής σχέσης μεταξύ της εκτιμώμενης ουσίας και της ακτινοβολίας που επιστρέφει στο δέκτη. Η στατιστική σχέση προκύπτει συνήθως από μεθόδους παλινδρόμησης. Τα μοντέλα που προκύπτουν από αυτήν τη μέθοδο δεν είναι απαραίτητως αληθή, καθώς δεν υπάρχει πάντα αιτιώδης σχέση για να τα εξηγήσει. Η ανάπτυξη των εμπειρικών μοντέλων απαιτεί προηγουμένως τη λήψη επιτόπιων δεδομένων και είναι καλύτερο η δειγματοληψία να γίνεται την ίδια ημέρα με την λήψη των φασματικών δεδομένων.
- Στην ημι-εμπειρική προσέγγιση οι IOPs των συστατικών του νερού είναι γνωστές και χρησιμοποιούνται για τη βελτίωση των εμπειρικών αλγορίθμων.
- Τέλος, οι αναλυτικοί αλγόριθμοι (βιο-οπτικοί) βασίζονται σε θεωρίες οπτικής. Επειδή στηρίζονται σε σταθερές θεμελιώδεις βάσεις και εξισώσεις είναι συνήθως ισχυροί.

1.1 Κίνητρο

Κίνητρο για την εκπόνηση αυτής της εργασίας αποτέλεσε η ανάδειξη της συμβολής της Τηλεπισκόπησης στην παρακολούθηση των παράκτιων υδάτων και ιδιαίτερα των δορυφορικών δεκτών υψηλής ανάλυσης, όπως ο Landsat-8. Τα πλεονεκτήματα αυτής της τεχνολογίας δεν είναι ακόμα ευρέως διαδεδομένα, ιδιαίτερα στην Ελλάδα, παρόλο που η Τηλεπισκόπηση χρησιμοποιείται σαν εργαλείο στην εκτίμηση της ποιότητας των υδάτων αρκετές δεκαετίες. Οι δορυφορικοί δέκτες μπορούν να διαθέσουν δεδομένα παρακολούθησης για μεγάλες περιοχές παρέχοντας μία γενικότερη εικόνα της περιβαλλοντικής κατάστασης των υδάτων. Συγκεκριμένα, οι δορυφόροι υψηλής ανάλυσης είναι ιδανικοί για εφαρμογές σε παράκτια ύδατα, όπου οι σταθμοί παρακολούθησης βάσει της Οδηγίας-Πλαίσιο για τα Νερά πρέπει να βρίσκονται εντός ενός ναυτικού μιλίου από τη γραμμή βάσης. Οι πιο συχνά χρησιμοποιημένοι δορυφόροι έχουν εδαφοψηφίδα έως 1000 m, οπότε κρίνονται ακατάλληλοι

για αυτές τις εφαρμογές. Οι πληροφορίες αυτές παρέχονται σε τακτά χρονικά διαστήματα, π.χ. ανά 16 ημέρες για τον Landsat-8. Δίνεται ακόμα η δυνατότητα να εκτιμηθεί η ποιότητα τους σε παρελθόντα χρόνο, ώστε να αναλυθούν πιθανές μεταβολές στην ποιοτική τους κατάσταση και να δημιουργηθεί μία ολοκληρωμένη βάση δεδομένων. Τα παραπάνω έχουν αμελητέο οικονομικό κόστος, καθώς οι δορυφορικές εικόνες παρέχονται συνήθως χωρίς οικονομική επιβάρυνση.

1.2 Συνεισφορά

Η παρούσα διπλωματική εργασία συμβάλει κυρίως στην αξιολόγηση των σύγχρονων υψηλής χωρικής ανάλυσης τηλεπισκοπικών δεδομένων για την έγκαιρη και με ακρίβεια εκτίμηση της ποιότητας των παράκτιων υδάτων, συστηματικά και σε εκτεταμένες γεωγραφικά περιοχές.

Όπως και σε αντίστοιχες, λίγες σε αριθμό, εργασίες της βιβλιογραφίας στην παρούσα διπλωματική εργασία μελετήθηκαν σημαντικοί δείκτες ποιότητας όπως η χλωροφύλλη-α, το αμμώνιο, το βάθος του δίσκου Secchi, η ηλεκτρική αγωγιμότητα, το διαλυμένο οξυγόνο και τα ορθοφωσφορικά ανιόντα σε σχέση με διαχρονικές δορυφορικές παρατηρήσεις και (in-situ) μετρήσεις (περισσότερες από 1100) από πυκνές δειγματοληψίες πεδίου. Τα πειραματικά αποτελέσματα των συσχετίσεων αξιολογήθηκαν για μόνιμους παράκτιους και θαλάσσιους σταθμούς (περί τους 80) παρακολούθησης δύο ευρωπαϊκών χωρών, της Γαλλίας και της Ισπανίας.

Η εργασία και τα αποτελέσματά της συνεισφέρει επίσης:

- Με την εισαγωγή νέων μοντέλων συσχέτισης κυρίως για την χλωροφύλλη-α και το βάθος Secchi.
- Με την εφαρμογή δεικτών της βιβλιογραφίας στην περιοχή μελέτης, την σύγκριση των αποτελεσμάτων και την αξιολόγησή τους. Το σημείο αυτό είναι ιδιαίτερης σημασίας, καθώς τα εμπειρικά μοντέλα συνήθως αξιολογούνται μόνο βάσει της επαναληψιμότητας των αποτελεσμάτων τους.
- Με την εξαγωγή προτεινόμενων δεικτών για το αμμώνιο, το διαλυμένο οξυγόνο, την ηλεκτρική αγωγιμότητα και τα ορθοφωσφορικά ανιόντα. Οι συγκεκριμένοι δείκτες δεν είχαν μελετηθεί σε παράκτια ύδατα με χρήση πολυφασματικών δεδομένων.

- Γενικά με την αξιολόγηση του αισθητήρα OLI και την ανάδειξη των πιθανών δυνατοτήτων του για μελέτες σε νερά Κατηγορίας-II, καθώς και την αξιολόγηση των προϊόντων *Landsat-8 Surface Reflectance*.

2. Δείκτες Ποιότητας Υδάτων και Τηλεπισκοπικές Παρατηρήσεις

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται η βασική θεωρία γύρω από την ποιότητα των υδάτων και την Τηλεπισκόπηση. Στις πρώτες τρεις παραγράφους αναλύεται η νομοθεσία για την προστασία των υδατικών πόρων της Ευρώπης, περιγράφονται οι δείκτες ποιότητας που μελετήθηκαν στην παρούσα εργασία και ορισμένα χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης. Τα επόμενα τρία κεφάλαια αφορούν το κομμάτι της Ψηφιακής Τηλεπισκόπησης, τη διάδοση της ακτινοβολίας στο νερό και τον δορυφορικό δέκτη Landsat-8.

2.1 Ευρωπαϊκή Νομοθεσία για την Προστασία των Υδάτων

Η προστασία των παράκτιων και των θαλάσσιων υδάτων αντιμετωπίζει περίπλοκα και πολύπλευρα προβλήματα, καθώς το θαλάσσιο περιβάλλον δέχεται πιέσεις ταυτόχρονα από χερσαίες και θαλάσσιες πηγές μόλυνσης. Για το λόγο αυτό, η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει καθιερώσει δύο σημαντικές νομοθετικές πράξεις, τις Οδηγίες 2000/60/EC και 2008/56/EC, οι οποίες προσεγγίζουν αναλυτικά το ζήτημα.

Οδηγία-Πλαίσιο για τα Νερά (*Water Framework Directive-WFD*)

Η Οδηγία 2000/60/EC ή Οδηγία-Πλαίσιο για τα Νερά υιοθετήθηκε το 2000 από τα κράτη-μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης και καθιερώνει το πλαίσιο των ενεργειών της Κοινότητας για μία αποτελεσματική πολιτική προστασίας των υδάτων. Τα κράτη-μέλη δεσμεύονται βάσει αυτής να πετύχουν την καλή περιβαλλοντική κατάσταση στα ύδατα τους (*Good Environmental Status-GES*) μέχρι το έτος 2015. Η Ελλάδα εναρμονίστηκε με την Οδηγία με την ψήφιση του Ν. 3199/2003 ([ΥΠΕΚΑ, Υδατικοί Πόροι, Οδηγία-Πλαίσιο για τα Νερά](#)).

Η Οδηγία αφορά υπόγεια και επιφανειακά ύδατα, δηλαδή ποτάμια, λίμνες, μεταβατικά και παράκτια ύδατα. Ως παράκτια ύδατα ορίζονται εκείνα τα οποία βρίσκονται σε απόσταση

μικρότερη του ενός ναυτικού μιλίου από το πλησιέστερο σημείο της γραμμής βάσης⁴. Η περιβαλλοντική κατάσταση τους μελετάται από δύο απόψεις, την οικολογική και την χημική.

Σύμφωνα με την Οδηγία, η **χημική κατάσταση** εστιάζει στις συγκεντρώσεις των ρύπων και 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 και βιομάζα φυτοπλαγκτού, σύνθεση και αφθονία της λοιπής υδατικής χλωρίδας κτλ).
- Υδρομορφολογικά στοιχεία που υποστηρίζουν τα βιολογικά στοιχεία, όπως οι μορφολογικές συνθήκες και το παλιρροιακό καθεστώς.
- Χημικά και φυσικοχημικά στοιχεία που υποστηρίζουν τα βιολογικά στοιχεία, όπως η διαύγεια του νερού, οι θερμικές συνθήκες, οι συνθήκες οξυγόνωσης, η αλατότητα, οι συνθήκες των θρεπτικών ουσιών και συγκεκριμένοι ρύποι που απορρίπτονται στο υδατικό σύστημα.

Η συγκεκριμένη οδηγία θεσπίζει τις ενέργειες που πρέπει να υλοποιηθούν για την επίτευξη της GES, σε αντίθεση με προηγούμενες συντηρητικές οδηγίες, οι οποίες απλώς έθεταν κάποια όρια. Μία σημαντική διαφορά της συγκεκριμένης οδηγίας είναι, ότι η διαχείριση του κάθε προγράμματος δεν γίνεται στο πλαίσιο της κάθε χώρας αλλά στα πλαίσια των περιοχών που διαμορφώνονται από κάθε λεκάνη απορροής ποταμού (*River Basin Districts*). Αυτό σημαίνει ότι σε περίπτωση που μία λεκάνη απορροής ποταμού βρίσκεται σε δύο κράτη απαιτείται η μεταξύ τους συνεννόηση για τη διαμόρφωση μίας κοινής στρατηγικής.

Το κάθε κράτος οφείλει να εκπονήσει και να εφαρμόσει τα «σχέδια διαχείρισης λεκανών απορροής ποταμών», το κάθε ένα από τα οποία οφείλει να περιγράφει τα γενικά χαρακτηριστικά της περιοχής που καλύπτει, να εξακριβώνει και να χαρτογραφεί τις προστατευόμενες περιοχές και το δίκτυο των σταθμών παρακολούθησης, να αναγνωρίζει και να αξιολογεί τις περιβαλλοντικές πιέσεις που δέχεται η περιοχή, να συνοψίζει τις χρήσεις γης, να αναλύει τα οικονομικά κόστη του σχεδίου, να περιλαμβάνει πληροφορίες για τις μετρήσεις

⁴ Γραμμή βάσης: η γραμμή από την οποία μετριέται το εύρος των χωρικών υδάτων

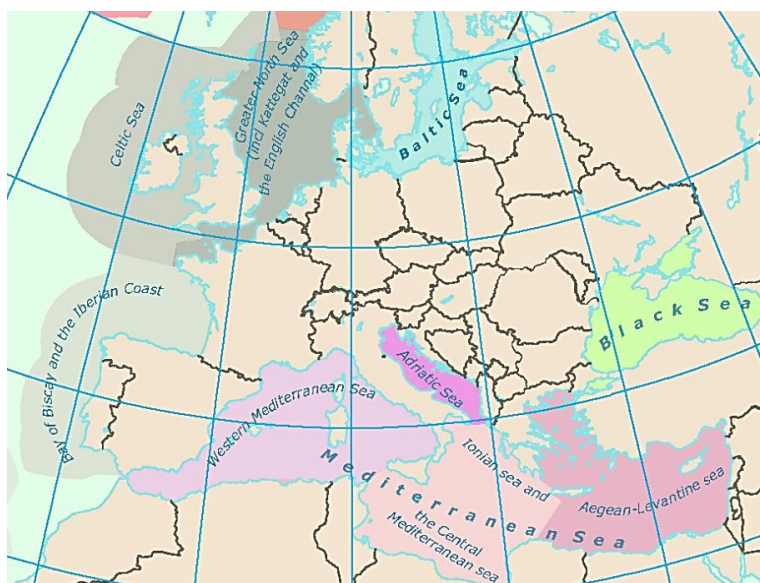
κτλ. Στο τέλος κάθε περιόδου, συντάσσονται αναφορές που παρουσιάζουν την πρόοδο του σχεδίου και παρατίθενται λεπτομερή δεδομένα από τις μετρήσεις.

Οδηγία-Πλαίσιο για τη Θαλάσσια Στρατηγική (*Marine Strategy Framework Directive*)

Η Οδηγία 2008/56/EC ή Οδηγία-Πλαίσιο για τη Θαλάσσια Στρατηγική ψηφίστηκε από το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο τον Ιούνιο του 2008 έπειτα από πολυετή προετοιμασία και συσκέψεις των σχετικών φορέων και του κοινού και στοχεύει στην αποτελεσματικότερη προστασία του θαλάσσιου περιβάλλοντος. Ενσωματώθηκε στην εθνική νομοθεσία με το Ν. 3983/2011 (Πηγή: [ΥΠΕΚΑ, Υδατικοί Πόροι, Θαλάσσια Στρατηγική](#)).

Οι στόχοι της Οδηγίας είναι η διατήρηση και η αποκατάσταση των θαλάσσιου περιβάλλοντος της Ευρωπαϊκής Ένωσης μέχρι το 2020 και η προστασία των θαλάσσιων πόρων, από τους οποίους εξαρτώνται οικονομικές και κοινωνικές δραστηριότητες. Ο γενικός στόχος αναφέρεται και σε αυτήν την Οδηγία ως «Καλή Περιβαλλοντική Κατάσταση».

Στα πλαίσια της Οδηγίας έχουν καθιερωθεί Ευρωπαϊκές θαλάσσιες περιοχές και υπο-περιοχές βασισμένες σε γεωγραφικά και περιβαλλοντικά κριτήρια (Εικόνα 1). Συγκεκριμένα, απαριθμούνται τέσσερις περιοχές-η Βαλτική Θάλασσα, ο Βορειοανατολικός Ατλαντικός Ωκεανός, η Μεσόγειος Θάλασσα και η Μαύρη Θάλασσα (Πηγή: [Ευρωπαϊκή Ένωση, Παράκτια και Θαλάσσια Πολιτική](#)).



Εικόνα 1: Θαλάσσιες περιοχές και υπο-περιοχές της Ευρώπης βάσει του MSFD. Πηγή: [ΕΕΑ](#)

Προκειμένου να επιτευχθεί η «καλή περιβαλλοντική κατάσταση» (*Good Environmental Status-GES*) κάθε κράτος-μέλος οφείλει να αναπτύξει μία στρατηγική για τα θαλάσσια ύδατα του, η οποία αξιολογείται κάθε έξι χρόνια. Η κάθε στρατηγική αφορά μία δέσμη ενεργειών, η οποία περιλαμβάνει την εκτίμηση της αρχικής περιβαλλοντικής κατάστασης των εθνικών θαλάσσιων υδάτων, την κοινωνικο-οικονομική ανάλυση των ανθρώπινων δραστηριοτήτων σε αυτά, την καθιέρωση υπο-στόχων (έως τον Ιούλιο του 2012), την καθιέρωση ενός προγράμματος παρακολούθησης και την τακτική ενημέρωση των υπο-στόχων (έως τον Ιούλιο του 2014), την ανάπτυξη ενός προγράμματος μετρήσεων σχεδιασμένο για να επιτευχθεί ο στόχος έως το 2020 (έως το 2015), την ανασκόπηση των παραπάνω και την προετοιμασία για τη δεύτερη φάση (2018-2021).

Οι δύο παραπάνω Οδηγίες συναντώνται στις παράκτιες περιοχές, καθώς η WFD αφορά περιοχές μέχρι ενός ναυτικού μιλίου από τη γραμμή βάσης, ενώ τα θαλάσσια ύδατα, στα οποία αναφέρεται η MSFD υπολογίζονται από τη γραμμή βάσης έως τα όρια της περιοχής, όπου ένα κράτος μέλος μπορεί να ασκεί τα δικαιώματά του.

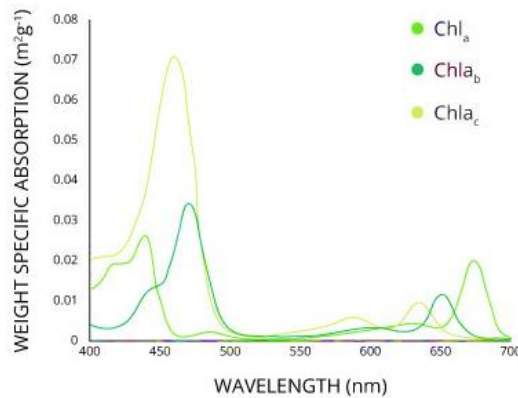
2.2 Δείκτες Ποιότητας Νερού

Ο έλεγχος της ποιότητας του νερού είναι ένα σημαντικό στοιχείο της παρακολούθησης του περιβάλλοντος. Όταν αυτή κρίνεται φτωχή, επηρεάζεται όχι μόνο η υδρόβια ζωή αλλά και όλο το οικοσύστημα. Οι παράμετροι που επηρεάζουν την ποιότητα του νερού αφορούν φυσικούς, χημικούς και βιολογικούς παράγοντες. Οι φυσικές ιδιότητες της ποιότητας του νερού περιλαμβάνουν τη θερμοκρασία και τη θολότητα. Τα χημικά χαρακτηριστικά συμπεριλαμβάνουν παραμέτρους όπως το διαλυμένο οξυγόνο, το αμμωνιακά και φωσφορικά ιόντα κτλ. Οι βιολογικοί δείκτες περιλαμβάνουν την άλγη και το φυτοπλαγκτόν. Στη συνέχεια αναλύονται οι δείκτες που εξετάστηκαν σε αυτήν την εργασία.

Χλωροφύλλη-α (*chlorophyll-a* ή *chl-a*)

Η χλωροφύλλη βρίσκεται στα φυτά, στην άλγη και το φυτοπλαγκτόν. Το πράσινο χρώμα των φυτών οφείλεται στο ότι η χλωροφύλλη ανακλά το πράσινο χρώμα, ενώ απορροφά όλα τα άλλα. Υπάρχουν έξι διαφορετικές μορφές χλωροφύλλης (A, B, C, D, E και F) και η κάθε μία

ανακλά ελαφρώς διαφορετικά στα πράσινα μήκη κύματος (Εικόνα 2). Η κύρια μορφή χλωροφύλλης που είναι υπεύθυνη για τη φωτοσύνθεση είναι η χλωροφύλλη-α.



Εικόνα 2: Φασματική υπογραφή των τριών μορφών χλωροφύλλης A, B και C.

Πηγή: <http://www.fondriest.com>

Η χλωροφύλλη-α αποτελεί έναν από της σημαντικότερους ποιοτικούς δείκτες και για αυτό το λόγο οι μετρήσεις της περιλαμβάνονται σχεδόν σε όλα τα προγράμματα παρακολούθησης της τροφικής κατάστασης των υδάτων. Η πρώτη επίδραση του ευτροφισμού των υδάτων είναι η αύξηση του φυτοπλαγκτού, το οποίο συνεπάγεται αύξηση της χλωροφύλλης-α. Οι άμεσες συνέπειες της υπερβολικής αύξησης του φυτοπλαγκτού είναι 1) αλλαγές στη σύνθεση των θαλάσσιων ειδών και της λειτουργίας της τροφικής αλυσίδας, 2) έντονη ιζηματογένεση της οργανικής ύλης, 3) αύξηση στην κατανάλωση του οξυγόνου, με αποτέλεσμα της συνακόλουθες αλλαγές στη δομή της υδρόβιας ζωής ή και το θάνατο της και 4) πιθανή προώθηση επιβλαβών φυκιών, που μπορούν να προκαλέσουν δηλητηρίαση στα ψάρια και στα όστρακα και επομένως στον άνθρωπο.

Οι τάσεις της χλωροφύλλης-α δεν μπορούν να προσδιοριστούν εύκολα, λόγω των έντονων διακυμάνσεων που παρατηρούνται στις μετρήσεις της. Για αυτό το λόγο οι τάσεις πρέπει να αξιολογούνται σε ένα ευρύτερο πλαίσιο. Η ευαισθησία του ευτροφισμού στις θαλάσσιες περιοχές της Ευρώπης εξαρτάται από τα φυσικά χαρακτηριστικά της κάθε περιοχής. Βάσει του WFD τα επιθυμητά επίπεδα της χλωροφύλλης-α που πρέπει να επιτευχθούν για την «καλή περιβαλλοντική κατάσταση» διαφέρουν ανά περιοχή και επηρεάζονται από το βάθος, την αλατότητα, το παλιρροιακό καθεστώς κτλ. Οι οριακές τιμές για κάθε περιοχή ορίζονται αναλυτικά στην Ευρωπαϊκή Απόφαση 2008/915/EC.

Διαλυμένο Οξυγόνο (*Dissolved Oxygen* ή *DO*)

Οι μετρήσεις του διαλυμένου οξυγόνου προσδιορίζουν τη συγκέντρωση του οξυγόνου στο νερό και καθορίζουν τις συνθήκες διαβίωσης για τους αερόβιους οργανισμούς. Οι συγκεντρώσεις του αντανakλούν την ισορροπία μεταξύ των διαδικασιών παραγωγής οξυγόνου (π.χ. φωτοσύνθεση) και των διαδικασιών κατανάλωσης οξυγόνου (π.χ. νιτροποίηση), καθώς και τον ρυθμό με τον οποίο το DO προστίθεται στο νερό ή αφαιρείται από αυτό μέσω της ατμόσφαιρας και μέσω υδροδυναμικών διεργασιών (π.χ. εισροή από ποτάμια). Στα παραγωγικά συστήματα αναμένεται να υπάρχουν μεγάλες συγκεντρώσεις DO. Τα επίπεδα του επηρεάζονται από πολλούς παράγοντες, όπως από την αλατότητα, τη θερμοκρασία του νερού, την ατμοσφαιρική και υδροστατική πίεση, τη βιομάζα, τις συνθήκες φωτισμού κτλ.

Αμμώνιο (*Ammonium* - NH_4^+)

Το αμμώνιο αποτελεί ανόργανη χημική ουσία. Προέρχεται από αστικά, γεωργικά και βιομηχανικά απόβλητα. Η προτεινόμενη τιμή του στο νερό για τη ομαλή διαβίωση των ψαριών είναι 0,5 mg/l. Σε κανονικές θερμοκρασίες αποσυντίθεται εύκολα σε αμμωνία και υδρογόνο.

Φωσφορικά ανιόντα (*Phosphates*)

Ο φώσφορος είναι μία απαραίτητη θρεπτική ουσία για τα φυτά και την άλγη. Παρόλα αυτά η απαιτούμενη ποσότητα είναι ελάχιστη. Μεγάλες ποσότητες φωσφόρου μπορούν να προκαλέσουν τον φαινόμενο του ευτροφισμού, μειώνοντας τα επίπεδα του διαλυμένου οξυγόνου και αυξάνοντας τα επίπεδα του βιοχημικά απαιτούμενου οξυγόνου (*Biochemical Oxygen Demand* - *BOD*). Στα επιφανειακά ύδατα ο φώσφορος συναντάται συνήθως υπό τη μορφή των φωσφορικών ανιόντων και συγκεκριμένα υπό τη μορφή ορθοφωσφορικών ανιόντων (PO_4^{3-}). Τα ορθοφωσφορικά ανιόντα χρησιμοποιούνται κατά κόρον στα φυτοφάρμακα και συχνά καταλήγουν στα ύδατα.

Ηλεκτρική Αγωγιμότητα (*Electrical Conductivity*)

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα εκφράζει την ευκολία ή τη δυσκολία της διάδοσης του ηλεκτρικού ρεύματος σε ένα μέσο (π.χ. νερό). Η αγωγιμότητα στο νερό επηρεάζεται από την παρουσία

των ανόργανων διαλυμένων στερεών, όπως τα νιτρικά, τα φωσφορικά ανιόντα κτλ. Οργανικές ενώσεις, όπως π.χ. οι φαινόλες και η γλυκόζη δεν είναι καλοί αγωγοί του ηλεκτρικού ρεύματος και προκαλούν την πτώση της αγωγιμότητας. Η αγωγιμότητα του νερού αυξάνει και με την άνοδο της θερμοκρασίας.

Βάθος δίσκου Secchi (*Secchi Disk Depth - SDD*)

Ο δίσκος Secchi είναι ένα όργανο μέτρησης της διαύγειας του νερού. Η διαδικασία που ακολουθείται στις μετρήσεις είναι η βύθιση του δίσκου στο νερό και στη συνέχεια η καταγραφή του βάθους που παύει να φαίνεται ο δίσκος. Η ποσότητα του φωτός που φτάνει στα φυτά κάτω από την επιφάνεια του νερού εξαρτάται από την καθαρότητα / διαύγεια του νερού. Αν η ποσότητα αυτή δεν είναι επαρκής, τα φυτά εξασθενούν. Άμεσες συνέπειες αυτού είναι η μείωση στην παραγωγή οξυγόνου και η μείωση της τροφής για πολλά ζώα. Για αυτό το λόγο, είναι σημαντικό να παρακολουθείται η διαύγεια του νερού.

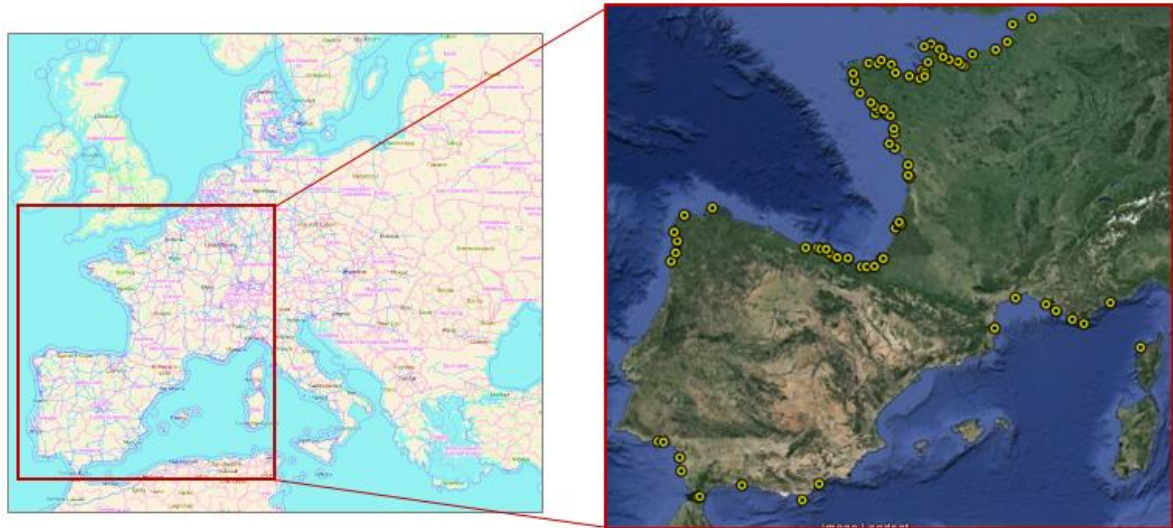
2.3 Σταθμοί Παρακολούθησης

Σε αυτήν την ενότητα παρατίθενται ορισμένες γεωγραφικές πληροφορίες για τη Γαλλία και την Ισπανία και στη συνέχεια παρουσιάζεται η περιβαλλοντική κατάσταση των μεταβατικών, παράκτιων και θαλάσσιων υδάτων τους. Οι πληροφορίες έχουν αντληθεί από τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Περιβάλλοντος.

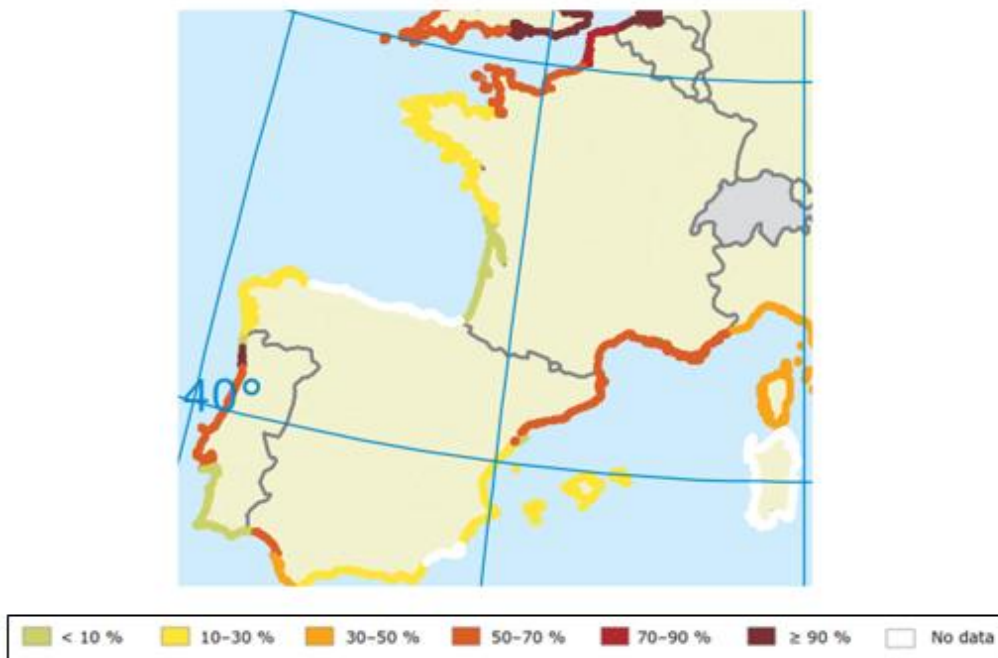
Η Γαλλία βρίσκεται στη Δυτική Ευρώπη και βρέχεται από την Βόρεια Θάλασσα στον βορρά, από τη Μάγχη στα βορειοδυτικά, από τον Ατλαντικό Ωκεανό στα δυτικά και από τη Μεσόγειο Θάλασσα στα νοτιοανατολικά. Το μήκος της ακτογραμμής της μητροπολιτικής Γαλλίας είναι 3.427 km, εκ των οποίων τα 1703 km βρίσκονται προς τη Μεσόγειο. Βάσει του MSFD τα ύδατα της ανήκουν σε δύο θαλάσσιες περιοχές (Εικόνα 1). Βόρεια ανήκουν στο Βορειοανατολικό Ατλαντικό Ωκεανό και, συγκεκριμένα, στις υπο-περιοχές του Βισκαϊκού Κόλπου και Ιβηρικών ακτών και της ευρύτερης Βόρειας Θάλασσας. Νότια ανήκουν στη Δυτική υπο-περιοχή της Μεσογείου.

Η Ισπανία βρίσκεται στην Νοτιοδυτική Ευρώπη και καταλαμβάνει το μεγαλύτερο μέρος της Ιβηρικής Χερσονήσου. Η ακτογραμμή της προς τη Μεσόγειο έχει μήκος 3200 km, ενώ το

συνολικό μήκος της είναι 7.880 km. Βάσει του MSFD τα θαλάσσια ύδατα της Ισπανίας ταξινομούνται στις ίδιες θαλάσσιες περιοχές με τη Γαλλία (Εικόνα 1).

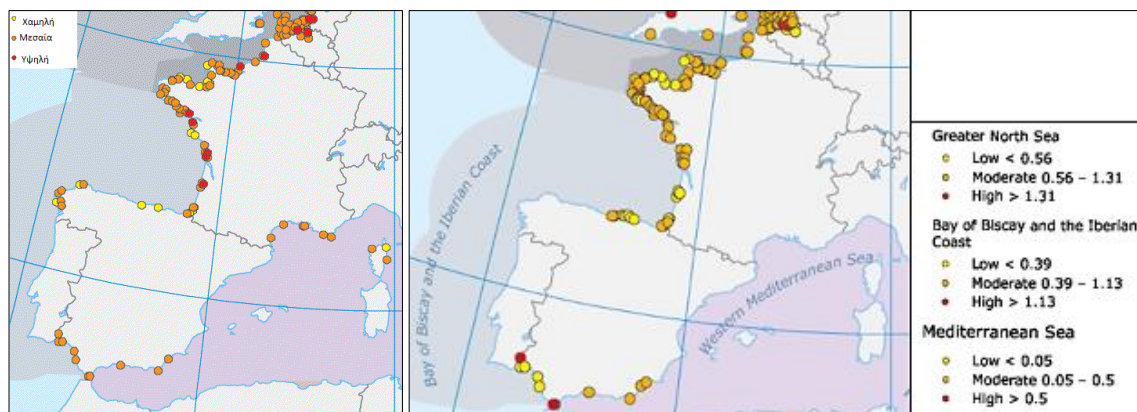


Εικόνα 3: Περιοχή Μελέτης και σταθμοί παρακολούθησης. Πηγή: Google Earth



Εικόνα 4: Ποσοστό των μεταβατικών και παράκτιων υδάτων ανά περιοχή λεκάνης απορροής, που δεν έχουν πετύχει την GES κατά το έτος 2012. Πηγή: [EEA](#)

Όπως φαίνεται στην Εικόνα 4, οι παράκτιες περιοχές που πλησίασαν τη GES το 2012 είναι αυτές του Βισκαϊκού Κόλπου και της Νοτιοανατολικής Ισπανίας (τουλάχιστον το 70% των σημείων), ενώ στο στενό της Μάγχης το ποσοστό που δεν έχει πετύχει τη GES είναι άνω του 50%. Οι συγκεντρώσεις χλωροφύλλης κυμαίνονται σε μεσαία επίπεδα. Ελάχιστα είναι τα σημεία που έχουν χαμηλές ή υψηλές τιμές. Σε μεσαία επίπεδα κυμαίνονται και οι συγκεντρώσεις των ορθοφωσφορικών ανιόντων (Εικόνες 5,6).



Εικόνες 5, 6: Μέσες συγκεντρώσεις χλωροφύλλης στα θαλάσσια ύδατα κατά τους θερινούς μήνες (αριστερά) και μέσες συγκεντρώσεις ορθοφωσφορικών ανιόντων στα θαλάσσια ύδατα κατά τους χειμερινούς μήνες (δεξιά). Έτος 2012. Πηγή: [EEA](#)

2.4 Μέθοδοι Παρατήρησης Γης και Τηλεπισκόπηση

Η Ψηφιακή Τηλεπισκόπηση μπορεί να οριστεί ως η επιστήμη με την οποία η πληροφορία για τα αντικείμενα αποκτάται εξ αποστάσεως με χρήση αισθητήρων, οι οποίοι συνήθως είναι τοποθετημένοι σε αεροσκάφη ή δορυφόρους. Οι απομακρυσμένοι αισθητήρες συλλέγουν τα δεδομένα ανιχνεύοντας το ποσοστό της ενέργειας που ανακλάται από τη Γη και την αποδίδουν ως ψηφιακή εικόνα.

Η Τηλεπισκόπηση εκμεταλλεύεται το γεγονός ότι κάθε αντικείμενο παρατήρησης που βρίσκεται πάνω στη Γη ανακλά την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία με συγκεκριμένο τρόπο στα διαφορετικά μήκη κύματος. Αυτή η ιδιαιτερότητα εκφράζεται για κάθε αντικείμενο με τη φασματική υπογραφή του.

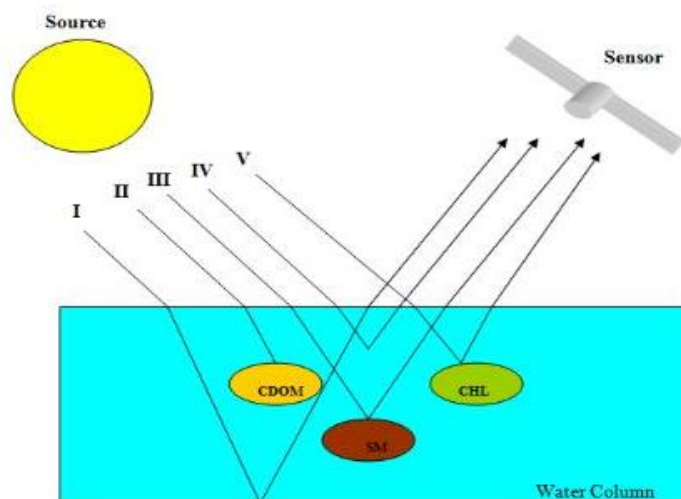
Οι αισθητήρες ή δέκτες μπορεί να είναι είτε ενεργητικοί, είτε παθητικοί. Οι παθητικοί δέκτες καταγράφουν την ενέργεια που ανακλάται από την επιφάνεια της Γης, η οποία έχει φυσική

προέλευση, για παράδειγμα τον Ήλιο. Οι ενεργητικοί δέκτες εκπέμπουν την ενέργεια και στη συνέχεια την καταγράφουν. Παραδείγματα ενεργητικών δεκτών είναι τα συστήματα Radar και Laser.

Οι εφαρμογές της Ψηφιακής Τηλεπισκόπησης στον τομέα του Περιβάλλοντος είναι αρκετά διευρυμένες. Μερικά παραδείγματα είναι η παρακολούθηση και η χαρτογράφηση συγκεκριμένων συστατικών στα ύδατα, η μέτρηση της θερμοκρασίας των υδάτων, η μέτρηση του ύψους κύματος σε ωκεανούς, ο εντοπισμός φυσικών καταστροφών, όπως π.χ. πλημμυρών, η χαρτογράφηση χρήσεων γης, υγρασιών κτλ.

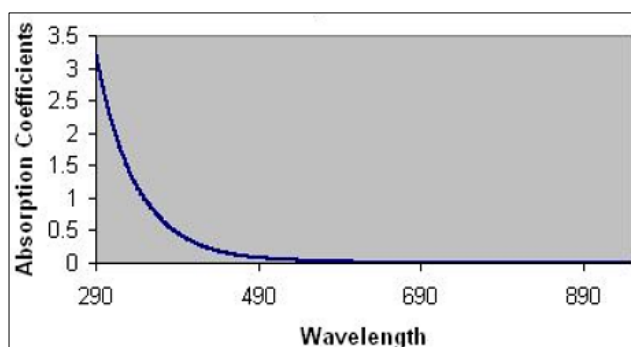
2.5 Διάδοση Ακτινοβολίας στο Νερό

Στην Εικόνα 7 απεικονίζεται η διαδρομή της ακτινοβολίας από την πηγή φωτός έως τον δέκτη. Όπως φαίνεται, εντός της υδάτινης στήλης υπάρχουν πέντε παράγοντες που διαμεσολαβούν και την επηρεάζουν. Αυτοί είναι ο πυθμένας, η έγχρωμη διαλυμένη οργανική ύλη, η αιωρούμενη ύλη, το φυτοπλαγκτόν και φυσικά το νερό (Gerace, 2010). Τα χαρακτηριστικά του κάθε παράγοντα αναλύονται παρακάτω:



Εικόνα 7: Παράγοντες που επηρεάζουν την ακτινοβολία που καταγράφεται από τον αισθητήρα. Πηγή: Gerace, 2010

- Ο βαθμός που θα επηρεάσει ο **πυθμένας** το χρώμα του νερού εξαρτάται από το βάθος της υδάτινης στήλης, τη φύση του πυθμένα και τη διαύγεια του νερού. Στα παράκτια νερά το βάθος είναι αρκετά μεγάλο, με αποτέλεσμα η συμβολή του να είναι αμελητέα.
- Η **έγχρωμη διαλυμένη οργανική ύλη (Colored Dissolved Organic Matter-CDOM)** είναι το οπτικά μετρήσιμο μέρος της διαλυμένης οργανικής ύλης και προέρχεται από την αποδόμηση του φυτοπλαγκτού ή από εδάφη πλούσια σε οργανική ύλη. Είναι γνωστή επίσης ως **yellow substance** ή **gelbstoff**. Απορροφά πιο ισχυρά την ακτινοβολία στα μικρά μήκη κύματος και, συγκεκριμένα, από την υπεριώδη έως τη μπλε ζώνη (Εικόνα 8). Για αυτό το λόγο τα μη θολά νερά με χαμηλή ή καθόλου περιεκτικότητα σε CDOM εμφανίζονται μπλε. Καθώς η περιεκτικότητα αυξάνεται το χρώμα του νερού κυμαίνεται από πράσινο προς καφέ, λόγω και της απορρόφησης του κόκκινου από το νερό (Πηγή: www.wikipedia.org).
- Τα **ανόργανα αιωρούμενα συστατικά (Inorganic Suspended Solids)** διαχέουν και απορροφούν το φως. Ο τρόπος και ο βαθμός επιρροής τους εξαρτάται από το μέγεθος και το είδος της ύλης, π.χ. άμμος, χώμα.
- Το **φυτοπλαγκτόν** αποτελείται από μικροοργανισμούς, οι οποίοι παρασύρονται από το νερό. Οι μικροοργανισμοί αυτοί είναι φωτοσυνθετικοί και για αυτό το λόγο συναντώνται στα φωτεινά άνω στρώματα του νερού και επηρεάζουν πολύ τις οπτικές του ιδιότητες. Υπάρχουν χιλιάδες είδη φυτοπλαγκτού, τα οποία μπορούν να ταξινομηθούν σε δύο κατηγορίες, την άλγη και τα κυανοβακτήρια. Το κοινό στοιχείο όλων είναι ότι περιέχουν τουλάχιστον μία μορφή χλωροφύλλης, ωστόσο η κύρια μορφή είναι αυτή της χλωροφύλλης-α (Πηγή: <http://www.fondriest.com>). Για αυτό το λόγο πολλές φορές αναζητείται η χλωροφύλλη-α προκειμένου να εκτιμηθούν τα επίπεδα του φυτοπλαγκτού.
- Το **καθαρό νερό** απορροφά την υπέρυθη ακτινοβολία ενώ ανακλά την υπεριώδη. Η παρουσία των διαλυμένων αλάτων στα θαλασσινό νερό δεν πρέπει να συγχέεται με την καθαρότητα (Gerace, 2010).



Εικόνα 8: Συντελεστής απορρόφησης της CDOM για εύρος μήκους κύματος 290-890 nm (a_{CDOM}). Οι τιμές είναι κανονικοποιημένες ώστε $a(350\text{ nm})_{CDOM} = 1$. Πηγή: Gerace, 2010

2.6 Πρόγραμμα Landsat

Το πρόγραμμα Landsat αποτελεί τη μακροβιότερη επιχείρηση για την απόκτηση δορυφορικών εικόνων της γήινης επιφάνειας. Οι δορυφόροι του προγράμματος ανήκουν στη Γεωλογική Υπηρεσία των ΗΠΑ (*United States Geological Survey-USGS*), ενώ ο σχεδιασμός και η ανάπτυξη των οργάνων που φέρουν αναλαμβάνονται από τη NASA.

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) και 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.

Τα τελευταία 40 χρόνια έχουν αποκτηθεί εκατομμύρια εικόνες, οι οποίες αποτελούν μοναδική πηγή δεδομένων για ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών σε διάφορα επιστημονικά πεδία, όπως της γεωλογίας, της γεωργίας, της χαρτογραφίας κτλ.

2.6.1 Δορυφόρος Landsat 8

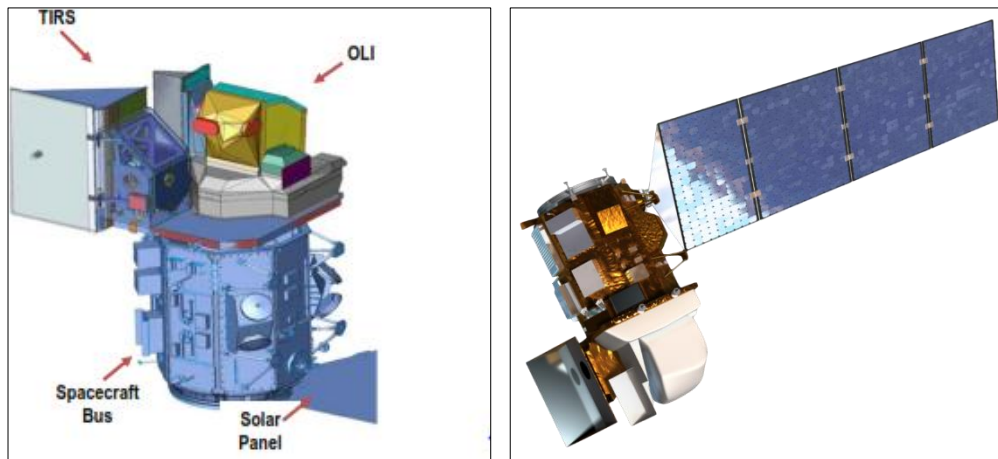
Ο δορυφόρος Landsat-8 εκτοξεύτηκε τον Φεβρουάριο του 2013, ακολουθεί ηλιοσύγχρονη τροχιά, έχει υψόμετρο 705 km πάνω από τον ισημερινό και καλύπτει τη γήινη επιφάνεια σε περίοδο 16 ημερών. Οι λήψεις των εικόνων πραγματοποιούνται σε σταθερή χρονική διαφορά με τον Landsat-7, ίση με 8 ημέρες, ώστε κάθε τμήμα της γήινης επιφάνειας να καλύπτεται σε συχνότερη βάση. Η κάθε λήψη καλύπτει περιοχή 170 km από Βορρά προς Νότο και 183 km από Ανατολή προς Δύση. Τα δεδομένα που καταγράφονται αναφέρονται στο σύστημα *World Reference System-2 (WRS-2)*, το οποίο βασίζεται σε συντεταγμένες *path/row* (το *path* δηλώνει

την τροχιά από Βορρά προς Νότο, ενώ το *row* την τροχιά από Ανατολή προς Δύση). Ο Landsat-8 διαθέτει δύο αισθητήρες, τον *Operational Land Imager (OLI)* και τον *Thermal Infrared Sensor (TIRS)*.

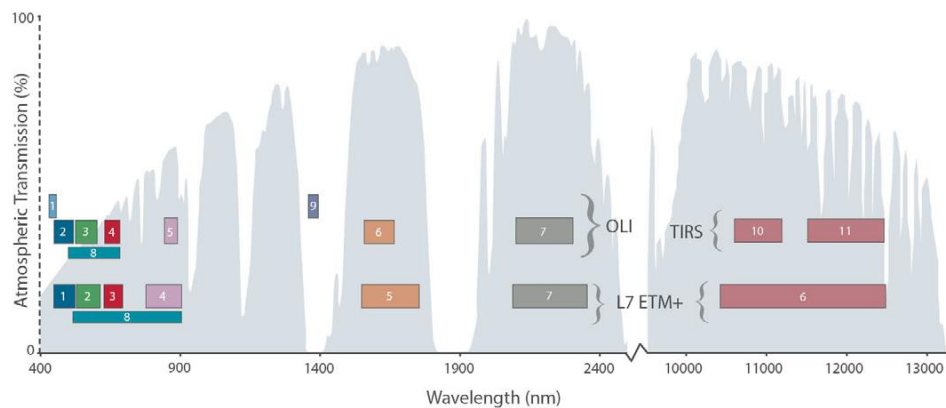
Ο αισθητήρας OLI έχει προσδόκιμο ζωής πέντε χρόνια. Συλλέγει δεδομένα σε εννέα φασματικά κανάλια. Τα οκτώ κανάλια βρίσκονται στην ορατή, εγγύς υπέρυθρη και μικρού κύματος υπέρυθρη περιοχή και είναι υψηλής χωρικής ανάλυσης με εδαφοψηφίδα 30x30 m, ενώ το ένατο παγχρωματικό κανάλι έχει χωρική ανάλυση 15 m. 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 clouds*). Ο αισθητήρας TIRS έχει περίοδο σχεδιασμού τρία χρόνια. Καταγράφει πληροφορία σε δύο θερμικά υπέρυθρα κανάλια με χωρική ανάλυση 100 m. Η χρήση των δύο καναλιών επιτρέπει το διαχωρισμό της θερμοκρασίας της Γης από την θερμοκρασία της ατμόσφαιρας (Εικόνα 10). Διατίθεται, επίσης, ένα κανάλι καταγραφής ποιοτικής πληροφορίας (*Quality Assurance band*), το οποίο υποδεικνύει την παρουσία σκιών και σύννεφων.

Πίνακας 1: Φασματικά κανάλια των OLI και TIRS.

Αισθητήρας	Κανάλι	Φασματική Περιοχή (nm)	Χωρική Ανάλυση
OLI	1	0.435-0.451 (Coastal / Aerosol)	30 m
	2	0.452-0.512 (Μπλε)	30 m
	3	0.533-0.590 (Πράσινο)	30 m
	4	0.636-0.673 (Κόκκινο)	30 m
	5	0.851-0.879 (Εγγύς υπέρυθρο)	30 m
	6	1.566-1.651 (Μικρού κύματος υπέρυθρο 1)	30 m
	7	2.107-2.294 (Μικρού κύματος υπέρυθρο 2)	30 m
	8	0.503-0.676 (Πανχρωματικό)	15 m
	9	1.363-1.384 (Cirrus)	30 m
TIRS	10	10.60-11.19 (Θερμικό υπέρυθρο 1)	100 m
	11	11.50-12.51 (Θερμικό υπέρυθρο 2)	100 m



Εικόνα 9: Περιγραφή δορυφόρου Landsat-8.



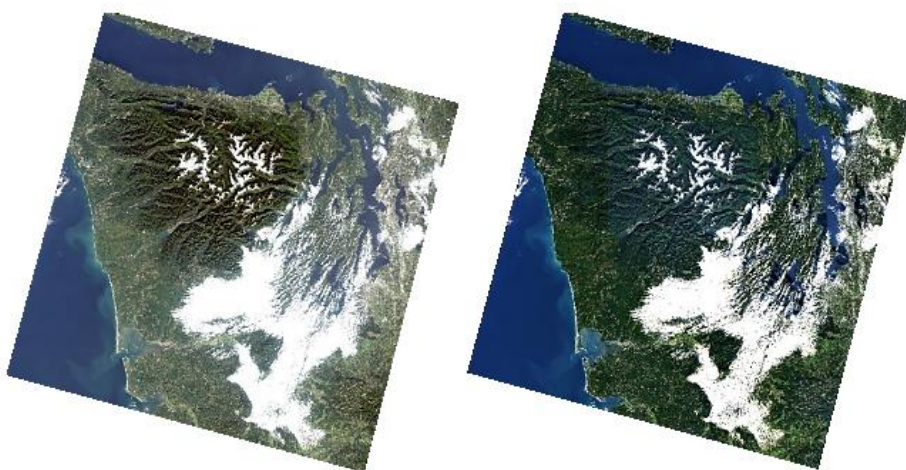
Εικόνα 10: Περιοχές κάλυψης των καναλιών των αισθητήρων OLI και TIRS (Landsat-8) και του αισθητήρα ETM+ (Landsat-7).

2.6.2 Προϊόν Surface Reflectance

Τα πρωτογενή προϊόντα Landsat-8 (*Level 1 Products*) αποτελούνται από ψηφιακές τιμές, οι οποίες προέρχονται από τη μετατροπή του αναλογικού σήματος σε ψηφιακό (διαδικασία κβαντοποίησης). Οι τιμές αυτές δεν εκφράζουν την πραγματική ακτινοβολία που εκπέμπεται από το επίγειο αντικείμενο. Αυτό οφείλεται στο ότι μεταξύ δέκτη και αντικειμένου παρεμβάλλονται τα αερολύματα της ατμόσφαιρας, τα οποία προκαλούν την παραμόρφωση της ακτινοβολίας. Συνεπώς, η χρήση των εικόνων αυτών απαιτεί προηγουμένως την ατμοσφαιρική διόρθωση τους. Η διαδικασία αυτή περιλαμβάνει δύο στάδια, αρχικά τον υπολογισμό των παραμορφώσεων και, έπειτα, τη διόρθωση τους. Η ατμοσφαιρική διόρθωση

σε συνδυασμό με τη γνώση της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας, καθιστά δυνατή τη μετατροπή της ακτινοβολίας στην κορυφή της ατμόσφαιρας σε ανακλαστικότητα της γήινης επιφάνειας.

Τα προϊόντα *Surface Reflectance* παρέχουν απευθείας αυτήν την πληροφορία, δηλαδή προσεγγίζουν αυτό που θα κατέγραφε ένας αισθητήρας πάνω από τη γήινη επιφάνεια, εάν οι συνθήκες ήταν ιδανικές (Εικόνα 11). Παράγονται για τις εικόνες των καναλιών 1 έως 7 από τα προϊόντα *Level 1* με χρήση του αλγορίθμου *L8SR* και αποθηκεύονται σε μορφή ακεραίων 16-bit. Η χωρική ανάλυση των εικόνων αυτών είναι 30 m και αναφέρονται στην προβολή *Universal Transverse Mercator 6° (UTM 6°)* και στο ελλειψοειδές *World Geodetic System 1984 (WGS' 84)*. Κάθε σκηνή συνοδεύεται από το αρχείο των μεταδεδομένων και από τις εικόνες *Cloud QA*, *CFmask* και *CFmask Cloud Confidence*, οι οποίες παρέχουν ποιοτικές πληροφορίες.



Εικόνα 11: Εικόνα χωρίς ατμοσφαιρική διόρθωση (αριστερά) και μετά από ατμοσφαιρική διόρθωση (δεξιά).

Οι εικόνες **Cloud QA** υποδεικνύουν το επίπεδο των αερολυμάτων της ατμόσφαιρας και επομένως τη διόρθωση που έχει εφαρμοστεί σε κάθε pixel. Pixels με τιμές μικρότερες του 128 έχουν χαρακτηριστεί ως ξηρά, ενώ μεγαλύτερες ή ίσες του 128 ως νερό. Τα «καθαρά» pixels νερού θα έχουν την τιμή 128 σε αυτές τις εικόνες (Πίνακας 2).

Οι εικόνες **CFmask** παράγονται από τον αλγόριθμο *C version of Fmask* και προσδιορίζουν αν έχουν εντοπιστεί σύννεφα, σκιές σύννεφων, χιόνι ή νερό σε κάθε pixel. Σύμφωνα με τον οδηγό της *USGS* παρέχει πιο ακριβή αποτελέσματα από τα αντίστοιχα των εικόνων *Cloud QA*. Οι τιμές

των pixels του γεμίσματος είναι 255, ενώ οι τιμές των «καθαρών» pixels είναι μηδέν (Πίνακας 3).

Οι εικόνες **CFmask Cloud Confidence** παρέχουν το επίπεδο εμπιστοσύνης για την ανίχνευση των σύννεφων, κατηγοριοποιώντας το σε τέσσερις βαθμίδες (0%, ≤12,5%, >12,5% και ≤22,5%, >22,5%).

Τα μεταδεδομένα παρέχονται σε αρχεία *.xml* και περιλαμβάνουν κυρίως πληροφορίες γεωγραφικής φύσεως, όπως τις γεωγραφικές και ορθογώνιες συντεταγμένες των γωνιακών pixels, τη ζώνη προβολής, τα path και row, το πλήθος των pixels, κτλ

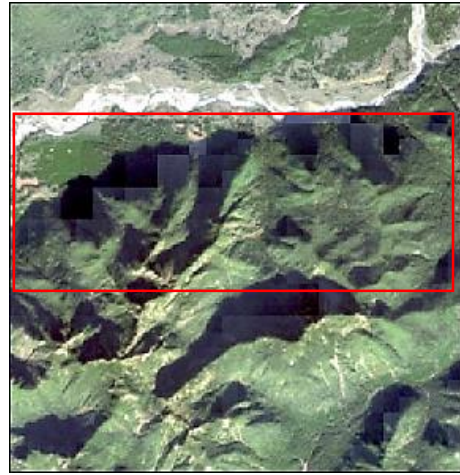
Πίνακας 2: Ερμηνεία εικόνων Cloud QA για τα pixels υδάτινων αντικειμένων.

Τιμή pixel	Ερμηνεία
128	Clear
129	Cirrus Cloud
130	Cloud
131	Cirrus Cloud-Cloud
132	Adjacent to cloud
133	Adjacent to cloud-Cirrus Cloud
134	Adjacent to cloud-Cloud
135	Cloud Shadow
136	Cloud Shadow-Cirrus Cloud
137	Cloud Shadow-Cloud
138	Cloud Shadow-Cloud-Cirrus Cloud
139	Cloud Shadow-Adjacent to cloud
140	Cloud Shadow-Adjacent to cloud-Cloud

Πίνακας 3: Ερμηνεία εικόνων CFmask.

Τιμή pixel	Ερμηνεία
255	Γέμισμα
0	Καθαρό pixel
1	Νερό
2	Σκιά
3	Χιόνι
4	Σύννεφο

Ο αλγόριθμος *L8SR* βρίσκεται ακόμη υπό επεξεργασία και τα παραπάνω ισχύουν για την έκδοση 1.3 (Μάιος 2015). Η έκδοση αυτή παρουσιάζει ατέλειες σε συγκεκριμένες περιπτώσεις, όπως κοντά σε σύννεφα, σε απότομες υψομετρικές διαφορές και στα όρια ξηράς-νερού (Εικόνα 12).



Εικόνα 12: Ατέλειες αλγορίθμου *L8SR* κατά μήκος των σύννεφων (αριστερά) και σε απότομες υψομετρικές διαφορές (δεξιά).

3. Σχετικές Ερευνητικές Εργασίες

Τις τελευταίες δεκαετίες έχει αναπτυχθεί μεγάλη ποικιλία δορυφορικών δεκτών και αλγορίθμων για την παρακολούθηση υδάτων κάθε κατηγορίας, όπως λίμνες, ποτάμια, παράκτια και ωκεάνια ύδατα. Η κάθε κατηγορία υδάτων παρουσιάζει διαφορετική σύνθεση και, επομένως, διαφορετικά οπτικά χαρακτηριστικά. Για το λόγο αυτόν 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.

3.1 Εργασίες της Βιβλιογραφίας στο Γενικότερο Θέμα

Το μεγαλύτερο μέρος της ερευνητικής δραστηριότητας στην ποιότητα των παράκτιων υδάτων επικεντρώνεται στην εκτίμηση της χλωροφύλλης-α ή του φυτοπλαγκτού, των αιωρούμενων στερεών (*Total Suspended Solids* ή *TSS*), των έγχρωμων διαλυμένων οργανικών ουσιών και της διαύγειας του νερού μέσω της θολότητας (*Turbidity*) ή του βάθους του δίσκου Secchi (*Secchi Disk Depth* ή *SDD*).

Η εκτίμηση της χλωροφύλλης-α επηρεάζεται από τις συγκεντρώσεις των CDOM και των SS και για αυτό το λόγο συνήθως μελετώνται μαζί. Η γνώση του μεγέθους α_{CDOM} αποτελεί βασικό κομμάτι στην εκτίμηση της χλωροφύλλης κυρίως λόγω του «κενού» που προκαλεί στο σήμα. Για το λόγο αυτό, αντικείμενο μελέτης στην έγχρωμη διαλυμένη οργανική ύλη είναι συνήθως η απευθείας εκτίμηση της απορρόφησης από αυτήν και όχι η συγκέντρωσή της.

Οι πιο διαδεδομένοι αλγόριθμοι εκτίμησης της χλωροφύλλης ή του φυτοπλαγκτού χρησιμοποιούν την μπλε, πράσινη, κίτρινη, κόκκινη και εγγύς υπέρυθρη ζώνη. Η επιλογή των καναλιών εξαρτάται από την κατηγορία των υδάτων. Οι [David Blondeau-Patissier et al. \(2014\)](#) παρουσίασαν τα πλεονεκτήματα καθώς και τα όρια των αλγορίθμων αυτών.

Όπως αναφέρουν, για νερά κατηγορίας I προτιμώνται οι λόγοι μπλε και πράσινων καναλιών (440-550 nm), επειδή η μέγιστη απορρόφηση της χλωροφύλλης εντοπίζεται σε αυτό το εύρος του οπτικού φάσματος. Μειονέκτημα της μπλε ζώνης είναι ότι είναι πιο επιρρεπής σε ατμοσφαιρικά σφάλματα (π.χ. απορρόφηση της μπλε ζώνης από τα αερολύματα, [Chengfeng Le et al., 2013](#)). Σχετικοί γνωστοί αλγόριθμοι είναι οι εμπειρικοί OC1, OC2, OC3, OC4 (Ocean Chlorophyll), οι οποίοι αναπτύχθηκαν από τους [John E. O' Reilly et al. \(1998\)](#) για δεδομένα SeaWiFS. Έπειτα ο OC3 προσαρμόστηκε στα φασματικά κανάλια του δέκτη MODIS καλύπτοντας συγκεντρώσεις από 0,008 έως 90 $\mu\text{g/l}$ (αλγόριθμος με παγκόσμια εφαρμογή OC3M, [Campbell and Feng, 2005a, 2005b](#)).

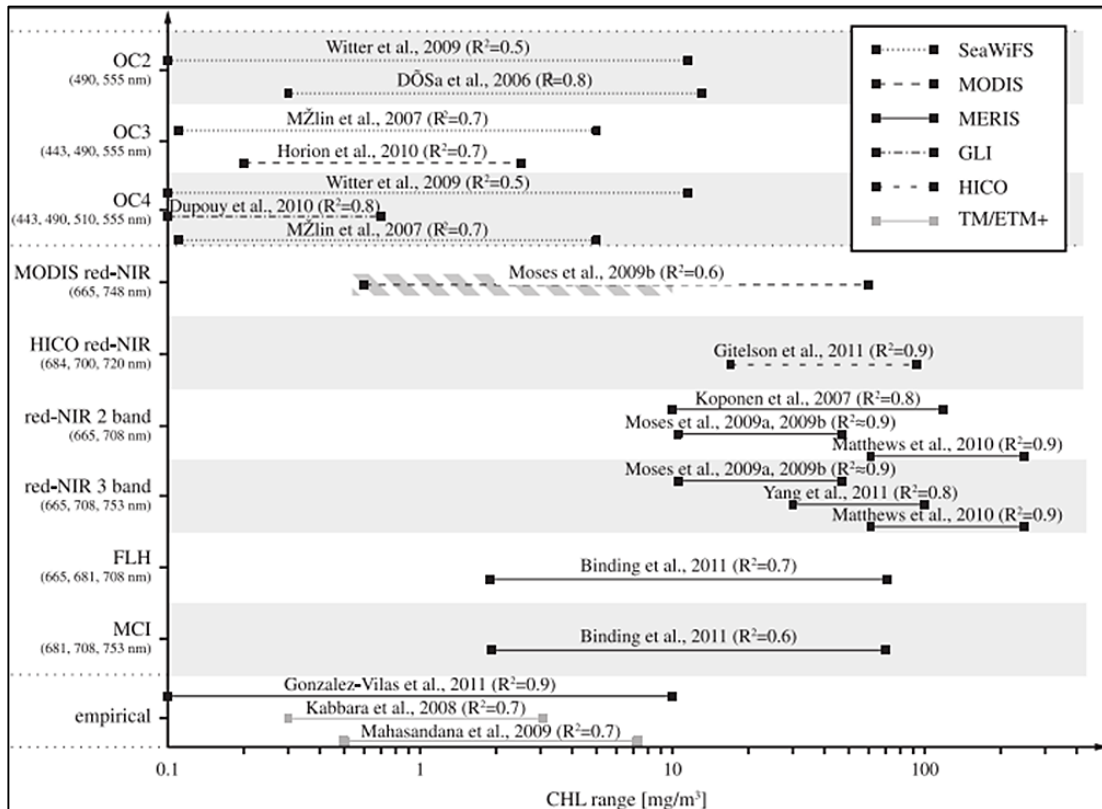
Για νερά κατηγορίας II, όπως είναι συνήθως τα παράκτια, η ανακλαστικότητα του παραπάνω λόγου γίνεται λιγότερο ευαίσθητη στις μεταβολές της χλωροφύλλης, λόγω της αυξημένης συγκέντρωσης των CDOM και των SS. Οι [Gitelson et al. \(2009\)](#) και [Le et al. \(2013\)](#) υπέδειξαν ότι σε αυτές τις περιπτώσεις απαιτείται η χρήση της κόκκινης (620-700nm) και της εγγύς υπέρυθρης ζώνης του φάσματος (>700nm).

Για την παραπάνω κατηγορία υδάτων (κατηγορία II), οι [Odermatt et al. \(2012\)](#) συγκέντρωσαν τους προτεινόμενους αλγόριθμους εκτίμησης τριών σημαντικών δεικτών, της χλωροφύλλης-α, των SS και των CDOM.

Όπως αναφέρουν, οι αλγόριθμοι εκτίμησης της χλωροφύλλης-α κάνουν χρήση τεσσάρων σημείων στο οπτικό φάσμα. Αυτά είναι τα δύο σημεία μέγιστης απορρόφησης της στα 442 nm (μπλε) και στα 665 nm (κόκκινο), το σημείο εκπομπής φθορισμού στα 681 nm και το σημείο μέγιστης ανακλαστικότητας περίπου στα 700 nm (η οποία οφείλεται στο ελάχιστο άθροισμα της απορρόφησης της ακτινοβολίας από το νερό, το φυτοπλαγκτόν, τα σωματίδια και τη διαλυμένη ύλη). Το πρώτο σημείο απορρόφησης (442 nm) υπερκαλύπτεται από το μέγεθος a_{CDOM} και για αυτό το λόγο χρησιμοποιείται μόνο σε νερά κατηγορίας I. Όπως προκύπτει από προηγούμενες εργασίες η χρήση λόγων μπλε και πράσινων καναλιών στα παράκτια ύδατα ενδείκνυται μόνο για oligοτροφικά νερά (π.χ. αλγόριθμοι OC2-OC4), όπως π.χ. σε ωκεανούς, ενώ για συγκεντρώσεις μεγαλύτερες των 10 $\mu\text{g/l}$ εφαρμόζονται λόγοι κόκκινων και NIR καναλιών.

Τα παραπάνω συνοψίζονται στην Εικόνα 13, η οποία παρουσιάζει τους δέκτες και τα κανάλια που έχουν χρησιμοποιηθεί στο παρελθόν για την εκτίμηση της χλωροφύλλης-α συναρτήσεως της συγκέντρωσής της. Οι δορυφόροι Landsat έχουν χρησιμοποιηθεί για χαμηλές

συγκεντρώσεις χλωροφύλλης-α έως 10 $\mu\text{g/l}$ από τους Gonzales Vilas et al. (2011), Kabbara et al. (2008), Mahasundana et al. (2009) δίνοντας συντελεστές R^2 από 70% έως 90%. Για τα ίδια επίπεδα συγκεντρώσεων οι υπόλοιποι διαδεδομένοι δέκτες SeaWiFS και MODIS δίνουν παρόμοια αποτελέσματα. Για συγκεντρώσεις μεγαλύτερες των 10 $\mu\text{g/l}$ οι συσχετίσεις κυμαίνονται σε μεγαλύτερα επίπεδα, άνω του 80%.



Εικόνα 13: Ανασκόπηση δημοσιευμένων εργασιών (έτη 2006-2011) για την εκτίμηση της χλωροφύλλης-α με συσχέτιση in situ δεδομένων και δορυφορικών εικόνων με ημι-αναλυτικούς ή εμπειρικούς αλγορίθμους. Πηγή: Odermatt et al. (2012)

Για τα μοντέλα εκτίμησης των SS, υποστηρίζουν ότι η ανάπτυξη μοντέλου παλινδρόμησης με ένα κανάλι είναι πιθανή αν έχει προηγηθεί ακριβής ατμοσφαιρική διόρθωση. Η επιλογή των καναλιών εξαρτάται από το εύρος των συγκεντρώσεων, δεδομένου ότι όσο αυξάνεται η συγκέντρωσή τους, τα κατάλληλα μήκη κύματος μεταβάλλονται από τα 550 nm προς το κόκκινο και προς το εγγύς υπέρυθρο.

Τέλος, τα μοντέλα εκτίμησης της απορρόφησης a_{CDOM} παραμένουν αντιφατικά, με μεγάλες διαφορές στην ακρίβεια τους ακόμα και σε παρόμοιες εφαρμογές.

Ο Matthews (2011) στην έρευνα του συγκέντρωσε και παρέθεσε τους προτεινόμενους εμπειρικούς αλγορίθμους με εφαρμογή σε εσωτερικά και παράκτια-μεταβατικά ύδατα (νερά κατηγορίας II). Αναφέρονται τα συμπεράσματα για τη δεύτερη κατηγορία:

- Για την εκτίμηση της διαύγειας του νερού μέσω του δίσκου Secchi χρησιμοποιείται πάντα το κόκκινο κανάλι. Η ανακλαστικότητα σε αυτή τη ζώνη αυξάνεται με τη μείωση της διαύγειας (άρα και του βάθους Secchi). Σε ορισμένες περιπτώσεις χρησιμοποιείται ο λόγος κόκκινου προς μπλε καναλιού (Kloiber et al., 2002 για εφαρμογή σε λίμνη). Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται η κανονικοποίηση στην ανακλαστικότητα του κόκκινου καναλιού, λόγω της απορρόφησης του μπλε από τη χλωροφύλλη-α και τα CDOM. Στις περισσότερες εφαρμογές χρησιμοποιούνται λογαριθμικά-γραμμικά μοντέλα.
- Η επιλογή των καναλιών και των λόγων για την εκτίμηση των SS για πολυφασματικούς δέκτες εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τα χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης και από το εύρος των συγκεντρώσεών τους. Παρόλα αυτά για τα θολά νερά έχει αποδειχθεί η χρησιμότητα του κόκκινου και του εγγύς υπέρυθρου καναλιού (Nechad et al., 2010). Τονίζεται ότι για χρήση απλών καναλιών πρέπει να έχει προηγηθεί ακριβής ατμοσφαιρική διόρθωση.
- Για την εκτίμηση της χλωροφύλλης-α και για συγκεντρώσεις μικρότερες των 20 $\mu\text{g/l}$ χρησιμοποιείται ευρέως ο λόγος πράσινου και μπλε καναλιού, όπως έχει ήδη αναφερθεί ή ο λόγος (μπλε-κόκκινο)/πράσινο.
- Για την εκτίμηση της θολότητας σε πολυφασματικούς δέκτες, όπως ο Landsat, χρησιμοποιούνται απλά μοντέλα κόκκινων καναλιών (Hellweger et al, 2007).

Μεγάλη κατηγορία αλγορίθμων αποτελούν και εκείνοι, οι οποίοι βασίζονται όχι μόνο στην ανάκλαση της ακτινοβολίας αλλά και στην απορρόφηση της. Δεδομένου ότι η απορρόφηση τείνει να μεταβάλλεται ταχύτερα σε σχέση με την ανακλαστικότητα, δύο γειτονικά φασματικά κανάλια ίσως να έχουν ίδιες ανακλαστικές ιδιότητες αλλά θα διαφέρουν στην απορρόφηση (David Blondeau-Patissier et al., 2014). Παραδείγματα τέτοιων αλγορίθμων με εφαρμογή σε θολά νερά είναι ο FLH (*Fluorescence Line Height*, Neville and Gower, 1977) και ο δείκτης FAI (*Floating Algae Index*, Hu et al., 2009, 2010c). Επίσης γνωστοί δείκτες με πλήθος εφαρμογών είναι ο MCI (*Maximum Chlorophyll Index*) για ανίχνευση χλωροφύλλης υψηλής συγκέντρωσης και ο εμπειρικός CIA για ολιγοτροφικά ύδατα (*Color Index Algorithm*, Hu et al., 2012).

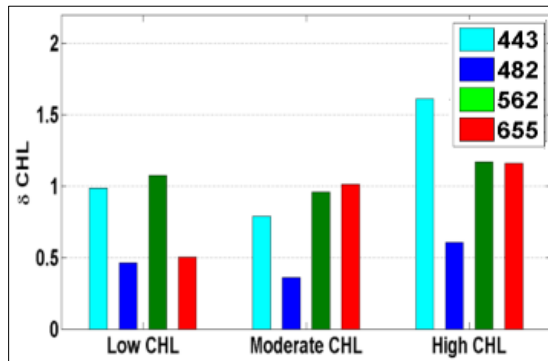
Πλήθος ερευνητικών εργασιών διατίθεται για εσωτερικά ύδατα (λίμνες), τα οποία ανήκουν επίσης στα νερά Κατηγορίας II. Ωστόσο, η προσέγγιση σε αυτές τις περιπτώσεις είναι διαφορετική, λόγω των υψηλών συγκεντρώσεων των κυρίαρχων συστατικών του νερού, όπως της χλωροφύλλης-α, των διαλυμένων οργανικών ουσιών και των ανόργανων αιωρούμενων στερεών. Παραδείγματα σύγχρονων μελετών με υψηλής ανάλυσης πολυφασματικά δεδομένα είναι των Theologou, et al (2014,2015), Θεολόγου (2014), Πατελάκη (2015).

3.2 Πρόσφατες Σχετικές Εργασίες και Αποτελέσματα

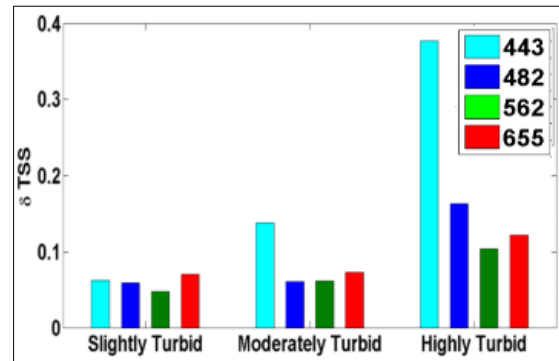
Το πλήθος των ερευνητικών εργασιών με δεδομένα Landsat-8 είναι περιορισμένο λόγω της μικρής χρονικής περιόδου που βρίσκεται εν ενεργεία. Για το λόγο αυτό, στη συνέχεια θα παρουσιαστούν παραδείγματα βασισμένα σε όλο το πρόγραμμα Landsat αλλά και παραδείγματα με χρήση άλλων δεκτών, τα οποία όμως προσφέρουν χρήσιμες πληροφορίες.

Οι Pahlevan et al. 2014 στην έρευνα τους με τίτλο “*Evaluating radiometric sensitivity of Landsat 8 over coastal/inland waters*” μελέτησαν την ραδιομετρική ευαισθησία του Landsat-8 στη χλωροφύλλη, στα αιωρούμενα σωματίδια και στην a_{CDOM} σε εσωτερικά και παράκτια ύδατα. Η μελέτη βασίστηκε σε δεδομένα *Simulated Landsat* και τιμές *radiance* των καναλιών R443, R482, R562 και R655 (coastal, μπλε, πράσινο και κόκκινο, αντιστοίχως). Η Εικόνα 14 παρουσιάζει την ευαισθησία των καναλιών για τρία διαφορετικά εύρη χλωροφύλλης, δηλαδή 0,1 -1, 1-5 και 5-12 $\mu\text{g/l}$ και για ρεαλιστικές τιμές TSS και a_{CDOM} για κάθε εύρος. Το μπλε κανάλι παρουσιάζει την υψηλότερη ευαισθησία και στις τρεις περιπτώσεις εντοπίζοντας διαφορές της τάξης των 0,5 $\mu\text{g/l}$. Στις χαμηλές συγκεντρώσεις το κόκκινο κανάλι παρουσιάζει παρόμοια ευαισθησία με το μπλε, ενώ στις μεσαίες και υψηλές συγκεντρώσεις η ευαισθησία του υποδιπλασιάζεται. Τα κανάλια R443 και R562 εμφανίζουν παρόμοια ευαισθησία κατά μέσο όρο. Παρόλα αυτά το κανάλι R443 είναι ελαφρώς πιο ευαίσθητο στα νερά των πρώτων δύο περιπτώσεων, ενώ το R562 στα νερά της τρίτης περίπτωσης. Στην Εικόνα 15 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της έρευνας για τα SS για τις ομάδες 0,1-1, 1-5 και 5-12 g / m^3 . Σε σύγκριση με τη χλωροφύλλη, ο αισθητήρας OLI είναι 10 φορές πιο ευαίσθητος σε αυτήν την παράμετρο. Η ευαισθησία των καναλιών μειώνεται για μεγαλύτερες συγκεντρώσεις, ιδιαιτέρως του R443 λόγω της απορρόφησης από τα CDOM. Το πράσινο κανάλι παρουσιάζει τη μεγαλύτερη ευαισθησία και στις τρεις περιπτώσεις, λόγω της μικρής συνολικής απορρόφησης σε αυτό το εύρος. Συγκεντρωτικά, ο OLI μπορεί να εντοπίζει

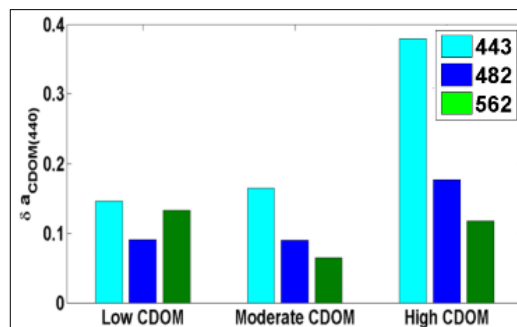
διαφορές μεγαλύτερες των $0,1 \text{ g/m}^3$. Τέλος, η Εικόνα 16 παρουσιάζει τα αποτελέσματα της έρευνας για το μέγεθος a_{CDOM} . Υψηλότερη ευαισθησία παρουσιάζουν τα κανάλια R482 και R562.



Εικόνα 14: Ευαισθησία των καναλιών R443, R482, R562 και R655 στη χλωροφύλλη για συγκεντρώσεις 0,1-1, 1-5 και 5-12 mg/m^3 .



Εικόνα 15: Ευαισθησία των καναλιών R443, R482, R562 και R655 στα SS για συγκεντρώσεις 0,1-1, 1-5 και 5-12 g/m^3 .



Εικόνα 16: Ευαισθησία των καναλιών R443, R482, R562 και R655 στην απορρόφηση της έγχρωμης διαλυμένης οργανικής ύλης στα 440 nm.

Οι Zhang & Han (2015) εφάρμοσαν μοντέλα απλής και πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης στον κόλπο Laizhou στην Κίνα προκειμένου να αναπτύξουν ένα εμπειρικό μοντέλο χλωροφύλλης-α. Διερεύνησαν τις σχέσεις των καναλιών R443, R480, R563 και R655, καθώς και τους συνδυασμούς αυτών με μετρήσεις χλωροφύλλης-α σε δύο χρονικές περιόδους (Μάιος 2013 με συγκεντρώσεις 1,59-2,95 $\mu\text{g/l}$, Ιανουάριος 2014 με συγκεντρώσεις 0,47-1,97 $\mu\text{g/l}$). Στην πρώτη περίπτωση ισχυρή συσχέτιση έδωσε μόνο το κανάλι R563 ($R^2 = 0,83$), ενώ από συνδυασμούς ο δείκτης $\frac{R_{655}-R_{443}}{R_{655}+R_{443}}$ με $R^2 = 0,88$ και $\text{RMSE} = \pm 0,15 \mu\text{g/l}$. Στη δεύτερη περίπτωση τις ισχυρότερες συσχετίσεις έδωσαν τα τρία πρώτα κανάλια ($R^2 = 0,82$ για

το R443, $R^2 = 0,90$ για το R560, $R^2 = 0,82$ για το R563) και τελικώς επιλέχθηκε μοντέλο πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης των R443, R560, R563 με $R^2 = 0,91$ και $RMSE = 0.14$ $\mu\text{g/l}$.

Για τον ίδιο σκοπό, οι Han and Jordan (2005) μελέτησαν τις σχέσεις της χλωροφύλλης-α με τα κανάλια R485, R560, R660, R835 σε μία εκβολή στον κόλπο του Μεξικού με χρήση εικόνων Landsat-7 (δέκτης ETM+). Το μέσο βάθος της περιοχής είναι 6 m, ενώ το εύρος της χλωροφύλλης-α κυμαίνεται από 1,14 έως 23,23 $\mu\text{g/l}$. Για τα μοντέλα παλινδρόμησης χρησιμοποιήθηκε ως εξαρτημένη μεταβλητή ο λογάριθμος της χλωροφύλλης-α, ενώ ως ανεξάρτητες μεταβλητές χρησιμοποιήθηκαν απλά κανάλια, οι λόγοι τους, οι λογάριθμοι των λόγων τους και οι λόγοι των λογάριθμων των καναλιών. Όπως αναφέρουν η χρήση των λόγων έχει δύο πλεονεκτήματα. Πρώτον, οι λόγοι τείνουν να αντισταθμίζουν τις παρεκλίσεις λόγω της επίδρασης της ατμόσφαιρας (Jensen, 2005) και δεύτερον, οι ιδιότητες απορρόφησης και σκέδασης της χλωροφύλλης μπορούν να αναλυθούν μόνο αν χρησιμοποιηθούν τουλάχιστον δύο κανάλια (Dekker et al., 2001).

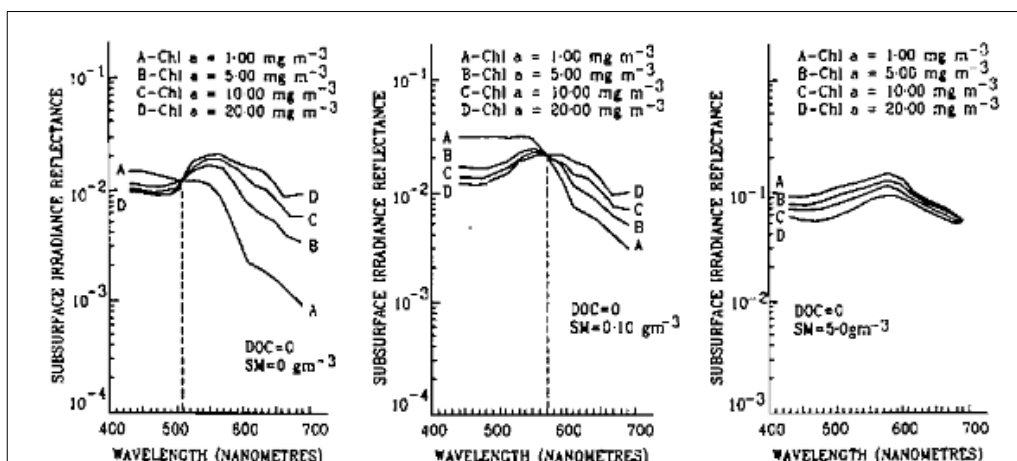
Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, συσχέτιση με τη χλωροφύλλη-α φαίνεται να υπάρχει με τα κανάλια R485 και R660. Καλύτερη συσχέτιση έδωσε ο λόγος $\text{Log}(R485)/\text{Log}(R660)$ με $R^2 = 0,67$ ($n=16$), ο οποίος χρησιμοποιεί δύο οπτικές ζώνες απορρόφησης της χλωροφύλλης αλλά διαφορετικού ρυθμού (πιο γρήγορος ρυθμός απορρόφησης στο R660). Επειδή το κανάλι R660 επηρεάζεται από τα ανόργανα αιωρούμενα συστατικά και από την οργανική διαλυμένη ύλη, ο λόγος αυτός θα είναι πιο αποτελεσματικός όταν η συγκέντρωση της χλωροφύλλης ξεπερνά ένα μέγεθος και όταν η θολότητα είναι μικρή.

Οι Kabbara et al. (2008) βασίστηκαν στα ίδια κανάλια του Landsat-7 προκειμένου να αναπτύξουν εμπειρικά μοντέλα στην παράκτια περιοχή της Τρίπολης (Λίβανος) για την εκτίμηση της χλωροφύλλης-α (εύρος 0,30-3,07 $\mu\text{g/l}$), της θολότητας (μέση τιμή 2,34 FTU) και του δίσκου του Secchi (εύρος 2-11 μ).

Ως εξαρτημένη μεταβλητή επιλέχθηκε ο φυσικός λογάριθμος του εκάστοτε δείκτη. Για τη συσχέτιση χρησιμοποίησαν απλά και πολλαπλά μοντέλα παλινδρόμησης. Και για τις τρεις παραμέτρους καλύτερη συσχέτιση έδωσε το πολλαπλό μοντέλο με ανεξάρτητες μεταβλητές τους δείκτες $\text{Ln}(R485)$ και $\text{Ln}(R560)$. Οι δείκτες αυτοί έδωσαν συντελεστές προσδιορισμού $R^2 = 0,723$ για τη χλωροφύλλη-α ($n = 34$), $R^2 = 0,54$ για το βάθος Secchi ($n = 35$) και $R^2 = 0,57$ για τη θολότητα ($n = 45$). Για τη χλωροφύλλη-α παρόμοια συσχέτιση έδωσε ο λόγος $\text{Ln}(ETM1)/\text{Ln}(ETM3)$ με $R^2 = 0,719$ ($n = 34$).

Ο S. Ekstrand (1992) συνέλεξε εικόνες Landsat TM και δείγματα στα ανατολικά της Σουηδίας (κόλπος Himmerfjarden Bay) προκειμένου να αναπτύξει εμπειρικά μοντέλα για την εκτίμηση της χλωροφύλλης-α. Γνωρίζοντας ότι η παρουσία των SS περιπλέκει την εκτίμηση της χλωροφύλλης-α, μελέτησε τμηματικά τα νερά κατηγορίας I και II. Για τα νερά κατηγορίας I (ωκεάνια) πρότεινε τον λόγο L485/L560 (χρήση τιμών *radiance*). Για την εύρεση ενός κατάλληλου δείκτη για τα νερά κατηγορίας II εξείρασε τα δείγματα με προέλευση από περιοχές με υψηλή περιεκτικότητα αιωρούμενων στερεών. Ο δείκτης που προτάθηκε εν τέλει είναι ο $L485/(LogL660+1)$.

Όπως αναφέρει, για αυξημένη συγκέντρωση χλωροφύλλης σε νερό χωρίς αιωρούμενα στερεά η ανακλαστικότητα στην μπλε ζώνη μειώνεται, ενώ αυξάνεται ραγδαίως στην πράσινη και κόκκινη ζώνη. Το οριακό σημείο είναι στα 505 nm (όριο μπλε και πράσινης ζώνης). Όσο όμως τα επίπεδα των αιωρούμενων στερεών αυξάνονται το οριακό σημείο μετακινείται σε μεγαλύτερα μήκη κύματος (570 nm για 0,10 mg/l SS και 690 nm για 5,0 mg/l SS), με αποτέλεσμα η ανακλαστικότητα να είναι πλέον ανεξάρτητη της χλωροφύλλης στο R560 ή και στο R660 (Bukata et al,1983, Εικόνα 17).



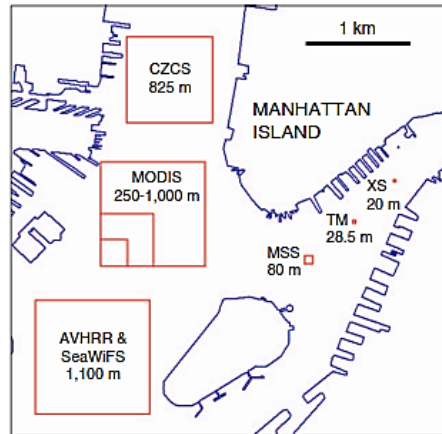
Εικόνα 17: Φασματική υπογραφή της χλωροφύλλης-α συναρτήσει διαφορετικών συγκεντρώσεων αιωρούμενων στερεών (0 / 0,5 / 5 mg/l)

Οι Pattiaratchi et al. (1994) μελέτησαν τις σχέσεις των ορατών καναλιών R485, R560, R660 του Landsat TM με τη χλωροφύλλη-α (εύρος 0,2-2,7 μg/l), το βάθος του δίσκου Secchi (εύρος 4 -15μ) και τη θερμοκρασία του νερού στο Cockburn Sound (Όρμος στη Δυτική Αυστραλία). Εφάρμοσαν μοντέλα απλής και πολλαπλής παλινδρόμησης, για γραμμικές και

λογαριθμικές-γραμμικές εξισώσεις σε 39 σημεία και κατέληξαν στην ανάπτυξη εμπειρικών αλγορίθμων με χρήση των καναλιών R485 και R660. Για τη χλωροφύλλη συσχετίσεις βρέθηκαν μόνο για τα μοντέλα πολλαπλής παλινδρόμησης. Συγκεκριμένα καλές συσχετίσεις έδωσαν ο συνδυασμός των καναλιών R485, R660 για μοντέλο πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης ($R^2 = 0,59$ και $s.e = \pm 0,3$ $\mu\text{g/l}$) και ο συνδυασμός των R560 και R560/R660 για το λογαριθμικό-γραμμικό μοντέλο πολλαπλής παλινδρόμησης ($R^2 = 0,53$, $s.e. = \pm 0,17$ $\mu\text{g/l}$). Συσχέτιση παρατηρήθηκε, επίσης, μεταξύ του βάθους Secchi και των καναλιών R485 και R660. Τα απλά γραμμικά μοντέλα έδωσαν $R^2 = 0,52$ και $s.e. = \pm 1,15$ m με ανεξάρτητη μεταβλητή το κανάλι R485, ενώ $R^2 = \pm 0,52$ και $s.e. = \pm 1,69$ m έδωσε το κανάλι R660. Το κανάλι R660 έδωσε καλύτερη συσχέτιση με το λογαριθμικό-γραμμικό μοντέλο με $R^2 = \pm 0,61$ και $s.e. = \pm 1,09$ m.

Ο Zhang (2005) εφάρμοσε διάφορες τεχνικές συσχέτισης μεταξύ in situ δεδομένων και διαφόρων δεκτών στον κόλπο της Φινλανδίας (Archipelago Sea). Για τον Landsat TM συμπέρανε 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 συμπέρανε πως αποτελεσματικότερη είναι η χρήση των συνδυασμών απλών καναλιών και λόγων ($R^2 = 0,68$ έναντι $R^2 = 0,54$ & $n = 53$).

Οι Hellweger et al. (2004) στην έρευνα τους για την ποιότητα των νερών του λιμανιού της Νέας Υόρκης ανέλυσαν τη σημασία της χωρικής και της φασματικής ανάλυσης των δορυφορικών δεκτών. Για σύγκριση χρησιμοποιήθηκαν δορυφορικές εικόνες από τον δέκτη MODIS (υψηλή φασματική ανάλυση / χαμηλή χωρική ανάλυση) και από τον δέκτη Landsat TM (υψηλή χωρική ανάλυση / χαμηλή φασματική ανάλυση). Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της έρευνας, βρέθηκε συσχέτιση μεταξύ του καναλιού R660 και του βάθους του δίσκου Secchi στις περιοχές που επηρεάζονται από απορροές ποταμιών ($R^2 = 0,85$ & $n = 21$) και μεταξύ του λόγου R560/R660 και της χλωροφύλλης-α ($R^2 = 0,78$ & $n = 16$). Τα δεδομένα MODIS δεν έδωσαν συσχετίσεις, το οποίο πιθανόν οφείλεται στην παρεμβολή μη υδάτινων αντικειμένων λόγω της χαμηλής χωρικής ανάλυσης του MODIS (Εικόνα 18).



Εικόνα 18: Συγκριτική χωρική ανάλυση των δεκτών CZCS, MODIS, AVHRR, SeaWiFS, Landsat MSS, Landsat TM, SPOT XS στο λιμάνι της Νέας Υόρκης. Πηγή: Hellweger et al. (2004)

Οι S. Novoa et al. (2012), προκειμένου να εκτιμήσουν την οικολογική κατάσταση της παράκτιας ζώνης του Βισκαϊκού Κόλπου, συνέκριναν in situ δεδομένα χλωροφύλλης με εκτιμώμενες τιμές τριών εμπειρικών αλγορίθμων (OC3M, OC5, τοπικός αλγόριθμος) για τα έτη 2005-2010 (εύρος 0-8 $\mu\text{g/l}$). Οι τρεις αλγόριθμοι χρησιμοποιούν την μπλε και την πράσινη ζώνη του δείκτη MODIS. Συμπέραναν ότι ο τοπικός αλγόριθμος υπερεκτιμά τις χαμηλές συγκεντρώσεις κάτω του 1 $\mu\text{g/l}$ και υποτιμά τις υψηλότερες πάνω των 4 $\mu\text{g/l}$ ($R^2 = 0,48$ & $n = 95$). Ο OC5 υπερεκτιμά περισσότερο τις συγκεντρώσεις για τιμές κάτω των 4 $\mu\text{g/l}$, ενώ ο OC3M υπερεκτιμά τις τιμές σε όλο το εύρος.

Οι Le et al. (2013) δοκίμασαν διαφορετικούς αλγορίθμους στον κόλπο Ταμπα, ο οποίος χαρακτηρίζεται από ρηχά και σύνθετα νερά λόγω της παρουσίας εκβολών ποταμών. Οι συγκεντρώσεις στον κόλπο κυμαίνονται από 1 έως 80 $\mu\text{g/l}$. Οι τρεις αλγόριθμοι αφορούσαν λόγους δύο, τριών και τεσσάρων καναλιών ($x = Rrs(\lambda_2) / Rrs(\lambda_1)$, $x = [Rrs(\lambda_1)^{-1} - Rrs(\lambda_2)^{-1}] * Rrs(\lambda_3)$ και $x = [Rrs(\lambda_1)^{-1} - Rrs(\lambda_2)^{-1}] / [Rrs(\lambda_4)^{-1} - Rrs(\lambda_3)^{-1}]$) των δεκτών MERIS και MODIS, επιλεγμένων από τη ζώνη του κόκκινου και του εγγύς υπέρυθρου (660-760 nm). Το τέταρτο μοντέλο συνέθετε ο δείκτης SCI, ο οποίος χρησιμοποιεί τέσσερα κανάλια στην πράσινη και στην κόκκινη ζώνη (*Synthetic Chlorophyll Index*, Shen et al., 2010). Το τελευταίο μοντέλο έδωσε καλύτερα αποτελέσματα για τιμές μικρότερες των 20 $\mu\text{g/l}$. Από τα πρώτα μοντέλα καλύτερα αποτελέσματα έδωσε το εκθετικό μοντέλο με χρήση του λόγου $R709/R665$ σε δεδομένα MERIS και κυρίως για συγκεντρώσεις μεγαλύτερες των 2 $\mu\text{g/l}$. Ο ίδιος δείκτης δοκιμάστηκε σε παρόμοιο υδάτινο σύστημα στον κόλπο Chesapeake και έδωσε παρόμοια αποτελέσματα (Chesapeake Bay με εύρος 4 -100 $\mu\text{g/l}$, MRE = 34,7%).

Στους επόμενους πίνακες παρατίθενται οι προτεινόμενοι δείκτες της βιβλιογραφίας, τα αποτελέσματα που έδωσαν, το πλήθος και το εύρος των μετρήσεων, ο δείκτης που χρησιμοποιήθηκε και η μέθοδος παλινδρόμησης που εφαρμόστηκε (*SLR: Simple Linear Regression, MLR: Multiple Linear Regression, LT-LR: Log-Transformed Linear Regression, LT-MLR: Log-Transformed Multiple Linear Regression*).

Πίνακας 4: Προτεινόμενοι δείκτες και μοντέλα προηγούμενων ερευνητικών εργασιών για την εκτίμηση του βάθους Secchi σε παράκτια ύδατα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ			ΠΑΡΟΥΣΑ ΕΡΓΑΣΙΑ
Reference	Equation / Bands Sensor, Model SD range	R ² , n	Equation / Bands
Pattiaratchi et al., 1994	R660 Landsat TM, LT-LR, 4-15 m	R ² = 0.61, n = 39	R655
Kabbara et al, 2008	Ln(R485), Ln(R560) Landsat ETM+, LT-LR, 2-11 m	R ² = 0.54 n = 35	Ln(R480), Ln(R560)
Kratzer et al., 2008	R490/R620 Sim. MERIS, LT-LR, 3-6 m	R ² = 0.79 n = 23	-
Hellweger et al, 2004	Log(R660) Landsat TM, LT-LR, 0,45-2 m	R ² = 0.85 n = 21	Log(R655)
Zhang, 2005	R485, R560, R660 Landsat TM, MLR 1,6-11 m	R ² = 0.72 n = 53	R483, R563, R655
Pekka Harna et al., 2001	(L560-L830)/ (L660-L830) Sim. Landsat TM, SLR, 0,7-5,0 m	R ² = 0.48 n = 107	-

Πίνακας 5: Προτεινόμενοι δείκτες και μοντέλα προηγούμενων ερευνητικών εργασιών για την εκτίμηση της α_{CDOM} σε παράκτια ύδατα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ			ΠΑΡΟΥΣΑ ΕΡΓΑΣΙΑ
Reference	Equation / Bands Sensor, Model range	R ² , n	Equation / Bands
D' Sa & Miller, 2003	R443/R510 Simulated SeaWiFS, LT-LR, 0,4-0,01 m ⁻¹	R ² = 0.86 n = 19	R443/R483

Πίνακας 6: Προτεινόμενοι δείκτες προηγούμενων ερευνητικών εργασιών για την εκτίμηση της χλωροφύλλης-α σε παράκτια ύδατα.

Reference	Equation / Bands Sensor, Model chl-a range	R ² , n	Equation / Bands Landsat OLI
Zhang & Han, 2015	(R655-R440)/ (R655+R440) Landsat OLI, SLR 0.5-2.0 µg/l	R ² =0.88 n = 8	(R655-440)/ (R655+R440)
Ekstrand, 1992	L485/(log(L660+1)) Landsat TM, SLR, 0.5-12µg/l	R ² = 0.69 n = 30	-
Moses et al., 2009a	R708/R665 MERIS, SLR, 0.6-66 µg/l	R ² = 0.97 n = 18	-
Moses et al., 2009a	(R665⁻¹-R708⁻¹) *R753 MERIS, SLR, 0.6-66 µg/l	R ² = 0.95 n = 18	-
Koponen et al., 2007	L709/L665 MERIS, SLR, 22-95 µg/l	R ² = 0.87 n =51	-
Zhang & Han, 2015	R440, R480, R560 Landsat OLI, MLR, 1.6-3. 0 µg/l	R ² = 0.91 n = 6	R440, R480, R560
Pattiaratchi et al., 1994	R485, R660 Landsat TM, MLR, 0.2-2.7 µg/l	R ² = 0.59 n =39	R480, R655
Kabbara et al, 2008	ln(R485)/ln(R660) Landsat ETM+, LT-LR. 0.3-3.1 µg/l	R ² = 0.72 n = 34	ln(R480)/ln(R655)
Han & Jordan, 2005	log(R485)/log(R660) Landsat ETM+, LT-LR, 1-23 µg/l	R ² = 0.67 n = 16	log(R480)/log(R655)
Gitelson et al., 1996	Log(R660/R485) Sim. Landsat, LT-LR, 2-70 m	R ² = 0.74 n =18	Log(R655/480)
Pattiaratchi et al., 1994	R560, R560/R660 Landsat TM, LT-MLR, 0.2-2.7 µg/l	R ² = 0.53 n =39	R560, R560/R655
Kabbara et al, 2008	ln(R485), ln(R560) Landsat ETM+, LT-MLR, 0.3-3.1 µg/l	R ² = 0.72 n = 34	ln(R480), ln(R560)
Le et al., 2013	R709/R665 MERIS, Power Model, 1-30 µg/l	-	-

Πίνακας 7: Προτεινόμενοι δείκτες και μοντέλα προηγούμενων ερευνητικών εργασιών για την εκτίμηση της θολότητας σε παράκτια ύδατα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ			ΠΑΡΟΥΣΑ ΕΡΓΑΣΙΑ
Reference	Equation / Bands Sensor, Model range	R ² , n	Equation / Bands
Kabbara et al, 2008	Ln(R485), Ln(R560) Landsat ETM+, LT-MLR, 0.58-8.43 FTU	R ² = 0.57, n = 45	-
Chen et al., 2007	R645 MODIS, LR, 0.9-8.0 NTU	R ² = 0.73 n = 43	R655
Zhang, 2005	R485, R560, R660 Landsat TM, MLR 1,0-7,5 FNU	R ² = 0.54 n = 53	R483, R563, R655
Zhang, 2005	R660 Landsat TM, LR 1,0-7,5 FNU	R ² = 0.64 n = 53	R655
Pekka Harma et al., 2001	L660-L830 Sim. Landsat TM, LR	R ² = 0.79 n = 105	L655-L865

Πίνακας 8: Προτεινόμενοι δείκτες και μοντέλα προηγούμενων ερευνητικών εργασιών για την εκτίμηση των TSS σε παράκτια ύδατα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ			ΠΑΡΟΥΣΑ ΕΡΓΑΣΙΑ
Reference	Equation / Bands Sensor, Model range	R ² , n	Equation / Bands
Petus et al., 2010	R859 Sim. MODIS, Polynomial(2 nd), 0.3-145.6 g/m ³	R ² = 0.96, n = 74	R865
Miller & McKee, 2004	R645 MODIS, LR, 1-55 g/m ³	R ² = 0.89 n = 52	R655
Pekka Harma et al., 2001	L660-L830 Sim. Landsat TM, LR, 1.6-11 g/m ³	R ² = 0.80 n = 87	L655-L865

4. Μεθοδολογία

Σε αυτό το κεφάλαιο αναλύεται η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε προκειμένου να βρεθούν οι πιθανές συσχετίσεις μεταξύ των φασματικών τιμών και των *in situ* δεδομένων. Αρχικά, περιγράφεται η συλλογή και η απαραίτητη προεπεξεργασία των δεδομένων. Έπειτα αναλύεται η διαδικασία που ακολουθήθηκε, προκειμένου να βρεθούν τα ζεύγη των επιτόπιων μετρήσεων με τις τιμές ανακλαστικότητας του νερού για κάθε ποιοτικό δείκτη. Λόγω του μεγάλου όγκου των δεδομένων κρίθηκε απαραίτητη η αυτοματοποίηση των επιμέρους σταδίων, με τη δημιουργία *scripts* στο MATLAB. Περιληπτικά, ακολουθήθηκαν τα παρακάτω βήματα:

1. Συλλογή δεδομένων δειγματοληψιών.
 - a. Λήψη δειγματοληψιών.
 - b. Κωδικοποίηση σταθμών και δειγματοληψιών.
 - c. Απεικόνιση σταθμών στο QGIS (WGS'84).
2. Συλλογή εικόνων.
 - a. Απεικόνιση σταθμών ιχνών Landsat στο QGIS.
 - b. Λήψη και κωδικοποίηση εικόνων.
 - c. Άντληση γεωγραφικής πληροφορίας εικόνων μέσω των μεταδεδομένων.
3. Εύρεση θέσεων.
 - a. Μετατροπή συντεταγμένων σταθμών από γεωγραφικές $(\phi, \lambda)_{WGS'84}$ σε $(x, y)_{UTM6, WGS'84}$ και αντιστοίχιση δειγμάτων με τις νέες συντεταγμένες.
 - b. Εύρεση ζευγών δειγμάτων-εικόνων.
 - c. Παρεμβολή στις εικόνες για την εύρεση της τιμής του εγγύτερου pixel και για τον υπολογισμό της μέσης τιμής των εννέα εγγύτερων pixels (παράθυρο 3x3).
4. Δημιουργία δύο πινάκων (3x3, εγγύτερο pixel) με τις τιμές επιτόπιας μέτρησης και των τιμών ανακλαστικότητας για κάθε ποιοτικό δείκτη.

Οι πίνακες που προέκυψαν για κάθε ποιοτικό δείκτη έδωσαν μία γενική εικόνα για το πλήθος των τελικών δεδομένων, το εύρος των τιμών τους και το μέσο όρο τους. Στη συνέχεια, περιγράφονται οι στατιστικές μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν για τη διερεύνηση των πιθανών συσχετίσεων. Τέλος, αναλύεται η διαδικασία που ακολουθήθηκε για κάθε ποιοτικό δείκτη.

4.1 Συλλογή και Προετοιμασία Δεδομένων

Τα δεδομένα αντλήθηκαν από τη βάση δεδομένων ROD (*Reporting Obligations Database*) του [Ευρωπαϊκού Οργανισμού Περιβάλλοντος](#). Στα πλαίσια της Οδηγίας-Πλαίσιο για τα Νερά και της Οδηγίας-Πλαίσιο για τη Θαλάσσια Στρατηγική 30 χώρες συνολικά υποχρεούνται να υποβάλουν σχετική αναφορά σε ετήσια βάση στον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Περιβάλλοντος. Η αναφορά αυτή αφορά μεταβατικά, παράκτια και ύδατα λιμένων. Περιλαμβάνει πληροφορίες σχετικά με τα γεωγραφικά και φυσικά χαρακτηριστικά των σταθμών, τις πιέσεις στα ανάντη της λεκάνης απορροής, ποιοτικά δεδομένα χημικής και βιολογικής φύσεως (θρεπτικά συστατικά στο θαλασσινό νερό, επικίνδυνες ουσίες στον βιόκοσμο, στα ιζήματα και στο θαλασσινό νερό), καθώς και τα φορτία που προέρχονται από απευθείας απολήψεις ή απολήψεις ποταμών.

Από τη βάση δεδομένων αντλήθηκαν οι αναφορές δύο χωρών για το έτος 2013, της Γαλλίας και της Ισπανίας. Οι αναφορές αφορούν και τις τρεις κατηγορίες υδάτων: μεταβατικά (κωδικός T), παράκτια (κωδικός C) και ύδατα σε λιμένες (κωδικός M). Για λόγους ομοιογένειας μεταξύ των δεδομένων επιλέχθηκαν μόνο οι δειγματοληψίες σε παράκτια ύδατα. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται για κάθε ποιοτικό δείκτη το πλήθος των δειγμάτων για τους μήνες Απρίλιο έως και Δεκέμβριο (πριν τον Απρίλιο δεν υπήρχαν διαθέσιμες εικόνες Landsat-8). Περισσότερες μετρήσεις έχουν γίνει για το διαλυμένο οξυγόνο και τη χλωροφύλλη-α με πάνω από 650 δείγματα και στις δύο χώρες. Ικανοποιητικό είναι το πλήθος των μετρήσεων των ορθοφωσφορικών ανιόντων και της αμμωνίας. Το βάθος Secchi και η ηλεκτρική αγωγιμότητα έχουν μετρηθεί μόνο στα Ισπανικά ύδατα.

Πίνακας 9: Πλήθος διαθέσιμων δειγμάτων στα παράκτια ύδατα των δύο χωρών.

Ποιοτικός Δείκτης	Πλήθος δειγμάτων Ισπανίας	Πλήθος δειγμάτων Γαλλίας	Συνολικό Πλήθος Δειγμάτων
Χλωροφύλλη-α	81	573	654
Αμμώνιο	47	123	170
Βάθος Secchi	54	0	54
Ηλεκτρική αγωγιμότητα	68	0	68
Διαλυμένο οξυγόνο	81	692	773
ορθοφωσφορικά Ανιόντα	55	262	317

Για την ευκολότερη διαχείριση και τη μετέπειτα συσχέτιση των δεδομένων με τις εικόνες, κάθε σταθμός και δειγματοληψία αντιστοιχήθηκε με έναν μοναδικό κωδικό (ID). Ο κάθε σταθμός

ορίζεται από τις γεωγραφικές συντεταγμένες (λ,φ) και στο σύνολο τους είναι 82 (Εικόνα 19). Το σύστημα αναφοράς των συντεταγμένων τους είναι το ελλειψοειδές WGS'84. Για IDs επιλέχθηκαν οι τιμές 101-125 για τους σταθμούς της Ισπανίας και οι τιμές 201-257 για τους σταθμούς της Γαλλίας (Πίνακας 42, Εικόνα 35 παραρτήματος). Η κάθε δειγματοληψία ορίστηκε από τον κωδικό του σταθμού και την ημέρα που λήφθηκε το δείγμα με αναφορά την 1/1/2013. Δημιουργήθηκαν συνολικά 1146 κωδικοί δειγμάτων.

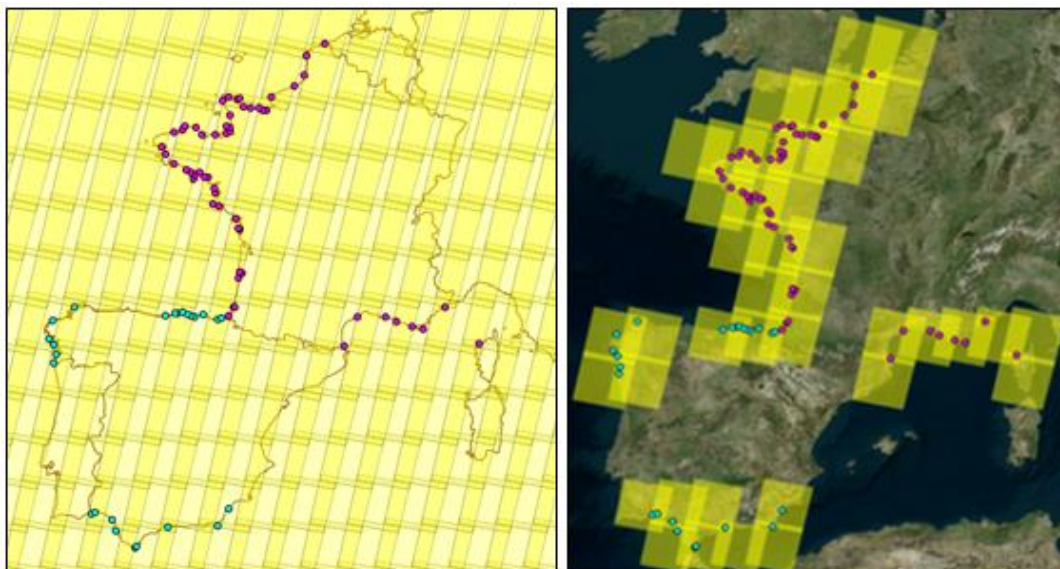


Εικόνα 19: Κατανομή σταθμών στην περιοχή μελέτης.

Η διαδικασία εύρεσης των κατάλληλων εικόνων πραγματοποιήθηκε στο QGIS με την παράλληλη προβολή των σταθμών δειγματοληψίας και των αποτυπωμάτων των εικόνων Landsat στο έδαφος (Πηγή: USGS, Εικόνα 20).

Συνολικά επιλέχθηκαν 36 συνδυασμοί path/rows και σε συνδυασμό με τις λήψεις που πραγματοποιήθηκαν από τον Απρίλιο έως και τον Δεκέμβριο του 2013, λήφθηκαν εικόνες από

202 λήψεις. Η κάθε εικόνα (σκηνή) ορίζεται από τα *path*, *row* και την ημέρα λήψης της εικόνας βάσει την 1/1/2013.



Εικόνα 20: Ίχνη του Landsat 8 στο έδαφος-Επιλογή κατάλληλων εικόνων.

Η άντληση των γεωγραφικών πληροφοριών των εικόνων προγραμματίστηκε στο *Matlab* μέσω των μεταδεδομένων (ενδεικτικός κώδικας στο Παράρτημα). Συγκεκριμένα αντλήθηκαν οι ορθογώνιες συντεταγμένες των γωνιακών pixels, η ζώνη UTM των συντεταγμένων και το μέγεθος της εδαφοψηφίδας (30x30 m). Ενδεικτικά, στον Πίνακα 10 παρουσιάζονται πληροφορίες από ορισμένες σκηές. Οι ορθογώνιες συντεταγμένες των εικόνων αναφέρονται στην προβολή UTM-6° και στο ελλειψοειδές WGS'84.

Πίνακας 10: Ενδεικτικό τμήμα του πίνακα με την ονοματολογία και τις γεωγραφικές πληροφορίες των εικόνων (WGS'84-UTM-6°).

IDΕΙΚΟΝΑ	Path	Row	Ημέρα	Ζώνη	X _{min}	X _{max}	Y _{min}	Y _{max}
194_030_133	194	30	133	32	297900	530100	4668300	4894500
194_030_149	194	30	149	32	296400	528600	4668300	4894500
194_030_181	194	30	181	32	297600	532800	4661700	4900800
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
205_031_338	205	31	338	29	337200	571200	4503900	4741500
205_031_354	202	31	354	29	337800	571800	4503900	4741500

4.2 Εύρεση Ζευγών in-situ Μετρήσεων και Φασματικών Τιμών

Ο εντοπισμός της ακριβούς θέσης των σταθμών στις εικόνες προϋποθέτει ένα κοινό γεωγραφικό σύστημα αναφοράς. Επομένως, σε πρώτη φάση πραγματοποιήθηκε η προβολή των γεωγραφικών συντεταγμένων των σταθμών μέσω των εξισώσεων μετασχηματισμού της προβολής UTM-6°. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιήθηκε στο MATLAB (ενδεικτικός κώδικας στο Παράρτημα). Στις περιπτώσεις που κάποιο σημείο ανήκε στα όρια δύο ζωνών έγινε μετατροπή των συντεταγμένων του και στις δύο ζώνες, γιατί υπήρχε πιθανότητα να συμπεριλαμβάνεται σε εικόνα γειτονικής ζώνης. Για παράδειγμα, ο σταθμός 254 είναι εντός της ζώνης UTM 31 αλλά καλύπτεται και από την εικόνα 201/25, η οποία είναι γεωαναφερμένη στην γειτονική ζώνη UTM30. Έπειτα, τα σημεία δειγματοληψιών εισήχθησαν με τις νέες ορθογώνιες συντεταγμένες στο QGIS, ώστε να ελεγχθεί αν οι ορθογώνιες συντεταγμένες συμπίπτουν με τις γεωγραφικές και επομένως να εξασφαλιστεί η ορθότητα των υπολογισμών. Ο Πίνακας 42 του παραρτήματος περιλαμβάνει τις γεωγραφικές πληροφορίες των σταθμών, ενώ ενδεικτικά αναφέρονται τα στοιχεία ορισμένων σταθμών στον παρακάτω πίνακα. Στη συνέχεια αντιστοιχήθηκαν σε κάθε δείγμα οι ορθογώνιες συντεταγμένες του εκάστοτε σταθμού (Πίνακας 12).

Πίνακας 11: Ενδεικτικό τμήμα του πίνακα με τις γεωγραφικές πληροφορίες των σταθμών (WGS'84).

ID _{ΣΤΑΘΜΟΣ}	Γεωγραφικό Μήκος λ (°)	Γεωγραφικό Πλάτος φ (°)	Χ _{UTM} (m)	Υ _{UTM} (m)	Ζώνη UTM
101	-5,552820	36,017000	269946,11	3988848,82	30
102	-5,475940	36,045780	276956,93	3991862,95	30
103	-6,329080	36,576080	738986,04	4051167,92	29
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
254	1,052837	49,939937	360283,35	5533770,02	31
254	1,052837	49,939937	790775,16	5539829,77	30
255	1,474505	50,231283	391199,91	5565459,74	31
256	1,548658	50,753132	397622,63	5623377,08	31

Πίνακας 12: Ενδεικτικό τμήμα του πίνακα με τα στοιχεία των δειγματοληψιών (WGS'84).

ID _{ΔΕΙΓΜΑ}	ID _{ΣΤΑΘΜΟΣ}	Ημέρα δειγματοληψίας	Χ _{UTM} (m)	Υ _{UTM} (m)	Ζώνη UTM
101_106	101	106	269946,112	3988848,818	30
101_322	101	322	269946,112	3988848,818	30
102_322	102	322	276956,928	3991862,949	30
103_098	103	98	738986,040	4051167,917	29
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

Αφού όλα τα δεδομένα γεωαναφέρθηκαν στην προβολή UTM, μπόρεσαν να συνδυαστούν μέσω των Πινάκων 10 και 12, ώστε να βρεθούν τα ζεύγη δειγμάτων-εικόνων. Τα ζεύγη αυτά έπρεπε να πληρούν δύο προϋποθέσεις:

- Ο σταθμός δειγματοληψίας έπρεπε να βρίσκεται εντός των ορίων της εικόνας. Αυτό ελέγχθηκε μέσω των συντεταγμένων των γωνιακών pixels της εικόνας (X_{min} , X_{max} , Y_{min} , Y_{max}) και της ζώνης προβολής, η οποία έπρεπε να είναι κοινή. Να σημειωθεί ότι ο σταθμός μπορεί να βρίσκεται μεν εντός των ορίων, αλλά υπάρχει πιθανότητα να βρίσκεται στο γέμισμα της εικόνας ή υπό σύννεφο/σκιά. Αυτό δεν ελέγχθηκε σε αυτό το στάδιο.
- Η χρονική διαφορά ανάμεσα στην ημέρα λήψης του δείγματος και της εικόνας να είναι μικρότερη ή ίση των 10 ημερών.

Βάσει της παραπάνω λογικής συνδυάστηκαν τα δεδομένα στο MATLAB και προέκυψε ένας πίνακας, στον οποίο για κάθε δείγμα δίνονται οι εικόνες που το περιλαμβάνουν και η αντίστοιχη χρονική διαφορά μεταξύ των λήψεων τους (Πίνακας 13).

Πίνακας 13: Ενδεικτικό τμήμα του πίνακα με τα ζεύγη δειγματοληψιών-εικόνων

Δείγμα	Εικόνα	Χρονική Διαφορά (Ημέρες)
103_323	202_034_317	-6
103_323	202_034_333	10
104_253	201_035_262	9
106_316	202_034_317	1
106_316	203_034_324	8
107_100	202_034_109	9
107_128	202_034_125	-3
107_199	202_034_205	6
107_260	203_034_260	0
⋮	⋮	⋮

Στη συνέχεια για κάθε σειρά από τον παραπάνω πίνακα αντλήθηκε η τιμή του εγγύτερου pixel για τα επτά κανάλια του OLI και τις εικόνες *Cloud QA* και *CFmask* (βλ. Παρ. 2.6.2). Η τιμή αντλήθηκε εφόσον το εγγύτερο pixel ήταν χαρακτηρισμένο ως «νερό» στις εικόνες *CFmask* (τιμή pixel = 0), ώστε να απορριφθούν τα σημεία υπό σύννεφο, υπό σκιά ή εντός του γεμίματος της εικόνας. Για τα αποδεκτά σημεία αντλήθηκε και ο μέσος όρος των εννέα

εγγύτερων pixels (εφόσον κάλυπταν το ίδιο κριτήριο, αλλιώς εξάχθηκε ο μέσος όρος μόνο των έγκυρων). Τέλος, ο πίνακας κάθε ποιοτικού δείκτη συνδυάστηκε με τον παραπάνω, ώστε για κάθε δείκτη να προκύψει ένας πίνακας με το αντίστοιχο μέγεθος (π.χ. συγκέντρωση, βάθος) και τις αντίστοιχες τιμές ανακλαστικότητας για το εγγύτερο pixel και για το παράθυρο 3x3 (Πίνακας 14).

Πίνακας 14: Ενδεικτικό τμήμα του πίνακα με τα ζεύγη δειγμάτων χλωροφύλλης-α και εικόνων με παρεμβολή εγγύτερου γείτονα.

ID _{SAMPLE}	ID _{EIKONA}	dt	Συγκέντρωση (μg/l)	Cloud QA	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7
101_267	201_035_262	-5	0,193	128	514	492	342	235	190	119	80
102_267	201_035_262	-5	0,186	128	466	486	335	207	187	115	80
103_323	202_035_317	-6	3,500	128	298	397	407	111	14	3	6
104_325	201_034_326	1	0,440	128	439	421	287	108	38	21	7
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

4.3 Μοντέλα Παλινδρόμησης και Συσχετίσεις Δεδομένων

Οι σχέσεις μεταξύ των τιμών των ποιοτικών παραμέτρων και των τιμών ανακλαστικότητας των εικόνων Landsat-8 εξετάστηκαν μέσω τεχνικών Παλινδρόμησης. Τα μοντέλα παλινδρόμησης συμβάλουν στην εκτίμηση της τιμής μίας τυχαίας μεταβλητής όταν δίνεται η τιμή μίας άλλης μεταβλητής ή άλλων μεταβλητών. Οι μέθοδοι που επιλέχθηκαν είναι η Απλή Γραμμική Παλινδρόμηση (*Linear Regression*) και η Λογαριθμική-Γραμμική Παλινδρόμηση (*Log-Transformed Linear Regression* ή *Log-linear Regression*). Η επιλογή αυτών των μεθόδων βασίστηκε στα εμπειρικά μοντέλα της βιβλιογραφίας (Παρ. 2.6).

Γενική Γραμμική Παλινδρόμηση

Η Γενική Γραμμική Παλινδρόμηση αποτελεί μία τεχνική μοντελοποίησης της σχέσης μεταξύ μίας βαθμωτής μεταβλητής Y και μίας ή περισσότερων μεταβλητών X_i μέσω γραμμικών εξισώσεων. Για ένα δείγμα n παρατηρήσεων και k ανεξάρτητων μεταβλητών X το γραμμικό μοντέλο θα έχει την μορφή:

$$\diamond Y = \beta_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k,$$

όπου η μεταβλητή Y καλείται εξαρτημένη μεταβλητή και $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$ είναι οι άγνωστοι συντελεστές της παλινδρόμησης. Σε περίπτωση ύπαρξης μίας μόνο ανεξάρτητης μεταβλητής ($k = 1$), τότε η μέθοδος καλείται Απλή Γραμμική Παλινδρόμηση. Οι τιμές των συντελεστών $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$ μπορούν να προσεγγιστούν μέσω διάφορων μεθόδων. Η πιο γνωστή μέθοδος είναι αυτή των ελαχίστων τετραγώνων, η οποία προσαρμόζει την καμπύλη στα δοσμένα στοιχεία, έτσι ώστε το άθροισμα των τετραγώνων των υπολοίπων ε_i να είναι το ελάχιστο δυνατό, δηλαδή:

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

Λογαριθμική-Γραμμική Παλινδρόμηση

Ένα εναλλακτικό μοντέλο της απλής γραμμικής παλινδρόμησης είναι το εκθετικό μοντέλο (*exponential model*). Το μοντέλο αυτό έχει την εξής μορφή:

$$\diamond Y = a^{(\alpha + \beta X)} \quad \text{ή συνήθως } Y = e^{(\alpha + \beta X)}$$

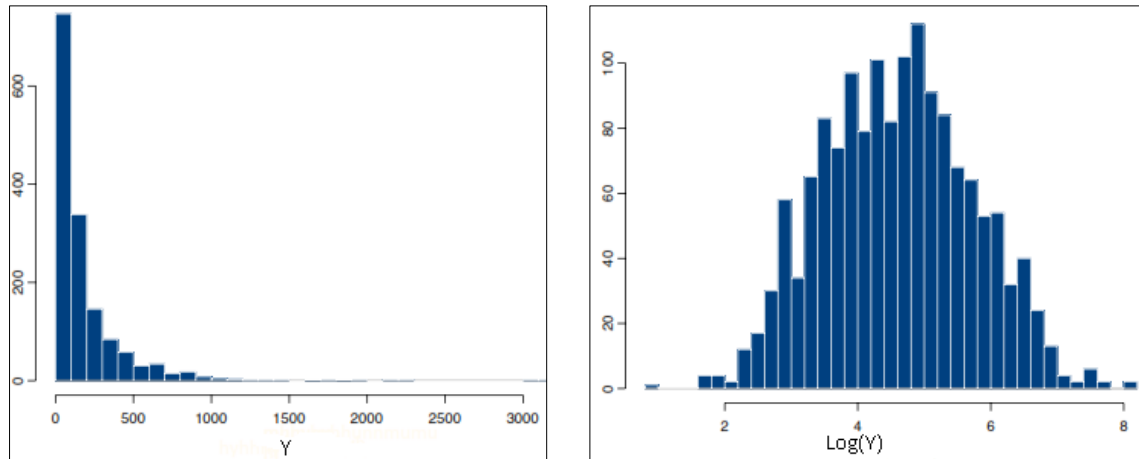
Το μοντέλο αυτό θεωρείται ότι ανήκει στην κατηγορία των γενικών γραμμικών μοντέλων, γιατί ο λογάριθμος των δύο μελών δίνει την εξίσωση:

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

δηλαδή ο λογάριθμος της μεταβλητής Y συνδέεται γραμμικά με την ανεξάρτητη μεταβλητή X . Για το λόγο αυτό, η μέθοδος αυτή καλείται και Λογαριθμική-Γραμμική Παλινδρόμηση. Για την εκτίμηση των παραμέτρων α και β χρησιμοποιείται η μέθοδος των ελαχίστων τετραγώνων αλλά για την σχέση που αναφέρεται στον λογάριθμο της Y .

Οι λογαριθμικοί μετασχηματισμοί αποτελούν έναν έμμεσο τρόπο μετασχηματισμού μίας ασύμμετρα κατανομημένης μεταβλητής σε κατά προσέγγιση κανονική. Για παράδειγμα στο αριστερό διάγραμμα της Εικόνας 21, ως εξαρτημένη μεταβλητή έχει τεθεί η Y , η οποία περιλαμβάνει πολλές χαμηλές τιμές και λίγες υψηλές με αποτέλεσμα να υπάρχει μεγάλη ανομοιομορφία στο δείγμα. Δεξιά, έχει τεθεί ως εξαρτημένη μεταβλητή ο λογάριθμος της μεταβλητής Y με αποτέλεσμα να υπάρχει μεγαλύτερη συμμετρία στην κατανομή των τιμών των δειγμάτων. Η παραπάνω περίπτωση είναι συνήθης στη μελέτη ποιοτικών δεικτών στα παράκτια ύδατα. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί το δείγμα της χλωροφύλλης- a , το 84%

του οποίου αποτελείται από τιμές μικρότερες των 4 μg/l και το 16% από τιμές μεταξύ 4 και 20 μg/l.



Εικόνα 21: Ιστογράμματα συχνοτήτων τυχαίας μεταβλητής Y (αριστερά) και της αντίστοιχης μεταβλητής log(Y) (δεξιά). Πηγή: *Kenneth Benoit (2011)*

Στατιστικές παράμετροι R^2 και p-value

Η ποιότητα της πρόβλεψης που δίνει η ευθεία της γραμμικής παλινδρόμησης ελέγχεται μέσω του **συντελεστή προσδιορισμού R^2** (*Coefficient of determination*), ο οποίος ορίζεται από τη σχέση:

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

όπου SS_{err} είναι το άθροισμα των τετραγώνων των σφαλμάτων του μοντέλου στις παρατηρήσεις της εξαρτημένης μεταβλητής και SS_{tot} είναι το συνολικό άθροισμα τετραγώνων των αποστάσεων των παρατηρήσεων της εξαρτημένης μεταβλητής από τη μέση της τιμή. Υπολογίζονται από τις σχέσεις:

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

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

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. Στην πράξη ένας συντελεστής μεγαλύτερος του 80% θεωρείται ικανοποιητικός.

Ο έλεγχος σημαντικότητας των αποφάσεων, δηλαδή των προτεινόμενων μοντέλων, πραγματοποιήθηκε μέσω της τιμής **p-value**. Η τιμή αυτή εκφράζει την πιθανότητα η απόφαση να είναι υπέρ της ύπαρξης σχέσης, ενώ στην πραγματικότητα δεν υπάρχει σχέση. Με απλά λόγια, όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή της, τόσο μεγαλύτερη είναι η πιθανότητα να είναι τυχαίο το αποτέλεσμα. Για αυτό το λόγο, είναι επιθυμητό η p-value να είναι μικρή, συνήθως μικρότερη του 5% για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%. Οι τιμές της p-value εξαρτώνται από το μέγεθος του δείγματος. Για αυτό το λόγο σε περιπτώσεις μικρών δειγμάτων χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή, καθώς η μικρή τιμή της μπορεί να οφείλεται στο μικρό δείγμα.

4.4 Διαδικασία Διερεύνησης για κάθε Ποιοτικό Δείκτη

Σε αυτό το κεφάλαιο περιγράφεται η διαδικασία που ακολουθήθηκε προκειμένου να βρεθούν οι πιθανές συσχετίσεις με τα κανάλια του Landsat 8. Οι ποιοτικοί δείκτες που εξετάστηκαν είναι η χλωροφύλλη-α, το αμμώνιο, το βάθος Secchi, η ηλεκτρική αγωγιμότητα, το διαλυμένο οξυγόνο και τα ορθοφωσφορικά ανιόντα.

Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για κάθε δείκτη καθορίστηκε από το πλήθος των διαθέσιμων δεδομένων. Το κοινό μέρος στη διερεύνηση των προαναφερθέντων δεικτών είναι ότι για κάθε δείκτη αρχικά αναζητήθηκαν συσχετίσεις βάσει όλων των διαθέσιμων δεδομένων και στη συνέχεια για μικρότερα τμήματα των δεδομένων. Η ομαδοποίηση έγινε βάσει του βάθους και της γεωγραφικής θέσης των σταθμών. Συγκεκριμένα αναζητήθηκαν συσχετίσεις για τους σταθμούς της Μεσογείου και του Ατλαντικού, για βαθιά σημεία και για σημεία σε κόλπους. Στις περιπτώσεις όπου οι παραπάνω παράμετροι δεν έδιναν συσχετίσεις, τότε αυτές αναζητήθηκαν σε μικρότερες περιοχές (π.χ. Νότια Ισπανία). Οι περιοχές αυτές επιλέχθηκαν εφόσον τα διαθέσιμα ζεύγη δειγμάτων-εικόνων κάλυπταν ένα ευρύ φάσμα τιμών, το οποίο ανταποκρινόταν στις διακυμάνσεις των καταγεγραμμένων μετρήσεων.

Για τη χλωροφύλλη-α, το αμμώνιο και το βάθος Secchi αναζητήθηκαν συσχετίσεις και με τις δύο μεθόδους παλινδρόμησης, ενώ για τους υπόλοιπους δείκτες μόνο με τη μέθοδο της απλής γραμμικής παλινδρόμησης. Παράλληλα εξετάστηκαν και οι δύο μέθοδοι παρεμβολής (εγγύτερος γείτονας ή παράθυρο 3x3).

Ο Πίνακας 15 εμπεριέχει ορισμένα στοιχεία για τα δεδομένα των προς μελέτη ποιοτικών δεικτών, όπως το πλήθος των δειγμάτων n , οι σταθμοί μέτρησης και το εύρος των

αποτελεσμάτων που έδωσαν οι αναλύσεις. Επιπλέον, για κάθε χρονική διαφορά dt παρουσιάζεται το πλήθος των διαθέσιμων δειγμάτων, δηλαδή εκείνων που καλύφθηκαν εν τέλει από κάποια λήψη του Landsat. Στη συνέχεια για κάθε δείκτη περιγράφονται με λίγα λόγια τα αποτελέσματα που έδωσαν οι δειγματοληψίες ανά περιοχή και η διαδικασία διερεύνησης του. Ο Πίνακας 42 του παραρτήματος περιλαμβάνει τα στοιχεία κάθε σταθμού και, επίσης, έχει σημειωθεί σε αυτόν αν αυτοί βρίσκονται στον Ατλαντικό, στη Μεσόγειο, σε κόλπους ή σε μεγάλο βάθος.

Πίνακας 15: Πλήθος διαθέσιμων δεδομένων (n) και εύρος καταγεγραμμένων τιμών συναρτήσεως της χρονικής διαφοράς dt .

	Chl-a		NH4		SDD	
	n	εύρος (μg/l)	n	εύρος (μmolN/l)	n	εύρος (m)
Δείγματα	654	0,1-30	287	0,1-30	54	0,7-17
dt = 0	21	0,1-2,5	11	0,7-10,6	5	2,0-8,0
dt = 1	86	0,1-3,9	46	0,1-10,6	14	1,8-15,0
dt = 2	134	0,1-9,1	73	0,1-10,6	19	1,8-16,0
dt = 3	187	0,1-9,1	94	0,1-10,6	23	1,8-16,0
dt = 4	221	0,1-13,0	113	0,1-10,6	25	0,8-16,0
dt = 5	251	0,1-13,0	129	0,1-10,6	27	0,8-16,0
dt = 6	275	0,1-13,0	134	0,1-10,6	28	0,8-16,0
dt = 7	305	0,1-20,4	143	0,1-10,6	31	0,8-17,0
dt = 8	332	0,1-20,4	156	0,1-11,1	32	0,8-17,0
dt = 9	353	0,1-20,4	163	0,1-11,1	32	0,8-17,0
dt = 10	370	0,1-20,4	170	0,1-11,1	33	0,8-17,0

	Electr. Conductivity		DO		PO43	
	n	εύρος (μS/cm)	n	εύρος (μmolO2/l)	n	εύρος (μmolP/l)
Δείγματα	68	36600-57970	773	147-525	318	0,1-1,3
dt = 0	5	42151-54800	25	197-297	12	0,1-1,0
dt = 1	16	41399- 55700	105	188-419	44	0,1-1,3
dt = 2	31	40745-55700	160	147-419	69	0,1-1,3
dt = 3	36	40745 -55700	222	147-419	98	0,1-1,3
dt = 4	36	40745 -55700	268	147-419	118	0,1-1,3
dt = 5	39	40705 -55700	298	147-419	134	0,1-1,3
dt = 6	41	40705 -55700	328	147-428	141	0,1-1,3
dt = 7	46	40705 -55700	365	147-428	151	0,1-1,3
dt = 8	46	40705 -55700	399	147-516	164	0,1-1,3
dt = 9	46	40705 -55700	420	147-525	173	0,1-1,3
dt = 10	49	40705 -55700	444	147-525	177	0,1-1,3

Χλωροφύλλη-α

Υπάρχουν 654 δείγματα με μέτρηση χλωροφύλλης-α συλλεγμένα από 66 σημεία. Η συγκέντρωση της χλωροφύλλης-α στα δείγματα αυτά κυμαίνεται από 0,04 έως 20,5 $\mu\text{g/l}$ και υπάρχουν και δύο ακραίες τιμές περί των 50 $\mu\text{g/l}$. Η μέση συγκέντρωση στα παράκτια ύδατα των δύο χωρών είναι 2,4 $\mu\text{g/l}$, αφού το μεγαλύτερο μέρος των δειγμάτων (551 εκ των 654) αφορά τιμές κάτω των 4 $\mu\text{g/l}$ και μόλις 21 δείγματα φέρουν συγκέντρωση άνω των 10 $\mu\text{g/l}$. Οι συγκεντρώσεις της χλωροφύλλης-α φαίνεται να παρουσιάζουν μικρή αύξηση κατά τους θερινούς μήνες.

Τα δεδομένα ομαδοποιήθηκαν με κριτήριο την συγκέντρωση της χλωροφύλλης-α, δημιουργώντας τρεις ομάδες, μία ομάδα για χαμηλές συγκεντρώσεις, μία ομάδα για μεσαίες και μία για υψηλές. Το μεγάλο πλήθος των δεδομένων επέτρεψε την εισαγωγή πολλών επιπρόσθετων παραμέτρων και έτσι συσχετίσεις αναζητήθηκαν αποκλειστικά σε σταθμούς μεγάλου βάθους, σε κόλπους, σε σταθμούς του Ατλαντικού ή της Μεσογείου και σε μικρότερες περιοχές, όπως στη Νότια Γαλλία με εύρος συγκεντρώσεων 0,1-4,5 $\mu\text{g/l}$ και στη Βορειοδυτική Ισπανία με εύρος 0,1-10,2 $\mu\text{g/l}$.

Αμμώνιο

Οι συγκεντρώσεις του αμμωνίου έχουν αναλυθεί σε 287 δείγματα. Το εύρος των τιμών τους δεν είναι ομοιόμορφο κατά μήκος όλης της ακτογραμμής. Βορειοδυτικά της Ισπανίας οι τιμές είναι χαμηλές (έως 4,5 $\mu\text{molN/l}$), Βορειοανατολικά φτάνουν τα 11 $\mu\text{molN/l}$ και νότια παρουσιάζονται πιο υψηλές συγκεντρώσεις που φτάνουν τα 30 $\mu\text{molN/l}$. Στη Δυτική και Βορειοδυτική Γαλλία η μέγιστη καταγεγραμμένη συγκέντρωση είναι 4 $\mu\text{molN/l}$, ενώ Βορειοανατολικά 8 $\mu\text{molN/l}$. Στο μεγαλύτερο μέρος αυτών οι τιμές δεν ξεπερνούν τα 2 $\mu\text{molN/l}$ (σε περισσότερα από 200 εκ των 287 δειγμάτων). Τα μεγαλύτερα επίπεδα αμμωνίου παρατηρούνται κατά την άνοιξη και το φθινόπωρο.

Η διαδικασία διερεύνησης που ακολουθήθηκε είναι ίδια με αυτήν που ακολουθήθηκε για τη χλωροφύλλη-α. Χρησιμοποιήθηκαν και τα δύο μοντέλα αναζητώντας συσχετίσεις για όλα τα δεδομένα και στη συνέχεια τα δεδομένα περιορίστηκαν βάσει των γνωστών παραμέτρων (βάθος, Ατλαντικός, κτλ). Τέλος, ομαδοποιήθηκαν σε μικρότερες γεωγραφικές περιοχές, όπως η Βορειοανατολική Ισπανία, η Βόρεια Γαλλία κτλ.

Βάθος δίσκου Secchi

Έχουν πραγματοποιηθεί 54 μετρήσεις με δίσκο του Secchi σε 19 ισπανικούς σταθμούς. Οι μετρήσεις περιλαμβάνουν βάθη από 0,7 m έως 17 m. Η μέση τιμή στους σταθμούς της Μεσογείου είναι 5,7 m, ενώ στους σταθμούς του Ατλαντικού είναι 9,8 m.

Λόγω του μικρού πλήθους των δεδομένων οι επιπλέον περιορισμοί τέθηκαν μόνο βάσει της περιοχής του Ατλαντικού και της Μεσογείου. Στη Μεσόγειο το βάθος Secchi κυμαίνεται από 0,8 έως 12 m, ενώ υπάρχουν συνδυασμοί για 0,8 έως 10 m. Στον Ατλαντικό Ωκεανό το βάθος Secchi κυμαίνεται από 3 έως 17 m και οι διαθέσιμοι συνδυασμοί καλύπτουν εύρος από 4 έως 17 m.

Ηλεκτρική Αγωγιμότητα

Υπάρχουν 68 δείγματα στα οποία έχει μετρηθεί η ηλεκτρική αγωγιμότητα του νερού με εύρος τιμών 36600-57970 $\mu\text{S}/\text{cm}$ και μέση τιμή 48040 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Στη Βόρεια Ισπανία η ηλεκτρική αγωγιμότητα έχει χαμηλές τιμές, από 36600 $\mu\text{S}/\text{cm}$ έως 49600 $\mu\text{S}/\text{cm}$, εν αντιθέσει με τη Νότια Ισπανία, που οι τιμές κυμαίνονται από 43520 $\mu\text{S}/\text{cm}$ έως 57010 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Δείγματα έχουν ληφθεί μόνο στα ισπανικά ύδατα.

Για τον συγκεκριμένο δείκτη πραγματοποιήθηκε επιπλέον διερεύνηση μόνο για τους σταθμούς του Ατλαντικού Ωκεανού, καθώς στη Μεσόγειο το διαθέσιμο δείγμα περιλάμβανε πολύ μικρό εύρος τιμών (53520 έως 57010 $\mu\text{S}/\text{cm}$).

Διαλυμένο Οξυγόνο

Το διαλυμένο οξυγόνο έχει μετρηθεί σε 773 δείγματα. Οι συγκεντρώσεις του στα παράκτια ύδατα της Ισπανίας και της Γαλλίας κυμαίνονται από 147 έως 525 $\mu\text{molO}_2/\text{l}$ ενώ η μέση συγκέντρωση είναι 259 $\mu\text{molO}_2/\text{l}$. Οι χαμηλότερες τιμές παρατηρούνται από το τέλος των θερινών μηνών έως και τη λήξη της φθινοπωρινής περιόδου. Πρόκειται για τον δείκτη με το μεγαλύτερο πλήθος μετρήσεων και για αυτό το λόγο αναζητήθηκαν συσχετίσεις για κάθε πιθανή ομάδα.

Ορθοφωσφορικά ανιόντα

Οι συγκεντρώσεις των ορθοφωσφορικών ανιόντων κυμαίνονται από 0,02 έως 1,38 $\mu\text{molP}/\text{l}$ με μέση συγκέντρωση 0,26 $\mu\text{molP}/\text{l}$. Συγκεντρώσεις μεγαλύτερες των 0,6 $\mu\text{molP}/\text{l}$ συναντώνται μόνο στο Βόρειο τμήμα της Γαλλίας. Από τα 318 δείγματα αντιστοιχήθηκαν σε εικόνες τα 177

σε βάθος δέκα ημερών. Οι υψηλότερες τιμές συναντώνται τους φθινοπωρινούς και χειμερινούς μήνες. Οι επιπρόσθετες ομάδες που μελετήθηκαν σε αυτήν την περίπτωση είναι τα βαθιά σημεία και οι σταθμοί του Ατλαντικού Ωκεανού.

5. Αποτελέσματα και Αξιολόγηση

Στο παρόν κεφάλαιο θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα που έδωσαν οι συσχετίσεις των δεδομένων από τις δειγματοληψίες του νερού στην περιοχή μελέτης και των φασματικών δεδομένων του Landsat-8. Για τις συσχετίσεις χρησιμοποιήθηκε η απλή γραμμική παλινδρόμηση, ενώ για τη χλωροφύλλη-α, το αμμώνιο και το βάθος Secchi εφαρμόστηκε και η μέθοδος της λογαριθμικής-γραμμικής παλινδρόμησης. Όσον αφορά τις τιμές ανακλαστικότητας των καναλιών, επιλέχθηκε το παράθυρο 3x3 και όχι το εγγύτερο pixel, διότι όπως φάνηκε από δοκιμές σε όλους τους ποιοτικούς δείκτες έδινε καλύτερα αποτελέσματα. Βάσει της ίδιας λογικής, κριτήριο για την καθαρότητα του pixel αποτέλεσαν οι εικόνες *CFmask* και όχι οι εικόνες *Cloud QA*, καθώς οι δεύτερες έδωσαν μικρότερα R^2 (το οποίο ίσως να οφείλεται στο μικρό πλήθος των δεδομένων που παρέμεναν για τη συσχέτιση και όχι σε σφάλματα των εικόνων). Τέλος, να σημειωθεί πως έγιναν δοκιμές σε βαθιά σημεία, τα οποία επιλέχθηκαν βάσει της απόστασης τους από την ξηρά (> 1 km) και με μετέπειτα έλεγχο στο υπόβαθρο των χαρτών Bing στο QGIS.

5.1 Χλωροφύλλη-α

Σε αυτήν την παράγραφο θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα για τη χλωροφύλλη-α. Για την ανάπτυξη των μοντέλων χρησιμοποιήθηκε η απλή γραμμική παλινδρόμηση και η λογαριθμική-γραμμική παλινδρόμηση. Πραγματοποιήθηκαν πολυάριθμες δοκιμές, αναλόγως τη συγκέντρωση, τη γεωγραφική περιοχή, καθώς και τη θέση του σημείου.

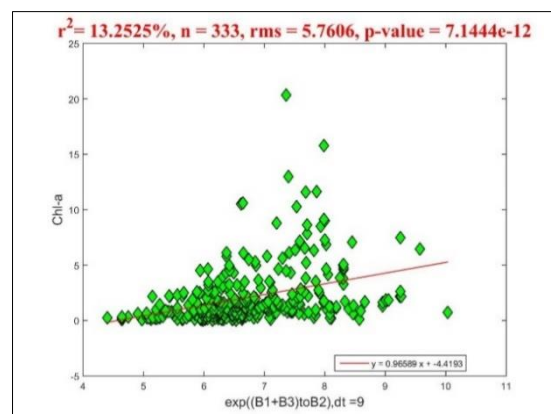
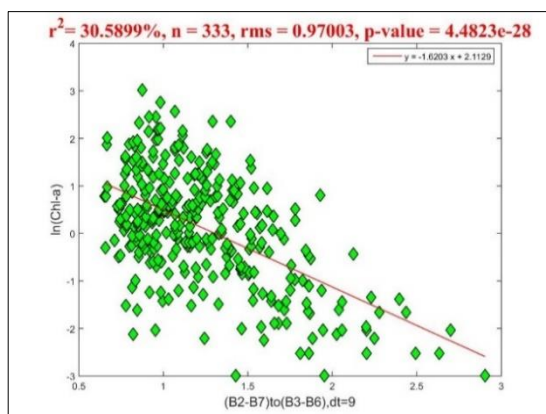
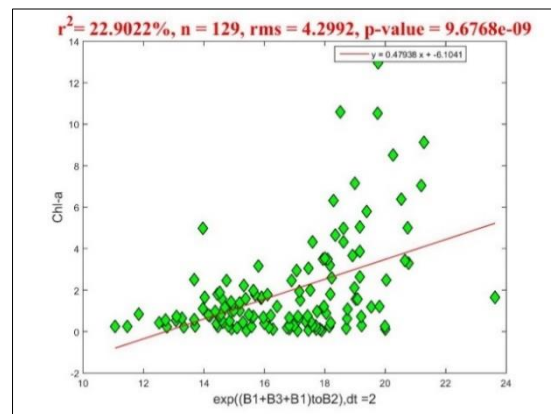
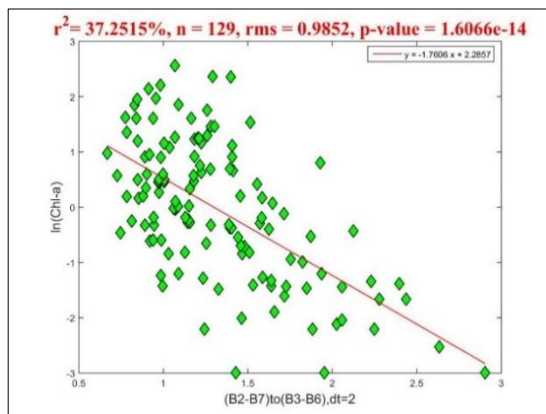
5.1.1 Αποτελέσματα συσχετίσεων με χρήση όλων των διαθέσιμων δεδομένων

Η πρώτη δοκιμή, η οποία περιλάμβανε όλα τα δεδομένα δεν έδωσε συσχετίσεις, αφού ο συντελεστής προσδιορισμού R^2 δεν ξεπέρασε το 40%. Παρόλα αυτά αξίζει να σημειωθεί πως το λογαριθμικό-γραμμικό μοντέλο έδωσε καλύτερα αποτελέσματα σε σχέση με το απλό γραμμικό και ιδιαίτερα όσο μεγάλωνε το εύρος των τιμών. Όπως φαίνεται στον Πίνακα 16, το μοντέλο αυτό έδωσε 37% και 32% για $dt = 2$ και $dt = 9$ ημέρες, ενώ το απλό γραμμικό μοντέλο έδωσε 23% και 13%, αντιστοίχως. Αυτό πιθανόν να οφείλεται στην ανομοιογένεια του δείγματος όσον αφορά τις τιμές της χλωροφύλλης-α, το μεγαλύτερο μέρος των οποίων είναι

κάτω των 4 µg/l. Η χρήση του λογαρίθμου «μαζεύει» τις πιο υψηλές τιμές, ενώ «απλώνει» τις χαμηλότερες (Εικόνα 22).

Πίνακας 16: Αποτελέσματα για τη χλωροφύλλη-α με επιλογή όλων των δεδομένων.

X	dt = 1 n = 83 0,1-8,5 µg/l	dt = 2 n = 129 0,1-13,0 µg/l	dt = 9 n = 333 0,1-20,4 µg/l	Ln(chla) = aX + b (dt = 9)
(B2-B7)/(B3-B6)	30,1	37,3	29,9	$y = -1.5496x + 2.0373$
(B2-B6)/(B3-B6)	27,8	35,0	30,1	$y = -1.7873x + 2.158$
(B2-B4)/(B3-B6)	28,3	34,6	25,4	$y = -1.3619x + 1.0695$
exp((B2-B4)/(B3-B4))	23,1	34,3	32,0	$y = -0.20231x + 0.96287$
X	dt = 1 n = 83 0,1-8,5 µg/l	dt = 2 n = 129 0,1-13,0 µg/l	dt = 9 n = 333 0,1-20,4 µg/l	chla = aX + b (dt = 9)
exp((B1+B3)/B2)	26,2	20,5	12,6	$y = 0.94375x - 4.2548$
exp((B1+B1+B3)/B2)	22,1	22,9	11,6	$y = 0.36516x - 4.1027$
exp(B3/(B2+B6-B5))	23,6	16,1	5,7	$y = 0.59567x + 0.20321$



Εικόνα 22: Σύγκριση λογαριθμικού-γραμμικού μοντέλου (αριστερά) και απλού γραμμικού μοντέλου (δεξιά).

5.1.2 Ομαδοποίηση βάσει συγκέντρωσης

Στο σημείο αυτό δημιουργήθηκαν τρεις ομάδες με κριτήριο τη συγκέντρωση της χλωροφύλλης-α. Η κατηγοριοποίηση αυτή προέκυψε από την παρατήρηση των διαγραμμάτων της απλής γραμμικής παλινδρόμησης. Συγκεκριμένα, παρατηρήθηκαν ότι οι χαμηλές τιμές (περίπου κάτω των 3-4 $\mu\text{g/l}$) δε συσχετίζονται και ότι οι τιμές άνω των 10 $\mu\text{g/l}$ παρουσιάζουν διαφορετική τάση. Βάσει αυτών των παρατηρήσεων δημιουργήθηκαν τρεις ομάδες: χαμηλών, μεσαίων και υψηλών συγκεντρώσεων. Με δοκιμές διερευνήθηκε το όριο μεταξύ των δύο πρώτων ομάδων. Στους παρακάτω πίνακες παρουσιάζονται οι δείκτες R^2 των συσχετίσεων μεταξύ καναλιών και χλωροφύλλης-α για διάφορα εύρη. Από τις πιθανές ομάδες ισχυρότερη συσχέτιση με μεγάλη διαφορά παρουσίασε η ομάδα μεταξύ 4-10 $\mu\text{g/l}$ (Πίνακας 17). Επομένως, οι ομάδες ταξινομούνται ως εξής:

- ομάδα χαμηλών συγκεντρώσεων: 0-4 $\mu\text{g/l}$,
- ομάδα μεσαίων συγκεντρώσεων: 4-10 $\mu\text{g/l}$ και
- ομάδα υψηλών συγκεντρώσεων: 10-20 $\mu\text{g/l}$.

**Πίνακας 17: Συσχετίσεις καναλιών με τις πιθανές ομάδες μεσαίων συγκεντρώσεων
 $dt = 2$ ημέρες**

Band	3-10 $\mu\text{g/l}$ n = 24	3,5-10 $\mu\text{g/l}$ n = 17	4 -10 $\mu\text{g/l}$ n = 14	5 -10 $\mu\text{g/l}$ n = 9
B1	15,0	31,8	60,5	36,3
B2	16,5	34,0	59,6	31,3
B3	19,8	38,5	55,8	22,5
B4	16,5	33,6	49,0	17,3
B5	21,1	20,4	50,8	17,9
B6	21,0	14,1	35,6	1,6
B7	18,2	9,8	28,2	0,0

Ομάδα χαμηλών συγκεντρώσεων

Τα δεδομένα στην ομάδα χαμηλών συγκεντρώσεων είναι ασυσχέτιστα και για τα δύο μοντέλα. Ο συντελεστής προσδιορισμού δεν ξεπέρασε το 15%.

Ομάδα μεσαίων συγκεντρώσεων

Τα απλό γραμμικό μοντέλο έδωσε χαμηλές συσχετίσεις στην ομάδα μεσαίων συγκεντρώσεων για $dt = 2$ ημέρες. Οι συσχετίσεις έφτασαν μέχρι 66% για το μοντέλο B1+B2-B4 για $dt = 2$ ημέρες ($n = 14$). Τα πιο συχνά εμφανιζόμενα κανάλια είναι τα B1 και B2 και ακολουθεί το B7. Παρόλα

αυτά, στα πρώτα μοντέλα συμμετέχουν κυρίως τα κανάλια από την ορατή και εγγύς υπέρυθρη ζώνη (Πίνακας 18).

Το λογαριθμικό-γραμμικό μοντέλο έδωσε καλύτερα αποτελέσματα, καθώς για $dt = 2$ ημέρες οι συσχετίσεις έφτασαν το 70%. Το μοντέλο με την ισχυρότερη συσχέτιση είναι το $B1+B3-B4$ με $R^2 = 71,2\%$ ($dt = 2$ ημέρες). Τα πιο συχνά εμφανιζόμενα κανάλια είναι και σε αυτήν την περίπτωση τα $B1$ και $B2$ αλλά ακολουθούν τα $B3$, $B4$ και $B7$. Δυνατή συσχέτιση για $dt = 2$ ημέρες έδωσε και το μοντέλο $B1+B2-B4$ ($R^2 = 70,8\%$) αλλά για $dt = 3$ ημέρες έδωσε χαμηλότερη συσχέτιση σε σχέση με τους υπόλοιπους δείκτες.

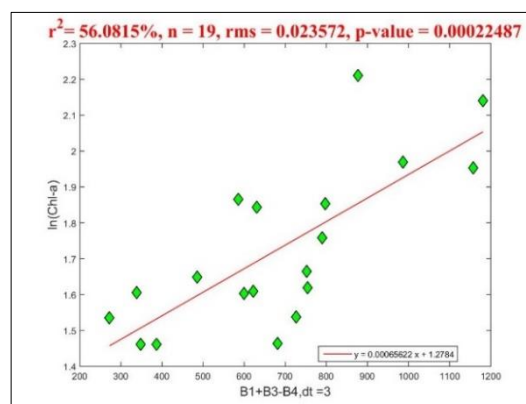
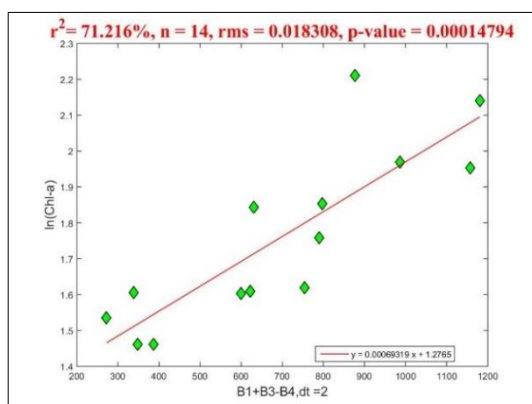
Και στα δύο μοντέλα οι συσχετίσεις εντοπίστηκαν σε δείκτες που αποτελούν αθροίσματα τριών καναλιών. Οι λογάριθμοι και οι εκθετικές μορφές των δεικτών δεν έδωσαν καλύτερα αποτελέσματα. Στο δεύτερο μοντέλο οι ίδιοι δείκτες δείχνουν περίπου 5% μεγαλύτερη συσχέτιση για $dt = 2$ ημέρες. Τα μοντέλα που συσχετίζονται περισσότερο και στις δύο περιπτώσεις είναι τα $B1+B3-B4$ και $B2+B3-B4$. Όπως ήταν αναμενόμενο οι τιμές R^2 μειώνονται όσο αυξάνεται το dt . Ειδικά για $dt \geq 4$ ημέρες, οι συντελεστές R^2 δεν ξεπέρασαν το 45%, ενώ για $dt > 5$ ημέρες δεν ξεπέρασαν το 20%.

Πίνακας 18: Αποτελέσματα για τη χλωροφύλλη-α με χρήση απλού γραμμικού μοντέλου. Ομάδα μεσαίων συγκεντρώσεων

X	$dt = 2$ $n = 14$	$dt = 3$ $n = 19$	$dt = 4$ $n = 27$	$dt = 5$ $n = 29$	$chl a = aX + b$ ($dt = 2$)
4-10 $\mu\text{g/l}$					
$B1+B2-B4$	66,6	43,6	33,2	27,3	$y = 0.0051788x + 2.6032$
$B1+B3-B4$	66,4	54,3	37,0	29,9	$y = 0.0042127x + 3.0404$
$B2+B3-B4$	63,5	53,7	31,6	24,5	$y = 0.0038277x + 3.1959$
$B3+B5-B4$	61,8	44,6	42,7	34,1	$y = 0.0056867x + 3.5313$
$B1+B2-B7$	61,5	51,6	32,7	27,3	$y = 0.0027931x + 3.4144$
$B1+B2-B5$	61,2	52,8	27,5	22,5	$y = 0.0034534x + 3.2325$
$B1+B6-B7$	61,0	47,0	41,8	36,5	$y = 0.0046567x + 3.5119$
$B1+B2-B6$	60,9	51,3	30,0	24,6	$y = 0.0029115x + 3.3965$
$B1$	60,5	46,9	38,7	33,0	$y = 0.0050339x + 3.4691$
$B1+B5-B7$	60,5	46,5	41,7	36,1	$y = 0.0037111x + 3.6725$
$2*B1+B2$	60,5	47,7	37,0	31,0	$y = 0.0016393x + 3.4785$
$B1+B2$	60,3	48,0	36,1	29,9	$y = 0.0024269x + 3.4874$
$B1-B7$	60,3	49,5	28,2	24,8	$y = 0.006578x + 3.4124$
$B2+B6-B7$	60,2	48,4	36,9	30,6	$y = 0.0043258x + 3.5597$
$\ln(B2-B7)$	60,2	49,9	27,0	22,0	$y = 2.4975x - 8.8486$
$B1+2*B2$	60,1	48,2	35,2	28,9	$y = 0.0015953x + 3.4986$
$B2+B5-B7$	60,1	47,9	38,1	31,6	$y = 0.0035124x + 3.6925$

Πίνακας 19: Αποτελέσματα για τη χλωροφύλλη-α με χρήση λογαριθμικού-γραμμικού μοντέλου. Ομάδα μεσαίων συγκεντρώσεων

Χ	dt = 2 n = 14	dt = 3 n = 19	dt = 4 n = 27	dt = 5 n = 29	$y = \ln(chla) = ax + b$ dt = 2
4-10 µg/l					
B1+B3-B4	71,2	56,1	37,9	31,2	$y = 0.00069319x + 1.2765$
B1+B2-B4	70,8	43,9	33,4	28,2	$y = 0.00084811x + 1.2072$
B2+B3-B4	68,6	56,1	32,9	26,1	$y = 0.0006324x + 1.3002$
B3+B5-B4	67,2	47,2	44,2	36,0	$y = 0.00094217x + 1.3545$
B1+B2-B5	65,2	54,0	28,1	23,5	$y = 0.00056592x + 1.31$
B1+B2-B7	64,9	52,3	32,9	28,0	$y = 0.00045577x + 1.3416$
B1+B6-B7	64,7	48,2	42,3	37,6	$y = 0.00076196x + 1.3564$
B2+B6-B7	64,6	50,4	37,9	32,1	$y = 0.00071149x + 1.3621$
2*B1+B2	64,4	49,1	37,7	32,2	$y = 0.00026881x + 1.35$
B1+B2	64,4	49,6	36,9	31,2	$y = 0.00039833x + 1.3511$
B1+2*B2	64,3	49,9	36,1	30,3	$y = 0.00026208x + 1.3526$
B1+B2-B6	64,3	52,0	30,2	25,3	$y = 0.00047507x + 1.3387$
B1	64,2	48,1	39,2	34,0	$y = 0.00082382x + 1.3493$
2*B1+B3	64,2	52,1	38,3	32,3	$y = 0.00024778x + 1.3708$
ln(B2-B7)	64,0	50,6	27,2	22,6	$y = 0.40921x - 0.66944$
B2	64,0	50,4	34,4	28,3	$y = 0.00076395x + 1.3566$



Εικόνα 23: Συσχέτιση χλωροφύλλης με τον δείκτη B1+B3-B4 με χρήση λογαριθμικού-γραμμικού μοντέλου. Μεσαίες συγκεντρώσεις.

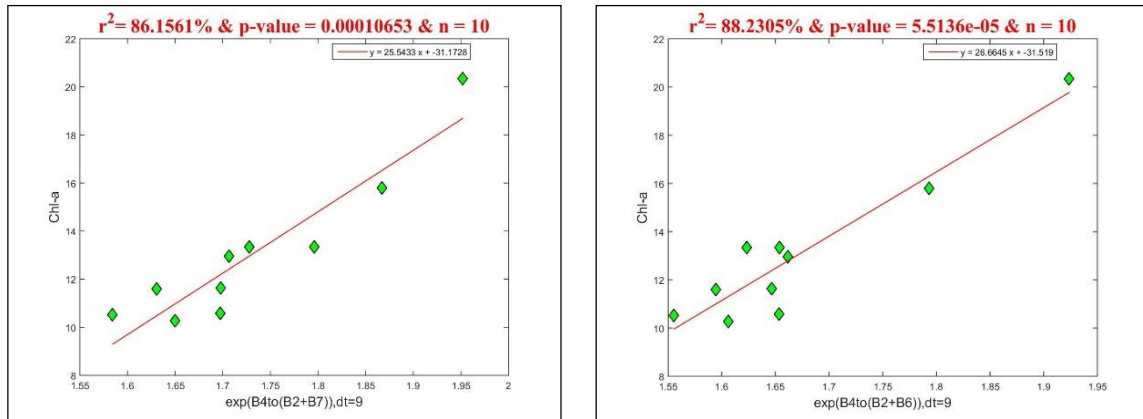
Ομάδα υψηλών συγκεντρώσεων

Οι συσχετίσεις για την ομάδα υψηλών συγκεντρώσεων αναζητήθηκαν για dt = 9 ημέρες, ώστε να συμμετάσχει το μεγαλύτερο δυνατό πλήθος δεδομένων στην παλινδρόμηση. Καλύτερα αποτελέσματα έδωσε το απλό γραμμικό μοντέλο του $\exp(B4/(B2+B6))$ με $R^2 = 92\%$, 87% και 88% για dt = 7,8 και 9 ημέρες, αντιστοίχως. Δίνονται τα μοντέλα με $R^2 > 79\%$ και οι συσχετίσεις τους για τις διαθέσιμες χρονικές διαφορές (Πίνακας 20, για

περισσότερους δείκτες με $R^2 > 75\%$ βλ. Παράρτημα, Πίνακας 43). Ισχυρότερες συσχετίσεις φάνηκε να υπάρχουν για τους συνδυασμούς των υπέρυθρων καναλιών B5, B6, B7 με το B4 και επιπλέον ένα ορατό (B2 ή B3). Σε αντίθεση με την προηγούμενη ομάδα τα λογαριθμικά-γραμμικά μοντέλα έδωσαν σπανίως καλύτερα αποτελέσματα. Οι τιμές των συντελεστών προσδιορισμού δεν επηρεάζονται σε μεγάλο βαθμό με την αύξηση του dt, το οποίο πιθανόν οφείλεται στο μικρό πλήθος των δεδομένων. Αξιοσημείωτο είναι ότι στις περισσότερες περιπτώσεις ο συντελεστής R^2 έχει ελαφρώς μεγαλύτερη τιμή για dt = 9 ημέρες, σε σχέση με την αντίστοιχη τιμή του για dt = 8 ημέρες.

**Πίνακας 20: Αποτελέσματα για τη χλωροφύλλη-α με χρήση λογαριθμικού-γραμμικού μοντέλου
Ομάδα υψηλών συγκεντρώσεων**

X	y = chla				y = Ln(chla)			
	dt = 7 n = 7	dt = 8 n = 9	dt = 9 n = 10	chla = aX + b	dt = 7 n = 7	dt = 8 n = 9	dt = 9 n = 10	Ln(chla) = aX + b
	10-20 µg/l							
exp(B4/(B2+B6))	92,1	87,4	88,2	$y = 26.6645x - 31.519$	90,1	82,2	84,4	$y = 1.7959x - 0.45476$
exp(B4/(B2+B7))	89,2	85,6	86,2	$y = 25.5433x - 31.1728$	87,7	85,6	87,2	$y = 1.769x - 0.51563$
exp(B4/(B1+B6))	88,2	84,9	84,1	$y = 16.0899x - 14.6207$	85,2	79,2	77,9	$y = 1.0664x + 0.71302$
exp(B4/(B1+B7))	85,3	84,3	83,9	$y = 15.5145x - 14.6883$	82,5	81,9	80,8	$y = 1.0486x + 0.67235$
B2+B4-B5	84,8	82,8	83,5	$y = 0.01199x + 5.3278$	86,8	82,7	82,8	$y = 0.00082235x + 2.0174$
B2+B4-B7	81,5	81,6	83,4	$y = 0.010435x + 4.9301$	84,3	84,6	86,2	$y = 0.00073046x + 1.9787$
B3+B4-B7	80,8	80,9	82,6	$y = 0.0090384x + 5.6414$	83,1	83,6	85,0	$y = 0.00063134x + 2.0296$
B3+B4-B6	83,1	80,7	82,5	$y = 0.0091403x + 6.1256$	85,1	80,2	82,2	$y = 0.00062811x + 2.0712$
B2+B4-B6	83,9	79,9	81,9	$y = 0.0104x + 5.6033$	86,4	79,3	81,5	$y = 0.00071451x + 2.0354$
B3+B4-B5	81,9	81,0	81,6	$y = 0.010058x + 6.1547$	83,5	81,0	81,0	$y = 0.00069012x + 2.0739$
B4-B7	93,1	79,5	81,3	$y = 0.021578x + 8.2768$	93,3	74,3	77,5	$y = 0.0014504x + 2.2262$
B1+B4-B5	82,4	77,7	79,7	$y = 0.013234x + 5.0783$	85,6	77,6	79,8	$y = 0.00091151x + 1.998$
B1+B4-B7	77,4	77,5	79,5	$y = 0.011273x + 4.7477$	81,2	80,8	83,2	$y = 0.00079404x + 1.9623$
exp(B4/(B2+B5))	82,3	80,9	79,4	$y = 33.4935x - 40.3$	80,7	80,8	78,1	$y = 2.2873x - 1.0963$
ln((B1+B6)/B4)	79,6	77,9	79,0	$y = -16.8231x + 23.693$	77,6	74,1	75,1	$y = -1.1294x + 3.2616$



Εικόνα 24: Προσαρμογή ευθείας μεταξύ χλωροφύλλης-α και των δεικτών $\exp(B4/(B2+B7))$ και $\exp(B4/(B2+B6))$ με χρήση απλού γραμμικού μοντέλου. Υψηλές συγκεντρώσεις.

5.1.3 Ομαδοποίηση βάσει γεωγραφικής περιοχής

Σε αυτήν την παράγραφο παρατίθενται τα αποτελέσματα επιλεγμένων δεδομένων με κριτήριο τη γεωγραφική περιοχή που ανήκουν. Πραγματοποιήθηκαν δοκιμές σε διάφορες περιοχές αλλά ικανοποιητικά αποτελέσματα έδωσαν μόνο δύο από αυτές, η περιοχή της Νότιας Γαλλίας (Εικόνα 25) και η περιοχή της Βορειοδυτικής Ισπανίας (Εικόνα 27).

Περιοχή Νότιας Γαλλίας (0,1-4,5 $\mu\text{g/l}$)

Η μέση συγκέντρωση στη Νότια Γαλλία είναι 0,6 $\mu\text{g/l}$, ενώ οι ακραίες τιμές είναι 0,01 και 4,5 $\mu\text{g/l}$. Η διερεύνηση για αυτήν την περιοχή έγινε για $dt \geq 7$ ημέρες, διότι για μικρότερο dt οι διαθέσιμοι συνδυασμοί έδιναν μικρότερο εύρος (0-2 $\mu\text{g/l}$).

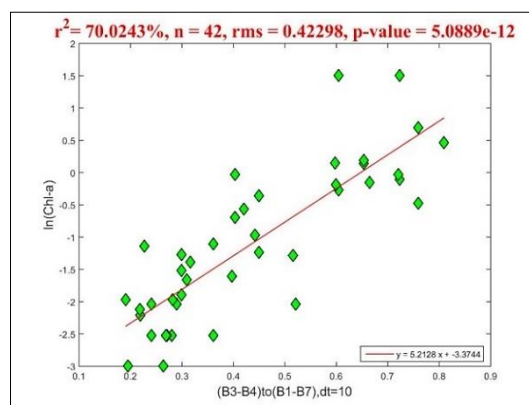
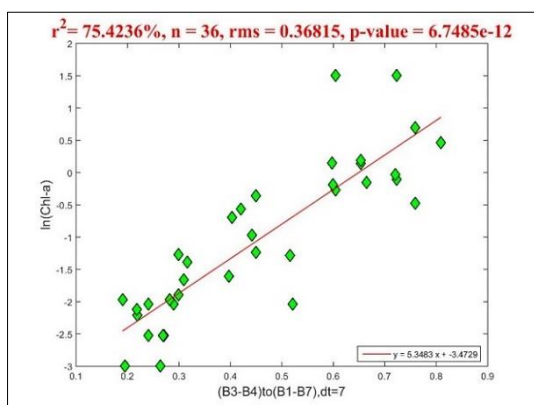


Εικόνα 25: Σταθμοί στην περιοχή της Νότιας Γαλλίας.

Ικανοποιητικά αποτελέσματα έδωσαν μόνο τα λογαριθμικά-γραμμικά μοντέλα (Πίνακας 21). Το μοντέλο $(B3-B4)/(B1-B7)$ έδωσε συσχέτιση 75% για $dt = 7$ ημέρες και 70% για $dt = 10$ ημέρες (Εικόνα 26). Παρατηρείται ότι σχεδόν όλοι οι δείκτες εμπεριέχουν τη διαφορά $(B3-B4)$ και επίσης αποτελούν συνδυασμούς ορατών καναλιών με κάποιο υπέρυθρο. Τα απλά γραμμικά μοντέλα δεν έδωσαν συσχετίσεις μεγαλύτερες του 40%.

Πίνακας 21: Αποτελέσματα για τη χλωροφύλλη-α με χρήση του λογαριθμικού-γραμμικού μοντέλου. Περιοχή: Νότια Γαλλία

χ	dt = 7 n = 36	dt = 8 n = 39	dt = 9 n = 41	dt = 10 n = 42	Ln(chla) = aX + b (dt = 7)
	0,01-4,5 µg/l				
$(B3-B4)/(B1-B7)$	75,4	74,7	72,1	70,0	$\gamma = 5.3483x - 3.4729$
$(B3-B4)/(B2-B6)$	71,7	71,8	69,0	66,5	$\gamma = 6.5869x - 4.1143$
$\ln((B1-B6)/(B3-B4))$	70,9	70,9	68,3	65,3	$\gamma = -2.1044x + 0.49178$
$\ln((B2-B7)/(B3-B4))$	70,4	69,2	68,3	65,7	$\gamma = -2.8804x + 1.704$
$(B3-B4)/(B1-B6)$	69,1	69,2	65,7	63,9	$\gamma = 3.9541x - 3.1734$
$\ln((B2-B5)/(B3-B4))$	67,3	67,6	65,9	62,6	$\gamma = -3.1378x + 0.84919$
$\ln((B1-B7)/(B2-B6))$	67,0	57,5	57,3	56,9	$\gamma = -7.3117x - 0.54383$
$(B2-B6)/(B1-B7)$	66,9	57,9	57,6	57,1	$\gamma = 8.0041x - 8.5841$
$\exp(B1/(B2+B3-B4))$	66,8	59,7	59,8	58,4	$\gamma = -3.8054x + 7.2456$

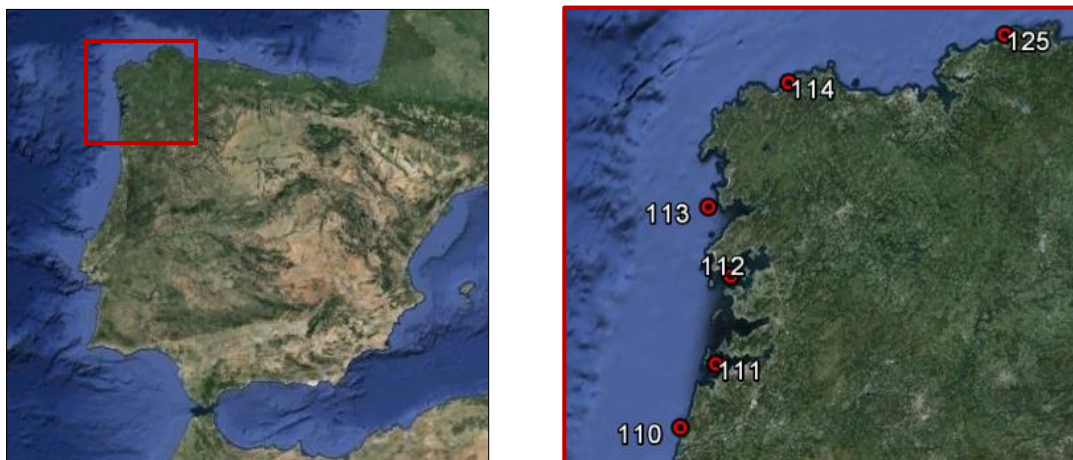


Εικόνα 26: Διαγράμματα για χλωροφύλλη-α. Περιοχή: Νότια Γαλλία

Περιοχή Βορειοδυτικής Ισπανίας (0,2-10,6 µg/l)

Οι συγκεντρώσεις στους σταθμούς της Βορειοδυτικής Ισπανίας κυμαίνονται από 0,2 έως 10,6 µg/l. Η διερεύνηση έγινε για χρονική διαφορά μεγαλύτερη ή ίση των δύο ημερών, διότι για μικρότερη διαφορά οι διαθέσιμοι συνδυασμοί έδιναν μικρότερο εύρος τιμών (0-3 µg/l). Το απλό γραμμικό μοντέλο έδωσε καλύτερα αποτελέσματα σε αυτήν την περίπτωση. Και στα δύο μοντέλα κυριαρχεί η εμφάνιση της διαφοράς $(B2-B4)$ και κάποιο εκ των δύο μακρινών

υπέρυθρων B6 ή B7. Το κανάλι B3 δε συμμετέχει σε κανένα μοντέλο. Το μοντέλο $\exp((B1-B7)/(B2-B4))$ έδωσε τις καλύτερες συσχετίσεις.



Εικόνα 27: Σταθμοί στην περιοχή της ΒΔ Ισπανίας.

Πίνακας 22: Αποτελέσματα για τη χλωροφύλλη-α με χρήση απλού γραμμικού μοντέλου.
Περιοχή: ΒΔ Ισπανία

X	dt = 2 n = 14	dt = 6 n = 15	dt = 7 n = 16	chl a = aX + b (dt = 2)
	0,2-10,2 µg/l			
$\exp((B1-B7)/(B2-B4))$	71,5	70,2	63,9	$\gamma = 1.6584x - 5.2529$
$\exp((B1-B6)/(B2-B4))$	67,6	65,9	61,6	$\gamma = 1.8848x - 5.7209$
$\exp((B2-B6)/(B2-B4))$	63,4	63,4	62,3	$\gamma = 2.2683x - 6.8849$
$\exp((B4-B6)/(B2-B4))$	63,4	63,4	62,3	$\gamma = 6.1659x - 6.8849$
$\exp((B2-B7)/(B2-B4))$	62,8	62,8	60,4	$\gamma = 1.8474x - 5.6506$
$\exp((B4-B7)/(B2-B4))$	62,8	62,8	60,4	$\gamma = 5.0217x - 5.6506$
X	dt = 2 n = 14	dt = 6 n = 15	dt = 7 n = 16	Ln(chl a) = aX + b (dt = 2)
	0,2-10,2 µg/l			
$\ln((B2-B4)/(B1-B7))$	61,7	62,5	57,3	$\gamma = -4.4476x - 1.2689$
$\ln((B2-B4)/(B1-B6))$	59,2	60,1	56,1	$\gamma = -6.2226x + 4.9625$

Πραγματοποιήθηκαν περισσότερες δοκιμές πέρα των παραπάνω αλλά δεν έδωσαν συσχετίσεις μεγαλύτερες του 30%. Ορισμένα παραδείγματα, είναι η αναζήτηση συσχετίσεων σε σταθμούς του Ατλαντικού Ωκεανού, της Μεσογείου και σε άλλες μικρότερες περιοχές, όπως στη Βόρεια και Δυτική Γαλλία ή την Βόρεια Ισπανία. Επιπλέον δοκιμές πραγματοποιήθηκαν σε βαθιά σημεία (απόσταση από ξηρά >1000μ), τα οποία έδωσαν συσχετίσεις μικρότερες

του 20%. Επίσης, τα κλειστά σημεία (δηλαδή σε κόλπους) έδωσαν μέγιστη συσχέτιση 32% για τον δείκτη $B3/(B6+B7-B1)$, ίση με 32% ($n = 57, 0,1-10,3 \text{ mg/l}$).

5.2 Αμμώνιο

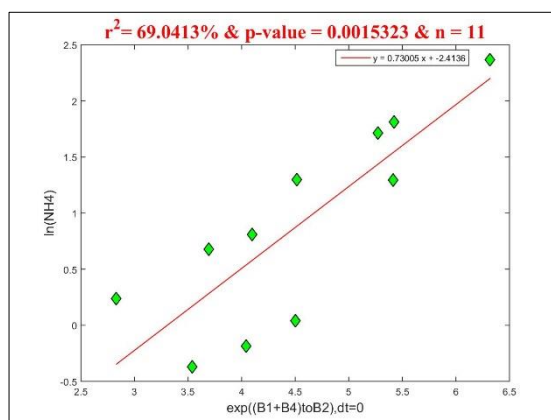
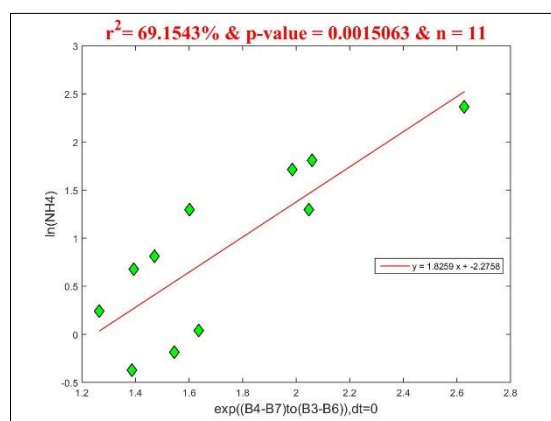
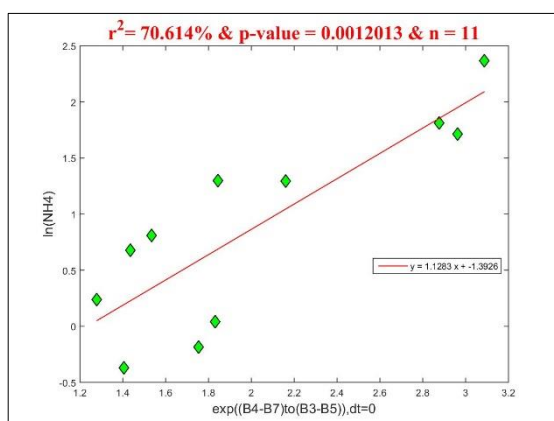
Στη συνέχεια παρατίθενται τα αποτελέσματα των συσχετίσεων για το αμμώνιο. Αρχικά έγινε διερεύνηση για πιθανές συσχετίσεις σε όλη την περιοχή και στη συνέχεια πραγματοποιήθηκαν δοκιμές σε ομάδες των δεδομένων. Η δημιουργία των ομάδων βασίστηκε στη συγκέντρωση και τη γεωγραφική περιοχή. Στη δεύτερη περίπτωση ικανοποιητικά αποτελέσματα έδωσαν δύο ομάδες σταθμών.

5.2.1 Αποτελέσματα συσχετίσεων με χρήση όλων των διαθέσιμων δεδομένων

Από τις δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν με χρήση όλων των δεδομένων προέκυψαν καλές συσχετίσεις μόνο για τα λογαριθμικά-γραμμικά μοντέλα. Η μεγαλύτερη συσχέτιση εντοπίζεται για το μοντέλο $\exp((B4-B7)/(B3-B5))$ ίση με 70% ($n = 11$) για $dt = 0$. Για τα ίδια δεδομένα ικανοποιητικά αποτελέσματα έδωσαν και τα $\exp((B4-B7)/(B3-B6))$ και $\exp((B1+B4)/B2)$. Θετικό είναι ότι το διαθέσιμο δείγμα καλύπτει μεγάλο εύρος τιμών, συγκεκριμένα 0,7 έως 10,7 $\mu\text{molN/l}$, όταν όλο το διαθέσιμο εύρος είναι 0,1 έως 11,1 $\mu\text{molN/l}$. Στον Πίνακα 23 παρουσιάζονται περισσότεροι δείκτες με συσχετίσεις μεγαλύτερες του 65%. Σχεδόν στο σύνολο των δεικτών αυτών εντοπίζονται τα κανάλια B2 και B4. Για μεγαλύτερη χρονική διαφορά δεν εντοπίστηκαν συσχετίσεις. Πιθανή αιτία είναι ότι εισέρχονται στο δείγμα αρκετές τιμές κάτω των 0,7 $\mu\text{molN/l}$. Όσον αφορά τα απλά γραμμικά μοντέλα, δεν έδωσαν συσχετίσεις μεγαλύτερες του 50%.

Πίνακας 23: Αποτελέσματα για το αμμώνιο με εφαρμογή λογαριθμικού-γραμμικού μοντέλου.

X	dt = 0 n = 11	ln(NH4) = aX + b 0,7-10,7 μmolN/l
$\exp((B4-B7)/(B3-B5))$	70,6	$y = 1.1283x - 1.3926$
$\exp((B4-B7)/(B3-B6))$	69,2	$y = 1.8259x - 2.2758$
$\exp((B1+B4)/B2)$	69,0	$y = 0.73005x - 2.4136$
$(B3-B7)/(B2-B5)$	66,5	$y = 1.6861x - 1.1911$
B2-B4-B5	66,4	$y = -0.003125x + 0.82732$
B2-B5-B4	66,4	$y = -0.003125x + 0.82732$
B4+B5-B2	66,4	$y = 0.003125x + 0.82732$
$(B4-B7)/(B2-B5)$	66,3	$y = 2.0293x - 0.29609$
$\ln((B2-B5)/(B4-B7))$	65,8	$y = -1.2121x + 1.7412$
B2-B4-B7	65,8	$y = -0.0036798x + 1.0857$
B2-B7-B4	65,8	$y = -0.0036798x + 1.0857$
B4+B7-B2	65,8	$y = 0.0036798x + 1.0857$
$\exp((B1+B3+B5)/B2)$	65,8	$y = 0.21758x - 1.2827$
B2-B4-B6	65,2	$y = -0.0032176x + 0.96204$
B2-B6-B4	65,2	$y = -0.0032176x + 0.96204$
B4+B6-B2	65,2	$y = 0.0032176x + 0.96204$



Εικόνα 28: Συσχέτιση αμμωνίου με τους δείκτες $\exp((B4-B7)/(B3-B5))$, $\exp((B4-B7)/(B3-B6))$ και $\exp((B1+B4)/B2)$ για $dt = 0$.

5.2.2 Ομαδοποίηση βάσει συγκέντρωσης

Στο στάδιο αυτό έγινε προσπάθεια δημιουργίας δύο ομάδων, μία ομάδα χαμηλών συγκεντρώσεων και μία πιο υψηλών. Οι δοκιμές αυτές έγιναν καθώς υπήρχε πολύ μεγάλο πλήθος δεδομένων κάτω των 4 $\mu\text{molN/l}$. Ως διαχωριστικό όριο δοκιμάστηκαν οι τιμές 1,2,3,4 και 5 $\mu\text{molN/l}$ αλλά τα αποτελέσματα δεν ήταν ικανοποιητικά, καθώς οι τιμές των R^2 παρέμειναν κάτω του 50%.

5.2.3 Ομαδοποίηση βάσει γεωγραφικής περιοχής

Οι περιοχές που έδωσαν συσχετίσεις είναι η Βορειοανατολική Ισπανία (Βισκαϊκός Κόλπος) και ένας κολπίσκος στο βόρειο τμήμα της Γαλλίας. Οι συγκεντρώσεις του αμμωνίου στην πρώτη περιοχή είναι πιο υψηλές μέχρι 11 $\mu\text{molN/l}$, ενώ στη δεύτερη περιοχή η μεγαλύτερη καταγεγραμμένη συγκέντρωση είναι 4 $\mu\text{molN/l}$.



Εικόνα 29: Απεικόνιση των σταθμών της Βορειοανατολικής Ισπανίας.

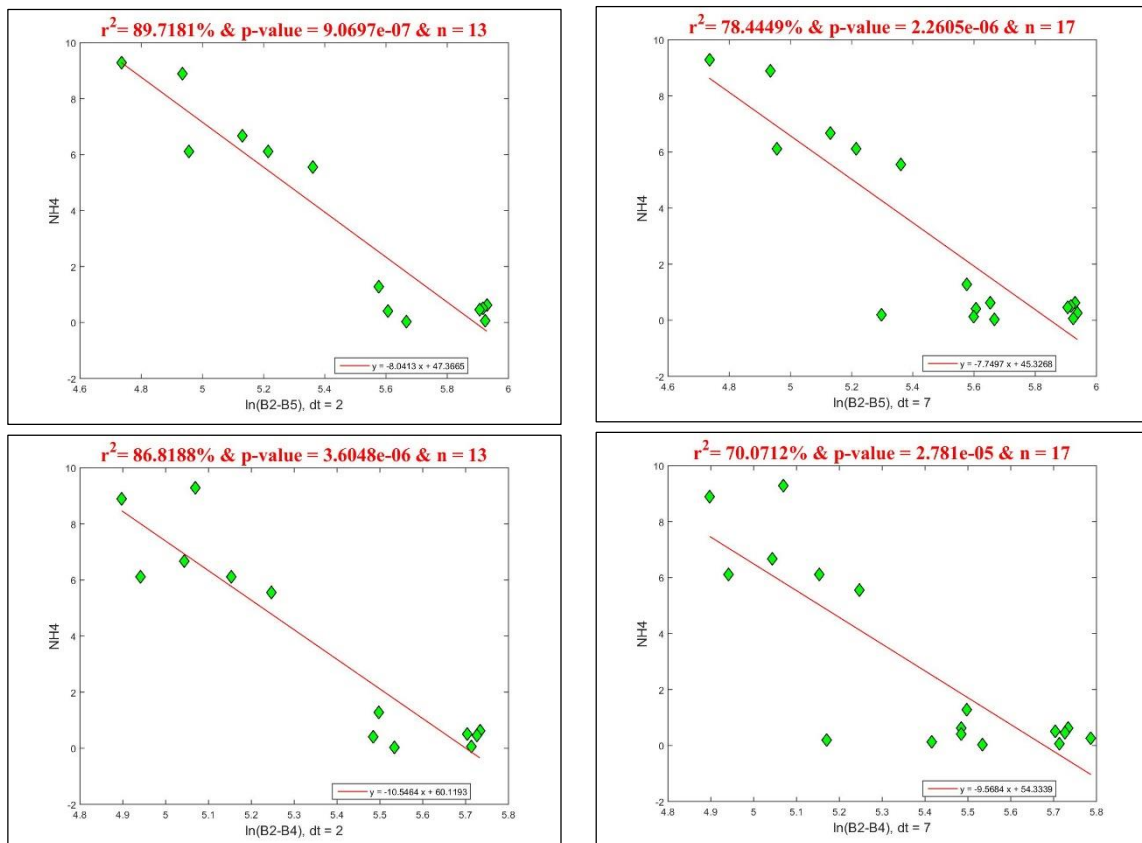
Περιοχή Βορειοανατολικής Ισπανίας (0-11 $\mu\text{molN/l}$)

Στη ΒΑ Ισπανία (Εικόνα 29) τα αποτελέσματα είναι πολύ ικανοποιητικά για τα απλά γραμμικά μοντέλα. Ισχυρότερες συσχετίσεις έδωσαν τα $\ln(B2-B5)$, $\ln(B2-B4)$ και $\ln(B1-B5)$ με συντελεστές προσδιορισμού 90%, 87% και 82%, αντιστοίχως ($n=13$, 0-9 $\mu\text{molN/l}$). Τα μοντέλα με συσχετίσεις μεγαλύτερες του 70% ($dt = 2$ ημέρες) παρουσιάζονται στον Πίνακα 24, ενώ στον στο παράρτημα δίνονται τα μοντέλα με συσχετίσεις μεγαλύτερες του 65% (Πίνακας 45). Δεν υπάρχει κάποιο συγκεκριμένο κανάλι, το οποίο να εμφανίζεται με μεγαλύτερη συχνότητα. Το κοινό στοιχείο των περισσότερων μοντέλων είναι η παρουσία του φυσικού λογάριθμου.

Τα λογαριθμικά-γραμμικά μοντέλα έδωσαν συσχετίσεις μέχρι 75% για dt = 2 ημέρες, 65% για dt = 3 ημέρες και 59% για dt = 8 ημέρες. Ο Πίνακας 46 εμπεριέχει τα μοντέλα με $R^2 > 72\%$ για dt = 2 ημέρες. Τα κανάλια B1, B2 και B3 δε συμμετέχουν σε κανένα από αυτά.

Πίνακας 24: Αποτελέσματα για το αμμώνιο με χρήση απλού γραμμικού μοντέλου.
Περιοχή: Βορειοανατολική Ισπανία

X	dt = 2 n = 13	dt = 3 n = 14	dt = 5 n = 15	dt = 7 n = 17	dt = 8 n = 18	NH4 = aX + b (dt = 2)
	0-9 μmolN/l				0-11 μmolN/l	0-9 μmolN/l
ln(B2-B5)	89,7	78,8	79,5	78,4	68,9	$y = -8.0413x + 47.3665$
ln(B2-B4)	86,8	71,8	72,5	70,1	64,8	$y = -10.5464x + 60.1193$
ln(B1-B5)	81,5	73,3	74,6	75,9	67,3	$y = -7.0779x + 42.0774$
B3-B5	74,4	66,1	67,6	64,7	59,8	$y = -0.040259x + 9.4682$
ln(B2-B6)	74,3	61,6	63,3	64,4	64,9	$y = -8.1376x + 50.0239$
ln(B3-B4)	73,0	66,0	67,5	63,7	60,7	$y = -7.4282x + 38.4831$
ln((B1+B5)/(B4-B7))	72,4	69,7	69,0	69,4	65,7	$y = 11.6081x - 16.4616$
B4-B5	71,2	65,3	66,7	67,3	57,2	$y = -0.090719x + 6.0917$



Εικόνα 30: Προσαρμογή ευθείας για το αμμώνιο και τους δείκτες ln(B2-B5) και ln(B2-B4) για χρονικές διαφορές 2 και 7 ημερών.

**Πίνακας 25: Αποτελέσματα για το αμμώνιο με χρήση λογαριθμικού-γραμμικού μοντέλου.
Περιοχή: Βορειοανατολική Ισπανία**

X	dt = 2 n = 13	dt = 3 n = 14	dt = 5 n = 15	dt = 7 n = 17	dt = 8 n = 18	ln(NH4) = aX + b (dt = 2)
	0-9 μmolN/l				0-11 μmolN/l	
(B4-B5)/(B6-B7)	75,0	66,2	67,0	56,8	51,9	y = -0.41177x + 1.3485
ln((B4+B5+B7)/B6)	74,1	64,9	65,4	52,5	50,6	y = -3.8482x + 6.3556
ln((B4+B7)/B6)	73,9	64,7	65,1	54,0	51,2	y = -3.3896x + 4.1247
ln((B4+B5)/B6)	73,9	65,0	65,4	53,0	50,6	y = -3.2261x + 4.7592
ln((B4+B6)/(B6+B7))	73,7	63,9	64,3	52,0	49,2	y = -3.1016x + 2.3147
ln(B4/B6)	73,7	65,0	65,4	54,8	51,1	y = -2.5688x + 2.3486
(B4+B5+B7)/B6	73,7	63,2	64,3	50,0	49,1	y = -0.58572x + 3.3981
ln((B4+B7)/(B6+B7))	73,6	64,0	64,4	52,2	49,5	y = -3.046x + 2.0463
(B4-B6)/(B5+B6)	73,6	63,8	64,3	55,4	52,0	y = -3.1329x + 1.9184
(B4-B7)/(B5+B6)	73,6	63,5	64,0	55,3	51,6	y = -3.0691x + 2.1591
(B4-B6)/(B6-B7)	73,6	65,8	66,8	58,2	55,0	y = -0.3131x + 1.9935
ln((B4+B5)/(B6+B7))	73,4	64,1	64,6	51,1	48,8	y = -2.9079x + 2.7051
(B4-B7)/B6	73,4	62,6	63,7	51,5	49,9	y = -0.70423x + 1.7071
ln(B4to(B6+B7))	73,3	64,3	64,7	53,2	49,7	y = -2.3603x + 0.87195
B4to(B5+B6)	73,2	63,2	63,7	54,6	50,7	y = -3.5855x + 3.4819
exp((B4-B6)/(B4+B6))	73,1	64,5	64,8	54,2	50,5	y = -4.3957x + 6.6931
B4/(B5+B6+B7)	73,0	62,7	63,3	54,0	50,9	y = -3.8207x + 3.0326
(B4-B6)/(B5+B7)	73,0	63,0	63,5	54,7	51,3	y = -2.7897x + 1.8995
ln((B5+B6)/(B4+B5))	73,0	64,4	64,6	56,5	51,8	y = 5.4159x + 2.317
(B4-B6)/B5	73,0	63,8	64,1	56,0	51,2	y = -2.4246x + 2.1344

Περιοχή στη Βόρεια Γαλλία (0,1-3,7 μmolN/l)

Ισχυρές συσχετίσεις έδωσε και μία μικρή περιοχή βόρεια της Γαλλικής ακτογραμμής (δυτικά της Κάτω Νορμανδίας) και για τα δύο μοντέλα (Εικόνα 31). Τα αποτελέσματα για τα απλά γραμμικά μοντέλα με $R^2 > 66\%$ (dt = 8 ημέρες) παρουσιάζονται στο παράρτημα (Πίνακας 45). Το μοντέλο $(B4+B6)/(B6-B7)$ έδειξε την ισχυρότερη συσχέτιση, που έφτασε το 84% για dt = 1 και 2 ημέρες, ενώ για dt ≥ 4 ημέρες έδωσε συσχετίσεις 73-76%. Παρατηρείται ότι για dt = 0 τα μοντέλα έδωσαν τιμές μεγαλύτερες του 98% αλλά λόγω του μικρού πλήθους αυτές μπορεί να είναι τυχαίες (n=3). Οι δείκτες με κόκκινο χρώμα αντιστοιχούν σε p-value < 5%. Γενικότερα, οι δείκτες με $R^2 > 70\%$ περιλαμβάνουν κυρίως τα κανάλια B4, B6 και B7. Ιδιαίτερως, τα τελευταία δύο εμφανίζονται συνήθως με τη μορφή διαφοράς (B6-B7). Συνολικά όμως συνηθέστερη είναι η εμφάνιση του B6 και έπειτα των B3, B1 και B7. Όσον αφορά την κατανομή των R^2 συναρτήσει

του dt, φαίνεται ότι οι τιμές του ελαττώνονται όταν η αλλαγή του dt συμπίπτει με την αλλαγή στα όρια των τιμών, δηλαδή για dt = 1,3 και 4 ημέρες.

Τα λογαριθμικά-γραμμικά μοντέλα εμφάνισαν συσχετίσεις μεγαλύτερες του 65% μόνο για τέσσερις δείκτες (dt = 8 ημέρες). Τα μοντέλα αυτά σχηματίζονται και πάλι από τη διαφορά των καναλιών B6 και B7 με τα B1 ή B2 και με το B4 ή B5.

Ενδιαφέρον παρουσιάζει ότι στις δύο τελευταίες περιπτώσεις καλύτερες τιμές R² δίνουν το λογαριθμικό-γραμμικό μοντέλο $(B4-B5)/(B6-B7)$ στη Βορειοανατολική Ισπανία, ενώ στην περίπτωση της Βόρειας Γαλλίας το γραμμικό μοντέλο $\exp((B4+B5)/(B6-B7))$. Γενικότερα, ο συνδυασμός των καναλιών B4, B5, B6 και B7 παρατηρείται σε πολλούς δείκτες.



Εικόνα 31: Απεικόνιση των σταθμών της περιοχής Βορειοδυτικά της Γαλλίας.

Πίνακας 17: Αποτελέσματα για το αμμώνιο με εφαρμογή λογαριθμικού-γραμμικού μοντέλου. Περιοχή: κολπίσκος της Βορειοδυτικής Γαλλίας

X	dt = 1 n = 9	dt = 2 n = 10	dt = 3 n = 15	dt = 4 n = 19	dt = 7 n = 22	dt = 8 n = 23	ln(NH4) = aX + b (dt = 8)
	0,3-3,7 μmolN/l		0,2-3,7 μmolN/l	0,1-3,7 μmolN/l			
$(B6-B7)/(B1+B4)$	61,5	67,4	44,7	62,2	67,3	67,8	$\gamma = -70.2725x + 1.0864$
$(B6-B7)/(B1+B5)$	66,1	70,7	55,7	67,7	67,6	67,2	$\gamma = -68.6842x + 1.3498$
$(B6-B7)/(B2+B5)$	65,8	71,3	53,1	66,2	67,3	67,1	$\gamma = -68.7537x + 1.1841$
$(B6-B7)/(B2+B4)$	60,3	66,9	42,9	60,8	66,0	66,5	$\gamma = -70.653x + 0.98699$

Πίνακας 18: Αποτελέσματα για το αμμώνιο με εφαρμογή απλού γραμμικού μοντέλου.

Περιοχή: κοιλίσκος της Βορειοδυτικής Γαλλίας

X	dt = 1 n = 9	dt = 2 n = 10	dt = 3 n = 15	dt = 4 n = 19	dt = 8 n = 23	NH4 = aX + b (dt = 8)
	0,3-3,7 μmolN/l		0,2-3,7 μmolN/l	0,1-3,7 μmolN/l		
$(B4+B5)/(B6-B7)$	83,0	83,6	79,3	74,9	75,0	$\gamma = 0.027857x - 0.086079$
$(B4+B6)/(B6-B7)$	84,2	84,6	80,2	76,2	74,2	$\gamma = 0.030057x - 0.038048$
$B4/(B6-B7)$	80,8	81,7	77,5	74,7	73,4	$\gamma = 0.02918x + 0.12532$
$(B4-B6)/(B6-B7)$	77,0	78,3	74,2	72,6	71,9	$\gamma = 0.028087x + 0.28633$
$(B1-B3)/(B6-B7)$	83,7	84,6	76,4	74,3	71,7	$\gamma = -0.038945x + 0.46465$
$(B4-B5)/(B6-B7)$	77,9	79,1	75,0	73,8	70,5	$\gamma = 0.030181x + 0.36756$
$\exp((B2+B3)/(B1+B6))$	78,0	79,9	67,0	66,5	70,2	$\gamma = 0.15716x - 0.42181$
$\exp((B2+B3)/(B1+B7))$	76,3	78,4	64,8	64,6	68,6	$\gamma = 0.14943x - 0.42862$
$\exp(B3/(B1+2*B6))$	75,3	77,4	63,8	64,4	68,4	$\gamma = 0.74932x - 1.0368$
$\ln((B6-B7)/B4)$	74,3	76,2	62,0	65,7	68,4	$\gamma = -1.0103x - 2.0704$
$\exp(B3/(B1+B6+B7))$	74,3	76,4	62,4	63,3	67,5	$\gamma = 0.72621x - 1.0188$
$(B3+B4-B2)/B5$	73,4	74,8	65,3	71,6	67,4	$\gamma = 0.27x + 0.12663$
$\exp((B1+B3)/(B1+B6))$	74,1	76,4	61,7	63,0	67,3	$\gamma = 0.2468x - 0.79113$
$\exp(B3/(B1+B7+B7))$	73,1	75,3	60,9	62,0	66,3	$\gamma = 0.70102x - 0.99585$
$\exp((B3-B7)/(B1+B6))$	73,1	75,5	60,4	61,9	66,3	$\gamma = 0.66374x - 0.81942$
$\exp((B3-B6)/(B1+B7))$	73,0	75,4	60,2	61,7	66,1	$\gamma = 0.64653x - 0.7695$

5.3 Βάθος Secchi

Σε αυτήν την ενότητα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για το βάθος Secchi στους ισπανικούς σταθμούς. Το εύρος των μετρήσεων αυτών είναι 1-17 m. Τα δεδομένα ομαδοποιήθηκαν με κριτήριο το αν η θέση τους είναι στον Ατλαντικό Ωκεανό ή στη Μεσόγειο Θάλασσα.

5.3.1 Αποτελέσματα συσχετίσεων με χρήση όλων των διαθέσιμων δεδομένων

Η χρήση όλων των δεδομένων έδωσε πολύ καλά αποτελέσματα για τα λογαριθμικά-γραμμικά μοντέλα (Πίνακας 26 και Πίνακας 48 Παραρτήματος). Για dt = 1 ημέρα και για μεγάλο εύρος τιμών (2-16 m) οι συσχετίσεις έφτασαν μέχρι το 92% για τα μοντέλα $(B3-B6)/(B1-B7)$, $(B3+B4-B5)/B1$ και $B3/(B1+B2+B5)$. Τα τρία αυτά μοντέλα δίνουν συσχετίσεις μεγαλύτερες του 70% σε βάθος δέκα ημερών. Το κανάλι B3 συμμετέχει σε κάθε μοντέλο. Μεγάλη συχνότητα έχουν επίσης τα B1, B2 και B5.

Πίνακας 26: Αποτελέσματα για το βάθος Secchi με χρήση λογαριθμικού-γραμμικού μοντέλου.

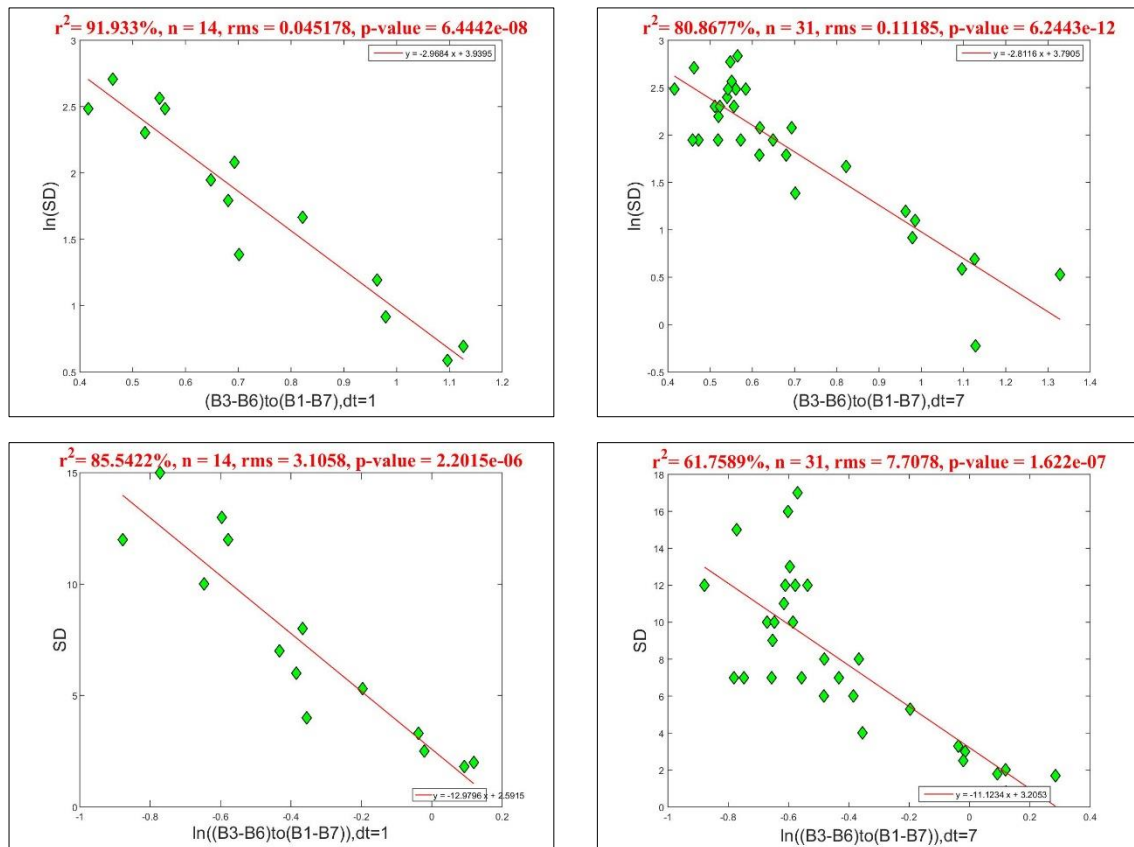
X	dt = 0 n = 5	dt = 1 n = 14	dt = 2 n = 19	dt = 3 n = 23	dt = 4 n = 25	dt = 7 n = 31	dt = 10 n = 33	ln(SD) = aX + b (dt = 1)
	2-8 m	2-15 m			1-16 m	1-17 m		
$(B3-B6)/(B1-B7)$	75,8	91,9	84,7	80,6	82,2	80,9	74,6	$\gamma = -2.9684x + 3.9395$
$(B3+B4-B5)/B1$	77,7	91,8	79,9	76,9	76,2	77,8	73,7	$\gamma = -2.3929x + 4.104$
$B3/(B1+B2+B5)$	78,4	91,3	78,7	74,0	73,8	75,1	70,9	$\gamma = -8.5719x + 4.8423$
$\exp(B3/(2*B1+B5))$	80,9	91,2	80,7	75,9	74,8	71,7	64,6	$\gamma = -5.1852x + 9.2644$
$\exp(B3/(2*B2+B5))$	75,5	90,7	77,5	73,5	74,2	75,7	74,4	$\gamma = -6.6196x + 11.2133$
$\exp(B3/(2*B1+B7))$	79,4	90,0	77,1	71,9	72,7	72,1	66,9	$\gamma = -4.7965x + 8.8976$
$\exp(B3/(2*B1+B6))$	78,3	89,7	78,1	73,2	73,3	71,8	66,2	$\gamma = -4.8257x + 8.8776$
$\ln((B1+B2+B5)/B3)$	78,0	89,7	74,2	69,1	69,3	72,6	67,7	$\gamma = 3.0893x - 1.4701$
$\exp(B3/(B1+B2+B6))$	75,3	89,2	76,0	71,5	72,6	73,7	71,1	$\gamma = -5.4743x + 9.7723$
$(B3+B4)/(B1+B5)$	79,6	89,1	73,8	69,9	68,7	70,7	66,6	$\gamma = -2.9975x + 4.7464$
$\exp(B3/(B1+B2+B7))$	76,3	89,0	74,3	69,5	71,5	73,3	71,1	$\gamma = -5.4387x + 9.7895$
$\ln((2*B2+B5)/B3)$	73,9	89,0	72,3	68,1	69,0	71,5	69,6	$\gamma = 3.4002x - 1.835$
$\ln((B1+B5-B4)/B3)$	78,4	88,8	73,5	69,3	68,6	72,6	68,4	$\gamma = 1.9558x + 1.6937$

Τα απλά γραμμικά μοντέλα έδωσαν συσχετίσεις μεγαλύτερες του 80% για dt = 1 ημέρα. Οι δύο ισχυρότεροι δείκτες είναι κοινοί με το προηγούμενο μοντέλο αλλά δίνουν μικρότερα R². Τα πιο συχνά εμφανιζόμενα κανάλια είναι τα B3, B1, B2 και B5 κατά σειρά.

Συγκρίνοντας τα διαγράμματα της Εικόνας 32 παρατηρείται ότι για dt = 1 ημέρα και τα δύο μοντέλα προσαρμόζονται καλά καθ' όλο το εύρος των μετρήσεων. Για τις υψηλές τιμές όμως (dt = 7 ημέρες) το λογαριθμικό-γραμμικό μοντέλο προσαρμόζεται καλύτερα.

Πίνακας 27: Αποτελέσματα για το βάθος Secchi με χρήση απλού γραμμικού μοντέλου.

X	dt = 0 n = 5	dt = 1 n = 14	dt = 2 n = 19	dt = 3 n = 23	dt = 4 n = 25	dt = 7 n = 31	dt = 10 n = 33	SD = aX + b (dt = 1)
	2-8 m	2-15 m			1-16 m	1-17 m		
$\ln((B3-B6)/(B1-B7))$	60,0	85,5	69,0	61,1	65,0	61,8	62,0	$\gamma = 12.9796x + 2.5915$
$\ln((B3+B4-B5)/B1)$	64,2	84,3	60,3	55,0	58,6	59,5	59,7	$\gamma = 13.8475x + 6.3635$
$(B3+B7-B5)/B1$	65,4	84,0	66,4	58,5	62,2	62,1	62,4	$\gamma = -20.3444x + 21.503$
$B1/(B3+B7-B5)$	66,0	82,9	58,8	50,0	53,7	61,5	61,5	$\gamma = 8.782x - 6.3343$
$(B3+B7-B5)/B2$	55,4	82,3	63,4	56,5	60,5	63,5	63,7	$\gamma = -24.7702x + 23.9596$
$B2/(B3+B7-B5)$	56,2	81,8	57,1	50,1	53,9	60,3	60,6	$\gamma = 10.2074x - 8.7686$
$(B3+B4-B5)/B1$	63,6	81,7	62,0	56,7	60,5	60,0	60,2	$\gamma = -13.9819x + 20.9048$
$\ln(B3/(2*B1+B5))$	66,4	81,4	59,1	50,5	54,8	56,1	56,4	$\gamma = -16.56x - 9.9003$
$\ln((B1+B2+B5)/B3)$	63,3	81,3	57,7	49,9	54,4	55,5	55,8	$\gamma = 18.2164x - 11.8387$
$(2*B1+B5)/B3$	67,5	80,5	54,1	45,4	49,7	53,1	53,4	$\gamma = 5.7986x - 9.529$
$\exp((B1-B3)/(B2-B4))$	31,5	80,1	70,1	60,7	64,6	66,5	66,4	$\gamma = 8.8005x - 3.6072$
$B3/(B1+B5-B7)$	64,7	80,0	58,4	49,6	54,0	55,3	55,6	$\gamma = -23.4845x + 24.8065$



Εικόνα 32: Παρεμβολή ευθείας για το βάθος Secchi και τους δείκτες $(B3-B6)/(B1-B7)$ (λογαριθμικό-γραμμικό μοντέλο) και $\ln((B3-B6)/(B1-B7))$ (απλό γραμμικό μοντέλο).

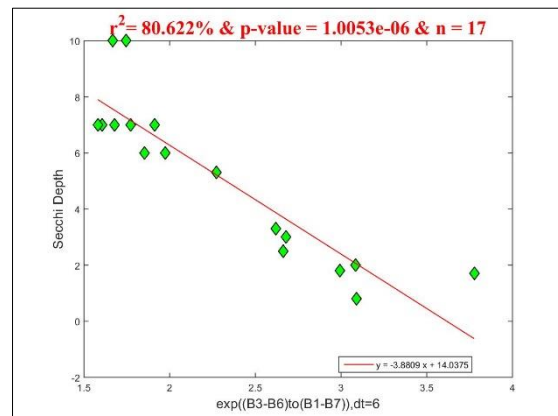
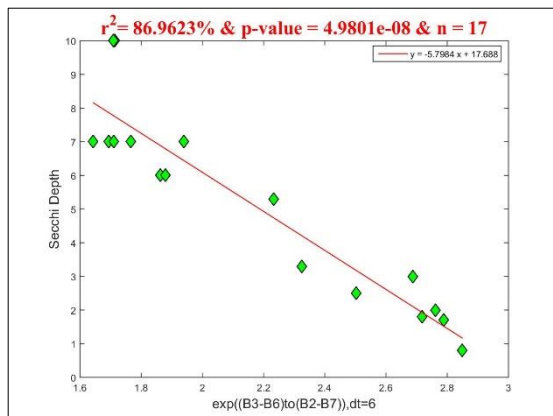
5.3.2 Ομαδοποίηση βάσει γεωγραφικής περιοχής

Το απλό γραμμικό μοντέλο έδωσε πολύ καλά αποτελέσματα για τους σταθμούς της **Μεσογείου**. Για $dt = 5$ και 6 ημέρες οι συσχετίσεις έφτασαν το 86% (1-10 μ βάθος), ενώ για διαφορά μίας ημέρας ορισμένα μοντέλα έδωσαν συσχετίσεις μέχρι 95% ($n = 9$, 2-7 μ). Στο παράρτημα παρατίθενται όλα τα αποτελέσματα (Πίνακας 49), ενώ στον Πίνακα 28 έχουν επιλεχθεί τα μοντέλα με ισχυρές συσχετίσεις σε όλα τα dt . Σε αυτά εμφανίζονται πολύ συχνά τα κανάλια B2 και B3 (στους πρώτους δείκτες του πίνακα συνδυάζονται με τα μακρινά υπέρυθρα B6 και B7), ενώ σπάνια περιλαμβάνεται το κανάλι B4. Το λογαριθμικό-γραμμικό μοντέλο δεν έδωσε αποτελέσματα σε αυτήν την περιοχή.

Πίνακας 28: Αποτελέσματα για το βάθος Secchi με χρήση απλού γραμμικού μοντέλου.

Περιοχή: Μεσόγειος Θάλασσα

X	dt = 0	dt = 1	dt = 2	dt = 3	dt = 4	dt = 5	dt = 6	SD = aX + b (dt = 6)
	n = 3	n = 7	n = 9	n = 13	n = 14	n = 16	n = 17	
	2-6 μ	2-7 μ			1-7 μ	1-10 μ		
$\exp((B3-B6)/(B2-B7))$	94,1	90,5	91,5	93,0	94,1	85,6	87,0	$y = -5.7984x + 17.688$
$\ln((B2-B7)/(B3-B6))$	87,0	90,0	86,3	89,8	90,2	84,7	86,2	$y = 9.4423x + 2.0778$
$\exp((B3-B5)/(B2-B7))$	100,0	86,9	88,4	89,6	89,3	85,2	84,8	$y = -5.8326x + 16.3$
$\ln((B1-B7)/(B3-B6))$	95,5	96,2	87,2	89,8	89,7	82,2	83,2	$y = 7.4512x + 2.9694$
$\exp(B3/(2*B2+B6))$	99,6	94,7	91,3	92,0	90,8	81,5	83,0	$y = -20.4351x + 35.2588$
$\exp(B3/(2*B2+B5))$	99,6	94,6	89,6	91,3	89,8	82,4	82,9	$y = -21.3341x + 36.0504$
$\ln((B2+B5)/B3)$	98,6	88,5	87,4	91,3	86,6	82,4	82,6	$y = 10.4552x + 0.4531$
$\ln((B2+B6)/B3)$	92,1	87,0	88,7	92,3	88,0	80,2	81,7	$y = 10.6562x + 1.2469$
$\exp(B3/(B2+B7))$	97,9	91,8	93,4	95,4	91,1	80,6	81,4	$y = -6.8382x + 19.6697$
$\ln((B2+B7)/B3)$	94,0	91,5	89,8	92,8	89,3	79,4	81,2	$y = 11.0598x + 1.5068$
$(B3-B5)/(B1-B7)$	99,6	90,2	88,7	89,3	88,4	84,2	80,8	$y = -8.5918x + 10.8212$
$\ln((2*B2+B5)/B3)$	99,8	96,5	83,2	86,1	84,8	79,0	80,8	$y = 11.1696x - 6.3236$
$\exp((B3-B6)/(B1-B7))$	99,0	94,9	94,2	95,7	96,0	85,7	80,6	$y = -3.8809x + 14.0375$
$\exp(B3/(B2+B6))$	97,2	90,3	92,8	94,9	89,3	80,4	80,6	$y = -6.8795x + 19.3996$
$\exp(B3/(B1+B2+B6))$	99,9	97,2	93,2	93,1	91,2	80,9	80,3	$y = -16.9184x + 30.3026$
$\ln((2*B2+B6)/B3)$	98,8	96,2	85,5	86,9	85,9	77,7	79,8	$y = 11.2723x - 5.9125$
$\exp(B3/(B1+B2+B7))$	100,0	95,3	91,3	91,3	90,2	79,6	79,8	$y = -16.7524x + 30.2512$
$(B3+B4-B5)/B1$	89,3	88,2	87,1	88,1	87,1	79,9	79,8	$y = -7.9868x + 13.4429$
$\exp(B3/(B1+B2+B5))$	99,3	96,3	91,3	92,1	89,9	81,5	79,1	$y = -17.4805x + 30.6853$
$\ln(B1/(B3+B4-B5))$	87,8	89,4	82,1	83,6	82,9	76,9	78,6	$y = 8.2139x + 5.0871$
$\ln((B1+B2+B5)/B3)$	99,6	97,7	84,1	86,0	84,3	77,1	78,5	$y = 9.6671x - 4.6645$
$(B3+B4)/(B2+B5)$	91,4	80,7	82,9	84,4	83,2	76,0	78,3	$y = -12.8911x + 17.9956$
$\ln((B1+B2+B6)/B3)$	99,4	98,3	86,4	87,0	85,4	76,0	77,9	$y = 9.7471x - 4.2958$



Εικόνα 33: Παρεμβολή ευθείας για το βάθος Secchi (μ) για τους δείκτες $\exp((B3-B6)/(B2-B7))$ και $\exp((B3-B6)/(B1-B7))$. Περιοχή: Μεσόγειος Θάλασσα

Σε αντίθεση με την περιοχή της Μεσογείου, για τους σταθμούς του **Ατλαντικού Ωκεανού** πιο ισχυρές συσχετίσεις έδωσαν τα λογαριθμικά-γραμμικά μοντέλα. Για $dt = 1$ ημέρα και $n = 7$ οι συσχετίσεις έφτασαν το 93%, ενώ όσο μεγαλώνει η χρονική διαφορά οι τιμές των R^2 ελαττώνονται ομαλά λόγω του σχεδόν σταθερού εύρους των μετρήσεων (4-16 μ). Τα μοντέλα $\ln((B2-B6)/(B1-B3))$, $\exp((B3-B4)/(B2-B3))$ και $\ln((B1-B3)/(B2-B4))$ δίνουν πολύ καλές συσχετίσεις άνω του 90% για $dt = 1$ ημέρα, άνω του 85% για $dt = 2$ ημέρες και άνω του 80% για $dt = 4$. Τα πιο συχνά εμφανιζόμενα κανάλια είναι τα B3, B2 και B1, ενώ ελάχιστα συμμετέχει το κανάλι B5 (Πίνακας 29).

Πίνακας 29: Αποτελέσματα για το βάθος Secchi με χρήση λογαριθμικού-γραμμικού μοντέλου. Περιοχή: Ατλαντικός Ωκεανός

X	dt = 1 n = 7	dt = 2 n = 10	dt = 4 n = 11	dt = 7 n = 14	dt = 8 n = 15	dt = 10 n = 16	$\ln(SD) = aX + b$ (dt = 1)
	4-15 μ	4-16 μ		4-17 μ			
$\ln((B2-B6)/(B1-B3))$	93,2	87,3	80,5	70,9	69,7	52,2	$\gamma = -0.39086x + 2.8022$
$\ln((B2-B7)/(B1-B3))$	92,6	85,9	78,4	69,3	67,6	53,7	$\gamma = -0.36616x + 2.817$
$\exp((B3-B4)/(B2-B3))$	91,5	85,7	80,1	69,3	67,7	66,5	$\gamma = -0.070778x + 2.658$
$\ln((B3-B6)/(B1-B3))$	91,4	83,2	75,8	67,3	65,3	50,9	$\gamma = -0.33733x + 2.5738$
$\exp((B2-B7)/(B1-B6))$	91,4	86,2	78,2	66,2	65,5	59,8	$\gamma = -0.57376x + 4.1412$
$\exp((B3-B7)/(B2-B3))$	91,3	84,7	78,3	66,7	64,9	63,8	$\gamma = -0.0028515x + 2.5079$
$\ln((B1-B3)/(B2-B4))$	91,0	87,4	83,1	72,5	72,2	51,4	$\gamma = 0.3914x + 2.679$
$\ln((B3-B7)/(B1-B3))$	90,3	81,4	73,3	65,4	63,0	52,0	$\gamma = -0.31755x + 2.6157$
$\exp((B2-B7)/(B1-B4))$	89,7	75,7	62,3	56,1	51,9	52,0	$\gamma = -0.17066x + 3.2132$
$\exp((B1-B7)/(B2-B3))$	89,4	75,7	67,8	58,9	56,2	54,2	$\gamma = -0.0023558x + 2.5597$
$\exp((B3-B7)/(B1-B4))$	89,3	73,6	62,4	56,3	52,1	52,1	$\gamma = -0.21252x + 3.0271$
$\ln((B1-B3)/B2)$	89,3	82,1	72,0	63,4	60,8	54,8	$\gamma = 0.31005x + 2.8719$
$\exp((B3-B7)/(B1-B6))$	89,2	78,7	69,6	62,1	59,1	57,9	$\gamma = -0.54956x + 3.5539$
$(B4-B6)/(B1-B3)$	89,0	82,4	75,8	64,9	62,9	62,5	$\gamma = -0.11644x + 2.5369$
$\exp((B3-B5)/(B2-B3))$	89,0	83,4	77,9	68,6	66,9	61,0	$\gamma = -0.061411x + 2.6425$
$(B1-B2)/(B2-B3)$	88,9	85,0	82,3	68,2	68,0	48,2	$\gamma = 1.0865x + 2.3683$
$\ln((B1-B3)/(B3-B4))$	88,7	84,0	80,1	71,2	70,9	51,9	$\gamma = 0.31665x + 2.3796$
$\ln(B1-B3)$	88,5	81,4	78,1	66,8	66,8	53,1	$\gamma = 0.3641x + 0.80062$
$\exp((B3-B6)/(B2-B3))$	88,4	79,9	72,3	63,3	60,7	60,3	$\gamma = -0.014558x + 2.5814$
$\exp((B4-B7)/(B2-B3))$	88,3	67,1	57,7	51,1	47,6	44,9	$\gamma = -0.051603x + 2.6503$
$\exp((B3-B4)/(B1-B5))$	88,0	80,8	75,6	65,8	65,1	56,7	$\gamma = -1.0854x + 4.186$
$\exp((B6-B7)/(B2-B3))$	87,8	76,4	68,4	58,5	55,9	53,5	$\gamma = -0.26646x + 2.8313$
$\ln((B1-B3)/(B2-B5))$	87,2	83,9	80,7	70,7	70,6	49,7	$\gamma = 0.356x + 2.6246$

Πίνακας 30: Αποτελέσματα για το βάθος Secchi με χρήση απλού γραμμικού μοντέλου.
Ατλαντικός Ωκεανός

X	dt = 1	dt = 2	dt = 4	dt = 7	dt = 8
	n = 7	n = 10	n = 11	n = 14	n = 15
	4-15 μ	4-16 μ		4-17 μ	
$(B1-B3)/(B2-B4)$	77,5	70,6	66,8	56,9	57,3
$(B1-B2)/(B2-B5)$	70,4	71,9	69,7	55,9	56,1
$(B1-B2)/(B2-B3)$	83,0	78,9	73,9	55,3	55,8
$(B1-B2)/(B2-B4)$	75,1	70,2	67,5	53,4	53,6
$(B1-B2)/(B2-B6)$	73,3	70,3	66,0	53,0	53,3
$\ln((B2-B4)/(B1-B3))$	79,7	71,9	65,4	51,8	51,2
$\ln((B1-B3)/(B2-B5))$	78,4	70,3	65,0	51,3	50,9
$(B1-B2)/(B2-B7)$	68,8	65,9	61,7	50,2	50,3
$\ln((B1-B3)/(B3-B4))$	78,5	68,7	62,8	51,0	50,2
$(B1-B2)/(B3-B4)$	62,3	59,7	58,6	50,2	50,1
$(B1-B2)/(B3-B6)$	63,0	62,5	58,6	49,5	49,5
$\exp((B3+B7-B5)/B1)$	75,6	66,6	56,1	49,7	49,5
$\ln(B1-B3)$	77,4	68,0	62,7	49,1	49,0
$\exp((B3-B4)/(B1-B6))$	65,5	60,5	59,1	48,0	48,5
$\ln((B2-B6)/(B1-B3))$	82,8	71,2	61,9	49,7	47,8
$\exp((B3-B5)/(B2-B3))$	82,2	70,4	62,4	49,9	47,5

5.4 Ηλεκτρική Αγωγιμότητα

Στην παράγραφο αυτήν παρατίθενται τα αποτελέσματα για την ηλεκτρική αγωγιμότητα του νερού. Το μοντέλο που εφαρμόστηκε είναι το απλό γραμμικό. Τα αποτελέσματα αφορούν τιμές μεταξύ 40700 και 57010 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

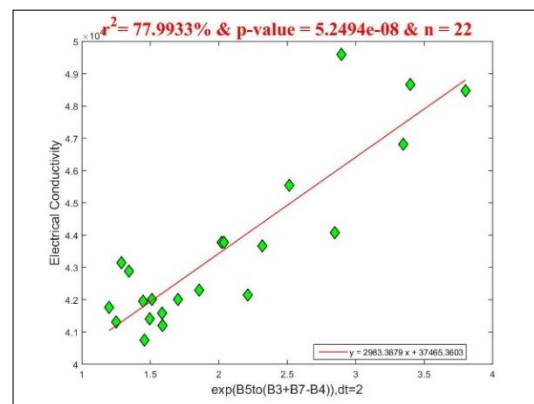
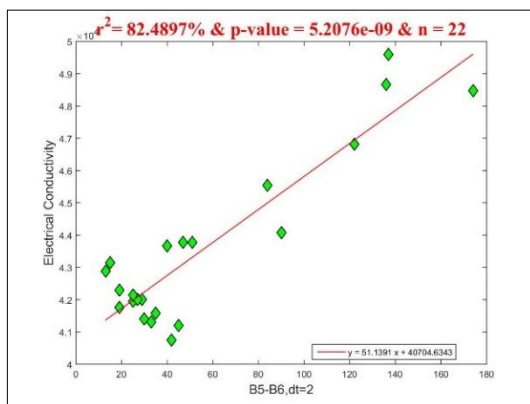
Από τις δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν δεν βρέθηκαν δυνατές συσχετίσεις. Οι μέγιστες τιμές των συντελεστών R^2 προέκυψαν για τα μοντέλα $\ln(B2+B3-B4)$, $\ln(B2+B3-B5)$ και $\ln(B1+B3-B4)$, ίσες με 60-63% για εύρος τιμών αγωγιμότητας 41400 έως 55700 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ($dt = 1$ ημέρα, $n = 16$). Εκτός από το κανάλι B3, το οποίο συμμετέχει σε όλα τα μοντέλα, δεν υπάρχει άλλο κανάλι που να εμφανίζεται πιο συχνά. Για μεγαλύτερη χρονική διαφορά τα δεδομένα είναι ασυσχέτιστα ($R^2 < 30\%$) (Πίνακας 51).

Τα αποτελέσματα για τους σταθμούς του **Ατλαντικού** είναι περισσότερο αισιόδοξα. Το μοντέλο $B5-B6$ έδωσε συσχετίσεις 82%, 78% και 67% για $dt = 2, 5, 10$ ημέρες. Αντίστοιχα, το μοντέλο $(B5-B6)/(B3-B4)$ -το οποίο σχηματίζεται από τα κανάλια με τη μεγαλύτερη συμμετοχή, δίνει 78%, 76% και 65%. Για $dt = 1$ ημέρα, το μοναδικό μοντέλο με ικανοποιητικές συσχετίσεις

είναι το $\exp((B3-B6)/(B3-B4))$, ίσες με 76% για $dt = 1$ ημέρα και 79% για $dt = 2$ ημέρες. Τα υπόλοιπα μοντέλα δεν έδωσαν συσχετίσεις μεγαλύτερες του 65%.

Πίνακας 31: Αποτελέσματα για την ηλεκτρική αγωγιμότητα.
Περιοχή: Ατλαντικός Ωκεανός

X	dt = 1 n = 9	dt = 2 n = 22	dt = 5 n = 24	dt = 10 n = 33	El.Cond. = aX + b (dt = 2)
	41400- 45548 $\mu\text{S}/\text{cm}$	40745-49600 $\mu\text{S}/\text{cm}$			40745-49600 $\mu\text{S}/\text{cm}$
B5-B6	60,9	82,5	78,0	67,0	$y = 51.1391x + 40704.6343$
$(B5-B6)/(B3-B4)$	63,9	78,5	76,0	64,6	$y = 6183.4128x + 40593.9686$
B5-B7	52,7	79,3	75,3	64,2	$y = 35.752x + 40881.4745$
$\exp(B5/(B3+B7-B4))$	41,8	78,0	77,1	64,1	$y = 2983.3679x + 37465.3603$
$\exp(B4/(B3+B7-B5))$	49,3	77,2	75,8	63,2	$y = 3503.6772x + 35961.1922$
$\exp((B5-B7)/B3)$	46,3	73,2	73,1	62,7	$y = 19692.8884x + 18849.2093$
$(B4-B6)/(B3-B5)$	66,3	76,4	73,0	62,2	$y = 7690.6605x + 38824.8618$
$(B5-B6)/(B3-B7)$	47,2	74,1	74,4	62,1	$y = 21863.1775x + 39003.458$
$(B5-B6)/(B3-B6)$	46,5	74,0	74,0	62,0	$y = 17678.6264x + 39505.8031$
$\exp(B4/(B3+B6-B5))$	52,9	76,0	75,2	61,9	$y = 4736.0503x + 34002.9142$
$\exp((B4+B5-B3)/B7)$	26,7	78,4	77,2	61,9	$y = 1503.5662x + 41730.5109$
$\exp(B5/(B3+B6-B4))$	40,5	75,5	75,4	61,6	$y = 4039.9604x + 36010.676$
$\exp((B3-B5)/(B3-B6))$	42,8	73,4	73,9	61,4	$y = -8614.7342x + 62315.2817$
$(B5-B7)/(B3-B4)$	55,8	75,4	73,2	61,3	$y = 4308.1472x + 40792.3917$
$\ln((B3-B6)/(B3-B5))$	51,1	72,9	72,3	61,3	$y = 12007.854x + 40252.2216$
$\exp((B4+B5-B7)/B3)$	44,4	74,2	74,0	61,3	$y = 4278.715x + 34063.0819$
$\exp((B4+B5-B6)/B3)$	52,5	74,0	73,8	60,8	$y = 5119.6936x + 32842.7409$
$\ln((B3-B4)/(B3-B7))$	67,7	75,5	72,2	60,7	$y = -8543.2055x + 37777.0404$
$\exp((B3-B6)/(B3-B4))$	76,5	79,0	72,9	60,3	$y = 676.4447x + 38690.536$
$\exp((B4-B7)/(B3-B6))$	59,3	75,3	72,4	60,0	$y = 7695.9589x + 30468.1795$



Εικόνα 34: Παρεμβολή ευθείας για την ηλεκτρική αγωγιμότητα ($\mu\text{S}/\text{cm}$) για τους δείκτες B5-B6 και $\exp(B5/(B3+B7-B4))$ για χρονική διαφορά δύο ημερών.

5.5 Διαλυμένο Οξυγόνο

Τα κανάλια του OLI δεν έδωσαν συσχετίσεις με το διαλυμένο οξυγόνο. Έγιναν πολυάριθμες δοκιμές αλλά σε όλες τις περιπτώσεις τα δεδομένα είναι ασυσχέτιστα.

Τα αποτελέσματα για όλα τα δεδομένα έδωσαν μέγιστη συσχέτιση 30% για το μοντέλο $\exp((B5-B6)/(B1-B4))$ και $dt = 0$, το οποίο αφορά ένα μικρό εύρος τιμών ΔO από 196 έως 296 $\mu\text{molO}_2/\text{l}$. Για $dt \geq 1$ ημέρας, οι συγκεντρώσεις του DO στο νερό φτάνουν τα 420 $\mu\text{molO}_2/\text{l}$ και τα δεδομένα συνεχίζουν να μη δίνουν συσχετίσεις.

Οι δοκιμές συνεχίστηκαν και σε μικρότερες περιοχές. Το μοντέλο $B5/(B4+B6-B3)$ έδωσε $R^2 = 78\%$ για τους σταθμούς της Μεσογείου για $dt = 1$ ημέρα και για ικανοποιητικό εύρος συγκεντρώσεων 196,26-418,77 $\mu\text{molO}_2/\text{l}$. Ακόμα τρία μοντέλα έδωσαν συσχετίσεις μεγαλύτερες του 75% (Πίνακας 32), τα οποία σχηματίζονται από λόγους καναλιών με κοινό παρονομαστή το άθροισμα $(B4+B6-B3)$. Για $dt = 2$ ημέρες οι συντελεστές R^2 μειώνονται περίπου στο 60% και για $dt = 3$ ημέρες στο 49%. Για μεγαλύτερη χρονική διαφορά τα δεδομένα είναι εντελώς ασυσχέτιστα. Τα **βαθιά σημεία** έδωσαν χαμηλές συσχετίσεις μέχρι 70% για συνδυασμούς της ίδιας ημέρας για τα μοντέλα του Πίνακα 33 για μικρό εύρος τιμών 228-297 $\mu\text{molO}_2/\text{l}$. Τα κανάλια B4 και B7 συμμετέχουν σε όλα αυτά. Για $dt \geq 1$ ημέρα τα δεδομένα είναι ασυσχέτιστα. Άλλες δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν χωρίς να βρεθεί όμως συσχέτιση είναι για τις μετρήσεις του Ατλαντικού Ωκεανού, της Β. Γαλλίας, της Δ. Γαλλίας και για μετρήσεις σε κόλπους.

Πίνακας 32: Αποτελέσματα για το διαλυμένο οξυγόνο.

Περιοχή: Μεσόγειος Θάλασσα

X	dt = 1 n = 15	dt = 2 n = 23	dt = 3 n = 32	DO = aX + b (dt = 1)	DO = aX + b (dt = 2)
	197-419 $\mu\text{molO}_2/\text{l}$	146-419 $\mu\text{molO}_2/\text{l}$			
B5/(B4+B6-B3)	78,6	60,9	49,4	$\gamma = 7.0915x + 238.4716$	$\gamma = 7.4257x + 232.4805$
B7/(B4+B6-B3)	76,6	61,5	48,2	$\gamma = 13.6982x + 235.1724$	$\gamma = 14.6131x + 228.4985$
B2/(B4+B6-B3)	75,7	60,7	49,5	$\gamma = 2.7936x + 240.6607$	$\gamma = 2.953x + 235.3891$
B1/(B4+B6-B3)	75,3	60,4	49,5	$\gamma = 2.7037x + 240.2343$	$\gamma = 2.8493x + 234.9435$

Πίνακας 33: Αποτελέσματα για το διαλυμένο οξυγόνο.

Βαθιά σημεία

X	dt = 0 n = 18	DO = aX + b (dt = 0)
	228-297 μmolO ₂ /l	
$\exp((B5-B7)/(B2-B4))$	69,5	$y = 39.1171x + 199.5799$
$\exp((B6-B7)/(B2-B4))$	69,4	$y = 116.9901x + 125.8034$
$(B6-B7)/(B1-B4)$	68,3	$y = 109.8972x + 242.2948$
$\exp((B5-B7)/(B1-B4))$	65,5	$y = 26.8278x + 212.7789$

5.6 Ορθοφωσφορικά Ανιόντα

Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που έδωσε η εφαρμογή του απλού γραμμικού μοντέλου για την εκτίμηση των ορθοφωσφορικών ανιόντων.

Η αρχική διερεύνηση έγινε για χρονική διαφορά μίας ημέρας. Η μέγιστη συσχέτιση όλων των δεδομένων με τα κανάλια είναι 59% για τους δείκτες $\exp((B3+B6)/(B1+B5))$ και $\exp((B3+B7)/(B1+B5))$ (dt = 1 ημέρα). Για dt = 0 οι τιμές των R² είναι μεγαλύτερες του 73%. Για dt = 2 και dt = 3 ημέρες οι συντελεστές R² κυμαίνονται στα ίδια επίπεδα για τα περισσότερα μοντέλα, ενώ για dt ≥ 4 ημέρες πέφτουν κάτω του 50% εκτός του $\ln(B5/(B4+B6+B7))$. Τα πιο συχνά εμφανιζόμενα κανάλια είναι τα B1 & B5 και έπειτα τα B2, B3 & B6, ενώ κυριαρχούν τα εκθετικά μοντέλα (Πίνακας 34).

Η περιοχή του **Ατλαντικού Ωκεανού** έδωσε υψηλότερες συσχετίσεις με μέγιστο συντελεστή R² ίσο με 69% για dt = 1 ημέρα και για το μοντέλο $\exp((B2+B3)/(B1+B5))$. Για dt = 0 οι τιμές των R² είναι μεγαλύτερες του 80% και για dt ≥ 5 ημέρες πέφτουν κάτω του 50%. Τα πιο συχνά κανάλια είναι και σε αυτήν την περίπτωση τα B1 & B5 και έπειτα τα B3 & B6. Το B4 δεν συμμετέχει σε κανένα μοντέλο (Πίνακας 35).

Τέλος, η **ομάδα των σταθμών μεγάλου βάθους** έδωσε τα καλύτερα αποτελέσματα. Για dt = 1 ημέρα οι συσχετίσεις έφτασαν το 71% για τα μοντέλα $\exp((B3+B7)/(B1+B5))$, $\exp(B3\text{to}(B1+B5))$ και $\exp((B2+B3)/(B1+B5))$. Οι συντελεστές R² είναι μεγαλύτεροι του 82% για δεδομένα ίδιας ημέρας, ενώ για dt ≥ 2 ημέρες ελαττώνονται ομαλά. Μεγάλη συχνότητα εμφάνισης έχουν μόνο τα κανάλια B1, B5 και B3, τα οποία συμμετέχουν (σχεδόν) σε όλα τα μοντέλα (Πίνακας 36, Πίνακας 53 για περισσότερα αποτελέσματα).

Πίνακας 34: Αποτελέσματα για τα ορθοφωσφορικά ανιόντα.

X	dt = 0 n = 11	dt = 1 n = 44	dt = 2 n = 69	dt = 3 n = 98	dt = 4 n = 122	PO43 = aX + b (dt = 1)
	0,1-1,0 μmolP/l	0,1-1,3 μmolP/l				
$\exp((B3+B6)/(B1+B5))$	75,1	59,5	55,9	52,2	43,7	$\gamma = 0.32025x - 0.59373$
$\exp((B3+B7)/(B1+B5))$	76,9	59,4	56,3	53,1	44,8	$\gamma = 0.31876x - 0.56073$
$\exp(B3/(B1+B5-B6))$	74,8	58,2	54,2	50,7	42,2	$\gamma = 0.28591x - 0.49497$
$\exp(B3/(B1+B5-B7))$	77,1	57,9	54,8	51,8	43,9	$\gamma = 0.29075x - 0.47663$
$\exp((B3+B7-B5)/B1)$	77,8	57,6	54,6	51,8	43,4	$\gamma = 0.24841x - 0.36116$
$\exp((B3+B6-B5)/B1)$	75,5	57,6	54,1	50,6	41,8	$\gamma = 0.2492x - 0.39618$
$\exp((B2+B6)/(B1+B7))$	76,5	56,8	52,8	46,9	41,8	$\gamma = 0.68757x - 1.8738$
$\ln((B4+2*B6)/B5)$	89,0	55,8	54,7	53,8	55,7	$\gamma = 0.63111x - 0.46187$
$\exp((B2+B3-B5)/B1)$	80,6	55,8	55,6	54,1	46,3	$\gamma = 0.051658x - 0.0774$
$\exp((B2+B3)/(B1+B5))$	82,5	55,7	55,3	53,7	48,4	$\gamma = 0.069382x - 0.11666$
$\exp(B2/(B1+B5-B6))$	73,4	55,5	48,3	42,4	41,6	$\gamma = 0.57839x - 1.2953$
$\exp((B2+B7)/(B1+B7))$	78,4	55,3	51,8	47,2	43,1	$\gamma = 0.63737x - 1.6381$
$\exp((B2+B6)/(B1+B6))$	78,8	55,3	52,1	47,4	43,6	$\gamma = 0.64758x - 1.6636$
$\ln(B5/(B4+B6+B7))$	89,5	55,2	54,4	53,5	55,4	$\gamma = -0.60563x - 0.4049$
$\ln((B5-B7)/B4)$	74,3	55,2	51,9	48,5	49,1	$\gamma = -0.47702x - 0.34921$
$\exp((B2+B6-B5)/B1)$	75,1	55,1	47,6	42,9	41,8	$\gamma = 0.51773x - 1.1234$
$\exp((B2+B3+B2)/B1)$	77,8	55,1	54,8	51,0	42,6	$\gamma = 0.011113x - 0.06468$
$\exp((B2+B5)/(B1+B5))$	77,9	55,0	51,7	46,7	44,0	$\gamma = 0.70217x - 1.8111$

Πίνακας 35: Αποτελέσματα για τα ορθοφωσφορικά ανιόντα.

Περιοχή: Ατλαντικός Ωκεανός

X	dt = 0 n = 9	dt = 1 n = 37	dt = 2 n = 60	dt = 3 n = 85	dt = 4 n = 104	dt = 5 n = 115
	0,1-1,0 μmolP/l	0,1-1,3 μmolP/l				
$\exp((B2+B3)/(B1+B5))$	85,5	69,4	65,6	60,5	53,5	50,2
$\exp((B2+B3-B5)/B1)$	82,7	68,2	65,2	60,4	50,7	44,0
$\exp((B2+B3)/(B1+B6))$	81,3	65,3	64,0	59,0	48,3	45,9
$\exp(B3/(B1+2*B5))$	84,8	68,2	63,7	59,3	52,2	49,2
$\exp(B3to(B1+B5))$	81,6	67,0	63,5	59,0	49,5	44,4
$\exp(B3/(B1+B5+B6))$	82,8	66,6	63,2	58,8	49,8	47,2
$\exp((B3-B5)/(B1+B5))$	85,5	67,7	63,1	59,0	52,1	48,8
$\exp((B2+B3)/(B1+B7))$	80,7	64,1	63,0	58,1	47,0	44,4
$\exp((B3-B5)/(B1+B6))$	83,9	66,3	62,9	58,9	49,8	46,9
$\exp(B3/(B1+B5+B7))$	82,5	66,2	62,8	58,6	49,4	46,8
$\exp((B2+B3-B6)/B1)$	79,9	64,2	62,7	56,9	46,5	39,4
$\exp((B3-B5)/(B1+B7))$	83,6	65,9	62,5	58,6	49,3	46,3

Πίνακας 36: Αποτελέσματα για τα ορθοφωσφορικά ιόντα.
Σταθμοί μεγάλου βάθους

X	dt=0 n=10	dt=1 n=31	dt=2 n=50	dt=3 n=65	dt=6 n=79	dt=10 n=101	PO43 = aX + b (dt = 1)
	0,1–1,0 μmolP/l	0,1-1,3 μmolP/l					
$\exp((B3+B7)/(B1+B5))$	84,8	71,6	66,4	63,5	59,1	56,3	$\gamma = 0.2658x - 0.45183$
$\exp(B3to(B1+B5))$	83,1	71,3	69,0	66,4	61,8	60,5	$\gamma = 0.24205x - 0.29779$
$\exp((B2+B3)/(B1+B5))$	86,3	71,0	68,8	65,1	60,2	60,5	$\gamma = 0.060391x - 0.077499$
$\exp((B2+B3-B5)/B1)$	85,5	70,9	69,1	66,4	62,6	61,1	$\gamma = 0.040879x - 0.023331$
$\exp(B3/(B1+B5+B7))$	82,8	70,6	68,6	65,8	60,6	60,9	$\gamma = 0.24934x - 0.26648$
$\exp(B3/(B1+B7+B5))$	82,8	70,6	68,6	65,8	60,6	60,9	$\gamma = 0.24934x - 0.26648$
$\exp(B3/(B5+B7+B1))$	82,8	70,6	68,6	65,8	60,6	60,9	$\gamma = 0.24934x - 0.26648$
$\exp(B3/(B1+B5+B6))$	83,1	70,5	68,5	65,6	60,2	60,7	$\gamma = 0.25423x - 0.26682$
$\exp(B3/(B1+B6+B5))$	83,1	70,5	68,5	65,6	60,2	60,7	$\gamma = 0.25423x - 0.26682$
$\exp(B3/(B5+B6+B1))$	83,1	70,5	68,5	65,6	60,2	60,7	$\gamma = 0.25423x - 0.26682$
$(B2+B4)/(B1+B5)$	85,8	70,1	68,8	69,1	67,6	65,2	$\gamma = 0.63263x - 0.52396$

Συνοψίζοντας, παρατηρούνται τα εξής:

- Το γραμμικό μοντέλο $\exp((B2+B3)/(B1+B5))$ συμμετέχει σε όλες τις περιπτώσεις με δυνατές συσχετίσεις.
- τα κανάλια B1, B3 και B5 εμφανίζονται με πολύ μεγάλη συχνότητα, ιδιαιτέρως το B1.
- το κανάλι B4 συμμετέχει ελάχιστα, ιδιαιτέρως στην τρίτη περίπτωση των σταθμών μεγάλου βάθους, όπου δεν εμφανίζεται σε κανένα μοντέλο.

5.7 Σύγκριση Αποτελεσμάτων με τους Δείκτες της Βιβλιογραφίας

Στην τελευταία ενότητα του κεφαλαίου παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την εφαρμογή των προτεινόμενων δεικτών της βιβλιογραφίας στα δεδομένα της παρούσας εργασίας. Οι δείκτες περιλαμβάνονται στην Παρ. 3.2 (Πίνακας 4 και Πίνακας 6).

Η σύγκριση πραγματοποιήθηκε για τα δεδομένα της χλωροφύλλης-α και του δίσκου Secchi, καθώς είναι οι μόνες παράμετροι που έχουν μελετηθεί σε παλαιότερες εφαρμογές. Οι μέθοδοι παλινδρόμησης που έχουν χρησιμοποιηθεί στη βιβλιογραφία είναι η απλή γραμμική (*Simple Linear Regression - SLR*), η πολλαπλή γραμμική (*Multiple Linear Regression - MLR*), η λογαριθμική-γραμμική (*Log-Transformed Linear Regression - LT-LR*) και η πολλαπλή λογαριθμική-γραμμική παλινδρόμηση (*Log-linear Regression / Log-Transformed Multiple Linear Regression - LT-MLR*).

5.7.1 Εφαρμογή και σύγκριση δεικτών χλωροφύλλης-α

Οι προτεινόμενοι δείκτες εφαρμόστηκαν για το απλό και το λογαριθμικό μοντέλο. Ως ανεξάρτητες μεταβλητές ορίστηκαν αρχικά όλα τα δεδομένα και στη συνέχεια ομαδοποιήθηκαν σύμφωνα με τις κατηγορίες της παραγράφου 5.1 (χαμηλές/ μεσαίες/ υψηλές συγκεντρώσεις, Νότια Γαλλία, Βορειοδυτική Ισπανία, κόλποι, βαθιά σημεία).

Από τις παραπάνω ομάδες έδωσαν ικανοποιητικά αποτελέσματα ($R^2 > 50\%$) η ομάδα μεσαίων και υψηλών συγκεντρώσεων, η περιοχή της Ν. Γαλλίας και η περιοχή της Βορειοδυτικής Ισπανίας. Η τελευταία περιοχή έδωσε αποτελέσματα μόνο για το λογαριθμικό-γραμμικό μοντέλο. Τα αποτελέσματα για κάθε ομάδα παρουσιάζονται στους Πίνακες 37 και 40. Όλοι οι δείκτες που συσχετίστηκαν αφορούν μοντέλα πολλαπλής παλινδρόμησης. Ο συνδυασμός των καναλιών R440, R480, R560 των Zhang & Han (2015) έδωσε τις πιο ισχυρές συσχετίσεις. Το λογαριθμικό-γραμμικό μοντέλο έδωσε συσχέτιση 96% (n=9) για την ομάδα υψηλών συγκεντρώσεων, ενώ το απλό γραμμικό έδωσε 82% (n=15) για την περιοχή της Νότιας Ισπανίας. Οι δείκτες των Pattiaratchi et al (1994) έδωσαν καλύτερα αποτελέσματα από αυτά της δικής τους έρευνας (59% και 53%, n=39), όπως και για την ομάδα μεσαίων συγκεντρώσεων, όπου ο συντελεστής προσδιορισμού ισούται με 74% για n=14. Τέλος, ο προτεινόμενος δείκτης των Kabbara (2008) έδωσε χαμηλότερες συσχετίσεις στα δεδομένα της εργασίας σε σχέση με αυτά της βιβλιογραφίας. Οι δείκτες που δεν περιλαμβάνονται στους πίνακες δεν έδωσαν συσχετίσεις ή περιέχουν κανάλια, τα οποία δεν αντιστοιχούν σε κανάλια του Landsat-8.

Πίνακας 37: Σύγκριση συσχετίσεων προτεινόμενων δεικτών προηγούμενων ερευνητικών εργασιών για τη χλωροφύλλη-α για την περιοχή της Νότιας Γαλλίας. 0,01-4,5 $\mu\text{g/l}$, dt = 7 ημέρες

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ			ΠΑΡΟΥΣΑ ΕΡΓΑΣΙΑ	
Reference	Equation / Bands Sensor, Model chl-a range	R^2 , n	Equation / Bands Landsat OLI	$R^2(\%)$ n = 42
Zhang & Han, 2015	R440, R480, R560 Landsat OLI, MLR, 1.6-3.0 $\mu\text{g/l}$	$R^2 = 0.91$ n = 6	R440, R480, R560	$R^2 = 0,27$ MLR $R^2 = 0,53$ LT-MLR

Πίνακας 38: Σύγκριση συσχετίσεων προτεινόμενων δεικτών προηγούμενων ερευνητικών εργασιών για τη χλωροφύλλη-α για την περιοχή της ΒΔ Ισπανίας, 0,2-10,6 µg/l, dt = 2 ημέρες.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ			ΠΑΡΟΥΣΑ ΕΡΓΑΣΙΑ	
Reference	Equation / Bands Sensor, Model chl-a range	R ² , n	Equation / Bands Landsat OLI	R ² (%) n = 14
Zhang & Han, 2015	R440, R480, R560 Landsat OLI, MLR, 1.6-3.0 µg/l	R ² = 0.91 n = 6	R440, R480, R560	R ² = 0,62 LT-MLR
Pattiaratchi et al., 1994	R485, R660 Landsat TM, MLR, 0.2-2.7 µg/l	R ² = 0.59 n = 39	R480, R655	R ² = 0,57 LT-MLR

Πίνακας 39: Σύγκριση συσχετίσεων προτεινόμενων δεικτών προηγούμενων ερευνητικών εργασιών για τη χλωροφύλλη-α για την ομάδα μεσαίων συγκεντρώσεων, 4 -10 µg/l, dt = 2 ημέρες

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ			ΠΑΡΟΥΣΑ ΕΡΓΑΣΙΑ	
Reference	Equation / Bands Sensor, Model chl-a range	R ² , n	Equation / Bands Landsat OLI	R ² (%) n = 14
Zhang & Han, 2015	R440, R480, R560 Landsat OLI, MLR, 1.6-3.0 µg/l	R ² = 0.91 n = 6	R440, R480, R560	R ² = 0,61 MLR
				R ² = 0,64 LT-MLR
Pattiaratchi et al., 1994	R485, R660 Landsat TM, MLR, 0.2-2.7 µg/l	R ² = 0.59 n = 39	R480, R655	R ² = 0,68 MLR
				R ² = 0,74 LT-MLR
Pattiaratchi et al., 1994	R560, R560/R660 Landsat TM, LT-MLR, 0.2-2.7 µg/l	R ² = 0.53 n = 39	R560, R560/R655	R ² = 0,57 MLR
				R ² = 0,63 LT-MLR
Kabbara et al, 2008	ln(R485), ln(R560) Landsat ETM+, LT-MLR, 0.3-3.1 µg/l	R ² = 0.72 n=34	ln(R480), ln(R560)	R ² = 0,56 MLR
				R ² = 0,61 LT-MLR

Πίνακας 40: Σύγκριση συσχετίσεων προτεινόμενων δεικτών προηγούμενων ερευνητικών εργασιών για τη χλωροφύλλη-α για την ομάδα υψηλών συγκεντρώσεων. 10-20 µg/l, dt = 8 ημέρες

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ			ΠΑΡΟΥΣΑ ΕΡΓΑΣΙΑ	
Reference	Equation / Bands Sensor, Model chl-a range	R ² , n	Equation / Bands <i>Landsat OLI</i>	R ² (%) n = 9
Zhang & Han, 2015	R440, R480, R560 Landsat OLI, MLR, 1.6-3.0 µg/l	R ² = 0.91 n = 6	R440, R480, R560	R ² = 0,73 p-val >0,05 MLR
				R ² = 0,96 LT -MLR
Pattiaratchi et al., 1994	R485, R660 Landsat TM, MLR, 0.2-2.7 µg/l	R ² = 0.59 n =39	R480, R655	R ² = 0,69 MLR
				R ² = 0,67 p-val > 0,05 LT -MLR
Pattiaratchi et al., 1994	R560, R560/R660 Landsat TM, LT-MLR, 0.2-2.7 µg/l	R ² = 0.53 n =39	R560, R560/R655	R ² = 0,70 MLR
				R ² = 0,68 p-val > 0,05 LT -MLR
Kabbara et al, 2008	ln(R485), ln(R560) Landsat ETM+, LT-MLR, 0.3-3.1 µg/l	R ² = 0.72 n = 34	ln(R480), ln(R560)	R ² = 0,55 p-val > 0,05 MLR
				R ² = 0,55 p-val > 0,05 LT -MLR

5.7.2 Εφαρμογή και σύγκριση δεικτών βάθους Secchi

Το πλήθος των προτεινόμενων δεικτών είναι περιορισμένο, όπως προκύπτει από τον Πίνακα 4. Συσχετίσεις έδωσε μόνο το πολλαπλό μοντέλο των Kabbara et al (2008) με μεταβλητές $Ln(R485)$ και $Ln(R560)$. Το συγκεκριμένο μοντέλο έδωσε καλύτερες συσχετίσεις από την προηγούμενη εφαρμογή της βιβλιογραφίας, η οποία ισούται με 56%. Για την περιοχή της Μεσογείου το απλό γραμμικό μοντέλο έδωσε συσχέτιση 67% (n = 17), ενώ για όλα τα δεδομένα έδωσε 56% (n = 14). Οι υπόλοιποι προτεινόμενοι δείκτες δεν έδωσαν συσχετίσεις ($R^2 < 40\%$).

Πίνακας 41: Σύγκριση συσχετίσεων προτεινόμενων δεικτών προηγούμενων ερευνητικών εργασιών με τα δεδομένα της περιοχής μελέτης.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ			ΠΑΡΟΥΣΑ ΕΡΓΑΣΙΑ		
Reference	Equation / Bands Sensor, Model SD range	R ² , n	Equation / Bands	Περιοχή Εφαρμογής	R ² , n
Kabbara et al, 2008	Ln(R485), Ln(R560) Landsat ETM+, LT-MLR, 2-11 μ	R ² = 0,54 n = 35	ln(R480), ln(R560)	όλα τα δεδομένα dt = 1, n = 14 2-15 μ	R ² = 0,56 MLR
					R ² = 0,58 LT -MLR
				Μεσόγειος dt = 6, n = 17 1-10 μ	R ² = 0,67 MLR
					R ² = 0,62 LT -MLR

6. Συμπεράσματα και Προτάσεις

Τα πολλαπλά πειραματικά αποτελέσματα είναι ελπιδοφόρα και συμφωνούν σε γενικές γραμμές με την σχετική βιβλιογραφία. Συγκεκριμένα, για την χλωροφύλλη-α επιτεύχθηκαν συσχετίσεις τόσο για συγκεντρώσεις μεταξύ 4-10 $\mu\text{g/l}$ ($R^2 = 71\%$) όσο και για συγκεντρώσεις μεταξύ 10-20 $\mu\text{g/l}$ ($R^2 = 92\%$). Οι συγκεντρώσεις αμμωνίου συσχετίστηκαν με ταυτόχρονες δορυφορικές και μετρήσεις πεδίου με R^2 κοντά στο 70%. Το βάθος του δίσκου Secchi έδωσε ισχυρές συσχετίσεις ($R^2 = 92\%$) για μεγάλο εύρος τιμών (2m-16m). Αντιθέτως, η ηλεκτρική αγωγιμότητα συσχετίστηκε με R^2 περίπου 67% και σε βάθος 10 ημερών μόνο στους ισπανικούς σταθμούς στον Ατλαντικό Ωκεανό. Τις μικρότερες συσχετίσεις έδωσε το διαλυμένο οξυγόνο, όπου ο δείκτης R^2 δεν ξεπέρασε το 62% για χρονική διαφορά 2 ημερών. Οι συγκεντρώσεις ορθοφωσφορικών ανιόντων έδωσαν ικανοποιητικές συσχετίσεις έως και 80%.

Συμπερασματικά με πολλαπλές διαχρονικές πολυφασματικές τηλεπισκοπικές παρατηρήσεις και αντίστοιχες μετρήσεις πεδίου είναι εφικτό να εκτιμηθούν έγκαιρα και για εκτεταμένες χωρικά περιοχές βασικοί δείκτες ποιότητας σε παράκτια ύδατα. Η αύξηση της χρονικής διασποράς μεταξύ των δειγματοληψιών και της λήψης των δορυφορικών δεδομένων μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ως μέσο για την αξιολόγηση των μοντέλων συσχέτισης όταν συνοδεύεται με ικανή αύξηση του πλήθους των μετρήσεων. Σε συγκεκριμένες περιπτώσεις υπήρχαν μοντέλα με ισχυρές συσχετίσεις ακόμα και για χρονικές διαφορές μεγαλύτερες από πέντε μέρες αναδεικνύοντας σημαντικά την αξιοπιστία τους. Επιπλέον:

- ✓ Τα εμπειρικά μοντέλα μπορούν να παρέχουν εκτιμήσεις της ποιότητας των παράκτιων υδάτων με ικανοποιητική ακρίβεια για αρκετούς δείκτες.
- ✓ Εντοπίστηκαν αρκετά σφάλματα στο προϊόν *Landsat-8 Surface Reflectance*, καθώς ορισμένα pixels είχαν διαφορετικό χαρακτηρισμό στις εικόνες *CFmask* και *Cloud QA*.
- ✓ Αποτελέσματα δειγματοληψιών σε κόλπους δεν έδειξαν να συσχετίζονται μεταξύ τους.
- ✓ Η χρήση απλών καναλιών ή λόγων δύο καναλιών συνήθως δεν παρέχει ικανοποιητικά αποτελέσματα.
- ✓ Οι ισχυρότερες συσχετίσεις βρέθηκαν για την χλωροφύλλη-α, το αμμώνιο και το βάθος Secchi.
- ✓ Μέτριες συσχετίσεις έδωσε η ηλεκτρική αγωγιμότητα και τα ορθοφωσφορικά ιόντα.
- ✓ Τα μοντέλα που διερευνήθηκαν δεν μπόρεσαν να συσχετίσουν μετρήσεις για το διαλυμένο οξυγόνο.
- ✓ Για μεγάλη χρονική διαφορά μεταξύ των δορυφορικών λήψεων και των δειγματοληψιών ακόμα και δέκα ημερών, προέκυψαν σε ορισμένες περιπτώσεις συσχετίσεις, σαφώς χαμηλότερης ακρίβειας.

- ✓ Η βάση δεδομένων *ROD (Reporting Obligations Database)* του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Περιβάλλοντος αποτελεί μία σημαντική πηγή δεδομένων επιτρέποντας την άμεση άντληση πληροφοριών οι οποίες μπορεί να μην είναι διαθέσιμες για όλες τις χώρες κράτη-μέλη (π.χ. Ελλάδα).

Ειδικότερα Συμπεράσματα

Μερικά ειδικότερα συμπεράσματα για την εκτίμηση συγκεντρώσεων **χλωροφύλλης** είναι τα εξής:

- ✓ για συγκεντρώσεις χλωροφύλλης-α μεταξύ 4-10 μg/l και 10-20 μg/l προέκυψαν ικανοποιητικές συσχετίσεις για τυχαία σημεία δειγματοληψίας της περιοχής μελέτης.
- ✓ για συγκεντρώσεις μικρότερες των 4 μg/l δεν βρέθηκε κάποιο μοντέλο που να μπορεί ικανοποιητικά να συσχετίσει τις παρατηρήσεις από τα δορυφορικά δεδομένα. Παρόλα αυτά για περιορισμένες γεωγραφικά περιοχές ήταν δυνατή η ανάπτυξη ενός μοντέλου για χαμηλές συγκεντρώσεις, όπως αποδεικνύει η περίπτωση της Νότιας Γαλλίας, όπου οι συγκεντρώσεις κυμαίνονται από 0,1 έως 4,5 μg/l και οι συσχετίσεις έφτασαν το 75,4%. Συμπέρασμα των παραπάνω είναι, πως η έκταση της περιοχής μελέτης δυσχεραίνει κυρίως τον εντοπισμό και συνεπώς τη μοντελοποίηση μόνο των χαμηλών συγκεντρώσεων.
- ✓ φασματικά η περιοχή 0.64μ-0.67μ (κανάλι B4) είναι η πιο συχνά εμφανιζόμενη σε όλα τα μοντέλα.
- ✓ τα περισσότερα μοντέλα περιλαμβάνουν φασματικές περιοχές στα 1.57μ-1.65μ και 2.11μ-2.29μ (κανάλια SWIR B6 ή B7).
- ✓ από τα προτεινόμενα μοντέλα της βιβλιογραφίας έδωσαν αποτελέσματα μόνο αυτά που κάνουν χρήση τουλάχιστον δύο ανεξάρτητων μεταβλητών. Για αυτά τα μοντέλα συμπεραίνεται η καθοριστική σημασία του πλήθους (n) στις συσχετίσεις. Τα μοντέλα των [Zhang & Han \(2015\)](#) για παράδειγμα, δίνουν πολύ μεγάλες συσχετίσεις (>90%) στην έρευνα τους αλλά για πολύ μικρό πλήθος συνδυασμών (n=6), άρα η πληροφορία αυτή δεν ήταν εξ αρχής ιδιαίτερα αξιόπιστη. Εν αντιθέσει, τα μοντέλα των [Pattiaratchi et al \(1994\)](#) έδωσαν συσχετίσεις μέχρι 72% χρησιμοποιώντας 30-40 σημεία για την ανάπτυξη τους και στην παρούσα εργασία οι συσχετίσεις κυμάνθηκαν στα ίδια επίπεδα.

Όσον αφορά το **αμμώνιο** συμπεραίνονται τα εξής:

- ✓ για συγκεντρώσεις από 0,7 έως 10,7 μmolN/l σε όλη την περιοχή μελέτης οι συσχετίσεις έφτασαν έως 70% για ταυτόχρονες δειγματοληψίες και δορυφορικές μετρήσεις.
- ✓ σε γεωγραφικά πιο περιορισμένες περιοχές υπήρξαν ισχυρές συσχετίσεις και για μεγαλύτερες χρονικές διαφορές.
- ✓ σε όλα τα μοντέλα έντονη είναι η παρουσία από συνδυασμούς φασματικών καναλιών μεταξύ 0.64μ και 2.29μ.

Για το **βάθος του Secchi** προκύπτουν τα παρακάτω:

- ✓ μπορεί να εφαρμοστεί ένα ενιαίο μοντέλο για όλη την Ισπανία
- ✓ τα δεδομένα για τη Μεσόγειο και τον Ατλαντικό Ωκεανό έδωσαν ακόμα καλύτερα αποτελέσματα και μπορούν να χρησιμοποιηθούν ξεχωριστά για μεγαλύτερη ακρίβεια.
- ✓ Φασματικά η περιοχή 0.53μ-0.59μ (κανάλι B3) συμμετείχε σε όλα τα μοντέλα με ισχυρές συσχετίσεις.

Τα **ορθοφωσφορικά ανιόντα**:

- ✓ έδωσαν ισχυρές συσχετίσεις για μετρήσεις ίδιας ημέρας
- ✓ παρομοίως για σταθμούς του Ατλαντικού Ωκεανού και δειγματοληψίες μεγάλου βάθους.
- ✓ έδειξαν μεγάλη ευαισθησία στη μεταβολή της χρονικής περιόδου παρατήρησης και στη βαθυμετρία αλλά όχι στην έκταση της περιοχής μελέτης.

Η **ηλεκτρική αγωγιμότητα** έδωσε συσχετίσεις έως 82,5% μόνο για τα δεδομένα του Ατλαντικού Ωκεανού. Τα μοντέλα συνεχίζουν να συσχετίζονται με $R^2 > 60\%$ για χρονική απόσταση δέκα ημερών σε αντίθεση με τη γενική περίπτωση, όπου οι συσχετίσεις μειώθηκαν από 60% σε 30% για $dt=1$ ημέρα και $dt=2$ ημέρες, αντίστοιχα. Επομένως, η ηλεκτρική αγωγιμότητα δείχνει να επηρεάζεται αρκετά από την έκταση της περιοχής μελέτης. Το **διαλυμένο οξυγόνο** έδωσε μέτριες συσχετίσεις και μόνο υπό συγκεκριμένες συνθήκες.

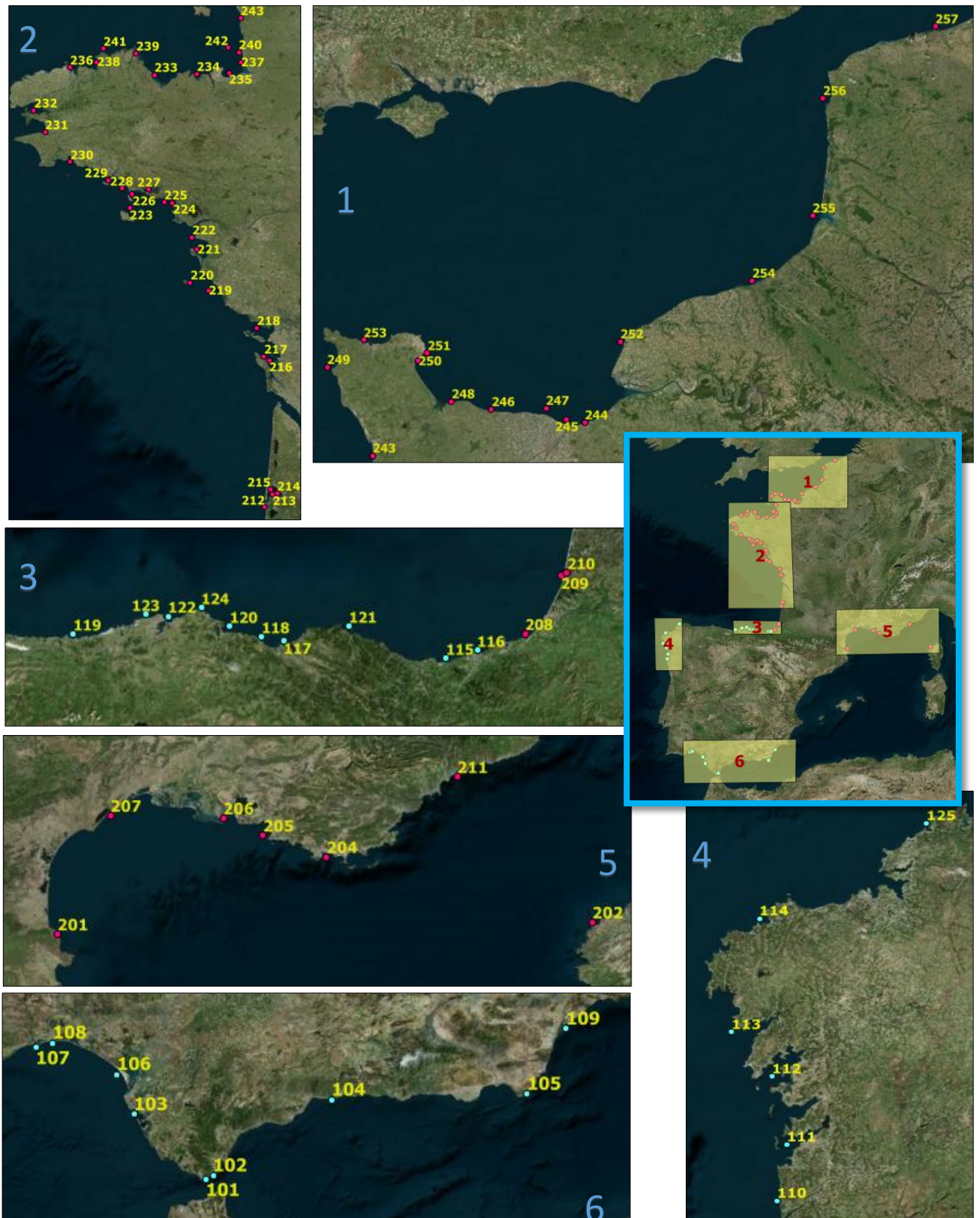
Προτάσεις

Με τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας και την περαιτέρω αξιολόγησή τους σε περισσότερα έτη μπορεί να συστηματοποιηθεί η αξιοποίηση των τηλεπισκοπικών δεδομένων για την ακριβή εκτίμηση της περιβαλλοντικής κατάστασης των παράκτιων υδάτων. Επίσης σε συνδυασμό με τα αποτελέσματα της βιβλιογραφίας ακολουθούν παρακάτω ορισμένες προτάσεις για μελλοντική έρευνα:

- επανάληψη των υπολογισμών με νέα έκδοση του προϊόντος “*Landsat 8 Surface Reflectance Product*”, ώστε να ελεγχθεί η ορθότητα του.
- έλεγχος της επαναληψιμότητας των δεδομένων με νέα δεδομένα για δειγματοληψίες του 2014-2015.
- εφαρμογή περισσότερων μεθόδων παλινδρόμησης, όπως η απλή γραμμική πολλαπλή παλινδρόμηση και η λογαριθμική-γραμμική πολλαπλή παλινδρόμηση.

- διερεύνηση των δεδομένων βάσει εποχικής περιόδου
- ανάλυση περισσότερων ποιοτικών δεικτών, όπως τα αιωρούμενα στερεά, το pH, τα νιτρώδη, τα νιτρικά, το BOD κτλ.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ



Εικόνα 35: Κατανομή σταθμών στην περιοχή μελέτης.

Πίνακας 42: Στοιχεία σταθμών.

ID _{ΕΡΓΑΣΙΑ}	ID _{WFD}	Γεωγραφικό Μήκος λ (°)	Γεωγραφικό Πλάτος φ (°)	Χ _{UTM} (m)	Υ _{UTM} (m)	Ζώνη UTM	Βαθύ Σημείο	Κόλπος	Ατλαντικός/ Μεσόγειος
101	62C1152	-5,552820	36,017000	269946,11	3988848,82	30	YES	NO	M
102	61C0010	-5,475940	36,045780	276956,93	3991862,95	30	YES	NO	M
103	62C2020	-6,329080	36,576080	738986,04	4051167,92	29	YES	YES	M
104	61C0185	-4,198190	36,701630	392972,40	4062442,93	30	YES	NO	M
105	61C0404	-2,092060	36,752890	581046,57	4067844,49	30	YES	NO	M
106	51C0080	-6,508660	36,922480	721914,10	4089172,26	29	YES	NO	M
107	40C0010	-7,384460	37,157040	643453,43	4113515,30	29	YES	NO	M
108	62C0010	-7,203040	37,192160	659490,29	4117701,79	29	YES	NO	M
109	61C0445	-1,671950	37,312160	617682,68	4130329,01	30	YES	NO	M
110	CW-02-10	-8,903580	41,953070	507991,14	4644570,16	29	YES	NO	A
111	CW-03-10	-8,850000	42,213340	512381,06	4673474,45	29	YES	NO	A
112	CW-09-10	-8,932460	42,527130	505547,10	4708307,77	29	NO	YES	A
113	CW-11-10	-9,153870	42,730980	487403,73	4730952,76	29	YES	NO	A
114	CW-14-10	-9,001950	43,250210	499841,71	4788600,80	29	YES	NO	A
115	L-O10	-2,135620	43,305410	570104,40	4795093,68	30	YES	NO	A
116	L-UR ² 0	-1,954780	43,338910	584724,71	4798981,70	30	YES	NO	A
117	L-N10	-3,081980	43,382570	493359,55	4803303,23	30	YES	NO	A
118	AB-AC20	-3,209960	43,396660	482997,00	4804886,15	30	YES	NO	A
119	A-AC03	-4,306420	43,408040	394222,67	4806957,34	30	YES	NO	A
120	AB-AC16	-3,395580	43,440070	467987,97	4809761,69	30	YES	NO	A
121	L-OK10	-2,701630	43,440910	524145,04	4809822,22	30	YES	NO	A
122	AB-AC10	-3,755160	43,483150	438932,53	4814747,00	30	YES	NO	A
123	AB-AC08	-3,885155	43,490360	428428,70	4815651,29	30	YES	NO	A
124	AB-AC13	-3,561760	43,518880	454599,01	4818591,42	30	YES	NO	A
125	CW-18-10	-8,083850	43,681520	573843,42	4836908,72	29	YES	NO	A
201	36080002	3,145000	42,488333	511916,28	4704007,81	31	YES	NO	M
202	42118007	8,725501	42,580501	477474,40	4714268,32	32	YES	NO	M
203	40103006	6,419668	43,014832	289726,94	4765693,09	32	YES	NO	M
204	40100011	5,954667	43,078999	740528,61	4773825,46	31	YES	NO	M
205	39096013	5,291666	43,241666	686059,34	4790201,83	31	YES	NO	M
206	38094108	4,874729	43,372649	651880,96	4803904,86	31	NO	YES	M
207	37088003	3,698872	43,392304	556600,26	4804618,16	31	YES	NO	M
208	35079008	-1,674461	43,410116	607321,72	4807212,32	30	YES	NO	A
209	35079007	-1,466695	43,656390	623639,29	4834852,17	30	YES	NO	A
210	34078006	-1,429712	43,665824	626601,72	4835955,71	30	NO	YES	A
211	41109006	7,315606	43,684012	364239,64	4838156,21	32	YES	NO	M
212	34077059	-1,263744	44,542277	637929,07	4933571,40	30	NO	NO	A
213	34077061	-1,158578	44,673615	645954,16	4948343,45	30	NO	YES	A
214	34077071	-1,099283	44,680217	650636,87	4949184,77	30	NO	YES	A
215	34077067	-1,183746	44,719282	643846,14	4953371,49	30	NO	YES	A

Πίνακας 42: Στοιχεία σταθμών (συνέχεια).

ID _{ΕΡΓΑΣΙΑ}	ID _{WFD}	Γεωγραφικό Μήκος λ (°)	Γεωγραφικό Πλάτος φ (°)	Χ _{UTM} (m)	Υ _{UTM} (m)	Ζώνη UTM	Βαθύ Σημείο	Κόλπος	Ατλαντικός/ Μεσόγειος
216	32071002	-1,208441	45,968643	638802,19	5092124,02	30	NO	YES	A
217	31067009	-1,277883	46,005947	633332,55	5096149,97	30	YES	YES	A
218	30065019	-1,376951	46,278149	625044,49	5126232,66	30	YES	YES	A
219	29063017	-2,040599	46,632903	573436,89	5164818,26	30	YES	NO	A
220	29062005	-2,293629	46,710655	553991,41	5173253,33	30	YES	NO	A
221	28061064	-2,199438	47,019077	560841,38	5207595,04	30	YES	YES	A
222	28060045	-2,267770	47,134749	555527,98	5220398,53	30	YES	YES	A
223	25048005	-3,133189	47,403454	489950,71	5250008,67	30	YES	NO	A
224	27057005	-2,538268	47,457596	534802,58	5256120,46	30	YES	YES	A
225	27057064	-2,656583	47,460067	525883,48	5256348,96	30	YES	YES	A
226	25049001	-3,093748	47,534765	492944,18	5264597,65	30	YES	YES	A
227	26054003	-2,863921	47,579597	510233,08	5269584,87	30	NO	YES	A
228	24046010	-3,241081	47,588262	481873,82	5270567,06	30	YES	NO	A
229	23045516	-3,428251	47,666741	467849,23	5279349,77	30	YES	NO	A
230	21043016	-3,949922	47,833406	428912,58	5298221,06	30	YES	NO	A
231	19039017	-4,298194	48,109910	403367,32	5329331,40	30	YES	YES	A
232	18038012	-4,448520	48,309405	392595,91	5351704,17	30	YES	YES	A
233	13028012	-2,790715	48,635213	515419,11	5386926,57	30	YES	NO	A
234	12025037	-2,207224	48,643034	558398,65	5388078,07	30	YES	NO	A
235	10023001	-1,764511	48,652704	590992,52	5389586,25	30	YES	YES	A
236	16033058	-3,953362	48,700559	429852,05	5394607,68	30	NO	NO	A
237	10023049	-1,595834	48,746332	603223,49	5400208,39	30	YES	NO	A
238	15032028	-3,581689	48,750719	457241,97	5399908,19	30	YES	NO	A
239	14029050	-3,041866	48,828709	496927,33	5408415,30	30	NO	NO	A
240	9021011	-1,629187	48,840709	600582,82	5410654,43	30	YES	NO	A
241	15032029	-3,494027	48,870718	463772,25	5413201,92	30	NO	NO	A
242	10022001	-1,769357	48,877542	590231,86	5414572,90	30	NO	NO	A
243	9020004	-1,601028	49,147385	602020,65	5444782,21	30	YES	NO	A
244	6012008	-0,117003	49,298406	709593,95	5464628,24	30	YES	NO	A
245	6012001	-0,242839	49,310905	700396,00	5465675,92	30	YES	NO	A
246	6013022	-0,768517	49,358900	662034,17	5469749,08	30	YES	NO	A
247	6013005	-0,389010	49,364238	689568,06	5471226,51	30	YES	NO	A
248	7014001	-1,048524	49,394398	641601,34	5473131,71	30	YES	NO	A
249	9018007	-1,919500	49,550000	578155,91	5489160,40	30	YES	NO	A
250	7015031	-1,280500	49,576668	624307,25	5492984,65	30	NO	YES	A
251	7015030	-1,217033	49,612901	628799,74	5497119,44	30	YES	NO	A
252	5010001	0,131659	49,665752	293026,68	5505419,27	31	YES	NO	A
253	8017020	-1,664167	49,671501	596384,57	5502964,37	30	YES	NO	A
254	4007015	1,052837	49,939937	360283,35	5533770,02	31	YES	NO	A
255	3006001	1,474505	50,231283	391199,91	5565459,74	31	YES	NO	A
256	2003002	1,548658	50,753132	397622,63	5623377,08	31	YES	NO	A
257	1001022	2,333499	51,068650	453301,19	5657670,38	31	YES	NO	A

ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΟΣ ΚΩΔΙΚΑΣ ΓΙΑ ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΩΝ WGS'84 ΣΕ ΟΡΘΟΓΩΝΙΕΣ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ UTM-6 (WGS'84).

```

%% ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΓΙΑ ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ (φ,λ)_WGS'84 ΣΕ (X,Y)_UTM
%Το αρχικό excel έχει τρεις στήλες.
%1η: ID του σταθμού. Το ID πρέπει να είναι αριθμός!!!
%2η: γεωγραφικό μήκος (degrees)
%3η: γεωγραφικό πλάτος(degrees)
%Το τελικό excel έχει έξι στήλες:
%1η: ID του σταθμού
%2η: γεωγραφικό μήκος (degrees)
%3η: γεωγραφικό πλάτος σε (degrees)
%4η: X(m)
%5η: Y(m)
%6η: Ζώνη UTM

clear
clc

%% 1. ΣΤΟΙΧΕΙΑ WGS'84
a = 6378137; %μεγάλος ημιάξονας
b = 6356752.3142; %μικρός ημιάξονας
f = (a-b)/a; %επιπλάτυση
e = sqrt( (a^2-b^2)/a^2 ); %πρώτη εκκενρότητα
ee2 = (a^2-b^2)/b^2 ; %δεύτερη εκκενρότητα (στο τετράγωνο)
%%

%% 2. ΔΕΔΟΜΕΝΑ-ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ ΣΤΟ WGS'84
%open 'stations.xls'
data = xlsread ('stations.xls');
l = length(data); %πλήθος σημείων
lon = data(:,2)*pi()/180; %Γεωγραφικό μήκος (rad)
lat = data(:,3)*pi()/180; %Γεωγραφικό πλάτος (rad)
zone = ceil( (data(:,2)+180)/6 ); %Ζώνη UTM
%%

%% 3. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΚΑΡΤΕΣΙΑΝΩΝ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΩΝ
k = 0.9996;
T = (tan(lat)).^2;
C = ee2*(cos(lat)).^2;
dlon = lon-(6*zone-183)*pi()/180;
A = dlon .* cos(lat);
M0 = 1-e^2/4-3*e^4/64-5*e^6/256;
M2 = 3*e^2/8+3*e^4/32+45*e^6/1024;
M4 = 15*e^4/256+45*e^6/1024;
M6 = 35*e^6/3072;
M = a*( M0*lat-M2*sin(2*lat)+M4*sin(4*lat)-M6*sin(6*lat) );
R = a*(1-e^2)./(1-e^2*(sin(lat)).^2).^ (3/2);
N = a ./ ( sqrt( 1-e^2*( sin(lat)).^2) );

x = 500000*ones(l,1)+k*N.*(A +(ones(l,1)-T+C) .*A.^3/6+(5*ones(l,1)-
18*T+T.^2+72*C-58*ee2*ones(l,1)).*A.^5/120);
y = k*(M+N.*tan(lat) .* (A.^2/2+A.^4/24.*(5*ones(l,1)-
T+9*C+4*C.^2)+A.^6/720.*(61*ones(l,1)-58*T+T.^2+600*C-
330*ee2*ones(l,1))));

```

```

for i=1:l
    if lat<0
        y(i) = y(i)+10000000;
    end
end
%%

%%4. ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΟΡΘΟΓΩΝΙΩΝ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΩΝ
EXC = cell(1+1,6);
EXC(1,:) = {'STATION_ID','LON','LAT','X','Y','UTM_ZONE'};
K = [data(:,1),data(:,2),data(:,3),x,y,zone];
EXC(2:(1+1),:) = mat2cell(K,ones(1,1),ones(6,1));
xlswrite('stations_xy',EXC)
winopen ('stations_xy.xls');
%%

```

ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΟΣ ΚΩΔΙΚΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΤΛΗΣΗ ΤΩΝ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΩΝ ΤΩΝ ΓΩΝΙΑΚΩΝ PIXELS ΚΑΙ ΤΗΣ ΖΩΝΗΣ UTM

```

% Οι εικόνες βρίσκονται στον current folder σε μορφή path_row/day
%(π.χ. 195_030/316)

clear all; close all; warning off; clc; %#ok<WNOFF>
%% Add paths
p = genpath(pwd); addpath(p);

%%
dirinfo = dir();
dirinfo(~[dirinfo.isdir]) = [];
dirinfo = dirinfo(3:end-1);

i=0;
for K = 1 : length(dirinfo)
    thisdir1 = dirinfo(K).name;
    dirinfo2 = dir(thisdir1);
    dirinfo2(~[dirinfo2.isdir]) = [];
    dirinfo2 = dirinfo2(3:end,:);
    for L = 1 : length(dirinfo2)
        i=i+1;
        thisdir2 = dirinfo2(L).name;
        res = ls(fullfile([thisdir1,'\ ',thisdir2,'\*.xml']));
        xmlnames(i,:) = res; %#ok<SAGROW>
    end
end

end

C = double(xmlnames); %Αυτός ο πίνακας έχει σε κάθε στήλη το γράμμα του
ονόματος του .xml σε μορφή double
DIM = cell(length(xmlnames)+1,7); %Ο πίνακας που θα εμπεριέχει το ID &
τις διαστάσεις της κάθε φωτογραφίας
DIM(1,:) = {'SCENE_ID','Xmin','Xmax','Ymin','Ymax','DayOfYear','Zone'};
%Όνομα της κάθε στήλης
D = char(C);
xlswrite('xmls.xls',D);

% VERS = cell(length(xmlnames),2);
for i = 1:length(xmlnames)

```



```

%     path = char([C(i,4),C(i,5),C(i,6)]);
%     row = char([C(i,7),C(i,8),C(i,9)]);

thisxml = xmlread(xmlnames(i,:));

%ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ UTM (X,Y) ΤΩΝ ΓΩΝΙΩΝ (WGS'84)
labels_corner_point = thisxml.getElementsByTagName('corner_point');

items_corner_point = labels_corner_point.item(0);
xUL = items_corner_point.getAttribute('x');
yUL = items_corner_point.getAttribute('y');

items_corner_point = labels_corner_point.item(1);
xLR = items_corner_point.getAttribute('x');
yLR = items_corner_point.getAttribute('y');

labels_zone_code = thisxml.getElementsByTagName('zone_code');
zone = labels_zone_code.item(0);
z = zone.getFirstChild.getData;
z = str2double(char(z));
%Μετατροπή συντεταγμένων από μορφή java.lang.String σε double
xmin = str2double(char(xUL));
ymax = str2double(char(yUL));
xmax = str2double(char(xLR));
ymin = str2double(char(yLR));

% %Ελεγχος έκδοσης αλγορίθμων cf_mask & sr_cloud
% labels_app_version = thisxml.getElementsByTagName('app_version');
% cloud = labels_app_version.item(7);
% v_cloud = cloud.getFirstChild.getData;
% VERS(i,1) = {char(v_cloud)};
%
% mask = labels_app_version.item(8);
% v_mask = cloud.getFirstChild.getData;
% VERS(i,2) = {char(v_mask)};

%%
id =
char([C(i,4),C(i,5),C(i,6),double('_'),C(i,7),C(i,8),C(i,9),double('_'),C
(i,14),C(i,15),C(i,16)]);
t = char([C(i,14),C(i,15),C(i,16)]);
t=str2double(t);

DIM(i+1,1) = {id};
DIM(i+1,2) = {xmin};
DIM(i+1,3) = {xmax};
DIM(i+1,4) = {ymin};
DIM(i+1,5) = {ymax};
DIM(i+1,6) = {t};
DIM(i+1,7) = {z};
end

xlswrite('scenes_info.xlsx',DIM)
winopen('scenes_info.xlsx')

% xlswrite('check_versions.xlsx',VERS)
% winopen('check_versions.xlsx')

```

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΧΛΩΡΟΦΥΛΛΗΣ-Α

Πίνακας 43: Αποτελέσματα για τη χλωροφύλλη-α με χρήση απλού γραμμικού μοντέλου και λογαριθμικού-γραμμικού μοντέλου. Ομάδα υψηλών συγκεντρώσεων, dt = 9 ημέρες, n = 10

X	R ² (%) n = 10	y = chla = aX+b dt = 9	R ² (%) n = 10	y = ln(chla) = aX+b dt = 9
exp(B4/(B2+B6))	88,2	y = 26.6645x -31.519	84,4	y = 1.7959x -0.45476
exp(B4/(B2+B7))	86,2	y = 25.5433x -31.1728	87,2	y = 1.769x -0.51563
exp(B4/(B1+B6))	84,1	y = 16.0899x -14.6207	77,9	y = 1.0664x + 0.71302
exp(B4/(B1+B7))	83,9	y = 15.5145x -14.6883	80,8	y = 1.0486x + 0.67235
B2+B4-B5	83,5	y = 0.01199x + 5.3278	82,8	y = 0.00082235x + 2.0174
B2+B4-B7	83,4	y = 0.010435x + 4.9301	86,2	y = 0.00073046x + 1.9787
B3+B4-B7	82,6	y = 0.0090384x + 5.6414	85,0	y = 0.00063134x + 2.0296
B3+B4-B6	82,5	y = 0.0091403x + 6.1256	82,2	y = 0.00062811x + 2.0712
B2+B4-B6	81,9	y = 0.0104x + 5.6033	81,5	y = 0.00071451x + 2.0354
B3+B4-B5	81,6	y = 0.010058x + 6.1547	81,0	y = 0.00069012x + 2.0739
B4-B7	81,3	y = 0.021578x + 8.2768	77,5	y = 0.0014504x + 2.2262
B1+B4-B5	79,7	y = 0.013234x + 5.0783	79,8	y = 0.00091151x + 1.998
B1+B4-B7	79,5	y = 0.011273x + 4.7477	83,2	y = 0.00079404x + 1.9623
exp(B4/(B2+B5))	79,4	y = 33.4935x -40.3	78,1	y = 2.2873x -1.0963
ln((B1+B6)/B4)	79,0	y = -16.8231x + 23.693	75,1	y = -1.1294x + 3.2616
(B3+B5-B2)/B7	78,3	y = 1.1848x + 9.9632	69,3	y = 0.076736x + 2.3471
B2+B3-B7	77,7	y = 0.0078696x + 5.5604	77,4	y = 0.00054089x + 2.0323
(B2+B7)/B4	77,3	y = -13.2343x + 37.5232	80,2	y = -0.92794x + 4.2631
(B3+B5-B1)/B7	76,7	y = 0.76278x + 10.732	67,8	y = 0.049358x + 2.397
(B3+B5-B2)/B6	76,6	y = 1.8839x + 9.4963	67,8	y = 0.12204x + 2.3168
exp((B2+B6)/B4)	76,6	y = -1.8795x + 26.8811	76,4	y = -0.12925x + 3.4982
ln((B2+B5+B7)/B4)	76,5	y = -19.1918x + 31.2651	68,4	y = -1.2496x + 3.733
exp((B3-B6)/(B2-B4))	76,4	y = 0.24677x + 9.9715	71,1	y = 0.016395x + 2.3425
ln((B1+B5+B7)/B4)	76,3	y = -15.0871x + 26.8718	68,2	y = -0.98205x + 3.4467
(B3+B6-B2)/B7	76,2	y = 1.8407x + 9.9844	70,6	y = 0.12195x + 2.3439
B1+B4-B6	75,2	y = 0.010838x + 5.741	75,4	y = 0.00074752x + 2.0429

**Πίνακας 44: Αποτελέσματα για χλωροφύλλη-α με χρήση λογαριθμικού-γραμμικού μοντέλου.
Ομάδα μεσαίων συγκεντρώσεων.**

χ	$R^2(\%)$ n=14	$y = \ln(chla) = aX + b$ dt=2	χ	$R^2(\%)$ n=14	$y = \ln(chla) = aX + b$ dt=2
B1+B3-B4	71,2	$\gamma = 0.00069319x + 1.2765$	B1+B6-B5	63,9	$\gamma = 0.0011053x + 1.3103$
B1+B2-B4	70,8	$\gamma = 0.00084811x + 1.2072$	B1+B2+B3	63,7	$\gamma = 0.00024059x + 1.375$
B2+B3-B4	68,6	$\gamma = 0.0006324x + 1.3002$	B2+B5-B7	63,7	$\gamma = 0.00057429x + 1.3862$
B3+B5-B4	67,2	$\gamma = 0.00094217x + 1.3545$	B1+B3	63,5	$\gamma = 0.0003508x + 1.3838$
B1+B2-B5	65,2	$\gamma = 0.00056592x + 1.31$	B1+B5-B7	63,5	$\gamma = 0.00060405x + 1.3846$
B1+B2-B7	64,9	$\gamma = 0.00045577x + 1.3416$	B6-B7	63,5	$\gamma = 0.00903x + 1.4782$
B1+B6-B7	64,7	$\gamma = 0.00076196x + 1.3564$	B1+B7-B6	63,4	$\gamma = 0.00089467x + 1.3419$
B2+B6-B7	64,6	$\gamma = 0.00071149x + 1.3621$	B1+B3-B7	63,4	$\gamma = 0.0003922x + 1.382$
B1+B2+B1	64,4	$\gamma = 0.00026881x + 1.35$	B2+B5-B4	63,2	$\gamma = 0.0012149x + 1.2926$
B1+B2	64,4	$\gamma = 0.00039833x + 1.3511$	B2+B7-B6	63,1	$\gamma = 0.000823x + 1.3511$
B1+B2+B2	64,3	$\gamma = 0.00026208x + 1.3526$	B2+B5-B6	63,1	$\gamma = 0.00060775x + 1.3834$
B1+B2-B6	64,3	$\gamma = 0.00047507x + 1.3387$	B1+B2+B5	63,1	$\gamma = 0.00030286x + 1.379$
B1	64,2	$\gamma = 0.00082382x + 1.3493$	B2+B3+B2	63,1	$\gamma = 0.00023306x + 1.3801$
B1+B3+B1	64,2	$\gamma = 0.00024778x + 1.3708$	B1+B3-B5	63,0	$\gamma = 0.00046865x + 1.3658$
ln(B2-B7)	64,0	$\gamma = 0.40921x - 0.66944$	B1+B2+B6	63,0	$\gamma = 0.00033493x + 1.3694$
B2	64,0	$\gamma = 0.00076395x + 1.3566$	B2+B6-B5	63,0	$\gamma = 0.00099x + 1.328$

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΜΜΩΝΙΟΥ

**Πίνακας 45: Αποτελέσματα για το αμμώνιο με χρήση απλού γραμμικού μοντέλου.
Περιοχή: Βορειοανατολικής Ισπανίας**

X	dt = 2 n = 13	y = NH4 = aX + b dt = 2, n = 13	X	dt = 2 n = 13	y = NH4 = aX + b dt = 2, n = 13
	0-9 μmolN/l			0-9 μmolN/l	
ln(B2-B5)	89,7	$y = -8.0413x + 47.3665$	ln((B2+B5)/(B4-B7))	68,1	$y = 11.4833x - 16.3737$
ln(B2-B4)	86,8	$y = -10.5464x + 60.1193$	ln((B1+B6)/(B4-B7))	68	$y = 10.9381x - 14.2498$
ln(B1-B5)	81,5	$y = -7.0779x + 42.0774$	exp((B1+B7)/(B1+B4))	67,7	$y = 34.6199x - 75.6434$
B3-B5	74,4	$y = -0.040259x + 9.4682$	(B4-B7)/(B1+B4)	67,6	$y = -79.1317x + 17.2541$
ln(B2-B6)	74,3	$y = -8.1376x + 50.0239$	(B4-B7)/(B1+B7)	67,2	$y = -53.7043x + 14.9214$
ln(B3-B4)	73	$y = -7.4282x + 38.4831$	ln((B1+B7)/(B4-B7))	67,1	$y = 11.0211x - 13.9144$
ln((B1+B5)/(B4-B7))	72,4	$y = 11.6081x - 16.4616$	B2-2*B7	66,6	$y = -0.019153x + 7.9737$
B4-B5	71,2	$y = -0.090719x + 6.0917$	B3-B4	65,8	$y = -0.061931x + 10.917$
ln(B1-B4)	69,8	$y = -8.0923x + 46.892$	ln(B2-B7)	65,4	$y = -7.7254x + 48.3907$
ln(B3-B6)	68,2	$y = -6.3968x + 37.4035$	(B4-B6)/(B1+B7)	65,2	$y = -47.1356x + 11.465$

**Πίνακας 46: Αποτελέσματα για το αμμώνιο στην περιοχή της Βορειοανατολικής Ισπανίας-
λογαριθμικό-γραμμικό μοντέλο.**

X	dt = 2 n = 13	dt = 3 n = 14	dt = 5 n = 15	dt = 7 n = 17	dt = 8 n = 18	ln(NH4) = aX + b (dt = 2)
(B4-B5)/(B6-B7)	75,0	66,2	67,0	56,8	51,9	$y = -0.41177x + 1.3485$
ln((B4+B5+B7)/B6)	74,1	64,9	65,4	52,5	50,6	$y = -3.8482x + 6.3556$
ln((B4+B7)/B6)	73,9	64,7	65,1	54,0	51,2	$y = -3.3896x + 4.1247$
ln((B4+B5)/B6)	73,9	65,0	65,4	53,0	50,6	$y = -3.2261x + 4.7592$
ln((B4+B6)/(B6+B7))	73,7	63,9	64,3	52,0	49,2	$y = -3.1016x + 2.3147$
ln(B4/B6)	73,7	65,0	65,4	54,8	51,1	$y = -2.5688x + 2.3486$
(B4+B5+B7)/B6	73,7	63,2	64,3	50,0	49,1	$y = -0.58572x + 3.3981$
ln((B4+B7)/(B6+B7))	73,6	64,0	64,4	52,2	49,5	$y = -3.046x + 2.0463$
(B4-B6)/(B5+B6)	73,6	63,8	64,3	55,4	52,0	$y = -3.1329x + 1.9184$
(B4-B7)/(B5+B6)	73,6	63,5	64,0	55,3	51,6	$y = -3.0691x + 2.1591$
(B4-B6)/(B6-B7)	73,6	65,8	66,8	58,2	55,0	$y = -0.3131x + 1.9935$
ln((B4+B5)/(B6+B7))	73,4	64,1	64,6	51,1	48,8	$y = -2.9079x + 2.7051$
(B4-B7)/B6	73,4	62,6	63,7	51,5	49,9	$y = -0.70423x + 1.7071$
ln(B4to(B6+B7))	73,3	64,3	64,7	53,2	49,7	$y = -2.3603x + 0.87195$
B4to(B5+B6)	73,2	63,2	63,7	54,6	50,7	$y = -3.5855x + 3.4819$
exp((B4-B6)/(B4+B6))	73,1	64,5	64,8	54,2	50,5	$y = -4.3957x + 6.6931$
B4/(B5+B6+B7)	73,0	62,7	63,3	54,0	50,9	$y = -3.8207x + 3.0326$
(B4-B6)/(B5+B7)	73,0	63,0	63,5	54,7	51,3	$y = -2.7897x + 1.8995$
ln((B5+B6)/(B4+B5))	73,0	64,4	64,6	56,5	51,8	$y = 5.4159x + 2.317$
(B4-B6)/B5	73,0	63,8	64,1	56,0	51,2	$y = -2.4246x + 2.1344$

Πίνακας 47: Αποτελέσματα για το αμμώνιο με εφαρμογή απλού γραμμικού μοντέλου.

Περιοχή: κοιλίσκος ΒΔ Γαλλίας, dt = 8 ημέρες, n = 23

X	R ²	X	R ²	X	R ²
$(B4+B5)/(B6-B7)$	75,0	$\exp(B3/(B5+B6+B1))$	65,4	$(B6-B7)/(B4+B5)$	61,7
$(B4+B6)/(B6-B7)$	74,2	$\exp((B2+B3-B6)/B1)$	65,1	$\exp((B2+B7)/(B1+B6))$	61,6
$B4/(B6-B7)$	73,4	$\exp((B1+B3)/(B1+B7))$	64,9	$(B1+B7-B3)/B5$	61,5
$\ln((B4+B5)/(B6-B7))$	72,3	$\exp((B2+B3-B5)/B1)$	64,8	$\exp(B3/(B1+B7))$	61,2
$(B4-B6)/(B6-B7)$	71,9	$\exp(B3/(B1+B5+B7))$	64,8	$\exp((B4+B7)/(B4+B6))$	61,0
$(B1-B3)/(B6-B7)$	71,7	$\exp((B2+B4)/(B1+B5))$	64,4	$\exp((B3-B5)/B1)$	60,9
$(B4-B5)/(B6-B7)$	70,5	$\exp((B3-B6)/(B1+B5))$	64,3	$(B1-B3)/B5$	60,8
$\exp((B2+B3)/(B1+B6))$	70,2	$\exp((B3-B5)/(B1+B6))$	64,3	$\ln((B1+B4)/(B6-B7))$	60,7
$\exp((B2+B3)/(B1+B7))$	68,6	$\exp((B3-B5)/(B1+B7))$	63,8	$\exp(B3/(B1+B5+B5))$	60,7
$\exp(B3/(B1+B6+B6))$	68,4	$\exp((B3-B7)/(B1+B5))$	63,6	$\exp(B2/(B1+B6-B7))$	60,6
$\ln((B6-B7)/B4)$	68,4	$\exp(B3/(B1+B6))$	63,6	$\exp((B3-B6)/B1)$	60,5
$\exp(B3/(B1+B6+B7))$	67,5	$\exp((B2+B3-B7)/B1)$	63,5	$(B6-B7)/(B4+B6)$	60,5
$(B3+B4-B2)/B5$	67,4	$(B3+B4)/(B6-B7)$	62,9	$\exp((B2+B6)/(B1+B6))$	60,4
$\exp((B1+B3)/(B1+B6))$	67,3	$\exp(B3/(B1+B5))$	62,6	$\ln((B3+B5)/(B6-B7))$	60,2
$\exp(B3/(B1+B7+B7))$	66,3	$\exp((B2+B3+B2)/B1)$	62,3	$\exp((B2+B7-B6)/B1)$	60,2
$\exp((B3-B7)/(B1+B6))$	66,3	$(B1+B6-B3)/B5$	62,3	$\exp((B2+B7)/(B1+B7))$	60,0
$\exp((B3-B6)/(B1+B7))$	66,1	$\exp((B2+B3)/(B1+B5))$	62,00	$\ln((B4+B6)/(B4+B7))$	60,0
$\exp(B3/(B1+B5+B6))$	65,4	$(B1+B4-B2)/B5$	61,8	$(B1-B3)/(B5+B6)$	60,0

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΒΑΘΟΥΣ SECCHI

Πίνακας 48: Αποτελέσματα για το βάθος Secchi με χρήση λογαριθμικού-γραμμικού μοντέλου.

X	dt = 0	dt = 1	dt = 2	dt = 3	dt = 4	dt = 7	dt = 10
	n = 5	n = 14	n = 19	n = 23	n = 25	n = 31	n = 33
	2-8 m	2-15 m			1-16 m	1-17 m	
$(B3-B6)/(B1-B7)$	75,8	91,9	84,7	80,6	82,2	80,9	74,6
$(B3+B4-B5)/B1$	77,7	91,8	79,9	76,9	76,2	77,8	73,7
$B3/(B1+B2+B5)$	78,4	91,3	78,7	74,0	73,8	75,1	70,9
$\exp(B3/(B1+B5+B1))$	80,9	91,2	80,7	75,9	74,8	71,7	64,6
$\exp(B3/(B2+B5+B2))$	75,5	90,7	77,5	73,5	74,2	75,7	74,4
$\exp(B3/(B1+B7+B1))$	79,4	90,0	77,1	71,9	72,7	72,1	66,9
$\exp(B3/(B1+B6+B1))$	78,3	89,7	78,1	73,2	73,3	71,8	66,2
$\ln((B1+B2+B5)/B3)$	78,0	89,7	74,2	69,1	69,3	72,6	67,7
$\exp(B3/(B1+B2+B6))$	75,3	89,2	76,0	71,5	72,6	73,7	71,1
$(B3+B4)/(B1+B5)$	79,6	89,1	73,8	69,9	68,7	70,7	66,6
$\exp(B3/(B1+B2+B7))$	76,3	89,0	74,3	69,5	71,5	73,3	71,1
$\ln((B2+B5+B2)/B3)$	73,9	89,0	72,3	68,1	69,0	71,5	69,6
$\ln((B1+B5-B4)/B3)$	78,4	88,8	73,5	69,3	68,6	72,6	68,4
$(B3+B4-B5)/B2$	65,9	88,3	72,6	71,6	72,7	73,9	73,8
$\exp(B3/(B2+B6+B2))$	71,4	87,7	72,5	68,5	70,8	72,0	71,6
$\exp((B3+B7-B5)/B1)$	74,2	87,7	79,5	75,4	75,3	72,1	65,0
$\ln((B1+B6+B1)/B3)$	77,7	87,6	71,4	65,4	66,2	69,6	63,0
$\exp(B3/(B2+B7+B2))$	72,0	87,1	69,8	65,7	69,1	70,7	70,5
$(B3-B6)/(B2-B7)$	58,0	87,0	77,4	73,9	77,7	76,3	75,1
$\ln(B3/(B1+B5))$	75,7	87,0	81,2	78,3	74,2	74,5	62,2
$\ln((B1+B5)/(B3+B4))$	79,6	86,9	68,2	64,2	63,7	68,2	63,5
$\exp((B3+B7-B6)/B1)$	84,9	86,8	73,3	67,2	70,8	71,5	67,9
$\ln((B1+B7+B1)/B3)$	79,3	86,8	69,0	62,7	64,3	68,3	62,3
$B3/(B1+B5-B4)$	78,7	86,7	76,3	73,1	71,8	73,8	70,7
$B3/(B1+B7)$	72,4	86,7	78,6	75,3	73,0	70,9	63,4
$\ln(B2/(B3+B4-B5))$	63,8	86,5	68,0	67,4	68,3	69,2	68,8
$B3/(B2+B5)$	72,9	86,3	81,0	79,3	75,4	74,7	70,1
$\exp(B3/(B1+B4+B1))$	84,0	86,3	72,8	66,3	68,3	69,2	61,9
$\ln((B2+B5)/B3)$	70,6	86,2	80,4	78,7	75,2	75,2	69,7
$\ln((B2+B6+B2)/B3)$	68,7	85,6	66,0	62,0	64,5	65,8	65,0
$\ln(B3/(B2+B5-B4))$	67,4	85,5	66,7	65,1	66,0	68,0	67,9

Πίνακας 49: Αποτελέσματα για το βάθος Secchi με χρήση απλού γραμμικού μοντέλου.

Περιοχή: Μεσόγειος Θάλασσα

X	dt = 0	dt=1	dt=2	dt = 3	dt = 4	dt = 5	dt = 6	SD = aX + b (dt = 6)
	n = 3	n = 7	n = 9	n = 13	n = 14	n = 16	n = 17	
	2-6 m	2-7 m		1-7 m	1-10 m			
$\exp((B3-B6)/(B2-B7))$	94,1	90,5	91,5	93,0	94,1	85,6	87,0	$\gamma = -5.7984x + 17.688$
$\ln((B2-B7)/(B3-B6))$	87,0	90,0	86,3	89,8	90,2	84,7	86,2	$\gamma = 9.4423x + 2.0778$
$\exp((B3-B5)/(B2-B7))$	100,0	86,9	88,4	89,6	89,3	85,2	84,8	$\gamma = -5.8326x + 16.3$
$\ln((B1-B7)/(B3-B6))$	95,5	96,2	87,2	89,8	89,7	82,2	83,2	$\gamma = 7.4512x + 2.9694$
$\exp(B3/(B2+B6+B2))$	99,6	94,7	91,3	92,0	90,8	81,5	83,0	$\gamma = -20.4351x + 35.2588$
$\exp(B3/(B2+B5+B2))$	99,6	94,6	89,6	91,3	89,8	82,4	82,9	$\gamma = -21.3341x + 36.0504$
$\ln((B2+B5)/B3)$	98,6	88,5	87,4	91,3	86,6	82,4	82,6	$\gamma = 10.4552x + 0.4531$
$(B3+B4-B5)/B2$	86,9	78,5	81,3	85,0	85,3	80,4	82,1	$\gamma = -10.8532x + 15.9225$
$\ln((B2+B6)/B3)$	92,1	87,0	88,7	92,3	88,0	80,2	81,7	$\gamma = 10.6562x + 1.2469$
$\exp(B3/(B2+B7))$	97,9	91,8	93,4	95,4	91,1	80,6	81,4	$\gamma = -6.8382x + 19.6697$
$\ln((B2+B7)/B3)$	94,0	91,5	89,8	92,8	89,3	79,4	81,2	$\gamma = 11.0598x + 1.5068$
$(B3-B5)/(B1-B7)$	99,6	90,2	88,7	89,3	88,4	84,2	80,8	$\gamma = -8.5918x + 10.8212$
$\ln((B2+B5+B2)/B3)$	99,8	96,5	83,2	86,1	84,8	79,0	80,8	$\gamma = 11.1696x - 6.3236$
$B3/(B2+B7+B2)$	100,0	92,3	87,6	88,5	88,2	78,8	80,8	$\gamma = -29.8x + 16.8224$
$\exp((B3-B6)/(B1-B7))$	99,0	94,9	94,2	95,7	96,0	85,7	80,6	$\gamma = -3.8809x + 14.0375$
$\exp(B3/(B2+B6))$	97,2	90,3	92,8	94,9	89,3	80,4	80,6	$\gamma = -6.8795x + 19.3996$
$\ln((B1-B7)/(B3-B5))$	99,9	92,1	83,6	80,1	79,6	79,1	80,4	$\gamma = 5.4568x + 2.326$
$\exp(B3/(B1+B6+B2))$	99,9	97,2	93,2	93,1	91,2	80,9	80,3	$\gamma = -16.9184x + 30.3026$
$B3/(B1+B2+B6)$	99,8	97,7	91,9	91,9	90,0	80,0	80,3	$\gamma = -25.4468x + 15.1172$
$\ln((B2-B7)/(B3-B5))$	99,5	88,2	83,0	75,6	75,8	77,8	79,9	$\gamma = 6.2903x + 1.6887$
$\ln((B2+B6+B2)/B3)$	98,8	96,2	85,5	86,9	85,9	77,7	79,8	$\gamma = 11.2723x - 5.9125$
$\exp(B3/(B1+B2+B7))$	100,0	95,3	91,3	91,3	90,2	79,6	79,8	$\gamma = -16.7524x + 30.2512$
$(B3+B4-B5)/B1$	89,3	88,2	87,1	88,1	87,1	79,9	79,8	$\gamma = -7.9868x + 13.4429$
B1-B3	37,8	56,7	68,6	72,3	76,1	77,4	79,4	$\gamma = 0.026291x + 3.9473$
$\exp(B3/(B1+B2+B5))$	99,3	96,3	91,3	92,1	89,9	81,5	79,1	$\gamma = -17.4805x + 30.6853$
$\ln((B3-B5)/(B2-B4))$	15,1	52,8	63,9	75,0	77,4	78,2	78,9	$\gamma = -5.5127x + 4.7571$
$\ln(B1/(B3+B4-B5))$	87,8	89,4	82,1	83,6	82,9	76,9	78,6	$\gamma = 8.2139x + 5.0871$
$\ln((B1+B2+B5)/B3)$	99,6	97,7	84,1	86,0	84,3	77,1	78,5	$\gamma = 9.6671x - 4.6645$
$(B3+B4)/(B2+B5)$	91,4	80,7	82,9	84,4	83,2	76,0	78,3	$\gamma = -12.8911x + 17.9956$
$B3/(B2+B5-B4)$	89,3	72,8	79,8	83,3	82,6	76,2	78,2	$\gamma = -8.3329x + 13.5989$
$\exp((B3+B7-B5)/B2)$	52,1	55,8	64,5	73,5	75,7	76,9	78,2	$\gamma = -6.3391x + 18.0491$
$\ln((B2+B5-B4)/B3)$	87,9	77,7	79,2	82,2	81,6	76,1	78,1	$\gamma = 8.5066x + 4.9087$
$\ln((B3-B5)/(B1-B4))$	9,0	52,5	63,7	74,4	76,5	75,8	78,0	$\gamma = -4.4375x + 5.1133$
$\ln((B1+B2+B6)/B3)$	99,4	98,3	86,4	87,0	85,4	76,0	77,9	$\gamma = 9.7471x - 4.2958$
$B2/(B3+B4-B5)$	83,9	80,6	72,5	77,2	77,5	75,7	77,6	$\gamma = 9.8475x - 5.3406$
$(B3+B4-B6)/B1$	99,9	88,8	89,1	87,5	87,3	75,9	77,6	$\gamma = -7.9892x + 14.2846$
B2-B3	18,5	35,3	53,1	62,4	69,2	76,1	77,6	$\gamma = 0.03531x + 3.0579$
$\ln((B2+B7+B2)/B3)$	99,8	92,9	82,5	84,1	83,8	75,0	77,4	$\gamma = 11.2287x - 5.6404$
$\ln((B2+B4)/B3)$	99,0	83,1	76,8	82,3	81,0	75,8	77,2	$\gamma = 12.5667x - 1.9453$

Πίνακας 50: Αποτελέσματα για το βάθος Secchi με χρήση λογαριθμικού-γραμμικού μοντέλου.

Περιοχή: Ατλαντικός Ωκεανός

X	dt = 1 n = 7	dt = 2 n = 10	dt = 4 n = 11	dt = 7 n = 14	dt = 8 n = 15	dt = 10 n = 16	ln(SD) = aX + b (dt = 1)
	4-15 m	4-16 m		4-17 m			
ln((B2-B6)/(B1-B3))	93,2	87,3	80,5	70,9	69,7	52,2	$\gamma = -0.39086x + 2.8022$
ln((B2-B7)/(B1-B3))	92,6	85,9	78,4	69,3	67,6	53,7	$\gamma = -0.36616x + 2.817$
exp((B3-B4)/(B2-B3))	91,5	85,7	80,1	69,3	67,7	66,5	$\gamma = -0.070778x + 2.658$
ln((B3-B6)/(B1-B3))	91,4	83,2	75,8	67,3	65,3	50,9	$\gamma = -0.33733x + 2.5738$
exp((B2-B7)/(B1-B6))	91,4	86,2	78,2	66,2	65,5	59,8	$\gamma = -0.57376x + 4.1412$
exp((B3-B7)/(B2-B3))	91,3	84,7	78,3	66,7	64,9	63,8	$\gamma = -0.0028515x + 2.5079$
ln((B1-B3)/(B2-B4))	91,0	87,4	83,1	72,5	72,2	51,4	$\gamma = 0.3914x + 2.679$
ln((B3-B7)/(B1-B3))	90,3	81,4	73,3	65,4	63,0	52,0	$\gamma = -0.31755x + 2.6157$
exp((B2-B7)/(B1-B4))	89,7	75,7	62,3	56,1	51,9	52,0	$\gamma = -0.17066x + 3.2132$
exp((B1-B7)/(B2-B3))	89,4	75,7	67,8	58,9	56,2	54,2	$\gamma = -0.0023558x + 2.5597$
exp((B3-B7)/(B1-B4))	89,3	73,6	62,4	56,3	52,1	52,1	$\gamma = -0.21252x + 3.0271$
ln((B1-B3)/B2)	89,3	82,1	72,0	63,4	60,8	54,8	$\gamma = 0.31005x + 2.8719$
exp((B3-B7)/(B1-B6))	89,2	78,7	69,6	62,1	59,1	57,9	$\gamma = -0.54956x + 3.5539$
(B4-B6)/(B1-B3)	89,0	82,4	75,8	64,9	62,9	62,5	$\gamma = -0.11644x + 2.5369$
exp((B3-B5)/(B2-B3))	89,0	83,4	77,9	68,6	66,9	61,0	$\gamma = -0.061411x + 2.6425$
(B1-B2)/(B2-B3)	88,9	85,0	82,3	68,2	68,0	48,2	$\gamma = 1.0865x + 2.3683$
ln((B1-B3)/(B3-B4))	88,7	84,0	80,1	71,2	70,9	51,9	$\gamma = 0.31665x + 2.3796$
ln(B1-B3)	88,5	81,4	78,1	66,8	66,8	53,1	$\gamma = 0.3641x + 0.80062$
exp((B3-B6)/(B2-B3))	88,4	79,9	72,3	63,3	60,7	60,3	$\gamma = -0.014558x + 2.5814$
exp((B4-B7)/(B2-B3))	88,3	67,1	57,7	51,1	47,6	44,9	$\gamma = -0.051603x + 2.6503$
exp((B3-B4)/(B1-B5))	88,0	80,8	75,6	65,8	65,1	56,7	$\gamma = -1.0854x + 4.186$
exp((B6-B7)/(B2-B3))	87,8	76,4	68,4	58,5	55,9	53,5	$\gamma = -0.26646x + 2.8313$
ln((B1-B3)/(B2-B5))	87,2	83,9	80,7	70,7	70,6	49,7	$\gamma = 0.356x + 2.6246$
(B4+B7)/(B5-B6)	86,9	82,6	73,4	59,0	58,9	-	$\gamma = -0.11348x + 3.0337$
(B4+B5)/(B5-B6)	86,8	82,4	73,7	59,3	59,3	-	$\gamma = -0.1041x + 3.1312$
exp(B4to(B5-B7))	86,7	84,5	75,9	63,7	63,7	0,2	$\gamma = -0.033804x + 2.8222$
ln((B2+B7)/(B1-B3))	86,7	79,2	67,9	59,6	56,5	53,5	$\gamma = -0.28494x + 2.9047$
ln((B2+B4)/(B1-B3))	86,7	78,6	67,2	59,5	56,0	53,2	$\gamma = -0.28593x + 2.9496$
exp(B3to(B1-B4))	86,5	81,0	74,3	62,9	61,1	59,7	$\gamma = -0.010174x + 2.5286$
ln((B2+B6)/(B1-B3))	86,5	78,7	67,4	59,2	56,1	53,3	$\gamma = -0.28206x + 2.9121$
exp(B2to(B1-B4))	86,3	81,1	74,0	62,6	60,8	59,3	$\gamma = -0.0073749x + 2.5425$
(B5-B6)/(B1-B3)	86,3	80,3	73,4	62,5	60,2	57,9	$\gamma = -0.11996x + 2.5384$
(B4-B7)/(B1-B3)	86,2	80,5	74,6	63,6	61,9	61,9	$\gamma = -0.051078x + 2.501$
B4to(B5-B6)	86,0	82,5	75,1	61,9	62,0	-	$\gamma = -0.20689x + 3.1383$
(B1-B6)/(B2-B7)	85,9	79,2	70,0	58,3	58,0	50,5	$\gamma = 3.2068x - 0.55253$
B7to(B5-B6)	85,7	80,6	69,4	54,3	53,3	-	$\gamma = -0.24492x + 2.8909$
ln((B2+B5)/(B1-B3))	85,5	77,5	65,9	58,1	54,6	52,4	$\gamma = -0.28265x + 2.9411$
(B3-B5)/(B1-B3)	85,5	81,0	76,4	65,1	64,1	50,8	$\gamma = -0.053468x + 2.4947$
(B2-B5)/(B1-B3)	85,0	80,9	76,3	65,0	64,1	49,5	$\gamma = -0.040825x + 2.5216$
exp(B6to(B5-B7))	85,0	81,4	73,1	60,9	59,5	56,8	$\gamma = -0.049127x + 2.6915$

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑΣ

Πίνακας 51: Αποτελέσματα για την ηλεκτρική αγωγιμότητα.
dt = 1 ημέρα

X	dt = 1	EC = aX + b	X	dt = 1	EC = aX + b
	n = 7	(dt = 1)		n = 7	(dt = 1)
	41400-55700 μS/cm			41400-55700 μS/cm	
ln(B2+B3-B4)	62,4	$\gamma = 14181.7557x - 40722.1355$	ln(B1+B3-B6)	57,2	$\gamma = 13359.6934x - 37605.2771$
ln(B2+B3-B5)	61,1	$\gamma = 13166.5681x - 35667.9259$	ln(B3+B6-B5)	56,2	$\gamma = 9586.5846x - 5505.2779$
ln(B1+B3-B4)	60,4	$\gamma = 14865.8679x - 44894.5461$	lnB2+lnB3	55,8	$\gamma = 5820.8204x - 19703.7846$
ln(B2+B3-B6)	59,3	$\gamma = 13029.6868x - 35572.6917$	ln(B2+B3+B3)	55,8	$\gamma = 11233.829x - 29393.1078$
ln(B3+B7-B5)	59,3	$\gamma = 10025.4096x - 7406.8374$	ln(B3+B4-B6)	55,3	$\gamma = 9948.3953x - 11404.8016$
ln(B2+B3-B7)	59,2	$\gamma = 12900.6265x - 35075.8965$	ln(B3)	55,3	$\gamma = 9955.4541x - 8858.0715$
ln(B1+B3-B5)	59,2	$\gamma = 13601.183x - 38344.6003$	ln(B3+B4-B4)	55,3	$\gamma = 9955.4541x - 8858.0715$
ln(B3+B7-B6)	58,2	$\gamma = 10432.5132x - 11081.2386$	ln(B3+B5-B5)	55,3	$\gamma = 9955.4541x - 8858.0715$
ln(B3+B4-B5)	57,4	$\gamma = 9900.1151x - 10174.4538$	ln(B3+B6-B6)	55,3	$\gamma = 9955.4541x - 8858.0715$
ln(B1+B3-B7)	57,2	$\gamma = 13240.2869x - 37184.5508$	ln(B3+B7-B7)	55,3	$\gamma = 9955.4541x - 8858.0715$

Πίνακας 52: Περισσότερα αποτελέσματα ($R^2 < 60\%$, dt = 10) για την ηλεκτρική αγωγιμότητα.
Περιοχή: Ατλαντικός Ωκεανός

X	dt = 1	dt = 2	dt = 5	dt = 10
	n = 9	n = 22	n = 24	n = 33
	41400-45548 μS/cm		40745-49600 μS/cm	
B1+B4-B2	60,6	80,2	76,4	59,8
exp((B4-B7)/(B3-B7))	65,4	73,3	70,5	59,5
(B4-B6)/(B3-B4)	70,1	74,6	69,8	59,2
exp(B1/(B2+B7-B5))	51,1	73,5	72,7	59,1
B4-B7	57,7	76,7	69,7	59,1
(B5-B7)/(B3-B7)	29,8	70,7	71,2	59,0
(B4-B7)/(B3-B5)	63,0	72,9	70,3	58,9
B1+B4-B3	81,8	79,8	72,5	58,7
exp((B4+B5)/(B3+B7))	35,9	70,4	71,2	58,4
exp((B2-B7)/(B3-B4))	85,2	81,6	74,2	58,3
exp((B3-B7)/(B3-B4))	77,7	78,9	73,3	58,3
exp((B3-B5)/(B3-B7))	26,5	69,6	70,7	58,1
ln((B5-B6)/(B3-B5))	31,3	69,0	70,1	57,9
exp((B1-B7)/(B3-B4))	90,9	81,4	74,5	57,9
ln((B4-B7)/(B3-B4))	61,5	70,5	68,3	57,6
B1+B5-B3	70,4	77,3	71,3	57,5
ln((B3-B4)/(B3-B6))	65,4	71,2	67,2	57,4
B1+B5-B2	47,3	75,5	73,3	57,0

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΑ ΟΡΘΟΦΩΣΦΟΡΙΚΑ ΙΟΝΤΑ

**Πίνακας 53: Περισσότερα αποτελέσματα για τις συσχετίσεις ορθοφωσφορικών ιόντων.
Σημεία μεγάλου βάθους**

X	dt=0	dt=1	dt=2	dt=3	dt=6	dt=10	dt = 1	dt = 10
	n=10	n=31	n=50	n=65	n=79	n=101	n = 10	n = 101
	0,1-1,0 μmolP/l	0,1-1,3 μmolP/l						
$\exp((B2+B3)/(B1+B6))$	85,0	69,4	69,1	66,0	60,6	61,2	$\gamma = 0.040546x - 0.014495$	$\gamma = 0.044178x - 0.058326$
$\exp((B2+B3)/(B1+B7))$	84,6	69,4	69,1	66,2	61,2	61,4	$\gamma = 0.039035x - 0.020682$	$\gamma = 0.04328x - 0.069587$
$\exp(B3/(B1+B5-B6))$	82,9	69,2	63,4	60,8	57,7	54,1	$\gamma = 0.24181x - 0.40275$	$\gamma = 0.22386x - 0.34381$
$\exp((B2+B3-B6)/B1)$	84,0	69,2	68,5	66,0	62,1	60,3	$\gamma = 0.035703x - 0.018416$	$\gamma = 0.041495x - 0.074586$
$\exp((B3-B5)/(B1+B6))$	82,8	69,1	67,8	65,2	60,7	61,2	$\gamma = 0.20118x - 0.12234$	$\gamma = 0.2052x - 0.16224$
$\exp((B3-B5)/(B1+B7))$	82,4	69,1	67,8	65,3	61,1	61,4	$\gamma = 0.19559x - 0.11879$	$\gamma = 0.20174x - 0.16307$
$\exp((B3-B5)/(B1+B5))$	82,0	69,1	67,0	64,0	59,9	60,7	$\gamma = 0.25183x - 0.18656$	$\gamma = 0.23622x - 0.19493$
$\exp((B1+B3)/(B1+B5))$	82,0	69,1	67,0	64,0	59,9	60,7	$\gamma = 0.092644x - 0.18656$	$\gamma = 0.086899x - 0.19493$
$\exp((B2+B3-B7)/B1)$	84,0	69,0	68,1	65,7	61,9	59,9	$\gamma = 0.0357x - 0.030861$	$\gamma = 0.041376x - 0.086202$
$\exp(B3/(B1+B6+B6))$	82,6	68,8	68,3	65,7	59,7	60,3	$\gamma = 0.19822x - 0.18162$	$\gamma = 0.20526x - 0.22417$
$\exp((B3-B7)/(B1+B5))$	80,9	68,8	67,5	64,7	60,6	60,9	$\gamma = 0.22499x - 0.18972$	$\gamma = 0.2246x - 0.22528$
$\exp((B3-B5)/B1)$	81,3	68,8	67,1	65,0	61,8	60,4	$\gamma = 0.18096x - 0.12121$	$\gamma = 0.19528x - 0.17724$
$\exp(B3/(B1+B6+B7))$	82,3	68,7	68,3	65,7	60,1	60,4	$\gamma = 0.19341x - 0.18047$	$\gamma = 0.20229x - 0.22747$
$\exp(B3/(B1+B7+B6))$	82,3	68,7	68,3	65,7	60,1	60,4	$\gamma = 0.19341x - 0.18047$	$\gamma = 0.20229x - 0.22747$
$\exp(B3/(B6+B7+B1))$	82,3	68,7	68,3	65,7	60,1	60,4	$\gamma = 0.19341x - 0.18047$	$\gamma = 0.20229x - 0.22747$
$\exp((B3-B6)/(B1+B5))$	81,0	68,7	67,4	64,5	60,3	60,8	$\gamma = 0.22427x - 0.17364$	$\gamma = 0.22316x - 0.20881$
$\exp(B3to(B1+B6))$	81,8	68,7	68,3	66,1	61,1	59,7	$\gamma = 0.18361x - 0.20307$	$\gamma = 0.20091x - 0.26202$
$\exp((B3+B6-B5)/B1)$	83,1	68,6	63,3	61,2	58,1	54,2	$\gamma = 0.20395x - 0.30117$	$\gamma = 0.20001x - 0.27894$
$\exp(B3/(B1+B7+B7))$	81,9	68,5	68,1	65,7	60,4	60,4	$\gamma = 0.18866x - 0.17982$	$\gamma = 0.19898x - 0.23058$
$\exp((B2+B3)/B1)$	85,1	68,5	65,1	62,7	58,9	55,3	$\gamma = 0.037513x - 0.11278$	$\gamma = 0.041107x - 0.13487$
$\exp((B2+B3+B2)/B1)$	86,7	68,4	66,0	63,2	59,6	56,5	$\gamma = 0.0082552x - 0.0099383$	$\gamma = 0.0095526x - 0.036664$
$\exp(B3/(B1+B5+B1))$	80,9	68,4	65,0	62,6	59,7	56,3	$\gamma = 0.79415x - 1.0012$	$\gamma = 0.75194x - 0.94276$
$\exp(B3to(B1+B7))$	81,4	68,1	67,6	65,5	61,0	59,1	$\gamma = 0.17962x - 0.20764$	$\gamma = 0.19661x - 0.26613$

BIBΛIOΓΡΑΦΙΑ

- Abu Daya, Mohammed Ibrahim. 2004.** *Coastal Water Quality Monitoring with Remote Sensing in (East Kalimantan) Makassar Strait, Indonesia.* 2004.
- Ambarwulan, Wiwin. 2010.** *Remote Sensing of Tropical Coastal Waters: Study of the Berau Estuary East Kalimantan, Indonesia.* 2010.
- Benoit, Kenneth. 2011.** *Linear Regression Models with Logarithmic Transformations.* 2011.
- Blondeau-Patissier, David, et al. 2014.** *A review of ocean color remote sensing methods and statistical techniques for the detection, mapping and analysis of phytoplankton blooms in coastal and open oceans.* Progress in Oceanography. 2014, Vol. 123, pp. 123-144.
- Ekstarnd, S. 1992.** *Landsat TM based quantification of chlorophyll-a during algae blooms in coastal waters.* International Journal of Remote Sensing. 1992, 13, pp. 1913-1926.
- Gerace, Aaron. 2010.** *Demonstrating Landsat's New Potential to Monitor Coastal and Inland Waters.* 2010.
- Hellweger, F. L., et al. 2004.** *Use of satellite imagery for water quality studies in New York Harbor.* Estuarine, Coastal and Shelf Science. 2004, Vol. 61, pp. 437-448.
- Kabbara, Nijad, et al. 2008.** *Monitoring water quality in the coastal area of Tripoli (Lebanon) using high-resolution satellite data.* ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing. 2008, Vol. 63, pp. 488-495.
- Le, Chengfeng, et al. 2013.** *Evaluation of chlorophyll-a remote sensing algorithms for an optically complex estuary.* Remote Sensing of Environment. 2013, Vol. 129, pp. 75-89.
- Luoheng, Han and Jordan, Karen J. 2005.** *Estimating and mapping chlorophyll-a in Pensacola Bay, Florida using Landsat ETM+ data.* International Journal of Remote Sensing. 2005, Vol. 26:23, pp. 5245-5254.
- Matthews, Mark William. 2011.** *A current review of empirical procedures of remote sensing in inland and near-coastal transitional waters.* International Journal of Remote Sensing. 2011, Vol. 32, 21, pp. 6855-6899.

Novoa, S., et al. 2012. *Water quality assessment using satellite-derived chlorophyll-a within the European directives, in the southeastern Bay of Biscay.* Marine Pollution Bulletin. 2012, 64, pp. 739-750.

Odermatt, Daniel, et al. 2012. *Review of constituent retrieval in optically deep and complex waters from satellite imagery.* Remote Sensing of Environment. 2012, 118, pp. 116-126.

O'Reilly, John E., et al. 1998. *Ocean color chlorophyll algorithms for SeaWiifs.* Journal of Geophysical Research. October 15, 1998, Vol. C11, C103, pp. 24,937-24,953.

Pahlevan, Nima, et al. 2014. *Evaluating radiometric Sensitivity of Landsat 8 over coastal/inland waters.* IGARSS. 2014, pp. 1393-1396.

Pattiaratchi, C., et al. 1994. *Estimates of water quality in coastal waters using multi-date Landsat Thematic Mapper data.* International Journal of Remote Sensing. 1994, 15, pp. 1571-1584.

Theologou I., Kagalou I., Papadopoulou M.P., Karantzalos K. 2015. *Evaluating Multi-temporal High Resolution Satellite Chlorophyll- α Maps in Sensitive Shallow Inland Water Systems: The Case of Lake Karla.* World Congress of the European Water Resources Association (EWRA), Water Resources Management in a Changing World: Challenges and Opportunities, Istanbul, June 2015.

Theologou, I., Patelaki, M., Karantzalos K., 2015. *Can single empirical algorithms accurately predict inland shallow water quality status from high resolution, multi-sensor, multi-temporal satellite data?* ISPRS Archives, Editors: G. Schreier, P. E. Skrovseth, and H. Staudenrausch, International Symposium on Remote Sensing of Environment (Volume XL-7/W3), pp.1511-1516

Theologou I., Karantzalos K., Chamoglou M., Papadopoulou M.P. and Kagalou I., 2014. *Earth Observation Techniques for Monitoring Inland Water Quality in the Mediterranean Region: A case study in Lake Karla.* The Mediterranean City 2014, Adaptation Strategies to Global Environmental Change in the Mediterranean City and the Role of Global Earth Observation.

USGS. 2015. *Landsat 8 Data Users Handbook.* 2015.

USGS. 2015. *Product Guide, Provisional Landsat 8 Surface Reflectance Product, Version 1.3.* 2015.

Zhang, Chengkun and Han, Min. 2015. *Mapping Chlorophyll-a Concentration in Laizhou Bay Using Landsat 8 OLI data.* E-proceedings of the 36th IAHR World Congress. June 2015.

Zhang, Yuanzhi. 2005. *Surface water quality estimation using remote sensing in the Gulf of Finland and the Finnish Archipelago Sea.* 2005.

Θεολόγου, Ιωάννα. 2014. *Εκτίμηση και χαρτογράφηση ποιοτικών χαρακτηριστικών σε υδάτινους αποδέκτες με τεχνικές τηλεπισκόπησης: Η περίπτωση της λίμνης Κάρλα.* Διπλωματική Εργασία, Αθήνα, 2015.

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

❖ **Διαδικτυακοί τόποι**

- www.eea.europa.eu- Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος
- www.wikipedia.com
- <http://www.oceanopticsbook.info/>
- <http://landsat.gsfc.nasa.gov/>-Ιστοσελίδα της NASA για το πρόγραμμα Landsat
- <http://earthexplorer.usgs.gov/>-Ιστοσελίδα της USGS για παροχή δορυφορικών εικόνων
- <http://www.ozcoasts.gov.au/>-Australian Online Coastal Information
- www.epa.gov-United States Environmental Protection Agency

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Θαλάσσιες περιοχές και υπο-περιοχές της Ευρώπης βάσει του MSFD.	8
Εικόνα 2: Φασματική υπογραφή των τριών μορφών χλωροφύλλης A, B και C.....	10
Εικόνα 3: Περιοχή Μελέτης και σταθμοί παρακολούθησης.	13
Εικόνα 4: Ποσοστό των μεταβατικών και παράκτιων υδάτων ανά περιοχή λεκάνης απορροής, που δεν έχουν πετύχει την GES κατά το έτος 2012.	13
Εικόνες 5, 6: Μέσες συγκεντρώσεις χλωροφύλλης στα θαλάσσια ύδατα κατά τους θερινούς μήνες και μέσες συγκεντρώσεις ορθοφωσφορικών ανιόντων στα θαλάσσια ύδατα κατά τους χειμερινούς μήνες. Έτος 2012.....	14
Εικόνα 7: Παράγοντες που επηρεάζουν την ακτινοβολία που καταγράφεται από τον αισθητήρα.	15
Εικόνα 8: Συντελεστής απορρόφησης της CDOM για εύρος μήκους κύματος 290-890 nm (α_{CDOM}).	17
Εικόνα 9: Περιγραφή δορυφόρου Landsat-8.....	19
Εικόνα 10: Περιοχές κάλυψης των καναλιών των αισθητήρων OLI και TIRS (Landsat-8) και του αισθητήρα ETM+ (Landsat-7).....	19
Εικόνα 11: Εικόνα χωρίς ατμοσφαιρική διόρθωση και μετά από ατμοσφαιρική διόρθωση ..	20
Εικόνα 12: Ατέλειες αλγορίθμου <i>L8SR</i> κατά μήκος των σύννεφων και σε απότομες υψομετρικές διαφορές	22
Εικόνα 13: Ανασκόπηση δημοσιευμένων εργασιών (έτη 2006-2011) για την εκτίμηση της χλωροφύλλης-α με συσχέτιση <i>in situ</i> δεδομένων και δορυφορικών εικόνων με ημι-αναλυτικούς ή εμπειρικούς αλγορίθμους.....	25
Εικόνα 14: Ευαισθησία των καναλιών R443, R482, R562 και R665 στη χλωροφύλλη για συγκεντρώσεις 0,1-1, 1-5 και 5-12 mg/m ³	28
Εικόνα 15: Ευαισθησία των καναλιών R443, R482, R562 και R665 στα SS για συγκεντρώσεις 0,1-1, 1-5 και 5-12 g/m ³	28
Εικόνα 16: Ευαισθησία των καναλιών R443, R482, R562 και R665 στην απορρόφηση της έγχρωμης διαλυμένης οργανικής ύλης στα 440 nm.....	28
Εικόνα 17: Φασματική υπογραφή της χλωροφύλλης-α συναρτήσει διαφορετικών συγκεντρώσεων αιωρούμενων στερεών (0 / 0,5 / 5 mg/l).....	30
Εικόνα 18: Συγκριτική χωρική ανάλυση των δεκτών CZCS, MODIS, AVHRR, SeaWiFS, Landsat MSS, Landsat TM, SPOT XS στο λιμάνι της Νέας Υόρκης.	32

Εικόνα 19: Κατανομή σταθμών στην περιοχή μελέτης.	38
Εικόνα 20: Ίχνη του Landsat 8 στο έδαφος-Επιλογή κατάλληλων εικόνων.....	39
Εικόνα 21: Ιστογράμματα συχνοτήτων τυχαίας μεταβλητής Y και της αντίστοιχης μεταβλητής $\log(Y)$	44
Εικόνα 22: Σύγκριση λογαριθμικού-γραμμικού μοντέλου και απλού γραμμικού μοντέλου....	51
Εικόνα 23: Συσχέτιση χλωροφύλλης με τον δείκτη $B1+B3-B4$ με χρήση λογαριθμικού-γραμμικού μοντέλου. <i>Μεσαίες συγκεντρώσεις</i>	54
Εικόνα 24: Προσαρμογή ευθείας μεταξύ χλωροφύλλης-α και των δεικτών $\exp(B4/(B2+B7))$ και $\exp(B4/(B2+B6))$ με χρήση απλού γραμμικού μοντέλου. <i>Υψηλές συγκεντρώσεις</i>	56
Εικόνα 25: Σταθμοί στην περιοχή της Νότιας Γαλλίας.....	56
Εικόνα 26: Διαγράμματα για χλωροφύλλη-α. <i>Περιοχή: Νότια Γαλλία</i>	57
Εικόνα 27: Σταθμοί στην περιοχή της ΒΔ Ισπανίας.....	58
Εικόνα 28: Συσχέτιση αμμωνίου με τους δείκτες $\exp((B4-B7)/(B3-B5))$, $\exp((B4-B7)/(B3-B6))$ και $\exp((B1+B4)/B2)$ για $dt = 0$	60
Εικόνα 29: Απεικόνιση των σταθμών της Βορειοανατολικής Ισπανίας.	61
Εικόνα 30: Προσαρμογή ευθείας για το αμμώνιο και τους δείκτες $\ln(B2-B5)$ και $\ln(B2-B4)$ για χρονικές διαφορές 2 και 7 ημερών.....	62
Εικόνα 31: Απεικόνιση των σταθμών της περιοχής Βορειοδυτικά της Γαλλίας.	64
Εικόνα 32: Παρεμβολή ευθείας για το βάθος Secchi και τους δείκτες $(B3-B6)/(B1-B7)$ (λογαριθμικό-γραμμικό μοντέλο) και $\ln((B3-B6)/(B1-B7))$ (απλό γραμμικό μοντέλο).....	67
Εικόνα 33: Παρεμβολή ευθείας για το βάθος Secchi (μ) για τους δείκτες $\exp((B3-B6)/(B2-B7))$ και $\exp((B3-B6)/(B1-B7))$. <i>Περιοχή: Μεσόγειος Θάλασσα</i>	68
Εικόνα 34: Παρεμβολή ευθείας για την ηλεκτρική αγωγιμότητα ($\mu S/cm$) για τους δείκτες $B5-B6$ και $\exp(B5/(B3+B7-B4))$ για χρονική διαφορά δύο ημερών.....	71
Εικόνα 35: Κατανομή σταθμών στην περιοχή μελέτης.	84

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Φασματικά κανάλια των OLI και TIRS.....	18
Πίνακας 2: Ερμηνεία εικόνων Cloud QA για τα pixels υδάτινων αντικειμένων.	21
Πίνακας 3: Ερμηνεία εικόνων CFmask.....	21
Πίνακας 4: Προτεινόμενοι δείκτες και μοντέλα προηγούμενων ερευνητικών εργασιών για την εκτίμηση του βάθους Secchi σε παράκτια ύδατα.	33
Πίνακας 5: Προτεινόμενοι δείκτες και μοντέλα προηγούμενων ερευνητικών εργασιών για την εκτίμηση της α_{CDOM} σε παράκτια ύδατα.	33
Πίνακας 6: Προτεινόμενοι δείκτες προηγούμενων ερευνητικών εργασιών για την εκτίμηση της χλωροφύλλης-α σε παράκτια ύδατα.	34
Πίνακας 7: Προτεινόμενοι δείκτες και μοντέλα προηγούμενων ερευνητικών εργασιών για την εκτίμηση της θολότητας σε παράκτια ύδατα.	35
Πίνακας 8: Προτεινόμενοι δείκτες και μοντέλα προηγούμενων ερευνητικών εργασιών για την εκτίμηση των TSS σε παράκτια ύδατα.	35
Πίνακας 9: Πλήθος διαθέσιμων δειγμάτων στα παράκτια ύδατα των δύο χωρών.	37
Πίνακας 10: Ενδεικτικό τμήμα του πίνακα με την ονοματολογία και τις γεωγραφικές πληροφορίες των εικόνων (<i>WGS'84-UTM-6°</i>).	39
Πίνακας 11: Ενδεικτικό τμήμα του πίνακα με τις γεωγραφικές πληροφορίες των σταθμών (<i>WGS'84</i>).....	40
Πίνακας 12: Ενδεικτικό τμήμα του πίνακα με τα στοιχεία των δειγματοληψιών (<i>WGS'84</i>). ...	40
Πίνακας 13: Ενδεικτικό τμήμα του πίνακα με τα ζεύγη δειγματοληψιών-εικόνων.....	41
Πίνακας 14: Ενδεικτικό τμήμα του πίνακα με τα ζεύγη δειγμάτων χλωροφύλλης-α και εικόνων με παρεμβολή εγγύτερου γείτονα.....	42
Πίνακας 15: Πλήθος διαθέσιμων δεδομένων (n) και εύρος καταγεγραμμένων τιμών συναρτήσει της χρονικής διαφοράς dt.	46
Πίνακας 16: Αποτελέσματα για τη χλωροφύλλη-α με επιλογή όλων των δεδομένων.....	51
Πίνακας 17: Συσχετίσεις καναλιών με τις πιθανές ομάδες μεσαίων συγκεντρώσεων $dt = 2$ ημέρες	52
Πίνακας 18: Αποτελέσματα για τη χλωροφύλλη-α με χρήση απλού γραμμικού μοντέλου. Ομάδα μεσαίων συγκεντρώσεων	53
Πίνακας 19: Αποτελέσματα για τη χλωροφύλλη-α με χρήση λογαριθμικού-γραμμικού μοντέλου. Ομάδα μεσαίων συγκεντρώσεων	54

Πίνακας 20: Αποτελέσματα για τη χλωροφύλλη-α με χρήση λογαριθμικού-γραμμικού μοντέλου <i>Ομάδα υψηλών συγκεντρώσεων</i>	55
Πίνακας 21: Αποτελέσματα για τη χλωροφύλλη-α με χρήση του λογαριθμικού-γραμμικού μοντέλου. <i>Περιοχή: Νότια Γαλλία</i>	57
Πίνακας 22: Αποτελέσματα για τη χλωροφύλλη-α με χρήση απλού γραμμικού μοντέλου. <i>Περιοχή: ΒΔ Ισπανία</i>	58
Πίνακας 23: Αποτελέσματα για το αμμώνιο με εφαρμογή λογαριθμικού-γραμμικού μοντέλου.	60
Πίνακας 24: Αποτελέσματα για το αμμώνιο με χρήση απλού γραμμικού μοντέλου. <i>Περιοχή: Βορειοανατολική Ισπανία</i>	62
Πίνακας 25: Αποτελέσματα για το αμμώνιο με χρήση λογαριθμικού-γραμμικού μοντέλου. <i>Περιοχή: Βορειοανατολική Ισπανία</i>	63
Πίνακας 26: Αποτελέσματα για το βάθος Secchi με χρήση λογαριθμικού-γραμμικού μοντέλου.	66
Πίνακας 27: Αποτελέσματα για το βάθος Secchi με χρήση απλού γραμμικού μοντέλου.	66
Πίνακας 28: Αποτελέσματα για το βάθος Secchi με χρήση απλού γραμμικού μοντέλου. <i>Περιοχή: Μεσόγειος Θάλασσα</i>	68
Πίνακας 29: Αποτελέσματα για το βάθος Secchi με χρήση λογαριθμικού-γραμμικού μοντέλου. <i>Περιοχή: Ατλαντικός Ωκεανός</i>	69
Πίνακας 30: Αποτελέσματα για το βάθος Secchi με χρήση απλού γραμμικού μοντέλου. <i>Ατλαντικός Ωκεανός</i>	70
Πίνακας 31: Αποτελέσματα για την ηλεκτρική αγωγιμότητα. <i>Περιοχή: Ατλαντικός Ωκεανός</i> ..	71
Πίνακας 32: Αποτελέσματα για το διαλυμένο οξυγόνο. <i>Περιοχή: Μεσόγειος Θάλασσα</i>	72
Πίνακας 33: Αποτελέσματα για το διαλυμένο οξυγόνο. <i>Βαθιά σημεία</i>	73
Πίνακας 34: Αποτελέσματα για τα ορθοφωσφορικά ανιόντα.	74
Πίνακας 35: Αποτελέσματα για τα ορθοφωσφορικά ανιόντα. <i>Περιοχή: Ατλαντικός Ωκεανός</i> 74	
Πίνακας 36: Αποτελέσματα για τα ορθοφωσφορικά ιόντα. <i>Σταθμοί μεγάλου βάθους</i>	75
Πίνακας 37: Σύγκριση συσχετίσεων προτεινόμενων δεικτών προηγούμενων ερευνητικών εργασιών για τη χλωροφύλλη-α για την περιοχή της Νότιας Γαλλίας. <i>0,01-4,5 μg/l , dt = 7 ημέρες</i>	76
Πίνακας 38: Σύγκριση συσχετίσεων προτεινόμενων δεικτών προηγούμενων ερευνητικών εργασιών για τη χλωροφύλλη-α για την περιοχή της ΒΔ Ισπανίας. <i>0,2-10,6 μg/l, dt = 2 ημέρες</i>	77

Πίνακας 39: Σύγκριση συσχετίσεων προτεινόμενων δεικτών προηγούμενων ερευνητικών εργασιών για τη χλωροφύλλη-α για την ομάδα μεσαίων συγκεντρώσεων. 4 -10 $\mu\text{g/l}$, $dt = 2$ ημέρες	77
Πίνακας 40: Σύγκριση συσχετίσεων προτεινόμενων δεικτών προηγούμενων ερευνητικών εργασιών για τη χλωροφύλλη-α για την ομάδα υψηλών συγκεντρώσεων. 10-20 $\mu\text{g/l}$, $dt = 8$ ημέρες	78
Πίνακας 41: Σύγκριση συσχετίσεων προτεινόμενων δεικτών προηγούμενων ερευνητικών εργασιών με τα δεδομένα της περιοχής μελέτης.....	79
Πίνακας 42: Στοιχεία σταθμών.....	85
Πίνακας 43: Αποτελέσματα για τη χλωροφύλλη-α με χρήση απλού γραμμικού μοντέλου και λογαριθμικού-γραμμικού μοντέλου. Ομάδα υψηλών συγκεντρώσεων, $dt = 9$ ημέρες, $n = 1090$	
Πίνακας 44: Αποτελέσματα για χλωροφύλλη-α με χρήση λογαριθμικού-γραμμικού μοντέλου. Ομάδα μεσαίων συγκεντρώσεων.	91
Πίνακας 45: Αποτελέσματα για το αμμώνιο με χρήση απλού γραμμικού μοντέλου. Περιοχή: Βορειοανατολικής Ισπανίας	92
Πίνακας 46: Αποτελέσματα για το αμμώνιο στην περιοχή της Βορειοανατολικής Ισπανίας-λογαριθμικό-γραμμικό μοντέλο.	92
Πίνακας 47: Αποτελέσματα για το αμμώνιο με εφαρμογή απλού γραμμικού μοντέλου. Περιοχή: κολπίσκος ΒΔ Γαλλίας, $dt = 8$ ημέρες, $n = 23$	93
Πίνακας 48: Αποτελέσματα για το βάθος Secchi με χρήση λογαριθμικού-γραμμικού μοντέλου.	94
Πίνακας 49: Αποτελέσματα για το βάθος Secchi με χρήση απλού γραμμικού μοντέλου. Περιοχή: Μεσόγειος Θάλασσα.....	95
Πίνακας 50: Αποτελέσματα για το βάθος Secchi με χρήση λογαριθμικού-γραμμικού μοντέλου. Περιοχή: Ατλαντικός Ωκεανός.....	96
Πίνακας 51: Αποτελέσματα για την ηλεκτρική αγωγιμότητα. $dt = 1$ ημέρα	97
Πίνακας 52: Περισσότερα αποτελέσματα ($R^2 < 60\%$, $dt = 10$) για την ηλεκτρική αγωγιμότητα. Περιοχή: Ατλαντικός Ωκεανός.....	97
Πίνακας 53: Περισσότερα αποτελέσματα για τις συσχετίσεις ορθοφωσφορικών ιόντων. Σημεία μεγάλου βάθους.....	98