



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

**Εκτίμηση ποιοτικών χαρακτηριστικών σε λιμναία
συστήματα της Γαλλίας με χρήση
τηλεπισκοπικών μεθόδων**



Διπλωματική Εργασία

Parageorgiou Andreani
Αθήνα, Οκτώβριος 2016

Διπλωματική εργασία

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή στις 27/10/2016

.....

Κωνσταντίνος Καραντζαλος
Επ. Καθηγητής

.....

Μαρία Παπαδοπούλου
Αν. Καθηγήτρια

.....

Δημήτρης Αργιαλάς
Καθηγητής

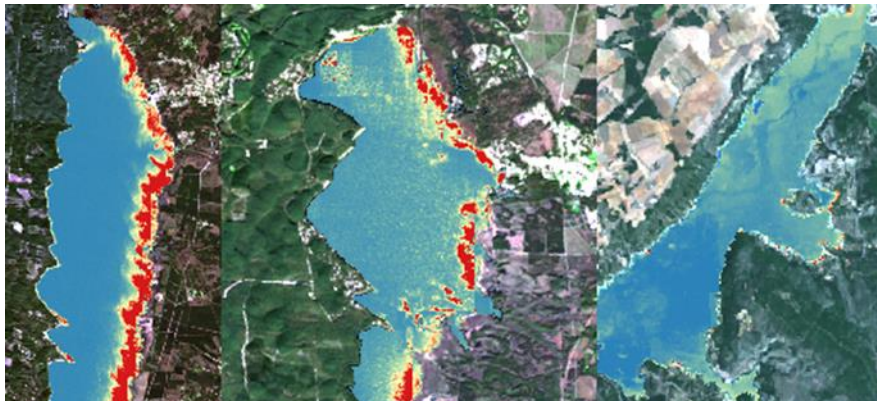
.....

Andreani Papageorgiou
Διπλωματούχος Αγρονόμος Τοπογράφος Μηχανικός



NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS
SCHOOL OF RURAL AND SURVEYING ENGINEERING
Department of Topography
Laboratory of Remote Sensing

**Estimating qualitative parameters for lakes in France with
remote sensing**



Diploma Thesis
Papageorgiou Andreani
Athens, October 2016

Περίληψη

Η ανάγκη παρακολούθησης και προστασίας των εσωτερικών υδάτων είναι τεράστια μιας και είναι ζωτικής σημασίας για τα φυσικά οικοσυστήματα αλλά και τον άνθρωπο. Πολύ σημαντικό επίσης είναι οι μέθοδοι παρακολούθησης να είναι αξιόπιστες και χαμηλού κόστους. Νέες τεχνολογίες και μέθοδοι τηλεπισκόπησης μπορούν να συνεισφέρουν προς αυτή την κατεύθυνση.

Στην παρούσα εργασία εξετάζεται η δυνατότητα εκτίμησης υδάτινων ποιοτικών χαρακτηριστικών με χρήση τηλεπισκοπικών μεθόδων και δορυφορικών δεδομένων του δορυφόρου Landsat 8. Πραγματοποιήθηκαν έλεγχοι συσχέτισης μεταξύ επίγειων μετρήσεων και δεικτών. Οι δείκτες προέκυψαν από τη φασματική πληροφορία των ατμοσφαιρικά διορθωμένων δορυφορικών εικόνων του Landsat 8 σε 92 λίμνες της Γαλλίας για την περίοδο Απρίλιο 2013 έως Δεκέμβριο 2014. Από τις συσχετίσεις προέκυψαν εξισώσεις με τις οποίες μπορεί να γίνει εκτίμηση των συγκεντρώσεων για διάφορες κρίσιμες παραμέτρους στις λίμνες. Συγκεκριμένα μελετήθηκε η συγκέντρωση χλωροφύλλης-α, αμμωνίου και ολικού φωσφόρου. Για τον έλεγχο συσχετίσεων πραγματοποιήθηκε ανάλυση παλινδρόμησης. Χρησιμοποιήθηκε το απλό γραμμικό μοντέλο και για τις τρεις ουσίες, ενώ για τη χλωροφύλλη-α έγινε έλεγχος συσχέτισης με μη γραμμικά μοντέλα παλινδρόμησης και νευρωνικά δίκτυα.

Τα αποτελέσματα είναι ενθαρρυντικά ειδικότερα για τα δεδομένα που είναι διαχωρισμένα ανά ημέρα. Για τη χλωροφύλλη-α ο δείκτης που έδωσε τα καλύτερα αποτελέσματα βασίστηκε στο συνδυασμό των καναλιών b1 (440 nm), b4 (655 nm) και b7 (2200 nm) του Landsat 8, με μέση τυπική απόκλιση μεταξύ εκτιμώμενης και πραγματικής τιμής χλωροφύλλης-α 7,5 ug/L. Για το αμμώνιο οι δείκτες που εμφανίζονται πιο συχνά με καλή συσχέτιση περιέχουν το κανάλι b4 (655 nm) του Landsat 8, ενώ για τον ολικό φώσφορο το κανάλι b3 (560 nm). Ο συντελεστής R^2 για τα μοντέλα που αφορούν τη χλωροφύλλη-α, το αμμώνιο και τον ολικό φώσφορο φτάνει το 90%, το 73,1% και το 75%, αντίστοιχα. Τέλος, για τα δεδομένα χλωροφύλλης-α δημιουργήθηκαν χάρτες εκτίμησης συγκέντρωσης για τα δεδομένα των λιμνών του νότιου μέρους της Γαλλίας.

Abstract

Monitoring and protection of inland water is imperative since it is a vital need for natural ecosystems and human beings. It is important that monitoring techniques are reliable and affordable. New technologies and methods of remote sensing can contribute towards this end.

Diploma Thesis, the capabilities of estimating the quality of water resources by using remote sensing methods and satellite data from Landsat 8 is studied. Correlation tests between in situ data and indexes are conducted. Indexes arise from the spectral information of surface reflectance images of Landsat 8 in 92 lakes in France from April 2013 to December 2014. Equations that can estimate the quantity of certain components are estimated. Further, chlorophyll-a, ammonium and total phosphorus are investigated. In particular, correlations tests are conducted by regression analysis. The simple linear model is used, while correlations are investigated with non-linear regression models and neural networks.

Significant correlations have been found, especially in the case of daily data. The index is considered the most reliable for chlorophyll-a, based in combination of band 1 (440 nm), band 4 (655 nm) and band 7 (2200 nm) of Landsat 8, with standard deviation between estimated and real value of chlorophyll-a to be equal to 7,5 ug/L. In the case of ammonium, the index that appear more frequently with a high correlation include band 4 (655 nm) of Landsat 8, whereas include band 3 (560 nm) in the case of. The R^2 coefficient of models regarding chlorophyll-a, ammonium and total phosphorus reach up to 90%, 73,1% and 75%, respectively. Finally, maps that estimate the concentration of chlorophyll-a have been created for the data of lakes of south France.

Ευχαριστίες

Ολοκληρώνοντας τη διπλωματική μου εργασία θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους όσους συνέβαλαν στην περάτωσή της. Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Κωνσταντίνο Κεράντζαλο και κ. Πολ Κολοκούση οι οποίοι με κατεύθυναν επιστημονικά και στη συνέχεια το Ζαχαρία Κανδυλάκη και Άρη Βαϊόπουλο από το εργαστήριο τηλεπισκόπησης για τη βοήθεια που μου προσέφεραν στο προγραμματιστικό κομμάτι. Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω την Ευαγγελία Κοντοπούλου η οποία με καθοδήγησε στο πρακτικό τμήμα της εργασίας.

Περιεχόμενα

1	Εισαγωγή	9
1.1	Κίνητρο.....	10
2	Θεωρητικό υπόβαθρο	11
2.1	Λίμνες και βασικές ποιοτικές παράμετροι	11
2.1.1	Χλωροφύλλη-α Chl – a	12
2.1.2	Αμμώνιο NH₄ +	12
2.1.3	Ολικός φώσφορος (TP).....	13
2.2	Ψηφιακή Τηλεπισκόπηση και περιβάλλον	13
2.3	Πρόγραμμα Landsat.....	15
2.3.1	Το πρόγραμμα Landsat 8.....	16
2.3.2	Προϊόντα Surface Reflectance	18
3	Βιβλιογραφική ανασκόπηση.....	21
3.1	Ερευνητικές εργασίες που πραγματοποιήθηκαν	21
4	Μεθοδολογία.....	25
4.1	Περιοχή μελέτης.....	26
4.2	Συλλογή επιτόπου δεδομένων	26
4.3	Συλλογή δορυφορικών δεδομένων για τη δημιουργία δεικτών συσχετίσεων	28
4.3.1	Συλλογή δορυφορικών δεδομένων	28
4.3.2	Δημιουργία δεικτών συσχετίσεων.....	47
4.4	Ανάλυση Παλινδρόμησης μεταξύ δεικτών συσχετίσεων και επίγειων δεδομένων .	49
4.4.1	Απλή Γραμμική Παλινδρόμηση.....	50
4.4.2	Μη Γραμμική Παλινδρόμηση	51
4.4.3	Νευρωνικά δίκτυα	51
5	Αποτελέσματα.....	53
5.1	Χλωροφύλλη-α	53
5.1.1	Αποτελέσματα με χρήση Απλού Γραμμικού Μοντέλου.....	53
5.1.2	Αποτελέσματα με χρήση Μη Γραμμικών Μοντέλων.....	67
5.1.3	Αποτελέσματα με χρήση Νευρωνικών Δικτύων.....	74
5.2	Αμμώνιο	75
5.2.1	Αποτελέσματα με χρήση Απλού Γραμμικού Μοντέλου.....	78
5.3	Ολικός Φώσφορος.....	81
5.3.1	Αποτελέσματα με χρήση Απλού Γραμμικού Μοντέλου.....	81
6	Συμπεράσματα και προτάσεις	91

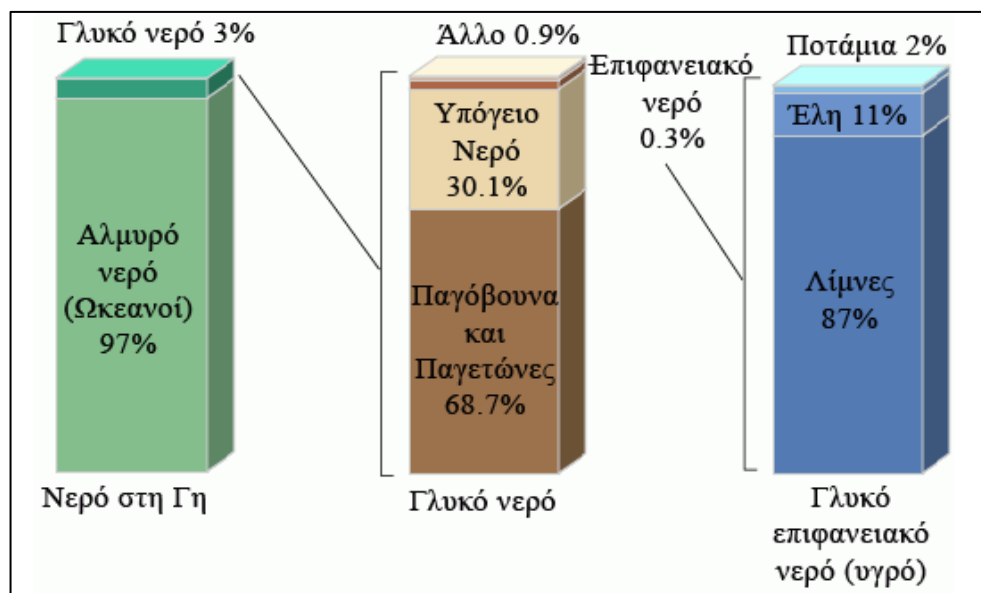
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	94
Βιβλιογραφικές αναφορές	105
Διαδικτυακοί τόποι	106

1 Εισαγωγή

Η σημασία του νερού στη γη είναι τεράστια γι' αυτό και πολλοί επιστημονικοί τομείς ασχολούνται με την παρακολούθησή του. Ασχολούνται με την πρόβλεψη της χωρικής κατανομής, του όγκου, της κίνησης και της ποιότητας των υδάτων σε όλα τα στάδια του υδρολογικού κύκλου.

Περίπου το 74% της γήινης επιφάνειας καλύπτεται από νερό. Το αλμυρό νερό των μεγάλων ωκεανών αποτελεί σχεδόν το 97% του όγκου των υδάτων της γης. Το γλυκό νερό αποτελεί μόνο το 3% των γήινων υδάτων. Το 68,7% του γλυκού νερού είναι δεσμευμένο σε παγόβουνα και παγετώνες και το 30,1% βρίσκεται στους υπόγειους υδροφορείς. Μόλις το 0,3% του γλυκού νερού είναι επιφανειακό και βρίσκεται σε λίμνες, ποτάμια, ταμιευτήρες και έλη. Παρ' όλο που μικρό μέρος του συνολικού νερού της γης βρίσκεται σε ποτάμια και λίμνες, οι λίμνες και τα ποτάμια είναι η βασική πηγή νερού για την κάλυψη των ανθρώπινων αναγκών.

Εικόνα 1: Παγκόσμια κατανομή νερού [Πηγή: USGS]



Το γεγονός ότι οι ανθρώπινες ανάγκες σε νερό καλύπτονται από τις λίμνες και τα ποτάμια, απαιτεί την παρακολούθηση και τον ποιοτικό έλεγχό τους. Η ευρέως διαδεδομένη μέθοδος πραγματοποίησης των ποιοτικών ελέγχων των υδάτων είναι η επί τόπου δειγματοληψία και διενέργεια χημικών αναλύσεων. Η μέθοδος αυτή όμως είναι χρονοβόρα και οικονομικά απαγορευτική για συστηματικούς και συχνούς ελέγχους σε αρκετές περιπτώσεις και επικίνδυνη σε περιπτώσεις ανάγκης ελέγχου δύσβατων περιοχών. Επίσης τα αποτελέσματα με τη μέθοδο αυτή αναφέρονται στο σημείο όπου έγινε η δειγματοληψία και όχι στην ευρύτερη περιοχή.

Λύση στα προβλήματα που προκύπτουν με τις επί τόπου δειγματοληψίες δίνει η τηλεπισκόπηση. Από το 1974 (Wrigley and Horne) η δυνατότητα χρήσης δορυφορικών εικόνων και η εφαρμογή στην παρακολούθηση των υδάτων αποτέλεσε ένα αναγνωρισμένο τομέα έρευνας παρά τους περιορισμούς της τότε εποχής.

Σύμφωνα με τους Giardino, et al. (2007), για την εκτίμηση των παραμέτρων αυτών μπορούν να εφαρμοστούν τρεις διαφορετικές προσεγγίσεις:

- Η εμπειρική προσέγγιση η οποία βασίζεται στην ανάπτυξη μοντέλων παλινδρόμησης ανάμεσα σε δεδομένα ψηφιακής τηλεπισκόπησης και στις μετρήσεις των παραμέτρων ποιότητας νερού.
- Η ημι-εμπειρική προσέγγιση μπορεί να χρησιμοποιηθεί όταν τα φασματικά χαρακτηριστικά των παραμέτρων ενδιαφέροντος είναι γνωστά και εισάγονται στη στατιστική ανάλυση, ενώ καλά επιλεγμένες φασματικές περιοχές και κατάλληλες ζώνες συχνότητας χρησιμοποιούνται ως στοιχεία εισόδου.
- Η αναλυτική προσέγγιση στην οποία οι παράμετροι της ποιότητας του νερού σχετίζονται με Εγγενείς Οπτικές Ιδιότητες (Inherent Optical Properties- ιδιότητες που εξαρτώνται μόνο από το νερό και τις άλλες ουσίες που είναι διαλυμένες ή αιωρούμενες σε αυτό) καθώς και με τις Φαινόμενες Οπτικές Ιδιότητες (Apparent Optical Properties- εξαρτώνται από τις εγγενείς οπτικές ιδιότητες αλλά και από τη φωτεινότητα της περιοχής) ενώ περιλαμβάνει σχέσεις ανάμεσα στα παραπάνω και την ατμοσφαιρική ακτινοβολία οι οποίες αντιστρέφονται για να δώσουν τις τελικές τιμές των παραμέτρων.

1.1 Κίνητρο

Κίνητρο για την εκπόνηση αυτής της διπλωματικής εργασίας αποτελεί η προσπάθεια εφαρμογής νέων τεχνολογιών και μεθόδων και η ανάδειξη της συμβολής των δορυφορικών δεκτών υψηλής ανάλυσης όπως ο Landsat 8, στον τομέα της εκτίμησης ποιότητας των υδάτων. Παρ' όλο που στο εξωτερικό ο τομέας της τηλεπισκόπησης στην παρακολούθηση των υδάτων είναι υπό ανάπτυξη, τόσο στην Ελλάδα όσο και στην Κύπρο υστερεί από άποψη μελέτης. Επίσης έχοντας υπόψη ότι τα τελευταία χρόνια η ανάγκη παρακολούθησης και αντιμετώπισης περιβαλλοντικών αλλαγών και προβλημάτων γίνεται όλο και πιο έντονη, δημιουργείται η ανάγκη ανάπτυξης και εφαρμογής νέων μεθόδων πιο γρήγορων και οικονομικών. Η εφαρμογή αυτών των μεθόδων στην ανάκτηση δεδομένων ποιότητας των λιμναίων υδάτων, θα δώσει τη δυνατότητα δημιουργίας μιας ολοκληρωμένης βάσης δεδομένων που θα βασίζεται στη λήψη εικόνων ανά τακτά χρονικά διαστήματα με ελάχιστο οικονομικό κόστος.

2 Θεωρητικό υπόβαθρο

2.1 Λίμνες και βασικές ποιοτικές παράμετροι

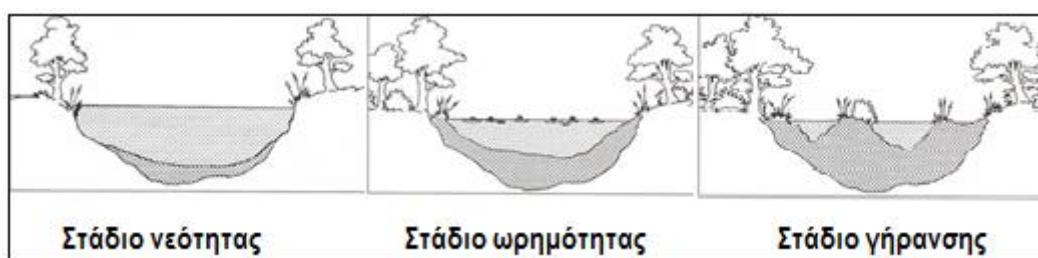
Λίμνη ορίζεται μια υδατοσυλλογή μεγάλων συνήθως διαστάσεων που καταλαμβάνει μια ενδοηπειρωτική λεκάνη. Είναι μια γεωμορφολογική οντότητα που εξελίσσεται και τελειώνει μέσα στο γεωλογικό χρόνο. Για το σχηματισμό μιας λίμνης πρέπει να υπάρξει ένα στεγανό κοίλωμα στο έδαφος καθώς και πλεόνασμα στο υδρολογικό ισοζύγιο της περιοχής (Δρ. Παναγιώτης Παναγιωτίδης).

Οι λίμνες διακρίνονται σε ολιγοτροφικές και ευτροφικές.

- Ολιγοτροφικές είναι οι λίμνες που εμφανίζουν χαμηλές ποσότητες βιομάζας και μικρές συγκεντρώσεις θρεπτικών αλάτων.
- Ευτροφικές είναι οι λίμνες που εμφανίζουν μεγάλες ποσότητες βιομάζας και συγκεντρώσεις θρεπτικών αλάτων με αποτέλεσμα τη μείωση της διαύγειας των νερών.

Ο ευτροφισμός δεν είναι απαραίτητα επιβλαβής ή κακός και διακρίνεται σε φυσικό και ανθρωπογενή ή τεχνητό. Ο φυσικός ευτροφισμός αποτελεί την εξελικτική πορεία της λίμνης από τη στιγμή της δημιουργίας της και οδηγεί τελικά στην εξαφάνισή της. Τα στάδια της διεργασίας αυτής φαίνονται πιο κάτω.

Εικόνα 2: Στάδια ανάπτυξης λιμναίου οικοσυστήματος



Ο ανθρωπογενής ή τεχνητός ευτροφισμός των λιμνών όμως επειδή γίνεται ραγδαία προκαλεί υποβάθμιση των λιμναίων νερών και του οικοσυστήματος γενικότερα αφού ξεπερνά τη φυσική ικανότητα της περιοχής και προκαλεί προβλήματα στη λίμνη και τους κατοίκους της. Ο τεχνητός ευτροφισμός εμφανίζεται συχνά σε οικοσυστήματα όπου η ανανέωση και η οξυγόνωση των νερών γίνεται με αργούς ρυθμούς. Προκαλείται κυρίως από την εναπόθεση γεωργικών λιπασμάτων, απορρυπαντικών, βιομηχανικών και αστικών αποβλήτων στις λίμνες.

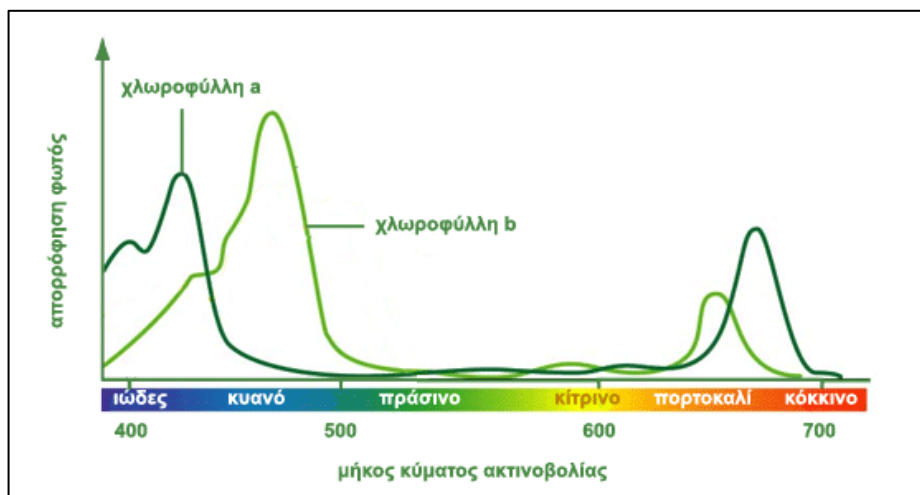
Οι δείκτες υποβάθμισης ενός υδατικού οικοσυστήματος είναι:

- η αύξηση της βακτηριακής πυκνότητας.
- η αύξηση των νιτρικών και φωσφορικών αλάτων.
- η μείωση του διαλυμένου οξυγόνου.
- η αύξηση της βιομάζας των φυκών, της υδρόβιας και χερσαίας βλάστησης.
- η αύξηση συγκέντρωσης αμμωνίου.

2.1.1 Χλωροφύλλη-α (Chl – a)

Η χλωροφύλλη είναι η χρωστική στην οποία οφείλεται το πράσινο χρώμα των φυτών. Η χλωροφύλλη-α απορροφά σε μήκη κύματος που αντιστοιχούν στο κόκκινο και στο μπλε-μοβ χρώμα του φάσματος. Το φάσμα απορρόφησης της χρωστικής χλωροφύλλης-α φαίνεται στην εικόνα 3.

Εικόνα 3: Φάσμα απορρόφησης χλωροφύλλης α και β [Πηγή: ΚΠΕ Καστοριάς]



Η χλωροφύλλη-α είναι η κυρίαρχη χρωστική των φυτοπλαγκτονικών οργανισμών που ζουν στα ανώτερα μέρη της εύφωτης ζώνης, αλλά συναντάται και σε φυτοπλαγκτονικούς οργανισμούς που ζουν στα κατώτερα μέρη της εύφωτης ζώνης. Επίσης συναντάται στα κυανοπράσινα φύκη ή κυανοβακτήρια. Η γνώση της συγκέντρωσης της χλωροφύλλης-α σε ένα οικοσύστημα δίνει χρήσιμες πληροφορίες για την εκτίμηση της βιομάζας του φυτοπλαγκτού σε μια υδάτινη περιοχή και αποτελεί δείκτη ρύπανσης από ευτροφισμό (Jorgensen & Richardson, 1996).

Τα υδάτινα οικοσυστήματα μπορούν να χαρακτηριστούν ως ολιγοτροφικά, μεσοτροφικά και ευτροφικά ανάλογα με τη συγκέντρωση χλωροφύλλης-α σε αυτά. Μια ενδεικτική κατηγοριοποίηση για την Ευρωπαϊκή ένωση φαίνεται στον επόμενο πίνακα.

Πίνακας 1: Κατηγοριοποίηση των οικοσυστημάτων ως προς τον ευτροφισμό

[Πηγή: Καρύδης, 2005]

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

2.1.2 Αμμώνιο (NH_4^+)

Αποτελεί μια από τις ενώσεις αζώτου και παράγεται κατά την αποσύνθεση νεκρής οργανικής ύλης, αλλά και από την εκροή βιομηχανικών αποβλήτων. Επίσης είναι τα

τοξικά απόβλητα του μεταβολισμού των ζώων. Στα ψάρια και τα ασπόνδυλα του νερού αποβάλλεται κατευθείαν στο νερό (wikipedia). Σε μεγάλες συγκεντρώσεις είναι τοξικό για τους οργανισμούς. Η μέτρησή της συγκεντρώσής του σε επιφανειακά νερά αποτελεί ένδειξη ρύπανσης του νερού από οργανικές ουσίες και παρουσία μικροοργανισμών.

2.1.3 Ολικός φώσφορος (TP)

Ο ολικός φώσφορος περιλαμβάνει μορφές φωσφόρου (πολυφωσφορικά, οργανοφωσφορικά, ορθοφωσφορικά, πυροφωσφορικά). Αποτελεί ένα από τα βασικά θρεπτικά συστατικά των ζωικών και φυτικών οργανισμών και έχει καθοριστική σημασία για την αποκατάσταση της οικολογικής ισορροπίας μιας λίμνης. Η συγκέντρωση του φωσφόρου στο νερό επηρεάζεται από τη θερμοκρασία, το pH και τη συγκέντρωση των νιτρικών και νιτρωδών ιόντων.

Η παρουσία υδρόβιας μακροφυτικής βλάστησης σε μια υδάτινη συλλογή αυξάνει τη συγκέντρωση του φωσφόρου στο νερό. Οι οργανισμοί προσλαμβάνουν φώσφορο κυρίως από το υπόστρωμα, ενώ κατά την ανάπτυξή τους απελευθερώνουν μεγάλα ποσά φωσφόρου στο νερό. Αυτή η διαδικασία συνεχίζεται και κατά τη ξήρανσή τους. Η παραμονή ξηρών φυτικών τμημάτων στο νερό διευκολύνει την αποσύνθεσή τους, εμπλουτίζοντας το νερό με φωσφορικές ενώσεις.

Στα περισσότερα φυσικά νερά οι συγκεντρώσεις ολικού φωσφόρου κυμαίνονται συνήθως μεταξύ 10 και 50 $\mu\text{g/L}$. Σε μη παραγωγικά oligότροφα νερά η συγκέντρωση του ολικού φωσφόρου μπορεί να είναι μικρότερη από 5 $\mu\text{g/L}$, ενώ σε πολύ εύτροφες συνθήκες μπορεί να υπερβαίνει τα 100 $\mu\text{g/L}$.

Εξωτερικές πηγές φωσφόρου μπορεί να είναι οι επιφανειακές απορροές, τα λιπάσματα, τα κτηνοτροφικά απόβλητα, οι εκροές των εγκαταστάσεων επεξεργασίας αστικών λυμάτων, βιομηχανικά απόβλητα κ.α.

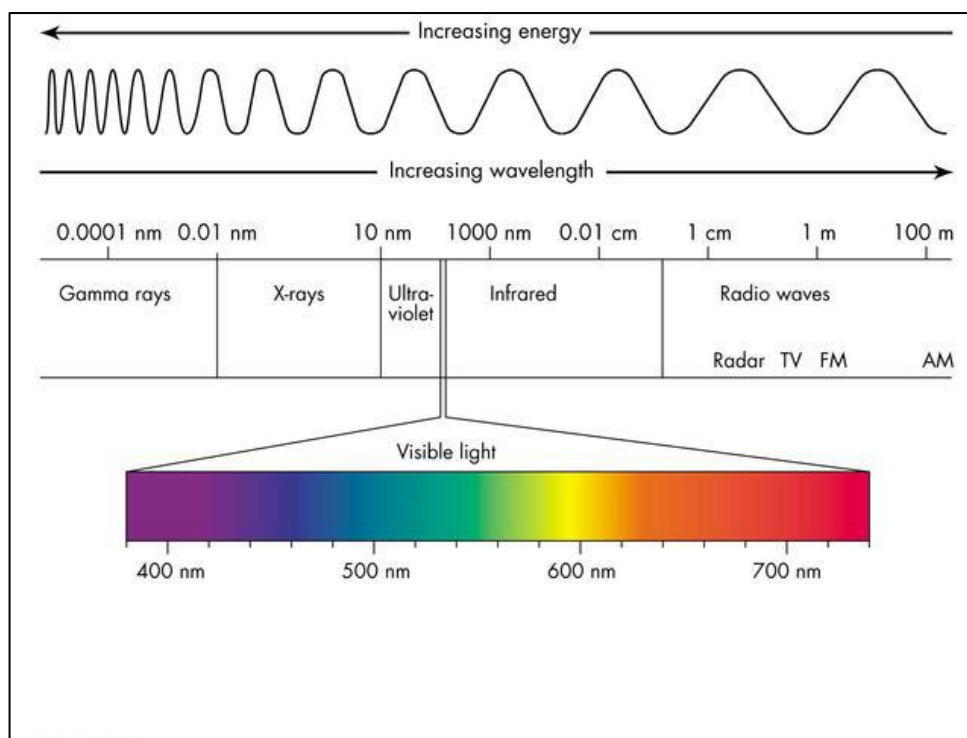
2.2 Ψηφιακή Τηλεπισκόπηση και περιβάλλον

Η τηλεπισκόπηση ορίστηκε επισήμως από την Αμερικανική Εταιρεία Φωτογραμμετρίας και Τηλεπισκόπησης (ASPRS- American Society for Photogrammetry and Remote Sensing) ως εξής: “Η μέτρηση ή συλλογή πληροφοριών για κάποια ιδιότητα ενός αντικειμένου ή φαινομένου μέσω κάποιου οργάνου καταγραφής το οποίο δε βρίσκεται σε άμεση επαφή με το υπό μελέτη αντικείμενο ή φαινόμενο ” (Colwell, 1983). Συνδυάζεται αρμονικά με άλλες επιστήμες Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIScience) (Γεωεπιστήμες) που περιλαμβάνουν τη χαρτογραφία, την τοπογραφία και τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (GIS) (Curran 1987, Clarke 2001, Jensen 2005).

Βασίζεται στο γεγονός ότι κάθε αντικείμενο έχει τη δική του φασματική υπογραφή και μέρος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που δέχεται το αντικείμενο ανακλάται. Ενώ το ανθρώπινο μάτι είναι ικανό να ευαισθητοποιείται στο τμήμα 350-700 nm του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, άλλοι αισθητήρες έχουν τη δυνατότητα να λαμβάνουν πληροφορία σε μεγαλύτερο τμήμα του. Έτσι η ανακλώμενη ακτινοβολία λαμβάνεται από τους ενεργητικούς ή παθητικούς δέκτες και εξάγεται πληροφορία που αφορά το στόχο-αντικείμενο. Οι ενεργητικοί δέκτες είναι οι δέκτες που εκπέμπουν ακτινοβολία

προς το στόχο για να μετρήσουν, ενώ οι παθητικοί χρησιμοποιούν την ηλιακή κυρίως ακτινοβολία.

Εικόνα 4: Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα [Πηγή: cyberphysics.co.uk]



Οι εφαρμογές της ψηφιακής τηλεπισκόπησης τα τελευταία χρόνια δίνουν τη δυνατότητα παρακολούθησης και αντιμετώπισης των ραγδαίων περιβαλλοντικών μεταβολών που συμβαίνουν.

Ορισμένες σημαντικές εφαρμογές της τηλεπισκόπησης αφορούν την παρακολούθηση της ποιότητας των υδάτων, την παρακολούθηση ωκεανογραφικών δεδομένων, την παρακολούθηση αγροτικών περιοχών, τη μελέτη χρήσεων γης, τη χαρτογράφηση περιοχών, την καταγραφή μεταβολών (π.χ της ακτογραμμής ή μεταβολών λόγω πυρκαγιών), τη χαρτογράφηση πλημμυρών, την παρακολούθηση πυρκαγιών. Η δυνατότητα της διαχρονικής παρακολούθησης καθώς και της ενιαίας αντίληψης που προσφέρει για το περιβάλλον η ψηφιακή τηλεπισκόπηση, δίνει το πλεονέκτημα της παρακολούθησης των διαχρονικών αλλαγών και του καθορισμού των μελλοντικών δράσεων για την προστασία και διαχείριση του περιβάλλοντος, όπως επίσης και την αντιμετώπιση των περιβαλλοντικών κρίσεων.

Εικόνα 5: Εφαρμογές της τηλεπισκόπησης [Πηγή:ISRO]



Η τηλεπισκόπηση παρουσιάζει πολλά πλεονεκτήματα αλλά και κάποιους περιορισμούς.

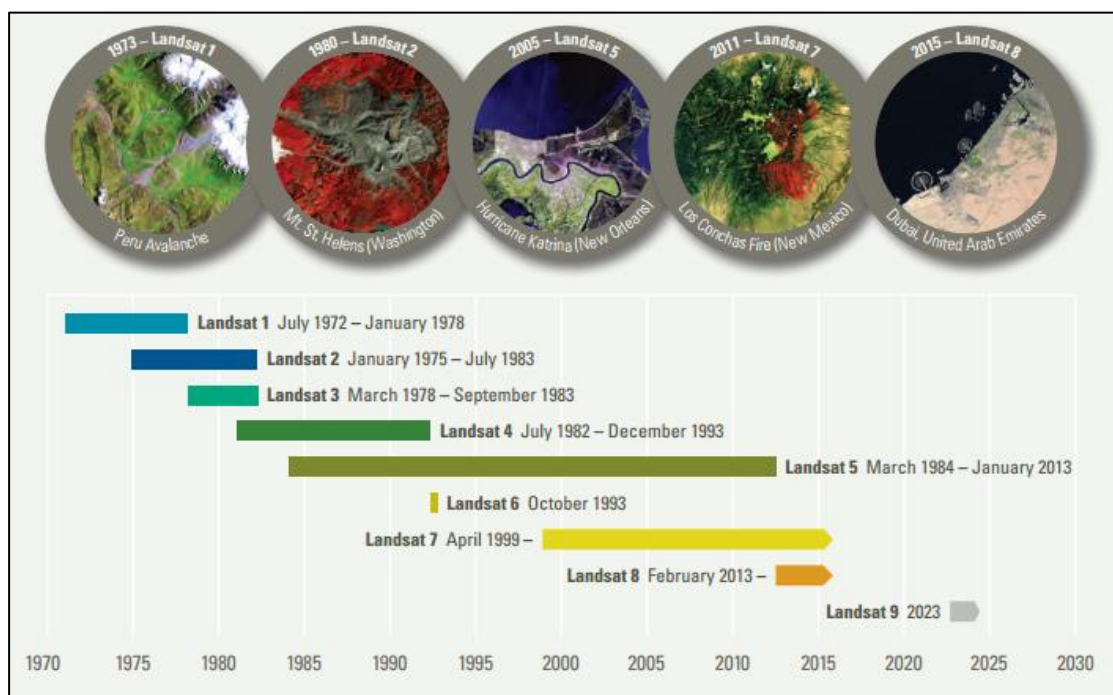
- + Η παθητική τηλεπισκόπηση δεν είναι παρεμβατική αφού ο δέκτης απλώς καταγράφει την ηλεκτρομαγνητική ενέργεια που ανακλά ή εκπέμπει το υπό εξέταση αντικείμενο ή φαινόμενο, έτσι δεν το επηρεάζει.
- + Επειδή τα όργανα τηλεπισκόπησης είναι συχνά προγραμματισμένα να συλλέγουν δεδομένα με συστηματικό τρόπο εξαλείφεται το δειγματοληπτικό σφάλμα.
- + Βασίζεται σε δεδομένα ιδίων πηγών και παρέχει δεδομένα σε άλλους επιστημονικούς κλάδους.
- + Είναι συχνά πιο οικονομικός τρόπος συλλογής δεδομένων.
- + Υπάρχει δυνατότητα συνεχών μετρήσεων και σύγκρισής τους.
- Υπάρχει το ενδεχόμενο ανθρώπινου λάθους κατά τον καθορισμό των διαφόρων παραμέτρων για τα όργανα και τις εργασίες τηλεπισκόπησης.
- Ισχυρά ενεργητικά συστήματα αισθητήρων τηλεπισκόπησης που εκπέμπουν τα ίδια ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία μπορεί να αποδειχθούν παρεμβατικά και να επηρεάσουν το υπό εξέταση φαινόμενο.
- Στα όργανα τηλεπισκόπησης συχνά χάνεται η ακρίβεια της αρχικής βαθμονόμησης και το αποτέλεσμα είναι μη βαθμονομημένα δεδομένα τηλεπισκόπησης.

2.3 Πρόγραμμα Landsat

Το πρόγραμμα Landsat αποτελεί την επιχείρηση με τη μακρύτερη λειτουργία για την απόκτηση εικόνων της γης από το διάστημα. Ο στόχος τέθηκε από τη NASA, το υπουργείο εσωτερικών και το υπουργείο γεωργίας των ΗΠΑ το 1960 και επιτεύχθηκε στις 23 Ιουλίου 1972 με την εκτόξευση του πρώτου πολιτικού δορυφόρου παρατήρησης

της γης του Earth Resources Technology Satellite (ERTS-1) ο οποίος μετονομάστηκε αργότερα σε Landsat 1. Ακολούθησαν οι εκτοξεύσεις των Landsat 2, Landsat 3, Landsat 4 και Landsat 5 το 1975, 1978, 1982 και 1984 αντίστοιχα. Το 1993 ο Landsat 6 απέτυχε να μπει σε τροχιά. Στη συνέχεια εκτοξεύτηκαν με επιτυχία οι δορυφόροι Landsat 7 το 1999 και Landsat 8 το 2013. Ο Landsat 9 προγραμματίζεται να εκτοξευτεί το 2023.

Εικόνα 6: Χρονοδιάγραμμα και ιστορία των αποστολών Landsat [Πηγή: USGS]



Στις 4 δεκαετίες λειτουργίας του προγράμματος παρέχει μια μοναδική πηγή πληροφοριών για όσους εργάζονται στους τομείς της γεωργίας, της γεωλογίας, της χωροταξίας, της χαρτογράφησης και της έρευνας των παγκόσμιων αλλαγών. Επίσης οι πληροφορίες που παρέχονται από το πρόγραμμα είναι πολύτιμες για την αντιμετώπιση καταστάσεων έκτακτης ανάγκης σε περιπτώσεις καταστροφών. Τα τελευταία χρόνια δεδομένα Landsat χρησιμοποιούνται και σε περιπτώσεις παρακολούθησης πετρελαιοκηλίδων και άλλων μορφών ρύπανσης.

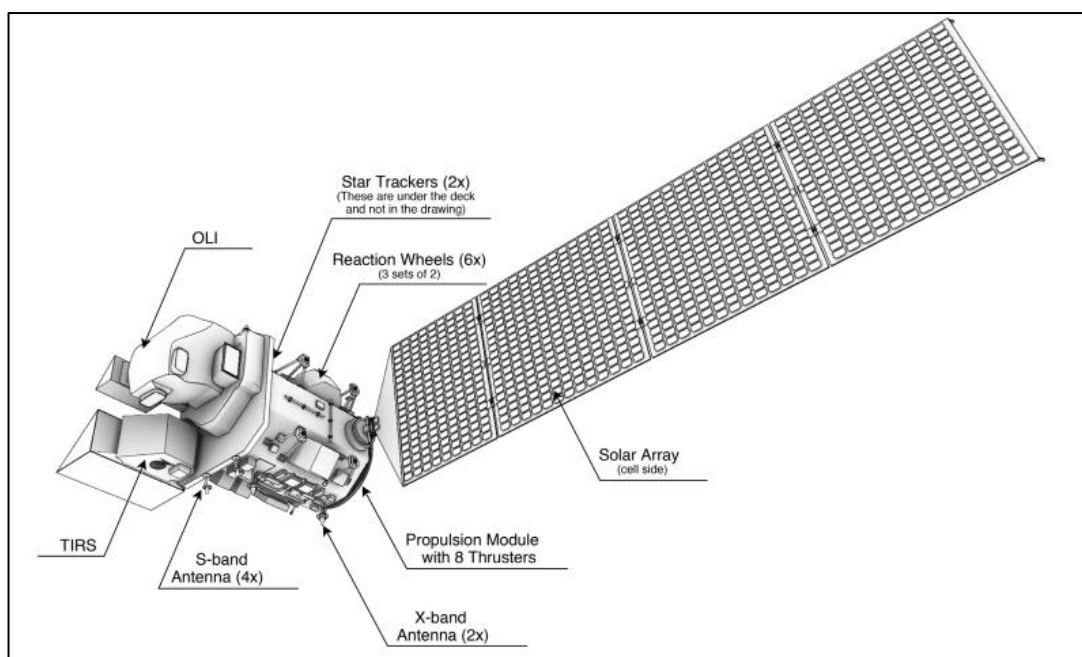
Τώρα το πρόγραμμα Landsat είναι μια συνεργασία της NASA και της γεωλογικής υπηρεσίας των ΗΠΑ (USGS). Η USGS από το 2008 παρέχει υψηλής ποιότητας γεωμετρικά και ραδιομετρικά διορθωμένα δεδομένα σε όλους τους χρήστες χωρίς κανένα κόστος.

2.3.1 Το πρόγραμμα Landsat 8

Η αποστολή Landsat 8 ξεκίνησε το Φεβρουάριο 2013. Το σύστημα του Landsat 8 αποτελείται από δύο βασικά τμήματα, το παρατηρητήριο που αποτελείται από τη διαστημική πλατφόρμα και τον επίγειο σταθμό. Στη δορυφορική πλατφόρμα βρίσκονται οι αισθητήρες Operational Land Imager (OLI) με διάρκεια ζωής 5 χρόνια και Thermal Infrared Sensor (TIRS) με διάρκεια ζωής 3 χρόνια. Η δορυφορική πλατφόρμα όμως διαθέτει καύσιμα για λειτουργία 10 χρόνων. Οι OLI και TIRS συλλέγουν δεδομένα

και παρέχουν εικόνες παγκοσμίως για την επιφάνεια της γης συμπεριλαμβανομένων και των υδάτινων στοιχείων.

Εικόνα 7: Σχέδιο δορυφόρου Landsat 8 [Πηγή: NASA]



Ο δορυφόρος εκτοξεύτηκε σε ύψος 705 km πάνω από τη γη και ακολουθεί ηλιοσύγχρονη τροχιά. Εκτελεί κύκλο 233 τροχιών και καλύπτει όλη τη γη κάθε 16 ημέρες (εκτός από τις περιοχές κοντά στους πόλους). Η κλίση της τροχιάς του είναι 98,2 °. Για να εκτελέσει ένα πλήρη κύκλο γύρω από τη γη χρειάζεται 98,9 λεπτά. Η μετακίνηση του ίχνους της τροχιάς επί του εδάφους γίνεται από Βορρά προς Νότο για μια ημέρα, διασταυρώνοντας τον Ισημερινό στις 10.00 π.μ τοπική ηλιακή ώρα σε κάθε διέλευση. Επιστρέφει κάθε μέρα 400 σκηνές. Τόσο ο αισθητήρας OLI όσο και ο αισθητήρας TIRS σε κάθε σκηνή καλύπτουν επιφάνεια 185 km. Ο Landsat 8 ακολουθεί την ίδια διέλευση με τους Landsat 4, Landsat 5 και Landsat 7, πράγμα που δίνει τη δυνατότητα στα δεδομένα του να αναφέρονται στο ίδιο σύστημα αναφοράς. Τα δεδομένα που καταγράφονται αναφέρονται στο σύστημα World Reference System-2 (WRS-2), το οποίο βασίζεται σε συντεταγμένες path και row. Το path δηλώνει την τροχιά από Βορρά προς Νότο, ενώ το row την τροχιά από Ανατολή προς Δύση.

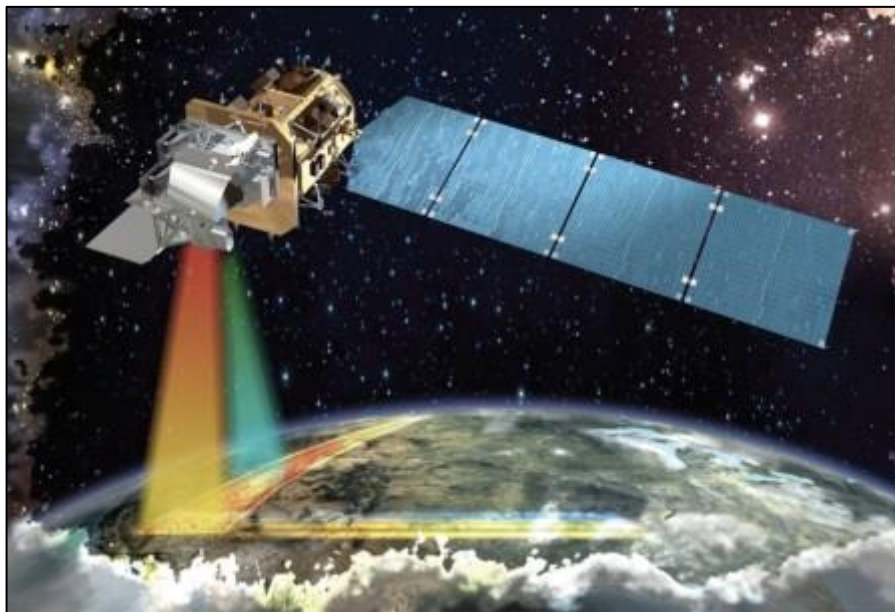
Ο OLI συλλέγει δεδομένα με χωρική ανάλυση 30m στο ορατό, στο εγγύς υπέρυθρο (NIR) και μέσο και θερμικό υπέρυθρο (SWIR) τμήμα του φάσματος και 15m στο παγχρωματικό. Επίσης περιέχει ένα κανάλι στο βαθύ μπλε για παράκτιες μελέτες αερολυμάτων και ένα κανάλι ανίχνευσης θυσάνων. Ο TIRS καταγράφει πληροφορία σε δύο θερμικά κανάλια για την ανάκτηση της θερμοκρασίας με χωρική ανάλυση 100m.

Πίνακας 2: Κανάλια των αισθητήρων του Landsat 8 [Πηγή: USGS]

Band designations	L8 OLI/TIRS	
	Band	Wavelength Range (μm)
Coastal/Aerosol	Band 1	0.43–0.45
Blue	Band 2	0.45–0.51
Green	Band 3	0.53–0.59
Panchromatic	Band 8**	0.50–0.68
Red	Band 4	0.64–0.67
Near-Infrared	Band 5	0.85–0.88
Near-Infrared	--	--
Cirrus	Band 9	1.36–1.38
Shortwave Infrared-1	Band 6	1.57–1.65
Shortwave Infrared-2	Band 7	2.11–2.29
Thermal	Band 10 T1	10.60–11.19
Thermal	Band 11 T1	11.50–12.51

** 15-meter (panchromatic)
T1 = Thermal (acquired at 100 meters, resampled to 30 meters)

Εικόνα 8:Ο δορυφόρος Landsat 8 [Πηγή:nacionesunidas.org.co]



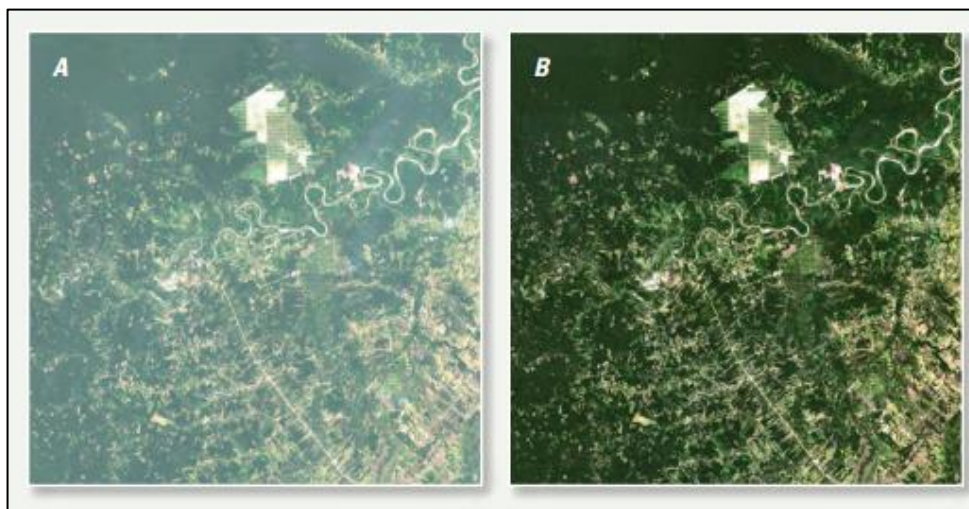
Τα προϊόντα του Landsat 8 είναι ατμοσφαιρικά διορθωμένα-Surface Reflectance. Είναι αρχεία μορφής GeoTIFF, περίπου 2 GB ασυμπίεστα. Η προβολή που χρησιμοποιεί είναι η εγκάρσια μερκατορική προβολή (UTM) και η στερεογραφική προβολή για σκηνές όπου το κέντρο τους βρίσκεται σε γεωγραφικό πλάτος μεγαλύτερο ή ίσο με 63 °. Το ελλειψοειδές στο οποίο αναφέρονται είναι το WGS84.

2.3.2 Προϊόντα Surface Reflectance

Επειδή μεταξύ δέκτη και αντικειμένου παρεμβάλλονται τα αερολύματα της ατμόσφαιρας προκαλείται παραμόρφωση της ακτινοβολίας, έτσι οι τιμές των προϊόντων επιπέδου 1 του Landsat 8 δεν εκφράζουν την πραγματική ακτινοβολία που

εκπέμπεται από τα επίγεια αντικείμενα. Γι' αυτό πριν την χρήση των εικόνων είναι απαραίτητο να πραγματοποιείται ατμοσφαιρική διόρθωσή τους (εικόνα 9).

Εικόνα 9: Απεικόνιση βουνού στο Περού, A: εικόνα επιπέδου 1,
B: ατμοσφαιρικά διορθωμένη εικόνα



Η USGS παρέχει Surface Reflectance προϊόντα, δηλαδή παρέχει τις πληροφορίες που θα κατέγραφε ένας αισθητήρας πάνω από τη γήινη επιφάνεια εάν δεν παρεμβάλλονταν ενδιάμεσα τα αερολύματα της ατμόσφαιρας. Κάθε σκηνή που παρέχει η USGS περιέχει

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

Οι εικόνες Cloud QA περιέχουν τη λεπτομερή παρουσία των νεφών και των επιπέδων των αερολυμάτων που χρησιμοποιούνται για να προσδιοριστεί το επίπεδο διόρθωσης για κάθε pixel.

Στις εικόνες CF mask προσδιορίζεται με μεγαλύτερη ακρίβεια από τις εικόνες Cloud QA η παρουσία συννέφων, σκιών συννέφων, χιονιού ή νερού. Οι εικόνες αυτές δημιουργούνται από τον αλγόριθμο C version of F mask.

Πίνακας 3: Τιμές που λαμβάνουν τα pixels στις εικόνες CF mask [Πηγή: USGS]

Pixel Value	Interpretation
255	Fill
0	Clear
1	Water
2	Cloud shadow
3	Snow
4	Cloud

Οι εικόνες CF mask Cloud Confidence αντιπροσωπεύουν το επίπεδο εμπιστοσύνης για την ανίχνευση σύννεφων. Οι τιμές που μπορούν να λάβουν τα pixels φαίνονται στον επόμενο πίνακα.

Πίνακας 4: Τιμές που λαμβάνουν τα pixels στις εικόνες CF mask Cloud Confidence [Πηγή: USGS]

Pixel Value	Interpretation
255	Fill
0	None
1	<= 12.5% cloud confidence
2	> 12.5% and <= 22.5% cloud confidence
3	> 22.5% cloud confidence

Το αρχείο μεταδεδομένων είναι σε μορφή .xml και περιλαμβάνει γεωγραφικά στοιχεία όπως γεωγραφικές και ορθογώνιες συντεταγμένες των γωνιακών pixels, τη ζώνη προβολής, τα path και row και άλλα στοιχεία.

3 Βιβλιογραφική ανασκόπηση

Τις τελευταίες δεκαετίες η Δορυφορική Τηλεπισκόπηση έχει χρησιμοποιηθεί σε διάφορες εφαρμογές ποιότητας νερού σε διεθνές επίπεδο. Οι εφαρμογές αφορούν παρακολούθηση κάθε κατηγορίας υδάτων, αλμυρού, γλυκού ή υφάλμυρου και διαφόρων ειδών ταμιευτήρων, τεχνητές ή φυσικές λίμνες, ποτάμια, θαλάσσια και ωκεάνια τμήματα.

Λόγω της οπτικής πολυπλοκότητας του νερού και του ευρέως φάσματος του πεδίου μελέτης, οι μελετητές οδηγούνται στην ανάγκη ανάπτυξης ποικιλίας αλγορίθμων, οι οποίοι μπορεί να διαμορφώνονται από εμπειρικά, ημι-αναλυτικά και αναλυτικά μοντέλα, βιοοπτικούς δείκτες και νευρωνικά δίκτυα.

Τα διαλυμένα και τα αιωρούμενα συστατικά του νερού παρουσιάζουν μεγάλες διαφοροποιήσεις μεταξύ των περιοχών της γης κάτι που μπορεί να οδηγήσει σε διαφορετικούς συντελεστές παλινδρόμησης. Έτσι είναι αναγκαίο να δημιουργείται μια εμπειρική σχέση για κάθε νέα περιοχή (Sass et al., 2007). Επιπλέον, η χρήση των εικόνων του Landsat για την εκτίμηση των τιμών των παραμέτρων σε μικρές, ρηχές λίμνες μπορεί να πιέζει τα όρια της συγκεκριμένης τεχνολογίας λόγω των πιθανών σφαλμάτων που εισάγονται από το βυθό της λίμνης και την υδρόβια βλάστηση (Lillesand, et al., 1983) επομένως η επιλογή των λιμνών πρέπει να γίνεται με προσοχή.

Οι παράμετροι οι οποίες έχουν απασχολήσει τις περισσότερες ερευνητικές εργασίες είναι η χλωροφύλλη-α (ένδειξη για το φαινόμενο του ευτροφισμού) και η θολότητα των υδάτων. Οι μελετητές έχουν ασχοληθεί επίσης με τις παραμέτρους θερμοκρασία, διαλυμένο οξυγόνο (DO), ηλεκτρική αγωγιμότητα, νιτρικά και φωσφορικά άλατα, σύνολο διαλυμένων σωματιδίων (TDS), σύνολο αιωρούμενων σωματιδίων (TSS), βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (BOD_5) που προσδιορίζει την ποσότητα της οργανικής ύλης, σωματίδια οργανικού άνθρακα (POC) και πλήθος άλλων παραμέτρων.

Στη συνέχεια γίνεται αναφορά σε μελέτες που αφορούν ποιότητα υδάτων με χρήση τηλεπισκόπησης.

3.1 Ερευνητικές εργασίες που πραγματοποιήθηκαν

Οι Han και Jordan (2005) ανέπτυξαν αλγορίθμους για την εκτίμηση της συγκέντρωσης της χλωροφύλλης-α στην ακτή Pensacola χρησιμοποιώντας δεδομένα του Landsat 7 ETM+. Τα δεδομένα του Landsat 7 ETM+ είχαν για πρώτη φορά διορθωθεί γεωμετρικά. Επίσης έγινε ραδιομετρική διόρθωση. Για τα μοντέλα παλινδρόμησης ο λογάριθμος της χλωροφύλλης-α χρησιμοποιήθηκε σαν εξαρτημένη μεταβλητή. Οι ανεξάρτητες μεταβλητές των μοντέλων ήταν κανάλια ή αναλογίες καναλιών ή ο λογάριθμός τους. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η αναλογία $ETM+1/ETM+3$ ήταν πιο αποτελεσματική στην εκτίμηση χλωροφύλλης-α.

Οι Tyler et al (2007), είχαν χρησιμοποιήσει δορυφορικά δεδομένα του Landsat σε λίμνες με πολύ ρηχά νερά. Σκοπός τους ήταν ο προσδιορισμός των συγκεντρώσεων χλωροφύλλης-α και αιωρούμενων σωματιδίων. Ασχολήθηκαν με τη λίμνη Balaton στην

Ουγγαρία, τη μεγαλύτερη λίμνη της Ευρώπης που έχει βάθος μικρότερο από 3 μέτρα. Στη λίμνη παρατηρούνται συχνά επεισόδια ευτροφισμού. Επίγεια δεδομένα πάρθηκαν από 11 σημεία κατά μήκος της λίμνης δύο ώρες πριν ή μετά το πέρασμα του δορυφόρου. Ανέπτυξαν μια εξίσωση που συνδέει τη συγκέντρωση χλωροφύλλης-α με τα αιωρούμενα σωματίδια και το καθαρό νερό και βρέθηκε ότι η βαθμονομημένη σχέση από την πολυπαραγοντική ανάλυση παλινδρόμησης έδωσε τιμή συσχέτισης $R^2=0,952$.

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

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

Η Θεολόγου(2014), επεδίωξε να τυποποιήσει τη διαδικασία χαρτογράφησης των βασικών ποιοτικών παραμέτρων παρακολούθησης λιμναίων οικοσυστημάτων. Με συνδιασμό ταυτόχρονων επίγειων και δορυφορικών παρατηρήσεων, έγινε προσπάθεια εκτίμησης με τηλεπισκοπικά μέσα των ποιοτικών χαρακτηριστικών του νερού. Τα δεδομένα που χρησιμοποίησε ήταν δορυφορικές εικόνες του Landsat 8, υπερφασματικά δεδομένα από φασματογράφο χειρός και αποτελέσματα των αντίστοιχων χημικών αναλύσεων. Εξετάστηκαν οι παράμετροι χλωροφύλλης-α, νιτρικά ιόντα, αμμώνιο, αγωγιμότητα, διαλυμένο οξυγόνο, θερμοκρασία, ολικός φώσφορος και pH. Τα αποτελέσματα ήταν εξαιρετικά ενθαρρυντικά με εξαιρέσεις τον ολικό φώσφορο και το pH που δεν έδωσαν αξιοσημείωτες συσχετίσεις στα υπερφασματικά δεδομένα.

Οι Harvey, Kratzer και Philipson (2013), αναφέρουν την ανάγκη παρακολούθησης της ποιότητας των υδάτων. Συγκεκριμένα αναφέρουν ότι η παρακολούθηση των υδάτων για τον κίνδυνο ευτροφισμού μπορεί να γίνει με την παρακολούθηση της συγκέντρωσης χλωροφύλλης μέσω του χρώματος των ωκεανών από δεδομένα τηλεπισκόπησης. Αρκετά λειτουργικά συστήματα παρακολούθησης που βασίζονται στην τηλεπισκόπηση είναι σε θέση να παρακολουθήσουν την ανοικτή θάλασσα και σε ορισμένο βαθμό τις παράκτιες ζώνες. Οι Harvey, Kratzer και Philipson, συγκρίνουν τις συγκεντρώσεις χλωροφύλλης-α που ανακτώνται από το δορυφορικό σύστημα MERIS και επιτόπου δεδομένα από την παρακολούθηση με πλοία την παραγωγική περίοδο 2008 και 2010 σε μια παράκτια περιοχή της Βαλτικής θάλασσας. Οι συγκρίσεις έδειξαν ότι τα δορυφορικά δεδομένα είναι αξιόπιστα. Πολύ ισχυρή συσχέτιση παρουσιάζεται στη σύγκριση δορυφορικών και επιτόπου μετρήσεων που έχουν μεταξύ τους απόκλιση 0 έως 3 ημέρες. Η μελέτη δείχνει ότι τα δεδομένα MERIS είναι καλύτερα επειδή επιτρέπουν μια συνοπτική εικόνα και υψηλότερη χρονική ανάλυση. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι ο συνδιασμός των τηλεπισκοπικών μεθόδων και των μεθόδων πεδίου παρέχουν αποτελεσματικότερη παρακολούθηση της παράκτιας ζώνης. Επίσης τα αποτελέσματα είναι σημαντικά για την αξιολόγηση του ευτροφισμού και η μέθοδος μπορεί να εφαρμοστεί στο πλαίσιο των εθνικών και διεθνών συμφωνιών για παρακολούθηση της ποιότητας των υδάτων.

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

Η Μουντογιαννάκη (2015), διερεύνησε τη δυνατότητα εκτίμησης της ποιότητας των υδάτων από διαχρονικά τηλεπισκοπικά δεδομένα σε παράκτιες περιοχές της δυτικής και νότιας Ευρώπης. Οι δείκτες ποιότητας που μελέτησε είναι η χλωροφύλλη-α, το αμμώνιο, το βάθος του δίσκου Secchi, η ηλεκτρική αγωγιμότητα, το διαλυμένο οξυγόνο και τα ορθοφωσφορικά ανιόντα. Τα δορυφορικά δεδομένα και οι μετρήσεις πεδίου ήταν επιλεγμένα ώστε να απέχουν χρονικά έως το πολύ 10 ημέρες. Τα δεδομένα συσχετίστηκαν με τεχνικές απλής γραμμικής και λογαριθμικής-γραμμικής παλινδρόμησης. Οι συσχετίσεις που επιτεύχθηκαν για τη χλωροφύλλη-α για συγκέντρωση 10-20μg/L φτάνουν το 92%, για τις συγκεντρώσεις αμμωνίου φτάνουν το 70% και για το βάθος του δίσκου Secchi για εύρος τιμών (2-6m) φτάνουν το 92%. Επίσης η ηλεκτρική αγωγιμότητα συσχετίστηκε με R^2 περίπου 67% αλλά μόνο στους ισπανικούς σταθμούς στον Ατλαντικό Ωκεανό. Το διαλυμένο οξυγόνο δεν ξεπέρασε τη συσχέτιση του 62% για χρονική διαφορά 2 ημερών, ενώ τα ορθοφωσφορικά ανιόντα έδωσαν συσχετίσεις έως και 80%.

Οι Al-Fahdawi, Rabee και Al-Hirmizy (2015), ασχολήθηκαν με την παρακολούθηση των παραμέτρων ποιότητας νερού της λίμνης Habbaniyah με εφαρμογή μεθόδων τηλεπισκόπησης και GIS. Τα αποτελέσματά τους συγκρίθηκαν και με επιτόπιες μετρήσεις. Οι παράμετροι με τις οποίες ασχολήθηκαν είναι οι εξής: χλωροφύλλη-α, θερμοκρασία, διαλυμένο οξυγόνο, BOD₅, ηλεκτρική αγωγιμότητα, TDS, TSS, θολότητα, νιτρικά και φωσφορικά άλατα. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το κανάλι 5 σχετίζεται σημαντικά με τη θολότητα το χειμώνα, τα κανάλια 2 και 3 συσχετίζονται σημαντικά με το TDS το φθινόπωρο και το καλοκαίρι, ενώ το κανάλι 2 παρουσιάζει σημαντική συσχέτιση με το TSS το φθινόπωρο. Το κανάλι 2 είναι πιο πιθανό να συσχετίζεται και με τη χλωροφύλλη-α το φθινόπωρο. Τα αποτελέσματα της μελέτης έδειξαν ότι υπάρχει σύγκλιση μεταξύ επιτόπιων μετρήσεων και αποτελεσμάτων τηλεπισκόπησης αφού δεν αποκλίνουν σημαντικά στις 3 εποχές.

Η Κοντοπούλου (2016), χρησιμοποίησε δορυφορικές εικόνες Landsat 8 για να διερευνήσει τη συσχέτιση μεταξύ δορυφορικών και επίγειων δεδομένων και τη δυνατότητα αξιολόγησης της ποιότητας των λιμναίων υδάτων με χρήση δορυφορικών εικόνων. Ασχολήθηκε με 11 λιμναία συστήματα της Ελλάδας και οι δείκτες ποιότητας των υδάτων που μελέτησε είναι η χλωροφύλλη-α, το βάθος του δίσκου Secchi και η θερμοκρασία. Τα δορυφορικά δεδομένα και τα επί τόπου δεδομένα ήταν επιλεγμένα ώστε να απέχουν χρονικά έως το πολύ 15 ημέρες. Τα δεδομένα συσχετίστηκαν με τεχνικές απλής γραμμικής παλινδρόμησης. Για τη χλωροφύλλη-α επιτεύχθηκαν συσχετίσεις της τάξης του 75% για n=168 παρατηρήσεις στο εύρος συγκέντρωσης (0,45-118,88 μg/L). Το βάθος του δίσκου Secchi έδωσε συσχετίσεις για αριθμό παρατηρήσεων n=193 της τάξης του 70% για εύρος τιμών (0,01-14m) και για χρονική διαφορά έως 15 ημέρες. Οι συσχετίσεις της επιφανειακής θερμοκρασίας, για χρονική διαφορά έως 5 ημέρες και αριθμό παρατηρήσεων n=51, δεν ξεπέρασαν το 64%.

4 Μεθοδολογία

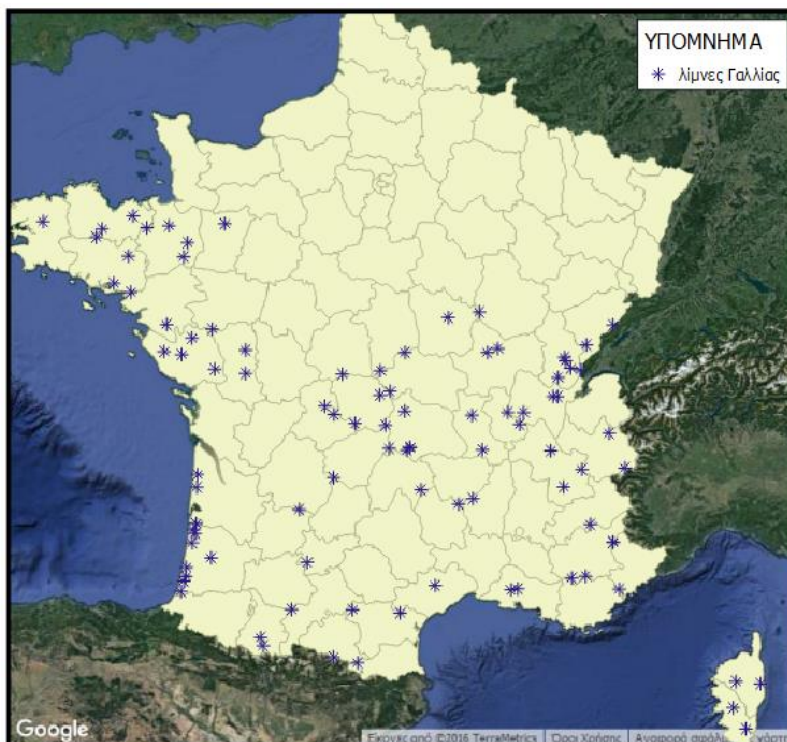
Στο κεφάλαιο αυτό αναλύεται η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε ώστε να εξαχθούν συμπεράσματα για τις συσχετίσεις που παρουσιάζονται ανάμεσα στα επιτόπου δεδομένα, χλωροφύλλης-α, αμμωνίου και ολικού φωσφόρου, και τα πολυφασματικά δεδομένα των δορυφορικών εικόνων του Landsat-8. Περιγράφεται η διαδικασία ανάκτησης των δεδομένων καθώς και η τεχνική ανάλυσής τους.

Η ανάλυση των δεδομένων έγινε με χρήση τεχνικών παλινδρόμησης. Σκοπός είναι η συσχέτιση των επιτόπου - in situ δεδομένων που αφορούν τις ουσίες χλωροφύλλη-α, αμμώνιο και ολικό φώσφορο με τους αντίστοιχους δείκτες που δημιουργήθηκαν με συνδυασμό των καναλιών των δορυφορικών εικόνων του Landsat-8. Για τα δεδομένα που αφορούν τις ουσίες χλωροφύλλη-α, αμμώνιο και ολικό φώσφορο έγινε ανάλυση με χρήση μοντέλων απλής γραμμικής παλινδρόμησης. Για τη χλωροφύλλη-α, έγινε περεταίρω εξέταση των συσχετίσεων μεταξύ in situ δεδομένων και δεικτών, γι' αυτό έγινε χρήση μη γραμμικών μοντέλων παλινδρόμησης και παλινδρόμησης με χρήση νευρωνικών δικτύων. Και στις τρεις περιπτώσεις χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό πακέτο Matlab. Για τα απλά γραμμικά μοντέλα χρησιμοποιήθηκε κώδικας που διαθέτει το εργαστήριο τηλεπισκόπησης, ενώ για τα μη γραμμικά μοντέλα και τα νευρωνικά δίκτυα χρησιμοποιήθηκε η έτοιμη εργαλειοθήκη του λογισμικού.

4.1 Περιοχή μελέτης

Ως περιοχή μελέτης ορίστηκαν οι λίμνες της Γαλλίας για τις οποίες υπάρχουν δεδομένα σχετικά με την ποιότητα των υδάτων τους στη βάση δεδομένων του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Περιβάλλοντος (ΕΕΑ). Συνολικά μελετήθηκαν 92 λίμνες.

Χάρτης 1: Θέσεις λιμνών που μελετήθηκαν



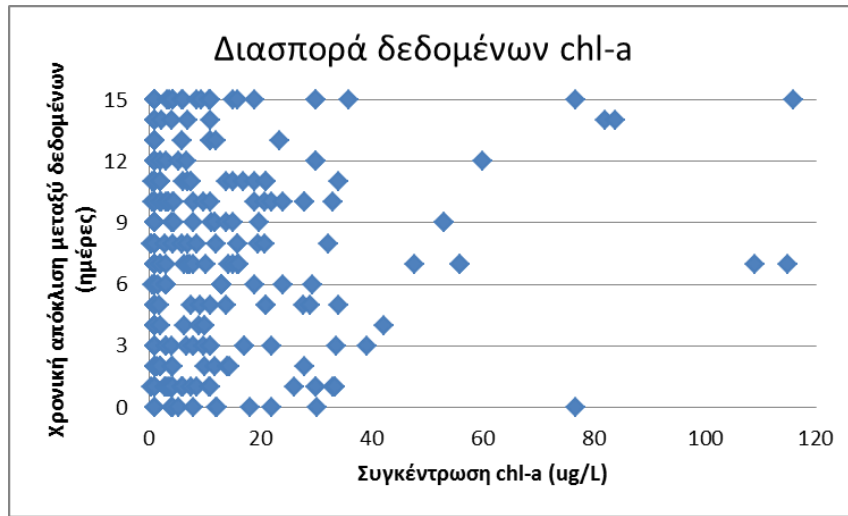
4.2 Συλλογή επιτόπου δεδομένων

Τα επιτόπου-in situ δεδομένα αποτελούν οι συγκεντρώσεις χλωροφύλλης-α, αμμωνίου και ολικού φωσφόρου για τις λίμνες της Γαλλίας για το χρονικό διάστημα Απρίλιο 2013 έως Δεκέμβριο 2014. Τα δεδομένα αντλήθηκαν από τη βάση δεδομένων ROD (Reporting Obligations Database) του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Περιβάλλοντος. Στη βάση δεδομένων ROD, υπάρχουν όλες οι περιβαλλοντικές εκθέσεις που είναι υποχρεωμένες οι χώρες-μέλη του οργανισμού να υποβάλλουν έναντι του οργανισμού και άλλων παγκόσμιων οργανισμών. Για τις λίμνες παρακολούθησης ζητούνται τα χαρακτηριστικά των σταθμών παρακολούθησης (θέση) καθώς και τα θρεπτικά συστατικά, η οργανική ύλη και οι συγκεντρώσεις των επικίνδυνων ουσιών. Στον πίνακα 5 παρουσιάζεται το πλήθος των δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν. Επίσης στα επόμενα διαγράμματα παρουσιάζεται η διασπορά των δεδομένων.

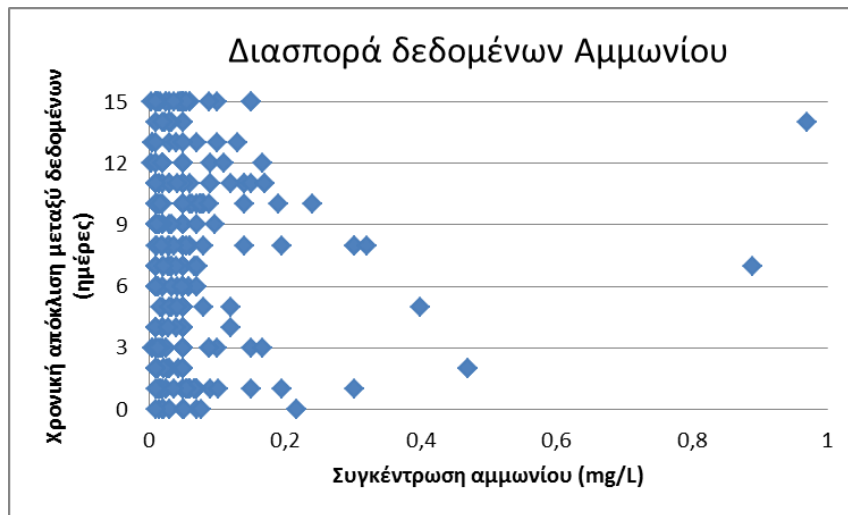
Πίνακας 5: Σύνολο επίγειων δεδομένων

Ουσία	Σύνολο επίγειων δεδομένων
Χλωροφύλλη-α (chl-a)	288
Αμμώνιο (NH_4^+)	322
Ολικός Φώσφορος (TP)	310

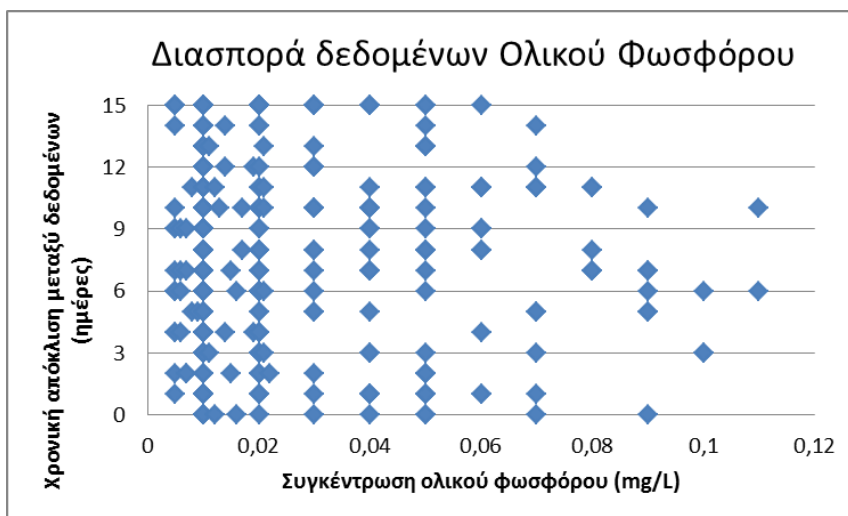
Διάγραμμα 1: Διασπορά δεδομένων χλωροφύλλης-α



Διάγραμμα 2: Διασπορά δεδομένων αμμωνίου



Διάγραμμα 3: Διασπορά δεδομένων ολικού φωσφόρου



4.3 Συλλογή δορυφορικών δεδομένων για τη δημιουργία δεικτών συσχέτισεων



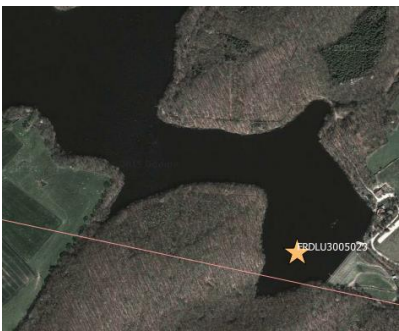
4.3.1 Συλλογή δορυφορικών δεδομένων






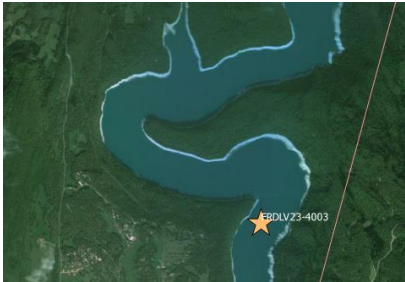
Τα δορυφορικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν είναι ατμοσφαιρικά διορθωμένες εικόνες του δορυφόρου Landsat-8 για την περίοδο Απρίλιο 2013 έως Δεκέμβριο 2014. Οι εικόνες αυτές είναι διαθέσιμες από τη Γεωλογική Υπηρεσία των Ηνωμένων Πολιτειών απ' όπου και έγινε η λήψη τους.

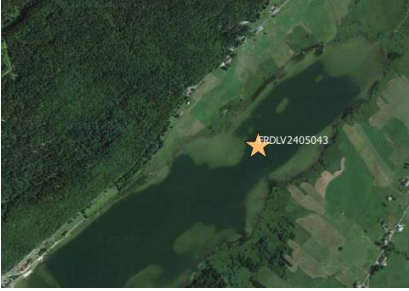




Για τον εντοπισμό των εικόνων που τελικά ήταν χρήσιμες για την εξαγωγή δεδομένων ακολουθήθηκε η εξής διαδικασία:






- Αρχικά σε λογισμικό GIS τοποθετήθηκαν οι επίγειοι σταθμοί από τους οποίους προέκυψαν τα in situ δεδομένα. Στη συνέχεια δημιουργήθηκε ένας πίνακας (πίνακας 6) που περιέχει τον κωδικό κάθε επίγειου σταθμού, μια εικόνα που δείχνει τη θέση του στη λίμνη, τις ημερομηνίες για τις οποίες υπάρχουν επιτόπου δεδομένα και τα path και row που προσδιορίζουν τη δορυφορική εικόνα που έπρεπε να ληφθεί.


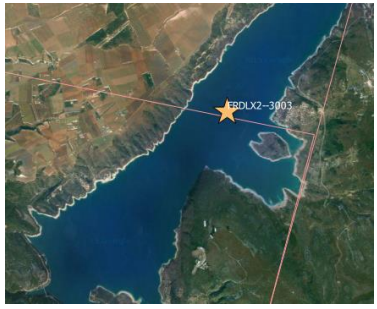



Πίνακας 6: Σταθμοί επιτόπου δεδομένων







ΚΩΔΙΚΟΣ ΣΤΑΘΜΟΥ	ΕΙΚΟΝΑ	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	Landsat 8 path/row
FRDLU2035043		2014-03-12 2014-05-19 2014-07-31 2014-09-10	196/27
FRDLU2115003		2013-05-29 2013-07-31 2013-09-24	196/27 195/27
FRDLU3005023		2013-05-23 2013-07-24 2013-09-25	197/27

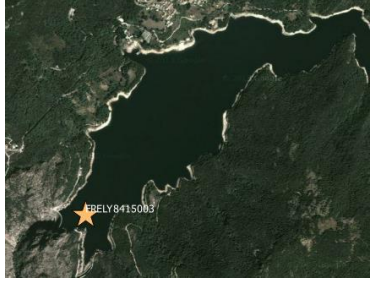

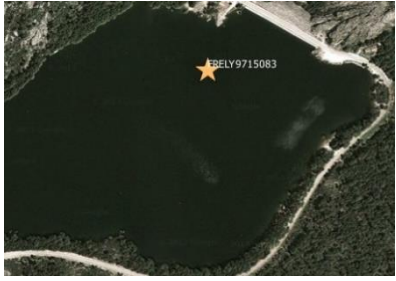


FRDLU4406723		2014-03-06 2014-05-21 2014-07-17 2014-09-30	196/28 197/28
FRDLU4525003		2014-03-11 2014-05-20 2014-07-08 2014-09-09	196/28 197/28
FRDLV1015003		2014-03-05 2014-05-27 2014-07-23 2014-09-23	196/28
FRDLV2205003		2013-05-22 2013-07-29 2013-09-23	196/28
FRDLV2205083		2013-05-28 2013-07-24 2013-09-23	196/28
FRDLV234003		2014-03-13 2014-05-19 2014-08-11 2014-09-12	196/28 197/28






FRDLV2405043		2014-04-10 2014-05-19 2014-07-30 2014-09-11	196/28
FRDLV2415023		2013-04-18 2013-05-28 2013-07-24 2013-09-18	196/28
FRDLV2515003		2013-06-05 2013-07-15 2013-09-26	196/28 197/28
FRDLV3005063		2013-05-14 2013-07-17 2013-09-24	196/28 197/28
FRDLW0435023		2013-06-13 2013-07-16 2013-08-12 2013-09-11	195/28 196/28






FRDLW2405023		2013-04-04 2013-06-06 2013-07-18 2013-09-12	196/29
FRDLW2755283		2014-06-12 2014-07-16 2014-08-12 2014-09-15	195/29 196/29
FRDLW3125023		2014-03-04 2014-05-26 2014-07-23 2014-10-02	196/28
FRDLX0--3003		2013-06-04 2013-08-07 2013-09-25	195/29 196/29
FRDLX2005023		2013-06-27 2013-07-30 2013-08-22 2013-09-26	195/29

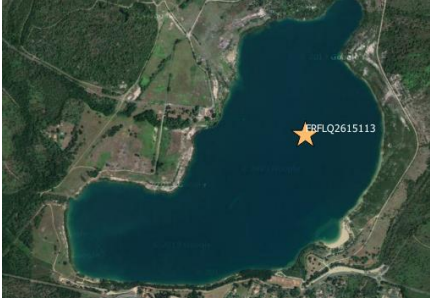
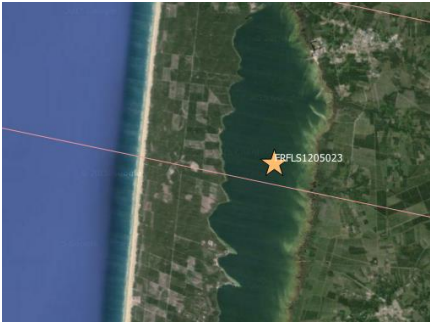

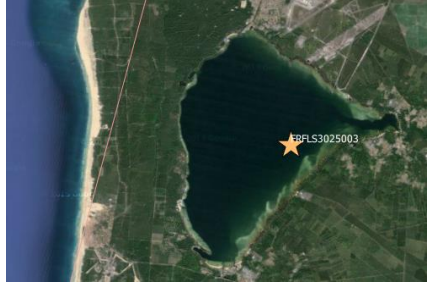

FRDLX2205023 *ίδιος με το σταθμό FRDLX2005023 για τις μετρήσεις του 2014		2014-03-26 2014-05-23 2014-07-24 2014-09-17	195/29
FRDLX2--3003		2013-06-05 2013-08-08 2013-09-24	195/30
FRDLX2625003		2013-06-06 2013-08-06 2013-09-23	195/30 196/30
FRDLY0045103		2013-07-04 2013-08-01 2013-08-20 2013-09-11	198/30
FRDLY1435003		2014-02-20 2014-05-05 2014-07-21 2014-09-03	197/30 198/30

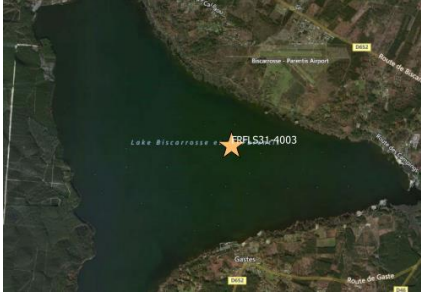

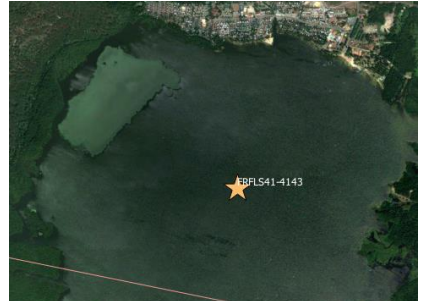
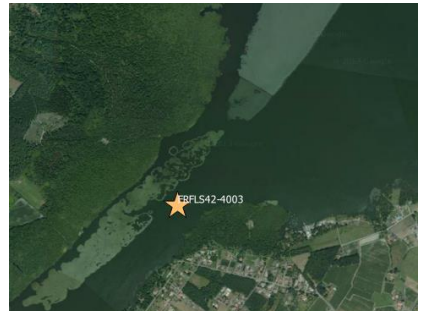

FRDLY2235003		2013-05-27 2013-07-18 2013-09-27	197/30
FRDLY4305063		2014-02-27 2014-05-26 2014-07-25 2014-10-01	196/30
FRDLY4305143		2013-05-17 2013-07-08 2013-10-02	196/30
FRDLY5525003		2013-05-16 2013-07-12 2013-09-20	195/30
FRDLY6705023		2013-07-02 2013-07-25 2013-08-13 2013-09-10	195/29
FRELY7005003		2014-03-05 2014-05-14 2014-07-08 2014-09-23	193/31






FRELY8415003		2013-05-14 2013-07-09 2013-09-18	193/31
FRELY9205023		2013-05-15 2013-07-10 2013-09-19	193/31
FRELY9715083		2014-03-06 2014-05-15 2014-07-09 2014-09-24	193/31
FRFLO0115193		2014-06-10 2014-09-06 2014-10-16 2014-12-03	199/30
FRFLO1105013		2013-06-20 2013-08-01 2013-10-31 2013-12-11	198/30






FRFLO2215003		2013-06-13 2013-07-10 2013-09-23	198/30
FRFLO2705023		2013-06-11 2013-07-08 2013-09-24	198/30 199/30
FRFLO2915083		2014-03-17 2014-06-02 2014-08-21 2014-09-25	198/30 199/29
FRFLO7--3003		2013-05-14 2013-08-07 2013-10-15	197/29 198/29
FRFLO9215023		2014-03-06 2014-06-11 2014-08-07 2014-10-08	199/29



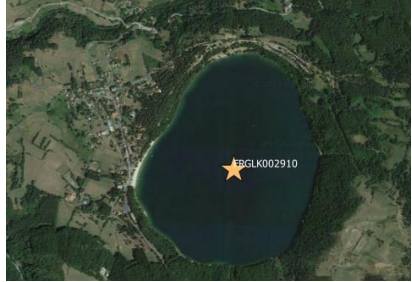


FRFLP0045133		2013-04-23 2013-08-13 2013-10-16	198/28
FRFLP01-5053		2013-04-24 2014-08-12 2013-10-14	198/28
FRFLP0625013		2013-04-09 2013-08-08 2013-10-17 2013-11-14	198/28
FRFLP4015003		2014-03-05 2014-06-11 2014-08-07 2014-10-06	198/29 199/29
FRFLQ0035033		2014-06-30 2014-08-18 2014-10-15 2014-12-22	199/30


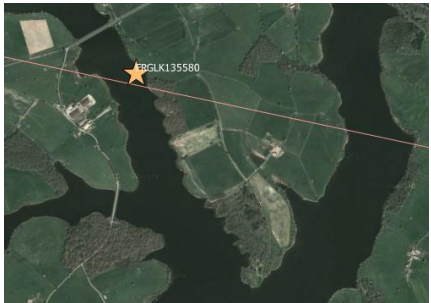



FRFLQ2615113		2013-06-10 2013-09-02 2013-11-05	200/29
FRFLS1205023		2013-06-05 2013-08-28 2013-10-31 2014-03-06 2014-06-02 2014-08-06 2014-09-25	200/29 201/29
FRFLS1215013		2013-06-05 2013-08-28 2013-10-31 2014-03-06 2014-06-02 2014-08-06 2014-09-25	200/29 201/29
FRFLS3025003		2013-06-06 2013-08-29 2013-11-07 2014-02-26 2014-06-03 2014-08-05 2014-09-24	200/29
FRFLS3105033		2013-06-04 2013-08-27 2013-10-30 2014-02-25 2014-06-05 2014-08-05 2014-09-23	200/29






FRFLS31-4003		2013-06-06 2013-08-29 2013-11-07 2014-02-26 2014-06-03 2014-08-05 2014-09-24	200/29
FRFLS32-4003		2013-06-04 2013-08-27 2013-10-30 2014-02-25 2014-06-05 2014-08-07 2014-09-23	200/29
FRFLS41-4143		2013-06-03 2013-08-26 2013-10-29 2014-02-25 2014-06-04 2014-08-07 2014-09-22	200/30
FRFLS42-4003		2013-06-03 2013-08-26 2013-10-29 2014-02-24 2014-06-04 2014-08-07 2014-09-22	200/30
FRFLS4265013		2013-06-03 2013-08-26 2013-10-29 2014-02-24 2014-06-04 2014-08-04 2014-09-22	200/30


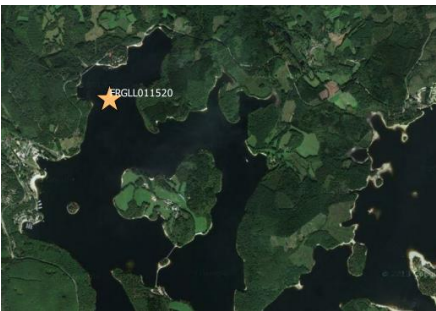



FRFLS4325003		2013-06-04 2013-08-27 2013-10-30 2014-03-05 2014-06-04 2014-08-04 2014-09-22	200/30
FRGLJ062510T		2013-06-19 2013-08-09 2013-10-09	201/26 202/26
FRGLJ112510T		2014-03-19 2014-06-18 2014-08-06 2014-10-01	202/26
FRGLJ340510T		2014-03-18 2014-06-17 2014-08-05 2014-09-30	203/26
FRGLJ541500R		2013-06-27 2013-08-08 2013-10-03	202/27 203/26

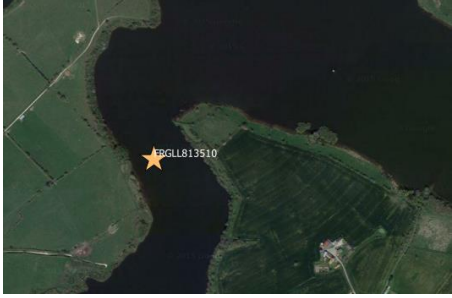



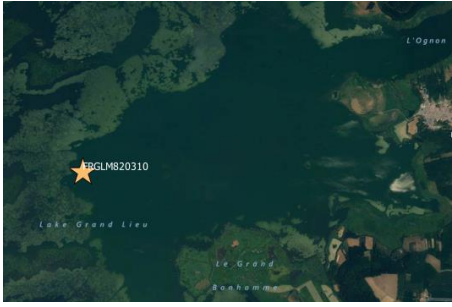
FRGLJ641510S		2013-06-21 2013-08-14 2013-10-03	202/27
FRGLJ705500T		2013-06-19 2013-08-07 2013-10-09	201/27
FRGLJ710540T		2013-06-18 2013-08-06 2013-10-08	201/26 202/26
FRGLJ741410S		2014-03-12 2014-06-12 2014-07-30 2014-10-01	201/27
FRGLJ800510T		2013-06-27 2013-08-08 2013-10-03	202/26 203/26


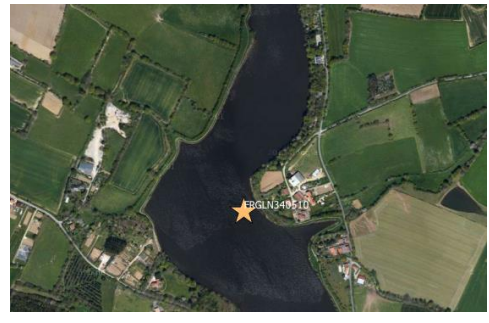


FRGLJ836505S		2014-03-20 2014-06-19 2014-08-07 2014-10-01	201/27 202/27
FRGLJ932500T		2013-06-28 2013-08-12 2013-10-04	201/27 202/27
FRGLK002910		2013-04-04 2013-05-24 2013-08-01 2013-09-24	197/29
FRGLK05-410		2013-05-23 2013-07-31 2013-09-23	197/28
FRGLK091410		2013-04-12 2013-05-13 2013-05-27 2013-06-10 2013-06-24 2013-07-08 2013-07-22 2013-08-05 2013-08-19 2013-09-02 2013-09-24 2013-10-14 2013-10-28 2013-11-13	197/28

FRGLK126515		2014-03-03 2014-05-19 2014-08-11 2014-09-22	197/27 198/27
FRGLK135580		2014-03-04 2014-05-20 2014-08-12 2014-09-23	197/28
FRGLK171570		2013-05-21 2013-07-29 2013-09-30	197/27 198/27
FRGLK207510		2013-04-16 2013-05-23 2013-06-11 2013-06-25 2013-07-10 2013-07-23 2013-08-08 2013-08-20 2013-09-04 2013-09-17 2013-10-17	197/29
FRGLK265510		2013-04-15	197/29 198/28

FRGLK267510		2013-06-06 2013-08-12 2013-09-25	197/29 198/28
FRGLK32-410		2014-03-11 2014-05-15 2014-08-07 2014-10-08	198/28
FRGLK517510		2013-06-04 2013-07-18 2013-09-26	198/28 199/28
FRGLK5--310		2014-03-07 2014-05-14 2014-08-06 2014-10-09	198/28 199/28
FRGLK560510		2013-05-27 2013-07-22 2013-09-30	198/28

FRGLK60-410		2014-03-11 2014-05-12 2014-08-04 2014-10-06	198/28 199/28
FRGLL011520		2013-05-30 2013-07-25 2013-10-07	198/28 199/29
FRGLL03-410		2013-05-29 2013-07-24 2013-10-02	199/28
FRGLL453500R		2013-05-28 2013-07-23 2013-10-01	199/28
FRGLL511530		2014-03-06 2014-05-13 2014-08-05 2014-10-10	199/28

FRGLL813510		2014-03-11 2014-06-10 2014-07-28 2014-09-22	200/28
FRGLM306999		2013-06-17 2013-08-05 2013-10-07	200/26 201/26
FRGLM720520		2014-03-14 2014-06-13 2014-07-31 2014-09-25	200/27 201/27
FRGLM741500T		2013-06-26 2013-08-07 2013-10-02	200/27 201/27
FRGLM820310		2013-04-02 2013-06-25 2013-08-13 2013-09-30	201/27

FRGLN1--310		2013-06-26 2013-08-07 2013-10-10	201/28
FRGLN340510		2014-03-14 2014-06-12 2014-07-30 2014-09-25	201/28
FRGLN410505T		2013-06-25 2013-08-06 2013-10-01	200/28
FRGLN71-410		2013-06-25 2013-08-06 2013-10-01	200/28 201/28

- Στη συνέχεια, μέσω της ιστοσελίδας της Γεωλογικής Υπηρεσίας των Ηνωμένων Πολιτειών έγινε η επιλογή και παραγγελία όσων εικόνων είχαν τα path και row που καταγράφηκαν στον προηγούμενο πίνακα και βρίσκονταν εντός της χρονικής περιόδου που υπάρχουν επιτόπου δεδομένα. Επίσης αποφεύχθηκε η παραγγελία εικόνων που φαινόταν έντονη νεφοκάλυψη.
- Αφού ετοιμάστηκαν οι εικόνες και έγινε λήψη τους, τοποθετήθηκαν ανά path και row σε φακέλους μαζί με το shapfile αρχείο που περιέχει ποιοι επίγειοι σταθμοί βρίσκονται στο ανάλογο path και row μαζί με τις συντεταγμένες τους, ώστε να γίνει η άντληση της φασματικής πληροφορίας από την κάθε εικόνα για κάθε επίγειο σταθμό.

- Η φασματική πληροφορία αντλήθηκε με χρήση κώδικα σε Python, που είναι διαθέσιμος στο εργαστήριο τηλεπισκόπησης. Δίνοντας το φάκελο με τα πιο πάνω, προέκυψε ένα λογιστικό φύλλο το οποίο περιέχει για τις συντεταγμένες δειγματοληψίας-pixel ενδιαφέροντος τις επόμενες πληροφορίες:
 - ✓ το όνομα της εικόνας
 - ✓ τα path και row της εικόνας
 - ✓ την ημέρα λήψης (DOY),
 - ✓ την ημερομηνία λήψης
 - ✓ το ποσοστό συννεφιάς (για όλη την εικόνα)
 - ✓ τις τιμές του pixel για τα 7 κανάλια της εικόνας
 - ✓ τις τιμές των δεικτών cfmask, cfmask_conf, sr_cloud, οι οποίες αφορούν τη νεφοκάλυψη.
- Στο επόμενο στάδιο έγινε το ξεκαθάρισμα των φασματικών δεδομένων. Αφαιρέθηκαν οι εγγραφές που είχαν διαφορετική τιμή του 1 στο κελί cfmask σε συνδυασμό με υψηλές ή χαμηλές τιμές σε κάποιο κανάλι.

Έχοντας τελικά για κάθε σταθμό αυτά τα στοιχεία, δημιουργήθηκαν οι δείκτες των καναλιών σε άλλο λογιστικό φύλλο και μαζί με τα in situ δεδομένα, έγινε η ανάλυσή τους όπως περιγράφεται στη συνέχεια.

4.3.2 Δημιουργία δεικτών συσχετίσεων

Τα φασματικά δεδομένων που προέκυψαν στο προηγούμενο στάδιο χρησιμοποιήθηκαν για τη δημιουργία των δεικτών, αφού απώτερος σκοπός ήταν μέσω της ανάλυσης παλινδρόμησης, να δούμε σε πιο βαθμό μπορούν οι δείκτες που προκύπτουν από τα φασματικά δεδομένα να συσχετιστούν με τα επίγεια δεδομένα συγκέντρωσης χλωροφύλλης-α, αμμωνίου και ολικού φωσφόρου.

Οι δείκτες είναι πράξεις μεταξύ καναλιών ή οι λογάριθμοί τους ή η εκθετική συνάρτησή τους με βάση το e. Για τη χλωροφύλλη-α και τον ολικό φώσφορο εξετάστηκαν οι ίδιοι 141 δείκτες, ενώ για το αμμώνιο εξετάστηκαν 141 δείκτες κάποιοι από τους οποίους και κοινοί. Οι δείκτες που διερευνήθηκαν ήταν δείκτες που είχαν ξαναμελετηθεί σύμφωνα με τη βιβλιογραφία.

Στους πίνακες 7 και 8 παρουσιάζονται οι δείκτες διαχωρισμένοι ανάλογα με το πόσα κανάλια συμμετέχουν στον κάθε δείκτη.

Πίνακας 7: Δείκτες χλωροφύλλης-α και ολικού φωσφόρου

Δείκτες 1 καναλιού	Δείκτες 2 καναλιών		Δείκτες 3 καναλιών		Δείκτες 4 καναλιών
$\ln b5 - \min + 1$	$\log(b3 / b4)$	$b4 / b3$	$\ln(b3 / (2xb1+b5))$	$b1+b5-b7$	$\ln((b3-b6) / (b1-b7))$
$\ln b4 - \min + 1$	$\log(b2 / b3)$	$b4 / b2$	$\ln((b1+b6) / b4)$	$b1+b4-b7$	$\ln((b3+b4-b5) / b1)$
$\ln b3$	$\ln b3 - \ln b4$	$b3 - b7$	$\ln((2xb2+b5) / b3)$	$b1+b4-b5$	$\ln((b3+b4) / (b1+b2))$
$\ln b2$	$\ln b2 - \ln b3$	$b3 - b6$	$\exp(b4 / (b2+b7))$	$b1+b3-b4$	$\ln((b1+b5-b4) / b3)$
$\exp b3 / \max$	$\ln b2 - \ln b3$	$b3 / b5$	$\exp(b4 / (b2+b6))$	$b1+b2-b7$	$\ln((b1+b2+b5) / b3)$
$\exp b1 / \max$	$\ln(b2-b7+\min)$	$b3 / b4$	$\exp(b4 / (b2+b5))$	$b1+b2-b6$	$\exp(b3 / (b1+b2+b7))$
$\exp(b5 / \max)$	$\exp(b5 / b4)$	$b3 / b2$	$\exp(b4 / (b1+b7))$	$b1+b2-b5$	$\exp(b3 / (b1+b2+b6))$
$\exp(b4/10)$	$\exp(b5 / b3)$	$b3 / b1$	$\exp(b4 / (b1+b6))$	$b1+b2-b4$	$\exp((b3 / (b2+b6-b5))$
$\exp(b2 / \max)$	$\exp(b5 / b2)$	$b2 - b7$	$\exp(b3 / (2xb2+b5))$	$(b5 / b4)+b6$	$\exp((b1-b3) / (b2-b4))$
$b5$	$\exp(b5 / b1)$	$b2 - b6$	$\exp(b3 / (2xb1+b7))$	$(b4 / b3)+b5$	$b4 / (b1+b2+b3)$
$b4$	$\exp(b4 / b5)$	$b2 - b4$	$\exp(b3 / (2xb1+b6))$	$(b3 / b2)+b4$	$b3 / (b1+b5-b7)$
$b3$	$\exp(b4 / b3)$	$b2 / b5$	$\exp(b3 / (2xb1+b5))$	$(b2-b6) / (b3-b6)$	$b3 / (b1+b2+b5)$
$b2$	$\exp(b4 / b2)$	$b2 / b4$	$\exp((b2-b4) / (b3-b4))$	$(b2-b4) / b3$	$b2 / (b3+b7-b5+1)$
$b1$	$\exp(b3 / b5)$	$b2 / b3$	$\exp((b1+b3) / b2)$	$(b2-b3) / b1$	$b1 / (b3+b7-b5+1)$
	$\exp(b3 / b4)$	$b1 - b7$	$\exp((b1+b2+b3) / b2)$	$(b1-b4) / (b3-b4)$	$(b3-b6) / (b1-b7)$
	$\exp(b3 / b2)$	$b1 - b6$	$b3+b5-b4$	$(b1-b3) / b4$	$(b3+b7-b5) / b2$
	$\exp(b3 / b1)$	$b1 - b4$	$b3+b4-b7$	$(b1-b3) / b2$	$(b3+b7-b5) / b1$
	$\exp(b2 / b5)$	$b1+b2$	$b3+b4-b6$	$(b1+b6) / b4$	$(b3+b4-b5) / b1$
	$\exp(b2 / b4)$	$b1+2xb2$	$b3+b4-b5$	$(2xb1+b5) / b3$	$(b3+b4) / (b1+b5)$
	$\exp(b2 / b3)$	$b1 / b5$	$b3 / (b1+b2+b3)$		$(b2-b7) / (b3-b6)$
	$\exp(b1 / b5)$	$b1 / b3$	$b3 / (2xb1+b5)$		$(b2-b4) / (b3-b6)$
	$\exp(b1 / b3)$	$2xb1+b3$	$b2+b6-b7$		
	$b5+b6$	$2xb1+b2$	$b2+b5-b7$		
	$b5 / b4$	$2xb1+b2$	$b2+b4-b7$		
	$b5 / b3$	$(b5-b4) / (b5+b4)$	$b2+b4-b6$		
	$b5 / b2$	$(b4+b5) / 2$	$b2+b4-b5$		
	$b5 / b1$	$(b3+b4) / 2$	$b2+b3-b4$		
	$b4-b7$	$(b2+b3) / 2$	$b2 / (b1+b2+b3)$		
	$b4 / b5$	$(b1+b2) / 2$	$b1+b6-b7$		

Πίνακας 8: Δείκτες αμμωνίου

Δείκτες 1 καναλιού	Δείκτες 2 καναλιών	Δείκτες 3 καναλιών	Δείκτες 4 καναλιών
lnb5	log(b3 προς b4)	b3 προς b5	ln((b6-b7) προς b4)
lnb4	log(b2 προς b3)	b3 προς b4	ln((b4+b6) προς (b4+b7))
lnb2	lnb4-lnb5	b3 προς b2	ln((b1+b7) προς (b4-b7))
expb4	lnb3-lnb4	b2-b7	exp(b3 προς (b1+b7+b7))
exp(b5)	lnb2-lnb3	b2-b6	exp(b3 προς (b1+b7))
exp(b2)	lnb1-lnb5	b2-b5	exp(b3 προς (b1+b6+b6))
b5	ln(b3-b6)	b2-b4	exp(b3 προς (b1+b6))
b4	ln(b3-b4)	b2-2xb7	exp(b3 προς (b1+b5+b5))
b2	ln(b2-b7)	b2 προς b5	exp(b3 προς (b1+b5))
	ln(b2-b6)	b2 προς b3	exp(b3 προς (b1+2xb6))
	ln(b2-b5)	b1-b5	exp((b3-b6) προς b1)
	ln(b2-b4)	b1-b4	exp((b3-b5) προς b1)
	ln(b1-b5)	b1-b4	exp((b2+b6) προς (b1+b6))
	ln(b1-b4)	b1 προς b5	exp((b2+b3+b2) προς b1)
	exp(b5 προς b4)	(b5+b6) προς 2	exp((b1+b7) προς (b1+b4))
	exp(b5 προς b3)	(b4+b5) προς 2	exp((b1+b3) προς (b1+b7))
	exp(b5 προς b2)	(b3+b4) προς 2	exp((b1+b3) προς (b1+b6))
	exp(b5 προς b1)	(b2+b3) προς 2	b4 προς (b6-b7)
	exp(b4 προς b3)	(b1+b2) προς 2	b2 προς (b1+b2+b3)
	exp(b3 προς b4)		(b6-b7) προς b4
	exp(b3 προς b2)		(b6-b7) προς (b4+b6)
	exp(b2 προς b5)		(b5 προς b4)+b6
	exp(b2 προς b3)		(b4-b7) προς (b1+b7)
	exp(b1 προς b5)		(b4-b7) προς (b1+b4)
	b5 προς b4		(b4-b6) προς (b6-b7)
	b5 προς b3		(b4+b6) προς (b6-b7)
	b5 προς b2		(b4 προς b3)+b5
	b5 προς b1		(b3 προς b2)+b4
	b4-b5		(b2-b4) προς b3
	b4 προς b5		(b2 προς b1)+b3
	b4 προς b3		(b1-b4) προς (b3-b4)
	b3-b6		(b1-b4) προς b3
	b3-b5		(b1-b3) προς b5
	b3-b4		(b1+b7) προς (b4-b7)

4.4 Ανάλυση Παλινδρόμησης μεταξύ δεικτών συσχετίσεων και επίγειων δεδομένων

Αφού συλλέχθηκαν τα επίγεια και τα δορυφορικά δεδομένα δημιουργήθηκε ένα λογιστικό φύλλο το οποίο περιλαμβάνει:

- ✓ τον κωδικό του επίγειου σταθμού
- ✓ την επιτόπου- in situ μέτρηση
- ✓ τις τιμές των καναλιών της εικόνας για το pixel όπου βρίσκεται ο σταθμός
- ✓ τις ημέρες του χρόνου (DOY) που συλλέχθηκαν τα δεδομένα (επιτόπου και δορυφορικά)
- ✓ τη χρονική διαφορά ανάμεσα στην in situ και τη δορυφορική μέτρηση
- ✓ τους δείκτες συσχετίσεων

και στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε η ανάλυση των δεδομένων με τη μέθοδο της παλινδρόμησης.

Με την ανάλυση παλινδρόμησης (regression analysis) εξετάζεται η σχέση μεταξύ δύο ή περισσότερων μεταβλητών ώστε να προβλέπονται οι τιμές της μίας μέσω της τιμής ή των τιμών των άλλων. Υπάρχουν δύο είδη μεταβλητών, οι ανεξάρτητες και οι εξαρτημένες. Αν έχουμε δύο μεταβλητές, τη μεταβλητή X και τη μεταβλητή Y και σαν

ανεξάρτητη μεταβλητή ορίσουμε τη μεταβλητή X και σαν εξαρτημένη τη μεταβλητή Y και συνδέονται μέσω της σχέσης $Y = f(X)$, τότε μέσω της τιμής X μπορούμε να προβλέψουμε ακριβώς την τιμή Y στην περίπτωση που δεν υπάρχει κάποιο σφάλμα. Στην παρούσα μελέτη, οι μεταβλητές είναι η συγκέντρωση της ουσίας που μελετάται (χλωροφύλλη-α, αμμώνιο, ολικός φώσφορος) και οι διάφοροι δείκτες που εξετάζονται.

4.4.1 Απλή Γραμμική Παλινδρόμηση

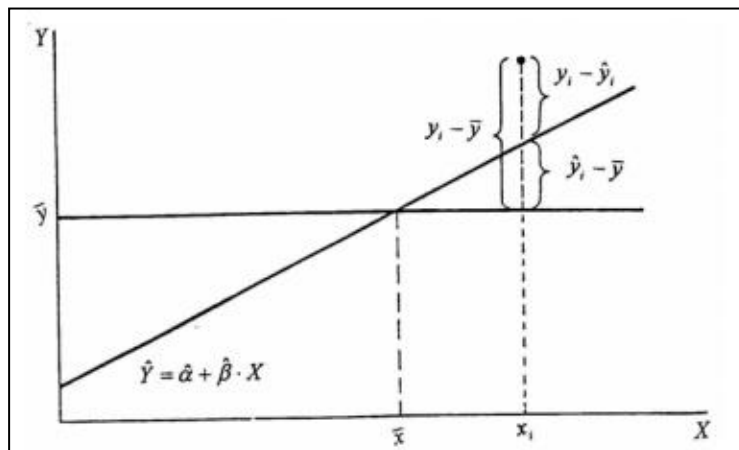
Η απλούστερη μορφή παλινδρόμησης είναι η Απλή Γραμμική Παλινδρόμηση όπου υπάρχει μόνο μια ανεξάρτητη μεταβλητή X και η εξαρτημένη μεταβλητή Y μπορεί να προσεγγισθεί ικανοποιητικά από μια γραμμική συνάρτηση του X ($Y = \alpha + \beta \cdot X$, όπου α, β σταθερές). Σε αυτή την περίπτωση η εξαρτημένη μεταβλητή είναι ο εκάστοτε δείκτης και η ανεξάρτητη είναι η συγκέντρωση της ουσίας που μελετάται.

Για την περιγραφή της εξάρτησης των δύο μεταβλητών εφαρμόζεται η μέθοδος των ελαχίστων τετραγώνων η οποία προσαρμόζει την καμπύλη στα δοσμένα στοιχεία, ώστε το άθροισμα των τετραγώνων των υπολοίπων να είναι το ελάχιστο δυνατό.

$$\sum \varepsilon_i^2 = \sum (Y_i - \hat{Y}_i)^2 = \min$$

$i = 1, 2, \dots, n$, $Y_i - \hat{Y}_i =$ η διαφορά της παρατηρούμενης από την εκτιμώμενη τιμή

Για να ελεγχθεί το πόσο καλή είναι η συσχέτιση, προσδιορίζεται ο συντελεστής προσδιορισμού R^2 ο οποίος λαμβάνει τιμές στο κλειστό διάστημα $[0,1]$ ή $[0-100\%]$. Όταν όλα τα σημεία βρίσκονται πάνω στην ευθεία ελαχίστων τετραγώνων λαμβάνει τη τιμή 1 όσο απομακρύνονται τα σημεία από την ευθεία η τιμή μειώνεται. Όσο πλησιέστερα βρίσκεται η τιμή στο 1 (100%) τόσο καλύτερη είναι η εκτίμηση (Γ. Παπαδόπουλος-www.aua.gr/gpapadopoulos).



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

Επίσης για τον έλεγχο της στατιστικής σημαντικότητας των αποτελεσμάτων χρησιμοποιείται η μεταβλητή p -value η οποία δείχνει αν το αποτέλεσμα (σχέση) σε ένα δείγμα εμφανίστηκε τυχαία ή πράγματι υπάρχει κάποια σχέση. Σε πολλούς τομείς της έρευνας η p -value του 0,05 είναι συνήθως η διαχωριστική γραμμή ως αποδεκτό "επίπεδο λάθους". Δηλαδή δεχόμαστε να υπάρχει πιθανότητα 5% η σχέση μεταξύ των μεταβλητών που βρίσκονται στο δείγμα να είναι ψευδής (androutakis.bma.upatras.gr). Σε αυτή την εργασία η αποδεκτή τιμή p -value ήταν μέχρι 0,05.

4.4.2 Μη Γραμμική Παλινδρόμηση

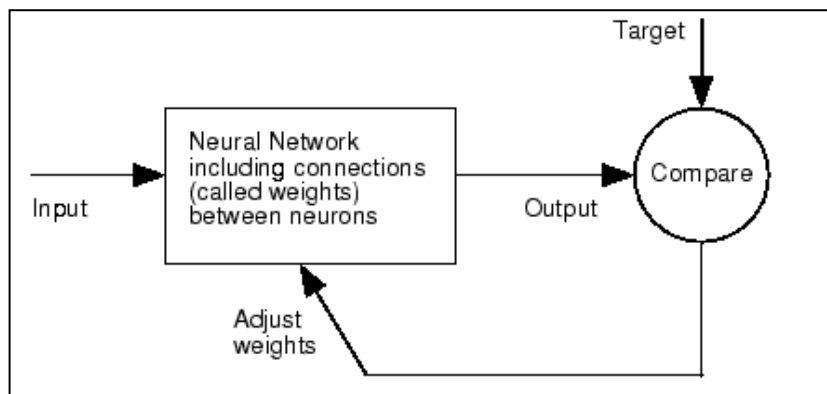
Πιο σύνθετη μορφή παλινδρόμησης είναι η μη γραμμική παλινδρόμηση. Είναι τύπος ανάλυσης παλινδρόμησης, στον οποίο τα δεδομένα παρατήρησης μοντελοποιούνται με μια συνάρτηση η οποία είναι μη γραμμικός συνδυασμός των παραμέτρων του μοντέλου και εξαρτάται από μια ή περισσότερες ανεξάρτητες μεταβλητές. Παραδείγματα μη γραμμικών συναρτήσεων είναι οι εκθετικές, οι λογαριθμικές και οι τριγωνομετρικές συναρτήσεις, οι συναρτήσεις δύναμης, Gauss και Fourier.

4.4.3 Νευρωνικά δίκτυα

Τα νευρωνικά δίκτυα είναι εμπνευσμένα από τα βιολογικά νευρωνικά δίκτυα και απαρτίζονται από απλά στοιχεία που λειτουργούν παράλληλα. Όπως και στη φύση, οι συνδέσεις μεταξύ των στοιχείων καθορίζουν σε μεγάλο βαθμό τη λειτουργία του δικτύου. Το δίκτυο μπορεί να εκπαιδευτεί για να εκτελεί μια συγκεκριμένη λειτουργία προσαρμόζοντας τις τιμές μεταξύ των στοιχείων.

Η λειτουργία τους φαίνεται στο επόμενο σχήμα. Δέχεται από το χρήστη τα targets δεδομένα τα οποία είναι το επιθυμητό αποτέλεσμα, επίσης δίνονται τα inputs δεδομένα που είναι η πληροφορία που δίνεται στο δίκτυο ώστε να εκπαιδευτεί και να δώσει τα outputs δεδομένα τα οποία συγκρίνονται με τα targets δεδομένα. Αν τα outputs και τα targets είναι ίδια τότε σταματούν οι διεργασίες, αλλιώς συνεχίζουν μέχρι να βρεθεί η βέλτιστη συσχέτιση. Το αποτέλεσμα που δίνουν είναι τα γραφήματα με τη βέλτιστη συσχέτιση.

Εικόνα 10: Λειτουργία νευρωνικού δικτύου [Πηγή: Matlab]



NEURAL NETWORKS FITTING TOOL – ΠΩΣ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΕΙΤΑΙ

Το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε διαθέτει διάφορα εργαλεία βασισμένα στα νευρωνικά δίκτυα. Στην παρούσα εργασία, χρησιμοποιήθηκε το Fitting Tool, το οποίο επιτρέπει να επιλέγεις δεδομένα, να φτιάχνει και να εκπαιδεύει το δίκτυο και στη συνέχεια να αξιολογεί τις παραστάσεις που δημιουργήσε. Ο έλεγχος που γίνεται βασίζεται στο ελάχιστο τετραγωνικό σφάλμα και στην τιμή R.

- Ελάχιστο τετραγωνικό σφάλμα είναι η μέση τετραγωνική διαφορά ανάμεσα στα αποτελέσματα εξόδου (outputs) και τα δεδομένα που καθορίζουν την επιθυμητή έξοδο (targets).

- Η τιμή R μετρά τη συσχέτιση ανάμεσα στα outputs και στα targets και λαμβάνει τιμές μεταξύ 0 και 1. Όταν η τιμή R είναι ίση με 1 η συσχέτιση μεταξύ των δεδομένων που καθορίζουν την επιθυμητή έξοδο και των δεδομένων εξόδου συσχετίζονται τέλεια. Η τιμή 0 δείχνει την τυχαία σχέση ανάμεσα στα δεδομένα.

Στη συγκεκριμένη περίπτωση, δημιουργήθηκαν γραφήματα τα οποία παρουσιάζουν την πραγματική συγκέντρωση χλωροφύλλης-α η οποία είναι γνωστή από τα in situ δεδομένα (targets) σε σχέση με τη συγκέντρωση χλωροφύλλης-α που προέκυψε μετά τις διεργασίες που εκτέλεσαν τα νευρωνικά δίκτυα στα δεδομένα που εισήχθησαν, δηλαδή στις τιμές του δείκτη (inputs).

Για κάθε δείκτη προέκυψαν τέσσερα γραφήματα

- Training, το οποίο αναφέρεται στο σύνολο δεδομένων εκπαίδευσης.
- Validation, το οποίο αναφέρεται στο σύνολο δεδομένων επαλήθευσης.
- Test, το οποίο αναφέρεται στο σύνολο δεδομένων δοκιμής.
- All, το οποίο αναφέρεται στο σύνολο των δεδομένων.

5 Αποτελέσματα

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται οι συσχετίσεις που προέκυψαν μεταξύ των δεδομένων από τις δειγματοληψίες που πραγματοποιήθηκαν στις λίμνες ενδιαφέροντος (in situ δεδομένα) σε σχέση με τα δεδομένα που προέκυψαν από τις πολυφασματικές εικόνες του δορυφόρου LANDSAT 8. Τα in situ δεδομένα αφορούν τις συγκεντρώσεις χλωροφύλλης-α, αμμωνίου και ολικού φωσφόρου.

Τα μοντέλα συσχετίσεων που χρησιμοποιήθηκαν είναι το απλό γραμμικό μοντέλο και για τις τρεις παραμέτρους που εξετάστηκαν και τα μη γραμμικά μοντέλα και νευρωνικά δίκτυα μόνο για την παράμετρο χλωροφύλλης-α.

5.1 Χλωροφύλλη-α

Για την εξαγωγή πιο συγκεκριμένων συμπερασμάτων όσον αφορά τις συσχετίσεις που προέκυψαν, εκτός από τις δοκιμές που έγιναν για όλα τα δεδομένα, έγινε περαιτέρω διαχωρισμός τους ανάλογα:

- με τη χρονική απόκλιση μεταξύ των in situ δεδομένων και των δεδομένων από τις εικόνες LANDSAT 8.
- με τις τιμές της in situ μέτρησης .
- με τη γεωγραφική θέση της κάθε λίμνης.

Πιο κάτω φαίνεται πως έγιναν οι διαχωρισμοί.

Χρονική απόκλιση για διάφορα διαστήματα τιμών (ημέρες)	In situ μέτρηση για το σύνολο των δεδομένων (ug/L)	Θέση λίμνης για διάφορα διαστήματα τιμών
0-15	0-116	ανατολική Γαλλία
0-5	0,3-1,8	δυτική Γαλλία
0-3	0,3-10	νότια Γαλλία
ανά 1 ημέρα	1,1-40	κεντρική Γαλλία
	4,3-10	
	>10	
	10,1-20	
	20,8-40	
	20,8-60	
	20,8-116	
	40-116	

5.1.1 Αποτελέσματα με χρήση Απλού Γραμμικού Μοντέλου

Όσον αφορά τις συσχετίσεις που προέκυψαν με χρήση του απλού γραμμικού μοντέλου, συσχετίσεις με $R^2 > 50\%$ προέκυψαν για τις κατηγοριοποιήσεις των δεδομένων σύμφωνα με:

- τη χρονική απόκλιση ανά μια ημέρα.

- τη θέση των λιμνών για τις λίμνες που βρίσκονται στο νότιο και δυτικό μέρος της Γαλλίας.

Για το σύνολο των δεδομένων οι συσχετίσεις ήταν πολύ μικρές, όπως επίσης για τους διαχωρισμούς 0-3 ημέρες, 0-5 ημέρες και 0-15 ημέρες χρονική απόκλιση μεταξύ in situ μέτρησης και δορυφορικών εικόνων.

Στους πίνακες 1,2,3 και 4 του παραρτήματος παρουσιάζονται οι δείκτες, οι τιμές R^2 που παρουσίασαν καθώς και η εξίσωση για τη μεγαλύτερη συσχέτιση για διάφορες δοκιμές-κατηγοριοποιήσεις που πραγματοποιήθηκαν και έδωσαν τιμή $R^2 > 50\%$.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΥΣΧΕΤΙΣΕΩΝ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗ ΧΡΟΝΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΑΝΑ ΗΜΕΡΑ ΓΙΑ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΧΛΩΡΟΦΥΛΛΗΣ-α 1-116 ug/L

Στον πίνακα 9 παρουσιάζονται όλοι οι δείκτες με τιμή R^2 μεγαλύτερη του 50% , που προέκυψαν από ομαδοποίηση των δεδομένων για χρονική απόκλιση ανά ημέρα. Αναφέρονται σε δεδομένα όπου η συγκέντρωση χλωροφύλλης-α είναι 1-116 ug/L. Στους 36 από αυτούς τους δείκτες χρησιμοποιήθηκε το κανάλι 3 (band 3) και στους 31 το κανάλι 4 (band 4).

Πίνακας 9: Δείκτες συσχετίσεων για κατηγοριοποίηση ανά ημέρα

Δείκτες χλωροφύλλης-α, chl-a			
$(b1-b3) / b2$	$b3 / b2$	$\exp((b1+b2+b3) / b2)$	$\exp(b4 / b3)$
$(b2-b3) / b1$	$b3 / b4$	$\exp((b1+b3) / b2)$	$\exp(b5 / b1)$
$(b2-b4) / (b3-b6)$	$b3+b5-b4$	$\exp((b1-b3) / (b2-b4))$	$\exp(b5 / b2)$
$(b2-b6) / (b3-b6)$	$b4$	$\exp(b2 / \max)$	$\exp(b5 / b3)$
$(b2-b7) / (b3-b6)$	$b4 / (b1+b2+b3)$	$\exp(b3 / (2xb1+b7))$	$\exp(b5 / b4)$
$(b3 / b2)+b4$	$b4 / b2$	$\exp(b3 / (b1+b2+b7))$	$\ln((b3+b4) / (b1+b2))$
$(b3+b4) / 2$	$b4 / b3$	$\exp(b3 / b1)$	$\ln((b3+b4-b5) / b1)$
$(b3+b4-b5) / b1$	$b4 / b5$	$\exp(b3 / b2)$	$\ln((b3-b6) / (b1-b7))$
$(b3-b6) / (b1-b7)$	$b4-b7$	$\exp(b3 / b4)$	$\ln b2$
$(b4 / b3)+b5$	$b5$	$\exp(b4 / (b1+b6))$	$\ln b2-\ln b3$
$(b4+b5) / 2$	$b5 / b1$	$\exp(b4 / (b1+b7))$	$\ln b3-\ln b4$
$(b5 / b4)+b6$	$b5 / b2$	$\exp(b4 / (b2+b5))$	$\ln b4-\min+1$
$(b5-b4) / (b5+b4)$	$b5 / b3$	$\exp(b4 / (b2+b6))$	$\ln b5-\min+1$
$b2 / (b1+b2+b3)$	$b5 / b4$	$\exp(b4 / (b2+b7))$	$\log(b2 / b3)$
$b3 / (b1+b2+b3)$	$b5+b6$	$\exp(b4 / b2)$	$\log(b3 / b4)$
$b3 / b1$			

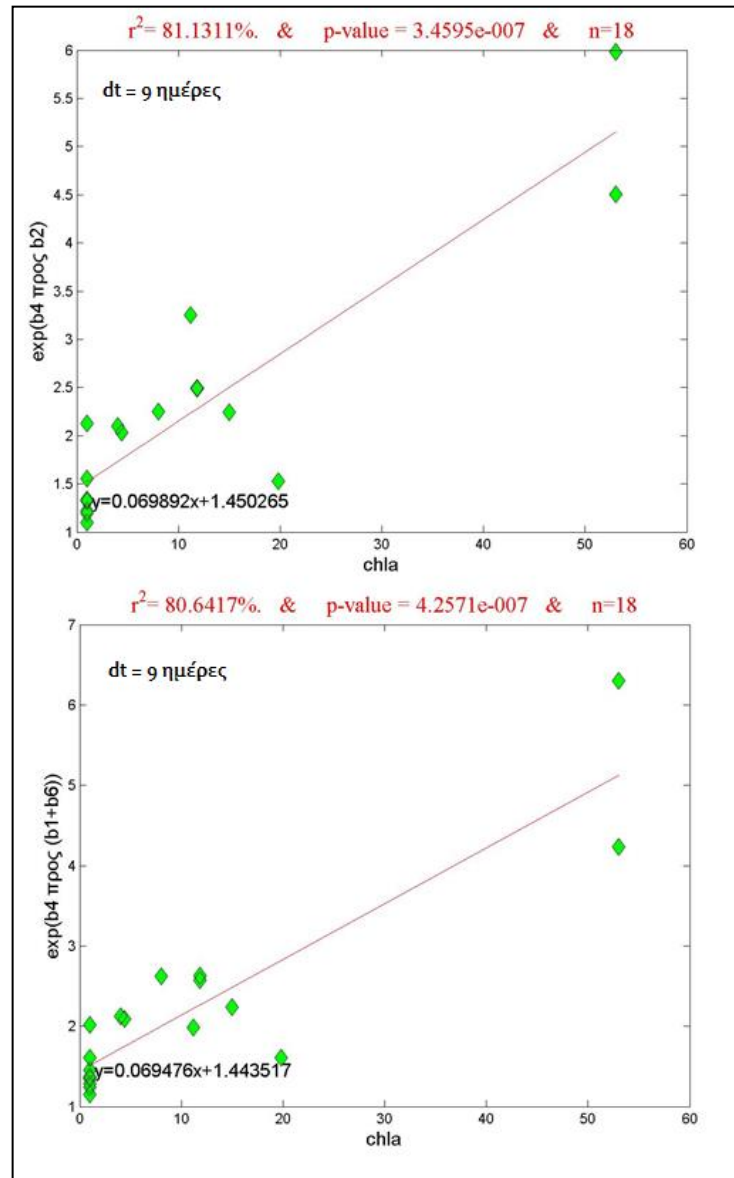
Στον πίνακα 1 του παραρτήματος παρουσιάζονται αναλυτικά τα αποτελέσματα της συσχέτισης μεταξύ των δεικτών αυτών και της χλωροφύλλης-α.

Οι περισσότεροι καλοί δείκτες αφορούν χρονική απόκλιση 14 ημερών μεταξύ δορυφορικών και in situ δεδομένων αλλά το δείγμα είναι μόλις 8 εγγραφές, κάτι που δε μας επιτρέπει να βγάλουμε ασφαλή συμπεράσματα.

Συσχετίσεις για χρονική απόκλιση 9 ημερών

Αρκετές και καλές συσχετίσεις εμφανίζονται επίσης για χρονική απόκλιση 9 ημερών με 18 εγγραφές (εικόνα 11).

Εικόνα 11: Αποτελέσματα συσχετίσεων για χρονική απόκλιση 9 ημερών



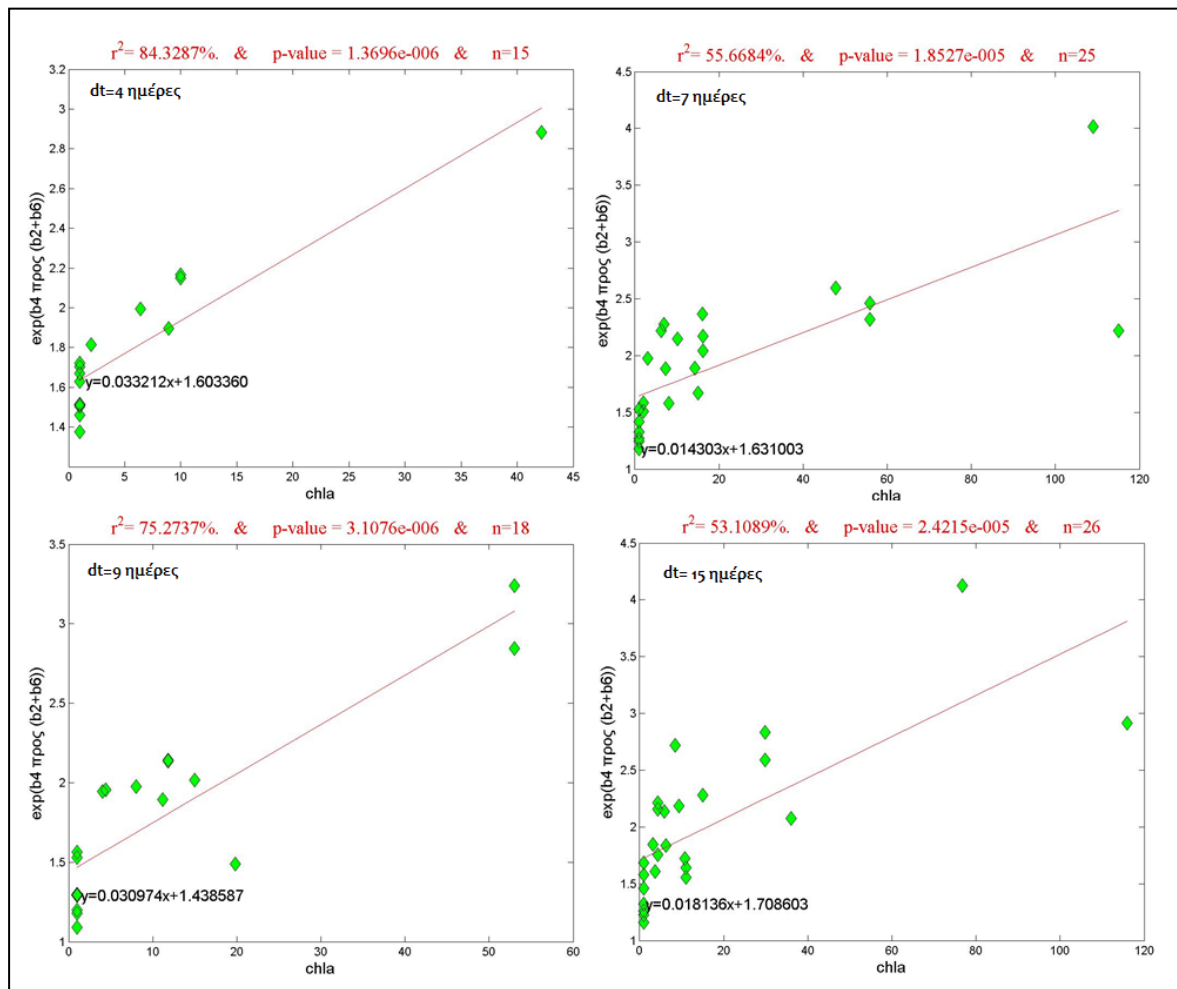
Συσχετίσεις δεικτών $\exp(b_4/(b_2+b_6))$ και $\exp(b_4/(b_2+b_7))$

Οι δείκτες $\exp(b_4/(b_2+b_6))$, $\exp(b_4/(b_2+b_7))$, έχουν καλή συσχέτιση με τη συγκέντρωση χλωροφύλλης-α για απόκλιση 4,7,9 και 15 ημερών (εικόνες 12,13,14).

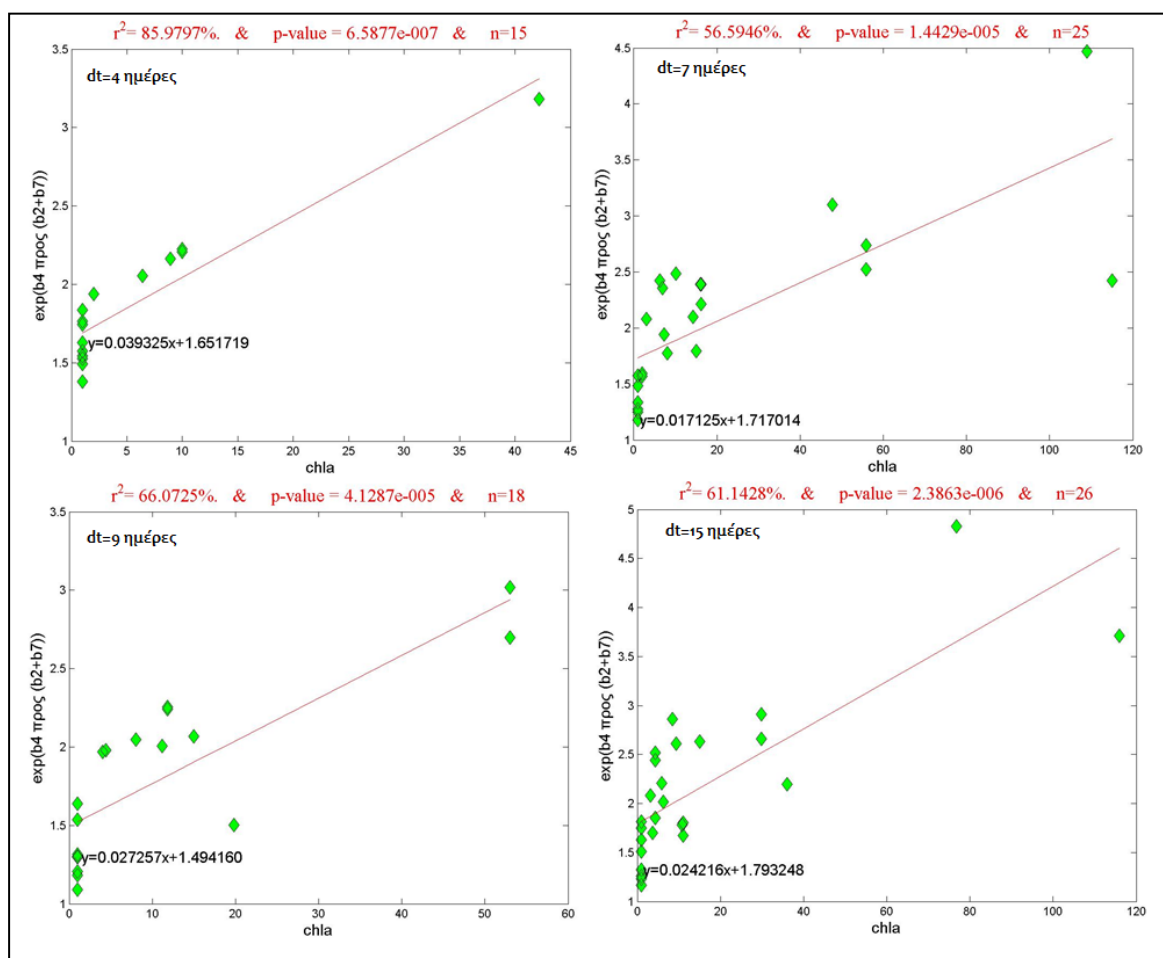
Εικόνα 12: Αποτελέσματα συσχετίσεων για τους δείκτες $\exp(b_4/(b_2+b_6))$ και $\exp(b_4/(b_2+b_7))$

Δείκτες	dt=4, n=15, (1-43ug/L)	dt=7, n=25, (1-116ug/L)	dt=9, n=18, (1-53ug/L)	dt=15, n=26, (1-116ug/L)	Εξίσωση
$\exp(b_4 / (b_2+b_6))$	84,329	55,668	75,274	53,109	$y=0,033212x+1,603360$
$\exp(b_4 / (b_2+b_7))$	85,98	56,595	66,072	61,143	$y=0,039325x+1,651719$

Εικόνα 13: Αποτελέσματα συσχετίσεων για το δείκτη $\exp(b_4/(b_2+b_6))$



Εικόνα 14: Αποτελέσματα συσχετίσεων για το δείκτη $\exp(b_4/(b_2+b_7))$



ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΑΝΑ ΗΜΕΡΑ ΓΙΑ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΧΛΩΡΟΦΥΛΛΗΣ-α 0-4,3 $\mu\text{g/L}$

Στον πίνακα 10 φαίνονται οι δείκτες με τιμή R^2 μεγαλύτερη του 50%, που προέκυψαν από ομαδοποίηση των δεδομένων για χρονική απόκλιση ανά ημέρα. Οι δείκτες αφορούν δεδομένα όπου η συγκέντρωση χλωροφύλλης-α είναι 0-4,3 $\mu\text{g/L}$. Σε αυτή την περίπτωση το κανάλι 2 (band 2) εμφανίζεται στους περισσότερους δείκτες και ακολουθεί το κανάλι 3 (band 3).

Πίνακας 10: Δείκτες συσχετίσεων για κατηγοριοποίηση ανά ημέρα

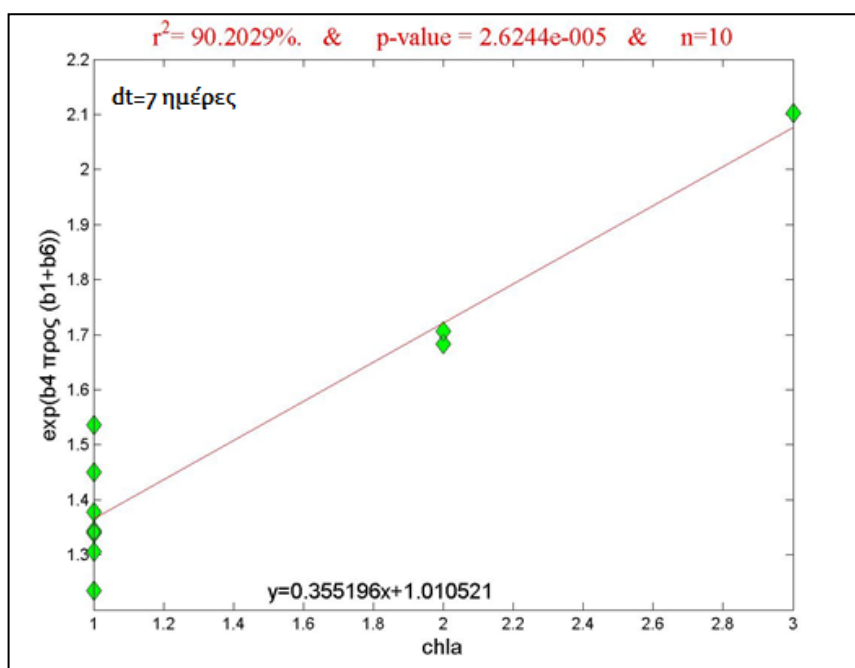
Δείκτες χλωροφύλλης-α, chl-a				
$(b1+b2) / 2$	$b1+2xb2$	$b2+b4-b7$	$\exp((b1+b2+b3) / b2)$	$\exp(b4 / b2)$
$(b1+b6) / b4$	$b1+b2$	$b2+b5-b7$	$\exp((b1+b3) / b2)$	$\exp(b4 / b3)$
$(b1-b4) / (b3-b4)$	$b1+b2-b4$	$b2+b6-b7$	$\exp((b1-b3) / (b2-b4))$	$\exp(b4 / b5)$
$(b2+b3) / 2$	$b1+b2-b5$	$b2-b4$	$\exp((b2-b4) / (b3-b4))$	$\exp(b5 / b3)$
$(b2-b3) / b1$	$b1+b2-b6$	$b2-b7$	$\exp(b2 / b3)$	$\exp(b5 / \max)$
$(b2-b4) / (b3-b6)$	$b1+b2-b7$	$b3$	$\exp(b2 / \max)$	$\ln((b1+b5-b4) / b3)$
$(b2-b4) / b3$	$b1+b3-b4$	$b3 / (b1+b2+b3)$	$\exp(b3 / (2xb1+b6))$	$\ln((b1+b6) / b4)$
$(b2-b6) / (b3-b6)$	$b1+b6-b7$	$b3 / b2$	$\exp(b3 / (2xb1+b7))$	$\ln((b3+b4) / (b1+b2))$
$(b2-b7) / (b3-b6)$	$b1-b4$	$b3 / b4$	$\exp(b3 / (b1+b2+b6))$	$\ln(b2-b7+\min)$
$(b3+b4) / (b1+b5)$	$b1-b6$	$b3 / b5$	$\exp(b3 / (b1+b2+b7))$	$\ln b2$
$(b3+b4-b5) / b1$	$b1-b7$	$b3-b7$	$\exp(b3 / b1)$	$\ln b2-\ln b3$
$(b3-b6) / (b1-b7)$	$b2$	$b4 / (b1+b2+b3)$	$\exp(b3 / b2)$	$\ln b2-\ln b4$
$(b4 / b3)+b5$	$b2 / (b1+b2+b3)$	$b4 / b2$	$\exp(b3 / b4)$	$\ln b3-\ln b4$
$(b5 / b4)+b6$	$b2 / b3$	$b4 / b3$	$\exp(b4 / (b1+b6))$	$\ln b4-\min+1$
$2xb1+b2$	$b2 / b4$	$b4 / b5$	$\exp(b4 / (b1+b7))$	$\ln b5-\min+1$
$2xb1+b3$	$b2 / b5$	$b5$	$\exp(b4 / (b2+b5))$	$\log(b2 / b3)$
$b1$	$b2+b3-b4$	$b5 / b3$	$\exp(b4 / (b2+b6))$	$\log(b3 / b4)$
$b1 / b5$	$b2+b4-b6$	$b5+b6$	$\exp(b4 / (b2+b7))$	

Ο πίνακας 2 του παραρτήματος δείχνει τις καλές συσχετίσεις που παρουσιάζονται μεταξύ δεικτών και της χλωροφύλλης-α για συγκέντρωση 0-4,3 ug/L.

Συσχέτιση δείκτη $\exp(b4/(b1+b6))$ και χρονική απόκλιση 7 ημερών

Ο δείκτης $\exp(b4/(b1+b6))$ παρουσιάζει τη μεγαλύτερη συσχέτιση (90,203%) με τη χλωροφύλλη-α για συγκέντρωση 0-4,3 ug/L και χρονική απόκλιση 7 ημέρες.

Εικόνα 15: Αποτελέσματα συσχέτισης για το δείκτη $\exp(b4/(b1+b6))$



Συσχετίσεις δεικτών $\exp(b_4/(b_2+b_6))$ και $\exp(b_4/(b_2+b_7))$

Και σε αυτή την περίπτωση οι δείκτες που εμφανίζονται περισσότερες φορές είναι οι $\exp(b_4/(b_2+b_6))$, $\exp(b_4/(b_2+b_7))$ για 7, 9, 10, 11 και 15 ημέρες χρονική απόκλιση μεταξύ των δεδομένων.

Εικόνα 16: Αποτελέσματα συσχετίσεων για τους δείκτες $\exp(b_4/(b_2+b_6))$ και $\exp(b_4/(b_2+b_7))$

Δείκτες	dt=7, n=10, (0-4,3 ug/L)	dt=9, n=9, (0-4,3 ug/L)	dt=10, n=12, (0-4,3 ug/L)	dt=11, n=14, (0-4,3 ug/L)	dt=15, n=13, (0-4,3 ug/L)	Εξίσωση
$\exp(b_4 / (b_2+b_6))$	79,87	65,45		50,015	60,915	$y=0,303263x+1,002373$
$\exp(b_4 / (b_2+b_7))$	77,884	61,318	50,6		61,745	$y=0,337515x+0,986843$

ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΑΝΑ ΗΜΕΡΑ ΓΙΑ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΧΛΩΡΟΦΥΛΛΗΣ-α 0-10 ug/L

Στον επόμενο πίνακα (πίνακας 11) φαίνονται όλοι οι δείκτες με $R^2 > 50\%$, που αφορούν δεδομένα χρονικής απόκλισης ανά ημέρα και συγκέντρωσης 0-10 ug/L. Στους περισσότερους δείκτες χρησιμοποιείται το κανάλι 2 (band 2) και το κανάλι 3 (band 3).

Πίνακας 11: Δείκτες συσχετίσεων για κατηγοριοποίηση ανά ημέρα

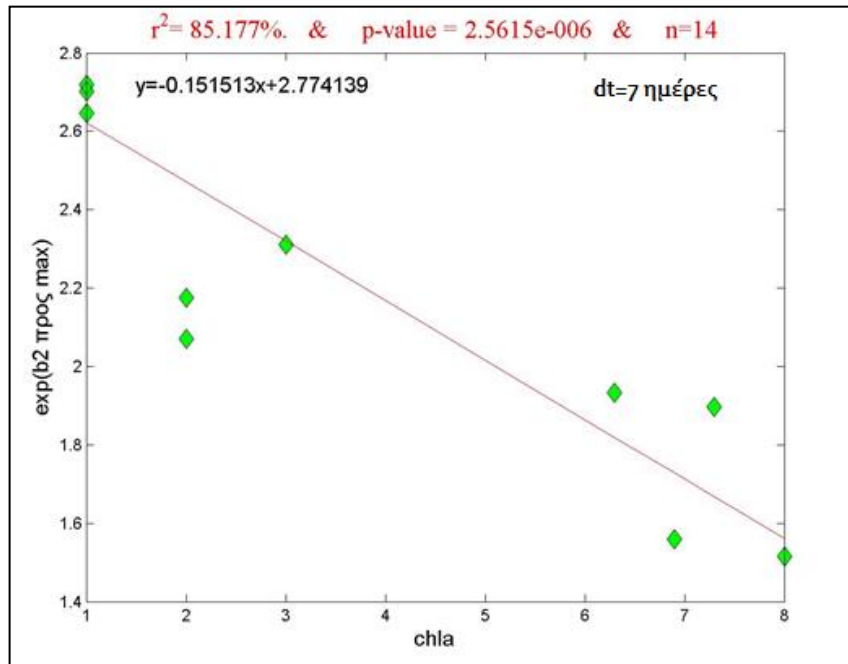
Δείκτες χλωροφύλλης-α, chl-a				
$\ln((b_1+b_6) / b_4)$	$(b_2-b_3) / b_1$	b_1	b_2 / b_4	$\ln((b_3-b_6) / (b_1-b_7))$
b_4 / b_2	b_5 / b_1	b_1-b_7	b_5 / b_3	b_4 / b_5
$\ln((b_3+b_4) / (b_1+b_2))$	$\ln b_2$	$\exp(b_5 / b_3)$	$\exp(b_5 / \max)$	$\exp(b_4 / b_5)$
$\exp(b_4 / b_2)$	$\exp((b_2-b_4) / (b_3-b_4))$	$(b_5-b_4) / (b_5+b_4)$	b_1-b_6	$b_3+b_5-b_4$
$b_2 / (b_1+b_2+b_3)$	b_2-b_4	$b_1+b_2-b_7$	b_3-b_6	$b_2+b_5-b_7$
$(b_2-b_4) / (b_3-b_6)$	$(b_2-b_4) / b_3$	$\ln(b_2-b_7+\min)$	b_2-b_6	b_4-b_7
$\exp(b_3 / b_2)$	$\exp(b_2 / b_3)$	$b_1+b_2-b_4$	$\log(b_3 / b_4)$	$b_1+b_5-b_7$
b_3 / b_2	b_1-b_4	$b_2+b_4-b_5$	$\ln b_3-\ln b_4$	$\ln(b_3 / (2xb_1+b_5))$
$\exp(b_4 / (b_2+b_5))$	b_2 / b_3	$b_1+b_2-b_6$	$b_4 / (b_1+b_2+b_3)$	$\exp(b_3 / (2xb_1+b_6))$
$\exp(b_4 / (b_2+b_6))$	$\log(b_2 / b_3)$	b_5 / b_2	$(b_1+b_6) / b_4$	$b_3 / (2xb_1+b_5)$
$\exp(b_4 / (b_2+b_7))$	$\ln b_2-\ln b_3$	$b_1+b_4-b_5$	b_3-b_7	$\exp(b_3 / (2xb_1+b_5))$
$\exp((b_1+b_3) / b_2)$	$(b_2-b_6) / (b_3-b_6)$	b_5 / b_4	b_2-b_7	$\ln((b_1+b_5-b_4) / b_3)$
$\exp((b_1+b_2+b_3) / b_2)$	$\exp(b_2 / \max)$	$\exp(b_5 / b_2)$	b_4 / b_3	$(b_3+b_4) / (b_1+b_5)$
$\exp(b_4 / (b_1+b_6))$	b_1+b_2	$\exp(b_5 / b_4)$	$\exp(b_4 / b_3)$	$(b_2-b_7) / (b_3-b_6)$
$\exp(b_4 / (b_1+b_7))$	$(b_1+b_2) / 2$	$\ln((2xb_2+b_5) / b_3)$	b_3 / b_1	$\exp(b_3 / (2xb_2+b_5))$
$\ln b_2-\ln b_4$	$2xb_1+b_2$	$b_3 / (b_1+b_2+b_5)$	$(b_1-b_3) / b_2$	$\exp(b_3 / (b_1+b_2+b_7))$
$b_3 / (b_1+b_2+b_3)$	$b_2+b_4-b_6$	b_3 / b_4	$\exp(b_3 / b_1)$	$\exp(b_3 / (b_1+b_2+b_6))$
$b_1+b_2-b_5$	$b_1+b_4-b_7$	$\ln((b_1+b_2+b_5) / b_3)$	$(b_3-b_6) / (b_1-b_7)$	$(b_3+b_4-b_5) / b_1$
$\exp(b_5 / b_1)$	$(b_3+b_7-b_5) / b_2$			

Στον πίνακα 3 του παραρτήματος φαίνονται αναλυτικά οι συσχετίσεις μεταξύ δεικτών και χλωροφύλλης-α συγκέντρωσης 0-10 ug/L. Σε αυτό το διαχωρισμό οι περισσότεροι δείκτες με καλή συσχέτιση αφορούν τα δεδομένα όπου η χρονική απόκλιση μεταξύ in situ δεδομένων και δορυφορικών εικόνων είναι 15 ημέρες.

Συσχέτιση δείκτη $\exp(b_2 / \max)$ και χρονική απόκλιση 7 ημερών

Ο δείκτης $\exp(b_2 / \max)$ δίνει την καλύτερη συσχέτιση με τα δεδομένα που έχουν χρονική απόκλιση 7 ημέρες (εικόνα 17).

Εικόνα 17: Αποτελέσματα συσχέτισης για το δείκτη $\exp(b_2/\max)$



Συσχετίσεις δεικτών $\exp(b_4/(b_2+b_6))$ και $\exp(b_4/(b_2+b_7))$

Όπως φαίνεται και στον επόμενο πίνακα, οι δείκτες που εμφανίζονται περισσότερες φορές είναι οι $\exp(b_4/(b_2+b_6))$ και $\exp(b_4/(b_2+b_7))$, για χρονική απόκλιση 0, 4, 7, 9, 12 και 15 ημέρες.

Πίνακας 12: Αποτελέσματα συσχέτισεων για τους δείκτες $\exp(b_4/(b_2+b_6))$ και $\exp(b_4/(b_2+b_7))$

Δείκτες	dt=0, n=8, (0-10 ug/L)	dt=4, n=14, (0-10 ug/L)	dt=7, n=14, (0-10 ug/L)	Εξίσωση $y=\alpha x+\beta$ $x=\text{chl-a (ug/L)}$
$\exp(b_4 / (b_2+b_6))$	55,588	77,9	57,055	$y=0.059787x+1.524250$
	dt=9, n=11, (0-10 ug/L)	dt=12, n=11, (0-10 ug/L)	dt=15, n=17, (0-10 ug/L)	
	69,373	57,607	60,915	
$\exp(b_4 / (b_2+b_7))$	dt=0, n=8, (0-10 ug/L)	dt=4, n=14, (0-10 ug/L)	dt=7, n=14, (0-10 ug/L)	Εξίσωση $y=\alpha x+\beta$ $x=\text{chl-a (ug/L)}$
	51,924	77,481	62,692	$y=0.067576x+1.567620$
	dt=9, n=11, (0-10 ug/L)	dt=12, n=11, (0-10 ug/L)	dt=15, n=17, (0-10 ug/L)	
69,824	54,614	61,745		

ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΑΝΑ ΗΜΕΡΑ ΓΙΑ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΧΛΩΡΟΦΥΛΛΗΣ-α > 10ug/L

Ο πίνακας 13 δείχνει τους δείκτες οι οποίοι συσχετίζονται καλά με τα in situ δεδομένα για χρονική απόκλιση ανά ημέρα και συγκέντρωση χλωροφύλλης-α >10 ug/L. Το κανάλι 1 (band 1) συμμετέχει στους περισσότερους δείκτες και ακολουθεί το κανάλι 3 (band 3).

Πίνακας 13: Δείκτες συσχετίσεων για κατηγοριοποίηση ανά ημέρα

Δείκτες χλωροφύλλης-α, chl-a				
$b4 / b2$	$\exp(b3 / (2xb1+b7))$	$(b3+b4) / 2$	$(b2+b3) / 2$	$b5 / b1$
$(2xb1+b5) / b3$	$\exp(b3 / (b1+b2+b7))$	$b1+b4-b7$	$b2-b7$	$\ln b2$
$\exp(b4 / (b2+b5))$	$b3 / (b1+b2+b5)$	$b3-b7$	$b2+b4-b5$	$\ln(b2-b7+\min)$
$\ln((2xb2+b5) / b3)$	$\exp(b4 / (b1+b7))$	$b2+b4-b7$	$\exp(b5 / b1)$	$b1+b2-b6$
$b3 / b1$	$b3 / (2xb1+b5)$	$b2+b4-b6$	$b1-b7$	$b1+b2-b5$
$\ln((b3+b4) / (b1+b2))$	$\exp((b1-b3) / (b2-b4))$	$b3+b4-b7$	$b2+b6-b7$	$b1+b2-b7$
$(b2-b3) / b1$	$\exp(b4 / (b1+b6))$	$b3+b4-b6$	$b2$	$b1+b2-b4$
$\exp(b3 / b2)$	$\exp(b3 / (2xb1+b6))$	$(b3+b7-b5) / b1$	$b1+b4-b5$	$(b4+b5) / 2$
$b3 / (b1+b5-b7)$	$\exp(b3 / (2xb1+b5))$	$b3+b4-b5$	$b2+b3-b4$	$\ln b4 - \min + 1$
$\exp((b3 / (b2+b6-b5))$	$\exp(b3 / (b1+b2+b6))$	$(b2-b7) / (b3-b6)$	$b1+b6-b7$	$\ln b5 - \min + 1$
$\ln((b1+b2+b5) / b3)$	$\ln b3$	$b4 / (b1+b2+b3)$	$2xb1+b3$	$\ln b2 - \ln b4$
$(b3+b4) / (b1+b5)$	$b1-b4$	$\ln((b3+b4-b5) / b1)$	$b1+2xb2$	$b3 / (b1+b2+b3)$
$\exp(b4 / b2)$	$b3-b6$	$b3+b5-b4$	$(b1+b2) / 2$	$(b1+b6) / b4$
$\ln(b3 / (2xb1+b5))$	$b4$	$b2+b5-b7$	$b1+b2$	$b1 / b3$
$\exp(b3 / b1)$	$b2-b4$	$\ln((b1+b6) / b4)$	$2xb1+b2$	$(b1-b3) / b2$
$\exp(b4 / (b2+b7))$	$(b3 / b2)+b4$	$b1+b5-b7$	$b1$	$\ln((b3-b6) / (b1-b7))$
$\exp(b4 / (b2+b6))$	$b3$	$(b3+b4-b5) / b1$	$b1+b3-b4$	$(b3-b6) / (b1-b7)$
$\exp(b3 / (2xb2+b5))$				

Στον πίνακα 4 του παραρτήματος παρουσιάζονται οι δείκτες και οι συσχετίσεις τους με τα in situ δεδομένα για συγκέντρωση χλωροφύλλης-α > 10 ug/L. Στο συγκεκριμένο διαχωρισμό το πλήθος των εγγραφών είναι αρκετά μικρό. Τα περισσότερα δεδομένα αναφέρονται σε χρονική απόκλιση 7 ημερών, μεταξύ των in situ και των δορυφορικών δεδομένων. Οι καλύτεροι δείκτες για αυτά τα δεδομένα είναι οι (b3+b4-b7) και (b3+b4-b6) με συσχετίσεις 73,694% και 74,821% αντίστοιχα.

ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΓΙΑ ΧΡΟΝΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ 0-3 ΗΜΕΡΕΣ, 0-5 ΗΜΕΡΕΣ ΚΑΙ 0-15 ΗΜΕΡΕΣ

Έγιναν δοκιμές με ομαδοποιήσεις σύμφωνα με τη χρονική απόκλιση για περισσότερες από μια ημέρες (0-3 ημέρες, 0-5 ημέρες, 0-15 ημέρες), τα αποτελέσματα δεν ήταν θετικά.

Συσχετίσεις για χρονική απόκλιση 0-5 ημέρες και συγκέντρωση χλωροφύλλης-α 0-4,3 ug/L

Τα καλύτερα αποτελέσματα ήταν για τη χρονική απόκλιση 0-5 ημέρες (πίνακας 14), με συγκέντρωση χλωροφύλλης-α 0-4,3 ug/L και πλήθος δεδομένων n=51. Το κανάλι 2 συμμετέχει και στους 3 δείκτες.

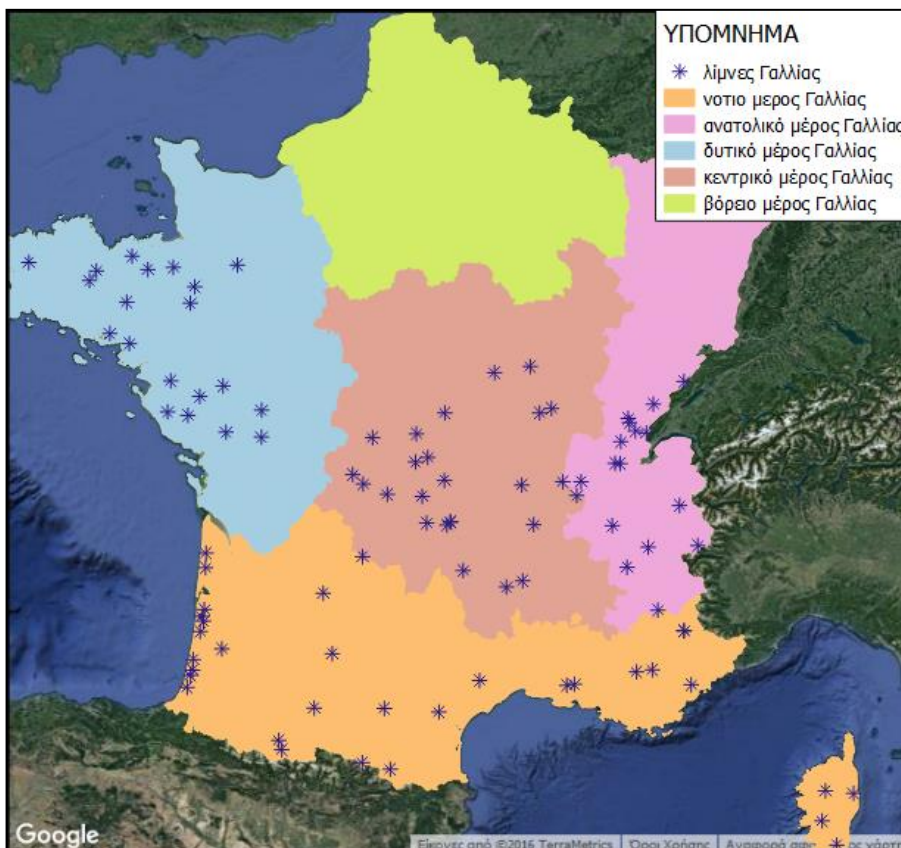
Πίνακας 14: Αποτελέσματα συσχετίσεων για χρονική απόκλιση 0-5 ημέρες

Δείκτης	R ²	Εξίσωση
b2-b6	22,606	$y = -46,831 + 207,290$
b2-b7	23,571	$y = -41,905x + 226,067$
b2-b4	26,194	$y = -36,919x + 134,693$

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΥΣΧΕΤΙΣΕΩΝ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΚΑΘΕ ΛΙΜΝΗΣ

Τα θετικά αποτελέσματα από τις δοκιμές που αφορούν γεωγραφικό διαχωρισμό παρουσιάζονται στους επόμενους πίνακες. Οι λίμνες διαχωρίστηκαν ανάλογα με το μέρος που ανήκουν όπως φαίνεται στον επόμενο χάρτη.

Χάρτης 2: Κατανομή λιμνών



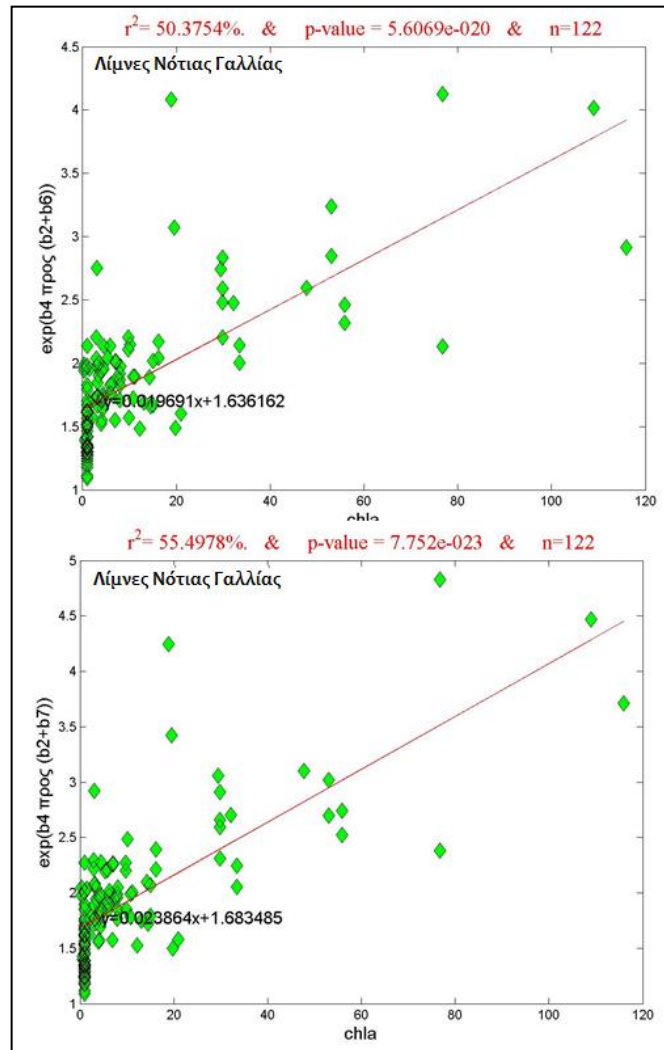
ΣΥΣΧΕΤΙΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΙΣ ΛΙΜΝΕΣ ΣΤΟ ΝΟΤΙΟ ΜΕΡΟΣ ΤΗΣ ΓΑΛΛΙΑΣ ΚΑΙ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΧΛΩΡΟΦΥΛΛΗΣ-α 0,3-116 ug/L

Στον πίνακα 15 βλέπουμε ότι 4 δείκτες συσχετίζονται καλά με τα in situ δεδομένα που προκύπτουν από τις λίμνες που βρίσκονται στο νότιο μέρος της Γαλλίας. Τα δεδομένα αφορούν συγκέντρωση χλωροφύλλης-α 0,3-116 ug/L. Το κανάλι 4 (band 4) συμμετέχει και στους 4 δείκτες. Επίσης και οι 4 δείκτες είναι εκθετικοί με βάση το e. Οι δείκτες $\exp(b4/(b2+b6))$ και $\exp(b4/(b2+b7))$ (εικόνα 18), παρατηρείται ότι εμφανίζονται και στις προηγούμενες ομαδοποιήσεις. Τα αποτελέσματα αυτής της δοκιμής θεωρούνται πιο αξιόπιστα αφού για τη συγκεκριμένη δοκιμή υπάρχουν 122 εγγραφές.

Πίνακας 15: Αποτελέσματα συσχέτισεων για τις λίμνες του νότιου μέρους της Γαλλίας

Δείκτες για λίμνες νότιας Γαλλίας	dt=0-15 ημέρες, n=122, (0,3-116 ug/L)	Εξίσωση $y=ax+\beta$ $x=chl-a$ (ug/L)
$\exp(b4 \text{ προς } (b2+b6))$	50,375	$y=0.019691x+1.636162$
$\exp(b4 \text{ προς } (b1+b6))$	51,482	$y=0.042420x+1.730450$
$\exp(b4 \text{ προς } (b2+b7))$	55,498	$y=0.023864x+1.683485$
$\exp(b4 \text{ προς } (b1+b7))$	60,887	$y=0.061415x+1.731039$

Εικόνα 18: Αποτελέσματα συσχετίσεων για τους δείκτες $\exp(b_4/(b_2+b_6))$ και $\exp(b_4/(b_2+b_7))$

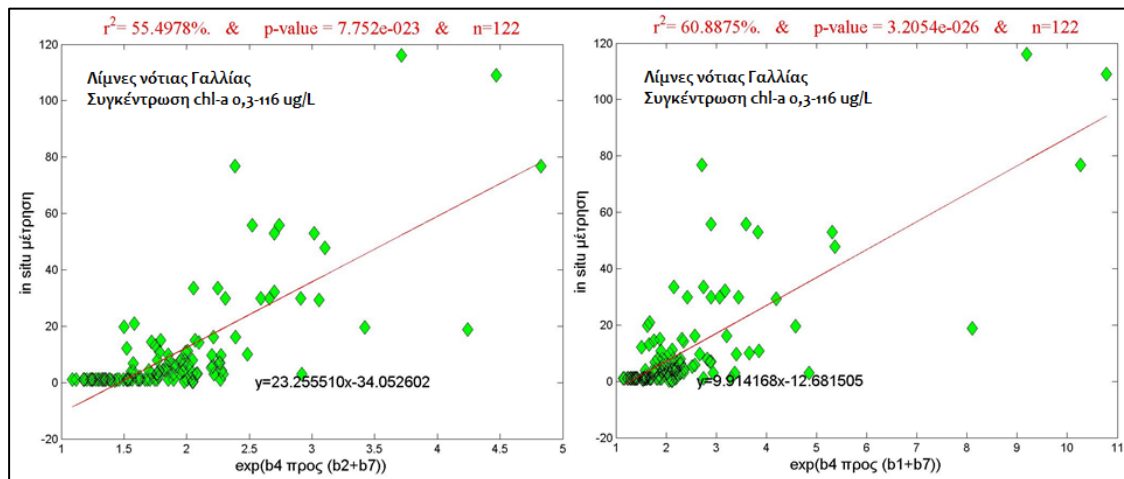


Οι δείκτες αξιολογήθηκαν σύμφωνα με την τιμή R^2 . Οι δείκτες $\exp(b_4/(b_2+b_7))$ και $\exp(b_4/(b_1+b_7))$ (εικόνα 19), φαίνεται να είναι οι πιο αξιόπιστοι λόγω της μεγαλύτερης συσχέτισης μεταξύ in situ και δορυφορικών δεδομένων που δίνουν. Γι' αυτό έγινε περαιτέρω αξιολόγησή τους. Στον πίνακα 16 φαίνονται οι νέες εξισώσεις που προκύπτουν από τη συσχέτιση των δεδομένων καθώς και η μέση απόκλιση μεταξύ εκτιμώμενης τιμής χλωροφύλλης-α από τις εξισώσεις που προέκυψαν και της πραγματικής συγκέντρωσης χλωροφύλλης (in situ δεδομένα). Για το δείκτη $\exp(b_4/(b_1+b_7))$ που έχει την καλύτερη συσχέτιση, η μέση τυπική απόκλιση μεταξύ εκτιμώμενης και πραγματικής τιμής είναι 7,5 ug/L ενώ για το δείκτη $\exp(b_4/(b_2+b_7))$ η μέση απόκλιση είναι 8,5 ug/L.

Πίνακας 16: Αποτελέσματα συσχετίσεων και απόκλισης μεταξύ εκτιμώμενης και πραγματικής τιμής chl-a

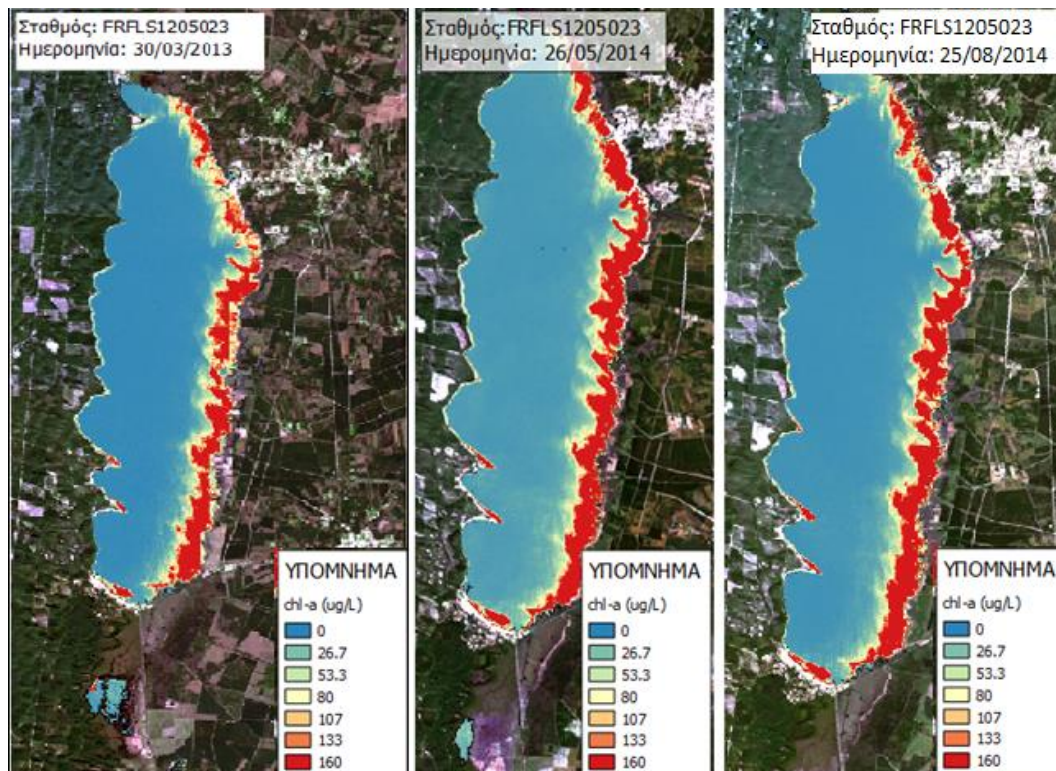
Δείκτες για λίμνες νότιας Γαλλίας	dt=0-15 ημέρες, n=122, (0,3-116 ug/L)	Εξίσωση $y=ax+b$ x =δείκτης y =chl-a (ug/L)	Μέση απόκλιση μεταξύ εκτίμησης και πραγματικής ποσότητας χλωροφύλλης-α (ug/L)
$\exp(b_4 \text{ προς } (b_2+b_7))$	55,498	$y=23,255510x-34,052602$	8,5
$\exp(b_4 \text{ προς } (b_1+b_7))$	60,887	$y=9,914168x-12,681505$	7,5

Εικόνα 19: Νέα αποτελέσματα συσχετίσεων για τους δείκτες $\exp(b_4/(b_2+b_7))$ και $\exp(b_4/(b_1+b_7))$

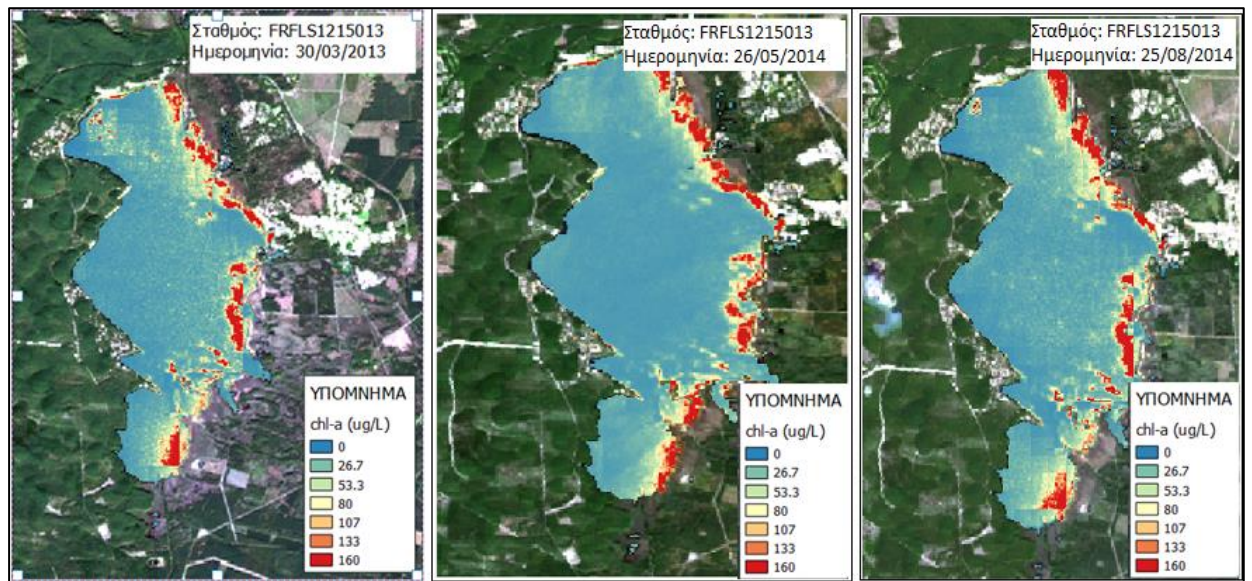


Η χρησιμότητα των προηγούμενων αποτελεσμάτων φαίνεται στους χάρτες που ακολουθούν. Για το δείκτη $\exp(b_4 / (b_1+b_7))$ και τα δεδομένα των λιμνών στο νότιο μέρος της Γαλλίας προέκυψε η εξίσωση $y = 9,914168x - 12,681505$. Η εξίσωση εφαρμόστηκε για κάθε pixel της δορυφορικής εικόνας και με δεδομένες τις τιμές του δείκτη για κάθε pixel προσδιορίστηκε η συγκέντρωση χλωροφύλλης-α. Στους χάρτες που ακολουθούν απεικονίζεται το αποτέλεσμα της εφαρμογής της εξίσωσης σε ολόκληρη την επιφάνεια τριών λιμνών.

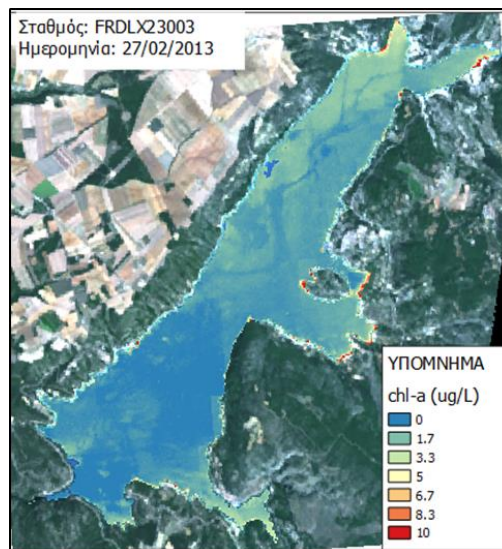
Εικόνα 20: Χάρτες συγκέντρωσης χλωροφύλλης-α για τη λίμνη Hourtin σε διαφορετικές ημερομηνίες



Εικόνα 21: Χάρτες συγκέντρωσης χλωροφύλλης-α για τη λίμνη Etang de Lacanau σε διαφορετικές ημερομηνίες



Εικόνα 22: Χάρτης συγκέντρωσης χλωροφύλλης-α για τη λίμνη Sainte-Croix



Επίσης η εφαρμογή της εξίσωσης πραγματοποιήθηκε και σε άλλες εικόνες, τα αποτελέσματα φαίνονται στον πίνακα 17. Για κάθε εικόνα αναγράφονται 3 τιμές συγκέντρωσης. Η πρώτη τιμή αφορά τα αποτελέσματα που προέκυψαν με την επιτόπου δειγματοληψία, η δεύτερη τιμή προέκυψε από υπολογισμούς με χρήση των τιμών των δορυφορικών δεδομένων ενώ η τρίτη τιμή είναι η συγκέντρωση χλωροφύλλης που προέκυψε από την επεξεργασία των εικόνων. Οι τιμές αυτές είναι σημειακά αποτελέσματα και αφορούν τα σημεία όπου βρίσκονται οι επίγειοι σταθμοί. Από τον πίνακα παρατηρείται ότι τα αποτελέσματα που προέκυψαν από υπολογισμούς και αυτά που προέκυψαν από την επεξεργασία των εικόνων συμφωνούν απόλυτα, ενώ υπάρχουν ορισμένες αποκλίσεις σε σχέση με τα αποτελέσματα των επιτόπιων μετρήσεων.

Πίνακας 17: Σύγκριση αποτελεσμάτων συγκέντρωσης χλωροφύλλης-α με διαφορετικές μεθόδους

Σταθμός	Εικόνα	Ημερομηνία	in situ (ug/L)	chl-a excel (ug/L)	chl-a Q (ug/L)
FRFLS414143	LC82000302014162	11_06_2014	16,2	19,1	19,0
FRFLS414143	LC82000292014066	07_03_2014	3,4	6,4	6,5
FRFLS414143	LC82000302013223	11_08_2013	29,9	21,4	21,4
FRFLS1205023	LC82000292013303	30_10_2013	3,9	4,5	4,5
FRFLS1205023	LC82000292014258	15_09_2014	7,9	6,5	7,1
FRFLS1205023	LC82010292014265	22_09_2014	7,9	9,9	10,0
FRFLS1215013	LC82010292014265	22_09_2014	9,7	13,8	12,0
FRFLS1215013	LC82000292014258	15_09_2014	9,7	21,1	21,1
FRFLS1215013	LC82000292013303	30_10_2013	10,8	25,5	25,5
FRFLQ0035033	LC81990302014219	07_08_2014	1,0	0,4	0,4
FRFLQ0035033	LC81990302014299	26_10_2014	1,0	0,1	-0,1
FRFLQ0035033	LC81990302014171	20_06_2014	2,0	3,2	3,1
FRFLS32-4003	LC82000292014162	11_06_2014	29,4	28,9	28,0
FRFLS32-4003	LC82000292014210	29_07_2014	11,2	8,4	8,5
FRDLX2--3003	LC81960302013227	15_08_2013	1,0	1,1	1,0

ΣΥΣΧΕΤΙΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΙΣ ΛΙΜΝΕΣ ΣΤΟ ΝΟΤΙΟ ΜΕΡΟΣ ΤΗΣ ΓΑΛΛΙΑΣ ΚΑΙ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΧΛΩΡΟΦΥΛΛΗΣ-α 20-40 ug/L

Για πιο συγκεκριμένη ομαδοποίηση που έγινε στις λίμνες του νότιου μέρους της Γαλλίας, προέκυψαν 45 δείκτες με $R^2 > 50\%$ (πίνακας 18). Σε αυτή την περίπτωση οι δείκτες συσχετίστηκαν με τα in situ δεδομένα που αφορούν συγκέντρωση χλωροφύλλης-α 20-40 ug/L και έχουν χρονική απόκλιση από 0 μέχρι 15 ημέρες. Το κανάλι που εμφανίζεται πιο συχνά είναι το κανάλι 5 (band 5).

Πίνακας 18: Αποτελέσματα συσχετίσεων για τις λίμνες του νότιου μέρους της Γαλλίας

Δείκτες για λίμνες νότιας Γαλλίας	dt=0-15 ημέρες, n=9, (20-40 ug/L)	Εξίσωση $y=\alpha x+\beta$ $x=\text{chl-a (ug/L)}$	Δείκτες για λίμνες νότιας Γαλλίας	dt=0-15 ημέρες, n=9, (20-40 ug/L)	Εξίσωση $y=\alpha x+\beta$ $x=\text{chl-a (ug/L)}$
b1 προς (b3+b7-b5+1)	50,131	$y=0.027731x-0.048923$	exp(b5 προς b1)	74,515	$y=-0.556701x+19.525327$
ln(b2-b7+min)	53,051	$y=0.022367x+4.917278$	(b4 προς b3)+b5	74,873	$y=-22.795307x+791.066213$
(b2-b4) προς (b3-b6)	53,736	$y=0.036015x-1.145192$	b5	74,899	$y=-22.796550x+790.394619$
b2+b3-b4	53,921	$y=-9.663880x+500.283360$	exp(b5 προς max)	75,006	$y=-0.107535x+4.810970$
b4 προς b5	54,823	$y=0.118904x-1.652223$	exp(b5 προς b3)	75,121	$y=-0.108174x+4.830960$
b2 προς b5	55,296	$y=0.146338x-2.499071$	exp(b5 προς b2)	75,599	$y=-0.271503x+10.273892$
(b3+b4) προς 2	58,313	$y=-10.633559x+506.665624$	b5 προς b4	77,443	$y=-0.079501x+2.992394$
b4-b7	58,782	$y=14.023653x-312.196109$	b1-b6	78,431	$y=17.966388x-470.639447$
b1+b2-b6	58,934	$y=12.386626x-156.137906$	b5+b6	78,577	$y=-43.414547x+1463.428300$
b1+b2-b5	59,277	$y=14.565179x-273.498844$	lnb4-min+1	78,615	$y=11.443130x-370.461677$
(b2+b3) προς 2	59,38	$y=-9.127690x+457.029037$	lnb4-min+1	78,615	$y=11.443130x-370.461677$
lnb3	59,92	$y=-0.049870x+6.859622$	lnb5-min+1	78,637	$y=11.351015x-368.286644$
(b3+b7-b5) προς b1	63,968	$y=-0.057032x+3.022104$	b3+b5-b4	79,199	$y=-26.880669x+976.176438$
b1+b2-b7	64,477	$y=14.383781x-209.075049$	(b5 προς b4)+b6	79,381	$y=-20.697499x+676.026075$
b5 προς b1	65,086	$y=-0.133661x+4.841617$	b1-b7	80,877	$y=19.963543x-523.576590$
b3	65,505	$y=-12.675618x+599.556534$	b1-b7	80,877	$y=19.963543x-523.576590$
(b4+b5) προς 2	67,781	$y=-15.694025x+602.084667$	exp(b5 προς b4)	81,503	$y=-0.215001x+8.397173$
b3 προς (b1+b5-b7)	68,171	$y=-0.046094x+2.599042$	b2-b6	82,448	$y=15.038236x-358.532140$
b5 προς b2	69,111	$y=-0.094317x+3.493274$	b2-b7	83,051	$y=17.035390x-411.469283$
(b5-b4) προς (b5+b4)	69,622	$y=-0.044428x+1.053396$	b2-b7	83,051	$y=17.035390x-411.469283$
b5 προς b3	70,152	$y=-0.054579x+2.069797$	(b2-b6) προς (b3-b6)	89,104	$y=-0.153614x-4.156646$
b1+b4-b5	70,703	$y=11.553441x-174.225670$	(b2-b7) προς (b3-b6)	89,223	$y=-0.180328x-4.939389$
b2+b4-b5	70,869	$y=8.625289x-62.118363$			

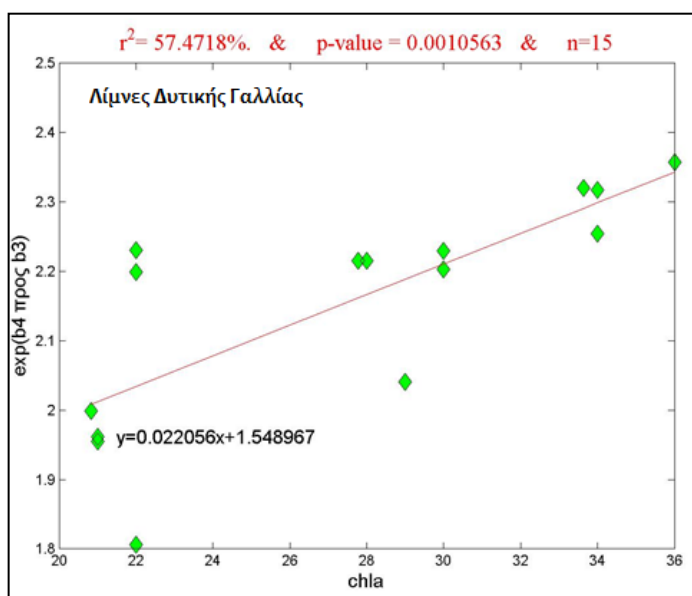
ΣΥΣΧΕΤΙΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΙΣ ΛΙΜΝΕΣ ΣΤΟ ΔΥΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ ΤΗΣ ΓΑΛΛΙΑΣ ΚΑΙ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΧΛΩΡΟΦΥΛΛΗΣ-α 20-40 ug/L

Καλή συσχέτιση υπάρχει και για δείκτες με δεδομένα που αφορούν λίμνες του δυτικού μέρους της Γαλλίας, μόνο όμως για συγκέντρωση χλωροφύλλης-α 20-40 ug/L. Βλέπουμε, στον πίνακα 19, ότι οι δείκτες είναι συνδυασμοί των καναλιών 3 και 4 (band3, band 4).

Πίνακας 19: Αποτελέσματα συσχετίσεων για τις λίμνες του δυτικού μέρους της Γαλλίας

Δείκτες για λίμνες δυτικής Γαλλίας	dt=0-15 ημέρες, n=15, (20-40 ug/L)	Εξίσωση $y=\alpha x+\beta$ $x=chl-a$ (ug/L)
b3 προς b4	50,524	$y=-0.018983x+1.842433$
log(b3 προς b4)	53,266	$y=-0.006084x+0.285658$
lnb3-lnb4	53,266	$y=-0.014009x+0.657753$
b4 προς b3	55,781	$y=0.010414x+0.478944$
exp(b4 προς b3)	57,472	$y=0.022056x+1.548967$

Εικόνα 23: Αποτέλεσμα συσχέτισης για το δείκτη exp(b4/b3)

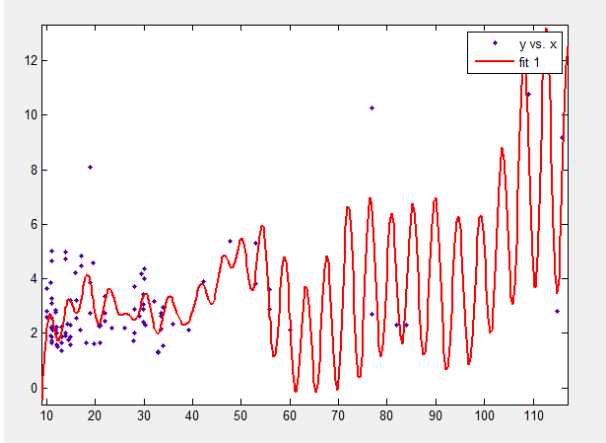
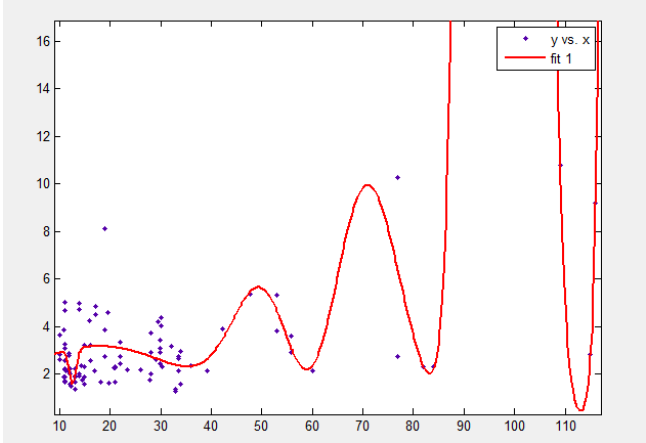


5.1.2 Αποτελέσματα με χρήση Μη Γραμμικών Μοντέλων

Η χρήση γραμμικών μοντέλων δεν έδωσε τις αναμενόμενες συσχετίσεις, ιδιαίτερα για τις κατηγοριοποιήσεις με μεγάλο πλήθος εγγραφών και για τις κατηγοριοποιήσεις που έγιναν για ολόκληρη τη Γαλλία σύμφωνα με τη συγκέντρωση χλωροφύλλης-α. Για το σκοπό αυτό έγιναν ορισμένες δοκιμές με άλλα εργαλεία του λογισμικού που χρησιμοποιήθηκε ώστε να ελεγχθεί αν υπάρχουν άλλου είδους συσχετίσεις μεταξύ δεικτών και in situ δεδομένων.

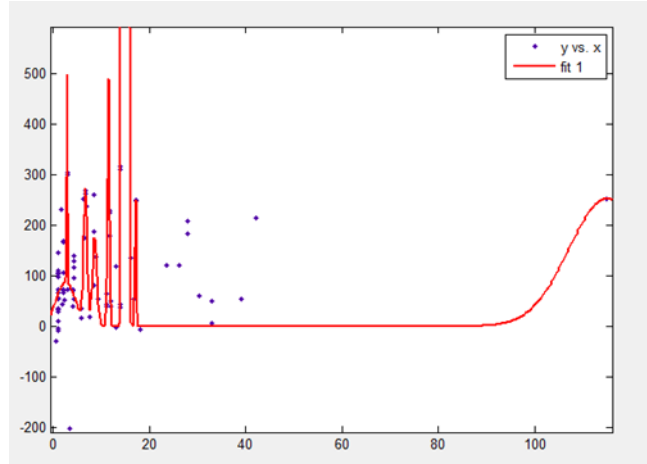
Παρατηρώντας τον πίνακα 20, βλέπουμε ότι η τιμή R^2 αυξάνεται σημαντικά με τη χρήση κάποιου άλλου μη γραμμικού μοντέλου. Αν εξαιρεθεί η τρίτη δοκιμή, στις υπόλοιπες περιπτώσεις η τιμή R^2 ξεπερνά το 50% και πλησιάζει ακόμη το 100% (τελευταία δοκιμή).

Πίνακας 20: Αποτελέσματα συσχετίσεων απλών μη γραμμικών μοντέλων παλινδρόμησης

Στοιχεία κατηγοριοποίησης	Συσχέτιση με χρήση μη γραμμικών μοντέλων
<ul style="list-style-type: none"> n=96 συγκέντρωση chl-a: 10-116 ug/L χρονική απόκλιση: 0-15 ημέρες περιοχή: ολόκληρη Γαλλία δείκτης: $\exp(b_4 / (b_1+b_7))$ R^2 απλού γραμμικού μοντέλου=22,25% 	<ul style="list-style-type: none"> $f(x) = 519,3 \cdot \sin(0,0001354 \cdot x - 0,001185 + 1,801 \cdot \sin(0,05423 \cdot x + 0,1067) + 0,7077 \cdot \sin(1,516 \cdot x - 0,5694) + 0,4771 \cdot \sin(1,05 \cdot x + 1,793) + 1,083 \cdot \sin(0,2042 \cdot x - 2,211) + 340,6 \cdot \sin(1,396 \cdot x + 0,1131) + 0,4214 \cdot \sin(0,3277 \cdot x + 3,465) + 340,2 \cdot \sin(1,396 \cdot x - 3,024)$ είδος εξίσωσης: Sum of sin functions $R^2=53,7\%$ x=in situ μέτρηση χλωροφύλλης y=δείκτης $\exp(b_4 / (b_1+b_7))$ 
	<ul style="list-style-type: none"> $f(x) = 693 \cdot \exp(-((x-97,9)/5,44)^2) + 6,909 \cdot \exp(-((x-72,17)/8,662)^2) + 3,165 \cdot \exp(-((x-17,81)/26,33)^2) + 7060 \cdot \exp(-((x-127,2)/4,352)^2) + 84,73 \cdot \exp(-((x-58,81)/10,48)^2) - 1,454 \cdot \exp(-((x-12,58)/0,9849)^2) - 83,48 \cdot \exp(-((x-58,93)/9,889)^2)$ είδος εξίσωσης: Gaussian $R^2=55,1\%$ x=in situ μέτρηση χλωροφύλλης y=δείκτης $\exp(b_4 / (b_1+b_7))$ 

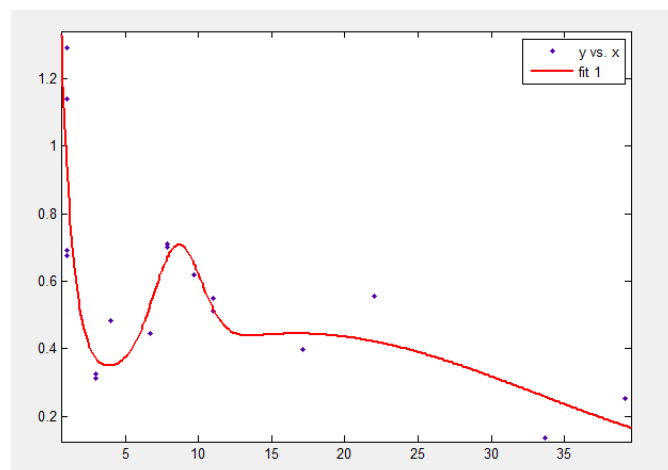
- n=80
- συγκέντρωση chl-a: 0,5-116 ug/L
- χρονική απόκλιση: 0-15 ημέρες
- περιοχή: κεντρική Γαλλία
- δείκτης: b4-b7
- R^2 απλού γραμμικού μοντέλου=4,47%

- $f(x) = 8,082 \cdot 10^5 \cdot \exp(-((x-14,97)/0,3477)^2) + 449,9 \cdot \exp(-((x-2,819)/0,1669)^2) + 265 \cdot \exp(-((x-6,653)/0,5127)^2) + 252 \cdot \exp(-((x-115)/11,19)^2) + 256,6 \cdot \exp(-((x-17,06)/0,1766)^2) + 177,8 \cdot \exp(-((x-8,603)/0,6771)^2) + 493,3 \cdot \exp(-((x-11,5)/0,3275)^2) + 87,64 \cdot \exp(-((x-2,574)/2,809)^2)$
- είδος εξίσωσης: Gaussian
- $R^2=43,3\%$
- x=in situ μέτρηση χλωροφύλλης
- y=δείκτης b4-b7



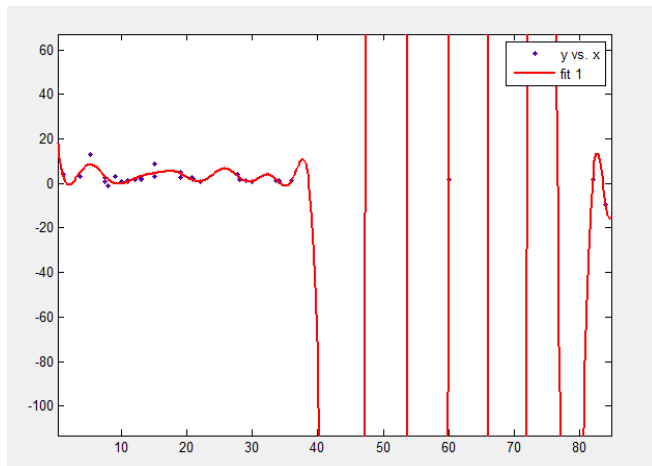
- n=18
- συγκέντρωση chl-a: 1-39,15 ug/L
- χρονική απόκλιση: 3 ημέρες
- περιοχή: ολόκληρη Γαλλία
- δείκτης: $(b2-b6)/(b3-b6)$
- R^2 απλού γραμμικού μοντέλου=39,09%

- $f(x) = 8,681 \cdot 10^{13} \cdot \exp(-((x+53,24)/9,516)^2) + 0,3145 \cdot \exp(-((x-8,572)/2,272)^2) + 0,4443 \cdot \exp(-((x-16,66)/23,02)^2)$
- είδος εξίσωσης: Gaussian
- $R^2=73,53\%$
- x=in situ μέτρηση χλωροφύλλης
- y=δείκτης : $(b2-b6)/(b3-b6)$



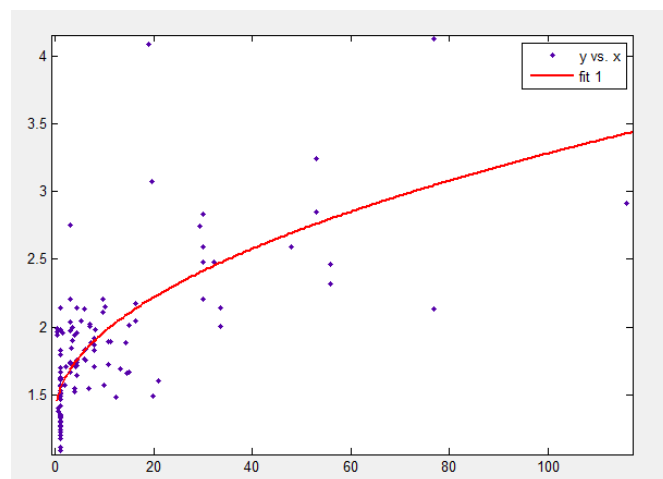
- n=41
- συγκέντρωση chl-a: 1,1-84ug/L
- χρονική απόκλιση: 0-15 ημέρες
- περιοχή: δυτική Γαλλία
- δείκτης: $b2 / (b3+b7-b5+1)$
- R^2 απλού γραμμικού μοντέλου=21,93%

- $f(x) = 79,72 \cdot \sin(0,04245 \cdot x + 2,286) + 831,8 \cdot \sin(0,4611 \cdot x + 2,41) + 107,4 \cdot \sin(0,7254 \cdot x + 0,5718) + 554,3 \cdot \sin(0,3776 \cdot x + 2,271) + 216,2 \cdot \sin(0,2977 \cdot x + 0,6265) + 831,5 \cdot \sin(0,5357 \cdot x - 0,6113) + 549,9 \cdot \sin(0,6105 \cdot x + 1,236) + 297,6 \cdot \sin(0,6843 \cdot x - 3,097)$
- είδος εξίσωσης: Sum of sin functions
- $R^2=76,22 \%$
- x=in situ μέτρηση χλωροφύλλης
- y=δείκτης : $b2 / (b3+b7-b5+1)$



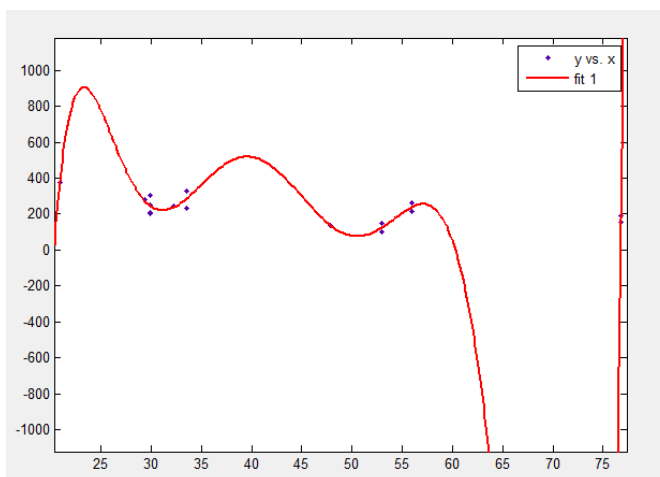
- n=122
- συγκέντρωση chl-a: 0,3-116ug/L
- χρονική απόκλιση: 0-15 ημέρες
- περιοχή: νότια Γαλλία
- δείκτης: $\exp(b4 / (b2+b6))$
- R^2 απλού γραμμικού μοντέλου=50,38%

- $f(x) = 0,2024 \cdot x^{0,4907} + 1,341$
- είδος εξίσωσης: Power
- $R^2=55,83 \%$
- x=in situ μέτρηση χλωροφύλλης
- y=δείκτης : $\exp(b4 / (b2+b6))$

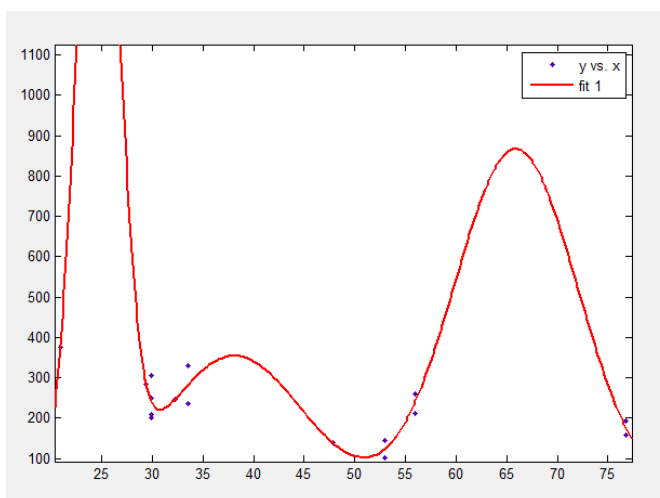


- n=16
- συγκέντρωση chl-a: >20-80 ug/L
- χρονική απόκλιση: 0-15 ημέρες
- περιοχή: νότια Γαλλία
- δείκτης: b1+b2
- R² απλού γραμμικού μοντέλου=38,39%

- $f(x) = 2,998 \cdot 10^{-6} \cdot x^7 - 0,0009588 \cdot x^6 + 0,128 \cdot x^5 - 9,238 \cdot x^4 + 388,8 \cdot x^3 - 9533 \cdot x^2 + 1,259 \cdot 10^5 \cdot x - 6,898 \cdot 10^5$
- είδος εξίσωσης: Polynomial
- R²=82,16 %
- x=in situ μέτρηση χλωροφύλλης
- y=δείκτης : b1+b2

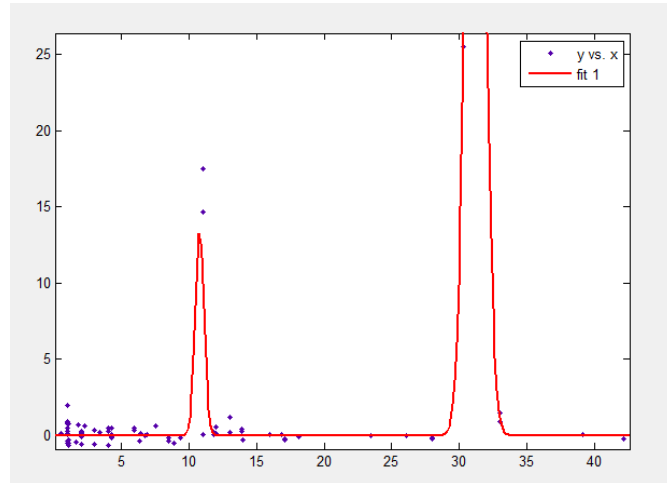


- $f(x) = 1847 \cdot \exp(-((x-24,62)/2,914)^2) + 354,1 \cdot \exp(-((x-38,09)/9,645)^2) + 866,8 \cdot \exp(-((x-65,9)/8,612)^2)$
- είδος εξίσωσης: Gaussian
- R²=82,59 %
- x=in situ μέτρηση χλωροφύλλης
- y=δείκτης : b1+b2



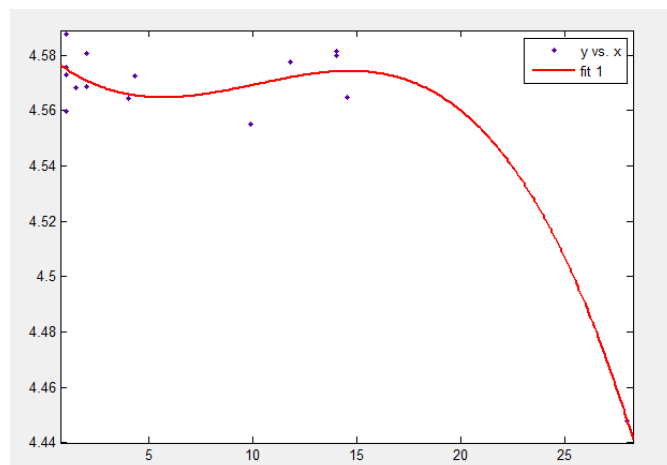
- n=79
- συγκέντρωση chl-a: 0-42ug/L
- χρονική απόκλιση: 0-15 ημέρες
- περιοχή: κεντρική Γαλλία
- δείκτης: $(b_2-b_4) / (b_3-b_6)$
 R^2 απλού γραμμικού μοντέλου=4,41%

- $f(x) = 71,3 * \exp(-((x-31,2) / 0,8914)^2) + 13,3 * \exp(-((x-10,78) / 0,474)^2)$
- είδος εξίσωσης: Gaussian
- $R^2=83,08 \%$
- x=in situ μέτρηση χλωροφύλλης
- y=δείκτης : $(b_2-b_4) / (b_3-b_6)$



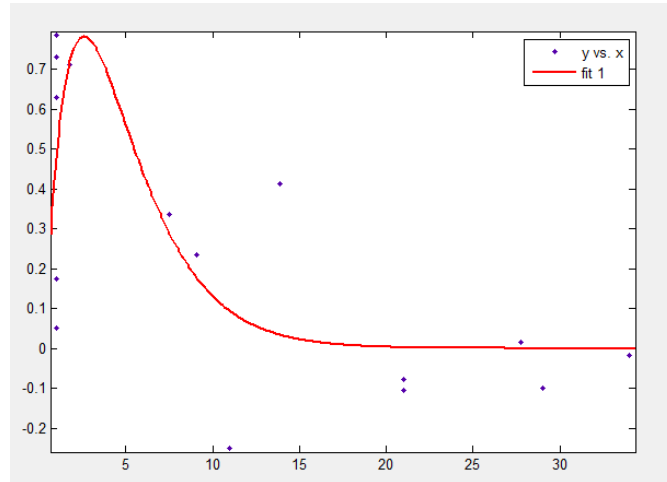
- n=15
- συγκέντρωση chl-a: 1-28 ug/L
- χρονική απόκλιση: 2 ημέρες
- περιοχή: ολόκληρη Γαλλία
- δείκτης: $\ln((b_3-b_6) / (b_1-b_7))$
- R^2 απλού γραμμικού μοντέλου=48,70%

- $f(x) = -2,641 * 10^{-5} * x^3 + 0,0008041 * x^2 - 0,006567 * x + 4,581$
- είδος εξίσωσης: Polynomial
- $R^2=93,72 \%$
- x=in situ μέτρηση χλωροφύλλης
- y=δείκτης : $\ln((b_3-b_6) / (b_1-b_7))$

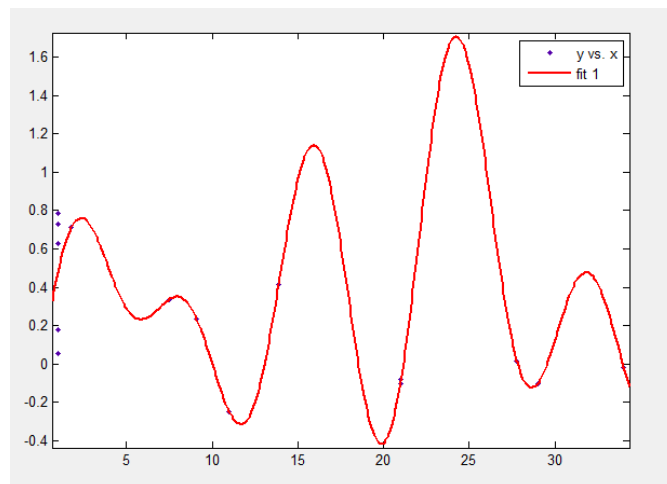


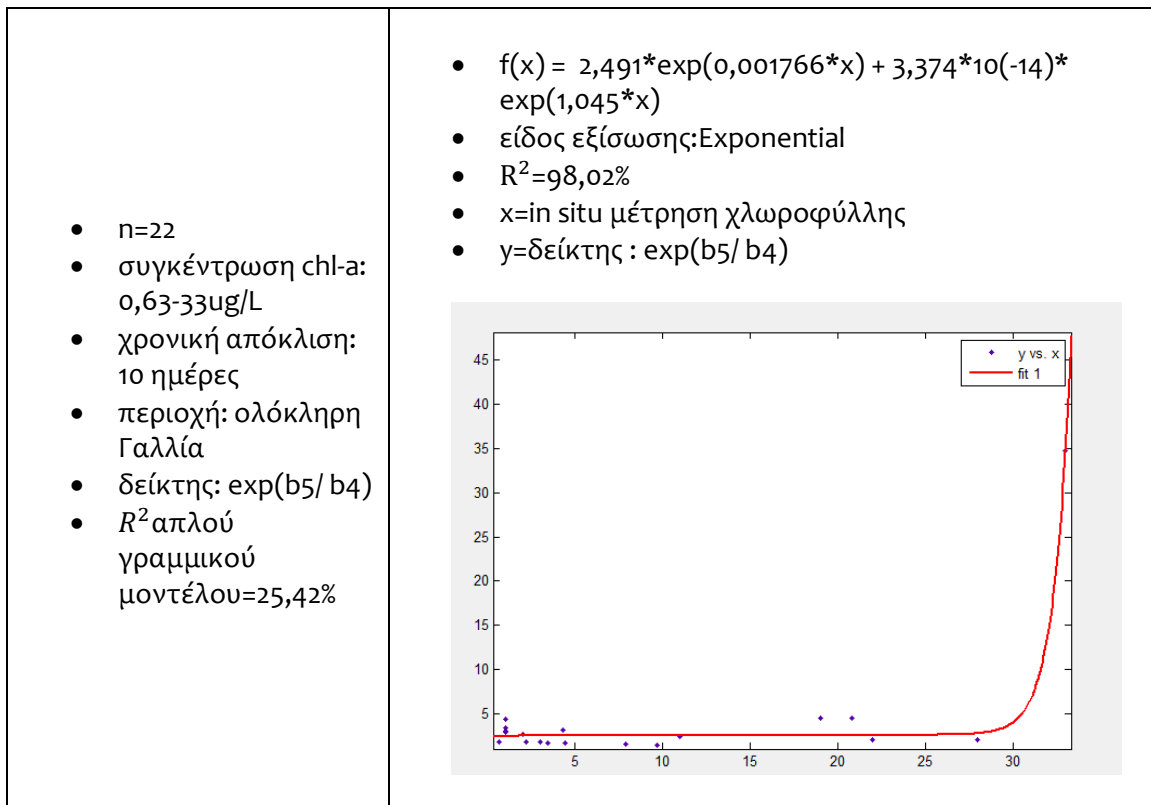
- n=15
- συγκέντρωση chl-a: 1-34 $\mu\text{g/L}$
- χρονική απόκλιση: 5 ημέρες
- περιοχή: ολόκληρη Γαλλία
- δείκτης: $\ln b_2 - \ln b_4$
- R^2 απλού γραμμικού μοντέλου=45,14%

- $f(x) = -535,2 \cdot \exp(-0,4373 \cdot x) + 534,9 \cdot \exp(-0,4353 \cdot x)$
- είδος εξίσωσης: Exponential
- $R^2=55,49 \%$
- x=in situ μέτρηση χλωροφύλλης
- y=δείκτης : $\ln b_2 - \ln b_4$



- $f(x) = 0,6413 \cdot \sin(0,1065 \cdot x - 0,2347) + 0,3864 \cdot \sin(0,2269 \cdot x + 1,675) + 0,4987 \cdot \sin(0,6197 \cdot x - 1,247) + 0,5049 \cdot \sin(0,8363 \cdot x + 0,4435)$
- είδος εξίσωσης: Sum of sin functions
- $R^2=73,53 \%$
- x=in situ μέτρηση χλωροφύλλης
- y=δείκτης : $\ln b_2 - \ln b_4$





Συσχέτιση δείκτη $\exp(b_4/(b_2+b_6))$ με χρήση μη γραμμικού μοντέλου

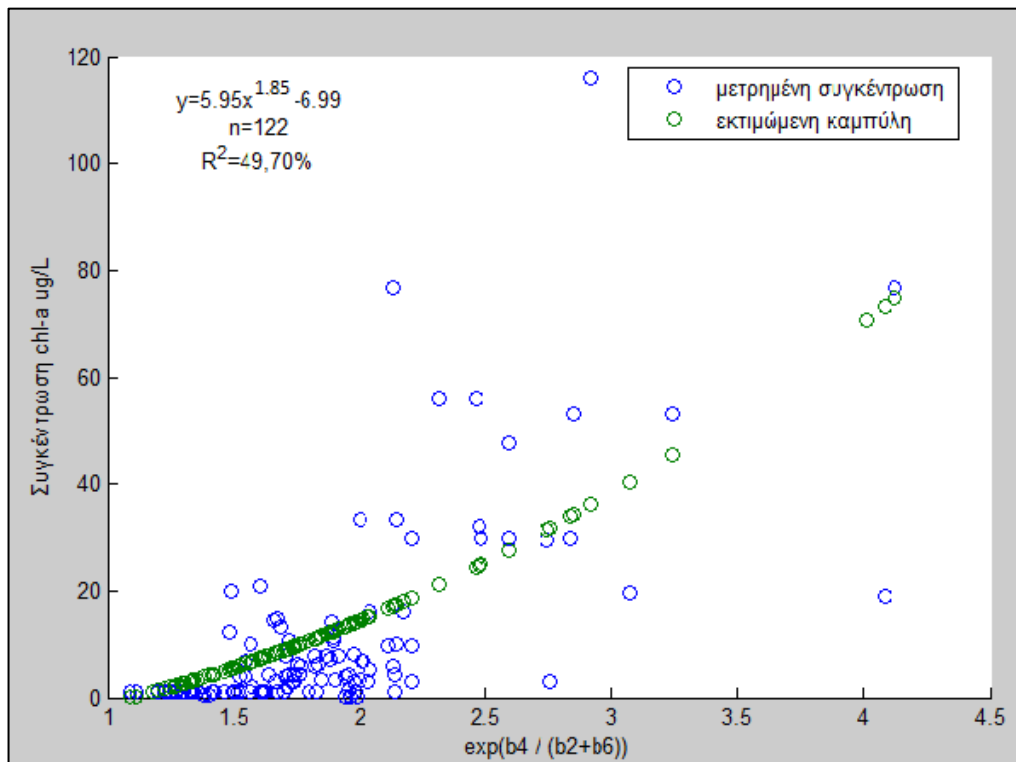
Οι δοκιμές που έγιναν με χρήση μη γραμμικών μοντέλων έδωσαν καλές συσχετίσεις. Λόγω του μεγάλου εύρους που καλύπτει και του αριθμού εγγραφών, η έκτη δοκιμή για το δείκτη $\exp(b_4 / (b_2+b_6))$ θεωρήθηκε αξιόπιστη γι' αυτό έγινε περαιτέρω επεξεργασία της.

Πραγματοποιήθηκε ξανά έλεγχος συσχέτισης με αντιστροφή των αξόνων, δηλαδή στον οριζόντιο άξονα απεικονίζονται οι τιμές του δείκτη και στον κατακόρυφο η συγκέντρωση χλωροφύλλης-α (εικόνα 24). Η εξίσωση που αντιπροσωπεύει καλύτερα τη διασπορά των δεδομένων είναι η $y = 5,95x^{1,85} - 6,99$ με $R^2 = 49,70\%$. Αφού υπολογίστηκαν οι τιμές της εκτιμώμενης συγκέντρωσης χλωροφύλλης-α σύμφωνα με τη νέα εξίσωση, υπολογίστηκε η απόκλιση μεταξύ των εκτιμώμενων τιμών χλωροφύλλης-α από τις τιμές του δείκτη και των in situ δεδομένων. Η μέση απόκλιση που προέκυψε είναι 8 ug/L.

Πίνακας 21: Αποτελέσματα συσχέτισης και απόκλισης μεταξύ εκτιμώμενης και πραγματικής τιμής chl-a

Δείκτες για λίμνες νότιας Γαλλίας	dt=0-15 ημέρες, n=122, (0,3-116 ug/L)	Εξίσωση x=δείκτης y=chl-a (ug/L)	Μέση απόκλιση μεταξύ εκτίμησης και πραγματικής ποσότητας χλωροφύλλης-α (ug/L)
$\exp(b_4 \text{ προς } (b_2+b_6))$	49,70	$y=5,95x^{1,85}-6,99$	8

Εικόνα 24: Αποτελέσματα συσχέτισης του δείκτη $\exp(b_4/(b_2+b_6))$



5.1.3 Αποτελέσματα με χρήση Νευρωνικών Δικτύων

Επειδή για τα δεδομένα χλωροφύλλης-α, οι δείκτες για τους οποίους έγιναν δοκιμές με τη χρήση απλού γραμμικού μοντέλου δεν έδωσαν μεγάλες συσχετίσεις με το σύνολο των δεδομένων και με ορισμένες ομάδες δεδομένων, αποφασίστηκε ο έλεγχος της συσχέτισης των δεδομένων και ορισμένων δεικτών με χρήση νευρωνικών δικτύων.

Πραγματοποιήθηκαν δοκιμές για τους δείκτες $\exp(b_4 / (b_1+b_7))$, $\ln((b_1+b_6) / b_4)$, $\exp(b_4 / (b_2+b_5))$, $\exp(b_4 / (b_1+b_7))$, $\exp(b_4 / (b_2+b_7))$ και $\exp((b_1+b_3) / b_2)$. Για κάθε δείκτη παρουσιάζονται αποτελέσματα για περισσότερες από μια δοκιμές. Τα αποτελέσματα εξαρτώνται από την πολυπλοκότητα του δικτύου (number of hidden neurons) και από τον αριθμό των δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν για εκπαίδευση (training), επαλήθευση (validation) και δοκιμή (testing) του.

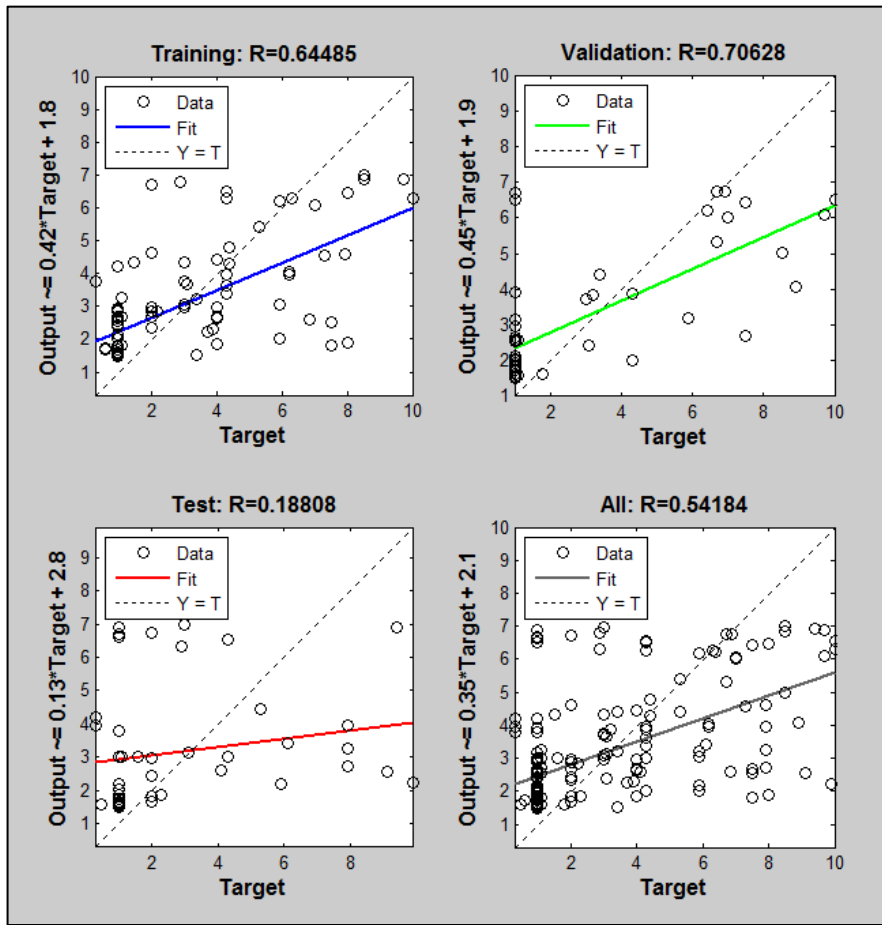
Στον πίνακα 22 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των συσχετίσεων που πραγματοποιήθηκαν για τις διάφορες δοκιμές, καθώς και οι παράμετροι που άλλαξαν σε κάθε περίπτωση. Η καλύτερη τιμή R^2 για το σύνολο των δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν είναι 82% και εμφανίζεται για το δείκτη $\exp(b_4 / (b_1+b_7))$ για χαμηλή πολυπλοκότητα (5 hidden neurons). Για την εκπαίδευση του δικτύου χρησιμοποιήθηκε το 70% των δεδομένων, για την επαλήθευση των αποτελεσμάτων το 15% και για τον έλεγχο των αποτελεσμάτων το υπόλοιπο 15%.

Στις επόμενες εικόνες (25 και 26) παρουσιάζονται ενδεικτικά τα αποτελέσματα συσχέτισης ενός δείκτη και το ιστόγραμμα λάθους του. Το ιστόγραμμα δείχνει ότι γίνεται υποεκτίμηση της συγκέντρωσης χλωροφύλλης-α.

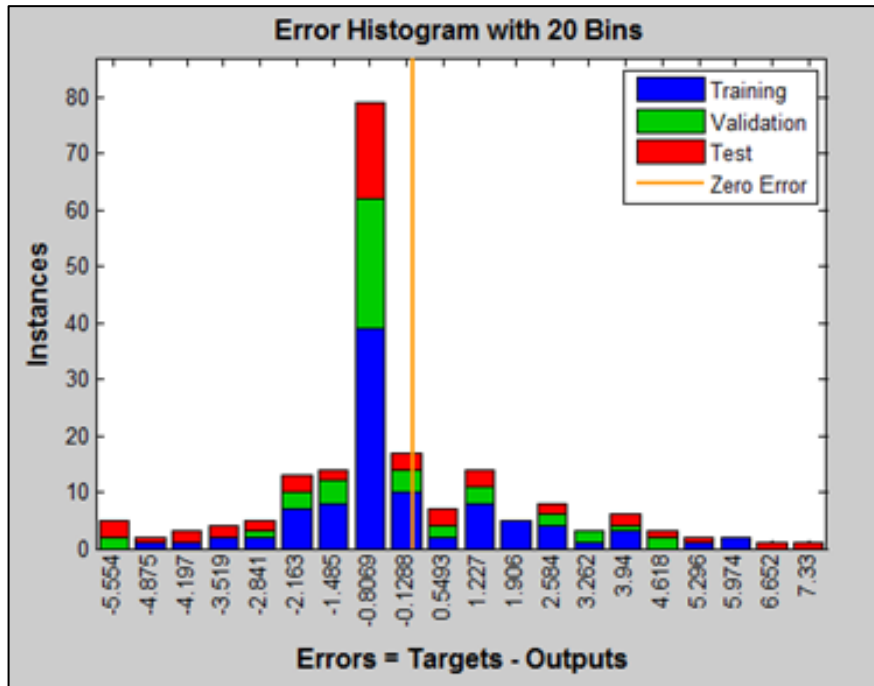
Πίνακας 22: Αποτελέσματα συσχετίσεων με χρήση νευρωνικών δικτύων

δείκτης	συγκέντρωση	n	ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗΣ				ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ		
			training (%)	validation (%)	testing (%)	number of hidden neurons	training (%)	validation (%)	all (%)
$\exp(b_4/(b_1+b_7))$	10-116ug/L	96	70	25	5	5	52	74	52
$\exp(b_4/(b_1+b_7))$	10-116ug/L	96	50	25	25	10	74	59	55
$\exp(b_4/(b_1+b_7))$	10-116ug/L	96	50	25	25	7	70	57	56
$\exp(b_4/(b_1+b_7))$	10-116ug/L	96	50	25	25	5	71	70	58
$\ln((b_1+b_6)/b_4)$	0,3-10ug/L	194	70	15	15	5	47	73	54
$\ln((b_1+b_6)/b_4)$	0,3-10ug/L	194	50	25	25	5	64	71	54
$\ln((b_1+b_6)/b_4)$	0,3-10ug/L	194	50	25	25	10	65	37	60
$\ln((b_1+b_6)/b_4)$	0,3-10ug/L	194	70	15	15	10	63	64	61
$\exp(b_4/(b_2+b_5))$	0-4,3ug/L	152	50	25	25	5	52	62	53
$\exp(b_4/(b_2+b_5))$	0-4,3ug/L	152	50	25	25	10	62	48	57
$\exp(b_4/(b_2+b_5))$	0-4,3ug/L	152	70	15	15	10	58	73	58
$\exp(b_4/(b_2+b_5))$	0-4,3ug/L	152	70	15	15	5	61	82	61
$\exp(b_4/(b_2+b_5))$	0-4,3ug/L	152	50	25	25	8	65	74	61
$\exp(b_4/(b_1+b_7))$	0-116ug/L	122	50	25	25	5	37	51	27
$\exp(b_4/(b_1+b_7))$	0-116ug/L	122	50	25	25	10	84	63	62
$\exp(b_4/(b_1+b_7))$	0-116ug/L	122	50	25	25	12	75	33	78
$\exp(b_4/(b_1+b_7))$	0-116ug/L	122	70	15	15	10	85	64	80
$\exp(b_4/(b_1+b_7))$	0-116ug/L	122	70	15	15	5	86	62	82
$\exp(b_4/(b_2+b_7))$	0-116ug/L	122	70	15	15	5	51	51	53
$\exp(b_4/(b_2+b_7))$	0-116ug/L	122	70	15	15	10	78	1	58
$\exp(b_4/(b_2+b_7))$	0-116ug/L	122	50	25	25	5	79	94	69
$\exp(b_4/(b_2+b_7))$	0-116ug/L	122	60	20	20	7	79	77	77
$\exp(b_4/(b_2+b_7))$	0-116ug/L	122	50	25	25	10	88	72	79
$\exp((b_1+b_3)/b_2)$	0-116ug/L	288	50	25	25	10	57	46	4
$\exp((b_1+b_3)/b_2)$	0-116ug/L	288	70	15	15	10	17	63	30
$\exp((b_1+b_3)/b_2)$	0-116ug/L	288	70	15	15	5	48	34	44
$\exp((b_1+b_3)/b_2)$	0-116ug/L	288	50	25	25	5	47	63	49
$\exp((b_1+b_3)/b_2)$	0-116ug/L	288	50	25	25	7	57	49	54

Εικόνα 25: Αποτελέσματα συσχετίσεων του δείκτη $\ln((b_1+b_6) / b_4)$



Εικόνα 26: Error Histogram για το δείκτη $\ln((b_1+b_6) / b_4)$



5.2 Αμμώνιο

Για την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με τις συσχετίσεις δεικτών και συγκέντρωσης αμμωνίου έγιναν δοκιμές συσχέτισης με χρήση απλού γραμμικού μοντέλου. Οι κατηγοριοποιήσεις που έγιναν είναι βάση της χρονικής απόκλισης μεταξύ in situ και δορυφορικών δεδομένων.

Χρονική απόκλιση (ημέρες)	Συγκέντρωση αμμωνίου
0-15	0-1 mg/L
	0-0,1 mg/L
0-5	0-0,5 mg/L
	0-0,1 mg/L
0-3	0-0,5 mg/L
	0-0,1 mg/L
ανά 1 ημέρα	για όλα τα διαθέσιμα δεδομένα

5.2.1 Αποτελέσματα με χρήση Απλού Γραμμικού Μοντέλου

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΥΣΧΕΤΙΣΕΩΝ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗ ΧΡΟΝΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

ΣΥΣΧΕΤΙΣΕΙΣ ΓΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΧΡΟΝΙΚΗΣ ΑΠΟΚΛΙΣΗΣ 0-15 ΗΜΕΡΕΣ, 0-5 ΗΜΕΡΕΣ ΚΑΙ 0-3 ΗΜΕΡΕΣ ΚΑΙ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ ΑΜΜΩΝΙΟΥ 0-1 mg/L

Αρχικά πραγματοποιήθηκε έλεγχος γραμμικής συσχέτισης μεταξύ των δεδομένων για το σύνολο των δεδομένων, δηλαδή για χρονική απόκλιση 0-15 ημέρες μεταξύ των δεδομένων και συγκέντρωση αμμωνίου (0-1 mg/L). Ο έλεγχος έδειξε ότι δεν υπάρχει καμία συσχέτιση μεταξύ δεικτών και in situ δεδομένων. Οι καλύτερες συσχετίσεις που προέκυψαν φαίνονται στον επόμενο πίνακα.

Πίνακας 23: Αποτελέσματα συσχετίσεων αμμωνίου για το σύνολο των δεδομένων

Δείκτες	dt=0-15 ημέρες, n=297, (0-0,97 mg/L)	Εξίσωση $y=\alpha x+\beta$ x=ammonium (mg/L)
b4 προς b3	3,061	$y=0,354184x+0,605792$
exp(b4 προς b3)	3,369	$y=0,677305x+1,866072$

Επίσης η συσχέτιση μεταξύ δεικτών και δεδομένων που έχουν χρονική απόκλιση 0-3 ημέρες και 0-5 ημέρες είναι πολύ κακή.

ΣΥΣΧΕΤΙΣΕΙΣ ΓΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΜΕ ΧΡΟΝΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ ΑΝΑ ΗΜΕΡΑ

Συσχετίσεις για χρονική απόκλιση 0, 1, 2, 12 και 13 ημέρες

Για την κατηγοριοποίηση ανά 1 ημέρα υπάρχουν συσχετίσεις για τα δεδομένα που έχουν χρονική απόκλιση 0, 1, 2, 12 και 13 ημέρες. Στους πίνακες 24, 25, 26, 27, και 28 παρουσιάζονται οι συσχετίσεις μεταξύ δεικτών και συγκέντρωσης αμμωνίου. Κανένας από τους δείκτες δεν εμφανίζεται σε δεύτερη κατηγοριοποίηση.

Πίνακας 24: Αποτελέσματα συσχετίσεων για χρονική απόκλιση 0 ημερών

Δείκτες	dt=0 ημέρες, n=14, (0-0,25 mg/L)	Εξίσωση $y=ax+\beta$ x=ammonium (mg/L)
lnb4	54,634	$y=8,003240x+4,691691$
(b1+b2) προς 2	57,541	$y=1944,130164x+126,480903$
b2	57,676	$y=2001,100460x+135,070777$
(b2+b3) προς 2	64,291	$y=2071,994154x+148,070097$
(b2 προς b1)+b3	69,238	$y=2142,645884x+162,211347$
(b3 προς b2)+b4	71,312	$y=2284,314129x+88,245184$
b4	71,312	$y=2285,148089x+86,965657$
(b3+b4) προς 2	73,093	$y=2214,017968x+124,017537$

Πίνακας 25: Αποτελέσματα συσχετίσεων για χρονική απόκλιση 1 ημέρας

Δείκτες	dt=1 ημέρα, n=25, (0-0,35 mg/L)	Εξίσωση $y=ax+\beta$ x=ammonium (mg/L)
b4 προς (b6-b7)	51,441	$y=-507,999324x+242,019646$
(b1+b4) προς (b6-b7)	53,115	$y=-240,395614x+25,176876$
(b4+b6) προς (b6-b7)	53,814	$y=-540,703963x+53,086475$
(b3+b4) προς (b6-b7)	53,906	$y=-305,239265x+32,385717$
(b4+b5) προς (b6-b7)	57,321	$y=-305,239265x+141,385717$
ln((b1+b4) προς (b6-b7))	58,276	$y=-13,115960x+6,101909$
ln((b4+b5) προς (b6-b7))	59,039	$y=-11,867013x+5,490089$
(b3+b5) προς (b6-b7)	59,084	$y=-406,890242x+185,077986$
ln((b3+b5) προς (b6-b7))	59,491	$y=-12,570127x+5,796323$

Πίνακας 26: Αποτελέσματα συσχετίσεων για χρονική απόκλιση 2 ημερών

Δείκτες	dt=2 ημέρες, n=17, (0-0,5 mg/L)	Εξίσωση $y=ax+\beta$ x=ammonium (mg/L)
ln(b3+b4) προς (b1+b2)	61,68	$y=0,045968x+0,013432$

Πίνακας 27: Αποτελέσματα συσχετίσεων για χρονική απόκλιση 12 ημερών

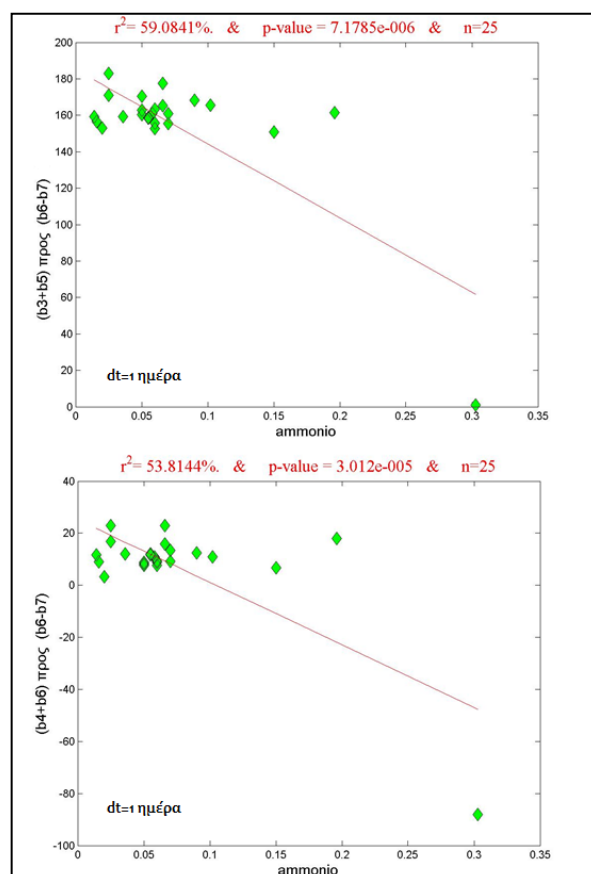
Δείκτες	dt=12 ημέρες, n=15, (0-0,18 mg/L)	Εξίσωση $y=ax+\beta$ x=ammonium (mg/L)
b4-b5	52,426	$y=-1193,105231x+33,484318$
(b4 προς b3)+b5	52,587	$y=2058,523154x+132,163121$
b5	52,629	$y=2057,549280x+131,579351$
ln(b1-b5)	55,912	$y=-4,127112x+6,234660$

Πίνακας 28: Αποτελέσματα συσχετίσεων για χρονική απόκλιση 13 ημερών

Δείκτες	dt=13 ημέρες, n=8, (0-0,14 mg/L)	Εξίσωση $\gamma=\alpha x+\beta$ x=ammonium (mg/L)
(b1+b5) προς (b4-b7)	50,179	$\gamma=-291,943901x+138,674849$
(b1+b7) προς (b4-b7)	50,356	$\gamma=-144,064804x+39,748868$
(b1+b6) προς (b4-b7)	50,385	$\gamma=-173,470257x+54,665113$
b4 προς b3	51,396	$\gamma=-2,332815x+0,745226$
exp((b2+b3+b2) προς b1)	54,231	$\gamma=5799,035298x-76,229892$
log(b3 προς b4)	56,076	$\gamma=1,686500x+0,128620$
lnb3-lnb4	56,076	$\gamma=3,883311x+0,296159$
b3 προς b4	60,673	$\gamma=6,682073x+1,341629$
exp(b3 προς b4)	67,699	$\gamma=41,060732x+3,691344$

Παρατηρείται ότι το κανάλι 4 (band 4) συμμετέχει περισσότερο στους δείκτες που αφορούν το αμμώνιο. Επίσης αξιοσημείωτο είναι ότι για απόκλιση 1 ημέρας σε όλους τους δείκτες που παρουσιάζουν συσχέτιση συμμετέχει το κανάλι 7 (band 7) και για απόκλιση 12 ημέρες συμμετέχει το κανάλι 5 (band 5).

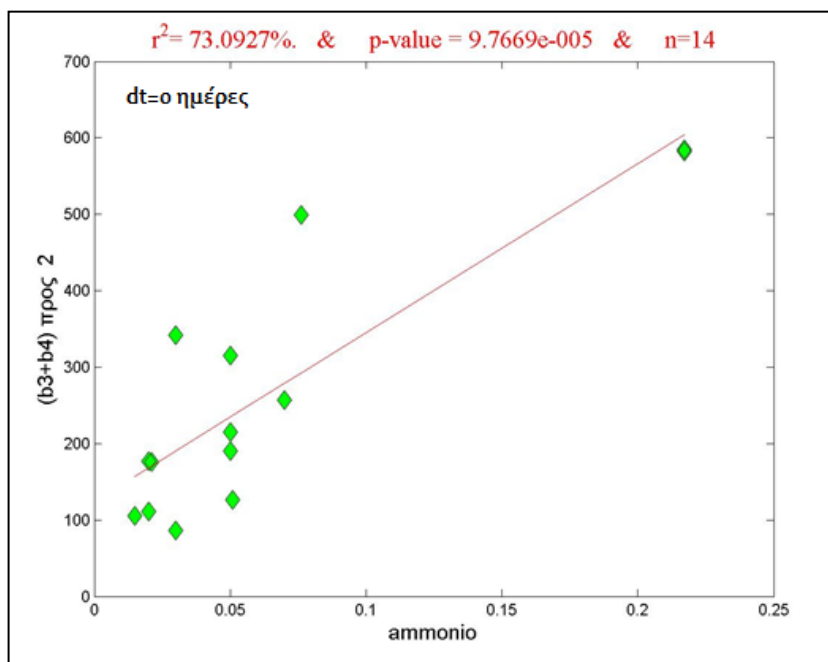
Εικόνα 27: Αποτελέσματα συσχετίσεων για τους δείκτες $(b3+b5)/(b6-b7)$ και $(b4+b6)/(b6-b7)$



Συσχέτιση του δείκτη $(b_3+b_4)/2$

Την καλύτερη συσχέτιση την έδωσε ο δείκτης $(b_3+b_4)/2$ με $R^2 = 73,1\%$.

Εικόνα 28: Αποτέλεσμα συσχέτισης για το δείκτη $(b_3+b_4)/2$



5.3 Ολικός Φώσφορος

Για τον ολικό φώσφορο έγιναν κατηγοριοποιήσεις και δοκιμές σύμφωνα με τη συγκέντρωση του ολικού φωσφόρου και τη χρονική απόκλιση μεταξύ in situ δεδομένων και δεικτών.

Συγκέντρωση ολικού φωσφόρου (mg/L)
>0,011
0-0,05
0,11

Χρονική απόκλιση (ημέρες)	Συγκέντρωση ολικού φωσφόρου
0-15	όλες οι συγκεντρώσεις
	0-0,11 mg/L
0-5	όλες οι συγκεντρώσεις
	0-0,11 mg/L
0-3	όλες οι συγκεντρώσεις
	0-0,11 mg/L
ανά 1 ημέρα	όλες οι συγκεντρώσεις

5.3.1 Αποτελέσματα με χρήση Απλού Γραμμικού Μοντέλου

Όπως και στις περιπτώσεις της χλωροφύλλης-α και του αμμωνίου, και σε αυτή την περίπτωση παρατηρήθηκε ότι τις καλύτερες συσχετίσεις τις δίνει η κατηγοριοποίηση

χρονικής απόκλισης ανά μέρα. Η κατηγοριοποίηση σύμφωνα με τη συγκέντρωση έδωσε συσχετίσεις 10-30%. Η κατηγοριοποίηση σύμφωνα με τη χρονική απόκλιση για ομάδα ημερών έδωσε συσχετίσεις 15-30%, ενώ στην κατηγοριοποίηση ανά ημέρα η τιμή R^2 έφτασε το 75%.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΥΣΧΕΤΙΣΕΩΝ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗ ΧΡΟΝΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

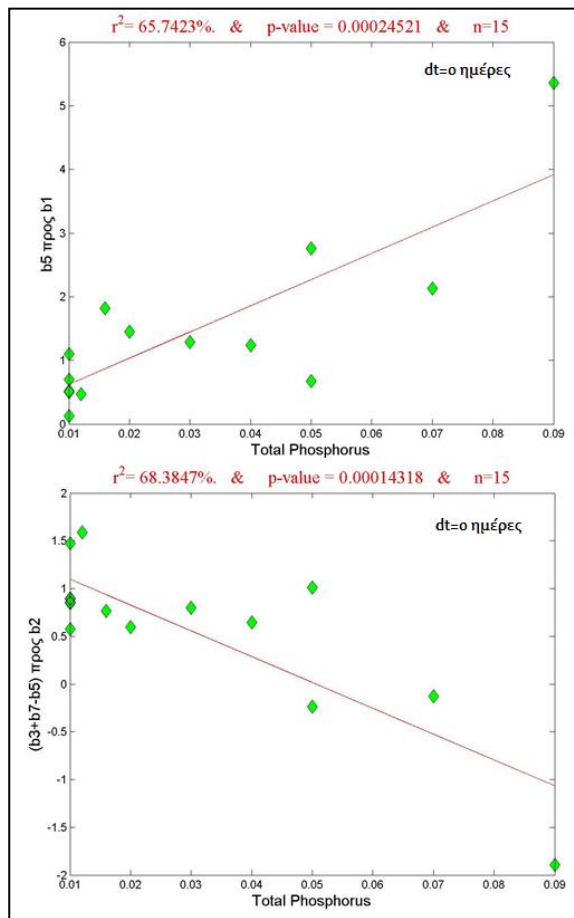
Συσχετίσεις για χρονική απόκλιση 0 ημέρες

Στον πίνακα 29 παρουσιάζονται οι συσχετίσεις μεταξύ των δεικτών και των in situ δεδομένων για τον ολικό φώσφορο, όπου τα δεδομένα παρουσιάζουν χρονική απόκλιση μεταξύ in situ και δορυφορικών δεδομένων 0 ημέρες. Όπως φαίνεται το κανάλι 5 (band 5) συμμετέχει σε όλους τους δείκτες. Επίσης οι δείκτες b5 / b1 και (b3+b7-b5) / b2 παρουσιάζουν τις καλύτερες συσχετίσεις σε αυτή την κατηγοριοποίηση.

Πίνακας 29: Αποτελέσματα συσχετίσεων για χρονική απόκλιση 0 ημερών

Δείκτες	dt=0 ημέρες, n=15, (0,01-0,09 mg/L)	Εξίσωση $y=\alpha x+\beta$ x=total phosphorus (mg/L)
b5 προς b3	51,499	$y=19,155191x+0,399029$
b5 προς b4	53,556	$y=22,515367x+0,557261$
b1+b2-b5	54,719	$y=-9138,830348x+534,320513$
exp(b5 προς b4)	57,348	$y=171,809345x-0,134223$
exp(b5 προς b3)	58,448	$y=90,398839x+0,719070$
(b3+b7-b5) προς b1	62,42	$y=-31,823589x+1,619862$
b5 προς b2	62,454	$y=34,975385x+0,222204$
b5 προς b1	65,742	$y=41,223891x+0,210844$
(b3+b7-b5) προς b2	68,385	$y=-27,046589x+1,368973$

Εικόνα 29: Αποτελέσματα συσχετίσεων για τους δείκτες b_5/b_1 και $(b_3+b_7-b_5)/b_2$



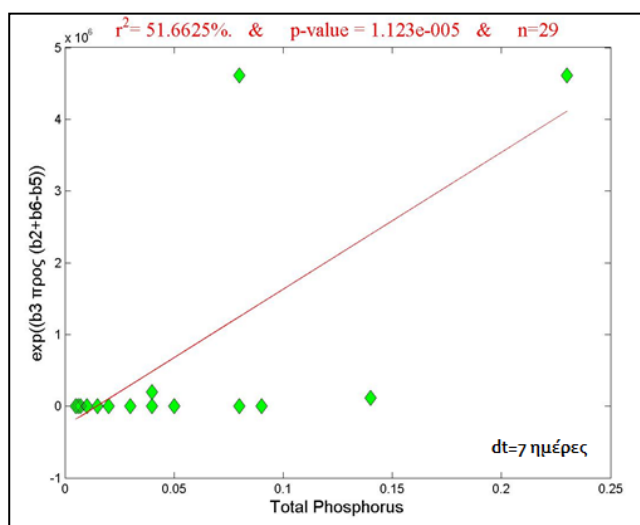
Συσχετίσεις για χρονική απόκλιση 2, 4, 7 και 15 ημέρες

Ο πίνακας 30 περιέχει τους δείκτες οι οποίοι παρουσίασαν καλές συσχετίσεις με τα in situ δεδομένα που έχουν χρονική απόκλιση 2, 4, 7 και 15 ημέρες από τα δεδομένα των δορυφορικών εικόνων.

Πίνακας 30: Αποτελέσματα συσχετίσεων για δεδομένα χρονικής απόκλισης 2, 4, 7 και 15 ημερών

Δείκτες	dt=2 ημέρες, n=17, (0-0,18 mg/L)	Εξίσωση $\gamma = \alpha x + \beta$ $x = \text{total phosphorus (mg/L)}$
(b3+b4-b5) προς b1	53,766	$\gamma = 19,282061x + 2,246242$
(b1-b4) προς (b3-b4)	54,264	$\gamma = -22,235746x + 0,208384$
	dt=4 ημέρες, n=15, (0-0,06 mg/L)	
b2-b6	55,54	$\gamma = -4179,169720x + 205,068658$
	dt=7 ημέρες, n=29, (0-0,25 mg/L)	
exp((b3 προς (b2+b6-b5)))	51,663	$\gamma = 19094915,998596x - 276276,004441$
	dt=15 ημέρες, n=24, (0-0,06 mg/L)	
exp(b4 προς (b1+b7))	51,609	$\gamma = 89,463002x + 0,704207$

Εικόνα 30: Αποτέλεσμα συσχέτισης για το δείκτη $\exp((b_3/(b_2+b_6-b_5))$



Συσχετίσεις για χρονική απόκλιση 3 ημέρες

Στον πίνακα που ακολουθεί (πίνακας 31) φαίνεται ότι οι περισσότερες συσχέτισεις για δεδομένα με χρονική απόκλιση 3 ημέρες είναι εκθετικές με δείκτη e . Επίσης τα κανάλια 1, 2 και 3 (band 1, band 2, band 3), εμφανίζονται πιο συχνά.

Πίνακας 31: Αποτελέσματα συσχετίσεων για χρονική απόκλιση 3 ημέρες

Δείκτες	dt=3 ημέρες, n=19, (0,01-0,11 mg/L)	Εξίσωση $y=\alpha x+\beta$ x=total phosphorus (mg/L)
(b2-b3) προς b1	51,869	$y=-15,103819x-0,353000$
$\exp(b_3$ προς $(2xb_1+b_7))$	52,229	$y=24,224082x+1,950767$
$\exp(b_4$ προς $(b_2+b_7))$	53,491	$y=33,447649x+1,698641$
$\exp(b_4$ προς b2)	60,312	$y=50,033847x+1,847025$
$\exp(b_3$ προς b2)	60,91	$y=56,825806x+3,559873$
$\exp(b_4$ προς $(b_1+b_7))$	61,403	$y=88,767757x+1,267191$
$\exp((b_1+b_3)$ προς b2)	61,45	$y=96,615394x+8,404130$
$\exp((b_1+b_2+b_3)$ προς b2)	61,45	$y=262,627869x+22,844794$
b5 προς b2	63,183	$y=14,030043x+0,323795$
$\exp(b_3$ προς b1)	63,219	$y=249,847633x+3,284930$
(b1-b4) προς (b3-b4)	66,89	$y=-71,724129x+0,930511$
b5 προς b1	69,832	$y=22,356104x+0,322402$
$\exp(b_5$ προς b2)	69,927	$y=46,873649x+1,036496$
$\exp(b_5$ προς b1)	74,075	$y=144,665897x-0,372373$

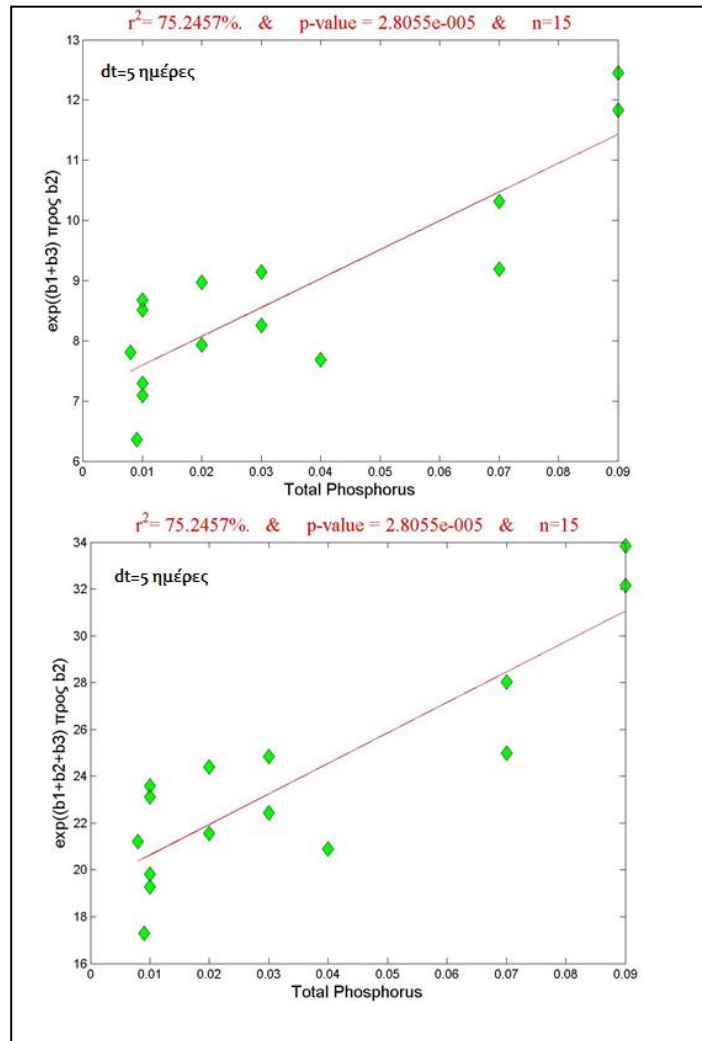
Συσχετίσεις για χρονική απόκλιση 5 ημέρες

Από όλα τα δεδομένα που είναι διαχωρισμένα ανά χρονική απόκλιση 1 ημέρας, η μεγαλύτερη συσχέτιση εμφανίζεται μεταξύ των δεικτών $\exp((b_1+b_2+b_3)/b_2)$ και $\exp((b_1+b_3)/b_2)$ και των δεδομένων με χρονική απόκλιση 5 ημέρες με $R^2=75,2\%$.

Πίνακας32: Αποτελέσματα συσχετίσεων για χρονική απόκλιση 5 ημέρες

Δείκτες	dt=5 ημέρες, n=15, (0-0,09 mg/L)	Εξίσωση $y=\alpha x+\beta$ x=total phosphorus (mg/L)
b2 προς $(b_1+b_2+b_3)$	68,97	$y=-0,492236x+0,334893$
$\exp((b_1+b_3)$ προς b2)	75,246	$y=47,998858x+7,113068$
$\exp((b_1+b_2+b_3)$ προς b2)	75,246	$y=130,474424x+19,335324$

Εικόνα 31: Αποτελέσματα συσχετίσεων για τους δείκτες $\exp(b_1+b_3)/b_2$ και $\exp((b_1+b_2+b_3)/b_2)$



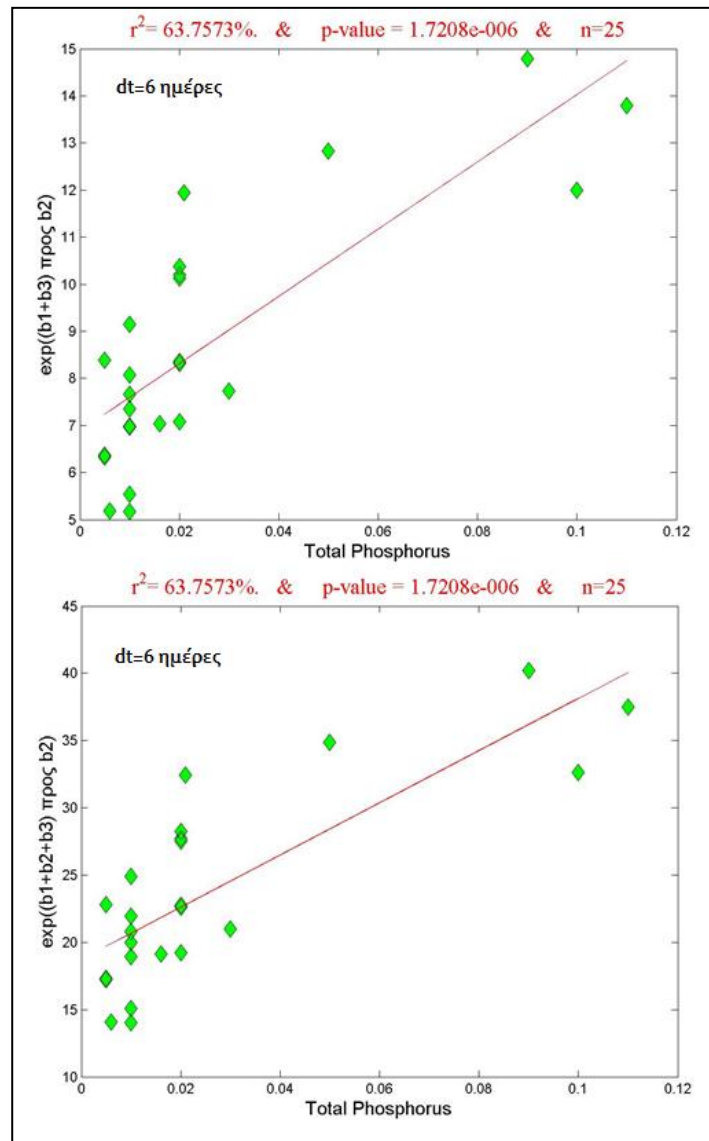
Συσχετίσεις για χρονική απόκλιση 6 ημέρες

Στον πίνακα 33 παρουσιάζονται οι δείκτες που έχουν καλή συσχέτιση για τα δεδομένα που έχουν χρονική απόκλιση 6 ημέρες. Το κανάλι 3 (band 3) και το κανάλι 2 (band 2), εμφανίζονται πιο συχνά από τα υπόλοιπα κανάλια στους δείκτες αυτούς. Οι δείκτες $\exp((b_1+b_2+b_3) / b_2)$ και $\exp((b_1+ b_3) / b_2)$ παρουσιάζουν και σε αυτή την περίπτωση καλή R^2 τιμή. Τα αποτελέσματα προέκυψαν από 25 εγγραφές.

Πίνακας 33: Αποτελέσματα συσχετίσεων για χρονική απόκλιση 6 ημερών

Δείκτες	dt=6 ημέρες, n=25, (0-0,12 mg/L)	Εξίσωση $\gamma=\alpha x+\beta$ $x=\text{total phosphorus (mg/L)}$
b3 προς (b1+b2+b3)	50,502	$\gamma=1,652715x+0,371337$
b1-b4	50,661	$\gamma=-3213,110234x+71,118573$
lnb2-lnb3	51,469	$\gamma=-5,970987x-0,085730$
log(b2 προς b3)	51,469	$\gamma=-2,593167x-0,037232$
exp(b4 προς b2)	51,577	$\gamma=27,682777x+1,690636$
(b1-b3) προς b2	52,149	$\gamma=-10,056093x-0,237612$
exp(b3 προς (b1+b2+b7))	52,688	$\gamma=10,795807x+1,676929$
ln((b3+b4) προς (b1+b2))	52,701	$\gamma=8,954436x-0,143760$
b3 προς b1	53,224	$\gamma=15,153564x+1,283636$
b2-b4	53,251	$\gamma=-2569,383070x+101,130656$
exp(b3 προς b1)	56,489	$\gamma=131,030298x+3,246953$
b3 προς b2	57,963	$\gamma=8,692756x+1,086234$
(b2-b3) προς b1	59,4	$\gamma=-12,843564x-0,090147$
exp((b1+b3) προς b2)	63,757	$\gamma=71,421284x+6,886838$
exp((b1+b2+b3) προς b2)	63,757	$\gamma=194,143179x+18,720367$
exp(b3 προς b2)	65,201	$\gamma=40,223882x+2,899563$

Εικόνα 32: Αποτελέσματα συσχετίσεων για τους δείκτες $\exp((b1+b3) / b2)$ και $\exp((b1+b2+b3) / b2)$



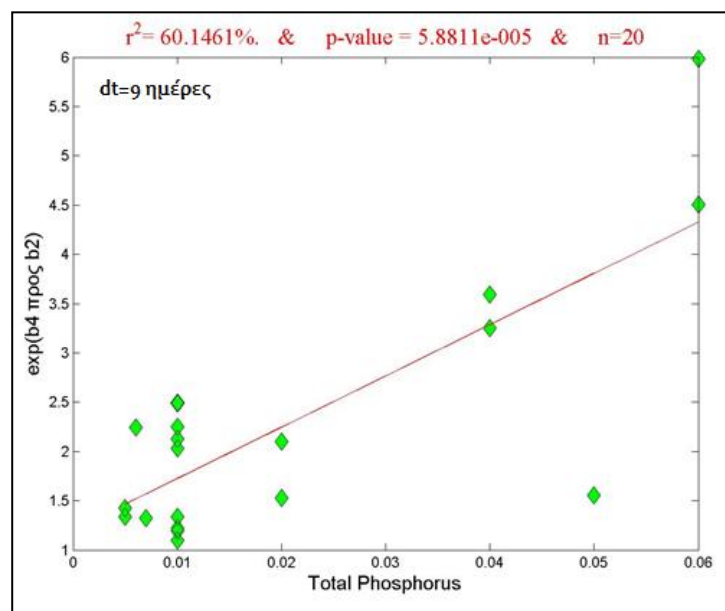
Συσχετίσεις για χρονική απόκλιση 9 ημέρες

Σε αυτό τον πίνακα (πίνακας 34) παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από δεδομένα που έχουν χρονική απόκλιση 9 ημέρες.

Πίνακας 34: Αποτελέσματα συσχετίσεων για χρονική απόκλιση 9 ημέρες

Δείκτες	dt=9 ημέρες, n=20, (0-0,06 mg/L)	Εξίσωση $y=\alpha x+\beta$ x=total phosphorus (mg/L)
b4 προς (b1+b2+b3)	50,119	$y=4,486281x+0,114758$
(b3+b4-b5) προς b1	51,034	$y=100,386778x+1,915261$
b4 προς b2	51,088	$y=17,975123x+0,335846$
b5 προς b1	51,737	$y=25,982699x+0,148257$
exp(b4 προς (b1+b6))	54,687	$y=49,100495x+1,263533$
(b1-b4) προς (b3-b4)	58,457	$y=-40,691534x+0,769707$
exp(b4 προς b2)	60,146	$y=52,001350x+1,207219$

Εικόνα 33: Αποτέλεσμα συσχέτισης για το δείκτη exp(b4/b2)



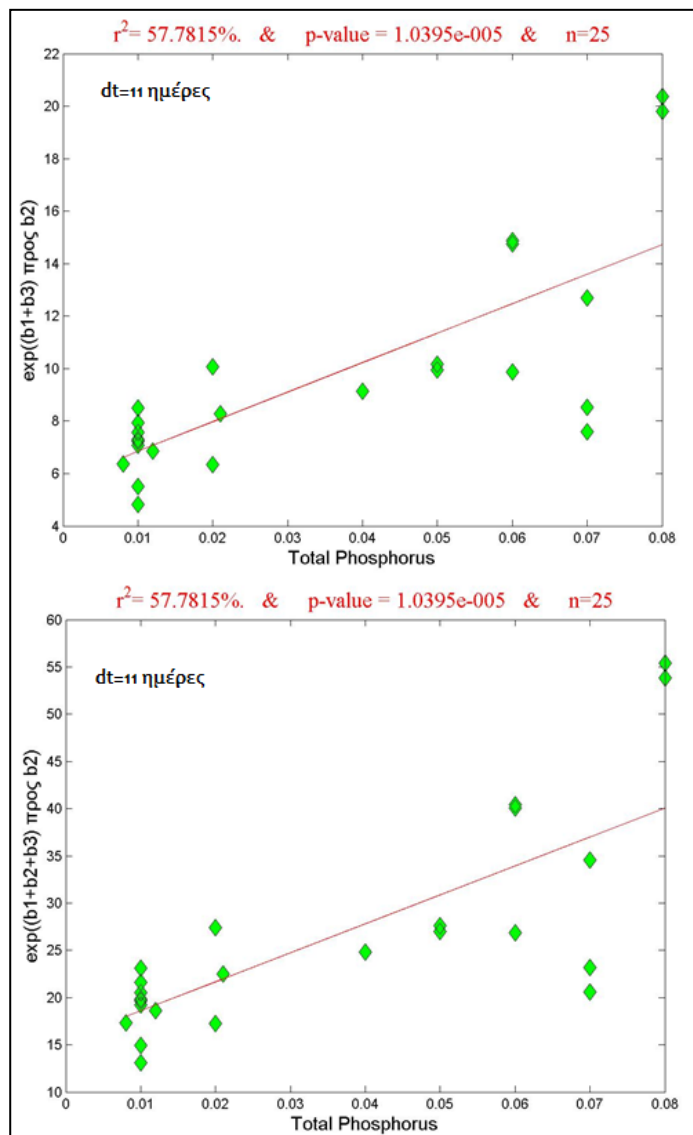
Συσχετίσεις για χρονική απόκλιση 11 ημέρες

Ο πίνακας 35 παρουσιάζει τους δείκτες που είχαν καλή συσχέτιση με τα in situ δεδομένα που αφορούν χρονική απόκλιση 11 ημέρες. Οι δείκτες $\exp((b1+b2+b3) / b2)$ και $\exp((b1+ b3) / b2)$ εμφανίζονται και εδώ με καλή συσχέτιση. Σε αυτή την περίπτωση το κανάλι 3 (band 3) εμφανίζεται πιο συχνά. Ο δείκτης με την καλύτερη συσχέτιση σε αυτή την περίπτωση είναι ο δείκτης $(b3 / b2)+b4$ με $R^2=69,1\%$, ο οποίος δεν εμφανίζεται σε άλλη περίπτωση.

Πίνακας 35: Αποτελέσματα συσχετίσεων για χρονική απόκλιση 11 ημέρες

Δείκτες	dt=11 ημέρες, n=25, (0-0,08 mg/L)	Εξίσωση $\gamma=\alpha x+\beta$ x=total phosphorus (mg/L)
b3	50,125	$\gamma=5181,676002x+127,943078$
b3 προς b2	50,272	$\gamma=12,129833x+0,937723$
(b2-b3) προς b1	50,449	$\gamma=-17,637752x+0,096722$
exp(b3 προς b2)	51,481	$\gamma=61,506617x+2,218322$
ln((b1+b5-b4) προς b3))	55,093	$\gamma=-17,838426x+1,483629$
b3+b4-b6	55,765	$\gamma=8312,106732x+111,171044$
lnb4-min+1	56,095	$\gamma=25,765284x+3,612030$
b3+b4-b7	57,138	$\gamma=8488,883938x+139,482837$
exp((b1+b3) προς b2)	57,781	$\gamma=112,713250x+5,720810$
exp((b1+b2+b3) προς b2)	57,781	$\gamma=306,386379x+15,550773$
b2 προς (b1+b2+b3)	58,238	$\gamma=-0,958407x+0,349789$
(b3+b4) προς 2	59,359	$\gamma=4479,676248x+98,619950$
b4-b7	64,248	$\gamma=3307,207936x+11,539759$
b4	69,035	$\gamma=3777,676493x+69,296822$
(b3 προς b2)+b4	69,14	$\gamma=3789,806326x+70,234544$

Εικόνα 34: Αποτελέσματα συσχετίσεων για τους δείκτες $\exp((b1+b3)/b2)$ και $\exp((b1+b2+b3)/b2)$



Συσχετίσεις για χρονική απόκλιση 12 και 14 ημέρες

Στους πίνακες 36 και 37 παρουσιάζονται οι δείκτες με καλή συσχέτιση για δεδομένα χρονικής απόκλισης 12 και 14 ημέρες. Και σε αυτές τις περιπτώσεις εμφανίζονται οι δείκτες $\exp((b_1+b_2+b_3)/b_2)$ και $\exp((b_1+b_3)/b_2)$ να έχουν καλή συσχέτιση. Με γαλάζιο χρώμα, ξεχωρίζουν οι δείκτες που εμφανίζονται και σε άλλες περιπτώσεις με χρονική απόκλιση λιγότερες ημέρες.

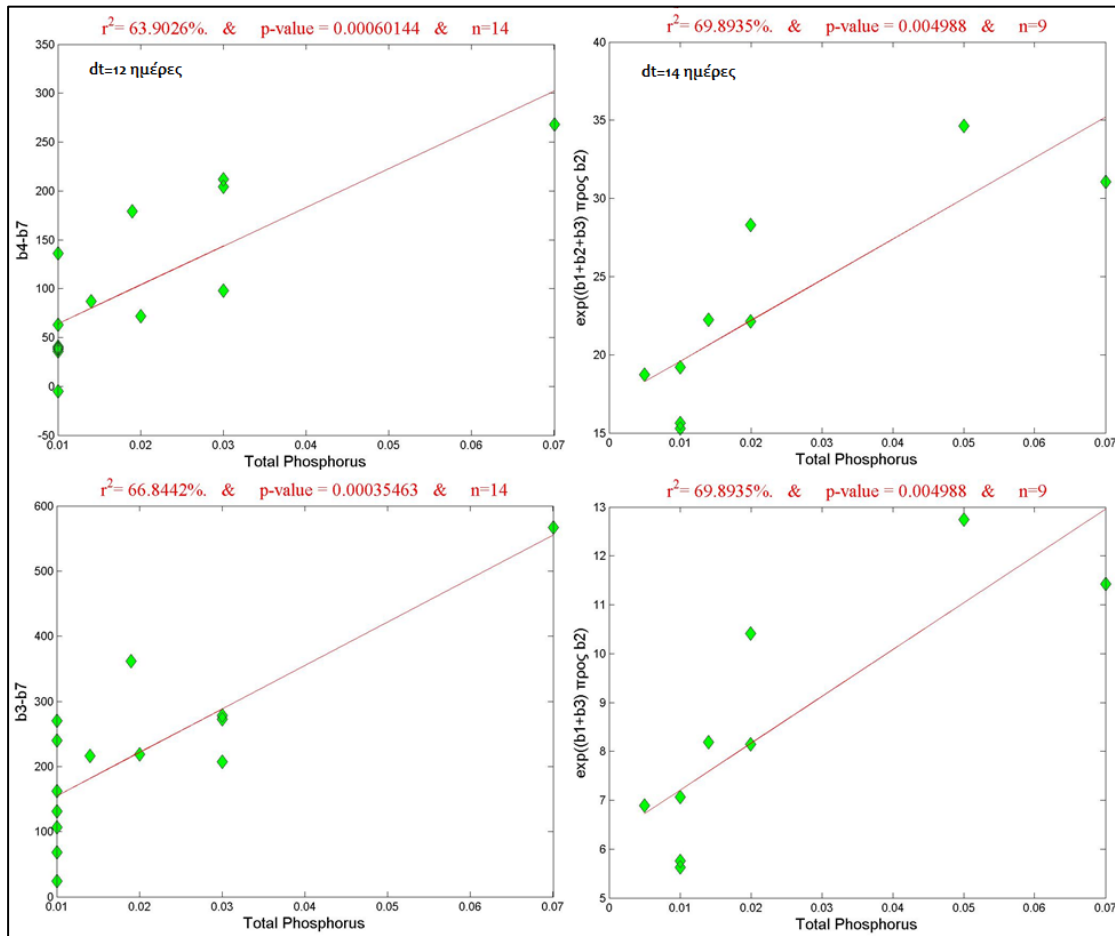
Πίνακας 36: Αποτελέσματα συσχετίσεων για χρονική απόκλιση 12 ημέρες

Δείκτες	dt=12 ημέρες, n=14, (0,01-0,07 mg/L)	Εξίσωση $\gamma=\alpha+\beta$ x=total phosphorus (mg/L)
b2+b5-b7	51,416	$\gamma=6740,855198x+210,381284$
b1+b5-b7	53,071	$\gamma=6388,535418x+174,146034$
$\exp(b_3 \text{ προς } (b_1+b_2+b_6))$	53,22	$\gamma=12,239867x+1,612938$
b3+b4-b6	56,579	$\gamma=10019,976166x+192,381910$
b3+b4-b7	57,609	$\gamma=10312,205862x+219,331839$
$\exp((b_1+b_3) \text{ προς } b_2)$	57,976	$\gamma=120,617636x+7,536952$
$\exp((b_1+b_2+b_3) \text{ προς } b_2)$	57,976	$\gamma=327,872729x+20,487561$
b3-b6	61,308	$\gamma=6376,376012x+61,391828$
b4-b7	63,903	$\gamma=3971,439536x+24,577329$
b3-b7	66,844	$\gamma=6668,605708x+88,341756$

Πίνακας 37: Αποτελέσματα συσχετίσεων για χρονική απόκλιση 14 ημέρες

Δείκτες	dt=14 ημέρες, n=9, (0-0,07 mg/L)	Εξίσωση $\gamma=\alpha+\beta$ x=total phosphorus (mg/L)
$\exp(b_4 \text{ προς } (b_1+b_7))$	50,544	$\gamma=15,495283x+1,601052$
$\exp(b_4 \text{ προς } (b_2+b_7))$	53,642	$\gamma=12,270478x+1,523695$
$\exp(b_4 \text{ προς } (b_1+b_6))$	53,74	$\gamma=12,838437x+1,529490$
$\exp(b_3 \text{ προς } b_2)$	55,542	$\gamma=45,021415x+2,554819$
$\exp(b_4 \text{ προς } (b_2+b_6))$	58,973	$\gamma=10,504157x+1,466503$
b2 προς (b1+b2+b3)	60,835	$\gamma=-1,074696x+0,350226$
$\exp((b_3 \text{ προς } (b_2+b_6-b_5))$	63,65	$\gamma=43359236480,976845x-608574152,845263$
$\exp((b_1+b_3) \text{ προς } b_2)$	69,894	$\gamma=95,894475x+6,244873$
$\exp((b_1+b_2+b_3) \text{ προς } b_2)$	69,894	$\gamma=260,668209x+16,975324$

Εικόνα 35: Αποτελέσματα συσχετίσεων για χρονική απόκλιση 12 και 14 ημερών



6 Συμπεράσματα και προτάσεις

Σκοπός της εργασίας αυτής ήταν η εξαγωγή συμπερασμάτων από δορυφορικά δεδομένα του Landsat 8, αναφορικά με δείκτες και κανάλια δορυφορικών εικόνων που μπορούν να οδηγούν σε αποτελέσματα ποιότητας των λιμνών. Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα γενικά συμπεράσματα που προκύπτουν από το σύνολο των εργασιών και δοκιμών που πραγματοποιήθηκαν σχετικά με τα αποτελέσματα καθώς και η ανάγκη περαιτέρω ενασχόλησης με το συγκεκριμένο αντικείμενο.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΠΟΥ ΠΡΟΚΥΠΤΟΥΝ ΑΠΟ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΑΠΛΟΥ ΓΡΑΜΜΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΗΣΗΣ

Το απλό μοντέλο παλινδρόμησης χρησιμοποιήθηκε για την εύρεση συσχετίσεων μεταξύ δεικτών και συγκεντρώσεων χλωροφύλλης-α, αμμωνίου και ολικού φωσφόρου. Τα συνοπτικά αποτελέσματα των δοκιμών που έγιναν φαίνονται πιο κάτω.

Χλωροφύλλη-α

- Παρουσιάζονται υψηλές συσχετίσεις ανάμεσα στα in situ δεδομένα και τα δορυφορικά δεδομένα που έχουν χρονική απόκλιση έως και 15 ημέρες. Παρ' όλο που στη βιβλιογραφία υπάρχουν αναφορές για εκτίμηση της ποιότητας των λιμνών από δεδομένα που αναφέρονται σε χρονική απόκλιση από 0 έως 15 ημέρες στο σύνολό τους, στην παρούσα εργασία οι συσχετίσεις που προέκυψαν δεν συμφωνούν με τη βιβλιογραφία.
- Υψηλές συσχετίσεις παρουσιάζονται και στα δεδομένα που είναι διαχωρισμένα σύμφωνα με τη γεωγραφική περιοχή αλλά μόνο για τις λίμνες στο νότιο και δυτικό μέρος της Γαλλίας.
- Οι περισσότεροι δείκτες που έχουν καλή συσχέτιση αφορούν δεδομένα χλωροφύλλης-α που έχουν χρονική απόκλιση 7 ημέρες.
- Τα κανάλια 1,2,3 και 4 των δορυφορικών εικόνων του Landsat 8 συμμετέχουν περισσότερο στους δείκτες συσχετίσεων της χλωροφύλλης-α.
- Στο διαχωρισμό ανά ημέρα, για τα δεδομένα που αφορούν τη χλωροφύλλη-α, οι δείκτες $\exp(b_4/(b_2+b_6))$ και $\exp(b_4/(b_2+b_7))$ εμφανίζονται για διάφορες ημέρες και συγκεντρώσεις. Επίσης αυτοί οι δείκτες εμφανίζονται και στο γεωγραφικό διαχωρισμό για τις λίμνες του νότιου μέρους της Γαλλίας για όλες τις συγκεντρώσεις χλωροφύλλης-α.
- Οι συσχετίσεις που παρουσιάζουν τα δεδομένα της χλωροφύλλης-α φτάνουν την τιμή $R^2=90\%$.
- Οι δείκτες $\exp(b_4 / (b_2+b_7))$ και $\exp(b_4 / (b_1+b_7))$ θεωρούνται οι πιο αξιόπιστοι με μέση τυπική απόκλιση μεταξύ εκτίμησης και πραγματικής τιμής χλωροφύλλης-α 8,5 ug/L και 7,5 ug/L αντίστοιχα.

Αμμώνιο

- Δεν παρουσιάζεται κάποια σημαντική συσχέτιση μεταξύ in situ και δορυφορικών δεδομένων για δεδομένα που έχουν χρονική απόκλιση 0-15 ημέρες, 0-5 ημέρες και 0-3 ημέρες συνολικά.
- Παρουσιάζονται συσχετίσεις για τα δεδομένα που έχουν χρονική απόκλιση 0, 1, 2, 12 και 13 ημέρες.
- Το κανάλι 4 των δορυφορικών εικόνων του Landsat 8 συμμετέχει περισσότερο στους δείκτες συσχετίσεων του αμμωνίου.
- Η καλύτερη συσχέτιση που παρουσιάζουν τα δεδομένα αμμωνίου είναι $R^2 = 73,1\%$ με το δείκτη $(b_3+b_4)/2$ και χρονική απόκλιση δεδομένων 0 ημέρες.

Ολικός Φώσφορος

- Δεν παρουσιάζεται κάποια συσχέτιση μεταξύ in situ και δορυφορικών δεδομένων για δεδομένα που έχουν χρονική απόκλιση 0-15 ημέρες, 0-5 ημέρες και 0-3 ημέρες συνολικά, ούτε μεταξύ δεδομένων που διαχωρίστηκαν βάση της συγκέντρωσής τους.
- Παρουσιάζονται συσχετίσεις για τα δεδομένα που έχουν χρονική απόκλιση 0, 2, 3, 5, 6, 7, 9, 11, 12, 14 και 15 ημέρες.
- Το κανάλι 3 είναι το κανάλι που εμφανίζεται πιο συχνά στους δείκτες συσχετίσεων του ολικού φωσφόρου.
- Για τον ολικό φώσφορο τα δεδομένα παρουσιάζουν συσχέτιση έως 75% με το δείκτη $\exp(b_5/b_1)$ για χρονική απόκλιση μεταξύ δεδομένων 3 ημέρες και με τους δείκτες $\exp((b_1+b_3)/b_2)$, $\exp((b_1+b_2+b_3)/b_2)$ για χρονική απόκλιση 5 ημέρες.

Γενικά συμπεράσματα

Τα αποτελέσματα από την παρούσα εργασία είναι ενθαρρυντικά παρ' όλο που οι συσχετίσεις συμβαίνουν μεταξύ δεδομένων που κατηγοριοποιούνται σύμφωνα με τη χρονική απόκλιση των δεδομένων ανά ημέρα. Στη βιβλιογραφία αναφέρονται θετικά αποτελέσματα για απόκλιση συνόλου ημερών ή για δεδομένα διαχωρισμένα σύμφωνα με τη συγκέντρωσή τους. Οι περισσότερες και μεγαλύτερες συσχετίσεις παρουσιάζονται στα δεδομένα που αφορούν τη χλωροφύλλη-α αλλά αξιοσημείωτα και ελπιδοφόρα είναι και τα αποτελέσματα που αφορούν τη συγκέντρωση αμμωνίου και ολικού φωσφόρου.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΠΟΥ ΠΡΟΚΥΠΤΟΥΝ ΑΠΟ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΑΠΛΟΥ ΜΗ ΓΡΑΜΜΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΗΣΗΣ

Η χρήση μη γραμμικών μοντέλων παλινδρόμησης πραγματοποιήθηκε για τα δεδομένα χλωροφύλλης-α και έδωσε ιδιαίτερα θετικά αποτελέσματα.

- Δείκτες για κατηγοριοποιήσεις δεδομένων που έδιναν χαμηλές συσχετίσεις με χρήση απλών γραμμικών μοντέλων, ξεπέρασαν το 50%.
- Παρουσιάζονται υψηλές συσχετίσεις για δεδομένα που διαχωρίζονται πέραν της χρονικής απόκλισης ανά ημέρα με μεγάλο αριθμό δείγματος.

- Η εκτίμηση της χλωροφύλλης-α προκύπτει από το δείκτη $\text{exp}(b_4 / (b_2 + b_6))$, με μέση τυπική απόκλιση μεταξύ πραγματικής και εκτιμώμενης τιμής 8 $\mu\text{g/L}$.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΠΟΥ ΠΡΟΚΥΠΤΟΥΝ ΑΠΟ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΝΕΥΡΩΝΙΚΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ

Τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τη χρήση νευρωνικών δικτύων είναι ενθαρρυντικά αφού :

- Ομάδες δεδομένων που παρουσίαζαν πολύ χαμηλή συσχέτιση με χρήση απλού γραμμικού μοντέλου έχουν αυξήσει τη συσχέτιση πάνω από 50%.
- Ομάδες που παρουσίαζαν ήδη υψηλή συσχέτιση με χρήση νευρωνικών δικτύων παρουσιάζουν ακόμη υψηλότερη συσχέτιση.

ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΕΙΣ

Σε αυτό το σημείο αναφέρονται βασικές κατευθύνσεις που προτείνεται να ακολουθηθούν στο μέλλον. Μερικές από τις εργασίες που θα ήταν σωστό να πραγματοποιηθούν σε επόμενο στάδιο είναι:

- Η περαιτέρω διερεύνηση και ανάλυση των σημείων που προκάλεσαν αποτυχία εμφανίσεων υψηλών συσχετίσεων.
- Η περαιτέρω διερεύνηση των δεδομένων αμμωνίου και ολικού φωσφόρου που δεν μελετήθηκαν σε βάθος όπως η χλωροφύλλη-α.
- Η διεξαγωγή έρευνας με χρήση δορυφορικών δεδομένων Sentinel-2.
- Η σύγκριση με δεδομένα λιμνών που βρίσκονται σε άλλες χώρες.
- Η διερεύνηση περισσότερων δεικτών με χρήση απλών μη γραμμικών μοντέλων παλινδρόμησης και νευρωνικών δικτύων.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Πίνακας 1: Αποτελέσματα συσχετίσεων για κατηγοριοποίηση χρονικής απόκλισης ανά ημέρα και συγκέντρωση χλωροφύλλης-α 1 - 116 ug/L

Δείκτες	dt=4, n=15 , (1-43ug/L)	dt=7, n=25, (1-116ug/L)	dt=9, n=18, (1-53ug/L)	dt=13, n=8, (1-23,5ug/L)	dt=14, n=8, (1-84ug/L)	dt=15, n=26, (1-116ug/L)	Εξίσωση $y=\alpha x+\beta$ $x=chl-a$ (ug/L)
$\exp(b4 / (b1+b6))$	72,532		80,642			62,603	$y=0,069476x+1,443517$
$\exp(b4 / (b1+b7))$	76,268		75,695		51,617	69,766	$y=0,054399x+1,844186$
$\exp(b4 / (b2+b6))$	84,329	55,668	75,274			53,109	$y=0,033212x+1,603360$
$\exp(b4 / (b2+b7))$	85,98	56,595	66,072			61,143	$y=0,039325x+1,651719$
$\ln b2$			50,071				$y=-0,028438x+5,821161$
$b3 / b2$			51,084		67,934		$y=0,007307x+0,961537$
$\exp(b3 / b1)$			51,269		83,605		$y=0,043519x+2,908400$
$(b1-b3) / b2$			53,513		58,966		$y=-0,008801x-0,008575$
$(b2-b7) / (b3-b6)$			53,781				$y=-0,013938x+0,918858$
$\exp(b4 / (b2+b5))$			54,973				$y=0,015284x+1,410771$
$\ln((b3+b4-b5) / b1)$			56,885				$y=0,010085x+1,639267$
$\ln((b3+b4) / (b1+b2))$			58,698		50,31		$y=0,021436x-0,128555$
$\exp(b3 / b2)$			58,769		81,254		$y=0,025426x+2,655224$
$b4 / (b1+b2+b3)$			61,48				$y=0,005778x+0,139461$
$(b3+b4-b5) / b1$			61,675				$y=0,068980x+1,635848$
$b3 / b1$			62,016		66,895		$y=0,010192x+1,038970$
$(b2-b3) / b1$			63,625		75,747		$y=-0,008480x+0,025037$
$\exp(b5 / b1)$			64,491		57,712		$y=0,175064x+0,774441$
$b4 / b2$			69,231		58,554		$y=0,023870x+0,419690$
$b5 / b1$			69,585		70,171		$y=0,020150x+0,654754$
$\exp((b1-b3) / (b2-b4))$			71,072				$y=0,266900x-0,373568$
$\exp(b4 / b2)$			81,131		65,234		$y=0,069892x+1,450265$
$\exp(b3 / b4)$				58,857			$y=-0,241136x+7,520963$
$\exp(b4 / b3)$				60,071			$y=0,030603x+1,684533$
$b4 / b3$				61,489			$y=0,016155x+0,516670$
$b3 / b4$				62,217			$y=-0,042959x+1,983650$

$\ln b3 - \ln b4$				62,487			$y = -0,026036x + 0,673775$
$\log(b3 / b4)$				62,487			$y = -0,011307x + 0,292617$
$b4 / b5$					51,333		$y = -0,004437x + 0,986156$
$(b2 - b4) / (b3 - b6)$					51,733		$y = -0,012930x + 0,677828$
$\ln b2 - \ln b3$					52,314		$y = -0,006268x + 0,063924$
$\log(b2 / b3)$					52,314		$y = -0,002722x + 0,027762$
$(b3 - b6) / (b1 - b7)$					52,865		$y = 0,073500x + 0,765005$
$\ln((b3 - b6) / (b1 - b7))$					53,292		$y = 0,000729x + 4,562024$
$\ln b5 - \min + 1$					54,755		$y = -0,761518x - 29,147111$
$\exp(b3 / (b1 + b2 + b7))$					54,867		$y = 0,004537x + 1,577346$
$\ln b4 - \min + 1$					55,08		$y = -0,767072x - 29,172798$
$b3 / (b1 + b2 + b3)$					55,383		$y = 0,001619x + 0,328206$
$(b2 - b6) / (b3 - b6)$					55,517		$y = -0,013064x + 1,131232$
$\exp(b3 / (2 \times b1 + b7))$					56,012		$y = 0,005375x + 1,606606$
$\exp(b5 / b3)$					56,182		$y = 0,021456x + 1,847263$
$b5 / b3$					57,811		$y = 0,007540x + 0,610190$
$(b5 - b4) / (b5 + b4)$					58,769		$y = 0,002708x + 0,012967$
$(b3 + b4) / 2$					59,782		$y = 1,440738x + 144,073804$
$b4 - b7$					61,253		$y = 0,659728x + 67,636583$
$\exp(b5 / b2)$					63,23		$y = 0,070300x + 1,785016$
$(b5 / b4) + b6$					63,733		$y = 1,220500x + 47,532993$
$b5 / b4$					64,578		$y = 0,007255x + 1,036443$
$\exp(b5 / b4)$					66,045		$y = 0,029297x + 2,836526$
$b2 / (b1 + b2 + b3)$					66,663		$y = -0,000598x + 0,343765$
$b3 + b5 - b4$					69,772		$y = 3,144388x + 185,900057$
$b5 / b2$					71,36		$y = 0,015797x + 0,604646$
$\exp((b1 + b2 + b3) / b2)$					80,297		$y = 0,135369x + 18,563501$
$\exp((b1 + b3) / b2)$					80,297		$y = 0,049800x + 6,829130$
$\exp(b2 / \max)$					82,73		$y = -0,009933x + 2,515856$
$b5 + b6$					83,897		$y = 4,348491x + 149,109518$
$b4$					85,081		$y = 1,436167x + 102,430260$
$(b3 / b2) + b4$					85,21		$y = 1,443474x + 103,391797$
$b5$					89,665		$y = 3,135246x + 102,612968$
$(b4 / b3) + b5$					89,667		$y = 3,137007x + 103,208420$
$(b4 + b5) / 2$					90,498		$y = 2,285706x + 102,521614$

Πίνακας 2: Αποτελέσματα συσχετίσεων για κατηγοριοποίηση χρονικής απόκλισης ανά ημέρα και συγκέντρωση χλωροφύλλης-α 0-4,3 ug/L

Δείκτες	dt=3, n=7, (0-4,3 ug/L)	dt=6, n=15, (0-4,3 ug/L)	dt=7, n=10, (0-4,3 ug/L)	dt=9, n=9, (0-4,3 ug/L)	dt=10, n=12, (0-4,3 ug/L)	dt=11, n=14, (0-4,3 ug/L)	dt=12, n=9, (0-4,3 ug/L)	dt=15, n=13, (0-4,3 ug/L)	Εξίσωση $y=\alpha x+\beta$ $x=chl-a$ (ug/L)
$(b2-b7) / (b3-b6)$								51,517	$y=-0,137199x+1,334000$
$\exp(b3 / (b1+b2+b7))$							64,539	53,307	$y=0,212965x+1,511711$
$\ln b2$			62,228	55,584				55,756	$y=-0,715122x+6,868616$
$\exp(b4 / (b2+b5))$			77,894	54,665				56,019	$y=0,230148x+1,041193$
$\ln((b1+b6) / b4)$			74,924					57,349	$y=-0,472397x+1,649372$
$\exp(b4 / (b2+b6))$			79,87	65,45		50,015		60,915	$y=0,303263x+1,002373$
$\exp(b4 / (b2+b7))$			77,884	61,318	50,6			61,745	$y=0,337515x+0,986843$
$\exp(b4 / (b1+b7))$			87,329					62,571	$y=0,407342x+0,983500$
$\exp(b4 / (b1+b6))$			90,203			50,902		63,716	$y=0,355196x+1,010521$
$(b2-b4) / (b3-b6)$			72,432					73,833	$y=-0,257872x+1,138203$
$\exp(b3 / (b1+b2+b6))$							54,034		$y=0,165320x+1,505137$
$\exp(b3 / b1)$							55,435		$y=2,611940x+2,448511$
$\exp(b3 / (2xb1+b6))$							55,967		$y=0,230059x+1,516834$
$\exp(b3 / (2xb1+b7))$							64,811		$y=0,308556x+1,505458$
$(b3+b4-b5) / b1$						51,129			$y=1,843034x-1,327757$
$(b3-b6) / (b1-b7)$						52,339			$y=-46,988432x+46,576062$
$b3 / b4$	72,204				51,307				$y=-0,571061x+3,179972$
$\ln b3 - \ln b4$	74,067				53,561				$y=-0,304034x+1,234707$
$\log(b3 / b4)$	74,067				53,561				$y=-0,132040x+0,536227$
$\exp(b4 / b3)$	68,171				53,764				$y=0,322241x+1,204634$
$b4 / b3$	71,638				54,178				$y=0,173322x+0,237455$
$(b1+b6) / b4$			58,806		56,833				$y=-1,125072x+4,433689$
$\exp((b1+b2+b3) / b2)$			59,562	54,294					$y=4,058904x+11,288566$
$\exp((b1+b3) / b2)$			59,562	54,294					$y=1,493187x+4,152831$
$b3-b7$			50,443						$y=-130,363636x+456,409091$
$b2+b4-b6$			52,649						$y=-204,909091x+740,272727$
$\exp(b2 / b3)$			52,797						$y=-0,615809x+3,755985$
$b3$			52,882						$y=-138,590909x+570,227273$
$b3 / (b1+b2+b3)$			53,188						$y=0,054557x+0,275638$

$b2 / (b1+b2+b3)$			54,106					$y=-0,028191x+0,397050$
$\exp((b1-b3) / (b2-b4))$			54,82					$y=3,416876x-2,985514$
$\ln b2-\ln b4$	53,712		54,863					$y=-0,646734x+1,771890$
$b2+b4-b7$			55,807					$y=-216,318182x+780,045455$
$b1+b6-b7$			56,031					$y=-188,50000x+624,00000$
$(b2-b3) / b1$			56,06					$y=-0,300709x+0,416729$
$b2 / b3$			56,238					$y=-0,225626x+1,358920$
$b1-b7$			57,289					$y=-168,863636x+470,409091$
$b2-b7$			57,304					$y=-202,045455x+586,863636$
$b2+b5-b7$			57,88					$y=-241,045455x+830,363636$
$\ln b2-\ln b3$			58,44					$y=-0,230910x+0,345966$
$\log(b2 / b3)$			58,44					$y=-0,100283x+0,150251$
$\exp(b3 / b2)$			58,87					$y=0,700777x+1,792216$
$b1$			59,123					$y=-177,090909x+584,227273$
$2xb1+b3$			59,127					$y=-492,772727x+1738,681818$
$b3 / b2$			59,442					$y=0,240550x+0,661072$
$b1+b2-b5$			60,606					$y=-348,363636x+1041,409091$
$2xb1+b2$			62,658					$y=-564,454545x+1869,136364$
$b1+b2-b6$			62,878					$y=-367,727273x+1131,318182$
$(b2+b3) / 2$			63,02					$y=-174,431818x+635,454545$
$(b1+b2) / 2$			64,094					$y=-193,681818x+642,454545$
$b1+b2$			64,094					$y=-387,363636x+1284,909091$
$b1+2xb2$			65,318					$y=-597,636364x+1985,590909$
$b4 / (b1+b2+b3)$			65,653					$y=0,109514x+0,017910$
$b1+b2-b7$			65,714					$y=-379,136364x+1171,090909$
$(b2-b4) / b3$			65,955					$y=-0,446079x+1,190183$
$b2-b4$			66,344					$y=-196,000000x+507,500000$
$b2+b6-b7$			66,482					$y=-221,681818x+740,454545$
$\exp(b2 / \max)$			66,91					$y=-0,302692x+2,973190$
$\ln(b2-b7+\min)$			67,011					$y=-0,472903x+6,892255$
$b2$			67,175					$y=-210,272727x+700,681818$
$b4 / b2$			69,313					$y=0,361050x-0,009039$
$b1-b4$			71,46					$y=-162,818182x+391,045455$

$b2+b3-b4$			71,807					$y=-334,590909x+1077,727273$
$\ln((b3+b4) / (b1+b2))$			72,168					$y=0,376064x-0,763713$
$b1+b3-b4$			72,555					$y=-301,409091x+961,272727$
$b1+b2-b4$			72,888					$y=-373,090909x+1091,727273$
$(b2-b6) / (b3-b6)$	54,54		72,952					$y=-0,385381x+1,580009$
$\exp(b4 / b2)$			75,046					$y=0,729799x+0,696139$
$(b1-b4) / (b3-b4)$			79,898					$y=-2,424514x+3,573058$
$\exp((b2-b4) / (b3-b4))$			86,553					$y=-1,787402x+5,344565$
$\ln((b1+b5-b4) / b3))$		50,372						$y=-0,088824x+0,828101$
$(b3+b4) / (b1+b5)$		56,359						$y=0,199888x+0,996889$
$b4 / b5$		58,4						$y=0,395397x+0,597164$
$\exp(b4 / b5)$		70,608						$y=1,678269x+1,133634$
$b1 / b5$	52,421							$y=-0,961183x+4,043636$
$b2 / b4$	52,655							$y=-0,672376x+3,104111$
$\ln b5-\min+1$	54,384							$y=-31,668700x+28,729337$
$\ln b4-\min+1$	54,58							$y=-31,777824x+29,198737$
$b1-b6$	54,961							$y=-55,700000x+223,257143$
$\exp(b3 / b4)$	56,726							$y=-4,892520x+20,211608$
$b5$	56,77							$y=65,000000x+15,714286$
$(b4 / b3)+b5$	56,812							$y=65,173322x+15,951741$
$b2 / b5$	59,821							$y=-1,083519x+4,584879$
$b3 / b5$	65,592							$y=-1,037722x+4,898598$
$\exp(b5 / b3)$	73,732							$y=0,315020x+1,052356$
$\exp(b5 / \max)$	75,36							$y=0,327629x+1,009126$
$b5 / b3$	75,439							$y=0,187268x+0,112168$
$(b5 / b4)+b6$	75,906							$y=40,581025x-20,797012$
$b5+b6$	86,793							$y=105,500000x-5,714286$

Πίνακας 3: Αποτελέσματα συσχετίσεων για κατηγοριοποίηση χρονικής απόκλισης ανά ημέρα και συγκέντρωση χλωροφύλλης-α 0 - 10 ug/L

Δείκτες	dt=0, n=8, (0-10 ug/L)	dt=4, n=14, (0-10 ug/L)	dt=5, n=8, (0-10 ug/L)	dt=7, n=14, (0-10 ug/L)	dt=9, n=11, (0-10 ug/L)	dt=10, n=15, (0-10 ug/L)	dt=12, n=11, (0-10 ug/L)	dt=15, n=17, (0-10 ug/L)	Εξίσωση $y=\alpha x+\beta$ $x=chl-a$ (ug/L)
$\ln((b1+b6) / b4)$	60,273	52,3		54,173	50,157				$y=-0.120614x+1.190099$
$b4 / b2$	60,513	63,331		55,918	52,366				$y=-0.060605x+0.575443$
$\ln((b3+b4) / (b1+b2))$		58,368		58,96	52,74			52,591	$y=0.113150x-0.405419$
$\exp(b4 / b2)$	58,705	67,567		54,375	55,724				$y=0.149482x+1.763698$
$b2 / (b1+b2+b3)$		66,907		64,006	56,111				$y=-0.005849x+0.338419$
$(b2-b4) / (b3-b6)$	77,635	52,602		50,142	57,777			73,833	$y=-0.367912x+1.443729$
$\exp(b3 / b2)$		71,149			61,854			59,012	$y=0.328395x+2.965377$
$b3 / b2$		64,406		54,74	62,614			58,828	$y=0.075635x+1.091324$
$\exp(b4 / (b2+b5))$	52,094	64,445			67,575			60,422	$y=0.088471x+1.205360$
$\exp(b4 / (b2+b6))$	55,588	77,9		57,055	69,373		57,607	60,915	$y=0.059787x+1.524250$
$\exp(b4 / (b2+b7))$	51,924	77,481		62,692	69,824		54,614	61,745	$y=0.067576x+1.567620$
$\exp((b1+b3) / b2)$		78,787		50,605	71,086		53,266	50,848	$y=0.578654x+7.001245$
$\exp((b1+b2+b3) / b2)$		78,787		50,605	71,086		53,266	50,848	$y=1.572945x+19.031358$
$\exp(b4 / (b1+b6))$		66,335		52,781	75,874		59,654	63,716	$y=0.179980x+1.265046$
$\exp(b4 / (b1+b7))$		66,299		57,324	78,538		53,069	62,571	$y=0.199768x+1.259958$
$\ln b2-\ln b4$	60,286	55,65		50,26					$y=-0.189652x+1.038195$
$b3 / (b1+b2+b3)$		51,926		50,595				56,753	$y=0.023300x+0.331899$
$b1+b2-b5$			65,155	50,72					$y=-35.488238x+294.928096$
$\exp(b5 / b1)$			71,535	51,668					$y=1.460120x+0.788769$
$(b2-b3) / b1$		63,854		51,741				55,31	$y=-0.105283x-0.127772$
$b5 / b1$			72,305	52,266					$y=0.215162x+0.609213$
$\ln b2$			72,88	52,266		50,765		50,183	$y=-0.170141x+5.628325$
$\exp((b2-b4) / (b3-b4))$				52,439					$y=-0.384896x+3.457878$
$b2-b4$	70,382	50,412		52,588					$y=-45.669488x+232.715347$
$(b2-b4) / b3$	62,607	54,531		53,349					$y=-0.124927x+0.680712$
$\exp(b2 / b3)$				53,458					$y=-0.180404x+3.168420$
$b1-b4$	72,119			55,219					$y=-44.863745x+195.522590$
$b2 / b3$				56,963				50,05	$y=-0.072368x+1.150951$
$\log(b2 / b3)$		56,716		58,016				55,577	$y=-0.037215x+0.063760$
$\ln b2-\ln b3$		56,716		58,016				55,577	$y=-0.085691x+0.146812$

$(b2-b6) / (b3-b6)$				67,391					$y=-0.118116x+1.221756$
$\exp(b2 / \max)$			56,739	85,177					$y=-0.151513x+2.774139$
$b1+b2$			50,037						$y=-48.572380x+520.449211$
$(b1+b2) / 2$			50,037						$y=-24.286190x+260.224605$
$2xb1+b2$			51,699						$y=-71.640987x+763.299886$
$b2+b4-b6$			52,461						$y=-32.273794x+333.150846$
$b1+b4-b7$			53,384						$y=-30.601420x+324.384154$
$(b3+b7-b5) / b2$			54,45						$y=-0.086079x+0.795004$
$b1$			55,205						$y=-23.068607x+242.850675$
$b1-b7$	68,895		56,803						$y=-37.272045x+244.440480$
$\exp(b5 / b3)$	50,411		57,078						$y=0.236030x+1.788001$
$(b5-b4) / (b5+b4)$			58,144						$y=0.045809x+0.022983$
$b1+b2-b7$			58,969						$y=-39.943567x+419.084934$
$\ln(b2-b7+\min)$			61,233						$y=-0.084342x+6.014520$
$b1+b2-b4$			61,586						$y=-32.410754x+337.551455$
$b2+b4-b5$			63,878						$y=-28.581257x+234.975176$
$b1+b2-b6$			64,176						$y=-39.180775x+393.103766$
$b5 / b2$			66,986						$y=0.136920x+0.616790$
$b1+b4-b5$			70,766						$y=-26.146091x+200.227316$
$b5 / b4$			73,081						$y=0.156803x+1.040214$
$\exp(b5 / b2)$			78,691						$y=0.488048x+1.758406$
$\exp(b5 / b4)$			84,224						$y=0.946561x+2.545675$
$\ln((2xb2+b5) / b3)$	50,298							57,37	$y=-0.064063x+1.019829$
$b3 / (b1+b2+b5)$	51,009							59,213	$y=0.038247x+0.367810$
$b3 / b4$	53,181								$y=-0.304063x+2.794474$
$\ln((b1+b2+b5) / b3)$	53,241							54,409	$y=-0.074617x+0.988249$
$b2 / b4$	54,671								$y=-0.358310x+2.973409$
$b5 / b3$	56,013	53,626							$y=0.135260x+0.287232$
$\exp(b5 / \max)$	58,41								$y=0.220386x+1.325650$
$b1-b6$	60,242								$y=-40.281081x+210.988785$
$b3-b6$	60,596								$y=-30.478231x+226.769992$
$b2-b6$	60,839								$y=-41.086825x+248.181542$
$\log(b3 / b4)$	62,395								$y=-0.069462x+0.430303$
$\ln b3-\ln b4$	62,395								$y=-0.159942x+0.990809$

$b4 / (b1+b2+b3)$	62,789								$y=0.037901x+0.126975$
$(b1+b6) / b4$	64,714						51,486		$y=-0.286858x+3.289831$
$b3-b7$	65,919								$y=-27.469195x+260.221686$
$b2-b7$	66,449								$y=-38.077788x+281.633237$
$b4 / b3$	68,019								$y=0.095639x+0.374562$
$\exp(b4 / b3)$	69,26								$y=0.189515x+1.432457$
$b3 / b1$		52,899					50,202		$y=0.126329x+1.317722$
$(b1-b3) / b2$		53,574					56,499		$y=-0.138688x-0.012122$
$\exp(b3 / b1)$		56,641							$y=0.963909x+3.716565$
$(b3-b6) / (b1-b7)$		66,168							$y=0.489634x+1.073848$
$\ln((b3-b6) / (b1-b7))$		66,381							$y=0.004935x+4.565272$
$b4 / b5$						52,514			$y=0.162189x+0.950091$
$\exp(b4 / b5)$						67,694			$y=0.931579x+2.129832$
$b3+b5-b4$							51,945		$y=64.885458x+222.161083$
$b2+b5-b7$							57,783		$y=66.287351x+211.804192$
$b4-b7$							59,156		$y=30.296315x+20.075380$
$b1+b5-b7$							63,734		$y=64.858068x+169.948615$
$\ln(b3 / (2xb1+b5))$								50,29	$y=0.087247x-0.954353$
$\exp(b3 / (2xb1+b6))$								53,273	$y=0.236895x+1.253827$
$b3 / (2xb1+b5)$								53,918	$y=0.049950x+0.377749$
$\exp(b3 / (2xb1+b5))$								54,948	$y=0.094690x+1.437918$
$\ln((b1+b5-b4) / b3)$								62,06	$y=-0.058165x+0.903163$
$(b3+b4) / (b1+b5)$								62,854	$y=0.115448x+0.919577$
$(b2-b7) / (b3-b6)$								63,514	$y=-0.093024x+1.252986$
$\exp(b3 / (2xb2+b5))$								64,008	$y=0.049237x+1.425572$
$\exp(b3 / (b1+b2+b7))$								64,452	$y=0.159143x+1.386917$
$\exp(b3 / (b1+b2+b6))$								68,949	$y=0.121776x+1.416646$
$(b3+b4-b5) / b1$								69,196	$y=0.359022x+0.488467$

Πίνακας 4: Αποτελέσματα συσχετίσεων για κατηγοριοποίηση χρονικής απόκλισης ανά ημέρα και συγκέντρωση χλωροφύλλης-α > 10 ug/L

Δείκτες	dt=6, n=7, (>10 ug/L)	dt=7, n=11, (>10 ug/L)	dt=9, n=7, (>10 ug/L)	dt=10, n=7, (>10 ug/L)	dt=15, n=8, (>10 ug/L)	Εξίσωση $y=\alpha x+\beta$ $x=chl-a$ (ug/L)
b4 / b2	53,742		59,793		56,423	$y=0.018320x+0.616359$
(2xb1+b5) / b3	54,224					$y=-0.089226x+3.946220$
exp(b4 / (b2+b5))	55,214					$y=0.031778x+1.029125$
ln((2xb2+b5) / b3)	55,433					$y=-0.029374x+1.426169$
b3 / b1	56,249		61,573			$y=0.056013x+1.333903$
ln((b3+b4) / (b1+b2))	56,336		51,325		58,986	$y=0.006767x+0.145600$
(b2-b3) / b1	59,173		54,896		64,267	$y=-0.015566x-0.220433$
exp(b3 / b2)	61,793					$y=0.151610x+1.641435$
b3 / (b1+b5-b7)	62,336					$y=0.029611x+0.242661$
exp((b3 / (b2+b6-b5))	62,902					$y=0.026143x+1.186601$
ln((b1+b2+b5) / b3)	63,254					$y=-0.034970x+1.481611$
(b3+b4) / (b1+b5)	64,358					$y=0.051497x+0.219455$
exp(b4 / b2)	64,746		71,753		55,936	$y=0.067450x+1.521725$
ln(b3 / (2xb1+b5))	68,216				53,696	$y=0.041162x-1.543211$
exp(b3 / b1)	70,462				86,85	$y=0.362519x-1.276806$
exp(b4 / (b2+b7))	72,629		57,876		61,369	$y=0.085173x+0.721602$
exp(b4 / (b2+b6))	73,724		72,309			$y=0.070552x+0.779364$
exp(b3 / (2xb2+b5))	74,634					$y=0.019535x+1.175592$
exp(b3 / (2xb1+b7))	75,342				80,945	$y=0.034558x+1.418494$
exp(b3 / (b1+b2+b7))	76,11				64,149	$y=0.046040x+1.137216$
b3 / (b1+b2+b5)	76,574				51,027	$y=0.015868x+0.156367$
exp(b4 / (b1+b7))	79,209		68,641		81,784	$y=0.081703x+1.063340$
b3 / (2xb1+b5)	80,599				62,574	$y=0.019936x+0.111056$
exp((b1-b3) / (b2-b4))	81,869		64,728			$y=0.690779x-7.882708$
exp(b4 / (b1+b6))	82,548		76,161		61,236	$y=0.120817x+0.177938$
exp(b3 / (2xb1+b6))	84,728					$y=0.061133x+0.887115$
exp(b3 / (2xb1+b5))	85,198				65,326	$y=0.033216x+1.018341$
exp(b3 / (b1+b2+b6))	86,174				56,38	$y=0.042328x+1.092791$
lnb3		51,507		57,927		$y=-0.048050x+6.880055$
b1-b4		53,01				$y=-0.996475x-30.385619$
b3-b6		55,637				$y=1.630240x+118.952025$
b4		57,177		62,347		$y=-13.409635x+575.868748$
b2-b4		57,405				$y=-0.794036x+3.120390$
(b3 / b2)+b4		57,434		62,272		$y=-13.422777x+577.621615$
b3		57,948	55,024	66,83		$y=-12.623761x+635.700470$
(b3+b4) / 2		59,815		65,058		$y=-13.016698x+605.784609$
b1+b4-b7		63,258	62,235	65,216		$y=-13.521147x+669.018170$
b3-b7		63,302				$y=1.645131x+144.041107$
b2+b4-b7		64,171	60,002	68,219		$y=-14.635844x+741.788368$
b2+b4-b6		67,2	57,984	53,804		$y=2.227090x+168.827757$
b3+b4-b7		73,694	52,063	61,601		$y=3.195051x+265.253533$
b3+b4-b6		74,821		54,48		$y=3.180160x+240.164451$
(b3+b7-b5) / b1			50,685			$y=0.036888x+1.218149$
b3+b4-b5			50,989			$y=-9.721283x+701.293896$
(b2-b7) / (b3-b6)			51,818			$y=-0.008239x+0.713420$
b4 / (b1+b2+b3)			52,296		63,708	$y=0.001384x+0.296440$
ln((b3+b4-b5) / b1)			56,347		55,791	$y=0.009318x+1.658864$
b3+b5-b4			57,17			$y=-6.731520x+472.864985$
b2+b5-b7			57,287	53,899		$y=-6.636095x+458.185458$
ln((b1+b6) / b4))			57,885		63,088	$y=-0.009863x+0.410177$
b1+b5-b7			58,025	57,741		$y=-6.183154x+400.108827$
(b3+b4-b5) / b1			59,723		67,953	$y=0.037674x+0.661102$
(b2+b3) / 2			61,421	74,388		$y=-10.105866x+521.918889$

b2-b7			61,837			$y=-4.257662x+256.520789$
b2+b4-b5			62,661			$y=-6.892276x+466.754808$
$\exp(b5 / b1)$			63,678			$y=0.221022x-0.972584$
b1-b7			64,018			$y=-3.804722x+198.444157$
b2+b6-b7			64,939	67,106		$y=-6.247768x+388.301156$
b2			65,369	83,521		$y=-7.587970x+408.137309$
b1+b4-b5			65,415			$y=-6.439335x+408.678176$
b2+b3-b4			65,683	70,711		$y=-6.802096x+467.969030$
b1+b6-b7			65,732	76,413		$y=-8.737823x+430.148843$
2xb1+b3			65,806	79,348		$y=-25.570307x+1306.434693$
b1+2xb2			66,028	84,233		$y=-21.649213x+1151.641730$
$(b1+b2) / 2$			66,293	83,755		$y=-7.030621x+371.752210$
b1+b2			66,293	83,755		$y=-14.061243x+743.504421$
2xb1+b2			66,509	82,616		$y=-20.534516x+1078.871532$
b1			66,764	78,184		$y=-6.473273x+335.367112$
b1+b3-b4			68,863			$y=-9.297541x+565.664035$
b5 / b1			70,254			$y=0.039316x+0.115797$
lnb2			70,883	77,777		$y=-0.035782x+6.243032$
$\ln(b2-b7+\min)$			71,779	78,957		$y=-0.020012x+6.343312$
b1+b2-b6			74,456			$y=-8.351742x+515.223705$
b1+b2-b5			75,416			$y=-7.963416x+445.339403$
b1+b2-b7			76,9			$y=-9.202116x+550.984509$
b1+b2-b4			87,952			$y=-6.468534x+331.124947$
$(b4+b5) / 2$				51,008		$y=-14.305434x+609.221200$
lnb4-min+1				53,932		$y=5.661530x-212.940373$
lnb5-min+1				54,418		$y=5.688205x-213.414811$
lnb2-lnb4					51,458	$y=-0.005012x+0.040843$
$b3 / (b1+b2+b3)$					53,496	$y=0.001632x+0.398251$
$(b1+b6) / b4$					53,557	$y=-0.009741x+1.500862$
b1 / b3					54,324	$y=-0.004383x+0.726490$
$(b1-b3) / b2$					55,129	$y=-0.010738x-0.366640$
$\ln((b3-b6) / (b1-b7))$					68,42	$y=0.000306x+4.563240$
$(b3-b6) / (b1-b7)$					68,779	$y=0.029839x+0.890041$

Βιβλιογραφικές αναφορές

Βασιλεία Καραθανάση, “ΕΙΔΙΚΑ ΚΕΦΑΛΑΙΑ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ”, 2014

ΒΑΤΟΥΓΙΟΥ Σ. ΣΤΕΛΛΑ, “ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΦΑΣΜΑΤΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΤΟΥ LANDSAT 5 TM ΚΑΙ LANDSAT 8 OLI/TIRS ΜΕ ΕΠΙΒΛΕΠΟΜΕΝΗ ΚΑΙ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟΣΤΡΕΦΗ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ”, Διπλωματική εργασία, 2014

Ευαγγελία Κοντοπούλου, “ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΥΔΑΤΩΝ ΣΕ ΛΙΜΝΑΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ ΜΕ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ”, Διπλωματική εργασία, 2016

Ελένη Κωνσταντίνου, “ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΝΕΡΟΥ ΚΑΙ ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΗΣ ΘΟΛΟΤΗΤΑΣ ΣΤΟ ΦΡΑΓΜΑ ΑΣΠΡΟΚΡΕΜΜΟΥ ΣΤΗΝ ΠΑΦΟ ΜΕ ΕΠΙΓΕΙΕΣ ΚΑΙ ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ”, Διπλωματική εργασία, 2012

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

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

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

Lillesand, T. M., et al., “Use of Landsat data to predict the trophic state of Minnesota lakes”, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, pp.49, 219-229, 1983

Sass. G.Z., Creed, I.F., Bayley. S.E., Devito, K.J., “Understanding variation in trophic status of lakes on the Boreal Plain: A 20 year retrospective using Landsat TM imagery”, *Remote Sensing of Environment*. 109 (2), pp. 127-141., 2007

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

Chebud, Y., Naja, G.M., Rivero, R.G. et al., “Water Quality Monitoring Using Remote Sensing and an Artificial Neural Network”, 2012

AL-Fahdawi, A.A.H., Rabee, A.M. & Al-Hirmizy, “Water quality monitoring of Al-Habbaniyah Lake using remote sensing and in situ measurements”, 2015

Hadjimitsis D.G., Clayton C., “Field Spectroscopy for Assisting Water Quality Monitoring and Assessment in Water Treatment Reservoirs Using Atmospheric Corrected Satellite Remotely Sensed Imagery.” 2011

Taylor A.N., Svab E., Presing M., Kovacs W. A., “Remote sensing of the water quality of shallow lakes: A mixture modelling approach to quantifying phytoplankton in water characterized by high-suspended sediment”, 2007

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

Wrigley, R. C., Horne, A. J., “Remote sensing and lake eutrophication.” Nature, 250, pp. 213-214, 1974

Giardino, Claudia, et al., “Assessment of water quality in Lake Garda (Italy) using Hyperion.”, 2007

Διαδικτυακοί τόποι

- Γ. Παπαδόπουλος-www.aua.gr/gpapadopoulos
- androulakis.bma.upatras.gr
- Neural Network Toolbox- mathworks.com
- en.wikipedia.org/wiki/Landsat_8
- landsat.usgs.gov/landsat8.php
- landsat.usgs.gov/documents/provisional_lasrc_product_guide.pdf
- mycourses.ntua.gr/courses/SURVEY1011/document/Landsat8.pdf
- repository.kallipos.gr/bitstream/11419/2675/1/02_chapter_5.pdf
- env-edu.gr/Chapters
- repository.edulll.gr/edulll/retrieve/5007/1430.pdf
- seos-project.eu/modules/oceancolour/oceancolour-c03-p01.gr.html
- moa.gov.cy/moa/wdd/WDD.nsf
- kpe-kastor.kas.sch.gr/limnology/limnology/nutrients.htm

- kpe-kastor.kas.sch.gr/leaf/texts/pigments.htm
- nemertes.lis.upatras.gr/jspui/bitstream/10889/7881/1/VRYLONIS%20MSC.pdf