



# ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ & ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Τομέας Τοπογραφίας

Εργαστήριο Τηλεπισκόπησης

**Εκτίμηση και χαρτογράφηση ποιοτικών χαρακτηριστικών σε υδάτινους αποδέκτες με τεχνικές τηλεπισκόπησης:**

**Η περίπτωση της λίμνης Κάρλα**

Water quality estimation and mapping in reservoirs using remote sensing techniques:

A case study of lake Karla



*Διπλωματική Εργασία*

*Θεολόγου Ιωάννα  
Αθήνα, Μάιος 2014*

*Διπλωματική Εργασία*

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή στις 12/05/2014.

.....  
Κωνσταντίνος Καραντζαλος  
Λέκτορας

.....  
Μαρία Παπαδοπούλου  
Επ.Καθηγήτρια

.....  
Ανδρέας Γεωργόπουλος  
Καθηγητής

.....  
Ιωάννα Θεολόγου  
Διπλωματούχος Αγρονόμος Τοπογράφος Μηχανικός

© Αθήνα, 2014 Θεολόγου Ιωάννα

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα. Το παρόν έγγραφο διανέμεται με την ελπίδα ότι θα είναι χρήσιμο, αλλά χωρίς καμία εγγύηση, χωρίς ακόμη και την έμμεση εγγύηση εμπορευσιμότητας ή καταλληλότητας για κάποιο συγκεκριμένο σκοπό.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

## Περίληψη

Σήμερα η ανάγκη παρακολούθησης και προστασίας του περιβάλλοντος είναι πιο έντονη από ποτέ. Παράλληλα, απαραίτητες καθίστανται μέθοδοι και τεχνικές αξιόπιστες και χαμηλού κόστους. Οι σύγχρονες τεχνολογίες και οι μέθοδοι παρακολούθησης του γήινου περιβάλλοντος αποτελούν ένα πολύτιμο εργαλείο προς την κατεύθυνση αυτή. Στη παρούσα εργασία, κύρια επιδίωξη αποτέλεσε η τυποποίηση της διαδικασίας χαρτογράφησης των βασικών ποιοτικών παραμέτρων παρακολούθησης λιμναίων οικοσυστημάτων. Με συνδυασμό ταυτόχρονων επίγειων και δορυφορικών πολυφασματικών παρατηρήσεων, έγινε προσπάθεια εκτίμησης με τηλεπισκοπικά μέσα των ποιοτικών χαρακτηριστικών του νερού. Δεδομένα αποτέλεσαν οι δορυφορικές εικόνες του Landsat 8, τα υπερφασματικά δεδομένα από φασματογράφο χειρός και τα αποτελέσματα των αντίστοιχων χημικών αναλύσεων, τα οποία αποτέλεσαν και τα δεδομένα ελέγχου (*ground truth*). Για τα δορυφορικά και υπερφασματικά δεδομένα πραγματοποιήθηκαν οι απαραίτητες ραδιομετρικές και ατμοσφαιρικές διορθώσεις. Τα αποτελέσματα των συσχετίσεων ήταν ενθαρρυντικά τόσο για τα υπερφασματικά δεδομένα όσο και για τα δορυφορικά, και δεν περιορίζονταν μόνο σε παραμέτρους όπως η χλωροφύλλη-α, στην οποία συνήθως επικεντρώνονται οι μελέτες της διεθνούς βιβλιογραφίας, αλλά και σε παραμέτρους όπως το αμμώνιο και το διαλυμένο οξυγόνο. Συγκεκριμένα, στα υπερφασματικά, ο καλύτερος δείκτης για την εκτίμηση της χλωροφύλλης-α ήταν ο  $R_{665.7}^{-1} \times R_{703.5}$  ( $r^2=97.6\%$ ), των νιτρικών ιόντων ο λόγος  $R_{850.1}/550$  ( $r^2=85.7\%$ ) και του αμμωνίου ο δείκτης  $R_{664.1}/550.6$  ( $r^2=88.5\%$ ). Για την αγωγιμότητα το κανάλι  $R_{753.5}$  ( $753$ ) έδωσε τα καλύτερα αποτελέσματα ( $r^2=81.7\%$ ), για το διαλυμένο οξυγόνο ο λόγος  $R_{664}/550$  ( $r^2=81.9\%$ ), για τη θερμοκρασία ο λόγος  $R_{670}/412$  ( $r^2=84\%$ ), ενώ για τον ολικό φώσφορο και το pH δεν παρατηρήθηκαν αξιοσημείωτες συσχετίσεις για τους υπό μελέτη δείκτες. Σε αντίστοιχα επίπεδα κινήθηκαν και τα αποτελέσματα των συσχετίσεων για τα δορυφορικά δεδομένα, με τη καλύτερη συσχέτιση χλωροφύλλης-α να εμφανίζεται για το δείκτη  $R_{480}/(R_{440}+R_{480}+R_{560})$  ( $r^2=93.2\%$ ), με τα νιτρικά να δίνουν συσχέτιση ( $r^2=82.7\%$ ) για το δείκτη  $\exp(R_{865}/R_{560})$ , το αμμώνιο ( $r^2=87.2\%$ ) στο  $(R_{440}-R_{655})/(R_{560}-R_{655})$ , ο ολικός φώσφορος ( $r^2=78.9\%$ ) στο  $(R_{480}-R_{655})/R_{560}$ , το pH ( $r^2=79.3\%$ ) στο  $\ln R_{865}-\ln R_{1610}$ , την αγωγιμότητα ( $r^2=57.5\%$ ) στο  $R_{480}-R_{865}$  και τέλος το διαλυμένο οξυγόνο ( $r^2=90\%$ ) για τη διαφορά  $R_{560}-R_{655}$ . Όσον αφορά τη θερμοκρασία, τα κανάλια του θερμικού δέκτη έδωσαν ισχυρές συσχετίσεις της τάξης του ( $r^2=95\%$ ). Τέλος, και με βάση τα αποτελέσματα αυτά, δημιουργήθηκαν οι αντίστοιχοι χάρτες για την περιοχής μελέτης, τη λίμνη Κάρλα.

## Abstract

Nowadays, the need for monitoring and protection of natural environment is greater than ever. Thus, reliable and low cost monitoring methods and techniques are becoming more essential. To this end, cutting-edge technologies from Geo-Informatics and Earth Observation fields form a valuable tool towards effective remote sensing monitoring of aquatic environment. The main objective of this study was to standardize the process of monitoring key water quality parameters in lake ecosystems. Therefore, multiple in-situ, analytical and satellite multispectral data were acquired, processed and fused in the study area Lake Karla, Greece. In particular, Landsat 8 satellite images, hyperspectral data from a field spectrometer, physico-chemical and other monitoring parameters from water samples served as the ground truth data, formed the multi-modal dataset. Radiometric and atmospheric corrections were performed to the satellite and hyperspectral data. The experimental results indicated highly correlations between the remote sensing observations and the in-situ data for key water quality parameters like the concentrations of chlorophyll-a, ammonium and dissolved oxygen. In particular, for the hyperspectral data the highest rates were for chl-a ( $r^2=97.6\%$ ), ammonium ( $r^2=88.5\%$ ), nitrates ( $r^2=85.7\%$ ), conductivity ( $r^2=81.7\%$ ) and dissolved oxygen ( $r^2=81.9\%$ ). The total phosphorus and the pH didn't provide stable correlations. For the satellite multispectral data, the highest rates were for chl-a ( $r^2=93.2\%$ ), dissolved oxygen ( $r^2=90\%$ ), nitrates ( $r^2=82.7\%$ ), ammonium ( $r^2=87.2\%$ ), total phosphorus ( $r^2=78.9\%$ ) and pH ( $r^2=79.3\%$ ), while the conductivity ( $r^2=57.5\%$ ) stayed in lower correlation rates. In all cases, the temperature estimation based on Landsat TIRS data established strong relationships at 95% ( $r^2$ ). These preliminary results demonstrate that remote sensing technology and advanced processing techniques can significantly contribute towards the development of a reliable and low-cost off-situ water quality monitoring system for sensitive aquatic ecosystems like the shallow lakes in the greater Mediterranean basin.

## Ευχαριστίες

Καθώς κλείνει ένας κύκλος της ζωής μου που μου προσέφερε πολλά, με διαμόρφωσε και με έκανε να αρχίσω να στέκομαι στα πόδια μου, θα ήθελα να ευχαριστήσω τη μητέρα μου που είναι πάντα στο πλάι μου ό,τι και αν αποφασίσω και η οποία με έχει ως απόλυτη προτεραιότητά της, βάζοντας πάντα τον εαυτό της σε δεύτερη μοίρα, καθώς και το πατέρα μου ο οποίος πάντα προσπαθεί να μου δώσει ό,τι καλύτερο μπορεί. Παράλληλα την ακούραστη γιαγιά μου που μας αγαπάει όλους τόσο πολύ και δίνει τον εαυτό της για να μας βοηθήσει. Επιπλέον τους θείους μου που πάντα προσπαθούσαν να με μορφώσουν με τα λόγια και τις συζητήσεις τους αλλά και τα υπόλοιπα μέλη της οικογένειάς μου τα οποία είμαι ευγνώμων που έχω στη ζωή μου. Ακόμα τους παππούδες μου που έχουν φύγει αλλά πρόλαβαν να μου δώσουν πολλά πριν μας αφήσουν.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τους ανθρώπους χωρίς τους οποίους δεν θα μπορούσα να ολοκληρώσω τις σπουδές μου και να ασχοληθώ με το συγκεκριμένο θέμα. Τον κ. Κωνσταντίνο Καραντζαλο, που υπήρξε πρόθυμος να συνεργαστεί μαζί μου από την αρχή, που με την καθοδήγησή του και τις γνώσεις του έμαθα πολλά και ο οποίος με εφοδίαζε και με τις απαραίτητες ψυχολογικές δόσεις ηρεμίας για να συνεχίσω. Τη κ. Μαρία Παπαδοπούλου που υπήρξε αρωγός στο όλο εγχείρημα και με τις γνώσεις και την οργανωτικότητά της προσέφερε πολλά. Τον κ. Ανδρέα Γεωργόπουλο ο οποίος ήταν και αυτός που με παρέπεμψε στους συγκεκριμένους καθηγητές αλλά και που τόσα χρόνια έχει δώσει σε μένα και τους συμφοιτητές μου πολύτιμα μαθήματα. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους καθηγητές της σχολής που μου έκαναν μάθημα, κάθε ένας από τους οποίους μου προσέφερε κάτι διαφορετικό.

Τεράστιας σημασίας ήταν και η βοήθεια των μελών του φορέα διαχείρισης Π.Ο.Κα.Μα.Κε.Βε., κ. Ιφιγένειας Κάγκαλου και κ. Μαρίας Χαμόγλου, χωρίς τις οποίες δεν θα ήταν δυνατόν να πραγματοποιηθεί η παρούσα έρευνα και που ήταν πάντα πρόθυμες να προσφέρουν τη συνεργασία τους. Τέλος, τον κ. Νίκο χάρη στον οποίο πραγματοποιήθηκε το ταξίδι με τη λέμβο στα νερά της λίμνης.

Επιπλέον θα ήθελα να ευχαριστήσω τον υποψήφιο διδάκτορα Παναγιώτη Σισμανίδη για τη πολύτιμη βοήθειά του στην ατμοσφαιρική διόρθωση (και όχι μόνο), καθώς και τον προπτυχιακό φοιτητή Μάριο Οικονόμου για τη βοήθειά του στην εξουκείωση με το φασματοραδιόμετρο αλλά και τον υποψήφιο διδάκτορα Γιώργο Χατζηκωνσταντή. Ακόμα, τα μέλη του εργαστηρίου τηλεπσκοπησης, κ. Πολ Κολοκούση και κ. Χρήστο

Ιωσηφίδη οι οποίοι πάντα είναι πρόθυμοι να μας βοηθήσουν και να απαντήσουν στις απορίες μας όσο φόρτο εργασίας και αν έχουν.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω τους αγαπημένους φίλους μου, τόσο από τη σχολή όσο και από το σχολείο, που τόσα χρόνια εξακολουθούμε να είμαστε μαζί, να στηρίζουμε ο ένας τον άλλο και να εξελισσόμαστε παρέα. Μακάρι να τους έχω στη ζωή μου για πολύ καιρό ακόμα.

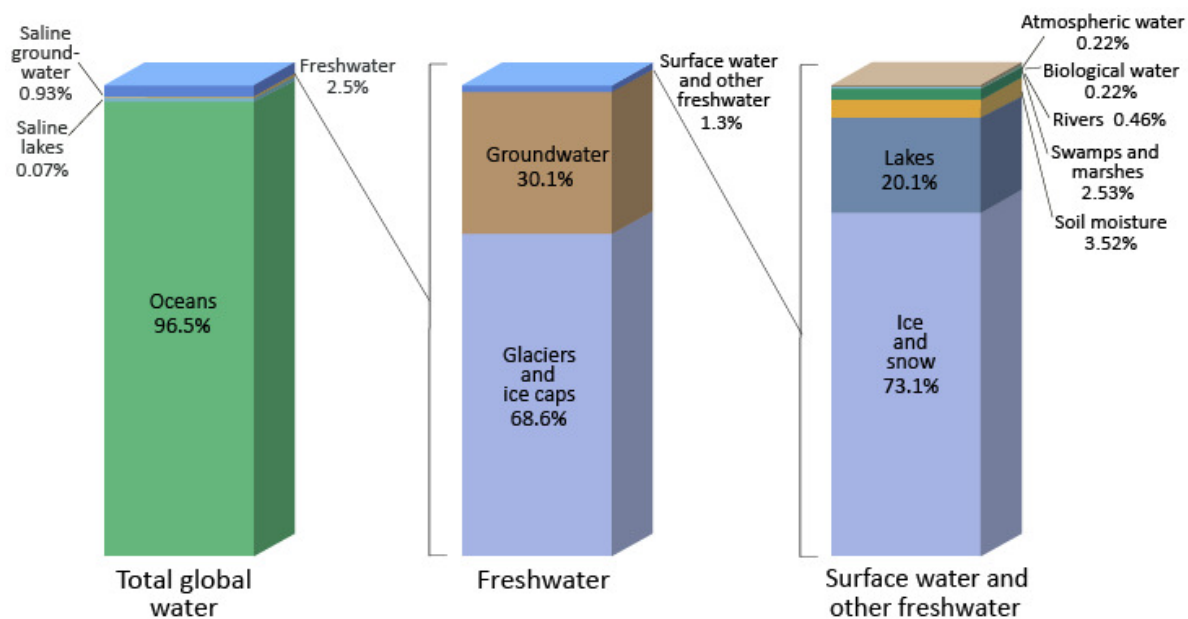
# Περιεχόμενα

<b>1. Εισαγωγή</b> .....	<b>1</b>
1.1. Κίνητρο.....	4
1.2. Συνεισφορά.....	4
<b>2. Θεωρητικό Υπόβαθρο</b> .....	<b>6</b>
2.1. Η Ευρωπαϊκή Νομοθεσία για τα ύδατα.....	7
2.2. Η περιοχή μελέτης.....	8
2.3. Βασικές ποιοτικές παράμετροι.....	10
2.4. Η επιστήμη της Τηλεπισκόπησης.....	15
2.5. Το πρόγραμμα Landsat.....	16
2.5.1. Το πρόγραμμα Landsat 8.....	17
2.6. Φασματογράφος Χειρός.....	19
<b>3. Βιβλιογραφική Ανασκόπηση</b> .....	<b>20</b>
3.1. Υπερφασματικά Δεδομένα.....	21
3.2. Πολυφασματικά Δεδομένα.....	26
<b>4. Μεθοδολογία</b> .....	<b>28</b>
4.1. Προγραμματισμός εργασιών.....	29
4.2. Συλλογή δεδομένων πεδίου.....	30
4.3. Προεπεξεργασία Δεδομένων.....	31
4.3.2. Προεπεξεργασία δορυφορικών εικόνων.....	35
4.3.3. Ατμοσφαιρική διόρθωση.....	35
4.4. Μοντέλα παλινδρόμησης και συσχετίσεις δεδομένων.....	38
<b>5. Αποτελέσματα και Αξιολόγηση</b> .....	<b>41</b>
5.1. Δεδομένα ελέγχου και αποτελέσματα χημικών αναλύσεων.....	42
5.2. Αποτελέσματα συσχετίσεων για υπερφασματικά δεδομένα.....	44
5.3. Αποτελέσματα συσχετίσεων για πολυφασματικά δεδομένα.....	55
5.4. Αποτελέσματα συσχετίσεων για την εκτίμηση θερμοκρασιών.....	68
5.5. Χάρτες εκτίμησης ποιοτικών χαρακτηριστικών.....	72
<b>6. Συμπεράσματα και προτάσεις</b> .....	<b>80</b>
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ</b> .....	<b>84</b>
<b>Κατάλογος Εικόνων</b> .....	<b>91</b>
<b>Κατάλογος Πινάκων</b> .....	<b>93</b>
<b>Βιβλιογραφία</b> .....	<b>96</b>



# 1. ● Εισαγωγή

Το νερό αποτελεί αγαθό υψίστης σημασίας και έναν από τους κυριότερους λόγους για τους οποίους εμφανίστηκε η ζωή στη Γη. Δεν αποτελεί εμπορικό αντικείμενο αλλά κληρονομιά. Χρέος όλων είναι η διαφύλαξη της ύπαρξής του και η διατήρησή της ποιότητάς του για τις επόμενες γενεές, σκεφτόμενοι ειδικά τη μικρή ποσότητα του πόσιμου νερού που υπάρχει αυτή τη στιγμή. Αναλυτικά, το 96.5% του νερού βρίσκεται στις θάλασσες και τους ωκεανούς ενώ το γλυκό νερό αποτελεί μόλις το 2.5%. Από αυτό, το 68.6% βρίσκεται στους πάγους και το 30.1% στο υπέδαφος. Από το υπόλοιπο 1.3%, το 73.1% βρίσκεται στο χιόνι, το 20.1% στις λίμνες και το 6.8% στα ποτάμια, τους βάλτους, την ατμόσφαιρα, κτλ.



Εικόνα 1.1: Κατανομή του νερού στη Γη. (Πηγή: *Shiklomanov, Igor 1993*)

Η σημασία της εκτίμησης και παρακολούθησης της ποιότητας των υδάτων στους επίγειους αποδέκτες είναι σαφής και αυταπόδεικτη. Η μέχρι στιγμής συνήθης και αναντικατάστατη μέθοδος πραγματοποίησής των είναι η δειγματοληψία και η διενέργεια χημικών αναλύσεων. Η διαδικασία αυτή είναι απολύτως ικανοποιητική από άποψη ακρίβειας ωστόσο υστερεί σε διάφορους τομείς. Συγκεκριμένα:

- Η επιτόπια δειγματοληψία υστερεί όσον αφορά την απεικόνιση της χωρικής διάστασης ενός φαινομένου, μιας και τα αποτελέσματα αντιστοιχούν στο σημείο από το οποίο λήφθηκε το δείγμα και δεν δίνουν τη συνολική εικόνα της κατάστασης που επικρατεί σε όλη την έκταση του υδάτινου αποδέκτη.
- Αποτελεί σε πολλές περιπτώσεις, τόσο από οικονομική όσο και υλικοτεχνική άποψη, απαγορευτική διαδικασία η παρακολούθηση μιας, πόσο μάλλον δεκάδων ή εκατοντάδων λιμνών μιας περιοχής. Επιπλέον, για τη σωστή μελέτη των φαινομένων και των τυχόν διακυμάνσεων, είναι απαραίτητες οι συχνές δειγματοληψίες. Η τηλεπισκόπηση επομένως όχι μόνο δίνει τη δυνατότητα της άντλησης πληροφοριών από τις δορυφορικές εικόνες σε τακτά χρονικά διαστήματα, αλλά και τη δυνατότητα εξαγωγής πληροφοριών για παλαιότερα έτη κατά τα οποία πιθανών να μην είχαν γίνει δειγματοληψίες.
- Οι θέσεις στις οποίες βρίσκονται οι υδάτινοι αποδέκτες κάνουν σε αρκετές περιπτώσεις τη πρόσβασή δύσκολη, ειδικά σε συστηματική βάση.

Λύση στα παραπάνω προβλήματα προσπαθεί να δώσει η τηλεπισκόπηση. Ήδη από το 1974 (*Wrigley and Horne*) η δυνατότητα χρήσης δορυφορικών εικόνων και η εφαρμογή τους στη παρακολούθηση των υδάτων αποτέλεσε ένα αναγνωρισμένο τομέα έρευνας, παρά τους περιορισμούς της τότε εποχής.

Με βάση την Ευρωπαϊκή οδηγία πλαίσιο για τα νερά (*Directive 2000/60/ec, 2000*), καθορίστηκαν οι παράμετροι ελέγχου των υδάτων. Μερικές παράμετροι από αυτές μπορούν να προσδιοριστούν μέσω τηλεπισκόπησης με ικανοποιητική ακρίβεια.

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

- 1) Η εμπειρική προσέγγιση η οποία βασίζεται στην ανάπτυξη μοντέλων παλινδρόμησης ανάμεσα σε δεδομένα ψηφιακής τηλεπισκόπησης και στις μετρήσεις των παραμέτρων ποιότητας νερού. Συγκεκριμένα, οι τιμές της ακτινοβολίας που καταγράφονται από τον αισθητήρα, σε συνάρτηση με κατάλληλους συνδυασμούς καναλιών, συσχετίζονται με τα αποτελέσματα των μετρήσεων των παραμέτρων στα ύδατα, όπως αυτές προέκυψαν από επιτόπιες δειγματοληψίες με τις οποίες συμπίπτουν χρονικά.
- 2) 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 συχνότητων χρησιμοποιούνται ως στοιχεία εισόδου.
- 3) 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 τόσο 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.

Οι δύο πρώτες περιπτώσεις είναι σε μεγαλύτερο βαθμό εξαρτώμενες από τη περιοχή μελέτης. Αντιθέτως η τρίτη περίπτωση, υπό ορισμένες προϋποθέσεις μπορεί να εφαρμοστεί σε κάθε εικόνα που λήφθηκε πάνω από τη συγκεκριμένη λίμνη δίνοντας τη δυνατότητα απόκτησης αποτελεσμάτων ανεξάρτητων από επίγειες μετρήσεις.

Παρά το γεγονός ότι δεν έχουν καθοριστεί ρητά οι παράγοντες που ελέγχουν τη μεταβολή της τροφικής κατάστασης των ρηχών λιμνών, οι μελέτες καταδεικνύουν ως κύριους υπευθύνους το κλίμα, το οποίο οδηγεί σε υδρο-οικολογικές διεργασίες, τη γεωλογία και τη τοπογραφία της περιοχής (Sass, et al., 2007).

Τα φυσικά λιμνάζοντα νερά είναι οπτικά περίπλοκα (*optically complex waters*) λόγω της συγκέντρωσης και αλληλεπίδρασης κυρίως τριών παραμέτρων: της χλωροφύλλης (*chlorophyll-chl*), των ανόργανων αιωρούμενων στερεών (*inorganic suspended solids-SS*) και της διαλυμένης οργανικής ύλης (*dissolved organic matter-DOM*). (Lathrop, et al., 1991)

## 1.1. Κίνητρο

Κινητήρια δύναμη για την εκπόνηση της συγκεκριμένης διπλωματικής αποτελεί η προσπάθεια εφαρμογής νέων τεχνολογιών και σχετικά μη συμβατικών μεθόδων στο τομέα της εκτίμησης ποιότητας των υδάτων για παρακολούθηση περιοχών ενδιαφέροντος (monitoring). Παρά το γεγονός ότι στο εξωτερικό ο τομέας αυτός αποτελεί πρόσφορο έδαφος για τη πραγματοποίηση έρευνας και συνεχίζει να αναπτύσσεται, η Ελλάδα υστερεί από άποψη μελέτης πάνω στο συγκεκριμένο θέμα. Παράλληλα, τα κίνητρα ήταν, εκτός από τεχνολογικά, και περιβαλλοντικά, ειδικά σε μία εποχή που λόγω της δεινής οικονομικής κατάστασης της χώρας, εξαιτίας της οποίας το περιβάλλον είναι από τους πρώτους τομείς που πλήττεται, είναι επιτακτική η ανάγκη αντιμετώπισης των προβλημάτων με εναλλακτικές και πιο οικονομικές μεθόδους (σημειώνεται ότι η προμήθεια των δορυφορικών εικόνων που χρησιμοποιήθηκαν έγινε χωρίς κάποιο αντίτιμο). Τέλος, οι δυνατότητες αυτής της τεχνολογίας είναι τεράστιες με λήψεις εικόνων να πραγματοποιούνται σε τακτά χρονικά διαστήματα και να επιτρέπουν τη δημιουργία και ενημέρωση μιας ολοκληρωμένης βάσης δεδομένων.

## 1.2. Συνεισφορά

Μερικοί από τους τομείς στους οποίους η παρούσα διπλωματική επιχειρεί να συνεισφέρει είναι:

- Στον εμπλουτισμό της βιβλιογραφίας μέσω της χρήση των προτεινόμενων δεικτών, αναφορικά με τα υπερφασματικά δεδομένα, για όλες τις παρεχόμενες παραμέτρους μελέτης που καθορίζουν τη ποιότητα του υδάτινου αποδέκτη.
- Στην έρευνα αναφορικά με τις δυνατότητες του νέου δορυφόρου Landsat 8 και τα περιθώρια αξιοποίησης των εικόνων του σε αβαθείς λίμνες.
- Στη διερεύνηση και αξιολόγηση των προτεινόμενων δεικτών για πολυφασματικούς δέκτες, όπως προέκυψαν για ορισμένες παραμέτρους ποιότητας νερού. Να σημειωθεί ότι κατά την έναρξη της εκπόνησης της διπλωματικής εντοπίστηκε βιβλιογραφικό κενό για στοιχεία όπως το  $NO_3^{-1}$ , η αγωγιμότητα κτλ. που, όπως φαίνεται και παρακάτω, αποτελούν παραμέτρους μεγάλης σημασίας για τη βιωσιμότητα των οργανισμών στο νερό. Επίσης, οι συσχετίσεις συνεχίστηκαν με επιπλέον δοκιμές συνδυασμών καναλιών.
- Στη παραγωγή χαρτών ποιότητας νερού ανά παράμετρο, με απώτερο σκοπό την οπτικοποίηση και τη παρακολούθηση των μεταβολών ανά επιφάνεια αναφοράς ακόμα και από προσωπικό που δεν είναι εξοικειωμένο με τη χρήση της τηλεπισκόπησης και των δεικτών.
- Στην έμπρακτη αρωγή στο έργο του φορέα διαχείρισης Π.Ο.Κα.Μα.Κε.Βε με τον οποίο υπήρξε άμεση συνεργασία.
- Στόχος ήταν η δημιουργία μοντέλων για τη μελλοντική ανάκτηση των τιμών των υπό μελέτη παραμέτρων στον υδάτινο αποδέκτη χωρίς την ανάγκη πραγματοποίησης χημικών αναλύσεων, αλλά μόνο με τη χρήση των δορυφορικών εικόνων.

## 2. Θεωρητικό Υπόβαθρο

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται αναφορά σε κάποια βασικά θεωρητικά στοιχεία που εισάγουν τον αναγνώστη στη νομοθεσία που διέπει τη παρακολούθηση (*monitoring*) των υδατικών όγκων αλλά και στα χαρακτηριστικά των υπό μελέτη παραμέτρων. Επίσης, αναφέρονται κάποια βασικά στοιχεία τόσο για τη περιοχή μελέτης της παρούσας εργασίας, όσο και για τα μέσα και τα εργαλεία με τα οποία πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις.

## 2.1. Η Ευρωπαϊκή Νομοθεσία για τα ύδατα

Η Ευρωπαϊκή Κοινότητα αναλογιζόμενη τη σημασία των υδάτων και την ανάγκη διατήρησης της οικολογικής τους ποιότητας, προς αποφυγή μιας μακροπρόθεσμης επιδείνωσής αυτής καθώς και της ποσότητάς τους, και σε συνάρτηση με τη πίεση που δέχονται τα ύδατα στη Κοινότητα λόγω της συνεχούς αύξησης της ζήτησης επαρκών ποσοτήτων για κάθε χρήση, καθιέρωσε κοινοτικό πλαίσιο για τη προστασία και τη διαχείρισή τους.

Όλα τα Κράτη-Μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης είναι υποχρεωμένα να ακολουθούν πιστά την οδηγία 2000/60/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 23<sup>ης</sup> Οκτωβρίου 2000, για τη θέσπιση πλαισίου κοινοτικής δράσης στο τομέα της πολιτικής των υδάτων. Μέσω της καθιέρωσης του κοινοτικού πλαισίου για τη προστασία και τη διαχείριση του ύδατος, τα κράτη μέλη καλούνται να πραγματοποιήσουν ταυτοποιήσεις και αναλύσεις των υδάτων τους και να τα ταξινομήσουν ανά υδρογραφική λεκάνη και ανά περιοχή λεκάνης απορροής ποταμού. Με βάση την υπάρχουσα κατάσταση και τα χαρακτηριστικά του εκάστοτε υδατικού συστήματος, εγκρίνονται σχέδια διαχείρισης και προγράμματα μέτρων. (Πηγή: *Europa, Σύνοψη της νομοθεσίας της ΕΕ<sup>1</sup>*)

Σκοπός της οδηγίας αυτής, η οποία αποτελεί το επιστέγασμα των «Αρχών Νερού του Δουβλίνου», είναι η διατήρηση ή η επίτευξη της καλής κατάστασης όλων των υδατικών σωμάτων, η αποτροπή της περαιτέρω επιδείνωσής τους και η προώθηση μιας βιώσιμης χρήσης ύδατος βασισμένης στη μακροπρόθεσμη προστασία των διαθέσιμων υδατικών πόρων. Επιπλέον, για πρώτη φορά στη πολιτική της Ε.Ε., εισήχθηκε ένα νομικό κείμενο το οποίο προτείνει τόσο τις οικονομικές αρχές όσο και τα οικονομικά εργαλεία μέσω των οποίων θα πραγματοποιθούν οι πιο πάνω στόχοι.

Στην Ελλάδα η οδηγία αυτή ενσωματώθηκε στο ΠΔ 51/ΦΕΚΑ54/8 Μαρτίου 2007 και έχουν καθοριστεί οι παράμετροι ελέγχου των υδάτων, συμπεριλαμβάνοντας 33 ουσίες προτεραιότητας. Ο αριθμός των ουσιών αυτών μεταβάλλεται, σε άλλες Ευρωπαϊκές χώρες χρησιμοποιούνται μέχρι και 64 παράμετροι για τον χαρακτηρισμό του νερού ενώ η Υπηρεσία Προστασίας Περιβάλλοντος των ΗΠΑ χρησιμοποιεί 120 παραμέτρους.

Οι παράμετροι αυτές ομαδοποιούνται στις εξής κατηγορίες:

---

<sup>1</sup> [http://europa.eu/legislation\\_summaries/agriculture/environment/l28002b\\_el.htm](http://europa.eu/legislation_summaries/agriculture/environment/l28002b_el.htm)

- Φυσικοχημικές: Θερμοκρασία Νερού (*T*), pH, Θολότητα (*Turb*), Διαλυμένο Οξυγόνο (*DO*) κτλ.,
- Χημικές Οργανικές: Συνολικός Οργανικός Άνθρακας (*TOC*), Οργανο-χλωροφυτοφάρμακα (*PCB*), Πολυκυκλικοί Αρωματικοί Υδρογονάνθρακες (*PAH*) κτλ.,
- Χημικές Ανόργανες: Άζωτο (*N*), Φώσφορος (*P*), Χλώριο (*Cl*), Νάτριο (*Na*), Νιτρικά Ιόντα ( $NO_3^-$ ), Αμμώνιο ( $NH_4^+$ ) κτλ.,
- Βιολογικές: Φυτοπλαγκτόν (*PHYTPL*), Ζωοπλαγκτόν (*ZOOPL*), Χλωροφύλλη (*CHLA*) κτλ.,
- Μικροβιολογικές: Σαλμονέλα, *E. Coli*, Εντερόκοκκοι κτλ.,
- Ραδιενεργές: Ραδιοϊσότοπα, συνολική Α, Β ραδιενέργεια κτλ.

(Πηγή: *Ecosystem Database Observatory - EcoDo-net<sup>2</sup>*)

## 2.2. Η περιοχή μελέτης

Η λίμνη Κάρλα ή λίμνη Βοιβηίδα (ή Βοιβιάς ή Βοιβη ή λίμνη της Πελασγιώτιδος κατά την αρχαιότητα) βρίσκεται νοτιοανατολικά της Λάρισας, κοντά στις βόρειες πλαγιές του Πηλίου, στα όρια των Νομών Λαρίσης και Μαγνησίας. Δημιουργήθηκε από τεκτονικό βύθισμα της πρώτης περιόδου της τεταρτογενούς εποχής, στο οποίο εναποτέθηκαν τα πρώτα λιμναία ιζήματα ενώ στη συνέχεια προστέθηκαν προϊόντα διάβρωσης που μετέφεραν ο Πηνειός και άλλοι χειμαρροί από τη λεκάνη απορροής τους. Εκεί συγκεντρώνονταν τα νερά των απορροών των γύρω ορεινών όγκων αλλά και των πλημμυρικών νερών του Πηνειού ο οποίος βρίσκεται ψηλότερα από τη λίμνη. (Πηγή: *Το Βήμα<sup>3</sup>*)

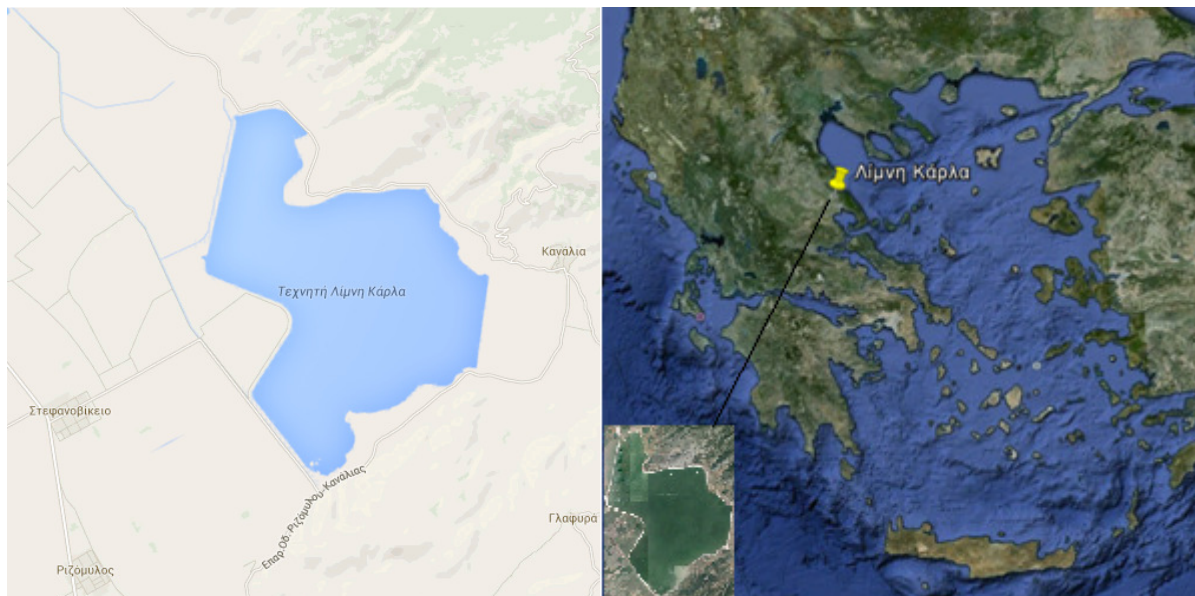
Κατά τους προϊστορικούς χρόνους οι διακυμάνσεις στη στάθμη της λίμνης ήταν έντονες. Αρχικά η λίμνη είχε μέγεθος 180-195 χιλιάδες στρέμματα και βάθος 4-6 μέτρα (2μέτρα το 1950-5). Η πρώτη οριοθέτηση του ανώτερου (48,50μ.) και του κατώτερου (47,30μ.) υψομέτρου πραγματοποιήθηκε το 1938-9 με το Νόμο 5800/33, ενώ τα επόμενα χρόνια, μέσω της κατασκευής αντιπλημμυρικών αναχωμάτων στο ποταμό Πηνειό η έκταση της λίμνης περιορίστηκε περαιτέρω.

<sup>2</sup> [http://www.ecodonet.gr/pollutants\\_greek\\_1.4.php](http://www.ecodonet.gr/pollutants_greek_1.4.php)

<sup>3</sup> <http://www.tovima.gr/relatedarticles/article/?aid=114215&ct=75&dt=12/09/1999>



Η ολοκληρωτική αποξήρανσή της πραγματοποιήθηκε το 1962 ως μέρος σχεδίου με στόχο την αντιμετώπιση των πλημμυρών που προκαλούνταν στις γύρω περιοχές, τη δημιουργία νέων γεωργικών εκτάσεων και τη μείωση της έντονης παρουσίας εντόμων και κατ' επέκταση των κρουσμάτων ελονοσίας, λόγω της ύπαρξης των βαλτωδών εκτάσεων.



**Εικόνα 2.1:** Η θέση της λίμνης στον ελλαδικό χώρο (Πηγή: *Wikipedia, Google Earth*)

Ωστόσο, μετά την ολοκλήρωση της αποξήρανσης παρατηρήθηκαν έντονες επιπτώσεις στο οικοσύστημα, οι οποίες ήταν σοβαρότερες από τα οφέλη του έργου και αποτέλεσαν απόρροια της μη ορθής ολοκλήρωσής του, η οποία προϋπέθετε κατασκευή ταμιευτήρα 64.700 στρεμμάτων. Όπως σημειώνεται από τον Φορέα Διαχείρισης της λίμνης, ανάμεσα στις ποικίλες επιπτώσεις συγκαταλέγονται η πτώση της υπόγειας υδροφορίας, η εισχώρηση του θαλάσσιου μετώπου στον ευρύτερο χώρο της περιοχής της λίμνης, η εμφάνιση ρύπανσης και φυτοπλαγκτόν στο κλειστό Παγασητικό κόλπο, η δημιουργία ρηγμάτων, η αποξήρανση πηγών και γεωτρήσεων, η αδυναμία υδροδότησης των γύρω οικισμών καθώς και οι επιπτώσεις στη πανίδα, τη χλωρίδα και το μικροκλίμα της περιοχής. Επιπλέον, ακόμα και οι καλλιεργήσιμες εκτάσεις που προέκυψαν δεν ευνοούσαν τη καλλιέργεια λόγω διαφόρων προβλημάτων (πλημμύρες, παρουσία αλάτων στα εδάφη κτλ.)

Λόγω των παραπάνω, κρίθηκε αναγκαία η αναδημιουργία της λίμνης, συγκεκριμένα ενός ταμιευτήρα 42.000 στρεμμάτων και έτσι, από το Δεκέμβριο του 2010 άρχισε η άντληση

νερού από το ποταμό Πηνειό. Αναμένεται πως, όταν τεθούν σε πλήρη λειτουργία τα πέντε αντλιοστάσια του Πηνειού, η λίμνη θα τροφοδοτείται με 14 m<sup>2</sup> νερό/s.

Όσον αφορά τη πανίδα και τη χλωρίδα της περιοχής, σύμφωνα με στοιχεία του ΥΠΕΧΩΔΕ (νυν ΥΠΕΚΑ), η λίμνη είχε πλούσια υδρόβια βλάστηση ενώ ζούσαν εκεί 430.000 πουλιά 143 καταγεγραμμένων ειδών, από τα οποία τα 55 τουλάχιστον θεωρούνται σήμερα προστατευόμενα. Παράλληλα, η λίμνη ήταν από τις πλουσιότερες σε ιχθυοπανίδα. Ακόμα και μετά τις καταστροφικές επεμβάσεις, η βιοποικιλότητά της παραμένει υψηλή με πολλά είδη πανίδας και χλωρίδας να παραμένουν στη περιοχή (75 είδη ορνιθοπανίδας, 106 μεταναστευτικά είδη, 6 είδη αμφιβίων και ερπετών, θηλαστικά, ψάρια).

Για τη προστασία, τη διατήρηση και τη διαχείριση της φύσης και του τοπίου της περιοχής ως πολύτιμου εθνικού φυσικού αγαθού, συστήθηκε το 2003 ο Φορέας Διαχείρισης Οικοανάπτυξης Κάρλας-Μαυροβουνίου-Κεφαλόβρυσου-Βελεστίνου (Π.Ο.Κα.Μα.Κε.Βε), ο οποίος αποτελεί Νομικό Πρόσωπο Ιδιωτικού Δικαίου. Στη περιοχή που βρισκόταν υπό τη δικαιοδοσία του και είναι έκτασης 1.218 τετ. χιλ. περιλαμβάνονταν οι περιοχές του Μαυροβούνιου Όρους στα ανατολικά, μέρος του όρους Όσσας στα βόρεια, τμήμα του ανατολικού κάμπου της Θεσσαλίας στα δυτικά και τμήματα των ορέων Χαλκοδόνιου και Πηλίου στα νότια. Περιλαμβάνει χερσαίες, υδάτινες και θαλάσσιες εκτάσεις.

Ο Φορέας πραγματοποιούσε σε τακτά χρονικά διαστήματα δειγματοληψίες στη περιοχή της λίμνης Κάρλας, ωστόσο από τον Ιούλιο του 2013 και καθώς ανακηρύχθηκε ανάδοχος στη περιοχή ο οποίος εφαρμόζει την Οδηγία 2000/60, οι δειγματοληψίες του Φορέα προσωρινά σταμάτησαν. (Πηγή: Φορέας Διαχείρισης Π.Ο.Κα.Μα.Κε.Βε<sup>4</sup>)

### **2.3. Βασικές ποιοτικές παράμετροι**

Σε αυτό το κεφάλαιο, παρατίθενται οι βασικές παράμετροι για τις οποίες πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις από το φορέα διαχείρισης Π.Ο.Κα.Μα.Κε.Βε. Εν συνέχεια, έγινε η προσπάθεια εφαρμογής των τηλεποκοπικών δεικτών. Για την εκάστοτε παράμετρο αναφέρονται κάποια βασικά χαρακτηριστικά, καθώς και οι επιθυμητές

---

<sup>4</sup> <http://www.fdkarlas.gr/History.aspx>

συγκεντρώσεις τους προκειμένου οι υδάτινοι αποδέκτες να έχουν ικανοποιητική τροφική κατάσταση για τη διατήρηση ζωής.

### **Χλωροφύλλη-α (chlorophyll-a, chl-a)**

Η χλωροφύλλη-α ανήκει στις βιολογικές παραμέτρους του νερού και αποτελεί χρωστική ουσία απαραίτητη για τους περισσότερους φωτοσυνθετικούς οργανισμούς προκειμένου να απελευθερώσουν χημική ενέργεια, ωστόσο δεν αποτελεί τη μοναδική ουσία που χρησιμοποιείται για το σκοπό αυτό. Η συγκέντρωσή της στα επιφανειακά ύδατα δίνει μία προσέγγιση της συγκέντρωσης των αλγών και των κυανοβακτηρίων. Είναι κυανοπράσινη και μπορεί να βρεθεί και σε πολύ μικρές ποσότητες και στα πράσινα βακτήρια του θείου. Η μοριακή δομή της αποτελείται από ένα δακτύλιο αζώτου (N) με ένα άτομο μαγνησίου (Mg) στο κέντρο, πλευρικές αλυσίδες και μία ουρά από υδρογονάνθρακα. (Κουσσούρης, 2000)

Σύμφωνα με τους (Hunter, et al., 2008), η χλωροφύλλη a, στην in vivo μορφή της, παρουσιάζει δύο μέγιστα απορρόφησης που τοποθετούνται στα 433nm (μπλε τμήμα) του φάσματος και στα 686 nm (κόκκινο τμήμα) του φάσματος. Στο τμήμα περί τα 670-690nm η chl-a συχνά δίνει μία ιδιαίτερη μορφή στη φασματική υπογραφή των υδάτων Τύπου II<sup>5</sup>, γεγονός που επιτρέπει και την ανάκτησή της μέσω ψηφιακής τηλεπισκόπησης (*“the latter maxima can often be seen to form a prominent feature in the spectral signatures of CASE II inland waters”*). Η συγκέντρωση της chl-a αποτελεί έναν καλό δείκτη περιγραφής της βιοπαραγωγής και μπορεί να σχετίζεται γραμμικά με τη βιομάζα, την ηλικία των κοινοτήτων άλγης, τη τροφοδοσία των κυττάρων σε θρεπτικά συστατικά κτλ. (Thiemann, et al., 2000). Τα χαρακτηριστικά απορρόφησης για τη χλωροφύλλη b και c είναι

---

<sup>5</sup> Τα ύδατα τύπου I (*Case I waters*) ορίζονται ως ύδατα των οποίων οι οπτικές ιδιότητες ελέγχονται από το φυτοπλαγκτόν και τα συσχετιζόμενα με αυτό υλικά (πχ. βακτήρια, οργανική ύλη κτλ.). Γι' αυτό το λόγο η ανάκτηση της συγκέντρωσης των παραμέτρων αυτών γίνεται εύκολα. Στα ύδατα Τύπου II (*Case II waters*) αντιθέτως, κυρίαρχη είναι η παρουσία των ανόργανων σωματιδίων (inorganic particles). Και στις δύο περιπτώσεις η διαλυμένη κίτρινη ουσία (*dissolved yellow substance*) είναι παρούσα σε ποικίλες ποσότητες. Μία ιδανική περίπτωση υδάτων Τύπου I θα ήταν μία αμιγής καλλιέργεια φυτοπλαγκτόν ενώ μία ιδανική περίπτωση Τύπου II, εναιωρήματα μη ζωντανών υλικών με μηδενική παρουσία χρωστικών. Οι ιδανικές περιπτώσεις ωστόσο δεν απαντώνται στη φύση. (Morel and Prieur, 1977)

παρόμοια με αυτά της χλωροφύλλης α, με ελαφρές διαφορές ωστόσο στη θέση των σημείων μέγιστης απορρόφησης.

### **Θερμοκρασία (Temperature, T)**

Αποτελεί σημαντική φυσική παράμετρο καθώς επηρεάζει τις φυσικοχημικές, βιοχημικές και βιολογικές διαδικασίες. Οι τιμές και οι διακυμάνσεις της εξαρτώνται από τη κλιματική ζώνη, την προέλευση του νερού, την εποχή, τη τοποθεσία αναφοράς, το βαθμό της παρόχθιας βλάστησης, τις εισόδους ανθρωπογενών ροών διαφορετικής θερμοκρασίας κτλ. Αύξησή της οδηγεί σε μείωση της ποσότητας διαλυμένου οξυγόνου (*DO*), αύξηση του βιοχημικά απαιτούμενου οξυγόνου (*BOD*), επιτάχυνση των χημικών αντιδράσεων, αλλαγές στο μεταβολικό ρυθμό και στις άλλες ζωτικές λειτουργίες των υδρόβιων οργανισμών και αύξηση της τοξικότητας πολλών ουσιών (Πηγή: *EcoDo-Net*<sup>6</sup>). Επιπλέον, η θερμοκρασία επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό την ανάπτυξη μικροοργανισμών, καθώς η βέλτιστη θερμοκρασία μέσα στην οποία αναπτύσσεται ένας οργανισμός, αλλά και οι μεταβολές της θερμοκρασίας στις οποίες μπορεί να ανταπεξέλθει, καθορίζουν εάν τελικά θα επιβιώσει και τι ρόλο θα παίξει στο παρόν οικοσύστημα. (Κουσουόρης, 2000). Η πιο επιθυμητή θερμοκρασία του νερού κυμαίνεται στους 4-10 °C.

Για την εκτίμηση των τιμών της θερμοκρασίας στη παρούσα χρονική περίοδο μεγάλο ρόλο μπορεί να παίξει ο αισθητήρας TIRS (*Thermal Infrared Sensor*) του Landsat 8.

### **Διαλυμένο Οξυγόνο (Dissolved Oxygen, DO)**

Αποτελεί μία από τις σημαντικότερες φυσικοχημικές παραμέτρους της ποιότητας των υδάτων. Χρησιμοποιείται από τους περισσότερους οργανισμούς για την αναπνοή και την οξείδωση των οργανικών ουσιών. Το νερό οξυγονώνεται κυρίως από την ατμόσφαιρα, μέσω του φαινομένου της διάχυσης, και δευτερευόντως χάρη στη φωτοσύνθεση των υδρόβιων φυτικών οργανισμών. Η μέγιστη συγκέντρωση (κορεσμός) του διαλυμένου οξυγόνου, η οποία επηρεάζεται από τη θερμοκρασία, την αλατότητα και τη πίεση, είναι της τάξης των 8-15mg/L, ενώ η ελάχιστη ποσότητα *DO* που είναι απαραίτητη για την επιβίωση ενός υγιούς πληθυσμού ψαριών είναι της τάξης των 5-8mg/L, σε κάποιες

---

<sup>6</sup> [http://www.ecodonet.gr/water\\_temperature\\_greek.php](http://www.ecodonet.gr/water_temperature_greek.php)

περιπτώσεις δε φτάνει και τα 3mg/L. Έλλειψη οξυγόνου οδηγεί σε αφανισμό τους ανώτερους αερόβιους οργανισμούς (π.χ. ψάρια) και επιτρέπει μόνο την επιβίωση σε ορισμένα είδη βακτηρίων. (Πηγή: *EcoDo-Net*<sup>7</sup>).

## pH

Φυσικοχημική παράμετρος που εκφράζει τον αρνητικό δεκαδικό λογάριθμο των ιόντων υδρογόνου, πιο συγκεκριμένα των κατιόντων υδροξωνίου ( $H_3O^+$ ) σε ένα διάλυμα. Οι συνήθεις τιμές του pH για τα περισσότερα υδάτινα σώματα είναι της τάξης των 4-9 μονάδων. Οι κυριότεροι παράγοντες που επηρεάζουν την οξύτητα είναι η θερμοκρασία, η αλατότητα, οι συγκεντρώσεις του διοξειδίου του άνθρακα ( $CO_2$ ), του οξυγόνου ( $O_2$ ), οι μεταβολικές δραστηριότητες των οργανισμών κτλ. Όταν οι τιμές του pH είναι μικρότερες του 5 τότε κυριαρχεί στα ύδατα το  $CO_2$ , οι τιμές 6.5-8.5 είναι συνήθως ακίνδυνες για τους υδρόβιους οργανισμούς, στις 7-9 μονάδες κυριαρχούν τα όξινα ανθρακικά ιόντα ( $HCO_3^-$ ), ενώ, τέλος, στις τιμές μεγαλύτερες του 9.5 υπερέχουν τα διττανθρακικά ιόντα ( $CO_3^{2-}$ ). Καθώς οι περισσότεροι υδρόβιοι οργανισμοί επιβιώνουν σε σχετικά μικρό εύρος τιμών pH, η παράμετρος αυτή αποτελεί ένδειξη ύπαρξης ζωής. (Πηγή: *EcoDo-net*<sup>8</sup>)

## Αγωγιμότητα (Conductivity, Conduct)

Φυσικοχημική παράμετρος που εκφράζει την ικανότητα του υδάτινου σώματος να επιτρέπει τη διέλευση του ηλεκτρικού ρεύματος, ενώ αποδίδει τη συνολική περιεκτικότητα του νερού σε ανόργανα άλατα. Οι τιμές της επηρεάζονται τόσο από τη συγκέντρωση των ιόντων, τη κινητικότητά τους και το φορτίο τους, όσο και από τη θερμοκρασία των υδάτων. Μετριέται σε  $\mu S/cm$  και οι συνήθεις τιμές είναι <1500. (Πηγή: *EcoDo-net*<sup>9</sup>)

## Ολικός Φώσφορος (Total phosphorus, TP)

Αποτελεί χημική ανόργανη παράμετρο, βρίσκεται στο νερό κυρίως με τη μορφή φωσφορικών ιόντων και αποτελεί ένα από τα βασικά θρεπτικά συστατικά των ζωικών και

<sup>7</sup> [http://www.ecodonet.gr/dissolved\\_oxygen\\_greek.php](http://www.ecodonet.gr/dissolved_oxygen_greek.php)

<sup>8</sup> [http://www.ecodonet.gr/ph\\_greek.php](http://www.ecodonet.gr/ph_greek.php)

<sup>9</sup> [http://www.ecodonet.gr/conductivity\\_greek.php](http://www.ecodonet.gr/conductivity_greek.php)

των φυτικών οργανισμών. Ολικός φώσφορος καλείται το σύνολο του οργανικού και του ανόργανου, διαλυμένου και σωματιδιακού φωσφόρου. Καθόσον αποτελεί συνήθως περιοριστικό παράγοντα της πρωτογενούς παραγωγής, είναι υψίστης σημασίας για την αποκατάσταση της οικολογικής ισορροπίας μιας λίμνης. Διαλύεται σχετικά δύσκολα στο νερό ενώ οι ενώσεις του με άλλα στοιχεία προκαλούν καθίζησή του. Στα περισσότερα φυσικά νερά οι συγκεντρώσεις του είναι της τάξης των 10-50μg/l, στα μη παραγωγικά ολιγοτροφικά οι συγκεντρώσεις αυτές μπορεί να είναι μικρότερες των 5 μg/l, ενώ σε ευτροφικές λίμνες μπορεί να ξεπερνούν τα 100 μg/l. Επηρεάζεται από τη θερμοκρασία (μιας και υψηλές θερμοκρασίες αυξάνουν τους ρυθμούς αποικοδόμησης των οργανικών ουσιών επομένως και την απελευθέρωση φωσφόρου), το pH (σχετίζεται με την επαναιώρηση του φωσφόρου του πυθμένα), τα νιτρικά και τα νιτρώδη ιόντα (αύξησή τους μειώνει το ρυθμό απελευθέρωσής του από τον πυθμένα εξαιτίας της οξειδωτικής τους δράσης) και τη παρουσία υδρόβιας μακροφυτικής βλάστησης. Οι επιφανειακές απορροές, τα λιπάσματα, τα κτηνοτροφικά και τα βιομηχανικά απόβλητα αποτελούν εξωτερικές πηγές φωσφόρου και έχουν αυξήσει κατά πολύ τη συγκέντρωσή του σε διάφορες περιοχές. (Πηγή: ΚΠΕ Καστοριάς<sup>10</sup>)

### **Νιτρικά Ιόντα (NO<sub>3</sub><sup>-1</sup>)**

Είναι χημική ανόργανη παράμετρος, αποτελούν μία από τις μορφές που παίρνει το άζωτο σε υδάτινο περιβάλλον. Συγκεκριμένα, βακτήρια οξειδώνουν τα αμμωνιακά και νιτρώδη άλατα σε νιτρικά (βακτηριακή νιτροποίηση). Σημαντικό ρόλο στη διαδικασία αυτή παίζει το pH, το διαλυμένο οξυγόνο, η θερμοκρασία κτλ. Τα νιτρικά ιόντα αποτελούν θρεπτικά στοιχεία του φυτοπλαγκτόν και, παρά τη θεώρηση ότι συγκεντρώσεις νιτρικών μικρότερες των 0.5mg/l δεν προκαλούν αρνητικές επιδράσεις στα ψάρια, τα ιόντα αυτά πρέπει να είναι όσο το δυνατόν λιγότερα στα επιφανειακά ύδατα. (Πηγή: ΚΠΕ Καστοριάς<sup>10</sup>)

### **Αμμώνιο (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>)**

Χημική ανόργανη παράμετρος, αποτελεί, μαζί με τα νιτρικά ιόντα, μία από τις μορφές που παίρνει το άζωτο σε υδάτινο περιβάλλον. Αποτελεί τοξικό απόβλητο του μεταβολισμού των ζώων. Στα ψάρια και τα υδρόβια ασπόνδυλα αποβάλλεται απευθείας

---

<sup>10</sup> <http://kpe-kastor.kas.sch.gr/limnology/limnology/nutrients.htm>

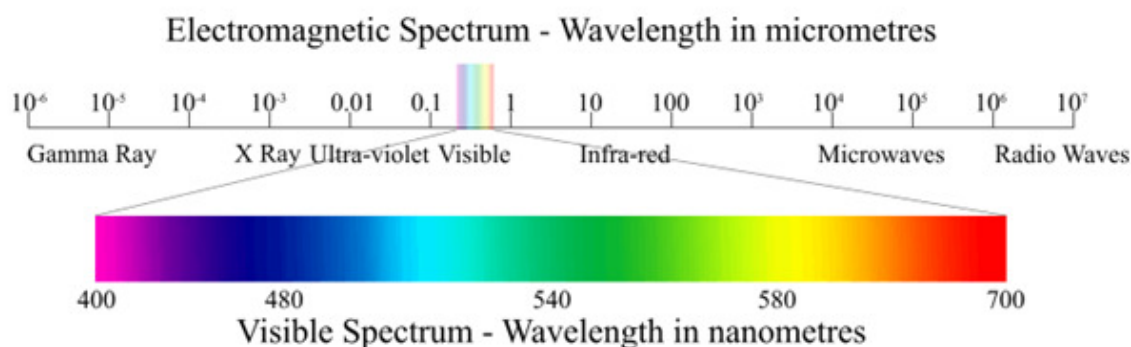


στο νερό. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι για το πόσιμο νερό η ανώτατη επιτρεπόμενη τιμή του είναι τα 0.50 mg/l, σύμφωνα με τη κοινοτική οδηγία 98/83. (Πηγή: ΚΠΕ Καστοριάς<sup>10</sup>, ΕΚΠΑ, Τμήμα Χημείας<sup>11</sup>.)

Ενώ οι περισσότερες ερευνητικές εργασίες έχουν ως αντικείμενο τη μελέτη της chl-a, τη διαύγεια, τη θολότητα των υδάτων και τη θερμοκρασία, ελάχιστες επικεντρώνονται στις υπόλοιπες παραμέτρους. Σε αυτή την εργασία λοιπόν, έγινε προσπάθεια διερεύνησης με αντίστοιχους συνδυασμούς καναλιών των υπόλοιπων φυσικοχημικών παραμέτρων για τους οποίους υπήρχαν διαθέσιμες μετρήσεις από το φορέα Π.Ο.Κα.Μα.Κε.Βε.

## 2.4. Η επιστήμη της Τηλεπισκόπησης

Σύμφωνα με τον Δ. Π. Αργιολά, (1999) : «Τηλεπισκόπηση είναι η επιστήμη και η τέχνη της απόκτησης πληροφοριών για ένα αντικείμενο, μια περιοχή ή ένα φαινόμενο δια μέσου της ανάλυσης δεδομένων, τα οποία έχουν αποκτηθεί από μία συσκευή, η οποία δεν είναι σε επαφή με το υπό έρευνα αντικείμενο, περιοχή ή φαινόμενο». Αποτελείται από τρία μέρη: (1) τους στόχους, (2) τη συλλογή των δεδομένων και (3) την ανάλυση και ερμηνεία των δεδομένων (Καπαγερίδης, 2010).



Εικόνα 2.2: Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα. (Πηγή: Natural Environment Research Council (NERC) Earth Observation Data Acquisition and Analysis Service (NEODAAS))

Η Τηλεπισκόπηση βρίσκει εφαρμογή σε διάφορους επιστημονικούς κλάδους όπως είναι η μετεωρολογία, η χωροταξία, η βιολογία, η γεωλογία κτλ. Η λειτουργία της βασίζεται στο

<sup>11</sup> <http://www.chem.uoa.gr/>

γεγονός ότι διαφορετικά αντικείμενα και στοιχεία έχουν «χαρακτηριστικές φασματικές υπογραφές», εκπέμπουν δηλαδή διαφορετικά στο φάσμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, ανάλογα με τα χαρακτηριστικά τους, γεγονός που επιτρέπει τη μελέτη τους.

Τα συστήματα τηλεπισκόπησης διαχωρίζονται σε δύο κατηγορίες, τα παθητικά συστήματα, τα οποία ανιχνεύουν την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία η οποία προέρχεται από κάποια φυσική πηγή, συνήθως τον Ήλιο, (πχ, φασματοραδιόμετρο) και τα ενεργητικά συστήματα τα οποία προσλαμβάνουν την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία την οποία οι ίδιοι έχουν εκπέμψει (πχ. *Radar*).

## 2.5. Το πρόγραμμα Landsat

Αποτελεί τη, μέχρι στιγμής, μακροβιότερη επιχείρηση απόκτησης δορυφορικών εικόνων. Πρόκειται για μία σειρά δορυφόρων κινούμενων σε τροχιά γύρω από τη γη και των οποίων η λειτουργία βρίσκεται υπό την διαχείριση της NASA και της Γεωλογικής Υπηρεσίας των ΗΠΑ (*U.S. Geological Survey*). Το πρόγραμμα ξεκίνησε το 1972, με την εκτόξευση του πρώτου δορυφόρου, ωστόσο η έναρξη της σχεδίασης και της κατασκευής των τριών πρώτων πολυφασματικών σαρωτών, που αργότερα θα τοποθετούνταν στους δορυφόρους, έγινε το 1969.

Μέχρι στιγμής οι δορυφόροι του προγράμματος που έχουν εκτοξευτεί είναι οι: Landsat 1 (1972-1978), Landsat 2 (1975-1981), Landsat 3 (1978-1983), Landsat 4 (1982-1993), Landsat 5 (1984-2013), Landsat 6 (1993, απέτυχε να τεθεί σε τροχιά), Landsat 7 (1999, είναι ακόμα λειτουργικός ωστόσο παρουσιάζει προβλήματα το scan line corrector), Landsat 8-Landsat Data Continuity Mission (2013,-)

Μέσω του προγράμματος αυτού, οι επιστήμονες είναι σε θέση να μελετήσουν πολλές πτυχές του πλανήτη και να αξιολογήσουν τις δυναμικές αλλαγές που προκαλούνται τόσο από φυσικά όσο και από ανθρωπογενή αίτια.

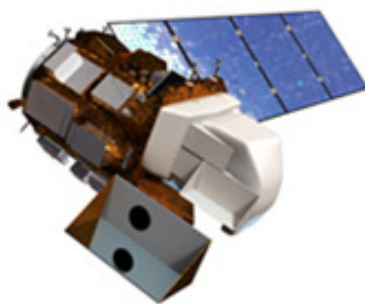


### 2.5.1. Το πρόγραμμα Landsat 8

Ο Landsat 8 εκτοξεύτηκε στις 11 Φεβρουαρίου 2013 και το προσδόκιμο ζωής του είναι τουλάχιστον τα 5 χρόνια. Όπως και στη περίπτωση του Landsat 7, η τροχιά του είναι γεωσύγχρονη, κινείται δηλαδή με την ταχύτητα περιστροφής της γης, βρίσκεται σε ύψος περίπου 705 km, καλύπτει ολόκληρη την υδρόγειο κάθε 16 μέρες ενώ το σύστημα αναφοράς στο οποίο αποδίδονται τα δεδομένα είναι το *Worldwide Reference System-2* (WRS-2). Διαθέτει 2 αισθητήρες (εικ. 2.3), τον *Operation Land Imager (OLI)* και τον *Thermal Infrared Scanner (TIRS)*.

Τα προϊόντα του Landsat 8 αποτελούνται από κβαντισμένους και βαθμονομημένους ψηφιακούς αριθμούς (*Digital Numbers-DN*) οι οποίοι αντιπροσωπεύουν πολυφασματικά δεδομένα εικόνας τα οποία αποκτήθηκαν από τους αισθητήρες.

Όπως αναφέρεται και στην ιστοσελίδα της υπηρεσίας *USGS*, τα προϊόντα παραδίδονται ηλεκτρονικά σε μορφή θετικών ακεραίων 16δικών ψηφίων (*16bit unsigned interger*). Μέσω των συντελεστών που δίνονται στο αρχείο με τα μεταδεδομένα (*MTL file*), είναι δυνατή η περαιτέρω επεξεργασία των DN προκειμένου να δώσουν την ανακλαστικότητα (*reflectance*) και την ακτινοβολία (*radiance*) στην κορυφή της ατμόσφαιρας (*Top of Atmosphere-ToA*), την ανακλαστικότητα στην επιφάνεια του εδάφους, έπειτα από επεξεργασία με κατάλληλο πρόγραμμα, και τέλος, τη θερμοκρασία.



Εικόνα 2.3: Ο Landsat 8 με ευδιάκριτους τους δύο αισθητήρες. (Πηγή: [landsat.usgs.gov](http://landsat.usgs.gov))

Ο OLI περιέχει 9 φασματικά κανάλια, συμπεριλαμβανομένου και του πανχρωματικού διακριτικής ικανότητας 30 και 15 μέτρων αντίστοιχα. Ο TIRS αποτελείται από 2 θερμικά φασματικά κανάλια και ένα «τυφλό» το οποίο δεν λαμβάνει εικόνες της γης αλλά

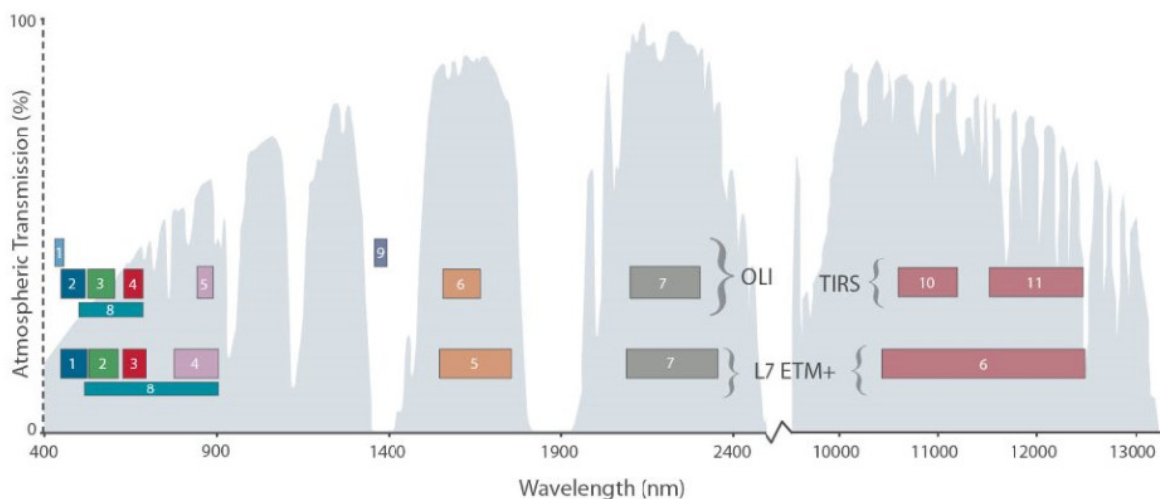
χρησιμοποιείται για βαθμονόμηση. Τα δεδομένα συλλέγονται στα 100m ωστόσο ανασυντίθενται στα 30m για να ταιριάζουν με τα δεδομένα του OLI.

**Πίνακας 2.1: Τα κανάλια του OLI. (Πηγή: NASA)**

Κανάλι	Θέση στο φάσμα (μm)	Διακριτική ικανότητα (m)
1	Coastal aerosol (0.43-0.45)	30
2	Ορατό (0.45-0.51)	30
3	Ορατό (0.53-0.59)	30
4	Ορατό (0.64-0.67)	30
5	Εγγύς Υπέρυθρο (0.85-0.88)	30
6	Μικρού μήκους κύματος υπέρυθρο 1 (1.57-1.65)	30
7	Μικρού μήκους κύματος υπέρυθρο 2 (2.11-2.29)	30
8	Πανχρωματικό PAN (0.50-0.68)	15
9	Cirrus (1.36-1.38)	30

**Πίνακας 2.2: Τα κανάλια του TIRS. (Πηγή: NASA)**

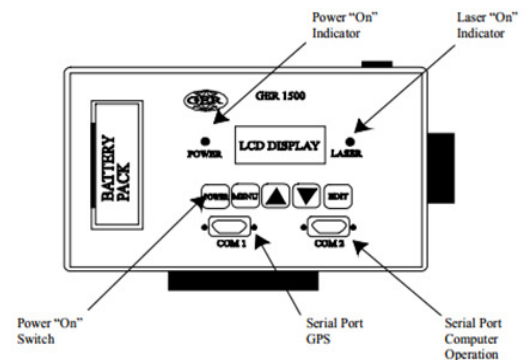
Κανάλι	Θέση στο φάσμα (μm)	Διακριτική ικανότητα (m)
10	Θερμικό Υπέρυθρο 1 (10.6-11.19)	100
11	Θερμικό Υπέρυθρο 2 (11.5-12.51)	100



**Εικόνα 2.4: Αντιστοχία ανάμεσα στα κανάλια των δορυφόρων Landsat 7 και 8. (Πηγή: NASA)**

## 2.6. Φασματογράφος Χειρός

Το όργανο με το οποίο έγιναν οι μετρήσεις είναι το φασματοραδιόμετρο GER1500 (εικ. 2.5) της SpectraVista, USA. Χρησιμοποιείται για την απόκτηση δεδομένων στο ορατό και εγγός υπέρυθρο τμήμα του φάσματος (visible, near-infrared). Έχει οπτικό φάσμα από 281.33nm έως 1093.92nm, 512 φασματικά κανάλια και δυνατότητα αποθήκευσης 470 σκαναρισμάτων. Το εύρος του κάθε καναλιού είναι περίπου 1.58nm. Ο χρόνος σάρωσης μπορεί να μεταβληθεί από 5ms και άνω, η μπαταρία του διαρκεί μέχρι και τέσσερις ώρες ενώ διαθέτει ακτίνα λέιζερ για καλύτερη σκόπευση των δεδομένων. Το μενού και οι λειτουργίες διαχείρισης των δεδομένων του είναι σχετικά απλές γεγονός που το καθιστά αρκετά εύχρηστο. Συνδέεται με GPS χειρός, επομένως τα τελικά δεδομένα μετρήσεων διαθέτουν εκτός από φασματική και χωρική πληροφορία. Παρέχει τις τιμές ακτινοβολίας των υπό μέτρηση αντικειμένων (*radiance*), ενώ υπολογίζει και τιμές ανακλαστικότητας (*reflectance*) έπειτα από αναγωγή των πρώτων τιμών με τις αντίστοιχες καταγραφές αναφοράς (*reference*) όπως έχουν προκύψει από μέτρηση ειδικής Λαμπερτιανής επιφάνειας (προσομοίωση ιδανικής επιφάνειας τα σημεία της οποίας διαχέουν ομοιόμορφα την προσπίπτουσα ένταση προς όλες τις κατευθύνσεις). (Πηγή: *medialab.ntua*<sup>12</sup>)



Εικόνα 2.5: GER1500 (Πηγή: *spectravista.com*)

<sup>12</sup> [http://www.medialab.ntua.gr/education/ComputerGraphics/OpenGL\\_Lectures/07-Chapter6.pdf](http://www.medialab.ntua.gr/education/ComputerGraphics/OpenGL_Lectures/07-Chapter6.pdf)

# 3.

## Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

Η Δορυφορική Τηλεπισκόπηση έχει χρησιμοποιηθεί σε πολλές εφαρμογές εκτίμησης ποιότητας νερού σε διεθνές επίπεδο. Οι εφαρμογές αυτές αφορούν από τη μία πλευρά όλο το εύρος των ειδών του νερού, αλμυρού, γλυκού ή υφάλμυρου, και από την άλλη διάφορα είδη ταμιευτήρων, από λίμνες, ποτάμια και φράγματα μέχρι θαλάσσια και ωκεάνια τμήματα. Λόγω της οπτικής πολυπλοκότητας του νερού ωστόσο, δεν είναι δυνατόν, ακόμα τουλάχιστον, να δημιουργηθεί ένας αλγόριθμος καθολικής χρήσης, ωστόσο οι έρευνες στο τομέα αυτό συνεχίζονται (*Carder et al. 1989, Bukata et al. 1985*).

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 (ένδειξη για το φαινόμενο του ευτροφισμού) και η διαύγεια των υδάτων. Όπως φαίνεται και στη συνέχεια, στις περισσότερες περιπτώσεις, οι δύο αυτές παράμετροι μελετώνται παράλληλα.

### 3.1. Υπερφασματικά Δεδομένα

Πολλές είναι οι ερευνητικές εργασίες οι οποίες επικεντρώνονται στη μελέτη της εκτίμησης ποιότητας των υδάτων με χρήση υπερφασματικών δεδομένων λόγω του μικρού εύρους των καναλιών και της ευαισθησίας των δεικτών στις μεταβολές των παραμέτρων.

Στο σύγγραμμα «*Airborne hyperspectral remote sensing to assess spatial distribution of water quality*», οι *Olmanson, et al., (2012)*, αναφέρουν πως οι λόγοι της μέγιστης σκέδασης (η οποία εμφανίζεται περίπου στα 700 nm), με τις ελάχιστες τιμές ανακλαστικότητας (που εμφανίζονται στα 670nm, εξαιτίας της απορρόφησης από τη χλωροφύλλη, και στα 592 και 620nm, λόγω της απορρόφησης από άλλες φυτικές χρωστικές ουσίες), μπορούν να καταδείξουν με ικανοποιητική ακρίβεια τη συγκέντρωση των παραμέτρων που σχετίζονται με το φυτοπλαγκτόν, δηλαδή των πτητικών αιωρούμενων στερεών (*volatile suspended solids-VSS*) και της χλωροφύλλης-α. Επιπλέον, η σκέδαση στα 700nm υποδεικνύει με ικανοποιητική ακρίβεια μεταβλητές σχετικές με τη διαύγεια του νερού, όπως είναι τα ολικά αιωρούμενα στερεά (*Total Suspended Matter, TSS*) και η θολότητα (*turbidity, turbidity Tube, T-tube*). Οι συσχετίσεις που σημειώθηκαν κυμαίνονταν από 0.73-0.93. {1}

Οι *Moses et al., (2012)*, αναφέρουν, όπως προκύπτει και από πλειάδα άλλων μελετών, ότι οι αλγόριθμοι που χρησιμοποιούν τις τιμές της ανακλαστικότητας οι οποίες καταγράφονται στο κόκκινο κι εγγύς υπέρυθρο τμήμα του φάσματος δίνουν καλύτερα αποτελέσματα για θολά παραγωγικά ύδατα (*turbid productive waters*), λόγω της χαμηλής απορρόφησης της ακτινοβολίας από τα αιωρούμενα στερεά και το CDOM (*Colored Dissolved Organic Matter*). Παράλληλα, οι αλγόριθμοι αυτοί επωφελούνται από το τοπικό ελάχιστο της τιμής της ανακλαστικότητας κοντά στα 670nm εξαιτίας της απορρόφησης της από τη chl-a, και το τοπικό μέγιστο κοντά στα 700 nm (όπως επιβεβαιώνεται και από την εικ. 3.1 των *Senay, et al., 2001*), ως αποτέλεσμα του συνδυασμού της φθίνουσας απορρόφησης από τη chl-a και της αύξουσας απορρόφησης από το νερό.

Τα μοντέλα που εφαρμόστηκαν από τους μελετητές προέρχονται από τους *Dall' Olmo* και *Gitelson (2005)*. Στο παρελθόν έχουν δώσει ικανοποιητικά αποτελέσματα σε υδάτινα σώματα με ποικίλα βιογεωλογικοχημικά χαρακτηριστικά και κάνουν χρήση τριών και δύο καναλιών αντιστοίχως. Πρόκειται για τους ημι-αναλυτικούς δείκτες:

$$\text{Chl-a} \propto (R_{\lambda_1}^{-1} - R_{\lambda_2}^{-1}) \times R_{\lambda_3} \quad (1)$$

και

$$\text{Chl-a} \propto R_{\lambda_1}^{-1} \times R_{\lambda_2} \quad (2)$$

όπου  $R_{\lambda_i}$  η τιμή της ανακλαστικότητας στα  $\lambda_i$  nm του φάσματος.

Ως βέλτιστα οπτικά εύρη για να εφαρμοστούν στις εξισώσεις αυτές χρησιμοποιήθηκαν τα  $\lambda_1=660-670$  nm,  $\lambda_2=700-730$  nm και  $\lambda_3=740-760$  nm (*Dall' Olmo and Giterson, 2005, Giterson et al. 2008*). Τα τελικά μήκη κύματος που επιλέχθηκαν ήταν τα εξής:  $\lambda_1=666$ ,  $\lambda_2=704$  και  $\lambda_3=723$ . {2}

Στην έρευνά τους, οι *Hunter, et al., (2010)* μελέτησαν την ανάπτυξη των πληθυσμών κυανοβακτηρίων (φωτοσυνθετικοί οργανισμοί που περιέχουν chl-a) σε δύο ρηχές, ευτροφικές λίμνες στη Μεγάλη Βρετανία, με δεδομένα που απέκτησαν από το *Compact Airborne Spectrographic Imager-2 (CASI-2)* και το "*Airborne Imaging Spectrometer for Applications*" (AISA, 400-970nm) *Eagle sensor*.

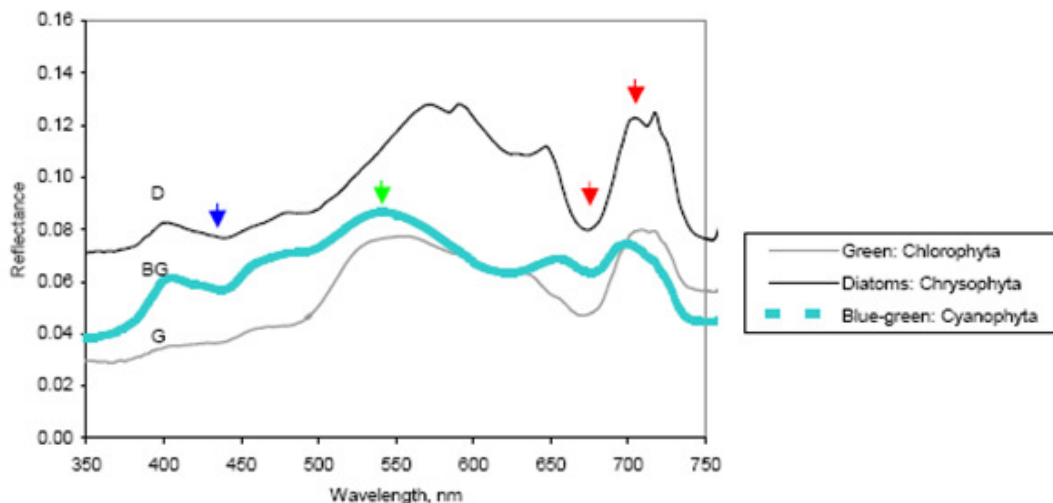
Ανάμεσα στους αλγόριθμους που μελέτησαν, ήταν και ο αλγόριθμος που εφάρμοσαν οι *Giterson et al.*, ο οποίος εξετάστηκε και προηγουμένως (1). Ωστόσο, στη παρούσα περίπτωση χρησιμοποιήθηκαν τα προτεινόμενα μήκη κύματος από τους *Hunter et al. (2008)*,  $\lambda_1=630$ ,  $\lambda_2=660$  και  $\lambda_3=750$ , τα οποία προέκυψαν από πειράματα πάνω στη φυτοκυανίνη. Αν και, όπως αναφέρεται, είναι δύσκολο να γίνει διαχωρισμός ανάμεσα στη φυτοκυανίνη, τη χλωροφύλλη-α και τη χλωροφύλλη-β με βάση την απορρόφηση από αυτά της ακτινοβολίας στα ίδια μήκη κύματος, σε περιπτώσεις που δεν τίθεται θέμα διαχωρισμού ο αλγόριθμος μπορεί να εφαρμοστεί με καλά αναμενόμενα αποτελέσματα.

Στη συνέχεια έγινε από τους ίδιους προσπάθεια βελτιστοποίησης του αλγόριθμου (1) με χρήση έτερου συνδυασμού καναλιών έπειτα από σειρά δοκιμών. Τα τελικά μήκη κύματος ήταν τα εξής:  $\lambda_1=615$ ,  $\lambda_2=600$  (εκτός του ορίου) και  $\lambda_3=725$ .

Τέλος, χρησιμοποιήθηκαν οι εμπειρικοί αλγόριθμοι  $[R_{rs}(705):R_{rs}(670)]$  και  $[R_{rs}(705):R_{rs}(620)]$  για την ανάκτηση της chl-a και της φυτοκυανίνης αντίστοιχα, καθώς και για την αξιολόγηση των ημι-αναλυτικών αλγορίθμων. Ο τελικός λόγος, ωστόσο, που συσχετίστηκε τόσο με την απόλυτη τιμή της chl-a όσο και με την λογαριθμική, ήταν ο  $[R_{rs}(710):R_{rs}(670)]$ . Σε αυτή τη περίπτωση η συσχέτιση κυμαινόταν από  $r^2=0.60-0.85$ , κατά περίπτωση. {3}

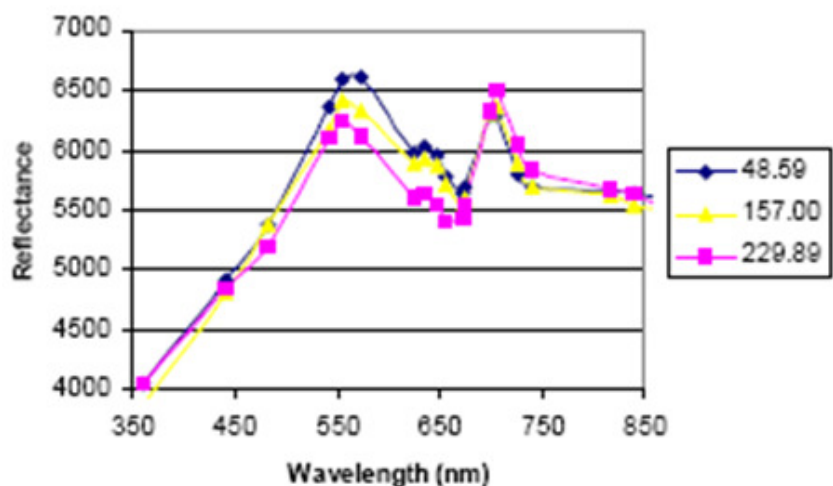
Οι *Senay, et al., (2001)* μελέτησαν τη chl-a χρησιμοποιώντας τηλεπισκοπικά δεδομένα που συγκεντρώθηκαν από το Great Miami River μέσω φασματοραδιόμετρου χειρός, του φασματόμετρου εργαστηρίου και του εναέριου υπερφασματικού δέκτη CASI. Από τη παρατήρηση των οπτικών χαρακτηριστικών των παραμέτρων ποιότητας νερού και της αξιολόγησης των καναλιών, οδηγήθηκαν στη τελική επιλογή ορισμένων προκειμένου να πετύχουν τις μεγαλύτερες συσχετίσεις.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της έρευνας, η chl-a, η οποία απαντάται σε όλες τις ομάδες άλγης, απορροφά έντονα την ακτινοβολία στα μπλε και τα κόκκινα μήκη κύματος, συγκεκριμένα σε ένα εύρος γύρω από τα 440nm και τα 672-678nm αντίστοιχα (εικ. 3.1). Αντίθετα, αντανακλά έντονα στο πράσινο τμήμα του φάσματος εξαιτίας μιας εσωτερικής διαδικασίας σκέδασης από τα κύτταρά της. Η αιχμή κοντά στα 705nm, που περιορίζεται σε μία κορυφή λόγω της αυξανόμενης απορρόφησης του νερού στο υπέρυθρο, σχετίζεται επίσης με την αύξηση της χλωροφύλλης (εικ. 3.2). Τα δεδομένα αυτά οδήγησαν τους μελετητές να χρησιμοποιήσουν τελικώς τα κανάλια 672 και 705nm για τη chl-a, με ικανοποιητικές τελικές συσχετίσεις.



**Εικόνα 3.1:** Τιμές μέγιστης και ελάχιστης απορρόφησης στο φάσμα από κοινότητα καθαρής άλγης. (Πηγή: *Senay et al. 2001*)





Εικόνα 3.2: Ανακλαστικότητα της chl-a από δεδομένα CASI. (Πηγή: Senay et al. 2001)

Όσον αφορά τη συσχέτιση μεταξύ των φασματικών υπογραφών των παραμέτρων και της διαύγειας των νερών, πραγματοποιήθηκε ανάλυση συσχετίσεων για τα κανάλια από 400 έως 880nm και η ισχυρότερη συσχέτιση εμφανίστηκε για το δείκτη  $(625-440) \cdot 705/672$  ( $r^2=0.8$ ). Παρ' όλα αυτά, οι προβλεπόμενες τιμές διαύγειας που προέκυπταν από το μοντέλο ήταν υψηλότερες από τις πραγματικές και σε μία προσπάθεια διόρθωσης των αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκαν οι πρώτες παράγωγοι (κανάλι 1 μείον κανάλι 2 προς τη διαφορά τους). Η μέγιστη συσχέτιση παραγώγου που εντοπίστηκε ήταν στα κανάλια  $(700-675)/25$ ,  $r^2=0.76$ , κάτι που οδήγησε στη χρήση των συγκεκριμένων καναλιών για τη μέτρηση της θολότητας. Η τιμή της ανακλαστικότητας όπως προέκυψε από τη παράγωγο προσαρμόζεται ικανοποιητικά στο γραμμικό μοντέλο με  $r^2=0.79$ .

Παράλληλα, στη συγκεκριμένη μελέτη, εντοπίστηκαν ισχυρές συσχετίσεις ανάμεσα στα επίγεια δεδομένα, συγκεκριμένα στη διαύγεια, τα TSS και τη χλωροφύλλη. Αρχικά, η διαύγεια συσχετίστηκε θετικά κυρίως με το TSS ( $r^2=0.76$ ) και λιγότερο με τη chl-a ( $r^2=0.37$ ), ενώ αρνητικά με το pH ( $r^2=-0.64$ ), το βάθος του δίσκου Secchi ( $r^2=-0.55$ ) και το βάθος του ποταμού ( $r^2=-0.19$ , χαμηλή συσχέτιση). Το TSS συσχετίστηκε μετρίως με τη χλωροφύλλη-α ( $r^2=0.51$ ) ενώ το διαλυμένο οξυγόνο παρουσίασε χαμηλή έως μηδαμινή συσχέτιση με τις υπόλοιπες παραμέτρους, με εξαίρεση τη χλωροφύλλη-α ( $r^2=0.44$ ), κάτι το οποίο υποδεικνύει ότι η αύξηση της συγκέντρωσης της άλγης εμπλουτίζει το νερό με διαλυμένο οξυγόνο μέσω της διαδικασίας της φωτοσύνθεσης. {4}



Οι *Dash, et al., (2011)* υλοποίησαν τη πρώτη δοκιμή χρήσης δεδομένων του δέκτη *Ocean Colour Monitor (OCM)* του δορυφόρου *Oceansat-1* προκειμένου να ποσοτικοποιήσουν τη συγκέντρωση χρωστικών των κυανοβακτηριδίων στη λίμνη γλυκού νερού *Lac des Allemands*, της Λουιζιάνα. Οι εμπειρικοί αλγόριθμοι που αναπτύχθηκαν, σχεδιάστηκαν για να μετατρέπουν την ανακλαστικότητα (*reflectance*) στα κανάλια 5 (εύρους 547-567nm, με κέντρο στα 556.4 nm) και 6 (660-680 nm, με κέντρο στα 669.0 nm) σε συγκεντρώσεις chl-a. Ο καλύτερος αλγόριθμος από αυτούς ( $r^2=0.7510$ ,  $p<0.0001$ ,  $n=72$ ) έδωσε *RMSE* της τάξης των 31.19  $\mu\text{g/L}$  και σχετικό *RMSE* 16.56% (για chl-a από 9.46-212.76  $\mu\text{g/L}$ ,  $n=48$ ). Αντίστοιχοι αλγόριθμοι κατασκευάστηκαν και για την ανάκτηση της φυκοκυανίνης (*phycocyanin- PC*) από τα κανάλια 4 (εύρους 502-522nm, με κέντρο στα 510.6) και 5.

Συγκεκριμένα, η φασματική κλίση της *PC* ορίστηκε από τον τύπο:

$$\text{Slope}[R_{rs}(556.4) : R_{rs}(510.6)] = \frac{R_{rs}(556.4) - R_{rs}(510.6)}{556.4 - 510.6},$$

Αντίστοιχα για την chl a:

$$\text{Slope}[R_{rs}(556.4) : R_{rs}(669)] = \frac{R_{rs}(556.4) - R_{rs}(669)}{|556.4 - 669|} \quad \{5\}$$

Οι *(Thiemann, et al., 2000)* χρησιμοποίησαν το δέκτη *LISS-III* του δορυφόρου *Indian Remote Sensing Satellite* και δεδομένα πεδίου προκειμένου να μελετήσουν τη τροφική κατάσταση των λιμνών της περιοχής *Mecklenburg* της Γερμανίας. Οι λίμνες, το νερό των οποίων προήλθε από λιώσιμο πάγων, έχουν διαφορετικά βάθη και τροφικές καταστάσεις. Συγκριμένα, η εξέταση της ποιότητας του νερού έγινε χρησιμοποιώντας στους αλγόριθμους το μέγιστο της απορρόφησης (*absorption*) στα 678nm και τη μέγιστη ανακλαστικότητα (*reflectance*) στα 705nm. Η απορρόφηση της chl-a στα μπλε μήκη κύματος μπορεί να υπερκαλυφθεί από την απορρόφηση των κίτρινων ουσιών (*yellow substances*, αλλιώς *CDOM*). Παρ' όλα αυτά, η εφαρμογή του παραπάνω λόγου καναλιών, τον οποίο πρότειναν οι *Gitelson-Kondratyev (1991)* και *Dekker (1993)*, δίνει ικανοποιητικές συσχετίσεις για τη chl-a. {6}

Το 2008 οι *Gons, et al.* δημιούργησαν χάρτες απεικόνισης της χλωροφύλλης-a για την ολιγοτροφική λίμνη *Superior* (στον Κόλπο *Keweenaw*) και την ευτροφική-υπερτροφική λίμνη *Michigan* (στον Κόλπο *Green*), με τη βοήθεια εικόνων του δέκτη *MERIS*. Για την ευτροφική λίμνη χρησιμοποιήθηκε ένας δείκτης που περιείχε φασματικό κανάλι της περιοχής του H/M φάσματος ανάμεσα στο κόκκινο και το εγγύς υπέρυθρο. Αντιθέτως,

για την ολιγοτροφική λίμνη χρησιμοποιήθηκε ένας εναλλακτικός δείκτης βασισμένος στο φθορισμό της chl-a που υποδεικνύεται από την αυξημένη ανακλαστικότητα της στα 680nm. Επιπλέον, σε ολιγοτροφικές λίμνες, το ύψος της γραμμής φθορισμού, όπως υπολογίστηκε από δείκτη που αξιοποιεί τα κανάλια 7, 8 και 9 του MERIS, εμφανίζει ισχυρή γραμμική σχέση με τη συγκέντρωση chl-a. Η προσέγγιση αυτή ωστόσο, έδωσε αρνητικά αποτελέσματα για την ολιγοτροφική λίμνη, μιας και η γραμμή φθορισμού ήταν κάτω από το όριο εντοπισμού του δορυφόρου. {7}

Τέλος, ο *Matthews (2010)*, συγκέντρωσε και παρουσίασε μία σειρά από εφαρμογές ψηφιακής τηλεπισκόπησης στην εκτίμηση ποιότητας νερού στα ύδατα από το 1986 μέχρι το 2010 (κάποιες από αυτές έχουν ήδη αναφερθεί ή θα αναφερθούν στη συνέχεια). Οι ποικιλία δεκτών, συνδυασμών καναλιών αλλά και περιοχών μελέτης είναι μεγάλη και αποτελεί ένα πολύ καλή «βιβλιοθήκη» για την άντληση πληροφοριών αναφορικά με την έρευνα σε αυτό το τομέα. Οι περισσότερο χρησιμοποιούμενοι δέκτες ήταν οι MODIS, MERIS, CASI, Sea Wifis και οι περιοχές μελέτης αποτελούνταν τόσο από λίμνες όσο και από κόλπους. Παράλληλα, πολλές ήταν και οι μελέτες που έκαναν χρήση πολυφασματικών δεδομένων και κυρίως των δεκτών Landsat TM/ETM. Με βάση τα αποτελέσματα αυτά, διερευνήθηκαν οι συσχετίσεις για εύρος καναλιού 9.5 nm και οι οποίες παρουσιάζονται στο κεφάλαιο 5. {8}

### 3.2. Πολυφασματικά Δεδομένα

Στη συνέχεια ακολουθούν οι ερευνητικές εργασίες που πραγματοποιούν δοκιμές για δεδομένα Landsat, τα οποία μπορούν να δώσουν ικανοποιητικά αποτελέσματα, μετά από κατάλληλη επιλογή της περιοχής μελέτης και επεξεργασία των δεδομένων.

Οι *Lathrop, et al. (1991)* συσχέτισαν δεδομένα Landsat TM με μετρήσεις ποιότητας νερού που έγιναν σχεδόν ταυτόχρονα στη περιοχή Green Bay της Λίμνης Μίσιγκαν (νερά Τύπου II) και δημιούργησαν ένα γραμμικό μοντέλο παλινδρόμησης. Ο εκθετικός αυτός δείκτης αποτελείτο από το λόγο των καναλιών 3 και 1 (0,660 μm/0,485 μm) και απέδιδε με ακρίβεια 25% τη συγκέντρωση των ολικών αιωρούμενων στερεών (*total suspended sediments*) καθώς και τη διαύγεια νερού. Σημειώνεται πως, αν και η εκτίμηση της συγκέντρωσης φυτοπλαγκτόν παρουσιάζει προβλήματα σε περιπτώσεις νερών με χαμηλή διαύγεια, η εκτίμηση των αιωρούμενων στερεών (SS) και της διαύγειας των νερών

(transparency, μετρήσεις με το δίσκο του Secchi) μπορούν να πραγματοποιηθούν σε ικανοποιητικό βαθμό με το *Landsat Multispectral Scanner (MSS)* και το *Landsat Thematic Mapper (TM)* παρά τη περιορισμένη τους φασματική ανάλυση (*Curran, et al., 1989*). Όπως ήταν αναμενόμενο, η συσχέτισεις βελτιώθηκαν όσο αυξανόταν το μήκος κύματος στο ορατό φάσμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, με μέγιστες τιμές στο κόκκινο κανάλι (TM band 3), ενώ οι τιμές μειώθηκαν στα υπέρυθρα.

Η τυπική απόκλιση του μοντέλου για τα αιωρούμενα σωματίδια είναι  $\pm 1.3\text{mg/l}$  σε εύρος τιμών 0.5-32.5mg/l και για τη διαύγεια (δίσκος του *Secchi*)  $\pm 1.2\text{m}$  σε εύρος τιμών 0.5 - 9.0m. Η χλωροφύλλη εμφάνισε μεγαλύτερη συσχέτιση με τους λόγους των καναλιών (band 3)/(band 1) καθώς και (band 2)/(band 1) ωστόσο τα αποτελέσματα δεν κρίθηκαν αξιόπιστα από τους μελετητές. {9}

## **4** ● Μεθοδολογία

Στο κεφάλαιο αυτό αναφέρονται οι διαδικασίες που πραγματοποιήθηκαν προκειμένου να επιτευχθεί, με τον βέλτιστο δυνατό τρόπο, η συλλογή των δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν στη παρούσα εργασία, καθώς και τα στάδια της προεπεξεργασίας τους με βάση τα οποία πραγματοποιήθηκαν οι συσχετίσεις. Παρουσιάζεται ο προγραμματισμός των εργασιών υπαίθρου, το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε αλλά και τα αρχικά αποτελέσματα των μετρήσεων μαζί με τις πρώτες αξιολογήσεις της εκάστοτε μέτρησης για κάθε θέση.

## 4.1. Προγραμματισμός εργασιών

Πρώτος σταθμός στη διαδικασία εκπόνησης της παρούσας εργασίας ήταν η συλλογή των δεδομένων η οποία συνίστατο τόσο στη πραγματοποίηση μετρήσεων στο φάσμα με παράλληλη λήψη δειγμάτων ύδατος, όσο και στη λήψη των δορυφορικών εικόνων Landsat 8.

Η συλλογή των δεδομένων υπαίθρου προϋπέθετε συγκεκριμένο προγραμματισμό προκειμένου να γίνει με όσο το δυνατόν μικρότερη χρονική απόκλιση από τη στιγμή της λήψης της δορυφορικής εικόνας. Στη διεθνή βιβλιογραφία αναφέρεται ότι το σύνηθες χρονικό διάστημα έγκειται σε  $\pm 3$  ημέρες ενώ το διάστημα αυτό μπορεί να αυξηθεί και στις 10 ημέρες, όταν τα δεδομένα είναι αραιά (*Olmanson, et al., 2007*). Αντίστοιχα, οι *Kloiber et al. (2002)* διαπίστωσαν πως οι μετρήσεις που γίνονται την ίδια ημέρα με το πέρασμα του δορυφόρου αποδίδουν τις καλύτερες βαθμονομήσεις, ωστόσο ο μεγαλύτερος αριθμός των επίγειων παρατηρήσεων που επιτυγχάνεται σε ένα μεγαλύτερο χρονικό διάστημα αντισταθμίζει ένα μέρος της απώλειας της συσχέτισης. Είναι αντιληπτό ωστόσο ότι το στοιχείο αυτό εξαρτάται και από άλλους παράγοντες, όπως τα χαρακτηριστικά του εκάστοτε υδάτινου σώματος και η ταχύτητα μεταβολής των παραμέτρων.

Στη συνέχεια και στα πλαίσια της προεπεξεργασίας έγινε η μελέτη της περιοχής ενδιαφέροντος και η επιλογή των ιδανικών θέσεων και του αριθμού των σημείων δειγματοληψιών με τη βοήθεια παλαιότερων δορυφορικών εικόνων της περιοχής. Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, το όργανο με το οποίο έγιναν οι μετρήσεις στο φάσμα είναι το GER1500 της *Spectra Vista Corporation* (βλ. αντίστοιχο κεφάλαιο) συνδεδεμένο με GPS χειρός το οποίο δίνει τις συντεταγμένες του σημείου μέτρησης σε φ, λ του WGS84. Για την καλύτερη εξοικείωση με τα συγκεκριμένα όργανα, έγιναν δοκιμαστικές μετρήσεις και επεξεργασίες στο χώρο της Πολυτεχνειούπολης.

Οι αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν από το Φορέα Διαχείρισης της λίμνης στο ίδιο χρονικό διάστημα έγιναν με φορητό ψηφιακό πολυόργανο τύπου *HQD40d* της Γερμανικής εταιρίας *Hach* το οποίο πραγματοποίησε τις μετρήσεις των φυσικοχημικών χαρακτηριστικών, ενώ ο ποσοτικός προσδιορισμός των ανόργανων θρεπτικών ενώσεων του νερού και της συγκέντρωσης της χλωροφύλλης-α πραγματοποιήθηκε με εφαρμογή διαφορετικών πρωτόκολλων προσδιορισμού για κάθε ένωση, βασιζόμενα σε πρότυπες μεθόδους (*APHA, 1998*) και με τη χρήση φασματοφωτόμετρου *HACH DR / 3900*. Παράλληλα έγιναν μετρήσεις με 2<sup>ο</sup> GPS χειρός, με τα αποτελέσματα σε ΕΓΣΑ '87, του

οποίου οι μετρήσεις τελικώς χρησιμοποιήθηκαν προκειμένου να γίνει άμεση συσχέτιση ανάμεσα στη θέση λήψης του δειγματος και στο pixel της δορυφορικής εικόνας. Καθώς η εδαφοψηφίδα του Landsat 8 είναι 30x30 μέτρα, δεν υπήρξαν προβλήματα ακρίβειας παρά τους κυματισμούς και τη μικρή επιτόπου μετακίνηση της βάρκας κατά τη διάρκεια της δειγματοληψίας.

## 4.2. Συλλογή δεδομένων πεδίου

Οι δειγματοληψίες έλαβαν χώρα τις πρωινές ώρες της 19<sup>ης</sup> Ιουλίου 2013, της ημέρας δηλαδή που έγινε και η λήψη της δορυφορικής εικόνας, από τις 8.30 το πρωί μέχρι τις 13.30 το μεσημέρι. Ο τελικός αριθμός των σημείων ωστόσο, λόγω της φύσης της λίμνης και του τύπου της λέμβου με την οποία έγιναν οι μετακινήσεις, δεν ήταν ο αρχικά προγραμματισμένος, παρ' όλα αυτά οι μετρήσεις ήταν ικανοποιητικές και αρκούντως διασκορπισμένες στην έκτασή της λίμνης. Στη μείωση των σημείων συντέλεσαν τόσο οι ριπές αέρα από τη διπλανή πλαγιά που, αν εντεινονταν θα έκαναν το ταξίδι με τη λέμβο επικίνδυνο, όσο και τα εγκαταλελειμμένα ποιμνιοστάσια που βρίσκονταν διασκορπισμένα κατά μήκος της λίμνης και κάποια από τα οποία δεν γίνονταν καθόλου αντιληπτά λόγω της θολότητάς της, συντέλεσαν ωστόσο σε παραλίγο βλάβες της βενζινομηχανής.



**Εικόνα 4.1:** Τελικές θέσεις δειγματοληψιών με βάση το GPS του Φορέα Διαχείρισης. (βλ και παράρτημα, εικόνα 0.1)

Μετρήσεις ελήφθησαν και στο νότιο τμήμα της λίμνης, σε περιοχή που η πρόσβαση έγινε οδικώς και σε σημεία που το νερό δεν ξεπερνούσε τα 30-50 εκατοστά με σκοπό να ελεγχθεί κατά πόσον θα εμφανιζόταν συσχέτιση των συγκεκριμένων δεδομένων με τα υπόλοιπα, σε μια περιοχή που η επίδραση του πυθμένα είναι ιδιαίτερος έντονη. Ταυτόχρονα με τις δειγματοληψίες του φορέα, πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις με το φασματοραδιόμετρο. Η περιοχή καταγραφής του φασματοραδιομέτρου, όπως αναφέρθηκε, είναι 5x5cm. Έγινε προσπάθεια η καταγραφή να μην επηρεάζεται, όσο αυτό ήταν εφικτό, από τους κυματισμούς ή τη σκιά της λέμβου.

Οι μετατροπές από το ΕΓΣΑ '87 του GPS του Φορέα στο WGS '84 έγιναν με τη βοήθεια του προγράμματος COORD\_GR.

The screenshot shows the COORD\_GR software interface with the following sections:

- ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΡΟΕΛΕΥΣΗΣ:**
  - HATT (Φ.Χ. 1:50 000)
  - ΕΓΚ. ΜΕΡΚΑΤΟΡΙΚΗ ΠΡΟΒΟΛΗ
    - ΕΓΣΑ '87, ΕΓΚΑΡΣΙΑ ΜΕΡΚΑΤΟΡΙΚΗ
    - 3° ΑΝΑΤΟΛΙΚΗ ΖΩΝΗ (ΥΠΕΧΩΔΕ) - ΤΜ3
    - 3° ΔΥΤΙΚΗ ΖΩΝΗ (ΥΠΕΧΩΔΕ) - ΤΜ3
  - ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ (λ/φ)
- ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ:**
  - HATT (Φ.Χ. 1:50 000)
  - ΕΓΚ. ΜΕΡΚΑΤΟΡΙΚΗ ΠΡΟΒΟΛΗ
    - Γ.Υ.Σ. (ΕΔ50 Ελλάς), ΖΩΝΗ 5 (35) Βόρει
    - ΠΑΓΚΟΣΜΙΟ '84 (WGS84), ΖΩΝΗ 4 (34)
    - ΠΑΓΚΟΣΜΙΟ '84 (WGS84), ΖΩΝΗ 5 (35)
  - ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ (λ/φ)
- Το σημείο ανήκει στα ...:**
  - ΓΥΣ, Φ.Χ. 1:50 000
  - ΒΟΛΟΣ
  - ΓΥΣ, 1:5 000
  - 5306\_1
  - ΥΠΕΧΩΔΕ 1:5000 / 1:1000
  - ΚΔ 08.50 - 5/ 2.2
  - ΚΔ 08.50 - 1/ 13.13
  - ΕΓΣΑ, 1:5 000 / 1:1 000
  - 400,0 - 4368,0 / 5
  - 400,0 - 4370,4 / 1
- ΔΕΔΟΜΕΝΑ:**
  - Ελλειψοειδές: GRS80
  - λ0 / φ0: 24°.00' 00°.00'
  - Easting: 400 512.000
  - Northing: 4 370 422.000
  - Η μισθ:
- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ:**
  - Ελλειψοειδές: WGS84
  - λ0 / φ0: 21°.00' 00°.00'
  - E: 658 678.074
  - N: 4 371 696.645 ± 1.20 m
  - E': 658 677.945
  - N': 4 371 696.151 ± 3,0 m
  - όλα:
- Εγκάρσια Μερκατορική:**
  - ΠΑΓΚΟΣΜΙΟ '84 (WGS84), ΖΩΝΗ 4 (34) Βόρεια
  - ΔΑ (γ): 1°.10' 22"97160
  - k: 0,999910 ppm -90
  - ΤΕΛΟΣ

Εικόνα 4.2: Περιβάλλον μετατροπής συντεταγμένων COORD\_GR.

### 4.3. Προεπεξεργασία Δεδομένων

Σε αυτό το σημείο έγινε η εφαρμογή των πρωταρχικών επεξεργασιών στα δεδομένα, προκειμένου αυτά να γίνουν αξιοποιήσιμα για τα επόμενα στάδια. Οι επεξεργασίες αναφέρονται στην αξιολόγηση των αποτελεσμάτων μέσω της δημιουργίας φασματικών υπογραφών και στην επιλογή των μετρήσεων του GER για κάθε μία από τις εκάστοτε θέσεις μετρήσεων, ο υπολογισμός των μέσων όρων για το κάθε σημείο, η δημιουργία

ομάδων και ο υπολογισμός των Simulated Landsat. Παράλληλα, πραγματοποιήθηκε η περικοπή και αξιολόγηση των δορυφορικών εικόνων.

#### 4.3.1. Υπερφασματικά δεδομένα

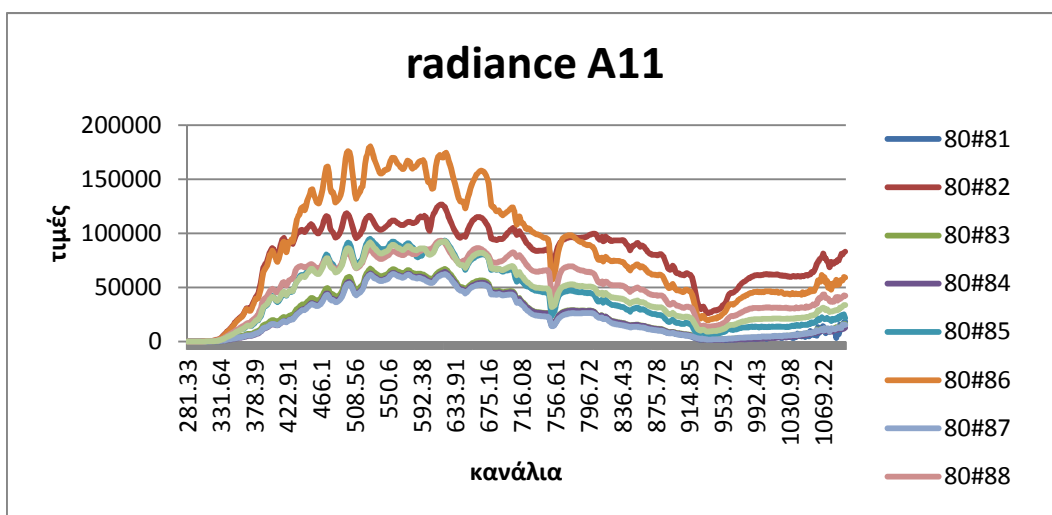
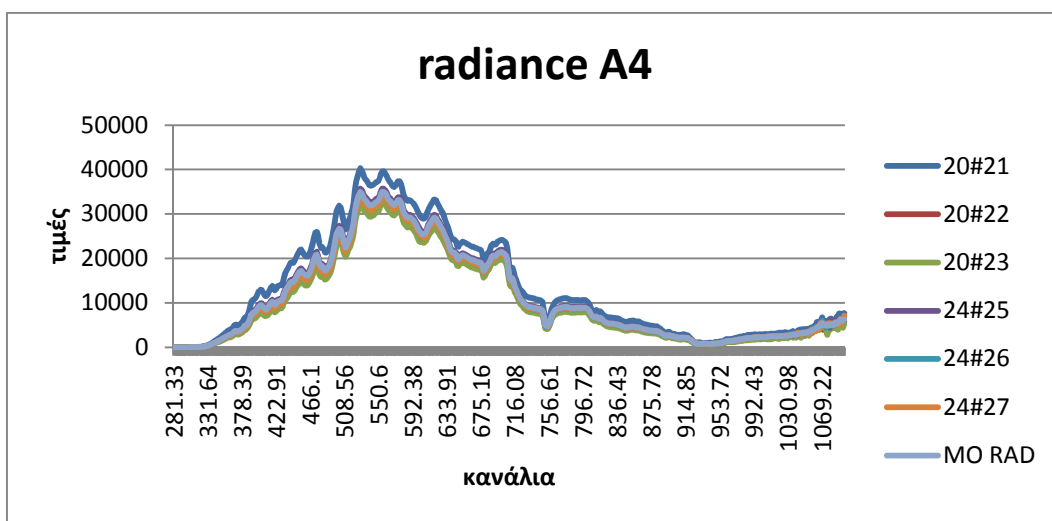
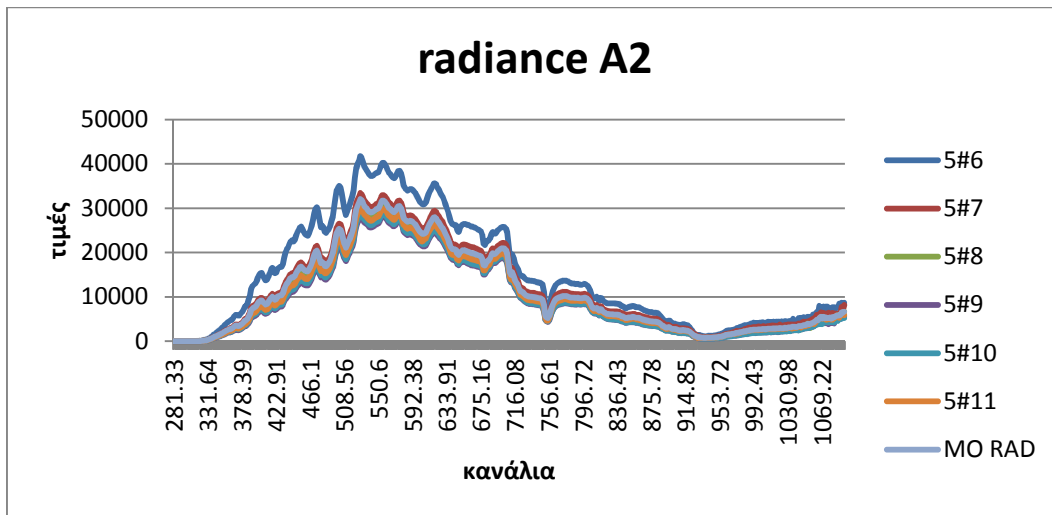
Το φασματοραδιόμετρο χειρός, για κάθε θέση μέτρησης, λαμβάνει δεδομένα ακτινοβολίας των αντικειμένων της περιοχής ενδιαφέροντος (*radiance*) καθώς και τις αντίστοιχες καταγραφές αναφοράς (*reference*) και δίνει τις τελικές τιμές ανακλαστικότητας (*reflectance*), οι οποίες και χρησιμοποιήθηκαν.

Τα σημεία των δειγματοληψιών απαρτίζονται από 10 μετρήσεις στο εσωτερικό της λίμνης (πελαγική ζώνη), όσο το δυνατόν πιο διασκορπισμένες στην έκταση της, με κωδικές ονομασίες A1-A10, μία μέτρηση σε πολύ ρηχό νερό στη νοτιοδυτική πλευρά της λίμνης με κωδική ονομασία A11, μία μέτρηση χώματος (A12), μία μέτρηση νερού με πολύ έντονη τη παρουσία βρύων (A13) και, τέλος, μία αμιγή μέτρηση βρύων (A14).

Σε κάθε θέση έγιναν παραπάνω από μία μετρήσεις για να εξασφαλισθεί το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα. Έπειτα, τα αποτελέσματα για κάθε σημείο πινακοποιήθηκαν και τοποθετήθηκαν σε διάγραμμα που περιείχε τις φασματικές υπογραφές όπως προέκυψαν από την εκάστοτε μέτρηση σε μία συγκεκριμένη θέση. Με αυτό τον τρόπο μπόρεσαν να αξιολογηθούν και να εξαιρεθούν από τις τελικές υπογραφές της κάθε θέσης τα αποτελέσματα με μεγάλη απόκλιση από το μέσο όρο. Στις θέσεις A1, A3, A4, A5, A6, A11, A12, A13, A14 έγινε πλήρης αξιοποίηση των μετρήσεων, στη θέση A2 δεν χρησιμοποιήθηκε η 5#6, στην A7 η 47#48, στην A8 η 52#56, ενώ στην A9 χρησιμοποιήθηκε η 63#64 και στο A10 η 67#68 (τελικώς απορρίφθηκε λόγω σφάλματος του οργάνου).

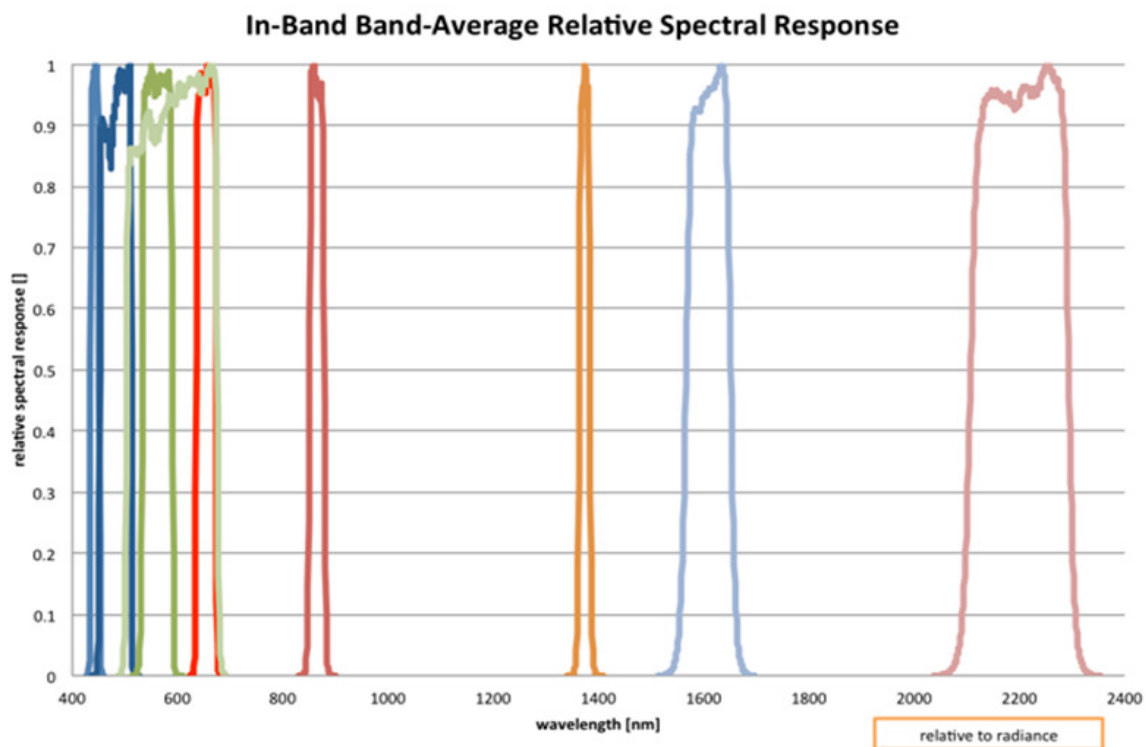
Ενδεικτικά παρατίθενται οι φασματικές υπογραφές για τα σημεία A2 και A4 της πελαγικής ζώνης, καθώς και η μέτρηση ρηχού νερού A11. Παρατηρείται ομοιομορφία στα αποτελέσματα για τα δύο πρώτα σημεία των οποίων το βάθος είναι παρεμφερές (της τάξης των δύο μέτρων). Στις φασματικές υπογραφές του A11 αντιθέτως (το οποίο είχε βάθος της τάξης των 40cm), εμφανίζονται διακυμάνσεις και διαφορές τόσο σε σχέση με τα σημεία A2, A4, όσο και ανάμεσα στα εκάστοτε σημεία πραγματοποίησης της μέτρησης για το ίδιο σημείο και εντός εδαφοψηφίδας 1m<sup>2</sup>.





Εικόνα 4.3: Φασματικές υπογραφές όπως προέκυψαν από το *radiance* των σημείων A2, A4 (πελαγική ζώνη) και A11 (όχθη).

Για να είναι τα αποτελέσματα πιο ρεαλιστικά και συγκρίσιμα με αυτά της δορυφορικής εικόνας, έγινε αναγωγή (*Rescale*) των μετρήσεων reflectance του GER. Από τα αρχεία των μετρήσεων που προέκυψαν ανά σημείο, έγινε η εύρεση της μέγιστης τιμής ανακλαστικότητας (*max*). Εν συνεχεία, οι εκάστοτε τιμές της ανακλαστικότητας ανά σημείο διαιρέθηκαν με τη *max* για να προκύψει η *Reflectance %* η οποία, με τη σειρά της, πολλαπλασιάστηκε με το συντελεστή 1.3. Η διαίρεση με το συντελεστή αυτό έγινε για να μετατραπούν οι τελικές τιμές ανακλαστικότητας % σε κάτι πιο ρεαλιστικό μιας και όλες οι τιμές αφορούν ύδατα, δεν υπήρχαν επομένως αντικείμενα με μεγάλες τιμές ανακλαστικότητας στη περιοχή. Συγκεκριμένα, έγινε εντοπισμός της μεγαλύτερης τιμής που εμφανίζεται σε κάθε θέση μέτρησης. Η μεγαλύτερη από αυτές πολλαπλασιάστηκε με το συντελεστή 1.3 και όλες οι μετρήσεις διαιρέθηκαν με τη τιμή που προέκυψε. Οι τελικές τιμές ανήκουν στο εύρος 0-1. Έγινε cross-check με τις αντίστοιχες τιμές της βιβλιογραφίας για παρόμοιες περιοχές μελέτης και τα αποτελέσματα ήταν της ίδιας τάξης μεγέθους.



Εικόνα 4.4: Ποσοστό συμμετοχής μήκους κύματος πολυφασματικών καναλιών. (Πηγή: [landsat.gsfc.nasa.gov](http://landsat.gsfc.nasa.gov))

Σε επόμενο στάδιο, από τις μετρήσεις του φασματοραδιόμετρου κατασκευάστηκαν τα Simulated Landsat δεδομένα (εικ. 4.4). Πρόκειται ουσιαστικά για πλασματικά κανάλια τα οποία προσομοιώνουν τα αντίστοιχα του δορυφόρου και δημιουργούνται με τη ποσοτική συμμετοχή των κατάλληλων υπερφασματικών καναλιών του GER. Με βάση αυτά πραγματοποιήθηκαν οι συσχετίσεις που παρατίθενται στη συνέχεια και προέκυψαν τα τελικά αποτελέσματα. Στην διερεύνηση των συσχετίσεων ωστόσο, χρησιμοποιήθηκαν επίσης και μεμονωμένα τα υπερφασματικά κανάλια του GER.

#### **4.3.2. Προεπεξεργασία δορυφορικών εικόνων**

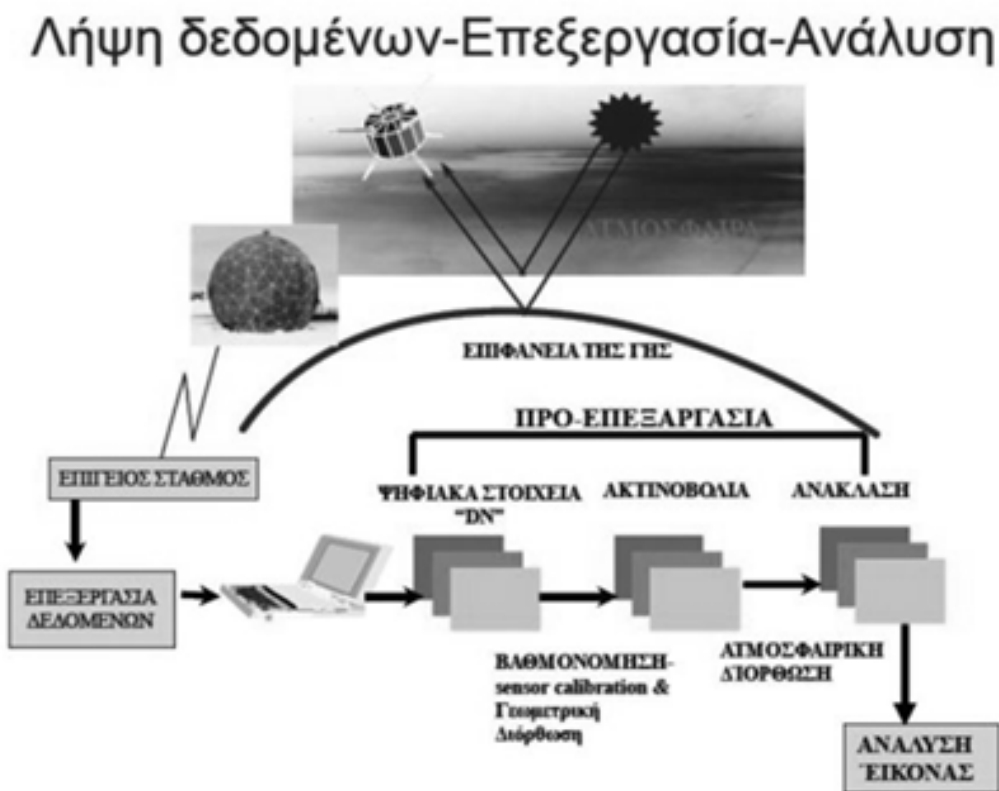
Η λήψη των δορυφορικών εικόνων έγινε μέσω της κυβερνητικής ιστοσελίδας της Γεωλογικής Υπηρεσίας των Ηνωμένων Πολιτειών και πραγματοποιήθηκε δωρεάν. Πριν την εισαγωγή τους στο πρόγραμμα επεξεργασίας έγινε η περικοπή τους, προκειμένου να επιτευχθεί η καλύτερη διαχείρισή τους, καθώς και για οικονομία χώρου και υπολογιστικού χρόνου. Η περικοπή πραγματοποιήθηκε στο λογισμικό QGIS με χρήση συντεταγμένων προκειμένου όλα τα κανάλια να έχουν το ίδιο ακριβώς μέγεθος και να απεικονίζουν την ίδια ακριβώς περιοχή, έτσι ώστε να είναι δυνατή η μετέπειτα σωστή εξαγωγή της φωτεινότητας ανά σημείο και κανάλι, με τη χρήση του προγράμματος MATLAB. Η επιλογή των συντεταγμένων έγινε με τέτοιο τρόπο ώστε να γίνεται εύκολη η μετάβαση από τις άκρες των εικόνων στις τελικές θέσεις, με βάση το μέγεθος της εδαφοψηφίδας.

Επειτα, έγινε αξιολόγηση και έλεγχος των εικόνων στο QGIS για “καμένα” φατνία, σημεία δηλαδή με πολύ υψηλές τιμές φωτεινότητας. ωστόσο δεν εντοπίστηκε κάτι τέτοιο, κυρίως λόγω της περιοχής μελέτης στην οποία δεν απαντώνται στέγες κτιρίων και γενικά ανθρώπινες κατασκευές στις οποίες συνήθως εμφανίζεται αυτό το χαρακτηριστικό, κάτι που θα είχε ως αποτέλεσμα την απεικόνιση του αντικειμένου μελέτης σε μικρό εύρος τιμών φωτεινότητας.

#### **4.3.3. Ατμοσφαιρική διόρθωση**

Στις εικόνας μελέτης πραγματοποιήθηκε ατμοσφαιρική διόρθωση, μία διαδικασία εξέχουσας σημασίας για την εξασφάλιση της αξιοπιστίας των τελικών αποτελεσμάτων, καθώς οι τιμές οι οποίες καταγράφονται στο δορυφορικό δέκτη δεν αποτελούν τις

πραγματικές τιμές που εκπέμπονται από το επίγειο αντικείμενο. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι ανάμεσα στη γη και στο δορυφορικό δέκτη παρεμβάλλονται τα στρώματα της ατμόσφαιρας τα οποία επηρεάζουν τόσο τη πορεία της ακτινοβολίας, όσο και την ενέργεια που καταγράφεται από αυτόν.



Εικόνα 4.5: Διάγραμμα Ροής Τηλεπισκόπησης. (Πηγή: *Hadjimitsis, 2011*)

Το λογισμικό μέσω του οποίου πραγματοποιήθηκε η ατμοσφαιρική διόρθωση είναι το *ATCOR*. Αποτελεί ένα επαγγελματικό εργαλείο απόλυτων ατμοσφαιρικών διορθώσεων για τηλεπισκοπικά δεδομένα το οποίο αναπτύχθηκε από το Γερμανικό Διαστημικό κέντρο σε συνεργασία με την εταιρία *ReSe*. Καλύπτει περίπου το 80% των τοπικών περιπτώσεων και ειδικεύεται στις διορθώσεις πάνω από ξηρά. Τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του είναι ότι λαμβάνει υπόψη τη τοπογραφία της περιοχής ενώ μπορεί να επεξεργαστεί και θερμικές εικόνες. (*Σισμανίδης, 2012*)

Η ατμοσφαιρική διόρθωση που εφαρμόστηκε στη συγκεκριμένη περίπτωση ανήκει στη κατηγορία των ατμοσφαιρικών διορθώσεων που αξιοποιούν δεδομένα από μοντέλα διάδοσης της ακτινοβολίας, βασίζεται δηλαδή σε φυσικές αρχές. Σε αυτό το πλαίσιο

ορίστηκαν κάποιες παράμετροι, μία από τις οποίες ήταν το μοντέλο των αερολυμάτων το οποίο συμπεριλαμβάνεται στο μοντέλο διάδοσης της ακτινοβολίας. (Σισμανίδης, 2012)

Ως στοιχεία εισόδου για τη διόρθωση αυτή επιλέγονται με δεδομένη σειρά συγκεκριμένα κανάλια των δορυφορικών εικόνων. Οι εικόνες αυτές δέχονται μία προεπεξεργασία μέσω του λογισμικού *ENVI* προκειμένου να λάβουν τη μορφή με την οποία θα εισαχθούν στο *ATCOR*. Παράλληλα, δημιουργούνται τα αρχεία που περιέχουν τις απαραίτητες πληροφορίες για τις παραμέτρους που θα χρησιμοποιηθούν κατά τη διάρκεια της διόρθωσης. Αυτά είναι το αρχείο *.hdr* -header- που περιέχει μήκη κύματος, *FWHM*, μονάδες κτλ, και το αρχείο *.cal* που περιέχει τα στοιχεία  $c_1$ ,  $c_0$  όπως αυτά δίνονται από τα *METADATA* της εικόνας. Τα κανάλια εισάγονται στο *ATCOR* με τη σειρά που φαίνεται στον πίνακα 4.1.

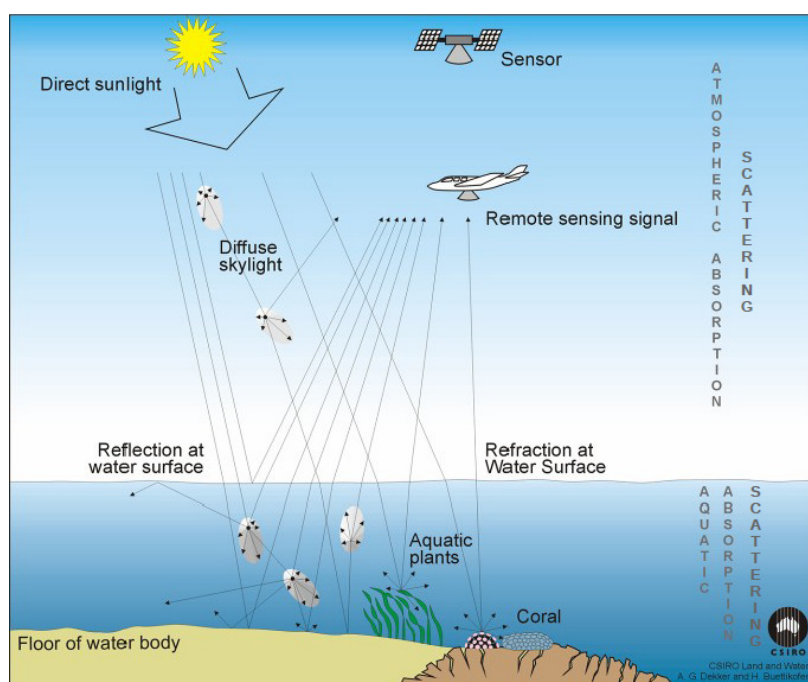
**Πίνακας 4.1: Διαδοχή καναλιών και μήκη κύματος όπως εισάγονται στο *ATCOR*.**

<b>BAND (#)</b>	<b>Name</b>	<b>Wavelengthvl (nm)</b>
1	Coastal	0.442982
2	Blue	0.482589
3	Green	0.561335
4	Red	0.654608
5	Near Infrared	0.864571
9	Cirrus	1.37348
6	Short Wave Infrared 1	1.60909
7	Short Wave Infrared 2	2.20125

Επιπλέον, στο λογισμικό εισάγονται κάποια στοιχεία της γεωμετρίας του δορυφόρου και του ήλιου τη στιγμή της λήψης, όπως προκύπτουν από τα μεταδεδομένα, καθώς και το μέσο υψόμετρο της περιοχής μελέτης. Τα στοιχεία αυτά ήταν:

- *Inclination satellite* = 98.2degr.
- *Sun azimuth* = 128.22degr.
- *Sun zenith* = 90°-*Sun elevation* = 25.66degr.

Σημειώνεται πως η ατμοσφαιρική διόρθωση πρέπει να πραγματοποιηθεί πριν τη περικοπή της εικόνας. Ως δέκτης επιλέχθηκε ο "Landsat 8\_OLI" και ως ατμοσφαιρικό αρχείο, το οποίο δίνει τη συγκέντρωση υδρατμών στην ατμόσφαιρα, το "rural".



Εικόνα 4.6: Γραφική παρουσίαση της πορείας της ηλιακής ακτινοβολίας. (Πηγή: *SeaHARRE-5 Workshop 13-16 April 2010, Hobart, Tasmania*)

Το τελικό παράγωγο είναι μία εικόνα *.bsq* που μπορεί να μετατραπεί σε *.tif* μέσω του *ENVI*, με ενσωματωμένα τα 8 κανάλια και η οποία μπορεί εκ νέου να περικοπεί στο *QGIS*. Το ίδιο το πρόγραμμα *ATCOR* παράγει και επιπλέον αρχεία, όπως χάρτη με τα pixel αναφοράς, χάρτη με τους υδρατμούς, aerosol optical thickness και χάρτη με ταξινόμηση στεριάς και θάλασσας.

#### 4.4. Μοντέλα παλινδρόμησης και συσχετίσεις δεδομένων

Η διαδικασία μέσω της οποίας έγινε η διερεύνηση των πιθανών συσχετίσεων ανάμεσα στις φυσικοχημικές παραμέτρους και τις τιμές *radiance* και *reflectance* που κατεγράφησαν στα κανάλια του φασματοραδιόμετρου και του δορυφόρου αντίστοιχα, περιελάμβανε τη δημιουργία μοντέλων παλινδρόμησης. Παράλληλα, εκπονήθηκαν ποικίλες δοκιμές προκειμένου να βρεθούν τα σημεία τα οποία εμφανίζουν τις μεγαλύτερες συσχετίσεις.

Συγκεκριμένα, η τεχνική η οποία εφαρμόστηκε ήταν αυτή της γραμμικής παλινδρόμησης η οποία μοντελοποιεί τη σχέση ανάμεσα σε μία βαθμωτή μεταβλητή *Y* (απόκλιση ή εξαρτημένη) και μία μεταβλητή *X* (ερμηνευτική ή ανεξάρτητη). Το μοντέλο έχει την εξής μορφή:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \varepsilon \quad \text{ή} \quad Y = X\beta + \varepsilon$$

όπου

- $Y$  είναι ένας διάνυσμα διαστάσεων  $n \times 1$ ,
- $X$  ένας πίνακας διαστάσεων  $n \times 2$ ,
- $\beta$  είναι διάνυσμα διαστάσεων  $2 \times 1$ . Αποτελείται από τους αγνώστους συντελεστές της παλινδρόμησης (regression coefficients)  $\beta_0$ , δηλαδή το σημείο τομής της ευθείας με το κατακόρυφο άξονα (intercept), και  $\beta_1$  που αποτελεί τη κλίση της ευθείας (slope). Σε ένα «κακό» μοντέλο το  $\beta_1$  προσεγγίζει τη τιμή μηδέν.
- $\varepsilon$  ( $n \times 1$ ) ο πίνακας με τα υπόλοιπα (residuals).

Τα παραπάνω με τη μορφή πινάκων δίνουν:

$$Y = \begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ \dots \\ Y_n \end{bmatrix}, \quad X = \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ \dots \\ X_n \end{bmatrix}, \quad \beta = \begin{bmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \end{bmatrix} \quad \text{και} \quad \varepsilon = \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \dots \\ \varepsilon_n \end{bmatrix}$$

Ο υπολογισμός των συντελεστών της παλινδρόμησης, επομένως και η εύρεση της ζητούμενης βέλτιστης ευθείας στην οποία υπακούν τα δεδομένα, γίνεται μέσω της μεθόδου των ελαχίστων τετραγώνων, με τέτοιο τρόπο ώστε να ελαχιστοποιείται η ποσότητα:

$$\sum_i \varepsilon_i^2 = \sum_i (Y_i - \beta_0 - \beta_1 X_i)^2$$

Η αξιολόγηση της προσαρμογής (goodness of fit) της ευθείας στα δεδομένα μπορεί να πραγματοποιηθεί με τη βοήθεια ορισμένων αθροισμάτων και μοντέλων. Τα αθροίσματα αυτά είναι:

- $SS_T = \sum_i (Y_i - \bar{Y})^2$ .

Το συνολικό άθροισμα των τετραγώνων (*Total Sum of Squares*) των διαφορών κάθε τιμής από τη μέση. Καταδεικνύει την απόκλιση των δεδομένων από τη μέση τιμή και εκφράζει τη μεταβλητότητά τους.

- $SS_R = \sum_i (Y_i - \beta_0 - \beta_1 X_i)^2$

Το άθροισμα των τετραγώνων των υπολοίπων (*Residual Sum of Squares*). Παρουσιάζει την απόκλιση των δεδομένων από το «καλύτερο μοντέλο», δηλαδή την ευθεία.

- $SS_M = SS_T - SS_R$

Το άθροισμα των τετραγώνων του μοντέλου (*Model Sum of Squares*). Αποτελεί τη διαφορά ανάμεσα στο «χειρότερο» και το «καλύτερο μοντέλο».

Επιπροσθέτως, μέτρο αξιολόγησης του μοντέλου αποτελεί και ο συντελεστής προσδιορισμού  $R^2$ . Πρόκειται για το ηλίκο:

$$R^2 = \frac{SS_R}{SS_T} = \frac{SS_T - SS_M}{SS_T} = 1 - \frac{SS_M}{SS_T}$$

το οποίο εκφράζει το ποσοστό μεταβλητότητας των  $Y_i$ , που ερμηνεύεται από το μοντέλο. Όσο η τιμή του συντελεστή αυτού προσεγγίζει τη μονάδα, τόσο καλύτερο είναι το αναπτυχθέν μοντέλο παλινδρόμησης και τόσο περισσότερο η προκύπτουσα ευθεία αντιπροσωπεύει τα δεδομένα. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η διαφορά ανάμεσα στο θεωρηθέν και πραγματικό μοντέλο τείνουν στο μηδέν. Αντιθέτως, όσο μικρότερη είναι η τιμή του  $R^2$ , τόσο μικρότερη είναι και η συσχέτιση ανάμεσα στις μεταβλητές. Η μεταβλητή αυτή χρησιμοποιήθηκε κατά κόρον στη παρούσα εργασία για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων.

Η τελευταία μεταβλητή που υπολογίστηκε είναι η *p-value* που αποτελεί το παρατηρούμενο επίπεδο σημαντικότητας. Εκφράζει τη πιθανότητα η παρατηρηθείσα σχέση μεταξύ των μεταβλητών στο υπό μελέτη δείγμα να εμφανίζεται από τύχη και να μην ικανοποιεί μελλοντικές τιμές δεδομένων του ίδιου πληθυσμού. Αποτελεί επομένως έναν δείκτη αξιοπιστίας του αποτελέσματος και όσο υψηλότερη είναι η τιμή της τόσο μεγαλύτερη είναι η πιθανότητα λάθους στην αποδοχή του αποτελέσματος του μοντέλου.

Συνήθως, σε πολλούς τομείς της έρευνας, μία *p-value* της τάξης του 0.05 αποτελεί τη διαχωριστική γραμμή μεταξύ ενός αποδεκτού και μη αποδεκτού αποτελέσματος. (*Draper & Smith, 1997*)



## 5. Αποτελέσματα και Αξιολόγηση

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της εφαρμογής των προτεινόμενων δεικτών και οι εμφανιζόμενες συσχετίσεις που προέκυψαν τόσο από τα δεδομένα του φασματοραδιόμετρου όσο και από τις δορυφορικές εικόνες. Αρχικά γίνεται αξιολόγηση των σημείων δειγματοληψιών, έπειτα παραθέτονται τα αποτελέσματα για τα υπερφασματικά δεδομένα (επομένως μόνο τα δεδομένα του φασματοραδιόμετρου), και στη συνέχεια τα αποτελέσματα των τιμών του Landsat 8, των οποίων η απόδοση συγκρίνεται με τα αποτελέσματα των Simulated Landsat προκειμένου να διαπιστωθεί αν υπάρχει συνέπεια στα εμφανιζόμενα κανάλια που δίνουν τις υψηλότερες συσχετίσεις. Τέλος, παρατίθενται οι χάρτες που σχεδιάστηκαν με βάση τις τελικές συναρτήσεις για τους καλύτερους συνδυασμούς καναλιών.

## 5.1. Δεδομένα ελέγχου και αποτελέσματα χημικών αναλύσεων.

Λόγω της οπτικής πολυπλοκότητας του ύδατος ως στοιχείου μετρήσεως, αλλά και λόγω της επιρροής που ασκούν μεταβλητές όπως ο πυθμένας της λίμνης και ο κυματισμός της επιφάνειας στις ληφθείσες μετρήσεις, έγινε αξιολόγηση των σημείων δειγματοληψιών με βάση το κατά πόσο αυτά υπακούν τη διεθνή βιβλιογραφία, από άποψη συσχετίσεων. Έγινε επομένως η αξιολόγηση των σημείων που χρησιμοποιήθηκαν στις συσχετίσεις, καθώς και προσπάθεια ομαδοποίησής τους ανάλογα με το βάθος και τις τιμές της ανακλαστικότητας. Μετά από δοκιμές επιλέχθηκε η τελική ομάδα μετρήσεων που χρησιμοποιήθηκε στη συνέχεια και η οποία αποτελείται από τα σημεία A2, A3, A4, A5, A8 και A9. Από αυτά τα σημεία δηλαδή, προέκυψαν στη συνέχεια οι συσχετίσεις με βάση τους προτεινόμενους δείκτες που απαντώνται στη διεθνή βιβλιογραφία. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στη συνέχεια.

Οι χημικές αναλύσεις με τις οποίες συσχετίστηκαν οι τιμές ανακλαστικότητας πραγματοποιήθηκαν, όπως ειπώθηκε, από το φορέα διαχείρισης. Οι συγκεντρώσεις παραθετονται στη συνέχεια:

**Πίνακας 5.1: Αποτελέσματα για Αγωγιμότητα, pH, NO<sub>3</sub>, NO<sub>4</sub>, TP και Chl a**

ΘΕΣΗ	ΚΩΔΙΚΟΣ	Αγωγιμότητα ms/cm	pH	Νιτρικά (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) mg/lit	Αμμώνιο (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ) mg/lit	TP mg/lit	Chl a µg/lit
ΠΕΛΑΓΙΚΗ	A1	3.9	8.45	0.441	0.084	0.091	77.6
ΠΕΛΑΓΙΚΗ	A2	3.91	8.44	0.942	0.132	0.065	49.8
ΠΕΛΑΓΙΚΗ	A3	3.92	8.51	0.528	0.103	0.03	44.9
ΠΕΛΑΓΙΚΗ	A4	3.94	8.43	0.322	0.067	0.051	62.5
ΠΕΛΑΓΙΚΗ	A5	3.93	8.19	0.467	0.04	0.054	35.6
ΠΕΛΑΓΙΚΗ	A6	3.94	8.45	0.368	0.049	0.036	38.1
ΠΕΛΑΓΙΚΗ	A7	3.91	8.5	0.515	0.066	0.03	44.2
ΠΕΛΑΓΙΚΗ	A8	3.93	8.48	0.47	0.018	0.062	71
ΠΕΛΑΓΙΚΗ	A9	3.92	8.14	0.344	0.065	0.056	48.9
ΕΝΤΟΣ	A10-ST1	3.94	8.26	0.426	0.092	0.022	46.3
ΝΔ ΠΛ.	A11-ST2	4.15	8.65	0.62	0.049	0.059	72
Β ΠΛΕΥΡΑ	ST3(A12)	3.93	7.99	0.816	0.097	0.057	27.3

**Πίνακας 5.2: Αποτελέσματα για D.O. και T.**

ΘΕΣΗ	ΚΩΔΙΚΟΣ	ΣΥΝΤΕ/ΝΕΣ	Βάθος (m)	ΩΡΑ	Διαλυμένο οξυγόνο (D.O.) %	Διαλυμένο οξυγόνο (D.O.)	Θερμοκρ. νερού
ΠΕΛΑΓΙΚΗ	A1	Αποτυχία αποθηκείωσης	2.39	9:15	80.2	6.49	26.1
ΠΕΛΑΓΙΚΗ	A2	X 00401429 Y 04371579	2.36	9:35	87.1	7.08	26
ΠΕΛΑΓΙΚΗ	A3	X 00399934 Y 04372667	1.80	9:55	101	8.19	26.1
ΠΕΛΑΓΙΚΗ	A4	X 00399176 Y 04373149	2.00	10:05	100	8.07	26
ΠΕΛΑΓΙΚΗ	A5	X 00397115 Y 04373718	1.75	10:20	115.8	9.15	27.1
ΠΕΛΑΓΙΚΗ	A6	X 00396629 Y 04372396	3.50	10:58	126	9.84	27.8
ΠΕΛΑΓΙΚΗ	A7	X 00397591 Y 04370829	2.20	11:24	117.2	9.3	26.9
ΠΕΛΑΓΙΚΗ	A8	X 00397807 Y 04370398	2.13	11:36	120.9	9.64	26.6
ΠΕΛΑΓΙΚΗ	A9	X 00399407 Y 04370923	1.89	11:48	102.1	8.22	26
ΕΝΤΟΣ	A10-ST1	X 00400073 Y 04370900	2.50	12:05	101.4	8.09	26.6
ΝΔ ΠΛ.	A11-ST2	X 00398638 Y 04367280	0.40	13:30	157.2	11.35	32.2
Β ΠΛΕΥΡΑ	ST3(A12)	X 00400481 Y 04374165	-	-	180.4	13.75	28.2

Με βάση τα αποτελέσματα αυτά παρατηρούμε πως ο μέσος όρος της συγκέντρωσης της χλωροφύλλης είναι τέτοιος ώστε να κατατάσσει τη λίμνη στις ευτροφικές<sup>13</sup>. Επιπλέον, όσον αφορά τις υπόλοιπες τιμές και με βάση τα στοιχεία του κεφαλαίου δύο (2), οι παράμετροι βρίσκονται εντός των επιτρεπτών ορίων, με εξαίρεση τη θερμοκρασία η οποία είναι πιο πάνω από την επιθυμητή (κάτι που οφείλεται ωστόσο στο ότι η μέτρηση πάρθηκε από την επιφάνεια και όχι από βάθος τέτοιο ώστε η επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας να είναι μικρότερη). Τέλος, πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις με το δίσκο του Secchi<sup>14</sup> για τα σημεία 1. (400481, 4374165) και 2. (400970, 4369939) με αποτελέσματα 0.315m και 0.29m αντίστοιχα, οι οποίες ωστόσο, λόγω του περιορισμένου αριθμού τους, δεν επέτρεψαν τη δημιουργία των μοντέλων παλινδρόμησης.

<sup>13</sup> Οι λίμνες χωρίζονται σε Ολιγοτροφικές, Μεσοτροφικές, Ευτροφικές και Πολυτροφικές. Οι συγκεντρώσεις των νιτρικών, των νιτρικών, των αμμωνιακών και των φωσφορικών ιόντων παίζουν καθοριστικό ρόλο στη διαμόρφωση της τροφικής κατάστασης της λίμνης.

<sup>14</sup> Κυκλικός δίσκος που εμφανίζει ασπρόμαυρο πρότυπο, βυθίζεται στο νερό και καταδεικνύει τη θολότητα αυτού και τη σχέση φωτός και βάθους.

## 5.2. Αποτελέσματα συσχετίσεων για υπερφασματικά δεδομένα

Σε αυτό το στάδιο πραγματοποιήθηκε η εφαρμογή των προτεινόμενων δεικτών της βιβλιογραφίας και ο υπολογισμός των τιμών των συσχετίσεων για τη *chl-a*, έγινε αξιολόγηση των συσχετίσεων και τέλος σύγκριση με τα αποτελέσματα των δημοσιευμένων μελετών. Παράλληλα, οι ίδιες τιμές ανακλαστικότητας συσχετίστηκαν και με τις υπόλοιπες παραμέτρους προκειμένου να ερευνηθεί εάν οι προτεινόμενοι και οι νέοι δείκτες, μπορούν να εφαρμοστούν και για κάποιες από τις υπόλοιπες παραμέτρους. Οι δείκτες υπολογίστηκαν για εύρος υπερφασματικών δεδομένων της τάξης των 9.5nm περίπου ( $\pm 4.75\text{nm}$  από τη εγγύτερη, στη προτεινόμενη, τιμή καναλιού του GER), όπως προβάλλεται από τη διεθνή βιβλιογραφία. Παράλληλα, υπολογίστηκαν και τα αποτελέσματα για εύρος 1.58nm, όσο είναι δηλαδή το εύρος του μεμονωμένου υπερφασματικού καναλιού, για λόγους σύγκρισης και διερεύνησης της επίδρασης του εύρους σε τέτοιου είδους συσχετίσεις.

Οι συνδυασμοί των υπερφασματικών καναλιών που υπολογίστηκαν ήταν ενενήντα ένας (91) για εύρος  $\sim 10\text{ nm}$  (9.50nm), από τους οποίους οι τριάντα εννιά (39) εφαρμόστηκαν και για εύρος 1.58 nm. Για κάθε πίνακα, στη πρώτη γραμμή, οι τιμές εντός των παρενθέσεων αναφέρονται στα κανάλια που προτείνονται στη βιβλιογραφία ενώ εκτός των παρενθέσεων βρίσκονται τα εγγύτερα διαθέσιμα κανάλια του GER.

{1} Τα αποτελέσματα για τους δείκτες που πρότειναν οι *Olmanson et al.* ήταν:

**Πίνακας 5.3: Αποτελέσματα συσχετίσεων ( $r^2$ ) από την εφαρμογή των προτεινόμενων δεικτών κατά *Olmanson et al.*-εύρος 9.5nm.**

	<i>Chl-a</i>	$\text{NO}_3$	$\text{NH}_4$	<i>TP</i>	<i>pH</i>	<i>Con/ty</i>	<i>T</i>	<b>DO</b>	<b>DO%</b>
<b><i>R</i> 705.1 (705)</b>	35.67	38.17	78.54	3.10	0.60	76.19	24.49	64.28	63.58
<b><i>R</i> 670.4 (670)</b>	53.00	26.70	64.35	6.29	4.41	68.84	14.04	49.65	48.50
<b><i>R</i> 619.6 (620)</b>	53.39	27.66	65.51	6.12	4.18	68.35	13.90	50.79	49.54
<b><i>R</i> 592.4 (592)</b>	59.77	25.95	62.09	6.92	5.44	64.40	10.42	47.21	45.71
<b><i>R</i> 705.1/670.4(705/670)</b>	59.91	22.39	60.21	8.62	5.92	62.60	11.08	45.55	44.26
<b><i>R</i> 705.1/619.6(705/620)</b>	92.14	0.56	1.97	16.25	41.61	6.24	9.13	0.24	0.06
<b><i>R</i> 705.1/592.4(705/592)</b>	48.50	18.31	16.28	10.20	39.32	9.09	49.87	21.31	23.99
<b><i>R</i> 705.1 (705)</b>	27.70	38.03	31.61	13.05	34.26	21.36	47.94	36.20	38.62

Παρατηρείται μερική ασυμφωνία με τα αποτελέσματα της αρχικής μελέτης καθώς οι συσχετίσεις είναι μεν ικανοποιητικές αλλά δεν κυμαίνονται στα ίδια υψηλά επίπεδα. Πολύ καλά αποτελέσματα δίνει ο δείκτης  $R_{705.1/619.6}$  ( $r^2=94.38\%$ ). Παράλληλα,

ικανοποιητικά αποτελέσματα παρατηρούνται στη συσχέτιση ανάμεσα στους πρώτους δείκτες και τις παραμέτρους  $\text{NH}_4$  και Αγωγιμότητα (διακύμανση  $r^2$  από 60 έως 78%).

**Πίνακας 5.4: Αποτελέσματα συσχετίσεων ( $r^2$ ) από την εφαρμογή των προτεινόμενων δεικτών κατά *Olmanson et al.* - εύρος 1.58nm.**

	<i>Chl-a</i>	<i>NO<sub>3</sub></i>	<i>NH<sub>4</sub></i>	<i>TP</i>	<i>pH</i>	<i>Con/ty</i>	<i>T</i>	<i>DO</i>	<i>DO%</i>
<b>R<sub>705.1 (705)</sub></b>	35.58	37.79	78.19	3.13	0.63	76.36	24.60	63.97	63.29
<b>R<sub>670.4 (670)</sub></b>	53.41	26.54	63.78	6.17	4.65	68.82	13.71	49.21	48.03
<b>R<sub>619.6 (620)</sub></b>	53.36	27.82	65.62	6.05	4.16	68.41	13.89	50.90	49.65
<b>R<sub>592.4 (592)</sub></b>	59.64	26.05	62.41	7.00	5.30	64.34	10.53	47.45	45.96
<b>R<sub>705.1/670.4(705/670)</sub></b>	59.37	22.63	60.66	8.60	5.71	62.93	11.36	45.92	44.66
<b>R<sub>705.1/619.6(705/620)</sub></b>	94.38	0.13	3.33	15.73	39.71	7.53	7.96	0.82	0.42
<b>R<sub>705.1/592.4(705/592)</sub></b>	52.96	15.55	12.64	11.12	38.14	7.71	47.44	17.41	19.91
<b>R<sub>705.1 (705)</sub></b>	28.71	36.81	30.20	13.54	33.35	21.40	48.00	34.90	37.33

Αντίστοιχα αποτελέσματα παρατηρήθηκαν και για το εύρος 1.58 με διαφορές στις συσχετίσεις που κυμαίνονταν ως προς το μέγιστο στο 2%.

{2} Τα αποτελέσματα που προέκυψαν κατά την εφαρμογή των δεικτών των *Moses et al.* έδωσαν πολύ υψηλές συσχετίσεις ( $r^2=89.38$  και 97.19% αντίστοιχα). Παράλληλα, τα βοηθητικά κανάλια που χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό των τελικών δεικτών δίνουν ικανοποιητικές συσχετίσεις για τις παραμέτρους  $\text{NH}_4$  και αγωγιμότητα. Παρατηρείται πως πρόκειται για κανάλια που έχουν εγγύτητα στο οπτικό φάσμα με τα κανάλια που χρησιμοποιήθηκαν στην παραπάνω περίπτωση και που έδωσαν αντιστοίχως ικανοποιητικές συσχετίσεις.

**Πίνακας 5.5: Αποτελέσματα συσχετίσεων ( $r^2$ ) από την εφαρμογή των προτεινόμενων δεικτών κατά *Moses et al.* - εύρος 9.5 nm**

	<i>Chl-a</i>	<i>NO<sub>3</sub></i>	<i>NH<sub>4</sub></i>	<i>TP</i>	<i>pH</i>	<i>Con/ty</i>	<i>T</i>	<i>DO</i>	<i>DO%</i>
<b>R<sub>665.67 (666)</sub></b>	53.35	28.37	66.99	6.31	3.73	67.67	14.14	52.05	50.77
<b>R<sub>703.53 (704)</sub></b>	36.80	36.99	77.63	3.43	0.75	75.73	23.94	63.28	62.57
<b>R<sub>723.91 (723)</sub></b>	33.81	44.97	78.27	1.40	0.40	80.80	22.05	63.40	62.49
$(R_{665.67}^{-1} - R_{703.53}^{-1}) \times R_{723.91}$	89.38	2.13	1.66	22.09	37.35	1.75	8.66	0.26	0.07
$R_{665.67}^{-1} \times R_{703.53}$	97.19	0.15	8.30	16.83	33.17	10.17	4.42	3.83	2.88

Αντίστοιχες συσχετίσεις εμφανίστηκαν και για εύρος 1.58 nm. με διαφορές συσχετίσεων που δεν ξεπερνούν το 2%.

Πίνακας 5.6: Αποτελέσματα συσχετίσεων ( $r^2$ ) από την εφαρμογή των προτεινόμενων δεικτών κατά *Moses et al.* - εύρος 1.58 nm

	<i>Chl-a</i>	$NO_3$	$NH_4$	<i>TP</i>	<i>pH</i>	<i>Con/ty</i>	<i>T</i>	<i>DO</i>	<i>DO%</i>
$R_{665.67} (666)$	53.42	28.51	67.14	6.32	3.67	67.59	14.09	52.14	50.86
$R_{703.53} (704)$	36.33	37.00	77.63	3.34	0.74	75.98	24.27	63.40	62.72
$R_{723.91} (723)$	33.68	45.13	77.94	1.32	0.42	81.21	21.92	63.10	62.19
$(R_{665.67}^{-1} - R_{703.53}^{-1}) \times R_{723.91}$	89.25	2.09	1.73	22.78	35.64	1.34	8.96	0.29	0.08
$R_{665.67}^{-1} \times R_{703.53}$	97.62	0.23	8.75	17.10	31.68	9.80	4.58	4.07	3.08

{3} Οι κατά τους *Hunter et al.*, εφαρμογή των δεικτών των *Giterson et al.* δίνει χαμηλές συσχετίσεις για τους βασικούς δείκτες, με εξαίρεση το λόγο των καναλιών  $R_{705.1/670.4} (705/670)$  ( $r^2=92.14$ ), το  $R_{709.8/670.4} (710/670)$  ( $r^2=79.36\%$ ) και δύο βοηθητικούς δείκτες. Μέτριες προς καλές συσχετίσεις για  $NH_4$  και αγωγιμότητα δίνονται και σε αυτή τη περίπτωση. Συγκεκριμένα, όπως και προηγουμένως, δίνουν σε κάποιες περιπτώσεις συσχετίσεις που φτάνουν έως και το 81%. Αποτελέσματα γύρω στο 65% εμφανίζονται και για το διαλυμένο οξυγόνο σε δύο περιπτώσεις. Παρατηρείται ωστόσο ότι οι βασικοί προτεινόμενοι δείκτες των *Dall' Olmo and Giterson* δίνουν πολύ χαμηλές συσχετίσεις για τη chl-a.

Πίνακας 5.7: Αποτελέσματα συσχετίσεων ( $r^2$ ) από την εφαρμογή των προτεινόμενων δεικτών κατά *Hunter et al.* - εύρος 9.50 nm.

	<i>Chl-a</i>	$NO_3$	$NH_4$	<i>TP</i>	<i>pH</i>	<i>Con/ty</i>	<i>T</i>	<i>DO</i>	<i>DO%</i>
$R_{630.7} (630)$	58.73	26.35	62.39	6.72	5.25	65.48	10.80	47.41	45.96
$R_{660.9} (660)$	53.02	28.74	68.07	6.57	3.33	67.28	14.49	52.88	51.62
$R_{750.4} (750)$	37.55	45.46	75.64	1.73	0.54	81.51	18.12	58.95	57.92
$(R_{630.7}^{-1} - R_{660.9}^{-1}) \times R_{750.4}$	42.21	1.54	55.74	28.53	2.96	14.59	27.23	54.96	54.56
$R_{614.8} (615)$	60.56	25.06	61.09	7.12	5.85	63.76	10.10	46.37	44.87
$R_{600.4} (600)$	60.33	23.53	59.60	7.92	6.01	63.96	10.20	44.62	43.28
$R_{725.5} (725)$	34.73	44.82	77.31	1.39	0.51	81.09	21.11	62.29	61.32
$(R_{614.8}^{-1} - R_{600.4}^{-1}) \times R_{725.5}$	37.73	1.19	4.19	0.00	11.95	2.83	7.54	7.72	5.56
$R_{705.1/670.4} (705/670)$	92.14	0.56	1.97	16.25	41.61	6.24	9.13	0.24	0.06
$R_{705.1/619.6} (705/620)$	48.50	18.31	16.28	10.20	39.32	9.09	49.87	21.31	23.99
$R_{710} (709.81)$	33.26	40.90	80.04	2.35	0.35	77.55	25.38	65.94	65.24
$R_{709.8/670.4} (710/670)$	79.36	6.78	0.34	18.91	45.41	0.28	17.54	1.93	2.66

Όσον αφορά τα δεδομένα εύρους 1.58, οι διαφορές κυμαίνονται στα ίδια επίπεδα με προηγούμενως, με τη μόνη διαφορά να παρουσιάζεται στο 2ο σύνθετο δείκτη (της τάξης του 15%). Εδώ και πάλι οι βασικοί δείκτες δίνουν ελάχιστες συσχετίσεις με τη chl-a, ωστόσο ο πρώτος από αυτούς εμφανίζει συσχέτιση της τάξης του 71% με το αμμώνιο.

**Πίνακας 5.8: Αποτελέσματα συσχετίσεων ( $r^2$ ) από την εφαρμογή των προτεινόμενων δεικτών κατά *Hunter et al.* – εύρος 1.58 nm.**

	<i>Chl-a</i>	<i>NO<sub>3</sub></i>	<i>NH<sub>4</sub></i>	<i>TP</i>	<i>pH</i>	<i>Con/ty</i>	<i>T</i>	<i>DO</i>	<i>DO%</i>
<b><i>R</i><sub>630.7 (630)</sub></b>	59.13	26.18	62.06	6.76	5.37	65.25	10.59	47.09	45.63
<b><i>R</i><sub>660.9 (660)</sub></b>	53.21	28.62	67.95	6.60	3.39	67.12	14.41	52.80	51.54
<b><i>R</i><sub>750.4 (750)</sub></b>	42.48	41.17	72.66	2.06	1.55	78.70	16.30	57.12	55.85
$(R_{630.7}^{-1} - R_{660.9}^{-1})$ $\times R_{750.4}$	35.25	7.19	71.87	24.55	0.31	25.89	36.06	66.93	67.09
<b><i>R</i><sub>614.8 (615)</sub></b>	60.22	25.65	61.57	6.84	5.72	64.15	10.19	46.86	45.34
<b><i>R</i><sub>600.4 (600)</sub></b>	60.28	23.81	59.17	7.78	6.01	64.66	9.92	43.97	42.65
<b><i>R</i><sub>725.5 (725)</sub></b>	35.55	44.37	76.31	1.39	0.65	81.30	20.38	61.26	60.26
$(R_{614.8}^{-1} - R_{600.4}^{-1})$ $\times R_{725.5}$	22.21	3.33	12.81	0.19	4.40	1.83	0.13	22.39	19.08
<b><i>R</i><sub>705.1/670.4(705/670)</sub></b>	94.38	0.13	3.33	15.73	39.71	7.53	7.96	0.82	0.42
<b><i>R</i><sub>705.1/619.6(705/620)</sub></b>	51.67	16.35	13.90	10.88	38.71	7.78	48.44	18.98	21.54
<b><i>R</i><sub>710 (709.81)</sub></b>	31.91	42.70	81.84	2.18	0.15	77.40	26.11	67.60	66.92
<b><i>R</i><sub>709.8/670.4 (710/670)</sub></b>	72.15	10.52	2.10	17.01	49.40	0.00	20.98	4.74	5.81

{4} Οι δείκτες κατά τους *Senay et al.* δίνουν αποτελέσματα τα οποία αποκαλύπτουν ελάχιστες συσχετίσεις για τη chl-a ωστόσο το βοηθητικό κανάλι *R*<sub>441.3</sub> δίνει αποτελέσματα της τάξης του 93%. Και πάλι συσχετίσεις εμφανίζονται για τις παραμέτρους *NH<sub>4</sub>*, αγωγιμότητα και *DO*, κυρίως για τους δείκτες *R*<sub>(700.4-675.2)/25</sub> (με τον οποίο υπάρχει έντονη συσχέτιση κυρίως με το αμμώνιο), *R*<sub>625.9</sub>, *R*<sub>672</sub> *R*<sub>(625.94-441.3)705.1/672</sub> και *R*<sub>700.4</sub>.

**Πίνακας 5.9: Αποτελέσματα συσχετίσεων ( $r^2$ ) από την εφαρμογή των προτεινόμενων δεικτών κατά *Senay et al.*-εύρος 9.5 nm.**

	<i>Chl-a</i>	<i>NO<sub>3</sub></i>	<i>NH<sub>4</sub></i>	<i>TP</i>	<i>pH</i>	<i>Con/ty</i>	<i>T</i>	<i>DO</i>	<i>DO%</i>
<b><i>R</i><sub>625.9 (625)</sub></b>	59.52	26.02	61.95	6.87	5.42	64.85	10.44	46.99	45.51
<b><i>R</i><sub>441.3 (440)</sub></b>	93.22	16.41	28.03	5.71	17.69	34.80	1.25	16.71	14.49
<b><i>R</i><sub>672</sub></b>	54.56	25.35	63.46	6.95	4.76	67.13	13.53	48.85	47.68
<b><i>R</i><sub>(625.94-441.3)705.1/672</sub></b>	0.19	22.77	65.35	0.72	7.82	52.87	78.53	64.06	67.87
<b><i>R</i><sub>700.4 (700)</sub></b>	38.83	35.17	76.12	4.05	1.01	74.83	22.85	61.50	60.78
<b><i>R</i><sub>(700.4-675.2)/25</sub></b>	0.19	53.88	80.15	0.68	17.09	54.27	60.22	76.89	79.14

Για narrow band εύρους 1.58 nm όπως ήταν αναμενόμενο οι τιμές των συσχετίσεων κυμαίνονται στα ίδια επίπεδα (μέγιστη διαφορά 3%).

**Πίνακας 5.10: Αποτελέσματα συσχετίσεων ( $r^2$ ) από την εφαρμογή των προτεινόμενων δεικτών κατά *Senay et al.*-εύρος 1.58 nm.**

	<i>Chl-a</i>	<i>NO<sub>3</sub></i>	<i>NH<sub>4</sub></i>	<i>TP</i>	<i>pH</i>	<i>Con/ty</i>	<i>T</i>	<i>DO</i>	<i>DO%</i>
<b><i>R</i><sub>625.9 (625)</sub></b>	59.59	25.98	61.88	6.88	5.45	64.80	10.40	46.92	45.44
<b><i>R</i><sub>441.3 (440)</sub></b>	93.24	16.37	27.96	5.64	17.82	34.74	1.25	16.70	14.48
<b><i>R</i><sub>672</sub></b>	53.36	27.53	64.91	5.99	4.35	68.77	13.75	50.23	49.00
<b><i>R</i><sub>(625.94-441.3)705.1/672</sub></b>	0.34	20.41	63.10	0.99	8.00	50.77	79.88	61.97	65.93
<b><i>R</i><sub>700.4 (700)</sub></b>	38.60	35.17	76.35	4.06	0.98	74.73	23.11	61.80	61.09
<b><i>R</i><sub>(700.4-675.2)/25</sub></b>	0.00	52.89	83.37	0.22	15.88	55.55	60.74	79.16	81.39

{5} Οι *Dash et al.*, από την έρευνα του 2008 αυτή τη φορά, προτείνουν δείκτες για τη φυτοκυανίνη και τη chl-a, οι οποίοι αναφέρονται στα κανάλια 4, 5 του *Oceansat* (πλάτος 20nm). Επιπλέον, να σημειωθεί πως το  $R_{rs}$  που χρησιμοποιείται στους αρχικούς δείκτες υπολογίστηκε χρησιμοποιώντας τους συντελεστές οπισθοσκέδασης και απορρόφησης, ενώ στη παρούσα εργασία χρησιμοποιούνται απευθείας οι τιμές που προέκυψαν από το GER.

**Πίνακας 5.11: Αποτελέσματα συσχετίσεων ( $r^2$ ) από την εφαρμογή των προτεινόμενων δεικτών κατά *Dash et al.*- εύρος 9.5 nm.**

	<i>Chl-a</i>	<i>NO<sub>3</sub></i>	<i>NH<sub>4</sub></i>	<i>TP</i>	<i>pH</i>	<i>Con/ty</i>	<i>T</i>	<i>DO</i>	<i>DO%</i>
<b><i>R</i><sub>557.1 (556.4)</sub></b>	69.01	14.33	49.38	13.03	9.52	53.46	6.78	35.29	34.06
<b><i>R</i><sub>510.2 (510.6)</sub></b>	75.32	21.43	49.67	7.49	10.29	54.35	3.02	35.49	33.47
<b><i>R</i><sub>668.8 (669)</sub></b>	53.38	27.97	66.05	6.15	4.02	68.15	13.97	51.26	50.00
<b><i>R</i><sub>557.1:R</sub><sub>510.2 (PC)</sub></b>	32.65	0.22	33.22	33.14	4.72	34.49	24.06	23.75	25.00
<b><i>R</i><sub>557.1:R</sub><sub>668.8 (Chla)</sub></b>	83.94	0.19	16.30	28.19	22.60	21.01	0.01	8.18	7.50

Τα αποτελέσματα καταδεικνύουν, όπως ήταν αναμενόμενο, καλή συσχέτιση ανάμεσα στη chl-a και το δείκτη  $R_{557.05}$ :  $R_{668.81}$  αλλά και στα δύο πρώτα μεμονωμένα κανάλια. Αντιθέτως η συσχέτιση ανάμεσα στη chl-a και το δείκτη που χρησιμοποιήθηκε αρχικά για τον εντοπισμό της φυτοκυανίνης είναι πολύ χαμηλή. Όσον αφορά τη συσχέτιση του εκάστοτε καναλιού/δείκτη με τους υπόλοιπους υπό μελέτη παράγοντες, τα αποτελέσματα είναι αρνητικά με συσχετίσεις της τάξης του 66% και 68% να εμφανίζονται μόνο για το κανάλι 668.84 σε σχέση με το  $NH_4$  και την αγωγιμότητα αντίστοιχα. Όμοια ήταν και τα αποτελέσματα για εύρος 1.58nm με τις διαφορές ανάμεσα στους δύο πίνακες να κυμαίνονται σε λιγότερο από 1%.



**Πίνακας 5.12: Αποτελέσματα συσχετίσεων ( $r^2$ ) από την εφαρμογή των προτεινόμενων δεικτών κατά *Dash et al.*-εύρος 1.58 nm.**

	<i>Chl-a</i>	$NO_3$	$NH_4$	<i>TP</i>	<i>pH</i>	<i>Con/ty</i>	<i>T</i>	<i>DO</i>	<i>DO%</i>
<b><i>R</i> 557.1 (556.4)</b>	69.17	14.11	49.05	13.21	9.59	53.23	6.69	34.96	33.74
<b><i>R</i> 510.2 (510.6)</b>	75.30	21.62	49.74	7.49	10.16	54.50	2.99	35.45	33.43
<b><i>R</i> 668.8 (669)</b>	53.36	28.03	66.18	6.09	4.03	68.07	14.02	51.47	50.20
<b><i>R</i> 557.1:<i>R</i> 510.2 (<i>PC</i>)</b>	33.16	0.11	31.84	33.69	5.20	33.25	23.18	22.68	23.88
<b><i>R</i> 557.1:<i>R</i> 668.8 (<i>Chla</i>)</b>	83.55	0.17	16.00	28.57	22.41	21.02	0.01	7.86	7.21

Επιπροσθέτως, δοκιμάστηκε ο λόγος των καναλιών 705/678 (μαζί με κάποιους επιπλέον δείκτες που βρίσκονται σε εγγύς περιοχή), όπως πρότειναν οι *Thiemann et al.*, και τα αποτελέσματα είναι όντως ικανοποιητικά με συσχετίσεις άνω του 70%. Παράλληλα, μέτριες συσχετίσεις εμφανίζονται ανάμεσα στο βοηθητικό κανάλι 678 και στις παραμέτρους  $NH_4$  και αγωγιμότητα:

**Πίνακας 5.13: Αποτελέσματα συσχετίσεων ( $r^2$ ) από την εφαρμογή των προτεινόμενων δεικτών κατά *Thiemann et al.*-εύρος 9.5 nm.**

	<i>Chl-a</i>	$NO_3$	$NH_4$	<i>TP</i>	<i>pH</i>	<i>Con/ty</i>	<i>T</i>	<i>DO</i>	<i>DO%</i>
<b><i>R</i> 705.1/675.2</b>	83.27	3.22	0.01	16.57	46.26	3.32	13.68	0.72	1.17
<b><i>R</i> 678.32</b>	52.50	26.06	64.14	6.67	4.31	68.85	14.43	49.33	48.27
<b><i>R</i> 705.1/678.32 (705/687)</b>	72.01	8.82	1.51	18.53	46.87	0.56	18.73	4.65	5.57

Αντιστοίχως για εύρος 1.58 τα αποτελέσματα κυμαίνονται στα ίδια περίπου επίπεδα με διαφορές που κυμαίνονται max στο 5%.

**Πίνακας 5.14: Αποτελέσματα συσχετίσεων ( $r^2$ ) από την εφαρμογή των προτεινόμενων δεικτών κατά *Thiemann et al.*-εύρος 1.58 nm.**

	<i>Chl-a</i>	$NO_3$	$NH_4$	<i>TP</i>	<i>pH</i>	<i>Con/ty</i>	<i>T</i>	<i>DO</i>	<i>DO%</i>
<b><i>R</i> 705.1/675.2</b>	86.04	2.06	0.16	15.19	46.29	4.36	13.00	0.28	0.60
<b><i>R</i> 678.32</b>	52.29	25.98	64.01	6.65	4.33	69.03	14.52	49.23	48.18
<b><i>R</i> 705.1/678.32 (705/687)</b>	77.42	5.81	0.27	18.76	45.74	1.84	15.29	2.21	2.87

Τέλος, παρατίθενται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από το review paper. Όσον αφορά τη chl-a σε επτά (7) περιπτώσεις εμφανίζεται συσχέτιση που υπερβαίνει το 90%, ενώ σε άλλες πέντε (5) περιπτώσεις το 70%. Αξιοσημείωτες συσχετίσεις εμφανίζονται και πάλι για αμμώνιο και αγωγιμότητα. Συσχέτιση της τάξης του 81% εμφανίζεται σε μία περίπτωση για το DO.

**Πίνακας 5.15: Αποτελέσματα συσχετίσεων ( $r^2$ ) όπως προέκυψαν από τους προτεινόμενους δείκτες για τα υπερφασματικά από το review paper.**

	<i>Chl-a</i>	<i>NO<sub>3</sub></i>	<i>NH<sub>4</sub></i>	<i>TP</i>	<i>pH</i>	<i>Con/ty</i>	<i>T</i>	<i>DO</i>	<i>DO%</i>
<i>R</i> <sub>443 (442.97)</sub>	92.73	16.82	28.95	5.67	17.40	35.61	1.02	17.48	15.23
<i>R</i> <sub>551 (552.21)</sub>	69.47	14.95	49.88	12.80	9.31	53.55	6.56	35.61	34.33
<i>R</i> <sub>R443/R551</sub>	60.67	6.58	0.00	0.50	19.98	0.76	47.68	0.70	1.68
<i>R</i> <sub>(670<sup>-1</sup>-710<sup>-1</sup>)x(750)</sub>	68.61	14.54	2.53	20.65	46.37	0.61	19.90	4.80	5.84
<i>R</i> <sub>708.24 (708)</sub>	33.80	40.18	79.71	2.55	0.39	77.23	25.23	65.54	64.86
<i>R</i> <sub>665.67 (665)</sub>	53.35	28.37	66.99	6.31	3.73	67.67	14.14	52.05	50.77
<i>R</i> <sub>708/665</sub>	88.18	2.65	0.54	20.32	39.66	1.42	12.18	0.01	0.13
<i>R</i> <sub>753.51 (753)</sub>	37.27	45.01	75.57	1.83	0.53	81.66	18.44	58.81	57.83
<i>R</i> <sub>(665<sup>-1</sup>-708<sup>-1</sup>)x(753)</sub>	77.01	9.26	0.17	22.87	41.44	0.13	14.91	1.04	1.59
<i>R</i> <sub>748.85 (748)</sub>	38.45	44.60	74.98	1.79	0.70	81.13	17.76	58.49	57.42
<i>R</i> <sub>667.25 (667)</sub>	53.38	28.21	66.55	6.22	3.86	67.91	14.04	51.68	50.41
<i>R</i> <sub>748/667</sub>	6.24	74.05	28.96	19.55	21.67	53.03	12.95	21.22	21.93
<i>R</i> <sub>490.66 (490)</sub>	78.13	22.22	46.95	5.44	12.36	52.43	1.74	34.04	31.71
<i>R</i> <sub>490.7/620</sub>	48.86	0.33	7.62	0.38	35.89	2.91	62.45	9.20	12.15
<i>R</i> <sub>709.81 (709)</sub>	33.26	40.90	80.04	2.35	0.35	77.55	25.38	65.94	65.24
<i>R</i> <sub>709/620</sub>	32.27	30.14	28.38	10.25	34.86	19.26	53.36	33.09	35.91
<i>R</i> <sub>650</sub>	53.35	28.37	66.99	6.31	3.73	67.67	14.14	52.05	50.77
<i>R</i> <sub>709/665</sub>	84.10	4.68	0.02	21.24	40.44	0.40	14.57	0.43	0.81
<i>R</i> <sub>720.78 (720)</sub>	32.18	45.05	79.94	1.44	0.24	80.12	23.86	65.44	64.62
<i>R</i> <sub>720/620</sub>	7.64	55.47	51.66	9.12	22.00	47.94	48.47	51.19	53.34
<i>R</i> <sub>664.09</sub>	53.28	28.49	67.38	6.40	3.59	67.48	14.24	52.36	51.09
<i>R</i> <sub>705/664</sub>	95.29	0.09	4.88	19.00	34.59	6.06	6.64	1.68	1.08
<i>R</i> <sub>550.6 (550)</sub>	69.63	15.25	50.12	12.66	9.22	53.65	6.48	35.78	34.48
<i>R</i> <sub>664/550</sub>	9.90	59.96	88.47	0.37	1.70	73.88	38.58	81.94	81.57
<i>R</i> <sub>678.3 (678)</sub>	52.50	26.06	64.14	6.67	4.31	68.85	14.43	49.33	48.27
<i>R</i> <sub>708/678</sub>	58.57	18.22	7.21	19.11	46.47	0.64	25.57	12.10	13.46
<i>R</i> <sub>643.5 (634)</sub>	52.93	29.20	67.47	6.13	3.48	68.31	14.13	52.28	51.01
<i>R</i> <sub>629.1 (628)</sub>	59.08	26.22	62.15	6.77	5.34	65.24	10.62	47.18	45.72
<i>R</i> <sub>708/678+634/628</sub>	44.58	25.57	18.83	13.28	45.85	5.20	39.72	24.90	27.00
<i>Ln (R(700/670))</i>	96.77	0.89	10.24	12.70	35.28	16.70	3.18	5.14	4.04
<i>R</i> <sub>710/670</sub>	79.36	6.78	0.34	18.91	45.41	0.28	17.54	1.93	2.66
<i>R</i> <sub>710/620</sub>	32.27	30.14	28.38	10.25	34.86	19.26	53.36	33.09	35.91
<i>R</i> <sub>650/625</sub>	22.34	33.02	86.41	3.91	0.01	67.69	42.19	77.10	77.44
<i>R</i> <sub>719.21 (719)</sub>	31.86	44.63	80.35	1.51	0.22	79.69	24.50	66.04	65.25
<i>R</i> <sub>719/667</sub>	48.28	29.64	10.54	23.37	39.31	9.08	26.22	13.41	14.88
<i>R</i> <sub>700/670</sub>	96.69	0.98	10.86	12.76	34.93	17.09	2.83	5.63	4.48
<i>R</i> <sub>741.07 (740)</sub>	40.16	42.35	71.90	1.77	1.30	81.55	16.61	55.85	54.74
<i>R</i> <sub>740/710-740/650</sub>	76.86	9.18	0.18	23.87	39.81	0.17	15.32	1.14	1.71

**Πίνακας 5.15 (Συνέχεια): Αποτελέσματα συσχετίσεων ( $r^2$ ) όπως προέκυψαν από τους προτεινόμενους δείκτες για τα υπερφασματικά από το review paper.**

	<i>Chl-a</i>	<i>NO<sub>3</sub></i>	<i>NH<sub>4</sub></i>	<i>TP</i>	<i>pH</i>	<i>Con/ty</i>	<i>T</i>	<i>DO</i>	<i>DO%</i>
<b><i>R</i> 400.9 (400)</b>	97.22	10.72	14.47	5.92	20.79	21.30	8.72	6.11	4.62
<b><i>R</i> 400/600</b>	43.39	0.30	9.82	0.23	20.14	4.52	73.51	16.06	19.42
<b><i>R</i> 850.1 (850)</b>	52.16	43.59	69.05	4.03	1.04	74.43	8.53	48.54	47.03
<b><i>R</i> 850/550</b>	19.38	85.66	71.30	0.46	3.57	80.02	7.55	48.88	47.53
<b><i>R</i> 412.8 (412)</b>	97.02	12.06	18.21	6.37	19.72	24.79	5.78	8.73	7.00
<b><i>R</i> 670/412</b>	23.60	4.25	24.47	0.25	14.51	16.75	83.97	32.27	36.37
<b><i>R</i> 703.5 (704)</b>	36.80	36.99	77.63	3.43	0.75	75.73	23.94	63.28	62.57
<b><i>R</i> 704/672</b>	88.11	1.76	0.96	18.28	43.12	4.88	9.16	0.01	0.02
<b><i>R</i> 700/675</b>	92.68	0.00	4.67	13.48	40.92	13.55	5.42	1.42	0.91
<b><i>R</i> 560</b>	68.62	14.20	49.39	13.03	9.55	53.59	6.98	35.38	34.17
<b><i>R</i> 519.9 (520)</b>	71.83	21.68	53.39	8.71	8.38	55.81	4.74	38.50	36.67
<b><i>R</i> (560-520)/ (560-520)</b>	1.38	41.61	2.96	25.27	2.51	0.48	14.13	2.51	1.52
<b><i>R</i> 480.86 (480)</b>	81.34	21.83	43.27	4.96	13.75	50.08	0.71	30.62	28.21
<b><i>R</i> ((480-700/675)- 520)/ ((480+700/675)+520)</b>	87.81	15.18	33.88	6.28	18.94	42.90	0.02	22.73	20.54

Σε πολλές περιπτώσεις, παρατηρείται πως τα μεμονωμένα βοηθητικά κανάλια που χρησιμοποιήθηκαν προκειμένου να κατασκευαστούν οι τελικοί δείκτες έδωσαν καλύτερα αποτελέσματα συσχετίσεων από αυτούς.

Από όλα τα παραπάνω αποτελέσματα, σα γενικό συμπέρασμα απορρέουν οι ισχυρές συσχετίσεις που εμφανίζονται ανάμεσα σε μεγάλο αριθμό υπερφασματικών δεικτών και τη χλωροφύλλη-α. Παράλληλα, ικανοποιητικές συσχετίσεις εμφανίζονται τόσο για το αμμώνιο όσο και για την αγωγιμότητα, παράμετροι οι οποίες φαίνεται να παρουσιάζουν για τους ίδιους δείκτες είτε θετικά είτε αρνητικά αποτελέσματα, κάτι που υποδεικνύει μεταξύ τους σύνδεση και συσχέτιση.

Παρακάτω παρατίθεται ο συγκεντρωτικός πίνακας μέσω του οποίου γίνεται άμεση αντιπαραβολή των αποτελεσμάτων των συσχετίσεων όπως αυτές προέκυψαν στην εκάστοτε έρευνα, συγκρινόμενα με τα αντίστοιχα αποτελέσματα της παρούσας. Οι συγκρίσεις έγιναν για τη παράμετρο chl-a μιας και οι δείκτες αναφέρονταν κατά βάση σε αυτή, παρά το ότι δοκιμάστηκαν και στις υπόλοιπες παραμέτρους.

Εδώ, οι τιμές των συσχετίσεων δίνονται για διάστημα 0 έως 1 και όχι σε ποσοστό επί τοις εκατό όπως στις προηγούμενες περιπτώσεις, καθώς πολλές από τις εργασίες παρουσίαζαν

τα αποτελέσματα με αυτή τη μορφή. Επομένως, λόγω της αδυναμίας αλλαγής των σημαντικών ψηφίων, είναι σημαντική η διατήρηση της μορφής αυτής.

**Πίνακας 5.16: Σύγκριση αποτελεσμάτων προηγούμενων ερευνητικών εργασιών με τα αποτελέσματα της παρούσας εργασία για τη χλωροφύλλη-α**

<b>Chl-a</b>			
<b>Βιβλιογραφία</b>	<b>Equation</b>	<b>r<sup>2</sup> (βιβλιογραφία)</b>	<b>r<sup>2</sup> (διπλωματική)</b>
Olmanson et al., 2012 (MERIS)	$R_{705}/R_{670}$	0.75	0.59
	$R_{705}/R_{620}$	0.76	0.94
	$R_{705}/R_{592}$	0.90	0.53
Moses et al., 2012 (AISA)	$(R_{666}^{-1} - R_{704}^{-1}) \times R_{723}$	0.83-0.98 <sup>15</sup>	0.89
	$R_{665.67}^{-1} \times R_{703.53}$	0.87-0.93 <sup>16</sup>	0.97
Dash et al., 2011 (OCM)	$R_{557}:R_{510}$	0.75 <sup>18</sup>	0.33
	$R_{557}:R_{669}$	0.75	0.84
Hunter et al., 2010 (CASI-2, AISA)	$R_{710} \cdot R_{670}^{17}$	0.60	0.79
	$R_{710} \cdot R_{620}^{17}$	0.90 <sup>18</sup>	0.32
	$(R_{630}^{-1} - R_{660}^{-1}) \times R_{750}$	0.60	0.42
	$(R_{615}^{-1} - R_{600}^{-1}) \times R_{725}$	0.92 <sup>18</sup>	0.38
Senay et al., 2001 (CASI)	$R_{(625-440)705/672}$	0.79	0.02
	$R_{(700-675)/25}$	0.76	0.02
Thiemann et al., 2000 (LISS-III)	$R_{(705/687)}$	0.85	0.72
<i>Review paper: Matthews 2010</i>			
Chavula et al., 2009 (MODIS)	$R_{R443}/R_{551}$	0.58	0.60
Giterson et al., 2009 (S1. MERIS)	$R_{(670^{-1} \cdot 710^{-1}) \times (750)}$	0.93	0.69
Moses et al., 2009a (MERIS)	$R_{708}/665$	0.97	0.88
	$R_{(665^{-1} \cdot 708^{-1}) \times (753)}$	0.93-0.95	0.77
	$R_{748}/667$	0.60	0.06
Kratzer et al., 2008 (S1. MERIS)	$R_{490}/620$	0.79	0.49
Simis et al., 2007 (S1. MERIS)	$R_{709}/620$	0.90 <sup>18</sup>	0.32
Koponen et al., 2007 (MERIS)	$R_{709}/665^{19}$	0.87	0.95
Simis et al., 2005 (S1. MERIS)	$R_{720}/620$	0.94 <sup>18</sup>	0.08

<sup>15</sup> Αποτελέσματα για σειτ δεδομένων διαφορετικών ημερών.

<sup>16</sup> Για δύο διαφορετικές ατμοσφαιρικές διορθώσεις.

<sup>17</sup> Οι δείκτης εφαρμόστηκαν παραλλαγμένοι στη παρούσα διπλωματική, συγκεκριμένα με τη μορφή  $R_{\lambda 1}/R_{\lambda 2}$ .

<sup>18</sup> Ο συγκεκριμένος αλγόριθμος εφαρμόστηκε στην αρχική μελέτη για τη φυτοκωανίνη (PC), κάτι που επεξηγεί τα χαμηλά αποτελέσματα για τα μοντέλα χλωροφύλλης.

<sup>19</sup> Οι μελετητές στην αρχική έρευνα χρησιμοποίησαν το L (radiance) και όχι το R (reflectance).

**Πίνακας 5.16 (Συνέχεια): Σύγκριση αποτελεσμάτων προηγούμενων ερευνητικών εργασιών με τα αποτελέσματα της παρούσας εργασία για τη γλωροφύλλη-α**

Ammenberg et al. 2002 (MERIS)	$R_{705/664}$	0.88	0.95
Flink et al., 2001 (S1. CASI- MERIS)	$R_{708/678}$	0.96	0.59
	$R_{708/678+634/628}$	0.87	0.45
	$R_{550}$	0.94	0.70
Duan et al., 2007 (Spec.)	$Ln (R_{(700/670)})$	0.75	0.97
Hunter et al., 2008b CASI-2	$R_{710/670}$	0.96	0.79
Ruiz-Verdu et al., 2008 (Spec.)	$R_{710/620}$	0.92 <sup>18</sup>	0.32
	$R_{650/625}$	0.46 <sup>18</sup>	0.22
Jiao et al., 2006 (Spec.)	$R_{719/667}$	0.87	0.90
Menken et al., 2006 (Spec.)	$R_{700/670}$	0.99	0.40
Zimba and Giterson, 2006 (Spec.)	$R_{(740/710-740/650)}$	0.78	0.77
Doxaran et al., 2005 (Spec.)	$R_{400/600}$	0.89	0.43
Gons et al., 1999 (Spec.)	$R_{704/672}$	0.95	0.88
Gitelson et al., 1993 (Spec.)	$R_{700/675}$	>0.88	0.93

Παρατηρείται πως τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τη παρούσα εργασία σε κάποια σημεία συμφωνούν ενώ σε άλλα διαφωνούν με τη διεθνή βιβλιογραφία. Συγκεκριμένα, όσον αφορά τους δείκτες των *Moses et al. (2012)*, οι συσχετίσεις ανάμεσα στις δύο μελέτες συμβαδίζουν, ενώ τα αποτελέσματα είναι ιδιαίτερα υψηλά. Αντίστοιχη συμφωνία με υψηλά αποτελέσματα εμφανίζεται για το δείκτη  $R_{709/665}$  των *Koronen et al. (2007)* και το δείκτη  $R_{708/665}$  των *Moses et al. (2009)*. Τα θετικά αποτελέσματα συνεχίζονται με τους λόγους των καναλιών  $R_{705/664}$  των *Ammenberg et al. (2002)* και  $R_{719/667}$  των *Jiao et al. (2006)* (>88%). Συσχετίσεις άνω του 88% πετυχαίνονται και για τους λόγους των καναλιών που προτίνουν οι *Gons et al. (1999)* και *Gitelson et al. (1993)*.

Συμφωνία με τη παρούσα μελέτη, αλλά αποτελέσματα με χαμηλότερες συσχετίσεις σε σχέση με τα προηγούμενα, εμφανίζεται για τους δείκτες των *Chavula et al. (2009)*, *Zimba and Giterson (2006)* και *Dash et al. (2011)*.

Εν αντιθέση με τα προηγούμενα αποτελέσματα, πολύ μεγάλη διαφορά ανάμεσα στη παρούσα εργασία και τη βιβλιογραφία εμφανίστηκε για το δείκτη  $R_{748/667}$  των *Moses et al.*

(2009), με απόκλιση της τάξης του 54%. Η διαφορά αυτή παρουσιάζει αύξηση (άνω του 70%) στους δείκτες των *Senay et al. (2001)*.

Παράλληλα, χαμηλά αποτελέσματα συσχετίσεων έδωσε η εφαρμογή των δεικτών της φυτοκυανίνης στη χλωροφύλλη-α κάτι που καταδεικνύει χαμηλή συσχέτιση ανάμεσα στις δύο παραμέτρους αυτές.

Σε γενικές γραμμές ωστόσο, τα αποτελέσματα τόσο της βιβλιογραφίας όσο και της παρούσας εργασίας κυμαίνονται για τις περισσότερες των περιπτώσεων στα ίδια επίπεδα και οι διαφορές που εντοπίζονται δικαιολογούνται από την οπτική πολυπλοκότητα των υδάτων και την εξάρτηση από τη περιοχή μελέτης.

### 5.3. Αποτελέσματα συσχετίσεων για πολυφασματικά δεδομένα

Σε αυτό το στάδιο, διερευνήθηκαν οι συσχετίσεις που προέκυψαν για τα κανάλια Simulated Landsat (B1 έως B5 και B8) και Landsat 8 (B1 έως B7), αντίστοιχα. Οι συσχετίσεις αυτές, προέκυψαν ανάμεσα στις παραμέτρους και τα μεμονωμένα κανάλια, τους λόγους, τις διαφορές, τους λόγους των διαφορών και των αθροισμάτων, των φυσικών λογαρίθμων και τέλος των λογαρίθμων των λόγων τους. Οι δείκτες αυτοί, αποτελούν είτε προτάσεις της διεθνούς βιβλιογραφίας, είτε προέκταση των προτάσεων αυτών με χρήση και άλλων διαθέσιμων συνδυασμών καναλιών.

Για τα Simulated Landsat δεδομένα πραγματοποιήθηκαν 118 συσχετίσεις για κάθε μία από τις εκάστοτε παραμέτρους, ενώ για τα δεδομένα Landsat 8, 138 συσχετίσεις. Για κάθε μία από αυτές υπολογίστηκαν παράλληλα η  $p$ -value καθώς και η συνάρτηση της μορφής  $y=ax+b$ .

Τα σημεία που τελικώς επιλέχθησαν μετά από δοκιμές να συμμετέχουν στη δημιουργία των μοντέλων παλινδρόμησης ήταν τα A3, A5, A6, A7, A9 και A10.

#### ➤ Δεδομένα Simulated Landsat

Σε πρώτο στάδιο πραγματοποιήθηκαν οι συσχετίσεις ανάμεσα στα Simulated Landsat κανάλια του GER B1, B2, B3, B4, B5, B1/B2, B1/B3, B1/B4, B2/B1, B3/B1, B3/B2 και στη Chl-a για τα σημεία της πελαγικής ζώνης. Στη μελέτη χρησιμοποιήθηκαν τόσο οι τιμές radiance όσο και reflectance. Οι πρώτες συσχετίσεις ήταν πολύ χαμηλές και τα δεδομένα παντελώς ασυσχέτιστα ( $r^2 < 0.1\%$ ). Η τελική ομάδα μετρήσεων που χρησιμοποιήθηκε ήταν η ίδια με τα υπερφασματικά και αποτελείται από τα σημεία A2, A3, A4, A5, A8 και A9. Οι συσχετίσεις που προέκυψαν για τα σημεία αυτά, με βάση τους προτεινόμενους δείκτες που υπάρχουν στη διεθνή βιβλιογραφία, φτάνουν σε κάποιες περιπτώσεις μέχρι και το 80-90%.

## ➤ Οπτικά Δεδομένα Landsat 8

### DN, ToA, Atcor

Πριν τη πραγματοποίηση ατμοσφαιρικής διόρθωσης, έγιναν δοκιμές προκειμένου να μελετηθούν οι προκύπτουσες συσχετίσεις από τα *raw* δορυφορικά δεδομένα, τις τιμές DN. Συγκεκριμένα, πραγματοποιήθηκαν συσχετίσεις για δοκιμασμένα μοντέλα με χρήση τόσο μεμονωμένων τιμών φατνίων, όσο και τιμών που προέκυψαν από παράθυρο 3x3 και 5x5 (με παράλληλο έλεγχο προκειμένου να αποκλειστούν τα φατνία που απεικόνιζαν ξηρά). Τα αποτελέσματα ήταν αρνητικά ενώ όσο αυξανόταν το μέγεθος του παραθύρου οι τιμές των συσχετίσεων έπεφταν.

Αντίστοιχες δοκιμές πραγματοποιήθηκαν και για τα δεδομένα μετά την επεξεργασία για αναγωγή στο *Top of the Atmosphere* με τα αποτελέσματα να κινούνται σε αρνητικά επίπεδα.

Επομένως, τα αποτελέσματα τα οποία αξιοποιήθηκαν και από τα οποία προέκυψαν οι τελικές συσχετίσεις είναι τα ατμοσφαιρικά διορθωμένα, τα οποία και παρατίθενται στη συνέχεια.

## ➤ Τελικές συσχετίσεις για SimL και L8

Στο σημείο αυτό παρατίθενται τα τελικά αποτελέσματα. Από το συνολικό αριθμό των πραγματοποιηθέντων συσχετίσεων, ως αξιοσημείωτα αναφέρονται αυτά που έδωσαν  $r^2$  μεγαλύτερο του 55%. Οι παράμετροι που απέδωσαν τις μεγαλύτερες συσχετίσεις, όπως ήταν αναμενόμενο, ήταν η  $chl_a$  και το  $NH_4$ , όπως ακριβώς δηλαδή και για τα υπερφασματικά δεδομένα. Παράλληλα, παρουσιάστηκε συμφωνία ανάμεσα στα κανάλια που χρησιμοποιήθηκαν για την εκάστοτε παράμετρο, τόσο για τα δεδομένα L8 όσο και για τα δεδομένα SimLC, κάτι που ενισχύει την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων αυτών.

Στη συνέχεια, για κάθε μία από τις παραμέτρους, έγινε επιλογή ορισμένων από τις συσχετίσεις προκειμένου να κατασκευαστούν οι αντίστοιχοι χάρτες του κεφαλαίου αυτού. Συγκεκριμένα, όπου αυτό ήταν επιτρεπτό, επιλέχθηκαν οι δείκτες με τις τρεις καλύτερες συσχετίσεις, καθώς και ένας επιπλέον δείκτης με λίγο χειρότερα αποτελέσματα. Για τα αποτελέσματα αυτά παρατίθενται και οι p-value.



Τα εκατέρωθεν αποτελέσματα τα οποία εμφανίζονται υπογραμμισμένα υποδηλώνουν πως οι συγκεκριμένοι δείκτες δίνουν θετικά αποτελέσματα τόσο για τα δεδομένα Landsat 8 όσο και για τα Simulated Landsat, κάτι που ενισχύει την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων<sup>20</sup>.

**Πίνακας 5.17: Αποτελέσματα συσχέτισεων για τη χλωροφύλλη-α για τα δορυφορικά πολυφασματικά δεδομένα**

<b>CHL-α (Χλωροφύλλη-α) σε L8</b>			<b>CHL-α (Χλωροφύλλη-α) σε SimL</b>		
<b>Δείκτης</b>	<b>r<sup>2</sup></b>	<b>Y=ax+b</b>	<b>Δείκτης</b>	<b>r<sup>2</sup></b>	<b>Y=ax+b</b>
<u>R480/(R440+R480+R560)</u>	<u>93.21</u>	$y = 520.2151x - 84.763$	<u>R440-R865</u>	<u>97.97</u>	$y = -2268.4363x + 135.5283$
<u>EXP(R560/R480)</u>	<u>92.68</u>	$y = -4.6853x + 78.1388$	<u>EXP(R440)</u>	<u>92.65</u>	$y = -1290.3175x + 1422.9288$
<u>R560/R480</u>	<u>91.37</u>	$y = -35.4545x + 114.155$	<u>R440</u>	<u>92.62</u>	$y = -1367.076x + 134.8$
<u>(R560/R480)+R655</u>	<u>91.04</u>	$y = -36.9929x + 119.3549$	<u>LnR440</u>	<u>92.11</u>	$y = -78.1147x - 167.7904$
<u>EXP(R480)</u>	<u>90.66</u>	$y = 949.7053x - 944.9629$	<u>R480-R865</u>	<u>91.50</u>	$y = -2044.9532x + 153.8185$
<u>R480</u>	<u>90.64</u>	$y = 986.0178x + 4.0687$	<u>(R440+R480)/2</u>	<u>87.48</u>	$y = -1276.4946x + 137.5948$
<u>LnR480-LnR560</u>	<u>90.58</u>	$y = 71.375x + 92.583$	<u>R560-R655</u>	<u>84.95</u>	$y = -3196.8176x + 175.7626$
<u>Log(R480/R560)</u>	<u>90.58</u>	$y = 164.3471x + 92.583$	<u>LnR480</u>	<u>81.91</u>	$y = -81.7511x - 162.0018$
<u>EXP(R655/R480)</u>	<u>90.10</u>	$y = -46.3695x + 240.4158$	<u>Ln(R560+R655)/(R440+R480)</u>	<u>81.25</u>	$y = -3.794x + 4.2891$
<u>LnR480</u>	<u>89.77</u>	$y = 36.5777x + 161.4695$	<u>R480</u>	<u>81.20</u>	$y = -1171.6646x + 138.1689$
<u>R655/R480</u>	<u>89.74</u>	$y = -196.735x + 327.9551$	<u>EXP(R480)</u>	<u>81.14</u>	$y = -1091.9963x + 1227.3791$
<u>R480/R560</u>	<u>89.70</u>	$y = 143.2762x - 28.6648$	<u>R560-R590</u>	<u>74.41</u>	$y = -6043.3228x + 160.2025$
<u>LnR480-LnR655</u>	<u>89.48</u>	$y = 284.2454x + 148.2715$	<u>(R480+R560)/2</u>	<u>73.94</u>	$y = -932.0663x + 140.7822$
<u>EXP(R560/R655)</u>	<u>89.35</u>	$y = -16.4485x + 108.8308$	<u>(R440-R560)/R655</u>	<u>69.61</u>	$y = -204.9045x - 96.3212$
<u>EXP(R480/R560)</u>	<u>89.24</u>	$y = 86.9263x - 100.4114$	<u>LnR560</u>	<u>69.33</u>	$y = -85.5129x - 132.0243$
<u>R480/R655</u>	<u>89.23</u>	$y = 410.607x - 240.5538$	<u>R560-R865</u>	<u>68.56</u>	$y = -1058.2728x + 150.6418$
<u>EXP(R480/R655)</u>	<u>89.05</u>	$y = 205.4566x - 366.8799$	<u>R560</u>	<u>67.44</u>	$y = -754.7843x + 140.284$
<u>R560/R655</u>	<u>88.42</u>	$y = -66.1803x + 134.6372$	<u>EXP(R560)</u>	<u>67.21</u>	$y = -673.3066x + 808.9108$
<u>(R440+R480)/2</u>	<u>88.04</u>	$y = 1009.5333x + 1.7942$	<u>LnR590</u>	<u>65.76</u>	$y = -79.3297x - 131.9434$
<u>LnR560-LnR655</u>	<u>87.67</u>	$y = -91.8724x + 72.7968$	<u>R590</u>	<u>63.35</u>	$y = -822.387x + 133.4722$
<u>Log(R560/R655)</u>	<u>87.67</u>	$y = -211.544x + 72.7968$	<u>EXP(R560/R440)</u>	<u>63.34</u>	$y = 13.7213x - 43.9594$
<u>R480-R2200</u>	<u>87.51</u>	$y = 1044.8854x + 3.9213$	<u>EXP(R590)</u>	<u>63.11</u>	$y = -746.0902x + 875.8405$
<u>R655/R560</u>	<u>86.86</u>	$y = 127.2997x - 49.142$	<u>(R865/R655)+R590</u>	<u>62.93</u>	$y = -405.4994x + 214.8139$
<u>EXP(R655)</u>	<u>86.74</u>	$y = 707.8182x - 706.4234$	<u>(R865+R590)/2</u>	<u>62.22</u>	$y = -1224.8484x + 127.2228$
<u>(R655/R560)+R865</u>	<u>86.71</u>	$y = 114.6801x - 41.8407$	<u>R560/R440</u>	<u>61.42</u>	$y = 88.4097x - 119.5$
<u>R655</u>	<u>86.71</u>	$y = 747.2653x + 0.33115$	<u>(R560+R655)/2</u>	<u>61.39</u>	$y = -807.0969x + 130.7863$
<u>(R655+R865)/2</u>	<u>86.42</u>	$y = 910.4807x + 9.7295$	<u>LnR865</u>	<u>61.26</u>	$y = -54.5597x - 152.7697$
<u>EXP(R655/R560)</u>	<u>86.23</u>	$y = 61.7579x - 84.4365$	<u>(R480-R560)/R440</u>	<u>60.67</u>	$y = -125.6258x - 38.8531$
<u>LnR655</u>	<u>85.89</u>	$y = 40.1494x + 158.1682$	<u>(R440-R560)/R480</u>	<u>60.33</u>	$y = -134.1613x - 51.4067$
<u>Ln(R560+R655)/(R440+R480)</u>	<u>85.49</u>	$y = 1.0759x + 69.8058$	<u>R560/(R440+R480+R560)</u>	<u>59.97</u>	$y = 887.5178x - 361.9152$
<u>R480-R1610</u>	<u>84.55</u>	$y = 1118.0443x + 1.9864$	<u>R440/(R440+R480+R560)</u>	<u>59.69</u>	$y = -1096.493x + 316.102$
<u>LnR440</u>	<u>84.26</u>	$y = 41.506x + 174.6441$	<u>R440/R560</u>	<u>59.41</u>	$y = -303.3604x + 208.8672$

<sup>20</sup> Στους πίνακες που γίνεται η καταγραφή των δεικτών η ονοματολογία των καναλιών B1, B2, B3, B4, B5, B6, B7, B8 και B9 έχει αντικατασταθεί κατ' αντιστοιχία και κατά περίπτωση με την ανακλαστικότητα στα κέντρα των καναλιών για να υπάρχει αρμονία με τα υπερφασματικά δεδομένα, δηλαδή R440, R480, R560, R655, R865, R1610, R2200, R590 και R1370.

$(R480+R560)/2$	83.39	$y = 919.1809x - 11.3159$
$R440$	83.19	$y = 1008.447x + 0.49396$
$EXP(R440)$	83.13	$y = 967.3219x - 965.975$
$LnR865$	82.27	$y = 15.8355x + 109.017$
$(R560+R655)/2$	81.62	$y = 794.065x - 10.917$
$(R480-R560)/R440$	81.61	$y = 41.4576x + 81.9673$
$R865$	81.61	$y = 1105.8873x + 25.3242$
$EXP(R865)$	81.57	$y = 1089.113x - 1063.6685$
$(R440-R560)/R480$	80.93	$y = 38.1835x + 78.7797$
$R440-R2200$	80.57	$y = 1083.9589x - 0.43062$
$R655/(R440+R480+R560)$	80.45	$y = 540.4411x - 149.1522$
$(R440-R655)/(R560-R655)$	80.23	$y = -33.8932x + 19.2997$
$R560/R865$	79.99	$y = -3.6325x + 61.8636$
$R560/(R440+R480+R560)$	79.76	$y = -304.2993x + 192.6638$
$R440-R1610$	79.63	$y = 1202.9463x - 4.3359$
$(R865+R1610)/2$	79.53	$y = 1765.5113x + 26.4189$
$(R440-R560)/R655$	77.76	$y = 61.893x + 82.9819$
$R865/R560$	77.51	$y = 103.4582x + 22.1924$
$EXP(R865/R560)$	76.90	$y = 84.7111x - 60.663$
$LnR440-LnR865$	75.91	$y = -23.9851x + 66.9185$
$R865/R440$	75.59	$y = 68.8928x + 17.2387$
$R440/R865$	75.25	$y = -8.0986x + 65.2829$
$EXP(R865/R440)$	75.22	$y = 48.1368x - 27.0828$
$LnR655-LnR865$	75.17	$y = -24.5982x + 74.9882$
$R655/R865$	75.07	$y = -6.2717x + 66.3438$
$R865/R655$	74.28	$y = 93.6291x + 17.1625$
$(R865/R655)+R1610$	74.26	$y = 91.7237x + 17.4315$
$EXP(R865/R655)$	73.87	$y = 71.4779x + -51.2784$
$EXP(R560)$	72.45	$y = 750.2349x - 768.6735$
$R560$	72.41	$y = 808.7599x - 20.6494$
$R480/R865$	71.75	$y = -9.6857x + 67.8391$
$LnR560$	71.74	$y = 60.5388x + 197.0205$
$Ln((R560+R655)/(R440+R480))$	71.57	$y = -109.8883x + 99.2233$
$R865/R480$	70.84	$y = 68.8435x + 15.542$
$EXP(R865/R480)$	70.27	$y = 46.6155x - 26.573$
$EXP(R440/R865)$	68.87	$y = -0.34403x + 49.2202$
$EXP(R480/R865)$	68.35	$y = -0.56208x + 51.0071$
$EXP(R655/R865)$	67.52	$y = -0.091552x + 47.7979$
$R480-R655$	67.06	$y = -2781.3567x - 5.9982$
$EXP(R560/R440)$	64.25	$y = -6.2945x + 84.236$
$R560-R2200$	63.73	$y = 783.3294x - 17.0161$
$EXP(R560/R865)$	63.21	$y = -0.0068184x + 45.6184$
$R560/R440$	61.33	$y = -38.9354x + 116.018$
$R440-R655$	59.77	$y = -1782.1538x + 16.3568$
$LnR440-LnR560$	59.74	$y = 70.7033x + 87.3684$
$R440/R560$	58.15	$y = 128.1299x - 25.4991$
$EXP(R440/R560)$	57.28	$y = 73.7052x - 82.8468$
$R560-R1610$	56.39	$y = 770.0114x - 15.4439$

$EXP(R440/R560)$	58.88	$y = -176.4389x + 348.048$
$EXP(R560/R480)$	57.73	$y = 39.5629x - 142.8593$
$R560/R480$	57.27	$y = 190.0696x - 250.8423$
$LnR480-LnR560$	56.99	$y = -298.0453x - 86.7071$
$Log(R480/R560)$	56.99	$y = -686.2748x - 86.7071$
$R480/R560$	56.71	$y = -467.097x + 345.415$
$LnR655$	56.60	$y = -65.5455x - 115.545$
$EXP(R480/R560)$	56.53	$y = -246.6681x + 514.3809$
$EXP(R480/R440)$	56.51	$y = 80.6621x - 220.4314$
$R865$	56.10	$y = -2284.0351x + 106.2742$
$R480/R440$	56.00	$y = 264.348x - 269.5997$
$EXP(R865)$	55.98	$y = -2229.0179x + 2334.6356$
$LnR440-LnR480$	55.57	$y = -313.5268x - 9.3441$
$Log(R440/R480)$	55.57	$y = -721.9222x - 9.3441$
$R440/R480$	55.15	$y = -371.6529x + 357.7282$

Τα πρώτα υπό μελέτη αποτελέσματα αφορούν τη παράμετρο  $chl-a$ . Παρατηρείται ότι οι συνδυασμοί καναλιών που δίνουν ικανοποιητικά αποτελέσματα είναι πολλοί και οι

διαφορές ανάμεσα στα τελικά  $r^2$  μικρές. Μεγαλύτερος αριθμός δυνατών συσχετίσεων πετυχαίνεται με τα δεδομένα του L8, χωρίς ωστόσο αυτό να σημαίνει ότι τα δεδομένα του SimL υστερούν σε μεγάλο βαθμό. Το κανάλι το οποίο εμφανίζεται σε μεγαλύτερο βαθμό κατά την επίτευξη των καλύτερων συσχετίσεων είναι το B3 και για τις δύο περιπτώσεις. Όσον αφορά τα L8, μεγάλος είναι ο αριθμός εμφάνισης των καναλιών B4 και B2, ενώ ακολουθούν τα B5 και B1. Αντιθέτως, όσον αφορά τα SimL, το B3 ακολουθείται από τα B1 και B2.

Οι τιμές των p-value για τα πρώτα είκοσι αποτελέσματα ήταν κάτω του 0.05 κάτι που ενισχύει την αξιοπιστία της συσχέτισης.

Μετά από μελέτη των δεικτών, δεν παρατηρείται κάποιο πρότυπο εμφάνισης ενός συγκεκριμένου είδους πράξεων ανάμεσα στα κανάλια, το οποίο να εμφανίζει συγκεκριμένα μεγαλύτερες συσχετίσεις. Οι συνδυασμοί αφορούν τόσο κυρίως προσθέσεις, διαιρέσεις και λογαρίθμους καναλιών ενώ θα μπορούσε να ειπωθεί πως οι δείκτες που αφορούν αφαιρέσεις καναλιών δίνουν σχετικά χαμηλότερα αποτελέσματα.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για το αμμώνιο ( $\text{NO}_3$ ). Για τη παράμετρο αυτή, τα αποτελέσματα των συσχετίσεων του L8 ήταν αρνητικά με μόνο ένα δείκτη να δίνει μέτρια συσχέτιση ( $\text{LnR}_{1610}$ - $\text{LnR}_{2200}$  με  $r^2=51.68$ ). Παρ' όλα αυτά, τα δεδομένα SimL δίνουν ικανοποιητικές συσχετίσεις οι οποίες φτάνουν μέχρι και το 82%. Συγκεκριμένα, το κανάλι που εμφανίζεται περισσότερες φορές στους δείκτες είναι το B5, ακολουθούμενο από το B4 και B3.

Παράλληλα, ισχυρότερες συσχετίσεις παρουσιάζονται για τους λόγους των εκάστοτε καναλιών, είτε αυτοί εμφανίζονται ξεχωριστά, είτε υψωμένα ως δύναμη του e.

Οι p-value για τιμές συσχετίσεων μέχρι 65% είναι εντός του επιτρεπτού ορίου του 0.05.

**Πίνακας 5.18: Αποτελέσματα συσχετίσεων για τα νιτρικά ιόντα για τα δορυφορικά πολυφασματικά δεδομένα**

<b>NO<sub>3</sub> (Νιτρικά Ιόντα) σε SimL</b>		
<b>Δείκτης</b>	<b>r<sup>2</sup></b>	<b>Y=ax+b</b>
EXP(R865/R560)	82.68	y = 11.3936x -13.4323
R865/R560	82.32	y = 13.979x -2.3108
R560/R590	81.94	y = -16.7803x + 20.3396
EXP(R560/R590)	81.76	y = -5.1853x + 17.415
R560/R865	78.62	y = -0.57791x + 3.3859
EXP(R865/R590)	78.27	y = 10.4206x -12.7162
R865/R590	77.88	y = 13.241x -2.6456
LnR865-LnR590	76.25	y = 3.1636x + 5.0522
EXP(R865/R480)	73.27	y = 7.0757x + -9.2486
R865/R480	72.93	y = 9.8059x -2.6409
R480/R865	70.92	y = -1.0388x + 3.7525
EXP(R560/R865)	68.66	y = -0.0039376x + 1.1078
EXP(R480/R865)	67.88	y = -0.047417x + 1.5995
EXP(R655/R560)	65.93	y = 4.429x -8.1235
(R655/R560)+ R865	65.22	y = 7.4537x -4.6401
R655/R560	65.20	y = 8.6641x + -5.2714
LnR560-LnR655	64.10	y = -5.8072x + 2.8616
Log(R560/R655)	64.10	y = -13.3716x + 2.8616
EXP(R865/R655)	64.02	y = 8.9932x -11.6565
R865/R655	63.78	y = 12.1542x -3.162
LnR655-LnR865	63.02	y = -3.6577x + 4.8916
R560/R655	62.99	y = -3.8884x + 6.3419
R655/R865	62.28	y = -1.0998x + 4.1574
EXP(R560/R655)	61.30	y = -0.87133x + 4.4177
EXP(R655/R865)	59.99	y = -0.039257x + 1.6038

Το NH<sub>4</sub> αποτελεί την επόμενη παράμετρο η οποία παρέχει ενθαρρυντικά καλά αποτελέσματα και για τις δύο ομάδες δεδομένων με συσχετίσεις που φτάνουν ακόμα και το 88%.

Τα κανάλια τα οποία εμφανίζονται περισσότερες φορές και στις δύο περιπτώσεις είναι τα B3, B4 και B5 ενώ οι δείκτες με τις μεγαλύτερες συσχετίσεις είναι αυτοί που περιέχουν κυρίως αθροίσματα και λόγους καναλιών (πχ. B4/(B1+B2+B3) με r<sup>2</sup>=85%) αλλά και λογαρίθμους (πχ. Log(R560/R655) με r<sup>2</sup>=71%). Και εδώ οι p-value είναι εντός των επιθυμητών ορίων για συσχετίσεις έως 65%.

**Πίνακας 5.19: Αποτελέσματα συσχετίσεων για το αμμώνιο  
για τα δορυφορικά πολυφασματικά δεδομένα**

<b>NH<sub>4</sub> (Αμμώνιο) σε L8</b>			<b>NH<sub>4</sub> (Αμμώνιο) σε SimL</b>		
<b>Δείκτης</b>	<b>r<sup>2</sup></b>	<b>Y=ax+b</b>	<b>Δείκτης</b>	<b>r<sup>2</sup></b>	<b>Y=ax+b</b>
(R440-R655)/(R560-R655)	87.19	y = -0.16865x -0.048761	R655/R590	88.53	y = 2.3143x -1.7541
R655/(R440+R480+R560)	85.76	y = 2.6633x -0.87777	(R655/R560)+R865	88.50	y = 1.5968x -1.033
(R480-R655)/R560	79.58	y = -4.2992x -0.89229	EXP(R655/R590)	88.46	y = 1.0468x -2.2326
EXP(R865/R440)	76.75	y = 0.23208x -0.26873	EXP(R560/R655)	87.86	y = -0.19185x + 0.93074
R865/R440	75.74	y = 0.32914x -0.05391	R560/R655	87.31	y = -0.84195x + 1.3331
LnR440-LnR865	72.38	y = -0.11179x + 0.18064	LnR560-LnR655	86.90	y = -1.2436x + 0.57394
R480/(R440+R480+R560)	71.54	y = 2.1754x -0.4651	Log(R560/R655)	86.90	y = -2.8634x + 0.57394
EXP(R560/R655)	71.37	y = -0.070169x + 0.35	R655/R560	86.47	y = 1.8351x -1.1542
R560/R655	71.18	y = -0.28343x + 0.46162	EXP(R655/R560)	86.17	y = 0.93126x -1.7449
LnR560-LnR655	70.99	y = -0.39461x + 0.19715	EXP(R865/R480)	81.19	y = 1.3699x -1.8189
Log(R560/R655)	70.99	y = -0.90862x + 0.19715	R865/R480	81.13	y = 1.9021x -0.54079
(R655/R560)+R865	70.90	y = 0.49499x -0.29703	R480/R865	80.68	y = -0.20378x + 0.70647
R655/R560	70.75	y = 0.54841x -0.32778	EXP(R480/R865)	79.74	y = -0.0094518x + 0.28757
EXP(R655/R560)	70.55	y = 0.26664x -0.48105	EXP(R560/R590)	75.13	y = -0.91415x + 3.0507
EXP(R865)	69.12	y = 4.7853x -4.7932	R560/R590	74.88	y = -2.9502x + 3.5568
R865	69.11	y = 4.8574x -0.0084707	EXP(R865/R440)	71.69	y = 0.84001x -1.172
R865/R560	68.60	y = 0.46456x -0.024265	R865/R440	71.01	y = 1.239x -0.41415
EXP(R865/R480)	68.54	y = 0.21976x -0.25881	LnR440-LnR865	69.10	y = -0.47875x + 0.5209
EXP(R865/R560)	68.49	y = 0.38161x -0.39782	(R655+R865)/2	68.26	y = 4.5529x -0.16101
R440/R865	68.42	y = -0.036862x + 0.17059	EXP(R865)	68.25	y = 8.0292x -8.1511
R865/R480	68.15	y = 0.3223x -0.059382	R865	68.17	y = 8.2134x -0.12392
(R655+R865)/2	67.37	y = 3.8372x -0.071051	EXP(R655)	67.57	y = 2.8842x -3.048
LnR865	66.84	y = 0.068129x + 0.35319	EXP(R865/R560)	67.50	y = 1.8934x -2.2465
EXP(R865/R655)	66.60	y = 0.32396x -0.35813	R655	67.40	y = 3.1078x -0.17199
R865/R655	66.49	y = 0.42283x -0.047514	R865/R560	67.36	y = 2.3257x -0.39882
R560/R865	66.36	y = -0.015792x + 0.15117	R440/R865	67.02	y = -0.18387x + 0.5426
EXP(R560/R480)	66.09	y = -0.018885x + 0.2108	R560/R865	65.75	y = -0.097196x + 0.55416
(R865/R655)+R1610	66.02	y = 0.41281x -0.045906	LnR655	65.32	y = 0.22971x + 0.65841
LnR655-LnR865	65.48	y = -0.10959x + 0.21168	R440-R590	65.31	y = -5.9508x -0.15794
R440-R655	65.20	y = -8.8841x -0.063651	LnR865	64.91	y = 0.18321x + 0.75882
R560/R480	65.02	y = -0.14275x + 0.35567	R480-R590	64.43	y = -9.2252x -0.16424
(R560/R480)+R655	64.67	y = -0.14882x + 0.37633	EXP(R865/R590)	63.19	y = 1.722x -2.1151
LnR480-LnR560	64.38	y = 0.28721x + 0.26868	R440-R480	63.17	y = -15.8322x -0.13439
Log(R480/R560)	64.38	y = 0.66132x + 0.26868	R480-R440	63.17	y = 15.8322x -0.13439
R480/R865	64.34	y = -0.043779x + 0.18144	R865/R590	62.97	y = 2.1897x -0.45137
EXP(R655)	64.08	y = 2.9038x -3.0053	LnR865-LnR590	62.03	y = 0.52476x + 0.82391
R655	64.02	y = 3.0648x -0.10584	(R865+R590)/2	61.33	y = 3.9671x -0.17242
(R865+R1610)/2	63.84	y = 7.5501x -0.0017412	EXP(R440/R865)	60.96	y = -0.013175x + 0.24469
R655/R865	63.67	y = -0.02757x + 0.17178	EXP(R560/R865)	60.44	y = -0.0006794x + 0.17361
R480/R560	63.67	y = 0.57614x -0.21901	R440-R560	59.64	y = -4.775x -0.19814
EXP(R480/R560)	63.29	y = 0.34942x -0.50731	R560-R440	59.64	y = 4.775x -0.19814
LnR655	62.88	y = 0.16397x + 0.53951	(R560+R655)/2	59.28	y = 2.5873x -0.18136
EXP(R480)	62.84	y = 3.774x -3.8569	EXP(R590)	58.28	y = 2.3388x -2.5114
R480	62.82	y = 3.9182x -0.085537	R590	58.14	y = 2.5699x -0.1834
(R440-R655)/R560	62.47	y = -1.0594x -0.13129	R440-R655	57.44	y = -5.7208x -0.030148
LnR480	62.12	y = 0.14524x + 0.53958	LnR590	56.77	y = 0.24045x + 0.62872
R480-R655	61.96	y = -12.7609x -0.15564			

<b>R480-R2200</b>	60.35	$y = 4.1418x - 0.085736$
<b>R480-R1610</b>	60.02	$y = 4.4963x - 0.095774$
<b>(R560+R655)/2</b>	57.85	$y = 3.1909x - 0.14749$
<b>(R440+R480)/2</b>	57.70	$y = 3.9011x - 0.090062$
<b>Ln(R560+R655)/(R440+R480)</b>	57.22	$y = 0.0042016x + 0.17385$
<b>(R480/R440)+R560</b>	57.10	$y = 0.55073x - 0.48935$
<b>(R480+R560)/2</b>	56.90	$y = 3.6241x - 0.14499$
<b>EXP(R480/R865)</b>	56.26	$y = -0.002434x + 0.10384$
<b>EXP(R440/R865)</b>	55.64	$y = -0.001476x + 0.095853$

**Πίνακας 5.20: Αποτελέσματα συσχετίσεων για τον ολικό φώσφορο για τα δορυφορικά πολυφασματικά δεδομένα**

<b>TP (Ολικός Φώσφορος) σεL8</b>		
<b>Δείκτης</b>	<b><math>r^2</math></b>	<b><math>Y=ax+b</math></b>
<b>(R480-R655)/R560</b>	78.90	$y = 2.4517x - 0.58629$

Αρνητικές συσχετίσεις παρουσιάστηκαν και για τον ολικό φώσφορο με τη μοναδική εξαίρεση να εμφανίζεται στα δεδομένα του L8 για το δείκτη (B2-B4)/B3 με συσχέτιση που κυμαίνεται στο 79% και p-value 0.02.

Για το επόμενο αντικείμενο μελέτης, το pH, αποτελέσματα έδωσε και πάλι μόνο ο L8.

**Πίνακας 5.21: Αποτελέσματα συσχετίσεων για το pH για τα δορυφορικά πολυφασματικά δεδομένα**

<b>pH σεL8</b>		
<b>Δείκτης</b>	<b><math>r^2</math></b>	<b><math>Y=ax+b</math></b>
<b>LnR865-LnR1610</b>	79.26	$y = 0.5305x + 7.398$
<b>R440-R560</b>	75.31	$y = -59.755x + 6.1576$
<b>R560-R440</b>	75.31	$y = 59.755x + 6.1576$
<b>R865/R1610</b>	73.98	$y = 0.080532x + 7.8489$
<b>R480-R560</b>	64.71	$y = -72.0517x + 5.516$
<b>R560-R480</b>	64.71	$y = 72.0517x + 5.516$
<b>EXP(R440/R655)</b>	63.98	$y = -3.1801x + 14.9992$
<b>R440/R655</b>	63.94	$y = -6.6221x + 13.2333$
<b>LnR440-LnR655</b>	63.85	$y = -4.8543x + 6.8698$
<b>R655/R440</b>	63.76	$y = 3.5565x + 3.524$
<b>EXP(R655/R440)</b>	63.60	$y = 0.90734x + 4.8235$
<b>R865/R2200</b>	59.86	$y = 0.064122x + 7.8333$

Ισχυρότερη συσχέτιση έδωσε ο δείκτης  $\ln R_{865} - \ln R_{1610}$ , η οποία κυμάνθηκε στο 79%. Τα κανάλια με τις περισσότερες εμφανίσεις στους βέλτιστους δείκτες ήταν τα B1, B4 και B3, ακολουθούμενα από τα B2, B6 και B7. Συσχετίσεις μέχρι 65% δίνουν p-value μέχρι 0.05.

Στη συνέχεια, η αγωγιμότητα έδωσε μόνο μία συσχέτιση, και μάλιστα μέτριας τιμής ( $r^2=57.5\%$ ), για τα δεδομένα του L8 και τη διαφορά των καναλιών B2-B5. Ωστόσο ισχυρές εμφανιζόμενες συσχέτισεις είχαμε για τα δεδομένα SimL, με τιμές που έφτασαν μέχρι το 75%.

**Πίνακας 5.22: Αποτελέσματα συσχετίσεων για την αγωγιμότητα για τα δορυφορικά πολυφασματικά δεδομένα**

<b>CONDUCTIVITY (Αγωγιμότητα) σε L8</b>			<b>CONDUCTIVITY (Αγωγιμότητα) σε SimL</b>		
<b>Δείκτης</b>	<b><math>r^2</math></b>	<b><math>Y=ax+b</math></b>	<b>Δείκτης</b>	<b><math>r^2</math></b>	<b><math>Y=ax+b</math></b>
<b>R480-R865</b>	57.48	$y = -6.7982x + 4.0864$	<b>(R655/R560)+R865</b>	75.42	$y = -0.37352x + 4.1832$
			<b>EXP(R480/R865)</b>	74.60	$y = 0.0023165x + 3.8719$
			<b>R480/R865</b>	73.58	$y = 0.049307x + 3.7712$
			<b>R865/R480</b>	72.94	$y = -0.45697x + 4.0719$
			<b>EXP(R865/R480)</b>	72.84	$y = -0.32876x + 4.3785$
			<b>R655/R560</b>	71.20	$y = -0.42193x + 4.2066$
			<b>EXP(R655/R560)</b>	71.19	$y = -0.21448x + 4.3432$
			<b>LnR560-LnR655</b>	71.19	$y = 0.28518x + 3.8096$
			<b>Log(R560/R655)</b>	71.19	$y = 0.65665x + 3.8096$
			<b>R560/R655</b>	71.14	$y = 0.19257x + 3.6363$
			<b>EXP(R560/R655)</b>	71.00	$y = 0.0437x + 3.7291$
			<b>EXP(R655/R590)</b>	70.41	$y = -0.23664x + 4.4457$
			<b>R655/R590</b>	70.23	$y = -0.52227x + 4.3368$
			<b>EXP(R865)</b>	69.99	$y = -2.0602x + 6.0346$
			<b>R865</b>	69.91	$y = -2.1075x + 3.975$
			<b>(R655+R865)/2</b>	69.08	$y = -1.1605x + 3.9841$
			<b>EXP(R655)</b>	68.15	$y = -0.73397x + 4.7187$
			<b>R655</b>	67.86	$y = -0.79014x + 3.9867$
			<b>EXP(R865/R560)</b>	66.87	$y = -0.47751x + 4.5094$
			<b>R865/R560</b>	66.86	$y = -0.5871x + 4.0436$
			<b>R560/R865</b>	66.64	$y = 0.024793x + 3.8017$
			<b>EXP(R560/R590)</b>	66.50	$y = 0.21792x + 3.2146$
			<b>R560/R590</b>	66.34	$y = 0.70361x + 3.0936$
			<b>LnR865</b>	66.19	$y = -0.046878x + 3.749$
			<b>EXP(R560/R865)</b>	65.20	$y = 0.0001788x + 3.898$
			<b>(R865+R590)/2</b>	63.96	$y = -1.0265x + 3.9879$
			<b>EXP(R865/R590)</b>	63.88	$y = -0.43867x + 4.4819$
			<b>R865/R590</b>	63.81	$y = -0.55853x + 4.0582$
			<b>LnR655</b>	63.80	$y = -0.057522x + 3.7779$
			<b>LnR865-LnR590</b>	63.56	$y = -0.13459x + 3.7318$
			<b>(R560+R655)/2</b>	61.53	$y = -0.66788x + 3.9901$
			<b>EXP(R590)</b>	61.30	$y = -0.6078x + 4.596$
			<b>R590</b>	61.00	$y = -0.66703x + 3.991$
			<b>EXP(R865/R440)</b>	60.11	$y = -0.19489x + 4.2134$
			<b>(R865/R655)+R590</b>	60.02	$y = -0.32735x + 4.0563$



<b>R865/R440</b>	59.43	$y = -0.28722x + 4.0374$
<b>LnR590</b>	57.75	$y = -0.061453x + 3.7824$
<b>LnR440-LnR865</b>	57.57	$y = 0.11072x + 3.8209$
<b>R440-R590</b>	57.03	$y = 1.409x + 3.9792$
<b>EXP(R560)</b>	56.12	$y = -0.50857x + 4.4966$
<b>R480-R590</b>	55.92	$y = 2.1775x + 3.9805$
<b>R560</b>	55.85	$y = -0.56774x + 3.9913$
<b>R440-R480</b>	55.76	$y = 3.769x + 3.9739$
<b>R480-R440</b>	55.76	$y = -3.769x + 3.9739$
<b>R440/R865</b>	55.54	$y = 0.042413x + 3.8162$
<b>R440-R560</b>	55.11	$y = 1.163x + 3.9905$
<b>R560-R440</b>	55.11	$y = -1.163x + 3.9905$

Επικρατέστατο ήταν το κανάλι Β5 το οποίο εμφανίστηκε στους περισσότερους από τους δείκτες που έδωσαν θετικά αποτελέσματα, ενώ ικανοποιητικά ήταν και τα αποτελέσματα για τα κανάλια Β3 και Β4, ακολουθούμενα από το Β8, το Β2 και το Β1. Οι δείκτες που αποτελούνταν από αθροίσματα και λόγους καναλιών, καθώς και κανάλια υψωμένα ως δυνάμεις του e, παρουσιάζουν τις καλύτερες συσχετίσεις. Αντιστοίχως με προηγούμενως, η τελευταία συσχέτιση με p-value μικρότερη του 0.05 κυμαίνεται στο 66%.

Τελευταία υπό μελέτη παράμετρο αποτελεί το διαλυμένο οξυγόνο. Τα αποτελέσματα ήταν ενθαρρυντικά κυρίως για τα δεδομένα του L8 των οποίων οι συσχετίσεις έφτασαν μέχρι και το 94%. Παράλληλα. Τα δεδομένα του SimL έδωσαν συσχετίσεις μέχρι και 83%. Και για τις δύο περιπτώσεις, τα κανάλια που συμμετείχαν περισσότερο στους θετικούς δείκτες ήταν τα Β3 και Β4, με τα υπόλοιπα να ακολουθούν με μικρές, μεταξύ τους, διαφορές. Οι p-value κινούνται στα ίδια επίπεδα με προηγούμενως.

**Πίνακας 5.23: Αποτελέσματα συσχετίσεων για το διαλυμένο οξυγόνο για τα δορυφορικά πολυφασματικά δεδομένα**

<b>DO% (Διαλυμένο Οξυγόνο) σε L8</b>			<b>DO% (Διαλυμένο Οξυγόνο) σε SimL</b>		
<b>Δείκτης</b>	<b>r<sup>2</sup></b>	<b>Y=ax+b</b>	<b>Δείκτης</b>	<b>r<sup>2</sup></b>	<b>Y=ax+b</b>
<b>R560-R655</b>	90.27	$y = 5226.6304x - 2.3119$	<b>R655/R590</b>	83.6	$y = -659.9373x + 624.8749$
<b>LnR2200</b>	88.28	$y = -32.9086x - 93.7993$	<b>EXP(R655/R590)</b>	83.44	$y = -298.3351x + 760.957$
<b>R2200</b>	83.94	$y = -15988.1495x + 143.892$	<b>EXP(R560/R655)</b>	82.42	$y = 54.5252x - 139.912$
<b>EXP(R2200)</b>	83.92	$y = -15953.4102x + 16097.2668$	<b>R560/R655</b>	81.72	$y = 239.0306x - 253.8846$
<b>R560/R2200</b>	77.54	$y = 0.75775x + 79.8609$	<b>LnR560-LnR655</b>	81.23	$y = 352.8064x - 38.2518$
<b>(R1610+R2200)/2</b>	74.35	$y = -10413.9286x + 136.0107$	<b>Log(R560/R655)</b>	81.23	$y = 812.3668x - 38.2518$
<b>EXP(R480/R560)</b>	73.6	$y = -163.6809x + 380.6247$	<b>R655/R560</b>	80.73	$y = -520.2931x + 451.7962$
<b>R480/R560</b>	73.3	$y = -268.5399x + 244.9033$	<b>EXP(R655/R560)</b>	80.37	$y = -263.9213x + 619.0723$
<b>(R560/R480)+R655</b>	73.02	$y = 68.6916x - 31.1988$	<b>(R655/R560)+R865</b>	78.74	$y = -441.9902x + 410.0066$
<b>LnR1610</b>	72.71	$y = -22.2413x - 21.7013$	<b>EXP(R560/R590)</b>	68.38	$y = 255.9193x - 729.7527$
<b>LnR480-LnR560</b>	72.6	$y = -132.4921x + 18.5434$	<b>R560/R590</b>	68.16	$y = 825.9924x - 871.5036$



Log(R480/R560)	72.60	$y = -305.0743x + 18.5434$
R440/R2200	72.31	$y = 1.5727x + 76.8348$
R560/R480	71.8	$y = 65.165x - 20.199$
LnR440-LnR2200	71.44	$y = 35.6334x + 2.2964$
EXP(R655/R560)	71.43	$y = -116.5464x + 351.0751$
EXP(R655/R480)	71.39	$y = 85.5819x - 253.7775$
R480/ (R440+R480+R560)	71.36	$y = -943.7433x + 342.3635$
R655/R480	71.27	$y = 363.5158x - 415.9404$
LnR480-LnR655	71.17	$y = -525.5994x - 84.0746$
R480/R655	71.07	$y = -759.7948x + 635.2766$
R655/R560	71.05	$y = -238.7243x + 283.3766$
EXP(R480/R655)	70.99	$y = -380.358x + 869.3864$
LnR560-LnR655	70.45	$y = 170.7584x + 55.2015$
Log(R560/R655)	70.45	$y = 393.1857x + 55.2015$
EXP(R560/R480)	69.83	$y = 8.4322x + 47.3435$
R560/R655	69.78	$y = 121.9008x - 58.2079$
(R655/R560)+R865	69.75	$y = -213.2556x + 268.3505$
(R480-R560)/R440	69.74	$y = -79.4603x + 35.8961$
R560/ (R440+R480+R560)	68.73	$y = 585.684x - 177.4741$
EXP(R560/R655)	68.73	$y = 29.9108x - 9.1268$
(R440-R560)/R480	68.43	$y = -72.7996x + 42.3668$
R560/R1610	67.69	$y = 0.7434x + 86.8738$
LnR440-LnR1610	67.37	$y = 25.994x + 38.4236$
R1610	67.14	$y = -7436.3905x + 131.4052$
EXP(R1610)	67.12	$y = -7412.5243x + 7543.8959$
(R440-R560)/R655	66.8	$y = -118.942x + 33.7486$
R655/R2200	66.64	$y = 1.0801x + 79.1297$
(R440-R655)/ (R560-R655)	65.27	$y = 63.3859x + 154.9067$
R440/R1610	64.42	$y = 1.5192x + 85.0437$
Ln((R560+R655)/ (R440+R480))	63.91	$y = 215.3111x + 0.42149$
R480/R2200	63.04	$y = 1.5828x + 78.8226$
EXP(R865/R2200)	62.77	$y = 0.0005728x + 105.0677$
(R865+R1610)/2	62.28	$y = -3239.4942x + 141.0076$
EXP(R865/R560)	61.98	$y = -157.6944x + 303.5578$
R865/R560	61.11	$y = -190.4655x + 148.8898$
EXP(R560/R440)	59.18	$y = 12.5252x + 28.5294$
R655/ (R440+R480+R560)	59.13	$y = -960.6838x + 452.1516$
R655/R1610	58.55	$y = 1.0286x + 87.0842$
EXP(R480/R2200)	58.02	$y = 1.7429e-011x + 106.8803$
R560/R440	57.45	$y = 78.1306x - 35.9399$
EXP(R865/R440)	56.52	$y = -86.5108x + 236.5351$
LnR440-LnR560	56.48	$y = -142.54x + 21.1353$
R480/R1610	56.05	$y = 1.5033x + 86.9477$
EXP(R865/R655)	56.02	$y = -129.0663x + 280.8202$
EXP(R865)	55.89	$y = -1869.2001x + 2009.9131$
R865	55.78	$y = -1895.6939x + 140.8828$
(R865/R655)+ R1610	55.55	$y = -164.4891x + 156.4356$
R440/R560	55.5	$y = -259.5376x + 249.3339$

R440-R480	68.00	$y = 4820.3595x + 166.9675$
R480-R440	68.00	$y = -4820.3595x + 166.9675$
R440-R590	62.44	$y = 1707.4844x + 170.1263$
R440-R655	61.69	$y = 1739.6425x + 135.1908$
R655/ (R440+R480+R560)	59.7	$y = -773.914x + 345.4869$
EXP(R865/R440)	58.72	$y = -223.0728x + 434.5398$
R865/R440	58.36	$y = -329.6082x + 233.5035$
R480-R590	57.38	$y = 2554.5993x + 169.5789$
LnR440-LnR865	57.37	$y = 128.0035x - 15.8512$
R440/R865	56.26	$y = 49.434x - 22.3504$

Τέλος, παρατίθενται τα αποτελέσματα για τη θερμοκρασία (T). Μπορεί για την ανάκτηση της θερμοκρασίας να χρησιμοποιούνται κατά κόρον τα αποτελέσματα από τα κανάλια B10 και B11 του δέκτη TIRS, ωστόσο έγινε διερεύνηση της πιθανότητας εντοπισμού συσχετίσεων της θερμοκρασίας της επιφάνειας του ύδατος και με τα κανάλια του δέκτη OLI.

**Πίνακας 5.24: Αποτελέσματα συσχετίσεων για τη θερμοκρασία για τα δορυφορικά πολυφασματικά δεδομένα**

<b>T (θερμοκρασία) σε L8</b>			<b>T (θερμοκρασία) σε SimL</b>		
<b>Δείκτης</b>	<b>r<sup>2</sup></b>	<b>Y=ax+b</b>	<b>Δείκτης</b>	<b>r<sup>2</sup></b>	<b>Y=ax+b</b>
R480/(R440+R480+R560)	67.02	$y = -58.2052x + 41.045$	(R480/R440)+R560	85.59	$y = -12.0406x + 42.3601$
EXP(R655/B2)	65.98	$y = 5.2358x + 4.4587$	EXP(B4/B2)	84.83	$y = -3.4363x + 36.2648$
R655/B2	65.85	$y = 22.2378x + -5.4597$	B4/B2	84.72	$y = -9.6731x + 36.5911$
LnR480-LnR655	65.76	$y = -32.1521x + 14.8423$	(R480-R655)/ R560	84.66	$y = 15.2204x + 26.903$
R480/R655	65.66	$y = -46.4774x + 58.846$	LnR480-LnR655	84.59	$y = 9.9926x + 26.9116$
EXP(R480/R655)	65.59	$y = -23.2668x + 73.1666$	R480/R655	84.42	$y = 10.3091x + 16.5957$
LnR2200	65.41	$y = -1.8027x + 15.5542$	B2-B4	84.35	$y = 119.5295x + 26.8605$
(R440-R655)/(R560-R655)	62.56	$y = 3.9492x + 29.5115$	EXP(R480/R655)	84.24	$y = 3.9041x + 16.2852$
EXP(B2/R2200)	62.52	$y = 1.1513e-012x + 26.5054$	B1-B4	83.39	$y = 75.9452x + 27.6406$
R560-R655	62.20	$y = 276.087x + 20.7865$	(R440-R655)/ R560	82.79	$y = 10.3016x + 27.8537$
(R560/R480)+R655	62.02	$y = 4.0288x + 18.4344$	R655/(R440+R480+R560)	82.55	$y = -34.1711x + 36.9412$
R560/B2	61.13	$y = 3.8265x + 19.0704$	(R440-R655)/(R560-R655)	82.12	$y = 2.9703x + 27.664$
LnR480-LnR560	61.03	$y = -7.7303x + 21.3799$	EXP(B4/B1)	80.83	$y = -1.3925x + 31.4038$
Log(R480/R560)	61.03	$y = -17.7996x + 21.3799$	B4/B1	80.31	$y = -4.7517x + 32.4578$
EXP(R560/B2)	60.94	$y = 0.50129x + 22.9905$	R440/R655	79.5	$y = 7.0797x + 20.8145$
R480/R560	60.81	$y = -15.5652x + 34.5355$	EXP(R440/R655)	79.18	$y = 3.108x + 19.5454$
EXP(R480/R560)	60.64	$y = -9.4554x + 42.3495$	(R440-R480)/(R560-R655)	76.79	$y = 7.5115x + 28.8284$
EXP(R865/R2200)	60.02	$y = 3.5646e-005x + 26.4068$	B1-B2	74.14	$y = 188.9774x + 28.7496$
EXP(R440/R2200)	59.92	$y = 8.8124e-014x + 26.5296$	B2-B1	74.14	$y = -188.9774x + 28.7496$
R2200	59.74	$y = -845.0319x + 28.5105$	(R440-R480)/R560	69.35	$y = 28.0295x + 29.417$
EXP(R2200)	58.69	$y = -843.1299x + 871.6384$	R440-R590	66.08	$y = 65.9515x + 28.8355$
R560/R2200	57.9	$y = 0.041617x + 25.0627$	Ln((R560+R655)/(R440+R480))	65.79	$y = -7.9722x + 29.3058$
EXP(R560/R655)	57.88	$y = 1.7429x + 19.7747$	EXP(R440/R480)	64.8	$y = 6.2451x + 12.0839$
R560/R655	57.75	$y = 7.0435x + 16.9972$	R440/R480	64.45	$y = 14.4419x + 14.4244$
LnR560-LnR655	57.62	$y = 9.8045x + 23.5701$	LnR440-LnR480	64.03	$y = 12.0965x + 28.6713$
Log(R560/R655)	57.53	$y = 22.5756x + 23.5701$	Log(R440/R480)	64.03	$y = 27.8532x + 28.6713$
R655/R560	57.35	$y = -13.6184x + 36.6073$	EXP(R440/R590)	63.62	$y = 4.9843x + 17.1161$
EXP(R655/R560)	57.35	$y = -6.6166x + 40.4033$	R480/R440	63.59	$y = -10.1252x + 38.6225$
R655/(R440+R480+R560)	57.1	$y = -59.7563x + 47.9962$	R440/R590	63.06	$y = 9.4113x + 20.5541$
(R655/R560)+R865	56.85	$y = -12.1244x + 35.7196$	EXP(R480/R440)	63.04	$y = -3.0622x + 36.6468$

EXP(R440/R865)	62.25	$y = 0.14669x + 24.3643$
LnR440-LnR590	62.12	$y = 5.9626x + 29.2514$
R480-R590	59.58	$y = 97.7422x + 28.7906$
EXP(R480/R590)	59	$y = 7.0443x + 11.5044$
EXP(R480/R590)	59	$y = 7.0443x + 11.5044$
R480/R590	58.55	$y = 14.9878x + 15.1808$
R440/R865	56.74	$y = 1.8641x + 21.5172$

Για τα δεδομένα του LC, υπήρξαν κάποιες συσχετίσεις, με μεγαλύτερη εμφανιζόμενη τιμή το 67%. Παράλληλα, τα SimL δεδομένα έδωσαν συσχετίσεις που έφτασαν ακόμα και το 85%. Όπως ήταν αναμενόμενο, η p-value για το κάθε δείκτη είναι κάτω του 0.05 για συσχετίσεις μεγαλύτερες του 65%. Τα κανάλια που έκαναν περισσότερο την εμφάνιση τους στους δείκτες με τα καλύτερα αποτελέσματα ήταν το B3 και το B4, ακολουθούμενα από το B2 και το B1.

**Πίνακας 5.25: Σύγκριση αποτελεσμάτων μεταξύ ερευνητικών εργασιών της βιβλιογραφίας με τα αποτελέσματα της διπλωματικής για τη χλωροφύλλη-α για τον Landsat 8.**

<b>Chl-a</b>			
<b>βιβλιογραφία</b>	<b>Equation/Bands</b>	<b>r<sup>2</sup> (βιβλιογραφία)</b>	<b>r<sup>2</sup> (βιβλιογραφία)</b>
Chen et al., 2008 (LS 7 ETM+)	<i>ETM1, ETM2, ETM3, ETM4, ETM5, ETM7</i>	0.68	0.90
Alparslan et al., 2007 (LS 7 ETM+)	<i>ETM1, ETM2, ETM3, ETM4</i>	0.58	0.90
Giardino et al., 2001, Sudheer et al., 2006 (LS TM)	<i>TM1, TM2</i>	0.54	0.90
Tyler et al., 2006 (LS TM, ETM)	<i>TM1, TM2, TM3 OR ETM1, ETM2, ETM3</i>	0.95	0.90
Wang et al., 2006 (LS 5 TM)	<i>TM2, TM3</i>	0.71	0.86
Hellweger et al., 2004 (LS TM)	<i>Log(TM2/TM3)</i>	0.78	0.88
Brivio et al., 2001 (LS TM)	<i>(TM1-TM3)/TM2</i>	0.82	0.32
Ostlund et al., 2001 (LS TM)	<i>LnTM1- LnTM2</i>	0.68	0.91
Mayo et al., 1995 (S1. LS)	<i>Log(TM1/TM2)</i>	0.88	0.91
	<i>(TM1-TM3)/TM2</i>	0.71	0.32

Στο παραπάνω πίνακα γίνεται σύγκριση αποτελεσμάτων ανάμεσα στις ερευνητικές εργασίες και τη παρούσα μελέτη. Συμφωνία αποτελεσμάτων, με συνάμα υψηλές συσχετίσεις, παρουσιάζονται για τα κανάλια που προτείνουν οι *Tyler et al. (2006)* και *Wang et al. (2006)* αλλά και για τους δείκτες των *Hellweger et al. (2004)* και *Mayo et al. (1995)*. Συγκεκριμένα εμφανίζονται συσχετίσεις άνω του 78% με διαφορές που δεν ξεπερνούν το 10%.

Ασυμφωνία συσχετίσεων εμφανίζονται για τους πολύπλοκους δείκτες  $(TM1-TM3)/TM2$  και  $(TM1-TM3)/TM2$  των *Brivio et al. (2001)* και *Mayo et al. (1995)* αντίστοιχα, με τις διαφορές να κυμαίνονται στο 40-50%, κάτι που καταδικνύει την ευαισθησία των δεικτών αυτών. Στις υπόλοιπες των περιπτώσεων οι διαφορές και τα αποτελέσματα κυμαίνονται σε μέτρια επίπεδα.

Σε γενικές γραμμές, και σε αυτή τη περίπτωση τα αποτελέσματα είναι αρκούτως ενθαρρυντικά με τους δείκτες του L8 να δίνουν πολύ θετικά αποτελέσματα, σε κάποιες περιπτώσεις και καλύτερα από αυτά που προέκυψαν από τις αρχικές μελέτες. Τα αποτελέσματα αυτά ωστόσο θα πρέπει να διερευνηθούν και υπό τη σκοπιά του αριθμού των δειγμάτων για την εκάστοτε περίπτωση, δηλαδή να γίνουν επιπλέον δειγματοληψίες και τα διερευνηθούν οι βέλτιστοι συνδυασμοί.

#### 5.4. Αποτελέσματα συσχετίσεων για την εκτίμηση θερμοκρασιών

Τα κανάλια του TIRS μπορούν να μετατραπούν από τιμές radiance σε θερμοκρασίες (*brightness temperature*) μέσω των σταθερών που παρέχονται από το αρχείο των μεταδεδομένων κατά τον εξής τύπο:

$$T = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_\lambda} + 1\right)}$$

Όπου

$T$  = At-satellite brightness temperature (K)

$L_\lambda$  = TOA spectral radiance (Watts/( m<sup>2</sup> \* srad \* μm))

$K_1$  = Θερμική σταθερά μετατροπής που εξαρτάται από το κανάλι και παρέχεται από τα μεταδεδομένα ( $K1\_CONSTANT\_BAND\_x$ , όπου “x” το κανάλι 10 ή 11).

$K_2$  = Θερμική σταθερά μετατροπής που εξαρτάται από το κανάλι και παρέχεται από τα μεταδεδομένα ( $K2\_CONSTANT\_BAND\_x$ , όπου “x” το κανάλι 10 ή 11).

Για τον υπολογισμό των τιμών radiance οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν στο παραπάνω τύπο ακολουθείται η παρακάτω διαδικασία:

$$L_\lambda = M_L Q_{cal} + A_L$$

Όπου

$L_\lambda$  = TOA spectral radiance (Watts/( m<sup>2</sup> srad μm))

$M_L$  = Πολλαπλασιαστικός παράγοντας που προκύπτει από τα μεταδεδομένα και είναι διαφορετικός για κάθε κανάλι (εμφανίζεται ως “RADIANCE\_MULT\_BAND\_x”, όπου “x” το κανάλι)

$A_L$  = Προσθετός που παρέχεται από τα μεταδεδομένα και είναι διαφορετικός για κάθε κανάλι (εμφανίζεται ως “RADIANCE\_ADD\_BAND\_x”, όπου “x” το κανάλι)

$Q_{cal}$  = Οι τιμές του εκάστοτε Pixel (Digital Numbers).

(Πηγή: [landsat.usgs.gov](http://landsat.usgs.gov)<sup>21</sup>)

Σύμφωνα με την U.S.G.S., στα δεδομένα τα οποία προέκυψαν από εικόνες που ελήφθησαν προ της πραγματοποιηθείσας ενημέρωσης των αρχών του 2014, οι χρήστες θα πρέπει να αφαιρούν συγκεκριμένες τιμές, ανάλογα με το κανάλι το οποίο χρησιμοποίησαν.

<sup>21</sup>[http://landsat.usgs.gov/Landsat8\\_Using\\_Product.php](http://landsat.usgs.gov/Landsat8_Using_Product.php)

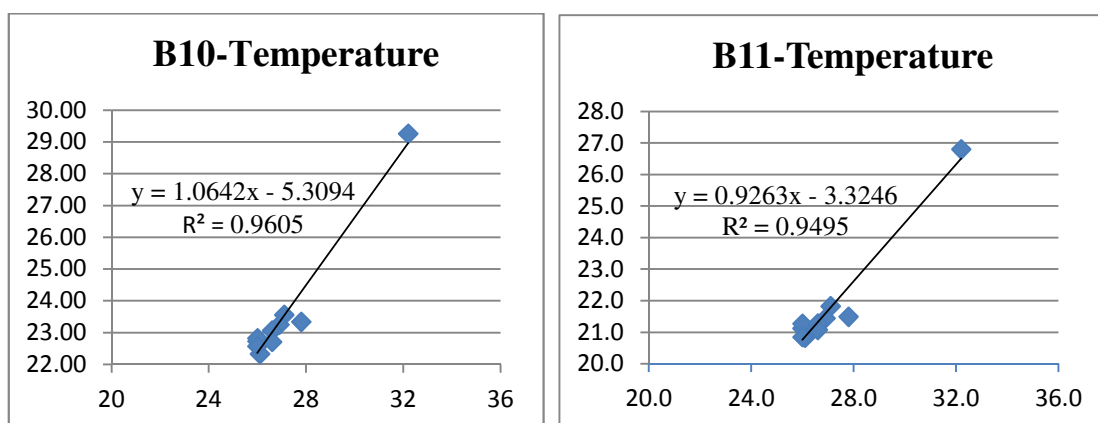
Συγκεκριμένα, θα πρέπει να αφαιρούνται από την υπολογισμένη τιμή radiance 0.29 W/(m<sup>2</sup> srad μm) για το κανάλι 10 του TIRS, ενώ για το κανάλι 11, 0.51 W/(m<sup>2</sup> srad μm).

Τα τελικά αποτελέσματα είναι ικανοποιητικά καθώς παρουσιάζουν μικρές διαφορές σε σχέση με αυτά του φορέα. Οι διαφορές αυτές κυμαίνονται στις μέγιστες τιμές τους στους 4.5 °C για το κανάλι 10 και στους 6.30 °C για το κανάλι 11.

**Πίνακας 5.26: Σύγκριση τιμών θερμοκρασίας (in situ/δεδομένα ελέγχου) με τις θερμοκρασίες από τα δορυφορικά δεδομένα Landsat 8 TIRS.**

	Δεδομένα Ελέγχου-Θερμοκρασίες	Θερμοκρασία από B10 (°C)	Θερμοκρασία από B11 (°C)	Διαφορά B10-δεδ. ελέγχου	Διαφορά B11-δεδ. ελέγχου
A2	26	22.73	21.13	-3.27	-4.87
A3	26.1	22.33	20.83	-3.77	-5.27
A4	26	22.82	21.28	-3.18	-4.72
A5	27.1	23.56	21.83	-3.54	-5.27
A6	27.8	23.34	21.50	-4.46	-6.30
A7	26.9	23.25	21.45	-3.65	-5.45
A8	26.6	23.07	21.28	-3.53	-5.32
A9	26	22.57	20.85	-3.43	-5.15
A10-ST1	26.6	22.71	21.08	-3.89	-5.52
A11-ST2	32.2	29.26	26.81	-2.94	-5.39

Οι συσχετίσεις που προκύπτουν είναι εξαιρετικά ισχυρές (περίπου στο 95%), ενώ τα αποτελέσματα για το κανάλι B10 είναι ελάχιστα καλύτερα. Οι πίνακες των συσχετίσεων παραθέτονται στη συνέχεια.



**Εικόνα 5.1: Συσχετίσεις ανάμεσα στα δορυφορικά δεδομένα και τα δεδομένα εδάφους.**

Όλα τα παραπάνω καταδεικνύουν τη δυνατότητα εφαρμογής του συγκεκριμένου δορυφορικού δέκτη για υψηλής ακρίβειας προβλέψεις θερμοκρασίας. Οι μελέτες ωστόσο θα πρέπει να συνεχιστούν καθώς η εκάστοτε περιοχή μελέτης έχει τα δικά της χαρακτηριστικά.

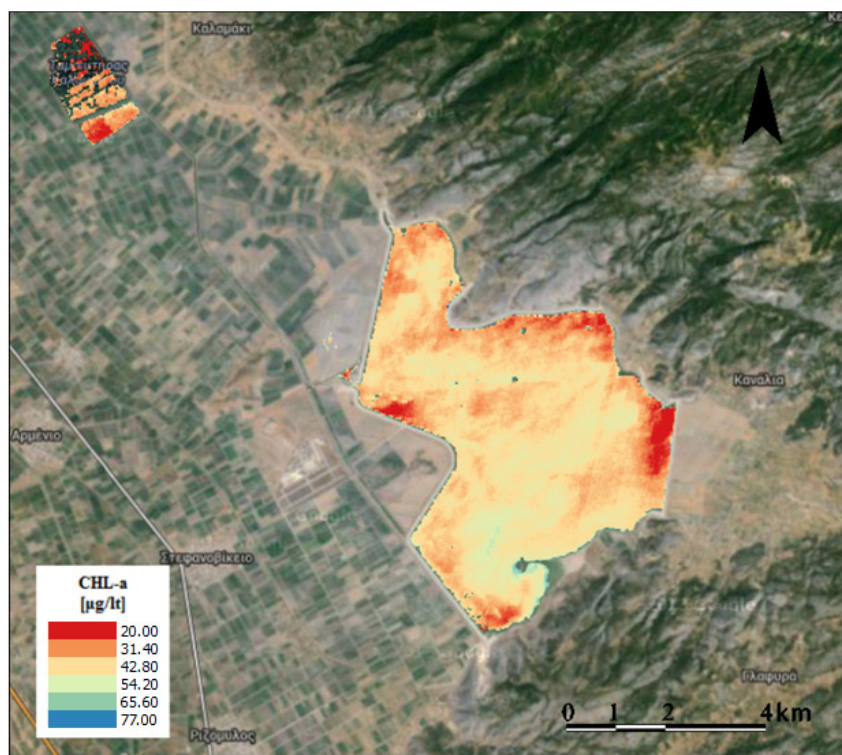
## 5.5. Χάρτες εκτίμησης ποιοτικών χαρακτηριστικών

Σε αυτό το σημείο παρατίθενται οι χάρτες ποιότητας νερού της περιοχής μελέτης, όπως αυτοί προέκυψαν από την εφαρμογή των συναρτήσεων στις δορυφορικές εικόνες. Αναλυτικά, μέσω του λογισμικού *QGIS*, έγινε ο συνδυασμός και η μετατροπή των μεμονωμένων καναλιών σε χάρτες ποιότητας, μέσω της εφαρμογής των εκάστοτε συναρτήσεων. Σε κάθε κανάλι εφαρμόστηκε πρώτα ειδική μάσκα με χρήση του καναλιού B5 (με εξαίρεση τα θερμικά των οποίων η εδαφοψηφίδα είναι μεγαλύτερη), προκειμένου να διαχωριστούν οι περιοχές με ύδατα και οι περιοχές με ξηρά. Τα αποτελέσματα εφαρμόστηκαν για δείκτες που έδωσαν ικανοποιητικές συσχετίσεις για τα δεδομένα του Landsat 8, ενώ αντιπαραβάλλονται περισσότεροι του ενός χάρτη για κάθε παράμετρο, όπου αυτό είναι δυνατό.

### ➤ Χλωροφύλλη-α (Ch1a)

Ο πρώτος χάρτης αφορά τη χλωροφύλλη-α και το δείκτη  $B2/(B1+B2+B3)$  ο οποίος έδωσε συσχετίσεις με τις τιμές των δεδομένων υπαίθρου της τάξης του 93%. Η p-value τοποθετείται κατά πολύ κάτω του ανώτερου επιτρεπτού ορίου, συγκεκριμένα στο 0.002. Η εξίσωση είναι η  $y = 520.2151 x - 84.763$  (1) όπου x η τιμή της φωτεινότητας και y το αναμενόμενο αποτέλεσμα για τη Ch1a. Τα αποτελέσματα είναι τα επιθυμητά, με τις τιμές να κινούνται στα αντίστοιχα επίπεδα με αυτά που προέκυψαν από τις μετρήσεις υπαίθρου. Μεγαλύτερες συγκεντρώσεις εντοπίζονται στο νότιο τμήμα της λίμνης. Το μοντέλο αυτό ωστόσο είναι κατασκευασμένο να λειτουργεί καλύτερα για περιοχές με αντίστοιχο βάθος, επομένως αναμένεται να μην αντιπροσωπεύει σε βέλτιστο βαθμό τις όχθες. Θα πρέπει επομένως να πραγματοποιούνται επιπλέον μετρήσεις στις όχθες της λίμνης και να δημιουργείται ένα δεύτερο μοντέλο συσχετίσεων. Παρ' όλα αυτά, σε πρώτο βαθμό, το παρόν μοντέλο δίνει μία ικανοποιητική εικόνα της κατάστασης που επικρατεί.

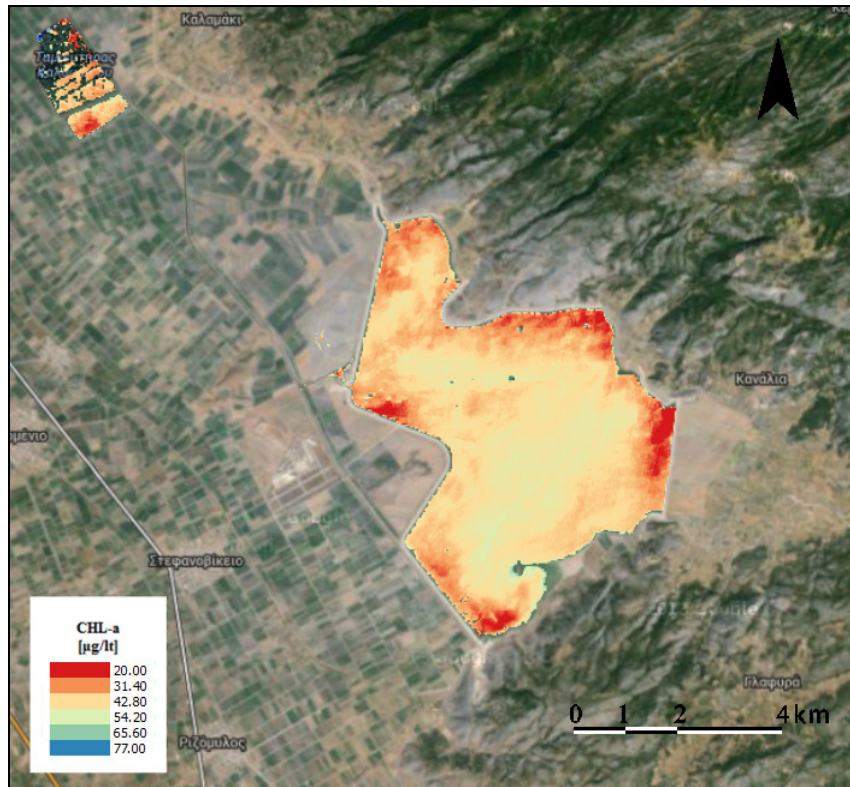




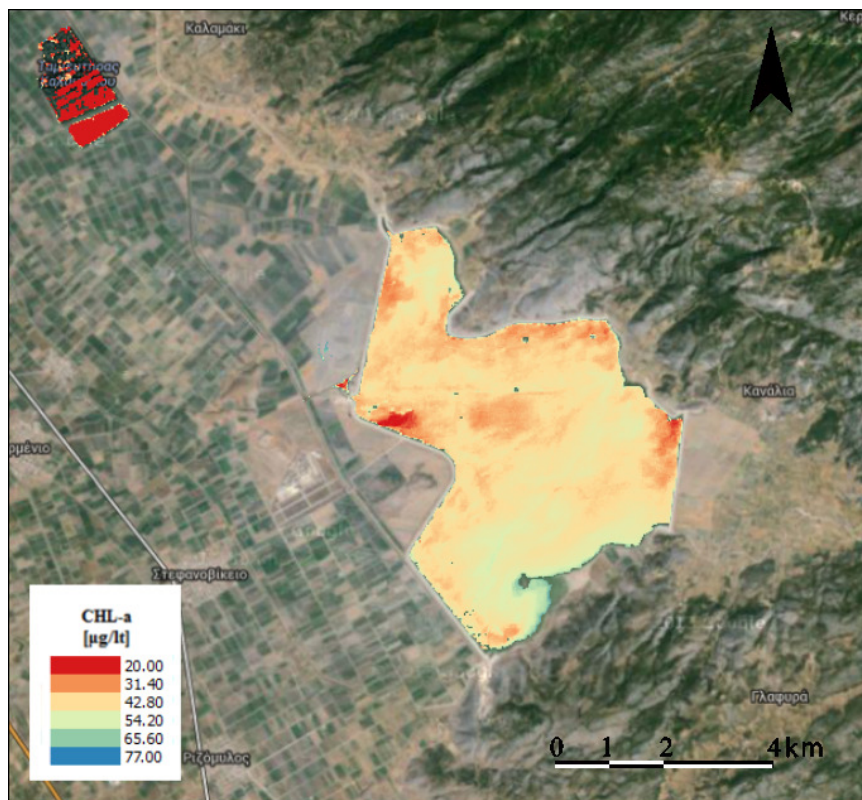
**Εικόνα 5.2: Χάρτης χλωροφύλλης-α όπως προέκυψε μέσω της εξίσωσης του δείκτη  $B2/(B1+B2+B3)$ , ο οποίος έδωσε την ισχυρότερη συσχέτιση (93%).**

Οι δύο επόμενοι χάρτες που κατασκευάστηκαν αναφέρονται και πάλι στη χλωροφύλλη-α και δημιουργήθηκαν συμπληρωματικά, προκειμένου να παρατηρηθεί πώς επηρεάζει μικρή μεταβολή της συσχέτισης το συνολικό αποτέλεσμα. Στην εικόνα 5.3 παρατίθεται ο χάρτης ο οποίος κατασκευάστηκε με βάση τη συνάρτηση  $y = - 35.4545 (B3/B4) + 114.155$  (2), τη τρίτη καλύτερη από άποψη συσχετίσεων ( $r^2=91.37\%$ ), με  $p$ -value 0.003. Οι διαφορές ανάμεσα σε αυτή και τη προηγούμενη εικόνα είναι σχετικά μικρές και εντοπίζονται κυρίως στο νότιο τμήμα της λίμνης.

Στη συνέχεια παρατίθενται τα αποτελέσματα συνάρτησης με λίγο χαμηλότερο  $r^2$  σε σχέση με τα προηγούμενα. Συγκεκριμένα, πρόκειται για τη συνάρτηση  $y = - 66.1803 (B3/B4) + 134.6372$  (3) η οποία έδωσε  $r^2=86\%$  και  $p$ -value 0.05. Οι κυριότερες διαφορές ανάμεσα σε αυτή και τις προηγούμενες εντοπίζονται κυρίως στη παρόχθια ζώνη, κάτι που επιβεβαιώνει την αναγκαιότητα δημιουργίας συμπληρωματικών μοντέλων για τα μικρότερα βάθη. Συγκεκριμένα, στο τελευταίο χάρτη παρατηρείται μείωση του αριθμού των περιοχών που εμφάνιζαν ακραίες τιμές. Σε γενικές γραμμές ωστόσο οι δείκτες της chl-a είναι αρκετά ισχυροί.



Εικόνα 5.3: Χάρτης χλωροφύλλης-α όπως προέκυψε μέσω της εξίσωσης του δείκτη B3/B2, ο οποίος έδωσε συσχέτιση της τάξης του 91%.

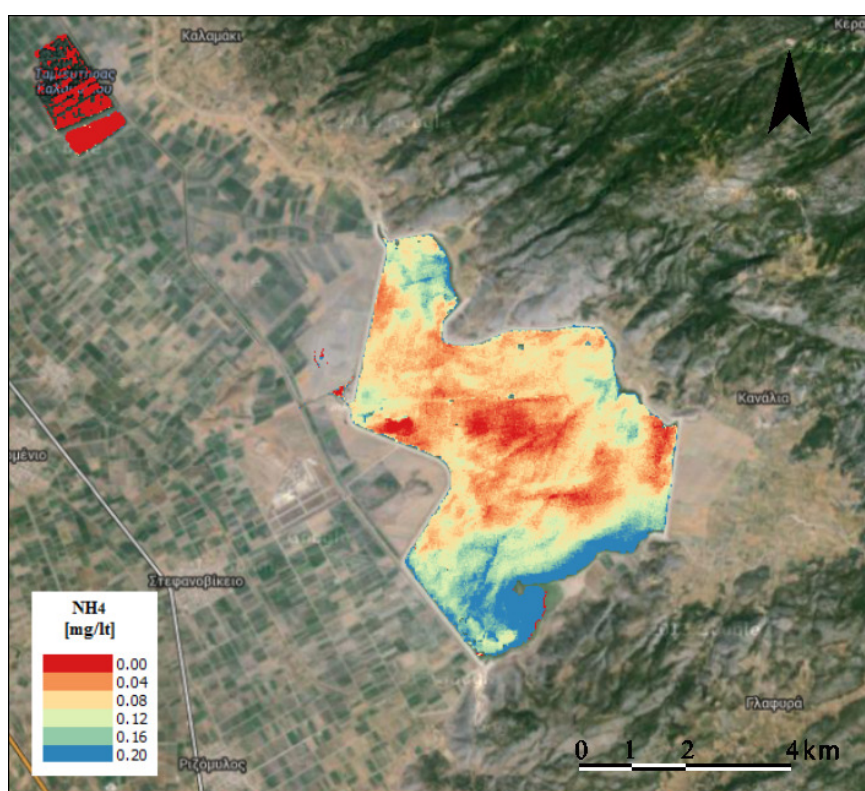


Εικόνα 5.4: Χάρτης χλωροφύλλης-α όπως προέκυψε μέσω της εξίσωσης του δείκτη (B3/B4), ο οποίος έδωσε λίγο χαμηλότερη συσχέτιση, της τάξης του 88%.



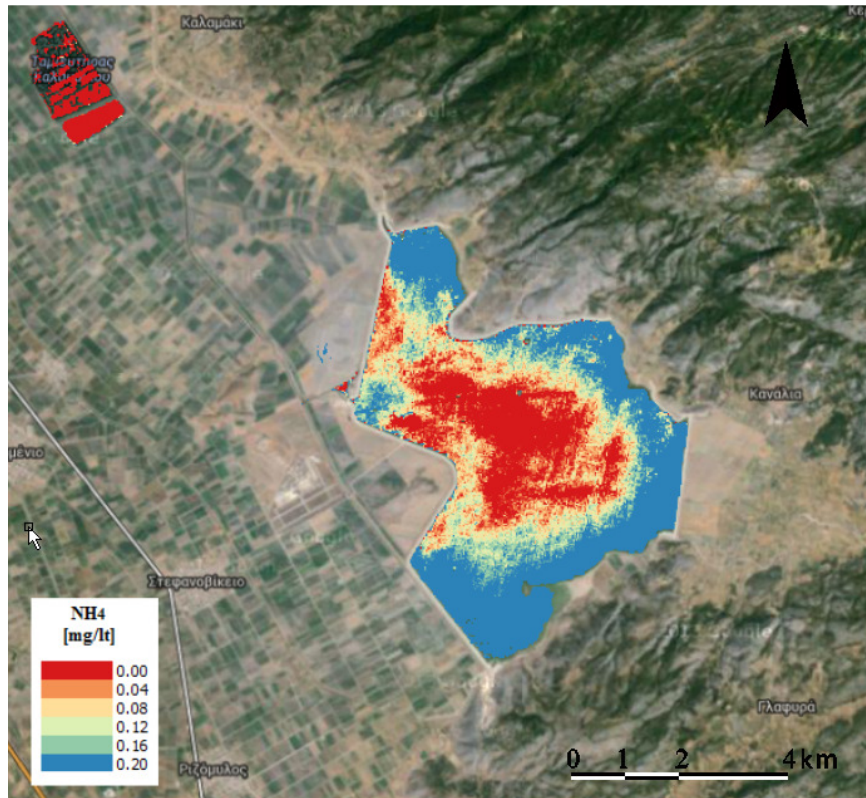
## ➤ Αμμωνίου (NH<sub>4</sub>)

Στη συνέχεια γίνεται παρουσίαση των χαρτών του αμμωνίου, μιας παραμέτρου που, ενώ δεν έχει μελετηθεί όπως η χλωροφύλλη από τις διεθνείς μελέτες,, έδωσε αντίστοιχα θετικά αποτελέσματα με αυτή. Οι τρεις χάρτες που ακολουθούν προέκυψαν με βάση τις συναρτήσεις  $y = -0.16865 (B1-B4)/(B3-B4) - 0.048761$  (4) ( $r^2=87\%$ ,  $p\text{-value}=0.006$ ),  $y = -4.2992 (B2-B4)/B3 - 0.89229$  (5) ( $r^2=79\%$ ,  $p\text{-value}=0.017$ ) και  $y = -0.28343 (B3/B4) + 0.46162$  (6) ( $r^2=71\%$ ,  $p\text{-value}=0.030$ ) αντίστοιχα. Η τελευταία σχέση μπορεί να δίνει χαμηλότερη συσχέτιση, ωστόσο εμφανίζει ικανοποιητικά αποτελέσματα και για τα δεδομένα Simulated Landsat.

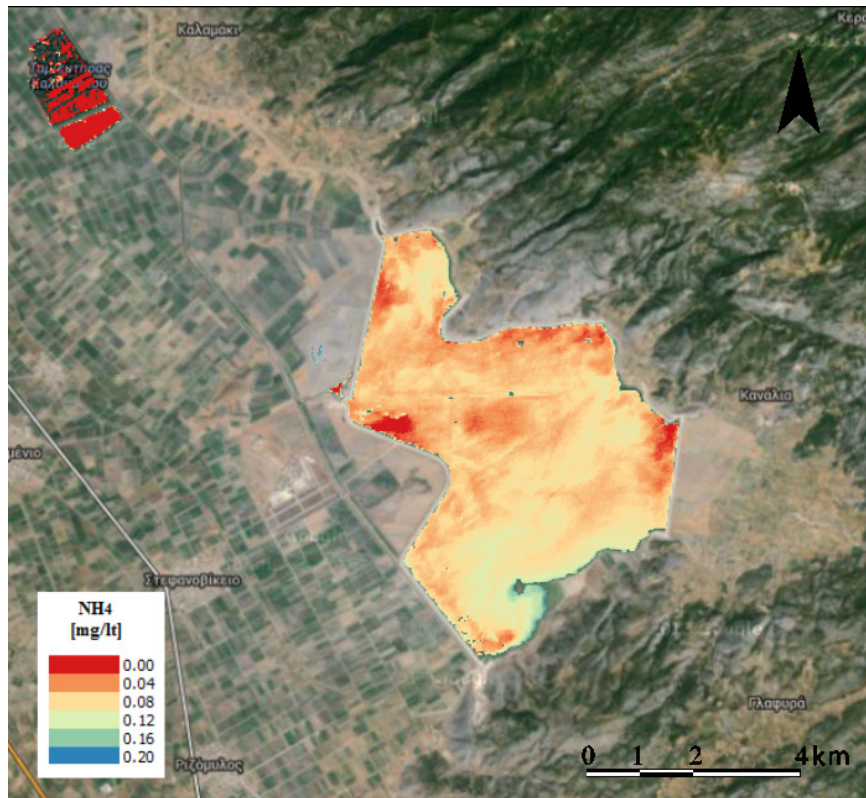


**Εικόνα 5.5: Χάρτης αμμωνίου όπως προέκυψε μέσω της εξίσωσης του δείκτη  $(B1-B4)/(B3-B4)$ , με συσχέτιση της τάξης του 87%.**

Παρατηρείται πως ο δεύτερος και ο τρίτος χάρτης δίνουν αρκετά διαφορετική εικόνα από το πρώτο. Συγκεκριμένα, ενώ το πρώτος χάρτης παρουσιάζει μία κατάσταση με μέτρια διακύμανση, ο δεύτερος εμφανίζει αποτελέσματα με μεγαλύτερη διασπορά, με τις περισσότερες εικονοηφίδες να εμφανίζουν ακραίες τιμές συγκεντρώσεων, ενώ ο τρίτος παρουσιάζει αποτελέσματα κυρίως συγκεντρωμένα στις μεσαίες τιμές με τις περισσότερες εικονοηφίδες να εμφανίζουν τιμές κοντά στο 0.08. Αυτά τα αποτελέσματα ουσιαστικά καταδεικνύουν πως η μεταβλητή είναι αρκετά ευαίσθητη στις αλλαγές των καναλιών.



Εικόνα 5.6: Χάρτης αμμωνίου όπως προέκυψε μέσω της εξίσωσης του δείκτη (B2-B4)/B3, ο οποίος έδωσε λίγο χαμηλότερη συσχέτιση, της τάξης του 79%.

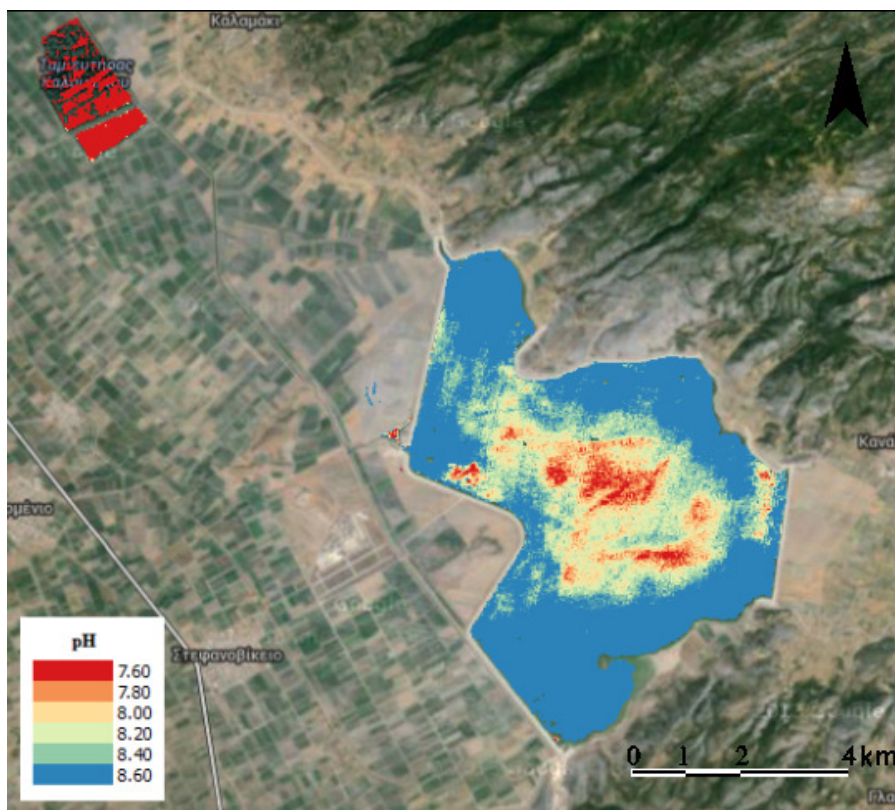


Εικόνα 5.7: Χάρτης αμμωνίου όπως προέκυψε μέσω της εξίσωσης του δείκτη (B3/B4), ο οποίος έδωσε τη χαμηλότερη από τις τρεις συσχετίσεις, της τάξης του 71%.



## ➤ pH

Στη συνέχεια γίνεται παρουσίαση του χάρτη για το pH για δείκτη με συσχέτιση 64% και p-value 0.06. Τα κανάλια που χρησιμοποιήθηκαν ήταν τα B1/B4 και η προκύπτουσα εξίσωση η  $y = -6.6221x + 13.2333$  (7). Εδώ οι τιμές που επικρατούν κυμαίνονται λίγο πιο πάνω από το 8 με χαμηλότερες τιμές να εμφανίζονται στο κέντρο. Παρά το γεγονός ότι η p-value είναι μεγαλύτερη του 0.05 τα αποτελέσματα σε γενικές γραμμές συμφωνούν με τις δειγματοληψίες με τις μεγαλύτερες διαφορές να σημειώνονται στις όχθες. Οι διαφορές είναι λογικές δεδομένης της τιμής της συσχέτισης.

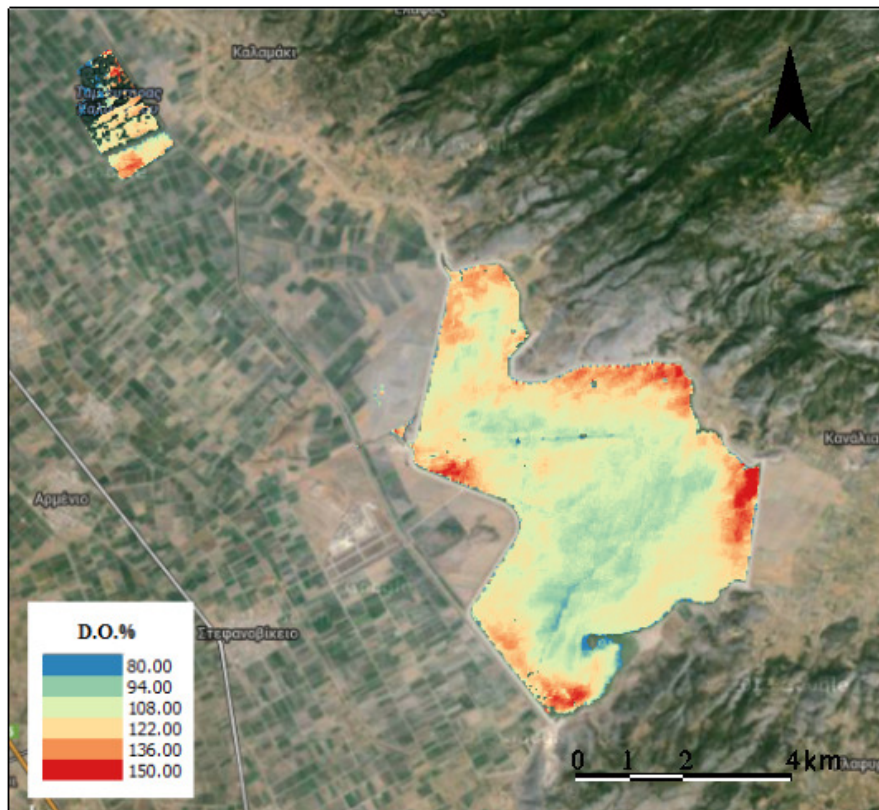


Εικόνα 5.8: Χάρτης pH όπως προέκυψε μέσω της εξίσωσης του δείκτη (B1/B4), με  $r^2=64\%$ .

## ➤ Διαλυμένο Οξυγόνο %

Οι χάρτες του Διαλυμένου Οξυγόνου (με τη συγκέντρωση σε ποσοστό επί τοις εκατό) κατασκευάστηκαν για το λόγο των καναλιών (B2/B3) με καταγεγραμμένη συσχέτιση 73%, p-value 0.029 και τελική συνάρτηση  $y = -268.5399x + 244.9033$  (8). Με βάση το συγκεκριμένο μοντέλο οι επικρατέστερες τιμές κυμαίνονται κοντά στο 108-122 ενώ οι

διαφοροποιήσεις από σημείο σε σημείο δεν είναι ιδιαίτερα έντονες. Τα αποτελέσματα συμφωνούν με τις δειγματοληψίες με τις μεγαλύτερες τιμές να εμφανίζονται στα άκρα της λίμνης.

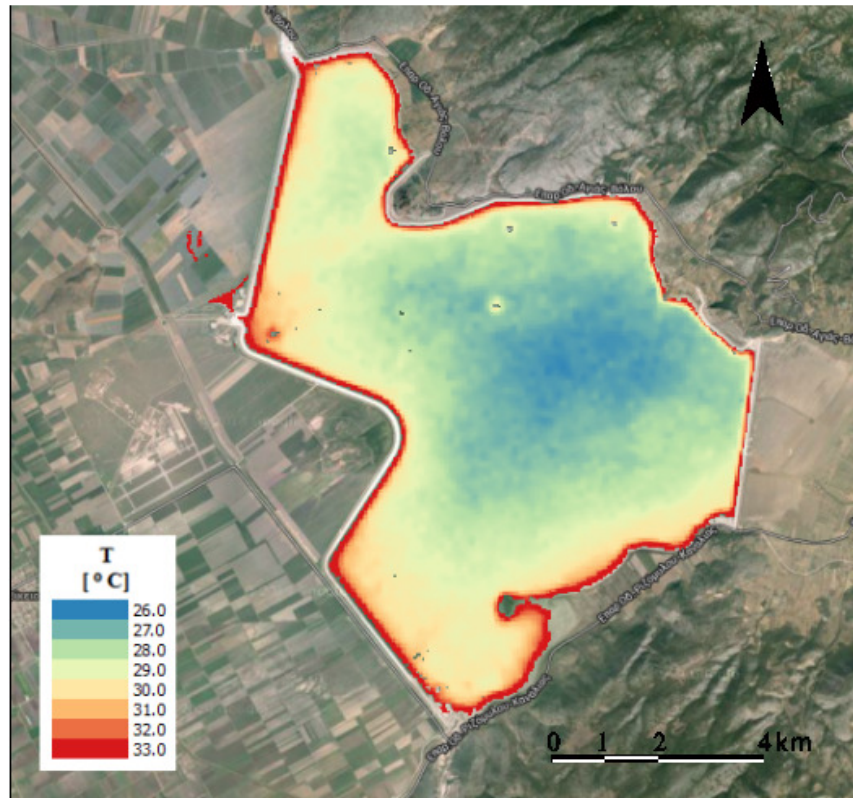


Εικόνα 5.9: Χάρτης DO όπως προέκυψε μέσω της εξίσωσης του δείκτη (B2/B3), με  $r^2=73\%$ .

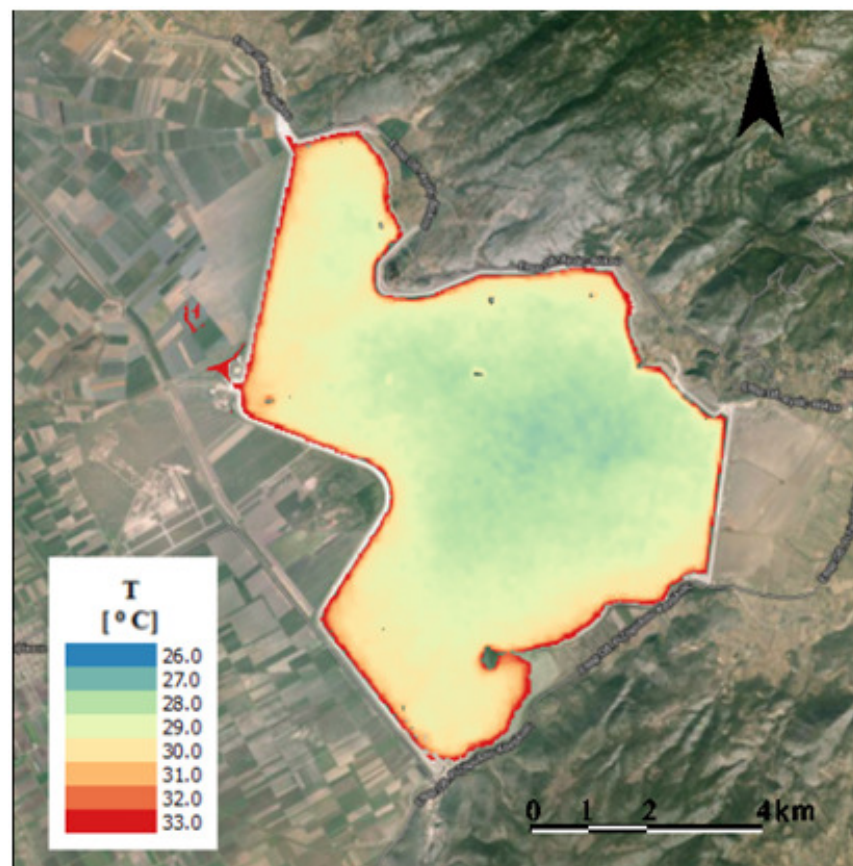
### ➤ Θερμοκρασία

Στο σημείο αυτό παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της θερμοκρασίας όπως εξάγονται από τα κανάλια του OLI. Προ της εφαρμογής των εξισώσεων, εφαρμόστηκαν και εδώ μάσκες για τον ορισμό της περιοχής ύπαρξης ύδατος. Προηγουμένως σημειώθηκε ότι το κανάλι B10 έδωσε ελάχιστα καλύτερες συσχετίσεις με  $r^2=0.9605$  και εξίσωση  $y = 1.0642x - 5.3094$  (9) ενώ το B11  $r^2=0.9495$  και εξίσωση  $y = 0.9263x - 3.3246$  (10). Πράγματι, οι διαφορές ανάμεσα στους δύο χάρτες είναι μικρές με το 1<sup>ο</sup> κανάλι να δίνει ελάχιστα μεγαλύτερες διασπορές επομένως περισσότερες εικονοσηφίδες με ακραίες τιμές. Όσον αφορά τη γενικότερη εικόνα και οι δύο χάρτες δίνουν τις υψηλότερες θερμοκρασίες στις περιοχές με μικρά βάθη ενώ οι χαμηλότερες εντοπίζονται στο κέντρο της λίμνης.





Εικόνα 5.10: Χάρτης θερμοκρασίας όπως προέκυψε από το θερμικό κανάλι B10 του OLI.



Εικόνα 5.11: Χάρτης θερμοκρασίας όπως προέκυψε από το θερμικό κανάλι B11 του OLI.

## 6. Συμπεράσματα και προτάσεις

Στο κεφάλαιο αυτό παρατίθενται τα συμπεράσματα που απορρέουν από το σύνολο των εργασιών που πραγματοποιήθηκαν καθώς και κάποια σχόλια πάνω στις διαδικασίες που ακολουθήθηκαν ενώ υπογραμμίζεται η ανάγκη ενασχόλησης με το συγκεκριμένο αντικείμενο και αξιοποίησης των εργαλείων που προσφέρει.



### ➤ Συμπεράσματα για τα Υπερφασματικά δεδομένα

Τα βασικά συμπεράσματα αναφορικά με τα υπερφασματικά δεδομένα μπορούν να συνοψιστούν στα εξής σημεία:

- Μεγάλες ήταν οι συσχετίσεις που εμφανίστηκαν σχεδόν στο σύνολο των παραμέτρων.
- Οι παράμετροι έδιναν χαμηλές συσχετίσεις για τους αλγορίθμους ήταν το pH και ο ολικός φώσφορος. Ωστόσο, δεδομένου των καλών αποτελεσμάτων των υπόλοιπων παραμέτρων, και της αλληλοσυσχέτισης που εμφανίζεται συνήθως στις παραμέτρους ποιότητας νερού, μετέπειτα μελέτες και δοκιμές με επιπλέον δείκτες θα μπορούσαν ενδεχομένως να δώσουν πιο θετικά αποτελέσματα.
- Παράλληλα, υψηλές συσχετίσεις παρατηρήθηκαν για παραμέτρους όπως το αμμώνιο και η αγωγιμότητα (μέχρι και 88%) οι οποίες μάλιστα παρουσιάζουν για τους ίδιους δείκτες αντίστοιχα χαμηλά ή υψηλά αποτελέσματα, κάτι που καταδεικνύει μεταξύ τους αλληλεπίδραση και αλληλοσυσχέτιση.
- Σε πολλές περιπτώσεις οι συσχετίσεις που προέκυψαν από τους προτεινόμενους δείκτες ήταν χαμηλότερες σε σχέση με αυτές που προέκυψαν από τα μεμονωμένα κανάλια που χρησιμοποιήθηκαν σε αυτούς.
- Οι διαφορές ανάμεσα στα narrow bands εύρους 10nm και 2 nm για τα απλά μοντέλα εξισώσεων είναι μικρές σε αντίθεση με τα πολύπλοκα μοντέλα που αποδείχτηκαν πιο ευαίσθητα.

### ➤ Συμπεράσματα για τα Πολυφασματικά δεδομένα

Σε ανάλογες κατευθύνσεις κινούνται και τα συμπεράσματα για τα πολυφασματικά δεδομένα. Συγκεκριμένα:

- Υψηλές συσχετίσεις εμφανίζονται και για τα δεδομένα του Landsat 8, παρά το γεγονός ότι ο δορυφόρος αυτός διαθέτει σχετικά μεγάλη εδαφοψηφίδα και πολυφασματικά κανάλια, κάτι που θα μπορούσε ενδεχομένως να δημιουργήσει πρόβλημα, μιας και τα αποτελέσματα της εκάστοτε έρευνας που χρησιμοποιεί δεδομένα του, εξαρτώνται από τη περιοχή μελέτης.

- Η ύπαρξη συσχετίσεων επιβεβαιώνεται, εκτός από τις τιμές του  $r^2$  και τη p-value, μέσω της επαναληψιμότητας των καναλιών που δίνουν θετικά αποτελέσματα τόσο για τα δεδομένα Simulated Landsat όσο και για τα δεδομένα του Landsat 8.
- Τα δεδομένα των δορυφορικών εικόνων πριν τη πραγματοποίηση των ατμοσφαιρικών διορθώσεων έδωσαν εξαιρετικά χαμηλές συσχετίσεις εν αντιθέσει με τις συσχετίσεις που προέκυψαν μετά τη πραγματοποίηση της ατμοσφαιρικής διόρθωσης. Το γεγονός αυτό καταδεικνύει την αναγκαιότητα πραγματοποίησης ατμοσφαιρικής διόρθωσης σε τέτοιου είδους περιπτώσεις.
- Τα μοντέλα χαρτών που προέκυψαν δίνουν ικανοποιητικά αποτελέσματα, ωστόσο για ακριβέστερη ανάκτηση των τιμών της εκάστοτε παραμέτρου είναι απαραίτητη η δημιουργία μοντέλων αναφερόμενων μόνο στις παρόχθιες περιοχές της λίμνης, σε περιοχές δηλαδή που η επίδραση του πυθμένα είναι εντονότερη.

### ➤ Γενικότερα Συμπεράσματα

Τα γενικότερα συμπεράσματα που εξήχθησαν από τη παρούσα εργασία ακολουθούν τις εξής κατευθύνσεις:

- Η συγκεκριμένη μεθοδολογία προσφέρει τη δυνατότητα παρακολούθησης υδατικών συστημάτων με χαμηλό κόστος.
- Επιτρέπεται η δημιουργία και ενημέρωση μιας γεωβάσης με δεδομένα εισόδου ανά τακτά χρονικά διαστήματα.
- Γίνεται εφικτή η αποτελεσματικότερη παρακολούθηση και προστασία των υδάτων στη χώρα μας.

Οι έρευνες ωστόσο στη κατεύθυνση αυτή θα πρέπει να συνεχιστούν.

### ➤ Μελλοντικές Κατευθύνσεις

Σε αυτό το σημείο αναφέρονται κάποιες βασικές κατευθύνσεις που θα πρέπει να ακολουθήσει η έρευνα στο μέλλον. Συγκεκριμένα, μερικές από τις εργασίες που θα ήταν ορθό να πραγματοποιηθούν σε επόμενο στάδιο είναι:

- Η διερεύνηση και ανάλυση των σημείων που προκάλεσαν αποτυχία εμφανίσεων υψηλών συσχετίσεων τόσο για τα υπερφασματικά όσο και για τα πολυφασματικά δεδομένα.
- Η διερεύνηση και ανάλυση των ποιοτικών παραμέτρων που παρουσίασαν διαφορές στη συσχέτιση μεταξύ των δεδομένων.
- Η υλοποίηση μοντέλων σε νέα ημερομηνία και η σύγκριση των αποτελεσμάτων με νέα δεδομένα ελέγχου.
- Η σύγκριση με δεδομένα μεγαλύτερης χωρικής ανάλυσης.  
και πολλά ακόμα.

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

### ➤ Επιλογή τελικών σημείων συσχετίσεων για τα δεδομένα του φασματογράφου χειρός

Παρατίθενται οι συσχετίσεις όπως προέκυψαν για το εκάστοτε κανάλι κάνοντας χρήση όλων των σημείων δειγματοληψιών.

**Πίνακας 3: Συσχετίσεις ανά κανάλι για τα αρχικά δεδομένα GER1500 όλων των σημείων**

Κανάλι/ Ακτινοβολία	Radiance	Reflectance
<b>B1</b>	$R^2=0.0442$	$R^2=0.0565$
<b>B2</b>	$R^2=0.0446$	$R^2=0.0620$
<b>B3</b>	$R^2=0.0297$	$R^2=0.0502$
<b>B4</b>	$R^2=0.0712$	$R^2=0.0988$
<b>B5</b>	$R^2=0.0798$	$R^2=0.0984$
<b>B1/B2</b>	$R^2=0.0000$	$R^2=0.0001$
<b>B1/B3</b>	$R^2=0.0223$	$R^2=0.0239$
<b>B1/B4</b>	$R^2=0.1179$	$R^2=0.1962$
<b>B2/B1</b>	$R^2=0.0006$	$R^2=0.000$
<b>B3/B1</b>	$R^2=0.0101$	$R^2=0.0146$
<b>B3/B2</b>	$R^2=0.0363$	$R^2=0.0375$

Από τα πρώτα αποτελέσματα αποκαλύπτεται η ύπαρξη ελάχιστων ή καθόλου συσχετίσεων ανάμεσα στις χημικές συγκεντρώσεις και στις τιμές της ακτινοβολίας ενώ στις περισσότερες περιπτώσεις οι τιμές του  $R^2$  είναι σχεδόν ίσες ή μεγαλύτερες για τα δεδομένα *reflectance* σε σχέση με τα *radiance*, όπως άλλωστε ήταν αναμενόμενο.

Σε επόμενο στάδιο έγινε η αξιολόγηση των σημείων που χρησιμοποιήθηκαν στις συσχετίσεις και έγινε προσπάθεια ομαδοποίησής τους ανάλογα με το βάθος και τις τιμές της ανακλαστικότητας.

Μετά από δοκιμές επιλέχθηκε η τελική ομάδα μετρήσεων που χρησιμοποιήθηκε στη συνέχεια και η οποία αποτελείται από τα σημεία A2, A3, A4, A5, A8 και A9. Από αυτά τα σημεία, προέκυψαν στη συνέχεια οι συσχετίσεις με βάση τα προτεινόμενους δείκτες που υπάρχουν στη διεθνή βιβλιογραφία. Τα αποτελέσματα  $R^2$  παρατίθενται στη συνέχεια. Για τις τελικές συσχετίσεις χρησιμοποιήθηκαν μόνο οι ανηγμένες τιμές *Reflectance*.

**Πίνακας 4: Συσχετίσεις ανά κανάλι για τα αρχικά δεδομένα GER1500 των σημείων με τις μεγαλύτερες συσχετίσεις**

Κανάλι/ Ακτινοβολία	Reflectance
<b>B1</b>	$R^2 = 0.9262$
<b>B2</b>	$R^2 = 0.8120$
<b>B3</b>	$R^2 = 0.6744$
<b>B4</b>	$R^2 = 0.5307$
<b>B5</b>	$R^2 = 0.5610$
<b>B1/B2</b>	$R^2 = 0.3357$
<b>B1/B3</b>	$R^2 = 0.2280$
<b>B1/B4</b>	$R^2 = 0.2431$
<b>B2/B1</b>	$R^2 = 0.3053$
<b>B3/B1</b>	$R^2 = 0.2775$
<b>B3/B2</b>	$R^2 = 0.2253$

- **Αποτελέσματα μετατροπών Ψηφιακών Αριθμών των εικόνων TIRS σε radiance και εν συνεχεία σε θερμοκρασία**

Παρακάτω παρατίθενται τα αποτελέσματα των σταδίων για τον υπολογισμό των τιμών θερμοκρασίας από τα κανάλια 10 και 11 του TIRS. Η διαδικασία υπολογισμού των αποτελεσμάτων αυτών πραγματοποιήθηκε και για ολόκληρες τις εικόνες μέσω του matlab και για το σκοπό αυτό συντάχθηκε κατάλληλος κώδικας.

**Πίνακας 0.3: Αποτελέσματα καναλιού 10**

		Conversion to TOA Radiance		Conversion to At-Satellite Brightness Temperature		
<b>A2</b>	27555	<b>LA2</b>	9.31	<b>TA2</b>	295.88	22.73
<b>A3</b>	27392	<b>LA3</b>	9.25	<b>TA3</b>	295.48	22.33
<b>A4</b>	27595	<b>LA4</b>	9.32	<b>TA4</b>	295.97	22.82
<b>A5</b>	27899	<b>LA5</b>	9.42	<b>TA5</b>	296.71	23.56
<b>A6</b>	27808	<b>LA6</b>	9.39	<b>TA6</b>	296.49	23.34
<b>A7</b>	27771	<b>LA7</b>	9.38	<b>TA7</b>	296.4	23.25
<b>A8</b>	27695	<b>LA8</b>	9.36	<b>TA8</b>	296.22	23.07
<b>A9</b>	27491	<b>LA9</b>	9.29	<b>TA9</b>	295.72	22.57
<b>A10</b>	27547	<b>LA10</b>	9.31	<b>TA10</b>	295.86	22.71
<b>A11</b>	30323	<b>LA11</b>	1.02	<b>TA11</b>	302.41	29.26
					°K	°C

**Πίνακας 0.4: Κανάλι 10, σταθερές όπως δίδονται από το αρχείο των metadata**

<b>ML</b>	0.000334	<b>K1</b>	774.89	2.90E-01
<b>AL</b>	0.1	<b>K2</b>	1321.08	<b>*διόρθωση</b>

**Πίνακας 0.5: Αποτελέσματα Καναλιού 11**

		Conversion to TOA Radiance		Conversion to At-Satellite Brightness Temperature		
<b>A2</b>	25933	<b>LA2</b>	8.77	<b>TA2</b>	294.28	21.13
<b>A3</b>	25829	<b>LA3</b>	8.73	<b>TA3</b>	293.98	20.83
<b>A4</b>	25985	<b>LA4</b>	8.78	<b>TA4</b>	294.43	21.28
<b>A5</b>	26178	<b>LA5</b>	8.85	<b>TA5</b>	294.98	21.83
<b>A6</b>	26062	<b>LA6</b>	8.81	<b>TA6</b>	294.65	21.5
<b>A7</b>	26046	<b>LA7</b>	8.8	<b>TA7</b>	294.6	21.45
<b>A8</b>	25987	<b>LA8</b>	8.78	<b>TA8</b>	294.43	21.28
<b>A9</b>	25837	<b>LA9</b>	8.73	<b>TA9</b>	294	20.85
<b>A10</b>	25917	<b>LA10</b>	8.76	<b>TA10</b>	294.23	21.08
<b>A11</b>	27954	<b>LA11</b>	9.44	<b>TA11</b>	299.96	26.81
					°K	°C

**Πίνακας 0.6: Κανάλι 11, σταθερές όπως δίδονται από το αρχείο των metadata**

<b>ML</b>	3.34E-04	<b>K1</b>	480.89	5.10E-01
<b>AL</b>	0.1	<b>K2</b>	1201.14	<b>*διόρθωση</b>

- **Ενδεικτικός κώδικας ανάκτησης τιμών ανακλαστικότητας από δορυφορικές εικόνες (raw)**

```
%% %%%%%%%%%%
```

```
%% Opening
```

```
clear all; close all;
```

```
warning off; [scrsz] = get(0,'ScreenSize');
```

```
clc;
```

```
disp(['Lipsi 19//7/2013, Kanalia 10-11'])
```

```
%times akrianwn pixel
```

```
x1=652200.000;
```

```
y1=4367520.000;
```

```
x2=661020.000;
```

```
y2=4377690.000;
```

```
%8eseis deigmatoleipsiwn
```

```
xa=textread('xa_forea.txt');
```

```
ya=textread('ya_forea.txt');
```

```

disp(['X forea: ', num2str(xa)])
disp(['Y forea: ', num2str(ya)])

for l=10:11

    disp(['Kanali ', int2str(l)])
    disp(' ')

    image=strcat('LC81830332013200LGN00.B', int2str(l), '.cr');

    raw=geotiffread(image);
    %figure
    %mapshow LC81830332013200LGN00_B5raw.tif
    %axis image off

    rows=size(raw,1);
    cols=size(raw,2);
    size(raw);
    disp(['diastaseis eikonas ', num2str(rows), 'x', num2str(cols)])

    for k=2:11
        j=ceil(-(x1-15)-xa(k))/30); %αφαιρώ 15 μέτρα για να πάω στη γωνία του X
        i=ceil((y2+15)-ya(k))/30); %προσθέτω 15 μέτρα >> Y
        %και τα 2 ceil, όχι floor
        timi=raw(i,j);
        %disp(['A', num2str(k), '=', num2str(timi)])
        disp([num2str(timi)])
    end
    disp(' ')
end
end

```

- **Ενδεικτικός κώδικας ανάκτησης τιμών ανακλαστικότητας από ατμοσφαιρικά διορθωμένες δορυφορικές εικόνες.**

```

%% %%%%%%%
%% Opening
clear all; close all;
warning off; [scrsz] = get(0,'ScreenSize');
clc;

disp(['Lipsi 19//7/2013:'])

%times akrianwn pixel
x1=652110.000;
y1=4367670.000;
x2=661020.000;
y2=4377390.000;

%8eseis deigmatoleipsiwn

```

```

xa=textread('xa_forea.txt');
ya=textread('ya_forea.txt');
disp(['X forea: ', num2str(xa)])
disp(['Y forea: ', num2str(ya)])

I=geotiffread('LC81830332013200LGN00_atm_crop_18314.tif');
raw=im2double(I);
mx = max(max(max(raw))); mn = min(min(raw));
raw = raw ./mx;
%figure
%mapshow LC81830332013200LGN00_B5raw.tif
%axis image off

rows=size(raw,1);
cols=size(raw,2);
size(raw);
disp(['diastaseis eikonas ', num2str(rows), 'x', num2str(cols)])

%bands
for n=1:8
    disp(['Kanali ', num2str(n)])

    r=raw(:, :, n);
    %i,j
    for k=2:11
        j=ceil(-(x1-15)-xa(k))/30); %αφαιρώ 15 μέτρα για να πάω στη γωνία του X
        i=ceil((y2+15)-ya(k))/30); %προσθέτω 15 μέτρα >> Y
        %και τα 2 ceil, όχι floor
        timi=r(i,j);
        %disp(['A', num2str(k), '=', num2str(timi)])
        disp([num2str(timi)])
    end
    disp(' ')
end

%NOTE:kata thn eisagwgh twn parametrwn sthn atmosfairiki dior8wsh h seira twn
kanaliwn einai h: 1 2 3 4 5 9 6 7

```

➤ **Ενδεικτικός κώδικας μετατροπής radiance σε θερμοκρασία**

```

%% %%%%%%%%%%%
%% Conversion to At-Satellite Brightness Temperature
%% Opening
clear all; close all;
warning off; [scrsz] = get(0,'ScreenSize');

```



```

clc;

disp(['Lipsi 19//7/2013:'])

%% dedomena
% %times akrianwn pixel ps: na ta tsekarw
% x1=652110.000;
% y1=4367670.000;
% x2=661020.000;
% y2=4377390.000;
%
% %8eseis deigmatoleipsiwn
% xa=textread('xa_forea.txt');
% ya=textread('ya_forea.txt');
% disp(['X forea: ', num2str(xa)])
% disp(['Y forea: ', num2str(ya)])

%% metadata
%RADIANCE_MULT_BAND
ML_10 = 3.3420E-04;
%ML_11 = 3.3420E-04;

%%RADIANCE_ADD_BAND
AL_10 = 0.10000;
%AL_11 = 0.10000;

%%K1, K2 _CONSTANT_BAND
K1_10 = 774.89;
%K1_11 = 480.89;
K2_10 = 1321.08;
%K2_11 = 1201.14;

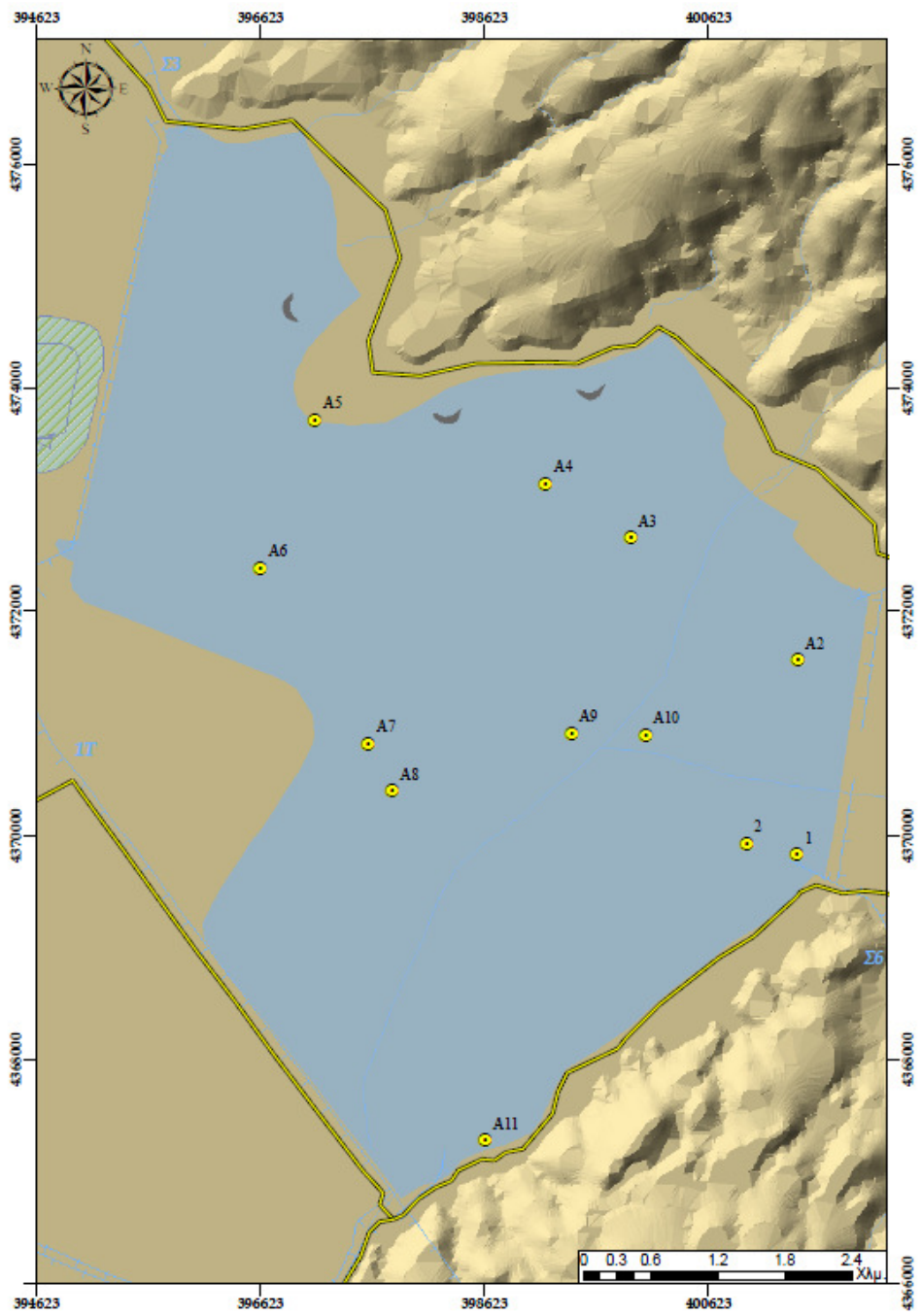
%% diadikasia
I=geotiffread('LC81830332013200LGN00.B10.cr.tif');
%I=geotiffread('LC81830332013200LGN00.B11.cr.tif');
raw=im2uint16(I);

rows=size(raw,1);
cols=size(raw,2);
size(raw);
disp(['diastaseis eikonas ', num2str(rows), 'x', num2str(cols)])

raw_double = double(raw);
L=raw_double.*ML_10+AL_10;
ln = @log;
T = K2_10./ (ln((K1_10./L)+1))

%1.* ginetai float
Ttel=double(T);

```



**Εικόνα 0.1:**  
**Θέσεις**  
**μετρήσεων στο**  
**ΕΓΣΑ '87**

## Κατάλογος Εικόνων

<b>Εικόνα 1.1:</b> Κατανομή του νερού στη Γη. (Πηγή: Shiklomanov, Igor 1993) .....	2
<b>Εικόνα 2.1:</b> Η θέση της λίμνης στον ελλαδικό χώρο (Πηγή: Wikipedia, Google Earth.....)	9
<b>Εικόνα 2.2:</b> Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα. (Πηγή: Natural Environment Research Council (NERC) Earth Observation Data Acquisition and Analysis Service (NEODAAS).....)	15
<b>Εικόνα 2.3:</b> Ο Landsat 8 με ευδιάκριτους τους δύο αισθητήρες. (Πηγή: landsat.usgs.gov) .....	17
<b>Εικόνα 2.4:</b> Αντιστοιχία ανάμεσα στα κανάλια των δορυφόρων Landsat 7 και 8. (Πηγή: NASA).....)	18
<b>Εικόνα 2.5:</b> GER1500 (Πηγή: spectravista.com).....)	19
<b>Εικόνα 3.1:</b> Τιμές μέγιστης και ελάχιστης απορρόφησης στο φάσμα από κοινότητα καθαρής άλγης. (Πηγή: Senay et al. 2001).....)	23
<b>Εικόνα 3.2:</b> Ανακλαστικότητα της chl-a από δεδομένα CASI. (Πηγή: Senay et al. 2001)...	24
<b>Εικόνα 4.1:</b> Τελικές θέσεις δειγματοληψιών με βάση το GPS του Φορέα Διαχείρισης. (βλ και παράρτημα, εικόνα 0.1).....)	30
<b>Εικόνα 4.2:</b> Περιβάλλον μετατροπής συντεταγμένων COORD_GR.....)	31
<b>Εικόνα 4.3:</b> Φασματικές υπογραφές όπως προέκυψαν από το radiance των σημείων A2, A4 (πελαγική ζώνη) και A11 (όχθη).....)	33
<b>Εικόνα 4.4:</b> Ποσοστό συμμετοχής μήκους κύματος πολυφασματικών καναλιών. (Πηγή: landsat.gsfc.nasa.gov).....)	34
<b>Εικόνα 4.5:</b> Διάγραμμα Ροής Τηλεπισκόπησης. (Πηγή: Hadjimitsis, 2011).....)	36
<b>Εικόνα 4.6:</b> Γραφική παρουσίαση της πορείας της ηλιακής ακτινοβολίας. (Πηγή: SeaHARRE-5 Workshop 13-16 April 2010, Hobart, Tasmania).....)	38
<b>Εικόνα 5.1:</b> Συσχετίσεις ανάμεσα στα δορυφορικά δεδομένα και τα δεδομένα εδάφους...70	

<b>Εικόνα 5.2:</b> Χάρτης χλωροφύλλης-α όπως προέκυψε μέσω της εξίσωσης του δείκτη $B2/(B1+B2+B3)$ , ο οποίος έδωσε την ισχυρότερη συσχέτιση (93%).....	73
<b>Εικόνα 5.3:</b> Χάρτης χλωροφύλλης-α όπως προέκυψε μέσω της εξίσωσης του δείκτη $B3/B2$ , ο οποίος έδωσε συσχέτιση της τάξης του 91%.....	74
<b>Εικόνα 5.4:</b> Χάρτης χλωροφύλλης-α όπως προέκυψε μέσω της εξίσωσης του δείκτη $(B3/B4)$ , ο οποίος έδωσε λίγο χαμηλότερη συσχέτιση, της τάξης του 88%.....	74
<b>Εικόνα 5.5:</b> Χάρτης αμμωνίου όπως προέκυψε μέσω της εξίσωσης του δείκτη $(B1-B4)/(B3-B4)$ , με συσχέτιση της τάξης του 87%.....	75
<b>Εικόνα 5.6:</b> Χάρτης αμμωνίου όπως προέκυψε μέσω της εξίσωσης του δείκτη $(B2-B4)/B3$ , ο οποίος έδωσε λίγο χαμηλότερη συσχέτιση, της τάξης του 79%.....	76
<b>Εικόνα 5.7:</b> Χάρτης αμμωνίου όπως προέκυψε μέσω της εξίσωσης του δείκτη $(B3/B4)$ , ο οποίος έδωσε τη χαμηλότερη από τις τρεις συσχετίσεις, της τάξης του 71%.....	76
<b>Εικόνα 5.8:</b> Χάρτης pH όπως προέκυψε μέσω της εξίσωσης του δείκτη $(B1/B4)$ , με $r^2=64\%$ .....	77
<b>Εικόνα 5.9:</b> Χάρτης DO όπως προέκυψε μέσω της εξίσωσης του δείκτη $(B2/B3)$ , με $r^2=73\%$ .....	78
<b>Εικόνα 5.10:</b> Χάρτης θερμοκρασίας όπως προέκυψε από το θερμικό κανάλι B10 του OLI.....	79
<b>Εικόνα 5.11:</b> Χάρτης θερμοκρασίας όπως προέκυψε από το θερμικό κανάλι B11 του OLI.....	79

## Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 2.1: Τα κανάλια του OLI. (Πηγή: NASA).....	18
Πίνακας 2.2: Τα κανάλια του TIRS. (Πηγή: NASA).....	18
Πίνακας 4.1: Διαδοχή καναλιών και μήκη κύματος όπως εισάγονται στο ATCOR.....	37
Πίνακας 5.1: Αποτελέσματα για Αγωγιμότητα, pH, NO <sub>3</sub> , NO <sub>4</sub> , TP και CHLa.....	42
Πίνακας 5.2: Αποτελέσματα για D.O. και T.....	43
Πίνακας 5.3: Αποτελέσματα συσχετίσεων ( $r^2$ ) από την εφαρμογή των προτεινόμενων δεικτών κατά Olmanson et al.-εύρος 9.5nm.....	44
Πίνακας 5.4: Αποτελέσματα συσχετίσεων ( $r^2$ ) από την εφαρμογή των προτεινόμενων δεικτών κατά Olmanson et al. - εύρος 1.58nm.....	45
Πίνακας 5.5: Αποτελέσματα συσχετίσεων ( $r^2$ ) από την εφαρμογή των προτεινόμενων δεικτών κατά Moses et al. - εύρος 9.5 nm.....	45
Πίνακας 5.6: Αποτελέσματα συσχετίσεων ( $r^2$ ) από την εφαρμογή των προτεινόμενων δεικτών κατά Moses et al. - εύρος 1.58 nm.....	46
Πίνακας 5.7: Αποτελέσματα συσχετίσεων ( $r^2$ ) από την εφαρμογή των προτεινόμενων δεικτών κατά Hunter et al. - εύρος 9.50 nm.....	46
Πίνακας 5.8: Αποτελέσματα συσχετίσεων ( $r^2$ ) από την εφαρμογή των προτεινόμενων δεικτών κατά Hunter et al. - εύρος 1.58 nm.....	47
Πίνακας 5.9: Αποτελέσματα συσχετίσεων ( $r^2$ ) από την εφαρμογή των προτεινόμενων δεικτών κατά Senay et al.-εύρος 9.5 nm.....	47
Πίνακας 5.10: Αποτελέσματα συσχετίσεων ( $r^2$ ) από την εφαρμογή των προτεινόμενων δεικτών κατά Senay et al.-εύρος 1.58 nm.....	48
Πίνακας 5.11: Αποτελέσματα συσχετίσεων ( $r^2$ ) από την εφαρμογή των προτεινόμενων δεικτών κατά Dash et al.- εύρος 9.5 nm.....	48
Πίνακας 5.12: Αποτελέσματα συσχετίσεων ( $r^2$ ) από την εφαρμογή των προτεινόμενων δεικτών κατά Dash at al.-εύρος 1.58 nm.....	49

<b>Πίνακας 5.13:</b> Αποτελέσματα συσχετίσεων ( $r^2$ ) από την εφαρμογή των προτεινόμενων δεικτών κατά Thiemann et al.-εύρος 9.5 nm.....	49
<b>Πίνακας 5.14:</b> Αποτελέσματα συσχετίσεων ( $r^2$ ) από την εφαρμογή των προτεινόμενων δεικτών κατά Thiemann et al.-εύρος 1.58 nm.....	49
<b>Πίνακας 5.15:</b> Αποτελέσματα συσχετίσεων ( $r^2$ ) όπως προέκυψαν από τους προτεινόμενους δείκτες για τα υπερφασματικά από το review paper.....	50
<b>Πίνακας 5.16:</b> Σύγκριση αποτελεσμάτων προηγούμενων ερευνητικών εργασιών με τα αποτελέσματα της παρούσας εργασία για τη χλωροφύλλη-α.....	52
<b>Πίνακας 5.17:</b> Αποτελέσματα συσχετίσεων για τη χλωροφύλλη-α για τα δορυφορικά πολυφασματικά δεδομένα .....	57
<b>Πίνακας 5.18:</b> Αποτελέσματα συσχετίσεων για τα νιτρικά ιόντα για τα δορυφορικά πολυφασματικά δεδομένα .....	59
<b>Πίνακας 5.19:</b> Αποτελέσματα συσχετίσεων για το αμμώνιο για τα δορυφορικά πολυφασματικά δεδομένα .....	61
<b>Πίνακας 5.20:</b> Αποτελέσματα συσχετίσεων για τον ολικό φώσφορο για τα δορυφορικά πολυφασματικά δεδομένα .....	62
<b>Πίνακας 5.21:</b> Αποτελέσματα συσχετίσεων για το pH για τα δορυφορικά πολυφασματικά δεδομένα .....	62
<b>Πίνακας 5.22:</b> Αποτελέσματα συσχετίσεων για την αγωγιμότητα για τα δορυφορικά πολυφασματικά δεδομένα .....	63
<b>Πίνακας 5.23:</b> Αποτελέσματα συσχετίσεων για το διαλυμένο οξυγόνο για τα δορυφορικά πολυφασματικά δεδομένα .....	64
<b>Πίνακας 5.24:</b> Αποτελέσματα συσχετίσεων για τη θερμοκρασία για τα δορυφορικά πολυφασματικά δεδομένα .....	66
<b>Πίνακας 5.25:</b> Σύγκριση αποτελεσμάτων μεταξύ ερευνητικών εργασιών της βιβλιογραφίας με τα αποτελέσματα της διπλωματικής για τη χλωροφύλλη-α για τον Landsat 8.....	67

**Πίνακας 5.26:** Σύγκριση τιμών θερμοκρασίας όπως προέκυψαν από τις μετρήσεις του Φορέα Διαχείρισης και τις εικόνες του δέκτη TIRS.....70

## Βιβλιογραφία

- Bresciani, Mariano, et al. 2011.** Assessing remotely sensed chlorophyll-a for the implementation of the Water Framework Directive in European perialpine lakes. *Science of The Total Environment*. August 1, 2011, Vol. 409, 17, pp. 3083-3091. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.05.001>.
- Bukata, R. P., Bruton, J. E., and Jerome, J. H. 1985.** Application of direct measurements to the estimation of lake water quality indicators. *Environment Canada*. 1985, NWRI IWD Scientific Series No. 140.
- Carder, K. L., Steward, R. G., Harvey, G. R., and Ortner, P. B. 1989.** *Marine humic and fulvic acids: their effects on remote sensing of ocean chlorophyll*. *Limnology and Oceanography*. 1989. pp. 34, 68-81.
- Chavula, Geoffrey, et al. 2009.** Estimating chlorophyll concentration in Lake Malawi from MODIS satellite imagery. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*. 2009, Vol. 34, 13–16, pp. 755-760. <http://dx.doi.org/10.1016/j.pce.2009.07.015>.
- Curran, P.J. and Novo, E.M.M. 1989.** The relationship between suspended sediment concentration and remotely sensed spectral radiance: a review. *Journal of Coastal Research*. 1989, 4, pp. 351-368.
- Dash, Padmanava, και συν. 2011.** Estimation of cyanobacterial pigments in a freshwater lake using OCM satellite data. *Remote Sensing of Environment*. 15 December 2011, Τόμ. 115, 12, σσ. 3409-3423. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2011.08.004>.
- Draper, N. και Smith, H. 1997.** *Εφαρμοσμένη Ανάλυση Παλινδρόμησης*. Αθήνα : Παπαζήση, 1997.
- Giardino, Claudia, et al. 2007.** Assessment of water quality in Lake Garda (Italy) using Hyperion. *Remote Sensing of Environment*. July 30, 2007, Vol. 109, 2, pp. 183-195. ISSN 0034-4257, <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2006.12.017>..
- Gons, Herman J., Auer, Martin T. και Effler, Steven W. 2008.** ERIS satellite chlorophyll mapping of oligotrophic and eutrophic waters in the Laurentian Great Lakes. *Remote Sensing of Environment*. 15 November 2008, Τόμ. 112, 11, σσ. 4098-4106. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2007.06.029>.
- Hunter, Peter D., et al. 2010.** Hyperspectral remote sensing of cyanobacterial pigments as indicators for cell populations and toxins in eutrophic lakes. *Remote Sensing of Environment*. November 15, 2010, Vol. 114, 11, pp. 2705-2718. ISSN 0034-4257, [10.1016/j.rse.2010.06.006](http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2010.06.006)..
- Hunter, Peter D., et al. 2008.** Spectral discrimination of phytoplankton colour groups: The effect of suspended particulate matter and sensor spectral resolution. *Remote Sensing of Environment*. April 15, 2008, Vol. 112, 4, pp. 1527-1544. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2007.08.003>..
- Lathrop, Richard G., Lillesand, Thomas M. and Yandell, Brian S. 1991.** Testing the utility of simple multi-date Thematic Mapper calibration algorithms for monitoring turbid inland waters. *International Journal of Remote Sensing*. 1991.



- Lee, Chengfeng, et al. 2013.** Climate-driven chlorophyll-a changes in a turbid estuary: Observations from satellites and implications for management. *Remote Sensing of Environment*. March 15, 2013, Vol. 130, pp. 11-24. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2012.11.011>.
- Lesht, Barry M., Barbiero, Richard P. and Warren, Glenn J. 2013.** A band-ratio algorithm for retrieving open-lake chlorophyll values from satellite observations of the Great Lakes. *Journal of Great Lakes Research*. March 2013, Vol. 39, 1, pp. 138-152. ISSN 0380-1330, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jglr.2012.12.007>.
- Lillesand, T. M., et al. 1983.** *Use of Landsat data to predict the trophic state of Minnesota lakes. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 1983. pp. 49, 219-229.
- Matthews, William Mark. 2010.** A current review of empirical procedures of remote sensing in inland and near-coastal transitional waters. *International Journal of Remote Sensing*. 2010.
- Moses, Wesley J., et al. 2012.** Estimation of chlorophyll-a concentration in turbid productive waters using airborne hyperspectral data. *Water Research*. March 15, 2012, Vol. 46, 2, pp. 993-1004. ISSN 0043-1354, [10.1016/j.watres.2011.11.068](http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2011.11.068).
- Olmanson, G. Leif, Bauer, E. Marvin και Brezonik, L. Patrick. 2007.** A 20-year Landsat water clarity census of Minnesota's 10,000 lakes. *Remote Sensing of Environment*. 2007, σσ. 4086-4097.
- Olmanson, Leif G., Brezonik, Patrick L. and Bauer, Marvin E. 2012.** Airborne hyperspectral remote sensing to assess spatial distribution of water quality. *Remote Sensing of Environment*. November 27, 2012, pp. 254-265.
- Sass, G.Z., et al. 2007.** Understanding variation in trophic status of lakes on the Boreal Plain: A 20 year retrospective using Landsat TM imagery. *Remote Sensing of Environment*. July 30, 2007, Vol. 109, Issue 2, pp. 127-141. ISSN 0034-4257, [10.1016/j.rse.2006.12.010](http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2006.12.010).
- Senay, Gabriel B., et al. 2001.** The Selection of Narrow Wavebands for Optimizing Water Quality Monitoring on the Great Miami River, Ohio using Hyperspectral Remote Sensor Data. *Journal of Spatial Hydrology*. 2001, Vol. 1, 1.
- Shiklomanov, Igor. 1993.** *Water in Crisis: A Guide to the World's Fresh Water Resources*. [επιμ.] Peter H. Gleick. New York : Oxford University Press, 1993.
- Thiemann, Sabine και Kaufmann, Hermann. 2000.** Determination of Chlorophyll Content and Trophic State of Lakes Using Field Spectrometer and IRS-1C Satellite Data in the Mecklenburg Lake District, Germany. *Remote Sensing of Environment*. August 2000, Τόμ. 73, 2, σσ. 227-235. [http://dx.doi.org/10.1016/S0034-4257\(00\)00097-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0034-4257(00)00097-3).
- Αργιαλάς, Δημήτρης Π. 1999.** *Φωτοερμηνεία-Τηλεπισκόπηση*. Αθήνα : Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 1999.
- Κουσουρής, Θεόδωρος Σ. 2000.** *Μικροβιακή Οικολογία*. Αθήνα : Χρήστος Ε. Δαρδανός, 2000.
- Σισμανίδης, Παναγιώτης Ι. 2012.** Διάδοση της Ακτινοβολίας μέσα από την Ατμόσφαιρα. Εφαρμογή & Αξιολόγηση Απόλυτων Ατμοσφαιρικών Αλγορίθμων Διόρθωσης Τηλεπισκοπικών Απεικονίσεων. *Διπλωματική Εργασία*. 2012.

## Διαδικτυακοί τόποι

- europa.eu – Επίσημη ιστοσελίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης.
- landsat.gsfc.nasa.gov – Επίσημη ιστοσελίδα της NASA του προγράμματος Landsat.
- Landsat.usgs.gov – Επίσημη ιστοσελίδα της NASA για τη προμήθεση των δορυφορικών εικόνων.
- landsathandbook.gsfc.nasa.gov – Το εγχειρίδιο χρήσης των δορυφορικών εικόνων του Landsat 7.
- kre-kastor.kas.sch.gr/ - Κέντρο Περιβαλλοντικής Εκπαίδευσης Καστοριάς.
- science1.nasa.gov – Επίσημη ιστοσελίδα της NASA.
- wikipedia.com – Ελεύθερη διαδικτυακή εγκυκλοπαίδεια.
- www.ecodonet.gr–Επίσημη ιστοσελίδα του Διαδικτυακού Εικονικού Παρατηρητηρίου των ποταμών Αχέροντα, Καλαμά και Τόρρε Γκουατοτέτο.
- www.chem.uoa.gr/- Τμήμα Χημείας Πανεπιστημίου Αθηνών.
- www.fdkarlas.gr – Ιστοσελίδα του Φορέα Διαχείρισης Π.Ο.Κα.Μα.Κε.Βε.
- www.spectravista.com – Εταιρική ιστοσελίδα για το GER1500.
- www.sat.dundee.ac.uk/spectrum.html-Natural Environment Research Council (NERC) Earth Observation Data Acquisition and Analysis Service (NEODAAS)
- www.tovima.gr – Ηλεκτρονική εφημερίδα «το Βήμα».