



Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών
Τομέας Γεωγραφίας και Περιφερειακού Σχεδιασμού

**ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΣΕ ΛΙΜΝΑΙΑ ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑΤΑ
ΣΤΗΝ ΑΙΤΩΛΟΑΚΑΡΝΑΝΙΑ**



Ελένη Σκανδάλου
Αγρονόμος Τοπογράφος Μηχανικός

Επιβλέπουσα : Μ. Παπαδοπούλου

Αθήνα, Οκτώβριος 2018

**Στον αγαπημένο μου γιο
Μιχάλη**

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σήμερα οι αυξανόμενες πιέσεις που δέχεται το περιβάλλον καθιστούν αναγκαία την αξιοποίηση τεχνικών και μεθόδων χαμηλού κόστους για τη συνεχή παρακολούθησή του. Η Ευρωπαϊκή Οδηγία-Πλαίσιο για τα Ύδατα (2000/60/ΕΚ) και η εθνική νομοθεσία με την οποία εναρμονίστηκε απαιτούν την παρακολούθηση της κατάστασης και την επίτευξη «Καλής Περιβαλλοντικής Κατάστασης» (*Good Environmental Status*) σε όλα τα ύδατα με συγκεκριμένους ποσοτικούς στόχους.

Οι σύγχρονες τεχνολογίες και τηλεπισκοπικές μέθοδοι παρακολούθησης του γήινου περιβάλλοντος αποτελούν πολύτιμα εργαλεία προς την κατεύθυνση αυτή. Στην παρούσα εργασία έγινε χρήση εμπειρικού μοντέλου και του θερμικού καναλιού Landsat-8 για την εκτίμηση της χλωροφύλλης και της επιφανειακής θερμοκρασίας στα υδάτινα συστήματα της Αιτωλοακαρνανίας και συγκεκριμένα στις λίμνες Τριχωνίδα, Λυσιμαχεία, Αμβρακία, Οζερός, τεχνητή λίμνη Στράτου και Καστρακίου. Η αξιολόγηση των παραπάνω τεχνικών έγινε με βάση τα αποτελέσματα της διαθέσιμης βιβλιογραφίας ενώ η ανάλυση των μεταβολών της χλωροφύλλης και της θερμοκρασίας έγινε σε επίπεδο χρονοσειρών. Τα αποτελέσματα ήταν ενθαρρυντικά για τη χρήση του θερμικού καναλιού και του εμπειρικού μοντέλου. Ωστόσο για την πιο αξιόπιστη συσχέτιση των δορυφορικών δεδομένων και των *insitu* μετρήσεων κρίνεται επιτακτική η ανάγκη ταυτόχρονης διεξαγωγής των δειγματοληψιών στην περιοχή μελέτης και της διέλευσης του δορυφόρου Landsat-8.

ABSTRACT

Currently the environment is undergoing increasing pressures which results in the need to utilize low cost techniques and methods for its continuous follow-up. The European Framework directive on Waters (2000/60/EK) and national legislation which has been harmonised require the monitoring of the situation and the achievement of a “Good Environmental State” (Good Environmental Status) in all water bodies with concrete quantitative objectives. Modern technologies and remote sensing methods of following-up the terrestrial environment constitute precious tools to this aim. The present study engaged the use of an empirical model and the Thermal Infrared Sensor (TIRS) of the Landsat-8 satellite for the estimation of chlorophyll and surface temperature in the aquatic systems of Aitolokarnania and specifically in the lakes Trichonida, Lysimacheia, Ambrakia, Ozeros, the artificial lake of Stratos and Kastraki. The evaluation of the above techniques was based on the results of available bibliography while the analysis of changes of chlorophyll and temperature were based on the level of time series. The results were encouraging regarding the use of the Thermal Infrared Sensor and the empirical model. Nevertheless, for the most reliable cross-correlation of satellite data and the in situ calculations it is deemed that there is a need to implement a simultaneous conduct of samplings in the region of the study and the passage of the Landsat-8 satellite.

ΑΦΙΕΡΩΜΑ

Τη διπλωματική μου εργασία που είναι αποτέλεσμα της προσπάθειας μου τα τελευταία δέκα χρόνια την αφιερώνω στον αγαπημένο μου γιο Μιχάλη Νταγιάντα που είναι η δύναμη μου στο να μετουσιώσω τον ίδιο μου τον πόνο και το δύσκολο πεπρωμένο μου σε αγώνα, σαν άλλον Χείρων Κένταυρο, οδηγώντας με στα φωτεινά μονοπάτια της γνώσης, της ελπίδας, της προσφοράς, της πάλης και της αυτοθεραπείας !!!

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Φτάνοντας στο τέλος μιας ακόμα διαδρομής και ολοκληρώνοντας τη διπλωματική μου εργασία θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους όσοι στάθηκαν πλάι μου και συνέβαλαν στην περάτωσή της. Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω τη κόρη μου Ροδάνθη που όλα αυτά τα χρόνια ήταν σύμμαχος στην απόφασή μου να δώσω πανελλήνιες εξετάσεις να εισαχθώ και να τελειώσω τη σχολή ΣΑΤΜ του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου αφήνοντας με να της δώσω ένα έμπρακτο παράδειγμα ότι στη ζωή ακόμα και τα πιο απίθανα όνειρα γίνονται πραγματικότητα όταν η δύναμη της θέλησης είναι μεγάλη και ότι η προσπάθεια να ανοίγουμε μονοπάτια φωτός είναι επιλογή ευλογημένης και άξιας ζωής.

Η επιθυμία μου ήταν να αποτελέσει η διπλωματική μου εργασία μια προσφορά στον τόπο που γεννήθηκα μεγάλωσα και αγάπησα ενώ έμπνευση για τη διερεύνηση της ποιότητας των υδάτων με χρήση τηλεπισκόπησης αποτέλεσαν οι καθηγητές μου κ. Μαρία Παπαδοπούλου και κ. Κωνσταντίνος Καραντζαλος, οι οποίοι με κατεύθυναν επιστημονικά και μου έδιναν θάρρος να τελειώσω την εργασία μου . Θέλω να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον κ. Δημήτρη Παπακωνσταντίνου για τη ζεστή και φιλική του συμπαράσταση σε αυτή μου τη προσπάθεια όπως επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τη Κατερίνα Κικάκη για την ουσιαστική βοήθεια της στη σύνταξη και τελειοποίηση αυτής της διπλωματικής εργασίας .

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους καθηγητές μου στη σχολή ΣΑΤΜ για την αγάπη, τη στήριξη και την υπομονή τους αλλά και όλη τη σχολή γιατί μέσα σ αυτή τα δύσκολα χρόνια για μένα, έζησα γαλήνη, ζεστασιά και ελπίδα όπως νιώθει κάποιος μέσα στο σπίτι του.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

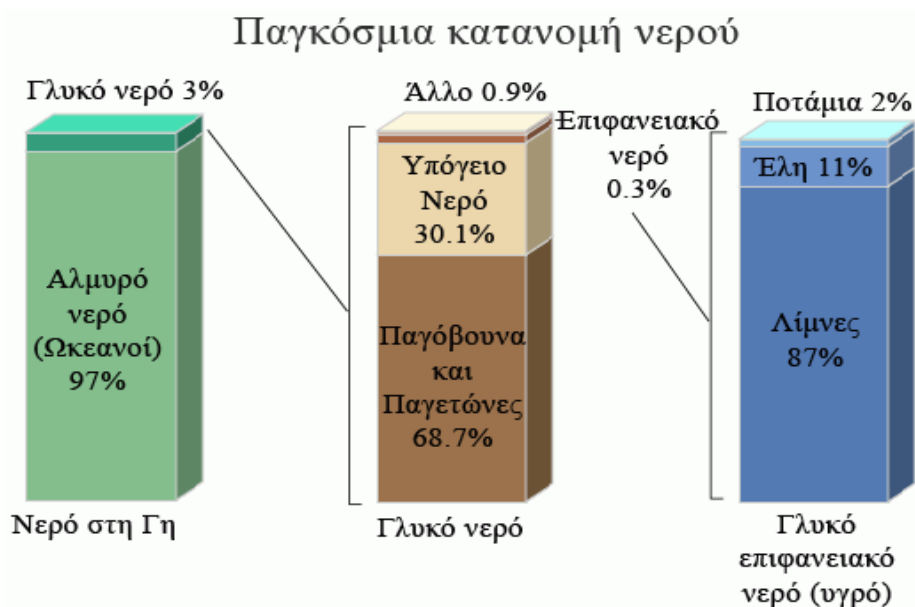
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	8
1.1 Κίνητρο.....	9
1.2 Συνεισφορά.....	10
2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ	11
2.1 Η ευρωπαϊκή νομοθεσία για τα ύδατα.....	11
2.1.1 Συνοπτική παρουσίαση της Οδηγίας Πλαίσιο για τα Ύδατα	11
2.1.2 Η διαδικασία Υλοποίησης της Οδηγίας.....	12
2.1.3 Εφαρμογής της Οδηγίας Πλαίσιο για τα Ύδατα από την Ελλάδα	13
2.2 Η ποιότητα των υδάτων σε διεθνές επίπεδο.....	15
2.3 Η υποβάθμιση της ποιότητας των υδάτων σε σχέση με τις μεταβολές των χρήσεων γης	17
2.4 Δεδομένα για την ποιότητα νερού και για τις χρήσεις γης σε περιοχές της Ελλάδας	18
2.5 Κύριες αιτίες ρύπανσης στην Ελλάδα	18
2.5.1 Αστικές αιτίες – Αστικά απόβλητα.....	18
2.5.2 Γεωργικές αιτίες – Γεωργική και Κτηνοτροφική δραστηριότητα	19
2.5.3 Βιομηχανικές αιτίες – Μεταποίηση.....	19
3. ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΣΩΤΕΡΙΚΩΝ ΥΔΑΤΩΝ ΤΗΣ ΔΥΤΙΚΗΣ ΣΤΕΡΕΑΣ ΕΛΛΑΔΑΣ - ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	21
3.1 Λίμνη Τριχωνίδα.....	22
3.1.1 Γεωμορφολογικά στοιχεία	24
3.1.2 Γεωλογία της περιοχής.....	25
3.1.3 Κλιματικές συνθήκες	26
3.1.4 Υδρολογικά στοιχεία	27
3.1.5 Λιμνολογικά στοιχεία.....	27
3.1.6 Χρήσεις γης	29
3.2 Λίμνη Λυσιμαχεία.....	30
3.3 Λίμνη Οζερός.....	31
3.4 Λίμνη Αμβρακία.....	33
3.5 Τεχνητή λίμνη Στράτου	35
3.6 Τεχνητή λίμνη Καστρακίου	37
3.7 Προηγούμενες μελέτες για την ποιότητα των υδάτων της περιοχής	37
3.8 Γενικές Παρατηρήσεις- Συμπεράσματα	39
4. ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ και ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	40
4.1. Αρχή λειτουργίας τηλεπισκοπικών ανιχνευτών.....	41

4.2. Κατηγορίες δεκτών ανιχνευόμενης Η/Μ ακτινοβολίας	42
4.3. Ποιοτικά χαρακτηριστικά δεδομένων	43
4.4. Εφαρμογές τηλεπισκόπησης	43
4.5. Επεξεργασία & ανάλυση δεδομένων	44
4.6. Όργανα καταγραφής και δορυφόροι παρατήρησης της Γης.....	45
4.7. Χαρακτηριστικά της τροχιάς των δορυφόρων	45
4.8 Όργανα καταγραφής	46
4.8.1.Βασικά χαρακτηριστικά των οργάνων καταγραφής	46
4.8.2 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των οργάνων καταγραφής	49
4.9 Οπτικά δορυφορικά συστήματα	50
4.9.1 Δορυφορικό πρόγραμμα LANDSAT	50
4.9.2 Χαρακτηριστικά των LANDSAT πρώτης και δεύτερης γενιάς.....	51
4.9.3 LANDSAT 8.....	52
4.10 Πρόσφατες Σχετικές Εργασίες και Αποτελέσματα	53
5. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	60
5.1. Πολυφασματικά Δεδομένα	60
5.1.1. Συλλογή δορυφορικών εικόνων	60
6. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ και ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ	65
6.1 Χλωροφύλλη.....	65
6.1.1 Αποτύπωση Μεταβολών Συγκεντρώσεων χλωροφύλλης	65
6.1.2 Ανάλυση Χρονοσειρών για τη χλωροφύλλη.....	71
6.1.3 Σύγκριση με τη βιβλιογραφία	78
6.2 Θερμοκρασία.....	79
6.2.1 Αξιολόγηση μεταβολών επιφανειακής θερμοκρασίας.....	79
6.2.2 Ανάλυση Χρονοσειρών για τη θερμοκρασία	88
6.2.3 Σύγκριση με τη βιβλιογραφία	88
7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ	91
8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	93
9. ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΕΙΚΟΝΩΝ	94
10. ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	95

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το νερό είναι συνώνυμο της ζωής και αποτελεί ζωτικό στοιχείο για την επιβίωση του ανθρώπου αλλά και τη διατήρηση του φυσικού περιβάλλοντος. Είναι ύψιστο καθήκον όλων μας η διαφύλαξη και διατήρηση της ποιότητας του για τις γενιές που θα επακολουθήσουν. Το νερό υπάρχει παντού, στα σύννεφα, στους ωκεανούς, στους πάγους των πόλων, στο υπέδαφος, στους σπόρους των φυτών και στον άνθρωπο.

Η επιφάνεια της γης καλύπτεται σε ποσοστό 71% από νερό. Το θαλάσσιο νερό των ωκεανών είναι σε ποσοστό (97%) και εκτός του ότι βοηθά στη ρύθμιση του κλίματος του πλανήτη, στη διάλυση και υποβάθμιση αποβλήτων που δημιουργούνται από τις ανθρώπινες δραστηριότητες είναι και ο μεγαλύτερος τόπος διαμονής και διαβίωσης πολλών ζώντων οργανισμών του πλανήτη. Το νερό αποτελεί το κύριο συστατικό των οργανισμών του πλανήτη μας. Το 60% περίπου του βάρους ενός δέντρου αντιστοιχεί σε νερό, ενώ στα περισσότερα ζώα το 65% περίπου είναι νερό. Στους ανθρώπους, το 65% με 70% του βάρους τους είναι νερό. Κάθε ένας μας χρειάζεται καθημερινά κάποιες μικρές ποσότητες νερού για να επιζήσει. Για την τροφή αλλά και την ικανοποίηση των αναγκών μας χρειαζόμαστε καθημερινά μεγάλες ποσότητες νερού.



Εικόνα 1.1 Η κατανομή του νερού στον πλανήτη
[Πηγή: USGS]

Η πιο ακριβής μέθοδος παρακολούθησης και εκτίμησης της ποιότητας των υδάτων είναι η δειγματοληψία και η πραγματοποίηση χημικών αναλύσεων που αν και απολύτως αξιόπιστη υστερεί σε διάφορους τομείς όπως:

- Η επιτόπια δειγματοληψία δεν απεικονίζει τη χωρική διάσταση ενός φαινομένου, γιατί τα αποτελέσματα της αντιστοιχούν στο σημείο από το οποίο λήφθηκε το δείγμα και δεν δίνουν την συνολική εικόνα της κατάστασης σε όλη την έκταση του υδάτινου αποδέκτη.
- Είναι στις περισσότερες περιπτώσεις οικονομικά και υλικοτεχνικά ασύμφορη διαδικασία, πόσο μάλλον όταν έχουμε να παρακολουθήσουμε δεκάδες ή εκατοντάδες λίμνες μιας περιοχής. Για τη σωστή μελέτη των φαινομένων αλλά και των διακυμάνσεων τους χρειάζονται συχνές δειγματοληψίες. Με την τηλεπισκόπηση όχι μόνο παίρνουμε πληροφορίες από τις δορυφορικές εικόνες σε συχνά χρονικά διαστήματα αλλά και μπορούμε να εξάγουμε πληροφορίες για παλαιότερα έτη που μπορεί να μην είχαν γίνει δειγματοληψίες.
- Πολλές φορές η πρόσβαση στους υδάτινους αποδέκτες είναι δύσκολη και ειδικά όταν γίνεται σε συστηματική βάση.

Λύση στα παραπάνω προβλήματα δίνει η τηλεπισκόπηση.

«Τηλεπισκόπηση είναι η επιστήμη απόκτησης πληροφορίας για χαρακτηριστικά ή φαινόμενα δια μέσου της ανάλυσης δεδομένων τα οποία έχουν αποκτηθεί από μια συσκευή η οποία δεν είναι σε επαφή με το υπό έρευνα αντικείμενο, περιοχή η φαινόμενο στη επιφάνεια της γης από απόσταση», Αργιολάς (1999). Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της ανίχνευσης και καταγραφής της ανακλώμενης ή εκπεμπόμενης ενέργειας, την επεξεργασία, ανάλυση και τέλος την εφαρμογή της εισερχόμενης πληροφορίας. Οι αεροφωτογραφίες και οι δορυφορικές εικόνες είναι μερικές μορφές καταγραφής δεδομένων από απόσταση [Πηγή: <http://users.sch.gr/mppapado/downloads/tilepiskopisi.pdf>].

Με βάση την Ευρωπαϊκή οδηγία 2000/60/ΕΚ για τη θέσπιση πλαισίου κοινοτικής δράσης στον τομέα της πολιτικής των υδάτων ή αλλιώς Οδηγία-Πλαίσιο για τα Νερά που τέθηκε σε ισχύ στις 22 Δεκεμβρίου 2000, καθορίστηκαν οι παράμετροι ελέγχου των υδάτων. Η Οδηγία 2000/60/ΕΚ συνδυάζει ποιοτικούς, οικολογικούς και ποσοτικούς στόχους για την προστασία υδάτινων οικοσυστημάτων και την καλή κατάσταση όλων των υδατικών πόρων και θέτει ως κεντρική ιδέα την ολοκληρωμένη διαχείριση τους στη γεωγραφική κλίμακα των Λεκανών Απορροής Ποταμών. Επιπλέον, επαναπροσδιορίζει την έννοια της Λεκάνης Απορροής, η οποία περιλαμβάνει τα εσωτερικά επιφανειακά (ποταμοί, λίμνες), τα υπόγεια ύδατα, τα μεταβατικά (δέλτα, εκβολές ποταμών) και τα παράκτια οικοσυστήματα [Πηγή: <http://www.ypeka.gr/?tabid=248>]

Μερικές από τις παραμέτρους που καθορίστηκαν για τον έλεγχο των υδάτων μπορούν να προσδιοριστούν με ικανοποιητική ακρίβεια μέσω της τηλεπισκόπησης. Σύμφωνα με τους Giardino, et al. (2007) για την εκτίμηση των παραμέτρων αυτών μπορούν να εφαρμοστούν τρεις διαφορετικές προσεγγίσεις:

Η εμπειρική προσέγγιση η οποία βασίζεται στην ανάπτυξη μοντέλων παλινδρόμησης ανάμεσα σε δεδομένα ψηφιακής τηλεπισκόπησης και στις μετρήσεις των παραμέτρων ποιότητας νερού. 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 πρόέκυψαν από επιτόπιες δειγματοληψίες με τις οποίες συμπίπτουν χρονικά .

Η ημι-εμπειρική προσέγγιση μπορεί να χρησιμοποιηθεί όταν τα φασματικά χαρακτηριστικά των παραμέτρων ενδιαφέροντος είναι γνωστά και εισάγονται στη στατιστική ανάλυση ενώ καλά επιλεγμένες φασματικές περιοχές και κατάλληλες ζώνες συχνότητας χρησιμοποιούνται ως στοιχεία εισόδου.

Η αναλυτική προσέγγιση στην οποία οι παράμετροι της ποιότητας του νερού σχετίζονται με Εγγενείς Οπτικές Ιδιότητες (Inherent Optical Properties – ιδιότητες που εξαρτώνται μόνο από το νερό και τις άλλες ουσίες που είναι διαλυμένες η 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 δυο πρώτες περιπτώσεις είναι σε μεγαλύτερο βαθμό εξαρτώμενες από την περιοχή μελέτης. Αντίθετα 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.

1.1 Κίνητρο

Κίνητρο για την παρούσα διπλωματική είναι η εφαρμογή νέων τεχνολογιών με σκοπό την εκτίμηση και τη συνεχή παρακολούθηση (monitoring) της ποιότητας των υδάτινων οικοσυστημάτων της Αιτωλοακαρνανίας. Η εφαρμογή της τηλεπισκόπησης συγκεκριμένα έχει τεράστιες δυνατότητες και αποτελεί μία εναλλακτική και οικονομική μέθοδο για την παρατήρηση του περιβάλλοντος και συγκεκριμένα των υδάτων. Η διάθεση δορυφορικών δεδομένων ανά τακτικά χρονικά διαστήματα μπορεί να οδηγήσει στην αποτύπωση μεταβολών της ποιότητας των υδάτων αλλά και σε μια βάση δεδομένων, ώστε να αναλυθούν μακροχρόνιες αλλαγές.

1.2 Συνεισφορά

Η παρούσα διπλωματική επιχειρεί να συνεισφέρει :

- ✓ Στην έρευνα για τις δυνατότητες του δορυφόρου Landsat-8 και τα περιθώρια αξιοποίησης των εικόνων του στις λίμνες.
- ✓ Στην παραγωγή χαρτών ποιότητας νερού ανά παράμετρο με τελικό σκοπό την οπτικοποίηση και την παρακολούθηση των μεταβολών ανά επιφάνεια αναφοράς ακόμα και από κάποιους που δεν είναι εξοικειωμένοι με τη χρήση της τηλεπισκόπησης και των δεικτών.
- ✓ Στην αξιολόγηση εμπειρικού μοντέλου (Karmas et al., 2016) που προβλέπει τη χλωροφύλλη και του θερμικού καναλιού του Landsat-8.

2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

2.1 Η ευρωπαϊκή νομοθεσία για τα ύδατα

2.1.1 Συνοπτική παρουσίαση της Οδηγίας Πλαίσιο για τα Ύδατα

Η Οδηγία 2000/60/EK καθορίζει τις αρχές και προτείνει μέτρα για τη διατήρηση και προστασία όλων των υδάτων -ποταμών, λιμνών, μεταβατικών, παράκτιων και υπογείων υδάτων, δίνοντας επίσης την έννοια της «οικολογικής σημασίας» τους ανεξάρτητα της όποιας άλλης χρήσης τους. Η εφαρμογή της στοχεύει στην ολοκληρωμένη και αειφόρο διαχείριση των υδατικών πόρων, αφού για πρώτη φορά καλύπτονται όλοι οι τύποι και όλες οι χρήσεις του νερού, σε ενιαίο πλαίσιο κοινό για όλα τα κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Με την Οδηγία αυτή, καθιερώνονται και εφαρμόζονται κοινές αρχές και κοινά μέτρα για όλα τα Κράτη Μέλη, με θεμελιώδη στόχο την επίτευξη της «καλής κατάστασης» όλων των υδάτων (συμπεριλαμβανομένων των εσωτερικών επιφανειακών υδάτων, των μεταβατικών, των παράκτιων και των υπόγειων υδάτων), μέχρι το έτος 2015. Ειδικότερα, ο σκοπός της Οδηγίας, σύμφωνα με το άρθρο 1, είναι «η θέσπιση πλαισίου για την προστασία των εσωτερικών επιφανειακών, των μεταβατικών, των παράκτιων και υπόγειων υδάτων».

Οι κύριοι στόχοι της οδηγίας (άρθρο 1) αποσκοπούν:

- Στην αποτροπή της περαιτέρω υποβάθμισης των υδάτων και να προστατεύονται και να βελτιώνονται οι υδατικοί πόροι καθώς και τα χερσαία οικοσυστήματα που τους περιέχουν ή τους περιβάλλουν.
- Στην προώθηση της ορθολογικής και βιώσιμης χρήσης του νερού βασισμένης στην μακροπρόθεσμη προστασία και αειφορία, των διαθέσιμων υδατινών πόρων.
- Στην βελτίωση και προστασία του υδατινού περιβάλλοντος μέσω της εφαρμογής ειδικών μέτρων για την σταδιακή μείωση των απορρίψεων, εκπομπών και διαρροών ουσιών, με την σταδιακή εξάλειψη ή και παύση της ρύπανσης από αυτές.
- Στην διασφάλιση της προοδευτικής μείωσης της ρύπανσης των υπογείων υδάτων και αποτροπή περαιτέρω μόλυνσης τους.
- Στον μετριασμό των επιπτώσεων από πλημμύρες και ξηρασίες, όπου τα κύρια σημεία στα οποία μπορεί να συνοψιστεί η οδηγία είναι τα εξής:
 - A) Ο προσδιορισμός της περιοχής λεκάνης απορροής ποταμού ή συνόλου λεκανών απορροής με την μορφή μιας υδρολογικής περιφέρειας (με συνυπολογισμό υπόγειων και παράκτιων νερών) και οι διοικητικές διευθετήσεις για την συγκρότηση αρμόδιας τοπικής αρχής της λεκάνης αφενός και συντονισμού δράσεων αφετέρου (άρθρο 3).
 - B) Ο χαρακτηρισμός και η συνολική περιγραφή της κατάστασης της υδρολογικής περιφέρειας και η ανάλυση των πιέσεων και των επιπτώσεων αυτών στην κατάσταση των συστημάτων επιφανειακών και υπογείων υδάτων συμπεριλαμβανομένης και της οικονομικής ανάλυσης των χρήσεων νερού, βάση των άρθρου 5 & 6, Παράρτημα II, Παράρτημα III).
 - Γ) Η εγκατάσταση και λειτουργία αντιπροσωπευτικών δικτύων παρακολούθησης της ποσοτικής και ποιοτικής κατάστασης υδάτων (άρθρο 8).
 - Δ) Η κατάστρωση των Διαχειριστικών Σχεδίων (Προγράμματα Διαχείρισης Λεκάνης Απορροής Ποταμού) που θα περιλαμβάνουν τα απαραίτητα διαχειριστικά μέτρα για την επίτευξη των στόχων της Οδηγίας (άρθρο 13).

Πρωτοπορία της Οδηγίας είναι σε ότι αφορά την αντίληψη του νερού ως πόρο όχι μόνο του ανθρώπου, αλλά και της φύσης, σε συνδυασμό με το ευρύ φάσμα δράσεων που περιλαμβάνει και καθιστούν την εφαρμογή της μια διαδικασία μακρόχρονη, με πολλά ενδιάμεσα στάδια που θα αξιολογούνται και θα επαναπροσδιορίζουν πιθανώς στην πορεία, τον ακριβή τρόπο εφαρμογής της. Όπου το ζητούμενο εκτιμάται ότι θα είναι η ομοιογένεια σε ένα εξαιρετικά ανομοιογενές περιβάλλον των κρατών μελών και των συνθηκών που επικρατούν σε αυτά. Στο πλαίσιο αυτό, η Οδηγία απαιτεί την εκτέλεση πολυάριθμων προπαρασκευαστικών εργασιών, που οδηγούν στην υιοθέτηση επί μέρους προγραμμάτων μέτρων, τα οποία εντάσσονται στο σχέδιο διαχείρισης

λεκάνης απορροής ποταμού και της εφαρμογής, αναθεώρησης και ανανέωσης του σε έναν εξαετή κύκλο. Ο πρώτος εξαετής κύκλος εφαρμογής του Σχεδίου Διαχείρισης λήγει το 2015 και ακολουθούν άλλοι δύο κύκλοι ίδιας διάρκειας, βάζοντας σε εφαρμογή την Οδηγία μέχρι το τέλος του έτους 2027. Κάθε Κράτος Μέλος (Κ.Μ.) έχει ευθύνη για την εφαρμογή της.

Για πρώτη φορά δίδεται ιδιαίτερη σημασία στην αντιμετώπιση των ακραίων γεγονότων, και ειδικά στην προστασία από τις πλημμύρες και τις ξηρασίες (Τσακίρης, 2001). Βασικό παράγοντα για την εφαρμογή της οδηγίας από τα κράτη μέλη αποτελεί η διάταξη του άρθρου 3, που προβλέπει ως βασική μονάδα σχεδιασμού και διαχείρισης των υδάτινων πόρων, τις λεκάνες απορροής ποταμού [Ως Περιοχή Λεκάνης Απορροής Ποταμού, ορίζεται η «θαλάσσια και χερσαία έκταση που αποτελείται από μια ή περισσότερες λεκάνες απορροής ποταμού μαζί με τα συναφή υπόγεια και παράκτια ύδατα» (άρθρο 2: 13)]. Αναγνωρίζεται δηλαδή το γεγονός ότι το νερό έχει φυσικά και υδρολογικά όρια, όχι όμως πολιτικά και διοικητικά. Ακόμα ένα σημείο που σφραγίζει το χαρακτήρα της Οδηγίας είναι η ενθάρρυνση της ενεργής συμμετοχής όλων των ενδιαφερόμενων φορέων κατά την διάρκεια των σταδίων εφαρμογής της Οδηγίας αλλά και κατά την διάρκεια σύνταξης των διαχειριστικών προγραμμάτων. Επίσης τα Κράτη-Μέλη οφείλουν να ενημερώνουν και να συμβουλευονται τους πολίτες (συμπεριλαμβανομένων και των χρηστών) για συγκεκριμένα ζητήματα (άρθρο 14).

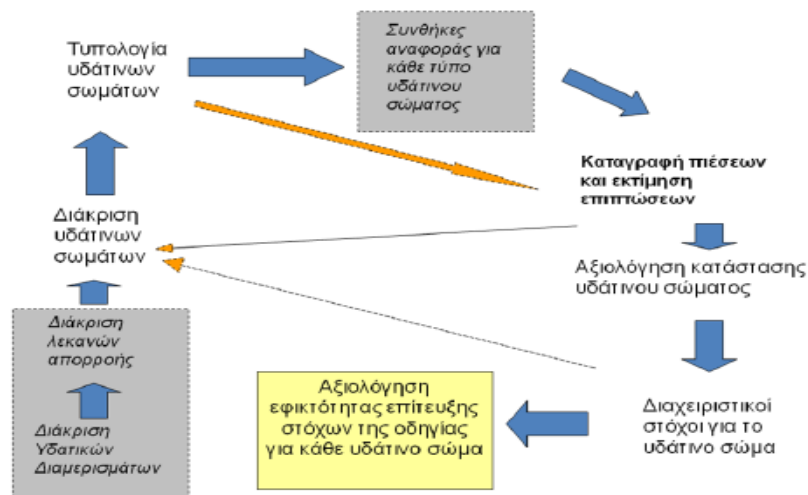
2.1.2 Η διαδικασία Υλοποίησης της Οδηγίας

Ο προγραμματισμός που θέτει η οδηγία 2000/60/ΕΕ για την επίτευξη του βασικού της στόχου περιλαμβάνει την υιοθέτηση εννέα βασικών βημάτων από όλα τα κράτη μέλη. Έτσι λοιπόν κατά την διαδικασία υλοποίησης της οδηγίας (Μαμάης, 2008):

- Γίνεται η διάκριση των υδατικών διαμερισμάτων
- Πραγματοποιείται η διάκριση των λεκανών απορροής
- Γίνεται η διάκριση των υδάτινων σωμάτων
- Καθορίζεται η τυπολογία των υδάτινων σωμάτων
- Προσδιορίζονται οι συνθήκες αναφοράς για τον κάθε τύπο υδάτινου σώματος
- Καταγράφονται οι πιέσεις και γίνεται μια αρχική εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων
- Αξιολογείται η κατάσταση του υδάτινου σώματος
- Συντάσσονται οι διαχειριστικοί στόχοι για το κάθε υδάτινο σώμα
- Τέλος, αξιολογείται η δυνατότητα υλοποίησης των επιμέρους στόχων της Οδηγίας για κάθε ένα από τα υδατικά σώματα και πραγματοποιείται μια διαρκής ανάδραση της όλης διαδικασίας.

Ειδικότερα οι δράσεις που απαιτούνται για την υλοποίηση της οδηγίας, περιλαμβάνουν:

- Προσδιορισμό των υδατικών διαμερισμάτων
- Καθορισμό και ένταξη υδατινών σωμάτων σε αυτές
- Προσδιορισμό περιβαλλοντικών στόχων
- Εκτίμηση πιέσεων και ανάλυση επιπτώσεων
- Οικονομική ανάλυση
- Σύνταξη μητρώου προστατευόμενων περιοχών
- Σχέδια διαχείρισης Υδατικών Διαμερισμάτων
- Σύνταξη και εφαρμογή Προγραμμάτων Παρακολούθησης
- Σύνταξη Προγραμμάτων Μέτρων
- Δημοσιοποίηση των Σχεδίων Διαχείρισης
- Εκπλήρωση υποχρεώσεων στην Επιτροπή ΕΚ



Εικόνα 2.1: Διαδικασία υλοποίησης της οδηγίας – Αρχικές φάσεις (Μαμάης, 2008)

2.1.3 Εφαρμογής της Οδηγίας Πλαίσιο για τα Ύδατα από την Ελλάδα

Στη Ελλάδα για πολλά χρόνια το νομικό πλαίσιο των υδατικών πόρων, χαρακτηριζόταν από πολυνομία, ενώ πολλές φορές διακρινόταν για την αντιφατικότητα και έλλειψη εκσυγχρονισμού. Από το 1900 μέχρι τα μέσα της δεκαετίας του '80, είχαν εκδοθεί σχεδόν 300 νόμοι, νομοθετικά, βασιλικά και προεδρικά διατάγματα και υπουργικές αποφάσεις, γενικής, ειδικής και τοπικής έκτασης, τα οποία συνέθεταν, ένα σύνθετο νομικό πλαίσιο διαχείρισης των υδατικών πόρων της χώρας, με αναφορά στην έρευνα, αξιοποίηση, χρήση και προστασία των υδατικών πόρων, όπου σε αρκετές περιπτώσεις επικαλύπτονταν ή έρχονταν σε πλήρη αντίθεση μεταξύ τους (Μανιάτη-Σιάτου, 2004). Τα βασικά χαρακτηριστικά των διατάξεων αυτών συνοψίζονται στα κάτωθι:

- Προσπάθεια προώθησης των θέσεων των φορέων που τις έχουν εκδώσει.
- Αποσπασματική αντιμετώπιση των τομεακών προβλημάτων.
- Απουσία προσέγγισης των σημερινών προβλημάτων.
- Σχετική υποβάθμιση της ποιοτικής διάστασης της διαχείρισης.
- Μη δρομολόγηση συντονισμένων και συστηματικών προγραμμάτων απόκτησης και αξιολόγησης δεδομένων πεδίου, απαραίτητων για την ουσιαστική εφαρμογή τους.
- Έλλειψη πρόβλεψης οργάνων παρακολούθησης και εξειδίκευσης της εφαρμογής τους.
- Απουσία σύνδεσης και εναρμόνισης με τις αναπτυξιακές επιδιώξεις παραγωγικών τομέων και περιοχών της χώρας.
- Έλλειψη πρόβλεψης και προοπτικής για το μέλλον.
- Καθυστέρηση κάλυψης υποχρεώσεων που απορρέουν από την εφαρμογή κοινοτικών οδηγιών.

Τα πρώτα νομοθετήματα που λειτούργησαν συμπληρωματικά και διακρίθηκαν για την διατομεακή τους αντίληψη και την ολοκληρωμένη αντιμετώπιση των υδατικών πόρων είναι:

- Ο Ν.1650/86(ΦΕΚ 160Α/18-10-86) για την προστασία του περιβάλλοντος, που αντιμετωπίζει το νερό (Άρθρα 9-10) ως στοιχείο του περιβάλλοντος και προβλέπει μέτρα οργανωτικά και θεσμικά για την παρακολούθηση και τον έλεγχο της ποιότητας των υδατικών πόρων (Μανιάτη-Σιάτου, 2004) και
- Ο Ν.1739/87(ΦΕΚ201Α/20-11-87) για τη διαχείριση των υδατικών πόρων, που εισάγει μια σύγχρονη αντίληψη για την αντιμετώπιση του νερού στην έρευνα, στη διοίκηση και στην καθημερινή πρακτική, μέσω της θεσμοθέτησης διαδικασιών και οργάνων που επιτρέπουν την άσκηση της διαχείρισης σε εθνικό και περιφερειακό επίπεδο. Με το Ν. 1739/87 καταργήθηκαν όσες από τις διατάξεις των προαναφερθέντων νομικών ρυθμίσεων έρχονται σε αντίθεση με αυτόν ή ανάγονται σε ζητήματα που ρυθμίζονται ειδικότερα από αυτόν (ΥΠΑΝ κ.α., 2003:383).
- Ο Ν.3199/2003 εκδόθηκε σε εφαρμογή της Οδηγίας 2000/60/ΕΚ, με στόχο την εναρμόνιση της εθνικής με την κοινοτική νομοθεσία. Σε μεγάλο βαθμό ο Ν.3199/2003 αναφέρεται στη διοικητική οργάνωση του εθνικού φορέα διαχείρισης με αναφορά στην Εθνική Επιτροπή

Υδάτων, το Εθνικό Συμβούλιο Υδάτων, την Κεντρική Υπηρεσία Υδάτων, τις Διευθύνσεις Υδάτων των Περιφερειών και το Περιφερειακό Συμβούλιο Υδάτων. Για κάθε έναν από τους παραπάνω φορείς καθορίζεται η σύνθεση και οι επιμέρους αρμοδιότητες. Στο νόμο γίνεται επίσης σύντομη αναφορά στις βασικές αρχές για τα σχέδια διαχείρισης (προγράμματα μέτρων και παρακολούθησης) και τη χρήση των υδάτων (κανόνες, αδειοδοτήσεις, κόστος, κλπ), ενώ η εναρμόνιση ουσιαστικών θεμάτων της Οδηγίας παραπέμπεται σε μελλοντικά Προεδρικά Διατάγματα.

Επισημαίνεται ότι σημαντική πρόοδος γίνεται με το Προεδρικό Διάταγμα 51/8.3.2007 (Α' 54), το οποίο εναρμονίζει τα σημαντικά θέματα της Οδηγίας 2000/60/ΕΚ. Η πλήρης εφαρμογή του ΠΔ θα οδηγήσει αναπόφευκτα στην ολοκληρωμένη προστασία και ορθολογική διαχείριση των υδατικών πόρων της χώρας. Συνοπτικά, το θεσμικό πλαίσιο της Ελλάδας έχει εναρμονισθεί με την Οδηγία 2000/60/ΕΚ, με τις ακόλουθες νομοθετικές διατάξεις (Σχέδιο Διαχείρισης των Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Δυτικής Στερεάς Ελλάδας (GR04):

- ✓ Το Νόμο 3199/9-12-2003 (ΦΕΚ 280 Α) για την «προστασία και διαχείριση των υδάτων -εναρμόνιση με την Οδηγία 2000/60/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 23ης Οκτωβρίου 2000», με τον οποίο (και με τις κανονιστικές του πράξεις, οι οποίες εκδίδονται κατ' εξουσιοδότηση του) εναρμονίζεται το εθνικό δίκαιο προς τις διατάξεις της Οδηγίας.
- ✓ Το Νόμο 4117/2013 (ΦΕΚ 29Α/5-2-2013) «Κύρωση της από 31 Οκτωβρίου 2012 Πράξης Νομοθετικού Περιεχομένου «Τροποποίηση της παρ. 16 του άρθρου 49 του ν. 4030/2011 «Νέος τρόπος έκδοσης αδειών δόμησης, ελέγχου κατασκευών και λοιπές διατάξεις (Α' 249)» και λοιπές διατάξεις του Υπουργείου Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής», με τον οποίο αντικαθίσταται η παράγραφος 2 του άρθρου 7 του ν. 3199/2003 και καθορίζεται ότι «Ύστερα από αίτημα του Γενικού Γραμματέα της Αποκεντρωμένης Διοίκησης είναι δυνατόν το Σχέδιο Διαχείρισης να καταρτίζεται, να αναθεωρείται ή να ενημερώνεται από την Ειδική Γραμματεία Υδάτων του Υπουργείου Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής. Στην περίπτωση αυτή το Σχέδιο Διαχείρισης εγκρίνεται από την Εθνική Επιτροπή Υδάτων μετά από εισήγηση της Ειδικής Γραμματείας Υδάτων».
- ✓ Το Προεδρικό Διάταγμα υπ' αριθμ. 51/2007 (ΦΕΚ 54Α/8-3-2007) "Καθορισμός μέτρων και διαδικασιών για την ολοκληρωμένη προστασία και διαχείριση των υδάτων σε συμμόρφωση με τις διατάξεις της Οδηγίας 2000/60/ΕΚ «για τη θέσπιση πλαισίου κοινοτικής δράσης στον τομέα της πολιτικής των υδάτων» του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 23ης Οκτωβρίου 2000", κατ' εξουσιοδότηση των διατάξεων του Άρθρου 15, παραγρ. 1 του Νόμου 3199/2003.
- ✓ Κατ' εξουσιοδότηση των διατάξεων του Νόμου 3199/2003, έχουν εκδοθεί 3 Κοινές Υπουργικές Αποφάσεις με θέματα:
 - α) «Οργάνωση της Κεντρικής Υπηρεσίας Υδάτων του Υπουργείου Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων» (ΚΥΑ 49139/24-11-2005, ΦΕΚ 1695Β /2-12-2005),
 - β) «Διάρθρωση της Διεύθυνσης Υδάτων της Περιφέρειας» (ΚΥΑ 47630/16-11-2005, ΦΕΚ 1688Β/1-12-2005), με την οποία συγκροτήθηκαν οι Διευθύνσεις Υδάτων των 13 Περιφερειών της χώρας και
 - γ) «Κατηγορίες αδειών χρήσης υδάτων και εκτέλεσης έργων αξιοποίησης τους, διαδικασία έκδοσης, περιεχόμενο και διάρκεια ισχύος, αυτών» (ΚΥΑ 43504/5-12-2005, ΦΕΚ 1784Β/720-12-2005), καθώς επίσης και 2 Αποφάσεις Υπουργού Π.Ε.Χ.Ω.Δ.Ε. (με αριθ. 26798/22-6-2005 & 34685/6-12-2005, ΦΕΚ 1736 Β 79-12-2005) για τη συγκρότηση και λειτουργία του Εθνικού Συμβουλίου Υδάτων.
- ΚΥΑ 39626/2208/Ε130 (ΦΕΚ 2075Β/25-09-2009), σχετικά με τον καθορισμό μέτρων για την προστασία των υπόγειων νερών από τη ρύπανση και την υποβάθμιση, με την οποία ενσωματώθηκε η θυγατρική Οδηγία 2006/118/ΕΚ σχετικά με «την προστασία των υπόγειων υδάτων από τη ρύπανση και την υποβάθμιση», κατ' εφαρμογή των διατάξεων του Άρθρου 17 της Οδηγίας 2000/60/ΕΚ.
- ΚΥΑ 1811 του Υπουργού Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής (ΦΕΚ 3322Β/30-12-2011) «Ορισμός ανώτερων αποδεκτών τιμών για τη συγκέντρωση συγκεκριμένων ρύπων, ομάδων ρύπων ή δεικτών ρύπανσης σε υπόγεια ύδατα, σε

εφαρμογή της παραγράφου 2 του Άρθρου 3 της υπ' αριθμ.:39626/2208/E130/2009 κοινής υπουργικής απόφασης (Β' 2075). »

- ΚΥΑ 51354/2641/E103/2010 (ΦΕΚ 1909B/8-12-2010) «Καθορισμός Προτύπων Ποιότητας Περιβάλλοντος (ΠΠΠ) για τις συγκεντρώσεις ορισμένων ρύπων και ουσιών προτεραιότητας στα επιφανειακά ύδατα, σε συμμόρφωση προς τις διατάξεις της οδηγίας 2008/105/ ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 16ης Δεκεμβρίου 2008 "σχετικά με Πρότυπα Ποιότητας Περιβάλλοντος (ΠΠΠ) στον τομέα της πολιτικής των υδάτων και σχετικά με την τροποποίηση και μετέπειτα κατάργηση των οδηγιών του Συμβουλίου 82/176/ΕΟΚ, 83/513/ΕΟΚ, 84/156/ΕΟΚ, 84/491/ ΕΟΚ και 86/280/ΕΟΚ και την τροποποίηση της οδηγίας 2000/60/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου", καθώς και για τις συγκεντρώσεις ειδικών ρύπων στα εσωτερικά επιφανειακά ύδατα και άλλες διατάξεις».
- Απόφαση Αριθμ. Οικ. 706/2010 της Εθνικής Επιτροπής Υδάτων (ΦΕΚ1383B/2-9-2010) «Καθορισμός των Λεκανών Απορροής Ποταμών της χώρας και ορισμού των αρμόδιων Περιφερειών για τη διαχείριση και προστασία τους».
- ΚΥΑ 145116/2011 (ΦΕΚ 354B/8-3-2011) «Καθορισμός μέτρων, όρων και διαδικασιών για την επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων και άλλες διατάξεις».
- ΚΥΑ 150559/2011 (ΦΕΚ 1440B/16-7-2011) «Διαδικασίες, όροι και προϋποθέσεις για τη χορήγηση αδειών για υφιστάμενα δικαιώματα χρήσης νερού».
- ΚΥΑ 38317/1621/E103 (ΦΕΚ 1977B/6-9-2011) «Τεχνικές προδιαγραφές και ελάχιστα κριτήρια επιδόσεων των αναλυτικών μεθόδων για τη χημική ανάλυση και παρακολούθηση της κατάστασης των υδάτων, σε συμμόρφωση προς τις διατάξεις της οδηγίας 2009/90/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 31ης Ιουλίου 2009 «για τη θέσπιση τεχνικών προδιαγραφών για τη χημική ανάλυση και παρακολούθηση της κατάστασης των υδάτων, σύμφωνα με την οδηγία 2000/60/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου»
- ΚΥΑ 140384/2011 (ΦΕΚ 2017B/9-9-2011) «Ορισμός Εθνικού Δικτύου Παρακολούθησης της ποιότητας και της ποσότητας των υδάτων με καθορισμό των θέσεων (σταθμών) μετρήσεων και των φορέων που υποχρεούνται στην λειτουργία τους, κατά το άρθρο 4, παράγραφος 4 του Ν. 3199/2003».

2.2 Η ποιότητα των υδάτων σε διεθνές επίπεδο

Παρά του ότι το νερό αποτελεί έναν ανανεώσιμο πόρο, υπάρχει σημαντική πίεση για την επίτευξη της επάρκειας και της διασφάλισης της ποιότητας του λόγω της υπερβολικής και αλόγιστης χρήσης του από τον ίδιο τον άνθρωπο αλλά και από την παγκόσμια μεταβολή του κλίματος που παρατηρείται τις τελευταίες δεκαετίες.

Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται παγκόσμια μια σημαντική μείωση της διαθέσιμης ποσότητας νερού, με μια ταυτόχρονη υποβάθμιση της ποιότητας του. Η συνεχής μεταβολή του πληθυσμού με τις διαρκώς αυξανόμενες ανάγκες σε νερό και τροφή, αλλά και το κυρίαρχο μοντέλο ανάπτυξης που επικρατεί εδώ και μερικές δεκαετίες και δημιουργεί ποικίλες δραστηριότητες που κατά συνέπεια απαιτούν μεγαλύτερες ποσότητες νερού δημιουργούν την ανάγκη για την μεγαλύτερη αξιοποίηση των υδατικών πόρων. Τα φαινόμενα αυτά αλλά και οι μικρές ποσότητες «γλυκού» νερού στον πλανήτη μας, θέτουν την ανάγκη δημιουργίας και εξέλιξης συστημάτων ελέγχου για τη διαχείριση των υδάτων, τα οποία αποσκοπούν στη καλύτερη διάθεση των υδατικών πόρων (Τσακίρης, 1995:657). Περισσότεροι από 1 δισεκατομμύριο άνθρωποι δεν έχουν εξασφαλισμένη πρόσβαση σε πόσιμο νερό, ενώ πάνω από 2,4 δισεκατομμύρια άνθρωποι κινδυνεύουν από την έλλειψη βασικών προϋποθέσεων υγιεινής. Οι ελλείψεις αυτές, αλλά και η κατάρρευση της φυσικής κατάστασης των υδατινών οικοσυστημάτων στη γη, είναι ο λόγος των κοινωνικών και πολιτικών συγκρούσεων σε παγκόσμιο επίπεδο.

Ήδη από τις αρχές του 20ου αιώνα, η οικονομική ανάπτυξη και η αύξηση του πληθυσμού έχει μεταβάλει τις χρήσεις γης και σε χωρικό, αλλά και σε χρονικό ορίζοντα. Μεταξύ των ετών 1700 και 1980 έχουμε αύξηση κατά 400 % των καλλιεργούμενων εκτάσεων παγκοσμίως, με μία ταυτόχρονη μείωση των φυσικών δασικών εκτάσεων κατά 30%. Αυτή η μεταβολή των φυσικών εκτάσεων σε εκτάσεις γεωργικών εκμεταλλεύσεων, αστικών και βιομηχανικών χρήσεων έχει ουσιαστικές

επιπτώσεις στα κατά τόπους υδρολογικά χαρακτηριστικά συμπεριλαμβανομένης της αύξησης της επιφανειακής απορροής και της μείωσης των υπόγειων υδατικών αποθεμάτων.

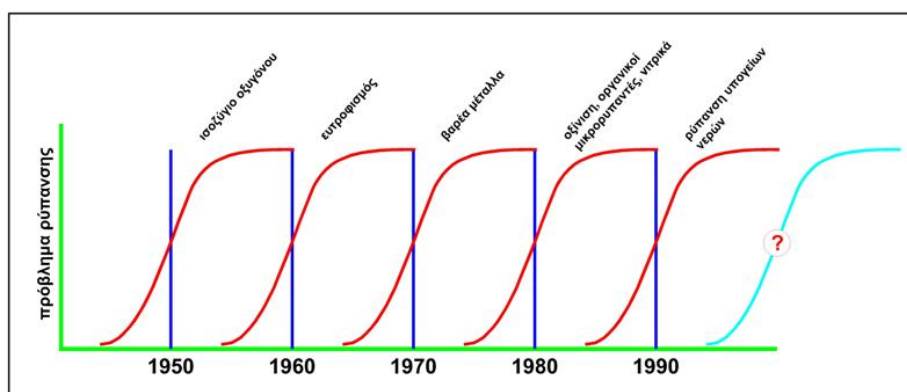
Τον 18ο αιώνα εμφανίζονται προβλήματα με επιπτώσεις για την υγεία του ανθρώπου λόγω της κακής ποιότητας νερού, ενώ από τα μέσα του 20ού αιώνα παράλληλα με τη βιομηχανική ανάπτυξη εμφανίζονται πολλά προβλήματα ποιότητας του νερού με ταχύτερη διαδοχή. Τα υδάτινα οικοσυστήματα υπερφορτώθηκαν πολύ γρήγορα σε πολλά μέρη του κόσμου. Στη διάρκεια της δεκαετίας του 50 εμφανίστηκε σοβαρή εποχιακή μείωση του διαλυμένου οξυγόνου σε αρκετούς σημαντικούς ποταμούς που προκάλεσε μια γενική υποβάθμιση της ποιότητας τους. Η αιτία ήταν η υπερφόρτιση τους με βιο αποικοδομήσιμα οργανικά απόβλητα από τους παρόχθιους οικισμούς και βιομηχανίες. Το πρόβλημα αντιμετωπίστηκε με την εγκατάσταση βιολογικών σταθμών επεξεργασίας των λυμάτων και το αποτέλεσμα ήταν η βαθμιαία αποκατάσταση της ποιότητας του νερού των ποταμών.

Στην δεκαετία του 60, παρατηρήθηκε ότι η απομάκρυνση των οργανικών υλικών από τα λύματα μείωσε μεν την αποικοδόμησή τους και τη ζήτηση οξυγόνου στα υδάτινα συστήματα, αλλά τα προβλήματα του ευτροφισμού των λιμνών και ταμιευτήρων που δημιουργούνται από την συγκέντρωση του φώσφορου και του αζώτου που περιέχονται στα λύματα δεν λύθηκαν. Το πρόβλημα του ευτροφισμού επιτεύχθηκε με τη μείωση της συγκέντρωσης του φωσφόρου, ενός από τα βασικά θρεπτικά συστατικά, στα υπάρχοντα λύματα. Η αποκατάσταση των λιμνών και ταμιευτήρων γίνεται με πολύ αργό ρυθμό ενώ για την πλήρη αποκατάστασή τους χρειάζεται μεγάλο χρονικό διάστημα.

Τη δεκαετία του 70 οι συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων όπως ο υδράργυρος και ο μόλυβδος άρχισαν να αυξάνονται στα ιζήματα και στο νερό των ποταμών και λιμνών σε επικίνδυνα επίπεδα. Η ανίχνευση τους στα ψάρια κατέστησε αναγκαία την επέμβαση στις πηγές τους ιδιαίτερα των πιο επιβλαβών που προαναφέρθηκαν. Επίσης πολλές νέες συνθετικές ουσίες που εκλύονται στο περιβάλλον συμβάλλουν προσθετικά στη περαιτέρω ρύπανση του με αποτέλεσμα να συναντώνται παντού, τόσο στα υπόγεια όσο και στα επιφανειακά νερά που αποτελούν πηγές νερού. Τα επόμενα χρόνια αρχίζει ένας μαραθώνιος από μελέτες για τις επιπτώσεις στην υγεία των ανθρώπων καθώς και για τις οικοτοξικολογικές επιπτώσεις γενικότερα, αλλά και έρευνες για τον έλεγχο, μείωση ή περιορισμό τους.

Την ίδια περίοδο εμφανίζονται νέα προβλήματα από τη καύση των υδρογονανθράκων που έχει σαν αποτέλεσμα την επιβάρυνση της ατμόσφαιρας με αέριους ρύπους και κατά συνέπεια την όξυνση των λιμνών, των ποταμών και την μεταφορά τους στον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα.

Από τις αρχές της δεκαετίας του 80 παρατηρήθηκε ότι τα νιτρικά στα υπόγεια και επιφανειακά νερά υπερβαίνουν τα συνιστώμενα όρια σε πολλές περιπτώσεις, γεγονός που είναι αποτέλεσμα της εκτεταμένης χρήσης των αζωτούχων λιπασμάτων και των στερεών αποβλήτων (ζώων και λάσπης βιολογικών σταθμών).



Εικόνα 2.2: Αλληλοδιαδοχή εμφάνισης των κυριότερων προβλημάτων ρύπανσης του νερού στην Ευρώπη (Meybeck et al., 1990)

Κατά τον Φοινικιανάκη (2007) στη γη κατοικούν σήμερα 6,4 δισ. Άνθρωποι (αριθμός διπλάσιος από ότι το 1960), ενώ ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας υπολογίζει ότι το 2050 ο πληθυσμός

αυξάνεται κατά 45% και θα ανέλθει σε 9,3 δισ. Την ίδια χρονιά, στην Ινδία ο πληθυσμός θα έχει αυξηθεί κατά 50% σε σχέση με σήμερα, ενώ στη Κίνα η αντίστοιχη αύξηση του πληθυσμού είναι της τάξης του 11%. Όσον αφορά τη σχέση των ανθρώπων με το νερό, η δεύτερη έκθεση των Ηνωμένων Εθνών για την ανάπτυξη του νερού (Water a shared responsibility), επισημαίνει ότι το έτος 2000, 508.000.000 άνθρωποι ζούσαν σε περιοχές με σοβαρή ανεπάρκεια νερού. Το 2025 ωστόσο, ο αριθμός αυτός θα εξαπλασιαστεί αγγίζοντας τα 3 δισ. ανθρώπους σε 48 χώρες με πρόβλημα λειψυδρίας, ενώ το 2050, 4,2 δισ. άνθρωποι (δηλαδή πάνω από το 45% του παγκόσμιου πληθυσμού) δεν θα έχουν καν την απαιτούμενη ποσότητα νερού (50 λίτρα την ημέρα) για να ζήσουν.

Επιπλέον, η κλιματική αλλαγή πιθανολογείται να αυξήσει τους κινδύνους που απειλούν τα υδάτινα οικοσυστήματα. Κατά τη διάρκεια των 10.000 τελευταίων ετών η ανάπτυξη του ανθρώπινου πολιτισμού οφείλεται στο ότι το κλίμα στον πλανήτη παρουσιάζει αξιοσημείωτη σταθερότητα. Το γεγονός ότι το κλίμα αλλάζει είναι πια πεπαιθωμένη όλων και αποτελεί μία από τις μεγαλύτερες προκλήσεις που αντιμετωπίζει ο άνθρωπος. Από τα μετρούμενα στοιχεία των παγκόσμιων συγκεντρώσεων αερίων θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα προκύπτει ότι έχουν σημειωθεί σημαντικές αυξήσεις σε σύγκριση με τα προβιομηχανικά επίπεδα, αφού οι τιμές του διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) ξεπερνούν κατά πολύ το φυσιολογικό εύρος των τελευταίων 650.000 ετών. Η συγκέντρωση διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα αυξήθηκε από το προβιομηχανικό επίπεδο των 280 ppm (μέρη ανά εκατομμύριο) σε 387 ppm το 2008. Η χρήση των ορυκτών καυσίμων, η αποδάσωση, η μεταβολή της χρήσης γης και η γεωργική δραστηριότητα είναι οι λόγοι που οδήγησαν στις αυξήσεις των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου. Κατά συνέπεια, η μέση θερμοκρασία του αέρα το 2009 αυξήθηκε κατά 0,7 έως 0,8 °C σε σύγκριση με τα προβιομηχανικά επίπεδα.

Το συμπέρασμα της διακυβερνητικής επιτροπής για την κλιματική αλλαγή (IPCC) είναι ότι η παγκόσμια αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη που παρατηρείται από τα μέσα του εικοστού αιώνα οφείλεται κατά πάσα πιθανότητα στην ανθρώπινη δραστηριότητα.

Αρά η «Αρχή της Πρόληψης» θα πρέπει να είναι η κατευθυντήρια γραμμή στις ανθρώπινες δράσεις. Ειδικότερα χρειάζεται να προτιμηθούν εναλλακτικές στρατηγικές έναντι των μεγάλων κατασκευαστικών λύσεων, και να αποκατασταθεί η κατάσταση των υδάτινων οικοσυστημάτων το δυνατό περισσότερο.

2.3 Η υποβάθμιση της ποιότητας των υδάτων σε σχέση με τις μεταβολές των χρήσεων γης

Η κυριαρχία του ανθρώπου στη φύση τις τελευταίες δεκαετίες, κατέληξε σε υπεράντληση και υπερεκμετάλλευση των υδάτινων αποθεμάτων.

Οι αλλαγές στη χρήση γης σχετίζονται με τις επιπτώσεις στα βιοτικά και αβιοτικά χαρακτηριστικά των οικοσυστημάτων, που αν και οι επιπτώσεις τους παρουσιάζονται σε τοπικό επίπεδο, τελικά αθροιστικά προκαλείται παγκόσμια περιβαλλοντική μεταβολή.

Οι αλλαγές στις χρήσεις γης που προκαλεί ο άνθρωπος μπορεί να οδηγήσουν σε φυσικές καταστροφές μεγάλης κλίμακας.

Για παράδειγμα, οι καταλήψεις των φυσικών εκτάσεων των δασών, των βαλτών κλπ από αστικές επεκτάσεις και καλλιεργήσιμες εκτάσεις, μειώνουν την ποιότητα των υδατικών πόρων και αέρα, την περιεκτικότητα του εδάφους σε οργανικά στοιχεία και αυξάνουν στα επιφανειακά ύδατα την συγκέντρωση των αιωρούμενων στερεών επηρεάζοντας πολλούς υδρόβιους οργανισμούς.

Στις περιοχές των υδροτόπων μειώνεται η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα, που έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της ξηρασίας, δημιουργία χειμάρρων διαλείπουσας ροής και κατ'επέκταση με περιβαλλοντική υποβάθμιση.

Οι σημαντικότερες μεταβολές στη χρήση γης, έχουν σχέση με έργα επέμβασης του ανθρώπινου παράγοντα στα επιφανειακά ύδατα, όπως είναι η επέκταση των καλλιεργήσιμων εδαφών, των αστικών περιοχών, κυρίως λόγω νέων καταναλωτικών συνηθειών.

Άλλες μεταβολές του υδρολογικού κύκλου, προέρχονται από την εισροή θαλάσσιου νερού στους υδροφορείς γλυκού νερού από διάνοιξη εκβολών ποταμών για ναυσιπλοΐα και από υπεράντληση

παραθαλάσσιων υδροφορέων, καθώς επίσης και από πυρκαγιές, υλοτόμηση δασών, διανοίξεις δρόμων, καλλιέργειες, αστικά λύματα και άλλες παρεμβάσεις που επιδρούν στη δυνατότητα διαχείρισης από το περιβάλλον, των ρύπων και θρεπτικών στοιχείων.

Ένας άλλος προσθετικός παράγοντας στην άμεση και έμμεση απόρριψη ουσιών στα υδάτινα σώματα είναι η κατάληψη όλο και μεγαλύτερων εκτάσεων αλλά και η διασπορά της βιομηχανίας.

Τέλος η ανάπτυξη στην Ελλάδα της γεωργίας και της κτηνοτροφίας τις τελευταίες δεκαετίες, πέρα από την αύξηση της φυτικής και ζωικής παραγωγής, δημιούργησε και δυσμενείς επιπτώσεις στο φυσικό περιβάλλον τα προβλήματα που δημιουργήθηκαν από τις γεωργικές απορροές, εξαρτώνται από τα λιπάσματα και φυτοφάρμακα που χρησιμοποιήθηκαν, το είδος του εδάφους, τις κλιματικές συνθήκες, το είδος της καλλιέργειας, το στάδιο ανάπτυξης των φυτών και τις γεω-βιοχημικές διεργασίες που επιτελούνται στο έδαφος (Γκαντιδής και συν., 1991).

2.4 Δεδομένα για την ποιότητα νερού και για τις χρήσεις γης σε περιοχές της Ελλάδας

Στην Ελλάδα οι δύο σημαντικότερες χρήσεις του νερού είναι η αστική και η αγροτική. Οι μεγαλύτερες ποσότητες με ποσοστό 87% απορροφούνται από την αγροτική όπου το 96% αφορά άρδευση και απ' αυτό το 80% είναι απώλειες από τον υδρολογικό κύκλο της κάθε περιοχής. Στην χώρα μας η κατανομή για την αγροτική χρήση νερού είναι η εξής: Η Θεσσαλία είναι στη πρώτη θέση (απορροφά το 25% του «γεωργικού» νερού και συγκεντρώνει το 21,7% της συνολικής ζήτησης νερού στη χώρα), στη δεύτερη θέση είναι η Ανατολική Στερεά με 12,5% της αγροτικής ζήτησης νερού ενώ τη τρίτη θέση κατέχει Κεντρική Μακεδονία με 10,5%. Στην αστική χρήση το μεγαλύτερο ποσοστό απορροφάται στην ύδρευση των μεγάλων αστικών κέντρων. Η περιοχή της Αττικής, κατέχει την πρώτη θέση με κατανάλωση του 4% του συνολικά διαθέσιμου νερού της χώρας ποσότητα τρεις φορές μεγαλύτερη της αμέσως επόμενης που είναι η Κεντρική Μακεδονία. Όσον αφορά τις άλλες χρήσεις του νερού το 2% των υδάτων απορροφάται για βιομηχανική χρήση, ενώ στο 1% ανέρχεται το ποσοστό του νερού που χρησιμοποιείται για την παραγωγή ενέργειας (Τερζής, 2006).

Όσο αφορά την ποιότητα των υδατινών πόρων, σε καλή χημική κατάσταση είναι το 64% και το 55%, από το σύνολο των θέσεων που παρακολουθήθηκαν τα έτη 2007 και 2008 αντίστοιχα. Το υπόλοιπο 36% και 45%, του 2007 και 2008 αντίστοιχα, η χημική κατάσταση δεν είναι καλή. Σε σχέση με τους ειδικούς ρύπους, το 64% το 2007 και το 40% του 2008, η κατάσταση είναι καλή, σε αντίθεση του υπολοίπου 37% το 2007 και 60% το 2008 που δεν είναι καλή. Ωστόσο, αυτές οι διαφοροποιήσεις στα ποσοστά θέσεων σε καλή κατάσταση μεταξύ των ετών 2007 και 2008 δεν σημαίνουν κατ' ανάγκη επιδείνωση των ποιοτικών χαρακτηριστικών των υδάτων της Ελλάδος το 08 σε σχέση με το 07, καθότι έχει άμεση σχέση και με τα όρια ανίχνευσης και ποσοτικού προσδιορισμού των μεθόδων που εφαρμόστηκαν κατά την ανάλυση των εν λόγω χημικών παραμέτρων. (Τσιρογιάννης, 2016).

2.5 Κύριες αιτίες ρύπανσης στην Ελλάδα

Οι κυριότερες αιτίες ρύπανσης των υδατοσυλλεκτών και των υδατορευμάτων στη Ελλάδα διακρίνονται σε αστικές, γεωργικές και βιομηχανικές.

2.5.1 Αστικές αιτίες – Αστικά απόβλητα

Μία από τις κυριότερες αιτίες μόλυνσης του περιβάλλοντος και των υδατινών αποδεκτών είναι η αστική ανάπτυξη.

Τα αστικά λύματα περιέχουν ρυπογόνους παράγοντες που αν απορριφτούν στους υδάτινους αποδέκτες χωρίς επεξεργασία, μπορεί να δημιουργήσουν ευτροφισμό (Dillon, 1975).

Η χωρίς επεξεργασία απόρριψη μπορεί να επιβαρύνει τον υδάτινο αποδέκτη με τα κατωτέρω ρυπαντικά φορτία, ανά ημέρα και ανά κάτοικο (Ανδρεαδάκης, 1989):

- Βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο, (BOD) = 60 gr
- Άζωτο = 15 gr
- Φώσφορος = 3 gr

Τα αστικά λύματα που επιβαρύνουν ένα υδάτινο αποδέκτη, είναι ανάλογα με τον αστικό πληθυσμό, των παραγομένων θρεπτικών συστατικών, της απόστασης από τον αποδέκτη και από τα γεωλογικά, εδαφικά και υδρολογικά χαρακτηριστικά (Haslauer, 1984).

2.5.2 Γεωργικές αιτίες – Γεωργική και Κτηνοτροφική δραστηριότητα

Οι κύριες αιτίες υποβάθμισης του περιβάλλοντος είναι η χρήση των χημικών λιπασμάτων, των φυτοφαρμάκων, η μεταποίηση των αγροτικών προϊόντων, τα απόβλητα των κτηνοτροφικών μονάδων αλλά η ελεύθερη βοσκή των ζώων γύρω από τους υδάτινους αποδέκτες. (Κιλικίδης, 1979). Η συγκέντρωση οργανικής ουσίας στα υδάτινα συστήματα, αυξάνει τις ανάγκες σε διαλυμένο οξυγόνο στο νερό προκειμένου να έχουμε την αερόβια διάσπαση. Όσο μεγαλώνουν οι τιμές της συγκέντρωσης της οργανικής ουσίας, η αερόβια διάσπαση γίνεται δυσκολότερη και παρουσιάζονται προβλήματα ευτροφισμού και προβλήματα στη χρήση του νερού (Wetzel, 1983). Οι παραπάνω λόγοι μαζί με τις μεγάλες περιόδους ανομβρίας καθώς και η υπεράντληση των υδατικών πόρων στις αγροτικές περιοχές αποτελούν σήμερα τα μεγαλύτερα προβλήματα .

Εκτός από τη χρήση των λιπασμάτων, στη σύγχρονη γεωργία, σημαντικό παράγοντα παίζει η χρήση των φυτοφαρμάκων. Οι επιπτώσεις των φυτοφαρμάκων στο περιβάλλον εξαρτάται από τη τοξικότητα τους, τη διάρκεια παραμονής στο περιβάλλον και το πόσο μακριά μπορούν να μεταφερθούν. Η επίδραση κάθε φυτοφαρμάκου είναι διαφορετική στους οργανισμούς ενώ μεταβάλλεται και από τις καιρικές συνθήκες (Klaassen, 1986). Επίσης σημαντική είναι η βιοσυσσώρευση τους και η είσοδος τους στη τροφική αλυσίδα. Η κατάλληλη των φυτοφαρμάκων στους υδάτινους πόρους εξαρτάται από τον τρόπο που εφαρμόζονται, τη στράγγιση, τη χημική και φυσική υποβάθμιση και την απορροή (Steward, 1975). Επιπλέον οι ποσότητες των φυτοφαρμάκων που έχουν προσληφθεί από τα φυτά, μπορούν να αποβληθούν μέσω των υπολειμμάτων των καλλιεργειών και να μεταφερθούν στα νερά.

Τέλος, η μόλυνση των νερών προέρχεται και από τη κτηνοτροφία και ειδικότερα τα απορρίμματα της. Τα περιττώματα των ζώων και ιδίως τα νιτρικά ιόντα επιβαρύνουν τα νερά, ιδίως όταν τα ζώα βρίσκονται ελεύθερα ή σταβλισμένα κοντά σε όχθες λιμνών ή ποταμών (Κιλικίδης, 1986). Το κάλιο στη περίπτωση των περιττωμάτων των ζώων εκπλένεται περισσότερο από ότι στη γεωργία, ενώ το αντίθετο συμβαίνει με το φώσφορο (Adriano 1973). Επίσης τα κτηνιατρικά απόβλητα απαιτούν μεγάλη ποσότητα οξυγόνου για τη βιοαποδόμησή τους.

2.5.3 Βιομηχανικές αιτίες – Μεταποίηση

Ένας άλλος παράγοντας μόλυνσης του περιβάλλοντος είναι η μεταποίηση.

Το νερό που χρησιμοποιείται στις μεταποιητικές δραστηριότητες, έχει αυξημένες διαλυμένες και αδιάλυτες οργανικές και ανόργανες ουσίες, με αποτέλεσμα η απόρριψή του σε κάποιο υδάτινο αποδέκτη να προκαλεί την εξάντληση του διαθέσιμου οξυγόνου, την ανάπτυξη παθογόνων μικροοργανισμών και τοξικά φαινόμενα σε άλλους οργανισμούς (Κιλικίδης, 1979).

Τα ελαιοτριβεία, είναι ένας παράγοντας που δημιουργεί μεγάλη περιβαλλοντική επιβάρυνση. Ένα από τα προβλήματα των ελαιοτριβείων είναι η περιοδική λειτουργία τους και ότι είναι διάσπαρτα, ενώ το σημαντικότερο πρόβλημα των περισσότερων από αυτά, είναι ότι έχουν παλιό μηχανολογικό εξοπλισμό με αποτέλεσμα να μην πραγματοποιούν καλή έκθλιψη του καρπού και τα παραγόμενα απόβλητα που είναι πλούσια σε ρυπαντές, δεν ανακυκλώνονται ή δεν προωθούνται σε βιολογικό καθαρισμό.

Τα υγρά απόβλητα των ελαιοτριβείων είναι πλούσια σε οργανικά οξέα, σάκχαρα, πολυαλκοόλες, τανίνες, πηκτίνες, κολλοειδείς ουσίες και λιπαρές ουσίες. Το ΡΗ αυτών των υγρών είναι όξινο, πράγμα που το καθιστά τοξικό για τους υδρόβιους οργανισμούς. Η απόθεση αυτών των αποβλήτων στις λίμνες ή σε άλλους υδάτινους αποδέκτες δημιουργεί σημαντικά προβλήματα (Χατζηπαυλίδης, 1986).

Οι τυροκομικές μονάδες είναι ακόμα ένας τομέας της μεταποίησης, που επιβαρύνει το περιβάλλον (Μαρκαντωνάτος, 1986).

3. ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΣΩΤΕΡΙΚΩΝ ΥΔΑΤΩΝ ΤΗΣ ΔΥΤΙΚΗΣ ΣΤΕΡΕΑΣ ΕΛΛΑΔΑΣ - ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

Η Ελλάδα κατατάσσεται μεταξύ των χωρών που διαθέτουν σχετικά μεγάλα αποθέματα υδάτινων πόρων. Ένα από τα πιο σημαντικά υδατικά διαμερίσματα (ΥΔ) της χώρας από πλευράς υδατικής οικονομίας και όγκων διαθέσιμου ύδατος είναι αυτό της Δυτικής Στερεάς Ελλάδας, με συνολική επιφάνεια 10400 km^2 . Οι κυριότεροι λόγοι για το γεγονός αυτό, είναι η μεγάλη έκταση του διαμερίσματος, το μεγάλο ύψος των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων και η ίση ανάπτυξη υδροπερατών και αδιαπέραστων γεωλογικών σχηματισμών (Δασκαλάκη, 2002). Όλα αυτά συμβάλλουν στη διαμόρφωση μεγάλης επιφανειακής απορροής και αξιόλογων υδροφόρων οριζόντων.

Το ΥΔ της Δυτικής Στερεάς Ελλάδας περιλαμβάνει τις λεκάνες απορροής σημαντικών υδάτινων σωμάτων, όπως ο ποταμός Αχελώος (επιφάνεια λεκάνης απορροής 4970 km^2 , μαζί με τους παραποτάμους του και τη λεκάνη απορροής του ταμειυτήρα Ταυρωπού), ο ποταμός Εύηνος (1164 km^2) και ο ποταμός Μόρνος (974 km^2). Επίσης χαρακτηρίζεται από την ύπαρξη του μεγαλύτερου αριθμού φυσικών και τεχνητών λιμνών από όλα τα άλλα υδατικά διαμερίσματα. Περιλαμβάνει τις φυσικές λίμνες Τριχωνίδα, Λυσιμαχεία, Αμβρακία, Οζερός και Βουλκαριά, και τους ταμειυτήρες Κρεμαστών, Καστρακίου, Στράτου, Ταυρωπού (ή Πλαστήρα), Μόρνου και Αγίου Δημητρίου (Ευήνου).



Εικόνα 3.1. Χάρτης της περιοχής μελέτης με τις φυσικές λίμνες Τριχωνίδα, Αμβρακία, Λυσιμαχεία και Οζερός και την Τ/Λ Στράτου στη Δυτική Στερεά Ελλάδα.

Η μεγαλύτερη κατανάλωση νερού διοχετεύεται στην άρδευση μεγάλων γεωργικών εκτάσεων στα πεδινά του Νομού Αιτωλοακαρνανίας, ενώ σημαντικός χρήστης νερού στην περιοχή αποτελεί και η ΔΕΗ για την παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας μέσω των ΥΗΣ Κρεμαστών, Καστρακίου, Στράτος I, Στράτος II και Πλαστήρα, συνολικής εγκατεστημένης ισχύος περίπου 1044 MW. Άλλες πολύ μικρότερες χρήσεις νερού καταγράφονται στην ύδρευση και στον τουρισμό, στη βιομηχανία και στην κτηνοτροφία. Ωστόσο, οι αυξημένες γεωργικές και κτηνοτροφικές δραστηριότητες στην περιοχή αποτελούν την κύρια πηγή ρύπανσης αυτών των υδάτινων οικοσυστημάτων. Κατά συνέπεια, η έντονη οικονομική διάσταση των υδατικών πόρων σήμερα, η άμεση πολλές φορές

σύνδεσή τους με τον προγραμματισμό ανάπτυξης, καθώς και η συνεχής παρουσία τους στην καθημερινή πρακτική, επιβάλλει τη μελέτη και παρακολούθησή τους με σκοπό την ανάδειξη και εφαρμογή σύγχρονης και συνεπούς πολιτικής διαχείρισης. Την περιοχή μελέτης αποτελούν οι φυσικές λίμνες Τριχωνίδα, Λυσιμαχεία, Οζερός και Αμβρακία, και τους ταμειυτήρες Καστρακίου, Στράτου (Εικ. 3.1). Στη συνέχεια αναφέρονται τα χαρακτηριστικά της μεγαλύτερης εξ αυτών λίμνης της Τριχωνίδας και συνοπτικά κάποια χαρακτηριστικά των υπόλοιπων λιμνών.

3.1 Λίμνη Τριχωνίδα

Η λίμνη Τριχωνίδα είναι η μεγαλύτερη λίμνη της Ελλάδος, βρίσκεται στο Νομό Αιτωλοακαρνανίας, την συναντάμε στη δεξιά πλευρά της Εθνικής οδού Μεσολογγίου - Αγρινίου, πριν τη πόλη του Αγρινίου, μέσα σε μια μεγάλη κοιλάδα.

Η υδρολογική λεκάνη της, είναι μεταξύ των γεωγραφικών συντεταγμένων, βόρειο πλάτος, $38^{\circ} 28'$ έως $38^{\circ} 40'$ και ανατολικό μήκος, $21^{\circ} 25'$ και $21^{\circ} 40'$.

Έχει σχήμα ελλειψοειδές, νεφροειδές και η μέση στάθμη της επιφανείας της βρίσκεται σε υψόμετρο 15 μέτρων από τη μέση στάθμη της επιφάνειας της θάλασσας.

Η επιφάνειά της έχει έκταση 98.6 Km², το μέγιστο βάθος της είναι 57.0 μέτρα ενώ το μέσο βάθος της είναι 29.08 μέτρα.

Ο μεγαλύτερος κατά μήκος άξονάς της, έχει μήκος περίπου 18.1 χιλιόμετρα με κατεύθυνση δυτικά - ανατολικά ενώ ο μεγαλύτερος κατά πλάτος άξονας της, είναι 7.5 χιλιόμετρα.

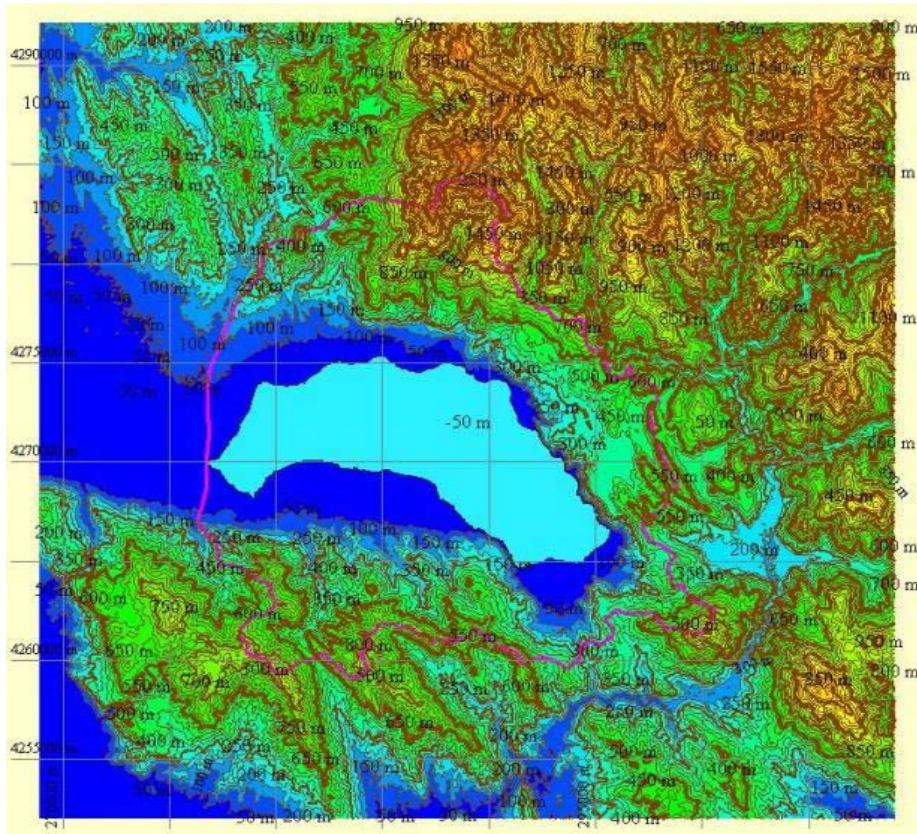
Οι ακτές της στο σύνολό τους είναι ομαλές καλυπτόμενες από καλαμιές και υδρόβια φυτά.

Η εδαφική έκταση της λεκάνης απορροής της λίμνης Τριχωνίδας, υπολογίζεται σε 250 Km² και αποτελείται από ασβεστολιθικά πετρώματα (33.5%), σχηματισμούς φλύσχη (28.5%) και σύγχρονες ιζηματογενείς αποθέσεις (24.9%) (ΙΓΜΕ, 1980).

Η Εικόνα 3.3 παρουσιάζει τη λίμνη με τη λεκάνη απορροής της.



Εικόνα 3.2: Η Λίμνη Τριχωνίδα



Εικόνα 3.3: Λεκάνη απορροής Λίμνης Τριχωνίδας
[www.geodata.gov.gr]

Η λίμνη Τριχωνίδα αποτελεί έναν από τους μεγαλύτερους και σημαντικότερους υδάτινους αποδέκτες της Ελλάδας ενώ στην ευρύτερη περιοχή της φιλοξενούνται πλήθος ευαίσθητων και σημαντικής αξίας οικοσυστήματα. Το μεγάλο υδατικό δυναμικό που προσφέρει στην ευρύτερη περιοχή αποτελεί πόλο έλξης για αναπτυξιακές και όχι μόνο δραστηριότητες και δημιουργεί ευοίωνες προοπτικές για περαιτέρω οικονομική ανάπτυξη της περιοχής. Ιδιαίτερα τα τελευταία χρόνια εντατικοποιήθηκαν οι αγροκτηνοτροφικές δραστηριότητες, δημιουργήθηκε σημαντικός αριθμός μεταποιητικών βιοτεχνιών για γεωργοκτηνοτροφικά προϊόντα και σημειώθηκε σημαντική αύξηση στην οικιστική ανάπτυξη της περιοχής. Συγκεκριμένα γύρω από την Τριχωνίδα λειτουργούν ελαιотреβεία (30), χοιροτροφεία (10), 3 τυροκομεία, 1 σφαγείο και 1 ιχθυοτροφείο πέστροφας.

Αυτή η σχετικά γρήγορη οικονομική ανάπτυξη επέφερε όμως και αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον της περιοχής. Μεταξύ των άλλων για παράδειγμα, ο ρυθμός άντλησης νερού από τους υδάτινους αποδέκτες κυρίως για άρδευση αυξήθηκε τα τελευταία χρόνια και ιδίως τους καλοκαιρινούς μήνες όπου παρατηρείται και η μικρότερη εισροή νερού στην υδρολογική λεκάνη. Το αποτέλεσμα είναι να υπάρχει έντονη διακύμανση της στάθμης των υδάτινων αποδεκτών ώστε να διαταράσσονται τα παραλίμνια οικοσυστήματα. Επίσης οι μεγάλες εκροές νερού από τη λίμνη Τριχωνίδα λόγω ανθρωπογενών δραστηριοτήτων δημιουργούν σοβαρό κίνδυνο υπεράντλησης των αποθεμάτων, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει στην υποβάθμιση της ποιότητας και της ποσότητας του νερού της περιοχής.

Ωστόσο η έλλειψη σχεδίου διαχείρισης και διάθεσης των παραπροϊόντων και υποπροϊόντων ανθρωπογενούς προέλευσης της περιοχής αύξησε σημαντικά την εισροή των αστικών λυμάτων και βιομηχανικών αποβλήτων στη λίμνη Τριχωνίδα με αποτέλεσμα τα ποιοτικά της χαρακτηριστικά να απειλούνται. Τα αδρανή υλικά και τα αστικά απορρίμματα, κατά ένα μεγάλο βαθμό διατίθενται ανεξέλεγκτα στα υδατορεύματα της περιοχής, στα κράσπεδα των αγροτικών δρόμων και άλλα στον παραλίμνιο χώρο της Τριχωνίδας. Παρ όλα αυτά η ποιότητα του νερού της λίμνης δε θεωρείται υποβαθμισμένη εξαιτίας του μεγάλου όγκου της και του σχετικά σύντομου χρόνου ανανέωσης των νερών της. Αυτό όμως δεν εξασφαλίζει και τη μελλοντική διατήρηση της ποιότητας και της ποσότητας του νερού σε υψηλά επίπεδα αν συνεχιστούν οι ίδιες πρακτικές .

Η λίμνη Τριχωνίδα είναι ο μεγαλύτερος φυσικός ταμιευτήρας καθαρού νερού της Ελλάδας θεωρείται ως τεκτονική κρυπτολίμνη με έκταση 97 km², μέγιστο βάθος 59 m, στάθμη + 16.0 m και όγκο νερού 2.9x10⁹m³. Η Τριχωνίδα αποτελεί την πιο αξιόλογη φυσική λίμνη της Ελλάδας, η οποία αποταμιεύει περίπου 3 δισεκατομμύρια κυβικά μέτρα (2.9 x10⁹m³) καθαρού γλυκού νερού. Λόγω της μεγάλης τροφοδοσίας της σε υπόγειο νερό και των φυσικών διεργασιών, η ποιότητα του νερού είναι εξαιρετική (πόσιμο), ενώ υπάρχουν σημαντικό πλεονάσματα νερού κάθε χρόνο. Τα πλεονάσματα αυτά του νερού παροχετεύονται στη λεκάνη του Κάτω Αχελώου μέσω τεχνικών έργων και συμβάλλουν στην απομάκρυνση και αραίωση των ρύπων της Λυσιμαχείας, στην ενίσχυση και ομαλοποίηση της ροής του Αχελώου, στην άρδευση των δελταϊκών πεδιάδων Αχελώου -Εύηνου και στην εν γένει περιβαλλοντική αναβάθμιση της περιοχής. Η Τριχωνίδα ρυθμίζει το μικροκλίμα και τις φυσικές εξωγενείς διεργασίες της περιοχής.

3.1.1 Γεωμορφολογικά στοιχεία

Η Τριχωνίδα κατέχει το βαθύτερο τμήμα της ανατολικής περιοχής της τάφρου και πεδιάδας Αγρινίου, μεταξύ των ορεινών όγκων του Παναιτωλικού στα βόρεια και του Αράκυνθου στα νότια. Στα ανατολικά συνορεύει με τη λεκάνη απορροής του ποταμού Εύηνου, του οποίου η κοίτη βρίσκεται σε απόσταση 4-7 km από τις ακτές της λίμνης (περιβάλλει τη λίμνη). Στα δυτικά επικοινωνεί με τη λεκάνη απορροής της λίμνης Λυσιμαχείας, μέσω ενωτικής τάφρου.

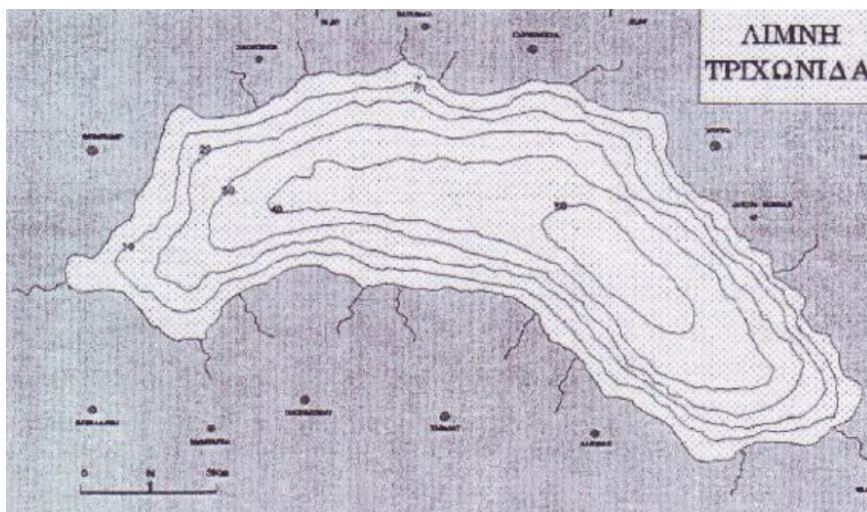
Το υδρογραφικό δίκτυο, όπως φαίνεται στο Εικ. 3.5, αποτελείται από περιφερειακούς χείμαρρους που συγκλίνουν στη λίμνη, με μικρή διαδρομή και μικρές λεκάνες απορροής. Η μορφή του δικτύου είναι δενδρική, εκτός από το δίκτυο της ανατολικής πλευράς στη περιοχή Θέρμου, όπου έχει ορθογώνια μορφή και υποτυπώδη ανάπτυξη, λόγω του σχηματισμού επιφανειακού και υπόγειου καρστ (πόλγες Θέρμου -καταβόθρες).

Οι κλίσεις των πρανών της λεκάνης είναι μεγάλες και οι χείμαρροι έχουν δημιουργήσει ζώνη αλλουβιακών ριπιδίων πλησιάζοντας τη λίμνη και αποθέτουν τα υλικά διάβρωσης.

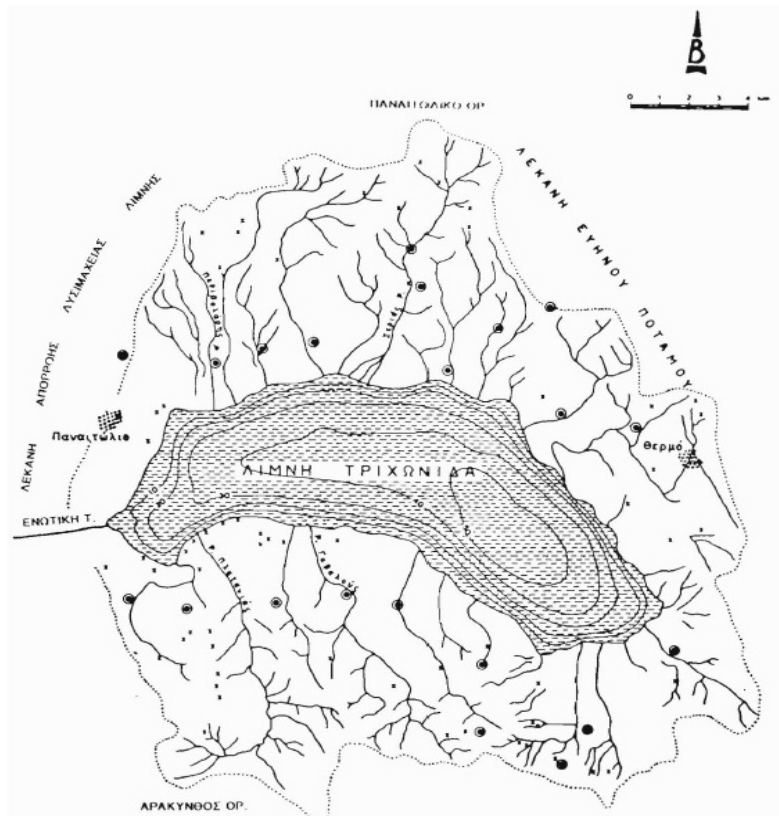
Η ανατολική πλευρά είναι απότομη, ρηξιγενής και χωρίς ριπιδωπαγείς σχηματισμούς.

Η λίμνη έχει σχήμα ελλειψοειδές - νεφροειδές με την κοίλη πλευρά νότια, με έκταση 97 km² περίπου και στάθμη ρυθμιζόμενη μεταξύ + 16.0 και + 13.5 m (Πιν. 3.1).

Ο πυθμένας της λίμνης εμφανίζει ασυμμετρία. Τα μεγαλύτερα βάθη εντοπίζονται στην ανατολική πλευρά (50-60 m) υπό μορφή βυθίσματος Β/ΒΔ -Ν/ΝΑ προσανατολισμού.



Εικόνα 3.4:Βυθομετρική απεικόνιση της λίμνης Τριχωνίδας

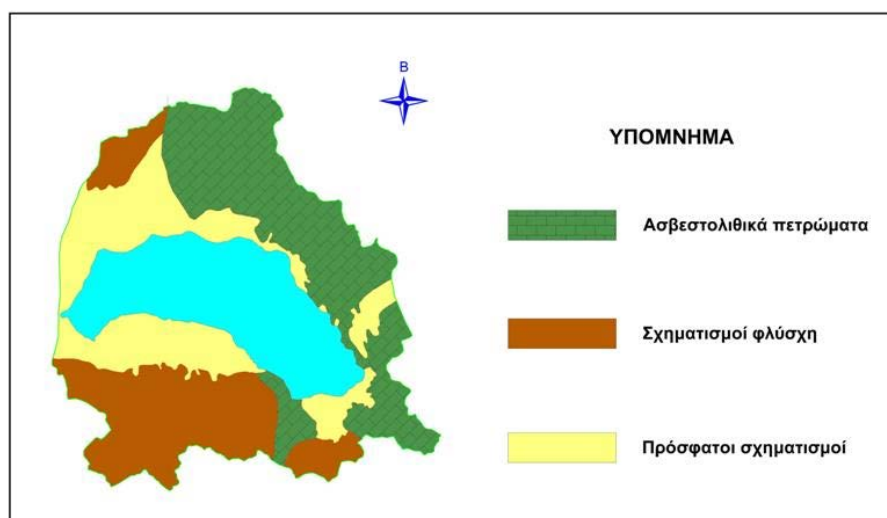


Εικόνα3.5: Υδρογραφικό δίκτυο της λίμνης Τριχωνίδας

3.1.2 Γεωλογία της περιοχής

Γεωλογικοί σχηματισμοί που συναντώνται στην ευρύτερη περιοχή της υδρολογικής λεκάνης της Τριχωνίδας, ανήκουν στις εξής γεωτεκτονικές ενότητες (Καλλέργης 1993, Ψιλοβίκος κ.ά. 1995, ΙΓΜΕ 1977, 1991, 1996 και ΒΡ 1971).

Ιόνια ζώνη. Ο λιθολογικός σχηματισμός φλύσχης της Ιόνιας ζώνης βρίσκεται στο δυτικό άκρο της περιοχής, δυτικά της νοητής ευθείας Πανατωλίου - Καινούργιου και υπόκεινται του φλύσχη της ζώνης Γαβρόβου. Ο συγκεκριμένος σχηματισμός καταλαμβάνει σχετικά μικρό τμήμα της υδρολογικής λεκάνης με συνολική έκταση 29 km² (9,4% της συνολικής έκτασης της λεκάνης απορροής) και λόγω της μικρής υδατοπερατότητας που παρουσιάζει, δεν φαίνεται να διαδραματίζει σπουδαίο ρόλο στην υπόγεια υδροφορία αλλά συνεισφέρει όμως σημαντικά στην επιφανειακή απορροή.



Εικόνα 3.6: Η λίμνη της Τριχωνίδας και η λεκάνη απορροής της με τους γεωλογικούς της σχηματισμούς

[Πηγή: Κουσουρής, 1993]

Ζώνη Γαβρόβου. Η ζώνη Γαβρόβου επίκειται τεκτονικά του φλύσχη της Ιόνιας ζώνης και εκτείνεται ανατολικά έως τη νοητή ευθεία Λιθοβουνίου-Παραβόλας, όπου είναι και το όριο με τη ζώνη της Πίνδου. Οι σχηματισμοί αυτοί καταλαμβάνουν ένα σημαντικό τμήμα της υδρολογικής λεκάνης με έκταση 66km^2 (21.2% της συνολικής έκτασης της λεκάνης απορροής). Λόγω της μειωμένης περατότητας των συγκεκριμένων σχηματισμών δημιουργείται, τοπικά υδροφορία μικρής σχετικά αποθηκευτικής ικανότητας, στα επιφανειακά στρώματα που αποτελούνται κυρίως από ψαμμίτες και ο βαθμός αποσάθρωσης του πετρώματος είναι σημαντικός.

Ζώνη Πίνδου. Η ενότητα της Πίνδου είναι επωθημένη στον φλύσχη της ενότητας Γαβρόβου, αντιπροσωπεύεται από όλους τους στρωματογραφικούς της ορίζοντες και το μέτωπο της επώθησης έχει διεύθυνση περίπου ΒΔ-ΝΑ. Τα πετρώματα της συγκεκριμένης γεωλογικής ενότητας καταλαμβάνουν σημαντική έκταση της εξεταζόμενης περιοχής που φτάνει τα 118km^2 (38.1% της συνολικής έκτασης της λεκάνης απορροής) ενώ την μεγαλύτερη επιφανειακή ανάπτυξη εμφανίζουν οι ασβεστόλιθοι του Σενωνίου. Συνεπώς, τα πετρώματα της ενότητας της Πίνδου είναι κυρίως ασβεστολιθικής σύστασης, έντονα τεκτονισμένα και λεπτιωμένα με αποτέλεσμα να παρουσιάζουν σημαντική υδατοπερατότητα και να παροχετεύουν μεγάλες ποσότητες υπόγειου νερού προς τους υδάτινους αποδέκτες της περιοχής.

Μεταλπικοί, Πλειοκαινικοί σχηματισμοί. Πρόκειται για ποτάμιες και λιμναίες φάσεις που καταλαμβάνουν σημαντική έκταση στο βορειοδυτικό και δυτικό τμήμα της περιοχής μελέτης.

Μεταλπικοί, τεταρτογενείς σχηματισμοί. Αυτοί απαντώνται στο δυτικό, πεδινό τμήμα της υδρολογικής λεκάνης και αποτελούνται από ασύνδετα υλικά ποικίλης σύστασης, αναλόγως με την τοποθεσία. Οι σχηματισμοί αυτοί είναι δημιούργημα ποταμοχειμάρριων αποθέσεων από τα υδρορέματα της περιοχής και η χαρακτηριστικότερη σύνθεσή τους περιλαμβάνει άργιλο, άμμο όλων των διαβαθμίσεων και κροκάλες. Η επιφανειακή τους έκταση στην συγκεκριμένη υδρολογική λεκάνη είναι $81,2\text{km}^2$ (26,2% της συνολικής έκτασης). Όσο αφορά στους κώνους κορημάτων, αυτοί απαντώνται στα πρηνή των βουνών της περιοχής και αποτελούνται από λατύπες και ασβεστολιθικά τεμάχια, συγκολλημένα με αργιλικό υλικό και άμμο, το πάχος των οποίων δεν ξεπερνά συνήθως τα 20m. Επιπρόσθετα, στην περιοχή μελέτης και ιδιαίτερα κοντά στις νότιες ακτές της λίμνης Τριχωνίδας, (περιοχές Τριχώνιο, Δαφνιάς, Αγ. Ανδρέας), απαντώνται ελώδεις αποθέσεις που αποτελούνται από ιλύ, άργιλο και λεπτόκοκκη άμμο και παρουσιάζουν τεφρό χρώμα εξαιτίας της σημαντικής ποσότητας οργανικής ύλης που περιέχουν.

3.1.3 Κλιματικές συνθήκες

Από υπάρχοντες σταθμούς στην ευρύτερη περιοχή μελέτης έχουμε μετεωρολογικά δεδομένα για τη περίοδο 1959-1999, που μας δίνουν ένα μεγάλο εύρος μεγίστων - ελαχίστων θερμοκρασιών αλλά και μεγάλη διακύμανση των κατακρημνισμάτων που οφείλεται στην ύπαρξη των ορεινών όγκων που διευκολύνουν την ψύξη των αέριων μαζών και της λίμνης Τριχωνίδας που προσφέρει σημαντικές δυνατότητες εξάτμισης. Γενικώς η Μεσογειακή κλιματική ζώνη στην οποία βρίσκεται η περιοχή της Τριχωνίδας χαρακτηρίζεται, από βροχοπτώσεις την άνοιξη, το φθινόπωρο και το χειμώνα, ενώ το καλοκαίρι χαρακτηρίζεται από ξηρασία. Η λίμνη επηρεάζεται πολύ από τους δυτικούς και λιγότερο από τους βόρειους ανέμους. Από τη μεγάλη υδάτινη επιφάνεια της (έκταση 98.6 km^2) εξατμίζονται μεγάλες ποσότητες νερού.

Σημαντικό ποσό πλεονάζοντος ύδατος είναι διαθέσιμο για απορροή, κυρίως από το δεύτερο δεκαπενθήμερο του μηνός Δεκεμβρίου μέχρι και του πρώτου δεκαήμερου του Μαΐου, ενώ κατά το τέλος του Μαΐου μέχρι τα μέσα Οκτωβρίου έχουμε τη περίοδο ξηρασίας.

Η πραγματική εξατμισοδιαπνοή, εμφανίζει διπλή διακύμανση μέσα στο χρόνο, με μέγιστο κατά τον Ιούνιο και δευτερεύον στο τέλος της περιόδου ξηρασίας

Πίνακας 3.1. Κλιματικές παράμετροι στην ευρύτερη περιοχή της λίμνης Τριχωνίδας

Παράμετροι	Μονάδα μέτρησης	Ετήσια	Χειμώνας	Άνοιξη	Καλοκαίρι	Φθινόπωρο
Μέση θερμοκρασία αέρα	°C	16.8	9.5	15.2	25.6	18.7
Ατμοσφ. Κατακρημν	mm	1027.3	448.4	199.3	54.8	324.8
Δυνητική εξατμιδοδ.	mm	927.0	52.7	179.9	469.5	222.7
Πραγματική εξατμισοδ.	mm	653.3	52.7	178.9	251.9	169.8
Έλλειμμα ύδατος	mm	271.5	0.0	1.0	217.6	52.9
Πλεόνασμα ύδατος	mm	374.0	315.7	58.3	0.0	0.0
Απορροή	mm	374.0	227.8	127.1	17.0	2.1

3.1.4 Υδρολογικά στοιχεία

Η λίμνη Τριχωνίδα, έχει πολύ περιορισμένη λεκάνη απορροής, ο συντελεστής απορροής είναι 0,40, η συνολική απορροή υπολογίζεται σε $112.3 \times 10^6 m^3 / yr$, η οποία καταλήγει στη λίμνη και έχει διαπιστωθεί μεγάλη τροφοδοσία της λίμνης από υπολίμνιες πηγές, τόσο στην ανατολική περιοχή του κάρστ, όσο και σε άλλες περιοχές. Η αδυναμία εκτίμησης προκύπτει από την ανυπαρξία μέτρησης των εκροών από τη λίμνη. Η εκτίμηση βασίζεται στα στοιχεία των αρδεύσεων, από τα οποία προκύπτουν ότι:

- Για τις περιλίμνιες αρδευτικές καλλιέργειες (31.000 στρεμ.) αντλούνται από την Τριχωνίδα $34 \times 10^6 m^3 / yr$ περίπου.
- Για εκροές της Τριχωνίδας προς τη Λυσιμαχεία και μέσω της ομώνυμης σήραγγας προς τις δελταϊκές πεδιάδες του Αχελώου και του Εύηνου, τις οποίες ο ΓΟΕΒ Αγρινίου τις υπολογίζει σε $548 \times 10^6 m^3 / yr$.
- Από αυτές αρδεύονται επίσης 159.000 στρεμ. των πεδινών εκτάσεων της Αιτωλοακαρνανίας.

Η Τριχωνίδα έχει μεγάλο πλεόνασμα καθαρού νερού με το οποίο καλύπτει τις αρδευτικές ανάγκες της ευρύτερης περιοχής.

3.1.5 Λιμνολογικά στοιχεία

Η λίμνη Τριχωνίδα κατά τη διάρκεια του χειμώνα δεν παρουσιάζει στρωμάτωση, έχει χαμηλές τιμές θερμοκρασίας (11-13°C) και αγωγιμότητας (270-275 $\mu S/cm$), είναι κορεσμένη σε διαλυμένο οξυγόνο (10-11 mg/l) μέχρι τον πυθμένα της και έχει αλκαλικό PH (8.2 -7.7). Παρατηρείται ισχυρή ανάμειξη και ομογενοποίηση του νερού σε όλο τον όγκο της λίμνης. Αντίθετα το καλοκαίρι παρατηρείται σαφής στρωμάτωση του νερού και ανάπτυξη θερμοκλινούς, με θερμοκλινές σε βάθος 5-20 m και υπολίμνιο σε βάθος μεγαλύτερο των 30 m, στο οποίο η θερμοκρασία παραμένει σταθερή καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου. Παρατηρούνται επίσης αυξημένες τιμές αγωγιμότητας (295-327 $\mu S/cm$), και pH (8.6-7.9). Η διαύγεια του νερού της Τριχωνίδας είναι 10 -15 m (μέτρηση με Shecchi Disk) και μπορεί να αποδοθεί στην περιορισμένη ανάπτυξη βιομάζας στο νερό.

Η απορροή της λίμνης ελέγχεται με θυροφράγματα, ανάλογα με τις ανάγκες της περιοχής.

Η εκροή των υδάτων της λίμνης Τριχωνίδας προς την λίμνη Λυσιμαχεία εξαρτάται από την υδρολογική κατάσταση του έτους και από την ζήτηση για άρδευση, καθώς είναι και η κυριότερη χρήση του νερού της Τριχωνίδας.

Πίνακας 3.2 : Μορφολογικά και Λιμνολογικά στοιχεία

ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ		ΛΙΜΝΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	
Λεκάνη απορροής	302 Km ²	Διαύγεια	12-15m
Διαστάσεις λίμνης	18X6Km	Θερμοκρασία	12°C -27°C
Στάθμη (ρυθμιζ.)	+ 16.0 + 13.5m	Αγωγιμότητα	270-330 μS/cm
Έκταση καθρέπτη	97 Km ²	Διαλ O ₂	6-11mg/l
Βάθη (μεγ. -μέσο)	59 m-30 m	Ρη	7.7 -8.2
Βάθος κρυπτοβυθίσματος	-43 m	Θερμοκλινές	5-20 m
Όγκος λίμνης	2.9 X109 m ³	Υπολίμνιο	>30m
Μήκος ακτών	51.3 Km		
Ανάπτυγμα ακτών	1.53		

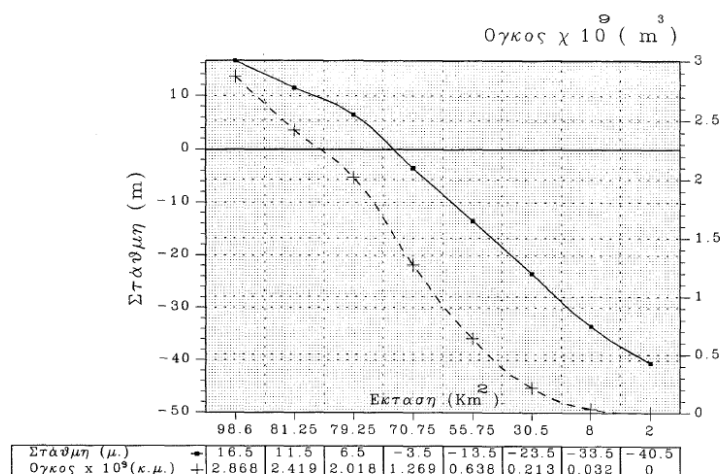
Πίνακας 3.3 : Υδρολογικά στοιχεία του νερού της λίμνης Τριχωνίδας¹
[ΥΠΕΧΩΔΕ, 1995]

ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ		ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΝΕΡΟΥ	
ΕΜΥ Αγρινίου κατακρ.	930 mm/yr	Ολική σκληρ.	12 -14°F
Όγκος Κατακρυμ. λεκάνης	280.8 χ 106 m3 /yr	Νιτρικά	0.13 mg/l
Συνολική απορροή (0.40)	112.3 x 106 m3 /yr	Νιτρώδη	
Όγκος κατακρ. λίμνης	90.2 χ 106 m3 /yr	Θειικά	20 mg/l
Όγκος εξατμ. (1470 mm/y)	142.5 χ 106 m3 /yr	Φωσφορικά	0.05 mg/l
Καθαρή απώλεια	-52.3 x106 m3 /yr	Αμμωνιακά	
Καθαρές εισροές λίμνης		Zn2 +	0.02 mg/l
Εισροές από Αχελώο και υπόγειες πηγές	> 600 χ 106 m3 /yr	CU 2 + Fe2 +	<0.01 mg/l <0.02 mg/l
Εκροές προς Λυσιμαχεία και αρδεύσεις	> 600 χ 106 m3/yr	Mn2 + SiO ₂	0.03 mg/l 1-7 mg/l
Χρόνος ανανέωσης	3.6 χρόνια	ΦΕΚ 438/86	ΠΟΣΙΜΟ

Οι πλέον βιοπαραγωγικές περιοχές της λίμνης είναι οι παράλιες αβαθείς περιοχές και η ευφωτική ζώνη, γι αυτό και η διακύμανση της στάθμης έχει μεγάλη σημασία.

Το πιο αβαθές στρώμα ύδατος, δηλαδή από 0-5m, αποτελεί το 15,6% του συνολικού όγκου της λίμνης, το στρώμα από 5-10m είναι 14% περίπου και το στρώμα από 10-20m, είναι 26%.

¹ Μέσες ετήσιες τιμές



Εικόνα 3.7: Διαγραμματική απεικόνιση, της στάθμης, του όγκου και της χωρητικότητας της λίμνης Τριχωνίδας [Πηγή: Κουσουρής, 1993]

3.1.6 Χρήσεις γης

Οι χρήσεις γης για την περιοχή που μελετάμε δίδονται στον πίνακα 3.4 και μας δείχνουν ότι στην υδρολογική λεκάνη της Τριχωνίδας η γεωργία, η κτηνοτροφία, τα ελαιοτριβεία και τυροκομεία είναι οι κύριες οικονομικές δραστηριότητες

Πίνακας 3.4: Χρήσεις γης στους Δήμους της υδρολογικής λεκάνης της λίμνης Τριχωνίδας

ΔΗΜΟΙ	ΑΡΑΚΥΝΘΟΥ	ΜΑΚΡΥΝΕΙΑΣ	ΘΕΡΜΟΥ	ΠΑΡΑΒΟΛΑΣ	ΘΕΣΤΙΕΩΝ	ΣΥΝΟΛΟ (*)	ΣΥΝΟΛΟ (**)
ΧΡΗΣΕΙΣ ΓΗΣ (στρέμματα)							
Βοσκοτόπια	33,200	75,700	195,000	42,500	4,500	350,900	4,164
Δάση	30,500	10,600	58,000	35,400	9,000	143,500	137,450
Εκτάσεις καλυπτόμενες από νερά	9,200	26,400	30,000	25,600	17,400	108,600	96,200
Εκτάσεις οικισμών	2,100	2,400	10,000	6,500	4,000	25,000	11,084
Καλλιεργούμενες Εκτάσεις	21,706	34,800	43,400	20,500	34,000	154,406	150,585
Λοιπές Εκτάσεις	3,011		37,400	4,873	1,100	46,384	3,963
Σύνολο Έκτασης Δήμου	99,717	149,900	379,000	135,373	70,000	833,990	403,446

(*) χρήσεις γης σε ολόκληρη την έκταση των Δήμων (Τοπική αυτοδιοίκηση, 1999)

(**) χρήσεις γης στην υδρολογική λεκάνη Τριχωνίδας

3.2 Λίμνη Λυσιμαχεία

Η λίμνη Λυσιμαχεία (αλλιώς Αγγελοκάστρου, Κονώπι ή Υδρία) βρίσκεται νότια του νομού Αιτωλοακαρνανίας στη Δυτική Στερεά Ελλάδα και απέχει 5 km από την πόλη του Αγρινίου (38ο 36' N, 21ο 22' E) (Εικ. 3.8). Έχει ελλειψοειδές σχήμα με προσανατολισμό ΒΔ-ΝΑ και η έκτασή της ανέρχεται σε 13,5 km² (Zacharias et al., 2002). Το μέγιστο μήκος και πλάτος της λίμνης είναι περίπου 6 και 3 km αντίστοιχα. Ο πυθμένας της είναι ομαλός και ρηχός με μικρές κλίσεις και στην ανατολική πλευρά σημειώνεται το μεγαλύτερο βάθος, περίπου 8 m. Είναι μια θερμή μονομικτική λίμνη και από χημική άποψη ανήκει στις ανθρακικού τύπου λίμνες (Overbeck et al., 1982).

Η λίμνη Λυσιμαχεία είναι τεκτονικής προέλευσης. Βρίσκεται κατά μήκος της τεκτονικής τάφρου του Αγρινίου και σχηματίζεται μεταξύ των όρων Παναιτωλικού και Αράκυνθου. Είναι η μόνη από τις λίμνες όπου το σύνολο της ακτογραμμής της διαμορφώνεται από τεταρτογενή ιζήματα. Οι γύρω από τη λίμνη εκτάσεις είναι ομαλές, πεδινές και προσχωσιγενείς με αναμειγμένο υλικό άμμου και αργιλο-ιλύος.

Με όγκο νερού $53 \times 10^6 m^3$ (Zacharias et al., 2002) η λίμνη παρουσιάζει θετικό ισοζύγιο νερού λόγω της υψηλής εισροής από ρέματα και υπόγεια καρστικά ύδατα, αλλά και των υπερχειλίσεων της λίμνης Τριχωνίδας. Έχει σχετικά μεγάλη λεκάνη απορροής με έκταση 246 km² (Zacharias et al., 2002) και δέχεται νερά από τους χείμαρρους Ερμίτσα (Β), Κατουρλή (Β), Κολοσύρτη (Β), Λυκόρρεμα (Ν), ΠαλιάΒρύση (Ν) και Κλεισόρρεμα (Ν). Από τα ανατολικά δέχεται νερό από την Τριχωνίδα μέσω ενός καναλιού (τάφρος Αλάμπτη) μήκους 2,8 km, του οποίου η απορροή ελέγχεται με θυρόφραγμα. Η Λυσιμαχεία είναι προσωρινός αποδέκτης μεγάλων όγκων νερού που στη συνέχεια παροχετεύονται είτε προς τον Αχελώο μέσω του ποταμού Δίμηκου, είτε προς τις δελταϊκές πεδιάδες του Μεσολογίου μέσω της σήραγγας Λυσιμαχείας.

Από τη λίμνη Λυσιμαχεία ξεκινά το αρδευτικό σύστημα του νομού, μέσω ρυθμιστικού τεχνικού έργου εισόδου στην κεφαλή της σήραγγας Λυσιμαχείας (μήκος σήραγγας 6450 m). Η φορά των υδάτων είναι από τη λίμνη προς τη λιμνοθάλασσα του Αιτωλικού. Η σήραγγα Λυσιμαχείας έχει ως κύριο σκοπό τη ρύθμιση της στάθμης της λίμνης στο επιθυμητό εύρος των +12,5 m έως +14,5 m και η είσοδος της βρίσκεται στο νοτιοδυτικό άκρο της λίμνης. Τα πλεονάζοντα νερά διοχετεύονται με τη διώρυγα του Δίμηκου στον ποταμό Αχελώο, δυτικά του Αγγελόκαστρου. Η τάφρος αυτή κατασκευάστηκε το 1961 και αποτελεί το τελευταίο κομμάτι του υδρολογικού κύκλου που κάνει ένα μέρος των υδάτων του Αχελώου. Η φορά των υδάτων στην τάφρο Δίμηκου είναι από τη Λυσιμαχεία προς τον Αχελώο. Από όλα τα παραπάνω προκύπτει ότι τόσο υδρογραφικά όσο και υδρολογικά η λεκάνη της Λυσιμαχείας δεν είναι αυτόνομη αφού συνδέεται και με τη λίμνη Τριχωνίδα από ανατολικά και με τον ποταμό Αχελώο από δυτικά. Η λίμνη Λυσιμαχεία ανήκει στο ευρωπαϊκό δίκτυο οικολογικής προστασίας Natura 2000 (Οδηγία Οικοτόπων 92/43/ΕΕ) με κωδικό GR2310013, και αποτελεί ιδιαίτερο ενδιαφέρον από άποψη ορνιθοπανίδας, καθώς είναι σημαντικός τόπος ανάπαυσης των αποδημητικών υδρόβιων και παρυδάτιων πουλιών, πολλά από τα οποία θεωρούνται σπάνια. Οι εκτεταμένες κοινώνιες καλαμώνων που αναπτύσσονται, προσφέρουν πολύτιμο καταφύγιο στην άγρια πανίδα. Επίσης, έχουν καταγραφεί 16 είδη ψαριών (κυρίως κυπρινοειδή), κάποια από τα οποία είναι ενδημικά της Αιτωλοακαρνανίας.

Ένα σημαντικό πρόβλημα στη λίμνη Λυσιμαχεία, η οποία έχει περιορισμένη έκταση και μικρό βάθος, είναι ότι δέχεται την αμφίπλευρη τροφοδοσία του υδρογραφικού δικτύου σε νερό και φερτά υλικά, με συνέπεια να συρρικνώνεται και να απειλείται να μετατραπεί σε έλος. Κατά τη θερινή περίοδο αναπτύσσονται εκτεταμένες ζώνες καλαμώνων που κάνουν τις ακτές της λίμνης μη προσπελάσιμες. Οι ακτές της είναι γενικά ομαλές και γραμμικές με εξαίρεση τις δελταϊκές ακτές του ρέματος Ερμίτσα. Ο Ερμίτσας και οι χείμαρροι Παλιάς Βρύσης και Φραγκουλείικων που σχηματίζουν δέλτα στη λίμνη, παροχετεύουν τα φερτά υλικά τους κατ' ευθείαν στη Λυσιμαχεία. Τη μεγαλύτερη απειλή αποτελεί ο Ερμίτσας, καθώς με ταχύτατους ρυθμούς την προσχώνει με φερτά υλικά και το δέλτα που αναπτύσσεται με δυο κοίτες μέσα στη λίμνη έχει την τάση να τη διχοτομήσει.

Η λίμνη παρουσιάζει έντονες εποχικές διακυμάνσεις της στάθμης του νερού, που οφείλονται στον υψηλό βαθμό εξάτμισης κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού και στην αποστράγγιση προς τον Αχελώο. Κατά τη διάρκεια του χειμώνα η λίμνη Λυσιμαχεία συχνά υπερχειλίζει λόγω της κακής συντήρησης της τάφρου του Δίμηκου μέσω της οποίας γίνεται η παροχέτευση των νερών της λίμνης στη μη αρδευτική περίοδο, με αποτέλεσμα πολλά στρέμματα καλλιεργήσιμης γης γύρω από αυτή να πλημμυρίζουν.

Κατά το παρελθόν η λίμνη ήταν αποδέκτης των ανεπεξέργαστων λυμάτων της πόλης του Αργινίου που συγκεντρώνονταν στα καλυμμένα ρέματα και από εκεί μέσω του χειμάρρου Κατουρλή διοχετεύονταν ανεπεξέργαστα στη λίμνη Λυσιμαχεία, με δυσμενείς επιπτώσεις όχι μόνο στην ίδια τη λίμνη αλλά και για ολόκληρη την περιοχή. Για το λόγο αυτό κατασκευάστηκε βιολογικός σταθμός επεξεργασίας των αστικών λυμάτων ο οποίος λειτουργεί από το 2000 και δέχεται τα λύματα της πόλης του Αργινίου. Ωστόσο, η λίμνη συνεχίζει να ρυπαίνεται με απόβλητα που προέρχονται από τα γύρω χωριά, καθώς και από τα λύματα των ελαιοτριβείων και των κτηνοτροφικών μονάδων που δραστηριοποιούνται κοντά σε αυτή. Επιπρόσθετα, η εντατικοποίηση της γεωργίας (εκπλύσεις λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων) και η λήψη υπογείων και επιφανειακών υδάτων αποτελούν σοβαρές απειλές για το οικοσύστημα (ΧΑΛΚΙΑ, 2013).



Εικόνα 3.8 Λίμνη Λυσιμαχεία
[πηγή: www.airphotos.gr]

3.3 Λίμνη Οζερός

Η λίμνη Οζερός (ή Γαλίτσα) βρίσκεται στο νομό Αιτωλοακαρνανίας (38ο 39' N, 21ο 13' E), νότια της λίμνης Αμβρακίας (Εικ. 3.9). Το σχήμα της είναι τραπεζοειδές με τη μεγάλη βάση του προσανατολισμένη στη διεύθυνση ΒΝ κατά μήκος του απότομου ρηξιγενούς πρανού των ασβεστολιθικών λατυποπαγών της Λυγκοβίτσας. Καταλαμβάνει όγκο νερού $13 \times 10^6 m^3$ (Zacharias et al., 2002). Η μικρή βάση βρίσκεται στις απέναντι προσχωσιγενείς, χαμηλές ακτές της

λίμνης προς τη δυτική όχθη του Αχελώου. Η επιφάνεια της λίμνης είναι $10,1 \text{ km}^2$ (Zacharias et al., 2002), το μέγιστο βάθος της είναι 5,6 m, ενώ το μέγιστο μήκος και πλάτος της λίμνης είναι περίπου 5 και 2,6 km αντίστοιχα. Η λεκάνη απορροής της έχει έκταση 59 km^2 (Zacharias et al., 2002) και περικλείει στο δυτικό τμήμα το μικρό όρος Λυγκοβίτσι, ενώ στο ανατολικό μία εκτεταμένη περιοχή καλλιεργείων. Η λίμνη Οζερός είναι μια θερμή, μονομικτική λίμνη και ανήκει στον ανθρακικό τύπο λιμνών (Overbeck et al., 1982).

Πρόκειται για μια καρστική λίμνη τεκτονικής προέλευσης και τη γένεσή της την οφείλει στην ύπαρξη της μεγάλης ρηξιγενούς ζώνης από τον Αμβρακικό Κόλπο ως τη λιμνοθάλασσα του Μεσολογγίου. Πρόκειται για μια φραγματογενή λίμνη που δημιουργήθηκε από τον εγκλωβισμό των υδάτων από τις προσχώσεις του ποταμού Αχελώου και βρίσκεται κατά μήκος της τεκτονικής τάφρου του Αγρινίου (Λεονταρής, 1970). Χαρακτηριστικό της περιοχής είναι η παρουσία απότομων πλαγιών στα δυτικά και νοτιοδυτικά, καθώς και καρστικών σχηματισμών όπως δολίνων, λατυποπαγών ασβεστόλιθων κλπ. Όλες οι άλλες πλευρές έχουν ομαλό ανάγλυφο με κλίση προς τη λίμνη. Στα βορειοδυτικά κράσπεδα της λίμνης υπάρχει μια αξιόλογη εμφάνιση γύψων. Στο βόρειο και νότιο τμήμα της συναντώνται εναλλαγές στρωμάτων του Νεογενούς και Πλειστοκαίνου, ενώ το υπόλοιπο τμήμα της πεδινής περιοχής προς τον ποταμό Αχελώο καλύπτεται από προσχώσεις αργίλου και ιλύος που μεταφέρονται από τη ροή του ποταμού.

Από υδρολογικής-υδραυλικής άποψης, η λίμνη αποτελεί μια κλειστή υδρολογική λεκάνη με μικρές επιφανειακές απορροές και το μεγαλύτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η σύνδεση και η εξάρτησή της από τον ποταμό Αχελώο. Η τροφοδότηση από τον Αχελώο γίνεται με τη βοήθεια της διώρυγας ΔVII που παίρνει νερό από τη δεξιά υδροληψία του φράγματος της Σπολαΐτας. Η ενωτική τάφρος, με ελαφρά σιγμοειδή μορφή και μήκος 3 km περίπου, έχει αφετηρία στις ΝΑ ακτές της λίμνης, ενώ το τέρμα της βρίσκεται στην κοίτη του Αχελώου. Η τάφρος παροχετεύει τα πλεονάζοντα νερά της λίμνης κατά τις περιόδους υψηλής στάθμης και είναι γεμάτη από καλαμώνες. Η λίμνη εφοδιάζεται επίσης με νερό από την αποστραγγιστική λεκάνη της ίδιας, που σχηματίζει χειμαρρους εποχικής ροής με σημαντικότερους το Κακό Λαγκάδι (ΒΔ), το Ρέμα Κουβαρά (ΒΔ) και το Βαγένι (ΒΑ). Η λίμνη Οζερός δεν επηρεάζεται από τα φερτά υλικά των χειμάρρων, καθώς είναι αμελητέα η ποσότητά τους σε σχέση με τον όγκο του νερού της λίμνης. Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό της είναι ότι παρουσιάζει έντονες μεταβολές της στάθμης του νερού, που οφείλονται κυρίως στην υπόγεια απορροή.

Η λίμνη Οζερός ανήκει στο ευρωπαϊκό δίκτυο οικολογικής προστασίας Natura 2000 (Οδηγία Οικοτόπων 92/43/ΕΕ) με κωδικό GR2310008, και διατηρεί ενδιαφέρουσα χλωρίδα και πανίδα. Στις όχθες της αναπτύσσονται εκτεταμένοι καλαμώνες που προσφέρουν καταφύγιο στην άγρια πανίδα και παράλληλα αποτελεί σημαντικό πέρασμα για διάφορα αποδημητικά πουλιά. Στη λίμνη συναντώνται οχτώ είδη ψαριών (κυρίως κυπρινοειδή), μερικά από τα οποία είναι ενδημικά της Αιτωλοακαρνανίας (Τριχωνίδα, Λυσιμαχεία, Οζερός, Αμβρακία και Αχελώος) και βρίσκονται στο Παράρτημα II της οδηγίας 92/43/ΕΕ. Τα νερά της λίμνης χρησιμοποιούνται ως αλιευτικό πεδίο από τους κατοίκους της περιοχής, ενώ παράλληλα μεγάλες ποσότητες νερού αξιοποιούνται στην άρδευση παρακείμενων καλλιεργείων. Το νερό ωστόσο θεωρείται ακατάλληλο για ύδρευση λόγω των θετικών μικροβιακών δεικτών που έχουν ανιχνευθεί (Καλλέργης και συν., 1993).

Τα σημαντικότερα περιβαλλοντικά προβλήματα της λίμνης παρουσιάζονται στο νότιο τμήμα της, το οποίο επηρεάζεται σημαντικά από τη διώρυγα που την συνδέει με τον ποταμό Αχελώο, από τα αρδευτικά κανάλια και από τη λειτουργία χοιροτροφικών μονάδων. Η τάφρος που συνδέει τη λίμνη με τον ποταμό Αχελώο δέχεται λύματα, καθώς και αποπλύσεις λιπασμάτων από τις καλλιέργειες, έχοντας ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη πυκνής βλάστησης από καλάμια. Τα απόβλητα των κτηνοτροφικών μονάδων και συγκεκριμένα των χοιροστασιών παράγουν καθ' όλη τη διάρκεια του έτους απόβλητα υψηλής ρυπαντικής ισχύος με πολύ μεγάλο οργανικό φορτίο, υψηλό αριθμό παθογόνων και μεγάλες συγκεντρώσεις αντιβιοτικών και απολυμαντικών, αποτελώντας το σημαντικότερο πρόβλημα ρύπανσης της λίμνης (Καλλέργης και συν., 1993), (Χαλκιά, 2013).



Εικόνα 3.9 Λίμνη Οζερός [Πηγή: www.airphotos.gr]

3.4 Λίμνη Αμβρακία

Η λίμνη Αμβρακία (ή αλλιώς Ρίβιο, Λιμναία, Λίμνη Στάνου ή Βάλτος) (38ο 45' N, 21ο 11' E), ανήκει στο Νομό Αιτωλοακαρνανίας και σχηματίζεται στη θέση που διχάζεται η τάφρος του Αγρινίου (Εικ. 3.10). Εκτείνεται βορειοδυτικά της λίμνης Οζερός σε απόσταση περίπου 1000 m και δυτικά του όρους Θύαμον. Είναι η δεύτερη σε μέγεθος λίμνη της περιοχής (μετά την Τριχωνίδα), και έχει σχήμα τριγωνικό με μια στενή επιμήκη βόρεια απόληξη. Η έκτασή της ανέρχεται σε $14,2 \text{ km}^2$, η λεκάνη απορροής της περίπου σε 177 km^2 και καταλαμβάνει όγκο νερού $62 \times 10^6 \text{ m}^3$ (Zacharias et al., 2002). Στο ΒΔ τμήμα του τριγώνου αναπτύσσεται το μέγιστο βάθος, περίπου 50 m, ενώ το μέγιστο μήκος και πλάτος της λίμνης είναι αντίστοιχα 13,8 και 3,8 km. Τα αναφερόμενα ωστόσο σε σχετικές βιβλιογραφικές αναφορές μορφολογικά χαρακτηριστικά της έχουν αισθητά αλλοιωθεί τα τελευταία χρόνια, λόγω της αποξήρανσης του βόρειου αβαθούς τμήματος της λιμναίας λεκάνης.

Το βόρειο και ανατολικό τμήμα της λίμνης καταλαμβάνεται από μεσοζωικούς ασβεστόλιθους, ενώ το ανατολικό τμήμα σχηματίζεται από τριασικούς εβαπορίτες που αποτελούνται από γύψο και μεσοζωικούς ασβεστόλιθους. Στο νότιο τμήμα της λίμνης απαντώνται πλειοκαινικοί σχηματισμοί. Η λίμνη Αμβρακία χαρακτηρίζεται ως ημιπόληνη από τους Verginis & Leontaris (1978). Η γεωμορφολογική εξέλιξη της ευρύτερης περιοχής δεν οφείλεται μόνο σε τεκτονικά αίτια (τεκτονική λίμνη) αλλά και σε εξωγενείς παράγοντες, κυρίως δυνάμεις του ύδατος (καρστική λίμνη). Κατά το τέλος του Πλειόκαινου ολόκληρη η Αιτωλοακαρνανική λεκάνη ήταν μια μεγάλη και ενιαία λίμνη που υδροδοτούσε ο ποταμός Αχελώος και οι χείμαρροι της περιοχής. Η έκταση της λίμνης αυτής («Αιτωλοακαρνανική λεκάνη») αργότερα περιορίστηκε, εξαιτίας υπερχειλίσης (δια μέσου της σημερινής διαβρωσιγενούς κοιλάδας της Κλεισούρας) και ενεργοποίησης των υπόγειων καρστικών διόδων. Με τη σταδιακή πτώση της στάθμης των υδάτων αποχωρίστηκε πρώτα η λίμνη Αμβρακία, που έγινε ανεξάρτητη από την υπόλοιπη ενιαία λεκάνη. Μεταγενέστερα διαχωρίστηκε η λίμνη Τριχωνίδα από τη Λυσιμαχεία με τις αποθέσεις του ρέματος Ερμίτσας και η Λυσιμαχεία από τη λίμνη Οζερός με τις αποθέσεις του ποταμού Αχελώου (Λεονταρής, 1967; Λιάκουρης, 1971).

Σύμφωνα με τη θερμική συμπεριφορά των υδάτων της η λίμνη Αμβρακία χαρακτηρίζεται ως θερμή μονομικτική, με στρωμάτωση που διαρκεί από τις αρχές του μήνα Απριλίου έως και το τέλος Νοεμβρίου, περίοδο κατά την οποία το υπολίμνιο καθίσταται ανοξικό με έντονη την παρουσία H₂S (Overbeck et al., 1982). Κατατάσσεται στις θεικού τύπου λίμνες λόγω της μεγάλης συγκέντρωσης θειικών ανιόντων, προφανώς λόγω της παρουσίας γύψου στο καρστικό της περιβάλλον και θεωρείται μοναδική μεταξύ των λιμνών της Ελλάδας (Overbeck et al., 1982; Zacharias et al., 2002).

Το κύριο χαρακτηριστικό της λίμνης είναι η ευρεία εποχική διακύμανση της στάθμης των επιφανειακών υδάτων της που οφείλεται στην υδραυλική σχέση με τους καρστικούς υδροφόρους ορίζοντες και την εξάτμιση κατά τη διάρκεια του θερμού και ξηρού θέρους. Η λίμνη εφοδιάζεται με νερό από την αποστραγγιστική της λεκάνη, με περιορισμένο εντούτοις υδάτινο δυναμικό απορροής, καθώς και από τις βροχοπτώσεις, την τήξη του χιονιού και τα ύδατα χειμάρρων και πηγών. Τα υδατορρέυματα που εκβάλλουν στη λίμνη Αμβρακία δεν παρουσιάζουν ιδιαίτερο υδρολογικό ενδιαφέρον. Τα περισσότερα από αυτά βρίσκονται στην νοτιοανατολική πλευρά της λίμνης, με σημαντικότερο το υδατόρρευμα του Ρίβιου. Απώλειες των υδάτων της λίμνης πιθανόν να σημειώνονται κοντά στη δυτική όχθη απ' όπου διέρχεται μεγάλο ρήγμα της περιοχής (ρήγμα του Μαχαλά) (Καλλέργης και συν., 1993).

Η λίμνη ανήκει στο ευρωπαϊκό δίκτυο οικολογικής προστασίας Natura 2000 (Οδηγία Οικοτόπων 92/43/ΕΕ) με κωδικό GR2310007, και είναι ένας σημαντικός υδροβιότοπος για την ορνιθοπανίδα, καθώς φιλοξενεί μεγάλο αριθμό αποδημητικών πουλιών (υδρόβια και παραυδάτια είδη) πολλά από τα οποία είναι απειλούμενα. Όσον αφορά στην ιχθυοπανίδα, έχουν καταγραφεί δέκα είδη ψαριών (κυρίως κυπρινοειδή), έξι από τα οποία βρίσκονται στο Παράρτημα II της οδηγίας 92/43/ΕΕ. Το γεγονός ότι εμφανίζει μεγάλες συγκεντρώσεις θειικών ανιόντων, καθώς επίσης και το ότι δεν επικοινωνεί με τις υπόλοιπες λίμνες της περιοχής, έχει οδηγήσει στην ύπαρξη μοναδικών συνθηκών, με αποτέλεσμα τη μεγάλη παρουσία ενδημικών ειδών μικροχλωρίδας (Σπαρτινού, 1992).

Τα νερά της λίμνης Αμβρακίας χρησιμοποιούνται για άρδευση των παρακείμενων γεωργικών εκτάσεων και είναι αλιευτικό πεδίο για τους κατοίκους κυρίως των γειτονικών κοινοτήτων, ενώ το νερό της είναι ακατάλληλο για ύδρευση λόγω των υψηλών συγκεντρώσεων θειικών ανιόντων. Το σοβαρότερο πρόβλημα που αντιμετωπίζει η λίμνη είναι η μείωση της επιφάνειας κάλυψης και η σχεδόν πλήρης εξαφάνιση του βόρειου τμήματός της, το οποίο τα τελευταία χρόνια έχει παραχωρηθεί σε καλλιέργειες. Η περιβαλλοντική επιβάρυνση της λίμνης προέρχεται από τα αστικά λύματα των παρακείμενων κοινοτήτων, από την απόρριψη σκουπιδιών ως επί το πλείστον στους χείμαρρους, από τα αγροτικά απόβλητα και από την υποβάθμιση των δασικών οικοσυστημάτων. Είναι χαρακτηριστικό ότι στην παραλίμνια ζώνη, ιδιαίτερα στην ανατολική πλευρά, απουσιάζει κάθε μορφή υδρόφιλων δασικών δένδρων, αποτέλεσμα των διακυμάνσεων της στάθμης της λίμνης και των αντίστοιχων μεταβολών της στάθμης του υπόγειου νερού, καθώς και της ανθρώπινης επέμβασης (Χαλκιά, 2013).



Εικόνα 3.10 Λίμνη Αμβρακία [Πηγή: www.airphotos.gr]

3.5 Τεχνητή λίμνη Στράτου

Η τεχνητή λίμνη Στράτου δημιουργήθηκε με φράγμα έτσι ώστε να ελεγχθεί η ορμή του ποταμού Αχελώου κι έχει έκταση 8.400 km^2 . Το φράγμα έχει μήκος 2χλμ. και είναι το μεγαλύτερο σε μήκος στην Ελλάδα. Στη βάση του φράγματος δημιουργήθηκε πάρκο έκτασης 500 στρεμμάτων που έχει παραχωρηθεί στην Ελληνική Ομοσπονδία Θαλάσσιου Σκι και λειτουργούν σήμερα εγκαταστάσεις του Εθνικού Κέντρου Θαλασσίου Σκι. Το τοπίο που έχει δημιουργηθεί είναι μοναδικό και μπορούν να αναπτυχθούν μια σειρά από δραστηριότητες όπως πεζοπορία στις όχθες των λιμνών, ποδηλασία κλπ. Η παρόχθια βλάστηση, η εναλλαγή χρωμάτων και ο πλούτος του οικοσυστήματος μετέτρεψαν τον τόπο από έργο ενέργειας και άρδευσης σ' έναν από τους πλουσιότερους υδροβιότοπους της χώρας.



Εικόνα 3.11 Τεχνητή λίμνη Στράτου



Εικόνα 3.12 Φράγμα Στράτου

3.6 Τεχνητή λίμνη Καστρακίου

Η λίμνη Καστρακίου είναι τεχνητή λίμνη κοντά στα χωριά Καστράκι και Μπαμπαλιό της Αιτωλοκαρνανίας, πάνω στην κοίτη του ποταμού Αχελώου στην περιοχή συμβολής του με τον παραπόταμο Ίναχο. Η έκταση της επιφάνειας της λίμνης που έχει δημιουργηθεί είναι 28 km² και περιέχει 1.000.000 m³ νερό. Τα νερά σκέπασαν σχεδόν όλο τον τόπο απ' τα χωριά Μαλατέικα και Μπαμπαλιό, οι κάτοικοι σχεδόν όλοι υποχρεώθηκαν σε αναγκαστική μετανάστευση, μικρό όμως τμήμα απ' αυτούς ανασυγκρότησε οικισμούς σε παραλίμνιες περιοχές. Το φράγμα της λίμνης έχει ύψος 95 μέτρα, μήκος 530 μέτρα και το πάχος στην βάση του είναι 380 μέτρα, και εκεί υπάρχει υδροηλεκτρικός σταθμός της ΔΕΗ. Η λίμνη στο Καστράκι δημιουργήθηκε και αυτή από ένα δεύτερο φράγμα στον Αχελώο ποταμό. Το φράγμα έχει ύψος 95 μέτρα, μήκος 530 μέτρα και πλάτος στη βάση 380 μέτρα. Έχει δημιουργηθεί υδροηλεκτρικός σταθμός που εξοικονομεί σημαντική ενέργεια από πετρέλαιο και την μόλυνση από αυτό του περιβάλλοντος.



Εικόνα 3.13 Τεχνητή λίμνη Καστρακίου

3.7 Προηγούμενες μελέτες για την ποιότητα των υδάτων της περιοχής

Το υδατικό σύστημα της λίμνης Τριχωνίδας αποτέλεσε αντικείμενο έρευνας από την δεκαετία του 1990, λόγω των σύνθετων βιοτικών και αβιοτικών χαρακτηριστικών του αλλά και λόγω της αλληλεπίδρασης του με αλληλοσυγκρουόμενες χρήσεις γης στην ευρύτερη περιοχή της λεκάνης απορροής, Μερικές από τις μελέτες που εκπονήθηκαν στην ευρύτερη περιοχή της λίμνης Τριχωνίδας αναφέρονται παρακάτω.

Στην εργασία του (Κουσουρή, 1993) μελετούνται, η τροφική κατάσταση της λίμνης Τριχωνίδας και η ποιότητα των υδάτων της με τους σημερινούς ρυπαντες της λίμνης, εξαιτίας ανθρωπογενών δραστηριοτήτων και φυσικών αιτίων. Εκτιμάται η τροφική της κατάσταση και η ιχθυοτροφική αξιοποίηση μέσα στο υδάτινο περιβάλλον της και εκτιμάται η δυνατότητα αυτής της αξιοποίησης σε σχέση με τις σημερινές χρήσεις και δραστηριότητες στη λεκάνη απορροής της, μέσα στα πλαίσια της προστασίας και διατήρησης του περιβάλλοντος της λίμνης,. Σύμφωνα με τη μελέτη αυτή για το χρονικό διάστημα που αυτή αναφέρεται, η ετήσια φόρτιση του φώσφορου είναι 207 mg/m²y, γεγονός που μας δείχνει ότι η τιμή αυτή υπερέβαινε για πολύ λίγο το επιτρεπόμενο όριο (18 mg/m²y), ενώ απείχε πολύ από το κρίσιμο όριο των 646 mg/m²y..

Στη μελέτη των (Ζαχαρίας και συν., 2002) ο στόχος ήταν ένα βιώσιμο διαχειριστικό σχέδιο για την λεκάνη απορροής της λίμνης Τριχωνίδας.

Έτσι ακολούθησαν την παρακάτω μεθοδολογία:

1) Συλλογή και επεξεργασία από ΕΜΥ και ΥΠΕΧΩΔΕ, όλων των υδρολογικών και υδρογεωλογικών δεδομένων της περιόδου 1987 – 1997: Βροχόπτωση, εξάτμιση, κατείδυση, επιφανειακή απορροή, υπόγειες και επιφανειακές τροφοδοσίες, προκειμένου να ενσωματωθούν σε εξισώσεις μηνιαίου υδατικού ισοζυγίου.

2) Χρησιμοποίηση προγραμμάτων Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS), τοπογραφικοί χάρτες και μετρήσεις της στάθμης, ποσοτικοποιώντας τα αποθέματα νερού με τις μηνιαίες διακυμάνσεις τους.

3) Δημιουργία αναλυτικών χαρτών επί των χρήσεων γης, αποτυπώνοντας όλες τις καλλιέργειες της περιοχής ανά είδος, έτσι ώστε σε συνδυασμό με τη βιβλιογραφία και τις σχετικές μετρήσεις από τοπικούς φορείς, να προσδιοριστούν και να επαληθευτούν οι αρδευτικές ανάγκες.

4) Εκπόνηση κοινωνικο-οικονομικής μελέτης για την περιοχή. Εκτιμήθηκαν οι πληθυσμιακές και αναπτυξιακές τάσεις για να υπολογιστούν οι παρούσες και μελλοντικές ανάγκες νερού για αστική και βιομηχανική χρήση.

5) Δημιουργία χαρτών καταγραφής των οικοσυστημάτων της περιοχής. Για να ερευνηθούν και αποτυπωθούν πιθανώς ευαίσθητα οικοσυστήματα ή υπό εξαφάνιση και χρήζοντα ιδιαίτερης προσοχής και προστασίας. Διαπιστώθηκε έτσι, ότι σημαντικοί παραλίμνιοι οικότοποι των ασβεστούχων βάλτων με *Cladiummariscus* και *Carex spp.*, δέχονται υδρολογικές πιέσεις και υποβαθμίζονται συνεχώς από την μεγάλη ετήσια διακύμανση της στάθμης. Και

6) Επαλήθευση όλων των εισροών και εκροών, από και προς τη λίμνη Τριχωνίδα, συγκρίνοντας με τα βιβλιογραφικά και των φορέων της περιοχής (ΔΕΚΕ Πατρών, ΔΕΒ Αγρινίου, ΓΟΕΒ Αγρινίου), δεδομένα.

Έτσι δημιουργήθηκαν τα εναλλακτικά σενάρια διαχείρισης του νερού, συγκεντρώνοντας τα προαναφερθέντα στοιχεία και ενσωματώνοντας τα στο υδατικό ισοζύγιο της λίμνης Τριχωνίδας, λαμβάνοντας υπ' όψιν τις περιβαλλοντολογικές ανάγκες και τις τοπικές υποδομές.

Διερευνήθηκαν εναλλακτικά πέντε σενάρια. Το πρώτο εξετάζει την ήδη υφιστάμενη διαχείριση χρήσης του νερού όπως ισχύουν σήμερα και στο μέλλον, ενώ τα υπόλοιπα τέσσερα εξετάζουν το καθένα ξεχωριστά διαφορετικό ποσοστό κάλυψης των αρδευτικών αναγκών στη περιοχή της Λίμνης Τριχωνίδας.

Στη μελέτη των (Μπερταχάς και συν., 2000) υπολογίστηκε η συνολική ποσότητα αζώτου και φωσφόρου που παράγονται στη περιοχή της Τριχωνίδας κατά είδος ανθρώπινης δραστηριότητας. Τα απόβλητα προέρχονται από τις δραστηριότητες των κατοίκων από την εντατική γεωργία, τις κτηνοτροφικές δραστηριότητες, απόβλητα από αγροτικές ή άλλες μικρές βιοτεχνίες, από αστικά λύματα και στερεά απορρίμματα, καθώς και με τις εκχερσώσεις παραλίμνιας βλάστησης, συστάδων δένδρων ή παραλιμνίων δασών και τέλος με επιχυματώσεις υγροτόπων της ευρύτερης περιοχής. Στο μελετώμενο στοιχείο του αζώτου η γεωργική δραστηριότητα συμμετέχει με ποσοστό 89,1% ακολουθούμενη από τη κτηνοτροφική που συμμετέχει με 9,9%. Τα αστικά λύματα και τα ελαιοτριβεία συμμετέχουν με 0,7% και 0,3% αντιστοίχως. Για το φώσφορο τη μεγαλύτερη ευθύνη φέρει η γεωργική δραστηριότητα με ποσοστό 97,9% ενώ η κτηνοτροφία, τα αστικά λύματα και τα ελαιοτριβεία να συμμετέχουν με ποσοστά 1,7%, 0,2% και 0,1% αντιστοίχως. Με βάση τα αποτελέσματα της μελέτης προτείνονται μέτρα προστασίας που στοχεύουν στην ανθρώπινη δραστηριότητα, ώστε να περιοριστούν οι εισροές ρυπαντικών ουσιών προς τον υδάτινο αποδέκτη της λίμνης της Τριχωνίδας.

Στην νέα μελέτη των (Zacharias et al., 2004), επιχειρείται η πρόβλεψη της επίδρασης των μεταβολών στις χρήσεις γης, στο υδρολογικό καθεστώς της λίμνης Τριχωνίδας για χρονικό βάθος σαράντα (40) χρόνων. Χρησιμοποιήθηκαν γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών με την ανάλυση αεροφωτογραφιών, με χρονολογία λήψης 1945 και 1986. Καταρτίστηκαν χάρτες χρήσεων γης για τις δύο συγκεκριμένες περιόδους με τις συνδυασμένες τεχνικές αναγνώρισης και παρατηρήσεων υπαίθρου.

Για την δημιουργία του υδρολογικού μοντέλου χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό MIKE SHE στο οποίο προσομοιώθηκε το υδρολογικό καθεστώς της λίμνης Τριχωνίδας και εκτιμήθηκαν οι μεταβολές των παραμέτρων του, σε σχέση με τις μεταβολές των χρήσεων γης.

Για τις χρονικές περιόδους 1945 και 1986 προέκυψε από την μελέτη αεροφωτογραφιών και από την κατάρτιση των χαρτών χρήσεων γης ότι υπήρξε δραματική μείωση στην έκταση των

υγροτόπων κατά περίπου 71% μέσα σε χρονικό διάστημα 4 δεκαετιών, ενώ συγχρόνως αυξήθηκαν οι εκτάσεις αγροτικής εκμετάλλευσης κατά 17 % για την ίδια περίοδο.

Το βασικό αίτιο για τη μείωση των υγροτόπων είναι της αύξησης των αγροτικών εκτάσεων αλλά και η σταδιακή μείωση της στάθμης της λίμνης η οποία προκλήθηκε από την κατασκευή ενός τεχνητού αγωγού το 1957 που μεταφέρει αρδευτικό νερό εκτός της λίμνης Τριχωνίδας.

Η αύξηση των καλλιεργούμενων εκτάσεων σε βάρος της έκτασης των υγροτόπων οδήγησε σε μια αύξηση κατά 6% της εξατμισοδιαπνοής καθώς και στη αύξηση κατά 10% του ελλείμματος νερού στο έδαφος. Οι μεταβολές αυτές έχουν σχέση μόνο με τις αλλαγές στις χρήσεις γης, χωρίς να λαμβάνονται υπόψη, τα αποτελέσματα της προκαλούμενης κλιματικής αλλαγής

3.8 Γενικές Παρατηρήσεις- Συμπεράσματα

Η Τριχωνίδα αποτελεί υπολειμματική μορφή της Τεταρτογενούς λίμνης Αγρινίου, η οποία διατήρησε τα βασικά χαρακτηριστικά της τεκτονικής λίμνης, ανέπτυξε σημαντική καρστική υπόγεια υδροφορία και ελαχιστοποίησε τις προσχώσιγενείς διεργασίες. Για το λόγο αυτό ο πυθμένας της βρίσκεται 43 m κάτω από τη στάθμη της θάλασσας, το βάθος είναι μεγάλο, η έκτασή της και ο όγκος της είναι επίσης μεγάλα και η τροφοδοσία της σε νερό. κυρίως υπόγειο, είναι συνεχής. Αποτελεί το βασικό επίπεδο (τοπικό) για μια μεγάλη περιοχή της Ν. Πίνδου, γεγονός που της εξασφαλίζει συνεχή τροφοδοσία σε νερό. Έτσι εξηγείται η άριστη οξυγόνωση της καθ' όλη τη διάρκεια του έτους μέχρι τον πυθμένα της. Το νερό αυτό έχει μικρή αγωγιμότητα και φαίνεται άπι ανανεώνεται πολύ συχνά είτε λόγω της μεγάλης υπόγειας τροφοδοσίας (άνοιξη -καλοκαίρι) είτε λόγω των λιμνολογικών διεργασιών (χειμώνας).

Η λίμνη Τριχωνίδα, έχει μεγάλο πλεόνασμα καθαρού νερού. Παροχετεύεται στη λίμνη Λυσιμαχεία μέσω τεχνητής διώρυγας και μέσω του Δίμηκου ποταμού (ο Κύαθος των αρχαίων) καταλήγει στον Αχελώο. Ταυτόχρονα καλύπτονται οι αρδευτικές και περιβαλλοντικές ανάγκες της περιοχής και των δελταικών πεδιάδων Αχελώου και Ευήνου.

Επιβάλλονται μέτρα προστασίας της λίμνης από λύματα, απορρίμματα, απόβλητα κλπ, αλλά και λήψη μέτρων ώστε να εξασφαλιστεί η σταθερή στάθμη στη λίμνη, χωρίς περαιτέρω υποβιβασμούς, οι οποίοι θα θέσουν σε κίνδυνο τις φυσικές ισορροπίες της.

Η περιβαλλοντική αξία και σημασία της Τριχωνίδας για την ευρύτερη περιοχή της Αιτωλοακαρνανίας είναι μεγάλες διότι:

- Ρυθμίζει το μικροκλίμα της τάφρου Αγρινίου.
- Τροφοδοτεί με καθαρό νερό τη λεκάνη του Κάτω Αχελώου
- Καθαρίζει τους ρύπους της Λυσιμαχείας.
- Ενισχύει και ομαλοποιεί την ασυνεχή ροή του Αχελώου κατάντη του Στράτου.
- Ικανοποιεί τις αρδευτικές ανάγκες των δελταικών πεδιάδων των ποταμών Αχελώου και Ευήνου.
- Αποτελεί το μεγάλο ταμιευτήρα καθαρού νερού, που μπορεί στο μέλλον σε περιπτώσεις σοβαρών αναγκών να σώσει την ευρύτερη περιοχή από οικολογικές ή άλλες καταστροφές.

4. ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ και ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Η τηλεπισκόπηση (Remote sensing, teledetection, telerilevamento) ορίζεται ως η τεχνική απόκτησης πληροφοριών για αντικείμενα που βρίσκονται στη γήινη επιφάνεια, μέσα από την ανάλυση δεδομένων που συλλέγονται από ειδικά όργανα τα οποία όμως δεν έχουν φυσική επαφή με τα αντικείμενα. Έτσι, η τηλεπισκόπηση μπορεί να αποδοθεί και ως η αναγνώριση ενός αντικειμένου από απόσταση (Avery & Berlin, 1992). Η διαφορά της τηλεπισκόπησης από την επιτόπου παρατήρηση ή μέτρηση βρίσκεται στο ότι στη δεύτερη το ειδικό όργανο παρατήρησης είναι μέσα ή εφάπτεται του αντικειμένου που μετράμε ή ερευνάμε, όπως π.χ. το θερμόμετρο.

Η Τηλεπισκόπηση κατά τους Lillesand, Kiefer και Chirpman (2003) είναι η επιστήμη και τέχνη του να παίρνουμε πληροφορία για αντικείμενο, περιοχή ή φαινόμενο, από την ανάλυση δεδομένων που πήραμε από ένα μέσο το οποίο δεν είναι σε επαφή με το αντικείμενο, την περιοχή ή το φαινόμενο που εξετάζεται.

Ένας άλλος ορισμός με στενότερη έννοια από τον Mather (1999), είναι ότι η τηλεπισκόπηση του περιβάλλοντος περιλαμβάνει τη μέτρηση και αποτύπωση της ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας που ανακλάται ή εκπέμπεται από την επιφάνεια της Γης και την ατμόσφαιρα. Η μέτρηση και αποτύπωση γίνεται από ένα σημείο πάνω από την επιφάνεια της Γης και ακολουθεί ο συσχετισμός αυτών των μετρήσεων με τη φύση και την κατανομή των υλικών της επιφάνειας της Γης και των συνθηκών της ατμόσφαιρας.

Ο Gupta (1991) αναφέρει ότι τηλεπισκόπηση σημαίνει απόκτηση πληροφοριών για ένα αντικείμενο χωρίς να υπάρχει άμεση επαφή με αυτό. Για αυτόν η τηλεπισκόπηση έχει διττή διάσταση, που περιλαμβάνει τις ακόλουθες δύο παραμέτρους οι οποίες βρίσκονται σε άμεση σχέση μεταξύ τους:

- την τεχνική απόκτησης δεδομένων με τη βοήθεια ενός μέσου που βρίσκεται σε απόσταση από το αντικείμενο, και
- την ανάλυση των δεδομένων για την ερμηνεία του αντικειμένου.

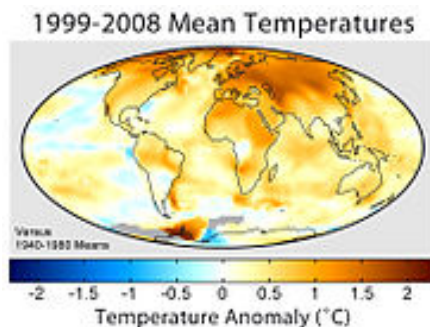
Όμως η Τηλεπισκόπησης, σ έναν ευρύτερο ορισμό της, μπορεί να συμπεριλάβει και ακουστικά (ή ηχητικά) κύματα που παράγονται κάτω από την επιφάνεια του νερού. Τα κύματα αυτά μπορεί να καταγράφονται από ειδικούς αισθητήρες. Τα δε βασικά στάδια του συστήματος της τηλεπισκόπησης περιλαμβάνουν:

- Εκπομπή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, (πηγή ο ήλιος ή αυτοεκπομπή)
- Μετάδοση ενέργειας από την πηγή προς την επιφάνεια της Γης, καθώς και απορρόφηση και σκέδαση από την ανώτερη ατμόσφαιρα
- Αλληλεπίδραση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας με την επιφάνεια της Γης: αντανάκλαση και εκπομπή
- Μετάδοση της ακτινοβολίας από την επιφάνεια προς τον απομακρυσμένο αισθητήρα
- Δεδομένα εξόδου αισθητήρα
- Μετάδοση δεδομένων, επεξεργασία και ανάλυση

Η τηλεπισκόπηση είναι μια σύγχρονη τεχνολογία που χρησιμοποιείται για τη λήψη πληροφοριών σχετικά με έναν στόχο μέσα από την ανάλυση δεδομένων που αποκτήθηκαν σε σχέση με τον στόχο από απόσταση. Τα τρία βασικά μέρη, από τα οποία αποτελείται είναι:

- οι στόχοι – αντικείμενα ή φαινόμενα σε μια περιοχή,
- η απόκτηση δεδομένων – μέσω ορισμένων μέσων,
- και η ανάλυση των δεδομένων με τη χρήση εξειδικευμένων λογισμικών και υπολογιστών με υψηλές προδιαγραφές.

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

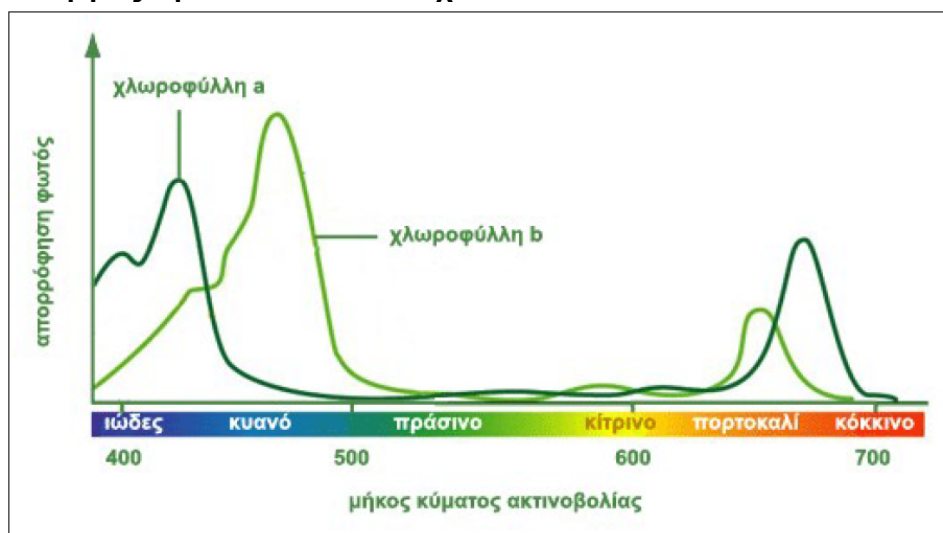


Εικόνα 4.1: Αποτύπωση Θερμοκρασίας με τη χρήση Δορυφορικών δεδομένων

Σήμερα χρησιμοποιούμε την τηλεπισκόπηση τόσο στην καθημερινή μας ζωή όσο και σε πολύ εξειδικευμένα πεδία επιστημών. Το Κτηματολόγιο υλοποιείται με τις πληροφορίες που λαμβάνονται από αεροφωτογραφίες και δορυφορικές εικόνες, η καθημερινή πρόγνωση του καιρού γίνεται αναλύοντας δεδομένα από μετεωρολογικούς δορυφόρους, η παγκόσμια κλιματική αλλαγή τεκμηριώνεται με τη χρήση δορυφόρων που παρακολουθούν τη θερμοκρασία στην επιφάνεια του πλανήτη, το βαρυτικό πεδίο της Γης χαρτογραφείται με εξειδικευμένα δορυφορικά ζεύγη κ.ά. Η παρατήρηση της επιφάνειας της Γης επιτυγχάνεται με τη χρήση ψηφιακών σαρωτών (τηλεπισκοπικών ανιχνευτών) που ανιχνεύουν την ανάκλαση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας της γήινης επιφάνειας και την αποδίδουν ως ψηφιακή εικόνα. Οι σαρωτές μπορεί να είναι εγκατεστημένοι σε τεχνητούς δορυφόρους που βρίσκονται σε τροχιά γύρω από τη Γη ή να βρίσκονται σε αερομεταφερόμενα μέσα (αεροσκάφη, ελικόπτερα). Ένα διαστημικό όχημα μπορεί να μεταφέρει περισσότερους από ένα ανιχνευτές, έτσι πολλές φορές προκαλείται σύγχυση μεταξύ οχήματος και σαρωτή.

Για παράδειγμα ο δορυφόρος *Terra* μεταφέρει, μεταξύ άλλων, δυο ανιχνευτές, τον ανιχνευτή ASTER και τον ανιχνευτή MODIS. Όταν αναφερόμαστε στα δεδομένα που μεταδίδονται στη γη, συνήθως τα διακρίνουμε βάση του ανιχνευτή, έτσι λοιπόν μιλάμε για δορυφορική εικόνα ASTER και όχι για δορυφορική εικόνα TERRA [Πηγή: <https://el.wikipedia.org/wiki/Τηλεπισκόπηση>].

4.1. Αρχή λειτουργίας τηλεπισκοπικών ανιχνευτών



Εικόνα 4.2 Φασματική υπογραφή χλωροφύλλης α και β

Για την παρατήρηση της γήινης επιφάνειας, οι ανιχνευτές μετρούν το ποσοστό της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που αντανάκλαται από τα διάφορα υλικά. Κάθε αντικείμενο - επιφάνεια - υλικό που βρίσκεται επάνω στη Γη, έχει ένα δικό της τρόπο αντανάκλασης την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία σε διαφορετικά μήκη κύματος. Για παράδειγμα η χλωροφύλλη είναι

μια ουσία που βρίσκεται στα πράσινα μέρη των φυτών, έχει την ιδιότητα να ανακλά σε μεγάλο βαθμό την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία στο πράσινο τμήμα του ορατού ηλεκτρομαγνητικού φάσματος και να την απορροφά στο μπλε και κόκκινο τμήμα. Με τη φασματική αυτή συμπεριφορά αντιλαμβανόμαστε το πράσινο χρώμα των ζωντανών φυτών. Έτσι χρησιμοποιώντας την αντανάκλαστική συμπεριφορά των υλικών μπορούμε να τα μελετήσουμε να τα εντοπίσουμε και να τα απεικονίσουμε.

Έγχρωμη εικόνα, όπως αυτές που καταγράφουν οι ψηφιακές φωτογραφικές μηχανές μπορούμε να πάρουμε εάν χρησιμοποιείται για την αναπαράσταση το ορατό τμήμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Στην τηλεπισκόπηση οι ανιχνευτές «κοιτούν» πολύ πέρα από το ορατό φάσμα. Υπάρχουν αισθητήρες που ανιχνεύουν ακτινοβολία στο εγγύς υπέρυθρο, στο μέσο υπέρυθρο, στο θερμικό υπέρυθρο, στα μικροκύματα, κλπ., με αποτέλεσμα να λαμβάνουμε μια ποικιλία εικόνων. Ανάλογα με τη φασματική ζώνη που λειτουργεί ο αισθητήρας μπορούμε να έχουμε και ένα αντίστοιχο αποτέλεσμα, για παράδειγμα ένας ανιχνευτής που λειτουργεί στο θερμικό υπέρυθρο θα δώσει μια θερμική εικόνα ενώ ένας ανιχνευτής που λειτουργεί στο ορατό φάσμα θα δώσει μια έγχρωμη εικόνα πραγματικού χρώματος (true color). Σε μια απλή περιγραφή του τρόπου που λαμβάνονται τα τηλεπισκοπικά δεδομένα μπορούμε να αναφέρουμε: Μία πηγή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας όπως για παράδειγμα ο ήλιος που εκπέμπει προς όλες τις κατευθύνσεις, φωτίζει την επιφάνεια της Γης αφού κάνει μια διαδρομή μέσα από την ατμόσφαιρα, αυτός είναι ένας λόγος που περιορίζεται το φασματικό εύρος της ακτινοβολίας που θα πέσει στην επιφάνεια της γης. Ένα μέρος της ακτινοβολίας που τελικά φθάνει στη Γη ανακλάται, ένα άλλο μέρος διαχέεται στο περιβάλλον, ένα άλλο μεταδίδεται και ένα άλλο απορροφάται και αποδίδεται και πάλι στο περιβάλλον. Η ακτινοβολία που ανακλάται διέρχεται και πάλι μέσα από την ατμόσφαιρα με προορισμό το διάστημα. Σε πολύ μεγάλο ύψος (300 ως 800 χιλιόμετρα συνήθως) βρίσκονται σε τροχιά οι τεχνητοί δορυφόροι που είναι εξοπλισμένοι με τους ανιχνευτές. Η ακτινοβολία που ανακλάσθηκε προς το διάστημα, περνά μέσα από πρισματικές διατάξεις όπου και γίνεται ο διαχωρισμός σε φασματικές ζώνες προκαθορισμένου εύρους, και ύστερα οδηγείται σε φωτοδιόδους-CCDs και μετατρέπεται η ακτινοβολία (=ενέργεια) σε ηλεκτρικό σήμα. Το σήμα αυτό κβαντοποιείται σε μορφή δυαδικών αριθμών και μεταδίδεται προς τη Γη, στους επίγειους σταθμούς (ground stations) όπου το επεξεργάζονται, διορθώνεται και παίρνοντας την τελική μορφή ψηφιακής εικόνας διανέμεται στους τελικούς χρήστες. Για να μελετήσουμε κάποιο χαρακτηριστικό και να πάρουμε τη μέγιστη πληροφορία πρέπει να επιλέξουμε το κατάλληλο φασματικό τύπο του ανιχνευτή. Αν θέλουμε να μελετήσουμε τα παράκτια θαλάσσια οικοσυστήματα πρέπει να εξετάσουμε εικόνες στο μπλε τμήμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, γιατί σε αυτή τη φασματική περιοχή υπάρχει η δυνατότητα διείσδυσης της ακτινοβολίας στο νερό. Εάν όμως θέλουμε να χαρτογραφήσουμε την ακτογραμμή, θα χρειαστούμε το φασματικό τμήμα στο εγγύς υπέρυθρο, γιατί το νερό απορροφά πλήρως την Η/Μ ακτινοβολία σε αυτό το τμήμα, ενώ το έδαφος (ακτή) θα εμφανίζει ανάκλαση με αποτέλεσμα να έχουμε την καλύτερη διαφοροποίηση για την αποτύπωση του ορίου ύδατος-ακτής [ΠΗΓΗ:<https://el.wikipedia.org/wiki/Τηλεπισκόπηση>].

4.2. Κατηγορίες δεκτών ανιχνευόμενης Η/Μ ακτινοβολίας

A) Ανάλογα από πού προέρχεται η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, η οποία αντανάκλαται και στη συνέχεια ανιχνεύεται, οι δέκτες - σαρωτές (ή αισθητήρες) μπορούν να διακριθούν σε παθητικούς και σε ενεργητικούς.

- Παθητικοί είναι αυτοί που ανιχνεύουν ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που προέρχεται από μία φυσική πηγή (συνήθως ο ήλιος), ενώ
- ενεργητικοί σαρωτές είναι αυτοί που «φωτίζουν» οι ίδιοι τον στόχο χρησιμοποιώντας τη δική τους πηγή ακτινοβολίας, π.χ. εικονοληπτικά ραντάρ. Αυτό ονομάζεται «ραδιοεντοπισμός» ή «ραδιοανίχνευση».

B) Ανάλογα με το πόσα κανάλια ανιχνεύουν και σε τι φασματικό εύρος. Ένας ανιχνευτής που καταγράφει :

- σε μία φασματική ζώνη καλείται *μονοφασματικός*, και μπορεί να ανιχνεύει τη φασματική ανάκλαση σε ένα μικρό (στενό) τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος ή σε μια ευρύτερη περιοχή. Μονοφασματικοί ανιχνευτές που καταγράφουν σε ολόκληρο το ορατό τμήμα και στο εγγύς υπέρυθρο (visible & near infrared) δίνουν δεδομένα (εικόνες) που καλούνται *παγχρωματικά*.

- Ανιχνευτές που καταγράφουν δεδομένα σε περισσότερες από μία φασματικές ζώνες ονομάζονται *πολυφασματικοί* (multispectral).
- Τέλος, ανιχνευτές που καταγράφουν την ανάκλαση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας σε πολλές φασματικές ζώνες, στενού εύρους, συνήθως 10-20 νανομέτρων καλούνται υπερφασματικοί.

4.3. Ποιοτικά χαρακτηριστικά δεδομένων

Τα δεδομένα που μεταδίδονται από τους ανιχνευτές είτε είναι αερομεταφερόμενοι είτε είναι σε τροχιά μετατρέπονται σε διδιάστατους πίνακες n γραμμών και m στηλών, όπου η τιμή κάθε εικονοστοιχείου αντιπροσωπεύει την ανάκλαση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.

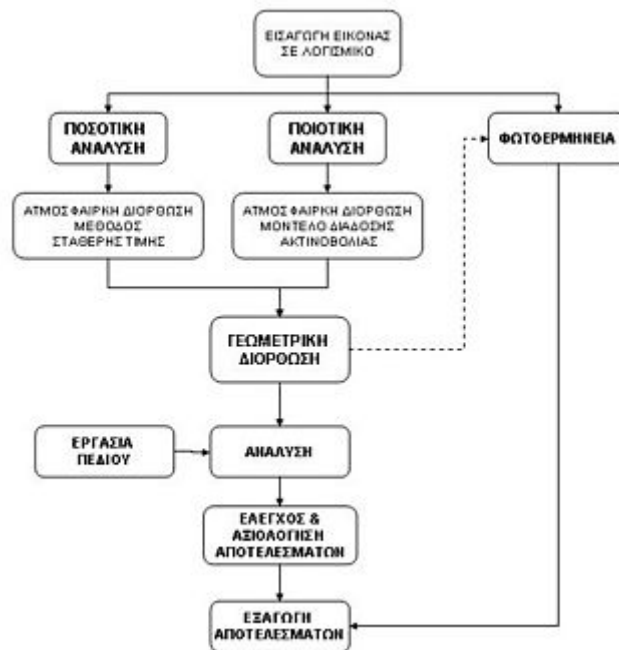
Ιδιότητες τηλεπισκοπικών δεδομένων (ψηφιακών εικόνων):

- *Χωρική ανάλυση*: Είναι η χωρική διακριτική ικανότητα της εικόνας, δηλαδή το μέγεθος του pixel σε πραγματικές διαστάσεις. Η χωρική ανάλυση καθορίζει τις ελάχιστες διαστάσεις των αντικειμένων που μπορούν να αποτυπωθούν στη ψηφιακή εικόνα. Υψηλής χωρικής ανάλυσης εικόνες, που χρησιμοποιούνται για πολιτική χρήση, έχουν μέγεθος pixel από 15μ έως και 0,6μ, ενώ για την Ελλάδα δεν αναμένονται εικόνες από τεχνητούς δορυφόρους παρατήρησης της γης, με χωρική ανάλυση μικρότερη του 0,5μ έως το τέλος της δεκαετίας.
- *Φασματική ανάλυση*: Είναι το φασματικό εύρος κάθε φασματικού καναλιού. Εικόνες με μικρό φασματικό εύρος (π.χ. 10 νανόμετρα) είναι εικόνες υψηλής φασματικής ανάλυσης και χρησιμοποιούνται για λεπτομερή μελέτη και αναγνώριση των υλικών που αποτυπώνονται, χρησιμοποιώντας τεχνικές υπερφασματικής ανάλυσης.
- *Ραδιομετρική ανάλυση*: Είναι η φασματική διακριτική ικανότητα, δηλαδή το πόσο εύκολα ή δύσκολα μπορούν να διακριθούν υλικά γειτονικής φασματικής συμπεριφοράς σε μια εικόνα (π.χ. μπορεί ένα αντικείμενο γαλάζιας απόχρωσης να διακριθεί από ένα αντικείμενο μπλε απόχρωσης;).

4.4. Εφαρμογές τηλεπισκόπησης

Η τηλεπισκόπηση είναι μια σύγχρονη τεχνολογία που χρησιμοποιείται για τη λήψη πληροφοριών και βρίσκει εφαρμογή σε διάφορους επιστημονικούς τομείς. Οι πληροφορίες που παίρνουμε από τους ανιχνευτές χρησιμοποιούνται από μια απλή απεικόνιση ενός τμήματος της επιφάνειας της γης έως τον υπολογισμό μεταβολής του αναγλύφου μετά από ένα σεισμικό γεγονός. Μερικά παραδείγματα είναι: για τον σχεδιασμό χρήσεων γης από τους χωροτάκτες, για την πρόβλεψη του καιρού και την παρακολούθηση της ατμόσφαιρας από τους μετεωρολόγους, για τη μελέτη των οικοσυστημάτων και την εφαρμογή και δοκιμή μοντέλων από βιολόγους, για την αποτελεσματικότερη εκμετάλλευση γεωργικών εκτάσεων από τους γεωπόνους, για την πρόγνωση και παρακολούθηση δασικών πυρκαγιών από τους δασολόγους, για τη χαρτογράφηση των βιοφυσικών παραμέτρων των ωκεανών από τους ωκεανογράφους, για τη δημιουργία ψηφιακών μοντέλων εδάφους από τους τοπογράφους, για τον εντοπισμό κοιτασμάτων από τους γεωλόγους, κ.ά.

4.5. Επεξεργασία & ανάλυση δεδομένων



Εικόνα 4.3: Εισαγωγή εικόνας σε λογισμικό

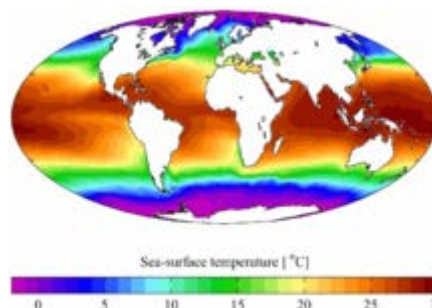
Για να οδηγηθούμε σε σωστά συμπεράσματα χρειάζεται κατάλληλη προεπεξεργασία στα τηλεπισκοπικών δεδομένων, για να απαλειφθεί μια σειρά σφαλμάτων.

Οι διορθώσεις που πρέπει να γίνουν αφορούν:

α) Γεωμετρικές διορθώσεις λόγω της καμπύλης γεωμετρίας της εικόνας που πρέπει να αναχθεί σε επίπεδη γεωμετρία, απαλείφοντας τα σφάλματα που προέρχονται από την επιφάνεια του γήινου ελλειψοειδούς, της κίνησης γης και του τεχνητού δορυφόρου, αλλά και σφάλματα που οφείλονται στο έντονο ανάγλυφο μιας περιοχής (ορθοδιόρθωση-ορθοαναγωγή) όπως και αναγωγή σε ένα σύστημα γεωγραφικών ή προβολικών συντεταγμένων, ώστε να μπορεί να συνδυασθεί με άλλα γεωγραφικά δεδομένα.

β) Ραδιομετρικές διορθώσεις, για την απαλοιφή σφαλμάτων λόγω της απορύθμισης των αισθητήρων του καταγραφέα και σε σφάλματα και αλλοιώσεις λόγω της διαδικασίας καταγραφής και μετάδοσης.

γ) Ατμοσφαιρικές διορθώσεις, για την απαλοιφή σφαλμάτων από την επίδραση των συστατικών της ατμόσφαιρας. Η αντανάκλαση από τη γήινη επιφάνεια ακτινοβολία καθώς επιστρέφει στο διάστημα, διέρχεται μέσα από τα συστατικά της ατμόσφαιρας, (υδρατμούς & αερολύματα) και αλλοιώνουν την ποσότητα της εισερχόμενης στον αισθητήρα ακτινοβολίας. Οι ατμοσφαιρικές διορθώσεις διακρίνονται σε μεθόδους *σταθερής τιμής* διορθώσει τα σφάλματα με την εφαρμογή μιας σταθερής τιμής (π.χ. διαίρεση με τον μέσο όρο της εικόνας) στις τιμές των *rixels*, και σε μεθόδους *μετάδοσης ακτινοβολίας* που συνδυάζει δεδομένα από την ίδια την εικόνα με κάποια προϋπολογισμένα μοντέλα ώστε να «ανακατασκευαστεί» η διάδοση της η/μ ακτινοβολίας σε δεδομένο χρόνο και τόπο.



Εικόνα 4.4: Θερμοκρασία στην επιφάνεια της θάλασσας

Έχουμε τρεις γενικές κατηγορίες ανάλυσης: ποσοτική ανάλυση, ποιοτική ανάλυση και οπτική ανάλυση (ή φωτοερμηνεία).

- Ποσοτική ανάλυση είναι η μέτρηση μιας ιδιότητας - μεταβλητής, όπως για παράδειγμα η θερμοκρασία στην επιφάνεια της θάλασσας, γνωστή ως Sea Surface Temperature (SST) βλ. Εικόνα 4.4.
- Ποιοτική ανάλυση είναι η αποτύπωση χαρακτηριστικών όπως οι χρήσεις γης ή ο εντοπισμός και αναγνώριση συγκεκριμένων υλικών.
- Οπτική ανάλυση όταν μεταφράζεται το μοτίβο, το χρώμα και το σχήμα της διάταξης των pixels ώστε να εξάγουμε πληροφορίες.

[ΠΗΓΗ: <https://el.wikipedia.org/wiki/Τηλεπισκόπηση>].

4.6. Όργανα καταγραφής και δορυφόροι παρατήρησης της Γης.

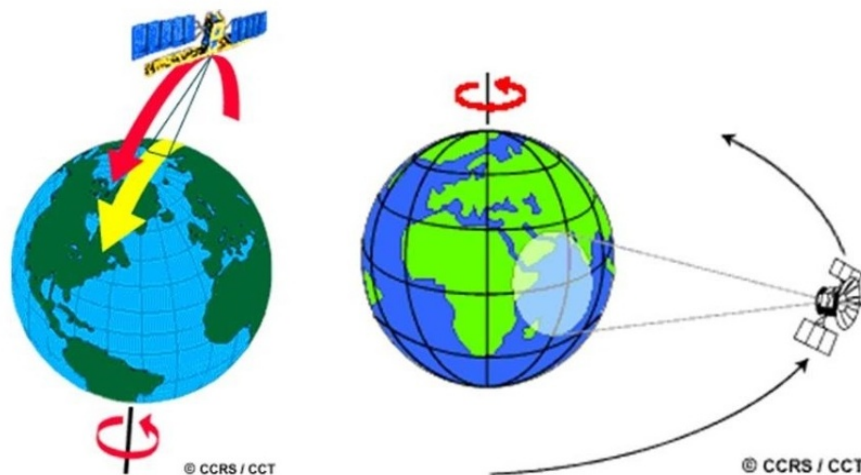
Τα βασικά δορυφορικά συστήματα παρακολούθησης και απεικόνισης της Γης είναι δύο :

1. Τα παθητικά συστήματα τηλεπισκόπησης που καταγράφουν τη «φυσική» ακτινοβολία και συμβαίνει κατά τη διάρκεια της ημέρας όταν ο ήλιος φωτίζει τμήματα της Γης. Η ενέργεια (θερμικό υπέρυθρο) που εκπέμπεται με φυσικό τρόπο μπορεί να καταγραφεί ημέρα ή νύχτα αν η ποσότητα της είναι αρκετή για να καταγραφεί. Αυτά χρησιμοποιούν τμήματα του φάσματος πολύ μικρά (μικρότερα του 0,4 μm έως 1.000 μm μήκη κύματος)

2. Τα ενεργητικά συστήματα είναι εκείνα που καταγράφουν ηλεκτρομαγνητικά κύματα εκπεμπόμενα από άλλη εξωτερική πηγή ή από το ίδιο το όργανο καταγραφής. Συνήθως το σύστημα καταγραφής είναι αυτό που εκπέμπει την ενέργεια προς την επιφάνεια και στη συνέχεια ανακλάται επιστρέφει και καταγράφεται η «ηχώ» του σήματος από το ίδιο το σύστημα. Τέτοιου τύπου όργανα είναι τα Radars που εκπέμπουν στην περιοχή των μικροκυμάτων.

4.7. Χαρακτηριστικά της τροχιάς των δορυφόρων

Τροχιά είναι η διαδρομή του δορυφόρου γύρω από τη Γη και αλλάζουν ως προς το ύψος, τον προσανατολισμό και την περιστροφή ως προς τη Γη. Οι δορυφόροι που έχουν τεθεί σε πολύ υψηλές τροχιές και στοχεύουν πάντοτε την ίδια περιοχή της Γης ονομάζονται γεωστατικοί δορυφόροι και η τροχιά τους γεωστατική (Εικόνα 4.5).



Εικόνα 4.5: Αριστερά η σχεδόν πολική τροχιά δορυφόρων και δεξιά η γεωστατική τροχιά.

Η τροχιά των γεωστατικών δορυφόρων βρίσκονται σε 36.000 Km περίπου και περιστρέφονται με ταχύτητες όμοιες με την περιστροφή της Γης γι αυτό και φαίνονται ότι είναι στατικοί σχετικά με την επιφάνεια της Γης και μπορεί να συλλέγει πληροφορίες πάνω από συγκεκριμένες περιοχές. Γεωστατικοί είναι οι μετεωρολογικοί και τηλεπικοινωνιακοί δορυφόροι.

Τα δορυφορικά συστήματα σχεδιάστηκαν έτσι ώστε να ακολουθούν μια τροχιά που σε συνδυασμό με την περιστροφή της Γης από τα δυτικά προς τα ανατολικά, καλύπτουν το μεγαλύτερο τμήμα της

επιφάνειας σε μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή. Η τροχιά αυτή ονομάζεται σχεδόν πολική (Εικόνα 4.5), από την κλίση της τροχιάς που είναι σχεδόν Β-N. όπως επίσης ονομάζεται και ηλιοσύγχρονη γιατί περνούν πάνω από την ίδια περιοχή την ίδια τοπική ώρα.

Ο φωτισμός παραμένει σταθερός γιατί σε οποιοδήποτε γεωγραφικό πλάτος και μήκος και για την ίδια εποχή, ο Ήλιος θα έχει την ίδια θέση, καθώς καλύπτεται από τον δορυφόρο.

[ΠΗΓΗ : https://repository.kallipos.gr/bitstream/11419/3964/1/02_chapter_4.pdf]

4.8 Όργανα καταγραφής

Όλα τα όργανα που ανιχνεύουν και μετρούν από απόσταση την ακτινοβολία η και τα ακουστικά κύματα από αντικείμενα που βρίσκονται κάτω από νερό που ανακλούνται η εκπέμπονται ονομάζονται απομακρυσμένοι αισθητήρες (remote sensors). Στην τηλεπισκόπηση μπορούμε να παίρνουμε πληροφορίες από διαφορετικές φασματικές περιοχές (πολυφασματική/multispectral-multiband), οι οποίες λαμβάνονται από πολλούς αισθητήρες η έναν που λειτουργεί ταυτόχρονα σε διαφορετικές φασματικές περιοχές (multispectral ή multibandsensor).

Οι απεικονιστές μπορούν να ταξινομηθούν:

- ανάλογα με τις διεργασίες ανίχνευσης (π.χ. φωτογραφικοί ή απεικονιστές τηλεόρασης)
- ανάλογα με τη φασματική περιοχή λειτουργίας τους ή τον τρόπο λειτουργίας τους (π.χ. ενεργητικοί ή παθητικοί απεικονιστές).

Κατά τους Lillesand & Kiefer (2000) οι απεικονιστές ταξινομούνται :

- ✓ σε οπτικούς (optical) ή παθητικούς που λειτουργούν στην υπεριώδη, ορατή και υπέρυθη περιοχή του φάσματος και όλοι χρησιμοποιούν στοιχεία ανάκλασης και επανεκπομπής για απεικόνιση και
- ✓ μικροκυματικούς (microwave) ή ενεργητικούς που λειτουργούν με μήκος κύματος ίσο ή μεγαλύτερο του χιλιοστού στη φασματική περιοχή και χρησιμοποιούν την ακτινοβολία που οι ίδιοι εκπέμπουν αφού έχουν και πομπό και δέκτη.

Βασικοί τύποι αισθητήρων (sensors) :

- τις κάμερες,
- τους σαρωτές και
- τα ραντάρ συνθετικού ανοίγματος (SAR).

Οι κάμερες και οι σαρωτές είναι οπτικά συστήματα και παθητικοί αισθητήρες, δηλαδή καταγράφουν την ακτινοβολία που προέρχεται από τον ήλιο και ανακλάται ή εκπέμπεται ενώ τα ραντάρ αποτελούν ενεργητικούς αισθητήρες, δηλαδή είναι αυτά που στέλνουν και δέχονται πίσω τα μικροκυματικά σήματα που προέρχονται και επιστρέφουν στον ίδιο τον αισθητήρα. Τα σήματα που λαμβάνονται από τον αισθητήρα καταγράφονται και σε αναλογική (φιλμ ή χαρτί όπως οι αεροφωτογραφίες), και σε ψηφιακή μορφή (δυναμική μορφή).

4.8.1.Βασικά χαρακτηριστικά των οργάνων καταγραφής

Τα βασικά χαρακτηριστικά των οργάνων καταγραφής είναι η χωρική (spatial), φασματική (spectral) και ραδιομετρική (radiometric) και χρονική (temporal) διακριτική ικανότητα ή ανάλυση.

4.8.1.1 Χωρική διακριτική ικανότητα

Η απόσταση μεταξύ της γης και του οργάνου καταγραφής μπορεί να είναι σημαντικός παράγοντας για τη μεταγραφόμενη λεπτομέρεια για ορισμένα από αυτά.

Η χωρική διακριτική ικανότητα του οργάνου καταγραφής και αναφέρεται στο μέγεθος του μικρότερου χαρακτηριστικού που μπορεί να ανιχνευθεί εξαρτάται η λεπτομέρεια σε μια εικόνα.

Οι δορυφόροι που βρίσκονται σε πολύ υψηλή τροχιά έχουν συνήθως μικρή διακριτική ικανότητα ενώ καταγράφουν μεγάλες περιοχές παρ όλα αυτά όμως κάποια χαρακτηριστικά μπορούν να αναγνωριστούν εάν η φασματική τους απόκριση διαφέρει σημαντικά από τον περιβάλλοντα χώρο (π.χ. δρόμοι).

Χωρική διακριτική ικανότητα 20 m. σημαίνει ότι στην αντίστοιχη εικόνα κάθε εικονοστοιχείο (pixel) αποτυπώνει μία περιοχή της επιφάνειας ίση με 20 X 20 m. Ο Αστάρης (1994) αναφέρει ως χωρική διακριτική ικανότητα μιας εικόνας ή φωτογραφίας την ελάχιστη απόσταση μεταξύ δύο αντικειμένων

στην οποία οι διαστάσεις τους φαίνονται χωριστά και καθαρά. Αντικείμενα που βρίσκονται σε πλησιέστερη απόσταση από αυτήν θα φαίνονται στην εικόνα ως ένα αντικείμενο.

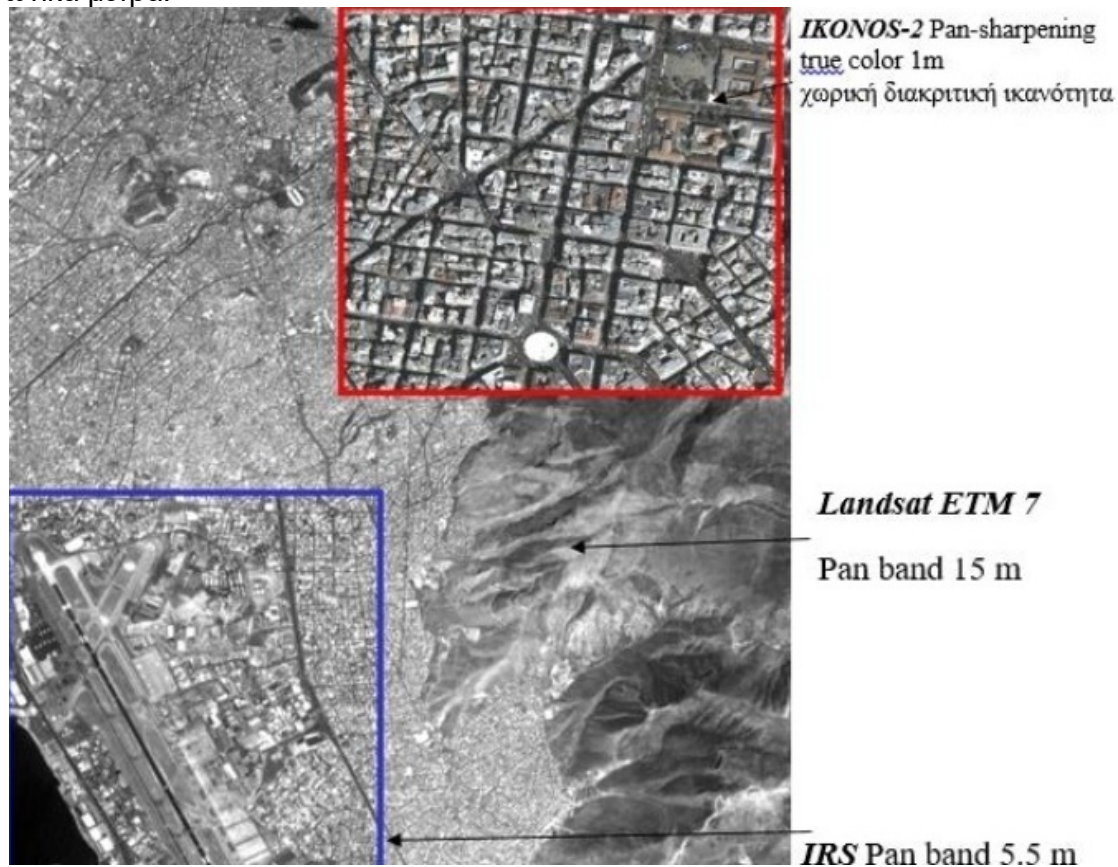
Η χωρική διακριτική ικανότητα εξαρτάται από την αντίθεση φωτεινότητας (contrast) των αντικειμένων της εικόνας. Ως αντίθεση φωτεινότητας ορίζεται ο λόγος της διαφοροποίησης στη φωτεινότητα, μεταξύ ενός αντικειμένου και των υπολοίπων που βρίσκονται γύρω του, ή του αθροίσματος των δύο αυτών φωτεινοτήτων, εκφραζόμενο επί τοις εκατό. Σύμφωνα με τον Campbell (1996) ως αντίθεση ορίζεται ως η διαφοροποίηση της φωτεινότητας ενός αντικειμένου σε σχέση με το «φόντο» που υπάρχει γύρω του.

Η αντίθεση (contrast) εξαρτάται από:

- το σχήμα των αντικειμένων ή των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών τους
- τον λόγο του προσανατολισμού (όψη-aspect ratio) του μήκους σε σχέση με το πλάτος
- τον αριθμό των αντικειμένων σε μια περιοχή
- το «άπλωμα» (βαθμός που εκτείνεται) και η ομοιομορφία του γύρω χώρου

Για τις φωτογραφίες (αναλογικά προϊόντα), αυτή εκφράζεται σε ζεύγη γραμμών που μπορούν να διακριθούν και εξαρτάται από την ανθρώπινη όραση, την κλίμακα και την απόσταση παρατήρησης (Sabins, 1997).

Στις δορυφορικές ψηφιακές εικόνες που παράγονται από τους σαρωτές ή τις κάμερες, η χωρική διακριτική ικανότητα ταυτίζεται με το «στοιχείο της εικόνας» (pixel) που είναι η «στοιχειώδης επιφάνεια» της Γης που καταγράφεται από τους δέκτες (Εικόνα 4.6). Για παράδειγμα, ο θεματικός χαρτογράφος του Landsat έχει χωρική ανάλυση 30 μέτρα/pixel δηλαδή εάν προβάσουμε το εικονοστοιχείο του στην επιφάνεια της Γης, αυτό θα αντιστοιχεί σε ένα εμβαδόν επιφανείας 900 τετραγωνικά μέτρα.

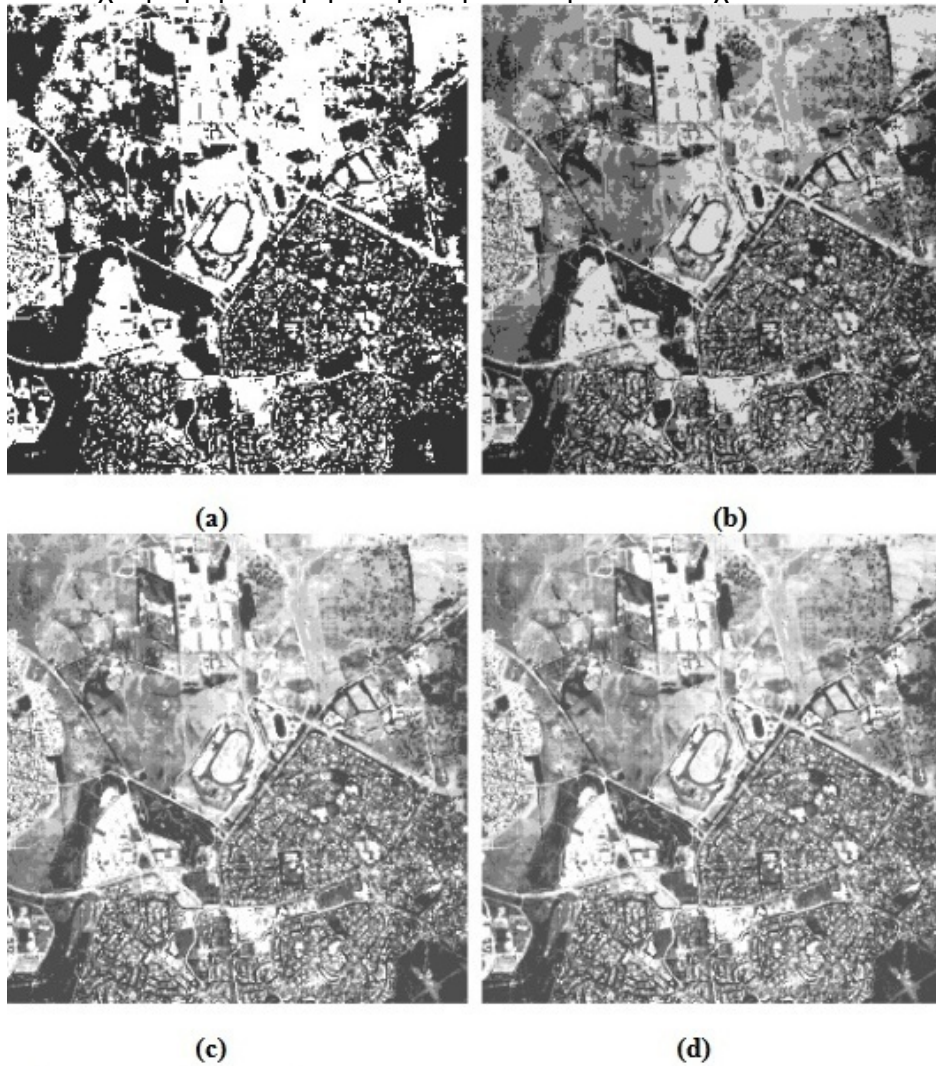


Εικόνα 4.6: Χωρική διακριτική ικανότητα σε διαφορετικά δορυφορικά συστήματα

4.8.1.2 Ραδιομετρική διακριτική ικανότητα

Ραδιομετρική ικανότητα είναι η ικανότητα ενός συστήματος να καταγράφει διαφορές στην ισχύ του σήματος.

Σε μια εικόνα, η ευαισθησία της στην ένταση της ανακλώμενης ενέργειας καθορίζει τη ραδιομετρική ικανότητα, ενώ τα δεδομένα της είναι ψηφιακές τιμές από 0 έως μία τιμή X παράγωγη στη δύναμη του 2 (X^2). Η αύξηση των διαβαθμίσεων του γκρι είναι ανάλογη της αύξησης της ραδιομετρικής ικανότητας και έτσι έχουμε μεγαλύτερη διακριτική ικανότητα των στόχων.



(a)(b)(c)(d)
Εικόνα 4.7 (a) 2, (b) 4, (c) 8, (d) 16 επίπεδα του γκρι.

4.8.1.3 Φασματική διακριτική ικανότητα

Η φασματική διακριτική ικανότητα έχει σχέση με τον αριθμό των φασματικών καναλιών που χρησιμοποιεί ο κάθε δορυφόρος και είναι πολύ σημαντική ιδιότητα, αφού στις πολυφασματικές εικόνες:

- η θέση στο ηλεκτρομαγνητικό φάσμα, το εύρος και ο αριθμός των φασματικών καναλιών μπορούν να καθορίζουν τον βαθμό και το είδος των διαφόρων στόχων (Εικόνα 4.7).
- έχουν μεγαλύτερη διακριτική ικανότητα από οποιοδήποτε μεμονωμένο φασματικό κανάλι.

Όταν ένα σύστημα καταγράφει πάνω από δύο φασματικές ζώνες ονομάζεται πολυφασματικό ενώ όταν καταγράφει με δεκάδες φασματικές ζώνες και πολύ μικρό εύρος των ζωνών ονομάζεται υπερφασματικό. Η αύξηση της φασματικής ανάλυσης δεν είναι απεριόριστη και επιδρά αρνητικά στα προϊόντα που παίρνουμε, με τη μείωση του λόγου S/N (S = σήμα, N = θόρυβος – signalto ratio).

4.8.1.4. Χρονική διακριτική ικανότητα

Η χρονική διακριτική ικανότητα έχει σχέση με τη συχνότητα λήψης εικόνων για την ίδια περιοχή. Η περίοδος επαναληψιμότητας ενός δορυφορικού συστήματος που μπορεί να είναι κάποιες ημέρες ή ώρες όταν πρόκειται για αστερισμό δορυφορικού συστήματος, για να μπορέσει να αποτυπώσει την ίδια γεωγραφική περιοχή με την ίδια γωνία παρατήρησης, απόλυτη χρονική διακριτική ικανότητα.

Χαρακτηριστικά της διαχρονικής ανάλυσης για πιο αξιόπιστα αποτελέσματα:

- Οι διαχρονικές εικόνες πρέπει να λαμβάνονται την ίδια περίπου ώρα της ημέρας, για να εξαλειφονται οι ημερήσιες διαφορές της γωνίας πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας, γιατί προκαλούν ανώμαλες διαφοροποιήσεις των ιδιοτήτων ανάκλασης των αντικειμένων.
- Θα πρέπει να λαμβάνονται την ίδια περίοδο του έτους, για να ελαχιστοποιούνται οι φαινολογικές διαφοροποιήσεις διαφόρων επιφανειακών χαρακτηριστικών.

Η χρονική διακριτική ικανότητα εξαρτάται από τις δυνατότητες του συστήματος, την επικάλυψη και το γεωγραφικό μήκος της περιοχής.

Ορισμένα δορυφορικά συστήματα έχουν τη δυνατότητα να στοχεύουν την ίδια περιοχή ενώ βρίσκονται στην επόμενη ή τη μεθεπόμενη τροχιά, λόγω του ότι ο σαρωτής μπορεί να στρέφεται υπό γωνία, ενώ κάποια άλλα συστήματα μεταξύ δύο συνεχόμενων τροχιών παρέχουν επικάλυψη που κυμαίνεται από 10% έως 30%.

[ΠΗΓΗ : https://repository.kallipos.gr/bitstream/11419/3964/1/02_chapter_4.pdf]

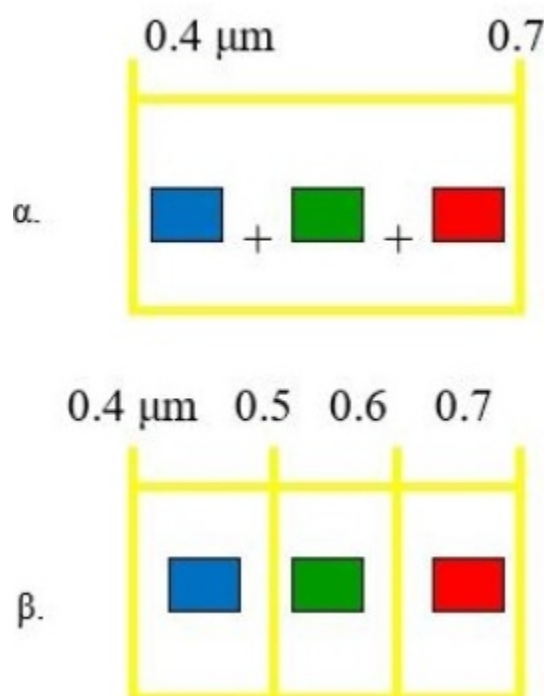
4.8.2 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των οργάνων καταγραφής

α) Οπτικά συστήματα (κάμερες και σαρωτές).

Κάμερες: είναι φωτογραφικές μηχανές με φιλμ που καλύπτουν το ορατό φάσμα και το κοντινό υπέρυθρο. Η ποιότητα της εικόνας που παίρνουμε, ασπρόμαυρη ή έγχρωμη, αποτυπωμένη σε χαρτί ή σε φιλμ (θετικό ή αρνητικό) είναι αποτέλεσμα του συνδυασμού των φακών των φίλτρων του φιλμ και του ύψους λήψης.

Πλεονεκτήματα

- Δεν χρειάζονται πολύπλοκα λογισμικά επεξεργασίας
- Απαιτούν απλές γεωμετρικές διορθώσεις.
- Έχουν μεγάλης χωρικής διακριτικής ικανότητας.
- Έχουν ευρύτατο στιγμιαίο πεδίο λήψης.



Μειονεκτήματα

- Εξαρτώνται από τις καιρικές συνθήκες και την ηλιακή φωτεινότητα.
- Περιορισμό φασματικής ανάλυσης που καθορίζεται από τα φίλμ.
- Περιορισμένη λήψη εικόνας.
- Μικρή δυνατότητα βελτίωσης της εικόνας.
- Μεγάλη απώλεια πληροφόρησης κατά τη μετατροπή τους σε ψηφιακή μορφή μετά τη σάρωση.

Σαρωτές (scanners): Παράγουν εικόνες σε διαφορετικά φασματικά κανάλια ταυτόχρονα, σαρώνοντας την επιφάνεια της Γης. Καλύπτουν το ορατό φάσμα και το υπέρυθρο .

Πλεονεκτήματα

- Απεριόριστη λήψη δεδομένων.
- Μεγάλη φασματική ανάλυση.
- Μεγάλη διακριτική ικανότητα.

Μειονεκτήματα

- Παρουσιάζουν γεωμετρική παραμόρφωση από τη χρήση μηχανικών σαρωτών
- Εμφανίζουν προβλήματα σε σχέση με τη ραδιομετρική διαβάθμιση. Εξαρτώνται από τις καιρικές συνθήκες και την ηλιοφάνεια.

β) Ραντάρ Συνθετικού Ανοίγματος (SAR):

Είναι ενεργητικά συστήματα καταγραφής και καλύπτουν το μικροκυματικό φάσμα.

Πλεονεκτήματα

- Δεν εξαρτώνται από τις καιρικές συνθήκες και την ηλιακή φωτεινότητα του γήινου περιβάλλοντος (λειτουργούν ημέρα και νύχτα με μερική ή ολική νεφοκάλυψη).
- Μπορούν να χρησιμοποιούν διάφορες φασματικές ζώνες αν και τα πιο πολλά συστήματα περιορίζονται σε μία ζώνη.

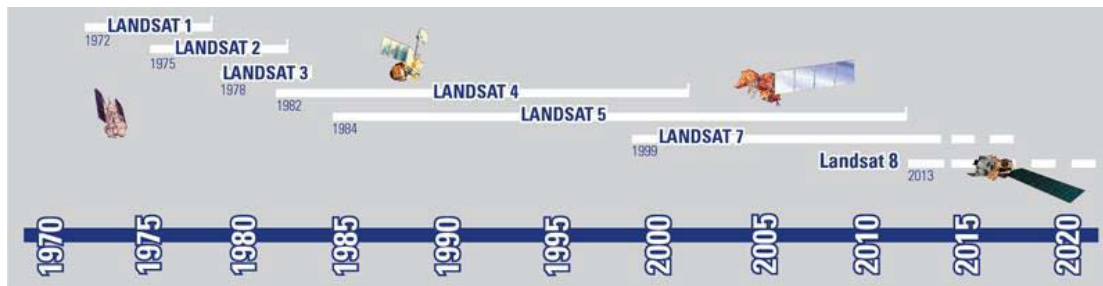
Μειονεκτήματα

- Χρειάζονται αρκετό χρόνο και πολύπλοκα λογισμικά για την επεξεργασία των δεδομένων.
- Απαιτούν σημαντικές γεωμετρικές διορθώσεις στις οποίες κρίνεται αναγκαία η χρήση DEM (Ψηφιακών Υψομετρικών Μοντέλων).
- Έχουν μειωμένη λήψη δεδομένων.
- Δεν παρέχουν πολυφασματικά δεδομένα (με εξαίρεση πειραματικές πτήσεις και διαστημικά λεωφορεία) [ΠΗΓΗ: https://repository.kallipos.gr/bitstream/11419/3964/1/02_chapter_4.pdf].

4.9 Οπτικά δορυφορικά συστήματα

4.9.1 Δορυφορικό πρόγραμμα LANDSAT

Είναι η μακροβιότερη προσπάθεια απόκτησης δορυφορικών εικόνων. Η προσπάθεια αυτή έγινε από τη NASA το 1967 ήταν το πρώτο πρόγραμμα ήταν το ERTS (Earth Resource Technology Satellite). Το πρόγραμμα αυτό είχε στο πρόγραμμα του την εκτόξευση πέντε δορυφόρων οι οποίοι μετέφεραν διάφορα συστήματα τηλεπισκόπησης με σκοπό την απόκτηση πληροφοριών για τις πλουτοπαραγωγικές πηγές της Γης. Ο πρώτος δορυφόρος ονομαζόταν ERTS-1 και εκτοξεύτηκε στις 23 Ιουλίου του 1972 ο δεύτερος ήταν ο ERTS-2 στις 22 Ιανουαρίου του 1975, ο οποίος μετονομάστηκε σε LANDSAT-2 κατά την εκτόξευσή του, για να ξεχωρίζει από τον ωκεανογραφικό δορυφόρο SEASAT που εκτοξεύτηκε στις 26 Ιουνίου του 1978. Ο ERTS-1 ονομάστηκε έπειτα LANDSAT-1. Ο LANDSAT-3 εκτοξεύτηκε στις 5 Μαρτίου του 1978, ο LANDSAT-4 στις 16 Ιουλίου του 1982 και ο LANDSAT-5 στις 1 Μαρτίου του 1984. Οι LANDSAT-2 και -3 λειτούργησαν επιτυχώς μέχρι τις 27/7/83 και 7/9/83 αντίστοιχα και στη συνέχεια διακόπηκε η λειτουργία τους. Ο LANDSAT-6 έπεσε λίγο μετά την εκτόξευση στη θάλασσα λόγω μηχανικής βλάβης. Ο δορυφόρος LANDSAT 7 εκτοξεύτηκε στις 15 Απριλίου 1999 είναι ακόμα λειτουργικός αλλά παρουσιάζει προβλήματα το scan line corrector, ενώ τέθηκε σε τροχιά ο Landsat 8 στις 11 Φεβρουαρίου 2011 (Εικόνα 4.9).



Εικόνα 4.9:Χρονοδιάγραμμα αποστολών LANDSAT [Πηγή: <http://landsat.usgs.gov/>]

4.9.2 Χαρακτηριστικά των LANDSAT πρώτης και δεύτερης γενιάς

Οι δορυφόροι LANDSAT-1, LANDSAT-2 και LANDSAT-3 τέθηκαν σε τροχιά ύψους 900km ήταν βάρους 815 kgf και διαστάσεων 3m ύψος, 4m πλάτος και 1,5m διάμετρο είχαν παρόμοια λειτουργία και ονομάζονταν δορυφόροι πρώτης γενιάς. Ήταν κυλινδρικοί σε σχήμα πεταλούδας και τα ηλιακά πτερύγια είχαν μήκος 4m περίπου. Περιστρέφονταν γύρω από τη Γη σε χρόνο 103min, δηλαδή εκτελούσαν 14 περιστροφές την ημέρα. Ήταν ηλιοσύγχρονοι (sun-synchronous), δηλαδή η ταχύτητα περιστροφής του δορυφόρου ήταν ίδια με τη γωνιακή ταχύτητα της Γης γύρω από τον Ήλιο γι αυτό και οι δορυφόροι περνούσαν από τον Ισημερινό την ίδια τοπική ώρα στη φωτεινή πλευρά της Γης. Η διεύθυνση σάρωσης γινόταν από Βορρά προς Νότο και έτσι κάλυπταν ολόκληρη την επιφάνεια της Γης εκτός από τους πόλους (από τις 82-90°) σε 18 μέρες.

Οι δορυφόροι LANDSAT-4 (16/7/1982) και LANDSAT-5 (1/3/1984) αποτελούν τη συνέχεια των πρώτων. Τέθηκαν σε τροχιά ύψους 705km. Αυτή η μείωση του ύψους έγινε για να επιδιορθώνονται από τα διαστημικά λεωφορεία και να βελτιωθεί η χωρική διακριτική ικανότητα (IFOV). Η τροχιά τους ήταν επίσης κυκλική, ηλιοσύγχρονη και σχεδόν πολική και περνούν από τον Ισημερινό στις 9:45 π.μ. τοπική ώρα. Τα όργανα καταγραφής τους ήταν αρχικά σχεδιασμένα να κάνουν μια αυτόματη παρατήρηση χρησιμοποιώντας μια κάμερα επιστροφόμενης δέσμης RVB (ReturnBeamVidiconCameras) και έναν πολυφασματικό σαρωτή MSS. Αυτές οι κάμερες λάμβαναν δεδομένα σε διαφορετικά τμήματα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος από 0,48 έως 0,83μm. Στον LANDSAT-3 το RVB αντικαταστάθηκε από δύο παγχρωματικές κάμερες στο τμήμα 0,51-0,75μm.

Ο πολυφασματικός σαρωτής MSS (Multispectral Scanner) ενσωματώθηκε και στους πέντε πρώτους δορυφόρους του προγράμματος LANDSAT. Πρόκειται για έναν γραμμικό σαρωτή, που σαρώνει την επιφάνεια κάτω από τον δορυφόρο και δημιουργεί μια εικόνα της γήινης επιφάνειας καθώς κινείται και συλλέγει δεδομένα σε τέσσερα διαφορετικά φασματικά κανάλια, στην περιοχή του ορατού και του κοντινού υπέρυθρου. Η χωρική διακριτική ικανότητα είναι 79x79m. Αντικείμενα μεγαλύτερα από 79m σε μήκος και μικρή διαφορά στην ανάκλασή τους, σε σχέση με το περιβάλλον, δεν ανιχνεύονται. Αισθητήρες των LANDSAT-4 και -5 είναι ο MSS και ο TM (θεματικός χαρτογράφος). Ο θεματικός χαρτογράφος (TM) είναι ένας πολυφασματικός γραμμικός σαρωτής, αρκετά βελτιωμένος από τον MSS. Οι σημαντικότερες από τις βελτιώσεις είναι :

- Έχει 7 φασματικές ζώνες αντί για 4 που έχει ο MSS, άρα καλύτερη φασματική διακριτική ικανότητα. Οι φασματικές ζώνες είναι στην περιοχή του ορατού, κοντινού-μέσου υπέρυθρου και του θερμικού τμήματος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Η επιλογή των φασματικών ζωνών στον Θεματικό Χαρτογράφο για την καλύτερη παρακολούθηση και έλεγχο του περιβάλλοντος. Οι 7 φασματικές ζώνες καλύπτουν την περιοχή του φάσματος από 0,45 έως 12,5, δηλαδή από το ορατό έως το θερμικό υπέρυθρο. Η πρόσθεση της ζώνης 1 δίνει «αληθείς έγχρωμες εικόνες», κάτι που δεν συνέβαινε με τις εικόνες του MSS. Με την πρόσθεση επίσης της φασματικής ζώνης 6 παίρνουμε επίσης θερμικές υπέρυθρες εικόνες.
- Η χωρική ανάλυση του Θεματικού Χαρτογράφου είναι 30m, σε σχέση με τα 80m του MSS, εκτός του καναλιού 6 (θερμικό υπέρυθρο) που είναι 120m. Έτσι οι εικόνες του TM έχουν καλύτερη οπτική ανάλυση.
- Ο Θεματικός Χαρτογράφος (TM) δεν χρησιμοποιεί οπτικές ίνες για να μεταφέρει την ακτινοβολία στους ανιχνευτές, αλλά οι ίδιοι οι ανιχνευτές είναι τοποθετημένοι στο εστιακό επίπεδο του οπτικού συστήματος. Επίσης το κάτοπτρο-σαρωτής συλλέγει δεδομένα και στις δύο κινήσεις σάρωσης που κάνει.

- Ραδιομετρικά μετατρέπεται το αναλογικό σε ψηφιακό σήμα σε εύρος 256 ψηφιακών τιμών (8 bits) που αντιστοιχεί σε τετραπλή αύξηση στην τιμή της κλίμακας του γκρι σε σχέση με τους 64 ψηφιακούς αριθμούς (6 bits) που χρησιμοποιούνται από τον MSS. Αυτή η υψηλότερη ραδιομετρική ακρίβεια επιτρέπει την παρατήρηση μικρότερων αλλαγών στα ραδιομετρικά μεγέθη σε ένα δεδομένο κανάλι.

Μια βελτίωση που ακλούθησε ήταν η βελτίωση των συστημάτων μετάδοσης των δεδομένων από τους LANDSAT 4 και 5 στους επίγειους σταθμούς λήψης μέσω βοηθητικών δορυφόρων αναμετάδοσης των δεδομένων που τέθηκαν σε τροχιά (Sabins, 1997).

Οι εικόνες LANDSAT TM χρησιμοποιούνται σε περισσότερες εφαρμογές από τις εικόνες του LANDSAT MSS λόγω της αύξησης του αριθμού των φασματικών καναλιών και της βελτίωσης της χωρικής ανάλυσης.

[ΠΗΓΗ: https://repository.kallipos.gr/bitstream/11419/3964/1/02_chapter_4.pdf].

4.9.3 LANDSAT 8

Ο LANDSAT-8 εκτοξεύτηκε στις 11 Φεβρουαρίου 2013 από την αεροπορική βάση Vandenberg στην Καλιφόρνια, υπό τη διαχείριση της NASA που σχεδίασε κατασκεύασε εκτόξευσε και ανέλαβε τα εν τροχιά στάδια βαθμονόμησης του δορυφόρου σε συνεργασία με την γεωλογική υπηρεσία των ΗΠΑ (USGS) ενώ στις 30 Μαΐου του 2013 η διαχείριση πέρασε στο USGS που ανέλαβε τις διαδικασίες λειτουργίας του δορυφόρου και την παραγωγή και αποθήκευση δεδομένων στο κέντρο Earth Resources Observation and Science (EROS). Μετά από τη μετάβαση αυτή ο δορυφόρος μετονομάστηκε σε Landsat 8. Όπως και ο LANDSAT-7 η τροχιά του είναι γεοσυνχρονή, κινείται δηλαδή με τη ταχύτητα της γης, βρίσκεται σε ύψος 705 km καλύπτει όλη την υδρόγειο κάθε 16 μέρες και το σύστημα αναφοράς που δίνονται τα δεδομένα είναι το Worldwide Reference System-2 (WRS-2).

Ο Landsat 8 μεταφέρει δύο όργανα καταγραφής: i) το Operational Land Imager (OLI) και ii) το Thermal Infrared Sensor (TIRS). Αυτοί οι δύο αισθητήρες παρέχουν εποχική κάλυψη της παγκόσμιας ξηράς σε χωρική ανάλυση 30 μέτρων για τα κανάλια που βρίσκονται στο ορατό, κοντινό υπέρυθρο και μικροκυματικό υπέρυθρο, 100 μέτρων για τα θερμικά κανάλια και 15 μέτρων για το παγχρωματικό κανάλι.

Τέλος ο αισθητήρας OLI παρέχει δυο νέες φασματικές ζώνες, μια για την ανίχνευση νεφών (κανάλι 9) και μια για παρατηρήσεις της παράκτιας ζώνης (φασματικό κανάλι 1)

Ο αισθητήρας TIRS, συλλέγει δεδομένα σε 2 φασματικά κανάλια στο τμήμα του θερμικού υπέρυθρου, σε αντίθεση με τους προηγούμενους Landsat που είχαν μόνο 1 φασματικό κανάλι στο συγκεκριμένο τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος.

Ο Landsat 8 στέλνει περίπου 400 λήψεις εικόνων την ημέρα στο αρχείο δεδομένων του USGS από τις 250 που στέλνει ο Landsat 7, αυξάνοντας έτσι την πιθανότητα για λήψεις εικόνων χωρίς σύννεφα.

Τα φασματικά κανάλια του δορυφόρου Landsat 8 έχουν τα εξής χαρακτηριστικά (Εικόνα 4.10):
Φασματικό Κανάλι 1: ανιχνεύει το βαθύ μπλε. Οι μπλε δέσμες ακτινοβολίας είναι δύσκολο να συλλεχθούν από το Διάστημα, επειδή αυτή διασκορπίζεται εύκολα από τα μικροσκοπικά κομμάτια σκόνης και νερού στον αέρα, ακόμα και από τα ίδια τα μόρια του αέρα. Αυτό εξηγεί γιατί τα πολύ μακρινά αντικείμενα (όπως τα βουνά ή ο ορίζοντας) εμφανίζονται γαλαζωπά και γιατί ο ουρανός είναι μπλε, έτσι το φασματικό κανάλι 1 είναι το μόνο που παράγει ανοιχτά δεδομένα σε αυτήν την ανάλυση. Επίσης χρησιμεύει στην απεικόνιση ρηχών υδάτων και την παρακολούθηση των λεπτών σωματιδίων όπως η σκόνη και ο καπνός.

Φασματικά Κανάλια 2, 3, 4: είναι το μπλε, το πράσινο και το κόκκινο του ορατού.

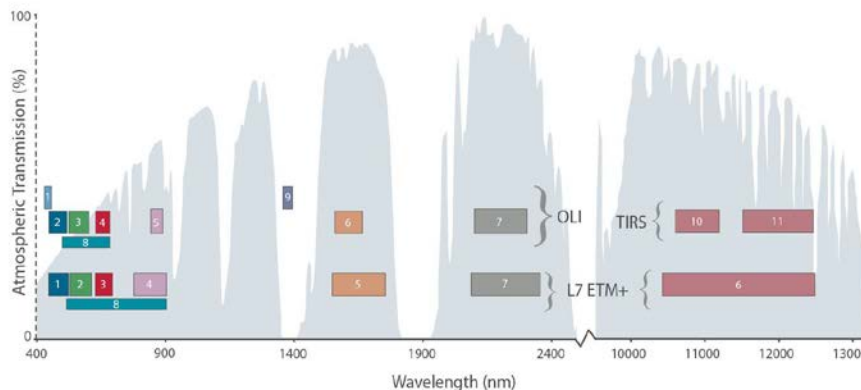
Φασματικό Κανάλι 5: μετράει το κοντινό υπέρυθρο και είναι σημαντικό για την οικολογία γιατί τα υγιή φυτά το ανακλούν. Σε σύγκριση με τα άλλα κανάλια υπολογίζεται ο δείκτης βλάστησης (NDVI) που μας βοηθά να μετρήσουμε τη βλάστηση με μεγαλύτερη ακρίβεια.

Φασματικά Κανάλια 6, 7: καλύπτουν διαφορετικά τμήματα του μικροκυματικού υπέρυθρου, είναι χρήσιμο για τον διαχωρισμό υγρού και ξερου εδάφους και για τη γεωλογία (πετρώματα και εδάφη που φαίνονται παρόμοια σε άλλα φασματικά κανάλια έχουν ισχυρές αντιθέσεις στο μικροκυματικό υπέρυθρο).

Φασματικό Κανάλι 8: είναι το παγχρωματικό κανάλι σαν το ασπρόμαυρο φιλμ. Αντί να συλλέγει τα ορατά χρώματα ξεχωριστά, τα συνδυάζει σε ένα κανάλι. Είναι το πιο ευκρινές κανάλι μπορεί να «δει» πιο πολύ φως ταυτόχρονα, με 15 μέτρα χωρική διακριτική ικανότητα.

Φασματικό Κανάλι 9: παρ' όλο που καταγράφει τη λιγότερη πληροφορία καλύπτει ένα πολύ μικρό κομμάτι του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος: μόνο στο διάστημα $1370 \pm 10\text{nm}$ όπου λίγα όργανα καταγραφής συλλέγουν αυτό το τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, επειδή η ατμόσφαιρα το απορροφάει σχεδόν όλο. Επειδή το έδαφος είναι ελάχιστα ορατό στο κανάλι αυτό, οτιδήποτε εμφανίζεται σε αυτό καθαρά το αντανακλά πολύ φωτεινά και βρίσκεται πάνω από το μεγαλύτερο μέρος της ατμόσφαιρας. Το κανάλι 9 είναι μόνο για να καταγράφει τα σύννεφα.

Φασματικά Κανάλια 10,11: βρίσκονται στο θερμικό υπέρυθρο και καταγράφουν τη θερμότητα. Με το κανάλι αυτό καταγράφεται η θερμοκρασία του εδάφους, το οποίο είναι συνήθως αρκετά θερμότερο.



Εικόνα 4.10 Γραφική απεικόνιση μεταξύ των φασματικών καναλιών των αισθητήρων OLI & TIRS (Landsat 8) και Landsat 7 ETM+ [Πηγή: USGS]

4.10 Πρόσφατες Σχετικές Εργασίες και Αποτελέσματα

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της εφαρμογής των προτεινόμενων Δεικτών και οι εμφανιζόμενες συσχετίσεις στις δορυφορικές εικόνες. Η Δορυφορική Τηλεπισκόπηση έχει χρησιμοποιηθεί σε 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, etal., 1983), επομένως η επιλογή των λιμνών πρέπει να γίνεται με προσοχή. Οι παράμετροι που έχουν απασχολήσει τις περισσότερες ερευνητικές εργασίες είναι η χλωροφύλλη (ένδειξη για το φαινόμενο του ευτροφισμού) και η διαύγεια των υδάτων. Στις περισσότερες περιπτώσεις οι δύο αυτές παράμετροι μελετώνται παράλληλα.

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, Lillesand και Yandell (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 φυτοπλαγκτού 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, 1989). Όπως ήταν αναμενόμενο, οι συσχετίσεις 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 +1.3mg/l σε εύρος τιμών 0.5-32.5mg/l και για τη διαύγεια (δίσκος του Secchi) +1.2m 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.

Οι πιο διαδεδομένοι αλγόριθμοι εκτίμησης της χλωροφύλλης ή του φυτοπλαγκτού χρησιμοποιούν την μπλε, πράσινη, κίτρινη, κόκκινη και εγγύς υπέρυθρη ζώνη. Η επιλογή των καναλιών εξαρτάται από την κατηγορία των υδάτων. Οι Blondeau - Patissier et al. (2014) παρουσίασαν τα πλεονεκτήματα καθώς και τα όρια των αλγορίθμων αυτών. Όπως αναφέρουν, για νερά κατηγορίας I προτιμώνται οι λόγοι μπλε και πράσινων καναλιών (440-550 nm), επειδή η μέγιστη απορρόφηση της χλωροφύλλης εντοπίζεται σε αυτό το εύρος του οπτικού φάσματος. Μειονέκτημα της μπλε ζώνης είναι ότι είναι πιο επιρρεπής σε ατμοσφαιρικά σφάλματα (π.χ. απορρόφηση της μπλε ζώνης από τα αερολύματα (Le et al., 2013)). Για νερά κατηγορίας II, όπως είναι συνήθως τα παράκτια, η ανακλαστικότητα του παραπάνω λόγου γίνεται λιγότερο ευαίσθητη στις μεταβολές της χλωροφύλλης, λόγω της αυξημένης συγκέντρωσης των CDOM και των SS. Οι Gitelson et al. (2009) και Le et al. (2013) υπέδειξαν ότι σε αυτές τις περιπτώσεις απαιτείται η χρήση της κόκκινης (620-700nm) και της εγγύς υπέρυθρης ζώνης του φάσματος (>700nm).

Οι Odermatt et al. (2012) συγκέντρωσαν τους προτεινόμενους αλγόριθμους εκτίμησης της χλωροφύλλης-α και κάνουν χρήση τεσσάρων σημείων στο οπτικό φάσμα. Αυτά είναι τα δύο σημεία μέγιστης απορρόφησης της στα 442 nm (μπλε) και στα 665 nm (κόκκινο), το σημείο εκπομπής φθορισμού στα 681 nm και το σημείο μέγιστης ανακλαστικότητας περίπου στα 700nm (η οποία οφείλεται στο ελάχιστο άθροισμα της απορρόφησης της ακτινοβολίας από το νερό, το φυτοπλαγκτόν, τα σωματίδια και τη διαλυμένη ύλη). Ο Matthews (2011) στην έρευνα του συγκέντρωσε και παρέθεσε τους προτεινόμενους εμπειρικούς αλγορίθμους με εφαρμογή σε εσωτερικά και παράκτια-μεταβατικά ύδατα (νερά κατηγορίας II). Ο Matthews συμπέρανε τα εξής:

- Για την εκτίμηση της διαύγειας του νερού μέσω του δίσκου Secchi χρησιμοποιείται πάντα το κόκκινο κανάλι. Η ανακλαστικότητα σε αυτή τη ζώνη αυξάνεται με τη μείωση της διαύγειας (άρα και του βάθους Secchi). Σε ορισμένες περιπτώσεις χρησιμοποιείται ο λόγος κόκκινου προς μπλε καναλιού (Kloiber et al., 2002 για εφαρμογή σε λίμνη). Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται η κανονικοποίηση στην ανακλαστικότητα του κόκκινου καναλιού, λόγω της απορρόφησης του μπλε από τη χλωροφύλλη-α και τα CDOM. Στις περισσότερες εφαρμογές χρησιμοποιούνται λογαριθμικά-γραμμικά μοντέλα.
- Η επιλογή των καναλιών και των λόγων για την εκτίμηση των SS για πολυφασματικούς δέκτες εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τα χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης και από το εύρος των συγκεντρώσεών τους. Παρόλα αυτά για τα θολά νερά έχει αποδειχθεί η χρησιμότητα του κόκκινου και του εγγύς υπέρυθρου καναλιού (Nechad et al., 2010). Τονίζεται ότι για χρήση απλών καναλιών πρέπει να έχει προηγηθεί ακριβής ατμοσφαιρική διόρθωση.
- Για την εκτίμηση της χλωροφύλλης-α και για συγκεντρώσεις μικρότερες των 20 μg/l χρησιμοποιείται ευρέως ο λόγος πράσινου και μπλε καναλιού, όπως έχει ήδη αναφερθεί ή ο λόγος (μπλε - κόκκινο)/πράσινο.
- Για την εκτίμηση της θολότητας σε πολυφασματικούς δέκτες, όπως ο Landsat, χρησιμοποιούνται απλά μοντέλα κόκκινων καναλιών (Hellweger et al., 2007). Οι Mark William Matthews & Daniel Odermatt (2015) βελτίωσαν τον αλγόριθμο MPH (maximum peak height algorithm), που στοχεύει στην επιχειρησιακή ανίχνευση της χλωροφύλλης-α και των κυανοβακτηριδίων σε εσωτερικά και παράκτια νερά. Για το σκοπό αυτό, χρησιμοποιήθηκαν εικόνες και in situ μετρήσεις που λήφθηκαν ταυτόχρονα. Ο αλγόριθμος MPH αξιολογήθηκε

από αρκετές χιλιάδες in situ μετρήσεις για περισσότερες από 40 λίμνες σε όλο τον κόσμο (Odermatt και Brockmann, σε προετοιμασία) και κατάφερε να παρέχει αξιόπιστες εκτιμήσεις chl-a σε σχέση με άλλους αλγορίθμους σε ευτροφικά και υπερτροφικά νερά.

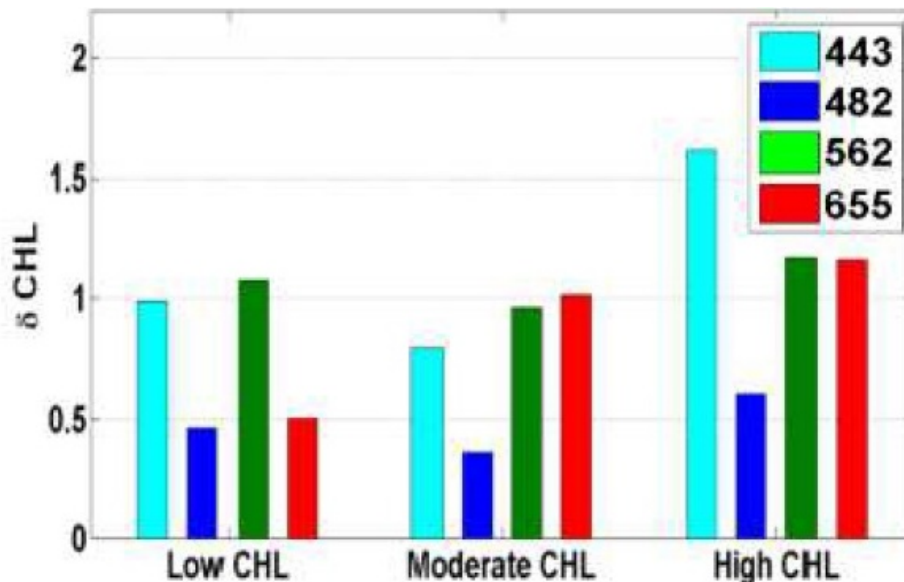
Πλήθος ερευνητικών εργασιών διατίθεται για εσωτερικά ύδατα (λίμνες), τα οποία ανήκουν επίσης στα νερά Κατηγορίας II. Άλλα παραδείγματα σύγχρονων μελετών με υψηλής ανάλυσης πολυφασματικά δεδομένα είναι των Μουντογιαννάκη (2015), Theologou, (2014, 2015), Θεολόγου (2014), Πατελάκη (2015) που αναλύονται περαιτέρω στη συνέχεια. Το πλήθος των ερευνητικών εργασιών με δεδομένα Landsat-8 είναι περιορισμένο λόγω της μικρής χρονικής περιόδου που βρίσκεται εν ενεργεία. Για το λόγο αυτό, στη συνέχεια θα παρουσιαστούν παραδείγματα βασισμένα σε όλο το πρόγραμμα Landsat αλλά και παραδείγματα με χρήση άλλων δεκτών, τα οποία όμως προσφέρουν χρήσιμες πληροφορίες.

Η Μουντογιαννάκη (2015) πετυχαίνει σημαντικές συσχετίσεις για διάφορους δείκτες ποιότητας σε παράκτιες περιοχές της Ευρώπης χρησιμοποιώντας δεδομένα Landsat-8. Ποιο συγκεκριμένα, για συγκεντρώσεις χλωροφύλλης-α 10-20 $\mu\text{g/l}$, απλό γραμμικό μοντέλο με τα κανάλια B4, B2 και B6 έδωσε συσχετίσεις $R^2 = 92\%$, 87% και 88% για $\Delta t = 7,8$ και 9 ημέρες απόκλισης της εικόνας Landsat-8 από την in-situ μέτρηση. Γενικά, οι ισχυρότερες συσχετίσεις φάνηκε να υπάρχουν για τους συνδυασμούς των υπέρυθρων καναλιών B5, B6, B7 με το B4. Για μεσαίες συγκεντρώσεις χλωροφύλλης οι συσχετίσεις έφτασαν μέχρι 66% για το μοντέλο με χρήση των B1, B2 και B4 καναλιών για $\Delta t = 2$ ημέρες για πλήθος παρατηρήσεων $n = 14$. Σε χαμηλές συγκεντρώσεις χλωροφύλλης η συσχέτιση δεν ξεπέρασε το 15% .

Η Πατελάκη (2015) για την εκτίμηση των ποιοτικών χαρακτηριστικών του νερού, συγκεκριμένα της λίμνης Κάρλα με χρήση εικόνων Landsat 8, για τη χλωροφύλλη-α παρατηρεί ότι μεγαλύτερη συσχέτιση επιτυγχάνεται με χρήση των καναλιών B4(R650), B2(R480) και B5(R865).

Η Θεολόγου (2014) με περιοχή μελέτης επίσης τη Λίμνη Κάρλα και πολυφασματικά δεδομένα Landsat 8 και Sim L για τη χλωροφύλλη -α πετυχαίνει υψηλές συσχετίσεις χρησιμοποιώντας δείκτες που περιλαμβάνουν τα κανάλια B3, B4 και B2 για Landsat 8 και B3, B2 και B1 για Sim L με συσχετίσεις πάνω από 90% για $n=6$ παρατηρήσεις.

Οι Pahlevan et al. 2014 στην έρευνα τους με τίτλο 'Evaluating radiometric sensitivity of Landsat-8 overcoastal / inlandwaters' μελέτησαν την ραδιομετρική ευαισθησία του Landsat-8 στη χλωροφύλλη, στα αιωρούμενα σωματίδια και στην α CDOM σε εσωτερικά και παράκτια ύδατα. Η μελέτη βασίστηκε σε δεδομένα Simulated Landsat και τιμές radiance των καναλιών R443, R482, R562 και R655 (coastal, μπλε, πράσινο και κόκκινο, αντιστοίχως). Το Σχήμα 6, παρουσιάζει την ευαισθησία των καναλιών για τρία διαφορετικά εύρη χλωροφύλλης, δηλαδή 0,1-1, 1-5 και 5-12 $\mu\text{g/l}$. Το μπλε κανάλι παρουσιάζει την υψηλότερη ευαισθησία και στις τρεις περιπτώσεις εντοπίζοντας διαφορές της τάξης των 0,5 $\mu\text{g/l}$. Στις χαμηλές συγκεντρώσεις το κόκκινο κανάλι παρουσιάζει παρόμοια ευαισθησία με το μπλε, ενώ στις μεσαίες και υψηλές συγκεντρώσεις η ευαισθησία του υποδιπλασιάζεται. Τα κανάλια R443 και R562 εμφανίζουν παρόμοια ευαισθησία κατά μέσο όρο. Παρόλα αυτά το κανάλι R443 είναι ελαφρώς πιο ευαίσθητο στα νερά των πρώτων δύο περιπτώσεων, ενώ το R562 στα νερά της τρίτης περίπτωσης.



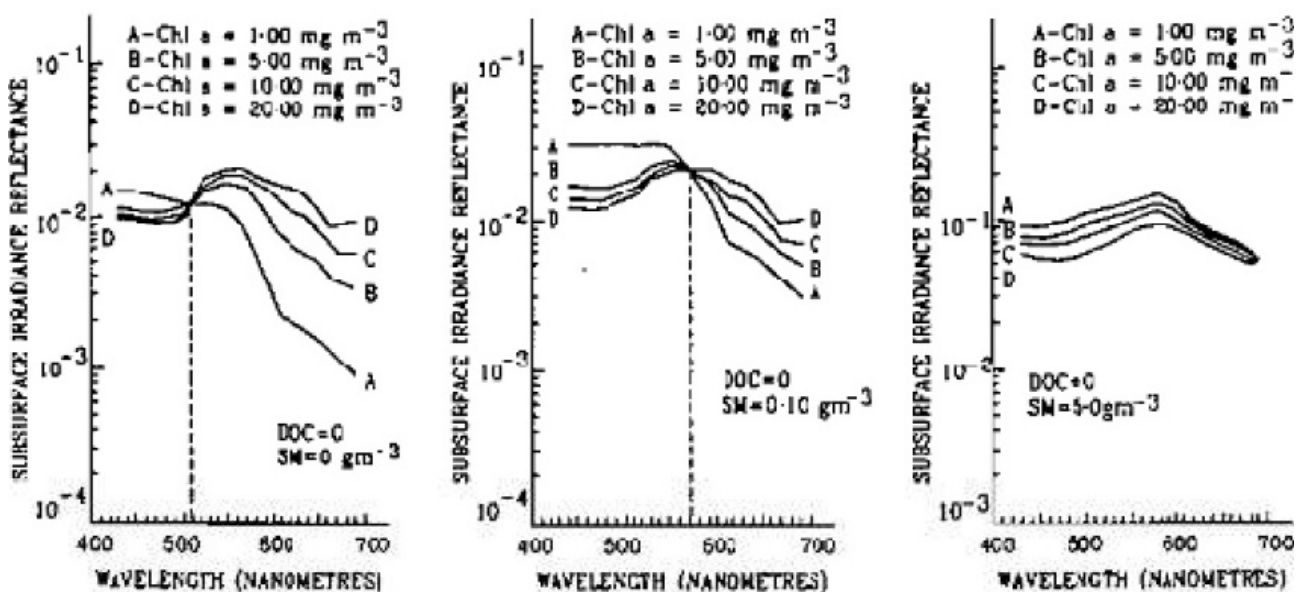
Εικόνα 4.11: Ευαισθησία των καναλιών R443, R482, R562 και R665 στη χλωροφύλλη για συγκεντρώσεις 0.1-1, 1-5 και 5-12 mg/m^3

Οι Harvey et al. (2015) πέτυχαν μια σημαντική συσχέτιση μεταξύ παρατηρήσεων από ένα λειτουργικό σύστημα δορυφορικής παρακολούθησης που βασίζεται σε MERIS (Medium Resolution Imaging Spectrophotometer) και παρακολούθηση ship-based παρακολούθηση για τις παραγωγικές εποχές του 2008 και του 2010, σε μια παράκτια περιοχή της Βαλτικής Θάλασσας. Ο συντελεστής συσχέτισης Pearson για 44 ζεύγη παρατηρήσεων με απόκλιση 0- 3 ημέρες είχε τιμή $R^2 = 0,90$. Η ισχυρή θετική συσχέτιση δείχνει ότι η δορυφορική παρακολούθηση και η παρακολούθηση μέσω των πλοίων μπορεί να δώσει παρόμοιες εκτιμήσεις των απόλυτων επιπέδων χλωροφύλλης-α συγκέντρωσης, σε ένα εύρος μεταξύ 0 και 25 $\mu\text{g}/\text{l}$.

Οι Zhang & Han (2015) εφάρμοσαν μοντέλα απλής και πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης στον κόλπο Laizhou στην Κίνα προκειμένου να αναπτύξουν ένα εμπειρικό μοντέλο χλωροφύλλης-α. Διερεύνησαν τις σχέσεις των καναλιών R443, R480, R563 και R655, καθώς και τους συνδυασμούς αυτών με μετρήσεις χλωροφύλλης-α σε δύο χρονικές περιόδους (Μάιος 2013 με συγκεντρώσεις 1,59-2,95 $\mu\text{g}/\text{l}$, Ιανουάριος 2014 με συγκεντρώσεις 0,47-1,97 $\mu\text{g}/\text{l}$). Στην πρώτη περίπτωση ισχυρή συσχέτιση έδωσε μόνο το κανάλι R563 ($R^2 = 0,83$), ενώ από συνδυασμούς ο δείκτης $(R655 - R443)/(R655 + R443)$ με $R^2 = 0,88$ και $\text{RMSE} = \pm 0,15 \mu\text{g}/\text{l}$. Στη δεύτερη περίπτωση τις ισχυρότερες συσχετίσεις έδωσαν τα τρία πρώτα κανάλια ($R^2 = 0,82$ για το R443, $R^2 = 0,90$ για το R560, $R^2 = 0,82$ για το R563) και τελικώς επιλέχθηκε μοντέλο πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης των R443, R560, R563 με $R^2 = 0,91$ και $\text{RMSE} = 0.14 \mu\text{g}/\text{l}$.

Για τον ίδιο σκοπό, οι Han and Jordan (2005) μελέτησαν τις σχέσεις της χλωροφύλλης-α με τα κανάλια R485, R560, R660, R835 σε μία εκβολή στον κόλπο του Μεξικού με χρήση εικόνων Landsat-7 (δέκτης ETM+). Το μέσο βάθος της περιοχής είναι 6 m, ενώ το εύρος της χλωροφύλλης-α κυμαίνεται από 1,14 έως 23,23 $\mu\text{g}/\text{l}$. Για τα μοντέλα παλινδρόμησης χρησιμοποιήθηκε ως εξαρτημένη μεταβλητή ο λογάριθμος της χλωροφύλλης-α, ενώ ως ανεξάρτητες μεταβλητές χρησιμοποιήθηκαν απλά κανάλια, οι λόγοι τους, οι λογάριθμοι των λόγων τους και οι λόγοι των λογάριθμων των καναλιών. Όπως αναφέρουν η χρήση των λόγων έχει δύο πλεονεκτήματα. Πρώτον, οι λόγοι τείνουν να αντισταθμίζουν τις παρεκκλίσεις λόγω της επίδρασης της ατμόσφαιρας (Jensen, 2005) και δεύτερον, οι ιδιότητες απορρόφησης και σκέδασης της χλωροφύλλης μπορούν να αναλυθούν μόνο αν χρησιμοποιηθούν τουλάχιστον δύο κανάλια (Dekker et al., 2001). Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, συσχέτιση με τη χλωροφύλλη-α φαίνεται να υπάρχει με τα κανάλια R485 και R660. Καλύτερη συσχέτιση έδωσε ο λόγος $\text{Log}(R485)/\text{Log}(R660)$ με $R^2 = 0,67$ ($n=16$), ο οποίος χρησιμοποιεί δύο οπτικές ζώνες απορρόφησης της χλωροφύλλης αλλά διαφορετικού ρυθμού (πιο γρήγορος ρυθμός απορρόφησης στο R660). Επειδή το κανάλι R660 επηρεάζεται από τα ανόργανα αιωρούμενα συστατικά και από την οργανική διαλυμένη ύλη, ο λόγος αυτός θα είναι πιο αποτελεσματικός όταν η συγκέντρωση της χλωροφύλλης ξεπερνά ένα μέγεθος και όταν η θολότητα είναι μικρή.

Οι Kabbara et al. (2008) βασίστηκαν στα ίδια κανάλια του Landsat-7 προκειμένου να αναπτύξουν εμπειρικά μοντέλα στην παράκτια περιοχή της Τρίπολης (Λίβανος) για την εκτίμηση της χλωροφύλλης-α (εύρος 0,30-3,07 $\mu\text{g/l}$), της θολότητας (μέση τιμή 2,34 FTU) και του δίσκου του Secchi (εύρος 2-11 μ). Ως εξαρτημένη μεταβλητή επιλέχθηκε ο φυσικός λογάριθμος του εκάστοτε δείκτη. Για τη συσχέτιση χρησιμοποίησαν απλά και πολλαπλά μοντέλα παλινδρόμησης. Και για τις τρεις παραμέτρους καλύτερη συσχέτιση έδωσε το πολλαπλό μοντέλο με ανεξάρτητες μεταβλητές τους δείκτες $\text{Ln}(R485)$ και $\text{Ln}(R560)$. Οι δείκτες αυτοί έδωσαν συντελεστές προσδιορισμού $R^2 = 0,723$ για τη χλωροφύλλη-α ($n = 34$), $R^2 = 0,54$ για το βάθος Secchi ($n = 35$) και $R^2 = 0,57$ για τη θολότητα ($n = 45$). Για τη χλωροφύλλη-α παρόμοια συσχέτιση έδωσε ο λόγος $\text{Ln}(ETM1)/\text{Ln}(ETM3)$ με $R^2 = 0,719$ ($n = 34$). Ο S. Ekstrand (1992) συνέλεξε εικόνες Landsat TM και δείγματα στα ανατολικά της Σουηδίας (κόλπος Himmerfjarden Bay) προκειμένου να αναπτύξει εμπειρικά μοντέλα για την εκτίμηση της χλωροφύλλης-α. Γνωρίζοντας ότι η παρουσία των SS περιπλέκει την εκτίμηση της χλωροφύλλης-α, μελέτησε τμηματικά τα νερά κατηγορίας I και II. Για τα νερά κατηγορίας I (ωκεάνια) πρότεινε τον λόγο $R485/R560$ (χρήση τιμών *radiance*). Για την εύρεση ενός κατάλληλου δείκτη για τα νερά κατηγορίας II εξαιρέσε τα δείγματα με προέλευση από περιοχές με υψηλή περιεκτικότητα αιωρούμενων στερεών. Ο δείκτης που προτάθηκε εν τέλει είναι ο $R485/(\text{Log}R660 + 1)$. Όπως αναφέρει, για αυξημένη συγκέντρωση χλωροφύλλης σε νερό χωρίς αιωρούμενα στερεά η ανακλαστικότητα στην μπλε ζώνη μειώνεται, ενώ αυξάνεται ραγδαίως στην πράσινη και κόκκινη ζώνη. Το οριακό σημείο είναι στα 505 nm (όριο μπλε και πράσινης ζώνης). Όσο όμως τα επίπεδα των αιωρούμενων στερεών αυξάνονται το οριακό σημείο μετακινείται σε μεγαλύτερα μήκη κύματος (570 nm για 0,10 mg/l SS και 690 nm για 5,0 mg/l SS), με αποτέλεσμα η ανακλαστικότητα να είναι πλέον ανεξάρτητη της χλωροφύλλης στο R560 ή και στο R660 (Bukata et al., 1983, Σχήμα 7)



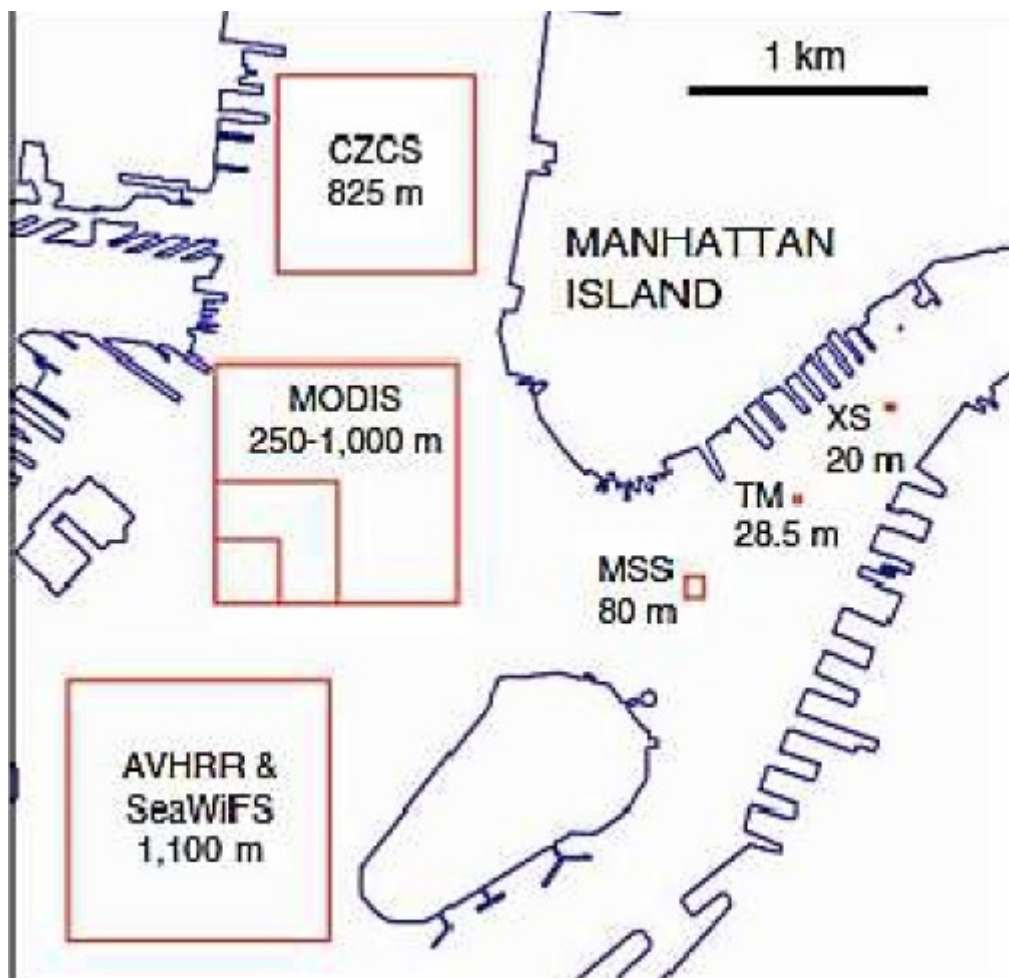
Εικόνα 4.12: Φασματική υπογραφή της χλωροφύλλης-α συναρτήσει διαφορετικών συγκεντρώσεων αιωρούμενων στερεών

Οι Pattiaratchi et al. (1994) μελέτησαν τις σχέσεις των ορατών καναλιών R485, R560, R660 του Landsat TM με τη χλωροφύλλη-α (εύρος 0,2-2,7 $\mu\text{g/l}$), το βάθος του δίσκου Secchi (εύρος 4 -15 μ) και τη θερμοκρασία του νερού στο Cockburn Sound (Όρμος στη Δυτική Αυστραλία). Εφάρμοσαν μοντέλα απλής και πολλαπλής παλινδρόμησης, για γραμμικές και λογαριθμικές-γραμμικές εξισώσεις σε 39 σημεία και κατέληξαν στην ανάπτυξη εμπειρικών αλγορίθμων με χρήση των καναλιών R485 και R660. Για τη χλωροφύλλη, συσχετίσεις βρέθηκαν μόνο για τα μοντέλα πολλαπλής παλινδρόμησης. Συγκεκριμένα, καλές συσχετίσεις έδωσαν ο συνδυασμός των καναλιών R485, R660 για μοντέλο πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης ($R^2= 0,59$ και $\rho = \pm 0,3$ $\mu\text{g/l}$) και ο συνδυασμός των R560 και $R560/R660$ για το λογαριθμικό-γραμμικό μοντέλο πολλαπλής παλινδρόμησης ($R^2 = 0,53$, $\rho = \pm 0,17$ $\mu\text{g/l}$). Συσχέτιση παρατηρήθηκε, επίσης, μεταξύ του βάθους Secchi και των καναλιών R485 και R660. Τα απλά γραμμικά μοντέλα έδωσαν $R^2 = 0,52$

και s.e. = $\pm 1,15$ m με ανεξάρτητη μεταβλητή το κανάλι R485, ενώ $R2 = \pm 0,52$ και s.e. = $\pm 1,69$ m έδωσε το κανάλι R660. Το κανάλι R660 έδωσε καλύτερη συσχέτιση με το λογαριθμικό-γραμμικό μοντέλο με $R2 = \pm 0,61$ και s.e. = $\pm 1,09$ m.

Ο Zhang (2005) εφάρμοσε διάφορες τεχνικές συσχέτισης μεταξύ in-situ δεδομένων και διαφόρων δεκτών στον κόλπο της Φινλανδίας (Archipelago Sea). Για τον Landsat TM συμπέρανε πως η μέθοδος της πολλαπλής παλινδρόμησης μπορεί να εκτιμήσει με καλύτερη ακρίβεια τη χλωροφύλλη-α, το βάθος Secchi, τη θολότητα και τα αιωρούμενα συστατικά σε σχέση με την μέθοδο της απλής παλινδρόμησης. Όπως αναφέρει, η χρήση πολλαπλών καναλιών του Landsat TM παρέχει περισσότερες πληροφορίες για τις υδάτινες συνθήκες σε σχέση με τη χρήση απλών καναλιών ή λόγων αυτών. Συγκεκριμένα, για τη χλωροφύλλη-α συμπέρανε πως αποτελεσματικότερη είναι η χρήση των συνδυασμών απλών καναλιών και λόγων ($R2 = 0,68$ έναντι $R2 = 0,54$ & $n = 53$).

Οι Hellweger et al. (2004) στην έρευνα τους για την ποιότητα των νερών του λιμανιού της Νέας Υόρκης ανέλυσαν τη σημασία της χωρικής και της φασματικής ανάλυσης των δορυφορικών δεκτών. Για σύγκριση χρησιμοποιήθηκαν δορυφορικές εικόνες από τον δέκτη MODIS (υψηλή φασματική ανάλυση / χαμηλή χωρική ανάλυση) και από τον δέκτη Landsat TM (υψηλή χωρική ανάλυση / χαμηλή φασματική ανάλυση). Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της έρευνας, βρέθηκε συσχέτιση μεταξύ του καναλιού R660 και του βάρους του δίσκου Secchi στις περιοχές που επηρεάζονται από απορροές ποταμιών ($R2 = 0,85$ & $n = 21$) και μεταξύ του λόγου $R560/R660$ και της χλωροφύλλης-α ($R2 = 0,78$ & $n = 16$). Τα δεδομένα MODIS δεν έδωσαν συσχετίσεις, το οποίο πιθανόν οφείλεται στην παρεμβολή μη υδάτινων αντικειμένων λόγω της χαμηλής χωρικής ανάλυσης του MODIS.



Εικόνα 4.13: Συγκριτική χωρική ανάλυση των δεκτών CZCS, MODIS, AVHRR, SeaWiFS, Landsat MSS, Landsat TM, SPOTXS στο λιμάνι της Νέας Υόρκης. [Πηγή: Hellweger et al., 2004]

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

5. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Σε αυτό το κεφάλαιο, αναφέρονται οι διαδικασίες που πραγματοποιήθηκαν ώστε να επιτευχθεί η συλλογή και η επεξεργασία των δορυφορικών δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν για την ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Για τη μελέτη της ποιότητας των υδάτινων συστημάτων της περιοχής μελέτης επιλέχθηκαν δύο παράμετροι: οι επιφανειακές συγκεντρώσεις χλωροφύλλης-α και η επιφανειακή θερμοκρασία. Η χλωροφύλλη-α, είναι η κυρίαρχη φωτοσυνθετική χρωστική ουσία που υπάρχει στα εξιδεικευμένα για την δέσμευση της ηλιακής ακτινοβολίας οργανίδια των φυτικών κυττάρων (χλωροπλάστες). Η συκέντρωση της χλωροφύλλης στα υδάτινα οικοσυστήματα παρουσιάζει εποχικές, ή ακόμα και ημερήσιες, διακυμάνσεις ή μεταβάλλεται σε σχέση με το βάθος, ανάλογα με τις περιβαλλοντικές συνθήκες. Σε μεγάλες ολιγότροφες λίμνες συχνά συναντάται αυξημένη συκέντρωση χλωροφύλλης σε βάθη του ανώτερου υπολίμνιου, η οποία προέρχεται κυρίως από φυτοπλαγκτικούς οργανισμούς ικανούς να φωτοσυνθέτουν σε χαμηλές συνθήκες φωτός (Wetzel, 2001), (Ντούλκα 2010). Η θερμοκρασία αποτελεί ένα παράγοντα κλειδί στα υδάτινα περιβάλλοντα, καθώς εμπλέκεται τόσο σε φυσικοχημικές όσο και σε βιολογικές διεργασίες. Πιο συγκεκριμένα, η θερμοκρασία (μαζί με την αλατότητα στη θάλασσα) καθορίζει την πυκνότητα του νερού, ενώ επηρεάζει την διαλυτότητα κάποιων αλάτων και την περιεκτικότητα των διαλυμένων αερίων σε αυτό (όπως το O₂, το CO₂ και το N₂). Ο ρυθμός αρκετών χημικών και βιοχημικών/μεταβολικών αντιδράσεων ελέγχεται από τη θερμοκρασία, ενώ η κατανομή της στην υδάτινη στήλη επηρεάζει και την κατανομή των υδρόβιων οργανισμών, αφού ο καθένας έχει ένα θερμοκρασιακό εύρος ανοχής (Wetzel, 2001).

5.1. Πολυφασματικά Δεδομένα

5.1.1. Συλλογή δορυφορικών εικόνων

Η συλλογή των δορυφορικών εικόνων έγινε:

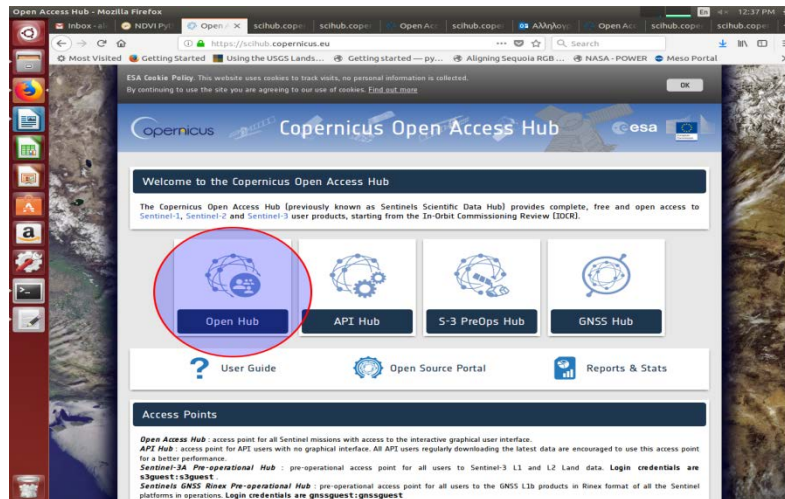
- A) Μέσω της ευρωπαϊκής διαστημικής υπηρεσίας SCIHUB και
- B) Μέσω της ιστοσελίδας της Γεωλογικής Υπηρεσίας των Ηνωμένων Πολιτειών USGS

5.1.1.1. Συλλογή δορυφορικών εικόνων μέσω της ευρωπαϊκής διαστημικής υπηρεσίας SCIHUB από τον δορυφόρο sentinel 2 και το πρόγραμμα Copernicus.

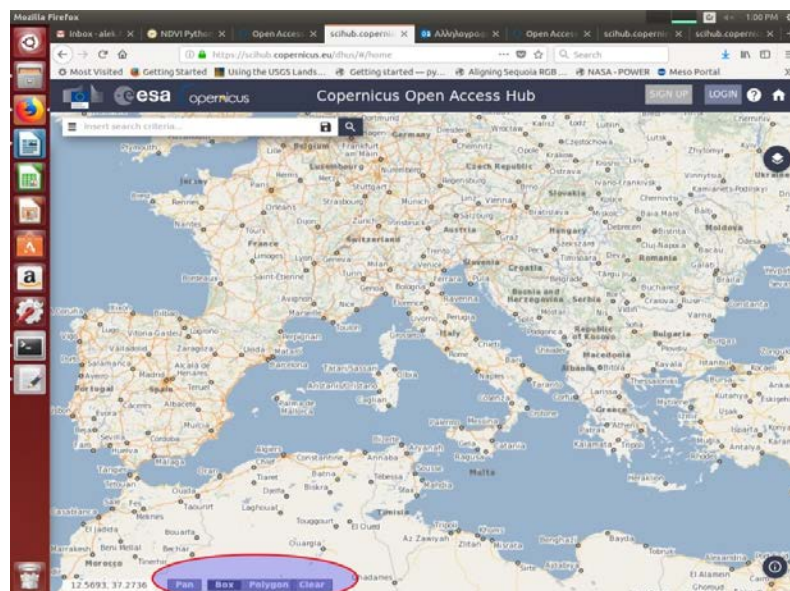
Ο sentinel 2 αποτελείται από δυο δίδυμους δορυφόρους τον sentinel A (S2A) και τον sentinel B (S2B). Το πρόγραμμα Copernicus είναι ένα επιστημονικό πρόγραμμα της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την παρακολούθηση της Γης. Η συλλογή δεδομένων γίνεται από ένα σύνθετο σύστημα δορυφόρων, αλλά και επίγειων μέσων, που καλύπτουν έξι θεματικές περιοχές: ξηρά, θάλασσα, ατμόσφαιρα, κλιματική αλλαγή, διαχείριση κινδύνου και ασφάλεια. Το πρόγραμμα χρησιμοποιεί δεδομένα από χιλιάδες όργανα μέτρησης στην ξηρά, στη θάλασσα και στον αέρα, καθώς και από ένα δίκτυο δορυφόρων που συνολικά παρέχουν εκατομμύρια περιβαλλοντικές μετρήσεις κάθε μέρα, προσφέροντας προστιθέμενη αξία στην καθημερινότητά μας. Οι παρατηρήσεις του προγράμματος έχουν ευρεία εφαρμογή, μεταξύ άλλων, στην προστασία του περιβάλλοντος, στον τοπικό προγραμματισμό, στη γεωργία, στη δασολογία, στην αλιεία, στην υγεία, στις μεταφορές, στη βιώσιμη ανάπτυξη, στον τουρισμό, στην πολιτική προστασία. [Πηγή: (<http://www.ekt.gr/el/news/20179>)].

Τα βήματα για την λήψη των εικόνων από τον δορυφόρο sentinel 2 και το πρόγραμμα Copernicus είναι τα εξής:

- Μέσω της ευρωπαϊκής διαστημικής υπηρεσίας SCIHUB από τον δορυφόρο sentinel 2 και το πρόγραμμα Copernicus: <https://scihub.copernicus.eu/> (εικόνα 5.1) ψηφιοποιήθηκε αρχικά η περιοχή ενδιαφέροντος (εικόνα 5.2).

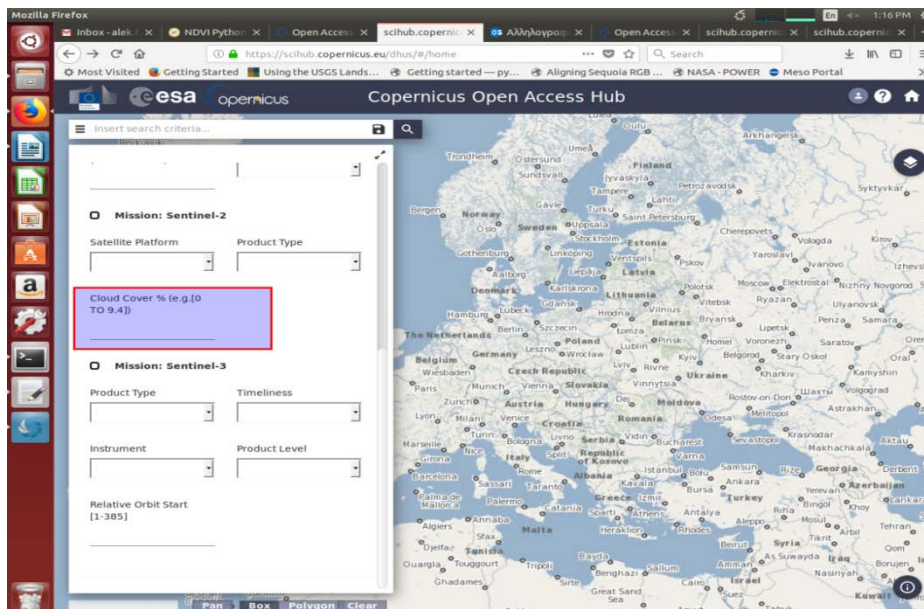


Εικόνα 5.1: Πρόγραμμα Copernicus



Εικόνα 5.2: Ψηφιοποίηση της περιοχής ενδιαφέροντος

Συμπληρώθηκαν τα κριτήρια της αναζήτησης -εικονίδιο insert search criteria -(εικόνα 5.3) και συμπληρώθηκε η ημερομηνία (sensing date) 1/2/2017 έως σήμερα 16/4/2018, ο δορυφόρος (Sentinel 2) και η συννεφοκάλυψη (Cloud Cover %) [0-20] για συννεφοκάλυψη 0-20 %. (εικόνα 5.3 και 5.4). Με το κριτήριο της νεφοκάλυψης <20%ο τελικός αριθμός των εικόνων ήταν 25. Επιλέχθηκαν 17 από τις διορθωμένες με κριτήριο της συννεφοκάλυψης 20% και 2 με κριτήριο της συννεφοκάλυψης στο 40%



Εικόνα 5.3: Συμπλήρωση κριτηρίων

5.1.1.2. Συλλογή δορυφορικών εικόνων μέσω της ιστοσελίδας της Γεωλογικής Υπηρεσίας των Ηνωμένων Πολιτειών.

A) Λήψη δορυφορικών εικόνων

Η λήψη δορυφορικών εικόνων έγινε δωρεάν από την ιστοσελίδα της Γεωλογικής Υπηρεσίας των Ηνωμένων Πολιτειών. Οι συγκεκριμένες εικόνες ήταν ατμοσφαιρικά διορθωμένες (surface reflectance) για τη χρονική περίοδο: 16 Απριλίου του 2017 έως και 3 Απριλίου 2018. Από τις διαθέσιμες δορυφορικές εικόνες έγινε επιλογή των εικόνων με τη μικρότερη νεφοκάλυψη και ο αριθμός των τελικών εικόνων ήταν 12. Στον Πίνακα 5.1 που ακολουθεί παρουσιάζονται συνολικά οι δορυφορικές εικόνες.

Πίνακας 5.1: Οι Δορυφορικές εικόνες Landsat-8 που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα μελέτη

α/α	Όνομα Δορυφορικής Εικόνας	Ημερομηνία
1	LC081840332017041601T1	16/4/2017
2	LC081840332017050201T1	2/5/2017
3	LC081840332017072101T1	21/7/2017
4	LC081840332017080601T1	6/8/2017
5	LC081840332017090701T1	7/9/2017
6	LC081840332017092301T1	23/9/2017
7	LC081840332017100901T1	9/10/2017
8	LC081840332017111001T1	10/11/2017
9	LC081840332017112601T1	26/11/2017
10	LC081840332017121201T1	12/12/2017
11	LC081840332018012901T1	29/1/2018
12	LC081840332018040301RT	3/4/2018

B) Περικοπή

Πριν επεξεργαστούν οι εικόνες έγινε η περικοπή τους για να γίνεται καλύτερη διαχείριση και οικονομία χώρου και υπολογιστικού χρόνου. Η περικοπή έγινε στο λογισμικό QGIS για συγκεκριμένες συντεταγμένες για να έχουν όλα τα κανάλια το ίδιο ακριβώς μέγεθος και να απεικονίζουν την ίδια περιοχή.

Γ) Έλεγχος των εικόνων στο QGIS για «καμένα» φατνία

Έπειτα έγινε έλεγχος των εικόνων στο QGIS για «καμένα» φατνία, δηλαδή πολύ φωτεινά σημεία. Εν τέλει δεν διαπιστώθηκε ότι υπάρχουν τέτοια. Σε περίπτωση που υπήρχαν η απεικόνιση του αντικειμένου μελέτης θα γινόταν με πολύ μικρό εύρος τιμών φωτεινότητας.

Δ) Ατμοσφαιρική διόρθωση

Ατμοσφαιρική διόρθωση δε χρειάστηκε να πραγματοποιηθεί εφόσον οι εικόνες ήταν *Surface Reflectance*. Τα προϊόντα *Surface Reflectance* παρέχουν απευθείας αυτήν την πληροφορία, δηλαδή προσεγγίζουν αυτό που θα κατέγραφε ένας αισθητήρας πάνω από τη γήινη επιφάνεια, εάν οι συνθήκες ήταν ιδανικές. Παράγονται για τις εικόνες των καναλιών 1 έως 7 από τα προϊόντα *Level 1* με χρήση του αλγορίθμου *L8 SR* και αποθηκεύονται σε μορφή ακεραίων 16-bit. Η χωρική ανάλυση των εικόνων αυτών είναι 30 m και αναφέρονται στην προβολή *Universal Transverse Mercator 6° (UTM 6°)* και στο ελλειψοειδές *World Geodetic System 1984 (WGS'84)*. Κάθε σκηνή συνοδεύεται από το αρχείο των μεταδεδομένων και από τις εικόνες *Cloud QA*, *CFmask* και *CF mask Cloud Confidence*, οι οποίες παρέχουν ποιοτικές πληροφορίες.



Εικόνα 5.4: α) Εικόνα χωρίς ατμοσφαιρική διόρθωση, β) Εικόνα μετά από ατμοσφαιρική διόρθωση

Οι εικόνες **CF mask** παράγονται από τον αλγόριθμο *C version of F mask* και προσδιορίζουν αν έχουν εντοπιστεί σύννεφα, σκιές σύννεφων, χιόνι ή νερό σε κάθε pixel. Σύμφωνα με τον οδηγό της *USGS* παρέχει πιο ακριβή αποτελέσματα από τα αντίστοιχα των εικόνων *Cloud QA*. Οι τιμές των pixels του γεμίσματος είναι 255, ενώ οι τιμές των «καθαρών» pixels είναι μηδέν. Οι εικόνες **CF mask Cloud Confidence** παρέχουν το επίπεδο εμπιστοσύνης για την ανίχνευση των σύννεφων, κατηγοριοποιώντας το σε τέσσερις βαθμίδες (0%, ≤12,5%, >12,5% και ≤22,5%, >22,5%). Τα μεταδεδομένα παρέχονται σε αρχεία *.xml* και περιλαμβάνουν κυρίως πληροφορίες γεωγραφικής φύσεως, όπως τις γεωγραφικές και ορθογώνιες συντεταγμένες των γωνιακών pixels, τη ζώνη προβολής, τα *path* και *row*, το πλήθος των pixels, κτλ.

Ε) Δημιουργία αρχείων STACK

Στο συγκεκριμένο στάδιο δημιουργήθηκαν τα αρχεία *stack* έτσι ώστε να είναι όλα τα κανάλια μαζί σε ένα αρχείο για κάθε ημερομηνία με σκοπό τη δημιουργία των χρονοσειρών στο λογισμικό *Matlab* και την επεξεργασία των εικόνων έτσι ώστε να προκύψουν τα έγχρωμα σύνθετα και οι χάρτες της χλωροφύλλης.

ΣΤ) Δημιουργία χαρτών συγκεντρώσεων χλωροφύλλης και επιφανειακής θερμοκρασίας

Σε αυτό το στάδιο, έγινε αρχικά η επιλογή του εμπειρικού μοντέλου για την εκτίμηση των επιφανειακών συγκεντρώσεων της χλωροφύλλης. Ως βέλτιστο μοντέλο επιλέχθηκε αυτό των

Karmas et al. (2016) το οποίο σύμφωνα με τους Kikaki et al. (2017) εφαρμόστηκε με τη μικρότερη απόκλιση από τις *insitu* μετρήσεις για την εκτίμηση της χλωροφύλλης στον Σαρωνικό κόλπο:

$$Chla = 3.7821 \times ((BLUE-SWIR2) / (GREEN-SWIR1))^{-1.655} \quad (1)$$

Έπειτα δημιουργήθηκε σε περιβάλλον Matlab ένας αλγόριθμος με την βοήθεια των οποίων εξήχθησαν τα τελικά αποτελέσματα. Ο αλγόριθμος αποτελείται από δύο σκέλη:

- Το πρώτο σκέλος περιελάμβανε τη δημιουργία μάσκας για κάθε εικόνα με τη χρήση του δείκτη NDWI (Normalized Difference Water Index) που υποδεικνύει την ύπαρξη νερού. Έτσι, στην εικόνα τα σημεία που είχαν νερό εμφανιζόταν με άσπρο χρώμα ενώ όλα τα υπόλοιπα εμφανιζόταν με μαύρο χρώμα, με αποτέλεσμα την οριοθέτηση της περιοχής της λίμνης από τη ξηρά.
- Στο δεύτερο σκέλος, αφού δημιουργήθηκαν οι μάσκες για κάθε εικόνα εφαρμόστηκε το μοντέλο των Karmas et al. (2016) σε όλα τα τηλεπισκοπικά δεδομένα με σκοπό τη δημιουργία των αντίστοιχων χαρτών. Στη συνέχεια έγινε η χρήση του θερμικού καναλιού B10 και οι τιμές της ακτινοβολίας μετατράπηκαν σε τιμές θερμοκρασίας σύμφωνα με το εγχειρίδιο του δορυφόρου Landsat-8 (Landsat-8 Data Users Handbook).

Έπειτα, με τη χρήση του περιβάλλοντος QGIS δημιουργήθηκαν οι τελικοί χάρτες της χλωροφύλλης και της θερμοκρασίας για όλες τις ημερομηνίες και εφαρμόστηκαν οι κατάλληλες παλέτες χρωμάτων ώστε να γίνεται αντιληπτό οπτικά το αποτέλεσμα και να εξαχθούν οι τελικοί χάρτες των επιφανειακών παραμέτρων. Επιπλέον, εξήχθησαν οι χρονοσειρές και για τις δύο παραμέτρους της ποιότητας των υδάτων για συγκεκριμένα εικονοστοιχεία με παράθυρο 3X3 για τις λίμνες: Τριχωνίδα, Λυσιμαχεία, Οζερός, Αμβρακία, Καστρακίου και Στράτου.

Πίνακας 5.2: Αριθμός Δορυφορικών εικόνων SR και TIRS ανά λίμνη και path/row

ΛΙΜΝΕΣ	WRS Path	WRS Row	Αριθμός Εικόνων Surface Reflectance	Αριθμός Εικόνων TIRS
ΛΙΜΝΗ ΤΡΙΧΩΝΙΔΑ	184	33	12	12
ΛΙΜΝΗ ΛΥΣΙΜΑΧΕΙΑ	184	33	12	12
ΛΙΜΝΗ ΚΑΣΤΡΑΚΙΟΥ	184	33	12	12
ΛΙΜΝΗ ΑΜΒΡΑΚΙΑ	184	33	12	12
ΛΙΜΝΗ ΟΖΕΡΟΣ	184	33	12	12
ΛΙΜΝΗ ΣΤΡΑΤΟΥ	184	33	12	12

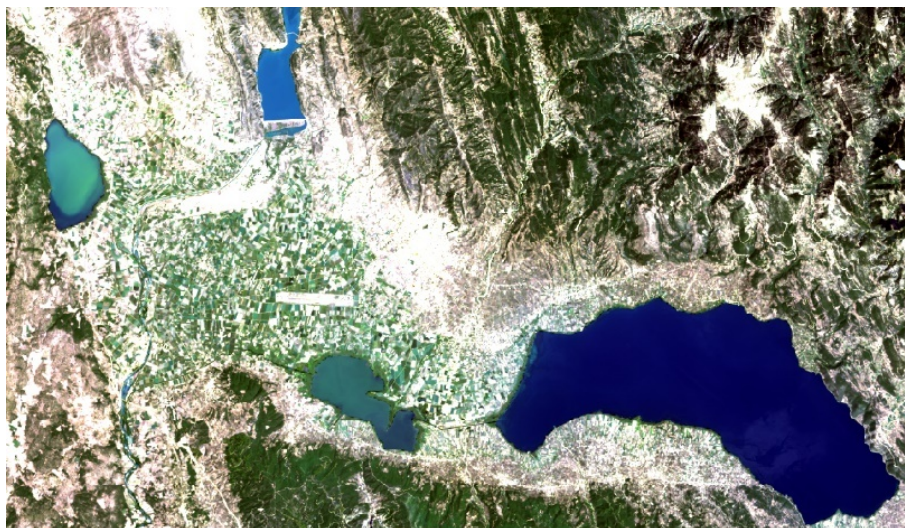
6. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ και ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ

Στο κεφάλαιο αυτό αρχικά γίνεται η περιγραφή και αξιολόγηση των μεταβολών των συγκεντρώσεων της χλωροφύλλης με την εφαρμογή εμπειρικού μοντέλου και της επιφανειακής θερμοκρασίας με τη χρήση του θερμικού καναλιού Landsat-8 B10 στα υδάτινα συστήματα της περιοχής μελέτης. Στη συνέχεια γίνεται ανάλυση των αποτελεσμάτων σε επίπεδο χρονοσειρών καθώς και σύγκριση των αποτελεσμάτων της παρούσας εργασίας με παλιότερες εργασίες.

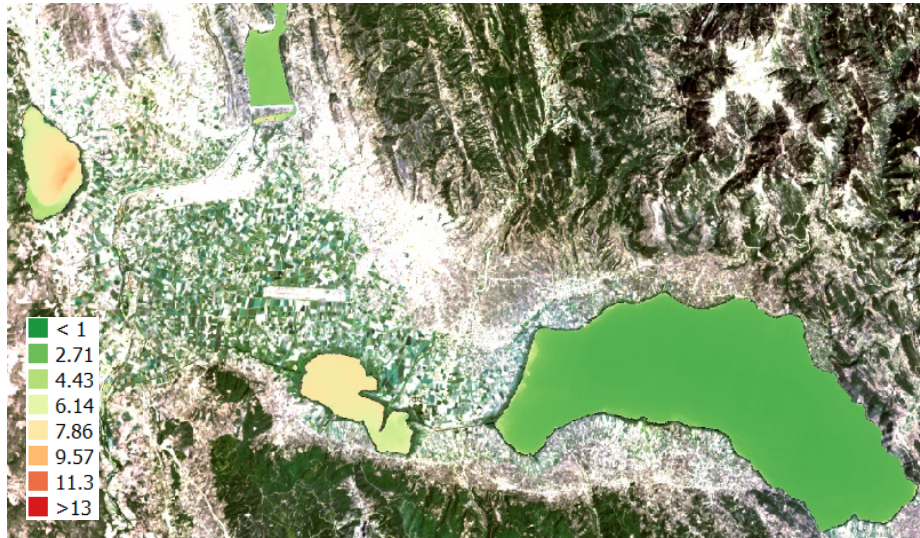
6.1 Χλωροφύλλη

6.1.1 Αποτύπωση Μεταβολών Συγκεντρώσεων χλωροφύλλης

Στις εικόνες 6.5-6.8 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την εφαρμογή του μοντέλου των Karim et al. (2016) στα τηλεπισκοπικά δεδομένα για τη χρονική περίοδο 16/4/17 έως 13/4/18. Για την εξαγωγή των συμπερασμάτων σχετικά με την εποχική διακύμανση των συγκεντρώσεων της χλωροφύλλης έγινε ανάλυση των χρονοσειρών που εξήχθησαν για συγκεκριμένα τμήματα των υδάτινων συστημάτων της Τριχωνίδας, της Λυσιμαχείας, του Οζερού, της Αμβρακίας, της τεχνηκής λίμνης Στράτου και της τεχνηκής λίμνης Καστρακίου. Στις εικόνες (6.1 - 6.4) απεικονίζονται τα έγχρωμα σύνθετα για την περιοχή μελέτης για τις ημερομηνίες 6 Αυγούστου 2017 και 10 Νοεμβρίου 2017 και οι αντίστοιχοι χάρτες της χλωροφύλλης που δημιουργήθηκαν στο QGIS έπειτα από την εφαρμογή του μοντέλου.



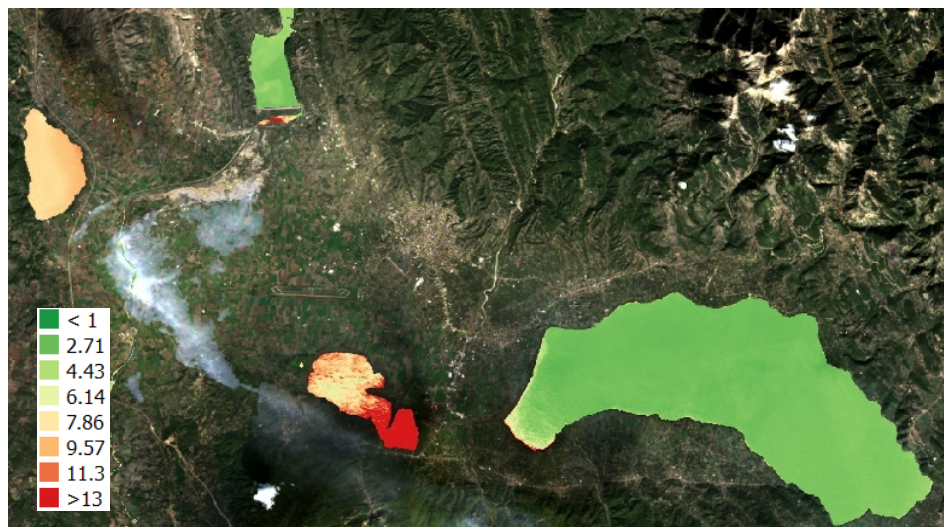
Εικόνα 6.1: Έγχρωμο Σύνθετο (RGB) της περιοχής μελέτης (6/8/17)



Εικόνα 6.2: Χάρτης Συγκεντρώσεων Χλωροφύλλης (mg/m³)(6/8/17)

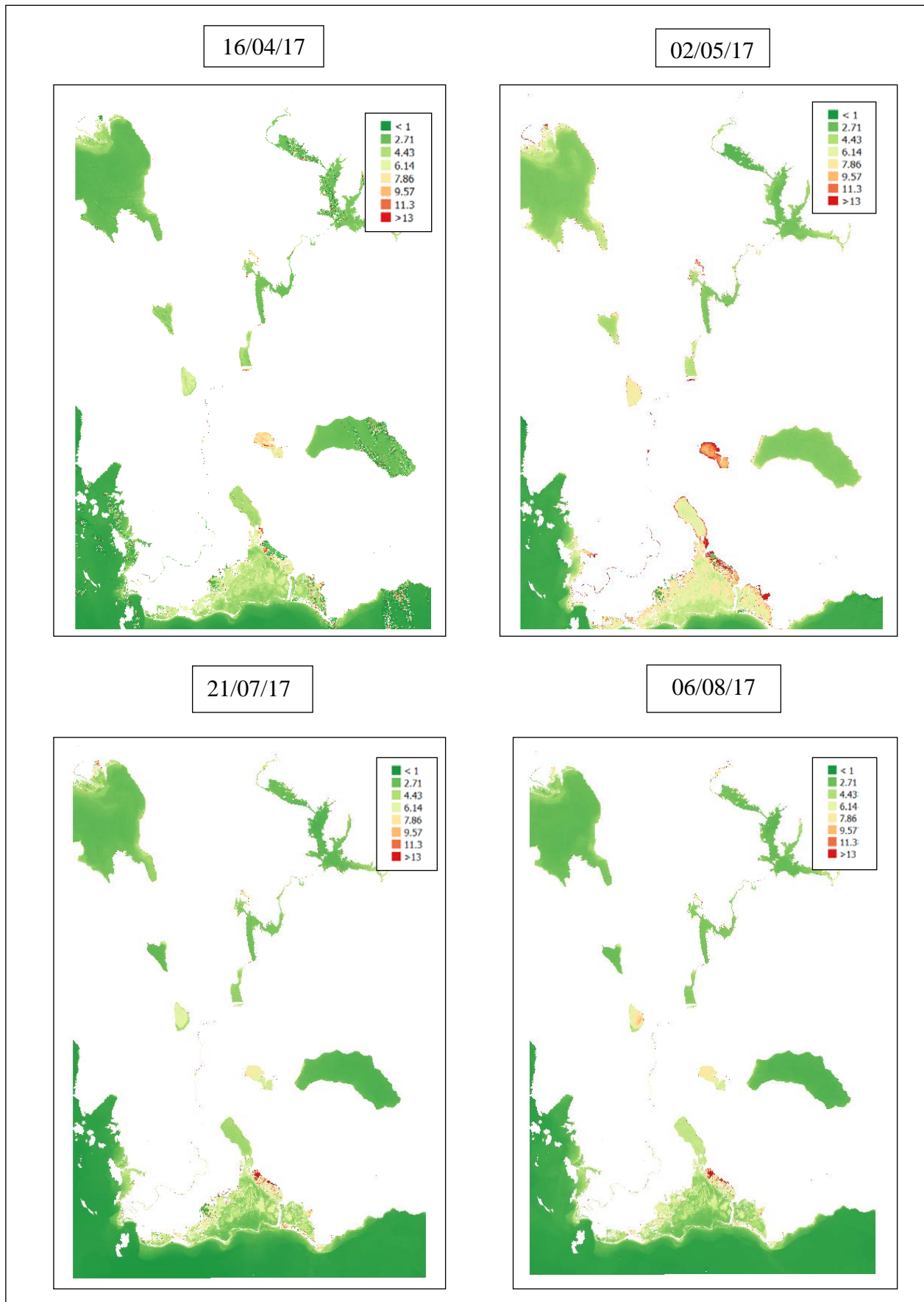


Εικόνα 6.3: Έγχρωμο Σύνθετο (RGB) της περιοχής μελέτης (10/11/17)

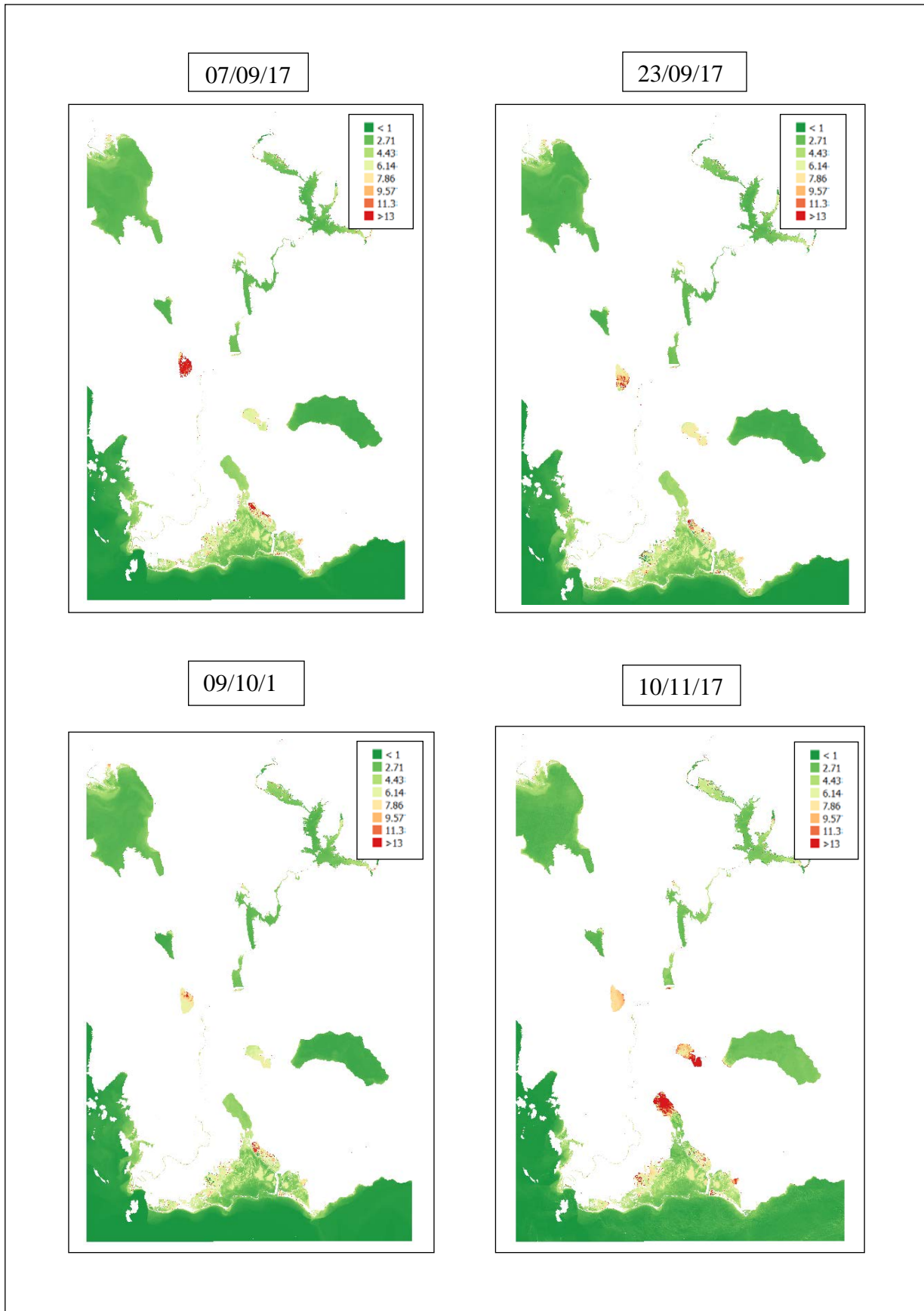


Εικόνα 6.4: Χάρτης Συγκεντρώσεων Χλωροφύλλης (mg/m³), (10/11/17)

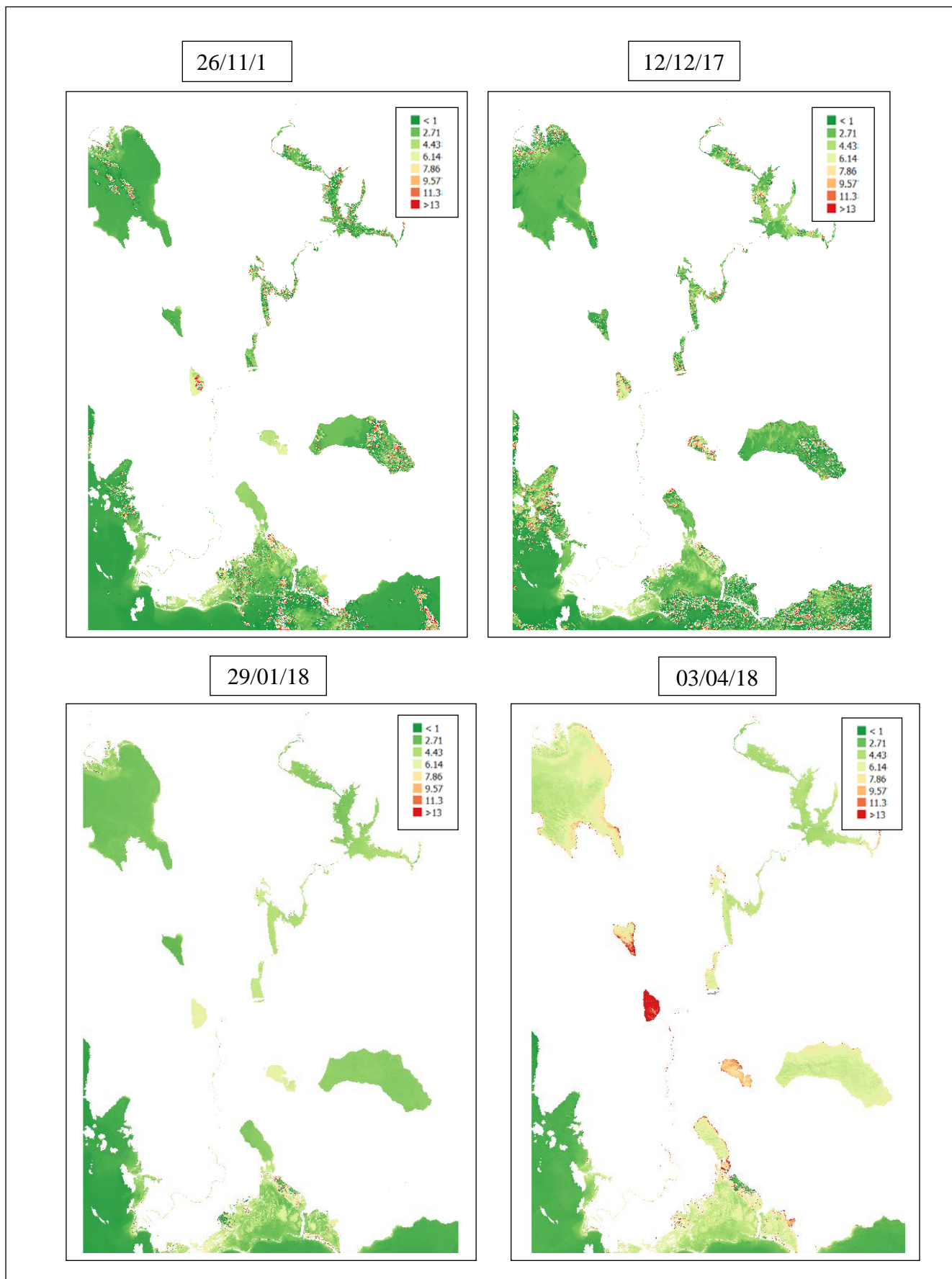
Εικόνα 6.5: Αποτύπωση Συγκεντρώσεων Χλωροφύλλης (mg/m^3) για τη χρονική περίοδο: (Απρίλιος 2017-Αύγουστος 2017)



Εικόνα 6.6: Αποτύπωση Συγκεντρώσεων Χλωροφύλλης (mg/m^3) για τη χρονική περίοδο:
(Σεπτέμβριος 2017-Νοέμβριος 2017)



Εικόνα 6.7: Αποτύπωση Συγκεντρώσεων Χλωροφύλλης (mg/m^3) για τη χρονική περίοδο: (Νοέμβριος 2017- Απρίλιος 2018)



Όπως φαίνεται και στους παραπάνω χάρτες οι συγκεντρώσεις της χλωροφύλλης κυμαίνονται από $1,7 \text{ mg/m}^3$ έως $7,8 \text{ mg/m}^3$ για τη λίμνη Τριχωνίδα, από $5,5 \text{ mg/m}^3$ έως 15 mg/m^3 για τη λίμνη Λυσιμαχία, από $5,5 \text{ mg/m}^3$ έως 40 mg/m^3 για τη λίμνη του Οζερού, από $1,9 \text{ mg/m}^3$ μέχρι 20 mg/m^3 για την Αμβρακία, για την τεχνητή λίμνη Στράτου από $2,8 \text{ mg/m}^3$ μέχρι 15 mg/m^3 και για την τεχνητή λίμνη Καστρακίου από $1,1 \text{ mg/m}^3$ μέχρι 9 mg/m^3 .

Στη συνέχεια γίνεται περιγραφή των συγκεντρώσεων της χλωροφύλλης με βάση τους χάρτες που προέκυψαν για τη χρονική περίοδο: 16/04/17 έως 03/04/18.

Συγκεκριμένα στις **16/4/17** η μέση τιμή της χλωροφύλλης στην Τριχωνίδα ήταν $2,7 \text{ mg/m}^3$, στη Λυσιμαχία $7,5 \text{ mg/m}^3$, στον Οζερό $5,5 \text{ mg/m}^3$, στην Αμβρακία $4,0 \text{ mg/m}^3$ και $5,5 \text{ mg/m}^3$ στο βορειοανατολικό τμήμα της, ενώ στη λίμνη Στράτου $3,8 \text{ mg/m}^3$ και στη λίμνη Καστρακίου $2,9 \text{ mg/m}^3$. Στις **2/5/17** η μέση τιμή της χλωροφύλλης στη λίμνη Τριχωνίδα ήταν $3,5 \text{ mg/m}^3$. Σχετικά με την κατάσταση στη λίμνη Λυσιμαχία η συγκέντρωση της χλωροφύλλης ήταν κατά μέσο όρο 10 mg/m^3 ενώ στον Οζερό $7,5 \text{ mg/m}^3$, στην Αμβρακία $4,5 \text{ mg/m}^3$ και $5,5 \text{ mg/m}^3$ στο βορειοανατολικό τμήμα της, στη λίμνη Στράτου $4,5 \text{ mg/m}^3$ και στη λίμνη Καστρακίου $3,5 \text{ mg/m}^3$. Στις **21/7/17** τα επίπεδα της χλωροφύλλης στην λίμνη Τριχωνίδα ήταν κατά μέσο όρο $2,5 \text{ mg/m}^3$ στη Λυσιμαχία ο μέσος όρος σημειώθηκε στα $5,5 \text{ mg/m}^3$ στο ανατολικό τμήμα και σε ελαφρώς υψηλότερα επίπεδα στο δυτικό ($7,0 \text{ mg/m}^3$). Στην ίδια εικόνα παρατηρήθηκε ότι στον Οζερό η μέση τιμή ήταν $6,0 \text{ mg/m}^3$, στην Αμβρακία $2,5 \text{ mg/m}^3$ και $5,5 \text{ mg/m}^3$ στο βορειοανατολικό τμήμα της, στη λίμνη Στράτου $3,8 \text{ mg/m}^3$ και στη λίμνη Καστρακίου $3,0 \text{ mg/m}^3$.

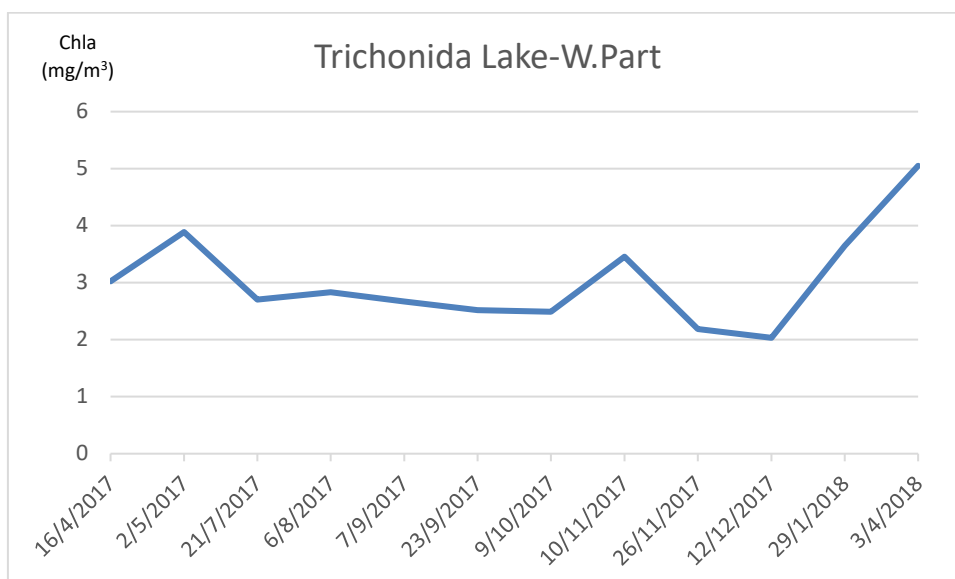
Στις **6/8/17** οι συγκεντρώσεις της χλωροφύλλης στην Τριχωνίδα ήταν κατά μέσο όρο $2,5 \text{ mg/m}^3$ ενώ στη Λυσιμαχία και στον Οζερό $6,5 \text{ mg/m}^3$ και $8,0 \text{ mg/m}^3$ αντίστοιχα επίσης στην Αμβρακία ήταν $2,8 \text{ mg/m}^3$, στη λίμνη Στράτου $3,5 \text{ mg/m}^3$ και στη λίμνη Καστρακίου $3,2 \text{ mg/m}^3$. Στις **7/9/17** τα επίπεδα της χλωροφύλλης στην Τριχωνίδα ήταν κατά μέσο όρο $2,0 \text{ mg/m}^3$ ενώ στη Λυσιμαχία $7,0 \text{ mg/m}^3$. Σχετικά με τη λίμνη του Οζερού παρατηρήθηκαν αρκετά υψηλές τιμές χλωροφύλλης ($>20 \text{ mg/m}^3$) ενώ στην Αμβρακία $2,5 \text{ mg/m}^3$ και $5,5 \text{ mg/m}^3$ στο βορειοανατολικό τμήμα της, στη λίμνη Στράτου $3,2 \text{ mg/m}^3$ και στη λίμνη Καστρακίου $2,7 \text{ mg/m}^3$. Στις **23/9/17** η μέση τιμή των συγκεντρώσεων της χλωροφύλλης στην Τριχωνίδα ήταν $2,0 \text{ mg/m}^3$ ενώ στη Λυσιμαχία $8,0 \text{ mg/m}^3$. Στην ίδια εικόνα παρατηρήθηκε ότι στον Οζερό οι συγκεντρώσεις της χλωροφύλλης ήταν σε υψηλά επίπεδα και συγκεκριμένα στο κεντρικό τμήμα της λίμνης ήταν κατά μέσο όρο $15,0 \text{ mg/m}^3$ ενώ στην Αμβρακία $2,3 \text{ mg/m}^3$ και $5,5 \text{ mg/m}^3$ στο βορειοανατολικό τμήμα της, στη λίμνη Στράτου $3,3 \text{ mg/m}^3$ και στη λίμνη Καστρακίου $2,7 \text{ mg/m}^3$. Στις **9/10/17** τα επίπεδα της χλωροφύλλης στην Τριχωνίδα ήταν κατά μέσο όρο $2,0 \text{ mg/m}^3$, στη Λυσιμαχία $6,0 \text{ mg/m}^3$ ενώ στον Οζερό 7 mg/m^3 . Ωστόσο αξίζει να σημειωθεί ότι στη λίμνη του Οζερού στις παράκτιες περιοχές εμφανίζονται αρκετά υψηλότερες τιμές που φτάνουν τα 40 mg/m^3 . Επίσης στην Αμβρακία ήταν $2,0 \text{ mg/m}^3$ και $5,5 \text{ mg/m}^3$ στο βορειοανατολικό τμήμα της, στη λίμνη Στράτου $3,2 \text{ mg/m}^3$ και στη λίμνη Καστρακίου $2,5 \text{ mg/m}^3$.

Στις **10/11/17** τα επίπεδα της χλωροφύλλης στην λίμνη Τριχωνίδα ήταν κατά μέσο όρο $3,0 \text{ mg/m}^3$ ενώ οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις εμφανίστηκαν στο δυτικό τμήμα ($>13 \text{ mg/m}^3$). Σχετικά με τη λίμνη Λυσιμαχία στο ανατολικό τμήμα οι τιμές της χλωροφύλλης είναι μεγαλύτερες από 13 mg/m^3 , ενώ στο δυτικό η μέση τιμή της χλωροφύλλης ήταν 8 mg/m^3 . Στον Οζερό οι τιμές ήταν κατά μέσο όρο $8,5 \text{ mg/m}^3$, στην Αμβρακία $2,5 \text{ mg/m}^3$ με το βορειοανατολικό τμήμα της να φτάνει τα 7 mg/m^3 , στη λίμνη Στράτου $3,5 \text{ mg/m}^3$ και στη λίμνη Καστρακίου $2,9 \text{ mg/m}^3$. Στις **26/11/17** λόγω της έντονης νεφοκάλυψης η πληροφορία αντλήθηκε μόνο από το δυτικό τμήμα της λίμνης Τριχωνίδας όπου η μέση τιμή της χλωροφύλλης ήταν $3,0 \text{ mg/m}^3$. Στη λίμνη Λυσιμαχία ο μέσος όρος των συγκεντρώσεων ήταν $6,5 \text{ mg/m}^3$ στο ανατολικό τμήμα και 5 mg/m^3 στο δυτικό. Στην ίδια εικόνα στον Οζερό οι τιμές της χλωροφύλλης ήταν κατά μέσο όρο 6 mg/m^3 , στην Αμβρακία $2,3 \text{ mg/m}^3$ και $5,5 \text{ mg/m}^3$ στο βορειοανατολικό τμήμα της, στη λίμνη Στράτου $3,8 \text{ mg/m}^3$ και στη λίμνη Καστρακίου $2,9 \text{ mg/m}^3$. Παρόμοια στις **12/12/17** λόγω της έντονης νεφοκάλυψης η πληροφορία αντλήθηκε μόνο από το δυτικό τμήμα της λίμνης Τριχωνίδας όπου η μέση τιμή της χλωροφύλλης ήταν 3 mg/m^3 . Στις λίμνες Λυσιμαχία και Οζερός η μέση τιμή ήταν $5,5 \text{ mg/m}^3$, στην Αμβρακία $1,8 \text{ mg/m}^3$, στη λίμνη Στράτου $3,0 \text{ mg/m}^3$ και στη λίμνη Καστρακίου $2,2 \text{ mg/m}^3$.

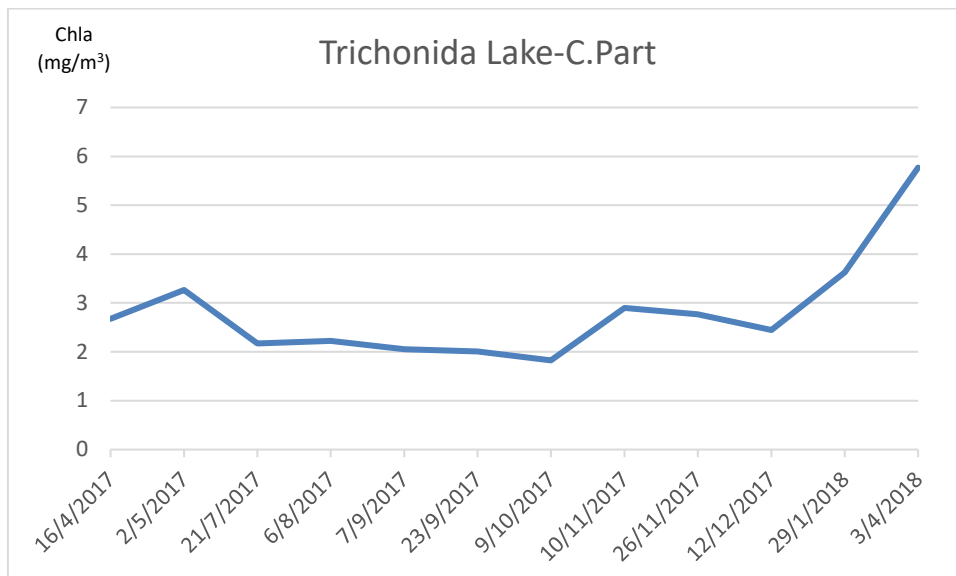
Στις **29/1/18** τα επίπεδα της χλωροφύλλης στην Τριχωνίδα ήταν κατά μέσο όρο 3,5 mg/ενώ στη Λυσιμαχεία 6,0mg/m³ και στον Οζερό 6,5 mg/m³,στην Αμβρακία 2,5mg/m³και 5,5 mgm³/m³στο βορειοανατολικό τμήμα της, στη λίμνη Στράτου 5,0 mg/m³και στη λίμνη Καστρακίου 4,5mg/m³.Στις **3/4/18** η μέση τιμή της χλωροφύλλης στη λίμνη Τριχωνίδα ήταν 5,5mg/m³ενώ στα παράκτια τμήματα οι τιμές εμφανίστηκαν σε λίγο υψηλότερα επίπεδα (7,5 mg/m³). Οι συγκεντρώσεις της χλωροφύλλης στη λίμνη Λυσιμαχεία ήταν κατά μέσο όρο 10mg/m³ενώ στα παράκτια 12mg/m³. Στον Οζερό η μέση τιμή των συγκεντρώσεων της συγκεκριμένης παραμέτρου ήταν 13mg/m³ ενώ στην Αμβρακία 7,5-15mg/m³, στη λίμνη Στράτου 6,5 mg/m³και στη λίμνη Καστρακίου 5,0mg/m³.

6.1.2 Ανάλυση Χρονοσειρών για τη χλωροφύλλη

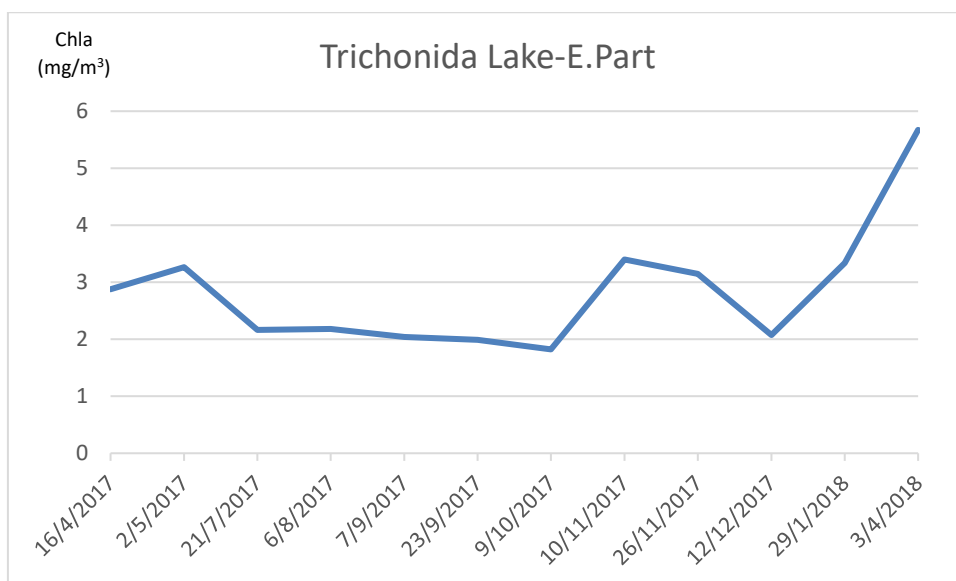
Πίνακας 6.3: Χρονοσειρά Συγκεντρώσεων Χλωροφύλλης για το Δυτικό τμήμα της λίμνης Τριχωνίδας



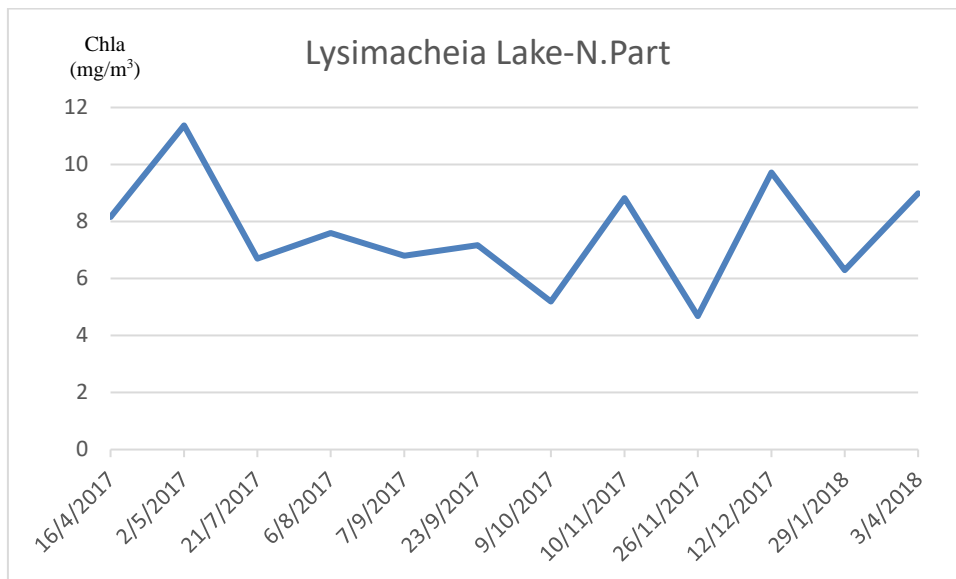
Πίνακας 6.4: Χρονοσειρά Συγκεντρώσεων Χλωροφύλλης για το Κεντρικό τμήμα της λίμνης Τριχωνίδας



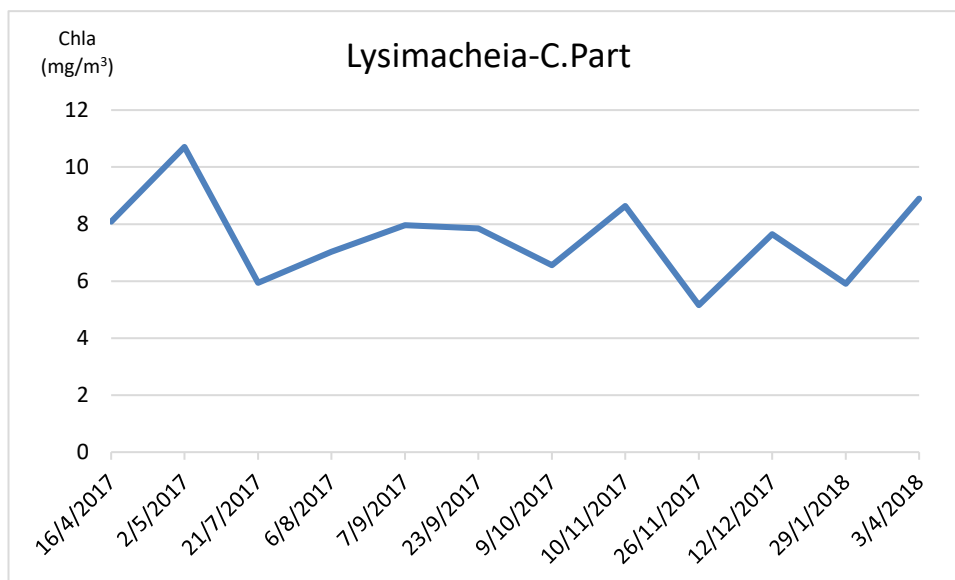
Πίνακας 6.5: Χρονοσειρά Συγκεντρώσεων Χλωροφύλλης για το Ανατολικό τμήμα της λίμνης Τριχωνίδας



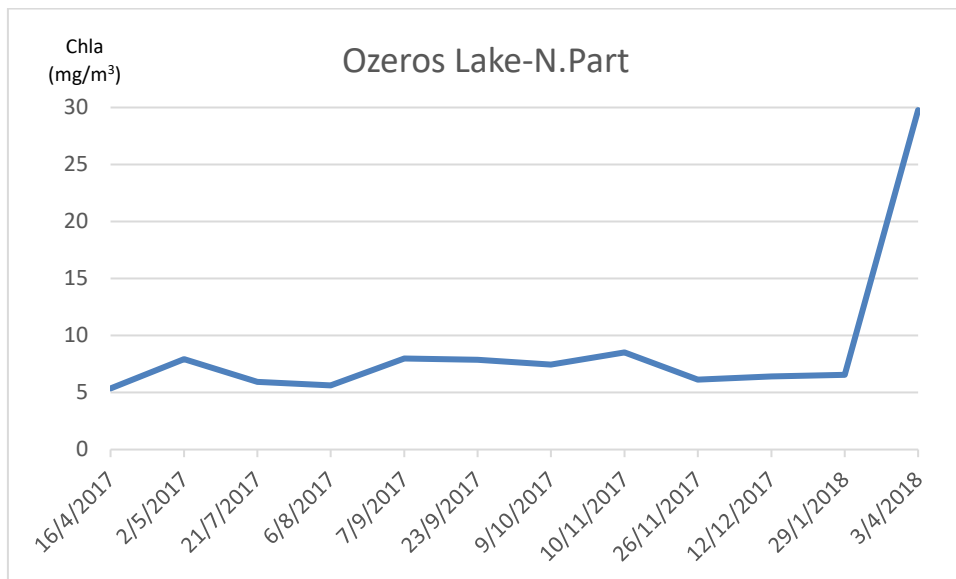
Πίνακας 6.6: Χρονοσειρά Συγκεντρώσεων Χλωροφύλλης για το Βόρειο τμήμα της λίμνης Λυσιμαχείας



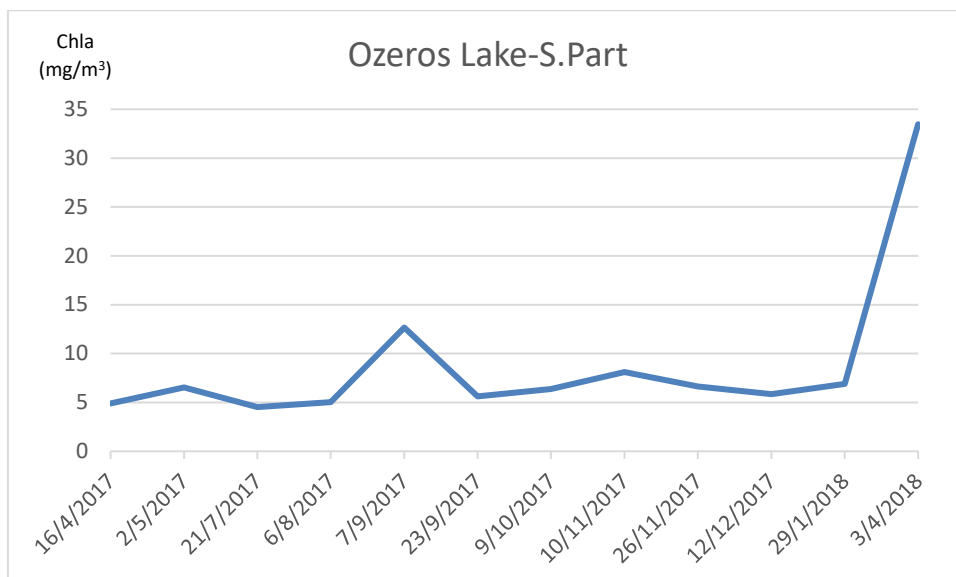
Πίνακας 6.7: Χρονοσειρά Συγκεντρώσεων Χλωροφύλλης για το Κεντρικό τμήμα της λίμνης Λυσιμαχείας



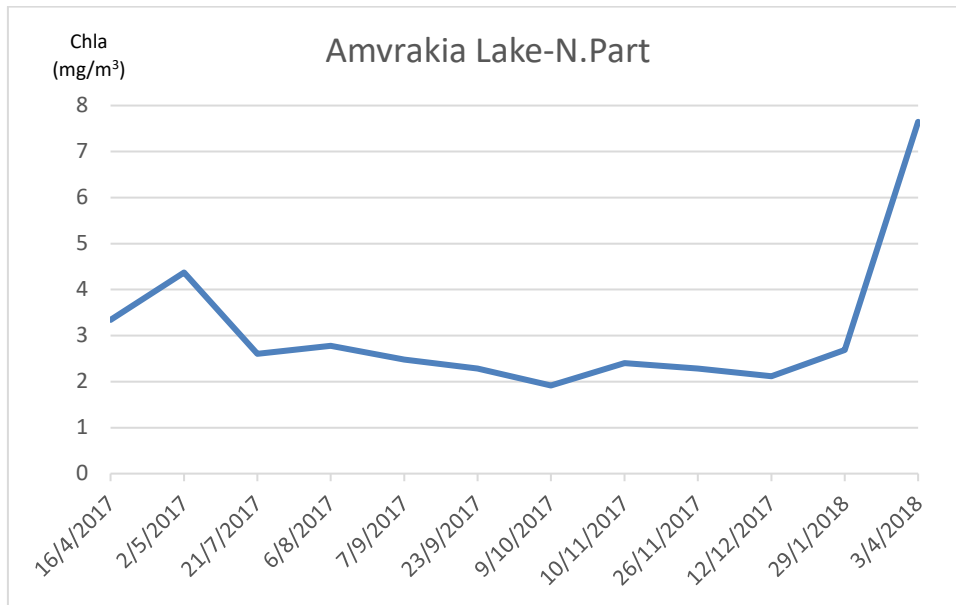
Πίνακας 6.8 : Χρονοσειρά Συγκεντρώσεων Χλωροφύλλης για το Βόρειο τμήμα της λίμνης Οζερού



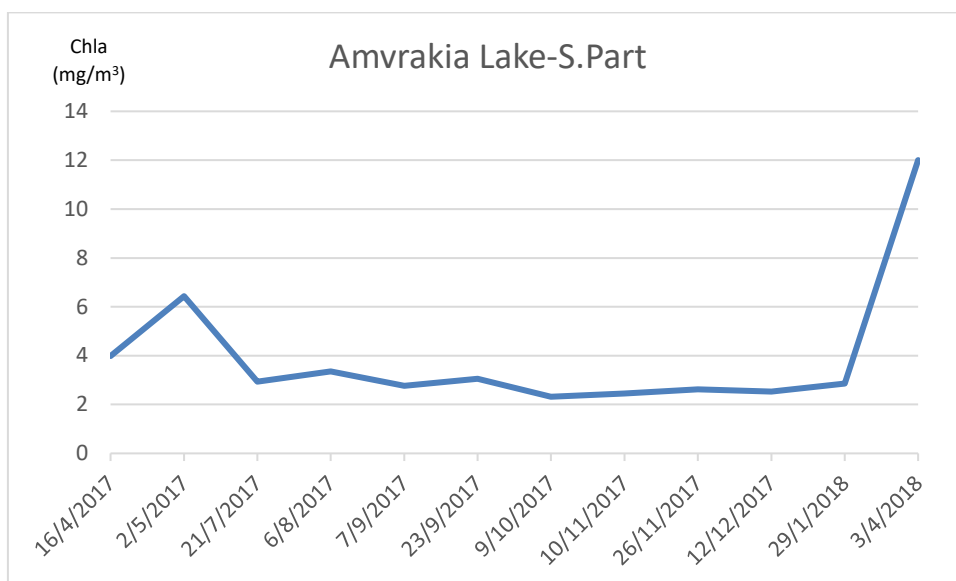
Πίνακας 6.9 : Χρονοσειρά Συγκεντρώσεων Χλωροφύλλης για το Νότιο τμήμα της λίμνης Οζερού



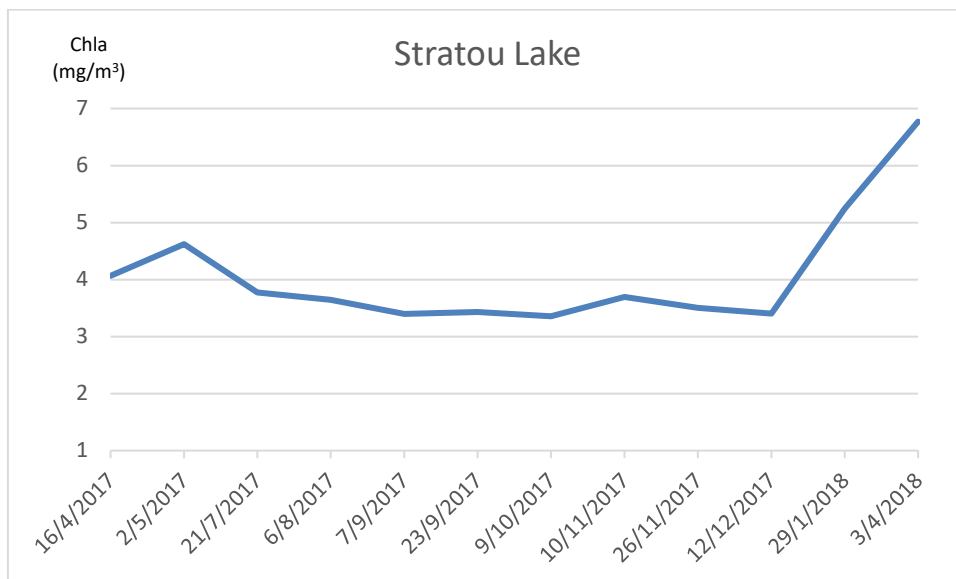
Πίνακας 6.10: Χρονοσειρά Συγκεντρώσεων Χλωροφύλλης για το Βόρειο τμήμα της λίμνης Αμβρακίας



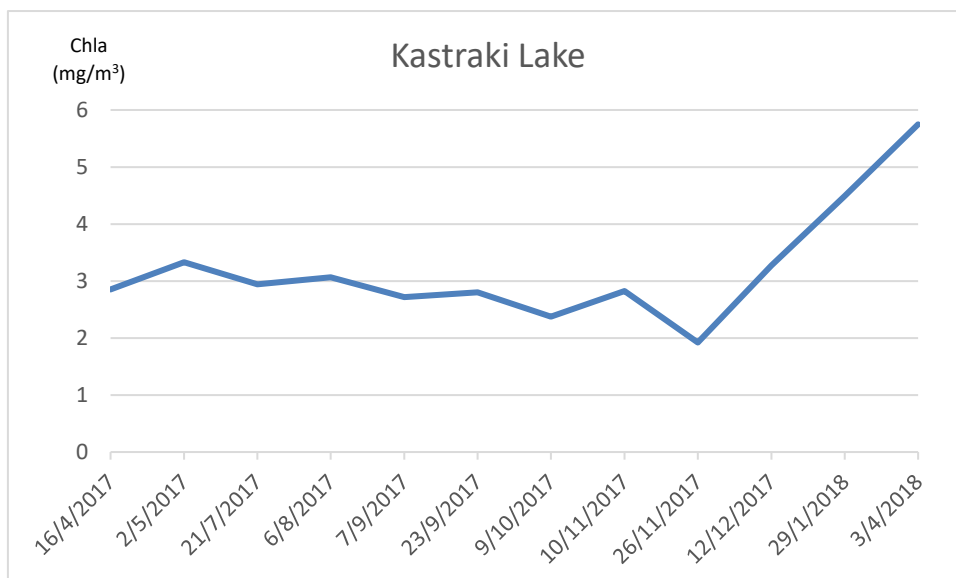
Πίνακας 6.11: Χρονοσειρά Συγκεντρώσεων Χλωροφύλλης για το Νότιο τμήμα της λίμνης Αμβρακίας



Πίνακας 6.12: Χρονοσειρά Συγκεντρώσεων Χλωροφύλλης για το Κεντρικό τμήμα της λίμνης Στράτου



Πίνακας 6.13: Χρονοσειρά Συγκεντρώσεων Χλωροφύλλης για το Κεντρικό τμήμα της λίμνης Καστρακίου



Λίμνη Τριχωνίδα

Από την ανάλυση των χρονοσειρών διαπιστώθηκε ότι στη λίμνη Τριχωνίδα οι μέγιστες συγκεντρώσεις της χλωροφύλλης παρατηρήθηκαν στις 3/4/2018 σε όλη την έκταση της λίμνης και ήταν κατά μέσο όρο 5,5mg/m³. Το γεγονός αυτό επιβεβαιώνεται και από τους Ντούλκα και συν.

(2010) όπου οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν τις χρονιές 2004-2006. Εν αντιθέσει οι Tafas et.al. (1997) που πραγματοποίησαν μετρήσεις τις χρονιές 1985-1989, έδειξαν ότι οι μέγιστες συγκεντρώσεις της χλωροφύλλης εμφανίζονται το Καλοκαίρι.

Επιπλέον τοπικά μέγιστα παρουσιάστηκαν τον Μάιο και τον Νοέμβριο του 2017. Οι υψηλές τιμές της χλωροφύλλης που εμφανίστηκαν τον Νοέμβριο σχετίζονται με την έντονη λειτουργία των ελαιοτριβείων τον συγκεκριμένο μήνα όπου τα παραγόμενα απόβλητα τους έχουν υψηλό οργανικό φορτίο ενώ κανένα από τα ελαιοτριβεία δεν διαθέτει βιολογικό καθαρισμό. Τα απόβλητα καταλήγουν στο περιβάλλον κυρίως σε γειτονικούς χείμαρρους που καταλήγουν στη λίμνη. Αντιθέτως οι ελάχιστες τιμές παρατηρήθηκαν στις 21/7/2017, 9/10/2017, 12/12/2017.

Σημειώνεται ακόμα ότι στο δυτικό τμήμα της λίμνης οι τιμές της χλωροφύλλης ήταν υψηλότερες καθ' όλη τη διάρκεια της μελέτης γεγονός που επιβεβαιώνεται και από τους Ντούλκα και συν. (2010) όπου επισημαίνουν ότι το δυτικό άκρο της λίμνης είναι το πιο ρηχό και δέχεται μεγαλύτερη φόρτιση από τις παρακείμενες γεωργικές καλλιέργειες μέσω αρδευτικών απορροών, ή έκπλυσης των λιπασμάτων σε αυτές.

Λίμνη Λυσιμαχεία

Σχετικά με τη λίμνη Λυσιμαχεία, από την ανάλυση των χρονοσειρών διαπιστώθηκε ότι οι μέγιστες συγκεντρώσεις της χλωροφύλλης παρατηρήθηκαν στις 2/5/2017 τόσο στο βόρειο τμήμα όσο και στο κεντρικό. Οι τιμές σε αυτή την περίοδο έφτασαν κατά μέσο όρο $10\text{mg}/\text{m}^3$. Επιπλέον τοπικά μέγιστα εμφανίστηκαν στις 12/12/17 και 10/11/17. Οι ελάχιστες τιμές ($5\text{mg}/\text{m}^3$) παρατηρήθηκαν στις 26/11/2017 αλλά και 21/7/2017 και 29/1/2018. Η συγκεκριμένη λίμνη είναι μια εύτροφη λίμνη μικρού βάθους και αρκετά χαμηλής διαφάνειας γεγονός το οποίο αποδεικνύεται και από την ανάλυση των χρονοσειρών. Οι αυξημένες εποχικές γεωργικές και κτηνοτροφικές δραστηριότητες στην περιοχή αποτελούν την κύρια πηγή ρύπανσης της λίμνης και επηρεάζουν ανάλογα τις τιμές της χλωροφύλλης. Επιπλέον το ρέμα Ερμίτσα αποτελεί μια από τις κύριες απειλές για τη λίμνη Λυσιμαχεία κυρίως τους βροχερούς μήνες όπου φαίνεται να επηρεάζει το νοτιοανατολικό της τμήμα σε αντίθεση με τους καλοκαιρινούς μήνες όπου το συγκεκριμένο τμήμα επηρεάζεται από το άνοιγμα του διαύλου και την είσοδο των υδάτων της Τριχωνίδας σε αυτή.

Λίμνη Οζερός

Σχετικά με τη λίμνη του Οζερού φαίνεται ότι διατηρεί τα χαρακτηριστικά ενός μεσο-εύτροφου οικοσυστήματος και η επιβάρυνση της λίμνης σχετίζεται με την απόρριψη αποβλήτων από τα χοιροστάσια και τις γεωργικές δραστηριότητες σε αυτή. Οι μέγιστες συγκεντρώσεις της χλωροφύλλης παρατηρήθηκαν στις 3/4/2018 σε όλη την έκταση της ($\mu.\tau = 30\text{mg}/\text{m}^3$) ενώ οι ελάχιστες παρατηρήθηκαν στις 21/07/2017 αλλά και στις 6/8/2017 τόσο στο νότιο τμήμα όσο και στο βόρειο τμήμα.

Λίμνη Αμβρακία

Από την ανάλυση των χρονοσειρών για τη λίμνη Αμβρακία διαπιστώθηκε ότι οι μέγιστες τιμές της χλωροφύλλης παρατηρήθηκαν στις 3/4/18 σε όλη της την έκταση και ήταν κατά μέσο όρο $10\text{mg}/\text{m}^3$. Η κύρια απειλή για τη λίμνη Αμβρακία εντοπίζεται στις έντονες διακυμάνσεις του υδάτινου όγκου της. Η λίμνη μπορεί να υπόκειται σε έντονες διακυμάνσεις που οφείλονται στην εξάτμιση και τη χρήση του νερού για αρδευτικούς σκοπούς, ενώ παράλληλα φαίνεται να εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το ύψος των βροχοπτώσεων και τις απορροές των χειμάρρων, καθώς είναι το μοναδικό υδάτινο οικοσύστημα στην περιοχή που δεν τροφοδοτείται από τον ποταμό Αχελώο.

Λίμνη Στράτου

Σχετικά με την τεχνητή λίμνη Στράτου η χρονοσειρά προέκυψε για το κεντρικό τμήμα της λίμνης. Οι μέγιστες τιμές της χλωροφύλλης παρατηρήθηκαν στις 3/4/18 και ήταν $7\text{mg}/\text{m}^3$. Υψηλότερες τιμές παρατηρήθηκαν στο νότιο τμήμα της πλησίον του φράγματος όπου λόγω της υψηλής ποσότητας αιωρούμενου υλικού οι τιμές της χλωροφύλλης που προβλέπει το μοντέλο φτάνουν τα $13\text{mg}/\text{m}^3$ (3/4/18). Οι ελάχιστες τιμές σημειώθηκαν στις 7/9/17, 9/10/17 και 12/12/17 και ήταν κατά μέσο όρο $3,5\text{mg}/\text{m}^3$.

Λίμνη Καστρακίου

Σχετικά με την τεχνητή λίμνη του Καστρακίου η χρονοσειρά έδειξε ότι οι μέγιστες τιμές ήταν στις 29/1/18 και 3/4/18 και ήταν $4,5 \text{ mg/m}^3$ και $5,5 \text{ mg/m}^3$ αντίστοιχα. Οι ελάχιστες τιμές εμφανίστηκαν στις 26/11/17 και ήταν $< 2 \text{ mg/m}^3$.

6.1.3 Σύγκριση με τη βιβλιογραφία

Συγκριτικά με την ήδη υπάρχουσα βιβλιογραφία για τη λίμνη Τριχωνίδα οι τιμές της χλωροφύλλης που εντοπίστηκαν στην παρούσα εργασία είναι παρόμοιες με τις τιμές που παρατηρήθηκαν στις πιο πρόσφατες εργασίες. Ωστόσο αξίζει να σημειωθεί ότι στην παρούσα εργασία η μέση τιμή των συγκεντρώσεων της χλωροφύλλης ($3,5 \text{ mg/m}^3$) είναι μεγαλύτερη από τις προηγούμενες εργασίες ($2,9 \text{ mg/m}^3$, $2,4 \text{ mg/m}^3$) γεγονός που επιβεβαιώνει ότι το μοντέλο των Karmas et al (2016), υπερτιμά τις τιμές της χλωροφύλλης κατά περίπου $1,5 \text{ mg/m}^3$. Σχετικά με τις υπόλοιπες λίμνες οι μεγαλύτερες αποκλίσεις εμφανίστηκαν στις λίμνες Λυσιμαχεία και λίμνη Οζερού (Πίνακας 6.2) όπου στην πρώτη η απόκλιση της μέγιστης τιμής είναι της τάξης των 16 mg/m^3 ενώ στη λίμνη του Οζερού είναι της τάξης των 29 mg/m^3 . Σχετικά με τη λίμνη του Οζερού το μοντέλο φαίνεται να υπερτιμά τις συγκεντρώσεις της χλωροφύλλης λόγω της ύπαρξης υψηλών συγκεντρώσεων αιωρούμενου υλικού. Όσον αφορά τη λίμνη Αμβρακία η απόκλιση ήταν κατά μέσο όρο 2 mg/m^3 αφού σύμφωνα με τα αποτελέσματα της (Χαλκιά, 2013) η συγκέντρωση της χλωροφύλλης κυμάνθηκε από 0 mg/m^3 (Ιανουάριος 2007) έως $6,2 \text{ mg/m}^3$ (Σεπτέμβριος 2007) κατά την πρώτη δειγματοληπτική περίοδο και από $0,07 \text{ mg/m}^3$ (Ιούνιος 2008 και Αύγουστος 2008) έως $10,6 \text{ mg/m}^3$ (Ιούλιος 2008) κατά τη δεύτερη περίοδο.

Πίνακας 6.1: Σύγκριση Συγκεντρώσεων Χλωροφύλλης της παρούσας εργασίας με τη βιβλιογραφία για τη λίμνη Τριχωνίδα

	Παρούσα Εργασία	Ντούλκα και συν. (2010)	Tafas et al. (1997)	Κουσουρής και συν. (1993)	Overbeck et al. (1982)
Chla (mg/m^3)	1,7-7,8	0,2-9,4	2,2 – 8,2	2,3-4,3	0,5-0,8

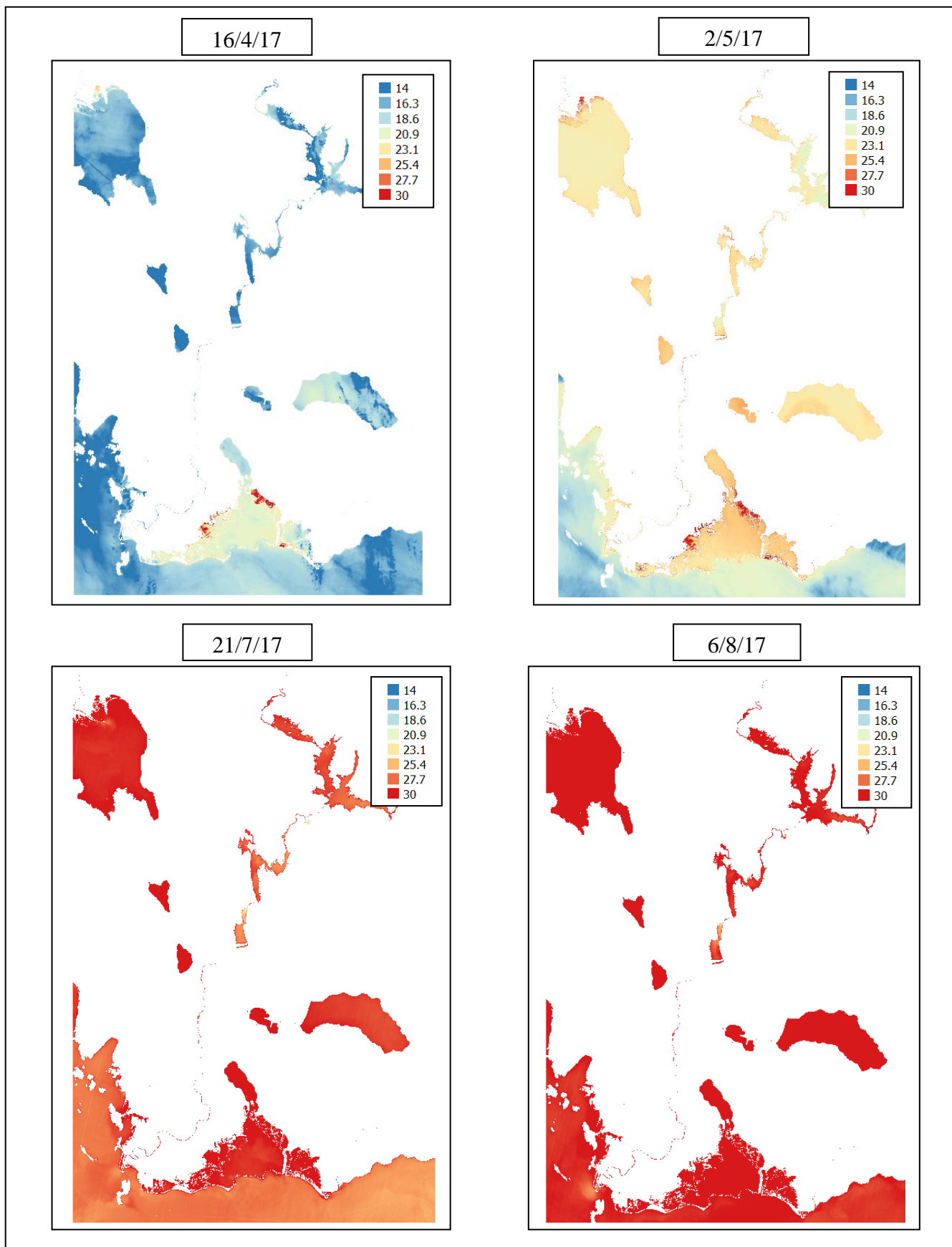
Πίνακας 6.2: Σύγκριση Συγκεντρώσεων Χλωροφύλλης (mg/m^3) της παρούσας εργασίας με τη βιβλιογραφία για τα υδάτινα συστήματα της περιοχής μελέτης

Λίμνες	Παρούσα Εργασία	Χαλκιά (2013)
Αμβρακία	1,9 -14	0,07-10,6
Λυσιμαχεία	5,5-15	3,24 – 31,23
Οζερός	5,5-40	1,48 – 11,47
Τεχνητή λίμνη Στράτου	2,8-15	-
Τεχνική λίμνη Καστρακίου	1,1-9	-

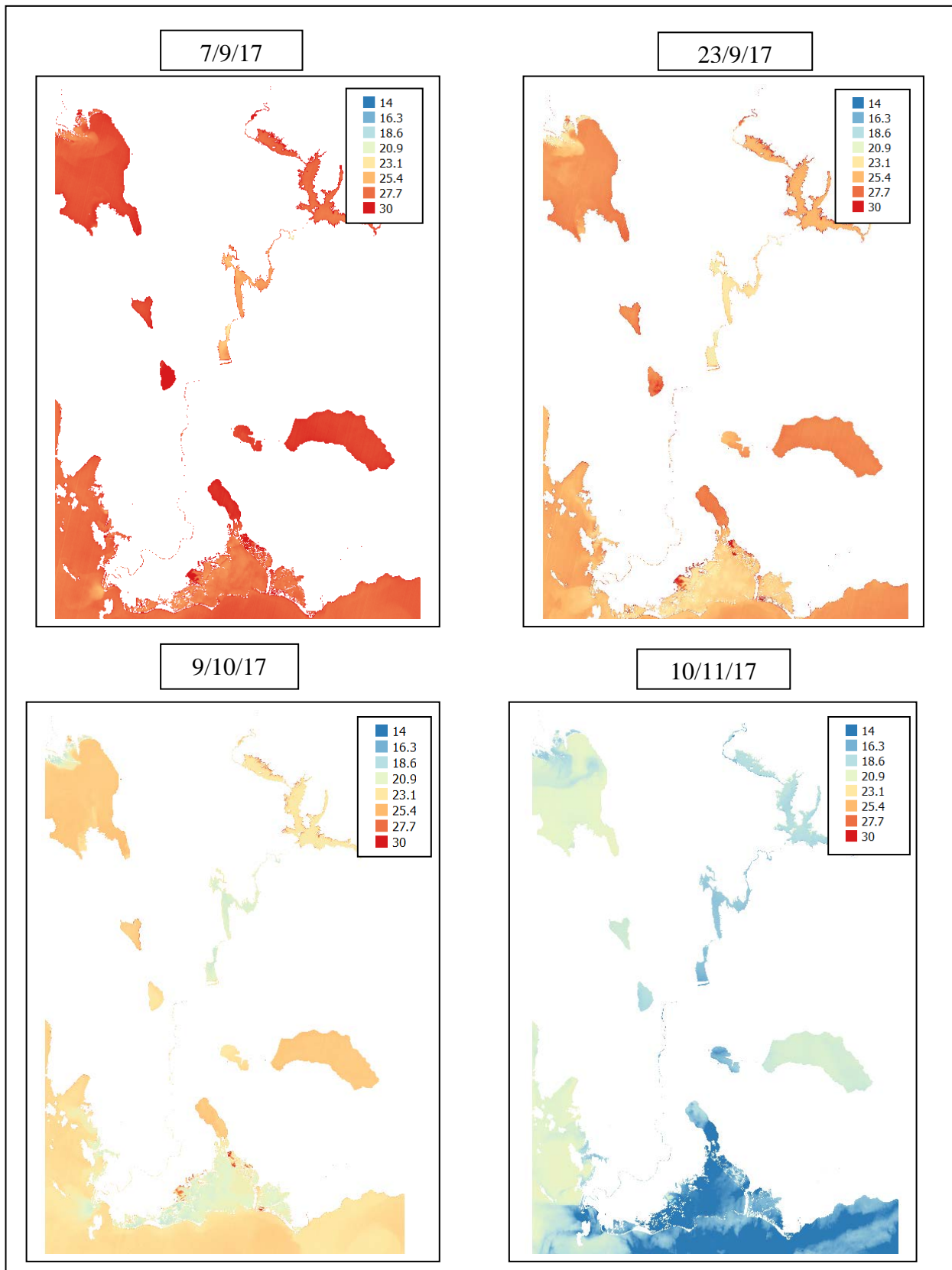
6.2 Θερμοκρασία

6.2.1 Αξιολόγηση μεταβολών επιφανειακής θερμοκρασίας

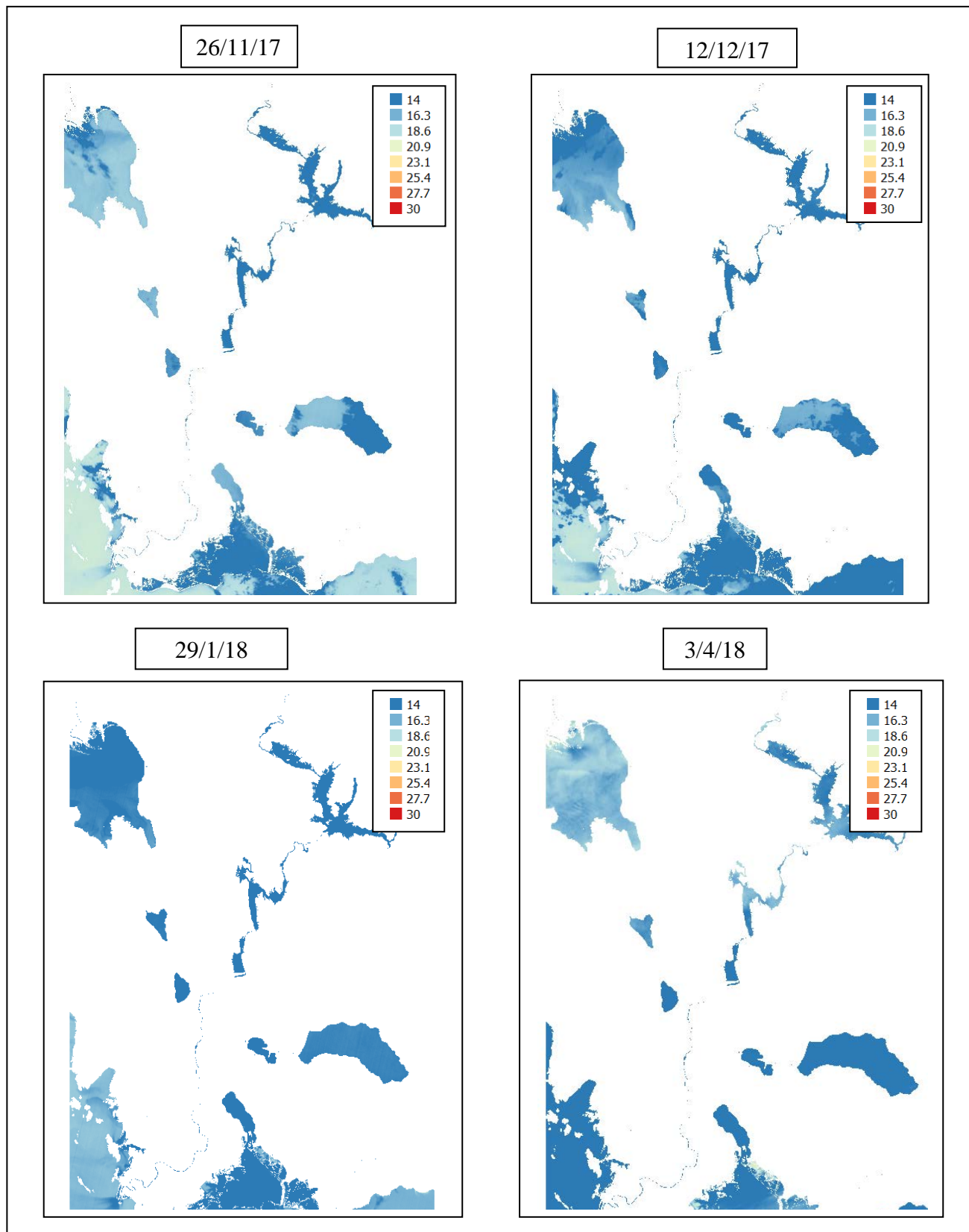
Εικόνα 6.8: Αποτύπωση Μεταβολών Επιφανειακής Θερμοκρασίας (°C) για τη χρονική περίοδο: (Απρίλιος 2017-Αύγουστος 2017)



Εικόνα 6.9: Αποτύπωση Μεταβολών Επιφανειακής Θερμοκρασίας (°C) για τη χρονική περίοδο: (Σεπτέμβριος 2017-Νοέμβριος 2017)



Εικόνα 6.10: Αποτύπωση Μεταβολών Επιφανειακής Θερμοκρασίας (°C) για τη χρονική περίοδο: (Νοέμβριος 2017-Απρίλιος 2018)



Σχετικά με την επιφανειακή θερμοκρασία των λιμνών της περιοχής μελέτης σημαντική πληροφορία για την εποχική μεταβολή της αντλείται από τους παραπάνω χάρτες. Σημειώνεται ότι η ελάχιστη θερμοκρασία παρατηρήθηκε στις 12/12/18 και ήταν 5°C ενώ η μέγιστη παρατηρήθηκε στις 6/8/17 και ήταν 32 °C. Ιδιαίτερα έντονες μεταβολές παρατηρούνται στις λίμνες Λυσιμαχεία, Οζερός και Αμβρακία οι οποίες είναι πιο ρηχές σε σχέση με τις λίμνες Τριχωνίδα, Στράτου και Καστρακίου.

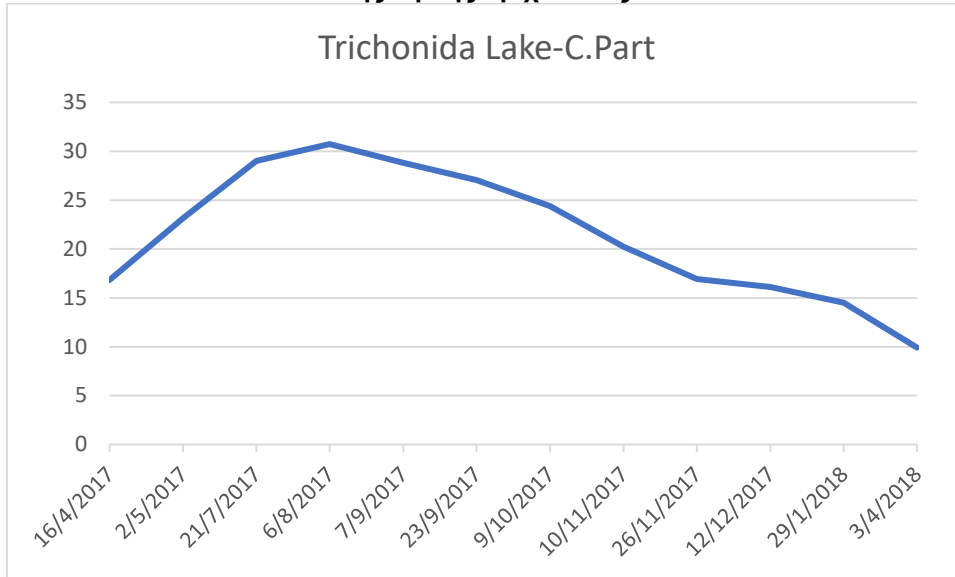
Συγκεκριμένα στις **16/4/17** η μέση τιμή θερμοκρασίας στην Τριχωνίδα ήταν 19,8°C, στη Λυσιμαχεία ήταν 15,5°C, στον Οζερό 11,3°C, στην Αμβρακία 7°C, ενώ στη λίμνη Στράτου 14,3°C και στη λίμνη Καστρακίου 14,7°C. Στις **2/5/17** η μέση τιμή θερμοκρασίας στην Τριχωνίδα ήταν 22,9°C, στη Λυσιμαχεία ήταν 25,3°C, στον Οζερό 24,5°C, στην Αμβρακία 23,8°C, ενώ στη λίμνη Στράτου 22°C και στη λίμνη Καστρακίου 23,4°C. Στις **21/7/17** η μέση τιμή θερμοκρασίας στην Τριχωνίδα ήταν 28,7°C, στη Λυσιμαχεία ήταν 30,2°C, στον Οζερό 30,4°C, στην Αμβρακία 30,6°C, ενώ στη λίμνη Στράτου 26,5°C και στη λίμνη Καστρακίου 27,7°C.

Στις **6/8/17** η μέση τιμή θερμοκρασίας στην Τριχωνίδα ήταν 30,6°C, στη Λυσιμαχεία ήταν 31,8°C, στον Οζερό 32°C, στην Αμβρακία 31,5°C, ενώ στη λίμνη Στράτου 28,7°C και στη λίμνη Καστρακίου 29,7°C. Στις **7/9/17** η μέση τιμή θερμοκρασίας στην Τριχωνίδα ήταν 28,7°C, στη Λυσιμαχεία ήταν 28,8°C, στον Οζερό 31°C, στην Αμβρακία 28,6°C, ενώ στη λίμνη Στράτου 25,6°C και στη λίμνη Καστρακίου 26,1°C. Στις **23/9/17** η μέση τιμή θερμοκρασίας στην Τριχωνίδα ήταν 26,9°C, στη Λυσιμαχεία ήταν 25,8°C, στον Οζερό 27,9°C, στην Αμβρακία 26,8°C, ενώ στη λίμνη Στράτου 22,6°C και στη λίμνη Καστρακίου 23,3°C.

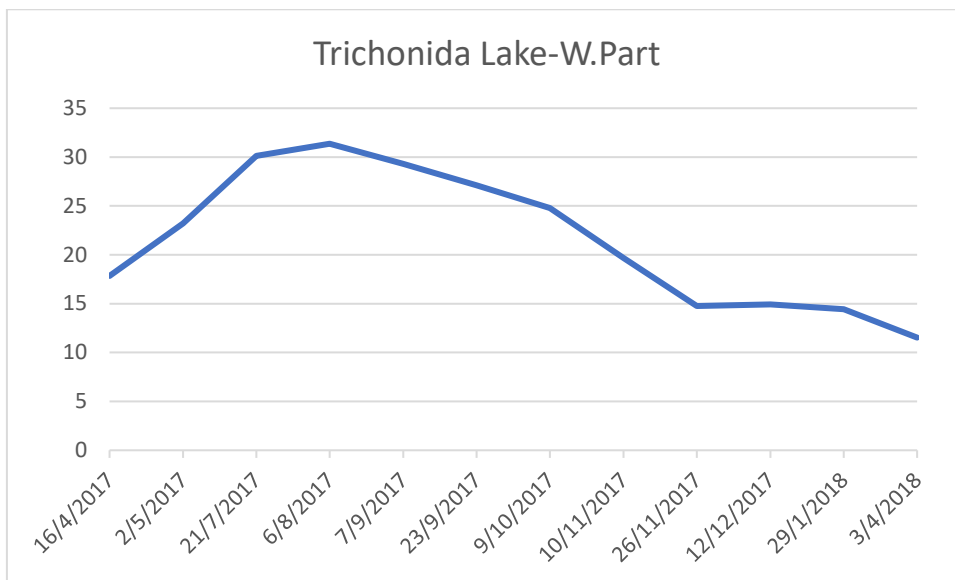
Στις **9/10/17** η μέση τιμή θερμοκρασίας στην Τριχωνίδα ήταν 24,5°C, στη Λυσιμαχεία ήταν 23,3°C, στον Οζερό 23,2°C, στην Αμβρακία 24,4°C, ενώ στη λίμνη Στράτου 20,6°C και στη λίμνη Καστρακίου 20,5°C. Στις **10/11/17** η μέση τιμή θερμοκρασίας στην Τριχωνίδα ήταν 20,1°C, στη Λυσιμαχεία ήταν 17°C, στον Οζερό 18,6°C, στην Αμβρακία 19,8°C, ενώ στη λίμνη Στράτου 16,9°C και στη λίμνη Καστρακίου 17,4°C. Στις **26/11/17** η μέση τιμή θερμοκρασίας στην Τριχωνίδα ήταν 17,1°C, στη Λυσιμαχεία ήταν 14,8°C, στον Οζερό 15,1°C, στην Αμβρακία 16,7°C, ενώ στη λίμνη Στράτου 13,5°C και στη λίμνη Καστρακίου 12,9°C. Στις **12/12/17** η μέση τιμή θερμοκρασίας στην Τριχωνίδα ήταν 16,2°C, στη Λυσιμαχεία ήταν 13,5°C, στον Οζερό 14,3°C, στην Αμβρακία 15,5°C, ενώ στη λίμνη Στράτου 12°C και στη λίμνη Καστρακίου 13,5°C.

Στις **29/1/18** η μέση τιμή θερμοκρασίας στην Τριχωνίδα ήταν 14,5°C, στη Λυσιμαχεία ήταν 12,8°C, στον Οζερό 12,3°C, στην Αμβρακία 14,2°C, ενώ στη λίμνη Στράτου 12,4°C και στη λίμνη Καστρακίου 12,8°C. Στις **3/4/18** η μέση τιμή θερμοκρασίας στην Τριχωνίδα ήταν 13°C, στη Λυσιμαχεία ήταν 13,5°C, στον Οζερό 10°C, στην Αμβρακία 15,4°C, στη λίμνη Στράτου λόγω νεφοκάλυψης δε σημειώθηκε θερμοκρασία και στη λίμνη Καστρακίου 14°C.

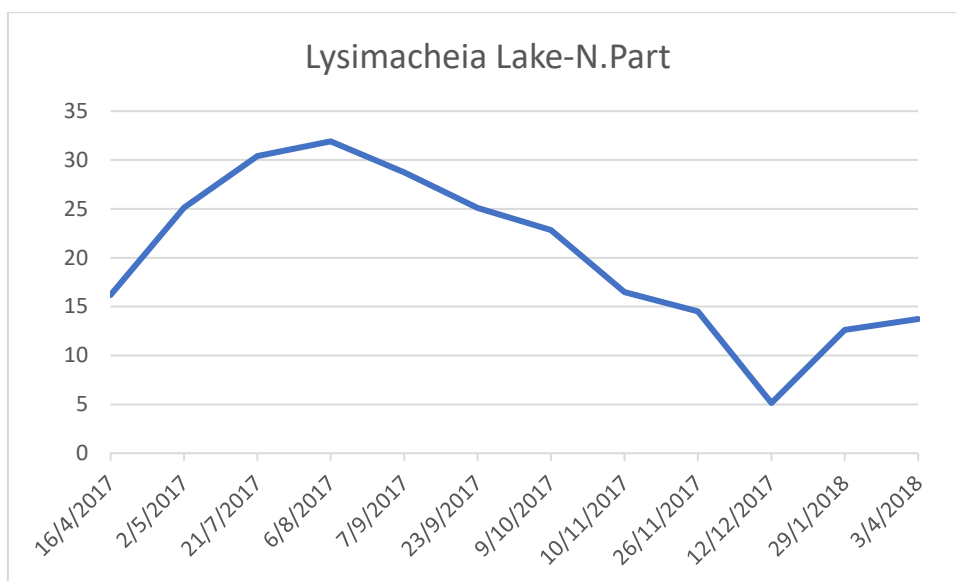
Πίνακας 6.14: Χρονοσειρά Επιφανειακής Θερμοκρασίας για το Κεντρικό τμήμα της λίμνης Τριχωνίδας



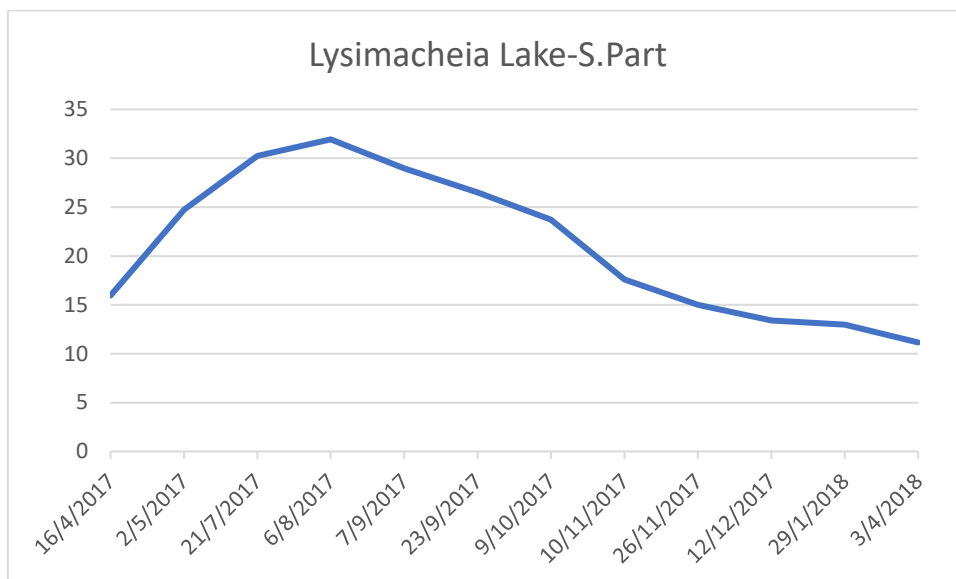
Πίνακας 6.15: Χρονοσειρά Επιφανειακής Θερμοκρασίας για το Δυτικό τμήμα της λίμνης Τριχωνίδας



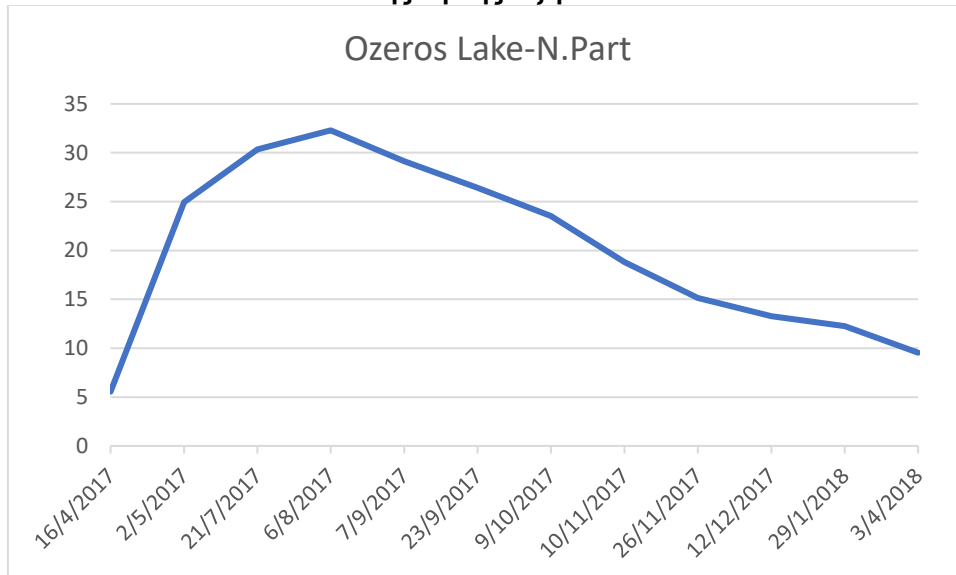
Πίνακας 6.16: Χρονοσειρά Επιφανειακής Θερμοκρασίας για το Βόρειο τμήμα της λίμνης Λυσιμαχείας



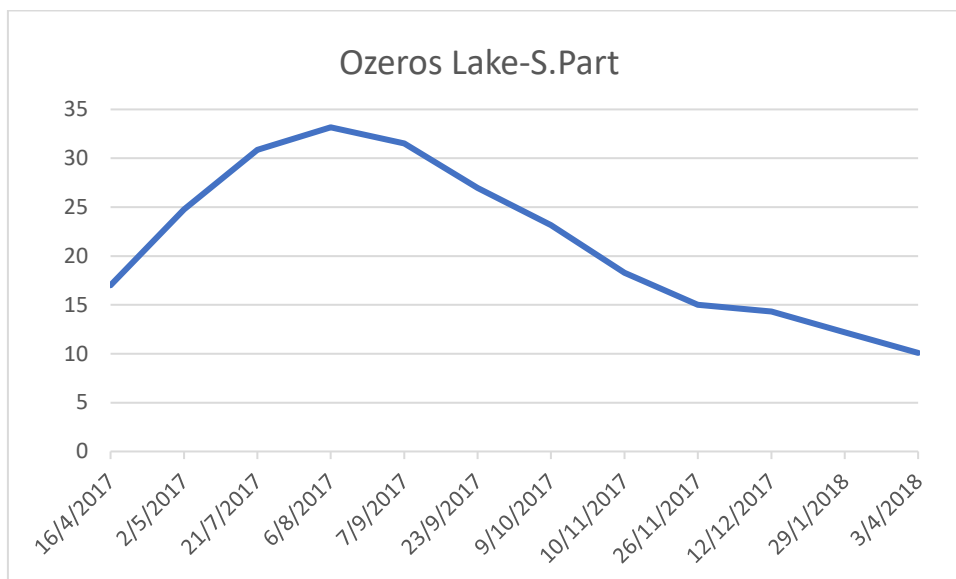
Πίνακας 6.17: Χρονοσειρά Επιφανειακής Θερμοκρασίας για το Νότιο τμήμα της λίμνης Λυσιμαχείας



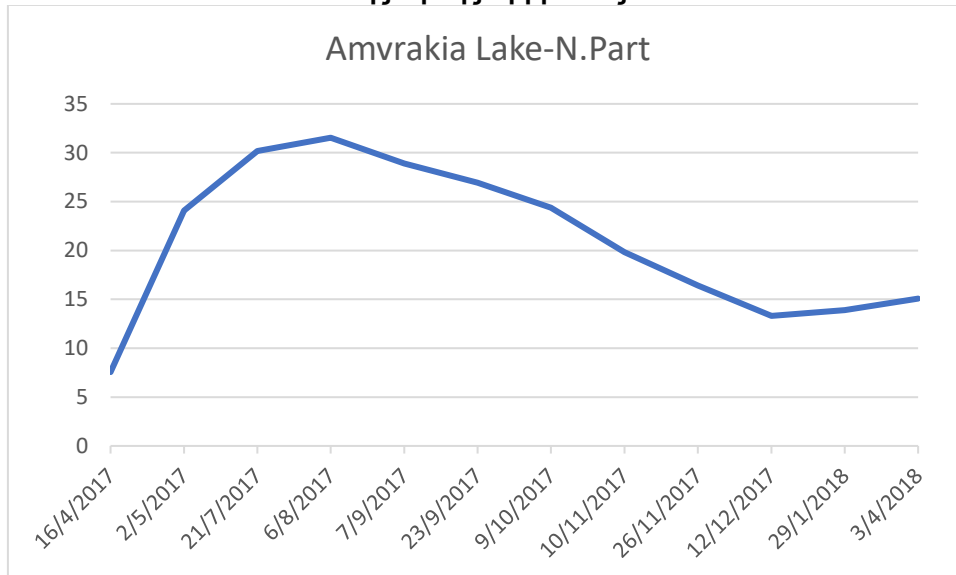
Πίνακας 6.18: Χρονοσειρά Επιφανειακής Θερμοκρασίας για το Βόρειο τμήμα της λίμνης Οζερού



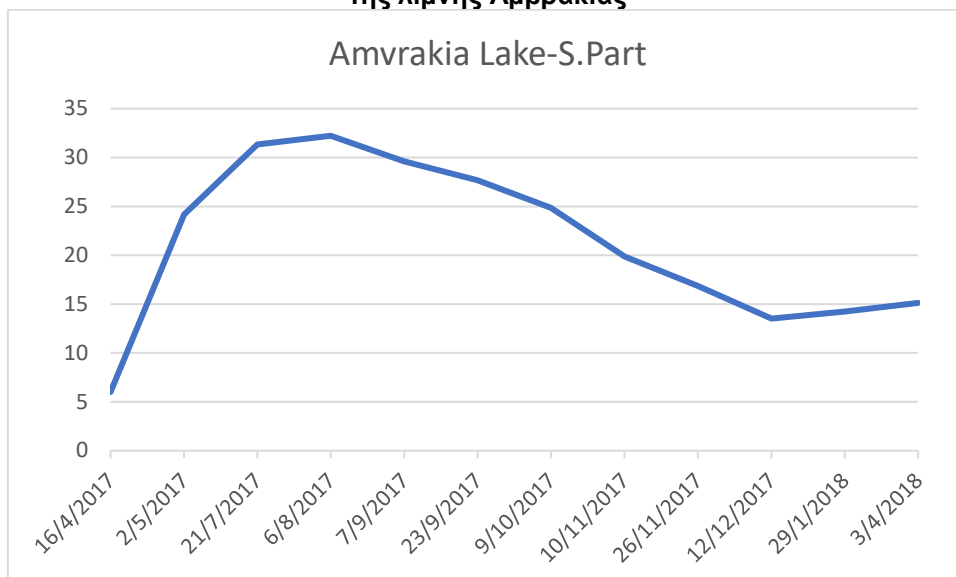
Πίνακας 6.19: Χρονοσειρά Επιφανειακής Θερμοκρασίας για το Νότιο τμήμα της λίμνης Οζερού



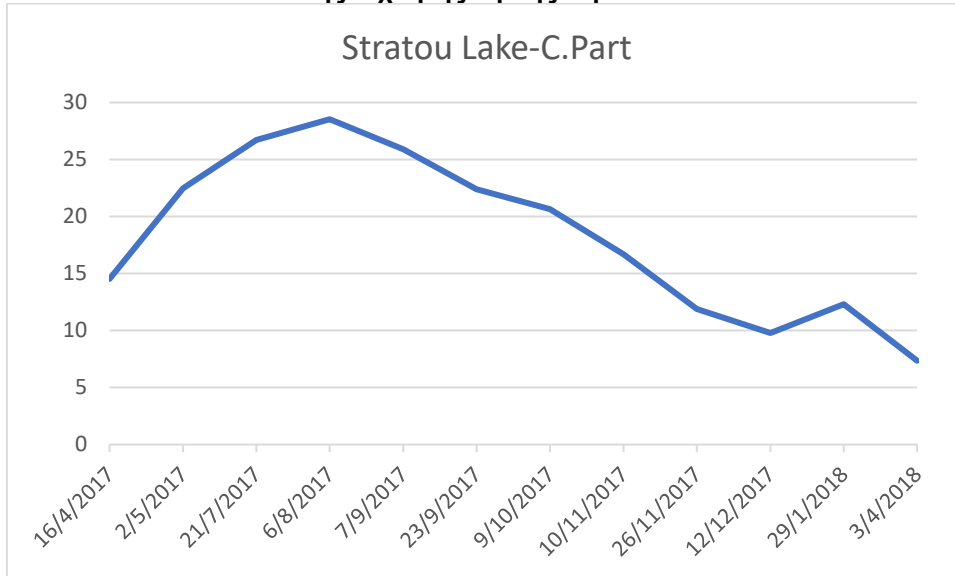
Πίνακας 6.20: Χρονοσειρά Επιφανειακής Θερμοκρασίας για το Βόρειο τμήμα της λίμνης Αμβρακίας



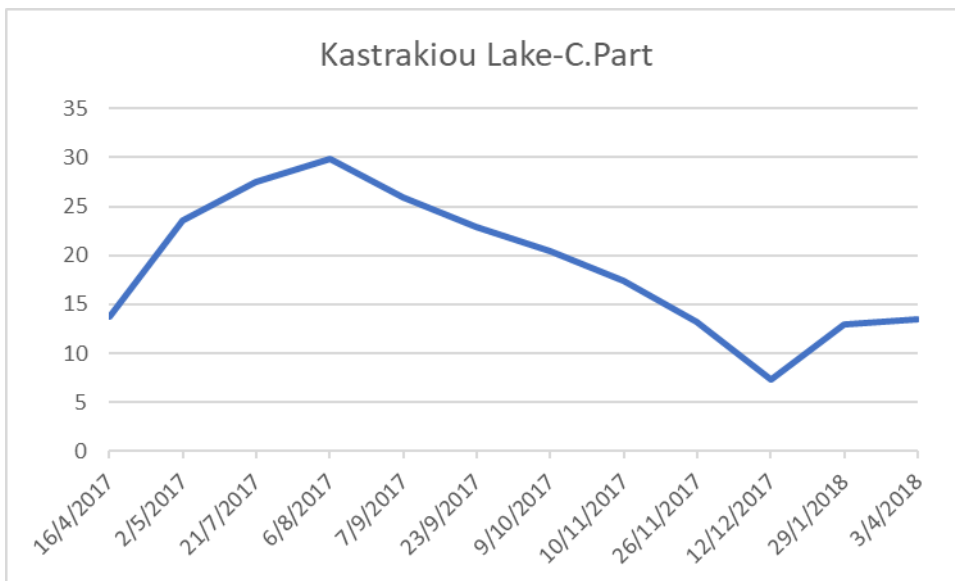
Πίνακας 6.21: Χρονοσειρά Επιφανειακής Θερμοκρασίας για το Νότιο τμήμα της λίμνης Αμβρακίας



Πίνακας 6.22: Χρονοσειρά Επιφανειακής Θερμοκρασίας για το Κεντρικό τμήμα της τεχνητής λίμνης Στράτου



Πίνακας 6.23: Χρονοσειρά Επιφανειακής Θερμοκρασίας για το Κεντρικό τμήμα της τεχνητής λίμνης Καστρακίου



6.2.2 Ανάλυση Χρονοσειρών για τη θερμοκρασία

Λίμνη Τριχωνίδα

Από την ανάλυση των χρονοσειρών διαπιστώθηκε ότι στη λίμνη Τριχωνίδα οι μέγιστες επιφανειακές θερμοκρασίες παρατηρήθηκαν στις 6/8/2017 σε όλη την έκταση της λίμνης και ήταν κατά μέσο όρο 32 °C. Αντιθέτως οι ελάχιστες τιμές παρατηρήθηκαν στις 30/4/2018, αλλά και στις 29/1/2017 και 12/12/2017.

Λίμνη Λυσιμαχεία

Σχετικά με τη λίμνη Λυσιμαχεία, από την ανάλυση των χρονοσειρών διαπιστώθηκε ότι οι μέγιστες επιφανειακές θερμοκρασίες παρατηρήθηκαν στις 6/8/2017 σε όλη την έκταση της λίμνης και ήταν κατά μέσο όρο 32 °C. Οι ελάχιστες τιμές (5°C) παρατηρήθηκαν στις 12/12/2017 στο Νότιο τμήμα της.

Λίμνη Οζερός

Στη λίμνη του Οζερού οι μέγιστες επιφανειακές θερμοκρασίες παρατηρήθηκαν στις 6/8/2017 σε όλη την έκταση της λίμνης και ήταν κατά μέσο όρο 32 °C. Οι ελάχιστες τιμές (5°C) παρατηρήθηκαν στις 16/4/2017 στο Βόρειο τμήμα της.

Λίμνη Αμβρακία

Από την ανάλυση των χρονοσειρών για τη λίμνη Αμβρακία διαπιστώθηκε ότι οι μέγιστες τιμές της επιφανειακής θερμοκρασίας παρατηρήθηκαν στις 6/8/2017 τόσο στο Βόρειο όσο και στο Νότιο τμήμα της και ήταν κατά μέσο όρο 32 °C. Οι ελάχιστες τιμές (6°C) παρατηρήθηκαν στις 16/4/2017 στο Νότιο τμήμα της.

Λίμνη Στράτου

Σχετικά με την τεχνητή λίμνη Στράτου η χρονοσειρά προέκυψε για το κεντρικό τμήμα της λίμνης. Οι μέγιστες τιμές της επιφανειακής θερμοκρασίας παρατηρήθηκαν στις 6/8/2017 και ήταν κατά μέσο όρο 28°C. Οι ελάχιστες τιμές (7°C) παρατηρήθηκαν στις 3/4/2018.

Λίμνη Καστρακίου

Σχετικά με την τεχνητή λίμνη Καστρακίου η χρονοσειρά προέκυψε και σ αυτή για το κεντρικό τμήμα της λίμνης. Οι μέγιστες τιμές της επιφανειακής θερμοκρασίας παρατηρήθηκαν στις 6/8/2017 και ήταν κατά μέσο όρο 30°C. Οι ελάχιστες τιμές (7°C) παρατηρήθηκαν στις 12/12/2017 .

6.2.3 Σύγκριση με τη βιβλιογραφία

Στη συνέχεια έγινε σύγκριση των αποτελεσμάτων της θερμοκρασίας της παρούσας εργασίας για τη λίμνες Τριχωνίδα, Λυσιμαχεία, Οζερός και Αμβρακία με τις μετρήσεις που διεξήχθησαν στα πλαίσια παλιότερων εργασιών.

Λίμνη Τριχωνίδα

Συγκεκριμένα για τη λίμνη Τριχωνίδα έγινε μια αξιολόγηση του θερμικού καναλιού με βάση τα αποτελέσματα των Ντούλκα (2010), Tafas et al. (1997), Κουσουρής και συν. (1993) και Overbeck et al. (1982). Πρέπει να σημειωθεί πως τα δεδομένα για τη λίμνη Τριχωνίδα της Ντούλκα (2010) αναφέρονται στον Σεπτέμβριο του 2004 έως τον Αύγουστο του 2006, ενώ των Overbeck et al. (1982) προήλθαν από σποραδικά δείγματα της περιόδου 1978-81, τα δεδομένα των Κουσουρής και συν. (1993) από διμηνιαίες δειγματοληψίες σε όλη την περίοδο 1988-89 και τα δεδομένα των Tafas et al. (1997) από μηνιαία δείγματα σε δύο πλήρεις περιόδους κατά το 1985-86 και 1988-89. Όπως φαίνεται και στον πίνακα 6.24 η απόκλιση του θερμικού καναλιού από τις μετρήσεις κυμάνθηκε από 0.5 °C έως 1.1 °C στις ελάχιστες τιμές και από 2.3 °C έως 7°C στις μέγιστες. Ωστόσο η μικρότερη απόκλιση εμφανίστηκε συγκριτικά με τις μετρήσεις της Ντούλκα (2010) που είναι οι πιο πρόσφατες.

Πίνακας 6.24: Σύγκριση Επιφανειακής Θερμοκρασίας της παρούσας εργασίας με τη βιβλιογραφία για τη λίμνη Τριχωνίδα

	Παρούσα μελέτη	Ντούλκα (2010)	Tafas et al. (1997)	Κουσουρήs και συν. (1993)	Overbeck et al. (1982)
Θερμοκρασία(°C)	10-32	10 – 29,7	9,5 – 27,5	11,1 – 28, 0	10,0 – 25,0

Λίμνη Λυσιμαχεία

Για τη συγκεκριμένη λίμνη έγινε σύγκριση της μέγιστης και ελάχιστης τιμής της θερμοκρασίας που καταγράφηκαν στην παρούσα μελέτη με προηγούμενες μετρήσεις που διεξήχθησαν από τους Χαλκιά (2013), Overbeck et al. (1982) και από το Υπουργείο Γεωργίας την περίοδο 1980-1997. Οι μετρήσεις των Overbeck et al. (1982) προήλθαν από σποραδικά δείγματα της περιόδου 1978-1981 και τα στοιχεία από το Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων (πρώην Υπουργείο Γεωργίας) (www.minagric.gr) από σποραδικές μετρήσεις σε παράκτιες περιοχές που πραγματοποιήθηκαν στη λίμνη Λυσιμαχεία κατά την περίοδο 1980-1997. Όπως φαίνεται και στον πίνακα 6.25 η απόκλιση του θερμικού καναλιού από τις μετρήσεις κυμάνθηκε από 1 °C έως 8 °C στις ελάχιστες τιμές και από 3.3 °C έως 5.6°C στις μέγιστες.

Πίνακας 6.25: Σύγκριση Επιφανειακής θερμοκρασίας της παρούσας εργασίας με τη βιβλιογραφία για τη λίμνη Λυσιμαχεία

	Παρούσα μελέτη	Χαλκιά (2013)	Overbeck et al. (1982)	Υπουργείο Γεωργίας (1997)
Θερμοκρασία(°C)	5-32	10,5 – 28,7	13 – 26,4	6 – 28

Λίμνη Οζερός

Σχετικά με τη λίμνη Οζερός έγινε σύγκριση της μέγιστης και ελάχιστης τιμής της θερμοκρασίας που καταγράφηκαν στην παρούσα μελέτη με προηγούμενες μετρήσεις που διεξήχθησαν από τους Χαλκιά (2013) και το Υπουργείο Γεωργίας την περίοδο 1981-1997. Τα στοιχεία από το Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων (πρώην Υπουργείο Γεωργίας) συλλέχθηκαν από σποραδικές μετρήσεις σε παράκτιες περιοχές που πραγματοποιήθηκαν στη λίμνη κατά την περίοδο 1981-1997. Η απόκλιση του θερμικού καναλιού από τις επιτόπιες μετρήσεις ήταν 1 °C έως 4.9 °C στις ελάχιστες τιμές και από 2 °C έως 3.2°C στις μέγιστες.

Πίνακας 6.26: Σύγκριση Επιφανειακής θερμοκρασίας της παρούσας εργασίας με τη βιβλιογραφία για τη λίμνη Οζερού

	Παρούσα μελέτη	Χαλκιά (2013)	Υπουργείο Γεωργίας (1997)
Θερμοκρασία (°C)	5-32	9,9 – 28,9	6 – 30

Λίμνη Αμβρακία

Για τη λίμνη Αμβρακία έγινε σύγκριση των τιμών της θερμοκρασίας που καταγράφηκαν στην παρούσα μελέτη με προηγούμενες μετρήσεις που διεξήχθησαν από τους Χαλκιά (2013), Overbeck et al. (1982) και Danielidis et al. (1996). Τα δεδομένα των Danielidis et al. (1996) αποκτήθηκαν από μηνιαίες δειγματοληψίες της περιόδου 1988-1989 στο βαθύτερο σημείο της λίμνης Αμβρακίας. Οι μετρήσεις των Overbeck et al. (1982) προήλθαν από σποραδικά δείγματα της περιόδου 1978-

1981. Όπως φαίνεται και στον πίνακα 6.26 η απόκλιση του θερμικού καναλιού από τις μετρήσεις κυμάνθηκε από 3.2 °C έως 5 °C στις ελάχιστες τιμές και από 3.8 °C έως 7°C στις μέγιστες.

Πίνακας 6.27: Σύγκριση Επιφανειακής θερμοκρασίας της παρούσας εργασίας με τη βιβλιογραφία για τη λίμνη Αμβρακία

	Παρούσα μελέτη	Χαλκιά (2013)	Overbeck et al. (1982)	Danielidis et al. (1996)
Θερμοκρασία(°C)	6-32	9,7 – 28,3	11 – 25	9,2 – 26

Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία η θερμική συμπεριφορά της λίμνης Αμβρακίας είναι παρόμοια με αυτή που έχει καταγραφεί και για τη βαθιά λίμνη Τριχωνίδα (Ντούλκα, 2010). Αντίθετα, στις λίμνες Λυσιμαχεία και Οζερός, λόγω του μικρού βάθους, δεν παρατηρείται το φαινόμενο της θερμοστρωμάτωσης. Ιδιαίτερα στη λίμνη Λυσιμαχεία, όπως επίσης έχει αναφερθεί και από τους Overbeck et al. (1982), κατά τους θερινούς μήνες παρατηρείται μια μείωση της θερμοκρασίας μετά το βάθος των 3 m περίπου κατά 1 - 1,5°C, ωστόσο λόγω του μικρού βάθους το οποίο είναι περίπου στα 5 m εκείνη την εποχή, δεν δημιουργείται θερμοκλινές. Αυτό αποτυπώθηκε και στα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας εφόσον η μεγαλύτερη διακύμανση τόσο των συγκεντρώσεων ης χλωροφύλλης όσο και της θερμοκρασίας σημειώθηκε στη συγκεκριμένη λίμνη.

Για τις λίμνες Λυσιμαχεία και Οζερός δεν υπήρξαν ιδιαίτερες αποκλίσεις με αυτές που έχουν καταγραφεί από το Υπουργείο Γεωργίας κατά την περίοδο 1980/1-1997, ενώ η μέγιστη τιμή της θερμοκρασίας που καταγράφηκε για τη λίμνη Αμβρακία στην παρούσα εργασία βρέθηκε αυξημένη κατά 6°C σε σχέση με την αντίστοιχη τιμή των Danielidis et al. (1996), όπως φαίνεται και στον αντίστοιχο πίνακα. Ωστόσο, σχετικά με τις μέγιστες τιμές που δίνονται από τους Overbeck et al. (1982) για τις λίμνες Αμβρακία και Λυσιμαχεία, θα πρέπει να σημειωθεί ότι αυτές προέρχονται από μετρήσεις των μηνών Σεπτεμβρίου και Αυγούστου αντίστοιχα. Τέλος, όσον αφορά την εποχική διακύμανση της θερμοκρασίας, αυτή ήταν παρόμοια για τις τρεις λίμνες Αμβρακία, Λυσιμαχεία και Οζερός, καθώς και για τη λίμνη Τριχωνίδα (Ντούλκα, 2010),(Χαλκιά 2013).

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Σκοπός της εργασίας είναι η αξιολόγηση της ποιότητας του νερού των υδάτινων συστημάτων του νομού Αιτωλοακαρνανίας και συγκεκριμένα των λιμνών Τριχωνίδα, Λυσιμαχεία, Οζερός, Αμβρακία και των τεχνητών λιμνών Στράτου και Καστρακίου με τη χρήση των δορυφορικών δεδομένων Landsat-8. Η αξιολόγηση γίνεται με τη χρήση δύο δεικτών ποιότητας νερού, της χλωροφύλλης-α και της επιφανειακής θερμοκρασίας. Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που απορρέουν από το σύνολο των εργασιών που πραγματοποιήθηκαν καθώς και κάποιες προτάσεις για περαιτέρω έρευνα στο μέλλον.

Γενικά

Τα αποτελέσματα συμφωνούν σε γενικές γραμμές με τη σχετική βιβλιογραφία. Η μέθοδος που ακολουθήθηκε προσφέρει τη δυνατότητα παρακολούθησης των υδάτινων οικοσυστημάτων με χαμηλό κόστος. Με διαδοχικές τηλεπισκοπικές παρατηρήσεις σε συνδυασμό με μετρήσεις πεδίου είναι εφικτή η έγκαιρη εκτίμηση των βασικών ποιοτικών δεικτών στις λίμνες. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αποτελεσματικότερη παρακολούθηση και προστασία των υδάτων.

Ειδικά

Δείκτης ποιότητας υδάτων: Χλωροφύλλη-α

Σχετικά με την εκτίμηση των συγκεντρώσεων της χλωροφύλλης το εμπειρικό μοντέλο των Karim et al. (2016) οδήγησε σε αρκετά καλά αποτελέσματα (μέση απόκλιση $1,5\text{mg/m}^3$) αποτυπώνοντας τις εποχικές μεταβολές της συγκεκριμένης παραμέτρου. Η μεγαλύτερη απόκλιση του μοντέλου (έως και 29mg/m^3) σε σχέση με μετρήσεις προηγούμενων εργασιών σημειώθηκε στη λίμνη του Οζερού στην περίπτωση των μέγιστων τιμών, γεγονός που αποδίδεται στην ύπαρξη υψηλών συγκεντρώσεων αιωρούμενου υλικού. Όσον αφορά την αποτύπωση των μεταβολών των επιφανειακών συγκεντρώσεων της χλωροφύλλης οι αντίστοιχες χρονοσειρές έδειξαν ότι οι μέγιστες τιμές καταγράφηκαν σε όλες τις λίμνες τον Απρίλιο του 2018 λόγω της έντονης βιολογικής δραστηριότητας που οδηγεί στην εαρινή άνθιση του φυτοπλαγκτού. Εξάιρεση αποτέλεσε η λίμνη Λυσιμαχεία όπου η μέγιστη τιμή καταγράφηκε τον Μάιο του 2017. Η μεγαλύτερη διακύμανση των συγκεντρώσεων της χλωροφύλλης παρατηρήθηκε στη λίμνη Λυσιμαχεία όπου λόγω της απουσίας του θερμοκλινούς οι τιμές της χλωροφύλλης φαίνεται να επηρεάζονται από τις εποχικές ανθρωπογενείς δραστηριότητες.

Δείκτης ποιότητας υδάτων: Θερμοκρασία

Τα αποτελέσματα σχετικά με τη θερμοκρασία έδειξαν αρχικά ότι το θερμικό κανάλι B10 του Landsat-8 προβλέπει αρκετά καλά την επιφανειακή θερμοκρασία των υδάτινων συστημάτων της περιοχής μελέτης (2°C). Οι χρονοσειρές της επιφανειακής θερμοκρασίας έδειξαν ότι η εποχική διακύμανση της θερμοκρασίας ήταν παρόμοια για όλες τις λίμνες. Ωστόσο όπως ήταν αναμενόμενο το βάθος και ο υδάτινος όγκος επηρεάζουν σημαντικά τη διακύμανση της θερμοκρασίας γεγονός που εντοπίστηκε ιδιαίτερα στη λίμνη Τριχωνίδα ή οποία ως πιο βαθιά εμφάνισε τη μικρότερη διακύμανση της επιφανειακής θερμοκρασίας. Αντίθετα, η μεγαλύτερη διακύμανση σημειώθηκε στις λίμνες Λυσιμαχεία και Οζερός λόγω του μικρότερου βάθους.

Προτάσεις

Τα αποτελέσματα της παρούσης εργασίας και η περαιτέρω αξιολόγησή τους σε βάθος χρόνου μπορούν να συμβάλουν στην καθολική χρήση των τηλεπισκοπικών δεδομένων για την μελέτη της ποιότητας των υδάτων και την ακριβή εκτίμηση της περιβαλλοντικής τους κατάστασης. Ακολουθούν ορισμένες προτάσεις για μελλοντική έρευνα:

- Έρευνα για περισσότερους δείκτες ποιότητας υδάτων (π.χ αιωρούμενο υλικό)
- Δημιουργία και ενημέρωση γεωβάσης με δεδομένα εισόδου σε τακτά χρονικά διαστήματα

- Χρήση δορυφορικών εικόνων Sentinel 2
- Πραγματοποίηση *insitu* μετρήσεων με σκοπό την ταυτόχρονη διεξαγωγή των μετρήσεων και δέλευση των δορυφόρων Sentinel-2 και Landsat-8.

8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Τσιρογιάννης Ευάγγελος « Μελέτη της χωροχρονικής διακύμανσης της ποιότητας υδάτων στην Λίμνη Τριχωνίδα » Σεπτέμβριος 2016

Πατελάκη Μ. (2015). Εκτίμηση και χαρτογράφηση ποιοτικών χαρακτηριστικών σε υδάτινους αποδέκτες από διαχρονικά τηλεπισκοπικά δεδομένα υψηλής χωρικής ανάλυσης. Διπλωματική Εργασία , Σχολή Αγρονόμων & Τοπογράφων Μηχανικών ΕΜΠ, Αθήνα 2015.

Θεολόγου Ι. Μ. (2014). Εκτίμηση και χαρτογράφηση ποιοτικών χαρακτηριστικών σε υδάτινους αποδέκτες με τεχνικές τηλεπισκόπησης : Η περίπτωση της λίμνης Κάρλα. Διπλωματική Εργασία , Σχολή Αγρονόμων & Τοπογράφων Μηχανικών ΕΜΠ, Αθήνα 2014.

Ντούλκα Χ. Ευαγγελίας. Συμβολή στη μελέτη της ζωοπλαγκτικής βιοκοινωνίας της λίμνης Τριχωνίδας. Διδακτορική Διατριβή υποβληθείσα στο Τμήμα Διαχείρισης Περιβάλλοντος & Φυσικών Πόρων του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων, Αγρίνιο, Νοέμβριος 2010

Κουσουρής Σ. Θ. «Συμβολή στη μελέτη της επίδρασης των γεωργοκτηνοτροφικών και άλλων δραστηριοτήτων στην τροφική κατάσταση της Λίμνης Τριχωνίδας και των δυνατοτήτων ιχθυοτροφικής της αξιοποίησης» Θεσσαλονίκη 1993 .

Ζαχαρίας Ι., Δημητρίου Η., Κουσουρής Θ. «Βιώσιμη Διαχείριση Υδατικών Πόρων στην υδρολογική λεκάνη της λίμνης Τριχωνίδας» Εθνικό Κέντρο Θαλασσίων Ερευνών / Ινστιτούτο Εσωτερικών Υδάτων. 2002

Μπερταχάς Η., Ζαχαρίας Ι., Κουσουρής Θ., 2000, Εκτίμηση της ανθρωπογενούς ρύπανσης στη λεκάνη απορροής της λίμνης Τριχωνίδας

Ζαχαρίας Ι. και Κουσουρής Θ. Δράσεις για την προστασία των ασβεστούχων βάλτων της λίμνης Τριχωνίδας. Τεχνική Έκθεση, ΕΚΘΕ / ΙΕΥ.

Ζαχαρίας Ι. Δημητρίου Η. Κουσουρής Θ. Ανάπτυξη Σχεδίου Διαχείρισης Υδατικών Πόρων και Περιβαλλοντική Προστασία στη Λίμνη Τριχωνίδα.

Χαλκιά Β. Α. (2013), Συμβολή στη Μελέτη της Βιολογίας και Οικολογίας του Ζωοπλαγκτού σε Λίμνες της Δυτικής Ελλάδας (Διδακτορική Διατριβή). Πανεπιστήμιο Δυτικής Ελλάδας Τμήμα Διαχείρισης Περιβάλλοντος Και Φυσικών Πόρων.

Ρίζος Ν. Εκτίμηση των περιβαλλοντικών συνθηκών στη λίμνη Τριχωνίδα. Πιθανές επιπτώσεις από τις κλιματικές αλλαγές. Πάτρα 2011.

ΥΠΕΚΑ-Υπουργείο Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής, (2014), Στρατηγική Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων για την Έρευνα Και Εκμετάλλευση Υδρογονανθράκων στη Χερσαία Περιοχή «Αιτωλοακαρνανία» της Περιφέρειας Δυτικής Ελλάδας, Ανακτήθηκε στις 20 Μαρτίου, 2015, από <http://www.ypeka.gr/LinkClick.aspx?fileticket=GTtQsW5S8bA%3D&tabid=877&language=el-GR>

Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ, Τραμπάζαλη Κ., Δ. Τραπεζιώτης, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων, Εταιρία Προστασίας Τριχωνίδας, Δήμος Θεσπιών, 2004, Οικοτουριστικός Οδηγός Λίμνης Τριχωνίδας.

Zacharias, E. Dimitriou and Th. Koussouris «Quantifying land-use alterations and associated hydrologic impacts at a wetland area by using remote sensing and modeling techniques».2004

Zacharias, E. Dimitriou and Th. Koussouris «Quantifying land-use alterations and associated hydrologic impacts at a wetland area by using remote sensing and modeling techniques».2004

ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ

<http://users.sch.gr/mppapado/downloads/tilepiskopisi.pdf>.

<http://www.ypeka.gr/?tabid=248>

www.geodata.gov.gr

www.airphotos.gr

<https://el.wikipedia.org/wiki/Τηλεπισκόπηση>

https://repository.kallipos.gr/bitstream/11419/3964/1/02_chapter_4.pdf

https://repository.kallipos.gr/bitstream/11419/3964/1/02_chapter_4.pdf

<http://landsat.usgs.gov/>

<http://www.ekt.gr/el/news/20179>

USGS

9. ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1.1 Η κατανομή του νερού στον πλανήτη [Πηγή: USGS]	8
Εικόνα 2.1: Διαδικασία υλοποίησης της οδηγίας – Αρχικές φάσεις (Μαμάης, 2008).....	13
Εικόνα 2.2: Αλληλοδιαδοχή εμφάνισης των κυριότερων προβλημάτων ρύπανσης του νερού στην Ευρώπη (Meybeck et al., 1990).....	16
Εικόνα 3.1. Χάρτης της περιοχής μελέτης με τις φυσικές λίμνες Τριχωνίδα, Αμβρακία, Λυσιμαχεία και Οζερός και την Τ/Λ Στράτου στη Δυτική Στερεά Ελλάδα.....	21
Εικόνα 3.2: Η Λίμνη Τριχωνίδα.....	22
Εικόνα 3.3: Λεκάνη απορροής Λίμνης Τριχωνίδας [www.geodata.gov.gr].....	23
Εικόνα 3.4:Βυθομετρική απεικόνιση της λίμνης Τριχωνίδας.....	24
Εικόνα 3.5: Υδρογραφικό δίκτυο της λίμνης Τριχωνίδας.....	25
Εικόνα 3.6: Η λίμνη της Τριχωνίδας και η λεκάνη απορροής της με τους γεωλογικούς της σχηματισμούς [Πηγή: Κουσουρή, 1993].....	25
Εικόνα 3.7: Διαγραμματική απεικόνιση, της στάθμης, του όγκου και της χωρητικότητας της λίμνης Τριχωνίδας [Πηγή: Κουσουρή, 1993].....	29
Εικόνα 3.8 Λίμνη Λυσιμαχεία[Πηγή: www.airphotos.gr]	31
Εικόνα 3.9 Λίμνη Οζερός [Πηγή: www.airphotos.gr].....	33
Εικόνα 3.10 Λίμνη Αμβρακία [Πηγή: www.airphotos.gr].....	35
Εικόνα 3.11 Τεχνητή λίμνη Στράτου [Πηγή: www.airphotos.gr].....	36
Εικόνα 3.12 Φράγμα Στράτου[Πηγή: www.airphotos.gr].....	36
Εικόνα 3.13 Τεχνητή λίμνη Καστρακίου [Πηγή: www.airphotos.gr].....	37
Εικόνα 4.1: Αποτύπωση Θερμοκρασίας με τη χρήση Δορυφορικών δεδομένων.....	41
Εικόνα 4.2 Φασματική υπογραφή χλωροφύλλης α και β.....	41
Εικόνα 4.3: Εισαγωγή εικόνας σε λογισμικό.....	44
Εικόνα 4.4: Θερμοκρασία στην επιφάνεια της θάλασσας.....	45
Εικόνα 4.5: Αριστερά η πολική τροχιά δορυφόρων, δεξιά η γεωστατική τροχιά.....	46
Εικόνα 4.6: Χωρική διακριτική ικανότητα σε διαφορετικά δορυφορικά συστήματα.....	48
Εικόνα 4.7 (a) 2, (b) 4, (c) 8, (d) 16 επίπεδα του γκρι.....	49
Εικόνα 4.8 α) πανχρωματική απεικόνιση β) πολυφασματική.....	50
Εικόνα 4.9:Χρονοδιάγραμμα αποστολών LANDSAT [Πηγή: http://landsat.usgs.gov/].....	52
Εικόνα 4.10 Γραφική απεικόνιση μεταξύ των φασματικών καναλιών των αισθητήρων OLI & TIRS (Landsat 8) και Landsat 7 ETM+ [Πηγή: USGS].....	54
Εικόνα 4.11: Ευαισθησία των καναλιών R443, R482, R562 και R665 στη χλωροφύλλη για συγκεντρώσεις 0.1-1, 1-5 και 5-12 mg/m ³	57
Εικόνα 4.12: Φασματική υπογραφή της χλωροφύλλης-α συναρτήσει διαφορετικών συγκεντρώσεων αιωρούμενων στερεών	58
Εικόνα 4.13: Συγκριτική χωρική ανάλυση των δεκτών CZCS, MODIS, AVHRR, SeaWiFS, Landsat MSS, Landsat TM, SPOTXS στο λιμάνι της Νέας Υόρκης. [Πηγή: Hellweger et al., 2004].....	60
Εικόνα 5.1: Πρόγραμμα Copernicus.....	62
Εικόνα 5.2: Ψηφιοποίηση της περιοχής ενδιαφέροντος.....	62
Εικόνα 5.3: Συμπλήρωση κριτηρίων.....	63

Εικόνα 5.4 α) Εικόνα χωρίς ατμοσφαιρική διόρθωση, β) Εικόνα μετά από ατμοσφαιρική διόρθωση	64
Εικόνα 6.1: Έγχρωμο Σύνθετο (RGB) της περιοχής μελέτης (6/8/17)	66
Εικόνα 6.2: Χάρτης Συγκεντρώσεων Χλωροφύλλης (mg/m ³)(6/8/17)	66
Εικόνα 6.3: Έγχρωμο Σύνθετο (RGB) της περιοχής μελέτης (10/11/17)	67
Εικόνα 6.4: Χάρτης Συγκεντρώσεων Χλωροφύλλης (mg/m ³), (10/11/17)	67
Εικόνα 6.5: Αποτύπωση Συγκεντρώσεων Χλωροφύλλης (mg/m ³) για τη χρονική περίοδο: (Απρίλιος 2017-Αύγουστος 2017)	68
Εικόνα 6.6: Αποτύπωση Συγκεντρώσεων Χλωροφύλλης (mg/m ³) για τη χρονική περίοδο: (Σεπτέμβριος 2017-Νοέμβριος 2017)	69
Εικόνα 6.7: Αποτύπωση Συγκεντρώσεων Χλωροφύλλης (mg/m ³) για τη χρονική περίοδο: (Νοέμβριος 2017- Απρίλιος 2018)	70
Εικόνα 6.8: Αποτύπωση Μεταβολών Επιφανειακής Θερμοκρασίας (°C) για τη χρονική περίοδο: (Απρίλιος 2017-Αύγουστος 2017)	80
Εικόνα 6.9: Αποτύπωση Μεταβολών Επιφανειακής Θερμοκρασίας (°C) για τη χρονική περίοδο: (Σεπτέμβριος 2017-Νοέμβριος 2017)	81
Εικόνα 6.10: Αποτύπωση Μεταβολών Επιφανειακής Θερμοκρασίας (°C) για τη χρονική περίοδο: (Νοέμβριος 2017-Απρίλιος 2018)	82

10. ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 3.1Κλιματικές παράμετροι στην ευρύτερη περιοχή της λίμνης Τριχωνίδας	27
Πίνακας 3.2 : Μορφολογικά και Λιμνολογικά στοιχεία	28
Πίνακας 3.3 : Υδρολογικά στοιχεία του νερού της λίμνης Τριχωνίδας ² [ΥΠΕΧΩΔΕ, 1995]	28
Πίνακας 3.4: Χρήσεις γης στους Δήμους της υδρολογικής λεκάνης της λίμνης Τριχωνίδας	29
Πίνακας 5.1: Οι Δορυφορικές εικόνες Landsat-8 που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα μελέτη	63
Πίνακας 5.2: Αριθμός Δορυφορικών εικόνων SR και TIRS ανά λίμνη και path/row	64
Πίνακας 6.1: Σύγκριση Συγκεντρώσεων Χλωροφύλλης της παρούσας εργασίας με τη βιβλιογραφία για τη λίμνη Τριχωνίδα	71
Πίνακας 6.2: Σύγκριση Συγκεντρώσεων Χλωροφύλλης (mg/m ³) της παρούσας εργασίας με τη βιβλιογραφία για τα υδάτινα συστήματα της περιοχής μελέτης	71
Πίνακας 6.3: Χρονοσειρά Συγκεντρώσεων Χλωροφύλλης για το Δυτικό τμήμα της λίμνης Τριχωνίδας	73
Πίνακας 6.4: Χρονοσειρά Συγκεντρώσεων Χλωροφύλλης για το Κεντρικό τμήμα της λίμνης Τριχωνίδας	73
Πίνακας 6.5: Χρονοσειρά Συγκεντρώσεων Χλωροφύλλης για το Ανατολικό τμήμα της λίμνης Τριχωνίδας	74
Πίνακας 6.6: Χρονοσειρά Συγκεντρώσεων Χλωροφύλλης για το Βόρειο τμήμα της λίμνης Λυσιμαχείας	74
Πίνακας 6.7: Χρονοσειρά Συγκεντρώσεων Χλωροφύλλης για το Κεντρικό τμήμα της λίμνης Λυσιμαχείας	75
Πίνακας 6.8 : Χρονοσειρά Συγκεντρώσεων Χλωροφύλλης για το Βόρειο τμήμα της λίμνης Οζερού	75
Πίνακας 6.9 : Χρονοσειρά Συγκεντρώσεων Χλωροφύλλης για το Νότιο τμήμα της λίμνης Οζερού	76
Πίνακας 6.10: Χρονοσειρά Συγκεντρώσεων Χλωροφύλλης για το Βόρειο τμήμα της λίμνης Αμβρακίας	76
Πίνακας 6.11: Χρονοσειρά Συγκεντρώσεων Χλωροφύλλης για το Νότιο τμήμα της λίμνης Αμβρακίας	77
Πίνακας 6.12: Χρονοσειρά Συγκεντρώσεων Χλωροφύλλης για το Κεντρικό τμήμα της λίμνης Στράτου	77
Πίνακας 6.13: Χρονοσειρά Συγκεντρώσεων Χλωροφύλλης για το Κεντρικό τμήμα της λίμνης Καστρακίου	78

Πίνακας 6.14: Χρονοσειρά Επιφανειακής Θερμοκρασίας για το Κεντρικό τμήμα της λίμνης Τριχωνίδας.....	83
Πίνακας 6.15: Χρονοσειρά Επιφανειακής Θερμοκρασίας για το Δυτικό τμήμα της λίμνης Τριχωνίδας.....	84
Πίνακας 6.16: Χρονοσειρά Επιφανειακής Θερμοκρασίας για το Βόρειο τμήμα της λίμνης Λυσιμαχείας.....	
Πίνακας 6.17: Χρονοσειρά Επιφανειακής Θερμοκρασίας για το Νότιο τμήμα της λίμνης Λυσιμαχείας	85
Πίνακας 6.18: Χρονοσειρά Επιφανειακής Θερμοκρασίας για το Βόρειο τμήμα της λίμνης Οζερού.....	85
Πίνακας 6.19: Χρονοσειρά Επιφανειακής Θερμοκρασίας για το Νότιο τμήμα της λίμνης Οζερού.....	86
Πίνακας 6.20: Χρονοσειρά Επιφανειακής Θερμοκρασίας για το Βόρειο τμήμα της λίμνης Αμβρακίας	86
Πίνακας 6.21: Χρονοσειρά Επιφανειακής Θερμοκρασίας για το Νότιο τμήμα της λίμνης Αμβρακίας	87
Πίνακας 6.22: Χρονοσειρά Επιφανειακής Θερμοκρασίας για το Κεντρικό τμήμα της τεχνητής λίμνης Στράτου	87
Πίνακας 6.23: Χρονοσειρά Επιφανειακής Θερμοκρασίας για το Κεντρικό τμήμα της τεχνητής λίμνης Καστρακίου	88
Πίνακας 6.24: Σύγκριση Επιφανειακής Θερμοκρασίας της παρούσας εργασίας με τη βιβλιογραφία για τη λίμνη Τριχωνίδα	89
Πίνακας 6.25: Σύγκριση Επιφανειακής θερμοκρασίας της παρούσας εργασίας με τη βιβλιογραφία για τη λίμνη Λυσιμαχεία.....	89
Πίνακας 6.26: Σύγκριση Επιφανειακής θερμοκρασίας της παρούσας εργασίας με τη βιβλιογραφία για τη λίμνη Οζερού.....	90
Πίνακας 6.27: Σύγκριση Επιφανειακής θερμοκρασίας της παρούσας εργασίας με τη βιβλιογραφία για τη λίμνη Αμβρακία.....	90