ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Μ.Δ.Ε «ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΚΑΙ ΥΓΕΙΟΝΟΜΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ»

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Αξιολόγηση και μοντελοποίηση της κατάστασης ευτροφισμού της λίμνης της Αγιάς

Γραμματικάκης Γιώργος

Εξεταστική επιτροπή: Νικόλαος Νικολαΐδης (Επιβλέπων)

Γεώργιος Καρατζάς

Δανιήλ Μωραΐτης

Χανιά 2012

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Βρισκόμαστε στην εποχή όπου ο άνθρωπος έχει καταφέρει να αλλάξει τόσο πολύ τις φυσικές ισορροπίες στο περιβάλλον, που ίσως μόνο με την δικιά του επέμβαση και θέληση μπορεί να ανακτήσει ξανά την χαμένη ισορροπία. Το περιβάλλον έχει δικούς του μηχανισμούς αποκατάστασης σε όλα τα διαφορετικά οικοσυστήματα, θέλει όμως πολύ χρόνο, κάτι που με την συνεχή επιβάρυνση από ανθρώπινες επεμβάσεις είναι τελικά σχεδόν ανέφικτο. Έχουμε καταφέρει να παρεμποδίσουμε σχεδόν όλους τους μηχανισμούς άμυνας της φύσης, με την ψευδαίσθηση ότι δεν αποτελούμε μέρος του περιβάλλοντος αλλά εξωτερικοί παρατηρητές, που το συμφέρον τους είναι εντελώς ασύνδετο και διαφορετικό απ' αυτό του περιβάλλοντος. Αν δεν συνειδητοποιήσουμε σύντομα ότι είμαστε μέρος αυτού που αποκαλούμε 'περιβάλλον' και θέλοντας και μη αλληλοεπηρεαζόμαστε απ' όλα τα διαφορετικά μέρη του, δεν θα καταφέρουμε ποτέ να βρούμε τους σωστούς τρόπους αντιμετώπισης των περιβαλλοντικών προβλημάτων που οι ίδιοι έχουμε δημιουργήσει.

Την εργασία αυτή την αφιερώνω στις τρείς αγαπημένες μου αδερφές, Μαρία-Αλεξία-Μυρτώ, που ήταν, είναι, και ελπίζω θα είναι πάντα δίπλα μου…

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Νικολαΐδη για την πολύ καλή συνεργασία που είχαμε καθ'όλη την διάρκεια της εργασίας, και για τις γνώσεις που μου μετέδωσε σε όλο αυτό το διάστημα.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω πάρα πολύ τον Δανιήλ ο οποίος με βοήθησε αλλά και με δίδαξε, καθ' όλη την διάρκεια της μεταπτυχιακής εργασίας και ήταν πρόθυμος να με βοηθήσει σε ότι και να χρειάστηκα. Καθώς επίσης να ευχαριστήσω τη Λίλη και όλα τα παιδιά του εργαστηρίου για τη βοήθεια τους.

Τέλος, ευχαριστώ τη Μυρτώ μου που ήταν εκεί σε ότι της ζήτησα και είναι εδώ να μου δείχνει το δρόμο για το όνειρο…

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ 3

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ: ΕΙΣΑΓΩΓΗ 6

1.1 Εισαγωγή στο Θέμα 6

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ: ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ 11

2.1 Λίμνες 11

2.1.1 Τύποι Λιμνών 13

2.1.2 Το οικοσύστημα ενός υγροτόπου 15

2.1.3 Λεκάνη απορροής 16

2.1.4 Ηλιακές επιδράσεις 19

2.1.5 Θερμοκρασία 22

2.1.6 Αγωγιμότητα 26

2.1.7 Οξυγόνωση 28

2.1.8 Η Τροφική αλυσίδα 30

2.2 Ευτροφισμός 34

2.3 Κύκλος Αζώτου 38

2.3.1 Μορφές αζώτου 39

2.3.2 Λειτουργίες του Αζώτου 41

2.3.3 Δέσμευση Μοριακού Αζώτου 43

2.3.4 Ανοργανοποίηση – Αμμωνιοποίηση (Mineralization) 44

2.3.5 Νιτροποίηση 46

2.3.6 Απονιτροποίηση 47

2.3.7 Κύριες πηγές αζώτου 49

2.4 Ο Κύκλος του Φωσφόρου 53

2.4.1 Είδη Φωσφορικών 56

2.4.1.1 Οργανικά Φωσφορικά 56

2.4.1.2 Ανόργανα Φωσφορικά 56

2.4.2 Κύριες Ανθρωπογενείς Πηγές Φωσφόρου 57

2.5 Καρστικό μοντέλο για την προσομοίωση των πηγών 58

2.5.1 Περιγραφή Καρστικού Μοντέλου 58

2.6 Μοντέλα προσομοίωσης περιβαλλοντικών συστημάτων – Το μοντέλο WASP 63

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ: ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ 71

3.1 Περιγραφή της περιοχής μελέτης 71

3.1.1 Χλωρίδα και πανίδα της λίμνης 73

3.1.2 Χρήσεις Γης- Λεκάνη Απορροής 77

3.1.3 Κλιματολογικά στοιχεία 79

3.3 Γενικά 80

3.4 Δειγματοληψία 86

3.4.1 Δείγματα Νερού 86

3.4.2 Δείγματα ιζήματος 87

3.5 Εργαστηριακές μετρήσεις 89

3.5.1 Δείγματα νερού 89

3.5.2 Δείγματα ιζήματος 92

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ 97

4.1 Μετρήσεις πεδίου 97

4.2 Διαγράμματα διακύμανσης παραμέτρων 98

4.3 Έλεγχος τοξικότητας 106

4.4 Εργαστηριακές μετρήσεις ιζήματος 108

4.4.1 Μέτρηση ολικών βαρεών μετάλλων- έλεγχος τοξικότητας 109

4.4.2 Μέτρηση θρεπτικών 110

4.4.3 Δοκιμή SPLP και TCLP 112

4.4.2.1 Έλεγχος τοξικότητας 112

4.4.2.2 Έλεγχος θρεπτικών 113

4.5 Περιοριστικός παράγοντας- χαρακτηρισμός της λίμνης 114

4.6 Μοντελοποίηση 117

4.6.1 Μοντελοποίηση παροχών των πηγών 117

4.6.2 Μοντέλο Dillon 122

4.6.3 Μοντελοποίηση της λίμνης, WASP 125

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΕΜΠΤΟ: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΣΥΖΗΤΗΣΗ 134

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 143

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Εισαγωγή στο Θέμα

Οι λίμνες, τα ποτάμια και γενικά οι υδάτινες μάζες πάνω στην γη είναι οι τελικοί αποδέκτες των μεγάλων ρυπαντικών φορτίων που προέρχονται από τις ανθρώπινες δραστηριότητες, μέσω του υδρολογικού κύκλου. Τα υδατικά οικοσυστήματα παρουσιάζουν ιδιαίτερη σημασία για την επιβίωση όλων των ειδών χλωρίδας και πανίδας του πλανήτη και κατ’ επέκταση και του ίδιου του ανθρώπου. Κάτι τέτοιο επιβάλει την προστασία των υδάτινων οικοσυστημάτων και θέτει σε προτεραιότητα την εξυγίανση τους (Novotny 2003).

Τα οικοσυστήματα εσωτερικών υδάτων μπορούν να θεωρηθούν ως συστήματα αυξημένης ποικιλότητας οικοτόπων αλλά και βιοποικιλότητας, καθώς περιλαμβάνουν το 2,4% όλων των γνωστών ειδών, παρόλο που καταλαμβάνουν το 0,8% της χερσαίας επιφάνειας και αποτελούν το 0,3% όλων των υδάτων του πλανήτη (McAllister *et al.*, 1997). Περιλαμβάνουν ενδιαιτήματα με μια ευρεία ποικιλία φυσικοχημικών και βιολογικών χαρακτηριστικών και εμπεριέχουν ποτάμια, λίμνες, υγροτόπους, έλη, μικρούς χείμαρρους, πηγές ακόμα και ύδατα μέσα σε σπηλιές.

Παρά την οικολογική σημαντικότητα αυτών των οικοσυστημάτων, σήμερα βρίσκονται αντιμέτωπα με ένα μεγάλο αριθμό απειλών ανθρώπινης προέλευσης (Dudgeon *et al.*, 2006). Οι πιο έντονες πιέσεις προέρχονται από τις βιομηχανικές και αγροτικές δραστηριότητες, τα αστικά λύματα, τις αλόγιστες υδροληψίες κυρίως για αρδευτικές ανάγκες, την εισαγωγή ξενικών ειδών καθώς και από την υποβάθμιση της παρόχθιας ζώνης και την αλλοίωση των μορφολογικών τους χαρακτηριστικών μέσω της δημιουργία τεχνικών έργων (π.χ. φράγματα, έργα αντιπλημμυρικής προστασίας κ.α.) (Baron *et al.* 2002, Nilsson *et al.* 2005). Οι κύριοι ρύποι είναι οργανικοί ρυπαντές, θρεπτικά άλατα, βαρέα μέταλλα, φυτοφάρμακα και στερεά απόβλητα.

Πολλοί υγρότοποι, λιμνοθάλασσες και ποτάμιοι σχηματισμοί έχουν εξαφανιστεί εξαιτίας της επέκτασης της καλλιεργητικής έκτασης. Το νερό μεταφέρεται από την μια υδρολογική λεκάνη ποταμού στην άλλη και η συνεκτικότητα των περισσότερων ποταμών έχει διακοπεί εξαιτίας της κατασκευής φραγμάτων (Sabater 2008).

Η Ελλάδα, αν και χαρακτηρίζεται από ένα πλούτο μοναδικών οικοσυστημάτων και οικοτόπων καθώς επίσης και μια αυξημένη βιοποικιλότητα εξαιτίας παλαιογεωμορφολογικών και παλαιοκλιματικών συνθηκών, αντιμετωπίζει τις ίδιες πιέσεις όπως όλες οι άλλες μεσογειακές χώρες. Στην Ελλάδα έχουν ήδη συντελεστεί αποξηράνσεις μεγάλων υγροτοπικών περιοχών με σκοπό την αύξηση των καλλιεργητικών εκτάσεων. Συνολικά, η Ελλάδα έχει απολέσει περίπου το 75% των υγροτοπικών συστημάτων (OECD, 2000). Πολλά από τα υπάρχοντα υδατικά οικοσυστήματα θεωρούνται σαν απειλούμενα ακόμα και αυτά που υπάγονται σε καθεστώς προστασίας. Πολλά ενδημικά είδη των εσωτερικών υδάτων απειλούνται ή ήδη έχουν εξαφανιστεί (Economidis, 1995, 1999, 2002, Economou *et al.*, 1999, Stoumboudi *et al.*, 2002, Perdikaris *et al.*, 2005).

Η υποβάθμιση της ποιότητας και η μείωση της ποσότητας των επιφανειακών υδάτων σε συνδυασμό με την αλλοίωση των υγροτοπικών και παράκτιων οικοσυστημάτων στην Ευρώπη, οδήγησε το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο στην έκδοση της οδηγίας 2000/60 ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του συμβουλίου της ΕΕ για την θέσπιση πλαισίου κοινοτικής δράσης στον τομέα της πολιτικής των υδάτων και σύμφωνα με το νόμο 3199 στις 9 Δεκεμβρίου 2003 η Ελλάδα εναρμονίζεται με την κοινοτική οδηγία και θεσπίζονται κάποιοι κανόνες για την προστασία των υδάτινων συστημάτων.

Η συγκεκριμένη Οδηγία επιτάσσει την αποκατάσταση και διατήρηση της ποιότητας των υδατικών οικοσυστημάτων, όπου η ποιότητα τους εκτιμάται με βάση τα υδρομορφολογικά, χημικά και βιολογικά στοιχεία. Η Οδηγία αυτή συγχωνεύει και αντικαθιστά πλήθος υφιστάμενων οδηγιών και αντανακλά μια σημαντική αλλαγή πορείας στη διαχείριση των υδατικών πόρων. Εντάσσει βιολογικά στοιχεία, όπου με βάση την κατάσταση τους θα εξαρτηθεί η κατάταξη των υδατικών σωμάτων σε ποιοτική κατηγορία. Ένα σημαντικό και συχνά περιοριστικό βήμα για την εκτίμηση της υγείας των οικοσυστημάτων, είναι η ανάπτυξη κατάλληλων εργαλείων τα οποία θα υπολογίζουν την βιοτική κατάσταση. Η επιτυχής εφαρμογή της Οδηγίας εξαρτάται, εν μέρει, από την ανάπτυξη αξιόπιστων και επιστημονικά βασισμένων εργαλείων για την άμεση εκτίμηση των βιολογικών συνθηκών (Angermeier & Davideanu, 2004).

Σύμφωνα με την οδηγία αυτή οι χρήσεις υδάτων διακρίνονται σε ύδρευση άρδευση, βιομηχανική χρήση, ενεργειακή χρήση και χρήση για αναψυχή. Για κάθε χρήση εφαρμόζονται οι εξής κανόνες οι οποίοι λαμβάνονται υπόψη στα σχέδια διαχείρισης:

- Κάθε χρήση πρέπει να αποβλέπει στη βιώσιμη και ισόρροπη ικανοποίηση των αναπτυξιακών αναγκών και να διασφαλίζει την μακροπρόθεσμη προστασία των υδάτων, την επάρκεια των αποθεμάτων τους και την διατήρηση της ποιότητας τους, ιδιαίτερα δε τη μείωση και την αποτροπή της ρύπανσης τους.

- Η ικανοποίηση της ζήτησης του νερού γίνεται με βάση τα όρια και τις δυνατότητες των υδατικών αποθεμάτων, λαμβανόμενων υπόψη των αναγκών για την διατήρηση των οικοσυστημάτων, καθώς και της ισορροπίας που απαιτείται μεταξύ άντλησης και ανατροφοδότηση των υπόγειων υδάτων. Οι ανάγκες των χρήσεων σε νερό ικανοποιούνται κατά το δυνατόν σε επίπεδο περιοχής λεκάνης απορροής ποταμού. Κατά την διαχείριση των υδάτων πρέπει να εξασφαλίζεται η εξοικονόμηση νερού μέσω της χρήσης τεχνικών μεθόδων, οικονομικών κινήτρων και εργαλείων.

Η λίμνη της Αγιάς αποτελεί και αυτή ένα πολύ σημαντικό υγροβιότοπο, και έναν από τα σημαντικότερα οικοσυστήματα στην Δυτική Κρήτη. Φιλοξενεί ένα μεγάλο αριθμό πανίδας και χλωρίδας και αποτελεί το πέρασμα για εκατοντάδες αποδημητικά πουλιά, ιδιαίτερα κατά τους χειμερινούς μήνες (Δρεττάκης, 2011).

Οι μελέτες που έχουν γίνει σε αυτόν τον ταμιευτήρα είναι ελάχιστες και αναφέρονται σε επιμέρους ζητήματα και όχι συνολικά στην κατάσταση και την διαχείριση της λίμνης. Κάτι τέτοιο καταστεί αναγκαία την παρούσα μελέτη και την προσπάθεια αξιολόγησης της κατάστασης του συγκεκριμένου τεχνητού ταμιευτήρα.

Στην μελέτη αυτή έγινε μια προσπάθεια εκτίμησης της κατάστασης της λίμνης της Αγιάς με στόχο την σωστή διαχείριση αυτού του πολύ σημαντικού οικοσυστήματος. Πραγματοποιήθηκε έλεγχος για την είσοδο των ρύπων στη λίμνη, μέσω συστηματικών μετρήσεων κατά την διάρκεια της χρονικής περιόδου, 12/2009 έως τον 2/2011, καθώς και για την ποσότητα των ρύπων στην έξοδο της λίμνης. Έγινε επίσης προσπάθεια μοντελοποίησης της χημικής κατάστασης της λίμνης, και προσδιορισμός του βαθμού ευτροφισμού της.

Οι μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν ήταν πάνω στη ρύπανση των εισερχόμενων και εξερχόμενων νερών στη λίμνη καθώς και μετρήσεις χαρακτηρισμού του ιζήματος της λίμνης. Έγινε ένας έλεγχος του βαθμού επιβάρυνσης του οικοσυστήματος από την εισαγωγή των ρύπων καθώς προσπάθεια εύρεσης της πηγής προέλευσης τους.

Ο τελικός στόχος της παρούσας μελέτης είναι μια συνολική παρουσίαση της κατάστασης που επικρατεί αυτή τη στιγμή στην λίμνη της Αγιάς και η αξιολόγηση των δεδομένων, ώστε να προταθούν συγκεκριμένες και τεκμηριωμένες λύσεις για την διαχείριση της.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

2.1 Λίμνες

Εικόνα 2.1: Περιβάλλον λίμνης

Λίμνη (εικόνα 2.1) ορίζεται η μικρή ή μεγάλη υδάτινη μάζα με γλυκό, υφάλμυρο ή και αλμυρό νερό, που βρίσκεται συνήθως σε μία κλειστή γεωλογική λεκάνη στην επιφάνεια της γης, χωρίς να έχει άμεση επικοινωνία με τη θάλασσα. Η ελεύθερη επιφάνεια των λιμνών δεν παρουσιάζει μια μέση σταθερή στάθμη, γιατί εξαρτάται από την έκταση και τη χωρητικότητα της λίμνης, από τις παροχές των ποταμών και των πηγών και κυρίως από τις κλιματικές συνθήκες (Σίνης, 2005).

Η δημιουργία των λιμνών σχετίζεται με γεωλογικά φαινόμενα που συνέβησαν κατά την περίοδο των παγετώνων ή τις περιόδους των ισχυρών τεκτονικών και ηφαιστειακών δράσεων, με αποτέλεσμα η κατανομή τους στην επιφάνεια της γης να είναι ανομοιόμορφη. Αν και οι λίμνες εμφανίζονται στη διάρκεια της ζωής του πλανήτη και φαίνονται ως μόνιμοι σχηματισμοί της επιφάνειας της γης, στην ουσία είναι γεωλογικά προσωρινοί. Κάθε λίμνη, ακόμη κι αν ανήκει γεωγραφικά σε μια "ομάδα" λιμνών, παρουσιάζει τα δικά της σύνθετα φυσικοχημικά και βιολογικά χαρακτηριστικά τα οποία σχετίζονται με την προέλευση και την εξέλιξη της (Καγκάλου, 1997). Γενικά οι διαδικασίες που εμπλέκονται στο σχηματισμό μιας λίμνης έχουν σχέση με φαινόμενα τα οποία: δημιουργούν σιγά - σιγά μια λίμνη, προκαλούν βίαια τον σχηματισμό μιας λίμνης ή επιδρούν σε μια προϋπάρχουσα κοιλότητα έτσι ώστε να μετατραπεί σε λίμνη. Κάποιες από τις παλαιότερες και βαθύτερες λίμνες έχουν τεκτονική προέλευση αλλά οι περισσότερες από τις υπάρχουσες σήμερα λίμνες έχουν σχηματισθεί κατά την περίοδο των παγετώνων (Σίνης, 2005).

Η λίμνη βέβαια δεν είναι μόνο μια συλλογή νερού, αλλά ένα οικοσύστημα, μια κοινότητα με αλληλεπιδράσεις μεταξύ ζώων, φυτών, μικροοργανισμών και του φυσικού και χημικού περιβάλλοντος στο οποίο ζουν. Η ποικιλία και η ετερογένεια αποτελούν τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των λιμναίων οικοσυστημάτων. Οι λίμνες διαφέρουν μεταξύ τους λόγω φυσικών αιτίων, όπως είναι η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας, η θερμοκρασία ή η κίνηση των νερών, διαφέρουν λόγω χημικών αιτίων (διαφοροποίηση στα θρεπτικά συστατικά, τα κυρίαρχα ιόντα, τους ρυπαντές), διαφέρουν ακόμη λόγω βιολογικών αιτίων όπως η βιομάζα, οι αριθμοί πληθυσμών και οι ρυθμοί ανάπτυξης (Ζαχαρίας, 2005) . Η λεκάνη απορροής της κάθε λίμνης αποτελεί επίσης ένα σημαντικό παράγοντα για κάθε λιμναίο οικοσύστημα γιατί αφενός μεν υδροδοτεί τη λίμνη με τις απορροές και τις υπολίμνιες πηγές της, αφετέρου μια αλλαγή στη λεκάνη απορροής, όπως μια οικιστική επέκταση, ένα αποστραγγιστικό έργο ή μια φωτιά σε δασική έκταση της μπορούν να τροποποιήσουν την ευαίσθητη ισορροπία του λιμναίου οικοσυστήματος (Ζαχαρίας, 2005).

2.1.1Τύποι Λιμνών

Ανάλογα με την προέλευση του σχηματισμού τους οι λίμνες κατατάσσονται σε φυσικές ή τεχνικές. Στην Ελλάδα αναφέρονται 230 ως φυσικές λίμνες και 30 τεχνητές (Σίνης, 2005).

Οι λίμνες **τεκτονικής προέλευσης** οφείλουν την δημιουργία τους σε μετακινήσεις και διαρρήξεις του στερεού φλοιού της γης. Τα αίτια τους δηλαδή είναι τεκτονικά. Οι περισσότερες από αυτές προέκυψαν από κάποιο μοναδικό ή από πολλαπλά γειτονικά ρήγματα. Η λεκάνη των λιμνών αυτών σχηματίστηκε από κάποια καταβύθιση του εδάφους, λόγω της δράσης ενός ρήγματος ή από βύθισμα μιας ευρύτερης περιοχής που βρίσκεται μεταξύ δύο γειτονικών ρηγμάτων. Ένας άλλος βασικός τύπος τεκτονικών λιμνών προέκυψε από την ανύψωση τμημάτων του θαλάσσιου βυθού. Ενώ τέλος ένας τρίτος τύπος τεκτονικών λιμνών είναι αυτές όπου η κλίση, η ανύψωση ή η βύθιση του φλοιού της γης αντέστρεψαν το υπάρχον αποστραγγιστικό σύστημα της περιοχής (Σίνης, 2005) .

Οι λίμνες **ηφαιστειακής προέλευσης** καταλαμβάνουν τους κρατήρες των σβησμένων ηφαιστείων αλλά και αυτές που σχηματίστηκαν όταν η λάβα έφραξε την έξοδο ενός ποταμού η μιας κοιλάδας, όπως συνέβη σε πολλές λίμνες της Ιαπωνίας (Σίνης, 2005).

Επιπροσθέτως, οι περισσότερες λεκάνες των λιμνών του πλανήτη μας σχηματίστηκαν κατά τη διάρκεια του Πλειστόκαινου (Τεταρτογενές), όταν οι παγετώνες κάλυπταν μεγάλο τμήμα της γης. Η περίοδος αυτή δημιούργησε τις προϋποθέσεις για τη δημιουργία των λιμνών **παγετικής προέλευσης** που είναι συνήθως επιμήκεις και ο αρχικός τους σχηματισμός οφείλεται στη διέλευση των παγετώνων κατά μήκος της παλαιάς ποτάμιας κοιλάδας, η οποία υποσκάπτεται και διευρύνεται, ενώ το κατώτερο τμήμα της φράσσεται κατά κύριο λόγο από φερτά υλικά που μεταφέρουν και πετρώματα που συναντούν (Σίνης, 2005).

.Οι **καρστικές** λίμνες συνήθως συναντούνται σε ασβεστολιθικές περιοχές όπου παρατηρούνται καρστικά φαινόμενα (διάσπαρτα έγκοιλα, όπως κοιλότητες, οπές, βάραθρα, που προέρχονται από τη διάβρωση των ασβεστόλιθων). Η δημιουργία τους οφείλεται στη διάλυση των ασβεστολιθικών ή δολομιτικών πετρωμάτων από υπόγεια ή επιφανειακά τρεχούμενα νερά, τα οποία στη συνέχεια τροφοδοτούν τις λίμνες αυτές (Σίνης, 2005).

Ο σχηματισμός των **παράκτιων** λιμνών οφείλεται κατά κύριο λόγο στην ενέργεια των θαλάσσιων ρευμάτων που επικρατούν και δρουν πολύ κοντά στις ακτές με αποτέλεσμα να παρασύρουν την άμμο, να την αποθέτουν στην εκβολή του νερού και να δημιουργούν το αποφρακτικό ανάχωμα. Όταν ο αποκλεισμός της θάλασσας είναι τέλειος, τότε σχηματίζεται παράκτια λίμνη, όταν όμως δεν είναι τέλειος και επιτρέπει την επικοινωνία της λίμνης με τη θάλασσα, τότε σχηματίζεται λιμνοθάλασσα (Σίνης, 2005).

Τέλος, με τον όρο **τεχνητή** λίμνη αποκαλείται κάθε λίμνη που σχηματίστηκε με κατασκευή φραγμάτων, συνήθως στη ροή ποταμών και πολύ μικρότερων υδάτινων ρευμάτων, που προέρχονται από την ίδια λεκάνη απορροής. Ο σκοπός της δημιουργίας τέτοιων λιμνών είναι η παραγωγή ενέργειας, η άρδευση και η ύδρευση. Ο τεχνικός όρος που χρησιμοποιείται για την αναφορά στις τεχνητές λίμνες είναι Ταμιευτήρας (Σίνης, 2005).

2.1.2 Το οικοσύστημα ενός υγροτόπου

Σύμφωνα με την Λιμνολογία, η δομή κάθε λιμναίου οικοσυστήματος προσδιορίζεται από ορισμένες βασικές παραμέτρους οι οποίες αφορούν την μορφομετρία (γεωμορφολογία), την λεκάνη απορροής, την κατανομή των φυσικών και χημικών παραμέτρων και την κατανομή των βιολογικών παραμέτρων μιας λίμνης. Πολλά λιμνολογικά φαινόμενα, όπως η κατανομή των βιοκοινωνιών και η παραγωγικότητα σχετίζονται άμεσα με τα μορφομετρικά χαρακτηριστικά της υδρολογικής λεκάνης. Ακόμη και το σχήμα μιας λίμνης μπορεί να καθορίσει την παραγωγικότητά της. Για παράδειγμα, οι ρηχές λίμνες με αναλογικά μεγαλύτερο ποσοστό νερού σε επαφή με το ίζημα, είναι πιο παραγωγικές από τις λίμνες που είναι βαθιές και που έχουν απότομες ακτές. Τα μορφομετρικά χαρακτηριστικά μιας λίμνης μπορούν να περιγραφούν και να υπολογιστούν από ένα λεπτομερή βυθομετρικό χάρτη. Εξαρτώνται από το σχήμα της, την γεωλογική της προέλευση όπως η έκταση (το εμβαδόν της επιφάνειας μιας λίμνης), το μέγιστο βάθος, το μέσο βάθος, το μήκος και το πλάτος της καθώς και ο όγκος (V) του νερού της. Με το μήκος της ακτογραμμής και την ανάπτυξη της ακτογραμμής της να αποτελούν εξίσου σημαντικά στοιχεία.

Η εκτίμηση των παραμέτρων αυτών θεωρείται απαραίτητη για την μελέτη κάθε λιμναίου οικοσυστήματος (Horne και Goldman, 1994).

2.1.3 Λεκάνη απορροής

Η λεκάνη απορροής μιας λίμνης είναι η χερσαία έκταση που περιβάλλει τη λίμνη και από την οποία συγκεντρώνεται όλη η επιφανειακή απορροή που υδροδοτεί τη λίμνη. Οριοθετείται συνήθως από την κορυφογραμμή (υδροκρίτη) της περιβάλλουσας ορεινής έκτασης και περιέχει τα εδάφη που η κλίση τους επιτρέπει το νερό των κατακρημνισμάτων να διοχετεύεται στη λίμνη μέσω ποταμών, χειμάρρων ή ρεμάτων. Η λίμνη αποτελεί αντανάκλαση της λεκάνης απορροής. Η γεωλογική της σύσταση, το μέγεθός της, η κλίση του εδάφους της, το κλίμα και η χρήση της επηρεάζουν το είδος και την ποσότητα των χημικών στοιχείων που αιωρούνται ή είναι διαλυμένα στο νερό αλλά και που υπάρχουν στο ίζημα της λίμνης. Οι υδρογεωλογικές και μετεωρολογικές παράμετροι της λεκάνης απορροής είναι πολύ σημαντικές για κάθε υδάτινο οικοσύστημα, άρα και για κάθε λίμνη. Έτσι λεκάνες απορροής με πετρώματα σχιστολιθικά, ψαμμιτικά, κροκαλοπαγή που θεωρούνται αδιαπέραστοι σχηματισμοί, έχουν μεγάλο συντελεστή επιφανειακής απορροής (>35% των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων) και μικρή κατείσδυση (3-7% της ατμοσφαιρικής κατακρήμνισης). Αντίθετα τα ανθρακικά πετρώματα με διαρρήξεις και "κάρστ" παρουσιάζουν μικρή επιφανειακή απορροή (0-7%), ενώ η κατείσδυση τους είναι μεγάλη (>50% των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων). Προσχώσεις, τεταρτογενείς και σχηματισμοί νεότερης ηλικίας έχουν ποικίλο συντελεστή επιφανειακής απορροής (Miller, 1998).

Η χρήση της γης έχει επίσης σημαντική επίδραση στην ποιότητα και στην ποσότητα του νερού που εισέρχεται στις λίμνες. Έτσι όπως φαίνεται στη εικόνα 4 το υδάτινο φορτίο που εκφορτίζεται σε μια λίμνη διαφέρει σημαντικά ανάλογα με τη χρήση της γης. Σε αστικές περιοχές η μεγάλη συμμετοχή των αδιάβροχων επιφανειών, π.χ. δρόμοι, σπίτια στη διαμόρφωση του εδάφους, έχει σαν συνέπεια την ελάχιστη απορρόφηση του νερού μιας καταιγίδας και τη δημιουργία αυξημένης επιφανειακής απορροής, που με τη σειρά της δημιουργεί σημαντική διάβρωση στις όχθες των ρεμάτων και μεταφορά μεγάλων τμημάτων εδάφους. Η ροή του νερού πάνω από δρόμους, στέγες κλπ, συγκεντρώνει ρυπαντές αλλά και θρεπτικά συστατικά σε διαλυμένη και σωματιδιακή μορφή (Horne και Goldman, 1994).

Το περιεχόμενο σε φώσφορο είναι ιδιαίτερα σημαντικό για μια λίμνη, γιατί ως γνωστό είναι αυτό που ελέγχει την βιομάζα των αλγών και την συνολικότερη παραγωγικότητα μιας λίμνης. Συνεπώς ο ρυθμός και ο όγκος των εισροών σε μια λίμνη επηρεάζει και την ποιότητα του νερού της. Σημαντικό στοιχείο είναι το κλίμα που επηρεάζει την ιζηματογένεση και τη μεταφορά των θρεπτικών στοιχείων αντίστοιχα. Στα εύκρατα κλίματα οι βροχοπτώσεις διατηρούν μια κανονική περίπου κατανομή στη μεγαλύτερη διάρκεια του έτους και οι καταρρακτώδεις βροχές είναι σπάνιες. Αυτό έχει σαν συνέπεια να δημιουργείται μια διαρκής φυτική κάλυψη σε δάση και ανοικτές εκτάσεις, οπότε η φυσική διάβρωση του εδάφους είναι περιορισμένη. Αντίθετα, σε ημιάνυδρα κλίματα παρατηρούνται λίγες και έντονες καταιγίδες που σε συνδυασμό με την εποχιακή φυτοκάλυψη, έχουν σαν αποτέλεσμα η διάβρωση του εδάφους να είναι εκτεταμένη και οι φερτές ύλες να μεταφέρονται ευκολότερα από τη λεκάνη στη λίμνη. Καθοριστικό για το υδρολογικό καθεστώς της λίμνης, είναι και ο υδραυλικός χρόνος παραμονής του νερού της λίμνης (Ζαχαρίας, 2005).

Ως Υδραυλικός χρόνος παραμονής θεωρείται ο χρόνος που απαιτείται για να «ξαναγεμίσει» μια άδεια λίμνη, μέσω της φυσικής ροής των νερών που την τροφοδοτεί. Αποτελεί μια σημαντική παράμετρο για τη μελέτη της ρύπανσης αλλά και για υπολογισμούς που αφορούν τη δυναμική των θρεπτικών στοιχείων. Συσχετίζεται δε άμεσα με την παροχή των εισροών της λίμνης και τη μορφολογία της λεκάνης της και υπολογίζεται με την διαίρεση του όγκου της με την παροχή των εισροών και εκροών (Κάγκαλου, 1997).

Εικόνα 2.2: Ανάπτυξη χλωρίδας στο εσωτερικό της λίμνης

Όταν η λεκάνη απορροής είναι μικρή, οι λίμνες τροφοδοτούνται κυρίως από τον υπόγειο υδροφορέα και προφανώς είναι πιο φτωχές σε θρεπτικά συστατικά, έχουν καλύτερη ποιότητα νερού, είναι όμως πιο ευαίσθητες από την όξινη βροχή, λόγω της μειωμένης ρυθμιστικής τους ικανότητας. Το κλίμα είναι αυτό που ευθύνεται για το μέγεθος της επίδρασης της όξινης βροχής στη λίμνη. Έτσι οι λίμνες που βρίσκονται σε κρύα κλίματα είναι πιθανό να έχουν πιο όξινα νερά και χαμηλό pH, επειδή το λιωμένο χιόνι έχει χαμηλότερο pH σε σχέση με το νερό που εξουδετερώνει την οξύτητά του ρέοντας διαμέσου των εδαφών. Η μορφολογία της λεκάνης απορροής επηρεάζει την ποιότητα του νερού και με άλλο τρόπο. Έτσι λίμνες που στερούνται φυσικών υπερχειλίσεων καταλήγουν να γίνουν αλμυρές λόγω της εξάτμισης του νερού (Horne, 1994).

Η επίδραση του ανθρώπου, ο οποίος συνήθως χρησιμοποιεί εκτάσεις της λεκάνης απορροής με τέτοιο τρόπο ώστε τελικά να ρυπαίνει, είτε με αποθέσεις τοξικών χημικών είτε με τα λύματα κατοικημένων περιοχών είτε ακόμη με τα χημικά και τα θρεπτικά των καλλιεργειών τα οποία καταλήγουν στις παρακείμενες λίμνες, είναι ιδιαίτερα σημαντική. Με συνέπεια την αύξηση των θρεπτικών στο εσωτερικό της λίμνης και την υπέρμετρη ανάπτυξη των φυκών (εικόνα 2.2). Έτσι παρατηρείται αύξηση της χλωρίδας της λίμνης και και κατ επέκταση μείωση του διαλυμένου οξυγόνου (Miller, 1998).

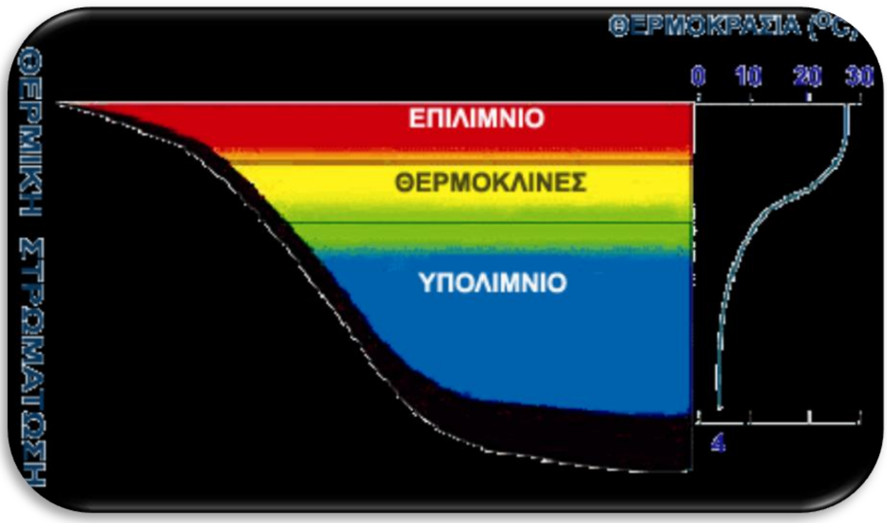
2.1.4 Ηλιακές επιδράσεις

Για τα λιμναία και γενικότερα τα υδάτινα οικοσυστήματα, η ηλιακή ακτινοβολία είναι ο πιο σημαντικός παράγοντας αφού αποτελεί την κύρια πηγή θερμότητας για το νερό και καθορίζει τις μετεωρολογικές συνθήκες στη λεκάνη απορροής της λίμνης και τον κυματισμό του νερού. Παράλληλα, η ηλιακή ακτινοβολία συνδέεται με την πρωτογενή και τη δευτερογενή παραγωγή οργανικής ύλης μέσω της φωτοσύνθεσης, που μετατρέπει τη φωτεινή ενέργεια του ήλιου σε χημική. Η φωτοσύνθεση παράγει βιομάζα (οργανική ύλη) είτε μέσα στο υδάτινο οικοσύστημα (αυτόχθονη) είτε στη λεκάνη απορροής (αλλαχθέν) η οποία μεταφέρεται στο λιμναίο οικοσύστημα είτε ως διαλυμένη είτε ως σωματιδιακή οργανική ύλη εξασφαλίζοντας έτσι τροφή σε ένα μεγάλο αριθμό των οργανισμών της λίμνης. Η ένταση του φωτός που δέχεται στιγμιαία κάθε φυτοπλαγκτονικός οργανισμός εξαρτάται από τη θέση του μέσα στην υδάτινη στήλη και την κατανομή του φωτός στο νερό. Όσο πιο βαθιά μπορεί να διεισδύσει το φως στο νερό τόσο πιο βαθιά μπορούν να αναπτυχθούν φωτοσυνθετικές δραστηριότητες. Οι φωτοσυνθετικοί οργανισμοί μιας λίμνης περιλαμβάνουν το φυτοπλαγκτόν, που αιωρείται στο νερό, το περίφυτον που προσκολλάται σε επιφάνειες και τα αγγειώδη υδρόβια φυτά, τα μακρόφυτα. Οι φωτοσυνθετικοί οργανισμοί που αναφέραμε συνθέτουν - με τη βοήθεια των φωτονίων, μορίων νερού και διοξειδίου του άνθρακα - υδατάνθρακες μετατρέποντας έτσι τη φωτεινή ενέργεια σε χημική, η οποία μέσω τροφικών πλεγμάτων μεταφέρεται στους ανώτερους καταναλωτές. Η ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας που φθάνει στην επιφάνεια μιας λίμνης εξαρτάται από το γεωγραφικό πλάτος και μήκος της περιοχής, την εποχή και την ώρα της ημέρας αλλά και τις ατμοσφαιρικές και μετεωρολογικές συνθήκες. Η ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας που εισχωρεί στη λίμνη ελαττώνεται με την αύξηση του βάθους. Το ίδιο το νερό αλλά και οι διαλυμένες σε αυτό ουσίες και τα αιωρούμενα σωματίδια διαθλούν και απορροφούν το φως μειώνοντας τη διαπερατότητά του. Επίσης, καθώς διαδίδεται η ηλιακή ακτινοβολία στο νερό, η έντασή της μειώνεται κι εξαιτίας της μετατροπής της σε θερμότητα (Miller, 1998).

Σε βάθος ενός μέτρου το 1/2 της συνολικής φωτεινής ενέργειας μετατρέπεται σε θερμότητα. Μελέτες έδειξαν ότι μέσα στο νερό, η φωτεινή u949 ενέργεια που χρειάζεται για τη φωτοσύνθεση θα πρέπει ν' αντιστοιχεί στο 1% του φωτός που προσπίπτει στην επιφάνεια του νερού. Υπάρχουν βέβαια και περιπτώσεις όπου η φωτοσύνθεση είναι δυνατή και όταν η ένταση του φωτός είναι κάτω από το 1% αυτής που προσπίπτει στην επιφάνεια του νερού. Η στήλη του νερού μέσα στην οποία η φωτεινή ενέργεια είναι τέτοια ώστε να είναι δυνατή η φωτοσύνθεση καλείται ευφωτική ή φωτική ζώνη. Όλη η παράλια ζώνη και το ανώτερο τμήμα της πελαγικής ζώνης μιας λίμνης ανήκουν στην ευφωτική ζώνη. Κατά τη διάρκεια της ημέρας η ευφωτική ζώνη αποτελεί ένα μέσο παραγωγής οξυγόνου, ενώ τη νύχτα η φωτοσύνθεση σταματά και λόγω της αναπνοής των ζωικών και φυτικών οργανισμών το διαλυμένο οξυγόνο μειώνεται. Η αφωτική ζώνη εκτείνεται κάτω από την ευφωτική έως το βυθό και αποτελεί περιοχή όπου δεν παράγεται οξυγόνο. Το όριο μεταξύ φωτικής και αφωτικής ζώνης μεταβάλλεται καθημερινά και εποχιακά, ανάλογα με την μεταβολή της ηλιακής έντασης και της διαφάνειας του νερού. Τελικά, αφού η φωτοσύνθεση σε μια λίμνη εξαρτάται από το φως, οτιδήποτε περιορίζει την διεισδυτικότητά του θα επηρεάζει σημαντικά τις βιολογικές και χημικές διαδικασίες που συντελούνται στο νερό. Οι ανθρώπινες δραστηριότητες στη λεκάνη απορροής της λίμνης προκαλούν σημαντικές αλλαγές στη διαφάνεια του νερού. Ενδείξεις για την κατάσταση που επικρατεί σε μια λίμνη μπορούμε να έχουμε μετρώντας τη θολότητα ή τη διαφάνεια του νερού (Miller, 1998).

2.1.5 Θερμοκρασία

Η θερμοκρασία είναι καθοριστικός παράγοντας στη λειτουργία του οικοσυστήματος της λίμνης επειδή επηρεάζει τη διαλυτότητα του οξυγόνου και άλλων συστατικών, το μεταβολισμό των υδρόβιων οργανισμών αλλά και τη διαδικασία διάσπασης των οργανικών ουσιών που υπάρχουν. Οι υδρόβιοι πληθυσμοί μπορούν να διακριθούν γενικά σε θερμοανθεκτικούς με αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες και σε ψυχροανθεκτικούς με αντοχή στις χαμηλές θερμοκρασίες. Όσον αφορά το εύρος των θερμοκρασιών μέσα στο οποίο είναι δυνατή η επιβίωση των υδρόβιων πληθυσμών, οι διάφοροι οργανισμοί μπορούν να διακριθούν σε ευρύθερμους, με ανθεκτικότητα σε μεγάλο εύρος θερμοκρασιών και σε στενόθερμους, με ανθεκτικότητα σε μικρές μόνο μεταβολές της θερμοκρασίας. Όσο η θερμοκρασία του νερού πλησιάζει τη βέλτιστη τιμή για κάποιους υδρόβιους οργανισμούς, τόσο οι οργανισμοί αυτοί γίνονται περισσότερο δραστήριοι, καταναλώνουν περισσότερη τροφή και χρησιμοποιούν περισσότερο οξυγόνο. Συνεπώς, η θερμοκρασία του νερού όχι μόνο διαμορφώνει τη σύνθεση των βιοκοινοτήτων, αλλά επιδρά και στη συμπεριφορά τους και στο μέγεθος των πληθυσμών τους. Ανάλογα με τη γεωγραφική τους θέση, τις κλιματικές συνθήκες της περιοχής και το βάθος τους οι λίμνες διακρίνονται σε: Τροπικές (θερμοκρασία των επιφανειακών νερών μεγαλύτερη από 4C), Εύκρατες (θερμοκρασία των επιφανειακών νερών κάτω από 4C) Πολικές: θερμοκρασία των επιφανειακών νερών μικρότερη από 4C καθ’ όλη τη διάρκεια του έτους (στον πυθμένα η θερμοκρασία σταθεροποιείται στους 4oC). Στα εύκρατα γεωγραφικά πλάτη και σε βαθιές λίμνες, καθώς ο ήλιος θερμαίνει τη λίμνη, δημιουργεί ένα θερμό και λιγότερο πυκνό επιφανειακό στρώμα με σχετικά ομοιόμορφη θερμοκρασία και δική του κυκλοφορία, το επιλίμνιο. Πρόκειται για το επιφανειακό νερό (και αυτό που βρίσκεται σε μικρό βάθος από την επιφάνεια) που δέχεται άμεσα τις επιδράσεις από τις μεταβολές της θερμοκρασίας του αέρα (εποχιακές διακυμάνσεις της ατμοσφαιρικής θερμοκρασίας) και τον άνεμο και περιέχει υψηλές συγκεντρώσεις διαλυμένου οξυγόνου. Το νερό στο επιλίμνιο είναι συνήθως θερμότερο από αυτό των υποκείμενων στρωμάτων. Κατά τη χειμερινή ωστόσο περίοδο και όταν η θερμοκρασία της ατμόσφαιρας πλησιάζει το μηδέν, το επιλίμνιο μπορεί να είναι ψυχρότερο από τα υποκείμενα στρώματα, των οποίων η θερμοκρασία παραμένει σταθερή (4C).



Εικόνα 2.3: Θερμική στρωμάτωση

Το επιλίμνιο βρίσκεται πάνω σε ένα πυκνότερο, ψυχρότερο και "αδιατάραχτο" στρώμα, το υπολίμνιο (Εικόνα 2.3). Πρόκειται για το κατώτερο, βαρύτερο και ψυχρότερο στο μεγαλύτερο διάστημα του έτους στρώμα της λίμνης που χαρακτηρίζεται συνήθως από χαμηλές συγκεντρώσεις διαλυμένου οξυγόνου. Λόγω ανώμαλης διαστολής και μεγάλης θερμοχωρητικότητας του νερού, κατά τους ψυχρούς μήνες του έτους (θερμοκρασία ατμόσφαιρας κοντά ή υπό του μηδενός), η θερμοκρασία στο υπολίμνιο παραμένει σταθερή (4C) και υψηλότερη από αυτή του επιλίμνιου. Στην ανώτερη περιοχή του υπολίμνιου, εκεί όπου διαχωρίζεται το επιλίμνιο από το υπολίμνιο και μέσα σε μια υδάτινη περιοχή ελάττωσης της θερμοκρασίας με το βάθος (μεταλίμνιο), υπάρχει ένα στρώμα έντονης ασυνέχειας, το θερμοκλινές. Πρόκειται για το λεπτό στρώμα νερού που χαρακτηρίζεται από σημαντική ελάττωση της θερμοκρασίας όσο αυξάνεται το βάθος. Αν και ο όρος θερμοκλινές συχνά χρησιμοποιείται ως συνώνυμο του μεταλιμνίου, στην πραγματικότητα αντιστοιχεί στην επιφάνεια με το μεγαλύτερο ρυθμό μείωσης της θερμοκρασίας σε σχέση με το βάθος. Η αλλαγή της πυκνότητας του νερού στο μεταλίμνιο λειτουργεί σαν ένας φυσικός φραγμός που εμποδίζει την ανάμιξη του νερού των ανώτερων και των βαθύτερων στρωμάτων για αρκετούς μήνες κι εμποδίζει τη μεταφορά του διαλυμένου οξυγόνου και των θρεπτικών συστατικών από το επιλίμνιο στο υπολίμνιο. Κατά τη διάρκεια του χειμώνα η θερμική στρωμάτωση δεν είναι έντονη, γιατί η ελάττωση της θερμοκρασίας στο επιλίμνιο επηρεάζει ελάχιστα το υπολίμνιο και γενικά θεωρείται ότι η θερμοκρασία παραμένει σχεδόν σταθερή. Το καλοκαίρι όμως τα νερά θερμαίνονται και σαν ελαφρύτερα παραμένουν στην επιφάνεια, οπότε δεν γίνεται ανάμιξη των επιφανειακών με τα βαθύτερα στρώματα, με αποτέλεσμα να εμφανίζεται σαφώς το φαινόμενο της θερμικής στρωμάτωσης. Το φθινόπωρο, λόγω της μειωμένης ηλιακής ακτινοβολίας και της αυξημένης νυχτερινής απώλειας θερμότητας, η θερμοκρασία του επιλίμνιου ελαττώνεται πλησιάζοντας τη θερμοκρασία του υπολίμνιου οπότε είναι δυνατή η πλήρης ανάμιξη των νερών της λίμνης με τη βοήθεια του ανέμου. Συμβαίνει δηλαδή η φθινοπωρινή αναστροφή. Την άνοιξη, εξαιτίας της αύξησης της θερμοκρασίας, τα παγωμένα επιφανειακά νερά θερμαίνονται και εξισώνονται θερμοκρασιακά με τα νερά του υπολίμνιου, οπότε είναι πάλι δυνατή η ανάμιξη των νερών. Συμβαίνει δηλαδή η εαρινή αναστροφή.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί στα υδάτινα οικοσυστήματα ένα μεγάλο μέρος της απορροφούμενης ηλιακής ακτινοβολίας μετατρέπεται σε θερμότητα αυξάνοντας τη θερμοκρασία του νερού. Ωστόσο συνεισφορά θερμότητας στο νερό, σε μικρότερα όμως μεγέθη, μπορεί να γίνει και από τον αέρα, το ίζημα και τις γειτονικές χερσαίες εκτάσεις. Το βάθος μέχρι το οποίο γίνεται η ανάμιξη του νερού εξαρτάται εν μέρει από την έκθεση
της λίμνης στον άνεμο (πιο συγκεκριμένα από την απόσταση από την οποία φυσάει ο άνεμος στη λίμνη χωρίς σημαντική αλλαγή στη διεύθυνσή του), αλλά κυρίως από το μέγεθος της λίμνης.

Η ανάμιξη των νερών έχει σαν συνέπεια την κυκλοφορία των θρεπτικών στοιχείων που υπάρχουν στον πυθμένα της λίμνης (άλατα φωσφόρου, αζώτου και οργανικές ενώσεις) σε όλη τη μάζα του νερού, ενισχύοντας έτσι τον ευτροφισμό της λίμνης, αλλάζοντας το χρώμα της και επηρεάζοντας την οξυγόνωση των νερών του πυθμένα. Επειδή όλες οι λίμνες αναμειγνύονται ως ένα βαθμό, ένα χρήσιμο εργαλείο για την κατάταξη ή κατηγοριοποίησή τους βασίζεται στο πόσο πλήρης είναι η ανάμιξη των νερών σε κατακόρυφο άξονα κατά τη διάρκεια των χαμηλότερων θερμοκρασιών και της μεγαλύτερης θολότητας. Συνεπώς λίμνες που παγώνουν κατά τη διάρκεια του χειμώνα ονομάζονται διμικτικές, αφού αναμιγνύονται πλήρως δυο φορές το χρόνο - το φθινόπωρο πριν παγώσει η επιφάνεια και την άνοιξη αφού λιώσουν οι πάγοι.

Οι περισσότερες εύκρατες λίμνες είναι διμικτικές λίμνες που ποτέ δεν καλύπτονται πλήρως από πάγο και κατά τη διάρκεια του χειμώνα και της άνοιξης αναμιγνύονται συνεχώς από τον αέρα, ονομάζονται μονομικτικές.

Εάν όμως η λίμνη είναι ρηχή και εκτεθειμένη σε ανέμους, η θερμική στρωμάτωση μπορεί να διαρκεί μία ή δυο εβδομάδες, στη συνέχεια να αναμιγνύεται πλήρως εξαιτίας καταιγίδων και το φαινόμενο αυτό να επαναλαμβάνεται τακτικά. Αυτός ο τύπος των λιμνών είναι μάλλον κοινός και ονομάζονται πολυμικτικές. Στην περίπτωση που κατά τη διάρκεια του κύκλου της ετήσιας ανάμιξης, η λίμνη αναμιγνύεται από την επιφάνεια ως τον πυθμένα, η λίμνη ονομάζεται ολομικτική, ενώ όταν είναι τόσο βαθιά ώστε δεν υπάρχει αρκετή ενέργεια για να διαταραχθεί η στρωμάτωση και να επέλθει πλήρης ανάμιξη, η λίμνη ονομάζεται μερομικτική. Τέλος οι λίμνες με μόνιμη κάλυψη πάγου στις πολικές περιοχές ονομάζονται αμικτικές (kpe-kastor.kas.sch.gr).

2.1.6 Αγωγιμότητα

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα του νερού αναφέρεται στην ικανότητά του να μεταφέρει ηλεκτρικά φορτία. Η ικανότητα αυτή εξαρτάται από την παρουσία ιόντων, από τη συγκέντρωσή τους, την ευκινησία, το σθένος και τη θερμοκρασία. Οι τιμές της αγωγιμότητας είναι ενδεικτικές για την ποιότητα του νερού της λίμνης. Απόβλητα και ρύποι που εισέρχονται στη λίμνη τροποποιούν την αγωγιμότητα, ειδικότερα αν οι ρύποι περιλαμβάνουν ιόντα όπως ανθρακικά, θειικά, χλωρίου, μαγνησίου, νατρίου, καλίου και φωσφόρου. Η ηλεκτρική αγωγιμότητα αυξάνεται με το βάθος στη διάρκεια του καλοκαιριού σε λίμνες που εμφανίζουν στρωμάτωση, εξαιτίας της αναπνοής στο υπολίμνιο κατά την οποία παράγονται ανθρακικά ιόντα. Μετά το καλοκαίρι, όταν συμβεί αναστροφή στη λίμνη και το νερό της αναμιχθεί σε όλο τον όγκο του, η αγωγιμότητα των επιφανειακών νερών θα αυξηθεί συγκριτικά με το καλοκαίρι. Η αγωγιμότητα στο υπολίμνιο θα μειωθεί εξαιτίας της ανάμιξης του νερού του με το νερό της επιφάνειας.

Στη διάρκεια του καλοκαιριού η αγωγιμότητα στο επιλίμνιο μπορεί να αυξηθεί εξαιτίας της εξάτμισης, αλλά μπορεί επίσης να επηρεαστεί και από την άμεση κατακρήμνιση νερού στη λίμνη ή από υπόγειες εισροές νερού στη λίμνη. Απότομη αύξηση της αγωγιμότητας του νερού της λίμνης αποτελεί ένδειξη ρύπανσης. Η αύξηση της αγωγιμότητας συνδέεται με την ενηλικίωση (παλαίωση) μιας υδάτινης μάζας εξαιτίας της αύξησης των θρεπτικών συστατικών της (ευτροφισμός). Όσο μεγαλύτερη είναι η αγωγιμότητα στα γλυκά νερά τόσο μεγαλύτερη είναι η βιολογική παραγωγικότητα.

Αύξηση της θερμοκρασίας επηρεάζει θετικά την τιμή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας. Αυτό συμβαίνει επειδή η αύξηση της θερμοκρασίας επιταχύνει τη διάσταση των ηλεκτρολυτών (υδατικά διαλύματα οξέων - βάσεων - αλάτων). Για να είναι συγκρίσιμα τα αποτελέσματα, ανεξάρτητα από την εποχή και το βάθος που γίνεται η μέτρηση, είναι καλό η τιμή της αγωγιμότητας ν' ανάγεται σε θερμοκρασία 25C (Κομματάς, 2011).

2.1.7 Οξυγόνωση

Η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου στο νερό αποτελεί αναμφισβήτητο δείκτη της κατάστασης και της βιωσιμότητας του λιμναίου οικοσυστήματος. Η ανάπτυξη των περισσότερων μορφών ζωής (ζωικών, φυτικών, μυκήτων, πρωτίστων και βακτηρίων) προϋποθέτει την παρουσία οξυγόνου. Η καύση οργανικών ουσιών (κυρίως u963 σακχάρων και λιπαρών οξέων), κυτταρική αναπνοή, εξασφαλίζει την απαραίτητη για την επιβίωση, ανάπτυξη και αναπαραγωγή ενέργεια στην πλειονότητα του έμβιου κόσμου. Ο εμπλουτισμός της λίμνης σε οξυγόνο γίνεται μέσω είτε της διάχυσής του ατμοσφαιρικού οξυγόνου στο νερό της λίμνης, είτε της φωτοσυνθετικής παραγωγής οξυγόνου από τα ανώτερα υδρόβια φυτά, το φυτοπλαγκτόν και το περίφυτον. Το μεγαλύτερο ποσοστό του οξυγόνου που υπάρχει στον αέρα και στο νερό σχηματίστηκε στο πέρασμα των γεωλογικών αιώνων από τους αυτότροφους οργανισμούς μέσω της φωτοσύνθεσης.

Όλοι οι αερόβιοι οργανισμοί χρησιμοποιούν το οξυγόνο στη διαδικασία της αναπνοής. Το διοξείδιο του άνθρακα και το νερό που παράγονται αποτελούν τα υλικά της φωτοσύνθεσης η οποία γίνεται στους αυτότροφους οργανισμούς και προϊόν της είναι το οξυγόνο. Ο κύκλος αυτός συμβαίνει και στα χερσαία και στα υδάτινα οικοσυστήματα και γενικά υπάρχει ισορροπία ανάμεσα στην παραγωγή και την κατανάλωση του οξυγόνου, όταν οι συνθήκες είναι κανονικές και δεν εμποδίζονται οι διαδικασίες της αναπνοής και της φωτοσύνθεσης (χαρακτηριστικά όταν μια λίμνη ρυπανθεί προκαλείται μείωση ή ακόμα και έλλειψη οξυγόνου). Όταν εξαιτίας φυσικών ή ανθρώπινων δραστηριοτήτων εισέλθει στη λίμνη άφθονο θρεπτικό υλικό προκαλείται υπερβολική ανάπτυξη του φυτοπλαγκτού (άνθιση του νερού) με αποτέλεσμα το διαλυμένο στο νερό οξυγόνο να μειώνεται σε περιοχές κοντά στην ακτή και στον πυθμένα όπου καταλήγουν μεγάλες ποσότητες νεκρής υδρόβιας βλάστησης και αποσυντίθενται από τα αερόβια βακτήρια, τα οποία χρησιμοποιούν το διαλυμένο οξυγόνο. Η μείωση οξυγόνου που θα προκύψει μπορεί να οδηγήσει σε θάνατο μεγάλο μέρος της ιχθυοπανίδας κι αν συνεχιστεί η αύξηση των θρεπτικών συστατικών που εισρέουν στη λίμνη θα δημιουργηθούν ανοξικές συνθήκες. Αναερόβια βακτήρια θα κατακλύσουν την περιοχή τα οποία θα δημιουργήσουν αέρια προϊόντα αποσύνθεσης όπως το ιδιαίτερα δύσοσμο αλλά και τοξικό υδρόθειο και το εύφλεκτο μεθάνιο.

Όταν υπάρχει έλλειψη οξυγόνου ο αριθμός των ειδών μειώνεται, αλλά αυξάνονται οι ανθεκτικοί σε αυτές τις συνθήκες οργανισμοί. Η κατάσταση αυτή μπορεί να παρατηρηθεί σε μια δεδομένη χρονική στιγμή και σε ένα συγκεκριμένο σημείο της λίμνης και δεν είναι οριστική. u908 Όταν οι συνθήκες με την πάροδο του χρόνου ξαναγίνουν "κανονικές" οι αλλαγές εξαφανίζονται.

Σύμφωνα με την αρχή **Le Chatelier**, η αύξηση της θερμοκρασίας του νερού συνεπάγεται μείωση της συγκέντρωσης του διαλυμένου οξυγόνου. Καθώς η θερμοκρασία ενός διαλύματος αυξάνεται, το περιεχόμενο αέριο εκδιώχνεται μέχρι να συμβεί πλήρης εξαέρωση του διαλύτη στο σημείο βρασμού.

Κατά τη φθινοπωρινή και την εαρινή αναστροφή, η ανάμιξη του νερού διαμορφώνει ομοιόμορφες σχεδόν συνθήκες ως προς τη συγκέντρωση του οξυγόνου σε όλο τον όγκο της υδάτινης μάζας. Ο συνδυασμός της θερμικής στρωμάτωσης και των βιολογικών δραστηριοτήτων επηρεάζει σημαντικά τη συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου. Στις εύκρατες περιοχές και στη διάρκεια του καλοκαιριού (Εαρινή στρωμάτωση), η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου στο επιλίμνιο παραμένει υψηλή εξαιτίας της έντονης φωτοσυνθετικής δραστηριότητας που αναπτύσσεται (το καλοκαίρι είναι ευνοϊκή περίοδος για την ανάπτυξη των φωτοσυνθετικών οργανισμών - η ηλιακή ακτινοβολία είναι έντονη και επιταχύνει τους φωτοσυνθετικούς ρυθμούς) και της διάχυσής του από την ατμόσφαιρα. Ωστόσο, στη διάρκεια της συγκεκριμένης περιόδου, η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου στο υπολίμνιο εξαρτάται από την τροφική κατάσταση της λίμνης. Σε εύτροφες (περισσότερο παραγωγικές) λίμνες, το διαλυμένο οξυγόνο του υπολίμνιου μειώνεται καθώς το διαχεόμενο από την ατμόσφαιρα και το παραγόμενο από τους φωτοσυνθετικούς οργανισμούς των ανώτερων στρωμάτων οξυγόνο δεν εισέρχεται στην υδάτινη αυτή ζώνη (λόγω θερμικής στρωμάτωσης). Παράλληλα οι αερόβιοι οργανισμοί του υπολίμνιου (καταναλωτές, αποικοδομητές) μειώνουν σταδιακά την ποσότητα του διαθέσιμου οξυγόνου. Σε ακραίες περιπτώσεις τα βαθύτερα στρώματα της λίμνης γίνονται ανοξικά (απουσία οξυγόνου) (Σίνης, 2005).

2.1.8 Η Τροφική αλυσίδα

Για να καταλάβουμε πώς λειτουργεί το οικοσύστημα της λίμνης, μπορούμε να οργανώσουμε τις βιολογικές κοινότητες σε τροφικές αλυσίδες και τροφικά πλέγματα. Η απλούστερη παρουσίαση του "ρόλου" ενός οργανισμού σε ένα οικοσύστημα είναι η απεικόνιση της οικολογικής πυραμίδας. Στην πλατιά βάση των παραγωγών ανήκουν οι φωτοσυνθετικοί οργανισμοί και τα κυανοβακτήρια. Οι παραγωγοί υποστηρίζουν τα ανώτερα τροφικά επίπεδα της πυραμίδας, δηλαδή τους φυτοφάγους οργανισμούς (ζωοπλαγκτόν), τους πλαγτονοφάγους οργανισμούς και τους πολύ μικρότερους πληθυσμούς των σαρκοφάγων (θηρευτών).

Τα τροφικά πλέγματα (εικόνα 2.4) είναι συνήθως πολύ σύνθετα και στο οικοσύστημα της λίμνης εκατοντάδες οργανισμοί μπορεί να συμμετέχουν σε αυτά. Επειδή όμως η διαθέσιμη ενέργεια μειώνεται όσο προχωράμε στα ανώτερα τροφικά επίπεδα, είναι απαραίτητη μια μεγάλη βάση παραγωγών, ώστε να μπορεί να συντηρήσει τα λιγότερα σε αριθμό μεγάλα ψάρια. Όπως και στα χερσαία οικοσυστήματα, δύο είναι οι βασικές λειτουργίες για τη διατήρηση της ζωής στη λίμνη: η φωτοσύνθεση και η αναπνοή. Τα πράσινα τμήματα των φυτών δεσμεύουν ενέργεια από τον ήλιο και μετατρέπουν τις αβιοτικές ανόργανες χημικές ουσίες (CO2, νερό, ανόργανα άλατα) σε οργανικές.

Στους φωτοσυνθετικούς οργανισμούς της λίμνης περιλαμβάνονται το φυτοπλαγκτόν, το περίφυτον και τα μακρόφυτα. Είναι οι παραγωγοί του συστήματος που παράγουν τις οργανικές ενώσεις που απαιτούνται για τη θρέψη, την πρόσληψη δηλαδή ενέργειας από τους υπόλοιπους οργανισμούς.

Εικόνα 2.4: Τροφική αλυσίδα

Το οξυγόνο, παραπροϊόν της φωτοσύνθεσης, προστίθεται στο οξυγόνο της λίμνης που προέρχεται από την ατμόσφαιρα. Στα υδάτινα στρώματα που ο ρυθμός της φωτοσύνθεσης είναι πολύ υψηλός, όπως στις περιπτώσεις της άνθισης του νερού, το νερό μπορεί να υπερκορεσθεί σε οξυγόνο. Το σημείο κορεσμού του νερού εξαρτάται από τη θερμοκρασία του. Το σημείο κορεσμού του νερού σε οξυγόνο αυξάνεται όσο μειώνεται η θερμοκρασία του. Σε περιόδους στρωμάτωσης της λίμνης, η μοναδική πηγή οξυγόνου για τις βαθύτερες ζώνες είναι οι φωτοσυνθετικοί οργανισμοί. Αυτό συμβαίνει όμως μόνο αν το φως μπορεί να διεισδύσει κάτω από το θερμοκλινές (Σίνης, 2005).

Εκτός από φως, το φυτοπλαγκτόν και τα ανώτερα φυτά χρειάζονται οξυγόνο, διοξείδιο του άνθρακα και θρεπτικά για να αναπτυχθούν και να επιζήσουν. Εκτός από ελάχιστα είδη κυανοπράσινων μικροφυκών, τα υπόλοιπα δεν μπορούν να επιζήσουν σε ανοξικό περιβάλλον.

Το διοξείδιο του άνθρακα είναι πρακτικά πάντα διαθέσιμο, αφού προέρχεται από τη χημική και μηχανική διάβρωση, τη διάλυση των ασβεστολιθικών πετρωμάτων της λεκάνης απορροής, τη διάχυσή του από την ατμόσφαιρα και από τη λειτουργία της κυτταρικής αναπνοής των οργανισμών της λίμνης. Τα βασικά θρεπτικά συστατικά, που είναι το άζωτο και ο φώσφορος, βρίσκονται διαλυμένα στο νερό ή στο ίζημα του πυθμένα και απορροφούνται από τους μικροφυτικούς οργανισμούς και τα ανώτερα φυτά αντίστοιχα. Η χαμηλή συγκέντρωσή τους στο νερό αποτελεί περιοριστικό παράγοντα για την ανάπτυξη των φυτών.

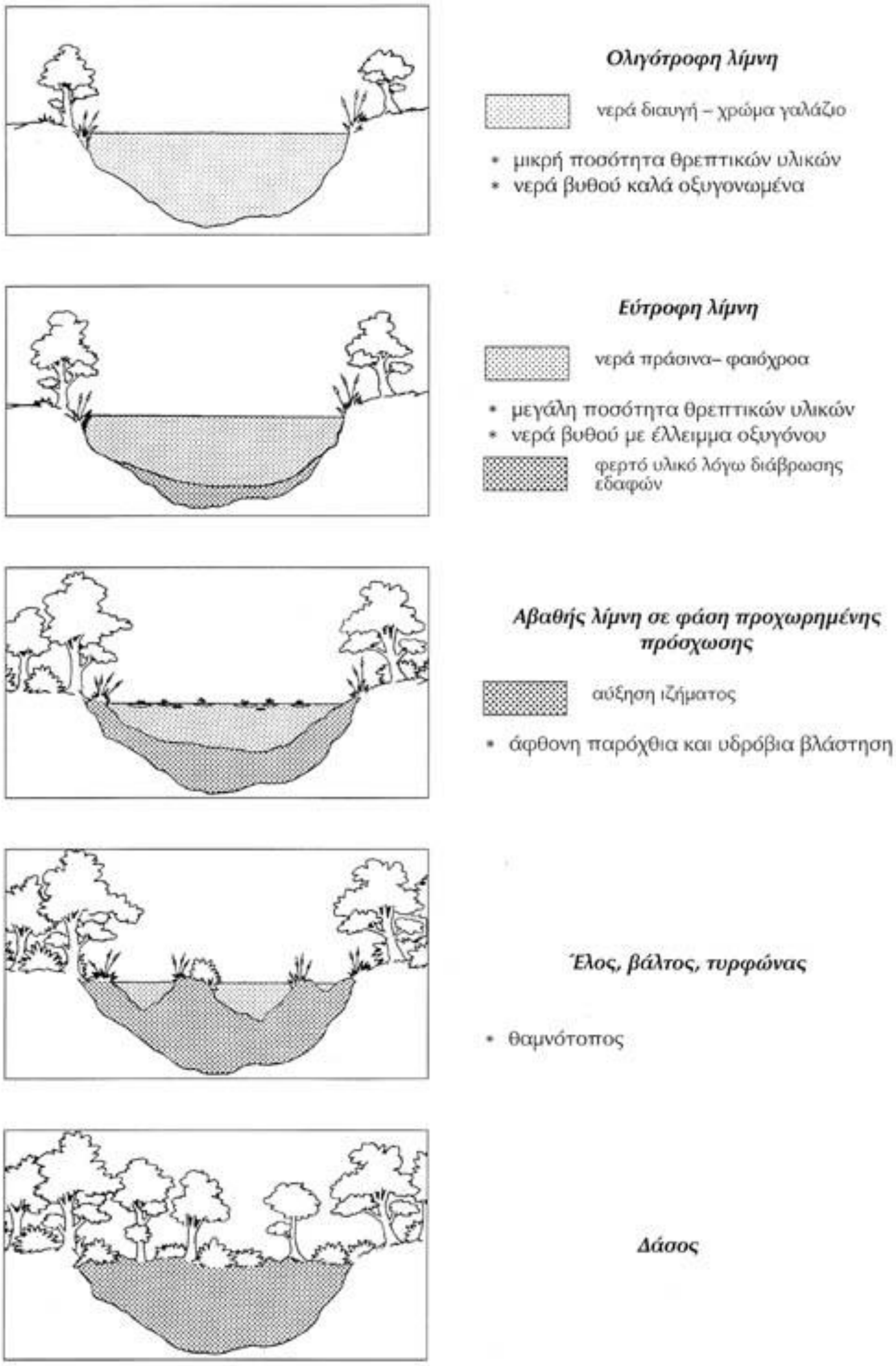
Άλλα στοιχεία απαραίτητα για τη ζωή είναι τα κύρια ιόντα: ασβέστιο, μαγνήσιο, νάτριο και κάλιο, τα ιχνοστοιχεία σίδηρος, κοβάλτιο, μολυβδαίνιο, μαγγάνιο, βόριο, ψευδάργυρος και είναι συνήθως παρόντα σε επαρκείς συγκεντρώσεις. Το θείο που επίσης χρειάζονται οι ζωντανοί οργανισμοί υπάρχει συνήθως στις λίμνες με τη μορφή θειικών αλάτων. Η αναπνοή και η οξείδωση του οργανικού υλικού απελευθερώνει μέρος της ενέργειας που αρχικά δεσμεύτηκε για τη φωτοσύνθεση. Οι μικροοργανισμοί (βακτήρια και μύκητες) καταναλώνουν ένα μεγάλο μέρος του διαθέσιμου οξυγόνου κατά την αποικοδόμηση του νεκρού οργανικού υλικού που αποβάλλεται από τους οργανισμούς, ενώ παράλληλα ανακυκλώνουν τα θρεπτικά που είναι απαραίτητα για τη φωτοσύνθεση (Καγκάλου, 1997).

2.2 Ευτροφισμός

Εικόνα 2.5: Λίμνη Αγίας, Καλοκαιρινή περίοδος

Τα άλατα του αζώτου και του φωσφόρου είναι τα απαραίτητα θρεπτικά συστατικά των υδρόβιων φυτών και η ποσότητα τους στο νερό ρυθμίζει τη φυτική βιομάζα ενός υδάτινου οικοσυστήματος. Οι υδάτινες μάζες διακρίνονται γενικά σ' εκείνες που εμφανίζουν χαμηλές ποσότητες βιομάζας και παρουσιάζουν μικρές συγκεντρώσεις θρεπτικών και καλούνται ολιγοτροφικές, σε αντίθεση με τις ευτροφικές (Εικόνα 2.5) που έχουν περίσσεια θρεπτικών και εμφανίζουν γενικά ψηλές ποσότητες (Kitsiou, 2010).

Οι ευτροφικές λίμνες είναι συνήθως αβαθείς και έχουν μεγάλη σχέση λεκάνης απορροής προς επιφάνεια λίμνης. Τα επίπεδα των θρεπτικών αλάτων και του οργανικού υλικού είναι ψηλά και στις εύκρατες λίμνες το οξυγόνο του υπολίμνιου συχνά εξαντλείται τόσο το καλοκαίρι όσο και το χειμώνα κατά την περίοδο που καλύπτονται από πάγο. Οι ολιγότροφες λίμνες έχουν μικρή ποσότητα βιομάζας και συχνά είναι βαθιές. Τα νερά τους είναι διαυγή και δεν παρουσιάζουν έλλειψη διαλυμένου οξυγόνου (env-edu.gr, 2011)



Εικόνα 2.6: Φυσική εξέλιξη μιας λίμνης («φυσική γήρανση»)

Στις ευτροφικές λίμνες ανήκουν οι περιπτώσεις των αβαθών λιμνών που εκτίθενται στη δράση του ανέμου και τα αιωρούμενα σωματίδια μπορούν να μειώσουν τόσο πολύ τη διείσδυση του φωτός στο νερό με αποτέλεσμα να υπάρχει μικρή φυτική ανάπτυξη. Τα επίπεδα των θρεπτικών όμως είναι ψηλά (Nebel, 1996).

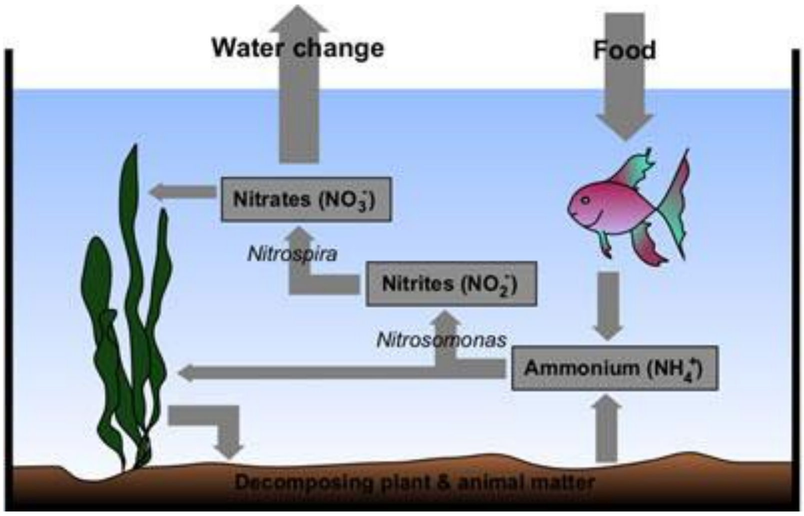
Ο φυσικός ευτροφισμός σε αντιδιαστολή με τον ανθρωπογενή ή τον τεχνητό είναι φυσική διαδικασία (Εικόνα 2.6). Από τη στιγμή της δημιουργίας τους, οι σχετικά μικρές λίμνες, θα παρουσιάσουν μια διαδοχή με τελευταίο στάδιο το θάνατο τους. Μόλις σχηματιστεί μια λίμνη, το βάθος της αρχίζει να ελαττώνεται βαθμιαία από τα φερτά υλικά (προσχώσεις). Εγκαθίστανται βιοκοινότητες φυτών και ζώων και αυξάνεται σταδιακά η παραγωγικότητα της υδάτινης μάζας. Διέρχεται λοιπόν από τα διάφορα τροφικά στάδια, αρχίζοντας από χαμηλή παραγωγικότητα ή ολιγοτροφία. Το στάδιο της μέτριας παραγωγικής κατάστασης ορίζεται ως μεσοτροφία. Η ολοκληρωτική πρόσχωση της λίμνης, διαδικασία που απαιτεί εκατοντάδες χρόνια, δεν είναι η υποχρεωτική αλλά μια από τις πιθανές πορείες της εξέλιξης της λίμνης. Η πορεία αυτή, της φυσικής γήρανσης, εξαρτάται από τις μορφομετρικές, τις εδαφικές και τις κλιματικές συνθήκες (Kitsiou 2010).

Σε τεχνητές λίμνες όπου η μορφολογία δεν επιτρέπει την εύκολη διαφυγή των φερτών υλικών, η συσσώρευση προσχώσεων είναι γρηγορότερη. Μέσω των ανθρωπογενών δράσεων η κατάσταση ευτροφισμού επιταχύνεται και παρατηρείται σε μικρότερο χρονικό διάστημα δημιουργώντας πολύπλοκα και σημαντικά προβλήματα στην διαβίωση του οικοσυστήματος.

Η έκπλυση των εδαφών είναι η πλέον σημαντική πηγή θρεπτικών που απειλεί τα υδάτινα οικοσυστήματα. Η προσθήκη θρεπτικών συστατικών έχει ως αποτέλεσμα την υπερβολική ανάπτυξη των φυτών, συμπεριλαμβανομένου και του φυτοπλαγκτόν (άλγη που επιπλέουν), του περίφυτου (προσκολλημένα ή βενθικά άλγη) και των μακρόφυτων (έριζα αγγειώδη υδρόβια φυτά) (Nebel, 1996).

Προκειμένου να διευκρινισθεί ο περιοριστικός παράγοντας ανάπτυξης σε ένα υδάτινο σώμα υπολογίζεται ο λόγος ολικού αζώτου προς φωσφόρου (N/P). Όταν η αναλογία N/P διατηρείται ίση με 16/1 το φυτοπλαγκτόν ενσωματώνει τα θρεπτικά και τα απελευθερώνει κατά την αποσύνθεσή του στην ίδια επίσης αναλογία, ρυθμίζοντας έτσι, ως ένα βαθμό, τη χημική σύνθεση των φυσικών υδάτων. Στα περισσότερα φυσικά νερά ο φώσφορος βρίσκεται σε πολύ μικρές συγκεντρώσεις και για αυτό, συνήθως, αποτελεί τον περιοριστικό παράγοντα ανάπτυξης με αποτέλεσμα τη δημιουργία συνθηκών ευτροφισμού. (Schnoor ,2003).

2.3 Κύκλος Αζώτου



Εικόνα 2.7: Κύκλος αζώτου

Το άζωτο (N) υπάρχει στο περιβάλλον σε πολλές μορφές. Η μεταφορά των ενώσεων αζώτου μέσω υδατικών και χερσαίων συστημάτων (π.χ. λεκάνες απορροής) προσδιορίζεται από τον κύκλο του αζώτου (Εικόνα 2.7). Το μοριακό άζωτο καταλαμβάνει το 79% του ατμοσφαιρικού αέρα. Εν τούτοις, αν και αφθονεί στην ατμόσφαιρα με τη μοριακή του μορφή, καθώς είναι χημικά αδρανές και σταθερό συστατικό δεν μπορεί να διασπαστεί εύκολα από οργανισμούς και απαιτεί σημαντική ενέργεια για να 'λυθεί' ο μοριακός του δεσμός (Heng, 1996).

Οι βασικοί ταμιευτήρες του κύκλου του αζώτου και τα υπολογιζόμενα ταμιεύματα εκτιμώνται ως εξής (Χατζημπίρος, 2001)

:

Θάλασσα (διαλυμένο)	$20000*10^{9}$ tn
Ατμόσφαιρα	$3800000*10^{9}$ tn
Οργανισμοί	$13*10^{9}$ tn
Νεκρή οργανική ύλη	$1660*10^{9}$ tn
Αποθέσεις	$4000000*10^{9}$ tn.

Εκτιμώμενη από άλλους ερευνητές η συνολική ποσότητα αζώτου ανέρχεται σε $1,6*10^{17}$ metric tons και επιμερίζεται ως εξής (Krug και Winstanley, 2002):

Γεώσφαιρα	98%
Ατμόσφαιρα	2%
Βιόσφαιρα	0.0002%

2.3.1 Μορφές αζώτου

Το άζωτο μπορεί να σχηματίσει διαφορετικές ενώσεις λόγω των διαφορετικών βαθμών οξείδωσης που παρουσιάζει. Η πλειοψηφία αυτών των φυσικών μετασχηματισμών των ενώσεων αζώτου είναι μικροβιακά ελεγχόμενες, όπως υπαγορεύεται από το βαθμό οξείδωσής τους. Έτσι όλες οι διαδικασίες μετατροπής του αζώτου σε διαφορετικές μορφές ολοκληρώνονται από διάφορες ομάδες και τύπους μικροοργανισμών που βρίσκονται στο έδαφος. Οι παράγοντες που επηρεάζουν τους μικροοργανισμούς, όπως η θερμοκρασία, το διαθέσιμο οξυγόνο και η υγρασία, μπορούν να έχουν επιπτώσεις στο βαθμό στον οποίο οι μετατροπές αζώτου πραγματοποιούνται. Η αμμωνία NH_3, η αμμωνιακή ρίζα NH_4^{+}, το αέριο μοριακό άζωτο N_2, η νιτρώδης ρίζα NO_2^- και η νιτρική ρίζα NO_3^- είναι οι συνήθεις μορφές του αζώτου σε υδατικό και χερσαίο περιβάλλον (Heng, 1996).

Το άζωτο υπάρχει στο έδαφος σε πολλές μορφές και είναι απαραίτητο θρεπτικό συστατικό για την ανάπτυξη των φυτών. Τα φυτά απαιτούν μεγάλες ποσότητες αζώτου και περιέχουν περίπου 1 έως 6% σε μια βάση ξηρού βάρους. Το μεγαλύτερο ποσοστό του αζώτου που βρίσκεται στο έδαφος είναι σε πολυάριθμες διαφορετικές οργανικές μορφές. Εντούτοις, τα φυτά δεν είναι σε θέση να χρησιμοποιήσουν τις οργανικές μορφές αζώτου. Φυσικές σύνθετες διαδικασίες στο έδαφος μετατρέπουν το άζωτο από τις οργανικές μορφές του σε αμμώνιο (εικόνα 2.8) .

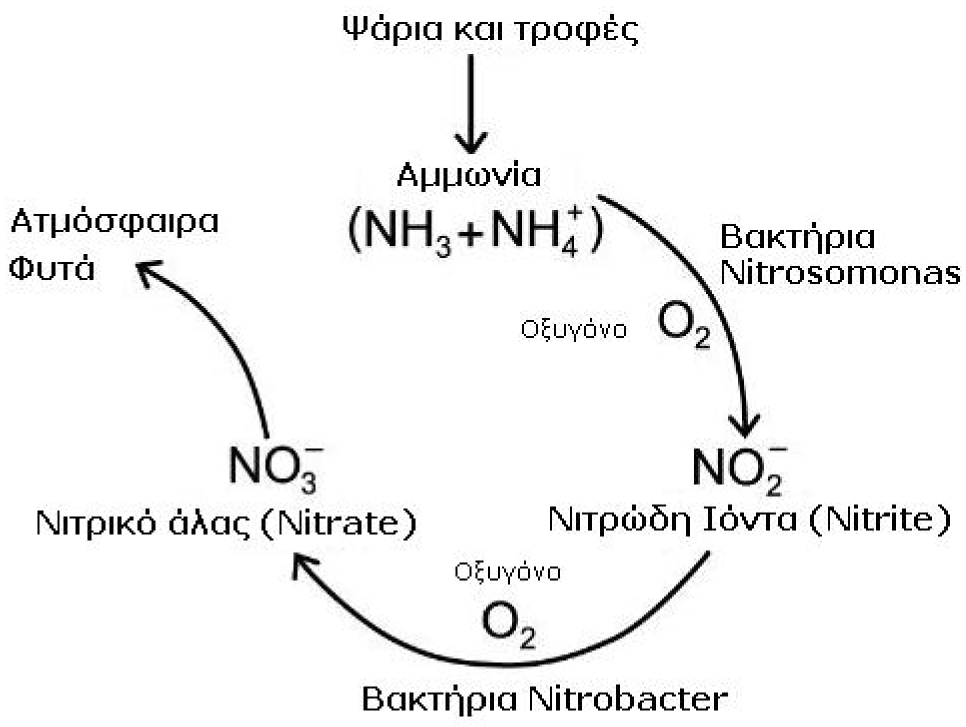
Το άζωτο στο έδαφος βρίσκεται λοιπόν σε δυο κύριες μορφές, οι οποίες είναι:

(i) οργανική μορφή (πρωτεΐνες, αμίνες, αμίδια κ.λπ.)

(ii) ανόργανη μορφή

(a) αμμωνιακό-N στα αργιλικά ορυκτά

(b) μορφές ορυκτού-N όπως αμμώνιο NH_4^+, νιτρώδη NO_2^- και νιτρικά NO_3^- στο εδαφικό διάλυμα.



Εικόνα 2.8: Κύκλος αζώτου

2.3.2 Λειτουργίες του Αζώτου

Το άζωτο είναι απαραίτητο σε πολλές λειτουργίες των φυτών, όπως οι ακόλουθες:

1. Το άζωτο είναι πολύ σημαντικό για την ανάπτυξη των φυτών και το πράσινο χρώμα στα φύλλα.

2. Είναι πρωταρχικό συστατικό των βασικών αμινοξέων που είναι οι δομικές μονάδες των πρωτεϊνών.

3. Είναι απαραίτητο για τη σύνθεση της χλωροφύλλης και των ενζύμων.

4. Είναι επίσης απαραίτητο για τη χρησιμοποίηση των υδατανθράκων.

Το άζωτο είναι απαραίτητο για το σχηματισμό των πρωτεϊνών. Οι περισσότεροι παραγωγικοί οργανισμοί μπορούν να απορροφήσουν μόνο τις δεσμευμένες μορφές του αμμωνιακού αζώτου NH_4^+, και του νιτρικού αζώτου

NO_3^-. Έτσι, αν και το ατμοσφαιρικό άζωτο N_2 αποτελεί τεράστιο ταμίευμα, ο κύκλος του αζώτου και μαζί με αυτόν η διαδικασία της ζωής στον πλανήτη περιορίζονται από την ταχύτητα μετατροπής του ατμοσφαιρικού στις χρησιμοποιήσιμες δεσμευμένες μορφές του (Sposito,1984).

Ανεξάρτητα από τον τρόπο δέσμευσης, οι παραγωγικοί οργανισμοί ενσωματώνουν το άζωτο στις παρασκευαζόμενες πρωτεΐνες. Από αυτούς εφοδιάζονται με το αναγκαίο οργανικό άζωτο όλοι οι υπόλοιποι οργανισμοί, ενώ διάφοροι ειδικευμένοι αποσυνθέτες διασπούν τις αζωτούχες ενώσεις της νεκρής οργανικής ύλης. Το μεγαλύτερο μέρος από αυτό το άζωτο παραμένει στο έδαφος ή στο νερό με τη μορφή νιτρικών ή αμμωνιακών αλάτων και ξαναχρησιμοποιείται από τα φυτά. Ένα μικρότερο μέρος ελευθερώνεται ως αέριο N_2 στην ατμόσφαιρα και κλείνει τον κύκλο. Τέλος, κάποιες ποσότητες N_2 βγαίνουν από τον κύκλο, διότι καταλήγουν ως ιζήματα στο βυθό των ωκεανών. Υπάρχει εξ άλλου μικρός εμπλουτισμός της ατμόσφαιρας με N_2 από την ηφαιστειακή δραστηριότητα (Heng ,1996).

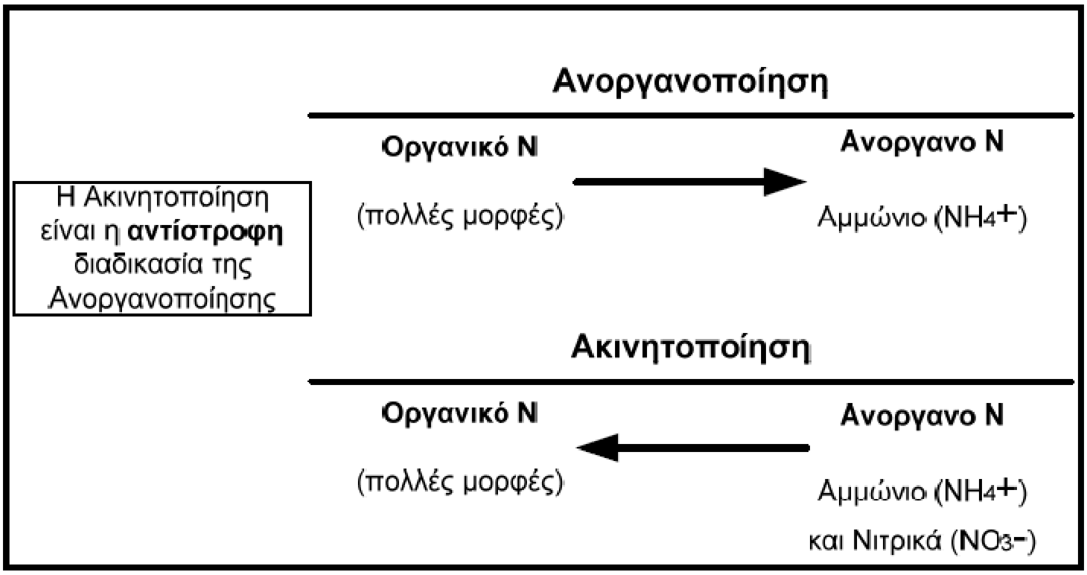
Οι κύριες γραμμές του κύκλου του αζώτου (Εικόνα 2.8) είναι η δέσμευση αέριου N_2, η αμμωνιοποίηση ή ανοργανοποίηση του οργανικού αζώτου, η νιτροποίηση της αμμωνιακής ρίζας και η απονιτροποίηση. Κάθε μια διεργασία μπορεί να πραγματοποιηθεί από συγκεκριμένους μικροοργανισμούς. Οι κύριες γραμμές ροής του αζώτου που αναφέρθηκαν σχηματίζουν τον κύκλο του αζώτου που για το χερσαίο και υδατικό περιβάλλον παρουσιάζονται στα σχήματα 2-1 και 2-2. Οι διεργασίες μετασχηματισμού παρουσιάζονται αναλυτικά στις επόμενες παραγράφους (Heng, 1996).

2.3.3 Δέσμευση Μοριακού Αζώτου

Δέσμευση μοριακού αζώτου N_2 συμβαίνει όταν το αέριο άζωτο της ατμόσφαιρας ενσωματώνεται σε ευπρόσληπτες μορφές του αμμωνιακού αζώτου και των νιτρικών, οι οποίες χρησιμοποιούνται από ζώα και φυτά. Η φυσική δέσμευση πραγματοποιείται είτε με φυσικοχημικές διαδικασίες, κυρίως υπό την επίδραση των ηλεκτρικών εκκενώσεων των καταιγίδων, είτε με βιολογικές διαδικασίες. Κατά μία εκτίμηση δεσμεύονται κάθε χρόνο με τις βιολογικές διαδικασίες $54*10^6$ τόνοι ατμοσφαιρικού N_2 και με τις φυσικοχημικές $7.6*10^6$ τόνοι. Η βιολογική δέσμευση πραγματοποιείται από ετεροτροφικούς αλλά και αυτοτροφικούς-φωτοσυνθετικούς μικροοργανισμούς. Υπάρχουν και μη συμβιωτικά βακτήρια που πραγματοποιούν δέσμευση, όπως το αερόβιο αζωτοβακτήριο (γένη Azotobacter, Aerobacter) και το αναερόβιο κλωστρίδιο (γένη Clostridium, Chromatium). Δέσμευση αζώτου πραγματοποιούν επίσης και μερικά είδη αλγών που υπάγονται στην κατηγορία των κυανοφυκών. Η τεχνητή δέσμευση, εφεύρεση του αιώνα μας, πραγματοποιείται κυρίως με την παραγωγή τεχνητών λιπασμάτων. Η βιομηχανική δέσμευση, σήμερα έχει φθάσει κοντά στους $80*10^6$ τόνους. Έτσι ο άνθρωπος έχει φτάσει στο σημείο αυτό να ξεπεράσει την Φύση (Sposito,1984).

2.3.4 Ανοργανοποίηση – Αμμωνιοποίηση (Mineralization)

Το μεγαλύτερο ποσοστό του εδαφικού αζώτου, όπως προαναφέρθηκε, βρίσκεται στην οργανική μορφή (οργανικό υλικό) και είναι μη διαθέσιμο για τα φυτά. Αυτές οι οργανικές ενώσεις πρέπει να διασπαστούν από φυσικές βιολογικές διαδικασίες για να παραγάγουν τις διαθέσιμες για τα φυτά ορυκτές μορφές αμμωνίου και νιτρικού άλατος. Η μετατροπή των οργανικών μορφών (μη διαθέσιμη μορφή) του N στις ανόργανες ή ορυκτές μορφές (διαθέσιμη μορφή για τα φυτά) είναι γνωστή ως αμμωνιοποίηση ή ανοργανοποίηση (mineralization). Έτσι ορίζεται ως Ανοργανοποίηση (Εικόνα 2.9) ή Αμμωνιοποίηση η μετατροπή του οργανικού αζώτου (org-N) σε ανόργανη μορφή, αμμωνία NH_3 ή το προϊόν ιονισμού της, αμμωνιακή ρίζα NH_4^+. Η Αμμωνιοποίηση λαμβάνει χώρα κατά τη διάρκεια της αποσύνθεσης ζωικών μικροβιακών και/ή φυτικών ιστών και βακτηριακού φορτίου. Μια άλλη περίπτωση αμμωνιοποίησης αποτελεί η υδρόλυση των λιπασμάτων όπως για παράδειγμα η ουρία, ένωση αζώτου, η οποία απαντάται στα ούρα και στα λιπάσματα . Η αμμωνιοποίηση στο έδαφος είναι μια μικροβιακά ελεγχόμενη διεργασία, η οποία είναι συνάρτηση της θερμοκρασίας του εδάφους, της υγρασίας του εδάφους, του λόγου άνθρακα προς άζωτο και της παρουσίας κατάλληλων μικροοργανισμών που μπορούν να αποικοδομήσουν το οργανικό υπόλειμμα (Keeffe και Uys, 1997). Στη μετατροπή αυτή συμμετέχουν βακτήρια, μύκητες και ακτινομύκητες. Σε αλκαλικά και ουδέτερα εδάφη κυριαρχούν τα βακτήρια, ενώ σε όξινα οι μύκητες. Τα περισσότερο γνωστά βακτήρια που προσβάλλουν οργανικές ουσίες του εδάφους ανήκουν στα γένη *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Clostridia*, *Serratia* και *Micrococcus* . Στο σημείο αυτό πρέπει να τονίσουμε ότι οι μικροοργανισμοί χρησιμοποιούν κάποιο ποσοστό από το ορυκτό Ν που παράγεται και το ενσωματώνουν στους οργανισμούς τους που δεν είναι διαθέσιμο πλέον για τα φυτά. Αυτή η διαδικασία καλείται ως ακινητοποίηση (immobilization). Οι διαδικασίες της ανοργανοποίησης και της ακινητοποίησης μπορούν να συμβαίνουν ταυτόχρονα στο έδαφος, ανάλογα με την αναλογία C:N της οργανικής ουσίας και άλλων εδαφικών περιβαλλοντικών συνθηκών (Nikolaidis et al. ,1998).



Εικόνα 2.9: Ανοργανοποίηση

2.3.5 Νιτροποίηση (Nitrification)

Η νιτροποίηση είναι η μικροβιακή οξείδωση της αμμωνιακής ρίζας NH_4^+ σε νιτρώδη ρίζα NO_2^- και στη συνεχεία νιτρική ρίζα NO_3^- από τα αυτοτροφικά χημικοσυνθετικά βακτήρια Νιτροσομονάδα (Nitrosomonas) και Νιτροβακτηρίδιο (Nitrobacter) . Τα βακτήρια αυτά είναι αυστηρά αερόβια και παίρνουν την απαιτούμενη ενέργεια οξειδώνοντας την αμμωνία σε νιτρώδη και νιτρικά . Η νιτροποίηση του αμμωνίου σε νιτρική ρίζα και είναι λοιπόν μια αερόβια μικροβιακά ελεγχόμενη αντίδραση. Κατά τη διάρκεια της νιτροποίησης δύο ιόντα υδρογόνου απελευθερώνονται για κάθε νιτρική ρίζα που σχηματίζεται. Ο σχηματισμός αμμωνίου κατά τη διάρκεια της αποσύνθεσης οργανικού φορτίου παράγει ένα ιόν υδροξυλίου. Η αμμωνιακή ρίζα επίσης επηρεάζεται από την επιφάνεια των σωματιδίων του εδάφους (π.χ. άργιλος, όξινη επιφάνεια) και η απορρόφηση και εκρόφηση της εξαρτάται από την υγρασία του εδάφους. Η διεργασία της απορρόφησης του αμμωνίου εντός όξινων επιφανειών μοντελοποιείται χρησιμοποιώντας μια γραμμική ισόθερμη (Nikolaidis et al. ,1998).

Αρχικά τα βακτήρια του γένους Nitrosomonas μετατρέπουν το αμμώνιο NH_4^+ σε νιτρώδη ρίζα σύμφωνα με την ακόλουθη αντίδραση (Keeley και Zedler, 1996).

$$NH_4^+ + 1.5\ O_2 \rightarrow 2\ H^+ + H_2O + NO_2^- + \text{ενέργεια}$$

Στη συνέχεια, τα βακτήρια του γένους Nitrobacter μετατρέπουν τη νιτρώδη ρίζα σε νιτρική:

$NO_2^- + 0.5\ O_2 \rightarrow NO_3^- +$ ενέργεια

Άτομα αζώτου Ν που παράγονται από την αμμωνιακή ρίζα NH_4^+ και από τη νιτρική ρίζα NO_3^- επιστρέφουν στην ατμόσφαιρα ως αέριο άζωτο Ν (N_2 ή N_2O) μέσω εξάτμισης και απονιτροποίησης.

Το φαινόμενο της βιολογικής μετατροπής της αμμωνίας σε νιτρικά αποτελεί σημαντική φάση του κύκλου του αζώτου αλλά και αξιόλογο παράγοντα ρύπανσης των υδατικών αποδεκτών. Μία επίπτωση της ρύπανσης είναι η αποξυγόνωση του νερού εξαιτίας της αερόβιας οξείδωσης (Χατζημπίρος, 2001).

2.3.6 Απονιτροποίηση (Denitrification)

Η απονιτροποίηση είναι γενικά μια μικροβιακά ελεγχόμενη διεργασία αναπνοής στην οποία λαμβάνει χώρα το φαινόμενο της αναγωγής των νιτρικών σε N_2 και N_2O κατά την αναερόβια οξείδωση της οργανικής ύλης από επαμφοτερίζοντες μικροοργανισμούς. Το N_2O ανάγεται σε N_2 με περαιτέρω βακτηριακή δράση ή με φωτοχημικές αντιδράσεις στην ατμόσφαιρα, καθιστώντας την απονιτροποίηση το τελευταίο μονοπάτι για να κλείσει ο κύκλος του αζώτου με επιστροφή του N_2 στην ατμόσφαιρα. Τα οξείδια του αζώτου λειτουργούν ως τελικοί αποδέκτες ηλεκτρονίων (TEAs, Terminal Electron Acceptors). Τουλάχιστον 14 είδη απονιτροποιώντων βακτηρίων έχουν αναγνωρισθεί και είναι παρόντα σε αφθονία σε χερσαίο και υδάτινο περιβάλλον κατά τη διάρκεια της διεργασίας της απονιτροποίησης (Sposito, 1984). Χωρίς την απονιτροποίηση όλο το άζωτο της ατμόσφαιρας θα είχε –

μέσα στη μακρά ιστορία του Γαλάζιου Πλανήτη – δεσμευτεί στη ξηρά και στη θάλασσα με τη μορφή νιτρικών .

Η μικροβιακά ελεγχόμενη απονιτροποίηση αντιπροσωπεύεται από μια έκφραση κινητικής Michaelis-Menten απλού υποστρώματος, η οποία λαμβάνει υπόψη την επίδραση της θερμοκρασίας, την επίδραση της υγρασίας του εδάφους και τον παράγοντα της διαθεσιμότητας απονιτροποιώντων βακτηρίων. Η μικροβιακή ανάπτυξη και αναπνοή επίσης μοντελοποιείται με την κινητική Michaelis-Menten υπό τη συνεργιστική δράση της θερμοκρασίας, της περιεχόμενης υγρασίας, της συγκέντρωσης βιομάζας και της διαθεσιμότητας θρεπτικών (Χατζημπίρος, 2001).

Η πρόσληψη αμμωνιακής και νιτρικής ρίζας (NH_4^+ και NO_3^-) από τις ρίζες των φυτών είναι συνάρτηση του περιεχόμενου του εδάφους σε νερό, σε θρεπτικά και του ρυθμού καταστροφής των θρεπτικών στο έδαφος. Επιπλέον, οι μικροοργανισμοί που βρίσκονται συγκεντρωμένοι στη ριζόσφαιρα επηρεάζουν άμεσα τους ρυθμούς πρόσληψης. Παρουσιάζονται διαφοροποιήσεις όσον αφορά τους ρυθμούς πρόσληψης μεταξύ των ριζών NH_4^+ και NO_3^- με την αμμωνιακή ρίζα να προσλαμβάνεται ταχύτερα από τα δέντρα (Keeffe και Uys, 1997).

Ένα ακόμα μονοπάτι, όπου η νιτρική ρίζα NO_3^- αφομοιωτικά μειώνεται προς αμμώνιο NH_4^+ είναι η αφομοιωτική απονιτροποίηση (dissimilatory denitrification). Παρόλα αυτά, αυτή η διεργασία απαιτεί περίσσεια οργανικού άνθρακα ως πηγή ενέργειας. Η απονιτροποίηση δύναται επίσης να είναι μια καταλυόμενη μη ενζυματική χημική αντίδραση, η οποία οδηγεί στην παραγωγή αέριου αζώτου N_2 υπό πλήρως αερόβιες και αβιοτικές συνθήκες.

2.3.7 Κύριες Πηγές Αζώτου

Κύριες πηγές ανθρωπογενούς προέλευσης μη γεωργικής χρήσης αποτελούν (Nikolaidis et al., 1998):

- Η υπόγεια διάθεση των οικιακών υγρών αποβλήτων στους ατομικούς βόθρους των σπιτιών (σηπτικές δεξαμενές και καταβόθρες).
- Η ταφή των στερεών αποβλήτων (χωματερές και ανεξέλεγκτη διάθεση)
- Τα βιομηχανικά υγρά απόβλητα

Οι πιο σοβαρές και διάσπαρτες πηγές μόλυνσης είναι η υπόγεια διάθεση των οικιακών υγρών αποβλήτων στους ατομικούς βόθρους των σπιτιών (σηπτικές δεξαμενές και καταβόθρες). Οι δεξαμενές προβλέπεται να καθαρίζονται περιοδικά για την απομάκρυνση της συσσωρευμένης λάσπης, αλλά η ελληνική κυρίως πραγματικότητα παρουσιάζεται αντίθετη και συνήθως οι δεξαμενές και οι σηπτικοί βόθροι δεν εκκενώνονται ανά τακτά χρονικά διαστήματα, όπως προβλέπεται, αλλά ‘λειτουργούν’ ως απορροφητικοί και με αυτόν τον τρόπο επιβαρύνουν ακόμα περισσότερο το έδαφος και τους υπόγειους υδροφορείς (Αντωνόπουλος, 2001).

Η ταφή των στερεών αποβλήτων (χωματερές και ανεξέλεγκτη διάθεση) μπορεί να αποτελέσει αιτία υποβάθμισης τόσο των υπογείων όσο και των επιφανειακών υδάτων, λόγω της έκπλυσης που προκαλεί το νερό που διέρχεται από τη μάζα των στερεών αποβλήτων. Το νερό έκπλυσης είναι πλούσιο σε ανόργανα συστατικά όπως χλωριόντα, σίδηρο, μόλυβδο, χαλκό, νάτριο, νιτρικά, αμμωνία και ποικιλία οργανικών ουσιών. Όταν περιέχονται και στερεά βιομηχανικά απόβλητα, τότε στο νερό έκπλυσης μπορεί να περιλαμβάνονται επικίνδυνες ουσίες όπως κυάνιο, κάδμιο και χλωριωμένοι υδρογονάνθρακες. Σύμφωνα με τα παραπάνω, το εύρος των συγκεντρώσεων των συστατικών στα εκπλύματα χωματερών αστικών αποβλήτων όσον αφορά το ολικό άζωτο κατά Kjeldalh είναι 10-500 mg/L, στα νιτρικά 0.1-10 mg/L, στην αμμωνιακή ρίζα 100-400 mg/L, στον ολικό φώσφορο 0.5-50 mg/L και στα ορθοφωσφορικά 1.0-60 mg/L (Αντωνόπουλος, 2001).

Κύριες πηγές ανθρωπογενούς προέλευσης γεωργικής χρήσης αποτελούν :

- Η χρήση συνθετικών λιπασμάτων που περιέχουν ανόργανο άζωτο

Σημαντική πηγή ρύπανσης αποτελεί η εκτεταμένη χρήση συνθετικών λιπασμάτων που περιέχουν ανόργανο άζωτο. Η άρδευση και η εφαρμογή λιπασμάτων ανόργανου αζώτου φαίνεται ότι συντελούν στην ταχύτατη αύξηση των νιτρικών σε πολλές αγροτικές περιοχές. Αλλά η αύξησή τους μπορεί να παρατηρηθεί και σε μη αρδευόμενες περιοχές με οργανικά εδάφη. Παρόλο που τα τελευταία χρόνια έχει παρατηρηθεί μια μείωση της περίσσειας αζώτου στις περιοχές γεωργικής δραστηριότητας η χρησιμοποίηση των συνθετικών λιπασμάτων είχε αυξηθεί δραματικά τα τελευταία χρόνια, επειδή αυτά είναι ένας από τους λίγους τρόπους με τους οποίους οι γεωργοί μπορούν να επηρεάσουν τις φυσικές διαδικασίες που καθορίζουν την ανάπτυξη των φυτών. Το ανόργανο άζωτο εφαρμόζεται συχνά σε ποσότητες μεγαλύτερες από τις κανονικές που προκαλούν μεγαλύτερες αποδόσεις. Από μελέτες που έγιναν, βρέθηκε ότι η μισή ποσότητα αζωτούχων λιπασμάτων από αυτή που εφαρμόζεται χρησιμοποιείται από τα φυτά. Η υπερβολική λίπανση μπορεί να προκαλέσει την έκπλυση των νιτρικών στο υπόγειο νερό, αν και ακόμα και με την ορθολογική εφαρμογή της λίπανσης, η συγκέντρωσή του στο υπόγειο νερό είναι υψηλή (Αντωνόπουλος ,2001).

Φυσικές πηγές μπορεί να είναι :

- Η αποσύνθεση φυτικών και
- ζωικών οργανισμών
- Περιττώματα ζώων και άλλα οργανικά υπολείμματα

Τα στερεά απόβλητα (κοπριές) των ζώων είναι επίσης σημαντικές πηγές νιτρικών και διαλυμένων αλάτων. Η διείσδυση αυτών των ρύπων στα υπόγεια ύδατα και η επιφανειακή απορροή τους στα επιφανειακά νερά εξαρτάται από τις τοπικές εδαφικές συνθήκες, τη στράγγιση, τη βροχόπτωση και τις επιφανειακές συνθήκες απόθεσης. Η νιτροποίηση-απονιτροποίηση που γίνεται στο μίγμα των κοπριών και του επιφανειακού εδάφους περιορίζουν κατά έναν τρόπο τον κίνδυνο της διήθησης του αζώτου. Η ταφή των γεωργικών αποβλήτων στα οποία περιλαμβάνονται και τα υπολείμματα των καλλιεργειών, τα νεκρά ζώα και τα κόπρανα μπορεί να προκαλέσουν την έκπλυση, αν και αυτό αποτελεί μικρής έκτασης τοπικό φαινόμενο (Αντωνόπουλος, 2001).

Πηγές Εδαφικού Αζώτου

Το εδαφικό άζωτο λαμβάνεται κυρίως από τις ακόλουθες πηγές (Μύρκου, 2001):

a) Λιπάσματα και μυκητοκτόνα

b) Ατμόσφαιρα

c) Κατακρημνίσματα

d) Μέσω της βιολογικής σταθεροποίησης N (συμβιωτική & μη-συμβιωτική σταθεροποίηση)

e) Ανοργανοποίηση της οργανικής ουσίας

f) Υπολείμματα συγκομιδών

Απώλειες Αζώτου από το Έδαφος

Το άζωτο χάνεται από το έδαφος μέσω των ακόλουθων διαδικασιών (Μύρκου, 2001):

a) Πρόσληψη από τα φυτά

b) Εκχύλιση

c) Αεριώδεις απώλειες Gaseous losses

d) Εξάτμιση της αμμωνίας NH_3

e) Απονιτροποίηση

f) Διάβρωση

g) Ακινητοποίηση

2.4 Ο Κύκλος του Φωσφόρου

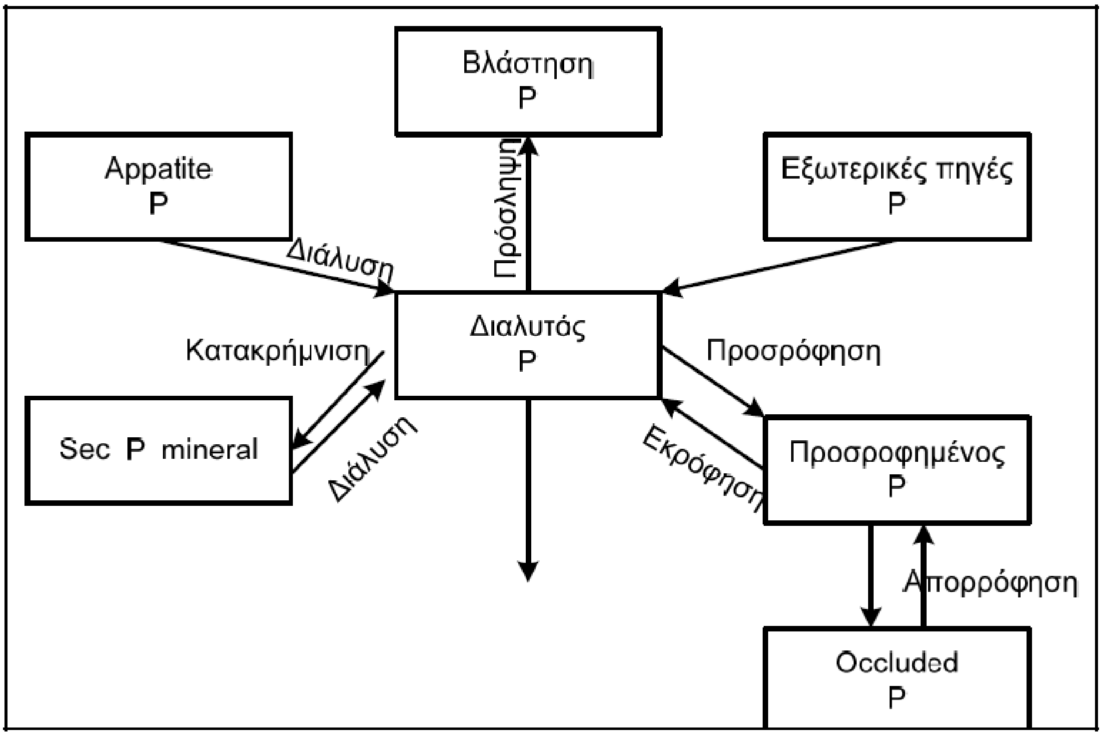
Ο φώσφορος είναι ένα θρεπτικό συστατικό το οποίο χρησιμοποιείται από όλους τους οργανισμούς για τη φυσική εξέλιξη της ζωής. Είναι ένα φυσικό στοιχείο το οποίο συναντάται στους βράχους, το έδαφος και την οργανική ύλη.

Λόγω του ότι προσκολλάται σφιχτά στα σωματίδια του χώματος και χρησιμοποιείται από τα φυτά, η συγκέντρωσή του στα γλυκά νερά είναι γενικά πολύ χαμηλή. Παρόλα αυτά, ο φώσφορος χρησιμοποιείται εκτενώς στα λιπάσματα και σε άλλα χημικά, για αυτό μπορεί να βρεθεί σε μεγάλες συγκεντρώσεις σε περιοχές με ανθρώπινες δραστηριότητες. Φαινομενικά αυτές οι δραστηριότητες είναι ακίνδυνες αλλά το άθροισμα αυτών είναι αρκετά καταστροφικό για τα υδάτινα οικοσυστήματα.

Κύκλος του φωσφόρου (εικόνα 2.10) ονομάζουμε την κυκλική μεταφορά του φωσφόρου από το έδαφος και τα φωσφορικά πετρώματα στα φυτά και τα ζώα. Ο φώσφορος (P) είναι σημαντικό συστατικό της έμβιας ύλης και η σχετική σπανιότητά του τον καθιστά περιοριστικό παράγοντα για την ανάπτυξη των οργανισμών. Έτσι, Η παραγωγικότητα πολλών οικοσυστημάτων ελέγχεται σε μεγάλο βαθμό από το φώσφορο, για αυτό και θεωρείται ο μεγάλος ρυθμιστής των άλλων βιογεωχημικών κύκλων. Πολλοί επιστήμονες θεωρούν το φώσφορο ως τον αδύνατο κρίκο στην αλυσίδα της ζωής πάνω στη Γη, διότι ο κύκλος του είναι σχετικά ατελής και ανοικτός (Sposito, 1996). Όλες οι ενώσεις του φωσφόρου συναντώνται στα νερά είτε διαλυμένες, είτε σαν σωματίδια, είτε στο σώμα των υδρόβιων οργανισμών. Ο φώσφορος όπως και το άζωτο, είναι βασικό στοιχείο για την ανάπτυξη των αλγών και η περιεκτικότητά τους στα νερά αποτελεί καθοριστικό παράγοντα στον ευτροφισμό των επιφανειακών υδάτων. Η μεγαλύτερη ποσότητα ανόργανου φωσφόρου οφείλεται στα ανθρώπινα λύματα και προέρχεται από τη διάσπαση των πρωτεϊνών κατά το μεταβολισμό. Η σωματιδιακή μορφή του φωσφόρου περιλαμβάνει το ζωντανό η νεκρό φυτοπλαγκτόν, τον κατακρημνιζόμενο (precipitates) φώσφορο, ο προσροφούμενος σε σωματίδια φώσφορος και ο άμορφος φώσφορος. Στη διαλυτή μορφή περιλαμβάνεται ο ανόργανος φώσφορος και ο οργανικός. Συνήθως στα φυσικά ύδατα ο φώσφορος συναντάται με τη μορφή των φωσφορικών(PO_4^{-3}) τα οποία χωρίζονται σε ανόργανα φωσφορικά (συμπεριλαμβανομένων των ορθοφωσφορικών και των πολυφωσφορικών) και σε οργανικά (organically-bound phosphate) . Τα φωσφορικά δεν είναι τοξικά στους ανθρώπους και τα ζώα εάν δεν βρίσκονται σε υψηλά επίπεδα. Σε υψηλές συγκεντρώσεις μπορεί να δημιουργηθούν προβλήματα χώνευσης (Λέκκας, 1996).

Στα γλυκά νερά και τα ποτάμια, ο φώσφορος εμφανίζεται συχνά ως περιοριστικός παράγοντας, γιατί βρίσκεται σε μικρότερη ποσότητα συγκριτικά με τις ανάγκες των φυτών. Εάν στα νερά προστεθεί μεγάλη ποσότητα φωσφόρου και νιτρικών τότε τα άλγη και τα υδρόβια φυτά μπορεί να παραχθούν σε μεγάλες ποσότητες. Μετά το θάνατο των αλγών, τα βακτήρια που τα αποσυνθέτουν καταναλώνουν οξυγόνο. Αυτή η διαδικασία ονομάζεται ευτροφισμός. Η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου μπορεί να μειωθεί σε σημαντικό βαθμό, τα ψάρια και οι ζωντανοί οργανισμοί να μην μπορούν να αναπνεύσουν με αποτέλεσμα το θάνατο αυτών.

Η έλλειψη οξυγόνου στα βαθιά νερά μπορεί να οδηγήσει σε απελευθέρωση του φωσφόρου που βρισκόταν παγιδευμένος στο ίζημα, με αποτέλεσμα την περαιτέρω αύξηση του διαθέσιμου φωσφόρου (Λέκκας, 1996).



Εικόνα 2.10: Κύκλος Φωσφόρου στο Χερσαίο Περιβάλλον

2.4.1 Είδη Φωσφορικών

2.4.1.1 Οργανικά Φωσφορικά

Είναι τα φωσφορικά που εντοπίζονται στους ιστούς των φυτών και των ζώων. Βασικά σχηματίζονται λόγο των βιολογικών διεργασιών αλλά επίσης σχηματίζονται στα νερά των αποχετεύσεων με τη συνεισφορά του κύριου όγκου των υγρών αποβλήτων καθώς και των υπολειμμάτων τροφών. Ένας άλλος τρόπος σχηματισμού των οργανικών φωσφορικών είναι από τα ορθοφωσφορικά μέσω των διαδικασιών βιολογικής επεξεργασίας ή (by receiving water biota). Τα οργανικά φωσφορικά μπορεί να είναι αποτέλεσμα των οργανικών φυτοφαρμάκων τα οποία περιέχουν φωσφορικά (Λέκκας,1996).

2.4.1.2 Ανόργανα Φωσφορικά

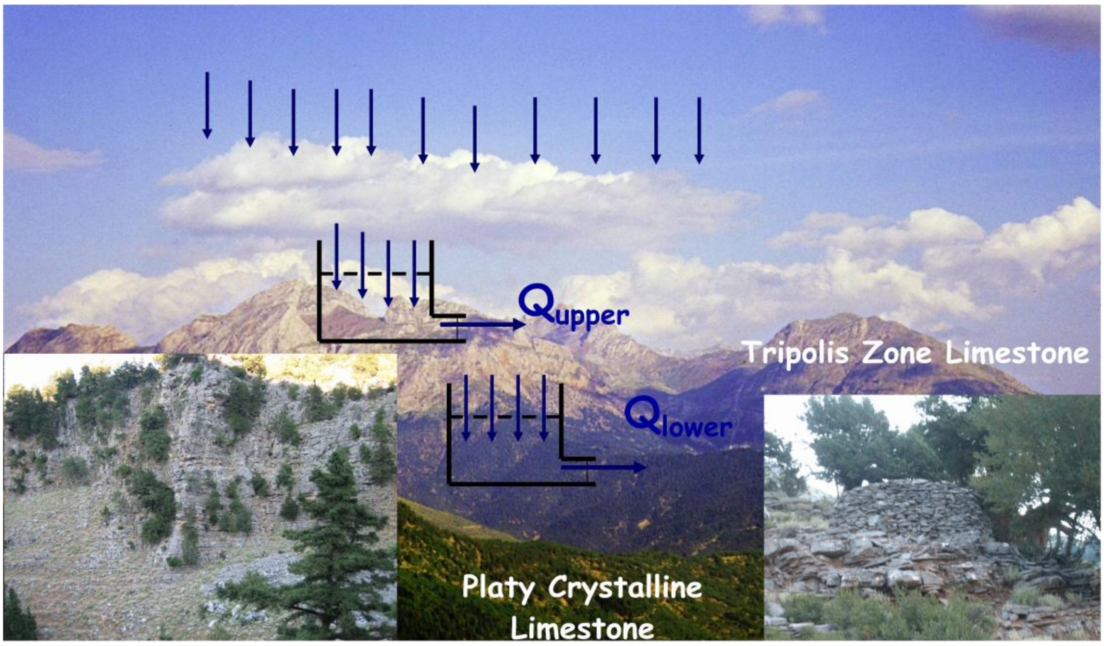
Είναι εκείνα που δεν σχετίζονται με την οργανική ύλη. Περιλαμβάνουν τα ορθοφωσφορικά και τα πολυφωσφορικά. Τα ορθοφωσφορικά μερικές φορές αναφέρονται και σαν ‘ενεργός φώσφορος’, είναι το πιο σταθερό είδος φωσφορικών και είναι η μορφή η οποία χρησιμοποιείται από τα φυτά. Τα ορθοφωσφορικά σχηματίζονται μέσω φυσικών διαδικασιών και βρίσκονται συχνά στα αποχετευτικά ύδατα. Τα πολυφωσφορικά (επίσης γνωστά και σαν μεταφωσφορικά ή συμπυκνωμένα φωσφορικά) (metaphosphates or condensed phosphates) δημιουργούν πολύ ισχυρούς δεσμούς με κάποια μεταλλικά ιόντα. Τα πολυφωσφορικά χρησιμοποιούνται επεξεργασία boiler water και στα απορρυπαντικά. Στο νερό τα πολυφωσφορικά είναι ασταθή και τελικά μετατρέπονται σε ορθοφωσφορικά (Λέκκας, 1996).

2.4.2 Κύριες Ανθρωπογενείς Πηγές Φωσφόρου

Η ανθρώπινη δραστηριότητα επιβαρύνει την ατέλεια του κύκλου του φωσφόρου. Μεγάλες ποσότητες φωσφορούχων ουσιών εξορύσσονται από τα φυσικά αποθέματα της λιθόσφαιρας, μετατρέπονται σε φωσφορικά άλατα από τη βιομηχανία λιπασμάτων ή απορρυπαντικών και τελικά καταλήγουν στην υδρόσφαιρα και εν μέρει στο βυθό των ωκεανών (Χατζημπίρος, 2001).

Τα αστικά υγρά απόβλητα περιέχουν σημαντικές ποσότητες φωσφόρου, εξαιτίας κυρίως των χρησιμοποιούμενων απορρυπαντικών, το ίδιο δε συμβαίνει με μερικά βιομηχανικά απόβλητα. Ο φώσφορος των αποβλήτων αυτών έχει γίνει αιτία προχωρημένων αυτοτροφικών καταστάσεων σε λίμνες και παράκτια ύδατα. Μικρότερη είναι η συμβολή των φωσφορούχων λιπασμάτων, λόγω των αδιάλυτων ενώσεων που σχηματίζει ο φώσφορος με χημικά στοιχεία που περιέχονται στο έδαφος.

2.5 Καρστικό μοντέλο για την προσομοίωση των πηγών.



Εικόνα 2.11 : Καρστικό μοντέλο, στην οροσειρά των Λευκών ορέων

Οι Tzoraki (et. al. 2007) προσομοίωσαν με λεπτομερέστερο μοντέλο τη λειτουργία του καρστικού συστήματος της πηγής της Αγιάς, το οποίο αποτελεί μία βελτιωμένη έκδοση του μοντέλου των ‘δύο ταμιευτήρων’ ώστε να μπορεί να προσομοιώσει την εκφόρτιση καρστικών πηγών, καθ’ όλη τη διάρκεια του έτους.

2.5.1 Περιγραφή Καρστικού Μοντέλου

Το καρστικό μοντέλο βασίζεται στη ύπαρξη δύο υπόγειων ταμιευτήρων οι οποίοι επικοινωνούν μεταξύ τους και τοποθετούνται ο ένας υψομετρικά ανώτερα από τον άλλο (εικόνα 2.11, 2.12). Αναπτύχθηκαν δύο εξισώσεις υδατικών ισοζυγίων που αντιπροσωπεύουν τους δυο αυτούς ταμιευτήρες. Ο όγκος νερού μέσα στους δύο ταμιευτήρες (V_1, V_2) μεταβάλλεται συναρτήσει του χρόνου και ισούται με την διαφορά της ημερήσια εκροής νερού (Q_1, Q_2), από τον ταμιευτήρα, από την ημερήσια εισροή νερού ($Q_{in,1}$, $Q_{in,2}$) σε αυτόν.

$$\frac{dV_1}{dt} = Q_{in,1} - Q_1 \tag{1}$$

$$\frac{dV_2}{dt} = Q_{in,2} - Q_2 \tag{2}$$

Στον ανώτερο ταμιευτήρα η εισροή νερού προέρχεται από τις βροχοπτώσεις στο καρστ και την τήξη του χιονιού των Λευκών ορέων. Για τον υπολογισμό της εισροής στο καρστικό, χρησιμοποιήθηκε το ισοζύγιο μάζας του διαμερίσματος του χιονιού.

$$\frac{d\,V_s}{d\,t} = (P_s - M_s) * \varepsilon * A_{ka\,rst} \tag{3}$$

Όπου:

V_s : Ισοδύναμος όγκος νερού του διαμερίσματος του χιονιού

P_s : Ημερήσια βροχόπτωση που πέφτει ως χιόνι (όταν η θερμοκρασία του αέρα είναι μικρότερη από μια κρίσιμη τιμή) σε m/d

M_s : Ημερήσιος ρυθμός τήξης του χιονιού σε m/d

ε: Διορθωτικός παράγοντας που λαμβάνει υπόψη τις υδατικές απώλειες από το χιόνι

A_{karst} : Επιφάνεια του καρστ σε m^2

Ο ημερήσιος ρυθμός τήξης του χιονιού που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της εισροής στο καρστ εκτιμάται βάση εμπειρικών εξισώσεων που έχουν αναπτυχθεί από το Τμήμα Μηχανικών Στρατού των ΗΠΑ (U.S. Army Corps of Engineers, Technical Report, 1956) και έχουν εφαρμοστεί σε μοντέλα λεκανών απορροής (Nikolaidis et al., 1988).

Σε περίπτωση που έχουμε ξηρό καιρό η τήξη του χιονιού υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$M_s = C_{m1} * (1.8 * T_a)^{n+1} / 1000 \qquad (4)$$

Ενώ στης περιπτώσεις ύπαρξης βροχοπτώσεων ή χιονιού υπολογίζεται βάση της εξίσωσης 5.

$$M_s = C_{m2} * (0.007 * P_w + 0.074) * T_a * 1.8 + 0.05) * 0.254 / 1000 \qquad (5)$$

Όπου (εξισώσεις 4,5):

n: Συντελεστής που με τυπική τιμή 0.25

P_w : Ημερήσια υγρή κατακρήμνιση σε m/d

T_a : Μέση ημερήσια θερμοκρασία του αέρα σε ^oC

C_{m1}, C_{m2} : Αδιάστατοι διορθωτικοί συντελεστές που προσαρμόζουν τις εξισώσεις στις τοπικές συνθήκες

Η εξίσωση 3 επιλύεται με τη μέθοδο του Euler για ημερήσιο χρονικό βήμα. Ο ρυθμός τήξης του χιονιού διορθώνεται, ώστε να αποφευχθούν αρνητικές τιμές στον όγκο του χιονιού. Έπειτα, οι ημερήσιες εισροές νερού στον ανώτερο και στον κατώτερο ταμιευτήρα του καρστ μπορούν να υπολογιστούν με την εξίσωση 6, όπως φαίνεται παρακάτω:

$$Q_{in,1} = (1-f)*(P_w + M_s)*\varepsilon*A_{karst} \quad \text{και}$$

$$Q_{in,2} = f*(P_w + M_s)*\varepsilon*A_{karst} \qquad (6)$$

Όπου:

f : Ποσοστό της συνολικής παροχής (βροχόπτωση και τήξη χιονιού) που εισέρχεται στον κατώτερο ταμιευτήρα.

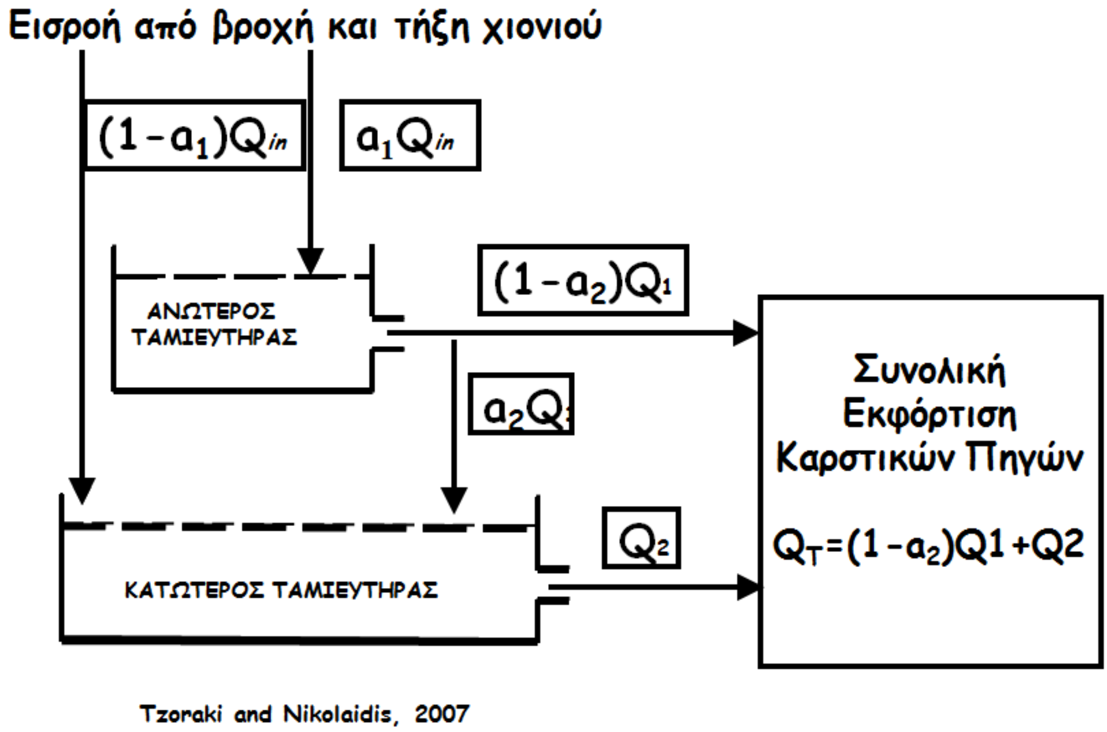
Η επίλυση των αρχικών εξισώσεων (1,2) αν υποθέσουμε ότι έχουμε σταθερή εισροή νερού και συναρτήσει των συντελεστών στείρευσης (1/d) a_1 και a_2 (για τον ανώτερο και τον κατώτερο ταμιευτήρα αντίστοιχα) θα είναι:

$$Q_1 = Q_{1,0}e^{-a_1 t} + Q_{in,1}(1-e^{-a_1 t}) \qquad (7)$$

$$Q_2 = Q_{2,0}e^{-a_2 t} + Q_{in,2}(1-e^{-a_2 t}) \qquad (8)$$

Συνολικά η καρστική εκφόρτηση θα είναι το άθροισμα των δύο εκφορτίσεων (γρήγορη και αργή), των δύο ταμιευτήρων.

$$Q_{karstic} = (1-a)Q_1 + Q_2 \qquad (9)$$



Εικόνα 2.12: Διάγραμμα καρστικού μοντέλου

Οι εξισώσεις που προκύπτουν μέσω του μοντέλου για το καρστικό των Λευκών ορέων (εικόνα 2.11) δίνουν την δυνατότητα βαθμονόμησης του μοντέλου μέσω οχτώ συντελεστών. Μέσω των συντελεστών αυτών μπορεί να γίνει η βαθμονόμηση του μοντέλου για ως προς τους υδραυλικούς χρόνους παραμονής, επίσης γίνεται συσχέτιση με βάση τις βροχοπτώσεις και την τήξη του χιονιού. Η επιφάνεια του καρστ που συνεισφέρει στις εκφορτίσεις των πηγών δεν είναι γνωστή. Παρόλα αυτά, αν υποθέσουμε ότι οι υδατικές απώλειες από το χιόνι είναι 10-20% του συνολικού υδάτινου όγκου του χιονιού, τότε η επιφάνεια του καρστ θα είναι 10-20% μεγαλύτερη από την ισοδύναμη επιφάνεια που προκύπτει από το γινόμενο ε^*A_{karst}, ύστερα από τη βαθμονόμηση του μοντέλου (Tzoraki et. al., 2007).

2.6 Μοντέλα προσομοίωσης περιβαλλοντικών συστημάτων – Το μοντέλο WASP

Στην περιβαλλοντική μοντελοποίηση στόχος μας είναι να κατανοήσουμε καλύτερα την κίνηση και την πορεία των χημικών ουσιών στο περιβάλλον και την επίδραση της ανθρώπινης παρέμβασης σε αυτούς τους χημικούς κύκλους. Έχουν γίνει πολλές έρευνες πάνω σε αυτό το τομέα, αλλά ακόμα μπορούμε να κατανοήσουμε μόνο μερικώς το πώς κινούνται οι χημικοί ρυπαντές μεταξύ της ατμόσφαιρας, της γης και του νερού, καθώς και τις μεταβολές που υφίστανται κατά τη διαδικασία αυτή. Με την μοντελοποίηση προσπαθούμε όσο γίνεται να φτάσουμε πιο κοντά στη προσομοίωση του περιβάλλοντος (Schnoor, 2003) .

Ο τρόπος με τον οποίο γίνεται η επιλογή ενός μοντέλου εξαρτάται από τη φύση της ανάλυσης που θα πραγματοποιηθεί. Η χρήση των περιβαλλοντικών μοντέλων επιβάλλεται για την αξιολόγηση ενός συστήματος, για τους τρεις παρακάτω κυρίως λόγους (Schnoor, 2003):

- Για να κατανοήσουμε καλύτερα τη μεταφορά των χημικών ενώσεων με τη ποσοτικοποίηση των αντιδράσεων τους των μορφών και της μεταφοράς τους, καθώς και της επίδρασης αυτών .

- Ο προσδιορισμός του μεγέθους της μέχρι τώρα, της μελλοντικής και της παρούσας έκθεσης των ζώντων οργανισμών, συμπεριλαμβανομένου και του ανθρώπου, στη μόλυνση .

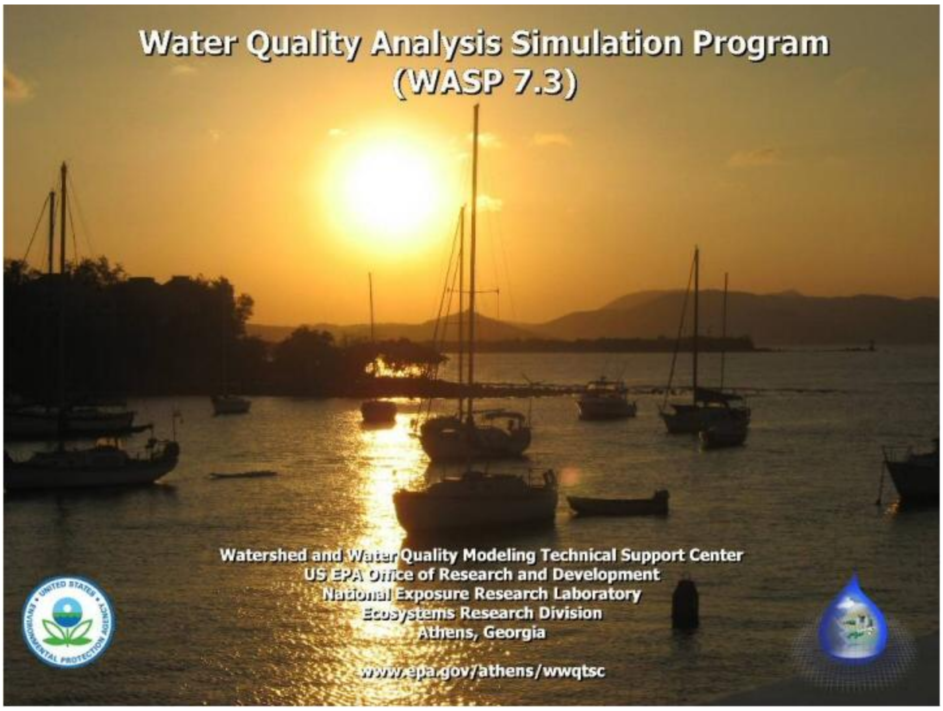
- Η δυνατότητα πρόβλεψης των μελλοντικών συνθηκών με τη χρήση διαφορετικών σεναρίων εξέλιξης, έτσι ώστε να μπορούν να συγκριθούν οι εναλλακτικές δυνατότητες σαν επιλογές διαχείρισης και σχεδιασμού.

Μέσα από αυτούς τους τρεις λόγους μπορούμε να προσδιορίσουμε και τη γενικότερη χρησιμότητα των περιβαλλοντικών μοντέλων. Στην πρώτη περίπτωση χρησιμοποιούνται σαν εργαλεία επιστημονικής έρευνας, για τον ακριβέστερο προσδιορισμό των ιδιοτήτων ενός φυσικού συστήματος και σαν εργαλεία περιβαλλοντικού σχεδιασμού. Η περίπτωση της ποιοτικής αξιολόγησης περιλαμβάνει τον σαφή προσδιορισμό της σημερινής κατάστασης βάση των μεταβολών που έχουν συμβεί στο παρελθόν και να είναι σε θέση να προβλέψει τη μελλοντική εξέλιξη της ελαχιστοποιώντας όσο το δυνατόν περισσότερο την αβεβαιότητα.

Η πιο χρήσιμη όμως χρήση των μοντέλων είναι σαν εργαλείο διαχείρισης και σχεδιασμού. Τα περιβαλλοντικά μοντέλα μέχρι στιγμής έχουν βρει εφαρμογή μόνο στο κομμάτι της κατάστρωσης της στρατηγικής που περιλαμβάνει την ποιοτική αξιολόγηση και την πρόβλεψη μελλοντικών σεναρίων για την εφαρμογή πιθανών πολιτικών (Schnoor, 2003).

Το μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε ονομάζεται WASP, από τα αρχικά των λέξεων Water quality Analysis Simulation Program, που σημαίνουν «Πρόγραμμα Εξομοίωσης για την Ανάλυση της Ποιότητας Νερών» (Wool et al. 2001).

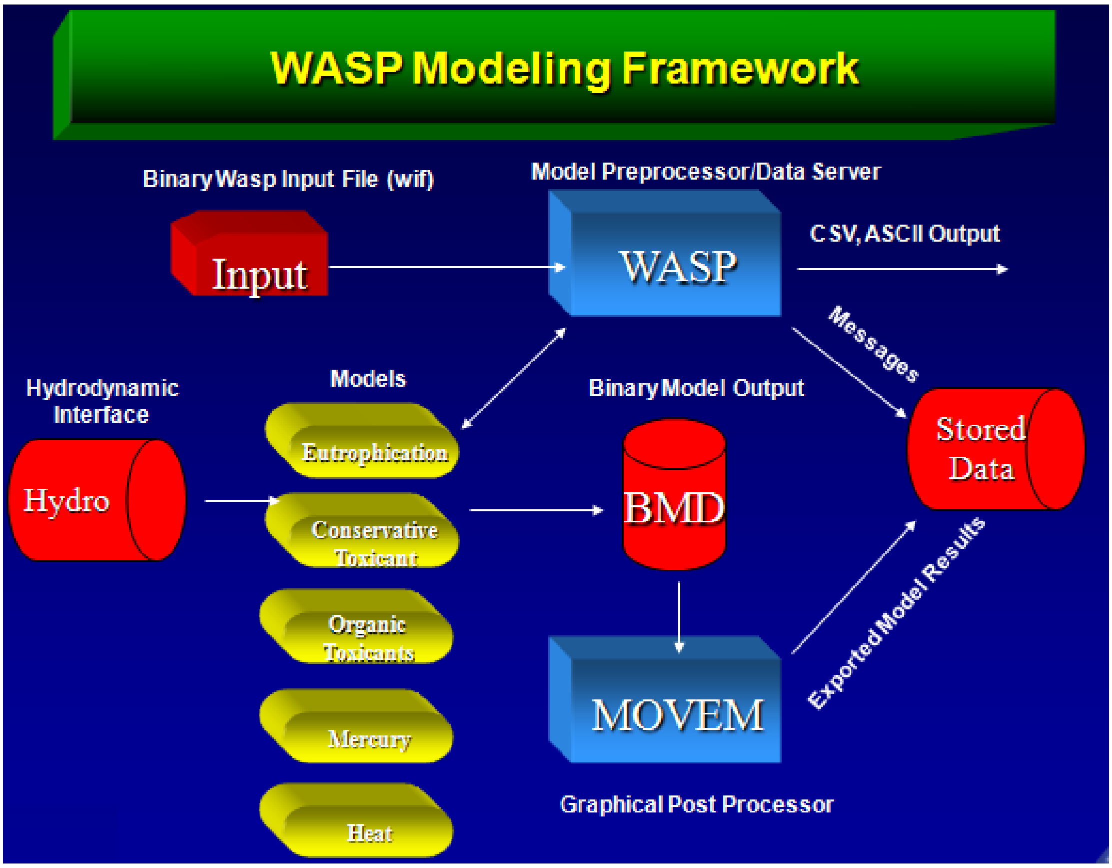
Η πρώτη του έκδοση, αναπτύχθηκε τη δεκαετία του `70 για λογαριασμό του Υπουργείου Περιβάλλοντος των Ηνωμένων Πολιτειών και πλέον στην 7.3 έκδοση (εικόνα 2.13) του αξιοποιεί τη σύγχρονη υπολογιστική τεχνολογία όσο το δυνατόν πιο αποτελεσματικά. Έχει χρησιμοποιηθεί με επιτυχία σε πολλά υδατικά οικοσυστήματα σε όλο τον κόσμο. Το συγκεκριμένο μοντέλο έχει ένα πολύ μεγάλο εύρος εφαρμογών, είναι εύκολο στη χρήση και αρκετά ευέλικτο, κάτι τέτοιο το καθιστά ένα πολύ καλό ‘εργαλείο’ για την περιβαλλοντική μοντελοποίηση. Το περιβάλλον εργασίας είναι κατανοητό και εύχρηστο (εικόνα 2.16).



Εικόνα 2.14: Εισαγωγική Οθόνη του Μοντέλου WASP 7.3

Το συγκεκριμένο πρόγραμμα μπορεί να δουλέψει ως υδρολογικό μοντέλο προσομοιώνονταν την κίνη του νερού (DYNHYD) μέσω υδρολογικών εξισώσεων, αλλά και ως μοντέλο ποιότητας του νερού (WASP7) περιγράφοντας την κίνηση και την αλληλεπίδραση των ρυπαντών μέσα στο νερό (Wool et al. 2001).

Ως αναφορά την ποιότητα του νερού χωρίζεται σε δύο υπομοντέλα που περιγράφουν ξεχωριστά τις δύο βασικές κατηγορίες ρύπανσης : τη συμβατική ρύπανση (διαλυμένο οξυγόνο, βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο, θρεπτικά και ευτροφισμό) και την τοξική ρύπανση (οργανικά χημικά, βαρέα μέταλλα και ιζήματα). Τα υπομοντέλα αυτά ονομάζονται EUTRO και TOXI (εικόνα 2.15) αντίστοιχα. Η λειτουργία και των δυο βασίζεται στην αρχή διατήρησης της μάζας. Με την χρήση μιας σειράς εξισώσεων μετράται η μεταβολή της μάζας του νερού καθώς και των παραμέτρων ποιότητας συναρτήσει του χρόνου αλλά και του χώρου. Το ίδιο ισχύει και σε γενικές γραμμές για το υδροδυναμικό πρόγραμμα που επιπλέον διατηρεί την ορμή και την ενέργεια (Wool et al. 2001).



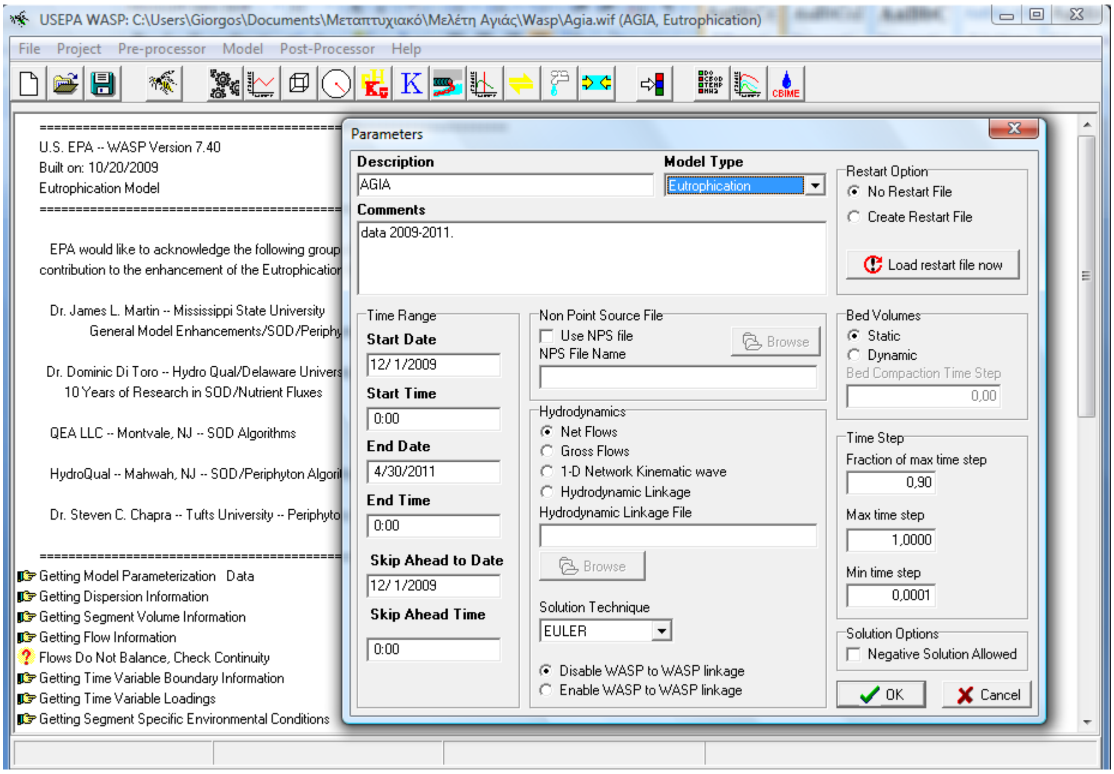
Εικόνα 2.15: Διάγραμμα λειτουργίας WASP

Για την διεξαγωγή μιας καινούριας μοντελοποίησης καθορίζονται οι μεταβλητές με τα εξής οχτώ βήματα :

1. Υπομοντέλο που θα χρησιμοποιήσουμε (EUTRO – TOXI).
2. Χρονική περίοδο και το χρονικό βήμα που θα γίνονται οι υπολογισμοί.
3. Την «διαμερισματοποίηση» της περιοχής μελέτης, δηλαδή τη διαίρεση της σε μικρότερες με σκοπό τη διαφοροποίηση των παραμέτρων και μεταβλητών στο χώρο, στις περιπτώσεις που χρειάζεται.
4. Επιλογή των συστημάτων που θα εξομοιωθούν.
5. Καθορισμός των σταθερών παραμέτρων, και των μεταβλητών συντελεστών διασποράς.
6. Εισαγωγή δεδομένων που περιλαμβάνουν αρχικές και οριακές συνθήκες.
7. Καθορισμός των φορτίων που εισέρχονται στο σύστημα.
8. Εισαγωγή των ροών του νερού τόσο ποσοτικά (αριθμητικά), όσο και ποιοτικά (τον τρόπο με τον οποίο χωρίζονται από διαμέρισμα σε διαμέρισμα).

Στο μοντέλο μπορούν να δοθούν και να προσομοιωθούν ξεχωριστά οι επιμέρους παράμετροι, αν κάτι τέτοιο είναι επιθυμητό. Κάτι τέτοιο δίνει πολύ γρηγορότερα αποτελέσματα και πολύ μικρότερο όγκο δεδομένων.

Για παράδειγμα, αν στόχος της μοντελοποίησης είναι απλά η ανάλυση της διακύμανσης του διαλυμένου οξυγόνου, αποφεύγεται η προσομοίωση των μεταβολών του φωσφόρου και του αζώτου. Αφού το μοντέλο εκτελεσθεί, γίνεται η επεξεργασία των αποτελεσμάτων στη μορφή γραφικών παραστάσεων (Wool et al. 2001).



Εικόνα 2.16: Περιβάλλον εργασίας WASP

Η βασική εξίσωση, που χρησιμοποιείται από το μοντέλο, είναι αυτή της διατήρησης της μάζας που για κάποια διαλυμένα συστατικά σε ένα δεδομένο όγκο ελέγχου νερού. Περιλαμβάνει τη μάζα που εισέρχεται και εξέρχεται μέσω σημειακής ή διάχυτης φόρτισης, συμμεταφοράς ή διασποράς, ή μεταβάλλεται λόγω φυσικών, χημικών ή βιολογικών διεργασιών. Αυτό σε ένα στοιχειώδη τρισδιάστατο χώρο μπορεί να εκφραστεί ως εξής (Wool et al. 2001):

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial x}(U_x C) - \frac{\partial}{\partial y}(U_y C) - \frac{\partial}{\partial z}(U_z C) + \frac{\partial}{\partial x}(E_x \frac{\partial C}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y}(E_y \frac{\partial C}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z}(E_z \frac{\partial C}{\partial z}) + S_L + S_B + S_K$$

Όπου:

C η συγκέντρωση της παραμέτρου ποιότητας νερού

t ο χρόνος

U_x, U_y, U_z οι ταχύτητες συμμεταφοράς στις τρεις διαστάσεις

E_x, E_y, E_z οι συντελεστές διασποράς στις τρεις διαστάσεις

S_L ο ρυθμός φόρτισης από σημειακές και διάχυτες πηγές

S_B ο ρυθμός φόρτισης λόγω των οριακών συνθηκών

S_K ο ολικός ρυθμός μετατροπής από φυσικές, χημικές και βιολογικές διεργασίες

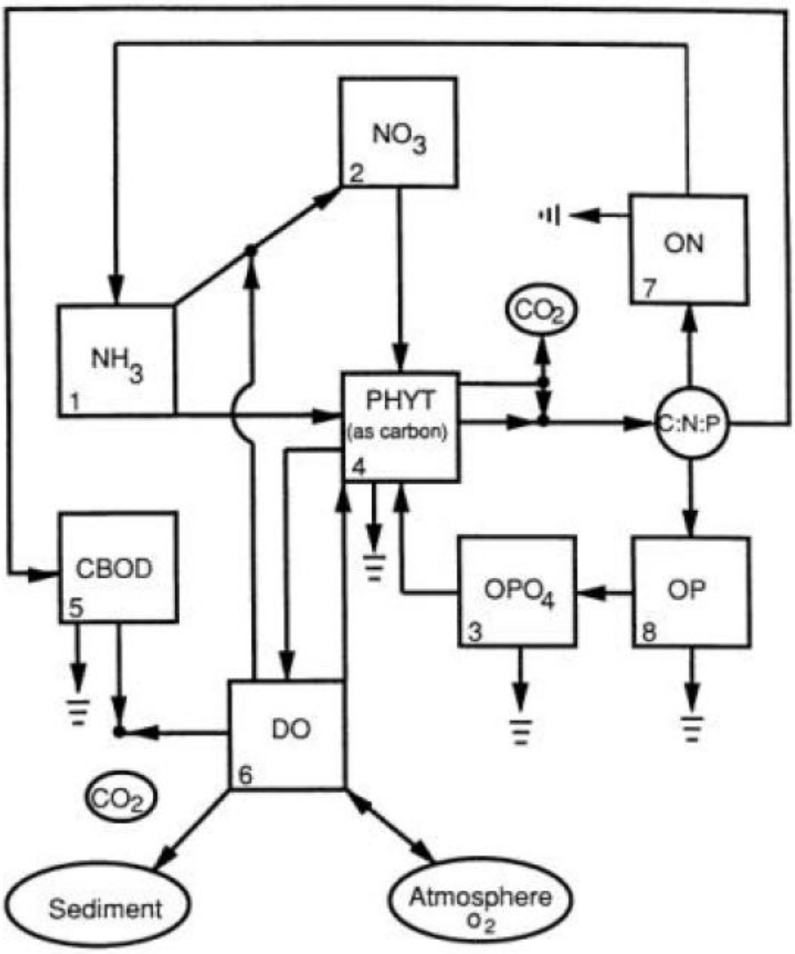
Περνώντας τώρα από το στοιχειώδη τρισδιάστατο χώρο στα διαμερίσματα που αναφερθήκαμε παραπάνω μπορούμε να εκφράσουμε τη μεταφορά, τη φόρτιση και τη μετατροπή με τη μέθοδο των διακριτών διαφορών. Για παράδειγμα σε μια μονοδιάστατη αλληλουχία διαμερισμάτων με την παραδοχή της ομοιογένειας στους άξονες y και z θα έχουμε

$$\frac{\partial}{\partial t}(A \cdot C) = \frac{\partial}{\partial x}(-U_x \cdot A \cdot C + E_x \cdot A \cdot \frac{\partial C}{\partial x}) + A \cdot (S_L + S_B) + A \cdot S_K ,$$

με A τη επιφάνεια επαφής των δύο διαμερισμάτων.

Σε αυτή τη συνηθισμένη απλούστευση, που εκφράζει τους τρεις βασικούς όρους των διεργασιών, εφαρμόζεται η προσέγγιση του Euler και απλοποιούνται τα διαφορικά. Αυτό είναι και το βασικό πλεονέκτημα του διαχωρισμού του σύστημα σε μικρότερα διαμερίσματα, αρκεί αυτά να είναι σε θέση να παρουσιάσουν την απαραίτητη ομοιογένεια που θα εξασφαλίσει αξιοπιστία στις απλουστεύσεις των μαθηματικών σχέσεων.

Όσον αφορά τώρα το επίπεδο του ευτροφισμού υπάρχουν αρκετές φυσικο-χημικές διεργασίες που επηρεάζουν τη μεταφορά και την αλληλεπίδραση ανάμεσα στα θρεπτικά, το φυτοπλαγκτόν, τα οργανικά υλικά, το διαλυμένο οξυγόνο και το υδατικό περιβάλλον. Ο τρόπος με τον οποίο οι κύριες μεταβλητές σχετίζονται στο υπομοντέλο EUTRO, φαίνεται καλύτερα στο Σχήμα 2.17 (Wool et al. 2001).

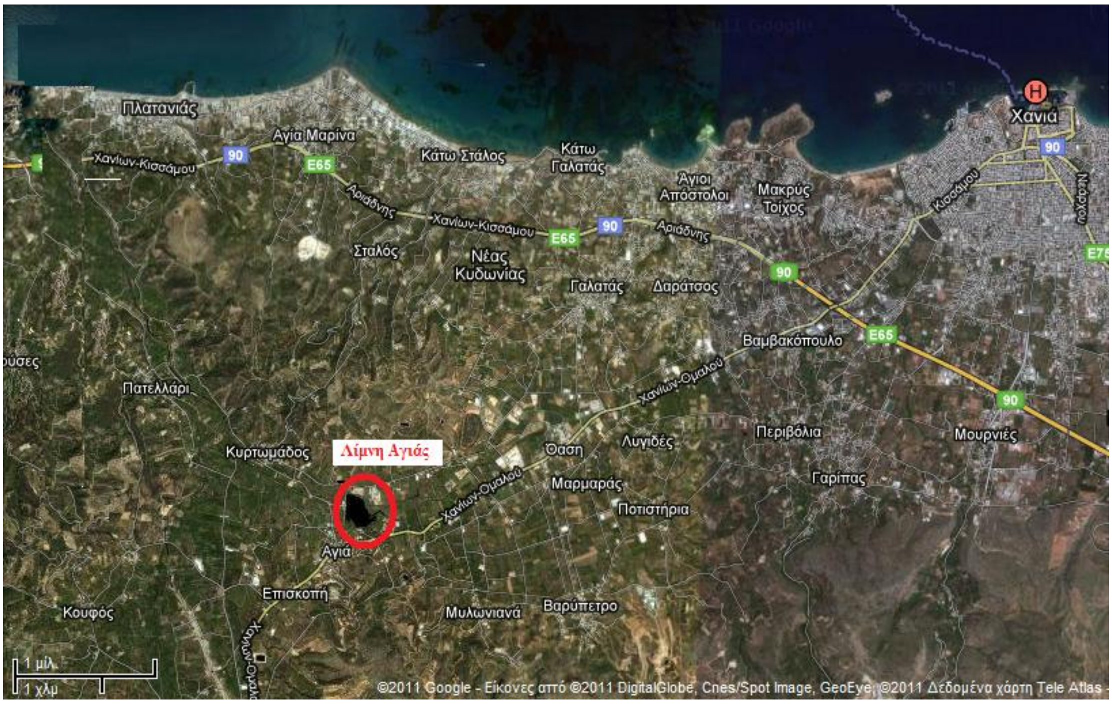


Εικόνα 2.17: Αλληλεπίδραση των Κύριων Μεταβλητών του EUTRO (Wool et. al. 2004)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

3.1 Περιγραφή της περιοχής μελέτης



Εικόνα 3.1 : Προσδιορισμός της θέσης της λίμνης της Αγιάς

Η περιοχή μελέτης είναι η λίμνη της Αγιάς. Η τεχνητή λίμνη της Αγιάς εντοπίζεται στο νοτιοανατολικό άκρο του Δήμου Πλατανιά Νομού Χανίων στα σύνορα με τον Δήμο Νέας Κυδωνίας. Απέχει 9 χλμ. από τα Χανιά (www.chania-fms.gr, 2011). Αποτελείται από 450 στρέμματα προστατευόμενης περιοχής, ανήκει στο δίκτυο Natura 2000 με κωδικό GR434006 (Λίμνη Αγιάς, Πλατανιάς, Ρέμα και Εκβολή Κερίτη, Κοιλάδα Φασά) είναι συνολικής έκτασης 1211,58 ha και θεωρείται περιοχή Ειδικού Κοινοτικού Ενδιαφέροντος (pSCI) .

Η λίμνη της Αγιάς δημιουργήθηκε πάνω σε ένα μικρό παραπόταμο του ποταμού Κερίτη, κατά την περίοδο 1927-28, παρότι πολλοί ισχυρίζονται ότι δημιουργήθηκε πάνω σε έναν εκτεταμένο βάλτο, με την κατασκευή φράγματος (ΟΑΔΥΚ, 1998). Η σημερινή τεχνητή λίμνη διακόπτει ουσιαστικά τη συνέχεια ενός παραπόταμου του ποταμού Κερίτη, ενώ τροφοδοτείται με νερό από πηγές καθώς και από το υπόλοιπο υδρογραφικό δίκτυο της λεκάνης απορροής της. Ενδεικτικά οι εισροές προς τη λίμνη προέρχονται από τις υπερχειλίσεις των παραλίμνιων πηγών και από τις απορροές του υδρογραφικού δικτύου της λεκάνης απορροής της λίμνης, όπως είναι κυρίως ρέματα και ποτάμια που βρίσκονται ανάντη της λίμνης (π.χ. τμήμα του Ξεκολωμένου ποταμού). Οι εκροές νερού από τη λίμνη λαμβάνουν χώρα από υδροληψία του ΥΗΣ/ΔΕΗ, μόνο τη χειμερινή περίοδο (σήμερα ο υδροηλεκτρικός σταθμός δεν λειτουργεί πλέον) με προσαγωγούς από το θυρόφραγμα του φράγματος, (υδροληψία δυτικού κλάδου ΟΑΔΥΚ, όπου μέσω του προσαγωγού της ΔΕΗ τροφοδοτείται ο αγωγός Πατελαρίου), μέσω της εξάτμισης και από απώλειες- διηθήσεις στον πυθμένα ή και στο φράγμα της λίμνης.

Η στάθμη της λίμνης δεν παραμένει σταθερή σε ετήσια βάση, καθώς εξαρτάται από τις υδρολογικές συνθήκες της ευρύτερης περιοχής, αλλά και από την ένταση των χρήσεων του νερού. Η ανώτατη στάθμη ορίζεται από τη υπερχείλιση του φράγματος και βρίσκεται σε απόλυτο υψόμετρο +38 m, ενώ το βαθύτερο σημείο του πυθμένα φτάνει +32 m απόλυτο υψόμτερο.

Έχει υπολογιστεί ότι όταν η στάθμη κατέβει ένα μέτρο από την ανώτατη στάθμη (+37 m) η επιφάνεια της λίμνης μειώνεται κατά 87775 m^2, ενώ ο όγκος της κατά 104.050 m^3, δηλαδή κατά το ήμισυ της ανώτατης στάθμης. Στη στάθμη + 36 m έχει οριστεί η στάθμη για την ασφάλεια των φυσιολογικών διεργασιών του υγρότοπου της Αγιάς (Δημαλέξης Α. 2004).

3.1.1 Χλωρίδα και πανίδα της λίμνης

Εικόνα 3.2: Χλωρίδα και πανίδα της λίμνης

Η λίμνη της Αγυάς αποτελεί ένα πολύ σημαντικό υγροβιότοπο. Περιφερειακά της λίμνης αναπτύσσονται αρκετά σημαντικά είδη χλωρίδας . Η πανίδα τις λίμνης είναι εξίσου σημαντική καθώς η λίμνη αποτελεί καταφύγιο για εκατοντάδες είδη πουλιών.

Πιο συγκεκριμένα, η χλωρίδα της λίμνης περιλαμβάνει περιφερειακά μεγάλες σε έκταση συστάδες από καλαμιώνες (κυρίως με *Phragmites australis*), ενώ στα νότια της λίμνης (εγκαταστάσεις ΟΑΔΥΚ) υπάρχουν συστάδες από τραχεία πεύκη (*Pinus brutia*) και ευκαλύπτους (*Eucalyptus tostrata*). Γύρω από τη λίμνη παρατηρούμε την τυπική παρυδάτια βλάστηση με μυρτιές (Myrtus communis), πικροδάφνες (Nerium oleander), βάτα (Rubus sanctus), ιτιές (Salix alba) και στα πιο υγρά σημεία ιπουρίδες (Equisetum telmateia), Επίσης, στις νότιες περιοχές υπάρχει και δενδροθαμνώδης βλάστηση με αλμυρίκια (*Tamarix parviflora),* και πικροδάφνες (*Nerium oleander*) (Δρεττάκης, 2011). Εκεί και πίσω από την υπερυδατική βλάστηση αναπτύσσεται φυτοκοινωνία με κυρίαρχα τα είδη *Platanus orientalis* και *Equisetum telmateia,* αλλά και τριφύλλι (*Trifolium repens), άνθεμις (Anthemis cotula) κ.ά.*

Περιφερειακά του υγρότοπου υπάρχουν μεγάλες συστάδες υπερυδατικής βλάστησης με αγριοκαλαμιές (Phragmites australis), τα κοινά καλάμια (Arundo donax) και με συνοδά τα είδη του καλαμιώνα, *Schoenoplectus lacustris* subsp. *tabernaemonti*, *Panicum repens*, *Sparganium erectum* subsp. *neglectum .*

Στη νότια παραλίμνια περιοχή συναντώνται φυτοκοινωνίες με *Gladium mariscus* μέσα στο νερό και μέχρι βάθους 40 cm και πιο πίσω κυριαρχούν τα βούρλα (*Juncus articulatus, Juncus effuses) και άλλες υδροχαρείς φυτοκοινωνίες με Dorygnium rectum, Lythrum junceum, Oenanthe pimpineloides, Cirsium creticum, Cyperus longus* σε βάθος μέχρι 20 cm., καθώς και ιτιές (*Salix alba).* Στις όχθες των ρυακιών και στα υγρά λιβάδια της περιοχής συναντώνται πλούσιες φυτοκοινωνίες *με* χαρακτηριστικά τα είδη : *Veronica anagallis aquatica, Rorippa nasturtium-aquaticum , Apium nodiflorum, Mentha aquatica, Carex otrubae, Juncus effusus, Carex hispida, κ.ά.* (Δρεττάκης, 2004).

Σε βαθιά σχετικά νερά στη λίμνη συναντώνται υφυδατικά είδη (υδροχαρείς φυτοκοινωνίες) με: ποταμογείτονες (Potamogeton lucens), κερατόφυλλα

(Ceratophyllum demersum), μυρόφυλλα (Myriophyllum spicatum), καλιτρίχια (Callitriche cophocarpa), αγριονεραγκούλα (Ranunculus trichophyllus) και άλλα.

Από οικολογική άποψη οι ποταμογείτονες καθορίζουν τη φυσιογνωμία του οικότοπου, καθώς αυτή η φυτοκοινωνία εξαπλώνεται από 1-3 m στη λίμνη της Αγιάς μαζί με άλγη που με την αύξηση της φωτοπεριόδου (μετά τον Απρίλιο) εξαπλώνονται στην επιφάνεια του νερού. Το *Potamogeton lucens* θεωρείται εύτροφο είδος όμως σε συνθήκες υψηλού ευτροφισμού περιορίζεται και μπορεί ακόμη να εξαφανιστεί. Σε πιο αβαθή νερά από 0,5-0,8 m εμφανίζεται φυτοκοινωνία με τα είδη *Potamogeton trichoides*, *Ceratophyllum demersum*, μαζί με *Zanichellia palustris*, *Myriophyllum spicatum*. Στα βαθύτερα συναντάται στη ίδια φυτοκοινωνία το *Potamogeton lucens* και στις αβαθείς περιοχές χαρόφυτα (*Chara* spp), μαζί με *Ranunculus trichophillous* και *Alisma lanceolatum, ενώ σε* ήρεμες θέσεις ανάμεσα στα υπερυδατικά φυτά παρατηρήθηκε η φακή του νερού (*Lemna minor)* (Δρεττάκης, 2004).

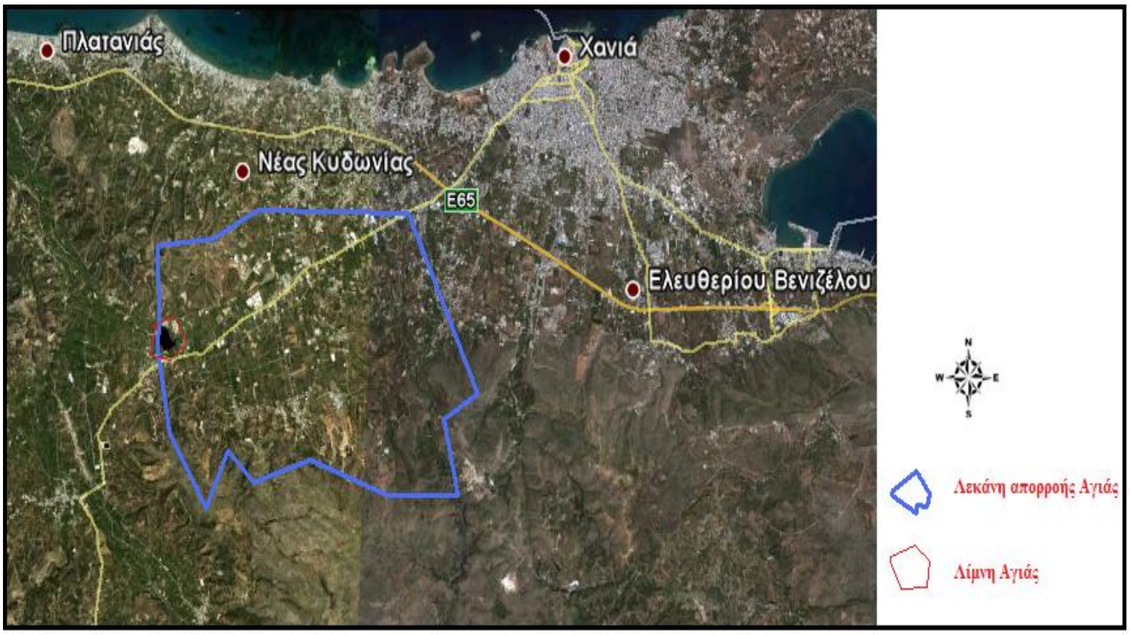
Τα πουλιά που έχουν παρατηρηθεί στη λίμνη της Αγιάς ξεπερνούν τα 200 είδη και κατά τους χειμερινούς μήνες (Δεκέμβριο-Ιανουάριο) ο αριθμός των πουλιών ξεπερνάει τα 1500. Η περιοχή θεωρείται ευνοϊκή για τα μεταναστευτικά πουλιά, καθώς προσφέρει κατάλληλα ενδιαιτήματα αναπαραγωγής μέσα στις καλαμιές. Το χειμώνα συναντώνται αξιόλογοι πληθυσμοί από αγριόπαπιες (*Anas platyrynchus*) και φαλαρίδες (*Fulica atra*). Η Αγιά θεωρείται σημαντικότερη περιοχή διαχείμασης της απειλούμενης με εξαφάνιση βαλτόπαπιας (*Aythya nyroca*) στην Ελλάδα. Μεταξύ των μεταναστευτικών ξεχωρίζουν τα: μαυροπετρίτης (*Falco eleonore*), σαρσέλα (*Anas querquedula*), μικροπουλάδα (*Porzana parva*), νανοπουλάδα (*Porzana pusilla*), καλαμόκιρκος (*Circus aeruginosus*), μικροτσικνιάς (*Ixobrychus minutes*), κρυπτοτσικνιάς (*Ardeola ralloides*), και πολλά άλλα, ενώ σπανιότερα εμφανίζονται ο κραυγαετός (*Aquila pomarina*) και ο φιδαετός (*Circaetus gallicus*). Στα διαχειμάζοντα πτηνά περιλαμβάνονται ο σταυραετός, ο καπακλής (*Anas strepera*), το μαυροβουχτάρι (*Podiceps nigricolis*) και μερικές φορές ο τσίφτης (*Milvus migrans*), η λαγγόνα (*Phalacrocorax pygmeus*) και η μουστακοποταμίδα. Μεταξύ των αναπαραγόμενων πτηνών της περιοχής αξίζει να αναφερθούν το νανοβουτηχτάρι, η φαλαρίδα, το γυδοβύζι, το αηδόνι και ο μυγοχάφτης. Η λίμνη της Αγυιάς αποτελεί την πλέον σημαντική περιοχή παρατήρησης υδροβίων και υδροβατικών πτηνών στη δυτική Κρήτη.

Από την υπόλοιπη πανίδα, στην Αγιά υπάρχουν σημαντικοί πληθυσμοί με τον κρητικό βάτραχο (*Rana cretensis*), το δενδροβάτραχο (*Hyla arborea*), το φρύνο (*Bufo viridis*) και τη νεροχελώνα (*Mauremys rivulata*), ενώ έχει καταγραφεί και το εισαχθέν είδος βατράχου *Rana catesbiana*. Επίσης συναντώνται το σπιτικό σαμιαμίθι (*Hemidactylus turcicus*), η τρανόσαυρα (*Lacerta trilineata*), το λιακόνι (*Chalcides occelatus*), η δενδρογαλιά (*Coluber gemonensis*), η όχεντρα (*Elaphe situla*), το νερόφιδο (*Natrix tessellata*), ζουρίδα (*Martes foina*), σκαντζόχοιρος (*Erinaceus concolor*), μυγαλή (*Crocidura suaveolens*), λαγός (*Lepus europaeus*), δασοποντικός (*Apodemus sylvaticus*), ποντικός (*Mus musculus*), αρουραίος (*Rattus rattus*) και άλλα (Δρεττάκης, 2004).

3.1.2 Χρήσεις Γης- Λεκάνη Απορροής

Η επιφανειακή λεκάνη απορροής της λίμνης περιλαμβάνει κυρίως τις πλαγιές βόρεια του χωριού Βαρύπετρου. Στα ανατολικά ο παραπόταμος Ξεκολωμένος παροχετεύει τα νερά του στη λίμνη. Ο ποταμός Κερίτης, που διατρέχει την περιοχή στα δυτικά της λίμνης Αγυιάς, στο μεγαλύτερο τμήμα του χαρακτηρίζεται ως ποταμός περιοδικής ροής και είναι τυπικός οικότοπος Μεσογειακού ποταμού. Το ανάντη από την περιοχή της λίμνης τμήμα του ποταμού χαρακτηρίζεται ως χείμαρρος, ενώ κατάντη και εφόσον υπάρχουν διαθέσιμα –πλεονάζοντα νερά από τη λίμνη, είναι δυνατό να δημιουργηθεί μόνιμη ροή αλλά περιορισμένης έκτασης και διάρκειας, καθώς η καρστική υδροτροφοδοσία και γεωμορφολογία της περιοχής δημιουργεί διακοπτόμενη ροή ποταμού.

Στη λεκάνη απορροής (Εικόνα 3.3) συναντάμε κυρίως εκτάσεις με ελαιώνες, οπωροφόρα δέντρα καθώς και εκτάσεις θαμνώδους και ποώδους βλάστησης, κυρίως στις πιο ορεινές περιοχές. Οι χρήσεις γης των εκτάσεων της λεκάνης απορροής φαίνονται στο πίνακα 3.1.



Εικόνα 3.3: Λεκάνη απορροής

Πίνακας 3.1: Χρήσεις γης

Χρήσης Γης, λεκάνη απορροής Αγιάς	Έκταση σε m^2
Ετερογενείς γεωργικές περιοχές Σύνθετα συστήματα καλλιέργειας	3.367.751,36
Οπωροφόρα δέντρα και φυτείες με σαρκώδεις καρπούς	4.048.077,46
Ελαιώνες	6.675.795,94
Γη που καλύπτεται κυρίως από γεωργία με σημαντικές εκτάσεις φυσικής βλάστησης	3.472.124,53
Οπωροφόρα δέντρα και φυτείες με σαρκώδεις καρπούς	1.239.533,60
Συνδυασμοί θαμνώδους και/ή ποώδους βλάστησης	10.612.986,83

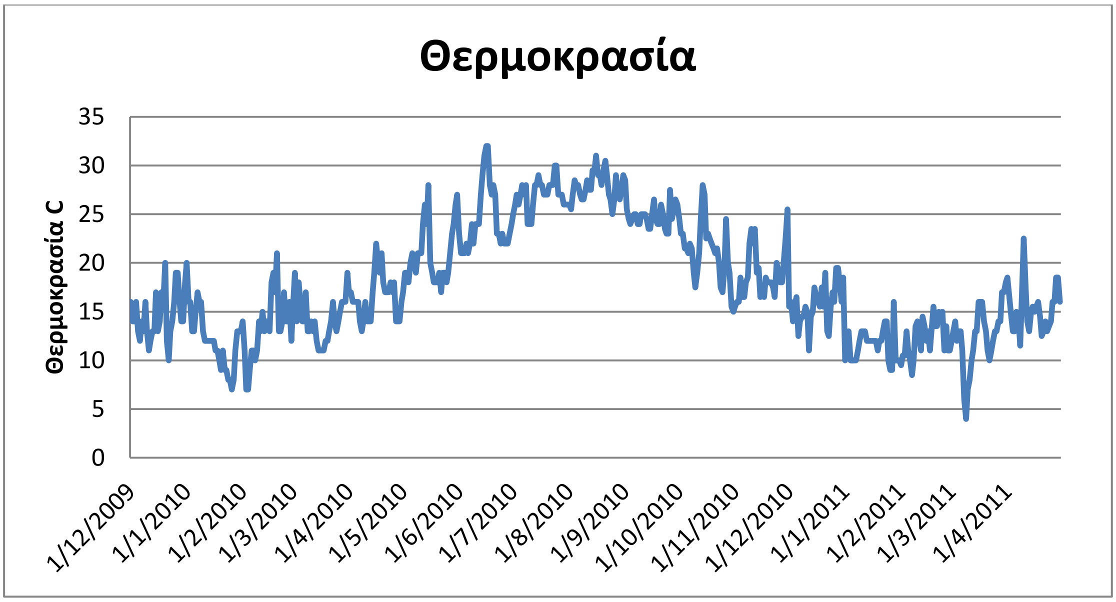
3.1.3 Κλιματολογικά στοιχεία

Το κλίμα γενικά στο νομό Χανίων και στη περιοχή μελέτης κατ' επέκταση είναι ήπιο, μεσογειακό. Το φθινόπωρο και το χειμώνα επικρατούν άνεμοι βόρειοι και βορειοδυτικοί, ενώ το καλοκαίρι έχουμε ασθενείς ανέμους. Το κλίμα του νομού ακολουθεί το ανάγλυφό του. Οι βροχοπτώσεις είναι εδώ περισσότερες από την υπόλοιπη Κρήτη, γιατί τα υγρά ρεύματα, που προέρχονται από το Ιόνιο, αιχμαλωτίζονται από τα Λευκά Όρη. Σε αυτό άλλωστε, και στην ασβεστολιθική σύσταση των πετρωμάτων, οφείλονται και οι πολλές πηγές του νομού. Στη χαμηλή ζώνη το κλίμα είναι εξαιρετικά ήπιο (η χαμηλότερη θερμοκρασία, που σημειώθηκε στα Χανιά, είναι -1°C), ενώ γίνεται δριμύ στα ορεινά. Η μέση εποχιακή διακύμανση στο νομό Χανιών φαίνεται στο πίνακα 3.2.

Πίνακας 3.2: Εποχιακή διακύμανση θερμοκρασιών νομού Χανίων

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ (^{o}C)	ΕΛΑΧΙΣΤΗ	ΜΕΓΙΣΤΗ
Χειμώνας	12	13.5
Άνοιξη	13.5	20.5
Καλοκαίρι	25	35
Φθινόπωρο	20	23.7

Διάγραμμα 2.1: Βροχόπτωση από το σταθμό του Πρασσέ

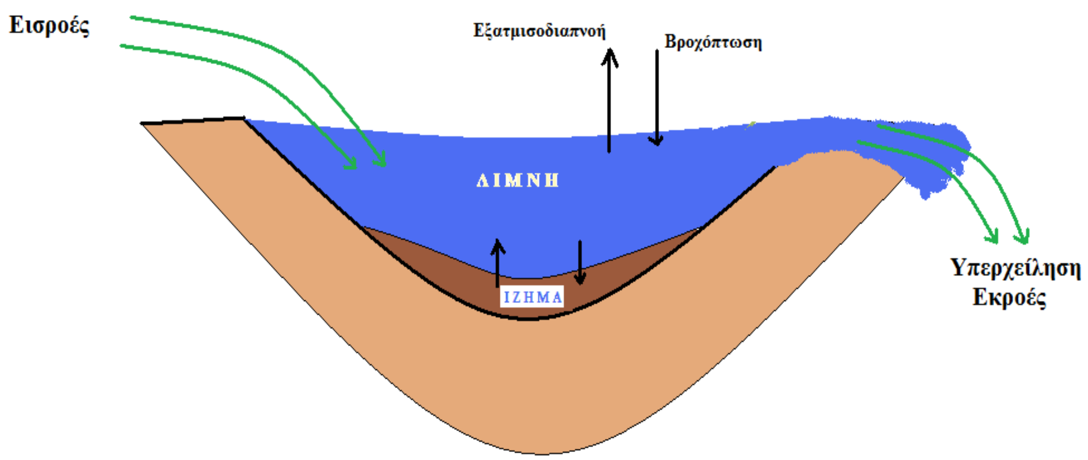


Διάγραμμα 2.2: Θερμοκρασίες από τον σταθμό του Πρασσέ

3.3 Γενικά

Η λίμνη της Αγιάς τροφοδοτείται από τις πηγές του Πλατάνου και του Καλαμιώνα, όπου παρατηρείται η εκφόρτηση του καρστικού των Λευκών Ορέων. Το περίσσευμα των δυο πηγών από την άντληση για την υδροδότηση της ΔΕΥΑΧ, του ΟΑΔΥΚ και του ΤΟΕΒ καταλήγει απ ευθείας στην λίμνη.

Εκτός από τις δύο προαναφερθείσες πηγές, στη λίμνη καταλήγουν και οι επιφανειακές απορροές της υδρολογικής λεκάνης, μέσω των δύο μικρών καναλιών βορειοανατολικά της λίμνης. Η λίμνη είναι ένας τεχνητός ταμιευτήρας όπου δημιουργήθηκε με την κατασκευή ενός μικρού φράγματος στη δυτική πλευρά της. Η λίμνη υδρολογικά και χημικά λειτουργεί όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.4.



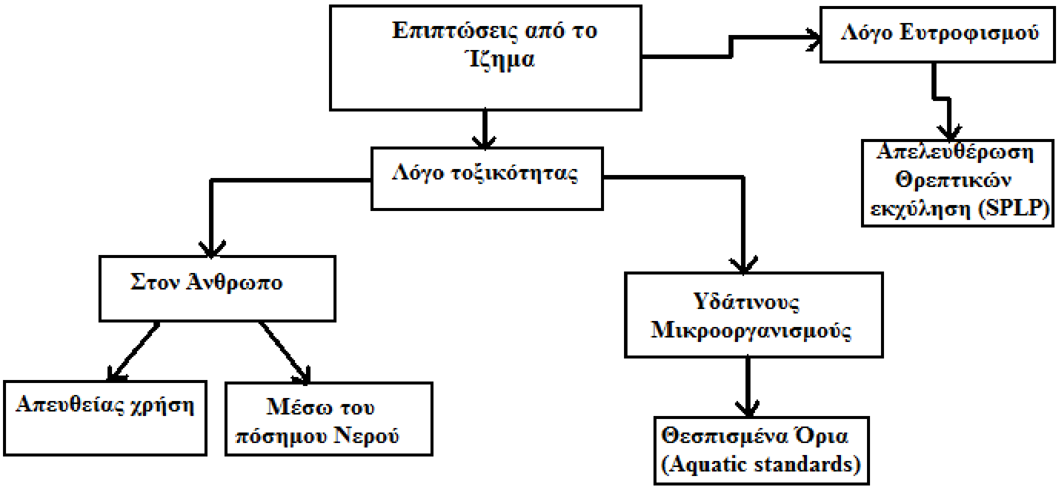
Εικόνα 3.4: Σχηματική απεικόνιση της λειτουργίας της Λίμνης

Μέσω των δύο καναλιών και των πηγών τροφοδοτείται η λίμνη με νερό. Μέσω των εισροών αυτών γίνεται και μεταφορά θρεπτικών στο εσωτερικό της λίμνης. Η αλληλεπίδραση ιζημάτων του πυθμένα της λίμνης με το νερό της λίμνης δύναται να απελευθερώση θρεπτικά συστατικά. Τα ιζήματα μεταφέρονται στη λίμνη από τα επιφανειακά ρέματα που έχουν περιγραφεί, επιπλέον καθίζηση περιττωμάτων των πτηνών καθιζάνουν στο πυθμένα της λίμνης τα οποία μπορούν να απελευθερώσουν σημαντικές ποσότητες θρεπτικών συστατικών.

Επειδή η χημεία του νερού των πηγών είναι σχετικά σταθερή, για να ελεγθεί η διαφοροποίηση των θρεπτικών στη διάρκεια του χρόνου, θα αξιολογηθεί η διακύμανση των ρύπων στην εισροή των δύο καναλιών και στην εκροή της λίμνης στην υπερχείλιση. Με αυτόν τον τρόπο θα υπάρχει μια πλήρη εικόνα για το θρεπτικό φορτίο το οποίο καταλήγει μέσω των εισροών στη λίμνη και για την τελική σύσταση του νερού που διαμορφώνεται μέσα στη λίμνη. Επίσης λόγω της αλληλεπίδρασης του ιζήματος με το νερό θα γίνει δειγματοληψία ιζήματος για τον χαρακτηρισμό του και εργαστηριακές δοκιμές εκχύλισης θρεπτικών.

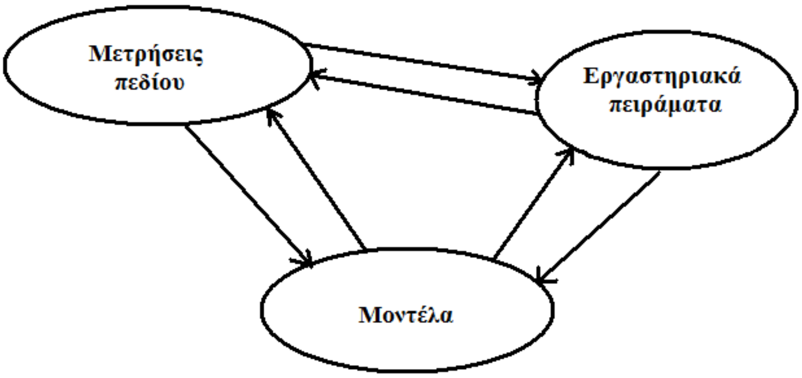
Λόγο της μορφολογίας της λίμνης, δημιουργούνται συχνά προβλήματα από της προσχώσεις. Τα φερτά υλικά που καταλήγουν και καθιζάνουν στη λίμνη έχουν σαν αποτέλεσμα τη μείωση του όγκου της λίμνης από την αύξηση της ποσότητας του ιζήματος και την ελάττωση του βάθους της λίμνης. Για αποφυγή της πλήρωσης της λίμνης από προσχώσεις, θα πρέπει να γίνεται καθαρισμός της λίμνης ανά τακτά χρονικά διαστήματα.

Το ίζημα που θα προκύπτει από τον καθαρισμό τη λίμνης μπορεί πιθανόν να επαναχρησιμοποιηθεί ως εδαφο-βελτιωτικό. Για να μπορέσουμε να κρίνουμε την καταλληλότητα του ιζήματος ως εδαφό-βελτιωτικό είναι απαραίτητες εργαστηριακές δοκιμές εκχύλισης και χώνευσης ώστε να προσδιορίσουμε πιθανή τοξικότητα του ιζήματος αλλά και την θρεπτική ικανότητα του (σχήμα 3.5).



Εικόνα 3.5: Επιπτώσεις ιζήματος

Η μεθοδολογία που θα ακολουθήσουμε βασίζεται στις μετρήσεις που θα γίνουν στο πεδίο, στα εργαστηριακά πειράματα και στην μοντελοποίηση της κατάστασης της λίμνης (εικόνα 3.6). Δεδομένα έχουμε από την ανάλυση των δειγμάτων μας καθώς και δεδομένα που συλλέχτηκαν από παλιότερες μελέτες. Επίσης πληροφορίες για μετεωρολογικά και άλλα δεδομένα πήραμε από τους αντίστοιχους οργανισμούς που είναι υπεύθυνοι για τη συλλογή τέτοιων δεδομένων. Βροχομετρικά δεδομένα και δεδομένα θερμοκρασιών από τον ΟΑΔΥΚ για των σταθμό του Πρασσέ, Σχέδια και μορφολογία της λίμνης, από την ΔΕΗ όπου και είχε κατασκευάσει το φράγμα. Δεδομένα για τις παροχές και την χημεία των πηγών από την ΔΕΥΑΧ.



Εικόνα 3.6: Μεθοδολογία

Οι μετρήσεις στα κανάλια και την εκροή της λίμνης άρχισαν από το Δεκέμβριο του 2009 έως τον Φεβρουάριο του 2011 και οι δειγματοληψίες ήταν μηνιαίες (πίνακας 3.3). Συγκεκριμένα πραγματοποιήθηκαν οι εξής δειγματοληψίες:

Πίνακας 3.3: Ημ/νιες Δειγματοληψίας

	ΗΜ/ΝΙΑ Δειγματοληψίας
1η Δειγματοληψία	1/12/2009
2η Δειγματοληψία	2/12/2009
3η Δειγματοληψία	27/1/2010
4η Δειγματοληψία	23/3/2010
5η Δειγματοληψία	25/5/2010
6η Δειγματοληψία	22/6/2010
7η Δειγματοληψία	26/7/2010
8η Δειγματοληψία	7/9/2010
9η Δειγματοληψία	12/10/2010
10η Δειγματοληψία	25/11/2010
11η Δειγματοληψία	27/12/2010
12η Δειγματοληψία	26/1/2011

Στις 30 Σεπτεμβρίου του 2010 πραγματοποιήθηκε και δειγματοληψία ιζήματος από τον πυθμένα της λίμνης, με την βοήθεια φουσκωτής βάρκας και ειδικού δειγματολήπτη ιζήματος.

Η δειγματοληψία και οι μετρήσεις χωρίζονται σε δύο σκέλη, εργαστηριακές μετρήσεις και δειγματοληψία νερού, για τον χαρακτηρισμό του νερού εισροής και εκροής της λίμνης, καθώς μετρήσεις δειγματοληψία στερεού για τον χαρακτηρισμό του ιζήματος.

3.4 Δειγματοληψία

3.4.1 Δείγματα Νερού

Εικόνα 3.7: Σημεία δειγματοληψίας νερού (Κανάλι 1, Κανάλι 2, Υπερχείλιση λίμνης, Υπερχείλιση ΔΕΥΑΧ)

Η δειγματοληψία στα δύο κανάλια έγινε κοντά στις εκβολές τους στη λίμνη για να έχουμε την καλύτερη δυνατή εικόνα για τις εισροές στη λίμνης. Το κανάλι 1 καταλήγει μέσα στις εγκαταστάσεις της ΔΕΥΑΧ (Δημοτική Επιχείρηση Ύδρευσης και Αποχέτευσης Χανίων) όπου και πάρθηκαν τα δείγματα. Στο σημείο της δειγματοληψίας το κανάλι είναι τσιμεντένιο και έχει πλάτος 2,5 m και το ύψος του νερού δε ξεπερνάει τα λίγα εκατοστά. Το κανάλι 2 είναι στην βόρεια πλευρά της λίμνης και η πρόσβαση στης εκβολές του είναι πολύ δύσκολη λόγο της μεγάλης ανάπτυξης της χλωρίδας. Η δειγματοληψία σε αυτό το κανάλι έγινε από μία γέφυρα 200 m περίπου από τη λίμνη με ειδικό δειγματολήπτη. Για την εκροή της λίμνης η δειγματοληψία έγινε απευθείας με το χέρι καθώς ήταν πολύ εύκολη η πρόσβαση, με εξαίρεση τους καλοκαιρινούς μήνες όπου η λίμνη δεν είχε υπερχείλιση και είχαμε εκροή μόνο από το ανοιχτό θυρόφραγμα.

Επίσης πραγματοποιήθηκε μέτρηση της παροχής των δυο καναλιών με τη χρήση κατάλληλου οργάνου μέτρησης ροής (Μηλίσκος PVD100, Hydrological Services). Με το όργανο μετρήθηκε η ταχύτητα του νερού και κατόπιν μέσω της κατάλληλης εξίσωσης, υπολογίστηκε η παροχή των καναλιών.

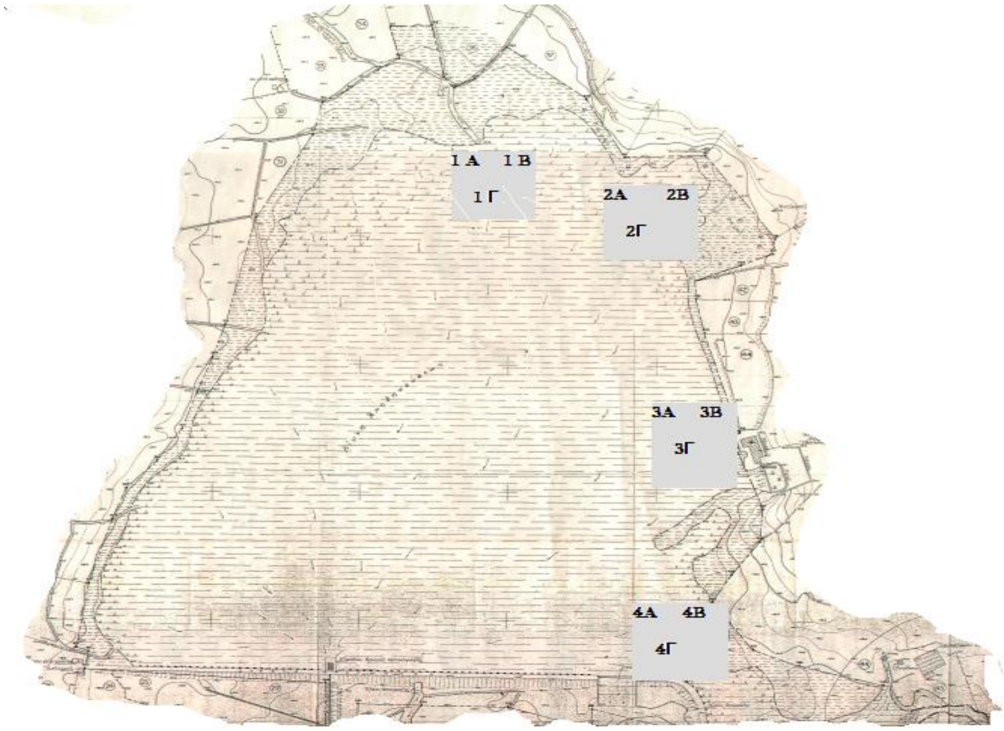
Μετά τη δειγματοληψία τα δείγματα μεταφέρθηκαν στο εργαστήριο όπου και αποθηκεύτηκαν στο ψυγείο ωσότου πραγματοποιηθούν οι εργαστηριακές μετρήσεις.

3.4.2 Δείγματα ιζήματος

Εικόνα 3.8: Δειγματοληψία ιζήματος

Στις 30/9/2010 πραγματοποιήθηκε στη λίμνη της Αγιάς δειγματοληψία ιζήματος. Η δειγματοληψία έγινε με φουσκωτή βάρκα και ειδικό δειγματολήπτη ιζήματος σε τέσσερα διαφορετικά σημεία στη λίμνη, με λήψη τριών διαφορετικών δειγμάτων ανά σημείο (εικόνα 1).

Συνολικά συγκεντρώθηκαν δώδεκα δείγματα. Κατόπιν έγινε ξήρανση και χημική ανάλυση των δειγμάτων στο εργαστήριο. Η επιλογή των σημείων έγινε πλησίον των σημείων εισροής των καναλιών (θέσεις 1,2,3) στη λίμνη ενώ το τελευταίο ήταν ανάντη της υπερχείλισης-εκροής της λίμνης (θέση 4).



Εικόνα 3.0.1: Λίμνη Αγιάς, σημεία δειγματοληψίας ιζήματος (Θέσεις 1,2,3,4)

3.5 Εργαστηριακές μετρήσεις

3.5.1 Δείγματα νερού

Τα δείγματα του νερού αναλύθηκαν στο εργαστήριο και μετρήθηκαν οι εξής παράμετροι:

- Ενεργός οξύτητα, pH
- Χημικά απαιτούμενο οξυγόνο COD
- Διαλυμένο οξυγόνο, DO
- Θερμοκρασία, T
- Αγωγιμότητα
- Νιτρικό άζωτο, $N\text{-}NO_3$
- Νιτρώδες άζωτο, $N\text{-}NO_2$
- Νιτρική αμμωνία, $N\text{-}NH_3$
- Φωσφορικά, $P\text{-}PO_4$
- Ολικό Kjeldahl Άζωτο, TKN
- Χημική σύσταση (μέταλλα-ιχνοστοιχεία)

Για τη μέτρηση του pH, της αγωγιμότητας, της θερμοκρασίας και του διαλυμένου οξυγόνου χρησιμοποιήθηκε το Hach multiparameter HQ 40 d multi και οι μετρήσεις γίνονταν απ' ευθείας μετά την μεταφορά των δειγμάτων στο εργαστήριο, πριν τοποθετηθούν τα δείγματα στο ψυγείο στις περιπτώσεις που χρειαζόταν.

Όλα τα δείγματα πριν την πραγματοποίηση των παρακάτω μεθόδων φιλτράρονται με φίλτρο 45 nm. Για τον καθαρισμό των δειγμάτων από τα αιωρούμενα σωματίδια.

Οι μετρήσεις έγιναν με τις παρακάτω μεθόδους:

Χημικά απαιτούμενο οξυγόνο, COD

Μέθοδος LCK test-Cr^{6+} reduction

Οξειδωτικές ουσίες αντιδρούν με θειικό οξύ- διάλυμα διχρωμικού καλίου με τη παρουσία θειικού αργύρου ως καταλύτη. Το χλώριο καλύπτεται από θειικό υδράργυρο. Αξιολογείται η μείωση της κίτρινης απόχρωσης του Cr^{6+} . Τα τελικά διαλύματα μετρούνται σε μήκος κύματος 440 nm. Παίρνουμε 2 ml δείγματος (Hach, manual).

Νιτρικό άζωτο, N-NO_3

Μέθοδος 8039 -Cd reduction

Το κάδμιο μετατρέπει το νιτρικό άλας στο δείγμα σε νιτρώδες. Τα νιτρώδη ιόντα αντιδρούν σε όξινο περιβάλλον με sulfanilic acid ώστε να σχηματίσουν ενδιάμεσο άλας διαζωνίου. Το άλας ενώνεται με gentisic acid και παράγεται ένα διάλυμα πορτοκαλί χρώματος. Τα τελικά διαλύματα μετρούνται σε μήκος κύματος 500 nm. Παίρνουμε 10 ml δείγματος (Hach, manual).

Νιτρώδες άζωτο, N-NO_2

Μέθοδος 8507)-Diazonization

Τα νιτρώδη στο δείγμα αντιδρούν με sulfanilic acid για να σχηματίσουν ενδιάμεσο άλας διαζωνίου. Το άλας ενώνεται με chromotropic acid και παράγεται ένα ροζ σύμπλεγμα ευθέως ανάλογο της ποσότητας των υπαρχόντων νιτρωδών. Τα τελικά διαλύματα μετρούνται σε μήκος κύματος 507 nm. Παίρνουμε 10 ml δείγματος (Hach, manual).

Νιτρική αμμωνία, N-NH_3

Μέθοδος 8038 -Nessler

Ο ορυκτός σταθεροποιητής προδίδει σκληρότητα στο δείγμα. η πολυβινυλαλκοόλη- συντελεί στο σχηματισμό χρώματος στην αντίδραση του Nessler Reagent με ιόντα αμμωνίου. Σχηματίζεται ένα κίτρινο χρώμα ανάλογο της συγκέντρωσης αμμωνίας. Τα τελικά διαλύματα μετρούνται σε μήκος κύματος 425 nm. Παίρνουμε 25 ml δείγματος (Hach, manual).

Φωσφορικά, P-PO_4

Μέθοδος 8048 -Ascorbic acid

Τα ορθοφωσφορικά αντιδρούν με μολυβδαίνιο σε όξινο περιβάλλον για τη παραγωγή του συμπλόκου φωσφομολυβδαινίου. Ακολούθως, το ασκορβικό οξύ ανάγει το σύμπλοκο δίνοντας του ένα έντονο μπλε χρώμα. Τα τελικά διαλύματα μετρούνται σε μήκος κύματος 880nm. Παίρνουμε 10 ml δείγματος (Hach, manual).

Ολικό Kjeldahl Άζωτο, TKN

Μέθοδος 8075 Nessler reduction (Μετά την χώνευση)

Ο όρος Ολικό Kjeldahl Άζωτο αναφέρεται στην ένωση αμμωνίας και οργανικού αζώτου. Ωστόσο, μόνο οι οργανικές ενώσεις αζώτου εμφανιζόμενες ως οργανικό τρισθενές δεσμευμένο άζωτο και καθορίζονται σε αυτή τη δοκιμή. Το άζωτο σε αυτή τη μορφή μετατρέπεται σε αμμωνιακά άλατα από τη δράση του θειικού οξέους και του υπεροξειδίου του υδρογόνου. Εν συνεχεία, η αμμωνία αναλύεται από τη τροποποιημένη μέθοδο Nessler. Τα τελικά διαλύματα μετρούνται σε μήκος κύματος 450 nm. Παίρνουμε 40 ml δείγματος για χώνευση και μετά την χώνευση παίρνουμε 5 ml και ακολουθούμε τη μέθοδο (Hach, manual).

Το φασματοφωτόμετρο που χρησιμοποιήθηκε σε όλες τις περιπτώσεις είναι το Spectrophotometer HACH DR-2800, HACH LANGE GMBH.

3.5.2 Δείγματα ιζήματος

Τα δείγματα μεταφέρθηκαν στο εργαστήριο και τοποθετήθηκαν σε πλαστικά πλαίσια όπου και έγινε φυσική ξήρανση των δειγμάτων στον αέρα. Παρέμειναν δυο εβδομάδες και κατόπιν θρυμματίστηκαν πέρασαν από ειδικό μεταλλικό κόσκινο 2 mm και τοποθετήθηκαν σε πλαστικά σακουλάκια.

Για τον χαρακτηρισμό του ιζήματος μετρήθηκαν τα ακόλουθα:

- Ενεργός οξύτητα (pH) και αγωγιμότητα
- Χημική σύσταση (μέταλλα-ιχνοστοιχεία)
- Τεχνικές SPLP-TCLP
- Θρεπτικά (N,P κτλ)
- Ολικό Kjeldahl άζωτο TKN (Nessle Method, 8075) και ολικός φώσφορος
- Οργανικός άνθρακας (Walkley Black Method)
- Κοκκομετρία

Προσδιορισμός pH αγωγιμότητας

Το pH και η αγωγιμότητα μετρήθηκαν μετά από την ανάδευση 20 gr δείγματος σε 50 ml απιονισμένο νερό. Η ανάδευση έγινε για 2 h στις 200 rpm. Η μέτρηση έγινε με τη χρήση του οργάνου: Hach multiparameter HQ 40 d multi

Χημική ανάλυση στερεών

Η ανάλυση των δειγμάτων για μέταλλα (Cr, Cu, Zn, Pb, Cd, As κλπ.) έγινε με τη χρήση του επαγωγικά συζευγμένου πλάσματος με φασματομετρία μαζών (ICP-MS 7500cx coupled with Autosampler Series 3000, both by Agilent Technologies). Επίσης έγινε χώνευση του στερεού δείγματος με πυκνό θειικό οξύ στο φούρνο μικροκυμάτων. Στα δείγματα πριν την τοποθέτηση τους για την ανάλυση προστέθηκε 2% νιτρικό οξύ, το όποιο δεν αφήνει να καθιζάνουν τα μέταλλα και είναι απαραίτητο και για την ανάλυση.

Δοκιμή SPLP-TCLP

Η εκχύλιση SPLP (Synthetic Presipitation Leaching Procedure) χρησιμοποιείται για να εκχυλίσει βαρέα μέταλλα από χώμα, προσομοιώνοντας την όξινη βροχή. Η εκχύλιση TCLP (Toxicity Characteristic Leaching Procedure) χρησιμοποιείται για να εκχυλίσει βαρέα μέταλλα από το χώμα προσομοιώνοντας εκχύλισμα χωματερής.

Για την τεχνική SPLP παρασκευάζουμε το εκχύλισμα της όξινης βροχής αναμειγνύοντας DI water με διάλυμα θειικού οξέος- νιτρικού οξέος σε αναλογία 60/40, τοποθετούμε 100 gr δείγματος σε 2L όξινης βροχής και τα αφήνουμε για ανάδευση 18±2 h. Μετά την ολοκλήρωση της εκχύλισης διηθούμε το μείγμα με glass fiber.

Για την TCLP χρησιμοποιήθηκε διαφορετικό εκχυλιστικό μέσο (διάλυμα DI με glacial acetic acid), στη συνέχεια η διαδικασία και οι αναλογίες είναι όμοια με τη δοκιμή SPLP. Για την πραγμάτωση των τεχνικών αυτών χρησιμοποιήθηκαν 3 δείγματα, τα δείγματα αυτά ήταν από τη μίξη των 12 (4 triplicate) αρχικών δειγμάτων. Τα διαλύματα που προέκυψαν από την SPLP και την TCLP αναλύθηκαν με τη χρήση του επαγωγικά συζευγμένου πλάσματος με φασματομετρία μαζών (ICP-MS 7500cx coupled with Autosampler Series 3000, both by Agilent Technologies). Επιπλέον έγιναν μετρήσεις νιτρικών, φωσφορικών, ολικού αζώτου (TKN) και αμμωνίας στα διαλύματα από την δοκιμή SPLP.

Προσδιορισμός οργανικού άνθρακα

Ο Ολικός οργανικός άνθρακας (TOC) εκτιμήθηκε με τη μέθοδο υγρής καύσης, Walkley-Black (1946). Πήραμε δείγμα 0,5 gr ιζήματος για την διαδικασία. Το δείγμα αναδεύτηκε με ποσότητα διχρωμιούχου καλίου ($K_2Cr_2O_7$) και πυκνού θειικού οξέως, προστέθηκε φωσφορικό οξύ και διφαινυλαμίνη και έγινε συμπλήρωση με απιονισμένο νερό έως τα 200 ml. Με την βοήθεια βαθμονομημένης προχοΐδας προστέθηκε θειικό σίδηρο ($FeSO_4$) έως ότου το χρώμα του διαλύματος πάρει σκούρα πράσινη απόχρωση. Σημειώνεται η ποσότητα $FeSO_4$ που αντέδρασε μέχρι τον χρωματισμό.

Προσδιορισμός νιτρικών και TKN

Για τη μέτρηση του Νιτρικού Αζώτου ($N\text{-}NO_3$) έγινε ανάδευση 10 gr δείγματος με χλωριούχο κάλιο 2M από 50 ml και κατόπιν μέτρηση με φασματοφωτόμετρο (Cadmium Reduction Method: 8039). Η ανάδευσή των διαλυμάτων έγινε για 1 ώρα.

Το ολικό Kjeldahl Άζωτο (TKN), μετρήθηκε μετά από χώνευση και αναλύθηκε φασματοφωτομετρικά (Nessler reduction Method: 8075 και PhosVer3 Ascorbic acid Method: 8048). Πήραμε δείγμα 0,3 gr για την χώνευση και 2ml μετά την χώνευση για την ανάλυση. Total Kjeldahl Nitrogen ή TKN είναι το σύνολο του οργανικού αζώτου περιλαμβάνοντας, την αμμωνία, το αμμώνιο και τα νιτρικά. Η μέθοδος έγκειται στην θέρμανση ουσίας με θειικό οξύ το οποίο αποσυνθέτει το οργανικό άζωτο.

Η τελική περιεκτικότητα σε mg/l TKN υπολογίζεται από τον τύπο:

$$\text{mg/l } TKN = \frac{75*A}{B*C},$$

A = mg/L read from the curve,

B = g (or mL of water) sample taken for digest,

C = mL analysis volume of digested sample

<u>Προσδιορισμός κοκκομετρίας</u>

Για την κοκκομετρική ανάλυση στα δείγματα χρησιμοποιήθηκε για αντιδραστήριο πολυφωσφορικό νάτριο (Na_3PO_4) ώστε να επιτευχθεί η διάσπαση των συσσωματωμάτων, η μέτρηση έγινε σύμφωνα με την μέθοδο Βουγιούκος. Χρησιμοποιήθηκαν 50 gr δείγματος με διάλυμα 100 ml πολυφωσφορικού νατρίου. Τα διαλύματα αναδεύτηκαν για 14 ώρες. Έπειτα τοποθετήθηκαν τα διαλύματα σε στήλες, έγινε συμπλήρωση μέχρι τα 1130 ml με απιονισμένο νερό και ανάδευση για 2 min. Κατόπιν με την βοήθεια του αερόμετρου πήραμε τιμές μετά από 40 sec και μετά από 2 ώρες.

Προσδιορισμός ολικού φωσφόρου TP και P-PO_4

Ο διαλυτός ανόργανος φώσφορος μετρήθηκε σύμφωνα με International Standard (Sperctrometric determination of phosphorus in sodium hydrogen carbonate solution). Αρχικά έγινε η δημιουργία της καμπύλης απορρόφησης-συγκέντρωσης P. Έπειτα έγινε η μέτρηση της απορρόφησης του χρωματισμένου διαλύματος 5 gr δείγματος μετά την κατάλληλη διαδικασία.
Το δείγμα (5gr) εκχυλίστηκε με κατάλληλο εκχυλιστικό διάλυμα (διάλυμα $NaHCO_3$) και αναδεύτηκε με διάλυμα 4 ml sodium metabisulfite και 6 ml sodium thiosulfate. Προστέθηκαν 30 ml χρωματικού διαλύματος με αναμονή 1 ώρα και έπειτα έγινε μέτρηση της απορρόφησης.

Ο ολικός φώσφορος TP προσδιορίστηκε μετά την χώνευση 0,3 gr δείγματος. Και ο τελικός προσδιορισμός έγινε με τη χρήση του φασματοφωτομέτρου μετά την ανάμιξη του χωνευμένου δείγματος με διάλυμα χρωματισμού (απιονισμένο νερό- με σκόνη PhosVer 3 phosphate Powder Pillow).

Το φασματοφωτόμετρο που χρησιμοποιήθηκε σε όλες τις περιπτώσεις είναι το HACH DR2800, HACH LANGE GMBH.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

4.1 Μετρήσεις πεδίου

Όλες οι μετρήσεις έγιναν στο φασματοφωτόμετρο με την μέτρηση της απορρόφησης του χρώματος των διαλυμάτων, όπως περιγράφηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο. Οι τιμές της απορρόφησης, με τη βοήθεια των καμπυλών αναφοράς, απορρόφησης-συγκέντρωσης, μετατράπηκαν σε συγκέντρωση (mg/l) της κάθε ουσίας. Αναλυτικά οι τιμές φαίνονται στο Παράρτημα 1.

Με την βοήθεια των τριών επαναληπτικών δειγμάτων εξασφαλίσαμε την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων και υπολογίστηκε το σφάλμα, τόσο κατά την μέτρηση όσο και κατά την δειγματοληψία. Σε όλα τα τελικά διαγράμματα φαίνεται η τυπική απόκλιση.

Για τον υπολογισμό του ολικού αζώτου χρειάστηκε μια επιπλέον μετατροπή.

Το ολικό οργανικό άζωτο υπολογίστηκε από την αφαίρεση της αμμωνίας από το TKN.

Το pH, η αγωγιμότητα, το διαλυμένο οξυγόνο και η θερμοκρασία μετρήθηκαν με το Hach multiparameter. Τα αποτελέσματα χωρίζονται σε διαγράμματα διακύμανσης της κάθε παραμέτρου με τον χρόνο, στα τρία διαφορετικά σημεία δειγματοληψίας, στα δυο κανάλια και στην υπερχείλιση. Τα τελικά φορτία που εισέρχονται στην λίμνη υπολογίστηκαν βάση των παροχών που μετρήθηκαν στο πεδίο για τα δύο κανάλια και των παροχών που υπολογίστηκαν από το καρστικό μοντέλο για την εκφόρτηση των πηγών.

Οι παροχές των δύο καναλιών ήταν πολύ μικρές και η διακύμανση τους στο χρόνο δεν ήταν δυνατό να μετρηθεί, έτσι υπολογίστηκε μια μέση παροχή για όλο τον χρόνο στο κάθε κανάλι. Από της μετρήσεις στο πεδίο, σε συνδυασμό με των υπολογισμό των παροχών κατά Manning (πίνακας 4.1).

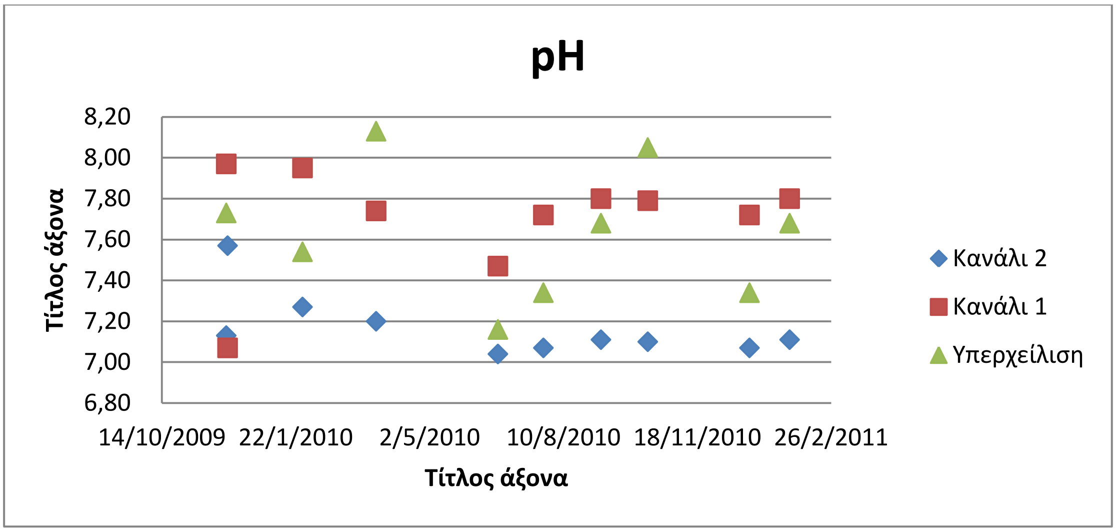
Πίνακας 4.1: Παροχές καναλιών

	Q Καναλιών (m^3/sec)
Κανάλι 1	0,0018
Κανάλι 2	0,037

4.2 Διαγράμματα διακύμανσης παραμέτρων

Ενεργός οξύτητα

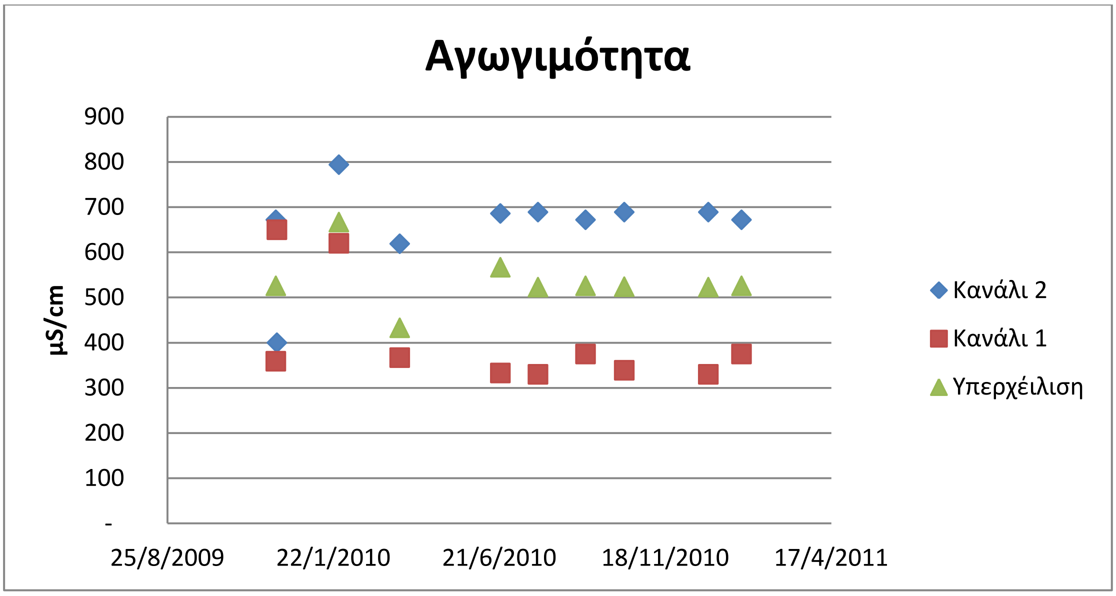
Η διακύμανση του pH με το χρόνο τόσο στο εσωτερικό της λίμνης όσο και στις εισόδους των καναλιών, φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα (διάγραμμα 4.1) και οι τιμές του κυμαίνονται σε φυσιολογικά επίπεδα από 7,04 έως 8,13 (με όριο pH 6-8 για την διαβίωση των ψαριών). Δηλαδή κυμαίνεται από ουδέτερο ως ελαφρά αλκαλικό περιβάλλον. Την μεγαλύτερη διακύμανση την βλέπουμε στην υπερχείλιση που ίσως οφείλετε και στη διακύμανση της θερμοκρασίας στο εσωτερικό της λίμνης κατά την εναλλαγή των εποχών. Επιπλέον κατά την ανοιξιάτικη και καλοκαιρινή περίοδο όπου παρατηρείται μείωση του pH, πιθανόν να οφείλεται σε ένα συνδυασμό ελάττωσης της βιολογικής δράσης και αύξησης της αποσύνθεσης της οργανικής ύλης. Η μείωση του διαλυμένου οξυγόνου που παρατηρείται παρακάτω συνηγορεί στις παραπάνω παρατηρήσεις.



Διάγραμμα 4.1: Διακύμανση pH

Αγωγιμότητα

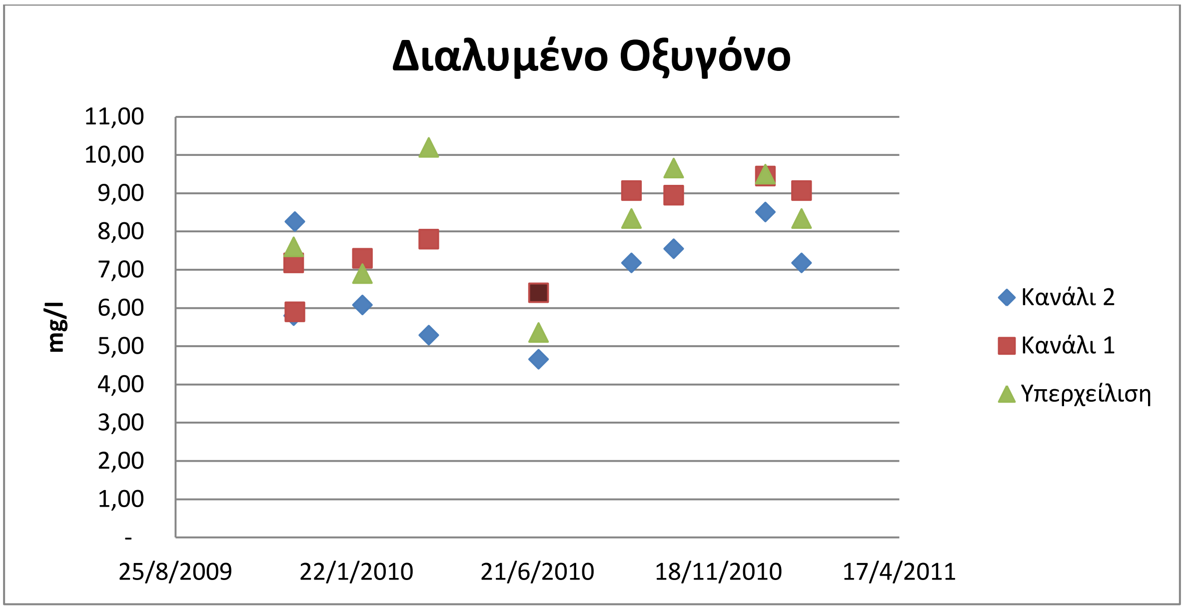
Η διακύμανση της αγωγιμότητας στα κανάλια και στην υπερχείλιση της λίμνης φαίνεται στο διάγραμμα 4.2, με τις τιμές να κυμαίνονται σε χαμηλά σχετικά επίπεδα μεταξύ 330 και 800 μS/cm. Με το κανάλι 2 να παρουσιάζει τις μεγαλύτερες τιμές. Κάτι τέτοιο υποδεικνύει την ύπαρξη ιόντων και την αυξημένη αλατότητα. Το κανάλι 2 περνάει από μεγάλες γεωργικές εκτάσεις των φυλακών τις Αγιάς με συνέπεια την ρύπανση του από τα λιπάσματα.



Διάγραμμα 4.2: Διακύμανση της Αγωγιμότητας

Διαλυμένο οξυγόνο

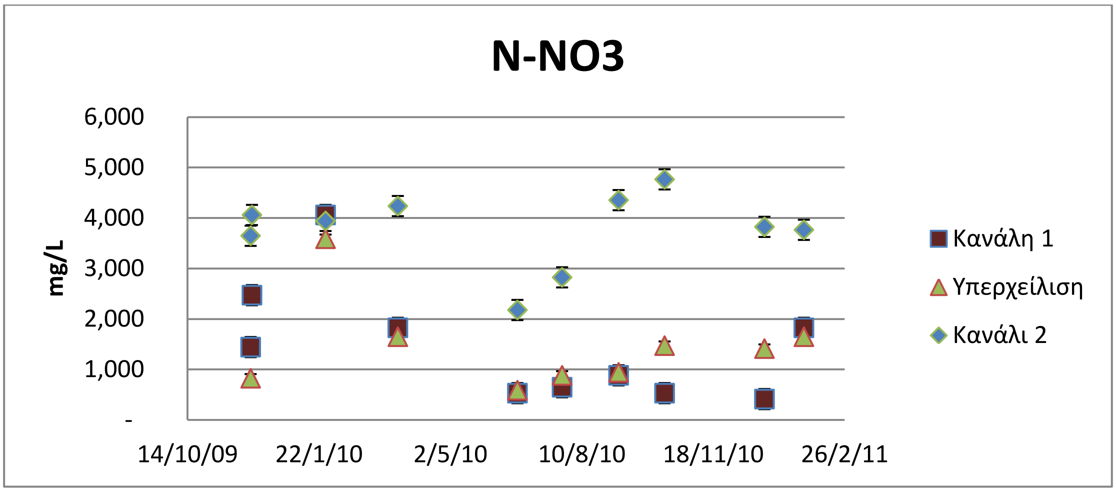
Το διαλυμένο οξυγόνο κυμαίνεται από 4,5 έως 10 mg/l. Το κατώτατο όριο των 5 mg/l έχει θεσμοθετηθεί για την επιβίωση των ψαριών. Κατά τους καλοκαιρινούς μήνες παρατηρούνται στο κανάλι 2 χαμηλότερες τιμές του ορίου. Κατά τα άλλα τα επίπεδα του διαλυμένου οξυγόνου είναι μέσα στα όρια με μία λογική πτώση λόγο της αύξησης της θερμοκρασίας κατά τους καλοκαιρινούς μήνες (διάγραμμα 4.3). Στην λίμνη ο χρόνος παραμονής είναι πολύ μικρός λόγο των μεγάλων παροχών από της πηγές και του ανοίγματος του θυροφράγματος το περισσότερο διάστημα κατά τους θερινούς μήνες. Έτσι έχουμε γρήγορη ανανέωση και οξυγόνωση των νερών στο εσωτερικό της λίμνης. Τους θερινούς μήνες που οι παροχές των εισροών μειώνονται αισθητά και το βάθος της λίμνης είναι πολύ μικρότερο, υπαρχει περίπτωση να παρατηρηθούν σημιακά ανοξικές συνθήκες, από την μη ανανέωση όλουβτου όγκου του νερού.



Διάγραμμα 4.3: Διακύμανση διαλυμένου οξυγόνου

Νιτρικά

Το άζωτο στα νιτρικά κυμαίνεται από 0,5 έως 4,7 mg/L με τις μεγαλύτερες τιμές να παρατηρούνται στο κανάλι 2 καθ' όλη την διάρκεια του έτους, με μία πτώση μόνο τους καλοκαιρινούς μήνες (διάγραμμα 4.4). Αυτό δικαιολογείται, όπως αναφέραμε και παραπάνω, από την παρουσία γεωργικών εκτάσεων ανάντη του καναλιού. Τα λιπάσματα που χρησιμοποιούνται ξεπλένονται με τις βροχοπτώσεις και μεταφέρονται μέσα στο κανάλι. Κατά τους καλοκαιρινούς μήνες παρατηρούμε μείωση της συγκέντρωσης νιτρικών και αντίστοιχα αζώτου, λόγο τις έλλειψης βροχοπτώσεων. Οι τιμές των νιτρικών κυμαίνονται κάτω από το όριο των 50 mg/l που έχει θεσπίσει η Ε.Ε. για την προστασία των οργανισμών. Αυτό που τελικά επηρεάζει περισσότερο το συνολικό φορτίο που καταλήγει στη λίμνη, είναι το φορτίο που έρχεται μέσω των πηγών. Οι πηγές αν και έχουν πολύ μικρότερη συγκέντρωση νιτρικών, λόγο των μεγάλων παροχών που έχουν, το συνολικό φορτίο που καταλήγει στη λίμνη είναι μεγάλο. Για το λόγο αυτό η συγκέντρωση νιτρικών στην υπερχείλιση δεν ακολουθεί την συγκέντρωση που έρχεται μέσω του καναλιού. Επίσης παρατηρούμαι πτώση της συγκέντρωσης των νιτρικών στη λίμνη κατά τους θερινούς μήνες όπως και του οξυγόνου που υποδηλώνουν ανοξικές συνθήκες. Ταυτόχρονα παρατηρούμαι αύξηση της αμμωνίας όπως φαίνεται παρακάτω.

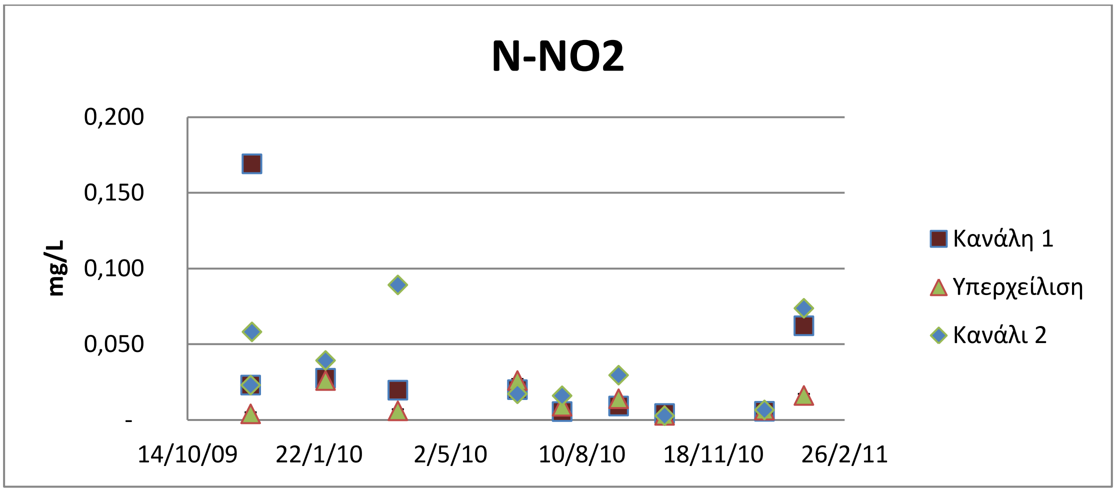


Διάγραμμα 4.4: Διακύμανση αζώτου στα νιτρικά

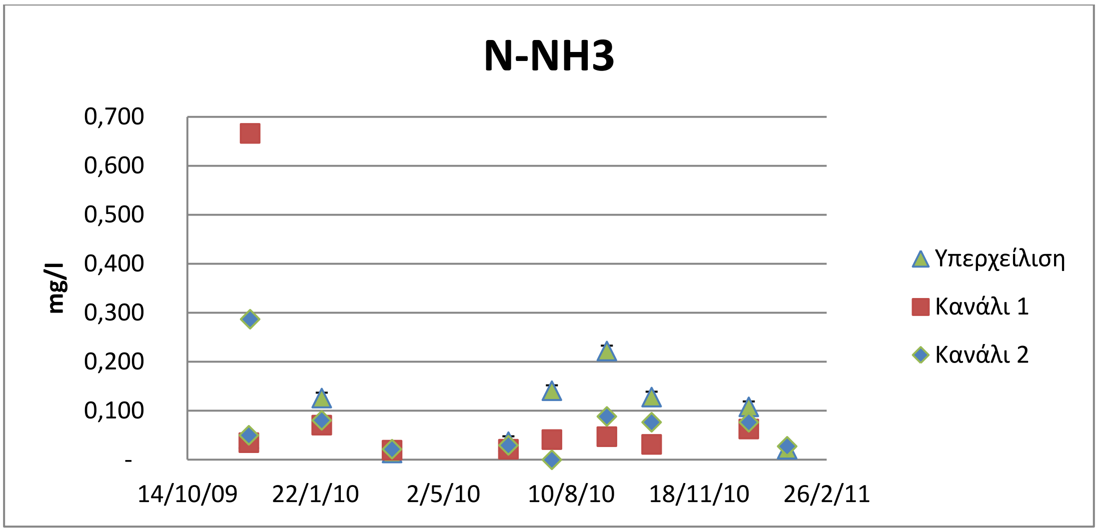
Νιτρώδη- αμμωνία

Τα νιτρώδη, καθώς οξειδώνονται σχετικά εύκολα σε νιτρικά, παρατηρούνται σε μικρές συγκεντρώσεις και οι τιμές των συγκεντρώσεων σχεδόν συμπίπτουν στα κανάλια και την υπερχείλιση. Εκτός από την κορυφή που παρατηρείται στο διάγραμμα τον Δεκέμβριο στο κανάλι 1 οι τιμές δεν ξεπερνάνε τα 0,1 mg/L. Η μεγάλη τιμή που παρατηρείται τον Δεκέμβριο (διάγραμμα 4.5) πιθανώς να οφείλεται στην μεγάλη βροχόπτωση που είχε προηγηθεί της συγκεκριμένης δειγματοληψίας. Η βροχόπτωση ήταν πολύ ισχυρή και διήρκησε για αρκετή ώρα, με αποτέλεσμα το ξέπλυμα των γύρω γεωργικών εκτάσεων και την παρουσία αυξημένων συγκεντρώσεων νιτρωδών στο κανάλι. Η βροχόπτωση αυτή συνέβη μετά από αρκετά μεγάλη περίοδο ξηρασίας. Κάτι τέτοιο δικαιολογεί και την αντίστοιχη αυξημένη τιμή της αμμωνίας (διάγραμμα 4.6) στην ίδια δειγματοληψία.

Η συγκέντρωση της αμμωνίας αντίστοιχα με τα νιτρώδη παρατηρείται γενικά σε χαμηλές τιμές κατά την διάρκεια του έτους, κάτω του ανώτερου επιτρεπτού ορίου των 0,5 mg/L. Όπως αναφέρθηκε η αύξηση της αμμωνίας κατά τη καλοκαιρινή περίοδο σχετίζεται με την μείωση των νιτρικών στην ίδια περίοδο καθώς και με την αύξηση του TKN. Οι ανοξικές συνθήκες που δημιουργούντα από την αποσύνθεση οργανικού υλικού με ταυτόχρονη μείωση της ανανέωσης του νερού στη λίμνη οδηγεί στην αύξηση της αμμωνίας και τη μείωση της νιτροποίησης προς νιτρική ρίζα



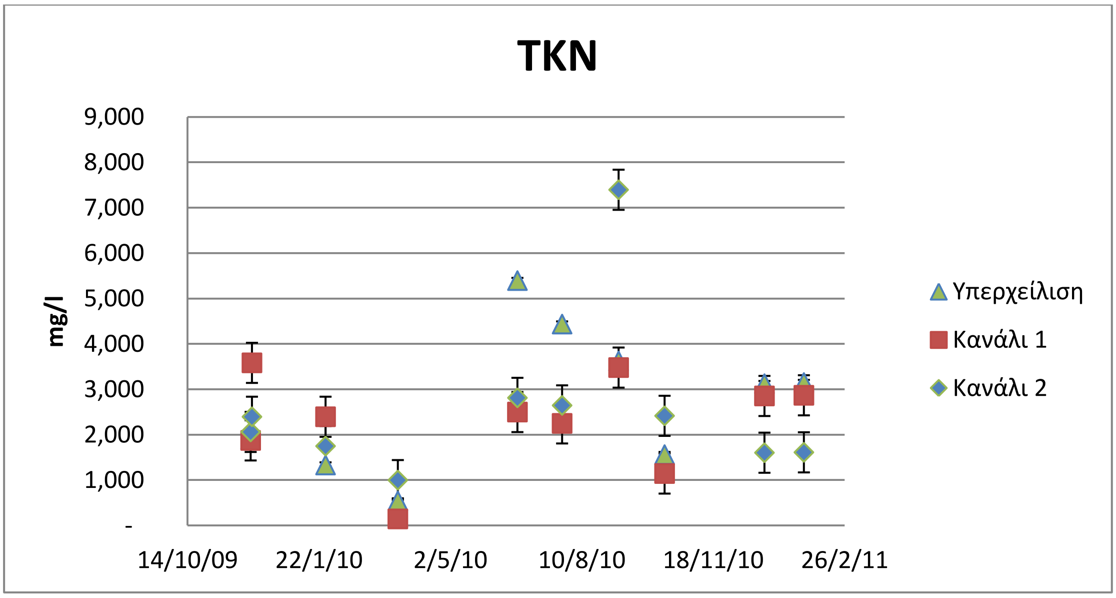
Διάγραμμα 4.5: Διακύμανση αζώτου στα νιτρώδη



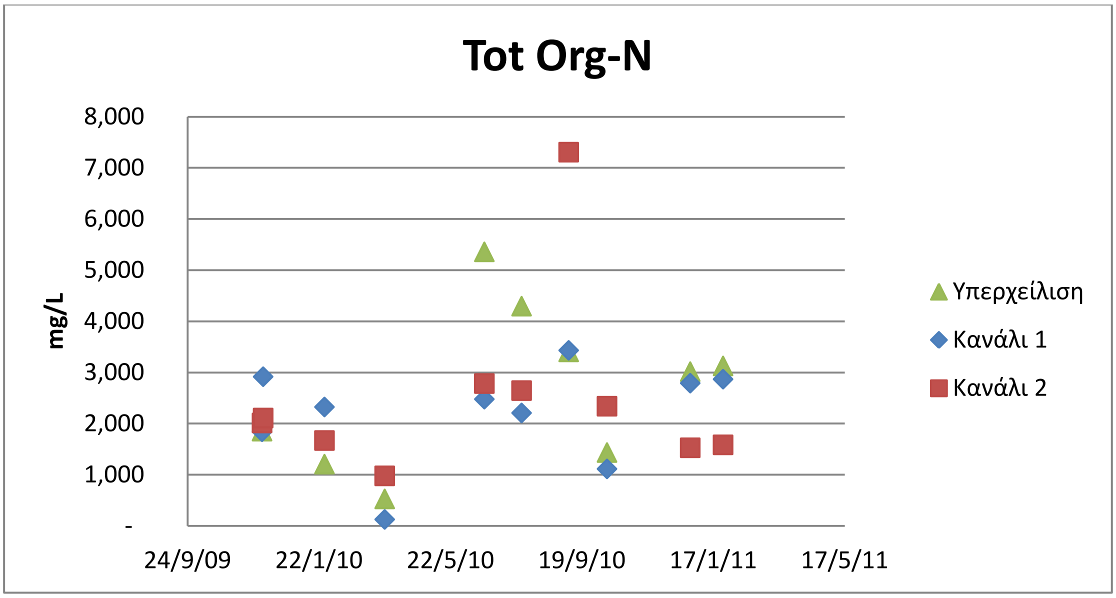
Διάγραμμα 4.6: Διακύμανση αζώτου στην αμμωνία

Ολικό άζωτο-οργανικό άζωτο

Το ολικό άζωτο όπως φαίνεται και στο διάγραμμα 4.7 παρουσιάζει μια αύξηση κατά τους καλοκαιρινούς μήνες και τους υπόλοιπους μήνες δεν ξεπερνά τα 4 mg/L.



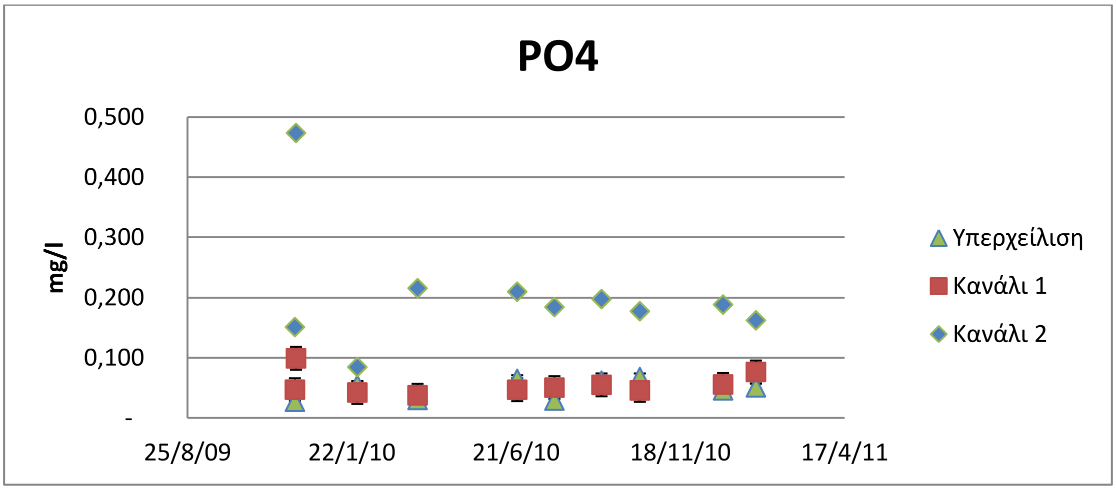
Διάγραμμα 4.7: Διακύμανση ολικού αζώτου



Διάγραμμα 4.8: Διακύμανση οργανικού αζώτου

Διακύμανση Φωσφορικών

Τα φωσφορικά κινούνται σε τιμές κάτω των 0,1 mg/L, κατά την διάρκεια του έτους, στην υπερχείλιση και το κανάλι 1 (διάγραμμα 4.9). Το κανάλι 2 παρουσιάζει πιο αυξημένες τιμές λόγο των λιπασμάτων από τις γύρω περιοχές, που καταλήγουν μέσω της επιφανειακής απορροής στο κανάλι.



Διάγραμμα 4.9: Διακύμανση φωσφορικών

4.3 Έλεγχος τοξικότητας

Στον πίνακα 4.2 παρουσιάζεται ο έλεγχος τοξικότητας που έγινε στα δείγματα του νερού κατά την δειγματοληψία στις 11/1/11, στα τρία σημεία και στις πηγές. Όπως φαίνεται και στον πίνακα όλα τα επικίνδυνα μέταλλα είναι σε μικρές συγκεντρώσεις, και πολύ χαμηλότερες από τα θεσπισμένα όρια. Δεν παρουσιάζεται κανένα θέμα τοξικότητας στο νερό της λίμνης, τόσο στο εσωτερικό όσο και στις εισόδους (κανάλια, πηγές).

Η λίμνη δεν δέχεται βιομηχανικά ή άλλα απόβλητα τα οποία θα την μόλυναν και θα προκαλούσαν προβλήματα τοξικότητας με μεγάλες συγκεντρώσεις βαρεών μετάλλων. Όπως βλέπουμε και στα όρια που μας δίνει η ΚΥΑ για το πόσιμο νερό, δεν παρατηρείται καμία υπέρβαση κάποιας από τις παραμέτρους.

Πίνακας 4.2: Βαρέα μέταλλα, στα δείγματα νερού

		Υπερχείλιση	Κανάλι 1	Κανάλι 2	Πηγές	RSRs* 1996,	ΚΥΑ**
Li	μg/l	<DL	<DL	<DL	<DL		
B	μg/l	<DL	<DL	<DL	<DL		
Na	mg/l	1,32	1,06	3,70	0,79		200
Mg	mg/l	24,86	12,10	32,05	27,15		
Al	mg/l	0,27	<DL	<DL	<DL		
Si	mg/l	0,05	0,32	1,93	0,32		
K	mg/l	0,09	0,04	0,23	0,01		
Ca	mg/l	94,64	61,75	96,10	101,21		
V	μg/l	0,17	0,08	0,06	0,25	500	1000
Cr	μg/l	<DL	<DL	<DL	<DL	500	50
Mn	μg/l	1,30	68,96	18,47	0,06		
Fe	mg/l	<DL	<DL	<DL	<DL		200
Ni	μg/l	<DL	<DL	<DL	<DL	1000	20
Cu	μg/l	<DL	<DL	<DL	<DL	13000	2000
Zn	μg/l	<DL	<DL	<DL	<DL	5000	
As	μg/l	<DL	<DL	<DL	<DL	500	10
Se	μg/l	<DL	<DL	<DL	<DL	0,5	10
Y	μg/l	<DL	<DL	<DL	<DL		
Cd	μg/l	0,44	1,50	<DL	<DL	50	5
Sb	μg/l	<DL	<DL	<DL	1,60		
Ba	μg/l	34,28	83,85	<DL	39,38	10000	
Hg	μg/l	<DL	<DL	<DL	<DL	20	1
Pb	μg/l	<DL	<DL	<DL	<DL	150	10
U	μg/l	<DL	<DL	<DL	<DL		

***** State of Connecticut Regulation concerning Remediation Standard

**(Κοινή Υπουργική Απόφαση Υ2/2600/2001 - ΦΕΚ-892 Β'/11-7-01) (Διορθ. σφαλμ. στο ΦΕΚ 1082 Β΄/14-8-01) : Ποιότητα του νερού ανθρώπινης κατανάλωσης", σε συμμόρφωση προς την οδηγία 98/83/ΕΚ του Συμβουλίου της Ευρωπαϊκής Ένωσης της 3ης Νοεμβρίου 1998

4.4 Εργαστηριακές μετρήσεις ιζήματος

Ένα από τα κυριότερα προβλήματα της τεχνητής Λίμνης της Αγιάς είναι η διακύμανση της στάθμης των υδάτων της, το οποίο προκύπτει από τη λειτουργία της ως ταμιευτήρα αρδευτικού νερού κατά τους καλοκαιρινούς μήνες. Κάτι τέτοιο δεν λύνει το αρδευτικό πρόβλημα, διότι η ποσότητα του νερού της λίμνης είναι αμελητέα σε σχέση με της απαιτούμενες ανάγκες για άρδευση, τους καλοκαιρινούς μήνες. Το μόνο που επιτυγχάνεται με την πολιτική αυτή είναι η επιβάρυνση του υγροβιότοπου από την έλλειψη νερού στο ταμιευτήρα. Το πρόβλημα αυτό διογκώνεται τα τελευταία χρόνια από τις προσχώσεις. Τα φερτά υλικά έχουν μειώσει στο 1/3 το βάθος της λίμνης με συνέπεια την μείωση του όγκου της λίμνης, σε επίπεδα πάρα πολύ χαμηλά για την επιβίωση του υγροβιότοπου.

Συγκεκριμένα τους καλοκαιρινούς μήνες το βάθος της λίμνης δε ξεπερνά τα 50 εκατοστά στο μεγαλύτερο τμήμα της και σε κάποιες περιόδους ξεραίνεται και ολοκληρωτικά. Αυτό οφείλεται σε έναν συνδυασμό των παραπάνω, δηλαδή, στην κακή διαχείριση των εκροών της λίμνης και στα φερτά υλικά που έχουν μειώσει το πραγματικό ελεύθερο όγκο της λίμνης. Η ποσότητα του ιζήματος που έχει εναποτεθεί στο πυθμένα της λίμνης είναι αρκετά μεγάλη, καθώς το βάθος της λίμνης έφτανε τα 6 μέτρα στο βαθύτερο σημείο και τώρα είναι στα 3 μέτρα το μέγιστο (τους χειμερινούς μήνες).

Κάτι τέτοιο καθιστά αναγκαία την εκσκαφή και την αφαίρεση του ιζήματος από τον πυθμένα της λίμνης.

Η ποσότητα του ιζήματος που θα απομακρυνθεί είναι αρκετά μεγάλη και θα ήταν καλό να αξιοποιηθεί. Έτσι έγινε χημική ανάλυση του ιζήματος για να μπορέσουμε να έχουμε μια πλήρη εικόνα για τη ρύπανση και την περιεκτικότητα του σε θρεπτικά ώστε να προταθούν λύσεις για την αξιοποίηση του. Οι αναλύσεις έγιναν μετά την ξήρανση των δειγμάτων. Έγινε ανάλυση τοξικότητας και περιεκτικότητας θρεπτικών στο ίζημα μετά από εκχύλιση και δοκιμές SPLS και TCLP. Επίσης μετρήθηκαν το pH και η αγωγιμότητα. Τα πειράματα έγιναν σε τρεις επαναλήψεις.

4.4.1 Μέτρηση ολικών βαρεών μετάλλων- έλεγχος τοξικότητας

Με τη χρήση του επαγωγικά συζευγμένου πλάσματος με φασματομετρία μαζών (ICP-MS 7500cx coupled with Autosampler Series 3000, both by Agilent Technologies) έγινε η ανάλυση των 12 δειγμάτων ιζήματος από τον πυθμένα της λίμνης.

Όπως φαίνεται και στον πίνακα 4.3 , οι τιμές των επικίνδυνων μετάλλων είναι πολύ χαμηλές και καμία δεν ξεπερνάει τα επιτρεπτά όρια, τόσο για τη διαβίωση της πανίδας της λίμνης όσο και για την ανθρώπινη υγεία.

Επίσης πραγματοποιήθηκε έλεγχος για την τυχών ύπαρξη οργανοχλωριομένων ενώσεων αλλά το αποτέλεσμα ήταν αρνητικό και μας δίνει άλλη μια επιβεβαίωση για τη μη τοξικότητα του ιζήματος και την απουσία μόλυνσης από τα φυτοφάρμακα.

Πίνακας 4.3: Ανάλυση ιζήματος, μέταλλα (Totals)

Element Name		Θέση 1 (ave)	Θέση 2 (ave)	Θέση 3 (ave)	Θέση 4 (ave)	RSRs* 1996, mg/Kg	Filand**
Hg	mg/Kg	<DL	2,43	2,35	<DL	20	5
Cd	mg/Kg	<DL	<DL	<DL	<DL	34	20
As	mg/Kg	9,97	8,78	7,39	9,80	10	100
Cu	mg/Kg	33,94	27,44	25,03	30,68	2500	200
Ni	mg/Kg	33,75	23,26	26,85	28,40	1400	150
Zn	mg/Kg	99,07	56,39	64,89	70,54	20000	400
Cr	mg/Kg	43,00	46,43	35,01	43,14	100	300
Pb	mg/Kg	19,17	17,06	15,34	18,16	500	750
Ca	mg/Kg	645567,00	42344,60	1195563,23	608186,95		
Mg	mg/Kg	30591,21	7027,48	24782,00	32184,75		
Al	mg/Kg	14073,12	14115,07	11226,41	12857,88		
Li	mg/Kg	42,28	30,21	47,39	40,61		
B	mg/Kg	5,65	5,07	6,37	4,25		
Na	mg/Kg	0,00	0,00	0,00	8,15		
Si	mg/Kg	708,83	570,85	723,01	670,67		
K	mg/Kg	2186,08	1851,49	1869,91	1792,20		
V	mg/Kg	51,85	59,30	47,78	56,10	470	250
Mn	mg/Kg	317,15	122,46	260,49	248,08	1400	
Fe	mg/Kg	35,35	34,39	27,16	36,00		
Se	mg/Kg	7,38	3,42	0,00	2,72	340	
Sr	mg/Kg	371,22	305,46	641,03	364,14		
Y	mg/Kg	14,00	7,95	11,56	11,05		
Sb	mg/Kg	1,04	0,42	0,16	0,06	27	
Ba	mg/Kg	415,28	379,84	417,54	347,13	4700	
U	mg/Kg	0,75	2,46	1,04	1,49		

* State of Connecticut Regulation concerning Remediation Standard

** Finland ecotoxicological soil quality criteria for selected organic and inorganic compounds

4.4.2 Μέτρηση θρεπτικών

Οι τιμές του pH και τις αγωγιμότητας κυμαίνονται σε φυσιολογικά επίπεδα και σε κανένα δείγμα δεν είχαμε ακραίες τιμές στο pH όπως φαίνεται και στο πίνακα είναι 7,4 δηλαδή σε ουδέτερη ζώνη. Ο ολικός φώσφορος είναι αρκετά υψηλός (Μ.Ο. 1540 mg/kg) και το ολικό άζωτο κυμαίνεται επίσης σε αρκετά υψηλά επίπεδα. Ο άνθρακας είναι περίπου στο 7% του βάρους κατά μέσο όρο.

Οι τιμές (πίνακας 4.4) αυτές μας δίνουν ένα υλικό με αρκετά μεγάλη θρεπτική αξία που θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ως εδαφό-βελτιωτικό σε γεωργικές εκτάσεις ή για τον εμπλουτισμό σε κάποια γειτονική δασική έκταση. Κάτι τέτοιο όπως φαίνεται και στον έλεγχο τοξικότητας δεν θα δημιουργούσε κανένα πρόβλημα στο φυσικό περιβάλλον και στον άνθρωπο και ίσως θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ως εδαφοβελτιωτικό.

Πίνακας 4.4: Μέτρηση θρεπτικών στα δείγματα του ιζήματος

	Θέση 1	Θέση 2	Θέση 3	Θέση 4	Μ.Ο.
pH	7,39	7,47	7,36	7,43	7,41
Cond (mS/cm)	2,13	1,87	2,17	1,63	1,95
N-NO3, mg/Kg	6,00	18,80	17,20	22,00	16,00
P-PO4 , mg/Kg	10,82	43,83	11,67	24,07	22,60
C(TOC), %	7,31	7,12	6,19	6,70	6,83
TP, mg/Kg	1398	1569	1571	1626	1541
TKN , mg/Kg	5527	3634	3421	4037	4155

Εκτός των παραπάνω μετρήσεων, όπως αναφέρθηκε και στο πειραματικό μέρος, έγιναν και δοκιμές για την εκχύλιση των δειγμάτων με της μεθόδους SPLP και TCLP. Δηλαδή εκχύλιση με προσημείωση όξινης βροχής και εκχύλισμα χωματερής.

4.4.3 Δοκιμές SPLP-TCLP

4.4.3.1 Έλεγχος τοξικότητας

Όλες οι τιμές των μετάλλων μετά την εκχύλιση του ιζήματος και για τις δύο δοκιμές (SPLP-TCLP) είναι κάτω των επιτρεπτών ορίων. Όπως φάνηκε και στην πρώτη ανάλυση με τις δοκιμές εκχύλισης επιβεβαιώνεται η μη τοξικότητα των δειγμάτων και κατ΄ επέκταση του ιζήματος συνολικά. Οι δύο αυτές δοκιμές μας δείχνουν ότι δεν υπάρχουν δεσμευμένες ποσότητες βαρεών μετάλλων οι οποίες μπορούν να απελευθερωθούν είτε με τη δράση όξινης βροχής (SPLP) είτε υγρών αποβλήτων από ΧΥΤΑ (TCLP). Οι τιμές των μετάλλων φαίνονται στους παρακάτω πίνακες (πίνακας 4.5,4.6).

Πίνακας 4.5: Δοκιμή TCLP στα τρία δείγματα ιζήματος

Element Name		A	B	Γ	RSRs*	Em.L.V (GR)*** mg/L
Hg	μg/L	<DL	<DL	<DL	20	
Pb	μg/L	<DL	<DL	<DL	150	0,1-0,2/0,2-0,4
Cd	μg/L	<DL	<DL	<DL	50	
As	μg/L	<DL	<DL	<DL	500	0,125-0,5/0,25-1
Zn	μg/L	316,45	328,25	332,99	50000	2,5-5/5-10
Cu	μg/L	4,57	7,77	5,93	13000	0,25-0,5/0,5-1,0
Ni	μg/L	105,86	114,77	108,21	1000	0,2-0,5/0,4-1,0
Cr	μg/L	1,08	0,98	1,57	500	0,6-1,5/1,2-3,0
Mg	mg/L	112,27	126,54	130,50		
Li	μg/L	3,18	3,08	3,67		
B	μg/L	37,68	33,00	34,66		
Al	mg/L	<DL	<DL	<DL		
Si	mg/L	8,71	9,10	9,10		
V	μg/L	1,62	1,72	2,01	500	
Mn	μg/L	5190,18	6396,36	6026,81		
Fe	mg/L	<DL	<DL	<DL		
Se	μg/L	<DL	<DL	<DL	500	
Sr	μg/L	10742,70	12081,80	10912,59		
Y	μg/L	5,09	5,99	6,49		
Sb	μg/L	1,69	1,59	2,08	60	
Ba	μg/L	2687,49	2730,75	2985,60	10000	
U	μg/L	<DL	<DL	<DL		

* State of Connecticut Regulation concerning Remediation Standard

Πίνακας 4.6: Δοκιμή SPLP στα τρία δείγματα ιζήματος

Element Name		A	B	Γ	RSRs* 1996,	Env.Q. STD.(GR)**	Em.L.V (GR)*** mg/L
Hg	μg/L	<DL	<DL	<DL	20		
Zn	μg/L	165,39	201,67	165,73	5000	1000	2,5-5/5-10
Pb	μg/L	<DL	<DL	<DL	150	20	0,1-0,2/0,2-0,4
Cd	μg/L	<DL	<DL	<DL	50		
Cu	μg/L	29,34	15,25	13,60	13000	50	0,25-0,5/0,5-1,0
As	μg/L	<DL	<DL	<DL	500	30	0,125-0,5/0,25-1
Cr	μg/L	<DL	<DL	<DL	500	50	0,6-1,5/1,2-3,0
Ni	μg/L	<DL	<DL	<DL	1000	100	0,2-0,5/0,4-1,0
Mg	mg/L	11,59	11,99	10,60			
Ca	mg/L	178,93	176,25	176,75			
Na	mg/L	<DL	<DL	<DL			
Li	μg/L	<DL	<DL	<DL			
B	μg/L	99,09	63,26	52,62			
Al	mg/L	<DL	<DL	<DL			
Si	mg/L	8,41	8,21	8,21			
K	mg/L	2,64	2,93	2,34			
V	μg/L	2,31	2,89	2,21	500		
Mn	μg/L	90,85	79,70	109,72			
Fe	mg/L	<DL	<DL	<DL			
Se	mg/L	<DL	<DL	<DL	0,5		
Sr	μg/L	1643,88	1661,87	1627,89			
Y	mg/L	<DL	<DL	<DL			
Sb	μg/L	0,89	1,39	0,79			
Ba	μg/L	1623,87	1458,36	1753,65	10000		
U	mg/L	<DL	<DL	<DL			

* State of Connecticut Regulation concerning Remediation Standard

4.4.3.2 Έλεγχος θρεπτικών

Βλέπουμε μετά την εκχύλιση ότι ένα πολύ μεγάλο ποσοστό των θρεπτικών είναι διαθέσιμα (πίνακας 4.7). Παραπάνω από το 50% του ολικού αζώτου είναι άμεσα διαθέσιμο μετά την εκχύλιση, και ένα αρκετά μεγάλο ποσοστό φωσφόρου με την μορφή φωσφορικών.

Πίνακας 4.7: Ανάλυση θρεπτικών μετά την δοκιμή SPLP

		A	B	Γ	M.O.
N-NO3	mg/kg	34,12	31,76	21,18	29,02
N-NO2	mg/kg	0,24	0,24	0,23	0,23
N-NH4	mg/kg	14,15	13,16	14,18	13,83
P-PO4	mg/kg	1,24	2,36	1,83	1,81
TKN	mg/kg	1675	3350	1975	2333

4.5 Περιοριστικός παράγοντας- χαρακτηρισμός της λίμνης

Η μέση τιμή της συγκέντρωσης του αζώτου και του φωσφόρου στο εσωτερικό της λίμνης από τις μετρήσεις που έγιναν είναι:

Η μέση τιμή για τα θρεπτικά στην έξοδο της λίμνης είναι:

$CN = \frac{\Sigma(Q*C)}{\Sigma Q}$= 1,640 mg/l

$CP = \frac{\Sigma(Q*C)}{\Sigma Q}$= 0,047 mg/l

ή για ΜΒ: N=14, P=31

σε mmol : N→ 1,64/14= 0,117 mmol/l

P→ 0,047/31=0,0015 mmol/l

Άρα ο λόγος θα είναι N/P=78

Με βάση την παραπάνω ανάλυση μπορεί να γίνει ο προσδιορισμός του περιοριστικού παράγοντα. Περιοριστικός παράγοντας είναι ο φώσφορος αφού ο λόγος αζώτου-φωσφόρου είναι πολύ μεγαλύτερος του 16.

Εφόσον περιοριστικός παράγοντας είναι ο φώσφορος, βάση της κατάταξης της λίμνης σε μια από της κατηγορίες ευτροφισμού μπορεί να χρησιμοποιηθεί ο δείκτης της EPA (Πίνακας 4.8). Σύμφωνα με αυτή την κατάταξη ο ταμιευτήρας της Αγιάς είναι ευτροφικός καθώς η μέση συγκέντρωση του φωσφόρου είναι 47 μg/L. Δεν ήταν δυνατό να γίνει η μέτρηση της χλωροφύλλης που θα έδινε πιο αξιόπιστα αποτελέσματα για τη τροφική κατάταξη της λίμνης.

Πίνακας 4.8: Δείκτης τροφικής κατάστασης της EPA

Τροφική κατάσταση	**Chl-a, μg/L**	**Ολικός Φώσφορος, μg/L**	**Βάθος δίσκου Secchi**
Ολιγοτροφική	<7	<10	>3.7
Μεσοτροφική	7-12	10 - 20	2 - 3.7
Ευτροφική	>12	>20	<2

Κίνηση θρεπτικών από το ίζημα.

Η περιεκτικότητα σε θρεπτικά του νερού που έρχεται σε επαφή και κινείται στους πόρους του ιζήματος μπορεί να υπολογιστεί.

Με την δοκιμή SPLP υπολογίστηκαν τα θρεπτικά μετά την εκχύλιση του δείγματος. Στην δοκιμή αυτή τοποθετήθηκαν 100gr δείγματος στερεού σε 2L νερού. Άρα η αναλογία υγρού στερεού ήταν 20:1 δηλαδή 0,05. Στο ίζημα με την υπόθεση ότι το πορώδες είναι 40% προκύπτει:

1 m^3 ίζημα → 1400 Kg → 1400 kg/ m^3 * (1-0,4)=840 kg στερεά και

0,4 m^3 *1000 kg/ m^3= 400 kg διαλύματος

Άρα η αναλογία υγρού-στερεού θα είναι: 840/400≈ 2

Δηλαδή 40 φορές μεγαλύτερη από την αναλογία στην δοκιμή SPLP. Δυνητικά η συγκέντρωση των θρεπτικών στο διάλυμα του ιζήματος θα είναι 40 φορές μεγαλύτερη από την μέτρηση της δοκιμής SPLP.

Πίνακας 4.9: Ενδεικτικές τιμές συγκέντρωσης ρύπων στο διάλυμα του ιζήματος

Παράμετρος		Τιμή SPLP mg/L	Τιμή διαλύματος mg/L
N-NO3	mg/kg	1,45	58
N-NO2	mg/kg	0,01	0,5
N-NH4	mg/kg	0,69	28
PO4	mg/kg	0,09	4
TKN	mg/kg	116,67	4666

Οι τιμές αυτές είναι ενδεικτικές, καθώς το νερό κινείται μέσα στους πόρους και παρασύρει τους ρύπους, το σύστημα δεν είναι σε ισορροπία και οι συγκεντρώσεις συνεχώς διαφοροποιούνται. Συμπεραίνεται από τους παραπάνω υπολογισμούς ότι πραγματοποιείται κίνηση των ρύπων από το ίζημα προς το νερό λόγο της μεγάλης συγκέντρωσης των ρύπων που απελευθερώνεται από το ίζημα. Συνεπώς έχουμε πιθανή εκρόφηση φωσφόρου από το ίζημα στη λίμνη.

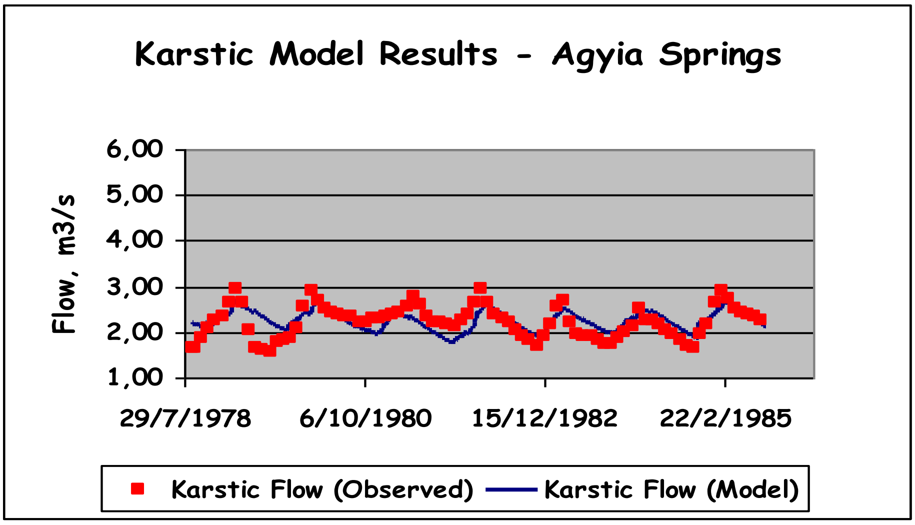
4.6 Μοντελοποίηση

Έγινε μοντελοποίηση της κατάστασης ευτροφισμού της λίμνης με χρήση του περιβαλλοντικού μοντέλου WASP ώστε να επιτευχθεί η καλύτερη δυνατή προσομοίωση. Με τη χρήση του παραπάνω λογισμικού θα υπάρχει μια πιο πλήρης εικόνα των διεργασιών που λαμβάνουν χώρα μέσα στη λίμνη, τόσο ποσοτική όσο και ποιοτική. Βάση των αποτελεσμάτων εξάγονται συμπεράσματα για την είσοδο των ρύπων, την αντίδραση τους μέσα στη λίμνη καθώς και για την ποιότητα του νερού εκροής. Τα αποτελέσματα των εργαστηριακών δοκιμών αλλά και χρήση υπαρχουσών δεδομένων για τη περιοχή χρησιμοποιήθηκαν στη μοντελοποίηση. Έγινε μια πρώτη εισαγωγή των δεδομένων και στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε βαθμονόμηση του μοντέλου για να επιτευχθούν όσο δυνατόν καλύτερα αποτελέσματα. Τα αποτελέσματα του μοντέλου συγκρίθηκαν με τα δεδομένα των μετρήσεων στην υπερχείλιση της λίμνης και βάση αυτών πραγματοποιήθηκε η βαθμονόμηση του μοντέλου. Επίσης έγινε μοντελοποίηση του καρστ για τον υπολογισμό των παροχών των πηγών που εκφορτίζουν στη λίμνη ώστε να υπολογίσουμε το ισοζύγιο εισόδου και εξόδου νερού από τη λίμνη.

4.6.1 Μοντελοποίηση παροχών των πηγών

Οι Νικολαΐδης et. al. (2010) προσομοίωσαν με λεπτομερέστερο μοντέλο τη λειτουργία του καρστικού συστήματος της πηγής της Αγιάς. Η περίοδος της προσομοίωσης για τις πηγές της Αγυιάς ήταν 2557 ημέρες. Έγινε βαθμονόμηση (διάγραμμα 4.10) του μοντέλου σύμφωνα με τα δεδομένα παροχών από τα μηνιαία δεδομένα εκφορτίσεων της πρώην Περιφερειακής

Διεύθυνσης Εγγείων Βελτιώσεων Κρήτης (Υ.Ε.Β) για το διάστημα 01/09/78-31/08/85. Επίσης, χρησιμοποιήθηκε η βροχόπτωση του βροχομετρικού σταθμού της Υ.Ε.Β στον Ασκύφου και η θερμοκρασία από τον σταθμό στις Καλύβες.



Διάγραμμα 4.10: Προσομοίωση των εκφορτίσεων των πηγών της Αγιάς.

Για τη περίοδο μελέτης (12/2009-4/2011) εισήχθησαν στο μοντέλο τα δεδομένα βροχόπτωσης και θερμοκρασίας. Έγινε χρήση των δεδομένων βροχόπτωσης από τον μετεωρολογικό σταθμό Πρασσέ (διάγραμμα 4.11) μετά από την συσχέτιση με τον σταθμό του Αλικιανού που βρίσκεται πιο κοντά στην λίμνη (61% της βροχόπτωσης Πρασσέ). Οι θερμοκρασίες που εισήχθησαν στο μοντέλο ήταν από το σταθμό των Καλυβών για τις συγκεκριμένες ημερομηνίες.

Διάγραμμα 4.11: Βροχόπτωση από το σταθμό του Πρασσέ

Με την χρήση του καρστικού μοντέλου και των μετεωρολογικών δεδομένων, όπως περιγράφεται και στο πρώτο κεφάλαιο προκύπτουν οι παρακάτω μέσες παροχές για το σύνολο των δύο πηγών (πίνακας 4.10). Η υδροφορία των πηγών της Αγιάς δημιουργείται από τους καρστικούς ασβεστόλιθους και δολομίτες Τρυπαλίου που εκφορτίζουν σε συνθήκες υπό πίεσης στο μέτωπο των πηγών Πλατάνου- Καλαμιώνα- Κολύμπα. Οι πηγές βρίσκονται σε απόλυτα υψόμετρα από +33 μέχρι +40 m πάνω από τη θάλασσα. Η υδροφορία των πηγών είναι σημαντική και η μέση παροχή εκφόρτισης ανέρχεται στα 67 $*10^6$ m^3/yr (Διακύμανση 56 – 76$*10^6$ m^3/yr) (υδρολογικά έτη 1971-84). Το νερό των εκφορτίσεων χρησιμοποιείται από τη ΔΕΥΑ (Δημόσια Επιχείρηση Ύδρευσης Άρδευσης) Χανίων και από τον ΤΟΕΒ (Τοπικός Οργανισμός Εγγείων Βελτιώσεων) Βαρυπέτρου που κάνουν απολήψεις από τα σημεία εκφόρτισης των πηγών. Ανάντη των πηγών ο ΟΑΔΥΚ (Οργανισμός Ανάπτυξης Δυτικής Κρήτης) αντλεί από σύστημα γεωτρήσεων.

Πίνακας 4.10: Παροχές πηγών

Μήνας	Q_{ave} Πηγών (m^3/sec)
Δεκέμβριος 2009	1,87
Ιανουάριο ς 2010	2,03
Φεβρουάριος 2010	2,33
Μάρτιος 2010	2,28
Απρίλιος 2010	2,18
Μάιος 2010	2,09
Ιούνιος 2010	1,99
Ιούλιος 2010	1,89
Αύγουστος 2010	1,79
Σεπτέμβριος 2010	1,70
Οκτώβριος 2010	1,74
Νοέμβριος 2010	1,83
Δεκέμβριος 2010	1,86
Ιανουάριος 2011	1,99
Φεβρουάριος 2011	2,21
Μάρτιος 2011	2,51
Απρίλιος 2011	2,61

Σύμφωνα με δεδομένα καταναλώσεων από τους οργανισμούς εκμετάλλευσης του νερού των πηγών (ΔΕΥΑ,ΤΟΕΒ και ΟΑΔΥΚ, οι αναλυτικές τιμές βρίσκονται στο παράρτημα 1) υπολογίστηκε το περίσσευμα (πίνακας 4.11) που προκύπτει και τελικά καταλήγει σαν υπερχείλιση στο εσωτερικό της λίμνης. Οι τιμές αυτές προστιθέμενες στις παροχές των καναλιών θα χρησιμοποιηθούν ως παροχή εισόδου στη λίμνη.

Πίνακας 4.11: Παροχές εισόδου στη λίμνη

Μήνας	Q_{ave} Πηγών (m^3/sec)
Δεκέμβριος 2009	1,59
Ιανουάριο ς 2010	1,75
Φεβρουάριος 2010	2,08
Μάρτιος 2010	2,00
Απρίλιος 2010	0,78
Μάιος 2010	0,66
Ιούνιος 2010	0,17
Ιούλιος 2010	0,09
Αύγουστος 2010	0,05
Σεπτέμβριος 2010	0,39
Οκτώβριος 2010	1,57
Νοέμβριος 2010	1,58
Δεκέμβριος 2010	1,60
Ιανουάριος 2011	1,74
Φεβρουάριος 2011	1,97
Μάρτιος 2011	2,24
Απρίλιος 2011	1,16

4.6.2 Μοντέλο Dillon

Για την επαλήθευση των συνολικών φορτίων θρεπτικών που καταλήγουν στον ταμιευτήρα χρησιμοποιείται το μοντέλο Dillon, που βασίζεται στο ισοζύγιο μάζας κάθε συστατικού.

Θα ισχύει :

$$V\frac{dC}{dT} = QC_{in} - QC - k_s CV$$

όπου $k_s = \frac{Vs}{H}$ και V_S η ταχύτητα καθίζηση και H το μέσο βάθος

Σε συνθήκες σταθερής κατάστασης θα ισχύει :

$$QC_{in} = QC + k_s CV \Rightarrow \frac{QC_{in}}{A} = \frac{QC}{A} + \frac{k_s CV}{A}$$

Όμως $L = \frac{QC_{in}}{A}$ είναι ο ρυθμός φόρτισης του ταμιευτήρα από τα θρεπτικά

$\frac{k_s CV}{A} = LR$ η ποσότητα που κατακρατείται στον ταμιευτήρα και

$\frac{QC}{A} = \frac{QC}{A} \times \frac{H}{H} = \frac{HC}{\tau}$ με τ το χρόνο παραμονής

Επομένως η εξίσωση θα είναι :

$$L - LR = \frac{HC}{\tau} \Rightarrow L(1-R)\tau = HC \text{ και για } 1/\tau = \rho$$

$$\boxed{\frac{L(1-R)}{\rho} = HC}$$

Όπου :

L: Φορτίο θρεπτικών που εισέρχεται στη λίμνη

R: Συντελεστής κατακράτησης (καθίζηση)

P: Ρυθμός ξεπλύματος

H: Μέσο βάθος της λίμνης

C: Συγκέντρωση των θρεπτικών

Για τον υπολογισμό του μοντέλου Dillon από της μετρήσεις που έγιναν προκύπτουν τα εξής δεδομένα:

Οι μέσες τιμές του αζώτου και του φωσφόρου από την υπερχείλιση της λίμνης σύμφωνα με τα φορτία θα είναι:

$CN = \frac{\Sigma(Q*C)}{\Sigma Q}$= 1,640 mg/l

$CP = \frac{\Sigma(Q*C)}{\Sigma Q}$= 0,047 mg/l

Σύμφωνα με την βιβλιογραφία ο όγκος της λίμνης και η επιφάνεια είναι:

V=367.038 m^3 A=183.519 m^2

Ενώ από της μετρήσεις η μέση παροχή θα είναι:

τ= V/Q= 0,005 yr Q=2,05 m^3/s

Ο υπολογισμός του συντελεστή κατακράτησης θα γίνει με δύο τρόπους σύμφωνα με την έκφραση Kircher & Dillon και σύμφωνα με την έκφραση Vollenweider και ο τελικός συντελεστής που θα χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό των φορτίων θα είναι ο μέσος όρος των δυο αυτών τιμών.

α) Έκφραση Kircher & Dillon

$$R = 0.426 \times e^{(-0.271\frac{H}{\tau})} + 0.577 \times e^{(-0.000949\frac{H}{\tau})}$$

$$R = 0.426 \times e^{-0.6229} + 0.577 \times e^{-0.0218} = 0{,}013$$

β) Έκφραση Vollenweider

$$R = \frac{\frac{V_s}{H}\tau}{1 + \frac{V_s}{H}\tau} = \frac{0.82 \times 6.59}{1 + 0.82 \times 6.59} = 0{,}030$$

Επομένως $R = \overline{R} = \frac{0{,}013 + 0{,}030}{2} = 0{,}0215$

Οι τιμές των θρεπτικών που προκύπτουν τελικά είναι οι εξής:

L_N=669,38 gr/m^2-y

L_P=19,18 gr/m^2-y

4.6.3 Μοντελοποίηση της λίμνης, WASP

Δεδομένα εισόδου

Το μοντέλο έχει μια σειρά παραμέτρων και συντελεστών που είναι αναγκαία δεδομένα εισόδου για το μοντέλο. Ο χρόνος προσομοίωσης με το μοντέλο περιλαμβάνει τον Δεκέμβριο του 2009 έως και τον Απρίλιο του 2011.

Οι τιμές παροχών είναι οι τιμές οι οποίες υπολογίστηκαν από το καρστικό μοντέλο.

Αρχικά δόθηκαν στο μοντέλο τα εξής στοιχεία εισόδου:

Πίνακας 4.12: Τιμές εισόδου

Παράμετρος	Τιμή
Όγκος της λίμνης	367.038 m^3
Επιφάνεια της λίμνης	183.519 m^2
Μέσω μέγιστο βάθος	2 m
Μέσω ελάχιστο βάθος	0,5 m

Για φορτία εισόδου (Loads) χρησιμοποιήθηκαν τα φορτία από τα δύο κανάλια τα οποία μετατράπηκαν σε kg/ day. Τα φορτία που εισέρχονται μέσω των πηγών τοποθετήθηκαν ξεχωριστά σαν boundaries (σε τιμές συγκέντρωσης mg/l). Οι παράμετροι που δέχεται το μοντέλο και μετρήθηκαν στις εισόδους της λίμνης είναι τα νιτρικά, η αμμωνία, το οργανικό άζωτο, και ο φώσφορος στα φωσφορικά. Οι πίνακες με τις τιμές φαίνονται στον παράρτημα 1 .

Οι αρχικές συγκεντρώσεις για το μοντέλο φαίνονται στον πίνακα 4.13 :

Πίνακας 4.13: Αρχικές συγκεντρώσεις

Παράμετρος	Αρχική συγκέντρωση (mg/L)
N-NO3	0,824
N-NH3	0,043
ORG-N	1,290
P-PO4	0,027

Οι αρχικές συγκεντρώσεις, είναι οι πρώτες μετρήσεις από τη δειγματοληψία στις 1/12/2009 από την υπερχείλιση.

Στο μοντέλο εισήχθησαν επίσης μετεωρολογικά στοιχεία για την βροχόπτωση, την θερμοκρασία και την ταχύτητα του ανέμου που ήταν γνωστά και είναι όμοια με αυτά που χρησιμοποιήθηκαν για την πρόβλεψη του καρστικού μοντέλου.

Με αυτά τα δεδομένα και με κάποιες αρχικές τιμές για τις σταθερές K προέκυψαν τα πρώτα αποτελέσματα του μοντέλου πριν γίνει η βαθμονόμηση του.

Επειδή η λίμνη είναι μικρή δεν χρειάστηκε διαμερισματοποίηση της λίμνης και χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο στην πιο απλή του μορφή για ένα μόνο τμήμα.

Βαθμονόμηση του μοντέλου

Η διαδικασία της βαθμονόμησης περιλαμβάνει τον προσδιορισμό των κατάλληλων τιμών, μέσα από συνεχείς επαναλήψεις στην εκτέλεση του μοντέλου, για τις σταθερές που περιγράφουν τις διεργασίες του ευτροφισμού.

Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε περιλαμβάνει τον έλεγχο τριών βασικών κριτηρίων :

1. Την ελαχιστοποίηση του Root Mean Square Error για τις συγκεντρώσεις του νιτρικού N και του φωσφορικού P στην επιφάνεια και των πυθμένα, σε σχέση με κάθε σταθερά του συστήματος.
2. Το ποσοστό των προβλεπόμενων συγκεντρώσεων που βρίσκονται εντός της τυπικής απόκλισης των μετρούμενων.
3. Τη γραμμική συσχέτιση μεταξύ παρατηρούμενων και προβλεπόμενων τιμών και τον υπολογισμό του συντελεστή συσχέτισης.

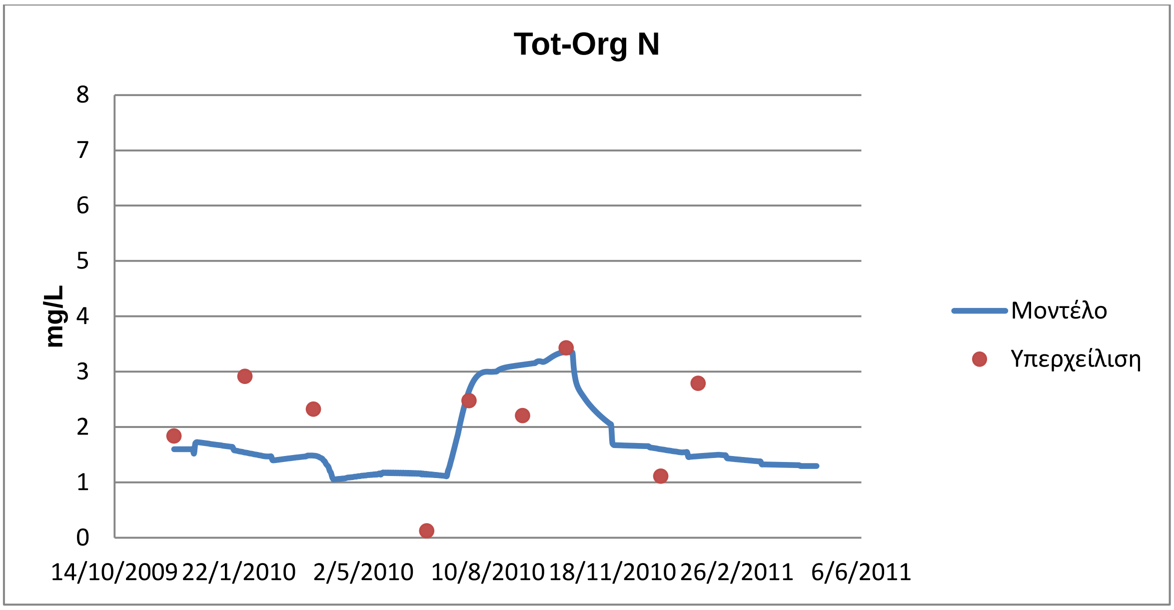
Τα πρώτα δύο κριτήρια ελέγχονται μετά από κάθε επανάληψη για κάθε μια από τις μεταβλητές με τη χρήση του RMSE που είναι :

$$RMSE=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_{ob}-x_{\exp})^{2}}{n}}$$

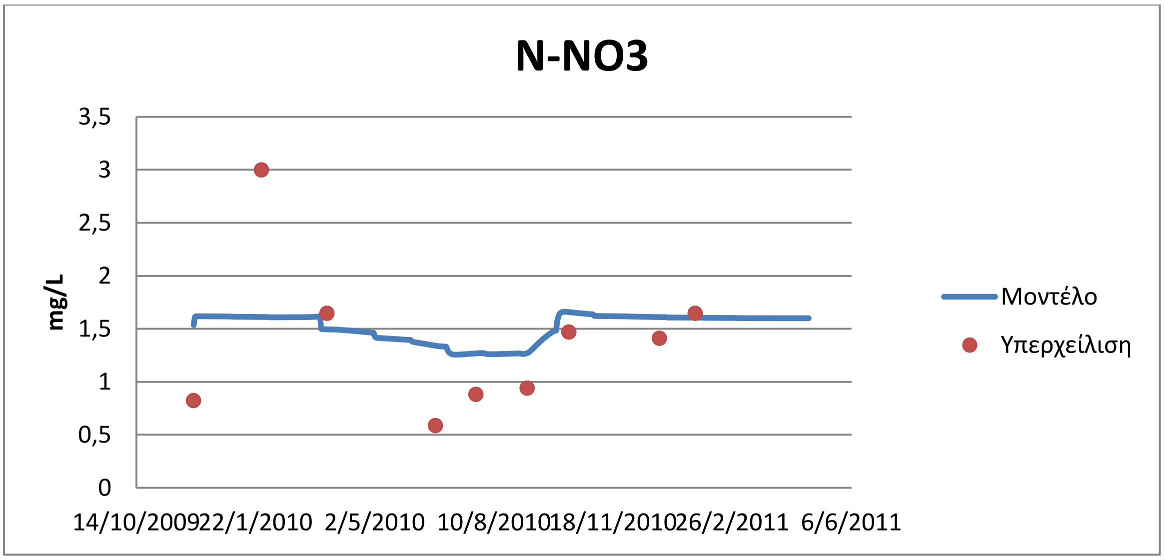
όπου x_{ob} η παρατηρούμενη τιμή και $x_{\exp}$ η προβλεπόμενη τιμή για συνολικά n τιμές.

Το μοντέλο βαθμονομήθηκε ως προς την συσχέτιση του με τα δεδομένα της υπερχείλισης που είχαν μετρηθεί κατά την διάρκεια του χρόνου. Οι παράμετροι που ελέχθησαν είναι το οργανικό άζωτο, τα νιτρικά, η αμμωνία και τα ορθοφωσφορικά.

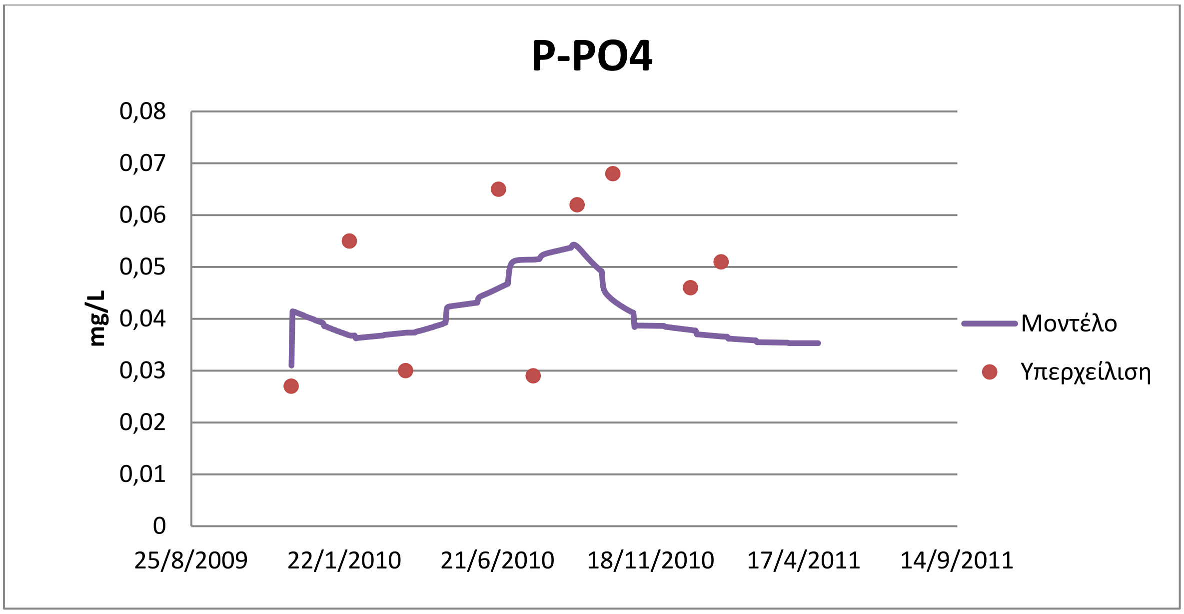
Παρακάτω παρουσιάζονται τα διαγράμματα συσχέτισης για την κάθε παράμετρο μετά την βαθμονόμηση του μοντέλου και ο πίνακας με τα αντίστοιχα σφάλματα RMSE.



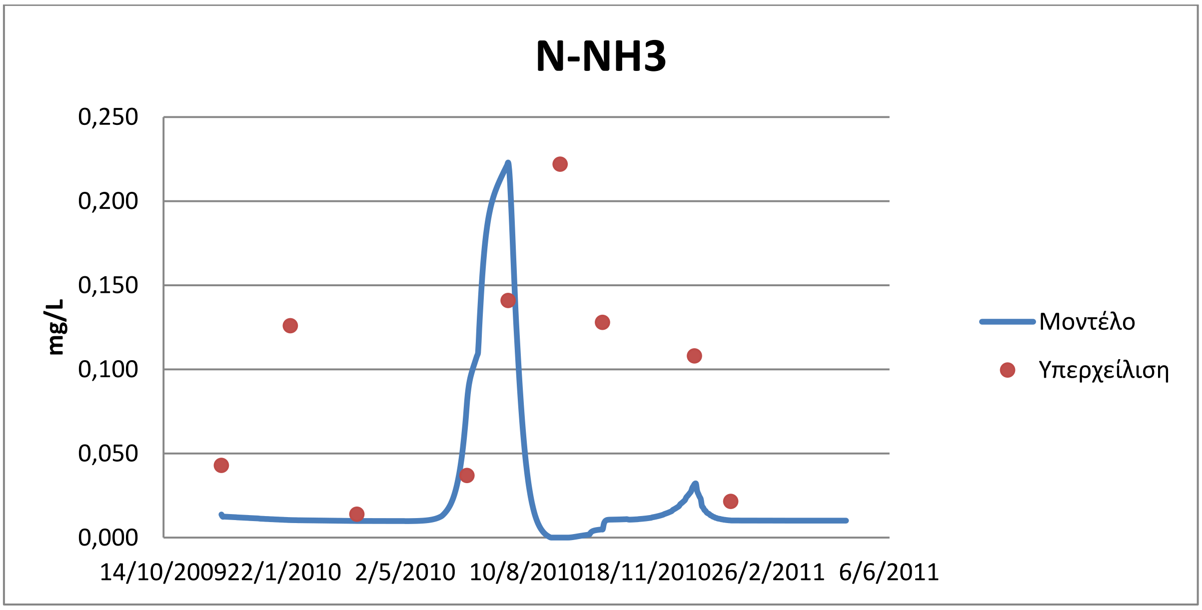
Διάγραμμα 4.12: Συσχέτιση μοντέλου-υπερχείλησης ως προς το οργανικό άζωτο



Διάγραμμα 4.13: Συσχέτιση μοντέλου-υπερχείλησης ως προς τα νιτρικά



Διάγραμμα 4.14: Συσχέτιση μοντέλου-υπερχείλησης ως προς τα φωσφορικά



Διάγραμμα 4.15: Συσχέτιση μοντέλου-υπερχείλησης ως προς την αμμωνία

Τα ελάχιστα σφάλματα που επετεύχθησαν μετά την βαθμονόμηση του μοντέλου φαίνονται στον πίνακα.

Πίνακας 4.14: Σφάλματα RMSE

Παράμετρος	Σφάλμα RMSE
Org-N	0,85
N-NO3	0,61
N-NH3	0,075
P-PO4	0,015

Τα σφάλματα είναι αρκετά μεγάλα σε σχέση με τη μέση τιμή της κάθε παραμέτρου. Αυτό μπορούμε να το διαπιστώσουμε και από τα διαγράμματα, με τις τιμές του μοντέλου να απέχουν αρκετά από τις πραγματικές τιμές. Υπάρχουν αρκετές κορυφές σχεδόν σε όλα τα διαγράμματα που το μοντέλο δεν μπορεί να ακολουθήσει τα πραγματικά δεδομένα.

Οι τιμές του μοντέλου Dillon που υπολογίστηκαν συγκρίθηκαν (πίνακας 4.16) με τις τιμές εισόδου από τις μετρήσεις ώστε να εξάγουμε τα τελικά συμπεράσματα για την κίνηση και την εισαγωγή των φορτίων στη λίμνη.

Τα φορτία υπολογίστηκαν σύμφωνα με τις μετρήσεις στην είσοδο και στην έξοδο της λίμνης (πίνακας 4.15).

Πίνακας 4.15: Ετήσια φορτία εισόδου-εξόδου

Παράμετροι	Είσοδος (kg/y)	Έξοδος (kg/y)
Νιτρικά-νιτρώδη	92.157	75.999
Αμμωνία	627	3.516
Φωσφορικά	1.884	2.232
Ολικό άζωτο	107.953	137.303
Οργανικό άζωτο	107.326	133.787

Πίνακας 4.16: Σύγκριση φορτίων Dillon-εισόδου μετρήσεων

Φορτία	Τιμές μοντέλου Dillon (gr/m^2-y)	Τιμές εισόδου (gr/m^2-y)
Ολικό άζωτο	669	588
Φωσφορικά	19	10

Από τους δύο παραπάνω πίνακες (4.15 και 4.16) συμπεραίνεται ότι στο σύστημα της λίμνης υπάρχει και άλλη επιπλέον εισαγωγή θρεπτικών πέραν των εισόδων μέσω των καναλιών και των πηγών που εισήχθησαν στο μοντέλο.

Στον πρώτο πίνακα παρατηρείτε ότι οι τιμές των φορτίων, ολικών νιτρικών και φωσφόρου είναι φανερά μεγαλύτερες στην έξοδο απ’ ότι στην είσοδο της λίμνης. Το ίδιο φαίνεται και βάση του μοντέλου Dillon όπου δίνει μεγαλύτερες τιμές φορτίων από αυτές μετρήθηκαν στην είσοδο.

Όπως είχε προαναφερθεί, ένας άλλος παράγοντας που επηρεάζει την ρύπανση της λίμνης και δεν μπορεί να υπολογιστεί επακριβώς, είναι η συνεισφορά της ρύπανσης των πουλιών. Τα περιττώματα των πτηνών που φωλιάζουν στη λίμνη καταλήγουν είτε απευθείας μέσα στη λίμνη είτε μετά την έκπλυση των γύρω περιοχών από τις βροχοπτώσεις.

Οι μεγαλύτεροι πληθυσμοί πουλιών που φωλιάζουν στη λίμνη είναι τους μήνες Δεκέμβριο και Ιανουάριο όπου ο αριθμός τους ξεπερνάει τα 1500. Επίσης στη λίμνη καθημερινά εκατοντάδες γλάροι χρησιμοποιούν τα νερά της λίμνης για να ξεπλένονται. Οι γλαροί αυτοί μεταφέρουν ρύπους καθώς έρχονται από σκουπιδότοπους και χωματερές και ξεπλένονται στα νερά της λίμνης (Μ. Δρεττάκης 2011).

Οι ρύποι καθιζάνουν στον πυθμένα και μέσω του ιζήματος μεταφέρονται στο νερό αυξάνοντας έτσι τις συγκεντρώσεις των ρύπων στην έξοδο της λίμνης.

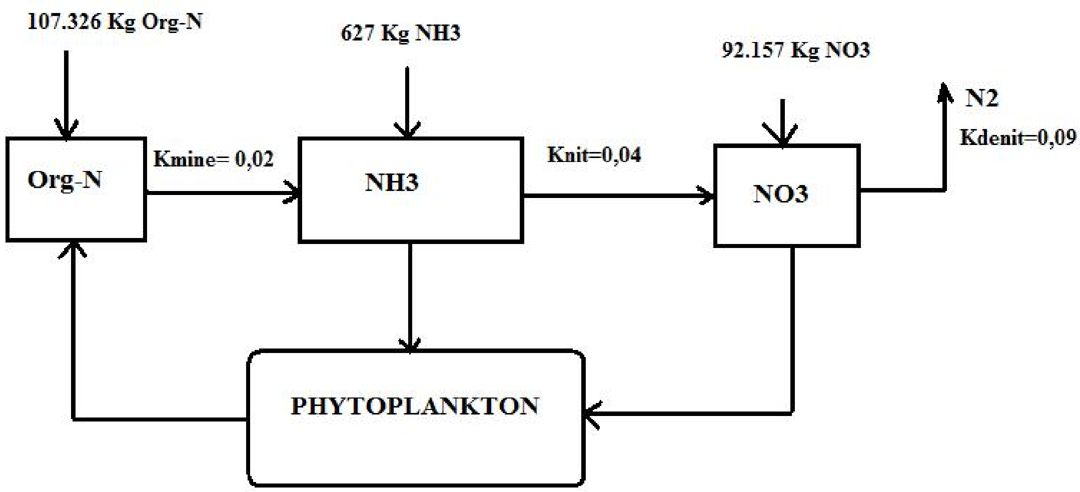
Αν συσχετιστούν τα διαγράμματα των παραμέτρων με αυτό της βροχόπτωσης προκύπτει ότι μετά από κάποιες δυνατές βροχοπτώσεις δημιουργούνται στα διαγράμματα κορυφές σε όλες τους ρύπους. Κάτι που φαίνεται να επιβεβαιώνει των παραπάνω ισχυρισμό, δηλαδή την έκπλυση της περιοχής γύρω από την λίμνη. Ιδιαίτερα για τον Ιανουάριο του 2010 και του 2011 που παρατηρήθηκαν έντονες βροχοπτώσεις δημιουργούνται κορυφές στα διαγράμματα σε όλους τους ρύπους που το μοντέλο αδυνατεί να ακολουθήσει. Κάτι τέτοιο δείχνει της περιοδικές εισροές θρεπτικών που θα πρέπει να προστεθούν για να επιτευχθεί καλύτερη προσομοίωση της πραγματικότητας.

Μετατροπή Αζώτου μέσα στη λίμνη σύμφωνα με το μοντέλο

Σύμφωνα με τον κύκλο του αζώτου στο μοντέλο, το άζωτο θα κινείται όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα (εικόνα 4.1). Δεσμεύεται το μοριακό άζωτο N_2 ενσωματώνεται σε ευπρόσληπτες μορφές του αμμωνιακού αζώτου και των νιτρικών και εισέρχεται από την ατμόσφαιρα στο σύστημα της λίμνης. Το μεγαλύτερο ποσοστό του εδαφικού αζώτου, βρίσκεται στην οργανική μορφή (οργανικό υλικό) και είναι μη διαθέσιμο για τα φυτά. Αυτές οι οργανικές ενώσεις διασπούνται από φυσικές βιολογικές διαδικασίες για να παραγάγουν τις διαθέσιμες για τα φυτά, ανόργανες μορφές αμμωνίου και νιτρικού άλατος.

Στο σύστημα τις λίμνης σύμφωνα με το μοντέλο έχουμε είσοδο 107 kg οργανικού αζώτου ετησίως. Πραγματοποιείται μετατροπή του οργανικού αζώτου (org-N) σε ανόργανη μορφή, αμμωνία NH_3 ή το προϊόν ιονισμού της, αμμωνιακή ρίζα (NH_4^+). Στη λίμνη μέσω των καναλιών εισέρχονται ετησίως 627 kg αμμωνίας, κατόπιν με την διαδικασία της νιτροποίησης έχουμε μικροβιακή οξείδωση της αμμωνιακής ρίζας NH_4^+ σε νιτρώδη ρίζα NO_2^- και στη συνεχεία νιτρική ρίζα NO_3^-. Στο εσωτερικό της λίμνης εισάγονται ετήσια μέσω των καναλιών και των πηγών περίπου 92 kg NO_3.

Με τις σταθερές που βαθμονομήθηκε το μοντέλο υπολογίστηκαν τα φορτία για όλες τις μορφές αζώτου.



Εικόνα 4.1: Φορτία στο κύκλο του αζώτου στο εσωτερικό της λίμνης

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΕΜΠΤΟ

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ- ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Με τα δεδομένα από τις μετρήσεις πεδίου, τίς εργαστηριακές μετρήσεις και την μοντελοποίηση, σχηματίστηκε μια ολοκληρωμένη εικόνα για την τύχη των θρεπτικών και των βαρεών μετάλλων. Η λίμνη της Αγιάς είναι μια τεχνητή λίμνη η οποία κατασκευάστηκε το 1928 για να τροφοδοτήσει το υδροηλεκτρικό εργοστάσιο της ΔΕΗ. Ή λίμνη της Αγιάς αποτελεί ένα πάρα πολύ σημαντικό οικοσύστημα για την Κρήτη, αλλά και για την νότια Ελλάδα συνολικότερα. Αποτελεί πέρασμα εκατοντάδων αποδημητικών πουλιών, που βρίσκουν κυρίως κατά τους χειμερινούς μήνες καταφύγιο στην λίμνη.

Μετά την εκπόνηση της μελέτης και σύμφωνα με τους περιβαλλοντικούς όρους όπου έχουν θεσμοθετηθεί για την λίμνη της Αγιάς εξήχθησαν τα εξής βασικά συμπεράσματα:

- Η λίμνη της Αγιάς κατατάσσετε ως ευτροφική σύμφωνα με τους δείκτες της EPA.
- Δεν παρουσιάζεται κανένα πρόβλημα ρύπανσης βαρεών μεάλλων, τόσο των νερών όσο και του ιζήματος της λίμνης.
- Τα προβλήματα ευτροφισμού της λίμνης παρουσιάζονται τους καλοκαιρινούς μήνες όπου η στάθμη πέφτει σε πολύ χαμηλά επίπεδα.
- Στη ρύπανση της λίμνης συμβάλουν, τα φορτία που έρχονται μέσω των πηγών, των δύο καναλιών και τα φορτία από την έκπλυση της γύρω περιοχής στα διαστήματα των βροχοπτώσεων.

- Η ρύπανση από τα περιττώματα των πουλιών είναι αρκετά σημαντική και συμβάλει σε μεγάλο βαθμό στην συνολική ποσότητα θρεπτικών που καταλήγουν στη λίμνη.
- Η λίμνη έχει πρόβλημα από την μεγάλη εναπόθεση φερτών υλικών. Με αποτέλεσμα την άνοδο του πυθμένα και την έντονη μείωση του πραγματικού όγκου της λίμνης.
- Κατά τους καλοκαιρινούς μήνες παρατηρείται περεταίρω μείωση του όγκου του νερού καθότι έχουμε άνοιγμα του θυροφράγματος κατά το μεγαλύτερο διάστημα του καλοκαιριού.
- Το ίζημα έχει αρκετά μεγάλη θρεπτική αξία και θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ως εδαφό-βελτιωτικό.
- Το κύριο πρόβλημα της λίμνης είναι η μειωμένη χωρητικότητα της και η μη ορθολογική διαχείριση των εκροών.

Σύμφωνα με την ΚΥΑ 125585/24.1.2007 καθορίστηκαν οι περιβαλλοντικοί όροι για την διαχείριση της λίμνης της Αγιάς. Καθορίζεται σαν επιτακτική ανάγκη η λήψη όλων των απαραίτητων μέτρων για την αντιρύπανση της λίμνης και του περιβάλλοντα χώρου. Απαιτείται η δημιουργία φορέα διαχείρισης που θα έχει τον συνεχή έλεγχο και την παρακολούθηση της κατάστασης της λίμνης.

Τα προβλήματα που παρατηρούνται στη λίμνη έχουν να κάνουν κυρίως με την ανθρώπινη παρέμβαση στην λεκάνη απορροής της λίμνης. Αυτά τα προβλήματα ξεκινάνε από την έλλειψη ενός βασικού φορέα διαχείρισης και παρακολούθησης της λίμνης καθώς και από την μη τήρηση των περιβαλλοντικών όρων οι οποίοι έχουν καθοριστεί. Η λίμνη της Αγιάς αποτελεί ένα πολύ σημαντικό οικοσύστημα τόσο για την πλούσια χλωρίδα στις όχθες όσο και για την Ορνιθοπανίδα. Τα στοιχεία από τις βάσεις δεδομένων του Μουσείου Φυσικής Ιστορίας Κρήτης αναδεικνύουν ένα κατάλογο από 212 διαφορετικά είδη πουλιών. Κάτι τέτοιο επιβάλει την σωστή διαχείριση της λίμνης και το ενδιαφέρον των αρμόδιων φορέων.

Οι κρίσιμες προτεραιότητες για την προστασία της λίμνης είναι οι δράσεις σχετικά με τη διακύμανση της στάθμης και την απομάκρυνση του ιζήματος. Οι έντονες μεταβολές της στάθμης της λίμνης κυρίως τους καλοκαιρινούς μήνες έχουν κύρια επίπτωση στην αναπαραγόμενη ορνιθοπανίδα στις όχθες. Η ΚΥΑ 125585/24.1.2007 καθορίζει ως βασική προτεραιότητα την διατήρηση του όγκου της λίμνης καθ όλη την διάρκεια του χρόνου και την μεγάλη προσοχή σε όλες της περιπτώσεις για να μην υπάρξει ταπείνωση της στάθμης της λίμνης.

Όπως αναφέρεται στη σελίδα 137 της μελέτης της Περιφέρειας Κρήτης: “Τεχνικοοικονομική μελέτη έργων για την προστασία της Λίμνης Αγιάς και ανάδειξης του Βιοτόπου της” η στάθμη της λίμνης στην υπερχείλιση είναι 38 m από την επιφάνεια της θάλασσας ενώ ο πυθμένας φθάνει ως τα 34 m. Όταν η στάθμη της λίμνης είναι στην υπερχείλιση η επιφάνεια του καθρέπτη φθάνει τα 120325 m^2 και ο όγκος του νερού τα 215138 m^3. Αν η στάθμη κατεβεί κατά ένα μέτρο ο όγκος νερού που φεύγει εκρέει είναι περίπου στο μισό (104050 m^3) και η επιφάνεια μειώνεται στα 87775 m^2. Αν η στάθμη μειωθεί κατά ένα ακόμη μέτρο (36) συντελείται μια ακόμα πιο δραματική μείωση της επιφάνειας του καθρέπτη που περιορίζεται στα 50800 m^2. Αντίστοιχα το κέδρος σε νερό προς χρήση είναι πολύ περιορισμένο και μόνο 32600 m^3. Σ' αυτή τη στάθμη μένουν μόνο 41800 m^3 νερού στο βιότοπο και η επιφάνεια του καθρέπτη φθάνει στα όρια αντοχής του οικοσυστήματος. Περαιτέρω μείωση της στάθμης κατά ένα μέτρο προσφέρει και πάλι ποσότητα 32600 m^3 νερού προς χρήση και μειώνει δραματικά την επιφάνεια του καθρέπτη στις 14000 m^2. Όπως καταλαβαίνει κανείς από τα στοιχεία αυτά ο μεγαλύτερος όγκος νερού που μπορεί να παρέχει η λίμνη βρίσκεται στο πρώτο μέτρο δηλαδή ως τα 37 m. Από εκεί και κάτω και ο διαθέσιμος όγκος μειώνεται σημαντικά και δεν συμβάλει ανάλογα με τις απαιτήσεις και η μείωση της επιφάνειας είναι δραματικά μεγάλη και δυσανάλογη της προσφοράς σε νερό.

Με βάση την απρόσκοπτη λειτουργία της λίμνης ως ταμιευτήρα αλλά και ως σημαντικού οικοσυστήματος προτείνουμε ως κατώτερη επιτρεπτή στάθμη την επιφάνεια της λίμνης σε 37 m απόλυτο υψόμετρο. για το διάστημα από την αρχή της αρδευτικής περιόδου ως τις 10 Ιουλίου και τα 36 m για τον υπόλοιπο Ιούλιο, Αύγουστο και Σεπτέμβριο.

Για να αυξηθεί ο όγκος του νερό στα επιθυμητά όρια για την επιβίωση του οικοσυστήματος, θα πρέπει να γίνει μελέτη για την αφαίρεση του ιζήματος.

Το ίζημα αποτελεί εκτός από ένα πρόβλημα για την λίμνη, και ένα πολύ καλό υλικό που θα μπορούσε να αξιοποιηθεί και να παρέχει πόρους για την μετέπειτα διαχείριση της λίμνης.

Οι ποσότητα του ιζήματος, αν υποτεθεί ότι τα φερτά υλικά έχουν ανεβάσει το ύψος του πυθμένα κατά μέσο όρο 2 m, είναι περίπου 366.000 m^3. Οι συγκεντρώσεις των θρεπτικών που μετρήθηκαν στο ίζημα είναι αρκετά υψηλές. Ό ολικός φώσφορος και το άζωτο είναι σε τιμές που θα ήταν αρκετά αξιόλογη η χρήση τους στην γεωργία. Ο φώσφορος είναι ένα στοιχείο σε εξάντλιση και η επαναχρησιμοποιησή του θεωρείται αναγκαία.

Ενδεικτικά υπολογίστηκαν οι ανάγκες σε φώσφορο που έχει ένα ελαιόδεντρο ώστε να εκτιμηθεί κατά πόσο μπορεί να καλύψει και σε πιο βαθμό, τις ανάγκες αυτές το ίζημα.

Ένα δέντρο ελιάς έχει ανάγκες σε φώσφορο 90 - 150 gr ετησίως, η συγκέντρωση του ολικού φωσφόρου στο ίζημα όπως μετρήθηκε είναι 1,5 g P/kg ιζήματος. Η συνολική μάζα του ιζήματος αν υποτεθεί ότι στο ένα κυβικό εμπεριέχεται μια ποσότητα 60 % στερεού θα είναι:

B= 0,6*366.000 m^3= 219600 kg στερεού,

Αν όπως υπολογίστηκε η συγκέντρωση φωσφόρου είναι 1,5 g P/kg ιζήματος συνολικά η εκτιμώμενη ποσότητα φωσφόρου στο ίζημα θα είναι 329 kg. Δηλαδή καλύπτει τις ανάγκες σε φώσφορο ετήσια περίπου 2.800 ελαιόδεντρων, με 80 kg ιζήματος ανά δέντρο τον χρόνο.

Συμπεραίνεται ότι το ίζημα είναι κάτι αρκετά σημαντικό και πολύτιμο και θα μπορούσε να βρει χρήση στις γεωργικές καλλιέργειες. Και αν όχι για να καλύψει ολοκληρωτικά τις ανάγκες των φυτών σε θρεπτικά, για να βελτιώσει σε μεγάλο βαθμό την θρεπτική αξία του εδάφους.

Ως αναφορά την μείωση της ρύπανσης υπάρχουν αρκετές λύσεις που θα μπορούσαν να προταθούν, ώστε να επιτευχθεί μεγαλύτερη ισορροπία στο οικοσύστημα της λίμνης:

- Φύτευση όλης της γύρω περιοχής με ενδημικά φυτά για την εξυγίανση των εδαφών και την πρόσληψη θρεπτικών πριν αυτά καταλήξουν στο εσωτερικό της λίμνης. Κάτι τέτοιο με έναν σωστό έλεγχο θα βοηθούσε και την ορνιθοπανίδα, καθώς δημιουργεί περισσότερα σημεία κατάλληλα για το φώλιασμα τους.

- Απομάκρυνση των οικόσιτων πουλιών (πάπιες, χήνες).
- Συστάσεις για μείωση των λιπασμάτων στις περιοχές γύρω από την λίμνη και κυρίως στις εκτάσεις των αγροτικών φυλακών της Αγιάς.
- Έλεγχος της ευρύτερης περιοχής των Χανίων για την μείωση των ελεύθερων ζώων, για την μείωση της ρύπανσης των υπόγειων υδάτων στην υδρολογική λεκάνη φόρτισης του καρστικού.
- Έλεγχος και σταθεροποίηση της στάθμης της λίμνης, χειμώνα και καλοκαίρι.
- Η μη χρήση της λίμνης ως ταμιευτήρα άρδευσης κατά τους καλοκαιρινούς μήνες.

Τα παραπάνω μέτρα θα συντελέσουν στην ισορροπία και στην βιωσημότητα του υγροβιότοπου της λίμνης της Αγιάς.

Βιβλιογραφία

1. Σίνης Απόστολος Ι. (2005), «Λιμνολογία Θεωρία και ασκήσεις», University Studio Press.
2. Ζαχαρίας Ι., «Εισαγωγή στην Ωκεανογραφία και τη Λιμνολογία» (2005), Εκδόσεις Πανεπιστημίου Ιωαννίνων.
3. Κάγκαλου Ι., (1997): "Σημειώσεις Λιμνολογίας" ΤΕΙ Ηπείρου, Ηγουμενίτσα Καράταγλης Στ., 1992:"Φυσιολογία Φυτών" Εκδ. ART of TEXT, Θεσσαλονίκη.
4. MILLER TYLER G., (1998): "Living in the Environment: Principles, Connections and Solutions" Wadsworth Publishing Company, 10thed., USA.
5. Horne, A.J., C.R. Goldman, (1994): "Understanding Lake Ecology" - Lake Ecology Overview – Chapter 1, 2nd edition, McGraw-Hill Co, New York, USA.
6. Wool T.A., Ambrose R.B., Martin J.L., Comer E.A., (2004) Water Quality Analysis Simulation Program (WASP) Version 6.1 : User's Manual. U.S. Environmental Protection Agency, Athens, GA
7. Novotny, V. (2003). The next step – Incorporating diffuse pollution abatement into watershed management, Keynote presentation at the 7th International specialized conference on diffuse pollution and basin management, Dublin, Ireland
8. H.H.Heng (1996), Modeling of the Hydrochemical Response of a Watershed to Nitrogen Loadings, The University of Connecticut
9. Κ.Χατζημπίρος (2001), Οικολογία, Οικοσυστήματα και προστασία περιβάλλοντος, Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα, σελ. 93-100, σελ. 213-215

10. E.C.Krug, D.Winstanley (2002), The need for comprehensive and consistent treatment of the nitrogen cycle in nitrogen cycling and mass balance studies: I. Terrestrial nitrogen cycle, the Science of the Total Environment, Vol. 293, pp. 1-29
11. Sposito, G., I., (1984): The surface chemistry of soils. Oxford Univ. Press, New York
12. N.P.Nikolaidis, H.Hemg, R.Semagin, J.C.Clausen (1998), Non-linear response of a mixed land use watershed to nitrogen loading, Agriculture, Ecosystems and Environment, Vol. 67, pp. 251-265
13. Keeley JE, Zedler PH. (1996), Characterization and global distribution of vernal pools. Ecology, Conservation, and Management of Vernal Pool Ecosystems. California Native Plant Society,
14. J.H.O Keeffe, M.C.Uys (1997), Simple Words and Fuzzy Zones: Early Directions for Temporary River Research in South Africa, Environmental Management, Vol. 21, No. 4, pp. 517-531.
15. B.Z.Αντωνόπουλος (2001), Ποιότητα και Ρύπανση Υπογείων Νερών, Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη, σελ. 12-23.
16. Κ.Μύρκου (2001), Συγκεντρώσεις Νιτρικών στα Επιφανειακά Νερά της Ελλάδας και στο πόσιμο Νερό της Λέσβου, Διπλωματική Εργασία, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Τμήμα Περιβάλλοντος, Μυτιλήνη 2001.
17. Λέκκας, Δ., Θ. (1996): Περιβαλλοντική Μηχανική Ι, Διαχείριση Υδατικών Πόρων, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, τμήμα Περιβάλλοντος.

18. Tzoraki, O., and Nikolaidis N.P. (2007), A generalized framework for modeling the hydrologic and biogeochemical response of a Mediterranean temporary river basin. Journal of Hydrology, 346, 112-121
19. Dimitra Kitsiou, Michael Karydis (2010), Coastal marine eutrophication assessment: A review on data analysis
20. B.J. Nebel, R. Wright (1996), Envariomental Science
21. Δημαλέξης Α., Μ. Δρετάκης, Ν.Νικολακάκης, Χ. Φουρναράκη (2004), Report LIFE00ENV/GR/000686 –Περιγραφή της μεθόδου αξιολόγησης των υγροτοπικών λειτουργιών και την πιλοτική εφαρμογή της στις υδατοσυλλογές της Κρήτης.
22. LIFE95/GR/A22/GR/01143 (1998), Διαχειριστικό σχέδιο για τον υγρότοπο τη Αγιάς. ΟΑΔΥΚ, Πανεπιστήμιο Κρήτη, ΜΑΙΧ.
23. Νικόλαος Π. Νικολαΐδης, Γεώργιος Καρατζάς (2010), Ειδικό Σχέδιο Διαχείρισης των Υδατικών Πόρων για τις Λεκάνες Απορροής των Ποταμών Κερίτη-Θερίσου και Κοιλιάρη, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1

Πίνακες δεδομένων από την ανάλυση των δειγμάτων νερού.

Πίνακας 2 : Κανάλι 1

ΗΜ/ΝΙΑ ΔΕΙΓ/ΨΙΑΣ	pH	DO (mg/L)	Cond (mS/cm)	T (^oC)
1/12/2009	7,97	7,18	359	16,4
2/12/2009	7,07	5,90	650	12,6
27/1/2010	7,95	7,30	620	14,6
23/3/2010	7,74	7,80	367	18,6
22/6/2010	7,47	6,40	333	22,5
26/7/2010	7,72		330	22,1
7/9/2010	7,80	9,07	375	21,3
12/10/2010	7,79	8,95	339	19,0
27/12/2010	7,72	9,45	330	22,1
26/1/2011	7,80	9,07	375	21,3

Πίνακας 3: Κανάλι 1

ΗΜ/ΝΙΑ ΔΕΙΓ/ΨΙΑΣ	NO3 (mg/L)	NO2 (mg/L)	N-NH3 (mg/L)	PO4 (mg/L)	TKN (mg/L)
1/12/2009	1,442	0,023	0,035	0,047	1,875
2/12/2009	2,471	0,169	0,666	0,099	3,583
27/1/2010	4,059	0,028	0,071	0,042	2,396
23/3/2010	1,824	0,020	0,020	0,038	0,146
22/6/2010	0,529	0,020	0,022	0,047	2,500
26/7/2010	0,647	0,006	0,041	0,050	2,250
7/9/2010	0,882	0,009	0,047	0,055	3,479
12/10/2010	0,529	0,004	0,031	0,046	1,146
27/12/2010	0,412	0,006	0,063	0,056	2,854
26/1/2011	1,824	0,062	-	0,076	2,869

Πίνακας 4 : Κανάλι 2

ΗΜ/ΝΙΑ ΔΕΙΓ/ΨΙΑΣ	pH	DO (mg/L)	Cond (mS/cm)	T (^oC)
1/12/2009	7,13	5,80	672	16,3
2/12/2009	7,57	8,26	400	
27/1/2010	7,27	6,08	794	15,1
23/3/2010	7,20	5,29	619	18,9
22/6/2010	7,04	4,66	686	23,0
26/7/2010	7,07		689	23,2
7/9/2010	7,11	7,18	672	21,3
12/10/2010	7,10	7,55	689	21,6
27/12/2010	7,07	8,51	689	23,2
26/1/2011	7,11	7,18	672	21,3

Πίνακας 5: Κανάλι 2

ΗΜ/ΝΙΑ ΔΕΙΓ/ΨΙΑΣ	NO3 (mg/L)	NO2 (mg/L)	N-NH3 (mg/L)	PO4 (mg/L)	TKN (mg/L)
1/12/2009	3,647	0,023	0,050	0,151	2,063
2/12/2009	4,059	0,058	0,287	0,473	2,396
27/1/2010	3,941	0,039	0,081	0,085	1,750
23/3/2010	4,235	0,089	0,022	0,216	1,000
22/6/2010	2,176	0,017	0,029	0,210	2,813
26/7/2010	2,824	0,016	-	0,184	2,646
7/9/2010	4,353	0,030	0,088	0,198	7,396
12/10/2010	4,765	0,003	0,077	0,177	2,417
27/12/2010	3,824	0,007	0,077	0,188	1,604
26/1/2011	3,765	0,074	0,028	0,162	1,613

Πίνακας 6: Υπερχείλιση

HM/NIA ΔΕΙΓ/ΨΙΑΣ	pH	DO (mg/L)	Cond (mS/cm)	T (^oC)
1/12/2009	7,73	7,60	526	16,4
27/1/2010	7,54	6,90	667	14,5
23/3/2010	8,13	10,20	433	19,2
22/6/2010	7,16	5,36	567	23,1
26/7/2010	7,34		523	23,2
7/9/2010	7,68	8,34	526	21,9
12/10/2010	8,05	9,66	524	21,3
27/12/2010	7,34	9,50	523	23,2
26/1/2011	7,68	8,34	526	21,9

Πίνακας 7: Υπερχείλιση

HM/NIA ΔΕΙΓ/ΨΙΑΣ	NO3 (mg/L)	NO2 (mg/L)	N-NH3 (mg/L)	PO4 (mg/L)	TKN (mg/L)
1/12/2009	0,824	0,004	0,043	0,027	1,896
27/1/2010	3,588	0,026	0,126	0,055	1,333
23/3/2010	1,647	0,006	0,014	0,030	0,542
22/6/2010	0,588	0,026	0,037	0,065	5,396
26/7/2010	0,882	0,009	0,141	0,029	4,438
7/9/2010	0,941	0,014	0,222	0,062	3,625
12/10/2010	1,471	0,003	0,128	0,068	1,562
27/12/2010	1,412	0,006	0,108	0,046	3,125
26/1/2011	1,647	0,016	0,022	0,051	3,150

Πίνακες δεδομένων από την ανάλυση των δειγμάτων ιζήματος.

κανάλι 1							
		A		B	Γ	ΜΟ	STDEV
pH	7,35	7,30	7,42	7,47	7,42	7,39	0,07
cont (mS/cm)	2,53	2,25	2,32	1,97	1,58	2,13	0,37
NO3 (mg/Kg)	5,20	3,20	5,20	7,20	9,20	6,00	2,28
PO4 (mg/Kg)	15,14	8,75	9,06	16,96	4,19	10,82	5,19
C(TOC) %	7,22			7,22	7,49	7,31	0,16
Κοκομετρία	42,00	44,00	42,00				
2h		14,00					
TKN (mg/Kg)	4583,33	0,00	0,00	6000,00	6000,00	5527,78	817,91
TP (mg/Kg)	1390,50	0,00	0,00	1516,03	1288,14	1398,22	114,14

κανάλι 2							
		A		B	Γ	ΜΟ	STDEV
pH	7,45	7,34	7,28	7,48	7,80	7,47	0,20
cont (mS/cm)	1,95	2,38	2,16	2,10	0,76	1,87	0,64
NO3 (mg/Kg)	27,20	43,20	3,20	19,20	1,20	18,80	17,46
PO4 (mg/Kg)	51,00	48,88	60,12	47,36	11,79	43,83	18,58
C(TOC) %	6,62			6,87	7,88	7,12	0,67
Κοκομετρία	38,00	40,00	42,00				
2h		23,00					
TKN (mg/Kg)	3444,44	0,00	0,00	3597,22	3861,11	3634,26	210,79
TP (mg/Kg)	1482,23	0,00	0,00	1593,28	1631,90	1569,14	77,70

ΤΟΕΒ							
	A			B	Γ	ΜΟ	STDEV
pH	7,34	7,31	7,25	7,54	7,38	7,36	0,11
cont (mS/cm)	2,43	2,43	2,49	1,15	2,37	2,17	0,57
NO3 (mg/Kg)	3,20	5,20	19,20	43,20	15,20	17,20	16,00
PO4 (mg/Kg)	29,73	6,93	4,19	3,59	13,92	11,67	10,89
C(TOC) %	6,31				6,07	6,19	0,17
Κοκομετρία	40,00	42,00	45,00				
2h		26,00					
TKN (mg/Kg)	3444,44	0,00	0,00	3250,00	3569,44	3421,30	160,98
TP (mg/Kg)	1574,93	0,00	0,00	1593,28	1545,00	1571,07	24,37

ΥΠΕΡΧΕΙΛΙΣΗ							
	A			B	Γ	ΜΟ	STDEV
pH	7,40	7,44	7,37	7,44	7,50	7,43	0,05
cont (mS/cm)	1,68	1,63	1,90	1,37	1,59	1,63	0,19
NO3 (mg/Kg)	15,20	47,20	15,20	31,20	1,20	22,00	17,64
PO4 (mg/Kg)	20,61	26,08	30,33	23,34	20,00	24,07	4,25
C(TOC) %	6,46			6,78	6,86	6,70	0,21
Κοκομετρία	41,00	45,00	43,00				
2h		21,00					
TKN (mg/Kg)	4722,22	0,00	0,00	3666,67	3722,22	4037,04	594,04
TP (mg/Kg)	1639,63	0,00	0,00	1685,98	1554,65	1626,75	66,60

Πίνακες φορτίων

Πίνακας 8: Φορτία καναλιών

(kg/ day)	N-NO3	N-NO2	N-NH3	P-PO4	TKN	ORG -N
1/12/2009	11,883	0,077	0,165	0,490	6,885	6,71972
2/12/2009	13,359	0,212	1,021	1,529	8,216	7,19574
27/1/2010	13,230	0,130	0,269	0,277	5,967	5,69850
23/3/2010	13,823	0,288	0,072	0,695	3,219	3,14734
22/6/2010	7,040	0,058	0,098	0,678	9,380	9,28223
26/7/2010	9,127	0,052	0,006	0,597	8,808	8,80170
7/9/2010	14,053	0,096	0,290	0,640	24,184	23,89412
12/10/2010	15,314	0,009	0,250	0,574	7,904	7,65397
27/12/2010	12,287	0,022	0,255	0,611	5,572	5,31736
26/1/2011	12,319	0,245	0,088	0,530	5,601	5,51306

Πίνακας 9: Φορτία πηγών

(kg/ day)	N-NO3	N-NO2	N-NH3	P-PO4	TKN	ORG -N
1/12/2009	273,024	3,110	1,728	5,184	330,480	328,752
2/12/2009	273,024	3,110	1,728	5,184	330,480	328,752
27/1/2010	308,517	3,515	1,953	5,858	373,442	371,490
23/3/2010	364,487	4,152	2,307	6,921	441,191	438,884
22/6/2010	151,528	1,726	0,959	2,877	183,416	182,457
26/7/2010	79,177	0,902	0,501	1,503	95,839	95,338
7/9/2010	58,700	0,669	0,372	1,115	71,053	70,682
12/10/2010	288,040	3,281	1,823	5,469	348,656	346,833
27/12/2010	288,074	3,282	1,823	5,470	348,698	346,874
26/1/2011	363,824	4,145	2,303	6,908	440,388	438,086

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε.
ΓΕΝΙΚΗ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΥΠΕ
(ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ)
ΤΜΗΜΑ Β'

Αθήνα, 24 Ιανουαρίου 2007

Α.Π. οικ. 125585

Ταχ. Δ/νση : Λ. Αλεξάνδρας 11
Τ.Κ. : 11473
Πληροφορίες : Ε. Καργάκη
Τηλέφωνο : 210 6470824
F.A.X. : 210 6430625

ΠΡΟΣ: ΠΙΝΑΚΑ ΑΠΟΔΕΚΤΩΝ

ΚΟΙΝΗ ΑΠΟΦΑΣΗ
ΥΠ. ΠΕΧΩΔΕ - ΥΠ. ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ - ΥΠ. ΑΓΡΟΤΙΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ & ΤΡΟΦΙΜΩΝ

Θέμα : Έγκριση Περιβαλλοντικών Όρων για τη λειτουργία του έργου της ΔΕΗ Α.Ε.: «Υφιστάμενος Μικρός Υδροηλεκτρικός Σταθμός "Αγιάς"» στο Ν. Χανίων, Περιφέρειας Κρήτης.

Έχοντας υπόψη:

1. Το Ν. 998/79 «περί προστασίας των Δασών και των Δασικών εν γένει εκτάσεων της χώρας» (ΦΕΚ 289/Α/79), όπως τροποποιήθηκε με τον Ν. 2040/92 (ΦΕΚ 70/Α/92) «Ρύθμιση θεμάτων αρμοδιότητας Υπ. Γεωργίας και νομικών προσώπων εποπτείας του και άλλες διατάξεις»
2. Το Ν.1650/86 "για την προστασία του περιβάλλοντος" (ΦΕΚ 160/Α) όπως τροποποιήθηκε με τον Ν. 3010/2002 (ΦΕΚ 91/Α/25.4.2002).
3. Το Ν. 1739/87 για την «Διαχείριση των υδατικών πόρων και άλλες διατάξεις» (ΦΕΚ 201/Α/20.11.87).
4. Το Ν. 3010/2002 «Εναρμόνιση του Ν. 1650/1986 με τις Οδηγίες 97/11 Ε.Ε και 96/61 Ε.Ε., διαδικασία οριοθέτησης και ρυθμίσεις θεμάτων για τα υδατορέματα και άλλες διατάξεις» (ΦΕΚ 91/Α/25.4.2002).
5. Το Ν. 3028/2002 «Για την προστασία των Αρχαιοτήτων και εν γένει της Πολιτιστικής Κληρονομιάς» (ΦΕΚ 153/Α/28.6.2002).
6. Το Ν. 3017/2002 «Κύρωση του Πρωτοκόλλου του Κιότο στη Σύμβαση – Πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για την αλλαγή του κλίματος» (ΦΕΚ 117/Α/30.5.2002).
7. Το Ν. 3199/2003 για την «Προστασία και διαχείριση υδάτων» (ΦΕΚ 280/Α/9.12.2003).
8. Το Π.Δ 221/2.7.98 (ΦΕΚ 174/Α/98) για την «Σύσταση Ειδικής Υπηρεσίας Περιβάλλοντος (ΕΥΠΕ) στο Υπ. Περιβάλλοντος Χωροταξίας και Δημόσιων Έργων», όπως τροποποιήθηκε με το Π.Δ 269/7.8.2001 (ΦΕΚ 192/Α/27.8.2001).
9. Το Π.Δ 256/18.7.1998 (ΦΕΚ 190/Α/12.8.1998) «Συμπλήρωση του Π.Δ 541/1978 (Α' 116) Περί κατηγοριών Μελετών»

10. Την υπ' αρ. ΚΥΑ 33318/3028/11.12.1998 (ΦΕΚ 1289/Β/28.12.1998) «Καθορισμός μέτρων και διαδικασιών για τη διατήρηση των φυσικών οικοτόπων (ενδιαιτημάτων) καθώς και της άγριας πανίδας και χλωρίδας»

11. Την υπ' αρ. 15393/2332/5.8.2002 ΚΥΑ (ΦΕΚ 1022/Β/5.8.2002) «Κατάταξη δημοσίων και ιδιωτικών έργων και δραστηριοτήτων σε κατηγορίες κλπ.....»

12. Την υπ' αρ. ΚΥΑ 25535/3281/02 (ΦΕΚ 1463/Β/20.11.2002) «Έγκριση περιβαλλοντικών όρων από το Γενικό Γραμματέα της Περιφέρειας των έργων και δραστηριοτήτων που κατατάσσονται στην υποκατηγορία 2 της Α κατηγορίας .....»

13. Την Η.Π 11014/703/Φ104/2003 (ΦΕΚ 332/20.3.2003) «Διαδικασία Προκαταρκτικής Περιβαλλοντικής Εκτίμησης και Αξιολόγησης (ΠΠΕΑ) και Έγκρισης Περιβαλλοντικών Όρων (ΕΠΟ) ..... »

14. Την υπ. αρ. ΚΥΑ 1726/18.4.2003 (ΦΕΚ 552/Β/8.5.2003) που αφορά στην «Διαδικασία Προκαταρκτικής Περιβαλλοντικής Εκτίμησης και Αξιολόγησης, έγκρισης περιβαλλοντικών όρων καθώς και έγκρισης επέμβασης .....».

15. Την Η.Π ΚΥΑ 37111/2021/26.9.2003 (ΦΕΚ 1391/Β/29.9.2003) «Καθορισμός τρόπου ενημέρωσης και συμμετοχής του κοινού κατά την διαδικασία έγκρισης περιβαλλοντικών όρων των έργων και δραστηριοτήτων σύμφωνα με την παράγραφο 2 του άρθρου 5 του Ν. 1650/86 όπως αντικαταστάθηκε με τις παραγράφους 2 και 3 του άρθρου 3 του Ν. 3010/2002».

16. Η υπ' αρ. Δ6/Φ1/οικ.19500 (ΦΕΚ 1671/11-11-2004) τροποποίηση και συμπλήρωση της 13727/724/2003 ΚΥΑ ως προς την αντιστοίχιση των δραστηριοτήτων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με τους βαθμούς όχλησης που αναφέρονται στην πολεοδομική νομοθεσία.

17. Την Πράξη 5 της 27.2.2003 «Έγκριση Εθνικού Προγράμματος μείωσης εκπομπών αερίων φαινομένου θερμοκηπίου (2000 - 2010) σύμφωνα με το άρθρο 3 (παράγραφος 3) του Ν. 3017/2002 (ΦΕΚ Α 117)» (ΦΕΚ 58/Α/5.3.2003).

18. Την υπ' αρ. οικ. 122859/2-2-04 Εγκύκλιο του ΥΠΕΧΩΔΕ «Περιεχόμενο φακέλου για την εφαρμογή του άρθρου 13 της ΚΥΑ Η.Π. 11014/7033/14-3-03 (ΦΕΚ 332/Β/2003)».

19. Την υπ' αρ. Υ. 132 (ΦΕΚ 1533/14-10-04) απόφαση του Πρωθυπουργού και Υπουργού Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων Ε. Μπασιάκου, περί εκχώρησης αρμοδιοτήτων στον Υφυπουργό Αλ. Κοντό.

20. Η υπ. αρ. Δ5/Β/Φ1/οικ. 1085/24.1.2002 απόφαση της Δ/νσης Ηλεκτροπαραγωγής του Υπ. Ανάπτυξης που αφορά στους «όρους και περιορισμούς ενιαίας άδειας παραγωγής που χορηγείται στην Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού».

21. Τον υποβληθέντα στην αρμόδια Ειδική Υπηρεσία Περιβάλλοντος (ΕΥΠΕ) του ΥΠΕΧΩΔΕ φάκελο της ΜΠΕ, σύμφωνα με το άρθρο 8 της ΚΥΑ 1726/2003, με το υπ. αρ. 0280/31-5-05 έγγραφο της ΔΕΗ (αρ. πρ. ΥΠΕΧΩΔΕ/ΕΥΠΕ/ 144652/1-6-2005).

22. Το υπ. αρ. οικ. 145810/4-7-05 έγγραφο της ΕΥΠΕ του ΥΠΕΧΩΔΕ με το οποίο διαβιβάστηκε η μελέτη του έργου προς το Νομαρχιακό Συμβούλιο της Νομαρχιακής Αυτοδιοίκησης Χανίων, τη Δ/νση Χωροταξίας και το Τμήμα Διαχείρισης Φυσικού Περιβάλλοντος της Δ/νσης Περιβαλλοντικού Σχεδιασμού του ΥΠΕΧΩΔΕ, τη Δ/νση Αισθητικών Δασών Δρυμών και Θήρας του Υπ. Αγροτικής Ανάπτυξης & Τροφίμων, τη Δ/νση Ανανεώσιμων Πηγών & Εξοικονόμησης Ενέργειας του Υπ. Ανάπτυξης, τη Δ/νση Προϊστορικών και Κλασικών Αρχαιοτήτων, τη Δ/νση Βυζαντινών και Μεταβυζαντινών Μνημείων και τη Δ/νση Νεωτέρων Μνημείων του Υπ. Πολιτισμού, και το τμήμα

Διαχείρισης Υδατικών Πόρων της Δ/νσης Σχεδιασμού και Ανάπτυξης της Περιφέρειας Κρήτης, προκειμένου να εκφράσουν τις απόψεις τους και τυχόν παρατηρήσεις επί του περιεχομένου της ΜΠΕ.

23. Το υπ΄ αρ. 8210/5659/20-12-05 έγγραφο της Δ/νσης Πολεοδομίας και Π.Ε. της Ν. Α. Χανίων προς την ΕΥΠΕ (Α.Π. ΕΥΠΕ 151158/20-12-05) με αίτημα την επαναδιαβίβαση της μελέτης του έργου στο Νομαρχιακό Συμβούλιο της Ν.Α. Χανίων για την εφαρμογή της διαδικασίας δημοσιοποίησής της καθώς αυτή δεν είχε πραγματοποιηθεί μέχρι την ημερομηνία αυτή για διάφορους προβαλλόμενους λόγους.

24. Το υπ. αρ. οικ. 151348/29-12-05 έγγραφο της ΕΥΠΕ του ΥΠΕΧΩΔΕ με το οποίο επαναδιαβιβάστηκε η μελέτη του έργου προς το Νομαρχιακό Συμβούλιο της Νομαρχιακής Αυτοδιοίκησης Χανίων.

25. Το υπ΄ αρ. ΥΠΠΟ/ΔΝΣΑΚ/58407/1478/12-7-05 έγγραφο της Δ/νσης Νεώτερης και Σύγχρονης Αρχιτεκτονικής Κληρονομιάς του Υπ. Πολιτισμού προς την ΕΥΠΕ (Α.Π. ΥΠΕΧΩΔΕ/ΕΥΠΕ 146380/18-7-05), με τη θετική γνωμοδότησή της για το έργο.

26. Το υπ΄ αρ. 29549/25-7-05 έγγραφο της Δ/νσης Χωροταξίας του ΥΠΕΧΩΔΕ προς την ΕΥΠΕ (Α.Π. ΥΠΕΧΩΔΕ/ΕΥΠΕ 147056/9-8-05), με τη θετική γνωμοδότησή της για το έργο.

27. Το υπ΄ αρ. 100521/3478/8-8-05 έγγραφο της Δ/νσης Αισθητικών Δασών Δρυμών και Θήρας του Υπ. Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων (Α.Π. ΥΠΕΧΩΔΕ/ΕΥΠΕ 147339/18-8-05), με τη θετική υπό όρους γνωμοδότησή της για το έργο.

28. Το υπ΄ αρ. ΥΠΠΟ /ΓΔΑΠΚ/ΑΡΧ/Β1/Φ47/68936/3629/19-9-05 έγγραφο του Τμήματος Αρχαιολογικών Χώρων, Μνημείων και Αρχαιογνωστικής Έρευνας της Δ/νσης Βυζαντινών και Μεταβυζαντινών Αρχαιοτήτων του Υπ. Πολιτισμού προς την ΕΥΠΕ (Α.Π. ΥΠΕΧΩΔΕ/ΕΥΠΕ 148360/21-9-05), με τη θετική υπό όρους γνωμοδότησή του για το έργο.

29. Το υπ΄ αρ. 84/20-3-06 έγγραφο της Δ/νσης Υδάτων της Περιφέρειας Κρήτης προς την ΕΥΠΕ (Α.Π. ΥΠΕΧΩΔΕ/ΕΥΠΕ 102339/20-3-06 και 103121/12-4-06), με τη θετική υπό όρους γνωμοδότησή της για το έργο.

30. Το υπ΄ αρ. 225/1274/24-3-06 έγγραφο της Δ/νσης Πολεοδομίας και Π.Ε. της Ν.Α. Χανίων προς το Ν.Σ. και την ΕΥΠΕ (Α.Π. ΥΠΕΧΩΔΕ/ΕΥΠΕ 102829/3-4-06) με την θετική υπό όρους γνωμοδότησή της για το έργο.

31. Το υπ. αρ. 104/6-4-06 έγγραφο του Νομαρχιακού Συμβουλίου της Νομαρχιακής Αυτοδιοίκησης Χανίων με το οποίο διαβιβάστηκε προς την ΕΥΠΕ (Α.Π. ΥΠΕΧΩΔΕ/ΕΥΠΕ 103063/11-4-06) το υπ΄ αρ. 5° Πρακτικό του Νομαρχιακού Συμβουλίου με συνημμένη την υπ΄ αρ. 22 απόφαση του Ν.Σ. και την εισήγηση του Τμήματος Περιβάλλοντος της Δ/νσης Πολεοδομίας και Π.Ε. (30 σχετικό) στην οποία γνωμοδοτεί θετικά υπό όρους για το έργο.

32. Το υπ΄ αρ. 185794/1439/3-5-06 έγγραφο του Τμήματος Διαχείρισης Φυσικού Περιβάλλοντος της Δ/νσης Περιβαλλοντικού Σχεδιασμού του ΥΠΕΧΩΔΕ προς την ΕΥΠΕ (Α.Π. ΥΠΕΧΩΔΕ/ΕΥΠΕ 103662/4-5-06), με τη θετική υπό όρους γνωμοδότησή του για το έργο.

33. Το γεγονός ότι το υδροηλεκτρικό έργο έχει κατασκευαστεί και βρίσκεται σε λειτουργία από το 1928.

Αποφασίζουμε

Την έγκριση των κάτωθι περιβαλλοντικών όρων και περιορισμών, η εφαρμογή των οποίων βαρύνει τον φορέα λειτουργίας του έργου, για την λειτουργία του έργου: «Υφιστάμενος Μικρός Υδροηλεκτρικός Σταθμός "Αγιάς" της ΔΕΗ» στο Ν. Χανίων, Περιφέρειας Κρήτης.

α) Είδος και μέγεθος δραστηριότητας

Το έργο αφορά τη λειτουργία του υφιστάμενου Μικρού Υδροηλεκτρικού Σταθμού "Αγιάς", 1χιλμ. νοτιοδυτικά της κοινότητας Αγιάς και 9χλμ. δυτικά της πόλης των Χανίων. Η κατασκευή του έργου ξεκίνησε το 1924, η δε έναρξη λειτουργίας του το 1928, με σκοπό εκείνη την εποχή την ηλεκτροδότηση της πόλης των Χανίων. Οι εγκαταστάσεις του ΥΗΣ αποτελούνται από ένα μικρό φράγμα στην περιοχή Αγιάς εξαιτίας του οποίου έχει σχηματιστεί η ομώνυμη τεχνητή λίμνη, από τον αγωγό υδροληψίας και προσαγωγής του νερού και από το Σταθμό ηλεκτροπαραγωγής στα κατάντη της λίμνης και σε απόσταση 500μ περίπου από το φράγμα. Η τεχνητή λίμνη συγκεντρώνει τις απορροές των πηγών Αγιάς τα νερά της οποίας τροφοδοτούν τον ομώνυμο ΥΗΣ. Η παραγωγή ενέργειας επιτυγχάνεται μέσω 3 μονάδων παραγωγής, ισχύος 300kw έκαστη (εκ των οποίων σήμερα μόνο η μία είναι ενεργή) μέσω της πτώσης του νερού από ωφέλιμο ύψος 10μ. Το νερό ύστερα από τη χρήση του για ηλεκτροπαραγωγή, επιστρέφει στην κοίτη του ρέματος Κερίτη, για να καταλήξει στις εκβολές του στην παραλία Πλατανιά.

Το Υδροηλεκτρικό έργο αποτελείται από:

- Τεχνητή λίμνη έκτασης 183.520 $μ^2$ περίπου με μέσο βάθος 3μ περίπου. Βάθος στη θέση του φράγματος 5μ περίπου.
- φράγμα μήκους 420μ περίπου και ύψους 5μ, κατασκευασμένο από αργιλικά υλικά. Στην ανάντη πλευρά του φέρει πλάκα από σκυρόδεμα για την στεγανοποίηση του πρανούς του αναχώματος. Η στέψη του έχει πλάτος 3,5μ και απόλυτο υψόμετρο +44,5 έως +44,7μ και η βάση του βρίσκεται σε υψόμετρο +39,7μ.
- υπερχειλιστή από σκυρόδεμα, κλιμακωτό τριών επιπέδων και διαστάσεων (25×25)μ στο νότιο άκρο του φράγματος με υψόμετρο στέψης στο +43,0μ.
- κλείδα απορροής για την εκκένωση της λίμνης από αγωγό με ελαφριά κλίση σε απόσταση 120μ περίπου από τον υπερχειλιστή, ο οποίος έχει έξοδο αμέσως μετά το φράγμα σε υψόμετρο +40,0μ.
- "ιρλανδική" διάβαση, δηλαδή ταπείνωση του επιπέδου της στέψης του φράγματος κατά 20εκ. (υψόμετρο +44,3μ) και σε μήκος 60μ. περίπου, η οποία μπορεί να λειτουργήσει ως δευτερεύων υπερχειλιστής σε περίπτωση πλημμύρας.
- υδροληψία στο μέσο περίπου του φράγματος όπου βρίσκεται η είσοδος του αγωγού προσαγωγής
- Αγωγό προσαγωγής ο οποίος κινείται κατάντη του φράγματος του ταμιευτήρα σχεδόν παράλληλα με την οδό προσπέλασης και καταλήγει στο σταθμό παραγωγής σε απόσταση περίπου 500μ. Η συνολική έκταση εμβαδού 8.630$μ^2$ κατά μήκος του αγωγού προσαγωγής είναι ιδιοκτησία της ΔΕΗ.
- Κτίριο Υδροηλεκτρικού Σταθμού (ΥΗΣ) σε απόσταση 500μ κατάντη του φράγματος της λίμνης. Στο σταθμό βρίσκονται τρεις εγκατεστημένες γεννήτριες παραγωγικής ισχύος 300KW έκαστη, εκ των οποίων η μία μόνο λειτουργεί σήμερα.
- υπερυψωμένη δεξαμενή από σκυρόδεμα πάνω από τους στροβίλους των ηλεκτροπαραγωγικών μονάδων, η οποία τροφοδοτείται από το νερό της λίμνης που μεταφέρεται μέσω του αγωγού προσαγωγής. Το νερό καταλήγει στους στροβίλους του ΥΗΣ με πτώση. Η στάθμη του νερού στη δεξαμενή βρίσκεται σχεδόν στο ίδιο υψομετρικό επίπεδο με την λίμνη και 10μ ψηλότερα από τη στάθμη της ελεύθερης επιφάνειας του νερού στην κεφαλή της διώρυγας απαγωγής του νερού κατάντη του ΥΗΣ.
- Ισόγεια οικία φύλαξης και αποθήκευσης η οποία μαζί με το κτίριο του ΥΗΣ και της δεξαμενής εντάσσεται σε γήπεδο της ΔΕΗ για το έργο του ΥΗΣ έκτασης 8.070$μ^2$.
- Διώρυγα απαγωγής του νερού κατάντη του σταθμού μήκους 500μ περίπου μέσω της οποίας το νερό καταλήγει στην φυσική χειμαρρική κοίτη του ρέματος Κερίτη. Η έκταση της διώρυγας συνολικού εμβαδού 34.365$μ^2$ περίπου, έχει αποκτήσει πλέον έντονη βλάστηση και φυσική εμφάνιση και αποτελεί έκταση της ΔΕΗ.
- Διώρυγα εμπλουτισμού της λίμνης μήκους 2,7χλμ, η οποία παλαιότερα οδηγούσε τις απορροές του ρέματος Κερίτη στον ταμιευτήρα και η οποία σήμερα έχει

Αν αποφασίσουμε να κάνουμε κάτι.

επιχωματωθεί. Η έκταση της διώρυγας συνολικού εμβαδού 55,7στρεμάτων αποτελεί ιδιοκτησία της ΔΕΗ.

Η παρούσα δεν αφορά στα έργα που προτείνονται στην ΜΠΕ για την ανάπλαση και αξιοποίηση των εγκαταστάσεων του ΥΗΣ για την επισκεψιμότητα, προστασία, και αναβάθμιση της λίμνης (κεφ 6.6.1 και 6.6.2). Για την περιβαλλοντική αδειοδότηση των έργων αυτών, απαιτείται να υποβληθεί από το φορέα του έργου στην ΕΥΠΕ, φάκελος ο οποίος θα περιέχει τα δικαιολογητικά που απαιτούνται για την εφαρμογή της διαδικασίας του άρθρου 13 της ΚΥΑ Η.Π. 11014/7033/14.3.03 (ΦΕΚ 332Β/2003).

Το έργο περιγράφεται αναλυτικά στη ΜΠΕ (κείμενο - σχέδια) που συνοδεύουν την παρούσα Απόφαση, με τους όρους και περιορισμούς που τίθενται σε αυτή.

$β_1$) <u>Ειδικές οριακές τιμές εκπομπής ρυπαντικών φορτίων σύμφωνα με τις ισχύουσες διατάξεις</u>

Υγρά: Η χρησιμοποιούμενη για ηλεκτροπαραγωγή ποσότητα νερού, πρέπει να επιστρέφει στην κοίτη <u>χωρίς μεταβολή</u> της ποιότητάς της.

$β_2$) <u>Μέγιστες επιτρεπόμενες συγκεντρώσεις ρυπαντικών φορτίων στους αποδέκτες σύμφωνα με τις ισχύουσες διατάξεις</u>

Για την ποιότητα των νερών τηρούνται τα αναφερόμενα στις εκάστοτε ισχύουσες Νομαρχιακές Αποφάσεις.

γ) <u>Ειδικές οριακές τιμές στάθμης θορύβου και δονήσεων σύμφωνα με τις ισχύουσες διατάξεις.</u>

Το επιτρεπόμενο όριο θορύβου που εκπέμπεται στο περιβάλλον από την λειτουργία του υδροηλεκτρικού σταθμού καθορίζεται στο Π.Δ.1180 (ΦΕΚ 293/Α/1981).

δ) <u>Τεχνικά έργα και μέτρα αντιρρύπανσης ή γενικότερα αντιμετώπισης της υποβάθμισης του περιβάλλοντος που επιβάλλεται να κατασκευασθούν ή ληφθούν:</u>

1.1 Οι παρακάτω όροι οι οποίοι είναι υποχρεωτικοί στην τήρησή τους αφορούν:
- στον φορέα λειτουργίας του έργου
- στους αρμόδιους για τον έλεγχο και την παρακολούθηση του έργου και την διαχείριση της λίμνης, Υπηρεσίες και Φορείς
- στους προϊσταμένους των παραπάνω Υπηρεσιών, οι οποίοι οφείλουν να μεριμνούν για την εφαρμογή τους και να ελέγχουν την πιστή τήρησή τους
- σε όλους όσους εκ της θέσεως και των αρμοδιοτήτων τους είναι υπεύθυνοι για όλες τις διαδικασίες που αφορούν στη λειτουργία του ΥΗΣ και τη διαχείριση της λίμνης.

1.2 Κατά την λειτουργία του έργου, να γίνουν όλες οι απαιτούμενες ενέργειες και να ληφθούν όλα τα απαραίτητα μέτρα, έτσι ώστε να εξασφαλίζεται:
- η πιστή τήρηση των περιβαλλοντικών όρων
- η δυνατότητα αντιμετώπισης και αποκατάστασης δυσάρεστων περιβαλλοντικά καταστάσεων οφειλομένων σε ενέργειες ή παραλείψεις του φορέα λειτουργίας κατά παράβαση των περιβαλλοντικών όρων.

1.3 Κατά την λειτουργία των έργων, να εξασφαλίζονται πρωτίστως οι δαπάνες και να κατασκευάζονται κατά προτεραιότητα τα έργα προστασίας, διαχείρισης, αναβάθμισης και αποκατάστασης του περιβάλλοντος. Το κόστος εφαρμογής των περιβαλλοντικών όρων για τις εργασίες αυτές να συμπεριλαμβάνεται στον προϋπολογισμό των εργασιών αυτών.

2. Η περιβαλλοντική αδειοδότηση των τυχόν πάσης φύσεως συνοδών έργων δραστηριοτήτων που αφορούν στη λειτουργία του κυρίως έργου, που δεν καλύπτονται από την παρούσα μελέτη, γίνεται από την ΕΥΠΕ του ΥΠΕΧΩΔΕ.

*3. Για οποιαδήποτε μελλοντική επέμβαση στη θέση του έργου και του περιβάλλοντος χώρου, θα πρέπει να ειδοποιούνται από το φορέα του έργου εγγράφως και εγκαίρως (τουλάχιστον 10 ημέρες νωρίτερα) οι αρμόδιες Αρχαιολογικές Υπηρεσίες του Υπ. Πολιτισμού (ΚΕ' ΕΠΚΑ, 28η ΕΒΑ, Εφορεία Εναλίων Αρχαιοτήτων). Όλες οι εκσκαφικές εργασίες θα γίνουν υπό την άμεση επίβλεψη της 28ης ΕΒΑ και της ΚΕ' ΕΠΚΑ ή υπαλλήλου που θα προσληφθεί καθ' υπόδειξη της Αρχαιολογικής Υπηρεσίας, θα αμείβεται από το φορέα του έργου και θα ελέγχεται όσον αφορά στον τρόπο εργασίας του αποκλειστικά από τις Συναρμόδιες εφορείες.

4. Σε περίπτωση εντοπισμού αρχαιοτήτων κατά τη διάρκεια οποιασδήποτε μελλοντικής επέμβασης, οι εργασίες να διακοπούν και σύμφωνα με τις διατάξεις των άρθρων 8 και 97 του Ν. 3028/28.6.2002 να επακολουθήσει σωστική ανασκαφική έρευνα, από τα αποτελέσματα της οποίας θα εξαρτηθεί η συνέχιση τους, μετά από γνωμοδότηση των αρμοδίων οργάνων του Υπ. Πολιτισμού. Η δαπάνη όλων των εργασιών που θα εκτελεστούν από τις συναρμόδιες εφορείες (παρακολούθηση των εργασιών για τις απαιτούμενες ανασκαπτικές εργασίες), καθώς και το κόστος συντήρησης, μελέτης και δημοσίευσης των ευρημάτων, θα βαρύνει τον προϋπολογισμό του έργου σύμφωνα με τα προβλεπόμενα στο άρθρο 37 και 6 του Ν. 3028/2002.

5. Στην περίπτωση που προκύψουν αλλαγές στη μελέτη του έργου ή κατά τη διάρκεια εκτέλεσής του, αυτές θα κατατεθούν άμεσα στο ΥΠΠΟ προκειμένου να γνωμοδοτήσει εκ νέου. Η οριστική μελέτη να υποβληθεί στην Εφορεία Εναλίων Αρχαιοτήτων προς έλεγχο.

6. Πριν από την έναρξη των εργασιών κατασκευής σε μελλοντικές επεμβάσεις θα πρέπει να εξεταστεί από την αρμόδια τοπική Δασική Υπηρεσία, ο χαρακτήρας της έκτασης, καθώς και η δυνατότητα έγκρισης επέμβασης εφ' όσον πρόκειται για έκταση υπαγόμενη στις διατάξεις της δασικής νομοθεσίας.

7. Για οποιαδήποτε μελλοντική επέμβαση σε εκτάσεις με δασικό χαρακτήρα, θα πρέπει προηγουμένως να ζητηθεί και να έχει εκδοθεί η σχετική απόφαση έγκρισης επέμβασης, από το αρμόδιο όργανο, σύμφωνα με τους όρους, τις προϋποθέσεις και τη διαδικασία που προβλέπονται από την κείμενη δασική νομοθεσία.

8. Οι εκσκαφές και οι άλλες εργασίες που πιθανόν να γίνονται στο εξής σε μελλοντικές επεμβάσεις βελτίωσης ή συντήρησης του έργου, να γίνονται με ιδιαίτερη προσοχή ώστε να περιοριστούν οι εκχερσώσεις στις απολύτως αναγκαίες και να αποφευχθούν οι άστοχες αποψιλώσεις βλάστησης. Να ακολουθήσει σύνταξη ειδικής δασοτεχνικής μελέτης σύμφωνα με το άρθρο 16 του Ν. 998/79 για την αποκατάσταση της δασικής βλάστησης και τη βελτίωση της αισθητικής του τοπίου από τις επεμβάσεις. Τα είδη που θα χρησιμοποιηθούν να είναι αυτόχθονα, ανήκοντα στη βλαστητική φυσιογνωμία της περιοχής.

9. Να διερευνηθεί από την κατά τόπο αρμόδια δασική υπηρεσία η σκοπιμότητα ίδρυσης καταφυγίου άγριας ζωής στην ευρύτερη των εγκαταστάσεων περιοχή.

*10. Κατά τη λειτουργία του έργου πρέπει να λαμβάνονται όλα τα μέτρα πυροπροστασίας για την αντιμετώπιση τυχόν πυρκαγιάς και για την ελαχιστοποίηση του κινδύνου μετάδοσης της σε παρακείμενες περιοχές. Επίσης για την καλύτερη αντιπυρική προστασία να γίνεται προληπτικά αποψίλωση της ξηρής βλάστησης στον περιβάλλοντα χώρο. Ο τρόπος οργάνωσης της αντιπυρικής προστασίας να ελεγχθεί και να εγκριθεί από την αρμόδια Πυροσβεστική Υπηρεσία.

11 Για τη λειτουργία του υφιστάμενου έργου και για τυχόν μελλοντικές επεμβάσεις που θα απαιτηθούν, αυτές να είναι οι ηπιότερες δυνατές και να εναρμονίζονται πλήρως με τον τοπικό χαρακτήρα.

12 Η εποχή υλοποίησης όλων των μελλοντικών επεμβάσεων θα πρέπει να επιλεγεί και με κριτήριο την ελαχιστοποίηση της όχλησης της ορνιθοπανίδας στην άμεση περιοχή εκτέλεσης του έργου.

13 Ο φορέας εκμετάλλευσης και λειτουργίας του έργου οφείλει να φροντίζει για τη λειτουργία των εγκαταστάσεων, την απομάκρυνση των απορριμμάτων και τη διατήρηση της καθαριότητας των χώρων του έργου με την εφαρμογή συστηματικού προγράμματος καθαρισμού του ταμιευτήρα και των γύρω χώρων από τα μικροαπορρίμματα τα οποία θα συγκεντρώνονται σε κάδους και θα υφίστανται διαχείριση από το Δήμο Θερίσου. Τα τυχόν αστικά λύματα να συλλέγονται σε στεγανούς βόθρους και να διατίθενται σε νόμιμα υφιστάμενο χώρο Εγκατάστασης Επεξεργασίας Λυμάτων.

14 Απαγορεύεται οποιαδήποτε διάθεση στερεών και υγρών αποβλήτων σε θέσεις που πιθανόν να επηρεάσουν την ποιότητα των υδάτων.

15 Απαγορεύεται σε κάθε περίπτωση μελλοντικής επέμβασης η εναπόθεση προϊόντων εκσκαφής σε ρέματα και χείμαρρους προκειμένου να εξασφαλισθεί η ελεύθερη ροή των υδάτων, σε δασικού χαρακτήρα εκτάσεις καθώς και σε προστατευόμενες περιοχές.

16 Απαγορεύεται σε κάθε περίπτωση μελλοντικής επέμβασης έστω και προσωρινά η εναπόθεση υλικών σε θέσεις όπου πιθανόν να επηρεασθεί η ποιότητα των υδάτων, καθώς και σε λίμνες, ποταμούς, ρέματα, χείμαρρους, υδρευτικές και αρδευτικές τάφρους, δεξαμενές νερού.

17 Κάθε είδους απορρίμματα, άχρηστα υλικά, παλιά ανταλλακτικά και μηχανήματα, λάδια, κλπ να συλλέγονται και να απομακρύνονται από το χώρο του έργου, η δε διάθεση τους να γίνεται σύμφωνα με τις ισχύουσες υγειονομικές διατάξεις. Απαγορεύεται η κάθε μορφής καύση υλικών (λάστιχα, λάδια κλπ) στην περιοχή του έργου, καθώς και η αποθήκευση στερεών βιομηχανικών αποβλήτων ή/και απορριμμάτων σε κοινόχρηστους χώρους.

18. Απαγορεύεται η ρύπανση των επιφανειακών και υπογείων νερών, από κάθε είδους ορυκτέλαια, πετρελαιοειδή κλπ. Ομοίως απαγορεύεται η απόρριψη χρησιμοποιημένων ορυκτελαίων επί του εδάφους. Τα χρησιμοποιημένα ορυκτέλαια ή τυχόν διαρροές τους να συγκεντρώνονται και να διατίθενται σύμφωνα με τις διατάξεις των ΚΥΑ 72751/3054/85 (ΦΕΚ 665/Β) και το Π.Δ. 82/2004 (ΦΕΚ 64/Β). Στο σταθμό ηλεκτροπαραγωγής πρέπει να τηρείται ημερολόγιο με αριθμημένες σελίδες και προσφραγισμένο από την αρμόδια Νομαρχιακή Υπηρεσία της ΝΑ Χανίων, στο οποίο να καταγράφεται η ημερομηνία αγοράς του ελαίου/λιπαντικού, η ποσότητά του, ο λόγος και η ποσότητα της απόσυρσης και ο τρόπος διάθεσής του. Σε αυτό το ημερολόγιο, να σημειώνονται και τα περιστατικά διαρροών, η διαρρεύσασα ποσότητα, το είδος του ελαίου/λιπαντικού και ο τρόπος αντιμετώπισης της διαρροής.

19. Τα προς χρήση αλλά και τα χρησιμοποιημένα ορυκτέλαια να φυλάσσονται σε κλειστά δοχεία σε στεγασμένο χώρο. Για οποιαδήποτε διάταξη, η οποία δύναται να παρουσιάσει διαρροή, θα πρέπει να προβλέπεται κατάλληλη στεγανή δεξαμενή που να συγκεντρώνει τις τυχόν διαρρέουσες ποσότητες. Ειδικότερα για την αποφυγή ρύπανσης από ενδεχόμενη διαρροή του ελαίου ψύξης του μετασχηματιστή, αυτή θα πρέπει να συλλέγεται εντός στεγανής λεκάνης υποκείμενης του μετασχηματιστή και χωρητικότητας μεγαλύτερης του όγκου του χρησιμοποιούμενου ελαίου ψύξης.

Ομοίως για λόγους προστασίας περιβάλλοντος, το χρησιμοποιούμενο υδραυλικό έλαιο να μην περιέχει πολυχλωριωμένες ενώσεις.

20. Απαγορεύεται η χρήση επικίνδυνων ουσιών (PCBs, τοξικές ουσίες κλπ).

21. Σε καθημερινή βάση να ελέγχεται η καλή λειτουργική κατάσταση του έργου (σύστημα ηλεκτροπαραγωγής κλπ). Ο φορέας λειτουργίας / εκμετάλλευσης του ΥΗΣ πρέπει να επιλαμβάνεται αμέσως των βλαβών, ιδίως όταν προκύπτει απώλεια ή/και ρύπανση νερού. Στις περιπτώσεις αυτές πρέπει να ενημερώνεται αμέσως η αρμόδια Νομαρχιακή Υπηρεσία Περιβάλλοντος. Σχετική ενημέρωση της ανωτέρω Υπηρεσίας επιβάλλεται και μετά την αποκατάσταση της βλάβης.

22. Για τον ασφαλέστερο έλεγχο της ποιότητας του νερού ύδρευσης, να κατασκευαστούν σε κατάλληλες θέσεις, από τους φορείς εκμετάλλευσης νερού για ύδρευση, φρεάτια δειγματοληψίας.

23. Με ευθύνη και χρηματοδότηση του φορέα λειτουργίας του έργου να εκπονηθεί εντός έτους από την έγκριση της παρούσας, "Μελέτη διάδοσης πλημμυρικού κύματος από αστοχία του φράγματος", η οποία θα διαβιβαστεί στην αρμόδια Υπηρεσία της Ν.Α. Χανίων προκειμένου να ενταχθεί στο σχεδιασμό Έκτακτης Ανάγκης του Νομού ("Σχέδιο Ξενοκράτης"). Έγινε

24. Κάθε είδους τροποποίηση ή επέμβαση σε υφιστάμενο έργο υποδομής να γίνεται σε συνεργασία με τους αρμόδιους φορείς, ώστε να εξασφαλίζεται η ικανοποιητική λειτουργία του.

25. Να εξασφαλίζονται οι μέχρι σήμερα υφιστάμενες νόμιμες χρήσεις νερού.

26. Οι φορείς που εκμεταλλεύονται το νερό της λίμνης οφείλουν να προμηθευτούν από την αρμόδια Υπηρεσία, άδεια χρήσης νερού, όπως προβλέπεται από το άρθρο 1 της υπ' αρ. 43504 ΚΥΑ (ΦΕΚ 1784/20-12-05), σχετική με τις κατηγορίες αδειών χρήσης υδάτων και εκτέλεσης έργου αξιοποίησής τους, διαδικασία έκδοσης, περιεχόμενο και διάρκεια ισχύος αυτών.

Υπάρχει αίτηση ~ 500...

27. Να εξασφαλιστεί κατά προτεραιότητα κατάντη του φράγματος Αγιάς (σε ποσοστό τουλάχιστον 95-97% ≥ του έτους) παροχή τουλάχιστον ίση με 0,3 m^3/sec κατά το διάστημα από 1η Νοεμβρίου έως και 31η Μαΐου και παροχή τουλάχιστον ίση με 0,1 m^3/sec κατά το διάστημα από 1η Ιουνίου έως και 31η Οκτωβρίου, με σκοπό τη διασφάλιση του οικοσυστήματος κατάντη του φράγματος της Αγιάς. Με συστηματικές μετρήσεις σε ημερήσια βάση να καταγράφονται σε θεωρημένο από τη ΝΑ βιβλίο, οι παροχές του ποταμού στο σημείο του φράγματος Αγιάς, η οικολογική παροχή που αφήνεται κατάντη καθώς και οι ποσότητες νερού που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Οι μετρήσεις αυτές θα πρέπει να διαβιβάζονται στην αρμόδια Δ/νση Υδάτων της Περιφέρειας σε ετήσια βάση.

28. Κατά τη διάρκεια της καλοκαιρινής περιόδου να δίδεται προτεραιότητα στις απαιτήσεις των αυξημένων υδρευτικών και αρδευτικών αναγκών, καθώς επίσης και στη διασφάλιση της οικολογικής παροχής ακόμα και στην περίπτωση που οι παραπάνω χρήσεις νερού αναστέλλουν τη λειτουργία του ΥΗΣ.

29. Σε περίπτωση που οι υδρευτικές και αρδευτικές ανάγκες δεν καλύπτονται από τα διαθέσιμα νερά, όταν ο ΥΗΣ δεν λειτουργεί (κατά τους θερινούς μήνες) για να μην παρατηρηθούν μόνιμες βλάβες στα κατάντη οικοσυστήματα, θα γίνεται περιορισμός των αρδευόμενων εκτάσεων και σε καμία περίπτωση δεν θα χρησιμοποιείται η οικολογική παροχή για άλλες χρήσεις. Για την προβλεπόμενη διακοπή της λειτουργίας του ΥΗΣ Αγιάς κατά τους θερινούς μήνες, καθώς και πριν την

επανεκκίνησή του, ο φορέας του έργου να ενημερώνει τις αρμόδιες υπηρεσίες της Ν.Α. Χανίων, αναφέροντας την αντίστοιχη στάθμη του νερού της λίμνης.

30. Να διατηρείται κατά το δυνατόν ο ωφέλιμος όγκος της λιμνοδεξαμενής καθ' όλη τη διάρκεια του έτους για λόγους εξυπηρέτησης των υφιστάμενων χρήσεων και κυρίως για λόγους διατήρησης της οικολογικής ισορροπίας και ευρωστίας των πληθυσμών πανίδας.

31. Σε έντονα ξηρές περιόδους η διαχείριση της διανομής και κατανάλωσης των υδατικών πόρων του ταμιευτήρα θα πρέπει να εξασφαλίζει τη διατήρηση νερού τουλάχιστον στα βαθύτερα σημεία της λίμνης, ώστε να μην διαταράσσεται η ισορροπία της μικροπανίδας.

32. Να γίνονται τακτικές εργασίες συντήρησης και καθαρισμού του ταμιευτήρα από τον φορέα του έργου για την εύρυθμη παροχετευτικότητα των υδάτων και την αποφυγή πρόκλησης σημαντικού ατυχήματος από υπερχείλιση σε περίπτωση πλημμύρας (π.χ. καθαρισμός εκκενωτών πυθμένα, συντήρηση και καθαρισμός μηχανολογικού εξοπλισμού, αποσυμφόρηση εσχάρας απόληψης κλπ)

33. Στην περίπτωση ανάγκης τέλεσης εργασιών συντήρησης σε σημεία του τεχνικού έργου που βρίσκονται κάτω από την επιφάνεια του νερού, να διερευνώνται πιθανοί τρόποι πραγματοποίησής τους, χωρίς τεχνητή ταπείνωση της στάθμης της λίμνης.

34. Στην περίπτωση έκτακτης ανάγκης ή όταν η πραγματοποίηση του όρου 33 δεν είναι εφικτή επιτρέπεται κατ' εξαίρεση η ταπείνωση της στάθμης, υπό την αυστηρή τήρηση των κάτωθι προϋποθέσεων:

34.α Την ελαχιστοποίηση του χρόνου διάρκειας της τεχνητής ταπείνωσης της στάθμης, αφού προηγηθεί λεπτομερής προγραμματισμός του έργου της επέμβασης και η εξασφάλιση όλων των αναγκαίων τεχνικών μέσων και προσωπικού.

34.β Τον προγραμματισμό της περιόδου επέμβασης ώστε αυτή να συμπίπτει με την βέλτιστη περίοδο εκτέλεσης εργασιών (του μήνα Οκτωβρίου) κατά την οποία η παρουσία της ορνιθοπανίδας στον ταμιευτήρα είναι η ελάχιστη δυνατή και δε λαμβάνει χώρα κάποια ευαίσθητη φάση του βιολογικού κύκλου των πουλιών. Εξαιρούνται οι περιπτώσεις εκτάκτου ανάγκης.

34.γ Την προηγούμενη έγγραφη ενημέρωση της Ν.Α. Χανίων και του ΤΔΦΠ του ΥΠΕΧΩΔΕ από το φορέα του έργου, για τυχόν προγραμματιζόμενη ταπείνωση της στάθμης της λίμνης, τουλάχιστον 7 μέρες πριν την επέμβαση. Στο έγγραφο θα πρέπει να περιγράφεται επακριβώς ο χαρακτήρας των απαιτούμενων εργασιών και να αιτιολογείται επαρκώς η μη δυνατότητα, από τεχνικής άποψης, επέμβασης άνευ ταπείνωσης της στάθμης.

34.δ Την άμεση ενημέρωση της Ν.Α. Χανίων και της αρμόδιας Δ/νσης Υδάτων της Περιφέρειας καθώς και του ΤΔΦΠ του ΥΠΕΧΩΔΕ, από τον φορέα του έργου, σε περίπτωση που επιβάλλεται επέμβαση για λόγους ανωτέρας βίας ή εκτάκτου ανάγκης (απρόβλεπτη βλάβη στην υδροληψία, στο σώμα του φράγματος, κλπ) για το είδος και τον τρόπο επέμβασης, με επαρκή αιτιολόγησή τους.

34.ε Την προτεραιότητα στην αποκατάσταση της στάθμης έναντι άλλων υδατικών απαιτήσεων (πχ άρδευση) στην προσπάθεια επαναπλήρωσης της λίμνης στο ελάχιστο χρονικό διάστημα. Οι αρμόδιοι φορείς να ενημερώνουν τους καταναλωτές – φορείς εκμετάλλευσης υδάτων της λίμνης.

35. Να εφαρμόζεται ένας συστηματικός και ορθολογικός τρόπος διαχείρισης και κοπής της βλάστησης του ταμιευτήρα. Πιο συγκεκριμένα:

επανεκκίνησή του, ο φορέας του έργου να ενημερώνει τις αρμόδιες υπηρεσίες της Ν.Α. Χανίων, αναφέροντας την αντίστοιχη στάθμη του νερού της λίμνης.

30. Να διατηρείται κατά το δυνατόν ο ωφέλιμος όγκος της λιμνοδεξαμενής καθ' όλη τη διάρκεια του έτους για λόγους εξυπηρέτησης των υφιστάμενων χρήσεων και κυρίως για λόγους διατήρησης της οικολογικής ισορροπίας και ευρωστίας των πληθυσμών πανίδας.

31. Σε έντονα ξηρές περιόδους η διαχείριση της διανομής και κατανάλωσης των υδατικών πόρων του ταμιευτήρα θα πρέπει να εξασφαλίζει τη διατήρηση νερού τουλάχιστον στα βαθύτερα σημεία της λίμνης, ώστε να μην διαταράσσεται η ισορροπία της μικροπανίδας.

32. Να γίνονται τακτικές εργασίες συντήρησης και καθαρισμού του ταμιευτήρα από τον φορέα του έργου για την εύρυθμη παροχετευτικότητα των υδάτων και την αποφυγή πρόκλησης σημαντικού ατυχήματος από υπερχείλιση σε περίπτωση πλημμύρας (π.χ. καθαρισμός εκκενωτών πυθμένα, συντήρηση και καθαρισμός μηχανολογικού εξοπλισμού, αποσυμφόρηση εσχάρας απόληψης κλπ).

33. Στην περίπτωση ανάγκης τέλεσης εργασιών συντήρησης σε σημεία του τεχνικού έργου που βρίσκονται κάτω από την επιφάνεια του νερού, να διερευνώνται πιθανοί τρόποι πραγματοποίησής τους, χωρίς τεχνητή ταπείνωση της στάθμης της λίμνης.

34. Στην περίπτωση έκτακτης ανάγκης ή όταν η πραγματοποίηση του όρου 33 δεν είναι εφικτή επιτρέπεται κατ' εξαίρεση η ταπείνωση της στάθμης, υπό την αυστηρή τήρηση των κάτωθι προϋποθέσεων:

34.α Την ελαχιστοποίηση του χρόνου διάρκειας της τεχνητής ταπείνωσης της στάθμης, αφού προηγηθεί λεπτομερής προγραμματισμός του έργου της επέμβασης και η εξασφάλιση όλων των αναγκαίων τεχνικών μέσων και προσωπικού.

34.β Τον προγραμματισμό της περιόδου επέμβασης ώστε αυτή να συμπίπτει με την βέλτιστη περίοδο εκτέλεσης εργασιών (του μήνα Οκτωβρίου) κατά την οποία η παρουσία της ορνιθοπανίδας στον ταμιευτήρα είναι η ελάχιστη δυνατή και δε λαμβάνει χώρα κάποια ευαίσθητη φάση του βιολογικού κύκλου των πουλιών. Εξαιρούνται οι περιπτώσεις εκτάκτου ανάγκης.

34.γ Την προηγούμενη έγγραφη ενημέρωση της Ν.Α. Χανίων και του ΤΔΦΠ του ΥΠΕΧΩΔΕ από το φορέα του έργου, για τυχόν προγραμματιζόμενη ταπείνωση της στάθμης της λίμνης, τουλάχιστον 7 μέρες πριν την επέμβαση. Στο έγγραφο θα πρέπει να περιγράφεται επακριβώς ο χαρακτήρας των απαιτούμενων εργασιών και να αιτιολογείται επαρκώς η μη δυνατότητα, από τεχνικής άποψης, επέμβασης άνευ ταπείνωσης της στάθμης.

34.δ Την άμεση ενημέρωση της Ν.Α. Χανίων και της αρμόδιας Δ/νσης Υδάτων της Περιφέρειας καθώς και του ΤΔΦΠ του ΥΠΕΧΩΔΕ, από τον φορέα του έργου, σε περίπτωση που επιβάλλεται επέμβαση για λόγους ανωτέρας βίας ή εκτάκτου ανάγκης (απρόβλεπτη βλάβη στην υδροληψία, στο σώμα του φράγματος, κλπ) για το είδος και τον τρόπο επέμβασης, με επαρκή αιτιολόγησή τους.

34.ε Την προτεραιότητα στην αποκατάσταση της στάθμης έναντι άλλων υδατικών απαιτήσεων (πχ άρδευση) στην προσπάθεια επαναπλήρωσης της λίμνης στο ελάχιστο χρονικό διάστημα. Οι αρμόδιοι φορείς να ενημερώνουν τους καταναλωτές – φορείς εκμετάλλευσης υδάτων της λίμνης.

35. Να εφαρμόζεται ένας συστηματικός και ορθολογικός τρόπος διαχείρισης και κοπής της βλάστησης του ταμιευτήρα. Πιο συγκεκριμένα:

Υδάτων της Περιφέρειας σε συνεργασία με ειδικούς επιστήμονες και τις αρμόδιες υπηρεσίες και χρηματοδότηση από το φορέα του έργου και να εγκριθεί αρμοδίως μετά από τη σύμφωνη γνώμη του Τμήματος Φυσικού Περιβάλλοντος του ΥΠΕΧΩΔΕ (ΤΔΦΠ). Η μελέτη αυτή θα πρέπει να διασφαλίζει τις φυσικές διεργασίες και τη δυναμική οικολογική ισορροπία του λιμναίου οικοσυστήματος.

42. Ο φορέας του έργου να παρακολουθεί με μετρήσεις/αναλύσεις ανά τρίμηνο, στο νερό της λίμνης, τις περιβαλλοντικές παραμέτρους: θερμοκρασία, PH, ηλεκτρική αγωγιμότητα, διαλυμένο O_2, και COD. Τα αποτελέσματα των ανωτέρω μετρήσεων/αναλύσεων να γνωστοποιούνται από τη ΔΕΗ με ετήσια έκθεση στη Ν.Α. Χανίων και στο ΤΔΦΠ.

Με ευθύνη των λοιπών αρμόδιων φορέων να πραγματοποιηθεί πρόγραμμα παρακολούθησης τυχών λοιπών περιβαλλοντικών παραμέτρων του υγροτοπικού συστήματος της λίμνης (π.χ. παρακολούθηση επιπέδων χλωροφύλλης, μέτρηση στάθμης νερού).

Από ειδικούς επιστήμονες και με ευθύνη του ΤΔΦΠ/ΥΠΕΧΩΔΕ να πραγματοποιηθεί πρόγραμμα παρακολούθησης της ορνιθοπανίδας, (καταγραφή βιοτικού περιβάλλοντος πληθυσμών της λίμνης και παρακολούθηση και καταγραφή των πληθυσμών της ορνιθοπανίδας).

Η οριστική επιλογή των παραμέτρων παρακολούθησης καθώς και ο τελικός σχεδιασμός των προγραμμάτων να επιλεγεί σε συνεργασία με επιστημονικούς φορείς και τις αρμόδιες υπηρεσίες και να γνωστοποιηθεί στο Τμήμα Διαχείρισης Φυσικού Περιβάλλοντος του ΥΠΕΧΩΔΕ (ΤΔΦΠ).

Το κόστος της σχετικής μελέτης σχεδιασμού – κατάρτισης των εν λόγω προγραμμάτων βαρύνει το φορέα του έργου, το δε κόστος υλοποίησης των προγραμμάτων βαρύνει τους λοιπούς αρμόδιους φορείς. Για την πορεία υλοποίησης των προγραμμάτων να εκπονούνται εκθέσεις από τους αρμόδιους φορείς οι οποίες θα πρέπει να είναι ετήσιες και θα διαβιβάζονται ετησίως και στο ΤΔΦΠ.

Το συντονισμό σχεδιασμού και κατάρτισης των προγραμμάτων καθώς και της υλοποίησής τους θα έχει η Ν.Α. Χανίων.

43. Στην περίπτωση που αποφασιστεί η αξιοποίηση – ανάπλαση των εγκαταστάσεων του ΥΗΣ, θα πρέπει, πριν την οριστική μελέτη αυτής, να υποβληθεί από το φορέα του έργου φάκελος ο οποίος θα περιλαμβάνει τα δικαιολογητικά που απαιτούνται για την εφαρμογή του άρθρου 13 της ΚΥΑ Η.Π. 11014/7033/14.3.03 και Ειδική Τεχνική Μελέτη Εφαρμογής (ΕΤΜΕ) η οποία θα περιλαμβάνει όλα τα τεχνικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά των επεμβάσεων και των βελτιώσεων που θα απαιτηθούν για την εφαρμογή δέσμης μέτρων και δράσεων με σκοπό την ανάπλαση και ανάδειξη των εγκαταστάσεων του έργου και της περιοχής του ταμιευτήρα και την επισκεψιμότητα και τουριστική/εκπαιδευτική αξιοποίηση της περιοχής. Στη μελέτη αυτή να προτείνονται μέτρα ώστε να διαφυλάσσεται η ισορροπία του οικοσυστήματος, όπως έχει διαμορφωθεί στον υγρότοπο της λίμνης. Ο φάκελος θα υποβληθεί στην ΕΥΠΕ/ΥΠΕΧΩΔΕ για την εφαρμογή της διαδικασίας του άρθρου 13 της ΚΥΑ 11014/03.

44. Στην περίπτωση που αποφασιστεί να εξετασθεί η δυνατότητα επισκευής ή και αναβάθμισης των δύο ηλεκτρογεννητριών του ΥΗΣ που βρίσκονται εκτός λειτουργίας, ή η δυνατότητα εγκατάστασης σύγχρονης μονάδας προκειμένου να επιτευχθεί η μεγιστοποίηση του ποσοστού εκμετάλλευσης του υδατικού δυναμικού του ταμιευτήρα, να υποβληθεί από το φορέα του έργου φάκελος στην ΕΥΠΕ, ο οποίος θα περιλαμβάνει τα δικαιολογητικά που απαιτούνται για την εφαρμογή του άρθρου 13 της ΚΥΑ Η.Π. 11014/7033/14.3.03.

45. Να ληφθούν όλα τα απαραίτητα μέτρα για την προστασία και ασφάλεια του προσωπικού και των επισκεπτών, στο χώρο ευθύνης του έργου. Να εφαρμοστεί περίφραξη ασφαλείας όπου απαιτείται.

46. Σχετικά με τον θόρυβο ο φορέας εκμετάλλευσης του έργου θα πρέπει συμμορφώνεται προς όλες τις κείμενες διατάξεις της Κοινοτικής Νομοθεσίας. Θα πρέπει να ληφθούν όλα τα κατάλληλα μέτρα για την μείωση στο ελάχιστο των μεγάλων ηχητικών εκπομπών και να εξασφαλισθεί ότι ο θόρυβος και οι δονήσεις θα βρίσκονται εντός των αποδεκτών ορίων κατά τη λειτουργία του έργου.

47. Να ληφθούν τα κατάλληλα μέτρα ηχομόνωσης, ώστε η στάθμη θορύβου που εκπέμπεται κατά τη λειτουργία του ΥΗΣ, να μην υπερβαίνει τα 65 dB(A) μετρούμενη στο όριο του γηπέδου, όπου βρίσκεται ο σταθμός ηλεκτροπαραγωγής, σύμφωνα με τα αναφερόμενα στο άρθρο 2, παράγραφος 5 του Π.Δ. 1180/81.

48. Ο σταθμός ηλεκτροπαραγωγής να διαθέτει όλα τα απαραίτητα μέτρα προστασίας και εξοπλισμούς απομόνωσης (υδραυλικής και ηλεκτρικής).

49. Πριν τη λήξη ισχύος της παρούσας απόφασης να εκπονηθεί μελέτη αποκατάστασης περιβάλλοντος που θα αφορά στα μέτρα και όρους που θα πρέπει να εφαρμόσει ο φορέας λειτουργίας του έργου, μετά την παύση λειτουργίας αυτού, ώστε να ενταχθεί το έργο κατά το δυνατόν στο φυσικό περιβάλλον και να εξασφαλιστεί η προστασία της περιοχής. Η μελέτη αυτή θα πρέπει να υποβληθεί στην ΕΥΠΕ του ΥΠΕΧΩΔΕ.

50. Από το φορέα του έργου να ορισθεί υπεύθυνος για την εφαρμογή των όρων της παρούσας Απόφασης, στο βαθμό που τον αφορούν. Ο ορισμός να γνωστοποιηθεί εγγράφως στις αρμόδιες Νομαρχιακές Υπηρεσίες και την ΕΥΠΕ του ΥΠΕΧΩΔΕ.

51. Ισχύουν οι περιβαλλοντικοί όροι που προτείνονται στη ΜΠΕ που συνοδεύει την παρούσα, εφόσον δεν έρχονται σε αντίθεση με τα παραπάνω.

ε_1) <u>Περιβάλλον περιοχής - Ευαίσθητα στοιχεία του - Ειδικά προστατευόμενες ζώνες</u>

Η θέση του έργου του ΥΗΣ εμπίπτει εντός των ορίων του Τόπου Κοινοτικής Σημασίας (ΤΚΣ), «Λίμνη Αγιάς – Πλατανιάς – Ρέμα και εκβολή Κερίτη – Κοιλάδα Φασού», με κωδικό GR 4340006 και της Ζώνης Ειδικής Προστασίας (Οδηγία 79/409/ΕΟΚ) «Λίμνη Αγιάς» (τμήμα του προαναφερόμενου ΤΚΣ) με κωδικό GR 4340020 του Εθνικού Καταλόγου για το Ευρωπαϊκό Οικολογικό Δίκτυο Natura 2000 (Οδηγία 92/43/ΕΟΚ).
Επίσης η περιοχή του έργου συμπεριλαμβάνεται στον κατάλογο σημαντικών υγροτόπων, τον οποίο έχει συντάξει το Μουσείο Φυσικής Ιστορίας της Κρήτης (ΜΦΙΚ) με την ονομασία "Λίμνη Αγιάς".

ε_2) <u>Μέτρα και έργα για τη διατήρηση των ανωτέρω στοιχείων</u>

Τα επανορθωτικά μέτρα που προτείνονται στην παράγραφο δ) της παρούσης να κατασκευαστούν ή ληφθούν, κρίνονται επαρκή για την προστασία και διατήρηση των στοιχείων (φυσικών και ανθρωπογενών) της περιοχής επέμβασης. Πρόσθετη εξασφάλιση αποτελούν τα αναγραφόμενα στις επόμενες παραγράφους (στ, ζ, η και θ).

στ) <u>Χρονικό διάστημα για το οποίο ισχύει η χορηγούμενη έγκριση περιβαλλοντικών όρων - Προϋποθέσεις για την αναθεώρησή της</u>

Οι ανωτέρω αναφερόμενοι περιβαλλοντικοί όροι ισχύουν μέχρι 31.6.2016 και με την προϋπόθεση ότι θα τηρούνται ακριβώς. Μέχρι την ημερομηνία αυτή ο κύριος του έργου οφείλει να έχει επανέλθει με αίτησή του για την έκδοση νέας Απόφασης Έγκρισης περιβαλλοντικών όρων ή ανανέωση της παρούσας, σύμφωνα με τις εκάστοτε ισχύουσες διατάξεις. Ελέγχους για την τήρηση ή μη των όρων της παρούσας Απόφασης δύνανται να διενεργούν οι κατά την κείμενη νομοθεσία αρμόδιες Υπηρεσίες.

ζ) Για την βελτίωση, τροποποίηση, επέκταση ή εκσυγχρονισμό βασικών χαρακτηριστικών του έργου, όπως αυτό περιγράφεται στην ΜΠΕ, με τους όρους και περιορισμούς της ... ούσας, απαιτείται η τήρηση από την ΕΥΠΕ του ΥΠΕΧΩΔΕ της διαδικασίας που προβλέπει το άρθρο 13 της ΚΥΑ 11014/703/Φ104/2003 όπως εκάστοτε ισχύει

Η παρούσα απόφαση δύναται να τροποποιηθεί εάν κατά την λειτουργία του έργου διαπιστωθεί ότι η παρεχόμενη απ' αυτήν προστασία στο περιβάλλον δεν είναι επαρκής. Επίσης η απόφαση δύναται να τροποποιηθεί αναλόγως των αποτελεσμάτων των προγραμμάτων παρακολούθησης του έργου και των ποσοτικών και ποιοτικών παραμέτρων του έργου. Εξάλλου ενόψει του μεγάλου χρονικού ορίζοντα λειτουργίας του έργου η παρούσα απόφαση δύναται να τροποποιηθεί, εάν ετούτο απαιτηθεί, προκειμένου να προσαρμοσθεί στα νέα δεδομένα στον τομέα των περιβαλλοντικών επιστημών.

η) Η παρούσα απόφαση ισχύει με την επιφύλαξη ότι δεν αντίκειται σε άλλες ισχύουσες διατάξεις που τυχόν κατισχύουν αυτής.

θ) Η παρούσα Απόφαση και η υποβληθείσα ΜΠΕ του έργου, οι άδειες χρήσης νερού και διάθεσης των υγρών και στερεών αποβλήτων του έργου, θα πρέπει να βρίσκονται στον ΥΗΣ και να επιδεικνύονται σε κάθε αρμόδιο σύμφωνα με την κείμενη νομοθεσία.

ι) Η μη τήρηση των όρων της παρούσας ή η καθ' υπέρβασή τους πραγματοποίηση έργων και δραστηριοτήτων με αποτέλεσμα την υποβάθμιση του περιβάλλοντος συνεπάγονται πέραν των κυρώσεων από άλλες διατάξεις της κείμενης νομοθεσίας, την επιβολή στους υπευθύνους των προβλεπομένων από τις διατάξεις των άρθρων 28, 29 και 30 του Ν. 1650/86 όπως τροποποιήθηκε με τον Ν. 3010/2002 (ΦΕΚ 91/Α/25.4.2002).

ια) Το Νομαρχιακό Συμβούλιο Χανίων, στο οποίο κοινοποιείται η παρούσα Απόφαση υποχρεούται στη δημοσιοποίησή της σύμφωνα με τα αναφερόμενα στην ΚΥΑ 37111/2021/26.9.2003 (ΦΕΚ 1391/Β/29.9.90). Τα έξοδα της δημοσιοποίησης θα βαρύνουν τον φορέα του έργου.

Ο ΥΠΟΥΡΓΟΣ ΠΕΧΩΔΕ

Γ. ΣΟΥΦΛΙΑΣ

Ο ΥΠΟΥΡΓΟΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ

Δ. ΣΙΟΥΦΑΣ

Ο ΥΦΥΠΟΥΡΓΟΣ ΑΓΡΟΤΙΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ & ΤΡΟΦΙΜΩΝ
ΑΛ. ΚΟΝΤΟΣ

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ

ΑΚΡΙΒΕΣ ΑΝΤΙΓΡΑΦΟ

Γ. ...ΟΠΟΥΛΟΥ

ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΔΕΚΤΩΝ

1. ΥΠΕΧΩΔΕ
   α) Δ/νση Περιβαλλοντικού Σχεδιασμού
   Τμήμα Διαχείρισης Φυσικού Περιβάλλοντος
   Τρικάλων 36
   β) Δ/νση Χωροταξίας
   Αμαλιάδος 17
2. Υπουργείο Ανάπτυξης
   Δ/νση Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας
   Μεσογείων 119, Αθήνα
3. Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης & Τροφίμων
   Δ/νση Αισθητικών Δασών, Δρυμών & Θήρας
   Χαλκοκονδύλη 31, 15432 Αθήνα

4. Υπ. Πολιτισμού
   α) Δ/νση Προϊστορικών και Κλασικών Αρχαιοτήτων
   β) Δ/νση Βυζαντινών και Μεταβυζαντινών Μνημείων
   Μπουμπουλίνας 20-22
   γ) Δ/νση Νεωτέρων Μνημείων

5. α) ΚΕ' ΕΠΚΑ
   Χάληδων 21, 73131 Χανιά
   β) 28η ΕΒΑ
   Αρκαδίου 214, 74100 Ρέθυμνο
   γ) Εφορεία Εναλίων Αρχαιοτήτων
   Καλλισπέρη 30

6. Περιφέρεια Κρήτης
   (α) Γενική Δ/νση Περιφέρειας
   Δ/νση Υδάτων
   Ικάρου και Στεργίου Σπανάκη 2, 71307 Ηράκλειο
   (συν/νος φάκελος ΜΠΕ)
   (β) Δ/νση Δασών Ν. Χανίων

7. Νομαρχιακή Αυτοδιοίκηση Χανίων
   Δ/νση Πολεοδομίας και Π.Ε.
   Τμήμα Περιβάλλοντος
   Πλ. Ελευθερίας, Χανιά

8. ΔΕΗ ΑΕ
   Σολωμού 41, Αθήνα 106 82
   (συν/νος φάκελος ΜΠΕ)

9. Μουσείο Φυσικής Ιστορίας Κρήτης

ΕΣΩΤ. ΔΙΑΝΟΜΗ

1. ΕΥΠΕ (συν. 1 τεύχος ΜΠΕ)
2. Χρον. Αρχείο
3. Τμήμα Β'
4. Ε. Καργάκη

Βφ/C/Hlektika/Agias Hanion