



Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών
Τομέας Υδρομηχανικής και Περιβαλλοντικής Τεχνικής

Διπλωματική Εργασία



ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΤΥΧΗΣ ΤΟΥ ΑΖΩΤΟΥ ΣΤΟΝ
ΥΠΟ-ΑΝΑΣΥΣΤΑΣΗ ΥΓΡΟΤΟΠΟ ΤΗΣ ΚΑΡΛΑΣ ΜΕ
ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ
ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

Φοιτητής: Κακουλίδης Ιωάννης

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια: Λασπίδου Χρυσή

Βόλος 2008



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ & ΚΕΝΤΡΟ ΠΛΗΡΟΦΟΡΗΣΗΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΣΥΛΛΟΓΗ «ΓΚΡΙΖΑ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ»**

Αριθ. Εισ.: 6449/1
Ημερ. Εισ.: 17-07-2008
Δωρεά: Συγγραφέα
Ταξιθετικός Κωδικός: ΠΤ – ΠΜ
2008
ΚΑΚ

Ευχαριστίες

Με την παρούσα διπλωματική εργασία, ολοκληρώνονται οι σπουδές μου στο Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας. Μια περίοδος που έχει σημαδέψει την ζωή μου, που μου δίδαξε πολλά, μέσα και έξω από την σχολή.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον πατέρα και την μητέρα μου, Κοσμά και Στέλλα, τον παππού και την γιαγιά μου, Κώστα και Ελβίρα, που βοήθησαν με κάθε δυνατό τρόπο στην διάρκεια της φοίτησης μου.

Θέλω να ευχαριστήσω τον αδερφό μου Κώστα, που βρισκόταν δίπλα μου όλα αυτά τα χρόνια, ενηλικιωθήκαμε μαζί, και κατάλαβα πόσο απαραίτητος μου είναι.

Ευχαριστώ όλους τους καθηγητές της σχολής για τις γνώσεις που μοιράστηκαν μαζί μου, τα μέλη της επιτροπής κ. Λιακόπουλο και κ. Μυλόπουλο, και ιδιαίτερα την επιβλέπουσα καθηγήτρια της εργασίας και φίλη, την Χρυσή Λασπίδου, που βοήθησε με κάθε δυνατό τρόπο και που χωρίς αυτήν δεν θα ήταν δυνατή η ενασχόληση μου με ένα τόσο ενδιαφέρον θέμα.

Επίσης, όλους τους φίλους μου, που τόσο καιρό μαζί μοιραστήκαμε αγωνίες, σκέψεις, χαρές και λύπες. Τέλος, ευχαριστώ την Ηλέκτρα, που με αντέχει και μου συμπαραστέκεται κάθε στιγμή.

Στον Κώστα

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΚΙΝΗΤΡΑ ΣΤΟΧΟΙ.....	6
1.1 Υγρότοποι: ερμηνεία, λειτουργία, σημασία.....	6
1.2 Τεχνητοί υγρότοποι.....	8
1.2.1. Ερμηνεία και ταξινόμηση.....	8
1.2.2. Τεχνητοί υγρότοποι: Ιστορική αναδρομή και εφαρμογές.....	9
1.3. Λίμνη Κάρλα:Θέση και ιστορική αναδρομή.....	11
1.4. Άζωτο.....	13
1.4.1. Υγρότοποι και το άζωτο.....	13
1.4.2. Λιπάσματα-ευτροφισμός.....	14
1.5 Στόχοι.....	16
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ.....	18
2.1 Υπο-μοντέλο υδρολογίας.....	18
2.2 Υπό-μοντέλο αζώτου.....	19
2.2.1. Το αμμωνιακό άζωτο	20
2.2.2. Νιτρώδη και Νιτρικά.....	24
2.2.3. Άλγη.....	28
2.2.4. Τα μακρόφυτα.....	32
2.2.5. Το οργανικό άζωτο.....	35
2.2.6. Το άζωτο στα ιζήματα.....	38
2.2.7. Τα βαθιά ιζήματα.....	40
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....	41
3.1. Υπο-μοντέλο υδρολογίας.....	41
3.2. Υπο-μοντέλο αζώτου.....	42
3.2.1 Αμμωνιακό άζωτο.....	43
3.2.2. Αμμωνιοποίηση.....	44
3.2.3. Ανοργανοποίηση.....	46

3.2.4. Νιτρώδη και νιτρικά.....	46
3.2.5. Νιτροποίηση.....	49
3.2.6. Απονιτροποίηση.....	53
3.2.7. Το αλγικό άζωτο.....	53
3.2.8. Η λήψη αμμωνιακού αζώτου από την άλγη.....	55
3.2.9 Η λήψη του νιτρικού αζώτου από την άλγη.....	55
3.2.10. Η λήψη αμμωνιακού αζώτου από τα μακρόφυτα.....	56
3.2.11. Η λήψη του νιτρικού αζώτου από τα μακρόφυτα.....	56
3.2.12. Το οργανικό άζωτο.....	57
3.2.13. Θάνατος της άλγης.....	58
3.2.14. Εισροή του ιζηματικού αζώτου.....	59
3.2.15. Η αμμωνιοποίηση του οργανικού αζώτου.....	59
3.3 Αρχικές τιμές	60
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....	61
4.1. Ανάλυση αποτελεσμάτων.....	61
4.2. Διαγράμματα Odum.....	63
4.3. Διαγράμματα STELLA	67
4.4. Διαγράμματα συγκεντρώσεων.....	72
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	75

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ: ΚΙΝΗΤΡΑ ΚΑΙ ΣΤΟΧΟΙ

1.1. Υγρότοποι: ερμηνεία, λειτουργία, σημασία

Υγρότοποι ονομάζονται οι φυσικές ή τεχνητές περιοχές όπου είναι μονίμως ή προσωρινώς κατακλυσμένες με νερό, το οποίο είναι ρέον ή στάσιμο, γλυκό, υφάλμυρο ή αλμυρό καθώς επίσης τις περιοχές που καλύπτονται από θαλάσσιο νερό του οποίου το βάθος δεν υπερβαίνει τα έξι μέτρα. Οι υγρότοποι μπορεί να είναι παράκτιοι ή εσωτερικοί. Στους παράκτιους υγρότοπους περιλαμβάνονται τα ρηχά θαλασσινά νερά, τα δέλτα και οι εκβολές των ποταμών, τα αλμυρά έλη, οι κλειστές ή ανοιχτές λιμνοθάλασσες κ.ά. Ως εσωτερικούς υγροτόπους εννοούμε τα ποτάμια και τα ρυάκια, τις λίμνες, τα έλη, τα υγρά λιβάδια, τους καλαμώνες καθώς και τα παραλίμνια ή παραποτάμια δάση και θαμνώνες. Υπάρχουν επίσης και τεχνητοί ή ημιτεχνητοί υγρότοποι που δημιουργούνται για διάφορους σκοπούς, κυρίως για αποθήκευση νερού, για ύδρευση, άρδευση, υδροηλεκτρική ενέργεια, αναψυχή, παραγωγή αλατιού και υδατοκαλλιέργειες (Mitsch και Gosselink, 1993).

Με τον όρο λειτουργίες των υγροτόπων εννοούμε τις φυσικές, χημικές και βιολογικές διεργασίες που συμβαίνουν σε αυτούς. Ο κάθε υγρότοπος χαρακτηρίζεται από διαφορετικές λειτουργίες, οι οποίες τον καθιστούν μοναδική και ξεχωριστή περίπτωση. Οι κυριότερες λειτουργίες είναι οι παρακάτω:

Φυσικός καθαρισμός των υδάτων: Οι υγρότοποι λειτουργούν σαν φίλτρα, απομακρύνουν από το νερό το άζωτο και το φώσφορο, δεσμεύουν και κατακρατούν βαρέα μέταλλα, εντομοκτόνα και άλλες τοξικές ουσίες. Το νερό που εισέρχεται σε έναν υγρότοπο εξέρχεται από αυτόν καθαρότερο.

Εμπλουτισμός υπόγειων υδροφορέων: λειτουργία που αφορά περισσότερο στη λεκάνη απορροής του υγροτόπου.

Αποθήκευση νερού και τροποποίηση πλημμυρικών φαινομένων: Οι υγρότοποι αποθηκεύουν το νερό της πλημμύρας και το αποδίδουν βαθμιαία μετά το τέλος της, μειώνοντας την πλημμυρική αιχμή, προστατεύοντας με αυτόν τον τρόπο τις παράκτιες περιοχές.

Απορρόφηση διοξειδίου του άνθρακα: Οι υδάτινες μάζες απορροφούν μεγάλη ποσότητα διοξειδίου του άνθρακα από την ατμόσφαιρα, βοηθώντας στην μείωση του διοξειδίου του άνθρακα και την καταπολέμηση του φαινομένου του θερμοκηπίου.

Αποθήκευση και ελευθέρωση θερμότητας: Η μεγάλη θερμοχωρητικότητα του νερού καθιστά τους υγροτόπους, σε μεγάλο βαθμό, ρυθμιστές της θερμοκρασίας των παρόχθιων περιοχών κάνοντας το κλίμα της περιοχής ηπιότερο, αποτρέποντας τα ακραία καιρικά φαινόμενα και ευνοώντας τις συνθήκες αγροτικής καλλιέργειας.

Δέσμευση ηλιακής ακτινοβολίας και στήριξη τροφικών πλεγμάτων: Η υγροτοπική βλάστηση παρέχει στους ετερότροφους οργανισμούς τροφή και χώρους για καταφύγιο, φώλιασμα και αναπαραγωγή. (Γεράκης και Κουτράκης, 1996)

Οι υγρότοποι είναι πολύ σημαντικά οικοσυστήματα, με μεγάλη βιοποικιλότητα σε χλωρίδα και πανίδα. Στους υγροτόπους συμβιώνουν πολλά διαφορετικά είδη φυτών, μόνιμα βυθισμένα, επιπλέοντα, βρύα, φυλλοβόλα δέντρα κ.ά. Όσον αφορά την πανίδα, τα παραδείγματα που έχουμε από την χώρα μας δείχνουν ότι τα δέλτα των ποταμών, οι λιμνοθάλασσες και τα έλη είναι τα πολυτιμότερα από άποψη πλούτου και ποικιλότητας ζωικών ειδών. Η συντριπτική πλειοψηφία από τα 408 παρατηρημένα είδη πουλιών στον ελλαδικό χώρο, συναντώνται στους υγροτόπους, και πολλά από τα ψάρια που καταναλώνουμε εξαρτώνται από τους υγροτόπους σε κάποιο στάδιο της ζωής τους.

Οι υγρότοποι είναι διαχρονικά συνδεδεμένοι με τις ανθρώπινες δραστηριότητες και με την πολιτιστική παράδοση της κάθε περιοχής. Επηρέασαν και επηρεάζουν τις ανθρώπινες δραστηριότητες σε πολλούς τομείς, αφού μέσω των υγροτόπων ικανοποιείται τοπικά η ανάγκη για άρδευση, αλιεία και κτηνοτροφία αφού στις όχθες υπάρχει πλούσια βοσκήσιμη ύλη, καθώς και η ανάγκη για αντιπλημμυρική προστασία, για αναψυχή.

Παρόλη την σημασία των υγροτόπων για τον άνθρωπο και το περιβάλλον, οι παγκόσμιες εξελίξεις, όπως διαμορφώθηκαν τον 20 αιώνα, καθώς και η ανάγκη για περισσότερη γη για οικιστική, βιομηχανική χρήση και γεωργική εκμετάλλευση, οδήγησαν στην σταδιακή καταστροφή, και σε περιπτώσεις, εξαφάνιση των υγροτόπων, κυρίως μέσω της αποξήρανσης..

Οι υγρότοποι είναι υποβαθμισμένοι και συνεχίζουν να υποβαθμίζονται από τις ανθρώπινες δραστηριότητες. Η υπεράντληση των υδάτινων πόρων, αποτέλεσμα της αλόγιστης και μη ορθολογικής πολιτικής στη χρήση του νερού, είναι μια απειλή για τα υδατικά οικοσυστήματα. Σε συνδυασμό με την ρύπανση που προκαλείται από τις ανθρώπινες δραστηριότητες και τις παρεμβάσεις με μεγάλης έκτασης έργα όπως φράγματα, εκτροπές ποταμών κ.α, εντείνεται το πρόβλημα και η ποσοτική και ποιοτική υποβάθμιση των υγροτόπων είναι δεδομένη.

Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται όμως το ενδιαφέρον της κοινής γνώμης, και ειδικότερα των νέων γενιών, για την αποκατάσταση των περιβαλλοντολογικών ισορροπιών. Τα ορατά αποτελέσματα των επεμβάσεων του ανθρώπου στο περιβάλλον, έχουν δείξει το πόσο καταστροφικό θα είναι το μέλλον, αν δεν ληφθούν κατάλληλα μέτρα. Κάποιες συντονισμένες κινήσεις έχουν παρατηρηθεί, (π.χ. στις Η.Π.Α. ο νόμος «no net loss»(1988)) που υποχρεώνει όποιον καταστρέψει ή χρησιμοποιήσει για οποιαδήποτε λόγο υγρότοπο, να δημιουργήσει έναν νέο υγρότοπο με τα χαρακτηριστικά και την έκταση του προηγούμενου υγροτόπου). Η αποκατάσταση των υγροτόπων είναι δύσκολη, αλλά είναι απαραίτητη για την επιβίωση του ανθρώπου.

1.2.Τεχνητοί υγρότοποι

1.2.1. Ερμηνεία και ταξινόμηση

Η φυτο-αποκατάσταση, δηλαδή η μείωση της ρύπανσης μέσω της φύτευσης συγκεκριμένων φυτών βρίσκει τα τελευταία χρόνια πολλές εφαρμογές. Βασίζεται στην ικανότητα που έχουν τα φυτά να προσλαμβάνουν και να αποθηκεύουν στους ιστούς τους διάφορα στοιχεία, καθώς επίσης και στη μικροβιακή πανίδα που αναπτύσσεται στο χώρο των ριζών και είναι υπεύθυνη για τη διάσπαση ανόργανων και την αποικοδόμηση οργανικών ουσιών. Τα αιωρούμενα στερεά αποσυντίθενται στην επιφάνεια του εδάφους.

Οι τεχνητοί υγρότοποι είναι τεχνητά συστήματα που έχουν σχεδιαστεί και κατασκευαστεί έτσι ώστε να χρησιμοποιούν τις φυσικές διαδικασίες που επιτελούνται, και χρησιμοποιώντας την βλάστηση του υγροτόπου, τη χημεία του εδάφους και τις σχετιζόμενες μικροβιακές λειτουργίες, να γίνεται ο καθαρισμός των υγρών αποβλήτων μέσα σε ένα ελεγχόμενο περιβάλλον (Campbell 1999) . Η ταξινόμηση των τεχνητών υγροτόπων γίνεται με βάση τον τύπο των μακροφύτων, (αναδυόμενα, βυθισμένα, επιπλέοντα, ριζωμένα με επιπλέοντα φύλλα) και ταξινόμηση βάση του καθεστώτος ροής του νερού.

Η ταξινόμηση αυτή έχει ως εξής: **1) υγρότοποι επιφανειακής ροής (FWS), 2)οριζόντιας υπο-επιφανειακής ροής (H SWF) και 3) κάθετης υπο-επιφανειακής ροής (V SWF).** (Βουδούρης 2006)

Πρόσφατα, έχουν χρησιμοποιηθεί συνδυασμοί διάφορων τύπων τεχνητών υγροτόπων (αποκαλούμενα υβριδικά συστήματα για να ενισχύσουν την επίδραση επεξεργασίας, ειδικά για το άζωτο.

1.2.2. Τεχνητοί υγρότοποι: Ιστορική αναδρομή και εφαρμογές

Από την αρχαιότητα οι άνθρωποι είχαν αντιληφθεί την σπουδαιότητα και την ικανότητα χρησιμοποίησης των λειτουργιών των υγροτόπων για την καλύτερευση της υγιεινής των κοινωνιών τους. Οι αρχαίοι Αιγύπτιοι και οι αρχαίοι Κινέζοι χρησιμοποίησαν φυσικούς υγροτόπους για να καθαρίσουν τα υγρά απόβλητα, ενώ η πρώτη καταγεγραμμένη περίπτωση τεχνητού υγροτόπου, που χρησιμοποιήθηκε για την διαχείριση αποβλήτων από προαστιακά σπίτια, παρατηρήθηκε στην Αυστραλία το 1904.

Η πρώτη σύγχρονη προσπάθεια να χρησιμοποιηθεί η βλάστηση ενός υγροτόπου για να αφαιρεθούν οι διάφοροι ρύποι από το νερό διευθύνθηκε από τον K. Seidel στη Γερμανία στις αρχές της δεκαετία του '50 και ο πρώτος πραγματικού μεγέθους τεχνητός υγρότοπος με ελεύθερη επιφάνεια νερού χτίστηκε στην Ολλανδία για να μεταχειριστεί τα απόβλητα από μια κατασκήνωση κατά τη διάρκεια της περιόδου 1967-1969 (Mager et al, 1995).

Μέσα σε λίγα έτη, κατασκευάστηκαν περίπου 20 τεχνητοί υγρότοποι στην Ολλανδία. Παρ' ολ' αυτά ,οι τεχνητοί υγρότοποι με ελεύθερη επιφάνεια ροής (FWS) δεν διαδόθηκαν σε όλη την Ευρώπη αλλά οι κατασκευασμένοι υγρότοποι οριζόντιας επιφανειακής ροής (H-SWF) έγιναν ο κυρίαρχος τύπος τεχνητών υγροτόπων στην

Ευρώπη. Το πρώτος πραγματικού μεγέθους τεχνητός υγρότοπος H-SWF χτίστηκε το 1974 σε Othfresen στη Γερμανία.

Οι πρώτοι H-SWF τεχνητοί υγρότοποι στη Γερμανία και τη Δανία χρησιμοποιούσαν βαριά χώματα, με υψηλό περιεχόμενο σε άργιλο. Αυτά τα συστήματα είχαν πολύ καλό βαθμό επεξεργασίας αλλά λόγω της χαμηλής υδραυλικής διαπερατότητας, αποφράχθηκαν σύντομα, και τα συστήματα αυτά ουσιαστικά έμοιαζαν με τα συστήματα FWS. Στα τέλη δεκαετίας του '80 στο Ηνωμένο Βασίλειο, το χώμα αντικαταστάθηκε με χονδροειδή υλικά (αμμοχάλικο) και αυτό έχει καθιερωθεί από τότε. Η επιστημονική μελέτη και η εμπειρία από την Ευρώπη έφτασε και στις Η.Π.Α. στα τέλη της δεκαετίας του 60, όπου επηρέασε σημαντικά την ανάπτυξη της τεχνογνωσίας.

Στη δεκαετία του 80, η τεχνολογία επεξεργασίας των τεχνητών υγροτόπων διαδόθηκε γρήγορα σε όλο τον κόσμο. Στη δεκαετία του 90, η αυξανόμενη απαίτηση για αφαίρεση αζώτου από τα απόβλητα, οδήγησε στη συχνότερη χρήση της κάθετης ροής (S-SWF) που παρέχουν τον υψηλότερο βαθμό διήθησης και επακόλουθης αφαίρεσης της αμμωνίας μέσω της νιτροποίησης. Στα τέλη δεκαετίας του '90, η ανικανότητα να παραχθεί ταυτόχρονα η νιτροποίηση και η διάσπαση νιτρικών σε ένα ενιαίο H-SWF ή σε ένα V-SWF και να αφαιρεθεί έτσι συνολικά το άζωτο οδήγησε στη χρήση των υβριδικών συστημάτων που συνδυάζουν τους διάφορους τύπους τεχνητών υγροτόπων.

Στη δεκαετία του 70 και τη δεκαετία του 80, η κατασκευή των υγροτόπων ήταν σχεδόν αποκλειστικά προσανατολισμένη στην επεξεργασία των αστικών λυμάτων. Από τη δεκαετία του 90, οι τεχνητοί υγρότοποι έχουν χρησιμοποιηθεί για όλα τα είδη υγρών αποβλήτων, για επεξεργασία λυμάτων από δρόμους, για την επεξεργασία λυμάτων από την βιομηχανία τροφίμων (π.χ. παραγωγή οινοποιιών, τυριών και γάλακτος), βιομηχανικών λυμάτων (π.χ. χημικές βιομηχανίες, διυλιστήρια πετρελαίου), λυμάτων από αγροκτήματα, από ορυχεία κ.α. (Price και Probert, 1997).

1.3. Λίμνη Κάρλα: Θέση και ιστορική αναδρομή

Η λεκάνη της Κάρλας τοποθετείται στο ΝΑ άκρο της πεδιάδας της Λάρισας και η έχει μορφή κλειστής επιμήκους λεκάνης, μήκους 35 χμ και πλάτους 9-15 χμ.

Τα όρια της λεκάνης είναι στον βορρά ο Πηνειός ποταμός και ο ορεινός όγκος της Όσσας (Κίσαβος), στο νότο το Χαλκοδόνιο όρος και το Μεγαβούνι, στην ανατολή οι ορεινοί όγκοι του Μαυροβουνίου και στην δύση οι ορεινοί όγκοι του Φυλλήϊου όρους. Συνολικά η λεκάνη έχει έκταση 1650 τετ. χμ. Στο μέσο της λεκάνης, μέχρι το 1961, βρισκόταν η λίμνη Κάρλα, που ήταν και ο κύριος αποδέκτης των υδάτων της λεκάνης.

Η λίμνη Κάρλα, αποτελούσε μέρος μιας πολύ μεγαλύτερης λίμνης, που σύμφωνα με ιστορικές αναφορές, κάλυπτε τον θεσσαλικό κάμπο. Η αρχαία ονομασία της λίμνης ήταν Βοιβήις, και υπάρχουν μαρτυρίες για την κατοίκηση από την Νεολιθική εποχή. Στη Νεολιθική εποχή η λίμνη πρέπει να καταλάμβανε μεγαλύτερη έκταση, όπως φαίνεται από τη διασπορά των νεολιθικών οικισμών. Για χιλιάδες χρόνια η οικονομία των γειτονικών περιοχών σχετιζόταν με το υγρό στοιχείο. Το καθεστώς απασχόλησης ήταν ιδιόμορφο, οι ορεινοί κάτοικοι στα ανατολικά ασκούσαν αλιεία και στα παραλίμνια εδάφη στα δυτικά υπήρχαν καλλιέργειες, όπου τον χειμώνα καλύπτονταν με νερά, και το καλοκαίρι ήταν πολύ εύφορα.

Η έκταση της λίμνης δεν ήταν σταθερή, εξαρτιόταν από τις εισροές και εκροές του νερού. Οι εισροές προερχόταν από την βροχόπτωση και από τις πλημμύρες του Πηνειού, καθώς και από το ρεύμα Ασμάκι στο βόρειο τμήμα της λίμνης και από τις πηγές του Βελεστίνου. Η έκταση της διακυμαινόταν από 4500 εκτάρια, το μόνιμο εμβαδό της, έως 18000 εκτάρια. Οι πλημμύρες αυτές είχαν καταστρεπτικές συνέπειες εξαιτίας της έλλειψης οξυγόνου στο έδαφος, της συγκέντρωσης αλάτων, και των ευνοϊκών περιστάσεων για την διάδοση της ελονοσίας.

Μετά από την απελευθέρωση της Θεσσαλίας, αναπτύχθηκε η ανάγκη για περισσότερες γεωργικές εκτάσεις και αντιπλημμυρική προστασία. Σύμφωνα με παλαιότερες μελέτες, η αξιοποίηση της περιοχής συνδέεται με την κατασκευή αντιπλημμυρικών και αποστραγγιστικών έργων, την αποξήρανση της λίμνης μέσω σήραγγας προς τον Παγασητικό κόλπο και την κατασκευή ταμιευτήρα σε τμήμα της παλιάς λίμνης. Η χρήση του ταμιευτήρα θα χρησίμευε για την ανάσχεση πλημμύρων και από ταμίευση μέρους της χειμερινής παροχής του Πηνειού προς άρδευση.

Η πρώτη υποβάθμιση του υγροτόπου ήρθε με τα πρώτα αντιπλημμυρικά έργα και τα αναχώματα στον Πηνειό. Μειώθηκαν οι εισροές και η λίμνη άρχισε να περιορίζεται σε έδαφος. Η τελική αποστράγγιση της λίμνης ολοκληρώθηκε το 1962. Μαζί με τα νερά, εξαφανίστηκαν και τα υδρόβια πτηνά της περιοχής. Τα προβλήματα όμως δεν λύθηκαν. Οι νέες εκτάσεις ήταν ακατάλληλες για καλλιέργεια, τα μέτρα αντιπλημμυρικής προστασίας ήταν ελλιπή, καθώς δεν ολοκληρώθηκε η κατασκευή του ταμιευτήρα. Αποσπασματικές κατασκευές, όπως η κατασκευή 6 αρδευτικών ταμιευτήρων δεν έλυσαν το πρόβλημα.

Οι επιπτώσεις από την ξήρανση της λίμνης ήταν πολλές. Τα μικροκλιματικά δεδομένα της περιοχής επηρεάστηκαν. Οι βροχοπτώσεις μειώθηκαν, και η χλωρίδα της περιοχής βιώνει αυτό το πρόβλημα. Το έδαφος διαβρώθηκε. Μεγάλα προβλήματα δημιουργήθηκαν στον υπόγειο υδροφόρο, αφού η άμεση παροχή προς τον Παγασητικό είχε ως αποτέλεσμα την απώλεια υδατικών πόρων και σε συνδυασμό με την υπεράντληση, η πτώση της υπόγειας στάθμης συνεχίζεται. Μετά την αποξήρανση εμφανίστηκαν ρήγματα στο έδαφος της ευρύτερης περιοχής. Τα ρήγματα αυτά διασχίζουν καλλιεργημένες εκτάσεις, δρόμους και χωριά. Ο Παγασητικός συνεχίζει να ρυπαίνεται από τις αποθέσεις των φερτών που κουβαλάει ο αγωγός της Κάρλας, που συνδυάζονται με μεγάλα ρυπαντικά φορτία. Η μείωση του αγροτικού πληθυσμού, η καταστροφή της ιχθυοπαραγωγής, η εξάλειψη της πανίδας είναι δεδομένες.

Με τις αρνητικές συνέπειες της αποξήρανσης, άρχισαν να αναπτύσσονται οι φωνές που απαιτούσαν την αποκατάσταση της λίμνης. Είναι βέβαια κοινά αποδεκτό πως η απλή επαναπλήρωση με νερό δεν θα λύσει αυτομάτως τα προβλήματα που δημιουργήθηκαν. Πρέπει ο σχεδιασμός του νέου υγροτόπου να γίνει με σαφείς στόχους, πρόγραμμα, και προσανατολισμό. Αν αποφασιστεί ότι τα νερά που εισέρχονται στον Παγασητικό είναι σημαντικό να είναι καλής ποιότητας, τότε πρέπει να προηγηθεί μελέτη της ποιότητας των υδάτων που εισέρχονται στον υγρότοπο, έτσι ώστε να βελτιώνεται η ποιότητα υδάτων αυτού, αλλά επίσης και η ποιότητα των υδάτων που εισρέουν στον κόλπο.

1.4. Άζωτο

1.4.1. Υγρότοποι και το άζωτο

Αποχετεύοντας απόβλητα πλούσια σε άζωτο σε ύδατα, δημιουργούνται αρκετά προβλήματα συμπεριλαμβανομένου του ευτροφισμού στα δεχόμενα τα απόβλητα υδατικά οικοσυστήματα με αντίκτυπο στην ανθρώπινη υγεία και στην οικολογική ισορροπία των περιοχών. Γι' αυτό τον λόγο πρέπει να αφαιρείται το άζωτο για να διατηρηθεί το υδάτινο περιβάλλον και να προστατευτεί η υδατική ζωή και η υγεία των χρηστών των υδάτων.

Η μέθοδος της ενεργού ιλύς χρησιμοποιήθηκε επιτυχώς για την βιολογική αφαίρεση του αζώτου για πάνω από τρεις δεκαετίες. Παρ' όλ' αυτά αυτές οι τεχνολογίες είναι δαπανηρές. Η χρήση των υγροτόπων, κατασκευασμένων και φυσικών, είναι πλέον αναγνωρισμένος ως ένας αποδεκτός χαμηλού κόστους τρόπος απομάκρυνσης του αζώτου, ειδικά σε μικρές κοινότητες, όπου η κατασκευή άλλων συστημάτων απομάκρυνσης είναι οικονομικά ασύμφορη. Οι υγρότοποι έχουν αποδείξει τις δυνατότητες του στην αφαίρεση αζώτου, αλλά η μεταβλητότητα στην απόδοση λόγω της ανεπαρκούς κατανόησης των αφαιρετικών μηχανισμών είναι σημαντικά αποθαρρυντική (Kivaisi A. 2000).

Η μετάλλαξη και η αποβολή του αζώτου συμπεριλαμβάνει ένα πολύπλοκο σύστημα διαδικασιών και σχέσεων. Η συνολική διαδικασία του αζώτου στους υγροτόπους συμπεριλαμβάνει την αμμωνιοποίηση, την νιτροποίηση – απονιτροποίηση, την προσρόφηση (adsorption), την ανταλλαγή ιόντων, την αεριοποίηση του αζώτου, την βιολογική λήψη και η αποσύνθεση και η μετατροπή από οργανική ουσία σε ανόργανη (mineralization), πιστεύεται ότι μετατρέπει σημαντικό μέρος του οργανικού οξυγόνου, το οποίο σχετίζεται με τα οργανικά στερεά απόβλητα και την άγλη, σε αμμωνία.

1.4.2. Λιπάσματα-ευτροφισμός

Ρύπανση των υδάτων με άζωτο προκύπτει από την λίπανση των αγρών και από την απόρριψη λυμάτων και άλλων αποβλήτων. Η χρησιμοποίηση λυμάτων σε ποσότητες μεγαλύτερες από τις δυνατότητες πρόσληψης των φυτών κάνει δυνατή τη μεταφορά του αζώτου στα επιφανειακά και υπόγεια υδάτινα σώματα, με τις επιφανειακές απορροές και τη διήθηση. Τα δημοτικά και κτηνοτροφικά λύματα και πολλά βιομηχανικά απόβλητα περιέχουν σημαντικές ποσότητες N με ανόργανη και οργανική μορφή. Στην περίπτωση της λίμνης Κάρλας έχουμε μόλυνση και από τα εισερχόμενα ύδατα από τον Πηνειό.

Τα αμμωνιακά και νιτρικά άλατα είναι απαραίτητα για την ανάπτυξη των φυτών και δημιουργούνται μέσα στην αλυσίδα αντιδράσεων στον κύκλο του αζώτου. Στο παρελθόν, οι γεωργοί χρησιμοποιούσαν κοπριά ή ορισμένα είδη φυτών πλούσια σε άζωτο για τις καλλιέργειες (αργότερα χρησιμοποιήθηκαν τα νιτρικά άλατα της Χιλής και το φυσικό guano των απορριμμάτων πτηνών στο Περού), αλλά οι ποσότητες ήταν περιορισμένες και η ποσότητα της φυτικής παραγωγής παρέμενε ικανή για να συντηρήσει, περίπου, 2 δισεκατομμύρια κατοίκους σε παγκόσμιο επίπεδο μέχρι το 1900 (Smil V. 1997).

Η ανακάλυψη του Carl Bosch (1899) για τεχνική παραγωγή αμμωνίας από υδρογόνο και άζωτο (που λαμβάνονταν από το άφθονο άζωτο της ατμόσφαιρας) οδήγησε ταχύτητα στην ανάπτυξη της βιομηχανίας αζωτούχων λιπασμάτων.

Η κατανάλωση των αζωτούχων λιπασμάτων 20πλασιάστηκε μέχρι το 1960 (20 μεγατόνοι) και είχε ξεπεράσει τους 100 μεγατόνους το 2000. Αν και τις τελευταίες δεκαετίες χρησιμοποιούνται ολοένα και περισσότερο τα ειδικά φυτά που δεσμεύουν το άζωτο στις ρίζες τους, τα συνθετικά αζωτούχα λιπάσματα παραμένουν οι κύριοι προμηθευτές του 60% του αζώτου στις φυτικές καλλιέργειες, ενώ παρέχουν συνολικά το 1/3 της πρωτεϊνούχας τροφής για την ανθρωπότητα (στα 2/3 περιλαμβάνονται ψάρια, κρέας και γαλακτοκομικά προϊόντα από κτηνοτροφία με βόσκηση) (Galloway et al, 1995).

Τα αμμωνιακά λιπάσματα μετατρέπονται με τους μικροβιακούς οργανισμούς του εδάφους σε νιτρικά υδατοδιαλυτά άλατα.

Σημαντικές ποσότητες νιτρικών εκπλύνονται και με τη βροχή, ενώ ένα τμήμα απονιτρώνεται από μικρόβια εδάφους προς άζωτο. Ένα τμήμα των αμμωνιακών

λιπασμάτων μπορεί και να εξατμισθεί σε θερμά κλίματα στην ατμόσφαιρα. Η έκλυση νιτρικών εξαρτάται και από το είδος του εδάφους, ενώ σημαντική έκλυση νιτρικών συμβαίνει και μετά τη συγκομιδή εάν έχουν παραμείνει νιτρικά στο έδαφος.

Η χρήση των νιτρικών και αμμωνιακών λιπασμάτων επιφέρει σημαντικά προβλήματα ρύπανσης των νερών που μπορούν να επηρεάσουν τα υδρόβια ζώα, τα οικοσυστήματα και την υγεία του ανθρώπου. Ιδιαίτερη σημασία έχει αποδοθεί στην αυξημένη συγκέντρωση νιτρικών στα υπόγεια νερά και στο πόσιμο νερό σε πολλές περιοχές του πλανήτη.

Οι επιπτώσεις στο περιβάλλον από την ύπαρξη αυξημένων συγκεντρώσεων νιτρικών και αμμωνιακών αλάτων είναι μία άλλη πλευρά που έχει μελετηθεί σε μεγάλο βαθμό και έχουν προταθεί διάφορα μέτρα περιορισμού της νιτρορύπανσης. Σε πολλές περιπτώσεις τα υδρόβια φυτά εκτίθενται σε αυξημένες συγκεντρώσεις που είναι τοξικές για την αναπτυξιακή τους πορεία, αλλά και οι άλλοι υδρόβιοι και αμφίβιοι οργανισμοί επηρεάζονται (θανατηφόρες και υπο-θανατηφόρες επιπτώσεις) σε σημαντικό βαθμό για συγκεντρώσεις της τάξης των 2.5-100 mg/L (Shrestha R, Ladha J. 2002).

Μια ακόμη αρνητική συνέπεια της ρύπανσης των νερών με αζωτούχα και φωσφορικά λιπάσματα και απορρυπαντικά, είναι ο **ευτροφισμός**. Ο ευτροφισμός ενός υδάτινου οικοσυστήματος (λίμνες, ποτάμια, αβαθείς κόλποι θαλασσών) είναι αποτέλεσμα της αύξησης νιτρικών, φωσφορικών και άλλων θρεπτικών υλικών που αυξάνουν υπερβολικά την παραγωγή οργανικής ύλης με αποτέλεσμα να καταναλώνεται το σύνολο του διαλυμένου οξυγόνου. Στα βαθειά νερά το οξυγόνο δεν ανανεώνεται και η άλγη και τα μακρόφυτα εκτοπίζουν άλλους οργανισμούς, ενώ αναγκάζονται να χρησιμοποιήσουν ως πηγή οξυγόνου τα νιτρικά και θειικά άλατα με αντίστοιχη παραγωγή αμμωνίας και υδρόθειου που αυξάνουν την τοξικότητα του περιβάλλοντος (Γεράκης και Κουτράκης 1996).

1.5 Στόχοι

Κύριος στόχος αυτής της εργασίας είναι η ανάπτυξη μαθηματικών μοντέλων προσομοίωσης που θα μπορέσουν να καταφέρουν να προσομοιώσουν την ποιότητα των υδάτων που εισέρχονται και εξέρχονται στον υπό ανασύσταση υγρότοπο. Μοντέλα προσομοίωσης έχουν χρησιμοποιηθεί και χρησιμοποιούνται ευρέως για την προσομοίωση περιβαλλοντικών και βιολογικών διεργασιών. Η χρήση των μοντέλων για να δημιουργήσουμε προγνωστικές μεθόδους αποκατάστασης, είναι μέγιστης σημασίας για την περιβαλλοντική διαχείριση των υπό ανασύσταση λιμνών.

Για την λίμνη Κάρλα έχουν κατά καιρούς εκπονηθεί πολλές μελέτες και έχουν μελετηθεί διάφορα σενάρια. Σίγουρα οι μελέτες που έχουν εκπονηθεί είναι πολύ σημαντικές, έχουν συλλεχθεί κατά καιρούς πολλές και χρήσιμες πληροφορίες και στοιχεία για τον σχεδιασμό και τη βαθμονόμηση μοντέλων και έχουν αποδείξει την χρησιμότητά τους στον σχεδιασμό και στην κατανόηση των διεργασιών και των παραγόντων που τις επηρεάζουν. Αλλά δεν έχουν γίνει σημαντικοί υπολογισμοί όσον αφορά την ποιότητα των υδάτων που εισρέουν και εκρέουν από τον υγρότοπο. Δεν είναι γνωστή με μεγάλη ακρίβεια η ποιοτική διάσταση του νερού, η πραγματική μείωση της ρύπανσης. Η εργασία αυτή θα προσπαθήσει να χρησιμοποιήσει τα δεδομένα που έχουν συλλεχθεί κατά την διάρκεια των χρόνων για να προβλέψει την ποιότητα των υδάτων της λίμνης Κάρλας.

Σε αυτή την εργασία θα μελετήσουμε την παράμετρο του αζώτου. Προσπαθήσαμε να δημιουργήσουμε ένα λεπτομερές μοντέλο οικοσυστήματος που θα μπορέσει να περιγράψει ουσιαστικά και με την μεγαλύτερη δυνατή λεπτομέρεια, τις βιολογικές διεργασίες που σχηματίζονται σε έναν υγρότοπο με τα χαρακτηριστικά της λίμνης Κάρλας. Το μοντέλο περιγράφει με μεγάλη λεπτομέρεια τον κύκλο ζωής του αζώτου και θα μας παρέχει και ποσοτικά αποτελέσματα όσον αφορά την κατακράτηση του αζώτου από την λίμνη.

Το μοντέλο αυτό σχεδιάστηκε χρησιμοποιώντας το λογισμικό STELLA (Structural Thinking, Experiential Learning Laboratory with Animation). Τα βήματα που ακολουθήθηκαν ήταν τα εξής:

- **Ανάπτυξη του μαθηματικού μοντέλου.** Ανατρέχοντας στην υπάρχουσα βιβλιογραφία βρήκαμε ανεπτυγμένα μαθηματικά μοντέλα, με συνθήκες παρόμοιες με αυτές της λίμνης Κάρλας, και τα προσαρμόσαμε κατάλληλα στα χαρακτηριστικά της περίπτωσης μας. Για το κάθε μέγεθος που υπολογίζεται, χρησιμοποιούνται οι βασικές αρχές του ισοζυγίου μάζας και αναπτύχθηκε ένα σύστημα διαφορικών εξισώσεων παραγωγίσιμων στο χρόνο.

- **Εισαγωγή δεδομένων.** Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν στην εργασία μας και αφορούν τις τιμές διαφόρων παραμέτρων που προσπαθούν να περιγράψουν την ποιοτική και ποσοτική διάσταση της λίμνης, π.χ. δεδομένα μετεωρολογικά, υδρολογικά, χημικές συγκεντρώσεις, χρήσεις γης, πάρθηκαν από διαθέσιμες πηγές (από διαθέσιμες μελέτες, από πανεπιστημιακούς που το ερευνητικό τους ενδιαφέρον επικεντρώνεται στην περιοχή κ.τ.λ.). Για όσα δεδομένα δεν μπορούσαμε να πάρουμε τιμές, χρησιμοποιήσαμε την υπάρχουσα σχετική βιβλιογραφία, ή δεδομένα παρόμοιων υδρογεωλογικών συνθηκών.

- **Ανάπτυξη, σύνταξη και επεξεργασία στο λογισμικό πρόγραμμα STELLA των μαθηματικών εξισώσεων.** Σε αυτό το βήμα, εισάγαμε τις εξισώσεις που χαρακτηρίζουν τις φυσικοχημικές και βιολογικές διεργασίες, και της ανάλογες παραμέτρους.

- **Επίλυση των εξισώσεων.** Οι εξισώσεις που χρησιμοποιούμε είναι οι περισσότερες μερικές διαφορικές και δεν λύνονται με αναλυτικές μεθόδους. Η λύση τους απαιτεί την χρήση αριθμητικών μεθόδων και χρήση υπολογιστικών προγραμμάτων.

- **Το τελικό στάδιο της εργασίας ήταν η ποσοτικοποίηση του βαθμού αποδοτικότητας των υπολογισμών των παραπάνω διεργασιών, όπως προκύπτουν από την επίλυση των εξισώσεων.** Για αυτό τον λόγο δοκιμάσαμε διάφορα σενάρια και αναλύσαμε τα αποτελέσματα που προέκυψαν. Εντοπίσαμε την διεργασία που είναι επικρατής στο κάθε σενάριο, προβλέψαμε τις επιπτώσεις στην ποιότητα του νερού που απορρέει και ταυτοποιήσαμε της ανεπιθύμητες συνέπειες του κάθε σεναρίου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ

Σε ένα μαθηματικό μοντέλο χρησιμοποιώντας τις κατάλληλες μαθηματικές εκφράσεις διαφορικών εξισώσεων, καταφέρνουμε να προσομοιάσουμε τις φυσικοχημικές και βιολογικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα σε έναν υγρότοπο, στην δική μας περίπτωση στην λίμνη Κάρλα. Σαν βασικός σκελετός του μοντέλου είναι το μαθηματικό μοντέλο των Wang και Peng (2007). Το μοντέλο αυτό βασισμένο σε μετρήσεις και εκτεταμένη χρήση της υπάρχουσας βιβλιογραφίας καταφέρνει να προσομοιώσει με μεγάλη ακρίβεια την τύχη του αζώτου σε υγροτόπους. Θα έπρεπε επίσης να συμπληρώσουμε πως χάρη στο πρόγραμμα προσομοίωσης STELLA, καταφέραμε να δώσουμε την έννοια της προτεραιότητας στις βιολογικές διεργασίες που συντελούνται σε κάθε μορφή αζώτου. Για παράδειγμα στις εκροές του αζώτου προηγείται η νιτροποίηση από την λήψη αμμωνιακού αζώτου από την άλγη. Προηγείται χρονικά ως διαδικασία. Έτσι το μοντέλο που σχεδιάσαμε μπορεί και γίνεται ακόμα πιο ρεαλιστικό.

Το μοντέλο που θα παρουσιάσουμε αποτελείται από δύο υπο-μοντέλα

- 1) υπο-μοντέλο υδρολογίας
- 2) υπο-μοντέλο αζώτου

2.1 Υπο-μοντέλο υδρολογίας

Για το υπο-μοντέλο της υδρολογίας, γίνεται εκτενής αναφορά στην διπλωματική εργασία της Βαϊνά (2007). Παρακάτω θα γίνει μια μικρή αναφορά στις υδρολογικές παραμέτρους της Κάρλας, η οποία είναι απαραίτητη για την περαιτέρω περιγραφή του μοντέλου.

Το υπο-μοντέλο υδρολογίας έχει μία μεταβλητή, τον όγκο του νερού στον υγρότοπο (volume V), ο οποίος καθορίζεται από το νερό που αντλείται μέσα στη λεκάνη του ταμιευτήρα, από το εισερχόμενο νερό λόγω απορροών,

από το νερό λόγω στραγγιδίων και βροχόπτωσης, καθώς και λόγω του νερού που απορρέει από τον ταμιευτήρα για να καλύψει τις ανάγκες άρδευσης της περιοχής, το νερό που εξατμίζεται στη ατμόσφαιρα, το νερό που διαφεύγει στον υπόγειο υδροφόρα καθώς επίσης και το νερό που διοχετεύεται στον Παγασητικό μέσω της σήραγγας όταν αυτό είναι αναγκαίο για την αντιπλημμυρική προστασία της περιοχής.

$$\frac{dV}{dt} = Q_{penios} + Q_{runoff} + Q_{drainage} + Q_{ppt} - Q_{irrig} - Q_{aquif} - Q_{Pagas} - ET \quad (1)$$

όπου:

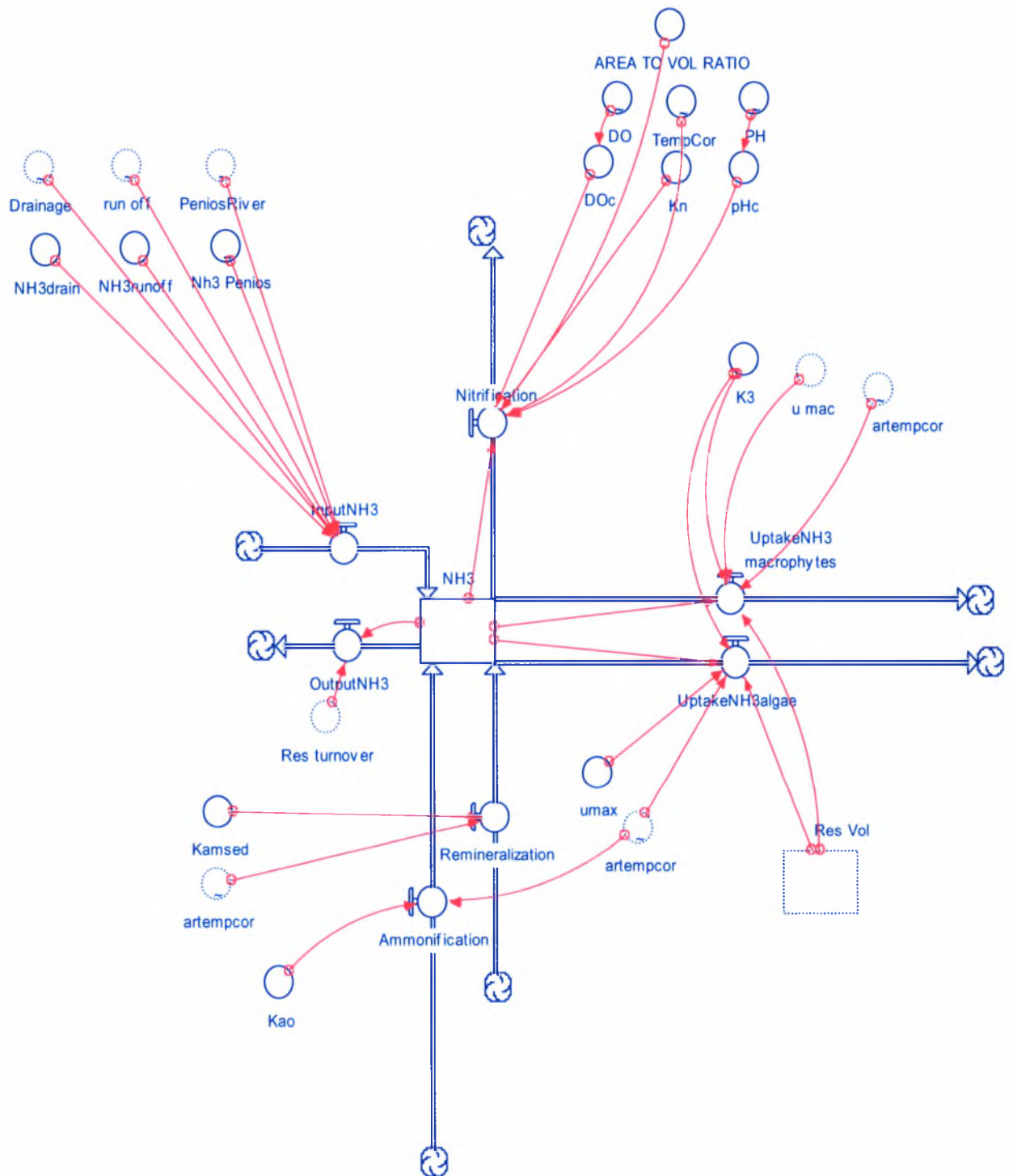
Q_{penios} :	Είναι η εισροή νερού στον υγρότοπο λόγω άντλησης από τον Πηνεϊό ($m^3/week$)
Q_{runoff}	Είναι η εισροή νερού στον υγρότοπο λόγω απορροών και πλημμύρων ($m^3/week$)
$Q_{drainage}$:	Είναι η εισροή του νερού στον υγρότοπο λόγω στραγγιδίων των αρδευόμενων περιοχών που απορρέουν στην Κάρλα ($m^3/week$)
Q_{ppt} :	Είναι η εισροή νερού στον υγρότοπο λόγω βροχόπτωσης ($m^3/week$)
Q_{irrig}	Είναι η εκροή νερού από τον υγρότοπο για την κάλυψη των αναγκών άρδευσης ($m^3/week$)
Q_{aquif}	Είναι η εκροή νερού από τον υγρότοπο λόγω διαφυγής στον υδροφόρα ($m^3/week$)
Q_{Pagas}	Είναι η εκροή νερού από τον υγρότοπο μέσω εκτροπής στον Παγασητικό ($m^3/week$)
ET	Το νερό που χάνεται από τον υγρότοπο στην ατμόσφαιρα λόγω εξατμισοδιαπνοής ($m^3/week$)

2.2. Υπό-μοντέλο αζώτου

Στο μοντέλο για την μελέτη του μετασχηματισμού του αζώτου σε μία λίμνη, συμπεριλήφθηκαν 6 μορφές του αζώτου, το αμμωνιακό άζωτο (NH_3),

τα νιτρώδη και νιτρικά (NO_2^- , NO_3^-), το οργανικό άζωτο στο νερό (N_{org}), το άζωτο στην άλγη (N_{algae}), το άζωτο στα μακρόφυτα (N_{mac}) και το άζωτο στα ιζήματα (N_{sed}).

2.2.1 Το αμμωνιακό άζωτο



Το αμμωνιακό άζωτο εμφανίζεται για τις συνήθεις τιμές του pH ως αμμώνιο το οποίο συγκρατείται από τα αρνητικά κολλοειδή του εδάφους. Εισροή αζώτου γίνεται με τους παρακάτω τρόπους:

1) Με την εισαγωγή του στην λίμνη μέσω των υδάτων που εισέρχονται από τον Πηνειό (NH_3input , g/week) με τις απορροές από τον περιβάλλοντα χώρο και μέσω των στραγγιδίων από τις καλλιέργειες της περιοχής.

Πολλαπλασιάζουμε την κάθε εισροή με την συγκέντρωση σε άζωτο και έτσι παίρνουμε την μάζα του αζώτου που εισέρχεται στην λίμνη.

Η εξίσωση που χρησιμοποιήθηκε στο μοντέλο είναι η εξής:

$$r_{input_NH3} = Q_{drainage} \cdot NH_{3\,drainage} + Q_{penios} \cdot NH_{3\,Penios} + Q_{runoff} \cdot NH_{3\,runoff}$$

Όπου

$NH_{3\,drainage}$: Είναι η συγκέντρωση του αζώτου στα στραγγίδια (g / m^3).

$NH_{3\,Penios}$: Είναι η συγκέντρωση του αζώτου στα νερά του Πηνειού (g / m^3).

$NH_{3\,runoff}$: Είναι η συγκέντρωση του αζώτου στα νερά απορροών και πλημμύρων (g / m^3).

2) Μέσω της διαδικασίας της αμμωνιοποίησης.

Με την αμμωνιοποίηση ένα μέρος του οργανικού αζώτου στην λίμνη μετατρέπεται σε αμμωνιακό άζωτο από αμμωνιοποιητικά βακτήρια..

Πολλαπλασιάζουμε την μάζα του οργανικού αζώτου στην λίμνη με τον συντελεστή αμμωνιοποίησης, επί την σταθερά του Arrhenius, υπολογισμένη με την διόρθωση της θερμοκρασίας.

Η σχέση που δίνει τον ρυθμό της διαδικασίας είναι η εξής:

$$r_{ammon} = K_{ammon} \cdot \left(\theta_{Arrh}^{T-20} \right) \cdot N_{org}$$

Όπου

K_{ammon} : Είναι συντελεστής του ρυθμού της αμμωνιοποίησης ($week^{-1}$)

θ_{Arrh}^{T-20} : Είναι ο συντελεστής του Arrhenius συνυπολογίζοντας την διόρθωση θερμοκρασίας.(-)

N_{org} : Είναι η μάζα του οργανικού αζώτου η οποία χρησιμοποιείται από την παραπάνω διεργασία. (g)

3) Μέσω της διαδικασίας του ανοργανοποίησης, δηλαδή την αποσύνθεση και την μετατροπή από οργανική ουσία σε ανόργανη. Βάση αυτής της βιολογικής διεργασίας που συντελείται στην λίμνη καταφέρεται η μετατροπή ενός μέρους του αζώτου που βρίσκεται στα ιζήματα της λίμνης σε αμμωνιακό άζωτο. Πολλαπλασιάζουμε την μάζα του αζώτου στα ιζήματα με τον συντελεστή ρυθμού της ανοργανοποίησης, επί την σταθερά του Arrhenius, υπολογισμένη με την διόρθωση της θερμοκρασίας.

Η σχέση που δίνει τον ρυθμό της διεργασίας είναι η εξής:

$$r_{re\ min} = K_{amsed} \cdot (\theta_{Arrh}^{T-20}) \cdot N_{sed}$$

Όπου

K_{amsed} : Είναι ο συντελεστής του ρυθμού της ανοργανοποίησης για το άζωτο στα ιζήματα ($week^{-1}$).

N_{sed} : Είναι η μάζα του αζώτου στα ιζήματα που θα χρησιμοποιηθεί από την παραπάνω διεργασία. (g)

Οι εκροές του αμμωνιακού αζώτου από το νερό γίνονται με τους παρακάτω τρόπους, με σειρά προτεραιότητας:

- 1) Μέσω της νιτροποίησης
- 2) Μέσω της λήψης αμμωνιακού αζώτου από την άλγη.
- 3) Μέσω της λήψης αμμωνιακού αζώτου από τα μακρόφυτα
- 4) Μέσω της εκροής νερού από τον υγρότοπο (NH_{3out} , g/week), η οποία

γίνεται με το νερό που αντλείται για την άρδευση και με τη διοχέτευση στον Παγασητικό.

Πολλαπλασιάζουμε την μάζα του αμμωνιακού αζώτου που περισσεύει από τις άλλες διαδικασίες με το νερό που φεύγει από τον υγρότοπο. Η σχέση που χρησιμοποιήθηκε για να εκφράσει την εκροή νερού από τον υγρότοπο είναι η εξής:

$$r_{NH_3,out} = NH_3 \left(\frac{Q_{irrig} + Q_{Pagas}}{V} \right)$$

Όπου

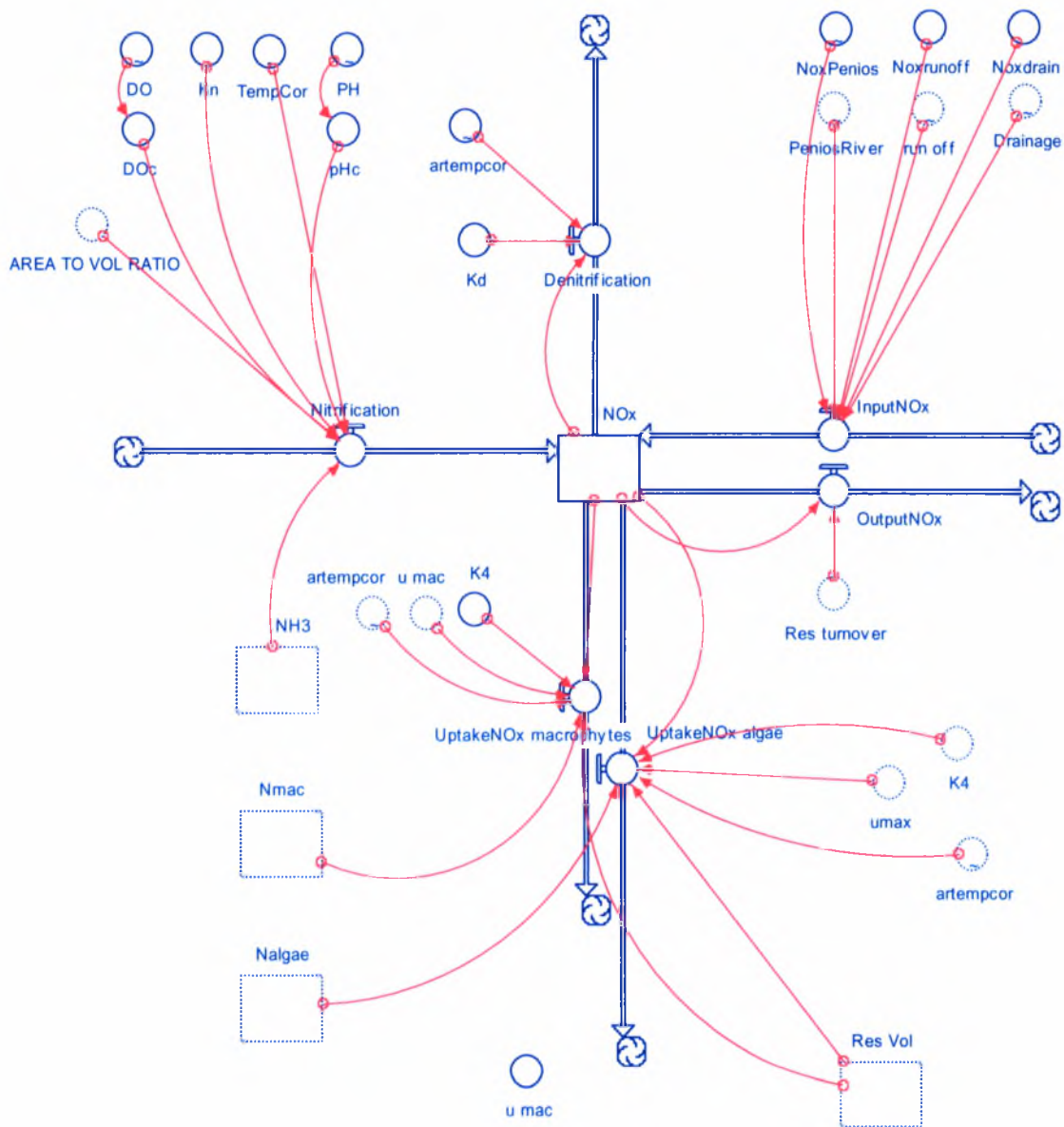
V : Είναι ο όγκος του ταμιευτήρα. (m^3)

NH_3 : Είναι η μάζα του αμμωνιακού αζώτου που θα χρησιμοποιηθεί από την παραπάνω διεργασία. (g)

Η ακριβής εξίσωση που εισάγαμε στο μοντέλο, είναι η παρακάτω:

$$\frac{d(NH_3)}{dt} = (Q_{drainage} \cdot NH_{3,drainage} + Q_{penios} \cdot NH_{3,penios} + Q_{runoff} \cdot NH_{3,runoff}) - r_{nitrif} - r_{uptakeNH_3,algae} - r_{uptakeNH_3,mac} - r_{NH_3,out} + r_{ammon} + r_{remin}$$

2.2.2 Νιτρώδη και Νιτρικά



Οι τρόποι εισροής νιτρώδων και νιτρικών είναι οι εξής:

- 1) Με την εισαγωγή τους στην λίμνη μέσω των υδάτων που εισέρχονται από τον Πηνειό (NOx_{input} , g/week) με τις απορροές από τον περιβάλλοντα χώρο και μέσω των στραγγιδίων από τις καλλιέργειες της περιοχής.

Πολλαπλασιάζουμε την κάθε εισροή με την συγκέντρωση σε νιτρώδη και νιτρικά και έτσι παίρνουμε την μάζα του τους που εισέρχεται στην λίμνη.

Η σχέση που χρησιμοποιήθηκε είναι η εξής:

$$r_{in_NOx} = Q_{drainage} \cdot NOx_{drainage} + Q_{penios} \cdot NOx_{Penios} + Q_{runoff} \cdot NOx_{runoff}$$

Όπου

$NOx_{drainage}$: Είναι η συγκέντρωση των νιτρώδων και νιτρικών στα στραγγίδια (g / m^3).

NOx_{Penios} : Είναι η συγκέντρωση των νιτρώδων και των νιτρικών στον Πηνειό (g / m^3).

NOx_{runoff} : Είναι η συγκέντρωση των νιτρώδων και νιτρικών στα νερά απορροών και πλημμύρων (g / m^3).

2) Μέσω της διαδικασίας της νιτροποίησης. Πρόκειται για αερόβια βιολογική διαδικασία δύο σταδίων κατά την οποία αυτότροφα βακτήρια οξειδώνουν τα αμμωνιακά ιόντα σε νιτρώδη και στη συνέχεια σε νιτρικά.

Η νιτροποίηση είναι αερόβια διεργασία και μπορεί μερικές φορές να δημιουργήσει σοβαρό πρόβλημα αποξυγόνωσης στα υδάτινα σώματα κατά τη βιολογική μετατροπή του αμμωνιακού αζώτου των λυμάτων σε νιτρώδη και στη συνέχεια σε νιτρικά., επειδή για την μετατροπή 1g αμμωνιακού αζώτου σε νιτρικά καταναλώνονται 4.57g διαλυμένου οξυγόνου του αποδέκτη. Ο μέγιστος ρυθμός νιτροποίησης διορθώνεται ανάλογα με τον όγκο και περιορίζεται από παράγοντες όπως το διαλυμένο οξυγόνο, το pH και τη θερμοκρασία.

Η εξίσωση που χρησιμοποιήθηκε για να προσομοιώσει την διαδικασία της νιτροποίησης είναι η εξής:

$$r_{nitrif} = NH_3 \cdot DO_c \cdot K_n \cdot pH_c \cdot TC \cdot \frac{A}{V}$$

Όπου

NH_3 : η μάζα του αμμωνιακού αζώτου που απορροφάται για την διαδικασία της νιτροποίησης, (g/week)

DO_c : το διαλυμένο οξυγόνο που βρίσκεται στα ύδατα της λίμνης Κάρλας, διορθωμένο για την παρουσία αναερόβιων συνθηκών,

K_n : ο μέγιστος ρυθμός νιτροποίησης,

pH_c : η τιμή του pH στην λίμνη, με τη διόρθωση για μη ιδανικό pH,

TC : ο παράγοντας διόρθωσης για τη θερμοκρασία.

A : Η επιφάνεια της λίμνης (m),

Η νιτροποίηση πραγματοποιείται σε θερμοκρασίες ανάμεσα σε 10 και 20 °C , με ιδανική θερμοκρασία τους 30 °C , γι' αυτό και κρίνεται απαραίτητη η διόρθωση του ρυθμού νιτροποίησης για άλλες θερμοκρασίες. Αυτό γίνεται με τη χρήση του παράγοντα TC . Επίσης, είναι μια αερόβια διεργασία που απαιτεί μια ικανοποιητική συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου για να πραγματοποιηθεί και απαιτεί αερόβιες συνθήκες, ενώ το pH πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ 7 και 9,8.

Οι εκροές των νιτρώδων και των νιτρικών και νιτρικών γίνονται με τους παρακάτω τρόπους:

1) Μέσω της διαδικασίας της απονιτροποίησης,, δηλαδή την μετατροπή των νιτρικών σε ελεύθερο άζωτο, η οποία είναι αναερόβια διεργασία και υπολογίστηκε με βάση την παρακάτω σχέση:

$$r_{denitrif} = NOx \cdot K_d \cdot \theta_{Arhh}^{T-20}$$

Όπου

NOx : Είναι η μάζα των νιτρώδων και των νιτρικών τα οποία απορροφούνται από την διαδικασία της απονιτροποίησης (g/week)

K_d : Ο μέγιστος ρυθμός απονιτροποίησης (week⁻¹)

Η απονιτροποίηση δεν είναι γενικά ευαίσθητη σε περιβαλλοντικές αλλαγές.

2) Μέσω της λήψης NOx από την άλγη,

3) Μέσω της λήψης NOx από τα μακρόφυτα,

4) Μέσω της εκροής νερού από τον υγρότοπο (NOx_{out} , g/week), η οποία

γίνεται με το νερό που αντλείται για την άρδευση και με τη διοχέτευση στον Παγασητικό. Πολλαπλασιάζουμε την μάζα των νιτρώδων και των νιτρικών που περισσεύει από τις άλλες διαδικασίες με το νερό που φεύγει από τον υγρότοπο. Η

σχέση που χρησιμοποιήθηκε για να εκφράσει την εκροή νερού από τον υγρότοπο είναι η εξής:

$$r_{NOx_out} = NOx \cdot \left(\frac{Q_{irrig} + Q_{Pagas}}{V} \right)$$

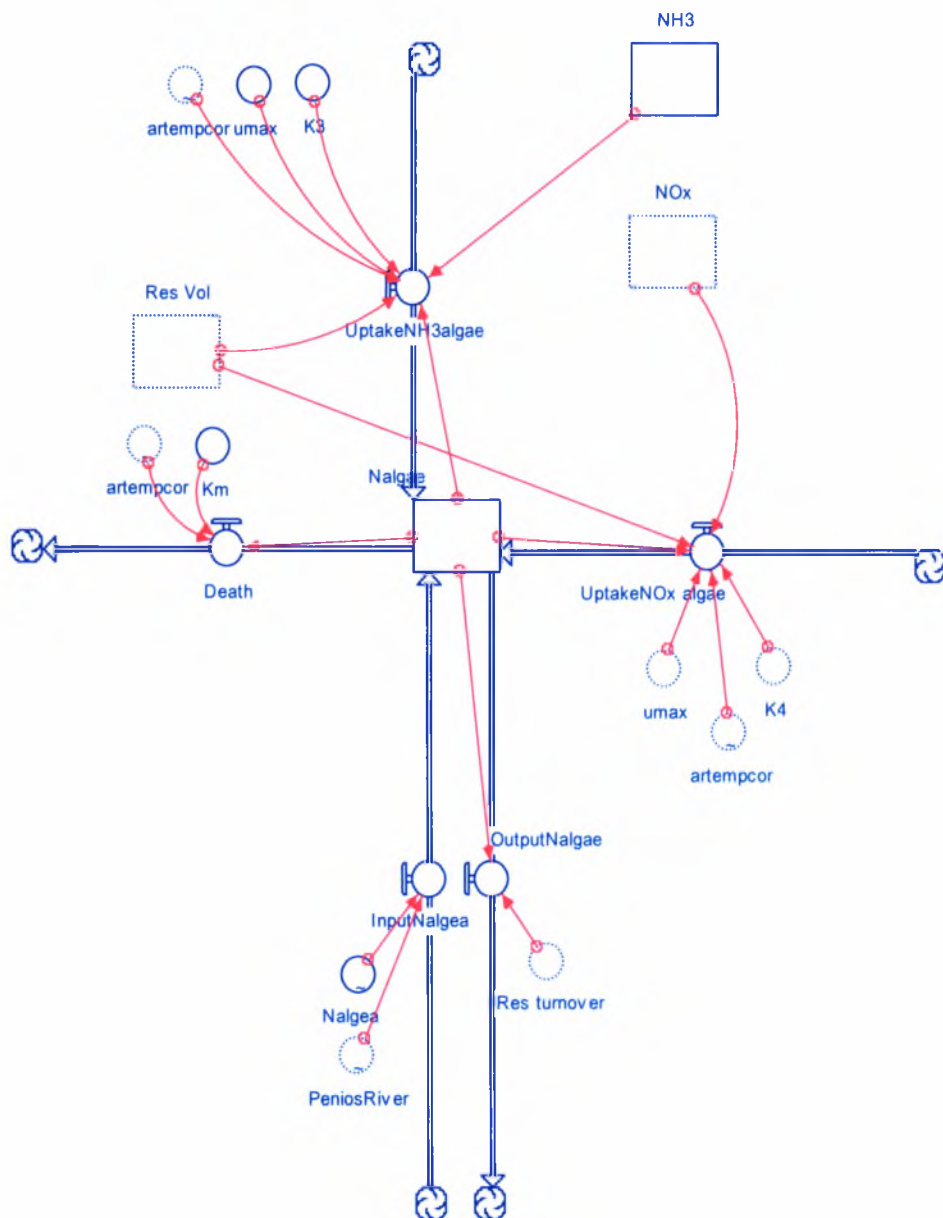
Όπου

NOx : Η μάζα των νιτρικών και νιτρικών που θα χρησιμοποιηθούν για την παραπάνω διεργασία.

Η ακριβής εξίσωση που εισάγαμε στο μοντέλο, είναι η παρακάτω:

$$\frac{d(NO_x)}{dt} = (Q_{drainage} \cdot NOx_{drainage} + Q_{penios} \cdot NOx_{Penios} + Q_{runoff} \cdot NOx_{runoff}) - r_{denitrif} - r_{uptakeNOx\ algae} - r_{uptakeNOx\ mac} - r_{NOx_out} + r_{nitrif}$$

2.2.3 Άλγη



Η άλγη είναι μια ομάδα οργανισμών που εμφανίζονται σε ένα ευρύ φάσμα των περιβαλλοντικών βιότοπων. Είναι φωτοσυνθετικοί οργανισμοί που περιέχουν χλωροφύλλη, έχουν απλές αναπαραγωγικές δομές, και οι ιστοί τους δεν διαφοροποιούνται σε ρίζες, μίσχους ή φύλλα. Κυμαίνονται από μονοκύτταρους μέχρι σε αρκετά σύνθετους πολυκύτταρους οργανισμούς. Μερικά είδη άλγης έχουν τόσο σύνθετη ανάπτυξη που μπορεί να τα μπερδέψουμε με τα αγγειώδη φυτά. Ένα

μέσο μεμονωμένο μικροσκοπικό μονοκύτταρο άλγης έχει διάμετρο περίπου 0.0010 mm .

Τα άλγη βρίσκονται σε όλο τον κόσμο και μπορούν να προκαλέσουν ενοχλητικά προβλήματα σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας ύδατος, παροχές πόσιμου νερού, σε λίμνες, σε πισίνες, κ.τ.λ. Είναι μικροσκοπικές μονό-κυτταρικές μορφές φυτών που αναπτύσσονται στην ηλιοφάνεια. Αναπτύσσονται γρήγορα σε στάσιμα ύδατα όταν εκτίθενται στο φως του ήλιου και σε θερμοκρασίες πάνω από $4 \text{ }^\circ\text{C}$. Τα φωσφορικά και νιτρικά άλατα στο νερό ευνοούν την ανάπτυξή τους. Τα άλγη συγκρατούν άζωτο και συμμετέχουν και αυτά με την σειρά τους στις βιολογικές διεργασίες που αφορούν την τύχη του αζώτου σε μία λίμνη (Munoz R και Guiesse B.)

Οι εισροές είναι οι εξής:

1) Με την εισαγωγή του στην λίμνη μέσω των υδάτων που εισέρχονται από τον Πηνειό ($Nalgae_{input} \text{ g/week}$). Ερευνώντας την υπάρχουσα βιβλιογραφία, και γνωρίζοντας την πυκνότητα σε Chl-a που έχουμε στα ύδατα, καταλήξαμε να

χρησιμοποιήσουμε το πηλίκο $\frac{N}{Chl-a} = 13$ (Chapelle et al, 2000) για να

προσδιορίσουμε την ποσότητα $Nalgae$ που εισέρχεται. Στην συνέχεια αφού βρούμε την συγκέντρωση σε $Nalgae$ πολλαπλασιάζουμε με την εισερχόμενη παροχή από τον Πηνειό και βρίσκουμε μ'αυτόν τον τρόπο την μάζα των $Nalgae$ που εισέρχεται στον υπό μελέτη υγρότοπο.

Η σχέση που χρησιμοποιήθηκε είναι η εξής:

$$r_{input} Nalgae = Q_{penios} \cdot Nalgae$$

Όπου

$Nalgae$: Η πυκνότητα του αζώτου στην άλγη (g / m^3).

2) Με την λήψη αμμωνιακού αζώτου. Ένα μέρος αμμωνιακού αζώτου προσροφάται από τα άλγη. Στην εξίσωση για την πρόσληψη αμμωνιακού αζώτου από τα άλγη χρησιμοποιήσαμε κινητική Monod. Η σχέση που εισάγαμε στο πρόγραμμα είναι η παρακάτω:

$$r_{uptakeNH_3} \text{ algae} = \mu_{\max} \cdot \theta_{Arrh}^{T-20} \cdot \left(\frac{\frac{NH_3}{V}}{\left(K_3 + \left(\frac{NH_3}{V} \right) \right)} \right) N \text{ algae}$$

Όπου

μ_{\max} : Ο μέγιστος ρυθμός ανάπτυξης της άλγης στους 20 °C (week⁻¹),

$\frac{NH_3}{V}$: Η υπάρχουσα συγκέντρωση NH_3 στην λίμνη (g/m^3),

K_3 : Σταθερά ημι-κορεσμού για το αμμώνιο (g/m^3),

$N \text{ algae}$: Η διαθέσιμη ποσότητα $N \text{ algae}$ στην λίμνη (g).

3) Με την λήψη αζώτου με την μορφή νιτρόδων και νιτρικών. Ένα μέρος της ποσότητας των νιτρόδων και των νιτρικών προσροφάται από την άλγη. Η εξίσωση που χρησιμοποιήσαμε είναι η εξής:

$$r_{uptakeNOx} \text{ algae} = \mu_{\max} \cdot \theta_{Arrh}^{T-20} \cdot \left(\frac{\frac{NOx}{V}}{\left(K_3 + \left(\frac{NOx}{V} \right) \right)} \right) N \text{ algae}$$

Όπου

μ_{\max} : Ο μέγιστος ρυθμός ανάπτυξης της άλγης στους 20 °C (week⁻¹)

$\frac{NOx}{V}$: Η υπάρχουσα συγκέντρωση NOx στην λίμνη (g/m^3)

K_4 : Σταθερά ημι-κορεσμού για τα νιτρώδη και νιτρικά (g/m^3)

$N \text{ algae}$: Η διαθέσιμη ποσότητα $N \text{ algae}$ στην λίμνη (g)

Οι εκροές είναι οι παρακάτω:

1) Η άλγη πεθαίνει και μετατρέπεται σε οργανικό άζωτο.

2) Η εκροή N_{algae} από τον υγρότοπο ($N_{algae\ output}$, g /week), η οποία γίνεται με το νερό που αντλείται για την άρδευση και με τη διοχέτευση στον Παγασητικό. Πολλαπλασιάζουμε την μάζα του N_{algae} που περισσεύει από τις άλλες διαδικασίες με το νερό που φεύγει από τον υγρότοπο. Η σχέση που χρησιμοποιήθηκε για να εκφράσει την εκροή νερού από τον υγρότοπο είναι η εξής:

$$r_{output} N_{algae} = N_{algae} \cdot \left(\frac{Q_{irrig} + Q_{Pagas}}{V} \right)$$

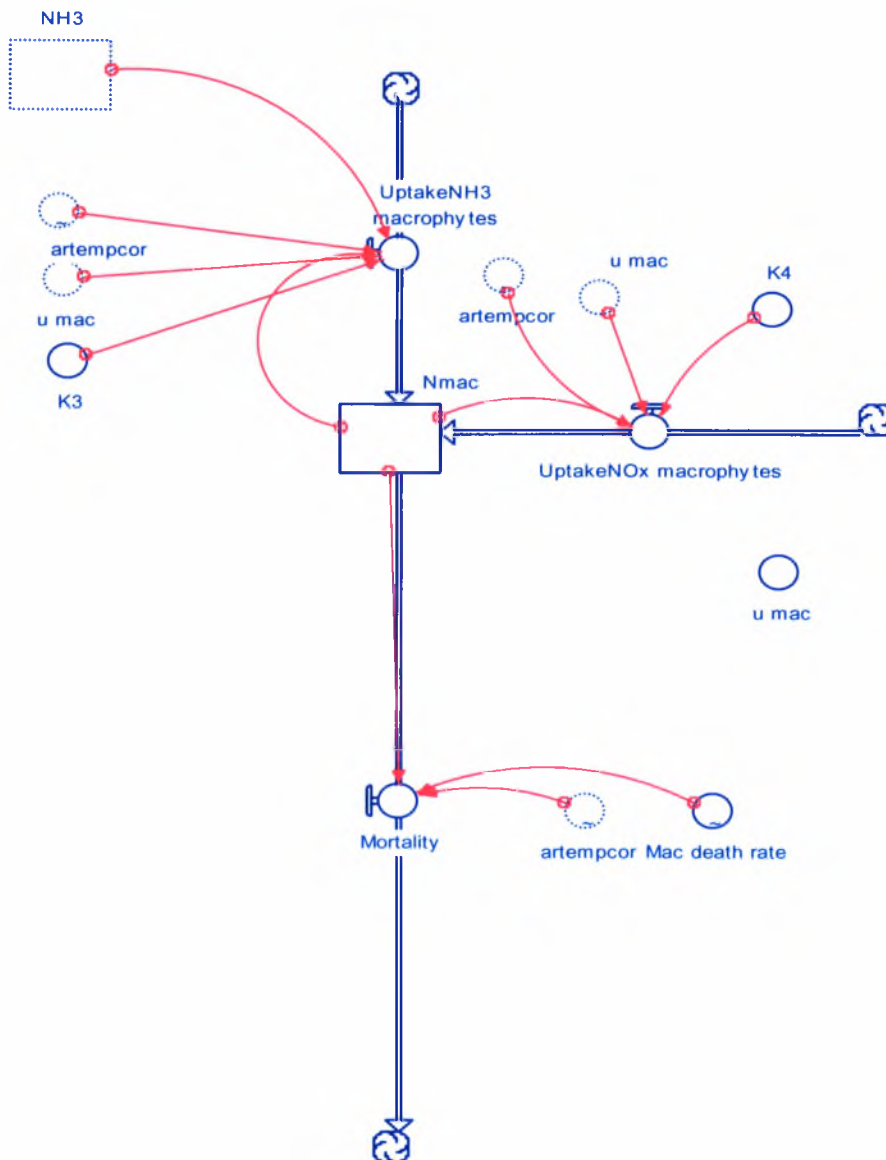
Όπου

N_{algae} : Η μάζα του αλγικού αζώτου (g).

Η ακριβής εξίσωση που εισάγαμε στο μοντέλο, είναι η παρακάτω:

$$\frac{d(N_{algae})}{dt} = Q_{penios} \cdot N_{algae} + r_{uptakeNH_3} \text{ algae} + r_{uptakeNOx} \text{ algae} - r_{output} N_{algae} - r_{death} \text{ algae}$$

2.2.4 Τα μακρόφυτα



Τα μακρόφυτα είναι φυτά τα οποία εμφανίζονται στις λίμνες, στους βάλτους και τα ρεύματά. Αυτά τα υδατικά φυτά εμφανίζονται σε πολλές μορφές και μεγέθη.

Οι τύποι των μακρόφυτων ορίζονται ως εξής:

- 1) Αναδυόμενα: ριζωμένα στον βυθό και εξέρχονται από το νερό,
- 2) Βυθισμένα: ριζωμένα στον βυθό αλλά να μην εξέρχονται από το νερό ,

3) Επιπλέοντα: ριζωμένα στον βυθό με τα φύλλα να επιπλέουν στην επιφάνεια του νερού,

4) Ελεύθερα επιπλέοντα: που δεν είναι ριζωμένα στον βυθό και με τα φύλλα τους να επιπλέουν στην επιφάνεια του νερού.

Υπάρχει μία σειρά περιβαλλοντικών παραγόντων οι οποίοι επηρεάζουν την ανάπτυξη των μακρόφυτων στα υδατικά συστήματα. Οι κυριότεροι παράγοντες που επηρεάζουν την ποσότητα και τον τύπο των μακροφύτων είναι οι παρακάτω:

- 1) Η διαθεσιμότητα κατάλληλου υποστρώματος για ριζωμένα μακρόφυτα
- 2) Η ποσότητα του φωτός που διεισδύει στο νερό (εξαρτώμενη από την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας, την ποσότητα των αιωρούμενων στερεών και το χρώμα του νερού). Σε καθαρά νερά, τα μακρόφυτα μπορούν να αναπτυχθούν σε μεγαλύτερα βάθη σε κατάλληλο υπόστρωμα, παρά σε θολά επειδή το φως διεισδύει πιο βαθιά. Πάντως για βάθη μεγαλύτερα των 10 μέτρων η ανάπτυξη των περισσότερων ειδών μακροφύτων ανακόπτεται.
- 3) Η ποσότητα τροφής στα ιζήματα για τα ριζωμένα φυτά και η ποσότητα τροφής στο νερό για τα ελεύθερα επιπλέοντα φυτά.
- 4) Η κίνηση του νερού. Οι κυματισμοί ενδέχεται να ανακόπτουν την ανάπτυξη των μακροφύτων σε ρηχά και εκτεθειμένα υδατικά οικοσυστήματα.
- 5) Η θερμοκρασία του νερού.
- 6) Από την χρησιμοποίηση των μακροφύτων ως τροφή από τα ψάρια ή υδρόβια φυτά της λίμνης.
- 7) Ο ανταγωνισμός με την άλγη.

Οι εισροές που έχουμε για τα μακρόφυτα είναι οι εξής:

1) Τα μακρόφυτα προσλαμβάνουν μέρος του αμμωνιακού αζώτου. Η σχέση που εισάγαμε στο πρόγραμμα προσομοίωσης είναι η παρακάτω:

$$r_{uptakeNH_3} \text{ mac} = \mu_{mac} \cdot \theta_{Arrh}^{T-20} \cdot \left(\frac{\frac{NH_3}{V}}{\left(K_3 + \left(\frac{NH_3}{V} \right) \right)} \right) \cdot N \text{ mac}$$

Όπου

μ_{mac} : Ο μέγιστος ρυθμός ανάπτυξης των μακρόφυτων στους 20 C° (week⁻¹)

$\frac{NH_3}{V}$: Η υπάρχουσα συγκέντρωση NH_3 στην λίμνη (g / m^3),

K_3 : Σταθερά ημι-κορεσμού για το αμμώνιο (g / m^3),

N_{mac} : Η διαθέσιμη ποσότητα N_{mac} στην λίμνη (g).

2) Τα μακρόφυτα προσλαμβάνουν άζωτο από τα νιτρικά και τα νιτρώδη. Η σχέση είναι η παρακάτω:

$$r_{uptakeNOx} \text{ mac} = \mu_{mac} \cdot \theta_{Arrh}^{T-20} \cdot \left(\frac{\frac{NOx}{V}}{\left(K_3 + \left(\frac{NOx}{V} \right) \right)} \right) \cdot N_{mac}$$

Όπου

μ_{mac} : Ο μέγιστος ρυθμός ανάπτυξης των μακρόφυτων στους 20 C° (week⁻¹),

$\frac{NOx}{V}$: Η υπάρχουσα συγκέντρωση NOx στην λίμνη (g / m^3),

K_4 : Σταθερά ημι-κορεσμού για τα νιτρώδη και νιτρικά (g / m^3),

N_{mac} : Η διαθέσιμη ποσότητα N_{mac} στην λίμνη (g).

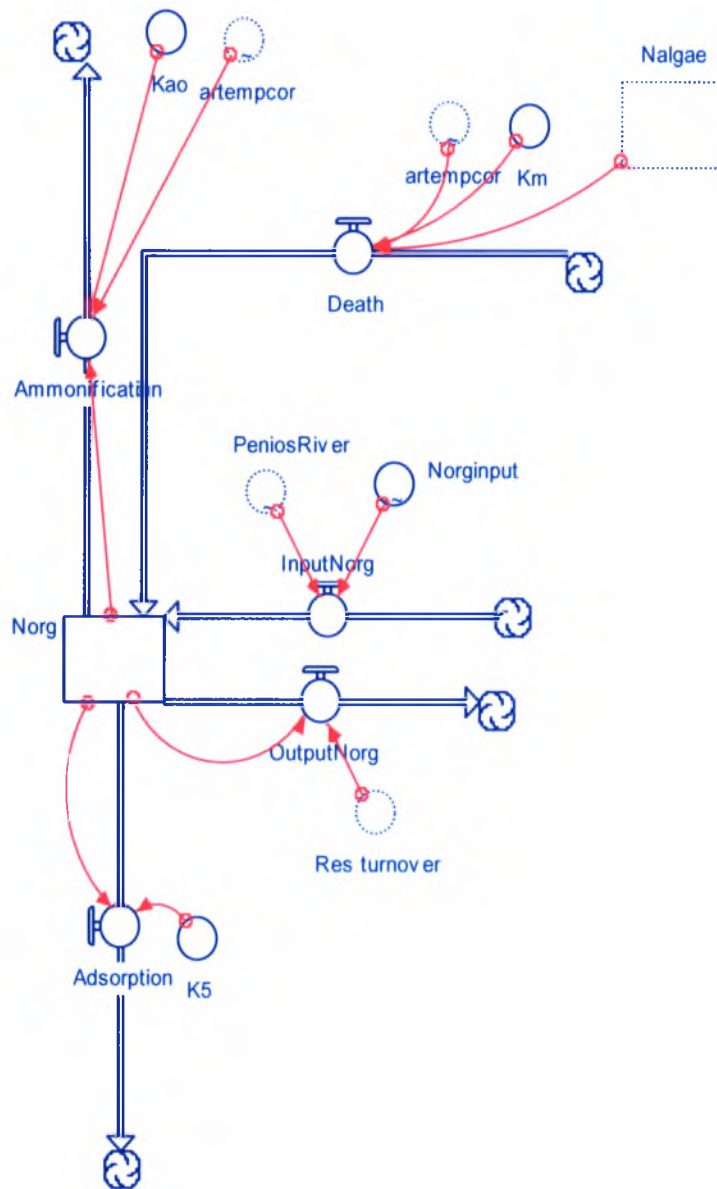
Η εκροή για τα μακρόφυτα είναι η παρακάτω:

1) Μέσω της διαδικασίας του θανάτου των μακροφύτων, μετατρέπονται σε ιζήματα και με το άζωτο σε ιζηματικό άζωτο.

Η εξίσωση που εισάγαμε στο μοντέλο μας είναι η παρακάτω:

$$\frac{d(N_{mac})}{dt} = r_{uptakeNH_3} \text{ mac} + r_{uptakeNOx} \text{ mac} - r_{mortality} \text{ mac}$$

2.2.5 Το οργανικό άζωτο



Το άζωτο εισάγεται στη λίμνη με οργανικές μορφές όπως οι ρίζες φυτών, φύλλα, και άλλοι φυτικοί ιστοί, καθώς επίσης από τα νεκρά ζώα, τα έντομα, τους μικροοργανισμούς, τα γεωργικά και αστικά απόβλητα. Δεδομένου ότι αυτά αποσυντίθενται, σταδιακά μετασχηματίζονται σε οργανική ουσία που περιέχει το οργανικό άζωτο. Οι εισροές που έχουμε υπολογίσει στην λίμνη Κάρλα είναι οι παρακάτω:

1) Με την εισαγωγή τους στην λίμνη μέσω των υδάτων που εισέρχονται από τον Πηνειό ($Norg_input$, g/week). Πολλαπλασιάζουμε την εισροή με την συγκέντρωση σε οργανικό άζωτο και έτσι παίρνουμε την μάζα που εισέρχεται στην λίμνη.

Η σχέση είναι η παρακάτω:

$$r_{input} Norg = Q_{penios} \cdot Norg_input$$

Όπου

Q_{penios} : Η εισερχόμενη παροχή υδάτων από τον Πηνειό (m^3)

$Norg_input$: Η συγκέντρωση του οργανικού αζώτου στα νερά του Πηνειού (g/m^3)

2) Η άλγη αφού ολοκληρώσει τον κύκλο της πεθαίνει, και η μορφή του αζώτου στην άλγη *Nalgae* μετατρέπεται σε οργανικό άζωτο. Η σχέση που χρησιμοποιήσουμε αυτήν την διαδικασία είναι η παρακάτω:

$$r_{death} = Km \cdot \theta_{Arrh}^{T-20} \cdot Nalgae$$

Όπου

Km : Είναι ο συντελεστής θανάτου του αλγικού αζώτου($week^{-1}$)

$Nalgae$: Η διαθέσιμη ποσότητα *Nalgae* στην λίμνη για αυτήν την βιολογική διεργασία (g).

Οι εκροές του οργανικού αζώτου είναι οι παρακάτω:

1) Μέσω της διαδικασίας της αμμωνιοποίησης, που έχει αναλυθεί στις εισροές του αμμωνιακού αζώτου

2) Μέσω της διαδικασίας του ιζηματοποίησης.

3) Μέσω της εκροής οργανικού αζώτου

Η εκροή *Norg* από τον υγρότοπο ($Norg_output$, g/week), η οποία γίνεται με το νερό που αντλείται για την άρδευση και με τη διοχέτευση στον Παγασητικό.

Πολλαπλασιάζουμε την μάζα του N_{org} που περισσεύει από τις άλλες διαδικασίες με το νερό που φεύγει από τον υγρότοπο. Η σχέση που χρησιμοποιήθηκε για να εκφράσει την εκροή νερού από τον υγρότοπο είναι η εξής:

$$r_{Output} N_{org} = N_{org} \left(\frac{Q_{irrig} + Q_{Pagas}}{V} \right)$$

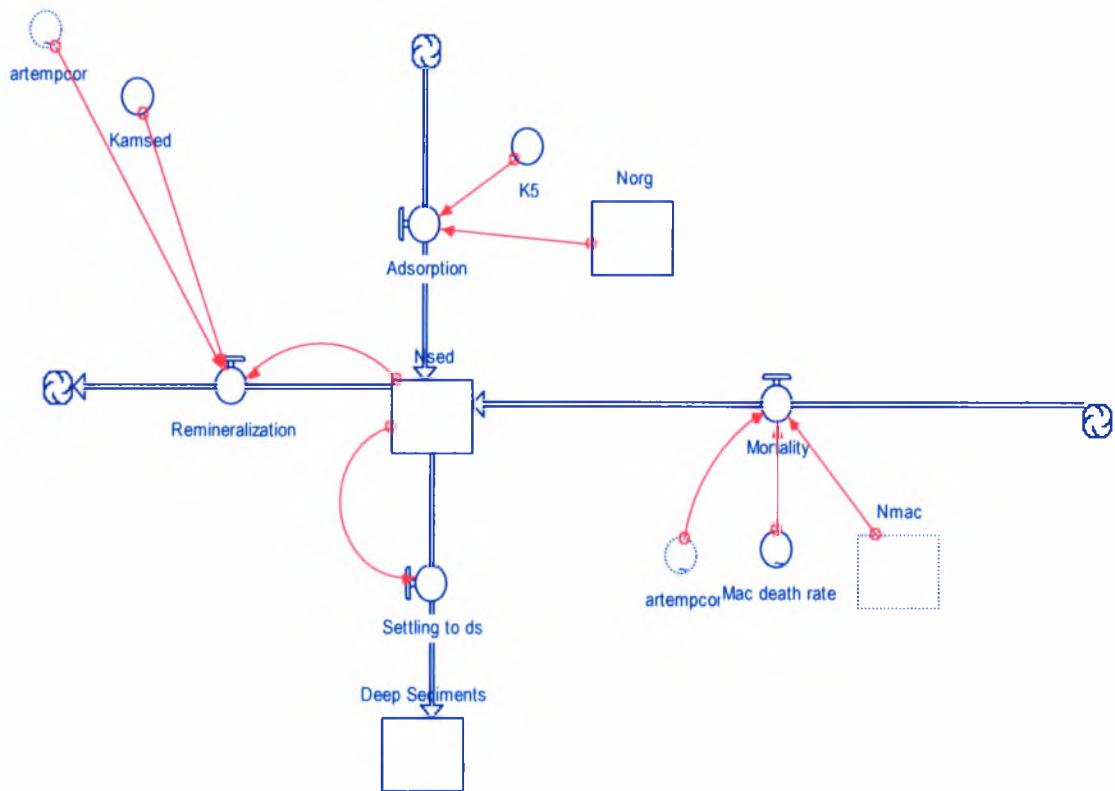
Όπου

N_{org} : Η μάζα του οργανικού αζώτου (g).

Η εξίσωση που εισάγαμε στο μοντέλο μας είναι η παρακάτω:

$$\frac{d(N_{org})}{dt} = (Q_{penios} \cdot N_{org_input}) + r_{death} \text{ algae} - r_{ammon} - r_{adsorption} - r_{Output} N_{org}$$

2.2.6 Το άζωτο στα ιζήματα



Οι εισροές ιζηματικού αζώτου γίνονται με τους παρακάτω τρόπους:

1) Η εκροή που έχουμε είναι από τα μακρόφυτα, και μέσω του θανάτου τους μεταλλάσσονται απευθείας σε ίζημα. Το άζωτο των μακροφύτων μετατρέπεται εξολοκλήρου σε ιζηματικό άζωτο. Αυτή η διεργασία παριστάνεται με εξίσωση ως εξής:

$$r_{mortality \text{ mac}} = r_{macdeath} \cdot \theta_{Arrh}^{T-20} \cdot N_{mac}$$

Όπου

$r_{macdeath}$: Είναι η «σταθερά» του ρυθμού του θανάτου, η οποία έχει εισαχθεί με counter, αφού μεταβάλλεται στην διάρκεια του χρόνου,

N_{mac} : Η διαθέσιμη ποσότητα N_{mac} στην λίμνη για αυτή την διεργασία (g).

2) Μέσω της διαδικασίας του adsorption, μέρος του οργανικού άζωτο μετατρέπεται σε ιζηματικό άζωτο. Η εξίσωση βάση της οποίας βρέθηκε ο ρυθμός της συγκεκριμένης διεργασίας είναι η παρακάτω:

$$r_{adsorption} = K_5 \cdot Norg$$

Όπου

$Norg$: Η μάζα του οργανικού αζώτου που χρησιμοποιείται για την παραπάνω διεργασία (g),

K_5 : Είναι ο ρυθμός ιζηματοποίησης για το οργανικό άζωτο (week⁻¹)

Οι εκροές του ιζηματικού αζώτου είναι οι παρακάτω:

1) Μέσω της διαδικασίας του remineralization, δηλαδή την αποσύνθεση και την μετατροπή από οργανική ουσία σε ανόργανη.

2) Μέσω της μετατροπής ενός μέρους των ιζημάτων σε βαθιά ιζήματα. Η διαδικασία αυτή φυσικά δεν μπορεί να έχει αρχική τιμή, αφού η μετατροπή σε βαθιά ιζήματα ξεκινά μετά από την πλήρωση του ταμιευτήρα με νερό.

Η εξίσωση που χρησιμοποιήθηκε είναι η παρακάτω:

$$r_{sed} = Nsed - INIT(Nsed)$$

Όπου

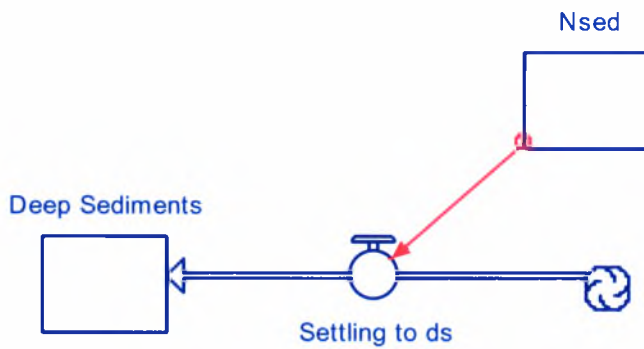
$Nsed$: Η μάζα του $Nsed$ που εισέρχεται για την διεργασία αυτή (g),

$INIT(Nsed)$: Η τιμή που μετά από την οποία, μετατρέπονται σε βαθιά ιζήματα (g).

Η εξίσωση που εισάγαμε είναι η παρακάτω:

$$\frac{d(Nsed)}{dt} = r_{mortality} mac + r_{adsorption} - r_{sed} - r_{remin}$$

2.2.7. Τα βαθιά ιζήματα



Τα βαθιά ιζήματα (DeepSediments, DS) είναι το ‘τελικό σημείο’ του μοντέλου. Δεν επηρεάζει το υπόλοιπο μοντέλο, μια και υποθέτουμε ότι δεν έχουμε κάποια διεργασία αποσύνθεσης σε αυτό το τμήμα, παρά μόνο εναπόθεση των υλικών που έχουν ήδη αποσυντεθεί στα άλλα στρώματα και είναι τελείως αδρανή.

$$\frac{dDS}{dt} = AS_{to DS}$$

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Τα μαθηματικά μοντέλα διαμορφώθηκαν με βάση τις αρχές διατήρησης και συνέχειας της μάζας. Περιγράφονται οι διαδικασίες στις οποίες οι συγκεντρώσεις των μεταβλητών μεταβάλλονται σε ένα κλειστό σύστημα λόγω διαταραχής μιας κατάστασης ισορροπίας ή λόγω φαινόμενων μεταφοράς ύλης (μεταγωγή, διασπορά, καθίζηση). Η ταχύτητα των μεταβολών περιγράφεται με τη βοήθεια κινητικών εξισώσεων που εξαρτώνται από τις συγκεντρώσεις, τη θερμοκρασία, την ηλιακή ακτινοβολία και άλλους περιβαλλοντικούς παράγοντες. Τα ισοζύγια μάζας που προκύπτουν παίρνουν την παρακάτω μορφή:

$$\{\text{συσσώρευση μάζας}\} = \{\text{είσοδος μάζας από μεταγωγή}\} + \{\text{είσοδος μάζας από διασπορά}\} + \{\text{μεταβολή λόγω αντιδράσεων και καθίζησης}\}$$

Ακόμα, είναι πολύ σημαντικό να πούμε πως χάρη των δυνατοτήτων που προσφέρει το πρόγραμμα STELLA, καταφέραμε να δώσουμε την προτεραιότητα των διεργασιών, πράγμα που σημαίνει πως καταφέραμε να αποδώσουμε με μεγαλύτερη ακρίβεια τις βιολογικές διεργασίες που συντελούνται.

3.1. Υπο-μοντέλο υδρολογίας

Για τον σχεδιασμό του μοντέλου και τον ποσοτικό υπολογισμό των βιολογικών διεργασιών που συντελούνται στον ταμιευτήρα, χρησιμοποιήσαμε το υδρολογικό μοντέλο της Βαϊνά (2007). Η διαφορά ήταν πως για τους δικούς μας υπολογισμούς απαιτούνταν υδρολογικά δεδομένα 9 ετών. Οι διαθέσιμες τιμές των υδρολογικών χαρακτηριστικών αφορούν την διάρκεια ενός υδρολογικού έτους και επαναλήφθηκαν για τα 9 χρόνια που απαιτούσε η ανάπτυξη του μοντέλου.

3.2. Υπο-μοντέλο αζώτου

Για να μελετηθεί η τύχη του αζώτου στον ταμιευτήρα της λίμνης Κάρλας, ήταν απαραίτητη η συλλογή και η χρησιμοποίηση πολλών ποιοτικών και ποσοτικών δεδομένων, συντελεστών και παραμέτρων, των οποίων η εύρεση ήταν ιδιαίτερα δύσκολη, καθώς δεν υπάρχει συντονισμένη καταγραφή των ποιοτικών και ποσοτικών χαρακτηριστικών των υδάτων του Πηνειού. Έτσι για την ανάπτυξη του μοντέλου χρησιμοποιήθηκαν διάφορες πηγές.

Οι πηγές αυτές ήταν η περιβαλλοντική έκθεση που συντάχθηκε για το Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ. το 1999 και αφορά την μαθηματική προσομοίωση της τροφικής κατάστασης του ταμιευτήρα της Κάρλας, Ιδιαίτερα χρήσιμη ήταν η διδακτορική διατριβή του Μπέλλου Δ. με τον τίτλο « Συγκέντρωση θρεπτικών στοιχείων, βαρέων μετάλλων και ραδιοκαισίου στο νερό-ίζημα και υδρόβια φυτά του ποταμού Πηνειού» (Α.Π.Θ. 2004), στην οποία εργασία γίνεται μηνιαία καταγραφή για διάρκεια τριών ετών πολλών ποιοτικών χαρακτηριστικών του ποταμού Πηνειού σε 7 διαφορετικά σημεία.

Από την διπλωματική εργασία της Μουστάκα (2002) διαπιστώσαμε την ακριβή θέση από την οποία θα απορροφήσει ο ταμιευτήρας της Κάρλας τα νερά του Πηνειού, και σε σχέση με τα διαθέσιμα σημεία δειγματοληψίας του Μπέλλου πήραμε τα απαραίτητα δεδομένα για την ακριβέστερη θέση.

Επίσης, δεδομένα που αφορούν συντελεστές των απαραίτητων εξισώσεων για την περιγραφή των φυσικών διεργασιών που συντελούνται στην λίμνη Κάρλα, πάρθηκαν από το μαθηματικό μοντέλο για την τύχη του αζώτου που ανέπτυξαν οι Peng και Wang (2007). Επίσης για δεδομένα τα οποία δεν μπόρεσαν να βρεθούν στην υπάρχουσα βιβλιογραφία για τον ποταμό Πηνειό, χρησιμοποιήθηκαν αντί αυτών δεδομένα από παραπλήσια υδατικά οικοσυστήματα, όπως η λίμνη Παμβώτιδα (Κάγκαλου, 2001).

Ακολουθεί η παράθεση των δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν, με την σειρά που είναι αναγκαία η χρήση των δεδομένων, όπως παρουσιάστηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο οι εξισώσεις που περιγράφουν τις βιολογικές διεργασίες. Τα μηνιαία δεδομένα μετασηματίστηκαν για τις ανάγκες του μοντέλου που σχεδιάσαμε σε εβδομαδιαία δεδομένα.

Τέλος, τα δεδομένα των οποίων οι τιμές περιγράφονται σε προηγούμενη βιολογική διεργασία, θα παραλείπεται η παράθεση τους και θα υπάρχει η σχετική αναφορά της διεργασίας στην οποία εμφανίστηκαν για πρώτη φορά.

3.2.1 Αμμωνιακό άζωτο

Για το αμμωνιακό άζωτο και τον υπολογισμό του ήταν απαραίτητες οι συγκεντρώσεις οι οποίες εισέρεαν στον υπό μελέτη υγρότοπο. Οι συγκεντρώσεις αυτές είναι η συγκέντρωση του αμμωνιακού αζώτου στα στραγγίδια (drainage), στις απορροές και τις πλημμύρες (runoff) και στα εισερχόμενα ύδατα από τον Πηνειό (Penios). Τις δύο πρώτες συγκεντρώσεις, τις συγκεντρώσεις των στραγγιδίων και των απορροών και πλημμύρων, τις πήραμε από την μελέτη που συντάχθηκε για το Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ. το 1999. Τις συγκεντρώσεις του αμμωνιακού αζώτου που εισέρχεται από τον Πηνειό, από την διδακτορική εργασία του Μπέλλου. Ακολουθεί λεπτομερής καταγραφή των δεδομένων.

Πίνακας 1. Συγκεντρώσεις αμμωνιακού αζώτου στις απορροές , πλημμύρες και στραγγίδια

Παράμετρος	Τιμή	Μονάδες	Πηγή
$NH_{3\text{drainage}}$	6,36	(g / m ³)	Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ. 1999
$NH_{3\text{runoff}}$	2,2	(g / m ³)	Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ. 1999

Όσον αφορά την συγκέντρωση του αμμωνιακού αζώτου στον Πηνειό, ακολουθεί ο παρακάτω πίνακας με τα μηνιαία στοιχεία τριών ετών.

Πίνακας 2: Συγκεντρώσεις αμμωνιακού αζώτου στον Πηγειό

Παράμετρος	Μήνας	1996	1997	1998	Μονάδες	Πηγή
$NH_{3Penios}$	Ιανουάριος	0,08	0,01	0,11	(g / m ³)	Μπέλλος 2004
	Φεβρουάριος	0,01	0,01	0,69	(g / m ³)	Μπέλλος 2004
	Μάρτιος	0,01	0,01	0,01	(g / m ³)	Μπέλλος 2004
	Απρίλιος	0,04	0,01	0,08	(g / m ³)	Μπέλλος 2004
	Μάιος	0,11	0,01	0,09	(g / m ³)	Μπέλλος 2004
	Ιούνιος	0,01	0,01	0,03	(g / m ³)	Μπέλλος 2004
	Ιούλιος	0,01	0,01	0,01	(g / m ³)	Μπέλλος 2004
	Αύγουστος	0,05	0,21	0,04	(g / m ³)	Μπέλλος 2004
	Σεπτέμβριος	0,01	0,29	0,01	(g / m ³)	Μπέλλος 2004
	Οκτώβριος	0,01	0,19	0,17	(g / m ³)	Μπέλλος 2004
	Νοέμβριος	0,05	0,06	0,05	(g / m ³)	Μπέλλος 2004
	Δεκέμβριος	0,05	0,06	0,21	(g / m ³)	Μπέλλος 2004

3.2.2. Αμμωνιοποίηση

Για την αμμωνιοποίηση ήταν απαραίτητη η γνώση του συντελεστή του ρυθμού της αμμωνιοποίησης K_{amm} , του συντελεστή του Arrhenius θ_{Arrh} , συνυπολογισμένου με την διόρθωση της θερμοκρασίας των υδάτων του Πηγειού. Η θερμοκρασία των υδάτων του Πηγειού πάρθηκε από την διαδακτορική εργασία του Μπέλλου και αφορά τις τιμές τριών ετών.

Πίνακας 3: Συντελεστές αμμωνιοποίησης

Παράμετρος	Τιμή	Μονάδες	Πηγή
K_{ammou}	0,7	week ⁻¹	Peng & Wang, 2007
θ_{Arrh}	1.05	-	Peng & Wang, 2007

Όσον αφορά την θερμοκρασία των υδάτων στον Πηγειό, ακολουθεί ο παρακάτω πίνακας.

Πίνακας 4: Θερμοκρασίες υδάτων Πηγειού

Παράμετρος	Μήνας	1996	1997	1998	Μονάδες	Πηγή
T_{water}	Ιανουάριος	7.5	7.3	8.1	C°	Μπέλλος 2004
	Φεβρουάριος	9.5	8.2	10.6	C°	Μπέλλος 2004
	Μάρτιος	12.4	10.3	12.4	C°	Μπέλλος 2004
	Απρίλιος	12.5	14.6	11.9	C°	Μπέλλος 2004
	Μάιος	19.5	23.2	22.6	C°	Μπέλλος 2004
	Ιούνιος	24.6	27.2	29.2	C°	Μπέλλος 2004
	Ιούλιος	25.8	25.2	27.1	C°	Μπέλλος 2004
	Αύγουστος	23.9	26.4	24.9	C°	Μπέλλος 2004
	Σεπτέμβριος	21.8	21.6	20.6	C°	Μπέλλος 2004
	Οκτώβριος	17.5	15.3	13.6	C°	Μπέλλος 2004
	Νοέμβριος	12.6	12.5	11.7	C°	Μπέλλος 2004
	Δεκέμβριος	8.7	10.2	7.1	C°	Μπέλλος 2004

3.2.3. Ανοργανοποίηση

Για την ανοργανοποίηση ήταν απαραίτητη γνώση του K_{amsed} , δηλαδή του συντελεστή του ρυθμού της ανοργανοποίησης για το άζωτο στα ιζήματα, καθώς επίσης και του συντελεστή του Arrhenius (πίνακας 3) συνυπολογίζοντας την θερμοκρασίας (πίνακας 4), που αναλύθηκαν στην αμμωνιοποίηση.

Πίνακας 5: Συντελεστής ανοργανοποίησης

Παράμετρος	Τιμή	Μονάδες	Πηγή
K_{amsed}	0,021	week ⁻¹	Peng & Wang, 2007

3.2.4. Νιτρώδη και νιτρικά

Για την μελέτη των νιτρώδων και νιτρικών ήταν απαραίτητη η γνώση της ποσότητας των εισρεόντων νιτρώδων και νιτρικών από τα στραγγίδια, τις απορροές και τις πλημμύρες, και από τον Πηνειό. Τις συγκεντρώσεις για τα πρώτα δύο, τις πήραμε από την μελέτη του Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ. (1999) και τις συγκεντρώσεις των νιτρώδων και νιτρικών από την διδακτορική διατριβή του Μπέλλου (2004). Ακολουθούν τα δεδομένα:

Πίνακας 6: Συγκεντρώσεις νιτρώδων και νιτρικών στα στραγγίδια και τις απορροές και πλημμύρες

Παράμετρος	Τιμή	Μονάδες	Πηγή
$NOx_{drainage}$	25,29	(g / m ³)	Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ. 1999
NOx_{runoff}	5,26	(g / m ³)	Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ. 1999

Όσον αφορά την συγκέντρωση των νιτρώδων στον Πηνειό, ακολουθεί ο παρακάτω πίνακας με τα μηνιαία στοιχεία τριών ετών.

Πίνακας 7: Νιτρώδη άλατα στον ποταμό Πηνειό

Παράμετρος	Μήνας	1996	1997	1998	Μονάδες	Πηγή
NO_2 Penios	Ιανουάριος	0.06	0.07	0.01	(g / m ³)	Μπέλλος 2004
	Φεβρουάριος	0.06	0.05	0.01	(g / m ³)	Μπέλλος 2004
	Μάρτιος	0.07	0.24	0.01	(g / m ³)	Μπέλλος 2004
	Απρίλιος	0.07	0.01	0.01	(g / m ³)	Μπέλλος 2004
	Μάιος	0.07	0.09	0.06	(g / m ³)	Μπέλλος 2004
	Ιούνιος	0.11	0.09	0.07	(g / m ³)	Μπέλλος 2004
	Ιούλιος	0.11	0.07	0.01	(g / m ³)	Μπέλλος 2004
	Αύγουστος	0.03	0.06	0.02	(g / m ³)	Μπέλλος 2004
	Σεπτέμβριος	0.01	0.11	0.01	(g / m ³)	Μπέλλος 2004
	Οκτώβριος	0.16	0.09	0.01	(g / m ³)	Μπέλλος 2004
	Νοέμβριος	0.15	0.08	0.01	(g / m ³)	Μπέλλος 2004
	Δεκέμβριος	0.09	0.07	0.01	(g / m ³)	Μπέλλος 2004

Όσον αφορά την συγκέντρωση των νιτρικών στον Πηνειό, ακολουθεί ο παρακάτω πίνακας με τα μηνιαία στοιχεία τριών ετών.

Πίνακας 8: Νιτρικά άλατα στον ποταμό Πηνειό

Παράμετρος	Μήνας	1996	1997	1998	Μονάδες	Πηγή
NO_3 Penios	Ιανουάριος	11.3	7.1	14.2	(g / m ³)	Μπέλλος 2004
	Φεβρουάριος	9.1	8.1	15.2	(g / m ³)	Μπέλλος 2004
	Μάρτιος	9.1	10.9	11.4	(g / m ³)	Μπέλλος 2004
	Απρίλιος	9.1	12.2	11.2	(g / m ³)	Μπέλλος 2004
	Μάιος	8.2	10.1	8.4	(g / m ³)	Μπέλλος 2004
	Ιούνιος	11.3	5.2	8.4	(g / m ³)	Μπέλλος 2004
	Ιούλιος	12.3	5.2	3.2	(g / m ³)	Μπέλλος 2004
	Αύγουστος	7.1	4.4	4.1	(g / m ³)	Μπέλλος 2004
	Σεπτέμβριος	6.1	6.1	5.4	(g / m ³)	Μπέλλος 2004
	Οκτώβριος	13.4	1.4	10.3	(g / m ³)	Μπέλλος 2004
	Νοέμβριος	9.3	0.1	6.1	(g / m ³)	Μπέλλος 2004
	Δεκέμβριος	9.2	1.1	6.1	(g / m ³)	Μπέλλος 2004

Τα νιτρώδη και τα νιτρικά στο μοντέλο που σχεδιάσαμε, θεωρώντας ότι συμβάλλουν με τον ίδιο τρόπο στην τύχη του αζώτου, αθροίσαμε τις συγκεντρώσεις τους με αποτέλεσμα τον παρακάτω πίνακα

Πίνακας 9: Νιτρικά και νιτρώδη άλατα στον ποταμό Πηνειό

Παράμετρος	Μήνας	1996	1997	1998	Μονάδες	Πηγή
<i>NOx_{Penios}</i>	Ιανουάριος	11.36	7.17	14.21	(g / m ³)	Μπέλλος 2004
	Φεβρουάριος	9.16	8.15	15.21	(g / m ³)	Μπέλλος 2004
	Μάρτιος	9.17	11.14	11.41	(g / m ³)	Μπέλλος 2004
	Απρίλιος	9.17	12.21	11.21	(g / m ³)	Μπέλλος 2004
	Μάιος	8.27	10.19	8.46	(g / m ³)	Μπέλλος 2004
	Ιούνιος	11.41	5.29	8.47	(g / m ³)	Μπέλλος 2004
	Ιούλιος	12.41	5.27	3.21	(g / m ³)	Μπέλλος 2004
	Αύγουστος	7.13	4.46	4.12	(g / m ³)	Μπέλλος 2004
	Σεπτέμβριος	6.11	6.21	5.41	(g / m ³)	Μπέλλος 2004
	Οκτώβριος	13.56	1.49	10.31	(g / m ³)	Μπέλλος 2004
	Νοέμβριος	9.45	0.18	6.11	(g / m ³)	Μπέλλος 2004
	Δεκέμβριος	9.29	1.17	6.11	(g / m ³)	Μπέλλος 2004

3.2.5. Νιτροποίηση

Για την νιτροποίηση απαιτείται η γνώση του *DO* , δηλαδή το διαλυμένο οξυγόνο που βρίσκεται στα ύδατα της λίμνης Κάρλας, διορθωμένο για την παρουσία αναερόβιων συνθηκών. Επίσης το *pH_c* , δηλαδή η τιμή του pH στην λίμνη, με τη διόρθωση για μη ιδανικό pH, καθώς και το *TC* ,τις τιμές της θερμοκρασίας των υδάτων, με την διόρθωση για μη ιδανική θερμοκρασία. Ακολουθούν παρακάτω οι τιμές του *DO* , του pH, και τα διαγράμματα βάση των οποίων έγινε η διόρθωση για τις μη ιδανικές τιμές θερμοκρασίας και pH.

Πίνακας 10: Συντελεστής νιτροποίησης

Παράμετρος	Τιμή	Μονάδες	Πηγή
K_n	0,945	week ⁻¹	Peng & Wang, 2007

Πίνακας 11: Συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου στον Πηνειό

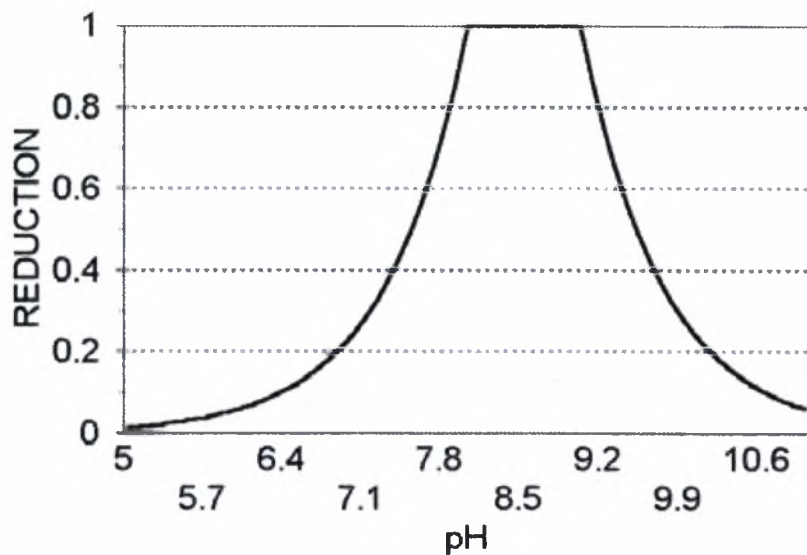
Παράμετρος	Μήνας	1996	1997	1998	Μονάδες	Πηγή
<i>DO</i>	Ιανουάριος	12.1	15.6	10.8	(g / m ³)	Μπέλλος 2004
	Φεβρουάριος	10.4	17.2	14.3	(g / m ³)	Μπέλλος 2004
	Μάρτιος	10.1	10.5	11.8	(g / m ³)	Μπέλλος 2004
	Απρίλιος	10.2	11.1	9.9	(g / m ³)	Μπέλλος 2004
	Μάιος	7.6	6.3	8.5	(g / m ³)	Μπέλλος 2004
	Ιούνιος	9.6	11.2	12.2	(g / m ³)	Μπέλλος 2004
	Ιούλιος	13.7	6.8	11.9	(g / m ³)	Μπέλλος 2004
	Αύγουστος	6.2	6.4	9.7	(g / m ³)	Μπέλλος 2004
	Σεπτέμβριος	9.3	7.4	9.4	(g / m ³)	Μπέλλος 2004
	Οκτώβριος	8.6	8.1	9.7	(g / m ³)	Μπέλλος 2004
	Νοέμβριος	10.5	11.1	11.1	(g / m ³)	Μπέλλος 2004
	Δεκέμβριος	11.4	12.1	12.5	(g / m ³)	Μπέλλος 2004

Πίνακας 12: Τιμές pH των υδάτων του Πηγειού

Παράμετρος	Μήνας	1996	1997	1998	Μονάδες	Πηγή
pH	Ιανουάριος	8.05	7.88	8.15	-	Μπέλλος 2004
	Φεβρουάριος	8.26	7.92	8.23	-	Μπέλλος 2004
	Μάρτιος	8.24	8.02	8.37	-	Μπέλλος 2004
	Απρίλιος	8.22	8.14	8.3	-	Μπέλλος 2004
	Μάιος	8.18	8.08	8.34	-	Μπέλλος 2004
	Ιούνιος	8.31	8.31	8.74	-	Μπέλλος 2004
	Ιούλιος	8.48	7.85	9.04	-	Μπέλλος 2004
	Αύγουστος	7.93	7.67	8.36	-	Μπέλλος 2004
	Σεπτέμβριος	8.19	7.72	8.13	-	Μπέλλος 2004
	Οκτώβριος	8.18	8.01	7.89	-	Μπέλλος 2004
	Νοέμβριος	8.15	7.94	8.02	-	Μπέλλος 2004
	Δεκέμβριος	8.16	7.81	8.05	-	Μπέλλος 2004

Όσον αφορά τις τιμές του pH, απαιτείται διόρθωση η οποία γίνεται βάση του παραπάνω διαγράμματος, το οποίο το πήραμε από την μεταπτυχιακή εργασία του Ρόπη Κ. (Αθήνα 2005).

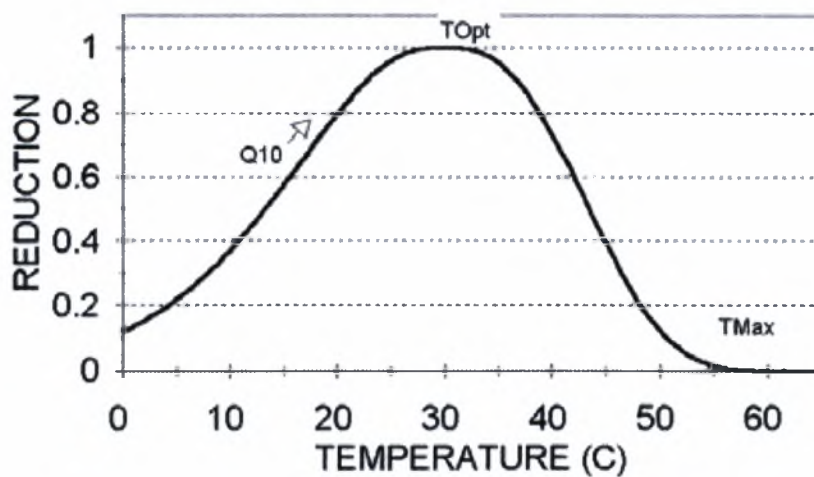
EFFECT OF pH



Σχήμα 1

Για την διόρθωση της θερμοκρασίας των υδάτων για την διαδικασία της νιτροποίησης, επίσης από την ίδια μεταπτυχιακή εργασία πήραμε τον παρακάτω πίνακα:

STROGANOV FUNCTION NITRIFICATION



Σχήμα 2

Για να μπορέσουμε να χρησιμοποιήσουμε τους δύο παραπάνω πίνακες, περάσαμε χαρακτηριστικές τιμές του διαγραμμάτων στο υπολογιστικό πρόγραμμα Excell και βγάλαμε τις εξισώσεις, βάση των οποίων κάναμε την απαραίτητη προσαρμογή των τιμών μας.

3.2.6. Απονιτροποίηση

Για την απονιτροποίηση είναι απαραίτητη η γνώση του συντελεστή απονιτροποίησης, η γνώση του συντελεστή του Arrhenius (πίνακας 3) και η γνώση της θερμοκρασίας των υδάτων (πίνακας 4).

Πίνακας 13: Συντελεστής απονιτροποίησης

Παράμετρος	Τιμή	Μονάδες	Πηγή
K_d	13,3	week ⁻¹	Peng & Wang, 2007

3.2.7. Το αλγικό άζωτο

Για να βρούμε το αλγικό άζωτο που εισέρχεται στην λίμνη Κάρλα χρησιμοποιήσαμε τον λόγο $\frac{N}{Chl\ a} = 13$ (Chapelle et al, 2000). Οπότε έπρεπε να έχουμε δεδομένα συγκέντρωσης χλωροφύλλης. Τα δεδομένα αυτά τα πήραμε από την Λίμνη Παμβώτιδα, και είναι δεδομένα διάρκειας ενός έτους. Τα ανάγαμε για την περίοδο των τριών ετών, η οποία είναι η βάση του χρονικού διαστήματος εφαρμογής του μοντέλου μας. Έπειτα, πολλαπλασιάσαμε την συγκέντρωση της χλωροφύλλης με το αμμωνιακό άζωτο, με την σχέση που ορίζει ο Chapelle και βρήκαμε την συγκέντρωση του αλγικού αζώτου. Ακολουθούν τα δεδομένα της χλωροφύλλης:

Πίνακας 14: Συγκέντρωση χλωροφύλλης στην Παμβώτιδα

Παράμετρος	Μήνας	Έτος	Μονάδες	Πηγή
Chl-a	Ιανουάριος	18	μg/l	(Κάγκαλου,2001)
	Φεβρουάριος	11	μg/l	(Κάγκαλου,2001)
	Μάρτιος	22	μg/l	(Κάγκαλου,2001)
	Απρίλιος	15	μg/l	(Κάγκαλου,2001)
	Μάιος	14	μg/l	(Κάγκαλου,2001)
	Ιούνιος	16	μg/l	(Κάγκαλου,2001)
	Ιούλιος	25	μg/l	(Κάγκαλου,2001)
	Αύγουστος	44	μg/l	(Κάγκαλου,2001)
	Σεπτέμβριος	20	μg/l	(Κάγκαλου,2001)
	Οκτώβριος	42	μg/l	(Κάγκαλου,2001)
	Νοέμβριος	33	μg/l	(Κάγκαλου,2001)
	Δεκέμβριος	18	μg/l	(Κάγκαλου,2001)

Πίνακας 15: Συγκέντρωση αλγικού αζώτου στην λίμνη

Παράμετρος	Μήνας	Έτος	Μονάδες
Nalgae	Ιανουάριος	0.234	g / m^3
	Φεβρουάριος	0.143	g / m^3
	Μάρτιος	0.286	g / m^3
	Απρίλιος	0.195	g / m^3
	Μάιος	0.182	g / m^3
	Ιούνιος	0.208	g / m^3
	Ιούλιος	0.325	g / m^3
	Αύγουστος	0.572	g / m^3
	Σεπτέμβριος	0.26	g / m^3
	Οκτώβριος	0.546	g / m^3
	Νοέμβριος	0.429	g / m^3
	Δεκέμβριος	0.234	g / m^3

3.2.8. Η λήψη αμμωνιακού αζώτου από την άλγη

Για αυτή την βιολογική διεργασία είναι απαραίτητη η γνώση του μ_{max} , που είναι ο μέγιστος ρυθμός ανάπτυξης της άλγης, του συντελεστή του Arrhenius (πίνακας 3) και της θερμοκρασίας των υδάτων (πίνακας 4) καθώς και της σταθεράς K_3 .

Πίνακας 16: Συντελεστές για την λήψη αμμωνιακού αζώτου από την άλγη

Παράμετρος	Τιμή	Μονάδες	Πηγή
μ_{max}	3,15	week ⁻¹	Peng & Wang, 2007
K_3	18	g/m ³	Peng & Wang, 2007

3.2.9 Η λήψη του νιτρικού αζώτου από την άλγη

Οι συντελεστές είναι ίδιοι με αυτούς της λήψης αμμωνιακού αζώτου, εκτός της σταθεράς K_4 , αντί της K_3 , με την σταθερά του Arrhenius στον πίνακα 3, και την θερμοκρασία υδάτων στον πίνακα 4.

Πίνακας 17: Συντελεστές για την λήψη του νιτρικού αζώτου από την άλγη

Παράμετρος	Τιμή	Μονάδες	Πηγή
K_4	2	g/m ³	Peng & Wang, 2007

3.2.10. Η λήψη αμμωνιακού αζώτου από τα μακρόφυτα

Για αυτή την βιολογική διεργασία είναι απαραίτητη η γνώση του μ_{mac} , που είναι ο μέγιστος ρυθμός ανάπτυξης της άλγης, του συντελεστή του Arrhenius (πίνακας 3) και της θερμοκρασίας των υδάτων (πίνακας 4) καθώς και της σταθεράς K_3 .

Πίνακας 18: Συντελεστές για την λήψη αμμωνιακού αζώτου από τα μακρόφυτα

Παράμετρος	Τιμή	Μονάδες	Πηγή
μ_{mac}	3,29	week ⁻¹	Peng & Wang, 2007
K_3	18	g/m ³	Peng & Wang, 2007

3.2.11. Η λήψη του νιτρικού αζώτου από τα μακρόφυτα

Οι συντελεστές είναι ίδιοι με αυτούς της λήψης αμμωνιακού αζώτου, εκτός της σταθεράς K_4 , αντί της K_3 .

Πίνακας 19: Συντελεστές για την λήψη του νιτρικού αζώτου από τα μακρόφυτα

Παράμετρος	Τιμή	Μονάδες	Πηγή
K_4	2	g/m ³	Peng & Wang, 2007

3.2.12. Το οργανικό άζωτο

Στον ταμιευτήρα της Κάρλας εισέρχεται οργανικό άζωτο. Για να το βρούμε όμως έπρεπε να ακολουθήσουμε την παρακάτω διαδικασία. Τα δεδομένα που είχαμε από την διδακτορική διατριβή του Μπέλλου, μας δίνανε την συγκέντρωση ολικού αζώτου. Έτσι ακολουθώντας την μέθοδο Total Kjeldhal Nitrogen, για να βρούμε την συγκέντρωση του οργανικού αζώτου, αφαιρέσαμε από το ολικό άζωτο το αμμωνιακό άζωτο. Οι σχετικοί πίνακες βρίσκονται παρακάτω:

Πίνακας 20: Συγκέντρωση ολικού αζώτου στον Πηγεϊό

Παράμετρος	Μήνας	1996	1997	1998	Μονάδες	Πηγή
TN	Ιανουάριος	2.82	1.91	4.13	(g/m ³)	Μπέλλος 2004
	Φεβρουάριος	2.33	2.12	3.01	(g/m ³)	Μπέλλος 2004
	Μάρτιος	2.18	2.72	3.27	(g/m ³)	Μπέλλος 2004
	Απρίλιος	2.28	3.33	3.22	(g/m ³)	Μπέλλος 2004
	Μάιος	2.38	2.55	2.82	(g/m ³)	Μπέλλος 2004
	Ιούνιος	2.97	1.43	3.27	(g/m ³)	Μπέλλος 2004
	Ιούλιος	3.53	1.44	2.28	(g/m ³)	Μπέλλος 2004
	Αύγουστος	1.12	1.29	1.29	(g/m ³)	Μπέλλος 2004
	Σεπτέμβριος	1.72	1.94	3.22	(g/m ³)	Μπέλλος 2004
	Οκτώβριος	3.78	0.89	3.24	(g/m ³)	Μπέλλος 2004
	Νοέμβριος	2.39	1.12	2.47	(g/m ³)	Μπέλλος 2004
	Δεκέμβριος	2.52	1.41	2.26	(g/m ³)	Μπέλλος 2004

Πίνακας 21: Συγκέντρωση οργανικού αζώτου στον Πηνειό

Παράμετρος	Μήνας	1996	1997	1998	Μονάδες	Πηγή
N_{org}	Ιανουάριος	2.74	1.9	4.02	(g/m ³)	Μπέλλος 2004
	Φεβρουάριος	2.32	2.11	2.12	(g/m ³)	Μπέλλος 2004
	Μάρτιος	2.17	2.71	3.26	(g/m ³)	Μπέλλος 2004
	Απρίλιος	1.88	3.32	3.14	(g/m ³)	Μπέλλος 2004
	Μάιος	2.27	2.54	2.73	(g/m ³)	Μπέλλος 2004
	Ιούνιος	2.96	1.42	3.24	(g/m ³)	Μπέλλος 2004
	Ιούλιος	3.52	1.43	2.27	(g/m ³)	Μπέλλος 2004
	Αύγουστος	1.07	1.05	1.25	(g/m ³)	Μπέλλος 2004
	Σεπτέμβριος	1.71	1.65	3.21	(g/m ³)	Μπέλλος 2004
	Οκτώβριος	3.77	0.7	3.07	(g/m ³)	Μπέλλος 2004
	Νοέμβριος	2.38	1.04	2.42	(g/m ³)	Μπέλλος 2004
	Δεκέμβριος	2.47	1.35	2.05	(g/m ³)	Μπέλλος 2004

3.2.13 Θάνατος της άλγης

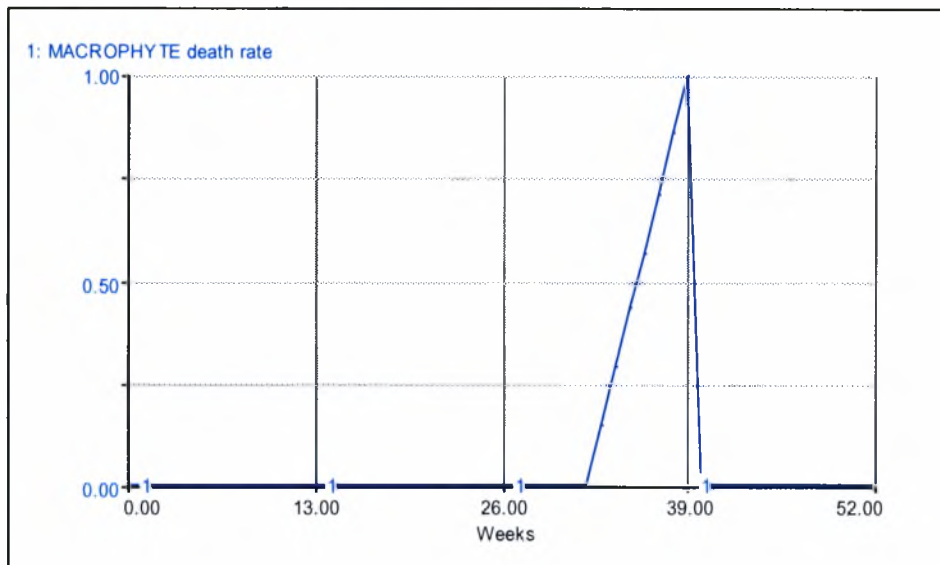
Για την περιγραφή την οργανοποίησης της άλγης μέσω του θανάτου της είναι απαραίτητες οι σταθερές K_m , του συντελεστή του Arrhenius (πίνακας 3) και της θερμοκρασίας των υδάτων (πίνακας 4)

Πίνακας 22: Συντελεστής θανάτου της άλγης

Παράμετρος	Τιμή	Μονάδες	Πηγή
K_4	2	week ⁻¹	Peng & Wang, 2007

3.2.14. Εισροή του ιζηματικού αζώτου

Μέσω του θανάτου των μακροφύτων, έχουμε εισροή ιζηματικού αζώτου, αφού μετατρέπονται σε ίζημα. Είναι απαραίτητη η γνώση του ρυθμού θανάτου των μακροφύτων $r_{macdeath}$, η οποία εισάγεται με counter για την διάρκεια των 9 χρόνων του μοντέλου, του συντελεστή του Arrhenius (πίνακας 3) και της θερμοκρασίας των υδάτων (πίνακας 4).



Σχήμα 3: Ρυθμός θανάτου των μακροφύτων

3.2.15. Η αμμωνιοποίηση του οργανικού αζώτου

Για την διαδικασία αυτή απαιτείται η γνώση του K_5 , το οποίο παρατίθεται παρακάτω.

Πίνακας 23: Συντελεστής ιζηματοποίησης του οργανικού αζώτου

Παράμετρος	Τιμή	Μονάδες	Πηγή
K_5	2	week ⁻¹	Peng & Wang, 2007

3.3. Αρχικές τιμές

Στον Πίνακα 4 φαίνονται οι αρχικές τιμές όλων των μεταβλητών που χρησιμοποιούνται σε αυτό το μοντέλο. Οι τιμές προέρχονται από τους Peng & Wang (2007) και έχουν αναπροσαρμοστεί για να αντιστοιχούν στον όγκο του ταμειυτήρα.

Πίνακας 24: Αρχικές τιμές μεταβλητών

Μεταβλητή	Τιμή	Μονάδες
NH_3	$43 \cdot 10^6$	<i>g</i>
<i>Nmac</i>	$400 \cdot 10^6$	<i>g</i>
<i>Na lg ae</i>	$2,5 \cdot 10^6$	<i>g</i>
<i>Norg</i>	0	<i>g</i>
<i>Nsed</i>	0	<i>g</i>
NO_x	0	<i>g</i>

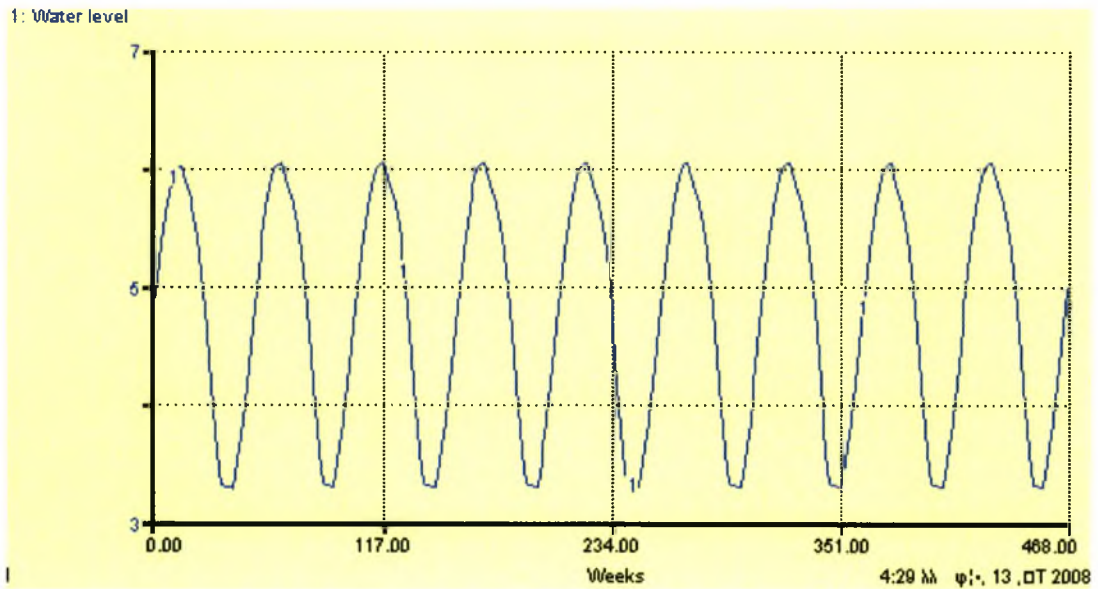
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

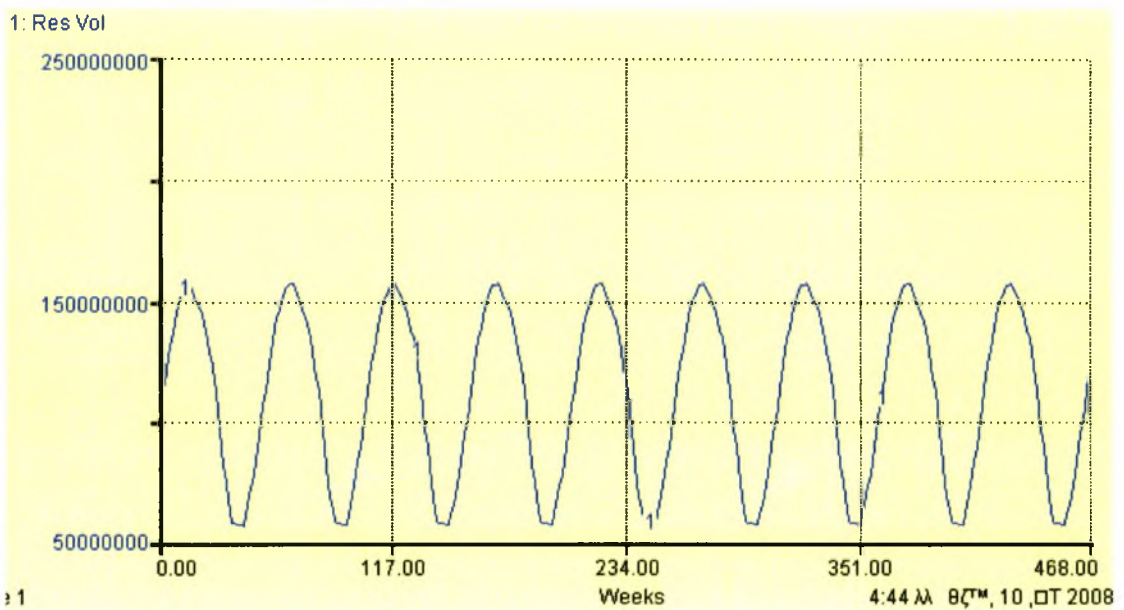
4.1. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Μετά την ανάπτυξη των ισοζυγίων μάζας που παρουσιάζονται στο προηγούμενο κεφάλαιο, τρέχουμε μια σειρά από προσομοιώσεις αρχικά για 3 έτη και μετέπειτα για 9 έτη. Η επιλογή των 3 (και 9) ετών γίνεται επειδή έχουμε διαθέσιμα δεδομένα για φορτία αζώτου, διαλυμένου οξυγόνου, pH, χλωροφύλλης, στον ποταμό Πηνειό για 3 χρόνια. Τα υδρολογικά δεδομένα που είναι διαθέσιμα για ένα χρόνο μόνο, απλώς επαναλαμβάνονται για τη διάρκεια του μοντέλου. Όλοι οι υπολογισμοί γίνονται με το λογισμικό προσομοίωσης STELLA™ IX χρησιμοποιώντας βήμα χρόνου 1 εβδομάδα και μέθοδο ολοκλήρωσης διαφορικών εξισώσεων τη μέθοδο Euler. Οι αρχικές τιμές όλων των μεταβλητών είναι αυτές που παρουσιάζονται στον Πίνακα 24 και οι προσομοιώσεις όλων των μεταβλητών για την περίοδο των 3 ή 9 ετών ακολουθούν.

Η λεπτομερής ανάπτυξη του υδρολογικού μοντέλου παρουσιάζεται στην εργασία της Βαϊνά (2007) και παραλείπεται σε αυτή την εργασία. Στα σχήματα 4 και 5 παρουσιάζονται γραφικές παραστάσεις με τη διακύμανση του όγκου και της στάθμης του ταμιευτήρα της Κάραλας.



Σχήμα 4: Η διακύμανση της στάθμης του ταμιευτήρα (m)



Σχήμα 5: Η διακύμανση του όγκου του ταμιευτήρα (m³)

4.2. Διαγράμματα Odum

Ο σκοπός της μοντελοποίησης οικοσυστήματος περιλαμβάνει την ενσωμάτωση των συλλεγόμενων δεδομένων, της ποσοτικής περιγραφής των βασικών «μονοπατιών» ή διεργασιών μέσω διαφορετικών τμημάτων αποθήκευσης και την περιγραφή μίας ολοκληρωμένης εικόνας στο επίπεδο του οικοσυστήματος. Ένας τρόπος για να το καταφέρουμε αυτό είναι να σχεδιάσουμε ένα διάγραμμα συστήματος βασισμένο στα αποτελέσματα των μαθηματικών μοντέλων. Στη μοντελοποίηση οικοσυστημάτων, είναι σύνηθες να χρησιμοποιούνται διαγράμματα τύπου Odum τα οποία περιλαμβάνουν μία ομάδα συμβόλων για την απεικόνιση μεταβλητών για την οπτική μοντελοποίηση περιβαλλοντικών συστημάτων. Τα διαγράμματα αυτά ονομάζονται ενεργειακά διαγράμματα και είναι χρήσιμα για την απεικόνιση και κατανόηση ροής μάζας και ενέργειας σε βιολογικές διεργασίες. Τα σύμβολα Odum και η επεξήγησή τους φαίνονται στο σχήμα 6. Ένα τέτοιο διάγραμμα συστήματος του μοντέλου αζώτου του τεχνητού υγροτόπου Κάρλας με ενεργειακά σύμβολα τύπου Odum, όπου φαίνεται η ροή του αζώτου ανάμεσα στις διάφορες μορφές του (αμμωνιακό, νιτρικό, οργανικό, αποθήκευση σε πρωτογενής παραγωγούς, σε ιζήματα, ή τελική εναπόθεση σε βαθιά ιζήματα) φαίνεται στο σχήμα 7 και 8.

Εξωτερική πηγή ενέργειας
(ήλιος, φεγγάρι, κλπ.)



Δεξαμενή αποθήκευσης
(έδαφος, ιζήματα, κλπ.)



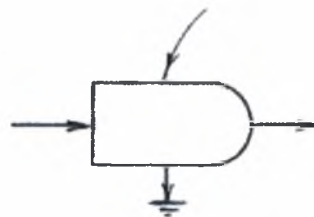
Μονάδα κατανάλωσης
(ζώα, μικροοργανισμοί, κλπ.)



Τόπος απόληξης υποβαθμισμένης ενέργειας
(η απώλεια ενέργειας από ένα σύστημα)

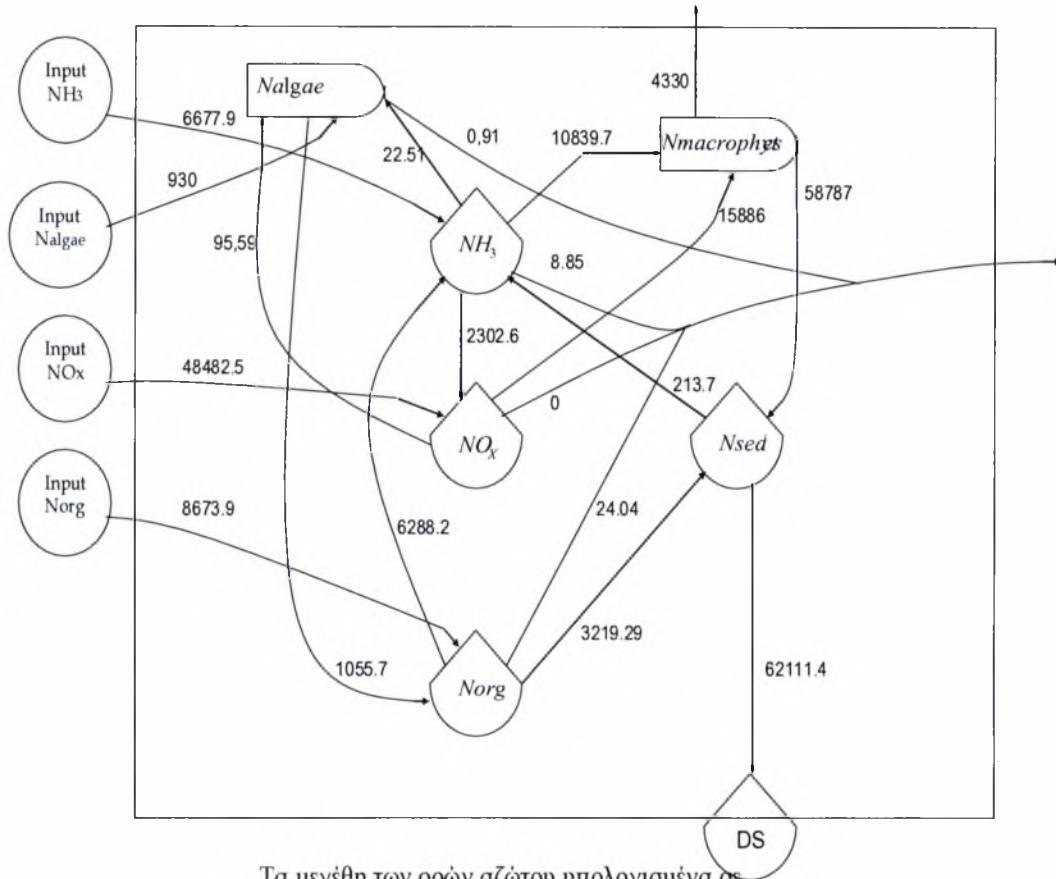


Μονάδα Πρωτογενούς Παραγωγικότητας
(βακτήρια, φυτά, κλπ.)



Σχήμα 6. Ενεργειακά σύμβολα τύπου Odum.

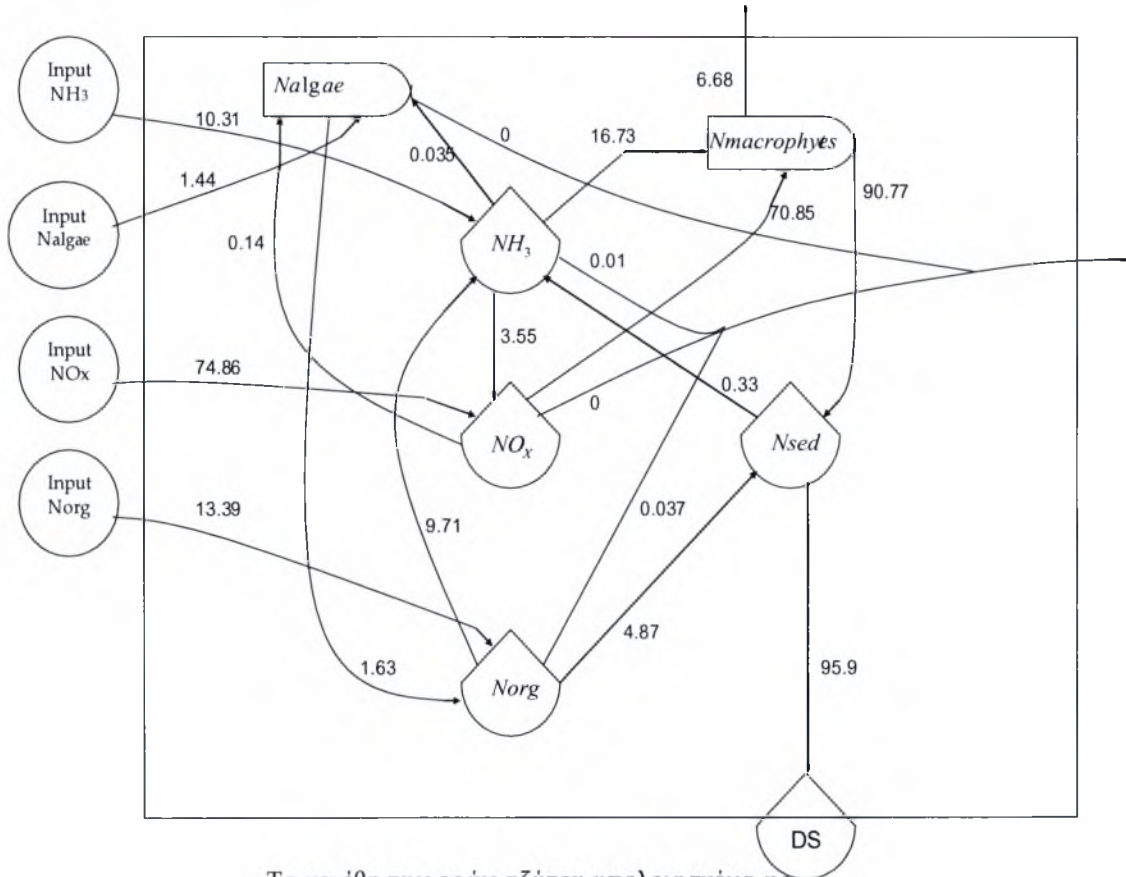
Διάγραμμα Odum για το άζωτο



Τα μεγέθη των ροών αζώτου υπολογισμένα σε $\text{mg N/m}^2\text{-yr}$

Σχήμα 7

Διάγραμμα Odum για το άζωτο



Τα μεγέθη των ροών αζώτου υπολογισμένα ως ποσοστό% της ετήσιας ροής φωσφόρου σε σχέση με την εισροή φωσφόρου

Σχήμα 8

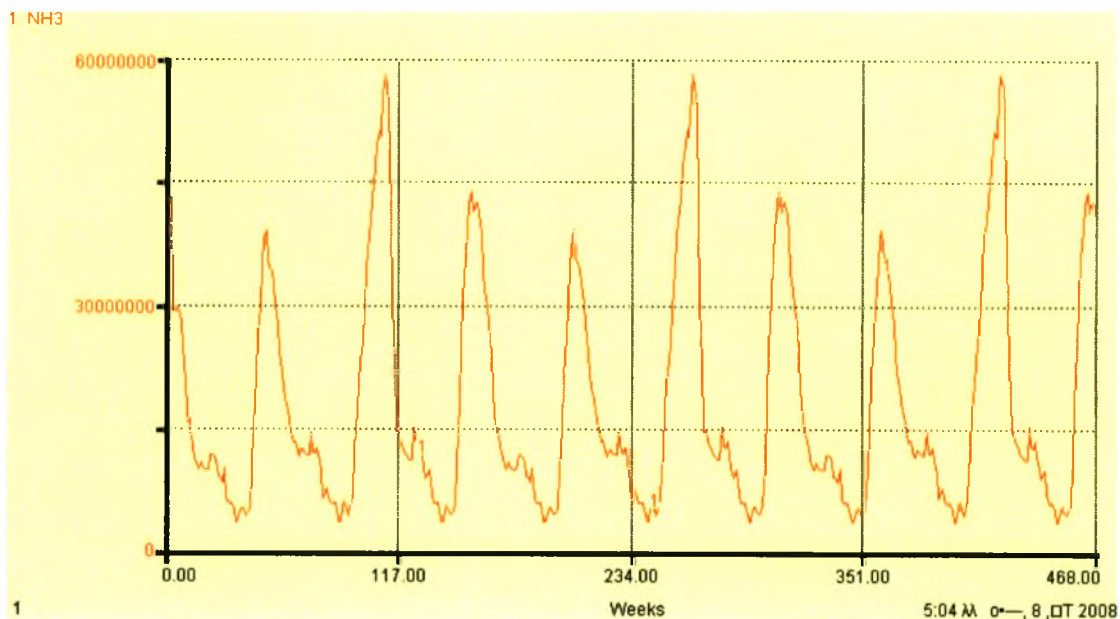
4.3. Διαγράμματα STELLA

Το μοντέλο NITRO-CARLA παρουσιάζει τον ολικό ισολογισμό του αζώτου στη λίμνη Κάρλα για ένα τυπικό έτος. Οι τιμές που παρουσιάζονται στο διάγραμμα είναι οι ροές του αζώτου ανάμεσα στις διάφορες μορφές του και υπολογίστηκαν από την προσομοίωση 3 ετών που παρουσιάσαμε, παίρνοντας ολικές τιμές για κάθε ένα από τα 3 χρόνια και υπολογίζοντας ένα μέσο όρο. Βλέπουμε ότι έχουμε την εισροή $6677 \text{ mg NH}_3/\text{m}^2\text{-yr}$ συνολικά από τον Πηνειό, τα στραγγίδια και τις απορροές που εισέρχονται στον ταμιευτήρα, ενώ η αντίστοιχη τιμή για NO_x είναι $48482 \text{ mg NH}_3/\text{m}^2\text{-yr}$. Για μια πιο ξεκάθαρη απεικόνιση της ροής του αζώτου μέσα στον υγρότοπο, ανάγουμε όλες τις τιμές των ροών υπολογισμένες ως ποσοστό % της ετήσιας ροής αζώτου σε σχέση με την εισροή αζώτου. Αυτό το διάγραμμα Odum με τα ποσοστά φαίνεται στο σχήμα 6. Βλέπουμε λοιπόν ότι από τα εισερχόμενα ρεύματα αζώτου στον ταμιευτήρα, το πιο σημαντικό είναι αυτό των νιτρικών, αφού αποτελεί το 75% περίπου του εισερχόμενου αζώτου.

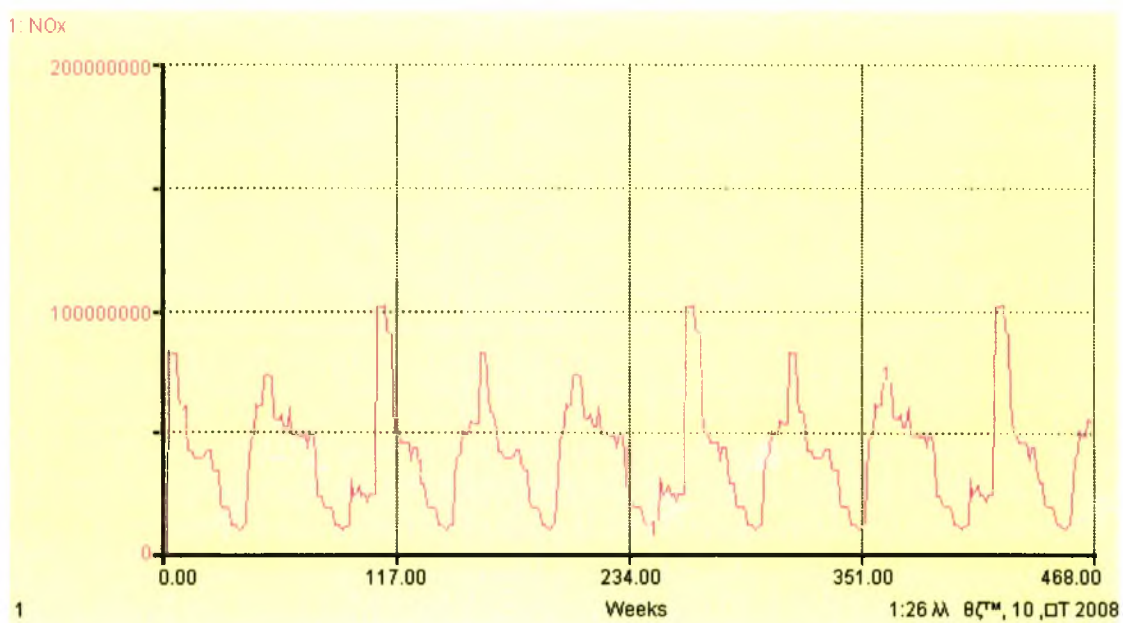
Συνολικά, αν μελετήσει κανείς την εισροή αζώτου στον ταμιευτήρα και την εκροή του, θα δει ότι περισσότερο από το 93% κατακρατείται από τον υγρότοπο, ενώ το 6.67% αυτού χάνεται μέσω της απονιτροποίησης, όπου το άζωτο μετατρέπεται σε αέριο κάτω από αναερόβιες συνθήκες και διαφεύγει στην ατμόσφαιρα. Οι ροές που φαίνονται στο διάγραμμα δείχνουν ότι ένα μεγάλο ποσοστό του αζώτου χάνεται, αφού αποθηκεύεται αρχικά προσωρινά και μετά μόνιμα στα ιζήματα.

Έτσι, αρκετά σημαντική φαίνεται να είναι η ροή αζώτου κατά την ιζηματοποίηση των νεκρών μακροφύτων, αφού $58.787 \text{ mg N}/\text{m}^2\text{-yr}$ (90.77% του εισερχόμενου N) μετατρέπονται σε ιζήματα κάθε χρόνο. Ένα μέρος αυτού του αζώτου επιστρέφει βέβαια στη στήλη νερού στον υγρότοπο, μέσω της αμμωνιοποίησης, ενώ ένα σημαντικό μέρος κατευθύνεται προς τα βαθιά ιζήματα όπου και θάβεται μόνιμα.

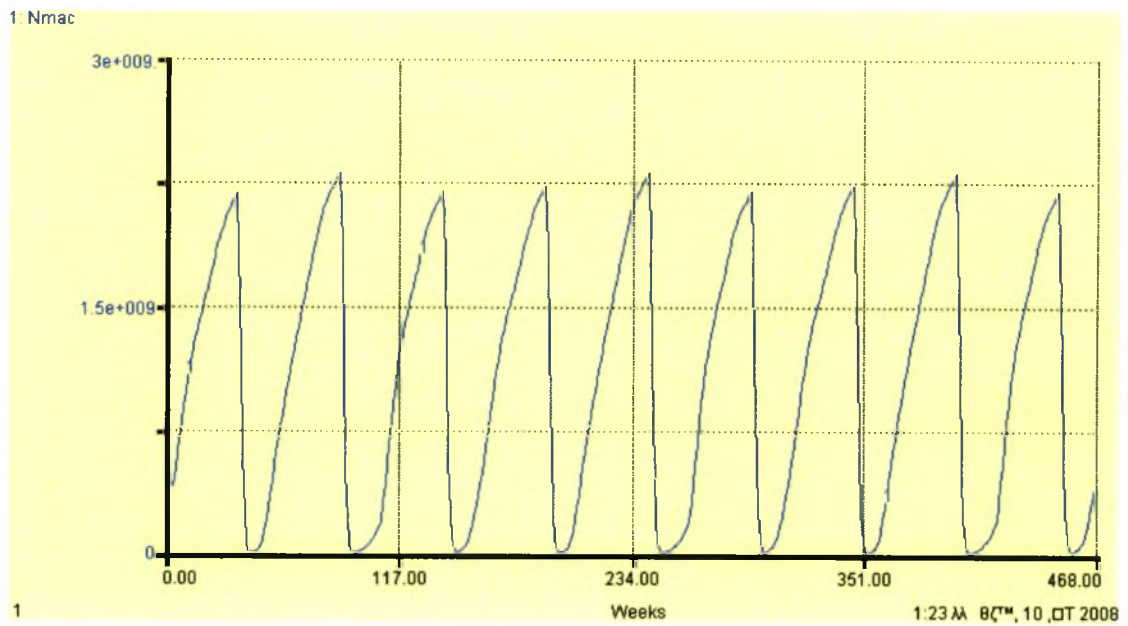
Μία άλλη σημαντική ροή είναι αυτή της βιολογικής αφομοίωσης αζώτου από μακρόφυτα (70%), η οποία μετατρέπεται σε ιζήματα μετά το θάνατό τους. Αν συγκρίνουμε την πρόσληψη αζώτου από τα μακρόφυτα με αυτή του φυτοπλαγκτόν, βλέπουμε ότι τα μακρόφυτα προσλαμβάνουν συγκριτικά πολύ περισσότερο άζωτο, κάτι που είναι αναμενόμενο, λόγω της μεγαλύτερης βιομάζας τους.



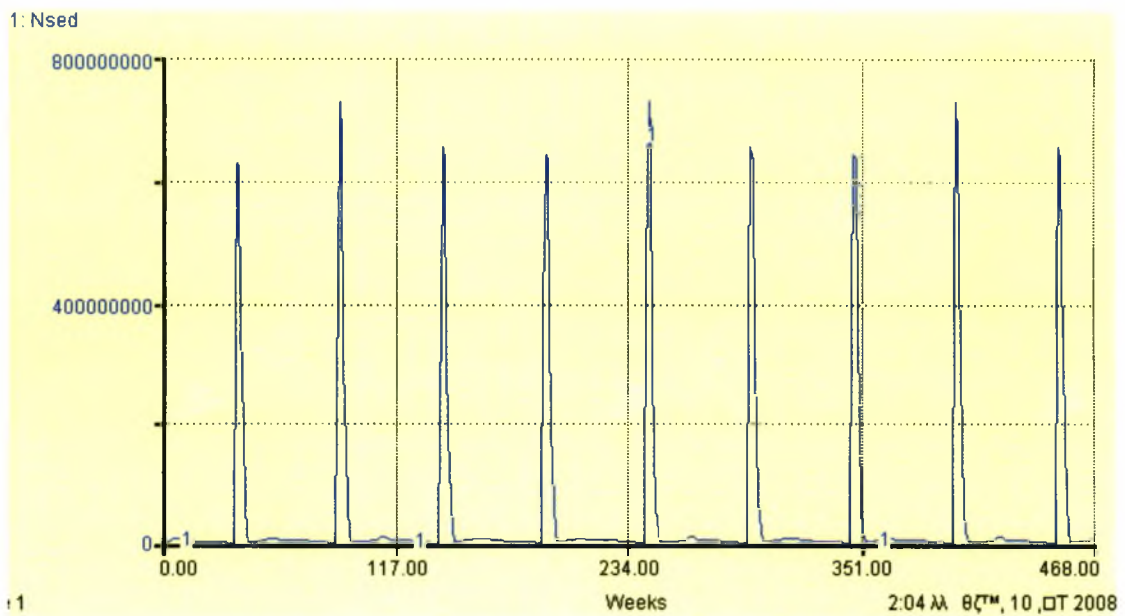
Σχήμα 9 : Διακόμανση της ποσότητας αμμωνιακού αζώτου στον ταμιευτήρα (g)



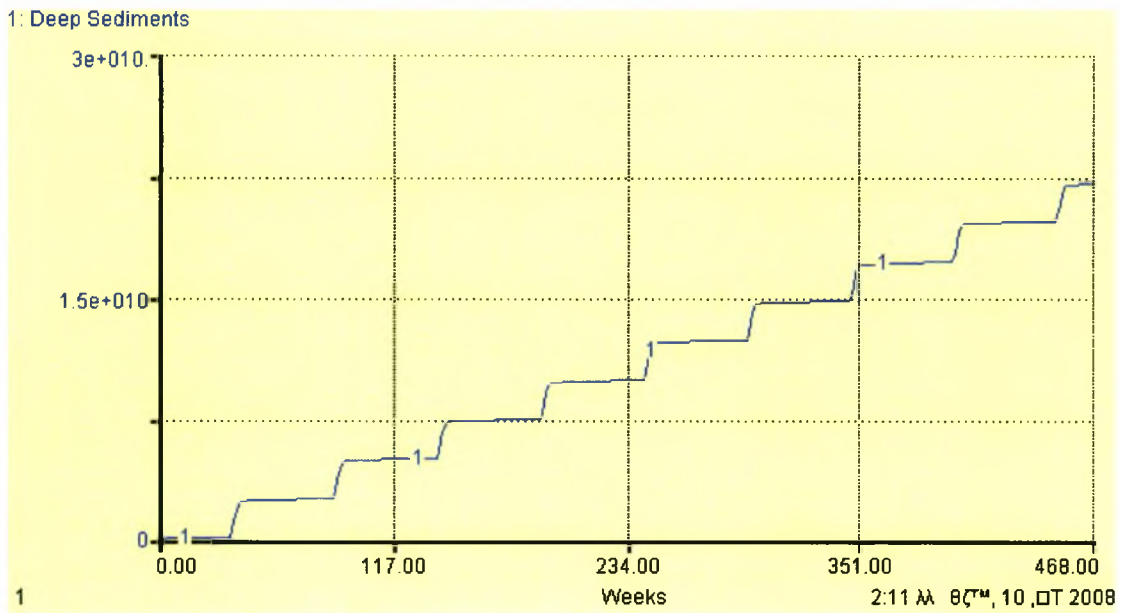
Σχήμα 10 : Διακόμανση της ποσότητας νιτρικών και νιτρώδων στον ταμιευτήρα (g)



Σχήμα 11 : Διακύμανση της ποσότητας αζώτου στα μακρόφυτα του ταμιευτήρα (g)



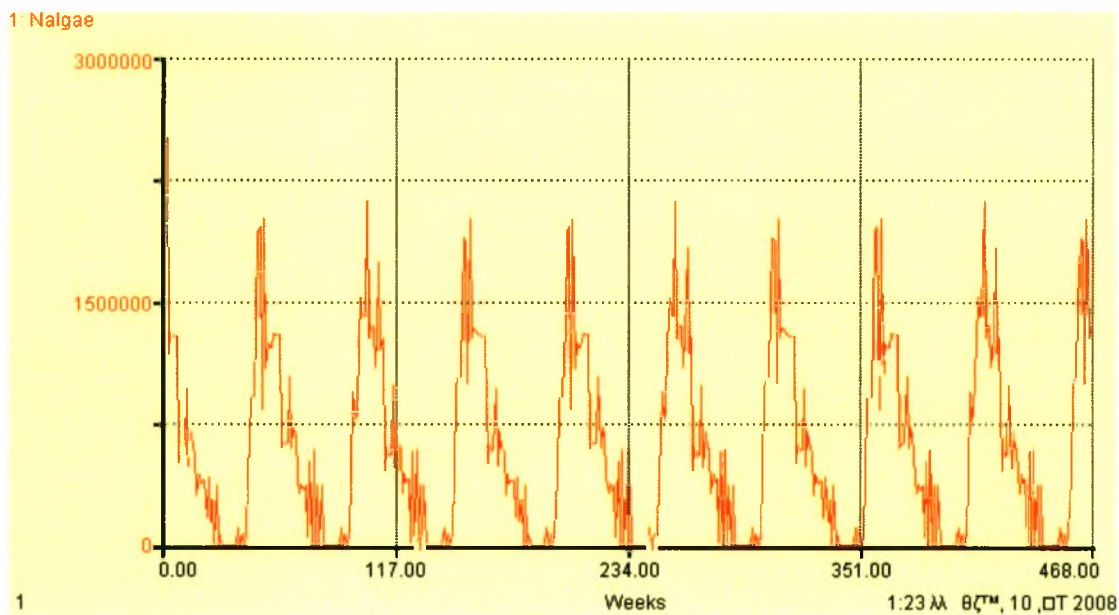
Σχήμα 12 : Διακύμανση της ποσότητας αζώτου στα ιζήματα (g)



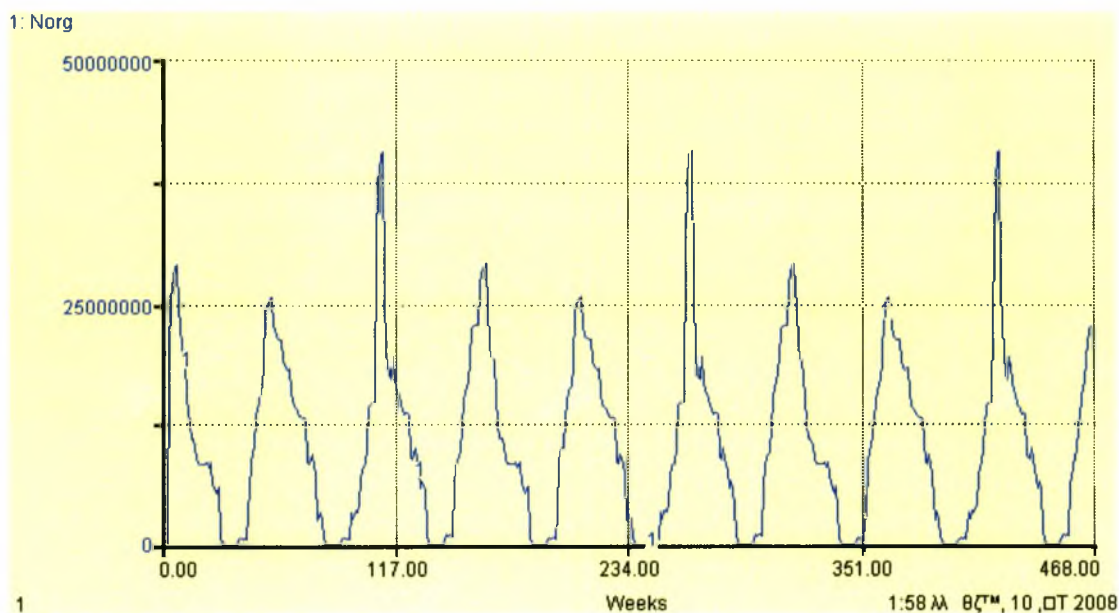
Σχήμα 13: Διακύμανση της ποσότητας αζώτου στα βαθιά ιζήματα (g)

Παρατηρούμε, πως στο μοντέλο υπάρχει ένας συσχετισμός των παραμέτρων. Για παράδειγμα, παρατηρώντας το άζωτο στα μακρόφυτα και το άζωτο στα ιζήματα, παρατηρούμε έναν συσχετισμό μεταξύ τους, καθώς μόλις «πεθαίνουν» τα μακρόφυτα, αυξάνονται τα ιζήματα, πράγμα που σχετίζεται άμεσα και με τον ρυθμό θανάτου των μακροφύτων (Σχήμα 3). Αυτό είναι πολύ θετικό για το μοντέλο που σχεδιάσαμε, καθώς επιβεβαιώνει την καλή του λειτουργία και την στενή σχέση μεταξύ των παραμέτρων.

Ακόμα παρατηρώντας τα βαθιά ιζήματα, παρατηρούμε πως έχουν μια συνεχώς αυξητική τάση, πράγμα το οποίο είναι λογικό, καθώς κατακάθονται συνεχώς νέες ποσότητες ιζημάτων και τα βαθιά ιζήματα είναι το τελικό σημείο του μοντέλου μας..



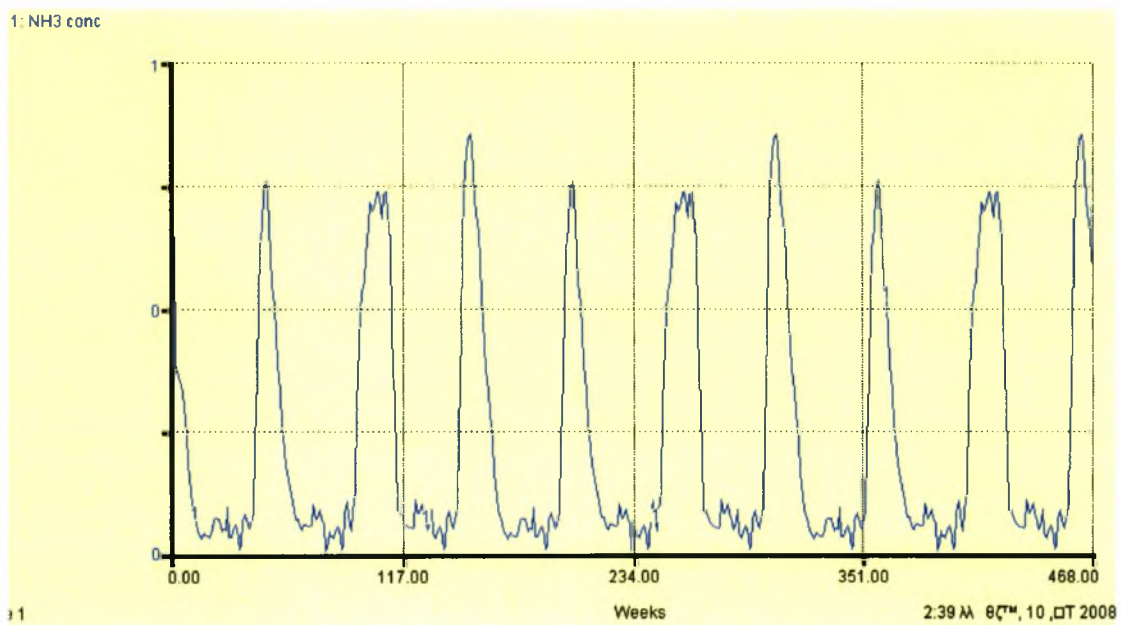
Σχήμα 14: Διακύμανση της ποσότητας αλγικού αζώτου στον ταμιευτήρα (g)



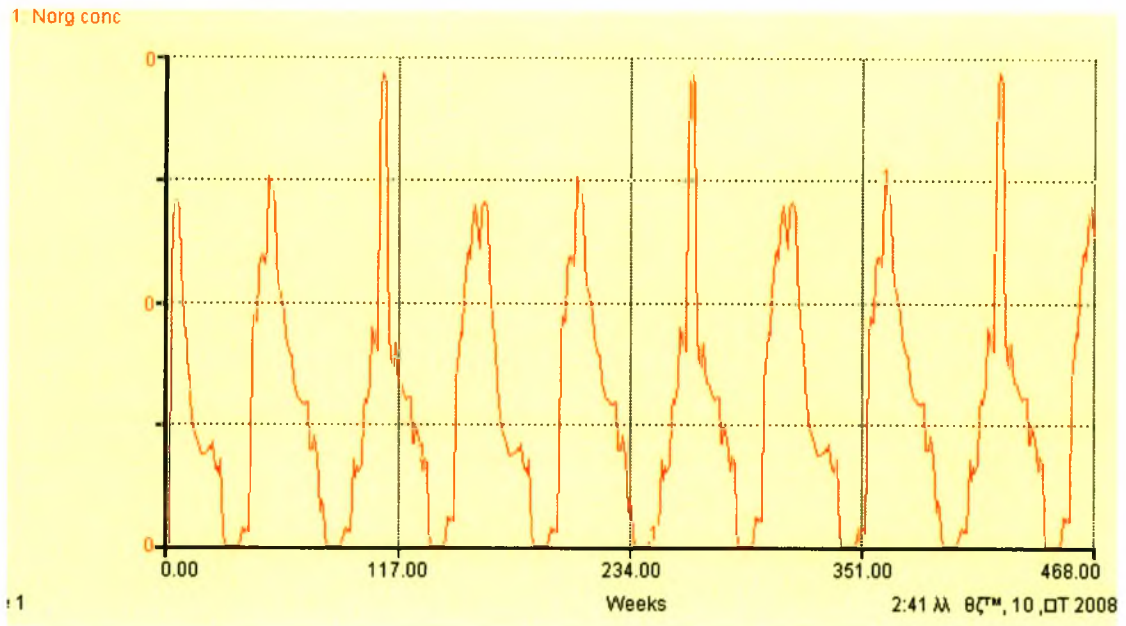
Σχήμα 15: Διακύμανση της ποσότητας οργανικού αζώτου στον ταμιευτήρα (g)

4.4. Διαγράμματα συγκεντρώσεων

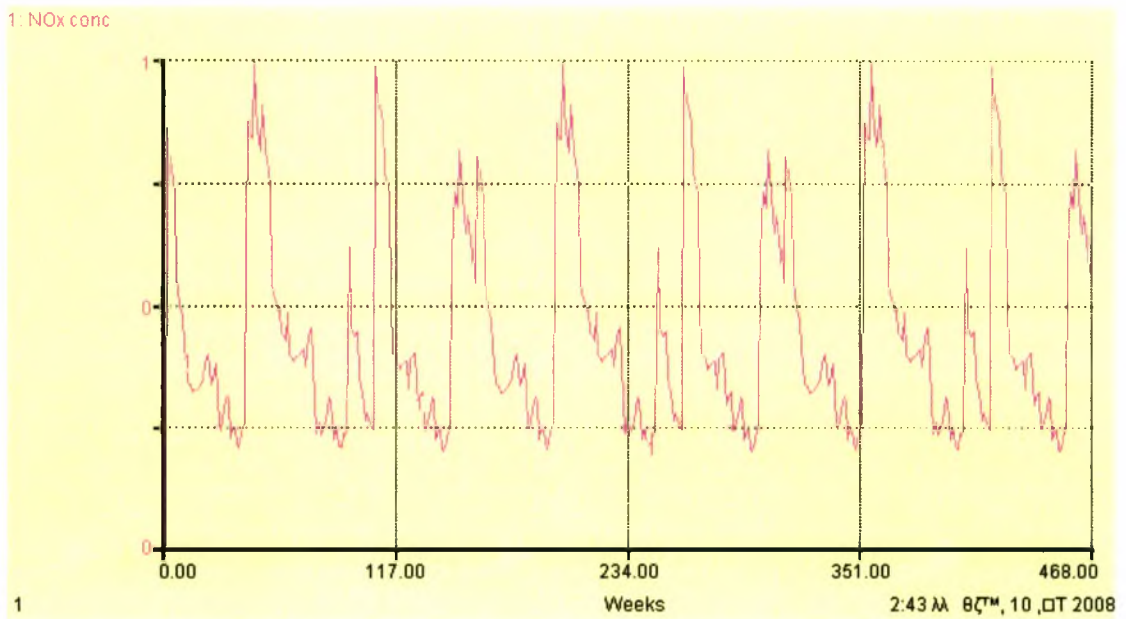
Παρακάτω ακολουθούν τα διαγράμματα συγκεντρώσεων των NH_3 , NO_x , $Norg$ και η συγκέντρωση Total Nitrogen, όπου συμπεριλαμβάνει αθροιστικά όλες τις μορφές αζώτου που βρίσκονται διαλυμένες στο νερό. Οι τιμές μας για το Total Nitrogen είναι λίγο χαμηλότερες από αυτές της μελέτης του Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ. (κυμαίνονται γύρω στο 2 g/m^3). Οι τιμές της μελέτης είναι ελαφρά ψηλότερες, (κυμαίνονται γύρω στο 3 g/m^3) αλλά αυτό οφείλεται στις υψηλότερες εισερχόμενες συγκεντρώσεις αζώτου από τα νερά του Πηνειού, που εισάγουν στο μοντέλο τους οι συντάκτες της μελέτης του Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ.



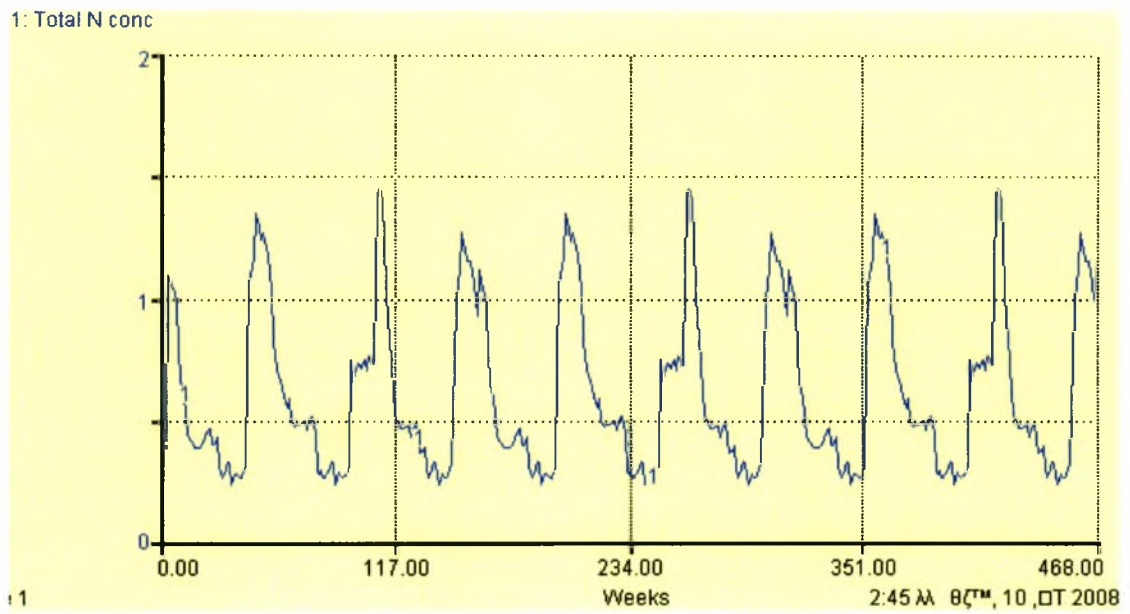
Σχήμα 16: Διακύμανση της συγκέντρωσης αμμωνιακού αζώτου στον ταμιευτήρα (g/m^3)



Σχήμα 17: Διακύμανση της συγκέντρωσης οργανικού αζώτου στον ταμιευτήρα (g/m³)



Σχήμα 18: Διακύμανση της συγκέντρωσης νιτρικού αζώτου στον ταμιευτήρα (g/m³)



Σχήμα 19: Διακύμανση της ολικής συγκέντρωσης αζώτου στον ταμιευτήρα (g/m³)

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Βουδούρης Κ. 2006. Υδρογεωλογία περιβάλλοντος . Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης. Θεσσαλονίκη.
- Γεράκης Π.Α. και Κουτράκης Ε.Θ. (συντονιστές έκδοσης). 1996. Ελληνικού υγρότοποι. Ελληνικό Κέντρο Βιοτόπων-Υγροτόπων (Ε.Κ.Β.Υ.) και Εμπορική Τράπεζα της Ελλάδος, Αθήνα.
- Εξαρχόπουλος Μ. 1994. Ιστορικές, λαϊκές και κοινωνικές απόψεις, στη Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων του Ταμιευτήρα Κάρλα και Συναφών Εργασιών.
- Μουστάκα Ε. 2002. Διαχείριση Υδατικών Πόρων της Λεκάνης Απορροής της υπό Ανασύσταση Λίμνης Κάρλα με Χρήση Ενός Γεωγραφικού Συστήματος Πληροφοριών, Διπλωματική Εργασία, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών.
- Μπέλλος Δ. 2004. Συγκέντρωση Θρεπτικών Στοιχείων – Βαρέων Μετάλλων και Ραδίοκαισίου στο Νερό- Ίζημα και υδρόβια Φυτά του Ποταμού Πηνειού, Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Βιολογίας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη.
- Ρόπης Κ. Διερεύνηση της ποιότητας των υδάτων στην λίμνη του Σμοκόβου, Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία, Δ.Π.Μ.Σ. Επιστήμη και Τεχνολογία Υδάτων, Αθήνα.
- Τ.Ε.Ε. Μαγνησίας, 1999. Λίμνη Κάρλα. Η αρχαία Βοιβή. Τ.Ε.Ε. Τμήμα Μαγνησίας, Βόλος.
- Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ. (1999) Επαναδημιουργία λίμνης Κάρλας, Περιβαλλοντική- Τεχνική έκθεση, Μελέτη Κόστους- Οφέλους και υποστηρικτικές μελέτες: Περιβαλλοντική Έκθεση- Μαθηματική Προσομοίωση της τροφικής κατάστασης του ταμιευτήρα Κάρλας, Αθήνα.
- Arheimer B, Wittgren H, 2002. Modelling nitrogen removal in potential wetlands at the catchment scale, *Ecological Engineering* 19, 63–80
- Bayley, S. Odum, H.T., 1976. Simulation of interrelations of the Everglade's marsh, peat, water and phosphorus, *Ecol. Model* 2, 169-188.
- Brix H, 1994. Use of Constructed Wetlands in Water Pollution Control: Historical Development, Present Status, and Future Perspectives. *Wat. Sci. Tech.* Vol 30, 209-223.

- Campbell C. Ogden M. 1999. *Constructed Wetlands In The Sustainable Landscape*. John Wiley & Sons, Canada.
- Coomes B, 2007. Defending community? Indigeneity, self-determination and institutional ambivalence in the restoration of Lake Whakaki, *Geoforum* 38, 60–72
- Dorge J. 1994. Modelling nitrogen transformations in freshwater wetlands. Estimating nitrogen retention and removal in natural wetlands in relation to their hydrology and nutrient loadings. *Ecological Modelling* 75/76, 409-420
- E.P.A., 2008. *America's Wetlands – Our Vital Link Between Land and Water*, United States Environmental Protection Agency, U.S.A.
- Galloway JN, Schlesinger WH, Levy H, et al. 1995, Nitrogen fixation: anthropogenic enhancement-environmental response. *Global Biogeochem Cycles*,: 235-252;
- Huang J., Reneau R, Hagendoen C. 2000. Nitrogen Removal In Constructed Wetlands Employed To Treat Domestic Wastewater, *Wat. Res. Vol. 34*, 2582-2588
- Kagalou, 2001. Phytoplankton Dynamics and Physical – Chemical Features of a Shallow Lake (Lake Pamvotis, Greece) *Fresenius Environmental Bulletin*, Vol. 10, 845-849.
- Kivaisi A. 2000. The potential for constructed wetlands for wastewater treatment and reuse in developing countries: a review, *Ecological Engineering* 16, 545–560
- Mager H, Perfler R. Haberl R. 1995. *Constructed Wetlands In Europe*, *Wat. Scie.Tech. Vol 32*, 315-315.
- Mayo A, Bigambo T, 2005. Nitrogen transformation in horizontal subsurface flow constructed wetlands I: Model development, *Physics and Chemistry of the Earth* 30 658–667.
- Mayo A, Bigambo T, 2005. Nitrogen transformation in horizontal subsurface flow constructed wetlands II: Effect of biofilm, *Physics and Chemistry of the Earth* 30 658–667.
- Mitsch W, Gosselink J, 1993. *Wetlands* (2nd ed.), John Wiley, New York.
- Peng J, Wang B. 2007. Modeling N transformation and removal in a duckweed pond: Model application, *Ecological Modelling* 206, 294–300.
- Peng J, Wang B. 2007. Modeling N transformation and removal in a duckweed pond: Model development and calibration , *Ecological Modelling* 206, 147-152.
- Price T , Probert D, 1997. *Role of Constructed Wetlands in Environmentally-sustainable Developments*, Applied Energy Department, Cranfield University, Bedford, U.K.

Shrestha R, Ladha J. 2002. Nitrate pollution in groundwater and strategies to reduce pollution. *Water Sci Technol*,29-35

Smil V. 1997, Global population and the nitrogen cycle. *Scientific Am*, 276, 58-63.

Spieles D, Mitsch W. 2000. The effects of season and hydrologic and chemical loading on nitrate retention in constructed wetlands: a comparison of low- and high-nutrient riverine systems, *Ecological Engineering* 14, 77–91



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ



004000091590

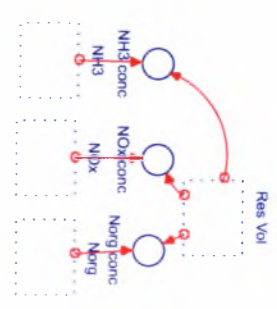
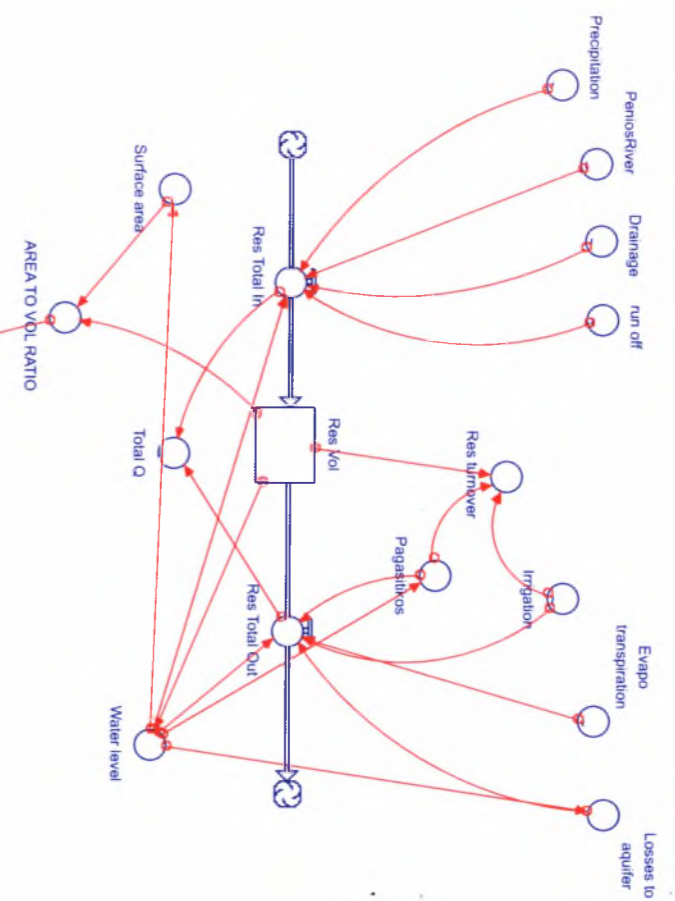
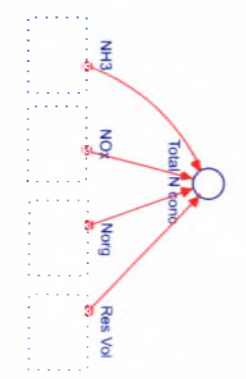
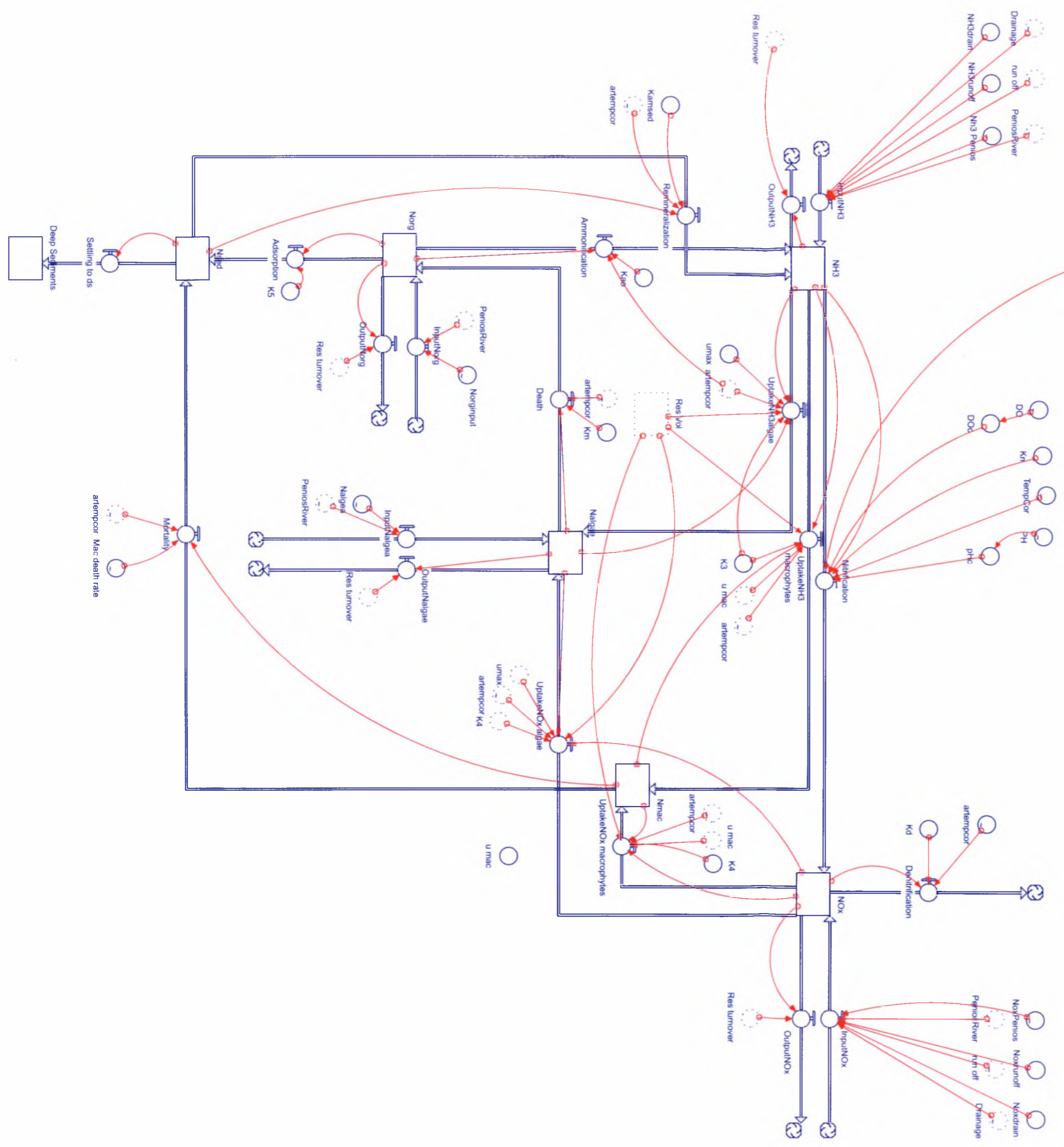


Table 2
Graph 3



Graph 4



○ u mac