ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Μοντελοποίηση αζώτου και φωσφόρου στα νερά των καρστικών πηγών του Στύλου

ΝΙΚΟΛΙΔΑΚΗΣ ΑΝΔΡΕΑΣ

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Ν. Νικολαΐδης (Επιβλέπων)
Ν. Καλογεράκης
Γ. Καρατζάς

ΧΑΝΙΑ 2008

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ολοκληρώνοντας την παρούσα διπλωματική εργασία, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους όσους συντέλεσαν στην διεκπεραίωση της εργασίας.

Ευχαριστώ τον επιβλέποντα καθηγητή μου Νικολαΐδη Νικόλαο για την βοήθειά του, την προσφορά των γνώσεων και εμπειριών του.

Επίσης ευχαριστώ όλα τα μέλη του εργαστηρίου «Υδρογεωχημικής Μηχανικής και Αποκατάστασης Εδαφών», και ιδιαίτερα την Τζοράκη Ράνια , την Σταμάτη Φωτεινή και την Βοζινάκη Ειρήνη.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Εισαγωγή στο πρόβλημα 4
1.2 Ανάγκη διαχείρισης 5
1.3 Στόχος 8

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

2.1 Διαχείριση Νερών – Οδηγία Πλαίσιο 9
2.2 Μοντέλα 14
2.3 Κύκλος Αζώτου 15
2.4 Κύκλος Φωσφόρου 21

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

3.1 Γεωγραφική θέση 24
3.2 Κλιματικά χαρακτηριστικά 26
3.3 Χρήσεις γης 31
3.4 Γεωλογία 32
3.5 Υδρογεωλογία 34

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

4.1 Η λειτουργία των καρστικών 36
4.2 Υδρολογία 40
4.3 Δημιουργία υπομοντέλων εκτίμησης φορτίων αζώτου και φωσφόρου 45
4.3.1 Υπομοντέλο εκτίμησης φορτίων αζώτου 46
4.3.2 Υπομοντέλο εκτίμησης φορτίων φωσφόρου 51

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

5.1 Υδρολογία 53
5.2 Άζωτο – N 55
5.3 Φώσφορος – P 65

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ 70

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 72

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

Παράρτημα I Δεδομένα εισαγωγής μοντέλου 73
Παράρτημα II Κώδικας Matlab 75
Παράρτημα III User’s Manual 120

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή

1.1 Εισαγωγή στο πρόβλημα

Το νερό θεωρείται υλικό ανεκτίμητης αξίας πόσο μάλλον όταν αναλογιστεί κανείς ότι τα αποθέματα πόσιμου ύδατος συνεχώς ελαττώνονται. Επιπλέον, η αύξηση του πληθυσμού και η ανάπτυξη διογκώνουν το υπάρχον πρόβλημα [1].

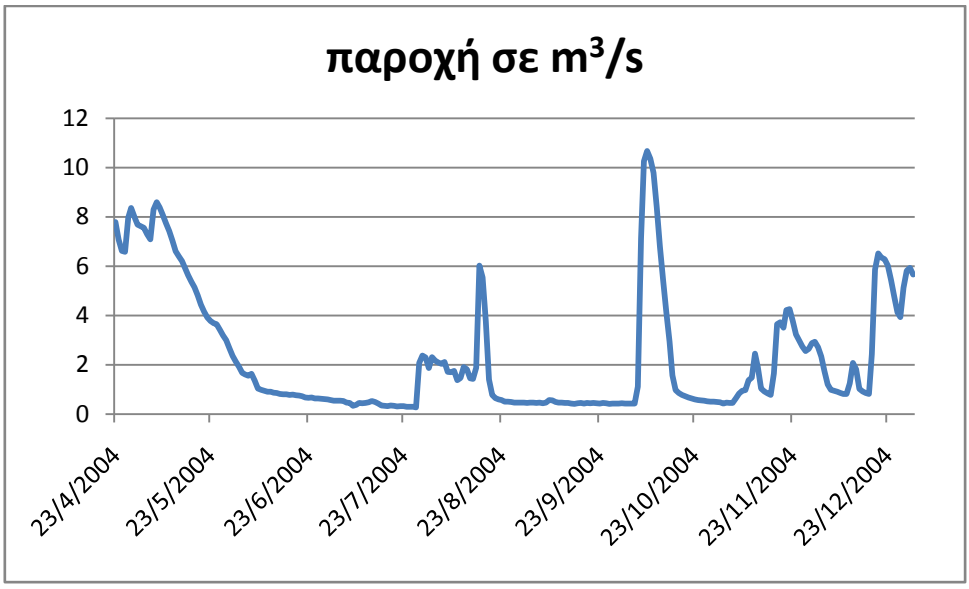
Το νερό και η διαθεσιμότητά του σχετίζεται με τις κλιματικές αλλαγές που λαμβάνουν χώρα. Οι δραστηριότητες του ανθρώπου επηρεάζουν τη σύσταση της ατμόσφαιρας και εν ακολουθία επηρεάζεται το κλίμα. Η ανθρώπινη παρέμβαση στη σύσταση της ατμόσφαιρας είναι θεαματική. Μέσα σε 30 χρόνια ο άνθρωπος κατέστρεψε τόσο όζον όσο έκανε η φύση να παράγει σε 2 δισεκατομμύρια χρόνια. Επιπτώσεις που προκύπτουν από τις κλιματικές μεταβολές είναι πολλές και ποικίλες (ερημοποίηση – ξηρασία, άνοδος στάθμης νερού, πλημμύρες, αλλοίωση και διάβρωση των ακτών, υποβάθμιση υγροτόπων, καύσωνας – πυρκαγιές, ανεμοστρόβιλοι) και επηρεάζουν ζωτικούς τομείς του περιβάλλοντος, της κοινωνίας και της οικονομίας [1].

Όλα τα παραπάνω κάνουν επιτακτική την ανάγκη μίας ολοκληρωμένης διαχείρισης υδατικών πόρων. Η Διαχείριση Υδατικών Πόρων είναι μια δυναμική διαδικασία που αποβλέπει στην πληρέστερη δυνατή κάλυψη των σημερινών και μελλοντικών αναγκών, με βάση έναν ορθολογικό προγραμματισμό που στηρίζεται σε αντικειμενικά κριτήρια και διαδικασίες. Προκύπτει λοιπόν η ανάγκη να ανεβρεθούν τρόποι για την καλύτερη χρήση του διαθέσιμου νερού καθώς και για την ανεύρεση καλύτερων μεθόδων διατήρησης, διανομής και καθαρισμού του νερού [1].

1.2 Ανάγκη διαχείρισης

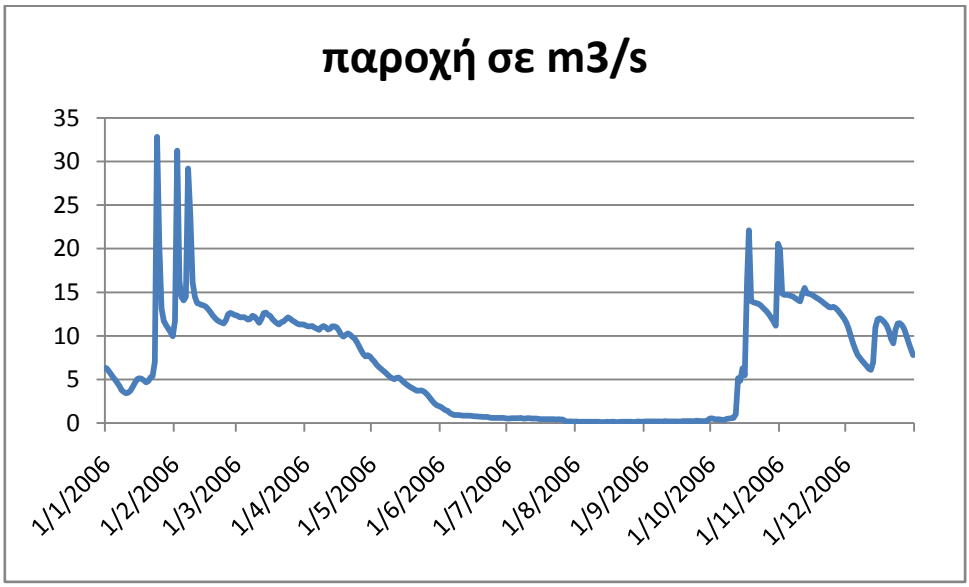
Η ανάγκη διαχείρισης είναι πολύ επιτακτική στην Κρήτη. Έχουμε ένα μεγάλο ταμιευτήρα που λέγεται Λευκά όρη με αποθέματα νερού $750*10^6$ m^3/yr και μας δίνει νερό στις πηγές του Στύλου και της Αγυιάς. Στον Στύλο το νερό που εκφορτίζεται είναι το 17,3% ($130*10^6$ m^3/yr) του νερού που βρίσκεται ως απόθεμα στα Λευκά όρη, ενώ στην Αγυιά το 8,9% ($67*10^6$ m^3/yr). Το νερό αυτό είναι εξαιρετικής ποιότητας και μπορούμε να το διαχειριστούμε.

Στην παρούσα εργασία εξετάζεται η πηγή του Στύλου. Στα διαγράμματα 1.1, 1.2, 1.3 και 1.4 παρουσιάζεται η μέση ημερήσια παροχή του ποταμού από την πηγή του Στύλου για τα έτη 2004, 2005, 2006 και 2007.

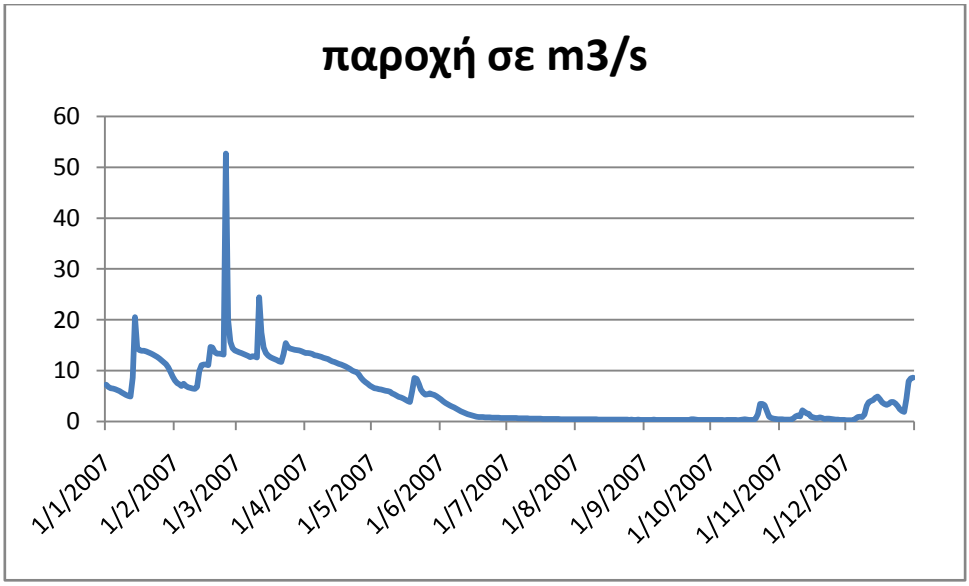


Διάγραμμα 1.1: Μέση παροχή για το έτος 2004

Διάγραμμα 1.2: Μέση παροχή για το έτος 2005

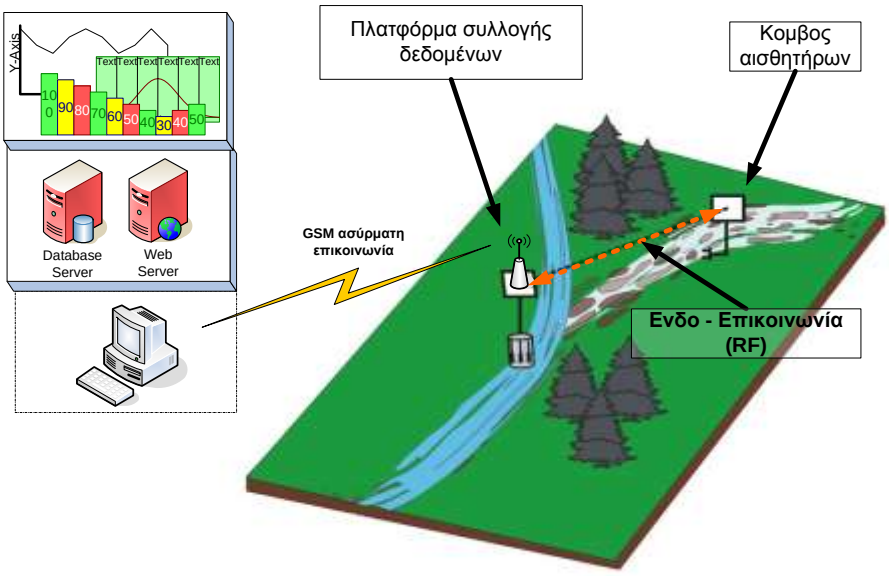


Διάγραμμα 1.3: Μέση παροχή για το έτος 2006



Διάγραμμα 1.4: Μέση παροχή για το έτος 2007

Η πρόταση του εργαστηρίου για τη διαχείριση είναι ότι αυτή η διαχείριση πρέπει να γίνει αυτοματοποιημένη (κυβερνο-διαχείριση). Έχοντας ένα σταθμό (σταθμός Αγίου Γεωργίου) στο ποτάμι, μετρούνται οι παράμετροι αυτόματα, έπειτα λαμβάνονται τα δεδομένα μέσω της τηλεφωνικής γραμμής και τρέχοντας κάποια μοντέλα τα οποία κάνουν μια πρόβλεψη, βλέπεις τις επιπτώσεις.



Σχήμα 1. Σχηματική αναπαράσταση του συστήματος κυβερνο-διαχείρισης.

1.3 Στόχος

Στόχος είναι η ανάπτυξη ενός μοντέλου το οποίο θα μπορεί να δίνει την εκφόρτωση των πηγών με ημερήσιο χρονικό βήμα και επιπλέον θα μπορεί να προβλέπει και τη συγκέντρωση αζώτου και φωσφόρου.

Το μοντέλο δημιουργήθηκε στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής εργασίας και τα πλεονεκτήματα του μοντέλου (καρστικού) σε περιβάλλον MATLAB είναι η εύκολη χρήση του χάρη στο φιλικό γραφικό περιβάλλον, η άμεση ρύθμιση των παραμέτρων, η δυνατότητα εξαγωγής των αποτελεσμάτων σε αρχείο excel και η σύγκριση σε διαγράμματα των χρονοσειρών που δίνει το μοντέλο και των χρονοσειρών που εξάγονται στο πεδίο από επί τόπου (in situ) μετρήσεις.

Κεφάλαιο 2

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

2.1 Διαχείριση Νερών – Οδηγία Πλαίσιο

Το νερό είναι ένα βασικό στοιχείο της Ευρωπαϊκής νομοθεσίας και ένα από τα πιο προσεχτικά διαχειριζόμενα αγαθό. Έτσι, η Ε.Ε (Ευρωπαϊκό κοινοβούλιο και Επιτροπή από κοινού) αναγνωρίζοντας την αναγκαιότητα της επίτευξης των ανωτέρω στόχων για το νερό στις 23-10-2000 υιοθέτησε την Οδηγία Πλαίσιο για το νερό 2000/60/EC (Water Framework Directive), που αποτελεί μια νέα, καινοτόμο προσέγγιση που στοχεύει στην προστασία της ποιότητας και την βιώσιμη διαχείριση των υδάτινων πόρων (ποτάμια, λίμνες, παράκτια νερά και υπόγειους υδροφορείς). Η παραπάνω οδηγία ήρθε να καλύψει την έντονη ανάγκη για μια ενοποιημένη παγκόσμια πολιτική απέναντι στο νερό, εγκαθιστώντας ένα πλαίσιο εργασίας για την κοινή δράση της κοινότητας στο πεδίο πολιτικής του νερού [2].

Συγκεκριμένα η Οδηγία-Πλαίσιο 2000/60:

- Προστατεύει τους υδατικούς πόρους για να εξασφαλιστεί ότι θα ανταποκρίνονται στην καλή κατάσταση μέχρι το 2015.
- Δημιουργεί σύστημα διαχείρισης για λεκάνες απορροής ποταμών που αναγνωρίζει ότι τα υδροφόρα συστήματα δεν σταματούν στα εθνικά σύνορα.
- Απαιτεί διασυνοριακή συνεργασία μεταξύ χωρών και όλων των εμπλεκόμενων μερών.
- Εξασφαλίζει ενεργό συμμετοχή όλων των φορέων, συμπεριλαμβανομένων και των μη κυβερνητικών οργανώσεων και των τοπικών κοινοτήτων, στη διαχείριση των υδατικών πόρων.
- Εξασφαλίζει μείωση και έλεγχο της ρύπανσης από όλες τις πηγές όπως η γεωργία, η βιομηχανική δραστηριότητα, οι αστικές περιοχές κλπ.
- Απαιτεί πολιτικές τιμολόγησης του νερού (αν και δεν είναι εμπορικό προϊόν) και εξασφαλίζει ότι ο ρυπαίνων πληρώνει.
- Εξισορροπεί τα συμφέροντα του περιβάλλοντος με αυτούς που εξαρτώνται από αυτό.

Σημαντικές προθεσμίες της οδηγίας είναι:

- Δεκέμβριος 2003: Προσαρμογή εθνικής και περιφερειακής νομοθεσίας στη Οδηγία-Πλαίσιο. Υλοποίηση συνεργασίας για τις λεκάνες απορροής ποταμών.
- Δεκέμβριος 2004: ολοκλήρωση ανάλυσης πιέσεων και επιπτώσεων στους υδατικούς πόρους, συμπεριλαμβανομένης και μιας οικονομικής ανάλυσης.
- Δεκέμβριος 2006: Λειτουργία προγραμμάτων παρακολούθησης ως βάσης για τη διαχείριση των υδατικών πόρων.
- Δεκέμβριος 2008: Παρουσίαση στο κοινό των προγραμμάτων Διαχείρισης Λεκανών Απορροής Ποταμών.
- Δεκέμβριος 2009: Δημοσίευση των πρώτων προγραμμάτων Διαχείρισης Λεκανών Απορροής Ποταμών.
- Δεκέμβριος 2015: Οι υδατικοί πόροι πρέπει να ανταποκρίνονται στην καλή κατάσταση.

Συγκεκριμένα στο προοίμιο της οδηγίας πλαίσιο αναφέρεται ότι «το ύδωρ δεν είναι εμπορικό προϊόν όπως όλα τα άλλα, αλλά αποτελεί κληρονομιά που πρέπει να προστατεύεται και να τυγχάνει της κατάλληλης μεταχείρισης». Επομένως όπως ρητά αναφέρεται και στο άρθρο 174 της συνθήκης της Κοινότητας η πολιτική της Ευρωπαϊκής Κοινότητας συμβάλλει στην επιδίωξη των στόχων διατήρησης, προστασίας και βελτίωσης της ποιότητας του περιβάλλοντος καθώς και συνετής και ορθολογικής χρησιμοποίησης των φυσικών πόρων, με βάση τις αρχές της προφύλαξης και της προληπτικής δράσης, την αρχή της επανόρθωσης των καταστροφών του περιβάλλοντος, κατά προτεραιότητα στην πηγή, καθώς και την αρχή «ο ρυπαίνων πληρώνει», σύμφωνα με την παράγραφο 11 του προοιμίου. Διαπιστώνεται λοιπόν από το προοίμιο ακόμα της οδηγίας πλαίσιο ότι θεσπίζεται κοινή πολιτική για τη διαχείριση των υδατικών πόρων με βασικές αρχές που θεμελιώνουν το σύνολο των κοινοτικών οδηγιών όπως αυτές της αρχής της πρόληψης και της προφύλαξης, της αρχής «ο ρυπαίνων πληρώνει» και της διατήρησης των φυσικών πόρων [2].

Στο προοίμιο επίσης αναφέρεται ότι η παρούσα οδηγία στοχεύει στη διατήρηση και βελτίωση του υδάτινου περιβάλλοντος στην Κοινότητα και ότι ο στόχος αυτός αφορά κυρίως στην ποιότητα των υδάτων (παράγραφος 19). Επίσης, η παρούσα οδηγία θα συμβάλει στην προοδευτική μείωση της εκπομπής επικίνδυνων ουσιών στο νερό (παράγραφος 22) και τελικός στόχος της παρούσας οδηγίας είναι η επίτευξη της εξάλειψης επικίνδυνων ουσιών προτεραιότητας και η συμβολή στην επίτευξη συγκεντρώσεων στο

θαλάσσιο περιβάλλον, οι οποίες, για τις φυσικώς απαντώμενες ουσίες, να πλησιάζουν το φυσικό βασικό επίπεδο (παράγραφος 27) [2].

Στο προοίμιο της παρούσας οδηγίας πλαίσιο γίνεται λόγος για διαχείριση λεκανών απορροής των ποταμών (παράγραφος 30) έτσι, ώστε να συντονίζονται τα μέτρα που αφορούν επιφανειακά και υπόγεια νερά που ανήκουν στο ίδιο οικολογικό, υδρολογικό και υδρογεωλογικό σύστημα (παράγραφος 33). Για όλες τις ενέργειες σχεδιασμού και διαχειριστικής δράσης ορίζεται ως βασική μονάδα η λεκάνη απορροής του ποταμού. Αναγνωρίζεται δηλαδή ότι το νερό έχει φυσικά και υδρολογικά όρια, όχι όμως πολιτικά και διοικητικά. Το κύριο μέρος της παρούσας οδηγίας περιλαμβάνει 26 άρθρα και 11 παραρτήματα [2].

Στο Άρθρο 1 δίνεται ο σκοπός της οδηγίας πλαίσιο και στο Άρθρο 2 αυτής αποσαφηνίζονται οι εξής όροι μέσω ορισμών: επιφανειακά ύδατα, υπόγεια ύδατα, εσωτερικά ύδατα, ποταμός, λίμνη, μεταβατικά ύδατα, παράκτια ύδατα, τεχνητό υδατικό σύστημα, ιδιαιτέρως τροποποιημένο υδατικό σύστημα, σύστημα επιφανειακών υδάτων, υδροφόρος ορίζοντας, σύστημα υπογείων υδάτων, λεκάνη απορροής ποταμού, υπολεκάνη, περιοχή λεκάνης απορροής ποταμού, αρμόδια αρχή, κατάσταση επιφανειακών υδάτων, καλή κατάσταση επιφανειακών υδάτων, κατάσταση υπόγειων υδάτων, καλή κατάσταση υπόγειων υδάτων, οικολογική κατάσταση, καλή οικολογική κατάσταση, καλό οικολογικό δυναμικό, καλή χημική κατάσταση επιφανειακών υδάτων, καλή χημική κατάσταση υπογείων υδάτων, ποσοτική κατάσταση, διαθέσιμοι πόροι υπόγειων υδάτων, καλή ποσοτική κατάσταση, επικίνδυνες ουσίες, ουσίες προτεραιότητας, ρύπος, απευθείας απόρριψη στα υπόγεια ύδατα, ρύπανση, περιβαλλοντικοί στόχοι, ποιοτικό περιβαλλοντικό πρότυπο, συνδυασμένη προσέγγιση, νερό που προορίζεται για ανθρώπινη κατανάλωση, υπηρεσίες ύδατος, χρήση ύδατος, οριακές τιμές εκπομπής, έλεγχοι εκπομπών [2].

Συγκεκριμένα ως λεκάνη απορροής ποταμού ορίζεται η εδαφική έκταση από την οποία συγκεντρώνεται το σύνολο της απορροής μέσω διαδοχικών ρευμάτων, ποταμών και πιθανών λιμνών και παροχετεύεται στη θάλασσα με ενιαίο στόμιο ποταμού, εκβολές ή δέλτα. Ως υπολεκάνη ορίζεται η εδαφική έκταση από την οποία συγκεντρώνεται το σύνολο της απορροής μέσω σειράς ρευμάτων, ποταμών και πιθανώς λιμνών σε συγκεκριμένο σημείο υδάτινου ρεύματος (συνήθως λίμνης ή συμβολής ποταμών) [2].

Στη συνέχεια το Άρθρο 3 αναφέρεται στο συντονισμό των διοικητικών ρυθμίσεων σε περιοχές λεκάνης απορροής ποταμού. Στην παράγραφο 1 αναφέρεται ότι «τα κράτη μέλη προσδιορίζουν τις επί μέρους λεκάνες απορροής ποταμού στο εθνικό τους έδαφος και, για τους σκοπούς της παρούσας οδηγίας, τις υπάγουν σε περιοχές λεκάνης απορροής ποταμού [2].

Στο Άρθρο 4 της παρούσας οδηγίας πλαίσιο αναφέρονται οι περιβαλλοντικοί στόχοι για τα επιφανειακά και υπόγεια ύδατα και για τις προστατευόμενες περιοχές. Σύμφωνα με τις διατάξεις του άρθρου αυτού προκειμένου να καταστούν λειτουργικά τα προγράμματα για τη λήψη μέτρων που καθορίζονται στα σχέδια διαχείρισης λεκάνης απορροής ποταμού, τα κράτη μέλη εφαρμόζουν τα αναγκαία μέτρα για την πρόληψη της υποβάθμισης της κατάστασης των υδάτινων πόρων και για τη μείωση ή ακόμα και εξάλειψη της ρύπανσης. Στη συνέχεια το Άρθρο 5 αναφέρει ρητά ότι κάθε κράτος μέλος εξασφαλίζει το γεγονός ότι για κάθε περιοχή λεκάνης απορροής ποταμού ή για κάθε τμήμα διεθνούς περιοχής λεκάνης απορροής ποταμού, το οποίο βρίσκεται στο έδαφός του, αναλαμβάνεται η ανάλυση των χαρακτηριστικών της, η επισκόπηση των επιπτώσεων των ανθρωπίνων δραστηριοτήτων στην κατάσταση των επιφανειακών και των υπόγειων υδάτων και η οικονομική ανάλυση της χρήσης ύδατος σύμφωνα με τις τεχνικές προδιαγραφές των Παραρτημάτων ΙΙ και ΙΙΙ και ότι θα έχει περατωθεί το αργότερο τέσσερα έτη μετά την ημερομηνία ενάρξεως ισχύος της παρούσας οδηγίας. Στο Άρθρο 6 γίνεται λόγος για τη δημιουργία μητρώου προστατευόμενων περιοχών εντός λεκάνης απορροής ποταμού κάθε κράτους μέλους με καταληκτική ημερομηνία ολοκλήρωσης του καταλόγου μετά το πέρας τεσσάρων ετών από την ημερομηνία ισχύος της παρούσας οδηγίας [2].

Στα άρθρα που ακολουθούν δίνονται γενικά οι κατευθυντήριες γραμμές που αφορούν:

- Άρθρο 7: Ύδατα που χρησιμοποιούνται για την άντληση πόσιμου ύδατος
- Άρθρο 8: Παρακολούθηση της κατάστασης των επιφανειακών και των υπόγειων υδάτων και των προστατευόμενων περιοχών.
- Άρθρο 9: Ανάκτηση κόστους για υπηρεσίες ύδατος
- Άρθρο 10: Η συνδυασμένη προσέγγιση για σημειακές και διάχυτες πηγές
- Άρθρο 11: Πρόγραμμα μέτρων

- Άρθρο 12: Θέματα που δεν μπορούν να αντιμετωπιστούν σε επίπεδο κράτους μέλους
- Άρθρο 13: Σχέδια διαχείρισης λεκάνης απορροής ποταμού

Το Άρθρο 13 αναφέρεται στα σχέδια διαχείρισης λεκάνης απορροής ποταμού, ενώ λεπτομέρειες αναφορικά με το περιεχόμενο του σχεδίου δίνονται στο Παράρτημα VII.

- Άρθρο 14: Πληροφόρηση του κοινού και διαβουλεύσεις
- Άρθρο 15: Υποβολή εκθέσεων
- Άρθρο 16: Στρατηγικές κατά της ρύπανσης των υδάτων
- Άρθρο 17: Στρατηγικές για την πρόληψη και τον έλεγχο της ρύπανσης των υπόγειων υδάτων
- Άρθρο 18: Έκθεση της Επιτροπής
- Άρθρο 19: Σχέδια για τα μελλοντικά κοινοτικά μέτρα
- Άρθρο 20: Τεχνικές προσαρμογές της οδηγίας
- Άρθρο 21: Κανονιστική επιτροπή
- Άρθρο 22: Καταργήσεις και μεταβατικές διατάξεις
- Άρθρο 23: Κυρώσεις
- Άρθρο 24: Εφαρμογή

Συγκεκριμένα, «τα κράτη μέλη θέτουν σε ισχύ τις αναγκαίες νομοθετικές, κανονιστικές και διοικητικές διατάξεις για να συμμορφωθούν προς την παρούσα οδηγία το αργότερο στις 22 Δεκεμβρίου 2003».

- Άρθρο 25: Έναρξη ισχύος
- Άρθρο 26: Αποδέκτες

Η παρούσα οδηγία απευθύνεται στα κράτη μέλη.

Η Οδηγία 2000/60 τροποποιήθηκε από την Απόφαση 2455/2001/ΕΚ της 20ης Νοεμβρίου 2001 («για τη θέσπιση του καταλόγου ουσιών προτεραιότητας στον τομέα της πολιτικής των υδάτων και τροποποίησης της οδηγίας 2000/60/ΕΚ»), η οποία περιλαμβάνει το Παράρτημα Χ που δεν είναι άλλο από τον Κατάλογο ουσιών προτεραιότητας στον τομέα της πολιτικής των υδάτων, με 33 συνολικά ουσίες προτεραιότητας.

Στο όγδοο κατά σειρά παράρτημα της οδηγίας πλαίσιο δίνεται ενδεικτικός κατάλογος των κυριότερων ρύπων στον οποίο περιλαμβάνονται και «ουσίες που συμβάλλουν στον ευτροφισμό (ιδίως νιτρικές και φωσφορικές ενώσεις)» [2].

2.2 Μοντέλα

Ως μοντέλο ορίζεται η μαθηματική περιγραφή της συμπεριφοράς ενός φυσικού συστήματος. Επίσης ορίζεται ως ένα κατασκεύασμα που ποσοστοποιεί και περιγράφει ή είναι ανάλογο χημικών, φυσικών ή βιολογικών φαινομένων [3].

Η δημιουργία του μοντέλου είναι απαραίτητη για τρείς λόγους. Για τον υπολογισμό της περιεκτικότητας των χημικών ενώσεων σε υπόγεια νερά και νερά επιφανείας και η συσχέτισή τους με το βαθμό τοξικότητας. Για την κατανόηση του τρόπου μεταφοράς και μετάλλαξης των χημικών ενώσεων στο περιβάλλον. Ακόμη, για την διαχείριση φυσικών και τεχνητών συστημάτων, την πρόγνωση της συμπεριφοράς τους και την πρόληψη επικίνδυνων καταστάσεων [3].

Τα στάδια δημιουργίας του μοντέλου είναι

1. η επιλογή του τρόπου προσομοίωσης
2. η δημιουργία του μοντέλου – κωδικοποίηση
3. η βαθμονόμηση
4. η αξιολόγηση
5. η αξιοπιστία του μοντέλου
6. η σύγκριση προβλέψεων με δεδομένα στο μέλλον
7. η ανάλυση ευαισθησίας
8. η ανάλυση αβεβαιότητας

Τέλος, τα μοντέλα χωρίζονται στα χωρικά μοντέλα (ενιαίων παραμέτρων, κατανεμημένα), στα χρονικά (σταθερής κατάστασης, μεταβαλλόμενα στον χρόνο), στα στατιστικά (προσδιοριστικό, στοχαστικό) και στα μοντέλα με χρονικό βήμα (συνεχές, κατανεμημένο) [3].

2.3 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. Το μοριακό άζωτο (N_2) 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 [1].

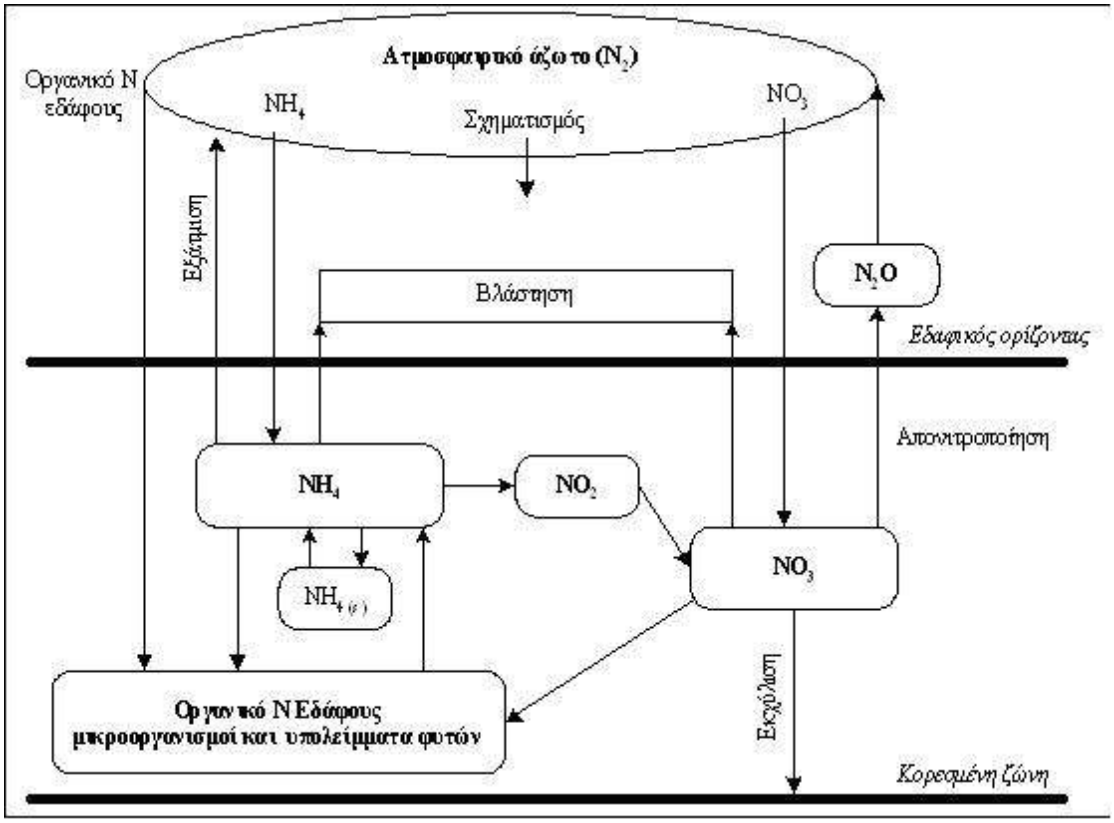
Το άζωτο μπορεί να σχηματίσει διαφορετικές ενώσεις λόγω των διαφορετικών βαθμών οξείδωσης που παρουσιάζει. Η πλειοψηφία αυτών των φυσικών μετασχηματισμών των ενώσεων αζώτου είναι μικροβιακά ελεγχόμενες, όπως υπαγορεύεται από το βαθμό οξείδωσής τους. Η αμμωνία (NH_3), η αμμωνιακή ρίζα (NH_4^+), το αέριο 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 [1].

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 μορφές του [1].

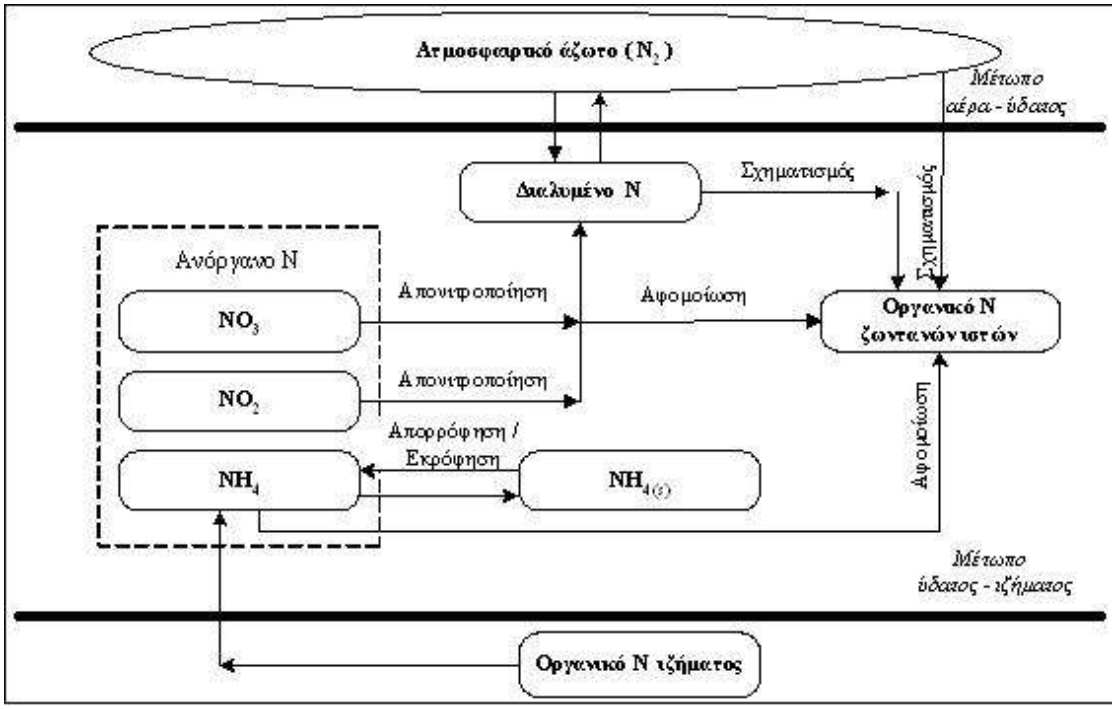
Ανεξάρτητα από τον τρόπο δέσμευσης, οι παραγωγικοί οργανισμοί ενσωματώνουν το άζωτο στις παρασκευαζόμενες πρωτεΐνες. Από αυτούς εφοδιάζονται με το αναγκαίο οργανικό άζωτο όλοι οι υπόλοιποι οργανισμοί, ενώ διάφοροι ειδικευμένοι αποσυνθέτες διασπούν τις αζωτούχες ενώσεις της νεκρής οργανικής ύλης. Το μεγαλύτερο 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 [1].

Οι κύριες γραμμές του κύκλου του αζώτου 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 [1].

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 [1].



Σχήμα 2-1: Κύκλος Αζώτου στο Χερσαίο Περιβάλλον



Σχήμα 2-2: Κύκλος Αζώτου στο Υδατικό Περιβάλλον

Ανοργανοποίηση ή Αμμωνιοποίηση

Ανοργανοποίηση ή Αμμωνιοποίηση είναι η μετατροπή του οργανικού αζώτου (org-N) σε ανόργανη μορφή αμμωνία ή το προϊόν ιονισμού της, αμμωνιακή ρίζα. Αμμωνιοποίηση λαμβάνει χώρα κατά τη διάρκεια της αποσύνθεσης ζωικών μικροβιακών και/ή φυτικών ιστών και βακτηριακού φορτίου. Μια άλλη σημαντική 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. 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* [1].

Δέσμευση μοριακού N2

Δέσμευση μοριακού αζώτου 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 βακτηρίδια 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 και ξεπεράσει την Φύση [1].

Νιτροποίηση

Η νιτροποίηση είναι η μικροβιακή οξείδωση της αμμωνιακής ρίζας σε σε νιτρώδη ρίζα και στη συνεχεία νιτρική ρίζα 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 είναι 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 εκρόφησή της εξαρτάται από την υγρασία του εδάφους. Η διεργασία της απορρόφησης του αμμωνίου εντός όξινων επιφανειών μοντελοποιείται χρησιμοποιώντας μια γραμμική ισόθερμη [1].

Αρχικά τα βακτήρια του γένους *Nitrosomonas* μετατρέπουν το αμμώνιο (NH_4^+) σε νιτρώδη ρίζα σύμφωνα με την ακόλουθη αντίδραση:

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

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

$$NO_2^- + 0.5\ O_2 \rightarrow NO_3^- + \text{ενέργεια}$$

Άτομα αζώτου N που παράγονται από την αμμωνιακή ρίζα και από τη νιτρική ρίζα επιστρέφουν στην ατμόσφαιρα ως αέριο άζωτο N (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 [1].

Απονιτροποίηση

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. 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 [1].

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.

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.

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 [1].

Οι βασικοί ταμιευτήρες του κύκλου του αζώτου και τα υπολογιζόμενα ταμιεύματα εκτιμώνται ως εξής:

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:

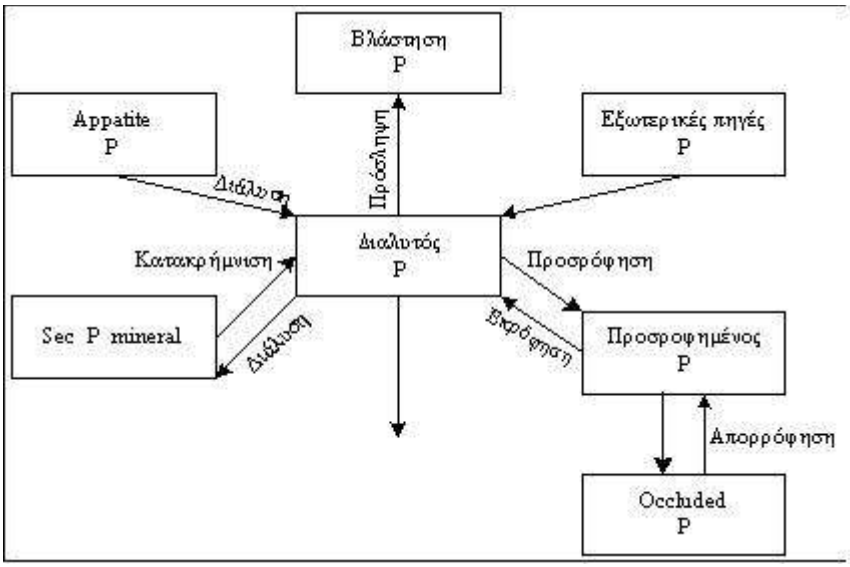
Γεώσφαιρα	98%
Ατμόσφαιρα	2%
Βιόσφαιρα	0.0002%

2.4 Κύκλος φωσφόρου

Ο φώσφορος (P) είναι σημαντικό συστατικό της έμβιας ύλης και η σχετική σπανιότητά του τον καθιστά περιοριστικό παράγοντα για την ανάπτυξη των οργανισμών. 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 [1].

Όλο το απόθεμα του φωσφόρου περιέχεται στη λιθόσφαιρα και εισέρχεται στην κυκλοφορία της βιόσφαιρας με την απόπλυση της επιφάνειας του εδάφους. Μέσω της ροής του ύδατος φτάνει στα χερσαία και υδατικά οικοσυστήματα, απορροφάται από τα φυτά και στη συνέχεια περνά μέσα από τις τροφικές αλυσίδες. Όπως και στους άλλους κύκλους οι διάφοροι αποσυνθέτες στο έδαφος ή στο νερό διασπούν τη νεκρή οργανική ύλη και παράγουν ανόργανο φώσφορο διαθέσιμο για τα φυτά. Ο φώσφορος χρησιμοποιείται από τους παραγωγικούς οργανισμούς με τη μορφή κατά κανόνα των διαλυτών ορθοφωσφορικών. Η μετατροπή αδιάλυτων ενώσεών του σε ορθοφωσφορικά πραγματοποιείται από μικροοργανισμούς. Η αποσύνθεση των νεκρών οργανισμών και των απορριμμάτων τους, αποδίδει στο περιβάλλον το φώσφορο με τη μορφή των ορθοφωσφορικών, τα οποία όμως εύκολα σχηματίζουν αδιάλυτες ενώσεις με ιόντα ασβεστίου και αργιλίου, πολύ συνηθισμένα στο έδαφος [1].

Η διάλυση του φωσφόρου ή των ορθοφωσφορικών είναι το κύριο σημείο του κύκλου του φωσφόρου με διαφορετικές διεργασίες μεταφοράς, οι οποίες τείνουν να ελέγξουν τη συγκέντρωση του φωσφόρου στο περιβάλλον. Οι αντιδράσεις διάλυση–κατακρήμνιση και ρόφηση–εκρόφηση είναι οι πλέον γνωστές και σημαντικές αντιδράσεις στον κύκλο του φωσφόρου στο χερσαίο περιβάλλον. Σχηματικά παρουσιάζεται ο κύκλος του φωσφόρου στο ακόλουθο σχήμα (Σχήμα 2-3) [1].



Σχήμα 2-3: Κύκλος Φωσφόρου στο Χερσαίο Περιβάλλον

Η ανακύκλωση είναι σχεδόν πλήρης στα χερσαία οικοσυστήματα, όπου οι σκελετοί των νεκρών ζώων αποσυντίθενται και ο φώσφορος που περιέχουν γίνεται εκ νέου εκμεταλλεύσιμος. Το ίδιο συμβαίνει και στα γλυκά νερά ή στις ρηχές θάλασσες, όπου οι αποθέσεις δεσμευμένου φωσφόρου μπορούν σχετικά εύκολα να επανέλθουν στις τροφικές αλυσίδες. Αντίθετα στους ωκεανούς, που αντιπροσωπεύουν το 85% της θαλάσσιας επιφάνειας, υπάρχει μια διαρκής απώλεια φωσφόρου, που οφείλεται στη συσσώρευση οργανικής ύλης και κυρίως νεκρών σωμάτων, οστών κλπ., στις αβύσσους και γενικά στα μεγάλα βάθη. Τα ανοδικά θαλάσσια ρεύματα που εμπλουτίζουν με θρεπτικά άλατα τα ρηχά νερά των υφαλοκρηπίδων, δε μπορούν να επαναφέρουν τις βαθιές αποθέσεις στο βιογεωχημικό κύκλο του φωσφόρου. Έτσι οι φωσφορικές ενώσεις, που αποτίθενται στους βυθούς, αποσύρονται από τη βιόσφαιρα. Βέβαια η ανακύκλωσή τους μπορεί και πάλι να γίνει, μέσω των τεκτονικών ανοδικών κινήσεων των ιζημάτων, αλλά σε γεωλογική κλίμακα

πλέον, δηλαδή σε δεκάδες ή σε εκατοντάδες εκατομμύρια χρόνια. Ο κύκλος λοιπόν του φωσφόρου παραμένει εν μέρει και βραχυπρόθεσμα ανοικτός.

Ένα σημαντικό μέρος του φωσφόρου επιστρέφει από τη θάλασσα στη στεριά μέσω των θαλάσσιων πτηνών, που καταναλώνουν ψάρια και αφήνουν τα απόβλητά τους στις ακτές. Ωστόσο αυτές οι μετακινήσεις του φωσφόρου είναι ανεπαρκείς για να αντισταθμίσουν τις απορροές από τη στεριά προς τη θάλασσα.

Ο φώσφορος φαίνεται ότι αποτελεί τον περιοριστικό παράγοντα σε περισσότερες περιπτώσεις από κάθε άλλο στοιχείο. Μία αιτία είναι η ευκολία σχηματισμού αδιάλυτων ενώσεων πράγμα που παρεμποδίζει την απόληψη του από τα φυτά και την μεταφορά του με τα επιφανειακά και υπόγεια νερά. Μια άλλη αιτία είναι ότι δεν σχηματίζει στο φυσικό περιβάλλον αξιόλογες αέριες ενώσεις πράγμα που του στερεί την δυνατότητα της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας [1].

Οι παραπάνω φάσεις του κύκλου του φωσφόρου βρίσκονται σε ισορροπία όταν απουσιάζουν οι έντονες ανθρωπογενείς δραστηριότητες και οι φυσικές αιτίες. Σήμερα ο κύκλος έχει διαταραχθεί στα υδάτινα οικοσυστήματα, κυρίως λόγω της αφθονίας χρήσης στη γεωργία των φωσφορικών λιπασμάτων και της χρήσης απορρυπαντικών [1].

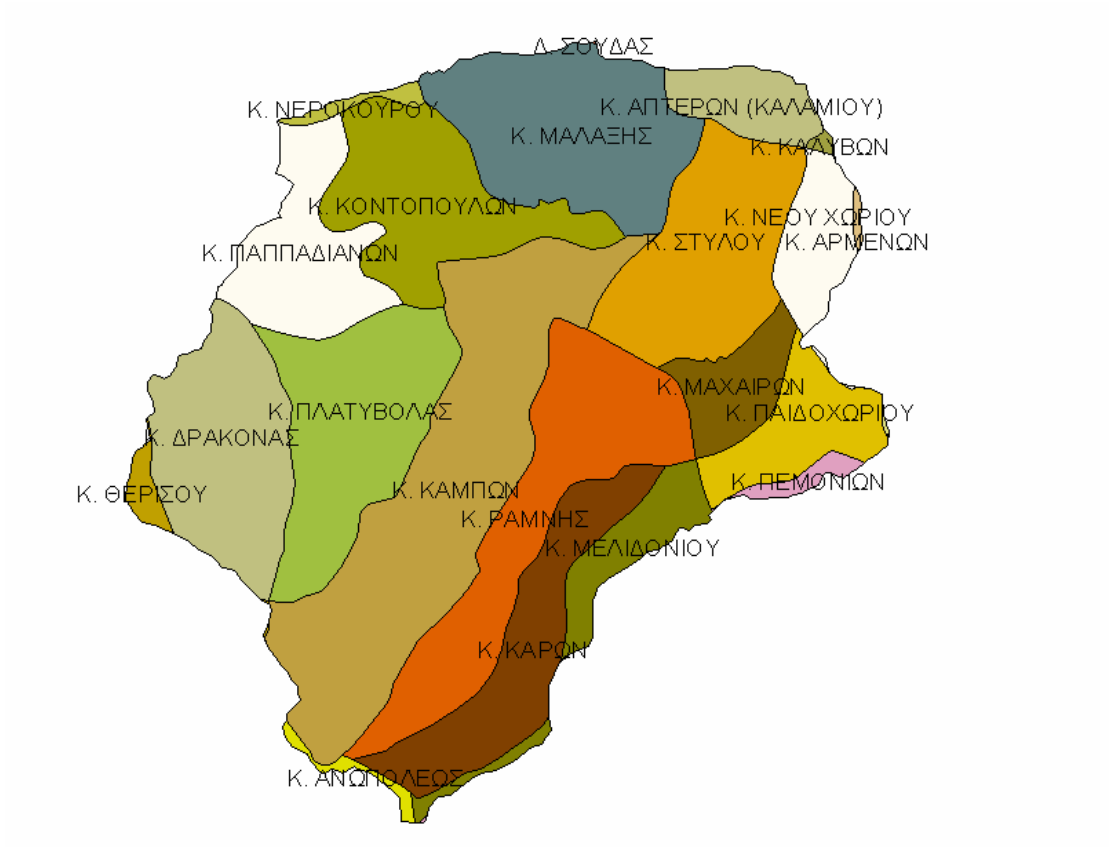
Κεφάλαιο 3

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

3.1 Γεωγραφική θέση

Ανατολικά του Νομού Χανίων στην Κρήτη σε απόσταση περίπου 15 km βρίσκεται η λεκάνη απορροή του ποταμού Κοιλιάρη (Χάρτης 3.1). Το μεγαλύτερο κομμάτι της λεκάνης ανήκει στο Δήμο Αρμένων και στο Δήμο Κεραμιών, αλλά συνολικά σε όλη της την έκταση περιλαμβάνει 17 κοινότητες εκ των οποίων οι 8 είναι πεδινές, 2 ημιορεινές και 7 ορεινές. Η έκταση της υπολογίστηκε ότι ανέρχεται σε 130 km^2. Οι δήμοι που περιλαμβάνονται στην λεκάνη απορροής του ποταμού Κοιλιάρη παρουσιάζονται στον χάρτη 3.2 που δημιουργήθηκε από το Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών (G.I.S.) [2].

Χάρτης 3. 1: Γεωγραφική θέση της λεκάνης απορροής του ποταμού Κοιλιάρη.



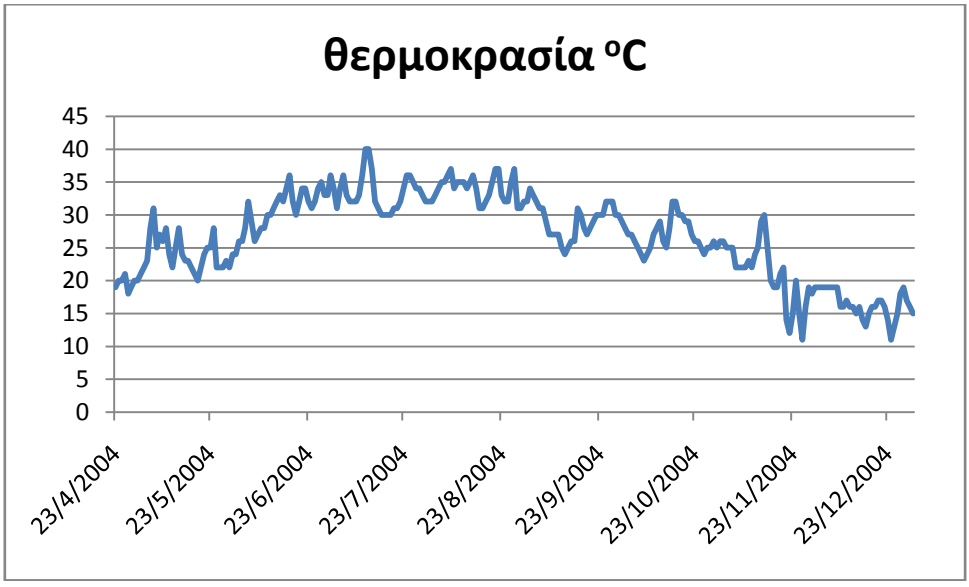
Χάρτης 3. 2: Κοινότητες στην λεκάνη απορροής του ποταμού Κοιλιάρη.

Το συνολικό μήκος του υδρογραφικού δικτύου του ποταμού Κοιλιάρη είναι 36 km. Σε αυτόν συμβάλλουν τέσσερις παραπόταμοι, εκ των οποίων δύο χαρακτηρίζονται ως προσωρινά υδατορεύματα (Κεραμιώτης και Αναβρετή), δεδομένου ότι κατά τη θερινή περίοδο παρατηρείται ξήρανση της κοίτης τους. Από το σημείο συμβολής των παραποτάμων και μέχρι τις εκβολές το μήκος του κυρίου τμήματος του ποταμού Κοιλιάρη είναι 3.3 km. Όπως στις περισσότερες λεκάνες απορροής στο Νομό Χανίων, έτσι και η λεκάνη απορροής του ποταμού Κοιλιάρη τροφοδοτείται από τις ποσότητες των υδάτων που προέρχονται από τα Λευκά Όρη. Οι άλλοι δύο παραπόταμοι που συμβάλλουν στον ποταμό Κοιλιάρη είναι: ο Μυλαύλακας και ο Μανταμάς και έχουν μόνιμη ροή καθόλη τη διάρκεια του έτους και για αυτό χαρακτηρίζονται ως μόνιμα υδατορέματα [2].

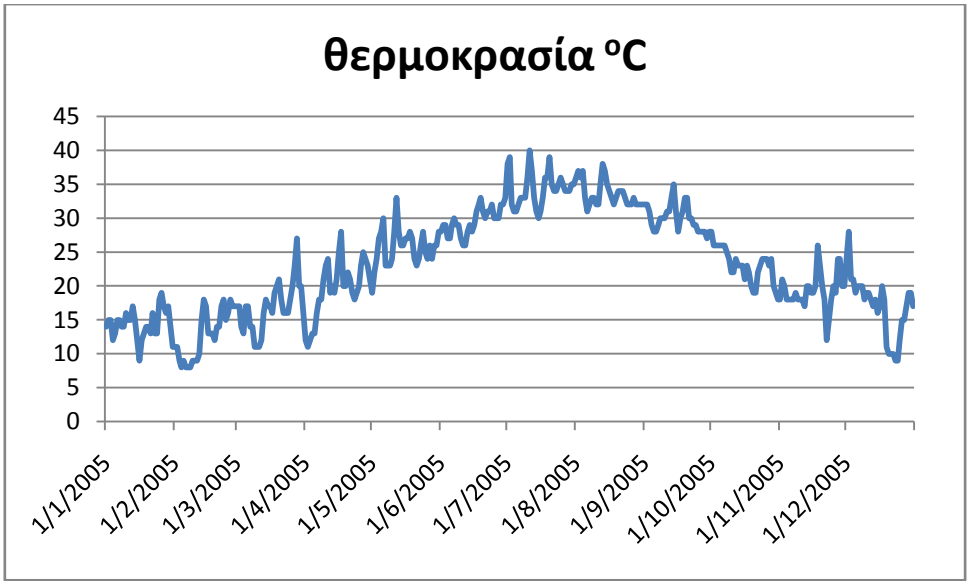
3.2 Κλιματικά χαρακτηριστικά

Το κλίμα της περιοχής μελέτης είναι Μεσογειακό και χαρακτηρίζεται από ήπιους, υγρούς χειμώνες με χιονοπτώσεις μόνο σε μεγάλα υψόμετρα και θερμά και ξηρά καλοκαίρια με μεγάλη ηλιοφάνεια.

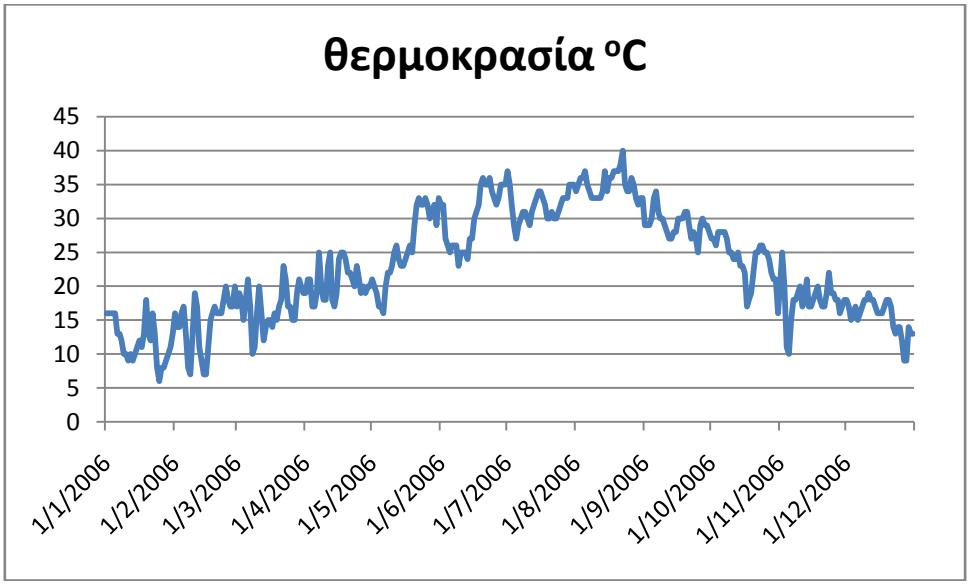
Τα βροχομετρικά στοιχεία προέρχονται από βροχομετρικό σταθμό στην τοποθεσία του Ασκύφου και του ψυχρού πηγαδιού (Ιανουάριος, Φεβρουάριος 2008), που έγκειται στην αρμοδιότητα της Διεύθυνσης Εγγείων Βελτιώσεων, της Νομαρχίας Χανίων. Από το σταθμό αυτό συλλέχθηκαν στοιχεία για την βροχόπτωση και την θερμοκρασία για τα έτη 2004 (Απρίλιο) έως 2008 (Φεβρουάριο). Στα διαγράμματα 3-1, 3-2, 3-3 και 3-4 παρουσιάζεται η μέση θερμοκρασία για τα έτη 2004, 2005, 2006 και 2007. Ο μέσος όρος των τιμών της θερμοκρασίας για το έτος 2004 (για το χρονικό διάστημα που υπάρχουν στοιχεία), είναι 26,7 ^{o}C, για το έτος 2005 είναι 23,1 ^{o}C, για το έτος 2006 είναι 22,8 ^{o}C και για το έτος 2007 είναι 21,2 ^{o}C.



Διάγραμμα 3-1: Μέση θερμοκρασία για το 2004



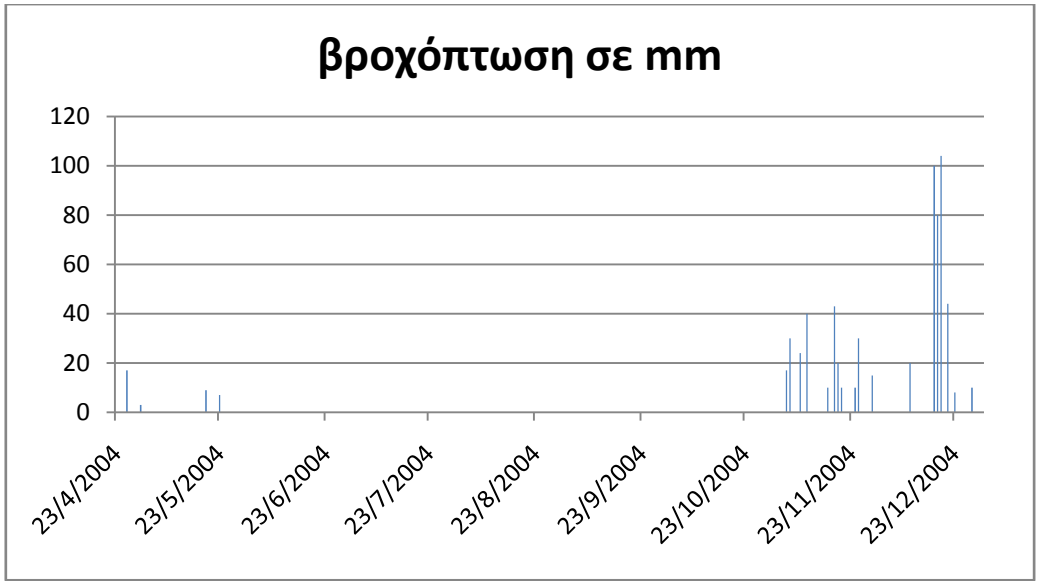
Διάγραμμα 3-2: Μέση θερμοκρασία για το 2005



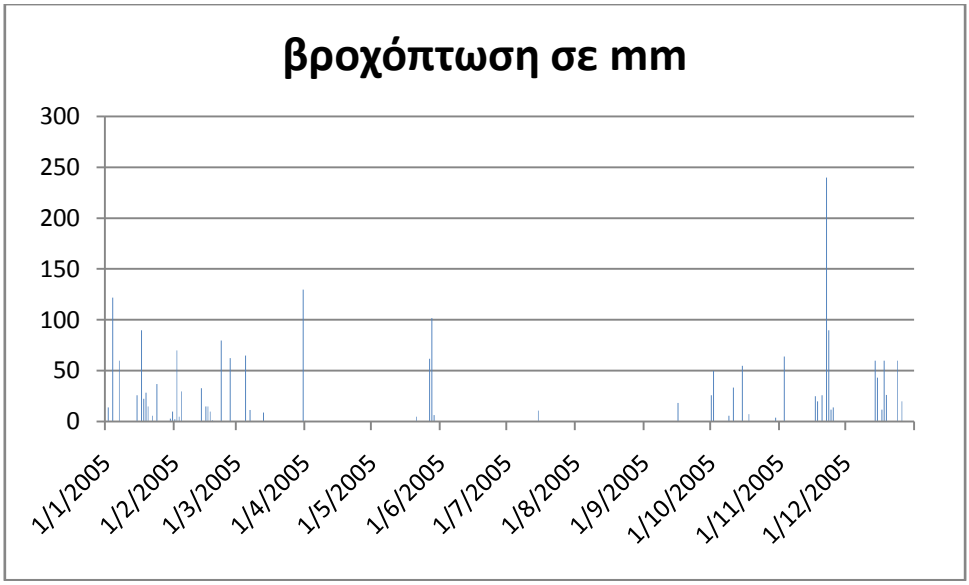
Διάγραμμα 3-3: Μέση θερμοκρασία για το 2006

Διάγραμμα 3-4: Μέση θερμοκρασία για το 2007

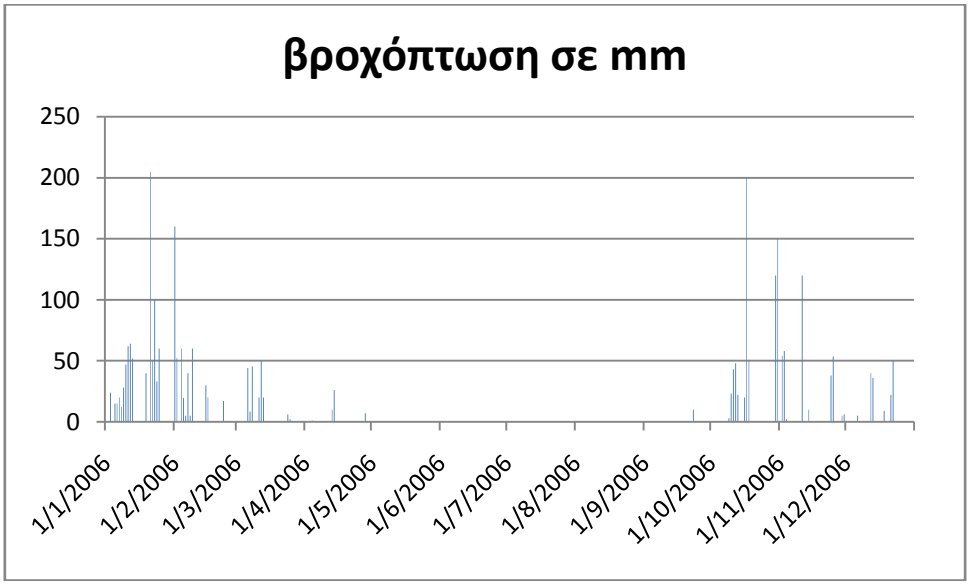
Τα αντίστοιχα διαγράμματα 3-5, 3-6, 3-7 και 3-8 εμφανίζουν την ημερήσια βροχόπτωση για τα έτη 2004 (για το χρονικό διάστημα που υπάρχουν στοιχεία), 2005, 2006 και 2007. Για το υδρολογικό έτος 2004 συνολικά υπολογίστηκαν 651 mm βροχόπτωσης, για το έτος 2005 υπολογίστηκαν 2135,1 mm βροχόπτωσης, για το έτος 2006 υπολογίστηκαν 2733,8 mm βροχόπτωσης και για το έτος 2007 υπολογίστηκαν 2028,1 mm βροχόπτωσης.



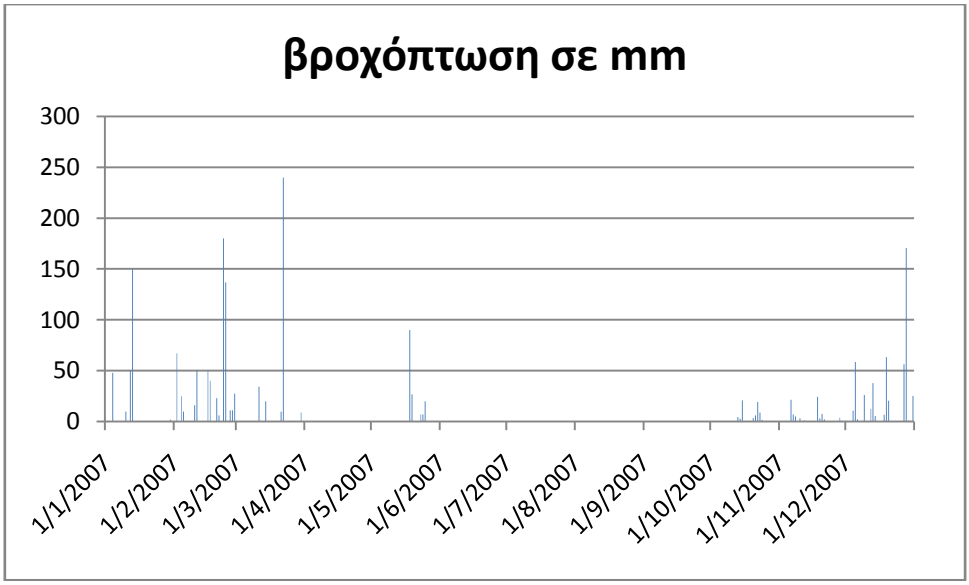
Διάγραμμα 3-5: Ημερήσια βροχόπτωση για το έτος 2004



Διάγραμμα 3-6: Ημερήσια βροχόπτωση για το έτος 2005



Διάγραμμα 3-7: Ημερήσια βροχόπτωση για το έτος 2006



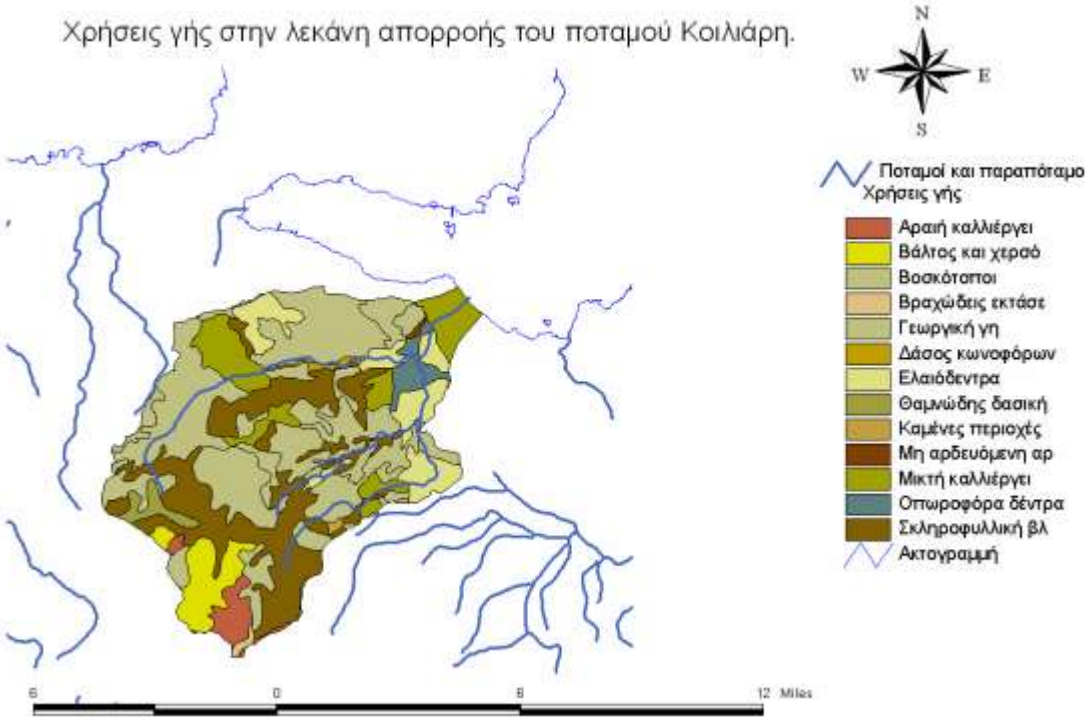
Διάγραμμα 3-8: Ημερήσια βροχόπτωση για το έτος 2007

3.3 Χρήσεις γης

Όπως έχει υπολογιστεί και σε παλαιότερη μελέτη από στοιχεία του Υπουργείου Γεωργίας έχει εκτιμηθεί ότι το 58% (101 km^2) των συνολικών χρήσεων γης των κοινοτήτων της λεκάνης απορροής χαρακτηρίζεται ως βοσκότοποι (δημόσιοι ή ιδιωτικοί), το 29,4% (51km^2) ως καλλιεργούμενες εκτάσεις, το 2,8% (5 km^2) οικιστικές περιοχές και δρόμοι, 8,5% (14,8 km^2) δάση, το 0,6% (1km^2) υδατικές επιφάνειες και το 0,7% (0,9 km^2) άλλες χρήσεις [2].

Στο τμήμα της λεκάνης απορροής που διασχίζει ο ποταμός Κοιλιάρης και αποτελεί το πεδινό τμήμα της λεκάνης απορροής εκτιμήθηκε ότι το 46% των συνολικών χρήσεων χρησιμοποιούνται ως βοσκότοποι. Οι γεωργικές καλλιέργειες της περιοχής κατά κύριο λόγο είναι ελαιόδεντρα , εσπεριδοειδή (πορτοκάλια κ.α.) και αμπέλια. Εδώ πρέπει να τονίσουμε ότι στην λεκάνη απορροής δεν λειτουργούν μεγάλες βιομηχανίες ενώ υπάρχει ένας μικρός αριθμός βιοτεχνιών [2].

Από το Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών δημιουργήθηκε ο χάρτης 3.6, στον οποίο παρουσιάζονται οι χρήσεις γης στην λεκάνη απορροής του ποταμού Κοιλιάρη



Χάρτης 3. 3: Χρήσεις γης στην λεκάνη απορροής του ποταμού Κοιλιάρη.

3.4 Γεωλογία

Σύμφωνα με τις στρωματογραφικές στήλες των γεωλογικών χαρτών που χρησιμοποιήσαμε για την μελέτη (Χάρτης 3.7) , στην ευρύτερη περιοχή της λεκάνης απορροής του ποταμού Κοιλιάρη οι γεωλογικοί σχηματισμοί που εμφανίζονται με βάση την ηλικία αυτών, από τα παλαιότερα προς τα νεότερα είναι:

- Πλακώδεις ασβεστόλιθοι, οι οποίοι αποτελούνται από δολομίτες, ανακρυσταλλωμένους ασβεστόλιθους, μάρμαρα, πυριτικούς σχιστόλιθους και πλακώδεις ανακρυσταλλωμένους ασβεστόλιθους με πυριτόλιθους.
- Μάρμαρα, δολομίτες, ραούβακες και ανθρακικά κροκαλοπαγή του τεκτονικού καλύμματος Ομαλού.
- Ο γεωλογικός σχηματισμός των σχιστόλιθων της φυλλιτικής –χαλαζιτικής σειράς, όπως φυλλίτες, χαλαζίτες και σχιστόλιθοι.
- Δολομίτες, δολομιτικοί ασβεστόλιθοι και ασβεστόλιθοι που ανήκουν στη ζώνη Τριπόλεως.
- Τέλος εμφανίζονται και οι νεότεροι γεωλογικοί σχηματισμοί, όπως μάργες, μαργαικοί ασβεστόλιθοι και αλλουβιακές προσχώσεις [4].

Οι αλλουβιακές προσχώσεις, πηλοί, άργιλοι, άμμοι και χάλικες, εμφανίζονται σε όλο το πεδινό τμήμα του ποταμού Κοιλιάρη. Επίσης εμφανίζονται σε μικρότερη κλίμακα μάργες, καθώς και πλευρικά κορήματα και κώνοι κορημάτων. Οι αλλουβιακές προσχώσεις αναπτύσσονται ανατολικά των πηγών και επεκτείνονται μέχρι τη θάλασσα, το πάχος των οποίων είναι από μερικά εκατοστά έως μερικά μέτρα [4].

Δυτικά της πεδινής έκτασης του ποταμού Κοιλιάρη παρατηρούνται πιθανά και ορατά ρήγματα και γεωλογικοί σχηματισμοί, οι οποίοι αποτελούνται κυρίως από μαργαικούς ασβεστόλιθους και ασβεστόλιθους που προέρχονται από τη Ζώνη Τριπόλεως. Στα ρήγματα αυτά εκφορτίζονται υφάλμυρες πηγές, αρκετές από τις οποίες μέσα στον Ποταμό Κοιλιάρη. Γι’ αυτό το λόγο στις εκβολές του ποταμού εμφανίζονται μεγάλα όρια χλωρίων. Αυτοί οι γεωλογικοί σχηματισμοί αναπτύσσονται δυτικά και φτάνουν μέχρι και τα Λευκά Όρη [4].

Βόρεια των πηγών του Στύλου παρατηρούνται μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι και μάργες που επεκτείνονται μέχρι τα Λευκά Όρη, ενώ σε μικρότερη κλίμακα εμφανίζονται δολομιτικοί ασβεστόλιθοι παλαιοζωικής έως και μεσοζωικής ηλικίας.

Στο κομμάτι των Λευκών Ορέων, που ανήκει στη λεκάνη απορροής του ποταμού Κοιλιάρη ,παρατηρούνται κυρίως γεωλογικοί σχηματισμοί από την αυτόχθονη σειρά της Ιονίου ζώνης, όπως επίσης και σχηματισμοί από τις αλλόχθονες σειράς, Ανώτερο Τριαδικό(Λιάσιο) και Μέσο-Ανώτερο (Μειόκαινο).

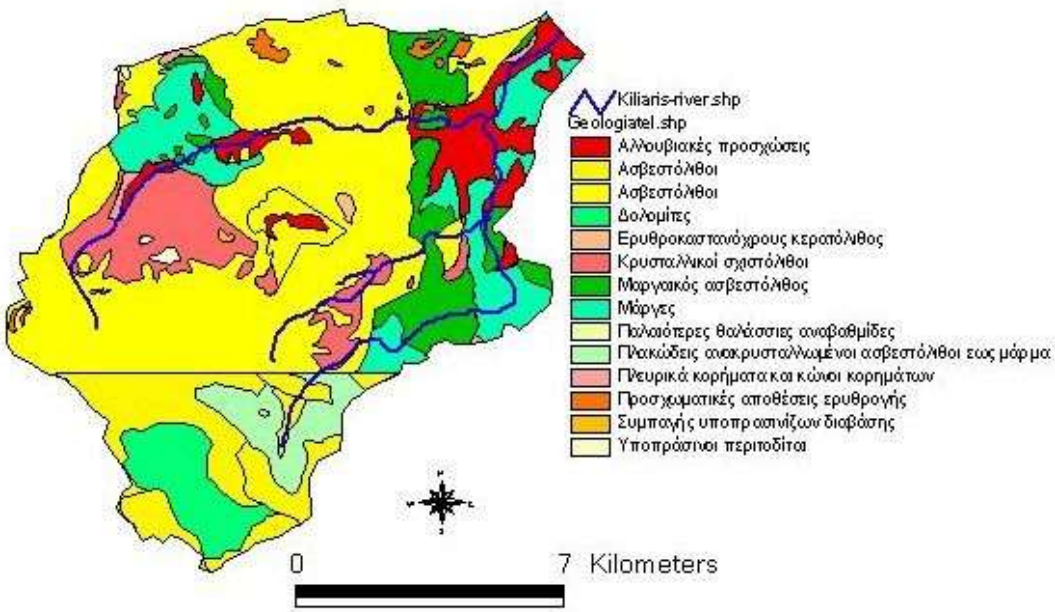
Από την Ιόνιο ζώνη εμφανίζονται πλακώδεις ανακρυσταλλωμένοι ασβεστόλιθοι έως μάρμαρα με πυριτόλιθους.

Από τις αλλόχθονες σειρές που προαναφέραμε παρατηρούνται οι περισσότεροι γεωλογικοί σχηματισμοί και περιλαμβάνουν:

- Ανακρυσταλλωμένους ασβεστόλιθους έως μάρμαρα
- Δολομίτες, δολομιτικοί ασβεστόλιθοι, ραούβακες και ανθρακικά κροκαλλοπαγοί.
- Μάργες και Μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι σε μικρότερη κλίμακα.

Τέλος οι φυλλίτες – χαλαζίτες εμφανίζονται σε μικρή επιφανειακή έκταση νοτιοδυτικά και βορειοδυτικά των πηγών στον ευρύτερο χώρο .Σύμφωνα με την τεκτονική δομή της Κρήτης οι φυλλίτες – χαλαζίτες υπόκεινται των σχηματισμών του καλύμματος της Τρίπολης.

Την δομή αυτή της τεκτονικής σειράς την συναντούμε σε πολλές περιοχές της Κρήτης ορεινές ή ημιορεινές . Το γεγονός αυτό είναι σημαντικό για γενικές και τις τοπικές υδρογεωλογικές συνθήκες της περιοχής στις οποίες θα αναφερθούμε παρακάτω [4].



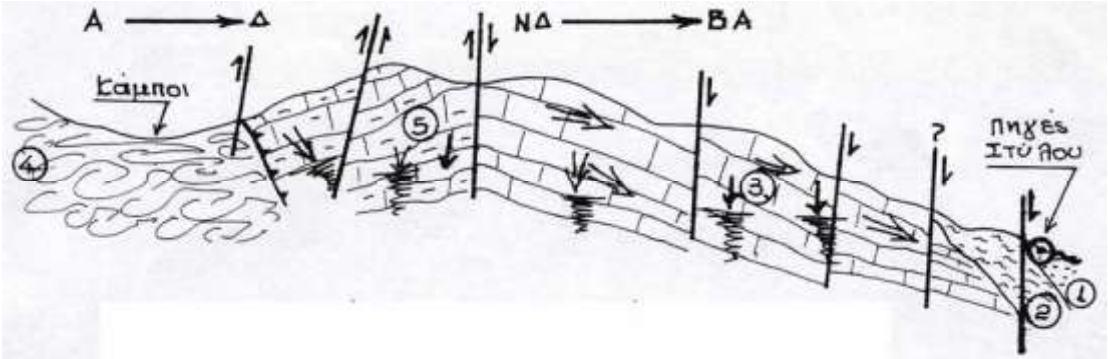
Χάρτης 3. 4: Γεωλογία και υδρογραφικό δίκτυο λεκάνης απορροής ποταμού Κοιλιάρη.

3.5 Υδρογεωλογία

Το όλο σύστημα του ποταμού Κοιλιάρη τροφοδοτείται κατά κύριο λόγο από τα ανθρακικά πετρώματα της ζώνης Τρυπαλίου και τους πλακώδεις ασβεστόλιθους και σε μικρότερη κλίμακα από τους μαργαϊκούς ασβεστόλιθους του Νεογενούς, οι οποίοι βρίσκονται σε τεκτονική επαφή με το παλαιότερο καρστικό σύστημα. Η κυρίως τροφοδοσία των πηγών του ποταμού Κοιλιάρη γίνεται από το καρστικό ασβεστολιθικό σύστημα των Λευκών Ορέων [4].

Οι μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι του Νεογενούς είναι άλλο ένα σύστημα που τροφοδοτεί τον ποταμό Κοιλιάρη, μιας και από τους μαργαϊκούς ασβεστόλιθους υπάρχει άμεση απορροή.

Μάλιστα οι πηγές που αναβλύζουν στην λεκάνη απορροής του ποταμού Κοιλιάρη εμφανίζονται στην επαφή των αλλουβιακών προσχώσεων με τους μαργαϊκούς ασβεστόλιθους. Σε μικρότερη κλίμακα συναντώνται και ανθρακικά πετρώματα της ζώνης Τρίπολης καθώς και φυλλίτες-χαλαζίτες (Σχήμα 3.1).



ΥΠΟΜΝΗΜΑ:
1) Τεταρτογενείς προσχώσεις
2) Νεογενή(Μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι)
3) Ασβεστόλιθοι Δολομίτες του καλύμματος της Τρίπολης
4) Φυλλίτες-Χαλαζίτες
5) Κρυσταλλικοί πλακώδεις ασβεστόλιθοι

Σχήμα 3. 1: Σκαριφηματική γεωλογική τομή ανάντι των πηγών Στύλου.

Στην έκταση των Λευκών Ορέων κυριαρχούν τα ανθρακικά πετρώματα δύο βασικών γεωλογικών συστημάτων:

(α) του αυτόχθουνου συστήματος (ασβεστόλιθοι, δολομίτες, μάρμαρα, κρυσταλλικοί ασβεστόλιθοι)

(β) των τεκτονικών καλλυμμάτων του Τρυπαλίου και της Τρίπολης (ασβεστόλιθοι, δολομίτες, ανακρυσταλλομένοι ασβεστόλιθοι).

Την μεγαλύτερη συγκριτικά έκταση καταλαμβάνουν τα ανθρακικά του υποβάθρου και την μικρότερη αυτά του καλύμματος Τρυπαλίου τα οποία εμφανίζονται σε μεγάλα υψόμετρα και σε άμεση επαφή με το υπόβαθρο [4].

Η περατότητα των πετρωμάτων σε συνδυασμό με την γενική δομή των Λευκών Ορέων συντελούν στην ανάπτυξη υπόγειων υδροφοριών με πολύ μεγάλο υδατικό δυναμικό. Μάλιστα στην περιοχή μελέτης εμφανίζεται μια πληθώρα υπόγειων υδροφοριών. Επίσης πρέπει να τονιστεί ότι τα πλούσια μετεωρολογικά κατακρημνίσματα που δέχεται το ορεινό συγκρότημα (βροχές και χιόνια) διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην πλούσια υδροφορία της περιοχής [4].

Δευτερεύοντα ρόλο στο υδατικό δυναμικό παίζουν και οι άμεσες απορροές των μετεωρολογικών κατακρημνισμάτων λόγω των μαργαϊκών ασβεστόλιθων [4].

Αποτέλεσμα αυτών των υδροφοριών είναι οι αναβλύσεις πηγών σημαντικής παροχής σε ορισμένες ζώνες στη βάση του ορεινού όγκου. Ανάλογα λοιπόν με τις συνθήκες των διαφόρων τμημάτων του ορεινού συγκροτήματος διοχετεύεται το νερό σε περιφερειακές υπόγειες υδροφορίες σε χαμηλότερο υψόμετρο και στη συνέχεια τροφοδοτούνται γνωστές πηγές και γεωτρήσεις μερικές από τις οποίες βρίσκονται και στην λεκάνη απορροής του ποταμού Κοιλιάρη. Η διαφοροποίηση στις στάθμες των γεωτρήσεων της περιοχής, καθώς και το διαφορετικό υψόμετρο εκροής των πηγών της ευρύτερης περιοχής οφείλεται στον έντονο τεκτονισμό της λεκάνης στο βορειότερο τμήμα του [4].

Κεφάλαιο 4

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

4.1 Η λειτουργία των καρστικών

Γενικά, οι καρστικοί υδροφορείς της Ελλάδας καλύπτουν ένα σημαντικό ποσοστό της συνολικής έκτασης και εκφορτίζουν σε πηγές, οι οποίες τροφοδοτούν ποταμούς διαλείπουσας ή συνεχούς ροής των οποίων η απορροή κατά την διάρκεια των καλοκαιρινών μηνών βασίζεται μόνο στην καρστική εκφόρτιση των πηγών. Σε αυτές τις περιοχές η άντληση νερού από το καρστ συνδέεται στενά με τις χαμηλές συνθήκες ροής στο ποτάμι, το οποίο κατά συνέπεια επηρεάζει την οικολογική ποιότητα των ποταμών. Για την ορθή μοντελοποίηση και διαχείριση των υδάτων σε επίπεδο λεκανών απορροής και την εκτίμηση των απολήψιμων ποσοτήτων νερού είναι απαραίτητη η μοντελοποίηση των εκφορτίσεων των καρστικών πηγών [5].

Η μοναδικότητα των καρστικών μορφών απαιτεί μια ειδική προσέγγιση στον υπολογισμό του ισοζυγίου των υπόγειων υδροφόρων, είτε για τους ίδιους τους καρστικούς αγωγούς, είτε για κάποιον υδροφόρο που σχηματίζεται γύρω τους. Σε αντίθεση με τα πεδία που συνίστανται από γεωλογικούς σχηματισμούς που δεν υπόκεινται σε καρστικοποίηση, μερικοί από τους βασικούς παράγοντες του ισοζυγίου (υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά του μέσου, γεωμετρία του υδροφόρου, και περιοχή τροφοδοσίας του υδροφόρου) είναι πολύ δύσκολο να ποσοτικοποιηθούν [5].

Δεσπόζοντες χαρακτήρες της υπόγειας κυκλοφορίας ενός καρστικού υδροφορέα είναι η συγκέντρωση της υπόγειας ροής σε άξονες, οι υπόγειες διακλαδώσεις και η σύνθετη σχέση επιφανειακών και υπόγειων υδάτων που δυσκολεύουν τον προσδιορισμό των συνθηκών ροής που χρησιμοποιούνται στις συνήθεις Εξισώσεις. Σε αντίθεση με τα μη καρστικά πεδία, στα οποία ο κύριος παράγοντας στο ισοζύγιο είναι η επιφανειακή

απορροή, ο πιο σημαντικός παράγοντας στα καρστικά συστήματα είναι η κατείσδυση, που ισούται περίπου με την υπόγεια απορροή [5].

Ο καρστικός υδροφόρος δύναται να διαχωριστεί σε τρία τμήματα: (α) Τη μη-καρστική περιοχή εκφόρτισης που χαρακτηρίζεται από χαμηλής διαπερατότητας πετρώματα ή εδαφικά στρώματα ή επικαλύψεις πάνω ακριβώς από τα καρστικά στρώματα, όπου το νερό απορρέει επιφανειακά ή διηθείται και προσωρινά αποθηκεύεται στο έδαφος, (β) Το επι-καρστικό (epikarst) σύστημα που οριοθετείται υπο-επιφανειακά και υπόκειται σε υπερβολική διάβρωση λόγω των έντονων καιρικών μεταβολών. Αποτελεί ουσιαστικά το ανώτερο τμήμα του καρστικού υδροφόρου με πάχος 0.5- 2.0 m. Η επι-καρστική περιοχή χαρακτηρίζεται από δυο ιδιότητες: αργή κατείσδυση νερού και αέρα μέσω στενών ρωγμών και γρήγορη αποστράγγιση μέσω συγκοινωνούντων αγωγών που πιθανών να διακόπτει την ροή στην κορεσμένη ζώνη, (γ) Η κορεσμένη καρστική περιοχή γνωστή και ως πλυμμηρική καρστική (flooded karst) που ουσιαστικά αποτελεί τον κύριο όγκο αποθήκευσης νερού του καρστικού υδροφόρου και συνήθως συνδέεται μια κάποια έξοδο [5].

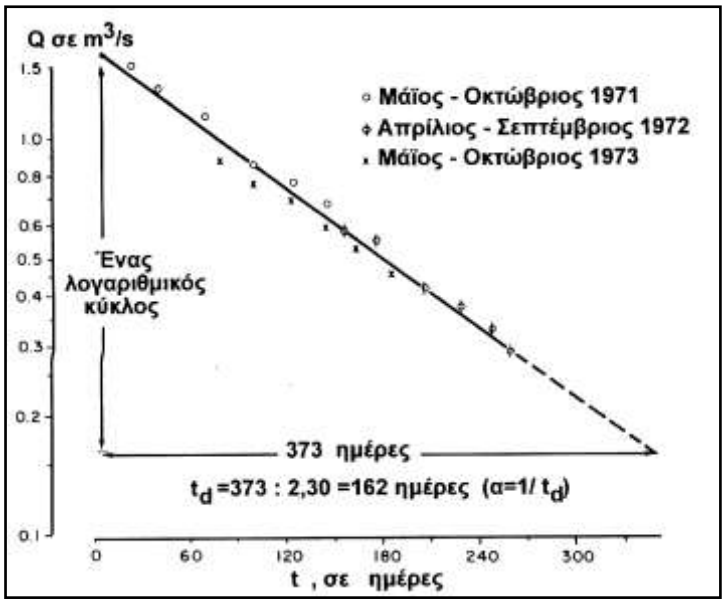
Η περιοχή τροφοδοσίας και η γεωμετρία ενός καρστικού υδροφόρου είναι παράγοντες, που μεταβάλλονται χωρο-χρονικά και εξαρτώνται από τις υδρολογικές συνθήκες. Αυτές οι αλλαγές συμβαίνουν σχεδόν συνεχώς σε μια περίοδο υψηλών βροχοπτώσεων. Η έλλειψη γνώσης αυτών των παραγόντων απαιτεί μια διαφορετική προσέγγιση του ισοζυγίου. Ένα καρστικό σύστημα συχνά εκφορτίζεται σε μια μεγάλη πηγή. Αυτό το χαρακτηριστικό κάνει δυνατό τον υπολογισμό των παραμέτρων του ισοζυγίου μέσω της ανάλυσης του υδρογραφήματος εκφόρτισης της πηγής. Γι’ αυτή την ανάλυση χρησιμοποιείται ένα τμήμα του υδρογραφήματος, που εκφράζει καλύτερα την εκκένωση του καρστικού συστήματος. Η καταλληλότερη περίοδος γι’ αυτή την ανάλυση είναι μετά το τέλος της περιόδου των βροχοπτώσεων, όταν δηλαδή η τροφοδοσία του συστήματος με νερό είναι πρακτικά μηδενική. Ο υδροφόρος τότε βρίσκεται σε καθεστώς συνεχούς αποφόρτισης που παρακολουθείται μέσω της παροχής της πηγής [5].

Η πορεία του νερού από μια πηγή, απουσία κατακρημνισμάτων, άρα υπό καθεστώς χωρίς εξωτερικές επιδράσεις, τροφοδοτείται από υπόγεια νερά τα οποία αντιστοιχούν στα ρυθμιστικά αποθέματα των υδροφόρων στρωμάτων, τα οποία είναι αποθηκευμένα μέσα

στην υδρολογική λεκάνη ή μέσα στις υδρογεωλογικές δομές κατά μήκος μιας δεδομένης διαδρομής αποστράγγισης [5].

Η καμπύλη στείρευσης, η οποία περιγράφει το τμήμα μείωσης του υδρογραφήματος της πηγής (παροχή vs χρόνος) εκφράζει το νόμο της εκφόρτισης του υδροφόρου στρώματος. Αυτή η καμπύλη επιτρέπει μέσω μιας γραφικής επίλυσης τον υπολογισμό του συντελεστή στείρευσης α, ενός υδρογεωλογικού παράγοντα των υδροφόρων στρωμάτων, που χαρακτηρίζει την εκφόρτιση και την αποθηκευτική τους ικανότητα σε υπόγεια νερά. Η καμπύλη στείρευσης κατασκευάζεται προβάλλοντας ανά χρονικά διαστήματα (σε ημέρες) τις αντίστοιχες ημερήσιες παροχές σε m^3/s (Σχήμα 4.1) [5].

Γενικά, στη βιβλιογραφία υπάρχουν πολυάριθμες μελέτες που αναφέρονται στο συντελεστή στείρευσης μιας πηγής και κάνουν εφικτό τον προσδιορισμό της παροχής της πηγής κατά την περίοδο της ξηρασίας. Η βασική εξίσωση που χρησιμοποιούν είναι η εκθετική εξίσωση, που προτάθηκε από το Maillet (1905) και επεκτείνουν την εφαρμογή με το να αναλύουν το υδρογράφημα της πηγής σε ένα συνδυασμό εκθετικών συνιστωσών. Δεν έχουν αναπτυχθεί εξισώσεις όπου να δίνουν την εκφόρτιση των πηγών καθ΄όλο το υδρολογικό έτος και επιπλέον δεν υπάρχει κάποιο μοντέλο, το οποίο να μπορεί να υπολογίζει τη συμμετοχή της καρστικής βασικής απορροής σε κλίμακα λεκάνης απορροής ποταμού. Σημειώνεται ότι η καρστική απορροή αποτελεί το συνεργιστικό αποτέλεσμα όλων των πηγών που εκφορτίζονται μέσα στη λεκάνη και που συνήθως είναι αδύνατη η παρακολούθηση και καταγραφή των παροχών τους [5].



Σχήμα 4.1. Καμπύλη Στείρευσης πηγής [5]

Η Σταμάτη κ.α. (2006) ανέλυσαν την καρστική απορροή πηγών στην Κρήτη που δημιουργήθηκαν στην επαφή καρστικών διαπερατών σχηματισμών με αδιαπέρατους και πρότειναν ένα μοντέλο «Maillet διπλού ταμιευτήρα» που αναπαριστά τους δυο γεωλογικούς ασβεστολιθικούς σχηματισμούς που επικρατούν στην περιοχή. Έναν ανώτερο ταμιευτήρα γρήγορο, που λειτουργεί σαν πιστόνι, δηλαδή έχει γρήγορη εκφόρτιση κατά τη διάρκεια και αμέσως μετά κάποιο γεγονός βροχής. Τον άμεσο και γρήγορο μηχανισμό εκφόρτισης των καρστικών (πιστόνι) τον παρατήρησαν επίσης στη μελέτη τους ο Aquilina et al. (2006). Ο δεύτερος, κατώτερος ταμιευτήρας αναφέρεται στη μελέτη των Σταμάτη κ.α. (2006) σαν ένας ταμιευτήρας αργής εκφόρτισης [5].

4.2 Υδρολογία

Στο παρελθόν η μοντελοποίηση καρστικών υδροφορέων εστιάστηκε στην προσομοίωση της ροής στα ρήγματα, τα οποία εθεωρούντο ως αγωγοί μεταφοράς της ροής και όχι ως συνεισφορά της εκφορτίσης των πηγών στην παροχή των ποταμών. Πρόσφατα, οι Stamati et. al. (2006) μελέτησαν την λειτουργία των καρστικών πηγών του Στύλου στην Κρήτη, η ύπαρξη των οποίων οφείλεται σε τεκτονική επαφή και πρότειναν ένα 'δύο ταμιευτήρων' τύπου Maillet μοντέλο. Το μοντέλο αυτό θεωρεί ότι οι δυο ταμιευτήρες αντιπροσωπεύουν τους δυο ασβεστολιθικούς σχηματισμούς που υπάρχουν στην περιοχή: α. τον ανώτερο έντονα καρστικοποιημένο που παρουσιάζει γρήγορη εκφόρτιση (λειτουργεί σαν πιστόνι) και β. τον κατώτερο λιγότερο καρστικοποιημένο-αργής εκφόρτισης ταμιευτήρα. Το μοντέλο αυτό μπόρεσε να μοντελοποιήσει ικανοποιητικά την απορροή των πηγών κατά τη θερινή περίοδο. Ο Aquilina et al., (2006) χαρακτήρισαν επίσης την απόκριση καρστικού συστήματος σε γεγονότα βροχής σαν piston type [5].

Γενικά, στη βιβλιογραφία υπάρχουν πολυάριθμες μελέτες που υπολογίζουν το συντελεστή στείρευσης μιας πηγής και προσδιορίζουν το υδρογράφημα εκφόρτισης αυτής κατά την περίοδο της ξηρασίας. Η βασική εξίσωση που χρησιμοποιείται είναι η εκθετική εξίσωση που προτάθηκε από το Maillet (1905) και κάνουν επέκταση της εφαρμογής με το να αναλύουν το υδρογράφημα εκφόρτισης σε ένα συνδυασμό εκθετικών συνιστωσών. Δεν έχουν αναπτυχθεί εξισώσεις, όπου να δίνουν την εκφόρτιση των πηγών καθ΄όλο το υδρολογικό έτος και επιπλέον δεν υπάρχει κάποιο μοντέλο όπου να μπορεί να υπολογίζει τη συμμετοχή της καρστικής βασικής απορροής σε κλίμακα λεκάνης απορροής ποταμού. Σημειώνεται ότι η καρστική απορροή αποτελεί το συνεργιστικό αποτέλεσμα όλων των πηγών που εκφορτίζονται μέσα στη λεκάνη και που συνήθως είναι αδύνατη η παρακολούθηση και καταγραφή των παροχών τους. Κατά την ξηρή περίοδο η παροχή του ποταμού Κράθη είναι το συνεργιστικό αποτέλεσμα της παροχής των πηγών αυτών, ενώ κατά την υγρή περίοδο το ποτάμι τροφοδοτείται κατά ένα μέρος από τις πηγές και κατά ένα άλλο μέρος από την βροχή και την επιφανειακή και την υπο-επιφανειακή απορροή [5].

Ο σκοπός ήταν να χρησιμοποιηθεί το ιδεατό μοντέλο των «δύο ταμιευτήρων», αλλά και να επεκταθεί, ώστε να μπορεί να προσομοιώσει την εκφόρτιση καρστικών πηγών, καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Στη συνέχεια το καρστικό μοντέλο σε συνδυασμό με ένα υδρολογικό

μοντέλο λεκάνης απορροής χρησιμοποιήθηκε για την προσομοίωση της υδρολογίας της λεκάνης απορροής του ποταμού Κράθη [5].

Σύμφωνα με τη γεωλογία της λεκάνης απορροής του Κράθη, το καρστικό υπόβαθρο μπορεί να περιγραφεί από το ακόλουθο ιδεατό μοντέλο. Στη λεκάνη απορροής του Κράθη ποταμού εκφορτίζονται «δυο ταμιευτήρες». Ο ανώτερος ταμιευτήρας του έντονα καρστικοποιημένου καρστ, που παρουσιάζει γρήγορη εκφόρτιση και ο κατώτερος ταμιευτήρας που παρουσιάζει μικρότερης τάξης μεγέθους ρήγματα και διακλάσεις και που εμφανίζει αργή εκφόρτιση. Η γρήγορη ή αργή εκφόρτιση ερμηνεύεται με την ικανότητα του καρστικού συστήματος να ελευθερώνει νερό. Η γρήγορη εκφόρτιση αντιπροσωπεύει καλά ανεπτυγμένο κάρστ (μεγάλες ρωγμές και αγωγούς), ενώ η αργή αντιπροσωπεύει μικρές ρωγμές και το πρωτογενές πορώδες των πετρωμάτων. Οι 111 πηγές που βρίσκονται διάσπαρτες μέσα στη λεκάνη δίνουν την εκφόρτιση του αργού και του γρήγορου καρστ, που αναπτύσσεται και εκτός των ορίων της λεκάνης απορροής του ποταμού στο όρος Χελμός [5].

Η εκφόρτιση των πηγών δύναται να προσομοιωθεί με ένα στοχαστικό μοντέλο, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί στη συνέχεια ως εργαλείο πρόβλεψης των ελάχιστων, χαμηλών παροχών του ποταμού. Αναπτύχθηκαν δυο εξισώσεις υδατικών ισοζυγίων που αντιπροσωπεύουν τον ανώτερο και τον κατώτερο ταμιευτήρα. Η μεταβολή του όγκου του νερού στον ανώτερο (V_1) και στον κατώτερο (V_2) ταμιευτήρα συναρτήσει του χρόνου 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. Η μεταβολή του όγκου σε συνάρτηση με το χρόνο για τον ανώτερο-γρήγορο (1) ταμιευτήρα δίνεται από την Εξίσωση 4.1, ενώ η μεταβολή του όγκου για τον κατώτερο-αργό ταμιευτήρα (2) δίνεται από την Εξίσωση 4.2.

$$\frac{dV_1}{dt} = Q_{in,1} - Q_1 \tag{4.1}$$

$$\frac{dV_2}{dt} = Q_{in,2} - Q_2 \tag{4.2}$$

Η εισροή νερού στον ανώτερο ταμιευτήρα αντιπροσωπεύει την άμεση βροχόπτωση στο καρστ ή την τήξη του χιονιού. Η εισροή στο καρστ υπολογίζεται μέσω του υδατικού ισοζυγίου μάζας του διαμερίσματος του χιονιού.

$$\frac{dV_s}{dt} = (P_s - M_s) * \varepsilon * A_{karst} \tag{4.3}$$

Όπου,

V_s είναι ο ισοδύναμος όγκος νερού του διαμερίσματος του χιονιού, P_s είναι η ημερήσια βροχόπτωση που πέφτει ως χιόνι (όταν η θερμοκρασία του αέρα είναι μικρότερη από μια κρίσιμη τιμή) σε m/d, M_s είναι ο ημερήσιος ρυθμός τήξης του χιονιού σε m/d, ε είναι ένας διορθωτικός παράγοντας που λαμβάνει υπόψη τις υδατικές απώλειες από το χιόνι και A_{karst} είναι η επιφάνεια του καρστ σε m^2 [5].

Ο ημερήσιος ρυθμός τήξης του χιονιού υπολογίζεται με τη χρήση εμπειρικών εξισώσεων που έχουν αναπτυχθεί από το U.S. Army Corps of Engineers (1956) και έχουν εφαρμοστεί σε μοντέλα λεκανών απορροής. Η Εξίσωση 4.4 περιγράφει την τήξη του χιονιού υπό ξηρό καιρό, χωρίς βροχή και η Εξίσωση 4.5 περιγράφει την τήξη του χιονιού, όταν βρέχει.

$$M_s = k*(1.8*T_a)^{n+1}/1000 \qquad (4.4)$$

$$M_s = \gamma*((0.007*P_w + 0.074)*T_a*1.8 + 0.05)*0.254/1000 \qquad (4.5)$$

Όπου,

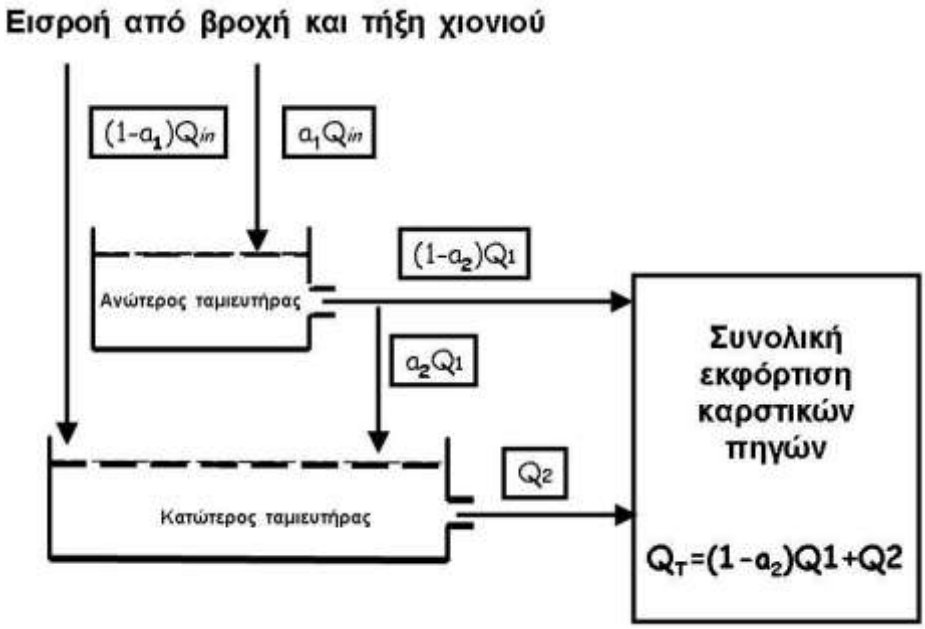
n είναι ένας συντελεστής που συνήθως παίρνει την τιμή 0.25 (αδιάστατος), P_w είναι η ημερήσια υγρή κατακρήμνιση σε m/d, T_a είναι η μέση ημερήσια θερμοκρασία του αέρα σε ^oC, κ συντελεστής με διαστάσεις ($md^{-1}C^{-1}$) και *γ* είναι αδιάστατος συντελεστές που προσαρμόζουν τις εξισώσεις στις τοπικές συνθήκες [5].

Οι Εξισώσεις 4.4 και 4.5 χρησιμοποιούνται λόγω της απλότητάς τους και επειδή επιτρέπουν τον υπολογισμό της τήξης του χιονιού από τη θερμοκρασία του αέρα και μόνο. Το διαμέρισμα του χιονιού αποκλείεται/απομονώνεται, όταν το ισοδύναμο βάθος του νερού γίνεται μικρότερο ή ίσο με 10^{-4} m για να αποφευχθούν αριθμητικά προβλήματα κατά την ολοκλήρωση. Η Εξίσωση 4.1 επιλύεται με τη μέθοδο του Euler για ημερήσιο χρονικό βήμα. Ο ρυθμός τήξης του χιονιού διορθώνεται, ώστε να αποφεύγονται αρνητικές τιμές στον όγκο του χιονιού. Έπειτα, οι ημερήσιες εισροές νερού στον ανώτερο και στον κατώτερο ταμιευτήρα του καρστ μπορούν να υπολογιστούν με τις Εξισώσεις 4.6 και 4.7, όπως φαίνεται παρακάτω:

$$Q_{in,1} = (1-\alpha_1)*(P_w + M_s)*\varepsilon*A_{karst} \qquad (4.6)$$

$$Q_{in,2} = \alpha_1 * (P_w + M_s) * \varepsilon * A_{karst} + \alpha_2 * Q_1 \qquad (4.7)$$

Όπου,α_1 είναι ποσοστό του νερού από την βροχή και την τήξη του χιονιού που εισέρχεται στον ανώτερο και (1- α_1) στον κατώτερο ταμιευτήρα και α_2 είναι το ποσοστό της παροχής που από τον ανώτερο ταμιευτήρα εισέρχεται στον κατώτερο (Σχήμα 4.2) [5].



Σχήμα 4.2: Σχηματική διάταξη του καρστικού μοντέλου των δυο ταμιευτήρων.

Η Εξίσωση 4.1 μπορεί να γραφεί μετά την εκτέλεση των πράξεων:

$$Q_1 = Q_{1,0} e^{-k_u t} + Q_{in,1}(1 - e^{-k_u t}) \qquad (4.8)$$

Παρομοίως για τον δεύτερο ταμιευτήρα μπορεί να γραφεί,

$$Q_2 = Q_{2,0} e^{-k_l t} + Q_{in,2}(1 - e^{-k_l t}) \qquad (4.9)$$

Όπου k_u και k_l είναι οι συντελεστές στείρευσης (1/d) για τον ανώτερο και τον κατώτερο ταμιευτήρα αντίστοιχα.

Έτσι, η συνολική καρστική εκφόρτιση είναι το άθροισμα των δύο εκφορτίσεων (γρήγορη και αργή), των δύο ταμιευτήρων:

$$Q_{karstic} = (1 - a_2) Q_1 + Q_2 \qquad (4.10)$$

Το παραπάνω καρστικό μοντέλο έχει συνολικά 8 συντελεστές που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη βαθμονόμηση του μοντέλου (Πίνακας). Δύο συντελεστές, k_u και k_l,

που αντιστοιχούν στους συντελεστές στείρευσης των πηγών. Το αντίστροφο αυτών των συντελεστών αντιπροσωπεύει τον υδραυλικό χρόνο παραμονής του εκφορτιζόμενου νερού για κάθε ταμιευτήρα. Επίσης, τρεις συντελεστές που σχετίζονται με την τήξη του χιονιού (n, k και γ). Δυο συντελεστές α_1 και α_2, που σχετίζονται με την γεωλογία και την υδραυλική του καρστ. Τέλος, το γινόμενο $\varepsilon * A_{karst}$ που αποτελεί την ισοδύναμη επιφάνεια του καρστ σε m^2 [5].

Οι συντελεστές στείρευσης μπορούν να εκτιμηθούν από την βαθμονόμηση των Εξισώσεων 4.8 και 4.9, βάσει των παροχών κατά την διάρκεια της ξηρής περιόδου. Οι τρεις συντελεστές που σχετίζονται με την τήξη του χιονιού ελέγχουν την κλίση του υδρογραφήματος κατά την διάρκεια της περιόδου τήξης του χιονιού, ενώ το γινόμενο $\varepsilon * A_{karst}$ ρυθμίζει τις κορυφές του υδρογραφήματος. 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 $\varepsilon * A_{karst}$, ύστερα από την βαθμονόμηση του μοντέλου [5].

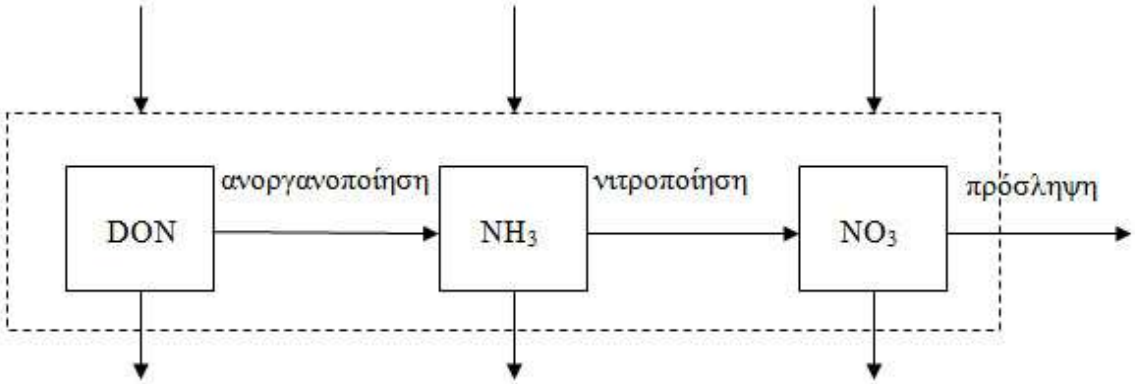
Πίνακας 4.1: Παράμετροι βαθμονόμησης των καρστικού μοντέλου

Παράμετρος	Επεξήγηση
Ts	Ελάχιστη θερμοκρασία όπου αρχίζει η τήξη του χιονιού (^oC)
k_u	Συντελεστής στείρευσης για τον ανώτερο ταμιευτήρα (1/d)
k_l	Συντελεστής στείρευσης των πηγών για τον κατώτερο ταμιευτήρα (1/d)
n	Εκθέτης στην εξίσωση τήξης του χιονιού όταν δεν υπάρχει βροχή
k	Συντελεστής στην εξίσωση τήξης του χιονιού όταν δεν υπάρχει βροχή (m/d^oC)
γ	Συντελεστής στην εξίσωση τήξης του χιονιού όταν υπάρχει βροχή (-)
α_1	Ποσοστό του νερού από την βροχή και την τήξη του χιονιού που εισέρχεται στον ανώτερο ταμιευτήρα
α_2	Ποσοστό του νερού του ανώτερου ταμιευτήρα που εισρέει στον κατώτερο
$\varepsilon * A_{karst}$	Κανονικοποιημένη επιφάνεια του καρστ, m^2

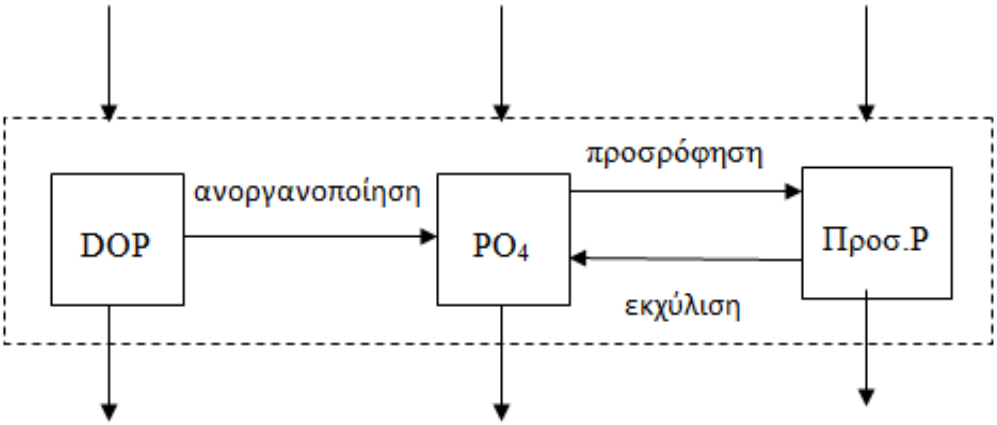
4.3 Δημιουργία υπομοντέλων εκτίμησης φορτίων αζώτου και φωσφόρου

Στα πλαίσια της εργασίας δημιουργήθηκαν υπομοντέλα εκτίμησης φορτίων αζώτου και φωσφόρου. Για τα υπομοντέλα αναπτύχθηκαν εξισώσεις ισοζυγίων που αντιπροσωπεύουν τον ανώτερο και κατώτερο ταμιευτήρα.

Τα υπομοντέλα έλαβαν υπόψη μόνο τις κύριες διεργασίες που λαμβάνουν χώρα στους δύο ταμιευτήρες των Λευκών ορέων, καταλήγοντας σε απλοποιημένο κύκλο αζώτου (Σχήμα 4.3) και φωσφόρου (Σχήμα 4.4). Έτσι, ο κύκλος του αζώτου περιλαμβάνει τη διεργασία της ανοργανοποίησης (mineralization), τη διεργασία της νιτροποίησης (nitrification) και τη διεργασία της πρόσληψης (uptake). Αντίστοιχα, ο κύκλος του φωσφόρου περιλαμβάνει τη διεργασία της ανοργανοποίησης (mineralization), τη διεργασία της προσρόφησης (sorption) και τη διεργασία της εκχύλισης (leaching).



Σχήμα 4.3: Απλοποιημένος κύκλος του αζώτου

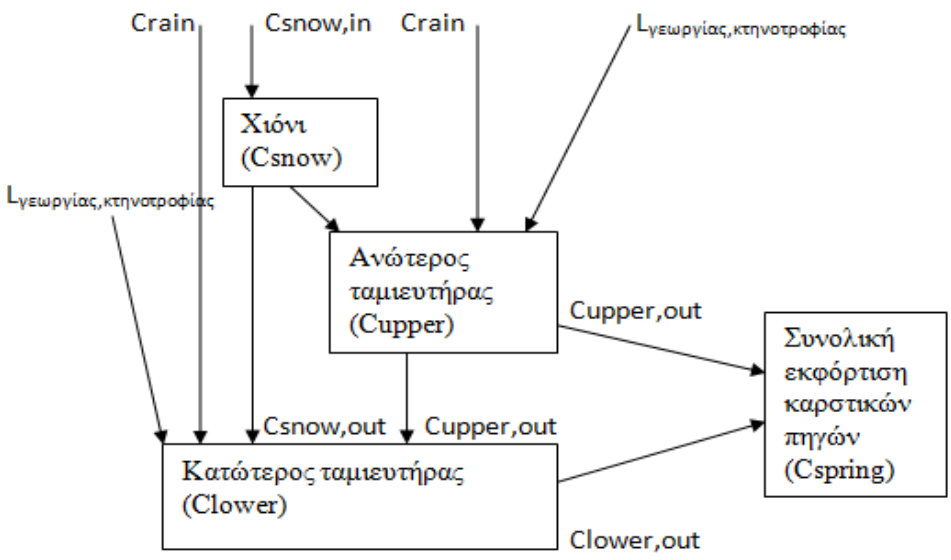


Σχήμα 4.4: Απλοποιημένος κύκλος του φωσφόρου

4.3.1 Υπομοντέλο εκτίμησης φορτίων αζώτου

Για τα υπομοντέλα αναπτύχθηκαν εξισώσεις ισοζυγίων που αντιπροσωπεύουν τον ανώτερο και κατώτερο ταμιευτήρα (Σχήμα 4.5).

Η μεταβολή της μάζας ενός στοιχείου στον ταμιευτήρα συναρτήσει του χρόνου δίνεται από την εξίσωση 4.11 και ισούται με το γινόμενο της εισερχόμενης παροχής στον ταμιευτήρα επί τη συγκέντρωση, μείον το γινόμενο της εξερχόμενης παροχής επί τη συγκέντρωση, μείον το γινόμενο της σταθεράς αντίδρασης επί τον όγκο του ταμιευτήρα επί τη συγκέντρωση του στοιχείου στον ταμιευτήρα. Εν συνεχεία, κάνοντας τις πράξεις καταλήγουμε στην εξίσωση 4.12 όπου έχουμε τη μεταβολή της συγκέντρωσης ενός στοιχείου συναρτήσει του χρόνου.



Σχήμα 4.5: Σχηματική διάταξη του καρστικού μοντέλου των δυο ταμιευτήρων.

$$\frac{d(VC)}{dt} = Qin * Cin - Qout * Cout - k * V * Cout \qquad (4.11)$$

$$\rightarrow V\frac{dC}{dt} = Qin * Cin - Qout * Cout - k * V * Cout - Cout * \frac{dV}{dt}$$

$$\rightarrow \frac{dC}{dt} = \frac{Qin}{V} * Cin - \frac{Qout}{V} * Cout - k * Cout - \frac{Cout}{V} * \frac{dV}{dt} \qquad (4.12)$$

Εφαρμόζοντας ξεχωριστά τα ισοζύγια μάζας για τον ανώτερο και κατώτερο ταμιευτήρα παίρνουμε τις εξισώσεις 4.13 και 4.15 αντίστοιχα και υπολογίζουμε τη συγκέντρωση του στοιχείου με τη μέθοδο Euler, εξίσωση 4.14 και 4.16

$$\frac{dC_x}{dt} = \frac{Q_1 in}{V} * C_{1x} in + \frac{Q_2 in}{V} * C_{2x} in - \frac{Qout}{V} * C_x out - k * C_x out - \frac{C_x out}{V} * \frac{dV}{dt} \qquad (4.13)$$

$$C_x out(i) = C_x out(i-1) + \frac{dC_x}{dt} * dt \qquad (4.14)$$

Όπου,

*$Q_1 in$: η τήξη του χιονιού*a1 (m^3/day)*

*$Q_2 in$: η βροχόπτωση επί το εμβαδόν του καρστικού*a1 (m^3/day)*

Qout: η εκροή του ανώτερου ταμιευτήρα (m^3/day)

$C_{1x}in$: *η συγκέντρωση του συστατικού x στο λιώσιμο του χιονιού (mg/l)*

$C_{2x}in$: *η συγκέντρωση του συστατικού x στη βροχόπτωση (mg/l)*

C_x*out: η συγκέντρωση του συστατικού x στην εκροή του ανώτερου ταμιευτήρα (mg/l)*

V: ο όγκος του ανώτερου ταμιευτήρα (m^3)

k: ο συντελεστής αντίδρασης (1/day)

dV/dt: η μεταβολή του όγκου με τον χρόνο (m^3/day)

$$\frac{dC_x}{dt} = \frac{Q_1 in}{V} * C_{1x}in + \frac{Q_2 in}{V} * C_{2x}in + \frac{Q_3 in}{V} * C_{3x}in - \frac{Qout}{V} * C_x out - k * C_x out - \frac{C_x out}{V} * \frac{dV}{dt}$$
(4.15)

$$C_x out(i) = C_x out(i-1) + \frac{dC_x}{dt} * \mathrm{dt} \qquad (4.16)$$

Όπου,

$Q_1 in$: *η τήξη του χιονιού*(1-α1) (m^3/day)*

$Q_2 in$: *η βροχόπτωση επί το εμβαδόν του καρστικού*(1-α1) (m^3/day)*

$Q_3 in$: *η εκροή του ανώτερου ταμιευτήρα*α2 (m^3/day)*

Qout: η εκροή του κατώτερου ταμιευτήρα (m^3/day)

$C_{1x}in$: *η συγκέντρωση του συστατικού x στο λιώσιμο του χιονιού (mg/l)*

$C_{2x}in$: *η συγκέντρωση του συστατικού x στη βροχόπτωση (mg/l)*

$C_{3x}in$: *η συγκέντρωση του συστατικού x στην εκροή του ανώτερου ταμιευτήρα (mg/l)*

C_x*out: η συγκέντρωση του συστατικού x στην εκροή του κατώτερου ταμιευτήρα (mg/l)*

V: ο όγκος του κατώτερου ταμιευτήρα (m^3)

k: ο συντελεστής αντίδρασης (1/day)

dV/dt: η μεταβολή του όγκου με τον χρόνο (m^3/day)

Λαμβάνοντας υπόψη τις διεργασίες που λαμβάνουν χώρα στους δύο ταμιευτήρες έχουμε για τον ανώτερο ταμιευτήρα την εξίσωση 4.17 για το διαλυτό οργανικό άζωτο (DON), την εξίσωση 4.18 για την αμμωνία (NH_3) και την εξίσωση 4.19 για τα νιτρικά (NO_3).

$$\frac{dC_{DON}}{dt} = \frac{Q_1 in}{V} * C_{1DON} in + \frac{Q_2 in}{V} * C_{2DON} in - \frac{Qout}{V} * C_{DON} out - kmineralization * C_{DON} out - \frac{C_{DON}\ out}{V} * \frac{dV}{dt} \quad (4.17)$$

$$\frac{dC_{NH3}}{dt} = \frac{Q_1 in}{V} * C_{1NH3} in + \frac{Q_2 in}{V} * C_{2NH3} in - \frac{Qout}{V} * C_{NH3} out + kmineralization * C_{DON} out - knitrification * C_{NH3} out - \frac{C_{NH3} out}{V} * \frac{dV}{dt} \quad (4.18)$$

$$\frac{dC_{NO3}}{dt} = \frac{Q_1 in}{V} * C_{1NO3} in + \frac{Q_2 in}{V} * C_{2NO3} in - \frac{Qout}{V} * C_{NO3} out + knitrification * C_{NH3} out - kuptake * C_{NO3} out - \frac{C_{NO3} out}{V} * \frac{dV}{dt} \quad (4.19)$$

Αντίστοιχα για τον κατώτερο ταμιευτήρα έχουμε την εξίσωση 4.20 για το διαλυτό οργανικό άζωτο (DON), την εξίσωση 4.21 για την αμμωνία (NH_3) και την εξίσωση 4.22 για τα νιτρικά (NO_3).

$$\frac{dC_{DON}}{dt} = \frac{Q_1 in}{V} * C_{1DON} in + \frac{Q_2 in}{V} * C_{2DON} in + \frac{Q_3 in}{V} * C_{3DON} in - \frac{Qout}{V} * C_{DON} out - kmineralization * C_{DON} out - \frac{C_{DON}\ out}{V} * \frac{dV}{dt} \quad (4.20)$$

$$\frac{dC_{NH3}}{dt} = \frac{Q_1 in}{V} * C_{1NH3} in + \frac{Q_2 in}{V} * C_{2NH3} in + \frac{Q_3 in}{V} * C_{3NH3} in - \frac{Qout}{V} * C_{NH3} out + kmineralization * C_{DON} out - knitrification * C_{DON} - \frac{C_{NH3} out}{V} * \frac{dV}{dt} \quad (4.21)$$

$$\frac{dC_{NO3}}{dt} = \frac{Q_1 in}{V} * C_{1NO3} in + \frac{Q_2 in}{V} * C_{2NO3} in + \frac{Q_3 in}{V} * C_{3NO3} in - \frac{Qout}{V} * C_{NO3} out - knitrification * C_{NH3} out - kuptake * C_{NO3} out - \frac{C_{NO3} out}{V} * \frac{dV}{dt} \quad (4.22)$$

Στο ισοζύγιο μάζας του διαλυτού οργανικού αζώτου στον ανώτερο (εξίσωση 4.23) και κατώτερο(εξίσωση 4.24) ταμιευτήρα προστίθεται ένας ακόμα όρος. Αυτός σχετίζεται με την φόρτιση οργανικού αζώτου από την κτηνοτροφία. Στο ισοζύγιο μάζας της αμμωνίας λαμβάνουμε υπόψη και τη φόρτιση αμμωνίας από την κτηνοτροφία, εξισώσεις 4.25 και 4.26. Στο ισοζύγιο μάζας των νιτρικών λαμβάνουμε υπόψη και τη φόρτιση νιτρικών από τη γεωργία, εξισώσεις 4.27 και 4.28.

$$\frac{dC_{DON}}{dt} = \frac{Q_1 in}{V} * C_{1DON} in + \frac{Q_2 in}{V} * C_{2DON} in - \frac{Qout}{V} * C_{DON} out - kmineralization * C_{DON} out - \frac{C_{DON}\ out}{V} * \frac{dV}{dt} + \frac{L_{DON}}{V} \quad (4.23)$$

$$\frac{dC_{DON}}{dt} = \frac{Q_1 in}{V} * C_{1DON} in + \frac{Q_2 in}{V} * C_{2DON} in + \frac{Q_3 in}{V} * C_{3DON} in - \frac{Qout}{V} * C_{DON} out - kmineralization * C_{DON} out - \frac{C_{DON}\ out}{V} * \frac{dV}{dt} + \frac{L_{DON}}{V} \quad (4.24)$$

$$\frac{dC_{NH3}}{dt} = \frac{Q_1 in}{V} * C_{1NH3} in + \frac{Q_2 in}{V} * C_{2NH3} in - \frac{Qout}{V} * C_{NH3} out + kmineralization * C_{DON} out - knitrification * C_{DON} out - \frac{C_{NH3} out}{V} * \frac{dV}{dt} + \frac{L_{NH3}}{V} \quad (4.25)$$

$$\frac{dC_{NH3}}{dt} = \frac{Q_1 in}{V} * C_{1NH3} in + \frac{Q_2 in}{V} * C_{2NH3} in + \frac{Q_3 in}{V} * C_{3NH3} in - \frac{Qout}{V} * C_{NH3} out + kmineralization * C_{DON} out - knitrification * C_{DON} - \frac{C_{NH3} out}{V} * \frac{dV}{dt} + \frac{L_{NH3}}{V} \quad (4.26)$$

$$\frac{dC_{NO3}}{dt} = \frac{Q_1 in}{V} * C_{1NO3} in + \frac{Q_2 in}{V} * C_{2NO3} in - \frac{Qout}{V} * C_{NO3} out + knitrification * C_{NH3} out - kuptake * C_{NO3} out - \frac{C_{NO3} out}{V} * \frac{dV}{dt} + \frac{L_{NO3}}{V} \quad (4.27)$$

$$\frac{dC_{NO3}}{dt} = \frac{Q_1 in}{V} * C_{1NO3} in + \frac{Q_2 in}{V} * C_{2NO3} in + \frac{Q_3 in}{V} * C_{3NO3} in - \frac{Qout}{V} * C_{NO3} out - knitrification * C_{NH3} out - kuptake * C_{NO3} out - \frac{C_{NO3} out}{V} * \frac{dV}{dt} + \frac{L_{NO3}}{V} \quad (4.28)$$

4.3.2 Υπομοντέλο εκτίμησης φορτίων φωσφόρου

Λαμβάνοντας υπόψη τις διεργασίες που λαμβάνουν χώρα στους δύο ταμιευτήρες έχουμε για τον ανώτερο ταμιευτήρα την εξίσωση 4.29 για το διαλυτό οργανικό φώσφορο (DOP), την εξίσωση 4.30 για τα φωσφορικά (PO_4) και την εξίσωση 4.31 για τον προσροφημένο φώσφορο (Προσ. P).

$$\frac{dC_{DOP}}{dt} = \frac{Q_1 in}{V} * C_{1DOP} in + \frac{Q_2 in}{V} * C_{2DOP} in - \frac{Qout}{V} * C_{DOP} out - kmineralization * C_{DOP} out - \frac{C_{DOP}\ out}{V} * \frac{dV}{dt} \quad (4.29)$$

$$\frac{dC_{PO\,4}}{dt} = \frac{Q_1 in}{V} * C_{1PO4} in + \frac{Q_2 in}{V} * C_{2PO4} in - \frac{Qout}{V} * C_{PO4} out + kmineralization * C_{DOP} out + kleaching * C_{\Pi\rho o\sigma\,.P} out - ksorption * C_{PO4} out - \frac{C_{PO\,4} out}{V} * \frac{dV}{dt} \quad (4.30)$$

$$\frac{dC_{\Pi\rho o\sigma\,.P}}{dt} = ksorption * C_{PO4} out - kleaching * C_{\Pi\rho o\sigma\,.P} out - \frac{C_{NO\,3} out}{V} * \frac{dV}{dt} \quad (4.31)$$

Αντίστοιχα για τον κατώτερο ταμιευτήρα έχουμε την εξίσωση 4.32 για το διαλυτό οργανικό φώσφορο (DOP), την εξίσωση 4.33 για τα φωσφορικά (PO_4) και την εξίσωση 4.34 για τον προσροφημένο φώσφορο (Προσ. P).

$$\frac{dC_{DOP}}{dt} = \frac{Q_1 in}{V} * C_{1DOP} in + \frac{Q_2 in}{V} * C_{2DOP} in + \frac{Q_3 in}{V} * C_{3DOP} in - \frac{Qout}{V} * C_{DOP} out - kmineralization * C_{DOP} out - \frac{C_{DOP}\ out}{V} * \frac{dV}{dt} \quad (4.32)$$

$$\frac{dC_{PO\,4}}{dt} = \frac{Q_1 in}{V} * C_{1PO4} in + \frac{Q_2 in}{V} * C_{2PO4} in + \frac{Q_3 in}{V} * C_{3PO4} in - \frac{Qout}{V} * C_{PO4} out + kmineralization * C_{DOP} out + kleaching * C_{\Pi\rho o\sigma\,.P} out - ksorption * C_{PO4} out - \frac{C_{PO\,4} out}{V} * \frac{dV}{dt} \quad (4.33)$$

$$\frac{dC_{\Pi\rho o\sigma\,.P}}{dt} = ksorption * C_{PO4} out - kleaching * C_{\Pi\rho o\sigma\,.P} out - \frac{C_{NO\,3} out}{V} * \frac{dV}{dt} \quad (4.34)$$

Στο ισοζύγιο μάζας των φωσφορικών (PO_4) στον ανώτερο (εξίσωση 4.35) και κατώτερο(εξίσωση 4.36) ταμιευτήρα προστίθεται ένας ακόμα όρος. Αυτός σχετίζεται με την φόρτιση φωσφορικών από τη γεωργία και την κτηνοτροφία.

$$\frac{dC_{PO\,4}}{dt} = \frac{Q_1 in}{V} * C_{1PO4}in + \frac{Q_2 in}{V} * C_{2PO4}in - \frac{Qout}{V} * C_{PO4}out + kmineralization * C_{DOP}out + kleaching * C_{\Pi\rho o\sigma .P}out - ksorption * C_{PO4}out - \frac{C_{PO\,4}out}{V} * \frac{dV}{dt} + \frac{L_{PO\,4}}{V} \quad (4.35)$$

$$\frac{dC_{PO\,4}}{dt} = \frac{Q_1 in}{V} * C_{1PO4}in + \frac{Q_2 in}{V} * C_{2PO4}in + \frac{Q_3 in}{V} * C_{3PO4}in - \frac{Qout}{V} * C_{PO4}out + kmineralization * C_{DOP}out + kleaching * C_{\Pi\rho o\sigma .P}out - ksorption * C_{PO4}out - \frac{C_{PO\,4}out}{V} * \frac{dV}{dt} + \frac{L_{PO\,4}}{V} \quad (4.36)$$

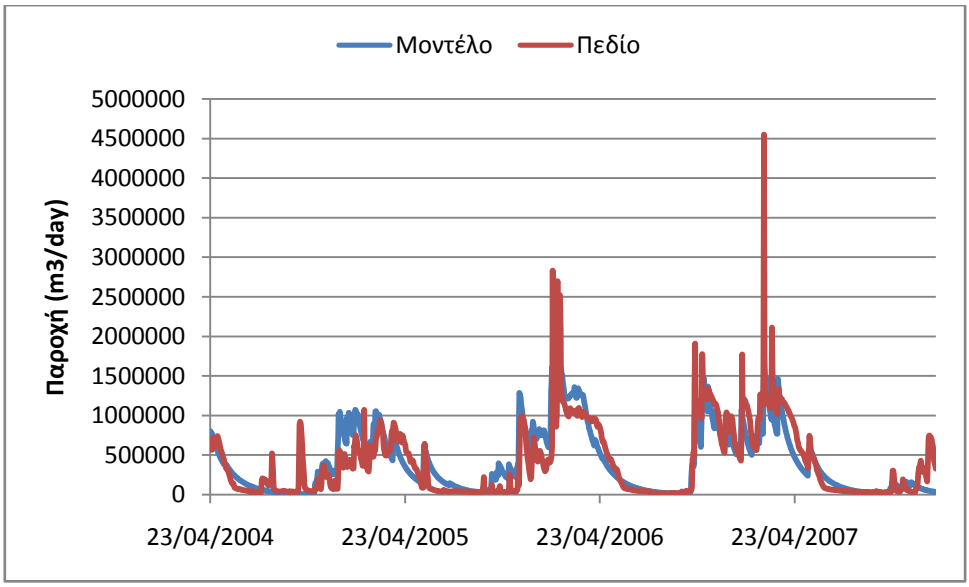
Κεφάλαιο 5

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

5.1 Υδρολογία

Η περίοδος που εξετάζεται είναι 23/04/2004 – 12/01/2008. Τα βροχομετρικά στοιχεία προέρχονται από τους βροχομετρικούς σταθμούς στις τοποθεσίες του Ασκύφου και του ψυχρού πηγαδιού (Ιανουάριος, Φεβρουάριος 2008), που έγκειται στην αρμοδιότητα της Διεύθυνσης Εγγείων Βελτιώσεων, της Νομαρχίας Χανίων. Από τους σταθμούς αυτούς συλλέχθηκαν στοιχεία για την βροχόπτωση και την θερμοκρασία. Η ροή μετρήθηκε στον υδρομετρικό σταθμό του Αγίου Γεωργίου.

Στο διάγραμμα 5-1 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της βαθμονόμησης του μοντέλου, ενώ στον πίνακα 5-1 παρουσιάζονται οι τιμές των παραμέτρων που χρησιμοποιήθηκαν.



Διάγραμμα 5-1: Αποτελέσματα της βαθμονόμησης του μοντέλου

Πίνακας 5-1: Τιμές παραμέτρων βαθμονόμησης υδρολογίας

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΤΙΜΗ
Ελάχιστη θερμοκρασία όπου αρχίζει η τήξη του χιονιού (^oC) (Air Temperature for snowfall, Ts)	5
Συντελεστής διόρθωσης του χιονιού (Snow Catch Correction Factor)	1
Αρχικός όγκος χιονιού (m^3) (Initial Snow Volume, Vso)	0
Εκθέτης στην εξίσωση τήξης του χιονιού όταν δεν υπάρχει βροχή (Snow Melt exponent, n)	0.25
Συντελεστής στην εξίσωση τήξης του χιονιού όταν δεν υπάρχει βροχή (Snow Melt factor, k)	0.315
Συντελεστής στην εξίσωση τήξης του χιονιού όταν υπάρχει βροχή (Snow melt adjustment factor, y1)	0.3
Επιφάνεια του καρστικού (m^2) (Surface Area of the Karst, Ak)	100000000
Χρονικό βήμα (days) (Time Step)	1
Βροχοβαθμίδα (Rainfall lapse rate)	0.75
Θερμοβαθμίδα (Temperature lapse rate)	0.0042
Μέγιστο υψόμετρο του καρστικού (Karst max elevation)	1500
Αρχική καρστική ροή (m^3/day) (Initial Karstic Flow, Qko)	900000
Ποσοστό του νερού από την βροχή και την τήξη του χιονιού που εισέρχεται στον ανώτερο ταμιευτήρα (Fraction of Inflow to Upper Reservoir, a1)	0.35
Συντελεστής στείρευσης για τον ανώτερο ταμιευτήρα (1/day) (Upper Reservoir Recession Constant, ku)	0.0996
Συντελεστής στείρευσης των πηγών για τον κατώτερο ταμιευτήρα (1/day) (Lower Reservoir Recession Constant, kl)	0.0261
Ποσοστό του νερού του ανώτερου ταμιευτήρα που εισρέει στον κατώτερο (Fraction of Upper Reservoir Flow to Lower, a2)	0.3
Ημέρες προσομοίωσης (days) (Days of simulation)	1360

Για την περίοδο 23/04/2004-22/04/2005 (ένα έτος) η πηγή (τιμές πεδίου) απέδωσε 118 εκ. κυβικά ενώ σύμφωνα με το μοντέλο υπολογίζονται 137 εκ. κυβικά, η εισροή στο καρστικό υπολογίζεται 122 εκ. κυβικά, η εκροή του ανώτερου ταμιευτήρα υπολογίζεται 44 εκ. κυβικά και η εκροή του κατώτερου ταμιευτήρα 106 εκ. κυβικά.

Για την περίοδο 23/04/2005-22/04/2006 (ένα έτος) η πηγή (τιμές πεδίου) απέδωσε 156 εκ. κυβικά ενώ σύμφωνα με το μοντέλο υπολογίζονται 195 εκ. κυβικά, η εισροή στο καρστικό υπολογίζεται 201 εκ. κυβικά, η εκροή του ανώτερου ταμιευτήρα υπολογίζεται 70 εκ. κυβικά και η εκροή του κατώτερου ταμιευτήρα 146 εκ. κυβικά.

Για την περίοδο 23/04/2006-22/04/2007 (ένα έτος) η πηγή (τιμές πεδίου) απέδωσε 223 εκ. κυβικά ενώ σύμφωνα με το μοντέλο υπολογίζονται 184 εκ. κυβικά, η εισροή στο καρστικό υπολογίζεται 182 εκ. κυβικά, η εκροή του ανώτερου ταμιευτήρα υπολογίζεται 64 εκ. κυβικά και η εκροή του κατώτερου ταμιευτήρα 192 εκ. κυβικά.

Επιπλέον αποτελέσματα μοντελοποίησης παρουσιάζονται στον πίνακα 5-2.

Πίνακας 5-2: Αποτελέσματα μοντελοποίησης

RMSE	2,72
Μέση Παροχή (πεδίο) (m^3/s)	4,6441
Μέση Παροχή (μοντέλου) (m^3/s)	4,7082

5.2 Άζωτο – N

Για τη βαθμονόμηση του μοντέλου εκτίμησης φορτίων αζώτου και φωσφόρου για τις πηγές του στύλου χρησιμοποιήθηκαν τα φορτία αζώτου και φωσφόρου από τη γεωργία και την κτηνοτροφία που υπάρχουν στην περιοχή των Λευκών Ορέων και επίσης χρησιμοποιήθηκαν οι τιμές των συγκεντρώσεων αζώτου και φωσφόρου στη βροχόπτωση. Όλες οι τιμές θεωρήθηκαν σταθερές. Οι τιμές των παραμέτρων βαθμονόμησης ποιότητας νερού παρουσιάζονται στον πίνακα 5-3.

Πίνακας 5-3: Τιμές παραμέτρων βαθμονόμησης ποιότητας νερού

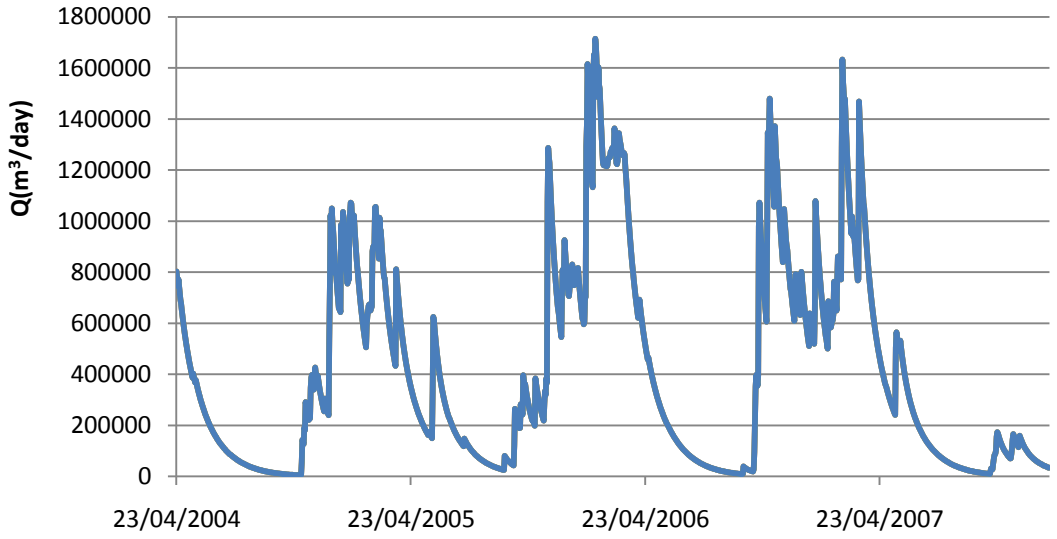
ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΤΙΜΗ
Συγκέντρωση προσροφημένου φωσφόρου στα ιζήματα (mg/g) (Cadsorbed)	0.05
Πυκνότητα (kg/m^3) (Density)	1.2
Πορώδες (% V/V) (Porosity)	40
Συντελεστής ανοργανοποίησης οργανικού αζώτου (1/day) (k_mineralization)	0
Συντελεστής νιτροποίησης (1/day) (k_nitrification)	0.05
Συντελεστής uptake (1/day) (k)	0
Συντελεστής ανοργανοποίησης οργανικού φωσφόρου (1/day) (k_mineralization)	0.009
Συντελεστής εκχύλισης (1/day) (k_leaching)	0

Συντελεστής προσρόφησης (1/day) (k_sorption)	0.03
Συγκεντρώσεις NO_3-N στο χιόνι (mg/l) (Cin _snow)	0.43
Συγκεντρώσεις NO_3-N στη βροχή (mg/l) (Crain)	0.43
Αρχικές συγκεντρώσεις NO_3-N στο χιόνι (mg/l) (Csnow)	0.43
Αρχικές συγκεντρώσεις NO_3-N στον ανώτερο ταμιευτήρα (mg/l) (Cupper)	0.43
Αρχικές συγκεντρώσεις NO_3-N στον κατώτερο ταμιευτήρα (mg/l) (Clower)	0.43
Συγκεντρώσεις DON στο χιόνι (mg/l) (Cin _snow)	1.18
Συγκεντρώσεις DON στη βροχή (mg/l) (Crain)	1.18
Αρχικές συγκεντρώσεις DON στο χιόνι (mg/l) (Csnow)	1.18
Αρχικές συγκεντρώσεις DON στον ανώτερο ταμιευτήρα (mg/l) (Cupper)	0.7
Αρχικές συγκεντρώσεις DON στον κατώτερο ταμιευτήρα (mg/l) (Clower)	0.7
Συγκεντρώσεις NH_4-N στο χιόνι (mg/l) (Cin _snow)	0.062
Συγκεντρώσεις NH_4-N στη βροχή (mg/l) (Crain)	0.062
Αρχικές συγκεντρώσεις NH_4-N στο χιόνι (mg/l) (Csnow)	0.062
Αρχικές συγκεντρώσεις NH_4-N στον ανώτερο ταμιευτήρα (mg/l) (Cupper)	0.0005
Αρχικές συγκεντρώσεις NH_4-N στον κατώτερο ταμιευτήρα (mg/l) (Clower)	0.0005
Συγκεντρώσεις DOP στο χιόνι (mg/l) (Cin _snow)	0.086
Συγκεντρώσεις DOP στη βροχή (mg/l) (Crain)	0.086
Αρχικές συγκεντρώσεις DOP στο χιόνι (mg/l) (Csnow)	0.086
Αρχικές συγκεντρώσεις DOP στον ανώτερο ταμιευτήρα (mg/l) (Cupper)	0.0001
Αρχικές συγκεντρώσεις DOP στον κατώτερο ταμιευτήρα (mg/l) (Clower)	0.0001
Συγκεντρώσεις PO_4-P στο χιόνι (mg/l) (Cin _snow)	0.055
Συγκεντρώσεις PO_4-P στη βροχή (mg/l) (Crain)	0.055
Αρχικές συγκεντρώσεις PO_4-P στο χιόνι (mg/l) (Csnow)	0.055
Αρχικές συγκεντρώσεις PO_4-P στον ανώτερο ταμιευτήρα (mg/l) (Cupper)	0.0001
Αρχικές συγκεντρώσεις PO_4-P στον κατώτερο ταμιευτήρα (mg/l) (Clower)	0.0001
Αρχικός όγκος του ανώτερου ταμιευτήρα (m^3) (Initial Upper Reservoir Volume, Vu)	10000000
Αρχικός όγκος του κατώτερου ταμιευτήρα (m^3) (Initial Lower Reservoir Volume, Vl)	38000000
Φορτίσεις νιτρικών από τη γεωργία (tn/yr) (Loadings NO_3)	49.6
Φορτίσεις φωσφορικών από τη γεωργία (tn/yr) (Loadings PO_4)	17
Φορτίσεις αμμωνίας από την κτηνοτροφία (tn/yr) (Loadings NH_3)	35
Φορτίσεις οργανικού αζώτου από την κτηνοτροφία (tn/yr) (Loadings Org.N)	49.7
Φορτίσεις φωσφορικών από την κτηνοτροφία (tn/yr) (Loadings PO_4)	3

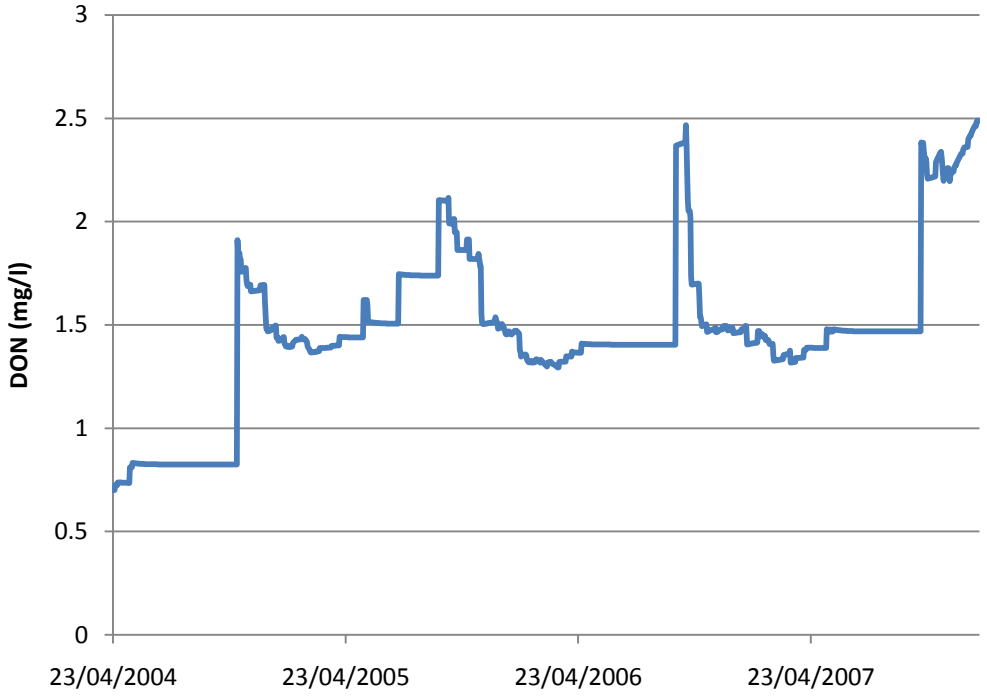
- Διαλυτό οργανικό άζωτο (DON)

Το διάγραμμα 5-2 παρουσιάζει την μοντελοποιημένη παροχή στις πηγές του στύλου ενώ το διάγραμμα 5-3 παρουσιάζει τις αλλαγές στη συγκέντρωση της μοντελοποίησης του DON ως προς χρόνο. Για το συγκεκριμένο στοιχείο δεν υπάρχουν τιμές πεδίου. Στον πίνακα 5-4 δίνονται οι τιμές του DON που προέκυψαν από την εφαρμογή του

ισοζυγίου μάζας και στο σχήμα 5-1 παρουσιάζεται μια σχηματική απεικόνιση του ισοζυγίου μάζας του DON.



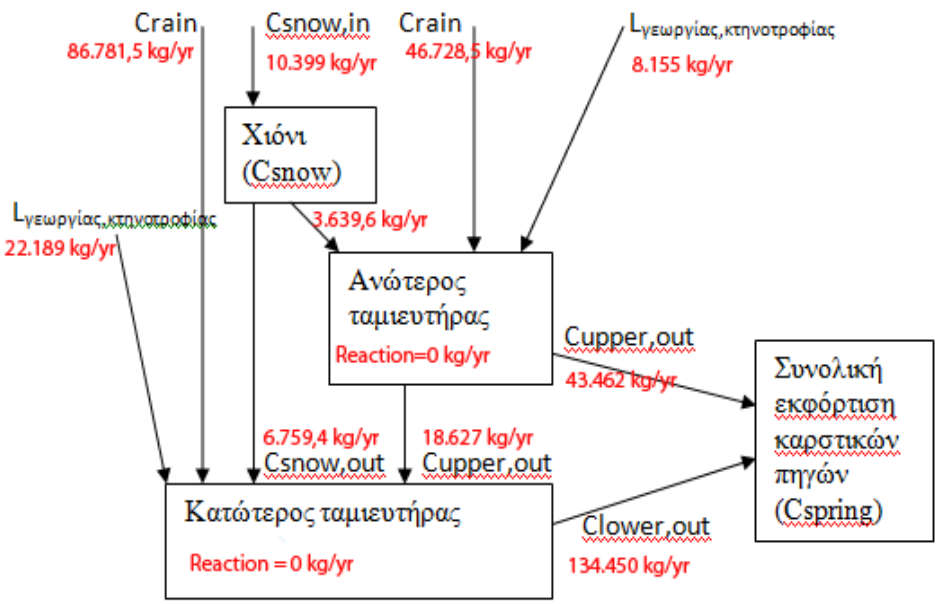
Διάγραμμα 5-2: Παροχή στις πηγές του Στύλου



Διάγραμμα 5-3: Αποτελέσματα της μοντελοποίησης για το DON

Πίνακας 5-4: Ισοζύγιο μάζας DON

Load (rain→upper reservoir)	=	46.728,5 kg/yr
Load (rain→lower reservoir)	=	86.781,5 kg/yr
Load (snow→upper reservoir)	=	3.639,6 kg/yr
Load (manure→upper reservoir)	=	8.155 kg/yr
Load (manure→lower reservoir)	=	22.189 kg/yr
Load (snow→lower reservoir)	=	6.759,3 kg/yr
Export (upper reservoir)	=	62.089 kg/yr
Load (upper reservoir → lower reservoir)	=	18.627 kg/yr
Export (lower reservoir)	=	134.450 kg/yr
Reactions (upper reservoir)	=	0 kg/yr
Reactions (lower reservoir)	=	0 kg/yr



Σχήμα 5-1: Σχηματική απεικόνιση ισοζυγίου μάζας DON

Στον ανώτερο ταμιευτήρα μπαίνουν 58523,1 kg/yr DON από τα οποία αντιδρούν 0 kg/yr. Το ισοζύγιο μάζας είναι το ακόλουθο.

$$\frac{\Delta M}{\Delta t} = \Sigma Min - \Sigma Mout + reaction=$$

$$= (3639{,}6 + 46728{,}5 + 8155) - 62089 - 0 = -3565{,}9$$

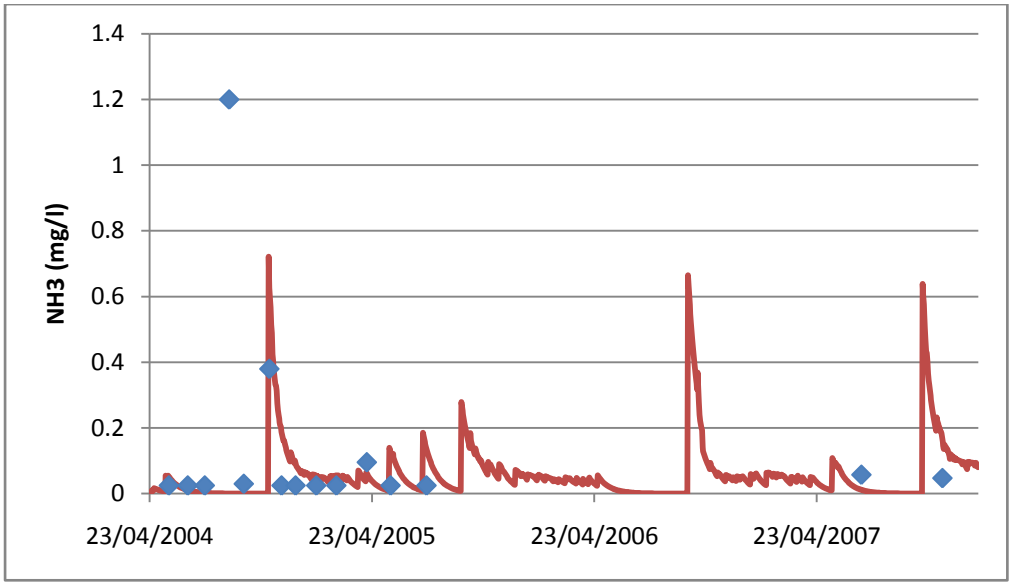
Στον κατώτερο ταμιευτήρα μπαίνουν 134356,9 kg/yr DON από τα οποία αντιδρούν 0 kg/yr. Το ισοζύγιο μάζας είναι το ακόλουθο.

$$\frac{\Delta M}{\Delta t} = \Sigma Min - \Sigma Mout + reaction=$$

$$= (22189 + 86781{,}5 + 6759{,}4 + 18627) - 134450 - 0 = -93{,}1$$

- Αμμωνία (NH_3)

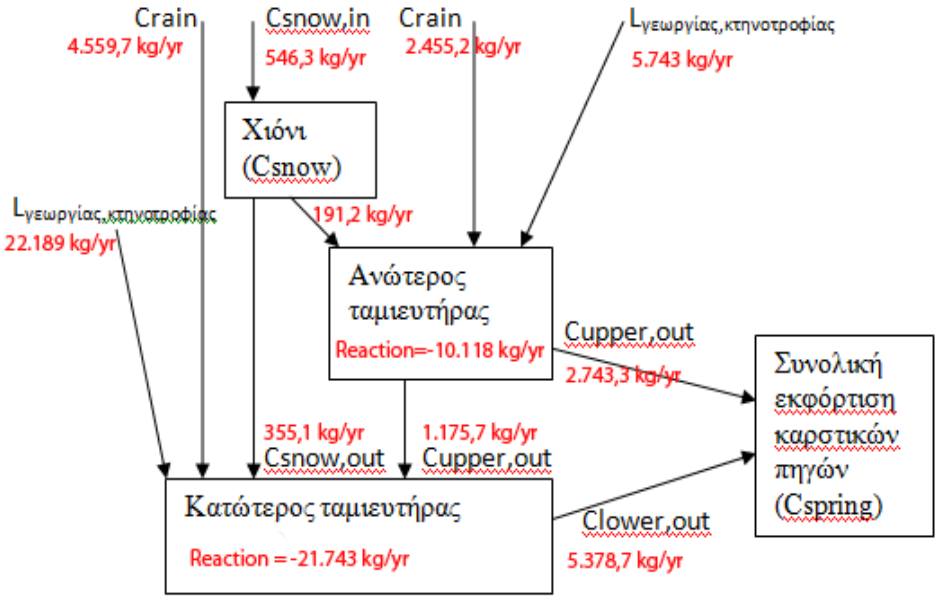
Το διάγραμμα 5-4 παρουσιάζει τις αλλαγές στη συγκέντρωση της μοντελοποίησης του NH_3 ως προς χρόνο. Το RMSE για τη μοντελοποίηση είναι 0,32. Στον πίνακα 5-5 δίνονται οι τιμές του NH_3που προέκυψαν από την εφαρμογή του ισοζυγίου μάζας και στο σχήμα 5-2 παρουσιάζεται μια σχηματική απεικόνιση του ισοζυγίου μάζας του NH_3.



Διάγραμμα 5-4: Αποτελέσματα της μοντελοποίησης για το NH_3

Πίνακας 5-5: Ισοζύγιο μάζας NH_3

Load (rain→upper reservoir)	=	2.455,2 kg/yr
Load (rain→lower reservoir)	=	4.559,7 kg/yr
Load (snow→upper reservoir)	=	191,2 kg/yr
Load (manure→upper reservoir)	=	5.743 kg/yr
Load (manure→lower reservoir)	=	22.189 kg/yr
Load (snow→lower reservoir)	=	355,1 kg/yr
Export (upper reservoir)	=	3.919 kg/yr
Load (upper reservoir → lower reservoir)	=	1.175,7 kg/yr
Export (lower reservoir)	=	5.378,7 kg/yr
Reactions (upper reservoir)	=	-10.118 kg/yr
Reactions (lower reservoir)	=	-.21.743 kg/yr



Σχήμα 5-2: Σχηματική απεικόνιση ισοζυγίου μάζας NH_3

Στον ανώτερο ταμιευτήρα μπαίνουν 8389,4 kg/yr NH_3 από τα οποία αντιδρούν 10118 kg/yr. Το ισοζύγιο μάζας είναι το ακόλουθο.

$$\frac{\Delta M}{\Delta t} = \Sigma Min - \Sigma Mout + reaction = (191{,}2 + 2455{,}2 + 5743) - 3919 - 10118$$
$$= -5647{,}6$$

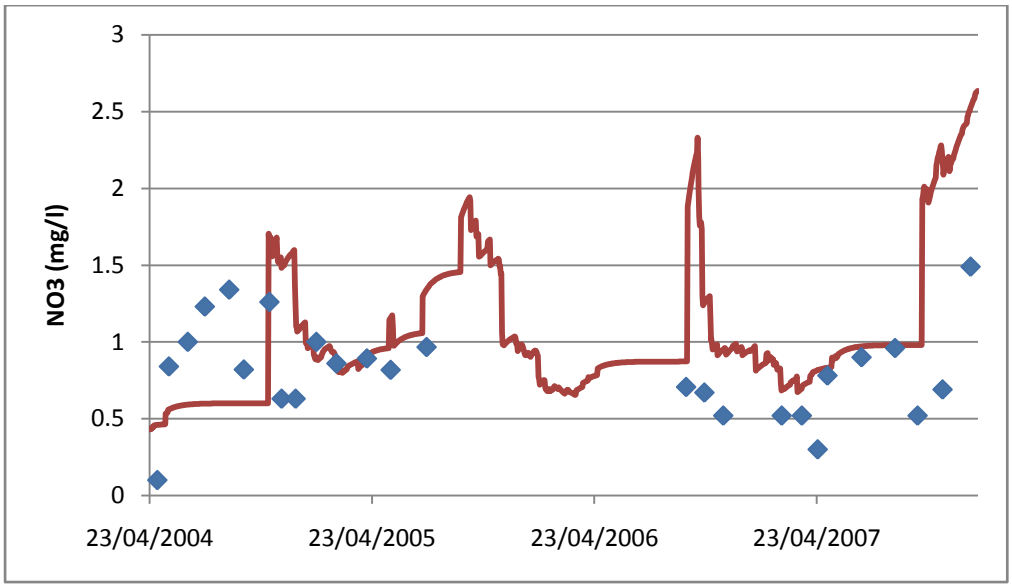
Στον κατώτερο ταμιευτήρα μπαίνουν 28279,5 kg/yr NH_3 από τα οποία αντιδρούν 21743 kg/yr. Το ισοζύγιο μάζας είναι το ακόλουθο.

$$\frac{\Delta M}{\Delta t} = \Sigma Min - \Sigma Mout + reaction$$

$$= (22189 + 4559{,}7 + 355{,}1 + 1175{,}7) - 5378{,}7 - 21743 = 1157{,}8$$

- Νιτρικά (NO_3)

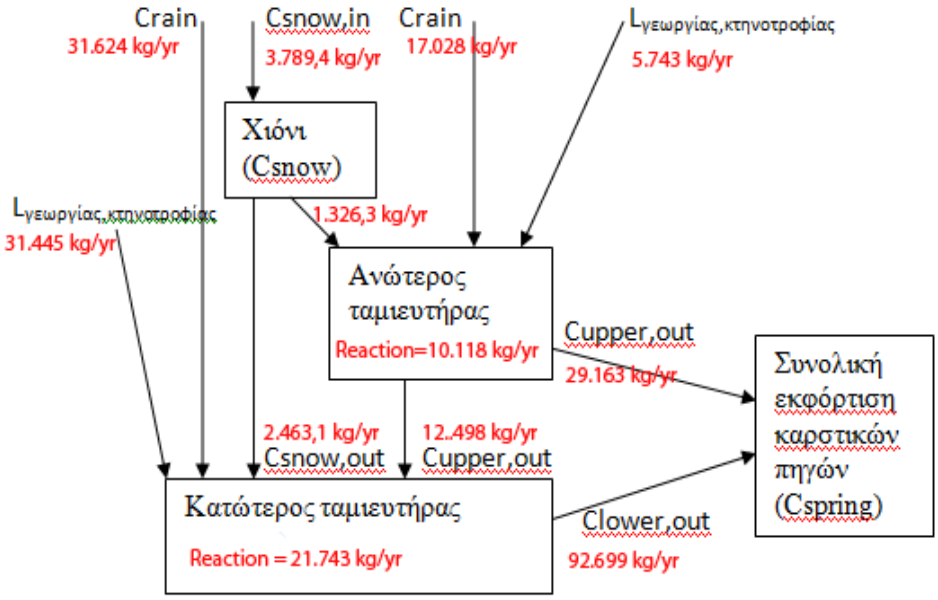
Το διάγραμμα 5-5 παρουσιάζει τις αλλαγές στη συγκέντρωση της μοντελοποίησης του NO_3 ως προς χρόνο. Το RMSE για τη μοντελοποίηση είναι 0,53. Στον πίνακα 5-6 δίνονται οι τιμές του NO_3 που προέκυψαν από την εφαρμογή του ισοζυγίου μάζας και στο σχήμα 5-3 παρουσιάζεται μια σχηματική απεικόνιση του ισοζυγίου μάζας του NO_3.



Διάγραμμα 5-5: Αποτελέσματα της μοντελοποίησης για το NO_3

Πίνακας 5-6: Ισοζύγιο μάζας NO_3

Load (rain→upper reservoir)	=	17.028 kg/yr
Load (rain→lower reservoir)	=	31.624 kg/yr
Load (snow→upper reservoir)	=	1.326,3 kg/yr
Load (manure→upper reservoir)	=	5.743 kg/yr
Load (manure→lower reservoir)	=	31.445 kg/yr
Load (snow→lower reservoir)	=	2.463,1 kg/yr
Export (upper reservoir)	=	41.661 kg/yr
Load (upper reservoir → lower reservoir)	=	12.498 kg/yr
Export (lower reservoir)	=	92.699 kg/yr
Reactions (upper reservoir)	=	10.118 kg/yr
Reactions (lower reservoir)	=	21.743 kg/yr



Σχήμα 5-3: Σχηματική απεικόνιση ισοζυγίου μάζας NO_3

Στον ανώτερο ταμιευτήρα μπαίνουν 24097,3 kg/yr NO_3 από τα οποία αντιδρούν 10118 kg/yr. Το ισοζύγιο μάζας είναι το ακόλουθο.

$$\frac{\Delta M}{\Delta t} = \Sigma Min - \Sigma Mout + reaction = (1326{,}3 + 17028 + 5743) - 41661 + 10118$$
$$= -7445{,}7$$

Στον κατώτερο ταμιευτήρα μπαίνουν 78030,1 kg/yr NO_3 από τα οποία αντιδρούν 21743 kg/yr. Το ισοζύγιο μάζας είναι το ακόλουθο.

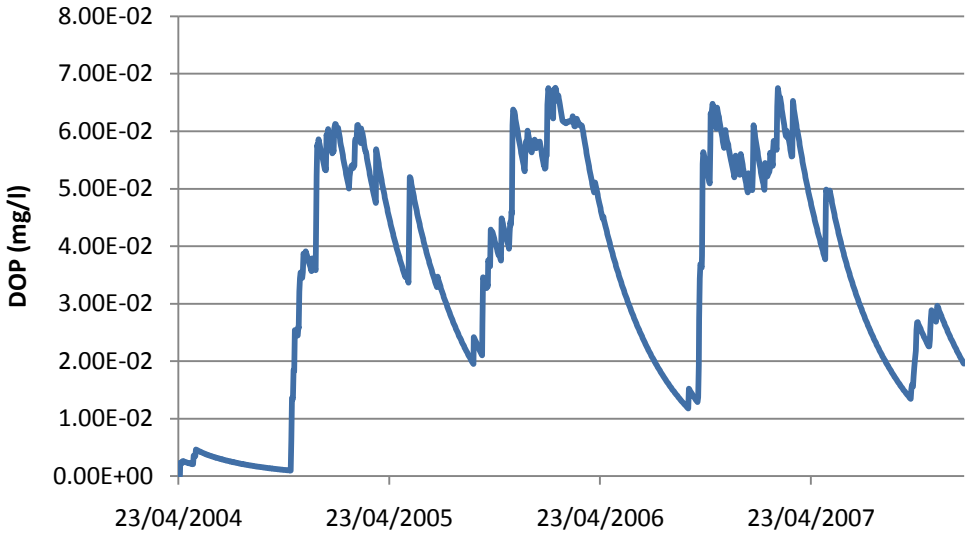
$$\frac{\Delta M}{\Delta t} = \Sigma Min - \Sigma Mout + reaction=$$

$$= (31445 + 31624 + 2463{,}1 + 12498) - 92699 + 21743 = 7074{,}1$$

5.2 Φώσφορος – P

- Διαλυτό οργανικό άζωτο (DOP)

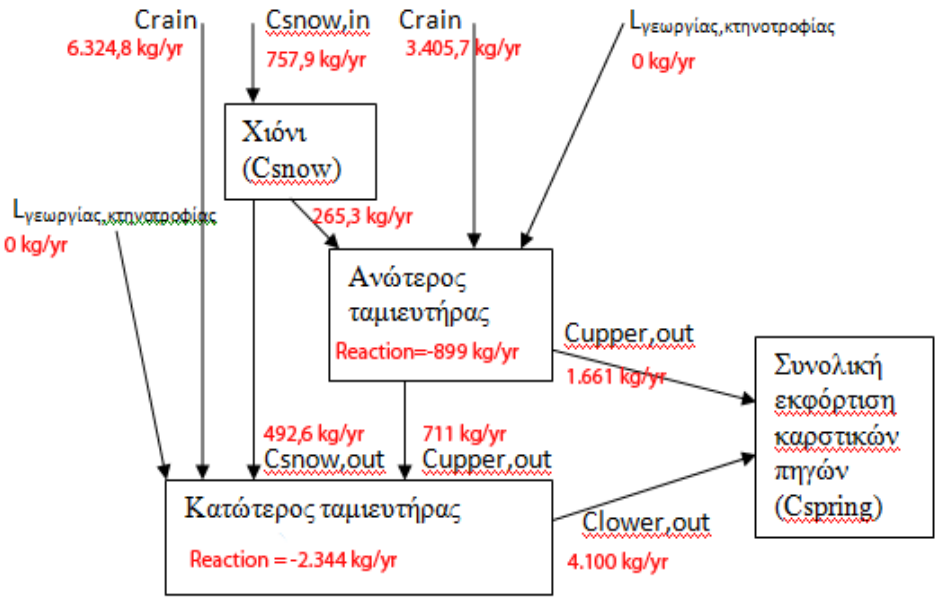
Το διάγραμμα 5-6 παρουσιάζει τις αλλαγές στη συγκέντρωση της μοντελοποίησης του DOP ως προς χρόνο. Στον πίνακα 5-7 δίνονται οι τιμές του DOP που προέκυψαν από την εφαρμογή του ισοζυγίου μάζας και στο σχήμα 5-4 παρουσιάζεται μια σχηματική απεικόνιση του ισοζυγίου μάζας του DOP.



Διάγραμμα 5-6: Αποτελέσματα της μοντελοποίησης για το DOP

Πίνακας 5-7: Ισοζύγιο μάζας DOP

Load (rain→upper reservoir)	=	3.405,7 kg/yr
Load (rain→lower reservoir)	=	6.324,8 kg/yr
Load (snow→upper reservoir)	=	265,3 kg/yr
Load (manure→upper reservoir)	=	0 kg/yr
Load (manure→lower reservoir)	=	0 kg/yr
Load (snow→lower reservoir)	=	492,6 kg/yr
Export (upper reservoir)	=	2.372 kg/yr
Load (upper reservoir → lower reservoir)	=	711 kg/yr
Export (lower reservoir)	=	4.100 kg/yr
Reactions (upper reservoir)	=	-899 kg/yr
Reactions (lower reservoir)	=	-2.344 kg/yr



Σχήμα 5-4: Σχηματική απεικόνιση ισοζυγίου μάζας DOP

Στον ανώτερο ταμιευτήρα μπαίνουν 3671 kg/yr DOP από τα οποία αντιδρούν 899 kg/yr. Το ισοζύγιο μάζας είναι το ακόλουθο.

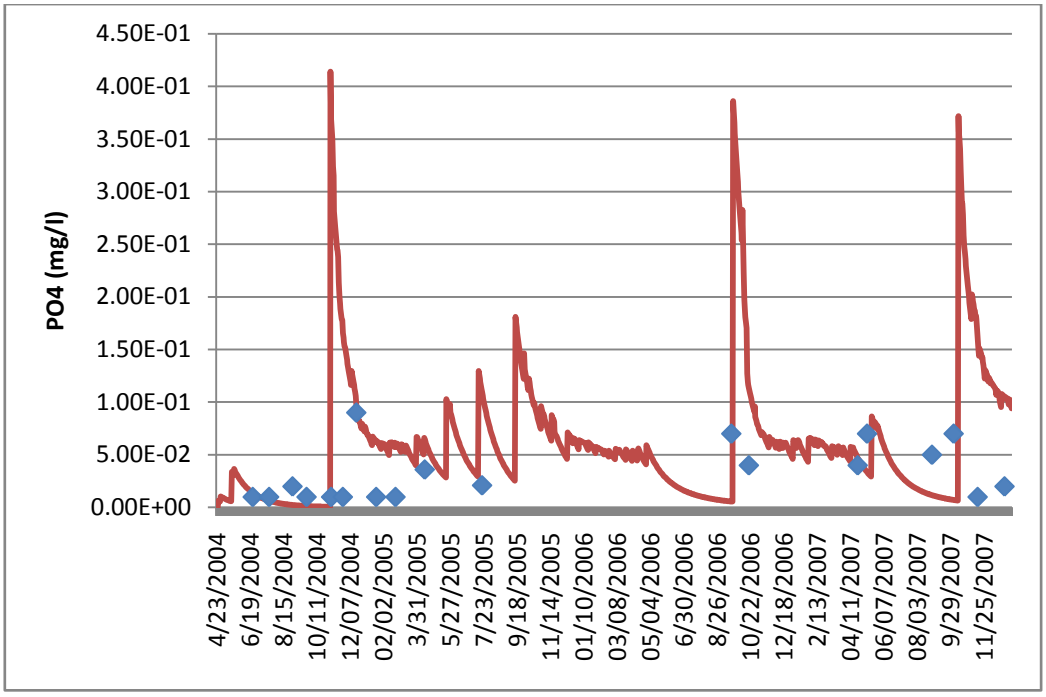
$$\frac{\Delta M}{\Delta t} = \Sigma Min - \Sigma Mout + reaction = (265{,}3 + 3405{,}7 + 0) - 2372 - 899 = 400$$

Στον κατώτερο ταμιευτήρα μπαίνουν 7898,5 kg/yr DOP από τα οποία αντιδρούν 675,5 kg/yr. Οι αντιδράσεις αποτελούν το 8,6% της εισερχόμενης μάζας. Το ισοζύγιο μάζας είναι το ακόλουθο.

$$\frac{\Delta M}{\Delta t} = \Sigma Min - \Sigma Mout + reaction = (0 + 6324{,}8 + 492{,}6 + 711) - 4100 - 2344$$
$$= -1084{,}4$$

- Φωσφορικά (PO_4)

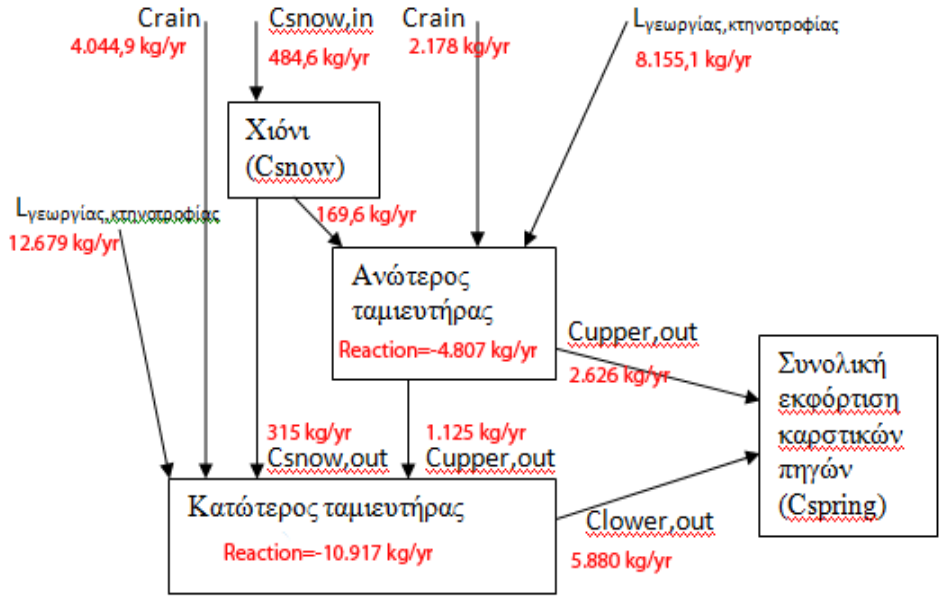
Το διάγραμμα 5-7 παρουσιάζει τις αλλαγές στη συγκέντρωση της μοντελοποίησης του PO_4 ως προς χρόνο. Το RMSE για τη μοντελοποίηση είναι 0,11. Στον πίνακα 5-8 δίνονται οι τιμές του PO_4 που προέκυψαν από την εφαρμογή του ισοζυγίου μάζας και στο σχήμα 5-5 παρουσιάζεται μια σχηματική απεικόνιση του ισοζυγίου μάζας του PO_4.



Διάγραμμα 5-7: Αποτελέσματα της μοντελοποίησης για το PO_4

Πίνακας 5-8: Ισοζύγιο μάζας PO_4

Load (rain→upper reservoir)	=	2.178 kg/yr
Load (rain→lower reservoir)	=	4.044,9 kg/yr
Load (snow→upper reservoir)	=	169,6 kg/yr
Load (manure→upper reservoir)	=	8.155,1 kg/yr
Load (manure→lower reservoir)	=	12.679 kg/yr
Load (snow→lower reservoir)	=	315 kg/yr
Export (upper reservoir)	=	3.751 kg/yr
Load (upper reservoir → lower reservoir)	=	1.125 kg/yr
Export (lower reservoir)	=	5.880 kg/yr
Reactions (upper reservoir)	=	-4.807 kg/yr
Reactions (lower reservoir)	=	-10.917 kg/yr



Σχήμα 5-5: Σχηματική απεικόνιση ισοζυγίου μάζας PO_4

Στον ανώτερο ταμιευτήρα μπαίνουν 10502,7 kg/yr PO_4 από τα οποία αντιδρούν 4807 kg/yr. Το ισοζύγιο μάζας είναι το ακόλουθο.

$$\frac{\Delta M}{\Delta t} = \Sigma Min - \Sigma Mout + reaction = (169{,}6 + 2178 + 8155{,}1) - 3751 - 4807 = 1944{,}7$$

Στον κατώτερο ταμιευτήρα μπαίνουν 18163,9 kg/yr PO_4 από τα οποία αντιδρούν 10917 kg/yr. Το ισοζύγιο μάζας είναι το ακόλουθο.

$$\frac{\Delta M}{\Delta t} = \Sigma Min - \Sigma Mout + reaction=$$

$$= (12679 + 4044.9 + 315 + 1125) - 5880 - 10917 \ = 1366{,}9$$

Κεφάλαιο 6

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής ήταν η εκτίμηση των συγκεντρώσεων Φωσφόρου και Αζώτου στις πηγές του Στύλου. Συγκεκριμένα, αυτό πραγματοποιήθηκε με την ανάπτυξη και την εφαρμογή ενός μοντέλου. Το μοντέλο αυτό βασίζεται στη θεώρηση της ύπαρξης δύο ταμιευτήρων που αντιπροσωπεύουν δύο ασβεστολιθικούς σχηματισμούς που υπάρχουν στη λεκάνη απορροής του ποταμού Κοιλιάρη.

Το μοντέλο θεωρείται καινοτόμο για το λόγο ότι δεν έχει αναπτυχθεί ξανά παρόμοιο μοντέλο που να μοντελοποιεί συγκεντρώσεις φωσφόρου και αζώτου σε καρστικά συστήματα.

Το παρών μοντέλο αποτελεί τμήμα ενός ευρύτερου έργου «Τηλεματική Διαχείριση Υδατικών Πόρων Εφήμερου Ποταμού» και αφορά την εισαγωγή δεδομένων σ' αυτό το μοντέλο προσομοίωσης της ποιότητας του νερού με σκοπό την πρόβλεψη και τη λήψη αποφάσεων σχετικά με την διαχείριση περιβαλλοντικών αλλαγών.

Η ανάλυση των εκφορτίσεων του καρστικού συστήματος των Λευκών Ορέων στις πηγές του Στύλου έδειξε ότι οι εκφορτίσεις του καρστ μπορούν να προσομοιωθούν ικανοποιητικά από το καρστικό μοντέλο. Το εν λόγω μοντέλο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εργαλείο για την ορθή μοντελοποίηση της απορροής ποταμού στον οποίο συνεισφέρουν καρστικές πηγές (π.χ. οι πηγές του Στύλου τροφοδοτούν τον ποταμό Κοιλιάρη) κι επομένως για την πρόβλεψη των ελάχιστων, χαμηλών παροχών του ποταμού και την δυνατότητα που υπάρχει για τις «ορθολογικά» απολήψιμες ποσότητες νερού. Τέλος, πρέπει να τονιστεί ότι η έλλειψη βροχομετρικών σταθμών σε μεγάλο υψόμετρο (που να είναι θερμαινόμενοι για να μετράνε και τη χιονόπτωση) καθώς και η έλλειψη υδρομετρήσεων για τον υπολογισμό των εκφορτίσεων δημιουργούν αβεβαιότητα στην παραπάνω ανάλυση. Έτσι, καταδεικνύεται η ανάγκη για την ύπαρξη συνεχών μετρήσεων για την περαιτέρω κατανόηση του καρστικού συστήματος, τη μελέτη της υδροφορίας των πηγών και την βελτίωση των μοντέλων πρόβλεψης.

Όσον αφορά την ποιότητα των νερών, μετρήσεις πεδίου υπάρχουν μόνο για τα στοιχεία αμμωνία, νιτρικά και φωσφορικά. Κάνοντας τη σύγκριση των τιμών πεδίου με τις τιμές του μοντέλου με τη μέθοδο RMSE, βλέπουμε ότι τα αποτελέσματα είναι πολύ καλά.

Τέλος, μετά από τη προσομοίωση μπορούμε να καταλήξουμε στο συμπέρασμα ότι το παρών μοντέλο είναι ένα απαραίτητο εργαλείο για την εκτίμηση και την πρόβλεψη της ποιότητας των υδάτων.

Βιβλιογραφία

[1] ΠΑΛΙΑΤΖΙΚΗ ΑΘΑΝΑΣΙΑ, ΣΤΑΜΑΤΗ ΦΩΤΕΙΝΗ, 2004, Μοντελοποίηση της Υδρολογίας και των Θρεπτικών της Λεκάνης Απορροής του Ποταμού Κράθι, Διπλωματική Εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος

[2] ΠΑΛΙΑΤΖΙΚΗ ΑΘΑΝΑΣΙΑ, 2006, Ανάλυση Περιβαλλοντικών Πιέσεων και Επιπτώσεων στη Λεκάνη Απορροή του Ποταμού Κοιλιάρη, Μεταπτυχιακή Διατριβή, Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος

[3] ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ,1995, *Jerald L. Schnoor*: Τύχη και Μεταφορά Ρύπων στον Αέρα, Νερό και Έδαφος.

[4] ΚΑΛΛΙΑΝΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ, ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΧΑΤΖΗΘΕΟΧΑΡΟΥΣ, 2003, Υδρολογική Ανάλυση Λεκάνης Απορροής Ποταμού Κοιλιάρη-Εκτίμηση Ρύπανσης από Θρεπτικά, Διπλωματική Εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος

[5] ΟΥΡΑΝΙΑ Α. ΤΖΩΡΑΚΗ, 2007, Μοντελοποίηση υδρολογικών και γεωχημικών διεργασιών σε ποτάμιο σύστημα διαλείπουσας ροής, Διδακτορική Διατριβή, Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Διατμηματικό πρόγραμμα μεταπτυχιακών σπουδών: Έλεγχος ποιότητας και διαχείριση περιβάλλοντος

Παράρτημα Ι

Δεδομένα Εισαγωγής Μοντέλου

Πίνακας Α. Τιμές παραμέτρων βαθμονόμησης υδρολογίας

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΤΙΜΗ
Ελάχιστη θερμοκρασία όπου αρχίζει η τήξη του χιονιού (^oC) (Air Temperature for snowfall, Ts)	5
Συντελεστής διόρθωσης του χιονιού (Snow Catch Correction Factor)	1
Αρχικός όγκος χιονιού (m^3) (Initial Snow Volume, Vso)	0
Εκθέτης στην εξίσωση τήξης του χιονιού όταν δεν υπάρχει βροχή (Snow Melt exponent, n)	0.25
Συντελεστής στην εξίσωση τήξης του χιονιού όταν δεν υπάρχει βροχή (Snow Melt factor, k)	0.315
Συντελεστής στην εξίσωση τήξης του χιονιού όταν υπάρχει βροχή (Snow melt adjustment factor, y1)	0.3
Επιφάνεια του καρστικού (m^2) (Surface Area of the Karst, Ak)	100000000
Χρονικό βήμα (days) (Time Step)	1
Βροχοβαθμίδα (Rainfall lapse rate)	0.75
Θερμοβαθμίδα (Temperature lapse rate)	0.0042
Μέγιστο υψόμετρο του καρστικού (Karst max elevation)	1500
Αρχική καρστική ροή (m^3/day) (Initial Karstic Flow, Qko)	900000
Ποσοστό του νερού από την βροχή και την τήξη του χιονιού που εισέρχεται στον ανώτερο ταμιευτήρα (Fraction of Inflow to Upper Reservoir, a1)	0.35
Συντελεστής στείρευσης για τον ανώτερο ταμιευτήρα (1/day) (Upper Reservoir Recession Constant, ku)	0.0996
Συντελεστής στείρευσης των πηγών για τον κατώτερο ταμιευτήρα (1/day) (Lower Reservoir Recession Constant, kl)	0.0261
Ποσοστό του νερού του ανώτερου ταμιευτήρα που εισρέει στον κατώτερο (Fraction of Upper Reservoir Flow to Lower, a2)	0.3
Ημέρες προσομοίωσης (days) (Days of simulation)	1360

Πίνακας Β. Τιμές παραμέτρων βαθμονόμησης ποιότητας νερού

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΤΙΜΗ
Συγκέντρωση προσροφημένου φωσφόρου στα ιζήματα (mg/g) (Cadsorbed)	0.05
Πυκνότητα (kg/m^3) (Density)	1.2
Πορώδες (% V/V) (Porosity)	40
Συντελεστής ανοργανοποίησης οργανικού αζώτου (1/day) (k_mineralization)	0.001
Συντελεστής νιτροποίησης (1/day) (k_nitrification)	0.05
Συντελεστής uptake (1/day) (k)	0.008
Συντελεστής ανοργανοποίησης οργανικού φωσφόρου (1/day) (k_mineralization)	0.001
Συντελεστής εκχύλισης (1/day) (k_leaching)	0.001
Συντελεστής προσρόφησης (1/day) (k_sorption)	0.27
Συγκεντρώσεις NO_3-N στο χιόνι (mg/l) (Cin _snow)	0.43
Συγκεντρώσεις NO_3-N στη βροχή (mg/l) (Crain)	0.43
Αρχικές συγκεντρώσεις NO_3-N στο χιόνι (mg/l) (Csnow)	0.43
Αρχικές συγκεντρώσεις NO_3-N στον ανώτερο ταμιευτήρα (mg/l) (Cupper)	0.43
Αρχικές συγκεντρώσεις NO_3-N στον κατώτερο ταμιευτήρα (mg/l) (Clower)	0.43
Συγκεντρώσεις DON στο χιόνι (mg/l) (Cin _snow)	1.18
Συγκεντρώσεις DON στη βροχή (mg/l) (Crain)	1.18
Αρχικές συγκεντρώσεις DON στο χιόνι (mg/l) (Csnow)	1.18
Αρχικές συγκεντρώσεις DON στον ανώτερο ταμιευτήρα (mg/l) (Cupper)	1.18
Αρχικές συγκεντρώσεις DON στον κατώτερο ταμιευτήρα (mg/l) (Clower)	1.18
Συγκεντρώσεις NH_4-N στο χιόνι (mg/l) (Cin _snow)	0.062
Συγκεντρώσεις NH_4-N στη βροχή (mg/l) (Crain)	0.062
Αρχικές συγκεντρώσεις NH_4-N στο χιόνι (mg/l) (Csnow)	0.062
Αρχικές συγκεντρώσεις NH_4-N στον ανώτερο ταμιευτήρα (mg/l) (Cupper)	0.062
Αρχικές συγκεντρώσεις NH_4-N στον κατώτερο ταμιευτήρα (mg/l) (Clower)	0.062
Συγκεντρώσεις DOP στο χιόνι (mg/l) (Cin _snow)	0.086
Συγκεντρώσεις DOP στη βροχή (mg/l) (Crain)	0.086
Αρχικές συγκεντρώσεις DOP στο χιόνι (mg/l) (Csnow)	0.086
Αρχικές συγκεντρώσεις DOP στον ανώτερο ταμιευτήρα (mg/l) (Cupper)	0.086
Αρχικές συγκεντρώσεις DOP στον κατώτερο ταμιευτήρα (mg/l) (Clower)	0.086
Συγκεντρώσεις PO_4-P στο χιόνι (mg/l) (Cin _snow)	0.055
Συγκεντρώσεις PO_4-P στη βροχή (mg/l) (Crain)	0.055
Αρχικές συγκεντρώσεις PO_4-P στο χιόνι (mg/l) (Csnow)	0.055
Αρχικές συγκεντρώσεις PO_4-P στον ανώτερο ταμιευτήρα (mg/l) (Cupper)	0.055
Αρχικές συγκεντρώσεις PO_4-P στον κατώτερο ταμιευτήρα (mg/l) (Clower)	0.055
Αρχικός όγκος του ανώτερου ταμιευτήρα (m^3) (Initial Upper Reservoir Volume, Vu)	10000000
Αρχικός όγκος του κατώτερου ταμιευτήρα (m^3) (Initial Lower Reservoir Volume, Vl)	38000000
Φορτίσεις νιτρικών από τη γεωργία (tn/yr) (Loadings NO_3)	49.6
Φορτίσεις φωσφορικών από τη γεωργία (tn/yr) (Loadings PO_4)	38.7
Φορτίσεις αμμωνίας από την κτηνοτροφία (tn/yr) (Loadings NH_3)	49.7
Φορτίσεις οργανικού αζώτου από την κτηνοτροφία (tn/yr) (Loadings Org.N)	49.7
Φορτίσεις φωσφορικών από την κτηνοτροφία (tn/yr) (Loadings PO_4)	15.95

Παράρτημα ΙΙ

Κώδικας Matlab

```
function varargout = dokimastiko(varargin)
% DOKIMASTIKO Application M-file for dokimastiko.fig
%    FIG = DOKIMASTIKO launch dokimastiko GUI.
%    DOKIMASTIKO('callback_name', ...) invoke the named callback.

% Last Modified by GUIDE v2.0 26-Mar-2008 18:22:57

if nargin == 0  % LAUNCH GUI

	fig = openfig(mfilename,'reuse');

	% Generate a structure of handles to pass to callbacks, and store it.
	handles = guihandles(fig);
	guidata(fig, handles);

	if nargout > 0
		varargout{1} = fig;
	end

elseif ischar(varargin{1}) % INVOKE NAMED SUBFUNCTION OR CALLBACK

	try
		[varargout{1:nargout}] = feval(varargin{:}); % FEVAL switchyard
	catch
		disp(lasterr);
	end

end
```

```
% ---------------------------------------------------------------------
function varargout = pushbutton7_Callback(h, eventdata, handles, varargin)

global karst_spring_flow tt f kf2 tt2 rainfall_snow rainfall_wet snow_melt
fileName=uigetfile('*.txt');
% tt = dates , t = temperature, p = rainfall, f = flow
[tt,t,p,f]=textread(fileName,'%s %f %f %f');

L=length(tt);

  % Air Temperature for snowfall, Ts
  Ts=numeric(get(handles.edit122,'String'));
  %  Snow Catch Correction Factor, Cs
  Cs=numeric(get(handles.edit123,'String'));
  % Initial Snow Volume, Vso
  Vso=numeric(get(handles.edit124,'String'));
  % Snow Melt exponent, n
  n=numeric(get(handles.edit125,'String'));
  % Snow Melt factor, k
  k=numeric(get(handles.edit126,'String'));
  % Snow melt adjustment factor, γ
  g=numeric(get(handles.edit127,'String'));
  % Surface Area of the Karst, ε*Akarst
  eAkarst=numeric(get(handles.edit128,'String'));
  % Time Step, Dt
  dt=numeric(get(handles.edit129,'String'));
  % Initial Karstic Flow, Qko
  Qko=numeric(get(handles.edit130,'String'));
  % Fraction of Inflow to Upper Reservoir, a1
  a1=numeric(get(handles.edit131,'String'));
  % Upper Reservoir Recession Constant, ku
  ku=numeric(get(handles.edit132,'String'));
  % Lower Reservoir Recession Constant, kl
  kl=numeric(get(handles.edit133,'String'));
  % Fraction of Upper Reservoir Flow to Lower, a2
  a2=numeric(get(handles.edit134,'String'));
  %Simdays=numeric(get(handles.p22,'String'));

  % Days of chemie simulation
  set(handles.edit135,'String',L);
  % Rainfall lapse rate
  RLR=numeric(get(handles.edit136,'String'));
  % Temperature lapse rate
  TLR=numeric(get(handles.edit137,'String'));
  % Karst Max Elevation
```

```
KME=numeric(get(handles.edit138,'String'));
% Initial Upper Reservoir Volume
Vu=numeric(get(handles.edit61,'String'));
% Initial Lower Reservoir Volume
Vl=numeric(get(handles.edit62,'String'));
% Loadings of NO3 -Agriculture
LA1=numeric(get(handles.edit63,'String'));
% Loadings of PO4 -Agriculture
LA2=numeric(get(handles.edit64,'String'));
% Loadings of NH3 -Stock Farming
LSF1=numeric(get(handles.edit69,'String'));
% Loadings of Org. N -Stock Farming
LSF2=numeric(get(handles.edit70,'String'));
% Loadings of PO4 -Stock Farming
LSF3=numeric(get(handles.edit71,'String'));
% adsobed C
Cad=numeric(get(handles.edit72,'String'));
% Density
Den=numeric(get(handles.edit73,'String'));
% Porosity
Por=numeric(get(handles.edit74,'String'));
% k mineralization for N
kminer=numeric(get(handles.edit75,'String'));
% k nitrification for N
knitri=numeric(get(handles.edit76,'String'));
% k uptake from NO3
 kuptake=numeric(get(handles.edit143,'String'));

% k mineralization for P
kmineralization=numeric(get(handles.edit102,'String'));
% k sorption for P
ksorption=numeric(get(handles.edit103,'String'));
% k leaching for P
kleaching=numeric(get(handles.edit104,'String'));

Por=Por/100;
Cad=Cad*Den/(1-Por); % apo mg/g to kano mg/l

%  NO3 pou mpainoun os xioni
C_NO3_in=numeric(get(handles.edit77,'String'));
% NO3 pou mpainoun os broxi
C_NO3_rain=numeric(get(handles.edit78,'String'));
% NO3 pou iparxei sto xioni
C_NO3_o1=numeric(get(handles.edit79,'String'));
% NO3 pou iparxei sto upper reservoir
```

```
C_NO3_upper1=numeric(get(handles.edit80,'String'));
% NO3 pou iparxei sto lower reservoir
C_NO3_lower1=numeric(get(handles.edit81,'String'));

%  ON pou mpainoun os xioni
Cin=numeric(get(handles.edit82,'String'));
% ON pou mpainoun os broxi
Crain=numeric(get(handles.edit83,'String'));
% ON pou iparxei sto xioni
Co1=numeric(get(handles.edit84,'String'));
% ON pou iparxei sto upper reservoir
Cupper1=numeric(get(handles.edit85,'String'));
% ON pou iparxei sto lower reservoir
Clower1=numeric(get(handles.edit86,'String'));

%  NH4 pou mpainoun os xioni
C_AM_in=numeric(get(handles.edit87,'String'));
% NH4 pou mpainoun os broxi
C_AM_rain=numeric(get(handles.edit88,'String'));
% NH4 pou iparxei sto xioni
C_AM_o1=numeric(get(handles.edit89,'String'));
% NH4 pou iparxei sto upper reservoir
C_AM_upper1=numeric(get(handles.edit90,'String'));
% NH4 pou iparxei sto lower reservoir
C_AM_lower1=numeric(get(handles.edit91,'String'));

%  O.P. pou mpainoun os xioni
C_OP_in=numeric(get(handles.edit92,'String'));
% O.P. pou mpainoun os broxi
C_OP_rain=numeric(get(handles.edit93,'String'));
% O.P. pou iparxei sto xioni
C_OP_o1=numeric(get(handles.edit94,'String'));
% O.P. pou iparxei sto upper reservoir
C_OP_upper1=numeric(get(handles.edit95,'String'));
% O.P. pou iparxei sto lower reservoir
C_OP_lower1=numeric(get(handles.edit96,'String'));

%  PO4 pou mpainoun os xioni
C_AP_in=numeric(get(handles.edit97,'String'));
% PO4 pou mpainoun os broxi
C_AP_rain=numeric(get(handles.edit98,'String'));
% PO4 pou iparxei sto xioni
C_AP_o1=numeric(get(handles.edit99,'String'));
% PO4 pou iparxei sto upper reservoir
C_AP_upper1=numeric(get(handles.edit100,'String'));
```

```
  % PO4 pou iparxei sto lower reservoir
  C_AP_lower1=numeric(get(handles.edit101,'String'));

  summm=0;
ave=0;
count=1;
for i=1:L
   % arxiki timi


      % Temperature T (Karst) - Tk
   Tk(i)=-0.0042*KME+t(i);
   % Rainfall P - rp

      rp(i)=RLR*p(i);

   % Snow index #1
   % Rainfall snow, rainfall wet
   if Tk(i)<=Ts
      snow_index(i)=0;
      rainfall_snow(i)=rp(i)*Cs/1000;
      rainfall_wet(i)=0;
   else
      snow_index(i)=999;
      rainfall_snow(i)=0;
      rainfall_wet(i)=rp(i)/1000;
   end
   % Snow Melt-1 ----------
   if i==1
   if Vso>0
      if p(i)<=0
            snow_melt1(i)=((((Tk(i)*1.8)^(n+1))*k)/1000);
      else
         snow_melt1(i)=((rainfall_wet(i)*0.007+0.074)*Tk(i)*1.8+0.05)*0.254/1000*g;
      end
   else
      snow_melt1(i)=0;
   end
   else
   if snow_volume1(i-1)>0
      if p(i)<=0
         snow_melt1(i)=((Tk(i)*1.8)^(n+1))*k/1000;
      else
         snow_melt1(i)=((rainfall_wet(i)*0.007+0.074)*Tk(i)*1.8+0.05)*0.254/1000*g;
      end
```

```
    else
        snow_melt1(i)=0;
    end
end
    % Snow Melt-2
    if snow_index(i)==0
        snow_melt2(i)=0;
    else
        snow_melt2(i)=snow_melt1(i);
    end

    % Water Balance
    water_balance(i)=(rainfall_snow(i)-snow_melt2(i))*eAkarst;

    % Snow Volume - 1 ------------
   if i==1
       if (Vso+water_balance(i)*dt)<=0
        snow_volume1(i)=0;
    else
        snow_volume1(i)=(Vso+water_balance(i)*dt);
    end
   else
    if (snow_volume1(i-1)+water_balance(i)*dt)<=0
        snow_volume1(i)=0;
    else
        snow_volume1(i)=(snow_volume1(i-1)+water_balance(i)*dt);
    end
end

    % Snow Melt 3
    if i==1
        if snow_volume1(i)<=0
        snow_melt3(i)=Vso/eAkarst;
        else
        snow_melt3(i)=snow_melt2(i);
    end
else
    if snow_volume1(i)<=0
        snow_melt3(i)=snow_volume2(i-1)/eAkarst;
        else
        snow_melt3(i)=snow_melt2(i);
    end
end
```

```
   % Snow Melt
   if snow_melt3(i)<=0
      snow_melt(i)=0;
   else
      snow_melt(i)=snow_melt3(i);
   end

   % Water Balance 2
   water_balance2(i)=(rainfall_snow(i)-snow_melt(i))*eAkarst;

    % Snow Volume - 2 ------------
  if i==1
      snow_volume2(i)=(Vso+water_balance2(i))*dt;
   else
      snow_volume2(i)=[snow_volume2(i-1)+water_balance2(i)*dt];
   end

   % Karst Input Qin (m3/day)
   karst_input(i)=(rainfall_wet(i)+snow_melt(i))*eAkarst;

   % Upper Reservoir Flow, Qu (m3/day)
   if i==1
      upper_reservoir_flow(i)=(Qko*(a1)*(1-a2))*exp(-ku*dt)+a1*karst_input(i)*(1-exp(-
ku*dt));
   else
      upper_reservoir_flow(i)=(upper_reservoir_flow(i-1))*exp(-ku*dt)+a1*karst_input(i)*(1-
exp(-ku*dt));
   end

   % Lower Reservoir Flow, Ql (m3/day)
   if i==1
      lower_reservoir_flow(i)=((Qko*(1-a1)+Qko*a1*a2)*exp(-kl*dt)+(karst_input(i)*(1-
a1)+a2*upper_reservoir_flow(i))*(1-exp(-kl*dt)));
   else
      lower_reservoir_flow(i)=lower_reservoir_flow(i-1)*exp(-kl*dt)+(karst_input(i)*(1-
a1)+a2*upper_reservoir_flow(i))*(1-exp(-kl*dt));
   end

   % Karst Spring Flow (m3/day)
   karst_spring_flow(i)=lower_reservoir_flow(i)+(1-a2)*upper_reservoir_flow(i);
karst_spring_flow_sec(i)=karst_spring_flow(i)/86400;
flowday(i)=f(i)*86400;
%elegxos pote den brexei
```

```
if p(i)==0
   count=count+1;
end




%---------------------------------
%    ORGANIKO AZOTO - - DON -----
%---------------------------------
% - GIA TON OGKO ELEGXOU SNOW ----
%---------------------------------
if i==1


if snow_volume2(i) == 0 % den mporo na diareso me to miden
   %Co(i)=0;
   dCsnowdt(i)=0;
   Co(i)=Co1+dCsnowdt(i)*dt;
else

dCsnowdt(i)=rainfall_snow(i)*eAkarst/snow_volume2(i)*Cin-
snow_melt(i)*eAkarst/snow_volume2(i)*Co1-Co1/snow_volume2(i)*water_balance2(i);
Co(i)=Co1+dCsnowdt(i)*dt;

end


else
if snow_volume2(i) == 0 % den mporo na diareso me to miden
   %Co(i)=0;
    dCsnowdt(i)=0;
   Co(i)=Co1+dCsnowdt(i)*dt;
else

dCsnowdt(i)=rainfall_snow(i)*eAkarst/snow_volume2(i)*Cin-
snow_melt(i)*eAkarst/snow_volume2(i)*Co(i-1)-Co(i-
1)/snow_volume2(i)*water_balance2(i);
Co(i)=Co(i-1)+dCsnowdt(i)*dt;

end
end
```

```
%-------------------------------------------
% - GIA TON OGKO ELEGXOU UPPER RESERVOIR ----
%-------------------------------------------

if i==1
dV1dt(i)=snow_melt(i)*eAkarst*a1+rainfall_wet(i)*eAkarst*a1-upper_reservoir_flow(i);
if i==1
   Vupper(i)=Vu+dV1dt(i)*dt;
%elegxos an to Vupper einai arnitiko
   if Vupper(i)<0
   Vupper(i)=1000;
   else
   Vupper(i)=Vu+dV1dt(i)*dt;
   end
% telos
else
   Vupper(i)=Vupper(i-1)+dV1dt(i)*dt;
   %elegxos an to Vupper einai arnitiko
   if Vupper(i)<0
   Vupper(i)=1000;
   else
   Vupper(i)=Vupper(i-1)+dV1dt(i)*dt;
   end
% telos
end

if p(i)==0
   LSF2_(i)=0;
else
   LSF2_(i)=1000000/(365*Vupper(i))*LSF2*count; %mg/(l*d)
end

%elegxos an to Vupper einai miden
   if Vupper(i)==0
   dCupperdt(i) =0;
   else
   dCupperdt(i)=LSF2_(i)*a1-
kminer*Cupper1+[snow_melt(i)*eAkarst*a1/Vupper(i)*Co(i)]+rainfall_wet(i)*eAkarst*a1/Vu
pper(i)*Crain-upper_reservoir_flow(i)*Cupper1/Vupper(i)-Cupper1/Vupper(i)*dV1dt(i);
   end
% telos
Cupper(i)=Cupper1+dCupperdt(i)*dt;

%elegxos an to Cupper einai arnitiko
if Cupper(i)<0
```

```
   Cupper(i)=Cupper1;
else
   Cupper(i)=Cupper1+dCupperdt(i)*dt;
end
%telos

else

   dV1dt(i)=snow_melt(i)*eAkarst*a1+rainfall_wet(i)*eAkarst*a1-upper_reservoir_flow(i);
if i==1
   Vupper(i)=Vu+dV1dt(i)*dt;
   %elegxos an to Vupper einai arnitiko
   if Vupper(i)<0
   Vupper(i)=1000;
   else
   Vupper(i)=Vu+dV1dt(i)*dt;
   end
% telos
else
   Vupper(i)=Vupper(i-1)+dV1dt(i)*dt;
    %elegxos an to Vupper einai arnitiko
   if Vupper(i)<0
   Vupper(i)=1000;
   else
   Vupper(i)=Vupper(i-1)+dV1dt(i)*dt;
   end
% telos
end

if p(i)==0
   LSF2_(i)=0;
else
   LSF2_(i)=1000000/(365*Vupper(i))*LSF2*count;
end

%elegxos an to Vupper einai miden
   if Vupper(i)==0
   dCupperdt(i) =0;
   else
    dCupperdt(i)=LSF2_(i)*a1-kminer*Cupper(i-
1)+snow_melt(i)*eAkarst*a1/Vupper(i)*Co(i)+rainfall_wet(i)*eAkarst*a1/Vupper(i)*Crain-
upper_reservoir_flow(i)*Cupper(i-1)/Vupper(i)-Cupper(i-1)/Vupper(i)*dV1dt(i);
   end
% telos
Cupper(i)=Cupper(i-1)+dCupperdt(i)*dt;
```

```
%elegxos an to Cupper einai arnitiko
if Cupper(i)<0
   Cupper(i)=Cupper(i-1);
else
   Cupper(i)=Cupper(i-1)+dCupperdt(i)*dt;
end
%telos
end

%-------------------------------------------
% - GIA TON OGKO ELEGXOU LOWER RESERVOIR ----
%-------------------------------------------

if i ==1

dV2dt(i)=rainfall_wet(i)*eAkarst*(1-a1)+snow_melt(i)*eAkarst*(1-
a1)+upper_reservoir_flow(i)*a2-lower_reservoir_flow(i);
if i==1
   Vlower(i)=Vl+dV2dt(i)*dt;
   %elegxos an to Vlower einai arnitiko
   if Vlower(i)<0
   Vlower(i)=1000;
   else
   Vlower(i)=Vl+dV2dt(i)*dt;
   end
% telos
else
   Vlower(i)=Vlower(i-1)+dV2dt(i)*dt;
     %elegxos an to Vlower einai arnitiko
   if Vlower(i)<0
   Vlower(i)=1000;
   else
   Vlower(i)=Vlower(i-1)+dV2dt(i)*dt;
   end
% telos
end

if p(i)==0
   LSF2_(i)=0;
else
   LSF2_(i)=1000000/(365*Vlower(i))*LSF2*count;
end

%elegxos an to Vlower einai miden
if Vlower(i)==0
```

```
   dClowerdt(i)=0;
else
   dClowerdt(i)=LSF2_(i)*(1-a1)-kminer*Clower1+snow_melt(i)*eAkarst*(1-
a1)/Vlower(i)*Co(i)+rainfall_wet(i)*eAkarst*(1-
a1)/Vlower(i)*Crain+upper_reservoir_flow(i)*a2/Vlower(i)*Cupper(i)-
lower_reservoir_flow(i)/Vlower(i)*Clower1-Clower1/Vlower(i)*dV2dt(i);

end
%telos
Clower(i)=Clower1+dClowerdt(i)*dt;
%elegxos an to Clower einai arnitiko
if Clower(i)<0
   Clower(i)=Clower1;
else
   Clower(i)=Clower1+dClowerdt(i)*dt;
end
%telos
else

dV2dt(i)=rainfall_wet(i)*eAkarst*(1-a1)+snow_melt(i)*eAkarst*(1-
a1)+upper_reservoir_flow(i)*a2-lower_reservoir_flow(i);
if i==1
   Vlower(i)=Vl+dV2dt(i)*dt;
    %elegxos an to Vlower einai arnitiko
   if Vlower(i)<0
   Vlower(i)=1000;
   else
   Vlower(i)=Vl+dV2dt(i)*dt;
   end
% telos
else
   Vlower(i)=Vlower(i-1)+dV2dt(i)*dt;
   %elegxos an to Vlower einai arnitiko
   if Vlower(i)<0
   Vlower(i)=1000;
   else
   Vlower(i)=Vlower(i-1)+dV2dt(i)*dt;
   end
% telos
end

if p(i)==0
   LSF2_(i)=0;
else
   LSF2_(i)=1000000/(365*Vlower(i))*LSF2*count;
```

```
end

if Vlower(i)==0
   dClowerdt(i)=0;
else
dClowerdt(i)=LSF2_(i)*(1-a1)-kminer*Clower(i-1)+snow_melt(i)*eAkarst*(1-
a1)/Vlower(i)*Co(i)+rainfall_wet(i)*eAkarst*(1-
a1)/Vlower(i)*Crain+upper_reservoir_flow(i)*a2/Vlower(i)*Cupper(i)-
lower_reservoir_flow(i)/Vlower(i)*Clower(i-1)-Clower(i-1)/Vlower(i)*dV2dt(i);
end
%telos
Clower(i)=Clower(i-1)+dClowerdt(i)*dt;
%elegxos an to Clower einai arnitiko
if Clower(i)<0
   Clower(i)=Clower(i-1);
else
   Clower(i)=Clower(i-1)+dClowerdt(i)*dt;
end
%telos
end


C(i)=(upper_reservoir_flow(i)*(1-
a2)*Cupper(i)+lower_reservoir_flow(i)*Clower(i))/karst_spring_flow(i);
%-----------------------------------------

%--------------------------------
%    AMMONIA - - AM -----
%--------------------------------
% - GIA TON OGKO ELEGXOU SNOW ----
%--------------------------------
if i==1

if snow_volume2(i) == 0 % den mporo na diareso me to miden
   %Co(i)=0;
   dC_AM_snowdt(i)=0;
   C_AM_o(i)=C_AM_o1+dC_AM_snowdt(i)*dt;
else

dC_AM_snowdt(i)=rainfall_snow(i)*eAkarst/snow_volume2(i)*C_AM_in-
snow_melt(i)*eAkarst/snow_volume2(i)*C_AM_o1-
C_AM_o1/snow_volume2(i)*water_balance2(i);
C_AM_o(i)=C_AM_o1+dC_AM_snowdt(i)*dt;

end
```

```
else
if snow_volume2(i) == 0 % den mporo na diareso me to miden
   %Co(i)=0;
    dC_AM_snowdt(i)=0;
   C_AM_o(i)=C_AM_o1+dC_AM_snowdt(i)*dt;
else

dC_AM_snowdt(i)=rainfall_snow(i)*eAkarst/snow_volume2(i)*C_AM_in-
snow_melt(i)*eAkarst/snow_volume2(i)*C_AM_o(i-1)-C_AM_o(i-
1)/snow_volume2(i)*water_balance2(i);
C_AM_o(i)=C_AM_o(i-1)+dC_AM_snowdt(i)*dt;

end
end
%-------------------------------------------
% - GIA TON OGKO ELEGXOU UPPER RESERVOIR ----
%-------------------------------------------


if i==1

dV1dt(i)=snow_melt(i)*eAkarst*a1+rainfall_wet(i)*a1*eAkarst-upper_reservoir_flow(i);
if i==1
   Vupper(i)=Vu+dV1dt(i)*dt;
%elegxos an to Vupper einai arnitiko
   if Vupper(i)<0
   Vupper(i)=1000;
   else
   Vupper(i)=Vu+dV1dt(i)*dt;
   end
% telos
else
   Vupper(i)=Vupper(i-1)+dV1dt(i)*dt;
   %elegxos an to Vupper einai arnitiko
   if Vupper(i)<0
   Vupper(i)=1000;
   else
   Vupper(i)=Vupper(i-1)+dV1dt(i)*dt;
   end
% telos
end

if p(i)==0
```

```
   LSF1_(i)=0;
else
   LSF1_(i)=1000000/(365*Vupper(i))*(LSF1)*count;
end

%elegxos an to Vupper einai miden
   if Vupper(i)==0
   dC_AM_upperdt(i) =0;
   else
   dC_AM_upperdt(i)=LSF1_(i)*a1+kminer*Cupper(i)-
knitri*C_AM_upper1+[snow_melt(i)*eAkarst*a1/Vupper(i)*C_AM_o(i)]+rainfall_wet(i)*a1*
eAkarst/Vupper(i)*C_AM_rain-upper_reservoir_flow(i)*C_AM_upper1/Vupper(i)-
C_AM_upper1/Vupper(i)*dV1dt(i);
   end
   % telos
C_AM_upper(i)=C_AM_upper1+dC_AM_upperdt(i)*dt;
%elegxos an to C_AM_upper einai arnitiko
if C_AM_upper(i)<0
   C_AM_upper(i)=C_AM_upper1;
else
   C_AM_upper(i)=C_AM_upper1+dC_AM_upperdt(i)*dt;
end
%telos
else

   dV1dt(i)=snow_melt(i)*eAkarst*a1+rainfall_wet(i)*a1*eAkarst-upper_reservoir_flow(i);
if i==1
   Vupper(i)=Vu+dV1dt(i)*dt;
   %elegxos an to Vupper einai arnitiko
   if Vupper(i)<0
   Vupper(i)=1000;
   else
   Vupper(i)=Vu+dV1dt(i)*dt;
   end
% telos
else
   Vupper(i)=Vupper(i-1)+dV1dt(i)*dt;
    %elegxos an to Vupper einai arnitiko
   if Vupper(i)<0
   Vupper(i)=1000;
   else
   Vupper(i)=Vupper(i-1)+dV1dt(i)*dt;
   end
% telos
end
```

```
if p(i)==0
   LSF1_(i)=0;
else
   LSF1_(i)=1000000/(365*Vupper(i))*(LSF1)*count;
end

%elegxos an to Vupper einai miden
   if Vupper(i)==0
   dC_AM_upperdt(i) =0;
   else
    dC_AM_upperdt(i)=LSF1_(i)*a1+kminer*Cupper(i)-knitri*C_AM_upper(i-
1)+snow_melt(i)*eAkarst*a1/Vupper(i)*C_AM_o(i)+rainfall_wet(i)*a1*eAkarst/Vupper(i)*C
_AM_rain-upper_reservoir_flow(i)*C_AM_upper(i-1)/Vupper(i)-C_AM_upper(i-
1)/Vupper(i)*dV1dt(i);
   end
% telos
C_AM_upper(i)=C_AM_upper(i-1)+dC_AM_upperdt(i)*dt;
%elegxos an to C_AM_upper einai arnitiko
if C_AM_upper(i)<0
   C_AM_upper(i)=C_AM_upper(i-1);
else
   C_AM_upper(i)=C_AM_upper(i-1)+dC_AM_upperdt(i)*dt;
end
%telos
end

%-------------------------------------------
% - GIA TON OGKO ELEGXOU LOWER RESERVOIR ----
%-------------------------------------------

if i ==1

dV2dt(i)=rainfall_wet(i)*(1-a1)*eAkarst+snow_melt(i)*eAkarst*(1-
a1)+upper_reservoir_flow(i)*a2-lower_reservoir_flow(i);
if i==1
   Vlower(i)=Vl+dV2dt(i)*dt;
   %elegxos an to Vlower einai arnitiko
   if Vlower(i)<0
   Vlower(i)=1000;
   else
   Vlower(i)=Vl+dV2dt(i)*dt;
   end
% telos
else
```

```
   Vlower(i)=Vlower(i-1)+dV2dt(i)*dt;
    %elegxos an to Vlower einai arnitiko
   if Vlower(i)<0
   Vlower(i)=1000;
   else
   Vlower(i)=Vlower(i-1)+dV2dt(i)*dt;
   end
% telos
end

if p(i)==0
   LSF1_(i)=0;
else
   LSF1_(i)=1000000/(365*Vlower(i))*(LSF1)*count;
end

%elegxos an to Vlower einai miden
if Vlower(i)==0
   dC_AM_lowerdt(i)=0;
else
   dC_AM_lowerdt(i)=LSF1_(i)*(1-a1)+kminer*Clower(i)-
knitri*C_AM_lower1+snow_melt(i)*eAkarst*(1-a1)/Vlower(i)*C_AM_o(i)+rainfall_wet(i)*(1-
a1)*eAkarst/Vlower(i)*C_AM_rain+upper_reservoir_flow(i)*a2/Vlower(i)*C_AM_upper(i)-
lower_reservoir_flow(i)/Vlower(i)*C_AM_lower1-C_AM_lower1/Vlower(i)*dV2dt(i);
end
%telos
C_AM_lower(i)=C_AM_lower1+dC_AM_lowerdt(i)*dt;
%elegxos an to C_AM_lower einai arnitiko
if C_AM_lower(i)<0
   C_AM_lower(i)=C_AM_lower1;
else
   C_AM_lower(i)=C_AM_lower1+dC_AM_lowerdt(i)*dt;
end
%telos
else

dV2dt(i)=rainfall_wet(i)*(1-a1)*eAkarst+snow_melt(i)*eAkarst*(1-
a1)+upper_reservoir_flow(i)*a2-lower_reservoir_flow(i);
if i==1
   Vlower(i)=Vl+dV2dt(i)*dt;
    %elegxos an to Vlower einai arnitiko
   if Vlower(i)<0
   Vlower(i)=1000;
   else
   Vlower(i)=Vl+dV2dt(i)*dt;
```

```
   end
% telos
else
   Vlower(i)=Vlower(i-1)+dV2dt(i)*dt;
   %elegxos an to Vlower einai arnitiko
   if Vlower(i)<0
   Vlower(i)=1000;
   else
   Vlower(i)=Vlower(i-1)+dV2dt(i)*dt;
   end
% telos
end

if p(i)==0
   LSF1_(i)=0;
else
   LSF1_(i)=1000000/(365*Vlower(i))*(LSF1)*count;
end

if Vlower(i)==0
   dC_AM_lowerdt(i)=0;
else
dC_AM_lowerdt(i)=LSF1_(i)*(1-a1)+kminer*Clower(i)-knitri*C_AM_lower(i-
1)+snow_melt(i)*eAkarst*(1-a1)/Vlower(i)*C_AM_o(i)+rainfall_wet(i)*(1-
a1)*eAkarst/Vlower(i)*C_AM_rain+upper_reservoir_flow(i)*a2/Vlower(i)*C_AM_upper(i)-
lower_reservoir_flow(i)/Vlower(i)*C_AM_lower(i-1)-C_AM_lower(i-1)/Vlower(i)*dV2dt(i);
end
%telos
C_AM_lower(i)=C_AM_lower(i-1)+dC_AM_lowerdt(i)*dt;
%elegxos an to C_AM_lower einai arnitiko
if C_AM_lower(i)<0
   C_AM_lower(i)=C_AM_lower(i-1);
else
   C_AM_lower(i)=C_AM_lower(i-1)+dC_AM_lowerdt(i)*dt;
end
%telos
end


C_AM_(i)=(upper_reservoir_flow(i)*(1-
a2)*C_AM_upper(i)+lower_reservoir_flow(i)*C_AM_lower(i))/karst_spring_flow(i);
%-------------------------------------------
%--------------------------------
%    NITRIKA - - NO3 -----
%--------------------------------
```

```
% - GIA TON OGKO ELEGXOU SNOW ----
%--------------------------------
if i==1

if snow_volume2(i) == 0 % den mporo na diareso me to miden
   %Co(i)=0;
   dC_NO3_snowdt(i)=0;
   C_NO3_o(i)=C_NO3_o1+dC_NO3_snowdt(i)*dt;
else

dC_NO3_snowdt(i)=rainfall_snow(i)*eAkarst/snow_volume2(i)*C_NO3_in-
snow_melt(i)*eAkarst/snow_volume2(i)*C_NO3_o1-
C_NO3_o1/snow_volume2(i)*water_balance2(i);
C_NO3_o(i)=C_NO3_o1+dC_NO3_snowdt(i)*dt;

end


else
if snow_volume2(i) == 0 % den mporo na diareso me to miden
   %Co(i)=0;
    dC_NO3_snowdt(i)=0;
   C_NO3_o(i)=C_NO3_o1+dC_NO3_snowdt(i)*dt;
else

dC_NO3_snowdt(i)=rainfall_snow(i)*eAkarst/snow_volume2(i)*C_NO3_in-
snow_melt(i)*eAkarst/snow_volume2(i)*C_NO3_o(i-1)-C_NO3_o(i-
1)/snow_volume2(i)*water_balance2(i);
C_NO3_o(i)=C_NO3_o(i-1)+dC_NO3_snowdt(i)*dt;

end
end
%-------------------------------------------
% - GIA TON OGKO ELEGXOU UPPER RESERVOIR ----
%-------------------------------------------

if i==1

dV1dt(i)=snow_melt(i)*eAkarst*a1+rainfall_wet(i)*a1*eAkarst-upper_reservoir_flow(i);
if i==1
   Vupper(i)=Vu+dV1dt(i)*dt;
%elegxos an to Vupper einai arnitiko
   if Vupper(i)<0
   Vupper(i)=1000;
   else
```

```
   Vupper(i)=Vu+dV1dt(i)*dt;
   end
% telos
else
   Vupper(i)=Vupper(i-1)+dV1dt(i)*dt;
   %elegxos an to Vupper einai arnitiko
   if Vupper(i)<0
   Vupper(i)=1000;
   else
   Vupper(i)=Vupper(i-1)+dV1dt(i)*dt;
   end
% telos
end

if p(i)==0
   LA1_(i)=0;
else
   LA1_(i)=1000000/(365*Vupper(i))*(LA1)*count;
end

%elegxos an to Vupper einai miden
   if Vupper(i)==0
   dC_NO3_upperdt(i) =0;
   else
   dC_NO3_upperdt(i)=LA1_(i)*a1-
kuptake*C_NO3_upper1+knitri*C_AM_upper(i)+[snow_melt(i)*eAkarst*a1/Vupper(i)*C_NO
3_o(i)]+rainfall_wet(i)*a1*eAkarst/Vupper(i)*C_NO3_rain-
upper_reservoir_flow(i)*C_NO3_upper1/Vupper(i)-C_NO3_upper1/Vupper(i)*dV1dt(i);
   end
   % telos
C_NO3_upper(i)=C_NO3_upper1+dC_NO3_upperdt(i)*dt;

%elegxos an to C_NO3_upper einai arnitiko
if C_NO3_upper(i)<0
   C_NO3_upper(i)=C_NO3_upper1;
else
   C_NO3_upper(i)=C_NO3_upper1+dC_NO3_upperdt(i)*dt;
end
%telos
else

   dV1dt(i)=snow_melt(i)*eAkarst*a1+rainfall_wet(i)*a1*eAkarst-upper_reservoir_flow(i);
if i==1
   Vupper(i)=Vu+dV1dt(i)*dt;
   %elegxos an to Vupper einai arnitiko
```

```
   if Vupper(i)<0
   Vupper(i)=1000;
   else
   Vupper(i)=Vu+dV1dt(i)*dt;
   end
% telos
else
   Vupper(i)=Vupper(i-1)+dV1dt(i)*dt;
    %elegxos an to Vupper einai arnitiko
   if Vupper(i)<0
   Vupper(i)=1000;
   else
   Vupper(i)=Vupper(i-1)+dV1dt(i)*dt;
   end
% telos
end

if p(i)==0
   LA1_(i)=0;
else
   LA1_(i)=1000000/(365*Vupper(i))*(LA1)*count;
end

%elegxos an to Vupper einai miden
   if Vupper(i)==0
   dC_NO3_upperdt(i) =0;
   else
    dC_NO3_upperdt(i)=LA1_(i)*a1-kuptake*C_NO3_upper(i-
1)+knitri*C_AM_upper(i)+snow_melt(i)*eAkarst*a1/Vupper(i)*C_NO3_o(i)+rainfall_wet(i)*a
1*eAkarst/Vupper(i)*C_NO3_rain-upper_reservoir_flow(i)*C_NO3_upper(i-1)/Vupper(i)-
C_NO3_upper(i-1)/Vupper(i)*dV1dt(i);
   end
% telos
C_NO3_upper(i)=C_NO3_upper(i-1)+dC_NO3_upperdt(i)*dt;

%elegxos an to C_NO3_upper einai arnitiko
if C_NO3_upper(i)<0
   C_NO3_upper(i)=C_NO3_upper(i-1);
else
   C_NO3_upper(i)=C_NO3_upper(i-1)+dC_NO3_upperdt(i)*dt;
end
%telos
end

%-------------------------------------------
```

```
% - GIA TON OGKO ELEGXOU LOWER RESERVOIR ----
%-----------------------------------------

if i ==1


dV2dt(i)=rainfall_wet(i)*(1-a1)*eAkarst+snow_melt(i)*eAkarst*(1-
a1)+upper_reservoir_flow(i)*a2-lower_reservoir_flow(i);
if i==1
   Vlower(i)=Vl+dV2dt(i)*dt;
   %elegxos an to Vlower einai arnitiko
   if Vlower(i)<0
   Vlower(i)=1000;
   else
   Vlower(i)=Vl+dV2dt(i)*dt;
   end
% telos
else
   Vlower(i)=Vlower(i-1)+dV2dt(i)*dt;
     %elegxos an to Vlower einai arnitiko
   if Vlower(i)<0
   Vlower(i)=1000;
   else
   Vlower(i)=Vlower(i-1)+dV2dt(i)*dt;
   end
% telos
end

if p(i)==0
   LA1_(i)=0;
else
   LA1_(i)=1000000/(365*Vlower(i))*(LA1)*count;
end

%elegxos an to Vlower einai miden
if Vlower(i)==0
   dC_NO3_lowerdt(i)=0;
else
   dC_NO3_lowerdt(i)=LA1_(i)*(1-a1)-
kuptake*C_NO3_lower1+knitri*C_AM_lower(i)+snow_melt(i)*eAkarst*(1-
a1)/Vlower(i)*C_NO3_o(i)+rainfall_wet(i)*(1-
a1)*eAkarst/Vlower(i)*C_NO3_rain+upper_reservoir_flow(i)*a2/Vlower(i)*C_NO3_upper(i)-
lower_reservoir_flow(i)/Vlower(i)*C_NO3_lower1-C_NO3_lower1/Vlower(i)*dV2dt(i);
end
%telos
```

```
C_NO3_lower(i)=C_NO3_lower1+dC_NO3_lowerdt(i)*dt;

%elegxos an to C_NO3_lower einai arnitiko
if C_NO3_lower(i)<0
   C_NO3_lower(i)=C_NO3_lower1;
else
   C_NO3_lower(i)=C_NO3_lower1+dC_NO3_lowerdt(i)*dt;
end
%telos
else

dV2dt(i)=rainfall_wet(i)*(1-a1)*eAkarst+snow_melt(i)*eAkarst*(1-
a1)+upper_reservoir_flow(i)*a2-lower_reservoir_flow(i);
if i==1
   Vlower(i)=Vl+dV2dt(i)*dt;
    %elegxos an to Vlower einai arnitiko
   if Vlower(i)<0
   Vlower(i)=1000;
   else
   Vlower(i)=Vl+dV2dt(i)*dt;
   end
% telos
else
   Vlower(i)=Vlower(i-1)+dV2dt(i)*dt;
   %elegxos an to Vlower einai arnitiko
   if Vlower(i)<0
   Vlower(i)=1000;
   else
   Vlower(i)=Vlower(i-1)+dV2dt(i)*dt;
   end
% telos
end

if p(i)==0
   LA1_(i)=0;
else
   LA1_(i)=1000000/(365*Vlower(i))*(LA1)*count;
end

if Vlower(i)==0
   dC_NO3_lowerdt(i)=0;
else
dC_NO3_lowerdt(i)=LA1_(i)*(1-a1)-kuptake*C_NO3_lower(i-
1)+knitri*C_AM_lower(i)+snow_melt(i)*eAkarst*(1-
a1)/Vlower(i)*C_NO3_o(i)+rainfall_wet(i)*(1-
```

```
a1)*eAkarst/Vlower(i)*C_NO3_rain+upper_reservoir_flow(i)*a2/Vlower(i)*C_NO3_upper(i)-
lower_reservoir_flow(i)/Vlower(i)*C_NO3_lower(i-1)-C_NO3_lower(i-1)/Vlower(i)*dV2dt(i);
end
%telos
C_NO3_lower(i)=C_NO3_lower(i-1)+dC_NO3_lowerdt(i)*dt;
%elegxos an to C_NO3_lower einai arnitiko
if C_NO3_lower(i)<0
   C_NO3_lower(i)=C_NO3_lower(i-1);
else
   C_NO3_lower(i)=C_NO3_lower(i-1)+dC_NO3_lowerdt(i)*dt;
end
%telos
end


C_NO3_(i)=(upper_reservoir_flow(i)*(1-
a2)*C_NO3_upper(i)+lower_reservoir_flow(i)*C_NO3_lower(i))/karst_spring_flow(i);
%-------------------------------------------

%--------------------------------
%    ORGANIKOS FOSFOROS - - OP -----
%--------------------------------
% - GIA TON OGKO ELEGXOU SNOW ----
%--------------------------------
if i==1

if snow_volume2(i) == 0 % den mporo na diareso me to miden
   %Co(i)=0;
   dC_OP_snowdt(i)=0;
   C_OP_o(i)=C_OP_o1+dC_OP_snowdt(i)*dt;
else

dC_OP_snowdt(i)=rainfall_snow(i)*eAkarst/snow_volume2(i)*C_OP_in-
snow_melt(i)*eAkarst/snow_volume2(i)*C_OP_o1-
C_OP_o1/snow_volume2(i)*water_balance2(i);
C_OP_o(i)=C_OP_o1+dC_OP_snowdt(i)*dt;

end


else
if snow_volume2(i) == 0 % den mporo na diareso me to miden
   %Co(i)=0;
    dC_OP_snowdt(i)=0;
   C_OP_o(i)=C_OP_o1+dC_OP_snowdt(i)*dt;
```

```
else

dC_OP_snowdt(i)=rainfall_snow(i)*eAkarst/snow_volume2(i)*C_OP_in-
snow_melt(i)*eAkarst/snow_volume2(i)*C_OP_o(i-1)-C_OP_o(i-
1)/snow_volume2(i)*water_balance2(i);
C_OP_o(i)=C_OP_o(i-1)+dC_OP_snowdt(i)*dt;

end
end
%-----------------------------------------
% - GIA TON OGKO ELEGXOU UPPER RESERVOIR ----
%-----------------------------------------

if i==1

dV1dt(i)=snow_melt(i)*eAkarst*a1+rainfall_wet(i)*a1*eAkarst-upper_reservoir_flow(i);
if i==1
   Vupper(i)=Vu+dV1dt(i)*dt;
%elegxos an to Vupper einai arnitiko
   if Vupper(i)<0
   Vupper(i)=1000;
   else
   Vupper(i)=Vu+dV1dt(i)*dt;
   end
% telos
else
   Vupper(i)=Vupper(i-1)+dV1dt(i)*dt;
   %elegxos an to Vupper einai arnitiko
   if Vupper(i)<0
   Vupper(i)=1000;
   else
   Vupper(i)=Vupper(i-1)+dV1dt(i)*dt;
   end
% telos
end

%elegxos an to Vupper einai miden
   if Vupper(i)==0
   dC_OP_upperdt(i) =0;
   else
   dC_OP_upperdt(i)=-
kmineralization*C_OP_upper1+[snow_melt(i)*eAkarst*a1/Vupper(i)*C_OP_o(i)]+rainfall_w
et(i)*a1*eAkarst/Vupper(i)*C_OP_rain-upper_reservoir_flow(i)*C_OP_upper1/Vupper(i)-
C_OP_upper1/Vupper(i)*dV1dt(i);
   end
```

```
   % telos
C_OP_upper(i)=C_OP_upper1+dC_OP_upperdt(i)*dt;

else
   dV1dt(i)=snow_melt(i)*eAkarst*a1+rainfall_wet(i)*a1*eAkarst-upper_reservoir_flow(i);
if i==1
   Vupper(i)=Vu+dV1dt(i)*dt;
   %elegxos an to Vupper einai arnitiko
   if Vupper(i)<0
   Vupper(i)=1000;
   else
   Vupper(i)=Vu+dV1dt(i)*dt;
   end
% telos
else
   Vupper(i)=Vupper(i-1)+dV1dt(i)*dt;
    %elegxos an to Vupper einai arnitiko
   if Vupper(i)<0
   Vupper(i)=1000;
   else
   Vupper(i)=Vupper(i-1)+dV1dt(i)*dt;
   end
% telos
end
%elegxos an to Vupper einai miden
   if Vupper(i)==0
   dC_OP_upperdt(i) =0;
   else
    dC_OP_upperdt(i)=-kmineralization*C_OP_upper(i-
1)+snow_melt(i)*eAkarst*a1/Vupper(i)*C_OP_o(i)+rainfall_wet(i)*a1*eAkarst/Vupper(i)*C_
OP_rain-upper_reservoir_flow(i)*C_OP_upper(i-1)/Vupper(i)-C_OP_upper(i-
1)/Vupper(i)*dV1dt(i);
   end
% telos
C_OP_upper(i)=C_OP_upper(i-1)+dC_OP_upperdt(i)*dt;

end

%-------------------------------------------
% - GIA TON OGKO ELEGXOU LOWER RESERVOIR ----
%-------------------------------------------

if i ==1
```

```
dV2dt(i)=rainfall_wet(i)*(1-a1)*eAkarst+snow_melt(i)*eAkarst*(1-
a1)+upper_reservoir_flow(i)*a2-lower_reservoir_flow(i);
if i==1
   Vlower(i)=Vl+dV2dt(i)*dt;
   %elegxos an to Vlower einai arnitiko
   if Vlower(i)<0
   Vlower(i)=1000;
   else
   Vlower(i)=Vl+dV2dt(i)*dt;
   end
% telos
else
   Vlower(i)=Vlower(i-1)+dV2dt(i)*dt;
     %elegxos an to Vlower einai arnitiko
   if Vlower(i)<0
   Vlower(i)=1000;
   else
   Vlower(i)=Vlower(i-1)+dV2dt(i)*dt;
   end
% telos
end
%elegxos an to Vlower einai miden
if Vlower(i)==0
   dC_OP_lowerdt(i)=0;
else
   dC_OP_lowerdt(i)=-kmineralization*C_OP_lower1+snow_melt(i)*eAkarst*(1-
a1)/Vlower(i)*C_OP_o(i)+rainfall_wet(i)*(1-
a1)*eAkarst/Vlower(i)*C_OP_rain+upper_reservoir_flow(i)*a2/Vlower(i)*C_OP_upper(i)-
lower_reservoir_flow(i)/Vlower(i)*C_OP_lower1-C_OP_lower1/Vlower(i)*dV2dt(i);
end
%telos
C_OP_lower(i)=C_OP_lower1+dC_OP_lowerdt(i)*dt;

else

dV2dt(i)=rainfall_wet(i)*(1-a1)*eAkarst+snow_melt(i)*eAkarst*(1-
a1)+upper_reservoir_flow(i)*a2-lower_reservoir_flow(i);
if i==1
   Vlower(i)=Vl+dV2dt(i)*dt;
    %elegxos an to Vlower einai arnitiko
   if Vlower(i)<0
   Vlower(i)=1000;
   else
   Vlower(i)=Vl+dV2dt(i)*dt;
   end
```

```
% telos
else
   Vlower(i)=Vlower(i-1)+dV2dt(i)*dt;
   %elegxos an to Vlower einai arnitiko
   if Vlower(i)<0
   Vlower(i)=1000;
   else
   Vlower(i)=Vlower(i-1)+dV2dt(i)*dt;
   end
% telos
end

if Vlower(i)==0
   dC_OP_lowerdt(i)=0;
else
dC_OP_lowerdt(i)=-kmineralization*C_OP_lower(i-1)+snow_melt(i)*eAkarst*(1-
a1)/Vlower(i)*C_OP_o(i)+rainfall_wet(i)*(1-
a1)*eAkarst/Vlower(i)*C_OP_rain+upper_reservoir_flow(i)*a2/Vlower(i)*C_OP_upper(i)-
lower_reservoir_flow(i)/Vlower(i)*C_OP_lower(i-1)-C_OP_lower(i-1)/Vlower(i)*dV2dt(i);
end
%telos
C_OP_lower(i)=C_OP_lower(i-1)+dC_OP_lowerdt(i)*dt;

end


C_OP_(i)=(upper_reservoir_flow(i)*(1-
a2)*C_OP_upper(i)+lower_reservoir_flow(i)*C_OP_lower(i))/karst_spring_flow(i);
%-------------------------------------------

%--------------------------------
%    ANORGANOS FOSFOROS - - AP ---
%--------------------------------
% - GIA TON OGKO ELEGXOU SNOW ----
%--------------------------------
if i==1

if snow_volume2(i) == 0 % den mporo na diareso me to miden
   %Co(i)=0;
   dC_AP_snowdt(i)=0;
   C_AP_o(i)=C_AP_o1+dC_AP_snowdt(i)*dt;
else
```

```
dC_AP_snowdt(i)=rainfall_snow(i)*eAkarst/snow_volume2(i)*C_AP_in-
snow_melt(i)*eAkarst/snow_volume2(i)*C_AP_o1-
C_AP_o1/snow_volume2(i)*water_balance2(i);
C_AP_o(i)=C_AP_o1+dC_AP_snowdt(i)*dt;

end


else
if snow_volume2(i) == 0 % den mporo na diareso me to miden
   %Co(i)=0;
    dC_AP_snowdt(i)=0;
   C_AP_o(i)=C_AP_o1+dC_AP_snowdt(i)*dt;
else

dC_AP_snowdt(i)=rainfall_snow(i)*eAkarst/snow_volume2(i)*C_AP_in-
snow_melt(i)*eAkarst/snow_volume2(i)*C_AP_o(i-1)-C_AP_o(i-
1)/snow_volume2(i)*water_balance2(i);
C_AP_o(i)=C_AP_o(i-1)+dC_AP_snowdt(i)*dt;

end
end
%-------------------------------------------
% - GIA TON OGKO ELEGXOU UPPER RESERVOIR ----
%-------------------------------------------
if i==1

dV1dt(i)=snow_melt(i)*eAkarst*a1+rainfall_wet(i)*a1*eAkarst-upper_reservoir_flow(i);
if i==1
   Vupper(i)=Vu+dV1dt(i)*dt;
%elegxos an to Vupper einai arnitiko
   if Vupper(i)<0
   Vupper(i)=1000;
   else
   Vupper(i)=Vu+dV1dt(i)*dt;
   end
% telos
else
   Vupper(i)=Vupper(i-1)+dV1dt(i)*dt;
   %elegxos an to Vupper einai arnitiko
   if Vupper(i)<0
   Vupper(i)=1000;
   else
   Vupper(i)=Vupper(i-1)+dV1dt(i)*dt;
   end
```

```
% telos
end
dCaddt(i)=-kleaching*Cad+ksorption*C_AP_upper1;
Cad(i)=Cad+dCaddt(i)*dt;

if p(i)==0
   LA_LSF3(i)=0;
else
   LA_LSF3(i)=1000000/(365*Vupper(i))*(LA2+LSF3)*count;
end

%elegxos an to Vupper einai miden
   if Vupper(i)==0
   dC_AP_upperdt(i) =0;
   else
   dC_AP_upperdt(i)=LA_LSF3(i)*a1+kleaching*Cad(i)+kmineralization*C_OP_upper(i)-
ksorption*C_AP_upper1+[snow_melt(i)*eAkarst*a1/Vupper(i)*C_AP_o(i)]+rainfall_wet(i)*a
1*eAkarst/Vupper(i)*C_AP_rain-upper_reservoir_flow(i)*C_AP_upper1/Vupper(i)-
C_AP_upper1/Vupper(i)*dV1dt(i);
   %
end
   % telos
C_AP_upper(i)=C_AP_upper1+dC_AP_upperdt(i)*dt;

%elegxos an to C_AP_upper einai arnitiko
if C_AP_upper(i)<0
   C_AP_upper(i)=C_AP_upper1;
else
   C_AP_upper(i)=C_AP_upper1+dC_AP_upperdt(i)*dt;
end
%telos

else
   dV1dt(i)=snow_melt(i)*eAkarst*a1+rainfall_wet(i)*a1*eAkarst-upper_reservoir_flow(i);
if i==1
   Vupper(i)=Vu+dV1dt(i)*dt;
   %elegxos an to Vupper einai arnitiko
   if Vupper(i)<0
   Vupper(i)=1000;
   else
   Vupper(i)=Vu+dV1dt(i)*dt;
   end
% telos
else
   Vupper(i)=Vupper(i-1)+dV1dt(i)*dt;
```

```
    %elegxos an to Vupper einai arnitiko
   if Vupper(i)<0
   Vupper(i)=1000;
   else
   Vupper(i)=Vupper(i-1)+dV1dt(i)*dt;
   end
% telos
end
dCaddt(i)=-kleaching*Cad(i-1)+ksorption*C_AP_upper(i-1);
Cad(i)=Cad(i-1)+dCaddt(i)*dt;

if p(i)==0
   LA_LSF3(i)=0;
else
   LA_LSF3(i)=1000000/(365*Vupper(i))*(LA2+LSF3)*count;
end

%elegxos an to Vupper einai miden
   if Vupper(i)==0
   dC_AP_upperdt(i) =0;
   else
    dC_AP_upperdt(i)=LA_LSF3(i)*a1+kleaching*Cad(i)+kmineralization*C_OP_upper(i)-
ksorption*C_AP_upper(i-
1)+snow_melt(i)*eAkarst*a1/Vupper(i)*C_AP_o(i)+rainfall_wet(i)*a1*eAkarst/Vupper(i)*C_
AP_rain-upper_reservoir_flow(i)*C_AP_upper(i-1)/Vupper(i)-C_AP_upper(i-
1)/Vupper(i)*dV1dt(i);
 %
 end
% telos
C_AP_upper(i)=C_AP_upper(i-1)+dC_AP_upperdt(i)*dt;

%elegxos an to C_AP_upper einai arnitiko
if C_AP_upper(i)<0
   C_AP_upper(i)=C_AP_upper(i-1);
else
   C_AP_upper(i)=C_AP_upper(i-1)+dC_AP_upperdt(i)*dt;
end
%telos


end

%-------------------------------------------
% - GIA TON OGKO ELEGXOU LOWER RESERVOIR ----
%-------------------------------------------
```

```
if i ==1


dV2dt(i)=rainfall_wet(i)*(1-a1)*eAkarst+snow_melt(i)*eAkarst*(1-
a1)+upper_reservoir_flow(i)*a2-lower_reservoir_flow(i);
if i==1
   Vlower(i)=Vl+dV2dt(i)*dt;
   %elegxos an to Vlower einai arnitiko
   if Vlower(i)<0
   Vlower(i)=1000;
   else
   Vlower(i)=Vl+dV2dt(i)*dt;
   end
% telos
else
   Vlower(i)=Vlower(i-1)+dV2dt(i)*dt;
     %elegxos an to Vlower einai arnitiko
   if Vlower(i)<0
   Vlower(i)=1000;
   else
   Vlower(i)=Vlower(i-1)+dV2dt(i)*dt;
   end
% telos
end
dCaddt(i)=-kleaching*Cad+ksorption*C_AP_lower1;
Cad(i)=Cad+dCaddt(i)*dt;

if p(i)==0
   LA_LSF3(i)=0;
else
   LA_LSF3(i)=1000000/(365*Vlower(i))*(LA2+LSF3)*count;
end

%elegxos an to Vlower einai miden
if Vlower(i)==0
   dC_AP_lowerdt(i)=0;
else
   dC_AP_lowerdt(i)=LA_LSF3(i)*(1-a1)+kleaching*Cad(i)+kmineralization*C_OP_lower(i)-
ksorption*C_AP_lower1+snow_melt(i)*eAkarst*(1-
a1)/Vlower(i)*C_AP_o(i)+rainfall_wet(i)*(1-
a1)*eAkarst/Vlower(i)*C_AP_rain+upper_reservoir_flow(i)*a2/Vlower(i)*C_AP_upper(i)-
lower_reservoir_flow(i)/Vlower(i)*C_AP_lower1-C_AP_lower1/Vlower(i)*dV2dt(i);
   %
end
```

```
%telos
C_AP_lower(i)=C_AP_lower1+dC_AP_lowerdt(i)*dt;

%elegxos an to C_AP_lower einai arnitiko
if C_AP_lower(i)<0
   C_AP_lower(i)=C_AP_lower1;
else
   C_AP_lower(i)=C_AP_lower1+dC_AP_lowerdt(i)*dt;
end
%telos

else

dV2dt(i)=rainfall_wet(i)*(1-a1)*eAkarst+snow_melt(i)*eAkarst*(1-
a1)+upper_reservoir_flow(i)*a2-lower_reservoir_flow(i);
if i==1
   Vlower(i)=Vl+dV2dt(i)*dt;
    %elegxos an to Vlower einai arnitiko
   if Vlower(i)<0
   Vlower(i)=1000;
   else
   Vlower(i)=Vl+dV2dt(i)*dt;
   end
% telos
else
   Vlower(i)=Vlower(i-1)+dV2dt(i)*dt;
   %elegxos an to Vlower einai arnitiko
   if Vlower(i)<0
   Vlower(i)=1000;
   else
   Vlower(i)=Vlower(i-1)+dV2dt(i)*dt;
   end
% telos
end
dCaddt(i)=-kleaching*Cad(i-1)+ksorption*C_AP_lower(i-1); % Gia to C prosrofimeno
Cad(i)=Cad(i-1)+dCaddt(i)*dt;

if p(i)==0
   LA_LSF3(i)=0;
else
   LA_LSF3(i)=1000000/(365*Vlower(i))*(LA2+LSF3)*count;
end

if Vlower(i)==0
   dC_AP_lowerdt(i)=0;
```

```
else
dC_AP_lowerdt(i)=LA_LSF3(i)*(1-a1)+kleaching*Cad(i)+kmineralization*C_OP_lower(i)-
ksorption*C_AP_lower(i-1)+snow_melt(i)*eAkarst*(1-
a1)/Vlower(i)*C_AP_o(i)+rainfall_wet(i)*(1-
a1)*eAkarst/Vlower(i)*C_AP_rain+upper_reservoir_flow(i)*a2/Vlower(i)*C_AP_upper(i)-
lower_reservoir_flow(i)/Vlower(i)*C_AP_lower(i-1)-C_AP_lower(i-1)/Vlower(i)*dV2dt(i);
%
end
%telos
C_AP_lower(i)=C_AP_lower(i-1)+dC_AP_lowerdt(i)*dt;

%elegxos an to C_AP_lower einai arnitiko
if C_AP_lower(i)<0
   C_AP_lower(i)=C_AP_lower(i-1);
else
   C_AP_lower(i)=C_AP_lower(i-1)+dC_AP_lowerdt(i)*dt;
end
%telos

end


C_AP_(i)=(upper_reservoir_flow(i)*(1-
a2)*C_AP_upper(i)+lower_reservoir_flow(i)*C_AP_lower(i))/karst_spring_flow(i);
%-----------------------------------------
upperflow(i)=(1-a2)*upper_reservoir_flow(i);

xrisis(i)=1000000/(365*Vlower(i))*LSF2;

if p(i)>0
   count=1;
end
end


%wk1write('concentration.xls',[C',C_AM_',C_NO3_',C_OP_',C_AP_'])
%wk1write('concentration.xls',[karst_spring_flow_sec',C',C_AM_',C_NO3_',karst_spring_flo
w'])
%wk1write('concentration.xls',[C_NO3_',C_AM_',C'])
%csvwrite('aaa.xls',[C_NO3_';C_AP_'])
dlmwrite('aaa.xls',[C_NO3_' C_AM_' C' C_AP_' C_OP_'],'\t')
%dlmwrite('flow.xls',[karst_spring_flow' karst_spring_flow_sec'],'\t')
dlmwrite('flow.xls',[karst_spring_flow',flowday',lower_reservoir_flow',upper_reservoir_flow
',karst_input'],'\t')
```

```
for j=1:30
   sum(j)=0;
   aver(j)=0;
  k=365*j;
   for i=1:L
     if (i<=k) & (i>=(k-31))
        sum(j)=sum(j)+karst_spring_flow_sec(i);
     end

  end

 aver(j)=sum(j)/31;

end




%   DON
for i=1:L
   if (i<=365)
      insnow(i)=Cin*rainfall_snow(i)*eAkarst/1000;
      outsnow(i)=Co(i)*snow_melt(i)*eAkarst/1000;
      inrain(i)=Crain*rainfall_wet(i)*eAkarst/1000;
      outupper(i)=Cupper(i)*upper_reservoir_flow(i)/1000;
      DONmanure(i)=LSF2_(i)*Vupper(i)/1000;
      DONmanure_low(i)=LSF1_(i)*Vlower(i)/1000;
      %Stay(i)=Cupper(i)*dV1dt(i)/1000;
      outlower(i)=Clower(i)*lower_reservoir_flow(i)/1000;
      min(i)=-kminer*Cupper(i)*Vupper(i)/1000;
      minlower(i)=-kminer*Clower(i)*Vlower(i)/1000;


      if i==1
         SNOWin(i)=insnow(i);
         SNOWout(i)=outsnow(i);
         RAIN(i)=inrain(i);
         UPPERout(i)=outupper(i);
         MINERADON(i)=min(i);
         MANURE(i)=DONmanure(i);
         MANURE_low(i)=DONmanure_low(i);
         %Sumstay(i)=Stay(i);
         LOWERout(i)=outlower(i);
         MINERADONlow(i)=minlower(i);
```

```
        rainfall_snow_year(i)=rainfall_snow(i)*eAkarst;
        snow_melt_year(i)=snow_melt(i)*eAkarst;
        water_balance2_year(i)=water_balance2(i);
        dV1dt_year(i)=dV1dt(i);
        dV2dt_year(i)=dV2dt(i);
        rainfall_wet_year(i)=rainfall_wet(i)*eAkarst;
        upper_reservoir_flow_year(i)=upper_reservoir_flow(i);
        lower_reservoir_flow_year(i)=lower_reservoir_flow(i);
      else
        SNOWin(i)=SNOWin(i-1)+insnow(i);
        SNOWout(i)=SNOWout(i-1)+outsnow(i);
        RAIN(i)=RAIN(i-1)+inrain(i);
        UPPERout(i)=UPPERout(i-1)+outupper(i);
        MINERADON(i)=MINERADON(i-1)+min(i);
        MANURE(i)=MANURE(i-1)+DONmanure(i);
        MANURE_low(i)=MANURE_low(i-1)+DONmanure_low(i);
        %Sumstay(i)=Sumstay(i-1)+Stay(i);
        LOWERout(i)=LOWERout(i-1)+outlower(i);
        MINERADONlow(i)=MINERADONlow(i-1)+minlower(i);

        rainfall_snow_year(i)=rainfall_snow(i)*eAkarst+rainfall_snow_year(i-1);
        snow_melt_year(i)=snow_melt(i)*eAkarst+snow_melt_year(i-1);
        water_balance2_year(i)=water_balance2(i)+water_balance2_year(i-1);
        dV1dt_year(i)=dV1dt(i)+dV1dt_year(i-1);
        dV2dt_year(i)=dV2dt(i)+dV2dt_year(i-1);
        rainfall_wet_year(i)=rainfall_wet(i)*eAkarst+rainfall_wet_year(i-1);
        upper_reservoir_flow_year(i)=upper_reservoir_flow(i)+upper_reservoir_flow_year(i-
1);
        lower_reservoir_flow_year(i)=lower_reservoir_flow(i)+lower_reservoir_flow_year(i-
1);
      end
    end
end
%SNOWin=SNOWin(365)
%SNOWout=SNOWout(365)
RAINup=RAIN(365)*a1
RAINlow=RAIN(365)*(1-a1)
SNOWup=SNOWout(365)*a1
MANUREup=MANURE(365)*a1
MANURElow=MANURE_low(365)*(1-a1)
SNOWlow=SNOWout(365)*(1-a1)
UPPER_out=UPPERout(365)
UPPERout_low=UPPERout(365)*a2
LOWERout=LOWERout(365)
```

```
MINERADON=MINERADON(365)
MINERADONlow=MINERADONlow(365)

%Sumstay=Sumstay(365)

rainfall_snow_year=rainfall_snow_year(365)
snow_melt_year=snow_melt_year(365)
water_balance2_year=water_balance2_year(365)
dV1dt_year=dV1dt_year(365)
dV2dt_year=dV2dt_year(365)
snow_melt_year_a1=snow_melt_year*a1
snow_melt_year_(1-a1)=snow_melt_year*(1-a1)
rainfall_wet_year=rainfall_wet_year(365)
upper_reservoir_flow_year=upper_reservoir_flow_year(365)
upper_reservoir_flow_year_a2=upper_reservoir_flow_year*a2
upper_reservoir_flow_year_(1-a2)=upper_reservoir_flow_year*(1-a2)
lower_reservoir_flow_year=lower_reservoir_flow_year(365)


%-----------------------------------------------------------------

%   NH4
for i=1:L
   if (i<=365)
      insnow(i)=Cin*rainfall_snow(i)*eAkarst/1000;
      outsnow(i)=C_AM_o(i)*snow_melt(i)*eAkarst/1000;
      inrain(i)=C_AM_rain*rainfall_wet(i)*eAkarst/1000;
      outupper(i)=C_AM_upper(i)*upper_reservoir_flow(i)/1000;
      DONmanure(i)=LSF1_(i)*Vupper(i)/1000;%----------------> EDO EINAI TO PROBLIMA --------
----------
      DONmanure_low(i)=LSF1_(i)*Vlower(i)/1000;
      %Stay(i)=Cupper(i)*dV1dt(i)/1000;
      outlower(i)=C_AM_lower(i)*lower_reservoir_flow(i)/1000;
      min(i)=kminer*Cupper(i)*Vupper(i)/1000-knitri*C_AM_upper(i)*Vupper(i)/1000;
      minlower(i)=kminer*Clower(i)*Vlower(i)/1000-knitri*C_AM_lower(i)*Vlower(i)/1000;


      if i==1
         SNOWin(i)=insnow(i);
         SNOWout(i)=outsnow(i);
         RAIN(i)=inrain(i);
         UPPERout(i)=outupper(i);
         MINERADON(i)=min(i);
         MANURE(i)=DONmanure(i);
         MANURE_low(i)=DONmanure_low(i);
```

```
        %Sumstay(i)=Stay(i);
        LOWERout(i)=outlower(i);
        MINERADONlow(i)=minlower(i);

      else
        SNOWin(i)=SNOWin(i-1)+insnow(i);
        SNOWout(i)=SNOWout(i-1)+outsnow(i);
        RAIN(i)=RAIN(i-1)+inrain(i);
        UPPERout(i)=UPPERout(i-1)+outupper(i);
        MINERADON(i)=MINERADON(i-1)+min(i);
        MANURE(i)=MANURE(i-1)+DONmanure(i);
        MANURE_low(i)=MANURE_low(i-1)+DONmanure_low(i);
        %Sumstay(i)=Sumstay(i-1)+Stay(i);
        LOWERout(i)=LOWERout(i-1)+outlower(i);
        MINERADONlow(i)=MINERADONlow(i-1)+minlower(i);

      end
    end
end



%SNOWin=SNOWin(365)
%SNOWout=SNOWout(365)
NH4_RAINup=RAIN(365)*a1
NH4_RAINlow=RAIN(365)*(1-a1)
NH4_SNOWup=SNOWout(365)*a1
NH4_MANUREup=MANURE(365)*a1
NH4_MANURElow=MANURE_low(365)*(1-a1)
NH4_SNOWlow=SNOWout(365)*(1-a1)
NH4_UPPER_out=UPPERout(365)
NH4_UPPERout_low=UPPERout(365)*a2
NH4_LOWERout=LOWERout(365)
NH4_MINERADON=MINERADON(365)
NH4_MINERADONlow=MINERADONlow(365)

%Sumstay=Sumstay(365)

%-----------------------------------------------------------------

%   NO3
for i=1:L
   if (i<=365)
      insnow(i)=Cin*rainfall_snow(i)*eAkarst/1000;
      outsnow(i)=C_NO3_o(i)*snow_melt(i)*eAkarst/1000;
```

```
    inrain(i)=C_NO3_rain*rainfall_wet(i)*eAkarst/1000;
    outupper(i)=C_NO3_upper(i)*upper_reservoir_flow(i)/1000;
    DONmanure(i)=LA1_(i)*Vupper(i)/1000;
    DONmanure_low(i)=LA1_(i)*Vlower(i)/1000;
    %Stay(i)=Cupper(i)*dV1dt(i)/1000;
    outlower(i)=C_NO3_lower(i)*lower_reservoir_flow(i)/1000;
    min(i)=-
kuptake*C_NO3_upper(i)*Vupper(i)/1000+knitri*C_AM_upper(i)*Vupper(i)/1000;
    minlower(i)=-
kuptake*C_NO3_lower(i)*Vlower(i)/1000+knitri*C_AM_lower(i)*Vlower(i)/1000;


    if i==1
      SNOWin(i)=insnow(i);
      SNOWout(i)=outsnow(i);
      RAIN(i)=inrain(i);
      UPPERout(i)=outupper(i);
      MINERADON(i)=min(i);
      MANURE(i)=DONmanure(i);
      MANURE_low(i)=DONmanure_low(i);
      %Sumstay(i)=Stay(i);
      LOWERout(i)=outlower(i);
      MINERADONlow(i)=minlower(i);

    else
      SNOWin(i)=SNOWin(i-1)+insnow(i);
      SNOWout(i)=SNOWout(i-1)+outsnow(i);
      RAIN(i)=RAIN(i-1)+inrain(i);
      UPPERout(i)=UPPERout(i-1)+outupper(i);
      MINERADON(i)=MINERADON(i-1)+min(i);
      MANURE_low(i)=MANURE_low(i-1)+DONmanure_low(i);
      %Sumstay(i)=Sumstay(i-1)+Stay(i);
      LOWERout(i)=LOWERout(i-1)+outlower(i);
      MINERADONlow(i)=MINERADONlow(i-1)+minlower(i);

    end
  end
end



%SNOWin=SNOWin(365)
%SNOWout=SNOWout(365)
NO3_RAINup=RAIN(365)*a1
NO3_RAINlow=RAIN(365)*(1-a1)
```

```
NO3_SNOWup=SNOWout(365)*a1
NO3_MANUREup=MANURE(365)*a1
NO3_MANURElow=MANURE_low(365)*(1-a1)
NO3_SNOWlow=SNOWout(365)*(1-a1)
NO3_UPPER_out=UPPERout(365)
NO3_UPPERout_low=UPPERout(365)*a2
NO3_LOWERout=LOWERout(365)
NO3_MINERADON=MINERADON(365)
NO3_MINERADONlow=MINERADONlow(365)


%-----------------------------------------------------------------

%   OP
for i=1:L
   if (i<=365)
      insnow(i)=Cin*rainfall_snow(i)*eAkarst/1000;
      outsnow(i)=C_OP_o(i)*snow_melt(i)*eAkarst/1000;
      inrain(i)=C_OP_rain*rainfall_wet(i)*eAkarst/1000;
      outupper(i)=C_OP_upper(i)*upper_reservoir_flow(i)/1000;
      min(i)=-kmineralization*C_OP_upper(i)*Vupper(i)/1000;
      %Stay(i)=Cupper(i)*dV1dt(i)/1000;
      outlower(i)=C_OP_lower(i)*lower_reservoir_flow(i)/1000;
      minlower(i)=-kmineralization*C_OP_lower(i)*Vlower(i)/1000;


      if i==1
         SNOWin(i)=insnow(i);
         SNOWout(i)=outsnow(i);
         RAIN(i)=inrain(i);
         UPPERout(i)=outupper(i);
         MINERADON(i)=min(i);
         %Sumstay(i)=Stay(i);
         LOWERout(i)=outlower(i);
         MINERADONlow(i)=minlower(i);

      else
         SNOWin(i)=SNOWin(i-1)+insnow(i);
         SNOWout(i)=SNOWout(i-1)+outsnow(i);
         RAIN(i)=RAIN(i-1)+inrain(i);
         UPPERout(i)=UPPERout(i-1)+outupper(i);
         MINERADON(i)=min(i)+MINERADON(i-1);
         %Sumstay(i)=Sumstay(i-1)+Stay(i);
         LOWERout(i)=LOWERout(i-1)+outlower(i);
         MINERADONlow(i)=MINERADONlow(i-1)+minlower(i);
```

```
    end
  end
end



%SNOWin=SNOWin(365)
%SNOWout=SNOWout(365)
OP_RAINup=RAIN(365)*a1
OP_RAINlow=RAIN(365)*(1-a1)
OP_SNOWup=SNOWout(365)*a1
OP_SNOWlow=SNOWout(365)*(1-a1)
OP_UPPER_out=UPPERout(365)
OP_UPPERout_low=UPPERout(365)*a2
OP_LOWERout=LOWERout(365)
OP_MINERADON=MINERADON(365)
OP_MINERADONlow=MINERADONlow(365)


%-----------------------------------------------------------------

%   PO4
for i=1:L
  if (i<=365)
    insnow(i)=Cin*rainfall_snow(i)*eAkarst/1000;
    outsnow(i)=C_AP_o(i)*snow_melt(i)*eAkarst/1000;
    inrain(i)=C_AP_rain*rainfall_wet(i)*eAkarst/1000;
    outupper(i)=C_AP_upper(i)*upper_reservoir_flow(i)/1000;
    DONmanure(i)=LA_LSF3(i)*Vupper(i)/1000;
    DONmanure_low(i)=LA_LSF3(i)*Vlower(i)/1000;
    %Stay(i)=Cupper(i)*dV1dt(i)/1000;
    outlower(i)=C_AP_lower(i)*lower_reservoir_flow(i)/1000;

min(i)=kmineralization*C_OP_upper(i)*Vupper(i)/1000+kleaching*Cad(i)*Vupper(i)/1000-
ksorption*C_AP_upper(i)*Vupper(i)/1000;

minlower(i)=kmineralization*C_OP_lower(i)*Vlower(i)/1000+kleaching*Cad(i)*Vlower(i)/10
00-ksorption*C_AP_lower(i)*Vlower(i)/1000;


    if i==1
      SNOWin(i)=insnow(i);
      SNOWout(i)=outsnow(i);
      RAIN(i)=inrain(i);
```

```
        UPPERout(i)=outupper(i);
        MINERADON(i)=min(i);
        MANURE(i)=DONmanure(i);
        MANURE_low(i)=DONmanure_low(i);
        %Sumstay(i)=Stay(i);
        LOWERout(i)=outlower(i);
        MINERADONlow(i)=minlower(i);

      else
        SNOWin(i)=SNOWin(i-1)+insnow(i);
        SNOWout(i)=SNOWout(i-1)+outsnow(i);
        RAIN(i)=RAIN(i-1)+inrain(i);
        UPPERout(i)=UPPERout(i-1)+outupper(i);
        MINERADON(i)=MINERADON(i-1)+min(i);
        MANURE_low(i)=MANURE_low(i-1)+DONmanure_low(i);
        %Sumstay(i)=Sumstay(i-1)+Stay(i);
        LOWERout(i)=LOWERout(i-1)+outlower(i);
        MINERADONlow(i)=MINERADONlow(i-1)+minlower(i);

      end
    end
end



%SNOWin=SNOWin(365)
%SNOWout=SNOWout(365)
PO4_RAINup=RAIN(365)*a1
PO4_RAINlow=RAIN(365)*(1-a1)
PO4_SNOWup=SNOWout(365)*a1
PO4_MANUREup=MANURE(365)*a1
PO4_MANURElow=MANURE_low(365)*(1-a1)
PO4_SNOWlow=SNOWout(365)*(1-a1)
PO4_UPPER_out=UPPERout(365)
PO4_UPPERout_low=UPPERout(365)*a2
PO4_LOWERout=LOWERout(365)
PO4_MINERADON=MINERADON(365)
PO4_MINERADONlow=MINERADONlow(365)

%dlmwrite('sum.xls',[rainfall_snow'],'\t')

%a=[Tk rp p snow_index rainfall_snow rainfall_wet];
%q=[snow_melt1;snow_melt2;water_balance;snow_volume1];
%a=[Tk;rp; rainfall_wet; rainfall_snow; p'; snow_index];
%ka=[upper_reservoir_flow;lower_reservoir_flow; karst_spring_flow];
```

```
%b=a';
%w=ka';
%wk1write('aok.xls',ka')
%wk1write('aok2.xls',a')
%wk1write('wet.dat',rainfall_wet')



totalm=0;
rpsum=0;
rwsum=0;
rssum=0;
sumkain=0;
sumupp=0;
sumlow=0;
sumkarstflow=0;
sumflowerror=0;
rmsesum=0;
measum=0;
summodeled=0;
for i=1:L
rpsum=rp(i)+rpsum;
rwsum=rainfall_wet(i)+rwsum;
rssum=rainfall_snow(i)+rssum;
totalm=totalm+snow_melt(i);
sumkain=sumkain+karst_input(i);
sumupp=sumupp+upper_reservoir_flow(i);
sumlow=sumlow+lower_reservoir_flow(i);
sumkarstflow=karst_spring_flow(i)+sumkarstflow;
%---
SEF(i)=(karst_spring_flow(i)/86400-f(i))^2;
%---

measum=f(i)*86400+measum;
sumflowerror=f(i)+sumflowerror;
summodeled=karst_spring_flow(i)/86400+summodeled;
tt2(i)=i;

flowerror(i)=karst_spring_flow(i)/86400-f(i);
karst_spring_flow_sec(i)=karst_spring_flow(i)/86400;
rmsesum=rmsesum+(karst_spring_flow_sec(i)-f(i))^2;
end
```

```
wk1write('average_flow_of_august.xls',[aver'])
wk1write('karst_spring_flow.xls',[karst_spring_flow_sec'])

rp1000=rpsum/1000;
ierror=(rp1000-rwsum-rssum/Cs)*100/rp1000;
initialsv=snow_volume2(1)/eAkarst;
snowvr=snow_volume1(L)/eAkarst;

sberror=(rssum+Vso/eAkarst-totalm-snowvr)*100/rssum;
if abs(ierror)>=0.1
   rproblem='YES';
else
   rproblem='NO';
end
if abs(sberror)>=5
   sproblem='YES';
else
   sproblem='NO';
end
karsti=sumkain/eAkarst;
uppfr=sumupp/eAkarst;
lowfr=sumlow/eAkarst;
karstflow=sumkarstflow/eAkarst;
rmse=sqrt(rmsesum/L);
measuredkf=measum/eAkarst;
flowcummulativeerror=(measuredkf-karstflow)*100/measuredkf;
observed=sumflowerror/L;
averagemodeled=summodeled/L;
set(handles.edit37,'String',rp1000)
set(handles.edit38,'String',rwsum)
set(handles.edit39,'String',rssum)
set(handles.edit40,'String',ierror)
set(handles.edit41,'String',initialsv)
set(handles.edit42,'String',totalm)
set(handles.edit43,'String',snowvr)
set(handles.edit44,'String',sberror)
set(handles.edit45,'String',rproblem)
set(handles.edit46,'String',sproblem)
set(handles.edit47,'String',karsti)
set(handles.edit48,'String',uppfr)
set(handles.edit49,'String',lowfr)
set(handles.edit55,'String',karstflow)

set(handles.edit50,'String',rmse)
set(handles.edit51,'String',measuredkf)
```

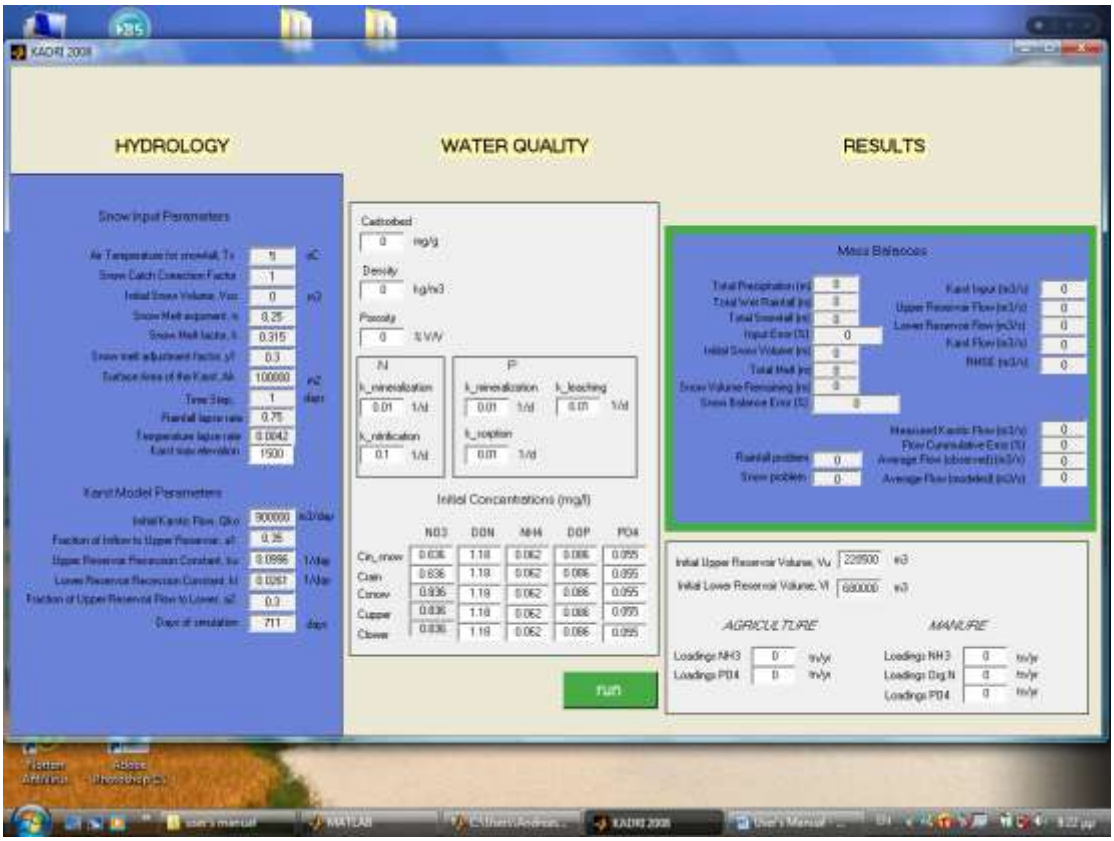
```
set(handles.edit52,'String',flowcummulativeerror)
set(handles.edit53,'String',observed)
set(handles.edit54,'String',averagemodeled)


for i=1:L
   tt2(i)=i;
end


subplot(2,2,1);plot(pp,f,pp,karst_spring_flow_sec);title('Karstic Model
Results');ylabel('Flow,m^3/s');xlabel('Time (Days)');axis([pp(1) pp(L) 0
30]);%set(gca,'XTickLabel',{tt3})
datetick('x',1)
subplot(2,2,2);plot(tt2,rainfall_wet,tt2,rainfall_snow,tt2,snow_melt);title('Precipitation-
Snowfall-Snow Melt');ylabel('Intensity, m/day');xlabel('Time (Days)');axis([0 10000 0 0.3]);
subplot(2,2,3);plot(tt2,flowerror);ylabel('Flow Error, m^3/s, m/day');xlabel('Time
(Days)');axis([0 10000 -20 40]);
subplot(2,2,4);plot(karst_spring_flow_sec,f,'.');ylabel('Flow Modeled');xlabel('Flow
Observed');
```

Παράρτημα III

User's Manual (KARSTIC-Q 2008)



<u>Περιβάλλον χρήσης:</u> Matlab Version 6 Release 12

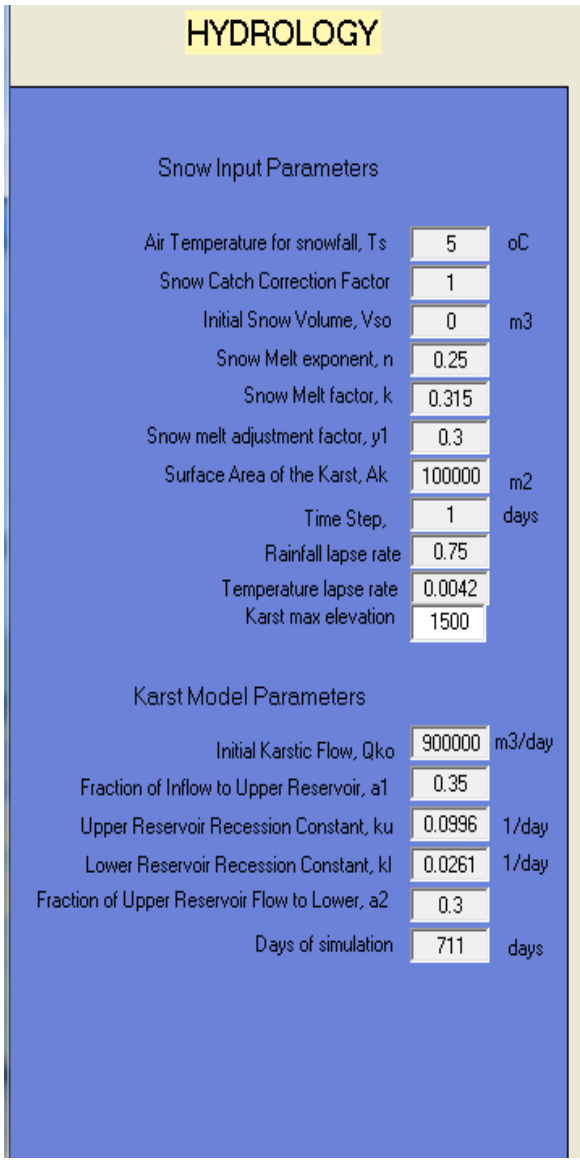
<u>Άνοιγμα μοντέλου</u>

Ανοίγουμε στην Matlab το αρχείο KARSTIC-Q.m (File → Open…) και πατάμε (Debug → Run) ή F5. Ανοίγει το KARSTIC-Q 2008.

<u>Δεδομένα και αποτελέσματα</u>

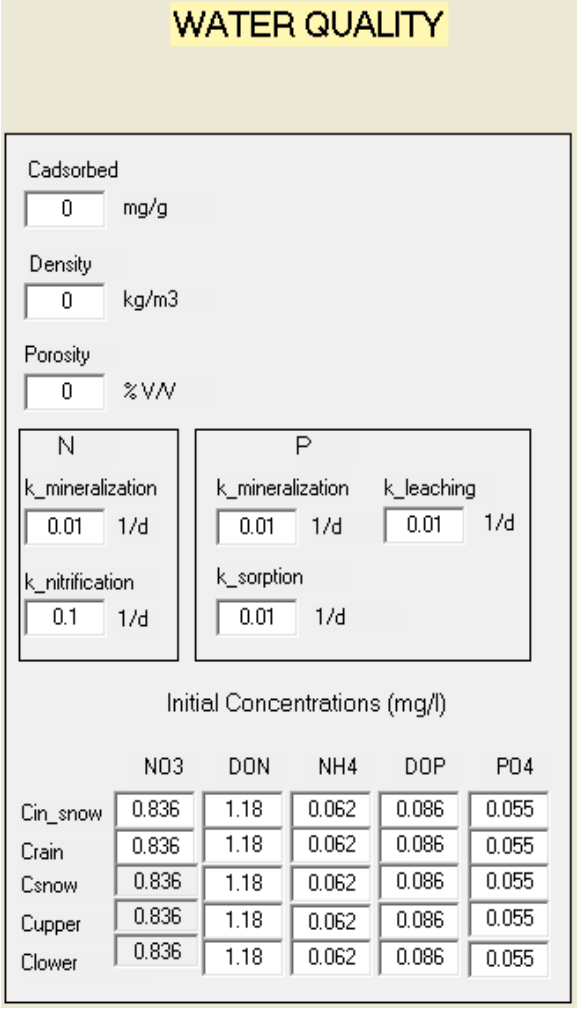
Στα πεδία HYDROLODY και WATER QUALITY εισάγουμε δεδομένα που αφορούν την υδρολογία και την ποιότητα των νερών. Στα πεδία RESULTS εμφανίζονται τα αποτελέσματα μετά το τρέξιμο του μοντέλου.

Εισαγωγή Παραμέτρων Υδρολογίας

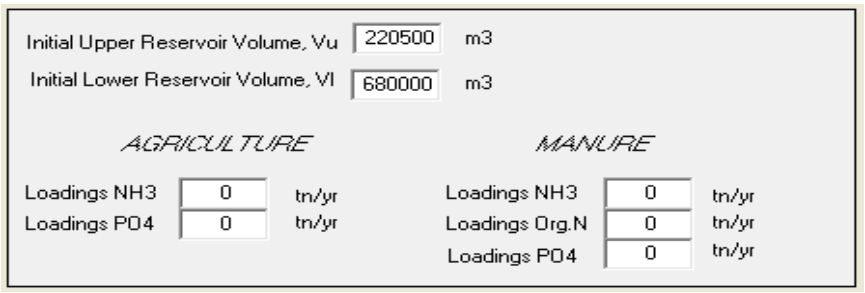


1. Ελάχιστη θερμοκρασία όπου αρχίζει η τήξη του χιονιού (^{o}C) (Air Temperature for snowfall, Ts)
2. Συντελεστής διόρθωσης του χιονιού (Snow Catch Correction Factor)
3. Αρχικός όγκος χιονιού (m^3) (Initial Snow Volume, Vso)
4. Εκθέτης στην εξίσωση τήξης του χιονιού όταν δεν υπάρχει βροχή (Snow Melt exponent, n)
5. Συντελεστής στην εξίσωση τήξης του χιονιού όταν δεν υπάρχει βροχή (Snow Melt factor, k)
6. Συντελεστής στην εξίσωση τήξης του χιονιού όταν υπάρχει βροχή (Snow melt adjustment factor, y1)
7. Επιφάνεια του καρστικού (m^2) (Surface Area of the Karst, Ak)
8. Χρονικό βήμα (days) (Time Step)
9. Βροχοβαθμίδα (Rainfall lapse rate)
10. Θερμοβαθμίδα (Temperature lapse rate)
11. Μέγιστο υψόμετρο του καρστικού (Karst max elevation)
12. Αρχική καρστική ροή (m^3/day) (Initial Karstic Flow, Qko)
13. Ποσοστό του νερού από την βροχή και την τήξη του χιονιού που εισέρχεται στον ανώτερο ταμιευτήρα (Fraction of Inflow to Upper Reservoir, a1)
14. Συντελεστής στείρευσης για τον ανώτερο ταμιευτήρα (1/day) (Upper Reservoir Recession Constant, ku)
15. Συντελεστής στείρευσης των πηγών για τον κατώτερο ταμιευτήρα (1/day) (Lower Reservoir Recession Constant, kl)
16. Ποσοστό του νερού του ανώτερου ταμιευτήρα που εισρέει στον κατώτερο (Fraction of Upper Reservoir Flow to Lower, a2)
17. Ημέρες προσομοίωσης (days) (Days of simulation)

Εισαγωγή Παραμέτρων Ποιότητας



1. Συγκέντρωση προσροφημένου φωσφόρου στα ιζήματα (mg/g) (Cadsorbed)
2. Πυκνότητα (kg/m^3) (Density)
3. Πορώδες (% V/V) (Porosity)
4. Συντελεστής ανοργανοποίησης (1/day) (k_mineralization)
5. Συντελεστής νιτροποίησης (1/day) (k_nitrification)
6. Συντελεστής ανοργανοποίησης (1/day) (k_mineralization)
7. Συντελεστής εκχύλισης (1/day) (k_leaching)
8. Συντελεστής προσρόφησης (1/day) (k_sorption)
9. Συγκεντρώσεις στοιχείου στο χιόνι (mg/l) (Cin _snow)
10. Συγκεντρώσεις στοιχείου στη βροχή (mg/l) (Crain)
11. Αρχικές συγκεντρώσεις στοιχείου στον ταμιευτήρα του χιονιού (mg/l) (Csnow)
12. Αρχικές συγκεντρώσεις στοιχείου στον ανώτερο ταμιευτήρα (mg/l) (Cupper)
13. Αρχικές συγκεντρώσεις στοιχείου στον κατώτερο ταμιευτήρα (mg/l) (Clower)



14. Αρχικός όγκος του ανώτερου ταμιευτήρα (m^3) (Initial Upper Reservoir Volume, Vu)
15. Αρχικός όγκος του κατώτερου ταμιευτήρα (m^3) (Initial Lower Reservoir Volume, Vl)
16. Φορτίσεις νιτρικών από τη γεωργία (tn/yr) (Loadings NO_3)
17. Φορτίσεις φωσφορικών από τη γεωργία (tn/yr) (Loadings PO_4)
18. Φορτίσεις αμμωνίας από την κτηνοτροφία (tn/yr) (Loadings NH_3)
19. Φορτίσεις οργανικού αζώτου από την κτηνοτροφία (tn/yr) (Loadings Org.N)
20. Φορτίσεις φωσφορικών από την κτηνοτροφία (tn/yr) (Loadings PO_4)

Επίσης δεδομένα εισάγονται στο μοντέλο από αρχείο txt πατώντας το κουμπί

και επιλέγοντας το αρχείο txt που θέλουμε (τα δεδομένα αυτά αφορούν ημερομηνία, θερμοκρασία, βροχόπτωση και παροχή).

Αποτελέσματα εμφανίζονται και ως διαγράμματα αφού πατήσουμε το κουμπί

και επιλέξουμε το αρχείο txt. Τέλος, με το τρέξιμο του μοντέλου εξάγεται και ένα αρχείο excel (.xls) με αποτελέσματα που έχει υπολογίσει το μοντέλο. Την ονομασία του αρχείου και τις μεταβλητές (αποτελέσματα) που θα περιέχει το αρχείο excel μπορούμε να τις ορίσουμε στην εντολή dlmwrite ως εξής: dlmwrite ('aaa.xls',[C_NO3_']) όπου aaa.xls η ονομασία του αρχείου και C_NO3_' η μεταβλητή συγκέντρωσης νιτρικών. Αν αντί της συγκέντρωσης νιτρικών θέλουμε μία άλλη μεταβλητή, αντικαθιστούμε στην εντολή το C_NO3_ με μία από τις μεταβλητές που υπάρχουν στον παρακάτω πίνακα. Πάντα, μετά την μεταβλητή βάζουμε την απόστροφο (') για να μας δοθούν τα αποτελέσματα σε στήλη και όχι σε γραμμή. Το αρχείο excel εξάγεται στην τοποθεσία όπου ανοίξαμε το αρχείο KARSTIC-Q.fig

Μεταβλητές	**περιγραφή**
C_AP_	Συγκέντρωση ανόργανου φωσφόρου (φωσφορικά PO_4) mg/l
C_OP_	Συγκέντρωση οργανικού φωσφόρου mg/l
C_NO3_	Συγκέντρωση νιτρικών (NO_3) mg/l
C_AM_	Συγκέντρωση αμμωνίας (NH_3) mg/l
C	Συγκέντρωση οργανικού αζώτου mg/l
karst_spring_flow	Παροχή πηγών - m3/day
upper_reservoir_flow	Παροχή Upper Reservoir – m3/day
lower_reservoir_flow	Παροχή Lower Reservoir – m3/day

Προσοχή!

Για να τρέξει το μοντέλο και να εξάγει το αρχείο excel (π.χ. aaa.xls) με τα αποτελέσματα πρέπει το αρχείο aaa.xls να είναι κλειστό.

Δημιουργώντας το αρχείο txt

Το αρχείο txt δημιουργείται από το πρόγραμμα excel. Στην 1η στήλη εισάγουμε δεδομένα ημερομηνίας στη μορφή ΜΜ/ΗΗ/ΕΕ (όπου ΜΜ ο μήνας, ΗΗ η ημέρα, ΕΕ το έτος, π.χ. 12/30/2008). Στην 2η στήλη εισάγουμε δεδομένα θερμοκρασίας. Στην 3η στήλη δεδομένα βροχόπτωσης. Στην 4η στήλη δεδομένα παροχής. Όταν έχουμε τελειώσει με την εισαγωγή δεδομένων αποθηκεύουμε το αρχείο στο excel ως εξής. Πατάμε αποθήκευση ως, και εν συνεχεία δίνουμε ένα όνομα αρχείου και επιλέγουμε να το αποθηκεύσουμε σε μορφή Κείμενο (Οριοθετημένο με Tab). Στα παράθυρα που θα εμφανιστούν πατάμε ΟΚ και ΝΑΙ.

Εκτέλεση προγράμματος KARSTIC-Q 2008

Αφού εισάγουμε τιμές στα πεδία HYDROLOGY και WATER QUALITY τρέχουμε το μοντέλο πατώντας

Αναζητούμε το αρχείο txt που περιέχει τα δεδομένα θερμοκρασίας και βροχόπτωσης και το ανοίγουμε.