ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΥΔΡΟΓΕΩΧΗΜΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΕΔΑΦΩΝ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«Υδρογεωλογική Ανάλυση και Περιβαλλοντική Διαχείριση της Λεκάνης Απορροής των ποταμών Λουτάνη και Πελέμονη, Νήσου Ρόδου»

ΧΡΗΣΤΟΣ Χ. ΓΑΜΒΡΟΥΔΗΣ

Εξεταστική Επιτροπή

Νικολαΐδης Νικόλαος (Επιβλέπων)

Καρατζάς Γεώργιος

Παλαιολόγος Ευάγγελος

Χανιά, 2009

«ο άνθρωπος είναι το μεγαλύτερο
θηρίο και μπορεί να καταφέρει τα πάντα»

Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στους ανθρώπους, που χωρίς τη καθοριστική συμβολή τους δεν θα ήταν δυνατή η επιτυχής ολοκλήρωσή της.

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω :

- Τον επιβλέποντα Καθηγητή κ. Νικόλαο Νικολαΐδη, για τη συνεχή και πολύτιμη συνεργασία κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της μελέτης αυτής, για τις γνώσεις που μου προσέφερε καθώς και για τις πολύτιμες συμβουλές και υποστήριξη για τη συνέχεια των σπουδών μου.
- Τον κ. Γεώργιο Καρατζά για την συνεργασία, βοήθεια και επιστημονική εμπειρία του.
- Θα ήθελα να ευχαριστήσω την κ. Τζωράκη Ουρανία, τον κ. Μωραΐτη Δανιήλ, την κ. Ανδρουλάκη Άννα και την κ. Δόκου Ζωή για την συνεργασία, υποστήριξη και μετάδοση γνώσεων που μου προσέφεραν.
- Τον Καθηγητή κ. Ευάγγελο Παλαιολόγο, μέλος της τριμελής επιτροπής.

Ευχαριστώ θερμά τον Δήμαρχο Αφάντου κ. Σάββα Διακοσταματίου για την ουσιαστική συμμετοχή του. Αρωγός στην ολοκλήρωση της εργασίας ήταν η συνεργασία με τον κ. Μιχάλη Λόγγο, Πρόεδρο της Δ.Ε.Υ.Α.Ρ. Αφάντου καθώς και με τον κ. Παπαμιχαήλ Κυριάκο, Διευθυντή της Δ.Ε.Υ.Α.Ρ. Αφάντου. Πολύτιμη ήταν η συμβολή του κ. Λαουδίκου Γιώργου κατά την διάρκεια των δειγματοληψιών.

Ευχαριστώ επίσης όλους όσους συνεισέφεραν στην παροχή των αναγκαίων στοιχείων για την εκπόνηση της παρούσης εργασίας και ιδιαίτερα τους κ. Σάββα Γιαννίκη, Προϊστάμενο του Τμήματος Ανάπτυξης Φυσικών Πόρων-Τομέας Εγγ. Βελτιώσεων και Φυσικών Πόρων, Ρόδου καθώς και τον κ. Γιώργο Λενιού. Τον κ. Μιχάλη Παναγιώτου, Πρόεδρο της Δ.Ε.Υ.Α. Ρόδου, τον κ. Παναγιώτη Κανάκη, Προϊστάμενο Τεχνικών Υπηρεσιών Δ.Ε.Υ.Α. Ρόδου καθώς και τον κ. Γιώργο

Κυρμιχάλη, Γεωλόγο της Δ.Ε.Υ.Α. Ρόδου. Επίσης τον κ. Ιωάννη Κυπραίο, Γεωλόγο και τον κ. Νίκο Χαραλάμπη, Διευθυντή Δ.Ε.Υ.Α. Καλλιθέας για την πολύτιμη βοήθεια τους.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τους γονείς μου οι οποίοι με στήριξαν και με στηρίζουν με κάθε τρόπο, τους συγγενείς μου καθώς και τους φίλους μου για την ηθική υποστήριξη.

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του Μεταπτυχιακού Προγράμματος Ειδίκευσης ««Έλεγχος Ποιότητας και Διαχείριση Περιβάλλοντος» του τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος, του Πολυτεχνείου Κρήτης, και στα πλαίσια του Προγράμματος «AQUA : Βιώσιμη Διαχείριση Υδατικών Πόρων Δήμου Αφάντου, νήσου Ρόδου».

Η εργασία αυτή έχει ως στόχο την ολοκληρωμένη και βιώσιμη διαχείριση των υδατικών πόρων της ευρύτερης περιοχής του Δήμου Αφάντου, ώστε να συμβάλλει στην αναβάθμιση του περιβάλλοντος, στην κοινωνική συνοχή, στην οικονομική προστιθέμενη αξία και γενικότερα στην αναβάθμιση της ποιότητας ζωής των πολιτών. Η καλύτερη διαχείριση των υδατικών πόρων αποκτά όλο και μεγαλύτερη σημασία, δεδομένου ότι οι ωφέλειες που προκύπτουν είναι μεγάλες, χωρίς να απαιτούνται σημαντικοί οικονομικοί πόροι.

Στο **Κεφάλαιο 1** παρουσιάζεται εν συντομία το πρόβλημα διαχείρισης των υδατικών πόρων στην Ελλάδα αλλά και στη νήσο Ρόδο. Γίνεται αναφορά στην Ευρωπαϊκή Οδηγία 2000/60/ΕΚ και τους στόχους που αυτή θέτει.

Στο **Κεφάλαιο 2** γίνεται αποτύπωση της υπάρχουσας κατάστασης περιγράφοντας στοιχεία της περιοχής μελέτης, όπως υδρολογικά, υδρογεωλογικά, μορφολογικά, κλιματολογικά, στοιχεία χρήσεων γης κ.α .

Στο **Κεφάλαιο 3** γίνεται ανάλυση των ιστορικών υδρομετεωρολογικών δεδομένων ενώ στο **Κεφάλαιο 4** γίνεται αξιολόγηση της ποιότητας των υδάτων εξετάζοντας φυσικοχημικές παραμέτρους.

Στο **Κεφάλαιο 5** παρουσιάζεται η μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε κατά την μοντελοποίηση της υδρολογίας της περιοχής με τον μοντέλο ETD, συνυπολογίζοντας την απόκριση των καρστικών πηγών, καθώς επίσης και εκτιμώντας τα υπόγεια γεωλογικά υδατικά αποθέματα με τον κώδικα PTC.

Τέλος στο **Κεφάλαιο 6** γίνεται σύνθεση των αποτελεσμάτων, αξιολογούνται εναλλακτικές προτάσεις αντιμετώπισης λειψυδρίας και αξιοποίησης των υδατικών αποθεμάτων. Ιεραρχούνται οι περιοχές παρέμβασης και παρουσιάζονται προτάσεις δράσεις (έργων και μέτρων) και πολιτικές σχετικά με τη διαχείριση των υδατικών πόρων.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΧΑΡΤΩΝ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1.1 Εισαγωγή – Οδηγία Πλαίσιο

Το νερό δεν είναι εμπορικό προϊόν όπως όλα τα άλλα, αποτελεί κληρονομιά που πρέπει να προστατεύεται και να τυγχάνει κατάλληλης μεταχείρισης. Νερό και ζωή είναι αναπόσπαστα συνδεδεμένες έννοιες και χωρίς νερό δεν μπορεί να υπάρξει ζωή, τουλάχιστον όπως τη γνωρίζουμε. Οι υδατικοί πόροι συμβάλλουν ουσιαστικά στην εξέλιξη της ζωής, στον ανθρώπινο πολιτισμό και έχουν διαδραματίσει έναν κρίσιμο ρόλο στις κοινωνικοοικονομικές εξελίξεις. Η βιώσιμη διαχείριση των υδατικών πόρων γίνεται ολοένα και περισσότερο σύνθετη λόγω της πεπερασμένης διάθεσης τους, λόγω της κατάχρησης και κακοδιαχείρισης τους, που έχει σαν αποτέλεσμα τον περιορισμό της διαθεσιμότητας τους. Τα προβλήματα που συνδέονται με τους υδατικούς πόρους και τη χρήση τους (υγεία, βιομηχανία, αγροτική παραγωγή, τουρισμός, οικονομική ανάπτυξη κ.α.) σε συνδυασμό με τις γενικότερες περιβαλλοντικές πιέσεις που προέρχονται από τη πληθυσμιακή αύξηση (μεγαλύτερες απαιτήσεις για άρδευση και μεγαλύτερες ανάγκες σε νερό παγκοσμίως, έντονες και απρόβλεπτες κλιματολογικές αλλαγές), οξύνονται από την όλο ένα και μεγαλύτερη απαίτηση σε νερό. Ο ανταγωνισμός αυτός είναι εντονότερος στις ξηρές και ημίξηρες περιοχές, όπου η έλλειψη νερού ήταν και εξακολουθεί να είναι ακόμη, ένα φαινόμενο που παίζει καθοριστικό ρόλο στη διαμόρφωση πολιτικών, κοινωνικών και οικονομικών σχέσεων.

Η μακροχρόνια ολοκληρωμένη διαχείριση των υδάτινων πόρων, ορίζει μια σημαντική πρόκληση για την παγκόσμια κοινότητα και μπορεί να ενισχύσει τη χάραξη διεθνούς πολιτικής και διπλωματίας. Η ανάπτυξη αποδοτικών σχεδίων διαχείρισης τόσο των θαλάσσιων τόσο και των εσωτερικών υδάτων είναι κρίσιμη για την επιβίωση μας και πρέπει να είναι πρωταρχικός στόχος σε εθνικό και διεθνές επίπεδο. Δεδομένων των πολυάριθμων και αυξανόμενων πιέσεων στους υδατικούς πόρους, είναι ζωτικής σημασίας η ύπαρξη αποτελεσματικών θεσμικών οργάνων και

μέτρων που θα αντιμετωπίσουν αποτελεσματικά τα προβλήματα και θα βοηθήσουν στην εξασφάλιση αυτών των πόρων για τις επόμενες γενεές.

Η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει προχωρήσει στην ανάπτυξη κατάλληλου θεσμικού πλαισίου για την προστασία των υδατικών πόρων στα κράτη-μέλη της *(Οδηγία 2000/60/ΕΚ, 2000).*

Στην Ελλάδα παρατηρείται μια πολυδιάσπαση αρμοδιοτήτων, χρηστών και φορέων, που εμπλέκονται στη διαχείριση των υδατικών πόρων. Το νομικό και θεσμικό πλαίσιο χαρακτηρίζεται από πολυνομία, έλλειψη συντονισμού μεταξύ των συναρμόδιων φορέων και έλλειψη μακροχρόνιου σχεδιασμού με αποτέλεσμα να μην επιτυγχάνεται μια ορθολογική ολοκληρωμένη και ενιαία πολιτική διαχείρισης, αλλά μια αποσπασματική αντιμετώπιση των προβλημάτων. Η σπατάλη χρηματικών αλλά και υδατικών πόρων έρχεται ως φυσική συνέπεια της απουσίας συνολικής και ολοκληρωμένης διαχείρισης. Η Ελλάδα είναι μικρή σε έκταση (132.000 km^2) με έντονο ανάγλυφο, περιορισμένη ενδοχώρα και μεγάλο ανάπτυγμα ακτών. Παρατηρείται μια πολυδιάσπαση του χώρου σε μικρές λεκάνες απορροής, καθεμία από τις οποίες έχει διαφορετικά προβλήματα και επομένως απαιτεί διαφορετική διαχειριστική πολιτική. Η Ελλάδα παρά τον φυσικό της πλούτο σε υδατικούς πόρους και την καλή, σε γενικές γραμμές, ποιότητα των επιφανειακών και υπόγειων υδάτων παρουσιάζει συχνά προβλήματα διαθεσιμότητας νερού σε πολλές περιοχές λόγω της άνισης κατανομής των πόρων και λόγω της έντονης μορφολογίας του εδάφους.

Σύμφωνα με επίσημα στοιχεία, σήμερα μόνο το 25% των επιφανειακών υδάτων αξιοποιείται, επιβεβαιώνοντας έτσι την άποψη ότι δεν τίθεται πρόβλημα επάρκειας υδατικών πόρων, αλλά πρόβλημα πολιτικής διαχείρισης τους *(Χατζημπίρος, 2001).*

Η έλλειψη οποιασδήποτε ορθολογιστικής διαχείρισης των υδατικών πόρων είναι ένα πρόβλημα που αφορά όλη την Ελλάδα, και κυρίως τα νησιά του Αιγαίου όπου το πρόβλημα εμφανίζεται ιδιαίτερα διογκωμένο και απαιτεί άμεση προσοχή. Παράγοντες όπως γεωγραφική θέση, πληθυσμός, τουρισμός, γεωλογική δομή και

περιορισμένες βροχοπτώσεις επιδεινώνουν την κατάσταση. Χιλιάδες γεωτρήσεις (νόμιμες και μη) υπεραντλούν τους υπόγειους υδατικούς πόρους με άμεσες επιπτώσεις τη διαταραχή του υδατικού ισοζυγίου, με ιδιαίτερα μεγάλες πτώσεις της στάθμης στους υδροφορείς, την επέκταση του φαινομένου της υφαλμύρινσης των παράκτιων υδροφορέων και τη ρύπανση των υπόγειων και επιφανειακών υδάτων από λιπάσματα, βιομηχανικά και αστικά λύματα κλπ. Η εκμετάλλευση των υπόγειων νερών στη χώρα μας υπερβαίνει τη δυνατότητα ανανέωσής τους από τις βροχοπτώσεις και τις απορροές.

Η Ελλάδα έχει εναρμονίσει πλήρως το θεσμικό της πλαίσιο με την Οδηγία Πλαίσιο για τα νερά *(Νόμος 3199/2003 - ΦΕΚ 280Α/9-12-03),* ενώ έχουν συσταθεί και προωθείται η οργάνωση και αποτελεσματική λειτουργία των διοικητικών δομών που προβλέπονται από αυτό. Ο Νόμος ενσωματώνει τις βασικές έννοιες της Οδηγίας για τους υδατικούς πόρους και ταυτόχρονα συγκροτεί τη νέα διοικητική δομή και καθορίζει τις αρμοδιότητες των επιμέρους φορέων, τόσο σε επίπεδο Περιφέρειας, όσο και σε Εθνικό επίπεδο *(http://www.hydromedia.gr).*

Τα τελευταία χρόνια οι επιπτώσεις των κλιματικών αλλαγών είναι περισσότερο εμφανείς λόγω της υπερθέρμανσης του πλανήτη και γενικότερα εμφανίζεται μια ευρύτερη αποσταθεροποίηση του κλίματος, που έχει οδηγήσει από τη μια σε μεγάλες περιόδους ανομβρίας και από την άλλη σε βροχοπτώσεις ακραίας έντασης. Το 2000 το Κοινοβούλιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης εξέδωσε μια Οδηγία Πλαίσιο για την προστασία του υδρόβιου περιβάλλοντος – Οδηγία Πλαίσιο (Water Framework Directive) για την προστασία των υδατικών πόρων *(Οδηγία 2000/60/ΕΚ, 2000).*

Η Οδηγία 2000/60/ΕΚ αναμορφώνει την υφιστάμενη Ευρωπαϊκή Νομοθεσία και θέτει το νομοθετικό πλαίσιο για την ορθή διαχείριση και προστασία των επιφανειακών και υπόγειων υδατικών πόρων καθώς και των υδρόβιων οικοσυστημάτων, στοχεύοντας στην αποτροπή της περαιτέρω υποβάθμισης όλων των υδάτων και στην επίτευξη «καλής οικολογικής ποιότητας» μέχρι το 2015, στην

αειφόρο ανάπτυξη των πόρων και στην εξασφάλιση επαρκών ποσοτήτων νερού για τις διάφορες χρήσεις *(Οδηγία 2000/60/ΕΚ, 2000).*

Η Οδηγία Πλαίσιο για την προστασία των υδατικών πόρων, μεταξύ άλλων :

- Προστατεύει όλα τα επιφανειακά και υπόγεια υδάτινα σώματα.
- Έχει ως στόχο την εξασφάλιση οικολογικής «καλής κατάστασης» μέχρι το 2015 σε όλα τα υδάτινα σώματα.
- Δημιουργεί σύστημα διαχείρισης σε επίπεδο λεκάνης απορροής ποταμού.
- Απαιτεί διασυνοριακή συνεργασία μεταξύ των χωρών και όλων των εμπλεκομένων μερών, (στην περίπτωση των διεθνών περιοχών λεκάνης απορροής ποταμού).
- Εξασφαλίζει ενεργό συμμετοχή όλων των φορέων, συμπεριλαμβανομένων των μη κυβερνητικών οργανισμών και των τοπικών αρχών, στις δραστηριότητες της διαχείρισης των υδάτων.
- Εξασφαλίζει την μείωση και τον έλεγχο της ρύπανσης από όλες τις πηγές όπως η γεωργία, η βιομηχανική δραστηριότητα, οι αστικές περιοχές, κ.λπ.
- Απαιτεί πολιτικές τιμολόγησης του νερού και εξασφαλίζει ότι ο ρυπαίνων πληρώνει.
- Εξισορροπεί τα συμφέροντα του περιβάλλοντος με τα συμφέροντα αυτών που εξαρτώνται από αυτό.

Η Οδηγία Πλαίσιο κατηγοριοποιεί τα επιφανειακά σώματα σε πέντε κατηγορίες οικολογικής ποιότητας («Υψηλή», «Καλή», «Μέτρια», «Φτωχή» και «Κακή») και τα υπόγεια αντίστοιχα σε δύο («Καλή» και «Κακή»). Τα επιφανειακά καθώς και τα υπόγεια σώματα πρέπει σύμφωνα με την Οδηγία να επιτύχουν «Καλή οικολογική ποιότητα», ή να είναι σε «Καλή κατάσταση». Τα χερσαία οικοσυστήματα που εξαρτώνται άμεσα από τα υδρόβια οικοσυστήματα, όπως π.χ. οι βαλτότοποι και τα παράκτια λιβάδια, καλύπτονται επίσης από τις διατάξεις της Οδηγίας. Η Οδηγία καθιερώνει ως μοντέλο διαχείρισης των υδατικών πόρων, την ολοκληρωμένη διαχείριση σε επίπεδο λεκάνης απορροής ποταμού. Για κάθε περιοχή λεκάνης

απορροής ποταμού καθορίζει, μια σειρά από απαραίτητες ενέργειες που θα πρέπει να υλοποιηθούν εντός των καθορισμένων προθεσμιών, ώστε ο βασικός στόχος της Οδηγίας που είναι η αποτροπή της περαιτέρω υποβάθμισης όλων των υδάτων και η επίτευξη μιας «καλής κατάστασης» να επιτευχθεί μέχρι το 2015. Ωστόσο για συγκεκριμένα υδατικά συστήματα, εφόσον πληρούνται ορισμένες προϋποθέσεις, η Οδηγία προβλέπει παράταση της προθεσμίας αυτής ή και επιδίωξη περιβαλλοντικών στόχων λιγότερο αυστηρών από αυτούς που απαιτούνται κανονικά. Καλή κατάσταση των επιφανειακών υδάτινων σωμάτων θεωρείται η κατάσταση που επιτυγχάνεται όταν η οικολογική καθώς και η χημική του κατάσταση είναι τουλάχιστον «καλές» και ο συγκεκριμένος τύπος παρεκκλίνει ελαφρώς από αυτό που θεωρείται αδιατάρακτη κατάσταση. Αντίστοιχα καλή κατάσταση των υπογείων υδάτινων σωμάτων επιτυγχάνεται όταν η ποσοτική καθώς και η χημική κατάσταση είναι τουλάχιστον «καλές». Το επίπεδο του υπογείου υδροφορέα δεν υπόκειται σε ανθρωπογενείς αλλαγές ή πιέσεις που έχουν επιπτώσεις στην κατάσταση των υπογείων νερών και των χερσαίων οικοσυστημάτων που εξαρτώνται άμεσα από τους υδατικούς πόρους *(Οδηγία 2000/60/ΕΚ, 2000).*

Η Οδηγία Πλαίσιο για τα νερά αποτελεί μια τεράστια καινοτόμο προσπάθεια, σε επίπεδο Ευρωπαϊκής Ένωσης, για την ορθή προστασία και χρήση όλων των υδάτων ώστε να εξασφαλιστεί η αειφόρος χρήση του νερού σε ολόκληρη την Ευρώπη. Η Ευρωπαϊκή Ένωση έθεσε τους στόχους και τις βάσεις με την Οδηγία και τώρα αναμένεται από κάθε κράτος μέλος να αξιολογήσει την υπάρχουσα κατάσταση και τις ιδιαιτερότητες των υδατικών του πόρων και να διαμορφώσει τη δική του εθνική στρατηγική.

1.2 Η μελέτη διαχείρισης των υδατικών πόρων του Δήμου Αφάντου

Στη νήσο Ρόδο, η φυσική αναπλήρωση των υπόγειων υδάτων είναι περιορισμένη λόγο της γεωμορφολογίας, της ελάττωσης ων βροχοπτώσεων καθώς και λόγω του ότι μεγάλο μέρος των δασών της νήσου έχει καταστραφεί τα τελευταία χρόνια από πυρκαγιές, αυξάνοντας κατά πολύ τη διάβρωση των εδαφών, μειώνοντας έτσι τη φυσική δυνατότητα συγκράτησης του νερού. Τα επιφανειακά νερά που διαρρέουν τα υδατορέματα της νήσου δεν παρουσιάζουν μόνιμη ροή, και κατά τους καλοκαιρινούς μήνες η ροή τους μηδενίζεται. Στη νήσο Ρόδο, υπάρχει μια έντονη εποχικότητα της ζήτησης σε νερό η οποία δεν οφείλεται μόνο από τον τουρισμό αλλά και από τη γεωργία με τη μέγιστη κατανάλωση της να γίνεται κατά τους θερινούς μήνες.

Η νήσος Ρόδος, καλύπτει τις σημερινές ανάγκες της σε υδατικούς πόρους κυρίως από γεωτρήσεις και από πηγές. Σύμφωνα με στοιχεία του Τμήματος Ανάπτυξης Φυσικών Πόρων – Τομέας Εγγ. Βελτιώσεων και Φυσικών Πόρων οι ανάγκες για την υδροδότηση των μονίμων κατοίκων καθώς και των τουριστικών εγκαταστάσεων της νήσου Ρόδου, ανέρχονται σε 18.657.500 m^3/έτος ενώ για την άρδευση των αρδευομένων εκτάσεων χρειάζονται 13.609.600 m^3/έτος.

Η επιτυχής εφαρμογή της Οδηγίας Πλαίσιο σε τοπικό επίπεδο λεκάνης απορροής, λαμβάνοντες υπόψη τις ιδιαιτερότητες κάθε περιοχής απαιτεί λοιπόν το σχεδιασμό ενός πλάνου διαχείρισης των υδατικών πόρων.

Για το λόγο αυτό ανατέθηκε στο τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος του Πολυτεχνείου Κρήτης και συγκεκριμένα στο Εργαστήριο Υδρογεωχημικής Μηχανικής και Αποκατάστασης Εδαφών η σύνταξη μελέτης διαχείρισης των υδατικών πόρων της ευρύτερης περιοχής του Δήμου Αφάντου. Η Δ.Ε.Υ.Α.Αφάντου, νήσου Ρόδου, νομού Δωδεκανήσου θα εφαρμόσει με την υλοποίηση της συγκεκριμένης εργασίας ένα συνεχές πρόγραμμα αναδιοργάνωσης, λειτουργώντας στα πλαίσια μιας σύγχρονης επιχείρησης θέτοντας συνεχώς νέους στόχους μέσω συγκεκριμένων ενεργειών

εξετάζοντας το σύνολο των αναγκών σε νερό, ρυθμίζοντας τη ζήτησή του, αυξάνοντας την αποτελεσματικότητα στη χρήση του νερού, και τέλος εξετάζοντας το κόστος σε σχέση με τα οφέλη για την κοινωνία και το περιβάλλον. Όλα αυτά σε συνδυασμό με μέτρα παρακολούθησης της ποιότητας των νερών, πρόληψη της ρύπανσης και μέτρα αποκατάστασης.

Η Μελέτη αυτή έχει ως στόχο την ολοκληρωμένη και βιώσιμη διαχείριση των υδατικών πόρων της ευρύτερης περιοχής του Δήμου Αφάντου, ώστε να συμβάλλει στην αναβάθμιση του περιβάλλοντος, στην κοινωνική συνοχή, στην οικονομική προστιθέμενη αξία και γενικότερα στην αναβάθμιση της ποιότητας ζωής των πολιτών. Η καλύτερη διαχείριση των υδατικών πόρων αποκτά όλο και μεγαλύτερη σημασία, δεδομένου ότι οι ωφέλειες που προκύπτουν είναι μεγάλες, χωρίς να απαιτούνται σημαντικοί οικονομικοί πόροι.

Τα προβλήματα που συνδέονται με τη διαχείριση των υδατικών πόρων τόσο σε εθνικό όσο και σε παγκόσμιο επίπεδο και που καλείται να αντιμετωπίσει και να επιλύσει η Δ.Ε.Υ.Α.Αφάντου ως φορέας διαχείρισης των υδατικών πόρων είναι μεταξύ άλλων:

- Η έλλειψη μιας ενιαίας και συνολικής προσέγγισης της διαχείρισης των υδατικών πόρων.
- Η ανάγκη για την καταπολέμηση των ακραίων καιρικών φαινομένων και ιδιαίτερα πλημμυρών και τη διάβρωση του εδάφους που τα τελευταία χρόνια έχουν αυξηθεί.
- Η ανάγκη για την καταπολέμηση της αυξανόμενης ρύπανσης.
- Η ανάγκη για μείωση του κόστους διαχείρισης των υδατικών πόρων.
- Η ανάγκη για χρήση της σύγχρονης τεχνολογίας.

Συνεπώς για να εξασφαλιστεί η παροχή πόσιμου νερού στους καταναλωτές πρέπει να καταγραφεί και να αξιολογηθεί η υφιστάμενη κατάσταση των υδατικών πόρων της ευρύτερης περιοχής του Δήμου Αφάντου εφαρμόζοντας τη σύγχρονη νομοθεσία, ιεραρχώντας, προστατεύοντας και συντηρώντας τις περιοχές παρέμβασης και τέλος αξιολογώντας εναλλακτικές προτάσεις αντιμετώπισης της λειψυδρίας και της βιώσιμης διαχείρισης των υδατικών πόρων. Η εργασία αυτή θα αποτελέσει «μελέτη ωρίμανσης» των προτεινόμενων έργων.

Συγκεκριμένα η εργασία Διαχείρισης των Υδατικών Πόρων του Δήμου Αφάντου περιλαμβάνει :

- Αποτύπωση της υπάρχουσας κατάστασης σε επίπεδο λεκάνης απορροής.
- Δημιουργία βάσης δεδομένων που να εμπεριέχει όλα τα σχετικά σύγχρονα στοιχεία και δεδομένα που λήφθηκαν υπόψη κατά την εκπόνηση της εργασίας.
- Μελέτη του καρστικού υδροφορέα.
  - Μελέτη της απόκρισης των καρστικών πηγών του Δήμου και δημιουργία μοντέλου πρόβλεψης των παροχών με βάση τα υδρομετεωρολογικά δεδομένα.
  - Σύγκριση των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης του μοντέλου με υπάρχοντα δεδομένα παροχών των πηγών.
  - Προτάσεις αξιοποίησης των πηγών.
- Μελέτη των λεκανών απορροής των ποταμών Πελέμονη και Λουτάνη.
  - Αξιολόγηση της ποσότητας και ποιότητας των επιφανειακών απορροών με βάση τα υπάρχοντα δεδομένα.
  - Δειγματοληψία υπόγειων υδάτων και πραγματοποίηση χημικών αναλύσεων φυσικό-χημικών παραμέτρων, θρεπτικών συστατικών, βαρέων μετάλλων και φυτοφαρμάκων.

- Μοντελοποίηση της υδρολογίας.
- Αξιολόγηση του υδατικού ισοζυγίου.
- Προτάσεις αξιοποίησης των υδατικών πόρων της λεκάνης.

- Μελέτη υπόγειων γεωλογικών υδατικών αποθεμάτων και βελτιστοποίηση των παροχών άρδευσης.
- Σύνθεση των αποτελεσμάτων και αξιολόγηση εναλλακτικών προτάσεων αντιμετώπισης λειψυδρίας και βιώσιμης διαχείρισης υδατικών πόρων του Δήμου.
- Ιεράρχηση των περιοχών παρέμβασης και προτάσεις δράσεις (έργων και μέτρων) και πολιτικές σχετικά με τη διαχείριση των υδατικών πόρων.

1.3 Ορισμοί

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται ορισμοί και αναλύονται σημαντικές έννοιες που χρησιμοποιούνται στην παρούσα εργασία, για την πληρέστερη παρουσίαση του θέματος της βιώσιμης διαχείρισης των υδατικών πόρων.

«Ποταμός» (River) είναι το σύστημα εσωτερικών υδάτων το οποίο ρέει, κατά το πλείστον, στην επιφάνεια του εδάφους αλλά το οποίο μπορεί, για ένα μέρος της διαδρομής του, να ρέει και υπογείως *(Οδηγία 2000/60/ΕΚ, 2000).*

«Λεκάνη Απορροής Ποταμού» (River basin) είναι η εδαφική έκταση από την οποία συγκεντρώνεται το σύνολο της απορροής μέσω διαδοχικών ρευμάτων, ποταμών και πιθανώς λιμνών και παροχετεύεται στη θάλασσα με ενιαίο στόμιο ποταμού, εκβολές ή δέλτα *(Οδηγία 2000/60/ΕΚ, 2000).*

«Επιφανειακά Ύδατα» (Surface water) θεωρούνται τα εσωτερικά ύδατα, εκτός των υπόγειων υδάτων, τα μεταβατικά και τα παράκτια ύδατα, εκτός εάν πρόκειται για τη χημική τους κατάσταση, οπότε περιλαμβάνουν και τα χωρικά ύδατα *(Οδηγία 2000/60/ΕΚ, 2000).*

«Εσωτερικά Ύδατα» (Inland water) είναι το σύνολο των στάσιμων ή ρέοντων επιφανειακών υδάτων και όλα τα υπόγεια ύδατα που βρίσκονται προς την πλευρά της ξηράς σε σχέση με τη γραμμή βάσης από την οποία μετράται το εύρος των χωρικών υδάτων *(Οδηγία 2000/60/ΕΚ, 2000).*

«Μεταβατικά Ύδατα» (Transitional waters) θεωρείται το σύστημα επιφανειακών υδάτων πλησίον του στομίου ποταμών τα οποία είναι εν μέρει αλμυρά λόγω της γειτνίασής τους με παράκτια ύδατα αλλά τα οποία επηρεάζονται ουσιαστικά από ρεύματα γλυκού νερού *(Οδηγία 2000/60/ΕΚ, 2000).*

«Υπόγεια Ύδατα» (Ground water) είναι το σύνολο των υδάτων που βρίσκονται κάτω από την επιφάνεια εδάφους στη ζώνη κορεσμού και σε άμεση επαφή με το έδαφος ή το υπέδαφος *(Οδηγία 2000/60/ΕΚ, 2000).*

«Υδροφόρος ορίζοντας» (Aquifer) υπόγειο στρώμα ή άλλες γεωλογικές στοιβάδες επαρκώς πορώδεις και διαπερατές ώστε να επιτρέπουν είτε σημαντική ροή υπογείων υδάτων είτε την άντληση σημαντικών ποσοτήτων υπογείων υδάτων *(Οδηγία 2000/60/ΕΚ, 2000).*

«Παράκτια Ύδατα» (Coastal Water) είναι τα επιφανειακά ύδατα που βρίσκονται στην πλευρά της ξηράς μίας γραμμής, κάθε σημείο της οποίας βρίσκεται σε απόσταση ενός ναυτικού μιλίου προς τη θάλασσα από το πλησιέστερο σημείο της γραμμής βάσης από την οποία μετράται το εύρος των χωρικών υδάτων και τα οποία, κατά περίπτωση, εκτείνονται μέχρι του απώτερου ορίου των μεταβατικών υδάτων *(Οδηγία 2000/60/ΕΚ, 2000).*

«Σύστημα επιφανειακών υδάτων ή επιφανειακό υδατικό σώμα» (Body of surface water) πρόκειται για ένα διακεκριμένο και σημαντικό στοιχείο επιφανειακών υδάτων όπως π.χ. μία λίμνη, ένας ταμιευτήρας, ένα ρεύμα, ένας ποταμός ή μία διώρυγα, ένα τμήμα ρεύματος ποταμού ή διώρυγας, μεταβατικά ύδατα ή ένα τμήμα παράκτιων υδάτων *(Οδηγία 2000/60/ΕΚ, 2000).*

«Σύστημα υπόγειων υδάτων ή υπόγειο υδατικό σώμα» (Body of ground water) πρόκειται για ένα συγκεκριμένο όγκο υπόγειων υδάτων εντός ενός ή περισσότερων υδροφόρων οριζόντων *(Οδηγία 2000/60/ΕΚ 2000).*

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

2.1 Νήσος Ρόδος - Γενικά

2.1.1 Γεωγραφική θέση και διοικητική υπαγωγή

Η Ρόδος, το μεγαλύτερο νησί των Δωδεκανήσων και το τέταρτο σε έκταση νησί της Ελλάδας, βρίσκεται στο νοτιότερο τμήμα του Αιγαίου πελάγους και σε πολύ μικρή απόσταση από τις ακτές της Μικράς Ασίας. Η πόλη της Ρόδου είναι η πρωτεύουσα του ομώνυμου νησιού καθώς και του νομού Δωδεκανήσου ο οποίος έχει έκταση περίπου 2.579 km^2 και ο συνολικός πληθυσμός του νομού φτάνει τους 190.071 κατοίκους *(απογραφή Ε.Σ.Υ.Ε, 2001)*. Τα Δωδεκάνησα κατά σειρά μεγέθους αποτελούνται από τα νησιά: Ρόδος, Κάρπαθος, Κως, Κάλυμνος, Αστυπάλαια, Κάσος, Τήλος, Σύμη, Λέρος, Νίσυρος, Πάτμος, Χάλκη, Λειψοί, Καστελόριζο καθώς και από πολυάριθμα μικρότερα νησιά όπως το Αγαθονήσι, η Αλιμιά, το Γυαλί, η Κίναρος, η Σύρνα, η Τέλενδος, το Φαρμακονήσι, η Ψέριμος κ.α.

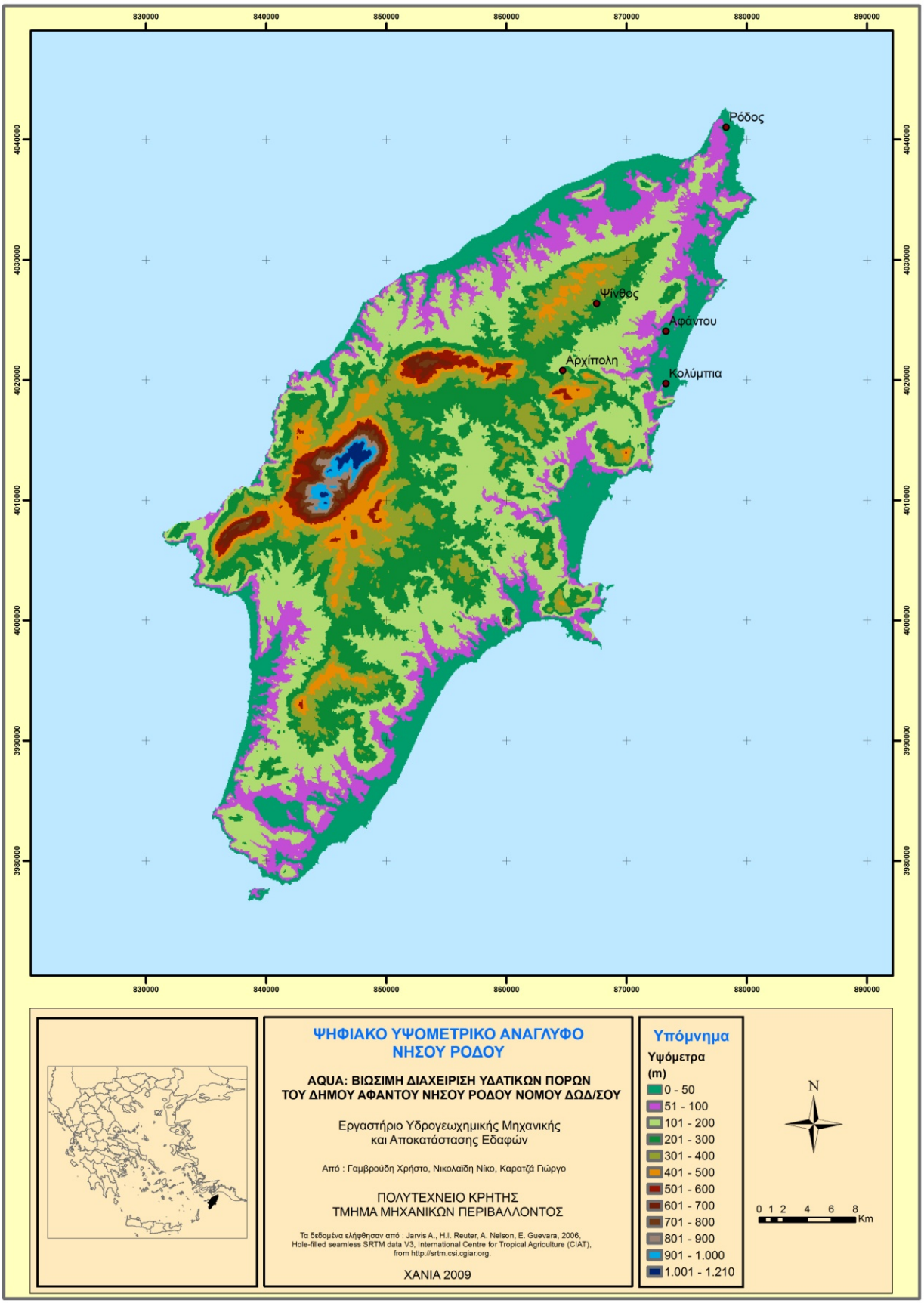
Η νήσος Ρόδος με έκταση περίπου 1.398 km^2 έχει σχήμα ελλειψοειδές (μήκος 78 km, πλάτος 38 km και ακτές μήκους 220 km). Πρωτεύουσα του νησιού είναι η πόλη της Ρόδου που είναι από τις πιο εντυπωσιακές πόλεις της Ελλάδας, παρουσιάζοντας ένα μοναδικό μεσαιωνικό πρόσωπο, με την μεσαιωνική πόλη να διατηρείται σε πολύ καλή κατάσταση, δημιούργημα των ιπποτών του 14ου αιώνα και ένα σύγχρονο, έξω από τα τείχη. Σήμερα, η Ρόδος εκμεταλλευόμενη τις μοναδικές ομορφιές της και τα σημαντικά ιστορικά μνημεία που διαθέτει, έχει εξελιχθεί σε ένα παγκοσμίως γνωστό τουριστικό θέρετρο.

Το ψηλότερο βουνό της νήσου Ρόδου είναι ο Ατάβυρος με μεγαλύτερη κορυφή αυτή του Αγ. Ιωάννη με υψόμετρο περίπου 1216 m. Όπως φαίνεται στο **Χάρτη 2.1** το έδαφος είναι κυρίως ορεινό, εμφανίζοντας μικρές πεδιάδες, καταπράσινες ρεματιές και οροπέδια. Οι υψηλότερες περιοχές βρίσκονται στο Νότιο – κεντρικό τμήμα του νησιού, ενώ καθώς κινούμαστε προς τις παρόχθιες ζώνες το υψόμετρο μειώνεται σταδιακά. Το νησί χωρίζεται σε δύο τμήματα, ένα Δυτικό και ένα

Ανατολικό, με την ύπαρξη, ενός έντονα ορεογραφικού άξονα ΒΒΑ-ΝΝΔ κατεύθυνσης στο κεντρικό - Δυτικό τμήμα του νησιού.

Πριν την εφαρμογή του προγράμματος Ι. Καποδίστριας, για την ανασυγκρότηση της τοπικής αυτοδιοίκησης, υπήρχαν τέσσερις Δήμοι και 39 κοινότητες στο νησί της Ρόδου. Σήμερα το νησί με μόνιμο πληθυσμό 115.556 και πραγματικό 117.007 κατοίκους, μεγάλο ποσοστό των οποίων εργάζεται στον τουριστικό τομέα χωρίζεται διοικητικά στους εξής 10 Δήμους όπως παρουσιάζεται στην **Εικόνα 2.1** *(απογραφή Ε.Σ.Υ.Ε, 2001)*.

Εικόνα 2.1 Νήσος Ρόδος – Διοικητική διαίρεση (Πηγή Google Earth).



Χάρτης 2.1 Ψηφιακό υψομετρικό ανάγλυφο νήσου Ρόδου.

Αναλυτικά αποτελείται από τους εξής Δήμους (*απογραφή Ε.Σ.Υ.Ε, 2001*) :

- Δήμος Ρόδου με πραγματικό πληθυσμό 53.709 κατοίκους.

- Δήμος Αρχαγγέλου με πραγματικό πληθυσμό 7.779 κατοίκους που περιλαμβάνει τα Δημοτικά Διαμερίσματα Αρχαγγέλου (5.752), Μαλώνος (1.096) και Μασάρων (931).

- Δήμος Αταβύρου με πραγματικό πληθυσμό 3.225 κατοίκους που περιλαμβάνει τα Δημοτικά Διαμερίσματα Έμπωνας (1.452), Αγίου Ισίδωρου (590), Κρητηνίας (606), Μονολίθου (334) και Σιάνων (244).

- Δήμος Αφάντου με πραγματικό πληθυσμό 6.712 κατοίκους που περιλαμβάνει τα Δημοτικά Διαμερίσματα Αφάντου (5.933) και Αρχιπόλεως (779).

- Δήμος Ιαλυσού με πραγματικό πληθυσμό 10.107 κατοίκους.

- Δήμος Καλλιθέας με πραγματικό πληθυσμό 10.205 κατοίκους που περιλαμβάνει τα Δημοτικά Διαμερίσματα Καλυθιών (5.861), Κοσκινού (3.224) και Ψίνθου (1.166).

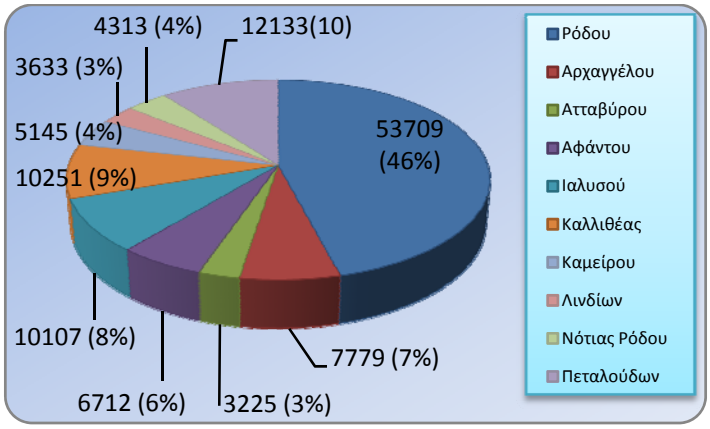
- Δήμος Καμείρου με πραγματικό πληθυσμό 5.145 κατοίκους που περιλαμβάνει τα Δημοτικά Διαμερίσματα Σορωνής (1.236), Απόλλωνα (997), Διμυλιάς (515), Καλαβάρδα (512), Πλατανιών (383), Σαλάκου (607) και Φανών (8).

- Δήμος Λινδίων με πραγματικό πληθυσμό 3.633 κατοίκους που περιλαμβάνει τα Δημοτικά Διαμερίσματα Λίνδου (1.091), Καλάθου (380), Λαέρμων (446), Λάρδου (1.212) και Πυλώνος (504).

- Δήμος Νότιας Ρόδου με πραγματικό πληθυσμό 4.313 κατοίκους που περιλαμβάνει τα Δημοτικά Διαμερίσματα Γενναδίου (655), Απολακκίας (415), Αρνίθας (310), Ασκληπιείου (673), Βατίου (188), Ιστρίου (485), Κατταβιάς (590), Λαχανιάς (341), Μεσαναγρού (330) και Προφίλιας (326).

- Δήμος Πεταλούδων με πραγματικό πληθυσμό 12.133 κατοίκους που περιλαμβάνει τα Δημοτικά Διαμερίσματα Κρεμαστής (4.585), Δαματριάς (477), Θεολόγου (856), Μαριτσών (1.766), Παραδεισίου (2.646) και Παστίδας (1.803).

Οι Δήμοι καθώς και ο πραγματικός πληθυσμός τους *(απογραφή Ε.Σ.Υ.Ε, 2001)* όπως υφίσταται σήμερα παρουσιάζεται στο **Διάγραμμα 2.1**. Η πόλη της Ρόδου καταλαμβάνει το 46% του συνολικού πληθυσμού του νησιού ενώ οι υπόλοιποι εννέα Δήμοι το 54%. Δεύτερος μεγαλύτερος Δήμος σε πληθυσμό είναι αυτός των Πεταλούδων (10%), ακολουθεί ο Δήμος Καλλιθέας (9%), ο Δήμος Αρχαγγέλου (8%), ο Δήμος Αφάντου (7%) ενώ τον μικρότερο πληθυσμό έχει ο Δήμος Αταβύρου (3%).



Διάγραμμα 2.1 Πληθυσμιακή διαίρεση Νήσου Ρόδου ανά Δήμο.

Το μεγαλύτερο ποσοστό των κατοίκων του νησιού κατά τους καλοκαιρινούς μήνες ασχολείται κυρίως με τον τουρισμό ενώ το υπόλοιπο ποσοστό με τη γεωργία (παραγωγή λαχανικών, φρούτων, κρασιού), με την κτηνοτροφία, ενώ ένα μικρό ποσοστό ασχολείται με την αλιεία, την ναυτιλία, το εμπόριο και τη χειροτεχνία. Στο νησί δεν υπάρχει βαριά βιομηχανία, παρά μόνο στις μεγαλύτερες πόλεις και στην πόλη της Ρόδου μικρές βιομηχανίες (ζυμαρικά – ποτοποιία).

2.1.2 Γεωλογία

Χαρακτηριστικό μορφοτεκτονικό γνώρισμα του Ελλαδικού χώρου αποτελεί το Ελληνικό ορογενετικό τόξο που αποτελείται από τις εξωτερικές ζώνες (Παξών, Μάνης, Τρίπολης κ.τ.λ.) και τις εσωτερικές ζώνες (Πίνδου, Υποπελαγονική κ.τ.λ.). Παράλληλα με το Ορογενετικό τόξο αναπτύσσεται το ενεργό τόξο του Αιγαίου. Εξωτερικά του Ορογενετικό τόξου και παράλληλα προς αυτό αναπτύσσεται η Ελληνική τάφρος, σύστημα βαθιών υποθαλάσσιων βυθισμάτων περίπου 2000-3000 m. Επίσης ένα άλλο μορφοτεκτονικό γνώρισμα είναι η Μεσογειακή ράχη, που αποτελεί μια υποθαλάσσια έξαρση του φλοιού της Γης και διασχίζει την Ανατολική Μεσόγειο παράλληλα σχεδόν με το Ελληνικό τόξο.

Από γεωτεκτονική άποψη, η νήσος Ρόδος αποτελεί τμήμα του νοτιοανατολικού τόξου του Αιγαίου, το οποίο με την σειρά του αποτελεί τμήμα του ευρύτερου ενεργού γεωτεκτονικού τόξου των Εξωτερικών Ελληνίδων Ζωνών. Το τόξο αυτό εκτείνεται από τη νήσο Ζάκυνθο έως τις νοτιοδυτικές παρυφές των ακτών της Μικράς Ασίας, περιβάλλοντας τον ελληνικό νότιο θαλάσσιο χώρο και οριοθετώντας στην ουσία την περιοχή σύγκλισης, σύγκρουσης και καταβύθισης της αφρικανικής λιθοσφαιρικής πλάκας κάτω από την αντίστοιχη ευρασιατική. Το σύστημα αυτό της σύγκρουσης και κατάδυσης των λιθοσφαιρικών πλακών με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του (Ελληνικό τόξο - τάφρος - περιθωριακή λεκάνη Αιγαίου) δημιουργήθηκε μετά το Αν. Ηώκαινο, δηλαδή στο χρονικό διάστημα μεταξύ 23 εκατ. χρόνων έως και σήμερα *(Οριστική μελέτη φράγματος Γαδουρά, 2000. Γεωλογική Περιγραφή).*

Σύμφωνα με τις πλέον σύγχρονες γεωλογικές αντιλήψεις, το δυτικό άκρο των Εξωτερικών Ελληνίδων Ζωνών αποτελεί η Ιόνιος γεωτεκτονική ζώνη, η οποία σηματοδοτεί την πλέον πρόσφατη κίνηση στον ελλαδικό χώρο, ηλικίας Ολιγόκαινου με την ανάδυση του "συνορογενετικού" σχηματισμού του φλύσχη και των "μεταορογενετικών" μολασσικών αποθέσεων. *(Οριστική μελέτη φράγματος Γαδουρά, 2000. Γεωλογική Περιγραφή).*

Η ανάπτυξη των θλιπτικών τάσεων από την αφρικανική προς την ευρασιατική λιθοσφαιρική πλάκα αποτελεί γεγονός τουλάχιστον από την εποχή των πρόσφατων αυτών ορογενετικών κινήσεων έως και σήμερα, καθιστώντας τον χώρο του νότιου και νοτιοανατολικού Αιγαίου, πεδίο θλιπτικών τάσεων στην νότια παρειά του και εφελκυστικών στην περιοχή του κεντρικού Αιγαίου. Αυτό είχε ως συνέπεια την ανάπτυξη μορφολογικών και γεωλογικών χαρακτηριστικών τυπικού γεωτεκτονικού τόξου (τάφρος καταβύθισης νότια της Κρήτης και της Ρόδου, ηφαιστειακό τόξο Θήρας κ.λπ.) και την αυξημένη σεισμική δραστηριότητα του Ελλαδικού χώρου *(Οριστική μελέτη φράγματος Γαδουρά, 2000. Γεωλογική Περιγραφή).*

Με βάση τα παραπάνω, η νήσος Ρόδος αποτελεί το τελευταίο τμήμα των Εξωτερικών Ζωνών πριν από την συναρμογή τους με τις Ταυρίδες οροσειρές στην ενδοχώρα της Τουρκίας. Η πρόσφατη τεκτονική δράση, όσο και η συνεχής υψηλή σεισμικότητα της νήσου είναι οι βασικοί παράγοντες διαμόρφωσης περίπλοκων στην ανάλυση γεωλογικών δομών. Σ' αυτές τις δομές στρωματογραφικά μέλη της Ιονίου ζώνης συμπλέκονται με παλαιές και πρόσφατες ιζηματογενείς δομές με ένα πλήθος τεκτονικών και στρωματογραφικών αλληλουχιών *(Οριστική μελέτη φράγματος Γαδουρά, 2000. Γεωλογική Περιγραφή).*

2.1.3 Στρωματογραφία

Σύμφωνα με τον γεωλογικό χάρτη της νήσου Ρόδου *(Mutti, Orombelli, Pozzi, 1960-1965),* στη Ρόδο διακρίνονται τρείς μεγάλες γεωτεκτονικές ενότητες. Από στρωματογραφικής άποψης, οι γεωλογικοί σχηματισμοί που εμφανίζονται στη νήσο Ρόδο περιγράφονται από τους νεότερους προς τους παλαιότερους ως εξής :

<u>Ανώτερη αυτόχθονη ενότητα</u>

Η ενότητα αυτή αποτελείται από:

- Τεταρτογενή ιζήματα που αποτελούνται από πρόσφατες αλλουβιακές, παράκτιες και χερσαίες αποθέσεις αποτελούμενα από άμμους, χαλίκια, κροκάλες καθώς και πλευρικά κορήματα. Διαπερατοί σχηματισμοί μικρού πάχους που έχουν αποτεθεί στην περίμετρο του νησιού. Επίσης από τον σχηματισμό *Σγούρου* (γκριζοπράσινες μάργες παράκτιας φάσης με άμμους και χαλίκια, κίτρινοι πορώδεις ασβεστόλιθοι), ο οποίος χαρακτηρίζεται ως διαπερατός και με καλή υδροφορία.

- Νεογενή ιζήματα που αποτελούνται από τα διαπερατά και μεγάλου πάχους *Λεβαντίνια* ιζήματα (ποταμοχειμάρρια-λιμναία κροκαλοπαγή, χάλικες, άμμοι και γκρι ιλυώδης μάργες), καθώς και μολασσικούς σχηματισμούς της ομάδας *Βάτι*. Οι σχηματισμοί της ομάδας *Βάτι* αποτελούνται από πολύμικτα κροκαλοπαγή στη βάση που μεταβαίνουν σε εναλλαγές ιλυολίθων-ψαμμιτών στα νεότερα μέλη. Στη ομάδα *Βάτι* ανήκουν οι σχηματισμοί ψαμμίτης *Μεσαναγρού* (εναλλαγές ψαμμίτη, αργιλικής μάργας και κροκαλοπαγούς), ρεύματα τέφρας και σποδού *Ντάλι* (πυροκλαστική απόθεση προερχόμενη από ρυολιθικό μάγμα), μάργες *Αγ. Μηνά* (μάργα με λεπτές ψαμμιτικές παρεμβολές), κροκαλοπαγές *Κοριάτι* και τέλος ο σχηματισμός *Θάρι* (πράσινη, τεφρή αμμώδης άργιλος με φακούς οφιολιθικού κροκαλοπαγούς και ψαμμίτη).

Ενδιάμεση αλλόχθονη ενότητα

Η ενότητα αυτή αποτελείται από:

- Την ομάδα *Προφήτη Ηλία*, που αποτελείται από τον σχηματισμό *Μαλόνας* (ασβεστόλιθος με πυριτικούς κονδύλους, πορφυρή μάργα και πυριτικούς ασβεστόλιθους), και τον πυριτικό ασβεστόλιθο *Ελαφόκαμπου* (τεφρός, ερυθρός, κίτρινος ασβεστόλιθος με ενστρώσεις δολομιτικού ασβεστολίθου και πυριτολίθου). Στον σχηματισμό *Μαλόνας* μπορεί να υπάρχει διείσδυση οφιολίθων, διαβάση και ραδιολαριτών Κοπριάς (μη περατοί σχηματισμοί).

- Τον ασβεστόλιθο *Λίνδου* (μαύρος, υποκύανος ή λευκός μέσο έως παχυστρωματώδης ασβεστόλιθος), περατό σχηματισμό και τον φλύσχη *Αρχίπολης* (εναλλαγές τεφροπράσινων ψαμμιτών, πολύμικτων κροκαλοπαγών και μαργών), ο οποίος θεωρείται μη περατός σχηματισμός.

- Την ομάδα *Αρχαγγέλου*, που αποτελείται από τον ασβεστόλιθο *Σάλακα* (τεφρός, καστανός ή μαύρος δολομίτης και δολομιτικός ασβεστόλιθος) και τον σχηματισμό *Κουμούλι* (σκούρος ασβεστόλιθος με ενστρώσεις καστανοπράσινης μαργαϊκής αργίλου), οι οποίοι είναι περατοί σχηματισμοί.

Αυτόχθονη και παρααυτόχθονη ενότητα

Η ενότητα αυτή αποτελείται από:

- Τον φλύσχη *Κατταβιάς*, μη περατό σχηματισμό που αποτελείται από πάνω προς τα κάτω από τα μέλη μεγάλο *Κάλαβρο* (ασβεστιτικοί τεφροπράσινοι αργιλλίτες εναλλασσόμενοι με ψαμμίτες), *Καράκια* (τεφροπράσινοι ασβεστιτικοί αργιλλίτες και ψαμμίτες), *Κάλαθος* (ελαφρώς μεταμορφωμένος φλύσχης), *Σταφυλία* (ψαμμίτες εναλλασσόμενοι με τεφροπράσινους ασβεστιτικούς αργιλλίτες), *Λάερμα* (ασβεστόλιθοι εναλλασσόμενοι με αργιλλίτες και ψαμμίτες) και τέλος το μέλος *Σιάνα* (κυανότεφροι ασβεστιτικοί

πηλίτες, αργιλλίτες εναλλασσόμενοι με τεφρούς, τεφροπράσινους ψαμμίτες και λεπτοστρωματώδης ιλυολίθους).

- Την ομάδα *Αταβύρου,* που αποτελείται από τον ασβεστόλιθο *Κακόσκαλας* (μάργα και καστανέρυθρος μαργαϊκός ασβεστόλιθος με κονδύλους και φακούς κόκκινου πυριτόλιθου), τον ασβεστόλιθο *Ακραμύτη* (εναλλαγές τεφρού κλαστικού και μικριτικού ασβεστολίθου), καθώς και τον ασβεστόλιθο *Ατεμάρη* (ασβεστόλιθος με ενστρώσεις και φακούς πυριτολίθου και μάργας).

2.1.4 Τεκτονική

Τα τρία βασικά συστήματα γεωλογικών δομών που παρατηρούνται, σχετίζονται με συγκεκριμένες τεκτονικές φάσεις *(Οριστική μελέτη φράγματος Γαδουρά, 2000. Γεωλογική Περιγραφή).*

- Ένα σύστημα πτυχώσεων, πρωσχωσιγενών ρηγμάτων, καλυμμάτων και εφιππεύσεων, που συναντάται κυρίως στις προγενέστερες δομές της ομάδας *Βατί.*

- Ένα σύστημα ελαφρών πτυχώσεων, το οποίο παρατηρείται στην ομάδα *Βατί* αλλά όχι όμως και τους υποκείμενους σχηματισμούς.

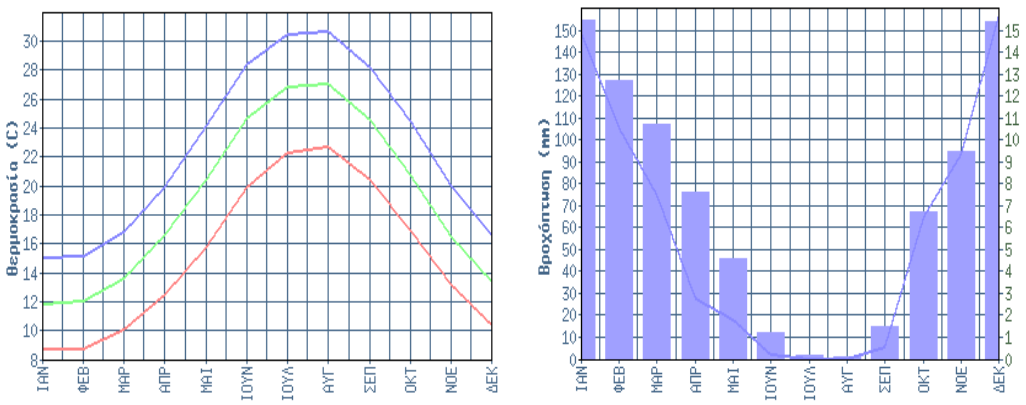
- Ένα σύστημα ορογεννετικών κινήσεων το οποίο εντοπίζεται σε ολόκληρη τη στρωματογραφική διαδοχή εκτός από τις πρόσφατες ποτάμιες και θαλάσσιες αποθέσεις.

2.1.5 Κλιματικά χαρακτηριστικά

Το κλίμα του νησιού όπως και όλης της ευρύτερης περιοχής της μεσογείου (Ανατολικά και Νότια παράλια της Στερεάς και Πελοποννήσου, νησιά του Αιγαίου και Κρήτη) χαρακτηρίζεται ως ήπιο εύκρατο μεσογειακό, το μέσο ετήσιο ύψος βροχής

κυμαίνεται από 400-800 mm, με το ορεινό και κεντρικό τμήμα του νησιού να παρουσιάζει τις μεγαλύτερες τιμές βροχόπτωσης (Έμπωνα), ενώ το Νότιο (Απολλακιά) τις μικρότερες. Στο νησί παρουσιάζεται μεγαλύτερη ξηρασία το καλοκαίρι και χαμηλότερες θερμοκρασίες το χειμώνα σε σχέση με άλλες Δυτικές περιοχές με το ίδιο γεωγραφικό πλάτος. Η μέση ετήσια θερμοκρασία για την πόλη της Ρόδου κυμαίνεται από 12 °C έως 27 °C ενώ το μεγαλύτερο ύψος βροχής παρατηρείται κατά το τους μήνες Δεκεμβρίου και Ιανουαρίου (*http://www.hnms.gr*).

Κύριο χαρακτηριστικό του κλίματος είναι οι υγρές περίοδοι με ήπιες θερμοκρασίες και βροχοπτώσεις κυρίως το διάστημα από Νοέμβριο μέχρι τον Ιανουάριο και εκτεταμένο διάστημα ξηρασίας με υψηλές θερμοκρασίες και εξάτμιση που συχνά υπερβαίνει το ποσοστό κατακρήμνισης και συνεπάγεται έλλειψη νερού. Καταιγίδες δεν εμφανίζονται συχνά, ενώ οι χιονοπτώσεις είναι ακόμη πιο σπάνιες. Οι άνεμοι, που πνέουν σχεδόν πάντοτε, είναι αρκετά ισχυροί. Την τελευταία δεκαετία, η γενικότερη επικράτηση υψηλών θερμοκρασιών κατά τους καλοκαιρινούς μήνες και η αυξητική τάση της ξηράς περιόδου έχουν μεγαλώσει τις απαιτήσεις νερό για άρδευση. Ένα άλλο ιδιάζον χαρακτηριστικό του ημίξηρου κλίματος είναι η ύπαρξη ποταμών διαλείπουσας ροής.



Διάγραμμα 2.2 Μέσες μηνιαίες τιμές θερμοκρασίας και βροχόπτωσης περιόδου 1955-1997 για τη Ρόδο (Πηγή ΕΜΥ http://www.hnms.gr).

2.1.6 Υδρογραφικό δίκτυο

Τα ποτάμια συστήματα ανάλογα με την χρονική περίοδο που ρέουν (υγρή περίοδος) διακρίνονται σε μόνιμα και προσωρινά ή εφήμερα. Τα μόνιμα ποτάμια παρουσιάζουν τις μεγαλύτερες υγρές περιόδους δεδομένου ότι ρέουν καθ' όλη την διάρκεια του έτους ενώ αντίθετα τα προσωρινά (είτε ως ανεξάρτητα ποτάμια συστήματα, είτε ως υποσυστήματα των μόνιμων) παρουσιάζουν μικρές περιόδους ξηρασίας κυρίως κατά τη θερινή περίοδο *(Τζωράκη, 2007).*

Το συνολικό μήκος των υδατορεμάτων του νησιού ανέρχεται σε 4.243 km. Τα επιφανειακά νερά που διαρρέουν τα υδατορέματα αυτά δεν παρουσιάζουν μόνιμη ροή, και τους καλοκαιρινούς μήνες η ροή τους μηδενίζεται. Μεγαλύτερος ποταμός του νησιού είναι ο ποταμός Γαδουράς, ο οποίος τροφοδοτείται από μια λεκάνη απορροής 190 km^2, και διατηρεί ροή και κατά τους καλοκαιρινούς μήνες.

Τα περισσότερα υδατορέματα του νησιού παρουσιάζουν περιβαλλοντική ευαισθησία στις ανθρωπογενείς επιδράσεις που λαμβάνουν χώρα στη λεκάνη απορροής τους και συγκεκριμένα στις αλλαγές χρήσεων γης και στα ρυπαντικά φορτία. Χαρακτηριστικό των υδατορεμάτων αυτών είναι η έντονη διάβρωση στον άνω ρου τους κατά την πρώτη βροχή (first flush effect) και η μεταφορά μεγάλης παροχής ύδατος αλλά και συγκέντρωσης φερτών υλικών κατακλύζοντας τον κάτω ρου τους, γνωστό και ως φαινόμενο κατάκλυσης.

Το φαινόμενο κατάκλυσης συνοδεύεται με φυσικές καταστροφές και προσωρινή αλλοίωση του τοπογραφικού ανάγλυφου της περιοχής *(Hansen, 2001).* Η έντονη διάβρωση που προκαλείται όταν συνοδεύεται με αλλαγή στις χρήσεις γης της λεκάνης απορροής έχει ως αποτέλεσμα τη σταδιακή απώλεια του ανώτερου εύφορου εδαφικού στρώματος της περιοχής και κατ' επέκταση την ερημοποίηση της. Η επιβάρυνση του άνω ρου των ποταμών με φυτοφάρμακα και διάφορα ρυπαντικά φορτία - τα οποία καταλήγουν σε αυτόν είτε από σημειακές πηγές, είτε λόγω

επιφανειακής φόρτισης - επηρεάζει άμεσα την ποιότητα των υδάτων και συμβάλλει στην επιβάρυνση της παράκτιας ζώνης.

2.1.7 Χρήσεις γης

Η κατηγοριοποίηση των χρήσεων γης της νήσου Ρόδου και η δημιουργία ψηφιοποιημένων χαρτών έγινε με βάση την Γεωγραφική Βάση Δεδομένων του προγράμματος «CORINE Land Cover». Η ονοματολογία του προγράμματος «CORINE Land Cover» για την κάλυψη γης περιλαμβάνει τρία επίπεδα: Το πρώτο επίπεδο περιλαμβάνει πέντε κύριες κατηγορίες κάλυψης γης σε παγκόσμια κλίμακα, το δεύτερο επίπεδο περιλαμβάνει 15 κατηγορίες, χρησιμοποιείται σε κλίμακες 1:500.000 και 1:1.000.000 και τέλος το τρίτο επίπεδο περιλαμβάνει 44 κατηγορίες, και χρησιμοποιείται σε κλίμακα 1: 100.000 *(Corine Land Cover, 2000).*

Όπως φαίνεται στο **Χάρτη 2.2** και σύμφωνα με το Επίπεδο 1 του «CORINE Land Cover», η πλειοψηφία των χρήσεων γης της νήσου Ρόδου εμπίπτει στην κατηγορία των δασών και ημι-φυσικών περιοχών, με ποσοστό ίσο με το 63,20 % της συνολικής έκτασης. Η κατηγορία των γεωργικών περιοχών αντιστοιχεί στο 34,63 %, η κατηγορία των τεχνητών επιφανειών μόνο στο 2.12 % ενώ οι υδάτινες επιφάνειες είναι αμελητέες 0,05 %.

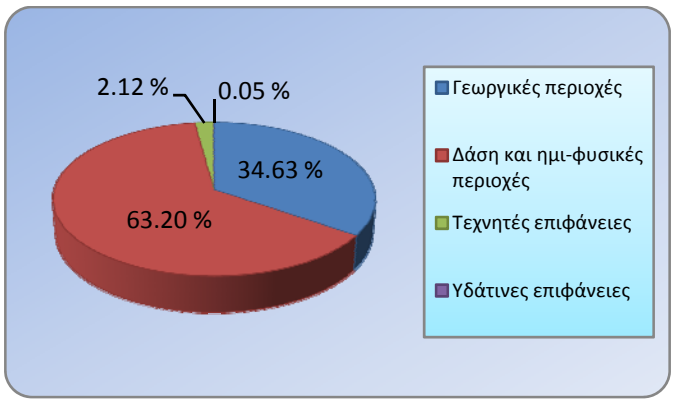
Η έκταση καθώς και το ποσοστό κάθε κατηγορίας χρήσεων γης σύμφωνα με το Επίπεδο 1 του προγράμματος «CORINE Land Cover» παρουσιάζεται στον **Πίνακα 2.1** καθώς και στο **Διάγραμμα 2.3**.

Αντίστοιχα όπως φαίνεται στο **Χάρτη 2.3** σύμφωνα με το Επίπεδο 2 του «CORINE Land Cover», το μεγαλύτερο ποσοστό των χρήσεων γης της νήσου Ρόδου εμπίπτει στην κατηγορία συνδυασμοί θαμνώδους και/ή ποώδους βλάστησης, με ποσοστό ίσο με το 48,12 % της έκτασης. Η κατηγορία των ετερογενών γεωργικών περιοχών αντιστοιχεί στο 25,79 % της έκτασης, η κατηγορία δάση στο 13,59 %, οι

μόνιμες καλλιέργειες της νήσου είναι ίσες με το 5,76 %, η αρόσιμη γη στο 2,87 % ενώ οι υπόλοιπες κατηγορίες αντιστοιχούν στο 3,87 % της έκτασης.

Πίνακας 2.1 Έκταση και ποσοστό χρήσεων γης νήσου Ρόδου (Επίπεδο 1).

Χρήση γης	Έκταση (ha)	Έκταση (km^2)	%
Τεχνητές επιφάνειες	2.966,45	29,66	2,12
Γεωργικές περιοχές	48.418,88	484,18	34,63
Δάση και ημι-φυσικές περιοχές	88.365,14	883,36	63,20
Υδάτινες επιφάνειες	57,48	0,57	0,05
Υγρές ζώνες	0,00	0,0	0,00
	Σύνολο	**1398.07**	

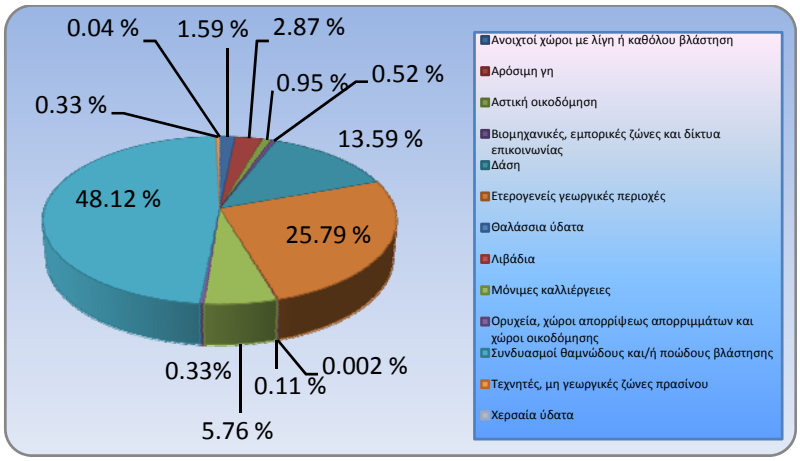


Διάγραμμα 2.3 Χρήσεις γης νήσου Ρόδου (Επίπεδο 1).

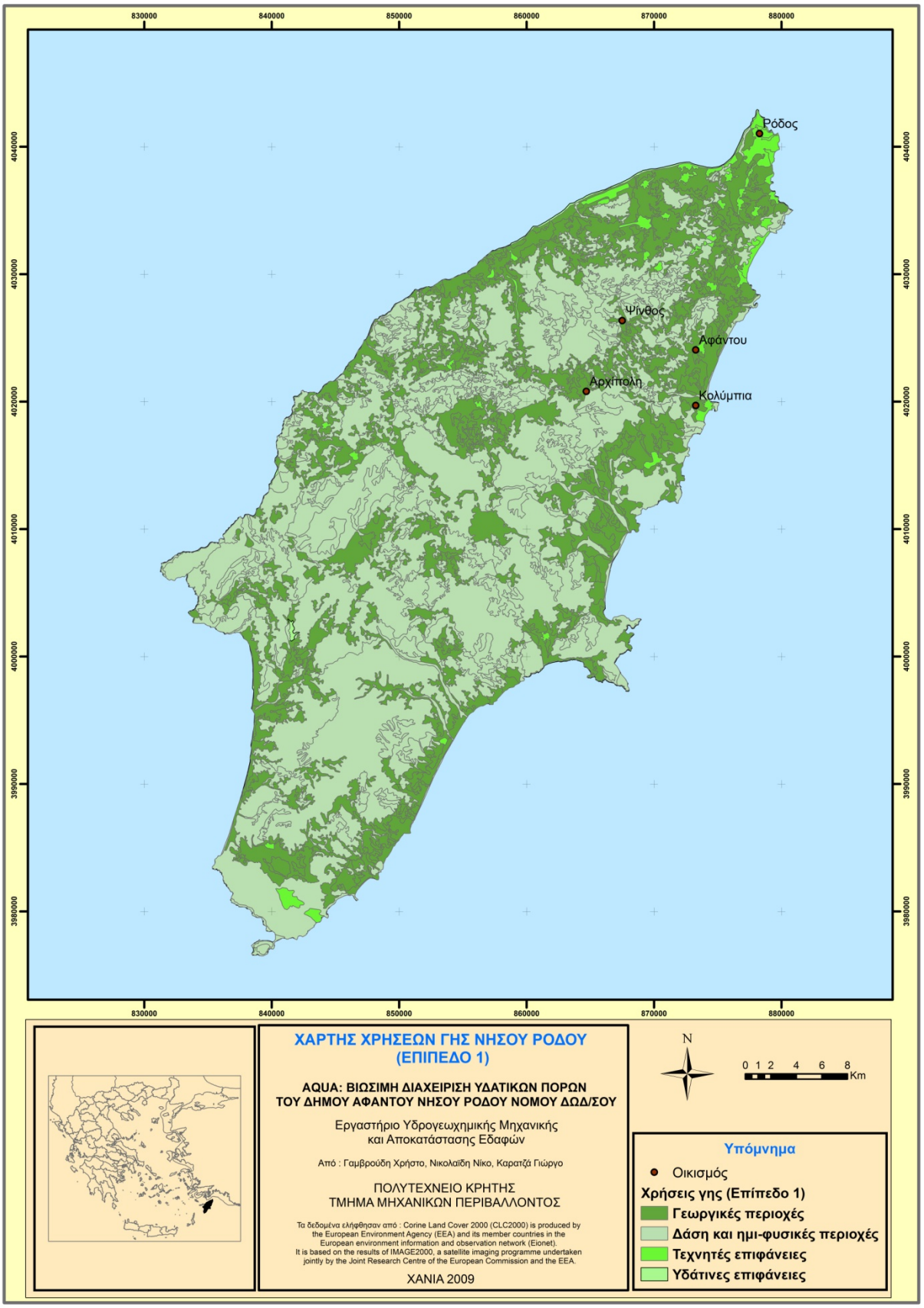
Οι εκτάσεις καθώς και το ποσοστό % κάθε κατηγορίας χρήσεων γης σύμφωνα με το Επίπεδο 2 του «CORINE Land Cover» παρουσιάζεται στον **Πίνακα 2.2** καθώς και στο **Διάγραμμα 2.4**.

Πίνακας 2.2 Έκταση και ποσοστό % χρήσεων γης νήσου Ρόδου (Επίπεδο 2).

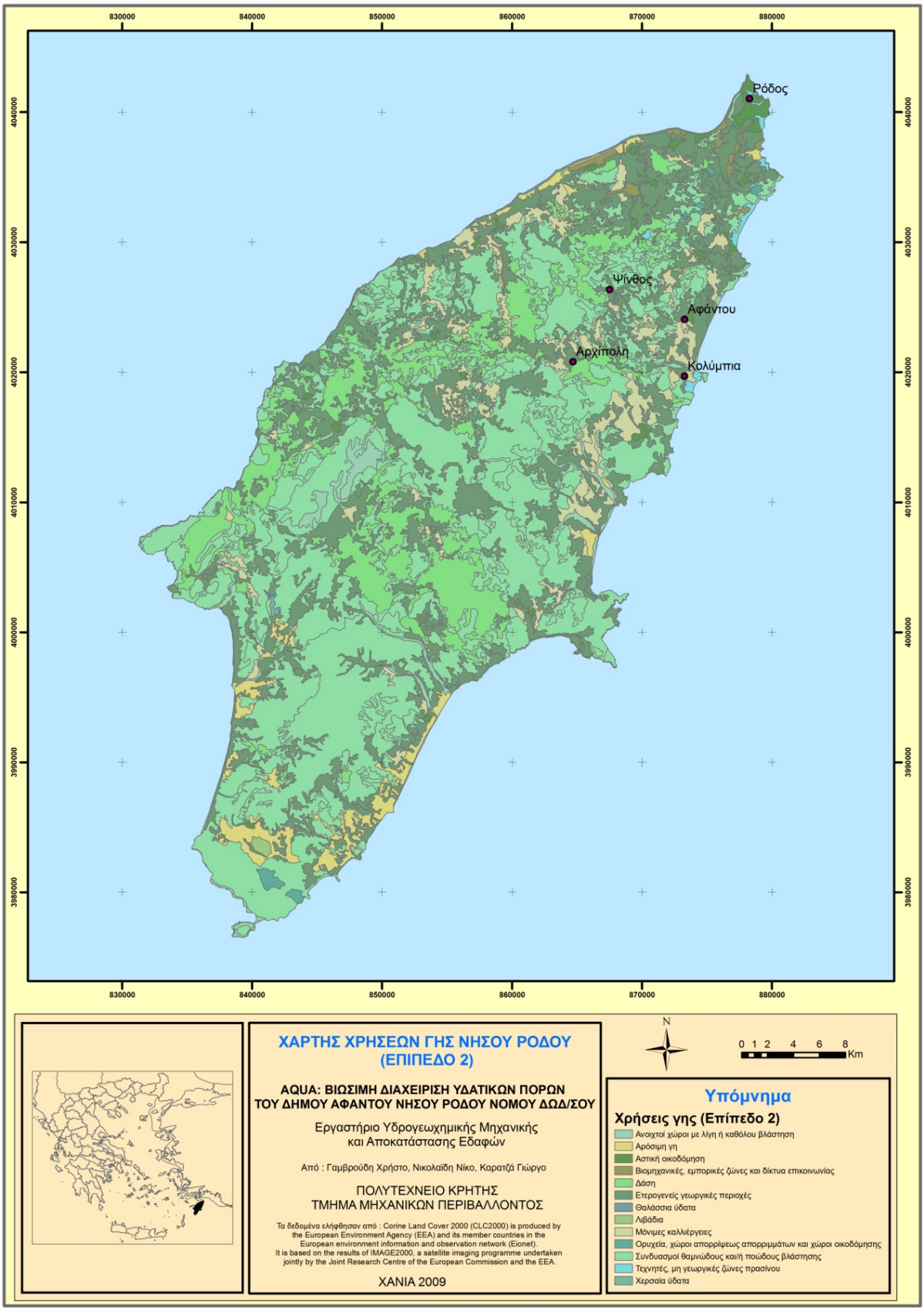
Κάλυψη γης	Έκταση (ha)	Έκταση (km^2)	%
Ανοιχτοί χώροι με λίγη ή καθόλου βλάστηση	2.218,97	22,19	1,59
Αρόσιμη γη	4.019,27	40,19	2,87
Αστική οικοδόμηση	1.328,77	13,29	0,95
Βιομηχανικές, εμπορικές ζώνες και δίκτυα επικοινωνίας	727,67	7,28	0,52
Δάση	19.005,11	190,05	13,59
Ετερογενείς γεωργικές περιοχές	36.050,55	360,51	25,79
Θαλάσσια ύδατα	2,46	0,02	0,002
Λιβάδια	157,48	1,57	0,11
Μόνιμες καλλιέργειες	8.050,58	80,51	5,76
Ορυχεία, χώροι απορρίψεως απορριμ. και χώροι οικοδόμησης	455,74	4,56	0,33
Συνδυασμοί θαμνώδους και/ή ποώδους βλάστησης	67.279,06	672,79	48,12
Τεχνητές, μη γεωργικές ζώνες πρασίνου	457,27	4,57	0,33
Χερσαία ύδατα	55,02	0,55	0,04
	Σύνολο	**1398.07**	



Διάγραμμα 2.4 Χρήσεις γης νήσου Ρόδου (Επίπεδο 2).



Χάρτης 2.2 Χρήσεις γης νήσου Ρόδου (Corine Land Cover - Επίπεδο 1).



Χάρτης 2.3 Χρήσεις γης νήσου Ρόδου (Corine Land Cover - Επίπεδο 2).

2.1.8 Εδαφολογικά στοιχεία

Η ποικιλομορφία των εδαφών και η σπουδαιότητά τους για την συντήρηση ολόκληρου του φυτικού και ζωικού κόσμου οδήγησε στην ανάγκη της ταξινόμησης τους. Όπως φαίνεται στο **Χάρτη 2.4** στη νήσο Ρόδο υπάρχουν πέντε κατηγορίες κατάταξης εδαφών σύμφωνα με το σύστημα ταξινόμησης κατά FAO-UNESCO. Οι κατηγορίες εδαφών που προσαρμόστηκαν στο σύστημα FAO-UNESCO εκλέχτηκαν με βάση τον τρόπο σχηματισμού, των χαρακτηριστικών και της κατανομής που καλύπτουν την γήινη επιφάνεια, καθώς και την σημασία τους σαν παραγωγικοί και περιβαλλοντολογικοί παράγοντες. Η έρευνα των ιδιοτήτων του εδάφους αποτελεί το προϊόν της επίδρασης της βλάστηση, του κλίματος, του χρόνου και του ανάγλυφου της περιοχής πάνω στο γεωλογικό μητρικό υλικό.

Οι εδαφικοί τύποι που αναγνωρίστηκαν στην νήσο Ρόδο είναι *(European Soil Database, 2004)*:

- Το Βόρειο και Νότιο τμήμα του νησιού καλύπτεται κατά το μεγαλύτερο μέρος του από τύπο εδαφών της κατηγορίας *Calcaric Regosol*. Τα εδάφη αυτά καλύπτουν το 53,05 % της συνολικής έκτασης του νησιού, είναι ασβεστούχα, και απαντώνται σε κάποιο βάθος μεταξύ 20-50 cm από την επιφάνεια. Είναι καλά διαβαθμισμένα εδάφη, μη στερεοποιημένα και χωρίς να είναι εμφανής ο διαγνωστικός τους ορίζοντας, με ελάχιστη ανάπτυξη λόγω του νεαρού της ηλικίας τους. Είναι εδάφη με ορίζοντα πάχους όχι μεγαλύτερο από 25 cm χωρίς άλλους διαγνωστικούς ορίζοντες εκτός εάν είναι θαμμένοι σε βάθος μεγαλύτερο των 50 cm από την επιφάνεια. Σε θερμά κλίματα το χρώμα του ορίζοντα είναι ανοικτότερο από αυτό του υποκείμενου, παρουσιάζει συσσώρευση οργανικής ουσίας, συνδέεται αναπόσπαστα με το ανόργανο κλάσμα και η μορφολογία του εξαρτάται από την εδαφογένεση. Η οργανική ουσία προέρχεται από φυτικά και ζωικά υπολείμματα και εισχωρεί στο έδαφος περισσότερο λόγω βιολογικής δραστηριότητας. Τα εδάφη αυτά εμφανίζονται

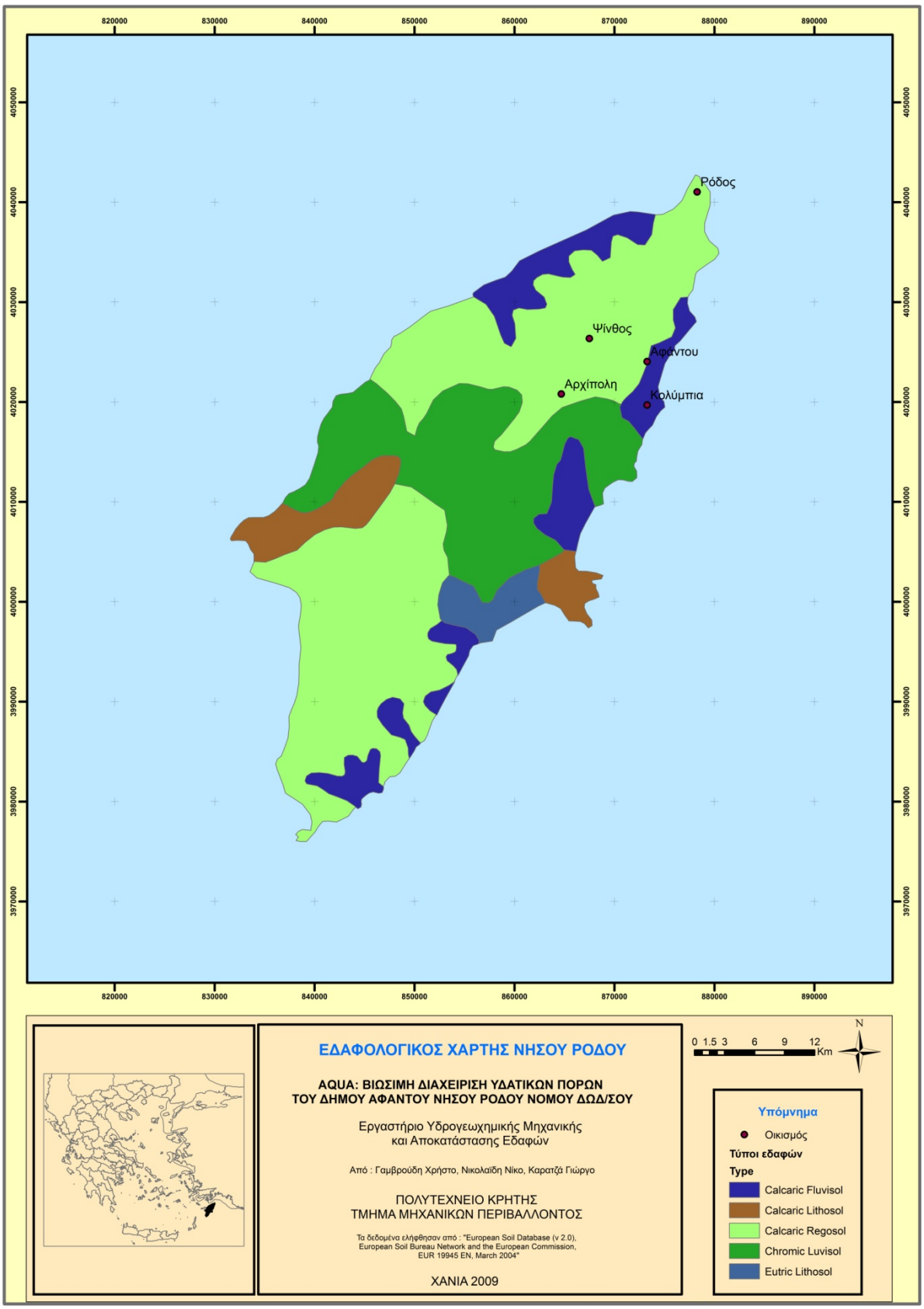
σε ξηρά και ημίξηρα κλίματα και σε περιοχές διάβρωσης και συγκεκριμένα σε ορεινές περιοχές. Σε περιοχές με εδάφη τύπου *Regosol* υπάρχει εκτενής βοσκή ή χρησιμοποιούνται για καλλιέργεια σιτηρών, σακχαρότευτλων καθώς και οπωροφόρων δέντρων.

- Το κεντρικό τμήμα του νησιού καλύπτεται από εδάφη της κατηγορίας *Chromic Luvisol* που καλύπτουν το 24,65 % της έκτασης του νησιού. Είναι εδάφη με μη ανόργανο ορίζοντα χωρίς δομή πετρώματος που παρουσιάζει συγκέντρωση πυριτικής αργίλου, σιδήρου, αργιλίου ή οργανικής ουσίας ανεξάρτητα ή σε συνδυασμό. Παρουσιάζει έμμεση συγκέντρωση τριοξειδίων ή πυριτικών ορυκτών της αργίλου και εμφάνιση αλλοιώσεων του μητρικού υλικού. Τα *Luvisols* έχουν υψηλότερη περιεκτικότητα σε αργίλους υψηλής ενεργότητας, στους υποκείμενους ορίζοντες από ότι επιφανειακά ως αποτέλεσμα διαδικασιών σχηματισμού των εδαφών (μετανάστευση αργίλου) που οδηγούν σε έναν αργιλικό κατώτερο ορίζοντα. Τα περισσότερα *Luvisols* είναι εύφορα εδάφη και κατάλληλα για ένα ευρύ φάσμα γεωργικών χρήσεων. Σε απότομες κλίσεις απαιτούνται μέτρα ελέγχου για διάβρωση.

- Περιμετρικά του νησιού, αλλά κυρίως στο Ανατολικό τμήμα εμφανίζονται εδάφη της κατηγορίας *Calcaric Fluvisol* σε ποσοστό 12,58 % της συνολικής έκτασης. Τα εδάφη αυτά είναι ασβεστούχα σε κάποιο βάθος μεταξύ 20-50 cm από την επιφάνεια. Τα *Fluvisol* είναι πρόσφατα εδάφη, χωρίς διαγνωστικό ορίζοντα και με καλή φυσική γονιμότητα, σε αλλούβιες αποθέσεις. Η καλλιέργεια ρυζιού είναι διαδεδομένη σε τροπικά κλίματα με *Fluvisol* με επαρκή άρδευση και ξήρανση. Επίσης τα εδάφη τύπου *Fluvisol* είναι κατάλληλα για ξηρές καλλιέργειες, φυσικά με κάποια μορφή ελέγχου του νερού άρδευσης.

- Στην ευρύτερη περιοχή της Λίνδου καθώς και στην ορεινή έκταση του Αταβύρου και του Ακραμύτη υπάρχουν εδάφη της κατηγορίας *Calcaric Lithosol* σε ποσοστό 6,63 % ενώ στην περιοχή της Λάρδου και στην ορεινή

περιοχή Δυτικά αυτής, εδάφη της κατηγορίας *Eutric Lithosol* σε ποσοστό 3,08 % της συνολικής έκτασης του νησιού. Η κατηγορία των *Lithosol* είναι ρηχά, χωρίς ορίζοντα εδάφη και συναντώνται συνήθως σε βραχώδης και ορεινές περιοχές. Τα *Lithosol* είναι εδάφη τα οποία μετά τα 20 cm βάθος και μέχρι βάθος 50 cm από την επιφάνεια έχουν περισσότερο από 30% άργιλο σε όλους τους ορίζοντες. Σε κάποιες περιόδους του έτους παρουσιάζουν ρωγμές τουλάχιστον 1 cm πλάτους και βάθους 50 cm εκτός αν αρδεύονται. Η διάβρωση είναι η μεγαλύτερη απειλή των εδαφών αυτών. Τα *Lithosol* στις πλαγιές των βουνών είναι γενικά πιο εύφορα από τα αντίστοιχά τους σε πεδινές περιοχές.



Χάρτης 2.4 Εδαφολογικός χάρτης νήσου Ρόδου.

2.1.9 Συντελεστές φυσικού περιβάλλοντος

2.1.9.1 Χλωρίδα

Στη Ρόδο, έχουν καταγραφεί συνολικά 1.351 φυτά εκ των οποίων οκτώ είναι τοπικά ενδημικά, 13 είναι ενδημικά του Αιγαίου και της Ρόδου, ενώ 64 είναι ενδημικά της Τουρκίας και της Ρόδου *(Σύλλογος προστασίας περιβάλλοντος Ρόδου, www.ecorodos.gr).*

Λόγω του μεσογειακού ξηρού κλίματος οι βιότοποι που απαντώνται στο νησί είναι κυρίως αυτοί της μεσογειακής ζώνης βλάστησης με αείφυλλους θάμνους (με χαρακτηριστικότερα είδη το σχίνο *Pistacia lentiscus*, την κουμαριά *Arbutus unedo* και το πουρνάρι *Quercus coccifera*), φρύγανα (με χαρακτηριστικότερα είδη το θυμάρι *Corydothymus capitatus*, την αστοιβή *Sarcopoterium spinosum*, τη ρίγανη *Origanum sp*, τον ασφόδελο *Asphodelus sp* και την ασφάκα *Phlomis fruticosa*), καθώς και πευκόφυτες πλαγιές τραχείας πεύκης Pinus brutia, που κατά τόπους συγκροτεί σπάνια μικτά δάση με οριζοντιόκλαδα κυπαρίσσια (*Cupressus sempervirens v. horizontalis*) *(Σύλλογος προστασίας περιβάλλοντος Ρόδου, www.ecorodos.gr).*

Τα μικτά αυτά δάση απαντώνται σε ελάχιστα μέρη στην Ελλάδα (Δωδεκάνησα και Κρήτη) και στη Ρόδο τα βρίσκουμε σε μία από τις καλύτερες και πιο αντιπροσωπευτικές τους μορφές. Στα σημεία της ενδοχώρας καλλιεργούνται κυρίως ελιές και αμπέλια, ενώ στα παράλια κυριαρχούν τα κέδρα *(Juniperus sp)* που φύονται ως και τη θάλασσα. Ανάμεσα στα ξεχωριστά φυτικά είδη της Ρόδου συμπεριλαμβάνεται και η λικιδάμβαρη (Liquidambar orientalis) ή ζητιά όπως αποκαλείται στη Ρόδο. Η κατανομή αυτού του δέντρου περιορίζεται στη Ρόδο και σε δύο περιοχές της ΝΔ Μικράς Ασίας. Συνήθως φυτρώνει σε ποτάμια και ρεματιές που έχουν συνεχή ροή καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου. Στη ζητιά οφείλεται η μεγάλη συσσώρευση των πεταλούδων στη γνωστή «κοιλάδα των πεταλούδων». Άλλα

είδη που συμμετέχουν λιγότερο ή περισσότερο στη βλάστηση του νησιού είναι η κουκουναριά *(Pinus pinea),* η χαρουπιά *(Ceratonia silliqua),* τα ρείκια *(Erica sp.),* η μυρτιά *(Myrtus communis),* η δάφνη *(Laurus nobilis),* η αγριοκουμαριά *(Arbutus adrachnae),* το σπάρτο *(Spartium junceum),* η ασπαλαθιά *(Callicotome villosa),* ο αρκουδόβατος *(Smilax aspera),* το σπαράγγι *(Asparagus acutifolius),* η πικροδάφνη *(Nerium oleander),* η γαλαστοιβή *(Euphorbia acanthothamnos),* η θρούμπα *(Satureja thymbra),* η ασφάκα *(Phlomis fruticosa),* οι λαδανιές *(Cistus sp.),* η λεβάντα *(Lavandula stoechas),* η αφάνα *(Genista acanthoclada),* το αμάραντο *(Helichrysum ciculum)* και η σκυλοκρεμμύδα *(Urginea maritima) (Σύλλογος προστασίας περιβάλλοντος Ρόδου, www.ecorodos.gr).*

2.1.9.2 Πανίδα

Στο νησί της Ρόδου έχουμε σημαντικούς χερσαίους οικοτόπους, εθνικής και διεθνούς σημασίας, με ένα μεγάλο αριθμό ειδών, παρότι οι πληθυσμοί πολλών σπονδυλωτών έχουν μειωθεί τα τελευταία χρόνια και συνεχίζουν να απειλούνται λόγω των ανθρωπίνων δραστηριοτήτων. Αντίστοιχα, τα γλυκά νερά της Ρόδου φιλοξενούν μεγάλη ποικιλία χλωρίδας και πανίδας *(Σύλλογος προστασίας περιβάλλοντος Ρόδου, www.ecorodos.gr).*

Τα χαρακτηριστικά ζώα που μπορούμε να βρούμε στα υδάτινα συστήματα του νησιού είναι το ενδημικό ψάρι γκιζάνι *(Ladigesocypris ghigii),* το γαστερόποδο *(Melanopsis praemorsa),* το καβούρι *(Potamon potamios),* η γαρίδα *(Palaemonetes antennarius),* το χέλι *(Anguilla anquilla),* ο βάτραχος της Καρπάθου *(Pelophylax cerigensis)* και η χελώνα *(Mauremys caspica).* Το γκιζάνι είναι ένα από τα πλέον απειλούμενα με εξαφάνιση είδη ψαριών των γλυκών νερών στην Ευρώπη και προστατεύεται από πολλούς κανονισμούς και νόμους *(Σύλλογος προστασίας περιβάλλοντος Ρόδου, www.ecorodos.gr).*

Η Ρόδος αποτελεί ένα από τα πιο σημαντικά και πλούσια νησιά της Ελλάδας σε ότι αφορά την ερπετοπανίδα. Στο νησί απαντώνται δύο είδη αμφιβίων (ο πράσινος φρύνος -*Bufo virdis* και πιθανώς ο απειλούμενος με εξαφάνιση ενδημικός βάτραχος της Καρπάθου-*Pelophylax cerigensis*), δύο είδη χελωνών (Ελληνική χελώνα-*Testudo graeca* και γραμμωτή νεροχελώνα-*Mauremys caspica*), εννέα είδη σαυρών (τυφλίτης-*Ophisaurus apodus*, σαμιαμίδι-*Hemidactylus turcicus,* οφίσοψ-*Ophisops elegans*, τρανόσαυρα-*Lacerta trilineata*, σαύρα της Ρόδου-*Lacerta oertzeni*, αφλέφαρος-*Ablepharus kitaibelii*, λιακόνι-*Chalcides ocellatus*, χρυσιζουσα σαύρα-*Mabuya aurata* και αμβίσβαινα-*Blanus strauchi*), και επτά είδη φιδιών (σαΐτα-*Plotyceps najadun*, μαύρος έφιος -*Dolichophis jugularis*, ζαμενής-*Hemorrhois nummifer*, σπιτόφιδο-*Zamenis situlus*, νερόφιδο -*Natrix natrix*, αγιόφιδο-*Telescopus fallax* και σκουληκόφιδο-*Typhlops vermicularis*). Σε ότι αφορά την ορνιθοπανίδα, περισσότερα από πενήντα είδη πουλιών φωλιάζουν στο νησί ενώ άλλα διακόσια είδη επισκέπτονται το νησί κατά τη μετανάστευση *(Σύλλογος προστασίας περιβάλλοντος Ρόδου, www.ecorodos.gr).*

Τα σημαντικότερα αναπαραγόμενα είδη είναι: ο μαυροπετρίτης *(Falco eleonorae)*, ο πετρίτης *(Falco peregrinus),* το χρυσογέρακο *(Falco biarmicus)*, η αετογερακίνα *(Buteo rufinus),* ο σπιζαετός *(Hieraaetus fasciatus,* το πιο μεγάλο αρπακτικό στη Ρόδο*)*, ο γαλαζοκότσυφας *(Monticola solitarius)*, η λευκοσουσουράδα *(Motacilla alba),* ο μαυροτσιροβάκος *(Sylvia melanocephala).* Από καιρό σε καιρό, εμφανίζονται πουλιά που είναι πολύ σπάνια στην Ευρώπη όπως ο ερημοσφυριχτής *(Charadirus leschenaulti)* και η σμυρναλκύονα *(Halcyon smyrnensis) (Σύλλογος προστασίας περιβάλλοντος Ρόδου, www.ecorodos.gr).*

Το πλατόνι *Dama dama* **(Εικόνα 2.1)**, είναι το πιο γνωστό και αντιπροσωπευτικό είδος από τα χερσαία θηλαστικά της Ρόδου, στα οποία περιλαμβάνονται και τα παρακάτω είδη: ο ανατολικός σκαντζόχοιρος *(Erinaceus concolor),* η δίχρωμη χωραφομυγαλίδα *(Crocidura leucodon),* οι πυγμαίες ετρουσκομυγαλίδες *(Suncus etruscus),* ο λαγός *(Lepus europaeus rhodius)*, το

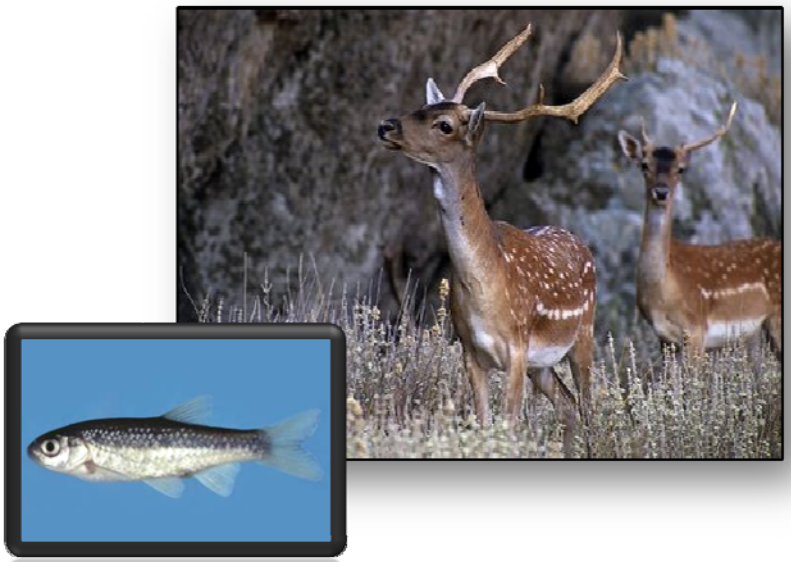
αγριοκούνελο *(Oryctolagus cuniculus),* ο βραχοποντικός *(Apodemus mystacinus rhodius),* ο δασοποντικός *(Apodemus sylvaticus),* ο δεκατιστής *(Rattus norvegicus),* ο μαυροποντικός *(Rattus rattus)* και το υποείδος του *Rattus rattus frugivorus*, ο σπιτοποντικός *(Mus domesticus),* η αλεπού *(Vulpes vulpes),* το κουνάβι *(Martes foina)* και το ενδημικό υποείδος του *Martes foina milleri*, ο ασβός *(Meles meles) (Σύλλογος προστασίας περιβάλλοντος ρόδου,* **www.ecorodos.gr***).*

Τα χειρόπτερα στη Ρόδο περιλαμβάνουν είδη όπως: ο ρινόλοφος του Blasius *(Rhinolophus blasii),* ο μεσορινόλοφος *(Rhinolophus euryale),* ο τρανορινόλοφος *(Rhinolophus ferrumequinun),* μικρορινόλοφος *(Rhinolophus hipposideros),* η τραυμομυωτίδα *(Myotis myotis),* η λευκονυχτερίδα *(Pipistrellus kuhlii),* η νανονυχτερίδα *(Pipistrellus pipistrellus),* η βουνονυχτερίδα *(Pipistrellus savii),* η Μεσογειακή ωτονυχτερίδα *(Miniopterus schreibersi)* και ο νυχτονόμος *(Tadarida teniotis) (Σύλλογος προστασίας περιβάλλοντος ρόδου,* **www.ecorodos.gr***).*

Στη Ρόδο υπάρχει επίσης ένας πληθυσμός μικρόσωμων αλόγων ελευθέρας βοσκής, εκ των οποίων επέζησε, τα τελευταία χρόνια, ένας πολύ μικρός αριθμός που ζει σε βραχώδεις λόφους στα περίχωρα του χωριού Αρχάγγελος. Ο βιότοπος τους πριν περισυλλεχτούν για λόγους προστασίας και αύξησης του πληθυσμού σε περιφραγμένο χώρο στην περιοχή του χωριού Αρχάγγελος, με σκοπό την απελευθέρωση αργότερα στον ίδιο χώρο, βρισκόταν στην περιοχή του όρους Κουτσούπη Αρχαγγέλου και στην περιοχή του Αγ. Νεκταρίου Αρχίπολης *(Σύλλογος προστασίας περιβάλλοντος ρόδου,* **www.ecorodos.gr***).*

Το *Ladigesocypris ghigii (Pisces, Cyprinidae),* κοινώς γκιζάνι **(Εικόνα 2.1)**, είναι ένα ψάρι μικρού μεγέθους που ζει αποκλειστικά στα γλυκά νερά της Ρόδου. Πήρε το κοινό, αλλά και το επιστημονικό όνομα του, από τον Ιταλό καθηγητή Alessandro Ghigi που το πρωτοσυνέλλεξε στο νησί στις αρχές του 1900. Καταφέρνει να ζει στο εξαιρετικά ασταθές περιβάλλον των ρεμάτων του νησιού, που το χειμώνα μπορεί να πλημμυρίσουν, ενώ το καλοκαίρι ξεραίνονται στο μεγαλύτερο μέρος τους.

Γι' αυτό, ο κύκλος ζωής του είναι σύντομος (ζει συνήθως στη φύση έως και τρία χρόνια), τρώει ένα ευρύτατο φάσμα τροφών και αναπαράγεται την άνοιξη και το καλοκαίρι σε μεγάλους αριθμούς. Θεωρείται ένα από τα πιο απειλούμενα με εξαφάνιση είδη ψαριών των γλυκών νερών στην Ευρώπη, δεδομένου ότι τα τελευταία χρόνια ένας από τους πληθυσμούς του έχει ήδη εξαφανιστεί (στη λίμνη των Νάνων), ενώ αυτοί που απομένουν εμφανίζουν τάσεις συνεχούς περιορισμού. Το γκιζάνι προστατεύεται τόσο από την Ευρωπαϊκή, όσο και από την Ελληνική Νομοθεσία. Συμπεριλαμβάνεται στο Παράρτημα ΙΙ της Κοινοτικής Οδηγίας για την Προστασία των Βιοτόπων (92/43/ΕΕC), ως είδος προτεραιότητας, καθώς και στο Κόκκινο Βιβλίο Απειλούμενων Ειδών της Ελλάδας. Επίσης προστατεύεται από την Ελληνική Νομοθεσία με το Προεδρικό Διάταγμα 67/1981 *(Πρόγραμμα Life-Φύση, 1998, http://www.life-gizani.gr).*



Εικόνα 2.2 Χαρακτηριστική πανίδα, Νήσου Ρόδου

(Πηγή www.ert.gr και www.life-gizani.gr).

2.1.10 Περιοχές σε καθεστώς προστασίας

Σύμφωνα με στοιχεία του Υπουργείου Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων (Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε) στην Ρόδο έχουν ενταχθεί στο δίκτυο *Natura 2000*, πέντε περιοχές που έχουν χαρακτηριστεί προστατευόμενες με βάση διεθνείς

συνθήκες και έχουν ενταχθεί σε ειδικά προγράμματα προστασίας λόγω της σπουδαιότητας τους οι οποίες παρουσιάζονται στον **Πίνακα 2.3**. Η οικολογική σπουδαιότητα οφείλεται στην ποικιλότητα των τύπων οικοτόπων (20 είδη), στην ενδιαφέρουσα χλωρίδα που περιλαμβάνει αρκετά ενδημικά και σπάνια είδη, καθώς και στην ποικιλία της πανίδας. Οι περιοχές αυτές δείχνουν τον πολύτιμο οικολογικό πλούτο της νήσου Ρόδου, ο οποίος πρέπει να προστατευτεί για να συμβάλλει στην ανάπτυξη του νησιού. Η νήσος Ρόδος, διαθέτει ιδιαίτερα φυσικά, ιστορικά και αρχαιολογικά στοιχεία τα οποία μπορούν να στηρίξουν την ανάπτυξη τουριστικών δραστηριοτήτων και το περιβάλλον πρέπει να αποτελέσει τον σκελετό για την ανάπτυξη για την ανάπτυξη των δραστηριοτήτων αυτών. Οι φυσικές και πολιτιστικές αξίες χρησιμοποιούνται και αντιμετωπίζονται, ως τουριστικοί πόροι. Μαζί με τις πρωτοβουλίες για την αναστολή των κλιματικών αλλαγών, το δίκτυο *Natura 2000* αποτελεί τον ακρογωνιαίο λίθο της πολιτικής της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την προστασία της βιοποικιλότητας της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

Πίνακας 2.3 Περιοχές Natura 200 νήσου Ρόδου (Πηγή www.minenv.gr, Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε).

Κωδικός	Κατηγορία	Ονομασία τόπου	Έκταση (ha)
GR4210005	SCI	Ακραμύτης, Αρμενιστής, Ατάβυρος και θαλάσσια ζώνη	27.514,59
GR4210006	SCI	Προφήτης Ηλίας, Επτά πηγές, Πεταλούδες	11.184,40
GR4210029	SPA	Προφήτης Ηλίας, Επτά πηγές, εκβολή Λουτάνη, Κάτεργο ρέμα Γαδουρά, χερσόνησος Λίνδου, νησίδες Πεντάνησα & Τετράπολις, λόφος Ψαλίδι	13.486,93
GR4210030	SPA	Όρη Ατάβυρος και Ακραμύτης, τεχνητή λίμνη Απολακκιάς και νησίδες Γεωργίου, Στρογγυλή, Χτένιες και Καράβολας	13.163,44
GR4210031	SPA	Πρασονήσι, υγρότοπος λιβάδι Κατταβιάς	2.887,21

SCI : Χώρος Κοινοτικής σημασίας

SPA : Χώρος ειδικής σημασίας για την Ορνιθοπανίδα

2.2 Περιγραφή της ευρύτερης περιοχής μελέτης του Δήμου Αφάντου

2.2.1 Γεωγραφική θέση και διοικητική υπαγωγή

Η περιοχή μελέτης ορίζεται η ευρύτερη περιοχή του Δήμου Αφάντου περιλαμβάνοντας τις δύο μεγάλες λεκάνες απορροής των ποταμών Πελέμονη και Λουτάνη καθώς και τις λεκάνες απορροής των ποταμών Μπραστάνου, Τραπεζία και Κολύμπια που είναι πολύ μικρότερης έκτασης. Οι υπό εξέταση λεκάνες απορροής βρίσκονται στο βορειοανατολικό τμήμα της νήσου Ρόδου και έχουν συνολική έκταση 118.22 km^2. Η μεγαλύτερη έκταση των λεκανών απορροής βρίσκεται στα όρια του Δήμου Αφάντου ενώ ένα τμήμα, Δυτικά της πόλης Αφάντου, περιλαμβάνεται στο Δήμου Καλλιθέας. Οι λεκάνες απορροής συνορεύουν Βόρεια με το Δήμο Καλλιθέας, Νότια με το Δήμο Αρχαγγέλου, ενώ Δυτικά με το Δήμο Καμείρου.

Ο Δήμος Αφάντου με πραγματικό πληθυσμό 6.712 κατοίκους περιλαμβάνει τα δημοτικά διαμερίσματα Αφάντου (5.933) και Αρχίπολη (779). Μέσα στις λεκάνες απορροής των ποταμών Πελέμονη και Λουτάνη βρίσκονται τρία δημοτικά διαμερίσματα (Αφάντου, Αρχίπολη, Ψίνθος) τα οποία έχουν συνολικό πραγματικό πληθυσμό που ανέρχεται σε 7.878 κατοίκους. Το δημοτικό διαμέρισμα της Ψίνθου με πραγματικό πληθυσμό 1.166 κατοίκους υπάγεται διοικητικά στο Δήμο Καλλιθέας (*απογραφή Ε.Σ.Ε, 2001*).

Ο Δήμος Αφάντου αποτελείται από την πόλη του Αφάντου, την Αρχίπολη και τον οικισμό Κολύμπια. Το Αφάντου αποτελεί το μεγαλύτερο αστικό κέντρο του Δήμου με πληθυσμό 5.494 κατοίκους **(Εικόνα 2.4)**, απέχει περίπου 20 km από την πόλη της Ρόδου και βρίσκεται στις όχθες του ποταμού Πελέμονη σε υψόμετρο 30 m. Η παραλία Αφάντου με μήκος 4 km, είναι η μεγαλύτερη παραλία του νησιού και συνδυάζει βότσαλο, άμμο και πεντακάθαρα βαθιά νερά. Εκτείνεται από την περιοχή του Γκολφ Αφάντου μέχρι και την περιοχή Κολύμπια όπου και συνδέεται με την ομώνυμη παραλία. Το γήπεδο γκολφ, επιφάνειας 550 στρεμμάτων μαζί με τις

κτιριακές εγκαταστάσεις προς εξυπηρέτηση των πελατών – παιχτών, έχει έκταση εμβαδού περίπου 1.500 στρεμμάτων. Η παραλία Αφάντου (όπως και οι περισσότερες παραλίες του νησιού) έχει βραβευθεί επανειλημμένα με τη γαλάζια σημαία της Ευρώπης για την καθαριότητά της (**Εικόνα 2.5**). Σύμφωνα με στοιχεία του Δήμου, η αύξηση του πληθυσμού ανέρχεται σε 3,8 % του πληθυσμού την περίοδο από το 2001, μέχρι το τέλος του 2008.

Εικόνα 2.3 Ευρύτερη περιοχή Δήμου Αφάντου (Πηγή Google earth).

Εικόνα 2.4 Η πόλη του Αφάντου.

Εικόνα 2.5 Η παραλία της πόλης του Αφάντου.

Σε απόσταση περίπου τεσσάρων χιλιομέτρων νοτιότερα του Αφάντου βρίσκεται ο οικισμός Κολύμπια ένα από τα πιο αξιόλογα ανερχόμενα τουριστικά θέρετρα του νησιού με πληθυσμό 439 κατοίκους *(απογραφή Ε.Σ.Υ.Ε, 2001).*

Η περιοχή Κολύμπια εκτίνεται από τις εκβολές του ποταμού Λουτάνη μέχρι τους πρόποδες του βουνού Τσαμπίκα. Χαρακτηριστική η ρυμοτομία της περιοχής έργο των Ιταλών καθώς και ο δρόμος μήκους 2.300 m, με πεντακόσιους πενήντα ευκαλύπτους περίπου **(Εικόνα 2.6)**. Οι μόνιμοι κάτοικοι της περιοχής είναι ελάχιστοι λόγω της ραγδαίας τουριστικής ανάπτυξης της περιοχής, στο μεγαλύτερο μέρος του οικισμού υπάρχουν σύγχρονες ξενοδοχειακές μονάδες, καφετέριες, και πληθώρα τουριστικών επιχειρήσεων.

Εικόνα 2.6 Οικισμός Κολύμπια Αφάντου.

Πηγαίνοντας δυτικότερα από τα Κολύμπια προς το εσωτερικό του νησιού κατά μήκος του ποταμού Λουτάνη, συναντάει κανείς τις Επτά Πηγές με τα νερά που αναβλύζουν από τη γη, την εκκλησία του Αγίου Νεκταρίου με την πηγή της **(Εικόνα 2.7)** καθώς και το χωριό Αρχίπολη. Κοντά στον ιερό ναό του Αγίου Νεκταρίου έχει δημιουργηθεί ένα καταπράσινο πάρκο το οποίο φτάνει μέχρι τις

όχθες του ποταμού Λουτάνη, με αμέτρητα πεύκα και μια μικρή φυσική λίμνη με άφθονα νερά.

Το χωριό Αρχίπολη **(Εικόνα 2.8)** είναι κτισμένο σε υψόμετρο 190 m, στους πρόποδες του βουνού Αξιντές, και ανάμεσα στα βουνά Μακρόγιαννου, Αξιντές και Γιάμπελο. Απέχει δεκατρία χιλιόμετρα από το κέντρο της πόλης του Αφάντου και έχει πραγματικό πληθυσμό 779 κατοίκους. Το έδαφος είναι ιδιαίτερα γόνιμο διότι ενισχύεται από τον ποταμό Λουτάνη που διασχίζει την εύφορη πεδιάδα. Το δάσος της Αρχίπολης το οποίο συνορεύει με τα γειτονικά χωριά Ελεούσα και Διμυλιά, περιλαμβάνει μία μεγάλη ποικιλία πανίδας και χλωρίδας, αφού αποτελείται από λαγούς, πέρδικες, γεράκια και ελάφια, ενώ παλαιότερα υπήρχαν αλεπούδες, γύπες και τσακάλια. Η πλούσια χλωρίδα του αποτελείται κυρίως από πλατάνια, κυπαρίσσια και πεύκα. Πολλά θεραπευτικά και αρωματικά βότανα φυτρώνουν όπως το χαμομήλι, το θυμάρι και το φασκόμηλο.

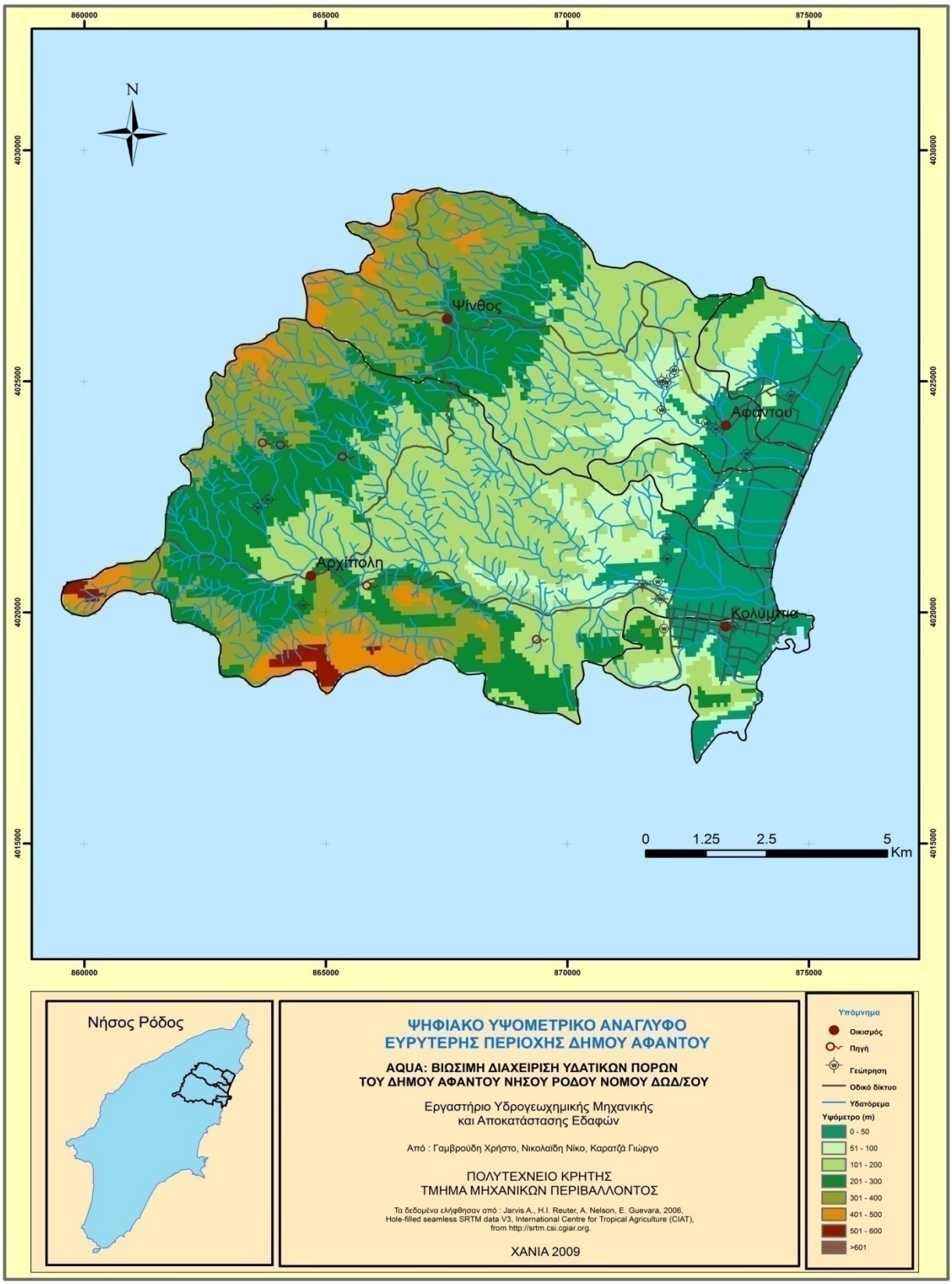
Εικόνα 2.7 Η Εκκλησία του Αγίου Νεκταρίου

Εικόνα 2.8 Χωριό Αρχίπολη στους πρόποδες του βουνού Αξιντές.

2.2.2 Γεωμορφολογικά στοιχεία

Το υψομετρικό ανάγλυφο των λεκανών απορροής της ευρύτερης περιοχής του Δήμου Αφάντου φαίνεται στο **Χάρτη 2.5**. Όπως φαίνεται στο Χάρτη οι ορεινές περιοχές εμφανίζονται στο Δυτικό και Νοτιοδυτικό τμήμα της περιοχής στα δημοτικά διαμερίσματα της Ψίνθου και της Αρχίπολης, όπου έχουμε και την εμφάνιση καρστικών πηγών επαφής (υψόμετρα 200-300 m) που τροφοδοτούν τις δύο κύριες λεκάνες απορροής των ποταμών Λουτάνη και Πελέμονη. Το μεγαλύτερο ποσοστό της έκτασης είναι πεδινό, το μέγιστο υψόμετρο της περιοχής φτάνει τα 630 m περίπου, Δυτικά του χωριού Αρχίπολη. Το μέγιστο υψόμετρο στην λεκάνη απορροής του ποταμού Πελέμονη είναι 460 m περίπου, Δυτικά του δημοτικού διαμερίσματος Ψίνθου με το μέσο υψόμετρο της λεκάνης να είναι 210 m.

Αντίστοιχα στην λεκάνη απορροής του ποταμού Λουτάνη το μέσο υψόμετρο φθάνει τα 205 m και παρουσιάζει το μέγιστο στα 630 m. Η μέγιστη κλίση του υπεδάφους είναι αυτή που εμφανίζεται στην περιοχή Κολύμπια με μέση τιμή 19,4 % ενώ η μικρότερη στην περιοχή Τραπεζία με μέση κλίση 4,5 %. Ο οικισμός Κολύμπια και η πόλη του Αφάντου καλύπτουν το παρόχθιο τμήμα της περιοχής σε υψόμετρα που δεν ξεπερνούν τα 100 m. Το ανάγλυφο στις λεκάνες απορροής των υδατορεμάτων Μπραστάνου και Κολύμπια δεν ξεπερνά τα 350 m, ενώ στην λεκάνη απορροής του υδατορέματος Τραπεζία τα 200 m με τα μέσα υψόμετρα να είναι περίπου 76 m, 43 m και 83 m αντίστοιχα. Το κεντρικό τμήμα της περιοχής είναι ημιορεινό με το ανάγλυφο να μην ξεπερνά τα 200 m.



Χάρτης 2.5 Ψηφιακό υψομετρικό ανάγλυφο της ευρύτερης περιοχής του Δήμου Αφάντου.

2.2.3 Γεωλογικά στοιχεία

Από στρωματογραφικής άποψης, οι γεωλογικοί σχηματισμοί που εμφανίζονται στην ευρύτερη περιοχή του Δήμου Αφάντου **(Χάρτη 2.6)** περιγράφονται ως εξής *(Mutti, Orombelli, Pozzi, 1960-1965)*:

- Πρόσφατες αλλουβιακές και παράκτιες αποθέσεις – άργιλοι, κροκαλοπαγή και πλευρικά κορήματα σε μικρό πάχος που δεν ξεπερνά τα 20 m (Τεταρτογενή ιζήματα). Χαρακτηρίζονται ως περατοί σχηματισμοί.

- Σχηματισμός Σγούρου. Γκριζοπράσινες μάργες με άμμους και χαλίκια καθώς και πορώδεις ασβεστόλιθοι (Τεταρτογενή ιζήματα). Χαρακτηρίζονται ως περατοί σχηματισμοί.

- Λεβαντίνια Ιζήματα. Ποταμοχειμάρρια - λιμναία κροκαλοπαγή, χάλικες, άμμοι και ιλυώδης μάργες (Νεογενή ιζήματα). Γενικά χαρακτηρίζονται ως περατοί σχηματισμοί.

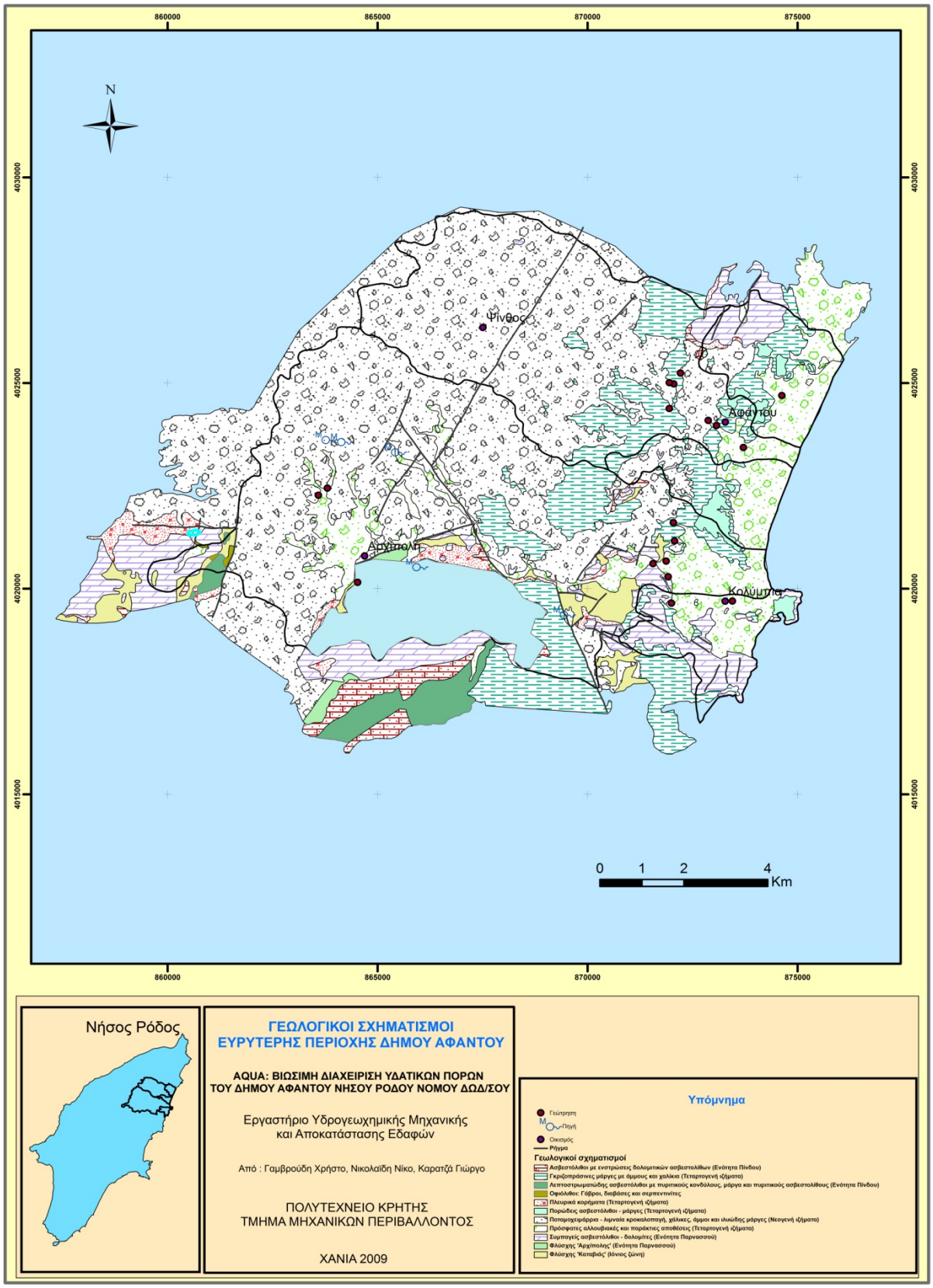
- Ασβεστόλιθοι Μαλόνας. Λεπτοστρωματώδης ασβεστόλιθοι με πυριτικούς κονδύλους, μάργα και πυριτικούς ασβεστολίθους (Ενότητα Πίνδου). Μακροπερατοί σχηματισμοί έντονα καρστικοποιημένοι.

- Ασβεστόλιθοι Ελαφόκαμπου. Πυριτικοί ασβεστόλιθοι με ενστρώσεις δολομιτικών ασβεστολίθων (Ενότητα Πίνδου). Μακροπερατοί σχηματισμοί έντονα καρστικοποιημένοι.

- Φλύσχης Αρχίπολης. Ψαμμίτες με μάργες (Ενότητα Παρνασσού). Μη περατοί σχηματισμοί με μόνο το κροκαλοπαγές μέρος περατό.

- Ασβεστόλιθοι Σαλάκου. Συμπαγείς ασβεστόλιθοι - δολομίτες (Ενότητα Παρνασσού). Μακροπερατοί σχηματισμοί έντονα κερματισμένοι λόγω τεκτονικής καταπόνησης.
- Οφιόλιθοι. Γάβροι, διαβάσες και σερπεντινίτες (Ενότητα Γαβρόβου-Τριπόλεως). Μη περατοί σχηματισμοί.

- Φλύσχης Καταβιάς. Μη περατοί σχηματισμοί.



Χάρτης 2.6 Γεωλογικοί σχηματισμοί ευρύτερης περιοχής Δήμου Αφάντου.

2.2.4 Εδαφολογικά στοιχεία

Σύμφωνα με τον Εδαφολογικό χάρτη της νήσου Ρόδου **(Χάρτης 2.4)** στην ευρύτερη περιοχή του Δήμου Αφάντου υπάρχουν τρείς κατηγορίες κατάταξης εδαφών σύμφωνα με το σύστημα ταξινόμησης κατά FAO-UNESCO.

- Το παραθαλάσσιο τμήμα της περιοχής έως το ύψος της πόλης του Δήμου Αφάντου και μέχρι τα Κολύμπια συναντώνται ασβεστούχα εδάφη της κατηγορίας *Calcaric Fluvisol* σε κάποιο βάθος μεταξύ 20-50 cm από την επιφάνεια. Τα *Fluvisol* είναι εδάφη χωρίς διαγνωστικό ορίζοντα και με καλή φυσική γονιμότητα, σε αλλούβιες αποθέσεις. Τα εδάφη τύπου *Fluvisol* είναι κατάλληλα για ξηρές καλλιέργειες, φυσικά με κάποια μορφή ελέγχου του νερού άρδευσης.

- Το μεγαλύτερο μέρος της έκτασης της ευρύτερης περιοχής του Δήμου Αφάντου καλύπτεται από εδάφη τύπου *Calcaric Regosol*. Τα εδάφη αυτά είναι ασβεστούχα σε κάποιο βάθος μεταξύ 20-50 cm από την επιφάνεια. Είναι μη στερεοποιημένα και καλά διαβαθμισμένα εδάφη χωρίς να είναι εμφανής ο διαγνωστικός τους ορίζοντας, με ελάχιστη ανάπτυξη λόγω του νεαρού της ηλικίας τους. Είναι εδάφη με ορίζοντα με πάχος όχι μεγαλύτερο από 25 cm χωρίς άλλους διαγνωστικούς ορίζοντες εκτός εάν είναι θαμμένοι σε βάθος μεγαλύτερο των 50 cm από την επιφάνεια. Σε θερμά κλίματα το χρώμα του ορίζοντα είναι ανοικτότερο από του υποκείμενου, παρουσιάζει συσσώρευση οργανικής ουσίας, συνδέεται αναπόσπαστα με το ανόργανο κλάσμα και η μορφολογία του εξαρτάται από την εδαφογένεση. Η οργανική ουσία προέρχεται από φυτικά και ζωικά υπολείμματα και εισχωρεί στο έδαφος περισσότερο λόγω βιολογικής δραστηριότητας. Τα εδάφη αυτά εμφανίζονται σε ξηρά και ημίξηρα κλίματα και σε περιοχές διάβρωσης και συγκεκριμένα σε ορεινές περιοχές. Σε περιοχές με εδάφη τύπου Regosol υπάρχει εκτενής

βοσκή ή χρησιμοποιούνται για καλλιέργεια σιτηρών, σακχαρότευτλων καθώς και οπωροφόρων δέντρων.

- Ένα μικρό τμήμα της περιοχής νοτιοδυτικά των Κολυμπίων, ο ορεινός όγκος του βουνό Αξιντές καλύπτεται από εδάφη τύπου Chromic *Luvisol*. Είναι εδάφη με μη ανόργανο ορίζοντα χωρίς δομή πετρώματος που παρουσιάζει συγκέντρωση πυριτικής αργίλου, σιδήρου, αργιλίου ή οργανικής ουσίας ανεξάρτητα ή σε συνδυασμό, παρουσιάζει έμμεση συγκέντρωση τριοξειδίων ή πυριτικών ορυκτών της αργίλου και εμφάνιση αλλοιώσεων του μητρικού υλικού ή με ορίζοντα ο οποίος έχει πάχος μεγαλύτερο από 25 cm. Τα *Luvisols* είναι έχουν υψηλότερη περιεκτικότητα σε αργίλους υψηλής ενεργότητας, στους υποκείμενους ορίζοντες από ότι επιφανειακά ως αποτέλεσμα διαδικασιών σχηματισμού των εδαφών που οδηγούν σε έναν αργιλικό κατώτερο ορίζοντα. Τα περισσότερα *Luvisols* είναι εύφορα εδάφη ενώ σε απότομες κλίσεις απαιτούνται μέτρα ελέγχου για διάβρωση.

2.2.5 Υδρογεωλογικά στοιχεία

2.2.5.1 Επιφανειακά υδρολογικά συστήματα

Οι λεκάνες απορροής της ευρύτερης περιοχής του Δήμου Αφάντου καλύπτουν έκταση 118,22 km^2 με μέσο υψόμετρο περίπου 120 m. Το υδρογραφικό δίκτυο παρουσιάζει συνολικό μήκος περίπου 411 km **(Χάρτης 2.7)**. Η περιοχή χωρίζεται σε πέντε λεκάνες απορροής, όλες σε διεύθυνση Δ→Α, με μεγαλύτερες σε έκταση αυτές των ποταμών Λουτάνη και Πελέμονη ενώ μικρότερες λεκάνες είναι αυτές των ποταμών Μπραστάνου, Τραπεζία και Κολύμπια. Οι λεκάνες απορροής καθώς και τα κύρια χαρακτηριστικά τους παρουσιάζονται στους **Πίνακες 2.4** και **2.5**.

Πίνακας 2.4 Κύρια χαρακτηριστικά λεκανών απορροής της ευρύτερης περιοχής του Δήμου Αφάντου.

Χαρακτηριστικά (1)					
Λεκάνη απορροής	Έκταση (km^2)	Μήκος υδρογραφικού δικτύου (km)	Μέσο υψόμετρο (m)	Μέγιστο υψόμετρο (m)	Μέση κλίση λεκάνης %
Λουτάνη	63,5	249,2	204,5	634,4	13,0
Πελέμονη	35,0	133,0	210,2	460,2	11,1
Κολύμπια	6,3	5,1	83,4	341,7	19,2
Μπραστάνου	7,5	12,0	76,4	323,1	9,0
Τραπεζία	5,8	12,4	43,3	158,5	4,5

Πίνακας 2.5 Κύρια χαρακτηριστικά λεκανών απορροής της ευρύτερης περιοχής του Δήμου Αφάντου.

Χαρακτηριστικά (2)					
Λεκάνη απορροής	Δείκτης αναγλύφου (I_r)	Ενεργό πλάτος W (km)	Πυκνότητα Υδρογραφικού δικτύου D_d (1/km)	Συντελεστής ελικτότητας κύριου υδατορέματος C_ε	Χρόνος συγκέντρωσης t_c (min)
Λουτάνη	0,043	5,04	3,92	1,52	290
Πελέμονη	0,039	3,15	3,80	1,32	235
Κολύμπια	0,112	2,17	0,81	1,44	25
Μπραστάνου	0,108	2,34	1,60	1,31	30
Τραπεζία	0.055	1,38	2,14	0,81	43

Ο διαχωρισμός των ποταμών σε κατηγορίες γίνεται με βάση τη διάρκεια ροής του νερού και χωρίζονται σε συνεχούς ροής, που ρέουν καθ' όλη τη διάρκεια του έτους και σε διαλείπουσας ροής, που η ροή λαμβάνει χώρα για κάποια χρονικά διαστήματα κατά τα διάρκεια του έτους και σε επεισοδιακής ροής, γνωστά και ως ξεροπόταμοι στη χώρα μας, ή όπου η ροή γίνεται μόνο κατά τη διάρκεια επεισοδίων βροχής, αλλά συνήθως και για σύντομες περιόδους μετά τα επεισόδια αυτά *(Τζωράκη, 2007).*

Ο δείκτης αναγλύφου (I_r) της λεκάνης απορροής μετράει το συνολικό βαθμό της κλίσης της λεκάνης απορροής και είναι ο δείκτης της έντασης των διεργασιών της διάβρωσης που έγιναν ή γίνονται στις πλαγιές της λεκάνης απορροής. Σημειώνεται ότι περιοχές με ήπιες κλίσεις είναι ευνοϊκότερες για εντοπισμό αποθεμάτων υπογείων νερών σε σχέση με περιοχές με απότομες κλίσεις.

Υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση όπου, I είναι η απόσταση μεταξύ μέγιστου και ελάχιστου ανάγλυφου σε m και H_m το μέγιστο υψόμετρο της λεκάνης σε m.

$$I_r = \frac{H_m}{I}$$

Η μέση κλίση της λεκάνης απορροής υπολογίζεται από τον τύπο :

$$i = \frac{h_{\max} - h_{\min}}{\sqrt{A}}$$

όπου, h_{max}, h_{min} το μέγιστο και ελάχιστο υψόμετρο m και A το εμβαδόν της λεκάνης απορροής m.

Το ενεργό πλάτος W δίνεται από τον τύπο: $W = \frac{A}{L}$

όπου, A το εμβαδόν της λεκάνης σε km^2 και L το μήκος της λεκάνης απορροής σε km.

Η πυκνότητα του υδρογραφικού δικτύου εκφράζει τον διαμελισμό του ανάγλυφου της λεκάνης απορροής και σχετίζεται με την υδατοπερατότητα των πετρωμάτων. Υπολογίζεται από τη σχέση :

$$D_d = \frac{\sum L_i}{A}$$

Όπου, ∑Li το συνολικό μήκος του υδρογραφικού δικτύου σε km και A το εμβαδόν της λεκάνης απορροής σε km^2. Χαμηλές τιμές δηλώνουν ότι τα πετρώματα είναι υδατοπερατά ενώ οι υψηλές τιμές (>4,5) αδιαπέρατα. Ωστόσο, η παράμετρος αυτή εξαρτάται και από άλλους παράγοντες όπως το κλίμα, το ανάγλυφο, η αντίσταση στη διάβρωση, γι αυτό πρέπει να αξιολογείται με προσοχή όσον αφορά την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με την περατότητα των πετρωμάτων. Μεγάλη πυκνότητα

υδρογραφικού δικτύου επηρεάζει θετικά την απορροή αυξάνοντας τα peak του υδρογραφήματος και παράλληλα περιορίζει τον διαθέσιμο χρόνο κατείσδυσης.

Ο συντελεστής ελικτότητας του κύριου υδατορέματος ισούται με :

$$C_{\varepsilon} = \frac{L_{main}}{L}$$

Όπου, L_{main} είναι το μήκος του κυρίου υδατορέματος σε km και L το μήκος της λεκάνης απορροής σε km.

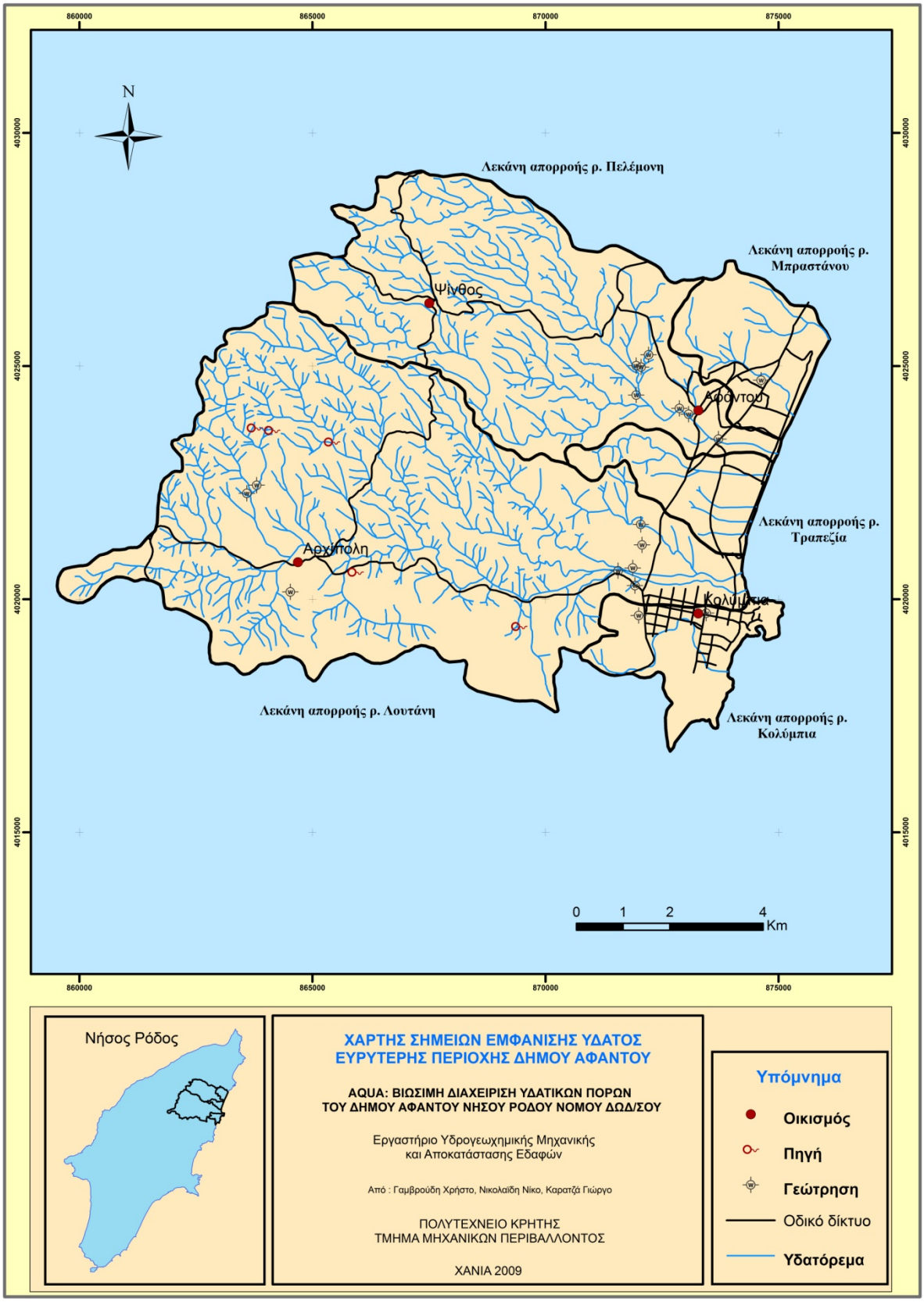
Οι χρόνοι συγκέντρωσης υπολογίστηκαν από τους τύπους κατά Kirpich και Giandotti. Σύμφωνα με τις ελληνικές προδιαγραφές μελετών (Π.Δ. 696/74) για τον υπολογισμό του χρόνου συγκέντρωσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί η εξίσωση κατά Kirpich για πεδινές λεκάνες απορροής μικρότερες των 13 km^2 ενώ η εξίσωση κατά Giandotti για λεκάνες μικρότερες από 130 km^2.

Σύμφωνα με τον Kirpich, ο χρόνος συγκέντρωσης δίνεται από τον τύπο $t_c = 0,0195 \times L^{0,77} \times S^{-0,385}$, όπου L το μέγιστο τμήμα διαδρομής νερού πάνω στην υπό μελέτη λεκάνη m και S η μέση κλίση της λεκάνης σε m/m.

Αντίστοιχα, κατά Giandotti ο χρόνος συγκέντρωσης υπολογίζεται από τον τύπο :

$$t_c = \frac{4\sqrt{A} + 1,5L}{0,8\sqrt{\Delta Z}}$$

Όπου, L το μήκος της κύριας μισγάγγειας σε km, A το εμβαδόν της λεκάνης απορροής σε km^2 και ΔZ η υψομετρική διαφορά του μέσου υψομέτρου από το υψόμετρο του στομίου εξόδου (εκβολή υδατορέματος) σε m.



Χάρτης 2.7 Λεκάνες απορροής και υδρογραφικό δίκτυο ευρύτερης περιοχής Δήμου Αφάντου.

Η διάρκεια και η ποσότητα της ροής ποταμών διαλείπουσας ροής στη νήσο Ρόδο σπάνια μετράται ή ελέγχεται ενώ οι περισσότεροι δε διαθέτουν σταθμούς μέτρησης ποιότητας και ποσότητας νερού, σταθμών λήψης μετεωρολογικής πληροφορίας και βροχομετρικών σταθμών.

Στην ανατολική πλευρά της νήσου Ρόδου, στην ευρύτερη περιοχή του Δήμου Αφάντου, βρίσκεται ο ποταμός Πελέμονης ο οποίος ξεραίνεται σχεδόν ολοκληρωτικά στο τέλος του καλοκαιριού και είναι αρκετά υποβαθμισμένος **(Εικόνα 2.10)**. Ο ποταμός Λουτάνης **(Εικόνα 2.12)**, ο δεύτερος μεγαλύτερος ποταμός του νησιού, βρίσκεται στο βορειοανατολικό τμήμα της νήσου Ρόδου και στο μεγαλύτερο μέρος του ανήκει σε προστατευόμενη περιοχή *NATURA 2000 (Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε, www.minenv.gr).* Τους χειμερινούς μήνες, κυρίως λόγω των βροχοπτώσεων έχει άφθονο νερό που καταλήγει και εκβάλει στην παραλία του Αφάντου ενώ το καλοκαίρι το μεγαλύτερο μέρος του ξεραίνεται. Κατά τους θερινούς μήνες δεν παρατηρείται ροή και αυτό οφείλεται σε διάφορους παράγοντες όπως: ξηρασία, μεγάλη εξατμισοδιαπνοή, άντληση νερού από το ποτάμι, μεγάλες απαιτήσεις για άρδευση που συνάγουν υπεράντληση του υπόγειου υδροφόρου, καθώς και αποστράγγιση του νερού του ποταμού προς τα υπόγεια σε αλλουβιακό ή καρστικό υδροφόρο. Στους ποταμούς Λουτάνη και Πελέμονη συμβάλλουν μια σειρά από παραποτάμους και υδατορέματα, εφήμερου κυρίως χαρακτήρα, ενώ ο ποταμός Λουτάνης τροφοδοτείται και από μία σειρά πηγών διαλείπουσας παροχής. Από τις πηγές, σημαντικότερες είναι αυτές των Επτά Πηγών. Χαρακτηριστικό σύστημα διαχείρισης των υδάτων του ποταμού Λουτάνη αποτελεί η περιοχή της Στένης **(Εικόνα 2.9)** στην οποία υπήρχε μικρό ανασχετικό φράγμα για τη συλλογή και εκμετάλλευση της ροής του ποταμού καθώς και των πηγών της περιοχής.

Κύριο χαρακτηριστικό των ποταμών Λουτάνη και Πελέμονη είναι η έντονη διαφοροποίηση στην παροχή του νερού μεταξύ του χειμώνα, οπότε και έχουμε το φαινόμενο πλημμυρικής απορροής και θέρους οπότε παρουσιάζεται το φαινόμενο ξήρανσης της κοίτης και συρρίκνωσης της επιφάνειας του ποταμού. Συνήθως με την

πρώτη βροχή λαμβάνει χώρα το φαινόμενο του first flush, όπου το νερό της βροχής συμπαρασύρει φερτά υλικά (αιωρούμενα σωματίδια και χαλίκια) και ρυπαντικά φορτία, προκαλεί έντονη διάβρωση της κοίτης του ποταμού και μεταφέρει μεγάλο όγκο φερτών υλικών στον κάτω ρου και στην παράκτια ζώνη. Η διάβρωση εξαρτάται από την ένταση και διάρκεια της επιφανειακής απορροής και της βροχόπτωσης καθώς και από τα ιδιαίτερα μορφολογικά, υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά της λεκάνης απορροής.

Εικόνα 2.9 Περιοχή Στένης – Ποταμός Λουτάνης.

Μετά από κάθε βροχόπτωση παρατηρείται αλλαγή της κοίτης των ποταμών, ιδιαίτερα του ποταμού Λουτάνη, δηλαδή μεγάλες ποσότητες ιζήματος έχουν απομακρυνθεί και αρχίζει η εναπόθεση νέων. Παρατηρείται μια συνεχής και δυναμική μεταβολή της επιφάνειας της κοίτης, που καλύπτεται από νερό, είναι παρόχθια ή είναι ξηρή. Κατά μήκος του υδρογραφικού δικτύου των ποταμών υπάρχουν θέσεις, όπου το επιφανειακό νερό εισέρχεται στην υπόγεια ζώνη και θέσεις όπου νερό από την υπόγεια εισέρχεται στο νερό του ποταμού. Η αλληλεπίδραση επιφανειακού και υπογείου νερού καθορίζει τη χημεία τόσο του υπόγειου όσο και του επιφανειακού νερού. Μέχρι σήμερα η έρευνα έχει περισσότερο εστιαστεί στην μορφολογία και στην κατανόηση των πλημμυρικών φαινομένων των ποταμών διαλείπουσας ροής.

Ο ποταμός Λουτάνης συντηρεί κάθε χρόνο έναν αριθμό ψαριών (γκιζάνι) ανάλογο με την υπάρχουσα ποσότητα νερού. Σε περιόδους με πολλές βροχοπτώσεις, το ρέμα έχει αρκετό νερό το χειμώνα και την άνοιξη οπότε ο πληθυσμός του γκιζανιού καταφέρνει (στην πλειοψηφία του) να επιζήσει και έτσι στις αρχές του καλοκαιριού εμφανίζεται πολυάριθμος. Όταν όμως οι βροχές του χειμώνα είναι περιορισμένες πολλά ψάρια εγκλωβίζονται σε περιοχές του ρέματος, που ξεραίνονται σταδιακά (π.χ. παρόχθιες λιμνούλες), και πεθαίνουν **(Εικόνα 2.11)**. Ένας πολύ μικρός αριθμός γκιζανιών επιβιώνει επίσης στο μικρό φράγμα που βρίσκεται στα κατάντη του ποταμού Πελέμονη **(Εικόνα 2.10)**, κοντά στην πόλη Αφάντου.

Εικόνα 2.10 Ποταμός Πελέμονης – Ανασχετικό φράγμα ποταμού Πελέμονη.

Εικόνα 2.11 Το Ladigesocypris ghigii (Pisces, Cyprinidae), κοινώς γκιζάνι.

Εικόνα 2.12 Ποταμός Λουτάνης.

2.2.5.2 Υδροφορίες

Από την στρωματογραφία των σχηματισμών που περιγράφεται παραπάνω, γίνεται αντιληπτό ότι η περιοχή μελέτης απαρτίζεται από πλήθος υδροφορέων, ο καθένας από τους οποίους χαρακτηρίζεται από διαφορετικές υδρογεωλογικές ιδιότητες. Παράλληλα, η τεκτονική δομή της περιοχής φέρνει ποικιλοτρόπως σε επαφή τους διάφορους σχηματισμούς με αποτέλεσμα να υπάρχει υδραυλική επικοινωνία μεταξύ τους.

Σε γενικές γραμμές, διακρίνονται τρεις τύποι υδροφορέων στην ευρύτερη περιοχή, όσον αφορά την φύση του υδροφορέα:

- Καρστικοί υδροφορείς.
- Κοκκώδεις, φρεάτιοι ή μερικώς υπό πίεση υδροφορείς που αναπτύσσονται στα ιζήματα των λεκανών και στον αποσαθρωμένο μανδύα κλαστικών πετρωμάτων.
- Υδροφόροι που αναπτύσσονται σε μέσο ασυνεχειών, μέσα στο δευτερογενές πορώδες.

Ύδρευση – Άρδευση

Ο Δήμος Αφάντου υδρεύεται και αρδεύεται από υπόγειες γεωτρήσεις και πηγές οι θέσεις των οποίων παρουσιάζονται στο Χάρτη 2.7. Για την ύδρευση της πόλης και των παρακείμενων οικισμών, έχει συσταθεί Δημοτική Επιχείρηση Ύδρευσης - Αποχέτευσης (Δ.Ε.Υ.Α.), που λειτουργεί από το 2000 και είναι υπεύθυνη για την κατασκευή έργων ύδρευσης και αποχέτευσης, για την εξυπηρέτηση των αναγκών της πόλης και της ευρύτερης περιοχής του Δήμου Αφάντου, η οποία συνεχώς αναπτύσσεται. Ιδρύθηκε σε εφαρμογή του Νόμου 1069/80 με το Π.Δ. 273/1997. (ΦΕΚ 195/2-10-1997 / Τ. Α'), ύστερα από την υπ' αριθμόν 11/1997 Απόφαση του Δημοτικού Συμβουλίου του Δήμου Αφάντου. Στην ιδιοκτησία της επιχείρησης ανήκουν τα δίκτυα ύδρευσης μήκους περίπου 80 Km, τα δίκτυα αποχέτευσης ακαθάρτων μήκους περίπου 12 Km, τα δίκτυα αποχέτευσης ομβρίων μήκους περίπου 35 Km, 18 γεωτρήσεις, 18 αντλιοστάσια ύδρευσης καθώς και 5 δεξαμενές ύδρευσης.

Σύμφωνα με στοιχεία της ΔΕΥΑ. Αφάντου, οι συνολικές ανάγκες σε νερό (πληθυσμός-κτηνοτροφία-άρδευση-βιομηχανία) στον Δήμο Αφάντου συμπεριλαμβανομένου και του δημοτικού διαμερίσματος της Ψίνθου, ανέρχονται σε 1,9 έως 2,1 εκ. m^3 με το νερό για ύδρευση να αποτελεί το 53 % του ολικού. Η χρέωση του νερού ύδρευσης για οικιακή και επαγγελματική χρήση κυμαίνεται από 0,20 έως 0,50 € ανά m^3. Αντίστοιχα η συνολική ποσότητα νερού που καταναλώνεται ετησίως για άρδευση εκτιμάται περίπου σε 1,0 εκ. m^3.

Η Δ.Ε.Υ.Α.Αφάντου εξυπηρετεί πληθυσμό ο οποίος ανέρχεται σε 15.000 άτομα τους θερινούς μήνες, με σύνολο υδρομέτρων πάνω από 4.300. Για την ύδρευση χρησιμοποιούνται υπόγειες γεωτρήσεις, που με την άντληση παρέχουν νερό το οποίο συγκεντρώνεται σε δύο δεξαμενές συνολικής χωρητικότητας 1.600 m^3 στην περιοχή του Αγίου Λουκά και από εκεί με φυσική ροή λόγω υψομετρικής διαφοράς διοχετεύεται με αγωγούς, στην πόλη του Αφάντου. Για την απολύμανση του νερού

χρησιμοποιείται η μέθοδος της προχλωρίωσης (κατά την έξοδο του νερού από τις γεωτρήσεις) πριν την αποθήκευση του στις δεξαμενές. Η μεταφορά του νερού στον αστικό ιστό γίνεται με κεντρικούς αγωγούς (PVC), που παρέχουν νερό στο σύνολο της πόλης. Σύμφωνα με την ΔΕΥΑ. Αφάντου, ένα μέρος του δικτύου δεν έχει αντικατασταθεί ακόμα, αποτελείται από αγωγούς αμιαντοσωλήνα και προβλέπεται να αντικατασταθεί στο μέλλον.

Οι οικισμοί γύρω από την πόλη υδρεύονται από αυτόνομες γεωτρήσεις που υπάρχουν κατά τόπους. Ο οικισμός Κολύμπια υδρεύεται από έξι γεωτρήσεις και δύο δεξαμενές συλλογής χωρητικότητας 600 m^3 από τις οποίες τροφοδοτείται ο οικισμός και οι γύρω περιοχές. Στο Δημοτικό Διαμέρισμα Αρχίπολη λειτουργούν δύο γεωτρήσεις ύδρευσης και μία δεξαμενή χωρητικότητας 180 m^3. Στο δημνοτικό διαμέρισμα Αρχίπολης εξυπηρετούνται περίπου 800 άτομα, με σύνολο 500 υδρομέτρων.

Σύμφωνα με στοιχεία της Τεχνικής Υπηρεσίας του Δήμου Αφάντου ο Δήμος αρδεύεται με τη χρήση των επιφανειακών νερών της ευρύτερης περιοχής της λεκάνης απορροής του ποταμού Λουτάνη, με ένα δίκτυο διανομής με ανοιχτά κανάλια από σκυρόδεμα και κονίαμα το οποίο κατασκευάστηκε κατά την διάρκεια της Ιταλικής κατοχής **(Εικόνα 2.13)**, καθώς και με τη χρήση οκτώ γεωτρήσεων ύδρευσης και τέλος από τη χρήση αντλητικών συγκροτημάτων τα οποία βρίσκονται κοντά σε καλλιεργήσιμες περιοχές. Ο Δήμος Αφάντου έχει σχεδιάσει μεθοδικά την οριστική επίλυση του αρδευτικού προβλήματος το οποίο θα βελτιώσει και την λειτουργία του δικτύου ύδρευσης. Η συνολική αρδευόμενη επιφάνεια στις λεκάνες απορροής της ευρύτερης περιοχής του Δήμου Αφάντου είναι περίπου 1.900 στρέμματα. Για κάθε στρέμμα ετησίως απαιτούνται 500 m^3 νερού για την ικανοποίηση των αρδευτικών αναγκών της περιοχής με την συνολική ποσότητα νερού που καταναλώνεται ετησίως να εκτιμάται σε 1,0 εκ. m^3.

Εικόνα 2.13 Δίκτυο διανομής άρδευσης με ανοιχτά κανάλια στην περιοχή Αρχίπολη.

Στην **Εικόνα 2.14** παρουσιάζονται μερικά συστήματα ύδρευσης και άρδευσης του Δήμου Αφάντου ενώ στον **Πίνακα 2.6** παρουσιάζονται συγκεντρωτικά οι γεωτρήσεις άρδευσης και ύδρευσης του Δήμου Αφάντου καθώς και τα κύρια χαρακτηριστικά τους.

Γεώτρηση Παραμυθία

Γεώτρηση Δράκου 2, περιοχή Αρχίπολη

Σύστημα χλωρίωσης

Δεξαμενή ύδρευσης, περιοχή Αρχίπολης

Δεξαμενές άρδευσης, περιοχή Κολύμπια

Εικόνα 2.14 Συστήματα ύδρευσης και άρδευσης του Δήμου Αφάντου.

Πίνακας 2.6 Γεωτρήσεις ύδρευσης, άρδευσης Δήμου Αφάντου και κύρια χαρακτηριστικά αυτών (Πηγή Δ.Ε.Υ.Α. Αφάντου).

ΠΕΡΙΟΧΗ	ΕΙΔΟΣ	ΘΕΣΗ	ΠΑΡΟΧΗ (m^3/h)	ΩΡΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ (hr/day)	ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ (m^3)	ΧΡΗΣΗ
ΑΡΧΙΠΟΛΗ	ΓΕΩΤΡΗΣΗ	ΠΙΣΧΑΛΙΑ	100	20 (10)	-	Α
	ΓΕΩΤΡΗΣΗ	ΠΥΘΑΡΙΑ	20	20 (10)	-	Υ+Α
	ΓΕΩΤΡΗΣΗ	ΤΣΑΚΑΛΗ (ΔΡΑΚΟΥ 2)	52	20 (10)	-	Υ
	ΓΕΩΤΡΗΣΗ	ΔΡΑΚΟΥ	ΣΤΕΡΕΨΕ	20 (10)	-	Υ
	ΔΕΞΑΜΕΝΗ	ΛΙΜΑ	-	-	500	Α
	ΔΕΞΑΜΕΝΗ	ΔΡΑΚΟΥ	-	-	180	Υ
	ΔΕΞΑΜΕΝΗ	ΠΙΣΧΑΛΙΑ	-	-	-	Α
ΚΟΛΥΜΠΙΑ	ΓΕΩΤΡΗΣΗ	ΛΟΥΤΑΝΗΣ 1	80	20 (10)	-	Υ
	ΓΕΩΤΡΗΣΗ	ΛΟΥΤΑΝΗΣ 2	45	20 (10)	-	Υ
	ΓΕΩΤΡΗΣΗ	ΚΥΠΑΡΙΣΣΙΑ	60	20 (10)	-	Υ
	ΓΕΩΤΡΗΣΗ	ΠΟΡΤΟΚΑΛΙΕΣ	40	20 (10)	-	Υ
	ΓΕΩΤΡΗΣΗ	ΣΤΡΑΤΟΠΕΔΟΥ	40	20 (10)	-	Α
	ΔΕΞΑΜΕΝΗ	ΚΟΛΥΜΠΙΑ	-	-	300	Υ
	ΔΕΞΑΜΕΝΗ	ΜΕΤΑΛΛΙΚΗ 1	-	-	150	Α
	ΔΕΞΑΜΕΝΗ	ΜΕΤΑΛΛΙΚΗ 2	-	-	150	Α
ΠΑΡΑΜΥΘΙΑ	ΓΕΩΤΡΗΣΗ	ΠΑΡΑΜΥΘΙΑ	40	20 (10)	-	Υ
	ΓΕΩΤΡΗΣΗ	ΠΑΡΘΕΝΩΝΑΣ	20	5 (2)	-	Υ
	ΔΕΞΑΜΕΝΗ	ΠΑΡΑΜΥΘΙΑ	-	-	300	Υ
ΑΦΑΝΤΟΥ	ΓΕΩΤΡΗΣΗ	ΤΟΥΝΑΡΙ	40	5 (2)	-	Α
	ΓΕΩΤΡΗΣΗ	ΜΑΣΤΙΧΟΥΣ	20	5 (2)	-	Α
	ΓΕΩΤΡΗΣΗ	ΜΥΛΟΥ (ΚΑΡΥΤΣΙ)	100	20 (10)	-	Υ
	ΓΕΩΤΡΗΣΗ	ΖΑΡΒΟ	40	5	-	Α
	ΓΕΩΤΡΗΣΗ	ΠΕΛΕΜΟΝΗΣ		20 (10)	-	Υ
	ΓΕΩΤΡΗΣΗ	ΔΗΜΗΤΡΑ ΒΡΥΣΗ Ι	120	20 (10)	-	Υ
	ΓΕΩΤΡΗΣΗ	ΔΗΜΗΤΡΑ ΒΡΥΣΗ ΙΙ	10	20 (10)	-	Υ
	ΓΕΩΤΡΗΣΗ	ΒΟΤΤΕΣ	45	20 (10)	-	Υ
	ΔΕΞΑΜΕΝΗ	ΑΓΙΟΣ ΛΟΥΚΑΣ (ΠΑΛΙΑ)	-	-	600	Υ
	ΔΕΞΑΜΕΝΗ	ΑΓΙΟΣ ΛΟΥΚΑΣ (ΚΑΙΝΟΥΡΙΑ)	-	-	1000	Υ

Πηγές

Οι καρστικοί υδροφορείς και οι καρστικές πηγές παίζουν σημαντικό ρόλο στην υδρογεωλογία και υδρολογία μιας λεκάνης απορροής. Με τον όρο καρστ, εννοούμε μία περιοχή, με χαρακτηριστική υδραυλική συμπεριφορά και γεωμορφές, η οποία προέκυψε από τον συνδυασμό της μεγάλης διαλυτότητας των πετρωμάτων και του πολύ καλά εξελιγμένου δευτερογενούς πορώδους. Το πορώδες των καρστικών σχηματισμών δίνει τη δυνατότητα στο καρστ να αποθηκεύει σημαντικές ποσότητες υπόγειου νερού όπου το επιτρέπει το πάχος των πετρωμάτων (φυσική στρωματοποίηση) ή τεκτονικά αίτια. Η δημιουργία καρστικών φαινομένων συνδέεται πάντα με την παρουσία ορισμένων πετρωμάτων, τα οποία οφείλουν να είναι ευδιάλυτα και η διάλυσή τους να αφήνει ελάχιστο υπόλειμμα ώστε τα διάκενα να διευρύνονται και να παραμένουν ανοιχτά για να είναι δυνατή η κίνηση του νερού μέσα σε αυτά. Καρστικοί σχηματισμοί μπορούν να βρεθούν οπουδήποτε και ιδιαίτερα κατά μήκος τεκτονικών δομών και ρηγμάτων.

Σύμφωνα με στοιχεία του Τμήματος Ανάπτυξης Φυσικών Πόρων – Τομέας Εγγ. Βελτιώσεων και Φυσικών Πόρων, στην λεκάνη απορροής του ποταμού Λουτάνη υπάρχουν οι πηγές : Βελανίδι 1, Βελανίδι 2, Πισχάλια, Λιμάς, Αγ. Νεκταρίου, Επτά πηγές και άλλες πηγές μικρότερης σημασίας. Οφείλουν την ύπαρξη τους στην επαφή των καρστικών ασβεστόλιθων με τα νεογενή και τεταρτογενή ιζήματα της περιοχής (καρστικές πηγές επαφής-υπερπλήρωσης). Στην λεκάνη απορροής του ποταμού Πελέμονη υπάρχει η πηγή Φασούλι στην περιοχή της Ψίνθου καθώς και άλλες πηγές μικρότερης παροχής.

Χαρακτηριστικός καρστικός σχηματισμός είναι οι πηγές επαφής στην περιοχή των Επτά πηγών **(Εικόνα 2.14)** που βρίσκονται 30 km Νοτιοανατολικά της Ρόδου και μεταξύ του οικισμού Κολύμπια και του χωριού Αρχίπολη. Είναι ένα τοπίο με πλούσια φυσική βλάστηση όπως πλατάνια και πεύκα και αποτελείται από ένα σύστημα πηγών που τροφοδοτεί με νερό τον ποταμό Λουτάνη. Στην περιοχή των Επτά Πηγών

κατασκευάστηκε στις αρχές του 20ου αιώνα ένα μικρό φράγμα για την συλλογή του νερού των πηγών. Το νερό αυτό στην συνέχεια είτε διατίθεται για άρδευση, κυρίως στους αγρούς της περιοχής Κολύμπια είτε καταλήγει στην θάλασσα. Η λίμνη όπου καταλήγουν τα νερά των Επτά Πηγών **(Εικόνα 2.15)**, ανάμεσα σε πλούσια βλάστηση, αποτελεί μοναδικό βιότοπο για το γκιζάνι καθώς φιλοξενεί ένα μεγάλο αριθμό ψαριών. Η ευστάθεια του βιότοπου αυτού πολλές φορές διαταράσσεται, από την εκκένωση της λίμνης για τον καθαρισμό της, παρασύροντας στον ποταμό Λουτάνη μαζί με το νερό και τον πληθυσμό του ψαριού *(Πρόγραμμα Life-Φύση, 1998, www.life-gizani.gr)*.

Εικόνα 2.15 Περιοχή Επτά πηγών.

Εικόνα 2.16 Το φράγμα των Επτά Πηγών.

Στον **Πίνακα 2.7** δίνονται οι κυριότερες πηγές (πηγές επαφής) της ευρύτερης περιοχής του Δήμου Αφάντου, ο μηχανισμός λειτουργίας τους και άλλα χαρακτηριστικά με δεδομένα από το Τμήμα Ανάπτυξης Φυσικών Πόρων – Τομέας Εγγ. Βελτιώσεων και Φυσικών Πόρων. Περαιτέρω ανάλυση καθώς και μοντελοποίηση των κυριοτέρων πηγών (Βελανίδι 1 και 2, Πισχάλια και Επτά πηγές) παρουσιάζεται στο Κεφάλαιο 4.

2.2.6 Χρήσεις γης

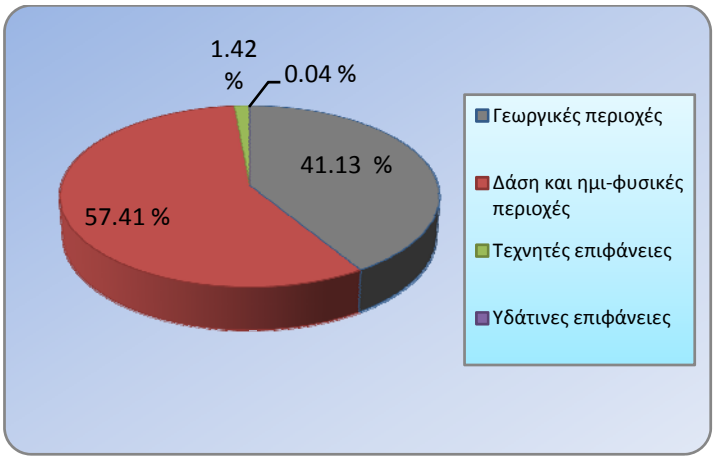
Οι κύριες χρήσεις γης στις λεκάνες απορροής της ευρύτερης περιοχής του Δήμου Αφάντου φαίνονται στους **Χάρτες 2.8** και **2.9**. Στα Διαγράμματα **2.5** έως **2.10** παρουσιάζονται τα ποσοστά των χρήσεων γης σε κάθε λεκάνη απορροής, της ευρύτερης περιοχής του Δήμου Αφάντου σύμφωνα με το Επίπεδο 1 του «CORINE Land Cover». Η ονοματολογία του προγράμματος «CORINE Land Cover» για την κάλυψη γης περιλαμβάνει τρία επίπεδα. Το πρώτο επίπεδο περιλαμβάνει πέντε κύριες κατηγορίες κάλυψης γης (Γεωργικές περιοχές, Δάση και ημι-φυσικές περιοχές, Τεχνητές επιφάνειες, Υδάτινες επιφάνειες, Υγρές ζώνες) σε παγκόσμια κλίμακα ενώ το δεύτερο επίπεδο περιλαμβάνει 15 υποκατηγορίες των πέντε κύριων του Επιπέδου 1.

Εικόνα 2.17 Χρήσεις γης-Πεδιάδα περιοχής Αρχίπολη.

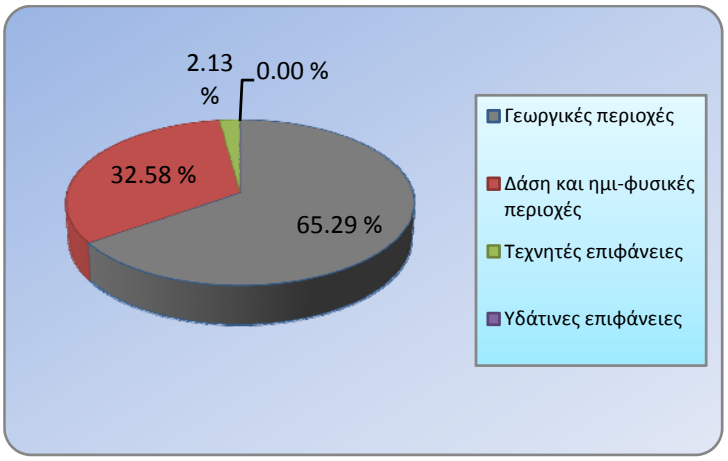
Πίνακας 2.7 Στοιχεία πηγών της ευρύτερης περιοχής του Δήμου Αφάντου.

Πηγή	Τοποθεσία	Λεκάνη απορροής	Τύπος πηγής	Εκτίμηση Παροχής (m^3/day)*	Χρήση
Βελανίδι 1	Ψίνθος	Λουτάνη	Καρστική επαφής-υπερπλήρωσης	600	Άρδευση
Βελανίδι 2	Ψίνθος	Λουτάνη		3.600	Άρδευση
Φασούλι	Ψίνθος	Πελέμονη		2.400	Άρδευση
Επτά πηγές	Αρχίπολη	Λουτάνη		12.000	Άρδευση
Πισχάλια	Αρχίπολη	Λουτάνη		960	Άρδευση
Λιμάς	Αρχίπολη	Λουτάνη		1200	Άρδευση
Τσάκαλι	Αρχίπολη	Λουτάνη		960	Άρδευση
Αγ. Νεκτάριος	Αρχίπολη	Λουτάνη		-	-

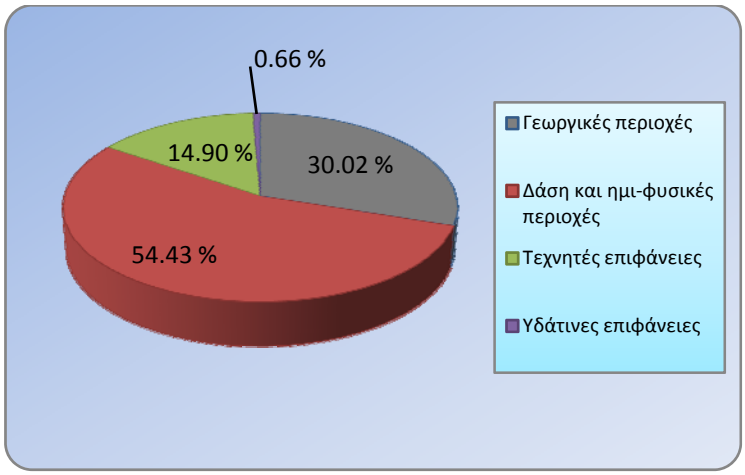
*Εκτίμηση ΥΕΒ



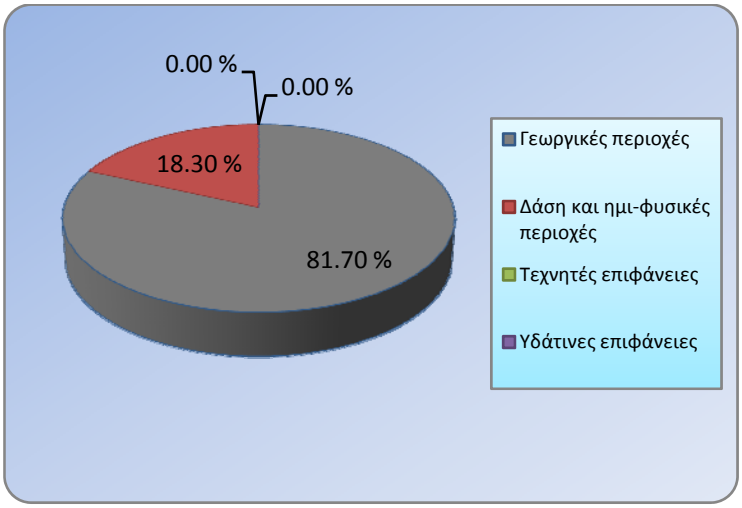
Διάγραμμα 2.5 Χρήσεις γης ευρύτερης περιοχής Δήμου Αφάντου (Επίπεδο 1).



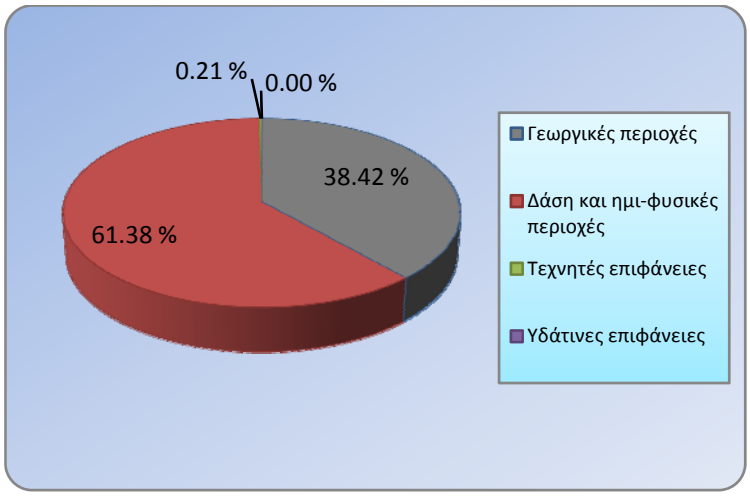
Διάγραμμα 2.6 Χρήσεις γης λεκάνης απορροής Μπραστάνου (Επίπεδο 1).



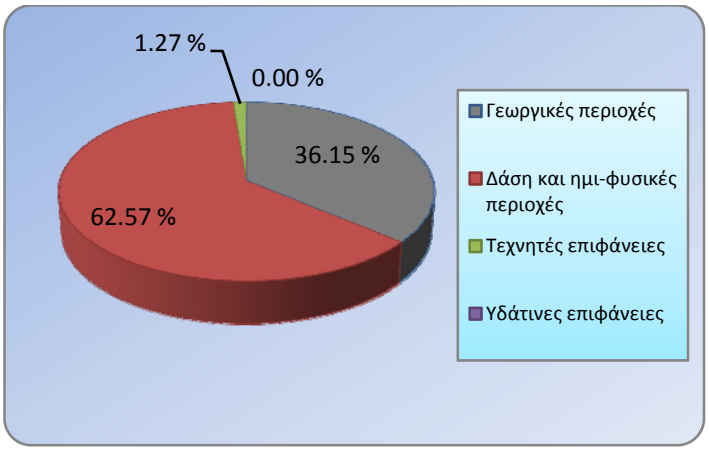
Διάγραμμα 2.7 Χρήσεις γης λεκάνης απορροής Κολύμπια (Επίπεδο 1).



Διάγραμμα 2.8 Χρήσεις γης λεκάνης απορροής Τραπεζία (Επίπεδο 1).



Διάγραμμα 2.9 Χρήσεις γης λεκάνης απορροής Λουτάνη (Επίπεδο 1).



Διάγραμμα 2.10 Χρήσεις γης λεκάνης απορροής Πελέμονη (Επίπεδο 1).

Από την ανάλυση των **Διαγραμμάτων 2.5** έως **2.10** προκύπτει ότι το μεγαλύτερο ποσοστό κάλυψης γης στην ευρύτερη περιοχή του Δήμου Αφάντου (Λεκάνες απορροής των ποταμών Πελέμονη, Λουτάνη, Μπραστάνου, Τραπεζία, Κολύμπια) καλύπτουν τα Δάση και οι ημι-φυσικές περιοχές με έκταση 67,86 km^2 ποσοστό 57,41 % της συνολικής έκτασης των λεκανών απορροής ενώ οι γεωργικές περιοχές καλύπτουν έκταση 48.63 km^2 ποσοστό ίσο με το 41.13 %. Οι υδάτινες επιφάνειες είναι αμελητέες ενώ τέλος, οι τεχνητές επιφάνειες καλύπτουν το 1,42 % με έκταση 1,68 km^2.

Το δεύτερο επίπεδο του προγράμματος «CORINE Land Cover» περιλαμβάνει 15 υποκατηγορίες.

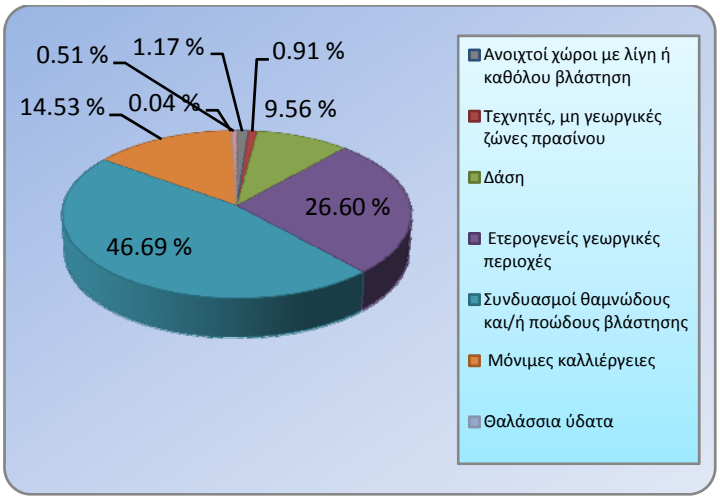
Συγκεκριμένα περιλαμβάνει τις:

- Υποκατηγορίες των "Τεχνητών Επιφανειών" : Αστική οικοδόμηση, Βιομηχανικές, εμπορικές ζώνες και δίκτυα επικοινωνίας, Ορυχεία, χώροι απορρίψεως απορριμμάτων και χώροι οικοδόμησης, Τεχνητές, μη γεωργικές ζώνες πρασίνου.
- Υποκατηγορίες των "Γεωργικών Περιοχών" : Αρόσιμη γη, Μόνιμες καλλιέργειες, Λιβάδια, Ετερογενείς γεωργικές περιοχές.

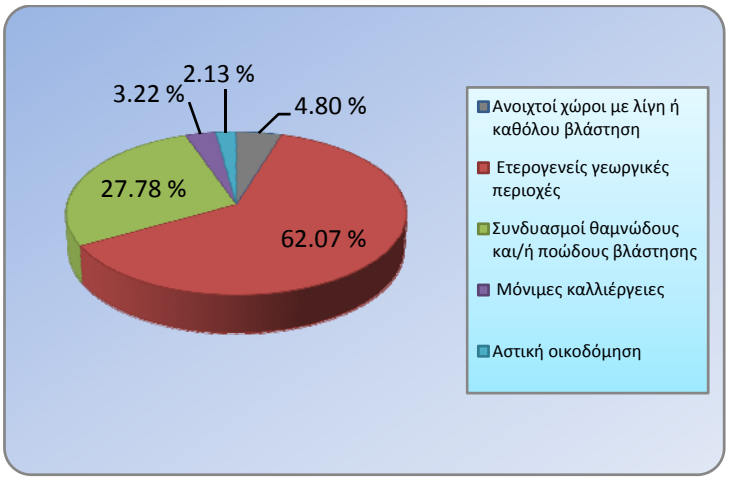
- Υποκατηγορίες των "Δασών και ημι-φυσικών περιοχών" : Δάση, Συνδυασμοί θαμνώδους και/ή ποώδους βλάστησης, Ανοιχτοί χώροι με λίγη ή καθόλου βλάστηση.
- Υποκατηγορίες των "Υγρών ζωνών" : Εσωτερικές υγρές ζώνες, Παραθαλάσσιες υγρές ζώνες.
- Υποκατηγορίες των "Υδάτινων επιφανειών" : Χερσαία ύδατα, Θαλάσσια ύδατα.

Στα **Διαγράμματα 2.11** έως **2.13** παρουσιάζονται τα ποσοστά % των χρήσεων γης σε κάθε λεκάνη απορροής της ευρύτερης περιοχής του Δήμου Αφάντου σύμφωνα με το Επίπεδο 2 του «CORINE Land Cover». Το μεγαλύτερο ποσοστό κάλυψης γης στην ευρύτερη περιοχή των Λεκανών απορροής των ποταμών Πελέμονη, Λουτάνη, Μπραστάνου, Τραπεζίας, Κολύμπια καλύπτουν οι Συνδυασμοί θαμνώδους και/ή ποώδους βλάστησης με έκταση 55,19 km^2 ποσοστό 46,69 % της συνολικής έκτασης ενώ οι Ετερογενείς γεωργικές περιοχές καλύπτουν έκταση 31.44 km^2 ποσοστό ίσο με το 26,6 %. Οι Μόνιμες καλλιέργειες καλύπτουν έκταση 17,18 km^2 (14,53 %) ενώ τα Δάση καλύπτουν το 9,56 % με έκταση 11,30 km^2 με το μεγαλύτερο μέρος να βρίσκεται στην λεκάνη απορροής του ποταμού Λουτάνη. Τέλος το υπόλοιπο 2,62 % καλύπτεται από Ανοιχτούς χώρους με λίγη ή καθόλου βλάστηση, Τεχνητές, μη γεωργικές ζώνες πρασίνου και Αστική οικοδόμηση.

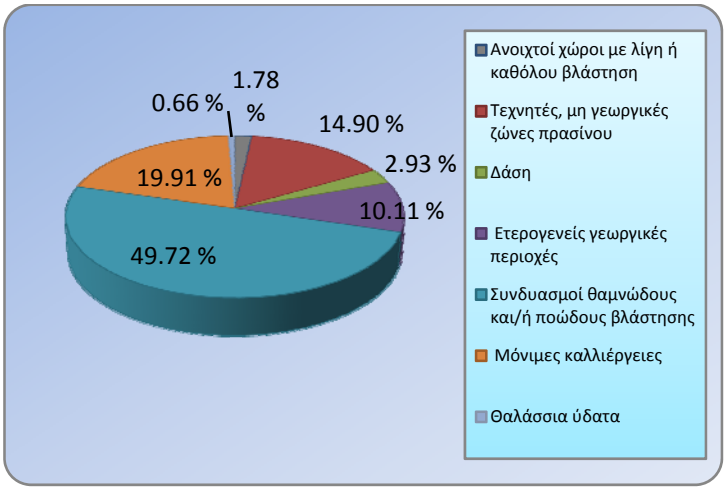
Εικόνα 2.18 Χρήσεις γης-Περιοχή Αφάντου.



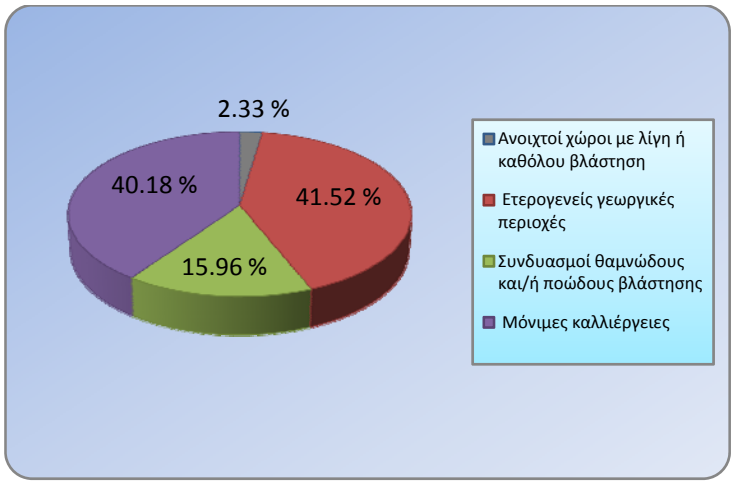
Διάγραμμα 2.11 Χρήσεις γης ευρύτερης περιοχής Δήμου Αφάντου (Επίπεδο 2).



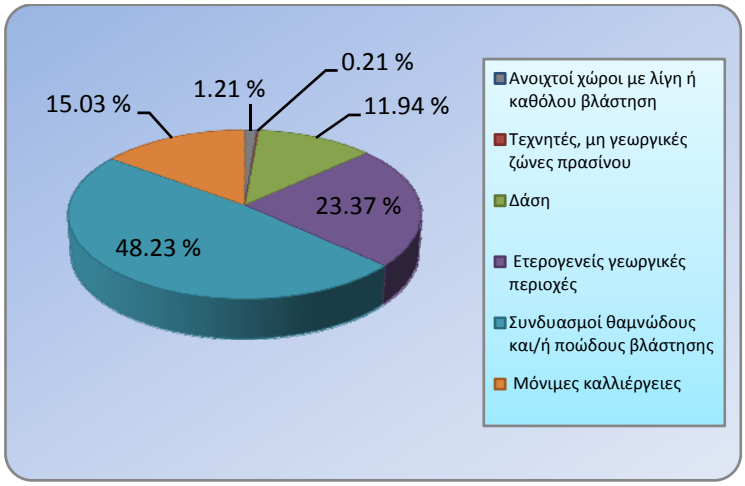
Διάγραμμα 2.12 Χρήσεις γης λεκάνης απορροής Μπραστάνου (Επίπεδο 2).



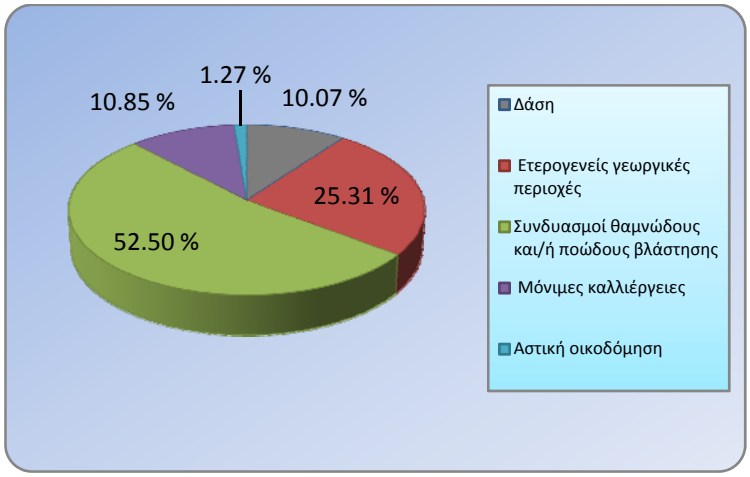
Διάγραμμα 2.13 Χρήσεις γης λεκάνης απορροής Κολύμπια (Επίπεδο 2).



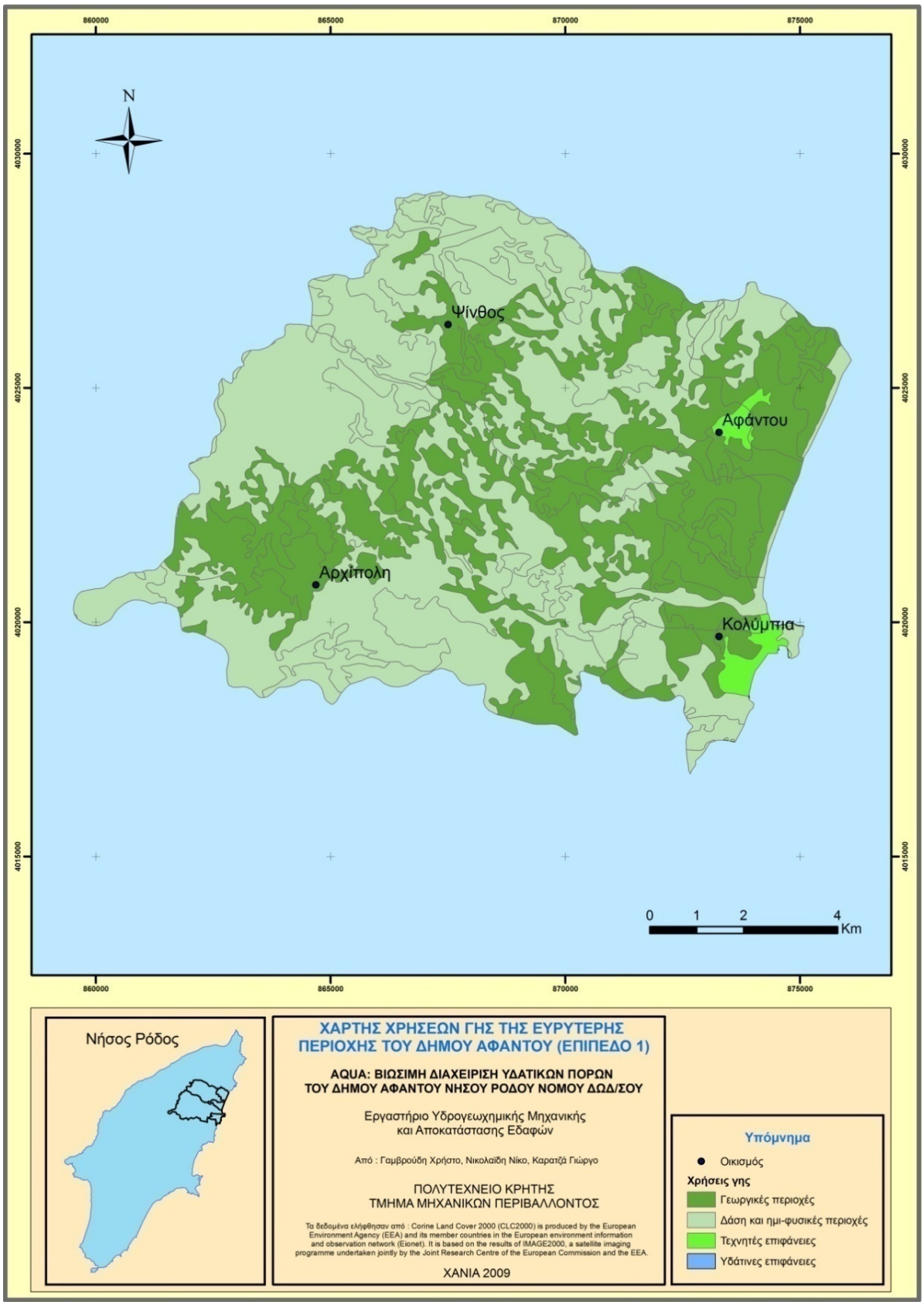
Διάγραμμα 2.14 Χρήσεις γης λεκάνης απορροής Τραπεζία (Επίπεδο 2).



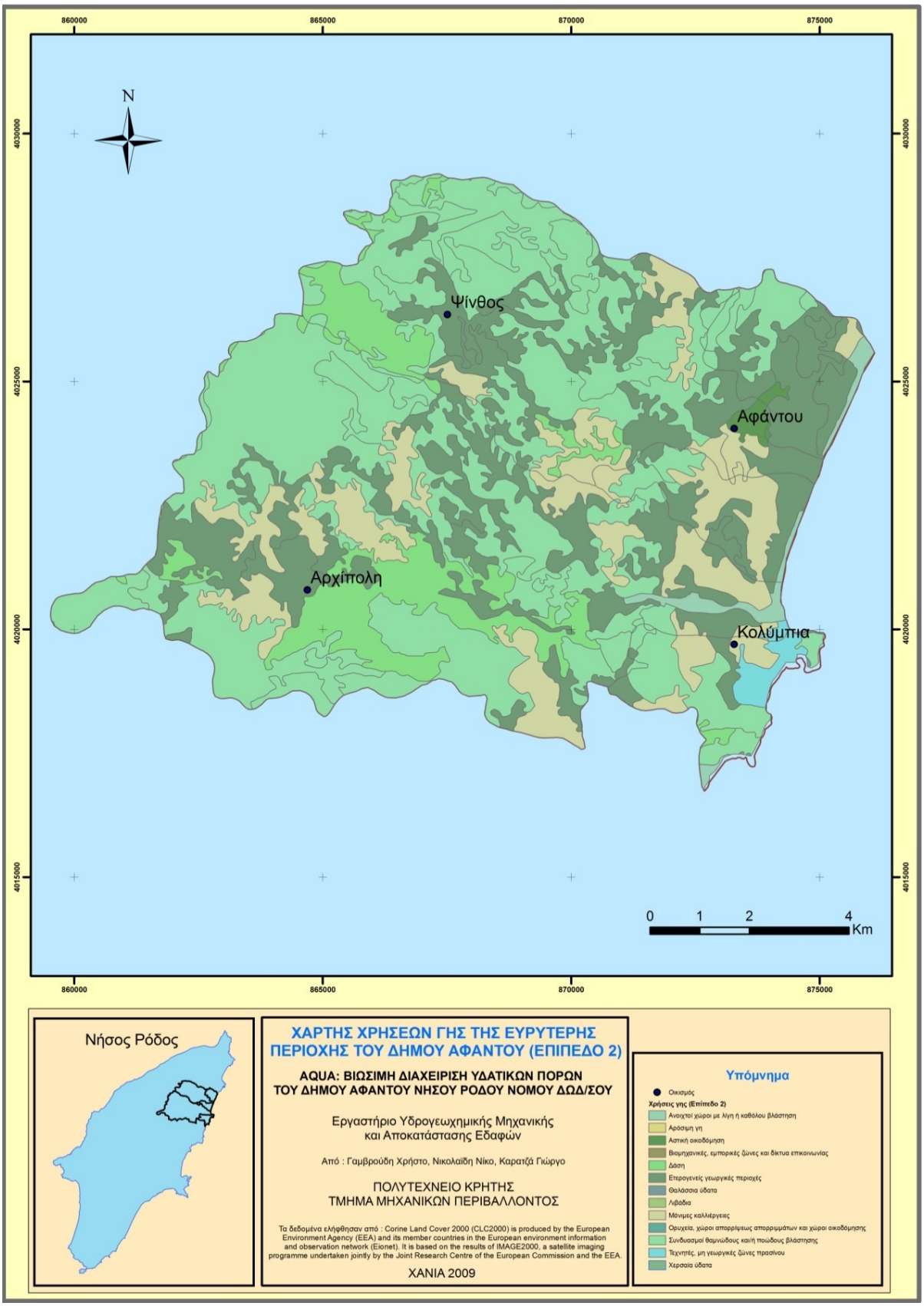
Διάγραμμα 2.15 Χρήσεις γης λεκάνης απορροής Λουτάνη (Επίπεδο 2).



Διάγραμμα 2.16 Χρήσεις γης λεκάνης απορροής Πελέμονη (Επίπεδο 2).



Χάρτης 2.8 Χρήσεις γης ευρύτερης περιοχής Δήμου Αφάντου (Corine Land Cover - Επίπεδο 1).



Χάρτης 2.9 Χρήσεις γης ευρύτερης περιοχής Δήμου Αφάντου (Corine Land Cover - Επίπεδο 2).

2.2.7 Πιέσεις στις λεκάνες απορροής

Η ευρύτερη περιοχή του Δήμου Αφάντου είναι μια περιοχή κυρίως αγροτική, χωρίς ανεπτυγμένη βιομηχανία. Οι κύριες πιέσεις στην περιοχή προέρχονται από τη γεωργία, την κτηνοτροφία και από κάποιες μικρές μονάδες βιομηχανίας.

2.2.7.1 Σημειακές πιέσεις

Οι κύριες σημειακές πιέσεις που δέχεται η ευρύτερη περιοχή του Δήμου Αφάντου και συγκεκριμένα οι λεκάνες απορροής των ποταμών Λουτάνη, Πελέμονη, Μπραστάνου, Τραπεζία, Κολύμπια είναι πιέσεις από αστικά λύματα και βοθρολύματα καθώς και από απόβλητα που προέρχονται από μικρές βιομηχανικές μονάδες που λειτουργούν στην περιοχή και συμπεριλαμβάνουν ποτοποιείο, ελαιουργεία, πλυντήρια και μονάδες παραγωγής δομικών και αδρανών υλικών. Επίσης στην περιοχή υπάρχει χωματερή στα όρια των λεκανών απορροής των ποταμών Λουτάνης και Τραπεζία η οποία δεν λειτουργεί πλέον ενώ πρόσφατα δημιουργήθηκε ΧΑΔΑ.

Ο Δήμος Αφάντου έκανε την αρχή και πρόκειται να προβεί σε περιβαλλοντική αποκατάσταση της χωματερής στην θέση "Κριός", έχοντας εξασφαλίσει χρηματοδότηση από το πρόγραμμα "Θησέας" *(Πηγή Εφημερίδα Πρόοδος, www.proodos.net).*

Σε ολόκληρη την ευρύτερη περιοχή του Δήμου Αφάντου δεν υπάρχει μονάδα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων ούτε υπάρχουν αποχετευτικά δίκτυα. Οι οικισμοί εξυπηρετούνται από απορροφητικούς βόθρους, η κατασκευή των οποίων γίνεται συνήθως αυθαίρετα και χωρίς την ύπαρξη σηπτικής δεξαμενής. Τα βοθρολύματα περιέχουν υψηλότερα ποσοστά σε ρυπαντικό φορτίο από ότι τα λύματα από το αποχετευτικό δίκτυο και είναι ιδιαίτερα επιβαρυμένα σε αμμωνία, αιωρούμενα στερεά, μικρόβια και εξαιρετικά δύσοσμα λόγω της σηπτικής τους κατάστασης.

Ελαιουργεία - Η καλλιέργεια της ελιάς είναι μια από τις πιο σημαντικές καλλιέργειες στο νομό Δωδεκανήσου και η παραγωγή ελαιόλαδου είναι ένας από τους σημαντικότερους τομείς της οικονομίας.

Κατά την κατεργασία του ελαιόκαρπου στα ελαιουργεία, παράλληλα με το ελαιόλαδο παράγεται και μία σειρά παραπροϊόντων. Αυτά είναι ο ελαιοπυρήνας, που αποτελείται από τα αλεσμένα στερεά συστατικά του καρπού (κυρίως του κουκουτσιού), τα ελαιόφυλλα που έχουν μεταφερθεί με τον ελαιόκαρπο και μια σημαντική σε όγκο και οργανικό φορτίο ποσότητα υγρών αποβλήτων, που είναι γνωστά ως λιοζούμι, κατσίγαρος ή μούργα *(Βαλτά, 2007).*

Ο κατσίγαρος συνίσταται από το υδατικό κλάσμα του χυμού του ελαιόκαρπου και από το νερό που χρησιμοποιείται στις διάφορες φάσεις παραγωγής του λαδιού στο ελαιουργείο. Ουσιαστικά πρόκειται για ένα υδατικό φυτικό εκχύλισμα, που περιέχει μία σειρά από ουσίες όπως σάκχαρα, αζωτούχες ενώσεις, οργανικά οξέα, πολυαλκοόλες, πολυφαινόλες και υπολείμματα ελαίου. Η άμεση επίπτωση του κατσίγαρου στο περιβάλλον είναι η αισθητική υποβάθμιση που προκαλεί και η οποία οφείλεται στην έντονη οσμή του και στο σκούρο χρώμα του. Παράλληλα, εξαιτίας του υψηλού οργανικού φορτίου που περιέχει, είναι πιθανόν να δημιουργήσει ευτροφικά φαινόμενα σε περιπτώσεις που καταλήγει σε αποδέκτες με μικρή ανακυκλοφορία νερών (κλειστούς θαλάσσιους κόλπους, λίμνες κ.τ.λ). Από τα συστατικά που περιέχονται στον κατσίγαρο, οι πολυφαινόλες παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον διότι από τη μία πλευρά προσδίδουν στα απόβλητα τοξικές ιδιότητες έναντι των φυτών και αποδομούνται με βραδύ σχετικά ρυθμό από εξειδικευμένες ομάδες μικροοργανισμών, ενώ από την άλλη είναι υπεύθυνες για τη συντήρηση της ποιότητας του λαδιού στο χρόνο (χαμηλή οξύτητα) ως φυσικό συντηρητικό *(Βαλτά, 2007).*

Το υψηλό οργανικό φορτίο του κατσίγαρου σε συνάρτηση με την παρουσία των πολυφαινολών δεν επιτρέπει την απευθείας διάθεση του στο περιβάλλον, αλλά καθιστά αναγκαία την πρότερη επεξεργασία του. Μια τυπική σύνθεση των αποβλήτων

ελαιουργείων είναι: BOD_5 = 12.000-20.000 mg/L, COD = 40.000-60.000 mg/L, Ολικά στερεά = 40.000–50.000 mg/L, Πτητικά στερεά = 30.000–40.000 mg/L, Λίπη–έλαια =10.000–18.000mg/L και pH = 4-5 *(Βαλτά, 2007).*

Τα περισσότερα ελαιουργεία διαθέτουν τα απόβλητα τους ανεπεξέργαστα σε ρέματα και χείμαρρους δημιουργώντας σοβαρά προβλήματα ρύπανσης του ποταμού, των παρόχθιων περιοχών και του υπόγειου υδροφορέα.

Στην ευρύτερη περιοχή του Δήμου Αφάντου λειτουργούν τρία ελαιοτριβεία που λειτουργούν κατά την περίοδο Νοεμβρίου-Μαρτίου. Τρία βρίσκονται στην περιοχή της λεκάνης απορροής του ποταμού Πελέμονη ενώ στην λεκάνη απορροής του ποταμού Λουτάνη δεν υπάρχει κανένα.

Επίσης στην ευρύτερη περιοχή του Δήμου Αφάντου υπάρχουν αρκετές μάντρες καθώς και επτά βενζινάδικα, δύο από τα οποία βρίσκονται μέσα στην πόλη του Αφάντου και τρία στην Λεωφόρο Ρόδου – Λίνδου στην περιοχή μεταξύ της πόλης του Αφάντου και του οικισμού Κολύμπια. Επίσης από ένα βενζινάδικο υπάρχει στο Δημοτικό Διαμέρισμα της Αρχίπολης και της Ψίνθου. Στην περιοχή υπάρχει και ένας υποσταθμός (Υ/Σ) της ΔΕΗ.

2.2.7.2 Μη σημειακές πιέσεις

Στις μη σημειακές πηγές ρύπανσης συμπεριλαμβάνονται όλες οι πιέσεις που προκύπτουν από την επιφανειακή απορροή αστικών και βιομηχανικών περιοχών και δρόμων. Επίσης συμπεριλαμβάνονται οι πιέσεις που προέρχονται από την καλλιέργεια της αγροτικής γης και τη χρήση λιπασμάτων και φυτοπροστατευτικών, τη δασοκομία και την κτηνοτροφία.

Καλλιέργεια αγροτικής γης

Οι κυριότερες καλλιέργειες στην περιοχή είναι η ελιά, ακολουθούν τα πορτοκάλια και έπειτα σιτηρά, λαχανικά, αμπέλια κ.τ.λ. Η εντατική καλλιέργεια της γης έχει οδηγήσει στη χρήση μεγάλων ποσοτήτων λιπασμάτων και φυτοπροστατευτικών. Ο υπολογισμός των ποσοτήτων των λιπασμάτων που καταναλώνονται σε μια περιοχή είναι ιδιαίτερα δύσκολος. Το Υπουργείο Γεωργίας ορίζει τις προτεινόμενες ποσότητες λιπασμάτων για κάθε καλλιέργεια. Δυστυχώς όμως, εξαιτίας της άγνοιας, δε συμμορφώνονται όλοι οι αγρότες με τις ποσότητες αυτές με αποτέλεσμα να γίνεται υπερκατανάλωση λιπασμάτων.

Τα είδη των λιπασμάτων που χρησιμοποιούνται σήμερα στη γεωργία είναι:

Ανόργανα λιπάσματα όπως:

- Αζωτούχα (π.χ. νιτρική αμμωνία, θειική αμμωνία).
- Φωσφορούχα.
- Καλιούχα .
- Σύνθετα .

Οργανικά λιπάσματα όπως:

- Στερεή κοπριά.
- Υγρή κοπριά.
- Διάφορα φυτικά υπολείμματα.
- Προϊόντα οργανικής ζύμωσης.
- Οργανικά λιπάσματα βιομηχανικών παραγόμενα.

Τα αζωτούχα λιπάσματα είναι αυτά που μπορούν προκαλέσουν περιβαλλοντικά προβλήματα. Τα νιτρικά ιόντα είναι ευδιάλυτα στο νερό και παρουσιάζουν μεγάλη κινητικότητα στο έδαφος, σε αντίθεση με τα φωσφορικά ιόντα και το κάλιο. Εξαιτίας της μεγάλης τους κινητικότητας, τα νιτρικά ιόντα μπορούν να εκπλυθούν εύκολα από το έδαφος και να βρεθούν στο υπόγειο και επιφανειακό νερό *(Υπουργείο Γεωργίας, 1994).* Οι επιπτώσεις που έχουν τα επιπλέον φορτία αζώτου στα επιφανειακά νερά

είναι επιτάχυνση των διεργασιών που οδηγούν σε ευτροφισμό (ανάπτυξη αλγών και μείωση διαλυμένου οξυγόνου) και υποβαθμίζουν την ποιότητα των υδάτων που χρησιμοποιούνται για πόσιμο νερό, ψάρεμα και άλλους ψυχαγωγικούς σκοπούς. Όσον αφορά στα υπόγεια νερά, υψηλές συγκεντρώσεις νιτρικών μπορούν να προκαλέσουν προβλήματα στην ανθρώπινη υγεία και την υγεία των ζώων. Η αποκατάσταση της ρύπανσης υπόγειων νερών είναι δυσκολότερη, αφού μπορεί να περάσουν χρόνια για τη μείωση των συγκεντρώσεων των νιτρικών στο νερό, ακόμα και όταν η πηγή ρύπανσης έχει μειωθεί. Τέλος τα οξείδια του αζώτου που εκλύονται άμεσα από την εφαρμογή ανόργανων λιπασμάτων συνεισφέρουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Επίσης η αμμωνία που αποθηκεύεται στο έδαφος συνεισφέρει στην μείωση του pH του εδάφους και του νερού *(OECD, 2001).*

Για την αποφυγή προβλημάτων ρύπανσης από την λίπανση των καλλιεργειών το Υπουργείο Γεωργίας εκδίδει πρακτικά λίπανσης, τα οποία ορίζουν τις προτεινόμενες ποσότητες λίπανσης για κάθε καλλιέργεια. Ο υπολογισμός των ποσοτήτων των λιπασμάτων που καταναλώνονται πραγματικά είναι ιδιαίτερα δύσκολος, αφού δεν υπάρχει μηχανισμός ελέγχου. Ο **Πίνακας 2.8** δίνει πληροφορίες για τις προτεινόμενες ποσότητες λιπάσματος για τα διάφορα είδη καλλιεργειών. Δυστυχώς όμως, εξαιτίας της άγνοιας, δε συμμορφώνονται όλοι οι αγρότες με τις ποσότητες αυτές με αποτέλεσμα πολλές φορές να γίνεται υπερκατανάλωση λιπασμάτων.

Από τα συνολικά φορτία αζώτου και φωσφόρου που αποτίθενται από τη γεωργία, κάποιο ποσοστό προσλαμβάνεται από τα φυτά ενώ το υπόλοιπο χάνεται στο έδαφος. Η ποσότητα αζώτου και φωσφόρου που χάνεται στο έδαφος εξαρτάται από τις βροχοπτώσεις, την άρδευση, την κλίση και τη σύσταση του εδάφους, την ικανότητα διήθησης, το βαθμό φυτοκάλυψης καθώς και από το σύστημα διαχείρισης καλλιεργειών. Σε ορισμένες περιοχές, όπου οι παραπάνω αναφερόμενοι παράγοντες δρουν κατά τρόπο πολύ έντονο, οι απώλειες των θρεπτικών είναι πολύ μεγάλες, και για αυτό οι περιοχές αυτές χαρακτηρίζονται ως ευαίσθητες.

Κτηνοτροφία

Σύμφωνα με στοιχεία που δόθηκαν από τους δήμους που βρίσκονται στην ευρύτερη περιοχή του Δήμου Αφάντου εντός των λεκανών απορροής των ποταμών Λουτάνη και Πελέμονη τα ζώα που εκτρέφονται είναι βοοειδή, χοιρινά, αιγοπρόβατα και πουλερικά (σύνολο ζώων 8000, απογραφή Ε.Σ.Υ.Ε, 2001). Η διαχείριση των αποβλήτων της κτηνοτροφίας εξαρτάται από παράγοντες όπως ο τρόπο συλλογής και απομάκρυνσης των αποβλήτων, ο αριθμός και το είδος των εκτρεφόμενων ζώων, ο τρόπος σταυλισμού κ.α. Το σημαντικότερο πρόβλημα, όσον αφορά την αναγνώριση των πιέσεων που οφείλονται στην κτηνοτροφία, είναι η τοποθέτηση τους στο χώρο και ο προσδιορισμός του υδάτινου αποδέκτη που επηρεάζεται. Τα απόβλητα αυτά συνήθως διατίθενται στο έδαφος μέσω της άρδευσης, είτε με εδαφική διασπορά ή πολλές φορές ακόμη και σε απορροφητικούς βόθρους. Πολλαπλασιάζοντας τον αριθμό των ζώων με το σωματικό βάρος και τα χαρακτηριστικά των αποβλήτων και διορθώνοντας τις μονάδες, προκύπτουν τα φορτία αζώτου και φωσφόρου, που προέρχονται από την κτηνοτροφία. Η συνολική ποσότητα αποβλήτων που προέρχονται από την κτηνοτροφία εκτιμάται σε 200.000 m^3 συμπεριλαμβανομένου και του δημοτικού διαμερίσματος της Ψίνθου. Τα φορτία αζώτου (N) και φωσφόρου (P) εκτιμώνται περίπου σε 190.000 kg (N 50% – P 50%).

Στερεά απορρίμματα

Η διαχείριση των στερεών απορριμμάτων μέχρι και πριν από λίγα χρόνια ήταν προβληματική αφού η διάθεση γινόταν κυρίως σε χώρους ανεξέλεγκτης εναπόθεσης απορριμμάτων, όπου τα απορρίμματα μαζεύονταν απλά και περιοδικά σκεπάζονταν με χώμα, ή σε ρέματα όπου γινόταν η καύση τους. Οι χώροι όμως αυτοί αποτελούν πιθανή πηγή ρύπανσης εξαιτίας της διαφυγής ρύπων με τη βροχή. Τα τελευταία χρόνια γίνεται μια προσπάθεια από την πλευρά της τοπικής αυτοδιοίκησης για τη σωστή διαχείριση των στερεών απορριμμάτων. Έτσι στη νήσο Ρόδο λειτουργεί Χώρος Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων οι οποίος εξυπηρετεί το νησί. Η ετήσια ποσότητα

αστικών αποβλήτων στην ευρύτερη περιοχή του Δήμου Αφάντου (λεκάνες απορροής ποταμού Λουτάνη και Πελέμονη) εκτιμάται σε 800.000 m^3.

Πίνακας 2.8 Προτεινόμενες ποσότητες λιπασμάτων για κάθε καλλιέργεια και κάθε είδος λιπάσματος.

	Είδος Λιπάσματος	Είδος Καλλιέργειας	Προτεινόμενη ποσότητα
Αζωτούχα	Θειική Αμμωνία (21-0-0)	Εσπεριδοειδή	1-2 kg/δέντρο
		Ελιές	1-2 kg/δέντρο
	Νιτρική Αμμωνία (16-20-0) ή (20-10-0)	Κηπευτικά	60-80 kg/στρέμμα
		Μηδική	60-80 kg/στρέμμα
Φωσφορούχα	Φωσφορική Αμμωνία (16-20-0) ή (20-10-0)	Αμπέλια	60-80 kg/στρέμμα
Καλιούχα	Patenkali 30 K20-10 Mg-20S	Εσπεριδοειδή	1-2 kg/δέντρο
		Ελιές	1-2 kg/δέντρο
		Κηπευτικά	60-100 kg/στρέμμα
		Μηδική	60-100 kg/στρέμμα
		Αμπέλια	60-100 kg/στρέμμα
Σύνθετα	11-15-15	Εσπεριδοειδή	1-2 kg/δέντρο
		Ελιές	1-2 kg/δέντρο
	28-8-11 + Zn	Κηπευτικά	80-100 kg/στρέμμα
		Μηδική	80-100 kg/στρέμμα
		Αμπέλια	80-100 kg/στρέμμα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

3.1 Ανάλυση μετεωρολογικών δεδομένων

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται ανάλυση και επεξεργασία των διαθέσιμων ιστορικών μετεωρολογικών δεδομένων. Κατά την επεξεργασία των δεδομένων, έγινε προσπάθεια γραφικής απεικόνισής τους με απλό τρόπο, εύκολα κατανοητό για κάθε ενδιαφερόμενο. Έγινε επεξεργασία των βροχομετρικών παρατηρήσεων τριών σταθμών, που βρίσκονται εντός ή εγγύς της ευρύτερης περιοχής του Δήμου Αφάντου (υπολογισμός μηνιαίου, ετήσιου ύψους βροχής), έλεγχος της ομοιογένειας των παρατηρήσεων των βροχομετρικών σταθμών και συμπλήρωση ελλειπουσών παρατηρήσεων. Στη συνέχεια, υπολογίστηκαν το μέσο ύψος βροχής στη λεκάνη απορροής (μέθοδος Thiessen) και τα βάρη των σταθμών.

Η ανάλυση των ιστορικών μετεωρολογικών δεδομένων είχε στόχο να εκτιμηθούν και να συμπληρωθούν οι απαραίτητες χρονοσειρές για την μετέπειτα προσομοίωση της υδρολογίας της περιοχής, με την χρήση του υδρολογικού μοντέλου ETD, καθώς και για την προσομοίωση των καρστικών πηγών επαφής χρησιμοποιώντας ένα 'δύο ταμιευτήρων' τύπου Maillet καρστικό μοντέλο. Και τα δύο μοντέλα χρησιμοποιούν σαν βασική χρονοσειρά τη βροχόπτωση, την θερμοκρασία και την εξάτμιση σε ημερήσιο τουλάχιστον χρονικό βήμα και επιπλέον απαιτούνται χρονοσειρές και άλλων μετεωρολογικών παραμέτρων.

Η βροχόπτωση αποτελεί μια ιδιαίτερη σημαντική μετεωρολογική παράμετρο καθώς είναι ένα σπουδαίο καιρικό στοιχείο για την ανάπτυξη της κάθε περιοχής. Πολλές δραστηριότητες σχετίζονται άμεσα από τις βροχομετρικές συνθήκες που επικρατούν κατά την διάρκεια του χρόνου, με ιδιαίτερα ευπαθείς δραστηριότητες να είναι η γεωργία και ο τουρισμός.

Η γεωργία στηρίζεται κατά βάση στην επάρκεια νερού τόσο κατά την χειμερινή περίοδο που προφέρεται από τις βροχοπτώσεις όσο και στην θερινή περίοδο που καλύπτεται από επιφανειακές ή υπόγειες πηγές. Ιδιαίτερα σημαντικό στοιχείο επίσης κατά την χειμερινή περίοδο είναι και το μέγιστο ποσοστό βροχόπτωσης που μπορεί να σημειωθεί σε μια περιοχή, σε ένα μικρό χρονικό διάστημα όπου είναι δυνατό να δημιουργήσει αρκετά προβλήματα στις καλλιέργειες. Μερικά από τα προβλήματα που μπορούν να προκύψουν είναι οι πλημμύρες γεωργικών εκτάσεων, η έκπλυση του επιφανειακού εδάφους και τέλος οι κατολισθήσεις, που εκτός των άλλων είναι δυνατό να επηρεάζουν και το οδικό δίκτυο μια περιοχής αποκόπτοντας τις χερσαίες μεταφορές με άλλες περιοχές.

Μόνος τρόπος αντιμετώπισης όλων των παραπάνω προβλημάτων είναι η μελετημένη εκτέλεση έργων αντιπλημμυρικής προστασίας, όπως η διαπλάτυνση ή και ο καθαρισμός των ποταμών, η κατασκευή αποχετευτικών αγωγών, οι δενδροφυτεύσεις, και τέλος η κατασκευή έργων αντιστήριξης.

Η δραστηριοποίηση μιας περιοχής στον τομέα του τουρισμού απαιτεί την επάρκεια σε νερό κυρίως κατά την θερινή περίοδο όπου η τουριστική κίνηση βρίσκεται στο κορύφωμα της. Η έλλειψη διαχείρισης των υδάτινων πόρων είναι δυνατό να έχει καταστροφικές συνέπειες για τον τουρισμό καθώς και των δραστηριοτήτων που σχετίζονται με τον τομέα αυτόν. Οι υπόγειοι υδροφορείς αποτελούν την σημαντικότερη πηγή επάρκειας νερού καλύπτοντας τις ανάγκες όλης της Ρόδο. Οι υπόγειοι αυτοί υδροφορείς αυξάνουν τα αποθέματα τους κατά την περίοδο των βροχοπτώσεων και επομένως σε μία "ξηρή" χειμερινή περίοδο τα αποθέματα είναι μειωμένα δημιουργώντας προβλήματα επάρκειας. Το πρόβλημα αυτό θα γίνεται σήμερα όλο και πιο αισθητό και επικίνδυνο λόγω των συνεχόμενων χρόνων ανομβρίας, με αποτέλεσμα την διαρκή μείωση των αποθεμάτων των υπόγειων υδροφορέων.

Ένας άλλος σημαντικός παράγοντας που προκαλεί όξυνση του προβλήματος επάρκειας σε νερό είναι και η υπεράντληση των υπόγειων υδάτων προκειμένου να καλυφθούν όλο και περισσότερες ανάγκες οι οποίες προκύπτουν από την αύξηση του τουρισμού.

Ήδη σε πολλές περιοχές εκπονούνται μελέτες και προγραμματίζεται η κατασκευή φραγμάτων καθώς και επιφανειακών λιμνοδεξαμενών προκειμένου να καλυφτούν οι υπάρχουσες ανάγκες ύδρευσης-άρδευσης και με απώτερο στόχο μελλοντικά την αποφυγή προβλημάτων επάρκειας νερού.

Από όλα τα παραπάνω γίνεται αντιληπτό πόσο αναγκαία είναι η παρουσίαση των μετεωρολογικών δεδομένων μιας περιοχής σε απλή μορφή με στοιχεία που θα είναι χρήσιμα σε κάθε μελετητή που ασχολείται είτε μα έργα κοινής ωφέλειας είτε με έργα ανάπτυξης της περιοχής.

Στην συγκεκριμένη εργασία χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από τρείς μετεωρολογικούς σταθμούς, ενός εντός της λεκάνης απορροής του ποταμού Πελέμονη και δύο κοντά στην περιοχή μελέτης για τον ικανοποιητικό υπολογισμό του μέσου ύψους βροχής και την συμπλήρωση των κενών των βροχομετρικών χρονοσειρών. Στην **Εικόνα 3.1** παρουσιάζεται η γεωγραφική θέση των σταθμών, οι οποίοι είναι: Ο μετεωρολογικός σταθμός στην πόλη του Αφάντου **(Εικόνα 3.2)** με δεδομένα που ελήφθησαν από το Τμήμα Ανάπτυξης Φυσικών Πόρων – Τομέας Εγγ. Βελτιώσεων και Φυσικών Πόρων Ρόδου, ο μετεωρολογικός σταθμός στα όρια μεταξύ των δημοτικών διαμερισμάτων Απόλλωνα και Λάερμα *(Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε)* με δεδομένα που ελήφθησαν από την Δ.Ε.Υ.Α. Ρόδου και τέλος ο σταθμός του Αεροδρομίου Ρόδου. Δεδομένα βροχόπτωσης, εξάτμισης και θερμοκρασίας των παραπάνω σταθμών είναι διαθέσιμα, αλλά για διαφορετικές χρονικές περιόδους **(Πίνακας 3.1)**. Οι σταθμοί του Αεροδρομίου Ρόδου και του Αφάντου βρίσκονται σε παράκτιες περιοχές και σε σχετικά μικρό υψόμετρο ενώ ο σταθμός Απόλλωνα – Λάερμα βρίσκεται σε λεκανοειδή περιοχή περιβαλλόμενη από υψηλότερο ανάγλυφο.

Εικόνα 3.1 Γεωγραφική θέση μετεωρολογικών σταθμών παρατήρησης (Πηγή Google earth).

Ένα βασικό μειονέκτημα της λειτουργίας των σταθμών είναι ότι δε λειτουργούσαν όλοι ταυτόχρονα την ίδια χρονική περίοδο και το γεγονός ότι κάποιες χρονικές περιόδους υπήρχε έλλειψη δεδομένων. Για να ξεπεραστεί το πρόβλημα αυτό πραγματοποιήθηκαν συσχετίσεις ομοιογένειας μεταξύ των σταθμών, ώστε να εξαχθούν οι σχέσεις που επιτρέπουν τη συμπλήρωση των χρονοσειρών.

Όπως φαίνεται και στον **Πίνακα 3.1** κατά τη χρονική περίοδο 1/09/2000-31/12/2007 υπάρχουν διαθέσιμα ημερήσια δεδομένα βροχόπτωσης, εξάτμισης, θερμοκρασίας και στους τρείς σταθμούς και κρίθηκε ότι η πλέον κατάλληλη περίοδος για την προσομοίωση της υδρολογίας της ευρύτερης περιοχής του Δήμου Αφάντου.

Πίνακας 3.1 Διαθέσιμα Δεδομένα Μετεωρολογικών Σταθμών.

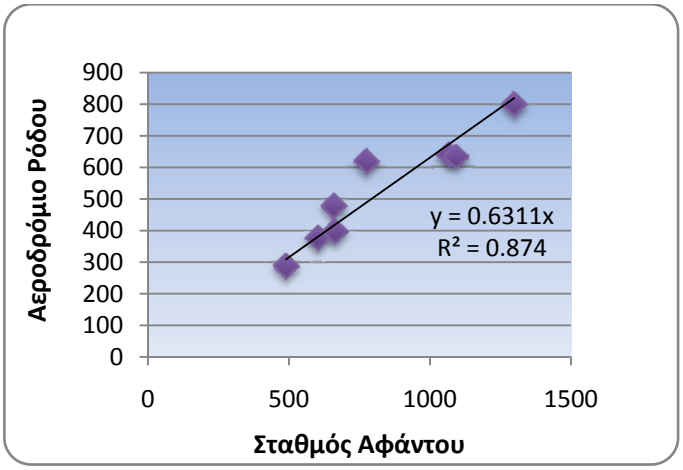
Σταθμός (υψόμετρο, m)	Βροχόπτωση		Εξάτμιση		Θερμοκρασία	
	Από	Έως	Από	Έως	Από	Έως
Αφάντου (56 m)	09/2000	08/2008	09/2000	08/2008	09/2000	08/2008
Απόλλωνα-Λάερμα (131 m)	09/2000	12/2007	09/2000	12/2007	09/2000	12/2007
Αεροδρόμιο Ρόδου (35 m)	01/1973	12/2008	-	-	01/1973	12/2008

Εικόνα 3.2 Μετεωρολογικός σταθμός πόλης Αφάντου.

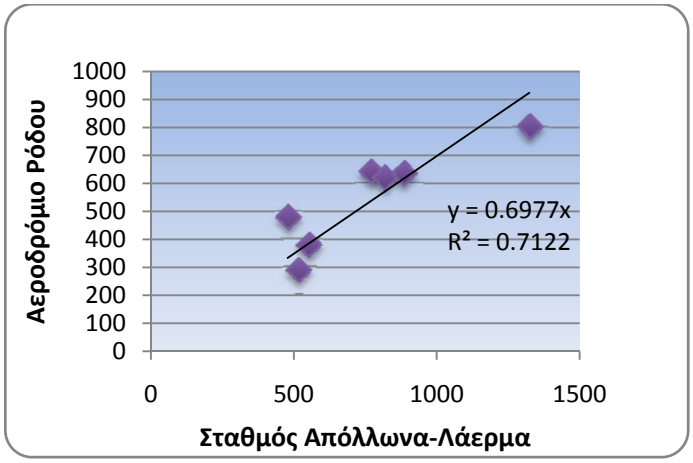
Για να ελεγχθεί η ομογένεια των χρονοσειρών βροχόπτωσης μεταξύ των σταθμών χρησιμοποιήθηκε η τεχνική της διπλής αθροιστικής καμπύλης. Κατά την τεχνική αυτή τα αθροιστικά ετήσια ύψη βροχής του εξεταζόμενου σταθμού συγκρίνονται με τις αντίστοιχες αθροιστικές τιμές της ετήσιας βροχόπτωσης των γειτονικών σταθμών. Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκε η τεχνική της διπλής αθροιστικής καμπύλης για τον παρακάτω συνδυασμό σταθμών και χρονικών περιόδων και υπολογίστηκαν οι κλίσεις συσχέτισης.

- Αφάντου – Αεροδρόμιο Ρόδου (2001-2008), **Διάγραμμα 3.1.**
- Αφάντου – Σταθμός Απόλλωνα-Λάερμα (2001-2007), **Διάγραμμα 3.2.**
- Αεροδρόμιο Ρόδου – Σταθμός Απόλλωνα-Λάερμα (2001-2007), **Διάγραμμα 3.3.**

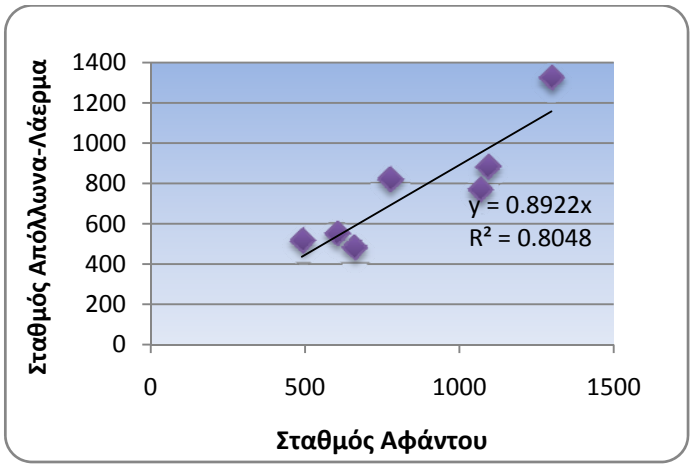
Από τα **Διαγράμματα 3.1, 3.2 και 3.3** είναι εμφανές ότι δε λαμβάνει χώρα αλλαγή στην κλίση των εξεταζόμενων σταθμών. Η διπλή αθροιστική καμπύλη ετήσιων βροχοπτώσεων και στις 3 περιπτώσεις προσεγγίζεται με ευθεία, το R^2 της οποίας πλησιάζει τη μονάδα.



Διάγραμμα 3.1 Διπλή αθροιστική καμπύλη ελέγχου ομογένειας των σταθμών Αφάντου και Αεροδρομίου (περίοδος 2001-2008).



Διάγραμμα 3.2 Διπλή αθροιστική καμπύλη ελέγχου ομογένειας των σταθμών Αεροδρομίου Ρόδου και Απόλλωνα-Λάερμα (περίοδος 2001-2007).



Διάγραμμα 3.3 Διπλή αθροιστική καμπύλη ελέγχου ομογένειας των σταθμών Αφάντου και Απόλλωνα-Λάερμα (περίοδος 2001-2007).

Καλύτερη συσχέτιση δεδομένων υπάρχει μεταξύ των σταθμών Αφάντου και Αεροδρομίου Ρόδου. Συμπεραίνεται ότι υπάρχει ομογένεια των παρατηρήσεων των σταθμών και οι συσχετίσεις τους δύναται να χρησιμοποιηθούν για τη συμπλήρωση των κενών στα δεδομένα των χρονοσειρών της ημερήσιας βροχόπτωσης.

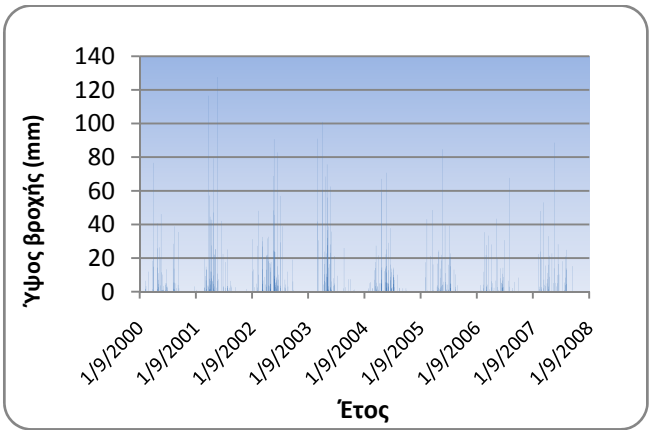
Μετά τον έλεγχο της ομογένειας μεταξύ των σταθμών, υπολογίστηκε η επιφανειακή μέση βροχόπτωση για κάθε λεκάνη της ευρύτερης περιοχής του Δήμου Αφάντου, χρησιμοποιώντας τη μέθοδο των πολυγώνων Thiessen, με βάση τους τρείς σταθμούς για τα έτη 2001-2008. Τα αποτελέσματα από τη μέθοδο Thiessen παρουσιάζονται στον **Πίνακα 3.2**.

Το μέσο επιφανειακό ύψος βροχής για κάθε λεκάνη **(Διάγραμμα 3.4 και 3.5)** υπολογίστηκε για τα έτη 2000-2008 χρησιμοποιώντας τα βάρη των πολυγώνων Thiessen.

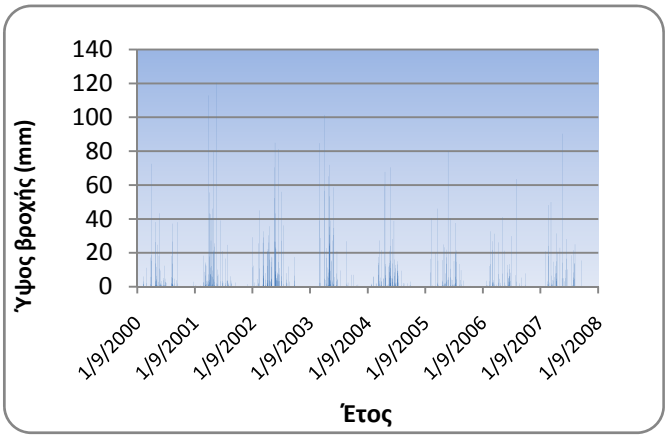
Πίνακας 3.2 Υπολογισμός μέσου ύψους βροχής των δύο κύριων λεκανών απορροής της ευρύτερης περιοχής του Δήμου Αφάντου, με τη μέθοδο Thiessen.

Λεκάνη απορροής	Βάρη Thiessen ύψους βροχής
Πελέμονη	$0,99 \times P_{ΑΦΑΝΤΟΥ} + 0,01 \times P_{ΑΕΡΟΔΡΟΜΙΟΥ}$
Λουτάνη	$0,92 \times P_{ΑΦΑΝΤΟΥ} + 0,08 \times P_{ΑΠΟΛ\text{-}ΛΑΕΡΜΑ}$

Χάρτης 3.1 Δημιουργία πολυγώνων Thiessen για τον υπολογισμό του μέσου επιφανειακού ύψους βροχής για κάθε λεκάνη, για τα έτη 2000-2008.



Διάγραμμα 3.4 Επιφανειακή μέση βροχόπτωση στην λεκάνη απορροής του ποταμού Πελέμονη 2000-2008.



Διάγραμμα 3.5 Επιφανειακή μέση βροχόπτωση στην λεκάνη απορροής του ποταμού Λουτάνη 2000-2008.

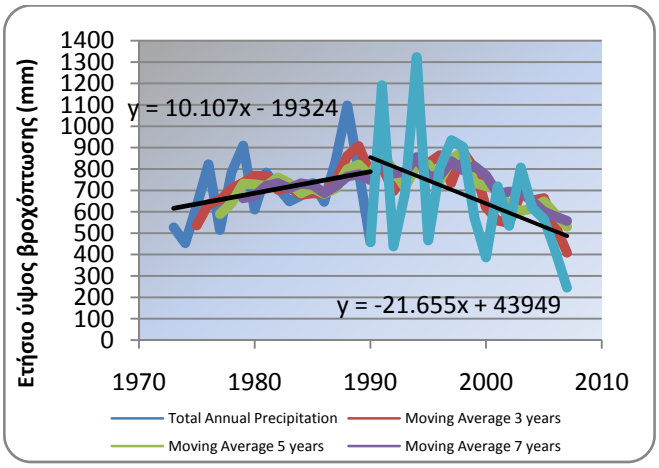
Όπως προέκυψε από την ανάλυση ομοιογένειας των βροχομετρικών σταθμών ο σταθμός του Αεροδρομίου Ρόδου αποτελεί ένα σταθμό βάση, που λειτουργεί αδιάκοπα έως σήμερα. Σημειώνεται ότι ο σταθμός αυτός είναι ο μοναδικός για τον οποίο υπήρχε διαθέσιμη χρονοσειρά βροχομετρικών δεδομένων μακράς χρονικής περιόδου (1/1/1973 έως 31/12/2008). Σύμφωνα με την ανάλυση η ετήσια βροχόπτωση του σταθμού του Αεροδρομίου Ρόδου κυμαίνεται από 300 – 1.400 mm για περίοδο 36 ετών (1973-2008) και το μέσο ετήσιο ύψος βροχής είναι 688 mm, τιμή σχεδόν τυπική για πεδινές περιοχές της νότιας Ελλάδας, κοντά στη θάλασσα.

Αντίστοιχα στην περιοχή του Αφάντου η ετήσια βροχόπτωση κυμαίνεται από 500 - 1.300 mm για την περίοδο 2001-2008 με το μέσο ετήσιο ύψος βροχής να είναι 850,3 mm.

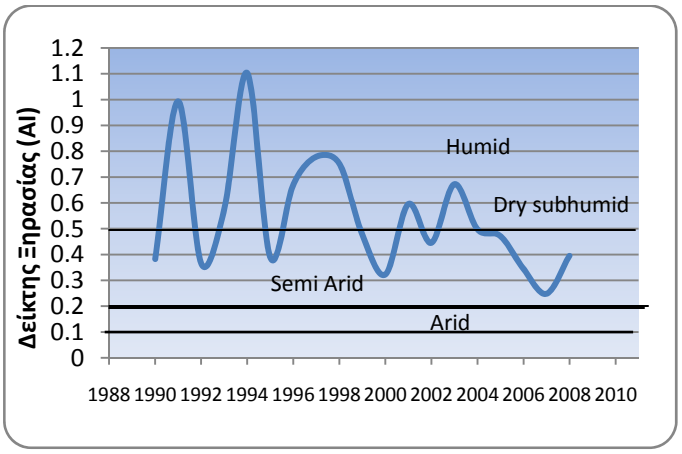
Οι μέγιστες βροχοπτώσεις και για τους τρείς σταθμούς εμφανίζονται κατά το έτος 2003 ενώ οι ελάχιστες το 2007 ενώ η μέση τιμή βροχόπτωσης από τους τρείς σταθμούς κυμαίνεται στα 800-850 mm.

Στο **Διάγραμμα 3.6** απεικονίζεται, τόσο η ετήσια βροχόπτωση, όσο και οι κινούμενοι μέσοι όροι 3-ετίας, 5-ετίας, 7-ετίας για τον σταθμό του Αεροδρομίου Ρόδου. Από το διάγραμμα είναι εμφανές ότι τα τελευταία 20 χρόνια η ετήσια βροχόπτωση έχει μειωθεί αισθητά. Κατά την περίοδο 1973-2008 παρουσιάζονται 2 τάσεις όσον αφορά τα βροχομετρικά δεδομένα. Η πρώτη περίοδος αποτελεί την περίοδο 1973-1991 όπου έχουμε αύξηση της ετήσιας βροχόπτωσης κατά 10 mm περίπου ανά έτος και η δεύτερη την περίοδο από το 1992 μέχρι και σήμερα όπου παρατηρείται μια μείωση των βροχοπτώσεων που προσεγγίζει τα 21 mm ανά έτος.

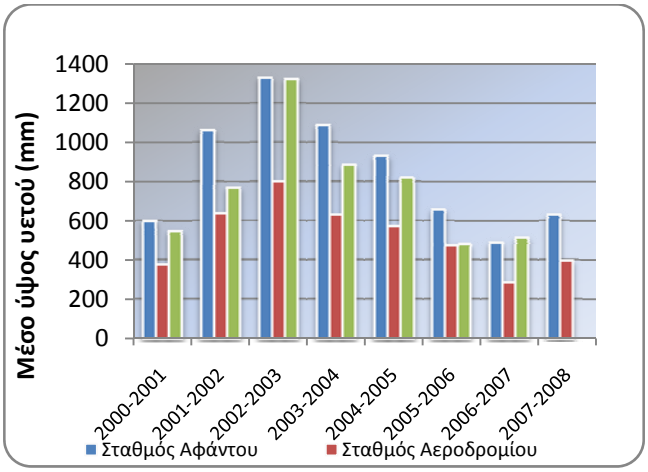
Όσον αφορά το κλίμα της Ρόδου, όπως φαίνεται και στο **Διάγραμμα 3.7** παρουσιάζεται μια μεταβλητότητα μέχρι τα τέλη του 1990 ενώ τα τελευταία χρόνια η μεταβολή αυτή είναι εντονότερη. Σύμφωνα με το δείκτη ξηρασίας (AI) το κλίμα της νήσου Ρόδου χαρακτηρίζεται ως ημίξηρο. Στο **Διάγραμμα 3.8** παρουσιάζονται τα ύψη της βροχόπτωσης ενώ στο **Διάγραμμα 3.9** το μέσο **μηνιαίο** ύψος βροχόπτωσης για τους 3 μετεωρολογικούς σταθμούς για τα υδρολογικά έτη της περιόδου 2000-2008.



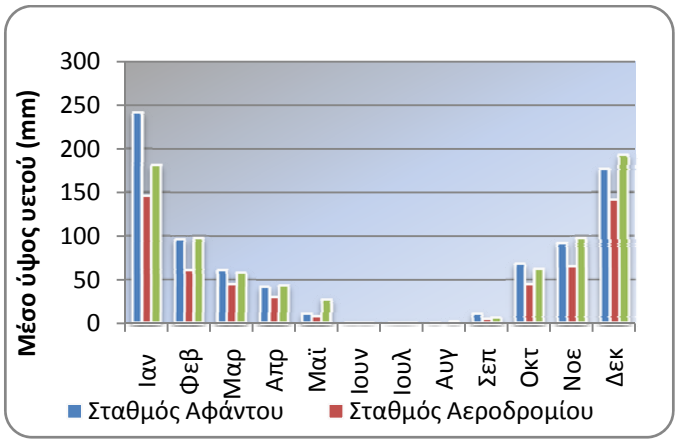
Διάγραμμα 3.6 Ετήσια βροχόπτωση και κινούμενοι μέσοι όροι σταθμού Αεροδρομίου Ρόδου για τα έτη 1973-2008.



Διάγραμμα 3.7 Δείκτης ξηρασίας (AI) με δεδομένα από τον σταθμό του Αεροδρομίου Ρόδου για τα έτη 1990-2008.



Διάγραμμα 3.8 Ύψος βροχόπτωσης για τα υδρολογικά έτη της περιόδου 2000-2008 για τους σταθμούς Αφάντου, Απόλλωνα-Λάερμα και Αεροδρομίου Ρόδου.



Διάγραμμα 3.9 Μέσο μηνιαίο ύψος βροχόπτωσης για τα έτη της περιόδου 2000-2008 για τους σταθμούς Αφάντου, Απόλλωνα-Λάερμα καθώς και του Αεροδρομίου Ρόδου.

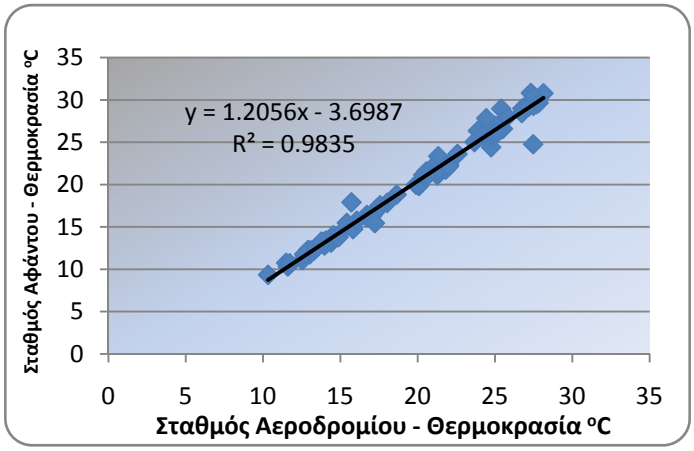
Στα **Διαγράμματα 3.8** και **3.9**, οι βροχοπτώσεις στην περιοχή εμφανίζονται με μια κανονική ετήσια διακύμανση. Το μέγιστο τους παρουσιάζεται κατά τους μήνες Δεκέμβριο και Ιανουάριο, οπότε και αρχίζουν να μειώνονται σταδιακά έως το καλοκαίρι. Κατά τους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο οι βροχοπτώσεις είναι ελάχιστες ή ανύπαρκτες. Επίσης, παρατηρείται αύξηση των βροχοπτώσεων καθώς προχωρούμε προς μεγαλύτερο υψόμετρο (Σταθμός Απόλλωνα-Λάερμα), γεγονός που οφείλεται στην τοπογραφία, στη γεωλογία και σε άλλους δυναμικούς παράγοντες της υπό μελέτη περιοχής, βασικότερος από τους οποίους είναι οι υφέσεις, αποτέλεσμα των κύριων ανέμων που πνέουν στη Ρόδο και που έχουν διεύθυνση Δ, ΒΔ, ΝΑ, Ν.

Στον **Πίνακα 3.3** παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα ετήσια ύψη βροχόπτωσης για τα υδρολογικά έτη της περιόδου 2000-2007.

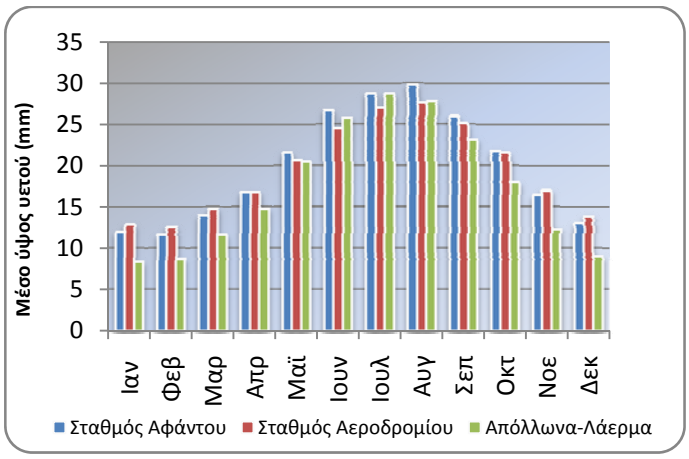
Πίνακας 3.3 Ετήσια ύψη βροχόπτωσης για τα υδρολογικά έτη της περιόδου 2000-2008.

	Ετήσια βροχόπτωση (mm)		
Υδρολογικό έτος	Απόλλωνα-Λάερμα	Αφάντου	Αεροδρόμιο
2000-2001	549,55	601,70	377,41
2001-2002	770,97	1.065,64	640,07
2002-2003	1.324,26	1.332,66	801,38
2003-2004	884,71	1.090,30	633,97
2004-2005	817,97	932,10	570,40
2005-2006	478,31	658,20	477,61
2006-2007	513,61	489,60	287,53
2007-2008	-	632,2	397.49

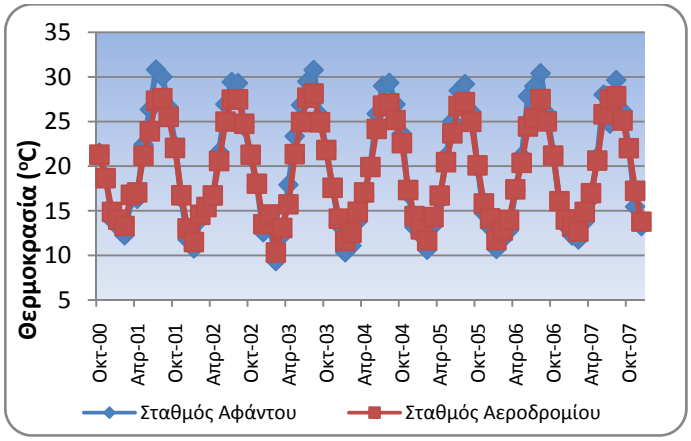
Στα **Διαγράμματα 3.10** και **3.11** παρουσιάζεται η μηνιαία συσχέτιση των τιμών θερμοκρασίας για τον σταθμό του Αφάντου με τον σταθμό του Αεροδρομίου Ρόδου για την συμπλήρωση ελλιπών δεδομένων θερμοκρασίας καθώς και οι μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες στους τρείς σταθμούς για την περίοδο 2001-2008.



Διάγραμμα 3.10 Καμπύλη ελέγχου ομογένειας θερμοκρασιών των σταθμών Αεροδρομίου Ρόδου και Απόλλωνα-Λάερμα (περίοδος 2001-2007).



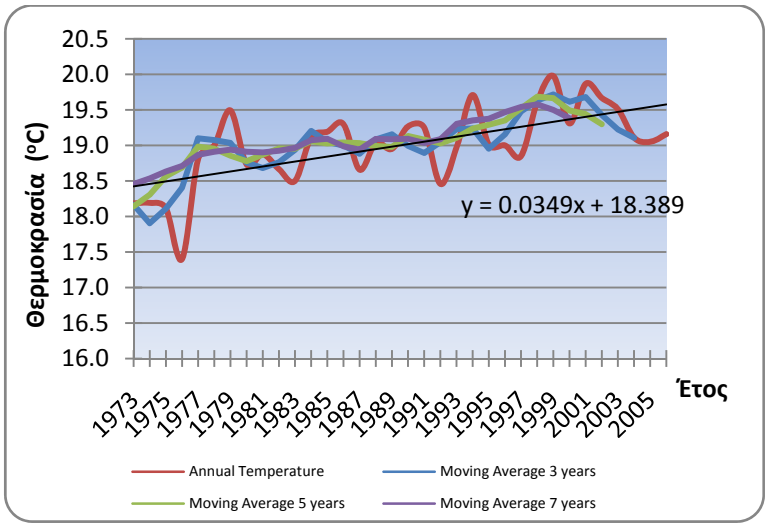
Διάγραμμα 3.11 Μέση μηνιαία θερμοκρασία για τα έτη της περιόδου 2001-2008 για τους σταθμούς Αφάντου, Απόλλωνα-Λάερμα και του Αεροδρομίου Ρόδου.



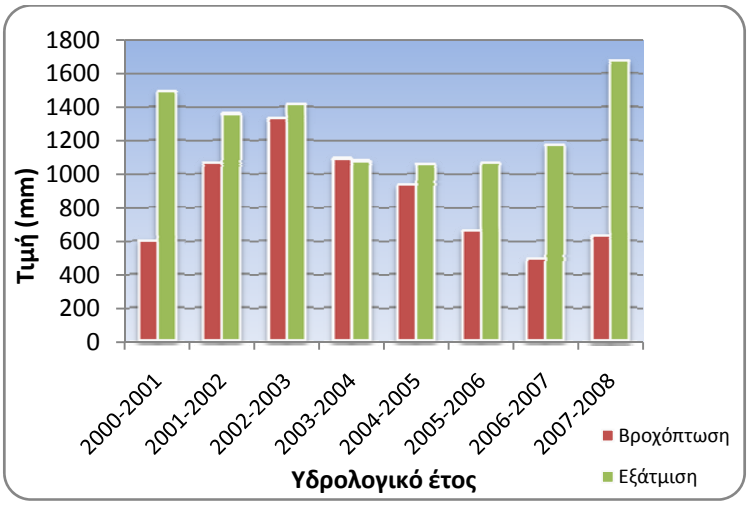
Διάγραμμα 3.12 Μέση μηνιαία θερμοκρασία για τα έτη της περιόδου 2001-2008 για τους σταθμούς Αφάντου, και Αεροδρομίου Ρόδου.

Παρατηρείται μια ομοιόμορφη κατανομή, σε όλους τους σταθμούς, των μέσων μηνιαίων θερμοκρασιών της περιόδου 2000-2008, με την μέση μηνιαία ελάχιστη να σημειώνεται τους μήνες Δεκέμβριο, Ιανουάριο και Φεβρουάριο ενώ η μέση μέγιστη θερμοκρασία τον μήνα Αύγουστο σε όλους ανεξαιρέτως τους σταθμούς.

Τα συνολικά δεδομένα θεωρήθηκαν αρκετά, ώστε οι τιμές να χαρακτηριστούν αντιπροσωπευτικές για να εξαχθούν χρήσιμα συμπεράσματα της γενικής τάση των τιμών της θερμοκρασίας. Κατασκευάστηκε χρονοσειρά της μέσης ετήσιας θερμοκρασίας για τον σταθμού του Αεροδρομίου Ρόδου καθώς και οι κινούμενοι μέσοι όροι 3-ετίας, 5-ετίας, 7-ετίας, Από το **Διάγραμμα 3.13** είναι εμφανές ότι η θερμοκρασία τα τελευταία χρόνια παρουσιάζει αύξηση. Ελήφθησαν δεδομένα ημερήσιων τιμών εξάτμισης από τους σταθμούς Αφάντου και Απόλλωνα-Λάερμα. Στον σταθμό του Αφάντου λειτουργεί εξατμισίμετρο λεκάνης τύπου Α' για την εκτίμηση της εξάτμισης από ελεύθερη επιφάνεια νερού. Στο Διάγραμμα 3.14 παρουσιάζονται οι μετρήσεις του εξατμισιμέτρου σε ετήσια βάση καθώς και αυτές τις ετήσιας βροχόπτωσης για τα υδρολογικά έτη της περιόδου 2000-2008. Η μέγιστη τιμή εξάτμισης παρατηρήθηκε κατά το υδρολογικό έτος 2007-2008 ενώ κατά τα έτη 2003-2006 η εξάτμιση παρέμεινε σταθερή.



Διάγραμμα 3.13 ***Ετήσια θερμοκρασία και κινούμενοι μέσοι όροι σταθμού Αεροδρομίου Ρόδου για τα έτη 1973-2007.***



Διάγραμμα 3.14 Διορθωμένη ετήσια εξάτμιση και βροχόπτωση για τα υδρολογικά έτη της περιόδου 2000-2007 για τον σταθμό Αφάντου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

4.1 Φυσικοχημικές αναλύσεις υπογείων υδάτων

4.1.1 Διεξαγωγή δειγματοληψιών, μετρήσεων και χημικών αναλύσεων

Η δειγματοληψία στις λεκάνες απορροής των ποταμών Λουτάνη και Πελέμονη περιελάμβανε τη λήψη δειγμάτων υπογείου νερού, συντήρηση αυτών και τέλος μεταφορά τους στο Εργαστήριο Υδρογεωχημικής Μηχανικής και Αποκατάστασης Εδαφών του Τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος του Πολυτεχνείου Κρήτης προς ανάλυση.

Πραγματοποιήθηκαν δύο (2) δειγματοληψίες και ελήφθησαν συνολικά 18 δείγματα από τις γεωτρήσεις ύδρευσης του Δήμου καθώς και 4 από το δίκτυο ύδρευσης. Η πρώτη δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε στις 4 Νοεμβρίου 2008 και η δεύτερη στις 14 Ιανουαρίου 2009. Οι παράμετροι που μετρήθηκαν για όλα τα δείγματα είναι: pH, ηλεκτρική αγωγιμότητα (conductivity), νιτρικό άζωτο (NO_3-N), νιτρώδες άζωτο (NO_2-N), αμμωνιακό άζωτο (NH_3-N), φωσφορικός φώσφορος (PO_4-P), χλώριο (CL). Επίσης πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις βαρέων μετάλλων, κυριότερα από τα οποία είναι το αρσενικό (As), το χρώμιο (Cr), το μαγγάνιο (Mn), ο χαλκός (Cu), ο μόλυβδος (Pb), το κάδμιο (Cd), ο υδράργυρος (Hg) κ.α. Κατά την δεύτερη δειγματοληψία ελήφθησαν και δείγματα για την διεξαγωγή πειραμάτων ελέγχου ρύπανσης από φυτοφάρμακα καθώς και του ολικού οργανικού άνθρακα (TOC). Η επιλογή της μέτρησης των παραπάνω φυσικοχημικών παραμέτρων οφείλεται στο γεγονός ότι οι λεκάνες απορροής των ποταμών Λουτάνη και Πελέμονη είναι περιοχές κυρίως αγροτικές, χωρίς ανεπτυγμένη βιομηχανία. Επομένως, οι κύριοι ρύποι που αναμένεται να επιβαρύνουν την περιοχή προέρχονται από τη γεωργία και την κτηνοτροφία. Οι πιο συνηθισμένοι ρυπαντές, που με διάφορους τρόπους καταλήγουν στα νερά είναι: βαρέα μέταλλα (Hg, Pd, Cd, Cu, Ni, Zn, Sn, Co, As, κ.ά.),

ανόργανες ενώσεις (NO_3-, PO_4-, NO_2- κ.ά.), οργανικές ενώσεις (φαινόλες, χλωριωμένοι υδρογονάνθρακες, απορρυπαντικά, παρασιτοκτόνα, χρώματα βαφής, προϊόντα πετρελαίου κ.ά.), ραδιενεργές ουσίες και παθογόνοι μικροοργανισμοί (βακτήρια και ιοί).

Οι παράμετροι pH, ηλεκτρική αγωγιμότητα καθώς και οι χημικές παράμετροι NO_3-N, NO_2-N, NH_3-N, PO_4-P, CL, μετρήθηκαν στο Εργαστήριο Υδρογεωχημικής Μηχανικής και Αποκατάστασης Εδαφών του τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος με φασματοφωτομετρική μέθοδο, με τη χρήση του φασματοφωτομέτρου HACH DR/2800 ενώ οι μετρήσεις των βαρέων μετάλλων έγιναν με χρήση του οργάνου ICP-MS 7500 CX της Agilent Technologies. Η μέτρηση του ολικού οργανικού άνθρακα (TOC) έγινε με την συσκευή TOC-5050A Total Organic Analyzer, Shimadzu Corporation στο Εργαστήριο Τεχνικής Χημικών Διεργασιών & Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων του τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος ενώ ο έλεγχος για φυτοφάρμακα έγινε με Αέριο Χρωματογράφο Gas Chromatograph – Mass Spectrometer, GCMS-QP-5050A, Shimadzu Corporation.

Στον **Πίνακα 4.1** δίνονται συνοπτικά οι μέθοδοι, τα όργανα και άλλες σχετικές πληροφορίες για τις αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν ενώ στην **Εικόνα 4.1** παρουσιάζονται ορισμένα εκ των οργάνων που χρησιμοποιήθηκαν.

Πίνακας 4.1 Μέθοδοι και όργανα για τις μετρήσεις των παραμέτρων.

	Όργανο	Μέθοδος	Όριο ανίχνευσης
pH	Type WTW pH 330i	-	
T			
Cond	Orion model 105		
NO_3-N	Φασματοφωτόμετρο HACH DR/2800	Hach 8039	0,37 mg/L
NO_2-N		Hach 8507	0,001 mg/L
NH_3-N		Hach 8038	0,01 mg/L
PO_4-P		Hach 8048	0,007mg/L
CL		Hach 8113	0,3 mg/L
TOC	TOC-5050A	-	
Metals	ICP-MS 7500 CX		
Φυτοφάρμακα	Αέριος Χρωματογράφος GCMS-QP-5050A		

4.1.2 Αποτελέσματα δειγματοληψιών

4.1.2.1 Φυσικές παράμετροι

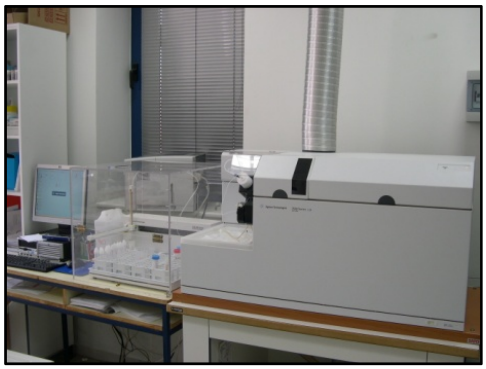
Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των φυσικών παραμέτρων από τη διεξαγωγή των δειγματοληψιών υδάτων, στις λεκάνες απορροής των ποταμών Λουτάνη και Πελέμονη. Οι φυσικές παράμετροι που για όλα τα δείγματα υπογείων υδάτων είναι το pH καθώς και η ηλεκτρική αγωγιμότητα (conductivity). Η τιμή του pH καθορίζει το ρυθμό μεταβολισμού, τη δράση των ετερότροφων βακτηρίων και το σύστημα μεταφοράς ιόντων στους υδρόβιους οργανισμούς ενώ η αγωγιμότητα επηρεάζεται από την παρουσία ανόργανων διαλυμένων στερεών, όπως ανιόντα χλωρίου, νιτρικά, θειικά και φωσφορικά και κατιόντα νατρίου, μαγνησίου, ασβεστίου, σιδήρου και αργιλίου τα οποία αυξάνουν την αγωγιμότητα. Στον **Πίνακα 4.2** δίνονται τα αποτελέσματα τις πρώτης δειγματοληψίας ενώ στον **Πίνακα 4.3** αυτά της δεύτερης.

Σύμφωνα με την Οδηγία 78/659/ΕΟΚ για να την εξασφάλιση της διαβίωσης των ιχθύων σε νερά σαλμονιδίων και κυπρινιδίων θα πρέπει το pH να κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 6 και 9 (Οδηγία 78/659/ΕΟΚ). Οι τιμές του pH κυμαίνονται σε φυσιολογικά επίπεδα με εύρος τιμών των μέσων τιμών από το σύνολο των δειγματοληψιών να κυμαίνεται από 7,8 έως 8,3.

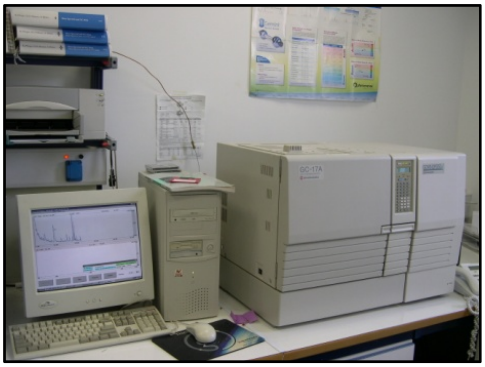
Η αγωγιμότητα στα ποτάμια και ρέματα σχετίζεται κυρίως με τη γεωλογία της περιοχής (τύπος πετρωμάτων) ωστόσο αύξηση της αγωγιμότητας μπορεί να παρατηρηθεί από εισροές ρύπων στο ποτάμι. Η έκπλυση με νερά της βροχής των χημικών λιπασμάτων που διασπείρονται στις γεωργικές εκτάσεις είναι μια αιτία αυξημένων τιμών. Σύμφωνα με την Οδηγία 98/83/ΕΕ η αγωγιμότητα για το πόσιμο νερό θα πρέπει να είναι < 2500 μS/cm. Τιμές μεταξύ των 150 και 500 μS/cm είναι κατάλληλες για υποστήριξη ζωής πολλών ειδών ενώ τιμές έξω από αυτή την κλίμακα

μπορεί να είναι ακατάλληλες για την ανάπτυξη ορισμένων ειδών ψαριών και ασπόνδυλων.

Φασματοφωτόμετρο HACH DR/2800



ICP-MS 7500 CX, Agilent



GCMS-QP-5050A, Shimadzu

TOC-5050A, Shimadzu

Type WTW pH 330i- Orion model 105

Εικόνα 4.1 Όργανα για τη μέτρηση φυσικοχημικών παραμέτρων.

Πίνακας 4.2 Μετρήσεις φυσικών παραμέτρων υπογείων υδάτων (1η δειγματοληψία 4/11/2008).

	Γεώτρηση	Θέση	T (°C)		pH		Αγωγιμότητα (μS/cm)	
			Δείγμα 1	Δείγμα 2	Δείγμα 1	Δείγμα 2	Δείγμα 1	Δείγμα 2
1	Αφάντου (Δίκτυο)	Αφάντου	20,1	19,6	8,07	8,15	822	828
2	Κολύμπια (Δίκτυο)	Κολύμπια	20,3	19,6	8,21	8,07	584	588
3	Λουτάνης Ι	Κολύμπια	20,2	19,8	8,2	8,2	666	665
4	Παρθενώνας	Κολύμπια	20	20,1	8,1	8,1	729	734
5	Βόττες	Αφάντου	20,3	20,5	8,1	8,1	1352	1362
6	Μύλου	Αφάντου	20,2	19,7	8,3	8,2	701	696
7	Κυπαρίσσια	Κολύμπια	20,7	20,6	8,2	8,3	563	566
8	Παραμυθία	Κολύμπια	21,3	20,8	8,2	8,2	1089	1047
9	Δημήτρα Βρύση Ι	Αφάντου	20,3	19,8	8,2	8,0	589	581
10	Δημήτρα Βρύση ΙΙ	Αφάντου	20,2	19,6	8,2	8,2	591	589

Πίνακας 4.3 Μετρήσεις φυσικών παραμέτρων υπογείων υδάτων (2η δειγματοληψία 14/01/2009).

	Γεώτρηση	Θέση	T (°C)		pH		Αγωγιμότητα (μS/cm)	
			Δείγμα 1	Δείγμα 2	Δείγμα 1	Δείγμα 2	Δείγμα 1	Δείγμα 2
1	Αφάντου (Δίκτυο)	Αφάντου	17,8	17,6	7,8	7,8	870	869
2	Κολύμπια (Δίκτυο)	Κολύμπια	17,7	18,7	8,1	8,1	588	587
3	Πιθάρια	Αρχίπολη	18,6	18,3	8,0	8,0	766	759
4	Πισχάλια	Αρχίπολη	19,7	19,9	7,9	7,8	873	798
5	Δράκου	Αρχίπολη	18,7	19,3	7,9	7,9	604	603
6	Πορτοκαλιές	Κολύμπια	19,5	18,5	8,2	8,2	461	454
7	Κυπαρίσσια	Κολύμπια	18,3	18,6	8,0	7,9	566	562
8	Παραμυθία	Κολύμπια	18,7	17,6	8,1	8,1	1047	1048
9	Μύλου	Αφάντου	18,9	17,8	8,1	8,1	705	704
10	Δημήτρα Βρύση ΙΙ	Αφάντου	17,8	18,7	7,8	7,9	628	625

Οι μεγαλύτερες τιμές αγωγιμότητας είναι αυτές που μετρήθηκαν στην γεώτρηση Βόττες με μέση τιμή 1.357 μS/cm καθώς και στην γεώτρηση Παραμυθία με μέση τιμή 1.057,7 μS/cm που πιθανόν να οφείλεται στην γεωλογία-γύψους. Στο σύνολο των δειγμάτων η αγωγιμότητα κυμαίνεται από 400-800 μS/cm.

4.1.2.2 Χημικές παράμετροι

Ακολουθούν τα αποτελέσματα από τις χημικές αναλύσεις και οι μετρήσεις βαρέων μετάλλων, που έγιναν στα δείγματα των υπογείων νερών κατά τις δύο δειγματοληψίες. Στον **Πίνακα 4.4** δίνονται τα αποτελέσματα τις πρώτης δειγματοληψίας ενώ στον **Πίνακα 4.5** αυτά της δεύτερης δειγματοληψίας.

Οι χημικές παράμετροι που μετρήθηκαν για όλα τα δείγματα είναι : νιτρικό άζωτο (NO_3-N), νιτρώδες άζωτο (NO_2-N), αμμωνιακό άζωτο (NH_3-N), φωσφορικός φώσφορος (PO_4-P) , χλώριο (CL), βαρέα μέταλλα (As, Cr, Mn, Cu, Pb, Cd, Hg κ.α.), ρύπανση από φυτοφάρμακα και τέλος μέτρηση του ολικού οργανικού άνθρακα (TOC). Αναλυτικά τα αποτελέσματα για τις όλες τις δειγματοληψίες παρουσιάζονται στο **Παράρτημα Ι**.

«Όριο ανίχνευσης μεθόδου» (Method Detection Limit, MDL) ορίζεται, σύμφωνα με την EPA, ως η ελάχιστη συγκέντρωση ενός συστατικού που μπορεί να μετρηθεί, με 99% βεβαιότητα, ότι η πραγματική συγκέντρωση αυτού είναι μεγαλύτερη από το μηδέν *(US-EPA, 2003).* Στην εν λόγω εργασία συχνά χρησιμοποιείται η συντομογραφία bdl που αντιστοιχεί στο below detection limit και το οποίο αντιστοιχεί στο όριο ανίχνευσης της μεθόδου.

Βάσει της Οδηγίας 98/83/ΕΚ για το πόσιμο νερό οι συγκεντρώσεις του νιτρικού αζώτου, NO_3–N, δε θα πρέπει να είναι μεγαλύτερες των 11,3 mg/L. Οι μέσες τιμές των συγκεντρώσεων του νιτρικού αζώτου, NO_3–N, στο επιφανειακό νερό

κυμαίνονται από 0,2 mg/L έως 1,8 mg/L. Η υψηλότερη συγκέντρωση NO_3-N μετρήθηκε στην γεώτρηση Μύλου (1,85 mg/L) και η ελάχιστη στην γεώτρηση Πιθάρια. Σε γενικές γραμμές η επιβάρυνση NO_3-N από τις καλλιέργειες είναι χαμηλή.

Βάσει της Οδηγίας 98/83/ΕΚ για το πόσιμο νερό οι συγκεντρώσεις των NO_2-N και NH_3-N πρέπει να είναι μικρότερες από 0,153 mg/L και 0,388 mg/L αντίστοιχα. Οι μέσες τιμές των συγκεντρώσεων του νιτρώδους αζώτου, NO_2-N, στα περισσότερα δείγματα ύδατος είναι χαμηλές με υψηλότερη συγκέντρωση να παρουσιάζεται στην γεώτρηση Βόττες και είναι 0,5 mg/L. Οι συγκεντρώσεις του αμμωνιακού αζώτου, NH_3-N λαμβάνουν τιμές από 0,01 έως 0,15 mg/L.

Η μορφή στην οποία απαντάται, συνήθως, ο φώσφορος στη φύση είναι τα φωσφορικά και ο οργανικός φώσφορος. Ο φώσφορος μαζί με τα νιτρικά αποτελούν τα βασικά θρεπτικά για την ανάπτυξη των φυτών. Η ίδια παρατήρηση ισχύει και για τα PO_4-P, για τα οποία το όριο είναι 2,18 mg/L. Στο νερό η υψηλότερη συγκέντρωση φωσφορικού φωσφόρου, PO_4-P, κατά μέσο όρο παρατηρήθηκε στις γεωτρήσεις Βόττες, Πισχάλια και Μύλου με τιμή 0,20 mg/L και αποδίδεται, όπως και στην περίπτωση των νιτρικών, στο γεγονός ότι διέρχεται από καλλιεργήσιμη γη.

Οι μέσες τιμές των συγκεντρώσεων του χλωρίου κυμαίνονται από 2,6 έως 171,6 mg/L με την μέγιστη να παρατηρείται στην γεώτρηση Παραμυθία. Η ύπαρξη υψηλών συγκεντρώσεων χλωρίου πιθανόν να οφείλεται στο σύστημα χλωρίωσης της γεώτρησης. Οι συγκεντρώσεις ολικού οργανικού άνθρακα, βάσει του **Πίνακα 4.5** κυμαίνονται από 0,1 έως 3,91 mg/L. Γενικά για όλα τα υπόγεια ύδατα οι συγκεντρώσεις είναι χαμηλότερες από τις τιμές βάσει της Οδηγίας 98/83/ΕΚ για το πόσιμο νερό.

Στις αναλύσεις των δειγμάτων του υπογείου ύδατος οι συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων είναι κάτω από τα όρια που ορίζει η Οδηγία για το πόσιμο νερό (Οδηγία 98/83/ΕΚ, 1998). Οι συγκεντρώσεις του χρωμίου κυμαίνονται από μη ανιχνεύσιμες τιμές έως τα 12,3 ug/L στην γεώτρηση Βόττες που πιθανόν να είναι γηγενής προέλευσης.

Κατά την δεύτερη δειγματοληψία (4/11/2008) ελήφθησαν πέντε δείγματα υπογείου ύδατος από τις γεωτρήσεις Πιθάρια, Μύλου, Κυπαρίσσια, Δράκου και Δημήτρα Βρύση ΙΙ για την ανάλυση και ταυτοποίηση ενώσεων με την μέθοδο της φασματομετρίας μάζας (Mass Spectrometry) μέσω του χρόνου κατακράτησης ο οποίος είναι χαρακτηριστικός για κάθε ένωση. Το όργανο που χρησιμοποιήθηκε είναι αέριος χρωματογράφος Gas Chromatograph – Mass Spectrometer, GCMS-QP-5050A, Shimadzu Corporation. Ο γενικός τρόπος λειτουργίας αυτών των αναλύσεων είναι ο σχηματισμός ιόντων αέριας φάσης αρχικά, ο διαχωρισμός των ιόντων ανάλογα με την θέση τους ή τον χρόνο εμφάνισής τους και τέλος εύρεση της ποιότητας των ιόντων.

Στα δείγματα ανιχνεύτηκαν ενώσεις Πολυβρωμιωμένων Διφαινυλεθέρων (Polybrominated diphenyl ethers, PBDEs), ενώσεις Οργανο-Χλωριωμένων Παρασιτοκτόνων (OCPs-OrganoChlorinated Pesticides), ενώσεις Πολυκυκλικών Αρωματικών Υδρογονανθράκων (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, PAHs) και τέλος ενώσεις Χλωριωμένων Αρωματικών Υδρογονανθράκων (Chlorinated Monoaromatics) αλλά σε πολύ μικρές συγκεντρώσεις κάτω από τα όρια ποσοτικοποίησης.

Οι τιμές των φυσικοχημικών χαρακτηριστικών κυμαίνονται σε φυσιολογικά επίπεδα. Εξαίρεση αποτελούν ορισμένες αυξημένες τιμές αγωγιμότητας που παρατηρήθηκαν στις γεωτρήσεις Βόττες και Παραμυθία. Όπως φαίνεται και από τον γεωλογικό χάρτη της περιοχής οι παραπάνω αυξημένες τιμές πιθανόν να οφείλονται στο γεγονός ότι οι συγκεκριμένες αυτές γεωτρήσεις βρίσκονται τεταρτογενή ιζήματα

με μάργες. Το φαινόμενο της υψηλής αυτής αγωγιμότητας έχει παρατηρηθεί και σε παρόμοιες περιπτώσεις στην Κρήτη σε γεωτρήσεις που βρίσκονται σε τεταρτογενή ιζήματα μαργών με λίγο γύψο. Αναλυτικά τα αποτελέσματα για τις όλες τις δειγματοληψίες παρουσιάζονται στο **Παράρτημα Ι**.

Πίνακας 4.4 Μετρήσεις χημικών παραμέτρων υπογείων υδάτων (1η δειγματοληψία 4/11/2008).

	Γεώτρηση	Θέση	NO_2-N (mg/L)		NO_3-N (mg/L)		NH_3-N (mg/L)		PO_4-P (mg/L)		CL (mg/L)	
			Average	std	Average	std	Average	std	Average	std	Average	std
1	Αφάντου (Δίκτυο)	Αφάντου	bdl	-	0,44	0,04	0,15	0,02	0,10	0,00	46,9	0,2
2	Κολύμπια (Δίκτυο)	Κολύμπια	bdl	-	0,65	0,00	0,11	0,03	0,04	0,01	5,2	0,3
3	Λουτάνης Ι	Κολύμπια	bdl	-	0,71	0,58	0,11	0,01	0,10	0,02	5,9	0,6
4	Παρθενώνας	Κολύμπια	bdl	-	0,50	0,12	0,15	0,00	0,11	0,01	6,4	0,1
5	Βόττες	Αφάντου	0,50	-	bdl	-	0,01	0,00	0,19	0,05	112,4	0,0
6	Μύλου	Αφάντου	bdl	-	0,38	0,12	0,02	0,02	0,06	0,01	3,4	0,2
7	Κυπαρίσσια	Κολύμπια	bdl	-	0,53	0,17	0,03	0,01	0,09	0,06	3,0	0,0
8	Παραμυθία	Κολύμπια	bdl	-	bdl	-	0,06	0,03	0,12	0,00	69,4	0,2
9	Δημήτρα Βρύση Ι	Αφάντου	bdl	-	bdl	-	0,03	0,01	0,10	0,04	3,3	0,2
10	Δημήτρα Βρύση ΙΙ	Αφάντου	bdl	-	0,32	0,04	0,03	0,00	0,15	0,06	2,6	0,2
	Όριο ανίχνευσης (mg/L)		0,001		0,37		0,01		0,007		0,3	

bdl = below detection limit (κάτω από το όριο ανίχνευσης)

Πίνακας 4.5 Μετρήσεις χημικών παραμέτρων υπογείων υδάτων (2η δειγματοληψία 4/11/2008).

	Γεώτρηση	Θέση	NO_2-N (mg/L)		NO_3-N (mg/L)		NH_3-H (mg/L)		PO_4-P (mg/L)		CL (mg/L)		TOC (mg/L)	
			Average	std	Average	std	Average	std	Average	std	Average	std	Average	std
1	Αφάντου (Δίκτυο)	Αφάντου	bdl	-	0,59	0,54	0,02	0,00	0,27	0,13	140,6	0,2	0,97	0,11
2	Κολύμπια (Δίκτυο)	Κολύμπια	bdl	-	0,88	0,67	0,02	0,00	0,06	0,02	43,9	0,2	1,30	0,10
3	Πιθάρια	Αρχίπολη	bdl	-	0,06	0,29	0,02	0,01	0,16	0,03	46,2	0,9	0,58	0,13
4	Πισχάλια	Αρχίπολη	bdl	-	bdl	-	0,12	0,11	0,20	0,02	46,2	0,6	3,91	0,42
5	Δράκου	Αρχίπολη	bdl	-	bdl	-	0,04	0,01	0,06	0,00	46,7	0,1	0,79	0,33
6	Πορτοκαλιές	Κολύμπια	bdl	-	1,65	0,33	0,02	0,00	0,11	0,05	38,8	0,2	0,83	0,51
7	Κυπαρίσσια	Κολύμπια	bdl	-	0,79	0,04	0,03	0,00	0,12	0,06	42,0	0,3	0,10	0,10
8	Παραμυθία	Κολύμπια	bdl	-	0,24	0,25	0,01	0,00	0,10	0,05	171,6	0,1	0,26	0,15
9	Μύλου	Αφάντου	bdl	-	1,85	0,04	0,03	0,01	0,20	0,03	43,9	0,2	1,50	0,37
10	Δημήτρα Βρύση ΙΙ	Αφάντου	0,20	-	0,59	0,25	0,03	0,01	0,16	0,04	47,7	0,3	1,19	0,24
	Όριο ανίχνευσης (mg/L)		0,001		0,37		0,01		0,007		0,3		400ppb-80ppb 1,6 ppm-9,9 ppm	

bdl = below detection limit (κάτω από το όριο ανίχνευσης)

Πίνακας 4.6 Μετρήσεις βαρέων μετάλλων υπογείων υδάτων (1η δειγματοληψία 4/11/2008).

	Γεώτρηση	Θέση	As (ug/L)		Cr (ug/L)		Mn (ug/L)		Cu (ug/L)		Pb (ug/L)		Cd (ug/L)		Hg (ug/L)	
			Average	std	Average	std	Average	std	Average	std	Average	std	Average	std	Average	std
1	Αφάντου (Δίκτυο)	Αφάντου	bdl	-	9,8	0,29	bdl	-	bdl	-	bdl	-	bdl	-	0,2	0,24
2	Κολύμπια (Δίκτυο)	Κολύμπια	bdl	-	5,9	0,03	bdl	-	bdl	-	bdl	-	bdl	-	0,1	0,04
3	Λουτάνης Ι	Κολύμπια	bdl	-	9,1	0,21	bdl	-	bdl	-	bdl	-	bdl	-	bdl	-
4	Παρθενώνας	Κολύμπια	bdl	-	2,7	0,18	bdl	-	bdl	-	bdl	-	bdl	-	0,2	0,17
5	Βόττες	Αφάντου	bdl	-	12,3	0,19	bdl	-	bdl	-	bdl	-	bdl	-	bdl	-
6	Μύλου	Αφάντου	bdl	-	3,0	0,02	bdl	-	bdl	-	bdl	-	bdl	-	bdl	-
7	Κυπαρίσσια	Κολύμπια	bdl	-	3,5	0,03	bdl	-	bdl	-	bdl	-	bdl	-	0,4	0,21
8	Παραμυθία	Κολύμπια	bdl	-	6,8	0,02	bdl	-	bdl	-	bdl	-	bdl	-	0,2	0,08
9	Δημήτρα Βρύση Ι	Αφάντου	bdl	-	9,5	0,05	bdl	-	bdl	-	bdl	-	bdl	-	0,1	0,03
10	Δημήτρα Βρύση ΙΙ	Αφάντου	bdl	-	8,5	0,88	bdl	-	bdl	-	bdl	-	bdl	-	bdl	-
	Όριο ανίχνευσης (ug/L)		0,1		0,01		0,01		0,01		0,22		0,05		0,04	

bdl = below detection limit (κάτω από το όριο ανίχνευσης)

Πίνακας 4.7 Μετρήσεις βαρέων μετάλλων υπογείων υδάτων (2η δειγματοληψία 4/11/2008).

	Γεώτρηση	Θέση	As (ug/L)		Cr (ug/L)		Mn (ug/L)		Cu (ug/L)		Pb (ug/L)		Cd (ug/L)		Hg (ug/L)	
			Average	std	Average	std	Average	std	Average	std	Average	std	Average	std	Average	std
1	Αφάντου (Δίκτυο)	Αφάντου	bdl	-	12,9	1,81	0,04	0,004	0,84	0,53	0,25	0,26	bdl	-	0,91	1,02
2	Κολύμπια (Δίκτυο)	Κολύμπια	bdl	-	4,59	0,15	0,04	0,005	bdl	-	0,14	0,002	-	-	1,08	0,03
3	Πιθάρια	Αρχίπολη	bdl	-	5,5	0,21	0,1	0,007	21,4	0,72	0,07	0,003	-	-	bdl	-
4	Παραμυθία	Κολύμπια	0,01	0,12	9,03	0,39	0,16	0,005	13,8	10,7	0,13	0,003	-	-	0,83	0,007
5	Μύλου	Αφάντου	bdl	-	2,99	0,37	2,17	3,08	bdl	-	0,25	0,02	bdl	-	0,46	0,01
6	Πισχάλια	Αρχίπολη	0,45	0,05	3,1	0,28	4,08	5,45	2,1	1,1	4,1	4,43	-	-	1,8	0,17
7	Δράκου	Αρχίπολη	bdl	-	bdl	-	21,48	1,3	8,4	0,07	0,57	0,004	-	-	2,12	0,05
8	Κυπαρίσσια	Κολύμπια	bdl	-	3,8	0,12	3,72	0,42	bdl	-	0,42	0,005	bdl	-	1,82	0,08
9	Πορτοκαλιές	Κολύμπια	0,04	0,04	1,2	1,1	1,18	1,1	bdl	-	0,2	0,25	bdl	-	3,27	3,4
10	Δημήτρα Βρύση ΙΙ	Αφάντου	bdl	-	11,6	0,12	13,34	2,46	0,64	0,08	0,3	0,33	bdl	-	1,8	0,27
	Όριο ανίχνευσης (ug/L)		0,01		0,04		0,01		0,63		0,04		0,01		0,02	

bdl = below detection limit (κάτω από το όριο ανίχνευσης)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

5.1 Μοντελοποίηση Περιοχής Μελέτης

Μοντελοποίηση ορίζεται η αναπαραγωγή της συμπεριφοράς και απόκρισης ενός φυσικού, χημικού ή βιολογικού συστήματος επιτρέποντας μας να το διαχειριστούμε καλύτερα μέσω της πρόγνωσης και της πρόληψης.

Στην Ευρωπαϊκή Ένωση οι υδατικοί πόροι επιβάλλεται να ενταχθούν σε διαχειριστικά σχέδια σύμφωνα με τις προδιαγραφές την οδηγία πλαίσιο για το νερό *(Οδηγία 2000/60/EC).* Τα ποτάμια διαλείπουσας ροής αποτελούν μια σημαντική πρόκληση για την αειφόρο διαχείριση των υδατικών πόρων, με το πρωταρχικό πρόβλημα να έγκειται στο γεγονός ότι στην πλειονότητα των ποταμών διαλείπουσας ροής δεν υπάρχουν δεδομένα ικανά να περιγράψουν τις υδρολογικές και βιογεωχημικές συνθήκες, που επικρατούν στα περιβάλλοντα αυτά. Αυτό οφείλεται κυρίως στο γεγονός ότι μέχρι και σήμερα τα ποτάμια διαλείπουσας ροής αποτελούν συστήματα όπου απλά δεν παρακολουθούνται και στο ότι η γεωμορφολογία των ποταμών διαλείπουσας ροής δε δύναται να ενταχθεί στις παραδοσιακές γεωλογικές συνθήκες, σύμφωνα με τις οποίες έχουν αναπτυχθεί και κωδικοποιηθεί τα υδρολογικά μοντέλα. Η καρστική απορροή των πηγών που με τη σειρά τους τροφοδοτούν τα ποτάμια διαλείπουσας ροής αποτελεί ένα σημαντικό τμήμα της υδρολογίας και θα έπρεπε να συμπεριλαμβάνεται στα υδρολογικά μοντέλα. Η καρστική απορροή που προέρχεται από τις πηγές μπορεί να είναι ανεξάρτητη από το επιφανειακό σύστημα, λόγω του ότι η επιφάνεια του καρστ εκτείνεται και εκτός του υποβάθρου της λεκάνης *(Tzoraki and Nikolaidis, 2006).* Η αποτελεσματική διαχείριση των υπογείων υδάτων απαιτεί την ικανότητα πρόβλεψης της υπόγειας ροής και μεταφοράς των διαλυτών ουσιών. Ένα μαθηματικό μοντέλο προσομοίωσης που περιγράφει το υπόγειο υδατικό φυσικό σύστημα μιας περιοχής έχει ως κύριο στόχο την προσομοίωση των φαινομένων που εμφανίζονται στον υδροφορέα.

Η εξασφάλιση των υδατικών πόρων για τις σημερινές αλλά και για τις μελλοντικές ανάγκες μπορεί να γίνει με την εφαρμογή μιας σωστής στρατηγικής. Η οποία πρέπει να είναι προνοητική, δηλαδή μέσω της πρόβλεψης να εφαρμόζεται μια πολιτική διαχείρισης των υδατικών πόρων η οποία θα έχει δυναμική μορφή και μεγάλη χρονική εμβέλεια.

Για τη ολοκληρωμένη ορθή μοντελοποίηση και διαχείριση της υδρολογίας των λεκανών απορροής των ποταμών Λουτάνη και Πελέμονη έγινε προσπάθεια συνδυασμού τριών μοντέλων τα οποία αλληλεπιδρούν μεταξύ τους δυναμικά.

Συγκεκριμένα η μοντελοποίηση της υδρολογίας των λεκανών απορροής των ποταμών Λουτάνη και Πελέμονη έγινε σε τρείς φάσεις οι οποίες είναι :

1. Προσομοίωση της ημερήσιας καθώς και της συνολικής παροχής που προέρχεται από τις πηγές (Βελανίδι 1, Βελανίδι 2, Πισχάλια, Λιμάς, Αγ. Νεκταρίου, Επτά πηγές) εντός της λεκάνης απορροής του ποταμού Λουτάνη με την χρήση ενός καρστικού «Δύο ταμιευτήρων» τύπου Maillet μοντέλου. Βασίζεται στην εξίσωση του υδρολογικού ισοζυγίου κατά την περίοδο στείρευσης και υποθέτει ότι οι πηγές εκφορτίζονται σε διακριτά σημεία.

2. Χρήση του μοντέλου ETD (Enhanced Trickle-Down Model) για την διαμερισματοποίηση και μοντελοποίηση των επιφανειακών νερών και της υδρολογίας των λεκανών απορροής των ποταμών Λουτάνη και Πελέμονη. Το ETD (Enhanced Trickle-Down Model) είναι ένα μοντέλο διαμερισματοποίησης και συνδυάζει τα εξής τέσσερα υπομοντέλα : Το υδρολογικό υπομοντέλο (hydrologic submodel), το υπομοντέλο αλκαλικότητας (alkalinity submodel), το υπομοντέλο των θειικών (sulfate submodel) και τέλος το υπομοντέλο του χλωρίου (chloride submodel).

3. Χρήση ενός περιβάλλοντος εισαγωγής γεωγραφικών πληροφοριών (GIS environment) ονομαζόμενο «Argus One» σε συνδυασμό με έναν αλγόριθμο

«PTC - Princeton Transport Code», για την περιγραφή και επίλυση, με την χρήση πεπερασμένων στοιχείων, των εξισώσεων ροής του υπόγειου υδροφορέα καθώς και της μεταφοράς ρύπων.

5.2 Μοντέλο καρστικών πηγών

Όπως αναφέρεται και στην Ενότητα 2.2.5.2 σύμφωνα με στοιχεία του Τμήματος Ανάπτυξης Φυσικών Πόρων – Τομέας Εγγ. Βελτιώσεων και Φυσικών Πόρων, στην λεκάνη απορροής του ποταμού Λουτάνη υπάρχουν έξι πηγές σημαντικής παροχής (Βελανίδι 1, Βελανίδι 2, Πισχάλια, Λιμάς, Αγ. Νεκταρίου, Επτά πηγές) που οφείλουν την ύπαρξη τους στην επαφή των καρστικών ασβεστόλιθων με τα νεογενή και τεταρτογενή ιζήματα. Στην λεκάνη απορροής του ποταμού Πελέμονη υπάρχει η πηγή Φασούλι στην περιοχή της Ψίνθου καθώς και άλλες πηγές μικρότερης παροχής.

Για την ορθή διαχείριση των υδατικών πόρων σε επίπεδο λεκάνης απορροής και την εκτίμηση των απολήψιμων ποσοτήτων νερού, είναι απαραίτητη η μοντελοποίηση των εκφορτίσεων των καρστικών πηγών. Με τον όρο κάρστ, εννοούμε μία περιοχή, με χαρακτηριστική υδραυλική συμπεριφορά και γεωμορφές, η οποία προέκυψε από τον συνδυασμό της μεγάλης διαλυτότητας των πετρωμάτων και του πολύ καλά εξελιγμένου δευτερογενούς πορώδους το οποίο δίνει τη δυνατότητα στο καρστ να αποθηκεύει σημαντικές ποσότητες υπόγειου νερού. Οι καρστικές πηγές συνδέονται σχεδόν αποκλειστικά με ανθρακικά πετρώματα.

Γενικά, στη βιβλιογραφία υπάρχουν πολυάριθμες μελέτες που υπολογίζουν το συντελεστή στείρευσης μιας πηγής και προσδιορίζουν το υδρογράφημα εκφόρτισης αυτής κατά την περίοδο της ξηρασίας. Στο παρελθόν η μοντελοποίηση των καρστικών υδροφορέων κυρίως εστιάστηκε στην προσομοίωση της ροής σε ρήγματα, τα οποία θεωρούνταν αγωγοί μεταφοράς της ροής και όχι ως συνεισφορά της

εκφόρτισης των πηγών στην παροχή των ποταμών *(Jaquet et al., 2004 and Manda et al., 2006).*

Έγινε μοντελοποίηση και προσομοίωση των πηγών επαφής (Βελανίδι 1, Βελανίδι 2, Πισχάλια, Επτά πηγές) εντός της λεκάνης απορροής του ποταμού Λουτάνη με δεδομένα παροχής που ελήφθησαν από το Τμήμα Ανάπτυξης Φυσικών Πόρων – Τομέας Εγγ. Βελτιώσεων και Φυσικών Πόρων, Ρόδου. Για τις πηγές Λιμάς, Τσάκαλι, Αγ. Νεκτάριος και Φασούλι τα δεδομένα δεν ήταν επαρκή με αποτέλεσμα η μοντελοποίηση τους να μην μπορεί να πραγματοποιηθεί. Αναλυτικά τα δεδομένα παροχής των πηγών παρουσιάζονται στο **Παράρτημα ΙΙ**.

Σύμφωνα με τη γεωλογία της λεκάνης απορροής του ποταμού Λουτάνη **(Χάρτης 2.6)**, το καρστικό υπόβαθρο μπορεί να περιγραφεί από το ακόλουθο ιδεατό μοντέλο το οποίο θεωρεί το καρστικό σύστημα ως σύστημα ενός ανώτερου και ενός κατώτερου ταμιευτήρα που αντιπροσωπεύουν τους ασβεστολιθικούς σχηματισμούς που υπάρχουν στην περιοχή. Ο ανώτερος (έντονα καρστικοποιημένος-μεγάλες ρωγμές) ταμιευτήρας εκφορτίζεται αμέσως μέσω των πηγών κατά τη διάρκεια και αμέσως μετά από μια βροχόπτωση ενώ ο κατώτερος ταμιευτήρας (λιγότερο καρστικοποιημένος) εκφορτίζεται αργά. Η γρήγορη ή αργή εκφόρτιση ερμηνεύεται με την ικανότητα του καρστικού συστήματος να ελευθερώνει νερό. Το μοντέλο υπολογίζει τις εκφορτίσεις των πηγών σε επίπεδο λεκάνης απορροής ποταμού με ημερήσιο χρονικό βήμα και βασίζεται στην εξίσωση του υδρολογικού ισοζυγίου κατά την περίοδο στείρευσης. Κύριος άξονας για την επίτευξη του παραπάνω, αποτελεί η συσχέτιση των αποτελεσμάτων της μοντελοποίησης αυτής, με την διακύμανση της στάθμης του νερού στο κάρστ και των εκφορτίσεων των πηγών που προκύπτουν από τα δεδομένα του πεδίου. Η βασική εξίσωση που χρησιμοποιείται στο Καρστικό μοντέλο είναι η εκθετική εξίσωση που προτάθηκε από το Maillet (1905) και γίνεται επέκταση της εφαρμογής της με την ανάλυση του υδρογραφήματος εκφόρτισης (Σταμάτη κ.α., 2007).

Η περιοχή τροφοδοσίας και η γεωμετρία ενός καρστικού υδροφορέα είναι παράγοντες, που μεταβάλλονται χώρο-χρονικά και εξαρτώνται από τις υδρολογικές συνθήκες. Σημειώνεται ότι η καρστική απορροή αποτελεί το αποτέλεσμα όλων των πηγών που εκφορτίζονται μέσα στη λεκάνη απορροής και που συνήθως είναι αδύνατη η παρακολούθηση και καταγραφή των παροχών τους. Κατά την ξηρή περίοδο η παροχή του ποταμού Λουτάνη είναι το 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 απορροή.

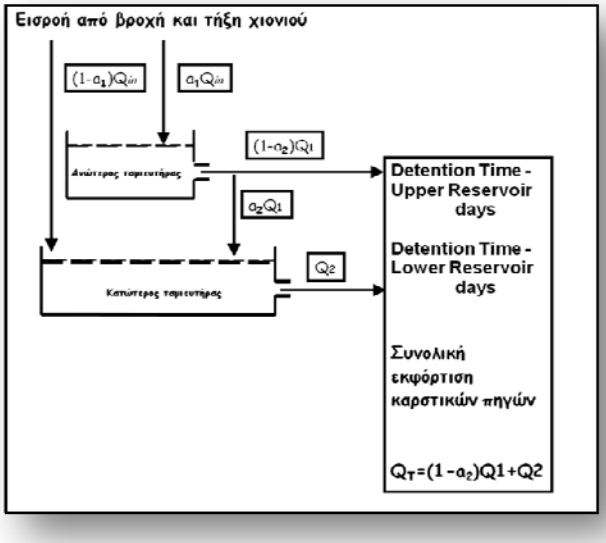
Εικόνα 5.1 Καρστικό σύστημα πηγών επαφής περιοχής Επτά πηγών.

5.2.1 Περιγραφή καρστικού μοντέλου

Αναπτύχθηκαν δυο εξισώσεις υδατικού ισοζυγίου που αντιπροσωπεύουν τον ανώτερο και τον κατώτερο ταμιευτήρα. Στην Εικόνα 5.2 απεικονίζεται η περιγραφή του καρστικού μοντέλου. Η μεταβολή του όγκου του νερού στους δύο ταμιευτήρες (ανώτερος -V1, κατώτερος-V2) ως συνάρτηση του χρόνου ισούται με την διαφορά της ημερήσιας εκροής (Q_1, Q_2) και εισροής ($Q_{in,1}$, $Q_{in,2}$) νερού από και προς τον ταμιευτήρα.

$$\frac{dV_1}{dt} = Q_{in,1} - Q_1 \qquad (5.1)$$

$$\frac{dV_2}{dt} = Q_{in,2} - Q_2 \qquad (5.2)$$



Εικόνα 5.2 Σχηματική απεικόνιση καρστικού μοντέλου.

Η εισροή νερού στον ανώτερο ταμιευτήρα αντιπροσωπεύει την άμεση βροχόπτωση στο καρστ ή την τήξη του χιονιού εάν αυτή υπάρχει. Η εισροή στο καρστ υπολογίζεται μέσω ενός υδατικού ισοζυγίου μάζας του διαμερίσματος του χιονιού σύμφωνα με τον τύπο.

$$\frac{dV_s}{dt} = (P_s - M_s) \times \varepsilon \times A_{karst} \qquad (5.3)$$

Όπου,

Vs : ισοδύναμος όγκος νερού του διαμερίσματος του χιονιού,

Ps : ημερήσια βροχόπτωση που πέφτει ως χιόνι (όταν η θερμοκρασία του αέρα είναι μικρότερη από μια κρίσιμη τιμή) σε m/day,

Ms : ημερήσιος ρυθμός τήξης του χιονιού σε m/day,

E : διορθωτικός παράγοντας (λαμβάνει υπόψη τις υδατικές απώλειες λόγω χιονιού)

Akarst : ισοδύναμη επιφάνεια του καρστ σε m^2.

Ο ημερήσιος ρυθμός τήξης του χιονιού υπολογίζεται με τη χρήση εμπειρικών εξισώσεων που έχουν αναπτυχθεί από το Ινστιτούτο Γεωλογικών Ερευνών των ΗΠΑ (United Stated Geological Survey-USGS,1956) και έχουν εφαρμοστεί σε μοντέλα λεκανών απορροής (Nikolaidis et al., 1988). Η εξίσωση 5.4 υπολογίζει την τήξη του χιονιού υπό ξηρό καιρό, χωρίς βροχή και η εξίσωση 5.5 υπολογίζει την τήξη του χιονιού όταν βρέχει.

$$M_s = \frac{C_{m1} \times (1.8 \times T_a)^{n+1}}{1000} \quad (5.4)$$

$$M_s = \frac{C_{m2} \times (0.007 \times P_w + 0.074 \times T_a \times 1.8 + 0.05) \times 0.254}{1000} \quad (5.5)$$

Όπου,

n : συντελεστής που συνήθως παίρνει την τιμή 0,25

Pw : ημερήσια υγρή κατακρήμνιση σε m/day,

T_a : μέση ημερήσια θερμοκρασία του αέρα σε °C,

C_{m1}, C_{m2} : συντελεστές που προσαρμόζουν τις εξισώσεις 5.4 και 5.5 στις τοπικές συνθήκες της περιοχής μελέτης.

Οι εξισώσεις 5.4 και 5.5 χρησιμοποιούνται χάρη στην απλότητά τους και στο γεγονός ότι επιτρέπουν τον υπολογισμό της τήξης του χιονιού από τη θερμοκρασία του αέρα και μόνο. Η εξίσωση 5.3 επιλύεται με τη μέθοδο του Euler για ημερήσιο χρονικό βήμα. Ο ρυθμός τήξης του χιονιού διορθώνεται, ώστε να αποφευχθούν αρνητικές τιμές στον όγκο του χιονιού. Οι ημερήσιες εισροές νερού στον ανώτερο και

στον κατώτερο ταμιευτήρα του καρστ μπορούν να υπολογιστούν από τις εξισώσεις 5.6 και 5.7.

$$Q_{in,1} = \alpha_1 \times (P_w + M_s) \times \varepsilon \times A_{karst} \qquad (5.6)$$

$$Q_{in,2} = (1-\alpha_1) \times (P_w + M_s) \times \varepsilon \times A_{karst} + \alpha_2 \times Q_1 \qquad (5.7)$$

Όπου,

α_1 : ποσοστό του νερού που εισέρχεται στον ανώτερο ταμιευτήρα λόγω βροχής και της τήξης του χιονιού και (1-α1) το ποσοστό του νερού που εισέρχεται στον κατώτερο ταμιευτήρα,

α_2 : ποσοστό της παροχής που από τον ανώτερο ταμιευτήρα εισέρχεται στον κατώτερο.

Η αναλυτική επίλυση των εξισώσεων 5.1 και 5.2 για σταθερό Qin,1 είναι οι ακόλουθες:

$$Q_1 = Q_{1,0} e^{-k_u t} + Q_{in,1}(1 - e^{-k_u t}) \qquad (5.8)$$

$$Q_2 = Q_{2,0} e^{-k_l t} + Q_{in,2}(1 - e^{-k_l t}) \qquad (5.9)$$

Όπου,

k_u και k_l : συντελεστές στείρευσης για τον ανώτερο και τον κατώτερο ταμιευτήρα αντίστοιχα (1/day).

Έτσι, η συνολική καρστική εκφόρτιση θα είναι το άθροισμα των δύο εκφορτίσεων των δύο ταμιευτήρων και είναι ίση με :

$$Q_{karstic} = (1 - a_2) Q_1 + Q_2 \qquad (5.10)$$

Το παραπάνω καρστικό μοντέλο έχει συνολικά οκτώ συντελεστές που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη βαθμονόμηση του μοντέλου. Δύο συντελεστές, που αντιστοιχούν στους συντελεστές στείρευσης των πηγών (k_u και k_l). Το αντίστροφο αυτών των συντελεστών αντιπροσωπεύει τον υδραυλικό χρόνο παραμονής του εκφορτιζόμενου νερού για κάθε ταμιευτήρα. Τρεις συντελεστές που σχετίζονται με την τήξη του χιονιού (n, C_{m1} και C_{m2}) και ελέγχουν την κλίση του υδρογραφήματος κατά την διάρκεια της περιόδου τήξης του χιονιού. Δυο συντελεστές a_1 και a_2, που σχετίζονται με την γεωλογία και την υδραυλική συμπεριφορά του καρστ. Το γινόμενο ε×Akarst που αποτελεί την ισοδύναμη επιφάνεια του καρστ σε m^2 και 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 ε×Akarst ύστερα από την βαθμονόμηση του μοντέλου.

5.2.2 Προσομοίωση της καρστικής ροής των πηγών

Για την ορθή μοντελοποίηση και διαχείριση των υδάτων της λεκάνης απορροής του ποταμού Λουτάνη και την εκτίμηση των απολήψιμων ποσοτήτων νερού, είναι απαραίτητη η μοντελοποίηση των εκφορτίσεων των καρστικών πηγών των πηγών επαφής Βελανίδι 1, Βελανίδι 2, Πισχάλια και Επτά πηγές. Η βαθμονόμηση των πηγών ξεκινά από το 1997 και φτάνει μέχρι τις αρχές του 2004 όπως η μοντελοποίηση συνεχίζεται μέχρι και το τις 31/08/2008. Δεδομένα παροχής από το 2004 και έπειτα δεν υπάρχουν. Η σπουδαιότητα του υπολογιστικού αυτού εργαλείου είναι το ότι μπορούμε ανά πάσα στιγμή να υπολογίσουμε τον όγκο νερού που θα αποδώσει μια πηγή σε μελλοντικό διάστημα. Είναι απαραίτητη η συνεχής μέτρηση των πηγών για την επικαιροποίηση του μοντέλου για την καλύτερη πρόβλεψη του δυναμικού των πηγών.

5.2.2.1 Πηγή Πισχάλια

Η πηγή Πισχάλια βρίσκεται Βορειοδυτικά του χωριού Αρχίπολη. Ένα μέρος της παροχής της πηγής εκφορτίζει στο ρέμα Λιμάς το οποίο καταλήγει στο σημείο όπου ξεκινάει ο κύριος ρου του ποταμού Λουτάνη. Ένα μεγάλο μέρος της πηγής συλλέγεται σε υπόγειο δίκτυο καναλιών όπου καταλήγουν σε μία μεγάλη διπλή δεξαμενή στην περιοχή της Αρχίπολης όπου στην συνέχεια χρησιμοποιείται για άρδευση. Τα δεδομένα παροχής ελήφθησαν από το Τμήμα Ανάπτυξης Φυσικών Πόρων – Τομέας Εγγ. Βελτιώσεων και Φυσικών Πόρων, Ρόδου. Στον **Πίνακα 5.1** παρουσιάζεται η βαθμονόμηση του καρστικού μοντέλου για την πηγή Πισχάλια ενώ στον **Πίνακα 5.2** τα αποτελέσματα του μοντέλου. Στο **Διάγραμμα 5.1** παρουσιάζεται το υδρογράφημα της καρστικής ροής μοντέλου – πεδίου της πηγής Πισχάλια.

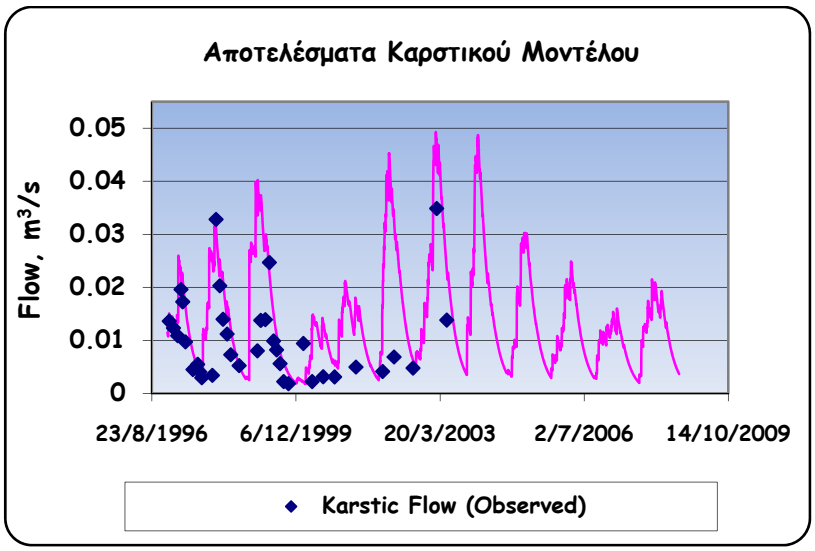
Πίνακας 5.1 Βαθμονόμηση Καρστικού Μοντέλου - Πηγή Πισχάλια.

ΠΗΓΗ ΠΙΣΧΑΛΙΑ			
Βαθμονόμηση Καρστικού Μοντέλου			
Παράμετροι Χιονιού			
Θερμοκρασία Χιονόπτωσης	T_s	°C	0,00
Συντελεστής Διόρθωσης Χιονιού			1,00
Αρχικός Όγκος Χιονιού	V_{so}	m^3	0,00
Δείκτης Τήξης Χιονιού	n		0,25
Παράγοντας Τήξης Χιονιού	k		0,50
Παράγοντας Ρύθμισης Τήξης Χιονιού	γ_1		1,00
Καρστική Επιφάνεια	A_k	m^2	$5{,}5\times10^5$
Χρονικό βήμα	D_t	days	1,00
Παράμετροι Καρστικού			
Αρχική Ροή Καρστικού	Q_{ko}	m^3/day	1000
Ποσοστό Καρστικής Ροής που προέρχεται από τον Ανώτερο Ταμιευτήρα	a_1		1,00
Συντελεστής Στείρευσης για τον Ανώτερο Ταμιευτήρα	k_u	$1/day$	1,00
Συντελεστής Στείρευσης των πηγών για τον Κατώτερο Ταμιευτήρα	k_l	$1/day$	0,012
Ποσοστό καρστικής Ροής που προέρχεται από τον Κατώτερο Ταμιευτήρα	a_2		0,00
Χρονικό Διάστημα Προσομοίωσης		days	4.017

Πίνακας 5.2 Αποτελέσματα Καρστικού Μοντέλου - Πηγή Πισχάλια.

ΠΗΓΗ ΠΙΣΧΑΛΙΑ			
Αποτελέσματα Καρστικού Μοντέλου			
Αποτελέσματα Ισοζυγίου για το Χιόνι			
Σύνολο Κατακρημνίσεων		m	9,39
Συνολικό Ύψος Βροχής		m	9,39
Συνολικό Ύψος Χιονιού		m	0,00
Παράγοντας Λάθους		%	0,00
Αρχική Ποσότητα Χιονιού		m	0,00
Συνολική Τήξη Χιονιού		m	0,00
Ποσότητα Χιονιού που μένει		m	0,00
Παράγοντας Λάθους για το Χιόνι		%	-
Πρόβλημα Βροχόπτωσης			NO
Πρόβλημα Χιονόπτωσης			-
Αποτελέσματα Ισοζυγίου για την Καρστική ροή			
Εισροή Καρστικού		m	9,39
Ροή στον Ανώτερο Ταμιευτήρα		m	0,00
Ροή στον Κατώτερο Ταμιευτήρα		m	9,49
Ροή Καρστικού		m	9,49
RMSE		m^3/s	0,02
Ροή του Καρστικού που προσομοιώνεται		m	9,67
Παράγοντας λάθους για τη Ροή		%	1,88
Μέση Ροή 1/1/1997-31/08/2008 (Πεδίο)		m^3/s	0,01
Μέση Ροή 1/1/1997-31/08/2008 (Μοντέλο)		m^3/s	0,01
Μέση Ετήσια Ροή 1/1/1997-31/08/2008 (Μοντέλο)		εκ. m^3/year	447.063,3
Υδραυλικός Χρόνος Παραμονής στον Ανώτερο Ταμιευτήρα		days	1
Υδραυλικός Χρόνος Παραμονής στον Κατώτερο Ταμιευτήρα		days	83

Από τον **Πίνακα 5.1** παρατηρούμε ότι για την προσομοίωση του μοντέλου ο όγκος τους υδρογραφήματος έχει επιφάνεια 0,55 km^2. Το μοντέλο προσομοιάζεται έτσι ώστε το νερό να καταλήγει και αποθηκεύεται μέσα στον κατώτερο ταμιευτήρα και λόγω της αργής εκφόρτισης του παραμένει για διάστημα 83 ημερών. Πολύ σημαντικό χρίζεται το γεγονός εκτίμησης της μέσης παροχής της πηγής Πισχάλια η οποία εκτιμάται σε 447.063 εκ. m^3/year.

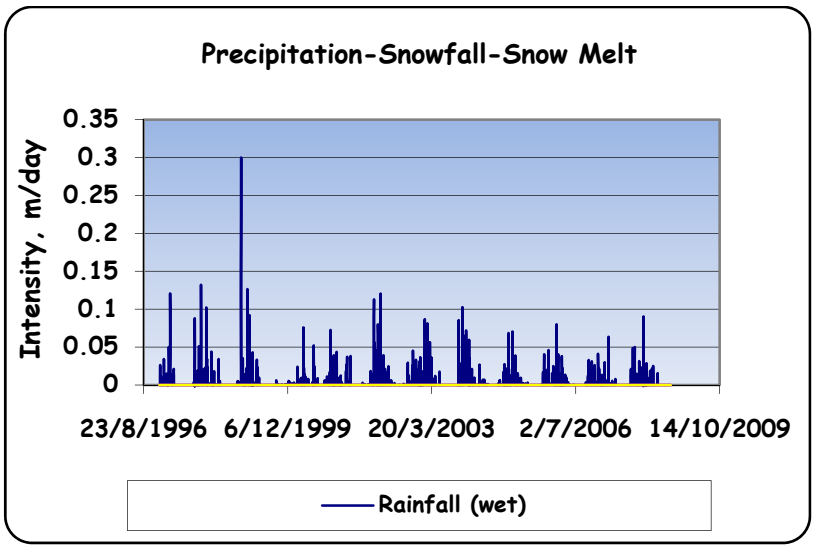


Διάγραμμα 5.1 Υδρογράφημα της καρστικής ροής μοντέλου – πεδίου της πηγής Πισχάλια.

Στο **Διάγραμμα 5.1** παρατηρούμε τις τιμές της παροχής πεδίου και μοντέλου για την χρονική περίοδο 1/1/1997-31/08/2008. Το υδρογράφημα της πηγής Πισχάλια προέκυψε από τις τιμές της βροχόπτωσης (βλέπε Κεφάλαιο 3) που εισάγαμε στο μοντέλο, την επιφάνεια του καρστικού και στην τιμή του συντελεστή στείρευσης του κατώτερου ταμιευτήρα (k_l), που εξαρτάται από την περιοχή μελέτης. Επειδή στην περιοχή δεν έχουμε καθόλου χιονοπτώσεις η τιμή της θερμοκρασίας που εισάγαμε δεν επηρεάζει καθόλου το υδρογράφημα. Αν και ο αριθμός των δεδομένων πεδίου είναι μικρός παρατηρούμε ότι οι τιμές του πεδίου προσεγγίζουν τις τιμές του μοντέλου.

Στο **Διάγραμμα 5.2** παρουσιάζεται το ύψος της βροχής της περιοχής της πηγής Πισχάλια. Παρατηρούμε ότι παρουσιάζει ένα μέγιστο ύψος βροχής, στις

13/11/1998 με ύψος 0,29 m/day. Το μεγαλύτερο μέρος των βροχοπτώσεων παρουσιάζεται κατά την περίοδο Οκτωβρίου-Μάρτιου, όπου το ύψος βροχής ανέρχεται γύρω στα 0,03 – 0,04 m/day.



Διάγραμμα 5.2 Ύψος βροχής ως κατακρήμνιση στην περιοχή της Πηγής Πισχάλια.

5.2.2.2 Πηγές Βελανίδι 1 και Βελανίδι 2

Η πηγές Βελανίδι 1 και Βελανίδι 2 βρίσκονται σε μικρή απόσταση μεταξύ τους, Βορειοανατολικά του χωριού Αρχίπολη και στην μέση περίπου της διαδρομής του οδικού δικτύου Αρχίπολη - Ψίνθος. Οι δύο πηγές εκφορτίζουν στο ρέμα Χαλέλη το οποίο με την σειρά του καταλήγει στον κύριο ρου του ποταμού Λουτάνη.

Ακολουθήθηκε ακριβώς η ίδια μεθοδολογία που περιγράφεται παραπάνω για την βαθμονόμηση και στους **Πίνακες 5.3** και **5.4** παρουσιάζεται η βαθμονόμηση του καρστικού μοντέλου για τις πηγές Βελανίδι 1 και Βελανίδι 2 αντίστοιχα. Στους **Πίνακες 5.5** και **5.6** παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του μοντέλου. Στα **Διαγράμματα 5.3** και **5.4** παρουσιάζονται τα υδρογραφήματα της καρστικής ροής μοντέλου – πεδίου των δύο πηγών.

Πίνακας 5.3 Βαθμονόμηση Καρστικού Μοντέλου - Πηγή Βελανίδι 1.

ΠΗΓΗ ΒΕΛΑΝΙΔΙ 1			
Βαθμονόμηση Καρστικού Μοντέλου			
Παράμετροι Χιονιού			
Θερμοκρασία Χιονόπτωσης	Ts	°C	0,00
Συντελεστής Διόρθωσης Χιονιού			1,00
Αρχικός Όγκος Χιονιού	Vso	m^3	0,00
Δείκτης Τήξης Χιονιού	n		0,25
Παράγοντας Τήξης Χιονιού	k		0,50
Παράγοντας Ρύθμισης Τήξης Χιονιού	γ1		1,00
Καρστική Επιφάνεια	Ak	m^2	$1,0\times10^6$
Χρονικό βήμα	Dt	days	1,00
Παράμετροι Καρστικού			
Αρχική Ροή Καρστικού	Qko	m^3/day	900
Ποσοστό Καρστικής Ροής που προέρχεται από τον Ανώτερο Ταμιευτήρα	α1		1,00
Συντελεστής Στείρευσης για τον Ανώτερο Ταμιευτήρα	ku	1/day	1,00
Συντελεστής Στείρευσης των πηγών για τον Κατώτερο Ταμιευτήρα	kl	1/day	0,011
Ποσοστό καρστικής Ροής που προέρχεται από τον Κατώτερο Ταμιευτήρα	a_2		0,00
Χρονικό Διάστημα Προσομοίωσης		days	4.017

Πίνακας 5.4 Βαθμονόμηση Καρστικού Μοντέλου - Πηγή Βελανίδι 2.

Πηγή Βελανίδι 2			
Βαθμονόμηση Καρστικού Μοντέλου			
Παράμετροι Χιονιού			
Θερμοκρασία Χιονόπτωσης	Ts	°C	0,00
Συντελεστής Διόρθωσης Χιονιού			1,00
Αρχικός Όγκος Χιονιού	Vso	m^3	0,00
Δείκτης Τήξης Χιονιού	n		0,25
Παράγοντας Τήξης Χιονιού	k		0,50
Παράγοντας Ρύθμισης Τήξης Χιονιού	γ1		1,00
Καρστική Επιφάνεια	Ak	m^2	$1,2\times10^6$
Χρονικό βήμα	Dt	days	1,00
Παράμετροι Καρστικού			
Αρχική Ροή Καρστικού	Q_{ko}	m^3/day	2000
Ποσοστό Καρστικής Ροής που προέρχεται από τον Ανώτερο Ταμιευτήρα	a_1		1,00
Συντελεστής Στείρευσης για τον Ανώτερο Ταμιευτήρα	k_u	$1/day$	1,00
Συντελεστής Στείρευσης των πηγών για τον Κατώτερο Ταμιευτήρα	k_l	$1/day$	0,01
Ποσοστό καρστικής Ροής που προέρχεται από τον Κατώτερο Ταμιευτήρα	a_2		0,00
Χρονικό Διάστημα Προσομοίωσης		days	4.017

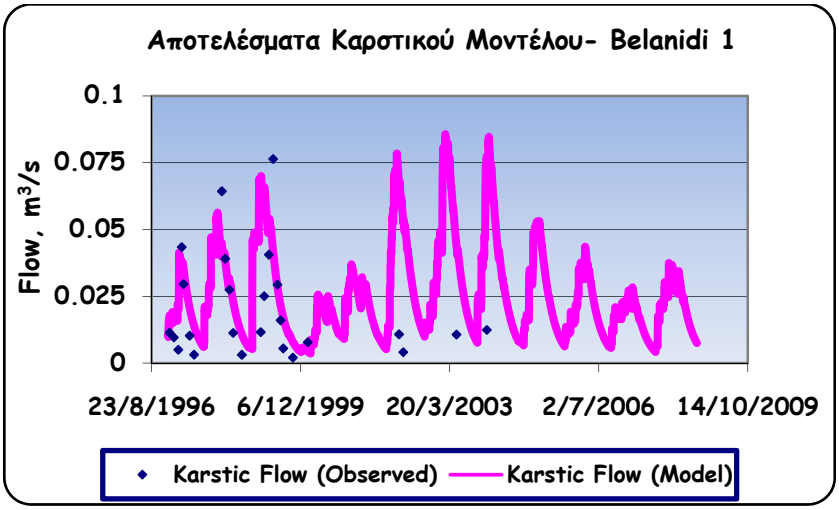
Πίνακας 5.5 Αποτελέσματα Καρστικού Μοντέλου - Πηγή Βελανίδι 1.

ΠΗΓΗ ΒΕΛΑΝΙΔΙ 1			
Αποτελέσματα Καρστικού Μοντέλου			
Αποτελέσματα Ισοζυγίου για το Χιόνι			
Σύνολο Κατακρημνίσεων		m	9,39
Συνολικό Ύψος Βροχής		m	9,39
Συνολικό Ύψος Χιονιού		m	0,00
Παράγοντας Λάθους		%	0,00
Αρχική Ποσότητα Χιονιού		m	0,00
Συνολική Τήξη Χιονιού		m	0,00
Ποσότητα Χιονιού που μένει		m	0,00
Παράγοντας Λάθους για το Χιόνι		%	-
Πρόβλημα Βροχόπτωσης			NO
Πρόβλημα Χιονόπτωσης			-
Αποτελέσματα Ισοζυγίου για την Καρστική ροή			
Εισροή Καρστικού		m	9,39
Ροή στον Ανώτερο Ταμιευτήρα		m	0,00
Ροή στον Κατώτερο Ταμιευτήρα		m	9,41
Ροή Καρστικού		m	9,41
RMSE		m^3/s	0,04
Ροή του Καρστικού που προσομοιώνεται		m	10,58
Παράγοντας λάθους για τη Ροή		%	11,06
Μέση Ροή 1/1/1997-31/08/2008 (Πεδίο)		m^3/s	0,03
Μέση Ροή 1/1/1997-31/08/2008 (Μοντέλο)		m^3/s	0,03
Μέση Ετήσια Ροή 1/1/1997-31/08/2008 (Μοντέλο)		εκ. m^3/year	805985,1
Υδραυλικός Χρόνος Παραμονής στον Ανώτερο Ταμιευτήρα		days	1
Υδραυλικός Χρόνος Παραμονής στον Κατώτερο Ταμιευτήρα		days	91

Πίνακας 5.6 Αποτελέσματα Καρστικού Μοντέλου - Πηγή Βελανίδι 2.

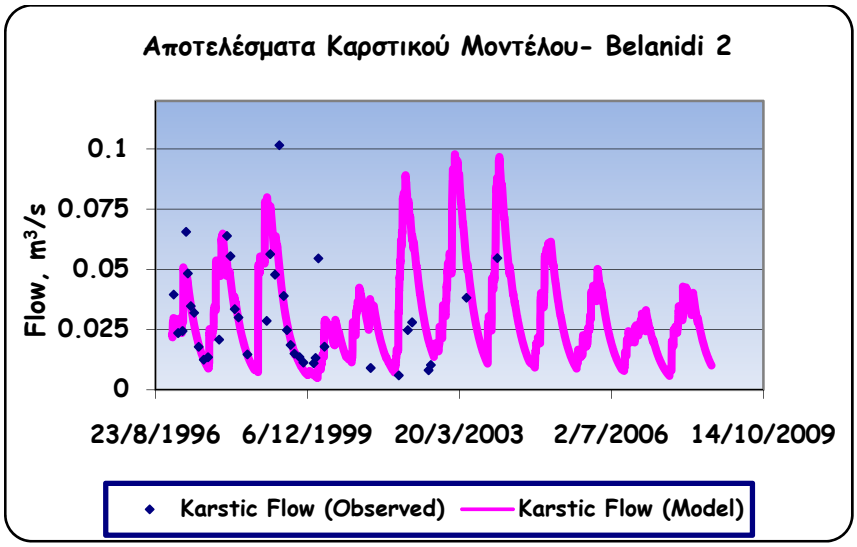
Πηγή Βελανίδι 2			
Αποτελέσματα Καρστικού Μοντέλου			
Αποτελέσματα Ισοζυγίου για το Χιόνι			
Σύνολο Κατακρημνίσεων		m	9,39
Συνολικό Ύψος Βροχής		m	9,39
Συνολικό Ύψος Χιονιού		m	0,00
Παράγοντας Λάθους		%	0,00
Αρχική Ποσότητα Χιονιού		m	0,00
Συνολική Τήξη Χιονιού		m	0,00
Ποσότητα Χιονιού που μένει		m	0,00
Παράγοντας Λάθους για το Χιόνι		%	-
Πρόβλημα Βροχόπτωσης			NO
Πρόβλημα Χιονόπτωσης			-
Αποτελέσματα Ισοζυγίου για την Καρστική ροή			
Εισροή Καρστικού		m	9,39
Ροή στον Ανώτερο Ταμιευτήρα		m	0,00
Ροή στον Κατώτερο Ταμιευτήρα		m	9,48
Ροή Καρστικού		m	9,48
RMSE		m^3/s	0,03
Ροή του Καρστικού που προσομοιώνεται		m	
Παράγοντας λάθους για τη Ροή		%	16,34
Μέση Ροή 1/1/1997-31/08/2008 (Πεδίο)		m^3/s	0,04
Μέση Ροή 1/1/1997-31/08/2008 (Μοντέλο)		m^3/s	0,03
Μέση Ετήσια Ροή 1/1/1997-31/08/2008 (Μοντέλο)		εκ. m^3/year	974.461
Υδραυλικός Χρόνος Παραμονής στον Ανώτερο Ταμιευτήρα		days	1
Υδραυλικός Χρόνος Παραμονής στον Κατώτερο Ταμιευτήρα		days	100

Από τους **Πίνακες 5.3** έως **5.6** συμπεραίνουμε ότι για την προσομοίωση του μοντέλου ο όγκος τους υδρογραφήματος για την πηγή Βελανίδι 1 έχει επιφάνεια 1,00 km^2 ενώ αντίστοιχα αυτός της πηγής Βελανίδι 2 έχει επιφάνεια 1,20 km^2. Το μοντέλο και για τις δύο πηγές όπως και στην περίπτωση της μοντελοποίησης της πηγής Πισχάλια προσομοιάζεται έτσι ώστε το νερό να καταλήγει στον κατώτερο ταμιευτήρα όπου αποθηκεύεται και λόγω της αργής εκφόρτισης του παραμένει για διάστημα 91 και 100 ημερών αντίστοιχα. Παρατηρούμε ότι οι δύο πηγές παρουσιάζουν ακριβώς τα ίδια χαρακτηριστικά όσον αφορά την συμπεριφορά τους. Η μέση ετήσια παροχή της πηγής Βελανίδι 1 εκτιμάται σε 805.985 εκ. m^3/year ενώ αντίστοιχα αυτή της πηγής Βελανίδι 2 σε 974.461 εκ. m^3/year.



Διάγραμμα 5.3 Υδρογράφημα της καρστικής ροής μοντέλου – πεδίου της πηγής Βελανίδι 1.

Στα **Διαγράμματα 5.3** και **5.4** παρατηρούμε αντίστοιχα τις τιμές της παροχής πεδίου και μοντέλου της πηγής Βελανίδι 1 και Βελανίδι 2 για την χρονική περίοδο 1/1/1997-31/08/2008. Οι μεγαλύτερες παροχές σημειώθηκαν τα έτη 2002 με 2004 με μέγιστη να παρουσιάζεται το 2003 και να είναι ίση με 0,08 m3/s ή 290 m3/hr για την πηγή Βελανίδι 1 και 0,095 m^3/s ή 340 m^3/hr για την πηγή Βελανίδι 2 αντίστοιχα. Το υδρογράφημα των πηγών προέκυψε από τις τιμές της βροχόπτωσης που εισάγαμε στο μοντέλο, την επιφάνεια του καρστικού και στην τιμή του συντελεστή στείρευσης του κατώτερου ταμιευτήρα που εξαρτάται από την περιοχή μελέτης. Παρατηρούμε ότι οι τιμές του πεδίου προσεγγίζουν τις τιμές του μοντέλου.



Διάγραμμα 5.4 Υδρογράφημα της καρστικής ροής μοντέλου – πεδίου της πηγής Βελανίδι 2.

Το διάγραμμα που παρουσιάζεται το ύψος της βροχής της περιοχής της των πηγών Βελανίδι 1 και Βελανίδι 2 την περίοδο 1/1/1997-31/08/2008 είναι το ίδιο με αυτό της πηγής Πισχάλια, επειδή όλες οι πηγές βρίσκονται μέσα στην ίδια, μελετώμενη λεκάνη απορροής του ποταμού Λουτάνη.

5.2.2.3 Επτά Πηγές

Χαρακτηριστικό σύστημα στην λεκάνη απορροής του ποταμού Λουτάνη αποτελούν οι Επτά πηγές οι οποίες βρίσκονται στην περιοχή μεταξύ του οικισμού Κολύμπια και του χωριού Αρχίπολης. Η περιοχή των Επτά Πηγών αποτελείται από ένα σύστημα επτά πηγών επαφής η παροχή των οποίων συλλέγεται μέσω δικτύου καναλιών σε ένα μικρό φράγμα. Το νερό αυτό στην συνέχεια είτε διατίθεται για άρδευση, κυρίως στους αγρούς της περιοχής των Κολυμπίων είτε τροφοδοτείται στον ποταμό Λουτάνη και καταλήγει στην θάλασσα. Στον **Πίνακα 5.7** παρουσιάζεται η βαθμονόμηση του καρστικού μοντέλου για τις Επτά Πηγές ενώ στον **Πίνακα 5.8** τα αποτελέσματα του μοντέλου. Στο **Διάγραμμα 5.5** παρουσιάζεται το υδρογράφημα της καρστικής ροής μοντέλου – πεδίου των Επτά Πηγών.

Από τον **Πίνακα 5.7** παρατηρούμε ότι για την προσομοίωση του μοντέλου ο όγκος τους υδρογραφήματος έχει επιφάνεια 3,1 km^2. Το μοντέλο προσομοιάζεται έτσι ώστε το νερό να καταλήγει και αποθηκεύεται μέσα στον κατώτερο ταμιευτήρα και λόγω της αργής εκφόρτισης του παραμένει για διάστημα 111 ημερών. Πολύ σημαντικό χρίζεται το γεγονός εκτίμησης της μέσης ετήσιας παροχής των Επτά Πηγών η οποία εκτιμάται σε 2.550.774 εκ. m^3/year.

Στο **Διάγραμμα 5.5** παρατηρούμε τις τιμές της παροχής πεδίου και μοντέλου για την χρονική περίοδο 1/1/1997-31/08/2008. Οι μεγαλύτερες παροχές σημειώθηκαν τα έτη 2002 με 2004 με μέγιστη να παρουσιάζεται το 2003 και να είναι ίση με 0,3 m^3/s ή 1.080 m^3/hr. Αντίστοιχα το αποτέλεσμα των έντονων κλιματικών αλλαγών φαίνεται και στο μοντέλο στο έτος 2007 (μικρότερο ετήσιο ύψος βροχής) όπου είχαμε τις ελάχιστες παροχές των πηγών. Από Το υδρογράφημα της των Επτά Πηγών προέκυψε από τις τιμές της βροχόπτωσης που εισάγαμε στο μοντέλο, την επιφάνεια του καρστικού και στην τιμή του συντελεστή στείρευσης του κατώτερου ταμιευτήρα (k_l), που εξαρτάται από την περιοχή μελέτης. Επειδή στην περιοχή δεν έχουμε καθόλου χιονοπτώσεις η τιμή της θερμοκρασίας που εισάγαμε δεν επηρεάζει καθόλου το υδρογράφημα.

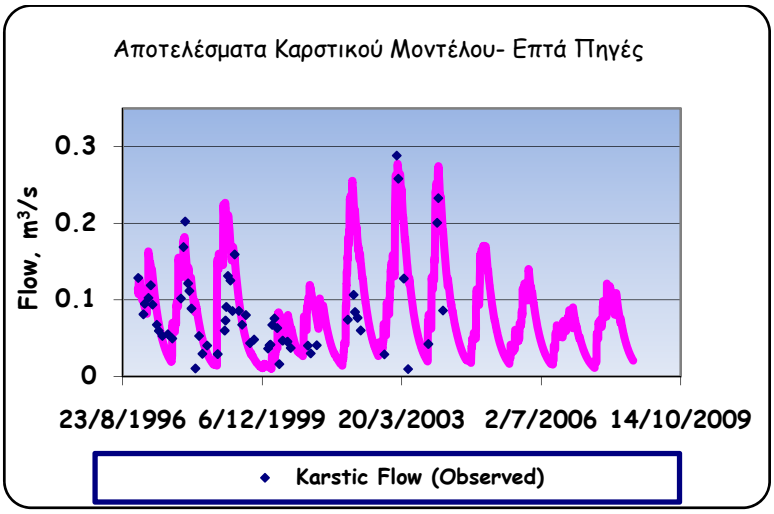
Πίνακας 5.7 Βαθμονόμηση Καρστικού Μοντέλου – Επτά Πηγές.

ΕΠΤΑ ΠΗΓΕΣ			
Βαθμονόμηση Καρστικού Μοντέλου			
Παράμετροι Χιονιού			
Θερμοκρασία Χιονόπτωσης	T_s	°C	0,00
Συντελεστής Διόρθωσης Χιονιού			1,00
Αρχικός Όγκος Χιονιού	V_{so}	m^3	0,00
Δείκτης Τήξης Χιονιού	n		0,25
Παράγοντας Τήξης Χιονιού	k		0,50
Παράγοντας Ρύθμισης Τήξης Χιονιού	γ_1		1,00
Καρστική Επιφάνεια	A_k	m^2	$3{,}1\times10^6$
Χρονικό βήμα	D_t	days	1
Παράμετροι Καρστικού			
Αρχική Ροή Καρστικού	Q_{ko}	m^3/day	10.000
Ποσοστό Καρστικής Ροής που προέρχεται από τον Ανώτερο Ταμιευτήρα	a_1		1,00
Συντελεστής Στείρευσης για τον Ανώτερο Ταμιευτήρα	k_u	1/day	1,00
Συντελεστής Στείρευσης των πηγών για τον Κατώτερο Ταμιευτήρα	k_l	1/day	0,012
Ποσοστό καρστικής Ροής που προέρχεται από τον Κατώτερο Ταμιευτήρα	a_2		0,00
Χρονικό Διάστημα Προσομοίωσης		days	4.017

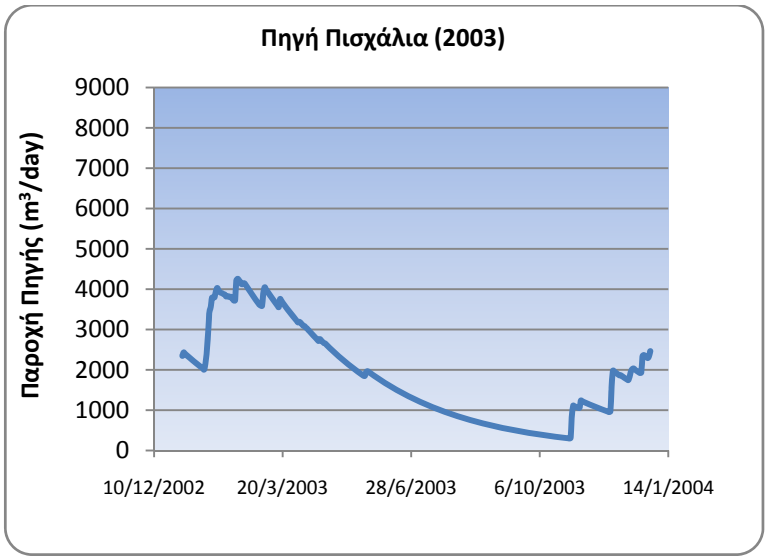
Πίνακας 5.8 Αποτελέσματα Καρστικού Μοντέλου - Επτά Πηγές.

Επτά Πηγές			
Αποτελέσματα Καρστικού Μοντέλου			
Αποτελέσματα Ισοζυγίου για το Χιόνι			
Σύνολο Κατακρημνίσεων		m	9,39
Συνολικό Ύψος Βροχής		m	9,39
Συνολικό Ύψος Χιονιού		m	0,00
Παράγοντας Λάθους		%	0,00
Αρχική Ποσότητα Χιονιού		m	0,00
Συνολική Τήξη Χιονιού		m	0,00
Ποσότητα Χιονιού που μένει		m	0,00
Παράγοντας Λάθους για το Χιόνι		%	-
Πρόβλημα Βροχόπτωσης			NO
Πρόβλημα Χιονόπτωσης			-
Αποτελέσματα Ισοζυγίου για την Καρστική ροή			
Εισροή Καρστικού		m	9,39
Ροή στον Ανώτερο Ταμιευτήρα		m	0,00
Ροή στον Κατώτερο Ταμιευτήρα		m	9,61
Ροή Καρστικού		m	9,61
RMSE		m^3/s	0,06
Ροή του Καρστικού που προσομοιώνεται		m	10,15
Παράγοντας λάθους για τη Ροή		%	5,40
Μέση Ροή 1/1/1997-31/08/2008 (Πεδίο)		m^3/s	0,09
Μέση Ροή 1/1/1997-31/08/2008 (Μοντέλο)		m^3/s	0,08
Μέση Ετήσια Ροή 1/1/1997-31/08/2008 (Μοντέλο)		εκ. m^3/year	2.550.774
Υδραυλικός Χρόνος Παραμονής στον Ανώτερο Ταμιευτήρα		days	1
Υδραυλικός Χρόνος Παραμονής στον Κατώτερο Ταμιευτήρα		days	111

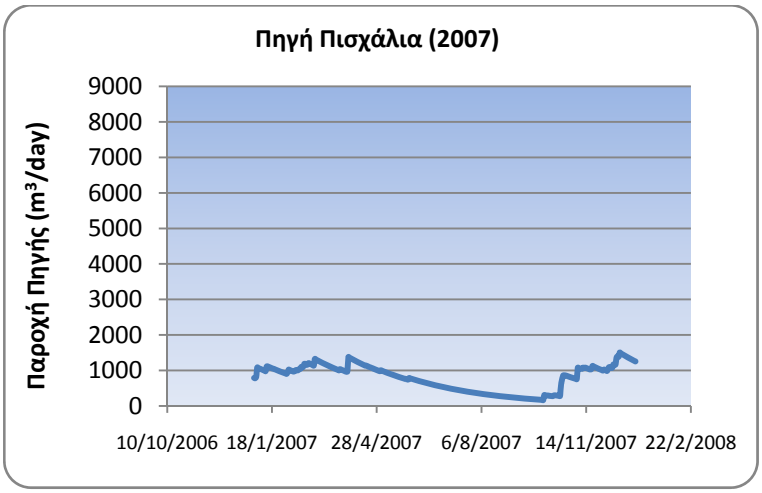
Στα **Διαγράμματα 5.5** έως **5.13** παρουσιάζονται οι μοντελοποιημένες παροχές των πηγών σε ημερήσιο βήμα για τα έτη 2003 και 2007. Σύμφωνα με την επεξεργασία των μετεωρολογικών δεδομένων που αναλύθηκε στο Κεφάλαιο 3 το έτος 2003 ήταν το έτος με τις περισσότερες βροχοπτώσεις ενώ το 2007 το ξηρότερο με τις λιγότερες βροχοπτώσεις. Η κλίμακα των παροχών είναι σκόπιμα ίδια για να φανεί η επίδραση των λιγοστών βροχοπτώσεων στις ποσότητες νερού που παρέχουν οι πηγές.



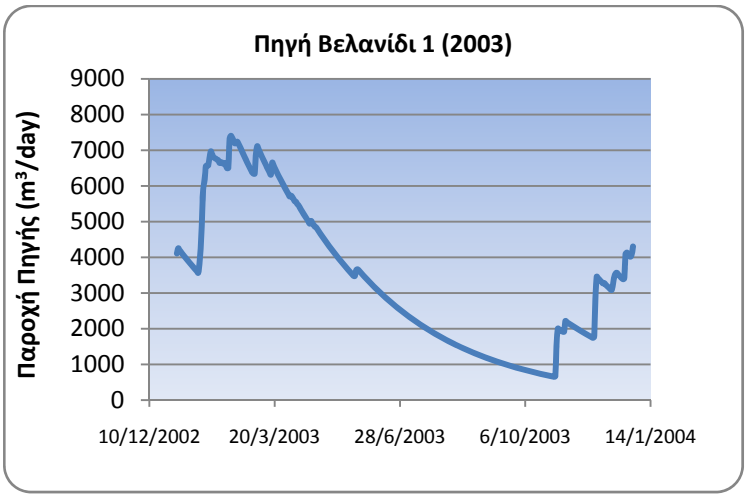
Διάγραμμα 5.5 Υδρογράφημα της καρστικής ροής μοντέλου – πεδίου των Επτά Πηγών.



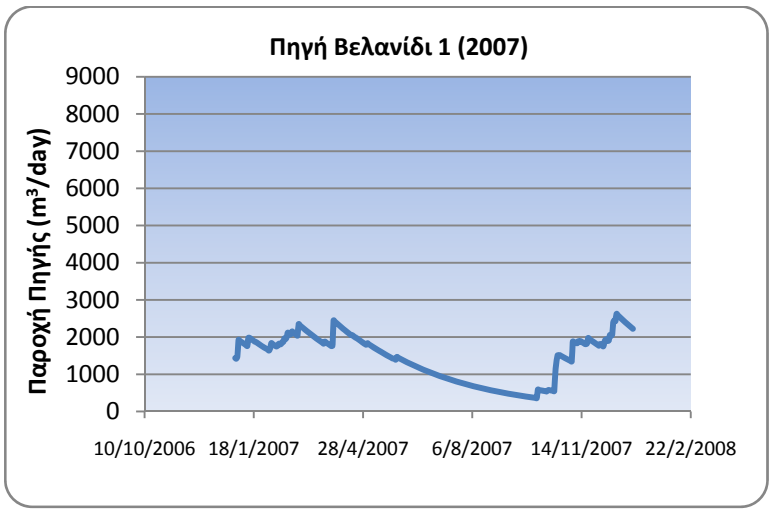
Διάγραμμα 5.6 Υδρογράφημα της καρστικής ροής μοντέλου, υγρού έτους 2003 – Πισχάλια.



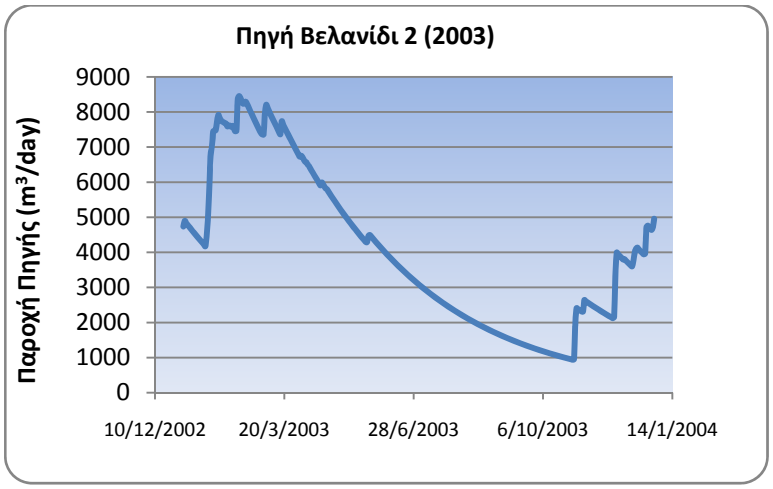
Διάγραμμα 5.7 Υδρογράφημα της καρστικής ροής μοντέλου, ξηρού έτους 2007 – Πισχάλια.



Διάγραμμα 5.8 Υδρογράφημα της καρστικής ροής μοντέλου, υγρού έτους 2003 – Βελανίδι 1.

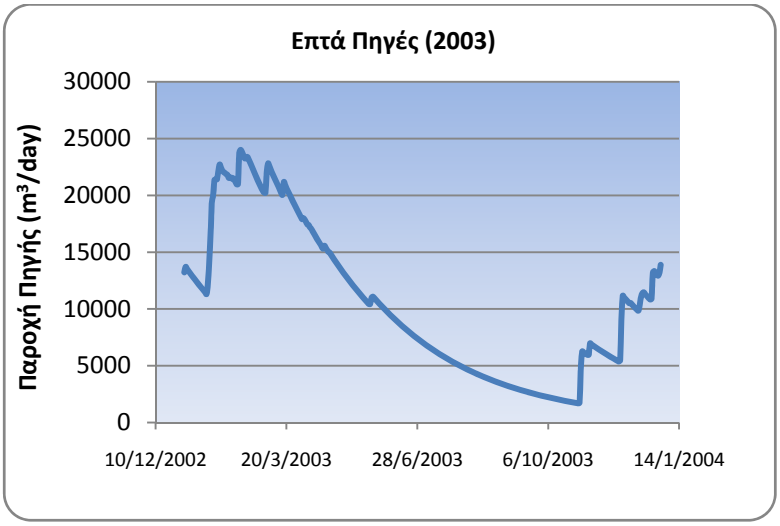


Διάγραμμα 5.9 Υδρογράφημα της καρστικής ροής μοντέλου, ξηρού έτους 2007 – Βελανίδι 2.

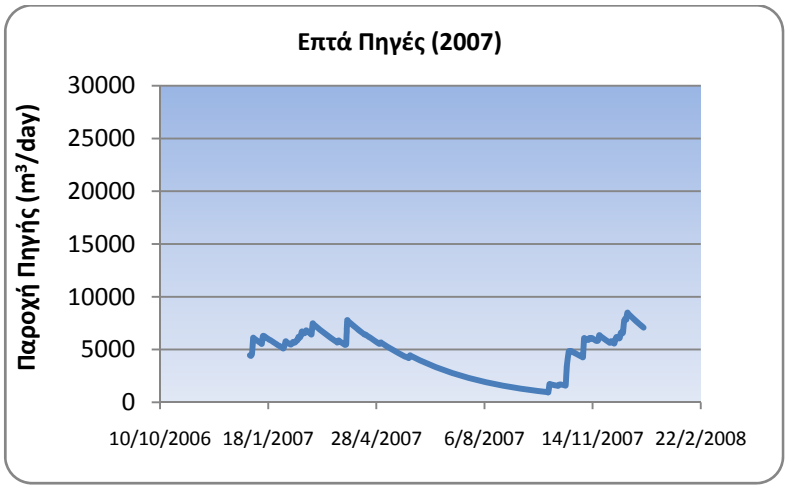


Διάγραμμα 5.10 Υδρογράφημα της καρστικής ροής μοντέλου, υγρού έτους 2003 – Βελανίδι 2.

Διάγραμμα 5.11 Υδρογράφημα της καρστικής ροής μοντέλου, ξηρού έτους 2007 – Βελανίδι 2.



Διάγραμμα 5.12 Υδρογράφημα της καρστικής ροής μοντέλου, υγρού έτους 2003 – Επτά Πηγές.



Διάγραμμα 5.13 Υδρογράφημα της καρστικής ροής μοντέλου, ξηρού έτους 2007 – Επτά Πηγές.

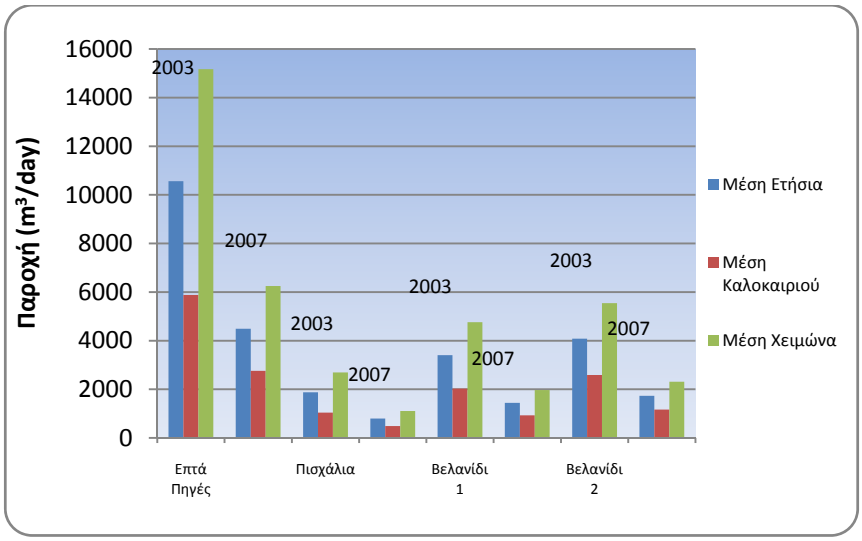
Τα κύρια αποτελέσματα που προέκυψαν από την μοντελοποίηση (1/1/1997-31/08/2008) των πηγών Πισχάλια, Βελανίδι 1, Βελανίδι 2 και Επτά Πηγές που βρίσκονται στην λεκάνη απορροής του ποταμού Λουτάνη παρουσιάζονται στον **Πίνακα 5.9**.

Πίνακας 5. 9 Αποτελέσματα μοντελοποίησης των πηγών της λεκάνης απορροής του ποταμού Λουτάνη.

Πηγή	Καρστική επιφάνεια (km^2)	Μέση ετήσια παροχή (1997-2008) (m^3/year)	Μέση παροχή 2003 (υγρό έτος) (m^3/day)	Μέση παροχή 2007 (ξηρό έτος) (m^3/day)	Υδραυλικός Χρόνος Παραμονής (days)
Πισχάλια	*0,55*	*447.063*	*1.873*	*796*	*83*
Βελανίδι 1	*1,00*	*805.985*	*3.404*	*1.445*	*91*
Βελανίδι 2	*1,20*	*974.461*	*4.080*	*1.731*	*100*
Επτά Πηγές	*3,10*	*2.550.774*	*10.560*	*4.489*	*111*
Σύνολο	*5,85*	*4.778.256*	*19.917*	*8.461*	-

Η συνολική επιφάνεια του καρστικού που συνεισφέρει στις πηγές είναι 5,85 km^2 με την συνολική μέση παροχή να εκτιμάται σε 4.778.256 m^3/year. Ο υδραυλικός χρόνος παραμονής στον ταμιευτήρα για όλες τις πηγές ανέρχεται σε τρείς μήνες περίπου. Η Επτά πηγές παρέχουν το 53,3 % της συνολικής παροχής σε υδατικούς πόρους, η πηγή Βελανίδι 2 το 20,4 %, η πηγή Βελανίδι 1 το 16,8 % ενώ το μικρότερο ποσοστό παροχής παρέχει η πηγή Πισχάλια με 9,5 %. Η παροχή των

πηγών κατά το υγρό έτος 2003 ήταν σχεδόν διπλάσια από αυτή του ξηρού έτους 2007 για όλες τις πηγές. Στο **Διάγραμμα 5.12** παρουσιάζονται οι μέσες ετήσιες παροχές για τα έτη 2003 και 2007 καθώς και μέσες παροχές χειμώνα και καλοκαιριού των πηγών.



Διάγραμμα 5.14 Μέση ετήσια παροχή και μέση παροχή καλοκαιριού και χειμώνα για τις πηγές της λεκάνης απορροής του ποταμού Λουτάνη.

5.3 Μοντελοποίηση Υδρολογίας

Η σύνθεση και η προσομοίωση είναι τα μέσα με τα οποία μπορούν να αντιμετωπιστούν προβλήματα ανεπάρκειας υδρολογικών δεδομένων και να εφαρμοστούν εναλλακτικές λύσεις σε μελέτες διαχείρισης υδατικών πόρων. Η σύνθεση στηρίζεται σε στατιστικές ιδιότητες υφιστάμενων υδρολογικών δεδομένων για την παραγωγή νέων δεδομένων με τα ίδια στατιστικά χαρακτηριστικά με τα πραγματικά που χρησιμοποιήθηκαν σαν αφετηρία, με στόχο την επέκτασή των σειρών, ή και με στόχο την δοκιμή διαφόρων σεναρίων. Η προσομοίωση είναι μια μαθηματική περιγραφή της συμπεριφοράς ενός συστήματος υδατικών πόρων και η απόκριση του σε υδρολογικά γεγονότα, για μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο.

Υπάρχουν πολλά μοντέλα που αφορούν την προσομοίωση της επιφανειακής και υπόγειας υδρολογίας ενός συστήματος. Πιο συγκεκριμένα, το μοντέλο ETD (Enhanced Trickle-Down Model) το οποίο χρησιμοποιήθηκε στα πλαίσια της συγκεκριμένης μελέτης, μπορεί να περιγράψει επαρκώς όλους τους τύπους υδρολογικών συστημάτων σε συστήματα διήθησης (seepage) και αποστράγγισης (drainage).

Οι στόχοι της υδρολογικής προσομοίωσης είναι γενικά οι ακόλουθοι:

- Υπολογισμός του υδατικού ισοζυγίου και προσομοίωση της διαχρονικής εξελίξεως των υδατικών αποθεμάτων, ανάλογα και με την προβλεπόμενη ή πραγματοποιούμενη χρήση τους.
- Βελτιστοποίηση της χρήσης των επιφανειακών υδατικών πόρων, σε συνδυασμό με τους υπόγειους υδατικούς πόρους, και διάφορα σενάρια αναπτύξεως της περιοχής.
- Εκτίμηση των απωλειών νερού και δοκιμές για περιορισμό αυτών των απωλειών με κατασκευή τεχνικών έργων ή ρύθμιση των χρήσεων γης.
- Εκτίμηση της επικινδυνότητας πλημμύρας κατά υποπεριοχή και εντοπισμός των ευαίσθητων περιοχών για ακραίες πλημμύρες.

- Εκτίμηση της φυσικής και τεχνητής τροφοδοσίας του υπόγειου υδροφορέα, και δοκιμές για τη βελτίωσή της.
- Εκτίμηση της διάβρωσης του εδάφους και μεταφοράς στερεών υλικών.
- Επανασχεδίαση του δικτύου υδρολογικών και μετεωρολογικών μετρήσεων.
- Εκτίμηση της ρυπάνσεως και μεταφοράς/διασποράς ρύπων από σημειακές και μη σημειακές πηγές ρύπανσης.

5.3.1 Περιγραφή μοντέλου ETD (Enhanced Trickle-Down Model)

Το μοντέλο ETD (Enhanced Trickle-Down Model) (Nikolaidis et. al, 1988,1989, 1991, 1993, 1994) χρησιμοποιήθηκε αρχικά για την εκτίμηση της όξινης απορροής σε συνθήκες σταθερής κατάστασης από τους Stumm and Schnoor (1983). Το μοντέλο συνθηκών σταθερής κατάστασης χρησιμοποιήθηκε για τον προσδιορισμό του αριθμού των λιμνών που μπορεί να γίνουν όξινες σύμφωνα με διάφορα σενάρια φόρτισης οξέος για περίπου 1400 λίμνες κατά μήκος της κλίσης του φορτίου και της οξύτητας της βροχής (Schnoor et al. [1986b]). Το μοντέλο έχει αποδειχθεί ότι είναι χρήσιμο στις εκτιμήσεις της οξίνισης λόγω της απλότητάς του και βασίζεται στην αρχή της διατήρησης της αλκαλικότητας.

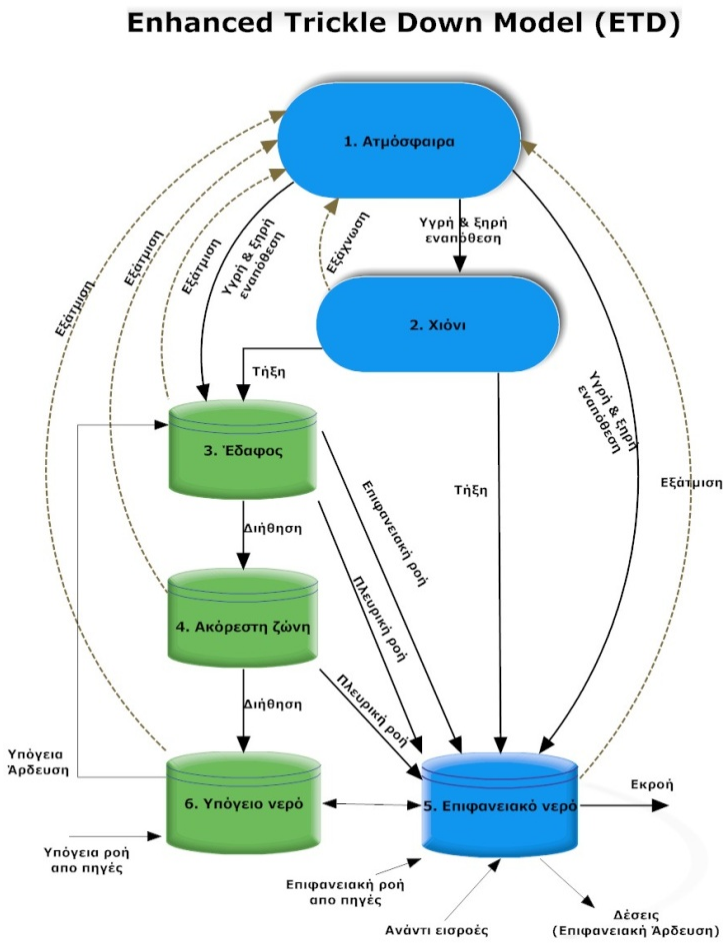
Στην συνέχεια αναπτύχθηκε μια έκδοση του μοντέλου από τον Schnoor et al. (1984), μεταβαλλόμενων συνθηκών με το χρόνο (time variable version) για την λίμνη Omaday και το ποτάμι Filson στη Minesota. Το χρονικά μεταβαλλόμενο μοντέλο έχει εφαρμοστεί από τους Lin and Schnoor (1986) σε δύο λίμνες, χωρίς την ύπαρξη εισροών και εκροών παρά μόνο διήθηση των υδάτων από το ίζημα στο υπόγειο νερό (seepage λίμνες). Οι λίμνες αυτές βρίσκονται στο Wisconsin (Λίμνη Clara και Vandercook). Το μοντέλο όπως χρησιμοποιείται από τους Lin και Schnoor, είναι κατάλληλο μόνο για λίμνες διήθησης (seepage), ενώ για να γίνει κατάλληλο για διάφορα υδρολογικά συστήματα επιφανειακών νερών, ήταν αναγκαίο να πραγματοποιηθούν οι απαραίτητες αλλαγές.

Τα συστήματα διήθησης (seepage) και τα συστήματα που έχουν εισροές και εκροές (drainage συστήματα) είναι διαφορετικά από υδρολογικής άποψης. Επομένως, ήταν απαραίτητη η εισαγωγή ενός πιο γενικού υδρολογικού υπομοντέλου που να μπορεί να περιγράφει επαρκώς όλους τους τύπους υδρολογικών συστημάτων.

Το μοντέλο ETD (Enhanced Trickle-Down Model) το οποίο χρησιμοποιήθηκε για την μοντελοποίηση των λεκανών απορροής των ποταμών Λουτάνη και Πελέμονη, Ρόδου είναι ένα μοντέλο διαμερισματοποίησης που μελετά την όξινη εναπόθεση σε υδάτινα και χερσαία οικοσυστήματα. Αναφέρεται στον υδρολογικό κύκλο του νερού και αντιμετωπίζει κάθε ένα από τα έξι υπο-τμήματα του περιβάλλοντος (Ατμόσφαιρα, Χιόνι, Έδαφος, Ακόρεστη Ζώνη, Επιφανειακά Νερά, Υπόγειο Νερό) ως έναν αντιδραστήρα πλήρους ανάδευσης και συνεχούς λειτουργίας.

Εικόνα 5.3 Υδρολογικός κύκλος (Πηγή US Geological Survey's Water Science).

Το μοντέλο είναι ένας συνδυασμός από τέσσερα υπομοντέλα. Το υδρολογικό υπο-μοντέλο, το υπο-μοντέλο της αλκαλικότητας, το υπο-μοντέλο των θειικών και τέλος, το υπο-μοντέλο των χλωριούχων.



Διάγραμμα 5.15 Σχηματική παρουσίαση των διεργασιών που λαμβάνουν χώρα στο μοντέλο ETD.

Πιο αναλυτικά,

- Το Υδρολογικό Υπο-μοντέλο περιγράφει τις ροές από και προς τα διαμερίσματα. Προσομοιώνει το λιώσιμο του χιονιού, την εσωτερική ροή μεταξύ των διαμερισμάτων (interflow), την επιφανειακή ροή, την υπόγεια ροή, τη ροή που οφείλεται στα φαινόμενα πάγου (frost driven flow), τη διήθηση, την εξατμισοδιαπνοή, την παροχή των πηγών καθώς και τις αρδεύσεις.
- Το Υπο-μοντέλο της Αλκαλικότητας αποτελείται από μια ομάδα ισοζυγίων μάζας για κάθε διαμέρισμα. Οι διεργασίες που προκαλούν αλκαλικότητα και περιλαμβάνονται στο μοντέλο είναι η ιονανταλλαγή, η χημική διάβρωση, η απορρόφηση θειικών και η αναγωγή θειικών.

- Το Υπο-μοντέλο των Θειικών, κατά αντίστοιχο τρόπο με το μοντέλο της αλκαλικότητας, περιλαμβάνει τα ισοζύγια μάζας των θειικών.
- Τέλος, το Υπο-μοντέλο των Χλωριούχων είναι ένα σύνολο ισοζυγίων μάζας για τα χλωριούχα, υποθέτοντας ότι δεν λαμβάνει χώρα χημική αντίδραση (παραδοχή συντηρητικής ουσίας).

Το σύστημα από 20 διαφορικές εξισώσεις των τεσσάρων υπομοντέλων λύνεται με τη χρήση της αριθμητικής μεθόδου του Hamming (fourth-order predictor-corrector numerical scheme).

5.3.1.1 Υδρολογικό υπομοντέλο

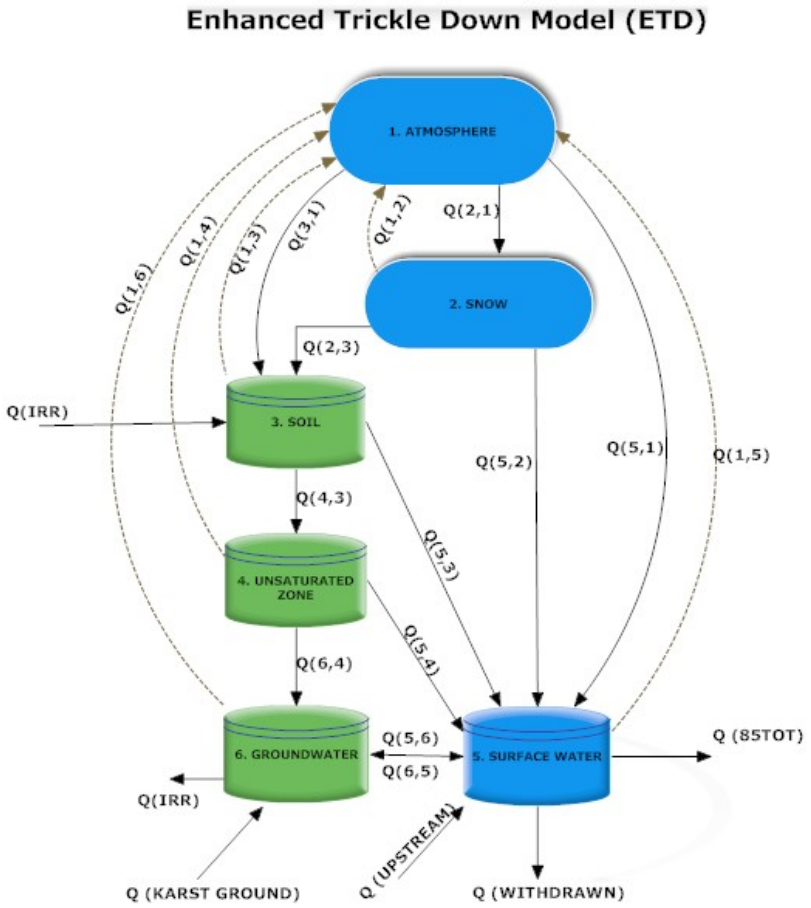
Μια αναπαράσταση του υδρολογικού μοντέλου με τα διαγράμματα ροής μεταξύ των διαφόρων διαμερισμάτων παρουσιάζεται στο Διάγραμμα 5.16. Η περιγραφή των μεταβλητών που χρησιμοποιούνται περιγράφονται παρακάτω. Ακολουθεί μια λεπτομερής περιγραφή κάθε διαμερίσματος και της ροής που σχετίζεται με κάθε ένα. Το $Q_{(i,j)}$ συμβολίζει τη ροή από το διαμέρισμα j στο διαμέρισμα i σε μέτρα ανά ημέρα (m/day) και το $h_{(i)}$ το ισοδύναμο βάθος του νερού στο διαμέρισμα i σε μέτρα (m). Όλες οι υπόγειες ροές μοντελοποιούνται με βάση τη Darcian ροή αντίστοιχα με το ισοδύναμο κορεσμένο βάθος. Ένας συντελεστής διόρθωσης για κάθε μια ροή έχει εισαχθεί για να υπολογίζει τη χωρική μεταβλητότητα και λαμβάνεται υπ' όψη σαν παράμετρος. Το διαμέρισμα (τμήμα) του χιονιού συμπεριλαμβάνει τη συνολική ποσότητα χιονιού σε όλη την υδρολογική λεκάνη συμπεριλαμβανομένων και των χερσαίων περιοχών αλλά και των περιοχών με νερό. Η εισροή στο διαμέρισμα του χιονιού γίνεται μέσω της κατακρήμνισης με τη μορφή χιονιού. Η μορφή της κατακρήμνισης καθορίζεται μόνο από τη θερμοκρασία του αέρα στην επιφάνεια (TEMPC). Η εκροή από το διαμέρισμα του χιονιού, οφείλεται στην τήξη του χιονιού, καθώς και στην εξάχνωση από την επιφάνειά του. Η ροή του λιωμένου χιονιού θεωρείται ότι εν μέρη ρέει επιφανειακά (επιφανειακή ροή) και κατά ένα άλλο μέρος ότι διεισδύει στο έδαφος.

Οι ροές που σχετίζονται με το διαμέρισμα χιονιού δίνονται από την εξίσωση.

$$Q(2,1) = SPREC \quad (5.11)$$

Όπου,

SPREC =PREC εάν η TEMPC $\leq 0^0$ C και SPREC =0.0 εάν η TEMPC>0^0 C



Διάγραμμα 5.16 Σχηματική παρουσίαση των διαμερισμάτων και των διεργασιών που λαμβάνουν χώρα στο μοντέλο ETD.

$$Q(3,2) = (1-\beta) \times \frac{AREAT}{AREATT} \times QMELT \quad (5.12)$$

QMELT είναι η ταχύτητα τήξης σε μέτρα ανά ημέρα και ορίζεται ως εξής:

$$QMELT = \gamma_1 \times \frac{[(0,007 \times PREC + 0,074) \times (TEMPC \times 1,8 + 0,05) \times 0,254]}{1000} \quad (5.13)$$

$$QMELT = \frac{\gamma_1 \times k(1,8 \times TEMPC)^{n+1}}{1000} \qquad (5.14)$$

Η εξίσωση (5.13) υπολογίζει την τήξη του χιονιού κατά τη διάρκεια βροχής για δασικές περιοχές (λαμβάνεται υπ' όψιν όλη η λεκάνη απορροής). Η εξίσωση (5.14) αφορά τήξη χιονιού υπό ξηρό καιρό χωρίς βροχή με την έννοια ενός εμπειρικού προγράμματος όπου k×(1,8×TEMPC)n είναι ένας παράγων που χαρακτηρίζει τη μέρα (degree day factor). Το n συνήθως παίρνει την τιμή 0.25. Οι εξισώσεις (5.13) και (5.14) (US.Army Corps of Engineers, 1956) χρησιμοποιούνται χάρη στην απλότητά τους και στο γεγονός ότι επιτρέπουν τον υπολογισμό του λιωμένου χιονιού από τη θερμοκρασία του αέρα και μόνο. Ο παράγοντας γ_1 υπολογίζει την παρουσία ή απουσία συσσώρευσης χιονιού (snowpack).

$$Q(5,2) = \left(\frac{AREAA}{AREATT} + \beta \times \frac{AREA\mathrm{T}}{AREATT} \right) \times QMELT \qquad (4.15)$$

$$Q(1,2) = \gamma 1 \times KPAN2 \times QEVAP \qquad (4.16)$$

Το διαμέρισμα του χιονιού αποκλείεται-απομονώνεται όταν το ισοδύναμο βάθος του νερού γίνεται μικρότερο ή ίσο με το 10^{-4} m για να αποφευχθούν αριθμητικά προβλήματα κατά την ολοκλήρωση.

Το διαμέρισμα του εδάφους περιλαμβάνει το ανώτερο στρώμα εδάφους στο χερσαίο τμήμα της υδρολογικής λεκάνης. Οι εισροές στο διαμέρισμα του εδάφους προέρχονται από τη βροχή που πέφτει στο χερσαίο τμήμα (terrestrial portion) της λεκάνης (σε περίπτωση που δεν υπάρχει στρώμα χιονιού) και από τη διείσδυση λιωμένου χιονιού (αν υπάρχει στρώμα χιονιού). Οι εκροές από το διαμέρισμα αυτό αφορούν εγκάρσια (lateral) ροή προς τη λίμνη, διήθηση προς την ακόρεστη ζώνη και εξατμισοδιαπνοή από το έδαφος. Σε περίπτωση που η ποσότητα του νερού στο διαμέρισμα του εδάφους ξεπεράσει την χωρητικότητα κορεσμού για ένα χρονικό διάστημα, η παραπανίσια ποσότητα λαμβάνεται ως επιφανειακή ροή προς τη λίμνη στο τέλος του χρονικού αυτού διαστήματος.

Οι εκφράσεις για τη ροή που σχετίζεται με το έδαφος είναι.

$$Q(3,1) = WPREC \times \frac{AREAT}{AREATT} \quad (5.17)$$

όπου WPREC=PREC εάν η TEMPC>0^0 C και WPREC =0.0 εάν η TEMPC $\leq 0^0$ C

$$Q(5,3) = KLAT3 \times CLAT \times KHU \times \left[(1-C_r)^{FI_L - FI} + \left[1-(1-C_r)^{FI_L - FI} \right] \times f_1 h^8 \right] \times f_2 h \times D_3 \quad (5.18)$$

όπου CLAT είναι μια χαρακτηριστική παράμετρος για την εγκάρσια ροή που ορίζεται ως:

$$CLAT = \frac{SLOPE \times (PERIL + PERIC)}{2 \times AREATT}$$

Ο σχηματισμός βασίζεται στο νόμο του Darcy με το $f_2h \times D3$ να είναι το κορεσμένο βάθος, το οποίο όταν πολλαπλασιαστεί με μια μέση επιφάνεια απορροής (PERIL+PERIC)/2 είναι η επιφάνεια ροής, και KHU είναι η οριζόντια υδραυλική αγωγιμότητα του εδάφους. Η υδραυλική κλίση θεωρείται ανάλογη με το SLOPE και το KLAT3 πολλαπλασιάζει τους άλλους όρους της έκφρασης έτσι ώστε το γινόμενο να προσεγγίζει την πραγματική εγκάρσια ροή. Η διαίρεση του CLAT με το AREATT γίνεται για να μετατραπεί η ογκομετρική παροχή (volume flow rate) σε παροχή βασισμένη σε ισοδύναμο ύψος. Εδώ το $f_2h=h_3/UZSSAT$ είναι ο λόγος της περίσσειας αποθηκευμένου νερού πάνω από την ονομαστική αποθήκευση προς την περίσσεια αποθήκευσης υπό κορεσμό και f_1h=(LZSSAT-h_4/LZSSAT μια αναλογία για την έλλειψη υγρασίας (moisture deficiency ratio) στην κατώτερη ζώνη.

$$Q(4,3) = KPERC3 \times CPER \times KVU \times \left[(1-C_r)^{FI_L - FI} + \left[1-(1-C_r)^{FI_L - FI} \right] \times f_1 h^8 \right] \times \frac{h_3}{UZSSAT} \quad (5.19)$$

Όπου, CREP είναι μια χαρακτηριστική παράμετρος για τη διήθηση που ισούται με AREAT/AREATT. Η διαίρεση με AREATT γίνεται για να αναχθεί σε παροχή που βασίζεται στο ισοδύναμο βάθος.

$$Q(1,2) = (1-\gamma_1) \times KPAN3 \times QEVAP \qquad (5.20)$$

Στην περίπτωση που το σύνολο των εισροών ξεπερνά το σύνολο των εκροών στο διαμέρισμα του εδάφους υπό κορεσμό κατά τη διάρκεια οποιουδήποτε χρονικού βήματος, το περισσευούμενο νερό λαμβάνεται ως επιφανειακή ροή στα διαμερίσματα επιφανειακού νερού στο τέλος κάθε χρονικού βήματος. Η επιφανειακή ροή ορίζεται ως εξής *(Nikolaidis et al. 1988).*

$$\text{OVLAND}=(\text{P-QOUT3})*\left(\frac{H(3)}{UZSSAT}\right)^6 \quad \text{Εάν P> QOUT3} \quad (5.21\alpha)$$

$$\text{OVLAND} = 0.0 \quad \text{ΕάνP} \leq \text{QOUT3} \quad (5.21\beta)$$

$$\text{P=Q(3,1)+Q(3,2)} \quad (5.21\gamma)$$

$$\text{QOUT3 = Q(1,3) + Q(5,3) +Q(4,3)} \quad (5.21\delta)$$

Η ανάγκη να συμπεριληφθούν οι επιδράσεις του παγωμένου εδάφους στο μοντέλο προκύπτει από δύο σημαντικούς λόγους. Πρώτον, γιατί όταν κατά την άνοιξη λιώνουν τα χιόνια, το έδαφος είναι πολύ πιθανόν να παγώσει και κατά συνέπεια μια μεγάλη ποσότητα λιωμένου χιονιού να οδηγηθεί στη λίμνη μέσω επιφανειακής ροής. Αυτό υπολογίζεται από τον παράγοντα β. Δεύτερον, σε εποχές που το λιωμένο χιόνι διεισδύει στο έδαφος ή/και έχουμε βροχή και το έδαφος είναι ακόμα παγωμένο (λόγω της μεμονωμένης επίδρασης της κάλυψης με χιόνι ή λόγω των υποψηκτικών θερμοκρασιών του αέρα), οι υδραυλικές ιδιότητες του εδάφους (KHU και KVU) είναι πιθανόν να μειωθούν σημαντικά. Εδώ εφαρμόζεται η διατύπωση των Anderson και Neuman (1984) για το παγωμένο έδαφος. Οι εισροές στην ακόρεστη ζώνη γίνονται μέσω διήθησης από το διαμέρισμα του εδάφους και οι εκροές είναι προς το ποτάμι με εγκάρσια ροή, προς τον υδροφόρο ορίζοντα μέσω διήθησης σε μεγάλο βάθος και προς την ατμόσφαιρα με εξατμισοδιαπνοή *(Nikolaidis et al. 1988).*

Οι ροές που σχετίζονται με την ακόρεστη ζώνη περιγράφονται από τις ακόλουθες εξισώσεις.

$$Q(5,4)=KLAT4\times CLAT\times KHL\times \frac{h_4}{LZSSAT} \quad (5.22)$$

$$Q(6,4)=KPERC4\times CPER\times KVL\times \frac{h_4}{LZSSAT} \quad (5.23)$$

$$Q(1,4)=\beta_5\times FRAX\times K_b\times \frac{T_m p}{100}\times 0{,}0254 \quad (5.24)$$

Το β_5 αφορά την περίπτωση που η πραγματική εξατμισοδιαπνοή από την ακόρεστη ζώνη είναι μηδέν σε συνθήκες όπου η συγκέντρωση νερού είναι κάτω από την ονομαστική αποθηκευτική χωρητικότητα (nomimal storage capacity). Αυτή η προσέγγιση χρησιμοποιείται λόγω της απλότητάς της και του γεγονότος ότι άλλες μέθοδοι περιλαμβάνουν παραμέτρους που αφορούν την ταχύτητα του ανέμου.

Το διαμέρισμα επιφανειακών νερών περιλαμβάνει το υγρό μέρος της λεκάνης. Η περιοχή του διαμερίσματος αυτού ορίζεται ως η συνολική επιφάνεια νερού της λεκάνης. Οι εισροές προέρχονται από όλα τα άλλα διαμερίσματα και οι εκροές είναι διαρροές προς τα υπόγεια νερά, εξάτμιση προς την ατμόσφαιρα και επιφανειακές εκροές *(Nikolaidis et al. 1988).*

$$Q(5,1)=WPREC\times(1-\frac{AREAT}{AREATT}) \quad (5.25)$$

$$Q(6,5)=d_1\times\alpha_1\times CSEEP\times HGR\times STAGE \quad (5.26)$$

$$Q(5,6)=(1-d_1)\times\alpha_2\times CSEEP\times HGR\times STAGE \quad (5.27)$$

$$CSEEP=CBED\times PERIL/(DIST\times AREATT)$$

$$HGR=\left|STAGE-\frac{h_6+h_4}{PORE6}\right|$$

Το CSEEP είναι μια χαρακτηριστική παράμετρος διαρροής και το HGR είναι h απόλυτη διαφορά του πιεζομετρικό ύψος.

Οι ροές αντιπροσωπεύονται ξεχωριστά παρά σαν ένα σύνολο ροής προκειμένου να υπολογιστεί η μεταφορά αλκαλικότητας με ακρίβεια από τη στιγμή που οι αλκαλικότητες για τα διαμερίσματα της λίμνης και του εδάφους διαφέρουν σημαντικά. Οι εξισώσεις (5.26) και (5.27) είναι απλά επαναδιατυπώσεις του νόμου του Darcy με HGR/DIST μια χαρακτηριστική υδραυλική κλίση για την εγκάρσια ροή. Το STAGE υπολογίζεται με τη χρήση μιας μεθόδου γραμμικής παρεμβολής και είναι μια μεταβλητή όγκου. α_1 και α_2 είναι δυο καθαροί αδιάστατοι αριθμοί που πολλαπλασιάζουν την χαρακτηριστική υδραυλική κλίση έτσι ώστε το αποτέλεσμα να προσεγγίζει την πραγματική ροή (Nikolaidis et al. 1988).

$$Q(1,5)=KPAN5\times (1-\gamma_1) \times QEVAP \quad (5.28)$$

Οι εκροές επιφανειακού νερού QOUT δια μέσου ενός επιφανειακού καναλιού μπορούν να υπολογιστούν με τη χρήση της εξίσωσης για ροή πάνω από ένα φράγμα ή στην περίπτωση που μια καμπύλη τιμών είναι διαθέσιμη, οι τιμές λαμβάνονται απ' ευθείας από αυτήν. Το διαμέρισμα επιφανειακών νερών παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στην τιμή της αλκαλικότητας του επιφανειακού νερού, αφού έχει σημαντικό χρόνο κατακράτησης του νερού και προσφέρει τη δυνατότητα για αντιδράσεις αποσάθρωσης να εμφανιστούν οι οποίες αποτελούν μια μεγάλη εισροή αλκαλικότητας στο επιφανειακό νερό. Για αυτόν το λόγο είναι πολύ σημαντικό οι ροές από και προς το διαμέρισμα αυτό να υπολογιστούν με μεγάλη ακρίβεια. Εν τούτοις, μερικές υποθέσεις απλοποίησης πρέπει να γίνουν για να μην αντιμετωπίσουμε μια πολύ περίπλοκη δομή του μοντέλου. Αυτό φαίνεται για παράδειγμα στη χρήση της lump παραμέτρου CSEEP. Οι εισροές στον υδροφόρο ορίζοντα υδροφορέα προέρχονται από την ακόρεστη ζώνη με διήθηση, από τα επιφανειακά νερά με εγκάρσια ροή, και εισροές από τα όρια του υδροφόρου. Οι εκροές είναι η διαρροή-διήθηση προς τα επιφανειακά νερά, εξατμισοδιαπνοή και εκροές νερού από το κάτω όριο του διαμερίσματος *(Nikolaidis et al. 1988).*

Η εξατμισοδιαπνοή από τα υπόγεια νερά υπολογίζεται ως εξής:

$$Q(1,6)=(1\text{-FRAX})\left(k_b \times \frac{T_m p}{100} \times 0,0254\right) \qquad (5.29)$$

Όπου, το (1-FRAX) αντιπροσωπεύει το κλάσμα του διαπνέοντος νερού που προέρχεται από το διαμέρισμα των υπογείων νερών. Στο μοντέλο οι εξισώσεις δηλώνονται σε δυο διαφορετικές μορφές, η μια να ανταποκρίνεται στη θερμοκρασία του αέρα TEMPC≤0°C και η άλλη σε θερμοκρασία TEMPC>0°C. Αυτό γίνεται με σκοπό να επιτευχθεί ευκολία στους υπολογισμούς. Ανάλογα με την τιμή του TEMPC σε κάθε χρονικό βήμα εισαγωγής χρησιμοποιούνται και οι κατάλληλες εξισώσεις *(Nikolaidis et al. 1988).*

Σε περίπτωση που οποιοδήποτε από τα χερσαία διαμερίσματα κορεστεί ή εξαντληθεί, η διηθητική ροή προσαρμόζεται.

Για την ορθότερη μοντελοποίηση της λεκάνης απορροής του ποταμού Λουτάνη, χρειάστηκε να προσθέσουμε στο μοντέλο τον παράγοντα Q_{KARST}, ο οποίος εισάγει τιμές της παροχής των καρστικών πηγών της λεκάνης, από το καρστικό μοντέλο. Έγινε εισαγωγή μίας σταθεράς W, η οποία καθορίζει το ποσοστό της καρστικής παροχής το οποίο κατευθύνεται είτε προς το επιφανειακό διαμέρισμα του ποταμού, είτε προς το υπόγειο.

Ο παράγοντας $Q_{UPSTREAM}$ μας δίνει τα νερά, που έρχονται ως εκροή από μια λεκάνη, σαν εισροή στην επόμενή της. Το $Q_{UPSTREAM}$ καθορίζει την ποσότητα της επιφανειακής ροής κάθε λεκάνης και τον τρόπο με τον οποίο τα νερά κινούνται επιφανειακά στο ποτάμι, κατά μήκος των λεκανών, εξάγεται ως τελική παροχή από μια λεκάνη και εισάγεται στην επόμενη λεκάνη ως εισερχόμενη παροχή εξάγεται και από αυτήν και πάλι λειτουργεί ως εισροή σε κάποια άλλη.

Ο παράγοντας των δέσεων είναι ο Q_{WITHDR}, ο οποίος μπορεί να εισαχθεί στο μοντέλο από καταγεγραμμένα δεδομένα της εκάστοτε περιοχής, αν υπάρχουν. Αν δεν

υπάρχουν τότε θα μπορεί να λειτουργεί κατά τρόπο περισσότερο διαχειριστικό, είτε ελέγχοντας, είτε προβλέποντας τις αντλήσεις που πραγματοποιούνται από το ποτάμι.

Ο παράγοντας Q_{IRR} αποτελεί το σύνολο των αντλήσεων που πραγματοποιούνται από το υπόγειο διαμέρισμα του ποταμού. Ο παράγοντας αυτός καθορίζεται από τις παροχές που καταγράφουν οι γεωτρήσεις ανά περιοχή. Ωστόσο, οι υπάρχουσες γεωτρήσεις είναι περισσότερες από τις καταγεγραμμένες, επομένως ο παράγοντας αυτός μπορεί να λειτουργήσει περισσότερο διαχειριστικά, προβλέποντας και τις μη καταγεγραμμένες. Το Q_{IRR} προστίθεται καθαρά στο κομμάτι του διαμερίσματος του εδάφους του υδάτινου συστήματος και εκρέει από το υπόγειο διαμέρισμα του ποταμού.

Το $Q_{(i,j)}$ συμβολίζει τη ροή από το διαμέρισμα j στο διαμέρισμα i σε μέτρα ανά ημέρα (m/day) και το $h_{(i)}$ το ισοδύναμο βάθος του νερού στο διαμέρισμα i σε μέτρα (m). Τα ισοζύγια του υπομοντέλου είναι τα εξής:

Εάν θερμοκρασία αέρα $\leq 0{,}0°C$

Χιόνι: $$\frac{dh_2}{dt} = Q(2,\ 1) - Q(1,\ 2)$$

Έδαφος: $$\frac{dh_3}{dt} = -Q(5,\ 3) - Q(4,\ 3)$$

Εάν θερμοκρασία αέρα $> 0{,}0°C$

Χιόνι: $$\frac{dh_2}{dt} = -Q(1,\ 2)\text{-}Q(3,\ 2)\text{-}Q(5,\ 2)$$

Έδαφος: $$\frac{dh_3}{dt} = Q(3,\ 1) + Q(3,\ 2)\text{+}QIRR - Q(1,\ 3) - Q(4,\ 3)\text{-}Q(5,\ 3)\text{-}OVLAND$$

Επιφανειακό Σώμα Νερού:

$$\frac{dh_5}{dt} = Q(5,4) + Q(5,3) + Q(5,6) + Q(5,1) + Q(5,2) + QOVLAND + QUPSTREAM + (W \times QKARST) - Q(1,5) - Q(6,5) - QOUT - QWITHDR$$

Ακόρεστη Ζώνη: $$\frac{dh_4}{dt} = Q(4,3) - Q(5,4) - Q(6,4) - Q(1,4)$$

Υπόγειο Νερό:

$$\frac{dh_6}{dt} = Q(6,4) + Q(6,5) + ((1-W) \times QKARST) - Q(5,6) - Q(1,6) - QIRR - QNET6$$

Όπου QNET6 είναι οι απώλειες από το υπόγειο τμήμα του ποταμού.

Στο **Παράρτημα ΙΙΙ** περιγράφονται οι παράμετροι που χρησιμοποιούνται στο Υδρολογικό Υπομοντέλο του ETD.

5.3.2 Ανάλυση Μοντελοποίησης-Αποτελέσματα

Στην παρούσα εργασία γίνεται χρήση του μοντέλου ETD για τον προσδιορισμό της υδρολογικής κατάστασης και συμπεριφοράς των ποταμών Λουτάνη και Πελέμονη Ρόδου. Η λεκάνη απορροής του ποταμού Λουτάνη σε αντίθεση με την λεκάνη απορροής του ποταμού Πελέμονη είναι έντονα καρστικοποιημένη με τις πηγές Βελανίδι 1, Βελανίδι 2, Πισχάλια και Επτά Πηγές να θεωρούνται ως τα βασικότερα σημεία εκφόρτισης του καρστικού αυτού συστήματος και οι κυριότερες πηγές τροφοδοσίας του ποταμού Λουτάνη. Θεωρήθηκε, λοιπόν, αναγκαία η προσθήκη των αποτελεσμάτων του καρστικού μοντέλου (βλέπε Ενότητα 5.2.2) στο ETD, ώστε να μπορεί να γίνει μια ολοκληρωμένη διαχείριση των υδατικών πόρων των λεκανών απορροής των ποταμών Λουτάνη και Πελέμονη. Σημαντικός επίσης είναι ο προσδιορισμός του ποσοστού της καρστικής αυτής παροχής που κατευθύνεται είτε επιφανειακά, είτε υπόγεια στο ποτάμι.

Για κάθε λεκάνη απορροής εισάγονται δεδομένα (επιφάνειες, μετρήσεις παροχών πεδίου, βροχόπτωση, εξάτμιση, θερμοκρασία κλπ) που αντιστοιχούν αποκλειστικά σε αυτήν. Δεδομένου λοιπόν, ότι οι δύο λεκάνες, αν και ξεχωριστές, στο σύνολό τους επικοινωνούν μεταξύ τους, προστέθηκε μια νέα παράμετρος, η οποία δίνει ως εισροή στην επόμενη λεκάνη, την παροχή του ποταμού που προκύπτει ως αποτέλεσμα, από την μοντελοποίηση της προηγούμενής της.

Η ευρύτερη περιοχή του Δήμου Αφάντου, στην οποία ανήκουν οι ποταμοί Λουτάνης και Πελέμονης, χαρακτηρίζεται ως έντονα τουριστική και αγροτική περιοχή. Άρα, οι αντλήσεις, είτε επιφανειακές, είτε υπόγειες, για την κάλυψη των υδρευτικών και αρδευτικών αναγκών, είναι συνήθης διαδικασία. Έγινε λοιπόν, εισαγωγή στο μοντέλο νέων παραμέτρων, οι οποίες εκχωρούν, από τη μια, τις αντλήσεις από το υπόγειο διαμέρισμα του ποταμού και από την άλλη τις αντλήσεις από το επιφανειακό διαμέρισμά του – δέσεις εάν υπάρχουν. Η προσθήκη αυτών των παραμέτρων, δίνει επίσης και ένα χαρακτήρα διαχειριστικό στο μοντέλο, καθώς μας επιτρέπει την πρόβλεψη της υδρολογικής κατάστασης των ποταμών Λουτάνη και Πελέμονη, Ρόδου, σύμφωνα με την υδρευτική-αρδευτική χρήση των παροχών των ποταμών.

Στην συνέχεια ακολουθεί η ανάλυση της μοντελοποίησης που πραγματοποιήθηκε με το μοντέλο ETD, για κάθε λεκάνη απορροής και παρουσιάζονται αναλυτικά τα δεδομένα που εισήχθησαν στο μοντέλο, τα αποτελέσματα που εξήχθησαν από αυτό, καθώς επίσης και ανάλυση των αποτελεσμάτων για κάθε λεκάνη.

5.3.2.1 Λεκάνη απορροής ποταμού Πελέμονη

Η λεκάνη απορροής βρίσκεται στην βορειοανατολική πλευρά της νήσου Ρόδου, στην ευρύτερη περιοχή του Δήμου Αφάντου καλύπτοντας έκταση 35 km^2 με μήκος υδρογραφικού δικτύου 133 km. Δεδομένα παροχών του ποταμού ελήφθησαν από το

Τμήμα Ανάπτυξης Φυσικών Πόρων – Τομέας Εγγ. Βελτιώσεων και Φυσικών Πόρων, Ρόδου και η προσομοίωση πραγματοποιήθηκε για την περίοδο 2000-2004. Τα δεδομένα που εισήχθησαν στο μοντέλο κατά την διαδικασία της προσομοίωσης παρουσιάζονται παρακάτω αναλυτικά.

Σύμφωνα με τα πολύγωνα Thiessen (βλέπε Ενότητα 3.1) η βροχόπτωση της λεκάνης του ποταμού Πελέμονη υπολογίζεται κατά 99% από την βροχόπτωση του σταθμού Αφάντου. Στο σύνολο της 5ετίας, που γίνεται η προσομοίωση, η ποσότητα βροχόπτωσης στην επιφάνεια της λεκάνη απορροής ανέρχεται σε 4.64 m ή σε 32 εκ. m^3 ετησίως. Χρησιμοποιήθηκαν ημερήσιες τιμές δεδομένων βροχόπτωσης, θερμοκρασίας και εξάτμισης από το μετεωρολογικό σταθμό Αφάντου για την περίοδο προσομοίωσης.

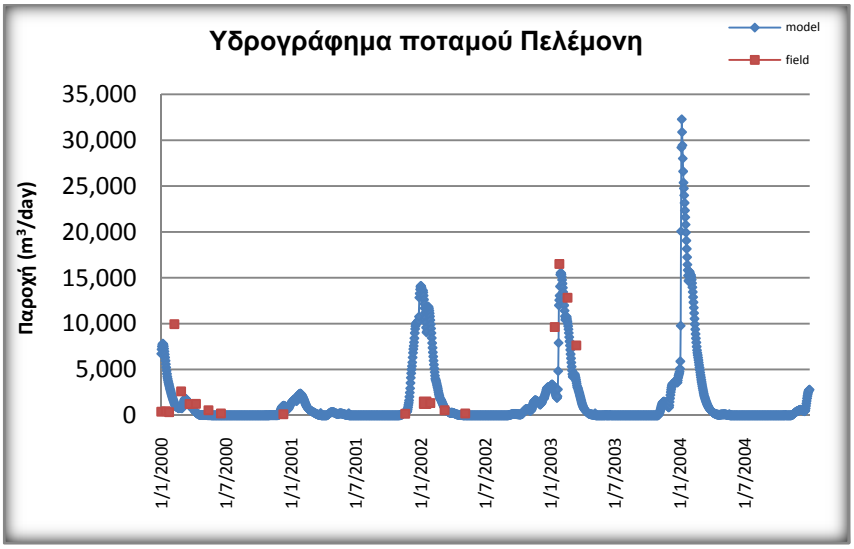
Τα δεδομένα εξάτμισης, που χρησιμοποιήθηκαν στην λεκάνη απορροής ήταν αυτά του σταθμού Αφάντου θεωρούμε ότι η πραγματική εξάτμιση, αποτελεί το 60-70% της εξάτμισης του πεδίου. Ομοίως με την εξάτμιση, εισάγουμε στο μοντέλο δεδομένα θερμοκρασίας.

Στην λεκάνη του ποταμού Πελέμονη ανήκει και το καρστικό σύστημα της πηγής Φασούλι, το οποίο εκφορτίζεται και ρέει επιφανειακά εξολοκλήρου μέσω του ρέματος Καμάρες πριν καταλήξει στον ποταμό Πελέμονη, στο δημοτικό διαμέρισμα Ψίνθου. Για το καρστικό αυτό σύστημα δεν υπήρχαν επαρκή δεδομένα γι' αυτό το λόγο θεωρήθηκε η συνεισφορά του στον ποταμό Πελέμονη μηδενική.

Η συνολική ποσότητα νερού που καταναλώνεται ετησίως για άρδευση και ύδρευση στην λεκάνη απορροής του ποταμού Πελέμονη υπολογίζεται περίπου σε 1.2 εκ. m^3 ενώ υπάρχουν και γεωτρήσεις της ΔΕΥΑ. Ρόδου στο Δυτικό τμήμα της λεκάνης που χρησιμοποιούνται για την ύδρευση της πόλης της Ρόδου και των γύρο περιοχών. Πέρα από τις υπόγειες αντλήσεις που πραγματοποιούνται στην περιοχή

για την κάλυψη των αναγκών, δεν υπάρχουν απευθείας αντλήσεις από το ποτάμι, μέσω δέσεων.

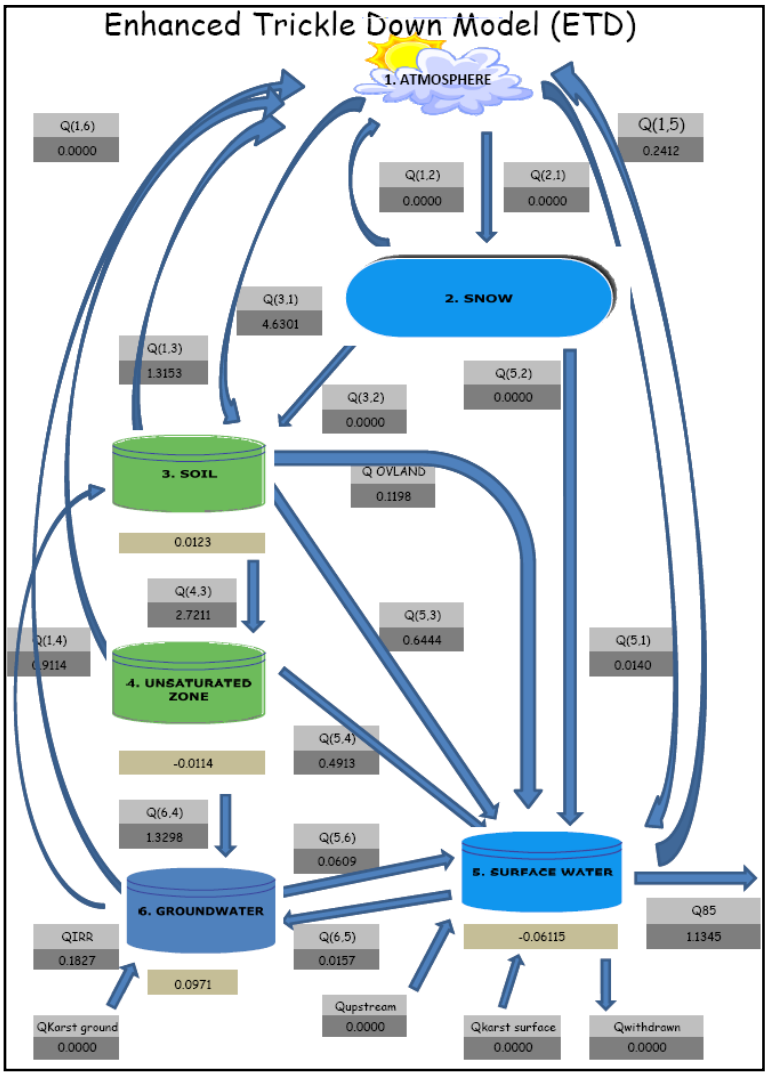
Από την μοντελοποίηση της λεκάνης απορροής προκύπτει το **Διάγραμμα 5.16**. Η μπλε γραμμή παριστάνει τις παροχές του μοντέλου ενώ η κόκκινη τις μετρήσεις του πεδίου. Αν και ο αριθμός των δεδομένων δεν είναι μεγάλος, το μοντέλο προσομοιώνει κατά το μεγαλύτερο βαθμό τα μηνιαία δεδομένα του πεδίου, τα οποία αποτελούν μετρήσεις που έχουν πραγματοποιηθεί σε συγκεκριμένο σημείο στην λεκάνη απορροής του ποταμού Πελέμονη. Κατά τους θερινούς μήνες δεν παρατηρείται ροή και αυτό οφείλεται σε διάφορους παράγοντες όπως είναι η ξηρασία, η μεγάλη εξατμισοδιαπνοή, οι μεγάλες απαιτήσεις για άρδευση που συνάγουν υπεράντληση του υπόγειου υδροφόρου, καθώς και αποστράγγιση του νερού του ποταμού προς τα υπόγεια σε αλλουβιακό υδροφόρο.



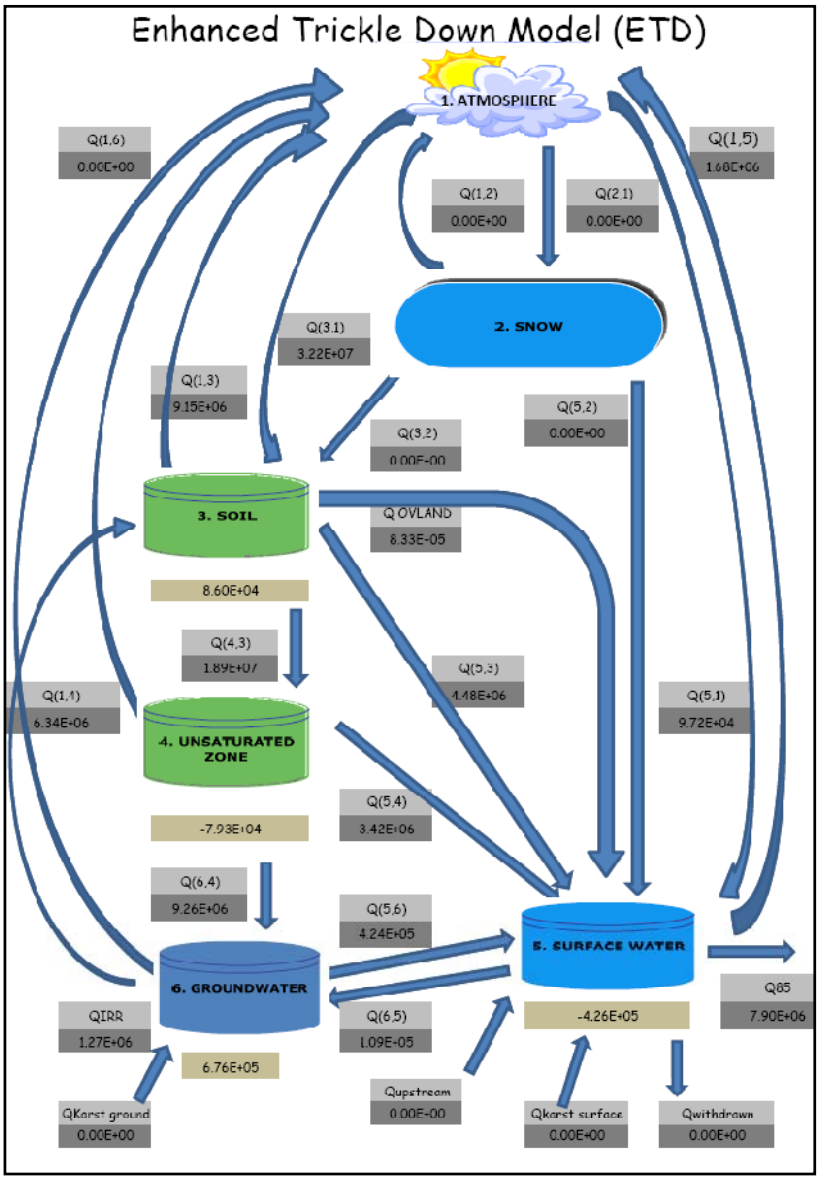
Διάγραμμα 5. 17 Προσομοίωση της λεκάνης απορροής του ποταμού Πελέμονη για την περίοδο 2000-2004.

Σύμφωνα με την ανάλυση που προκύπτει στην λεκάνη απορροής του ποταμού Πελέμονη κατά την περίοδο 2000-2004 η ποσότητα νερού που εκρέει είναι 39,5 εκ. m^3 με την μέση ετήσια εκροή να εκτιμάται σε 7,9 εκ. m^3 νερού. Η μέση ετήσια εξάτμιση αποτελεί το 53% της συνολικής βροχόπτωσης, η απορροή το 24% και η

κατείσδυση το 23% . Να σημειωθεί επιπλέον ότι στην όλη διαδικασία προσομοίωσης, όπως αναφέρουμε και παραπάνω, συμπεριλαμβάνεται και ο παράγοντας των υπόγειων αντλήσεων. Αναλυτικά το ισοζύγιο της περιόδου 2000-2004 παρουσιάζεται στο **Διάγραμμα 5.18** ενώ στο **Διάγραμμα 5.19** παρουσιάζεται το μέσο ετήσιο ισοζύγιο για την λεκάνη του ποταμού Πελέμονη. Η ανάλυση του ισοζυγίου της λεκάνης απορροής του ποταμού Πελέμονη περιγράφεται στην Ενότητα 5.5.



Διάγραμμα 5.18 Σχηματική παρουσίαση υδρολογικής ανάλυσης της λεκάνης απορροής του ποταμού Πελέμονη με το μοντέλο ETD – Ισοδύναμα m νερού περιόδου 2000-2004.



Διάγραμμα 5.19 Σχηματική παρουσίαση υδρολογικής ανάλυσης της λεκάνης απορροής του ποταμού Πελέμονη με το μοντέλο ETD – Μέση ετήσια παροχή νερού m^3 περιόδου 2000-2004.

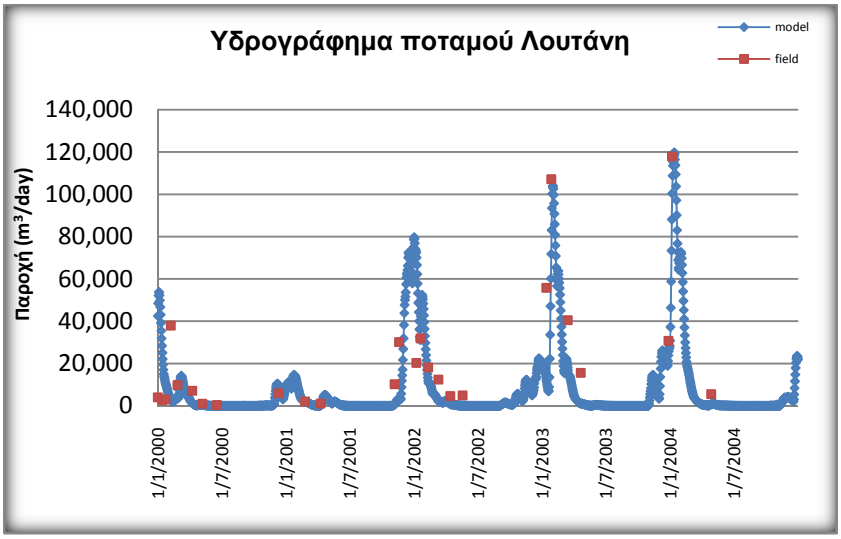
5.3.2.1 Λεκάνη απορροής ποταμού Λουτάνη

Η λεκάνη απορροής του ποταμού Λουτάνη βρίσκεται Νότια της πόλης του Αφάντου καλύπτοντας έκταση 63,5 km^2 με το συνολικό μήκος του υδρογραφικού δικτύου να φτάνει τα 250 km. Δεδομένα παροχών του ποταμού ελήφθησαν από το Τμήμα Ανάπτυξης Φυσικών Πόρων – Τομέας Εγγ. Βελτιώσεων και Φυσικών Πόρων, Ρόδου και η προσομοίωση πραγματοποιήθηκε για την περίοδο 2000-2004.

Η λεκάνη απορροής του ποταμού Λουτάνη είναι έντονα καρστικοποιημένη με τις πηγές Βελανίδι 1, Βελανίδι 2, Πισχάλια και Επτά Πηγές να θεωρούνται ως τα βασικότερα σημεία εκφόρτισης του καρστικού αυτού συστήματος και οι κυριότερες πηγές τροφοδοσίας του ποταμού Λουτάνη. Για την ορθή διαχείριση των υδατικών πόρων και την εκτίμηση των απολήψιμων ποσοτήτων νερού, είναι απαραίτητο να συμπεριληφθούν και οι εκφορτίσεις των καρστικών πηγών. Στο μοντέλο εισήχθησαν τα δεδομένα που προέκυψαν από την μοντελοποίηση και προσομοίωση των πηγών επαφής Βελανίδι 1, Βελανίδι 2, Πισχάλια, Επτά πηγές οι οποίες βρίσκονται εντός της λεκάνης απορροής του ποταμού Λουτάνη. Κατά τους θερινούς μήνες δεν παρατηρείται ροή στον ποταμό Λουτάνη.

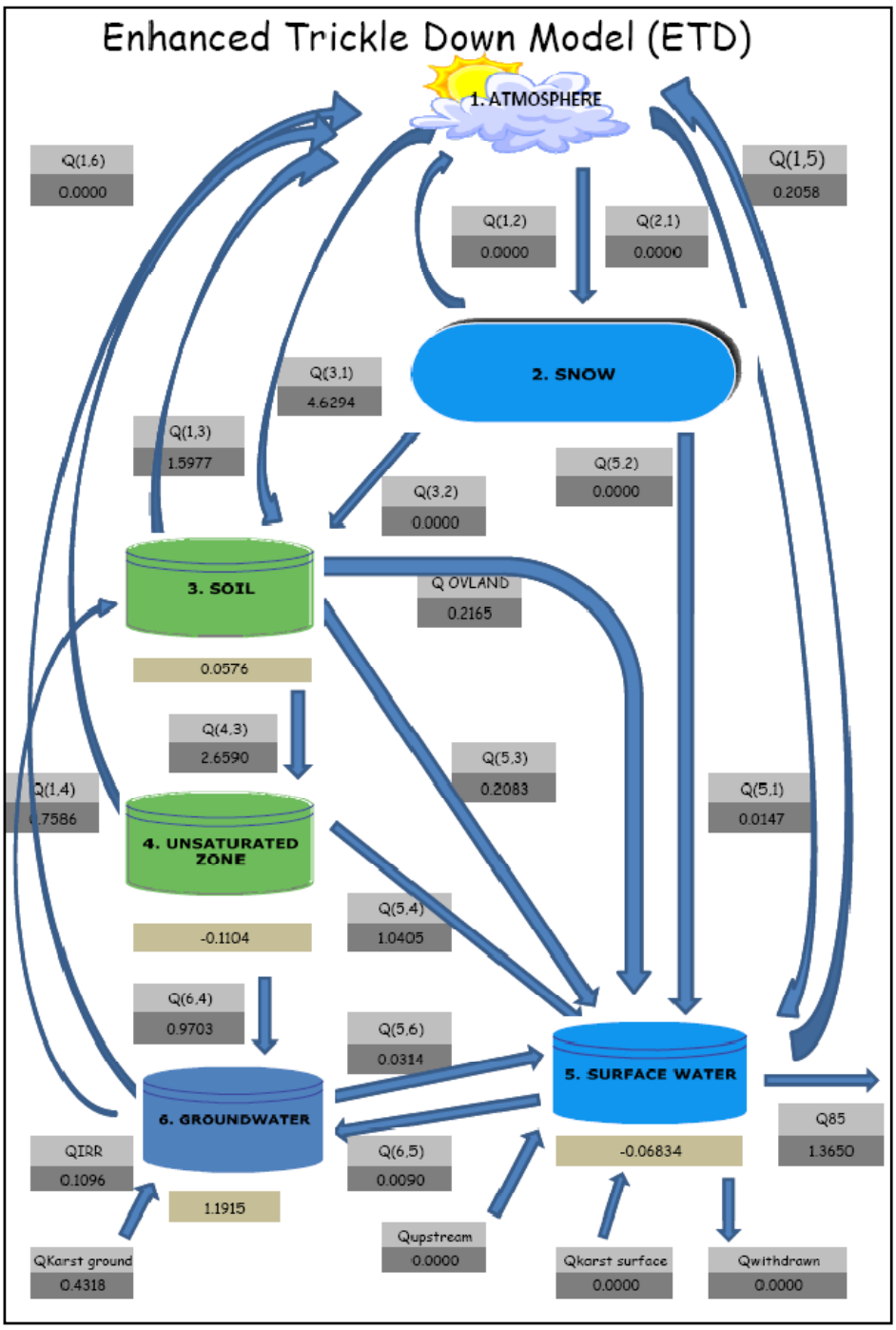
Σύμφωνα με τα πολύγωνα Thiessen (βλέπε Ενότητα 3.1) η βροχόπτωση της λεκάνης του ποταμού Πελέμονη υπολογίζεται κατά 92% από την βροχόπτωση του σταθμού Αφάντου. Στο σύνολο της 5ετίας, που γίνεται η προσομοίωση, η ποσότητα βροχόπτωσης στην επιφάνεια της λεκάνη απορροής ανέρχεται σε 4.64 m ή σε 58 εκ. m^3 ετησίως. Χρησιμοποιήθηκαν ημερήσιες τιμές δεδομένων βροχόπτωσης, θερμοκρασίας και εξάτμισης από το μετεωρολογικό σταθμό Αφάντου για την περίοδο προσομοίωσης. Τα δεδομένα εξάτμισης, που χρησιμοποιήθηκαν στην λεκάνη απορροής ήταν αυτά του σταθμού Αφάντου θεωρούμε ότι η πραγματική εξάτμιση, αποτελεί το 60-70% της εξάτμισης του πεδίου. Ομοίως με την εξάτμιση, εισάγουμε στο μοντέλο δεδομένα θερμοκρασίας.

Από την μοντελοποίηση της λεκάνης απορροής του ποταμού Λουτάνη προκύπτει το **Διάγραμμα 5.20**. Η μπλε γραμμή παριστάνει τις παροχές του μοντέλου ενώ η κόκκινη τις μετρήσεις του πεδίου. Αν και ο αριθμός των δεδομένων δεν είναι μεγάλος, το μοντέλο προσομοιώνει κατά το μεγαλύτερο βαθμό τα μηνιαία δεδομένα του πεδίου, τα οποία αποτελούν μετρήσεις που έχουν πραγματοποιηθεί σε συγκεκριμένο σημείο στην λεκάνη απορροής του ποταμού Λουτάνη.

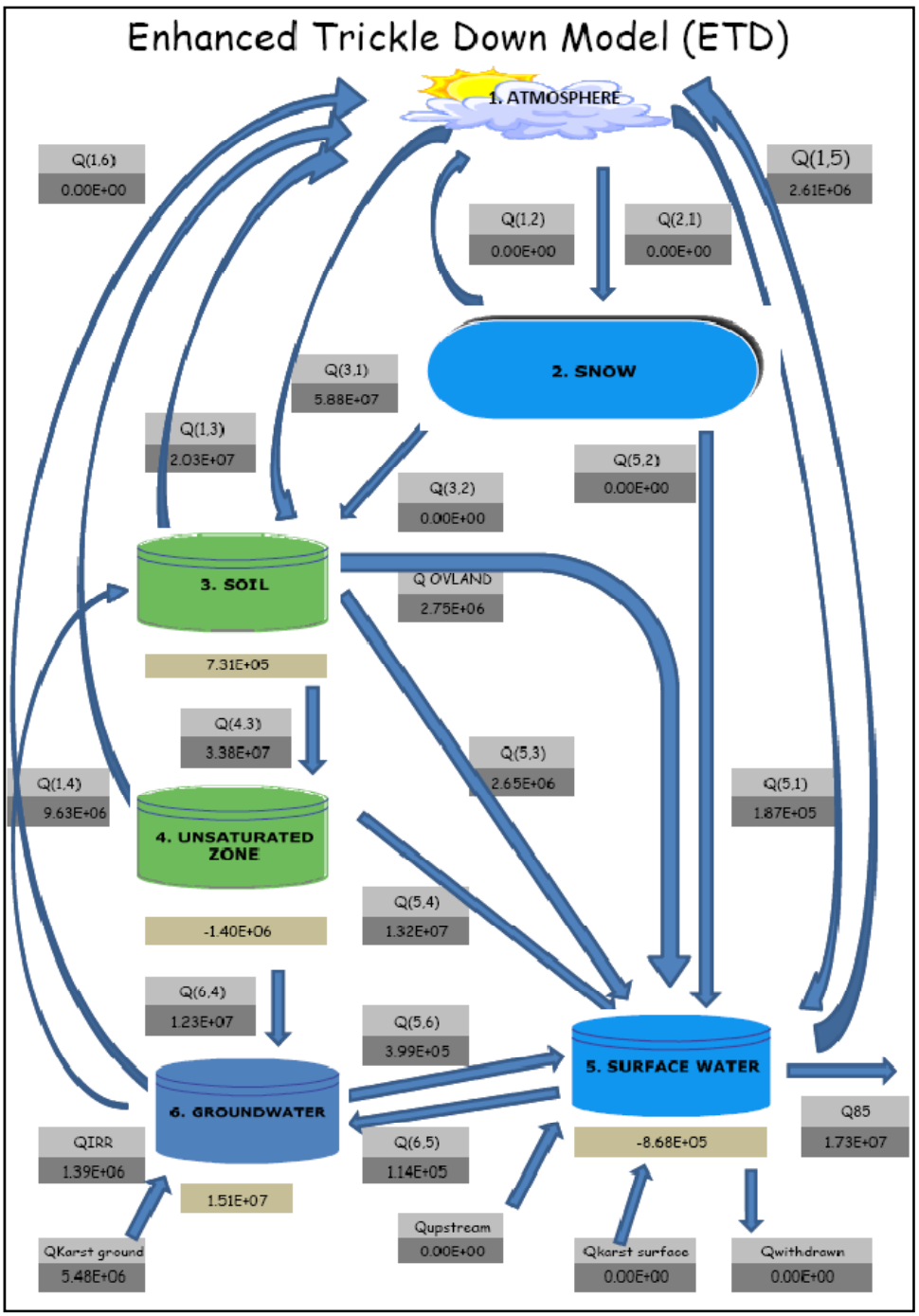


Διάγραμμα 5.20 Προσομοίωση της λεκάνης απορροής του ποταμού Λουτάνη για την περίοδο 2000-2004.

Σύμφωνα με την ανάλυση που προκύπτει στην λεκάνη απορροής του ποταμού Λουτάνη κατά την περίοδο 2000-2004 η ποσότητα νερού που εκρέει είναι 86,7 εκ. m^3 με την μέση ετήσια εκροή να εκτιμάται σε 17,3 εκ. m^3 νερού. Η μέση ετήσια εξάτμιση αποτελεί το 51% της συνολικής βροχόπτωσης, η απορροή το 29% και η κατείσδυση το 20% . Να σημειωθεί επιπλέον ότι στην όλη διαδικασία προσομοίωσης, όπως αναφέρουμε και παραπάνω, συμπεριλαμβάνεται και ο παράγοντας των υπόγειων αντλήσεων. Αναλυτικά το ισοζύγιο της περιόδου 2000-2004 παρουσιάζεται στο **Διάγραμμα 5.18** ενώ στο **Διάγραμμα 5.19** παρουσιάζεται το μέσο ετήσιο ισοζύγιο για την λεκάνη του ποταμού Πελέμονη.



Διάγραμμα 5.21 Σχηματική παρουσίαση υδρολογικής ανάλυσης της λεκάνης απορροής του ποταμού Λουτάνη με το μοντέλο ETD – Ισοδύναμα m νερού περιόδου 2000-2004.



Διάγραμμα 5.22 Σχηματική παρουσίαση υδρολογικής ανάλυσης της λεκάνης απορροής του ποταμού Λουτάνη με το μοντέλο ETD – Μέση ετήσια παροχή νερού m^3 περιόδου 2000-2004.

5.4 Μοντελοποίηση υπόγειου υδροφορέα

Υδροφορέας είναι ο υπεδάφιος σχηματισμός που περιέχει σημαντικές ποσότητες διαπερατών υλικών κορεσμένων με νερό, που μπορούν να προμηθεύουν με υδατικές ποσότητες γειτονικά φρέατα και πηγές. Οι περισσότεροι υδροφορείς εκτείνονται σε μεγάλη έκταση και έτσι μπορούν να θεωρηθούν σαν υπόγειες δεξαμενές. Ταξινομούνται σε δύο κατηγορίες με βάση την θέση του υδροφόρου ορίζοντα, τους ελεύθερους υδροφορείς (unconfined aquifers), όπου η ανώτερη επιφάνεια τους είναι ο υδροφόρος ορίζοντας και τους περιορισμένους ή αρτεσιανούς υδροφορείς (confined aquifers), οι οποίοι περιέχουν νερό υπό πίεση μεγαλύτερη της ατμοσφαιρικής και περιορίζονται (Καρατζάς, 2002).

Σύμφωνα με την Οδηγία-Πλαίσιο 2000/60 για τους υδατικούς πόρους, είναι αναγκαία και επιβεβλημένη η ύπαρξη δικτύου παρακολούθησης της στάθμης και της χημικής κατάστασης του υπόγειου ύδατος και η λήψη αξιόπιστων μετρήσεων. Η λειτουργία των δικτύων αυτών βασίζεται στη χρήση μαθηματικών προσομοιώσεων και στην πρόβλεψη της συμπεριφοράς του συστήματος υπογείων υδάτων σε διάφορες υποθετικές καταστάσεις (σενάρια). Οι μετρήσεις πεδίου έχουν διπλό ρόλο, επιτρέποντας τη βαθμονόμηση και συμβάλλοντας στην αύξηση της αξιοπιστίας του μοντέλου

Μετά την μοντελοποίηση της εκφόρτισης των καρστικών πηγών καθώς και της υδρολογίας με το μοντέλο ETD των δύο κύριων λεκανών απορροής (Λουτάνη-Πελέμονη) της ευρύτερης περιοχής του Δήμου Αφάντου έγινε προσπάθεια μοντελοποίησης και πρόβλεψης των υπογείων αποθεμάτων ύδατος (υπόγειος υδροφορέας). Χρησιμοποιήθηκε το περιβάλλον εισαγωγής Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών «Argus One - GIS» σε συνδυασμό με τον αλγόριθμο «PTC - Princeton Transport Code», για την περιγραφή και επίλυση με των εξισώσεων ροής του υπόγειου υδροφορέα.

5.4.1 Σύντομη περιγραφή λογισμικού Argus One και μοντέλου PTC

Το λογισμικό πακέτο Argus One-GIS υποστηρίζει μεγάλο πλήθος μοντέλων υπογείων υδάτων, πλήθος το οποίο κάνει το Argus One - GIS ιδανικό Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών GIS που βασίζεται σε μοντελοποιημένο περιβάλλον για την επίλυση κάθε είδους προβλήματος. Το Argus One, GIS σε αλληλεπίδραση με το χρήστη, είναι διαθέσιμο σε μοντέλα σημαντικότερα των οποίων είναι : το PTC (3-D πρόγραμμα προσομοίωσης πεπερασμένων στοιχείων για τη ροή των υπογείων υδάτων και την μεταφορά διαλυτών ουσιών), το MODFLOW, το NAPL, το SUTRA, το HST3D κ.α *(www.argusint.com/index.html)*.

Ο κώδικας PTC γραμμένος σε γλώσσα FORTRAN, επιλύει χωρικές διαφορικές εξισώσεις που περιγράφουν την ροή των υπογείων υδάτων και την μεταφορά ρύπων. Έχει σχεδιαστεί κατά βάση για πρακτικούς σκοπούς παρά για θεωρητικούς και επικεντρώνεται στις αριθμητικές μεθόδους επίλυσης και στην βιβλιογραφία όσον αφορά πηγές υδάτων.

Ο κώδικας PTC χρησιμοποιεί το ακόλουθο σύστημα μερικών διαφορικών εξισώσεων για την αναπαράσταση της ροής των υπογείων υδάτων:

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(K_{xx}\frac{\partial h}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(K_{yy}\frac{\partial h}{\partial y}\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left(K_{zz}\frac{\partial h}{\partial z}\right)-S\frac{\partial h}{\partial t}+Q=0$$

τα συστατικά της ταχύτητας των υπογείων υδάτων,

$$V_x=-K_{xx}\frac{\partial h}{\partial x},\ V_y=-K_{yy}\frac{\partial h}{\partial y},\ V_z=-K_{zz}\frac{\partial h}{\partial z},$$

και την μεταφορά των διαλυτών ουσιών που περιγράφεται από την συγκέντρωση,

$$\frac{\partial}{\partial x}\left[D_{xx}\frac{\partial c}{\partial x}+D_{xy}\frac{\partial c}{\partial y}+D_{xz}\frac{\partial c}{\partial z}\right]+\frac{\partial}{\partial x}\left[D_{yx}\frac{\partial c}{\partial x}+D_{yy}\frac{\partial c}{\partial y}+D_{yz}\frac{\partial c}{\partial z}\right]$$

$$+\frac{\partial}{\partial z}\left[D_{zx}\frac{\partial c}{\partial x}+D_{zy}\frac{\partial c}{\partial y}+D_{zz}\frac{\partial c}{\partial z}\right]-\left[V_x\frac{\partial c}{\partial x}+V_y\frac{\partial c}{\partial y}+V_z\frac{\partial c}{\partial z}\right]$$

$$+Q(c^w-c)-\theta\left[1+\mathrm{E}(c)\right](\frac{\partial c}{\partial t})=0$$

Όπου:

h : υδραυλικό ύψος [L]

Kxx, Kyy, Kzz : συνιστώσες υδραυλικής αγωγιμότητας στους άξονες x, y και z αντίστοιχα [LT-1]

S : ειδική αποθηκευτικότητα [L^{-1}]

Οι εξισώσεις αυτές παράγονται από την αρχή διατήρησης της μάζας και από το νόμο του Darcy (Babu et al., 1997).

Στο **Παράρτημα ΙΙΙ** επιλύονται αναλυτικά οι εξισώσεις του κώδικα PTC και περιγράφονται τα χαρακτηριστικά του.

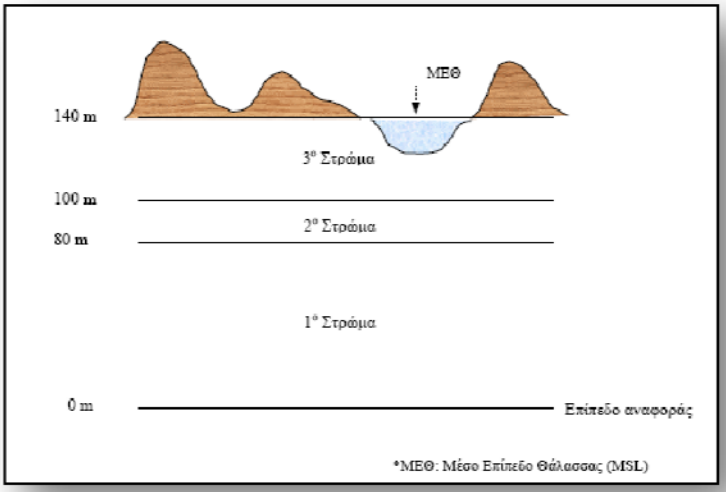
5.4.2 Προσομοίωση της υπόγειας ροής Βόρειου τμήματος νήσου Ρόδου

Αρχικά αξίζει να αναφερθεί ότι για την μοντελοποίηση του Βόρειου τμήματος της νήσου Ρόδου χρησιμοποιήθηκαν στοιχεία και δεδομένα από την Διπλωματική Εργασία «Υδρογεωλογική Μελέτη του Βόρειου Τμήματος της Νήσου Ρόδου – Προσομοίωση Υπόγειας Ροής με χρήση του Τρισδιάστατου Μοντέλου Ροής Υπογείων Υδάτων και Μεταφοράς Ρύπων "PTC" » τα οποία όμως επικαιροποιήθηκαν και τροποποιήθηκαν αναλόγως. Ελήφθησαν επιπλέον δεδομένα παροχών καθώς και στάθμες των γεωτρήσεων από την ΔΕΥΑ. Αφάντου, το Τμήμα Ανάπτυξης Φυσικών

Πόρων – Τομέας Εγγ. Βελτιώσεων και Φυσικών Πόρων, Ρόδου καθώς και από τον κ. Κυπραίο Ιωάννη (Γεωλόγος) μετά από συνεννόηση με την Δ.Ε.Υ.Α. Ρόδου.

Η προσομοίωση του μοντέλου γίνεται για δύο χρονικές περιόδους (χειμώνας – καλοκαίρι) και για περίοδο από το 1997 έως το τέλος του 2008 και τα αποτελέσματα συγκρίνονται σε μετρούμενες στάθμες του Σεπτεμβρίου 2008.

Θεωρούμε πως η υπό μελέτη περιοχή διαχωρίζεται σε τρία στρώματα **(Εικόνα 5.4)** ξεκινώντας την αρίθμηση από κάτω (πυθμένας) προς τα πάνω, ούτως ώστε να υφίσταται κάποιος διαχωρισμός ανάμεσα στις ρηχές και βαθιές γεωτρήσεις *(Στεργιάδη, 2004)*.



Εικόνα 5.4 Στρωματοποίηση περιοχής μελέτης.

Σχεδιάζεται το περίγραμμα της περιοχής μελέτης, η κλίμακα και καθορίζεται η πυκνότητα των τριγώνων του δικτύου. Ως μονάδα μήκους καθορίζεται το μέτρο και ως μονάδα χρόνου η ημέρα.

Ακολουθήθηκε η εξής διαδικασία:

- Εισάγεται το πάχος κάθε στρώματος. Τα πάχος του 1ου στρώματος θεωρείται σταθερό και ίσο με 80 m ενώ αυτό του δεύτερου σε 20 m. Το πάχος του 3ου στρώματος προκειμένου να αναπαρασταθεί το ανάγλυφο της περιοχής ορίζεται ως: (Απόσταση από τον πυθμένα) + (Απόλυτο υψόμετρο στο σημείο της γεώτρησης) όπου η απόσταση από τον πυθμένα είναι πάντα σταθερή και ίση με 140 μέτρα (η απόσταση των 140 μέτρων εκτιμήθηκε με βάση πληροφορίες για το βάθος των γεωτρήσεων). Στη συνέχεια για το 3ο στρώμα εφαρμόζεται παρεμβολή, ούτως ώστε να προκύψουν τα υψόμετρα σε κάθε σημείο της περιοχής μελέτης *(Στεργιάδη, 2004)*.
- Εισάγονται στο χάρτη οι γεωτρήσεις που αντιστοιχούν σε κάθε στρώμα, ανάλογα με το βάθος της σωλήνωσης και στις οποίες θεωρείται 2ου είδους οριακή συνθήκη (σταθερή παροχή άντλησης).
- Σε κάθε γεώτρηση ορίζεται ως αρχικό υδραυλικό ύψος το ύψος του νερού, σύμφωνα με δεδομένα πεδίου και τα σκαριφήματα των γεωτρήσεων.
- Στην παρόχθια γραμμή της νήσου Ρόδου ορίζεται οριακή συνθήκη 1ου είδους, διατηρώντας το υδραυλικό ύψος σταθερό και ίσο με 140 m.
- Στο νότιο τμήμα της υπό μελέτη περιοχής και σε κάθε στρώμα εφαρμόζεται οριακή συνθήκη 3ου είδους (διαρροής).
- Ορίζεται η υδραυλική αγωγιμότητα στις τρεις διευθύνσεις. Η υδραυλική αγωγιμότητα έχει την ίδια τιμή στην x και y διεύθυνση και διαφοροποιείται στην z διεύθυνση, όπου ισούται με το 10% της υδραυλικής αγωγιμότητας της x και y διεύθυνσης.
- Η βροχόπτωση εισάγεται στο μοντέλο με διαφορετικές τιμές για τη θερινή και χειμερινή περίοδο για κάθε έτος από το 1998 έως το 2008 σύμφωνα με την ανάλυση που περιγράφηκε στο Κεφάλαιο 3 και όπως φαίνεται στον **Πίνακα 5.10**. Για το 1998 και 1999 χρησιμοιούνται οι τιμές της βροχόπτωσης του σταθμού του Αεροδρομίου Ρόδου ενώ από το 2000-2008 ο μέσος όρος των τριών σταθμών.

- Χρησιμοποιήθηκε ένας μέσος συντελεστής διήθησης για όλη την περιοχή ίσος με 12,5% της βροχόπτωσης.
- Για την αποθηκευτικότητα, τη διασπορά και το πορώδες χρησιμοποιήθηκαν οι προκαθορισμένες τιμές του μοντέλου.

Πίνακας 5.10 Μέση βροχόπτωση για καλοκαίρι και χειμώνα (m/day)

Έτος	Βροχόπτωση (m/day)	
	Καλοκαίρι	Χειμώνας
1998	0.00057	0.0046
1999	0.00055	0.0044
2000	0.00035	0.0028
2001	0.00031	0.0025
2002	0.00050	0.0041
2003	0.00070	0.0057
2004	0.00053	0.0043
2005	0.00047	0.0038
2006	0.00033	0.0026
2007	0.00026	0.0021
2008	0.00031	0.0025

Οι οριακές συνθήκες είναι μαθηματικές εξισώσεις που καθορίζουν την εξαρτημένη μεταβλητή (υδραυλικό ύψος) ή την παράγωγο αυτής (ροή) στα όρια της υπό μελέτη περιοχής. Τα φυσικά όρια ενός συστήματος υπόγειας ροής οφείλονται στην παρουσία αδιαπέρατου πετρώματος ή μιας μεγάλης μάζας επιφανειακού νερού. Άλλα όρια, που προκύπτουν ως αποτέλεσμα υδρογεωλογικών συνθηκών, είναι νοητά και αποτελούν τα υδραυλικά ή υδρογεωλογικά όρια *(Στεργιάδη. Μ, 2004)*.

Αυτά αναπαριστώνται με τρεις τύπους μαθηματικών συνθηκών:

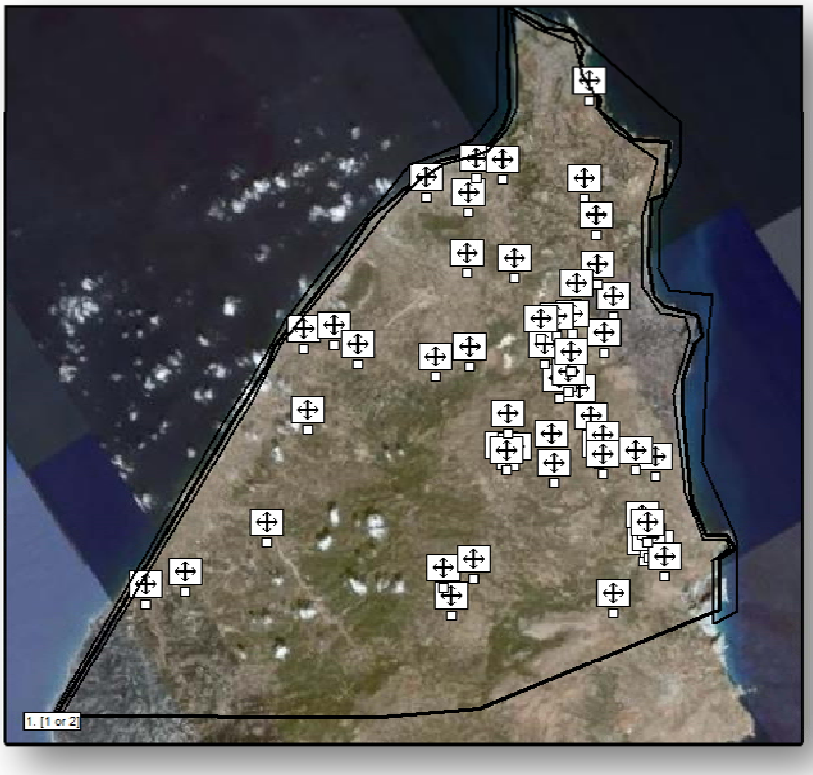
- Τις οριακές συνθήκες 1^{ου} είδους, δηλαδή τις συνθήκες σταθερού υδραυλικού ύψους (συνθήκες Dirichlet), για τις οποίες το υδραυλικό ύψος είναι δεδομένο.
- Τις οριακές συνθήκες 2^{ου} είδους, δηλαδή τις συνθήκες σταθερής ροής (συνθήκες Neumann), για τις οποίες η ροή είναι δεδομένη.

- Τις οριακές συνθήκες 3ου είδους, δηλαδή τις συνθήκες ροής εξαρτώμενης από το υδραυλικό ύψος (Cauchy ή μικτές οριακές συνθήκες), για τις οποίες η ροή διαμέσου του ορίου υπολογίζεται με βάση ένα δεδομένο υδραυλικό ύψος.

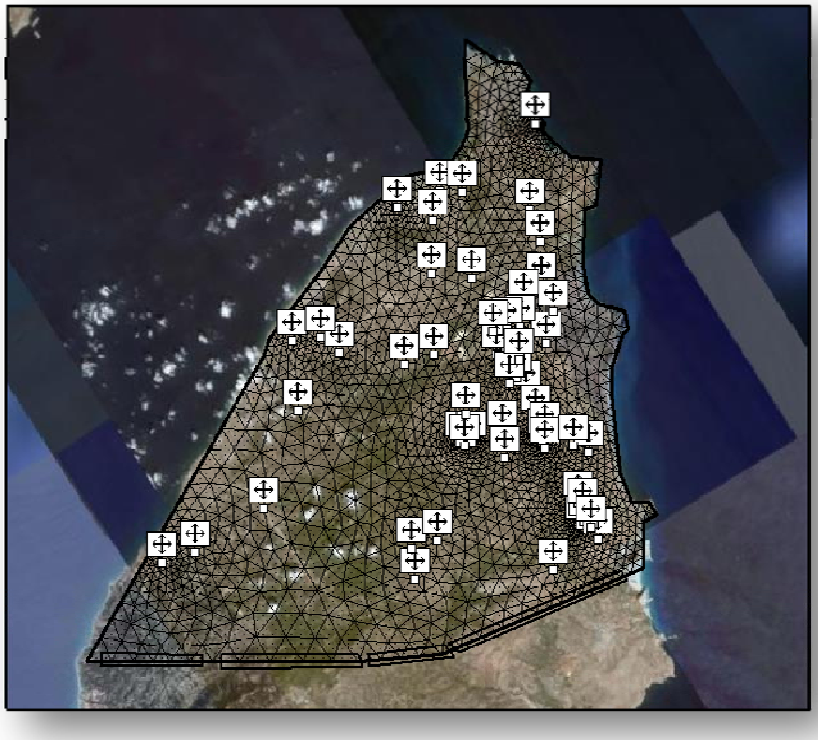
Έπειτα από την εισαγωγή των τιμών των παραπάνω παραμέτρων, πραγματοποιήσαμε τον χωρισμό της περιοχής σε στοιχεία (elements) τριγωνικής μορφής (μέσω του meshing – δημιουργία πλέγματος). Ακολούθησε η βελτιστοποίηση του εύρους ζώνης της περιοχής (optimize bandwidth) και τέλος το «τρέξιμο» του μοντέλου με τα τελικά αποτελέσματα σχετικά με τα υδραυλικά ύψη.

Κάτι σημαντικό που πρέπει να αναφερθεί και το οποίο σαφέστατα επηρεάζει τα εξαχθέντα αποτελέσματα του μοντέλου είναι πως όσο μεγαλύτερη είναι η παροχή άντλησης μιας γεώτρησης, τόσο περισσότερο αυτή θα επηρεάζει το ύψος της μεταβολής των υδραυλικών υψών. Οι παροχές των γεωτρήσεων είναι σύμφωνα με τα δεδομένα της Δ.Ε.Υ.Α. Αφάντου και παρουσιάζονται στον **Πίνακα 2.6.**

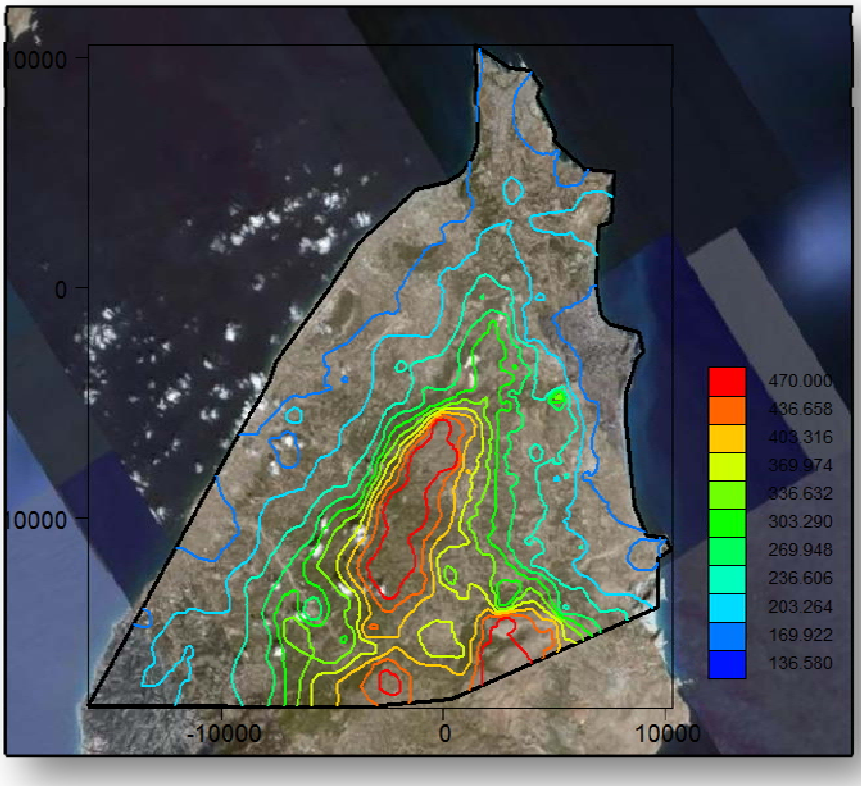
Στην **Εικόνα 5.5** παρουσιάζεται η περιοχή μελέτης, οι θέσεις των γεωτρήσεων καθώς και τα όρια της συνθήκης 1ου είδους που εφαρμόστηκαν στο παρόχθιο τμήμα της περιοχής μελέτης. Αντίστοιχα στην **Εικόνα 5.6** παρουσιάζονται οι οριακές συνθήκες τρίτου είδους καθώς και η διακριτοποίηση (mesh) που χρησιμοποιήθηκε. Στην **Εικόνα 5.7** φαίνεται το ανάγλυφο της περιοχής μελέτης ενώ στην **Εικόνα 5.8** τα αρχικά υδραυλικά ύψη (στάθμη υδροφόρου) της περιόδου 1998. Σημειώνεται και τονίζεται ότι το μέσο επίπεδο της θάλασσας (Μ.Ε.Θ) έχει οριστεί στα 140 m.



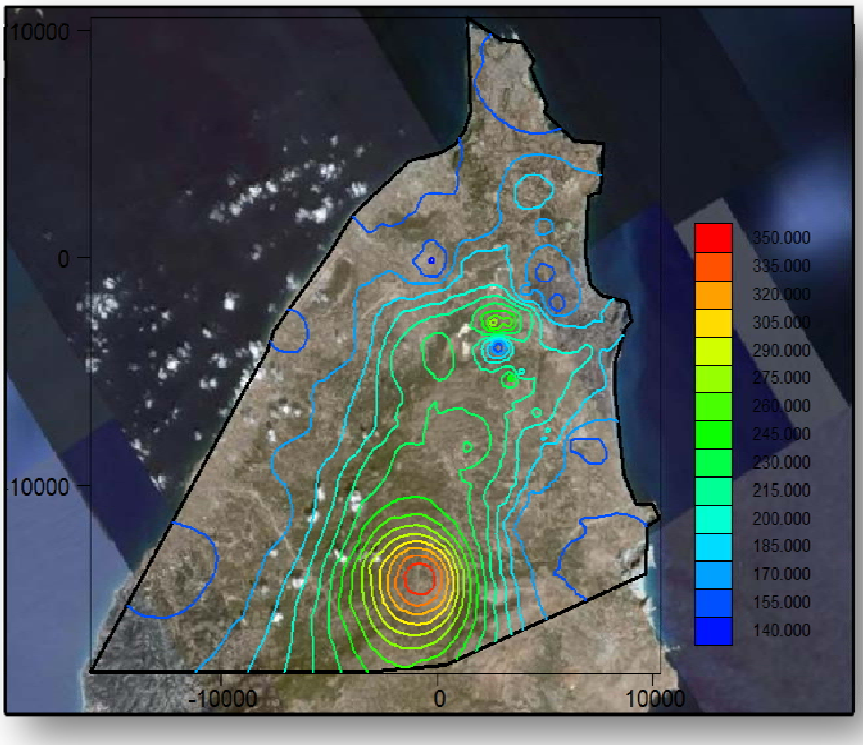
Εικόνα 5.5 Περιοχή μελέτης με θέσεις γεωτρήσεων και ορισμός οριακής συνθήκης 1ου είδους στο παρόχθια τμήμα της περιοχής μελέτης.



Εικόνα 5.6 Οριακές συνθήκες 3ου είδους και διακριτοποίηση περιοχής μελέτης.

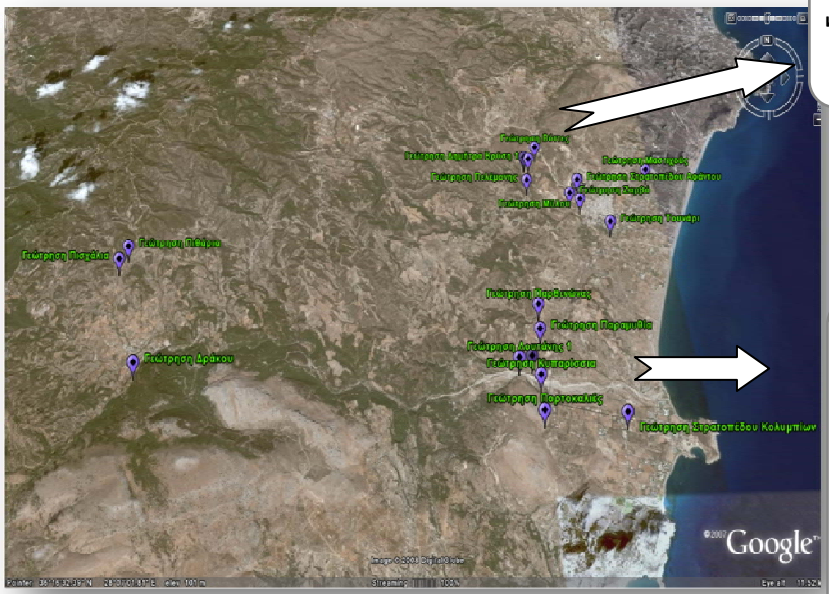


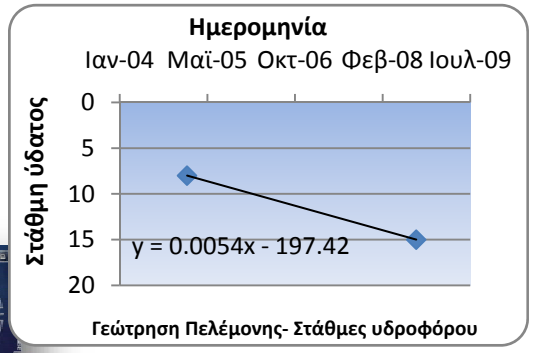
Εικόνα 5.7 Ανάγλυφο (m) περιοχής μελέτης (Μ.Ε.Θ 140m).

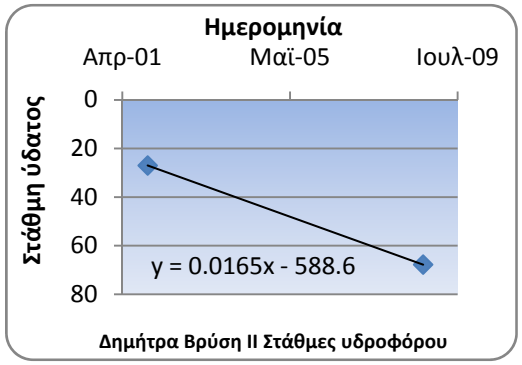


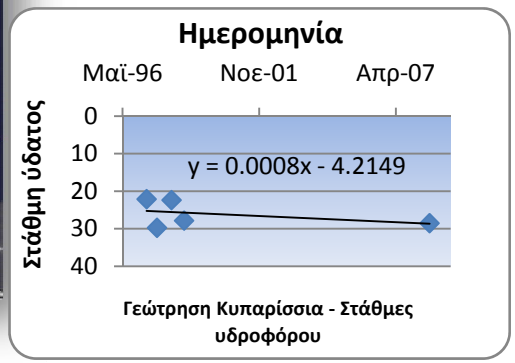
Εικόνα 5.8 Αρχικά υδραυλικά ύψη (m) περιόδου 1998 της περιοχής μελέτης (Μ.Ε.Θ 140m).

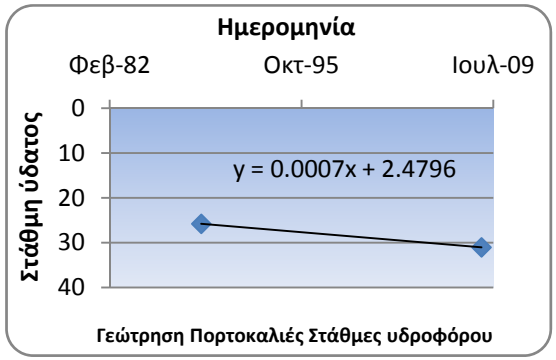
Διακύμανση στάθμης γεωτρήσεων











- Οι στάθμες των υπογείων υδροφορέων παρουσιάζουν σημαντική πτώση τα τελευταία χρόνια εξαιτίας των πολύ χαμηλών βροχοπτώσεων και της υπεράντλησης λόγω της αλματώδους αύξησης της ζήτησης του νερού.
- Σε κάποιες από τις γεωτρήσεις στην περιοχή Αφάντου παρατηρείται μια μεγάλη μείωση της στάθμης του υδροφόρου που φτάνει τα 0,3 m το χρόνο. Η λεκάνη απορροής του ποταμού Πελέμονη καλύπτει έκταση περίπου 35 km^2 .

5.4.3 Βαθμονόμηση

Χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα της βαθμονόμησης του μοντέλου για τη χρονική περίοδο Μάιος 1997 – Μάιος 1998 από την Διπλωματική Εργασία «Υδρογεωλογική Μελέτη του Βόρειου Τμήματος της Νήσου Ρόδου – Προσομοίωση Υπόγειας Ροής με χρήση του Τρισδιάστατου Μοντέλου Ροής Υπογείων Υδάτων και Μεταφοράς Ρύπων "PTC"». Στην συνέχεια εισάγοντας τα νέα δεδομένα της περιόδου Σεπτέμβριος 1998 - Σεπτέμβριος 2008 πραγματοποιείται νέα βαθμονόμηση του μοντέλου συγκρίνοντας τις τιμές του υδραυλικού ύψους που υπολογίζονται από το μοντέλο με αυτές του πεδίου για τις γεωτρήσεις του Δήμου Αφάντου.

Τα αποτελέσματα της βαθμονόμησης φαίνονται στις εικόνες που ακολουθούν (**Εικόνα 5.9** και **5.10**), από τα οποία συμπεραίνεται ότι υπάρχει πολύ καλή προσέγγιση των αποτελεσμάτων της μοντελοποίησης με τις πραγματικές συνθήκες. Η βέλτιστη δυνατή προσέγγιση των τιμών του μοντέλου με τις τιμές του πεδίου επιτυγχάνεται μεταβάλλοντας τους λόγους K/L που σχετίζονται με τις οριακές συνθήκες 3^{ου} είδους και υπόκεινται σε μεγάλη αβεβαιότητα.

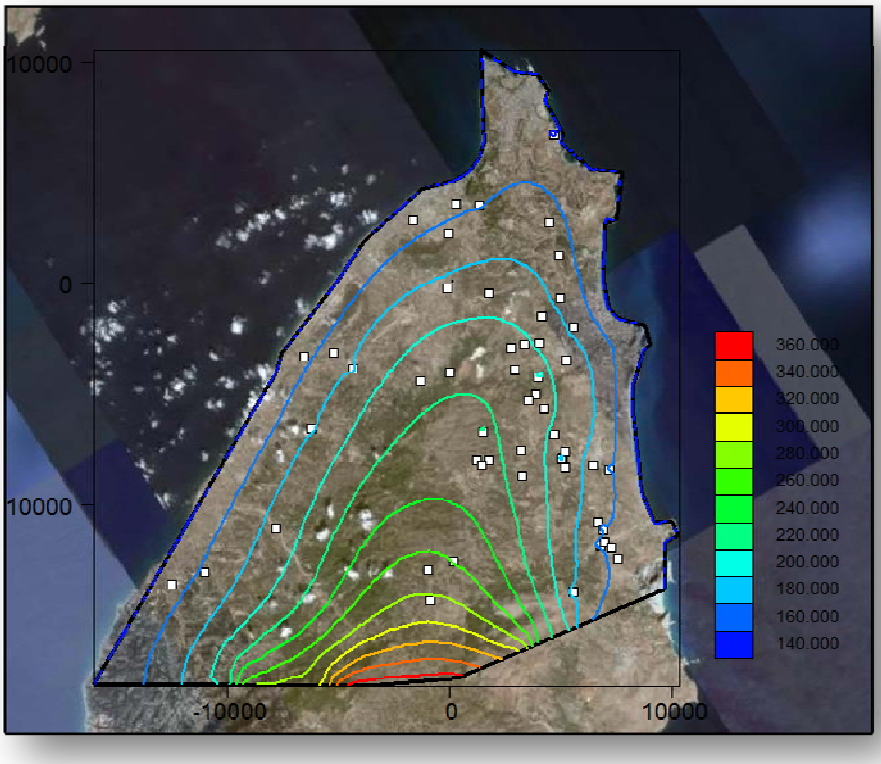
Στην **Εικόνα 5.9** παρατηρούμε ότι στο κεντρικό τμήμα της νήσου Ρόδου και συγκεκριμένα στην λεκάνη απορροής του ποταμού Λουτάνη τα υδραυλικά ύψη είναι υψηλά αναγκάζοντας την κίνηση του νερού, με μεγαλύτερες ταχύτητες από το κεντρικό τμήμα της νήσου της τάξεως των 0,06 m/day, ακτινωτά προς τις παρόχθιες περιοχές της νήσου Ρόδου. Στα σημεία υψηλής άντλησης οι ταχύτητες ροής καθώς και τα υδραυλικά ύψη γίνονται πυκνότερα. Το σύστημα με την πάροδο του χρόνου δεν εμφανίζει σημαντικές μεταβολές, καθώς βρίσκεται σε σταθερή κατάσταση. Η πτώση στάθμης των ισοϋψών του υδραυλικού ύψους στις περιοχές γύρω από τις γεωτρήσεις μαρτυρεί ότι η επίδραση των γεωτρήσεων στη στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα είναι σημαντική, ιδιαίτερα όσο απομακρυνόμαστε από το κεντρικό τμήμα του νησιού. Οι ταχύτητες ροής παραμένουν ουσιαστικά αμετάβλητες, ενώ το μέτρο τους αυξάνεται κοντά στην περιοχή επιρροής ορισμένων γεωτρήσεων.

Οι γεωτρήσεις που βρίσκονται στην παράκτια ζώνη συμβάλλουν στο φαινόμενο της υφαλμύρωσης των αποθεμάτων γλυκού νερού των παράκτιων υδροφορέων, το οποίο εμφανίζεται σε μεγαλύτερο βαθμό στο βορειότερο τμήμα της περιοχής μελέτης. Στον **Πίνακα 5.11** παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της βαθμονόμησης του μοντέλου για την περίοδο 1998 - 2008 με αυτές του πεδίου για όσες γεωτρήσεις του Δήμου Αφάντου υπήρχαν μετρήσεις πεδίου.

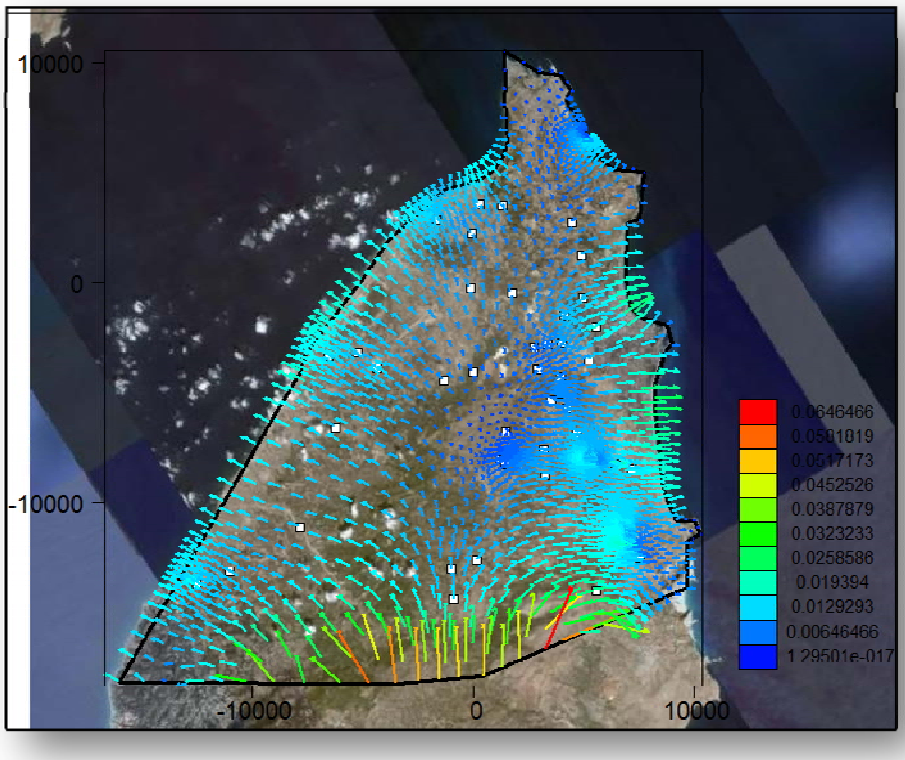
Πίνακας 5.11 Σύγκριση τιμών υδραυλικών υψών πεδίου με αυτά της μοντελοποίησης (Σεπτέμβριος 2008)

Γεώτρηση	Υδραυλικό ύψος, m (πεδίο)	Υδραυλικό ύψος, m (μοντέλο)
Πορτοκαλιές	148,7	149,8
Κυπαρίσσια	155,2	155,5
Λουτάνης 1	149,2	149,3
Λουτάνης 2	151,0	152,1
Πελέμονης	185,7	184,9

Οι τιμές από τα υδραυλικά ύψη στην περιοχή Κολύμπια έχουν απόκλιση της τάξεως του 1 με 1,5 m ενώ στις γεωτρήσεις Δυτικά της πόλης του Αφάντου <1 m. Αντίθετα στο Δυτικό τμήμα της νήσου, η έλλειψη δεδομένων από τις γεωτρήσεις κάνει το αποτέλεσμα της μοντελοποίησης ακόμη πιο δύσκολο. Οι συνεχείς μετρήσεις και η καταγραφή των δεδομένων (υδραυλικά ύψη, παροχές) θα μειώσουν αυτή την αβεβαιότητα. Ένα άλλο σημείο αβεβαιότητας είναι το γεγονός της ύπαρξης πολλών ιδιωτικών γεωτρήσεων που αντλούν από τους υπόγειους υδατικούς πόρους χωρίς αυτές να ελέγχονται.



Εικόνα 5.9 Υδραυλικά ύψη (m) Σεπτέμβριος 2008 (τιμές μοντέλου) (Μ.Ε.Θ 140 m).



Εικόνα 5.10 Ταχύτητες ροής (m/day) Σεπτέμβριος 2008 (τιμές μοντέλου).

5.5 Υπολογισμός υδατικών αποθεμάτων

Στην ενότητα ατή παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα συμπεράσματα της ανάλυσης των υδατικών αποθεμάτων ανά λεκάνη απορροής όπως αυτά προέκυψαν από τον συνδυασμό των τριών μοντέλων, τα οποία αλληλεπιδρούν δυναμικά μεταξύ τους.

Το υδατικό ισοζύγιο ορίζεται ως: $$\frac{\Delta S}{\Delta t} = P - ET - Q - Q_{\alpha\rho\delta} - Q_{\upsilon\delta}$$

Όπου $\frac{\Delta S}{\Delta t}$: Αλλαγή του αποθηκευμένου όγκου στη λεκάνη.

P : Βροχόπτωση.

ET : Εξατμισοδιαπνοή.

Q: Απορροή ποταμών.

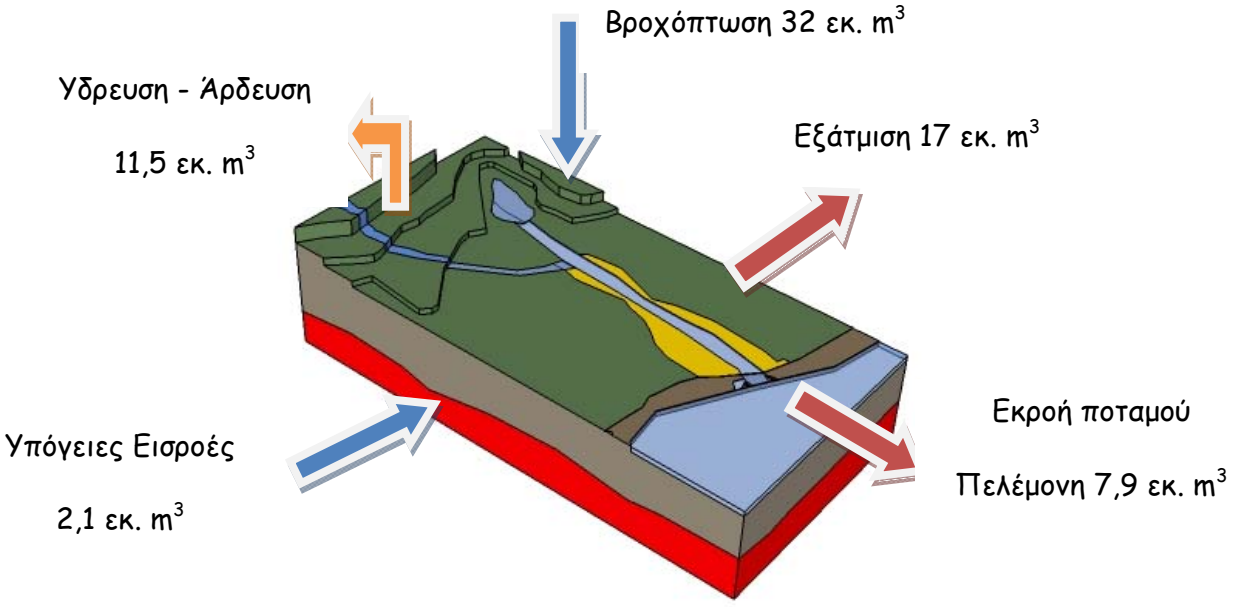
Qυδρ : Η ποσότητα ύδρευσης.

Qαρδ : Η ποσότητα άρδευσης.

5.5.1 Λεκάνη απορροής ποταμού Πελέμονη

Στην **Εικόνα 5.11** και στον **Πίνακα 5.12** παρουσιάζεται το υδατικό ισοζύγιο όπως αυτό προέκυψε από την μοντελοποίηση της λεκάνης απορροής του ποταμού Πελέμονη. Η μέση ετήσια βροχόπτωση της οκταετίας εκτιμήθηκε σε 32 εκ. m^3. Οι υπόγειες καθαρές εισροές από γειτονικές λεκάνες εκτιμήθηκαν σε 2,1 εκ. m^3 ανεβάζοντας το σύνολο των μέσων ετήσιων εισροών στα 34,1 εκ. m^3 το χρόνο. Η

εξάτμιση και η εκροή του ποταμού Πελέμονη υπολογίστηκαν με βάση το μοντέλο ETD σε 17 και 7,9 εκ. m^3 αντιστοίχως. Η διαφορά των εκροών από τις εισροές ορίζει το ρυθμιστικό απόθεμα του υδροφορέα για την λεκάνη του Πελέμονη ίσο με 9,2 εκ. m^3.



Εικόνα 5.11 Σχηματική απεικόνιση υδατικού ισοζυγίου λεκάνης απορροής ποταμού Πελέμονη

Πίνακας 5.12 Υδατικό ισοζύγιο λεκάνης απορροής ποταμού Πελέμονη

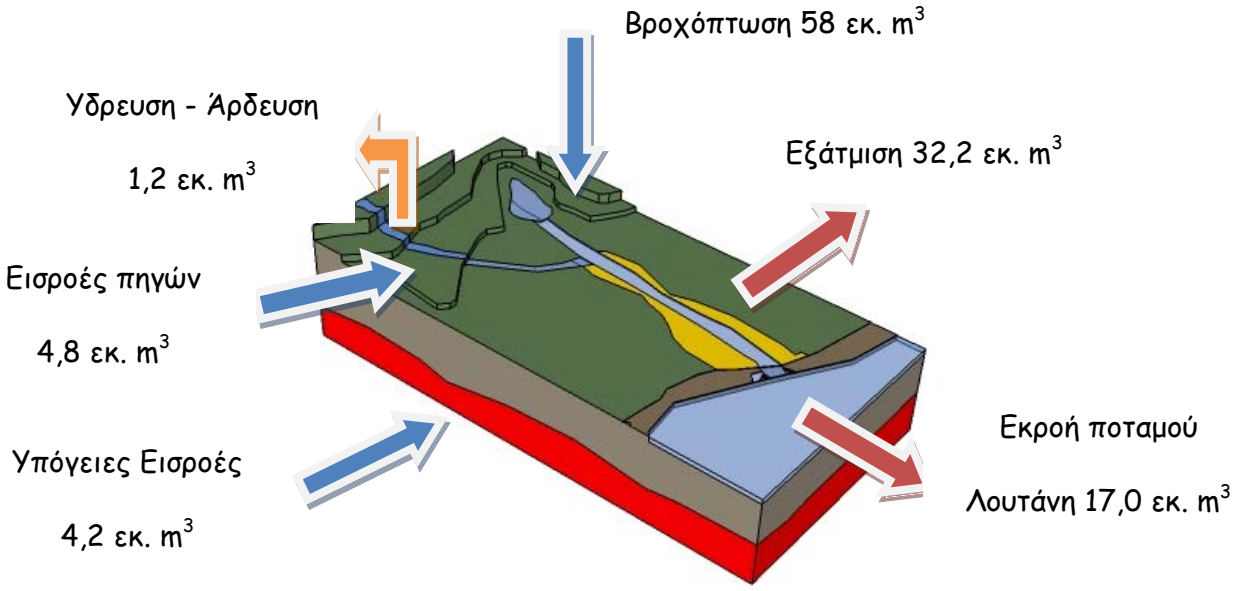
			Σύνολο
Εισροές (εκ. m^3/year)	32,0 (Βροχόπτωση)	2,1 (Υπόγειες εισροές)	34,1
Εκροές (εκ. m^3/year)	17,00 (Εξάτμιση)	7,9 (Εκροή ποταμού)	24,9
	Φέρουσα Ικανότητα Υδροφορέα		**9,2**

Η μέση ετήσια Φέρουσα Ικανότητα του Υδροφορέα στην λεκάνη απορροής του ποταμού Πελέμονη είναι 9,2 εκ m^3 και εκμεταλλευόμαστε 11,5 εκ. m^3 για τις ανάγκες ύδρευσης και άρδευσης. Κάτω από μέσες συνθήκες το ισοζύγιο της λεκάνης είναι ελλειμματικό. Αυτό επαληθεύεται από την μοντελοποίηση του υπόγειο υδροφορέα στον οποίο παρουσιάζεται ταπείνωση του υπόγειου υδροφορέα στην περιοχή Δυτικά της πόλης του Αφάντου της τάξεως των 0,3 m / έτος. Ο υδροφόρος της περιοχής βρίσκεται σε οριακή κατάσταση και έλλειψη οποιασδήποτε ορθολογιστικής διαχείρισης των υδατικών πόρων σε συνδυασμό με την μείωση των βροχοπτώσεων

και αποσταθεροποίησης του κλίματος (μεγάλες περιόδους ανομβρίας) δημιουργεί πρόβλημα που απαιτεί άμεση προσοχή.

5.5.2 Λεκάνη απορροής ποταμού Λουτάνη

Στην **Εικόνα 5.12** και στον **Πίνακα 5.13** παρουσιάζεται το υδατικό ισοζύγιο όπως αυτό προέκυψε από την μοντελοποίηση της λεκάνης απορροής του ποταμού Λουτάνη. Η μέση ετήσια βροχόπτωση της οκταετίας εκτιμήθηκε σε 58 εκ. m^3. Οι υπόγειες καθαρές εισροές από γειτονικές λεκάνες εκτιμήθηκαν σε 4,2 εκ. m^3 ανεβάζοντας το σύνολο των μέσων ετήσιων εισροών στα 62,2 εκ. m^3 το χρόνο. Η εξάτμιση και η εκροή του ποταμού Πελέμονη υπολογίστηκαν με βάση το μοντέλο ETD σε 32,2 και 17,0 εκ. m^3 αντιστοίχως. Η διαφορά των εκροών από τις εισροές ορίζει το ρυθμιστικό απόθεμα του υδροφορέα για την λεκάνη του Πελέμονη ίσο με 13,0 εκ. m^3.



Εικόνα 5.12 Σχηματική απεικόνιση υδατικού ισοζυγίου λεκάνης απορροής ποταμού Λουτάνη

Πίνακας 5.13 Υδατικό ισοζύγιο λεκάνης απορροής ποταμού Λουτάνη

			Σύνολο
Εισροές (εκ. m^3/year)	58,0 (Βροχόπτωση)	4,2 (Υπόγειες εισροές)	62,2
Εκροές (εκ. m^3/year)	32,2 (Εξάτμιση)	17,0 (Εκροή ποταμού)	49,2
	Φέρουσα Ικανότητα Υδροφορέα		**13,0**

Η μέση ετήσια Φέρουσα Ικανότητα του Υδροφορέα στην λεκάνη απορροής του ποταμού Πελέμονη είναι 13,0 εκ m^3 από τα οποία εκμεταλλευόμαστε τα 1,2 εκ. m^3 για τις ανάγκες ύδρευσης και άρδευσης και ένα ποσοστό των 4,8 εκ. m^3 των πηγών .

Σε αντίθεση με την λεκάνη απορροής του ποταμού Πελέμονη και όπως προκύπτει και από την μοντελοποίηση του υπόγειου υδροφορέα στην λεκάνη απορροής του ποταμού Λουτάνη συναντώνται μεγάλα υδραυλικά ύψη ενώ δεν παρουσιάζεται μείωση του υδροφόρου. Το ισοζύγιο κάτω από κανονικές συνθήκες είναι πλεονασματικό. Από τα 13 εκ. m^3 του ρυθμιστικού αποθέματος εκμεταλλευόμαστε λιγότερο από 3 εκ. m^3 που σημαίνει ότι υπάρχουν 10 εκ. m^3 νερού προς εκμετάλλευση. Το μεγαλύτερο μέρος του δυναμικού των υδατικών πόρων και στις δύο λεκάνες χάνεται και εκρέει στην θάλασσα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

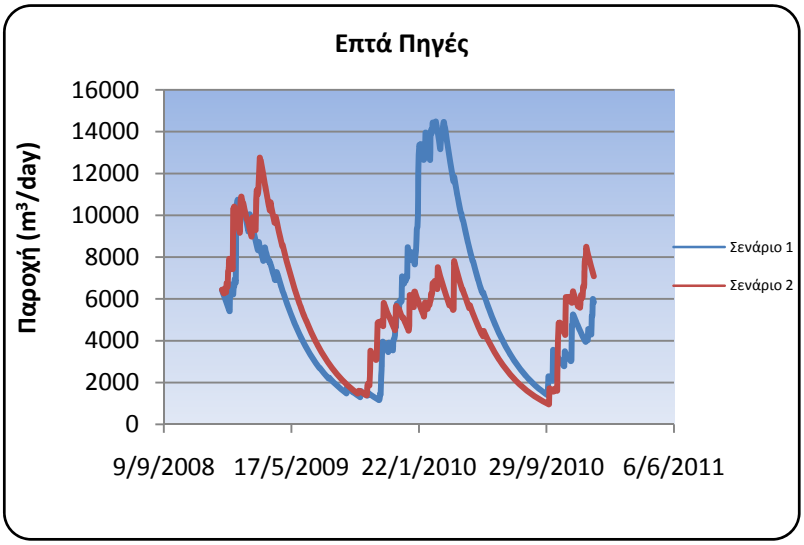
6.1 Σενάρια διαχείρισης υδατικών πόρων

Οι υδατικοί πόροι επηρεάζονται από πολλούς παράγοντες όπως είναι οι κλιματικές αλλαγές, οι αλλαγές στο είδος φυτοκάλυψης, η αλλαγή στις πρακτικές διαχείρισης της γης, και τέλος σε ανθρωπογενείς παρεμβάσεις. Για τον σκοπό αυτό κρίθηκε αναγκαία η δημιουργία σεναρίων που να οφείλονται στις κλιματικές αλλαγές καθώς και σε πρακτικές διαχείρισης της γης και σε ανθρωπογενείς παρεμβάσεις.

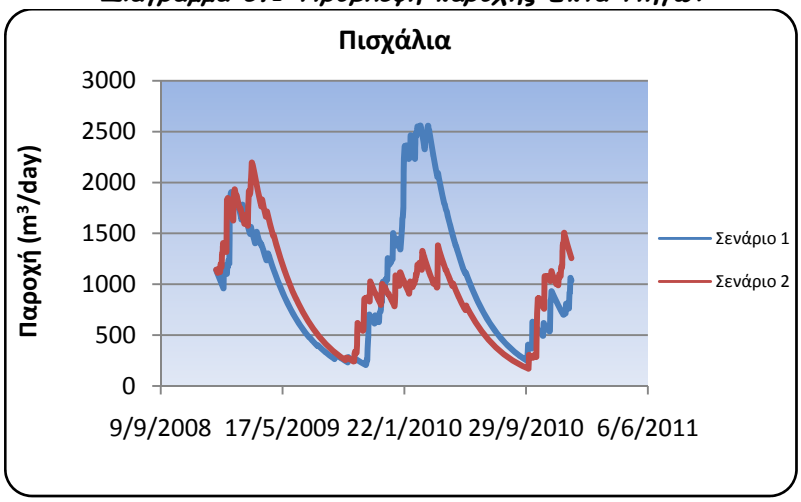
6.1.1 Μοντέλο πρόβλεψης παροχής πηγών

Η έρευνα επικεντρώθηκε στον υπολογισμό των επιπτώσεων που επιφέρουν οι κλιματικές αλλαγές στις καρστικές πηγές που βρίσκονται στην λεκάνη απορροής του ποταμού Λουτάνη οι οποίες βαθμονομήθηκαν, μοντελοποιήθηκαν και υπολογίστηκαν οι παροχές τους (Ενότητα 5.2).

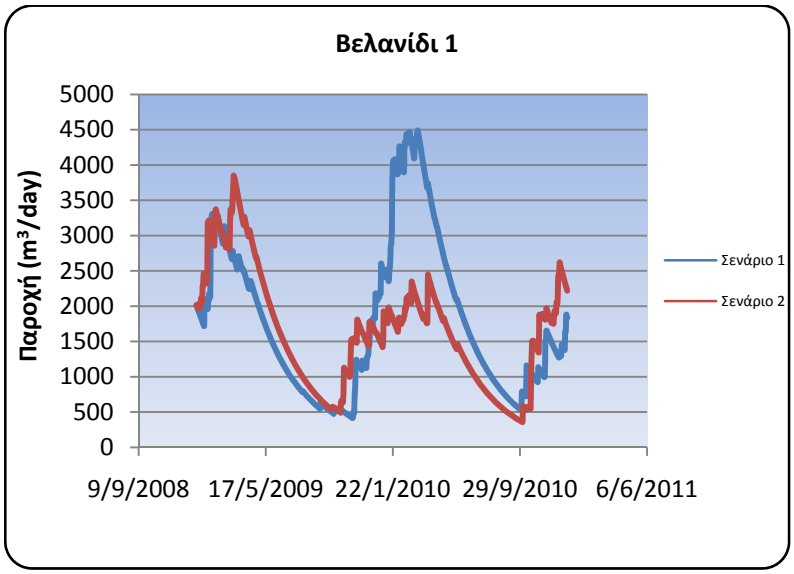
Το καρστικό μοντέλο μας δίνει την δυνατότητα εκτίμησης και πρόβλεψης των μελλοντικών παροχών των πηγών με βάση τα μετεωρολογικά δεδομένα. Η σπουδαιότητα αυτού του εργαλείου μοντελοποίησης και διαχείρισης των πηγών έγκειται στο γεγονός ότι λαμβάνοντας συνέχεια δεδομένα και μετρώντας την παροχή των πηγών μπορεί να γίνει πρόβλεψη της ποσότητας του νερού που εκφορτίζουν οι πηγές ανά πάσα στιγμή. Η διαφοροποίηση των κλιματολογικών συνθηκών επιφέρει σημαντικές μεταβολές στην ποσότητα του νερού εκφόρτισης. Έτσι για την εργασία διαχείρισης των υδατικών πόρων της ευρύτερης περιοχής του Δήμου Αφάντου δημιουργήθηκαν δύο σενάρια πρόβλεψης. Στο Σενάριο 1 θεωρήθηκε αύξηση στις βροχοπτώσεις για περίοδο δύο ετών (1/1/2009-31/12/2010) της τάξεως των 60 mm ανά έτος, ενώ στο Σενάριο 2 μείωση των βροχοπτώσεων κατά 20 mm ανά έτος για την ίδια περίοδο. Τα αποτελέσματα για όλες τις πηγές παρουσιάζονται στα **Διαγράμματα 6.1 έως 6.4**.



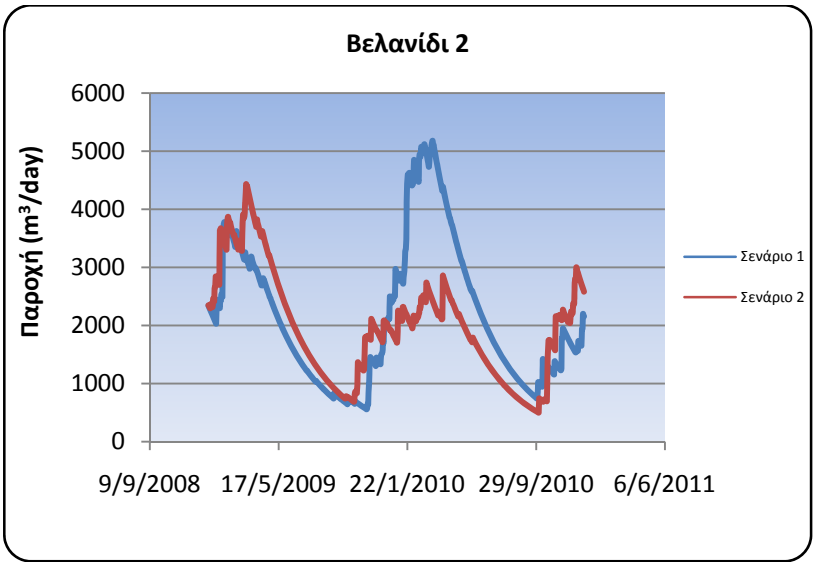
Διάγραμμα 6.1 Πρόβλεψη παροχής Επτά Πηγών



Διάγραμμα 6.2 Πρόβλεψη παροχής πηγής Πισχάλια



Διάγραμμα 6.3 Πρόβλεψη παροχής πηγής Βελανίδι 2



Διάγραμμα 6.4 Πρόβλεψη παροχής πηγής Βελανίδι 1

Αύξηση των βροχοπτώσεων το 2009 και το 2010 αυξάνει την παροχή των Επτά Πηγών η οποία μπορεί να φτάσει μέχρι τα 14.000 m^3/day, τιμή τριπλάσια από αυτή του 2007. Αντίστοιχα η πηγή δίνει μια μέση τιμή παροχής περίπου 6000 m^3/day νερό με μείωση των βροχοπτώσεων. Παρόμοιο φαινόμενο παρατηρείται σε όλες τις πηγές οι οποίες διπλασιάζουν την παροχή τους με αύξηση των βροχοπτώσεων σε σχέση με το 2007 που ήταν το πιο ξηρό έτος.

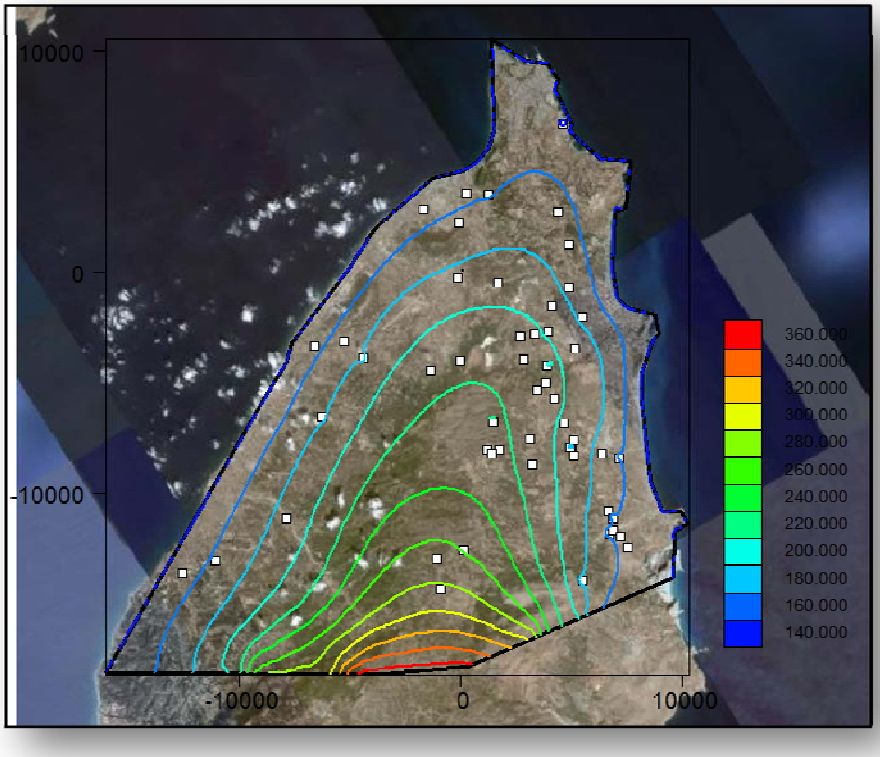
6.1.2 Σενάρια πρόβλεψης υπόγειου υδροφορέα

Λόγω των οριακών συνθηκών που παρουσιάζει ο υδροφορέας, ιδιαίτερα στην λεκάνη απορροής του ποταμού Πελέμονη κρίθηκε σκόπιμη η χρήση του κώδικα PTC για τη δημιουργία σεναρίων που οφείλονται σε πρακτικές διαχείρισης της γης και σε ανθρωπογενείς παρεμβάσεις. Για το σκοπό αυτό δημιουργήθηκαν τρία σενάρια τα οποία περιγράφονται αναλυτικά στην συνέχεια.

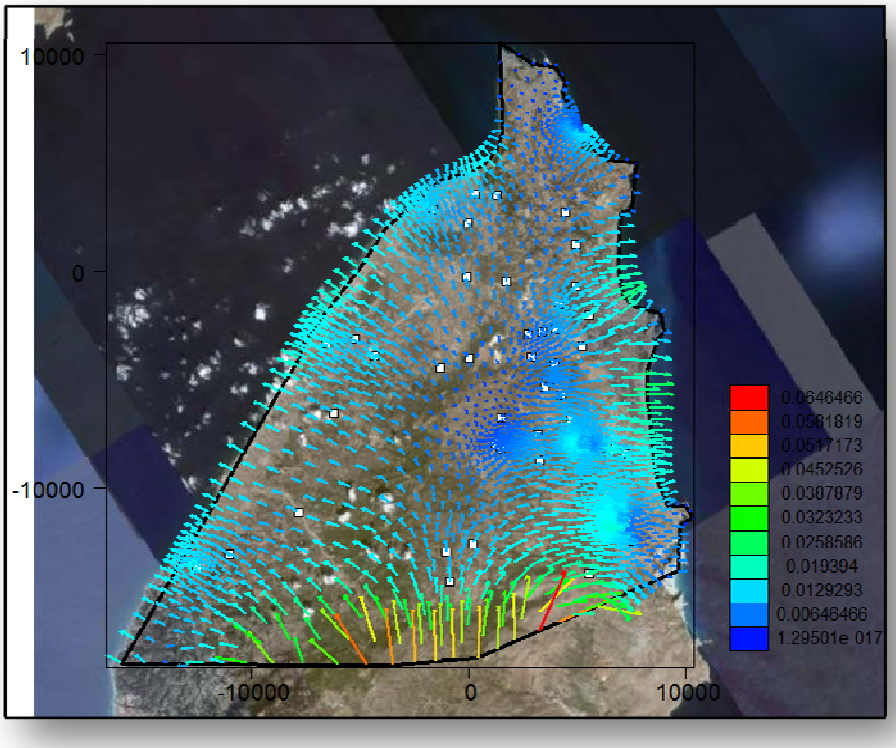
- Σενάριο 1ο. BAU (Business as usual)

Κατά το σενάριο αυτό προβλέπεται χρήση των σημερινών ποσοτήτων άντλησης έως τις 31/12/2011.

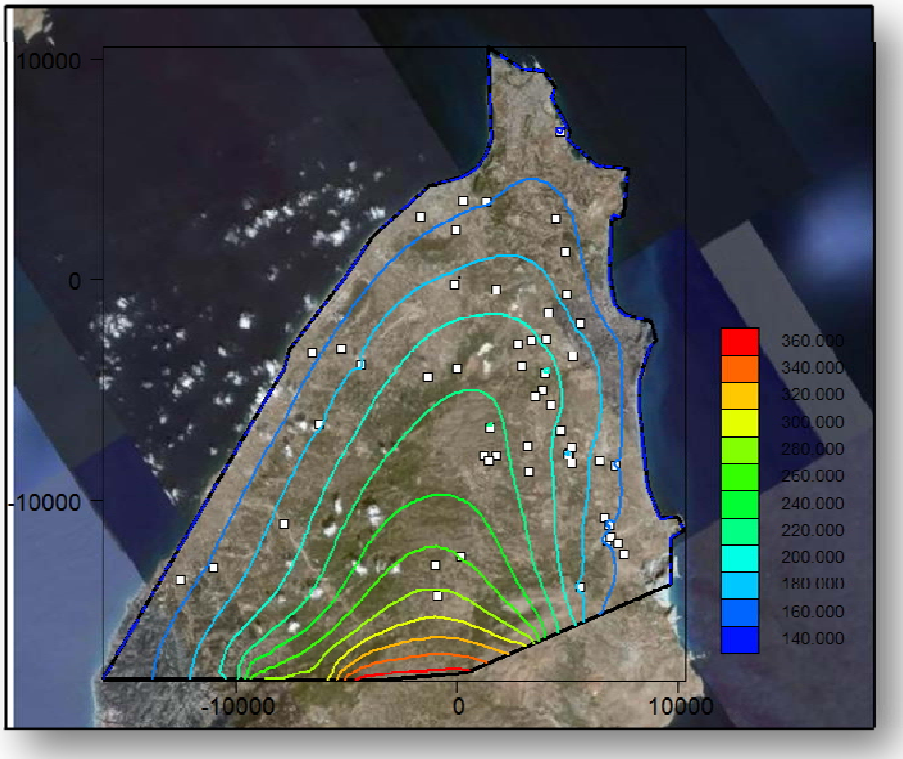
Στο Υποσενάριο 1.1 θεωρήθηκε αύξηση στις βροχοπτώσεις κατά 50 mm ανά έτος (υγρό σενάριο) για την περίοδο 1/1/2009-31/12/2011, ενώ στο Υποσενάριο 1.2 μείωση (ξηρό σενάριο) των βροχοπτώσεων κατά 20 mm ανά έτος για την ίδια περίοδο. Τα αποτελέσματα από τα προβλεπόμενα υδραυλικά ύψη, καθώς και αυτά των ταχυτήτων ροής παρουσιάζονται στις **Εικόνες 6.1 έως και 6.4**.



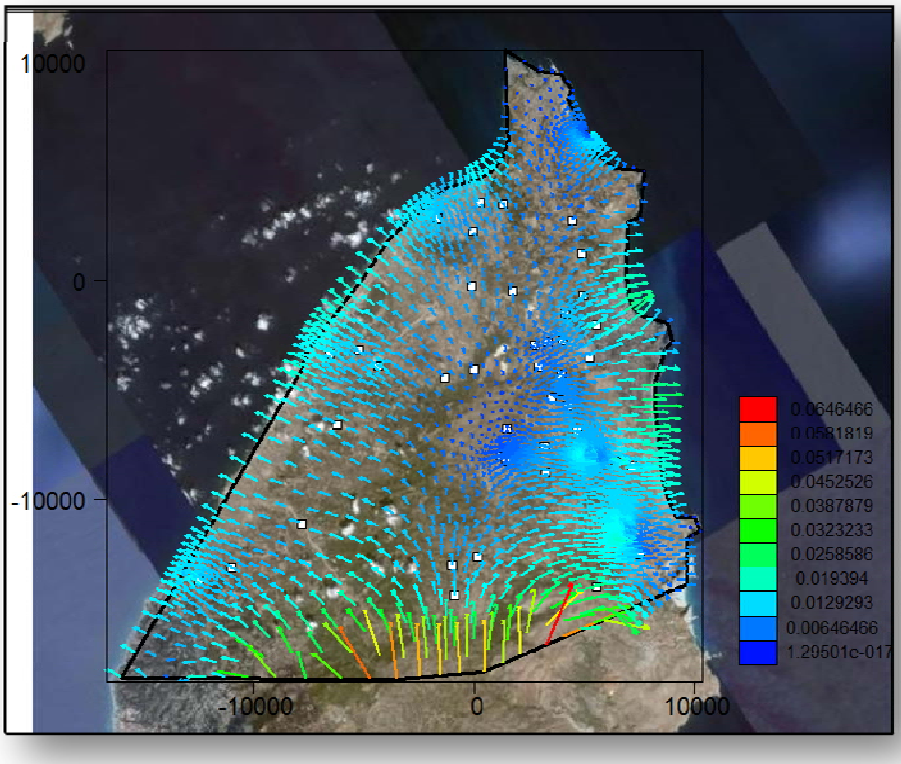
Εικόνα 6.1 Προβλεπόμενα υδραυλικά ύψη (m) Σεπτέμβριος 2011 με αύξηση των βροχοπτώσεων (Μ.Ε.Θ 140 m).



Εικόνα 6.2 Προβλεπόμενες ταχύτητες ροής (m/day) Σεπτέμβριος 2011 με αύξηση των βροχοπτώσεων.



Εικόνα 6.3 Προβλεπόμενα υδραυλικά ύψη (m) Σεπτέμβριος 2011 με μείωση των βροχοπτώσεων (Μ.Ε.Θ 140 m).



Εικόνα 6.4 Προβλεπόμενες ταχύτητες ροής (m/day) Σεπτέμβριος 2011 με μείωση των βροχοπτώσεων.

Πίνακας 6.1 Υδραυλικά ύψη Σεπτεμβρίου 2008 σε σύγκριση με αυτά του 2011 με αύξηση και μείωση των βροχοπτώσεων.

Γεώτρηση	Υδραυλικό ύψος, m (μοντέλο) 2008	Υδραυλικό ύψος, m (μοντέλο) 2011 + 50mm/έτος	Υδραυλικό ύψος, m (μοντέλο) 2011 - 20mm/έτος
Πορτοκαλιές	149,8	150,1	149,8
Κυπαρίσσια	155,5	155,6	155,5
Λουτάνης 1	149,3	150,2	149,1
Λουτάνης 2	152,1	152,9	152,1
Πελέμονης	184,9	185,4	184,9

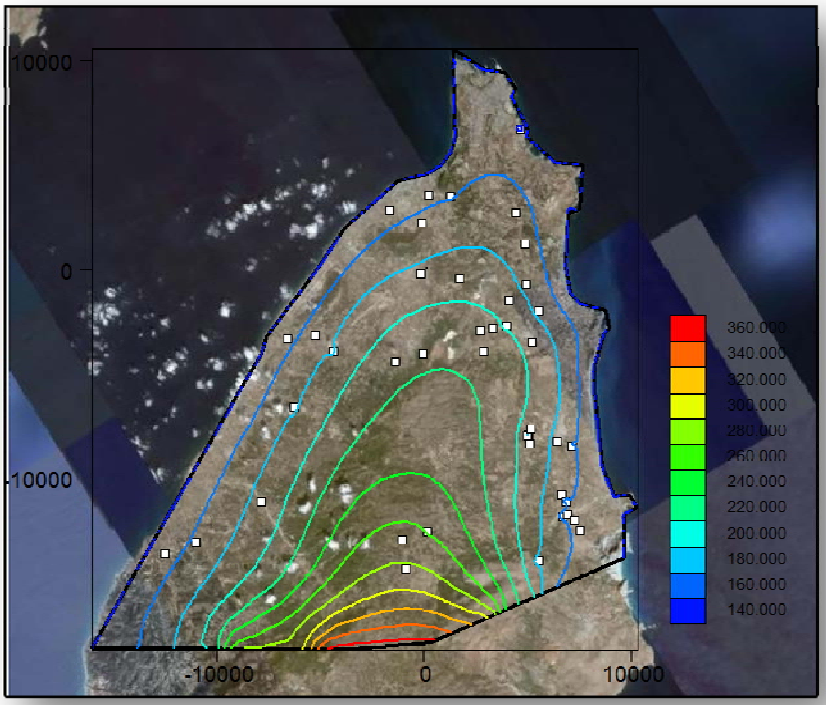
Από τον **Πίνακα 6.1** παρατηρούμε ότι αύξηση των βροχοπτώσεων, με την προϋπόθεση ότι η άντληση των γεωτρήσεων παραμένει σταθερή, θα βοηθήσει στην αύξηση του υδροφόρου ορίζοντα έως και 1 m το 2011 ενώ αντίθετα εάν συνεχιστούν οι περίοδοι ανομβρίας με μείωση των βροχοπτώσεων κατά 20 mm / έτος δεν θα μεταβληθεί η υπάρχουσα κατάσταση.

- Σενάριο 2°. Green Scenario

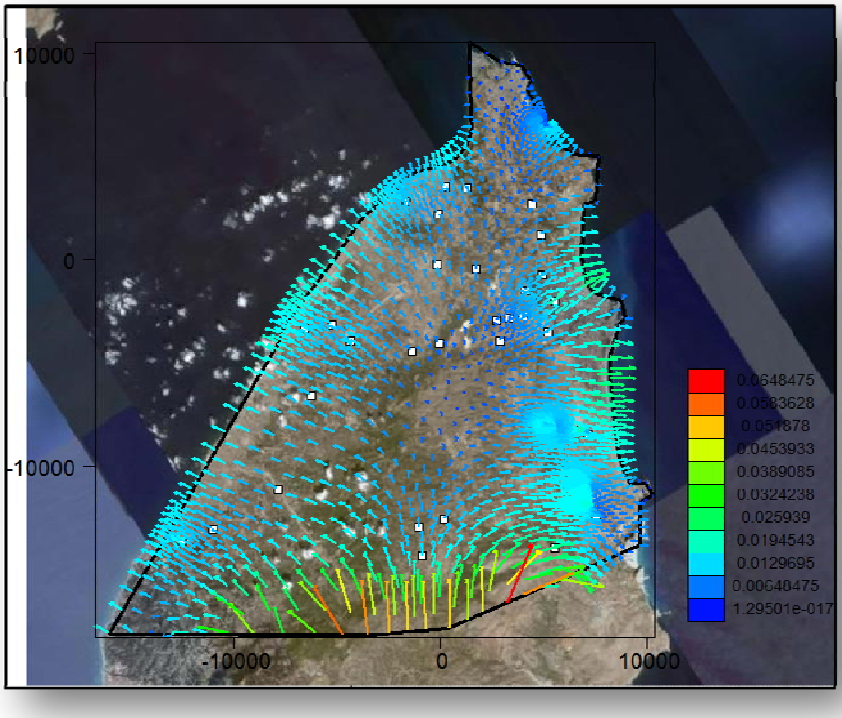
Κατά το σενάριο αυτό εξετάζεται η κατάσταση του υδροφορέα εάν στην διάρκεια 1998-2008 στην περιοχή Δυτικά του Αφάντου μειώναμε τις αντλήσεις κατά 10 εκ. m^3. όπου το πρόβλημα μείωσης του υδροφόρου ορίζοντα είναι ιδιαίτερα έντονο. Ποια θα ήταν δηλαδή η σημερινή κατάσταση του υδροφόρου ορίζοντα εάν δεν υπεραντλούσαμε στην λεκάνη απορροής του ποταμού Πελέμονη. Τα αποτελέσματα από τα υδραυλικά ύψη, καθώς και αυτά των ταχυτήτων ροής παρουσιάζονται στις **Εικόνες 6.5 έως και 6.6**. Σε σχέση με την σημερινή κατάσταση υπάρχει μια αύξηση του υδροφόρου κατά 2 έως 6 m στην περιοχή Δυτικά της πόλης του Αφάντου όπου τοποθετούνται οι γεωτρήσεις της Δ.Ε.Υ.Α. Αφάντου. Αντίθετα η μείωση των αντλήσεων δεν επηρεάζει τον υδροφόρο ορίζοντα στην ευρύτερη περιοχή του οικισμού Κολύμπια.

Πίνακας 6.2 Υδραυλικά ύψη (m) Σεπτέμβριος 2008 με μείωση των αντλήσεων κατά 10 εκ. m^3 (Green Scenario).

Γεώτρηση	Υδραυλικό ύψος, m (μοντέλο)	Υδραυλικό ύψος, m (μοντέλο) Green Scenario
Πορτοκαλιές	149,8	149,8
Λουτάνης 2	152,1	152,1
Πελέμονης	184,9	188,5
Βόττες	183,3	189,4
Δημήτρα Βρύση 2	177,9	183,5
Μύλου	173,1	174,8



Εικόνα 6.5 Υδραυλικά ύψη (m) Δεκέμβριος 2008 με μείωση των αντλήσεων κατά 10 εκ. m^3 στην λεκάνη απορροής του ποταμού Πελέμονη (Μ.Ε.Θ 140 m).



Εικόνα 6.6 Ταχύτητες ροής (m/day) Δεκέμβριος 2008 με μείωση των αντλήσεων κατά 10 εκ. m^3 στην λεκάνη απορροής του ποταμού Πελέμονη.

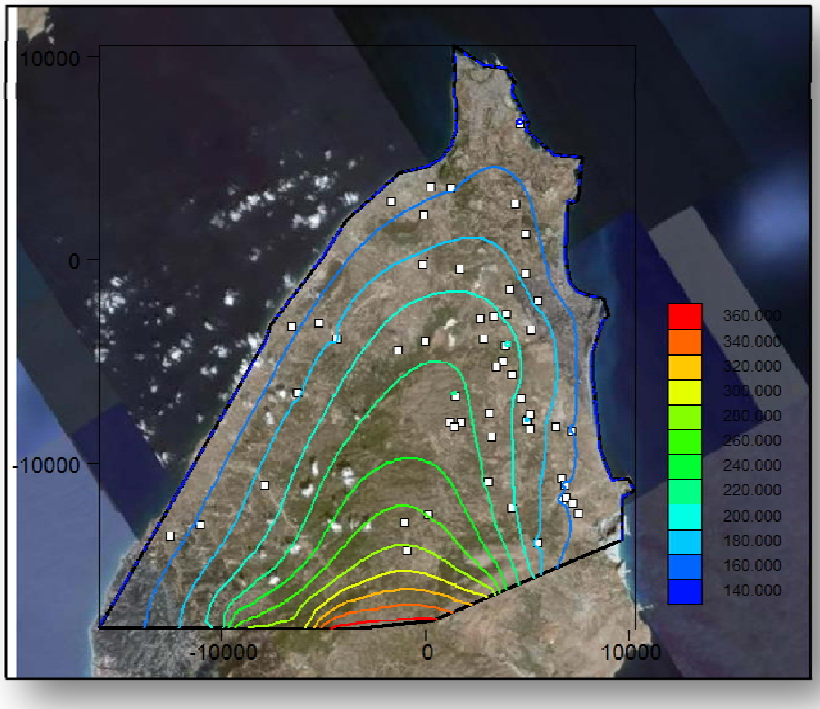
- Σενάριο 3°. Δημιουργία δύο εφεδρικών γεωτρήσεων στην λεκάνη απορροής του ποταμού Λουτάνη

Κατά το σενάριο αυτό προβλέπεται δημιουργία δύο εφεδρικών νέων γεωτρήσεων στην λεκάνη απορροής του Ποταμού Λουτάνη και σε απόσταση μεταξύ τους έτσι ώστε να μην επηρεάζει η μια την άλλη, με δυνατότητα απόληψης από την κάθε μια έως και 40 m^3 νερού ανά ώρα κατά την περίοδο, 1998-2008 για να δούμε την επίδραση στον υδροφορέα της λεκάνης απορροής του ποταμού Λουτάνη σήμερα. Τα αποτελέσματα από τα προβλεπόμενα υδραυλικά ύψη, καθώς και αυτά των ταχυτήτων ροής παρουσιάζονται στις **Εικόνες 6.8** και **6.9**. Με βάση τα αποτελέσματα αυτού του σεναρίου η διακύμανση του υδροφορέα στη περιοχή διάνοιξης των δύο νέων γεωτρήσεων είναι μηδενική έως αμελητέα (0,1 m) (**Πίνακας 6.3**). Αυτό υποδηλώνει και το πλεονάζων δυναμικό της περιοχής σε υδατικούς πόρους.

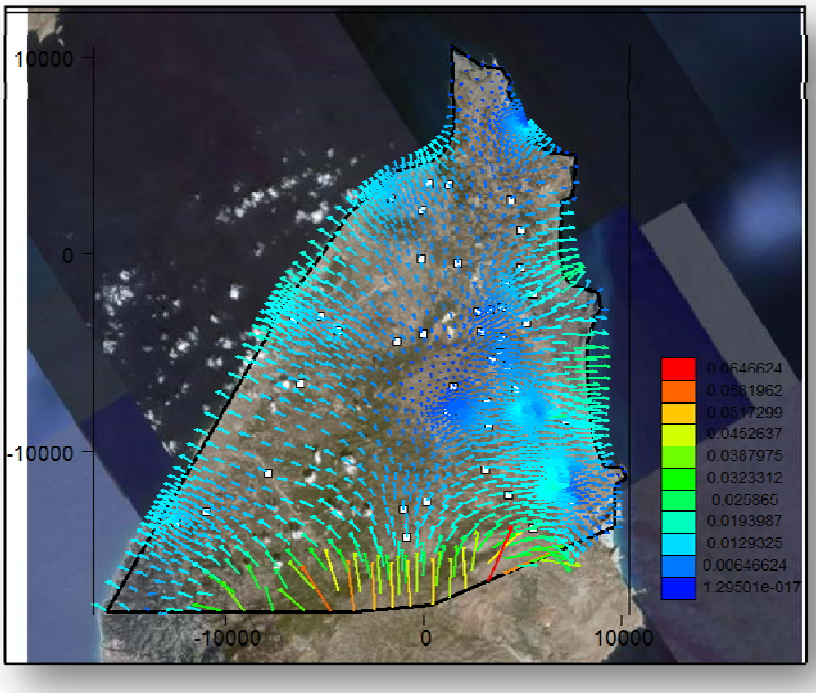
Εικόνα 6.7 Δημιουργία δύο νέων γεωτρήσεων στην λεκάνη απορροής του ποταμού Λουτάνη.

Πίνακας 6.3 Υδραυλικά ύψη μοντελοποίησης σε σύγκριση με αυτά που θα είχαμε εάν υπήρχαν δύο εφεδρικές γεωτρήσεις στην λεκάνη απορροής του ποταμού Λουτάνη (Σεπτέμβριος 2008) (Μ.Ε.Θ 140 m).

Γεώτρηση	Υδραυλικό ύψος, m (μοντέλο)	Υδραυλικό ύψος, m (μοντέλο) +2 γεωτρήσεις
Πορτοκαλιές	149,8	149,7
Λουτάνης 2	152,1	152,0
Πελέμονης	184,9	184,9
Κυπαρίσσια	155,5	155,4
Παραμυθία	158,1	158,1



Εικόνα 6.8 Υδραυλικά ύψη (m) Σεπτέμβριος 2008 με δημιουργία δύο νέων γεωτρήσεων στην λεκάνη απορροής του ποταμού Λουτάνη (Μ.Ε.Θ 140 m).



Εικόνα 6.9 Ταχύτητες ροής (m/day) Σεπτέμβριος 2008 με δημιουργία δύο νέων γεωτρήσεων στην λεκάνη απορροής του ποταμού Λουτάνη.

6.2 Προτάσεις διαχείρισης υδατικών πόρων

Η ολοκληρωμένη και βιώσιμη διαχείριση των υδατικών πόρων της ευρύτερης περιοχής του Δήμου Αφάντου, θα συμβάλλει στην αναβάθμιση του περιβάλλοντος, στην κοινωνική συνοχή, στην οικονομική προστιθέμενη αξία και γενικότερα στην αναβάθμιση της ποιότητας ζωής των πολιτών. Στρατηγικά ο Δήμος θα πρέπει να διαχειριστεί τους υδατικούς πόρους συνδυάζοντας μείωση των απωλειών των δικτύων ύδρευσης και άρδευσης, τεχνικές εξοικονόμησης ύδατος, αποκατάσταση υποβαθμισμένων υδροφορέων και ανάπτυξη των υδατικών πόρων. Η εργασία αυτή αναδεικνύει τις λεκάνες απορροής των ποταμών Λουτάνη και Πελέμονη ως βασική μονάδα σχεδιασμού. Από πλευράς διαχείρισης των υδατικών πόρων προτείνονται τα ακόλουθα:

- Δημιουργία εφεδρικών γεωτρήσεων για κάλυψη των αναγκών και καλύτερη διαχείριση των υδατικών πόρων σε καταστάσεις ανάγκης. Οι εφεδρικές

γεωτρήσεις μπορούν να κατασκευαστούν στην περιοχή μεταξύ του οικισμού Κολύμπια και του χωριού Αρχίπολη. Η μοντελοποίηση έδειξε ότι η ανάληψη έως και 80 m^3/ώρα δεν υπερβαίνει την φέρουσα ικανότητα του υδροφορέα και δεν διαταράσσει το υδατικό ισοζύγιο. Η ΔΕΥΑ. Αφάντου θα πρέπει να προβεί σε αίτηση αδειοδότησης για κάθε νέα χρήση νερού. Επίσης θα πρέπει να ξεκινήσει η διαδικασία αδειοδότησης των υπαρχόντων γεωτρήσεων ύδρευσης και άρδευσης της ΔΕΥΑ.Αφάντου από την περιφέρεια.

- Εγκατάσταση αυτοματοποιημένου συστήματος καταγραφής των υδατικών πόρων του Δήμου με την χρήση αυτοματοποιημένου μετεωρολογικού σταθμού, σταθμούς καταγραφής της στάθμης στα υδατορέματα Πελέμονη και Λουτάνη για τη βέλτιστη διαχείριση των υδατικών πόρων του Δήμου. Στο παράρτημα IV παρουσιάζεται αναλυτικά ο τρόπος διαχείρισης των υδατικών πόρων από τη ΔΕΥΑ Χανίων. Τοποθέτηση σταθμηγράφων και ροομέτρων στις γεωτρήσεις ύδρευσης, άρδευσης και σε όλες τις πηγές.
    - Τα δεδομένα θα μας δώσουν την δυνατότητα υπολογισμού λεπτομερούς υδατικού ισοζυγίου με σύστημα εισροών-εκροών και με αποτύπωση των τοπικών και χρονικών διακυμάνσεων.
    - Ακριβής μέτρηση της προσφοράς και κατανάλωσης του νερού από κάθε πηγή και σε κάθε ένα καταναλωτή.
- Θωράκιση του υδρευτικού και αρδευτικού δικτύου με στόχο την μείωση των απωλειών. Αποτύπωση του δικτύου και εγκατάσταση συστήματος ελέγχου διαρροών και αυτόματης ειδοποίησης της ΔΕΥΑ. Αφάντου.
- Σημαντικός στρατηγικός στόχος της ΔΕΥΑ. Αφάντου πρέπει να είναι η μεγιστοποίηση της αποθήκευσης του νερού μέσω του εμπλουτισμού των υδροφορέων.
    - Αξιοποίηση του ανασχετικών φραγμάτων στην περιοχή Στένης, στις Επτά Πηγές καθώς και του φράγματος στον ποταμό Πελέμονη.
    - Μέτρα προστασίας και διαχείρισης των πηγών.

- Δημιουργία φραγμάτων ανάσχεσης ροής στα ανάντη της λεκάνης απορροής για την ενίσχυση του υπόγειου δυναμικού μέσω διευκόλυνσης των εισροών νερού στους υπόγειους υδροφορείς.
- Διεύρυνση του αποθηκευτικού δυναμικού μέσω της εκμετάλλευσης επιφανειακών ταμιευτήρων σε συνδυασμό με έργα αναψυχής και προστασία φυσικού περιβάλλοντος.
- Παρεμπόδιση των απορροών των υπογείων υδροφορέων προς τη θάλασσα μέσω υπογείων φραγμάτων στεγανότητας.

➢ Ορθολογική τιμολογιακή πολιτική και ανάκτηση κόστους (χρέωση με το κυβικό και όχι με το στρέμμα). Προώθηση σύστημα κοστολόγησης του νερού σ' όλους τους τομείς το οποίο θα προστατεύει τους μικρούς και χαμηλών εισοδημάτων καταναλωτές αλλά ταυτόχρονα, θα αποτρέπει αποφασιστικά των σπατάλη του νερού.

➢ Οι χρήσεις του νερού θα πρέπει να τιμολογούνται με προοδευτικό τρόπο, ώστε να ενθαρρύνουν την εξοικονόμηση και να καθιστούν οικονομικά ασύμφορη τη σπατάλη.

- Εφαρμογή ειδικών συστημάτων εξοικονόμησης στην κατανάλωση νερού, του νιπτήρα, της τουαλέτας, του μπάνιου, των πλυντηρίων και των άλλων συσκευών οικιακής χρήσεως. Αποφυγή πλυσίματος εξωτερικών δαπέδων και οχημάτων με χύδην τρόπο (χρήση κουβά και σφουγγαρίστρα).
- Αποφυγή ποτίσματος κήπου «με το λάστιχο» (χρήση συσκευών αυτόματου ποτίσματος). Αποφυγή φυτεύσεως υδροβόρων φυτών στους κήπους όπως π.χ. γκαζόν. Συνδυασμός άγριων χόρτων, ελάχιστα υδροβόρων φυτών, π.χ. ελιές, πικροδάφνες με καλλωπιστικά φυτά.
- Εφαρμογή τρόπων άρδευσης που καταναλίσκουν το λιγότερο δυνατό νερό για το ίδιο αγροτικό προϊόν (π.χ. στάγδην κ.ά.). Χρησιμοποίηση καλλιεργειών με την ελάχιστη κατανάλωση νερού σε σχέση με άλλες

που αποδίδουν το ίδιο εισόδημα στο γεωργό (π.χ. ξηρικά σταφύλια αντί ποτιζόμενα κ.ά.). Προστασία του χωραφιού από τις ξηροθερμικές συνθήκες π.χ. φύτευση φραχτών αντιανεμικών και σκίαση καθώς και από την ταχεία απώλεια υγρασίας μέσω π.χ. χρήσης υγροσκοπικών βελτιωτικού εδάφους, ή προστασίας του υπεδάφους από την ταχεία αποστράγγιση.

- Μέτρα για την αποκατάσταση του υδροφόρου ορίζοντα στην λεκάνη απορροής του ποταμού Πελέμονη. Η ΔΕΥΑ Αφάντου σε συνεργασία με τον Δήμο Καλλιθέας και την ΔΕΥΑ Ρόδου θα πρέπει να εξετάσουν στρατηγικές αποκατάστασης του υδροφορέα που θα είναι συνδυασμός μείωσης της άντλησης (εν όψη της χρήσης του φράγματος του Γαδουρά) και μεθόδων εμπλουτισμού του υδροφορέα. Μικρά ανασχετικά φράγματα στην κυρία κοίτη του ποταμού Πελέμονη καθώς και στους παραποτάμους θα βοηθούσαν στον εμπλουτισμό του υδροφορέα και στη βελτίωση. Τα φράγματα αυτά είναι μικρού κόστους και φιλικά προς το περιβάλλον.
- Κοινωνική ευαισθητοποίηση, στο θέμα του νερού αποτελώντας ουσιώδες κοινωνικό μέσο συναίνεσης στη σωστή διαχείριση και άρση των συγκρούσεων γύρω από ανταγωνιστικές χρήσεις.

Βιβλιογραφία

ΒΑΛΤΑ. Κ, (2008) «Φυσική Αποκατάσταση ρυπαντών και Αξιολόγηση Χημικής Ποιότητας των υδάτων της λεκάνης απορροής του ποταμού Ευρώτα». Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Χανιά.

Ε.Σ.Υ.Ε. (Ελληνική Στατιστική Υπηρεσία Ελλάδος) (2001) Στατιστικά δελτία του Υπουργείου Γεωργίας για το Νομό Δωδεκανήσου για το έτος 2001.

ΚΑΡΑΤΖΑΣ. Γ (2002). Ροή Υπογείων Υδάτων και Μεταφορά Ρύπων, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Πολυτεχνείου Κρήτης.

ΟΔΗΓΙΑ 2000/60/ΕΚ, Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο και Συμβούλιο Ευρωπαϊκής Ένωσης, 2000: Οδηγία 2000/60/ΕΚ για τη θέσπιση πλαισίου κοινοτικής δράσης στον τομέα της πολιτικής των υδάτων, Επίσημη Εφημερίδα των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων (EEL 327/1/22.12.2000).

ΟΔΗΓΙΑ 98/83/ΕΚ, Συμβούλιο Ευρωπαϊκής Ένωσης, 1998: της 3ης Νοεμβρίου 1998 σχετικά με την ποιότητα του νερού ανθρώπινης κατανάλωσης, Επίσημη Εφημερίδα των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων (ΕΕ L 330/32/5.12.2998).

ΟΔΗΓΙΑ 78/659/ΕΟΚ, Ευρωπαϊκή Οικονομική Κοινότητα, 1978: περί της απαιτούμενης ποιότητας για τη διαβίωση ψαριών (κυπρινοειδών, σαλμονιδών), Επίσημη Εφημερίδα (ΕΕ L 222/14.8.1978).

Οριστική Μελέτη Φράγματος Γαδουρά, 2000. Γεωλογική Έκθεση (Τεύχος 3).

Πρόγραμμα της Ευρωπαϊκής Ένωσης "Life-Φύση, 1998", Εθνικό Κέντρο Θαλασσίων Ερευνών (ΕΚΘΕ), Αναπτυξιακή Δωδεκανήσου Α.Ε. (ΑΝΔΩ) <<Μέτρα προστασίας για το απειλούμενο ψάρι *Ladigesocypris ghigii*>> (B4-3200/98/445).

ΣΤΑΜΑΤΗ. Φ, ΤΖΩΡΑΚΗ. Ο, ΝΙΚΟΛΑΙΔΗΣ. Ν, ΒΟΖΙΝΑΚΗΣ. Κ, (2007). «Μοντελοποίηση των εκφορτίσεων του Καρστικού Συστήματος των Λευκών Ορέων στην Κρήτη».

ΣΤΕΡΓΙΑΔΗ. Μ. (2004), «Υδρογεωλογική Μελέτη του Βόρειου Τμήματος της Νήσου Ρόδου – Προσομοίωση Υπόγειας Ροής με χρήση του Τρισδιάστατου Μοντέλου Ροής Υπογείων Υδάτων και Μεταφοράς Ρύπων "PTC" ».

ΤΖΩΡΑΚΗ. Ο «Μοντελοποίηση Υδρολογικών και Γεωχημικών διεργασιών σε ποτάμιο σύστημα διαλείπουσας ροής». Διδακτορική διατριβή, Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Χανιά 2007.

ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΓΕΩΡΓΙΑΣ, 1994: Κώδικας ορθής γεωργικής πρακτικής για την προστασία των νερών από τη νιτρορύπανση γεωργικής προέλευσης, Αθήνα.

ΧΑΤΖΗΜΠΙΡΟΣ. Κ (2001), Οικολογία, Οικοσυστήματα και προστασία περιβάλλοντος, Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα, σελ. 93-100, σελ. 213-215.

European Soil Database (v 2.0), European Soil Bureau Network and the European Commission, EUR 19945 EN, March 2004"

Jaquet O., Siegel P., Klubertanz G. and Benabderrhamane H. (2004) Stochastic discrete model of karstic networks. Advances in Water Resources, 27, 751-760.

Mutti, E., Orombelli, G., Pozzi, R., 1960-1965. Geological map of Rhodes island (Greece), 3 φύλλα, University of Milan, Institute of geology, Italy.

Manda A.K. and Gross M.R. (2006) Identifying and characterizing solution conduits in karst aquifers through geospatial (GIS) analysis of porosity from borehole imagery: An example from the Biscayne aquifer, South Florida (USA). Advances in Water Resources, 29, 383-396.

NIKOLAIDIS N. P., RAJARAM H., SCHNOOR J.L., GEORGAKAKOS K.P., 1988: A generalized soft water Acidification Model, Water Research 24 (12), 1983-1996.

Nikolaidis, N.P., Hu., H., and Ecsedy, C., 1994. Effects of Climatic Variability on Freshwater Watersheds: Case Studies. Aquatic Sciences, Vol. 56, No. 2, pp. 161-178.

Nikolaidis, N.P., Hu., H., Ecsedy, C., and J. D. Lin 1993. Hydrologic Response of Freshwater Watersheds to Climatic Variability; Model Development. Water Resources Research, Vol. 29, No. 10, pp. 3317-3328.

Nikolaidis, N.P., Muller, P.K., Schnoor, J.L. and Hu, H.L. 1991. Modeling the Hydrogeochemical Response of a Stream to Acid Deposition Using the Enhanced Trickle-Down Model. Research Journal of Water Pollution Control Federation, Vol. 63, No. 3, pp. 220-227.

Nikolaidis, N.P., Schnoor, J.L., and Georgakakos, K.P. 1989. Modeling of Long-Term Lake Alkalinity Responses to Acid Deposition. Journal of Water Pollution Control Federation, Vol. 61, No. 2, pp. 188-199.

Nikolaidis, N.P., Rajaram, H., Schnoor, J.L., and Georgakakos, K.P. 1988. Generalized Softwater Acidification Model. Water Resources Research, Vol. 24, No. 12, pp. 1983-1996.

OECD, 2001: OECD National soil surface nitrogen balances database, OECD Secretariat, March 2001

Tzoraki O. and Nikolaidis N.P. (2006) Hydrologic and biogeochemical modeling of a typical temporary Mediterranean river basin. International Conference, Protection and restoration of the environment VIII, Chania, Greece, 3-7 July.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY US-EPA, 2003: 40 CFR 136 - Guidelines Establishing Test Procedures for the Analysis of Pollutants.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

(Αποτελέσματα Φυσικο-Χημικών Αναλύσεων)

Μετρήσεις pH

Δειγματοληψία 4/11/2008

Δείγμα	pH	T °C	T mean	pH mean	sd	RSD%
Αφάντου 1	8.07	20.3	20.2	8.11	0.06	0.7
Αφάντου 2	8.15	20.1				
Κολύμπια 1	8.21	20.6	20.35	8.14	0.10	1.2
Κολύμπια 2	8.07	20.1				
Λουτάνης 1	8.19	20.5	20.4	8.18	0.02	0.3
Λουτάνης 2	8.16	20.3				
Παρθενώνας 1	8.08	20.3	20.3	8.09	0.01	0.2
Παρθενώνας 2	8.1	20.3				
Βόττες 1	8.08	20.6	20.65	8.11	0.04	0.5
Βόττες 2	8.14	20.7				
Μύλου 1	8.3	20.4	20.1	8.24	0.08	1.0
Μύλου 2	8.18	19.8				
Κυπαρίσσια 1	8.18	20.9	20.85	8.22	0.05	0.6
Κυπαρίσσια 2	8.25	20.8				
Παραμυθιά 1	8.24	21.4	21.2	8.24	0.00	0.0
Παραμυθιά 2	8.24	21				
Δημήτρ. Βρύση 1.1	8.2	20.5	20.3	8.12	0.11	1.4
Δημήτρ. Βρύση 1.2	8.04	20.1				
Δημήτρ. Βρύση 2.1	8.2	20.5	20.15	8.19	0.01	0.2
Δημήτρ. Βρύση 2.2	8.18	19.8				

Μετρήσεις pH

Δειγματοληψία 14/01/2009

Δείγμα	pH	T °C	T mean	pH mean	sd	RSD%
Αφάντου 1	7.83	17.8	17.7	7.84	0.01	0.1
Αφάντου 2	7.84	17.6				
Κολύμπια 1	8.11	17.7	18.2	8.12	0.01	0.1
Κολύμπια 2	8.12	18.7				
Πιθάρια 1	8.01	18.6	18.45	8.02	0.01	0.1
Πιθάρια 2	8.02	18.3				
Πισχάλια 1	7.85	19.7	19.8	7.85	0.01	0.1
Πισχάλια 2	7.84	19.9				
Δράκου 1	7.93	18.7	19	7.94	0.01	0.1
Δράκου 2	7.94	19.3				
Πορτοκαλιές 1	8.17	19.5	19	8.17	0.00	0.0
Πορτοκαλιές 2	8.17	18.5				
Κυπαρίσσια 1	7.95	18.3	18.45	7.94	0.01	0.2
Κυπαρίσσια 2	7.93	18.6				
Παραμυθιά 1	8.05	18.7	18.15	8.06	0.01	0.1
Παραμυθιά 2	8.06	17.6				
Μύλου 1	8.07	18.9	18.35	8.07	0.01	0.1
Μύλου 2	8.06	17.8				
Δημήτρα Βρύση 2.1	7.83	17.8	18.25	7.85	0.02	0.3
Δημήτρα Βρύση 2.2	7.86	18.7				

Μετρήσεις Αγωγιμότητας

Δειγματοληψία 4/11/2008

Δείγμα	conductivity (μS)	T °C	T mean	pH mean	sd	RSD%
Αφάντου 1	822	20.3	20.2	825	*4.24*	*0.5*
Αφάντου 2	828	20.1				
Κολύμπια 1	584	20.6	20.35	586	*2.83*	*0.5*
Κολύμπια 2	588	20.1				
Λουτάνης 1	666	20.5	20.4	665.5	*0.71*	*0.1*
Λουτάνης 2	665	20.3				
Παρθενώνας 1	729	20.3	20.3	731.5	*3.54*	*0.5*
Παρθενώνας 2	734	20.3				
Βόττες 1	1352	20.6	20.65	1357	*7.07*	*0.5*
Βόττες 2	1362	20.7				
Μύλου 1	701	20.4	20.1	698.5	*3.54*	*0.5*
Μύλου 2	696	19.8				
Κυπαρίσσια 1	563	20.9	20.85	564.5	*2.12*	*0.4*
Κυπαρίσσια 2	566	20.8				
Παραμυθιά 1	1089	21.4	21.2	1068	*29.70*	*2.8*
Παραμυθιά 2	1047	21				
Δημήτρ. Βρύση 1.1	589	20.5	20.3	585	*5.66*	*1.0*
Δημήτρ. Βρύση 1.2	581	20.1				
Δημήτρ. Βρύση 2.1	591	20.5	20.15	590	*1.41*	*0.2*
Δημήτρ. Βρύση 2.2	589	19.8				

Μετρήσεις Αγωγιμότητας

Δειγματοληψία 14/01/2009

Δείγμα	conductivity (μS)	T °C	T mean	pH mean	sd	RSD%
Αφάντου 1	870	17.9	17.8	869.5	*0.71*	*0.1*
Αφάντου 2	869	17.7				
Κολύμπια 1	588	17.8	18.35	587.5	*0.71*	*0.1*
Κολύμπια 2	587	18.9				
Πιθάρια 1	766	18.8	18.65	762.5	*4.95*	*0.6*
Πιθάρια 2	759	18.5				
Πισχάλια 1	873	19.7	19.85	835.5	*53.03*	*6.3*
Πισχάλια 2	798	20				
Δράκου 1	604	18.9	19.2	603.5	*0.71*	*0.1*
Δράκου 2	603	19.5				
Πορτοκαλιές 1	461	19.6	19.15	457.5	*4.95*	*1.1*
Πορτοκαλιές 2	454	18.7				
Κυπαρίσσια 1	566	18.4	18.6	564	*2.83*	*0.5*
Κυπαρίσσια 2	562	18.8				
Παραμυθιά 1	1047	18.8	18.3	1047.5	*0.71*	*0.1*
Παραμυθιά 2	1048	17.8				
Μύλου 1	705	19	18.5	704.5	*0.71*	*0.1*
Μύλου 2	704	18				
Δημήτρ. Βρύση 2.1	628	17.9	18.35	626.5	*2.12*	*0.3*
Δημήτρ. Βρύση 2.2	625	18.8				

Μέτρηση NO_3-N (νιτρικό άζωτο)

Δειγματοληψία 4/11/2008

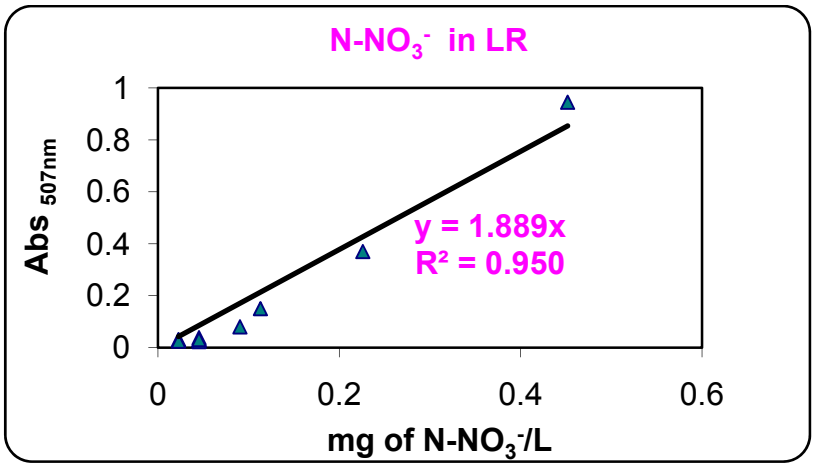
Method 8039:	0,3 to 30 mg of N-NO_3^{1-} /L					
	dl=0,31	mg/L				
Sample	Abs	Abs corr	mg N-NO_3^{1-} / L	mean	sd	RSD%
Αφάντου 1	0.032	0.008	0.5	0.44	0.04	9.4
Αφάντου 2	0.031	0.007	0.4			
Κολύμπια 1	0.035	0.011	0.6	0.65	0.00	0.0
Κολύμπια 2	0.035	0.011	0.6			
Λουτάνης 1	0.022	-0.002	-0.1	0.71	-	-
Λουτάνης 2	0.036	0.012	0.7			
Παρθενώνας 1	0.034	0.01	0.6	0.50	0.12	25.0
Παρθενώνας 2	0.031	0.007	0.4			
Βόττες 1	0.015	-0.009	-0.5	bdl	-	-
Βόττες 2	0.013	-0.011	-0.6			
Μύλου 1	0.032	0.008	0.5	0.38	0.12	32.6
Μύλου 2	0.029	0.005	0.3			
Κυπαρίσσια 1	0.035	0.011	0.6	0.53	0.17	31.4
Κυπαρίσσια 2	0.031	0.007	0.4			
Παραμυθιά 1	0.014	-0.01	-0.6	bdl	-	-
Παραμυθιά 2	0.013	-0.011	-0.6			
Δημήτρ. Βρύση 1.1	0.021	-0.003	-0.2	bdl	-	-
Δημήτρ. Βρύση 1.2	0.014	-0.01	-0.6			
Δημήτρ. Βρύση 2.1	0.03	0.006	0.4	0.32	0.04	12.9
Δημήτρ. Βρύση 2.2	0.029	0.005	0.3			
Rblnk	0.024					

Μέτρηση NO_3-N (νιτρικό άζωτο)

Δειγματοληψία 14/01/2009

Method 8039:	0,3 to 30 mg of N-NO_3^{1-} /L					
	dl=0,31	mg/L				
Δείγμα	Abs	Abs corr	mg N-NO_3^{1-} / L	mean	sd	RSD%
Αφάντου 1	0.021	-0.003	-0.2	0.59	-	-
Αφάντου 2	0.034	0.01	0.6			
Κολύμπια 1	0.039	0.015	0.9	0.88	-	-
Κολύμπια 2	0.023	-0.001	-0.1			
Πιθάρια 1	0.025	0.001	0.1	0.06	-	-
Πιθάρια 2	0.018	-0.006	-0.4			
Πισχάλια 1	0.018	-0.006	-0.4	bdl	-	-
Πισχάλια 2	0.019	-0.005	-0.3			
Δράκου 1	0.018	-0.006	-0.4	bdl	-	-
Δράκου 2	0.02	-0.004	-0.2			
Πορτοκαλιές 1	0.056	0.032	1.9	1.65	0.33	20.2
Πορτοκαλιές 2	0.048	0.024	1.4			
Κυπαρίσσια 1	0.037	0.013	0.8	0.79	0.04	5.2
Κυπαρίσσια 2	0.038	0.014	0.8			
Παραμυθιά 1	0.022	-0.002	-0.1	0.24	-	-
Παραμυθιά 2	0.028	0.004	0.2			
Μύλου 1	0.055	0.031	1.8	1.85	0.04	2.2
Μύλου 2	0.056	0.032	1.9			
Δημήτρ. Βρύση 2.1	0.037	0.013	0.8	0.59	0.25	42.4
Δημήτρ. Βρύση 2.2	0.031	0.007	0.4			
RbInk	0.024					

Καμπύλη Βαθμονόμησης



Μέτρηση NO_3-N (νιτρώδες άζωτο)

Δειγματοληψία 4/11/2008

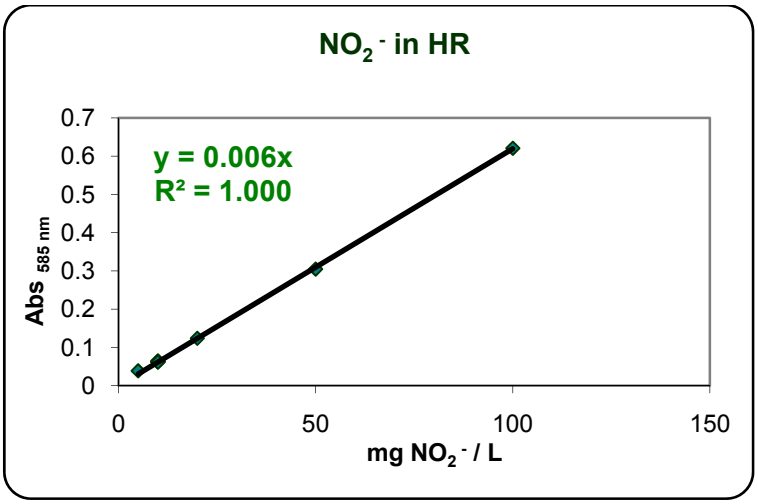
Method 8153:	2 to 250 mg of NO_2^- / L					
	dl=0,49	mg/L				
Δείγμα	Abs	Abs corr	mg NO_2^{1-} / L	mean	sd	RSD%
Αφάντου 1	0.014	-0.007	-1.2	bdl	-	-
Αφάντου 2	0.013	-0.008	-1.3			
Κολύμπια 1	0.016	-0.005	-0.8	bdl	-	-
Κολύμπια 2	0.013	-0.008	-1.3			
Λουτάνης 1	0.013	-0.008	-1.3	bdl	-	-
Λουτάνης 2	0.012	-0.009	-1.5			
Παρθενώνας 1	0.015	-0.006	-1.0	bdl	-	-
Παρθενώνας 2	0.014	-0.007	-1.2			
Βόττες 1	0.014	-0.007	-1.2	0.50	-	-
Βόττες 2	0.024	0.003	0.5			
Μύλου 1	0.015	-0.006	-1.0	bdl	-	-
Μύλου 2	0.015	-0.006	-1.0			
Κυπαρίσσια 1	0.014	-0.007	-1.2	bdl	-	-
Κυπαρίσσια 2	0.017	-0.004	-0.7			
Παραμυθιά 1	0.014	-0.007	-1.2	bdl	-	-
Παραμυθιά 2	0.012	-0.009	-1.5			
Δημήτρα Βρύση 1.1	0.013	-0.008	-1.3	bdl	-	-
Δημήτρα Βρύση 1.2	0.012	-0.009	-1.5			
Δημήτρα Βρύση 2.1	0.013	-0.008	-1.3	bdl	-	-
Δημήτρα Βρύση 2.2	0.016	-0.005	-0.3			
Rblnk	0.021					

Μέτρηση NO_3-N (νιτρώδες άζωτο)

Δειγματοληψία 14/1/2009

Method 8153:	2 to 250 mg of NO_2^- / L					
	dl=0,49	mg/L				
Δείγμα	Abs	Abs corr	mg NO_2^{1-} / L	mean	sd	RSD%
Αφάντου 1	0.017	-0.004	-0.7	bdl	-	-
Αφάντου 2	0.018	-0.003	-0.5			
Κολύμπια 1	0.021	0	0.0	0	-	-
Κολύμπια 2	0.017	-0.004	-0.7			
Πιθάρια 1	0.02	-0.001	-0.2	bdl	-	-
Πιθάρια 2	0.015	-0.006	-1.0			
Πισχάλια 1	0.02	-0.001	-0.2	bdl	-	-
Πισχάλια 2	0.018	-0.003	-0.5			
Δράκου 1	0.018	-0.003	-0.5	bdl	-	-
Δράκου 2	0.018	-0.003	-0.5			
Πορτοκαλιές 1	0.018	-0.003	-0.5	bdl	-	-
Πορτοκαλιές 2	0.019	-0.002	-0.3			
Κυπαρίσσια 1	0.019	-0.002	-0.3	bdl	-	-
Κυπαρίσσια 2	0.017	-0.004	-0.7			
Παραμυθιά 1	0.015	-0.006	-1.0	bdl	-	-
Παραμυθιά 2	0.013	-0.008	-1.3			
Μύλου 1	0.015	-0.006	-1.0	bdl	-	-
Μύλου 2	0.02	-0.001	-0.2			
Δημήτρα Βρύση 2.1	0.018	-0.003	-0.5	0.2	-	-
Δημήτρα Βρύση 2.2	0.022	0.001	0.2			
RbInk	0.021					

Καμπύλη Βαθμονόμησης



Μέτρηση PO_4-P (φωσφορικός φώσφορος)

Δειγματοληψία 4/11/2008

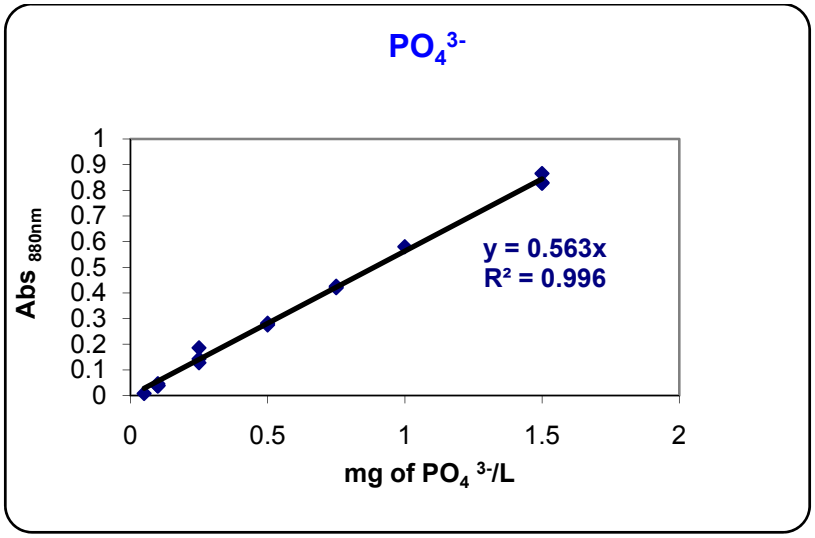
Method 8048:	0,02 to 2,5 mg of PO_4^{3-} / L					
	dl=0,02	mg/L				
Δείγμα	Abs	Abs corr	mg/L $PO4^{3-}$	mean	sd	RSD%
Αφάντου 1	0.072	0.058	0.1	0.10	0.00	1.2
Αφάντου 2	0.071	0.057	0.1			
Κολύμπια 1	0.03	0.016	0.0	0.04	0.01	31.0
Κολύμπια 2	0.039	0.025	0.0			
Λουτάνης 1	0.079	0.065	0.1	0.10	0.02	18.4
Λουτάνης 2	0.064	0.05	0.1			
Παρθενώνας 1	0.079	0.065	0.1	0.11	0.01	8.0
Παρθενώνας 2	0.072	0.058	0.1			
Βόττες 1	0.142	0.128	0.2	0.19	0.05	24.7
Βόττες 2	0.104	0.09	0.2			
Μύλου 1	0.049	0.035	0.1	0.06	0.01	18.2
Μύλου 2	0.041	0.027	0.0			
Κυπαρίσσια 1	0.089	0.075	0.1	0.09	0.06	64.5
Κυπαρίσσια 2	0.042	0.028	0.0			
Παραμυθιά 1	0.082	0.068	0.1	0.12	0.00	1.0
Παραμυθιά 2	0.083	0.069	0.1			
Δημήτρα Βρύση 1.1	0.056	0.042	0.1	0.10	0.04	35.4
Δημήτρα Βρύση 1.2	0.084	0.07	0.1			
Δημήτρα Βρύση 2.1	0.072	0.058	0.1	0.15	0.06	42.6
Δημήτρα Βρύση 2.2	0.122	0.108	0.2			
Rblnk	0.014					

Μέτρηση PO_4-P (φωσφορικός φώσφορος)

Δειγματοληψία 14/01/2009

Method 8048:	0,02 to 2,5 mg of PO_4^{3-} / L					
	dl=0,02	mg/L				
Δείγμα	Abs	Abs corr	mg/L $PO4^{3-}$	mean	sd	RSD%
Αφάντου 1	0.219	0.205	0.4	0.27	0.13	49.3
Αφάντου 2	0.113	0.099	0.2			
Κολύμπια 1	0.057	0.043	0.1	0.06	0.02	40.1
Κολύμπια 2	0.038	0.024	0.0			
Πιθάρια 1	0.09	0.076	0.1	0.16	0.03	19.3
Πιθάρια 2	0.114	0.1	0.2			
Πισχάλια 1	0.119	0.105	0.2	0.20	0.02	8.8
Πισχάλια 2	0.133	0.119	0.2			
Δράκου 1	0.048	0.034	0.1	0.06	0.00	0.0
Δράκου 2	0.048	0.034	0.1			
Πορτοκαλιές 1	0.096	0.082	0.1	0.11	0.05	41.2
Πορτοκαλιές 2	0.059	0.045	0.1			
Κυπαρίσσια 1	0.058	0.044	0.1	0.12	0.06	47.8
Κυπαρίσσια 2	0.103	0.089	0.2			
Παραμυθιά 1	0.055	0.041	0.1	0.10	0.05	43.1
Παραμυθιά 2	0.091	0.077	0.1			
Μύλου 1	0.113	0.099	0.2	0.20	0.03	15.3
Μύλου 2	0.137	0.123	0.2			
Δημήτρα Βρύση 2.1	0.087	0.073	0.1	0.16	0.04	27.3
Δημήτρα Βρύση 2.2	0.122	0.108	0.2			
Rblnk	0.014					

Καμπύλη Βαθμονόμησης



Μέτρηση NH_3-N (αμμωνιακό άζωτο)

Δειγματοληψία 4/11/2008

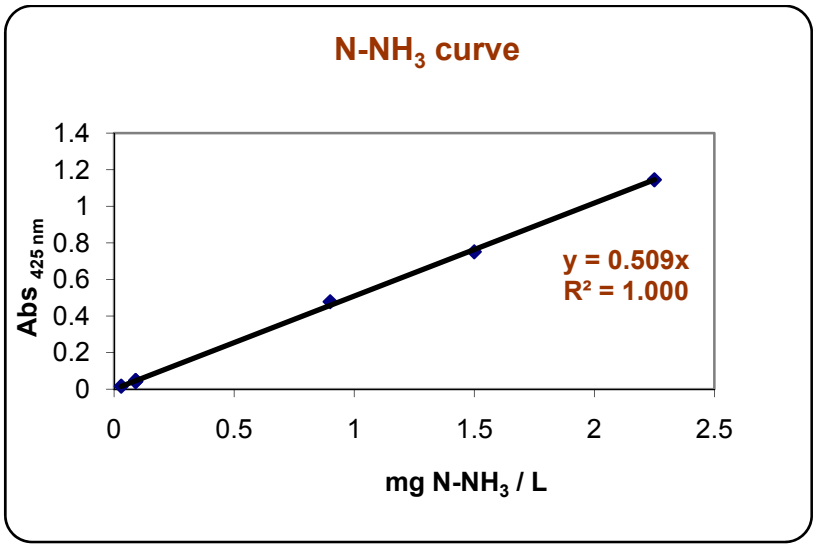
Δείγμα	Abs	mg of N-NH_3/ L	mean	sd	RSD%
Αφάντου 1	0.082	0.2	0.15	0.02	15.3
Αφάντου 2	0.066	0.1			
Κολύμπια 1	0.049	0.1	0.11	0.03	23.0
Κολύμπια 2	0.068	0.1			
Λουτάνης 1	0.05	0.1	0.11	0.01	12.9
Λουτάνης 2	0.06	0.1			
Παρθενώνας 1	0.073	0.1	0.15	0.00	1.9
Παρθενώνας 2	0.075	0.1			
Βόττες 1	0.006	0.0	0.01	0.00	10.9
Βόττες 2	0.007	0.0			
Μύλου 1	0.007	0.0	0.02	0.02	62.2
Μύλου 2	0.018	0.0			
Κυπαρίσσια 1	0.019	0.0	0.03	0.01	31.9
Κυπαρίσσια 2	0.012	0.0			
Παραμυθιά 1	0.044	0.1	0.06	0.03	47.1
Παραμυθιά 2	0.022	0.0			
Δημήτρα Βρύση 1.1	0.016	0.0	0.03	0.01	20.2
Δημήτρα Βρύση 1.2	0.012	0.0			
Δημήτρα Βρύση 2.1	0.016	0.0	0.03	0.00	12.1
Δημήτρα Βρύση 2.2	0.019	0.0			

Μέτρηση NH_3-N (αμμωνιακό άζωτο)

Δειγματοληψία 14/01/2009

Δείγμα	Abs	mg of N-NH_3/ L	mean	sd	RSD%
Αφάντου 1	0.01	0.0	0.02	0.00	0.0
Αφάντου 2	0.01	0.0			
Κολύμπια 1	0.008	0.0	0.02	0.00	15.7
Κολύμπια 2	0.01	0.0			
Πιθάρια 1	0.006	0.0	0.02	0.01	41.6
Πιθάρια 2	0.011	0.0			
Πισχάλια 1	0.022	0.0	0.12	0.11	90.4
Πισχάλια 2	0.1	0.2			
Δράκου 1	0.024	0.0	0.04	0.01	16.4
Δράκου 2	0.019	0.0			
Πορτοκαλιές 1	0.007	0.0	0.02	0.00	25.0
Πορτοκαλιές 2	0.01	0.0			
Κυπαρίσσια 1	0.014	0.0	0.03	0.00	0.0
Κυπαρίσσια 2	0.014	0.0			
Παραμυθιά 1	0.008	0.0	0.01	0.00	9.4
Παραμυθιά 2	0.007	0.0			
Μύλου 1	0.013	0.0	0.03	0.01	30.0
Μύλου 2	0.02	0.0			
Δημήτρα Βρύση 2.1	0.015	0.0	0.03	0.01	21.8
Δημήτρα Βρύση 2.2	0.011	0.0			

Καμπύλη Βαθμονόμησης



Μέτρηση CL (χλώριο)

Δειγματοληψία 04/11/2008

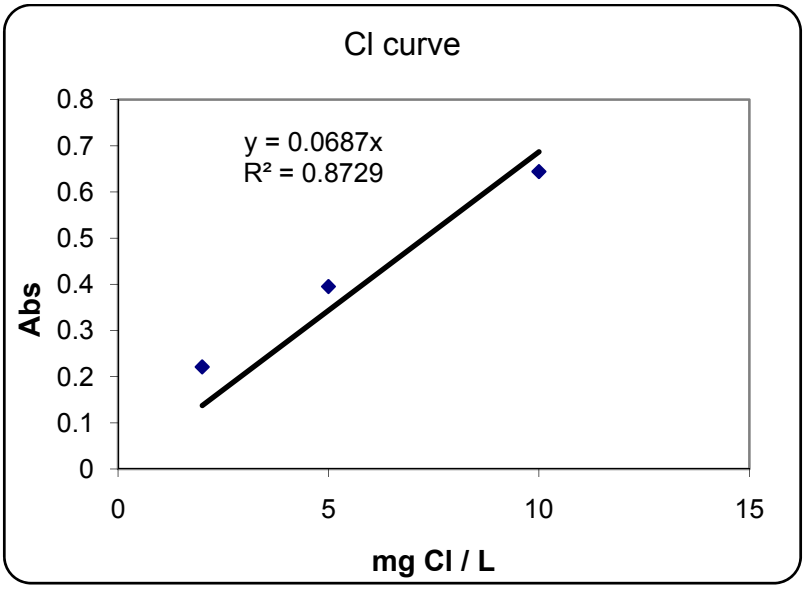
Sample	Abs	mg of Cl / L	mg of Cl / L corr	mean	sd	RSD%
Αφάντου 1	0.377	5.5	45.7	46.9	0.21	0.4
Αφάντου 2	0.397	5.8	48.2			
Κολύμπια 1	0.338	4.9		5.2	0.33	6.4
Κολύμπια 2	0.37	5.4				
Λουτάνης 1	0.379	5.5		5.9	0.60	10.1
Λουτάνης 2	0.437	6.4				
Παρθενώνας 1	0.444	6.5		6.4	0.12	1.9
Παρθενώνας 2	0.432	6.3				
Βόττες 1	0.617	9.0	112.3	112.4	0.01	0.0
Βόττες 2	0.618	9.0	112.4			
Μύλου 1	0.243	3.5		3.4	0.16	4.8
Μύλου 2	0.227	3.3				
Κυπαρίσσια 1	0.204	3.0		3.0	0.01	0.3
Κυπαρίσσια 2	0.203	3.0				
Παραμυθιά 1	0.562	8.2	68.2	69.4	0.22	0.3
Παραμυθιά 2	0.583	8.5	70.7			
Δημήτρα Βρύση 1.1	0.24	3.5		3.3	0.25	7.4
Δημήτρα Βρύση 1.2	0.216	3.1				
Δημήτρα Βρύση 2.1	0.191	2.8		2.6	0.20	7.4
Δημήτρα Βρύση 2.2	0.172	2.5				

Μέτρηση CL (χλώριο)

Δειγματοληψία 14/01/2009

Sample	Abs	mg of Cl / L	mg of Cl / L corr	mean	sd	RSD%
Αφάντου 1	0.396	5.8	144.1	140.6	0.20	0.1
Αφάντου 2	0.377	5.5	137.2			
Κολύμπια 1	0.354	5.2	42.9	43.9	0.16	0.4
Κολύμπια 2	0.37	5.4	44.9			
Πιθάρια 1	0.338	4.9	41.0	46.2	0.87	1.9
Πιθάρια 2	0.423	6.2	51.3			
Πισχάλια 1	0.408	5.9	49.5	46.2	0.57	1.2
Πισχάλια 2	0.353	5.1	42.8			
Δράκου 1	0.38	5.5	46.1	46.7	0.10	0.2
Δράκου 2	0.39	5.7	47.3			
Πορτοκαλιές 1	0.309	4.5	37.5	38.8	0.22	0.6
Πορτοκαλιές 2	0.33	4.8	40.0			
Κυπαρίσσια 1	0.363	5.3	44.0	42.0	0.34	0.8
Κυπαρίσσια 2	0.33	4.8	40.0			
Παραμυθιά 1	0.477	6.9	173.6	171.6	0.11	0.1
Παραμυθιά 2	0.466	6.8	169.6			
Μύλου 1	0.351	5.1	42.6	43.9	0.23	0.5
Μύλου 2	0.373	5.4	45.2			
Δημήτρα Βρύση 2.1	0.406	5.9	49.2	47.7	0.27	0.6
Δημήτρα Βρύση 2.2	0.38	5.5	46.1			

Καμπύλη Βαθμονόμησης



Μέτρηση ολικού οργανικού άνθρακα (TOC)

Δειγματοληψία 04/11/2008

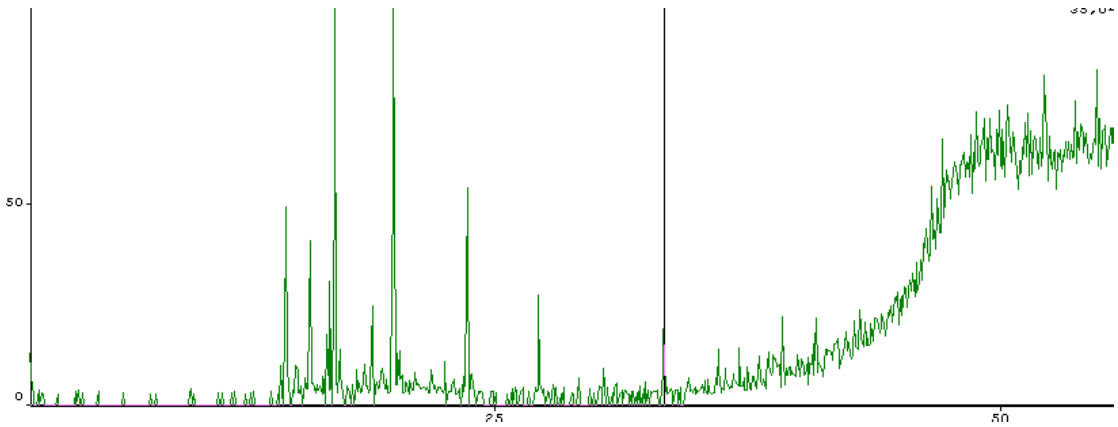
Δείγμα	TOC ppm	mean	sd	RSD%
Αφάντου 1	0.842	0.966	0.107	11.1
	1.025			
	1.031			
Κολύμπια 1	1.182	1.301	0.105	8.1
	1.341			
	1.38			
Πιθάρια 1	0.541	0.580	0.134	23.2
	0.729			
	0.469			
Πισχάλια 1	4.131	3.908	0.420	10.8
	4.17			
	3.423			
Δράκου 1	0.589	0.785	0.326	41.5
	1.161			
	0.605			
Πορτοκαλιές 1	0.502	0.834	0.506	60.7
	1.416			
	0.583			
Κυπαρίσσια 1	0.202	0.102	0.095	93.9
	0.091			
	0.012			
Παραμυθιά 1	0.404	0.262	0.149	56.8
	0.275			
	0.107			
Μύλου 1	1.089	1.497	0.373	24.9
	1.82			
	1.582			
Δημήτρ. Βρύση 2.1	0.991	1.191	0.240	20.1
	1.125			
	1.457			

Location: Γεώτρηση Πιθάρια

Polybrominated Diphenyl Ethers (PBDE)

CHROMATOGRAM (GC-MS)

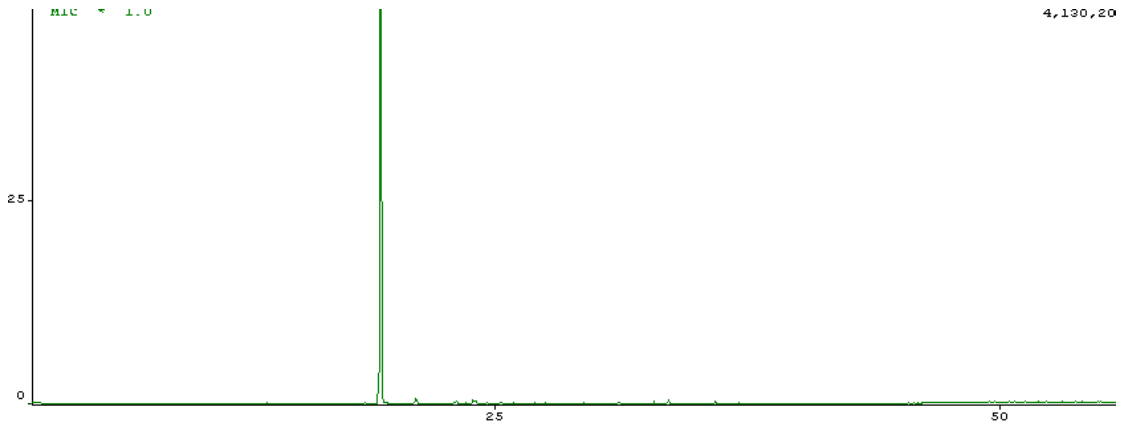
MIC



#	CONTAMINANT	CONC (μg/L)
1	PBDE47	ND
2	PBDE100	ND
3	PBDE153	ND

Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs)

CHROMATOGRAM (GC-MS)



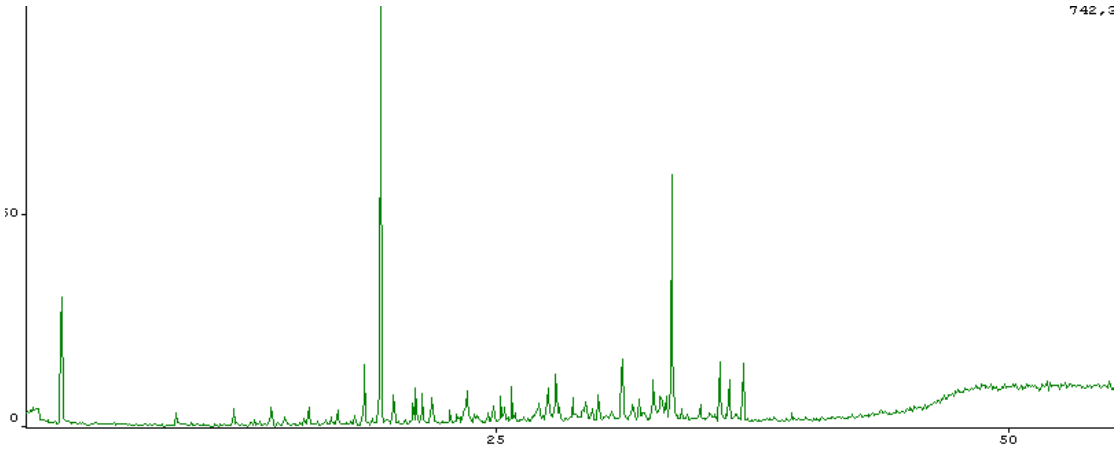
MIC

#	CONTAMINANT	CONC (μg/L)
1	Naphthalene	<LOQ
2	Acenaphthylene	ND
3	Acenaphthene	ND
4	Fluorene	ND
5	Phenanthrene	ND
6	Anthracene	ND
7	Fluoranthene	ND
8	Pyrene	ND
9	Benzo[a]anthracene	ND
10	Chrysene	ND
11	Benzo[b]fluoranthene	ND
12	Benzo[k]fluoranthene	ND
13	Benzo[a]pyrene	ND
14	Indeno(1,2,3-cd)pyrene	ND
15	Dibenzo(a,h)anthracene	ND
16	Benzo(g,h,I)perylene	ND

Organochlorinated pesticides

CHROMATOGRAM (GC-MS)

MIC

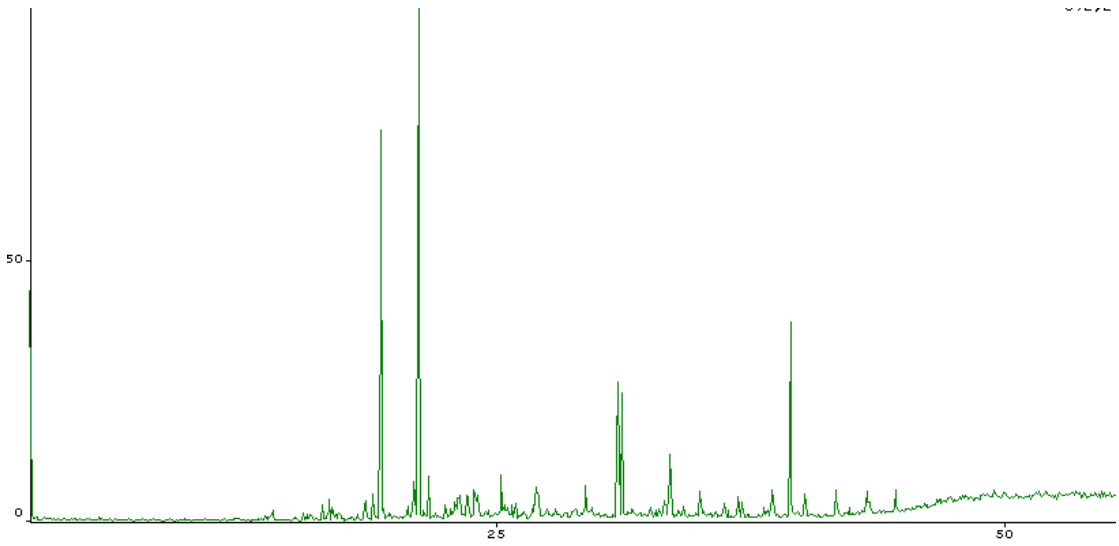


#	CONTAMINANT	CONC (μg/L)
1	2,4,5,6 Tetrachloro-m-xylene	ND
2	α-lindane	ND
3	β-lindane	ND
4	γ-lindane + endrin aldehyde	ND
5	δ-lindane	ND
6	Heptachlor	ND
7	Aldrin	ND
8	Heptachlor epoxide	ND
9	γ-chlordane	ND
10	α-chlordane + endosulfan I	ND
11	Dieldrin	ND
12	4,4'-DDE	ND
13	Endrin	ND
14	Endosulfan II	ND
15	4,4'-DDD	ND
16	Endosulfan sulfate	ND
17	4,4'-DDT	ND
18	Endrin ketone	ND
19	Methoxychlor	ND
20	Decachlorobiphenyl	ND

Chlorinated monoaromatics

CHROMATOGRAM (GC-MS)

MIC



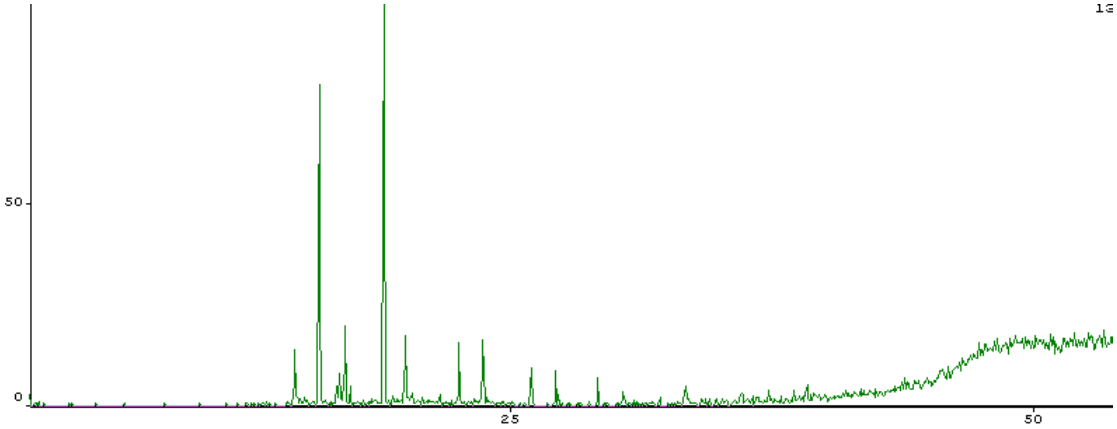
#	CONTAMINANT	CONC (μg/L)
1	Chlorobenzene	ND
2	2-chlorophenol	ND
3	1,3-dichlorobenzene	ND
4	2,6-dichlorophenol	ND
5	1,2,3-Trichlorobenzene	<LOQ
6	2,4,6-Trichlorophenol	ND
7	2,4,5,6-Tetrachlorophenol	ND
8	Pentachlorophenol	ND

Location: Γεώτρηση Μύλου

Polybrominated Diphenyl Ethers (PBDE)

CHROMATOGRAM (GC-MS)

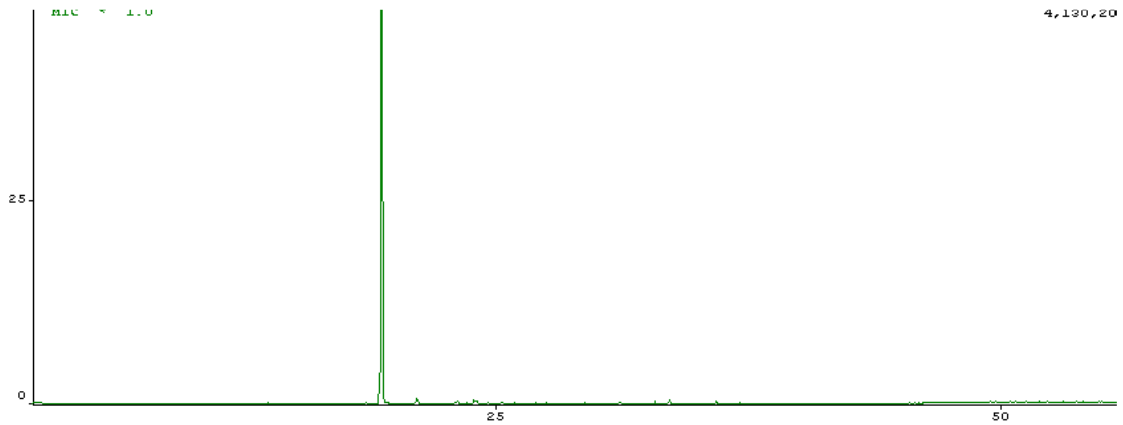
MIC



#	CONTAMINANT	CONC (μg/L)
1	PBDE47	ND
2	PBDE100	ND
3	PBDE153	ND

Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs)

CHROMATOGRAM (GC-MS)



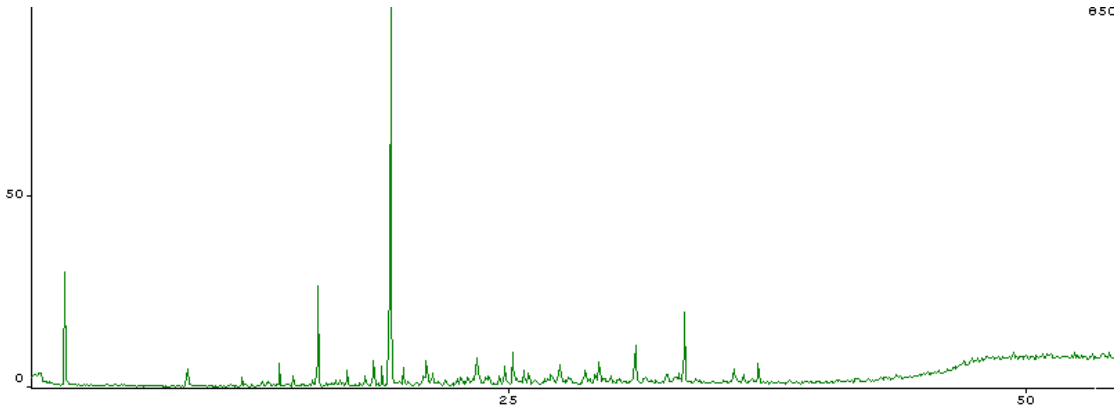
MIC

#	CONTAMINANT	CONC (μg/L)
1	Naphthalene	ND
2	Acenaphthylene	ND
3	Acenaphthene	ND
4	Fluorene	ND
5	Phenanthrene	ND
6	Anthracene	ND
7	Fluoranthene	ND
8	Pyrene	ND
9	Benzo[a]anthracene	ND
10	Chrysene	ND
11	Benzo[b]fluoranthene	ND
12	Benzo[k]fluoranthene	ND
13	Benzo[a]pyrene	ND
14	Indeno(1,2,3-cd)pyrene	ND
15	Dibenzo(a,h)anthracene	ND
16	Benzo(g,h,I)perylene	ND

Organochlorinated pesticides

CHROMATOGRAM (GC-MS)

MIC

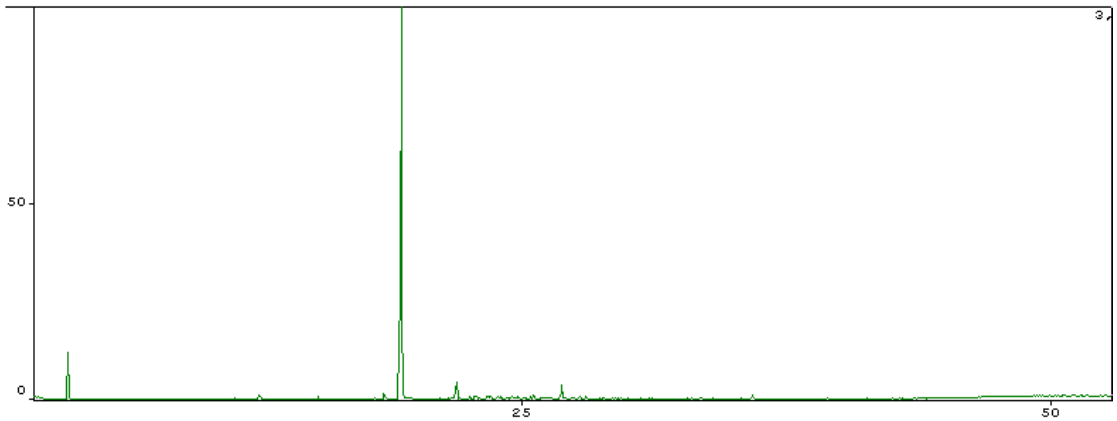


#	CONTAMINANT	CONC (μg/L)
1	2,4,5,6 Tetrachloro-m-xylene	ND
2	α-lindane	ND
3	β-lindane	ND
4	γ-lindane + endrin aldehyde	ND
5	δ-lindane	ND
6	Heptachlor	ND
7	Aldrin	ND
8	Heptachlor epoxide	ND
9	γ-chlordane	ND
10	α-chlordane + endosulfan I	ND
11	Dieldrin	ND
12	4,4'-DDE	ND
13	Endrin	ND
14	Endosulfan II	ND
15	4,4'-DDD	ND
16	Endosulfan sulfate	ND
17	4,4'-DDT	ND
18	Endrin ketone	ND
19	Methoxychlor	ND
20	Decachlorobiphenyl	ND

Chlorinated monoaromatics

CHROMATOGRAM (GC-MS)

MIC



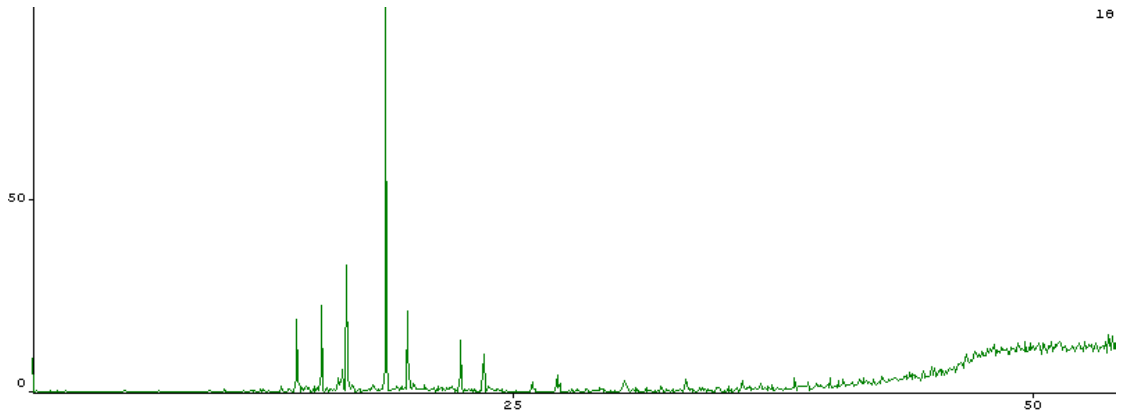
#	CONTAMINANT	CONC (μg/L)
1	Chlorobenzene	ND
2	2-chlorophenol	ND
3	1,3-dichlorobenzene	ND
4	2,6-dichlorophenol	ND
5	1,2,3-Trichlorobenzene	ND
6	2,4,6-Trichlorophenol	ND
7	2,4,5,6-Tetrachlorophenol	ND
8	Pentachlorophenol	ND

Location: Γεώτρηση Κυπαρίσσια

Polybrominated Diphenyl Ethers (PBDE)

CHROMATOGRAM (GC-MS)

MIC

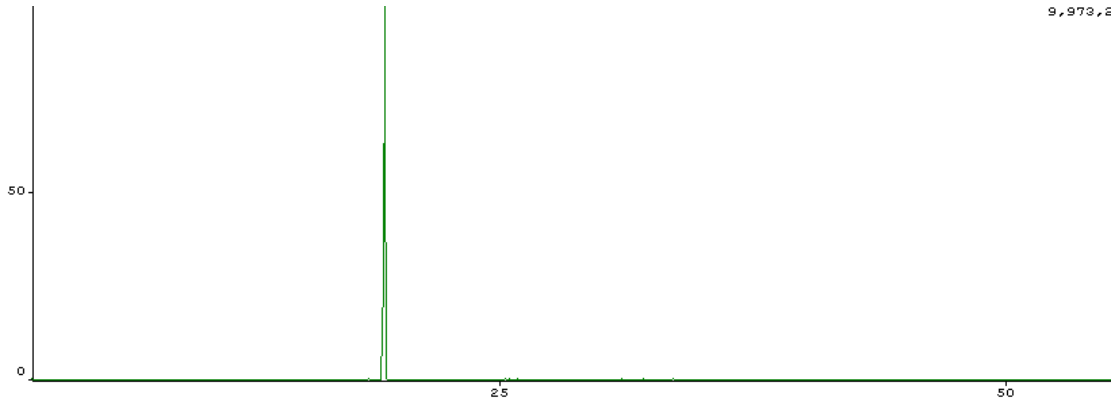


#	CONTAMINANT	CONC (μg/L)
1	PBDE47	ND
2	PBDE100	ND
3	PBDE153	ND

Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs)

CHROMATOGRAM (GC-MS)

MIC

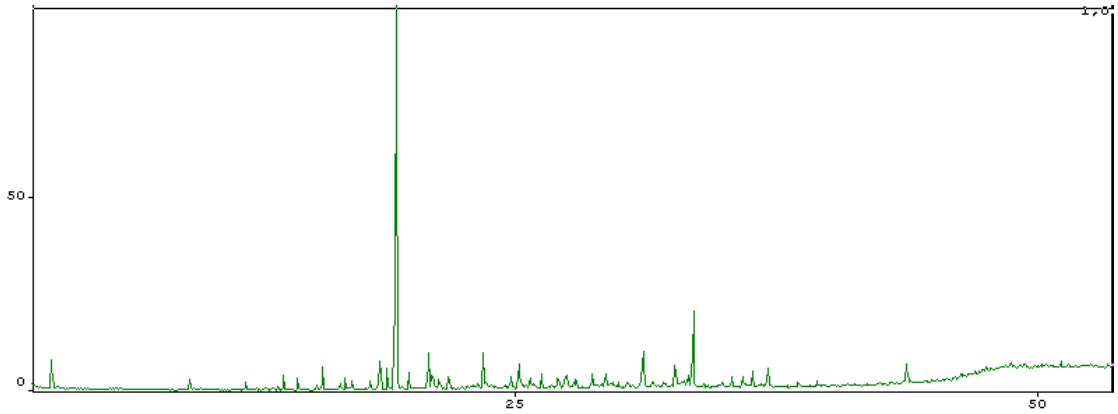


#	CONTAMINANT	CONC (μg/L)
1	Naphthalene	ND
2	Acenaphthylene	ND
3	Acenaphthene	ND
4	Fluorene	ND
5	Phenanthrene	ND
6	Anthracene	ND
7	Fluoranthene	ND
8	Pyrene	ND
9	Benzo[a]anthracene	ND
10	Chrysene	ND
11	Benzo[b]fluoranthene	ND
12	Benzo[k]fluoranthene	ND
13	Benzo[a]pyrene	ND
14	Indeno(1,2,3-cd)pyrene	ND
15	Dibenzo(a,h)anthracene	ND
16	Benzo(g,h,I)perylene	ND

Organochlorinated pesticides

CHROMATOGRAM (GC-MS)

MIC

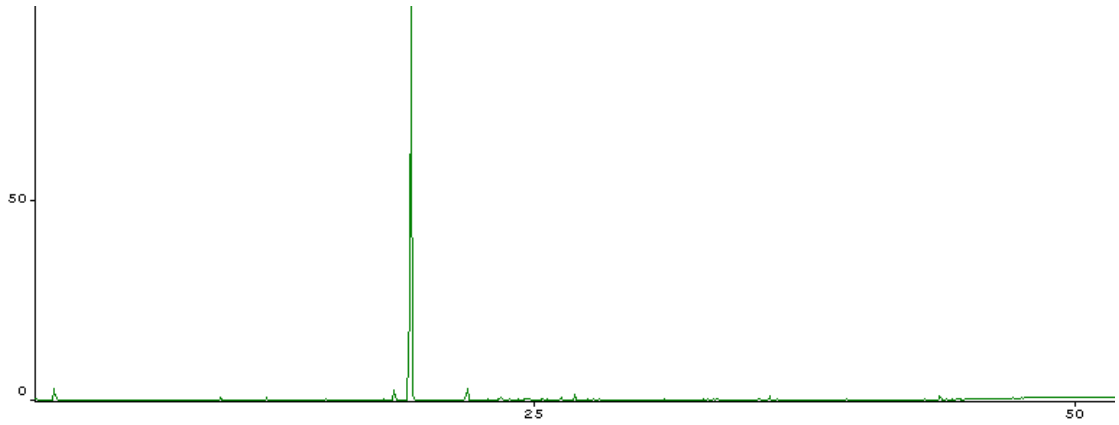


#	CONTAMINANT	CONC (μg/L)
1	2,4,5,6 Tetrachloro-m-xylene	ND
2	α-lindane	ND
3	β-lindane	ND
4	γ-lindane + endrin aldehyde	ND
5	δ-lindane	ND
6	Heptachlor	ND
7	Aldrin	ND
8	Heptachlor epoxide	ND
9	γ-chlordane	ND
10	α-chlordane + endosulfan I	ND
11	Dieldrin	ND
12	4,4'-DDE	ND
13	Endrin	ND
14	Endosulfan II	ND
15	4,4'-DDD	ND
16	Endosulfan sulfate	ND
17	4,4'-DDT	ND
18	Endrin ketone	ND
19	Methoxychlor	ND
20	Decachlorobiphenyl	ND

Chlorinated monoaromatics

CHROMATOGRAM (GC-MS)

MIC



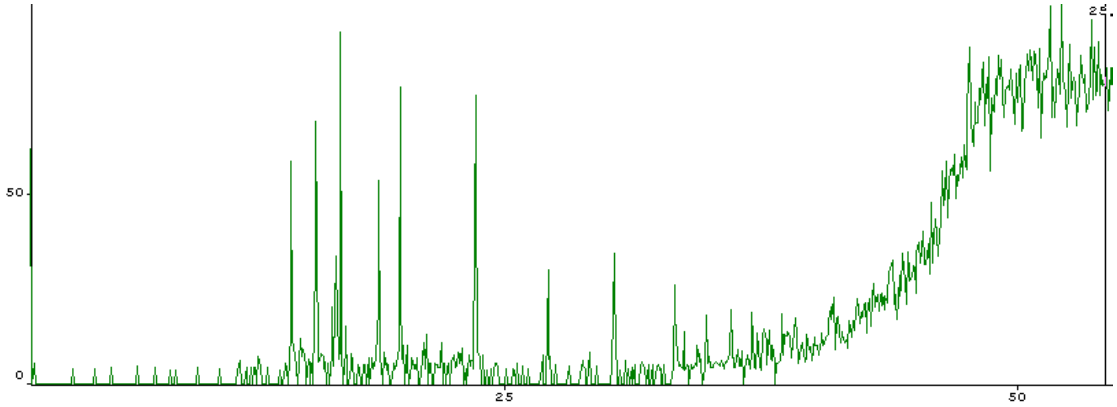
#	CONTAMINANT	CONC (μg/L)
1	Chlorobenzene	ND
2	2-chlorophenol	ND
3	1,3-dichlorobenzene	ND
4	2,6-dichlorophenol	ND
5	1,2,3-Trichlorobenzene	ND
6	2,4,6-Trichlorophenol	ND
7	2,4,5,6-Tetrachlorophenol	ND
8	Pentachlorophenol	ND

Location: Γεώτρηση Δράκου

Polybrominated Diphenyl Ethers (PBDE)

CHROMATOGRAM (GC-MS)

MIC

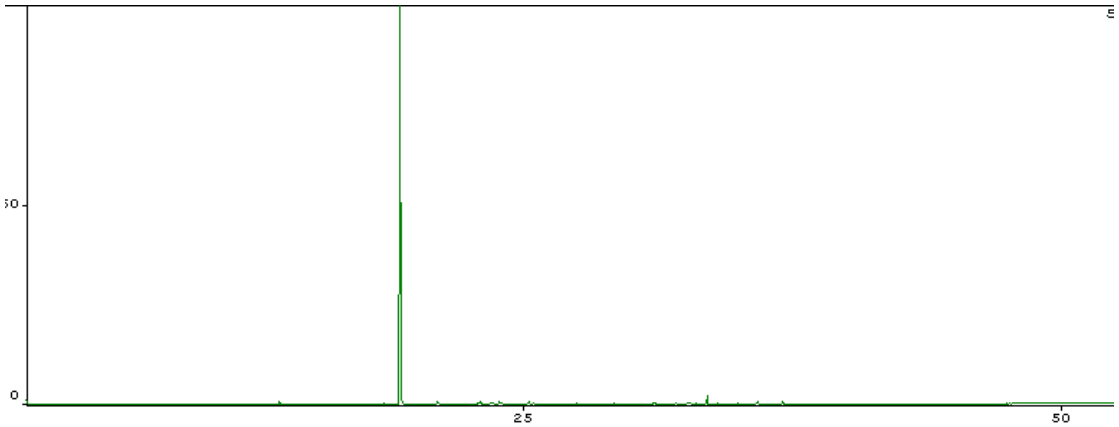


#	CONTAMINANT	CONC (μg/L)
1	PBDE47	ND
2	PBDE100	ND
3	PBDE153	ND

Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs)

CHROMATOGRAM (GC-MS)

MIC

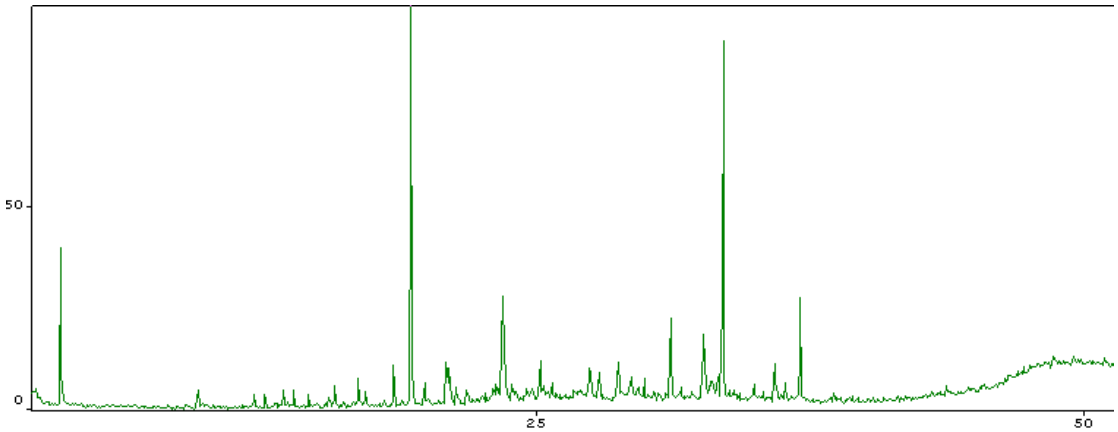


#	CONTAMINANT	CONC(μg/L)
1	Naphthalene	ND
2	Acenaphthylene	ND
3	Acenaphthene	ND
4	Fluorene	ND
5	Phenanthrene	ND
6	Anthracene	ND
7	Fluoranthene	ND
8	Pyrene	ND
9	Benzo[a]anthracene	ND
10	Chrysene	ND
11	Benzo[b]fluoranthene	ND
12	Benzo[k]fluoranthene	ND
13	Benzo[a]pyrene	ND
14	Indeno(1,2,3-cd)pyrene	ND
15	Dibenzo(a,h)anthracene	ND
16	Benzo(g,h,I)perylene	ND

Organochlorinated pesticides

CHROMATOGRAM (GC-MS)

MIC

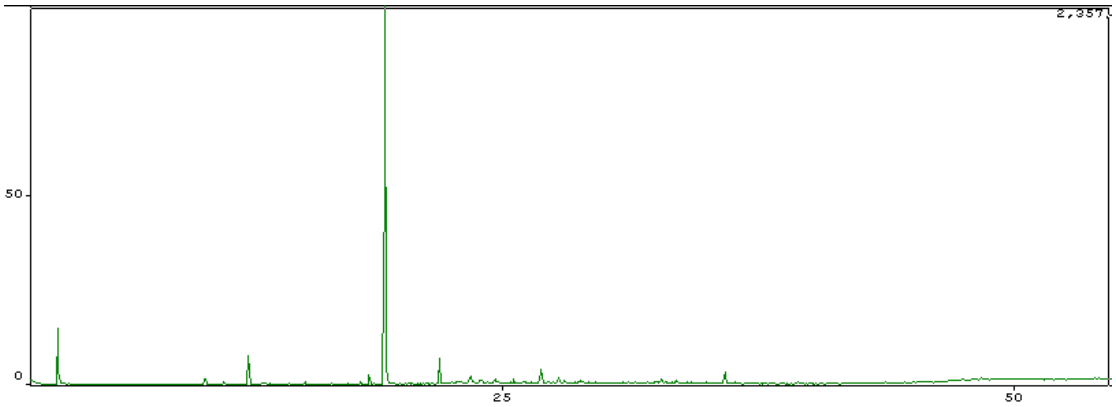


#	CONTAMINANT	CONC (μg/L)
1	2,4,5,6 Tetrachloro-m-xylene	ND
2	α-lindane	ND
3	β-lindane	ND
4	γ-lindane + endrin aldehyde	ND
5	δ-lindane	ND
6	Heptachlor	ND
7	Aldrin	ND
8	Heptachlor epoxide	ND
9	γ-chlordane	ND
10	α-chlordane + endosulfan I	ND
11	Dieldrin	ND
12	4,4'-DDE	ND
13	Endrin	ND
14	Endosulfan II	ND
15	4,4'-DDD	ND
16	Endosulfan sulfate	ND
17	4,4'-DDT	ND
18	Endrin ketone	ND
19	Methoxychlor	ND
20	Decachlorobiphenyl	ND

Chlorinated monoaromatics

CHROMATOGRAM (GC-MS)

MIC



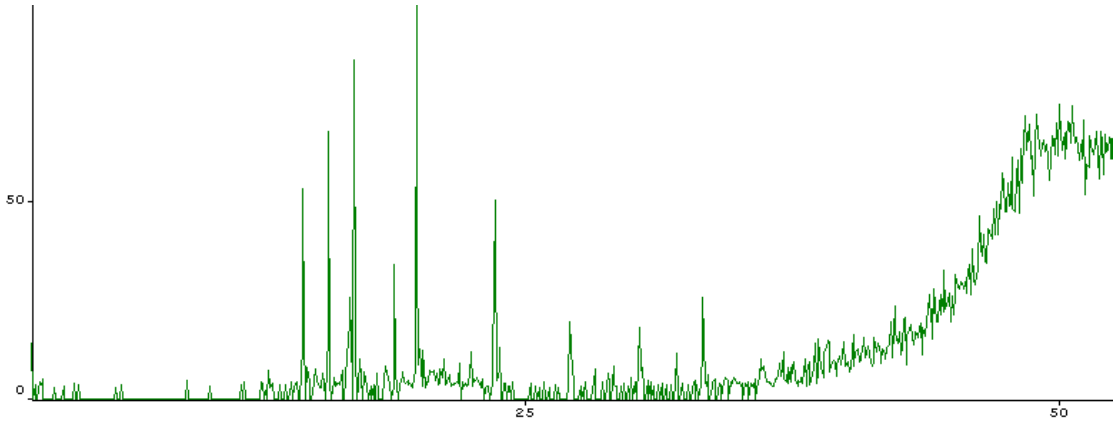
#	CONTAMINANT	CONC (μg/L)
1	Chlorobenzene	ND
2	2-chlorophenol	ND
3	1,3-dichlorobenzene	ND
4	2,6-dichlorophenol	ND
5	1,2,3-Trichlorobenzene	ND
6	2,4,6-Trichlorophenol	ND
7	2,4,5,6-Tetrachlorophenol	ND
8	Pentachlorophenol	ND

Location: Γεώτρηση Δήμητρα Βρύση 2

Polybrominated Diphenyl Ethers (PBDE)

CHROMATOGRAM (GC-MS)

MIC

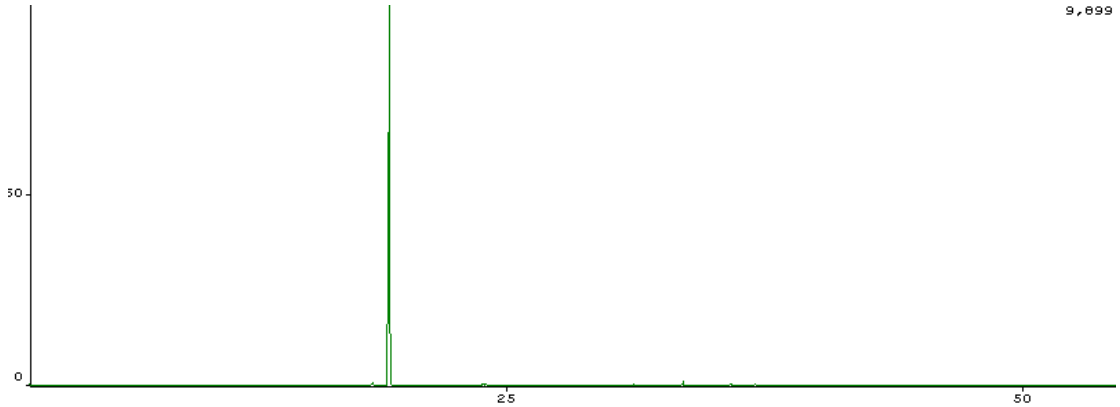


#	CONTAMINANT	CONC (μg/L)
1	PBDE47	ND
2	PBDE100	ND
3	PBDE153	ND

Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs)

CHROMATOGRAM (GC-MS)

MIC

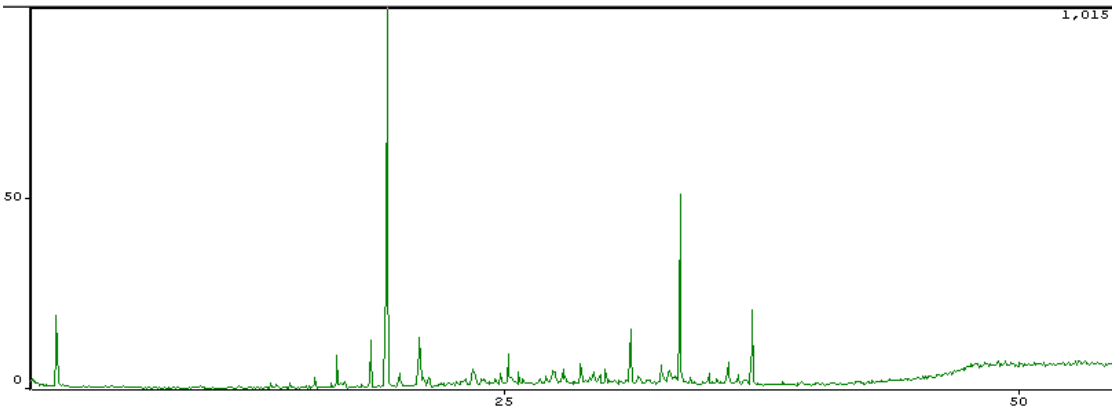


#	CONTAMINANT	CONC (μg/L)
1	Naphthalene	ND
2	Acenaphthylene	ND
3	Acenaphthene	ND
4	Fluorene	ND
5	Phenanthrene	ND
6	Anthracene	ND
7	Fluoranthene	ND
8	Pyrene	ND
9	Benzo[a]anthracene	ND
10	Chrysene	ND
11	Benzo[b]fluoranthene	ND
12	Benzo[k]fluoranthene	ND
13	Benzo[a]pyrene	ND
14	Indeno(1,2,3-cd)pyrene	ND
15	Dibenzo(a,h)anthracene	ND
16	Benzo(g,h,I)perylene	ND

Organochlorinated pesticides

CHROMATOGRAM (GC-MS)

MIC

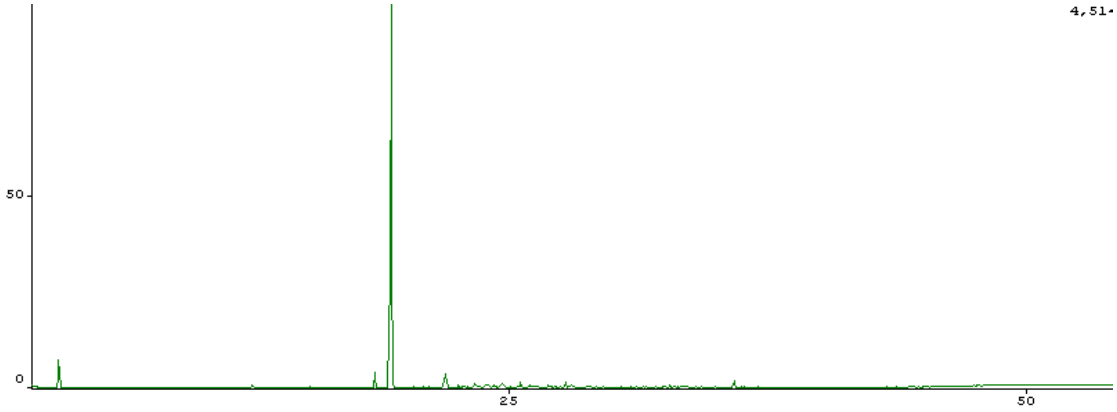


#	CONTAMINANT	CONC(μg/L)
1	2,4,5,6 Tetrachloro-m-xylene	ND
2	α-lindane	ND
3	β-lindane	ND
4	γ-lindane + endrin aldehyde	ND
5	δ-lindane	ND
6	Heptachlor	ND
7	Aldrin	ND
8	Heptachlor epoxide	ND
9	γ-chlordane	ND
10	α-chlordane + endosulfan I	ND
11	Dieldrin	ND
12	4,4'-DDE	ND
13	Endrin	ND
14	Endosulfan II	ND
15	4,4'-DDD	ND
16	Endosulfan sulfate	ND
17	4,4'-DDT	ND
18	Endrin ketone	ND
19	Methoxychlor	ND
20	Decachlorobiphenyl	ND

Chlorinated monoaromatics

CHROMATOGRAM (GC-MS)

MIC



#	CONTAMINANT	CONC (μg/L)
1	Chlorobenzene	ND
2	2-chlorophenol	ND
3	1,3-dichlorobenzene	ND
4	2,6-dichlorophenol	ND
5	1,2,3-Trichlorobenzene	ND
6	2,4,6-Trichlorophenol	ND
7	2,4,5,6-Tetrachlorophenol	ND
8	Pentachlorophenol	ND

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ

(Δεδομένα πηγών-υδατορεμάτων-γεωτρήσεων)

Παροχές Υδατορεμάτων

Τα δεδομένα ελήφθησαν από Τμήμα Ανάπτυξης Φυσικών Πόρων – Τομέας Εγγ. Βελτιώσεων και Φυσικών Πόρων, Ρόδου.

Ποταμός Πελέμονης					
Ημερομηνία	Παροχή (m^3/h)	Εμβαδόν Τομής (m^2)	Μέσο Βάθος (m)	Μέση Ταχύτητα (m/s)	Παροχή (m^3/d)
25/1/2000	22.3254	0.04525	6.46E-02	0.13705	535.8103
7/2/2000	25.6083	0.04050	5.79E-02	0.17564	614.5996
16/2/2000	19.1494	0.03775	6.29E-02	0.14090	459.585
2/3/2000	564.0637	0.33450	1.45E-01	0.46841	13537.52
21/3/2000	148.1102	0.16575	9.21E-02	0.24821	3554.644
14/4/2000	69.5935	0.08450	8.45E-02	0.22877	1670.244
2/5/2000	70.6002	0.08550	7.77E-02	0.22937	1694.404
6/6/2000	31.4305	0.04650	6.64E-02	0.18775	754.331
11/7/2000	11.5131	0.02000	5.00E-02	0.15990	276.313
3/1/2001	6.4935	0.01125	4.50E-02	0.16033	155.844
12/12/2001	9.2705	0.01750	5.00E-02	0.14715	222.492
6/2/2002	78.5697	0.11750	7.34E-02	0.18574	1885.671
21/2/2002	75.3142	0.12000	8.00E-02	0.17433	1807.54
2/4/2002	31.4962	0.06050	6.72E-02	0.14461	755.90
30/5/2002	11.5363	0.02400	6.00E-02	0.13352	276.87
6/2/2003	546.1194	0.43500	1.24E-01	0.34873	13106.86
19/2/2003	935.8748	0.57600	1.44E-01	0.45132	22460.99
14/3/2003	727.1779	0.48850	1.25E-01	0.41349	17452.26
8/4/2003	431.8371	0.39600	9.90E-02	0.30291	10364.09
20/1/2004	239.5330	0.27575	9.19E-02	0.24129	5748.79
10/3/2004	233.2133	0.22200	7.93E-02	0.29180	5597.119

Παροχές Υδατορεμάτων

Τα δεδομένα ελήφθησαν από Τμήμα Ανάπτυξης Φυσικών Πόρων – Τομέας Εγγ. Βελτιώσεων και Φυσικών Πόρων, Ρόδου.

Ποταμός Λουτάνης					
Ημερομηνία	Παροχή (m^3/h)	Εμβαδόν Τομής (m^2)	Μέσο Βάθος (m)	Μέση Ταχύτητα (m/s)	Παροχή (m^3/d)
25/1/2000	161.9762	0.19100	1.27E-01	0.235568	3.89E+03
7/2/2000	103.6185	0.13150	1.10E-01	0.218882	2.49E+03
16/2/2000	120.2032	0.17050	1.14E-01	0.195835	2.88E+03
2/3/2000	1533.1370	0.83100	1.19E-01	0.512481	3.68E+04
21/3/2000	396.5516	0.40800	1.02E-01	0.269983	9.52E+03
2/5/2000	286.2517	0.31600	8.54E-02	0.251628	6.87E+03
31/5/2000	39.7172	0.07050	5.88E-02	0.156490	9.53E+02
12/7/2000	14.4068	0.02025	6.75E-02	0.197625	3.46E+02
3/1/2001	241.7086	0.26450	8.82E-02	0.253842	5.80E+03
20/3/2001	81.9857	0.10100	7.77E-02	0.225483	1.97E+03
3/5/2001	42.8853	0.05800	6.44E-02	0.205389	1.03E+03
30/11/2001	412.2620	0.33550	1.05E-01	0.341333	9.89E+03
13/12/2001	1215.9540	0.72950	1.20E-01	0.463009	2.92E+04
31/1/2002	818.0271	0.54200	1.36E-01	0.419243	1.96E+04
12/2/2002	1288.7300	0.76900	1.28E-01	0.465514	3.09E+04
6/3/2002	733.8719	0.53350	8.89E-02	0.382106	1.76E+04
2/4/2002	499.7858	0.43700	7.95E-02	0.317687	1.20E+04
8/5/2002	186.7634	0.24600	1.23E-01	0.210889	4.48E+03
12/6/2002	199.0963	0.10650	8.88E-02	0.519291	4.78E+03
6/2/2003	2254.6760	1.11850	1.60E-01	0.559945	5.41E+04
20/2/2003	4332.1020	2.18300	2.08E-01	0.551242	1.04E+05
8/4/2003	1637.7850	0.89600	1.63E-01	0.507746	3.93E+04
15/5/2003	628.2081	0.54850	1.22E-01	0.318145	1.51E+04
20/1/2004	1242.858	0.7215	1.31E-01	0.478501	2.98E+04
30/1/2004	4767.6250	1.82500	1.88E-01	0.725666	1.14E+05
21/5/2004	222.6154	0.18000	1.13E-01	0.343542	5.34E+03

Δεδομένα Παροχών Πηγών

Τα δεδομένα ελήφθησαν από Τμήμα Ανάπτυξης Φυσικών Πόρων – Τομέας Εγγ. Βελτιώσεων και Φυσικών Πόρων, Ρόδου.

Πηγή Λιμάς	
Ημερομηνία	Παροχή (m^3/h)
18/8/1988	7.0
13/12/1988	25.2
12/6/1989	24.0
11/9/1989	14.7
4/4/1990	45.0
19/10/1990	17.0
25/4/1991	19.6
10/10/1991	18.0
23/4/1993	18.0
29/10/1993	15.0
16/2/1995	22.0

Πηγή Πισχάλια			
Ημερομηνία	Παροχή (m^3/h)	**Ημερομηνία**	Παροχή (m^3/h)
15/1/1997	49.0419	**26/3/1999**	50.0507
19/2/1997	44.4081	**29/4/1999**	88.8863
26/3/1997	39.1754	**3/6/1999**	35.6146
23/4/1997	70.5642	**28/6/1999**	29.5705
7/5/1997	62.1789	**27/7/1999**	20.2139
30/5/1997	34.9545	**26/8/1999**	8.0205
31/7/1997	16.2263	**5/10/1999**	6.6047
9/9/1997	19.7428	**6/2/2000**	33.9088
26/9/1997	14.6779	**19/4/2000**	8.0514
13/10/1997	10.6216	**20/7/2000**	11.3085
9/1/1998	12.2470	**23/10/2000**	11.2276
9/2/1998	118.1258	**19/4/2001**	17.8853
12/3/1998	73.0546	**27/11/2001**	14.8860
8/4/1998	50.3475	**2/3/2002**	24.7207
12/5/1998	40.3186	**7/8/2002**	17.2104
11/6/1998	26.2518	**20/2/2003**	125.5135
20/8/1998	18.8668	**15/5/2003**	49.7508
19/1/1999	28.8919	**14/1/2008**	34.5748
16/2/1999	49.5903		

Δεδομένα Παροχών Πηγών

Τα δεδομένα ελήφθησαν από Τμήμα Ανάπτυξης Φυσικών Πόρων – Τομέας Εγγ. Βελτιώσεων και Φυσικών Πόρων, Ρόδου.

Πηγή Βελανίδι 1			
Ημερομηνία	Παροχή (m^3/h)	**Ημερομηνία**	Παροχή (m^3/h)
15/1/1997	40.8895	**16/2/1999**	90.1684
19/2/1997	34.5154	**26/3/1999**	146.0965
26/3/1997	17.9599	**29/4/1999**	275.1026
23/4/1997	156.3044	**3/6/1999**	105.7268
7/5/1997	106.4809	**28/6/1999**	57.5776
26/6/1997	36.8549	**19/7/1999**	19.7656
31/7/1997	11.2864	**5/10/1999**	7.3456
9/2/1998	773.6340	**2/2/2000**	28.0912
12/3/1998	231.5788	**6/2/2002**	38.7597
8/4/1998	140.6424	**12/3/2002**	14.6270
12/5/1998	98.8213	**20/2/2003**	416.5609
11/6/1998	40.6196	**15/5/2003**	38.3947
20/8/1998	11.1411	**14/1/2004**	44.6228
19/1/1999	41.7074	**28/8/2008**	11.4279

Πηγή Βελανίδι 2			
Ημερομηνία	Παροχή (m^3/h)	Ημερομηνία	Παροχή (m^3/h)
15/1/1997	142.3334	**29/4/1999**	365.5196
19/2/1997	84.7414	**3/6/1999**	140.2432
26/3/1997	87.8401	**28/6/1999**	89.1829
23/4/1997	236.1284	**27/7/1999**	66.9629
7/5/1997	173.8922	**26/8/1999**	53.9271
30/5/1997	125.0835	**5/10/1999**	48.7918
26/6/1997	115.0377	**5/11/1999**	40.6596
31/7/1997	64.1943	**25/1/2000**	39.6661
9/9/1997	44.8341	**9/2/2000**	47.4850
13/10/1997	48.5517	**2/3/2000**	196.3919
9/1/1998	74.8915	**19/4/2000**	64.3535
9/2/1998	644.9177	**19/4/2001**	32.5644
12/3/1998	229.9678	**27/11/2001**	21.4460
8/4/1998	199.7006	**6/2/2002**	89.2035
12/5/1998	120.5156	**12/3/2002**	100.7801
11/6/1998	108.0107	**20/7/2002**	29.2384
20/8/1998	52.8148	**7/8/2002**	36.9437
19/1/1999	102.9446	**20/2/2003**	489.7088
16/2/1999	202.7401	**15/5/2003**	137.4903
26/3/1999	172.0268	**14/1/2004**	196.8247

Δεδομένα Παροχών Πηγών

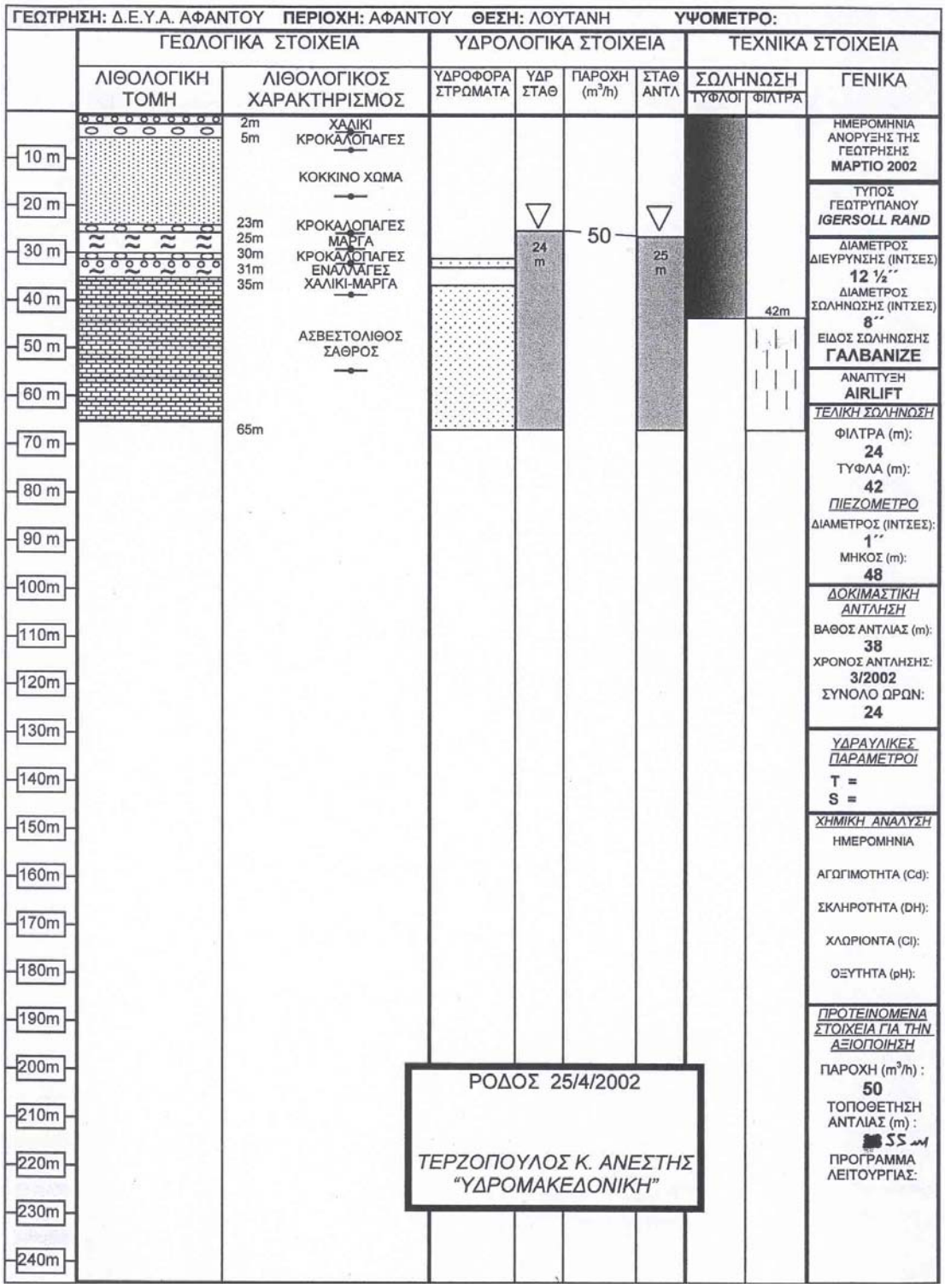
Τα δεδομένα ελήφθησαν από Τμήμα Ανάπτυξης Φυσικών Πόρων – Τομέας Εγγ. Βελτιώσεων και Φυσικών Πόρων, Ρόδου.

7 Πηγές			
Ημερομηνία	Παροχή (m^3/h)	**Ημερομηνία**	Παροχή (m^3/h)
4/1/1997	462.5239	**17/6/1999**	242.3300
18/2/1997	291.7192	**19/7/1999**	288.0800
1/3/1997	340.9930	**24/8/1999**	155.7600
2/4/1997	368.7479	**28/9/1999**	172.9000
22/4/1997	428.1309	**26/1/2000**	130.4000
7/5/1997	337.0856	**7/2/2000**	146.1311
13/6/1997	242.5952	**16/2/2000**	149.1397
30/6/1997	213.9104	**2/3/2000**	241.8873
31/7/1997	189.6221	**21/3/2000**	272.2921
16/9/1997	198.0598	**14/4/2000**	227.1416
24/10/1997	177.6355	**2/5/2000**	57.2237
7/1/1998	365.8619	**31/5/2000**	167.7000
29/1/1998	607.8370	**11/7/2000**	162.9326
12/2/1998	727.8936	**8/8/2000**	133.1706
9/3/1998	437.1000	**3/1/2001**	144.3624
20/3/1998	401.5000	**27/1/2001**	107.9200
7/4/1998	318.8000	**20/3/2001**	146.2000
11/5/1998	37.0055	**12/12/2001**	266.1798
11/6/1998	189.7000	**31/1/2002**	383.3559
10/7/1998	105.9100	**12/2/2002**	302.1319
20/8/1998	144.4700	**6/3/2002**	275.1375
19/11/1998	104.5000	**2/4/2002**	215.7696
18/1/1999	215.1000	**23/10/2002**	103.3976
25/1/1999	262.4000	**6/2/2003**	1037.8360
1/2/1999	326.2000	**20/2/2003**	929.1875
15/2/1999	471.9991	**8/4/2003**	459.6528
8/3/1999	450.3704	**15/5/2003**	34.0376
26/3/1999	307.1872	**5/11/2003**	151.9158
14/4/1999	573.1463	**20/1/2004**	721.6306
20/5/1999	307.5911	**30/1/2004**	837.5778
		10/3/2004	309.5082

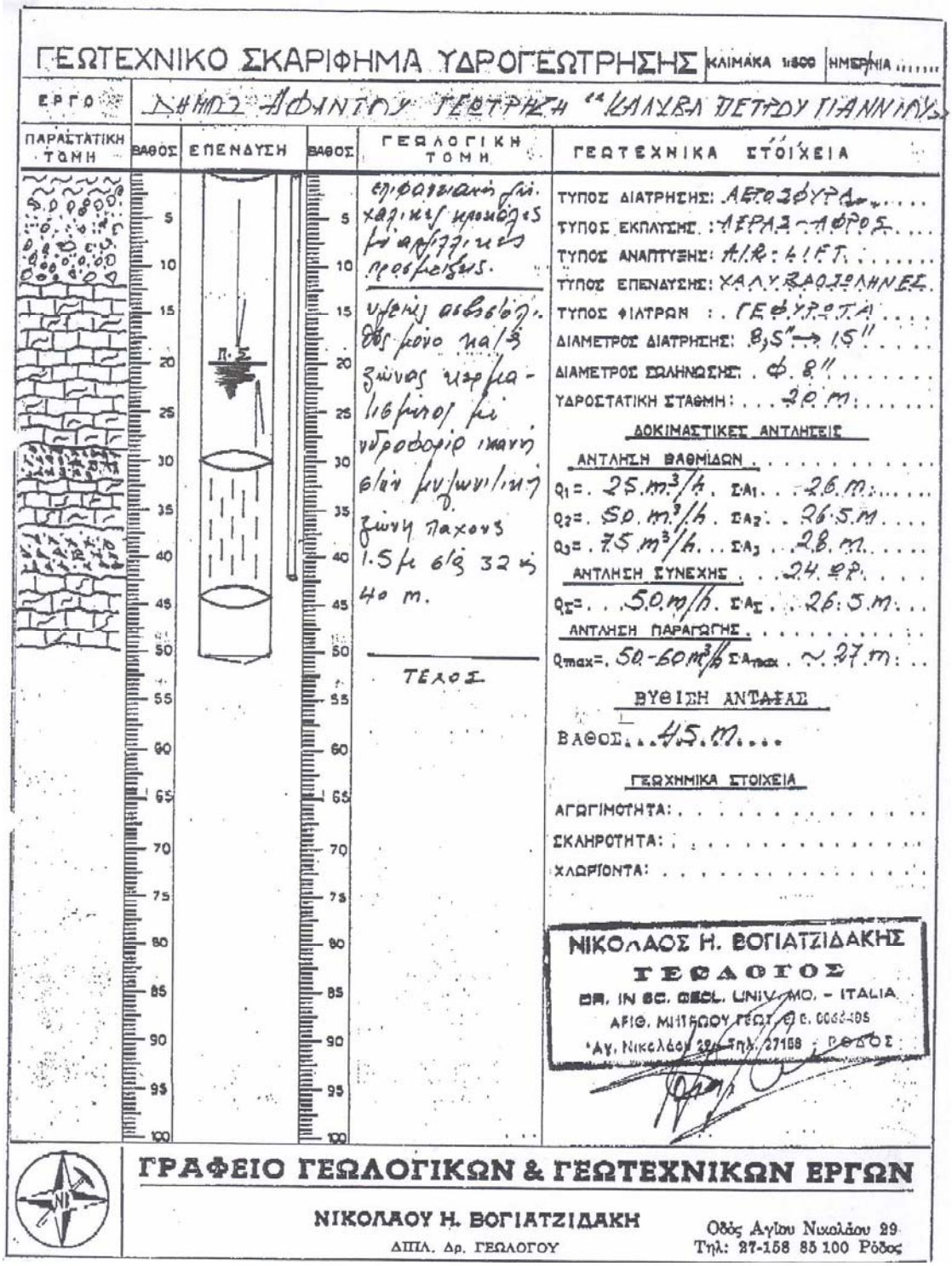
Γεωτρήσεις Ύδρευσης-Άρδευσης Δ.Ε.Υ.Α. Αφάντου

ΠΕΡΙΟΧΗ	ΕΙΔΟΣ	ΘΕΣΗ	ΠΑΡΟΧΗ (m^3/h)	ΩΡΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ (hr/day)	ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ (m^3)	ΧΡΗΣΗ
ΑΡΧΙΠΟΛΗ	ΓΕΩΤΡΗΣΗ	ΠΙΣΧΑΛΙΑ	100	20 (10)	-	Α
	ΓΕΩΤΡΗΣΗ	ΠΥΘΑΡΙΑ	20	20 (10)	-	Υ+Α
	ΓΕΩΤΡΗΣΗ	ΤΣΑΚΑΛΗ (ΔΡΑΚΟΥ 2)	52	20 (10)	-	Υ
	ΓΕΩΤΡΗΣΗ	ΔΡΑΚΟΥ	ΣΤΕΡΕΨΕ	20 (10)	-	Υ
	ΔΕΞΑΜΕΝΗ	ΛΙΜΑ	-	-	500	Α
	ΔΕΞΑΜΕΝΗ	ΔΡΑΚΟΥ	-	-	180	Υ
	ΔΕΞΑΜΕΝΗ	ΠΙΣΧΑΛΙΑ	-	-	-	Α
ΚΟΛΥΜΠΙΑ	ΓΕΩΤΡΗΣΗ	ΛΟΥΤΑΝΗΣ 1	80	20 (10)	-	Υ
	ΓΕΩΤΡΗΣΗ	ΛΟΥΤΑΝΗΣ 2	45	20 (10)	-	Υ
	ΓΕΩΤΡΗΣΗ	ΚΥΠΑΡΙΣΣΙΑ	60	20 (10)	-	Υ
	ΓΕΩΤΡΗΣΗ	ΠΟΡΤΟΚΑΛΙΕΣ	40	20 (10)	-	Υ
	ΓΕΩΤΡΗΣΗ	ΣΤΡΑΤΟΠΕΔΟΥ	40	20 (10)	-	Α
	ΔΕΞΑΜΕΝΗ	ΚΟΛΥΜΠΙΑ	-	-	300	Υ
	ΔΕΞΑΜΕΝΗ	ΜΕΤΑΛΛΙΚΗ 1	-	-	150	Α
	ΔΕΞΑΜΕΝΗ	ΜΕΤΑΛΛΙΚΗ 2	-	-	150	Α
ΠΑΡΑΜΥΘΙΑ	ΓΕΩΤΡΗΣΗ	ΠΑΡΑΜΥΘΙΑ	40	20 (10)	-	Υ
	ΓΕΩΤΡΗΣΗ	ΠΑΡΘΕΝΩΝΑΣ	20	5 (2)	-	Υ
	ΔΕΞΑΜΕΝΗ	ΠΑΡΑΜΥΘΙΑ	-	-	300	Υ
ΑΦΑΝΤΟΥ	ΓΕΩΤΡΗΣΗ	ΤΟΥΝΑΡΙ	40	5 (2)	-	Α
	ΓΕΩΤΡΗΣΗ	ΜΑΣΤΙΧΟΥΣ	20	5 (2)	-	Α
	ΓΕΩΤΡΗΣΗ	ΜΥΛΟΥ (ΚΑΡΥΤΣΙ)	100	20 (10)	-	Υ
	ΓΕΩΤΡΗΣΗ	ΖΑΡΒΟ	40	5	-	Α
	ΓΕΩΤΡΗΣΗ	ΠΕΛΕΜΟΝΗΣ		20 (10)	-	Υ
	ΓΕΩΤΡΗΣΗ	ΔΗΜΗΤΡΑ ΒΡΥΣΗ Ι	120	20 (10)	-	Υ
	ΓΕΩΤΡΗΣΗ	ΔΗΜΗΤΡΑ ΒΡΥΣΗ ΙΙ	10	20 (10)	-	Υ
	ΓΕΩΤΡΗΣΗ	ΒΟΤΤΕΣ	45	20 (10)	-	Υ
	ΔΕΞΑΜΕΝΗ	ΑΓΙΟΣ ΛΟΥΚΑΣ (ΠΑΛΙΑ)	-	-	600	Υ
	ΔΕΞΑΜΕΝΗ	ΑΓΙΟΣ ΛΟΥΚΑΣ (ΚΑΙΝΟΥΡΙΑ)	-	-	1000	Υ

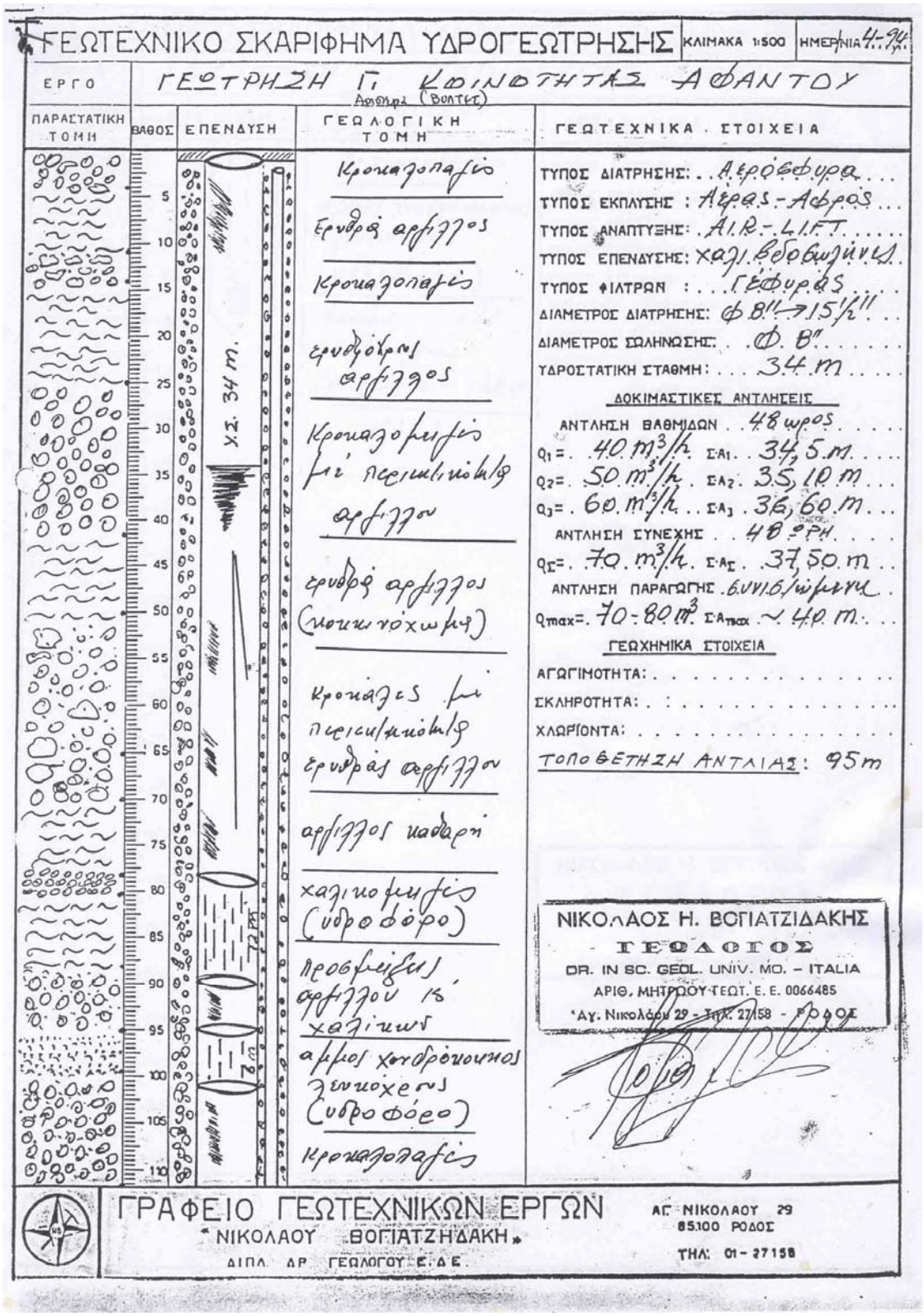
Γεώτρηση Λουτάνης ΙΙ-Κολύμπια

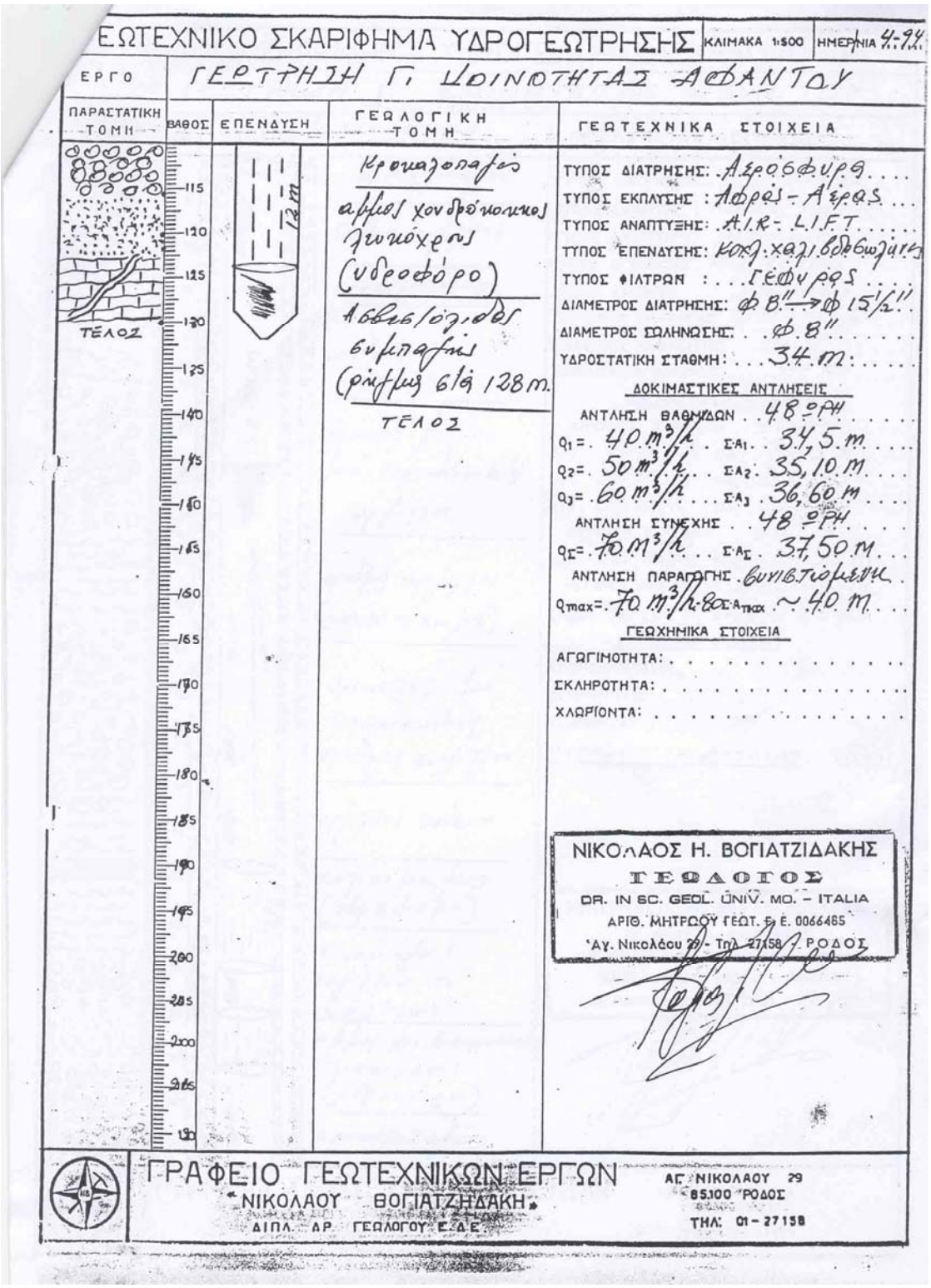


Γεώτρηση Κυπαρίσσια-Κολύμπια


ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΟ ΣΚΑΡΙΦΗΜΑ ΥΔΡΟΓΕΩΤΡΗΣΗΣ
ΚΛΙΜΑΚΑ 1:500
ΗΜΕΡΗΝΙΑ .....
ΕΡΓΟ: ΔΗΜΟΣ ΑΦΑΝΤΟΥ ΓΕΩΤΡΗΣΗ "ΚΑΛΥΒΑ ΠΕΤΡΟΥ ΓΙΑΝΝΙΑΣ"
ΠΑΡΑΣΤΑΤΙΚΗ ΤΟΜΗ | ΒΑΘΟΣ | ΕΠΕΝΔΥΣΗ | ΒΑΘΟΣ | ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΤΟΜΗ | ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ
Π.Σ.
5 10 15 20 25 30 35 40 45 50 55 60 65 70 75 80 85 90 95 100
επιφανειακή μη-χαρικής μορφής μη αρτιγενής προσμείξεις.
υγρή ασβεστό-λιθος μαλακός ζώνας υπομα-λιθωμένος με υδροφόρο ικανή ελάν μυζωνιλική ζώνη παχους 1.5μ από 32 ως 40 m.
ΤΕΛΟΣ
ΤΥΠΟΣ ΔΙΑΤΡΗΣΗΣ: ΑΕΡΟΣΦΥΡΑ
ΤΥΠΟΣ ΕΚΠΛΥΣΗΣ: ΑΕΡΑΣ-ΑΦΡΟΣ
ΤΥΠΟΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ: AIR-LIFT
ΤΥΠΟΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ: ΧΑΛΥΒΔΟΣΩΛΗΝΕΣ
ΤΥΠΟΣ ΦΙΛΤΡΩΝ: ΓΕΦΥΡΩΤΑ
ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΔΙΑΤΡΗΣΗΣ: 8,5" → 15"
ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΣΩΛΗΝΩΣΗΣ: Φ. 8"
ΥΔΡΟΣΤΑΤΙΚΗ ΣΤΑΘΜΗ: 20 m
ΔΟΚΙΜΑΣΤΙΚΕΣ ΑΝΤΛΗΣΕΙΣ
ΑΝΤΛΗΣΗ ΒΑΘΜΙΔΩΝ
Q_1 = 25 m^3/h ΣΑ$_1$ = 26 m
Q_2 = 50 m^3/h ΣΑ$_2$ = 26.5 m
Q_3 = 75 m^3/h ΣΑ$_3$ = 28 m
ΑΝΤΛΗΣΗ ΣΥΝΕΧΗΣ 24 ΩΡ.
Q_Σ = 50 m/h ΣΑ$_\Sigma$ = 26.5 m
ΑΝΤΛΗΣΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ
Q_{max} = 50-60 m^3/h ΣΑ$_{max}$ = ~27 m
ΒΥΘΙΣΗ ΑΝΤΛΙΑΣ
ΒΑΘΟΣ 45 m
ΓΕΩΧΗΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ
ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ:
ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ:
ΧΑΩΡΙΟΝΤΑ:
ΝΙΚΟΛΑΟΣ Η. ΒΟΓΙΑΤΖΙΔΑΚΗΣ
ΓΕΩΛΟΓΟΣ
DR. IN SC. GEOL. UNIV. MO. - ITALIA
ΑΡΙΘ. ΜΗΤΡΩΟΥ ΓΕΩΤ. Ο.Ε. 0062-405
Αγ. Νικολάου 29 - Τηλ. 27158 - ΡΟΔΟΣ
ΓΡΑΦΕΙΟ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ & ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ
ΝΙΚΟΛΑΟΥ Η. ΒΟΓΙΑΤΖΙΔΑΚΗ
ΔΙΠΛ. Δρ. ΓΕΩΛΟΓΟΥ
Οδός Αγίου Νικολάου 29
Τηλ.: 27-158 85 100 Ρόδος

Γεώτρηση Βόττες-Αφάντου





ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΟ ΣΚΑΡΙΦΗΜΑ ΥΔΡΟΓΕΩΤΡΗΣΗΣ | ΚΛΙΜΑΚΑ 1:500 | ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ 4-94

ΕΡΓΟ: ΓΕΩΤΡΗΣΗ Γ. ΚΟΙΝΟΤΗΤΑΣ ΑΦΑΝΤΟΥ

ΠΑΡΑΣΤΑΤΙΚΗ ΤΟΜΗ | ΒΑΘΟΣ | ΕΠΕΝΔΥΣΗ | ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΤΟΜΗ | ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

ΤΕΛΟΣ

128 m

Κροκαλοπαγές
αμμος χονδρόκοκκος
ιλυώχρους
(υδροφόρο)

Ασβεστόλιθοι
συμπαγείς
(ρήγμα στα 128 m.

ΤΕΛΟΣ

ΤΥΠΟΣ ΔΙΑΤΡΗΣΗΣ: Αερόσφυρα
ΤΥΠΟΣ ΕΚΠΛΥΣΗΣ: Αφρός - Αέρας
ΤΥΠΟΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ: A.I.R. - L.I.F.T.
ΤΥΠΟΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ: Κοιν. χαλ. βδβ ωλήνες
ΤΥΠΟΣ ΦΙΛΤΡΩΝ: Γέφυρας
ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΔΙΑΤΡΗΣΗΣ: Φ 8" → Φ 15½"
ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΣΩΛΗΝΩΣΗΣ: Φ 8"
ΥΔΡΟΣΤΑΤΙΚΗ ΣΤΑΘΜΗ: 34 m

ΔΟΚΙΜΑΣΤΙΚΕΣ ΑΝΤΛΗΣΕΙΣ

ΑΝΤΛΗΣΗ ΒΑΘΜΙΔΩΝ: 48 ºPH
Q_1 = 40 m³/h ΣΑ₁ 34,5 m
Q_2 = 50 m³/h ΣΑ₂ 35,10 m
Q_3 = 60 m³/h ΣΑ₃ 36,60 m
ΑΝΤΛΗΣΗ ΣΥΝΕΧΗΣ: 48 ºPH
Q_Σ = 70 m³/h ΣΑ_Σ 37,50 m
ΑΝΤΛΗΣΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ: Συνιβ. τιμένη
Q_{max} = 70 m³/h ΣΑ_max ~ 40 m

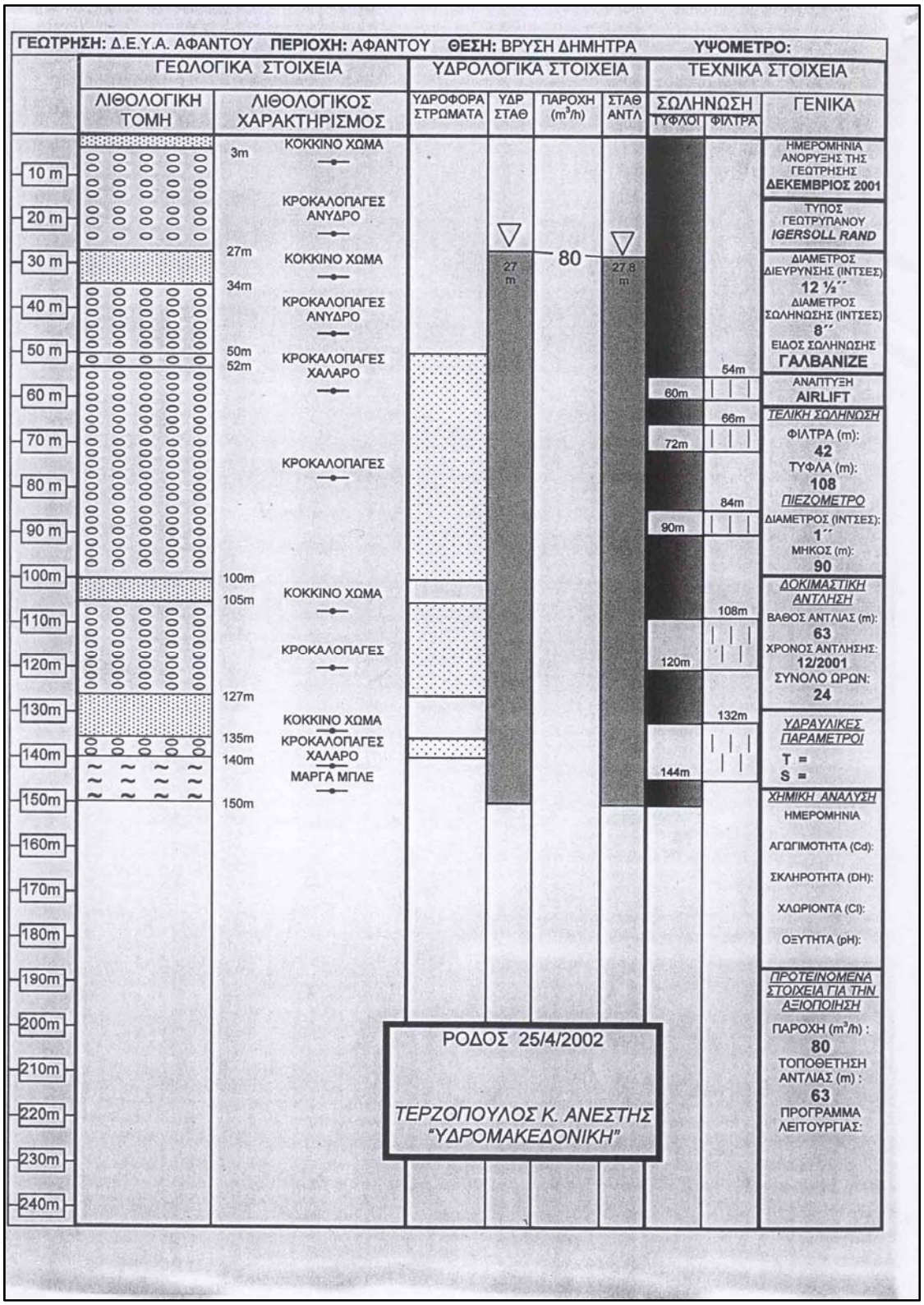
ΓΕΩΧΗΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ:
ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ:
ΧΛΩΡΙΟΝΤΑ:

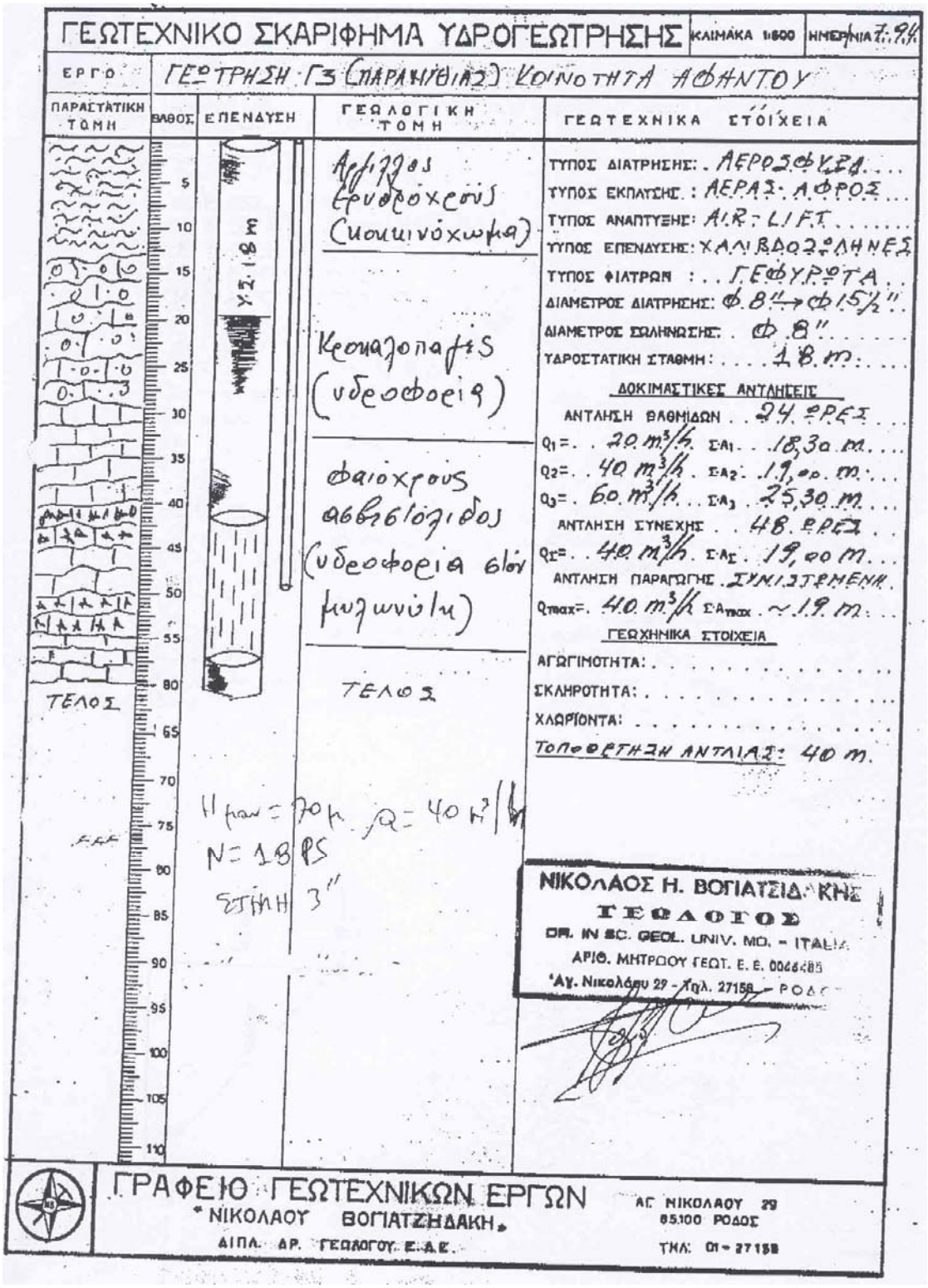
ΝΙΚΟΛΑΟΣ Η. ΒΟΓΙΑΤΖΙΔΑΚΗΣ
ΓΕΩΛΟΓΟΣ
DR. IN SC. GEOL. ΠΑΝΕΠ. ΜΟ. - ITALIA
ΑΡΙΘ. ΜΗΤΡΩΟΥ ΓΕΩΛ. Ε.Ε. 0066485
Αγ. Νικολάου 29 - Τηλ. 27158 - ΡΟΔΟΣ

ΓΡΑΦΕΙΟ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ
«ΝΙΚΟΛΑΟΥ ΒΟΓΙΑΤΖΗΔΑΚΗ»
ΔΙΠΛ. ΑΡ. ΓΕΩΛΟΓΟΥ Ε.Α.Ε.
ΑΓ. ΝΙΚΟΛΑΟΥ 29
85100 ΡΟΔΟΣ
ΤΗΛ. 01-27158

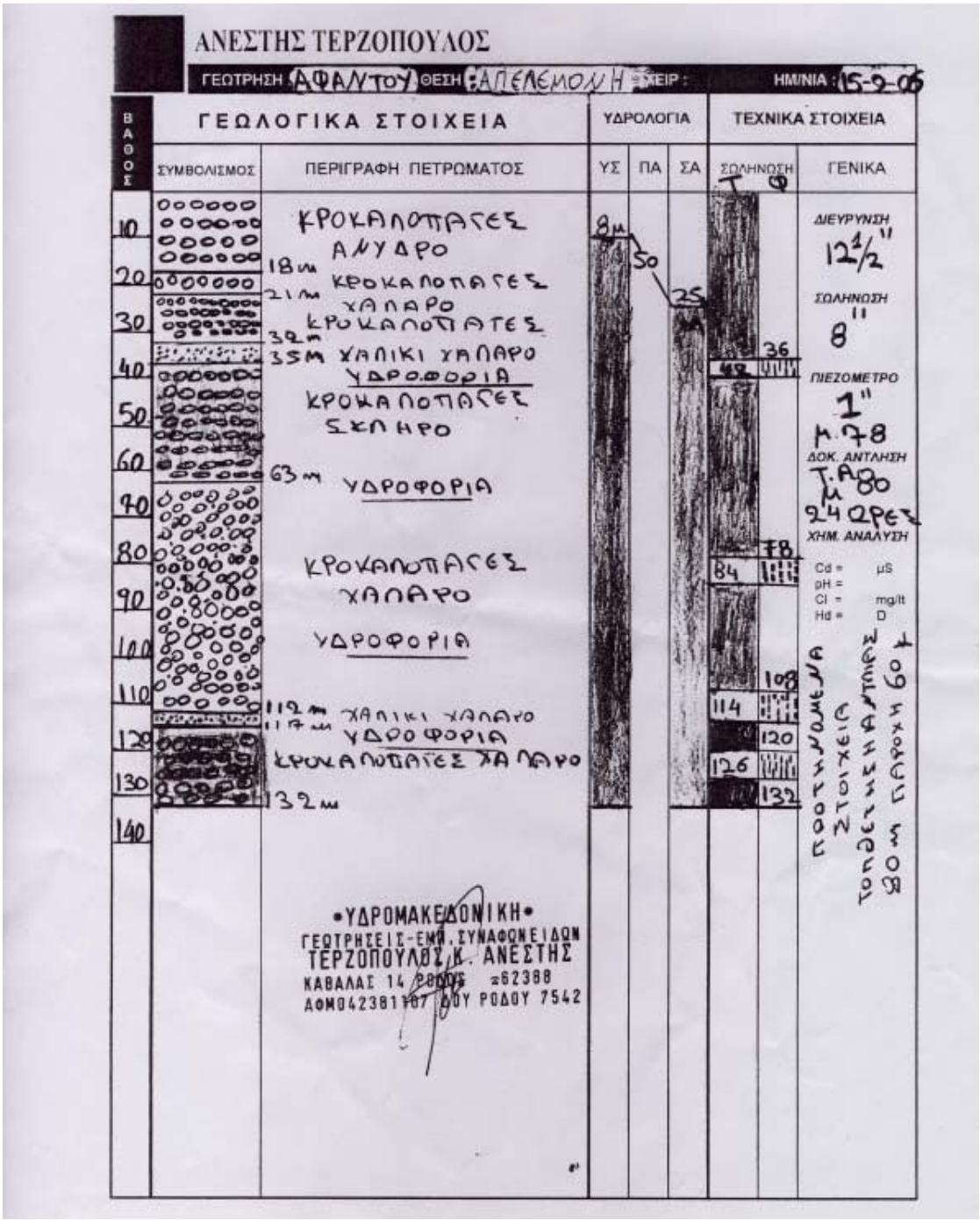
Γεώτρηση Δημήτρα Βρύση ΙΙ



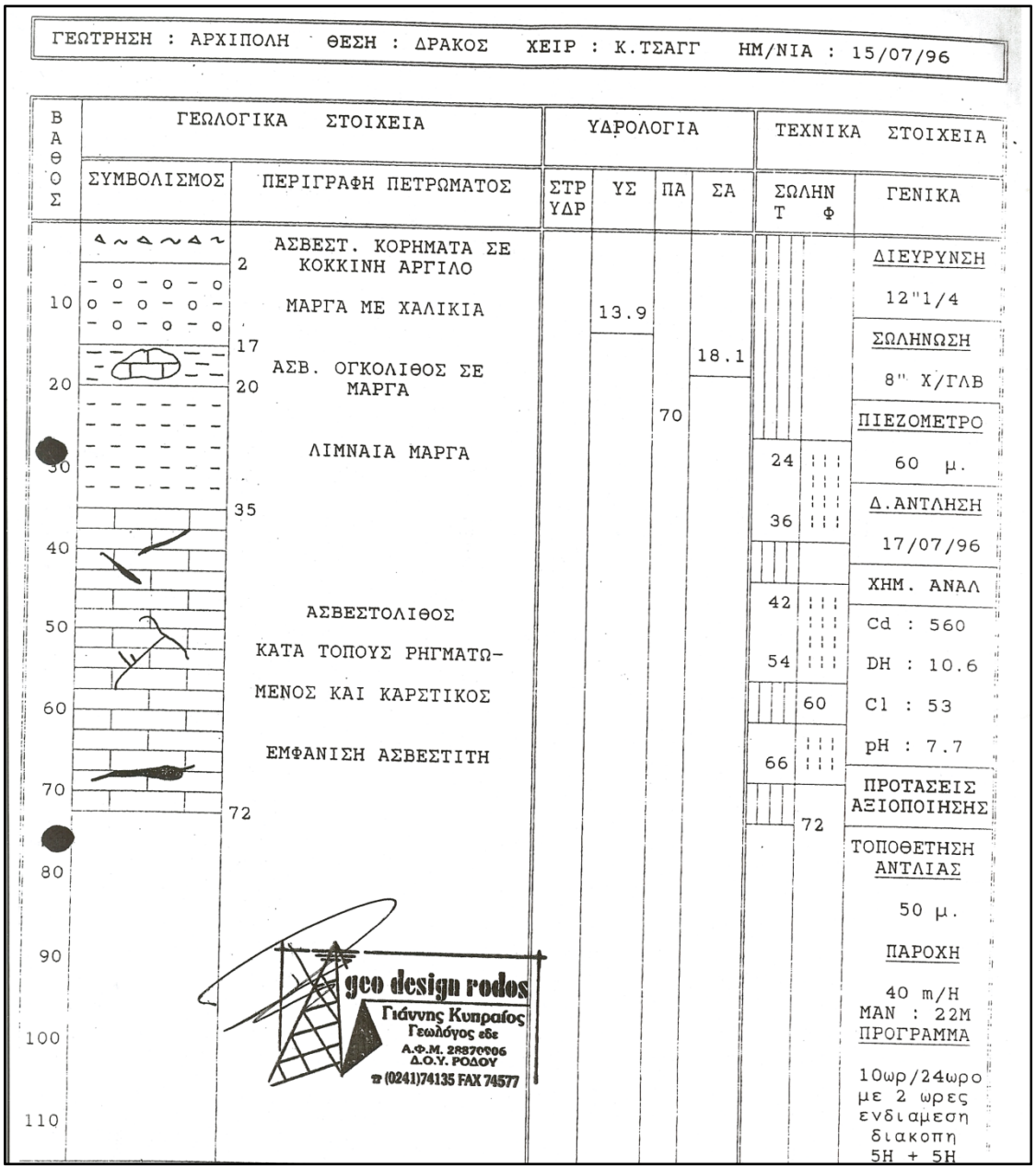
Γεώτρηση Παραμυθία-Κολύμπια



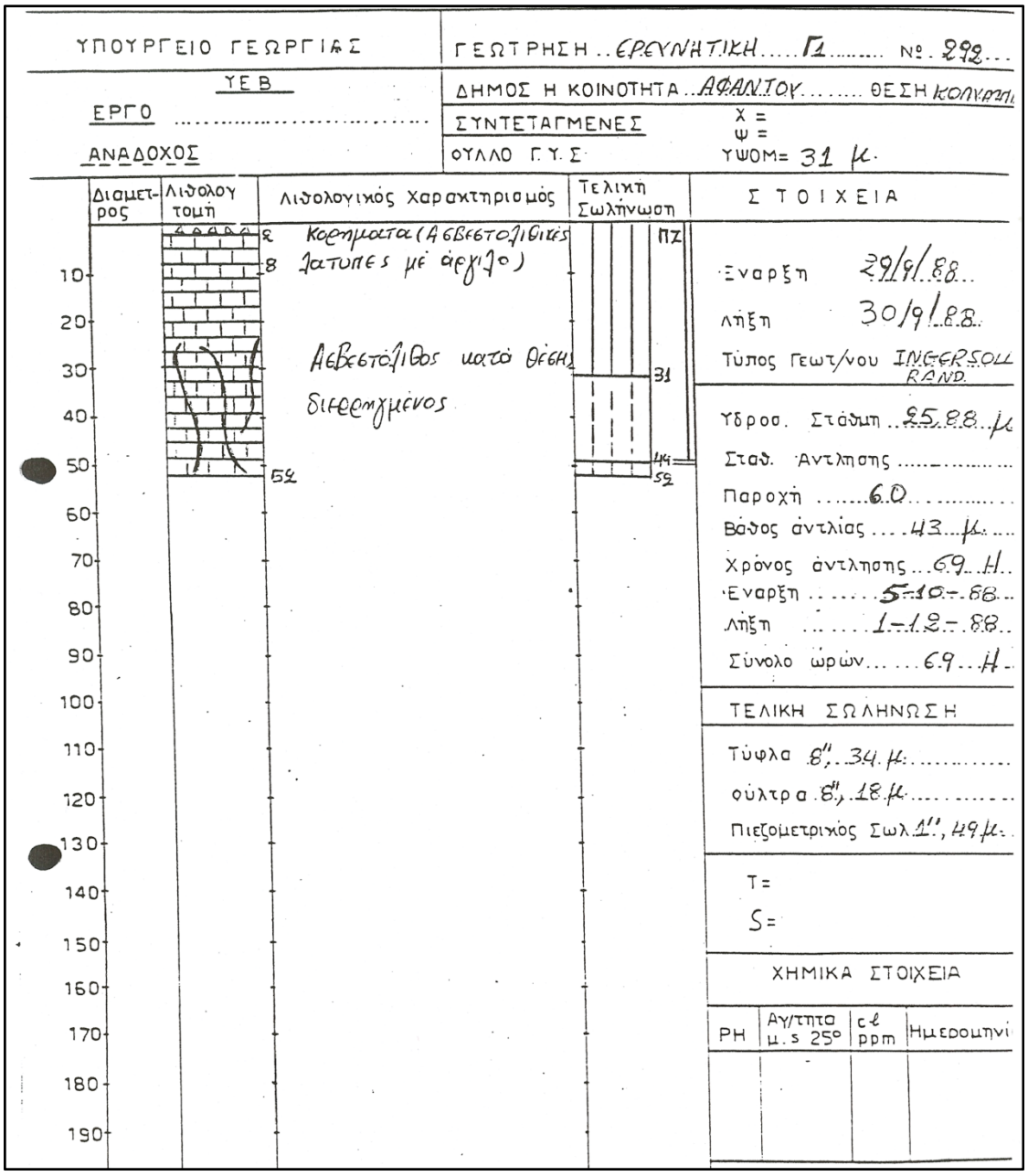
Γεώτρηση Πελέμονη-Αφάντου



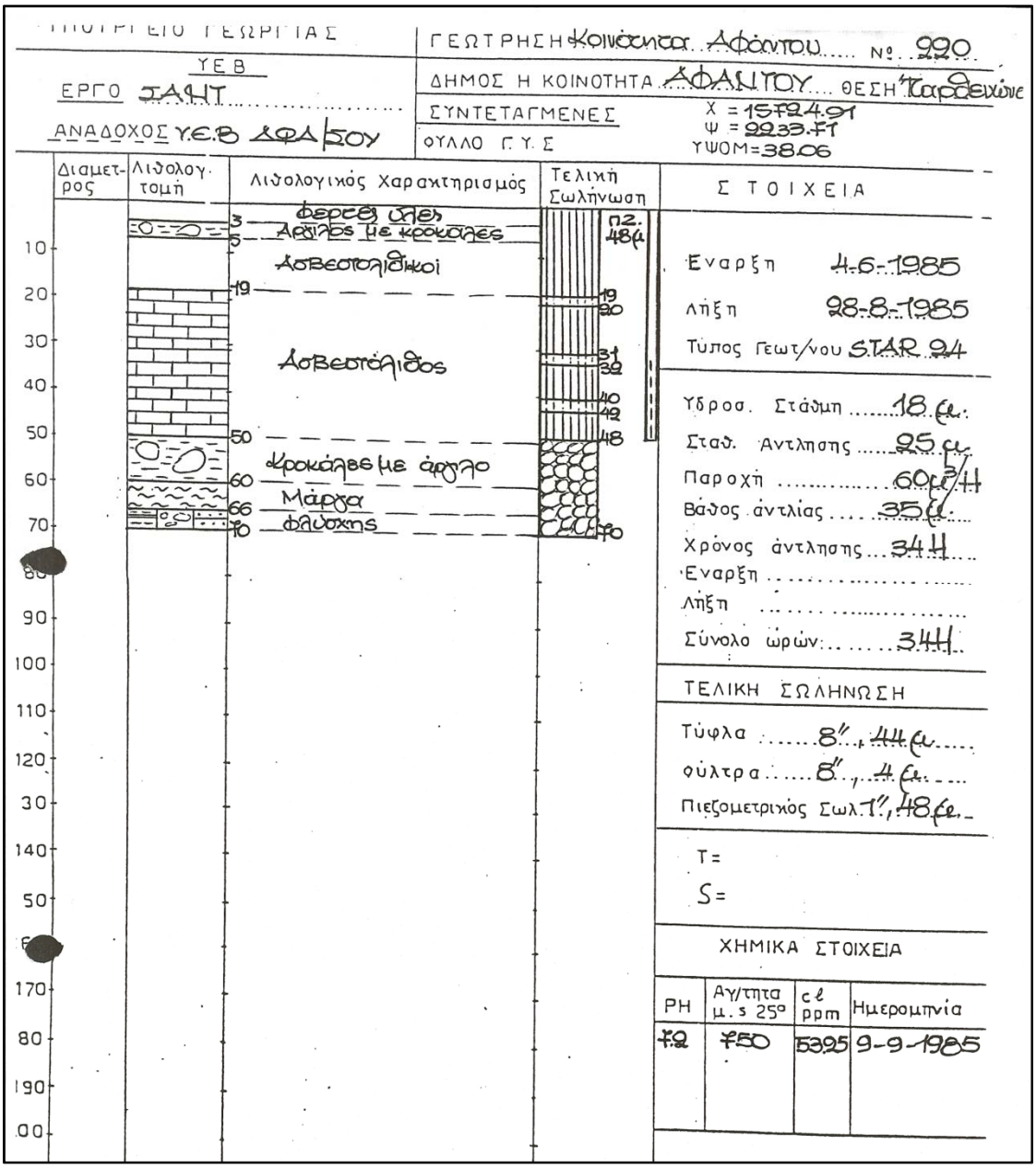
Γεώτρηση Δράκου-Αρχίπολη



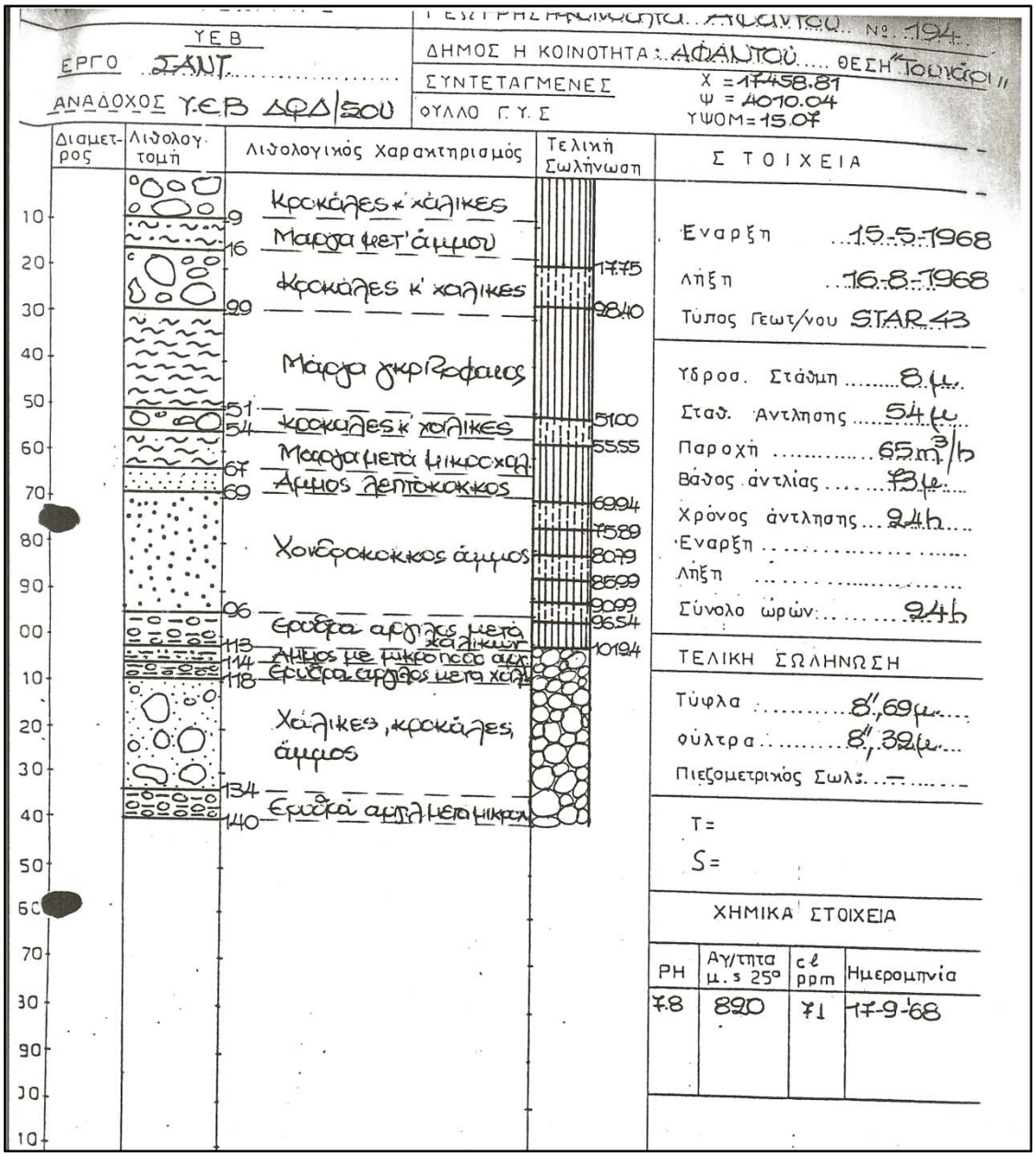
Γεώτρηση Πορτοκαλιές-Κολύμπια



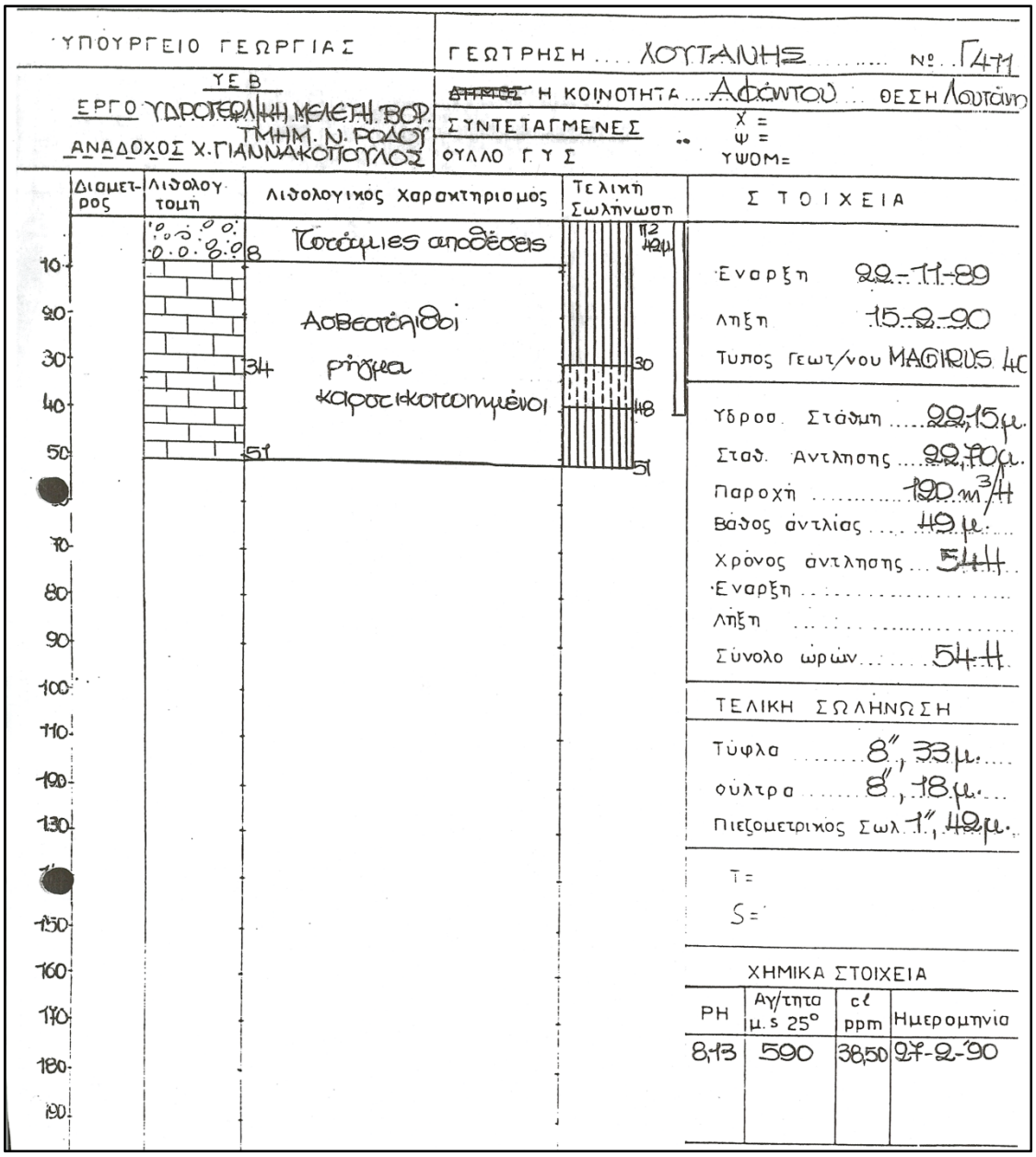
Γεώτρηση Παρθενώνας-Κολύμπια



Γεώτρηση Τουνάρι-Αφάντου



Γεώτρηση Λουτάνης - Κολύμπια



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΓΕΩΡΓΙΑΣ

ΥΕΒ

ΕΡΓΟ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΒΟΡ. ΤΜΗΜ. Ν. ΡΟΔΟΥ

ΑΝΑΔΟΧΟΣ Χ. ΓΙΑΝΝΑΚΟΠΟΥΛΟΣ

ΓΕΩΤΡΗΣΗ ΛΟΥΤΑΝΗΣ Nº Γ411

~~ΔΗΜΟΣ~~ Η ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ Αφάντου ΘΕΣΗ Λουτάνη

ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ X = Ψ = ΥΨΟΜ=

ΟΥΛΛΟ Γ Υ Σ

Διαμετρος	Λιθολογια τομη	Λιθολογικος Χαρακτηρισμος	Τελικη Σωληνωση	ΣΤΟΙΧΕΙΑ
10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110, 120, 130, 140, 150, 160, 170, 180, 190	8, 34, 51	Τοπικες αποθεσεις (8–34); Ασβεστολιθοι ρηγμα καρστικοποιημενοι (34–51)	Π2 42μ; 30; 48; 51	Εναρξη 22-11-89; Ληξη 15-2-90; Τυπος Γεωτ/νου MAGIRUS 4C; Υδροσ. Σταθμη 22,15μ; Σταθ. Αντλησης 22,70μ; Παροχη 120 m³/H; Βαθος αντλιας 49μ; Χρονος αντλησης 54H; Εναρξη; Ληξη; Συνολο ωρων 54H

ΤΕΛΙΚΗ ΣΩΛΗΝΩΣΗ

Τυφλα 8", 33μ

φιλτρα 8", 18μ

Πιεζομετρικος Σωλ. 1", 42μ

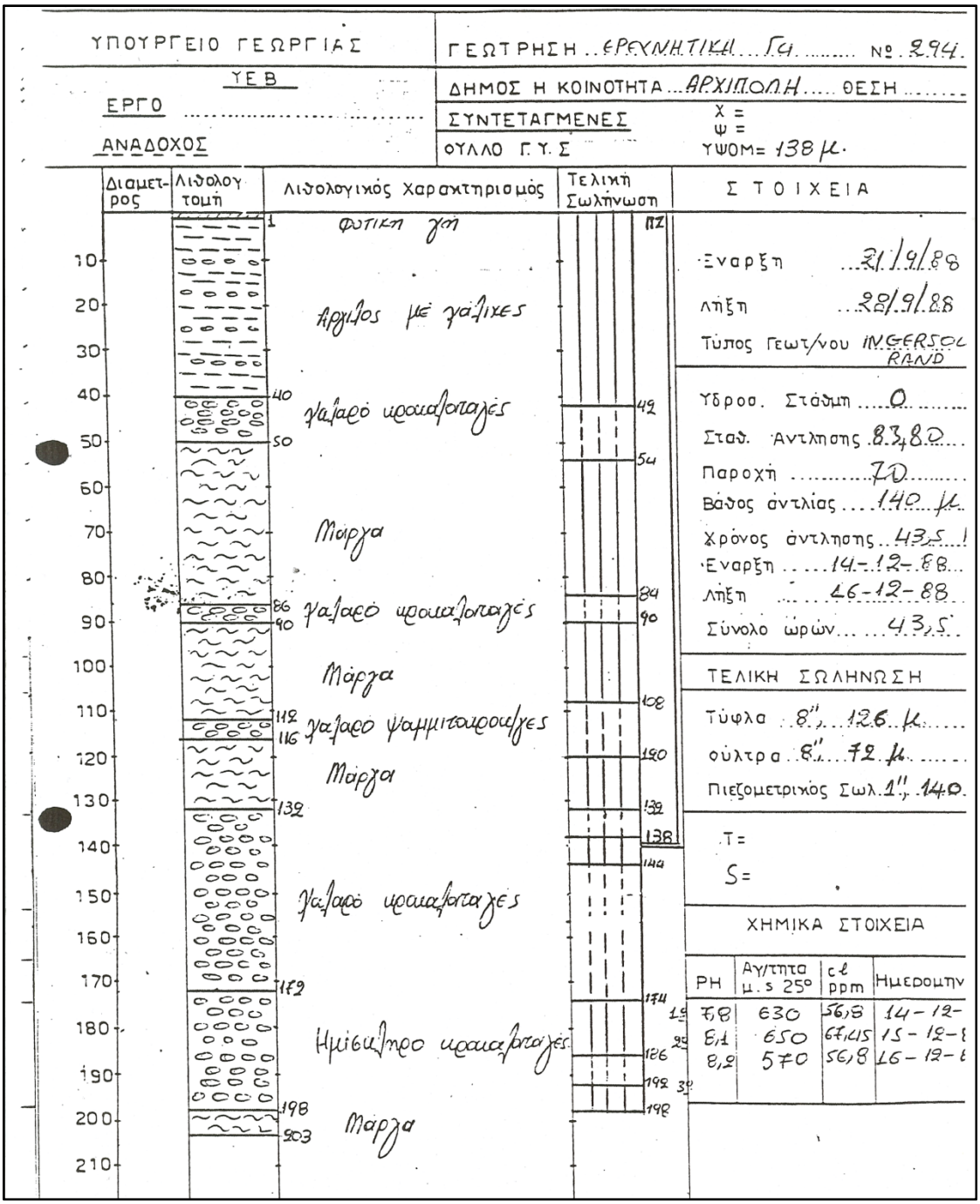
T =

S =

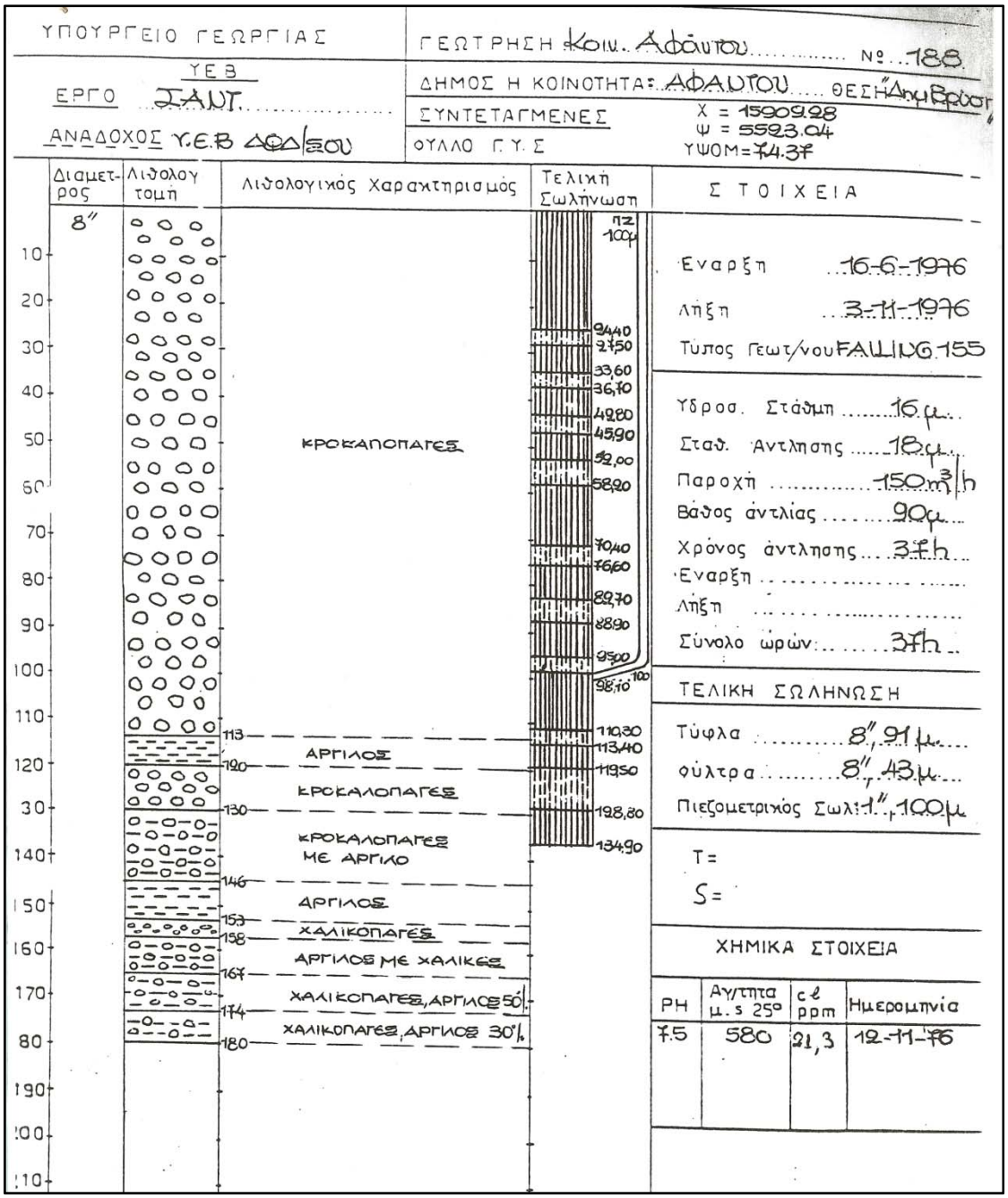
ΧΗΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

PH	Αγ/τητα μ.s 25°	cl ppm	Ημερομηνια
8,13	590	38,50	27-2-90

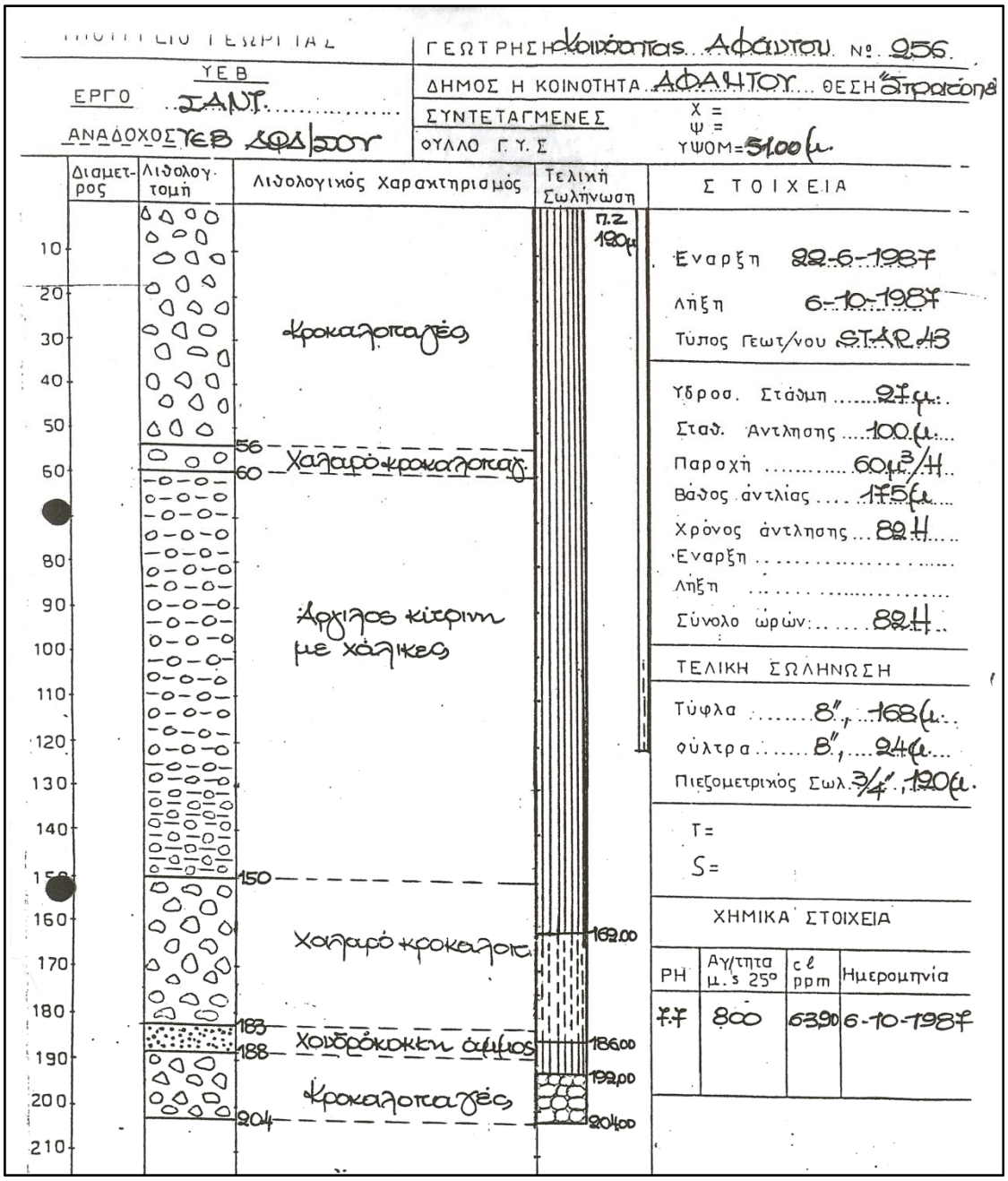
Γεώτρηση Πιθάρια-Αρχίπολη



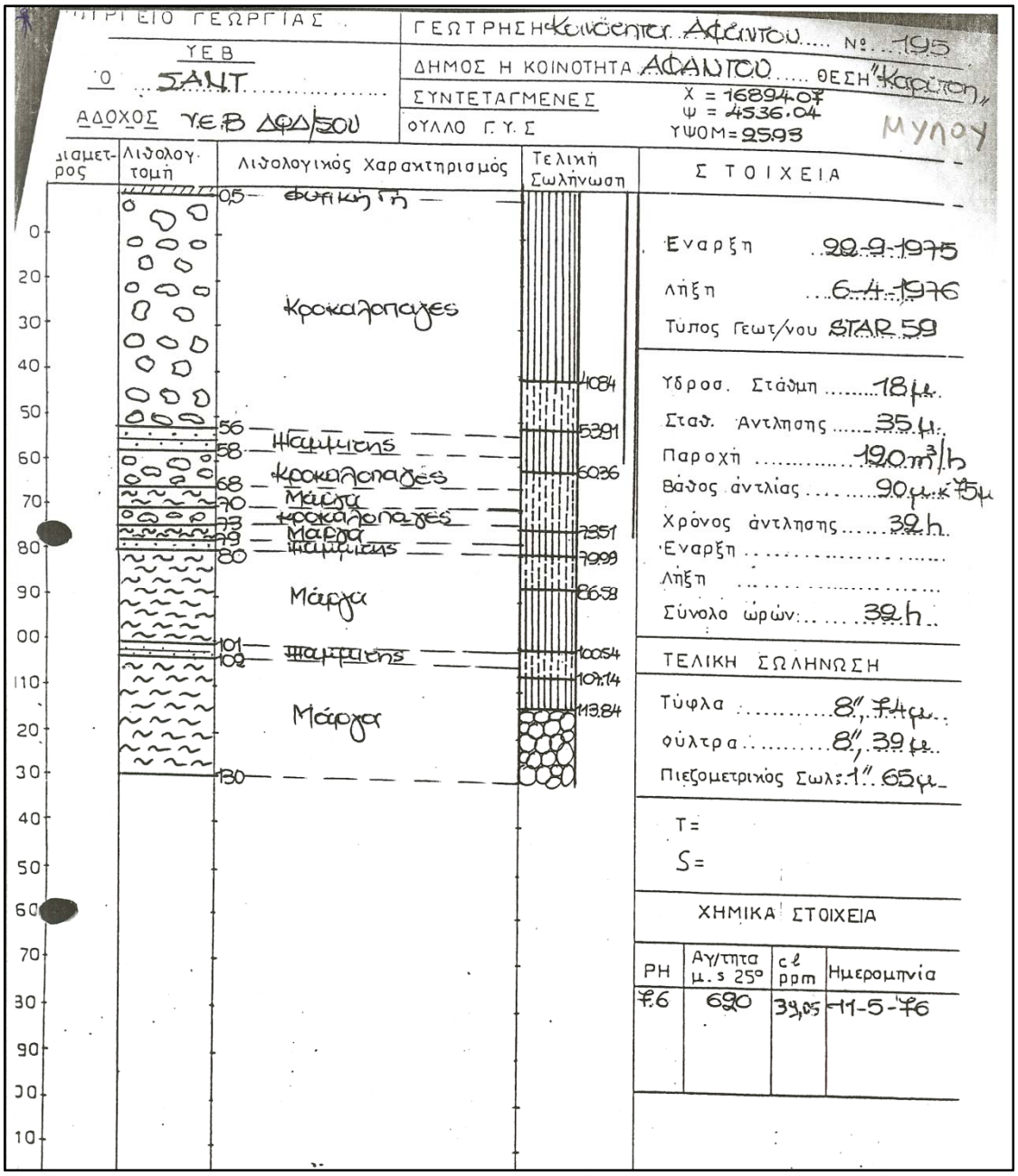
Γεώτρηση Δημήτρα Βρύση Ι-Αφάντου



Γεώτρηση Στρατόπεδο-Αφάντου



Γεώτρηση Μύλου-Αφάντου



ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ

(Περιγραφή παραμέτρων ETD και PTC)

Περιγραφή των Παραμέτρων που χρησιμοποιούνται στο Υδρολογικό Υπομοντέλο του ETD

Μεταβλητές Εισροών

PREC: Συχνότητα βροχής(mm/day)

TEMPC: Θερμοκρασία Αέρα (◦C)

QEVAP: Εξάτμιση (mm/day)

Μεταβλητές εκροών

h(i): ισοδύναμο ύψος νερού στο i- διαμέρισμα

QOUT: Προβλέψιμη εκροή επιφανειακού νερού από το υδάτινο σώμα ($\frac{m}{day \times unit\ catchment\ area}$)

STAGE: προβλεπόμενη κατάσταση (στάθμη του υδάτινου σώματος (m)

Υπολογισμένες Μεταβλητές

QOUT: Η επιφανειακή εκροή νερού από το υδάτινο σώμα (m^3/day)

<u>Παράμετροι</u>

a_1: παράγοντας διόρθωσης της επιφανειακής διαροής του υδάτινου συστήματος (αδιάστατο)

a_2: παράγοντας διόρθωσης της υπόγειας διαροής του υδάτινου συστήματος (αδιάστατο)

b: το κομμάτι του χιονιού που λιώνει και κατευθύνεται στο επιφανειακό νερό (αδιάστατο)

d_1: το κομμάτι της περιμέτρου του υδάτινου σώματος στο οποίο πραγματοποιείται διαροή (αδιάστατο)

FRAX: Κομμάτι της εξατμισοδιαπνοής από την ακόρεστη ζώνη (αδιάστατο)

H(i): σταθερά για τον ρυθμό-βαθμό υδρόλυσης για το διαμέρισμα i ($\frac{meq}{m^2 \times d}$)

KLAT(3): σταθερά για την εγκάρσια ροή για το διαμέρισμα του εδάφους (αδιάστατο)

KLAT(4): σταθερά για την εγκάρσια ροή για το διαμέρισμα της ακόρεστης ζώνης (αδιάστατο)

KPERC3: σταθερά για την κατακόρυφη διήθηση για το διαμέρισμα του εδάφους (αδιάστατο)

KPERC4: σταθερά για την κατακόρυφη διήθηση για το διαμέρισμα της ακόρεστης ζώνης (αδιάστατο)

KPAN(i): Συντελεστή για την εξατμισοδιαπνοή από το διαμέρισμα i, σχετικός με την υπολογισμένη εξάτμιση (αδιάστατο)

Σταθερές

AREAA: υδάτινη επιφάνεια της υπολεκάνης (m^2)

AREAT: χερσαία επιφάνεια της υπολεκάνης (m^2)

AREATT: συνολική επιφάνεια της υπολεκάνης (m^2)

CBED: ενεργή υδραυλική αγωγιμότητα του στρώματος του επιφανειακού νερού (m/day)

Cr: παράγοντας μείωσης του ρυθμού υποχώρησης ανά βαθμό $^{\circ}C$ κάτω από το σημείο παγετού FL(αδιάστατο)

D3: Βάθος του ανώτερου στρώματος εδάφους ή του διαμερίσματος του εδάφους (m)

DEP4: Βάθος του διαμερίσματος της ακόρεστης ζώνης = $DEPBR - D3 - \frac{h(6)}{PORE(6)}$

DEP6: Βάθος του διαμερίσματος του υπόγειου νερού (m)

DEPBR: Μέσο βάθος αδιαπέρατου στρώματος στην υπολεκάνη (m)

DIST: απόσταση μεταξύ των κεντροβαρικών σημείων ανάμεσα στο υδάτινο σώμα και την λεκάνη απορροής (m)

FI: Δείκτης Ακαριαίου παγετού ($^{\circ}C$)

FIL: Οριακή τιμή του δείκτη παγετού πάνω από την οποία δεν υπάρχει μείωση του ρυθμού υποχώρησης (αδιάστατο)

Kb: συντελεστής διαπνοής (m/d)

KHL: Οριζόντια υδραυλική αγωγιμότητα του διαμερίσματος της ακόρεστης ζώνης (m/day)

KHU: Οριζόντια υδραυλική αγωγιμότητα του διαμερίσματος του εδάφους (m/day)

KVL: Κατακόρυφη υδραυλική αγωγιμότητα του διαμερίσματος της ακόρεστης ζώνης (m/day)

KVU: Κατακόρυφη υδραυλική αγωγιμότητα του διαμερίσματος του εδάφους (m/day)

LZSSAT: ισοδύναμο βάθος αποθηκευμένου νερού στο διαμέρισμα της ακόρεστης ζώνης υπό υποθετικές συνθήκες κορεσμού (m)

OVLAND: υπερεδάφεια ροή (m/d)

p: Μηνιαίο ποσοστό των ωρών ηλιοφάνειας (αδιάστατο)

PERIC: Περίμετρος της λεκάνης απορροής

PERIL: Περίμετρος του υδάτινου σώματος

PORE3: πορώδες του εδάφους στο διαμέρισμα εδάφους (αδιάστατο)

PORE4: πορώδες του διαμερίσματος της ακόρεστης ζώνης (αδιάστατο)

PORE6: πορώδες του υπόγειου διαμερίσματος (αδιάστατο)

SLOPE: μέση επιφανειακή κλίση της λεκάνης απορροής (αδιάστατο)

Tm: μέση μηνιαία θερμοκρασία (° C)

UZSSAT: ισοδύναμο βάθος αποθηκευμένου νερού στο διαμέρισμα του εδάφους υπό συνθήκες κορεσμού (m)

γ1: συντελεστής που υπολογίζει την παρουσία ή απουσία συσσώρευσης χιονιού (αδιάστατο)

Περιγραφή τρισδιάστατης ροή υπογείων υδάτων - Κώδικας PTC

Περιγράφονται οι εξισώσεις του κώδικα PTC όπως αυτές αναφέρονται στην Υδρογεωλογική Μελέτη του Βόρειου Τμήματος της Νήσου Ρόδου – Προσομοίωση Υπόγειας Ροής με χρήση του Τρισδιάστατου Μοντέλου Ροής Υπογείων Υδάτων και Μεταφοράς Ρύπων "PTC" (Μ. Στεργιάδη, 2004).

Ο PTC καθορίζει τα χαρακτηριστικά ροής ενός συστήματος ροής υπογείων υδάτων λύνοντας την ακόλουθη μερική διαφορική εξίσωση ως προς το υδραυλικό ύψος.

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(K_{xx}\frac{\partial h}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(K_{yy}\frac{\partial h}{\partial y}\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left(K_{zz}\frac{\partial h}{\partial z}\right)-S\frac{\partial h}{\partial t}$$
$$+\sum_{i=1}^{r}Q_i\delta(x-x_i)\delta(y-y_i)\delta(z-z_i)=0 \qquad (1)$$

όπου

Qi ένας γενικός όρος πηγής/δεξαμενής στη θέση i [L^3T^{-1}] (θετικός σε περίπτωση εμπλουτισμού)

δ( ) η συνάρτηση δέλτα του Dirac

r ο αριθμός των σημείων πηγών / δεξαμενών

Για ευκολία ο τελευταίος όρος της εξίσωσης (10.4) συμβολίζεται ως Q.

Ο PTC λύνει αριθμητικά την παραπάνω εξίσωση χρησιμοποιώντας τις μεθόδους των πεπερασμένων στοιχείων και πεπερασμένων διαφορών (Babu et al., 1997).

Εφαρμογή της μεθόδου των πεπερασμένων στοιχείων

Σύμφωνα με τους Babu et al. (1997), ο PTC προσεγγίζει τους όρους της παραπάνω εξίσωσης που περιέχουν παραγώγους ως προς x και y με χρήση της μεθόδου των πεπερασμένων στοιχείων. Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή, υποτίθεται ότι υπάρχει ένα άθροισμα άπειρων συναρτήσεων το οποίο αναπαριστά ακριβώς τη λύση της μερικής διαφορικής εξίσωσης που περιγράφει την υπόγεια ροή. Μια πεπερασμένη προσεγγιστική μορφή της σειράς αυτής είναι:

$$h(x,y,z,t)\sim\hat{h}(x,y,z,t)=\sum_{i=1}^{N}h_i(z,t)w_i(x,y) \qquad (2)$$

όπου:

h το υδραυλικό ύψος [L]

$\hat{h}$ η σειρά που προσεγγίζει το h [L]

h_i ένας απροσδιόριστος συντελεστής [L]

w_i μια βασική (ή παρεμβολική) συνάρτηση (αδιάστατη)

N ο αριθμός των κόμβων στο δίκτυο των πεπερασμένων στοιχείων

Η προσεγγιστική σειρά (2) παρέχει μία ακριβή αναπαράσταση όσο το N προσεγγίζει το άπειρο (το $\hat{h}$ προσεγγίζει το h). Επιλέγοντας προσεκτικά τις βασικές συναρτήσεις w_i, ο απροσδιόριστος συντελεστής h_i γίνεται η τιμή του υδραυλικού ύψους στους κόμβους με συντεταγμένες (x, y, z). Με χρήση συνεχών βασικών συναρτήσεων τμηματικά (όπως π.χ. γραμμικών βασικών συναρτήσεων που χρησιμοποιεί ο PTC) αυξάνεται η υπολογιστική απόδοση της μεθόδου. Στη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων παρατηρείται ότι παρόλο που ο διαφορικός τελεστής L (π.χ. η εξίσωση (1)) που περιέχει το h ισούται με μηδέν, όταν ο L περιέχει την προσεγγιστική συνάρτηση παρουσιάζεται σφάλμα. Μαθηματικά, η εξίσωση (1) ξαναγράφεται ως: L(h)=0 όταν $L(\hat{h})=R$ όπου R το τπολειμματικό σφάλμα.

Για την επίλυση της εξίσωσης (2) με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων επιχειρείται η ελαχιστοποίηση του σφάλματος R. Αυτό επιτυγχάνεται θεωρώντας αρχικά μια ολοκληρωμένη ομάδα συναρτήσεων w_j. Υποχρεώνοντας το σφάλμα R να είναι ορθογωνικό σε όλες τις πιθανές τιμές του w_j, ουσιαστικά το R υποχρεώνεται να τείνει στο μηδέν και λαμβάνεται η λύση της εξίσωσης (2). Δηλαδή έχουμε $L(\hat{h})=L(h)$ όταν R=0. Με περαιτέρω διαδικασίες προκύπτει η εξίσωση:

$$\begin{aligned}
&\iint_{\Omega}\Bigg[K_{xx}\left(\sum_{j=1}^{N}h_j\frac{\partial w_j}{\partial x}\right)\frac{\partial w_i}{\partial x}+K_{yy}\left(\sum_{j=1}^{N}h_j\frac{\partial w_j}{\partial y}\right)\frac{\partial w_i}{\partial y}\\
&\quad-\frac{\partial}{\partial z}\left(K_{zz}\frac{\partial}{\partial z}\sum_{j=1}^{N}h_jw_j\right)w_i+S\frac{\partial}{\partial t}\left(\sum_{j=1}^{N}h_jw_j\right)w_i-Qw_i\Bigg]dxdy\\
&\quad-\int_{\sigma}\left[K_{xx}\frac{\partial\hat{h}}{\partial x}l_x+K_{yy}\frac{\partial\hat{h}}{\partial y}l_y\right]w_id\sigma=0
\end{aligned}\qquad(3)$$

όπου:

i = 1, 2, …N

Ω η περιοχή ολοκλήρωσης που καλύπτει ολόκληρη την οριζόντια τομή της περιοχής ροής.

Lx, Ly τα συνημίτονα κατεύθυνσης των γωνιών που σχηματίζονται μεταξύ του κανονικού και του διατμητικού ορίου σ στους άξονες x και y αντίστοιχα.

Εφαρμογή της μεθόδου των πεπερασμένων διαφορών

Με χρήση διανυσμάτων η εξίσωση (3) γράφεται ως εξής (Babu et al., 1997):

$$Ah + B\frac{\partial h}{\partial t} - v + f = 0 \quad (4)$$

όπου A και B είναι διανύσματα (NxN) και h, ∂ h ∂ t , v και f είναι διανύσματα στήλες μήκους N. Τα στοιχεία A,B,v και f είναι

$$A_{ij} = \iint_{\Omega}\left[K_{xx}\frac{\partial w_i}{\partial x}\frac{\partial w_j}{\partial x} + K_{yy}\frac{\partial w_i}{\partial y}\frac{\partial w_j}{\partial_y}\right]dxdy \quad (5)$$

$$B_{ij} = \iint_{\Omega} S w_i w_j dxdy \quad (6)$$

$$f_i = -\iint_{\Omega} Q w_i dxdy - \int_{\sigma}\left[K_{xx}\frac{\partial \hat{h}}{\partial x}lx + K_{yy}\frac{\partial \hat{h}}{\partial y}ly\right]w_i d\sigma \quad (7)$$

$$v_i = \sum_{j=1}^{N}\left[\iint_{\Omega}\frac{\partial}{\partial z}\left(K_{zz}\frac{\partial h_j}{\partial z}\right)w_i w_j dxdy\right] \quad (8)$$

Κάθετη παραγώγιση

Βασικό χαρακτηριστικό του παρόντος κώδικα είναι η χρήση ενός σχήματος κεντρικών διαφορικών εξισώσεων για τις χωρικές παραγώγους της εξίσωσης (8) στην z κατεύθυνση. Η κάθετη διακριτοποίηση επιτυγχάνεται με την επανάληψη των οριζόντιων δικτύων πεπερασμένων στοιχείων σε στρώματα, με τους κόμβους να βρίσκονται ο ένας πάνω στον άλλο.

Αυτό σημαίνει ότι στην κάθετη διεύθυνση μπορεί να χρησιμοποιηθεί μια μονοδιάστατη εξίσωση πεπερασμένων διαφορών για την προσέγγιση της εξίσωσης (8). Χρησιμοποιώντας τον κάθετο δείκτη k, όπου k = 1 για το κάτω στρώμα, αυτή η προσέγγιση γραμμένη σε μορφή διανυσμάτων δίνει:

$$v \cong C_k^+ (h_{k+1} - h_k) - C_k^- (h_k - h_{k-1}) \qquad (9)$$

όπου ο αρμονικός μέσος των ιδιοτήτων των παρακείμενων στρωμάτων χρησιμοποιείται για τον καθορισμό των στοιχείων του, κάθετου όρου μεταξύ των στρωμάτων k και k+1, και C_k^-, κάθετου όρου μεταξύ των στρωμάτων k και k–1.

$$C_{ij,k}^{\pm} - \iint_{\Omega} \frac{2}{\Delta z_k \left[\Delta z_{k\pm1} / (K_{zz})_k + \Delta z_k / (K_{zz})_{k\pm1} \right]} w_i w_j dxdy \qquad (10)$$

όπου (Δz_k) είναι το πάχος του $k^{ου}$ στρώματος στο σημείο της προσέγγισης. Ο αρμονικός μέσος δίνει τα πιο ρεαλιστικά αποτελέσματα στις ετερογενείς καταστάσεις που συναντώνται συνήθως. Με αντικατάσταση της εξίσωσης (9) στην (7) προκύπτει η παρακάτω εξίσωση για ένα τυπικό k^o στρώμα:

$$A_k h_k + B_k \frac{\partial h_k}{\partial t} - \left[C_k^+ (h_{k+1} - h_k) - C_k^- (h_k - h_{k-1}) \right] + f_k = 0 \qquad (11)$$

όπου το hk αντιπροσωπεύει το διάνυσμα h των υδραυλικών υψών στο k^o στρώμα, k = 1, 2, ...M και όπου M ο αριθμός των στρωμάτων στη διεύθυνση z (Babu et al., 1997).

Η χρονική παράγωγος

Η χρήση οπίσθιας διαφοράς προσέγγισης για την παράγωγο του χρόνου παρέχει την πιο ακριβή λύση για τα προβλήματα ροής υπογείων υδάτων, για ένα δεδομένο κόστος. Για την προσέγγιση της χρονικής παραγώγου χρησιμοποιείται διόρθωση $1^{ης}$ τάξης και οι χωρικές παράγωγοι γράφονται με βάση τη νέα χρονική στιγμή. Έτσι, η εξίσωση (11) για κάθε στρώμα γράφεται ως (Babu et al., 1997):

$$A_k h_k^{(t+\Delta t)} + \frac{(B_D)_k}{\Delta t} \left[h_k^{(t+\Delta t)} - h_k^{t} \right] - \left[C_k^+ (h_{k+1} - h_k) - C_k^- (h_k - h_{k-1}) \right]^{(t+\Delta t)} + f_k^{t} = 0 \qquad (12)$$

Οριακές συνθήκες

Ο κώδικας PTC χρησιμοποιεί τρία είδη οριακών συνθηκών στην εξίσωση ροής: τις συνθήκες Dirichlet (σταθερού υδραυλικού ύψους), Neumann (σταθερής ροής) και το τρίτο είδος (για διαρροή). Ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να αλλάξει τις οριακές συνθήκες κατά την προσομοίωση. Η προκαθορισμένη οριακή συνθήκη που χρησιμοποιείται σε όλα τα όρια είναι η συνθήκη μηδενικής ροής, πράγμα που υποδηλώνει την ύπαρξη περιορισμένου υδροφορέα με αδιαπέραστες πλευρές και πυθμένα. Επιλέγοντας διαφορετικές οριακές συνθήκες εντός της περιοχής, ο χρήστης μπορεί να αναπαραστήσει άλλες υδρολογικές συνθήκες (Babu et al., 1997).

Οριακές συνθήκες σταθερού υδραυλικού ύψους

Οι οριακές συνθήκες σταθερού υδραυλικού ύψους καθορίζονται προσδιορίζοντας τους κόμβους και τις τιμές του υδραυλικού ύψους που έχει οριστεί σε αυτούς. Αυτομάτως ο κώδικας ταξινομεί τις γραμμές και τις στήλες στο μητρώο συντελεστών που σχετίζεται με αυτούς τους κόμβους. Έτσι, αφού οι κόμβοι σταθερού υδραυλικού ύψους απαλείφονται από το μητρώο των εξισώσεων, απομένουν (N × M – Nc) εξισώσεις με (N × M – Nc) αγνώστους, όπου Nc ο συνολικός αριθμός των κόμβων όπου εφαρμόζονται οι οριακές συνθήκες σταθερού υδραυλικού ύψους μέσα στην περιοχή ροής (Babu et al., 1997).

Οριακές συνθήκες σταθερής ροής

Η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων αποτελεί ένα απλό μέσο για τον καθορισμό των οριακών συνθηκών ροής. Ο τελευταίος όρος της εξίσωσης (3) μπορεί να γραφτεί

$$-\int_{\sigma}\left[K_{xx}\frac{\partial\hat{h}}{\partial x}l_x + K_{yy}\frac{\partial\hat{h}}{\partial y}l_y\right]w_i d\sigma = \int_{\sigma} q_n w_i d\sigma \qquad (13)$$

όπου q_n είναι η κανονική ροή διαμέσου μιας μοναδιαίας επιφάνειας (μήκος × ύψος) του κάθετου ορίου σ. Όταν η ροή qn είναι σταθερή κατά μήκος της επιφάνειας ενός στοιχείου μήκους L, η ολοκλήρωση της εξίσωσης (13) δίνει την κομβική κατανομή.

Έτσι ο χρήστης, προκειμένου να αναπαραστήσει τη ροή διαμέσου του ορίου, χρειάζεται απλά να καθορίσει την ογκομετρική ροή στον κόμβο (Babu et al., 1997).

Οριακές συνθήκες τρίτου είδους

Οι οριακές συνθήκες διαρροής προκύπτουν αντικαθιστώντας στην εξίσωση (7) την τιμή

$$Q = k_L \left(h^t_{j,L} - h^t_{j,k} \right) \qquad (14)$$

Όπου

$h^t_{j,k}$ το άγνωστο υδραυλικό ύψος στον κόμβο j του στρώματος k, τη χρονική στιγμή t

$h^t_{j,L}$ το αντίστοιχο υδραυλικό ύψος στο σημείο αναφοράς της διαρροής

k_L η αγωγιμότητα της διαρροής (υδραυλική αγωγιμότητα προς απόσταση)

Ο όρος της αγωγιμότητας ολοκληρώνεται επιφανειακά και έτσι αναπαριστά την κάθετη διαρροή. Ωστόσο, με κατάλληλο προσδιορισμό της καθοριζόμενης από το χρήστη σταθεράς , μπορεί να προσδιοριστεί η διαρροή προς οποιαδήποτε κατεύθυνση (Babu et al., 1997).

Συνθήκες για τον υδροφόρο ορίζοντα

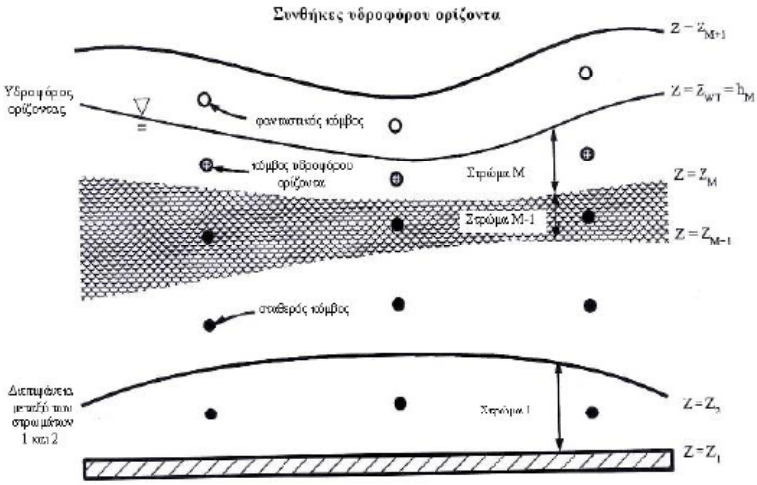
Σύμφωνα με τους Babu et al. (1997), η επιβολή οριακών συνθηκών για τον υδροφόρο ορίζοντα ή για ελεύθερο υδροφορέα απαιτεί την εφαρμογή δύο οριακών συνθηκών για το επίπεδο του νερού στο πάνω στρώμα. Στο σχήμα που ακολουθεί παρουσιάζεται ένας κινούμενος υδροφόρος ορίζοντας που υπόκειται σε διήθηση μεγέθους R(x, y, t). Το σταθερό υψόμετρο του ανώτερου ορίου της περιοχής ροής δίνεται από τη σχέση $z=z_{M+1}(x,y,t)$, ενώ το υψόμετρο του υδροφόρου ορίζοντα δίνεται από τη σχέση $z=z_{WT}(x,y,t)$.

Η πρώτη οριακή συνθήκη ορίζει ότι η στάθμη του νερού στο πάνω στρώμα καθορίζει το πάχος του υδροφορέα του πάνω στρώματος (z_{WT}-z_M). Οπότε, σε κάθε κόμβο πρέπει: $(z_{WT})=(h_M)_i$

Υποθέτουμε ότι ο υδροφόρος ορίζοντας βρίσκεται πάντα εντός του πάνω στρώματος (k = M). Έτσι, όταν το πρόγραμμα υπολογίζει τα υδραυλικά ύψη στο πάνω στρώμα, ελέγχει εάν οι τιμές του στους κόμβους βρίσκονται μεταξύ των υψομέτρων $z_M \leq h_M \leq z_{M+1}$.

Ο PTC εμφανίζει μήνυμα αν η συνθήκη (10.16) παραβιάζεται και έπειτα η εκτέλεση τερματίζεται. Η εξίσωση (10.16) πρέπει επίσης να ικανοποιεί τις αρχικές συνθήκες για το υδραυλικό ύψος. Καθώς το καθορίζει το πάχος του πάνω στρώματος, το οποίο εμφανίζεται στα μητρώα συντελεστών, η εξίσωση (10.15) εισάγει μη γραμμικότητα στη λύση των εξισώσεων του συστήματος ροής. Αυτή η μη γραμμικότητα διευθετείται μέσω επαναλήψεων στο δεύτερο βήμα του διαχωριστικού αλγόριθμου. Η δεύτερη οριακή συνθήκη για τον υδροφόρο ορίζοντα περιγράφει τη μεταβλητή απόκριση του υδροφόρου ορίζοντα στη διήθηση. Θέτοντας Sy την ειδική απόδοση κοντά στον υδροφόρο ορίζοντα, έχουμε:

$$S_y \frac{\partial h}{\partial z} = R \qquad (15)$$



Υδροφόρος ορίζοντας και συνθήκες κατακρήμνισης στο πάνω όριο. Οι επιφάνειες που σημαίνονται με Z = Z_1, Z = Z_2, κτλ. είναι σταθερά όρια στο χώρο και καθορίζουν στρώματα (Babu et al., 1997).