

ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΝΗΣΟΥ ΤΗΛΟΥ

Λόγος Ε.¹, Τσιούμας Β.², Θεοχάρης Δ.¹, Λέκκας Ε.¹

¹Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος

²Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών

Περίληψη

Στην παρούσα εργασία παρατίθενται καινούργια δεδομένα των υδρογεωλογικών συνθηκών που επικρατούν στην νήσο Τήλο και γίνεται προσπάθεια εκτίμησης της διαφοροποίησης του υδρογεωλογικού καθεστώτος. Από το έτος 1986 υπάρχει σημαντική διαφοροποίηση των υδροχημικών σταθερών των υδατικών πόρων λόγω της υπεράντλησης των υφιστάμενων γεωτρήσεων. Προτείνονται επίσης μέθοδοι βελτίωσης της ποιότητας των υδατικών πόρων καθώς και ερευνητικές εργασίες για τον καθορισμό των υπόγειων ροών των μετώπων των υποθαλάσσιων πηγών με απώτερο σκοπό την ορθολογική αξιοποίηση και βιώσιμη διαχείριση των υδατικών πόρων της Τήλου.

HYDROGEOLOGICAL CONDITIONS IN TILOS ISLAND

Logos E.¹, Tsioumas V.², Theocharis D.¹, Lekkas E.¹

¹University of Athens, Faculty of Geology and Geoenvironment

²Institute of Geology and Mineral Exploration

Abstract

In this study new data of the hydrogeological conditions in Tilos Island are apposed trying to estimate the changes of the hydrogeological status. Since 1986 there is important variations of the hydrochemical constants of water resources due to overpumping of the existent boreholes. In this paper also proposed methods to improve the quality of water resources as well as research projects for the accurately assessment of the submarine springs fronts groundwater flow for the further aim of sustainable management of Tilos Island water resources.

Λέξεις κλειδιά: Τήλος, υδατικοί πόροι, υδρογεωλογία, υφαλμύριση, υδροχημεία.

Key words: Tilos Island, water resources, hydrogeology, saline intrusion, hydrochemistry.

1. Εισαγωγή

Σκοπός αυτής της εργασίας είναι η ποσοτική και ποιοτική εκτίμηση των υδατικών πόρων της νήσου Τήλου και η ορθολογική τους διαχείριση διότι η ύπαρξη τυχόν περιβαλλοντικών προβλημάτων θα έχει σαν αποτέλεσμα την δημιουργία δυσμενών και πολλές φορές μη αναστρέψιμων καταστάσεων.

Για το σκοπό αυτό πραγματοποιήθηκαν οι ακόλουθες εργασίες: i) συγκεντρώθηκαν και αξιολογήθηκαν βιβλιογραφικά δεδομένα υφιστάμενων ερευνών, μελετών, γεωτρητικών εργασιών και κλιματολογικών δεδομένων, ii) έγινε γενική υδρογεωλογική, υδρολιθολογική και τεκτονική χαρτογράφηση σε κατάλληλη κλίμακα, iii) απογραφή σημείων ύδατος, μετρήσεις παροχών πηγών, δειγματοληψία και έρευνα χημισμού υπογείων νερών, iv) εντοπισμός ρυπάνσεων του υδροφόρου ορίζοντα, προσδιορισμός πηγών ρύπανσης, v) προτάσεις μακροπρόθεσμης διαχείρισης, τεχνητού εμπλουτισμού και προστασίας υδροφόρων οριζόντων.

2. Γεωμορφολογία – Υδρογραφικό Δίκτυο

Η νήσος Τήλος έχει έκταση 62,2 km² με μέγιστο μήκος 15,5 km, μέγιστο πλάτος 8,5 km και μήκος ακτών 75,362 km. Είναι μία από τις δώδεκα κύριες νήσους του νομού Δωδεκανήσων. Είναι κύρια ορεινό νησί με υψηλότερη κορυφή αυτή του Προφ. Ηλία (612 m) που βρίσκεται στο βορειοδυτικό τμήμα του νησιού. Οι πεδινές εκτάσεις είναι σχετικά μικρές και αναπτύσσονται στις ευρύτερες περιοχές των όρμων Ερίστου, Αγ. Αντωνίου και Λιβαδίων.

Στην Τήλο αναπτύσσονται έξι υδρογραφικά δίκτυα 3ης τάξης από τα οποία τα τέσσερα αναπτύσσονται στο βορειοδυτικό τμήμα του νησιού, ένα στο κεντρικό τμήμα και το άλλο στο νοτιοανατολικό τμήμα. Οι 3ης τάξης κλάδοι παρουσιάζουν τα μεγαλύτερα μήκη (τρεις) στο βορειοδυτικό τμήμα. Διακρίνονται τυφλοί κλάδοι γεγονός που υποδηλώνει ότι παρουσιάζεται σημειακά μεγάλη περατότητα ή ότι γίνεται αποκάλυψη παλαιού (απολιθωμένου) υδρογραφικού δικτύου.

3. Γεωλογία - Τεκτονική

Στην Τήλο απαντώνται τόσο αλπικοί όσο και μεταλπικοί γεωλογικοί σχηματισμοί.

Οι μεταλπικοί σχηματισμοί που απαντώνται στο νησί είναι Τεταρτογενούς ηλικίας και αποτελούνται από: i) παράκτιες άμμοι και κροκάλες, ii) αλλούβια, iii) χερσαίες αποθέσεις, iv) πώρο (αδρομερείς ασβεστιτικούς ψαμμίτες), και v) ηφαιστειακούς τόφφους (Ρούσσοσ, 1985).

Απαντώνται δύο αλπικές γεωτεκτονικές ενότητες επωθημένες η μία στην άλλη. Από την ανώτερη προς την κατώτερη, είναι η γεωτεκτονική ενότητα της Πίνδου(;), η οποία απαντάται με τη μορφή δύο υποενοτήτων την υποενότητα Καμάρας και την υποενότητα Κρεατής, και η γεωτεκτονική ενότητα Κουτσουμπά (Ρούσσοσ, 1985).

Η υποενότητα Καμάρας αποτελείται από: α) τον πρώτο φλύσχη Κενομάνιας ηλικίας, και β) ασβεστόλιθους (πλακώδεις) ηλικίας Τιθώνιο – Άλβιο.

Η υποενότητα Κρεατής αποτελείται από: α) ραδιολαρίτες και "πρώτο φλύσχη" Άνω Κρητιδικής ηλικίας, β) ραδιολαρίτες ηλικίας Τιθώνιο - Μέσο Ανώτερο Άλβιο, γ) ασβεστόλιθους ηλικίας Ανώτερο Νόριο-Ιουρασικό(;), και δ) την κλαστική Τριαδική σειρά (φλυσχοειδές) ηλικίας Κάρνιο - Κατώτερο Νόριο.

Η ενότητα Κουτσουμπά αποτελείται από: α) φλύσχη Μαιστριχτίου ηλικίας, β) ασβεστόλιθους Κρητιδικής ηλικίας, γ) πλακώδεις ασβεστόλιθους και δολομίτες ηλικίας Δογγέριο(;)- Οξφόρδιο, και δ) νηριτικούς ασβεστόλιθους και δολομίτες ηλικίας Μέσο - Ανώτερο(;)- Λιάσιο.

Η τεκτονική παραμόρφωση των γεωλογικών σχηματισμών έχει πραγματοποιηθεί σε δύο μεγάλες περιόδους, την Αλπική και τη Μεταλπική ή Νεοτεκτονική. Κατά τον Αλπικό ορογενετικό κύκλο παρατηρούνται περισσότερες της μίας παραμορφωτικές φάσεις, ενώ στο σύνολό τους όλοι οι αλπικής ηλικίας σχηματισμοί έχουν υποστεί την τελευταία παραμορφωτική φάση του αλπικού ορογενετικού κύκλου στην οποία έλαβε χώρα η επώθηση της Πίνδου επάνω στην ενότητα Κουτσουμπά, ενώ οι μεταλπικοί σχηματισμοί έχουν υποστεί μόνο την μεταλπική παραμόρφωση. Στη δεύτερη περίοδο, που είναι γνωστή ως Μεταλπική ή Νεοτεκτονική φάση παραμόρφωσης, κυριαρχεί ο θραυσιγενής τεκτονισμός (ρηξιγενείς ζώνες, ρήγματα) χωρίς να λείπει και ο πλαστικός τύπου τεκτονισμός (ανοικτές πτυχές). Οι αλπικές δομές που επικρατούν στους αλπικούς σχηματισμούς έχουν κύρια διεύθυνση βορειοανατολικά – νοτιοδυτικά (BA-ND) και δευτερεύουσα βόρειο βορειοδυτικά – νότιο νοτιοανατολικά (BBD-NNA). Αυτό επιβεβαιώθηκε στις εργασίες υπαίθρου τόσο από τους άξονες των πτυχών όσο και στις ρηξιγενείς ζώνες. Κατά τη νεοτεκτονική περίοδο έχουμε ανύψωση του νησιού και αυτό συμπεραίνεται από την διαφοροποίηση του καρστ (Εικ. 1, 2).



Εικ. 1 Καρστικοποιημένοι ασβεστόλιθοι – μεταβολές του επιπέδου του καρστ. Το καρστ ελέγχεται τεκτονικά. Υποθαλάσσιες πηγές.



Εικ. 2 Καρστικοποιημένοι ασβεστόλιθοι – μεταβολές του επιπέδου του καρστ. Το καρστ ελέγχεται τεκτονικά. Υποθαλάσσιες πηγές.

4. Κλιματολογικά Στοιχεία

Στην νήσο Τήλο δεν υπάρχει μετεωρολογικός σταθμός παρακολούθησης των κλιματολογικών παραμέτρων από κανένα δημόσιο ή ιδιωτικό φορέα. Γι' αυτό το λόγο ελήφθησαν υπόψη οι μετεωρολογικοί σταθμοί που βρίσκονται στα πλησιέστερα νησιά για να επιτευχθεί η κατά το δυνατόν βέλτιστη προσέγγιση τιμών των παραμέτρων που λαμβάνουν μέρος στο υδρολογικό ισοζύγιο. Συγκεντρώθηκαν τα δεδομένα των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων, της θερμοκρασίας αέρα και της σχετικής υγρασίας.

Οι σταθμοί που χρησιμοποιήθηκαν είναι οι εξής: Κέφαλος (1983-1999), Ασφενδίου-νήσου Κω (1983-1999), Απολλακιά (1965-1968 & 1978-1999), Καταβιάς (1967-1999) και Αστυπάλαια (1969-1974 & 1983-1999) του Υπουργείου Γεωργίας και Κως (1965-1996) και Ρόδος (1955-1996) της ΕΜΥ. Για την εξαγωγή των εξισώσεων έγινε προσπάθεια να χρησιμοποιηθούν όσο το δυνατόν περισσότερα ζεύγη τιμών και να ισχύει $R > 0.7$. Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα δεδομένα ανά σταθμό παρατήρησης (Πίνακας 1) όπου δίνονται, η μέση ετήσια βροχόπτωση και η μέση κατανομή κατά εποχή.

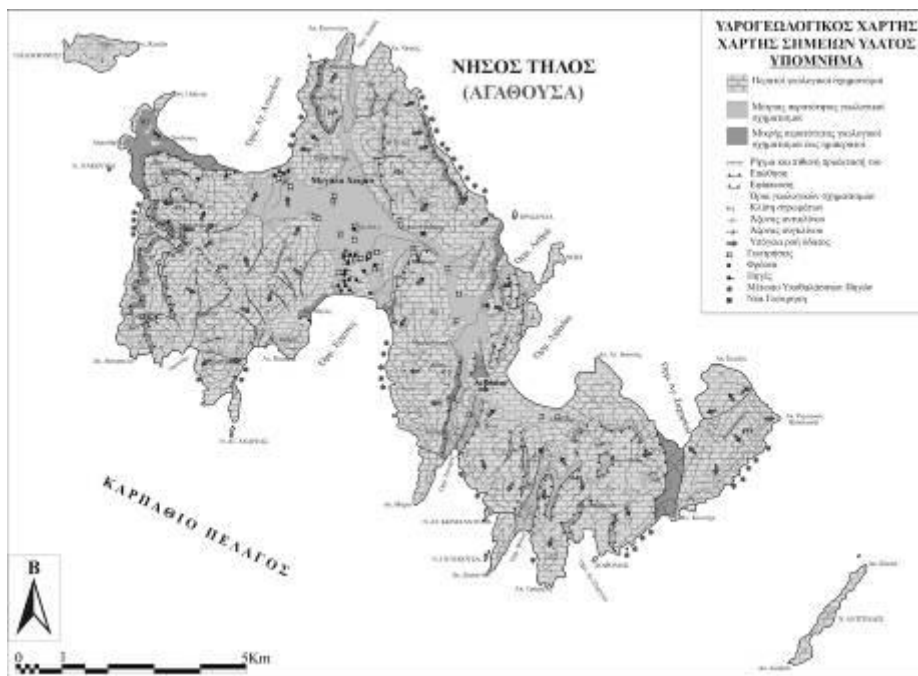
Πίνακας 1. Βροχομετρικά δεδομένα

| Σταθμός | Μ.Ο. έτους (σε mm) | Χειμ. | % έτους | Άνοιξη | % έτους | Θέρος | % έτους | Φθιν. | % έτους |
|------------|-----------------------|-------|------------|--------|------------|-------|------------|-------|------------|
| Κέφαλος | 509 | 260,8 | 51,27 | 38,8 | 7,63 | 8,2 | 1,61 | 200,9 | 39,49 |
| Ασφενδίου | 720,4 | 366,8 | 50,9 | 64,8 | 9,0 | 5,4 | 0,78 | 283,4 | 39,34 |
| Απολλακιά | 546,5 | 274,5 | 50,23 | 35,3 | 6,46 | 5,3 | 0,97 | 231,4 | 42,34 |
| Καταβιάς | 531,1 | 258,0 | 48,5 | 9,4 | 9,43 | 1,4 | 0,27 | 130,0 | 41,71 |
| Αστυπάλαια | 720,4 | 186,6 | 49,1 | 36,3 | 9,55 | 2,1 | 0,84 | 155,1 | 40,82 |
| Κως | 694,4 | 352,5 | 50,98 | 57,2 | 8,27 | 8,0 | 1,16 | 273,7 | 39,59 |
| Ρόδος | 694,4 | 333,9 | 47,78 | 43,1 | 6,17 | 6,5 | 0,93 | 315,3 | 45,12 |

5. Απογραφή Σημείων Νερού

Η απογραφή των σημείων νερού πραγματοποιήθηκε τον Οκτώβριο του 1999 και η παρακολούθηση αυτών ολοκληρώθηκε τον Μάρτιο του 2001. Απογράφηκαν 5 πηγές συνεχούς ροής, συνολικά 46 γεωτρήσεις και φρέατα, η θέση των οποίων παρουσιάζεται στην Εικ. 3. Πρέπει να σημειωθεί ότι υπάρχουν και άλλες μικρότερες πηγές περιοδικής λειτουργίας. Στην σημαντικότερη πηγή του νησιού, πηγή Αγίου Παντελεήμονα (Π2), παρατηρείται μεγάλη διακύμανση της παροχής η οποία κυμαίνεται από 0,5 m³ – 3 m³ την ώρα.

Διαπιστώθηκε η ύπαρξη υποθαλάσσιων πηγών οι οποίες εντοπίστηκαν κατά τον περιήλου του νησιού (Ιούλιο του 1999), με σκάφος το οποίο διέθετε όργανο καταγραφής μεταβολών θερμοκρασίας. Εντοπίστηκαν 10 μέτωπα υποθαλάσσιων πηγών (Εικ. 1, 2, 3). Θα πρέπει να τονιστεί ότι υπήρχαν περιοχές που παρουσίαζαν ακόμα και 6°C διαφορά θερμοκρασίας. Στον όρμο της Ερίστου μετρήθηκε θερμοκρασία 25°C στη θάλασσα ενώ στην νοτιοανατολική ακτή, σε ορισμένα σημεία, το νερό είχε θερμοκρασία 19°C γεγονός που επιβεβαιώνει τη συμβολή και μίξη σημαντικών μαζών γλυκού νερού και θαλάσσιου.



Εικ. 3. Υδρολιθολογικός – Υδρογεωλογικός Χάρτης και σημείων ύδατος νήσου Τήλου.

6. Υδρολιθολογία - Υδρογεωλογία

Οι γεωλογικοί σχηματισμοί, ανάλογα με τη φάση τους και την παραμόρφωση που έχουν υποστεί, από υδρολιθολογική άποψη διακρίθηκαν σε: i) Περατούς: οι παράκτιες άμμοι, οι αλλουβιακές αποθέσεις, οι χερσαίες αποθέσεις, ο πάρος και οι ανθρακικές ακολουθίες των αλπικών γεωτεκτονικών ενοτήτων, ii) Μέτριας περατότητας: οι ηφαιστειακοί τόφφοι, ο πρώτος φλύσχος των δύο γεωτεκτονικών υποενοτήτων και οι ραδιολαρίτες Κρεατής, και iii) Μικρής περατότητας: η περμουτριάδικη κλαστική ακολουθία της γεωτεκτονικής ενότητας Κρεατής και ο φλύσχος της γεωτεκτονικής ενότητας Κουτσουμπά (Εικ. 3).

Η κατείσδυση των υδάτων έχει άμεση σχέση με την υδροπερατότητα των σχηματισμών αλλά και την τοπογραφία του ανάγλυφου. Είναι αξιοσημείωτο ότι και για τον ίδιο γεωλογικό σχηματισμό παρουσιάζεται διαφοροποίηση περατότητας τόσο από την διαφοροποίηση της φύσης των μελών που τον αποτελούν όσο και από την τεκτονική χαλάρωση του κατά θέσεις λόγω της τεκτονικής – νεοτεκτονικής καταπόνησής τους.

Τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα που κατεisdύουν στο υπέδαφος, ανάλογα με τον σχηματισμό, είτε εμπλουτίζουν κάποιο ελεύθερο υδροφόρο ορίζοντα είτε κινούνται δια

συγκεκριμένων και προϋπαρχόντων υδραγωγών (καρστ, τεκτονικές ζώνες χαλάρωσης) μέχρι να συναντήσουν υδατοστεγή ή μικρότερης περατότητας γεωλογικό σχηματισμό και τότε κινούνται στην επιφάνεια αυτού του σχηματισμού. Η κίνηση αυτή γίνεται μέχρι το απόλυτο υψόμετρο της επιφάνειας της θάλασσας (Εικ. 3). Ελεύθεροι υδροφόροι οριζόντες αναπτύσσονται κύρια στα τμήματα που υπάρχει εξάπλωση των μεταλλικών σχηματισμών.

Στην περιοχή ενδιαφέροντος τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα τα οποία πέφτουν:

α) Στις παράκτιες αποθέσεις, άμμους και κροκάλες, κύρια κατεισδύουν και είτε εμπλουτίζουν τους υποκείμενους μεταλλικούς σχηματισμούς είτε ενώνονται με το θαλασσινό νερό. Στα αλλούβια, στις χερσαίες αποθέσεις, τον πώρο και στους ηφαιστειακούς τόφους, είτε κατεισδύουν και εμπλουτίζουν τους υποκείμενους γεωλογικούς σχηματισμούς είτε απορρέουν προς τα χαμηλότερα τοπογραφικά σημεία τροφοδοτώντας πλευρικά μεγαλύτερης περατότητας γεωλογικούς σχηματισμούς.

β) Στον πρώτο φλύσχη της υποενότητας Καμάρας, είτε κατεισδύουν και εμπλουτίζουν τους υποκείμενους πλακώδεις ασβεστόλιθους, είτε απορρέουν προς τα χαμηλότερα τοπογραφικά σημεία. Αξιοσημείωτο είναι ότι το ποσοστό των κατεισδύοντων ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων αυξάνει όταν απαντώνται οι ασβεστόλιθοι και τα κροκαλοπαγή που υπάρχουν εντός του πρώτου φλύσχη. Στους πλακώδεις ασβεστόλιθους της υποενότητας Καμάρας, το μεγαλύτερο ποσοστό κατεισδύει μέχρι να συναντήσει την τεκτονική ενότητα της υποενότητας Καμάρας, με την κλασική τριαδική σειρά της υποενότητας Κρεατής και στην συνέχεια κινείται παράλληλα προς αυτή.

γ) Στους ραδιολαρίτες και «πρώτο φλύσχη» της υποενότητας Κρεατής, είτε κατεισδύουν και εμπλουτίζουν τους υποκείμενους ασβεστόλιθους είτε απορρέουν προς τα χαμηλότερα τοπογραφικά σημεία εμπλουτίζοντας τους σχηματισμούς από τους οποίους διέρχονται. Το μεγαλύτερο ποσοστό κατεισδύσης των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων παρουσιάζεται πλησίον των έντονα τεκτονισμένων περιοχών και ειδικότερα πλησίον των περιοχών των επιπνεύσεων. Το νερό που κατεισδύει εμπλουτίζει τους υποκείμενους ασβεστόλιθους της αυτής υποενότητας. Στους Ιουρασικούς ασβεστόλιθους της υποενότητας Κρεατής, μεγάλο ποσοστό κατεισδύει έως ότου συναντήσει την επαφή των ασβεστόλιθων με την κλασική σειρά του τριαδικού της αυτής ενότητας και τότε κινείται παράλληλα προς αυτή. Θα πρέπει να τονιστεί ότι τόσο στο βορειοδυτικό τμήμα της νήσου (ευρύτερη περιοχή Αγ. Αντωνίου και ακρωτηρίου Πούντας) όσο και στο νοτιοανατολικό τμήμα (μεταξύ Γερά και Κουτσουμπά) οι ασβεστόλιθοι είναι η βάση της επώθησης της υποενότητας Κρεατής στον φλύσχη της παρα-αυτόχθονης ενότητας της Κουτσουμπά. Γι' αυτό το λόγο το νερό των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων που κατεισδύει όταν συναντήσει την επιφάνεια της επώθησης κινείται παράλληλα με αυτή. Στην κλασική σειρά του Τριαδικού (φλυσχοειδές) της υποενότητας Κρεατής, το μεγαλύτερο ποσοστό απορρέει προς τα χαμηλότερα τοπογραφικά σημεία, ενώ το υπόλοιπο ποσοστό και ειδικότερα πλησίον της επιφάνειας επώθησης κατεισδύει και εμπλουτίζει τους υποκείμενους τεκτονικά γεωλογικούς σχηματισμούς.

δ) Στο φλύσχη της ενότητας Κουτσουμπά, είτε απορρέουν προς τα χαμηλότερα τοπογραφικά σημεία είτε κατεισδύουν στο υπέδαφος. Μεγαλύτερο ποσοστό κατεισδύσης παρουσιάζεται πλησίον της έντονα τεκτονισμένης ζώνης της επιφάνειας επώθησης της υποενότητας Κρεατής. Στους Κρητιδικούς ασβεστόλιθους της ενότητας Κουτσουμπά, κατεισδύουν και εμπλουτίζουν τους υποκείμενους γεωλογικούς σχηματισμούς που είναι τμήμα της νηριτικής ακολουθίας της αυτής γεωτεκτονικής ενότητας ενώ μικρό μόνο ποσοστό έχει επιφανειακή απορροή προς τα χαμηλότερα τοπογραφικά σημεία. Στους πλακώδεις ασβεστόλιθους και δολομίτες του ανώτερου Ιουρασικού της ενότητας Κουτσουμπά, κατεισδύουν και εμπλουτίζουν τους υποκείμενους ασβεστόλιθους του μέσου Ιουρασικού της αυτής γεωτεκτονικής ενότητας. Στους νηριτικούς ασβεστόλιθους και δολομίτες του μέσου Ιουρασικού της ενότητας Κουτσουμπά, κύρια κατεισδύουν και στη συνέχεια ενώνονται με το θαλασσινό νερό.

Απόδειξη των προαναφερθέντων ως προς την υπόγεια διακίνηση του νερού είναι η ύπαρξη πηγών οι οποίες είτε είναι επαφής είτε είναι υπερπλήρωσης είτε μικτής λειτουργίας, οι οποίες παρουσιάζονται κύρια μεταξύ των γεωλογικών σχηματισμών με διαφορετική περατότητα.

7. Υδροχημεία

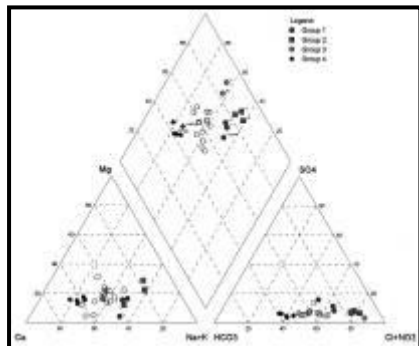
Η ποιότητα των νερών από φυσική, χημική και μικροβιολογική άποψη εξαρτάται από διαφορετικές παραμέτρους των οποίων οι τιμές τα χαρακτηρίζουν σε αντίστοιχη κατηγορία καταλληλότητας σε σχέση με τις διάφορες χρήσεις του. Από τις παραμέτρους που διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο για γνωματεύσεις στην ποιότητα των νερών και για μια συνολική κατάταξη αυτών με βάση τα πρότυπα που έχει καθιερώσει η κάθε χώρα, η W.H.O. (1978) και η Ευρωπαϊκή Ένωση (Ε.Ε.) μπορούν από χημικής σκοπιάς να αναφερθούν σαν σπουδαιότερες οι εξής: i) οργανοληπτικές παράμετροι: χρώμα, θολερότητα, οσμή και γεύση, και ii) φυσικοχημικές παράμετροι: θερμοκρασία, pH, αγωγιμότητα, χλώριο, θειικά, πυρίτιο, ασβέστιο, μαγνήσιο, νάτριο, κάλιο, αργίλιο, ολική σκληρότητα, διαλυμένο οξυγόνο, ξηρό υπόλειμμα.

Έγιναν δύο αντιπροσωπευτικές δειγματοληψίες, τον Οκτώβριο του 1999 (ξηρή περίοδος) και την Άνοιξη του 2000 (υγρή περίοδος) προκειμένου να διαπιστωθεί ποια είναι η ποιοτική κατάσταση των υδροφόρων οριζώντων. Συλλέχθηκαν, 26 δείγματα νερού για κάθε περίοδο, στα οποία έγιναν χημικές αναλύσεις στο εργαστήριο της διεύθυνσης χημείας του Ι.Γ.Μ.Ε. και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στους πίνακες 2, 3.

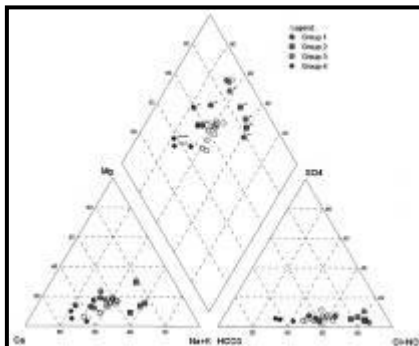
Από τα διαγράμματα Piper (Εικ. 4, 5) και σύμφωνα με την κατάταξη κατά Freeze – Chery (1979), στα οποία τα νερά χαρακτηρίζονται βάσει της % περιεκτικότητάς τους σε ανιόντα και κατιόντα, προκύπτει ότι η πλειονότητα των δειγμάτων εντάσσονται στο πεδίο του χλωριούχου και ασβεστούχου νερού. Το γεγονός αυτό σημαίνει ότι τα νερά προέρχονται από ανθρακικούς σχηματισμούς έχοντας υποστεί μόλυνση λόγω θαλάσσιας διείσδυσης (στα διαγράμματα συμβολίζονται με λευκούς κύκλους). Τα δείγματα τα οποία έχουν επισημανθεί με διαφορετικό συμβολισμό πάνω στα διαγράμματα και έχουν ομαδοποιηθεί σε ομάδες (Group 1,2,3,4) έχουν χημική σύσταση διαφοροποιημένη σε σχέση με αυτήν που αντιπροσωπεύει η πλειονότητα των δειγμάτων.

Για την υγρή περίοδο όπως προκύπτει από τα διαγράμματα Piper τα δείγματα Φ1, Φ16, Γ8, Γ14, Π. Καμάρι (Group1) ανήκουν στο πεδίο του χλωριούχου και ασβεστούχου νερού αλλά έχουν μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε ιόντα ασβεστίου. Τα δείγματα Φ13, Φ3, Γ22, Φ14 (Group2) τείνουν προς το πεδίο του χλωριούχου – νατρίουχου και καλιούχου έως υπερχλωρικού νερού υποδηλώνοντας εντονότερη μόλυνση των υδροφόρων οριζώντων από θαλάσσια διείσδυση. Τα δείγματα Φ12, Φ10, Γ7 (Group3) έχουν μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε ιόντα NO₃- η οποία υποδηλώνει πιθανή ρύπανση του υδροφόρου οριζώντα από οργανικούς ρύπους. Τα δείγματα Γ12, Π. Ποταμοί, Π. Μεσαριά, Γ13 (Group4) ανήκουν στο πεδίο του δισανθρακικού νερού με τάση προς ασβεστούχο. Πρόκειται για νερό που ανανεώνεται διερχόμενο από ανθρακικούς ή ψαμμιτικούς(;) υδροφόρους σχηματισμούς και χωρίς προβλήματα υφαλμύρισης.

Στην ξηρή περίοδο τα δείγματα που διαφοροποιούνται σε σχέση με αυτά που ανήκουν στο πεδίο του χλωριούχου και ασβεστούχου νερού είναι: Φ3, Γ11, Π. Παραδείσι (Group1) εντάσσονται στο πεδίο του χλωριούχου - νατρίουχου και καλιούχο με τάση προς ασβεστούχο νερό. Φ13, Φ18 (Group2) όπως προηγούμενα. Γ7, Φ10 (Group3) όπως προηγούμενα. Γ1, Γ13, Π. Ποταμός, Π. Μεσαριά, Π1 (δίκτυο) (Group4) όπως προηγούμενα.



Εικ. 4. Διάγραμμα Piper χημικών αναλύσεων δειγμάτων νερού ξηρής περιόδου 1999.



Εικ. 5. Διάγραμμα Piper χημικών αναλύσεων δειγμάτων νερού υγρής περιόδου 2000.

Από τους πίνακες των χημικών αναλύσεων, της ξηρής και υγρής περιόδου (Πίνακες 2, 3) παρατηρείται ότι τα νερά του νησιού χαρακτηρίζονται σχεδόν στο σύνολό τους σαν όξινα ανθρακικά λόγω της επικράτησης των ιόντων HCO_3^- έναντι των άλλων στοιχείων. Από άποψη ποσιμότητας τα νερά των πηγών κατατάσσονται μεταξύ 1ης και 2ης τάξης δηλαδή είναι καλής έως ικανοποιητικής ποσιμότητας. Ενώ τα νερά των γεωτρήσεων και των φρεάτων κατατάσσονται στο σύνολό τους μεταξύ 2ης και 3ης τάξης δηλαδή εμφανίζουν ποσιμότητα ικανοποιητική έως μέτρια, σε ορισμένες περιπτώσεις (Φ13, Φ10, Φ18, Γ5, Γ7) χαρακτηρίζεται έως κακή. Είναι φανερό ότι η υποβάθμιση αυτών των νερών οφείλεται κυρίως στην αύξηση των ιόντων χλωρίου και νατρίου δηλαδή σε επίδραση του θαλάσσιου νερού.

Οι τιμές του pH κυμαίνονται σε επιτρεπτά όρια 7-8,5 με ανώτατη επιτρεπόμενη τιμή 9,5. Η αγωγιμότητα οφείλεται στα διαλυμένα στερεά (TDS) και εξαρτάται άμεσα από την θερμοκρασία. Λαμβάνει τιμές από 400 έως 3400 $\mu\text{S}/\text{cm}$, οι μικρότερες παρατηρούνται στις πηγές ενώ οι μεγαλύτερες στα φρέατα και στις γεωτρήσεις. Ανώτερη τιμή ποσιμότητας 1000-1100 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Τα χλωριόντα κυμαίνονται από 60,3 έως 687,8 ppm, ενώ η ανεκτή περιεκτικότητα σύμφωνα με τα ελληνικά πρότυπα είναι 350 ppm. Τα θειικά με προτεινόμενο όριο παρουσίας στο νερό 250 ppm λαμβάνουν τιμές από 15,4 έως 143,7 ppm. Η σκληρότητα προκαλείται στο νερό από τα ιόντα ασβεστίου και μαγνησίου και αναφέρεται σε γαλλικούς βαθμούς, κυμαίνεται από 15,2 έως 155,5.

Η αυξημένη περιεκτικότητα του νερού σε χλωριόντα στους διάφορους υδροφόρους ορίζοντες οφείλεται:

Στη διείσδυση του θαλασσινού νερού και στον εμπλουτισμό με αυτόν τον τρόπο των υδροφόρων οριζόντων έως ορισμένο βάθος. Η μόλυνση αυτή τοποθετείται μέχρι το βάθος των 10-18 m. περίπου, κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας. Το στοιχείο αυτό συμπεραίνεται από τις γεωτρήσεις που εκτελέστηκαν από το Ι.Γ.Μ.Ε. (Δανδολος, 1986) και καλύπτουν τις υδρευτικές ανάγκες του νησιού.

Στο ατμοσφαιρικό νερό που προέρχεται κυρίως από την εξάτμιση της θάλασσας και το οποίο επικάθεται στα επιφανειακά στρώματα (δημιουργώντας έτσι μια ευδιάκριτη αλατότητα των εδαφών) στη συνέχεια διηθείται ανάλογα προς τα βαθύτερα στρώματα, αλλοιώνοντας έτσι και την ποιότητα του υπόγειου νερού

Πίνακας 2. χημικές αναλύσεις δειγμάτων νερού ξηρής περιόδου έτους 1999

| ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ | pH | | Αγωγιμότητα $\mu\text{S}/\text{cm}$ | | ΧΙΛΙΟΓΡΑΜΜΑ ΑΝΑ ΛΙΤΡΟ mg/lit | | | | | | | | | | ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ (mg/lit) CaCO_3 | | |
|--------------------|---------------------------|------|-------------------------------------|------|------------------------------|------|---------------|----------------|---------------|---------|---------------|------|-----|------|-------------------------------------|----------|--------|
| | | | | | ΚΑΤΙΟΝΤΑ | | | | | ΑΝΙΟΝΤΑ | | | | | ΟΛΙΚΗ | ΠΑΡΟΔΙΚΗ | ΜΟΝΙΜΗ |
| | $\theta=25^\circ\text{C}$ | | Ca | Mg | Na | K | CO_3 | HCO_3 | SO_4 | Cl | NO_3 | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Φ5 | 7.8 | 920 | 86.6 | 28.2 | 89.7 | 7.8 | 0 | 280 | 36 | 192 | 6.2 | 332 | 229 | 103 | | | |
| Φ18 | 8.5 | 2150 | 189 | 38.9 | 297 | 15.6 | 12 | 260 | 91.3 | 688 | 0 | 632 | 233 | 399 | | | |
| Φ13 | 8 | 3400 | 152 | 158 | 540 | 27.4 | 0 | 326 | 143 | 1262 | 49.6 | 1555 | 267 | 1288 | | | |
| Φ10 | 8 | 2150 | 241 | 50.1 | 209 | 11.7 | 0 | 261 | 79.7 | 688 | 12.4 | 1055 | 214 | 841 | | | |
| Φ16 | 8 | 920 | 128 | 16.5 | 62.1 | 3.9 | 0 | 240 | 36 | 204 | 12.4 | 455 | 197 | 258 | | | |
| Φ2 | 8 | 770 | 89.8 | 18.5 | 94.3 | 7 | 0 | 280 | 27.4 | 183 | 0 | 429 | 229 | 200 | | | |
| Φ6 | 8.4 | 1110 | 120 | 22.9 | 120 | 5.5 | 12 | 294 | 91.9 | 248 | 0 | 560 | 261 | 299 | | | |
| Φ3 | 8.3 | 1170 | 94.6 | 25.8 | 133 | 23.5 | 4.8 | 205 | 74.9 | 277 | 24.8 | 526 | 176 | 350 | | | |
| Γ11 | 7.9 | 920 | 68.9 | 21.4 | 122 | 3.9 | 0 | 171 | 43.2 | 245 | 6.2 | 260 | 140 | 120 | | | |
| Γ10 | 8 | 720 | 51.3 | 22.4 | 82.8 | 6.3 | 0 | 237 | 24 | 135 | 3.1 | 220 | 194 | 26 | | | |
| Γ6 | 7.7 | 900 | 96.2 | 24.3 | 89.7 | 4.7 | 0 | 239 | 28.3 | 225 | 3.1 | 340 | 196 | 144 | | | |
| Γ13 | 7.7 | 700 | 103 | 17.5 | 52.9 | 3.9 | 0 | 308 | 20.7 | 124 | 3.1 | 328 | 252 | 76 | | | |
| Γ21 | 7.6 | 820 | 93 | 21.4 | 80.5 | 3.1 | 0 | 283 | 27.4 | 168 | 3.1 | 320 | 232 | 88 | | | |
| Γ5 | 7.8 | 1180 | 112 | 39.9 | 98.9 | 8.6 | 0 | 269 | 31.7 | 296 | 3.1 | 444 | 220 | 224 | | | |
| Γ14 | 8 | 860 | 80.2 | 35 | 55.2 | 2.3 | 0 | 238 | 37.5 | 153 | 24.8 | 320 | 195 | 125 | | | |
| Γ7 | 7.8 | 2400 | 231 | 73.9 | 216 | 9.4 | 0 | 175 | 43.2 | 830 | 0 | 1046 | 143 | 903 | | | |
| Γ1 | 7.5 | 1040 | 144 | 21.4 | 43.7 | 2.3 | 0 | 371 | 20.2 | 158 | 0 | 455 | 304 | 151 | | | |
| Γ8 | 8 | 1040 | 112 | 19.5 | 78.2 | 5.5 | 0 | 269 | 41.3 | 186 | 12.4 | 450 | 220 | 230 | | | |
| Γ2 | 8 | 1100 | 115 | 31.1 | 101 | 7 | 0 | 275 | 38.4 | 216 | 99.2 | 508 | 225 | 283 | | | |
| Γ4 | 8.1 | 740 | 68.1 | 18.5 | 83.9 | 4.7 | 0 | 258 | 28.8 | 135 | 9.3 | 353 | 211 | 142 | | | |
| Π1 (δίκτυο) | 8.5 | 460 | 64.1 | 8.3 | 27.6 | 1.6 | 6 | 176 | 15.4 | 60.3 | 3.1 | 194 | 154 | 40 | | | |
| Π.ΠΟΤΑΜΟΣ | 7.6 | 740 | 115 | 17.5 | 46 | 2.3 | 0 | 336 | 29.3 | 114 | 1.2 | 360 | 275 | 85 | | | |
| Π.ΜΕΣΑΡΙΑ | 7.5 | 740 | 103 | 19 | 50.6 | 1.6 | 0 | 281 | 21.6 | 138 | 0 | 334 | 230 | 104 | | | |
| Π.ΠΑΡΑΔΕΙΣΙ | 7.5 | 400 | 32.1 | 2.9 | 43.7 | 3.9 | 0 | 75.7 | 30.7 | 67.4 | 6.2 | 175 | 62 | 113 | | | |
| Α.ΠΑΝΤΕΛΕΗΜΩΝ | 7 | 480 | 54.5 | 3.9 | 39.1 | 1.6 | 0 | 104 | 17.8 | 92.2 | 6.2 | 152 | 85 | 67 | | | |
| Π.ΚΑΜΑΡΙ | 8 | 520 | 67.3 | 3.9 | 25.3 | 25 | 0 | 140 | 20.2 | 92.2 | 9.3 | 223 | 115 | 108 | | | |

Πίνακας 3. χημικές αναλύσεις δειγμάτων νερού υγρής περιόδου έτους 2000

| ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ | PH | Αγωγιμότητα $\mu\text{S}/\text{cm}$ $\theta=25^{\circ}\text{C}$ | ΧΙΛΙΟΣΤΟΓΡΑΜΜΑ ΑΝΑ ΛΙΤΡΟ mg/lit | | | | | | | | | | ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ (mg/lit) CaCO_3 | | |
|--------------------|-----|--|---------------------------------|------|------|------|---------------|----------------|-----|---------------|---------------|------|-------------------------------------|----------|--------|
| | | | ΚΑΤΙΟΝΤΑ | | | | ΑΝΙΟΝΤΑ | | | | | | ΟΛΙΚΗ | ΠΑΡΟΛΙΚΗ | ΜΟΝΙΜΗ |
| | | | Ca | Mg | Na | K | CO_3 | HCO_3 | Cl | SO_4 | NO_3 | | | | |
| Φ1 | 7.7 | 1300 | 111 | 27.7 | 78.2 | 18 | 0 | 291.7 | 215 | 34.6 | 3.1 | 390 | 239 | 151 | |
| Φ2 | 7.7 | 1070 | 80.2 | 18.5 | 80.5 | 11.7 | 0 | 249 | 167 | 27.9 | 3.1 | 276 | 204 | 72 | |
| Φ3 | 7.8 | 1500 | 94.6 | 25.3 | 108 | 25 | 0 | 218.5 | 246 | 50 | 31 | 340 | 179 | 161 | |
| Φ4 | 8.2 | 1450 | 103 | 26.3 | 101 | 26.6 | 0 | 258.7 | 245 | 48 | 15.5 | 364 | 212 | 152 | |
| Φ6 | 7.6 | 1440 | 117 | 21.4 | 113 | 12.5 | 0 | 277 | 241 | 72 | 3.1 | 380 | 227 | 153 | |
| Φ8 | 8 | 3000 | 191 | 30.6 | 336 | 13.7 | 0 | 236.8 | 775 | 55.7 | 9.3 | 602 | 194 | 408 | |
| Φ10 | 7.7 | 3000 | 237 | 57.9 | 207 | 26.6 | 0 | 227 | 745 | 66.3 | 15.5 | 830 | 186 | 644 | |
| Φ12 | 7.5 | 3500 | 345 | 47.2 | 230 | 23.5 | 0 | 225.8 | 812 | 173 | 86.8 | 1054 | 185 | 869 | |
| Φ13 | 7.4 | 4000 | 149 | 125 | 361 | 35.2 | 0 | 283.1 | 961 | 86.5 | 43.4 | 884 | 232 | 652 | |
| Φ14 | 7.9 | 2100 | 103 | 40.4 | 283 | 27.4 | 0 | 281.9 | 553 | 58.6 | 3.1 | 422 | 231 | 191 | |
| Φ15 | 7.8 | 1300 | 90 | 24.3 | 106 | 10.2 | 0 | 259.9 | 227 | 28 | 6.2 | 324 | 213 | 111 | |
| Φ16 | 7.7 | 1400 | 135 | 19.9 | 80.5 | 8.6 | 0 | 220.9 | 261 | 42.3 | 9.3 | 418 | 181 | 237 | |
| Γ13 | 7.9 | 900 | 99.4 | 3.4 | 57.5 | 6.3 | 0 | 262.4 | 113 | 15 | 0 | 262 | 215 | 47 | |
| Γ10 | 7.4 | 900 | 62.5 | 14.1 | 73.6 | 6.3 | 0 | 225.8 | 128 | 18 | 3.1 | 214 | 185 | 29 | |
| Γ4 | 7.3 | 960 | 68.9 | 18.5 | 73.6 | 6.3 | 0 | 251.4 | 131 | 18 | 6.2 | 248 | 206 | 42 | |
| Γ18 | 7.1 | 1300 | 96.2 | 28.7 | 106 | 7 | 0 | 244.1 | 248 | 38 | 3.1 | 358 | 200 | 158 | |
| Γ6 | 7.2 | 1350 | 107 | 19.5 | 101 | 4.7 | 0 | 225.8 | 255 | 26.4 | 3.1 | 348 | 185 | 163 | |
| Γ21 | 7 | 1250 | 114 | 12.2 | 92 | 3.1 | 0 | 261.2 | 213 | 24.5 | 0 | 334 | 214 | 120 | |
| Γ7 | 7.1 | 2750 | 216 | 68.1 | 168 | 9.4 | 0 | 177 | 716 | 38.4 | 3.1 | 820 | 145 | 675 | |
| Γ8 | 7.8 | 1100 | 99.4 | 20.4 | 64 | 4.7 | 0 | 263.6 | 156 | 37.5 | 9.3 | 332 | 216 | 116 | |
| Γ22 | 7.6 | 3100 | 154 | 46.2 | 368 | 11.7 | 0 | 286.8 | 748 | 93.7 | 6.2 | 574 | 235 | 339 | |
| Γ14 | 7.5 | 1000 | 115 | 15.6 | 44 | 2.3 | 0 | 227 | 160 | 16.3 | 21.7 | 352 | 186 | 166 | |
| Π.ΚΑΜΑΡΙ | 7.7 | 600 | 64.1 | 4.4 | 34 | 2 | 0 | 136.7 | 89 | 11.5 | 6.2 | 178 | 112 | 66 | |
| Π.ΠΟΤΑΜΟΙ | 7.2 | 900 | 114 | 10.7 | 39 | 2 | 0 | 313.6 | 96 | 20.7 | 0 | 328 | 257 | 71 | |
| Α.ΠΑΝΤΕΛΗΜΩΝ | 7.7 | 550 | 48.1 | 5.4 | 39 | 2 | 0 | 102.5 | 85 | 16.8 | 6.2 | 142 | 84 | 58 | |
| Π.ΜΕΣΑΡΙΑ | 8 | 520 | 67.3 | 3.4 | 25 | 2 | 0 | 185.5 | 50 | 13.9 | 0 | 182 | 152 | 30 | |

8. Συμπεράσματα-Προτάσεις

Συνοψίζοντας όσα έχουν αναφερθεί στα προηγούμενα κεφάλαια προτάθηκαν τα ακόλουθα έργα και μελέτες για να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα της έλλειψης καλής ποιότητας ύδατος:

1. Η εκτέλεση 2 ερευνητικών γεωτρήσεων η Γ1 και Γ2 στις βορειοανατολικές κλιτύες της τοπογραφικής έξαρσης Προφ. Ηλίας.

2. Σε ότι αφορά το Δ.Δ. Λιβαδειών, λόγω των μεγάλων αναγκών σε νερό εξαιτίας της ραγδαίας τουριστικής ανάπτυξης, οι υπάρχουσες γεωτρήσεις, λόγω των υπεραντλήσεων έχουν ήδη επιβαρυνθεί από την διεύδυση της θάλασσας όπως ήδη αναφέρθηκε στο κεφάλαιο της Υδροχημείας. Γι' αυτό το λόγο προτάθηκε η διάνοιξη ερευνητικής γεώτρησης βόρεια της οδού Λιβαδίων – Μεγάλου Χωριού, νοτιοανατολικά του ναού Αγ. Κωνσταντίνου. Η γεώτρηση

πραγματοποιήθηκε ερευνητικά (Εικ. 3) στις 24-5-2002, ήταν επιτυχής. Προτάθηκε η κατασκευή νέου δικτύου ύδρευσης το οποίο θα καταλήγει στον οικισμό των Λιβαδίων σε βρύσες, από όπου οι μόνιμοι κάτοικοι και οι επισκέπτες θα μπορούν να προμηθεύονται νερό μόνον για πόσιμο και θα το μεταφέρουν σε δοχεία, επειδή υπάρχει ρύπανση του υπάρχοντος. Τονίζεται ότι οι βρύσες δεν θα είναι συνεχούς ροής αλλά με βάνες. Επίσης θα πρέπει το νερό που χρησιμοποιείται για τις «πισίνες» να αντλείται από τη θάλασσα διότι δεν είναι απαγορευτικές οι αποστάσεις. Από την στιγμή που τα αποτελέσματα του γεωτρητικού προγράμματος θα είναι θετικά είναι σκόπιμη η μη άντληση των γεωτρήσεων οι οποίες είναι επιβαρημένες από την διεύθυνση της θάλασσας.

3. Αξιολογώντας τις μικροβιολογικές αναλύσεις που έγιναν σε διάφορα δείγματα νερού γεωτρήσεων αλλά και του δικτύου, τόσο στο Μεγάλο Χωριό όσο και στα Λιβάδια όπου φαίνεται ότι υπάρχει επιβάρυνση προτείνεται η σταδιακή αλλαγή του εσωτερικού δικτύου των δύο προαναφερόμενων οικισμών διότι μπορεί να δημιουργείται μέσα από ρηγματώσεις του ήδη υπάρχοντος δικτύου.

4. Η παρακολούθηση της ποιότητας των νερών των υδροφόρων οριζόντων που διαμορφώνονται θα πρέπει να είναι συνεχής και εντατική.

5. Προτάθηκε η καταγραφή θερμογραφημάτων από αέρος σε όλες τις ακτές του νησιού με σκοπό τον εντοπισμό των υποθαλάσσιων πηγών, ορισμένες από τις οποίες έχουν ήδη αναφερθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο.

6. Για την διερεύνηση υπογείων επιφανειών ροής νερού, προτάθηκε η εκτέλεση γεωφυσικών διασκοπήσεων προκειμένου να καθοριστούν επακριβώς οι επιφάνειες υπόγειας ροής και ειδικότερα των σημαντικών μετώπων των υποθαλάσσιων πηγών.

7. Να κατασκευασθούν μικρά φράγματα ανάσχεσης της ροής των επιφανειακών υδάτων σε κατάλληλες θέσεις ώστε να επιβραδύνεται ο χρόνος η απορροή προς τη θάλασσα και να αυξάνεται ο χρόνος κατείσδυσης στους γεωλογικούς σχηματισμούς και έτσι να εμπλουτίζεται ο υπόγειος υδροφόρος (τεχνητός εμπλουτισμός).

Βιβλιογραφία

Δανδολος, Η. (1986). Έκθεση αποτελεσμάτων γεωτρητικών εργασιών στη νήσο Τήλο, ΙΓΜΕ, Αθήνα, 15 σελ.

Freeze, R. & Cherry, A. (1979). Groundwater and the hydrologic cycle, Univ. of British Columbia, p. 192-232.

Piper, A.M. (1944). A graphic procedure in the geochemical interpretation of water - analyses, Trans. Amer. Geophysical Union, v. 25, 914-928.

Piper, A.M. (1955). Groundwater notes, Geochemistry, 12.

Roussos, N. (1978). Contribution al' étude Géologique de l' arc Egéen l'île de Tilos, Diplôme de 3e cycle Paris 6, Paris, 110 p.

Ρουσσος, Ν. (1985). Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδας κλίμακας 1:50.000, Φύλλο «Τήλος», Ι.Γ.Μ.Ε.

Roussos, N. & Bonneau, M. (1977). Stratigraphy and structure of the island of Tilos, VI Colloquium on the geology of the Aegean region, Athens, p. 46.

WHO (1978). Water quality surveys, 350 p.