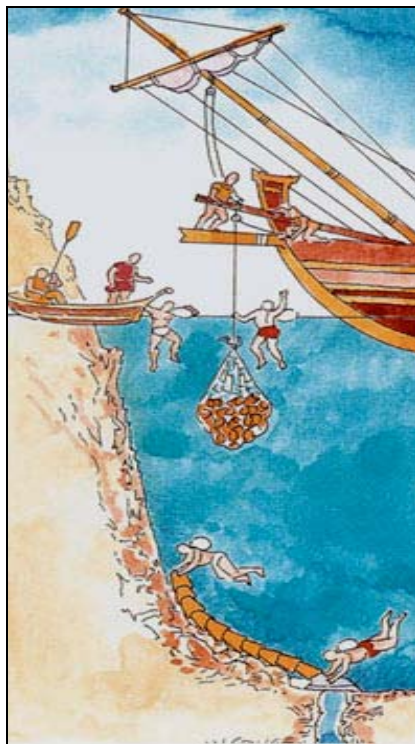




Πανεπιστήμιο Αιγαίου
Τμήμα Επιστημών της Θάλασσας
Σχολή Περιβάλλοντος
ΔΠΜΣ «Διαχείριση Παράκτιων Περιοχών»



Μεταπτυχιακή διατριβή εξειδίκευσης με θέμα:

«Μετρήσεις αλατότητας στον κόλπο της Γέρας σε περιοχές υποθαλάσσιων αναβλύσεων γλυκού νερού»

Λητώ Παπαδοπούλου, 193/0512

Επιβλέπουσα: Χρυσή Καραπαναγιώτη

Μυτιλήνη, Ιούνιος 2007

Περιεχόμενα

- **Ευχαριστίες**
- **Περίληψη**
- **1 Πρόλογος**
- **2 Σκοπός και στόχοι της έρευνας**
- **3 Βιβλιογραφική ανασκόπηση**
 - 3.1 Ο υδρολογικός κύκλος
 - 3.2 Υδροφόρος ορίζοντας – τύποι υδροφορέων, πηγές
 - 3.3 Τι είναι οι υποθαλάσσιες αναβλύσεις γλυκού νερού και ποιοι οι μηχανισμοί τους
 - 3.4 Σύσταση της υποθαλάσσιας ανάβλυσης γλυκού νερού
 - 3.5 Εντατική χρήση υπόγειων υδάτων
 - 3.6 Εκμετάλλευση των υδροφόρων
 - 3.7 Ρύπανση στην παράκτια ζώνη
 - 3.8 Εισροή θρεπτικών στην παράκτια ζώνη μέσω του υπόγειου νερού - παραδείγματα
 - 3.9 Μέθοδοι μέτρησης και ανίχνευσης των υποθαλάσσιων αναβλύσεων γλυκού νερού
 - 3.10 Έρευνες που πραγματοποιήθηκαν με τη χρήση διαφόρων μεθόδων μέτρησης για την ανίχνευση των υποθαλάσσιων αναβλύσεων γλυκού νερού
 - 3.11 Σημασία των υποθαλάσσιων ανάβλυσης γλυκού νερού στη διαχείριση της παράκτιας ζώνης
- **4 Μεθοδολογική προσέγγιση του θέματος**
 - 4.1 Περιοχή μελέτης
 - 4.2 Παράμετροι που μελετήθηκαν και μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν
 - 4.2.1 Προκλήσεις
 - 4.3 Επεξεργασία αποτελεσμάτων
- **5 Αποτελέσματα**
 - 5.1 Προκαταρκτικές πληροφορίες
 - 5.2 Πρώτη δειγματοληψία
 - 5.3 Δεύτερη δειγματοληψία
 - 5.4 Περιοχή Αγία Μελάνη
 - 5.4.1 Πρώτη δειγματοληψία
 - α) Προφίλ θερμοκρασίας και αλατότητας
 - β) Σύγκριση των σταθμών μεταξύ τους σε βάθος 1μ

- 5.4.2 Δεύτερη δειγματοληψία
- α) Προφίλ θερμοκρασίας και αλατότητας
- β) Σύγκριση των σταθμών μεταξύ τους σε βάθος 1μ
- 5.5 Περιοχή Θέρμα
- 5.5.1 Πρώτη δειγματοληψία
- α) Προφίλ θερμοκρασίας και αλατότητας
- β) Σύγκριση των σταθμών μεταξύ τους σε βάθος 1μ
- 5.5.2 Δεύτερη δειγματοληψία
- α) Προφίλ θερμοκρασίας και αλατότητας
- β) Σύγκριση των σταθμών μεταξύ τους σε βάθος 1μ
- 5.6 Μεταβολή της θερμοκρασίας και της αλατότητας κατά μήκος του κόλπου
- **6 Συμπεράσματα και προτάσεις για μελλοντική έρευνα**
- **7 Παράρτημα**
- **8 Βιβλιογραφία**

Ευχαριστίες

Τελειώνοντας την πτυχιακή μου θα ήθελα να ευχαριστήσω την κυρία Χρυσή Καραπαναγιώτη για την ανάθεση της εργασίας και τη βοήθειά της κατά τη διάρκεια των μετρήσεων και στη συγγραφή του κειμένου, τα μέλη της τριμελούς επιτροπής, τον κύριο Τσιρτσή για τη βοήθειά του, τον κύριο Χατζηλίγια για το ενδιαφέρον του, τον κύριο Ζερβάκη και τον κύριο Τσαμπάρη, τον κύριο Χασιώτη (για τη βοήθειά του στη δοκιμαστική δειγματοληψία στην Καλλονή), τον κύριο Νίτη και την κυρία Μαραγκουδάκη για τις πληροφορίες που μας έδωσαν. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω το Μάνο που μας πήγε με τη βάρκα του στη Γέρα και βοήθησε στις μετρήσεις, τους φίλους μου και τέλος την οικογένειά μου για τη συμπαράστασή τους.

Περίληψη

Το νερό, αν και αγαθό με μεγάλη αξία χρήσης, είχε πάντοτε μικρή αξία ανταλλαγής και κατά συνέπεια, εξαιρούμενο από την αγορά, εξαιρείτο και από την οικονομική θεώρηση. Κι αυτό επειδή ως φυσικός πόρος, σε αντιστοιχία με τον αέρα, κατατασσόταν στα δώρα της φύσης προς τον άνθρωπο, αλλά και γιατί ο χαρακτήρας του ανανεώσιμου του αφαιρούσε τη δυναμική της ανεπάρκειας και της προσπάθειας για προμήθεια (Υπουργείο Ανάπτυξης, 2003).

Η οικονομική ανάπτυξη, όμως, των τελευταίων δεκαετιών διαμόρφωσε νέες συνθήκες και έχει οδηγήσει στην αντιμετώπιση του νερού ως φυσικό πόρο σε ανεπάρκεια (Υπουργείο Ανάπτυξης, 2003). Η συνεχώς αυξανόμενη ζήτηση σε νερό και το πρόβλημα της λειψυδρίας έχει οδηγήσει τους επιστήμονες στην έρευνα του υπόγειου νερού με στόχο την εκμετάλλευσή του.

Το φαινόμενο της υποθαλάσσιας εκφόρτισης υπόγειου νερού στη θάλασσα έχει κεντρίσει το ενδιαφέρον της επιστημονικής κοινότητας, όχι μόνο επειδή θα μπορούσε να εκμεταλλευτεί από τον άνθρωπο αλλά επειδή αποτελεί δίοδο διαφόρων ρυπαντών στην παράκτια ζώνη.

Στόχος της εργασίας είναι η διερεύνηση των επιπτώσεων των υποθαλάσσιων αναβλύσεων γλυκού νερού στις μετρήσεις αλατότητας και ο προσδιορισμός της καταλληλότητας της χρήσης του CTD για τις μετρήσεις αυτές. Για το σκοπό αυτό πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις αγωγιμότητας με το CTD. Οι μετρήσεις επικεντρώθηκαν σε δύο περιοχές του κόλπου, στην Αγία Μελάνη και στα Θέρμα, για τις οποίες υπήρχαν μαρτυρίες κατοίκων ότι υπάρχουν αναβλύσεις γλυκού νερού στη θαλάσσια περιοχή. Τα δεδομένα που κατέγραψε το CTD επεξεργάστηκαν με το πρόγραμμα SEASOFT-Win32 και για τη διεξαγωγή των συμπερασμάτων χρησιμοποιήθηκαν γραφήματα στο Excel και μελετήθηκαν τα προφίλ θερμοκρασίας και αλατότητας κάθε σταθμού, έγινε σύγκριση μεταξύ των σταθμών σε συγκεκριμένο βάθος και μελετήθηκε η μεταβολή της αλατότητας και της θερμοκρασίας κατά μήκος του κόλπου της Γέρας στις δύο περιοχές. Η επεξεργασία των αποτελεσμάτων έδειξε ότι μόνο η μεταβολή της αλατότητας και της θερμοκρασίας κατά μήκος του κόλπου σε σταθερό βάθος μπορεί να οδηγήσει σε συμπεράσματα και η χρήση του CTD ως μοναδική μέθοδος, δεν ενδείκνυται για τον εντοπισμό των υποθαλάσσιων αναβλύσεων γλυκού νερού σε κλειστές θάλασσες.

1 Πρόλογος

Το νερό αποτελούσε πάντοτε τον πόλο έλξης των ανθρώπων και των δραστηριοτήτων τους. Οι ευεργετικές ή καταστρεπτικές συνέπειες της φυσικής κίνησής του ανάγκασαν τον άνθρωπο να του αφιερώσει, από τα βάθη της ιστορικής διαδρομής του μέχρι σήμερα, σημαντικό μέρος της δημιουργικής του δουλειάς. Η εξασφάλιση του πόσιμου και του αρδευτικού νερού, σε συνδυασμό με την προστασία από τις πλημμύρες, ήταν από τα κυρίαρχα μελήματα του ανθρώπου από την αυγή του πολιτισμού, ενώ και οι εξίσου σημαντικές φροντίδες της κατοχύρωσης σίγουρης στέγης και εξασφάλισης τροφής πάντα συνδυάζονταν με τη διαθεσιμότητα του νερού. Απόδειξη αποτελεί η εμφάνιση των πρώτων πολιτισμών στις παραποτάμιες περιοχές. Αποτέλεσε δηλαδή το νερό το συγκριτικό πλεονέκτημα ανάπτυξης μιας περιοχής, λειτουργώντας συμπληρωματικά με τους άλλους φυσικούς πόρους - το έδαφος, το δάσος, τη θάλασσα – όπως συμβαίνει και σήμερα (Υπουργείο Ανάπτυξης, 2003).

Όμως στην εποχή μας αναμένεται ότι τα προβλήματα τα οποία σχετίζονται με την ερημοποίηση, τις πλημμύρες, τη διάβρωση και τη μεταφορά ιζημάτων, τη ρύπανση του νερού, και την υπερεκμετάλλευση των υδροφορέων θα εντατικοποιηθούν στο μέλλον με αποτέλεσμα η αειφόρος ανάπτυξη να πραγματοποιηθεί με μεγαλύτερη δυσκολία (Estrela *et al.*, 1996).

Σε παγκόσμιο επίπεδο η εκμετάλλευση από τον άνθρωπο της παράκτιας ζώνης και των μικρών νησιών έχει εντατικοποιηθεί ιδιαίτερα τα τελευταία χρόνια. Πάνω από το 60% του πληθυσμού της γης (περίπου έξι δισεκατομμύρια άνθρωποι) κατοικεί σε παράκτιες πόλεις ή σε νησιά. Η υπερεκμετάλλευση που έχει υποστεί η παράκτια ζώνη έχει επιπτώσεις στις υδρολογικές συνθήκες των παράκτιων περιοχών. Προβλήματα που προκύπτουν αφορούν τις διαφορετικές χρήσεις της παράκτιας ζώνης και της θάλασσας, την υπερεκμετάλλευση των παράκτιων πόρων, την εκφόρτιση των αποβλήτων και των παραποτάμων στα παράκτια ύδατα και τον κίνδυνο που μπορεί να προκαλέσει η άνοδος της στάθμης της θάλασσας και η ανάπτυξη του παράκτιου πληθυσμού (International Symposium, 2002).

Η υφιστάμενη ανισορροπία στους υδάτινους πόρους καθιστά την ανεπάρκεια του νερού ένα σοβαρό πρόβλημα σε πολλές περιοχές της Ευρώπης. Το πρόβλημα είναι ιδιαίτερα έντονο σε περιοχές με ημι-άνυδρο κλίμα. Αν και το ζήτημα της παροχής νερού αναγνωρίζεται ως ένα αυξανόμενο πρόβλημα στη Νότια και στη Δυτική Ευρώπη, η διαχείριση του γλυκού νερού είναι ένα «κλειδί» σε όλη την υφήλιο (Estrela *et al.*, 1996).

Στο International Symposium (2002) που διεξήχθη στη Γερμανία αναγνωρίστηκε ότι η παράκτια ζώνη είναι ευάλωτη σε φυσικές καταστροφές, στην επίδραση της αλλαγής του

κλίματος και είναι μια περιοχή όπου η εισβολή του θαλασσινού νερού απειλεί τους πόρους του γλυκού νερού.

Η αλληλεπίδραση μεταξύ του επιφανειακού και υπόγειου νερού έχει μελετηθεί στην υδρολογία και στη λιμνολογία. Οι περισσότερες έρευνες που έχουν διεξαχθεί για την αλληλεπίδραση του υπόγειου και του παραθαλάσσιου νερού περιορίζονται στη μελέτη της κίνησης του αλμυρού νερού προς την ξηρά (υφαλμύρωση), ενώ η μελέτη της κίνησης του υπόγειου γλυκού νερού προς τη θάλασσα έχει απασχολήσει τους επιστήμονες τα τελευταία χρόνια (Taniguchi *et al.*, 2002).

Οι υποθαλάσσιες πηγές εντοπίζονται σε πολλά μέρη του κόσμου και αποτελούν ιδιαίτερα εντυπωσιακή μορφή της υποθαλάσσιας εκφόρτισης του υπόγειου νερού. Θεωρούνται σημαντικές για το κάλλος τους και τους διάφορους μικροοργανισμούς που προσελκύουν, ενώ το μέγεθος κάποιων πηγών, δίνει τη δυνατότητα παροχής γλυκού νερού για την κάλυψη των ανθρώπινων αναγκών (Taniguchi *et al.*, 2002).

Η απευθείας εκφόρτιση του υπόγειου νερού στην παράκτια ζώνη έχει δεχτεί ιδιαίτερο ενδιαφέρον από επιστήμονες τα τελευταία χρόνια και αναγνωρίζεται ότι αποτελεί μονοπάτι για μεταφορά διαφόρων συστατικών στη θάλασσα και μπορεί να επηρεάσει τους γεωχημικούς κύκλους διαφόρων στοιχείων είτε με απευθείας εκφόρτιση του γλυκού νερού στη θάλασσα είτε με χημικές αντιδράσεις που παίρνουν μέρος κατά τη διάρκεια της επανακυκλοφορίας του θαλασσινού νερού μέσω του υδροφόρου ορίζοντα (Taniguchi *et al.*, 2002).

Έχουν προταθεί διάφοροι δείκτες για την παρουσία των αναβλύσεων υπόγειου νερού σε μια περιοχή, όπως το χρώμα, η θερμοκρασία, η αλατότητα, ή άλλοι γεωχημικοί δείκτες οι οποίοι φανερώνουν την εκφόρτιση υπόγειου νερού στο θαλασσινό νερό. Το υπόγειο νερό το οποίο εκβάλλει, μπορεί να χαρακτηρίζεται από κόκκινο χρώμα, λόγω της οξειδωσης του σιδήρου ή από μικρές φυσαλίδες. Οι ανωμαλίες στη θερμοκρασία του νερού που μπορεί να ανιχνευτούν από υπέρυθρες εναέριες φωτογραφίες στον ανοιχτό ωκεανό μπορεί να αποτελούν δείκτες της ανάβλυσης υπόγειου νερού στη θάλασσα. Επίσης έχει προταθεί ότι η παρουσία οξειδωμένων κελυφών ή ψαμμιτών ίσως αποτελούν δείκτες της εκφόρτισης υπόγειου νερού στη θάλασσα (Burnett *et al.*, 2006).

2 Σκοπός και στόχοι της έρευνας

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η διερεύνηση του κόλπου της Γέρας στο νησί της Λέσβου και συγκεκριμένα των περιοχών της Αγίας Μελάνης και των Θερμών Λουτρών, για την εξεύρεση υποθαλάσσιων αναβλύσεων υπόγειου νερού.

Οι στόχοι της παρούσας εργασίας είναι:

- Να διερευνήσει τις επιπτώσεις των υποθαλάσσιων αναβλύσεων γλυκού νερού στις μετρήσεις αλατότητας και της θερμοκρασίας στη γύρω θαλάσσια περιοχή
- Να προσδιορίσει τη βέλτιστη χρήση του CTD ως μελλοντική μέτρησης για τον εντοπισμό υποθαλάσσιων αναβλύσεων σε κλειστές θάλασσες
- Να πρωτοτυπήσει ως προς το αντικείμενο έρευνας και να αποτελέσει αρχή για περαιτέρω μελέτη στο νησί της Λέσβου αλλά και σε άλλες περιοχές

3 Βιβλιογραφική ανασκόπηση

3.1 Ο υδρολογικός κύκλος

Η ποσότητα του νερού που υπάρχει στη γη έχει υπολογιστεί σε 1,36 δις km^3 . Μόνο το 0,65% από αυτό βρίσκεται στις λίμνες, στα ποτάμια, στην ατμόσφαιρα και στο υπέδαφος, το 2,15% είναι δεσμευμένο στους παγετώνες, ενώ το υπόλοιπο 97,2% είναι συγκεντρωμένο στους ωκεανούς.

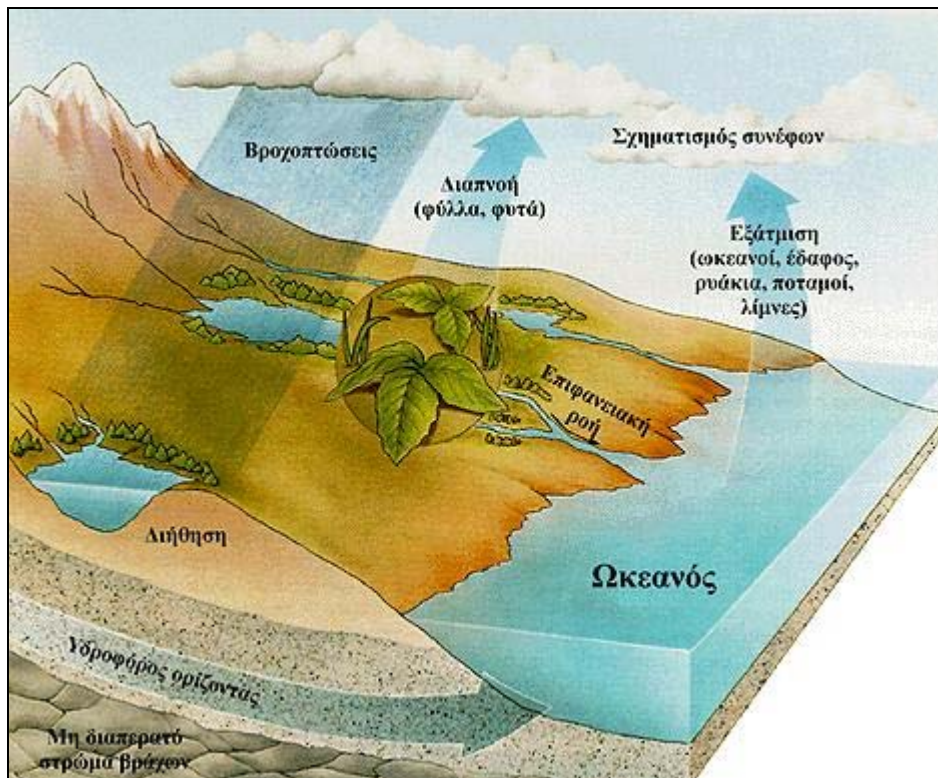
Το νερό προέρχεται από την υποθαλάσσια και χερσαία ηφαιστειακή δραστηριότητα και διατηρείται σταθερό μιας και το επίπεδο της θάλασσας παραμένει επίσης σταθερό. Η ηλιακή ενέργεια θερμαίνει το νερό και το εξατμίζει από τη χέρσο ($60000 \text{ km}^3/\text{χρόνο}$) και τους ωκεανούς ($320000 \text{ km}^3/\text{χρόνο}$) προς την ατμόσφαιρα ($380000 \text{ km}^3/\text{χρόνο}$). Στην ατμόσφαιρα το νερό ψύχεται και συγκεντρώνεται υπό τη μορφή σταγονιδίων στα σύννεφα και στη συνέχεια κατακρημνίζεται ως βροχή, χιόνι, και χαλάζι και επιστρέφει στους ωκεανούς ($284000 \text{ km}^3/\text{χρόνο}$) και τη χέρσο ($96000 \text{ km}^3/\text{χρόνο}$). Στη χέρσο όμως τα κατακρημνίσματα αυτά είναι κατά $36000 \text{ km}^3/\text{χρόνο}$ περισσότερα από αυτά που επιστρέφουν στην ατμόσφαιρα ($60000 \text{ km}^3/\text{χρόνο}$) μετά από τη συνολική εξάτμιση στη χέρσο, την εξατμισοδιαπνοή, που περιλαμβάνει τις εξατμίσεις του εδάφους, των λιμνών, των ποταμών, και τη διαπνοή των φυτών. Το ποσό των $36000 \text{ km}^3/\text{χρόνο}$ διοχετεύεται τελικώς στη θάλασσα μέσω του υδρογραφικού δικτύου της χέρσου ή κατά ένα μεγάλο ποσοστό υπογείως, ώστε να ολοκληρωθεί ο **υδρολογικός κύκλος** (Εικ 3.1). Δηλαδή η θερμική ενέργεια μετατρέπεται αρχικά σε δυναμική ενέργεια κατά τη διάρκεια της εξάτμισης, ενώ στη συνέχεια η δυναμική ενέργεια μετατρέπεται, κατά την πτώση του χιονιού και της βροχής, σε κινητική ενέργεια. Ένα μικρό μέρος της ενέργειας από την κίνηση των ποταμών και των παγετώνων χρησιμοποιείται για τη διάβρωση και το σχηματισμό του αναγλύφου της γης (Δούτσος, 2000).

Ο υδρολογικός κύκλος διακρίνεται σε 16 μέρη:

- Αποθήκευση νερού στη θάλασσα
- Εξάτμιση
- Εξατμισοδιαπνοή
- Εξάχνωση
- Νερό στην ατμόσφαιρα
- Συμπύκνωση
- Κατακρημνίσματα
- Αποθήκευση νερού σε πάγους και χιόνια
- Απορροή από λιώσιμο του χιονιού
- Επιφανειακή απορροή

- Ροή σε υδατορέματα
- Αποθήκευση γλυκού νερού
- Διήθηση
- Αποθήκευση υπόγειου νερού
- Εκφόρτιση υπόγειου νερού
- Πηγές

(USGS, 2006)



Εικ 3.1 Ο υδρολογικός κύκλος (USGS, 2006)

Το υπόγειο νερό είναι το νερό που βρίσκεται κάτω από την επιφάνεια της γης και μέσα σε κενούς χώρους των πετρωμάτων και του εδάφους. Αν και αυτό αποτελεί μόλις το 1% του γλυκού νερού της γης μας παρέχει το 50% του πόσιμου νερού, το 40% του νερού για πότισμα (αρδευτικό νερό) και το 25% του νερού που χρησιμοποιείται στις βιομηχανίες. Τις περισσότερες φορές η εκμετάλλευση του υπόγειου νερού, σε σχέση με το επιφανειακό νερό, με άντλησή του από υδρογεωτρήσεις, πηγάδια κτλ ή και με απευθείας χρησιμοποίησή του από πηγές είναι οικονομικώς συμφερότερη. Γι' αυτό η παρουσία του υπόγειου νερού καθορίζει από την αρχαιότητα έως σήμερα τη θέση των οικισμών και των πόλεων σε μια χώρα. Είναι λοιπόν προφανής η αξία του υπόγειου νερού για τον άνθρωπο, ο οποίος πρέπει να διατηρήσει όχι μόνο την ποσότητα αλλά και την ποιότητά του (Δούτσος, 2000).

3.2 Υδροφόρος ορίζοντας – τύποι υδροφορέων, πηγές

Κάτω από την επιφάνεια της γης συναντούμε τη ζώνη αερισμού, η οποία είναι μια μη κορεσμένη σε νερό ζώνη. Κάτω από τη ζώνη αυτή υπάρχει η ζώνη κορεσμού, στην οποία τα πετρώματα που υπάρχουν επιτρέπουν την κίνηση του νερού και λέγονται υδροφόρα πετρώματα ή υδροφορείς. Ανάλογα με τις γεωλογικές και τις υδραυλικές συνθήκες μπορούμε να διακρίνουμε δύο είδη υδροφορέων: τους μη περιορισμένους (unconfined) και τους περιορισμένους (confined) υδροφορείς (Δούτσος, 2000).

Στην κατηγορία των μη περιορισμένων υδροφορέων κατατάσσονται οι υδροφορείς οι οποίοι αναπτύσσονται πάνω από ένα αδιαπέρατο πέτρωμα. Ενώ η δεύτερη κατηγορία χαρακτηρίζεται από υδροφορείς οι οποίοι περιορίζονται πάνω και κάτω από αδιαπέρατα πετρώματα (Δούτσος, 2000).

Πηγές είναι τα σημεία εξόδου των υπόγειων νερών στην επιφάνεια της γης. Στην περίπτωση των μη περιορισμένων υδροφορέων, πηγές εκδηλώνονται στην τομή του υδροφορέα με το ανάγλυφο. Ανύψωση του υδροφόρου ορίζοντα σε εποχές βροχοπτώσεων οδηγεί σε αύξηση της παροχής καθώς και αύξηση του αριθμού των πηγών, ενώ η πτώση του σε περιόδους ξηρασίας προκαλεί μείωση της παροχής ή ακόμη και στέρεμα πολλών πηγών.

Εκτός από τις πηγές το υπόγειο νερό εκφορτίζεται και σε ποταμούς, λίμνες, έλη, ακολουθώντας μια καμπύλη διαδρομή προς την περιοχή εκφόρτισης (Δούτσος, 2000).

3.3 Τι είναι οι υποθαλάσσιες αναβλύσεις γλυκού νερού και ποιοι οι μηχανισμοί τους

Σύμφωνα με τον Taniguchi *et al.* (2002) η συνολική εκφόρτιση νερού στον ωκεανό αποτελείται από την επιφανειακή απορροή του νερού και τις υποθαλάσσιες αναβλύσεις γλυκού νερού. Η SPE (submarine porewater exchange) είναι αποτέλεσμα της υποθαλάσσιας ανάβλυσης γλυκού νερού και της υποθαλάσσιας επαναφόρτισης υπόγειου νερού (submarine groundwater recharge – SGR). Στη γενική της έννοια, η υποθαλάσσια ανάβλυση υπόγειου νερού (submarine groundwater discharge - SGD), αποτελείται από την εκφόρτιση του γλυκού υπόγειου νερού (submarine fresh groundwater discharge - SFGD) και την εκφόρτιση του επανακυκλοφορούμενου θαλασσινού νερού (recirculated saline groundwater discharge - RSGD).

Ο προσδιορισμός των αναβλύσεων γλυκού νερού (SGD) αποτελεί ένα δίλημμα για τους υδρολόγους και τους ωκεανογράφους. Για τους ωκεανογράφους η ανάβλυση του νερού από τη στεριά στον ωκεανό θεωρείται υπόγειο νερό, ανεξάρτητα από την αλατότητα ή από τη διαδρομή που έχει ακολουθήσει για να καταλήξει στον ωκεανό. Η ίδια διαδικασία για τον

υδρολόγο μπορεί να θεωρηθεί ως θαλασσινό νερό το οποίο έχει ανακυκλωθεί, εάν το νερό που αναβλύζει έχει την ίδια αλατότητα με το θαλασσινό νερό (Moore, 1999).

Για τη μέτρηση της SGD χρησιμοποιούνται συνήθως οι εξής μονάδες: 1) όγκος ανά μονάδα χρόνου ($\text{m}^3 \text{ day}^{-1}$, l s^{-1}), 2) όγκος ανά μονάδα χρόνου ανά μονάδα μήκους ακτογραμμής ($\text{m}^3 \text{ day}^{-1} (\text{m ακτογραμμής})^{-1}$, $\text{m}^3 \text{ year}^{-1} (\text{km ακτογραμμής})^{-1}$) και 3) όγκος ανά μονάδα χρόνου ανά μονάδα επιφάνειας ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$, cm s^{-1} , m year^{-1}). Επειδή η επιφάνεια εκφόρτισης της SGD είναι συνήθως άγνωστη χρησιμοποιούνται σε κάθε περίπτωση διαφορετικές μονάδες μέτρησης. Δηλαδή στην πρώτη περίπτωση η οποία χρησιμοποιείται σε έρευνες μεγάλης κλίμακας, η SGD ως προς τη ροή του υπόγειου νερού δεν είναι υπολογίσιμη. Στη δεύτερη περίπτωση η οποία είναι κατάλληλη για έρευνες μικρότερης κλίμακας σε τοπικό ή περιφερειακό επίπεδο, η ροή του υπόγειου νερού δεν είναι διαθέσιμη γιατί η απόσταση της ανάβλυσης από την ακτή μπορεί να είναι άγνωστη. Σε κάποιες όμως περιπτώσεις μπορεί να υπάρξουν επαρκής πληροφορίες ώστε να είναι γνωστή η SGD ως προς την απόσταση από την ακτογραμμή. Στις περιπτώσεις αυτές μπορεί να εκτιμηθεί η ροή του υπόγειου νερού ανά μονάδα ακτογραμμής με σχετική ακρίβεια. Στην τρίτη περίπτωση, ο συνολικός όγκος της SGD δεν μπορεί να εκτιμηθεί αν δεν είναι γνωστή η επιφάνεια της περιοχής που μελετάται σε σχέση με την ροή της SGD (Taniguchi *et al.*, 2002). Σύμφωνα με τους Burnett *et al.* (2006) ροή πάνω από 100 cm/ημέρα θεωρείται υψηλή, ενώ κάτω από 5 cm/ημέρα θεωρούνται χαμηλές ή ακόμα οριακά ανιχνεύσιμες.

3.4 Σύσταση της υπόγειας ανάβλυσης γλυκού νερού

Οι αναβλύσεις γλυκού νερού αποτελούνται από τα εξής συστατικά: 1) φρέσκο νερό το οποίο προέρχεται απευθείας από τον υδροφόρο ορίζοντα στον ωκεανό, 2) γλυκό και θαλασσινό νερό το οποίο ανακυκλώνεται στους επιφανειακούς μη περιορισμένους υδροφόρους ορίζοντες και 3) εισροές γλυκού και θαλασσινού νερού από βαθύτερους ημι – περιορισμένους υδροφόρους. Τα συστατικά αυτά μπορεί να αναμειχθούν πριν εισέλθουν στον ωκεανό (Moore, 2003).

Σύμφωνα με τους Burnett *et al.* (2003) ένα από τα συστατικά των αναβλύσεων υπόγειου νερού (SGD) είναι τα νερά από ατμοσφαιρικές κατακρημνίσεις, το οποίο φιλτράρεται και διηθείται στον υδροφόρο ορίζοντα. Ένα άλλο σημαντικό συστατικό της SGD είναι το επανακυκλοφορούμενο θαλασσινό νερό. Επιπλέον η SGD μπορεί να περιέχει υπόγειο νερό του οποίου η αλατότητα έχει αυξηθεί λόγω της διάλυσης αλάτων μέσα στον υδροφόρο ορίζοντα.

Πολλοί είναι οι παράγοντες που επηρεάζουν άμεσα ή έμμεσα το ρυθμό της ροής του υπόγειου νερού στην παράκτια ζώνη. Ο Πίνακας 3.1 συνοψίζει τα πιο σημαντικά συστατικά και τις κινητήριες δυνάμεις της SGD. Η κατηγοριοποίηση στον Πίνακα 3.1 απλουστεύει τις

σχέσεις μεταξύ των συμβαλλόμενων παραγόντων και των κινητήριων δυνάμεων, δηλαδή το εύρος των κυματισμών επηρεάζει το tidal pumping του επανακυκλοφορούμενου θαλασσινού νερού, αλλά και οι παλίρροιες επηρεάζουν το υδραυλικό μέτωπο και αυτό έχει επιπτώσεις στη μεταβολή της εκφόρτισης των ατμοσφαιρικών κατακρημνίσεων. Όλα τα παραπάνω μπορεί να είναι χρήσιμα για τον προσδιορισμό της SGD, όμως απαιτούνται συγκεκριμένα όργανα μέτρησης για τον προσδιορισμό της (Burnett *et al.*, 2003).

Πίνακας 3.1. Συστατικά της SGD, οι κινητήριες δυνάμεις της και οι παράγοντες που επηρεάζουν το μέγεθός της. Οι κατηγορίες είναι ταξινομημένες με αυθαίρετο τρόπο (Burnett *et al.*, 2003).

Συστατικά	Κινητήριες δυνάμεις	Άλλοι παράγοντες που συμβάλλουν στο μέγεθος της SGD
Νερό από κατακρημνίσεις (γλυκό νερό)	Υδραυλικό μέτωπο (hydraulic gradient)	Τοπογραφία, ατμοσφαιρικές κατακρημνίσεις, εξατμισοδιαπνοή
Επανακυκλοφορούμενο θαλασσινό νερό (αλατούχο)	Υδραυλικό μέτωπο ή, tidal pumping, wave set-up	Εύρος κυματισμών, περίοδος, συχνότητα, ένταση ανέμου, κατεύθυνση
Πολύ αλατούχα νερά (connate waters)	Πυκνότητα, Θερμική διαβάθμιση	Γεωλογία

Σύμφωνα με τους Taniguchi *et al.* (2002) δύο είναι οι κύριοι παράγοντες οι οποίοι καθορίζουν το ρυθμό της SGD: 1) οι κινητήριες δυνάμεις και 2) η ανάπτυξη των ποταμών. Η κινητήρια δύναμη είναι συνιστώσα της υδραυλικής αγωγιμότητας (γεωλογία) και του ρυθμού της επανακυκλοφορίας του υπόγειου νερού [ατμοσφαιρικές κατακρημνίσεις, εξατμισοδιαπνοή (από τη βλάστηση και τις καλλιέργειες μιας περιοχής)] και η ανάπτυξη των ποταμών μπορεί να καθοριστεί από τη γεωλογία και την τοπογραφία μιας περιοχής. Γι' αυτό, παράμετροι που αφορούν τη γεωλογία, τις ατμοσφαιρικές κατακρημνίσεις, τις καλλιέργειες, και την τοπογραφία είναι οι κύριοι παράγοντες οι οποίοι είναι απαραίτητοι για την εκτίμηση των αναβλύσεων γλυκού νερού.

3.5 Εντατική χρήση υπόγειων υδάτων

Η εντατική χρήση του υπόγειου νερού, έχει παρατηρηθεί σε παγκόσμιο επίπεδο και ειδικότερα σε άνυδρες και ημι-άνυδρες περιοχές. Η χρήση του νερού γίνεται εντατική όταν η ροή και η ποιότητα μεταβάλλονται. Οι συνακόλουθες αλλαγές μπορεί να είναι ευεργετικές, αρνητικές, ή ουδέτερες, ανάλογα με τα επιστημονικά, τεχνικά, οικονομικά, περιβαλλοντικά, κοινωνικά, ή και πολιτικά κριτήρια που επηρεάζουν αυτή τη διαχείριση (Custodio, 2005).

Στον όρο «υπερεκμετάλλευση», ο οποίος χρησιμοποιείται ευρέως, συνήθως δεν λαμβάνονται υπόψη οι αρνητικές επιπτώσεις της εντατικής χρήσης του υπόγειου νερού και πολλές φορές παραμελούνται τα οφέλη από τη χρήση του υπόγειου νερού, όπως είναι η

παροχή καθαρού νερού για τις ανάγκες του ανθρώπου, για την οικονομική και την κοινωνική ανάπτυξη, για την άρδευση, και τη μείωση της φτώχειας (Custodio, 2005).

Πάντως στην Ευρωπαϊκή Ένωση σημειώνεται μεγάλη πρόοδος όσον αφορά στην ποιότητα και στην ποσότητα των υδατικών πόρων. Μεγάλο μέρος της βελτίωσης έχει επιτευχθεί μέσω μέτρων που στοχεύουν στη μείωση των πιέσεων στα ευρωπαϊκά ύδατα από τα νοικοκυριά και τη βιομηχανία, τα οποία εισάγονται μέσω πρωτοβουλιών πολιτικής σε ευρωπαϊκό επίπεδο με την Οδηγία 2000/60/EK του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, για τη θέσπιση πλαισίου κοινοτικής δράσης στον τομέα πολιτικής των υδάτων. Η οδηγία πλαίσιο για το νερό καθιερώνει ευρωπαϊκό πλαίσιο για την προστασία όλων των υδάτων στην Ευρωπαϊκή Ένωση – ποταμοί, λίμνες, παράκτια ύδατα, υπόγεια και επιφανειακά εσωτερικά ύδατα. Στόχος είναι να επιτευχθεί καλή ποιότητα των υδατινών πόρων έως το 2015. Ο στόχος αυτός επιβάλλεται να επιτευχθεί μέσω της ολοκληρωμένης διαχείρισης των ποτάμιων λεκανών δεδομένου ότι τα υδατικά συστήματα δεν σταματούν στα διοικητικά σύνορα. Η οδηγία πλαίσιο για το νερό θεσπίζει σαφείς προθεσμίες για τα διάφορα στάδια που απαιτούνται ώστε να μετακινηθούμε προς μια βιώσιμη, ολοκληρωμένη διαχείριση των υδάτων στην Ευρώπη.

Από τις βασικές αρχές της Οδηγίας είναι :

- Η αρχή της ευθύνης του ρυπαίνοντος (γνωστή ως «ο ρυπαίνων πληρώνει»), που σημαίνει ότι το κόστος προστασίας του περιβάλλοντος βαρύνει το χρήστη του πόρου.
- Η αρχή της «αναλογικότητας», με βάση την οποία το σύνολο των εκπομπών των εγκαταστάσεων που δραστηριοποιούνται σε ένα χώρο δεν πρέπει να επιβαρύνουν τον αποδέκτη πέραν των προσδιορισμένων ορίων. Κατά συνέπεια, προκειμένου να επιτραπεί η λειτουργία μιας νέας εγκατάστασης θα πρέπει να μειωθούν αναλογικά οι επιβαρυντικές εκπομπές από τις ήδη λειτουργούσες.
- Η αρχή της πρόληψης, όπου η ενδεχόμενη αβεβαιότητα στις επιστημονικές προσεγγίσεις λειτουργεί υπέρ της προστασίας του περιβάλλοντος (Υπ. Ανάπτυξης, 2003).

Ωστόσο πολλά συστήματα υπόγειων υδάτων, ποταμοί, λίμνες, εκβολές, παράκτια και θαλάσσια ύδατα στην Ευρώπη εξακολουθούν να υφίστανται σε σημαντικό βαθμό την επίδραση των ανθρώπινων δραστηριοτήτων. Για παράδειγμα, οι συγκεντρώσεις ρύπων παραμένουν υψηλότερες και τα επίπεδα των υδάτων χαμηλότερα από τα αντίστοιχα φυσικά ή βιώσιμα επίπεδα. Σε πολλές περιοχές της Ευρώπης αυτό οδηγεί σε υποβάθμιση των υδατικών οικοσυστημάτων και των χερσαίων οικοσυστημάτων που εξαρτώνται από αυτά, όπως οι υγρότοποι, καθώς και στην υποβάθμιση του πόσιμου νερού και των υδάτων κολύμβησης, που ορισμένες φορές δεν ανταποκρίνονται στα πρότυπα υγείας του ανθρώπου (ΕΟΠ, 2003).

Ένα πρόβλημα που παρατηρείται σε όλο τον κόσμο είναι η ρύπανση της παράκτιας ζώνης από ανθρώπινες δραστηριότητες. Εκτός από αστικές και βιομηχανικές εισροές, τόσο άμεσες όσο και διαμέσου των ποταμών, οι παραλίες των θαλασσών κινδυνεύουν από την ανάπτυξη κατά μήκος των ακτών η οποία καταστρέφει το φυσικό περιβάλλον, και από τις δραστηριότητες στην ενδοχώρα. Στη σημερινή εποχή οι κίνδυνοι της δημόσιας υγείας από τα απόβλητα, τον ευτροφισμό λόγω μεγάλων ποσοτήτων θρεπτικών συστατικών, και από τις τοξικές δράσεις των οργανικών ενώσεων βρίσκονται στην κορυφή του ενδιαφέροντος.

3.6 Εκμετάλλευση των υδροφόρων

Σε ημιάνυδρες περιοχές οι υδροφόροι παίζουν σημαντικό ρόλο στην κάλυψη των απαιτήσεων για νερό, όχι μόνο ποιοτικά και ποσοτικά αλλά και στο χώρο και στο χρόνο. Οι υδροφόροι ορίζοντες αποτελούν μια φυσική λύση στο πρόβλημα της έλλειψης καθαρού νερού και χρησιμοποιούνται και για την προστασία της ποιότητας του νερού, παρέχοντας ποιοτικά αποθέματα νερού σε περιοχές όπου η επιφανειακή απορροή τους καλοκαιρινούς μήνες είναι ανεπαρκής ή πολύ χαμηλή (Estrela *et al.*, 1996).

Η εντατική όμως εκμετάλλευση των υδροφόρων μπορεί να οδηγήσει σε υπερεκμετάλλευση, η οποία εξαρτάται από τις απαιτήσεις του νερού και τους ανανεώσιμους πόρους.

Προβλήματα ρύπανσης μπορεί να επηρεάσουν αρκετούς υδροφόρους είτε από σημειακές είτε μη σημειακές πηγές ρύπανσης, που συνήθως προκαλούνται από τη γεωργία και την κτηνοτροφία (Estrela *et al.*, 1996).

Ωστόσο η εκμετάλλευση των υδροφόρων στις ημιάνυδρες περιοχές έχει ως συνακόλουθο προβλήματα σχετικά με την μέση ετήσια φόρτιση (average annual recharge) του υδροφόρου και τις δυσκολίες που προκύπτουν σε θέματα διαχείρισης.

Σε αρκετές ημιάνυδρες περιοχές της Μεσογείου η απουσία υψηλού ποσοστού βροχοπτώσεων και η παρουσία εφήμερων ποταμών (ephemeral rivers) οδηγούν στην εκμετάλλευση του υπόγειου νερού. Αυτό οδηγεί στην υπερεκμετάλλευση το οποίο προέρχεται από τις αυξημένες απαιτήσεις για νερό με σκοπό την άρδευση (Estrela *et al.*, 1996).

Η εκμετάλλευση του υπόγειου νερού έχει ιδιαίτερη σημασία για την Ελλάδα μιας και το επιφανειακό νερό είναι σχετικά λίγο και λόγω του ορεινού αναγλύφου οδηγείται γρήγορα στη θάλασσα. Γι' αυτό πραγματοποιούνται αρκετές υδρογεωτρήσεις οι οποίες πολλές φορές έχουν ως αποτέλεσμα την υπεράντληση των υδροφορέων. Ιδιαίτερα σε παράκτιες περιοχές παρατηρείται συχνά το φαινόμενο της υπαλμύρινσης του υπόγειου νερού (Δούτσος, 2000).

Το πρόβλημα της υπαλμύρινσης συνήθως προκύπτει στις ημιάνυδρες περιοχές της Ευρώπης όπου παρουσιάζεται λόγω σπάνιας φόρτισης λόγω των βροχοπτώσεων. Το

πρόβλημα επιδεινώνεται από το γεγονός ότι το κλίμα στις περιοχές αυτές προσελκύει αρκετό τουρισμό, ιδιαίτερα τους καλοκαιρινούς μήνες, οπότε προκαλούνται ανισορροπίες, προβλήματα παροχής νερού, και διαχείρισης (Estrela *et al.*, 1996).

3.7 Ρύπανση στην παράκτια ζώνη

Η θαλάσσια ρύπανση έχει ως αποτέλεσμα δυσμενείς και επικίνδυνες επιπτώσεις στους ζωντανούς οργανισμούς, παρεμποδίζει δραστηριότητες, αλλοιώνει την ποιότητα του θαλασσινού νερού για διάφορες χρήσεις και υποβιβάζει τις δυνατότητες χρησιμοποίησής του για ψυχαγωγικούς σκοπούς. Επειδή οι περισσότερες από αυτές τις εισροές προέρχονται από τη στεριά, αναμένεται ότι οι άμεσες επιδράσεις θα εμφανιστούν στην παράκτια ζώνη (Φυτιάνος, 1996).

Η πρώτη κατηγορία των εισροών στην παράκτια ζώνη είναι τα απόβλητα. Η αύξηση των παράκτιων πληθυσμών και ο πολλαπλασιασμός των αποβλήτων που εισρέουν στη θάλασσα, αποτελούν απειλή για τη δημόσια υγεία, προκαλώντας μόλυνση των θαλασσών από παθογόνους οργανισμούς και εκδηλώνεται κίνδυνος για όσους χρησιμοποιούν τις παραλίες και τις παράκτιες ζώνες για ψυχαγωγικούς σκοπούς (Φυτιάνος, 1996).

Η δεύτερη κατηγορία των εισροών είναι τα θρεπτικά, ιδιαίτερα οι ενώσεις του αζώτου και του φωσφόρου. Οι ενώσεις αυτές προκαλούν υπέρμετρη ανάπτυξη των αλγών, με αποτέλεσμα να εμφανίζονται φαινόμενα ευτροφισμού, λόγω της εισροής λιπασμάτων, αστικών λυμάτων, και βιομηχανικών αποβλήτων (Φυτιάνος, 1996).

Μια τρίτη κατηγορία ρύπων είναι οι συνθετικές οργανικές ενώσεις, τα φυτοφάρμακα, τα παρασιτοκτόνα, και οι χλωριωμένοι υδρογονάνθρακες, τα οποία βιοσυσσωρεύονται και παραμένουν στα θαλάσσια ιζήματα και μπορούν να καταλήξουν πάλι στους ζώντες οργανισμούς (Φυτιάνος, 1996).

3.8 Εισροή θρεπτικών στην παράκτια ζώνη μέσω των υπόγειων νερών - παραδείγματα

Αρκετές είναι οι περιπτώσεις όπου έχει αναφερθεί η ρύπανση ποταμών, λιμνών, και της παράκτιας ζώνης στην Ευρώπη από νιτρικές ενώσεις και φυτοφάρμακα, ιδίως σε περιφέρειες με εντατική γεωργία (ΕΟΠ, 2003).

Η υπόγεια εκφόρτιση γλυκού νερού είναι σημαντική ιδιαίτερα σε τοπικό επίπεδο. Φυσικά και ανθρωπογενή υλικά μεταφέρονται μέσω του υπόγειου νερού στα επιφανειακά νερά. Λύματα, βιομηχανικά απόβλητα, και άλλα ευδιάλυτα υλικά εισέρχονται στο θαλασσινό νερό μέσω της υπόγειας εκφόρτισης και ανάλογα με τις συγκεντρώσεις και τις διαδρομές που

ακολουθούν, μπορεί να επηρεάσουν την οικολογία της παράκτιας ζώνης (Burnett *et al.*, 2001).

Στην Ελλάδα σε πείραμα που πραγματοποιήθηκε από τους Bellos *et al.* (2004) για την επίδραση των ανθρώπινων δραστηριοτήτων στη διακύμανση των θρεπτικών στον ποταμό Πηνειό και στους παραποτάμους του, οι ερευνητές κατέληξαν στο ότι οι καλλιεργητικές πρακτικές που ασκούνται στην περιοχή, τα αστικά απόβλητα κυρίως από την πόλη της Λάρισας, και το κλίμα επιδρούν στη χημική σύσταση των νερών του ποταμού.

Σε έρευνα που πραγματοποιήθηκε (Edwards *et al.*, 2003) στον ποταμό Ythan στη Σκωτία, ο οποίος έχει χαρακτηριστεί ως ζώνη ευαίσθητη στα νιτρικά, σύμφωνα με την Οδηγία 91/676 της Ε.Ε για την προστασία των νερών από τη νιτρορύπανση παρατηρήθηκε τριπλάσια αύξηση της συγκέντρωσης των νιτρικών στα επιφανειακά νερά του ποταμού σε σχέση με το 1960, ενώ υπάρχουν ενδείξεις για αύξηση των συγκεντρώσεων των νιτρικών στα υπόγεια νερά. Οι συγγραφείς καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι αυτά τα φαινόμενα οφείλονται στην αυξημένη ποσότητα των λιπασμάτων που χρησιμοποιούνται στις καλλιέργειες και μέσω της υπόγειας και επιφανειακής απορροής καταλήγουν στον ποταμό.

Στις παράκτιες περιοχές της ΒΑ Αυστραλίας η νιτρορύπανση των υπόγειων νερών προκαλεί επίσης μεγάλη ανησυχία. Η μελέτη των Thorburn *et al.*, (2003) καθόρισε την έκταση της νιτρορύπανσης στα υπόγεια ύδατα βασιζόμενη σε δείγματα νερού από 1454 πηγάδια. Η συγκέντρωση των νιτρικών στο 3% των πηγαδιών που ελέγχθηκαν ήταν πάνω από το επιτρεπόμενο όριο (50 mg/lit) και το 11% των πηγαδιών είχε υψηλές συγκεντρώσεις (πάνω από 20 mg/lit). Οι συγκεντρώσεις αυτές είναι όμοιες με αυτές που βρέθηκαν σε εντατικά καλλιεργούμενες περιοχές. Οι συγγραφείς αναφέρουν ότι τα νιτρικά στα μισά από τα πηγάδια προέρχονται από τη χρήση λιπασμάτων στην περιοχή και μόνο σε 8 πηγάδια τα νιτρικά προέρχονται από οργανικά υπολείμματα και αστικά απόβλητα.

Στο Οντάριο των ΗΠΑ, (Tan *et al.*, 2002) εγκαταστάθηκε σύστημα παρακολούθησης για τη μέτρηση της συγκέντρωσης των νιτρικών σε έδαφος πηλοαμμώδες, το οποίο είχε υποστεί συνεχόμενη καλλιέργεια επί 42 χρόνια με τις εξής καλλιέργειες: καλαμπόκι, γρασίδι, βρώμη, και τριφύλλι. Τα αποτελέσματα του πειράματος έδειξαν ότι παρά το γεγονός ότι η λίπανση εφαρμοζόταν σύμφωνα με τις υποδείξεις, οι πρακτικές διαχείρισης στο καλαμπόκι προκάλεσαν νιτρορύπανση στα υπόγεια νερά και σημαντική οικονομική απώλεια στους παραγωγούς καλαμποκιού.

Σε ανάλογα αποτελέσματα κατέληξαν οι Costa *et al.* (2002), οι οποίοι εξέτασαν την υπόγεια ρύπανση στο ΝΑ Μπουένος Άιρες, στην Αργεντινή, όπου οι πιθανές πηγές ρύπανσης οφείλονται και στα ανόργανα λιπάσματα. Στο 36% των δειγμάτων από τα πηγάδια βρέθηκαν συγκεντρώσεις νιτρικών πάνω από το επιτρεπόμενο όριο για πόσιμο νερό (10 mg/lit) και στο 67% των δειγμάτων οι συγκεντρώσεις των νιτρικών ήταν υψηλότερες από τα 5 mg/lit. Η μεγαλύτερη συγκέντρωση νιτρικών βρέθηκε σε αρδευόμενο καλαμπόκι, όπου είχε

χορηγηθεί υπερβολικό άζωτο, ενώ η συγκέντρωση του νιτρικού αζώτου στο έδαφος σε καλλιέργεια πατάτας βρέθηκε τρεις φορές υψηλότερη από ότι σε λιβάδι.

Σήμερα αναγνωρίζεται ότι η εκφόρτιση υπόγειου νερού στη θάλασσα μπορεί να αποτελέσει σημαντική δίοδο ρυπαντών στην παράκτια ζώνη όπου εκβάλουν παράκτιοι υδροφόροι ορίζοντες, οι οποίοι μπορεί να μεταφέρουν λύματα και ανόργανα σωματίδια (Burnett *et al.*, 2001).

3.9 Μέθοδοι μέτρησης και ανίχνευσης των υποθαλάσσιων αναβλύσεων γλυκού νερού

Για αρκετά χρόνια, οι έρευνες οι οποίες είχαν διεξαχθεί γύρω από την παράκτια εκφόρτιση υπόγειου γλυκού νερού στη θάλασσα είχαν περιοριστεί σε θέματα σχετικά με υδάτινους πόρους και δύο είναι οι λόγοι για τους οποίους η επιστημονική έρευνα σε αυτόν τον τομέα έχει αναπτυχθεί με αργούς ρυθμούς. Πρώτον, η διαδικασία της υπόγειας ανάβλυσης γλυκού νερού μετριέται με μεγάλη δυσκολία και αυτό αποθάρρυνε πολλούς ερευνητές. Η παραθαλάσσια ανάβλυση μπορεί να είναι αρκετά διάχυτη και ευμετάβλητη, αν και η συνολική εκφόρτιση ίσως να είναι αρκετά σημαντική όταν λαμβάνει χώρα σε μεγάλες περιοχές. Δεύτερον, η υποθαλάσσια ανάβλυση γλυκού νερού είναι μια διαδικασία που συμβαίνει σε μια περιοχή όπου υπάρχει αλληλεπίδραση στεριάς και θάλασσας και προκύπτουν πολλές διαφωνίες μεταξύ των επιστημόνων που ασχολούνται με την έρευνα σε χερσαία οικοσυστήματα και με αυτούς που ασχολούνται με την έρευνα στο θαλάσσιο περιβάλλον. Δηλαδή οι υδρολόγοι και οι παράκτιοι ωκεανογράφοι αντιμετωπίζουν το ίδιο πρόβλημα από διαφορετική σκοπιά (Burnett *et al.*, 2001).

Συνήθως οι έρευνες οι οποίες είχαν πραγματοποιηθεί μέχρι πρόσφατα αντιμετώπιζαν δύο σημαντικά προβλήματα: 1) συνήθως η έρευνα διεξαγόταν με μόνο μία μέθοδο, δηλαδή οι ερευνητές που χρησιμοποιούσαν μοντέλα δεν χρησιμοποιούσαν κάποια γεωχημικό ανιχνευτή ή seepage meter ή το αντίστροφο και 2) οι αβεβαιότητες και τα σφάλματα στην έρευνα δεν παρέχονταν σχεδόν ποτέ γιατί για την εκτίμηση της ροής του υπόγειου νερού γιατί γίνονται πολλές υποθέσεις κατά τον υπολογισμό (Burnett *et al.*, 2001).

Η απευθείας ροή του υπόγειου νερού στη θάλασσα χαρακτηρίζεται από μεγάλη χωρική και χρονική διακύμανση, συνήθως αποτελείται από υπόγειο νερό και επανακυκλοφορούμενο θαλασσινό νερό και μπορεί να εντοπιστεί παντού. Η ανάβλυση του γλυκού νερού, σε κάποιες περιοχές αποτελεί σημαντικό φαινόμενο και είναι μια διαδικασία η οποία μπορεί να εμπλουτίσει την παράκτια ζώνη με θρεπτικά και χημικά στοιχεία. Το σημαντικό είναι να υπάρχουν αξιόπιστα εργαλεία ώστε να εκτιμηθεί τα μέγεθος της ανάβλυσης όπου και όταν απαιτείται.

Η υπόγεια ανάβλυση γλυκού νερού προσδιορίζεται με τρεις μεθόδους: 1) με μοντέλα, 2) απευθείας μέτρηση 3) τεχνικές ανίχνευσης. Ένα από τα μοντέλα που χρησιμοποιούνται είναι τα γεωχημικά μοντέλα τοπικής και μεγάλης κλίμακας, οι απευθείας μετρήσεις περιορίζονται συνήθως σε seepage meters αν και έχουν αναπτυχθεί αρκετές διαφοροποιήσεις αυτών των οργάνων και οι τεχνικές ανίχνευσης χρησιμοποιούν είτε φυσικούς γεωχημικούς ανιχνευτές είτε τεχνητούς (Burnett *et al.*, 2001).

Τα μοντέλα χρησιμοποιούνται και σε διαφορετικές κλίμακες, οι οποίες μπορεί και να μην ανταποκρίνονται στις προτιμήσεις των ωκεανογράφων. Επειδή η επίδραση της ανάβλυσης του γλυκού νερού στην παράκτια ζώνη είναι φαινόμενο που λαμβάνει χώρα σε τοπικό επίπεδο, τα μοντέλα που θα προτιμούνται δεν είναι συνήθως μακροκλίμακας, αν και έχουν γίνει έρευνες οι οποίες χρησιμοποιούν μοντέλα μεγάλης κλίμακας (Kim *et al.*, 2006).

Τα μαθηματικά μοντέλα αποτελούν ένα αξιόπιστο και διεθνώς αναγνωρισμένο εργαλείο που παρέχει σημαντική βοήθεια στην υδρογεωλογική μελέτη και κυρίως στη διαχείριση των υδατικών πόρων μιας περιοχής. Οι περισσότεροι από τους εξειδικευμένους κώδικες που προτείνονται κατά διαστήματα για την προσομοίωση της υπόγειας ροής σε καρστικά υδροφόρα συστήματα, βρίσκονται σε στάδιο ανάπτυξης, απαιτούν μεγάλο όγκο εξειδικευμένης πληροφορίας, χαρακτηρίζονται δε από περιορισμένο βαθμό αξιοπιστίας και τεκμηρίωσης. Ωστόσο, οι κώδικες αυτοί μπορούν να παράσχουν αξιόλογα αποτελέσματα με την προϋπόθεση της ύπαρξης σαφών και λεπτομερών δεδομένων εισόδου για την σχεδίαση και τροφοδότησή τους. Η έλλειψη στη χώρα μας τέτοιων εξειδικευμένων δεδομένων αλλά συχνά και βασικών στοιχείων χαρακτηρισμού ενός υδροφόρου συστήματος καθιστά για έναν παραπάνω λόγο απαγορευτική τη χρήση αυτών των μοντέλων (Δελτίο της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας τομ. XXXVI, 2004).

Η χρήση των μοντέλων είναι ιδιαίτερα διαδεδομένη στον τομέα της υδρολογίας, όμως υπάρχουν και αρκετοί περιορισμοί κατά τη χρήση τους. Για παράδειγμα ο υδροφόρος ορίζοντας παρουσιάζει ετερογένεια και είναι δύσκολο να διατηρηθούν αντιπροσωπευτικές τιμές της υδραυλικής αγωγιμότητας και του πορώδους, οι οποίες να εκπροσωπούν την ετερογένειά του, γιατί η υδραυλική αγωγιμότητα συνήθως ποικίλλει μεταξύ μικρών αποστάσεων μέσα στον υδροφόρο ορίζοντα. Επιπλέον προκύπτουν αντιφάσεις μεταξύ των αποτελεσμάτων των μοντέλων και των απευθείας μετρήσεων. Με τη χρήση των μοντέλων εκτιμάται μόνο το γλυκό υπόγειο νερό, ενώ οι υπόλοιπες μέθοδοι μετρούν συνολική ροή (Burnett *et al.*, 2006).

Σε αρκετές έρευνες χρησιμοποιείται ο κώδικας PCFLOW3D κατά τον οποίο γίνεται εκτίμηση της περιοχής που μελετάται και του μεγέθους της ανάβλυσης του γλυκού νερού, εξομοιώνεται η κατανομή της αλατότητας και πραγματοποιείται σύγκριση με τα δεδομένα που έχουν μετρηθεί από την περιοχή (Burnett *et al.*, 2006).

Για την εκτίμηση και τη διαχείριση του υδάτινου δυναμικού της Κω κατά την περίοδο 2004-2006 η Δημοτική Επιχείρηση Ύδρευσης και Αποχέτευσης Κω, εφάρμοσε με επιτυχία το μοντέλο προσομοίωσης MODFLOW, το οποίο είχε πρακτική εφαρμογή σε θέματα διαχείρισης υδάτινων πόρων. Παράλληλα ο κώδικας χρησιμοποιήθηκε για τη διαχείριση του υδροφορέα Πυθίου-Ελασσόνας στην περιοχή της Θεσσαλίας λόγω των προβλημάτων που προέκυψαν στην περιοχή από κακή διαχείριση. Οι αυξανόμενες απαιτήσεις σε νερό σε συνδυασμό με την προσπάθεια αύξησης της παραγωγικής ικανότητας του Θεσσαλικού κάμπου είχαν ως αποτέλεσμα το ελλειμματικό υδατικό ισοζύγιο στο υδατικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας και κατά συνέπεια τη μεγάλη πτώση της πιεζομετρικής στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα. Στόχος στην έρευνα ήταν η διαχείριση του υδροφορέα με την εφαρμογή του μαθηματικού μοντέλου προσομοίωσης – διαχείρισης – βελτιστοποίησης (Tzimiropoulos and Ballas, 2005).

Ο κώδικας MODFLOW που χρησιμοποιείται είναι ένα αριθμητικό μοντέλο το οποίο περιγράφει τη ροή του υπόγειου νερού και επιλύει το πρόβλημα της ροής με τη μέθοδο των πεπερασμένων διαφορών. Σε ένα συμπληρωματικό τρισδιάστατο (3-D) αριθμητικό μοντέλο το οποίο έχει προταθεί γίνεται προσομοίωση της κατανομής της αλατότητας στην επιφάνεια του νερού για να καθοριστεί η τοποθεσία και η ένταση (strength) της ανάβλυσης του υπόγειου νερού. Ένα παράδειγμα του μοντέλου αυτού είναι ο κώδικας PCFLOW3D, το οποίο είναι ένα τρισδιάστατο μη γραμμικό αριθμητικό μοντέλο, κατά την εφαρμογή του οποίου γίνεται υπόθεση της περιοχής και της ποσότητας της ανάβλυσης, εξομοιώνεται η κατανομή της αλατότητας και πραγματοποιείται σύγκριση με τις κατανομές που μετρήθηκαν στο πεδίο. Τα τελικά αποτελέσματα προέρχονται από τη μέθοδο δοκιμής και επιτυχίας (Burnett *et al.*, 2006).

Σε μια από τις έρευνες που παρουσιάστηκαν στο συνέδριο 4th ELOISE Conference (2001) αναφέρεται ότι ο κώδικας PCFLOW3D χρησιμοποιήθηκε για την προσομοίωση της μεταφοράς και της κατανομής ρυπαντών, όπως είναι ο υδράργυρος, μέσω διασποράς, στο χώρο και στο χρόνο στα παράκτια νερά. Όταν έχει καθοριστεί η ταχύτητα των ρευμάτων, η μεταφορά και η διασπορά του ρύπου εξομοιώνεται. Μια σημαντική διεργασία η οποία εξομοιώνεται από ένα μοντέλο είναι η μεταφορά ιζήματος, το οποίο παίζει σημαντικό ρόλο στη μεταφορά του ρύπου, όπως και ο βιογεωχημικός του κύκλος, ο οποίος παρουσιάζει αρκετές δυσκολίες για να εξομοιωθεί, γιατί εμπεριέχει περίπλοκους μετασχηματισμούς του ρύπου. Αν οι διεργασίες είναι γνωστές και μπορούν να εκφραστούν με εξισώσεις, ο βιογεωχημικός κύκλος μπορεί να συμπεριληφθεί σε έναν κώδικα. Ο κώδικας PCFLOW3D, αναπτύχθηκε στο πανεπιστήμιο της Ljubljana, στη Σλοβενία και περιλαμβάνει ένα υπομοντέλο για τη μεταφορά ιζήματος και την προσομοίωση του ρύπου (στη συγκεκριμένη περίπτωση του υδραργύρου) σε διαλυμένη μορφή και σε μορφή σωματιδίων.

Ο κώδικας PCFLOW3D χρησιμοποιήθηκε στην έρευνα των Burnett and Dulaiova (article in press) στη ΝΔ Σικελία στη μικρή πόλη της Donnalucata για την εκτίμηση των αναβλύσεων γλυκού νερού κατά μήκος της ακτογραμμής αρκετών χιλιομέτρων με μετρήσεις ραδονίου. Για την αριθμητική προσομοίωση η ταχύτητα της ανάβλυσης θεωρήθηκε ότι είναι συνεχής ανά τομέα της περιοχής υπό μελέτη με βάση τις μετρήσεις των seepage meters, λήφθηκε υπόψη η αλατότητα και η ταχύτητα και η διεύθυνση του ανέμου. Τα παραπάνω δεδομένα χρησιμοποιήθηκαν για την προσομοίωση και από την εφαρμογή του μοντέλου βρέθηκε ότι τα αποτελέσματά του επαληθεύουν τις μετρήσεις στο πεδίο.

Ένας τρόπος απευθείας μέτρησης της υπόγειας ανάβλυσης γλυκού νερού είναι με μια συσκευή που λέγεται seepage meter και συγκεκριμένα το Lee-type και η συσκευή Taniguchi meter βασίζεται στο χρόνο (travel time) που χρειάζεται ένα θερμικός παλμός (heat pulse) να περάσει από ένα στενό σωλήνα, ο οποίος περικλείεται από ένα μονωτή θερμότητας. Οι παραπάνω συσκευές χρησιμοποιούνται στο πεδίο σε συνδυασμό με τα πιεζόμετρα (piezometer) για να εκτιμηθεί η υδραυλική αγωγιμότητα και το υδραυλικό μέτωπο (hydraulic gradient) από παρατηρούμενες αναβλύσεις (Taniguchi *et al.*, 2002; Burnett *et al.*, 2001; Burnett *et al.*, 2006).

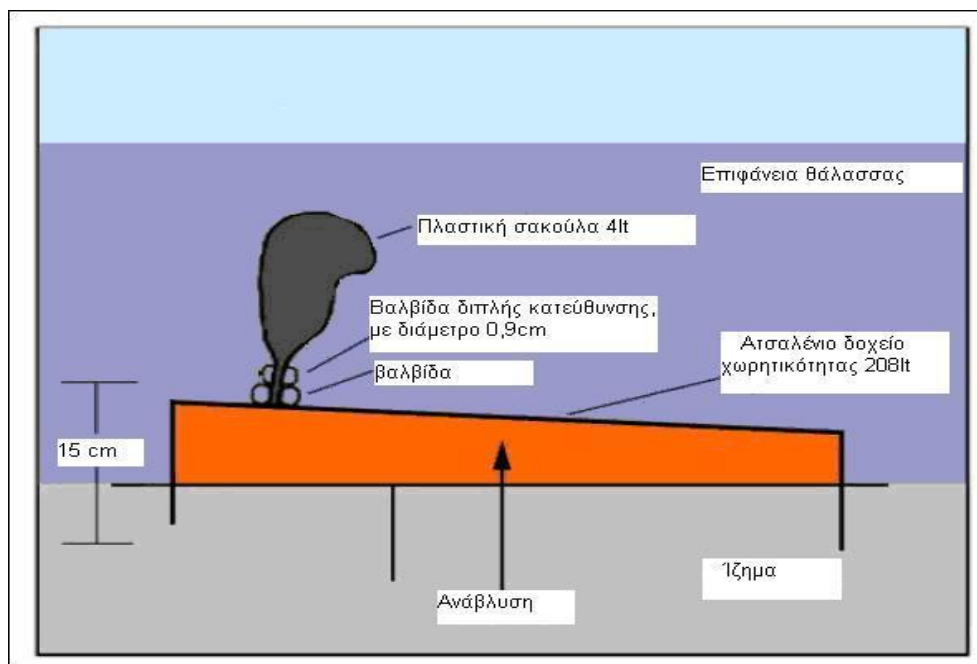
Το λεγόμενο Lee-type seepage meter (Εικ 3.2) αποτελείται από ένα θάλαμο ο οποίος έχει μια ανοιχτή άκρη και εισάγεται στο ίζημα. Το νερό που περνά μέσα από το ίζημα θα εκτοπίσει το νερό που είναι εγκλωβισμένο μέσα στο θάλαμο και θα το σπρώξει προς τα πάνω και μέσω μιας μικρής τρύπας στο πάνω μέρος του θαλάμου θα εισέλθει σε μια πλαστική σακούλα, η οποία λειτουργεί σαν συλλέκτης. Η μεταβολή του όγκου του νερού στη σακούλα σε δεδομένο χρονικό διάστημα δίνει τη μέτρηση της ροής. Το όργανο αυτό είναι απλό στη χρήση του, οικονομικό στην τιμή του, το κόστος τους κυμαίνεται από ελάχιστα δολάρια έως μερικά χιλιάδες ανάλογα με τα όργανα μέτρησης που διαθέτουν και αν χρησιμοποιηθεί προσεκτικά μπορεί να παρέχει χρήσιμες πληροφορίες και αποδίδουν έγκυρα αποτελέσματα και παρέχουν μετρήσεις από περιοχή περίπου $0,25 \text{ m}^2$ (Burnett *et al.*, 2001; 2006)

Όμως έχει και κάποια μειονεκτήματα. Μερικά από τα προβλήματα σχετίζονται με μηχανικές ιδιότητες της πλαστικής σακούλας οι οποίες έχουν ως αποτέλεσμα την ανώμαλη ροή του νερού η οποία δεν σχετίζεται με την ανάβλυση. Άλλα προβλήματα μπορεί να περιλαμβάνουν διαρροή γύρω από τη βάση του θαλάμου, παρεμβολή των κυμάτων και διαφορές πίεσης οι οποίες μπορεί να προκαλέσουν ροή η οποία δεν σχετίζεται με την εισροή του υπόγειου νερού (Burnett *et al.*, 2001). Πάντως το πιο σημαντικό μειονέκτημα όσον αφορά στα χειροκίνητα seepage meter απαιτούν αρκετές ώρες εργασίας και αν η περιοχή μελέτης δεν είναι αβαθής ίσως να χρειάζονται δύτες, γι' αυτό έχουν κατασκευαστεί αυτόματες συσκευές, όπως η λεγόμενη Taniguchi - type meter (Εικ 3.3), η οποία υπολογίζει την

ανάβλυση για αρκετές μέρες με ρυθμό μίας μέτρησης ανά πέντε λεπτά (Taniguchi *et al.*, 2002; Burnett *et al.*, 2001).

Η συσκευή Taniguchi - type meter χρησιμοποιεί μια σειρά από θερμικές αντιστάσεις τοποθετημένες σε στήλη οι οποίες επικοινωνούν με μια σιδερένια υποδοχή η οποία καλύπτει μια περιοχή από ίζημα στο βυθό της θάλασσας, από την οποία αναβλύζει υπόγειο νερό. Η συσκευή υπολογίζει το χρόνο που απαιτείται για να διανύσει το νερό της ανάβλυσης όλο το σωλήνα (Burnett *et al.*, 2006).

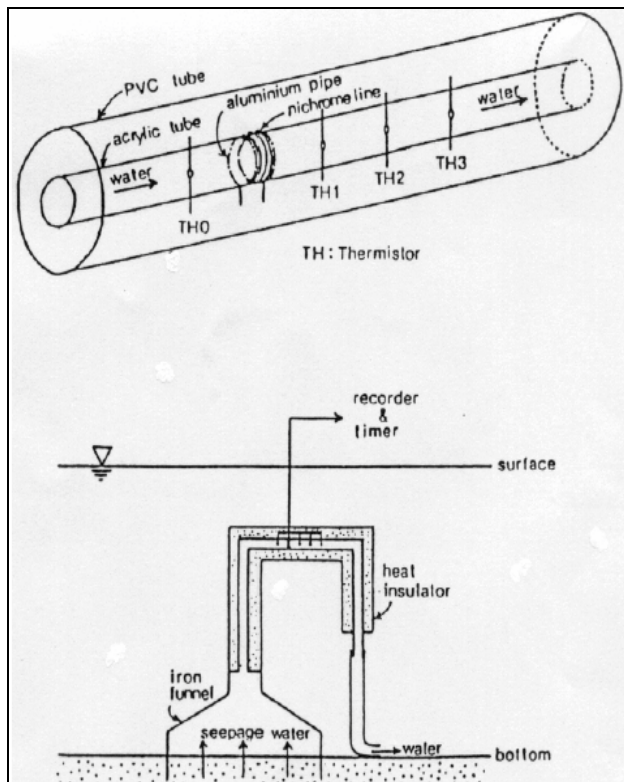
Ένας σημαντικός περιορισμός στη χρήση των seepage meters, είναι οι καιρικές συνθήκες γιατί τα θραυόμενα κύματα μπορεί να το εκτοπίσουν και τα δυνατά ρεύματα επηρεάζουν τη ροή στον πυθμένα της θάλασσας όταν προσπερνούν μεγάλα αντικείμενα (Burnett *et al.*, 2006). Όμως παρά τις δυσκολίες που μπορεί να παρουσιάζονται κατά τη χρήση του seepage meter, αναφέρονται αξιόπιστα αποτελέσματα με τέτοιες συσκευές (Burnett *et al.*, 2001). Επιπλέον τα seepage meters χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με τα πιεζόμετρα (Burnett *et al.*, 2006).



Εικ 3.2 Lee-type seepage meter (Τροποποιημένη εικόνα από Burnett *et al.*, 2006)

Με τη χρήση των πιεζόμετρων (piezometer) μπορεί να μετρηθεί η δυναμική του υπόγειου νερού στο ίζημα σε αρκετά βάθη. Χρησιμοποιώντας τις εκτιμήσεις της υδραυλικής αγωγιμότητας του υδροφόρου ορίζοντα, μπορεί να υπολογιστεί ο ρυθμός της υπόγειας ανάβλυσης στον ωκεανό με τη μονοδιάστατη μορφή του νόμου του Darcy: $q = -Kdh / dL$, όπου q είναι η ροή του Darcy (όγκος εκφόρτισης υπόγειου νερού ανά μονάδα περιοχής ανά μονάδα χρόνου), K είναι η υδραυλική αγωγιμότητα και dh / dL είναι το υδραυλικό μέτωπο

(hydraulic gradient) και h είναι το hydraulic head και L η απόσταση. Βέβαια κατά τη χρήση των πιεζόμετρων ισχύει ο ίδιος περιορισμός που ισχύει και στα μοντέλα, δηλαδή λόγω της ετερογένειας του υδροφόρου ορίζοντα δεν μπορεί να υπάρξει μια αντιπροσωπευτική τιμή της υδραυλικής αγωγιμότητας. Γι' αυτό οι εκτιμήσεις των αναβλύσεων του υπόγειου νερού εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την εκτίμηση της υδραυλικής αγωγιμότητας του υδροφόρου ορίζοντα (Burnett *et al.*, 2006).



Εικ 3.3 Η αυτόματη συσκευή Taniguchi - type meter και αυτόματο seepage meter (Burnett *et al.*, 2006)

Μια προσέγγιση για την εκτίμηση σε τοπικό επίπεδο των εισροών του υπόγειου νερού στον ωκεανό είναι οι φυσικοί γεωχημικοί ανιχνευτές. Η χρήση των γεωχημικών ανιχνευτών είναι μια υποσχόμενη προσέγγιση για τον προσδιορισμό της ανάβλυσης σε τοπική κλίμακα, γιατί η παράκτια στήλη του νερού τείνει να ενσωματώνει τους φυσικούς ανιχνευτές οι οποίοι εισέρχονται στο οικοσύστημα μέσω του υπόγειου νερού, ωστόσο είναι αρκετά δαπανηρή και απαιτεί εξειδικευμένο προσωπικό με εμπειρία. Η χρήση της μεθόδου ενδείκνυται σε περιοχές όπου οι υδροφόροι ορίζοντες χαρακτηρίζονται από μεγάλες χωρικές διακυμάνσεις.

Μια μέθοδο μέτρησης περιλαμβάνει τη χρήση των ραδιοϊσοτόπων και βασίζεται στο ότι το ράδιο στο γλυκό νερό σχηματίζει μόρια με ισχυρούς δεσμούς, ενώ στο θαλασσινό νερό τα μόρια αυτά διασπώνται. Έτσι το ράδιο χρησιμοποιείται ιδιαίτερα στις έρευνες όπου

παρατηρείται ανάμειξη του γλυκού και του αλμυρού νερού κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας (subsurface mixing).

Η τεχνική βασίζεται στις διαφορές του χρόνου υποδιπλασιασμού των ισοτόπων του ραδίου σε σχέση με το μητρικό πυρήνα του θορίου. Στο θαλάσσιο περιβάλλον το θόριο σχηματίζει ισχυρούς δεσμούς, σε αντίθεση με το ράδιο που απορροφάται. Καθώς τα ιζήματα παρασύρονται με το θαλασσινό νερό, το ράδιο μεταφέρεται σε εκβολές ποταμών και στην παράκτια ζώνη. Όταν απομακρυνθούν από το ίζημα, τα ισότοπα του ραδίου αναγεννιούνται με διαφορετικούς ρυθμούς. Το ραδιοϊσότοπο ^{223}Ra (χρόνος υποδιπλασιασμού = 11,4 ημέρες) και το ^{224}Ra (χρόνος υποδιπλασιασμού = 3,7 ημέρες) έχουν μικρό χρόνο υποδιπλασιασμού και γι' αυτό είναι χρήσιμα σε έρευνες, στις οποίες εξετάζονται συστήματα με μικρό χρόνο παραμονής του νερού ενώ βοηθούν στο να εκτιμηθεί ο χρόνος παραμονής του νερού στις εκβολές και στα παράκτια νερά. Ο χρόνος παραμονής είναι σημαντικός γιατί δίνει πληροφορίες για το χρόνο που απαιτούν τα συστατικά να αφομοιωθούν από το σύστημα. Τα ισότοπα ^{226}Ra και ^{228}Ra έχουν μεγαλύτερο χρόνο υποδιπλασιασμού και δίνουν πληροφορίες για τη ροή της ανάβλυσης (Moore, 2003; Moore, 2006).

Όπως το ραδόνιο συσσωρεύεται στο έδαφος, με τον ίδιο τρόπο συσσωρεύεται στο υπόγειο νερό, αν και η δραστηριότητα του ραδονίου στο θαλασσινό νερό είναι πολύ μικρότερη. Η μεγάλη διαφορά μεταξύ της δραστηριότητας του ραδονίου στο υπόγειο και στο επιφανειακό νερό, σε συνδυασμό με τη γεωχημική συμπεριφορά του, καθιστούν το ραδόνιο έναν αξιόπιστο ιχνηθέτη των υποθαλάσσιων αναβλύσεων στην παράκτια ζώνη. Οι παλαιότερες τεχνικές μέτρησης ραδονίου, ήταν αρκετά χρονοβόρες και απαιτούσαν περισσότερους απασχολούμενους. Οι νέες τεχνολογίες που αναπτύχθηκαν τα τελευταία χρόνια επιτρέπουν γρήγορη, επί τόπου μέτρηση της δραστηριότητας του ραδονίου (σε διάστημα 30-60 λεπτών, ανάλογα με τη δραστηριότητα) και τη συλλογή δεδομένων σε μεγαλύτερη περιοχή μελέτης (Crusius, 2004).

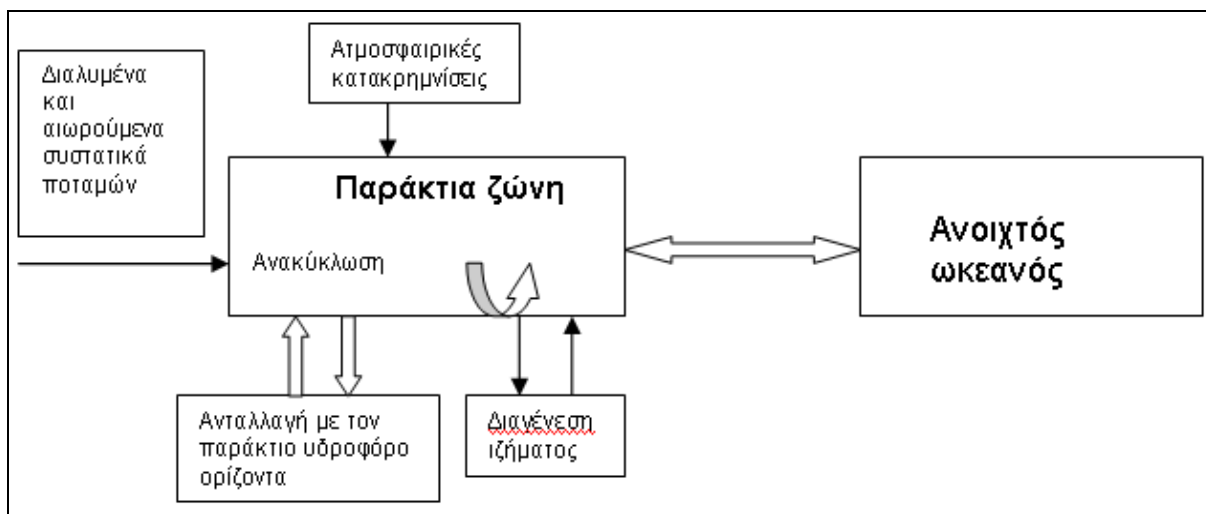
Ο Moore (1999) έχει προτείνει την παρακάτω τεχνική για τον καθορισμό της σπουδαιότητας της ανταλλαγής θρεπτικών και στοιχείων μεταξύ του ωκεανού και των παράκτιων υδροφόρων: 1) αναγνώριση των ανιχνευτών οι οποίοι προέρχονται από τους παράκτιους υδροφόρους ορίζοντες και δεν ανακυκλώνονται στον ανοιχτό ωκεανό, καταγραφή της κατανομής τους και εκτίμηση άλλων πηγών, 2) καθορισμός του ρυθμού ανταλλαγής μεταξύ της παράκτιας ζώνης και του ανοιχτού ωκεανού, 3) υπολογισμός της ροής του ανιχνευτή από την παράκτια ζώνη στον ωκεανό και άρα της ροής του ανιχνευτή από τον υδροφόρο ορίζοντα στην παράκτια ζώνη, 4) μέτρηση της μέσης συγκέντρωσης του ιχνηθέτη στον παράκτιο υδροφόρο ορίζοντα για τον υπολογισμό της συνολικής ροής 5) χρήση των συγκεντρώσεων άλλων συστατικών (θρεπτικών, άνθρακα, μετάλλων) στον υδροφόρο ορίζοντα ή την αναλογία τους ως προς τον ανιχνευτή ώστε να εκτιμηθούν οι ροές τους. Στο Σχήμα 3.4 φαίνεται ο τρόπος με τον οποίο ένα ραδιοϊσότοπο μπορεί να

χρησιμοποιηθεί ώστε να εξεταστεί η ανταλλαγή μεταξύ της παράκτιας ζώνης και του ανοιχτού ωκεανού.

Τα τελευταία χρόνια έχουν πραγματοποιηθεί πολλές έρευνες στις οποίες χρησιμοποιούνται τα ραδιοϊσότοπα ^{226}Ra και ^{222}Rn της σειράς του Ουρανίου ώστε να καθοριστούν οι εισροές του υπόγειου νερού στη θάλασσα. Οι συγκεντρώσεις του ^{222}Rn που συνήθως ανιχνεύονται στο υπόγειο νερό είναι τρεις με τέσσερις φορές μεγαλύτερες από αυτές του ραδονίου που εντοπίζονται στο θαλασσινό νερό, γιατί το υπόγειο νερό είναι εμπλουτισμένο με φυσικούς γεωχημικούς ανιχνευτές σε πολύ μεγαλύτερο βαθμό από ό,τι τα παράκτια νερά. Επιπλέον, το ^{222}Rn είναι ένα ραδιοϊσότοπο ($t_{1/2} = 3,83$ ημέρες) το οποίο είναι χημικά αδρανές και μπορεί εύκολα να μετρηθεί. Η μέθοδος ανίχνευσης με ραδόνιο είναι ένα πολύ καλό ποιοτικό εργαλείο για την αναγνώριση περιοχών με πηγές ή με αναβλύσεις, αλλά αποτελεί και ποσοτικό εργαλείο σε ρηχά νερά τα οποία χαρακτηρίζονται από μεγάλες ποσότητες αναβλύσεων (συμπεριλαμβανομένου του επανακυκλοφορούμενου θαλασσινού νερού) υπό συγκεκριμένες συνθήκες. Η μέθοδος είναι ιδιαίτερα ευαίσθητη όταν υπάρχει ισχυρό πυκνοκλινές, το οποίο εμποδίζει την απώλεια ραδονίου (Burnett *et al.*, 2001; Oliveira *et al.*, 2003). Επίσης καλό είναι να αποφεύγεται η χρήση της μεθόδου σε περιοχές όπου η ροή των αναβλύσεων είναι μεγάλη και τα υδραυλικά μέτωπα είναι έντονα (Burnett *et al.*, 2006). Επιπλέον υπάρχουν και άλλα στοιχεία που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην έρευνα, όπως τα ισότοπα του τρίτιου και του ήλιου, ή και άλλα στοιχεία τα οποία εντοπίζονται σε μικρές συγκεντρώσεις στα παράκτια νερά (Burnett *et al.*, 2001; Oliveira *et al.*, 2003). Αρκετά είναι τα φυσικά ραδιενεργά (^3H , ^{14}C , ισότοπα U και άλλα) και σταθερά (^2H , ^3He , ^4He , ^{13}C , ^{15}N , ^{18}O , $^{87/88}\text{Sr}$ και άλλα) ισότοπα και μερικά ανθρωπογενή ατμοσφαιρικά αέρια (όπως CFC's) που έχουν χρησιμοποιηθεί για τη διερεύνηση των αναβλύσεων γλυκού νερού, για την ανίχνευση των θαλάσσιων μαζών και τον υπολογισμό της ηλικίας του υπόγειου νερού (Burnett *et al.*, 2006).

Οι διάφοροι ιχνηθέτες χρησιμοποιούνται για την κατανόηση των χαρακτηριστικών του υπόγειου νερού, όπως θερμοκρασία, βαθμός εξάτμισης. Άλλοι παράγοντες που αλλάζουν τις ιδιότητες του υπόγειου νερού είναι υδροδυναμικά χαρακτηριστικά του υδροφόρου ορίζοντα (Burnett *et al.*, 2006).

Για την εκτίμηση της ροής του γλυκού νερού, οι μεγάλες μεταβολές στην αλατότητα είναι χρήσιμες για την εκτίμηση των αναβλύσεων. Ωστόσο για τον καθορισμό υφάλμυρων και αλατούχων ροών, που σε αρκετές περιπτώσεις έχουν μεγάλη επίδραση στο παράκτιο περιβάλλον, τα ισότοπα έχουν περισσότερα πλεονεκτήματα. Αρκετές έρευνες στην υδρολογία μπορούν να διεξαχθούν με το συνδυασμό σταθερών ισωτόπων με μικρό και μεγάλο χρόνο ημι-ζωής και με άλλες συμπληρωματικές μεθόδους (Burnett *et al.*, 2006).



Σχήμα 3.4 Σχηματική αναπαράσταση της χρήσης ραδιοϊσοτόπων για τη διερεύνηση της ανταλλαγής μεταξύ παράκτιας ζώνης και ανοιχτού ωκεανού (Moore, 1999)

Κατά τη χρήση των μεθόδων ανίχνευσης, αρκετοί είναι οι παράγοντες οι οποίοι θα πρέπει να καθοριστούν και να ληφθούν υπόψη, όπως περιοριστικοί παράγοντες (περιοχή, όγκος νερού), χρόνος παραμονής του επιφανειακού νερού, πηγές και καταβόθρες, οι οποίες περιλαμβάνουν το θαλασσινό νερό, τους ποταμούς, το υπόγειο νερό, κατακρημνίσεις, οριζόντια μεταφορά στη στήλη του νερού, ανάμειξη του ιζήματος και άλλα (Oliveira *et al.*, 2003).

Επιπλέον για την εκτίμηση των ροών του υπόγειου νερού, οι διαφορές στην αλατότητα είναι χρήσιμες για ανίχνευση της εκφόρτισης του υπόγειου νερού στη θάλασσα. Σε αντίθεση με τους γεωχημικούς ιχνηθέτες, οι γεωφυσικοί ιχνηθέτες, όπως η θερμοκρασία του υπόγειου νερού μπορεί να χρησιμοποιηθούν για την εκτίμηση της ροής της εκφόρτισης του υπόγειου νερού. Δύο βασικές μέθοδοι χρησιμοποιούνται όταν χρησιμοποιείται η θερμοκρασία ως ιχνηθέτης: 1) προφίλ θερμοκρασίας – βάθους και 2) διαφορές θερμοκρασίας στο υπόγειο νερό και στο επιφανειακό νερό, με τεχνικές όπως υπέρυθροι αισθητήρες ή θερμικοί αισθητήρες, χρησιμοποιώντας δορυφόρους όπως LANDSAT 7 ή ο ASTER. Οι μέθοδοι όμως αυτές δεν δίνουν ποσοτικά αποτελέσματα αλλά καταγράφουν σε ποιες περιοχές υπάρχουν αναβλύσεις υπόγειου νερού στη θάλασσα (Burnett *et al.*, 2006; UNESCO, 2004).

Επίσης έχει αποδειχτεί ότι οι αναβλύσεις γλυκού νερού μπορεί να ευθύνονται για γεωμορφολογικούς σχηματισμούς στο βυθό της θάλασσας και για την παροχή χημικών στοιχείων στη στήλη του νερού. Δηλαδή κοιλώματα διαφόρων σχημάτων, όπως επιμήκη,

οβάλ, μισοφέγγαρα, στο βυθό της θάλασσας δημιουργήθηκαν λόγω της ανάβλυσης γλυκού νερού από υποθαλάσσιους υδροφόρους ορίζοντες. Προφανώς, η κίνηση του γλυκού νερού με φορά προς τα πάνω χαλαρώνει τους δεσμούς με τους οποίους είναι συνδεδεμένα τα μόρια του ιζήματος και σε συνδυασμό τα ρεύματα στη θάλασσα αυξάνεται η τοπική αιώρηση (Burnett *et al.*, 2001).

Από τις μεθόδους μέτρησης των αναβλύσεων οι Burnett *et al.* (2006) συνιστούν συνδυασμό όλων των μεθόδων όταν αυτό είναι εφικτό. Η επιλογή της μεθόδου συνήθως εξαρτάται από πρακτικούς λόγους όπως το κόστος και η διαθεσιμότητα των οργάνων. Πάντως για τη ανίχνευση και τη μέτρηση των υποθαλάσσιων αναβλύσεων γλυκού νερού στη θάλασσα δεν υπάρχει κάποια «στάνταρ» μεθοδολογία. Αν η έρευνα θα γίνει σε καρστικό περιβάλλον, είναι καλύτερο να χρησιμοποιηθούν περισσότερες από μία μέθοδο, λόγω των διακυμάνσεων στις τιμές των αποτελεσμάτων που μπορεί να υπάρξουν. Ενώ αν η έρευνα πραγματοποιηθεί σε ηφαιστειακό περιβάλλον καλύτερο είναι να χρησιμοποιηθούν γεωφυσικές μέθοδοι και πολύπλοκα μοντέλα τα οποία απαιτούν περισσότερα δεδομένα. Σε περιοχές όπου υπάρχουν ομογενείς υδροφόροι ορίζοντες μπορεί να χρησιμοποιηθούν τα seepage meters, απλά μοντέλα και σε παράκτιο περιβάλλον χρησιμοποιούνται με επιτυχία οι ανιχνευτές (Burnett *et al.*, 2006).

3.10 Έρευνες που πραγματοποιήθηκαν με τη χρήση διαφόρων μεθόδων μέτρησης για την ανίχνευση των υπόγειων αναβλύσεων γλυκού νερού

Σύμφωνα με τους Burnett *et al.* (2006) οι υποθαλάσσιες αναβλύσεις γλυκού νερού στη θάλασσα υπάρχουν σχεδόν παντού στην παράκτια ζώνη. Δεν συναντώνται μόνο σε καρστικό περιβάλλον αλλά και σε πιο ομογενής περιοχές. Η υπόγεια εκφόρτιση γλυκού νερού είναι ένα συνηθισμένο φαινόμενο, το οποίο εμφανίζεται όπου ο υδροφόρος ορίζοντας συνδέεται με επιφανειακό στρώμα νερού μέσω ενός ρήγματος ή διαπερατού ιζήματος. Η επίδραση της υπόγειας εκφόρτισης αναμένεται να είναι μεγαλύτερη κοντά στην ακτή, γιατί ο ρυθμός εκφόρτισης μειώνεται εκθετικά όταν μεγαλώνει η απόσταση από την ακτή. Η υπόγεια ανάβλυση γλυκού νερού στη θάλασσα, η οποία περιλαμβάνει ανακυκλωμένο θαλασσινό νερό και υπόγειο γλυκό νερό, μπορεί να τροφοδοτεί την παράκτια ζώνη με χημικά στοιχεία, απεικονίζοντας μια σημαντική οδό διέλευσης διαφόρων υλικών από τη στεριά στη θάλασσα σε κάποιες περιοχές.

Με πρωτοβουλία της UNESCO και της IAEA (International Energy Agency) διοργανώθηκε μια έρευνα διάρκειας πέντε ετών στην οποία συμμετείχαν επιστήμονες από αρκετές χώρες με σκοπό τη σύγκριση των μεθόδων που χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση των αναβλύσεων γλυκού νερού στη θάλασσα (SGD) και τον προσδιορισμό της σπουδαιότητας της SGD στη διαχείριση της παράκτιας ζώνης (UNESCO, 2004).

Στόχος του προγράμματος που πραγματοποιήθηκε ήταν: 1) να δοθεί μια λύση στο πρόβλημα της μέτρησης της SGD με τη σύγκριση και την τυποποίηση των τεχνικών που ήδη χρησιμοποιούνται αλλά και την εξερεύνηση νέων μεθόδων, 2) να βελτιωθούν τα υδρολογικά μοντέλα 3) να συγκεντρωθούν αποτελέσματα από καλά μελετημένες περιοχές και να χρησιμοποιηθούν για ακτογραμμές για τις οποίες δεν υπάρχουν αρκετές γνώσεις, 4) να ενημερωθεί η επιστημονική κοινότητα και οι διαχειριστές για την SGD και τη σημασία της και 5) να πραγματοποιηθούν έρευνες και workshops σε αναπτυσσόμενες χώρες (Ασία, Αφρική, Νότια Αμερική) στις οποίες δεν έχουν μελετηθεί οι αναβλύσεις γλυκού νερού (UNESCO, 2004).

Η επιλογή των περιοχών έγινε με βάση παλαιότερες έρευνες, το ποσοστό της SGD που αναμένεται σε κάθε περιοχή, υδρολογικά και γεωλογικά χαρακτηριστικά. Κάθε μελέτη περιλαμβάνει όσον το δυνατόν περισσότερες μεθοδολογίες, στις οποίες συμπεριλαμβάνονται υδρολογικά μοντέλα, απευθείας μετρήσεις (seepage meters, piezometers), φυσικοί ιχνηθέτες (ισότοπα ραδίου, ραδονίου, μεθάνιο κτλ) και τεχνητοί ανιχνευτές (π.χ. SF₆). Οι περισσότερες έρευνες έχουν πραγματοποιηθεί σε περιοχές με διαφορετικό υδρολογικό / παράκτιο περιβάλλον (καρστικές, παράκτιο, ηφαιστειακό).

Μερικές έρευνες οι οποίες περιγράφονται παρακάτω, όπως το case study της Αυστραλίας (Cockburn Sound), της Σικελίας (Donnalucata) και της Βραζιλίας αποτελούν μέρος του προγράμματος της UNESCO.

Σε κάποιες περιπτώσεις, οι υπόγειες αναβλύσεις γλυκού νερού στη θάλασσα μπορεί να αποτελούν δίοδο ρύπων στα παράκτια οικοσυστήματα. Σε περιοχές όπου το υπόγειο νερό έχει ρυπανθεί, οι αναβλύσεις μπορεί να συντελούν στην παράκτια ρύπανση, ενώ σε αντίθετη περίπτωση σε κάποιες περιοχές, διαδικασίες όπως η εκμετάλλευση του υπόγειου νερού για άρδευση, βιομηχανικές διεργασίες και παροχή πόσιμου νερού έχουν μειώσει ή σταματήσει την εκφόρτιση του υπόγειου νερού στη θάλασσα. Οι Oliveira *et al.* (2003) χρησιμοποίησαν τη μέθοδο του ραδονίου για να εκτιμήσουν τις υπόγειες αναβλύσεις γλυκού νερού σε σειρά μικρών κόλπων σε μια τροπική παράκτια περιοχή στη Βραζιλία, η οποία χαρακτηρίζεται κυρίως από γρανίτη και *migmatite*. Η εισροή των θρεπτικών, η οποία μειώνει την πρωτογενή παραγωγή, προέρχεται από ατμοσφαιρικές κατακρημνίσεις, κυρίως αζωτούχες ενώσεις, και σε μικρότερο βαθμό από χερσαία απορροή. Περιστασιακά, παρατηρείται εισροή θρεπτικών λόγω της θερμοαλατικής κυκλοφορίας, από μάζες νερού οι οποίες προέρχονται από τον Νότιο Ατλαντικό (SACW) και αναδύονται, παρέχοντας μία ακόμα πηγή θρεπτικών στην πρωτογενή παραγωγή. Η περιοχή μελέτης αρχικά ήταν ολιγο – μεσο- τροφική, γιατί η πρωτογενής παραγωγή είχε περιοριστεί λόγω της έλλειψης ανόργανων ενώσεων αζώτου και φωσφόρου.

Όμως η πληθυσμιακή επέκταση στην ακτή της Βραζιλίας, η ανεξέλεγκτη διάθεση απορριμμάτων, η απόρριψη των βιομηχανικών αποβλήτων και η έλλειψη διαχείρισης της

παράκτιας ζώνης, είχαν ως αποτέλεσμα την αύξηση των συγκεντρώσεων του αζώτου ιδιαίτερα κοντά στις ακτές. Η υπερβολική εισροή θρεπτικών στους κόλπους της περιοχής μέσω των υπόγειων αναβλύσεων στη θάλασσα μπορεί να ευθύνονται για την αυξημένη θολότητα που παρατηρείται στα νερά. Γι' αυτό η εκτίμηση των εισροών που προέρχονται από αναβλύσεις είναι απαραίτητη για την μελλοντική διαχείριση των περιοχών αυτών.

Πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις αλατότητας, αγωγιμότητας και ειδικής αντίστασης για τον προσδιορισμό των σημείων γλυκού νερού, χρησιμοποιήθηκαν επτά χειροκίνητα seepage meters σε μια μικρή παραλία στην οποία είχε εγκατασταθεί το θαλάσσιο εργαστήριο, σε απόσταση 44, 19 και 14 μέτρων από την ακτή. Η σχετικά υψηλή αλατότητα η οποία μετρήθηκε στο ίζημα, παρόλο το μεγάλο ρυθμό ανάβλυσης γλυκού νερού, πιθανώς να οφείλεται σε διαδικασίες ανάμειξης.

Επιπλέον χρησιμοποιήθηκαν αυτόματα seepage meters σε τρεις σταθμούς τα οποία κατέγραφαν τη ροή των αναβλύσεων κάθε 10 λεπτά, με μέσο ημερήσιο ρυθμό 260 cm/day, 4,2 cm/day και 356 cm/day και η μέση τιμή της αγωγιμότητας σε αυτούς τους σταθμούς ήταν 48,7, 48,9 και 39,9 mS/cm αντίστοιχα.

Με τη χρήση των τεχνητών ανιχνευτών (fluorescien χρωστική εμποτισμένη με SF₆), βρέθηκε ότι η ροή γλυκού νερού κυμαινόταν από 28 έως 184 cm/day σε μέρες κατά τις οποίες υπάρχει άμπωτη.

Στα μέσα Νοεμβρίου, για τέσσερις μέρες πραγματοποιήθηκαν από ερευνητικό σκάφος, μετρήσεις με τη χρήση ισοτόπων ραδονίου και ραδίου, σε απόσταση 300μ από το εργαστήριο και σε βάθος 2 έως 3 μέτρων. Η καταγραφή των συγκεντρώσεων του ραδονίου κυμαίνονται μεταξύ 2 έως 6 dpm/L, με τη μεγαλύτερη δραστηριότητα ραδονίου να εμφανίζεται τις ημέρες, κατά τις οποίες παρατηρείται άμπωτη. Πάντως από τη χρήση δύο ανεξάρτητων μεθόδων, αυτή των τεχνητών ανιχνευτών και των ισοτόπων, διεξήχθησαν όμοια αποτελέσματα. Η μέθοδος των ραδιοϊσοτόπων, όπως και οι μετρήσεις από τα seepage meters αποκάλυψαν εισροές ραδίου σε μεγάλη απόσταση από την ακτή.

Οι Smith and Nield πραγματοποίησαν έρευνα το 2003 στον κόλπο Cockburn Sound, στην ΝΔ Αυστραλία, ο οποίος προστατεύεται από κοραλλιογενής υφάλους. Στην περιοχή ασκείται έντονη περιβαλλοντική πίεση λόγω της εισροής αστικών και βιομηχανικών λυμάτων και οι αναβλύσεις γλυκού νερού στον κόλπο έχουν αναγνωριστεί ότι αποτελούν σημαντική δίοδο των ρυπαντών αυτών. Για τις μετρήσεις χρησιμοποιήθηκαν seepage meters, ισότοπα Ra και Rn και υδρολογικά μοντέλα. Όσον αφορά στα seepage meters πραγματοποιήθηκαν καθημερινά μετρήσεις σε απόσταση έως 100 μέτρα από την ακτή και υπολογίστηκε ο μέσος όρος ανάβλυσης ανά μέτρο ακτογραμμής κάθε μέρα. Τα ισότοπα ραδίου δεν παρουσιάζουν μείωση της δραστηριότητας με την αύξηση της απόστασης από την ακτή, αλλά αντίθετα εμφανίζεται υψηλή δραστηριότητα σε αρκετή απόσταση από την ακτή. Λόγω της ακανόνιστης κατανομής της δραστηριότητας του ραδίου στον κόλπο δεν χρησιμοποιήθηκε ένα υδρολογικό

μοντέλο. Από τις μετρήσεις της δραστηριότητας του ραδονίου οι ερευνητές παρατήρησαν υψηλότερες συγκεντρώσεις ραδονίου και μεγαλύτερους ρυθμούς ανάβλυσης σε περιόδους με άμπωτη (low tide).

Πάντως οι Smith and Nield (2003) με τη χρήση τεσσάρων διαφορετικών μεθόδων για την εκτίμηση των αναβλύσεων γλυκού νερού στον κόλπο κατέληξαν σε παρόμοια αποτελέσματα όσον αφορά στον ρυθμό της ανάβλυσης. Δηλαδή από τα seepage meters, τα ισότοπα ραδίου, ραδονίου και από τον κώδικα MODFLOW ο ρυθμός ανάβλυσης υπολογίστηκε σε 2,5-3,7, 3,2, 2-2,7 και 2,5-4,8 m³/m day αντίστοιχα. Η υψηλότερη εκτίμηση που υπολογίστηκε με το ισότοπο του ραδίου μάλλον οφείλεται στη διαφορετική κλίμακα που χρησιμοποιήθηκε. Τα δείγματα ραδίου προέρχονται από απόσταση αρκετών χιλιομέτρων ακτογραμμής. Οι μετρήσεις του ραδίου που προέρχονται από όλο τον κόλπο, ενώ του ραδονίου από συνεχόμενες μετρήσεις από μια τοποθεσία σε παραλία του κόλπου. Οι ερευνητές πιστεύουν ότι οι τιμές των μετρήσεων από τα seepage meters ίσως θα έπρεπε να ήταν πιο υψηλές λόγω της μικρότερης άμπωτης που παρατηρήθηκε κατά τη διάρκεια των μετρήσεων και συνεπώς και μικρότερου ρυθμού ανάβλυσης.

Τον Μάρτιο του 2002 οι Burnett and Dulaiova (article in press) πραγματοποίησαν έρευνα στη ΝΔ Σικελία στη μικρή πόλη της Donnalucata, περιοχή γνωστή για τις υποθαλάσσιες πηγές της, με σκοπό την εκτίμηση των αναβλύσεων γλυκού νερού κατά μήκος της ακτογραμμής αρκετών χιλιομέτρων με μετρήσεις ραδονίου. Λόγω όμως των δυνατών ανέμων και του έντονου κυματισμού οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε κλειστό λιμάνι στην περιοχή. Πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις ραδίου, ραδονίου, και μετρήσεις με seepage meters. Με τη μέθοδο του ³H/³He βρέθηκε ότι ο χρόνος παραμονής του υπόγειου νερού είναι 2 έως 30 χρόνια.

Οι εκτιμήσεις των αναβλύσεων από τα seepage meters και τη μέθοδο του ραδίου έγιναν μέσα στο κλειστό λιμάνι, ενώ από τα ισότοπα του ραδονίου βασίστηκαν σε μετρήσεις οι οποίες πραγματοποιήθηκαν σε απόσταση μερικών χιλιομέτρων από το λιμάνι.

Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν ότι η ροή του υπόγειου νερού στο εσωτερικό τμήμα (A) του λιμανιού, το οποίο είναι και το μικρότερο, είναι αρκετά μεγάλη, δηλαδή το ένα τρίτο του όγκου του τμήματος αυτού αντικαθιστάται καθημερινά με υπόγειο νερό. Η αντικατάσταση του όγκου του νερού από υπόγειο νερό στο τμήμα A είναι περίπου 4-24% του συνολικού όγκου του λιμανιού ανά ημέρα. Η συνολική εκφόρτιση υπόγειου νερού στο λιμάνι υπολογίστηκε ότι είναι 1200-7400 m³/ημέρα. Τέλος η χρήση του κώδικα προσομοίωσης PCFLOW3D επιβεβαίωσε τις παρατηρήσεις και τους υπολογισμούς των επιστημόνων για την ανάβλυση του υπόγειου νερού και συνιστάται σε περισσότερες έρευνες.

Έρευνα για τη διερεύνηση της εισροής θρεπτικών δια μέσω των αναβλύσεων γλυκού νερού στη θάλασσα, λόγω της εμφάνισης ευτροφισμού οι οποίες έχουν παρατηρηθεί σε ρηχά νερά, πραγματοποίησαν τον Αύγουστο του 2003 στον κόλπο Yeolja (νότια της Κορέα), σε

ηφαιστειακό τοπίο, οι Hwang *et al.* (2005). Η έρευνα πραγματοποιήθηκε με σκοπό την εκτίμηση των αναβλύσεων γλυκού νερού και της εισροής των θρεπτικών στοιχείων.

Κατά τη διάρκεια της έρευνας προσδιορίστηκε ο χρόνος παραμονής του νερού στον κόλπο, οι εισροές του διαλυμένου ανόργανου αζώτου (DIN), του φωσφόρου (DIP), του πυριτίου (DSi), μετρήθηκαν τα ραδιοϊσότοπα του ^{223}Ra , ^{224}Ra , ^{226}Ra και πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις θερμοκρασίας και αλατότητας με φορητό αλατόμετρο.

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η αλατότητα, τα ραδιοϊσότοπα και οι συγκεντρώσεις των θρεπτικών παρουσίασαν μεγάλη διακύμανση στον κόλπο. Η αλατότητα στο επιφανειακό θαλασσινό νερό κυμαίνεται από 11 έως 30 ppt, με τη χαμηλότερη τιμή στο ενδότερο τμήμα του κόλπου, σε αντίθεση με τις συγκεντρώσεις των θρεπτικών και των ραδιοϊσοτόπων με μικρό χρόνο υποδιπλασιασμού, ^{223}Ra και ^{224}Ra , οι οποίες ήταν υψηλότερες. Επιπλέον από τις συγκεντρώσεις των ^{224}Ra και του DSi, οι οποίες ήταν υψηλότερες απ' ό,τι αναμενόταν φάνηκε ότι υπάρχει και άλλη πηγή των παραπάνω στοιχείων, όπως οι αναβλύσεις γλυκού νερού, η αποσύνθεση και η διάχυση του ιζήματος.

Από την κατανομή των παραμέτρων οι οποίες μετρήθηκαν (αλατότητα, ^{223}Ra , ^{224}Ra , DSi, DIN, DIP) προκύπτει ότι οι πηγές των θρεπτικών και του ^{224}Ra στις περιοχές έξω από τον κόλπο Yeosu (όπου εμφανίζονται οι κόκκινες παλίρροιες) είναι κυρίως τα νερά του ίδιου του κόλπου. Οι διακυμάνσεις και οι μεγάλες μεταβολές του ^{224}Ra και των θρεπτικών μπορεί να σχετίζονται με τη διάσπαση του ^{224}Ra και την απορρόφηση θρεπτικών από το φυτοπλαγκτόν και ίσως από άλλες εισροές από γειτονικούς ρηχούς κολπίσκους.

Επιπλέον οι Hwang *et al.* (2005) ανέπτυξαν ένα γεωχημικό μοντέλο για την εκτίμηση σε τοπική κλίμακα των αναβλύσεων γλυκού νερού. Αν το σύστημα υπό μελέτη διατηρείται σε σταθερή κατάσταση, τότε οι εισροές του ραδίου εξισορροπούνται με τις απώλειες. Οι εισροές περιλαμβάνουν ροή ραδίου από το ίζημα, τους ποταμούς, και το υπόγειο νερό, ενώ οι απώλειες οφείλονται στην ανάμειξη και στη ραδιενεργή διάσπαση όταν πρόκειται για τα ραδιοϊσότοπα ^{223}Ra και ^{224}Ra .

Εκτιμήθηκε ότι οι εισροές οι οποίες οφείλονται στις αναβλύσεις είναι $120 - 180 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ year}^{-1}$, ποσοστό το οποίο είναι αρκετά μεγαλύτερο από άλλες περιοχές με παρόμοιο τοπίο. Οι εισροές των θρεπτικών μέσω των αναβλύσεων είναι περίπου 90%, 20%, και 80% των συνολικών εισροών (συμπεριλαμβανομένου των εισροών από την ανοιχτή θάλασσα) για το διαλυμένο ανόργανο άζωτο, το φώσφορο, και τα πυριτικά, αντίστοιχα. Ο χρόνος παραμονής του νερού στον κόλπο υπολογίστηκε ότι είναι επτά ημέρες. Οι ερευνητές συμπέραναν ότι το μεγάλο ποσοστό των εισροών των θρεπτικών δια μέσου των αναβλύσεων αποτελεί μεγάλη πηγή θρεπτικών και μπορεί να συμβάλλουν στην ανάπτυξη του ευτροφισμού.

Οι Kim *et al.* (2006) πραγματοποίησαν και αυτοί έρευνα για την εκτίμηση των υπόγειων αναβλύσεων γλυκού νερού στην Κίτρινη Θάλασσα χρησιμοποιώντας ένα παρόμοιο γεωχημικό μοντέλο σε μεγαλύτερη κλίμακα με τα ραδιοϊσότοπα ^{226}Ra και ^{228}Ra , τα οποία

έχουν μεγαλύτερο χρόνο ημι-ζωής σε σχέση με τα ^{223}Ra και ^{224}Ra . Από τη χρήση του μοντέλου, βρέθηκε ότι η ροή του ^{226}Ra στην Κίτρινη Θάλασσα δια μέσου της ανάβλυσης του νερού είναι περίπου $270 \times 10^{12} \text{ dpm yr}^{-1}$. Με την χρήση της ροής του ^{226}Ra η οποία εκτιμήθηκε και της μετρούμενης δραστηριότητας του ^{226}Ra στα παράκτια υπόγεια νερά, η υποθαλάσσια εκφόρτιση του υπόγειου νερού (κυρίως υφάλμυρο νερό) εκτιμήθηκε ότι είναι τουλάχιστον το 40% των εισροών του ποταμού Yangtze ($\sim 2,3 \times 10^{11} \text{ m}^3 \text{ yr}^{-1}$), ο οποίος είναι ο πέμπτος μεγαλύτερος στον κόσμο και εκβάλλει στην Κίτρινη Θάλασσα.

Επιπλέον βρέθηκε ότι οι αναβλύσεις γλυκού νερού αποτελούν σημαντική πηγή Si (πυριτικών) και άλλων θρεπτικών στην Κίτρινη Θάλασσα, ενώ οι βιογεωχημικές επιπτώσεις που μπορεί να έχουν οι αναβλύσεις γλυκού νερού στην Κίτρινη Θάλασσα είναι σημαντικές λόγω του μεγάλου χρόνου παραμονής (~ 5 χρόνια) των νερών στη θάλασσα. Οι Kim *et al.* (2006) τονίζουν ότι αν και οι εκτιμήσεις τους μπορεί να έχουν αρκετές αβεβαιότητες, οι αναβλύσεις του νερού στην Κίτρινη Θάλασσα μπορεί να είναι εξίσου ή και μεγαλύτερης σπουδαιότητας σε σύγκριση με την εκφόρτιση του ποταμού Yangtze. Οι ερευνητές καταλήγουν στο ότι η μεγάλη ροή των αναβλύσεων του γλυκού νερού μπορεί να οφείλεται στον υψηλό κυματισμό (έως και 10 μέτρα) και στη μεγάλη κατανομή των αμμωδών ιζημάτων στην Κίτρινη Θάλασσα, η οποία ευνοεί την επανακυκλοφορία του θαλασσινού νερού μέσω των ιζημάτων.

Το Μάρτιο του 2005 οι Swarzenski *et al.*, πραγματοποίησαν έρευνα στο δέλτα του ποταμού Suwannee στη Φλόριντα των Η.Π.Α για την αναζήτηση υποθαλάσσιων αναβλύσεων γλυκού νερού. Από αρκετές έρευνες έχει διαπιστωθεί ότι αναβλύσεις γλυκού νερού δεν είναι μόνο σημαντικές για την εκτίμηση της ανάμειξης διαφορετικών τύπων νερού (για παράδειγμα υπόγειο νερό, γλυκό νερών των ποταμών, θαλασσινό νερό) μεταξύ στεριάς και θάλασσας, αλλά και για την εκτίμηση της ποσότητας του υπόγειου νερού που μεταφέρεται στον ωκεανό. Στόχος των ερευνητών ήταν η χρήση νέων εξελιγμένων οργάνων για την αναγνώριση και τον υπολογισμό της ροής των αναβλύσεων.

Για την έρευνα χρησιμοποιήθηκαν τα παρακάτω όργανα και πραγματοποιήθηκαν οι εξής μετρήσεις:

- Airborne thermal imagery, που ανιχνεύει τις διαφορές θερμοκρασίας μεταξύ των θαλάσσιων μαζών. Επειδή η θερμοκρασία του υπόγειου νερού παραμένει σχετικά σταθερή σε όλη τη διάρκεια του έτους, η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ επιφανειακού και υπόγειου νερού είναι μεγαλύτερη όταν το επιφανειακό νερό θερμαίνεται ή ψύχεται. Οι θερμικές εικόνες που λαμβάνονται την εποχή εκείνη δείχνουν σε ποιες περιοχές το υπόγειο νερό ανεβαίνει στο επιφανειακό στρώμα νερού.

- Προφίλ ειδικής αντίστασης (Streaming resistivity profiling), που δείχνει την αγωγιμότητα του νερού. Το υπόγειο νερό έχει πιο χαμηλή αλατότητα και αγωγιμότητα (πιο υψηλή ειδική αντίσταση) σε σχέση με το θαλασσινό νερό.
- Προσδιορισμός του ραδόνιου-222 (^{222}Rn), ένα φυσικό ραδιενεργό αέριο με μικρό χρόνο υποδιπλασιασμού (3,8 μέρες), το οποίο υπάρχει σε μεγαλύτερη συγκέντρωση στο υπόγειο νερό σε σύγκριση με το επιφανειακό.
- Προσδιορισμός του μεθανίου (CH_4), ένα άλλο φυσικό αέριο, το οποίο έχει μεγαλύτερη συγκέντρωση στο υπόγειο νερό σε σχέση με το επιφανειακό.
- Προσδιορισμός των θρεπτικών, ευσταθών ισοτόπων, και ευγενών αερίων των οποίων οι συγκεντρώσεις διαφέρουν στο υπόγειο και επιφανειακό νερό.

Τον Ιούνιο του 2004 πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις ανάντη του ποταμού Suwannee και τον Μάρτιο του 2005 οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν στην παράκτια ζώνη, όπου τα νερά της θάλασσας συνορεύουν με το στόμιο του ποταμού. Χρησιμοποιήθηκαν piezometers για τη λήψη δειγμάτων υπόγειου νερού σε μέτωπο αλατότητας (salinity gradient) σε έλος και στην όχθη του ποταμού. Συλλέχτηκαν δείγματα νερού για την μετέπειτα ανάλυση των θρεπτικών, ιχνοστοιχείων, N_2 and Ar αερίου και ^{222}Rn . Πραγματοποιήθηκε καταγραφή της διακύμανσης των ανωμαλιών της αλατότητας (με το electromagnetic-resistivity array). Τα στοιχεία της αλατότητας από τα προφίλ των piezometers χρησιμοποιήθηκαν για επαλήθευση των δεδομένων από το electromagnetic-resistivity. Επιπλέον πραγματοποιήθηκε καταγραφή 50 km προφίλ ειδικής αντίστασης και δεδομένων ^{222}Rn σε ανοιχτά νερά, στο στόμιο του ποταμού Suwannee αλλά και στο ανώτερο τμήμα του.

Τελικά αποδείχτηκε ότι η εκφόρτιση του ποταμού ήταν μεγαλύτερη τον Μάρτιο του 2005 σε σχέση με τον Ιούνιο του 2004, όπως φαίνεται από την υψηλή δραστηριότητα του ^{222}Rn σε βαθύτερα νερά τον Μάρτιο.

Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν ότι το ^{222}Rn και το CH_4 , αν και είναι και οι δύο αποτελεσματικοί ιχνηθέτες των υποθαλάσσιων αναβλύσεων γλυκού νερού, οι συγκεντρώσεις τους διαφέρουν στις μετρήσεις που έγιναν στην κοίτη του ποταμού. Αυτά τα αποτελέσματα δείχνουν ότι είχε δημιουργηθεί μια καταβόθρα στη λεκάνη απορροής, δημιουργώντας μια μάζα υπόγειου νερού υψηλής περιεκτικότητας σε ^{222}Rn αλλά χαμηλής σε CH_4 . Πρόσφατα στοιχεία επαληθεύουν αυτήν τη διαπίστωση.

Επιπλέον η ειδική αντίσταση (το αντίστροφο της αγωγιμότητας ή της αλατότητας) του ποταμού είναι πιο χαμηλή στην εκβολή του ποταμού, δηλαδή έχει μεγαλύτερη αλατότητα (Swarzenski *et al.*, 2005).

Τα τελευταία χρόνια έχει αναγνωριστεί από αρκετούς ερευνητές ότι οι υπόγειες αναβλύσεις γλυκού νερού στη θάλασσα συνεισφέρουν σε μεγάλο βαθμό στη μεταφορά

νερού και θρεπτικών στην παράκτια ζώνη. Το υπόγειο νερό παίζει σημαντικό ρόλο στη μεταφορά των θρεπτικών γιατί η συγκέντρωσή τους είναι πολύ μεγαλύτερη στο υπόγειο νερό σε σχέση με τα επιφανειακά νερά. Υψηλά φορτία θρεπτικών, συνήθως σε μορφή νιτρικών και αμμωνιακών ιόντων, μπορεί να ευθύνονται για την υπέρμετρη ανάπτυξη φυκών στα παράκτια νερά. Η αναγνώριση των πηγών αποτελεί δύσκολη διαδικασία γιατί η εκφόρτιση είναι διάχυτη, γι' αυτό απαιτούνται νέες τεχνικές για αναγνώριση και ποσοτικοποίηση της εκφόρτισης (Crusius, 2004).

Το νέο σύστημα καταγραφής ραδονίου που περιγράφεται από τον Crusius (2004) χρησιμοποιεί μία αντλία για να μεταφέρει το θαλασσινό νερό σε ένα θάλαμο ψεκασμού όπου εκεί θα απομακρυνθεί το ραδόνιο από το νερό και θα μεταβεί στην υγρή φάση (Εικ 3.5). Ο θάλαμος ψεκασμού συνδέεται με μια σειρά από αναλυτές ραδονίου, ο καθένας εκ των οποίων υπολογίζει τη δραστηριότητα του ραδονίου στον αέρα στο θάλαμο ανά τακτά χρονικά διαστήματα. Με τον τρόπο αυτόν, μπορεί να εκτιμηθεί η μέση τιμή της δραστηριότητας του ραδονίου κάθε 5 με 10 λεπτά. Εκτός από την παραπάνω διαδικασία, το βάθος, η αλατότητα και η θερμοκρασία λαμβάνονται σε συχνά χρονικά διαστήματα. Όλα τα δεδομένα μπορούν να καταγραφούν σε έναν υπολογιστή που υπάρχει στο σκάφος.

Η έρευνα που πραγματοποιήθηκε από τον Crusius (2004) και άλλων συνεργατών του στις Η.Π.Α, οι οποίοι χρησιμοποίησαν τον εξισορροπητή αέρα-νερού και τον φορητό ανιχνευτή ραδονίου (Εικ 3.5) , αποκαλύπτει υψηλή δραστηριότητα του ραδονίου στα δυτικά του κόλπου που μελετάται, το οποίο δείχνει και ανάβλυση υπόγειου νερού στην περιοχή αυτή, σε αντίθεση με την ανατολική περιοχή του κόλπου, όπου η δραστηριότητα του ραδονίου βρέθηκε αρκετά πιο χαμηλή.



Εικ 3.5 Αριστερά: Εξισορροπητής αέρα-νερού, ο οποίος διαχωρίζει το ραδόνιο από το επιφανειακό νερό στην αέρια φάση. Η αέρια φάση αντλείται στον ανιχνευτή του ραδονίου. Δεξιά: Φορητός ανιχνευτής ραδονίου. Αντλία μεταφέρει το αέριο στον ανιχνευτή, ο οποίος συνδέεται με τον εξισορροπητή αέρα-νερού (Crusius, 2004)

Η υποθαλάσσια ανάβλυση γλυκού νερού είναι η ροή γλυκού και υφάλμυρου υπόγειου νερού στον ωκεανό μέσω του παράκτιου υδροφόρου ορίζοντα. Το υπόγειο νερό μεταφέρει μεγάλες ποσότητες αζώτου και φωσφόρου στον ωκεανό οι οποίες προέρχονται από

ανθρωπογενείς πηγές και η κατανόηση της σημασίας της ροής του υπόγειου νερού είναι σημαντική για την περιβαλλοντική προστασία και τη διαχείριση των παράκτιων υδάτων. Πρόσφατες έρευνες έχουν χρησιμοποιήσει ισότοπα ραδίου και ραδονίου ^{222}Rn , τα οποία υπάρχουν σε μεγαλύτερες συγκεντρώσεις στο υπόγειο νερό σε σύγκριση με το επιφανειακό λόγω της υψηλής περιεκτικότητας σε ουράνιο (το ουράνιο διασπάται σε ράδιο) στα ιζήματα του υδροφόρου ορίζοντα, για τη μέτρηση της υποθαλάσσιας ανάβλυσης στα παράκτια οικοσυστήματα. Ωστόσο οι έρευνες αυτές έχουν περιοριστεί λόγω της δυσκολίας που παρουσιάζεται στην κατανόηση της κατανομής των ραδιοϊσοτόπων στα παράκτια υπόγεια νερά και τις διαδικασίες που ρυθμίζουν τις κατανομές αυτές (Abraham *et al.*, 2003).

Σε έρευνα των Abraham *et al.* (2003) πραγματοποιήθηκε καταγραφή της κατανομής του ^{222}Rn ($t_{1/2} = 3,83$ μέρες) και του ^{226}Ra ($t_{1/2} = 1600$ χρόνια) σε σχέση με τη μεταβολή της αλατότητας στο υπόγειο νερό και αναπτύχθηκε νέος επιτόπιος αναλυτής ^{222}Rn για τη σύγκριση της συγκέντρωσης του ^{222}Rn με την ανάβλυση υπόγειου νερού στον κόλπο Waquoit.

Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν ότι η δραστηριότητα του ^{226}Ra στο υπόγειο νερό αυξήθηκε με την αύξηση της αλατότητας, ενώ υψηλότερη δραστηριότητα παρατηρήθηκε όταν η αλατότητα ξεπερνούσε το 25. Χαμηλή δραστηριότητα ^{226}Ra παρουσιάζεται κοντά στη στεριά όταν η αλατότητα ξεπερνά το 25. Αυτό μπορεί να εξηγείται από κάποια πηγή με αυξημένη δραστηριότητα ^{226}Ra , η οποία αυξάνεται με την αύξηση του βάθους και της απόστασης από την ακτή.

Η κατανομή στο υπόγειο νερό του ^{222}Rn σε σχέση με την αλατότητα είναι παρόμοια με αυτή του ^{226}Ra , με τριπλάσια αύξηση της δραστηριότητας όταν η αλατότητα ξεπερνούσε το 20. Επιπλέον αύξηση της δραστηριότητας του ^{222}Rn παρατηρήθηκε με την αύξηση του βάθους και την απόσταση από την ακτή. Επειδή το ραδόνιο (Rn) είναι ευγενές αέριο, η κατανομή του κατά μήκος του υδροφόρου ορίζοντα θα πρέπει να είναι ομοιόμορφη και να μην επηρεάζεται από αλλαγές στην αλατότητα. Επίσης, επειδή ο χρόνος παραμονής του γλυκού υπόγειου νερού κάτω από τον κόλπο είναι οκτώ χρόνια, η δραστηριότητα του ^{222}Rn στη ζώνη αυτή είναι πιθανό να εξισορροπεί τη δραστηριότητα του πατρικού του ισότοπου ^{226}Ra στο ίζημα. Επομένως η αυξημένη δραστηριότητα του ^{222}Rn στο τμήμα του υδροφόρου ορίζοντα με μεγαλύτερη αλατότητα θα σημαίνει πηγή υψηλότερης συγκέντρωσης ^{222}Rn , το οποίο είναι συνέπεια της παρατηρούμενης κατανομής του ^{226}Ra .

Από την έρευνα που πραγματοποιήθηκε εκτιμήθηκε ότι ο ρυθμός της ανάβλυσης του γλυκού νερού κυμαίνεται μεταξύ 0 έως 0,16 m/ημέρα, με μέγιστη τιμή τις ημέρες με χαμηλό κυματισμό και ελάχιστη τις ημέρες με έντονο κυματισμό.

Από τη χρήση του ^{222}Rn και του ^{226}Ra για την εκτίμηση της ανάβλυσης έχει διαπιστωθεί ότι η εκφόρτιση του υπόγειου νερού είναι σταθερή στο χρόνο και στο χώρο. Η εκτίμηση της ροής προέρχεται από την συνεχή καταγραφή του ^{222}Rn , ωστόσο παρατηρείται

σημαντική χρονική διακύμανση στην εκφόρτιση του υπόγειου νερού σε έναν παλιρροιακό κύκλο (Abraham *et al.*, 2003).

Οι Garrison and Glenn (2003) πραγματοποίησαν έρευνα στον κόλπο Kahana στη Χαβάη με σκοπό την ανεύρεση της ανάβλυσης γλυκού νερού σε ηφαιστειακό νησί και τη μελέτη της επίδρασης της εισροής των θρεπτικών μέσω των αναβλύσεων στον κόλπο. Για την έρευνα χρησιμοποιήθηκαν CTD για τη δημιουργία προφίλ θερμοκρασίας, αγωγιμότητας και βάθους με σκοπό την αναγνώριση των περιοχών με τη μεγαλύτερη πιθανότητα επιρροής από τις αναβλύσεις. Παράλληλα χρησιμοποιήθηκαν seepage meters, τα λεγόμενα Lee-type για τη μέτρηση του ρυθμού των αναβλύσεων και για την επί τόπου συλλογή νερού το οποίο αναβλύζει από το βυθό της θάλασσας για χημικές αναλύσεις. Ως ανιχνευτές χρησιμοποιήθηκαν το Radon-222, Si (πυρίτιο), Cl⁻, και η ολική αλατότητα και μετρήθηκαν οι συγκεντρώσεις των θρεπτικών που εισέρχονται στον κόλπο δια μέσω των αναβλύσεων.

Η έρευνα των Garrison and Glenn (2003) επιδεικνύει την καταλληλότητα των φυσικών χημικών ανιχνευτών και των seepage meters για την αναγνώριση και την ποσοτικοποίηση των υποθαλάσσιων αναβλύσεων γλυκού νερού στον κόλπο Kahana στη Χαβάη. Παράλληλα το CTD αποδείχτηκε απλό και αξιόπιστο όργανο μέτρησης για την αναγνώριση των περιοχών στις οποίες μπορεί να υπάρχει ανάβλυση γλυκού νερού.

Τα αποτελέσματα της μελέτης έδειξαν ότι οι αναβλύσεις παρέχουν ίσο ή μεγαλύτερο φορτίο ολικού φωσφόρου ή αζώτου σε σχέση με την επιφανειακή απορροή στον κόλπο, ενώ το νερό που εισέρχεται στον κόλπο δια μέσω της ανάβλυσης υπολογίστηκε περίπου στα $14 \times 10^6 \text{ Ld}^{-1}$. Το Radon-222 αποδείχτηκε ο πιο αποτελεσματικός ιχνηθέτης, ενώ από τα αποτελέσματα φαίνεται ότι οι αναβλύσεις γλυκού νερού στον κόλπο αποτελούν σημαντική πηγή διαλυμένων θρεπτικών. Επιπλέον, από τις μετρήσεις του (TDN) ολικού διαλυμένου αζώτου και του (TDP) ολικού διαλυμένου φωσφόρου, βρέθηκε ότι η διαγένεση του ιζήματος αποτελεί σημαντική πηγή θρεπτικών στον κόλπο.

Αξίζει να σημειωθεί ότι έρευνα για τον εντοπισμό αναβλύσεων γλυκού νερού μέσα στη θάλασσα πραγματοποιείται και στην Ελλάδα. Το Δεκέμβριο του 2006 πραγματοποιήθηκε από το ΕΛΚΕΘΕ μελέτη στη θαλάσσια περιοχή της Καλαμάτας. Με τηλεκατευθυνόμενο όχημα εντοπίστηκαν τέσσερα σημεία από τα οποία αναβλύζει γλυκού νερό μέσα στη θάλασσα σε βάθος από 13 έως 28 μέτρα. Λόγω του μεγάλου βάθους χρησιμοποιήθηκαν δύτες για να προσεγγίσουν τα σημεία και να γίνουν οι ανάλογες μετρήσεις για ποσοτικοποίηση της ροής των αναβλύσεων και τον εντοπισμό με τη μέθοδο του ραδονίου. Υπολογίστηκε ότι η παροχή του νερού είναι 15.000 κυβικά το 24ωρο, ενώ, όπως εκτιμάται, η μεγάλη παροχή ανέρχεται σε 100.000 κυβικά το 24ωρο. Επιπλέον οι μετρήσεις έδειξαν ότι το νερό έχει αλατότητα 1‰ και η θερμοκρασία στο σημείο εξόδου είναι 13°C, ενώ πιο μακριά από την περιοχή η θερμοκρασία είναι 18 °C («ΘΑΡΡΟΣ» εφημερίδα της Καλαμάτας, 12/2/2007).

3.11 Σημασία των υπόγειων αναβλύσεων γλυκού νερού στη διαχείριση της παράκτιας ζώνης

Το φαινόμενο της ανάβλυσης του υπόγειου νερού στην παράκτια ζώνη μπορεί να είναι σημαντικό όσον αφορά στον τομέα της διαχείρισης για τρεις λόγους: 1) τα διαλυμένα συστατικά έχουν οικολογικές και χημικές επιπτώσεις στα παράκτια νερά, 2) προκύπτουν θέματα σχετικά με τους υδάτινους πόρους λόγω της υπαλμύρινσης που παρατηρείται σε κάποιες περιοχές και 3) θέματα γεωτεχνικής άποψης, όπως η σταθερότητα του ιζήματος στην ακτογραμμή. Οι αναβλύσεις του υπόγειου νερού μπορεί να έχουν σημαντικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις, γιατί το υπόγειο νερό μπορεί να αποτελείται με διάφορα συστατικά όπως θρεπτικά, μέταλλα και οργανικά στοιχεία, τα οποία μπορεί να ρυπαίνουν την παράκτια ζώνη (Burnett *et al.*, 2006).

Επειδή τα υπόγεια νερά έχουν μεγαλύτερες συγκεντρώσεις σε διαλυμένα στερεά σε σχέση με τα χερσαία επιφανειακά νερά, οι αναβλύσεις υπόγειου νερού συνεισφέρουν σε μεγάλο βαθμό σε διαλυμένα συστατικά και ιδιαίτερα σε θρεπτικά και διάφορους ρυπαντές. Η εκφόρτιση του υπόγειου νερού αλληλεπιδρά με το θαλασσινό νερό και αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη μεταβολή στην ποιότητα του νερού στην παράκτια ζώνη και στην παροχή των θρεπτικών σε κοντινούς υγρότοπους και ενδιαιτήματα βενθικών οργανισμών. Για το λόγο αυτό ένα σημαντικό ζήτημα το οποίο απασχολεί τους διαχειριστές της παράκτιας ζώνης είναι η φόρτιση των νερών με θρεπτικά στοιχεία ή άλλα διαλυμένα συστατικά. Η επίδραση στην παράκτια ζώνη από αυτές τις εισροές μπορεί να αποτελεί τη βάση για τη διαχείριση των χρήσεων γης και να οριοθετεί την ανάπτυξη σε μια περιοχή (Burnett *et al.*, 2006).

Οι διαχειριστές μιας περιοχής αντιμετωπίζουν τα εξής προβλήματα: 1) μπορεί να μην γνωρίζουν τη σπουδαιότητα των αναβλύσεων υπόγειου νερού, 2) αν είναι ενήμεροι ίσως να μην γνωρίζουν αν οι αναβλύσεις σχετίζονται με την κατάσταση την οποία έχουν να αντιμετωπίσουν και 3) αν το γνωρίζουν μπορεί να μην ξέρουν πώς να το ποσοτικοποιήσουν (Burnett *et al.*, 2006).

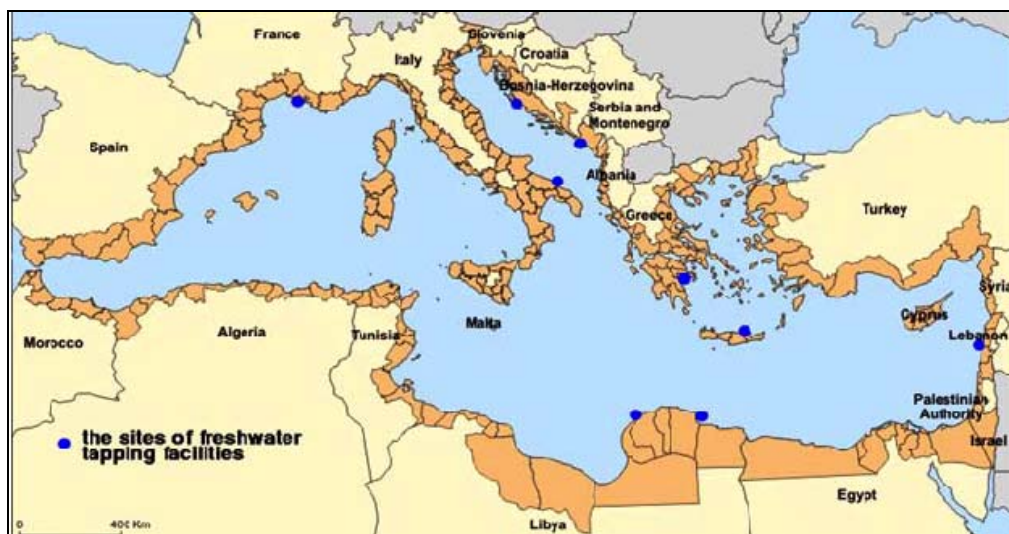
Κατά τη διαχείριση των αναβλύσεων γλυκού νερού, θα πρέπει να ληφθεί υπόψη η σπουδαιότητα των υδρολογικών ροών και η σχέση που συνδέει τα χερσαία και τα θαλάσσια οικοσυστήματα, αλλά και ότι τα επιφανειακά νερά και η ροή του υπόγειου νερού αποτελούν την οδό με την οποία οι αλλαγές στο χερσαίο περιβάλλον επηρεάζουν το θαλάσσιο περιβάλλον. Αυτό αποτελεί ένα από τα προβλήματα της ολοκληρωμένης διαχείρισης, μιας και όσοι ασχολούνται με τη διαχείριση του υπόγειου νερού συνήθως δεν λαμβάνουν υπόψη το θαλάσσιο περιβάλλον, αλλά και το αντίθετο.

Ένα άλλο σημαντικό θέμα το οποίο δεν λαμβάνουν υπόψη οι διαχειριστές της παράκτιας ζώνης είναι ότι η ανταλλαγή μεταξύ υπόγειου και θαλασσινού νερού μπορεί να

έχει ως αποτέλεσμα σημαντική ροή προς τη θάλασσα θρεπτικών, ρυπαντών και άλλων συστατικών, ακόμα και όταν το θαλασσινό νερό εισβάλλει στον υδροφόρο ορίζοντα. Επίσης το υπόγειο νερό δεν είναι πάντα «φρέσκο» και το ανακυκλωμένο θαλασσινό νερό μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα την αυξημένη ροή συστατικών τα οποία μπορεί να επηρεάσουν την παράκτια ζώνη (ICAM, 2000).

Σε περιοχές όπου η εκφόρτιση υπόγειου νερού αποτελεί σημαντικό παράγοντα για τη διατήρηση των παράκτιων οικοσυστημάτων, οι διαχειριστές της παράκτιας ζώνης, θα πρέπει να εξετάσουν τη διαχείριση του επιπέδου του νερού και της ροής του αλλά και τη διαχείριση της ποιότητας του υπόγειου νερού. Τέτοιες έρευνες όμως απαιτούν επιστημονικές εξηγήσεις και τεχνική υποστήριξη, η οποία δεν υπάρχει προς το παρόν (Burnett *et al.*, 2006).

Επιπλέον θα πρέπει να πραγματοποιηθούν έρευνες και στην Ελλάδα, μιας και αρκετές περιοχές της, έχουν καρστικές πηγές, στις οποίες μπορούν να εντοπιστούν υποθαλάσσιες αναβλύσεις. Ειδικά όλη η λεκάνη της Μεσογείου αποτελείται από γεωλογικές δομές στην παράκτια ζώνη, οι οποίες αποτελούνται από ασβεστόλιθους και δολομίτες και οι οποίες συντελούν στην δημιουργία καρστικών πηγών. Στην παράκτια ζώνη της Μεσογείου μεγάλες ποσότητες υπόγειου νερού καταλήγουν στη θάλασσα μέσω πετρωμάτων. Η εκφόρτιση του υπόγειου νερού και η εμφάνισή της στη θάλασσα, ως παράκτιες και υποθαλάσσιες πηγές, αποτελούν ένα συνηθισμένο φαινόμενο το οποίο έχει εντοπιστεί στις ακτές της Τουρκίας, του Λιβάνου, του Ισραήλ, της Ελλάδας, της Ιταλίας, της Ισπανίας, της Γαλλίας, της Τυνησίας. Εκτιμάται ότι η ετήσια ροή της εκφόρτισης υπόγειου νερού κυμαίνεται μεταξύ 25 με 68 km³/έτος. Ωστόσο είναι λίγες οι περιπτώσεις στις οποίες γίνονται έρευνες για εκμετάλλευση των πηγών αυτών (Εικ 3.7) (Mijatovic B., 2007).



Εικ 3.7 Χάρτης της παράκτιας ζώνης της Μεσογείου (με το κίτρινο χρώμα) και οι περιοχές στις οποίες μελετάται η εκμετάλλευση των υποθαλάσσιων πηγών (μπλε κουκίδες) (Πηγή: Mijatovic B., 2007)

Ωστόσο όσον αφορά στη διαχείριση και την εκμετάλλευση αυτών των πηγών προκύπτουν αρκετά προβλήματα λόγω των υδρογεωλογικών δομών του υπόγειου νερού το οποίο κινείται στα καρστικά πετρώματα (Mijatovic B., 2007). Γι' αυτό είναι απαραίτητα να γίνουν έρευνες για την αξιοποίηση του υπόγειου νερού σε περιοχές όπου αντιμετωπίζουν προβλήματα επάρκειας νερού, ώστε η διαχείρισή του να συμβάλλει στη διατήρηση, προστασία και ανάπτυξη των υδατικών πόρων.

4 Μεθοδολογική προσέγγιση του θέματος

4.1 Περιοχή μελέτης

Η έρευνα πραγματοποιείται στον κόλπο της Γέρα στο νησί της Λέσβου. Ο κόλπος της Γέρας είναι ο δεύτερος σε μέγεθος φυσικός κόλπος της Λέσβου, μετά τον κόλπο της Καλλονής, με συνολικό όγκο ύδατος $0,9 \times 10^9 \text{ m}^3$. Βρίσκεται στο νοτιοανατολικό άκρο της νήσου, έχει επιφάνεια 42 km^2 περίπου και αποτελεί μια σχεδόν κλειστή θαλάσσια περιοχή μεγίστου βάθους 20 m στο κεντρικό της τμήμα. Η επικοινωνία του κόλπου με το Αιγαίο πέλαγος γίνεται από τη νότια πλευρά μέσω στενού διαύλου, πλάτους 200-800 m και μήκους 6,5 km. Το βάθος του διαύλου μειώνεται από το νότιο προς το βόρειο άκρο του από 33 σε 10 m αντίστοιχα, οπότε η επικοινωνία του κόλπου με το Αιγαίο άρα και η ανανέωση των νερών είναι δύσκολη (Αρχοντίσης, 1998).

Η λεκάνη απορροής, με βάση τα μορφολογικά της χαρακτηριστικά, διακρίνεται σε δύο κύριες περιοχές. Η μία εντοπίζεται στην ανατολική και η άλλη στη δυτική πλευρά του κόλπου. Η ανατολική περιοχή περιλαμβάνει τα Λουτρά και το Πυργί και χαρακτηρίζεται από απότομο ανάγλυφο μέχρι τις ακτές, μικρή έκταση της επιφάνειας της λεκάνης απορροής ($25,43 \text{ km}^2$) και μικρό υδρογραφικό δίκτυο. Κατά μήκος της ανατολικής πλευράς, εκτείνονται ορεινοί όγκοι με υψόμετρο που δεν υπερβαίνει τα 600 m, αλλά παρουσιάζουν απότομες κλίσεις. Σημαντικότερες κορυφές της περιοχής είναι η Κουρτερή και η Αμαλή. Η δυτική πλευρά χαρακτηρίζεται από ομαλό ανάγλυφο, μεγαλύτερης έκτασης λεκάνη απορροής και μεγαλύτερο υδρογραφικό δίκτυο. Η δυτική λεκάνη απορροής χωρίζεται σε δύο υπολεκάνες: η πρώτη είναι η λεκάνη απορροής του Ευεργέτουλα και βρίσκεται στο βορειοδυτικό τμήμα του κόλπου και η δεύτερη είναι η λεκάνη των ποταμοχειμμάρων των περιοχών του Παλαιόκηπου, του Παπάδου και του Σκοπέλου ($65,33 \text{ km}^2$). Στις παραπάνω περιοχές υπάρχει ομαλό ανάγλυφο με υψόμετρο μικρότερο από 100 m (Αρχοντίσης, 1998).

Η περιοχή της Γέρας χαρακτηρίζεται από ένα σύστημα ρηγμάτων βορειοδυτικής-νοτιοανατολικής κατεύθυνσης, που έχει οδηγήσει στη δημιουργία μιας τεκτονικής τάφρου. Η καταβύθιση του πυρήνα αυτής της τάφρου έδωσε το σχηματισμό του κόλπου της Γέρας. Τα κυριότερα πετρώματα που επικρατούν στην περιοχή είναι μεταμορφωμένα, πυριγενή, ιζηματογενή, και αλλουβιακές προσχώσεις (Αρχοντίσης, 1998).

Μπορεί να θεωρηθεί ότι στο γεωλογικό υπόβαθρο της περιοχής της Γέρας, επικρατούν οι σχιστόλιθοι και τα μάρμαρα διαφόρων ηλικιών και ακολουθούν οι περιδοτίτες και οι βασάλτες (Αρχοντίσης, 1998).

Το κλίμα της περιοχής παρουσιάζει τα χαρακτηριστικά του μεσογειακού κλίματος με ήπιο χειμώνα και σχετικά δροσερό καλοκαίρι. Οι σημαντικότερες βροχοπτώσεις εμφανίζονται κυρίως κατά τη χειμερινή περίοδο. Οι κύριοι συντελεστές της διαμόρφωσης του κλίματος της

περιοχής είναι η επίδραση της θάλασσας και η επικράτηση των βορείων ανέμων κατά την καλοκαιρινή περίοδο (Αρχοντίσης, 1998). Η μέση θερμοκρασία το χειμώνα για το 2005 ήταν 10°C και το καλοκαίρι 24,5 °C, ενώ η ετήσια βροχόπτωση ήταν περίπου 850mm (Εκπαιδευτήρια Πλάτωνος).

4.2 Παράμετροι που μελετήθηκαν και μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν

Η προσέγγιση του θέματος πραγματοποιείται με τον έλεγχο της μεταβολής της αλατότητας και της θερμοκρασίας με το βάθος σε σταθμούς που έχουν επιλεγεί τυχαία κοντά στα σημεία που εντοπίστηκαν οι υποθαλάσσιες αναβλύσεις γλυκού νερού στον κόλπο της Γέρας. Για το σκοπό αυτό πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις θερμοκρασίας, βάθους, και αγωγιμότητας με το CTD (SBE 19 SEACAT), καταγράφοντας προφίλ αλατότητας και θερμοκρασίας στους σταθμούς που επιλέχθηκαν και μεταβολή των παραμέτρων αυτών κατά μήκος του κόλπου. Επιπλέον με τη χρήση ενός χειροκίνητου GPS τύπου Magellan καταγράφηκαν οι συντεταγμένες των σταθμών που επισκεφθήκαμε, οι οποίες αποτυπώθηκαν σε ψηφιακό χάρτη.

Πραγματοποιήθηκαν δύο δειγματοληψίες από σκάφος τον Νοέμβριο του 2006 και τον Απρίλιο του 2007 στον κόλπο της Γέρας στην περιοχή της Αγίας Μελάνης (γνωστή στους κατοίκους για τις αναβλύσεις υπόγειου νερού) και στα Θέρμα (μεταξύ της περιοχής των ιαματικών λουτρών και του Αγίου Τζαρτζαλιάρη), σε κοντινή απόσταση από τα ιαματικά λουτρά της περιοχής. Η έρευνα πραγματοποιήθηκε μετά από συνεντεύξεις σε ντόπιους κατοίκους, εργαζόμενους στα ιαματικά λουτρά, και σε ψαράδες της περιοχής. Τις εποχές που πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις δεν είχαν καταγραφεί βροχοπτώσεις στο νησί της Λέσβου από τον βροχομετρικό σταθμό του εκπαιδευτηρίου «Πλάτωνος».

Η δεύτερη δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε λαμβάνοντας υπόψη τις συντεταγμένες των σταθμών οι οποίοι κατά την πρώτη δειγματοληψία σταθμούς παρουσίασαν οπτικό ενδιαφέρον.

4.2.1 Προκλήσεις

Αξίζει να αναφερθούν οι δυσκολίες που προέκυψαν κατά τη διάρκεια των μετρήσεων και παράγοντες που επηρέασαν την έρευνα. Ένας σημαντικός παράγοντας που θα πρέπει να λάβει κανείς υπόψη του κατά τη διεξαγωγή τέτοιας μελέτης είναι οι κατάλληλες καιρικές συνθήκες, ώστε να είναι δυνατή η πρόσβαση με το σκάφος στο σημείο της δειγματοληψίας. Δηλαδή παρατηρήθηκε ότι ο ιδανικός ίσως καιρός για τη μέτρηση αλλά και τον εντοπισμό (οπτικά) των αναβλύσεων υπόγειου νερού στη θάλασσα ήταν ο ασθενής άνεμος, ώστε να φαίνεται στην επιφάνεια της θάλασσας, στις περιοχές όπου υπάρχουν οι αναβλύσεις, μια περιοχή σαν «ρυτιδιασμένη» και με σχήμα οβάλ από απόσταση αρκετών μέτρων (Εικ 4.1).

Επίσης ένα στοιχείο που βοηθά στην πραγματοποίηση των μετρήσεων είναι να είναι γνωστή από πριν η τοποθεσία των αναβλύσεων του υπόγειου νερού, ή ακόμα καλύτερα να διακρίνονται στη θάλασσα, ώστε οι μετρήσεις να πραγματοποιούνται σε συγκεκριμένες περιοχές ή σε περιοχές με κοντινή απόσταση. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με συνεντεύξεις από τους κατοίκους ή τους ψαράδες της περιοχής.



Εικ 4.1 Υποθαλάσσια πηγή που διακρίνεται στην επιφάνεια της θάλασσας. (Πηγή: http://www.geo.auth.gr/763/ch5_files/p13.jpg)

Επιπλέον στην εποχή των μετρήσεων καλό θα ήταν να έχει προηγηθεί χρονιά ή περίοδο με βροχοπτώσεις ώστε να υπάρχει μεγαλύτερη ροή γλυκού νερού στη θάλασσα, άρα μετρήσεις με μεγαλύτερες διαφορές στην αγωγιμότητα και κατά συνέπεια μεγαλύτερες διαφορές στην αλατότητα.

Ένας άλλος παράγοντας που έπαιξε ρόλο στην πιο εύκολη διεξαγωγή των μετρήσεων ήταν η χρήση κατάλληλης βάρκας. Διαπιστώθηκε ότι οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν πιο ομαλά με τη χρήση μικρής βάρκας (Εικ 4.2) ή μιας φουσκωτής βάρκας παρά με τη χρήση μεγαλύτερου σκάφους, όπως η «Αμφιρίτη» (Εικ 4.3), ώστε οι σταθμοί με συγκεκριμένες γεωγραφικές συντεταγμένες ήταν πιο εύκολα προσβάσιμοι και η χρήση του CTD γινόταν αβίαστα.

Καθοριστικό ρόλο παίζει η γνώση της σωστής λειτουργίας των οργάνων που χρησιμοποιούνται κατά τη διάρκεια της έρευνας και στη συγκεκριμένη περίπτωση του CTD. Για τη σωστή καταγραφή των δεδομένων του CTD θα πρέπει κατά την άνοδο του οργάνου από το νερό, να παραμένει για μερικά δευτερόλεπτα μέσα στο νερό καθώς θα βγαίνει στην επιφάνεια. Αν π.χ ο ερευνητής ενδιαφέρεται για μετρήσεις σε βάθος 0,5 μέτρα θα πρέπει κατά την άνοδο του CTD να αφήσει το όργανο να καταγράψει μετρήσεις στο βάθος αυτό για 30 περίπου δευτερόλεπτα. Επίσης καλό θα ήταν κατά την επιλογή των σταθμών να

επιλεγούν περισσότερα σημεία αναφοράς, τα οποία θα χρησιμοποιούνται σαν μέτρο σύγκρισης με τους σταθμούς που πιθανό να υπάρχουν υποθαλάσσιες αναβλύσεις γλυκού νερού.

Επιπλέον αν χρησιμοποιηθεί φουσκωτή βάρκα η οποία δεν έχει ενσωματωμένο GPS θα πρέπει ο μελετητής να προμηθευτεί GPS χειρός και να εξοικειωθεί με τη χρήση του ώστε να καταγραφούν σωστά οι συντεταγμένες των επιλεγμένων σταθμών.



Εικ 4.2 Άποψη της βάρκας που χρησιμοποιήθηκε στη δεύτερη δειγματοληψία.



Εικ 4.3 Άποψη του σκάφους «Αμφιτρίτη» που χρησιμοποιήθηκε στην πρώτη δειγματοληψία.
(Πηγή: <http://www.aegean.gr/aegean/greek/schools.htm>)

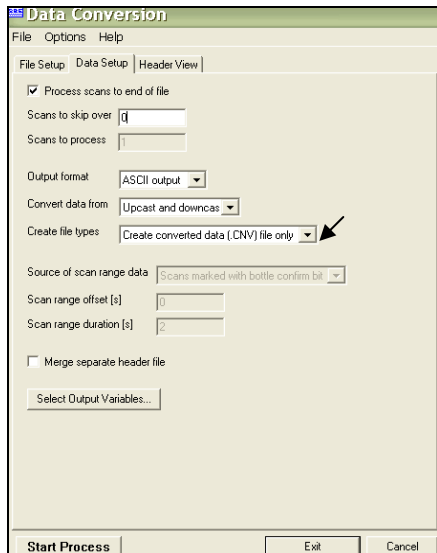
4.3 Επεξεργασία αποτελεσμάτων

Οι μετρήσεις θερμοκρασίας και αλατότητας καταγράφηκαν με το CTD και συγκεκριμένα με το SBE 19 SEACAT Profiler, το οποίο σχεδιάστηκε για να μετρά ηλεκτρική αγωγιμότητα, θερμοκρασία και πίεση σε θαλασσινό και γλυκό νερό σε βάθος έως και 10500 μέτρα. Για τη μεταφορά των δεδομένων από το CTD στον υπολογιστή χρησιμοποιούνται δύο καλώδια και μέσω της επεξεργασίας των μετρήσεων μπορούν να προκύψουν δεδομένα αλατότητας, πυκνότητας, ταχύτητας του ήχου και άλλες θαλάσσιες παράμετροι. Τα βήματα που ακολουθούνται για τον μετασχηματισμό των δεδομένων με το πρόγραμμα SEASOFT-Win32 είναι τα εξής:

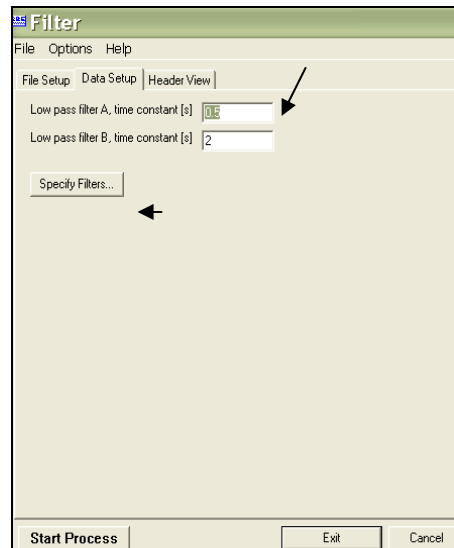
- **Data Conversion:** Μετατρέπει τα αρχικά δεδομένα από δεκαεξαδική (αρχεία σε μορφή .hex) σε δεκαδική μορφή (αρχεία σε μορφή .cnp). Τα μετασχηματισμένα αρχεία περιλαμβάνουν πίεση, θερμοκρασία και αγωγιμότητα.
- **Filter:** Εφαρμόζονται δύο διαφορετικές συναρτήσεις οι οποίες εξομαλύνουν τα δεδομένα που μεταβάλλονται πολύ γρήγορα με το χρόνο, μια συνάρτηση για την πίεση και μια συνάρτηση για τη θερμοκρασία και την αγωγιμότητα.
- **Align CTD:** Εξομαλύνει τις μετρήσεις της θερμοκρασίας και της αγωγιμότητας χρονικά σε σχέση με την πίεση. Έτσι εξασφαλίζεται ότι οι υπολογισμοί για τις παραμέτρους γίνονται από μετρήσεις που προέρχονται από την ίδια μάζα νερού.
- **Section:** Επιλέγονται τα δεδομένα που έχουν καταγραφεί κατά την άνοδο ή την κάθοδο του CTD
- **Derive:** Από την πίεση, τη θερμοκρασία και την αγωγιμότητα υπολογίζονται η αλατότητα, η πυκνότητα, και το βάθος
- **Bin Average:** Υπολογίζει μέσες τιμές δεδομένων σε διαστήματα (bins) που καθορίζονται από την πίεση, το βάθος και το χρόνο. Έτσι προκύπτουν μετρήσεις για συγκεκριμένα βάθη
- **SEAPLOT:** Δημιουργεί διαγράμματα των παραμέτρων που έχουν υπολογιστεί, θερμοκρασία, αλατότητα, βάθος, κτλ (SEASOFT – Win32: SBE Data Processing, User's Manual, 2003)

Για τη διεξαγωγή των αποτελεσμάτων στη συγκεκριμένη έρευνα έγιναν οι παρακάτω επιλογές στο πρόγραμμα SEASOFT – Win32:

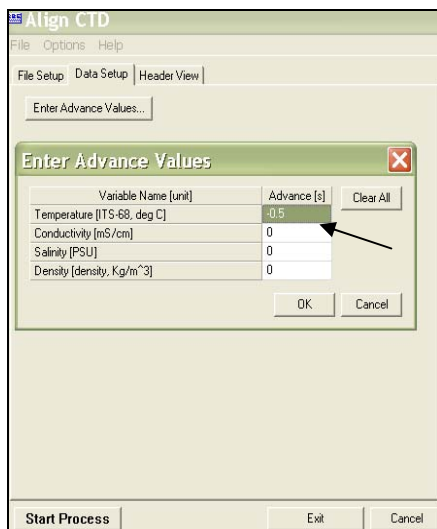
Στην εντολή **Data Conversion** επιλέγονται τα δεδομένα ανόδου και καθόδου (upcast and downcast) του CTD (Εικ 4.4). Στην εντολή **Filter**, επιλέγονται ως filter A 0,5 και ως filter B 2. Στο Specify Filters επιλέγονται η αγωγιμότητα και η θερμοκρασία να επεξεργαστούν με το Filter A και η πίεση με το Filter B (Εικ 4.5). Στην εντολή **Align** επιλέγονται για διορθώσεις της αγωγιμότητας 0 και για τη θερμοκρασία -0,5 (Εικ 4.6). Στην εντολή **Section** επιλέγεται η παράμετρος Pressure και τα δεδομένα της ανόδου (Εικ 4.7).



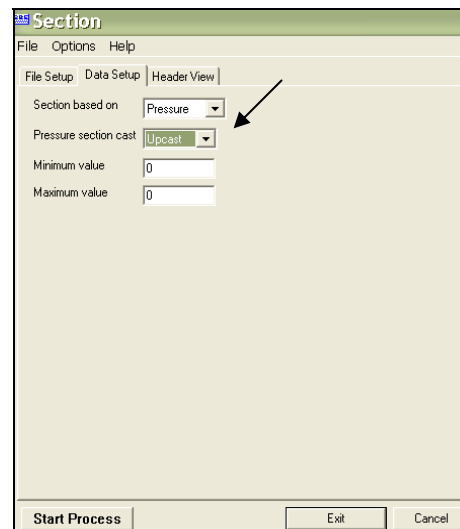
Εικ 4.4 Η εντολή Data Conversion



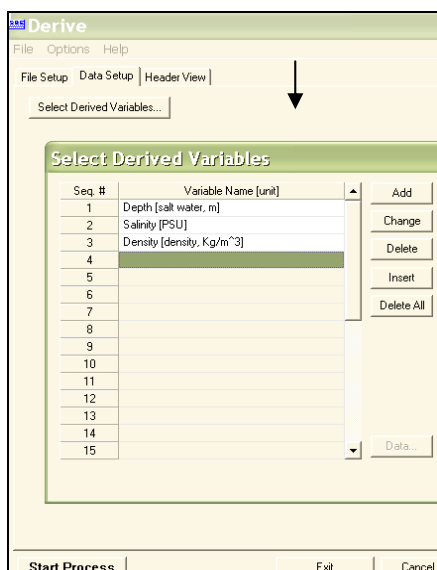
Εικ 4.5 Η εντολή Filter



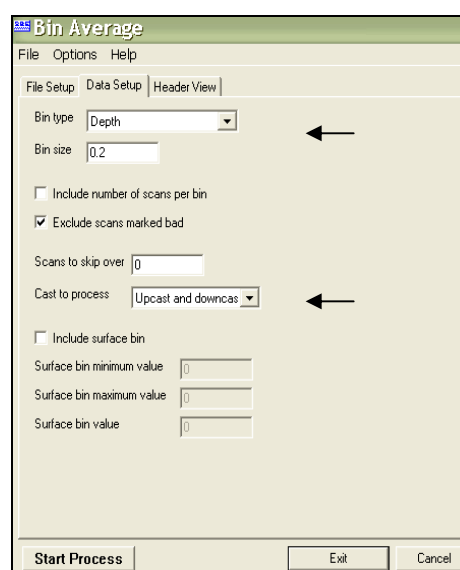
Εικ 4.6 Η εντολή Align



Εικ 4.7 Η εντολή Section



Εικ 4.8 Η εντολή Derive



4.9 Η εντολή Bin Average

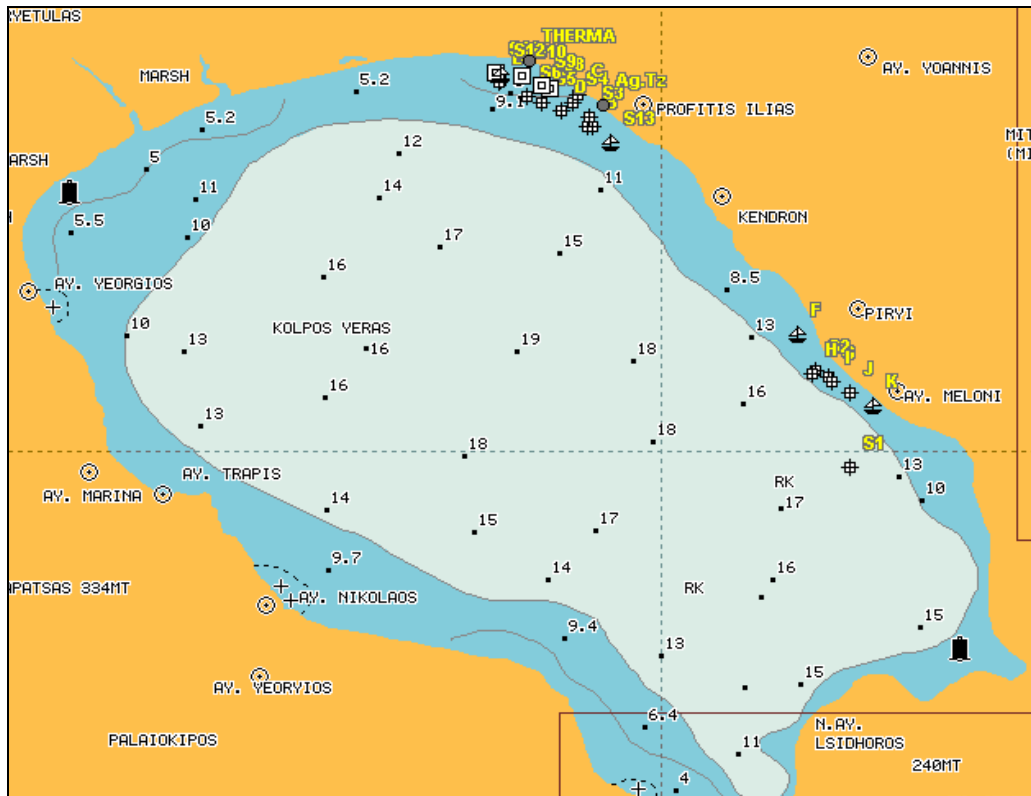
Στην εντολή **Derive** στο Selected Derived Variables εισάγουμε τις παραμέτρους Depth, Salinity, Density (Εικ 4.8). Στην επιλογή **Bin Average** εισάγουμε στο bin type και στο bin size τον τρόπο με τον οποίο θέλουμε να λάβουμε τα δεδομένα ανάλογα με το βάθος (depth) και στο bin size 0,2m (Εικ 4.9).

Θα πρέπει να αναφερθεί ότι για να εξάγουμε τις μετρήσεις που κατέγραψε το CTD κατά μήκος των δύο περιοχών μελέτης δεν χρησιμοποιήθηκε η εντολή Section στην οποία επιλέγονται τα δεδομένα ανόδου ή καθόδου. Ενώ για την καταγραφή των προφίλ χρησιμοποιήθηκαν όλες οι υπόλοιπες εντολές μέχρι την επιλογή Bin Average, για να υπάρχουν περισσότερα δεδομένα. Για τη δημιουργία των γραφημάτων χρησιμοποιήθηκε το Excel.

5 Αποτελέσματα

5.1 Προκαταρκτικές πληροφορίες

Η έρευνα που πραγματοποιήθηκε στον κόλπο της Γέρας για την εύρεση των υποθαλάσσιων αναβλύσεων γλυκού νερού απεικονίζεται στο Χάρτη 1, στον οποίο διακρίνονται οι δύο περιοχές μελέτης του κόλπου, δηλαδή η περιοχή Θέρμα, η περιοχή της Αγίας Μελάνης, και οι σταθμοί υπό μελέτη.

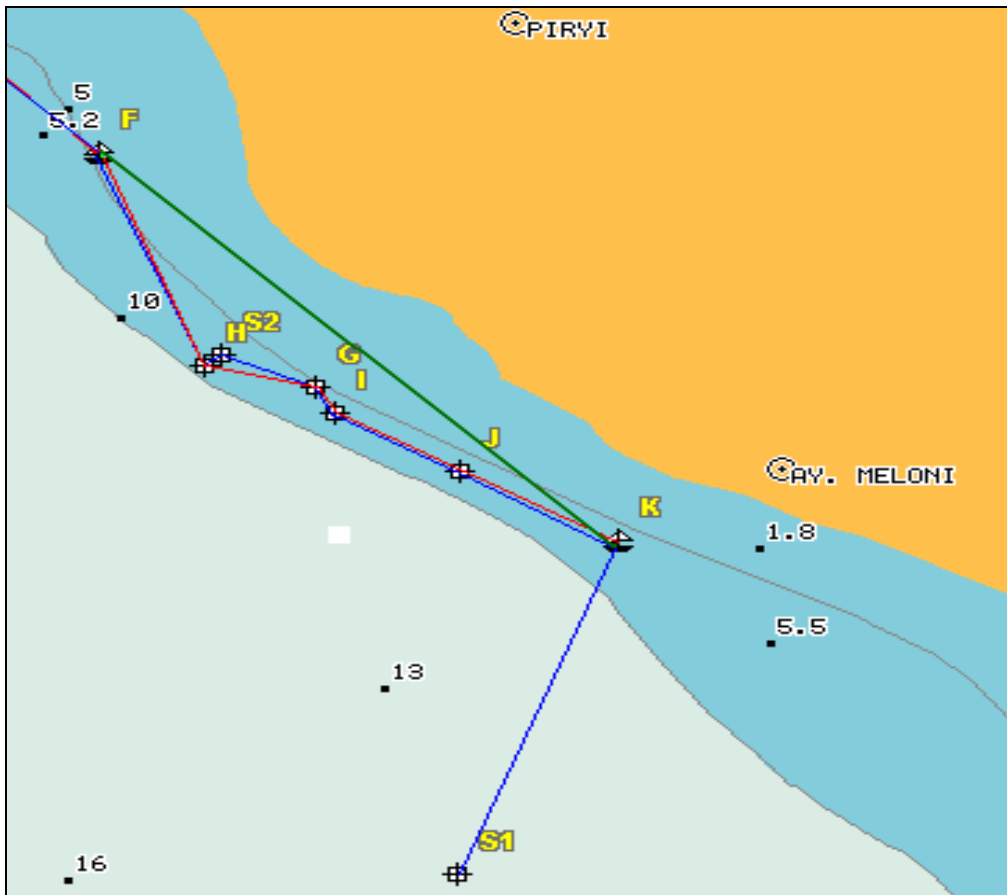


Χάρτης 1 Κόλπος της Γέρας

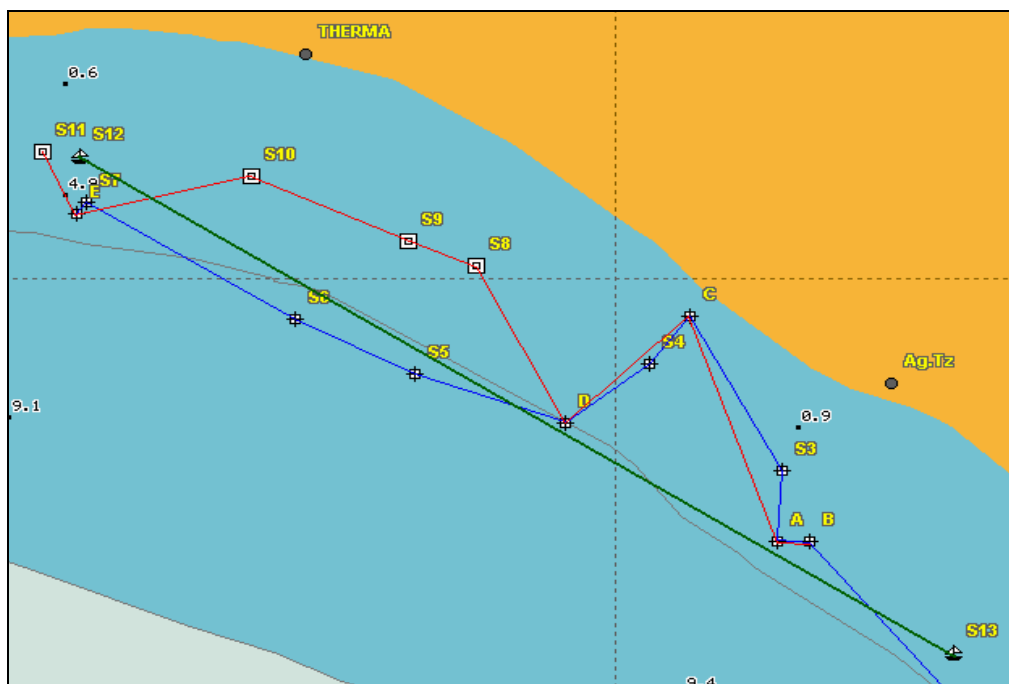
Για την περιοχή της Αγίας Μελάνης στο Χάρτη 2 απεικονίζεται με μπλε γραμμή η πορεία που ακολουθήθηκε με το σκάφος στην πρώτη δειγματοληψία το μήνα Νοέμβριο και με κόκκινη γραμμή η πορεία της δεύτερης δειγματοληψίας το μήνα Απρίλιο. Οι δύο πορείες περιλάμβαναν μετρήσεις με το CTD, για την καταγραφή των προφίλ θερμοκρασίας και αλατότητας. Επίσης η γραμμή με το πράσινο χρώμα συμβολίζει την πορεία που ακολουθήθηκε το μήνα Απρίλιο για την καταγραφή της μεταβολής της αλατότητας και της θερμοκρασίας κατά μήκος της περιοχής της Αγίας Μελάνης. Η πορεία ήταν σε γραμμή παράλληλη με την ακτογραμμή.

Τα γράμματα που φαίνονται στο χάρτη απεικονίζουν τους κωδικούς των σταθμών, οι συντεταγμένες των οποίων αναγράφονται στον Πίνακα 1 στο Παράρτημα. Τα γράμματα A έως K περιλαμβάνουν τους σταθμούς τους οποίους επισκεφθήκαμε και στις δύο δειγματοληψίες, οι οποίοι παρουσίαζαν ενδιαφέρον. Πιο αναλυτικά η πορεία της πρώτης

δειγματοληψίας είναι η S1 (σημείο αναφοράς) – K – J – I – G – S2 - H – F (από την είσοδο του κόλπου προς το εσωτερικό του) και για τη δεύτερη δειγματοληψία η πορεία είναι K – I - G – H – F, ενώ η πορεία για την καταγραφή της μεταβολής της αλατότητας και της θερμοκρασίας κατά μήκος του κόλπου είναι η F - K.



Χάρτης 2 Η περιοχή Αγία Μελάνη και οι σταθμοί υπό μελέτη



Χάρτης 3 Η περιοχή Θέρμα και οι σταθμοί υπό μελέτη

Ομοίως για την περιοχή Θέρμα στο Χάρτη 3 η μπλε γραμμή είναι η πορεία της πρώτης δειγματοληψίας και περιλαμβάνει τους σταθμούς B – A – S3 – C – S4 – D – S5 – S6 – S7 – E και η κόκκινη γραμμή είναι η πορεία της δεύτερης δειγματοληψίας και περιλαμβάνει τους σταθμούς A – B – C – D – S8 – S9 – S10 – E – S11. Η πράσινη γραμμή S12 – S13 είναι η πορεία κατά μήκος του κόλπου στα Θέρμα για την καταγραφή της μεταβολής της αλατότητας και της θερμοκρασίας το μήνα Απρίλιο. Επιπλέον στο Χάρτη 3 φαίνονται οι εγκαταστάσεις των λουτρών (THERMA) και η εκκλησία του Αγίου Τζαρτζαλιάρη (Ag. Tz), περιοχές για τις οποίες υπήρχαν πληροφορίες για αναβλύσεις γλυκού νερού κοντά στην παράκτια ζώνη και τις οποίες εντοπίσαμε οπτικά από το σκάφος (Εικ 1 α) και β)).



α)



β)

Εικ 1 α) και β) Άποψη των αναβλύσεων υπόγειου νερού από το σκάφος στον κόλπο της Γέρας στην περιοχή μεταξύ Θέρμα και Άγιου Τζαρτζαλιάρη στους σταθμούς Α και Β

5.2. Πρώτη δειγματοληψία

Για τη σύγκριση της θερμοκρασίας και της αλατότητας επιλέγουμε τις μετρήσεις του CTD, οι οποίες προέρχονται από βάθος 0,7 μέτρα και κάτω για μεγαλύτερη αξιοπιστία στα αποτελέσματα.

Στον Πίνακα 1 και στον Πίνακα 3 αναγράφονται για κάθε σταθμό το μέγιστο βάθος (B_{\max}), την αλατότητα στο μέγιστο βάθος ($S_{\max \text{ βάθους}}$), την αλατότητα του κάθε σταθμού σε βάθος 0,7 μέτρα από την επιφάνεια της θάλασσας ($S_{0,7}$), την αλατότητα στο ένα μέτρο από την επιφάνεια της θάλασσας (S_1), την τιμή της μέγιστης αλατότητας στη στήλη του νερού σε κάθε σταθμό (S_{\max}), το βάθος στο οποίο εμφανίζεται η μέγιστη αλατότητα ($B_{S_{\max}}$), τη διαφορά μεταξύ της μέγιστης αλατότητας και της αλατότητας στο 1 μέτρο (ΔSi) και η διαφορά μεταξύ της τιμής της μέγιστης αλατότητας και της αλατότητας σε βάθος 0,7 μέτρων (ΔSii). Ο Πίνακας 1 και ο Πίνακας 3 αναφέρονται στην πρώτη και στη δεύτερη δειγματοληψία αντίστοιχα.

Στον Πίνακα 2 αναφέρονται την για πρώτη δειγματοληψία για κάθε σταθμό το μέγιστο βάθος (B_{\max}), η τιμή της θερμοκρασίας στο μέγιστο βάθος ($T_{\text{βυθού}}$), η θερμοκρασία κάθε σταθμού σε βάθος 0,7 μέτρων από την επιφάνεια της θάλασσας ($T_{0,7}$) και η διαφορά μεταξύ της θερμοκρασίας σε βάθος 0,7 μέτρων και της θερμοκρασίας στο μέγιστο βάθος για κάθε σταθμό υπό μελέτη (ΔT). Στον Πίνακα 4 αναφέρονται οι τιμές των ίδιων μετρήσεων για τη δεύτερη δειγματοληψία.

Από τον Πίνακα 1 παρατηρούμε ότι στην περιοχή της Αγίας Μελάνης (S1 – K – J – I – G – S2 - H – F) οι διαφορές που προκύπτουν μεταξύ της μέγιστης τιμής της αλατότητας και

της τιμής της αλατότητας στο 1 μέτρο είναι μεγαλύτερες σε σύγκριση με τα Θέρμα. Επιπλέον στον Πίνακα 2 η περιοχή της Αγίας Μελάνης φαίνεται να έχει λίγο μεγαλύτερη θερμοκρασία από τα Θέρμα και στο επιφανειακό στρώμα της θάλασσας υπάρχουν θερμότερες μάζες νερού (από 0,2 έως 0,45 °C).

Πίνακας 1 Μετρήσεις αλατότητας (S) για κάθε σταθμό σε συγκεκριμένα βάθη

	Σταθμός	Βάθος _{max}	S _{max} βάθους	S _{0,7}	S ₁	S _{max}	Βάθος S _{max}	ΔSi = S _{max} -S ₁	ΔSii = S _{max} - S _{0,7}
Σημείο Αναφοράς	S1	13,8	39,5858	39,035	39,3313	39,5881	12,2	0,2568	0,5531
Αγία Μελάνη	K	4	39,4588	34,9981	39,2036	39,4886	3,5	0,285	4,4905
	J	8,4	39,5493	35,0723	38,8921	39,5493	8,4	0,6572	4,477
	I	7,1	39,5301	37,947	39,3072	39,5301	7,1	0,2229	1,5831
	G	4,5	39,4036	39,0183	39,3075	39,4537	3,7	0,1462	0,4354
	S2	5,8	39,5551	38,8736	39,3564	39,5551	5,8	0,1987	0,6815
	H	7,1	39,4993	38,0176	39,3292	39,5158	5,7	0,1866	1,4982
	F	4,7	39,4087	39,1791	39,3671	39,4321	4,1	0,065	0,253
Θέρμα	B	5,6	39,549	39,4273	39,4909	39,549	5,6	0,0581	0,1217
	A	4,5	39,4997	38,9594	39,4427	39,5212	2	0,0785	0,5618
	S3	3,4	39,4878	39,4387	39,4516	39,4934	2,9	0,0418	0,055
	C	5,5	39,5138	39,3417	39,4979	39,5164	3,5	0,0185	0,1747
	S4	3,6	39,5057	39,32	39,4794	39,5196	1,9	0,0402	0,1996
	D	6,1	39,5032	39,0046	39,4401	39,5155	2,4	0,0754	0,5109
	S5	6,6	39,4888	39,4489	39,5002	39,5402	2,9	0,04	0,0913
	S6	6,4	39,4798	39,5017	39,5417	39,5494	1,1	0,0077	0,0477
	S7	4,4	39,4391	39,3648	39,5035	39,5181	2	0,0146	0,1533
E	4,6	39,5316	38,119	39,38	39,5514	1,8	0,1714	1,4324	

Πίνακας 2 Μετρήσεις θερμοκρασίας για κάθε σταθμό σε συγκεκριμένα βάθη

	Σταθμός	Βάθος _{max}	T _{βυθού}	T _{0,7}	$\Delta T = T_{0,7} - T_{\betaυθού}$
Σημείο Αναφοράς	S1	13,8	15,2916	15,7590	0,4674
Αγία Μελάνη	K	4	15,3762	15,6475	0,2713
	J	8,4	15,2316	15,626	0,3944
	I	7,1	15,2117	15,5838	0,3721
	G	4,5	15,228	15,514	0,286
	S2	5,8	15,2068	15,611	0,4042
	H	7,1	15,2642	15,5321	0,2679
	F	4,7	15,246	15,4633	0,2173
Θέρμα	B	5,6	15,069	15,1651	0,0961
	A	4,5	15,107	15,1541	0,0471
	S3	3,4	15,1053	15,1964	0,0911
	C	5,5	15,0799	15,2011	0,1212
	S4	3,6	15,1601	15,2159	0,0558
	D	6,1	15,1092	15,1932	0,084
	S5	6,6	15,1295	15,2729	0,1434
	S6	6,4	15,2019	15,2619	0,06
	S7	4,4	15,1989	15,2789	0,08
E	4,6	15,1999	15,2878	0,0879	

5.3 Δεύτερη δειγματοληψία

Στην δεύτερη δειγματοληψία του Απριλίου παρατηρούμε ότι οι δύο περιοχές μελέτης έχουν παρόμοιες διαφορές αλατότητας ($\Delta S1$) και μόνο οι σταθμοί K, A, B, S8 και S10 έχουν τις μεγαλύτερες διαφορές μεταξύ της μέγιστης αλατότητας και της αλατότητας στο ένα μέτρο. Από τον πίνακα 4 μόνο οι σταθμοί C και D παρουσιάζουν μικρότερες διαφορές θερμοκρασίας σε σχέση με τη θερμοκρασία στο μέγιστο βάθος (0,0652 και 0,0906 αντίστοιχα), ενώ οι υπόλοιποι σταθμοί παρουσιάζουν διαφορές που κυμαίνονται μεταξύ 0,3 έως 0,7 °C.

Πίνακας 3 Μετρήσεις αλατότητας για κάθε σταθμό σε συγκεκριμένα βάθη

	Σταθμός	Βάθος _{max}	S _{max} βάθους	S _{0,7}	S ₁	S _{max}	Βάθος S _{max}	$\Delta S_i = S_{max} - S_1$	$\Delta S_{ii} = S_{max} - S_{0,7}$
Αγία Μελάνη	K	6,2	39,1729	30,287	38,8497	39,1791	6	0,3294	8,8921
	J	7,2	39,1553	38,0681	39,0626	39,166	5,6	0,1034	1,0979
	I	7,7	39,1748	39,0499	39,1476	39,1874	6,3	0,0398	0,1375
	G	6,2	39,1685	38,2323	39,0782	39,2146	1,6	0,1364	0,9823
	H	6,7	39,1531	38,5629	39,1068	39,2114	1,8	0,1046	0,6485
	F	4,9	39,1603	39,1268	39,1565	39,1836	4,2	0,0271	0,0568
Θέρμα	A	4,7	39,1294	37,5169	38,8547	39,1684	2	0,3137	1,6515
	B	5,6	39,1172	37,6339	38,9217	39,165	4,6	0,2433	1,5311
	C	1,6	38,9089	39,0091	39,0122	39,0652	1,3	0,053	0,0561
	D	3	38,9147	37,5992	38,9471	39,1107	1,5	0,1636	1,5115
	S8	3,9	39,1263	26,086	38,6914	39,1821	2,3	0,4907	13,0961
	S9	4	39,0989	35,8284	38,9598	39,1448	2,9	0,185	3,3164
	S10	3,5	39,1111	14,6475	37,729	39,1368	3,4	1,4078	24,4893
	E	4,1	39,0586	39,0331	39,0908	39,1502	2,3	0,0594	0,1171
S11	3,8	39,1552	38,8708	39,1303	39,2162	2,5	0,0859	0,3454	

Πίνακας 4 Μετρήσεις θερμοκρασίας για κάθε σταθμό σε συγκεκριμένα βάθη

	Σταθμός	Βάθος _{max}	T _{βυθού}	T _{0,7}	$\Delta T = T_{0,7} - T_{βυθού}$
Αγία Μελάνη	K	6,2	16,2572	16,9279	0,6707
	J	7,2	16,0166	16,4854	0,4688
	I	7,7	15,956	16,4134	0,4574
	G	6,2	16,0938	16,4486	0,3548
	H	6,7	15,9954	16,4592	0,4638
	F	4,9	15,8737	16,331	0,4573
Θέρμα	A	4,7	15,7743	15,9279	0,1536
	B	5,6	15,665	15,947	0,282
	C	1,6	16,1051	16,1703	0,0652
	D	3	16,0056	16,0962	0,0906
	S8	3,9	15,8799	16,2522	0,3723
	S9	4	15,8402	16,2245	0,3843
	S10	3,5	15,9818	16,3425	0,3607
	E	4,1	15,7616	16,1536	0,392
S11	3,8	15,8746	16,1837	0,3091	

5.4 Περιοχή Αγία Μελάνη

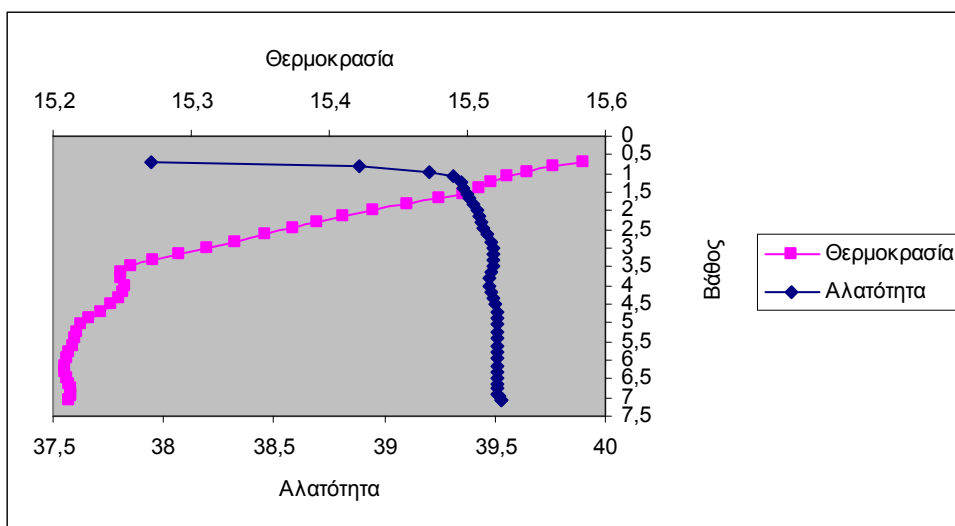
5.4.1 Πρώτη Δειγματοληψία

α) Προφίλ θερμοκρασίας και αλατότητας

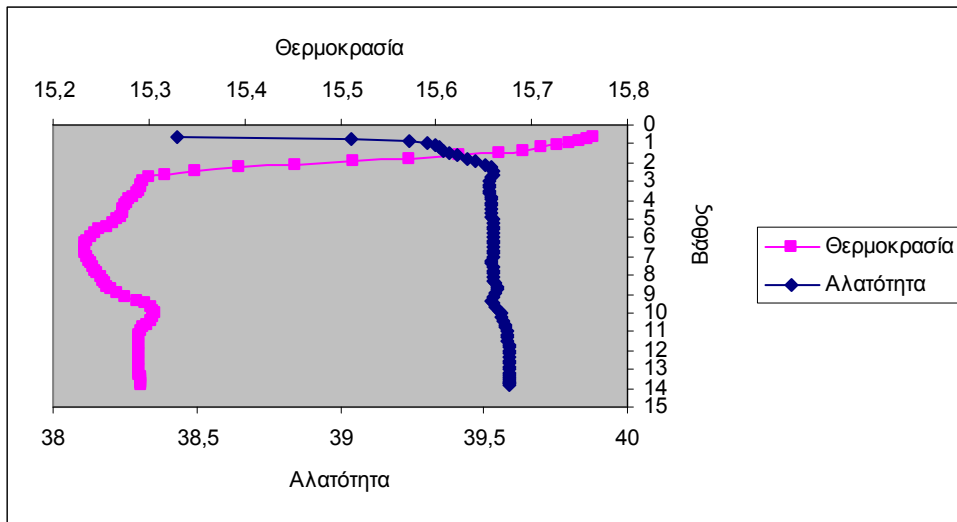
Για την περιοχή της Αγίας Μελάνης θα επιλέξουμε τρεις αντιπροσωπευτικούς σταθμούς της περιοχής τον Ι, Κ και τον S1 (Χάρτης 2) για να μελετήσουμε τα προφίλ της θερμοκρασίας και της αλατότητας. Τον S1 λαμβάνουμε σαν σημείο αναφοράς γιατί απέχει από την περιοχή μελέτης και μπορούμε να θεωρήσουμε ότι οι αναβλύσεις γλυκού νερού δεν επηρεάζουν τη θερμοκρασία και την αλατότητα του συγκεκριμένου σταθμού.

Στα Σχήματα 1, 2, και 3, παρουσιάζονται η μεταβολή της αλατότητας (μπλε γραμμή) και της θερμοκρασίας (κόκκινη γραμμή) με την αύξηση του βάθους στη στήλη του νερού για τους σταθμούς Ι, Κ, και S1 αντίστοιχα. Στον πρωτεύον άξονα χ αντιστοιχεί η αλατότητα η οποία εκφράζεται σε μονάδες psu (practical salinity units), στο δευτερεύον άξονα χ αντιστοιχεί η θερμοκρασία η οποία μετριέται με μονάδες °C, και στον πρωτεύον άξονα ψ αντιστοιχεί το βάθος κάθε σταθμού το οποίο μετριέται σε m (μέτρα).

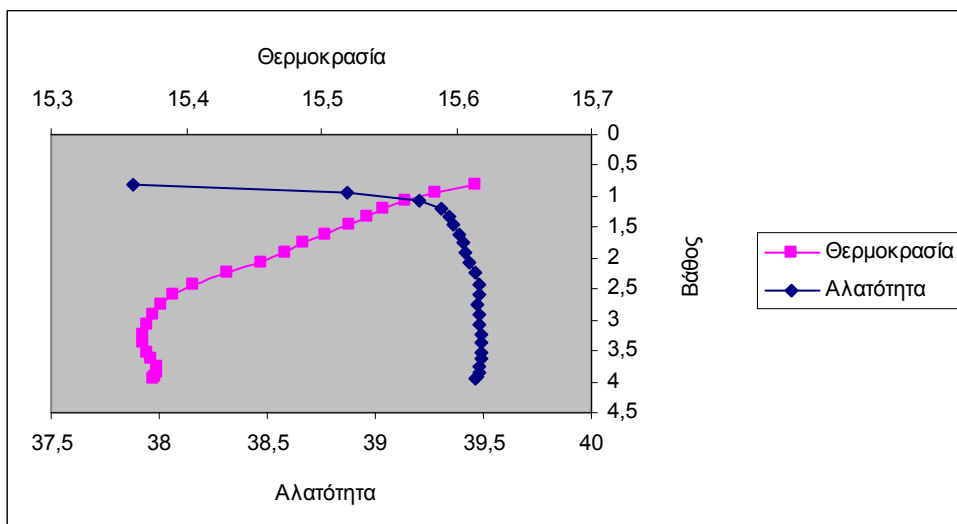
Από τα γραφήματα στα Σχήματα 1, 2, και 3 παρατηρούμε ότι πάνω από το 1μ και πάνω αρχίζει η αλατότητα και μειώνεται, ενώ στα υπόλοιπα βάθη παραμένει περίπου σταθερή και η θερμοκρασία έχει μια αυξητική τάση σε όλη της στήλη του νερού



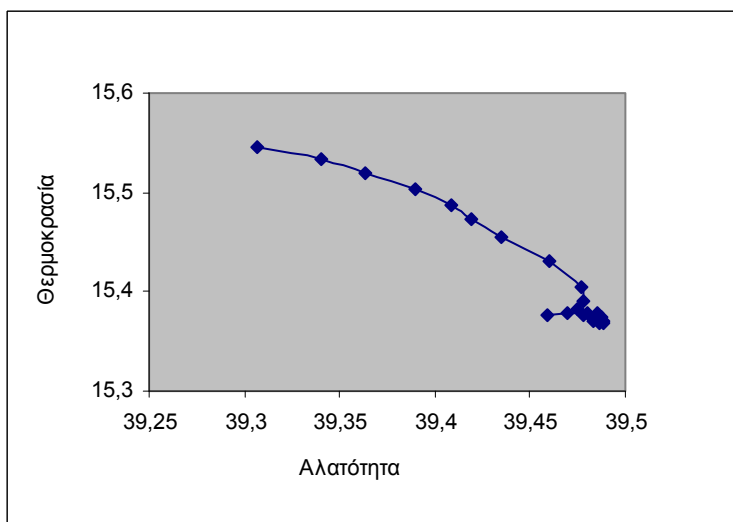
Σχήμα 1. Σταθμός Ι



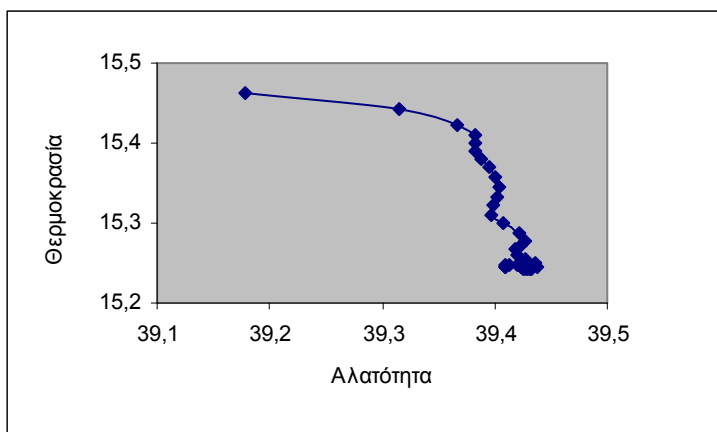
Σχήμα 2. Σταθμός Κ



Σχήμα 3. Σταθμός S1(σημείο αναφοράς)



Σχήμα 2α. Διάγραμμα T-S για το σταθμό Κ



Σχήμα 3α. Διάγραμμα T-S για το σταθμό F

Επιπλέον αναφέρεται ότι στα Σχήματα 2α και 3α παρουσιάζονται τα διαγράμματα T-S για τους σταθμούς K και F. Ο άξονας χ αντιστοιχεί στην αλατότητα, ο άξονας ψ στη θερμοκρασία.

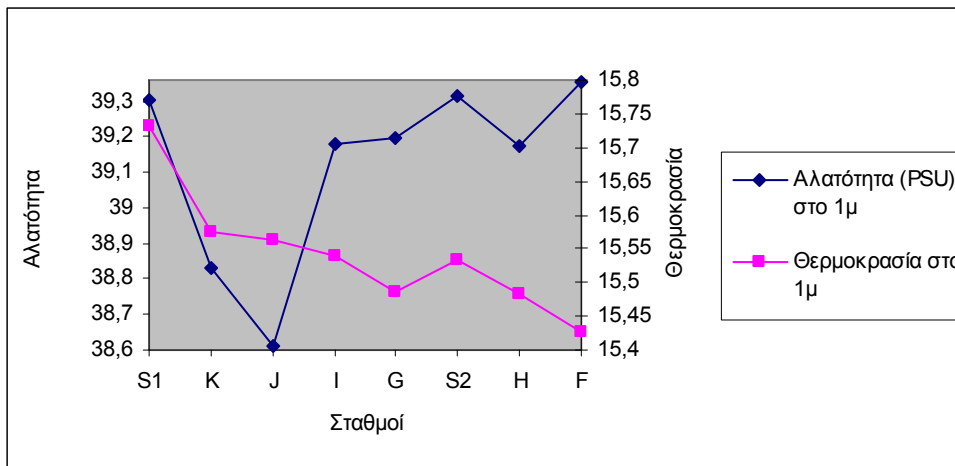
Για κάθε σταθμό στην Αγία Μελάνη και στα Θέρμα και για τις δύο δειγματοληψίες σχηματίστηκαν διαγράμματα T-S αλλά δεν υπήρχε κάποιος συσχετισμός μεταξύ των γραφημάτων, και γι' αυτό δεν παρουσιάζονται. Για παράδειγμα παρόλο που οι σταθμοί K και F στην πρώτη δειγματοληψία στην περιοχή Αγία Μελάνη παρουσιάζουν διαφορές στην αλατότητα και στη θερμοκρασία, τα διαγράμματα T-S παρουσιάζουν παρόμοια σταθερότητα για τη στήλη του νερού. Δεν ήταν δυνατό να συσχετιστεί η σταθερότητα της στήλης του νερού κάθε σταθμού με τη διαφορά στην αλατότητα που παρουσιάζει σε σχέση με τους άλλους σταθμούς.

β) Σύγκριση των σταθμών μεταξύ τους σε βάθος 1μ

Στο Σχήμα 4 παρουσιάζονται η μεταβολή της αλατότητας (μπλε γραμμή) και της θερμοκρασίας (κόκκινη γραμμή), για τους διάφορους σταθμούς σε βάθος 1 μέτρο, για την περιοχή της Αγίας Μελάνης από την είσοδο του κόλπου της Γέρας προς το εσωτερικό του. Στον άξονα χ αναγράφονται οι σταθμοί υπό μελέτη, στον πρωτεύον άξονα ψ αναγράφεται η αλατότητα κάθε σταθμού σε βάθος 1 μέτρο από την επιφάνεια της θάλασσας, και ο δευτερεύον άξονας ψ περιγράφει τη θερμοκρασία κάθε σταθμού σε βάθος 1 μέτρο.

Από το γράφημα της θερμοκρασίας και της αλατότητας παρατηρείται ότι οι δύο παράμετροι που μελετούνται σε γενικές γραμμές ακολουθούν την ίδια τάση. Δηλαδή με πτώση της αλατότητας, υπάρχει και πτώση της θερμοκρασίας εκτός από τους σταθμούς I και F, στους οποίους η αύξηση της αλατότητας συνοδεύεται με μείωση της θερμοκρασίας. Επιπλέον οι σταθμοί K και J παρουσιάζουν μικρότερες τιμές αλατότητας σε σχέση με τους υπόλοιπους σταθμούς αλλά και σε σχέση με το σημείο αναφοράς (0,48 και 0,70 αντίστοιχα), ενώ η θερμοκρασία παρόλο που έχει χαμηλές τιμές δεν παρουσιάζει ιδιαίτερες διακυμάνσεις

(0,16-0,3), με τους σταθμούς K και J να έχουν τη μικρότερη διαφορά θερμοκρασίας με το σημείο αναφοράς (0,16 και 0,17 αντίστοιχα).

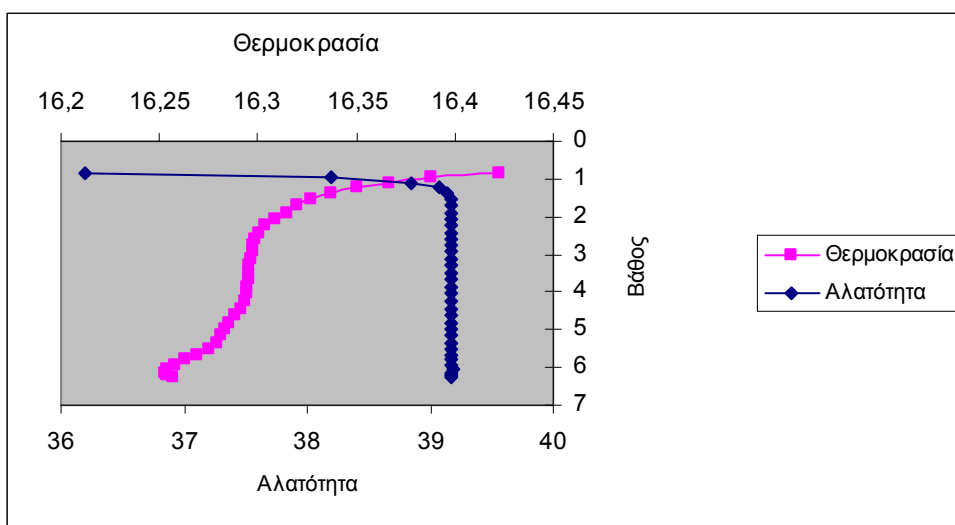


Σχήμα 4. Μεταβολή αλατότητας και θερμοκρασίας στην Αγία Μελάνη το Νοέμβριο σε βάθος 1μ

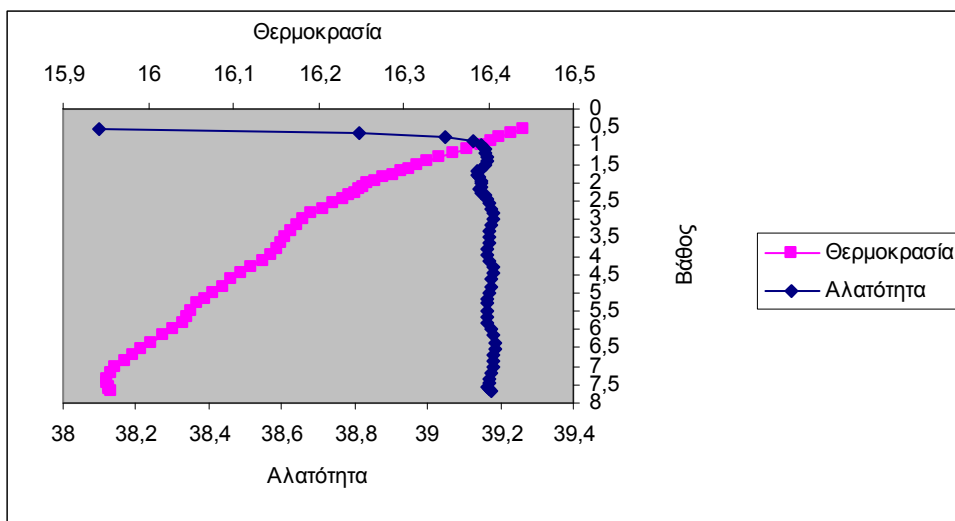
5.4.2 Δεύτερη δειγματοληψία

α) Προφίλ θερμοκρασίας και αλατότητας

Ομοίως, για τη δεύτερη δειγματοληψία, το μήνα Απρίλιο από τα γραφήματα στο Σχήμα 5 και 6 παρατηρούμε ότι από το 1μ και πάνω αρχίζει η αλατότητα και μειώνεται, ενώ στην υπόλοιπη στήλη παραμένει περίπου σταθερή και η θερμοκρασία έχει μια αυξητική τάση σε όλη τη στήλη του νερού από το βάθος προς την επιφάνεια.



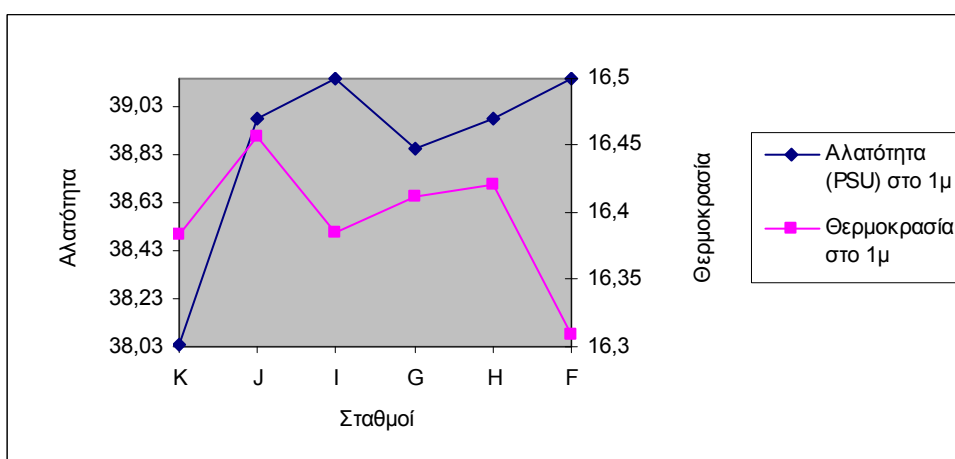
Σχήμα 5 Σταθμός K



Σχήμα 6. Σταθμός Ι

β) Σύγκριση των σταθμών μεταξύ τους σε βάθος 1μ

Στη δεύτερη δειγματοληψία, η οποία πραγματοποιήθηκε τον Απρίλιο, για την περιοχή της Αγίας Μελάνης παρατηρούνται μεγαλύτερες διαφορές στην αλατότητα, στους σταθμούς K, J, G και H (38,0361, 38,979, 38,859 και 38,9787 αντίστοιχα) όμως η θερμοκρασία δεν παρουσιάζει σημαντική διακύμανση (16,3085 έως 16,4567). Οι σταθμοί K και G είχαν μικρότερες τιμές αλατότητας σε σχέση με τους υπόλοιπους σταθμούς και στην πρώτη δειγματοληψία. Ο σταθμός I ενώ στο Σχήμα 4 φαίνεται να έχει μικρότερη αλατότητα από τον F, στο Σχήμα 7 φαίνεται να έχει παρόμοια αλατότητα με τον F.



Σχήμα 7. Μεταβολή αλατότητας και θερμοκρασίας τον Απρίλιο στην Αγία Μελάνη σε βάθος 1μ

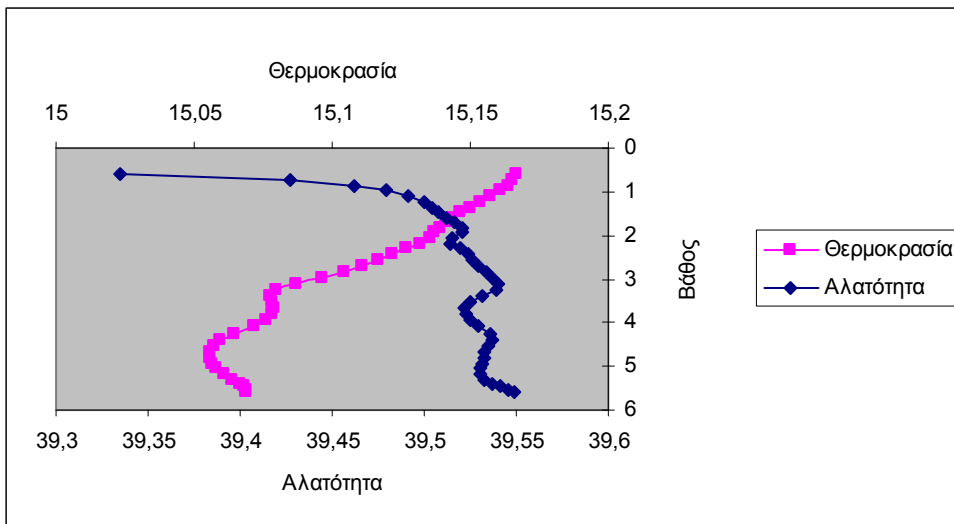
5.5 Περιοχή Θέρμα

5.5.1 Πρώτη δειγματοληψία

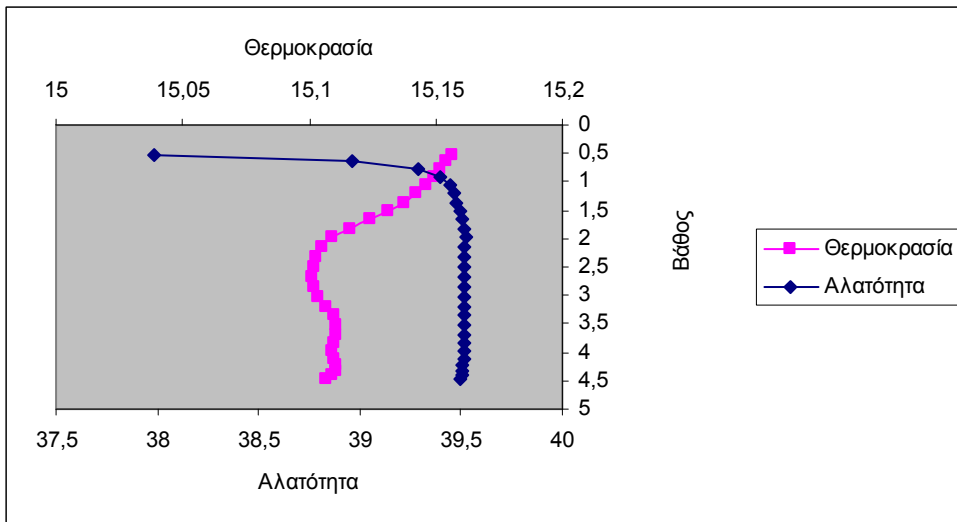
α) Προφίλ θερμοκρασίας και αλατότητας

Για την παρουσίαση των προφίλ θερμοκρασίας και αλατότητας στα Θέρμα επιλέχθηκαν οι σταθμοί Β, Α, D, S6 και Ε (Χάρτης 3). Να σημειωθεί στους σταθμούς Α και Β εντοπίστηκαν οπτικά οι αναβλύσεις (Εικ 1 α) και β)). Στο Σχήμα 8, 9, 10, 11, και 12 περιγράφεται η μεταβολή της θερμοκρασίας (κόκκινη γραμμή) και της αλατότητας (μπλε γραμμή) με την αύξηση του βάθους στη στήλη του νερού στους σταθμούς Β, Α, D, S6 και Ε αντίστοιχα. Στον άξονα χ αναγράφεται η αλατότητα, στο δευτερεύον άξονα ψ η θερμοκρασία και στο δευτερεύον άξονα φ το βάθος κάθε σταθμού.

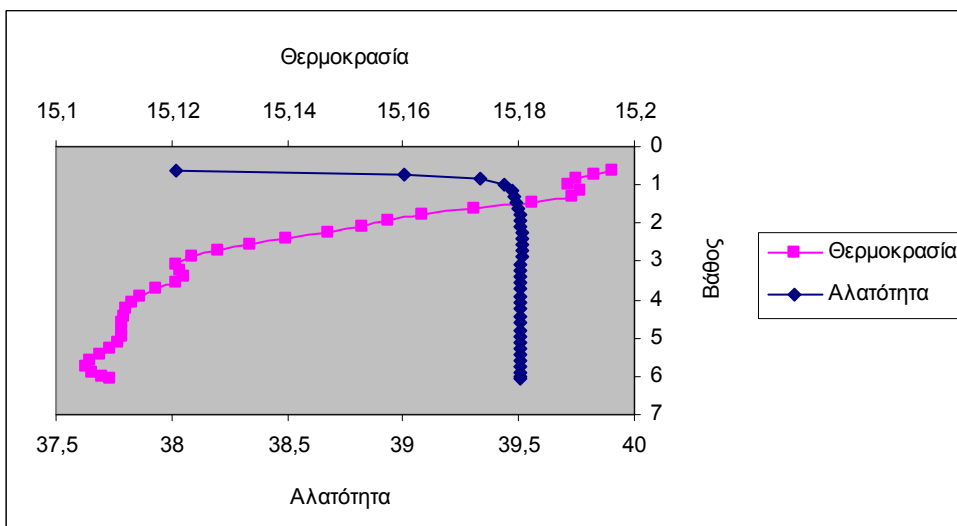
Οι σταθμοί υπό μελέτη και συγκεκριμένα οι σταθμοί που επιλέχθηκαν παρουσιάζουν την ίδια τάση, δηλαδή η αλατότητα αρχίζει να μειώνεται πάνω από το ένα μέτρο και η θερμοκρασία αυξάνεται σταδιακά προς την επιφάνεια.



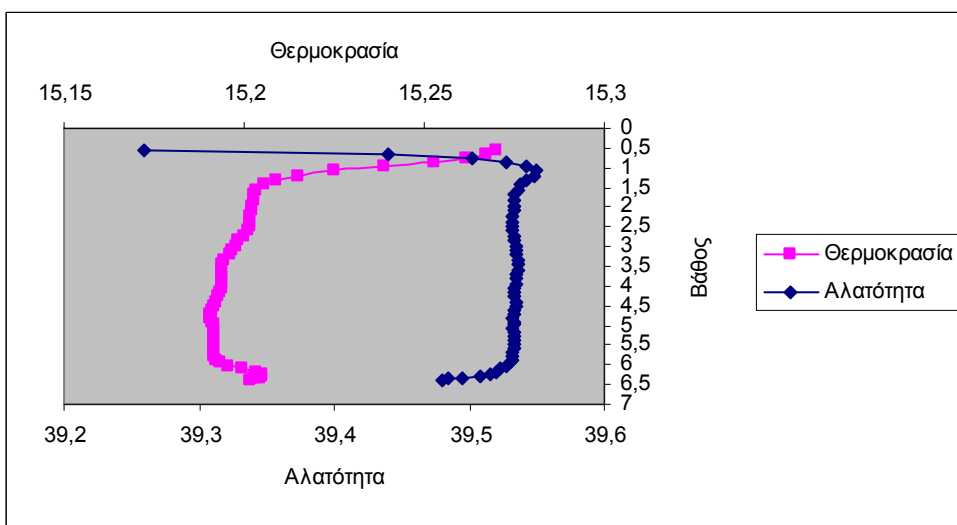
Σχήμα 8. Σταθμός Β



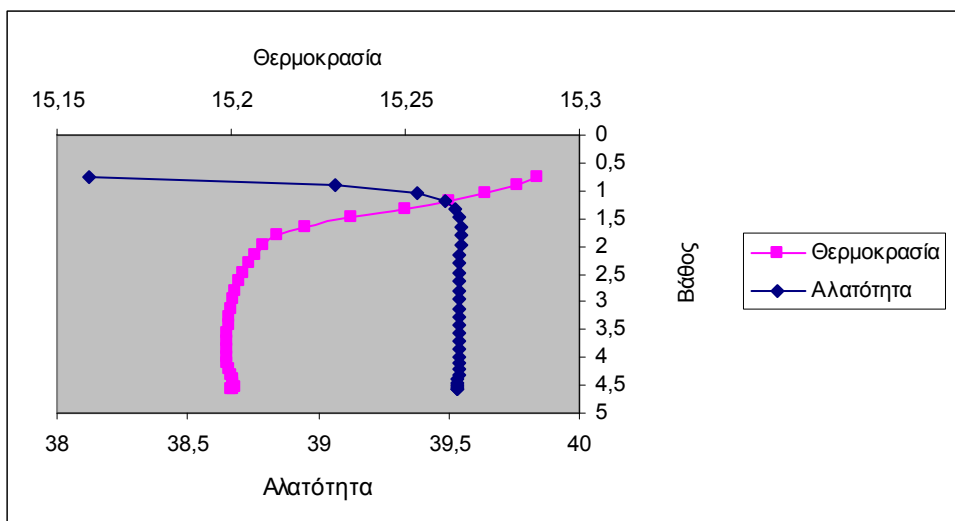
Σχήμα 9. Σταθμός Α



Σχήμα 10. Σταθμός D



Σχήμα 11. Σταθμός S6

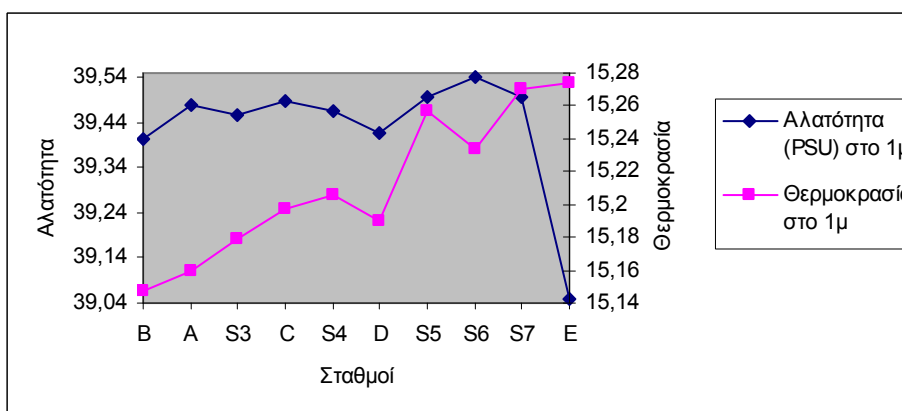


Σχήμα 12. Σταθμός E

β) Σύγκριση των σταθμών μεταξύ τους σε βάθος 1μ

Στο Σχήμα 13 περιγράφεται η μεταβολή της αλατότητας (μπλε γραμμή) και της θερμοκρασίας (κόκκινη γραμμή) σε βάθος 1 μέτρο από την επιφάνεια της θάλασσας σε όλους τους σταθμούς δειγματοληψίας στην περιοχή Θέρμα για το μήνα Νοέμβριο, με πορεία προς το εσωτερικό του κόλπου της Γέρας.

Στο διάγραμμα από το Σχήμα 13 της πρώτης δειγματοληψίας στην περιοχή Θέρμα, παρατηρείται ότι η θερμοκρασία και η αλατότητα ακολουθούν την ίδια τάση, εκτός από τους σταθμούς S6, S7 και E. Μεταξύ των σταθμών δεν υπάρχουν σημαντικές διαφορές στην αλατότητα και μόνο ο σταθμός E παρουσιάζει πιο χαμηλή αλατότητα (39,0491) σε σύγκριση με τους υπόλοιπους σταθμούς και η θερμοκρασία του είναι λίγο υψηλότερη (15,2736°C) σε σχέση με τους σταθμούς B, A, C, S4, και D. Πιθανόν ο σταθμός E να έχει επηρεαστεί από τις απορροές των λουτρών στα Θέρμα.



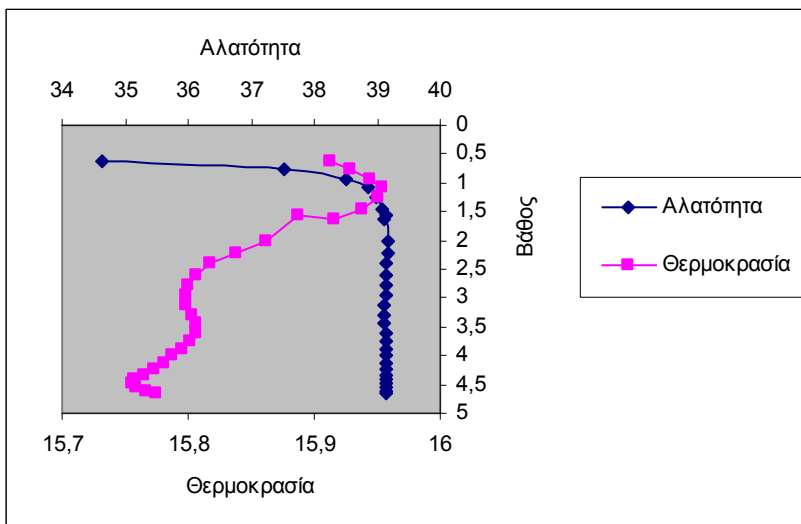
Σχήμα 13. Μεταβολή αλατότητας και θερμοκρασίας το Νοέμβριο στα Θέρμα σε βάθος 1μ

5.5.2 Δεύτερη δειγματοληψία

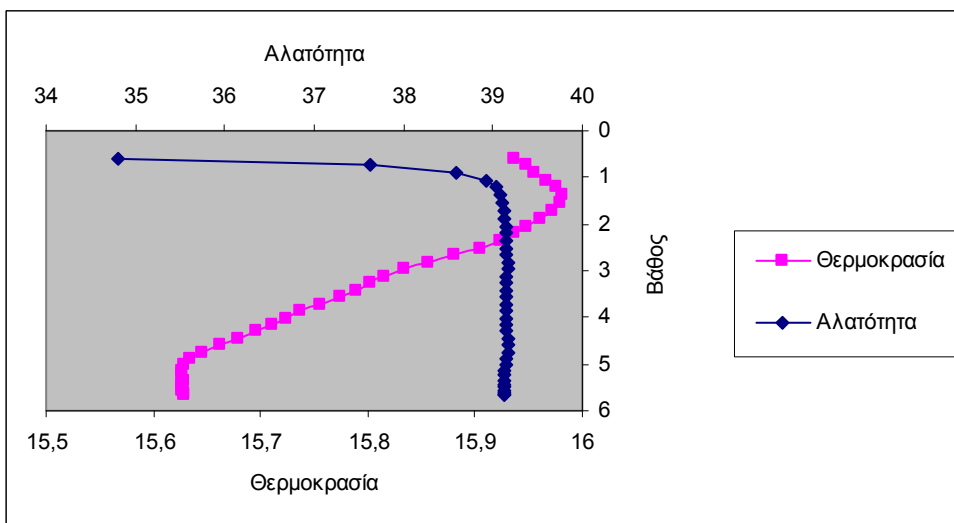
α) Προφίλ θερμοκρασίας και αλατότητας

Για τη δειγματοληψία το μήνα Απρίλιο στην περιοχή Θέρμα επιλέγονται οι σταθμοί Β, Α, D, S9, S10, S11 και Ε για να μελετηθούν τα διαγράμματα από τα προφίλ αλατότητας και θερμοκρασίας. Στο Σχήμα 15, 14, 16, 17, 18, 19, 20 περιγράφονται οι μεταβολές των δύο παραμέτρων, της θερμοκρασίας (κόκκινη γραμμή) και της αλατότητας (μπλε γραμμή), με το βάθος για τους σταθμούς Β, Α, D, S9, S10, S11 και Ε αντίστοιχα.

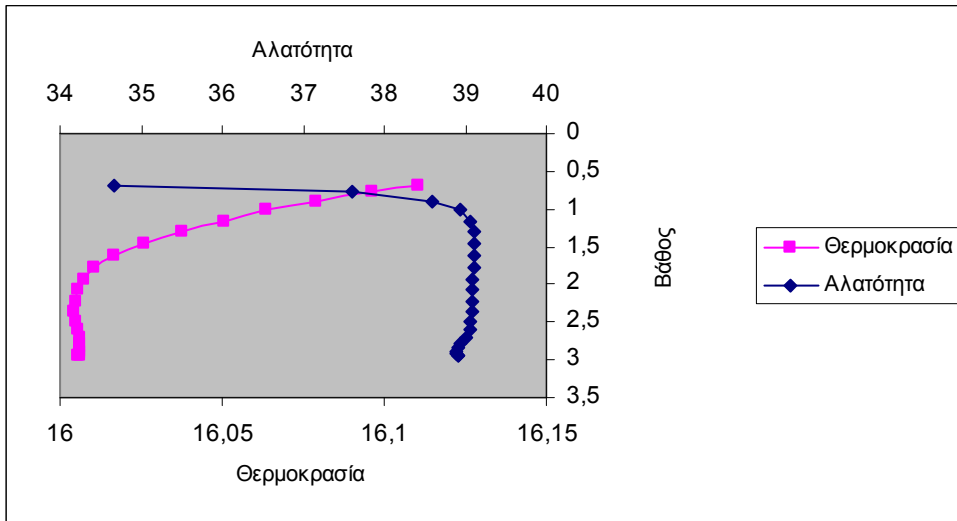
Στη δεύτερη δειγματοληψία οι σταθμοί Β, Α, D, S9, S10, S11 και Ε παρουσιάζουν παρόμοια τάση, με τη δειγματοληψία του Νοεμβρίου, δηλαδή η αλατότητα αρχίζει να μειώνεται πάνω από το ένα μέτρο και η θερμοκρασία αρχίζει να αυξάνεται προς την επιφάνεια.



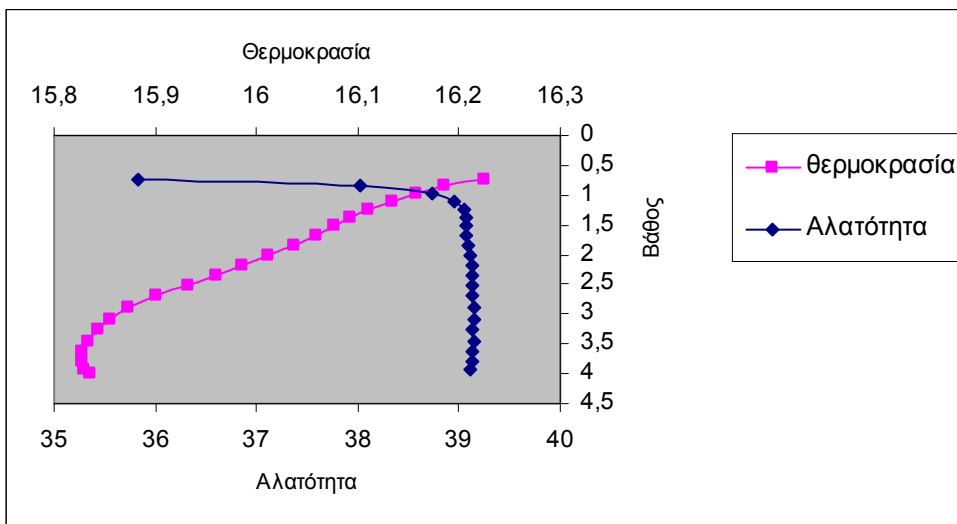
Σχήμα 14. Σταθμός Α



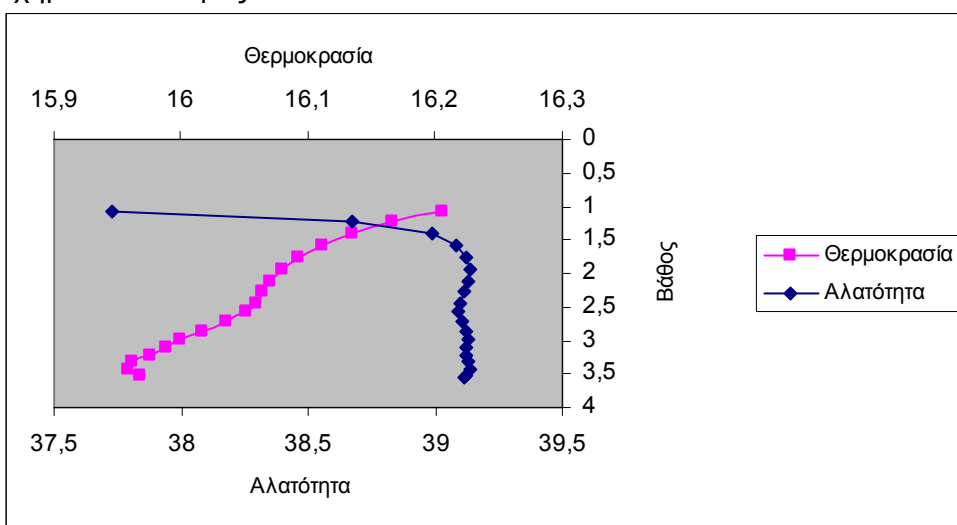
Σχήμα 15. Σταθμός Β



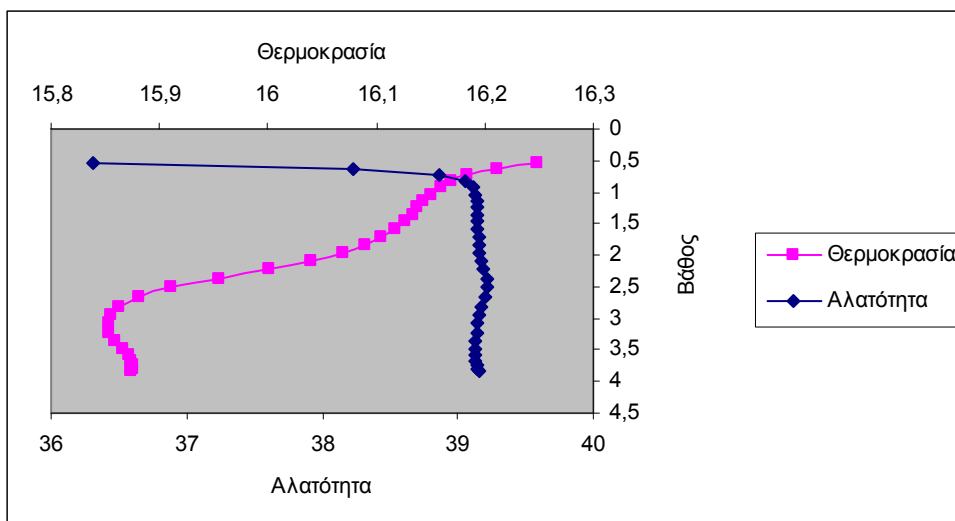
Σχήμα 16. Σταθμός D



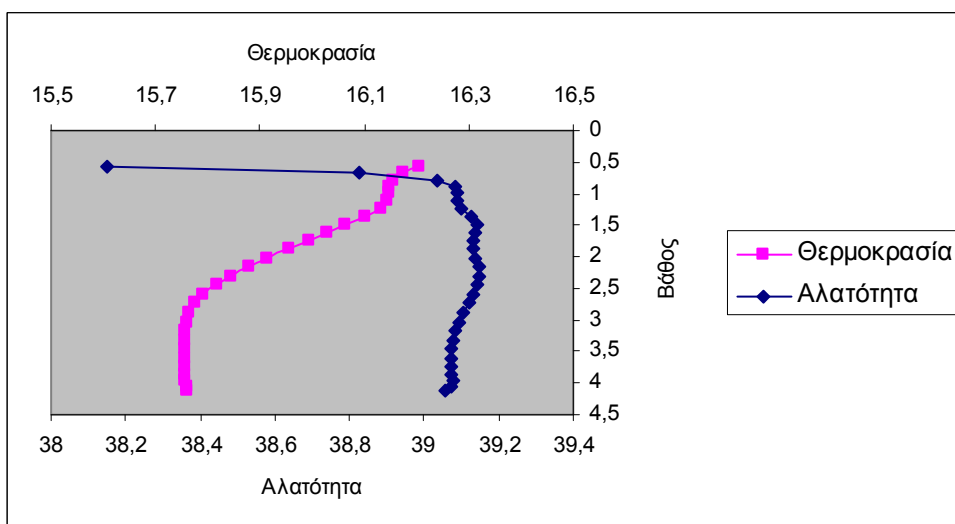
Σχήμα 17. Σταθμός S9



Σχήμα 18. Σταθμός S10



Σχήμα 19. Σταθμός S11



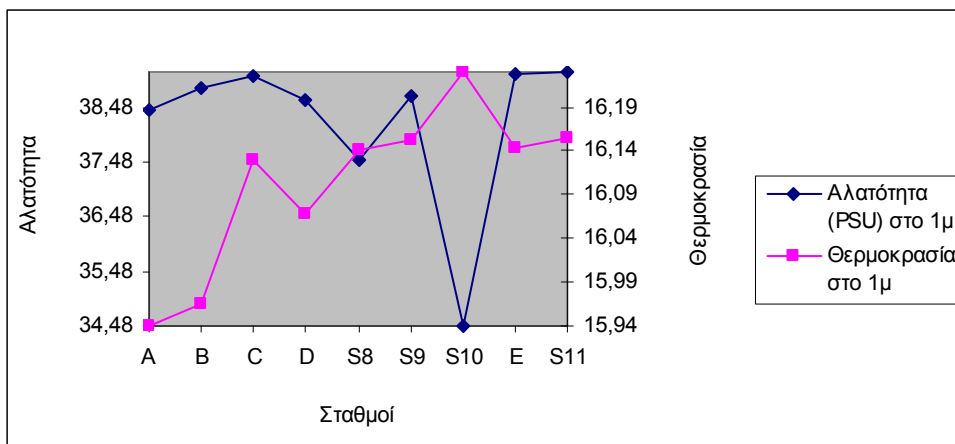
Σχήμα 20. Σταθμός E

β) Σύγκριση των σταθμών μεταξύ τους σε βάθος 1μ

Στο Σχήμα 21 περιγράφεται η μεταβολή της θερμοκρασίας και της αλατότητας σε βάθος 1 μέτρο από την επιφάνεια της θάλασσας για τους σταθμούς δειγματοληψίας στην περιοχή Θέρμα με πορεία προς το εσωτερικό του κόλπου.

Από το γράφημα στο Σχήμα 21 παρατηρείται ότι όλοι οι σταθμοί έχουν χαμηλή αλατότητα. Οι σταθμοί A και B στους οποίους είχαμε οπτική επαφή με τις αναβλύσεις γλυκού νερού στην επιφάνεια της θάλασσας (Εικ 1α) και β)) είχαν χαμηλή αλατότητα (38,4128 και 38,8272 αντίστοιχα), όπως και ο σταθμός D (38,6075) αλλά και οι σταθμοί S8 και S10 είχαν ακόμα πιο χαμηλή αλατότητα (37,5156 και 34,4835 αντίστοιχα). Όσον αφορά στη θερμοκρασία κυμαίνεται μεταξύ 15,9408 και 16,2293, με τις χαμηλότερες τιμές να προκύπτουν στους σταθμούς A, B και D. Ο σταθμός S10 είναι ακριβώς απέναντι από τις

απορροές των λουτρών και πιθανόν η υψηλή θερμοκρασία, με τη χαμηλή αλατότητα να προέρχονται από εκεί.



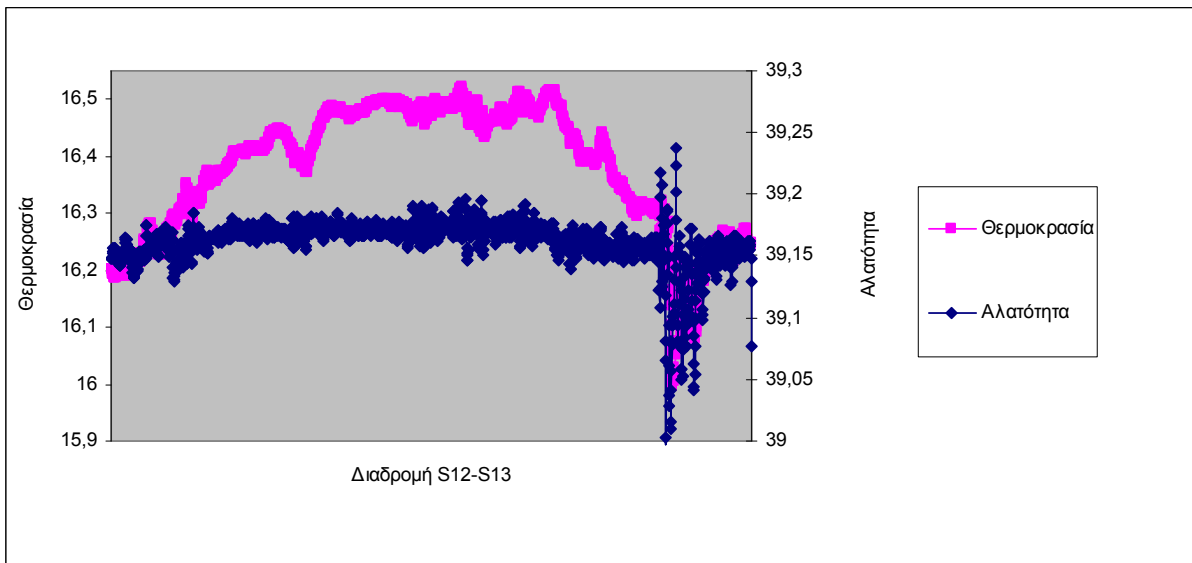
Σχήμα 21. Μεταβολή αλατότητας και θερμοκρασίας στα Θέρμα τον Απρίλιο σε βάθος 1μ

5.6 Μεταβολή αλατότητας και θερμοκρασίας κατά μήκος του κόλπου

Κατά τη διάρκεια της δεύτερης δειγματοληψίας του Απριλίου πραγματοποιήθηκε κατά μήκος του κόλπου της Γέρας, στις δύο περιοχές υπό μελέτη, καταγραφή της μεταβολής της αλατότητας και της θερμοκρασίας σε σταθερό βάθος. Οι δύο πορείες που ακολούθησε το σκάφος φαίνονται στο χάρτη 2 και 3 για τις περιοχές Αγία Μελάνη και Θέρμα αντίστοιχα.

Το Σχήμα 22 περιγράφει τη μεταβολή των δύο παραμέτρων σε σταθερό βάθος (περίπου 0,5 μέτρα από την επιφάνεια της θάλασσας) στα Θέρμα. Στον πρωτεύον άξονα ψ αναγράφονται οι τιμές της θερμοκρασίας (κόκκινη γραμμή) και στο δευτερεύον άξονα ψ αναγράφονται οι τιμές της αλατότητας (μπλε γραμμή). Ο άξονας χ είναι η πορεία S12-S13 (Χάρτης 3).

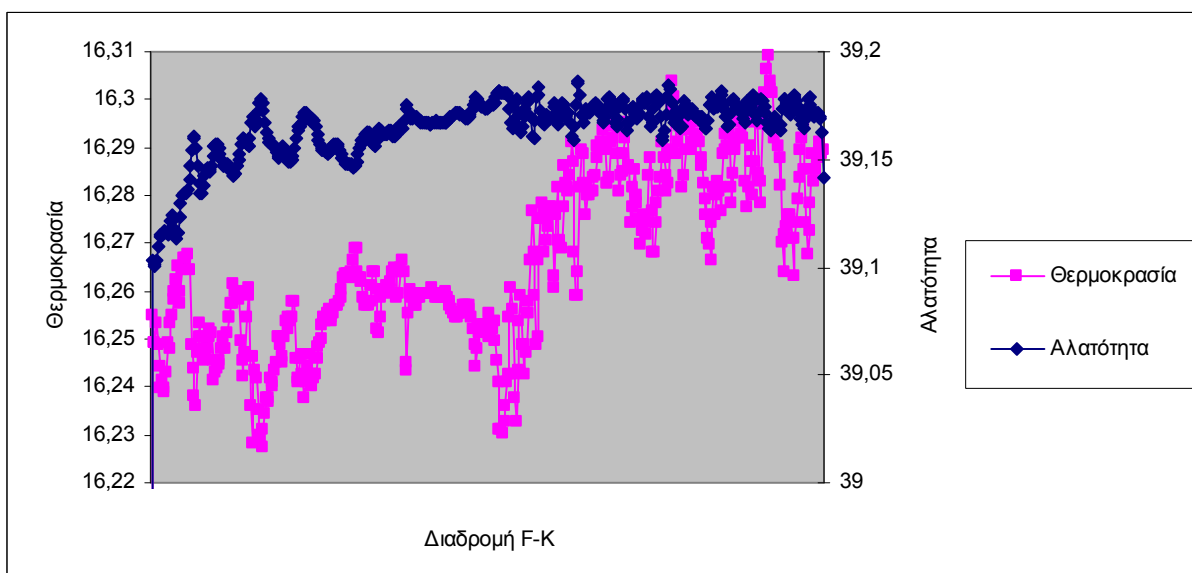
Από το γράφημα στο Σχήμα 22 φαίνεται ότι προς το τέλος της διαδρομής υπάρχει μια μεγάλη διακύμανση στις τιμές της αλατότητας και παρουσιάζεται η ίδια τάση στη θερμοκρασία. Από το χάρτη 3 φαίνεται ότι η αλατότητα στην περιοχή Θέρμα είναι δεν παρουσιάζει μεγάλες διαφορές (περίπου 39,15 psu) και μόνο στο τέλος της διαδρομής αυτής, γύρω από τους σταθμούς A και B στους οποίους είχε παρουσιαστεί το φαινόμενο της υποθαλάσσιας ανάβλυσης γλυκού νερού (Εικ 1 α) και β)) προκύπτει μια τάση αυξομείωσης (39 έως 39,25 psu). Από το γράφημα της μεταβολής των δύο παραμέτρων στα Θέρμα προκύπτει ότι η θερμοκρασία κυμαίνεται από 16 έως περίπου 16,5, με χαμηλότερες θερμοκρασίες κοντά στους σταθμούς A και B (16 έως 16,3°C).



Σχήμα 22. Μεταβολή της αλατότητας και της θερμοκρασίας στα Θέρμα κατά μήκος της ακτογραμμής σε σταθερό βάθος

Ομοίως το Σχήμα 23 περιγράφει τη μεταβολή της αλατότητας και της θερμοκρασίας σε σταθερό βάθος στην Αγία Μελάνη.

Για την περιοχή της Αγίας Μελάνης (Σχήμα 23) δεν παρουσιάζεται μεγάλη διακύμανση της αλατότητας και της θερμοκρασίας. Μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι η θερμοκρασία αρχίζει να αυξάνει από τα μέσα περίπου της διαδρομής, δηλαδή περίπου στους σταθμούς G και I (Χάρτης 2) και η αλατότητα στην αρχή της διαδρομής αρχίζει να αυξάνει από 39,10 έως 39,17psu προς το τέλος της.



Σχήμα 23. Μεταβολή της αλατότητας και της θερμοκρασίας στην Αγία Μελάνη κατά μήκος της ακτογραμμής

6 Συμπεράσματα και προτάσεις για μελλοντική έρευνα

Από τις δύο δειγματοληψίες του Νοεμβρίου και του Απριλίου μπορούμε να πούμε ότι τα προφίλ θερμοκρασίας και αλατότητας δεν παρουσίασαν τα αναμενόμενα αποτελέσματα, ειδικά για τους σταθμούς Α και Β στους οποίους είχαν εντοπιστεί οι αναβλύσεις γλυκού νερού στον κόλπο της Γέρας στην περιοχή Θέρμα κοντά στον Άγιο Τζαρτζαλιάρη (Εικ 1 α) και β)). Σε όλα τα διαγράμματα των προφίλ παρουσιάστηκε η ίδια τάση δηλαδή στο επιφανειακό στρώμα της θάλασσας υπάρχει ένα στρώμα νερού με μικρότερη αλατότητα, ενώ στην υπόλοιπη στήλη παραμένει σταθερό. Θα αναμενόταν σε περιοχές με ανάβλυση υπόγειου νερού να υπάρχει στρώμα μικρότερης αλατότητας και χαμηλής θερμοκρασίας στο βυθό, το οποίο θα αναδυόταν στην επιφάνεια. Παρόλα αυτά ακόμα και ο σταθμός S1 ο οποίος χρησιμοποιήθηκε σαν σημείο αναφοράς έδειξε την ίδια τάση με όλους τους σταθμούς, γεγονός το οποίο δεν επιτρέπει τη σύγκριση μεταξύ των σταθμών δειγματοληψίας. Ακόμα και σε σταθμούς στους οποίους παρουσιάστηκαν κάποιες διακυμάνσεις στις τιμές των δύο παραμέτρων, οι διαφορές ήταν ιδιαίτερα μικρές, για να εξαχθούν συμπεράσματα.

Κατά τη σύγκριση των σταθμών μεταξύ τους σε βάθος 1 μέτρο, για την περιοχή της Αγίας Μελάνης, στην πρώτη δειγματοληψία, παρουσιάστηκαν χαμηλές τιμές αλατότητας και θερμοκρασίας κάποιων σταθμών, και συγκεκριμένα του Κ και J. Όμως κατά τη μελέτη των προφίλ αλατότητας και θερμοκρασίας των δύο σταθμών δεν παρουσιάστηκε διαφορετική τάση σε σχέση με τους υπόλοιπους σταθμούς. Ομοίως, και για την δεύτερη δειγματοληψία οι χαμηλές τιμές αλατότητας των σταθμών Κ και F δεν έδειξαν διαφορές στη μελέτη των αντίστοιχων προφίλ.

Για την περιοχή Θέρμα κατά τη σύγκριση των σταθμών μεταξύ τους σε βάθος 1 μέτρο, για την πρώτη και τη δεύτερη δειγματοληψία, ο μόνος σταθμός με χαμηλή αλατότητα ήταν ο σταθμός Ε και ο σταθμός S10 αντίστοιχα, που φαίνονται να επηρεάζονται από τις επιφανειακές απορροές των λουτρών στα Θέρμα. Όμως τα προφίλ θερμοκρασίας και αλατότητας των δύο σταθμών, δεν εμφάνισαν κάποια ιδιαίτερη τάση.

Κατά τη μεταβολή της αλατότητας και της θερμοκρασίας κατά μήκος του κόλπου στην περιοχή Θέρμα παρουσιάστηκε διακύμανση των δύο παραμέτρων κοντά στους σταθμούς Α και Β αλλά τα προφίλ θερμοκρασίας και αλατότητας, δεν μας επιτρέπουν να καταλήξουμε σε κάποιο συγκεκριμένο συμπέρασμα για την περιοχή μελέτης. Ενώ για την Αγία Μελάνη, στη διαδρομή F-K, η περιοχή εμφανίζεται να έχει ίδια αλατότητα και η θερμοκρασία να έχει μια μικρή άνοδο στα μέσα της διαδρομής. Αυτό φαίνεται να συμφωνεί με το διάγραμμα στο Σχήμα 4 που παρουσιάζει τη σύγκριση των σταθμών στο 1 μέτρο, και δείχνει ότι ο σταθμός F έχει πιο χαμηλή αλατότητα σε σχέση με τους υπόλοιπους σταθμούς.

Συμπερασματικά θα λέγαμε ότι η χρήση του CTD, ως μοναδική μέθοδος μέτρησης δεν ενδείκνυται για τον προσδιορισμό των επιπτώσεων στην αλατότητα και στη θερμοκρασία στις περιοχές με αναβλύσεις γλυκού νερού. Καλό θα ήταν για την ανίχνευση και την ποσοτικοποίηση των υποθαλάσσιων αναβλύσεων γλυκού νερού στη θάλασσα να χρησιμοποιούνται περισσότερες από μία μέθοδοι. Δηλαδή θα μπορούσε να γίνει συνδυασμός των μετρήσεων για παράδειγμα, με CTD, με τη μέθοδο ραδονίου, με seepage meters και με χρήση θερμικών εικόνων για την ανίχνευση των διαφορών θερμοκρασίας.

Πάντως για τις δύο περιοχές μελέτης θα μπορούσαμε να πούμε ότι παρουσιάζεται ενδιαφέρον στην περιοχή του Άγιου Τζαρτζαλιάρη, κοντά στα Θέρμα στην οποία εντοπίσαμε οπτικά τις αναβλύσεις, και επιπλέον παρουσιάστηκε διακύμανση της αλατότητας κατά τη μέτρηση της μεταβολής της αλατότητας στην περιοχή αυτή. Όμως τα δεδομένα δεν επαρκούν για να δώσουμε απάντηση για την πιστοποίηση της ύπαρξης των αναβλύσεων στον κόλπο της Γέρας με τη μέθοδο που ακολουθήθηκε.

Σε επόμενη ίσως έρευνα θα μπορούσαν να πραγματοποιηθούν περισσότερες δειγματοληψίες, οι οποίες να επικεντρωθούν σε συγκεκριμένους σταθμούς και να πραγματοποιηθούν πριν και μετά από περίοδο βροχοπτώσεων, ώστε να έχει αυξηθεί η ροή του υπόγειου νερού προς τη θάλασσα και να διευκολυνθεί η μελέτη. Επιπλέον θα χρειαζόταν να γίνει συνδυασμός διαφόρων μεθόδων, ώστε να υπολογιστεί η ροή της ανάβλυσης.

Η έρευνα σχετικά με τις υποθαλάσσιες αναβλύσεις γλυκού νερού θα μπορούσε να συμβάλει στην αντιμετώπιση του προβλήματος της υπερεκμετάλλευσης των υδατικών πόρων ιδιαίτερα σε νησιωτικές περιοχές όπου υπάρχουν αυξημένες απαιτήσεις για νερό, ειδικά όταν η ποιότητα του νερού είναι κατάλληλη ή να χρησιμοποιηθεί σε περιοχές όπου υπάρχουν καλλιέργειες οι οποίες αντιμετωπίζουν προβλήματα άρδευσης. Επιπλέον σε περιοχές όπου η παράκτια ζώνη έχει υποστεί ρύπανση οι υποθαλάσσιες αναβλύσεις στη θάλασσα θα πρέπει να ληφθούν υπόψη ως δίοδος ρυπαντών από τη στεριά στη θαλάσσια περιοχή. Επίσης οι εισροές διαφόρων συστατικών δια μέσω των αναβλύσεων υπόγειου νερού μπορεί να προκαλέσει ευτροφισμό στην παράκτια ζώνη και εκτός από αυτό το «φρέσκο» υπόγειο νερό των αναβλύσεων αλληλεπιδρά και επηρεάζει την επανακυκλοφορία του θαλασσινού νερού, το οποίο επιδρά στην ποιότητα των υπόγειων υδάτων και στην παροχή των θρεπτικών. Γι' αυτό είναι απαραίτητη περαιτέρω έρευνα ιδιαίτερα στον τομέα της διερεύνησης των υπόγειων υδάτων και των πιθανών τρόπων εκμετάλλευσής τους για το μέλλον.

7 Παράρτημα

Πίνακας 1 Συντεταγμένες σταθμών δειγματοληψίας

Σταθμός	Γεωγραφικό πλάτος	Γεωγραφικό μήκος
S1	N39.04.911	E26.31.032
K	N39.05.252	E26.31.162
J	N39.05.321	E26.31.036
I	N39.05.381	E26.30.936
G	N39.05.408	E26.30.919
H	N39.05.430	E26.30.830
S2	N39.05.441	E26.30.844
F	N39.05.646	E26.30.747
S13	N39.06.715	E26.29.734
A	N39.06.800	E26.29.613
B	N39.06.800	E26.29.635
S3	N39.06.853	E26.29.616
D	N39.06.890	E26.29.467
Ag.Tz.	N39.06.920	E26.29.690
S5	N39.06.927	E26.29.363
S4	N39.06.935	E26.29.525
S6	N39.06.969	E26.29.281
C	N39.06.971	E26.29.553
S8	N39.07.009	E26.29.406
S9	N39.07.028	E26.29.359
E	N39.07.049	E26.29.131
S7	N39.07.058	E26.29.138
S10	N39.07.078	E26.29.251
S12	N39.07.093	E26.29.133
S11	N39.07.096	E26.29.107
THERMA	N39.07.171	E26.29.288

7 Βιβλιογραφία

Ξενόγλωσση βιβλιογραφία:

1. Abraham, D. M., Charette, M. A., Allen, M. C., Rago, A., and Kroeger, K. D., 2003. Radiochemical estimates of submarine groundwater discharge to Waquoit Bay, Massachusetts. *Biol. Bull.* 205, 246-247
2. Bellos, D., Sawidis, T. and Tsekos, I., 2004. Nutrient chemistry of River Pinios (Thessalia, Greece). *Environment International* 30, 105-115.
3. Burnett, W. C., Taniguchi M. and Oberdorfer J., 2001. Measurement and significance of the direct discharge of groundwater into the coastal zone. *Journal of Sea Research* 46, 109-116.
4. Burnett, W. C., Bokuniewicz, H., Huettel, M., Moore, W.S., Taniguchi, M., 2003. Groundwater and pore water inputs to the coastal zone. *Biochemistry* 66, 3-33.
5. Burnett, W.C., Aggarwal, P.K., Aureli, A., Bokuniewicz, H., Cable, J.E., Charette, M.A., Kontar, E., Krupa, S., Kulkarni, K.M., Loveless, A., Moore, W.S., Oberdorfer, J.A., Oliveira, J., Ozyurt, N., Povinec, P., Privitera, A.M.G., Rajar, R., Ramessur, R.T., Scholten, J., Stieglitz, T., Taniguchi, M., Turner, J.V., 2006. Quantifying submarine groundwater discharge in the coastal zone via multiple methods. *Science Of The Total Environment* 367, 498-543.
6. Burnett, W. C., Dulaiova, H., article in press. Radon as a tracer of submarine groundwater discharge into a boat basin in Donnalucata, Sicily. *Continental Shelf Research*.
7. Crusius, J, 2004. Putting Radon to work: Identifying coastal ground-water discharge sites (<http://soundwaves.usgs.gov/2005/06/fieldwork3.html>)
8. Costa, J.L., Massone, H., Martinez, D., Suero, E.E., Vidal, C.M. and Bedmar, F., 2002. Nitrate contamination of a rural aquifer and accumulation in the unsaturated zone. *Agricultural Water Management* 57, 33-47.
9. Custodio, E., 2005. Intensive use of ground water and sustainability. *Ground Water* 43, 291.
10. Edwards, A.C., Sinclair, A.H. and Domburg, P., 2003. Identification, designation and formulation of an action plan for a nitrate vulnerable zone: a case study of the Ythan catchment, NE Scotland. *European Journal of Agronomy* 20, 165-172.
11. Estrela, T., Marcuella, C., Inglesias, A., 1996. Water resources, problems in southern Europe, An overview report. European Topic Centre On Inland Waters, EEA Copenhagen.

12. Garrison, G. H., and Glenn, C. R., 2003. Measurement of submarine groundwater discharge in Kahana Bay, O'ahu, Hawaii. *Limnol. Oceanogr.* 48(2), 920-928.
13. Hwang DW., Kim G., Lee Y-W, Yang H-S. Estimating submarine inputs of groundwater and nutrients to a coastal bay using radium isotopes. *Mar Chem* 2005 96:61-71.
14. International Symposium, 2002. Low-lying coastal areas-Hydrology and integrated coastal zone management. Bremerhaven, Germany, 9-12 September. In: UNESCO, 2004. Submarine groundwater discharge. Management implications, measurements and effects.
15. Kim, G., Ryu Joe-Woong, Yang Han-Soeb, Yun Seong-Taek, 2005. Submarine groundwater discharge into the Yellow Sea revealed by ^{228}Ra and ^{226}Ra isotopes: Implications for global silicate fluxes. *Earth and Science Planetary Letters* 237, 156-166.
16. Mijatovic, B., 2007. The groundwater discharge in the Mediterranean karst coastal zones and freshwater tapping: set problems and adopted solutions. Case studies. *Environ Geol* 51, 737-742.
17. Moore, W. S., 1999. The subterranean estuary: a reaction zone of ground water and sea water. *Marine Chemistry* 65, 111-125.
18. Moore. W.S., 2003. Sources and fluxes of submarine groundwater discharge delineated by radium isotopes. *Biochemistry* 66, 75-93
19. Moore, W. S., 2006. The role of submarine groundwater discharge in coastal biogeochemistry. *Journal of Geochemical Exploration* 88, 389-393.
20. Oliveira, J., Burnett, W.C., Mazzilli, B.P., Braga, E.S., Farias, L. A., Christoff, J., Furtado, V.V., 2003. Reconnaissance of submarine groundwater discharge at Ubatuba coast, Brazil, using ^{222}Rn as a natural tracer. *Journal of Environmental Radioactivity* 69, 37-52.
21. SEASOFT-Win32: SBE Data Processing, User's manual, 2003, Sea-Bird Electronics, Washington.
22. Smith, A.J. and Nield, S.P., 2003. Groundwater discharge from the superficial aquifer into Cockburn Sound Western Australia: estimation by inshore water balance. *Biochemistry* 66, 125-144.
23. Swarzenski, P., Reich, C., Kroeger, K., Blake-Collins, B., and Greenwood, J., 2005. In search of submarine ground-water discharge along the Suwannee River Delta, Florida (<http://soundwaves.usgs.gov/2005/06/fieldwork3.html>)
24. Tan, C.S., Drury, C.F., Reynolds, W.D., Groenevelt, P.H. and Dadfar, H., 2002. Water and nitrate loss through tiles under a clay loam soil in Ontario after 42 years of consistent fertilization and crop rotation. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 93, 121-130.

25. Taniguchi, M., Burnett, W.C., Cable, J.E., and Turner, J.V., 2002. Investigation of submarine groundwater discharge. *Hydrol. Process.* 16, 2115-2129
26. Thorburn, P. J., Biggs, J. S., Weier, K. L. and Keating, B. A., 2003. Nitrate in groundwaters of intensive agricultural areas in coastal Northeastern Australia. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 94, 49-58.
27. Tzimopoulos X. D., Ballas L.G., 2005. Mathematic model of simulation - management - optimization in the Pythio-Elassona aquifer region. *WRM-WB*: 21-27.
28. UNESCO, 2000. Programme on assessment and management implications of submarine groundwater discharge into the coastal zone.
29. UNESCO, 2004. Submarine groundwater discharge. Management implications, measurements and effects.
30. 4rth ELOISE Conference, Rende, Italy, 5-7 September, 2001.

Ελληνική βιβλιογραφία:

1. Αρχοντίσης Γ.Β., 1998. Ποσοτική εκτίμηση του θαλάσσιου ευτροφισμού από τις μη σημειακές πηγές ρύπανσης, Διδακτορική διατριβή, Τμήμα Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Μυτιλήνη, Ιούνιος.
2. Δελτίο της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας τομ.ΧΧΧVI, 2004. Πρακτικά 10^{ου} Διεθνούς συνεδρίου, Θεσσαλονίκη.
3. Δούτσος Θεόδωρος, 2000, Γεωλογία: Αρχές και Εφαρμογές, Leader Books A.E, Αθήνα
4. ΕΟΠ (Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος), 2003. Τα ύδατα στην Ευρώπη: Αξιολόγηση βάσει δεικτών – Σύνοψη. Λουξεμβούργο: Υπηρεσία Επίσημων Εκδόσεων των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων.
5. ΘΑΡΡΟΣ, Εφημερίδα της Καλαμάτας, 12/2/2007.
6. Υπουργείο ανάπτυξης, 2003. Σχέδιο προγράμματος διαχείρισης των υδατικών πόρων της χώρας, Διεύθυνση Υδατικού δυναμικού και υδατικών πόρων, Αθήνα.
7. USGS, 2006. (<http://ga.water.usgs.gov/edu/watercyclegreek.htm>)
8. Φυτιάνος Κώστας, 1996. Η ρύπανση των θαλασσών. Β΄ έκδοση. UNIVERSITY STUDIO PRESS, Εκδόσεις Επιστημονικών Βιβλίων και Περιοδικών. ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ.

Ηλεκτρονικές διευθύνσεις

http://www.geo.auth.gr/763/ch5_files/p13.jpg

<http://www.aegean.gr/aegean/greek/schools.htm>

