



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑΣ - ΠΕΤΡΟΛΟΓΙΑΣ - ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΟΛΟΓΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΓΕΩΧΗΜΙΚΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΥΔΑΤΩΝ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΠΕΥΚΩΝ (ΡΕΤΖΙΚΙ) ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

Αικατερίνη Μιχαλίδου

A.E.M. 4324

Υπεύθυνος καθηγητής: Βασίλης Μέλφος

Θεσσαλονίκη 2013

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	3
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	4
ABSTRACT	5
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	6
2. ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΚΑΙ ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	9
2.1 ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΘΕΣΗ	9
2.2 ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ	10
2.2.1 ΠΕΡΙΡΟΔΟΠΙΚΗ ΖΩΝΗ	10
2.2.2 ΣΕΡΒΟΜΑΚΕΔΟΝΙΚΗ ΜΑΖΑ	12
2.3 ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ	15
2.4. ΣΕΙΣΜΙΚΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ	19
2.5 ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ	19
3. ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	23
3.1 Ο ΔΡΟΜΟΣ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΣΤΟ ΡΕΤΖΙΚΙ	23
3.2 ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΟΥ ΑΣΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΤΩΝ ΠΕΥΚΩΝ	25
4. ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΤΩΝ ΒΑΡΕΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ ΣΤΑ ΥΠΟΓΕΙΑ ΥΔΑΤΑ ΚΑΙ ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ	28
5. ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ ΥΔΑΤΩΝ	30
6. ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΡΕΥΝΑΣ	35
7. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	38
7.1. ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	38
7.2 ΓΕΩΧΗΜΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ ΤΩΝ ΥΔΑΤΩΝ	39
7.3 ΟΡΓΑΝΙΚΕΣ ΟΥΣΙΕΣ	45
8. ΣΥΖΗΤΗΣΗ	46
9. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	47
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	49

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα εργασία με τίτλο: «Γεωχημική περιβαλλοντική μελέτη των υπογείων υδάτων στην περιοχή Πεύκων (Ρετζίκι) Θεσσαλονίκης», αποτελεί διπλωματική εργασία, η οποία εκπονήθηκε κατά το ακαδημαϊκό έτος 2012-2013, στο τμήμα Γεωλογίας, της Σχολής Θετικών Επιστημών του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης. Αντικείμενο της πτυχιακής αυτής εργασίας αποτελεί η γεωχημική και περιβαλλοντική μελέτη των υπογείων υδάτων στην περιοχή μελέτης Πεύκα (Ρετζίκι), η οποία βρίσκεται στο Νομό Θεσσαλονίκης, στη Βόρεια Ελλάδα.

Θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στον Λέκτορα Βασίλη Μέλφο για την ανάθεση του θέματος, την εμπιστοσύνη που μου έδειξε, καθώς και για τη συνεχή παροχή βοήθειας και επιστημονικών υποδείξεων, την υπομονή και το ενδιαφέρον που μου προσέφερε καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης αυτής της εργασίας. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Αναπληρωτή Καθηγητή υδρογεωλογίας κ. Κωνσταντίνο Βουδούρη για τη βοήθεια του στην υπαίθρια δειγματοληψία, καθώς και για την καθοδήγηση του κατά τη διάρκεια της εξέλιξης της πτυχιακής. Θερμά ευχαριστώ επίσης τη φίλη και συνάδελφο γεωλόγο Χρυσούλα Παπαχαραλάμπου για την πολύτιμη βοήθειά της κατά την υπαίθρια δειγματοληψία των υδάτων και κατά την προετοιμασία των δειγμάτων για περαιτέρω χημικές αναλύσεις.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες θα ήθελα να εκφράσω στη φίλη και συνάδελφο γεωλόγο Κατερίνα Γιούρη για τη βοήθεια της κατά την υπαίθρια δειγματοληψία, την προετοιμασία των υδάτων στο εργαστήριο, για τη μέτρηση της παραμέτρου COD στο τμήμα Χημείας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης και γενικότερα για τη βοήθεια και την ανταλλαγή απόψεων κατά τη διάρκεια εξέλιξης της πτυχιακής. Την ευχαριστώ επίσης και για τις εύστοχες παρατηρήσεις και σχολιασμούς στο τελικό κείμενο της πτυχιακής αυτής εργασίας. Ακόμη, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Αριστείδη Στεφανίδη, κάτοικο της περιοχής Πεύκων για τις πληροφορίες που μου παρείχε σχετικά με τις γεωτρήσεις και την αστική εξέλιξη της περιοχής έρευνας.

Τέλος, ένα μεγάλο ευχαριστώ στους γονείς μου που με στήριξαν τόσο οικονομικά όσο και ηθικά καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία αναφέρεται στην περιβαλλοντική και γεωχημική μελέτη των υπόγειων υδάτων στην περιοχή Πεύκων (Ρετζίκι) Θεσσαλονίκης. Η περιοχή των Πεύκων βρίσκεται κατά μήκος μιας κοιλάδας, στο Βορειοδυτικό τμήμα της πόλης της Θεσσαλονίκης, στη Βόρεια Ελλάδα. Η ευρύτερη περιοχή έρευνας έχει επιβαρυνθεί τα τελευταία 20 χρόνια από διάφορες ανθρωπογενείς δραστηριότητες όπως ανεξέλεγκτη απόρριψη υγρών οικιακών αποβλήτων, στερεών απορριμμάτων και μπαζών.

Σκοπός της μελέτης αυτής είναι να προσδιοριστεί η χημική σύσταση των υδάτων της περιοχής έρευνας. Πιο συγκεκριμένα, σκοπό της εργασίας αυτής αποτελεί ο προσδιορισμός των συγκεντρώσεων των κύριων στοιχείων, των ιχνοστοιχείων και των οργανικών ουσιών στα ύδατα της περιοχής μελέτης, έτσι ώστε να διερευνηθεί η πιθανότητα ρύπανσης σε αυτά.

Για την παρούσα πτυχιακή εργασία, πραγματοποιήθηκε δειγματοληψία υδάτων στο κεντρικό τμήμα της περιοχής των Πεύκων το Δεκέμβριο 2011. Επιλέχθηκαν 5 θέσεις δειγματοληψίας ύδατος: τρία πηγάδια, μία γεώτρηση, και ένα επιφανειακό δείγμα που προέρχεται από πηγή. Τα ύδατα αναλύθηκαν ως προς τις συγκεντρώσεις τους σε κύρια στοιχεία, ιχνοστοιχεία (στα οποία εμπεριέχονται και τα βαρέα μέταλλα) και οργανικές ουσίες (COD).

Όσον αφορά τις χημικές αναλύσεις των υδάτων, οι περιεκτικότητες σε Ca, Mg και Fe είναι αυξημένες σε ορισμένες θέσεις, γεγονός που δείχνει ότι τα συγκεκριμένα ύδατα είναι ακατάλληλα για χρήση ως πόσιμα. Οι περιεκτικότητες των βαρέων μετάλλων δεν ξεπερνούν τα θεσμοθετημένα όρια από την Ευρωπαϊκή Ένωση.

Σε ότι αφορά τη φόρτιση των υδάτων σε οργανικές ουσίες, οι τιμές της παραμέτρου COD δείχνουν πως τα ύδατα δεν είναι μολυσμένα.

ABSTRACT

The present work refers to the environmental and geochemical study of the underground water of Pefka area of Thessaloniki (Retziki). Pefka area is located along a valley, at the northwestern part of the city of Thessaloniki, in Northern Greece. Over the last 20 years, the broader region was affected by various human activities such as non-controlled release of waste water, of solid garbage and debris.

The purpose of this work is to determine the chemical composition of the underground water in the study area. More specifically, the purpose of this study is to determine the concentration of the major elements, the trace elements and the organic substances of the water in order to define the degree of the possible environmental pollution of the area.

For the purposes of the present study, water sampling took place at the central part of the Pefka area in December 2011. Five sites were sampled: 3 wells, one borehole, and one superficial water sample coming from a spring. The water samples were analyzed for their concentration in major elements, trace elements (heavy metals are included), and organic substances (COD).

The results of the water analyses show that the concentration of Ca, Mg and Fe is elevated in some samples, indicating that the water is inappropriate and can not be used as drinking water. The concentration of heavy metals in all water samples do not exceed the permissible limits of the water quality criteria proposed by the European Union.

The results of the organic substances (COD) indicate that all water in the study area is not polluted.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η βιόσφαιρα, ή αλλιώς το φυσικό περιβάλλον, αποτελείται από το χερσαίο και το υδάτινο οικοσύστημα. Τα οικοσυστήματα αυτά, και κατ' επέκταση το ίδιο το περιβάλλον, είναι ιδιαίτερα ευαίσθητα στη ρύπανση. Ορισμένες από τις πιο βλαβερές ουσίες που συνήθως προέρχονται από τις ανθρωπογενείς δραστηριότητες και ρυπαίνουν το φυσικό περιβάλλον είναι οι εξής: H_2SO_4 , H_2SO_3 , HF , HNO_3 , HNO , τα ραδιονουκλεΐδια και διάφορα ιχνοστοιχεία. Ανάμεσα στους προαναφερθέντες χημικούς ρυπαντές, τα ιχνοστοιχεία έχουν τη σημαντικότερη επίδραση στην ανθρώπινη υγεία, αλλά και στο περιβάλλον γενικότερα (Bowen 1979, Kabata-Pendias 2011).

Τις τελευταίες δεκαετίες έχει παρατηρηθεί πως οι ανθρώπινες δραστηριότητες όπως η λειτουργία βαριάς βιομηχανίας, η αυξανόμενη χρήση γεωργικών λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων, η καύση λιγνίτη για την παραγωγή ενέργειας, έχουν αλλοιώσει τους φυσικούς κύκλους των στοιχείων.

Συγκεκριμένα, σημαντικές πηγές ρύπανσης που επιβαρύνουν τα επιφανειακά και στη συνέχεια τα υπόγεια νερά, αποτελούν τα αστικά λύματα, τα βιομηχανικά υγρά απόβλητα, τα γεωργικά υγρά απόβλητα, τα κτηνοτροφικά υγρά απόβλητα, η όξινη βροχή και η διείδυση του θαλασσινού νερού λόγω υπεράντλησης των υπόγειων νερών ή λόγω της ανόδου της στάθμης της θάλασσας, όπως αναφέρει η Kabata-Pendias (2011).

Οι επιπτώσεις της ρύπανσης των υδάτων έχουν πολλές μορφές. Σε περίπτωση που τα επιφανειακά ύδατα ρυπαίνονται από απόβλητα που περιέχουν ουσίες που αποσυντίθενται από μικροοργανισμούς (οργανικές ύλες), μειώνεται στα νερά το οξυγόνο, αφού αυτό καταναλώνεται μέσω της αερόβιας αναπνοής των μικροοργανισμών που λαμβάνουν μέρος στην αποσύνθεση. Η έλλειψη του οξυγόνου μπορεί να προκαλέσει ασφυξία στους φυτικούς και ζωικούς υδρόβιους οργανισμούς που το χρειάζονται για να επιβιώσουν, με αποτέλεσμα την πιθανή καταστροφή ολόκληρου του υδάτινου οικοσυστήματος (Βουδούρης 2009).

Ανάλογα αποτελέσματα στα επιφανειακά νερά προκαλεί η ρύπανση με ανόργανα άλατα που περιέχουν άζωτο και φώσφορο και βρίσκονται συνήθως σε λιπάσματα, απορρυπαντικά και κτηνοτροφικά ή βιομηχανικά απόβλητα. Το άζωτο και ο φώσφορος δημιουργούν ευτροφισμό, δηλαδή υπέρμετρη ανάπτυξη αλγών (φυτοπλαγκτόν) στα επιφανειακά νερά από την υπερβολική τροφοδοσία των νερών με θρεπτικά συστατικά. Ο ευτροφισμός συντελεί στην υπερβολική ανάπτυξη ορισμένων ειδών σε βάρος όλων των άλλων, στη μείωση ή και εξαφάνιση μιας ποικιλίας ειδών με θανάτωση ή μετανάστευσή τους, καθώς και στην πλήρη ή μερική αποξυγόνωση των νερών (Χριστούλας 1991).

Τα επιφανειακά και τα υπόγεια ύδατα μπορεί επίσης να επιβαρυνθούν λόγω της μόλυνσής τους, δηλαδή της παρουσίας παθογόνων μικροοργανισμών σε αυτά. Η μόλυνση οφείλεται κατεξοχήν σε αστικά ή κτηνοτροφικά λύματα. Η ανίχνευση των παθογόνων μικροοργανισμών στο νερό μπορεί να γίνει μετρώντας για παράδειγμα τη συγκέντρωση των κολοβακτηριδίων σε αυτό.

Όσον αφορά το πόσιμο νερό, η νομοθεσία προσδιορίζει τα όρια των συγκεντρώσεων διαφόρων ουσιών που επιτρέπεται να υπάρχουν σε αυτό ώστε να είναι κατάλληλο για κατανάλωση. Το όριο που έχει υιοθετηθεί για την περιεκτικότητα σε φυτοφάρμακα είναι 0,5 μg/L συνολικά (Αντωνόπουλος 2001).

Τα υπόγεια νερά είναι επίσης ιδιαίτερα ευαίσθητα στη ρύπανση, και επιπλέον έχουν περιορισμένη ικανότητα αυτοκαθαρισμού. Τα αστικά λύματα, τα χημικά λιπάσματα και τα κτηνοτροφικά απόβλητα που καταλήγουν στον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα, προκαλούν αύξηση των νιτρικών αλάτων. Έτσι, τα υπόγεια ύδατα γίνονται επικίνδυνα για τους ζωικούς οργανισμούς και τον άνθρωπο. Η ρύπανση του εδάφους με τοξικές ουσίες ή βιομηχανικά απόβλητα μπορεί να οδηγήσει σε αυξημένη συγκέντρωση βαρέων μετάλλων ή άλλων τοξικών ουσιών στα υπόγεια νερά.

Η αύξηση του αριθμού των πιθανών πηγών εκπομπής ιχνοστοιχείων, ιδιαίτερα των βαρέων μετάλλων, έχει απασχολήσει σημαντικά τις Περιβαλλοντικές Επιστήμες, κι αυτό επειδή τα βαρέα μέταλλα όταν υπάρχουν σε υψηλές περιεκτικότητες ανήκουν στους πλέον τοξικούς ρύπους του περιβάλλοντος. Σύμφωνα με την Kabata-Pendias (2011), αυτού του είδους οι ρυπαντές δεν απομακρύνονται εύκολα από τα εδάφη, δεν αποικοδομούνται με μικροβιακή δραστηριότητα και συσσωρεύονται στο ανώτερο τμήμα των εδαφών υπό μορφή χημικών ενώσεων, μερικές φορές πιο ενεργών από τις ήδη υπάρχουσες. Επιπλέον, μπορούν και συσσωρεύονται στους οργανισμούς μέσω των τροφών, του πόσιμου νερού και του αέρα, ενώ ανάλογα με το είδος της δέσμευσης, μετατρέπονται σε ακόμα πιο τοξικές ενώσεις (Κουιμτζής κ.ά. 1998).

Τα βαρέα μέταλλα διοχετεύονται στο περιβάλλον είτε από φυσικές είτε από ανθρωπογενείς πηγές. Τις φυσικές πηγές αποτελούν κυρίως η αποσάθρωση και η διάβρωση των πετρωμάτων, η ηφαιστειακή δραστηριότητα, η αποσύνθεση των φυτών και των ζώων, οι δασικές πυρκαγιές κ.ά. Επίσης, ανθρωπογενείς δραστηριότητες όπως μεταλλευτική δραστηριότητα, μεταλλουργία, ηλεκτρολυτικές επιμεταλλώσεις, καύση ανθράκων ή πετρελαίου, παραγωγή χάλυβα, βυρσοδεψεία κ.ά., διοχετεύουν στο περιβάλλον υψηλά ποσοστά βαρέων μετάλλων, τα οποία πέρα από κάποια ορισμένα όρια είναι επιβλαβή για το περιβάλλον, αλλά και για τη δημόσια υγεία (Papp 1994).

Στην Ελλάδα, τις τελευταίες δεκαετίες έχει παρατηρηθεί μια αξιοσημείωτη αύξηση στη συγκέντρωση βαρέων μετάλλων σε ιζήματα και επιφανειακά ύδατα που βρίσκονται κοντά σε αστικές περιοχές. Επιπλέον, παρόμοια αύξηση έχει παρατηρηθεί σε περιοχές με μεταλλευτική δραστηριότητα, είτε σε περιοχές που επηρεάζονται άμεσα από μεταλλοφόρα πετρώματα (Mountouris et al. 2002, Καρατάσου 2005, Μίσσας 2008, Γιούρη 2008, Παπαστέργιος 2008, Giouri et al. 2010a,b).

Οι ανθρωπογενείς παρεμβάσεις στα επιφανειακά και στα υπόγεια ύδατα έχουν σημαντικές επιπτώσεις στα ποιοτικά χαρακτηριστικά τους. Όταν οι οριακές τιμές των φυσικοχημικών ιδιοτήτων τους για διάφορες χρήσεις υπερβαίνουν τα όρια, τότε υποβαθμίζονται ποιοτικά ή καθίστανται ακατάλληλα για ορισμένες χρήσεις (Χριστούλας 1991, Σούλιος 2006, Βουδούρης 2009). Η αναγκαιότητα της καλής ποιότητας των υδάτων σε μια αστική περιοχή καθιστά απαραίτητη τη μελέτη του χημισμού τους, καθώς και την προστασία τους από οποιαδήποτε πηγή ρύπανσης ή μόλυνσης.

Οι πιο συνηθισμένοι ρυπαντές, που με διάφορους τρόπους καταλήγουν στα νερά είναι:

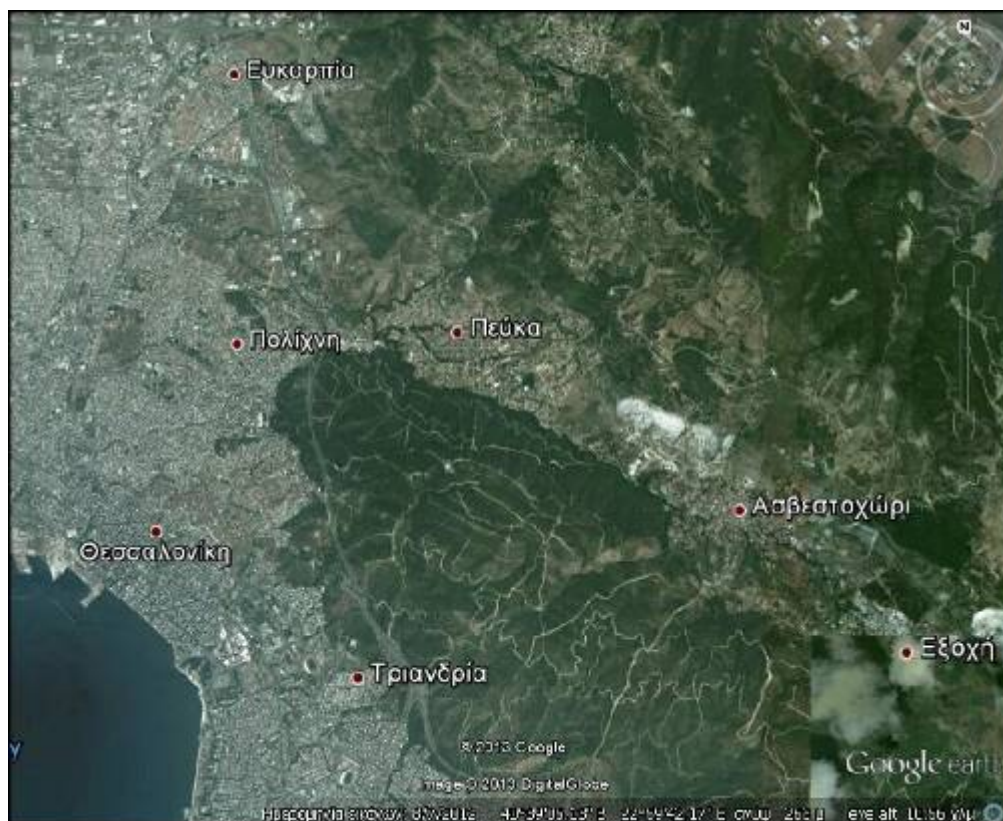
- Βαρέα μέταλλα-τοξικά στοιχεία και ενώσεις (Hg, Pb, Cd, As, Se, CN⁻ κ.ά.)
- Ανόργανες ενώσεις (NO₃⁻, PO₄³⁻, NO₂⁻, κ.ά.)
- Οργανικές ενώσεις (φαινόλες, χλωριωμένοι υδρογονάνθρακες, απορρυπαντικά, παρασιτοκτόνα, χρώματα βαφής, προϊόντα πετρελαίου κ.ά.)
- Ραδιενεργές ουσίες
- Παθογόνοι μικροοργανισμοί (βακτήρια και ιοί) (Βουδούρης 2009).

Η εκπόνηση της παρούσας πτυχιακής εργασίας, αφορά στην περιβαλλοντική και γεωχημική μελέτη των υπόγειων υδάτων της περιοχής των Πεύκων (Ρετζίκι) Θεσσαλονίκης. Σκοπός της εργασίας αυτής είναι ο προσδιορισμός της συγκέντρωσης των βαρέων μετάλλων και των οργανικών ουσιών των υδάτων σε μία ημι-αστική περιοχή δίπλα σε ένα μεγάλο αστικό κέντρο όπως είναι η Θεσσαλονίκη. Με βάση τα αποτελέσματα των φυσικών ιδιοτήτων και των χημικών αναλύσεων, γίνεται μια εκτίμηση των επιτρεπτών χρήσεων των υδάτων της περιοχής σύμφωνα με την ισχύουσα νομοθεσία. Η έρευνα αυτή κρίθηκε σκόπιμο να πραγματοποιηθεί στη συγκεκριμένη περιοχή, αφού η ταχύτατη αστική ανάπτυξη των τελευταίων είκοσι ετών έχει προκαλέσει επιβάρυνση από διάφορες ανθρωπογενείς δραστηριότητες όπως ανεξέλεγκτη απόρριψη υγρών οικιακών αποβλήτων, στερεών απορριμμάτων και μπαζών. Τα παραπάνω οδήγησαν στον προσδιορισμό της ευρύτερης περιβαλλοντικής επιβάρυνσης των υδάτων της περιοχής έρευνας.

2. ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΚΑΙ ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

2.1 ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΘΕΣΗ

Η περιοχή μελέτης βρίσκεται κατά μήκος μιας κοιλάδας, στο Βορειοδυτικό τμήμα της πόλης της Θεσσαλονίκης, στη Βόρεια Ελλάδα (Σχήμα 2.1.1). Εντάσσεται στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης, όπως ορίζεται από το ρυθμιστικό σχέδιο Θεσσαλονίκης (Ν. 1561/85) και ανήκει στη δημοτική ενότητα Πεύκων του Δήμου Νεάπολης-Συκεών που παλαιότερα ονομάζονταν Ρετζίκι, παράφραση της τουρκικής λέξης «Ουρετζίκ» που σημαίνει Μικρός Παράδεισος. Τα Πεύκα χωρίζονται από το πολεοδομικό συγκρότημα της Θεσσαλονίκης μέσω της Ανατολικής περιφερειακής οδού, ενώ επικοινωνεί με αυτό μέσω του κόμβου Κ6 στη συμβολή των Δήμων Πολίχνης και Συκεών, και της οδού Θεσσαλονίκης-Ασβεστοχωρίου (Παπάζογλου κ.ά. 1998). Ο επίσημος πληθυσμός της περιοχής των Πεύκων είναι 6434 κάτοικοι (πηγή: ΕΣΥΕ, ελληνική απογραφή 2011). Η περιοχή καλύπτει την έκταση των 1800 km² (Σχήμα 2.1.1).



Σχήμα 2.1.1 Χάρτης της ευρύτερης περιοχής των Πεύκων Θεσσαλονίκης (πηγή: Google earth).

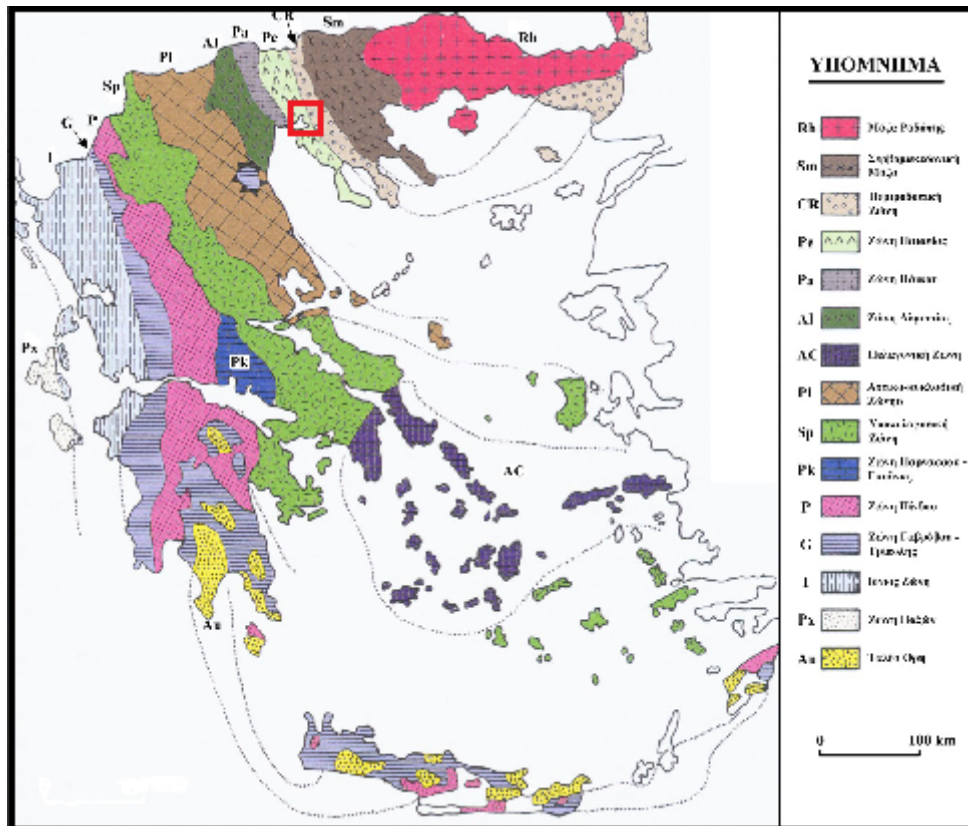
Σημαντικό χαρακτηριστικό της περιοχής μελέτης, είναι η παρουσία του ποταμού Ξηροπόταμου που τη διασχίζει. Το ρέμα αυτό πηγάζει από την Εξοχή, διασχίζει το Ασβεστοχώρι, το Ρετζίκι και την Πολίχνη, και καταλήγει στον κλειστό αγωγό του Δενδροποτάμου και μέσω αυτού στο Θερμαϊκό κόλπο. Σε όλη την κοίτη του ρέματος εμφανίζονται σκουπίδια και μπάζα, και σε συνδυασμό με το ελλιπές αποχετευτικό δίκτυο και την υπολειτουργία του βιολογικού καθαρισμού για πολλά χρόνια συντέλεσαν στη ρύπανση των υδάτων του ποταμού. Την περιοχή χαρακτηρίζει επίσης το μεγάλο ρήγμα του Ασβεστοχωρίου. Τα συστήματα ρηγμάτων που κυριαρχούν είναι ρήγματα διεύθυνσης ΒΔ-ΝΑ, ΒΑ-ΝΔ και Α-Δ, σχετικά μεγάλου μήκους, τα οποία έπαιξαν καθοριστικό ρόλο στη μορφολογία της περιοχής μελέτης (Tranos et al. 2003).

2.2 ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Γεωτεκτονικά η περιοχή έρευνας ανήκει κυρίως στην Περιοδοπική ζώνη και κατά ένα μέρος στη Σερβομακεδονική μάζα στη Βόρεια Ελλάδα (Σχήμα 2.2.1). Η περιοχή Πεύκων εντοπίζεται κατά μήκος μιας κοιλάδας όπου το ρήγμα του Ασβεστοχωρίου, και μικρότερης έκτασης ρήγματα καθορίζουν το υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής.

2.2.1 ΠΕΡΙΟΔΟΠΙΚΗ ΖΩΝΗ

Αναλυτικότερα, για την Περιοδοπική ζώνη εμφανίζεται η εξής ενότητα: Άσπρης Βρύσης-Χορτιάτη με την μαγματική σειρά Χορτιάτη και η ενότητα Μελισσοχωρίου-Χολομώντα, ενώ τα πετρώματα της Σερβομακεδονικής μάζας ανήκουν στο σχηματισμό Βερτίσκου. Το υπόβαθρο καλύπτεται από Νεογενείς-Τεταρτογενείς ιζηματογενείς αποθέσεις. Η διάταξη των τεκτονικών ζωνών και των πετρωμάτων υποβάθρου ακολουθεί μία ΒΔ-ΝΑ διεύθυνση (Ζερβοπούλου και Παυλίδης 2005). Το υπόβαθρο αποτελούν οι διμαρμαρυγικοί γνεύσιοι και σχιστόλιθοι της Σερβομακεδονικής ζώνης, οι αμμούχοι αργιλικόι σχιστόλιθοι και ανακρυσταλλωμένοι ασβεστόλιθοι της ενότητας Άσπρης Βρύσης-Χορτιάτη με χαλαζίτες, φυλλίτες και ασβεστόλιθους της ενότητας Μελισσοχωρίου-Χολομώντα. Στα παραπάνω πετρώματα εμφανίζονται ως παρεμβολές μεταμορφωμένα εκκριξηγενή πετρώματα όπως γνεύσιοι, πρασινοσχιστόλιθοι και περιδοτίτες της οφειολιθικής σειράς (Μουντράκης 2010).



Σχήμα 2.2.1 Γεωτεκτονικές ζώνες του Ελληνικού χώρου (Μουντράκης 2010).

Η Περιοδοπική ζώνη αποτελεί την πιο εσωτερική ζώνη από τις Εσωτερικές Ελληνίδες (Σχήμα 2.2.1), και περιλαμβάνει σχηματισμούς ηλικίας Πέρμιο-Τριαδικό, οι οποίοι έχουν τη μορφή μιας στενής ζώνης πλάτους έως μερικές δεκάδες χιλιόμετρα. Στην Ελλάδα εκτείνεται προς ΝΑ, από τα σύνορα με τη F.Y.R.O.M., τη λίμνη Κορώνεια, τη Σιθωνία Χαλκιδικής, και στη συνέχεια κάμπτεται βορειοανατολικά. Διασχίζει το νοτιότερο άκρο της χερσονήσου του Άθω, τη Σαμοθράκη, και καταλήγει στη Θράκη, στις περιοχές ανατολικά της Ξυλαγανής και Μαρώνειας και βόρεια της Αλεξανδρούπολης.

Σύμφωνα με τον Μουντράκη (2010), διακρίνονται τρεις ενότητες σχηματισμών οι οποίες, από τα ανατολικά προς τα δυτικά είναι οι εξής:

- Η Ενότητα Καμήλας (Ντεβέ Κοράν)-Δουμπιά
- Η Ενότητα Μελισσοχωρίου-Χολωμόντα
- Η Ενότητα Άσπρης Βρύσης-Χορτιάτη

Στην περιοχή μελέτης της παρούσας εργασίας, η Περιοδοπική ζώνη εμφανίζεται με την ενότητα Μελισσοχωρίου-Χολωμόντα, καθώς και με την ενότητα Άσπρης Βρύσης-Χορτιάτη.

Η Ενότητα Μελισσοχωρίου – Χολομώντα έχει τη μεγαλύτερη έκταση από τις τρεις ενότητες της Περιοδοπικής ζώνης και αποτελεί μια στενή ζώνη πλάτους 5 έως 15 km, με ΒΔ-ΝΑ διεύθυνση, από τη λίμνη Δοϊράνη έως τον Χολομώντα στη Χαλκιδική. Αποτελείται στο κατώτερο τμήμα της από μάρμαρα και ανακρυσταλλωμένους ασβεστόλιθους ηλικίας Μέσο Τριαδικό-Μέσο Ιουρασικό, στους οποίους συχνά παρεμβάλλονται γραφιτικοί φυλλίτες και σερικιτικοί σχιστόλιθοι (Meinhold and Kostopoulos 2012). Ο σχηματισμός προς τα πάνω μεταβαίνει σε φυλλίτες και στο ανώτερο τμήμα κυριαρχεί ο πιο χαρακτηριστικός σχηματισμός της Περιοδοπικής ζώνης, ο «φλύσχος της Σβούλας» ηλικίας Κάτω-Μέσο Ιουρασικό, ο οποίος είναι ένας σχηματισμός από φλύσχη με τουρβιδικές εναλλαγές μετά-ιζημάτων (ψαμμίτες, μάργες, ασβεστολιθικές ενστρώσεις κ.ά.) μέσα στα οποία παρατηρούνται μεγάλοι ολισθόλιθοι Τριαδικών μαρμάρων (Μουντράκης 2010). Ο σχηματισμός αυτός αντιπροσωπεύει την ηπειρωτική κατωφέρεια και την αύλακα στην περιφέρεια της ηπείρου.

Η Ενότητα Ασπρης Βρύσης-Χορτιάτη αναπτύσσεται παράλληλα με την προηγούμενη ενότητα, και έχει πλάτος 4 έως 8 km, ξεκινάει βόρεια της Θεσσαλονίκης, διέρχεται από το Χορτιάτη και φτάνει έως το νότιο άκρο της Σιθωνίας όπου κάμπτεται, και φτάνει έως το νότιο άκρο του Αγίου Όρους. Στη βάση της αποτελείται από ανθρακικά (μετακλαστικά, ηφαιστειοκλαστικά και νηριτικά) ιζήματα ηλικίας Πέρμιο-Κάτω Τριαδικό. Στη συνέχεια, στο ανώτερο τμήμα παρουσιάζονται ιζήματα βαθιάς θάλασσας, όπως κόκκινοι αργιλικοί σχιστόλιθοι (Φωτ. 2.1), μαύροι γραφιτικοί φυλλίτες, κερατόλιθοι κ.ά. Μέσα στα ιζήματα αυτά συχνά εντοπίζονται οφειολιθικά σώματα (Φωτ. 2.2) με βασικά και υπερβασικά πετρώματα (γάββροι, διορίτες, σερπεντινίτες, διαβάσεις), καθώς και πετρώματα που προήλθαν από τη μεταμόρφωση όξινων πυριγενών πετρωμάτων όπως πράσινοι γνεύσιοι και σχιστόλιθοι (Μουντράκης 2010).

2.2.2 ΣΕΡΒΟΜΑΚΕΔΟΝΙΚΗ ΜΑΖΑ

Η Σερβομακεδονική μάζα (Σχήμα 2.2.1) αποτελείται αποκλειστικά από κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα, με διεισδύσεις εκρηξιγενών πετρωμάτων και τεκτονικές παρεμβολές οφειολίθων. Αποτελεί ουσιαστικά το νοτιότερο τμήμα μιας αλληλουχίας μεταμορφωμένων πετρωμάτων τα οποία παρουσιάζονται στη νοτιοδυτική Βουλγαρία, τη Σερβία και τη F.Y.R.O.M. Αποτελεί μια παλιά γεωτεκτονική ζώνη η οποία μορφολογικά διαμορφώθηκε ιδιαίτερα κατά το Νεογενές και το Τεταρτογενές, λόγω έντονης τεκτονικής δραστηριότητας (Psilovikos 1984).

Η περιοχή χαρακτηρίζεται από ποικίλες μεταμορφωμένες λιθολογικές ενότητες, ηλικίας Παλαιοζωικού, τις οποίες διασχίζουν γρανιτικές διεισδύσεις Μεσοζωικής και Καινοζωικής ηλικίας (Μουντράκης 2010).



Φωτ. 2.1 Πτυχωμένος αργιλικός σχιστόλιθος της Περιοδοπικής ζώνης, στο Σέιχ-Σου



Φωτ. 2.2 Χαρακτηριστικός σχηματισμός “pillow-lava” στην Περιοδοπική ζώνη, στην περιοχή Σέιχ-Σου Θεσσαλονίκης.



Φωτ. 2.3 Ασβεστόλιθος που επικάθεται στους γάββρους και πρασινοσχιστόλιθους της Περιοδοπικής ζώνης, στα Πεύκα.



Φωτ. 2.4 Όριο ασβεστόλιθων-αργιλικών σχιστόλιθων, στα Πεύκα.

Το κρυσταλλοσχιστώδες της Σερβομακεδονικής μάζας χωρίζεται σε δύο ενότητες:

- Ενότητα Κερδυλλίων
- Ενότητα Βερτίσκου

Βασικό χαρακτηριστικό των δύο σειρών που συνιστούν τη Σερβομακεδονική μάζα αποτελεί η παρουσία των μαρμάρων στη σειρά των κερδυλλίων και η απουσία τους από τη σειρά του Βερτίσκου. Επιπλέον στη σειρά του Βερτίσκου εμφανίζονται μεταμορφωμένα οφειολιθικά πετρώματα τα οποία απουσιάζουν από τη σειρά Κερδυλλίων (Κατσικάτσος 1991).

Στην περιοχή μελέτης η Σερβομακεδονική μάζα εμφανίζεται με την ενότητα του Βερτίσκου. Η ενότητα αυτή είναι ανώτερη και νεότερη, και καταλαμβάνει την περιοχή της Ανατολικής Χαλκιδικής, από την χερσόνησο του Άθω και της Σιθωνίας έως τα σύνορα της Ελλάδας με την Βουλγαρία και τη F.Y.R.O.M. Αποτελείται από μια σειρά σχηματισμών Παλαιοζωικής ηλικίας: διμαρμαρυγικοί γνεύσιοι, αμφιβολίτες και μοσχοβιτικοί σχιστόλιθοι, με λεπτές ενστρώσεις μαρμάρων κατά θέσεις. Στο ανώτερο τμήμα συμμετέχουν μεταγάββροι, μεταδιαβάσες και αμφιβολίτες, όπως επίσης σώματα υπερβασικών πετρωμάτων που πιθανότατα αποτελούν μέλη ενός οφειολιθικού συμπλέγματος που συμπτήχθηκε και συμμεταμορφώθηκε με τα αυτόχθονα πετρώματα της ενότητας Βερτίσκου.

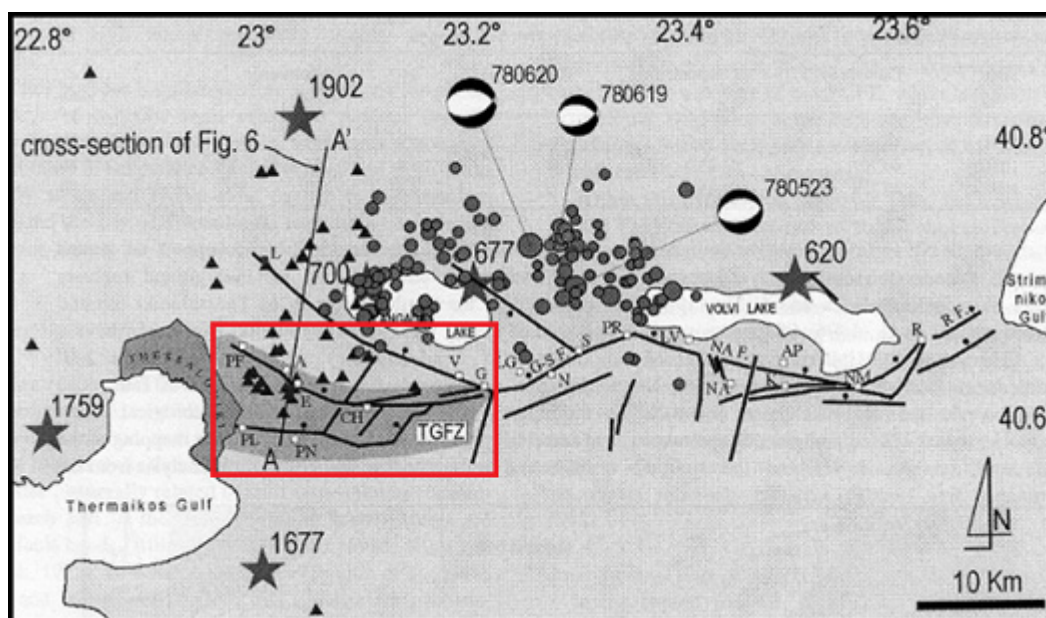
Όλα αυτά τα πετρώματα καλύπτονται από Τεταρτογενή ιζήματα τα οποία περιλαμβάνουν κυρίως κόκκινους αργίλους, άμμους, μάργες, όπως επίσης και δελταϊκά και ποτάμια ιζήματα, μεταφερόμενα από τον Αξιό, τον Αλιάκμονα, τον Γαλλικό και το Λουδία ποταμό (Psimoulis et al. 2007). Η μεταμόρφωση των πετρωμάτων της Ενότητας Βερτίσκου ξεκινάει από τα κατώτατα στάδια της αμφιβολιτικής φάσης και φτάνει έως τα προχωρημένα στάδια της ανάτηξης.

Στο δυτικό της περιθώριο η Σερβομακεδονική μάζα συνορεύει τεκτονικά κυρίως με τα Μεσοζωικής ηλικίας και ελαφρώς μεταμορφωμένα ιζηματογενή και μαγματικά πετρώματα της Περιοδοπικής ζώνης. Στο όριο των δύο ζωνών, τα παλαιότερα πετρώματα της Σερβομακεδονικής μάζας εμφανίζονται επωθημένα πάνω στα νεότερα πετρώματα της Περιοδοπικής ζώνης με ΒΔ-ΝΑ διεύθυνση. Η αναστροφή αυτή δημιουργήθηκε λόγω της Τριτογενούς πτύχωσης με απόκλιση προς τα Δυτικά έτσι ώστε η Σερβομακεδονική κρυσταλλοσχιστώδης μάζα να επιπτεύει τα νεότερα Περμο-Τριαδικά ιζήματα της Περιοδοπικής ζώνης (Μουντράκης 2010). Σύμφωνα με τους Tranos et al. (2003), στο όριο αυτό δημιουργήθηκε μια δεξιόστροφη ζώνη μεταφοράς και συμπίεσης με δομές πτυχώσεων-επιπτεύσεων κατά το τελικό στάδιο της Τριτογενούς ορογένεσης.

2.3 ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Οι κυριότερες ρηξιγενείς δομές που παρουσιάζονται στην πόλη της Θεσσαλονίκης είναι εφελκυστικές, έχουν διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ (Σχήμα 2.3.1), και όπως αναφέρουν οι Tranos

et al. (2003) είναι γενικά δομές που δραστηριοποιήθηκαν κυρίως κατά το Πλειόκαινο – Κατώτερο Πλειστόκαινο. Τα νεότερα νεοτεκτονικά κανονικά ρήγματα στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης που έχουν διευθύνσεις Α-Δ, δραστηριοποιούνται από το Μέσο Πλειστόκαινο έως σήμερα (Ζερβοπούλου και Παυλίδης 2005).



Σχήμα 2.3.1 Οι κυριότερες ρηξιγενείς δομές της ευρύτερης περιοχής της Θεσσαλονίκης (Tranos et al. 2003).

Το βασικό ρήγμα της περιοχής έρευνας είναι το ρήγμα Ασβεστοχωρίου (Σχήμα 2.3.1, 2.3.2), το οποίο βρίσκεται βόρεια και βορειοανατολικά της πόλης της Θεσσαλονίκης, και απέχει από το κέντρο της περίπου 6 km. Η διεύθυνσή του είναι ΑΝΑ-ΔΒΔ με παράταξη B98-120°, κλίση 55-80° και μετάπτωση προς τα ΒΒΑ. Αποτελεί ένα κανονικό ρήγμα, με αριστερόστροφη συνιστώσα κίνησης, το οποίο θεωρείται πιθανά ενεργό. Το συνολικό του μήκος είναι 10 km, ενώ πιθανώς να επεκτείνεται και μέσα στα νεότερα ιζήματα της περιοχής της Ηλιούπολης για 7 km επιπλέον (Ζερβοπούλου 2010).

Το ρήγμα αυτό χωρίζεται σε τρία τμήματα εξαιτίας της αλλαγής της διεύθυνσής του και των σχηματισμών που τέμνει. Το πρώτο τμήμα έχει μήκος 3 km και εκτείνεται από τον Χορτιάτη μέχρι έξω από το Ασβεστοχώρι, ενώ το δεύτερο έχει μήκος 7 km και φτάνει ως την Ηλιούπολη. Το τρίτο τμήμα αποτελεί πιθανή προέκτασή του προς τα δυτικά μέσα στην πεδιάδα της Θεσσαλονίκης στην περιοχή της Ηλιούπολης. Το ορατό του μήκος είναι περίπου 7 km (Ζερβοπούλου 2010). Παράλληλα στο ρήγμα δημιουργείται μία κοιλάδα με βάθος 70 m με ποταμοχειμάρρια Πλειστοκαινικά ιζήματα (Tranos et al. 2003).

Στην περιοχή μελέτης κάθετα στο ρήγμα, παρουσιάστηκαν προβλήματα κατολισθήσεων στο νότιο πρηνές κλάδου του Ξηροποτάμου (Φωτ 2.5) σε πρόσφατα ποταμοχειμάρρια ιζήματα. Η ροή του ρέματος στρέφεται κατά 90° , ενώ παράλληλα σε αυτό εντοπίστηκε ρηξιγενής επιφάνεια με στοιχεία 90/80B (Ζερβοπούλου 2010).

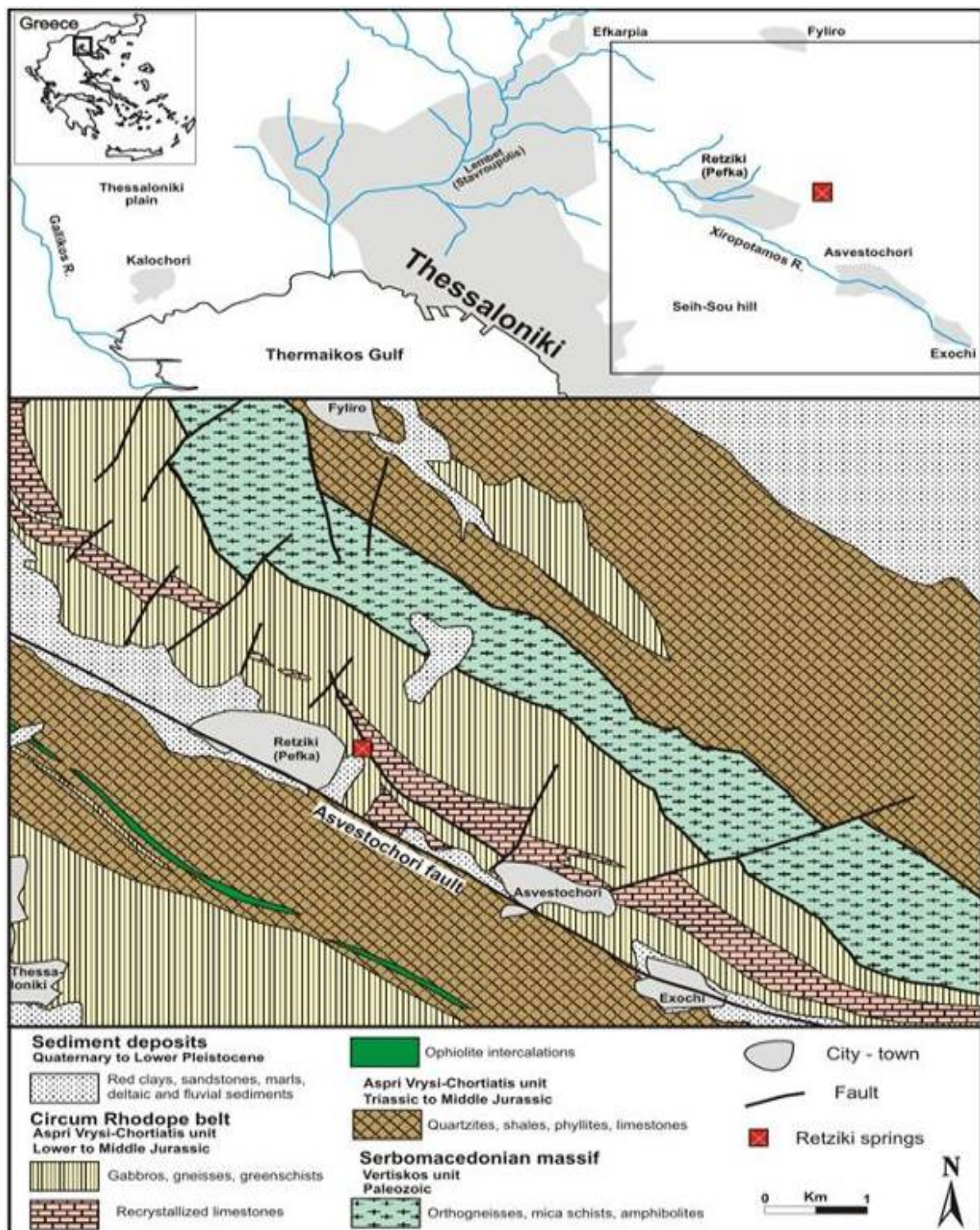


Φωτ. 2.5 Κατολίσθηση στον οικισμό των Πεύκων (φωτογραφία: Β. Μέλφος).

Η υδρογραφική λεκάνη του Ξηροποτάμου κατά μήκος του οποίου εμφανίζεται το ίχνος του ρήγματος Ασβεστοχωρίου (Σχήμα 2.3.2), είναι 4ης τάξης (Stahler). Στο βόρειο τμήμα της με έκταση 15 km^2 , το υδρογραφικό δίκτυο εμφανίζει δενδριτική ανάπτυξη, ενώ στο νότιο με αρκετά μικρότερη έκταση $5,6 \text{ km}^2$ η μορφή του είναι κυρίως παράλληλη. Δηλαδή παρατηρείται μία άνιση ανάπτυξη της λεκάνης, καθώς και μια ανισοκατανομή στα μήκη των κλάδων, με μήκος κλάδων στο βόρειο τμήμα ίσο με $26,2 \text{ km}$ και στο νότιο με $10,8 \text{ km}$ (Ζερβοπούλου και Παυλίδης 2005).

Στην περιοχή εντοπίζονται αρκετά μικρότερα ρήγματα, παράλληλα με τη βασική γραμμή ρηγμάτωσης, ενώ αντίθετα ρήγματα Α-Δ διεύθυνσης βυθίζονται προς το Ν με μεγάλες γωνίες κλίσης, ολοκληρώνοντας το μοντέλο της ρηγμάτωσης (Σχήμα 2.3.1). Όλα αυτά τα ρήγματα ελέγχουν το υδρογραφικό δίκτυο της κοιλάδας των Πεύκων, δημιουργώντας μεγάλου μήκους παράλληλα ρέματα ΒΔ-ΝΑ, Α-Δ, και ΒΑ-ΝΔ

κατευθύνσεων.



Σχήμα 2.3.2 Γεωλογικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής των Πεύκων (Kockel et al. 1978 a, b με τροποποιήσεις από Papacharalamprou et al. 2012).

2.4. ΣΕΙΣΜΙΚΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Η πόλη της Θεσσαλονίκης έχει υποστεί σοβαρές καταστροφές λόγω ισχυρών σεισμών αρκετές φορές στο παρελθόν, με σημαντικότερο το σεισμό του 1759 ($M=6,5$), όπου η πλειοψηφία των κατοίκων εγκατέλειψαν την πόλη για δύο χρόνια περίπου (Παπαζάχος και Παπαζάχου 2003). Μελέτες μικρής κλίμακας σεισμικών ακολουθιών στην περιοχή του Ασβεστοχωρίου φανερώνουν πως τα συστήματα των ρηγμάτων που βρίσκονται εκεί, ίσως ευθύνονται για το μεγάλο αυτό καταστροφικό σεισμό του 1759 (Papazachos et al. 2000).

Οι ίδιες μελέτες φανέρωσαν πως το ρήγμα του Ασβεστοχωρίου (Σχήμα 2.3.1, 2.3.2), το οποίο αποτελεί ένα κανονικό ρήγμα που βυθίζεται κάτω από την πόλη της Θεσσαλονίκης, πιθανώς εκτείνεται μακρύτερα προς ΒΔ και ΝΑ, και μπορεί μελλοντικά να προκαλέσει σημαντικού μεγέθους σεισμούς κοντά στην περιοχή της Θεσσαλονίκης (Papazachos et al. 2000). Το ρήγμα συνδέεται άμεσα με το ανάγλυφο της περιοχής και επηρεάζει το υδρογραφικό δίκτυο, καθώς όπως προαναφέρθηκε, κατά μήκος του ρήγματος ρέει ο ποταμός Ξηροπόταμος (Σχήμα 2.3.2).

Το ρήγμα του Ασβεστοχωρίου θεωρείται ότι επαναδραστηριοποιήθηκε κατά τον σεισμό του 1978 στον Στίβο (Hatzidimitriou et al. 1991, Papazachos et al. 2000), δίνοντας ρωγμή 1-2 cm με μετάπτωση 10 cm στις Τεταρτογενείς αποθέσεις της περιοχής του Δήμου Πολίχνης.

Στο σύνολο των ρηγμάτων της περιοχής Ασβεστοχωρίου οφείλονται πιθανώς διάφοροι μικροσεισμοί που προκαλούνται κατά μήκος της ορεινής περιοχής του Χορτιάτη, με έναν κυρίως ΔΒΔ-ΑΝΑ προσανατολισμό, και με εστιακό βάθος που φτάνει ως τα 15 km (Paradisopoulou et al. 2006). Επειδή τα ρήγματα συνδέονται με μικροσεισμικότητα (Papazachos et al. 2000, Paradisopoulou et al. 2006), κατά τους σεισμολόγους θεωρούνται πιθανά ενεργά.

Η διεύθυνση του ρήγματος Ασβεστοχωρίου δεν είναι προσανατολισμένη στο σύγχρονο, αλλά στο παλαιότερο Πλειοκαινικό πεδίο τάσεων και σε μελέτες που έχουν γίνει έχει αποδειχτεί η σύνδεσή του με μικροσεισμούς που λαμβάνουν χώρα στην ευρύτερη περιοχή (Hatzidimitriou et al. 1991, Papazachos et al. 2000, Paradisopoulou et al. 2006, Ζερβοπούλου 2010).

2.5 ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Υδρογεωλογικά η περιοχή μελέτης βρίσκεται στο υπ' αριθμόν 10 υδατικό διαμέρισμα της Ελλάδας, το οποίο είναι αυτό της Κεντρικής Μακεδονίας, με έδρα τη Θεσσαλονίκη.

Το υδατικό διαμέρισμα της Κεντρικής Μακεδονίας ορίζεται βόρεια από τη συννοριακή γραμμή με την F.Y.R.O.M. και νότια από το Θερμαϊκό κόλπο, τον κόλπο της Κασσάνδρας και του Αγίου Όρους. Δυτικά οριοθετείται από την περιφερειακή τάφρο του Αλιάκμονα και τον υδροκρίτη του όρους Πάικο, ενώ στα ανατολικά από τους υδροκρίτες των ορεινών όγκων των Κερδυλλίων, του Βερτίσκου και του Μαυροβουνίου καθώς και τον κόλπο του Ορφανού (Δασκαλάκη 2002). Η έκταση του υδατικού διαμερίσματος είναι 10.390 km^2 , ο ετήσιος όγκος βροχής και απορροής του είναι 6068 hm^3 και 2606 hm^3 αντίστοιχα, ενώ τα ρυθμιστικά αποθέματα των υδροφορέων του είναι 1360 hm^3 (Διεύθυνση Υδατικού Δυναμικού 2003). Μορφολογικά το υδατικό διαμέρισμα χαρακτηρίζεται ορεινό στα ανατολικά και νότια, όπου αναπτύσσονται τα όρη Κερδύλια, Βερτίσκος, Μαυροβούνιο, Στρατονικό και Χολομώντας. Στα δυτικά το ανάγλυφο είναι ομαλό και κυριαρχεί η πεδιάδα Θεσσαλονίκης-Κιλκίς. Στο κεντρικό τμήμα του διαμερίσματος της κεντρικής Μακεδονίας αναπτύσσεται η πεδινή περιοχή των λιμνών Λαγκαδά και Βόλβης, ενώ μία άλλη περιορισμένης έκτασης ημιπεδινή περιοχή σχηματίζεται στη δυτική Χαλκιδική. Σημαντικοί ποταμοί του διαμερίσματος είναι ο Γαλλικός και ο Λουδίας που διασχίζουν την πεδιάδα του Κιλκίς και της Θεσσαλονίκης αντίστοιχα, και εκβάλλουν στο Θερμαϊκό κόλπο, ενώ ο σημαντικότερος ποταμός του διαμερίσματος είναι Αξιός, ο οποίος πηγάζει από την F.Y.R.O.M. και επίσης εκβάλλει στο Θερμαϊκό κόλπο (Δασκαλάκη 2002, Λάτσιου 2010).

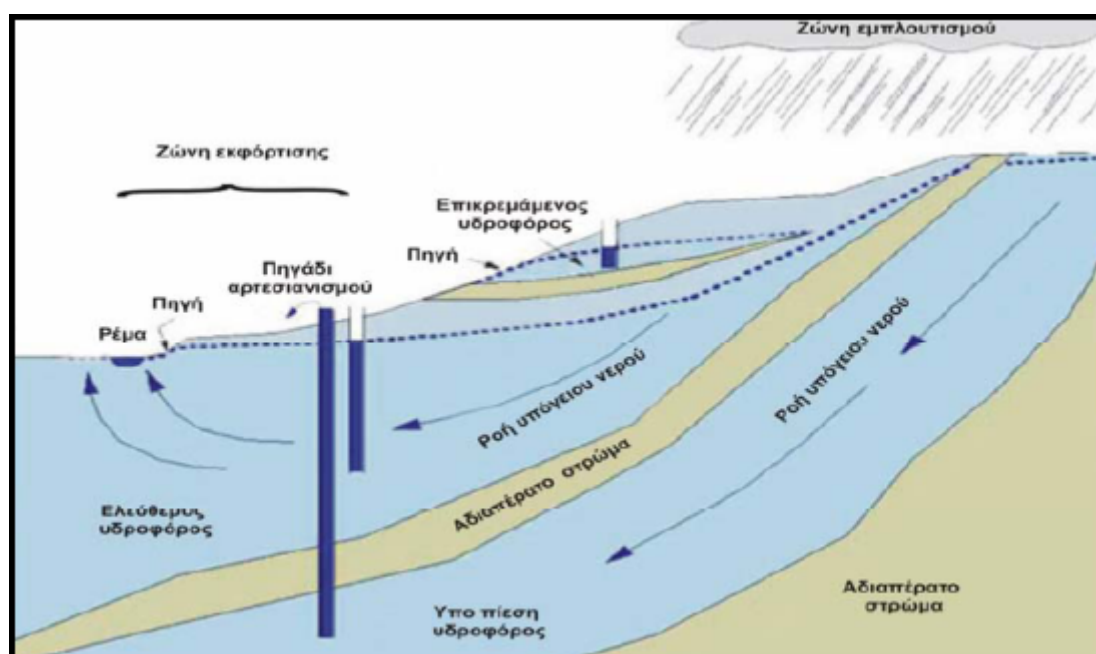
Είναι γνωστό ότι οι υδρογεωλογικές συνθήκες μιας περιοχής καθορίζονται κατά κύριο λόγο από την ποσότητα των κατακρημνισμάτων, καθώς και από τη γεωλογική σύσταση και δομή των σχηματισμών της (Δασκαλάκη 2002, Μάττας 2009). Οι γεωλογικοί σχηματισμοί που δομούν το υδατικό διαμέρισμα της Κεντρικής Μακεδονίας, από τους παλαιότερους προς τους νεότερους, διαχωρίζονται σε: 1) Προαλπικούς σχηματισμούς 2) Αλπικούς σχηματισμούς 3) Μολασσικά ιζήματα 4) Νεογενή ιζήματα και 5) Τεταρτογενείς αποθέσεις. Λόγω των διαφορετικών λιθοστρωματογραφικών, ιζηματογενών και τεκτονικών χαρακτηριστικών τους, τα πετρώματα αυτά παρουσιάζουν διαφορετική υδρογεωλογική συμπεριφορά. Έτσι, διαχωρίζονται σε υδροπερατούς, αδιαπέρατους και ημιπερατούς σχηματισμούς.

Στους υδροπερατούς σχηματισμούς ανήκουν τα καρστικοποιημένα ανθρακικά πετρώματα, όπως ασβεστόλιθοι, μάρμαρα, και δολομίτες. Από τα Νεογενή και τα Τεταρτογενή στρώματα ανήκουν τα κροκαλοπαγή και οι ψαμμίτες, καθώς και τα αδρόκοκκα υλικά.

Ημιπερατούς σχηματισμούς αποτελούν πετρώματα που ανήκουν στα Νεογενή και τα Τεταρτογενή στρώματα, όπως λεπτόκοκκοι ψαμμίτες, οι αποθέσεις που εμφανίζουν υψηλό ποσοστό αργίλου και λεπτόκοκκου υλικού καθώς και οι οφειόλιθοι.

Αδιαπέρατοι σχηματισμοί θεωρούνται ο φλύσχης της ζώνης Αξιού και της Σερβομακεδονικής μάζας, τα κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα (εκτός των μαρμάρων) καθώς και τα γρανιτικής σύστασης πετρώματα. Επίσης, στην κατηγορία αυτή ανήκουν από τα Νεογενή πετρώματα, οι μάργες και οι ερυθροί πηλοί, ενώ από τα Τεταρτογενή οι άργιλοι και οι πηλοί (Δασκαλάκη 2002, Παπαστέργιος κ.ά. 2011).

Οι Τεταρτογενείς σχηματισμοί, οι οποίοι αποτελούνται κυρίως από άμμους, αργιλομιγείς άμμους, αδρομερείς αποθέσεις κροκάλων και χαλικιών με χαμηλό ποσοστό αργίλου, καλύπτουν τις λεκάνες των ποταμών και των χειμάρρων, και αποτελούν τους σημαντικότερους από άποψη δυναμικότητας υδροφόρους σχηματισμούς. Οι αποθέσεις αυτές στη λεκάνη της Θεσσαλονίκης τροφοδοτούνται κυρίως από τα επιφανειακά νερά των ποταμών που διαρρέουν την περιοχή (ποταμός Λουδίας, και κάτω ρους των ποταμών Αλιάκμονα, Γαλλικού και Αξιού), καθώς και από τους καρστικούς σχηματισμούς των περιθωρίων της λεκάνης, μέσω πλευρικής διήθησης (Δασκαλάκη 2002, Psimoulis et al. 2007, Παπαστέργιος κ.ά. 2011). Σημαντικού πάχους αργιλικά υλικά παρεμβάλλονται, με αποτέλεσμα την ανάπτυξη τόσο ελεύθερων (φρεάτιων) υδροφορέων όσο και βαθύτερων υπό πίεση υδροφόρων οριζόντων (Σχήμα 2.5.1).



Σχήμα 2.5.1 Είδη υδροφόρων οριζόντων (προσαρμοσμένο από: www.usgs.gov).

Οι υδροφόροι ορίζοντες που αναπτύσσονται στους Νεογενείς σχηματισμούς είναι δευτερεύουσας σημασίας, καθώς η δυναμικότητά τους εξαρτάται από τη συμμετοχή των κροκαλοπαγών και των ψαμμιτών, και η πιθανή τεκτονική τους καταπόνηση. Η περιορισμένη έκταση ανθρακικών πετρωμάτων στην ευρύτερη περιοχή του υδατικού διαμερίσματος έχει ως αποτέλεσμα το καρστικό υδατικό δυναμικό να είναι σχετικά μικρό. Όμως οι ασβεστόλιθοι της περιοχής των Πεύκων φαίνονται συμπαγείς δημιουργώντας παχιά στρώματα, με τυπική ομοιογένεια και υψηλή περατότητα. Στα οφειολιθικά πετρώματα εμφανίζεται κατά τόπους υδροφορία κυρίως εξαιτίας των ασυνεχειών που παρουσιάζονται σε αυτά (Δασκαλάκη 2002).

Τα χαλαρά ιζήματα της περιοχής μελέτης χαρακτηρίζονται από μέτρια ως υψηλή περατότητα και συνήθως δημιουργούν υδάτινους ορίζοντες υψηλής χωρητικότητας. Από την άλλη πλευρά, η περατότητα των ιζηματογενών πετρωμάτων ποικίλει, ανάλογα με την σύσταση και τη συνοχή των ξεχωριστών στρώσεων και συχνά οδηγεί σε φρεατικές ή σε περιορισμένων συνθηκών υδροφόρους ορίζοντες τοπικής σημασίας (Σχήμα 2.5.1).

Τα ημι-μεταμορφωμένα (δηλαδή χαλαζίτες) και μεταμορφωμένα (δηλαδή γνευσιακά και πρασινοσχιστολιθικά) πετρώματα που εντοπίζονται στην περιοχή συμπεριφέρονται ως συμπαγείς σχηματισμοί. Γενικά εκτίθενται σε διαδικασίες αποσάθρωσης και διάβρωσης και καλύπτονται από χαλαρό εδαφικό μανδύα ποικίλου πάχους που επιτρέπει την επικοινωνία μερικών πηγών με το υπόβαθρο.

Επομένως, οι μεγάλες ποσότητες του νερού της βροχής που κατακρατούνται από τους ασβεστόλιθους και από τα ιζήματα, μέσω της διήθησης, βγαίνουν στην επιφάνεια, δημιουργώντας πηγές και μέσης χωρητικότητας επιφανειακές απορροές, όταν το νερό συναντάει το αδιαπέρατο υπόβαθρο των πρασινοσχιστολίθων (Papacharalamprou et al. 2012).

3. ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

3.1 Ο ΔΡΟΜΟΣ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΣΤΟ ΡΕΤΖΙΚΙ

Η περιοχή μελέτης αποτέλεσε μέχρι τη δεκαετία του 1960 έναν από τους κύριους προμηθευτές πόσιμου νερού που κάλυπτε τις ανάγκες της Θεσσαλονίκης από την ίδρυσή της το 315 π.Χ., μαζί με τον Χορτιάτη και την περιοχή της Σταυρούπολης. Από τις πηγές στο Ρετζίκι που βρίσκονται σε υψόμετρο 350 m, υδρεύονταν η πόλη της Θεσσαλονίκης (Παπάζογλου κ.ά. 1998, Papacharalamprou et al. 2012). Τμήματα του παλιού υδραγωγείου σώζονται σήμερα διασκορπισμένα σε όλο τον οικισμό (Φωτ. 3.1.1, 3.1.2).



Φωτ. 3.1.1 Υπόγειο σύστημα συλλογής νερού στην περιοχή μελέτης (φωτογραφία: Β. Μέλφος).

Όσον αφορά την ιστορία της ύδρευσης της πόλης της Θεσσαλονίκης, αυτή πραγματοποιούνταν από τις πηγές του Χορτιάτη, του Ρετζικίου και του Λεμπέτ (σημερινή Σταυρούπολη). Η «Οθωμανική Εταιρεία Υδάτων Θεσσαλονίκης» ανέλαβε από το 1888 την υδροδότηση του κέντρου της πόλης, η οποία λειτούργησε παράλληλα με την ύδρευση της πόλης από τον Δήμο Θεσσαλονίκης μέχρι το 1939 (Ταμιωλάκης 1985). Η χλωρίωση των υδάτων ξεκίνησε το 1919. Οι ανάγκες υδροδότησης αυξήθηκαν έντονα το 1922 με τον ερχομό των προσφύγων από τη Μικρά Ασία. Το 1939 ιδρύθηκε ο Οργανισμός Ύδρευσης Θεσσαλονίκης (Ο.Υ.Θ.) ο οποίος με την πάροδο του χρόνου κατασκεύασε το υδραγωγείο

στην περιοχή Ελεούσα το 1976 και στις πηγές της Αραβησσού το 1978, ενώ συνέχισε με το υδραγωγείο της Νέας Χαλκηδόνας του Καλοχωρίου-Δενδροποτάμου και Νάρρες (Ταμιωλάκης 1985).



Φωτ. 3.1.2 Υπόγειο κανάλι στην περιοχή μελέτης (φωτογραφία: Β. Μέλφος).

Το 1998 έγινε η συγχώνευση του Ο.Υ.Θ. με τον Ο.Α.Θ. (Οργανισμός Αποχέτευσης Θεσσαλονίκης) και δημιουργήθηκε η Εταιρεία Ύδρευσης και Αποχέτευσης Θεσσαλονίκης (Ε.Υ.Α.Θ.), η οποία ολοκλήρωσε την κατασκευή του υδραγωγείου του Αλιάκμονα για την υδροδότηση της πόλης ως και σήμερα. Το νερό ελέγχεται συστηματικά και είναι άριστο (Παπαδάκης κ.ά. 2005).

Στην περιοχή μελέτης τα πρώτα στοιχεία ανθρώπινης δραστηριότητας (2^{ος} έως 3^{ος} αιώνας μ.Χ.) εντοπίζονται στις πηγές που βρίσκονται στα βορειοανατολικά του οικισμού Ρετζίκι στα όρια με το Ασβεστοχώρι σε υψόμετρο 350 m κατά μήκος ενός μεγάλου ρήγματος με διεύθυνση από ΝΑ προς ΒΔ. Ο καθρέπτης αυτού του ρήγματος φαίνεται σε πολλά σημεία (Papacharalamprou et al. 2012).

Η θέση με τις πηγές ονομάζεται «Μεγάλες Πηγές» και υπάρχουν εγκαταστάσεις υδραγωγείου. Τα κτίσματα που υπάρχουν σήμερα είναι από το 1918-19, την περίοδο δηλαδή που ανακατασκευάστηκαν οι παλαιότερες υδρομαστευτικές στοές. Τα νερά συλλέγονταν από

αυτές τις στοές και διοχετευόταν σε κτιστό υπόγειο κανάλι, σκεπασμένο με πέτρινες πλάκες και επιχρισμένο εσωτερικά με υδραυλικό κονίαμα έτσι ώστε να μη διαρρέει το νερό. Πηγάδια και άλλες κατασκευές συμπλήρωναν το σύστημα του υδραγωγείου και των πηγών (Papacharalamprou et al. 2012). Το νερό ξεκινούσε από τις πηγές στο υδραγωγείο και κατηφόριζε μέσω αγωγών ή καναλιών προς τα κάτω όπου και συναντούσε τον Ξηροπόταμο που κυλούσε από την Εξοχή (Σχήμα 2.3.2). Μέσω μίας υδατογέφυρας, ο αγωγός συνέχιζε προς την απέναντι πλευρά στο δάσος Σείχ-Σου. Η υδατογέφυρα είναι πιθανώς Ρωμαϊκής εποχής, χωρίς όμως να αποκλείεται να έχει χτιστεί ταυτόχρονα με το ρωμαϊκό υδραγωγείο του Χορτιάτη ή και ακόμη παλαιότερα, κατά την Ελληνιστική εποχή, τον 3^ο έως 2^ο αι. π.Χ. Κατά τη διάρκεια του Α' Παγκοσμίου πολέμου καταστράφηκε και σήμερα σώζονται τρία μεγάλα κομμάτια μέσα στο ρέμα καθώς και οι θεμελιώσεις στα πρηνή. Το νερό συνέχιζε τη διαδρομή προς τη Θεσσαλονίκη παράλληλα με τον Ξηροπόταμο στο Σείχ-Σου, μέσω ενός αγωγού λαξευμένου στο βράχο. Σε πολλά σημεία υπάρχουν και υπολείμματα από πήλινους αγωγούς που χρονολογούνται από τα Βυζαντινά χρόνια (Papacharalamprou et al. 2012).

Το 1918, μετά την απελευθέρωση, ο Δήμος Θεσσαλονίκης βελτίωσε το δίκτυο υδροδότησης της πόλης, με αποτέλεσμα να αλλάξει τη ροή του νερού μέσω ενός χτιστού αγωγού που έφτανε στον Ξηροπόταμο στο ύψος της σημερινής στροφής Φιλύρου. Για να περάσει το νερό στην απέναντι πλευρά του ρέματος που έχει βάθος πάνω από 30 m χρησιμοποιήθηκε χυτός σωλήνας που λειτουργούσε ως σιφόνι (Ταμιωλάκης 1995).

Τα τελευταία χρόνια η υδροδότηση του Ρετζικίου γινόταν από τις πηγές νότια του Φιλύρου στο σημερινό οικισμό των «Πηγών», ενώ το 2001 το ΙΓΜΕ πραγματοποίησε γεώτρηση στην περιοχή του οικισμού των «Πηγών». Σήμερα τα Πεύκα υδροδοτούνται από την ΕΥΑΘ με νερό από τον ποταμό Αλιάκμονα.

3.2 ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΟΥ ΑΣΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΤΩΝ ΠΕΥΚΩΝ

Η προέλευση της ονομασίας του τοπωνυμίου Ρετζίκι (Φωτ. 3.2.1) προέρχεται από τη λέξη Urendjick που στην παλαιοτουρκική σημαίνει «Μικρός Παράδεισος». Το Urendjick αποτέλεσε μετά από τα μέσα του 18^{ου} αιώνα τη θερινή διαμονή των ευρωπαϊών εμπόρων της Θεσσαλονίκης, ενώ Πρόξενοι διάφορων ευρωπαϊκών χωρών είχαν εδώ τις εξοχικές κατοικίες τους (Μέλφος και Πρίντζης 2006). Από το 1922 και μετά εγκαταστάθηκαν μόνιμα στα Πεύκα κτηνοτρόφοι από το Πάικο και μετά το 1925 ο πληθυσμός του οικισμού αυξήθηκε σημαντικά με την παρουσία προσφύγων που κατέφτασαν κυρίως από τη Μικρά Ασία. Το Ρετζίκι αποτέλεσε τόπο θερινών διακοπών για τους Θεσσαλονικείς έως και τη δεκαετία του

1990. Εκείνη την περίοδο, μαζί με την επέκταση του πολεοδομικού σχεδίου της πόλης της Θεσσαλονίκης, ξεκίνησε και η έντονη οικοδομική δραστηριότητα της περιοχής των Πεύκων (Φωτ. 3.2.1).

Ωστόσο η ανεξέλεγκτη ρίψη απορριμμάτων και αποβλήτων προκάλεσε στην αστική υποβάθμιση ορισμένων περιοχών του οικισμού (Φωτ. 3.2.2). Εξαιτίας της έλλειψης κατάλληλων υποδομών και αποχετευτικού συστήματος, δημιουργήθηκαν πολλές παράνομες συνδέσεις αποχετεύσεων των οικιών κατευθείαν στα ρέματα. Επιπλέον, τα λύματα, μέχρι τα μέσα της δεκαετίας του 2000 κατέληγαν κυρίως σε υπόγειες σηπτικές δεξαμενές (βόθρους) που συνήθως διέρρεαν στον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα. Η απόρριψη των απορριμμάτων και των λυμάτων μέσα στα ρέματα λόγω έλλειψης αποχετευτικού συστήματος στις οικίες, οδήγησε στη ρύπανση και μόλυνση των νερών των ρεμάτων (Φωτ. 3.2.3).

Το 2005 άρχισε να κατασκευάζεται αποχετευτικό δίκτυο καθώς και μία μονάδα βιολογικού καθαρισμού που εξυπηρετούν σε μεγάλο βαθμό τις ανάγκες αποχέτευσης των Πεύκων, ενώ ακόμη διατηρούνται υπόγειες σηπτικές δεξαμενές κυρίως σε κατοικίες κατά μήκος των ρεμάτων.



Φωτ. 3.2.1 Η περιοχή των Πεύκων (Ρετζίκι) Θεσσαλονίκης. Στο βάθος το Φύλιρο.



Φωτ. 3.2.2 Αστική υποβάθμιση της περιοχής μελέτης στα Πεύκα (φωτογραφία: Β. Μέλφος).



Φωτ 3.2.3 Ρύπανση ρέματος στην περιοχή μελέτης στα Πεύκα (φωτογραφία: Β. Μέλφος).

4. ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΤΩΝ ΒΑΡΕΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ ΣΤΑ ΥΠΟΓΕΙΑ ΥΔΑΤΑ ΚΑΙ ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

Τα βαρέα μέταλλα θεωρούνται επικίνδυνοι ρύποι, αφού δεν αποικοδομούνται με φυσικές διεργασίες και παραμένουν στο περιβάλλον για μεγάλο χρονικό διάστημα. Εισέρχονται στον βιοχημικό κύκλο και συσσωρεύονται σε οργανισμούς προκαλώντας διαταραχές στις βιολογικές δράσεις, χρόνιες βλάβες σε ζωτικά όργανα έως και τον θάνατο όταν βρίσκονται σε σχετικά μεγάλες ποσότητες. Η παρουσία τους στα επιφανειακά νερά προέρχεται τόσο από φυσικές διεργασίες (διάβρωση, αποσάθρωση πετρωμάτων και μεταλλοφοριών), όσο και από ανθρώπινες δραστηριότητες (αστικά και βιομηχανικά απόβλητα, αγροτικές δραστηριότητες, χρήση λιπασμάτων, ατμοσφαιρικές αποθέσεις, μεταλλεία κ.ά.).

Ο φυσικός αποδέκτης των ποταμών, ρεμάτων και τάφρων είναι η θάλασσα και αυτό έχει ως αποτέλεσμα η ποιότητα του θαλασσινού νερού να επηρεάζεται άμεσα από αυτά. Η παρουσία βαρέων μετάλλων και άλλων τοξικών στοιχείων στα επιφανειακά νερά επηρεάζεται από φυσικούς (κλίμα, έδαφος), χημικούς (προσρόφηση και απελευθέρωση από τα ιζήματα ή αιωρούμενα σωματίδια) και βιολογικούς (αποικοδόμηση οργανικής ύλης) παράγοντες (Ανθεμίδης κ.ά. 2002, Σκόρδας 2005, Μίσσας 2007, Γιούρη 2008, Giouri et al. 2010 a,b, Giouri et al. 2012).

Η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει προτείνει τη δημιουργία μιας βάσης δεδομένων σε εθνικό επίπεδο σχετικά με την ποιότητα των επιφανειακών νερών και έχει επίσης καθορίσει μια κοινά αποδεκτή διαδικασία για την ανταλλαγή πληροφοριών με σκοπό να αποτιμηθούν τα επίπεδα ρύπανσης των νερών αυτών. Στο πλαίσιο αυτό το Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής (ΥΠΕΚΑ) χρηματοδότησε μία έρευνα με σκοπό το σχηματισμό μιας αρχικής εικόνας της ποιότητας των επιφανειακών νερών της Βόρειας Ελλάδας σχετικά με τα επίπεδα συγκέντρωσης βαρέων μετάλλων, τοξικών στοιχείων και φυσικοχημικών παραμέτρων και τη δημιουργία μιας βάσης δεδομένων για τους υδάτινους αποδέκτες (Ανθεμίδης κ.ά. 2002).

Αναλυτικότερα, οι υδάτινοι αποδέκτες (ποτάμια, παραπόταμοι, ρέματα, τάφροι, λίμνες) της Βόρειας Ελλάδας δέχονται αφενός τα νερά της υδρολογικής τους λεκάνης και τα στραγγίσματα του αρδευτικού συστήματος της περιοχής και αφετέρου βιομηχανικά και αστικά απόβλητα, και καταλήγουν στη συνέχεια στο Θερμαϊκό και Στρυμονικό κόλπο. Η μέτρηση των βαρέων μετάλλων και άλλων στοιχείων με περιβαλλοντικό ενδιαφέρον στα επιφανειακά νερά της Μακεδονίας γίνεται με παράλληλη εξέταση της χρονικής και τοπικής διακύμανσης των συγκεντρώσεων σε σχέση με τις κύριες αστικές, βιομηχανικές και

αγροτικές δραστηριότητες της ευρύτερης περιοχής, έτσι ώστε να εξαχθούν συμπεράσματα ως προς τις πηγές προέλευσής τους και να υπάρχει μια πιο ολοκληρωμένη εικόνα της πιθανής ρύπανσης των υδάτων (Ανθεμίδης κ.ά. 2002, Φυτιάνος και Χριστοφορίδης 2002).

Η πορεία του επιφανειακού νερού προς τον υδροφορέα καθορίζεται καταρχάς από φυσικές διεργασίες (διήθηση, προσρόφηση, διάλυση αλάτων κ.ά.). Κατά τη διαδικασία αυτή η συγκέντρωση των διαλυμένων ουσιών στο υπόγειο νερό μεταβάλλεται και συνεπώς μεταβάλλονται και οι φυσικοχημικές του ιδιότητες.

Επιπλέον η μεταφορά στο υπόγειο νερό χημικών ενώσεων που βρίσκονται στους επιφανειακούς ρυπαντές μέσω του διηθούμενου νερού, ρυπαίνει τους υπόγειους υδροφορείς που βρίσκονται σε περιοχές με καλλιέργειες και αγροκτήματα. Οι κύριες μορφές ρυπαντών είναι τα ζωικά λύματα, τα λιπάσματα και τα ζιζανιοκτόνα, καθώς και άλατα των αρδεύσεων (Φυτιάνος και Χριστοφορίδης 2002).

Τα λιπάσματα και τα ζωικά λύματα είναι κυρίως αζωτούχες και φωσφορούχες ανόργανες ή οργανικές ενώσεις που περιέχουν και συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων, όπως As, Co, Cu, Fe, Mn, Mo, V, Sr, Zn (Μίσσας 2007). Η χρήση επιπλέον ποσοτήτων λιπασμάτων οδηγεί σε παραμονή των ρύπων στο έδαφος και διήθηση της περίσσειας ποσότητας στους υπόγειους υδροφορείς. Με αυτόν τον τρόπο εμφανίζονται αυξημένες συγκεντρώσεις αζωτούχων ενώσεων και στα υπόγεια νερά των αγροτικών περιοχών με υψηλές περιεκτικότητες σε βαρέα μέταλλα. Ιδιαίτερα το αρσενικό (As) αποτελεί ένα από τα πιο επικίνδυνα τοξικά μέταλλα, με σημαντική επίδραση στο περιβάλλον και ειδικά στον άνθρωπο.

Σημαντικές ποσότητες αρσενικού εισέρχονται στο περιβάλλον από ανθρωπογενείς διεργασίες όπως κατεργασία μετάλλων στα ορυκτά των οποίων περιέχεται και αρσενικό, καύση ορυκτών καυσίμων (πετρέλαιο, κάρβουνο). Το αρσενικό αποτελεί κύριο συστατικό διαφόρων παρασιτοκτόνων, λιπασμάτων, συντηρητικών ξυλείας και ορισμένων φαρμάκων. Στην Ελλάδα το ισχύον ανώτατο επιτρεπτό όριο αρσενικού στο πόσιμο νερό είναι 10 ppb (Φυτιάνος και Χριστοφορίδης 2002).

Όσον αφορά την επίδραση του αρσενικού στην υγεία του ανθρώπου είναι γενικώς αποδεκτό πως ένα ισορροπημένο διαιτολόγιο για έναν ενήλικα πρέπει να περιλαμβάνει 12 με 40 μg As την ημέρα. Η πρόσληψη από το στόμα υψηλής δόσης αρσενικού οδηγεί σε ερεθισμό της γαστρεντερικής οδού, συνοδευόμενο με δυσκολία στην κατάποση, δίψα, αφύσικα χαμηλή πίεση και σπασμούς, ενώ μπορεί να προκληθεί θάνατος από καρδιαγγειακή ανεπάρκεια. Η θανατηφόρα δόση εκτιμάται για έναν ενήλικα στα 1-4 mg As/kg (Μήτρακας κ.ά. 2002).

Τα πιο συνηθισμένα σημάδια μακροχρόνιας έκθεσης σε χαμηλά επίπεδα αρσενικού μέσω του πόσιμου νερού είναι οι δερματικές αλλαγές, όπως η εμφάνιση ποικιλόμορφων κηλίδων στο δέρμα, η υπερκεράτωση του δέρματος, διάφορες πληγές, ακόμα και αγγειακά προβλήματα (Μήτρακας κ.ά. 2002).

5. ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ ΥΔΑΤΩΝ

Στο πλαίσιο της παρούσας πτυχιακής εργασίας πραγματοποιήθηκε υπαίθρια έρευνα και δειγματοληψία σε θέσεις όπου μπορούσαμε να έχουμε πρόσβαση σε υπόγεια ύδατα στο Ρετζίκι. Η δειγματοληψία έγινε υπό την καθοδήγηση του υπεύθυνου καθηγητή Λέκτορα κ. Β. Μέλφου, του Επίκουρου καθηγητή κ. Κ. Βουδούρη, και με την υποστήριξη των γεωλόγων κ. Κ. Γιούρη και κ. Χ. Παπαχαλαράμπου.

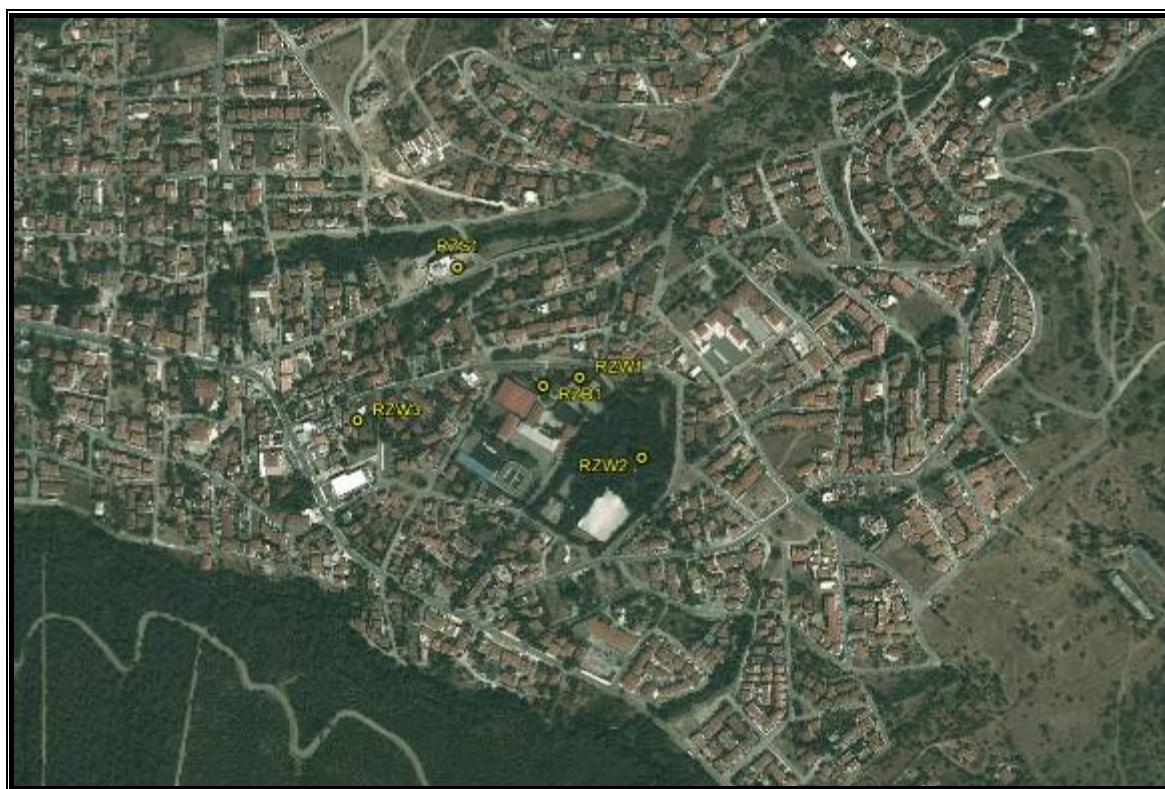
Οι θέσεις δειγματοληψίας εντοπίζονται στο κεντρικό τμήμα των Πεύκων όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.1. Η επιλογή των θέσεων επίσης προσαρμόστηκε με τέτοιο τρόπο, ώστε τα αποτελέσματα των αναλύσεων να είναι αντιπροσωπευτικά της εικόνας που επικρατεί στα υπόγεια ύδατα των Πεύκων. Οι συντεταγμένες των θέσεων δειγματοληψίας βρέθηκαν με χρήση του GPS (Global Positioning System), κι έπειτα τοποθετήθηκαν στο Google Earth (Σχήμα 5.1).

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω στην περιοχή έρευνας υπήρχε κατά το παρελθόν σημαντική περιβαλλοντική επιβάρυνση με τη λειτουργία υπόγειων σηπτικών δεξαμενών για τη συλλογή των αστικών λυμάτων, μερικοί από τους οποίους ήταν στεγανοί ενώ αρκετοί όχι. Από το 2005 και μετά άρχισε να λειτουργεί η κεντρική αποχέτευση και ο αριθμός των υπόγειων σηπτικών δεξαμενών μειώθηκε σημαντικά, ιδιαίτερα στην περιοχή μελέτης.

Η δειγματοληψία των υδάτων πραγματοποιήθηκε σε μία περίοδο, κατά τον Δεκέμβριο 2011. Οι θέσεις δειγματοληψίας επιφανειακών και υπογείων υδάτων είναι ενδεικτικές, και καλύπτουν σφαιρικά όλη την περιοχή έρευνας (Σχήμα 5.1). Επιλέχθηκαν οι εξής θέσεις δειγματοληψίας ύδατος (Σχήμα 5.1), που ήταν πέντε συνολικά: τρία πηγάδια, μία γεώτρηση, και ένα επιφανειακό δείγμα που προέρχεται από πηγή. Το πρώτο πηγάδι (δείγμα RZW1) βρίσκεται μέσα στο δημοτικό σχολείο του Κολλεγίου Δελασάλ (Φωτ. 5.1), ενώ το δεύτερο πηγάδι (δείγμα RZW2) βρίσκεται μέσα στο δάσος Δελασάλ (Φωτ. 5.2). Το τρίτο πηγάδι (δείγμα RZW3) εντοπίζεται στην αυλή οικίας στην οδό Αγίας Σοφίας 10 δίπλα στο παντοπωλείο Χατζηνικολάου (Φωτ. 5.3). Η γεώτρηση βρίσκεται κοντά στην είσοδο του Δημοτικού στο Κολλέγιο Δελασάλ και έχει βάθος 30 m. Το δείγμα RZB1 πάρθηκε από τη βρύση (Φωτ. 5.4) όπου καταλήγει το νερό της γεώτρησης. Η θέση δειγματοληψίας της

γεώτρησης αυτής επιλέχθηκε σκόπιμα, καθώς παρατηρήθηκε πως η περίφραξη στο προαύλιο του σχολείου είχε ένα πορτοκαλορόδινο χρώμα από οξειδία Fe (Φωτ. 5.5) που επικάθονται κατά το πότισμα των φυτών. Τέλος, το επιφανειακό δείγμα λήφθηκε από το προαύλιο του Δημαρχείου Πεύκων (Φωτ. 5.6), του οποίου τα ύδατα όμως προέρχονται από την πηγή της Αγίας Τριάδος απ' όπου και μεταφέρονται εκεί μέσω ενός αγωγού σε μία απόσταση περίπου 900 m (προφορική μαρτυρία του κατοίκου της περιοχής κ. Αριστείδη Στεφανίδη).

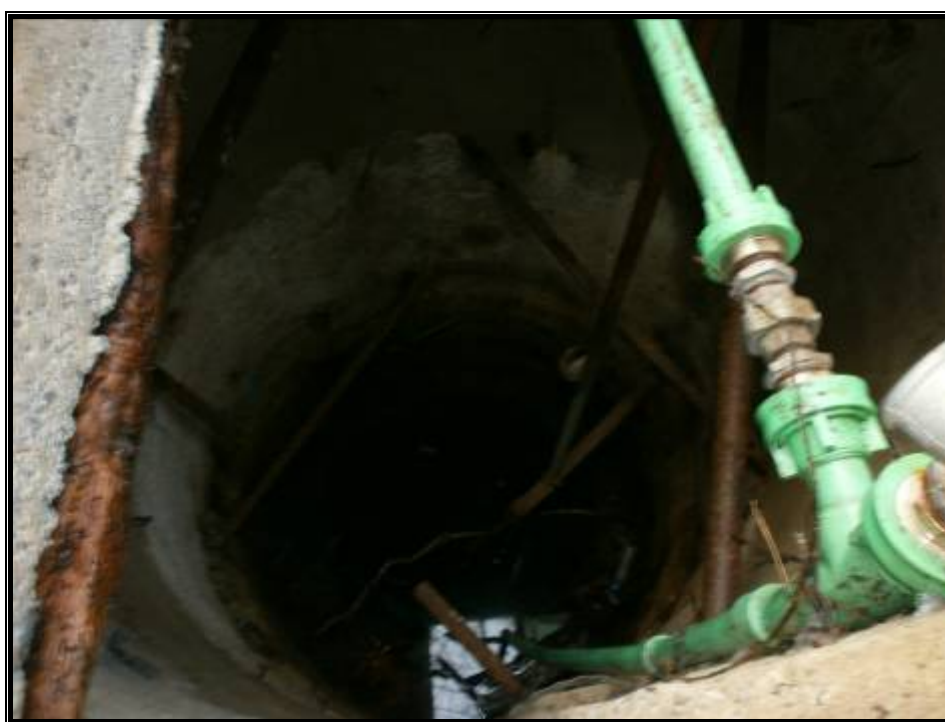
Η συλλογή έγινε προσεκτικά, έτσι ώστε να μην ληφθεί οργανική ύλη, όπως φυτά ή έντομα. Το κάθε δείγμα τοποθετήθηκε σε πλαστικές φιάλες χωρητικότητας 300 ml (Φωτ. 5.4). Έπειτα, τα δείγματα διηθήθηκαν και αποθηκεύτηκαν σε μπουκαλάκια των 50ml. Αυτά οξινίστηκαν, προσθέτοντας άμεσα σε κάθε φιάλη 3 ml διαλύματος HNO_3 , 1:1 σε $\text{pH} < 2$. Αυτό έγινε για να αποφευχθεί η ανάπτυξη μικροοργανισμών και για να περιοριστεί η απορρόφηση και η καθίζηση ιχνοστοιχείων στα τοιχώματα, μέχρι τα δείγματα να αναλυθούν στο εργαστήριο. Τα δείγματα τοποθετήθηκαν στο ψυγείο για να γίνει η συντήρηση μέχρι την πραγματοποίηση των χημικών αναλύσεων.



Σχήμα 5.1 Θέσεις δειγματοληψίας στην περιοχή Ρετζίκι Θεσσαλονίκης (περιγραφή στο κείμενο).



Φωτ. 5.1 Θέση δειγματοληψίας ύδατος από πηγάδι μέσα στο δημοτικό σχολείο του κολλεγίου Δελασάλ (δείγμα RZW1).



Φωτ. 5.2 Θέση δειγματοληψίας ύδατος από πηγάδι μέσα στο δάσος Δελασάλ (δείγμα RZW2).



Φωτ. 5.3 Θέση δειγματοληψίας ύδατος από ιδιωτικό πηγάδι στην οδό Αγίας Σοφίας (δείγμα RZW3).



Φωτ. 5.4 Θέση δειγματοληψίας ύδατος από γεώτρηση στο κολλέγιο Δελασάλ (δείγμα RZB1).



Φωτ. 5.5 Το προαύλιο του Κολλεγίου Δελασάλ με κοκκινισμένη την περίφραξη από τα οξείδια Fe, λόγω ποτίσματος με νερό που προέρχεται από τη γεώτρηση (δείγμα RZB1).



Φωτ. 5.6 Θέση δειγματοληψίας υδάτων στο Δημαρχείο Πεύκων (δείγμα RZS1).

6. ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΡΕΥΝΑΣ

Το εργαστηριακό μέρος της έρευνας περιελάμβανε τον προσδιορισμό των φυσικοχημικών παραμέτρων και της χημικής σύστασης των πέντε δειγμάτων που συλλέχθηκαν. Οι φυσικοχημικές παράμετροι προσδιορίστηκαν στην ύπαιθρο επί τόπου κατά τη δειγματοληψία, με τη χρήση ειδικού οργάνου μέτρησης «τύπου CRISON» (Φωτ. 6.1) το οποίο είναι φορητό και αποτελείται από μία μονάδα ελέγχου με οθόνη υγρών κρυστάλλων και ένα συνδυσασμένο ηλεκτρόδιο με αισθητήρες, για τη μέτρηση των εξής παραμέτρων: pH, Αγωγιμότητα ($\mu\text{S}/\text{cm}$), Ολικά Διαλυμένα Στερεά -TDS (mg/L) και Θερμοκρασία ($^{\circ}\text{C}$). Το όργανο και οι φιάλες με τα διαλύματα βαθμονόμησης (Φωτ. 6.1) ανήκουν στον Τομέα Γεωλογίας του Τμήματος Γεωλογίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης.

Ο προσδιορισμός της ενεργού οξύτητας (pH) στα δείγματα πρέπει να γίνεται αμέσως μετά τη δειγματοληψία. Ενεργός οξύτητα (pH) είναι η συγκέντρωση των ιόντων HCO_3^+ που περιέχεται στο διάλυμα του ύδατος και εκφράζεται με το pH, δηλαδή με τον αρνητικό δεκαδικό λογάριθμο της συγκέντρωσης των ιόντων HCO_3^+ . Το pH των υδάτων γενικώς μειώνεται όσο η υδάτινη μάζα ενηλικιώνεται. Μια νέα υδάτινη μάζα είναι συνήθως αλκαλική ($\text{pH}>7$) και με το χρόνο γίνεται σταδιακά πιο όξινη ($\text{pH}<7$). Αυτό οφείλεται κατά κύριο λόγο στη συγκέντρωση οργανικού υλικού που εκλύει το CO_2 όταν αποσυντίθεται (Βουδούρης 2009). Η ηλεκτρική αγωγιμότητα είναι η αριθμητική έκφραση των ηλεκτρικών φορτίων που φέρει ένα υδατικό διάλυμα, και επομένως συνδέεται άμεσα με την ποσότητα και τη φύση των διαλυμένων ηλεκτρολυτών. Το ενδεικτικό επίπεδο της αγωγιμότητας στο πόσιμο νερό είναι $400 \mu\text{S}/\text{cm}$. Τα ολικά διαλυμένα στερεά (T.D.S.) ή αλλιώς η αλατότητα των υδάτων εκφράζει τη συνολική συγκέντρωση των διαλυμένων στο νερό αλάτων, χωρίς να περιλαμβάνονται τα αιωρούμενα ιζήματα, τα κολλοειδή, και τα διαλυμένα αέρια. Όταν οι τιμές του T.D.S. κυμαίνονται μεταξύ $0\text{-}1000 \text{ mg}/\text{L}$, το νερό χαρακτηρίζεται γλυκό, μεταξύ $1000\text{-}10.000 \text{ mg}/\text{L}$ θεωρείται υφάλμυρο, μεταξύ $10.000\text{-}100.000 \text{ mg}/\text{L}$ αλμυρό, ενώ για τιμές μεγαλύτερες των $100.000 \text{ mg}/\text{L}$ υπεραλμυρό (Βουδούρης 2009). Η θερμοκρασία ($^{\circ}\text{C}$) των υπόγειων νερών, καθορίζεται κυρίως από τη θερμοκρασία των γύρω πετρωμάτων. Οι θερμοκρασίες του υπόγειου νερού τείνουν να παραμένουν σταθερές, ενώ τα επιφανειακά νερά παρουσιάζουν διακυμάνσεις εξαιτίας των μεταβολών της ηλιακής ενέργειας στην επιφάνεια της γης (Σούλιος 2006).

Ο εργαστηριακός εξοπλισμός που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση του pH είναι: το πεχάμετρο με ηλεκτρόδιο υάλου, καλομέλανος, το θερμόμετρο είναι ενσωματωμένο στο όργανο και γίνεται αυτόματη μέτρηση της θερμοκρασίας, μαγνητικός αναδευτήρας, πλαστικές φιάλες και απιονισμένο νερό (Φωτ. 6.1). Πριν από κάθε μέτρηση γίνεται

βαθμονόμηση του πεχάμετρου, σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή. Η βαθμονόμηση γίνεται σε δύο τουλάχιστον τιμές μεταξύ των οποίων βρίσκεται το pH του δείγματος, οι οποίες απέχουν 3 ή περισσότερες μονάδες pH μεταξύ τους. Πριν από κάθε μέτρηση, βγάζουμε το ηλεκτρόδιο που είναι τοποθετημένο στο ειδικό ποτήρι που περιέχει ρυθμιστικό διάλυμα, το ξεπλένουμε με αποσταγμένο νερό και το σκουπίζουμε με απορροφητικό χαρτί. Στη συνέχεια το βυθίζουμε στη φιάλη που περιέχει το δείγμα. Τοποθετούμε τη φιάλη σε μαγνητικό αναδευτήρα, τον οποίο θέτουμε σε λειτουργία. Η ποσότητα του δείγματος είναι τόση ώστε να καλύπτονται τα ευαίσθητα μέρη του ηλεκτροδίου και να είναι δυνατή η κίνηση της μαγνητικής ράβδου. Καταγράφουμε την τιμή pH και της θερμοκρασίας του δείγματος. Τέλος ξεπλένουμε το ηλεκτρόδιο με αποσταγμένο νερό, το σκουπίζουμε με απορροφητικό χαρτί και το τοποθετούμε στο ειδικό ποτήρι που περιέχει ρυθμιστικό διάλυμα. Όταν τελειώσουμε τις αναλύσεις ποματίζουμε το ηλεκτρόδιο με το ελατικό πώμα, το οποίο περιέχει KCl (Κυρίου 2010).



Φωτ. 6.1 Όργανα μέτρησης φυσικοχημικών παραμέτρων των δειγμάτων.

Για την πραγματοποίηση της γεωχημικής μελέτης τα υδατικά δείγματα αναλύθηκαν ως προς τη χημική τους σύσταση και συγκεκριμένα ως προς τις συγκεντρώσεις τους σε κύρια στοιχεία και ιχνοστοιχεία, και επιπλέον ως προς τη φόρτιση τους σε οργανικές ουσίες μέσω της μέτρησης του COD (Chemical Oxygen Demand) έτσι ώστε να προσδιοριστεί μια γενική εικόνα της πιθανής ρύπανσης των υδάτων. Οι αναλύσεις ως προς τις οργανικές ουσίες έγιναν

τις πρώτες 48 ώρες, αφότου το κάθε δείγμα διηθήθηκε με φίλτρο Whatman διαμέτρου 0,45 μm έτσι ώστε να ελαχιστοποιηθούν τα αιωρούμενα σωματίδια (APHA 1995).

Η παράμετρος COD προσδιορίστηκε στα δείγματα από το εργαστήριο ελέγχου ρύπανσης Περιβάλλοντος του τμήματος Χημείας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης. Με τον όρο COD (Chemical Oxygen Demand), εννοούμε την ποσότητα του O_2 που απαιτείται για τη χημική οξείδωση του συνόλου των οργανικών ενώσεων που περιέχονται στο νερό και που μπορούν να οξειδωθούν με ένα ισχυρό οξειδωτικό μέσο (Κουιμτζής κ.ά. 1998, 2004). Η συγκέντρωση των οργανικών ενώσεων προσδιορίστηκε με την οξείδωσή τους από το $K_2Cr_2O_7$ σε όξινο περιβάλλον, η περίσσεια του οποίου προσδιορίστηκε ογκομετρικά με πρότυπο διάλυμα Fe^{2+} και τελικά η ποσότητα του $K_2Cr_2O_7$ που καταναλώθηκε ήταν ανάλογη με την υπάρχουσα ποσότητα οργανικών ενώσεων που οξειδώθηκαν (Κουιμτζής κ.ά. 1998, 2004). Ο προσδιορισμός του COD αποτελεί μια ακριβή και γρήγορη μέτρηση, χρήσιμη στην εκτίμηση της ρύπανσης των επιφανειακών υδάτων και για τον έλεγχο και σχεδιασμό συστημάτων βιολογικού καθαρισμού λυμάτων και αποβλήτων.

Ο προσδιορισμός των κύριων στοιχείων και των ιχνοστοιχείων στα ύδατα έγινε με τη μέθοδο ICP στα ACME Laboratories στο Βανκούβερ του Καναδά. Σύμφωνα με αυτή τη μέθοδο (ICP Mass Spec-Group 2C), η ελάχιστη ποσότητα του κάθε δείγματος ύδατος που αναλύεται είναι 50 ml και τα αποτελέσματα αφορούν 70 χημικά στοιχεία από τα οποία επιλέχτηκαν τα εξής για σχολιασμό: As, Br, Ca, Cd, Cl, Co, Cr, Cs, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, Ni, P, Pb, Rb, S, Sb, Si, Sn, Sr, U, V, W, και Zn.

Για τη χρήση αυτής της μεθόδου τα υδατικά δείγματα πρέπει να έχουν λιγότερο από 0,1% ολικά ρευστοποιημένα στερεά και η μέθοδος παρέχει τα χαμηλά όρια ανίχνευσης (low detection limits) που χρειάζονται για να ορίσουν το ιστορικό προέλευσης και τα ανώμαλα επίπεδα που πιθανώς υπάρχουν και αφορούν τα μέταλλα στην περιοχή έρευνας.

7. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

7.1. ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ

Οι κυριότερες παράμετροι του υπόγειου νερού είναι:

- **Φυσικές:** θερμοκρασία, χρώμα, θολότητα, οσμή, ραδιενέργεια
- **Χημικές:** pH, Αγωγιμότητα, Σκληρότητα, Αλκαλικότητα, Δυναμικό οξειδοαναγωγής

Οι παράμετροι που μετρήθηκαν επιτόπου στην παρούσα εργασία, είναι οι εξής: pH, Αγωγιμότητα ($\mu\text{S}/\text{cm}$), Ολικά Διαλυμένα Στερεά T.D.S. (mg/L), Θερμοκρασία ($^{\circ}\text{C}$) με τη χρήση των κατάλληλων οργάνων μέτρησης (Φωτ. 6.1).

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων των φυσικοχημικών παραμέτρων παρατίθενται στον Πίνακα 7.1.

Πίνακας 7.1 Αποτελέσματα μετρήσεων φυσικοχημικών παραμέτρων των δειγμάτων. **Μ.Ο. :** Μέσος Όρος.

ΔΕΙΓΜΑ	pH	Αγωγιμότητα ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	T.D.S. (mg/L)	Θερμοκρασία ($^{\circ}\text{C}$)
RZW1	7,11	1274	814	16,8
RZW2	7,07	1104	706	16,3
RZW3	7,1	1215	777	16,3
RZB1	7,71	798	511	13,9
RZS1	7,04	812	520	16,9
M.O.	7,206	1040,6	665,6	16,04

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα αυτά, οι τιμές του pH κυμαίνονται από 7,04 στο δείγμα RZS1 έως και 7,71 στο δείγμα RZB1. Παρατηρείται δηλαδή μια σταθερότητα στο pH καθώς αυτό παρουσιάζει μικρές διακυμάνσεις με μέση τιμή 7,2 και τα δείγματα χαρακτηρίζονται από ουδέτερα ως αλκαλικά. Οι τιμές αυτές είναι φυσιολογικές και μέσα στα όρια της Νομοθεσίας της Ευρωπαϊκής Ένωσης τα οποία είναι 6,5-9,5 για ύδατα μη ρυπασμένων περιοχών (Ιωαννίδου 2012).

Τα όρια της αγωγιμότητας σύμφωνα με την οδηγία της Ε.Ε. είναι έως 2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Ιωαννίδου 2012). Οι τιμές δηλαδή της αγωγιμότητας βρίσκονται εντός των επιτρεπτών ορίων, με υψηλότερη την τιμή 1274 $\mu\text{S}/\text{cm}$ που εμφανίζεται στο δείγμα RZW1 και χαμηλότερη την τιμή 798 $\mu\text{S}/\text{cm}$ στο δείγμα RZB1. Οι μεγαλύτερες τιμές της αγωγιμότητας παρατηρούνται στα 3 δείγματα από τα πηγάδια.

Όσον αφορά τις τιμές των Ολικών Διαλυμένων Στερεών-T.D.S. ισχύουν τα εξής: μεταξύ 0-1.000 mg/L το νερό χαρακτηρίζεται γλυκό (fresh), μεταξύ 1.000-10.000 mg/L θεωρείται υφάλμυρο (brackish), μεταξύ 10.000-100.000 mg/L αλμυρό (salt or saline) ενώ για τιμές μεγαλύτερες των 100.000 mg/L υπεραλμυρό (Βουδούρης 2009). Παρατηρούμε την υψηλότερη τιμή αλατότητας στο δείγμα RZW1 (814 mg/L) και το δείγμα χαρακτηρίζεται γλυκό, ενώ η χαμηλότερη είναι του δείγματος RZB1 (511 mg/L) το οποίο χαρακτηρίζεται επίσης γλυκό. Οι μεγαλύτερες τιμές της αλατότητας παρατηρούνται και πάλι στα δείγματα των 3 πηγαδιών.

Οι τιμές της θερμοκρασίας κυμαίνονται από 13,9 στο δείγμα της γεώτρησης RZB1 έως 16,9 στο επιφανειακό δείγμα RZS1 τιμή αναμενόμενα υψηλότερη εφόσον τα ύδατα βρίσκονται στην επιφάνεια και άρα σε άμεση επαφή με τις ακτίνες του ήλιου.

7.2 ΓΕΩΧΗΜΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ ΤΩΝ ΥΔΑΤΩΝ

Παρακάτω παρατίθεται ο πίνακας των αποτελεσμάτων (Πίν. 7.2) των κύριων στοιχείων και ιχνοστοιχείων των δειγμάτων.

Τα πρώτα στοιχεία του πίνακα είναι τα κύρια στοιχεία (Ca, K, Mg, Na, P, Si), ενώ ακολουθούν τα στοιχεία Cl και S τα οποία παρουσιάζουν αυξημένες συγκεντρώσεις σε όλα τα δείγματα. Έπειτα παρατίθενται οι τιμές όλων των υπόλοιπων ιχνοστοιχείων στα οποία συμπεριλαμβάνονται και τα βαρέα μέταλλα.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των χημικών αυτών αναλύσεων, το Ca εμφανίζει την υψηλότερη περιεκτικότητα σε όλα τα δείγματα, που κυμαίνεται από 81,65 έως 174,06 mg/L και έχει μέση περιεκτικότητα 135,85 mg/L. Ακολουθεί το Mg, με μέση περιεκτικότητα 51,19 mg/L, ελάχιστη τιμή 38,69 και μέγιστη 62,18 mg/L. Το Cl έχει μέση τιμή 43,6 mg/L, ελάχιστη 34 και μέγιστη 53 mg/L, ενώ το S ακολουθεί με μέση περιεκτικότητα 34,6 mg/L, ελάχιστη τιμή 31 και μέγιστη 38 mg/L στο δείγμα RZW1. Τα Na και Si παρουσιάζουν επίσης υψηλές περιεκτικότητες στα δείγματα. Το Na δεν έχει υψηλές διακυμάνσεις καθώς κυμαίνεται από 21,43 mg/L στο δείγμα RZB1 έως 29,8 mg/L στο δείγμα RZW1 με μέσο όρο 28,03 mg/L, ενώ το Si έχει υψηλότερη τιμή 21,1 mg/L στο δείγμα RZB1, και χαμηλότερη 9,8 mg/L στο δείγμα RZW2 με μέσο όρο 13,4 mg/L. Τα υπόλοιπα κύρια στοιχεία παρουσιάζουν χαμηλότερες τιμές, με το K να κυμαίνεται από 1,26 mg/L στο δείγμα RZB1 έως 6,31 mg/L στο δείγμα RZW1, και ο P με μέση τιμή 28,2 μg/L και μέγιστη τιμή 48 μg/L στο δείγμα RZW1.

Πίνακας 7.2. Συγκεντρώσεις κύριων στοιχείων και ιχνοστοιχείων των δειγμάτων της περιοχής μελέτης. **MDL:** όριο ανίχνευσης, **bdl:** κάτω απ' το όριο ανίχνευσης.

Στοιχεία	Unit	MDL	RZW1	RZW2	RZW3	RZB1	RZS1	Μέσος Όρος
Ca	ppm	0,05	165,36	155,95	174,06	81,65	102,25	135,85
K	ppm	0,05	6,31	2,54	2,53	1,26	2,29	2,99
Mg	ppm	0,05	51,24	44,71	62,18	59,15	38,69	51,19
Na	ppm	0,05	29,80	26,80	28,20	21,43	27,30	28,03
P	ppb	10,00	48,00	36,00	18,00	12,00	27,00	28,20
Si	ppm	0,04	11,00	9,80	12,80	21,10	12,30	13,40
Cl	ppm	1,00	49,00	43,00	53,00	39,00	34,00	43,60
S	ppm	1,00	38,00	34,00	37,00	33,00	31,00	34,60
As	ppb	0,50	9,90	3,20	6,30	4,20	3,30	5,38
Br	ppb	5,00	118,00	100,00	155,00	117,00	69,00	111,80
Cd	ppb	0,05	0,06	bdl	bdl	bdl	bdl	0,06
Co	ppb	0,02	1,31	0,31	1,06	0,49	0,33	0,70
Cr	ppb	0,50	1,10	0,60	0,90	0,60	0,60	0,76
Cs	ppb	0,01	0,17	0,20	0,03	0,53	0,19	0,22
Cu	ppb	0,10	15,90	4,80	9,40	6,60	3,90	8,12
Fe	ppb	10,00	113,00	20,00	27,00	886,00	12,00	211,60
Mn	ppb	0,05	10,49	3,32	6,15	39,67	2,59	12,44
Ni	ppb	0,20	2,80	1,50	3,40	2,00	0,70	2,08
Pb	ppb	0,10	5,60	1,00	3,10	2,20	1,30	2,64
Rb	ppb	0,01	0,80	0,61	0,29	0,62	0,42	0,55
Sb	ppb	0,05	0,21	0,13	0,10	0,08	0,08	0,12
Sn	ppb	0,05	0,34	0,35	0,41	0,29	0,29	0,34
Sr	ppm	0,01	1,31	1,22	1,53	0,87	0,70	1,13
U	ppb	0,02	3,63	3,25	3,56	0,17	1,14	2,35
V	ppb	0,20	2,90	3,00	2,10	bdl	2,00	2,50
W	ppb	0,02	14,05	16,78	20,26	36,39	145,18	46,53
Zn	ppb	0,50	28,60	11,20	41,80	83,20	12,60	35,48

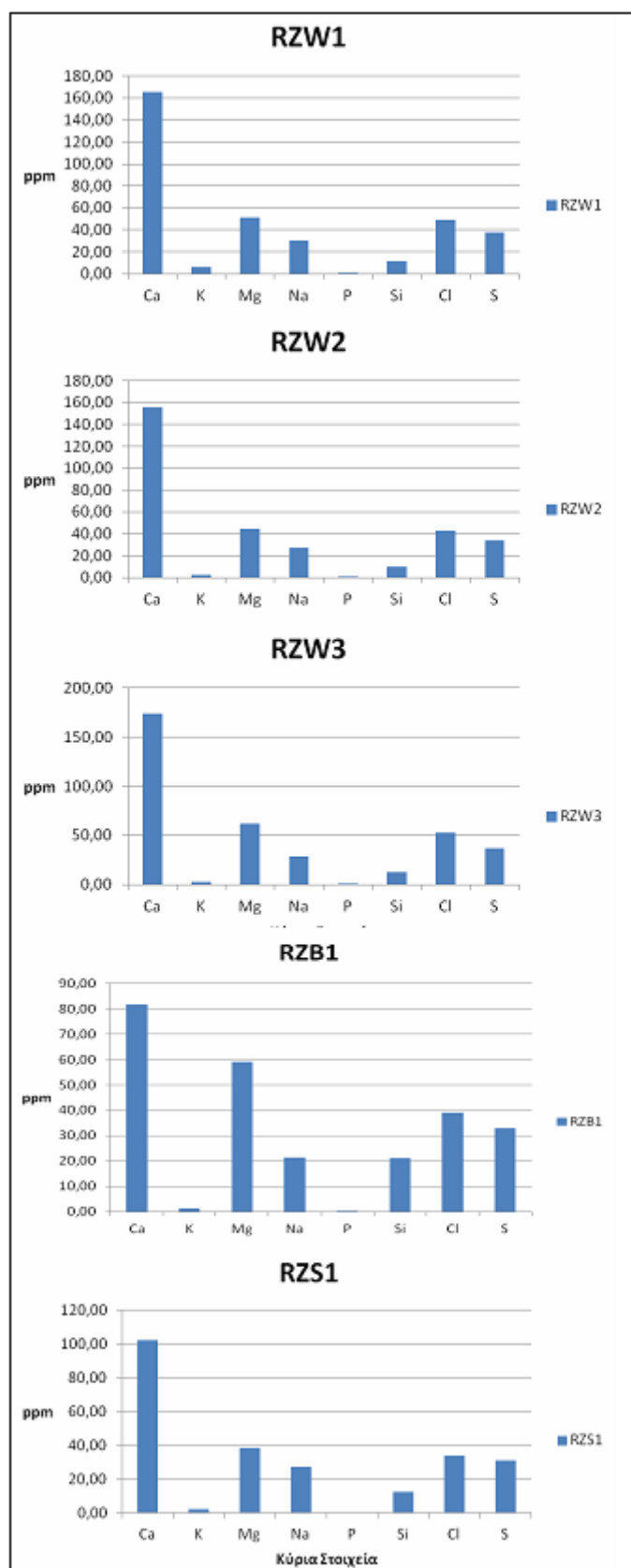
Σε ότι αφορά τα ιχνοστοιχεία, το As παρουσιάζει χαμηλές περιεκτικότητες, με ελάχιστη 3,2 στο δείγμα RZW2 και μέγιστη 9,9 µg/L στο δείγμα RZW1, ενώ το Br παρουσιάζει υψηλότερες τιμές, με μέση περιεκτικότητα 111,8 µg/L, ελάχιστη 69 και μέγιστη 155 µg/L στο RZW3. Το Cd εμφανίζεται μόνο στο δείγμα RZW1 με περιεκτικότητα 0,06 µg/L. Το Co έχει μέση τιμή 0,7 µg/L, ενώ οι περιεκτικότητες του Cr φτάνουν έως 1,1 ppb με μέσο όρο 0,76 µg/L.

Όσον αφορά τα υπόλοιπα ιχνοστοιχεία, οι τιμές των Cs, Rb, Sb, και Sn είναι ιδιαίτερα χαμηλές με χαμηλότερη την τιμή 0,03 ppb που έχει το Cs στο δείγμα RZW3, και υψηλότερη την τιμή 0,62 ppb που έχει το Rb στο δείγμα RZB1. Ο Cu κυμαίνεται από 3,9 µg/L στο

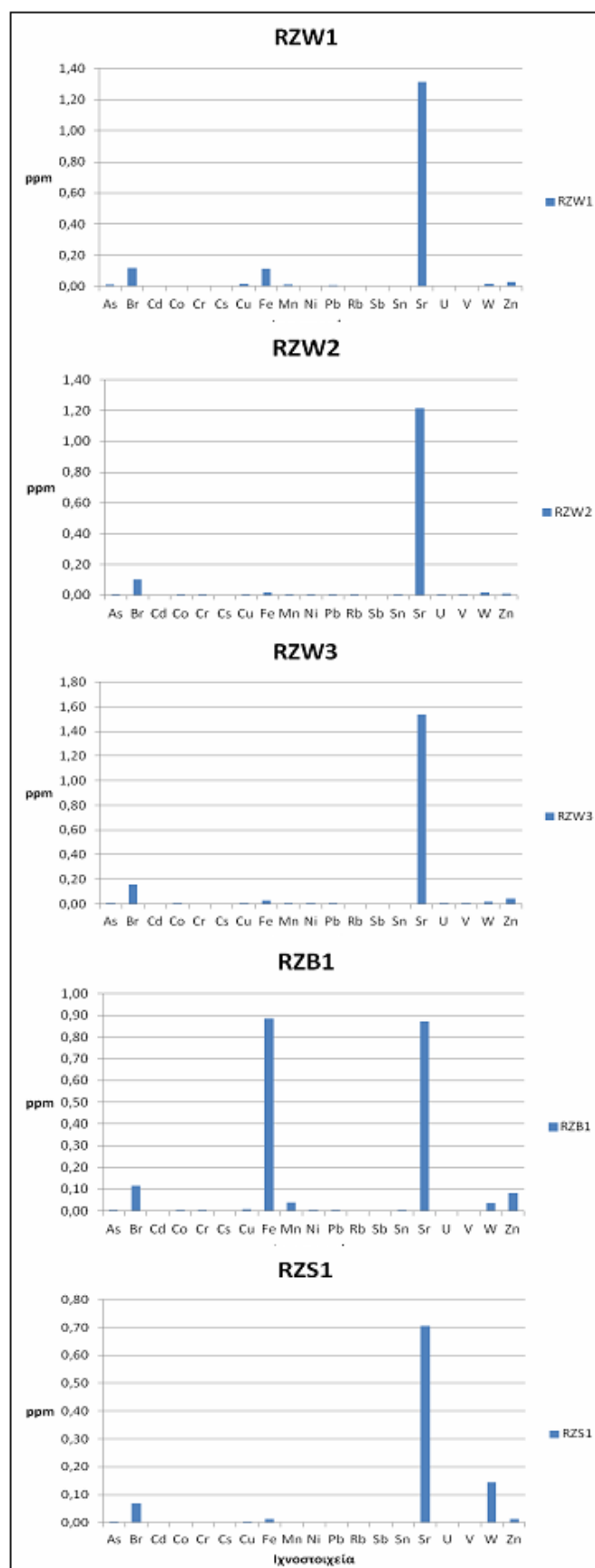
δείγμα RZS1 έως 15, 9 στο δείγμα RZW1. Ο Fe παρουσιάζει τη μέγιστη τιμή του στο δείγμα RZB1 με 886 $\mu\text{g/L}$, και την ελάχιστη στο RZS1 όπου είναι 12 $\mu\text{g/L}$. Τα μέταλλα Ni και Pb έχουν αρκετά χαμηλές τιμές, με μέση περιεκτικότητα 2,08 $\mu\text{g/L}$ το Ni και 2,64 $\mu\text{g/L}$ ο Pb. Αντίθετα, το Mn παρουσιάζει πιο αυξημένες τιμές, με την υψηλότερη τιμή στο δείγμα RZB1, όπου είναι 39,67 $\mu\text{g/L}$, και τη χαμηλότερη στο δείγμα RZS1 που είναι 2,59 $\mu\text{g/L}$. Ο Zn παρουσιάζει την υψηλότερη τιμή του επίσης στο δείγμα RZB1 με τιμή 83,2 $\mu\text{g/L}$. Το Sr ανιχνεύτηκε σε όλα τα δείγματα και έχει υψηλότερες τιμές σε σχέση με τα υπόλοιπα ιχνοστοιχεία, με μέγιστη περιεκτικότητα 1,53 mg/L στο δείγμα RZW3 και χαμηλότερη 0,70 στο δείγμα RZS1. Τα βιοχημικά και τα γεωχημικά χαρακτηριστικά του Sr είναι παρόμοια με αυτά του Ca, το Sr δηλαδή σχετίζεται χημικά με το Ca (Kabata-Pendias 2011). Πιθανότατα λόγω της αυξημένης περιεκτικότητας σε Ca των νερών, να υπάρχει και αυξημένη περιεκτικότητα σε Sr. Τέλος, τα στοιχεία U, V, W παρουσιάζουν χαμηλές τιμές με εξαίρεση το W που παρουσιάζει τη μέγιστη τιμή του 145,18 $\mu\text{g/L}$ στο δείγμα RZS1.

Παρατίθενται παρακάτω τα γραφήματα των χημικών αναλύσεων (Σχ. 7.2.1, 7.2.2), δύο για κάθε δείγμα ύδατος. Ένα διάγραμμα περιλαμβάνει τα κύρια στοιχεία Ca, K, Mg, Na, P, Si, Cl και S, ενώ το δεύτερο τα ιχνοστοιχεία As, Br, Cd, Co, Cr, Cs, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Rb, Sb, Sn, Sr, U, V, W, και Zn. Όλα τα αποτελέσματα που παρατίθενται είναι σε ppm.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα αυτά το Ca έχει την υψηλότερη τιμή σε όλα τα δείγματα. Το Ca υπάρχει σε όλα τα φυσικά νερά και προέρχεται από τη διάβρωση των ανθρακικών πετρωμάτων (ασβεστόλιθο, δολομίτη, μάρμαρα). Δεν έχει αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία και δεν υπάρχει ανώτατο επιτρεπτό όριο. Η συγκέντρωση ασβεστίου κυμαίνεται από μηδέν μέχρι μερικές εκατοντάδες ppm ανάλογα με την προέλευση του νερού και συμβάλλει στην ολική σκληρότητά του. Μικρές συγκεντρώσεις ανθρακικού ασβεστίου εμποδίζουν τη διάβρωση των μεταλλικών σωλήνων καθώς σχηματίζουν ένα προστατευτικό επίστρωμα. Αντίθετα, υψηλές συγκεντρώσεις αλάτων ασβεστίου με τη θέρμανση καθιζάνουν σχηματίζοντας σκληρά επικαθήματα στους λέβητες, στους σωλήνες και τα σκεύη μαγειρικής (Ιωαννίδου 2012). Το Ca προέρχεται κυρίως από τα ανθρακικά πετρώματα της περιοχής Πεύκων που εκτείνονται σε όλη την περιοχή.



Σχήμα 7.2.1 Περιεκτικότητες σε κύρια στοιχεία.



Σχήμα 7.2.2 Περιεκτικότητες σε ιχνοστοιχεία και βαρέα μέταλλα.

Το Mg είναι επίσης ιδιαίτερα υψηλό σε όλα τα δείγματα της περιοχής έρευνας. Βρίσκεται σε αφθονία στη φύση και αποτελεί ένα από τα πιο συνηθισμένα συστατικά των φυσικών νερών. Για τα Ca και Mg δεν υπάρχουν περιορισμοί στη συγκέντρωσή τους στα νερά. Το Mg προέρχεται τόσο από τα ανθρακικά πετρώματα της περιοχής Πεύκων, όσο και από τα οφειολιθικά πετρώματα που περιέχουν ορυκτά πλούσια σε Mg (ολιβίνης, πυρόξενος, χλωρίτης κ.ά.).

Το Cl βρίσκεται ιδιαίτερα αυξημένο σε όλα τα δείγματα και οι τιμές του είναι κοντά σε αυτές του Mg. Το Cl αποτελεί ένα στοιχείο που δεν απαντάται ελεύθερο στη φύση, αλλά κυρίως ως ιόν σε διάφορα άλατα. Χρησιμοποιείται ως απολυμαντικό νερού. Οι υψηλές περιεκτικότητες εξηγούνται καθώς ο μήνας της δειγματοληψίας ήταν ο Δεκέμβριος, όπου εξαιτίας των έντονων χιονοπτώσεων το 2011, υπήρχε συνεχής ρήψη χοντρού αλατιού (NaCl) από το Δήμο Νεάπολης-Συκεών στους δρόμους με αποτέλεσμα σημαντική ποσότητα να έχει διεισδύσει στο υπόγειο νερό.

Το S στα δείγματα έχει μέση τιμή 34,6 mg/L, χωρίς μεγάλες διακυμάνσεις. Η αυξημένη αυτή περιεκτικότητα πιθανότατα προέρχεται από τα οφειολιθικά πετρώματα της περιοχής.

Όσον αφορά τα υπόλοιπα κύρια στοιχεία, τα K, Na, P και Si, παρουσιάζουν όλα σημαντικές περιεκτικότητες εκτός από τον P που έχει πολύ χαμηλές τιμές σε όλα τα δείγματα. Το Na παρουσιάζει μέση τιμή 26,7 mg/L χωρίς μεγάλες διακυμάνσεις. Οι υψηλές περιεκτικότητες οφείλονται πιθανώς στην ρήψη αλατιού λόγω των χιονοπτώσεων, όπως και στην περίπτωση του Cl.

Όσον αφορά τη δεύτερη ομάδα διαγραμμάτων όπου φαίνονται τα υπόλοιπα βαρέα μέταλλα και ιχνοστοιχεία παρατηρούμε τα εξής:

Οι τιμές του As είναι ιδιαίτερα χαμηλές σε όλα τα δείγματα. Το θεσμοθετημένο όριο στην Ελλάδα για το As στα υπόγεια ύδατα είναι 10 µg/L (Μίσσας 2007, Γιούρη 2008, Ζαφειρόπουλος 2009, Giouri et al. 2010 a,b, Giouri et al. 2012). Την υψηλότερη περιεκτικότητα σε αρσενικό, κοντά στο ανώτατο επιτρεπτό όριο εμφανίζει το δείγμα RZW1 με τιμή 9,9 µg/L. Η προέλευση του αρσενικού στα ύδατα είναι είτε φυσική είτε ανθρωπογενής. Ωστόσο, θεωρείται πως η παρουσία του αρσενικού στο περιβάλλον είναι κυρίως φυσικής προέλευσης (Ζαφειρόπουλος 2009). Αυτό μάλλον ισχύει και για την περίπτωση των Πεύκων.

Ο Fe παρουσιάζει τη μέγιστη τιμή του στο δείγμα RZB1 με 0,89 mg/L κάτι που είναι αναμενόμενο καθώς το δείγμα αυτό προέρχεται από τη γεώτρηση εντός του σχολείου, όπου παρατηρήσαμε πως το προαύλιο ήταν κοκκινισμένο από οξείδια του σιδήρου (Φωτ. 5.5). Οι

υπόλοιπες τιμές του Fe στα δείγματα είναι αρκετά χαμηλότερες, με μέσο όρο 0,21 mg/L. Πιθανώς η γεώτρηση αντλεί νερό από κάποια οξειδωμένη μεταλλοφορία πλούσια σε Fe.

Το Sr παρατηρείται ιδιαίτερα αυξημένο στα διαγράμματα σε όλα τα δείγματα με μέση περιεκτικότητα 1,126 mg/L. Όπως προαναφέρθηκε, πιθανότατα λόγω της αυξημένης περιεκτικότητας σε Ca των νερών, να υπάρχει και αυξημένη περιεκτικότητα σε Sr.

Ένα άλλο ιχνοστοιχείο που φαίνεται ιδιαίτερα αυξημένο συγκριτικά με τα υπόλοιπα, είναι το Br. Έχει μέση περιεκτικότητα 0,114 mg/L. Το Br είναι υγρό σε θερμοκρασία δωματίου. Όταν στερεοποιείται σχηματίζει καστανοκόκκινους κρυστάλλους με ελαφριά μεταλλική λάμψη. Όταν βράζει δίνει καστανοκίτρινους ατμούς. Το υγρό βρώμιο έχει πυκνότητα 3,1 gr/cm³ στους 20 °C (Kabata-Pendias 2011). Τέλος, στο δείγμα RZS1 το βολφράμιο (W) έχει τιμή 0,15 mg/L. Το W έχει το υψηλότερο σημείο τήξεως από όλα τα καθαρά μέταλλα και το δεύτερο υψηλότερο από όλα τα στοιχεία του Περιοδικού Πίνακα μετά τον άνθρακα.

7.3 ΟΡΓΑΝΙΚΕΣ ΟΥΣΙΕΣ

Τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων ως προς την παράμετρο COD παρουσιάζονται στον Πίνακα 7.3. Η Ελληνική νομοθεσία δεν παραθέτει συγκεκριμένα όρια για την παράμετρο αυτή στα επιφανειακά ύδατα. Τα kit (εργαστηριακός εξοπλισμός) που χρησιμοποιήθηκαν για τις μετρήσεις αυτές είναι της εταιρείας WTW και συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκαν εκείνα που αντιστοιχούν στο χαμηλότερο εύρος τιμών, δηλαδή αυτά για περιεκτικότητες COD από 10-150 mg/L. Οι ενδείξεις του φωτόμετρου έδειξαν περιεκτικότητες σε όλα τα δείγματα μικρότερες από 10 mg/L. Η τιμή αυτή αποτελεί φυσιολογική τιμή για μη μολυσμένα ύδατα (Γιούρη 2008).

Πίνακας 7.3 Συγκεντρώσεις της παραμέτρου COD σε mg/L.

ΔΕΙΓΜΑ	COD
RZW1	<10
RZW2	<10
RZW3	<10
RZB1	<10
RZS1	<10

8. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Οι περισσότερες χώρες στον κόσμο έχουν καθιερώσει πρότυπα ποιότητας του πόσιμου νερού που εφαρμόζουν στην επικράτειά τους και χρησιμοποιούν παρόμοιες μεθόδους ανάλυσης και έκφρασης των αποτελεσμάτων για να είναι εύκολη η σύγκριση μεταξύ τους. Καθώς η διαχείριση των υπόγειων και επιφανειακών υδατικών πόρων αποτελεί ένα παγκόσμιο ζήτημα, η Ευρωπαϊκή Ένωση, ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας αλλά και άλλες υπηρεσίες όπως είναι η Υπηρεσία Προστασίας Περιβάλλοντος σε κάθε χώρα θεσπίζουν κατόπιν μελετών τα ανώτατα επιτρεπτά όρια βαρέων μετάλλων, ανιόντων, κατιόντων, μικροβιολογικών και άλλων παραγόντων στα ύδατα (Μίσσας 2007, Γιούρη 2008, Ιωαννίδου 2012). Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται οι ανώτερες επιτρεπτές συγκεντρώσεις στοιχείων και ιχνοστοιχείων στο πόσιμο νερό, σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Ένωση και τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας.

Πίνακας 8.1 Ανώτατες επιτρεπτές συγκεντρώσεις επιλεγμένων στοιχείων και βαρέων μετάλλων στο πόσιμο νερό σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Ένωση (Κουϊμτζής κ.ά. 1998).

*Ανώτατη παραδεκτή συγκέντρωση σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας.

Παράμετροι	Ανώτατη Παραδεκτή Συγκέντρωση
Μαγνήσιο	50 ppm
Ασβέστιο	100 ppm
Νάτριο	175 ppm
Κάλιο	12 ppm
Μαγγάνιο	50 ppb
Σίδηρος	200 ppb
Χαλκός	1,3 ppm *
Ψευδάργυρος	3 ppm *
Αρσενικό	10 ppb
Χρώμιο	50 ppb
Νικέλιο	50 ppb
Μόλυβδος	10 ppb
Ουράνιο	0,002 ppm *
Κάδμιο	5 ppb

Για μια ευρύτερη εικόνα της περιοχής, οι αναλύσεις των νερών συνδυάζονται με

αυτές των εδαφών της περιοχής έρευνας έτσι ώστε να συσχετιστούν τα χημικά στοιχεία των υδάτων με τα δομικά συστατικά των πετρωμάτων.

Με βάση τον παραπάνω πίνακα προκύπτει ότι το Mg εμφανίζει υψηλές συγκεντρώσεις (3 φορές πάνω από το όριο της Ε.Ε. για το πόσιμο νερό), που φτάνουν ως 62,18 mg/L στο δείγμα RZW3. Οι τιμές αυτές αποδίδονται στα υπερβασικά πετρώματα της περιοχής, αφού το Mg υπάρχει σε αυξημένες περιεκτικότητες σε αυτά όπως προαναφέρθηκε. Οι αυξημένες τιμές μαγνησίου επηρεάζουν τις τιμές σκληρότητας των υδάτων (η οποία με τη σειρά της δημιουργεί προβλήματα σε σωληνώσεις κ.ά.) και όταν βρίσκεται σε μεγάλες συγκεντρώσεις σε αρδευτικά ύδατα συμβάλλει στην εμφάνιση φαινομένων αλάτωσης των καλλιεργούμενων εδαφών και μείωσης της απόδοσής τους. Το γεγονός αυτό καθιστά ως ένα βαθμό τα νερά των ρεμάτων της περιοχής ακατάλληλα για άρδευση (Μίσσας 2007).

Το Ca είναι επίσης υψηλότερο του επιτρεπτού ορίου σε 4 από τα 5 δείγματα, αλλά όπως προαναφέρθηκε το Ca υπάρχει σε όλα τα φυσικά νερά και προέρχεται από τη διάβρωση των ανθρακικών πετρωμάτων. Τα στοιχεία Na, K, Mn, είναι αρκετά χαμηλότερα των ορίων της Ε.Ε. Όσον αφορά το Fe, στο δείγμα RZB1 ξεπερνάει το όριο της Ε.Ε. που είναι 200 µg/L, καθώς εκεί η τιμή του είναι 886 µg/L. Οι τιμές των Cu, Zn, As, Cr, Ni, Pb, U, Cd είναι σε όλες τις θέσεις κατώτερες των ορίων του Πίνακα 8.1.

Επομένως τα δείγματα από τα υπόγεια ύδατα στα Πεύκα έδειξαν ότι είναι ακατάλληλα ως προς τις περιεκτικότητες σε Ca, και Mg, ενώ για όλα τα υπόλοιπα στοιχεία κρίνεται ότι είναι κατάλληλα. Εξαιρεση αποτελεί το δείγμα RZB1 για το Fe ο οποίος υπερβαίνει τα όρια της Ε.Ε.

9. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τη γεωχημική περιβαλλοντική μελέτη της περιοχής των Πεύκων με σκοπό τη διερεύνηση της κατανομής των κύριων στοιχείων και ιχνοστοιχείων τα ύδατα και την εκτίμηση των πιθανών περιβαλλοντικών προβλημάτων που μπορούν να δημιουργήσουν αυξημένες συγκεντρώσεις κάποιων από αυτά τα στοιχεία, καταλήγουμε στα παρακάτω συμπεράσματα:

→ Τα συγκεκριμένα δείγματα υδάτων της περιοχής είναι όλα ακατάλληλα ως προς τα στοιχεία Ca, Mg, και Fe, για χρήση ως πόσιμα σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Ένωση και τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (Πίνακας 8.1).

→Ο Fe ανιχνεύτηκε σε όλα τα δείγματα, αλλά εμφανίζεται σε υψηλότερη περιεκτικότητα στο δείγμα RZB1, που είναι αυτό της γεώτρησης εντός του σχολείου Δελασάλ που παρουσιάστηκε κοκκινισμένο το προαύλιο (Φωτ. 5.5).

→Οι τιμές των στοιχείων As, Cd, Co, Cr, Cs, Ni, Pb, Rb, Sb, Sn, U, V, Zn σε όλα τα δείγματα ήταν πάρα πολύ χαμηλές. Τα Br και Sr σε όλα τα δείγματα παρουσίασαν υψηλότερες τιμές σε σχέση με τα υπόλοιπα ιχνοστοιχεία.

→Τα Ca, Mg και Cl έχουν τις υψηλότερες τιμές σε όλες τις θέσεις δειγματοληψίας.

→Σε ότι αφορά τις οργανικές ουσίες, με βάση τη μέτρηση της παραμέτρου COD, τα ύδατα της περιοχής δεν είναι μολυσμένα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- APHA, AWWA and WPCF (1995): Standard Methods for the examination of water and wastewater, 18th edition, Washington DC.
- Bowen H.J.M. (1979). Environmental Chemistry of the Elements. Academic Press.
- Giouri A., Christophoridis C., Melfos V., Vavelidis M. (2010a). Assessment of heavy metals concentrations in sediments of Bogdanas river at the Assiros-Lagadas area, Northern Greece. Proceedings of the XIX CBGA Congress, Thessaloniki, Greece. 100, 63-69.
- Giouri A., Vavelidis M., Melfos V. (2012). Primary approach on the evaluation of total arsenic concentration in Palea Kavala river, N. Macedonia, Northern Greece, Protection and restoration of the environment XI.
- Giouri A., Vavelidis M., Melfos V., Christophoridis B. (2010b). Geochemical study of the bogdanas river waters at the Assiros-Lagada area, Northern Greece. Journal of Environmental Protection and Ecology 11, 424-433.
- Hatzidimitriou P.M., Hatzfeld D., Scordilis E.M., Papadimitriou E.E., Christodoulou A.A. (1991). Seismotectonic evidence of an active normal fault beneath Thessaloniki (Greece). Terra Nova, 3, 648-654.
- Kabata-Pendias A. (2011). Trace elements in soils and Plants. CRC Press, New York, 534p.
- Kockel F., Antoniadis P., Ioannides K., Lachos N. (1978 a). Geological map of Greece, Thessaloniki sheet, scale 1:50.000. Inst Geol Miner Expl (IGME), Athens, Greece.
- Kockel F., Mollat H., Antoniadis P., Papadopoulos P. (1978 b). Geological map of Greece, Thermi sheet, scale 1:50.000. Inst Geol Miner Expl (IGME), Athens, Greece.
- Meinhold, G., Kostopoulos, D.K. (2012). The Circum-Rhodope Belt, northern Greece: Age, provenance, and tectonic setting. Tectonophysics, 595-596, 55-68.
- Mountouris A., Voutsas E., Tassios D. (2002). Bioconcentration of heavy metals in aquatic environments. The importance of bioavailability. Man. Pollut. Bull., 44, 1136-1141. New York, 333p.
- Papacharalampou C., Melfos V., Voudouris K. (2012). Water supply and related constructions since antiquity in Retziki (Pefka) of Thessaloniki, Northern Greece. In the Proceedings of the 3rd IWA Specialized Conference on Water and Wastewater Technologies in Ancient Civilizations. Eds: Koyuncu I. et al. (Istanbul, Turkey, 22-24 March 2012), 154-163.
- Papazachos C., Souplos P., Savaidis A., Roumelioti Z., (2000). Identification of small-scale active faults near metropolitan areas: An example from the Asvestochori fault near Thessaloniki, SSA-2-25-O.

- Papp J.F. (1994). Chromium Life Cycle Study, United States Geological Survey (USGS), United States Department of the Interior, Bureau of Mines, Information Circular/1994 IC 9411, HD9539.C4P37.
- Paradisopoulou P., Karakostas G., Papadimitriou E., Tranos M., Papazachos C., Karakaisis G. (2006). Microearthquake study of the broader Thessaloniki area (Northern Greece), *Annals of Geophysics*, 49, 13 pages.
- Psilovikos A. (1984). Gemorphological and structural modification of the Serbomacedonian massif during the Neotectonic stage, *Tectonophysics*, 110, 27-45.
- Psimoulis P., Ghilardi M., Fouache E. & Stiros S. (2007). Subsidence and evolution of the Thessaloniki plain, Greece, based on historical leveling and GPS data, *Science Direct, Engineering Geology*, 90, 55-70.
- Tranos M.D., Papadimitriou E., Kiliass A. (2003). Thessaloniki-Gerakarou fault zone (TGFZ): the western extension of the 1978 Thessaloniki earthquake and seismic hazard assessment. *Journal of Structural Geology*, 25, 2109–2123.
- Ανθεμίδης Α., Ζαχαριάδης Γ., Βουτσά Δ., Κούρας Α., Σαμαρά Κ. (2002). Διακυμάνσεις των συγκεντρώσεων βαρέων μετάλλων και τοξικών στοιχείων στα επιφανειακά νερά της Μακεδονίας. Πρακτικά 1^{ου} Περιβαλλοντικού Συνεδρίου Μακεδονίας, σελ. 104-109.
- Αντωνόπουλος Β. (2001). Ποιότητα και ρύπανση υπόγειων νερών. Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη, 344 σελ.
- Βουδούρης Κ. (2009). Υδρογεωλογία Περιβάλλοντος: Υπόγεια νερά και περιβάλλον. Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη, 460 σελ.
- Γιούρη Α. (2008). Γεωχημική-ορυκτολογική περιβαλλοντική μελέτη των ιζημάτων και υδάτων του ποταμού Μπογδάνα στην περιοχή Ασσήρου, Ν. Θεσσαλονίκης. Μεταπτυχιακή διατριβή Ειδίκευσης, Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ., 115 σελ.
- Δασκαλάκη Π. (2002). Συμβολή στη γνώση του χημισμού και της ποιότητας των υπόγειων υδάτων στον Ελλαδικό χώρο. Διδακτορική διατριβή, Τμήμα Γεωλογίας, Πανεπιστήμιο Πατρών, 947 σελ.
- Διεύθυνση Υδατικού Δυναμικού (2003). Σχέδιο Προγράμματος Διαχείρισης των Υδατικών Πόρων της Ελλάδας. Υπουργείο Ανάπτυξης, Αθήνα.
- Δραγάζης Ε. (2010). Αξιολόγηση των ποιοτικών χαρακτηριστικών υπόγειου νερού στην παράκτια περιοχή της Χαλέπας. Πτυχιακή εργασία, Τμήμα Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος, Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης, 48 σελ.
- Ζαφειρόπουλος Γ. (2009). Η παρουσία του As στα υπόγεια νερά. Πτυχιακή εργασία, Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ., 77 σελ.

- Ζερβοπούλου Α. (2010). Νεοτεκτονικά ρήγματα της ευρύτερης περιοχής της Θεσσαλονίκης σε σχέση με τα εδάφη θεμελίωσης. Διδακτορική διατριβή, Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ., 300 σελ.
- Ζερβοπούλου Α. και Παυλίδης Σ. (2005). Μορφοτεκτονική μελέτη της ευρύτερης περιοχής της Θεσσαλονίκης για τη χαρτογράφηση νεοτεκτονικών ρηγμάτων. Πρακτικά 1^{ου} Συνεδρίου της Επιτροπής Γεωμορφολογίας, Θεσσαλονίκη, 16 σελ.
- Ιωαννίδου Β. (2012). Έλεγχος βασικών παραμέτρων ποιότητας νερού στο πολεοδομικό συγκρότημα Ηρακλείου. Πτυχιακή εργασία, Τμήμα Ηλεκτρολογίας, Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης, 136 σελ.
- Καρατάσου Ε. (2005). Περιβαλλοντικές επιπτώσεις στα ρέματα της περιοχής Κώνου Σαπών Νομού Ροδόπης από μεταλλευτικές δραστηριότητες. Μεταπτυχιακή διατριβή Ειδίκευσης, Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ., 101 σελ.
- Κατσικάτσος Γ. (1991). Γεωλογία της Ελλάδας. Εκδόσεις Πανεπιστημίου Πατρών, 246 σελ.
- Κουιμτζής Θ., Φυτιανός Κ., Σαμαρά-Κωνσταντίνου Κ. (1998). Χημεία Περιβάλλοντος. Εκδόσεις University Studio Press, Θεσσαλονίκη, 372 σελ.
- Κουιμτζής Θ., Φυτιανός Κ., Σαμαρά-Κωνσταντίνου Κ., Βουτσά F. (2004). Έλεγχος ρύπανσης περιβάλλοντος. Εκδόσεις University Studio Press, Θεσσαλονίκη, 376 σελ.
- Κυρίου Μ. (2010). Ανάλυση των φυσικοχημικών και μικροβιολογικών παραμέτρων ποιότητας των νερών παραποτάμων και πηγών της υδρολογικής λεκάνης του ποταμού Κερίτη. Πτυχιακή εργασία, Τμήμα Φυσικών Πόρων & Περιβάλλοντος, Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης, 116 σελ.
- Λάτσιου Ε. (2010). Υδρογεωλογικές συνθήκες στην περιοχή του Δήμου Χορτιάτη. Πτυχιακή Εργασία, Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ., 88 σελ.
- Μάττας Χ. (2009). Υδρογεωλογική έρευνα στη λεκάνη του Γαλλικού ποταμού. Διδακτορική διατριβή, Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ., 375 σελ.
- Μέλφος Β. και Πρίντεζης Π. (2006). Η μαγευτική ιστορία του Βοτανικού Κήπου ΔΕΛΑΣΑΛ στο Ρετζίκι. Εφημερίδα «Χορτιάτης».
- Μήτρακας, Μ., Μπουγιουκλής, Γ., Στοϊλίδου, Μ. (2002): Απομάκρυνση του Αρσενικού από το νερό με τη συμβατική μέθοδο ιζηματοποίησης με Fe^{3+} ή Al^{3+} . Πρακτικά 6ου Πανελλήνιου Υδρογεωλογικού Συνεδρίου. Ξάνθη, Σελ. 385-392.
- Μίσσας Σ. (2007). Ορυκτολογική και γεωχημική έρευνα των ιζημάτων και υδάτων των ρεμάτων της περιοχής Τριαδίου Θεσσαλονίκης και διερεύνηση περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Μεταπτυχιακή διατριβή Ειδίκευσης, Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ., 142 σελ.

- Μουντράκης Δ. (2010). Γεωλογία και γεωτεκτονική εξέλιξη της Ελλάδας. Εκδόσεις University Studio Press, Θεσσαλονίκη, 369 σελ.
- Παπαδάκης Ν., Χαραλαμπίδης Δ., Τσαχουρίδου Ο., Χαραλαμπίδου Α., Καπάνταης Δ., Μήτσικας Δ., Σταύρακας Μ. (2005). Υγεινολογικός έλεγχος πόσιμων νερών του Πολεοδομικού συγκροτήματος Θεσσαλονίκης. Πρακτικά 2^{ου} Περιβαλλοντικού Συνεδρίου Μακεδονίας, 8 σελ.
- Παπαζάχος Β., Παπαζάχου Κ. (2003). Οι σεισμοί της Ελλάδας. Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη, 288 σελ.
- Παπάζογλου Δ., Κριτσινέλη Ε., Τεκνετζής Θ., Κουντουρά Κ. (1998). Μελέτη: Διερεύνηση λύσεων-διαμόρφωσης ρεμάτων κοινότητας Πεύκων-Β' φάση μελέτης.
- Παπαστέργιος Γ. (2008). Περιβαλλοντική γεωχημική μελέτη εδαφών και ιζημάτων σε παράκτιες περιοχές ανατολικά της Καβάλας και κατασκευή γεωχημικών χαρτών με χρήση GIS. Διδακτορική διατριβή, Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ., 224 σελ.
- Παπαστέργιος Γ., Τζάμος Ε., Καντηράνης Ν., Φιλίππιδης Α., Βογιατζής Δ., Γιούρη Α., Βαβελίδης Μ., Χαραλαμπί Β. (2011). Περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά υπόγειων υδάτων της περιοχής Ασβεστοχωρίου – Χορτιάτη. Πρακτικά 4^{ου} Περιβαλλοντικού Συνεδρίου Μακεδονίας, 7 σελ.
- Σκόρδας Κ. (2005). Περιβαλλοντική γεωχημική έρευνα εδαφών της ευρύτερης περιοχής του Δώτιου πεδίου Αγιάς-Λάρισας και επιπτώσεις στο περιβάλλον. Διδακτορική διατριβή, Τμήμα Γεωλογίας, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, 277 σελ.
- Σούλιος Γ. (2006). Γενική Υδρογεωλογία, Τόμος τέταρτος. Εκδόσεις University Studio Press, Θεσσαλονίκη, 233 σελ.
- Ταμιωλάκης Γ. (1985). Η ιστορία ύδρευσης της Θεσσαλονίκης. University Studio Press, Θεσσαλονίκη, 164 σελ.
- Φυτιάνος Κ., Χριστοφορίδης Χ. (2002). Μελέτη της ρύπανσης των πόσιμων υδάτων του Νομού Θεσσαλονίκης από νιτρικά, χλωριούχα και αρσενικό. Επεξεργασία των αποτελεσμάτων με γεωγραφικό σύστημα πληροφοριών (GIS) σε ηλεκτρονικό υπολογιστή. Πρακτικά 1^{ου} Περιβαλλοντικού Συνεδρίου Μακεδονίας, σελ 162-169.
- Χριστούλας Δ. (1991). Ρύπανση των υδάτων και αντιρρυπαντική τεχνολογία. Εκδόσεις Συμεών, Αθήνα.