



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

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΓΕΩΧΗΜΙΚΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΩΝ
ΥΔΑΤΩΝ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΠΕΥΚΩΝ (ΡΕΤΖΙΚΙ) ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ



Άννα-Μαρία Μπαμπάτσικου

A.E.M 4744

Επιβλέπων Καθηγητής: Βασίλης Μέλφος

Θεσσαλονίκη 2014

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	4
ABSTRACT.....	5
ΠΡΟΛΟΓΟΣ	6
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	7
2. ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΚΑΙ ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	10
2.1 ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΘΕΣΗ.....	10
2.2. ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ	11
2.1.1. ΠΕΡΙΟΔΟΠΙΚΗ ΖΩΝΗ.....	12
2.2.1. ΣΕΡΒΟΜΑΚΕΔΟΝΙΚΗ ΜΑΖΑ	14
2.3. ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ.....	16
2.4. ΣΕΙΣΜΙΚΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ	18
2.5. ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ	20
3. ΟΡΙΑΚΕΣ ΤΙΜΕΣ ΒΑΡΕΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ ΣΤΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΑ ΚΑΙ ΥΠΟΓΕΙΑ	24
ΥΔΑΤΑ.....	24
3.1. ΣΥΣΤΑΣΗ ΤΩΝ ΦΥΣΙΚΩΝ ΥΔΑΤΩΝ	24
3.2. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΣΤΗ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ ΤΩΝ ΥΔΑΤΩΝ.....	24
3.3. ΕΥΡΩΠΑΙΚΗ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ ΓΙΑ ΤΑ ΥΔΑΤΑ	27
4. ΜΟΛΥΝΣΗ ΚΑΙ ΡΥΠΑΝΣΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΩΝ ΥΔΑΤΩΝ ΚΑΙ Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ	29
ΣΤΗΝ ΥΓΕΙΑ ΤΩΝ ΑΝΘΡΩΠΩΝ	29
5. ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ ΥΔΑΤΩΝ	32
6. ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΡΕΥΝΑΣ.....	37
7. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	40
7. 1. ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	40
7.2. ΓΕΩΧΗΜΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ ΥΔΑΤΩΝ.....	41
8. ΟΡΓΑΝΙΚΕΣ ΟΥΣΙΕΣ	48
9. ΣΥΖΗΤΗΣΗ	50
10. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	54
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	55

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία αφορά στην γεωχημική και περιβαλλοντική ανάλυση των επιφανειακών υδάτων στη περιοχή Πεύκα (Ρετζίκι). Τα Πεύκα βρίσκονται κατά μήκος μιας κοιλάδας, στο βορειοδυτικό τμήμα της Θεσσαλονίκης, στην Βόρεια Ελλάδα, και συνδέονται με το κέντρο της πόλης μέσω της περιφερειακής οδού. Ολόκληρη η ευρύτερη περιοχή έχει επιβαρυνθεί τα τελευταία είκοσι χρόνια από την ανεξέλεγκτη απόρριψη τόσο οικιακών αποβλήτων, όσο και στερεών απορριμμάτων και μπαζών. Χαρακτηριστικά, δημοσιεύματα αναφέρουν ότι ο μοναδικός πνεύμονας πρασίνου της Θεσσαλονίκης, το δάσος του Σείχ Σου, δέχεται πολύ μεγάλης έκτασης ρύπανση από παράνομους αγωγούς λυμάτων, σκουπιδιών και μπαζών που κάποιοι συνήθισαν να πετούν στο δάσος. Έτσι σκοπός της μελέτης αυτής είναι να ερευνηθεί η χημική σύσταση των επιφανειακών υδάτων της περιοχής έρευνας. Σκοπός της εργασίας είναι να προσδιοριστούν οι συγκεντρώσεις των κύριων στοιχείων, των ιχνοστοιχείων, των βαρέων μετάλλων και της οργανικής επιβάρυνσης στα επιφανειακά ύδατα των ρεμάτων της περιοχής, ώστε να διερευνηθεί το ενδεχόμενο ρύπανσης ή και μόλυνσης σε αυτά. Για την επίτευξη αυτού του σκοπού, πραγματοποιήθηκε δειγματοληψία των επιφανειακών υδάτων στην περιοχή μελέτης τον Οκτώβριο 2013. Τα δείγματα που αποφασίστηκε να ληφθούν είναι επτά (πέντε από τον ποταμό Ξηροπόταμο, ένα από ανώνυμο ρέμα και ένα από το ρέμα Φιλύρου), προσπαθώντας να γίνει αξιόπιστη μελέτη και κάλυψη του μεγαλύτερου μέρους της περιοχής. Τα ύδατα αναλύθηκαν ως προς την συγκέντρωσή τους σε κύρια στοιχεία, ιχνοστοιχεία, βαρέα μέταλλα και ως προς τις οργανικές ουσίες (COD, BOD). Με βάση τις χημικές αναλύσεις των υδάτων, διαπιστώθηκε ότι οι περιεκτικότητες σε Ca, Mg, Cl, είναι αυξημένες σε ορισμένες θέσεις, γεγονός που δείχνει ότι αυτά τα ύδατα είναι ακατάλληλα για χρήση ως πόσιμα. Ειδικά για το Cl και τον P πιθανώς οι υψηλές τους περιεκτικότητες να οφείλονται σε ρύπανση από αστικά λύματα. Το S όπως και ο Fe, το As, το Sr και το Mn εντοπίζονται κατά θέσεις αυξημένα λόγω μεταλλοφόρων σωμάτων και των πετρωμάτων της περιοχής. Γενικά όμως οι περιεκτικότητες των βαρέων μετάλλων δεν ξεπερνούν τα θεσμοθετημένα όρια της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Όσον αφορά την περιεκτικότητα των υδάτων σε οργανικές ουσίες, οι τιμές της παραμέτρου COD δείχνουν ότι τα επιφανειακά ύδατα δεν είναι μολυσμένα.

ABSTRACT

GEOCHEMICAL ENVIRONMENTAL STUDY OF THE SURFACE WATER AT THE STREAMS OF PEFKA AREA (RETZIKI) THESSALONIK, N. GREECE

The present work refers to the geochemical and environmental study of the surface water of the Pefka area of Thessaloniki (Retziki). Pefka is located along a valley, at the northwestern part of the city of Thessaloniki, in Northern Greece, and is connected with the city center through the ring road. Over the last twenty years, the whole broader region was affected by various human activities such as non-controlled release of waste waters of solid garbage and debris. Press reports mention that the only slice of greenery in Thessaloniki, the forest of Seih Sou, accepts a very large scale pollution of illegal waste water conductors, garbage and debris that some people got used to reject in the forest. The purpose of this work is to determine the chemical composition of the surface water in the study area. More specifically, the aim 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 or contamination of the area. For the purposes of the present study, water sampling took place at the central part of Pefka area in October 2013. Seven sites were sampled: 5 samples from the river Xiropotamos, 1 sample from an anonymous river and one sample from the Filyro stream, trying to make a reliable study and cover a large part of the study area. The water samples were analyzed for their concentrations in major elements, trace elements (heavy metals were included) and organic substances (COD, BOD). The results of the water analyses show that the concentration of Ca, Mg, Cl, is elevated in some samples, indicating that the water is inappropriate and cannot be used as drinking water. Especially the Cl and P high contents may be attributed to the non-controlled release of waste waters. Some elements such as S, Fe, As, Sr and Mn are in relative high concentrations in places due to the local geology context. However, in general the 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.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία με τίτλο «Γεωχημική περιβαλλοντική μελέτη των επιφανειακών υδάτων στην περιοχή Πεύκων (Ρετζίκι) Θεσσαλονίκης», εκπονήθηκε κατά το ακαδημαϊκό έτος 2013-2014, στο Τμήμα Γεωλογίας της Σχολής Θετικών Επιστημών του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης. Αντικείμενο αυτής της πτυχιακής εργασίας είναι η γεωχημική και περιβαλλοντική μελέτη των επιφανειακών υδάτων στην περιοχή μελέτης των Πεύκων (Ρετζίκι), η οποία βρίσκεται στο Νομό Θεσσαλονίκης, στη Βόρεια Ελλάδα.

Θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου πρώτα από όλους, στον Επίκουρο Καθηγητή κ. Βασίλη Μέλφο για την εμπιστοσύνη και την ανάθεση του θέματος της διπλωματικής εργασίας, για την αμέριστη υπομονή και το ενδιαφέρον που μου έδειξε, καθώς και για όλες τις επιστημονικές υποδείξεις και καθοδηγήσεις που μου προσέφερε απλόχερα καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της παρούσας εργασίας. Ακόμη, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Επίκουρο Καθηγητή κ. Κωνσταντίνο Βουδούρη για τη βοήθεια και την συμβολή του στην υπαίθρια δειγματοληψία, καθώς και για την καθοδήγηση του κατά τη διάρκεια της συγγραφής της εργασίας αυτής. Επίσης, θερμά ευχαριστώ την γεωλόγο Κατερίνα Γιούρη, υποψήφια διδάκτορα στον Τομέα Ορυκτολογίας, Πετρολογίας, Κοιτασματολογίας για τη πολύτιμη βοήθειά της στην υπαίθρια δειγματοληψία, αλλά και στην προετοιμασία των δειγμάτων (διήθηση των υδάτων) για τις χημικές αναλύσεις και την μετέπειτα επεξεργασία των δεδομένων.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες θα ήθελα να εκφράσω στην εταιρεία INTERGEO Τεχνολογία Περιβάλλοντος Ε.Π.Ε. και συγκεκριμένα στον κ. Στυλιανό Παπαδόπουλο (Γενικό Διευθυντή) και στον Δρ. Βατσέρη Χρήστο (Αν. Γενικό Διευθυντή), για την διάθεση των αναλυτικών εργαστηρίων για τις αναλύσεις COD και BOD. Ακόμη θερμά ευχαριστώ την Αργυρώ Γρηγοριάδου, την Κατερίνα Μάγαλου, την Σοφία Ραφαϊλίδου και την Στέλλα Σούλιου (υπεύθυνες του εργαστηρίου INTERGEO) για την πολύτιμη βοήθεια και την υπομονή τους στις αναλύσεις COD και BOD των επιφανειακών δειγμάτων.

Τέλος ένα μεγάλο ευχαριστώ οφείλω στους γονείς μου που με στήριξαν πρώτα ηθικά και στη συνέχεια οικονομικά καθ' όλη την διάρκεια των σπουδών μου και ιδιαίτερα κατά τη διάρκεια εκπόνησης της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ένα θέμα που απασχόλησε και συνεχίζει να απασχολεί την επιστημονική κοινότητα είναι η ρύπανση του περιβάλλοντος εξ' αιτίας της τεχνολογικής προόδου και της ραγδαίας βιομηχανικής ανάπτυξης. Τα τελευταία χρόνια το φαινόμενο έχει πάρει επικίνδυνες διαστάσεις και σε πολλές περιπτώσεις γίνεται καταστροφικό για το πλανήτη και την υγεία των ανθρώπων.

Η ρύπανση του περιβάλλοντος οφείλεται κυρίως σε ανθρωπογενείς παράγοντες. Οι ανθρωπογενείς δραστηριότητες, προκαλούν μη αντιστρέψιμες μεταβολές στο περιβάλλον. Οι κυριότερες πηγές ρύπανσης για τις οποίες εθύνεται ο άνθρωπος είναι οι βιομηχανίες, με μεγάλο ποσοστό ρύπανσης με αέρια, υγρά και στερεά απόβλητα, αλλά και η συνεχώς αυξανόμενη καύση του λιγνίτη. Ακόμη οι αστικές δραστηριότητες, όπως είναι τα αστικά λύματα και τα στερεά απορρίμματα που δημιουργούν σοβαρά προβλήματα υποβάθμισης του περιβάλλοντος. Επίσης οι γεωργικές δραστηριότητες όπως είναι η αλόγιστη χρήση λιπασμάτων και παρασιτοκτόνων. Τέλος τα ατυχήματα των βιομηχανιών ή των πυρηνικών εργοστασίων κ.ά αποτελούν πηγές ρύπανσης του περιβάλλοντος, που τις περισσότερες φορές είναι μη αναστρέψιμες. Σοβαρά προβλήματα αποτελούν επίσης η όξινη βροχή και η διεύδυση του θαλασσινού νερού λόγω υπεράντλησης των υπόγειων υδροφόρων ή λόγω της αύξησης της στάθμης της θάλασσας.

Ορισμένες από τις πιο βλαβερές χημικές ενώσεις που συνήθως προέρχονται από 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. Τα ιχνοστοιχεία έχουν την σημαντικότερη επιδραση στην ανθρώπινη υγεία, αλλά και στο περιβάλλον (Bowen 1979, Kabata-Pendias 2011).

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).

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:

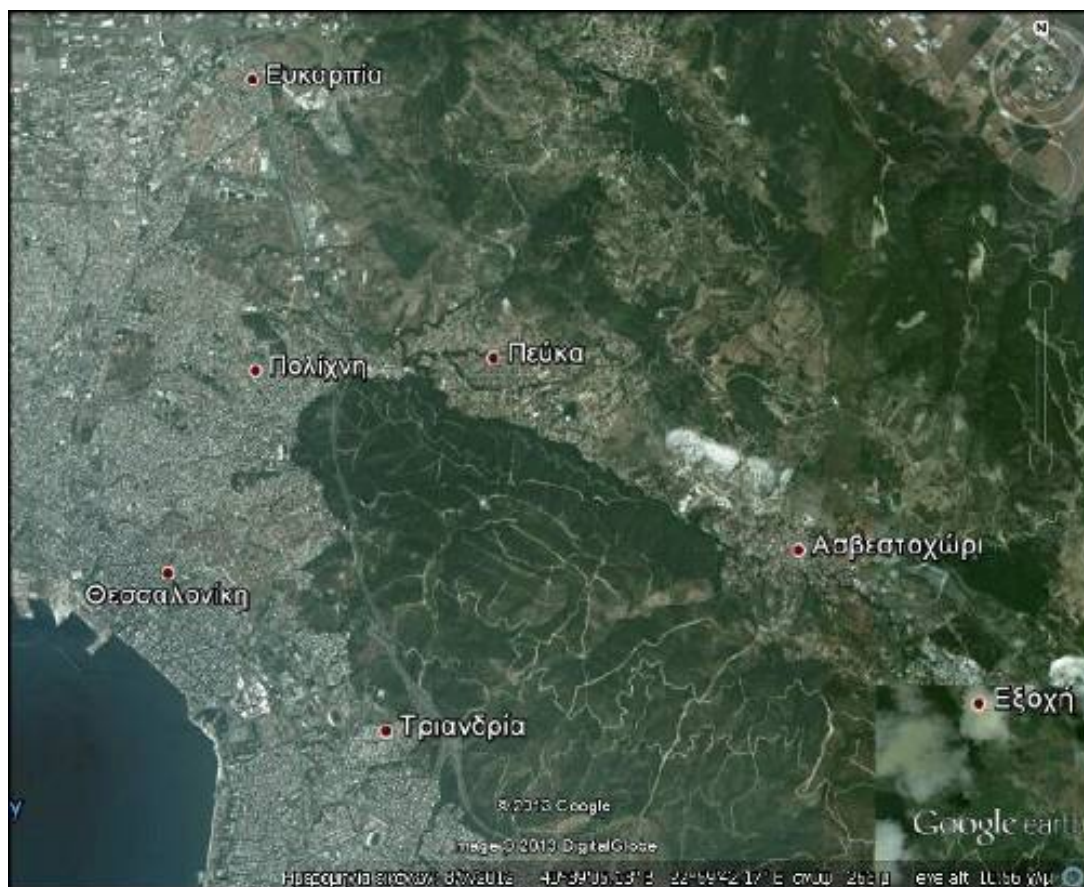
- Βαρέα μέταλλα-τοξικά στοιχεία και ενώσεις (Hg, Pb, Cd, As, Se, CN⁻ κ.ά.)
- Ανόργανες ενώσεις (NO₃⁻, PO₄³⁻, NO₂⁻, κ.ά.)
- Οργανικές ενώσεις (φαινόλες, χλωριωμένοι υδρογονάνθρακες, απορρυπαντικά, παρασιτοκτόνα, χρώματα βαφής, προϊόντα πετρελαίου κ.ά.)
- Ραδιενεργές ουσίες
- Παθογόνοι μικροοργανισμοί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

Η παρούσα εργασία που έχει ως στόχο την γεωχημική και περιβαλλοντική ανάλυση των επιφανειακών υδάτων στη περιοχή των Πεύκων, επιλέχθηκε να πραγματοποιηθεί ώστε να ολοκληρωθεί η μελέτη των συνολικών υδάτων (επιφανειακών - υπόγειων) σε αυτή τη περιοχή, αποτελώντας συνέχεια της διπλωματικής πτυχιακής εργασίας της γεωλόγου Α. Μιχαηλίδου (2013) με τίτλο «Γεωχημική περιβαλλοντική ανάλυση των υπόγειων υδάτων στην περιοχή Πεύκα (Ρετζίκι) Θεσσαλονίκης». Ακόμη, επιλέχθηκε γιατί 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. Έτσι με την μελέτη αυτή καταλήγουμε σε επιστημονικά και έγκυρα αποτελέσματα, για το αν η περιοχή έχει υποστεί ρύπανση και για το αν τα ύδατα κρίνονται κατάλληλα ή μη για χρήση ως πόσιμο νερό.

2. ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΚΑΙ ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

2.1 ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΘΕΣΗ

Η περιοχή μελέτης ανήκει στην δημοτική ενότητα Πεύκων, του δήμου Νεάπολης-Συκεών της Περιφέρειας Κεντρικής Μακεδονίας, ο οποίος εκτείνεται στο Βορειοδυτικό άκρο του πολεοδομικού συγκροτήματος της Θεσσαλονίκης, και εντάσσεται σε αυτήν όπως ορίζεται από το ρυθμιστικό σχέδιο Θεσσαλονίκης (Ν.1561/85). Παλαιότερα ο δήμος ονομάζονταν Πεύκα και η περιοχή Ρετζίκι, από την παράφραση της παλαιοτουρκικής λέξης «Urendjick», (Ουρετζίκ) που σημαίνει Μικρός Παράδεισος. Σήμερα, η δημοτική ενότητα Πεύκων χωρίζεται από το πολεοδομικό συγκρότημα της Θεσσαλονίκης με την Ανατολική περιφερειακή οδό, και επικοινωνεί με αυτήν μέσω του κόμβου Κ9 στη συμβολή των Δήμων Πολίχνης και Νεάπολης-Συκεών, και της οδού Θεσσαλονίκης-Ασβεστοχωρίου. Επίσημα ο πληθυσμός της δημοτικής ενότητας Πεύκων είναι 6434 κάτοικοι (πηγή: ΕΣΥΕ, ελληνική απογραφή 2011) και η έκταση της περιοχής είναι 1800 km² (Σχ. 2.1).



Σχήμα 2.1. Χάρτης της ευρύτερης περιοχής της δημοτικής ενότητας Πεύκων Θεσσαλονίκης (πηγή: Google earth).

Χαρακτηριστικό είναι ότι η περιοχή μελέτης βρίσκεται κατά μήκος μιας κοιλάδας, την οποία διασχίζει ο ποταμός Ξηροπόταμος. Πρόκειται για ένα ποτάμι το οποίο πηγάζει από την Εξοχή, διασχίζει το Ασβεστοχώρι, το Ρετζίκι (Πεύκα), την Πολίχνη και καταλήγει μέσω του κλειστού αγωγού του Δενδροποτάμου στον Θερμαϊκό κόλπο. Η σημασία του για την περιοχή είναι πολύ μεγάλη, καθώς αποτελεί ένα ενεργό οικοσύστημα που εδώ και χρόνια μολύνεται ανεξέλεγκτα με ανεπεξέργαστα λύματα μέσω παράνομων αγωγών αποχέτευσης, οι οποίοι καταλήγουν σε αυτόν ρυπαίνοντας το υδάτινο περιβάλλον. Παράλληλα, εκτός από τα λύματα υπάρχουν μπάζα και σκουπίδια που σε συνδυασμό με την υπολειτουργία του βιολογικού καθαρισμού, για πολλά χρόνια, ρυπαίνουν και αυτά ακόμη περισσότερο το ρέμα.

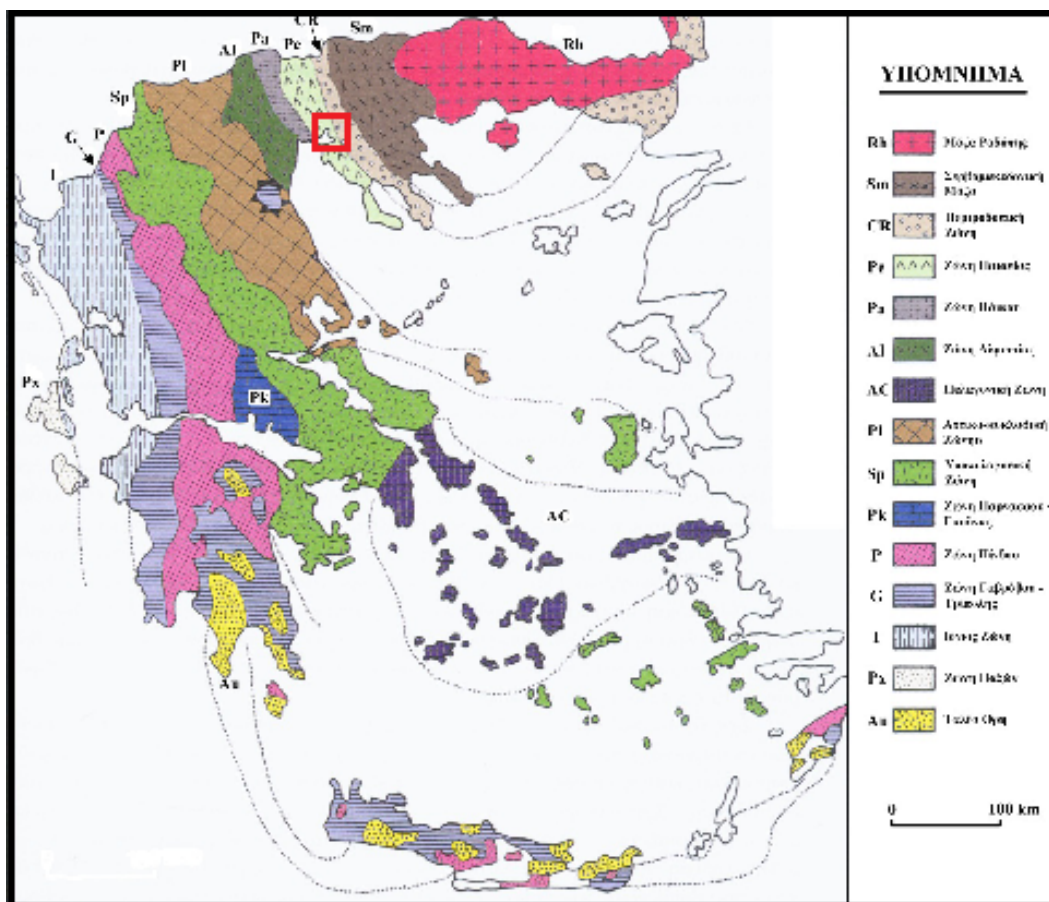
Σε αντίθεση με την σημερινή κατάσταση του ρέματος, παλαιότερα, στα Βυζαντινά χρόνια έως και πρόσφατα, χάρη στην ροή των υδάτων του Ξηροπόταμου, λειτουργούσαν νερόμυλοι με μεγαλύτερο αυτόν της Αγίας Κυριακής (Paracharalamprou et al. 2012). Είναι επίσης χαρακτηριστικό για την περιοχή, το μεγάλο ρήγμα του Ασβεστοχωρίου που βρίσκεται Βόρεια και Βορειοανατολικά των Πεύκων και απέχει από την πόλη της Θεσσαλονίκης περίπου 6 km. Αυτό έχει διεύθυνση ΑΝΑ-ΔΒΔ με μετάπτωση προς ΒΒΑ, είναι ένα κανονικό ρήγμα με αριστερόστροφη συνιστώσα κίνησης (Parazachos et al 2000, Tranos et al 2003). Τα κύρια συστήματα ρηγμάτων έχουν διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ, ΒΑ-ΝΔ και Α-Δ, είναι σχετικά μεγάλου μήκους, και καθορίζουν σημαντικά τη μορφολογία της περιοχής μελέτης (Tranos et al. 2003).

2.2. ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Γεωτεκτονικά η περιοχή μελέτης ανήκει κατά ένα μεγάλο μέρος στη Περιοδοπική ζώνη και κατά ένα μικρότερο μέρος στη Σερβομακεδονική μάζα, στη Βόρεια Ελλάδα (Σχ. 2.2). Το τμήμα της Περιοδοπικής ζώνης που εμφανίζεται στη περιοχή μελέτης είναι η ενότητα Άσπρης Βρύσης-Χορτιάτη με την μαγματική σειρά Χορτιάτη και η ενότητα Μελισσοχωρίου-Χολομώντα. Από την Σερβομακεδονική ζώνη εμφανίζεται στη περιοχή μελέτης η ενότητα Βερτίσκου. Η γεωλογία της περιοχής είναι ιδιαίτερα περίπλοκη και αυτό οφείλεται στα ποικίλα γεωλογικά φαινόμενα που οδήγησαν στο σχηματισμό και την παραμόρφωση των πετρωμάτων. Όπως προαναφέρθηκε η περιοχή των Πεύκων εντοπίζεται κατά μήκος μια κοιλάδας όπου το μεγάλο ρήγμα του Ασβεστοχωρίου και άλλα μικρότερης έκτασης ρήγματα καθορίζουν τη μορφολογία και το υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής.

2.1.1. ΠΕΡΙΟΔΟΠΙΚΗ ΖΩΝΗ

Η Περιοδοπική ζώνη εκτείνεται ως μια ζώνη πλάτους 10-20 χιλιομέτρων, με διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ στην δυτική πλευρά της Σερβομακεδονικής ζώνης. Γεωγραφικά στην Ελλάδα, η ζώνη εκτείνεται από τα σύνορα με τη FYROM στα βόρεια, ΝΑ έως τη λίμνη Λαγκαδά, στον κορμό της Χαλκιδικής και τη χερσόνησο Σιθωνίας όπου και κάμπτεται προς ΒΑ με διεύθυνση ΝΔ-ΒΑ, συνεχίζει από το νότιο άκρο της χερσονήσου του Άθω και προεκτείνεται υποθαλάσσια προς το νησί της Σαμοθράκης και την περιοχή Μαρώνειας, Αλεξανδρούπολης-Έβρου (Σχ. 2.2).



Σχήμα 2.2 Γεωτεκτονικές ζώνες του Ελληνικού χώρου (Μουντράκης 2010).

Η Περιοδοπική αποτελεί την πιο εσωτερική ζώνη από τις Εσωτερικές Ελληνίδες και περιλαμβάνει σχηματισμούς Περμιο-Τριαδικής ηλικίας. Το υπόβαθρο αποτελείται από τους διμαρμαρυγιακούς γνεύσιους και σχιστόλιθους της Σερβομακεδονικής, από αμμούχους αργιλικούς σχιστόλιθους και ανακρυσταλλωμένους ασβεστόλιθους της ενότητας Άσπρης Βρύσης-Χορτιάτη και από χαλαζίτες, φυλλίτες και ανακρυσταλλωμένους ασβεστόλιθους

της ενότητας Μελισσοχωρίου-Χολομώντα. Επίσης μέσα σε αυτά τα πετρώματα παρεμβάλλονται στρώματα μεταμορφωμένων εκρηξιγενών πετρωμάτων, όπως γνεύσιοι, πρασινοσχιστόλιθοι αλλά υπάρχουν και παρεμβολές οφειολιθικών σωμάτων με βασικά και υπερβασικά πετρώματα όπως γάββροι, διορίτες, περιδοτίτες (Μουντράκης 2010). Η διάταξη των τεκτονικών ζωνών και των πετρωμάτων υποβάθρου ακολουθεί μία ΒΔ-ΝΑ διεύθυνση (Ζερβοπούλου και Παυλίδης 2005). Επίσης το υπόβαθρο καλύπτεται από Νεογενείς-Τεταρτογενείς ιζηματογενείς αποθέσεις.

Σύμφωνα με τον Μουντράκη (2010) η Περιοδοπική ζώνη διακρίνεται σε τρεις επιμέρους ενότητες οι οποίες από ανατολικά προς δυτικά είναι οι εξής :

- *Ενότητα Ντεβέ Κοράν – Δουμπιά*
- *Ενότητα Μελισσοχωρίου – Χολομώντα*
- *Ενότητα Άσπρης Βρύσης - Χορτιάτη*

Όπως αναφέρθηκε, η περιοχή μελέτης εμφανίζεται στην ενότητα Μελισσοχωρίου – Χολομώντα καθώς και στην ενότητα Άσπρης Βρύσης – Χορτιάτη.

Η Ενότητα Μελισσοχωρίου - Χολομώντα έχει τη μεγαλύτερη έκταση από τις τρεις ενότητες της Περιοδοπικής και εκτείνεται σαν μια στενή ζώνη πλάτους 5 έως 15 km και διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ, από την λίμνη Δοϊράνης στα βόρεια σύνορα προς το βουνό Χολομώντα της Χαλκιδικής και τη Σιθωνία. Περιλαμβάνει έναν κατώτερο και έναν ανώτερο σχηματισμό. Ο κατώτερος σχηματισμός αποτελείται κυρίως από μάρμαρα και ανακρυσταλλωμένους ασβεστόλιθους, ηλικίας Μέσου-Άνω Τριαδικού, με παρεμβολές γραφιτικών, φυλλιτικών και σερικιτικών σχιστολίθων. Ο σχηματισμός έχει μέσο πάχος 400 m. Ο ανώτερος σχηματισμός της ενότητας έχει ηλικία Κάτω-Μέσο Ιουρασικό και περιλαμβάνει το σχηματισμό ενός φλύσχη με τουρβιδιτικές εναλλαγές μετά-ιζημάτων, μέσα στα οποία παρατηρούνται να παρεμβάλλονται ολισθόλιθοι Τριαδικών μαρμάρων. Ο φλύσχος του ανώτερου σχηματισμού είναι χαρακτηριστικός με το όνομα «Φλύσχος της Σβούλας» και είναι ηλικίας Κάτω-Μέσο Ιουρασικού. Αναφέρεται ως ο πιο σπουδαίος σχηματισμός όλης της Περιοδοπικής, καθώς είναι αντιπροσωπευτικός για την ηπειρωτική κατωφέρεια και την αύλακα στην περιφέρεια της ηπείρου (Μουντράκης 2010).

Η Ενότητα Άσπρης Βρύσης-Χορτιάτη εκτείνεται παράλληλα με την ενότητα Μελισσοχωρίου-Χολομώντα, έχει πλάτος 4 έως 8 km και αρχίζει βόρεια της Θεσσαλονίκης, διέρχεται από τον Χορτιάτη, φθάνει στο νότιο άκρο της Σιθωνίας, όπου κάμπτεται και αποκτά μια ΑΒΑ κατεύθυνση και επεκτείνεται μέχρι το άκρο του Αγίου Όρους. Η ενότητα

περιλαμβάνει ένα ανώτερο και έναν κατώτερο σχηματισμό. Ο κατώτερος σχηματισμός, ηλικίας Πέρμιο-Τριαδικής αποτελείται από μετακλαστικά, ηφαιστειοκλαστικά και νηριτικά ανθρακικά ιζήματα. Το ανώτερο τμήμα αποτελείται από ιζήματα βαθιάς θάλασσας, μαύρους κερατόλιθους, κόκκινους αργιλικούς σχιστόλιθους, μαύρους γραφιτικούς φυλλίτες, μάργες και χαλαζιακούς σχιστόλιθους (Φωτ. 2.1). Επίσης μέσα στα ιζήματα παρεμβάλλονται και οφειολιθικά σώματα (Φωτ. 2.2) με βασικά-υπερβασικά πετρώματα (γάββροι, διορίτες σερπεντινίτες, διαβάσεις) καθώς επίσης και μεταμορφωμένα πετρώματα όξινης μαγματικής προέλευσης. Τα μεταμορφωμένα αυτά πετρώματα είναι οι σημερινοί πράσινοι επιγνεύσιοι της Θεσσαλονίκης. Τα μεταπυριγενή αυτά πετρώματα ονομάζονται «Μαγματική σειρά Χορτιάτη» (Μουντράκης 2010).



Φωτ. 2.1 Αργιλικός σχιστόλιθος της Περιοδοπικής ζώνης, στο Σείχ-Σου.

2.2.1. ΣΕΡΒΟΜΑΚΕΔΟΝΙΚΗ ΜΑΖΑ

Η Σερβομακεδονική μάζα (Σχ. 2.2) ανήκει στην Ελληνική ενδοχώρα μαζί με την μάζα της Ροδόπης με την οποία χωρίζεται στην λεκάνη του Στρυμώνα που δημιουργήθηκε από εφελκυστική τεκτονική κατά το Τριτογενές. Επίσης η Σερβομακεδονική μάζα έρχεται σε επαφή από τα Δυτικά με την Περιοδοπική ζώνη. Αποτελείται κατά κύριο λόγο από κρυσταλλωσχιστώδη και πυριγενή πετρώματα με τεκτονικές παρεμβολές οφειολίθων. Οι μεγάλοι αυτοί πυριγενείς όγκοι ηλικίας Μεσοζωικού-Καινοζωικού διακόπτουν την συνέχεια

των μεταμορφωμένων πετρωμάτων του κρυσταλλοσχιστώδους ηλικίας Παλαιοζωικού (Μουντράκης 2010).



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

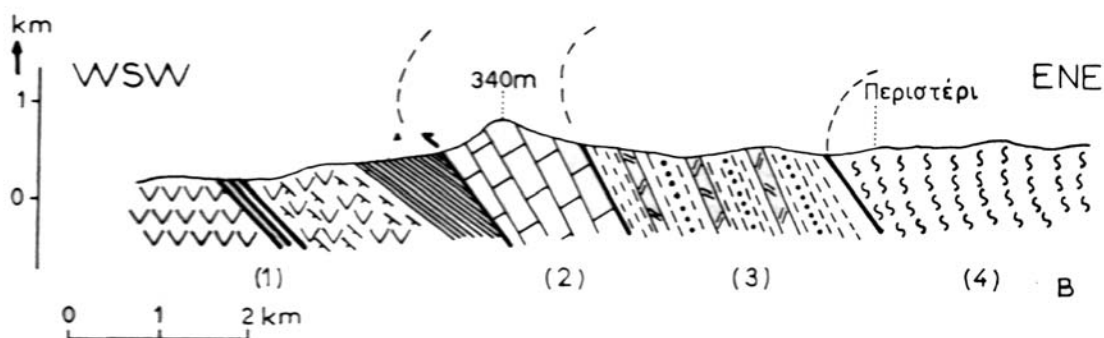
Η μάζα της Σερβομακεδονικής διακρίνεται σε δύο μεγάλες ενότητες πετρωμάτων. Η κατώτερη και παλαιότερη ενότητα είναι αυτή των Κερδυλλίων, ενώ η ανώτερη και νεότερη είναι η ενότητα Βερτίσκου. Βασική χαρακτηριστική διαφορά των δύο ενοτήτων είναι η παρουσία μαρμάρων στην ενότητα Κερδυλλίων και η απουσία τους από την ενότητα Βερτίσκου, καθώς επίσης η παρουσία μεταμορφωμένων βασικών πυριγενών πετρωμάτων (μεταγάββροι-μεταδιαβάσες-ορθοαμφιβολίτες) και τεκτονικών παρεμβολών σερπεντινικών σωμάτων στην ενότητα Βερτίσκου και η απουσία τους από την ενότητα Κερδυλλίων (Μουντράκης 2010).

Η περιοχή μελέτης της παρούσας εργασίας στην Σερβομακεδονική μάζα εμφανίζεται στην ενότητα Βερτίσκου. Η ενότητα αυτή καταλαμβάνει γεωγραφικά την Ανατολική Χαλκιδική, από την χερσόνησο του Άθω και της Σιθωνίας έως τα σύνορα της Ελλάδας με τη Βουλγαρία και τη F.Y.R.O.M. Λιθολογικά αποτελείται από μια σειρά σχηματισμών Παλαιοζωικής ηλικίας όπως διμαρμαρυγικοί γενέσιοι, αμφιβολίτες και μοσχοβιτικοί σχιστόλιθοι και κατά θέσεις λεπτές ενστρώσεις μαρμάρων. Επίσης στο ανώτερο τμήμα συμμετέχουν μεταγάββροι, μεταδιαβάσες και αμφιβολίτες, καθώς και σώματα υπερβασικών

πετρωμάτων που πιθανά αποτελούν μέλος οφειολιθικού συμπλέγματος τα οποία συμμεταμορφώθηκαν με τα αυτόχθονα πετρώματα της ενότητας Βερτίσκου.

Το υπόβαθρο της ενότητας Βερτίσκου που περιγράφηκε παραπάνω καλύπτεται από ιζήματα Τεταρτογενής ηλικίας όπως κόκκινοι άργιλοι, άμμοι, μάργες καθώς και από δελταϊκά και ποτάμια ιζήματα που μεταφέρονται από τους ποταμούς, Αξιό, Αλιάκμονα, Γαλλικό, Λουδία (Psimoulis et al. 2007).

Όπως αναπτύχθηκε παραπάνω, η Σερβομακεδονική μάζα συνορεύει δυτικά με την Περιοδοπική (Σχ. σχήμα 2.3) και ανατολικά με τη μάζα της Ροδόπης. Το δυτικό όριο φέρνει σε επαφή τα κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα με τα Περμο-Τριαδικά μεταϊζήματα της Περιοδοπικής ζώνης. Η σημερινή εικόνα εμφανίζει τα δύο στρώματα και των δύο ζωνών να είναι ανεστραμμένα, φέρνοντας έτσι τα παλαιότερα πετρώματα της Σερβομακεδονικής επάνω στα νεότερα της Περιοδοπικής με ΒΔ-ΝΑ διεύθυνση. Σύμφωνα με τους Tranos et al. (1999) το όριο αυτό εξηγείται ως μια δεξιόστροφη ζώνη μεταφοράς της συμπίεσης (transpressional), με δομές πτυχώσεων-επιπτεύσεων που δημιουργήθηκε στο τελικό στάδιο ορογένεσης κατά την Τριτογενή ορογένεση .

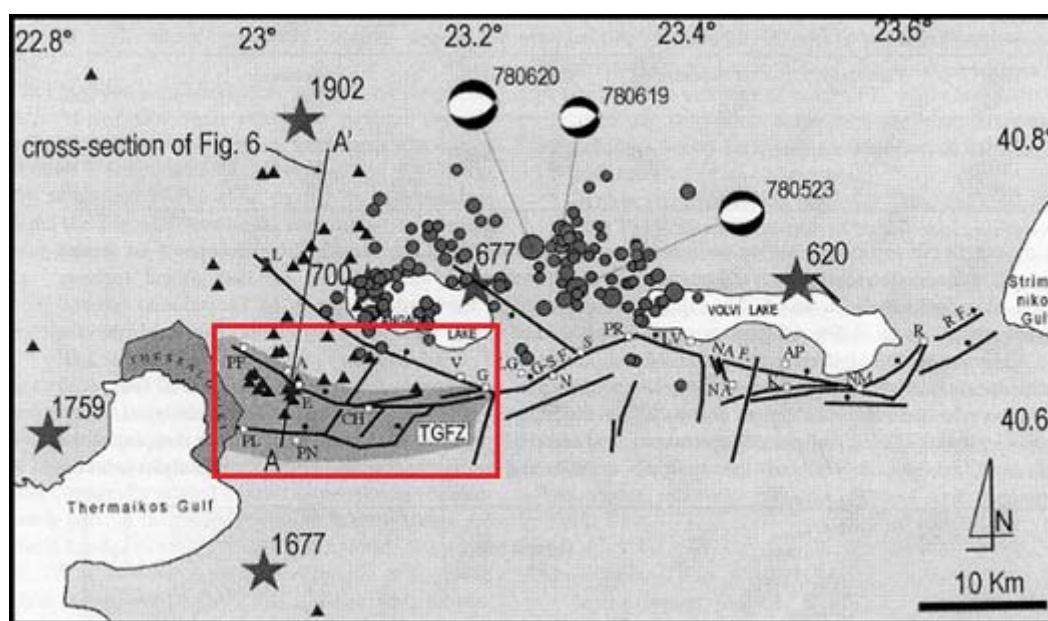


Σχήμα 2.3. Σχηματική γεωλογική τομή στην περιοχή του δυτικού ορίου της Σερβομακεδονικής (Μουντράκης 2010).

2.3. ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Οι ρηξιγενείς δομές που εμφανίζονται στη περιοχή της Θεσσαλονίκης και στη περιοχή μελέτης είναι κατά κύριο λόγο εφελκυστικές με διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ (σχήμα 2.4). Σύμφωνα με τους Tranos et al. (2003) οι δομές αυτές δραστηριοποιήθηκαν κυρίως κατά το Πλειόκαινο-Κατώτερο Πλειστόκαινο. Τα νεοτεκτονικά εφελκυστικά κανονικά ρήγματα που παρατηρούνται στη περιοχή της Θεσσαλονίκης είναι κυρίως διεύθυνσης Α-Δ και δραστηριοποιούνται από το Μέσο-Πλειστόκαινο έως και σήμερα.

Στην συγκεκριμένη μελέτη αυτής της εργασίας το κυριότερο ρήγμα είναι αυτό του Ασβεστοχωρίου (Σχ. 2.4 και 2.5) που όπως αναφέρθηκε παραπάνω βρίσκεται βόρεια και βορειανατολικά της Θεσσαλονίκης, έχει διεύθυνση ANA-ΔΒΔ, παράταξη B98-120°, κλίση 55-80° και μετάπτωση προς τα ΒΒΑ. Πρόκειται για ένα κανονικό ρήγμα με αριστερόστροφη συνιστώσα κίνηση, το οποίο θεωρείται πιθανά ενεργό. Έχει συνολικό μήκος 10 km και πιθανά να επεκτείνεται μέσα στα νεότερα ιζήματα της περιοχής της Ηλιούπολης για 7 km επιπλέον (Ζερβοπούλου 2010).



Σχήμα 2.4. Οι κυριότερες ρηξιγενείς δομές της ευρύτερης περιοχής της Θεσσαλονίκης (Tranos et al. 2003).

Το μεγάλο αυτό ρήγμα του Ασβεστοχωρίου χωρίζεται σε τρία τμήματα λόγω της αλλαγής διεύθυνσής του. Το πρώτο τμήμα έχει μήκος 3 km και εκτείνεται από το Χορτιάτη μέχρι έξω από το Ασβεστοχώρι. Το δεύτερο τμήμα έχει μήκος 7 km και εκτείνεται ως την περιοχή της Ηλιούπολης. Το τρίτο τμήμα αποτελεί μια πιθανή προέκταση του προς τα δυτικά μέσα στη πεδιάδα της Θεσσαλονίκης στην περιοχή της Ηλιούπολης (Ζερβοπούλου 2010). Παράλληλα και κατά μήκος του ρήγματος δημιουργείται μια κοιλάδα με βάθος έως 70 m αποτελούμενη από ποταμοχειμάρρια Πλειστοκαινικά ιζήματα (Tranos et al. 2003).

Στη περιοχή μελέτης παρουσιάζονται κατολισθήσεις κάθετα στο ρήγμα, στο νότιο πρηνές του κλάδου του Ξηροπόταμου σε ποταμοχειμάρρια ιζήματα (Φωτ 2.3). Παράλληλα στη ροή του ρέματος εντοπίζεται ρηξιγενής επιφάνεια με στοιχεία 90/80B, ενώ η ροή του ρέματος στρέφεται στις 90° (Ζερβοπούλου 2010).



Φωτ. 2.3 Κατολίσθηση στον οικισμό των Πεύκων (φωτογραφία: Β. Μέλφος).

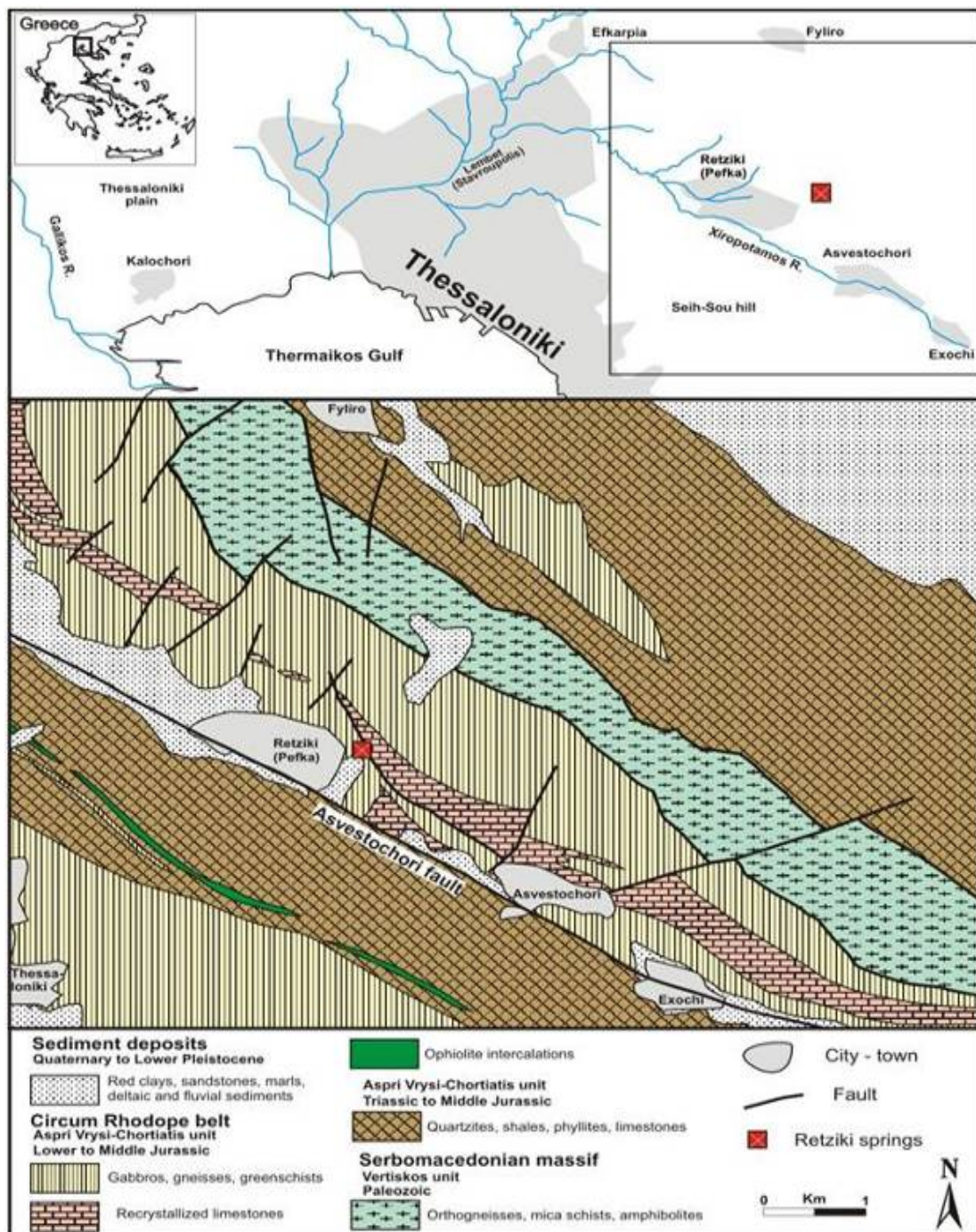
Το ρήγμα του Ασβεστοχωρίου εμφανίζεται κατά μήκος του Ξηροπόταμου. Η υδρογραφική του λεκάνη είναι 4^{ης} τάξης (Stahler). Στο βόρειο τμήμα η υδρογραφική λεκάνη εμφανίζει δενδριτική ανάπτυξη με έκταση 15 km², ενώ στο νότιο τμήμα η μορφή του δικτύου είναι παράλληλης ανάπτυξης με έκταση αρκετά μικρότερη, 5,6 km². Παρατηρείται μια άνιση ανάπτυξη της λεκάνης όπως και μια άνιση κατανομή στα μήκη των κλάδων, με αυτό στο βόρειο τμήμα να είναι ίσο με 26,2km και στο νότιο ίσο με 10,8 km (Ζερβοπούλου και Παυλίδης 2008).

Εκτός από το κύριο ρήγμα εμφανίζονται παράλληλα σε αυτό και άλλα μικρότερης κλίμακας ρήγματα, καθώς επίσης και ρήγματα αντίθετα προς αυτό, με διεύθυνση Α-Δ που βυθίζονται προς τα νότια με μεγάλες γωνίες κλίσης. Έτσι παρατηρείται ένα ολοκληρωμένο σύστημα ρηγμάτων που ελέγχει και επηρεάζει το υδρογραφικό δίκτυο της κοιλάδας των Πεύκων δημιουργώντας μεγάλου μήκους παράλληλα ρέματα με κατευθύνσεις ΒΔ-ΝΑ, Α-Δ, Α-ΝΔ.

2.4. ΣΕΙΣΜΙΚΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Εξαιτίας των ισχυρών σεισμικών δονήσεων που έχουν πλήξει τη πόλη της Θεσσαλονίκης στο παρελθόν, με σημαντικότερο τον σεισμό του 1759 (M=6,5), η περιοχή του κέντρου της πόλης αλλά και τα περίχωρα έχουν υποστεί σοβαρές καταστροφές. Στην περιοχή του Ασβεστοχωρίου, μετά από μελέτες μικρής κλίμακας σεισμικών ακολουθιών

που έλαβαν χώρα, έδειξαν ότι τα συστήματα των ρηγμάτων που βρίσκονται στην περιοχή ίσως ευθύνονται για το μεγάλο καταστροφικό σεισμό του 1759 (Papazachos et al. 2000).



Σχήμα 2.5. Γεωλογικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής των Πεύκων (Kockel et al. 1978 a, b με τροποποιήσεις από Papacharalampou et al. 2012).

Σύμφωνα με τις ίδιες μελέτες το ρήγμα του Ασβεστοχωρίου (Σχήμα 2.4, 2.5), είναι κανονικό ρήγμα που βυθίζεται κάτω από την πόλη της Θεσσαλονίκης, πιθανώς να προεκτείνεται προς ΒΔ και ΝΑ, και ίσως μελλοντικά προκαλέσει σεισμούς σημαντικού μεγέθους κοντά στην πόλη της Θεσσαλονίκης (Papazachos et al. 2000). Το ρήγμα του

Ασβεστοχωρίου συνδέεται άμεσα με το ανάγλυφο της περιοχής, επίσης επηρεάζει και καθορίζει το υδρογραφικό δίκτυο, αφού κατά μήκος του ρέει ο ποταμός Ξηροπόταμος (Σχήμα 2.5).

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.

Διάφοροι μικροσεισμοί που προκαλούνται στην ορεινή περιοχή του Χορτιάτη με γενικό προσανατολισμό ΔΒΔ-ΑΝΑ, και εστιακό βάθος έως 15 km, οφείλονται πιθανώς στο σύνολο των ρηγμάτων της περιοχής του Ασβεστοχωρίου (Paradisopoulou et al. 2006). Επειδή τα ρήγματα αυτά συνδέονται με μικροσεισμικότητα, σύμφωνα με 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

Η περιοχή μελέτης βρίσκεται στο υπ' αριθμόν 10 υδατικό διαμέρισμα της Ελλάδας, το οποίο είναι αυτό της Κεντρικής Μακεδονίας, με έδρα τη Θεσσαλονίκη. Το βόρειο όριο του υδατικού διαμερίσματος της Κεντρικής Μακεδονίας συμπίπτει με τη συνοριακή γραμμή της F.Y.R.O.M. και το νότιο οριοθετείται από τον 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 του Μαυροβουνίου αλλά και τον κόλπο του Ορφανού (Δασκαλάκη 2002). Η έκταση του υδατικού διαμερίσματος είναι 10.390 km², ο ετήσιος όγκος βροχής και απορροής του είναι 6068 hm³ και 2606 hm³ αντίστοιχα, ενώ τα ρυθμιστικά αποθέματα των υδροφορέων του είναι 1360 hm³ (Διεύθυνση Υδατικού Δυναμικού 2003). Στα ανατολικά και νότια το υδατικό διαμέρισμα χαρακτηρίζεται ορεινό, χάρη στα όρη Κερδύλια, Βερτίσκος, Μαυροβούνιο, Στρατονικός και Χολομώντας. Αντίθετα

στα δυτικά το ανάγλυφο είναι ομαλό με την ανάπτυξη της πεδιάδας της Θεσσαλονίκης-Κιλκίς.

Στο κεντρικό τμήμα του διαμερίσματος της κεντρικής Μακεδονίας αναπτύσσεται η πεδινή περιοχή των λιμνών Λαγκαδά και Βόλβης ενώ μια μικρότερης έκτασης ημιπεδινή περιοχή αναπτύσσεται στην δυτική Χαλκιδική. Σημαντικοί ποταμοί του διαμερίσματος είναι ο Γαλλικός και ο Λουδίας ποταμός που διασχίζουν την πεδιάδα του Κιλκίς και της Θεσσαλονίκης αντίστοιχα και εκβάλλουν στον Θερμαϊκό κόλπο. Ο σημαντικότερος ποταμός του διαμερίσματος είναι ο Αξιός ποταμός, που πηγάζει από την F.Y.R.O.M. και εκβάλλει και αυτός στον Θερμαϊκό κόλπο (Δασκαλάκη 2002, Λάτσιου 2010).

Οι υδρογεωλογικές συνθήκες μιας περιοχής (Σχήμα 2.6), καθορίζονται κυρίως από την ποσότητα των κατακρημνισμάτων, αλλά και από τη γεωλογική σύσταση και δομή των σχηματισμών της (Δασκαλάκη 2002, Μάττας 2009). Οι γεωλογικοί σχηματισμοί που απαρτίζουν το διαμέρισμα της Κεντρικής Μακεδονίας από τους παλαιότερους προς τους νεότερους χωρίζονται σε: 1) Προαλπικούς σχηματισμούς, 2) Αλπικούς σχηματισμούς, 3) Μολασσικά ιζήματα, 4) Νεογενή ιζήματα και 5) Τεταρτογενείς αποθέσεις. Οι παραπάνω σχηματισμοί έχουν διαφορετικά λιθοστρωματογραφικά, ιζηματογενή και τεκτονικά χαρακτηριστικά συνεπώς παρουσιάζουν και διαφορετική υδρογεωλογική συμπεριφορά, για το λόγο αυτό τα διαχωρίζονται σε υδροπερατούς, αδιαπέρατους και ημιπερατούς σχηματισμούς.

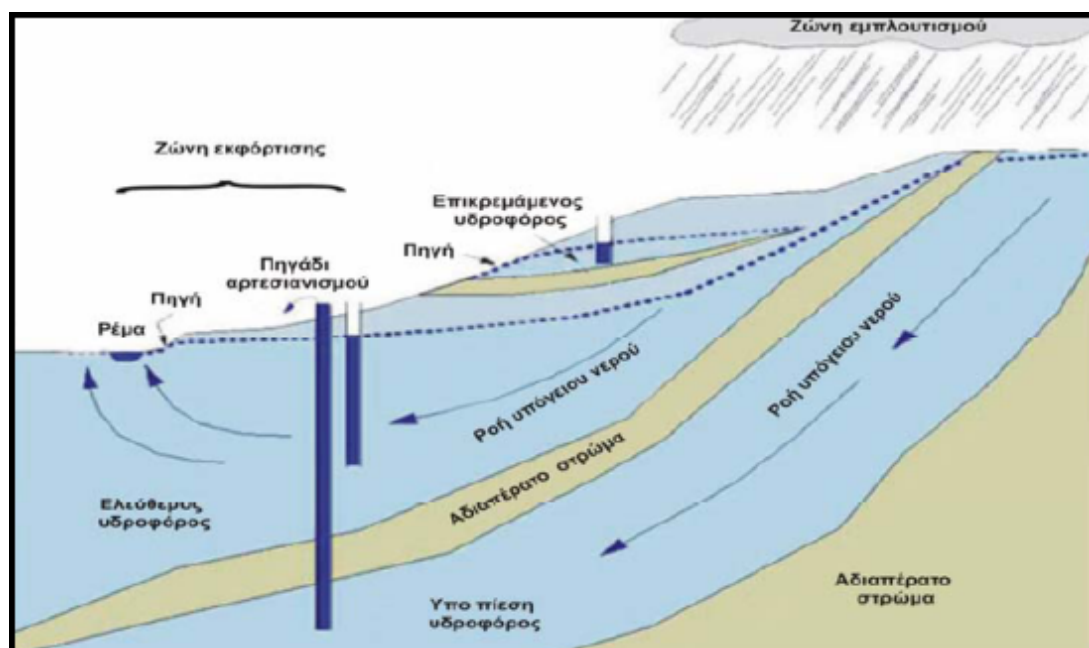
Υδροπερατοί σχηματισμοί του διαμερίσματος, θεωρούνται τα καρστικοποιημένα ανθρακικά πετρώματα, όπως ασβεστόλιθοι, μάρμαρα και δολομίτες. Επίσης από τα Νεογενή και τα Τεταρτογενή στρώματα θεωρούνται υδροπερατά τα κροκαλοπαγή και οι ψαμμίτες και γενικά τα αδρόκοκκα υλικά.

Ημιπερατοί σχηματισμοί θεωρούνται τα λεπτόκοκκα υλικά, όπως οι λεπτόκοκκοι ψαμμίτες που ανήκουν στα Νεογενή και Τεταρτογενή στρώματα, αλλά και αποθέσεις που εμφανίζουν υψηλό ποσοστό αργίλου και λεπτόκοκκων υλικών όπως οι οφειόλιθοι.

Στους αδιαπέρατους σχηματισμούς ανήκει ο φλύσχος της ζώνης Αξιού και της Σερβομακεδονικής μάζας, τα κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα (εκτός των μαρμάρων) καθώς και τα γρανιτικής σύστασης πετρώματα. Ακόμη από τα Νεογενή στρώματα θεωρούνται αδιαπέρατα τα στρώματα μάργας και οι ερυθροί πηλοί ενώ από Τεταρτογενή, οι άργιλοι και οι πηλοί (Δασκαλάκη 2002, Παπαστέργιος κ.ά. 2011).

Οι λεκάνες των ποταμών και των χειμάρρων καλύπτονται κυρίως από Τεταρτογενείς σχηματισμούς, που αποτελούνται κυρίως από άμμους αργιλομιγείς άμμους, αδρομερείς αποθέσεις κροκάλων και χαλικιών με χαμηλό ποσοστό αργίλου. Οι σχηματισμοί αυτοί

αποτελούν τους σημαντικότερους από άποψη δυναμικότητας υδροφόρους σχηματισμούς. Αυτές οι αποθέσεις 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), αλλά και από τους καρστικούς σχηματισμούς των περιθωρίων της λεκάνης μέσω πλευρικής διήθησης (Δασκαλάκη 2002, Psimoulis et al. 2007, Παπαστέργιος κ.ά. 2011). Η ανάπτυξη των ελεύθερων (φρεάτιων) υδροφορέων αλλά και των βαθύτερων υπό πίεση υδροφόρων οριζόντων οφείλεται στην παρεμβολή αργιλικών στρωμάτων μεγάλου πάχους.



Σχήμα 2.6. Είδη υδροφόρων οριζόντων (προσαρμοσμένο από: www.usgs.gov).

Η δυναμικότητα των υδροφόρων οριζόντων που αναπτύσσονται στους Νεογενείς σχηματισμούς εξαρτάται κυρίως από τη συμμετοχή των κροκαλοπαγών και των ψαμμιτών και από την πιθανή τεκτονική τους καταπόνηση, για αυτό είναι δευτερευούσης σημασίας. Τα ανθρακικά πετρώματα καταλαμβάνουν περιορισμένη έκταση στην ευρύτερη περιοχή του υδατικού διαμερίσματος, και αυτό έχει ως αποτέλεσμα να μην υπάρχει μεγάλο καρστικό δυναμικό. Οι ασβεστόλιθοι των Πεύκων όμως είναι συμπαγής, αποτελούνται από παχιά στρώματα και εμφανίζουν τυπική ομοιογένεια και υψηλή περατότητα. Αντίθετα στα οφειολιθικά πετρώματα εμφανίζεται κατά τόπους υδροφορία, χάρη στις ασυνέχειες που έχουν δημιουργηθεί σ' αυτά (Δασκαλάκη 2002).

Τα μεταμορφωμένα πετρώματα (γνεύσιοι και πρασινοσχιστόλιθοι) αλλά και τα ημιμεταμορφωμένα (χαλαζίτες) που συγκροτούν το υπόβαθρο της περιοχής,

συμπεριφέρονται γενικά συμπαγής σχηματισμοί. Είναι όμως και εκτεθειμένα σε συνθήκες αποσάθρωσης και διάβρωσης, και καλύπτονται από ένα χαλαρό εδαφικό μανδύα αποσάθρωσης 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. ΟΡΙΑΚΕΣ ΤΙΜΕΣ ΒΑΡΕΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ ΣΤΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΑ ΚΑΙ ΥΠΟΓΕΙΑ ΥΔΑΤΑ

3.1. ΣΥΣΤΑΣΗ ΤΩΝ ΦΥΣΙΚΩΝ ΥΔΑΤΩΝ

Στα φυσικά ύδατα ανήκουν τα επιφανειακά ύδατα όπως οι ποταμοί, οι λίμνες, οι λιμνοθάλασσες, και τα υπόγεια ύδατα. Η σύσταση των υδάτων καθορίζεται σε μεγάλο βαθμό από το γεωλογικό υπόβαθρο της περιοχής, από τη γεωργική ή βιομηχανική δραστηριότητα της περιοχής, από την ατμόσφαιρα και τους φυτικούς και ζωικούς οργανισμούς του νερού (Νταρακάς 2014).

Τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των υδάτων χωρίζονται στα φυσικοχημικά, τα βιοχημικά και τα μικροβιολογικά. Στα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά ανήκει η θερμοκρασία, η οξύτητα - αλκαλικότητα, η αγωγιμότητα - αλατότητα, η θολότητα, η οσμή, το χρώμα, οι στερεές ουσίες, τα άλατα – σκληρότητα, τα κατιόντα (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , NH_4^+), τα ανιόντα (NO_2^- , NO_3^- , PO_4^{3-} , SO_4^{2-} , Cl^-), τα θρεπτικά συστατικά (N, P, S, Si) και τα ιχνοστοιχεία/μέταλλα. Στα βιοχημικά χαρακτηριστικά ανήκουν το διαλυμένο οξυγόνο (D.O.), το βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (BOD), το χημικά απαιτούμενο οξυγόνο (COD), και ο ολικός οργανικός άνθρακας (TOC). Τέλος στα μικροβιολογικά χαρακτηριστικά ανήκουν οι ιοί, τα βακτήρια, τα φύκια, τα πρωτόζωα, οι έλμινθες και τα μαλακόστρακα.

Τα επικρατέστερα ανόργανα συστατικά που υπάρχουν στα φυσικά ύδατα, πέρα από το υδρογόνο (H), το οξυγόνο (O), και τον άνθρακα (C), είναι τα όξινα ανθρακικά (HCO_3^-) και τα ανθρακικά (CO_3^{2-}) ιόντα, το ασβέστιο (Ca), το μαγνήσιο (Mg), το νάτριο (Na), το κάλιο (K), τα θειικά (SO_4^{2-}), τα χλωριούχα (Cl^-), τα νιτρικά (NO_3^-) και τα πυριτικά (SiO_4^{4-}). Άλλα ιόντα όπως αμμωνιακά, νιτρώδη, φωσφορικά, σίδηρος, μαγγάνιο και φθόριο υπάρχουν σε μικρότερες συγκεντρώσεις και είναι σημαντικά είτε για τη βιολογία του νερού είτε γιατί επηρεάζουν συγκεκριμένες βιομηχανικές εφαρμογές του.

Εκτός από τα παραπάνω στοιχεία, τα φυσικά ύδατα, επιφανειακά και υπόγεια, είναι δυνατόν να περιέχουν ιχνοστοιχεία και βαρέα μέταλλα. Ανάλογα με την περιεκτικότητα αυτών, τα ύδατα κρίνονται ως πόσιμα ή μη και η αυξημένη συγκέντρωση τους πάνω από το επιτρεπτό όριο οδηγεί στη ρύπανση των υδάτων.

3.2. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΣΤΗ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ ΤΩΝ ΥΔΑΤΩΝ

Τα επιτρεπτά όρια των βαρέων μετάλλων αλλά και των υπόλοιπων ιχνοστοιχείων στα επιφανειακά και υπόγεια ύδατα, ορίζονται στο πέρας των χρόνων από νομοθετικές πράξεις είτε της Ελληνικής είτε της Ευρωπαϊκής νομοθεσίας (Πίν. 3.1).

Πίνακας 3.1. Ανώτατα επιτρεπτά όρια διαφόρων κατιόντων, σύμφωνα με την Ελληνική Νομοθεσία, με τα αντίστοιχα ΦΕΚ.

	Ανώτατη Παραδεκτή Συγκέντρωση (mg/L)	Νομοθεσία
Κατιόντα		
Κάλιο (K)	12	ΦΕΚ 53 / 20.02.1986, τεύχος Β'
Νάτριο (Na)	150	ΦΕΚ 53 / 20.02.1986, τεύχος Β'
Ασβέστιο (Ca)	Δεν έχει οριστεί	
Μαγνήσιο (Mg)	50	ΦΕΚ 53 / 20.02.1986, τεύχος Β'
Αμμωνιακά (NH ₄)	0,5	ΦΕΚ 53 / 20.02.1986, τεύχος Β'
Ανιόντα		
Χλωριούχα (Cl)	Δεν έχει οριστεί	
Φθοριούχα (F)	0,7 - 1,5 ανάλογα με την θερμοκρασία	ΦΕΚ 53 / 20.02.1986, τεύχος Β'
Νιτρώδη (NO ₂)	0,1	ΦΕΚ 53 / 20.02.1986, τεύχος Β'
Νιτρικά (NO ₃)	50	ΦΕΚ 53 / 20.02.1986, τεύχος Β'
Θειικά	25	ΦΕΚ 53 / 20.02.1986, τεύχος Β'
Θρεπτικά συστατικά		
Άζωτο (N)	Δεν έχει οριστεί	
Φώσφορος (P)	5000	ΦΕΚ 53 / 20.02.1986, τεύχος Β'
Ιχνοστοιχεία/Βαρέα Μέταλλα		
Σίδηρος	200	ΦΕΚ 53 / 20.02.1986, τεύχος Β'
Μαγγάνιο	50	ΦΕΚ 53 / 20.02.1986, τεύχος Β'
Αργίλιο	200	ΦΕΚ 53 / 20.02.1986, τεύχος Β'
Χαλκός	3000	ΦΕΚ 53 / 20.02.1986, τεύχος Β'
Ψευδάργυρος	5000	ΦΕΚ 53 / 20.02.1986, τεύχος Β'
Κάδμιο	5	ΦΕΚ 53 / 20.02.1986, τεύχος Β'
Χρώμιο	50	ΦΕΚ 53 / 20.02.1986, τεύχος Β'
Μόλυβδος	10	ΦΕΚ 53 / 20.02.1986, τεύχος Β'
Αρσενικό	50	ΦΕΚ 53 / 20.02.1986, τεύχος Β'

Στη δεκαετία του 1970 έγιναν σημαντικά βήματα που εμπλούτισαν και διεύρυναν τη νομοθεσία σε σχέση με την προστασία των υδάτων. Ένα παράδειγμα είναι η Οδηγία του Ευρωπαϊκού Συμβουλίου της 17^{ης} Δεκεμβρίου 1979 περί προστασίας των υπόγειων υδάτων από τη ρύπανση που προέρχεται από ορισμένες επικίνδυνες ουσίες (80/68/ΕΟΚ). Από την δεκαετία του 1980 έως σήμερα έχουν υιοθετηθεί πάνω από 40 αυτοτελείς κανονιστικές

πράξεις που ρυθμίζουν για παράδειγμα την επεξεργασία αστικών λυμάτων (οδηγία 91/271). Επίσης στις 2 Νοεμβρίου 1987 υπογράφηκε η πράξη Υ.Σ 144 (ΦΕΚ 197/Α/11-11-87) με τίτλο «Προστασία του υδάτινου περιβάλλοντος από τη ρύπανση που προκαλείται από ορισμένες ουσίες που εκχέονται σε αυτό και ειδικότερα καθορισμός τιμών ποιότητας του νερού σε κάδμιο, υδράργυρο και εξαχλωροκυκλοεξάνιο (HCH)». Ακόμη το 1988 πάρθηκε υπουργική απόφαση (ΦΕΚ 196/Β/6-4-88) με τίτλο «Μέτρα και περιορισμοί για την προστασία των υπόγειων νερών από απορρίψεις ορισμένων επικίνδυνων ουσιών».

Το 1997 η Ευρωπαϊκή Επιτροπή υιοθέτησε οδηγία-πλαίσιο, προκειμένου να δημιουργήσει μια ενιαία νομοθετική πράξη που να αντιμετωπίζει ολοκληρωμένα τη διαχείριση του νερού. Από τη δεκαετία του 1990 πλέον το νερό θεωρείται οικονομικό αγαθό με συγκεκριμένη αξία και τιμή. Για την ορθολογική κατανομή των περιορισμένων υδατικών πόρων αλλά και για τον κίνδυνο της συνεχόμενης μείωσης της ποσότητας του νερού συντάχθηκε Οδηγία-Πλαίσιο (2000/60 της Ε.Ε για τη θέσπιση πλαισίου κοινοτικής δράσης στον τομέα της πολιτικής των υδάτων). Η οδηγία αυτή είχε ως στόχο την ολοκληρωμένη προσέγγιση στο θέμα της διαχείρισης και προστασίας υδατικών πόρων (επιφανειακών και υπόγειων) εντός 15 ετών δηλαδή έως το 2015.

Στη συνέχεια στις 9 Δεκεμβρίου 2003 ψηφίζεται ο Νόμος 3199 για την προστασία και διαχείριση των υδάτων - εναρμόνιση με την οδηγία 2000/60/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και Συμβουλίου της 23^{ης} Οκτωβρίου 2000. Ακόμη στις 8 Μαρτίου 2007 το Π.Δ. 51 έχει τίτλο «Καθορισμός μέτρων και διαδικασιών για την ολοκληρωμένη προστασία και διαχείριση των υδάτων» σε συμμόρφωση με τις διατάξεις της Οδηγίας 2000/60/ΕΚ «για τη θέσπιση πλαισίου κοινοτικής δράσης στον τομέα της πολιτικής των υδάτων» του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 23^{ης} Οκτωβρίου 2000. Αργότερα στις 8 Δεκεμβρίου 2010 αποφασίζεται ο καθορισμός προτύπων ποιότητας περιβάλλοντος (ΠΠΠ) για τις συγκεντρώσεις ορισμένων ρύπων και ουσιών προτεραιότητας στα επιφανειακά ύδατα 2008/1057ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 16^{ης} Δεκεμβρίου 2008. Την ίδια χρονιά στις 15 Ιουλίου με αριθμό απόφασης 30/οικ. 2885 αποφασίζεται ο καθορισμός χρήσεων επιφανειακών υδάτων και ειδικών όρων για τη διάθεση λυμάτων και βιομηχανικών αποβλήτων σε κάθε αποδέκτη του Ν. Θεσσαλονίκης. Τέλος το 2011 στις 30 Δεκεμβρίου αποφασίζεται ο ορισμός ανώτερων αποδεκτών τιμών για τη συγκέντρωση συγκεκριμένων ρύπων, ομάδων ρύπων ή δεικτών ρύπανσης σε υπόγεια ύδατα (Πίνακας 3.2).

Πίνακας 3.2. Ανώτατα επιτρεπτά όρια διάφορων χημικών στοιχείων στα υπόγεια ύδατα (mg/L), σύμφωνα με την Ελληνική Νομοθεσία ΦΕΚ 2011.

Παράμετρος	Ανώτατη Αποδεκτή Τιμή (mg/L)
Αρσενικό	10
Κάδμιο	5
Μόλυβδος	25
Υδράργυρος	1
Νικέλιο	20
Ολικό Χρώμιο	50
Αργίλιο	200
Αμμώνιο	0,5
Νιτρώδη	0,5
Χλωριούχα Ιόντα	250
Θειικά Ιόντα	250

3.3. ΕΥΡΩΠΑΙΚΗ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ ΓΙΑ ΤΑ ΥΔΑΤΑ

Στις 3 Ιουλίου 2012 ψηφίστηκε από το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο νομοθεσία ενόψει της απαραίτητης, συνολικής προσέγγισης για την αντιμετώπιση των ευρωπαϊκών προκλήσεων στο ζήτημα των υδάτων (2011/22799). Η νομοθεσία αναφέρεται σχετικά με την αποδοτική χρήση των υδάτων και διαχείριση των πόρων, και υπογραμμίζει τη σημασία της αποδοτικής χρήσης των υδάτων ειδικά σε τομείς όπως η γεωργία και η ενέργεια. Επίσης αναφέρει την χρήση του νερού ως μέσο παραγωγής ενέργειας. Ακόμη τονίζει ότι η αυξανόμενη ζήτηση του νερού επιβάλλει επείγουσες επενδύσεις σε αρδευτικά έργα και πως για αυτό το ζήτημα θα πρέπει να ληφθούν άμεσα μέτρα αντιμετώπισης.

Τονίζει επίσης ότι ο αριθμός αναπλήρωσης υπόγειων υδάτων κάτω από γεωργικές και δασικές εκτάσεις είναι μεγάλος και θα πρέπει να υπάρχει έλεγχος στα ύδατα και τις βλαβερές ουσίες που περιέχουν καθώς προκαλούν ρύπανση του συστήματος. Κρίνει επίσης το πολύ σημαντικό θέμα της διαχείρισης του αποχετευτικού συστήματος και της επεξεργασίας των λυμάτων για την αντιμετώπιση της ρύπανσης. Επισημαίνει ότι η μείωση της κατανάλωσης των υδάτων αποτελεί σημαντική προτεραιότητα, καθώς το 20% των υδάτων στην Ε.Ε χάνεται λόγω μη αποδοτικής χρήσης. Για να επιτευχθεί αυτό θα πρέπει να τηρείται ο οικολογικός σχεδιασμός από όλες τις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης και να ελέγχεται το δίκτυο ύδρευσης διότι ενδέχεται να υπάρχουν απώλειες έως και 70% λόγω διαρροών.

Η νομοθεσία αναφέρεται επίσης στο νερό και το οικοσύστημα, για την ανάγκη της αναδάσωσης, της αποκατάστασης υγροτόπων και της διαχείρισης υδατικών πόρων. Επίσης κρίνει απαραίτητη την ένταξη του ζητήματος των υδάτων στον κύριο κορμό των πολιτικών. Ακόμη σε σχέση με την οικονομία και το νερό ζητά να εξασφαλιστούν αρχές όπως «ο ρυπαίνων πληρώνει» και «ο χρήστης πληρώνει», όπως επίσης αναφέρεται ότι το καθαρό νερό θα πρέπει να διατίθεται σε προσιτή τιμή. Τέλος αναφέρεται σε κεφάλαια όπως, «νερό και κοινωνία» και «νερό και κόσμος».

4. ΜΟΛΥΝΣΗ ΚΑΙ ΡΥΠΑΝΣΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΩΝ ΥΔΑΤΩΝ ΚΑΙ Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΤΗΝ ΥΓΕΙΑ ΤΩΝ ΑΝΘΡΩΠΩΝ

Κάθε χρόνο πάνω από 3.000.000 άνθρωποι χάνουν τη ζωή τους από χολέρα και δυσεντερία που προκαλούνται από το μολυσμένο νερό. Από τις ακατάλληλες συνθήκες του πόσιμου νερού επηρεάζεται η υγεία 1.200.00.000 ανθρώπων και η μόλυνση οδηγεί στο θάνατο 15.000.000 παιδιών κάθε χρόνο. Δισεκατομμύρια άνθρωποι δεν έχουν καθημερινή πρόσβαση σε καθαρό πόσιμο νερό ή δεν έχουν νερό στα σπίτια τους.

Με τον όρο ρύπανση θεωρούμε οποιαδήποτε ανεπιθύμητη αλλαγή στα φυσικά, χημικά, και βιολογικά χαρακτηριστικά του νερού των θαλασσών, των λιμνών ή των ποταμών, που μπορεί κάτω από προϋποθέσεις να γίνει ζημιογόνος για τον άνθρωπο και τους υπόλοιπους φυτικούς και ζωικούς οργανισμούς αλλά ακόμη και για τη βιομηχανική ζωή και τις συνθήκες ζωής σε ευρύτερο επίπεδο. Ο όρος μόλυνση σχετίζεται με την παρουσία παθογόνων μικροοργανισμών στα ύδατα και οφείλεται κυρίως σε αστικά και κτηνοτροφικά λύματα (Ε. Νταρακάς 2014)

Η ανάγκη των ανθρώπων σε παγκόσμιο επίπεδο για τροφή, έχει οδηγήσει στην αύξηση των γεωργικών και άλλων δραστηριοτήτων και αυτό με τη σειρά του οδηγεί σε πολλά προβλήματα που σχετίζονται με το περιβάλλον και κυρίως τους υδατικούς πόρους. Η αλόγιστη χρήση των λιπασμάτων, των φυτοφαρμάκων και των υπόλοιπων τεχνολογικών μέσων έχει αρνητική επίδραση στο οικοσύστημα. Ακόμη η τεχνολογική εξέλιξη του ανθρώπου έχει άμεσο αποτέλεσμα στη ρύπανση των υδατικών πόρων. Η βιομηχανική ανάπτυξη απαιτεί όλο και περισσότερη ενέργεια, κύρια πηγή της οποίας αποτελεί το νερό. Οι διαδικασίες της ψύξης και πλύσης απαιτούν όλο και περισσότερες ποσότητες νερού, καθώς και ο αυξανόμενος πληθυσμός χρειάζεται άφθονο καθαρό και υγιεινό νερό. Ακόμη σοβαρότερη είναι χημική ρύπανση που προέρχεται από τα βιομηχανικά απόβλητα τα αστικά λύματα και τις γεωργικές απορροές.

Οι σοβαρότερες πηγές ρύπανσης των υδάτων βρίσκονται μεταξύ της χημικής ρύπανσης, ρύπανσης από βιομηχανικά απόβλητα, των αστικών λυμάτων και γεωργό-κτηνοτροφικών απορροών, της ραδιενεργού ρύπανσης, της ρύπανση από πετρελαιοειδή, της θερμικής ρύπανσης, της όξινης βροχής αλλά και της νιτρορύπανσης.

Τα αστικά λύματα οφείλονται σε ανθρώπινες δραστηριότητες, όπως την απόρριψη μεγάλων ποσοτήτων ακάθαρτων υδάτων με μεγάλη περιεκτικότητα σε οργανικά συστατικά, σε θάλασσες ποτάμια ή απορροφητικούς βόθρους, ρυπαίνοντας τα επιφανειακά αλλά και τα υπόγεια ύδατα.

Σχετικά με την αγροτική ρύπανση, προκαλείται από γεωργικές δραστηριότητες όπως χρήση λιπασμάτων ή φυτοφαρμάκων. Η ρύπανση φτάνει στα επιφανειακά ύδατα μέσω της απορροής με το νερό της βροχής, ή μέσω υπόγειων υδροφόρων που ήδη ρυπαίνονται λόγω της αποστράγγισης των νερών άρδευσης των αγρών.

Η βιομηχανική ρύπανση έχει να κάνει με τις απορροές υδάτων που σχετίζονται με την παραγωγική διαδικασία κάθε βιομηχανίας. Μπορεί να είναι οργανική, με επιπτώσεις στην κατανάλωση οξυγόνου των υδάτων, είτε ρύπανση με θρεπτικά με επιπτώσεις στην εμφάνιση ευτροφισμού. Ακόμη μπορεί να είναι ρύπανση με βαρέα μέταλλα από χημικές βιομηχανίες και βυρσοδεψία και τέλος μπορεί να είναι θερμική ρύπανση από νερά ψύξης. Ο ευτροφισμός εμφανίζεται σε λίμνες και σε κλειστούς αβαθής κόλπους, με αποτέλεσμα να μεταβάλλεται η χλωρίδα και η πανίδα των υδάτων. Μπορεί να οδηγήσει σε ρύπανση προξενώντας έλλειψη του οξυγόνου.

Η ρύπανση από πετρελαιοειδή καλύπτει την επιφάνεια του νερού και εμποδίζει την ιοντοανταλλαγή των αερίων μεταξύ αέρα και νερού και βλάπτει τους υδρόβιους οργανισμούς. Το πετρέλαιο επιδρά αρνητικά στις τροφικές αλυσίδες και εμποδίζει την αναπαραγωγή της θαλάσσιας ζωής όπως μειώνει και τη φυσική αντίσταση των οργανισμών.

Τέλος η νιτρορύπανση είναι η άμεση ή έμμεση απόρριψη στο υδάτινο περιβάλλον αζωτούχων ενώσεων γεωργικής προέλευσης, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται για την ανθρώπινη υγεία βλάβες στους ζώντες οργανισμούς και στα υδάτινα οικοσυστήματα ή ζημιές στις εγκαταστάσεις αναψυχής ή να παρακωλύονται άλλες θεμιτές χρήσεις των υδάτων (ΥΑ 161/1997/Β-519).

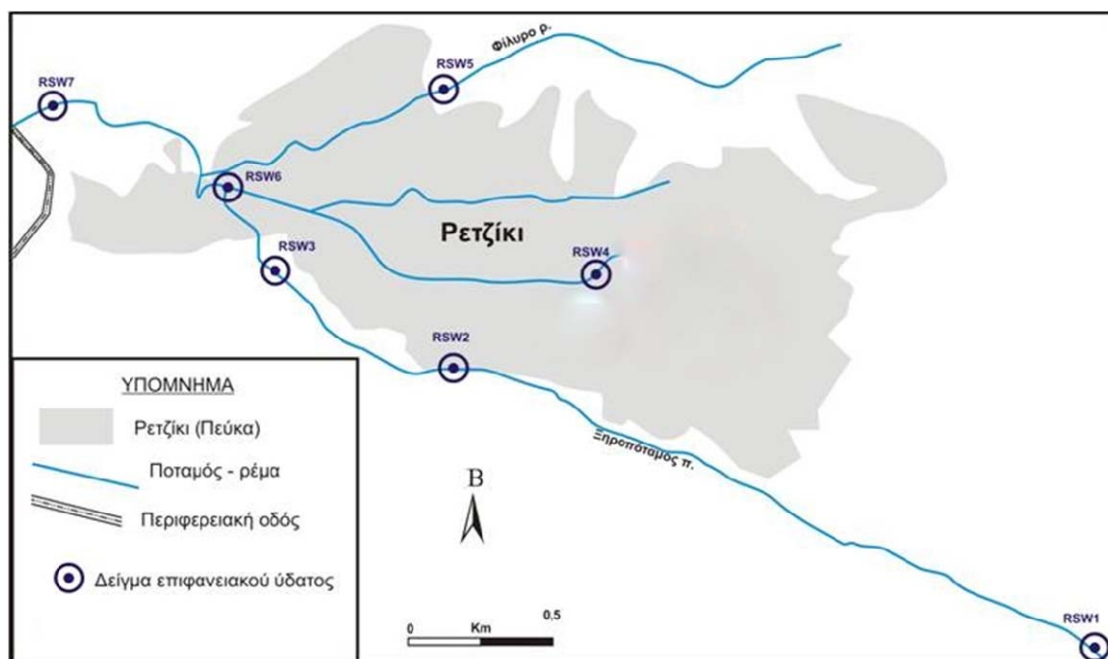
Οι επιπτώσεις της ρύπανσης των υδάτων, επιφανειακών και υπόγειων, εντοπίζονται εκτός των άλλων και στην ανθρώπινη υγεία. Η παρουσία αυξημένων ποσοτήτων νιτρικών (>70mg/Kg) και νιτρωδών (>20mg/Kg) ενώσεων, μπορεί να αποβεί επικίνδυνη για τον άνθρωπο. Χαρακτηριστικές επιπτώσεις αποτελούν το σύνδρομο κυάνωσης των βρεφών και ο καρκίνος του στομάχου όπως και οι βλάβες στο θυρεοειδή, η ταχυκαρδία και άλλες ηπιότερης μορφής παθολογικές ασθένειες. Ασθένειες όπως ο καρκίνος προέρχονται από μολυσμένα ύδατα, κατά συνέπεια από ένα μολυσμένο περιβάλλον. Η αλόγιστη χρήση των φυτοφαρμάκων και χημικών λιπασμάτων, έχει ως αποτέλεσμα την εισχώρηση βλαβερών ουσιών στο σώμα το ανθρώπου μέσω της κατανάλωσης των γεωργικών προϊόντων (φρούτων, λαχανικών) που καλλιεργούνται σε ένα μολυσμένο έδαφος. Το παραπάνω γεγονός οδηγεί σε προβλήματα υγείας όπως πονοκεφάλους, ναυτία, βλάβες στον εγκέφαλο στο συκώτι κ.α. Ακόμη η κατανάλωση τοξικών ουσιών μέσω του νερού, όπως τα βαρέα μέταλλα, μπορεί να αποβεί εξίσου καταστροφική για τον άνθρωπο. Συγκεκριμένα για το

αρσενικό, αναφέρεται ότι τα πιο συνηθισμένα σημάδια μακροχρόνιας έκθεσης σε χαμηλά επίπεδα 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 διπλωματικής εργασίας, πραγματοποιήθηκε δειγματοληψία των επιφανειακών υδάτων σε διάφορα σημεία των ρεμάτων και ποταμών που διασχίζουν το Ρετζίκι, με σκοπό την γεωχημική ανάλυση τους και την εξαγωγή αποτελεσμάτων σχετικά με αυτά. Η δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε με την καθοδήγηση του επιβλέποντα καθηγητή κ. Β. Μέλφου και την πολύτιμη βοήθεια και υποστήριξη από την γεωλόγο κ. Κ. Γιούρη.

Η επιλογή των θέσεων έγινε με τρόπο τέτοιο ώστε να είναι αντιπροσωπευτικό το αποτέλεσμα, και να καλύπτουν σφαιρικά μεγάλος μέρος της περιοχής μελέτης. Οι ακριβείς θέσεις βρέθηκαν με τη βοήθεια του GPS (Global Positioning System) και τοποθετήθηκαν πάνω σε χάρτη του Google Earth. Στο σχήμα 5.1 παρουσιάζεται ένας σκαριφηματικός χάρτης με τις θέσεις δειγματοληψίας.



Σχήμα 5.1. Οι θέσεις δειγματοληψίας επιφανειακών υδάτων στη περιοχή Ρετζίκι Θεσσαλονίκης

Η δειγματοληψία των επιφανειακών υδάτων πραγματοποιήθηκε την περίοδο του Οκτωβρίου 2013. Οι θέσεις δειγματοληψίας που επιλέχθηκαν είναι συνολικά επτά (σχήμα 5.1). Πέντε δείγματα (RSW1, RSW2, RSW3, RSW6, RSW7) ελήφθησαν από τον ποταμό Ξηροπόταμο, ένα δείγμα από ανώνυμο ρέμα (RSW4) και ένα δείγμα από το ρέμα Φιλύρου που διασχίζει την περιοχή μελέτης (RSW5).

Η συλλογή των δειγμάτων (Φωτ. 5.1 - 5.7) πραγματοποιήθηκε προσεκτικά ώστε να μην ληφθεί οργανική ύλη, όπως φυτά ή έντομα. Τα δείγματα τοποθετήθηκαν ξεχωριστά σε

πλαστικές φιάλες των 300 ml, και αμέσως μετά την πραγματοποίηση κάθε δειγματοληψίας ακολούθησε μέτρηση του pH της θερμοκρασίας και της αγωγιμότητας των δειγμάτων με την ειδική φορητή συσκευή μέτρησης φυσικοχημικών παραμέτρων τύπου «CRISON».

Στη συνέχεια, τα δείγματα μεταφέρθηκαν στο εργαστήριο χημείας του Τομέα Ορυκτολογίας, Πετρολογίας, Κοιτασματολογίας του Α.Π.Θ., ώστε να διηθηθούν και να αποθηκευτούν σε μικρότερες φιάλες των 50 ml. Μετά την κατάλληλη επεξεργασία τα δείγματα οδηγήθηκαν στο χημικό εργαστήριο της εταιρείας INTERGEO Τεχνολογία Περιβάλλοντος Ε.Π.Ε., όπου με τη βοήθεια των συνεργατών του εργαστηρίου οξινίστηκαν, προσθέτοντας 3 ml διαλύματος HNO_3 σε κάθε φιάλη, 1:1 σε $\text{Ph} < 2$. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιήθηκε για να αποφευχθεί η ανάπτυξη μικροοργανισμών και για να περιοριστεί η απορρόφηση και η καθίζηση ιχνοστοιχείων στα τοιχώματα, μέχρι τα δείγματα να αναλυθούν.



Φωτ. 5.1 Θέση δειγματοληψίας επιφανειακών υδάτων στον Ξηροπόταμο (δείγμα RSW1).



Φωτ. 5.2 Θέση δειγματοληψίας επιφανειακών υδάτων στον Ξηροπόταμο (δείγμα RSW2).



Φωτ. 5.3 Θέση δειγματοληψίας επιφανειακών υδάτων στον Ξηροπόταμο (δείγμα RSW3).



Φωτ. 5.4 Θέση δειγματοληψίας επιφανειακών υδάτων σε ανώνυμο ρέμα (δείγμα RSW4).



Φωτ. 5.5 Θέση δειγματοληψίας επιφανειακών υδάτων το ρέμα Φιλύρου (δείγμα RSW5).



Φωτ. 5.6 Θέση δειγματοληψίας επιφανειακών υδάτων στη ένωση δύο ρεμάτων (δείγμα RSW6).



Φωτ. 5.7 Θέση δειγματοληψίας επιφανειακών υδάτων στη ένωση τριών ρεμάτων (δείγμα RSW7).

6. ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΡΕΥΝΑΣ

Το εργαστηριακό μέρος, δηλαδή η ανάλυση των υδάτων, περιλαμβάνει τον προσδιορισμό των φυσικοχημικών παραμέτρων και της χημικής σύστασης των επτά δειγμάτων που συλλέχθηκαν. Οι φυσικοχημικές παράμετροι, όπως προαναφέρθηκε, πραγματοποιήθηκαν στην ύπαιθρο κατά την δειγματοληψία, με τη βοήθεια του ειδικού οργάνου μέτρησης τύπου «CRISON» (Φωτ. 6.1) το οποίο είναι φορητό και αποτελείται από μία μονάδα ελέγχου με οθόνη υγρών κρυστάλλων και ένα συνδυασμένο ηλεκτρόδιο με αισθητήρες, για τη μέτρηση παραμέτρων όπως, pH, Αγωγιμότητα ($\mu\text{S}/\text{cm}$), Ολικά Διαλυμένα Στερεά –TDS (mg/L) και θερμοκρασία ($^{\circ}\text{C}$). Το όργανο μέτρησης και οι φιάλες με τα διαλύματα βαθμονόμησης (Φωτ. 6.1) ανήκουν στον Τομέα Γεωλογίας του Τμήματος Γεωλογίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης.

Σχετικά με τον προσδιορισμό της ενεργού οξύτητας (pH) σε δείγματα πρέπει να γίνεται αμέσως μετά την δειγματοληψία. Η ενεργός οξύτητα είναι η συγκέντρωση των ιόντων HCO_3^{+} που περιέχεται στο διάλυμα του υδάτων και εκφράζεται με το pH, δηλαδή με το αρνητικό δεκαδικό λογάριθμο της συγκέντρωσης ιόντων HCO_3^{+} . Γενικά το pH των υδάτων μειώνεται όσο η υδάτινη μάζα ενηλικιώνεται. Μια νέα υδάτινη μάζα είναι πιο αλκαλική (pH>7), ενώ μία παλαιότερη είναι σχετικά πιο όξινη (pH <7). Αυτό οφείλεται κυρίως στη συγκέντρωση οργανικού υλικού που ελκύει το CO_2 όταν αποσυντίθεται (Βουδούρης 2009).

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα είναι η αριθμητική έκφραση των ηλεκτρικών φορτίων που φέρει ένα υδάτινο διάλυμα, και συνδέεται άμεσα με την ποσότητα και την φύση των διαλυμένων ηλεκτρολυτών σε αυτό. Το ενδεικτικό επίπεδο της αγωγιμότητας στο πόσιμο νερό είναι $400 \mu\text{S}/\text{cm}$.

Τα ολικά διαλυμένα στερεά (TDS) ή αλλιώς η αλατότητα των υδάτων εκφράζει τη συνολική συγκέντρωση των διαλυμένων αλάτων στο νερό, χωρίς να περιλαμβάνονται τα αιωρούμενα ιζήματα, τα κολλοειδή, και τα διαλυμένα αέρια. Όταν η τιμή του TDS κυμαίνεται μεταξύ 0-1000 mg/L , το νερό θεωρείται γλυκό, όταν είναι μεταξύ 1000-10.000 mg/L , υφάλμυρο, όταν είναι μεταξύ 10.000-100.000 mg/L θεωρείται αλμυρό και όταν οι τιμές είναι μεγαλύτερες από 100.000 mg/L το νερό θεωρείται υπεραλμυρό (Βουδούρης 2009).

Η θερμοκρασία (°C) των επιφανειακών υδάτων καθορίζεται και επηρεάζεται άμεσα από την μεταβολή της ηλιακής ενέργειας, και αυτό κάνει την παράμετρο της θερμοκρασίας στα επιφανειακά ύδατα να μην είναι σταθερή (Σούλιος 2006).

Για τον προσδιορισμό του pH χρησιμοποιείται το πεχάμετρο με ηλεκτρόδιο υάλου, καλομέλανος, το θερμόμετρο που είναι ενσωματωμένο στο όργανο και επιτρέπει να γίνεται αυτόματη μέτρηση και της θερμοκρασίας, ο μαγνητικός αναδευτήρας, οι πλαστικές φιάλες και το απιονισμένο νερό. Πριν από κάθε μέτρηση πραγματοποιείται 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, το ηλεκτρόδιο πρέπει να ξεπλένεται με απιονισμένο νερό και να στεγνώνεται με απορροφητικό χαρτί. Αν δεν διαθέτουμε απιονισμένο νερό μπορούμε να ξεπλύνουμε το ηλεκτρόδιο με το επόμενο δείγμα τοποθετώντας το σε ένα ξεχωριστό ποτήρι. Μετά το πέρας των μετρήσεων και αφού ξεπλυθεί το ηλεκτρόδιο με το απιονισμένο νερό, το ποματίζουμε με ελαστικό πώμα, το οποίο περιέχει KCL.



Φωτ. 6.1 Όργανα μέτρησης φυσικοχημικών παραμέτρων των δειγμάτων.

Για την πραγματοποίηση της γεωχημικής μελέτης τα επιφανειακά υδατικά δείγματα αναλύθηκαν ως προς τη χημική τους σύσταση και συγκεκριμένα ως προς τις συγκεντρώσεις τους σε κύρια στοιχεία και ιχνοστοιχεία ή βαρέα μέταλλα. Επιπλέον ελέγχθηκαν ως προς τη

φόρτιση τους σε οργανικές ουσίες (COD= Chemical Oxygen Demand) με σκοπό να ελεγχθεί η πιθανή ρύπανση τους. Οι αναλύσεις των οργανικών ουσιών επιβάλλεται να γίνουν τις πρώτες 48 ώρες αφότου διηθηθούν τα δείγματα από φίλτρο Whatman διαμέτρου 0,45 μm ώστε να ελαχιστοποιηθούν τα αιωρούμενα σωματίδια (APHA 1995).

Η παράμετρος COD προσδιορίστηκε στο εργαστήριο της εταιρείας INTERGEO Τεχνολογία Περιβάλλοντος Ε.Π.Ε., με έδρα τη Θέρμη Θεσσαλονίκης. Με τον όρο COD, εννοούμε την ποσότητα του οξυγόνου που απαιτείται για τη χημική οξείδωση του συνόλου των οργανικών ενώσεων που περιέχονται στο νερό και μπορούν να οξειδωθούν με ένα ισχυρό οξειδωτικό μέσο (Κουμτζής κ.α. 1998, 2004). Ο προσδιορισμός του COD αποτελεί μια ακριβή μέτρηση, που δίνει πληροφορίες σχετικά με την εκτίμηση της ρύπανσης των επιφανειακών υδάτων για τον έλεγχο και τον σχεδιασμό συστημάτων βιολογικού καθαρισμού λυμάτων και αποβλήτων.

Ο προσδιορισμός των κύριων στοιχείων και ιχνοστοιχείων στα δείγματα έγινε με τη μέθοδο ICP στα ACME Laboratories στο Βανκούβερ του Καναδά. Σύμφωνα με τη μέθοδο ICP Mass Spec-Group 2C, η ελάχιστη ποσότητα του κάθε δείγματος που αναλύεται είναι 50 ml και τα αποτελέσματα αφορούν 70 χημικά στοιχεία από τα οποία επιλέχτηκαν τα εξής για σχολιασμό στην παρούσα εργασία τα 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 της προαναφερόμενης μεθόδου τα υδατικά δείγματα πρέπει να έχουν το λιγότερο από 0,1% ολικά ρευστοποιημένα στερεά και η μέθοδος παρέχει τα χαμηλά όρια ανίχνευσης που χρειάζονται για να ορίσουν το ιστορικό προέλευσης και τα ανώμαλα επίπεδα που πιθανώς υπάρχουν και αφορούν τα μέταλλα στην περιοχή μελέτης.

7. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

7.1. ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ

Οι φυσικοχημικές παράμετροι διακρίνονται σε φυσικές και χημικές. Στη παρούσα μελέτη δόθηκε έμφαση στην ανάλυση των παρακάτω παραμέτρων.

- Φυσικές : Θερμοκρασία, Χρώμα, Θολότητα, Οσμή, Ραδιενέργεια
- Χημικές : pH, Αγωγιμότητα, Σκληρότητα, Αλκαλικότητα, Δυναμικό Οξειδοαναγωγής

Όπως αναφέρθηκε, οι παράμετροι που μετρήθηκαν στην ύπαιθρο κατά τη διάρκεια της δειγματοληψίας, είναι το pH, η αγωγιμότητα ($\mu\text{S}/\text{cm}$), τα ολικά διαλυμένα στερεά T.D.S. (mg/L) και η θερμοκρασία ($^{\circ}\text{C}$) με τη χρήση ειδικών οργάνων μέτρησης. (Φωτ. 6.1). Τα αποτελέσματα των μετρήσεων των φυσικοχημικών παραμέτρων παρατίθενται παρακάτω στον Πίνακα 7.1.

Πίνακας 7.1 Αποτελέσματα μετρήσεων των φυσικοχημικών παραμέτρων. Μ.Ο. = Μέσος Όρος.

ΔΕΙΓΜΑ	pH	Αγωγιμότητα ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	T.D.S. (mg/L)	Θερμοκρασία ($^{\circ}\text{C}$)
RSW1	7,60	1301	795	15,2
RSW2	8,16	1131	730	14,0
RSW3	8,28	1170	753	14,4
RSW4	8,10	1082	693	17,1
RSW5	8,14	515	330	18,4
RSW6	8,12	1148	735	16,5
RSW7	7,96	1070	684	20,5
M.O	8,05	1060	674	17,6

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα στον πίνακα 7.1 οι τιμές pH για τα επιφανειακά ύδατα της περιοχής μελέτης κυμαίνονται από 7,6 στο δείγμα RSW1 έως και 8,28 στο δείγμα RSW3 με μέση τιμή 8,05. Παρατηρείται μια σταθερότητα στις μετρήσεις του pH και οι τιμές αυτές χαρακτηρίζουν τα δείγματα από ουδέτερα ως αλκαλικά. Οι τιμές είναι φυσιολογικές και εντός των ορίων της Νομοθεσίας της Ευρωπαϊκής Ένωσης, τα οποία είναι 6,5-9,5 για ύδατα μη ρυπασμένων περιοχών (Ιωαννίδου 2012).

Σχετικά με την αγωγιμότητα, τα όρια που θέτει η Ε.Ε είναι έως $2500 \mu\text{S}/\text{cm}$ (Ιωαννίδου 2012). Οι μετρήσεις ης αγωγιμότητας στην παρούσα μελέτη δεν ξεπερνούν το $1301 \mu\text{S}/\text{cm}$ στο δείγμα RSW1 και η χαμηλότερη είναι $515 \mu\text{S}/\text{cm}$ του δείγματος RSW5.

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). Οι υψηλότερη τιμή αλατότητας παρατηρείται στο δείγμα RSW1 με τιμή 795 mg/L και η χαμηλότερη στο δείγμα RSW5 με τιμή 330 mg/L, και τα δύο δείγματα χαρακτηρίζονται ως γλυκά.

Οι τιμές της θερμοκρασίας κυμαίνονται από 14°C στο δείγμα RSW2 έως 20,5°C στο δείγμα RSW7. Αυτή η διαφορά στη θερμοκρασία οφείλεται στην διαφορετική έκθεση κάθε σημείου δειγματοληψίας στις ακτίνες του ήλιου. Το δείγμα RSW7 λήφθηκε σε ρέμα με άμεση έκθεση στον ήλιο, ενώ στο δείγμα RSW2 το σημείο δειγματοληψίας βρίσκεται υπό σκιά.

7.2. ΓΕΩΧΗΜΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ ΥΔΑΤΩΝ

Στον πίνακα που ακολουθεί (Πίνακας 7.2), παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων των δειγμάτων σε κύρια στοιχεία και ιχνοστοιχεία. Τα κύρια στοιχεία τοποθετούνται πρώτα στον πίνακα (Ca, K, Mg, Na, P, Si) και ακολουθούν το χλώριο (Cl) και το θείο (S) με αυξημένες περιεκτικότητες σε όλα τα δείγματα. Στη συνέχεια παρατίθενται οι τιμές των υπόλοιπων ιχνοστοιχείων συμπεριλαμβανομένων των βαρέων μετάλλων.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων που πραγματοποιήθηκαν στα επιφανειακά δείγματα, παρατηρείται ότι το Ca έχει τις υψηλότερες τιμές σε όλα τα δείγματα εκτός από το δείγμα RSW5 όπου το Ca είναι το χαμηλότερο (29,84 mg/L) και το Na σε αυτό το δείγμα έχει την υψηλότερη τιμή του (91,07 mg/L), σε σχέση με τα υπόλοιπα δείγματα. Η υψηλότερη τιμή που παίρνει το Ca είναι 129,32 mg/L στο δείγμα RSW3. Το Na λαμβάνει τιμές από 32,78 mg/L έως 91,07 mg/L με μέσο όρο 59,36 mg/L. Αμέσως μετά παρατηρούνται υψηλές τιμές του Cl με εξαίρεση το δείγμα RSW5 όπου όπως προαναφέρθηκε ανεβαίνει το Na και πέφτει το Ca και το Cl. Η μέση τιμή του Cl είναι 68,85 mg/L και η υψηλότερη τιμή φτάνει έως 87 mg/L στο δείγμα RSW6. Το Mg έχει μέσο όρο 37,73 mg/L και παρατηρείται σχετικά σταθερό με εξαίρεση την χαμηλότερη τιμή του στο δείγμα RSW5 όπου πέφτει στο 1,85 mg/L, και η υψηλότερη τιμή του φτάνει έως 62,06 mg/L στο δείγμα RSW6. Το S είναι το αμέσως επόμενο στοιχείο σε περιεκτικότητα με την υψηλότερη τιμή 33 mg/L στο δείγμα RSW7 και την χαμηλότερη τιμή 8 mg/L στο δείγμα

RSW5. Επίσης το Si φαίνεται να έχει ομαλή κατανομή με την χαμηλότερη τιμή 9,291 mg/L και την υψηλότερη τιμή 25,37 mg/L στο δείγμα RSW5. Τα υπόλοιπα κύρια στοιχεία παρουσιάζουν χαμηλότερες τιμές. Το K έχει χαμηλότερη τιμή 1,79 mg/L στο δείγμα RSW6 και υψηλότερη 9,74 mg/L στο δείγμα RSW1, ενώ ο P έχει ακόμη πιο χαμηλές τιμές με την χαμηλότερη 0,073 mg/L στο δείγμα RSW4.

Οι αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν στα δείγματα των επιφανειακών υδάτων για την περιεκτικότητα τους σε ιχνοστοιχεία και βαρέα μέταλλα αναγράφονται σε ppb και ppm (Πιν. 7.2.). Βρέθηκε ότι το As έχει αρκετά χαμηλές περιεκτικότητες με την χαμηλότερη 0,019 mg/L και την υψηλότερη 0,0184 mg/L στο δείγμα RSW7. Αντίθετα το Br έχει υψηλότερες περιεκτικότητες με μέσο όρο 0,160 mg/L. Το Cd και το Sn δεν εμφανίζονται σε κανένα δείγμα. Ακόμη το Co έχει πολύ μικρές περιεκτικότητες με μέσο όρο 0,00059 mg/L και μέγιστη τιμή 0,001 mg/L στο δείγμα RSW6. Όσο αφορά το Cr και το Cs έχουν πολύ χαμηλές περιεκτικότητες με μέσο όρο για το Cr 0,00079 mg/L και για το Cs 0,000049 mg/L. Επίσης ο Cu παρουσιάζει χαμηλές περιεκτικότητες με μέσο όρο 0,0065 mg/L. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον έχει ο Fe που εμφανίζεται μόνο σε δύο δείγματα με διαφορετικές όμως περιεκτικότητες. Στο δείγμα RSW1 με 0,0589 mg/L ενώ στο δείγμα RSW5 με 0,2257 mg/L. Το Mn εμφανίζει σχετικά χαμηλές περιεκτικότητες με εξαίρεση το δείγμα RSW1 με 0,2507 mg/L, ενώ η χαμηλότερη τιμή είναι στο δείγμα RSW7 με 0,00823 mg/L. Το Ni, Pb, Rb, Sb, εμφανίζονται με πάρα πολύ χαμηλές περιεκτικότητες με μέσο όρο 0,0019 mg/L, 0,00169 mg/L, 0,00172 mg/L, 0,00036 mg/L αντίστοιχα. Αξιοσημείωτη είναι η αυξημένη περιεκτικότητα του Sr σε όλα τα δείγμα με εξαίρεση τη χαμηλότερη τιμή του δείγματος RSW5 με 0,05458 mg/L ενώ η υψηλότερη τιμή ανήκει στο δείγμα RSW4 με 0,770 mg/L. Τέλος, τα στοιχεία U, V, W παρουσιάζουν χαμηλές τιμές με εξαίρεση το W που παρουσιάζει τη μέγιστη τιμή του στο δείγμα RSW2 με 0,0483 mg/L.

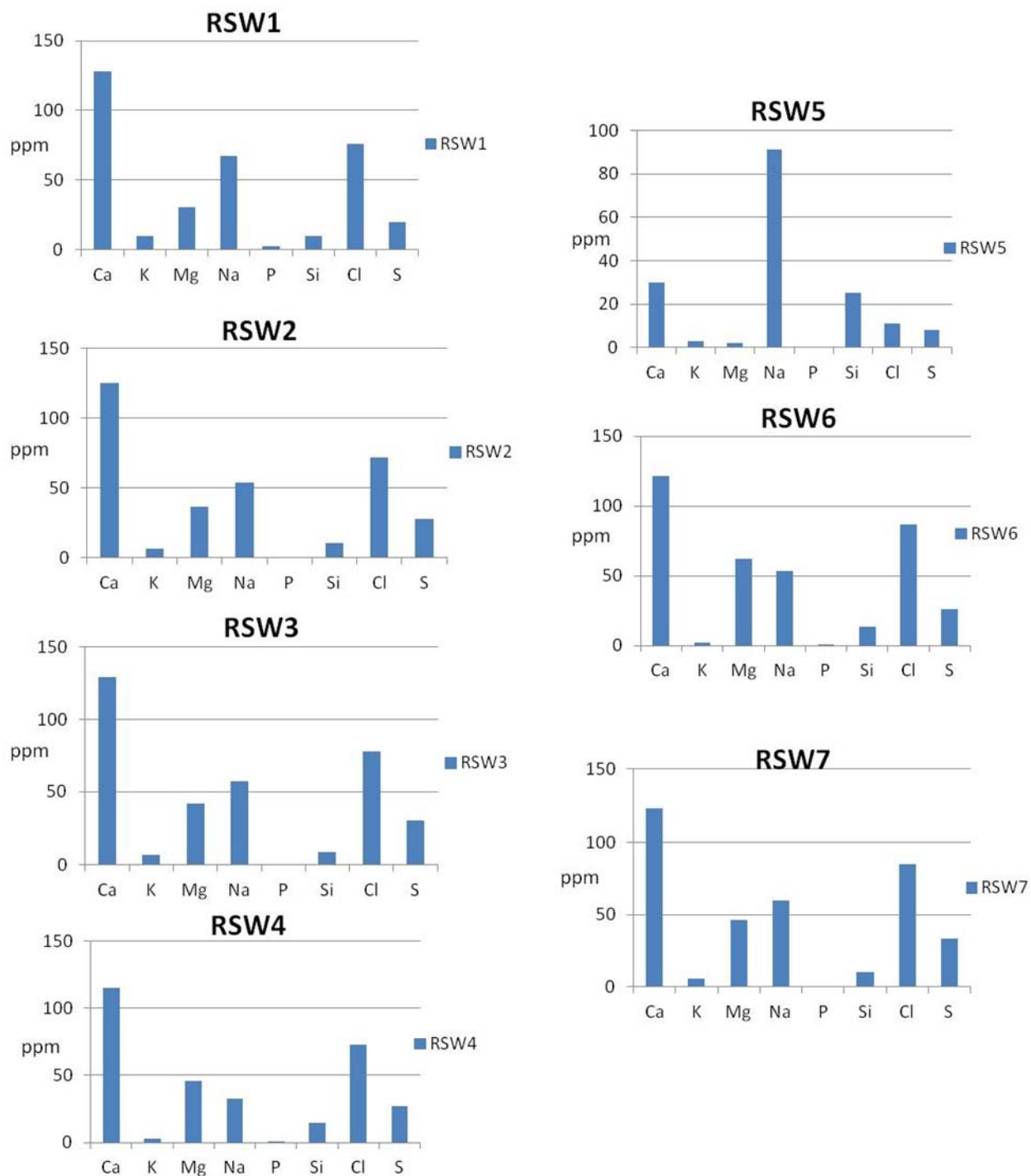
Το Sr εμφανίζει μεγάλες περιεκτικότητες σε όλα σχεδόν τα δείγματα. Τα βιοχημικά και τα γεωχημικά χαρακτηριστικά του Sr είναι παρόμοια με αυτά του Ca, το Sr δηλαδή σχετίζεται χημικά με το Ca (Kabata-Pendias 2011). Πιθανότατα λόγω της αυξημένης περιεκτικότητας σε Ca των νερών, να υπάρχει και αυξημένη περιεκτικότητα σε Sr.

Παρατίθενται παρακάτω τα γραφήματα των χημικών (Σχ. 7.2.1, 7.2.2) για τα επιφανειακά ύδατα, δύο για κάθε δείγμα. Το πρώτο 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. Τα αποτελέσματα αναγράφονται σε ppm και ppb.

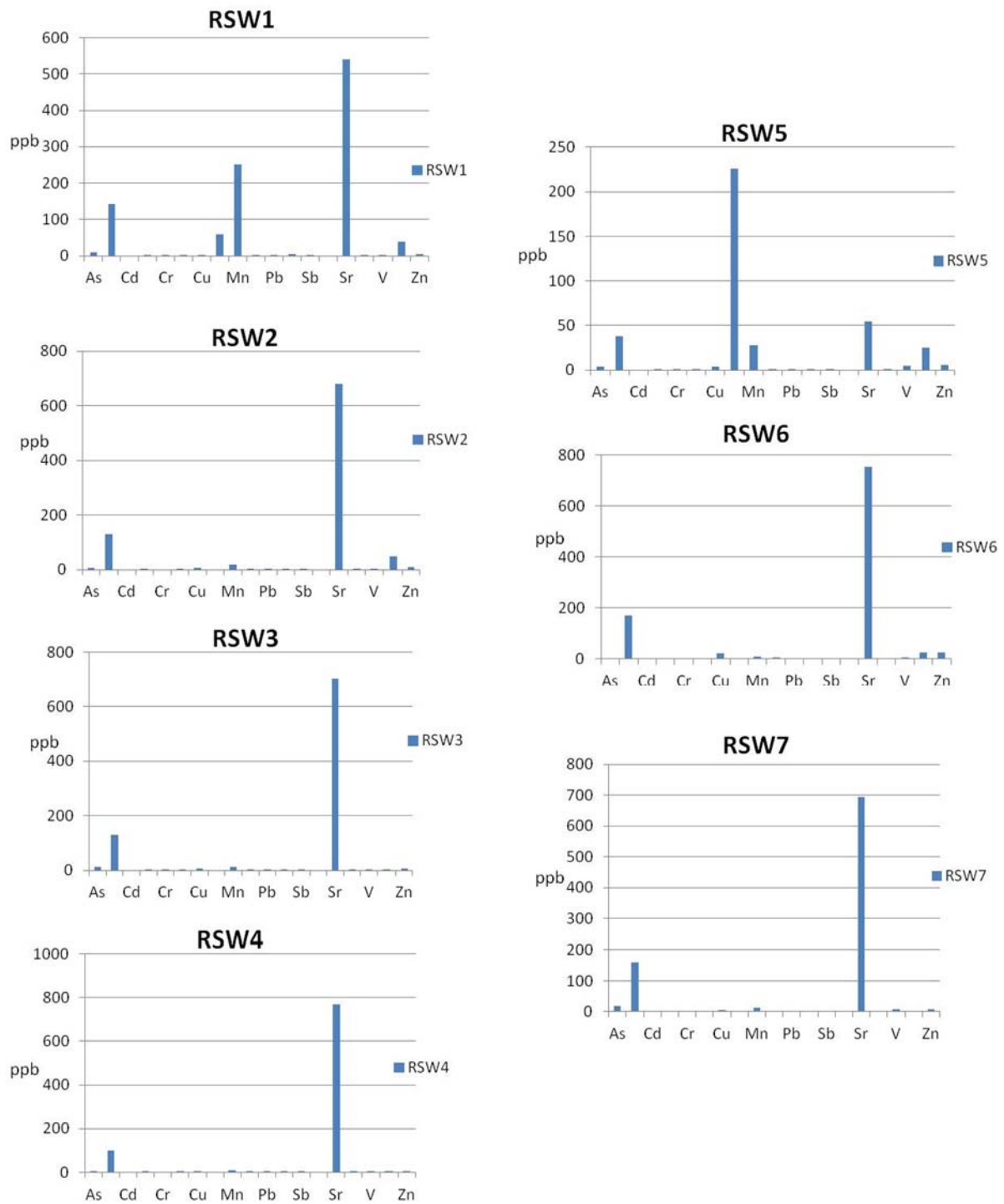
Πίνακας 7.2. Συγκεντρώσεις κύριων στοιχείων και ιχνοστοιχείων των επιφανειακών υδάτων της περιοχής μελέτης. **MDL:** όριο ανίχνευσης, **bdl:** κάτω από το όριο ανίχνευσης.

Στοιχεία	Unit	MDL	RSW1	RSW2	RSW3	RSW4	RSW5	RSW6	RSW7	Μέσος Όρος
Ca	ppm	0,05	127,88	125,19	129,32	115,19	29,84	121,27	123,38	110,295
K	ppm	0,05	9,74	6,18	6,81	3,06	2,92	1,79	5,54	5,1485
Mg	ppm	0,05	30,5	36,65	41,67	45,52	1,85	62,06	45,9	37,7357
Na	ppm	0,05	67,15	53,74	57,53	32,78	91,07	53,78	59,48	59,361
P	ppb	10	2807	706	766	73	95	89	634	738,571
Si	ppb	40	10182	10248	9291	14718	25379	13503	10280	13371,57
Cl	ppm	1	76	72	78	73	11	87	85	68,8571
S	ppm	1	20	28	31	27	8	26	33	24,714
As	ppb	0,5	9,2	6,6	13,9	1,9	3,8	3	18,5	8,1285
Br	ppb	5	143	131	131	98	38	171	161	124,714
Cd	ppb	0,05	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl
Co	ppb	0,02	0,57	0,68	0,77	0,15	0,31	1,01	0,9	0,627
Cr	ppb	0,5	1,3	bdl	0,5	bdl	0,8	bdl	0,7	0,825
Cs	ppb	0,01	0,09	0,03	0,03	0,12	0,02	0,01	bdl	0,05
Cu	ppb	0,1	2,7	4,7	5,3	3,2	3,7	22,3	4,5	6,6285
Fe	ppb	10	59	bdl	bdl	bdl	226	bdl	bdl	142,5
Mn	ppb	0,05	251,06	18,84	12,81	8,55	27,53	8,24	13,99	48,717
Ni	ppb	0,2	0,6	2,6	2,3	0,6	0,7	3,9	3,3	2
Pb	ppb	0,1	0,7	2,4	1,9	1,8	0,8	2,2	2,1	1,7
Rb	ppb	0,01	5,5	1,8	2,05	0,6	1,01	0,67	0,47	1,7285
Sb	ppb	0,05	0,15	0,4	0,59	0,1	0,35	0,27	0,71	0,3671
Sn	ppb	0,05	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl
Sr	ppb	0,01	540,73	679,87	703,18	770,93	54,65	752,88	694,03	599,46
U	ppb	0,02	0,93	1,7	1,52	0,96	0,19	1,72	2,75	1,395
V	ppb	0,2	1,3	3,3	3,9	2,9	4,8	4,3	7,9	4,0571
W	ppb	0,02	38,94	48,37	2,47	1,99	25,1	24,7	1,18	20,392
Zn	ppb	0,5	4,5	7,8	6	5,7	5,7	23,8	8,6	8,871

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα αυτά το Ca έχει την υψηλότερη τιμή σε όλα τα δείγματα επιφανειακών υδάτων. 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 7.1. Περιεκτικότητες επιφανειακών υδάτων σε κύρια στοιχεία.



Σχήμα 7.2. Περιεκτικότητες υπόγειων υδάτων 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. Όπως για το Ca έτσι και για το 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. Επίσης μπορεί να οφείλεται στη απόρριψη χοντρού αλατιού (NaCl) κατά τους χειμερινούς μήνες, από το δήμο Νεάπολης-Συκεών, με αποτέλεσμα σημαντικές ποσότητες αυτού να καταλήγουν στα επιφανειακά ύδατα μέσω της επιφανειακής απορροής, αλλά και στα υπόγεια μέσω της κατείσδυσης.

Το S στα δείγματα έχει μέση τιμή 24,7 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 59,36 mg/L. Οι υψηλές περιεκτικότητες οφείλονται πιθανώς στην ρήψη αλατιού λόγω των χιονοπτώσεων, όπως και στην περίπτωση του Cl.

Σχετικά με τα βαρέα μέταλλα και τα ιχνοστοιχεία που βρίσκονται στη δεύτερη ομάδα των διαγραμμάτων (Πίν. 7.2), 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). Η υψηλότερη περιεκτικότητα σε αρσενικό είναι 0,0184 mg/L στο δείγμα RSW7. 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 εμφανίζεται μόνο σε δύο δείγματα RSW5 (0,2257 mg/L) και RSW1 (0,059 mg/L) ενώ στα υπόλοιπα δείγματα είναι μη ανιχνεύσιμος.

Το Sr παρατηρείται ιδιαίτερα αυξημένο στα διαγράμματα σε όλα τα δείγματα με μέση περιεκτικότητα 0.598 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 124,71 ppb. 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 $3,1 \text{ gr/cm}^3$ στους 20°C (Kabata-Pendias 2011). Τέλος στο δείγμα RSW2 το βολφράμιο (W) έχει τιμή 0,0483 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. Τέλος ο ψευδάργυρος (Zn) εμφανίζει τη μεγαλύτερη τιμή του στο δείγμα RSW6 (23,8 ppb). Ο ψευδάργυρος δεν βρίσκεται ελεύθερος στη φύση, αλλά είναι αρκετά διαδεδομένος στα ορυκτά του, όπως ο θειούχος ψευδάργυρος, η καλαμίνα, ο σμισθονίτης και ο ψευδαργυρίτης.

8. ΟΡΓΑΝΙΚΕΣ ΟΥΣΙΕΣ

Τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων ως προς το βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο, BOD (Biochemical Oxygen Demand) και το χημικά απαιτούμενο οξυγόνο COD (Chemical Oxygen Demand), παρουσιάζονται στον Πίνακα 8.1.

Πίνακας 8.1. Συγκεντρώσεις των παραμέτρων BOD και COD σε mg/L

ΔΕΙΓΜΑ	COD (mg/l)	BOD (mg/l)
RSW1	32,6	0
RSW2	12,3	0
RSW3	11,2	0
RSW4	9,3	0
RSW5	24	31
RSW6	7	0
RSW7	12,5	0

Η ελληνική νομοθεσία δεν ορίζει συγκεκριμένα όρια για την παράμετρο του COD για τα επιφανειακά ύδατα. Σύμφωνα όμως με τις κατευθυντήριες οδηγίες της Ευρωπαϊκής Ένωσης πρέπει να εξασφαλίζεται η απολύτως ελάχιστη συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου (5mg/L). Οι αναλύσεις των δύο παραμέτρων, πραγματοποιήθηκαν στο εργαστήριο της εταιρείας INTERGEO Τεχνολογία Περιβάλλοντος Ε.Π.Ε. Ο εργαστηριακός εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε για τις μετρήσεις, είναι ο θερμοαντιδραστήρας CR 2200, το φωτόμετρο, και τα kit τα οποία περιέχουν ζυγισμένα με ακρίβεια πρότυπα διαλύματα και αντιδραστήρια προκειμένου να μετρηθούν οι διάφορες παράμετροι που μας ενδιαφέρουν. Χρησιμοποιήθηκαν kit με το χαμηλότερο εύρος τιμών για την ανάλυση του COD, δηλαδή για περιεκτικότητες από 10-150 mg/L. Το BOD υπολογίζεται όταν οι περιεκτικότητες COD είναι αυξημένες, καθώς μόνο τότε μπορεί ανιχνευτεί BOD και έχει νόημα να υπολογιστεί. Η μέτρηση του BOD είναι χρονοβόρα σε αντίθεση με του COD. Διαρκεί πέντε μέρες (BOD₅), και είναι η συνολική ποσότητα οξυγόνου που καταναλώνεται από τους μικροοργανισμούς κατά τις πέντε αυτές ημέρες της βιοαποικοδόμησης. Είναι πολύ σημαντική παράμετρος για την εκτίμηση των επιπτώσεων που θα έχει μια εκροή αποβλήτων σε έναν τελικό υδάτινο αποδέκτη. Στις μετρήσεις της συγκεκριμένης μελέτης δεν ανιχνεύτηκε ποσοστό BOD, παρά μόνο σε ένα δείγμα (RSW5) 31mg/L, μετά από δεύτερη ανάλυση, της ποσότητας COD. Το γεγονός αυτό πιθανόν να οφείλεται στο ότι το δείγμα λήφθηκε από ύδατα εκτεθειμένα σε πολλούς μικροοργανισμούς και φύκια (Φωτ. 5.5).

Οι τιμές του COD κυμαίνονται από 7 mg/L έως και 32,6 mg/L. Η ύπαρξη του διαλυμένου οξυγόνου στο νερό είναι ζωτικής σημασίας για τους υδρόβιους οργανισμούς και τα ψάρια. Με την αύξηση της θερμοκρασίας μειώνεται η διαλυτότητα του οξυγόνου στο νερό. Η παρουσία οργανικών υλών σε έναν αποδέκτη έχει ως αποτέλεσμα την κατανάλωση του διαλυμένου οξυγόνου του αποδέκτη λόγω αερόβιας αναπνοής σύμφωνα με την αντίδραση : Οργανική ύλη + O₂ → CO₂ + H₂O + ενέργεια.

9. 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 9.1 παρουσιάζονται οι ανώτερες επιτρεπτές συγκεντρώσεις στοιχείων και ιχνοστοιχείων στο πόσιμο νερό, σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Ένωση και τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας.

Πίνακας 9.1. 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

Με βάση τον παραπάνω πίνακα και σε σύγκριση με τα αποτελέσματα της χημικής ανάλυσης που πραγματοποιήθηκε, προκύπτει ότι το Mg με μέσο όρο 37,7 ppm είναι κοντά στο ανώτατο όριο αλλά δεν το ξεπερνά, σε αντίθεση με το δείγμα RSW6 που ξεπερνά το ανώτατο όριο (62,06 ppm). 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 συμβάλει 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.

Το ασβέστιο με μέσο όρο 110,29 ppm ξεπερνάει το ανώτατο όριο σύμφωνα με τον πίνακα 8.1 και κρίνεται ακατάλληλο για πόση. Το Ca υπάρχει σε όλα τα φυσικά ύδατα, και προέρχεται από διάβρωση ανθρακικών πετρωμάτων. Τα στοιχεία Na και K δεν ξεπερνούν το ανώτατο όριο σύμφωνα με τον πίνακα 9.1. Το Mn σε γενικές γραμμές είναι αποδεκτό, με εξαίρεση το δείγμα RSW1 με 251,06 ppb, τη στιγμή που το ανώτατο όριο είναι 50 ppb. Ο Fe, ο Cu και ο Zn βρίσκονται σε φυσιολογικές τιμές, πολύ κάτω των ορίων. Σε αντίθεση το As ξεπερνάει την ανώτατη οριακή τιμή (10ppb), σε δύο δείγματα (RSW3: 13.9 ppb και RSW7:18.5 ppb). Τα στοιχεία Cr, Ni, Pb, Cd ανιχνεύονται σε πολύ χαμηλότερες τιμές. Τέλος το U έχει ανώτατο όριο για πόσιμα ύδατα 0,002 ppm, και το δείγμα RSW7 (2,75 ppb) το ξεπερνάει κατά 0,75.

Απαραίτητη προϋπόθεση για μια ολοκληρωμένη γεωχημική έρευνα των υδάτων μιας περιοχής, είναι να γίνει επιπλέον μελέτη των ιζημάτων των ρεμάτων και του εδάφους καθώς και των γεωλογικών συνθηκών. Έτσι τα αποτελέσματα των αναλύσεων και οι υψηλές τιμές συχνά σχετίζονται με το υπόβαθρο της περιοχής, ή με την ύπαρξη κάποιας μεταλλοφορίας στην περιοχή μελέτης. Ακόμη για την ολοκλήρωση της συνολικής μελέτης των υδάτων μια περιοχή είναι απαραίτητο να αναλυθούν τόσο τα υπόγεια όσο και τα επιφανειακά ύδατα και να συγκριθούν οι τιμές, για την έκβαση σωστών αποτελεσμάτων. Την γεωχημική μελέτη των υπόγειων υδάτων της περιοχής των Πεύκων (Ρετζίκι) Θεσσαλονίκης, έχει πραγματοποιήσει το 2013 η γεωλόγος κ. Α. Μιχαηλίδου.

Έτσι τα αποτελέσματα από τον προσδιορισμό των φυσικοχημικών παραμέτρων στα επιφανειακά και υπόγεια ύδατα στα Πεύκα κρίνονται φυσιολογικά, χωρίς να βρίσκονται εκτός των ορίων που θεσπίζονται από την Ευρωπαϊκή Ένωση. Το pH χαρακτηρίζεται από ουδέτερο έως αλκαλικό. Η αγωγιμότητα είναι σύμφωνα με την οδηγία της Ε.Ε κάτω από

2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$, (στα επιφανειακά ύδατα έως 1301 $\mu\text{S}/\text{cm}$ και στα υπόγεια έως 1274 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Οι τιμές των ολικών διαλυμένων στερεών (TDS) κυμαίνονται από 330 mg/L έως 814mg/L, επομένως όλα τα δείγματα χαρακτηρίζονται ως γλυκά ύδατα. Τέλος, οι θερμοκρασίες είναι υψηλότερες στα επιφανειακά ύδατα (14-20,5 °C) και χαμηλότερες στα υπόγεια ύδατα (13,9-16,9 °C).

Για τις τιμές του COD, όπως ήδη αναφέρθηκε δεν υπάρχει συγκεκριμένο όριο από την ελληνική νομοθεσία, οπότε συγκρίθηκαν με τις τιμές που δίνονται από την Απόφαση του Νομάρχη Θεσσαλονίκης Αριθμ. ΦΥ/22374/91/94 (ΦΕΚ 82B/10-2-94), όπως αυτή τροποποιείται από την ΚΥΑ 30/1585 (ΦΕΚ 524B/29-4-2002) για τη διάθεση λυμάτων και υγρών αποβλήτων σε φυσικούς αποδέκτες στο νομό Θεσσαλονίκης. Οι μετρήσεις του COD έδειξαν πως δεν υπάρχει υπέρβαση του ορίου που δίνεται για τα υγρά απόβλητα (100 mg/L). Παρόλα αυτά, παρατηρούνται δύο επιφανειακά δείγματα, ένα στον ποταμό Ξηροπόταμο και ένα στο ρέμα Φιλύρου που εμφανίζουν υψηλότερες τιμές από τα υπόλοιπα δείγματα (RSW1: 32.6 mg/L και RSW5: 24.0 mg/L). Αυτό συνεπάγεται ότι οι περιοχές από τις οποίες λήφθηκαν τα δύο αυτά δείγματα δέχονται εντονότερη επιβάρυνση, που πιθανώς να οφείλεται σε ανεξέλεγκτα αστικά λύματα που διοχετεύονται στους ποταμούς και δημιουργούν σημειακές πηγές ρύπανσης.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων για τα κύρια στοιχεία, το Ca εμφανίζει την υψηλότερη συγκέντρωση σε όλα τα δείγματα τόσο των επιφανειακών όσο και των υπόγειων υδάτων και προέρχεται κυρίως από τα ανθρακικά πετρώματα της περιοχής των Πεύκων που εκτείνονται σε όλη την περιοχή. Οι συγκεντρώσεις του Mg είναι επίσης ιδιαίτερα υψηλές σε όλα τα δείγματα και οφείλονται κυρίως στα οφειολιθικά πετρώματα που περιέχουν ορυκτά πλούσια σε Mg (ολιβίνης, πυρόξενος, χλωρίτης κ.ά.).

Το Cl είναι ιδιαίτερα αυξημένο σε όλα τα δείγματα που αναλύθηκαν (11-87 mg/L). Δεν απαντάται ελεύθερο στη φύση, αλλά κυρίως ως ιόν σε διάφορα άλατα Na, K και Ca. Οι υψηλές του περιεκτικότητες πιθανώς να οφείλονται είτε στη ρίψη χοντρού αλατιού (NaCl) στους δρόμους κατά τη χειμερινή περίοδο με τις χιονοπτώσεις, είτε σε ρύπανση από αστικά λύματα που είναι και το πιο πιθανό. Το S στα δείγματα παρουσιάζει μέση περιεκτικότητα 34.6 mg/L στα υπόγεια και 24.7 mg/L στα επιφανειακά ύδατα, χωρίς μεγάλες διακυμάνσεις. Η αυξημένη αυτή περιεκτικότητα πιθανότατα προέρχεται από μικρά μεταλλοφόρα σώματα που βρίσκονται στα οφειολιθικά πετρώματα της περιοχής.

Επίσης, το K, Na και Si βρίσκονται σε φυσιολογικά όρια και η παρουσία τους οφείλεται σε γεωλογικούς παράγοντες λόγω της διάβρωσης των πετρωμάτων. Ο P βρίσκεται σε χαμηλές περιεκτικότητες σε όλα τα δείγματα των υπόγειων υδάτων, ενώ στα

επιφανειακά ύδατα οι περιεκτικότητές του είναι ιδιαίτερα ψηλές (έως 2807 $\mu\text{g/L}$), κάτι που πιθανώς να οφείλεται στην παρουσία αστικών λυμάτων.

Όσον αφορά τα ιχνοστοιχεία, οι τιμές του Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, Sn, V και Zn είναι χαμηλότερες από τους ποιοτικά πρότυπα για τα επιφανειακά ύδατα της Ελλάδας (ΦΕΚ 1886B/12-12-2003) και η εμφάνισή τους οφείλεται σε γεωλογικούς παράγοντες. Το Mn είναι σχετικά χαμηλό, με εξαίρεση το επιφανειακό δείγμα RSW1 (251.06 $\mu\text{g/L}$) που υπερβαίνει το όριο των 100 $\mu\text{g/L}$ και η παρουσία του οφείλεται στην εμφάνιση κάποια μεταλλοφορίας πλούσιας σε Mn. Το As είναι χαμηλό στα περισσότερα δείγματα, κάτω από το θεσμοθετημένο όριο στην Ελλάδα που για τα υπόγεια ύδατα είναι 10 $\mu\text{g/L}$ και για τα επιφανειακά 30 $\mu\text{g/L}$ (ΦΕΚ 1886B/12-12-2003). Την υψηλότερη περιεκτικότητα σε As για τα υπόγεια ύδατα, που είναι κοντά στο ανώτατο επιτρεπτό όριο, έχει το δείγμα RZW1 (9.9 $\mu\text{g/L}$), ενώ δεν ξεπερνούν το θεσμοθετημένο όριο για τα επιφανειακά ύδατα τα δείγματα RSW3 (13.9 $\mu\text{g/L}$) και RSW7 (18.5 $\mu\text{g/L}$). Οι συγκεντρώσεις του As είναι μάλλον φυσικής προέλευσης και για το λόγο αυτό δημιουργούν σημειακές ανωμαλίες. Ο Fe εντοπίζεται σε χαμηλές περιεκτικότητες, με εξαίρεση το δείγμα RZB1 στη γεώτρηση Δελασάλ (886 $\mu\text{g/L}$), που υπερβαίνει κατά πολύ το όριο που θεσπίζεται για τα επιφανειακά ύδατα της Ελλάδας (ΦΕΚ 1886B/12-12-2003). Πιθανώς η γεώτρηση να αντλεί νερό από κάποια οξειδωμένη μεταλλοφορία πλούσια σε Fe (Μιχαηλίδου 2013).

Το Sr εμφανίζεται ιδιαίτερα αυξημένο σε όλα τα δείγματα με μέση περιεκτικότητα 1126 $\mu\text{g/L}$ στα υπόγεια ύδατα και 598 $\mu\text{g/L}$ στα επιφανειακά. Συνδέεται με βασικά πυριγενή πετρώματα (Kabata-Pendias 2011) και πιθανώς οφείλεται στους γάββρους που εντοπίζονται στην περιοχή καθώς συσχετίζεται με τις επίσης υψηλές περιεκτικότητες του Ca και του Mg.

Με βάση την παρούσα μελέτη οι σχετικά υψηλές περιεκτικότητες που παρουσιάζουν κάποια δείγματα υδάτων σε κύρια στοιχεία (Ca, Mg, Na), και ιχνοστοιχεία (Fe, Mn, As, Sr) αποδίδονται σε γεωλογικούς παράγοντες. Εξαίρεση αποτελούν ο P και το Cl των οποίων ο εμπλουτισμός στα ύδατα των Πεύκων πιθανώς να οφείλεται σε ανθρωπογενή ρύπανση από αστικά λύματα.

10. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από την γεωχημική και περιβαλλοντική μελέτη των επιφανειακών υδάτων της περιοχής Πεύκα (Ρετζίκι) Θεσσαλονίκης, και την διερεύνηση της κατανομής των κύριων στοιχείων, ιχνοστοιχείων και βαρέων μετάλλων, οδηγούμαστε στα παρακάτω συμπεράσματα:

- Τα δείγματα που χρησιμοποιήθηκαν για την συγκεκριμένη μελέτη, κρίνονται ακατάλληλα για πόση, σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Ένωση και τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (Πίνακας 9.1) , ως προς τα στοιχεία Mg, Ca, Mn, As, U.
- Τα στοιχεία Ca, Mg, Cl κατέχουν τις υψηλότερες συγκεντρώσεις, εξ' αιτίας της γεωλογίας της περιοχής μελέτης ή της αλόγιστης ρίψης χοντρού αλατιού (NaCl) και τη ρύπανση αστικών λυμάτων. Ειδικά για το Cl πιθανώς αυτό να οφείλεται σε ρύπανση από αστικά λύματα.
- Το S εντοπίζεται κατά θέσεις αυξημένο λόγω μεταλλοφόρων σωμάτων μέσα σε οφειολιθικά πετρώματα της περιοχής.
- Τα K, Na, Si κυμαίνονται σε φυσιολογικά όρια.
- Ο P εντοπίζεται κατά θέσεις αυξημένος λόγω πιθανών αστικών λυμάτων.
- Τα στοιχεία Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, Sn, V, Zn έχουν σχετικά χαμηλές περιεκτικότητες.
- Το Mn σημειακά εντοπίζεται αυξημένο (RSW1) λόγω πιθανής μεταλλοφορίας πλούσιας σε Mn.
- Το As κατά θέσεις αυξημένο λόγω φυσικής προέλευσης.
- Ο Fe εντοπίζεται σε πολύ χαμηλές περιεκτικότητες.
- Το Sr εμφανίζεται κατά θέσεις αυξημένο λόγω παρουσίας πυριγενών πετρωμάτων (Γάββρος).
- Σε ότι αφορά τις οργανικές ουσίες, με βάση τη μέτρηση του χημικά απαιτούμενου οξυγόνου COD , τα ύδατα της περιοχής κρίνονται ως μη 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.
- 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., Soupios 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.
- Δραγάκης 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 Φ. (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 Πρίντζης 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 μμέθοδο ιζηματοποίησης με Fe^{3+} ή Al^{3+} . Πρακτικά 6ου Πανελλήνιου Υδρογεωλογικού Συνεδρίου. Ξάνθη, 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.
- Μιχαηλίδου Α. (2013). Γεωχημική περιβαλλοντική ανάλυση των υπόγειων υδάτων στην περιοχή Πεύκα (Ρετζίκι) Θεσσαλονίκης. Πτυχιακή Διπλωματική εργασία, Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ., σελ. 52.
- 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). Υγιεινολογικός 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., Φιλίπιδης 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.